

實用
土木工程學



中國科學社工程叢書
實用土木工程學
第五冊

鐵路工程學

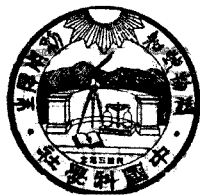
BY

WALTER LORING WEBB

Consulting Civil Engineer, American Society of Civil Engineers

譯 述 者

汪 胡 楨



中國科學圖書儀器公司發行

中國科學社工程叢書

實用土木工程學

第五冊

鐵路工程學

中華民國卅六年五月三版

版權所有 翻印必究

原著者	Walter Loring Webb
譯述者	汪 胡 植
主編者	汪 胡 植 顧 世 楫
發行者	楊 孝 述
發行所	中國科學圖書儀器公司 上海中正中路六四九號
分公司	中國科學圖書儀器公司 南京 廣州 漢口 重慶 北平
印刷所	中國科學圖書儀器公司 上海中正中路六四九號

(稅3000)

序

中國科學社負發揚科學文化之使命，近年來經本社出版之科學書籍，雖已逐漸增多，惟尚無獨成系統之專著，而於應用科學方面，尤感缺乏，爰有編譯工程叢書之議，藉以弭此缺憾。但工程學門類至繁，從事編譯，豈屬率爾操觚所能濟事，其未能早日見諸實行者，經費與人才之困難，實為其主要原因。

民國二十七年春，本社雖處於特殊環境之中，惟出版事業尚未受若何影響。是時社友汪胡楨、顧世楫等適來海上。諸君之於土木工程學，造詣甚深，且在工程界任職歷二十餘年，久著勞績，其於著述之事，亦深感興趣而遊刃有餘。故經本社理事會議決，以主編實用土木工程學之事任之，而為本社發行工程叢書之嚆矢。

土木工程學雖僅屬工程學之一門，惟其範圍之廣，效用之宏，遠非其他任何工程學所可比擬。即在國家承平之日，凡屬發展交通，水利改良衛生，市政之事，幾無一非土木工程師是賴。他日戰事結束，百端待舉，其最感迫切而需要者，恐更無過於土木工程學範圍內之各項建設，良以其有關國計民生，至為深切。本社

乘此時機，特先以此書問世，亦所以稍爲國家貢獻於萬一耳。

此書係以美國技術學會之土木工程叢書最新版本（一九三八年版）爲藍本，而從事逐譯，經年餘之努力，始克有所成就。今擬先後出版者凡十餘種，關於本書之性質，及編譯之經過，另有弁言，以爲讀者介紹，茲不多贅。惟此書既以實用爲主，故不涉高深理論，幸讀者勿以其淺顯爲病。蓋土木工程學之任何門類，俱可輯爲專書，苟不厭求詳，則雖累數十冊而未能盡，此非本社發行工程叢書之原意，且在今日之吾國學術界，亦暫無此需要焉。

民國二十九年一月

楊孝述

弁 言

土木工程學宏博淵深，門類至富。自測量力學等基本學科起，以至交通，水利，衛生，結構諸專門學科止，標舉其名，何慮數十餘種。而每一學科之西文著述，浩如烟海，即在吾國出版界，屬於土木工程學之著述及譯本，近年亦日見增多。但各書之程度不齊，詳略互異，其能彙聚土木工程學各科於一書，自成系統，以供學子自修或初學入門之用者，尙不多觀。西文書籍中之各種土木工程師袖珍手冊，雖包羅宏富，應有盡有，但咸係供參考之需，不宜初學及自修之用，且求之國內，尙未見有從事著譯此種書籍者。

以吾國學術界目前之需要而論，與其多出博雅精深之理論書籍，無甯印行切合實用之專門著述，庶學校中得取爲教材，自修者可資以研究，既免西文扞格之苦，而深得舉一反三之樂。中國科學社之發行工程叢書，其要旨殆亦在是。同人等受命主編實用土木工程學，未嘗忽視此意，惟自慚譎陋，若從事撰著，誠恐剪裁難期盡當，爰經審慎選定美國技術學會出版之土木工程叢書，作爲譯述之藍本。是書之優點，即在注重實用，避免高深理論，其引用數學之處，僅及三角法

爲止，使讀者極易了解。惟有關實用之公式及圖表，仍多盡量採入，以資參考。書中舉例固力求明顯，且凡遇應用計算方法處，恆附以若干習題，以備觀摩。全書七冊，計附圖一千六百餘幅，尤爲他書所罕有，故極適宜於作爲教本及自修課本之用。凡此種種，讀者當能自行評定其價值，毋待同人等之絮述焉。

本書在美國學術界久居重要地位，其執筆者不下十餘人，或係富有經驗之領袖工程師，或爲著名大學之專科教授，無一非著作等身爲工程界知名之士，故能出其餘緒，刪蕪存要，而成此極有價值之鉅著。是書之最早版本，刊行於一九〇八年，去今蓋已三十年矣。歷年屢經增損，不知已再版若干次，今本書所採用者，乃一九三八年之最新版本，凡七鉅冊，其內容如下：

- 第一冊 平面測量學，一工程契約及規範，
- 第二冊 材料力學，一靜力學，一道路學，
- 第三冊 鋼建築學，
- 第四冊 屋架結構，一橋梁工程學
- 第五冊 混凝土工程學，
- 第六冊 水力學，一給水工程學，一溝渠工程學
- 第七冊 鐵路工程學，一土工學。

按此七冊之內容，似係偏重於量之區分，故不甚與修學之先後程序相合。今酌加更改，以基本學科列於首，並將水力學與靜力學合成一冊，其餘可分者則

分之，計得十二冊，而定爲下列之次序：

- 第一冊 靜力學及水力學，
- 第二冊 材料力學，
- 第三冊 平面測量學，
- 第四冊 道路學，
- 第五冊 鐵路工程學，
- 第六冊 土工學，
- 第七冊 給水工程學，
- 第八冊 溝渠工程學，
- 第九冊 混凝土工程學，
- 第十冊 鋼建築學，
- 第十一冊 房屋及橋梁工程學，
- 第十二冊 工程契約及規範。

在此十二冊中，凡屬土木工程學之主要學科，固已大致具備，惟此最新版本，已刪去河道、海港、水力發電及灌溉等數種，同人等力所能及，尙擬繼續搜採名著，次第譯述，以成全帙。

原書因非出於一人手筆，故在編制方面不盡劃一，且不另分章，亦無詳細目錄，檢查時稍感不便。故現已於譯本中一律爲之區分章節，製成詳備之目錄，置於每書之首，而原書所附之索引，則予刪除。

在譯書之過程中，以選定專門名詞爲最感困難之事，蓋國內關於學術上之譯名，尙未統一，尤以土木

工程學之門類既繁，名詞特多，其中雖有若干譯名，已爲先進著作家所引用，但尙多紛歧，難資依據。同人等爲集思廣益起見，曾經數十次之集會商討，並決定儘量採用教育部已經公佈之各項專門名詞，其未備者則由同人等審慎擬定，務使全書前後一致。雖未敢云至當，但已確盡一番攷慮抉擇之功，或足爲統一土木工程學專門名詞之濫觴。茲爲便於讀者檢查起見，另列中英文譯名對照表於每書之末。俟全書殺青以後，當再按英文字母次序，編印土木工程學辭彙，以供國內工程家之參考。至於書中之地名及人名，則概從音譯，以商務印書館出版之標準漢譯外國地名人表爲準則，以期一律。其在書中所見者，亦列對照表，附於書後。

原書關於度量衡單位，均係英制，雖猶爲吾國工程界所通用，但與普通教本中所採用之米制不合，讀者或將引爲不便。爰經另編簡明之單位換算表，刊於每書之首頁，以便推算。

工程書籍中之算式及符號，恆較其他書籍爲多。稍有謬誤，每使讀者思索竟日而不明源委。其切於實用之表式，尤不容有一數字或甚至一小數點之誤列，致發生重大之紛擾。本書關於印稿校對之事，係由主編者與譯者反覆爲之，雖未敢云絕無魯魚亥豕之誤，但已盡最大努力，使印刷上之錯誤減至極少。卽原書

中偶有算式及符號數字等錯誤,亦一一爲之糾正。此雖細節,但亦所以表示同人等鄭重將事之微意,故樂爲讀者告焉。

同人等聞見有限,疵謬之處在所難免,倘蒙讀者賜予匡教,不勝感幸。

民國二十九年一月,上海 汪胡楨 顧世楫

譯 者 贅 言

本書出版以前，原著者已先發刊兩本頗享盛名之專書，一為「鐵路工程學」，一為「鐵路建築經濟學」。本書之作實為薈萃以上兩書之精粹而成。是以本書涉及之範圍，較諸一般鐵路工程書為廣大，於論述鐵路建築工程之學術以外，兼及養路、管理、經濟、各種基本學識。窺原著者之意，蓋欲使肄習斯學者不拘泥於一端，而能洞識其全體，對於鐵路工程車務機務諸方面之業務，咸能明悉其梗概，則一旦從事於建築新路之際，無論所任為測量、為設計、為施工，均能悉中肯綮，勝任而愉快也。

本書各章所述，咸注重於學理之闡明，而以美國優良習尚為釋例之用，俾讀者知其所以然之故，藉收舉一反三之效。

鐵路橋梁本屬專科，本叢書已另輯橋梁工程學，故茲書乃從省略。本書有關算表，原書並未輯入，須另行參考別書，茲均一一添附書中，以省讀者翻檢之勞。

民國二十九年一月

汪胡楨

原 序

人類之工作，在工程各部門內，其驚奇偉大與莊嚴，殆無過於土木工程師矣。夫有土木工程師，庶幾向視爲無法飛渡之天塹，可以架橋跨越；建摩雲之鋼構，俾建築藝術家得以踵事增華；穿隧重巒，不差累黍；登山涉水，探測人跡未到之境域；他若建築巴拿馬運河，箭石壩，羅斯福壩，水廠濾池及一切公共工程，幾無一非土木工程師之偉績。

鑒於土木工程之重要性，及以清晰通俗文字陳述此廣大領域內一切理論與實際發展之需要，始引起出版者以編纂此巨著之旨趣。出版者之宗旨，在乎供給曾受訓練之工程師以權威之資料，俾易解決當前之問題，並使有志向學之士，得了然于近代之發展以急起直追也。

土木工程書籍，汗牛充棟，瀏覽匪易。此書說理力求簡賅，術語力求減少，重複之章節竭力刪除，輯爲七冊，便於攜帶，附有索引，以利查檢，凡此均欲使適合讀者之需要耳。

本書在技術文學界之地位，久已爲世人所推崇，一致認爲標準之參考書，茲出版者，復不惜煩費，加以

修正，務使包羅益廣而效用益宏也。

在結語中，應向編者諸君子深致謝意。諸君子咸屬富有經驗之工程師與教育界知名之士，本書之得以問世，皆其努力協助之所賜也。

鐵路工程學目錄

第一篇

	頁數
第一章 鐵路測量概論	1
1. 原則	1
2. 各種矛盾之因數	1
第二章 勘測	3
3. 主要問題	3
4. 現成地圖之利用	3
5. 測量方法	4
6. 勘測之要素	4
7. 例題	8
8. 低級限界坡度	10
第三章 初測	12
9. 普通目的	12
10. 方格法	12
11. 橫截面之測定	13
12. 視距法	15
13. 測量隊之組織	15
14. 改測	15
第四章 定線測量	17

15. 路線之選擇	17
16. 測量之方法	18
第五章 單曲線	19
17. 量度之方法	19
18. 零弦	24
19. 曲線之長度	24
20. 曲線之要素	25
21. 1° 曲線之要素	26
22. 例題	26
第六章 外業之方法	30
23. 利用折角設定曲線法	30
24. 折角之計算	30
25. 儀器之使用法	31
26. 測設曲線之特種方法	32
27. 定線之障礙	34
28. 例題	36
29. 定線之變更	37
30. 例題	38
第七章 複曲線	40
31. 定義	40
32. 雙股複曲線各部分之	

關係.....	40	51. 土工測量.....	67
33. 定線之變更.....	41	52. 坡概之位置.....	68
34. 例題.....	42	53. 普通計算土方方法.....	69
第八章 緩和曲線.....	44	54. 水平面之截面.....	70
35. 緩和曲線之種類.....	44	55. 替代截面.....	71
36. 符號.....	46	56. 稜柱體之體積.....	71
37. 折角.....	47	57. 三級截面.....	71
38. 插入螺線於切線及圓 周曲線之間.....	48	58. 算例.....	74
39. 例題.....	52	59. 乘積之計算.....	75
40. 舊軌道間螺線之插入.....	54	60. 不整截面.....	76
41. 例題.....	55	61. 稜柱體改正數.....	78
42. 插入緩和曲線於複曲 線.....	58	62. 例題.....	78
43. 例題.....	60	63. 山坡工作.....	79
44. 測設法.....	60	64. 取土坑.....	80
第九章 垂直曲線.....	62	65. 曲線之改正數.....	80
45. 採用之理由.....	62	66. 重心之偏心率.....	81
46. 垂直曲線之形式.....	62	67. 例題.....	83
47. 例題.....	63	68. 山坡截面之偏心率.....	83
第十章 土工.....	65	第十一章 土工施工法.....	85
48. 側坡與橫截面.....	65	69. 挖土方法.....	85
49. 路基寬度.....	65	70. 爆炸.....	85
50. 建築要旨.....	67	71. 路基之填築.....	87
		72. 土工之分類.....	88
		第十二章 隧道工程與測	

量	89
73. 測量之性質	89
74. 隧道外面之測量	89
75. 坑內測量	90
76. 導井測量	90
77. 橫截面	91
78. 坡度	92
79. 襯裏	92
80. 隧道之門口	93
81. 普通原則	94
82. 建築方法	94
第十三章 棧橋	97
83. 樁棧橋	97
84. 打樁法	98
85. 架棧橋	99
86. 疊層架棧橋	100
87. 基礎	101
88. 橋臺	101
89. 縱桁	102
90. 平肩	103
91. 護輪木	103
92. 棧橋之軌枕	104
93. 曲線外軌之超高度	104
94. 防火設備	106
95. 木料之選擇	106

第十四章 涵洞	109
96. 圓管涵洞	109
97. 舊軌涵洞	110
98. 牲畜通路	110

第二篇

第十五章 雜項建築	111
99. 給水設備	111
100. 轉車臺	113
101. 給煤站	113
102. 機車庫	115
103. 牲畜防護設備	117

第十六章 軌道及鋪路材	
料	119
104. 道碴	119
105. 軌枕	121
106. 軌條	123
107. 軌條之接合	127
108. 軌枕釘	128
109. 軌條撐	129
110. 道釘	130
111. 螺栓	130
112. 螺帽鎖	131

第十七章 軌道鋪設法 133

113. 測量 133
114. 道碴之鋪設 133
115. 軌枕之鋪設 133
116. 軌條之鋪設 133
117. 路面之校準 136
118. 外軌之超高度 136

第十八章 轉轍與分道叉 138

119. 轉轍之構造 138
120. 數學計算方法 142
121. 曲線幹軌道外側之分
道叉 147
122. 曲線幹軌道內側之分
道叉 149
123. 例題 150
124. 平行直軌之連接法 150
125. 曲線軌道外側之連接
曲線 151
126. 曲線軌道內側之連接
曲線 152
127. 平行直線雙軌道之互
交叉道 153
128. 平行兩曲線軌道之互
交叉道 154

129. 轉轍器之計算問題 157
130. 鋪設轉轍器之法則 158
131. 交分道叉 159
132. 交道叉 161
133. 直線軌道與曲線軌道
相交 161
134. 兩曲線軌道相交 162
135. 例題 163

第十九章 車場與終站 164

136. 合宜的規劃之重要性 164
137. 貨車場 164
138. 貨車場與幹軌道之聯
絡 166
139. 次級貨車場 166
140. 貨車場之附屬設備 167
141. 機車場 168

第二十章 號誌 169

142. 號誌之制度 169
143. 簡單手動制 170
144. 控制手動制 172
145. 自動制 174
146. 機械構造之細目 175
147. 鏡與管 179
148. 電氣號誌 181

149. 電動伸臂號誌	183
150. 聯鎖制	183
第二十一章 鐵路之養護	187
151. 工具	187
152. 工程車	189
153. 通溝工作	190
154. 軌枕之分配	191
155. 軌條之分配	191
156. 道碴之搬運	192
157. 棧橋之填土	194
158. 養路隊之組織	195

第 三 篇

第二十二章 鐵路之財政	199
159. 投資	199
160. 股票與債券	200
161. 總進款	202
162. 鐵路營業獨佔性	204
163. 總進款之分類	205
164. 固定費用	207
165. 淨進款	208
166. 營業費用	208
167. 營業費用之分類	210
168. 路線與建築之養護	210

169. 設備之養護	212
170. 運輸費用	213
第二十三章 經濟之定線	214
171. 原則	214
172. 經濟計算之確實性及 其價值	215
第二十四章 長度	216
173. 長度與運價及費用之 關係	216
174. 進款之影響	217
第二十五章 曲度	221
175. 曲度對於營業上之障 礙	221
176. 曲線之補償	222
177. 曲線之限度	224
第二十六章 坡度	226
178. 低級坡度與界限之區 別	226
179. 加速運動之定律	226
180. 實質縱截面	229
181. 實質坡線之應用與價 值	234
182. 例題	235

第二十七章 阻力..... 237

183. 列車阻力..... 237

第二十八章 機車之能力 243

184. 機車之檢定..... 243

185. 行車之單位..... 245

186. 機車之型式..... 247

187. 燃油機車..... 248

188. 型式與服務及軌道狀
况之關係..... 249

189. 機車之動力..... 249

190. 動力之計算..... 251

191. 高速度時之牽引力..... 257

192. 機力之繼續計算..... 259

193. 鍋爐能力與牽引力之
關係..... 260194. 坡度對於牽引力之影
響..... 263

195. 加速度及速率曲線..... 265

196. 減速度及速率曲線..... 269

197. 飄行..... 270

198. 機車機力計算之複驗 272

199. 路線之選擇..... 272

第二十九章 後推坡道..... 274

200. 一般經濟原理..... 274

201. 後推作業時坡道之平
衡..... 275

202. 後推機車之管理..... 276

203. 後推坡道之長度..... 277

204. 後推機車業務之費用 277

第三十章 平衡異量運輸

之坡度..... 281

205. 基本定理..... 281

206. 理論平衡之計算..... 281

207. 未來運輸之估計..... 283

鐵路工程學

第一篇

第一章 鐵路測量概論

1. 原則 工程師首先必須充分明瞭舉行測量所擬達到之目的。彼應覺察除幾於無法覓定任何路線之罕有境遇外，苟欲設定可通列車之路線，並不需要高深之工程技能。所設路線雖違反一切定線之常規，營業之費用甚昂，且多阻礙運輸業務之種種弱點，但未嘗不能通行列車。從無數備選之路線中，工程師須權衡利害選出其最適宜之一線。工程師之真本領在其能了解自然情況，並據以設計其路線。此種技能祇可得自鐵路工程學全部學識融會貫通以後，並須輔以實地之經驗。是以在事實上，下文所述，非俟學者讀畢全書，細心涵泳，不易完全領悟也。

2. 各種矛盾之因素 每一路線之設定，恆有數種利害相反之因素，足以影響之：

(a) 初價須為最小數。但最廉省之路，恆難免尖銳的曲線，險峻的坡度，與不便利的位置。

(b) 每「列車哩」之營業費須令為最小數。此語之意即謂曲線必須和緩，坡度必須平坦，但欲達此項目的，必須增加工程費。

(c) 路線之位置必須便利於運輸之來源，庶可獲得最大量之業務，而緣此費用甚昂。

以上各種條件，在稍經研究以後，即可知其含有矛盾性。若選定之路線位置，能對於以上各因素調整適度，不令自相衝突，且能顧及次段路線之位置，則自可視為合格。最優之工程技能，即在初價，營業費，未來進益，各不相同之各種可能路線中，作精密之計較，以決選其對於投資最合算之一線。

第二章 勘 測

3 主要問題 由以上所論，可知首先舉行之測量(名爲勘測)，旨在將鐵路擬經之地域作概括的考察。鐵路所須聯接之終站及其間重要城市，常因商業的原因而預先決定，故所餘之問題，祇在覓取介於預定點間最良之路線。若相鄰兩預定點處於同一之川谷，或同位於巨大河流之一岸，(不易跨橋)則路線之位置無選擇之餘地。若河流細小，易於跨橋，彎曲尖銳，兩岸易變，每岸均有重要市鎮，則必要時常須就每岸作精審的視察，以決定跨越之地點。若兩預定點相距甚遙，處於不同之川谷，致有一個或數個山嶺爲之間隔，則最良路線之選擇，輒因可能的路線之增多而愈形繁難。就大體而言，如所選路線能聯絡最低之嶺點與最高之谷點(例如跨河點)，則常可得最佳之坡道。因限界坡度每爲工程師對於地形上最重要之考慮點，故勘測之主要工作，(除研究未來之運輸業務以外)即在測定嶺點與谷點之高度，及其間之距離，同時考察該地域內有關建築工程之情形。

4. 現成地圖之利用 美國地質測量局業已出版同高線地圖頗多，由此選擇路線，較工程師自製勘測圖爲便利而可靠，因此種地圖顯示鐵路所經地域之全貌，工程師極易就此選出十餘條備選路線，而迅捷比較之，較諸集中注意力於小範圍地圖，實事半而功倍也。美國地質測量圖之誤差甚小，不致減損初步定線之精密度。稍就地圖研究以後，即可明悉某一路線，(或其中兩三路線)較諸其他備選路線，具有顯著的優點，隨而決定選取之。否則至少亦可將比

較路線減至優劣相似之兩三線，再作精細的測量以決定之。各郡地圖亦常甚精密，足使勘測時取以決定支配點在水平面上之位置。再以此種地圖為根據，增補各點之高度即可。（詳見次節）

5. 測量方法 苟無可靠之等高線地圖，則可用次法就現成地圖加以補測，或舉行完全的勘測工作。主要之目的，即在將必要之地形作迅速的決定，以顯示某一路線確較他線為優越。不需要之地形切勿測入，並勿浪費時間以求增加無謂之精密度。兩路線之地形的性質，每釐然有別，故即用迅速簡略之測法，已足以判定之。若兩路線無甚軒輊，不能將勘測之結果作決選之根據，則須舉行更精密之測量。

6. 勘測之要素 測量每路線必備之三要素為(a)長度，(b)方向，(c)坡度或兩端之相對高度。[長度]用步武以計長度，常甚精確，步數則以步程計定之。在空曠之草原上，如可行駛馬車，則可附繫輪轉計於車輪，以計算其迴轉數。更有備輪轉計之車輪，繫以木架，推動如獨輪車，亦可達到同一之目的。又用大型望遠鏡，藉自在接合裝置於輕便之三腳架上，鏡內配有視距絲，校準其視距，使在十呎桿上，可將 2,000 或 2,500 呎之距離，讀出十呎左右之數字。利用此鏡，以測量散佈甚廣各測點間之距離，殊為精密而迅速。[方向]用羅盤儀以測方向已屬精密，雖囊中羅盤儀亦屬可用，[高度]酒精水準測量法（即水準儀）迂緩而昂貴，故不宜採為迅速測量之用。如用視距法，而儀器上附有垂直分度盤者，則可以讀出每一視線之傾角，而算得各點之高度 測量高度之差數欲其精密度合於勘測目的，當以利用無液氣壓計最為迅捷。但須用另一無液計輔助之，能用水

銀氣壓計爲尤佳。水銀氣壓計或另一無液計，須設置於業已測定高度之測量隊駐在室內，當野外用氣壓計測量高度之時間內，須常川（例如每半小時）記載其讀數。攜野外氣壓計至擬測高度之各點，必須在駐在室數哩範圍之內。每測一點，須記載其時間（表式見後），地點，氣壓讀數，與溫度。如爲事實所許可，各重要點之讀數，須於往返駐在室時重複讀記之。後繼各駐在室之高度，必要時亦可用室內無液計測定之，但工作上必須特別謹慎。

無液氣壓計每製成溫度絕緣性，即無論溫度如何變化，其氣壓讀數不受影響。若無液計未具溫度絕緣性，則須在各種溫度下與標準水銀氣壓計相比較，製成比較表以供改算之用。水銀計中之水銀，玻璃管，水銀槽均有漲縮性。故其讀數必須化爲冰點讀數（ 32°F ），換言之，即儀器之溫度爲 32°F 時應有之氣壓讀數是也。此種換算可以表 1 爲助。在駐在室中每半小時之讀數，須記明時間，氣壓水銀柱高度，貼附於水銀柱之溫度計讀數，及四周空氣溫度。氣壓計如置在室內，則水銀柱溫度與四周空氣溫度常略有差別。在化算觀測數之際，必要時須用中介法以求得相當於野外測讀時間之氣壓讀數。由表 2，定出相當於野外讀數及換算後室內讀數之高度。此項高度之差數，爲室內及野外測點高度差之略數。如屬必要，此差數須以表 3 之係數改正之。在此表內，第一欄爲室內及野外溫度之和，第二欄爲所求之係數。將此係數與高度差之略數相乘，再從高度差略數內加入或減去之。此項改正數爲值甚微，常可不計。由簡略計算所得之結果，計算至呎數爲止，每屬充分精確。不論構造如何完善之無液計，極少能與水銀計相吻合，雖在調準之後，亦恆有差異。故甯

勿調準而選用改正數也。每次由駐在室出發，應將無液計與水銀計相較而記載其差數。每日返自野外，亦應立即再事比較。水銀柱之讀數容有高低，其差數均應大約相等，惟通常無液計讀數每較真數為

表 1 改算氣壓計讀數為冰點讀數表

溫度 ° 華氏	時										
	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0
45	-.039	-.039	-.040	-.041	-.042	-.042	-.043	-.044	-.045	-.045	-.046
46	-.041	-.042	-.043	-.043	-.044	-.045	-.046	-.046	-.047	-.048	-.049
47	-.043	-.044	-.045	-.046	-.047	-.047	-.048	-.049	-.050	-.051	-.052
48	-.046	-.047	-.047	-.048	-.049	-.050	-.051	-.052	-.053	-.053	-.054
49	-.048	-.049	-.050	-.051	-.052	-.052	-.053	-.054	-.055	-.056	-.057
50	-.050	-.051	-.052	-.053	-.054	-.055	-.056	-.057	-.058	-.059	-.060
51	-.053	-.054	-.055	-.056	-.057	-.058	-.059	-.060	-.061	-.062	-.063
52	-.055	-.056	-.057	-.058	-.059	-.060	-.061	-.062	-.064	-.063	-.063
53	-.057	-.058	-.060	-.061	-.062	-.063	-.064	-.065	-.066	-.067	-.068
54	-.060	-.061	-.062	-.063	-.064	-.065	-.066	-.068	-.069	-.070	-.071
55	-.062	-.063	-.064	-.065	-.066	-.067	-.069	-.070	-.071	-.073	-.074
56	-.064	-.065	-.067	-.068	-.069	-.070	-.072	-.073	-.074	-.075	-.077
57	-.067	-.068	-.069	-.070	-.071	-.073	-.075	-.076	-.077	-.078	-.080
58	-.069	-.070	-.071	-.073	-.074	-.076	-.077	-.073	-.080	-.081	-.082
59	-.072	-.073	-.074	-.075	-.077	-.078	-.080	-.081	-.083	-.084	-.085
60	-.074	-.076	-.077	-.078	-.079	-.081	-.082	-.081	-.085	-.084	-.088
61	-.078	-.077	-.079	-.081	-.083	-.083	-.085	-.086	-.089	-.089	-.091
62	-.079	-.080	-.082	-.083	-.085	-.086	-.088	-.089	-.091	-.092	-.094
63	-.081	-.082	-.084	-.085	-.087	-.088	-.090	-.091	-.093	-.095	-.096
64	-.083	-.085	-.086	-.088	-.090	-.091	-.093	-.094	-.096	-.097	-.099
65	-.086	-.087	-.089	-.090	-.092	-.093	-.095	-.097	-.099	-.100	-.102
66	-.088	-.089	-.091	-.092	-.095	-.093	-.098	-.099	-.101	-.103	-.105
67	-.090	-.092	-.094	-.095	-.097	-.099	-.101	-.102	-.104	-.106	-.108
68	-.093	-.094	-.096	-.098	-.100	-.101	-.103	-.105	-.107	-.109	-.110
69	-.095	-.097	-.099	-.100	-.102	-.104	-.106	-.107	-.110	-.111	-.113
70	-.097	-.099	-.101	-.103	-.105	-.106	-.109	-.110	-.112	-.114	-.116
71	-.100	-.101	-.103	-.105	-.107	-.109	-.111	-.113	-.115	-.117	-.119
72	-.102	-.104	-.106	-.108	-.110	-.112	-.114	-.116	-.118	-.120	-.122
73	-.104	-.106	-.108	-.110	-.112	-.114	-.116	-.118	-.120	-.122	-.124
74	-.107	-.109	-.111	-.113	-.115	-.117	-.119	-.121	-.123	-.125	-.127
75	-.109	-.111	-.113	-.115	-.117	-.119	-.122	-.124	-.126	-.128	-.130
76	-.111	-.113	-.116	-.118	-.120	-.122	-.124	-.126	-.129	-.130	-.133
77	-.114	-.116	-.118	-.120	-.122	-.124	-.127	-.129	-.131	-.133	-.136
78	-.116	-.118	-.120	-.122	-.125	-.127	-.129	-.131	-.134	-.136	-.138
79	-.118	-.120	-.123	-.125	-.127	-.129	-.132	-.134	-.137	-.139	-.141
80	-.121	-.123	-.125	-.127	-.130	-.132	-.135	-.137	-.139	-.141	-.144
81	-.123	-.126	-.128	-.130	-.133	-.134	-.137	-.139	-.143	-.144	-.147
82	-.125	-.128	-.130	-.132	-.135	-.137	-.140	-.142	-.145	-.147	-.149
83	-.128	-.130	-.133	-.135	-.138	-.140	-.142	-.145	-.147	-.149	-.152
84	-.130	-.132	-.135	-.138	-.140	-.142	-.145	-.147	-.150	-.152	-.155
85	-.132	-.134	-.137	-.140	-.143	-.145	-.148	-.150	-.153	-.155	-.158
86	-.135	-.137	-.140	-.142	-.145	-.148	-.150	-.153	-.155	-.158	-.161
87	-.137	-.139	-.142	-.144	-.148	-.150	-.153	-.155	-.158	-.161	-.163
88	-.139	-.142	-.145	-.147	-.150	-.152	-.155	-.158	-.161	-.163	-.166
89	-.142	-.144	-.147	-.150	-.153	-.155	-.158	-.161	-.164	-.166	-.169
90	-.144	-.147	-.150	-.153	-.155	-.158	-.161	-.164	-.166	-.169	-.172
91	-.146	-.149	-.152	-.155	-.158	-.160	-.163	-.166	-.169	-.172	-.175

表 2 相當於氣壓計讀數之高度表

B	A	每.01吋 之差數	B	A	每.01吋 之差數	B	A	每.01吋 之差數
吋	呎	呎	吋	呎	呎	吋	呎	呎
20.0	11.047	-18.6	23.7	6.423	-11.5	27.4	2.470	-8.9
20.1	10.911	-18.5	23.8	6.308	-11.4	27.5	2.371	-9.9
20.2	10.776	-18.4	23.9	6.184	-11.4	27.6	2.272	-9.9
20.3	10.642	-18.4	24.0	6.080	-11.3	27.7	2.173	-9.9
20.4	10.508	-18.3	24.1	5.967	-11.3	27.8	2.075	-9.8
20.5	10.375	-18.3	24.2	5.854	-11.3	27.9	1.977	-9.7
20.6	10.242	-18.2	24.3	5.741	-11.2	28.0	1.880	-9.7
20.7	10.110	-18.1	24.4	5.629	-11.1	28.1	1.783	-9.7
20.8	9.979	-18.1	24.5	5.518	-11.1	28.2	1.686	-9.7
20.9	9.848	-18.0	24.6	5.407	-11.1	28.3	1.589	-9.6
21.0	9.718	-12.9	24.7	5.296	-11.0	28.4	1.493	-9.6
21.1	9.588	-12.8	24.8	5.186	-10.9	28.5	1.397	-9.5
21.2	9.460	-12.8	24.9	5.077	-10.9	28.6	1.302	-9.5
21.3	9.332	-12.8	25.0	4.968	-10.8	28.7	1.207	-9.5
21.4	9.204	-12.7	25.1	4.859	-10.8	28.8	1.112	-9.4
21.5	9.077	-12.6	25.2	4.751	-10.8	28.9	1.018	-9.4
21.6	8.951	-12.6	25.3	4.643	-10.8	29.0	.924	-9.4
21.7	8.825	-12.5	25.4	4.535	-10.7	29.1	.830	-9.4
21.8	8.700	-12.5	25.5	4.427	-10.7	29.2	.736	-9.3
21.9	8.575	-12.4	25.6	4.321	-10.6	29.3	.643	-9.3
22.0	8.451	-12.4	25.7	4.215	-10.6	29.4	.550	-9.2
22.1	8.327	-12.3	25.8	4.109	-10.5	29.5	.458	-9.2
22.2	8.204	-12.2	25.9	4.004	-10.5	29.6	.366	-9.2
22.3	8.082	-12.2	26.0	3.899	-10.4	29.7	.274	-9.2
22.4	7.960	-12.1	26.1	3.794	-10.4	29.8	.182	-9.1
22.5	7.838	-12.1	26.2	3.690	-10.4	29.9	.091	-9.1
22.6	7.717	-12.0	26.3	3.586	-10.3	30.0	.0	-9.1
22.7	7.597	-12.0	26.4	3.483	-10.3	30.1	-.91	-9.0
22.8	7.477	-11.9	26.5	3.380	-10.3	30.2	-1.81	-9.0
22.9	7.357	-11.9	26.6	3.277	-10.2	30.3	-2.71	-9.0
23.0	7.239	-11.8	26.7	3.175	-10.2	30.4	-3.61	-9.0
23.1	7.121	-11.7	26.8	3.073	-10.1	30.5	-4.51	-8.9
23.2	7.004	-11.7	26.9	2.972	-10.1	30.6	-5.40	-8.9
23.3	6.887	-11.6	27.0	2.871	-10.1	30.7	-6.29	-8.8
23.4	6.770	-11.6	27.1	2.770	-10.0	30.8	-7.17	-8.8
23.5	6.654	-11.5	27.2	2.670	-10.0	30.9	-8.05	-8.8
23.6	6.538	-11.5	27.3	2.570	-10.0	31.0	-8.93	-8.8
23.7	6.423		27.4	2.470	-10.0			

表 3 高度之改正係數表

$t + t'$	C	每1°之 差數	$t + t'$	C	每1°之 差數	$t + t'$	C	每1°之 差數
0°	-1.024	10.9	60°	-0.380	10.7	120°	+0.232	10.8
10	.0915	10.9	70	.0273	10.7	130	.0368	10.4
20	.0806	10.8	80	-.0168	10.8	140	.0472	10.3
30	.0698	10.8	90	-.0958	10.7	150	.0575	10.2
40	.0592	10.8	100	+0.049	10.7	160	.0677	10.2
50	.0486	10.8	110	-.0156	10.6	170	.0779	10.2
60	-.0380		120	-.0282		180	.0879	10.0

落後，尤以曾受劇烈的壓力變動時為甚。是以各種野外讀數，應按始差與終差之平均數改正之。以上所述之方法，當以次例解釋之：

7. 例題 1. 水銀氣壓計之讀數為 28.692 吋, 水銀柱溫度為 68.5°F , 問 32.0°F 時之氣壓讀數為何?

由表 1, 氣壓 28.5 吋及溫度 68°F 時, 得改正數為 $-.101$, 又在氣壓 29.0 吋及溫度 68°F 時, 得改正數為 $-.103$, 用中介法知氣壓 28.692 吋與溫度 68°F 時, 改正數應為 $-.102$ (三位以下小數不計)。同法, 知氣壓 28.692 吋與溫度 69°F 時, 改正數為 $-.105$, 今問題中之溫度為 68.5°F , 故改正數應為 $-.102$ 與 $-.105$ 之平均數, 即 $-.1035$, 除去三位以下小數, 則為 $-.103$ 。氣壓計之改正讀數乃為 28.589 吋。中介法稍經練習, 即易應用, 無須如此例之逐步演算也。

2. 證實下表所示之改正讀數:

氣壓計讀數	溫度	冰點讀數
26.426	58.0°F	26.356
27.892	78.5	27.767
28.745	85.0	28.330
30.847	48.5	30.792

3. 將下列各讀數改正為冰點讀數:

27.294, 47° ; 29.462, 87° ; 26.230, 78.5° ; 25.241, 62° ; 26.481, 75° ;
29.625, 89.5° ; 30.942, 88.5° ; 29.784, 46.5° ; 28.386, 48° ; 27.942, 74.5°

4. 計算氣壓計 28.589 吋之高度。

由表 2, 知相當於氣壓 28.5 吋之高度為 1,397 呎, 而表中每 .01 吋之差數為 -9.5 呎。今相差 .089 吋, 故高度差數應為 $-9.5 \times 8.9 = -84.55$, 併成整數為 -85 呎。故高度應為 $1,397 - 85 = 1,312$ 呎。

5. 證實相當於以下各氣壓之高度：

氣壓	26.356,	27.767,	28.330,	30.792
高度	3.528	2.107	1.560	-710

6. 計算例題 3 中改正讀數之高度。

7. 若野外與室內高度差略數為 -136 呎，溫度為 62 與 $67'$ ，問改正高度為若干？

$62+67=129$ ，由表 3，溫度和為 129° 時，係數為 $+0.0357$ ，(用中介法) $+0.0357 \times 136 = +4.8552$ ，此數較諸高度差為值甚微，故殊無改正之必要。此改正數可併成整數 $+5$ ，今因高度差略數為 -136 呎，故改正數應為 -5 呎，合計之 $-136-5=-141$ 呎。

8. 下舉之例，不僅表示記載觀測數之方法，且屬該問題之全部解法。

時	水銀計	水銀柱溫度	冰點讀數	改正讀數	水銀柱外溫度
7:00	28.692	62°	-.087	28.605	60°F
:30	.724	64	-.092	.632	62
8:00	.756	66.5	-.099	.657	64
:30	.782	68	-.102	.680	65
9:00	.824	69	-.105	.719	66

此時野外觀測所得之數，記載於次表之首四欄內。其餘各欄則於駐在室內計算之。

記載簿之左頁

時	地 點	無液計	溫度	改正無液計讀數	改正水銀計讀數
上午7:00	駐在室	28.743	62°	-----	28.605
7:20	鐵路交叉點	.769	63	28.631	.623
8:10	青水河	.860	65	.722	.665
8:50	平撲嶺之山徑	.522	66	.384	.706

記載簿之右頁

水 銀 柱 外 溫 度	野 外 高 度 略 數	室 內 高 度 略 數	差 數	溫 度 改 正 數	高 度 差 數
62°	1273	1280	-7	0	-7
64	1186	1249	-54	-(+2)	-56
66	1508	1201	+307	+ 12	+319

8. 低級限界坡度 如下文所論，限界坡度，以低緩為要。限界坡度之略數，可自勘測中決定之。若地域多山，則必須將路線延展，以期減緩其坡度。此處所云延展，為將路線兩預定點間之平距刻意增加，使坡度力趨平緩。圖 1 所示佐治頓螺線為美國路線延展之一著例。將軌道所取之途徑加以細察，即易明瞭其利用地形之多種方法，雖已到達高地，而坡度猶甚平坦也。



圖一 佐治頓之煤礦

第三章 初 測

9. 普通目的 勘測以後，即可知最優之路線位置，係在某一地帶之內。此地帶有甚狹小者，因被地形所限制，路線祇可行經一條狹地以內，其寬度僅稍廣於路基之用地。亦有一地帶內選擇備選路線之範圍甚廣，則由測量中線所能達到之地形均應施測。鐵路業主有願出代價免除瑣細的地形限制，以期獲得經濟利益者，則施測之範圍亦隨以推廣。總之，施測地帶之寬度，必須隨地變化，以包括全線一切備選路線的位置在內。

10. 方格法 先行測設折尺形之中線，以愈能接近未來路線為愈善。此中線每段之方向與長度均應測量，並包括兩側之主要地形。方向有以羅盤儀施測者，其優點為極度之迅速，而精度則稍遜。欲期更形精密，則宜用經緯儀逐站施測方位角，並以讀數為參證之用。測量之始及每測數哩以後，宜測定真方位角一次。此可自觀測北極星得之；更善者，則用太陽觀測法，以其甚精密，且可於日間隨時舉行。測概之距離，宜適為 100 呎。如遇測點不能適在 100 呎整數距離時，則其零數應於次段測線內補足之。測概之長須約為 15 吋，截面為 $1\frac{1}{4}$ 吋見方。亦有喜用 $1'' \times 1\frac{1}{2}''$ 截面者。表示 100 呎整數測站之測概，須打至出地五吋以內。表示經緯儀站之測概須打平地面，名為樞概。另於概右三呎處設一指示概，於其上書寫測點號數及附加零距，例如 137+46 意即測點 137 號以外又 46 呎，即距離起點 13,746 呎。測點概之號數應書寫於概之後方。水準班踵隨經緯

儀班之後，測定各測點，副測點，嶺點，谷點，河岸，暨其他足使縱截面陡變之各點高度。(以某基準平面為準)

11. 橫截面之測定。用陸克水準一具安置於五呎桿上，50呎捲尺一支及10呎水準尺一支(劃分為呎與十分之一呎)。截面班通常均在每100呎測樞處，作正交於該處測線之截面，如圖2所繪之

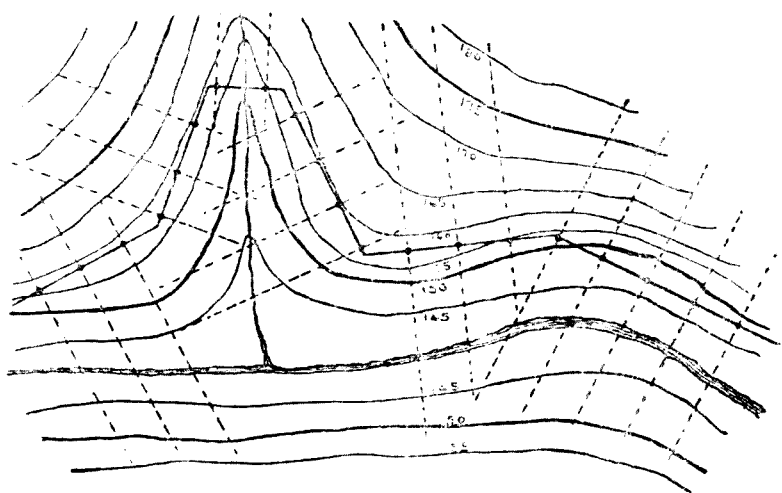


圖 2

虛線即是。今欲在此圖上繪出5呎間距之同高線，命圖3為橫截面之一例。將水準(安置於五呎桿上)置於S樞，此樞之高度業經水準班測定為169.4呎，是以水準器之高度為174.4呎。今將水準尺攜向高處，迨望遠鏡望見尺上4.4呎之分畫，則尺底之高度必為170呎，即170呎同高線之所經。將樞與水準尺之平距離量出，記載於簿籍，如圖4。留水準尺於該處，而將水準再向高處移動，至望遠鏡視線與水準尺之頂相齊而止。水準之桿底自必在175呎同高線上。量取平距及記載俱如前法。如屬需要，則將水準尺移至此點，仍用前

法以定 180 呎同高線。五尺桿置在中心樑上時，165 呎同高線應比

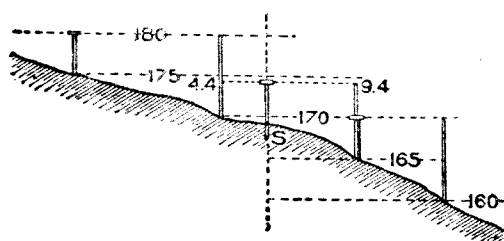


圖 3

望遠鏡視線低 9.4 呎，由此可量得中心樑與 165 呎同高線之平距。較低各同高線均可用同法求得之。測量結果

可在劃分為 $\frac{1}{4}$ 吋方格簿上繪出之，每吋代表 100 呎。若依次所測各截面均自各頁之底向上繪記，則所成之圖與沿着測線向前觀看時

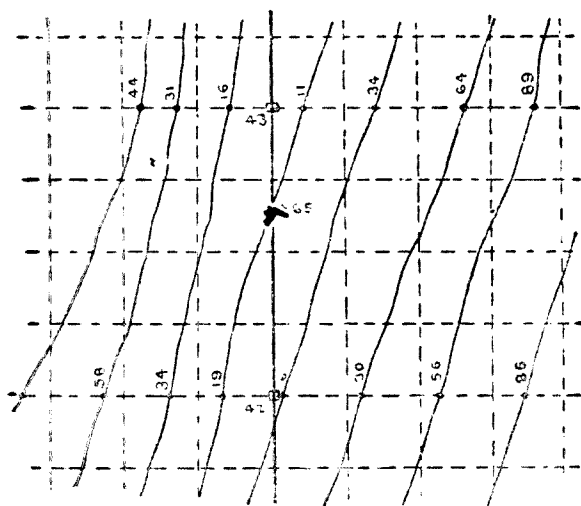


圖 4

相等。俟各截面測竣以後，可將同高線相連，繪成圖 4 所示之草圖。幹線與同高線之交點位置，亦可由此決定之。圖 4 實為圖 2 一部分之放大。陸克手水準雖不能用以施行精密之水準工作，但即有誤差

亦均以本截面爲限，不致影響別處，造成累積誤差也。工作時稍稍經意，即易使測量誤差在一定限界之內，而其進行之迅速，遠非別種精密測法所可望項背也。

12. 視距法 此法係在一條長而且狹地帶內舉行視距測量，所用方法實與普通視距地形測量無異。此法有一優點，即水準工作可與視距工作同時並進，祇須於每測點作前視與後視時，測得垂直角度而已。此可令測量進行格外迅速，因可免等候水準班而曠廢時間也。另設水準班之費用亦可省免。視距測量法，爲學者所已習，故不再贅述。此法與前法之目的相同，旨在繪製該地域內之地圖，載有同高線與其他必要之地形。

13. 測量隊之組織 曾經有人鄭重說過，測量隊長之唯一責任爲張開兩眼。蓋欲爲鐵路選取最適宜之路線，則必須對於所經地域作嚴密之研究，若令隊長兼司經緯儀，則必致兩失其職。經緯儀員之工作須甚專一，故不應再費時間於路線之選擇。除隊長與經緯儀員外，隊中應設旗手二人，鏈手二人，槓手一人，斧手二人或數人（按地域內林木多寡而定）。如用視距測量法，則旗手與鏈手應以桿手一人或數人代之；能增記載員一人尤爲合算，因可使全隊進行更爲便利也。截面班須有水準員記載員各一人，捲尺手二人。班中員工數目減省至三人亦屬可能，在非常狀況下並可減至二人，但以長期言，殊不合算。水準班須有水準員與桿手各一人。若測量隊係露營性質，則宜添廚司一人，公役一人至數人以管理行李，蓋以測量人員兼司此等事宜，非善策也。

14. 改測 鐵路定線上發生缺陷之原因，率以首則全線之決

定過於匆促，繼則對於路線所經地帶之測量，甚為精細與準確。三則首先所定之路線雖非滿意，但亦不惡，不忍捨棄全隊數星期之辛苦工作，遂照原測之路線而設定之。又當勘測與初測時，每測繪許多不需要或無用之地形，殊不知此種測量，祇須包括一切足以表徵此路線較諸別路線為優劣之各點為已足耳。每一路線中大部分應取之位置，常極明顯，或稍加視察，即可決定。但亦有須經數哩之簡略視察，始能就兩三線中選定一線。有若干優劣難判之螺線，則須俟精細測量後方易取捨。變更路線之事，即在定線測量或工程業已開始以後，亦屬正當之舉，惟初測工作完善者，則變更自屬少數耳。縱費數百元於改測亦常屬善策，蓋常有緣是而節省數倍之工程費，或每年巨額之營業費用，如以年金計之，則遠勝於改測之所費矣。

第四章 定線測量

16. 路線之選擇 本國(指美國)多數鐵路之路線均係就地選定,且每多遵循初測時之中線,此段與彼段之間,則以適宜之曲線連接之。此法如出諸優良工程師之手,雖未必不善,但宜以次法改進之。(紙面定線):自經緯儀簿與截面簿,將初測結果繪為每吋表示200呎之圖。於此圖上繪出一條或數條之嘗試路線,每線均須以圓弧及切線合組而成。此項路線尤須通過各預定點,但其間連接之線須極完美,第一章所論各種矛盾之因素均須處處顧到。在初測圖範圍之內,普通可繪出數條路線,極便比較,蓋亦此種地圖價值之所在也。注意路線與每一同高線之交點,便可繪成每一路線之縱截面圖。繪所需之坡線於此縱截面圖,即可獲得所需土工數量之概念。如有延展之需要時,此法尤有價值。在地圖上繪出路線,雖多憑嘗試,無一定之程序可言,但亦可按次述之系統方法,求得解決:假設限界坡度定為1.2%,同高線之間距為5呎。欲使1.2%坡度之路基升起5呎,須有平距417呎。用圓規一枚,設定兩足之距離等於地圖上417呎。將圓規之一足置在圖上路基起點之同高線上,旋轉另一足,達到第二同高線,繼乃依次以此距離逐步跨進。將圓規足跡所經各點聯接之,即得一完全位在地面之線,惟此線通常曲折過甚,不適用於用,但足暗示實際路線之趨向。一俟將所得最良之路線繪製於地圖之上,即可移植之於地面。照地圖比例量出各切線(即連接各曲線之直線)之長度及各曲線之半徑與長度。曲線之長度,不宜用尺量取,而宜用分度規量度之,或自弦長求出曲線兩端所作

切線間之交角，然後用半徑及角度計算之。在通常情形之下，所定之線每與初測之中線甚為接近，甚易用聯繫線聯繫之。聯繫線之長度可從地圖上量得之。如欲免量度時誤差之異積，宜將曲線之長度（或半徑）或切線之長度略予變更，使地面定出之路線，適與初測時之測點位置相符合。實施此種變更之方法，將於後文述之。

16. 測量之方法 定線測量須極精密，並用經緯儀為之。磁針僅可恃為參證之用，以其常能覺察重大之錯誤於事前，故工作時殊不可少。經緯儀測點，宜用樞樞及指示樞標誌之。（見10節）主要各測點，應於其附近設立參證樞，但須在土工範圍以外，庶在工程進行時期中，極易重覓各測點之原有位置。現時測鏈不復用作量距之器，鋼捲尺乃代之以起。呎之零數不以吋計，而用呎之十分及百分數。測量隊之員額略與初測隊相同，惟截面班則須以坡樞班代替之。坡樞班之任務，亦與截面班相似，惟不用手水準而用置在三腳架上之水準儀。其詳細任務當另章述之。沿路每隔相當距離須由水準班設立水準標點，鉗打鐵釘一枚於老樹之根部，為鄉村中最優良最簡便之水準標點設立法。如屬可能，宜於大型圻工建築物上，（如橋臺房屋之類）設標點。一切轉讀點及水準標點之水準讀數，須至呎之百分數。若干工程師竟讀至千分數，但試想水準氣泡上每一分劃通常代表圓弧之 $30''$ ，在150呎遠處，每移動 $30''$ ，即等於水準尺上0.0218呎，故水準尺上之誤差，遠不逮水準氣泡之誤差。苟非對於水準儀之處理出以極度之審慎，徒將水準尺讀至千分數，亦屬無謂也。觀讀地面之高度，祇須讀至呎之十分數。定線測量之詳情，須俟讀畢鐵路曲線後，方易領悟，茲乃暫置不論。

第五章 單曲線

17. 量度之方法 軌道之路線，係指位於平分兩軌條處之幾何線而言。此中線可為一直線，為一單曲線，或為一兩重曲度之複曲線。但為簡單計，祇考慮此種線之水平投影，其垂直投影，如有研究之必要時，當分別討論之。曲線之稱謂，有時用其半徑，有時則用其單位弦所張之角度。鐵路曲線，常有極長之半徑，故不使用其中心。是以後文所述，均屬關於圓周方面之幾何原理。

如圖 5， AB 為一單位長度之弦，故 D 角名為曲線之度數，其半徑為 R 。

$$AO \sin \frac{1}{2} D = \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} C$$

$$\therefore R = \frac{\frac{1}{2} C}{\sin \frac{1}{2} D} \dots \dots \dots (1)$$

倒轉之成爲

$$\sin \frac{1}{2} D = \frac{C}{2R} \dots \dots \dots (2)$$

單位弦之長度隨習慣而略異。美

國通用 100 呎為單位弦。如將 $C = 100$

代入式 1，將 $0^{\circ}01'$ 至 $12^{\circ}0'$ 間，每隔一分，應用較少諸度數，間隔稍巨，依次算出其半徑，列成算表，在應用上頗稱便利。此種算表即本書之表 4，表中附有各半徑之對數。有一普通算法，雖屬簡略，但在平常用途上頗稱精密，如次式，符號同前。

$$R = \frac{5730}{D} \dots \dots \dots (3)$$

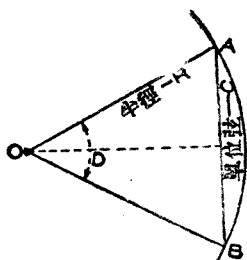


圖 5

表 4 曲線半徑表

度	0°		1°		2°		3°		度
	半徑	對數R	半徑	對數R	半徑	對數R	半徑	對數R	
0	∞	∞	5729.7	3.758123	2864.9	3.457115	1910.1	3.281051	0
1	343775	5.536274	5385.7	.750950	2841.3	4.453511	1899.5	2.78645	1
2	171887	5.235244	5344.8	.745883	2818.0	4.449337	1889.1	2.780258	2
3	114593	5.059153	5453.8	.739839	2795.1	4.446392	1878.8	2.773874	3
4	85944	4.934214	5371.6	.736100	2772.5	4.443876	1868.3	2.71500	4
5	68755	4.837304	5265.9	.732267	2750.4	4.439308	1858.5	2.69155	5
6	57286	4.758133	5208.8	.728737	2728.5	4.435928	1848.3	2.66814	6
7	49111	4.691176	5131.0	.725406	2707.0	4.432495	1838.6	2.64456	7
8	42973	4.631264	5055.6	.722272	2685.9	4.429039	1828.8	2.62170	8
9	38197	4.576031	4982.3	.719332	2665.1	4.425710	1819.1	2.59867	9
10	34377	4.524774	4911.2	.716513	2644.6	4.422358	1809.7	2.57576	10
11	31272	4.476881	4842.0	.713802	2624.4	4.419029	1800.1	2.55296	11
12	28633	4.431933	4774.7	.711289	2604.5	4.415727	1790.7	2.53029	12
13	26304	4.389321	4709.3	.708959	2584.9	4.412445	1781.5	2.50774	13
14	24255	4.348146	4645.7	.706705	2565.6	4.409187	1772.3	2.48530	14
15	22418	4.308383	4583.8	.704521	2546.6	4.405953	1763.2	2.46297	15
16	20822	4.270024	4523.4	.702408	2527.8	4.402743	1754.2	2.44077	16
17	19422	4.233062	4464.4	.700363	2509.5	4.399552	1745.3	2.41867	17
18	18169	4.197492	4407.5	.698383	2491.3	4.396382	1736.5	2.39668	18
19	17008	4.163311	4351.7	.696463	2473.4	4.393239	1727.8	2.37481	19
20	15919	4.130424	4297.3	.694601	2455.7	4.390122	1719.1	2.35305	20
21	14970	4.100055	4244.2	.692799	2438.3	4.387038	1710.6	2.33140	21
22	14126	4.071202	4192.5	.691056	2421.1	4.384019	1702.1	2.30988	22
23	13347	4.043871	4142.0	.689369	2404.0	4.381065	1693.7	2.28841	23
24	12624	4.018056	4092.7	.687736	2387.5	4.378173	1685.4	2.26707	24
25	11951	4.09335	4044.5	.686153	2371.6	4.375345	1677.2	2.24584	25
26	11322	4.07002	3997.5	.684617	2356.3	4.372574	1669.1	2.22472	26
27	10732	4.04807	3951.5	.683126	2341.8	4.369860	1661.0	2.20369	27
28	10175	4.02742	3906.6	.681680	2328.0	4.367204	1653.0	2.18277	28
29	9645	4.00807	3862.7	.680276	2314.9	4.364603	1645.1	2.16194	29
30	9149	3.98993	3819.8	.678911	2302.4	4.362057	1637.3	2.14122	30
31	8680	3.97291	3777.9	.677584	2290.3	4.359565	1629.7	2.12060	31
32	8233	3.95701	3737.2	.676293	2278.8	4.357126	1622.1	2.10007	32
33	7804	3.94222	3697.6	.675037	2267.7	4.354740	1614.7	2.07964	33
34	7391	3.92854	3659.1	.673815	2257.1	4.352407	1607.4	2.05930	34
35	6992	3.91597	3621.8	.672626	2247.0	4.350127	1599.2	2.03906	35
36	6608	3.90451	3585.5	.671469	2237.3	4.347899	1591.1	2.01902	36
37	6238	3.89416	3550.2	.670343	2228.0	4.345723	1583.1	2.00000	37
38	5881	3.88491	3515.9	.669247	2219.1	4.343600	1575.2	1.98100	38
39	5537	3.87675	3482.6	.668180	2210.6	4.341529	1567.4	1.96200	39
40	5205	3.86968	3450.3	.667141	2202.4	4.339510	1559.7	1.94300	40
41	4884	3.86369	3418.9	.666130	2194.5	4.337543	1552.1	1.92400	41
42	4574	3.85877	3388.5	.665146	2186.9	4.335628	1544.6	1.89900	42
43	4274	3.85491	3359.0	.664188	2179.6	4.333764	1537.2	1.89000	43
44	3984	3.85211	3330.4	.663256	2172.6	4.331951	1530.0	1.88100	44
45	3703	3.84936	3302.7	.662349	2165.8	4.330189	1522.9	1.87200	45
46	3431	3.84765	3275.9	.661466	2159.3	4.328478	1515.9	1.86300	46
47	3168	3.84600	3250.0	.660607	2153.0	4.326818	1509.1	1.85400	47
48	2914	3.84441	3224.9	.659771	2146.9	4.325209	1502.4	1.84500	48
49	2669	3.84288	3200.6	.658957	2141.0	4.323650	1495.8	1.83600	49
50	2433	3.84141	3177.1	.658164	2135.3	4.322141	1489.3	1.82700	50
51	2205	3.84000	3154.4	.657391	2129.8	4.320682	1482.9	1.81800	51
52	1986	3.83865	3132.4	.656637	2124.5	4.319273	1476.6	1.80900	52
53	1775	3.83736	3111.1	.655902	2119.3	4.317914	1470.4	1.80000	53
54	1572	3.83613	3090.5	.655185	2114.3	4.316605	1464.3	1.79100	54
55	1377	3.83496	3070.5	.654486	2109.4	4.315346	1458.3	1.78200	55
56	1190	3.83385	3051.1	.653804	2104.6	4.314137	1452.4	1.77300	56
57	1011	3.83279	3032.3	.653138	2100.0	4.312978	1446.6	1.76400	57
58	840	3.83178	3014.0	.652487	2095.5	4.311869	1440.9	1.75500	58
59	677	3.83082	2996.3	.651851	2091.1	4.310800	1435.3	1.74600	59
60	522	3.82991	2979.1	.651229	2086.8	4.309781	1429.7	1.73700	60

表 4 曲線半徑表 (續)

度 分	4°		5°		6°		7°		度 分
	半徑	對數R	半徑	對數R	半徑	對數R	半徑	對數R	
0	1432.7	3.156151	1146.3	3.059290	955.37	2.980170	819.02	2.913295	0
1	1426.7	3.154346	1142.5	3.057846	952.72	2.978966	817.08	2.912263	1
2	1420.8	3.152543	1138.7	3.056407	950.09	2.977768	815.14	2.911234	2
3	1415.0	3.150750	1134.9	3.054972	947.48	2.976569	813.22	2.910208	3
4	1409.2	3.148957	1131.2	3.053542	944.88	2.975375	811.30	2.909183	4
5	1403.5	3.147260	1127.5	3.052116	942.29	2.974185	809.40	2.908162	5
6	1397.8	3.145431	1123.8	3.050696	939.72	2.972998	807.50	2.907142	6
7	1392.1	3.143670	1120.2	3.049280	937.16	2.971814	805.61	2.906125	7
8	1386.5	3.141910	1116.5	3.047868	934.62	2.970633	803.73	2.905111	8
9	1380.9	3.140169	1112.9	3.046462	932.09	2.969456	801.86	2.904098	9
10	1375.4	3.138430	1109.3	3.045059	929.57	2.968282	800.00	2.903090	10
11	1369.9	3.136697	1105.8	3.043662	927.07	2.967111	798.14	2.902091	11
12	1364.5	3.134971	1102.3	3.042268	924.58	2.965943	796.30	2.901078	12
13	1359.1	3.133251	1098.7	3.040880	922.10	2.964778	794.46	2.900073	13
14	1353.8	3.131539	1095.2	3.039495	919.64	2.963616	792.63	2.899078	14
15	1348.4	3.129833	1091.7	3.038115	917.19	2.962458	790.81	2.898074	15
16	1343.2	3.128134	1088.3	3.036740	914.75	2.961303	789.00	2.897078	16
17	1338.0	3.126442	1084.8	3.035368	912.33	2.960150	787.20	2.896085	17
18	1332.8	3.124756	1081.4	3.034002	909.92	2.959001	785.40	2.895094	18
19	1327.6	3.123077	1078.1	3.032639	907.52	2.957855	783.62	2.894104	19
20	1322.5	3.121404	1074.7	3.031281	905.12	2.956711	781.84	2.893118	20
21	1317.4	3.119738	1071.3	3.029927	902.75	2.955571	780.07	2.892133	21
22	1312.4	3.118078	1068.0	3.028577	900.40	2.954434	778.31	2.891151	22
23	1307.4	3.116424	1064.7	3.027231	898.05	2.953300	776.55	2.890171	23
24	1302.5	3.114777	1061.4	3.025890	895.71	2.952169	774.81	2.889193	24
25	1297.7	3.113136	1058.2	3.024552	893.39	2.951040	773.07	2.888217	25
26	1292.9	3.111501	1055.0	3.023219	891.08	2.949915	771.34	2.887244	26
27	1288.2	3.109872	1051.7	3.021890	888.78	2.948792	769.61	2.886272	27
28	1283.5	3.108248	1048.5	3.020565	886.49	2.947673	767.90	2.885303	28
29	1278.8	3.106630	1045.3	3.019244	884.21	2.946558	766.19	2.884336	29
30	1274.2	3.105022	1042.1	3.017927	881.95	2.945442	764.49	2.883371	30
31	1269.6	3.103417	1039.0	3.016614	879.69	2.944331	762.80	2.882409	31
32	1265.0	3.101818	1035.9	3.015305	877.45	2.943223	761.11	2.881448	32
33	1260.5	3.100225	1032.8	3.013999	875.22	2.942118	759.43	2.880490	33
34	1256.0	3.098639	1029.7	3.012698	873.00	2.941015	757.76	2.879534	34
35	1251.4	3.097057	1026.6	3.011401	870.79	2.939916	756.10	2.878580	35
36	1246.9	3.095481	1023.5	3.010107	868.60	2.938819	754.44	2.877627	36
37	1242.4	3.093912	1020.5	3.008818	866.41	2.937725	752.80	2.876678	37
38	1238.0	3.092347	1017.5	3.007532	864.24	2.936633	751.16	2.875730	38
39	1233.5	3.090789	1014.5	3.006250	862.07	2.935543	749.52	2.874784	39
40	1229.1	3.089230	1011.5	3.004972	859.92	2.934455	747.89	2.873840	40
41	1224.7	3.087673	1008.6	3.003698	857.78	2.933370	746.27	2.872898	41
42	1220.4	3.086117	1005.6	3.002427	855.65	2.932295	744.66	2.871959	42
43	1216.1	3.084561	1002.7	3.001160	853.53	2.931218	743.06	2.871021	43
44	1211.8	3.083007	999.76	2.999897	851.42	2.930143	741.46	2.870086	44
45	1207.6	3.081455	996.87	2.998637	849.32	2.929070	739.86	2.869152	45
46	1203.4	3.080003	993.99	2.997381	847.25	2.928000	738.28	2.868221	46
47	1199.2	3.078551	991.13	2.996139	845.15	2.926933	736.70	2.867291	47
48	1195.0	3.077098	988.28	2.994880	843.08	2.925869	735.13	2.866363	48
49	1190.9	3.075644	985.45	2.993635	841.02	2.924807	733.56	2.865438	49
50	1186.8	3.074190	982.64	2.992393	838.97	2.923747	732.01	2.864514	50
51	1182.7	3.072735	979.84	2.991155	836.93	2.922689	730.45	2.863593	51
52	1178.7	3.071279	977.06	2.989921	834.90	2.921633	728.91	2.862673	52
53	1174.6	3.069823	974.29	2.988690	832.89	2.920585	727.37	2.861755	53
54	1170.6	3.068367	971.54	2.987463	830.88	2.919538	725.84	2.860840	54
55	1166.7	3.066910	968.81	2.986239	828.89	2.918489	724.31	2.859926	55
56	1162.8	3.065453	966.09	2.985018	826.90	2.917442	722.79	2.859014	56
57	1158.9	3.064000	963.39	2.983801	824.91	2.916400	721.28	2.858104	57
58	1155.0	3.062547	960.70	2.982587	822.95	2.915365	719.77	2.857196	58
59	1151.1	3.061094	958.02	2.981377	820.97	2.914329	718.27	2.856290	59
60	1147.3	3.059290	955.37	2.980170	819.02	2.913295	716.78	2.855385	60

表4 曲線半徑表(續)

度 分	8°		9°		10°		11°		度 分
	半徑	對數R	半徑	對數R	半徑	對數R	半徑	對數R	
0	716.78	2.855335	637.27	2.804327	573.69	2.758674	521.67	2.717397	0
1	715.29	.854483	636.10	.803525	572.73	.757953	520.88	.716742	1
2	713.81	.853583	634.93	.802724	571.78	.757232	520.10	.716083	2
3	712.33	.852684	633.76	.801926	570.84	.756513	519.32	.715434	3
4	710.87	.851787	632.60	.801128	569.90	.755796	518.54	.714781	4
5	709.40	.850892	631.44	.800332	568.96	.755079	517.78	.714130	5
6	707.94	2.849999	630.29	2.799538	568.02	2.754364	516.99	2.713479	6
7	706.49	.849108	629.14	.798745	567.09	.753649	516.21	.712829	7
8	705.05	.848219	627.99	.797953	566.16	.752936	515.44	.712181	8
9	703.61	.847331	626.85	.797163	565.23	.752225	514.68	.711533	9
10	702.18	.846445	625.71	.796374	564.31	.751514	513.91	.710887	10
11	700.75	2.845562	624.58	2.795587	563.38	2.750804	513.15	2.710241	11
12	699.33	.844679	623.45	.794801	562.47	.750096	512.38	.709596	12
13	697.91	.843799	622.32	.794017	561.55	.749389	511.63	.708953	13
14	696.50	.842921	621.20	.793234	560.64	.748683	510.87	.708310	14
15	695.09	.842044	620.09	.792453	559.73	.747978	510.11	.707668	15
16	693.70	2.841169	618.97	2.791673	558.82	2.747274	509.36	2.707027	16
17	692.30	.840296	617.87	.790894	557.92	.746572	508.61	.706387	17
18	690.91	.839424	616.76	.790117	557.02	.745870	507.86	.705748	18
19	689.53	.838555	615.66	.789341	556.12	.745170	507.12	.705110	19
20	688.16	.837687	614.56	.788566	555.23	.744471	506.38	.704473	20
21	686.78	2.836821	613.47	2.787793	554.34	2.743773	505.64	2.703837	21
22	685.42	.835956	612.38	.787021	553.45	.743076	504.90	.703202	22
23	684.06	.835093	611.30	.786251	552.56	.742380	504.16	.702568	23
24	682.70	.834232	610.21	.785482	551.68	.741686	503.42	.701934	24
25	681.35	.833373	609.14	.784714	550.80	.740992	502.69	.701302	25
26	680.01	2.832515	608.06	2.783948	549.92	2.740300	501.96	2.700671	26
27	678.67	.831660	606.99	.783183	549.05	.739608	501.23	.700040	27
28	677.34	.830805	605.93	.782420	548.17	.738918	500.51	.699410	28
29	676.01	.829953	604.86	.781657	547.30	.738229	499.78	.698783	29
30	674.69	.829102	603.80	.780897	546.44	.737541	499.06	.698154	30
31	673.37	2.828253	602.75	2.780137	545.57	2.736854	498.34	2.697527	31
32	672.06	.827405	601.70	.779379	544.71	.736169	497.62	.696901	32
33	670.75	.826560	600.65	.778622	543.86	.735484	496.91	.696276	33
34	669.45	.825715	599.61	.777867	543.00	.734800	496.19	.695652	34
35	668.15	.824873	598.57	.777112	542.15	.734118	495.48	.695029	35
36	666.86	2.824032	597.53	2.776360	541.30	2.733436	494.77	2.694407	36
37	665.57	.823193	596.50	.775608	540.45	.732756	494.07	.693785	37
38	664.29	.822355	595.47	.774858	539.61	.732077	493.36	.693165	38
39	663.01	.821519	594.44	.774109	538.76	.731398	492.66	.692545	39
40	661.74	.820685	593.42	.773361	537.92	.730721	491.96	.691926	40
41	660.47	2.819853	592.40	2.772615	537.07	2.730045	491.26	2.691309	41
42	659.21	.819021	591.38	.771870	536.25	.729370	490.58	.690692	42
43	657.95	.818191	590.37	.771128	535.42	.728692	489.88	.690076	43
44	656.69	.817363	589.36	.770383	534.59	.728023	489.17	.689460	44
45	655.45	.816537	588.36	.769642	533.77	.727351	488.48	.688846	45
46	654.20	2.815712	587.36	2.768902	532.94	2.726681	487.79	2.688233	46
47	652.96	.814889	586.36	.768164	532.12	.726011	487.10	.687620	47
48	651.73	.814067	585.36	.767426	531.30	.725342	486.42	.687008	48
49	650.50	.813247	584.37	.766690	530.49	.724674	485.73	.686398	49
50	649.27	.812428	583.38	.765955	529.67	.724008	485.05	.685788	50
51	648.07	2.811611	582.40	2.765221	528.86	2.723342	484.37	2.685179	51
52	646.84	.810796	581.42	.764489	528.05	.722677	483.69	.684570	52
53	645.63	.809982	580.44	.763758	527.25	.722014	483.02	.683963	53
54	644.42	.809169	579.47	.763028	526.44	.721351	482.34	.683357	54
55	643.22	.808358	578.49	.762293	525.64	.720689	481.67	.682751	55
56	642.02	2.807549	577.53	2.761572	524.84	2.720028	481.00	2.682146	56
57	640.83	.806741	576.56	.760845	524.05	.719370	480.33	.681542	57
58	639.64	.805935	575.60	.760120	523.25	.718712	479.67	.680939	58
59	638.45	.805130	574.64	.759397	522.46	.718054	479.00	.680337	59
60	637.27	.804327	573.69	.758674	521.67	.717397	478.34	.679735	60

表 4 曲線半徑表 (續)

度	半徑	對數R	度	半徑	對數R	度	半徑	對數R	度	半徑	對數R
12° 478.34	2.679736		14° 410.28	2.813076		16° 359.26	2.555415		21° 274.37	2.438337	
2447.02	6.78535		2469.31	6.12049		5357.42	5.53173		10272.23	4.32943	
4475.71	6.77338		4408.34	6.11023		10355.59	5.50944		20270.13	4.31575	
6474.40	6.76145		6407.38	6.10000		15353.77	5.48726		30268.06	4.28235	
8473.10	6.74954		8406.42	6.08980		20351.98	5.46510		40266.02	4.24921	
10471.81	2.673767		10405.47	2.607962		25350.21	5.44324		50264.02	4.21533	
12470.53	6.72584		12404.53	6.06946		30348.45	2.542140		60262.04	4.18371	
14469.25	6.71403		14403.58	6.05933		35346.71	5.539568		10260.10	4.15134	
16467.95	6.70226		16402.65	6.04923		40344.99	5.537806		20258.18	4.11922	
18466.72	6.69052		18401.71	6.03913		45343.29	5.536555		30256.29	4.08734	
20465.46	2.667381		20400.78	2.602908		50341.60	5.53516		40254.43	4.05571	
22464.21	6.66571		22399.86	6.01905		55339.93	5.53388		50252.60	4.02431	
24462.97	6.65549		24398.94	6.00904		60338.27	2.529268		60250.79	3.99315	
26461.73	6.64388		26398.02	5.99905		65336.64	5.27160		10249.01	3.96222	
28460.50	6.63229		28397.11	5.98908		70335.01	5.25062		20247.26	3.93151	
30459.28	2.652074		30396.20	2.597914		75333.41	5.22975		30245.53	3.90109	
32458.06	6.660322		32395.30	5.96922		80331.82	5.20898		40243.82	3.87107	
34456.85	6.649773		34394.40	5.95953		85330.24	5.18831		50242.14	3.84073	
36455.65	6.63928		36393.50	5.94945		90328.63	2.516774		60240.49	3.81091	
38454.45	6.62785		38392.61	5.93960		95327.13	5.14707		10238.85	3.78130	
40453.26	2.656345		40391.72	2.592973		100325.60	5.13690		20237.24	3.75190	
42452.07	6.655206		42390.84	5.91997		105324.09	5.10662		30235.65	3.72270	
44450.89	6.644075		44389.96	5.91019		110322.50	5.08645		40234.08	3.69373	
46449.72	6.632944		46389.08	5.90043		115321.10	5.06636		50232.54	3.66492	
48448.55	6.621816		48388.21	5.89069		120319.62	5.04638		60231.01	3.63633	
50447.40	2.650691		50387.34	2.584097		125318.16	5.02647		70229.55	3.55173	
52446.24	6.649571		52386.48	5.87128		130316.71	5.00658		80228.27	3.46522	
54445.09	6.648451		54385.62	5.86161		135315.28	4.98677		90227.15	3.38755	
56443.95	6.647335		56384.77	5.85196		140313.86	4.96730		10226.18	3.30785	
58442.81	6.646221		58383.91	5.84233		145312.45	4.94783		20225.36	3.22967	
13° 441.68	2.645111		15° 383.06	2.583272		17° 324.53	2.492890		20° 265.66	2.415295	
2440.36	6.64004		2332.22	5.82314		35309.67	4.93004		30203.13	3.07784	
4439.44	6.64289		4331.38	5.81357		40308.30	4.88978		40199.70	2.30370	
6438.33	6.641798		6330.54	5.80403		45306.90	4.87061		50198.38	2.93108	
8437.23	6.640699		8329.71	5.79451		50305.60	4.85152		60197.19	2.85374	
10436.12	2.639603		10328.88	2.578501		55304.29	4.83252		70196.09	2.77963	
12435.02	6.638510		12328.05	5.77553		60302.94	2.481361		80195.02	2.72071	
14433.93	6.637419		14327.23	5.76608		65301.63	4.79479		90194.00	2.58632	
16432.84	6.636331		16326.41	5.75664		70300.33	4.77603		10193.05	2.45628	
18431.75	6.635246		18325.60	5.74722		75299.04	4.75736		15192.22	2.33025	
20430.69	2.634164		20324.79	2.573783		80297.77	4.73878		20191.48	2.20828	
22429.62	6.633085		22323.98	5.72845		85296.50	4.72028		25190.72	2.08988	
24428.56	6.632008		24323.17	5.71910		90295.25	4.70138		30189.98	1.97394	
26427.50	6.630934		26322.37	5.70977		95294.00	4.68352		35189.25	1.86328	
28426.44	2.629863		28321.57	5.70046		100292.77	4.66526		40188.51	1.75475	
30425.40	6.628794		30320.78	5.69116		105291.55	4.64708		45187.78	1.64918	
32424.35	6.627728		32319.99	5.68189		110290.33	4.62897		50187.04	1.54645	
34423.32	6.626664		34319.20	5.67264		115289.13	4.61095		55186.31	1.44641	
36422.28	6.625604		36318.42	5.66340		120287.94	2.459300		60185.58	1.34895	
38421.26	2.624546		38317.64	5.65419		125286.76	4.57512		65184.87	1.25395	
40420.23	6.623490		40316.86	5.64500		130285.58	4.55733		70184.18	1.16180	
42419.22	6.622437		42316.09	5.63583		135284.42	4.53990		75183.51	1.07292	
44418.20	6.621387		44315.31	5.62667		140283.27	4.52195		80182.87	0.98667	
46417.19	6.620339		46314.55	5.61754		145282.12	4.50438		85182.24	0.90243	
48416.10	2.619294		48313.78	5.60842		150280.99	2.448688		90181.61	0.73022	
50415.13	6.618251		50313.02	5.59933		155279.86	4.44945		95180.98	0.57128	
52414.20	6.617211		52312.26	5.59026		160278.75	4.45209		100180.35	0.41923	
54413.21	6.616173		54311.51	5.58120		165277.64	4.44480		105179.72	0.2736	
56412.23	6.615138		56310.76	5.57216		170276.54	4.41759		110179.09	0.1335	
58411.25	6.614106		58310.01	5.56315		175275.43	4.40044		115178.46	0.00000	
14° 410.28	2.613076		16° 359.26	2.555415		18° 302.94	2.481361		20° 265.66	2.415295	

18. 零弦 吾人常須測設一種較短於 100 呎之弦，而須求出此弦在圓心所張之角度。因為弦之長度必較弧短，故如圖 6，四個等

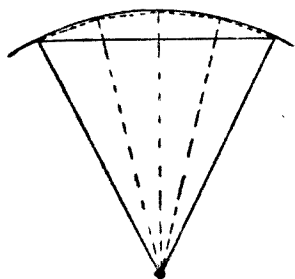


圖 6

弦之和亦必較單位弦所張之弧為短，惟較諸單位弦則已增長不少。在此例中，吾人可云每弦之名稱長度為 25 呎。如式 2 之法，吾人可得

$$\sin \frac{1}{2} d = \frac{c}{2R} \quad (4)$$

在此式中 d 為零弦所張之角，零弦之真長度為 c 。倒轉之則得

$$c = 2R \sin \frac{1}{2} d \quad (5)$$

今稱此名稱長度為 c' ，則得比例式

$$c' : 100 :: d : D$$

習 題

1. $3^\circ 30'$ 曲線之零弦，其名稱長度為 40 呎，問真長若干？

由上述比例式 $d = \frac{40}{100} D = 0.40 \times 3.5 = 1.4^\circ = 1^\circ 24'$ 代入式 (5)，則得

$$c = 2 \times 1637.3 \times \sin \frac{1}{2} (1^\circ 24') = 40.005$$

注意此數超過 40 呎極微，約祇十六分之一吋。曲線度數較小者此差數每甚微小，次舉之例，則差數較巨。

2. 12° 曲線之零弦，其名稱長度為 60 呎。問真長若干？

答 60.070 在此例中如忽視其差數則成爲一大錯誤。

19. 曲線之長度 曲線之長度通常均視作 $100\Delta \div D$ 之商，其中 Δ 為曲線之全中心角，或曲線兩端切線之交角。曲線軌道上兩軌條之平均長度每較此數為略長，但超過之數甚微，實用上無足重

視，蓋所須增加之軌條長度，過於渺小耳。〔例〕 4° 曲線之起點爲 $16+80$ ，終點爲 $21+35$ 。曲線之名稱長度爲 455 呎。則曲線之真長（即兩軌條之平均長度）爲 $4.55 \times 4^\circ \times R \times \frac{\pi}{180^\circ} = 455.09$ 此乃表示超過數爲 .09 呎，稍大於一吋。

20. 曲線之要素 以下所述基本關係，任何曲線均可應用之。如圖 7, A 爲曲線之起點，簡稱爲 $P. C.$ 。曲線之另端 B ，名爲曲線終點簡稱爲 $P. T.$ 。兩切線之交點名爲曲線之頂點，以 V 表示之。中心角 Δ ，與兩切線在 V 點之夾角相等，爲自 $P. C.$ 與 $P. T.$ 向中心 O 所作半徑間之夾角。兩等長之切線 AV 與 BV 稱爲切線距，以 T 代之。弦 AB 稱爲長弦，以 LC 代之。距離 HG ，係自長弦之中點起至弧之中點止，名爲矢高，以 M 代之。距離 GV 係自弧之中點起至頂點止，名爲外距，代以 E 。由三角法，極易化出下列諸關係式。

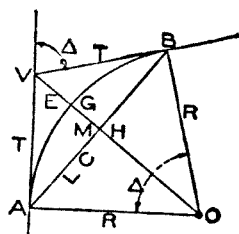


圖 7.

$$T = R \tan \frac{1}{2} \Delta \quad \text{.....(6)}$$

$$LC = 2R \sin \frac{1}{2} \Delta \quad \text{.....(7)}$$

$$M = R \text{vers} \frac{1}{2} \Delta \quad \text{.....(8)}$$

$$E = R \text{exsec} \frac{1}{2} \Delta \quad \text{.....(9)}$$

（注意 vers. 爲 Versed sine 之簡寫，exsec. 爲 External secant 之簡寫均爲三角函數，現除鐵路工程外已少通用，若干三角法中已略而不論。由附圖中稍加觀察，即可知 $\text{vers } a = 1 - \cos a$ ， $\text{exsec } a = \sec a - 1$ ）。

由三角法，吾人可化出次式 $\tan a \div \text{exsec } a = \cot \frac{1}{2} a$ ，故將式 (6) 除以式 (9)，移項，得

$$T = E \cot \frac{1}{2} \Delta \text{-----}(10)$$

21. 1°曲線之要素 曲線之各要素，均確與其半徑成正比例，並略與曲線之度數成正比例。故如將中心角 Δ 以 1° 至 91° 間每隔 $10'$ 之值代入式(6),(7),(9)，求出 1° 曲線之切線距，外距，及長弦，則關於任何度曲線與任何中心角之切線距，外距，及長弦，祇須用曲線度數除之，即可得其略數。若曲線之度數較低，則此法之誤差常極微小，可以忽視。即曲線之度數較鉅，所得結果在略算上亦已充分精密。如欲求其絕對數值，則宜用式(6)至(9)，而表5之數值可作為參證之助。

22. 例題 1. 問 $3^\circ 10'$ 曲線之切線距若干，其中心角為 $16^\circ 26'$?

■解法]	$\log R$	= 3.25757
	$\frac{1}{2}\Delta = 8^\circ 13'$, $\log \tan$	= 9.15956
	切線距 = 261.30	$\log 261.30 = 2.41714$

[簡略解法]由表5用中介法，於 $\Delta = 16^\circ 20'$ 與 $16^\circ 30'$ 間，求得中心角 $16^\circ 26'$ 之 1° 曲線切線距為827.36，將827.36用3.1666(即 $3^\circ 10'$)除之，得略數為261.27。此略數與前得之真確數相差祇約1%之百分之一，以實數計之，祇約 $\frac{1}{3}$ 吋。

2. 求用真確法及簡略法，算出上例之外距與長弦。

3. 兩切線之夾角為 $18^\circ 24'$ ，茲欲通過曲線頂點以內21.2呎處作一曲線。求此曲線之半徑及切線距。

[指示解法]已知值為 E 與 Δ ；由式10可算出 T ；再用已知之 T 值及 Δ ，可由式6倒算 R 。

表 5 一度曲線之切線距,外距及長弦

Δ	切線 L.	外距 E.	長弦 L.C.	Δ	切線 L.	外距 E.	長弦 L.C.	Δ	切線 L.	外距 E.	長弦 L.C.
1°	50.00	0.215	100.00	11°	551.76	26.500	1058.3	21°	1061.9	37.58	2088.8
10	58.94	0.297	118.67	19	560.11	27.818	1114.8	19	1070.6	39.15	2104.7
20	66.67	0.388	133.32	20	568.53	28.137	1131.5	20	1079.2	100.75	2121.1
30	75.01	0.491	150.00	50	576.85	28.974	1148.1	30	1087.3	102.35	2137.4
40	83.34	0.608	166.66	40	585.36	29.824	1164.7	40	1098.4	103.87	2153.8
50	91.68	0.733	183.33	50	593.79	30.686	1181.2	50	1105.1	105.60	2170.2
2°	100.01	0.873	199.99	12°	602.21	31.561	1197.8	22°	1118.7	107.24	2186.5
10	108.35	1.024	216.66	10	610.64	32.447	1214.4	10	1122.4	108.90	2202.9
20	116.68	1.188	233.32	20	619.07	33.347	1231.0	20	1131.0	110.57	2219.2
30	125.02	1.364	249.98	30	627.50	34.259	1247.5	30	1139.7	112.25	2235.6
40	133.36	1.552	266.65	40	635.93	35.183	1264.1	40	1148.4	113.95	2251.9
50	141.70	1.752	283.31	50	644.37	36.120	1280.7	50	1157.0	115.66	2268.3
3°	150.04	1.964	299.97	13°	652.81	37.069	1297.2	23°	1165.7	117.38	2284.6
10	158.38	2.188	316.63	10	661.25	38.031	1313.8	10	1174.4	119.12	2301.0
20	166.72	2.425	333.29	20	669.70	39.006	1330.3	20	1183.1	120.87	2317.3
30	175.06	2.674	349.95	30	678.16	39.993	1346.9	30	1191.8	122.63	2333.6
40	183.40	2.934	366.61	40	686.60	40.992	1363.4	40	1200.5	124.41	2349.9
50	191.74	3.207	383.27	50	695.06	42.004	1380.0	50	1209.2	126.20	2366.2
4°	200.08	3.492	399.92	14°	703.51	43.020	1396.5	24°	1217.9	128.00	2382.5
10	208.43	3.790	416.58	10	711.97	44.066	1413.1	10	1226.6	129.82	2398.8
20	216.77	4.099	433.24	20	720.44	45.119	1429.6	20	1235.3	131.65	2415.1
30	225.12	4.421	449.89	30	728.90	46.178	1446.2	30	1244.0	133.50	2431.4
40	233.47	4.755	466.54	40	737.37	47.253	1462.7	40	1252.8	135.36	2447.7
50	241.81	5.100	483.20	50	745.85	48.341	1479.2	50	1261.5	137.23	2464.0
5°	250.16	5.459	499.85	15°	754.32	49.441	1495.7	25°	1270.2	139.11	2480.2
10	258.51	5.829	516.50	10	762.80	50.554	1512.3	10	1278.9	141.01	2496.5
20	266.86	6.211	533.15	20	771.29	51.679	1528.8	20	1287.7	142.93	2512.8
30	275.21	6.606	549.80	30	779.77	52.818	1545.3	30	1296.5	144.85	2529.0
40	283.57	7.013	566.44	40	788.26	53.969	1561.8	40	1305.3	146.78	2545.3
50	291.92	7.432	583.09	50	796.75	55.132	1578.3	50	1314.0	148.75	2561.6
6°	300.28	7.863	599.73	16°	805.25	56.309	1594.8	26°	1322.8	150.71	2577.8
10	308.64	8.307	616.38	10	813.75	57.498	1611.3	10	1331.6	152.69	2594.0
20	316.99	8.762	633.02	20	822.25	58.699	1627.8	20	1340.4	154.69	2610.3
30	325.35	9.230	649.66	30	830.78	59.914	1644.3	30	1349.2	156.70	2626.6
40	333.71	9.710	666.30	40	839.27	61.141	1660.8	40	1358.0	158.72	2642.7
50	342.08	10.202	682.94	50	847.78	62.381	1677.3	50	1366.8	160.76	2658.9
7°	350.44	10.707	699.57	17°	856.30	63.634	1693.9	27°	1375.6	162.81	2675.1
10	358.81	11.224	716.21	10	864.82	64.900	1710.3	10	1384.4	164.87	2691.3
20	367.17	11.753	732.84	20	873.35	66.178	1726.8	20	1393.2	166.95	2707.5
30	375.54	12.294	749.47	30	881.88	67.470	1743.2	30	1402.0	169.04	2723.7
40	383.91	12.847	766.10	40	890.41	68.774	1759.7	40	1410.9	171.15	2739.9
50	392.28	13.413	782.73	50	898.95	70.091	1776.2	50	1419.7	173.27	2756.1
8°	400.66	13.991	799.36	18°	907.49	71.421	1792.6	28°	1428.6	175.41	2772.3
10	409.03	14.582	815.99	10	916.03	72.764	1809.1	10	1437.4	177.55	2788.5
20	417.41	15.184	832.61	20	924.58	74.119	1825.5	20	1446.3	179.72	2804.8
30	425.79	15.799	849.23	30	933.13	75.488	1842.0	30	1455.1	181.89	2821.0
40	434.17	16.426	865.85	40	941.69	76.869	1858.4	40	1464.0	184.08	2837.3
50	442.56	17.066	882.47	50	950.25	78.264	1874.9	50	1472.9	186.28	2853.5
9°	450.93	17.717	899.09	19°	958.81	79.671	1891.3	29°	1481.8	188.51	2869.7
10	459.32	18.381	915.70	10	967.38	81.092	1907.8	10	1490.6	190.74	2886.0
20	467.71	19.058	932.31	20	975.96	82.526	1924.2	20	1499.5	192.99	2902.2
30	476.10	19.748	948.92	30	984.53	83.972	1940.6	30	1508.5	195.25	2918.4
40	484.49	20.447	965.53	40	993.12	85.431	1957.1	40	1517.4	197.53	2934.7
50	492.88	21.161	982.14	50	1001.70	86.904	1973.5	50	1526.3	199.82	2950.9
10°	501.28	21.886	998.74	20°	1010.29	88.389	1989.9	30°	1535.3	202.12	2967.1
10	509.68	22.624	1015.35	10	1018.88	89.888	2006.3	10	1544.2	204.44	2983.3
20	518.08	23.375	1031.95	20	1027.49	91.399	2022.7	20	1553.1	206.77	2999.5
30	526.48	24.138	1048.54	30	1036.09	92.924	2039.1	30	1562.1	209.12	3015.7
40	534.89	24.913	1065.14	40	1044.70	94.462	2055.5	40	1571.0	211.48	3031.9
50	543.29	25.700	1081.73	50	1053.31	96.013	2071.9	50	1580.0	213.86	3048.1
11°	551.70	26.500	1098.33	21°	1061.93	97.577	2088.3	31°	1589.0	216.26	3064.3

表 5 一度曲線之切線距,外距及長弦 (續)

Δ	切線 T.	外距 E.	長弦 L.C.	Δ	切線 T.	外距 E.	長弦 L.C.	Δ	切線 T.	外距 E.	長弦 L.C.
31°	1689.0	218.25	3082.4	41°	2142.2	357.38	4018.1	51°	2732.9	618.89	4933.4
10	1598.0	218.86	3078.4	10	2151.7	380.71	4028.7	10	2743.1	622.81	4948.4
20	1806.9	221.08	3094.5	20	2161.2	394.06	4044.3	20	2753.4	627.24	4963.4
30	1815.8	223.61	3110.5	30	2170.8	397.43	4059.9	30	2763.7	631.69	4978.4
40	1824.9	225.99	3126.6	40	2180.8	400.82	4075.5	40	2773.9	636.16	4993.4
50	1833.9	228.42	3142.6	50	2189.9	404.22	4091.1	50	2784.2	640.06	5008.4
32°	1643.0	230.00	3158.6	42°	2199.4	407.64	4106.6	52°	2794.5	645.17	5023.4
10	1652.0	233.39	3174.6	10	2209.0	411.07	4122.2	10	2804.9	649.70	5038.4
20	1661.0	235.90	3190.6	20	2218.6	414.52	4137.7	20	2815.2	654.25	5053.4
30	1670.0	238.43	3206.6	30	2228.1	417.99	4153.3	30	2825.6	658.83	5068.8
40	1679.1	240.96	3222.6	40	2237.7	421.48	4168.8	40	2835.9	663.42	5083.8
50	1688.1	243.52	3238.6	50	2247.3	424.99	4184.3	50	2846.3	668.03	5098.2
33°	1697.2	246.08	3254.6	43°	2257.0	428.50	4199.8	53°	2856.7	672.68	5113.3
10	1708.3	248.66	3270.6	10	2266.6	432.04	4215.3	10	2867.1	677.32	5128.9
20	1719.3	251.26	3286.6	20	2276.2	435.59	4230.8	20	2877.5	681.99	5144.9
30	1724.4	253.87	3302.6	30	2285.8	439.16	4246.3	30	2888.0	686.68	5159.8
40	1733.6	256.60	3318.5	40	2295.6	442.75	4261.8	40	2898.4	691.40	5174.7
50	1742.6	259.14	3334.4	50	2305.2	446.35	4277.3	50	2908.9	696.18	5189.6
34°	1751.7	261.80	3350.4	44°	2314.9	449.96	4292.7	54°	2919.4	700.89	5204.4
10	1760.8	264.47	3366.3	10	2324.6	453.58	4308.2	10	2929.9	705.66	5219.3
20	1770.0	267.16	3382.2	20	2334.3	457.27	4323.6	20	2940.4	710.46	5234.1
30	1779.1	269.86	3398.2	30	2344.1	460.96	4339.0	30	2951.0	715.29	5248.9
40	1788.2	272.68	3414.1	40	2353.8	464.64	4354.5	40	2961.5	720.11	5263.7
50	1797.4	275.81	3430.0	50	2363.5	468.35	4369.9	50	2972.1	724.97	5278.5
35°	1806.6	278.05	3445.9	45°	2373.3	472.08	4385.3	55°	2982.7	729.85	5293.3
10	1815.7	280.82	3461.8	10	2383.1	475.82	4400.7	10	2993.3	734.76	5308.1
20	1824.9	283.60	3477.7	20	2392.8	479.59	4416.1	20	3003.9	739.66	5322.9
30	1834.1	286.39	3493.5	30	2402.3	483.37	4431.4	30	3014.6	744.62	5338.6
40	1843.3	289.20	3509.4	40	2412.4	487.18	4446.8	40	3025.2	749.57	5354.4
50	1852.6	292.02	3525.3	50	2422.3	490.99	4462.2	50	3035.8	754.57	5368.1
36°	1861.7	294.66	3541.1	46°	2432.1	494.82	4477.5	56°	3046.5	759.58	5379.9
10	1870.9	297.72	3557.0	10	2441.9	498.67	4492.8	10	3057.2	764.58	5394.8
20	1880.1	300.59	3572.8	20	2451.8	502.54	4508.2	20	3067.9	769.66	5409.3
30	1889.4	303.47	3588.6	30	2461.7	506.43	4523.5	30	3078.7	774.72	5423.9
40	1898.6	306.37	3604.5	40	2471.5	510.33	4538.8	40	3089.4	779.83	5438.0
50	1907.9	309.29	3620.3	50	2481.4	514.25	4554.1	50	3100.2	784.94	5453.3
37°	1817.1	312.22	3636.1	47°	2491.3	518.20	4569.4	57°	3110.9	790.08	5467.9
10	1826.4	315.17	3651.9	10	2501.2	522.16	4584.7	10	3121.7	795.24	5482.5
20	1835.7	318.18	3667.7	20	2511.3	526.13	4599.9	20	3132.6	800.42	5497.2
30	1845.0	321.11	3683.5	30	2521.1	530.13	4615.2	30	3143.4	805.67	5511.8
40	1854.3	324.11	3699.3	40	2531.1	534.16	4630.4	40	3154.3	810.15	5526.4
50	1863.6	327.12	3715.0	50	2541.1	538.19	4645.7	50	3165.1	814.10	5541.0
38°	1872.9	330.16	3730.8	48°	2551.0	542.23	4660.9	58°	3176.0	818.17	5555.6
10	1882.2	333.19	3746.5	10	2561.0	546.28	4676.1	10	3186.8	822.66	5570.2
20	1891.5	336.26	3762.2	20	2571.0	550.33	4691.8	20	3197.8	827.18	5584.7
30	1900.9	339.32	3777.6	30	2581.0	554.39	4707.6	30	3208.8	831.81	5599.3
40	1910.2	342.41	3793.8	40	2591.1	558.43	4723.1	40	3219.7	836.47	5613.8
50	1919.6	345.53	3809.5	50	2601.1	562.47	4738.9	50	3230.7	841.06	5628.3
39°	1929.0	348.64	3825.2	49°	2611.2	566.54	4754.1	59°	3241.7	845.43	5642.8
10	1938.4	351.78	3840.9	10	2621.2	571.13	4769.3	10	3252.7	849.89	5657.3
20	1947.7	354.94	3856.6	20	2631.3	575.22	4784.3	20	3263.7	854.54	5671.8
30	1957.3	358.11	3872.3	30	2641.4	579.54	4799.5	30	3274.8	859.32	5686.5
40	1966.6	361.29	3888.0	40	2651.5	583.78	4814.7	40	3285.8	864.24	5701.3
50	1976.0	364.50	3903.6	50	2661.6	588.08	4829.8	50	3296.9	869.34	5715.3
40°	2085.4	387.72	3919.8	50°	2671.8	592.33	4844.2	60°	3308.0	874.68	5729.7
10	2094.9	370.86	3936.0	10	2681.9	596.63	4858.6	10	3319.1	880.15	5744.1
20	2104.3	374.20	3952.0	20	2692.1	600.98	4873.1	20	3330.3	885.74	5758.5
30	2113.8	377.47	3968.9	30	2702.3	605.27	4887.2	30	3341.4	891.16	5772.9
40	2123.2	380.78	3981.9	40	2712.6	609.52	4901.2	40	3352.6	896.93	5787.3
50	2132.7	384.03	3997.5	50	2722.7	614.00	4915.3	50	3363.8	902.45	5801.7
41°	2142.2	387.33	4013.1	51°	2732.9	618.59	4929.4	61°	3375.0	908.10	5816.0

表5 一度曲線之切線距,外距及長弦(續)

Δ	切線 T.	外距 E.	長弦 LC.	Δ	切線 T.	外距 E.	長弦 LC.	Δ	切線 T.	外距 E.	長弦 LC.
61°	3375 0	920 14	3616 0	68°	3864 7	1121 6	6408 0	75°	4396 5	1492 4	6976 0
10'	3386 8	925 85	3630 4	10'	3876 8	1128 4	6421 8	10'	4409 8	1500 5	6989 2
20'	3397 5	931 58	3644 7	20'	3889 0	1135 2	6435 6	20'	4423 1	1508 6	7002 4
30'	3408 3	937 34	3659 1	30'	3901 2	1202 0	6449 4	30'	4436 4	1516 7	7015 6
40'	3420 1	943 12	3673 4	40'	3913 4	1208 9	6463 1	40'	4449 7	1524 9	7028 8
50'	3431 4	948 92	3687 7	50'	3925 6	1215 8	6476 9	50'	4463 1	1533 1	7041 9
62°	3443 7	954 75	3702 0	69°	3937 9	1222 7	6490 6	76°	4476 5	1541 4	7055 0
10'	3454 1	960 60	3716 3	10'	3950 2	1229 7	6504 4	10'	4489 9	1549 7	7068 2
20'	3465 4	966 48	3730 5	20'	3962 5	1236 7	6518 1	20'	4503 4	1558 0	7081 3
30'	3476 8	972 39	3744 8	30'	3974 8	1243 7	6531 8	30'	4516 9	1566 3	7094 4
40'	3488 2	978 31	3759 0	40'	3987 2	1250 8	6545 5	40'	4530 4	1574 7	7107 5
50'	3499 7	984 27	3773 3	50'	3999 5	1257 9	6559 1	50'	4544 0	1583 1	7120 5
63°	3511 1	990 24	3787 5	70°	4011 9	1265 0	6572 8	77°	4557 6	1591 6	7133 6
10'	3522 6	996 24	3801 7	10'	4024 4	1272 1	6586 6	10'	4571 2	1600 1	7146 6
20'	3534 1	1002 3	3815 9	20'	4036 8	1279 3	6600 1	20'	4584 8	1608 6	7159 6
30'	3545 6	1008 3	3830 0	30'	4049 3	1286 5	6613 7	30'	4598 5	1617 1	7172 6
40'	3557 2	1014 4	3844 2	40'	4061 8	1293 7	6627 3	40'	4612 2	1625 7	7185 6
50'	3568 7	1020 5	3858 4	50'	4074 4	1300 9	6640 9	50'	4626 0	1634 4	7198 6
64°	3580 3	1026 6	3872 5	71°	4086 9	1308 2	6654 4	78°	4639 8	1643 0	7211 6
10'	3591 9	1032 8	3886 6	10'	4099 5	1315 5	6668 0	10'	4653 6	1651 7	7224 5
20'	3603 5	1039 0	3900 7	20'	4112 1	1322 9	6681 6	20'	4667 4	1660 5	7237 4
30'	3615 1	1045 2	3914 8	30'	4124 8	1330 3	6695 1	30'	4681 3	1669 2	7250 4
40'	3626 8	1051 4	3928 9	40'	4137 4	1337 7	6708 6	40'	4695 2	1678 1	7263 3
50'	3638 5	1057 7	3943 0	50'	4150 1	1345 1	6722 1	50'	4709 2	1686 9	7276 1
65°	3650 2	1063 9	3957 1	72°	4162 8	1352 6	6735 4	79°	4723 2	1695 8	7289 0
10'	3661 9	1070 2	3971 1	10'	4175 6	1360 1	6749 1	10'	4737 2	1704 7	7301 9
20'	3673 7	1076 6	3985 2	20'	4188 4	1367 6	6762 6	20'	4751 2	1713 7	7314 7
30'	3685 4	1082 9	3999 2	30'	4201 2	1375 2	6776 0	30'	4765 3	1722 7	7327 5
40'	3697 2	1089 3	4013 2	40'	4214 0	1382 8	6789 4	40'	4779 4	1731 7	7340 3
50'	3709 0	1096 7	4027 2	50'	4226 8	1390 4	6802 8	50'	4793 6	1740 8	7353 1
66°	3720 9	1102 2	4041 2	73°	4239 7	1398 0	6816 3	80°	4807 7	1749 9	7365 9
10'	3732 7	1108 6	4055 2	10'	4252 6	1405 7	6829 8	10'	4822 0	1759 0	7378 7
20'	3744 6	1115 1	4069 1	20'	4265 6	1413 5	6843 0	20'	4836 2	1768 2	7391 4
30'	3756 5	1121 7	4083 1	30'	4278 5	1421 2	6856 4	30'	4850 5	1777 4	7404 1
40'	3768 5	1128 2	4097 0	40'	4291 5	1429 0	6869 7	40'	4864 8	1786 7	7416 8
50'	3780 4	1134 8	4110 9	50'	4304 6	1436 8	6883 1	50'	4879 2	1796 0	7429 5
67°	3792 4	1141 4	4124 8	74°	4317 6	1444 6	6896 4	81°	4893 6	1805 3	7442 2
10'	3804 4	1148 0	4138 7	10'	4330 7	1452 5	6909 7	10'	4908 0	1814 7	7454 9
20'	3816 4	1154 7	4152 6	20'	4343 8	1460 4	6923 0	20'	4922 5	1824 1	7467 5
30'	3828 4	1161 3	4166 4	30'	4356 9	1468 4	6936 2	30'	4937 0	1833 6	7480 2
40'	3840 4	1168 1	4180 3	40'	4370 1	1476 4	6949 5	40'	4951 5	1843 1	7492 8
50'	3852 6	1174 8	4194 1	50'	4383 3	1484 4	6962 8	50'	4966 1	1852 6	7505 4
68°	3864 7	1181 6	4208 0	75°	4396 5	1492 4	6976 0	82°	4980 7	1862 2	7518 0

改正表(正號)

Δ	曲線之度數											
	5°			10°			15°			20°		
	T	E	LC	T	E	LC	T	E	LC	T	E	LC
10°	.03	001	08	06	003	13	10	064	.17	.13	006	.25
20	.06	005	12	.13	021	25	19	017	.33	.26	022	.51
30	.09	012	18	19	025	37	.29	038	.56	.39	051	.75
40	.13	022	24	28	046	49	.40	070	.74	.53	093	1.00
50	.18	036	30	34	075	61	.51	112	.92	.68	151	1.23
60	.20	054	35	42	111	72	.65	169	1.09	.84	225	1.48
70	.24	077	.40	50	159	.83	.76	240	1.25	1.02	321	1.67
80	.26	107	.45	60	220	.93	.91	333	1.40	1.22	455	1.87
90	.28	145	.49	.72	298	1.02	1.09	451	1.54	1.46	603	2.08

第六章 外業之方法

23. 利用折角設定曲線法 在圓周上某點作切線及弦各一，則此兩線間之夾角，即相當於張在該弦上圓弧之半數。此角又等於弦之兩端所作半徑間夾角之半數。圓曲線之定線法，均以此項幾何定理為基礎也。將此定理引伸之，知圓周上某點所作兩弦間夾角，等於兩弦他端所割圓弧之半，亦等於兩弦他端所作半徑間夾角之半，應用此理於圖 8，則得

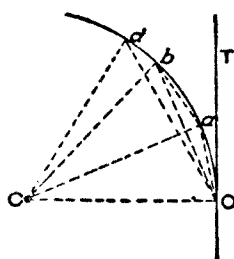


圖 8

$$TOa = \frac{1}{2}OCa$$

$$aOb = \frac{1}{2}aCb$$

$$bOd = \frac{1}{2}bCd$$

若 $Oa = 100$ 呎，則由定義，知角 $OCa = D$ ，角 $TOa = \frac{1}{2}D$ 。同樣，若弦 $ab = 100$ 呎，則角 $aCb = D$ ，而角 $aOb = \frac{1}{2}D$ 。 bd 為一尋弦，

所張之中心角為 d ，而角 $bOd = \frac{1}{2}d$ 。是以倘將經緯儀置在 O 點，將鏡頭由切線起旋轉一角度，等於擬設點中心角之半數，並從 O 點起量出相當於擬設點之弦長，則曲線上任何點均可設定。若曲線上已有別點設定，則量法不必直接起自 O 點；例如 b 點可由 a 點量起， d 點由 b 點量起。普通自一點起設 500 呎以上之曲線，因常遇天然的障礙，甚為不便。(有時距離更短於此)故經緯儀常須移至前方所設之新點，其原理與步驟則始終如一也。

24. 折角之計算 若曲線之起點距整數站不足 100 呎，則先

將此項不足之數視作零弦而設定之。嗣將 100 呎單位弦依次測設，至所餘之曲線不滿 100 呎，或所餘之中心角小於 D 為止。最後乃按所餘之中心角設定最後之零弦。今試以數字例說明之：有 4° 曲線之起點為 24+40，中心角為 $18^\circ 40'$ ，求計算其折角。此曲線之第一點，距曲線起點為 60 呎，其中心角應為 $\frac{60}{100} \times 4^\circ = 2.4^\circ = 2^\circ 24'$ 。折角為此角之半，即 $1^\circ 12'$ 。曲線終點之折角為全中心角之半，即 $9^\circ 20'$ 。自 $9^\circ 20'$ 中減去 $1^\circ 12'$ ，則得 $8^\circ 08'$ ，此角中減去四個單位弦之折角 8° 後，尚餘零弦折角 $0^\circ 08'$ ，此零弦之長度為 $\frac{0^\circ 08'}{2^\circ} \times 100 = 6.67$ 呎，即曲線之終點為 29+6.67。此更可以另一計算法參證之：今 $\frac{18^\circ 40'}{4^\circ} = 4.66667$ ，即曲線之名稱長度為 100 呎之 4.66667 倍，換言之，名稱長度為 466.67 呎。第一零弦為 60 呎，四個單位弦為 400 呎，則最後零弦為 6.67 呎，各測點之折角可列表如下：

P. C. 站 24+40	0°
25	$0^\circ + 1^\circ 12' = 1^\circ 12'$
26	$1^\circ 12' + 2^\circ = 3^\circ 12'$
27	$3^\circ 12' + 2^\circ = 5^\circ 12'$
28	$5^\circ 12' + 2^\circ = 7^\circ 12'$
29	$7^\circ 12' + 2^\circ = 9^\circ 12'$

P. T. 站 29+6.67 $9^\circ 12' + 0^\circ 08' = 9^\circ 20'$ 此數即 $18^\circ 40'$ 之半。

25. 儀器之使用法 上舉之數字例，為一比較簡單之例。若曲線度數為畸零數，或地位上發生困難，則必須設置經緯儀於曲線之零數站。此時在原理上雖始終不變，而計算工作則至為繁雜，發生錯誤之機會亦隨之增加。次述之儀器使用方法，在簡單情形中固甚

簡易，即在繁雜之情形中亦較為妥善。法將各整數站與零數站之折角依前法算出。安置經緯儀於 P. C.，測定最易達到之各站。次將經緯儀移至前進站而應用次之規則：

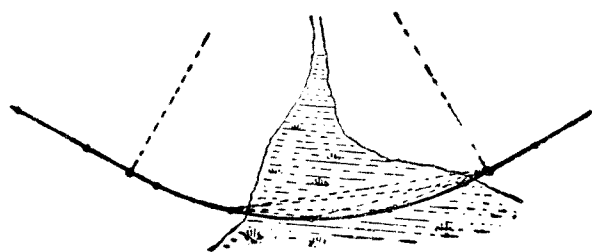
『經緯儀設置於前進站後，後視於任何已設之站，分度盤設定已設站之折角。將望遠鏡倒轉前視於擬設之站，旋轉分度盤至擬設站之折角』。

學者對於此規則之真確性，須自設一簡單例題而體驗之。假定經緯儀設於某站，注意對於某站前視及某站後視應設之折角。

測設曲線必須野外工作人員之極度審慎，蓋微渺之錯誤，易致愈增愈巨，不堪設想也。安置經緯儀於樞樞之上時，必須細心對準中點，樞樞之位置須與建築時不致擾動之點相聯繫。

26. 測設曲線之特種方法 以上所述，祇用一經緯儀及一捲尺，為測設曲線之尋常及可取之方法，但若遇經緯儀不在手邊或其他特殊情況，則上法不能不予以變通。工程師必須將測設曲線之原理學習純熟，庶能隨機應變，與推陳出新。茲述一二特種情形於後。

(a) 應用兩經緯儀 曲線所經若為湖沼地，則用捲尺測量長



度，勢難精確。此時可用三角測量法，算出折角及長弦之長度(式 7)，測設湖沼以外之點。此種測點或為 P. T.，或非 P. T.，均無不可。繼乃安設經緯儀兩具於堅地之測點上，應用幾何學理，由兩經緯儀站切線或長弦至任何點之折角，均易算出。遣桿手一人即可覓到兩經緯儀視線同時集中之各點。(如圖 9)

(b) 應用切線之支距 此法及次法之解釋，可視附圖之虛線。其解法僅係幾何及三角定理之簡單應用。若曲線之起點或終點處尚有零弦一段，則解法稍繁，但原理並不稍改。以圖 10 為例，

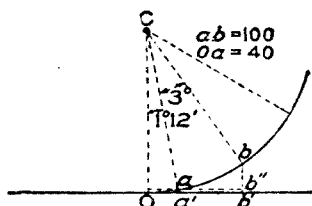


圖 10

$$Ob' = Oa' + a'b' = 40 \cos 0^\circ 36' + 100 \cos(1^\circ 12' + 1^\circ 30')$$

$$bb' = b'b'' + b''b = 40 \sin 0^\circ 36' + 100 \sin(1^\circ 12' + 1^\circ 30')$$

其餘各點仿此。

(c) 應用矢高法 先行算出兩點間長弦之長度及其矢高。如係零弦，則按零弦所張角之二倍，算出其長弦與矢高。此等距離可按附圖訂設於地面。

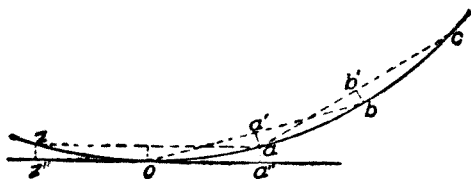


圖 11

如圖 11, Oa' 為兩站間長弦之半, $a'a$ 為相當於此長弦之矢高, 在

定，切線距已用式 6 算出，則 Bb 與 Aa 之兩長度可以量設， P, C 與 P, T 即可決定。為參證全部工作計，此項曲線如照平常方法繼續測設，則其終點須在 B 點，而其切線方向，須與 Bn 相吻合。

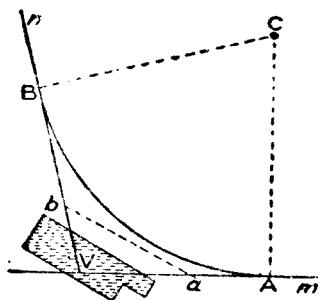


圖 14

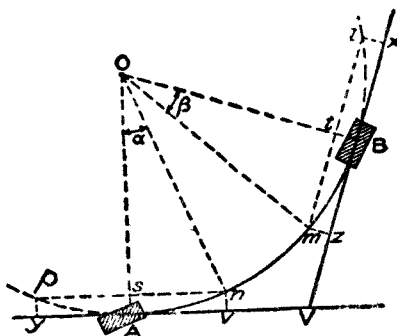


圖 15

(b) 曲線起點或終點不能達到之時 繪製所求之曲線及其障礙物如圖 15，則已知未知各數及其幾何關係均易確定。例如，圖中之 V 點設為已知， AV 亦為已知，則 A 點在計算上之位置可以知悉。設一任意角 α ，使合於次之條件， $R \text{ vers } \alpha = As = nv = py$ ， s 為可以達到之地。則 $ns = sp = R \sin \alpha$ 。 n 與 p 可在地面設定，安設經緯儀於 n 點，由 np 線旋轉角度 α ，則 n 點之切線即可確定，而其餘之曲線，可按平常方法進行。若 P, T 無法達到，則曲線先設置 m 點，由此用同樣計算及野外工作，定出 x 點，再由此點作切線。

(c) 曲線中部有障礙之時，如圖 16，照平常方法將此線延至 n 點，此點能為一整數站則更善，但亦非必要。由 n 點起擇無障礙處作 nm 弦。 nm 與切線之夾角等於 mn 弧所張中心角之半。由式 7 可算出 mn 之長度，實地量出之，則 m 點可以設定。以 m 點為始，

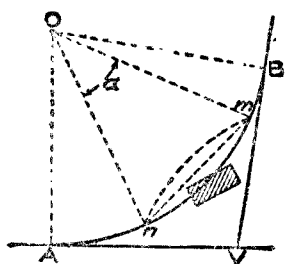


圖 16

曲線之其餘部分均可測設。爲表示此種一般方法之活動性計，在某種情形下，先作虛線所示之曲線反較容易。此曲線之半徑與所求曲線相同，故可用 26 節 *d* 之幾何定理。

28. 例題 以上所舉各問題均極簡單，故對於數字問題之解法，均未論及，但問題如愈形繁複，則系統的解法尤有價值，蓋複算，參證，及檢查錯誤均可期其容易也。乘除宜用對數法以省時間。學者未曾慣用此法者，如加以熟習，亦至有益。以下所舉解法均用對數，學者習作時亦望如是。

1. 有一相同於圖 14 之例， ab 量得 476.25 呎；角 Vab 量得 $24^\circ 18'$ ，角 Vba 量得 $34^\circ 22'$ 。曲線爲 $3^\circ 30'$ 曲線半徑爲 1637.3 呎。 $\Delta = 24^\circ 18' + 34^\circ 22' = 58^\circ 40'$ 。計算 aA 與 bB 。

		對數
自式 6	$R(3^\circ 30')$	3.21412
	$\tan \frac{1}{2} \Delta = \tan 29^\circ 20'$	9.74969
	$T = 920.04$	2.96381

	$ab = 476.25$	2.67783
	$\log \sin 34^\circ 22'$	9.75165
	$\text{colog} \sin 58^\circ 40'$	0.06836

	$aV = 314.74$	2.49795

	切線距 $AV = 920.04$	-----

	$aA = 605.30$	-----

$bV = ab \frac{\sin 24^\circ 18'}{\sin 58^\circ 40'}$	$ab = 476.25$	2.67783
	$\log \sin 24^\circ 18'$	9.61438
	$\text{colog} \sin 58^\circ 40'$	0.06846
	$bV = 229.45$	2.36068
切線距 $BV = \underline{\underline{920.04}}$		
	$bB = 690.59$	

2. 如圖 15 之例。 $D=3^\circ 20'$ 。 $\Delta=23^\circ 40'$ 。今設 V 點之後 180 呎處之 v 點，其附近所作 np 線不致遭 A 屋障礙， ns 為 180 與算出之切線距 AV 之差； $ns \div R = \sin \alpha$ 。故 $nv = py = R \text{ vers} \alpha$ 。用支距 vn 設定 n 點，在 y 點作同樣之橫支。若此線仍受障礙，則假設一較大之 α ，重行計算 Av 與 vn ，照上例計算其數值。

29. 定線之變更 此處僅舉出定線變更法中無數問題之一二。此等問題祇須應用簡單的幾何與三角學理即可解決。多數定線

變更問題，均因紙面定線之不準確而起。

(1) 不改曲線半徑而將終點切線平行移進 x 距離法 由圖 17，可見曲線上每點均與切線平行作等距離之前移 $AA' = BB' = VV' = OO'$ 。

$$AA' = \frac{B'n}{\sin nBB'} = \frac{x}{\sin \Delta} \quad (11)$$

(2) 起點不動而將終點切線平行移動法 因中心角 Δ 未改，故僅將曲線按比率放大或縮小。如圖 18，已知切線移動距離 x' (或 x'')，中心角 Δ ，及原半徑 R 。

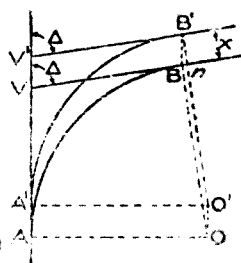


圖 17

$$VV' = \frac{V'h}{\sin hVV'} = \frac{x'}{\sin \Delta} \dots\dots(12)$$

於是，新切線距 $AV' = AV + VV'$ 。

三角形 BmB' 因與 $AO'B'$ 同式並為二等邊三角形， $Bm = B'm$ ，故新半徑

$$\begin{aligned} R' &= R + mB = R + \frac{B'r}{\text{vers } B'mB} \\ &= R + \frac{x'}{\text{vers } \Delta} \dots\dots(13) \end{aligned}$$

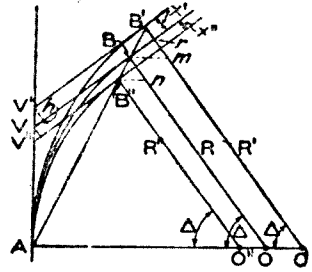


圖 18

若切線係向中心移動，則為此問題之變例，觀於附圖即可知其解法甚簡單也。

(3) 曲線終點不動而將終點切線變更方向法 由紙面定線量得之中心角若有錯誤，則宜用本法以改正之。此為衆多改變中心角問題之一例。所求之中心角變更量 α ，為已知數之一。

R, Δ, AV, BV 亦均屬已知數，如圖 19， $\Delta' = \Delta - \alpha$
 $Bs = R \text{ vers } \Delta; Bs = R' \text{ vers } \Delta'$,

$$\therefore R' = R \frac{\text{vers } \Delta}{\text{vers } (\Delta - \alpha)} \dots\dots(14)$$

又因 $As = R \sin \Delta$ ，及 $A's = R' \sin \Delta'$ ，則得

$$\begin{aligned} AA' &= A's - As \\ &= R' \sin \Delta' - R \sin \Delta \dots\dots(15) \end{aligned}$$

30. 例題 1. 假設 $4^\circ 20'$ 曲線之中心角為 $18^\circ 28'$ 。今欲將終點切線平行移進 12 呎。問 P. C. 之變更量若干？(即圖 17 之 AA')

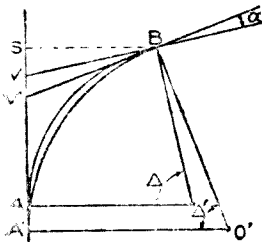


圖 19

2. 前題之曲線。求終點切線向中心後移 12 呎, P. C. 之位置不變。問切線距與半徑之變更量若干?

3. 前題之曲線。今欲將中心角減少 $0^{\circ}22'$, 但 P. T. 不變。問新半徑與 P. C. 點之變更量若干?

第七章 複曲線

31. 定義 複曲線為兩股或數股不同半徑之曲線連接而成，在其連接點則有共同切線。複曲線雖可用單曲線方法設定，但因複曲線各部分有連帶之幾何的關係，故對於計算上可以便利，尤以需要變更時為甚。下文所述說明中，均以 R_1 及 R_2 代表小大半徑兩曲線，不問其先後如何。 Δ_1 與 Δ_2 為其相當之中心角。 R_2 雖常較 R_1 為大，但 Δ_2 比 Δ_1 則或大或小均可。 T_2 常與大半徑 R_2 相接近，且恆比 T_1 為大。

32. 雙股複曲線各部分之關係 此項曲線繪如圖20，其中 AC 與 CB 為兩曲線，其半徑分別為 R_1 與 R_2 ，根據前述定義，其餘各函數均標註於圖上。延長 AC 弧使 $CO_1x = \Delta_2$ 。由相似三角形理 Cx 弦延長時必交於 B 點。又如繪 xt 線平行於 CO_2 ，則其長度必等於 Bt ，角 xtB 必等於 Δ_2 ，繪 As 與 xk 垂直於 O_1x ，則

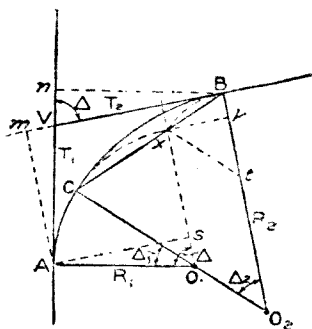


圖 20

$$\begin{aligned} Bk &= xt \text{ vers } xtB \\ &= (R_2 - R_1) \text{ vers } \Delta_2 \end{aligned}$$

$$xs = AO_1 \text{ vers } AO_1x = R_1 \text{ vers } \Delta$$

$$Am = AV \sin AVm = T_1 \sin \Delta$$

$$Am = Bk + xs。$$

$$\therefore T_1 \sin \Delta = R_1 \text{ vers } \Delta + (R_2 - R_1) \text{ vers } \Delta_2 \text{ --- (16)}$$

於圖中添繪數線，即可同樣證明，

$$T_2 \sin \Delta = R_2 \text{vers} \Delta - (R_2 - R_1) \text{vers} \Delta_1 \dots\dots\dots(17)$$

由式 16 與 17，用代數的變換，則得次之有用的關係。此等算式之詳細演出，可作為學者自習之良好資料。

$$R_2 = R_1 + \frac{T_1 \sin \Delta - R_1 \text{vers} \Delta}{\text{vers}(\Delta - \Delta_1)} \dots\dots\dots(18)$$

$$R_2 = \frac{T_1 \sin \Delta \text{vers} \Delta_1 - T_2 \sin \Delta (\text{vers} \Delta - \text{vers} \Delta_2)}{\text{vers} \Delta_2 \text{vers} \Delta_1 - (\text{vers} \Delta - \text{vers} \Delta_1)(\text{vers} \Delta - \text{vers} \Delta_2)} \quad (19)$$

32. 定線之變更 與 29 節相同，此處祇舉少數最普通之定線變更問題。

(1) 不改半徑而將終點切線平行推移法 由圖 21，得

$$x = O_2 s - O_2' s' = (R_2 - R_1) \cos \Delta_2 -$$

$$(R_2 - R_1) \cos \Delta_2', \quad \text{由此得}$$

$$\cos \Delta_2' = \cos \Delta_2 - \frac{x}{R_2 - R_1} \dots\dots\dots(20)$$

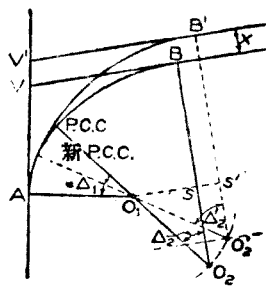


圖 21

圖 21 所示之切線，係向前移；在此情形中，P. C. C. 點（即複曲點）係沿較銳之曲線向後移動。若欲將切線移向中心點，則式 20 中 Δ_2 與 Δ_2' 應互相對調。在此情形中，較銳曲線必須延長而 P. C. C. 點必須向前移動。

若較大半徑在前，則圖形自必更改，惟稍經細察可知其原理無異。由圖 22 得

$$x = O_1' s' - O_1 s = (R_2 - R_1) \cos \Delta_1' - (R_2 - R_1) \cos \Delta_1, \quad \text{由此得}$$

$$\cos \Delta_1' = \cos \Delta_1 + \frac{x}{R_2 - R_1} \dots\dots\dots(21)$$

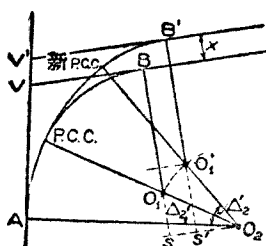


圖 22

圖 22 所示之切線係向外移；在此情形中，P.C.C. 係沿較緩曲線之延長線向前移動。與前例相同，若切線向內移動，則式中 Δ_1 與 Δ_1' 應互相對調。此時 P.C.C. 點當沿第一曲線向後移動。

(2) 切線不變而將其中一曲線之半徑變更

此問題顯因紙面定線而起。如圖 23，假定出現在前較長之半徑，須令縮短 sO_2 距離。新中心點 O' 必須位於以 O_1 為中心，

O_1s 為半徑之圓弧上。此點又須位在平行於 AV 相距 R_2' (等於 $s - P.C.C.$) 之直線上。將 O_2' 為中心，自 O 至 m' 繪圓弧，又以 O_2 為中心，自 O_1 至 m 繪圓弧。於此可以證知 mm' 與 AV 相平行。繪 O_1n 垂直於 AO_2 。

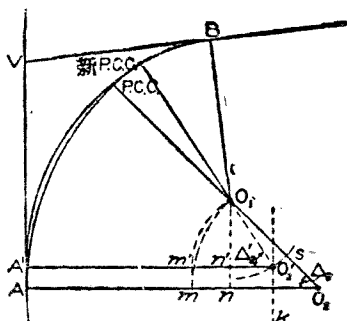


圖 23

$$mn = (R_2 - R_1) \text{vers} \Delta_2;$$

$$m'n' = (R_2' - R_1) \text{vers} \Delta_2'; \quad mn = m'n'.$$

$$\text{vers} \Delta_2' = \frac{R_2 - R_1}{R_2' - R_1} \text{vers} \Delta_2 \quad \dots \dots \dots (22)$$

$$AA' = O_1n - O_1n' = (R_2 - R_1) \sin \Delta_2 - (R_2' - R_1) \sin \Delta_2' \quad \dots \dots \dots (23)$$

34. 例題 1. 有 $5^\circ 30'$ 曲線，中心角為 $16^\circ 22'$ ，自起點至頂點之切線距為 1800 呎。至 P.C.C. 點後此曲線與另一較緩之曲線相連接。全中心角為 $30^\circ 18'$ 。問較緩曲線之半徑及切線距如何？

〔答案〕 已知值為 R_1 (較短之半徑)， Δ_1 ， Δ_2 及 T_1 ；所求之值

爲 R_2 與 T_2 。將已知各值代入式 18，並算出 R_2 代入式 17，則所求各值均可求得，計算方法應由學者完成之。

2. 有長 450 呎之 $2^\circ 30'$ 曲線，與另一長 260 呎之 $5^\circ 30'$ 曲線相接。求將終點切線向內推移 6.4 呎，但半徑均不改變。又求 P.C.C. 之變更量。

〔討論〕 此題顯欲求出式 21 所指之變更量。吾人須加注意者，求得之餘弦函數必須小於一，換言之， x 之數值不得大於 $R_2 - R_1$ 。又原有角及變成角之餘弦函數，均須小於一。P.C.C. 點在直線上之變更量可自次式求得之：

$$\text{直線變更量} = \text{角變更量(以度數計)} \times \text{曲線之半徑} \times \frac{\pi}{180^\circ}$$

3. 假設例題 2 之曲線，欲將 $2^\circ 30'$ 曲線變更爲 2° 曲線，但並不改變其切線。

〔討論〕 圖 23 中新舊較大半徑及其相當之中心角可令移位；實行此種變更時，式 22 並不變更。式 23 則僅變更其代數符號，意即 P.C.C. 不向前移而向後移。

4. 繪一相當於圖 23 之圖，以顯示小半徑 R_1 之變更。

第八章 緩和曲線

35. 緩和曲線之種類〔普通之用途〕 當列車或任何質量在運動之際，如欲迫令其循曲線途徑而運動，則必須加以定量之外力。若鐵路之兩軌條在橫截面上居於水平位置，則此向心力祇藉輪緣對於外軌之壓力而發生。此種含有危險性之壓力，不便於高速列車，如欲設法避免，則須將外軌抬高。事實上當然無法將曲線起點處之外軌突然抬高，復於曲線終了後突然放低。是以曲線之兩端，必須設有一極長之準備距離。若此準備距離完全設在切線之上，則列車行抵該處時，車身為之傾斜，因係直線軌道，故無離心力足以抵銷，乃發生可嫌惡之震動。若此準備距離完全放在曲線之內，則因列車行抵曲線起點處，向心力尙未完全發展，亦必發生震動。緩和曲線者，其曲度開始為零，逐漸增加，至與曲線中部之曲度相等時為止。若外軌超高度開始於緩和曲線之起點，隨曲度而增加，至緩和曲線終了，平常曲線開始之處，始達到合宜之超高度，則可滿足理想上之需要。但緩和曲線之採用，另有一重要之理由。當車輛行經曲線時，其車盤須與車之中線成一角度。若自直線軌道突變為曲線軌道，則車盤之變向，須在極短之時間內完成之（此時間等於列車行經車盤前後輪間所須之時間），此項時間在高速之列車，每不及一秒鐘。如有緩和曲線，則此種變向可以逐漸完成，不致發生震動。超高度應需之量，將另節述之。

〔曲線之種類〕 理論上真確之緩和曲線，甚為複雜，而數學的

解法亦極艱難。此種曲線之經人建議者為數甚多，但據美國鐵路工程協會研究組之報告，各種曲線均難免下列所述之缺點。(1)若用簡略之算式，則不能充分精密。(2)精密之算式則過形複雜。(3)有曲線而無法代以算式。(4)算式屬於無限級數類。(5)欲使野外工作與內含大中心角之螺線之算式相符合，則甚為複雜。此研究組乃自行推演一種方法，其結果之精密度可以超過最精慎之野外工作，而在實用上則十分簡單。其數學的推演法甚為繁重，茲乃從略，其算式及縮成之算表則附於表 6(B)及(C)，(第 49 至 51 頁)並舉例以詳述其實際用途及應用方法。

此種曲線之一般形式，不問其數理如何精微，均如圖 24 所示者。AVB 為兩切線，用單曲線 ACB 連接之，其中心點為 O。假設全部曲線係沿 CO 方向而移動距離 $OO' = CC' = BB' = AA'$ 。

螺線開始於切線上任意點 TS，而與圓周曲線相切於 SC。另一段螺線則自 CS 展延至 ST。所用記號係取 Tangent, Spiral, Circular Curve 之首字母；TS 為自切線變至螺線之點，SC 則為螺線變至曲線之點，餘類推。

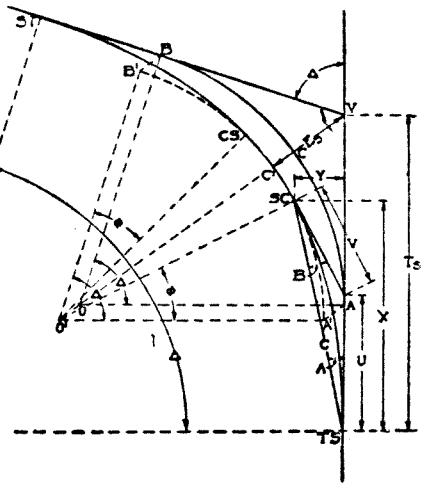


圖 24

在圓周曲線之另一端，則字

母之次序適相反，測站號數則自 A 向 B 而增加。各符號之意義均

明載於圖24。

螺線之長度，祇可根據一種假設而計算之，例如假定車輛之傾度，庶免乘客之煩擾，但此傾度又因列車速率而異。又有一種限制，即兩螺線角之和不能超過曲線之全中心角。是以對於螺線長度之極小值有下列之建議：

在速率限制之曲線：

6°及以上，240 呎，

6°以下， $5\frac{1}{2} \times$ 列車速率以 m.p.h. 計，其超高度為 8 吋。^(註)

在速率不限制之曲線：

$30 \times$ 超高度(以吋計)，或

$\frac{2}{3} \times$ 最大列車速率(以 m.p.h. 計) \times 超高度(以吋計)

〔例〕 (1) 5° 曲線，限制速率；由表 6 (A)，用中介法得限制速率為 48 m.p.h.，則螺線長度之最小值為 $48 \times 5\frac{1}{2} = 256$ 呎。

(2) 3° 曲線，最大列車速率 60 m.p.h.；超高度 .62 呎 = 7.44 吋；則 $30 \times 7.44 = 223.2$ 呎，或 $\frac{2}{3} \times 60 \times 7.44 = 297.6$ 呎。兩數不同自應取其大者，以整數計作為 300 呎。

表 6 (A) 各種速度及各種曲線度數之外軌超高度
(以 吋 計)

速 率 每小時哩數	曲 線 度 數									
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
10	0	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{32}$
20	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{8}$	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$
30	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{8}$	$5\frac{1}{4}$	6
40	$1\frac{1}{2}$	2	$3\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{4}$	6	$7\frac{1}{4}$	$8\frac{1}{2}$		
50	$1\frac{3}{4}$	3	$4\frac{1}{4}$	$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{2}$	$8\frac{1}{2}$			
60	2	3	$4\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}$	$7\frac{1}{2}$				

(註) m. p. h. 為 miles per hour 之略，即每小時哩數。

由經驗所知，緩和曲線愈長則車行愈穩，但螺線不能延至曲線之中點。普通螺線在原曲線兩端為始，其延展之距離略相等，故螺線長度如與原曲線相等，則勢必相遇於中點。是以螺線之長度必須遠遜於原曲線之長度也。

36. 符號 除圖 24 所註符號外，茲再詮釋下列各符號：

a — TS 點所作切線與自 TS 至螺線某點所作弦間之角度。

A — TS 點所作切線與自 TS 至 SC 所作弦間之角度。

b —螺線上某點所作切線與自 TS 至某點所作弦間之角度。

B — SC 點所作切線及聯接 SC 與 TS 所作弦間之角度。

D —中間圓周曲線之角度。

Δ —原有圓周曲線之中心角，亦即兩切線間之夾角。

ϕ —全部螺線之中心角。

ϕ_1 —自 TS 至第一螺線點之中心角。

k —螺線上每站所增角度以度數計。

L —自 TS 至 SC 之螺線長度以呎計。

s —自 TS 至螺線上某點之螺線長度以呎計。

S —自 TS 至 SC 之螺線長度以站數計(每站為 100 呎)。

37. 折角 折角之野外算式，係根據下列二方程式：

$$a = 10ks^2 \text{ 分} = \frac{1}{3}\phi_1$$

$$a = 10kS^2 \text{ 分} = \frac{1}{3}\phi$$

第一折角 $a_1 = 10ks_1^2$ 分，但 k 為每站所增度數，又因曲線之度數隨長度 $k = D \div S$ 而增，此 S 以站數計算。由第一點，因 $S = 10s$ ， $a = 10 \left(\frac{D}{10s} \right) s^2 = Ds$ ，此可謂為曲線度數與弦長（以站計）之乘

積。

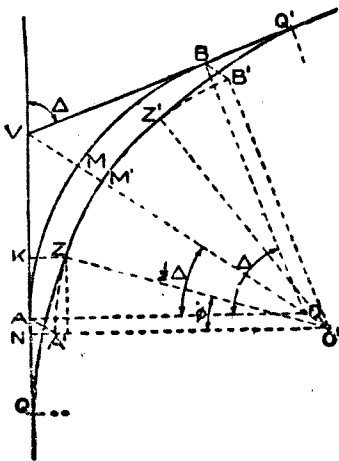
例如，螺線長 400 呎 ($L=400$ 與 $S=4$)，與 5° 曲線相接 ($D=5$)，某弦長 40 呎 ($s=.4$)。則 $a_1=5 \times 0.4=2$ 分，即第一弦點之折角為 2 分。又因折角與站數之平方成正比，故自 TS 至依次各站應為 2 分之 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 及 100 倍，此與表 6 (B) 之第二欄相同。最後折角 $A=100 \times 2'=200'=3^\circ 20'=\frac{1}{3}(10^\circ)=\frac{1}{3}\phi$ ，此即螺線之全部中心角。此結果與普通方程式相符。

$$\phi = \frac{kS^2}{2} = \frac{DS}{2} = \frac{kL^2}{20000} = \frac{DL}{200}$$

因

$$\phi = \frac{DS}{2} = \frac{5 \times 4}{2} = 10^\circ$$

螺線上任意點至別點之折角，無論在前或在後，可將表中適當之係數與 a_1 相乘得之(例中 $a_1=2'$)。每整度之比率 $\frac{U}{L}$ 與 $\frac{V}{L}$ ，及每半度之 A ， $\frac{C}{L}$ ， $\frac{X}{L}$ ， $\frac{Y}{L}$ 見於表 6 (C) 及 (D)。



38. 插入螺線於切線及圓周曲線之間 在圖 25 中，為明瞭計，已將 MM' 距離放大約 100 倍。由線 AMB 為一簡單圓周曲線，兩端與切線相連，與通常情形相同。若自適宜點 Q 為始，作一螺線延展至 Z 點，使螺線之全中心角 ϕ 與曲線 $ZO'N$ 角度相等。在 Z 點與螺線有公切線之圓周曲線延至 Z' 點，自此點起則有同式之螺線

表 6 (B) 對於向各弦點偏角之係數 α_1

向各弦 之偏角	經緯儀所在之弦點										
	0 T. S.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 S. C.
0 T. S.	0	2	8	18	32	50	72	98	128	162	200
1	1	0	5	14	27	44	65	90	119	152	189
2	4	4	0	8	20	36	56	80	108	140	176
3	9	10	7	0	11	26	45	68	95	126	161
4	16	18	16	10	0	14	32	54	80	110	144
5	25	28	27	22	13	0	17	38	63	92	125
6	36	40	40	36	28	16	0	20	44	72	104
7	49	54	55	52	45	34	19	0	23	50	81
8	64	70	72	70	64	54	40	22	0	26	56
9	81	88	91	90	85	76	63	46	25	0	29
10 S. C.	100	108	112	112	108	100	88	72	52	28	0

表 6 (C) $\frac{U}{L}$ 與 $\frac{V}{L}$ 之值

ϕ	$\frac{U}{L}$	$\frac{V}{L}$	ϕ	$\frac{U}{L}$	$\frac{V}{L}$
0°	.666 667	.333 333	23°	.672 423	.338 586
1	.666 673	.333 343	24	.672 943	.339 081
2	.666 710	.333 372	25	.673 486	.339 559
3	.666 763	.333 421	26	.674 054	.340 078
4	.666 838	.333 490	27	.674 645	.340 619
5	.666 935	.333 578	28	.675 261	.341 183
6	.667 053	.333 685	29	.675 901	.341 769
7	.667 193	.333 812	30	.676 566	.342 378
8	.667 354	.333 959	31	.677 256	.343 011
9	.667 537	.334 126	32	.677 971	.343 667
10	.667 742	.334 313	33	.678 712	.344 348
11	.667 968	.334 519	34	.679 478	.345 050
12	.668 216	.334 748	35	.680 270	.345 777
13	.668 487	.334 992	36	.681 089	.346 529
14	.668 779	.335 259	37	.681 935	.347 307
15	.669 094	.335 546	38	.682 808	.348 109
16	.669 431	.335 853	39	.683 708	.348 937
17	.669 790	.336 181	40	.684 636	.349 791
18	.670 172	.336 529	41	.685 592	.350 671
19	.670 576	.336 899	42	.686 577	.351 578
20	.671 003	.337 289	43	.687 590	.352 513
21	.671 453	.337 700	44	.688 633	.353 474
22	.671 928	.338 132	45	.689 706	.354 464

表 6 (D) 十弦螺線函數表

螺線角度 之總和 ϕ	A	$\frac{C}{L}$	$\frac{X}{L}$	$\frac{Y}{L}$
0° 0'	0° 00' 00"	1.000 000	1.000 000	.000 000
30	0 10 00	.999 997	.999 998	.002 909
1 0	0 20 00	.999 987	.999 970	.005 818
30	0 30 00	.999 970	.999 932	.008 723
2 0	0 40 00	.999 947	.999 879	.011 635
30	0 50 00	.999 916	.999 811	.014 542
3 0	1 00 00	.999 880	.999 727	.017 450
30	1 10 00	.999 836	.999 629	.020 357
4 00	1 20 00	.999 786	.999 515	.023 263
30	1 30 00	.999 729	.999 387	.026 169
5 00	1 40 00	.999 666	.999 248	.029 073
30	1 50 00	.999 596	.999 084	.031 977
6 00	1 59 59	.999 519	.998 910	.034 880
30	2 09 59	.999 435	.998 721	.037 781
7 00	2 19 59	.999 345	.998 517	.040 681
30	2 29 59	.999 248	.998 298	.043 581
8 00	2 39 58	.999 145	.998 063	.046 478
30	2 49 58	.999 035	.997 814	.049 374
9 00	2 59 58	.998 918	.997 549	.052 269
30	3 09 57	.998 794	.997 270	.055 162
10 00	3 19 57	.998 664	.996 975	.058 053
30	3 29 57	.998 527	.996 666	.060 942
11 00	3 39 56	.998 384	.996 341	.063 829
30	3 49 55	.998 233	.996 002	.066 714
12 00	3 59 55	.998 077	.995 647	.069 598
30	4 09 54	.997 913	.995 278	.072 478
13 00	4 19 53	.997 743	.994 893	.075 357
30	4 29 53	.997 568	.994 494	.078 233
14 00	4 39 52	.997 383	.994 079	.081 108
30	4 49 51	.997 192	.993 650	.083 977
15 00	4 59 50	.996 996	.993 208	.086 846
30	5 09 49	.996 792	.992 747	.089 711
16 00	5 19 48	.996 582	.992 273	.092 574
30	5 29 47	.996 366	.991 785	.095 433
17 00	5 39 45	.996 142	.991 281	.098 290
30	5 49 44	.995 912	.990 763	.101 143
18 00	5 59 43	.995 676	.990 230	.103 993
30	6 09 41	.995 432	.989 682	.106 840
19 00	6 19 40	.995 183	.989 120	.109 683
30	6 29 36	.994 926	.988 543	.112 523
20 00	6 39 36	.994 663	.987 951	.115 360
30	6 49 34	.994 393	.987 344	.118 192
21 00	6 59 32	.994 117	.986 723	.121 021
30	7 09 30	.993 834	.986 088	.123 846
22 00	7 19 28	.993 545	.985 437	.126 667
22° 30'	7° 29' 26"	.993 248	.984 772	.129 483

延展至 Q' 點。組合此項曲線即得所求之結果，今欲計算組合此項曲線之尺度。因有螺線之插入，使曲線之頂點向內移入 MM' 距離，命為 m ；又圓周曲線之中心角亦緣是而減少 2ϕ 。 ZK 為所選螺線

表 6 (D) (續)

螺線角度 之總和 ϕ	A	$\frac{C}{L}$	$\frac{X}{L}$	$\frac{Y}{L}$
22° 30'	7° 29' 26"	.993 248	.984 772	.129 493
23 00	7 39 24	.992 948	.984 093	.132 296
30	7 49 21	.992 836	.983 399	.135 105
24 00	7 59 19	.992 321	.982 591	.137 909
30	8 09 16	.991 998	.981 968	.140 708
25 00	8 19 14	.991 639	.981 231	.143 504
30	8 29 11	.991 333	.980 479	.146 294
26 00	8 39 08	.990 991	.979 714	.149 080
30	8 49 05	.990 642	.978 933	.151 861
27 00	8 59 02	.990 287	.978 139	.154 638
30	9 08 58	.989 925	.977 330	.157 409
28 00	9 18 55	.989 557	.976 508	.160 176
30	9 28 51	.989 182	.975 670	.162 937
29 00	9 38 48	.988 800	.974 819	.165 693
30	9 48 44	.988 412	.973 954	.168 444
30 00	9 58 40	.988 018	.973 074	.171 189
30	10 08 36	.987 617	.972 181	.173 929
31 00	10 18 32	.987 209	.971 273	.176 664
30	10 28 27	.986 795	.970 352	.179 392
32 00	10 38 23	.986 375	.969 417	.182 116
30	10 48 18	.985 948	.968 468	.184 833
33 00	10 58 13	.985 514	.967 504	.187 541
30	11 08 08	.985 074	.966 528	.190 250
34 00	11 18 03	.984 627	.965 537	.192 949
30	11 27 58	.984 174	.964 532	.195 643
35 00	11 37 53	.983 715	.963 515	.198 330
30	11 47 47	.983 249	.962 483	.201 010
36 00	11 57 41	.982 777	.961 438	.203 685
30	12 07 36	.982 298	.960 379	.206 353
37 00	12 17 30	.981 813	.959 306	.209 011
30	12 27 28	.981 321	.958 231	.211 669
38 00	12 37 17	.980 823	.957 121	.214 317
30	12 47 11	.980 318	.956 009	.216 959
39 00	12 57 04	.979 807	.954 883	.219 593
30	13 06 57	.979 290	.953 744	.222 221
40 00	13 16 50	.978 766	.952 591	.224 841
30	13 26 43	.978 236	.951 426	.227 455
41 00	13 36 35	.977 700	.950 247	.230 061
30	13 46 28	.977 157	.949 055	.232 660
42 00	13 56 20	.976 608	.947 850	.235 252
30	14 06 12	.976 053	.946 632	.237 836
43 00	14 16 04	.975 491	.945 402	.240 413
30	14 25 56	.974 923	.944 158	.242 982
44 00	14 35 47	.974 348	.942 901	.245 544
30	14 45 38	.973 768	.941 632	.248 098
45° 00'	14° 55' 29"	.973 181	.940 350	.250 644

之 y 軸, QK 爲其 x 軸。

$$A'N = y - R \text{vers } \phi$$

$$\text{故 } m = MM' = AA' = BB' = \frac{A'N}{\cos \frac{1}{2}\Delta} = \frac{y - R \text{vers } \phi}{\cos \frac{1}{2}\Delta} \quad (24)$$

$$NA = AA' \sin \frac{1}{2}\Delta = (y - R \text{vers } \phi) \tan \frac{1}{2}\Delta$$

$$VQ = QK - KN + NA + AV$$

$$= x - R \sin \phi + (y - R \text{vers } \phi) \tan \frac{1}{2}\Delta + R \tan \frac{1}{2}\Delta$$

$$= x - R \sin \phi + y \tan \frac{1}{2}\Delta + R \cos \phi \tan \frac{1}{2}\Delta \quad (25)$$

在任何問題演算時,必須先行確定 $A'N$ 之數值,故式 25 可由四項減爲三項如次

$$VQ = x + R(\tan \frac{1}{2}\Delta - \sin \phi) + A'N \tan \frac{1}{2}\Delta \quad (26)$$

$$VM' = VM + MM'$$

$$= R \text{exsec} \frac{1}{2}\Delta + \frac{y}{\cos \frac{1}{2}\Delta} - \frac{R \text{vers } \phi}{\cos \frac{1}{2}\Delta} \quad (27)$$

$$AQ = VQ - AV$$

$$= x - R \sin \phi + (y - R \text{vers } \phi) \tan \frac{1}{2}\Delta \quad (28)$$

39. 例題 今欲在 6° 曲線中插入適宜之螺線,其兩切線之交角爲 $28^\circ 16'$ 。

今假定螺線長 240 呎,分作十個弦。則

$$\phi = \frac{DL}{200} = \frac{6 \times 240}{200} = 7.2 = 7^\circ 12'$$

由表 6 (D), $\phi = 7.2^\circ$ 時

$$\frac{X}{L} = .998517 - \frac{2}{5}(.998517 - .998298) = .998430$$

$$X = .998430 \times 240 = 239.623$$

$$\frac{Y}{L} = .040681 + \frac{2}{5} (.043581 - .040681) = .041841$$

$$Y = .041841 \times 240 = 10.042$$

$$\frac{1}{2}\Delta = 14^{\circ}8'$$

		對數
式 24		R 2.98017
	Y 10.042 vers 7°12'	7.89682
	<u>7.533</u>	<u>0.87699</u>
	'A'N 2.509	0.39950
		cos $\frac{1}{2}\Delta$ <u>9.98665</u>
	$m = MM' = AA' = 2.587$	0.41285
式 27		R 2.98017
		exsec $\frac{1}{2}\Delta$ <u>8.49436</u>
	VM - 29.821	1.47453
	<u>m = 2.587</u>	
	VM' = 32.408	
式 26	nat. tan $\frac{1}{2}\Delta = 0.25180$	
	nat. sin $\phi = \underline{0.12533}$	
	0.12647	9.10198
	x = 239.623	R <u>2.98017</u>
	120.825	<u>2.08215</u>
	見前	'A'N 0.39950

	$\tan\frac{1}{2}\Delta$ 9.40106
<u>0.632</u>	<u>AN</u> 9.80056
$VQ = 361.080$	R 2.98017
式 28	$\tan\frac{1}{2}\Delta$ 9.40106
<u>240.564</u>	<u>AV</u> 2.38123
$AQ = 120.516$	

40. 舊軌道間線線之插入 工程師常須於從前未設螺線之軌道內插入螺線。由數學的見地言，最簡單之方法，即係前數節所述者。但若用此項方法，則曲線上全部軌道，必須拆換。又自圖 25，可見新軌道 $QZZ'Q'$ 比舊軌道 $QAMBQ'$ 為短，故拆換時必欲將舊軌條割斷並另行鑽洞。下述之法，祇將中部之圓周曲線稍稍改銳，其中央部分略移至舊軌道之外，但更動不多，故新舊軌道之長度相差無多。此法詳見圖 26。

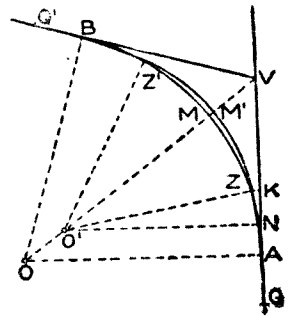


圖 26

$$O'N = R' \cos \phi + y \quad (\text{此在圖 25 更爲明顯})$$

$$O'V = O'N \sec \frac{1}{2}\Delta = R' \cos \phi \sec \frac{1}{2}\Delta + y \sec \frac{1}{2}\Delta$$

$$m = MM' = MV - M'V$$

$$= R \sec \frac{1}{2}\Delta - R' \cos \phi \sec \frac{1}{2}\Delta - y \sec \frac{1}{2}\Delta + R' \quad \dots (29)$$

$$AQ = QK - KN + NV - VA$$

$$= x - R' \sin \phi + (R' \cos \phi + y) \tan \frac{1}{2}\Delta - R \tan \frac{1}{2}\Delta$$

$$= x - R' \sin \phi + R' \cos \phi \tan \frac{1}{2}\Delta - (R - y) \tan \frac{1}{2}\Delta \quad \dots (30)$$

舊軌道之長度由 Q 至 Q' 爲 $2AQ + 100 \cdot \frac{\Delta}{D}$

新軌道之長度由 Q 至 Q' 爲 $2L + 100 \frac{\Delta - 2\phi}{D'} \dots \dots \dots (31)$

式中 L 爲每一螺線之長度。

41. 例題 設有業已設定之軌道爲 6° 曲線，中心角爲 $39^\circ 50'$ ，今欲插入適當螺線而勿將舊軌道之長度改變。

〔解法〕 解此問題時，不幸並無方法可以直接求得改正之半徑，此新半徑通常較諸舊半徑約短 5%。中心角愈大，則其差數愈小，故僅有之方法係假定 R' 之值，分解式 30，然後比較新舊軌道之長度。如此項差數並不甚鉅，則問題即爲解決。否則，將新半徑略改，再行嘗試，即可得一最近似之數值。今於首次試算時，假定新曲線爲 $6^\circ 20'$ ，螺線之長爲 240 呎。其中心角爲 $\phi = 7^\circ 36'$ 。 $x = 239.580$ ， $y = 10.60$ 。

		對數
$x = 239.580$	$R' (6^\circ 20')$	2.95671
	$\sin 7^\circ 36'$	9.12141
119.709		2.07812
	R'	2.95671
	$\cos 7^\circ 36'$	9.99617
	$\tan \frac{1}{2} \Delta$	9.55909
325.069		2.51197
	$R = 955.37$	
	$y = 10.60$	

	944.77	2.97532
	$\tan\frac{1}{2}\Delta$	<u>9.55909</u>
	342.310	2.53442
564.649	462.019	
462.019		

$$AQ = 102.630$$

自 Q 至 Q' 舊曲線之長度爲

$$100 \frac{\Delta}{D} = 100 \frac{39.83333}{6} = 663.889$$

$$2AQ = 2 \times 102.630 = 205.260$$

$$\underline{\underline{869.149}}$$

自 Q 至 Q' 新曲線之長度爲

$$100 \frac{\Delta - 2\phi}{D'} = 100 \frac{39.8333^\circ - 15.2^\circ}{6.333^\circ} = 388.947$$

$$2L = 2 \times 240 = 480.000$$

$$\underline{\underline{868.947}}$$

$$\text{差數} = 869.149 - 868.947 = 0.202$$

今曲線全長 869 呎，共有接縫 27 個，每一接縫伸長 .0075 呎，即可彌補上項差數，而無須將軌條截割矣。

爲說明二次試算法計，假定尙須更精密之 R' ，所應注意者，前次算出之新曲線略似短小。若 R' 稍縮（假定 $D' = 6^\circ 20'$ 改爲 $6^\circ 24'$ ），則式 30 中一項須加增，而另一項須減小，而 AQ 之值共計減少 3.403，而舊軌道之長隨以減少 6.806。新線之長減少 6.552。

修正之舊線長度爲

862.343

修正之新線長度爲	<u>862.395</u>
修正之差數爲	0.052

此時之新線已較舊線爲長，但差數甚微，每接縫約派一吋之四十分一。由中介法知 $D' = 6^\circ 23'$ 爲更佳之值。

此外尙有一插入螺線法，則併曲線中段之位置亦可不動。此法係用一螺線接連較原曲線尖銳之曲線，再用複曲線以與原曲線相連。此法之詳解從略，因其訂設時之工作雖屬較省，但所成曲線較爲複雜不易養護。且此法亦不如前法之優。

茲計算前例中曲線頂點移動之距離。

設以 $D' = 6^\circ 20'$ 計，

		對數
式 29	$R(6^\circ)$	2.98017
	$\text{exsec}\frac{1}{2}\Delta$	<u>8.80356</u>
	60.776	<u>1.78373</u>
	$R' = 905.13$	
	<u>965.906</u>	R' 2.95671
		$\cos\phi$ 9.99617
		$\text{sec}\frac{1}{2}\Delta$ <u>0.02678</u>
	954.255	<u>2.97966</u>
		$\log x =$ 1.02530
		$\text{sec}\frac{1}{2}\Delta =$ <u>0.02678</u>
	<u>11.274</u>	<u>1.05209</u>
	965.529	965.529

$m = 0.377$ 呎。

由此可見軌道之旁向移動不足五吋。

在若干無意採用螺線之鐵路，其軌道工目每能用一種粗陋方法，將靠近起點之曲線略向內移，以產生同樣之結果。更向前進之曲線自必更形尖銳，雖無計算與理論的精密度，而亦具前節所述之意義。不用螺線而欲得行車稍穩之軌道，實非此不可耳。

42. 插入緩和曲線於複曲線 上文曾述插入螺線後軌道旁移之量甚微。因複曲線大都用在定線困難之處，故作計算之時，宜視為並未採用螺線，而祇預留所需旁移地步。然後依照次法作變更計算。以理論言，介於複曲線之兩股曲線間，須有緩和曲線一段，但實際上列車業已行至曲線之上，其輪緣業已緊壓外軌，則稍增曲度時並不發生震動，故此種螺線之插入略而不論。比較 3° 或甚至 4° 更緩之曲線亦無插入螺線之需要，是以複曲線之一股，如曲度甚為平緩，(平常均如此)則此股曲線之起點處可以無需乎螺線。本問題可分為二種情形，其一祇於曲線之一端插入螺線，其二則於兩端同時插入螺線。

(a) 一端插入螺線 38節所述方法可以採用於此。惟將式 24 至 28 之 $\frac{1}{2}\Delta$ 代以 Δ_1 。如是 P.C.C. 點當自 M 點移至 M' 點。但因兩曲線必須使之相符合，故較尖銳之曲線，須隨切線 BV 平行推移

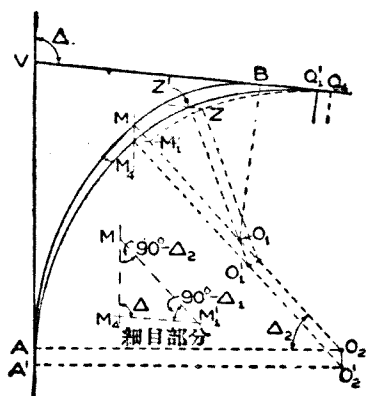


圖 27

MM' 距離，而未變更之曲線則與切線 AV 平均推移 MM_4 距離。命

$MM' = m_1$, 則自圖 27, 可得

$$\begin{aligned} M_1'M_4 &= MM_1 \frac{\sin M_1'MM_4}{\sin M_1'M_4M} = m_1 \frac{\sin(90^\circ - \Delta_2)}{\sin \Delta} \\ &= m_1 \frac{\cos \Delta_2}{\sin \Delta} \end{aligned} \quad (32)$$

$$MM_4 = m_1 \frac{\cos \Delta_1}{\sin \Delta} \quad (33)$$

此處應注意者, 新曲線起點係在 A' 點, $AA' = MM_4$; 曲線終點自 B 改至 Q_1' , 而等於 $BQ_1 - QQ'$ 。 BQ_1 可自式 28 求得, $Q_1Q_1' = M_1'M_4$, 可自式 32 求得。

(b) 曲線兩端插入螺線法 於每端採用 38 節之方法, 依次將

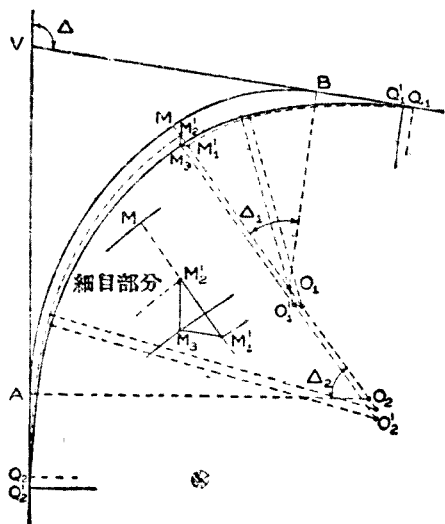


圖 28

$\Delta_1 \Delta_2$ 代入 $\frac{1}{2}\Delta$, 可得 m_1 與 m_2 之值, 此二值通常相差甚鉅。但吾人可將修改後之曲線, 如圖 28 所繪, 逐一移動, 而按式 34 與 35 計算之。

命 $MM_1' = m_1, MM_2' = m_2$, 並注意 M_1' 點之角度 = $90^\circ - \Delta_1$, M_2' 點之角度 = $90^\circ - \Delta_2$, M_3 點之角度 = Δ , 則得:

$$M_1'M_3 = M_1'M_2 \frac{\sin(90^\circ - \Delta_2)}{\sin \Delta} = (m_1 - m_2) \frac{\cos \Delta_2}{\sin \Delta} \quad (34)$$

$$M_2'M_3 = M_1'M_2 \frac{\sin(90^\circ - \Delta_1)}{\sin \Delta} = (m_1 - m_2) \frac{\cos \Delta_1}{\sin \Delta} \quad (35)$$

如前例相同，每一螺線之各點均可用上值代入式 28 以計算之。螺線之一移向頂點，另一螺線則離開頂點而移動。

43. 例題 設有中心角 $29^{\circ}40'$ 之 $7^{\circ}20'$ 曲線，與一中心角 $25^{\circ}20'$ 之 $4^{\circ}10'$ 曲線，組成複曲線。求每端插入適當的螺線。

將以上諸值代入式 24，則得 $m_1=5.506$ ，與 $m_2=1.930$ ，
 $m_1-m_2=3.576$ 。代入式 34 與 35，則得 $M_1M_3=3.946$ ，
 $M_2'M_3=3.793$ 。利用式 28 命 $\frac{1}{2}\Delta=25^{\circ}20'$ ，算得 $AQ_2=120.769$ ，
 此數應加增 $M_2'M_3=3.793$ ，得 $AQ_2'=124.562$ 。同法命 $\frac{1}{2}\Delta=29^{\circ}40'$ ，得 $BQ_1=152.444$ 。此數應減去 $M_1'M_3=3.946$ ，得 $BQ_1'=148.498$ 。原有 M 點移動距離為 $MM_2'+M_2'M_3\sin\Delta_2=1.930+1.623=3.553$ 。以上演算法應由學者體驗之。

44. 測設法 鐵路定線時，無須將螺線各弦點逐一測設，此時土方工程尙未開始，故祇須將螺線開始與終止點設定，已屬合式。如螺線甚長，則添設一中間點。開始鋪軌工作以前，當重施測量，斯時路基業已築就鋪平，極易加設其餘各點。如圖 25，首先測設 Q 點（或 TS 點），可由 V 點量出 VQ 長度以定之。假設圖 25 之曲線為 6° 曲線，中心角 $\Delta=32^{\circ}$ ，每端螺線各長 240 呎。在初次定線時祇須將螺線終點 Z 或 SC 設定。置經緯儀於 TS 點，由切線方向量一折角至 SC 點，其角度為 $\frac{1}{3}\phi=\frac{1}{3}\left(\frac{DL}{200}\right)=\frac{1}{3}\left(\frac{6\times 240}{200}\right)=2.4^{\circ}=2^{\circ}24'$ 。 x 坐標（即圖 25 之 QK ）為 239.623，而自切線量至螺線之縱坐標 $KZ=y=10.042$ ，此點之全部中心角為 $\phi=7^{\circ}24'$ 。自 Z 至 Z 點所餘之中心角為 $32^{\circ}-(2\times 7^{\circ}24')=17^{\circ}12'$ 。將經緯儀設在 Z 點，自 Z 點切線至 Q 點之折角為 $B=\frac{2}{3}\phi=4^{\circ}48'$ 。將此折角度設立於

經緯儀之分度盤上，回視 Q 點，則分度盤 0° 方向即為該點之切線方向。其餘各點均可準此測設。再將儀器設在 Z' 點，可定 Q' 或 ST 點。自 Z' 至切線 VQ' 之距離，與前相同為 10.042。

將儀器置於 Q 點，按每一弦長為 24 呎設定中間各點，其折角為表中 TS 項下係數與 $a_1(6 \times .24 = 1.44 \text{ 分})$ 之乘積。若 ZZ' 圓周曲線業已測設，而儀器置在 Z' 。以切線方向為 0° ，則觀測第九點之折角為 $29 \times 1.44 = 41.76'$ ，至第八點為 $56 \times 1.44 = 80.64' = 1^\circ 20.64'$ 。第七第六等點可以同法測設。 Q 點之折角應為 $200 \times 1.44' = 288' = 4^\circ 48'$ 。此時儀器應置在 Q' 點，向 Z' 後視，其角度為 $2^\circ 24'$ 。若頂點 V 業已設定，而測設工作甚為精密，則其角度應為 0° 。螺線上其餘各點均可由 TS 下各係數決定。

又事實上如需將經緯儀置於第三點，則應用表中第三行之係數以測定各點。

上舉之例中，折角常為分之小數，為普通經緯儀所無法讀出。普通經緯儀祇可讀至一分，故測設時應用游標估定小數，竭力使所定點臻於精確。

第九章 垂直曲線

45. 採用之理由 鐵路垂直面上坡度之變化，雖不如平面上改換方向之鉅，但兩種不同坡度之間亦有用曲線連接之必要。此種曲線名爲垂直曲線。垂直曲線之曲率與平面曲線相同，並無絕對決定之方法。當兩坡度相遇於一隆起點，可用一較短之曲線，但如經過懸曲，爲行車安全計，則須應用一較長之曲線。普通鐵路均不問坡度若干，每規定曲線頂點兩側應有之曲線長度，通常爲 200 呎。但爲更合於理論計，此項長度應隨坡度之變化而異。故有一普通規律定之，即每千分之一之坡度變化，應使此曲綫具 100 呎之長度。例如 1% 坡度下降後，隨以 1.2% 坡度之上升，則坡度變化爲 2.2%，即 22%。依照此規律，應有 2,200 呎之垂直曲線。但此處算出之長度未免過長，而舉例中之坡度變化亦非尋常高速鐵路所多遵。在速

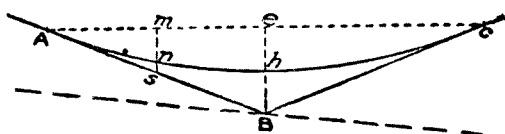


圖 29

度較低之鐵路，曲線長度當可銳減。

46. 垂直曲線之形式 垂直曲線之測設法，可觀圖 29，爲明顯計，坡度均格外放大。

頂點爲 B ，曲線之開始與終止爲在 B 之兩側等距離之 A 與 C 點。聯 AC 線，中分於 e 點。聯 Be 線，中分於 h 點。按幾何定理，吾

人可作拋物線經過 h 點，並正切 AB, BC 線於 A 與 C 點。又吾人知拋物線上任何點至切線之距離 sn 與 A 點距離之平方成正比。

以代數式表示之，得

$$sn = eh \frac{(Am)^2}{(Ae)^2} \dots\dots\dots(36)$$

但因 eh 爲一常數。 $(Ae)^2$ 亦係常數，故可謂爲垂直曲線上任何點至切線之距離爲一常數乘該點至曲線起點距離之平方。

47. 例題 假設坡度相遇點 B 之測站爲 $15+40$ ； AB 坡度爲 -0.6% ， BC 坡度爲 $+0.8\%$ 。則按上節之規律，垂直曲線應長 1400 呎。即起自測站 $8+40$ ，止於 $22+40$ 。假定 B 點之高度爲 152.50 ；則 A 點之高度應爲 $152.50 + (7 \times 0.6) = 156.7$ 。同理 C 點之高度爲 158.1 。 e 點之高度爲 A, C 兩點高度之平均數，故爲 157.4 。 Be 乃等於 4.9 ， $eh = 2.45$ 。 $eh \div (Ae)^2 = 2.45 \div 490000 = .000005$ ，此即所求之常數。曲線上各點之高度，均可以此常數乘以與 A 點之距離平方而得之。

A 點

8+40,	高度 = $152.50 + (7 \times 0.6)$	= 156.70
9	= $156.70 - (0.6 \times 0.6) + .000005 \times 60^2$	= 156.36
10	= $156.70 - (1.6 \times 0.6) + .000005 \times 160^2$	= 155.87
11	= $156.70 - (2.6 \times 0.6) + .000005 \times 260^2$	= 155.48
12	= $156.70 - (3.6 \times 0.6) + .000005 \times 360^2$	= 155.19
13	= $156.70 - (4.6 \times 0.6) + .000005 \times 460^2$	= 155.00
14	= $156.70 - (5.6 \times 0.6) + .000005 \times 560^2$	= 154.91
15	= $156.70 - (6.6 \times 0.6) + .000005 \times 660^2$	= 154.92

B 點

$$15+40, \text{ 高度} = 152.50 + 2.45 = 154.95$$

$$16 = 158.10 - (6.4 \times 0.8) + .000005 \times 640^2 = 155.03$$

$$17 = 158.10 - (5.4 \times 0.8) + .000005 \times 540^2 = 155.24$$

$$18 = 158.10 - (4.4 \times 0.8) + .000005 \times 440^2 = 155.55$$

$$19 = 158.10 - (3.4 \times 0.8) + .000005 \times 340^2 = 155.96$$

$$20 = 158.10 - (2.4 \times 0.8) + .000005 \times 240^2 = 156.47$$

$$21 = 158.10 - (1.4 \times 0.8) + .000005 \times 140^2 = 157.08$$

$$22 = 158.10 - (0.4 \times 0.8) + .000005 \times 40^2 = 157.89$$

C 點

$$22+40, \text{ 高度} = 152.50 + (7 \times 0.8) = 158.10$$

按拋物線原理，在 AB 之 $\frac{1}{4}$ 點，曲線之高度為 $\frac{1}{16} eh$ ；

$\frac{3}{4}$ 點為 $\frac{9}{16} eh$ ； $\frac{1}{2}$ 點為 $\frac{9}{16} eh$ 。應用此理，亦可測設垂直曲線。

第十章 土 工

48. 側坡與橫截面 路基之建築，不外將路綫經過之地挖深或填高之。路基兩側須有斜坡俾土壤不致傾墜。側坡之大小，以平距與立距之比率表示之，爲簡便計，立距常定爲 1。側坡之比率隨當地土質而異。路基如由堅韌之岩石所挖成，側坡可爲垂直面，如石質開挖後經過風化而有碎落之虞，則坡度可爲 $\frac{1}{4}$:1。土質種類甚多，故挖成之路基側坡不一，自極平之比率至 1:1 不等。

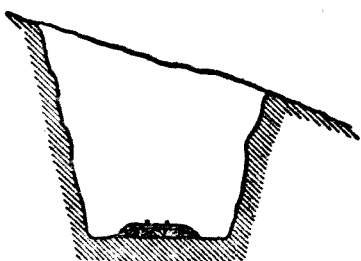


圖 30

亦有初開挖時，雖側坡甚陡亦可安定，但一遇暴雨，卽有傾墜之虞。在施行土工時，一次完成適當之側坡，反較日後修繕爲廉省。開挖時如遇溜砂則坡度須甚平坦，曾有作成 4:1 坡度方見穩定者。填方之側坡亦視土質而異。如係炸碎之岩石所填者則可用 1:1 坡，位於山

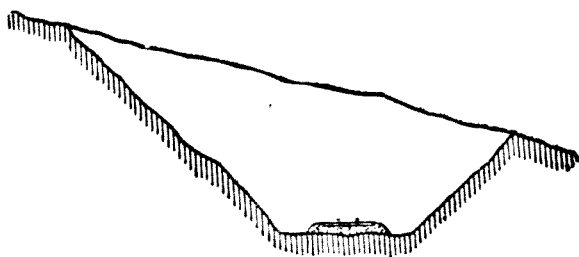


圖 31

側之路基，可以塊石堆砌成垣以省土工。路基以土壤築成者，通常為1.5:1坡度，但特別柔軟之土不在此例。土質過劣者寧棄而不用，而另運佳土代替之。次述路基截面之數例。

49. 路基寬度 誤解經濟者，每將路基之寬度極度緊縮，以致挖基兩旁無可容水溝之餘地，殊不知排水不良之軌道極易朽毀，所失非小也。過狹之填基則因風雨之剝蝕，足以危及軌道之安全 將美國主要標準鐵路之路基寬度比較研究以後，知單軌鐵路挖基寬度

圖 32



圖 33

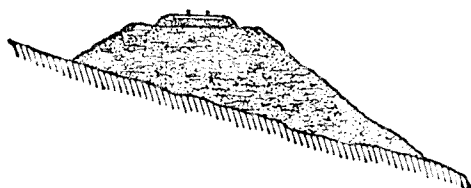


圖 34

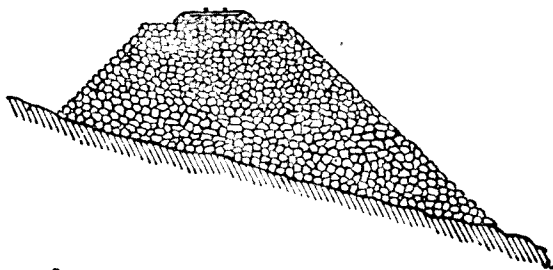
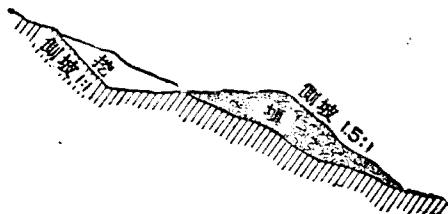


圖 35



平均爲 25 呎，此可於兩側尚有餘地四五呎以爲設置水溝之用。雙軌鐵路之路基應再增 13 呎，蓋兩軌道中線之距離通常爲 13 呎也。平均單軌填基寬度爲 17 呎強，16 呎似爲路基寬度之最低限度。

50. 建築要旨 某著名工程家嘗云，水溝之重要在道碴之上。蓋路基缺乏優良排水溝者，雖用最良之道碴，亦極易毀損；反之建築費省儉之鐵路，如略增水溝之費，即足與良好之道碴相抵。水溝之底應較軌枕之底低落一二呎。溝之側坡除岩石所成外，不應小於 1:1。溝底寬度應自一呎至二呎，有將溝底造成 V 字形者，流水不暢，並易淤塞，殊不可取。路基面（路基之上面名爲路基面），通常爲一水平面，但以造成中央隆起六吋，分向兩側傾斜者比較爲優。鋪用道碴之前應用滾筒將路基面滾壓平實，美國紐約中央鐵路即如此規定也。路基面壓實以後，則自道碴滲入之水量，極易流入水溝而不致浸入路基之下。路基開挖之始，宜將地面腐殖之土，置於近旁，而勿拋棄，庶路基告成後即用以鋪貼於填挖之側坡上。如是則閱時未久，路基側坡即叢生綠草可以減少雨水之淋洗。如腐殖土不易獲得，則亦宜種植細草，所費無多而養路費用可因以節省不少也。

51. 土工測量 鐵路路綫內所挖之土，寬窄多寡至不一律，舉行土工測量者，其目的有二：一以訂出挖土之限界及堆土之地點，二以計算土工之數量。土方之計算，係假定所求土積爲某種幾何形體而加以計算。此種假定，按所需結果之精粗而異。通常每 100 呎測量橫截面一個，若地形極不整齊者，則橫截面應較密。此種截面之各邊爲路基之側坡，路基面暨原有之地面。除路基面及側坡爲平面外，其原有地面雖亦假定爲平面而實則殊不整齊。計算土方之際，

每以兩截面間之土積視作幾何形體，但脫離事實頗遠。是以土方計算之精密度不可祇從運算方面着想。

52. 坡概之位置 在側坡與地面交點所設之概，謂之坡概。坡概之位置，隨路基之高度，及挖填之深度而異。自圖 36，可見

$$\begin{aligned} x_l &= \frac{1}{2}b + s(d + y_l) \\ x_r &= \frac{1}{2}b + s(d - y_r) \end{aligned} \quad (37)$$

在此式內 s 為側坡之比率。

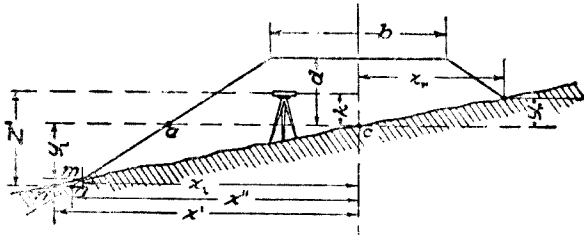


圖 36

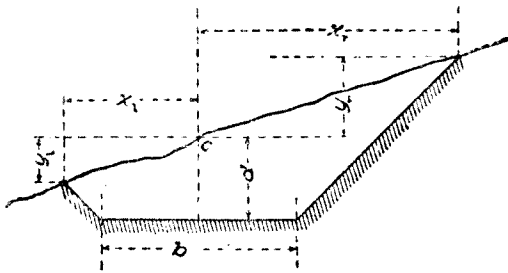


圖 37

同樣由圖 37，得

$$\begin{aligned} x_l &= \frac{1}{2}b + s(d - y_l) \\ x_r &= \frac{1}{2}b + s(d + y_r) \end{aligned} \quad (38)$$

在式 37 與 38 中， x 與 y 均為未知值，故不能用數字方法求解，而

須應用嘗試法爲之經驗豐富者祇須嘗試一次，至多爲二次。嘗試時吾人應知 a 點之平距爲 $ac = \frac{1}{2}b + sd$ 。若 m 點較 a 點爲低，則 m 點必在 a 點之外。 m 點與 a 點之平距，即高度差數與側坡比率之相乘積。假設圖 36 中， $d = 7.7$ ， $b = 20$ ， $s = 1.5:1$ ，則 $ac = 10 + (1.5 \times 7.7) = 21.55$ 。但自經驗上估計， m 點約比 a 點低 8 呎，則 m 點必在 a 點以外 $8 \times 1.5 = 12$ 呎之處。今以測尺置在 n' 點，與 c 點之平距爲 34 呎（按 $21.55 + 12 = 33.55$ 故置在 34 呎處），測得 $z' = 10.6$ 呎。儀器較 c 點之高度低 3.5 呎，則 $y_1 = 7.1$ 呎，將 y_1 值代入式 37，則得 $x_1 = 32.2$ 呎。乃將測尺置在平距 c 點 32.2 呎處之 n 點，嘗試結果，則知 $x'' = 32.2$ 呎，猶爲過鉅。再將測尺移至 30.2 呎處，測尺讀知 9.3 呎即 $y = 9.3 - 3.5 = 5.8$ 呎，代入式 37，則得 $x = 30.25$ 呎，此與假設之平距已甚接近，坡概即可設立於此。在地面起伏不一之地，坡概無須精密設定，雖相差十分之一呎亦無不可，上之所述不過舉例以說明測設法而已。

在圖 36 與 37 中之地面比較甚爲整齊。惟測設坡概並不受地面情形之影響。圖 42 爲較複雜之截面，測量時須將起伏各點一律測定。此可將水準儀置在較高之地，而觀讀路綫中點之高度。將測尺所讀之數，與開挖深度 d 相加，即得儀器之高度，將此高度減去測尺在其餘各點之讀數，即得各點高出路基面之數。測量填基時之原理亦與此相同，如將圖 42 倒置即爲此時之情形。

53. 普通計算土方方法 初測時亦有須將土方略爲估算，以定工費概數者。估算之法，係將各橫截面簡略測定，求出其面積，將相鄰兩截面之平均面積，乘以兩截面間之距離，即得土之體積。此

法在數理上雖非精確，但已足供實用。次之所述為較精確之方法。

54. 水平面之截面 自圖 38 可得次式

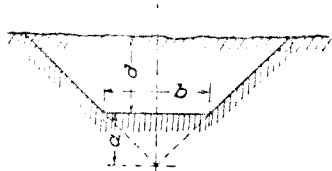


圖 38

$$\text{面積} = (a+d)^2 s - \frac{ab}{2} \quad \text{---(39)}$$

如 A_0 為第一截面之面積， $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 依次為其餘各截面之面積，各截面之間距一律為 l 。

$$\text{則 體積} = \frac{1}{2} l [A_0 + 2(A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}) + A_n] \quad \text{---(40)}$$

之值通常為 100 呎。每截面之 $\frac{ab}{2}$ 為常數，名為側坡稜體，故可於計算之末一次減去之。

〔例題〕 如次表所示各截面之中點高度，路基寬 20 呎；側坡比率為 1.5:1， $a=6.7$ ，其計算如次：

測站	中點高	a+d	(a+d) ²	(a+d) ² s	
42	1.4	8.1	65.61	98.41	} × 2 = {
43	2.6	9.3	86.49	129.73	
44	4.3	11.0	121.00	181.50	
45	8.9	15.6	243.36	365.04	
46	3.1	9.8	96.04	144.06	

共 1595.01

$$\frac{ab}{2} = \frac{6.7 \times 20}{2} = 67 \quad 8 \times 67 = \frac{536.00}{1059.01}$$

$$\frac{1059 \times 100}{2 \times 27} = 1961 \text{ 立方碼。}$$

上法所得之結果恆較大，因兩水平截面間之體積，實比間距乘平均面積為小也。兩端面積如相等，則誤差為零。此誤差乃與挖

填深度之平方成比例也。又因水平地面之假定，亦常違事實，故所引起之誤差，每遠較理論的誤差為巨。為比較兩路線之土方計，常有自縱截面圖求得各截面之填挖深度，而用算表以求其體積，此種方法之誤差自必甚巨。

55. 替代截面 若橫截面極不規則，而不欲應用精密方法以求土方者，可用此法。將各截面繪於方格紙上，如圖 39，取細線一段上下移動，使線上下

所割之面積略相等。乃量取 x_l 與 x_r 之長度，此處地面坡度

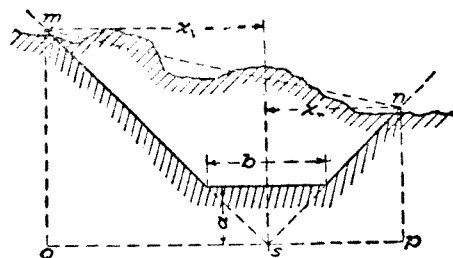


圖 39

$$s = x_l \div m o = x_r \div n p$$

故所需之面積等於

$m n o p$ 面積，減去三角

形 $m s o$, $n p s$, 及 $\frac{1}{2} a b$, 換言之，所求之面積為：

$$\begin{aligned} \text{面積} &= \frac{1}{2} \left(\frac{x_l + x_r}{s} \right) (x_l + x_r) - \frac{x_l}{s} \frac{x_l}{2} - \frac{x_r}{s} \frac{x_r}{2} - \frac{ab}{2} \\ &= \frac{x_l x_r}{s} - \frac{ab}{2} \end{aligned} \quad (41)$$

此法甚為簡易，如 $s = 1:1$ ，則面積 $= x_l x_r - \frac{ab}{2}$ 。各截面之面積求得後，則用式 40 以求土方。求得之土方自亦含有誤差，但各截面之 x_l 或 x_r 相差愈近則誤差必愈小。此法為一簡捷之略算法，誤差恆為負數，即算得之土方較實際土方為鉅。

56. 稜柱體之體積 圖 40 為一稜柱體之透視形，兩端為互相

平行之兩三角形，將三角形同位各邊聯接成面，則恆係翹曲面。稜柱體之體積，等於兩端平面之垂直距離乘以六分之一兩端三角形之面積暨中間三角形面積之四倍之和，用代數式表示之：

$$\text{體積} = \frac{\text{距離}}{6} (A_1 + 4A_m + A_2) \dots\dots\dots (42)$$

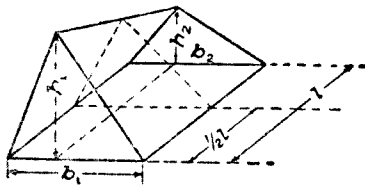


圖 40

若一端之三角形之高度縮小成爲一直線，則此稜柱體變成劈形，又如一端之三角形縮小成爲一點，則此稜柱體變成角錐體。式 42 對於劈形與角錐體亦同樣適用。

在式 42 中， A_m 爲中間截面之面積，並非 A_1 與 A_2 兩面積之平均。但中間截面之面積，通常不易求得，故計算時恆用 A_1 與 A_2 之平均爲 A_m ，另於計算之結果，加一改正數以期精確。如圖 40，應用式 42 則得

$$\text{體積} = \frac{l}{6} \left[\frac{1}{2} b_1 h_1 + 4 \left(\frac{1}{2} \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \right) + \frac{1}{2} b_2 h_2 \right]$$

如用簡略方法則

$$\text{體積略數} = \frac{l}{2} \left(\frac{1}{2} b_1 h_1 + \frac{1}{2} b_2 h_2 \right)$$

兩數相減得改正數如下：

$$\text{改正數} = \frac{l}{12} [(b_1 - b_2)(h_2 - h_1)] \dots\dots\dots (43)$$

57. 三級截面 如地面無甚凹凸，則中點與兩坡概高度雖各

不同，但可視為在一直線之上。此種截面稱為三級截面，每一截面之面積為 $\frac{1}{2}(a+d)w - \frac{1}{2}ab$ 。若有相接兩截面，而用簡略方法計算其體積，則得

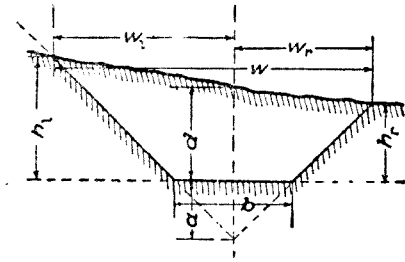


圖 41

$$\text{體積} = \frac{l}{4} [(a+d')w' - ab + (a+d'')w'' - ab]$$

除以 27，並將 $l=100$ 代入，則得單位為立方碼之體積如下式：

$$\begin{aligned} \text{體積} &= \frac{25}{27} (a+d')w' - \frac{25}{27} ab + \frac{25}{27} (a+d'')w'' \\ &\quad - \frac{25}{27} ab \dots\dots\dots(44) \end{aligned}$$

如欲期計算格外精密，則應加以稜柱體改正數。此處可視作二個稜柱體，一個處於中線之左，另一個則處於中線之右。路基以下之稜柱體平均面積，與中央截面積相等，故無須改正，則按圖 41，左邊改正數為

$$\begin{aligned} \text{稜柱體改正數} &= \frac{l}{12} [(a+d') - (a+d'')](w_l'' - w_l') \\ &= \frac{l}{12} (d' - d'')(w_l'' - w_l') \end{aligned}$$

又由其右邊着想，則得

$$\text{稜柱體改正數} = \frac{l}{12} (d' - d'') (w_r'' - w_r')$$

兩稜柱體相加，得

$$\begin{aligned} \text{稜柱體改正數} &= \frac{l}{12} (d' - d'') [(w_i'' + w_r'') - (w_i' + w_r')] \\ &= \frac{l}{12} (d' - d'') (w'' - w') \end{aligned}$$

命 $l=100$ ，除以 27，使單位為立方碼，則得

$$\text{稜柱體改正數} = \frac{25}{81} (d' - d'') (w'' - w') \dots\dots\dots (45)$$

由式 45，可見如兩截面之中心挖填數或寬度相等，則改正數為 0，如相差甚近，則改正數甚微。故就此種關係可以決定改正數之應否算出。通常如 $d' > d''$ ，則 $w' > w''$ ，此可見改正數通常均為負數。換言之，未經改正之結果，每比確數為巨。

計算土方時，應將佈置方法，列成表式，以節省時間而免錯誤，下節所述，即其一例。

58. 算例 路基寬度 24' (挖基)，坡度 1.5:1，

$$a = \frac{b}{2s} = \frac{24}{3} = 8.0 \qquad \frac{25}{27} ab = 178$$

在次表中第三行， $\frac{9.6C}{26.4}$ 意即測站 52 之左側坡概，高出路基 9.6 呎；距離中心概 26.4 呎，C 代表挖基。如係填基，則用 F 字。第五行係將 $a (= 8.0)$ 加於第二行，第六行 W 為同列左右兩距離之和；第七行之 $413 = \frac{25}{27} \times 11.1 \times 40.2$ ，餘仍此。式 44 之解法為

$$\text{體積} = 413 - 178 + 645 - 178 = 702$$

$$\text{同樣} \quad \frac{65}{100}(1018 - 178 + 1488 - 178) = 1397$$

$$\frac{35}{100}(1488 - 178 + 793 - 178) = 674$$

因得第七行後半節之數字，第八九十行之算法

$$-3.6 = 3.1 - 6.7; \quad +7.2 = 47.4 - 40.2;$$

$$-8 = \frac{25}{81}(-3.6) \times (+7.2);$$

此例之稜體改正數約為 1%。如截面測量不甚精密，則誤差恆較此數為鉅，故土方之精密率全操於測量者之手，非計算者所能為力也。

測站	中心	左側	右側	a + d	w	立方碼	d' - d''	w'' - w'	稜柱體改正數
52	3.1C	<u>9.6C</u> 26.4	<u>1.2C</u> 13.8	11.1	40.2	413			
53	6.7C	<u>11.4C</u> 29.1	<u>4.2C</u> 18.3	14.7	47.4	645 702	-3.6	+ 7.2	- 8
54	10.6C	<u>15.6C</u> 35.4	<u>1.8C</u> 23.7	18.6	59.1	1018 1307	-3.9	+ 11.7	- 14
+65	15.5C	<u>19.0C</u> 40.5	<u>10.6C</u> 27.9	23.5	68.4	1488 1397	-4.9	+ 9.3	- 9
55	8.7C	<u>12.4C</u> 30.6	<u>5.8C</u> 20.7	16.7	51.3	793 674	+ 6.8	- 17.1	- 13

土方略數 4080

-44

稜柱體改正數 -44

土方確數 4036

59. 乘積之計算 乘積 $\frac{25}{27}ab$ 可寫作 $\frac{ab}{1.08}$ ，實即 $a \times b$ 與

常數之積。故有將任意高寬度代入，作成算表者，克朗達爾土方表

即根據此意而作。如 a, b 兩數之數字，並不過多，則利用計算尺亦甚便利。1.08 之數既為一常數，可於計算尺上專刻一劃以便應用。其用法說明如下：如上例之第一列將計算尺之分劃 108 對準下分劃之 111，則上分劃 402 所對之下分劃為 413。小數點之位置，可按計算尺用法決定之。因分母為 1.08，較 1 所餘無多，故乘積之小數位置實視分子而定。此例之分子約為 11×40 之積，應有整數三位，故結果應為 413 而非 4130 或 41.3 也。乘積 $\frac{25}{81}xy$ ，亦可同樣算得，因

$\frac{25}{81} = \frac{1}{3.24}$ ，故應用計算尺之方法相同，僅以 1.08 改為 3.24 而已。

例如 $\frac{(-3.6) \times (+7.2)}{3.24} = -8$ ，其小數點可視察而定，因式中 3.6 與 3.24 幾相等，故乘積為一位整數，而非 0.8 或 80 也。若學者並無土方表或計算尺，則可先將變數乘出列成一表，然後依次以 1.08 除之，亦可因熟生巧，但不若計算尺之便捷耳。

60. 不整截面 如圖 42，地面線極不整齊，如欲求其面積，則

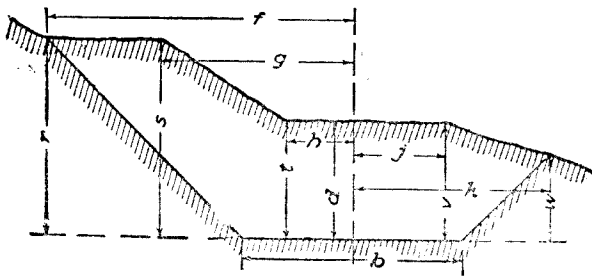


圖 42

應就地面線每一折斷處量得路基以上之高度，然後分劃為若干梯形，以求各面積之和。以圖 42 為例，則

$$\begin{aligned} \text{面積} = & \frac{1}{2}(r+s)(f-g) + \frac{1}{2}(s+t)(g-h) + \frac{1}{2}(t+d)h \\ & + \frac{1}{2}(d+v)j + \frac{1}{2}(v+w)(k-j) - \frac{1}{2}w(k-\frac{b}{2}) - \frac{1}{2}r(f-\frac{b}{2}), \end{aligned}$$

如將同類各項併合之，則得

$$\begin{aligned} \text{面積} = & \frac{1}{2}[ts + g(t-r) + h(d-s) + kv + j(d-w) \\ & + \frac{1}{2}b(r+w)] \dots\dots\dots(46) \end{aligned}$$

上式粗看之，雖似專對圖 42 之例而言，但一經細察，即可作成一普通規律應用於一般狀況。

『面積等於下列各乘積相加之半：

- (1) 每一坡樑至中點之距離，乘以坡樑內鄰點之高度；（以路基面為準）
- (2) 每一中間點至中點之距離，乘以此點之內鄰點高度減去外鄰點高度之差。
- (3) 路基寬度乘坡樑高度之平均數』

上項規律，不問中間點數目若干，均可應用，若中間點數目為零，則(2)(3)二乘積為零，祇(1)乘積存在，即坡樑至中點之距離乘以中點之高度，如為三級截面，則如圖 41，得

$$\text{面積} = w_l d + w_r d + \frac{1}{2}b(h_l + h_r) = wd + \frac{1}{2}b(h_l + h_r)$$

第 57 節之方法，較為容易，蓋兩項中之一項為一常數，58 節之例題中，此常數為 178 立方碼。如用本節方法，則兩項均屬變數。惟中間點在一個以上時，則宜用本節所舉之方法。倘若干截面均用此法計算，偶有一二截面並無中間點，則寧可全用此法，以期整一，中途改取別法，並不覺其省便也。

61. 稜柱體改正數 上節所述不整截面之土方計算法，在數

學原理上自屬無誤。但相鄰兩截面之地面線所聯成之翹曲面，是否與原地面相符合乃一問題。是以頗有疑及計算方面之精審為得不償失者。次之所述為一簡單易用之稜柱體改正方法，略備採用而已：將截面之地面，設想為三級平截面，而應用式 45。此處算得之面積，與另法算得者相差甚微，試舉例以明之：

62. 例題 將測量記載列表表示於 79 頁，測站係自下而上。應用此種記載法則，記載各點高度及中線距離之位置，略與測量進行

計 算 表 式

測站	寬度	高度	立方碼	中心高	總寬度	$d' - d''$	$w'' - w'$	稜柱體 改正略數
44	19.0	3.5	62	3.2	31.7			
	8.3	-2.8	- 22					
	12.7	3.2	38					
	10.	7.8	72					
45	28.5	12.7	335	9.2	50.2	-6.0	+ 18.5	- 34
	16.0	-5.5	- 81					
	6.4	-3.5	- 21					
	21.7	9.2	185					
	8.5	1.4	11					
	10.	20.1	186					
+42	40.3	15.7	585	13.6	64.7	-4.4	+ 14.5	- 20
	32.4	-5.8	- 174					
	16.8	-2.1	- 33					
	24.4	12.5	282					
	10.2	4.0	38					
	10.	29.8	276					
46	17.6	6.2	101	4.3	30.0	+9.3	- 34.7	-100
	8.5	-0.8	- 6					
	12.4	2.1	24					
	3.4	2.7	8					
	10.	6.7	62					
47	16.4	1.2	18	1.2	27.6	+3.1	- 2.4	- 2
	11.2	1.2	12					
	10.	5.0	46					

略計土方 = 2372

-156

稜柱體改正數 = -156

改正土方 = 2216立方碼

測站	中心點	左			右	
47	1.2 c	4.2 c 16.4			0.8 c 11.2	
46	4.3 c	5.1 c 17.6	6.2 c 8.5		2.1 c 3.4	1.6 c 12.4
+ 42	13.6 c	20.2 c 40.3	15.7 c 32.4	14.4 c 16.8	12.5 c 10.2	9.6 c 24.4
45	9.2 c	12.3 c 28.5	12.7 c 16.0	6.8 c 1.4	9.2 c 8.5	7.8 c 21.7
44	3.2 c	6.0 c 19.0	3.5 c 8.3			1.8 c 12.7

〔註〕 路基在挖土內寬 20 呎，側坡 1.5:1 c 字代表挖土

時所見地面之位置相當。

此例題所可注意者，厥為稜柱體改正之數量，所佔全土方之百分數甚大。如係角錐體，則改正數更鉅，須佔全土方 50%。上例係路線經過懸曲時之情形，故凡遇此種情形，改正數輒難從省。

63. 山坡工作 路線常有行經山坡，其路基一半係挖成，一半係填成者。若就縱截面圖而觀。則此處之路線絕少土方，實則山坡如甚險峻，則土工亦甚鉅也。60 節之規律雖可援用於此，但以直接按照截面情形計算為便。如截面成三角形者，則計算尤為簡單。當半填半挖之截面，與全挖或全填之截面相鄰接時，計算者必須確知其轉變點所在。此時之土方，可視作角錐體而計算之。凡山坡挖填開始

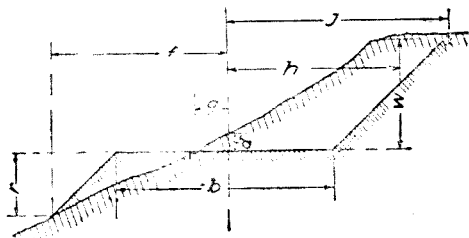


圖 43

點均有角錐體情形之存在，因稜柱體改正數甚鉅，故雖屬少數土方，亦不應忽視。61節之規律可援用於此。

64. 取土坑 凡遇填基所須之土甚多，而挖基出土無多不足抵充，或土質欠佳不堪採用，則須由取土坑取土以成之。取土坑之土量，應算出以便給價，如坑為矩形，則量其長寬深度即可計算。但事實上坑側土岸須有坡度，坑之形式亦常甚特殊。如圖44，為寬放挖

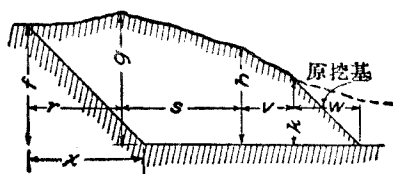


圖 44

基之一部分以作取土坑者。

凡遇此種情形，則須在取土坑內作截面數個以資計算。

如各截面底寬相等，則無須援用稜柱體改正數，若為角

錐狀，則改正數未可省免。

65. 曲線之改正數 凡以一個平面形，按形外一軸而旋轉，以成立體形，則其體積等於平面形之面積，與其重心在旋轉時所經路長之積。如重心點適在路中心，則重心所經之路長，即與路線長度相等。如各截面之重心對於中心線均有同一之偏心率，則可按上述方法計算其體積。事實上各截面重心之偏心率，與截面形均難一致，無法求得理論上之準確體積。次之規律較切實用：命偏心率為 e ，路中心之曲線半徑為 R ，截面積為 A ，則重心所經之路長，與中心所經之路長成 $R \pm e : R$ 之比例，即

$$\text{準確土方} : \text{名稱土方} = R \pm e : R。$$

$$\text{準確土方} = lA \frac{R \pm e}{R} = lA \left(1 \pm \frac{e}{R} \right)$$

由此式，可見曲線所生之影響，為增多或減少土方之 $\frac{e}{R}$ 倍，而與經路之長 l 無關。若兩截面之偏心率變化頗有規律，則兩截面之中央

截面面積當為 $A_m \frac{R \pm \frac{1}{2}(e' + e'')}{R}$ ，即準確土方 = $\frac{l}{6R} \{A'(R \pm e')$

$+ 4A_m [R \pm \frac{1}{2}(e' + e'')] + A''(R + e'')\}$ 。式中名稱土方為

$\frac{l}{6} (A' + 4A_m + A'')$ 。如將準確土方減去名稱土方，則

$$\text{改正數} = \pm \frac{l}{6R} [(A' + 2A_m)e' + (2A_m + A'')e'']$$

此項改正數之應用，亦與稜柱體改正數相同，須確知中間各截面之情形，通常為數甚微，故可將改正數寫成次式。

$$\text{曲線改正數} = \frac{l}{2R} (A'e' + A''e'') \dots \dots \dots (47)$$

66. 重心之偏心率 欲求複雜的不規則平面形之重心，為一艱困之工作，而事實上實非需要。為改正之計，可將各截面視作三級平面，山坡截面則可視為三角形。如圖45，其偏心率可計算如次：

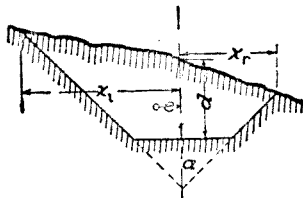


圖 45

$$e = \frac{\frac{(a+d)x_l}{2} \frac{x_l}{3} - \frac{(a+d)x_r}{2} \frac{x_r}{3}}{\frac{(a+d)x_l}{2} + \frac{(a+d)x_r}{2}} = \frac{1}{3} \frac{(x_l^2 - x_r^2)}{(x_l + x_r)}$$

$$= \frac{1}{3} (x_l - x_r) \dots \dots \dots (48)$$

將此式之 e 代入式 47, 則得

$$\text{曲線改正數} = \frac{l}{6R} [A'(x_l' - x_r') + A''(x_l'' - x_r'')]$$

但稜柱體之約略體積可寫作

$$\text{體積} = \frac{l}{2} (A' + A'') = \frac{l}{2} A' + \frac{l}{2} A'' = V' + V''$$

式中 V' 與 V'' 為相當於 A' 與 A'' 之體積, 代入上式則

$$\begin{aligned} \text{曲線改正數(以立方碼計)} &= \frac{1}{3R} [V'(x_r' - x_l') \\ &\quad + V''(x_l'' - x_r'')] \dots \dots \dots (49) \end{aligned}$$

式 48 所得之 e 為全面積之偏心率, 連路基下之側坡稜柱體在內, 實在偏心率當較此 e 鉅, 即

$$e' = e \times \frac{\text{真面積} + \frac{1}{2}ab}{\text{真面積}}$$

所求之數量(即式 47 之 $A'e'$) 等於真面積 $\times e'$, 而 e' 則等於(真面積 $+ \frac{1}{2}ab) \times e$ 。式 48 中 e 之數值求得甚易, e' 則甚為複雜不易計算。為簡便計, 可用 e 求得改正值, 而將側坡稜柱體之土方, 加入總土方內。

式 49 中可見任何改正值均須除以 $3R$, 若無曲線表, 則可自 $R = \frac{5730}{D}$ 式中求出 R , 式中之 D 為曲線度數, 又式 49 在實用時可以化簡, 每站之改正數可寫作 $\frac{V(x_l - x_r)}{3R}$ 。 $3R$ 數通常為一大數, 例如 4° 曲線, 其值為 4298。 $(x_l + x_r)$ 比較甚小, 故與 V 相乘結果亦仍為極小之數。如其值小於 1, 則可簡而不計。如於 $V(x_l - x_r)$ 算出

後，見其數為 $3R$ 之幾倍，即將其倍數附以單位立方碼，小數從略。曲線改正數，僅於曲率或偏心率甚鉅時始足注意。

改正數之正負符號，可自曲線之方向判定之。如重心係在曲線內方，則實在土方必較名稱土方為小，則改正數應為負號。若曲線轉向右側，則用 $x_l - x_r$ ，如轉向左側，則用 $x_r - x_l$ ，則所得之結果可以無須判別符號之正負。

67. 例題 假設 58 節所示之土方係在 10° 曲線之上，曲線係轉向左方，問曲線改正數為何？

其計算示明於下表，因曲線轉向左側，故用 $x_r - x_l$ ；
又 $3R = 3 \times 573 = 1719$ 。

測站	x_l	x_r	土方(立方碼)	$x_r - x_l$	$\frac{V(x_r - x_l)}{3R}$	改正數
52	26.4	13.8	413	-12.6	-3	
53	29.1	18.3	645	-10.8	-4	-7
54	35.4	23.7	1018	-11.7	-7	-11
+65	40.5	27.9	1488	-12.6	-19	-17
55	30.6	20.7	793	-9.9	-5	-8

共計曲線改正數 = -43 立方碼

全土方應減為 3998 立方碼。按 10° 曲線已非尋常，如為 4° 曲線，則其改正數即按比例減小，即 $.4 \times 43 = 17$ 立方碼。

68. 山坡截面之偏心率 為計算曲線改正數計，山坡截面均可視作三角形。按三角形之重心，係在頂點與底邊中點所聯直線之三分之二處，故偏心率等於中心至三角形底邊中點之距離，加底邊三分之一，再加此線投影之三分之一。如以圖 46 為例，則

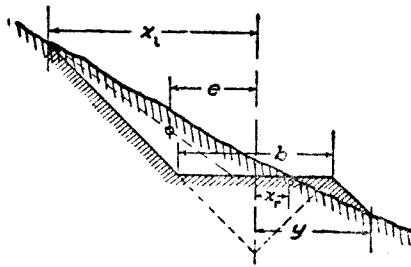


圖 46

$$\begin{aligned}
 e &= \left[\frac{b}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{b}{2} + x_r \right) \right] + \frac{1}{3} \left[x_l - \left(\frac{b}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{b}{2} + x_r \right) \right) \right] \\
 &= \frac{b}{4} - \frac{x_r}{2} + \frac{x_l}{3} - \frac{b}{12} + \frac{x_r}{6} = \frac{b}{6} + \frac{x_l}{3} - \frac{x_r}{3} \\
 &= \frac{1}{3} \left[\frac{b}{2} + (x_l - x_r) \right] \dots\dots\dots (50)
 \end{aligned}$$

此處側坡稜柱體未經計入，故應用 49 式不應涉及側坡稜柱體。在三級截面，當 $x_l = x_r$ 則曲線改正數為零；但在山坡路線，此改正數從不為零，且常為數甚巨。

如三角形全在中心線之一側，則公式可寫成

$$e = \frac{1}{3} \left[\frac{b}{2} + (x_l + x_r) \right] \dots\dots\dots (51)$$

此式係將 50 式中之 x_r 改一代數記號而得。今籠統言之，凡三角形在中心綫之任何側， e 之數值如下：

$$e = \frac{1}{3} \left[\frac{b}{2} + (x_l \sim x_r) \right]$$

此處應用 $x_l - x_r$ 或 $x_r - x_l$ ，可按 66 節解決之。

第十一章 土工施工法

69. 挖土方法 經濟的挖土，全視運土距離之遠近與土之性質而定。山坡挖土，恆先用鋤犁等器，將土挖鬆再用鏟送土。若運土之距離甚遠，則須利用獨輪車或刮土箕。若距離更遠，則以利用其他機械為經濟，例如裝輪土箕，雙輪車，四輪車，或鋪設軌道而用馬拖或機車牽引運土車輛。工作之量愈多，則投資于置備工具愈為合算，而挖鬆工具亦可捨鏟犁而為汽鏟。挖土深度頗巨者，每須分層開挖，其每層高度視用以挖鬆及裝運之工具而定。

70. 爆炸 堅硬之岩石，每用爆炸使其碎裂。又遇頁岩或凝凍之土，亦可應用爆炸以期鬆碎迅速。爆炸所用炸藥種類甚多，炸力最強者為一號猛炸藥，內含 75% 之硝酸甘油；最弱者為慢燃性之黑火藥。介乎兩者之間者，尚有炸藥多種，所含猛炸藥及黑火藥之成分，各不相同。據試驗所知，慢燃性炸藥若被足量之轟發性炸藥所激動，則可引起強大之炸力，混合兩種炸藥較單獨爆炸為有效。選用何種炸藥全視石質而定。硬而脆性之石，須用轟炸性炸藥使其震為碎片。柔而韌性之石，宜用黑火藥使其作用較緩。若用猛炸藥於柔性粘土質之岩石，則恆易將鑽孔噴出，而無傷於石之本體。炸藥之重心，距離最近之石面為 4 呎時，則宜用黑火藥二磅，或猛炸藥 $\frac{1}{4}$ 磅。炸藥之量，須與最小阻力線之三次方成正比。例如，爆炸中心若距最近石面為 10 呎，所須炸藥應為 $x:2=16^3:4^3$ ，或 $x=31$ 磅。因猛炸藥之炸力約為黑火藥之六倍，故用五磅一號猛炸藥已足。最小

阻力線並非常等於最近石面距離，蓋石體如有層縫則抵抗力即隨以改變，但上述之規律仍可酌用。在露掘工作中，如完工期限並不急迫，則以採用黑火藥為經濟，但在隧道工作中，進行之速率全視鑽手之施工速率而定，則猛炸藥價值雖貴，用之仍屬經濟。

鑽孔工作 用手工以鑽打垂直之孔，以採用衝鑽為宜。此係裝有鋼鑽頭之重鐵釘，隨起隨落，藉衝擊之力，以楔入石體。每衝擊一次，宜將鐵鑽旋轉少許。通常每十小時之工作，可鑽深 5 至 15 呎。（因石質之不同而異）斜孔或平孔，宜用單人式或雙人式之輕量鑽。單人鑽完全為一人手持輕量鐵錘而操作，雙人鑽則由一人持鑽，一人用重錘錘打。由經驗所知，柔石宜用輕錘，堅石宜用重錘，惟輕錘工作較速，故時限急迫與工地逼窄者宜用輕錘。機鑽法為一種專門工作，茲僅略述梗概。如鑽孔工作之數量甚多，則宜用機鑽，每呎工費恆較手鑽法為廉。鑽機之初價與養護費均甚昂貴；不問鑽孔多寡，一部分之費用係屬固定，故鑽孔之數愈多，則利用機鑽愈為合算，而在特種情形之下，尤顯其經濟之價值。在露掘工作中，可用個別之機鑽，而在隧道工作中，則常將機鑽若干副合裝於共同機架上，以便同時鑽掘數孔。隧道內開動機鑽，以利用壓縮空氣為宜，蓋同時可恃以供給空氣以利呼吸也。

搗填工作 據經驗所知，鑽孔中炸藥之旁，若留有空隙，則炸力即為之減弱。故必須將炸藥搗實，並將孔頂之空隙填塞。搗填炸藥時禁用鐵釘，火藥可用銅釘搗填，但猛炸藥則以木杆搗填為安全。孔頂填料以粘土最為適用，砂與石粉亦佳。水底爆炸時，因上部有積水之重量，故其作用與搗填相同。

發火 在小規模之工作中，炸藥之發火，常以火藥線爲之。火藥線係以火藥連串而成，外裹保護之物。較完善者，係將多數鑽孔用電流同時發火，較大規模之爆炸工作，均採用此法。事前須用雷酸水銀製成之信管，放置炸藥之中部，每一信管均以電線與電池相聯。通電以後，信管上鉛線受電熾熱發生火花，雷酸水銀，因以爆炸，全部炸藥亦即隨以轟炸。

費用 爆炸之費用隨地不同，石之性質，鑽孔之深度與數目，所用之方法，均足以左右之，是以僅可得一粗略之概算。在最適宜之情況下，石質脆而不韌，鑽孔深而用機鑽，則每立方碼約費美金二角五分。若用手鑽法，並遇堅韌之石，鑽孔較淺，則單價可以增至美金一元。若單價超過此數，則境遇特別困難，管理失宜，工資昂貴諸原因必居其一。

71. 路基之填築 由經驗所知，掘取之土壤堆積爲路基時，其始容積膨脹，後則收縮至 90% 左右。土之收縮率頗不一律，隨土之種類，填築之法則，建築所經之日數，與量算之方法而定。用棧橋堆土者，在開始時其體積超過原體積甚多，須經年累月始收縮至與原體積相仿。反之，如路基係分薄層填築，每層均因以次各層之堆土與重量而壓實，則完工後收縮率甚小，而所需之土，較掘取之土爲多。碎石填築之路基，其體積常須超過挖掘之原體積 80%。

填築之路基，常須令較高於圖樣規定之數，俾經過收縮後，與圖樣相符。若土工係按下方給價，(土坑量方爲下方 路基量方爲上方)則常言明由工程師於施工時，相機決定應行加高之數 路基填築於山坡者，應先將地面犁鬆或掘溝數道，俾所填之土不致沿坡滑卸。

每一側坡之足部，如預先各挖溝一道，則可使腹土水量排盡而路基亦可益臻堅固。分層填築者，如將向山下方面之厚度稍增，使各層向上彎曲，則亦可免滑卸之險。如遇高而且長之路基工作，宜先建棧橋，即就其上暫作為通車之路。此種棧橋至少須有五六年之壽命，俾在此時期以內，可由遠處運土將其填實也。因通車以後，工作時間並無限制，並可應用車輛及機車以便運土，應用汽鏟以掘取，其費用常較開始建築時為廉省。棧橋建築較路基為速，故可使鐵路提早通車與營業，亦一利也。

72. 土工之分類 如挖土給價係按各類土質而異，則常易引起包工人與業主之爭議，蓋土質之軟硬並無顯著之區別，且常有開挖時極韌之土，一經接觸空氣即自行粉碎者，亦有軟性之石，接觸空氣後忽化硬性。為避免爭議計，常令包工人於投標以前，自行察看土質，而投一律之單價，嗣後不問所發現之土質如何，不得再行爭論。惟此種辦法除競爭極烈之工程外，常易使投標人抬高標價，而致業主受損。

土質類別常分為三：(1)實體石(2)鬆散石(自泥板岩至堅膈土皆屬之)與(3)泥土。實體石類為體積在一立方碼以上，除用爆炸外無法移去之物質。鬆散石類為每塊超過一立方呎與不及一立方碼之巨石，或每層不足六吋間以粘土之岩石，暨須用鐵釘始能挖鬆之物質。此類物質毋須應用爆炸即可開掘，但為便利計，亦常使用爆炸。泥土類為以上兩類以外之物質，如不足一立方呎之巨石，各種粘土，砂，礫，壤土，風化岩石，風化頁岩，暨一切可用雙馬犁所能挖鬆之物質。以上所述，係以工程界有名著作為根據，稍經考慮，即可知此種分類方法，尚難認為完備也。

第十二章 隧道工程與測量

73. 測量之性質 在各種工程中，測量精密度之不易達到，及其與財政上影響之深切，蓋無過於隧道。凡建設隧道之處，大率道路崎嶇難行，山坡峻峭不易作精密之量度。在隧道內部舉行測量，常因地位逼窄，光線晦暗，雜有烟霧以致不易準確，此種困難當於討論測量方法時再行詳述。隧道工作，通常自兩端同時進行，毫厘之差均足逐漸累積，隧道愈長則累積愈多，及兩導坑相遇，勢須增一逆曲線，庶可連成路線。是以測量時對於距離高度，均須用最精密之方法，對於水平角度，須以複測法量之，直線之延長，亦須絕對謹慎。此種工作均須一測再測，至或是誤差減至極小值，不致累及工費之增加為度。按此種精密手續，結果反為合算，蓋因錯誤而致財政的損失，實甚鉅大也。

74. 隧道外面之測量 隧道之兩端位置，常預先決定，換言之，即兩端聯絡線之方位角與長度暨相對高度，均屬預定。通常每於隧道外面測設一線，適在隧道中線之上。如隧道為一直線，則測設較為簡易，曲線則較繁難。在隧道之兩端，應各設一永久測站，其視線準對隧道之中線，次設中間永久測站，俾各點可以互相望見。此等測站開始時可大略設置，再反覆測量校至極準。隧道中如需用導井者，其位置即可由附近之永久測站設定之。

距離 隧道之距離測量，係仿大地測量方法，先測基線，再用三角測量以決定之。阿爾平山中若干長隧道均係如此。如係規模較

小之工作，則以應用鋼捲尺直接度量爲便。因山坡常甚峻峭，難使長度較巨之鋼捲尺保持於水平位置，且每量長度一次，必須應用鉛錘於下山方面，致易發生誤差。故爲便利起見，常先測量斜坡長度，同時測定斜坡兩端之高度，乃應用幾何學理，以計算真確之水平距離。斜坡長度之終始點，可用插有細針之木栓，以三腳架支承之。

水準 上法與水準測量同時舉行，如用水準儀測量高度，則以山坡峻峭，高度相差甚巨，須極審慎。

75. 坑內測量 坑內測量時不能與平常測量相同，而將測點設置於坑底地面之上，否則易被擾動，或易埋沒於土石之內。如坑內用木架支撐，則最易之法，係將測點之標誌附着於木架之上。但如此設置，必須確知木架甚爲堅實，且日後不致移動而後可。另一善法係於隧道頂部插入木栓，而於木栓之內插一小鈎或小釘以表示測點之真確位置。此種標記亦可設置於隧道之側壁上。置於隧道頂部者，可於其上懸掛鉛錘線故較便利。更善之法，係將細繩二根繫於鉛錘上之複吊接合，鉛錘內附有貯油器，其燈蕊須適居鉛錘之中央，燃點後可令經緯儀在遠處瞭見。此項測點隨時可以重設，不致變移位置，如用普通之鉛錘，則須用燈光照明之。若將毛玻璃燈置於錘之後方，則尤爲明顯。如用普通油燈則宜置於鉛錘前方，從斜處映照，同時遮蔽燈光勿使直射於經緯儀，致礙視線。測點置於坑頂者，水準尺宜倒立，庶讀數係坑頂至視線之距離。爲免記載上紛亂計，可將此項讀數加一負號，庶可應用通常之計算法。坑內測量常易遇見特殊狀況，全賴施測者能隨機應變也。

76. 導井測量 如隧道過長，則宜於中部開鑿若干導井，及鑿

至隧道所在之處，即可向兩端開鑿。斯時必須測定坑底高度，及隧道位置與方向，如係垂直導井，則坑底高度可用鋼捲尺量出之。隧道之中線，可由地面測定之中線上，用鋼絲懸掛重錘兩個於井中直達井底。兩錘所示之直線，即係隧道之中線，導井之位置亦可由地面中線測定之。以上所述，為導井測量之理論，事實上尚有各種困難，略述如次：

導井非常不甚巨，故所懸兩錘距離至近，即以八呎為例，極小之誤差，延長至六七千呎之遠處，為數已極可觀。昔胡薩克隧道即犯此誤。導井中空氣之流動，又甚易使鋼線偏倚，在塔馬拉克導井，計深 4250 呎，所懸兩線之距離在井底較井面寬 0.11 呎，此雖與隧道之方向無關，然兩線對於中線偏倚若干，實無從測知。如在鋼線外加一套管，即可以減少氣流之影響。鉛錘應浸沒於水桶或油桶之內，因鋼線左右擺動無法使其停止，故應詳察其擺動極限而取其均數。嗣於隧道之頂部設置標誌，懸掛鉛錘，用經緯儀反覆試驗，俾其視線同時通過兩鋼線，此即所求之隧道中線也。

77. 橫截面 隧道所採用之橫截面，形式至不一律，蓋設計之際，並無確定之準則也。隧道鑿在柔軟之土壤中者，因壓力甚巨，故常取圓形或近於圓形之截面。隧道之尺度雖可以車輛尺度為標準，但應留寬裕之淨空，以備襯裏有偶然之沉落。多數隧道截面為圓頂方趾式，即頂部為半圓或半橢圓，足部為矩形或梯形。如地質過於柔軟，全部均須襯裏，亦常採用此式，祇將足部之直線改成彎向中心之曲線而已，截面形式當於次節圖示之。

開鑿隧道常易遇見泉脈，故須有適當之排水設備。雙軌隧道

之排水溝，常置於兩軌道之中間，單軌宜於左右兩側各設一道，如圖 48。

73. 坡度 多數隧道位於兩坡道之頂點，而此項坡道又常達限界坡度，斯時可將隧道兩端置於同一高度，使隧道之坡度為零或極緩之坡度，以便於排水為限。隧道內部不宜有坡道頂點，排水坡度不得過小，大約須有 0.2%。隧道常為環境所限，須為坡道之一部分，或竟達坡度之限界。如遇此種情形，務須設法使隧道部分之坡度竭力減小。隧道中大氣阻力甚巨，軌道常甚潮濕而滑溜，以致牽引力減低，機車用力過巨。養氣供給既屬有限，煤氣又復多量噴出，故與員工及乘客均有妨礙。故無論如何必須將坡度減小，雖費用較巨，然所獲利益有不可以計算者。

79. 襯裏 隧道裏壁至不一律，有係完全不用襯裏者，則坑壁為堅固之岩石，雖遇空氣，亦不易碎落。亦有須用極厚極強之砌石為襯裏，以免土壤之沉落者。美國多處隧道係用木材為永久的襯

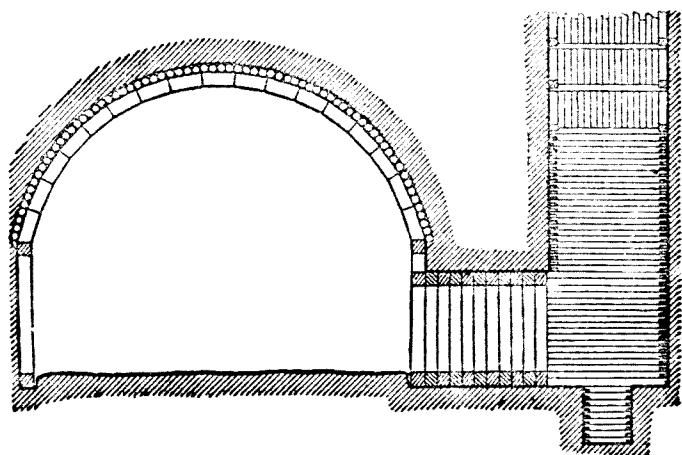


圖 47 隧道與礦井之連接法（俄赤山隧道）

裏，如圖47即其例也。臨時木襯之隧道，則於建築時稍放寬大，庶於重修時可於木襯裏之外，加建圻工襯裏，既不致侵入規定截面之內，又不致擾動原有之襯裏。此種佈置可使鐵路初建時節省若干工費，而於獲利以後，再行支出。最佳之襯裏，當屬於膠灰圻工。當建築襯裏時，如坑壁石塊偶然脫落，以致襯裏與坑壁脫離，則宜用碎石填實之。如為情形所許可，則應砌以混凝土或整石。

80. 隧道之門口 隧道門口所受之力，雖屬無法計算，但試念峻峭之山坡，載於其上，特其抵制得以勿墜，則其力亦殊可觀，圖48

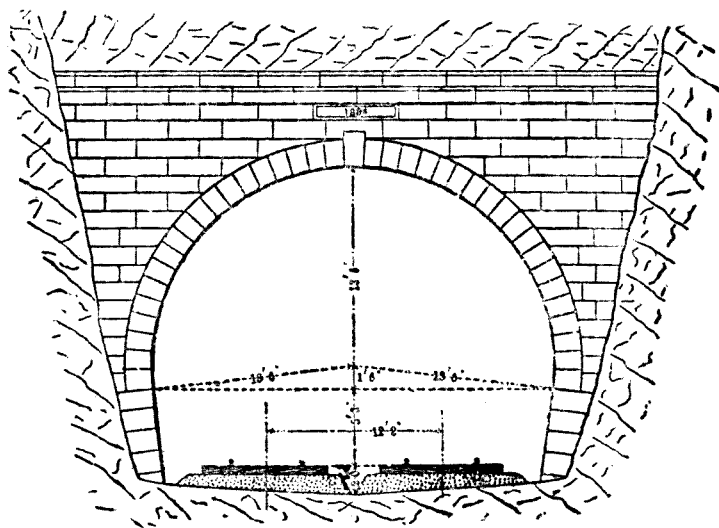
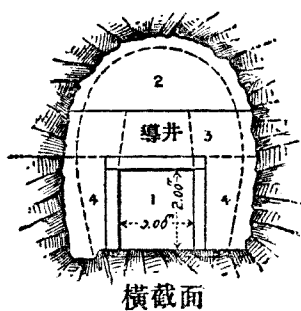


圖 48

即為隧道門口之一種。此種建築有甚美化者，但宜雄偉而忌纖巧，構造當如擁壁，直接抵抗山坡之壓力。如隧道門口有較長段之露掘，則可於露掘之兩側各建擁壁一段，同時作為門口之支墩。隧道門口建築常遇艱難之問題，蓋此處為隧道上遮蓋物之盡端，厚度過薄，

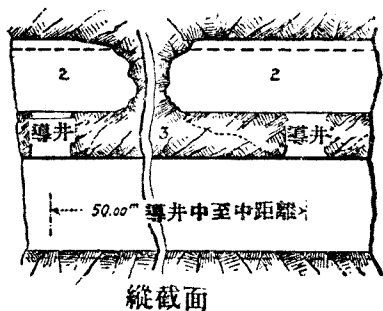
支撐非易，且土質脆弱易致滑卸，常須建立極堅之木架互相支撐，庶可免山坡滑卸之危險。某處隧道曾於門口短距離外鑿一導井，乃於井中向門口開鑿隧道並設置襯裏，及既達門口，則其上厚度不足之蓋頂，業已完全支撐，無滑卸之危險矣。

81. 普通原則 多數隧道以坑壁物質不能自身支持，故須襯裏。各種物質在小面積及短時間內，均有暫時自身支持之力。故開鑿以後，即須在一定時間內加以支撐，以免墜落。土石種類甚夥，最堅則為岩石，最脆則為溜沙，故支撐之方法，亦隨之而異。開鑿後可



橫截面

圖 49



縱截面

圖 50

以自身支撐之時間，及自身支撐之面積，亦隨物質而異。隧道建築法，雖有多種，但咸係先鑿一個或數個導坑，然後擴展為全截面，連襯裏應須之面積在內。此種導坑有在坑頂，有在坑底，有在坑底之左右兩隅。自坑底兩隅開鑿導坑者，可令土石中水量，先行排盡，使以後之工作，趨於簡易。全截面開鑿完成，隨即建築襯裏，通常隧道進行中，常可見綿亘 80 呎以下之一段，同時在開鑿導坑與砌造襯裏之中。

82. 建築方法 建築方法甚多，不克盡述，茲擇繪數圖，俾學

者可藉以明瞭建築方法之原則，遇有簡單隧道問題時，可以自抒心軸，設法解決。設計隧道中之撐木，須令設置後無法滑移，且可隨壓力之增加而益臻固結。木料須極堅牢，俾可支持坑壁壓力，觀圖 51, 52, 即可自明。

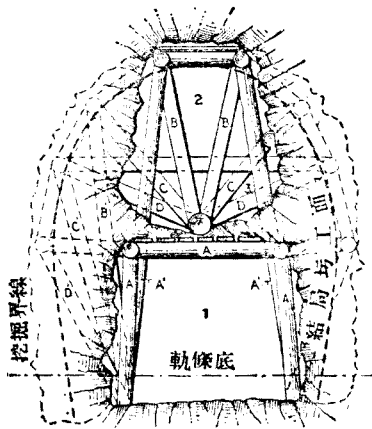


圖 51

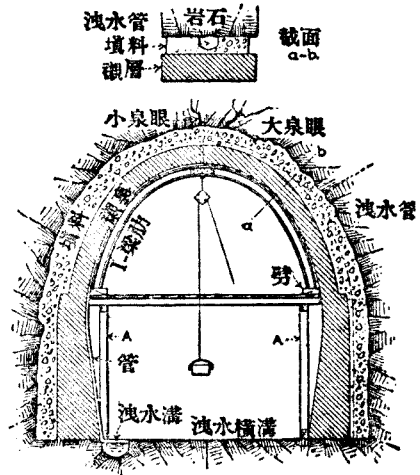


圖 52

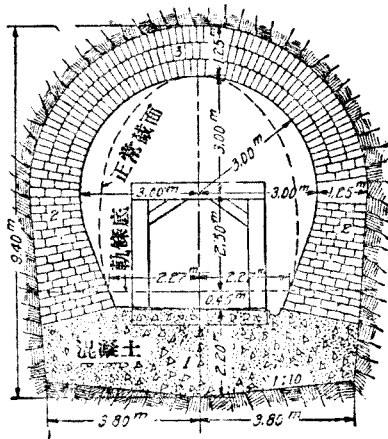


圖 53

隧道之建築，恆因地位逼窄，發生困難。對於坑中挖鑿之物質，如何迅速運出，襯裏之物料，如何接濟，如何砌設等，事前須有縝密之計劃，輕便鐵路及小車為運輸良法，常為人所採用。隧道較長者，均須人工換氣，應用爆炸者尤感需要。如前文所述可用壓縮空氣以同時轉動機鑽並供給空氣。亦有於坑外安置風扇及引擎，所鼓之風則由管子吹入坑中。

第十三章 棧 橋

棧橋分為二部分，一為下結構，一為蒙面組織。兩部互相分立，故另節詳述。下結構之構造計有二類，為樁棧橋與架棧橋。

83. 樁棧橋 樁棧橋之高度為各個樁之安全度所限制。樁之長度須連入土深度計算在內，故樁棧橋以高出地面 30 呎者幾為極限。採用極長之樁固可建築更高之棧橋，但以改用架棧橋為得計。通常認為每一軌道宜用四樁，但亦可較多。裹樁恆打於垂直位置，外樁向內傾斜，以增強棧橋旁推之抵抗力，高逾 10 呎之棧橋，宜加抗搖編構以抵抗之。樁頂蓋以頂蓋，通常為 10×12 吋或 12×12 吋 圖 56 所示為較善之頂蓋構造法，係以兩塊方木而以螺栓夾緊樁頂，名

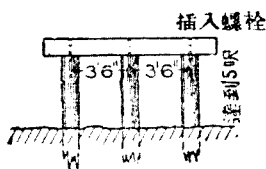


圖 54

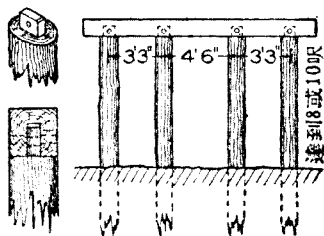


圖 55

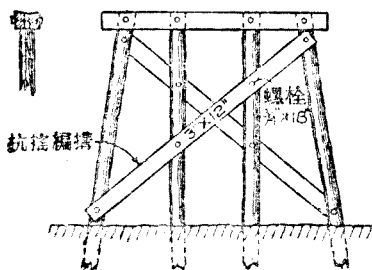


圖 56

曰合掌頂蓋。圖 54, 55 為另兩種頂蓋之結合法。前者為插合法，最為省工，但修理不易。於臨時性質之棧橋尤為不宜。因頂蓋中插入之釘除去時，易致損傷木材也。圖 55 為樁合法，為最

普通之優良接合法。樁之大頭直徑不得小於 14 吋，小頭不得小於 7 吋（樹皮不計，並應於入土之前除淨），凡性能耐久之柔性木材如杉木，柏木，松木，紅杉，均為製樁最佳之料，因其植立河中雖遭冰塊衝擊不致折斷。柵木較為堅強，但其性不甚耐久。頂蓋宜用較硬之木為之，如柵木或黃松之類。單軌鐵路之頂蓋須長 14 呎。抗搖編構常為 3×12 吋之木，而釘以 $\frac{3}{8}$ 吋方，8 吋長之方釘。

84. 打樁法 樁木常以 2,000 至 3,000 磅重錘打入之。此項重錘用打樁架升起至 25 呎左右，令其降落打擊於樁頂。起錘之最易方法係用馬匹之力。拉至相當高度，則放鬆齧合，令錘自墮。其次應用可搬引擎，使吊錘之鍊捲繞於鼓上。某種重錘其吊鍊繫結其上，故降落時，吊鍊隨以俱降，鼓亦隨以退轉。此法於重錘之起落雖較速，但打擊之力則因吊鍊所絆而減少甚多，包工人之狡詰者，輒故將吊鍊拉緊，令人信其樁尖業達實地。打擊過度，易致土內樁身斷折，歸於無用。樁頂亦易因錘打而致破碎，減少打樁效率。欲免此弊，可將樁頂周緣切成斜面而套以鍛鐵所製之箍。箍之截面約為 $\frac{1}{2} \times 2$ 吋，其直徑隨樁而異。樁頂破碎部分宜隨時用手斧斫去之。打擊後樁之透入量愈小，則其抗壓力愈大。最通行之計算方法，係用『工程雜誌』公式。應用普通重錘之公式如次：

$$R = \frac{2wh}{s+1} \dots\dots\dots (52)$$

式中 R 為樁之安全荷重， w 為錘之重量，二者皆以磅計。 h 為錘之落距以呎計， s 為最後一擊之透入量以吋計。有以最後五擊之平均透入量作為 s ，以期格外安全者。

〔例題〕1. 用 2,500 磅錘所打之樁，最後五擊共計透入 13

時。斯時錘之落距為 23 呎。求樁之安全荷重。

$$\frac{2wh}{s+1} = \frac{2 \times 2,500 \times 23}{\left(\frac{1}{5} \times 13\right) + 1} = \frac{115,000}{3.6} = 31,944 \text{ 磅}$$

2. 今欲使前題之錘打至樁能荷重 25,000 磅，落距為 22 呎，問最後五擊之平均透入量應為若干？

$$25,000 = \frac{2wh}{s+1} = \frac{2 \times 2,500 \times 22}{s+1} = \frac{110,000}{s+1}$$

$$\bullet = \frac{110,000 - 1}{25,000} = 3.4 \text{ 吋}$$

另一種打樁之錘名為汽錘。此錘之一端為一機筒與活塞，藉蒸汽之力，使此錘上下躍動，以迫樁沉落。錘重約為 5,500 磅，每次躍起約 40 吋。躍起之距離雖甚微小，但以每分鐘躍動 75 至 80 次，使四周土壤並無休止之充分時間，故樁身極易透入。計算安全荷重之方法與式 52 相仿，但將 $s+1$ 改為 $s+0.1$ ，故公式改為：

$$R = \frac{2wh}{s+0.1} \dots\dots\dots (53)$$

85. 架棧橋 架棧橋式樣至多，但多數均與圖 57 相仿。外柱

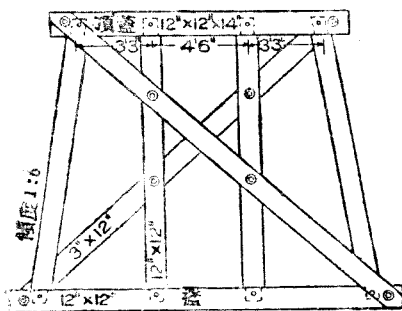


圖 57

之斜度約為 1:6；頂蓋與橋均用榫合法與各柱接合。合掌頂蓋及合掌橋亦可應用於此。抗搖編構須用螺栓夾住。除榫合法外，夾板法亦甚通行。此係用兩塊 3 吋厚之木板夾住每一結合點，見圖 58。

而用螺栓穿過夾緊。此法既甚省工，且拆換甚易，便於修理。夾板亦可改用鐵釘。插樁及插栓亦有採用者，但缺點較多耳。

86. 疊層架棧橋 單層

棧橋之高度，不宜超過 25 至 30 呎，欲令增高，宜建為二層或數層。各層高度須令相等，所有畸零尺寸均配置於

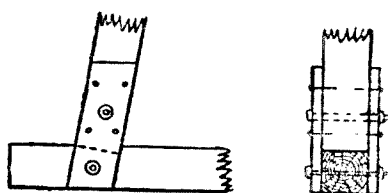


圖 58

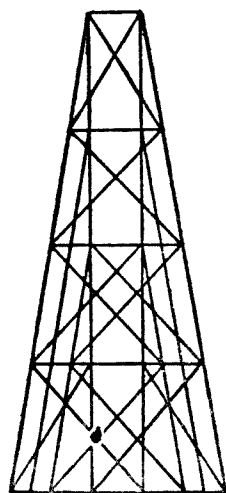


圖 59

最下一層之內，如圖 59 與 60 即其例也。有將各層獨立構造，俾建築及修理趨於簡單，惟堅固則稍遜。本節諸圖應詳加研究，對於每座木架及各座木架間縱向編構之設計，尤須予以特別之注意。每一縱向編構，恆須與木材數支交叉於一點，如為事實所許可，在中間各支點，亦應使木材多支集合一處。各交叉點均用螺栓貫穿，使之益臻堅固。各座支架間之距離自 10 呎至 18 呎不等。高棧橋之支架座數，愈能減少愈為經濟，但因間距之增加，則每座載

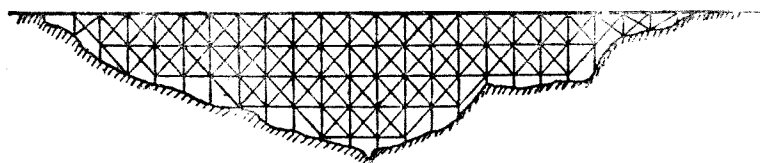


圖 60

面組織之荷重自必隨以俱增。不用構架所築之木質載面組織，通常以 18 呎為最大安全間距。

87. 基礎 棧橋通常均視為臨時建築，故其基礎亦以比較暫時性者為宜。如建築期限急迫而地土鬆軟，則宜採用樁基而將地面以上之樁木截去。樁之位置愈能恰對支架之柱腳為愈善。樁基不能耐久，為免危險計，當採用栗木或刺槐為之。支架之基礎，亦有採用泥檻者，則建築更為簡便，但耐久性則更遜。泥檻之下，用若干木材與之縱

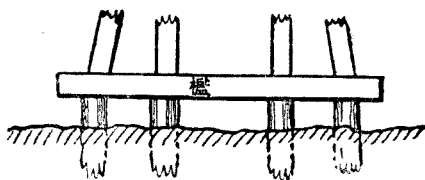


圖 61

橫交錯。木材之尺寸為 12×12 吋×6 呎。若地土過鬆，則應於此種橫木之下再加縱木二支以上，如圖 62 所示之虛線是也。

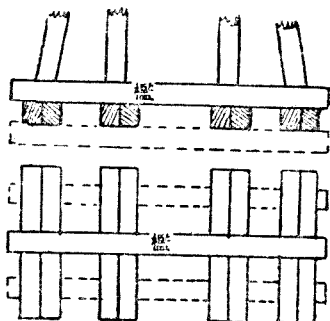


圖 62

如所建棧橋欲令其為永久性質，或欲於將來改建鋼質高架橋，則宜用石基。塊石所建之石基，應有四呎左右之厚度。如用較優良之圻工，則厚度可減少，但費用亦略同。石基通常為一連續之矮牆，如棧橋甚高，而外柱有傾度者，則此牆長度亦隨以增加。棧橋之基礎亦有僅設於各柱之底以節省工料者。

88. 橋臺 棧橋兩端之地面，通常為一土坡。如各座支架均用石基，則此處應設石質橋臺。其構造應為一低矮之擁壁，一面擋土，一面為載面縱桁之支點。如棧橋係用樁基，則可用圖 63 之橋臺設計。此處如不用木樁，則可以框工代之。亦有將最後一排縱桁，直

接置於泥土之上，而以泥檻支承之。後述兩法均屬暫時性質，常以泥檻朽爛，未經覺察，以致發生意外之危險。

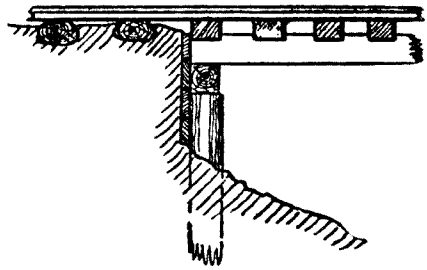


圖 63

89. 縱桁 縱桁之設

計，常視事實上所能取得之木料，及理論上所須尺度而定。厚達16至17吋之優良長木，為事實上所不易取得，價值亦不甚廉。故縱桁輒用事實上所有之最大木料，平行豎立而以螺栓分檔連結而成。兩支 8×16 吋之木料，左右並列，以16吋之木面置於垂直位置而以螺栓紮緊，其強度可與 16×16 木料相埒，而取得則較易。縱桁宜搭擱於兩個間距之上，而使接縫參差，故縱桁之長度須自20至32呎。為使空氣可在各縱桁間流通起見，宜使其間有一二吋闊之間隙，另用中有小孔之鑄鐵圓餅或6吋長之木塊置於間隙中，而以螺栓連縱桁貫穿紮緊。蓋未經鏽光之木板，若並置一處，頗易吸貯水份，促其朽爛也。縱桁之設計，詳見材料力學，茲不具述。惟設計時必須注意者，此項縱桁不僅須能抵抗垂直之荷重，並須令其足以抵抗剪力與直交於木紋之壓破力也。普通之縱桁成屬狹而頗高之木材，雖有足量之縱向強度，但以過狹之故，每因中立軸線方向之剪力不足而彎折。又縱桁與頂蓋接觸處之面積過小，亦易超過其壓破力之安全範圍。各種木材之安全強度，可參考多種工程手冊得之。次所列之縱桁尺寸，頗為實際所採用：

淨跨距	每鋪軌所用縱桁數	闊度	高度
10呎	2	8吋	16吋
12呎	2	10吋	16吋
14呎	3	10吋	16吋

圖 64

90. 平肩 棧橋中之平肩為介於頂蓋與縱桁間之橫木，圖 64 所示者是也。引用平肩之用意，為使縱桁支承之面積儘量增大，同時使兩縱桁之首尾可以互相牽連。惟縱桁之受壓面積固可增加，平肩與頂蓋間之受壓面積，亦須予以注意，勿使此處有壓破之虞。對於採用平肩之意見，分歧頗甚，多數標準計劃均未採用之。

91. 護輪木 此為置於軌枕兩端之方木，其尺寸常為 5×8 至 8×8 吋。設置時常將軌枕鑿去深約一吋之缺口，令軌枕常可保持一定之間距，如遇列車脫軌於棧橋上，則可免軌枕之移位。此種護輪木，每隔軌枕二三支，須用螺栓與軌枕相連。護輪木之首尾結合法甚多，圖 65 所示為優良方法之一。圖 66 所示鋼軌內側距離 10 吋之鋼軌，名為護輪軌，其作用為使列車脫軌時仍可留於棧橋之上。蓋

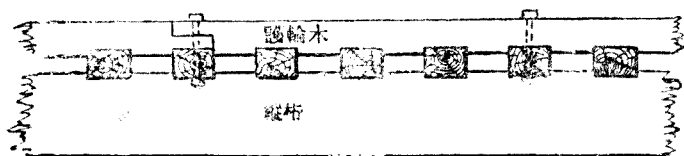


圖 65

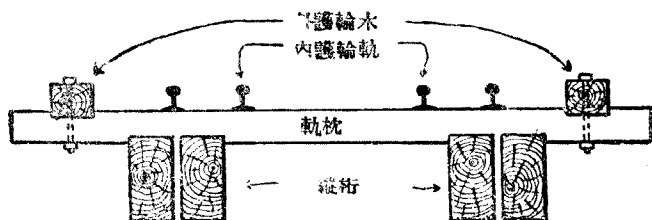


圖 66

脫軌之際，車輪一遇護輪軌頗易為所扣住。是以設置護輪軌或護輪木之主要目的，為使軌枕保持固有之位置。

92. 棧橋之軌枕 棧橋上之軌枕，常較普通之軌枕為長，其長度率自 9 至 12 呎。深度亦較鉅，俾車輛脫軌時可兼作支持之用。其間距較密，略等於軌枕之面闊，亦有更小於此者。其底部支承於縱桁之處常鑿成缺口。嘗有將縱桁置於護輪木之下，貫以螺栓，使每隔三檔之縱桁，軌枕，護輪木，連繫為一。若將軌枕鑿缺口以攔於縱桁，護輪木鑿缺口以攔於軌枕則益臻堅固。

93. 曲線外軌之超高度 曲線與棧橋同遇於一處，雖不相宜，但常亦為事實所難盡免。蓋欲使列車循行曲線之軌道不僅須有極巨之外力，且此力又須隨速率而變化，致棧橋輒因以震盪不寧。雖然，設計棧橋時必須盡可能方法以為此種外力之備。若列車係以同一之速率行經棧橋，則問題較為簡單。載面組織之設計可按此力所生之壓力而定。但列車在棧橋上之速率，並不一律，或自速行漸減為零，或由靜止漸增，則必引起新的應力。依照高速度所計劃之建築，未必適用於靜止狀態，反之亦然。茲列數種設計於次，而略論每種之利弊。外軌之超高度，及其計算法，當詳論於鋪軌工作章中。

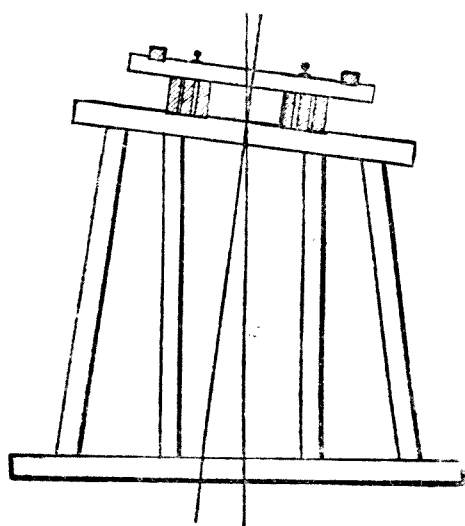


圖 67

(a) 載面與頂蓋傾斜；
 檻水平；外柱較長，(如圖
 67) 此種棧橋之構造較為
 繁複，而載面組織則較簡
 單。因縱桁不在垂直位置，
 故列車停止時有扭折之
 虞。

(b) 每一軌枕下加置
 劈木。每一軌枕之下，須用
 二個或二個以上之劈木。
 每一劈木均須有螺栓二

支。所需材料，件數繁多，
 惟軌枕無須鑿成缺口，故
 可免強度之削弱。如有更
 改超高度之必要，僅須改
 換劈木已足。

(c) 外軌之下軌枕之
 上加置劈木。(如圖 68) 此
 法與 (b) 法相似，而所需零
 件較少。如超高度不甚鉅，
 則用長道釘或螺釘即可將
 劈木固着於軌枕。如超高度甚鉅，則構造宜如圖 68。

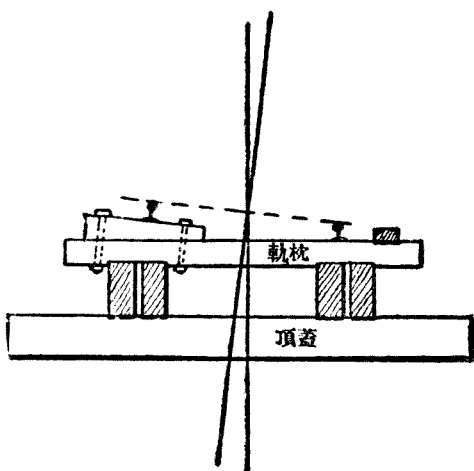


圖 68

(d) 變化平肩之高度。(如圖 69) 全部載面組織側斜。與 a 同，惟

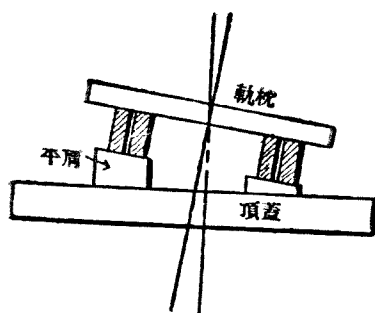


圖 69

頂蓋與檻均在水平位置。在任何情形之下，柱之中線如係垂直，則抗搖編構必須額外加重。尤須注意者，壓力之中心，不得過近於檻之外端。

(e) 自基礎起全座架傾側。此法之利病甚為明顯。

(f) 頂蓋鑿成缺口。(如圖70)此法常被採用，但缺點頗多。頂蓋鑿成缺口後，強度減削。每一軌枕處之縱桁或軌枕必須鑿一缺口，軌枕鑿一缺口後，過於削弱，則缺口勢必鑿於縱桁之上。是法費工而不便。

以上所述各法，為業經建議或嘗試之建築方法。

94. 防火設備 反對採用棧橋之最强理由即為火患。機車噴出之火星，或閒游人所遺之火種，均足以焚毀之。

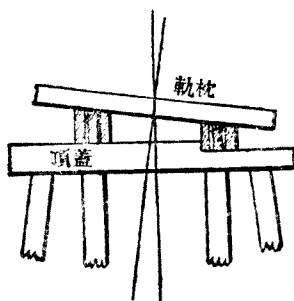


圖 70

尤稱危險者，為木材被火焚焦，實力大減，而檢查者並未經意，以致肇禍甚烈。為預防機車所遺落之煤燼，可將橋面或縱桁間之空隙釘塞而實以道碴，軌枕即置於道碴之內。又法係於縱桁及頂蓋之上用頁鐵皮遮蓋。極長之棧橋，宜專雇看守或巡邏人，橋上每隔 300 呎應置水桶以備不時之需。置桶之處可設加長四呎之軌枕三四支繞以欄杆，除放置水桶以外，並可供路工躲避之用。

95. 木料之選擇 在處女地域建設鐵路，若產木甚多，而常

須建築棧橋者，宜特設一輕便鋸木廠以鋸木料。如所採木料係就地應用，則可不擇種類，凡曾經被人用作建築材料者均可充數。如木質甚弱，則不妨將尺度加大。若須運至遠處，則宜擇優良之木料。如屬可能，軌枕與護輪木宜用柵木，縱桁宜用柵木或松木。平肩之作

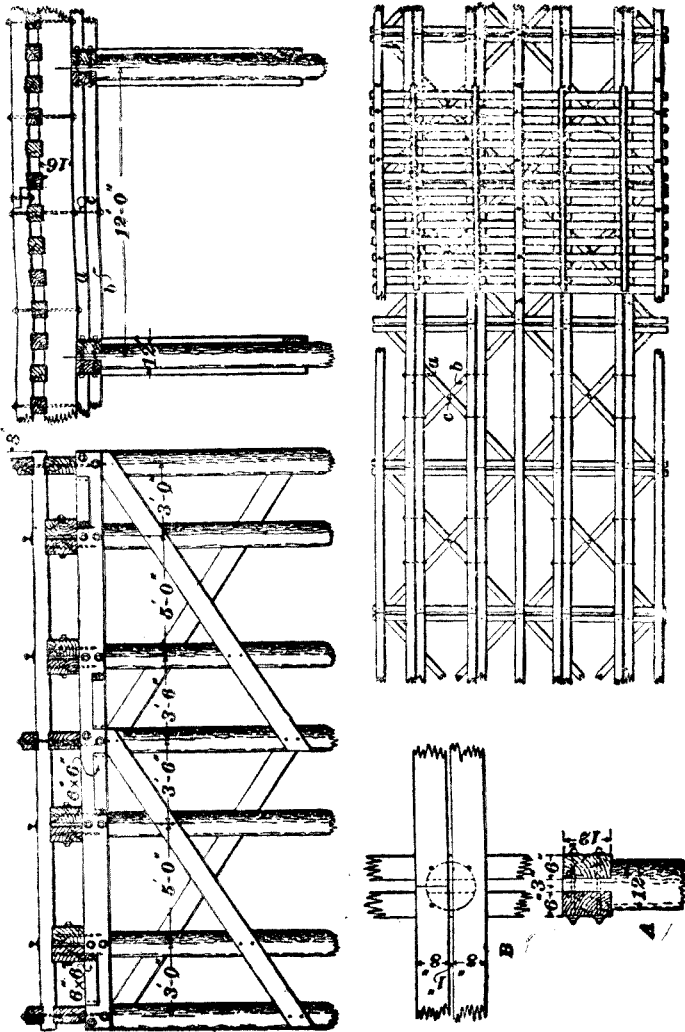


圖 71

用，既爲救濟過甚之破壓力，故須擇用最硬之木料，如櫟木，胡桃木，槐木之類。架棧橋之支架可用任何木料爲之，但以櫟木，松木，樅木爲良。檻之乾濕無常，最易朽爛，則宜用杉木爲之。經過化學藥品浸製之木料雖尙少採用，但遇水中有木蛀蟲者宜用之。大致木料建築均屬暫時性質，費用務取其廉，若欲完全藥浸，則不如逕用鋼石等材料矣。

圖 71 爲美國大北鐵路所採用之棧橋標準圖案。其結構細目大都可與上文對照，惟間有稍異者，其功用亦相仿也。學者宜悉心研究之。

第十四章 涵 洞

96. 圓管涵洞 凡不易獲得良好之石料以建箱涵洞，或拱涵洞時，多採用圓管涵洞，如圖 72。圓管常以陶瓦或鑄鐵為之。圓管

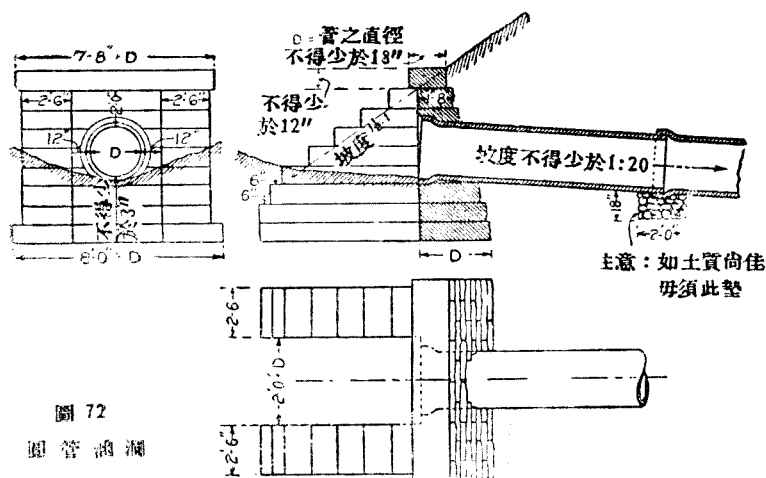


圖 72

圓管涵洞

在水流學理上較方形為優，其面亦常較圹工涵洞為光滑，故每秒鐘能排之水量較同面積之箱涵洞為多。管之埋設甚易，無須熟練之工匠。若一孔之涵洞不足以洩水量，則可設二孔或數孔之涵洞。遇路基較低者，此法尤稱便利。鑄鐵之管強度甚大，故無須特造之基礎，僅於每節接縫處，置一小塊之混凝土已足。埋設陶管則須基礎。

管之破壞，並非全由於上部路基之壓力，而半由於新土之沉陷。埋管時，如土質甚佳，可先開一槽以適可容納管身為度。更善者則於管身之下，填設混凝土一層。管之坡度有 1% 已足，惟埋設以後，常因新土沉陷而生變化，致有坡度相反者。故某路之標準圖案規定

坡度至 1:20。涵洞兩端須各建一圬工領牆。此牆亦有規模殊大，並附有翼牆者。此種牆垣，足免水流冲刷進出口處，致生危險。鐵管可以埋在軌枕下近處，陶管則必須有三呎以上之距離，以爲襯墊之用。管之結合處均須嵌塞，此可以粘土爲之。如粘土不易取得，則宜用水凝膠灰，其費雖較巨但頗合算。

97. 舊軌涵洞 若水道甚淺，無法容納涵管者，可用舊軌建築涵洞。陳舊之鋼軌雖已不能用以行車，但用爲建築材料，仍有極巨之強度。圖 73 及 74 即表示此種涵洞之構造法。各舊軌間，宜以長拉釘穿過軌腰拉住之。倚攔於橋台之軌端，應覆以碎石。此種涵洞較用縱桁或鋼梁爲佳，蓋道碴可以連成一片，無稍間斷。就行車安穩上言，此種優點頗爲重要。

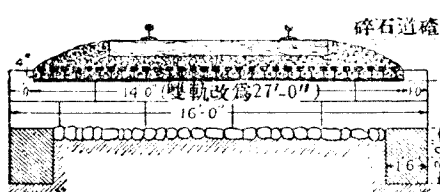


圖 73 舊軌涵洞

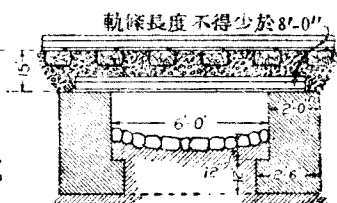


圖 74 舊軌涵洞

98. 牲畜通路 鐵路穿過農場，爲免牲畜跨越鐵路發生危險計，常須設置牲畜通路以便通行牛馬與農車。通路之構造可如石拱涵洞或舊軌涵洞。如暴雨後有水流過，則通路須放寬。亦有用木料造成者，兩端設棧橋之支架而嵌以 3 吋木板藉以擁土。縱桁之底均鑿缺口以抗土壓力。此種建築適用於高達 8 至 15 呎之路基。因木料與土壤相接觸，故缺點甚著。且因路面之道碴至此中斷，復有失火之危險，亦爲此式之缺點。如路基甚矮，則宜用舊軌建造。

鐵路工程學

第二篇

第十五章 雜項建築

99. 給水設備 機車中如用劣質之水，既易損害鍋爐，復易耗費煤炭，故甯多費金錢以改善之。天然之水，每含有鈣鎂之碳酸鹽與硫酸鹽及其他雜質。各種雜質為害之程度輕重不一，如分量不多，則影響尚微。惟鈣鎂之化合物，輒於水分化汽時，遺留於鍋爐之裏面。

此種遺留物之為害有二。其一，鍋爐不易傳熱，致耗費多量熱能；其二，鍋爐受熱過甚，易致燬損。蓋鍋爐本身之金屬，職在傳導煤炭之熱量，至於水或蒸汽中。如傳導作用稍受阻滯，即足危害其安全也。免除雜質遺留之方法有二：一為頻將鍋爐清除，一為將用水經過潔製。

機車給水之站，須勻佈於沿路各段，其間距通常為 15 至 20 哩。如沿路城市有給水設備，則較單獨設備為經濟。沿路如有天然水源，則修築壩堰即可成為水池，以供引用。

鐵路用水之化學潔製法，為一專門之技術。潔製之目的，以製

成足以供用之水爲止，固不必耗費巨資以求過度之潔淨也。潔製時所用之藥劑，大都爲生石灰與碳酸鈉。石灰之作用爲使碳酸鈣及碳酸鎂沉澱。碳酸鈉與硫酸鈣化合後成爲碳酸鈣與硫酸鈉，前者沉澱池底而洩出，後者溶化水中而無結成硬垢之虞。此種潔製法費用甚省。爲免鍋爐裏面結成硬垢起見，亦有直接置放藥劑於水槽之中者，如是則鍋爐裏面所遺之積垢，既無妨礙且易滌除。

抽水 除引用城市給水以外，機車用水均須抽至軌道上 12 至 15 呎高度之水塔或水櫃中。

抽水之機器以利用風車爲最省，但不甚可恃。通常用蒸汽抽機，而以蒸汽鍋爐發動之。用汽油引擎以發動抽機，近年甚爲風行，管理簡便，費用僅及蒸汽抽水之二三成。

水塔 水塔及其中之管件已有專廠製售，較自製者爲廉美，故不復述其建築方法。設置水塔，須使最近之面距離軌道中線約爲 8 呎 6 吋。如以一個水源供給數個軌道，或給水之源來自城市，

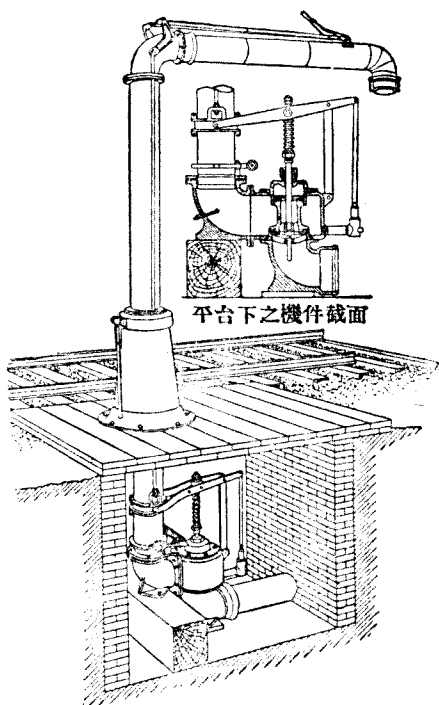


圖 75 自動立管

則須備立管。立管高出地面約 14 呎，其頂上裝有長約七呎可以活動之臂形管。圖 75 爲自動立管之構造圖。閘之機械均埋藏地內

覆蓋板以免冬季凍裂。

軌道喂水槽 急行列車中途不能停留裝水，則有行動時喂水之法。於完全水平之軌道內建 1,200 至 1,500 呎長之水槽，名曰軌道喂水槽。如本無完全水平之軌道而欲建軌道喂水槽，則平路費用為數甚鉅。此槽設在鋼軌之中間，軌枕之上方，寬約 19 吋深 6 吋，長度不定，以愈長為愈佳。槽可以 $\frac{3}{16}$ 吋鋼板製成，用角鋼加強之。機車之水箱上須加設起落自如之進水嘴。當急行列車行經槽上時，將進水嘴放至槽內，即以高速度之原因，水量緣以上升，進入機車。在槽之兩端設一斜面，當機車行過喂水槽時，進水嘴遇之可以自動升起，故無觸及軌道之虞。為防免冬季槽中水量之凍結，須於每四五十呎之間距，設一噴汽口，將蒸氣噴射於水中。

100. 轉車臺 轉車臺係建築鋼所造成，因有專門製造之工廠。故不詳述。臺之中央，有一支樞，承重常達二百噸，故其下須建適宜之基礎。轉車臺須放置於 75 呎直徑之圓坑中。坑之四周須有擁土之壁，坑內設圓形軌道。若轉車臺所承重量偏在一方時，則其臺底所附之滾子可倚以行動。軌條所承之荷重有時頗鉅，故亦須設備相當之支座。

如欲建轉車臺於傾斜之地上，則以支樞須建於實土之故，工程頗鉅。腹土不能自行排水者，則須建完備之排水系統，坑內水量須引導至出水之處。轉車臺常與機車房相伍，軌道之連接須極便易。

101. 給煤站 機車之給煤與煤渣之排除，苟非設備完善，常甚繁費。如機車為數頗多，則此種設備之須要，尤為迫切。圖 76 為美國羅伯特及舍斐混凝土給煤機，煤炭由煤車運至煤斗坑之上，傾

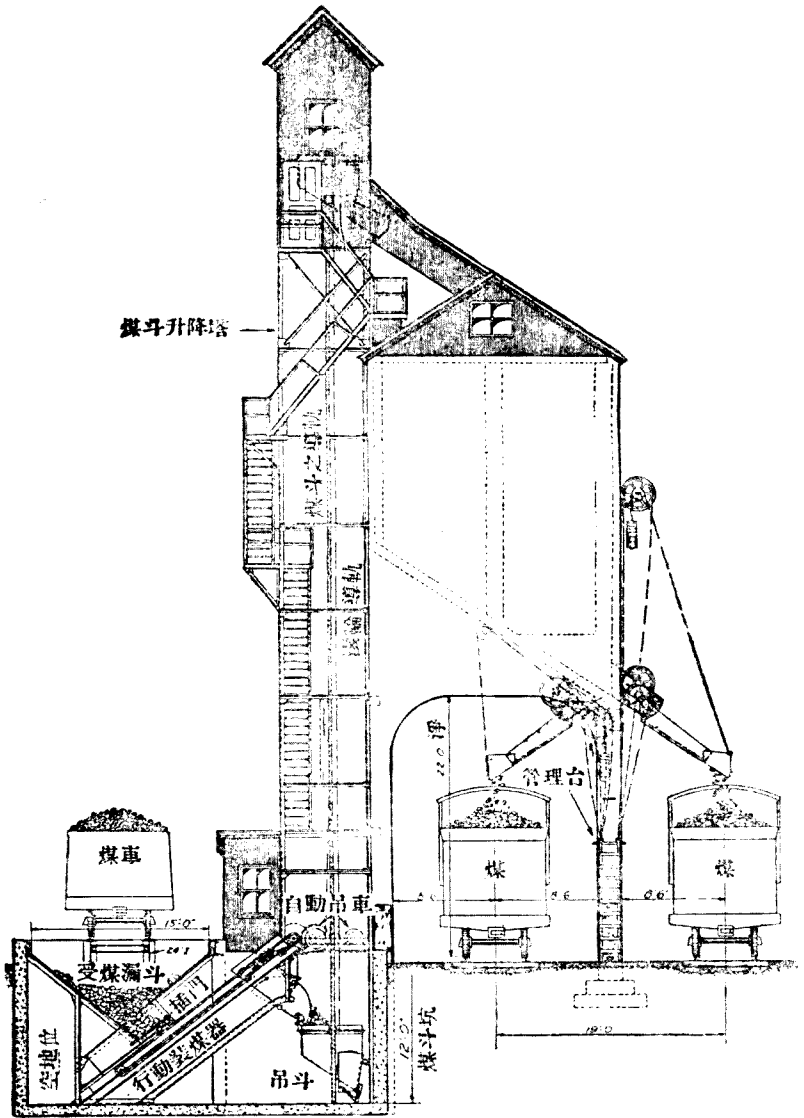


圖 76 三百噸鋼筋混凝土給煤機(附設二連式淺坑裝煤器)

入漏斗,藉行動裝煤器裝入吊車之煤斗中。吊車之斗,可升至塔頂,乃由自動方法,儲入煤庫。圖 77 為煤斗坑之平面圖。

另一給煤設備如圖 78 所示為美國環帶公司所建。儲煤量可達 2000 噸，並附處理煤渣之裝置。

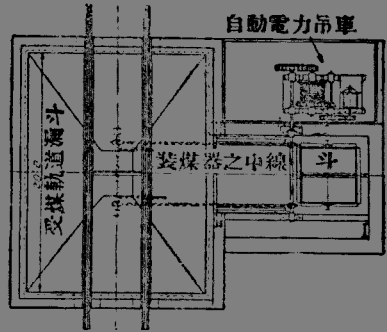


圖 77 煤斗坑平面圖

102. 機車庫 規模較小之鐵路，每處存放之機車不逾五六輛者，則建一長方機車庫，

內設平行軌道二三條，最為經濟。如因機車數目較多，又因不能佔有巨大之地面，則宜建圓機車庫。以面積及軌道，轉轍器之數目而論，圓機車庫實較長方機車庫所能容納機車之數為多。圓機車庫必

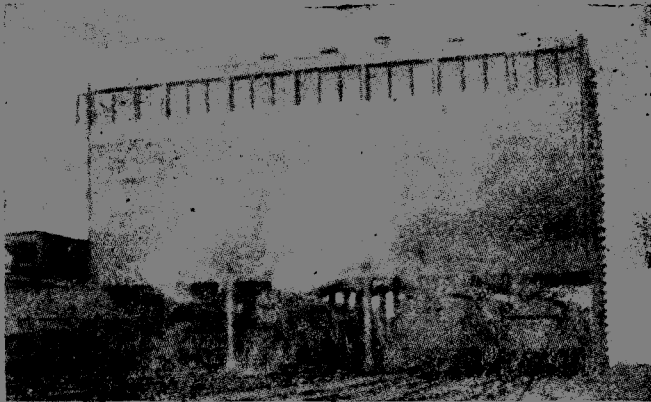


圖 78 二十噸電動給煤站(可以同時供給十四機車之煤、水與砂)

須備有轉車臺一座，如原擬建設轉車臺者，則此項費用不必包括於車庫建設費之內。

機車之修理工作無時稍已，可於機車庫中為之。機車庫中一部分停放機車之軌道內，須建坑溝，俾工人可以達到機車之底。機車庫外牆有以木建者，但以磚石為宜。屋頂宜用木料造成，因鐵質易被

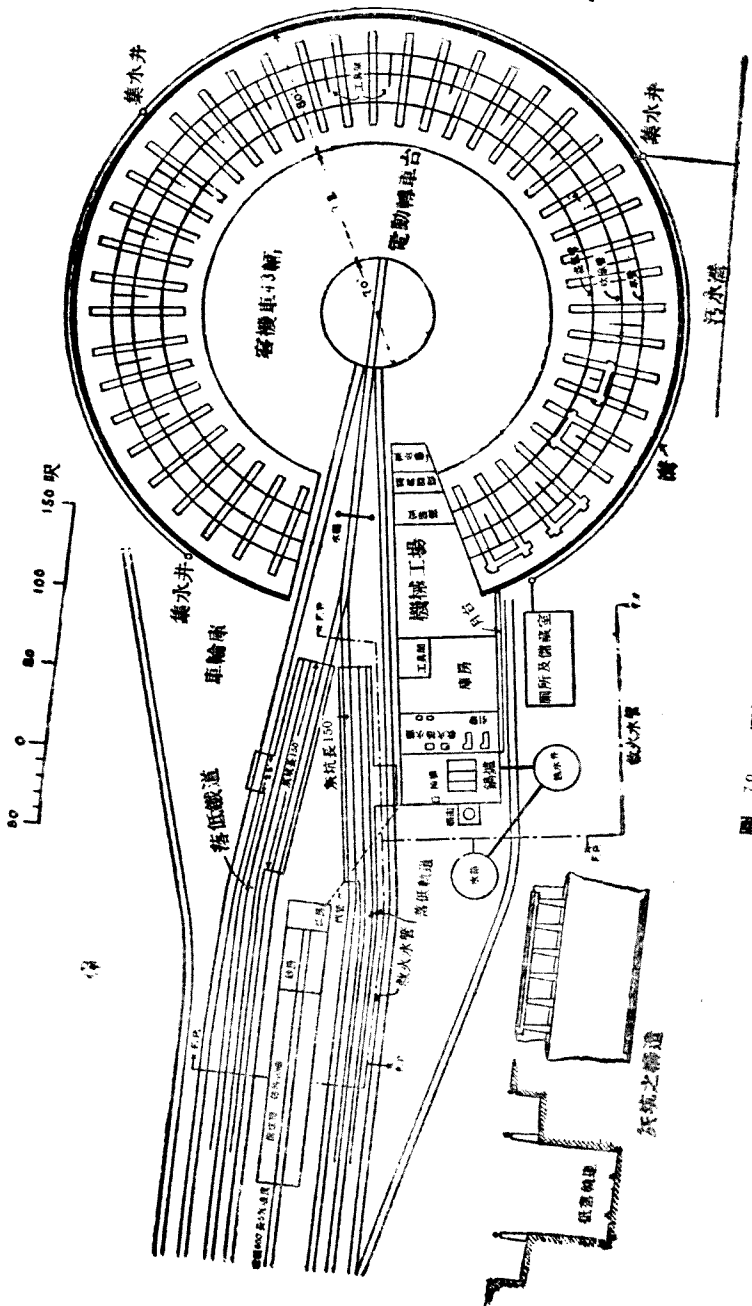


圖 79 圓轉車之標準式

機車放散之煤氣所侵蝕。爲免煤氣計，可於屋頂附設懸吊之烟囱。其位置須適在機車烟囱之上，其下部須能活動，俾易結合。建築此項烟囱之材料有用鍍鋅頁鐵（不持久），有用煉泥管（過脆），有用鑄鐵管（過重），有用混凝土管，亦有採用木質而塗以避火漆者。機車庫之地面，以鋪磚爲最佳，煤渣價最廉，但不甚適用，木料尙適宜，但不耐久，混凝土則過奢矣。機車庫之鉅者，須容納費至鉅萬之機車，故防火實爲重要，應用鋼捲簾門而不用木質之門，亦爲防火之一法。圖 79 爲圓車庫之一標準式。

103. 牲畜防護設備 爲使沿路放養之牲畜不致誤入鐵路遭遇損害起見，故有防護之設備。此項設備須對於行車毫無阻礙而牲畜則不能通過。舊法係建大約深二呎闊四呎之坑溝，以攔牲畜。但路面爲之中斷，常可因以肇禍，故現已摒棄不用。

圖 80 與 81 爲現代採用之兩法。利用一種多刺形之路面使牲畜不敢踐踏。此種路面可以鐵，木，陶瓦，混凝土等材料製成，尤以



圖 80 克利馬克恩牲畜防護設備

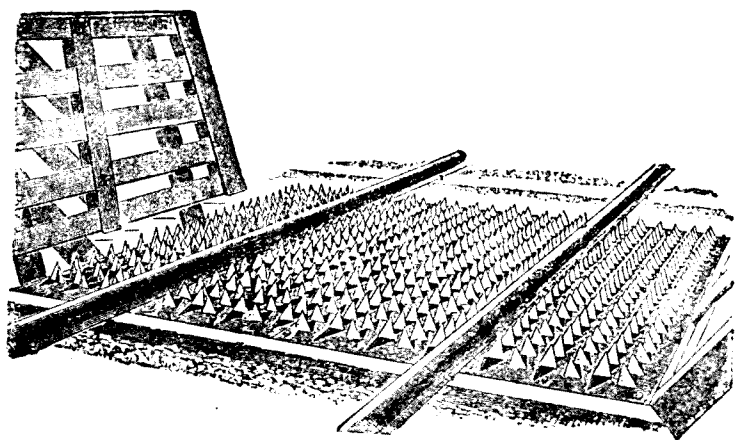


圖 81 舍非爾德牲畜防護設備

後兩者富有耐久性。路面兩側須各建籬笆一段，橫截鐵路，起自軌枕之邊，至路界為止。又路面兩端須建木欄，俾牲畜不能行近軌道。

第十六章 軌道及鋪路材料

104. 道礫 道礫在理想上之功用爲 (1)將承受之荷重傳佈於廣大之面積；(2)將軌枕保持於水平位置；(3)將軌道上雨水排出，俾冬季不致凝凍；(4)軌枕高度可以隨意調整；(5)路基富有彈性。各種道礫之功用與費用均不相等。採用道礫，須視鐵路營業之狀況而定。過於廉省者，反致增加營業費用，殊非經濟之道也。茲將常用之道礫分論於次：



圖 82 泥土道礫

泥土 泥道礫卽爲天然之土壤，實非道礫也。如爲砂礫土壤，則亦具有良好之道礫作用，但欲全線如是殊不易觀。且數星期整理之功，一次暴雨足以破壞之無遺，故自經濟方面着想，苟有別種道礫可資採用，甯捨此取彼也。如爲事實所迫加以採用，則排水設備須極完善。軌枕空隙之路基面，須中央隆起作成路冠，兩側挖溝，溝底須比軌枕之底低 20 吋。

煤渣 煤渣排水暢利，搬運便易，價值廉省，而於已經開業之鐵路僅屬廢物之利用。細粒容易磨成灰塵，飛揚空中爲其缺點。且營業較稀之鐵路，須俟極長時間以後，方能積聚全路所須之煤渣，則必有大部分時間，路面絕無道礫也。

爐渣 鄰近熔鑄廠地方，祇須略備運費，即可取得爐渣。用為道渣，不僅排水通暢，且絕少塵埃。

貝殼煤屑之類 鄰近如有此等產物，用之亦殊經濟。久晴以後，塵埃較多，排水亦不甚完善，為日稍久，僅略勝泥道渣而已。

礫 鐵路所經地域如有礫層發現，則可掘取以作道渣之用。美國鐵路之道渣，多數係用礫為之，即以此故。通常均用汽鏟挖掘，裝入鐵路車輛運至需要之地點，由機械方法，自動卸落。祇於填入路面以後，稍費人工為之搗實而已。故處理得宜，單價甚廉。此種道渣鋪設甚易，排水亦極通暢。如內雜細石泥土之類，則須經過半吋網篩除去之。



圖 83 礫道渣

碎石 碎石為最優良亦為最昂貴之道渣材料。手工碎石尤為合用，但遠不如機器碎石之經濟與盛行。碎石以能通過1吋或2吋之圓孔者為合度。鋪路時宜用鐵把挑取，既甚便利，復易淘汰塵屑。碎石道渣約束軌枕之力最強，故對於重載而高速之行車最為適宜。在運輸稀少之路，則採用與否須斟酌定之。

道渣之厚度 軌枕下所鋪碎石或礫石，須有12吋之厚度，如用6×8吋軌枕，中距為24吋，則軌枕間所增鋪之道渣，約抵全綫之四吋。如平均道渣所鋪寬度為10呎，(即頂寬8呎底寬12呎)則每哩所需道渣量為2,607立方碼。採用碎石者應較此數量略增，以軌枕之末端尚有一方隅也(見圖84)

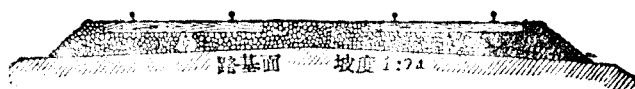


圖 84 碎石道碴

鋪設法 在新建之路上，最適宜之鋪設法，為用牲畜車或輕便鐵路車，將道碴運送至整理完成之路基面上，鋪平至軌枕底部之高度。乃於其上鋪設軌枕與軌條，以通行工程車。屆時乃再運卸一部分道碴以供整面及搗實之用。又有將軌枕軌條直接置於泥土之路基面，先通工程車，運載道碴，沿途傾卸，卒乃將軌條擡高，使道碴自行擠墊於其下。此法雖甚簡易，但軌條易致折損。折衷方法，係以闊軌距之輕便車輛運載道碴，而勿遽通行標準機車。

道碴之工料費 道碴之工費，賴乎(a)道碴在產地之初價，(b)自產地至工地之距離，(c)處理之方法。以上諸點，隨路而異，故工費自難一定。茲錄美國平均工料費以供參考。(單位均以每立方碼美金計) 碎石 \$1.25，礫石 0.60，鋪設礫石 0.20 至 0.24；鋪設煤渣 .12 至 0.14；用汽鏟裝礫石於車輛 .06 至 0.10。

105. 軌枕 軌枕之經濟，不能僅視其市價，而須併使用時之養護費計算之。價廉之軌枕，使用未久，即須更換，費工既多，且軌枕新換以後，路面未能即臻平穩，無形中增加行車之費用，如機車多費燃料，車輛增加折舊，而行車速率亦必受有若干影響也。

若優良軌枕之購價與鋪設費，兩倍於賤價者，而耐久年限亦適為兩倍，則兩者之經濟程度似相等。但自利率方面言，則優良者較多；自養護費與無形損失言，則賤價者較多。故軌枕之全盤經濟須研究(a)初價之利息；(b)每年償還準備金，即每年預儲款項至軌枕

之壽命終了時，其本息適足購置新者；(c) 軌枕在使用年限內之平均每年養護費。此種方法，常用以研究藥浸軌枕是否經濟之問題。

木質軌枕 優良之軌枕須備下列各條件：(1) 置放地面之壽命須充分長久，(2) 質料強韌不致深受軌條磨蝕之影響，(3) 有緊握道釘之能力，(4) 價格低廉。以美國全國情形言。櫟木軌枕最合於理想之條件。其次為松木，則以價廉著。再次為杉木栗木，更次為紅松，柏木，母木，落葉松等。柏木與紅松壽命最長，惟木質軟弱，致握釘之力及抵抗軌條磨蝕力均遜。軌枕上祇有極小面積內可以安設道釘，如道釘一經拔鬆，不能仍就原眼釘入，則必須移至近處再釘，在曲綫地方道釘最易拔鬆，如握釘力不固，軌條甚易翻倒。質軟之木縱，富耐久性，常因釘眼滿佈，失其效用。美國西部多用紅松木為軌枕，為補救計，於軌條之下，增加軌枕數，因該處氣候乾燥，故軌枕壽命甚為長久。

軌枕之尺度 標準軌距鐵路之枕木，率長 8 呎 或 8 呎 6 吋，最

長為 9 呎，惟為數較少。鋸解之

木厚度須 6 吋至 7 吋，闊度為

8 吋或 9 吋。如係斫成者，則斫



圓心枕木



半心枕木



四分心枕木

圖 85

劈之一面，亦須有此闊度。鋸解之軌枕較為合用，在棧橋及橋梁上尤所必需。自大段木材中所製軌枕均用鋸解為之。製自小段木材者則用斧斫。一般意見，均謂斧斫者較為耐久。軌枕鋪設以前，均須將樹皮除淨。

軌枕之距 最普通之距離為 24 吋(中到中)，每 30 呎長軌條，共用 15 支。軌枕較小者，有用至 20 支者，則距離 18 吋。軌枕小而

密則其間隙中道碴不易搗實，且其與軌條接觸面積，反不如大而寬者。軌枕不宜鋪勻，軌條結合點之兩旁，須各有等距離之軌枕一支。如軌條結合點互相參差者，則恆於結合點所在之地，鋪設較密之軌枕二支，而以餘數勻排之。

枕木之採伐 斧斫之枕木，木幹須正直，上下兩面須平行。檢定木幹是否正直，習慣上係於一端之中點與腰部之中點聯成直線，延長至彼端，不得超出彼端之外緣。枕木不得坼裂過度，採伐須在冬

季樹汁停流之時。斫成後，至少堆放六個月方可應用。如由木商送至工地者，常令堆放比軌道較高之地，離開軌條至少七呎，各枕木須縱橫堆疊。



鋪軌枕及換軌枕之規則 壯大及優良之枕木，須選作軌條結合點之用。道釘拔出後，須以木針(圖 86)插入釘眼內，以免積水腐爛。鋪設枕木，須與軌條正交，不得偏斜。每次抽換枕木，必須實地點計數目，不得大意估計。同一軌道之內，不宜混用種類不一之枕木，以致大小彈，性，耐久性各各不同，而致行車顛簸。

圖 86

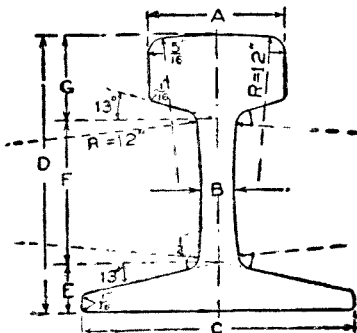


圖 87 A.S.C.E. 標準軌條截面

106. 軌條 通稱之 A.S.C.

E. 軌條截面，係 1893 年美國土木工程師會特設委員會經長時之討論與研究後所採定，現為美國大多數鐵路所遵用。其尺度如圖 87 及次表。

A.S.C.E. 軌條截面尺度表

尺度 以吋計	每碼之重量以磅計												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
A	1 7/8	2	2 1/8	2 1/4	2 3/8	2 1/2	2 7/8	2 15/16	2 1	2 9/16	2 5/8	2 11/16	2 3/4
B	25/64	27/64	7/16	15/64	31/64	1	33/64	17/32	35/64	9/16	9/16	9/16	9/16
C與D	3 1/2	3 11/16	3 7/8	4 1/16	4 1/8	4 7/16	4 5/8	4 13/16	5	5 3/16	5 3/8	5 9/16	5 5/8
E	5	21/8	11/4	23/8	49/16	25/8	13/4	27/8	7	57/8	59/8	15/4	31/8
F	1 55/64	1 31/32	2 1/16	2 11/64	2 17/64	2 3/8	2 15/32	2 35/64	2 5/8	2 3/4	2 55/64	2 63/64	3
G	1 1/64	1 1/16	1 1/8	1 11/64	1 7/32	1 3/32	1 11/32	1 27/64	1 1/2	1 35/64	1 19/32	1 41/64	1 45/64

1909年美國鐵路協會復擬定 A, B 兩標準系名 A.R.E.A 式 A 系之設計要旨, 為頭部比較輕量, 而有高量之轉動慣量。B 系之頭部狹而高, 不甚重視其轉動慣量。頭部兩上隅之半徑, 亦由 $\frac{5}{16}$ 吋增為 $\frac{3}{8}$ 吋。頭部兩側並不垂直, A 系有傾角 $3^{\circ}35'$, B 系有傾角 3° 。1914 年軌條委員會報告云, A.S.C.E. 之標準軌條, 仍為各處所盛行, 並未因新式樣而摒棄。

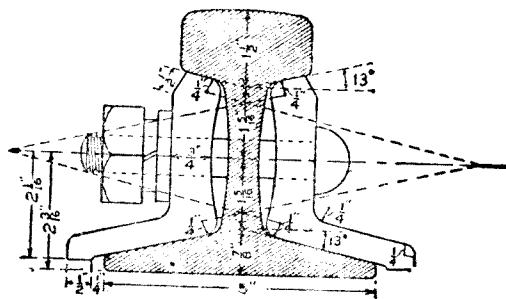


圖 88 軌條之結合

軌條截面之設計中, 最為人所議論者, 為頭部兩上隅之半徑間

題。軌條磨損最先開始者，即在該處。軌條之用銳隅者，較鈍隅之磨損為緩。磨損一經開始，則進行率較速，亦足為鈍隅易損之佐證。故為養護計，實以採用銳隅軌條為宜。但過銳之隅，則易使輪緣磨損，且易致脫軌。為折衷計，故 A.S.C.E. 截面為 $\frac{5}{16}$ 吋，而 A.R.E.A. 截面增為 $\frac{3}{8}$ 吋。

重量 軌條之重量，與鐵路之財政及技術各問題間之關係甚密。軌條價值昂貴，佔鐵路建築費之大宗，故減省 5% 或 10% 為數可觀，易受人之注意。鋼軌價格通常以噸為單位，故減輕每碼之重量，總價即隨以減少。

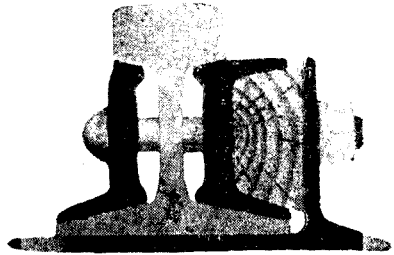


圖 89 未柏式軌條之結合

但吾人所應注意者，所採之軌條不問其輕重若何，必須有適宜之強度與強性耳。

揆諸理論，各級軌條之截面，既為相似形，故其強性係與重量之二次方成正比，強度與重量之 $\frac{3}{2}$ 次方成正比。例如重量增加 10%，則強性增加 21%，強度增加 15%。茲更以實例比較之。某路之軌條有主張用 60 磅，有主張用 70 磅，若每噸（2240 磅）之鋼軌價美金 30 元，則每哩總價相差 \$471.42。又所增之價為 16%，但

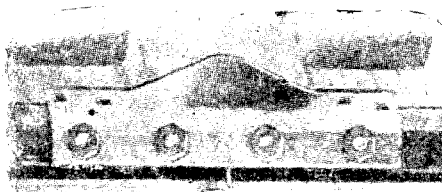


圖 90 透谷諾式軌條之結合

強度增加 26%，強性增加 36%，強性之增加，較諸總價之增加超過一倍以上。惟軌道之強性與強度不僅關係於軌條，

對於軌枕與道碴亦有甚巨之影響，故何者為軌條合度之重量殊無絕對之規律。所可知者，軌道愈有強性，則行車阻力愈減，速率與安全率愈高。故加重軌條不僅有益，亦頗合經濟原則也。以通常情形

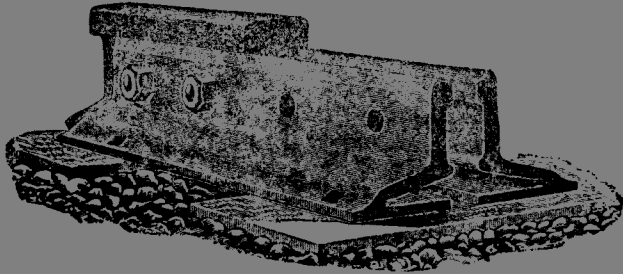


圖 91 連續式軌條之結合

言，標準軌距行駛普通車輛之鐵路，不問運輸如何稀少，最少須用 60 磅軌條。運輸情形頗佳者，須用 70 磅軌條。大幹路則視運輸情形須用 85 磅至 100 磅軌條。（除支綫外）

軌條之長度 美國鐵路工程與養路協會於 1902 年之標準規範內，載明軌條之標準長度為 33 呎。所交之貨可搭用 27, 29, 31 呎

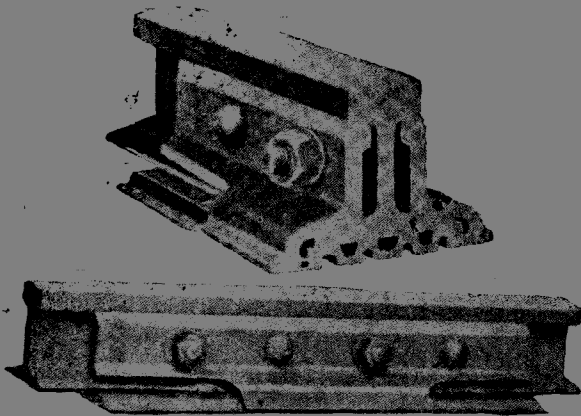


圖 92 武爾豪普脫式軌條之結合及其截面形

之短軌十分之一以內。軌條長度與規定長度之差數以十吋為限。

近數年間，頗多試驗增加軌條長度者，故用 45 與 60 呎軌條者，已見風行。應用長軌可減省軌條之結合，而隨結合所生之困難，亦隨以減少，惟結合處所留伸縮縫必須照加。

107. 軌條之接合 當重車輪在彈性軌條上滾轉之際，軌條本身即在車輪接觸點之前發生波浪形之動作。如結合處之強性及強度與軌條相同，則此波浪形動作頗有規律。以理論言，惟有將軌條鉚接方能達此目的，如採用結合鈹，則其重量及強性必須超過軌條而後可。結合之種類甚多，現代所通用者則如圖 88 至 93。

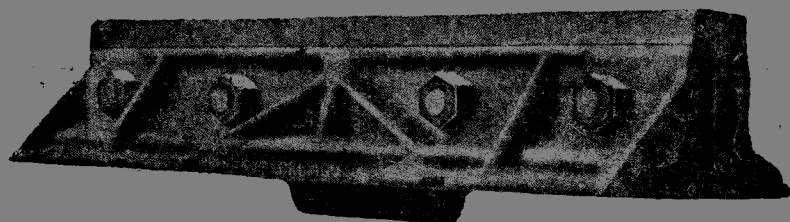


圖 93 阿特拉斯式懸空結合

軌條之結合，可分為懸空結合及承墊結合兩種。前者結合處適在兩軌枕之空處，其兩端各居一個軌枕之上；後者之結合處適在一軌枕上，而其兩端則在空處。如結合甚長，則其兩端亦可置於軌枕上，則名為三枕結合。各種結合大率為懸空結合，而以角釘最為通行。此種角釘長約 26 吋，其上緣須適與軌頭相密接，其底鈹須適與軌條下緣相密接。故一種結合祇可用諸一種之軌條，不能移用於別處。輕量軌條之接合，常用四螺栓之角釘，重者用六螺栓。栓孔咸為橢圓形，而螺栓之頸部亦與此同形，使螺栓扣住栓帽不致脫落。軌條之孔，須較螺栓大 $\frac{1}{4}$ 吋，以備軌條之漲縮。

絕緣結合 一部分之軌條，常被用作號誌設備之導電體，故其

與他部分之軌條間，須有絕緣結合，俾電流不致走失，軌條之接縫

內須插入絕緣體，而結合體亦須改用木質。如用鐵質則須設法使其絕緣。圖 94 爲此種接合之一。

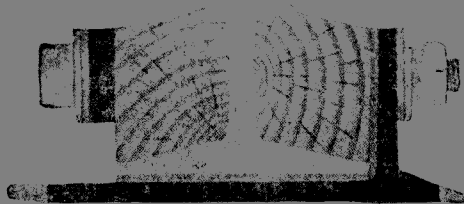


圖 94 軌道線路之絕緣結合

108. 軌枕鈹 軌枕

木質柔軟者，常未及朽爛即被軌條蝕損甚烈。蝕損之原因，不僅由於靜壓力，乃由於軌條膨脹時對於軌枕之磨擦，及機車經過時之撞擊。曲線上軌枕，則更受車輛離心力所引起巨量壓力之影響。爲避免此種蝕損起見，則用軌枕鈹分置於枕木與軌條之間。用此鈹以後，道釘均自鈹中穿過，不致單獨移位而鬆動。軌枕鈹費用，所增無幾，而增加軌枕之壽命則甚多。採用柵木軌枕者，未見應用軌枕鈹之利。

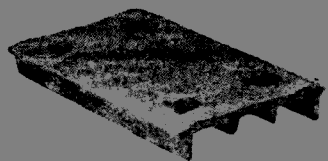


圖 95 軌枕鈹

道釘必須緊扣於鈹之釘眼中，

否則失去鈹之主要目的，而軌條仍有左右移動之虞。鈹之底常有突

緣，不僅增加鈹之強性，亦可使其不致顛顛。鋪鈹時須將此項突緣用木錘擊沒於枕木之中。

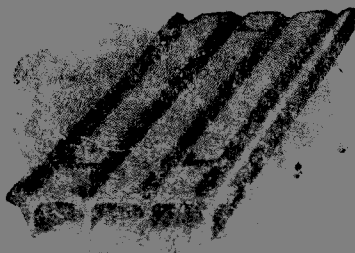


圖 96 武鋼製成之軌枕鈹

突緣軌枕鈹雖甚風行，但近年所建鐵路，頗有採用平底鈹之趨勢，據謂突緣侵入枕木後，足以

促其朽爛，而平底者則可免此弊。圖 97 爲一種平底鈹，中附圓孔，爲

供螺旋道釘之用。

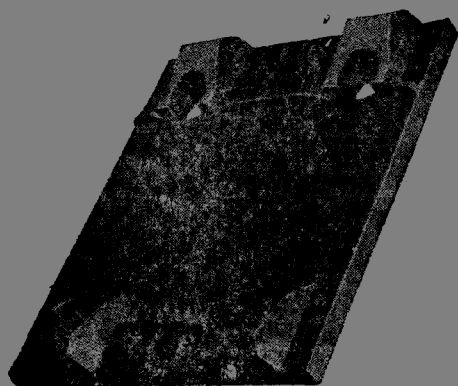


圖 97 「經濟」九號式軌枕釘

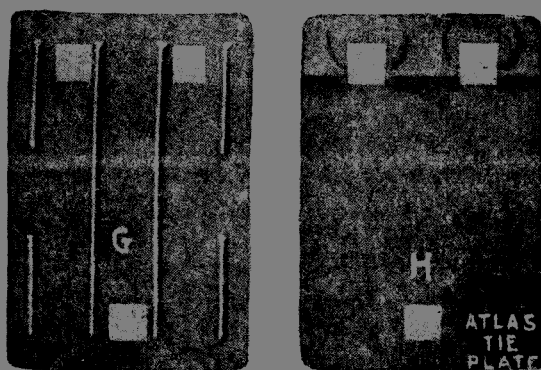


圖 98 阿特拉斯式軌枕釘

109. 軌條撐 為抵抗車輛行動時曲線外軌所受之壓力，及靜止時因超高度關係，內軌所受之壓力計，常須設置軌條撐，如圖 99 及 100。

此項軌條撐有以鑄鐵者，但鑄鐵質脆，鑿擊道釘時易致破碎。較佳者則用鍛鐵或鋼板製成。圖 100 為附有墊板之支撐，設置於軌條之下，軌枕之上，可作軌條撐及軌枕板兩種用途。

110. 道釘 道釘之基本需要，爲其握固力，但價值之低廉，設置與拔除之便易，亦爲必要。由經驗所知，將道釘四周作成粗糙之面，不僅不能增加握固力，反易損傷木纖維而減退握固力。故最佳之道釘，須有光平之面。道釘之尖，須能割裂木纖維而非將其破壞。如是則道釘鉅入之後，木纖維即隨以壓向下方，如欲將釘拔出，則須將木纖維返回原狀，其結果可使阻力及握固力均隨以增加。標準之道釘，在 56 磅以上之軌條，率長 $5\frac{1}{2}$ 吋與 $\frac{9}{16}$ 吋見方，每桶 200 磅，約有 375 枚。照此計算，軌枕中

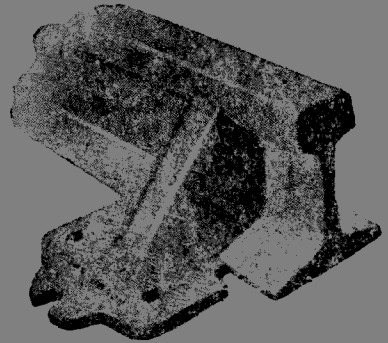


圖 99 阿特拉斯式 K 號軌條釘

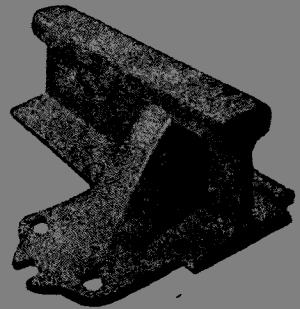


圖 100 阿特拉斯式 K 號軌條螺絲

距爲 24 吋，每枕用道釘四枚，則每哩須道釘 5,632 枚，即 28.16 桶。實際應用時，尚須增加若干，以備廢棄與遺失。

111. 螺栓 軌條接縫處所用螺栓，須有充分之強度夾緊兩面之角釘，以發揮其全力，但亦不得過分緊密，致軌條漲縮時無法滑動。揆諸事實，在直線軌道中，溫度退落時隨收縮而發生之拉力，甚爲鉅大，非螺栓握固之力所能抵禦。但當膨脹時，尤以曲線軌道爲甚，阻礙滑動之力殊巨，致軌道爲之撓屈。軌條接縫間所留膨脹餘地不足者，亦可發生此種現象。

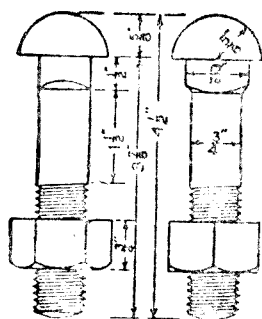


圖 101

又螺帽旋轉時，螺栓必須固定，則可將螺栓頸部突起為橢圓形，如圖 101。此橢圓形突頸，須與角釘之橢圓釘孔相密接。此圖所示之螺栓，可適用於 70 或 80 磅軌。較重之軌條，則須較長較重之螺栓。螺栓長度隨所用接合及有無螺帽鎖而定，其直徑則隨軌重而異。螺栓之直徑自 $\frac{3}{4}$ 吋起至 1 吋止，

長度自 3 吋起至 5 吋止。

112. 螺帽鎖 螺帽鎖之式樣有三：(a) 在螺帽之下加彈性墊環一條，以吸收振動而免螺帽鬆退。(b) 特別製成之螺帽，可以齧住螺栓，不致因振動而鬆退。(c) 直接制止式，用直接方法將鎖固定不令轉動。

圖 102 所示，為尾形墊環，為 a 類之螺帽鎖，而兼有 c 類意義，蓋其兩端之尖尾可將角釘之側及螺帽之底同時齧緊，阻

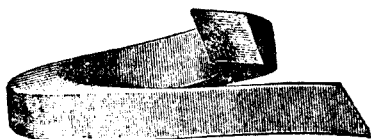


圖 102

止螺帽之鬆退也。當螺帽旋緊之際，此項尖端即隨以滑轉。

圖 103 所示之哥倫比亞螺帽鎖，為 b 類螺帽鎖之一種，螺帽分

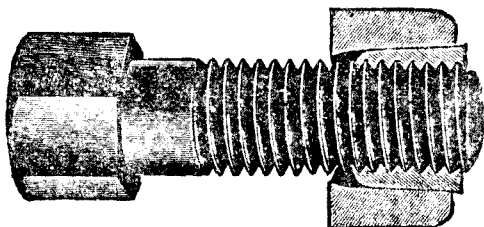


圖 103

內外兩複層，內層為四邊角錐截頭體，磨圓其隅，外層中空，恰容裏層。因係角錐形，故內外二層，須同時

轉動。當外層觸遇角釘面時，其反推力即將內層擠出少許，而使螺栓軋緊。此種螺帽愈轉則握固愈緊。

圖 104 之戈登螺帽鎖，為 *c* 類螺帽鎖之一種。螺帽係方形，故將插鈹插入時，各螺帽均箝住不能轉動矣。市上所售螺帽鎖，式樣頗多，效用不一。以上不過每種舉其一例以資說明而已。

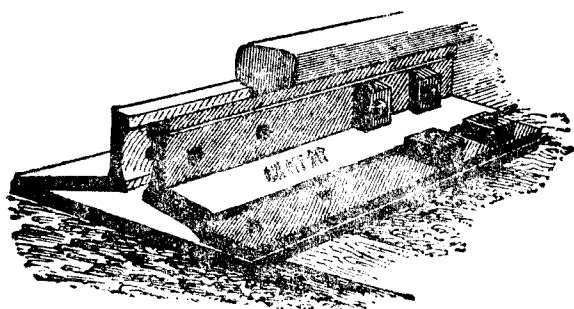


圖 104

第十七章 軌道鋪設法

113. 測量 在土工完成與涵洞橋梁竣工後，須將軌道中線重行測設於路基之上。當前次定線測量時，如將曲線終始點之位置用參證概指明，則可按其距離重行設定。次將中間各點全部補足。再次則用水準儀檢查各點高度是否與計畫高度相符合。如挖填土工進行時極為審慎，則誤差必甚微小，惟填方之路基應較計畫高度稍高以備其沉落。

114. 道碴之鋪設 此事已於第 104 節講述。在此節中，并已述及先鋪軌道，後通工程車，以運送道碴之法。

115. 軌枕之鋪設 軌枕若有同一之長度，則排齊其一端，他端亦隨之齊一。惟軌枕之長度通常每有數吋之出入，故祇可排齊其一端。鋪設工人宜給以木桿一支俾支，配軌枕之間距，惟稍有經驗以後，可以無須此桿。枕木之木紋，須向下彎曲，如圖 105，俾雨水排除較易，否則水易浸入促其朽爛。



圖 105

116. 軌條之鋪設 鋪設軌條，須使左右兩面之接縫互相參差，而不相準對。論理，開始鋪軌時，一面須鋪半長度之軌條一段，

但揆諸事實，鋪至曲線時，兩面接縫之距離每被擾亂。欲免此弊，宜於此處選用較短數尺之軌條一支即可。若遇轉轍器，則又應將接縫從頭排起，多餘之軌條則須截割。軌道中不宜採用過短之軌條。如鋪設時祇缺軌條數尺，則宜將長軌條截割，使可接鋪較長之軌條。軌條開始鋪設時，祇須鋪在大約之位置，軌條之端須互相銜接。

裝置軌條之接合時，須使前後兩軌條間留一細縫，以備軌條之因熱膨脹。理論上每增加華氏 1 度，軌條長度應膨脹 .0000065 全長，故查明鋪軌時之溫度，及該地最高最低之溫度，即可計算應留軌縫若干。但事實上如此算得之軌縫，寬窄不一，不便於用。習俗上所設之標準，為最冷氣候留縫 $\frac{5}{16}$ 吋；春秋留縫 $\frac{1}{4}$ 吋，最熱氣候留 $\frac{1}{16}$ 吋。最熱氣候時所以猶留軌縫 $\frac{1}{16}$ 吋者，意在使軌條之端不致密接，即遇異常炎熱之氣候，亦不致因漲而撓屈。如在氣溫 $60^{\circ}F$ 時，鋪設長 33 呎軌條，則須至 $120^{\circ}F$ 時方能膨脹 $\frac{1}{16}$ 吋，按 $120^{\circ}F$ 氣溫須在極炎熱之夏日遇之，斯時陰蔭氣溫當已達 $100^{\circ}F$ 矣。欲使所留軌縫更形精密，則可用針形溫度計之水銀球與軌條相接觸，可得軌條之近真溫度，軌條每增加溫度一度，其長度應增

$$.0000065 \times 33 \times 12 = .002574 \text{ 吋}$$

如以 $120^{\circ}F$ 為最高溫度（亦有假定為 $150^{\circ}F$ ）則減去實測溫度後即知相差之度數若干，乘以上數即知軌縫應有之闊度。鋪軌時取相等於軌縫之鐵片，插置兩軌之首尾間，然後裝置接合，打入道釘。一面之軌條鋪就，乃用軌距尺就每隔一枕之處將另一面之軌條校準，打入道釘。標準軌距為 4 呎 $8\frac{1}{2}$ 吋，即 4.708 呎，鋪軌時須時常將準尺按量，而尤以曲線上為要。曲線上之軌條，通常規定必須預

先彎成。實則半徑愈小，則此項規定愈為必要，若曲線甚緩，則可不必。

曲線軌條之困難問題，均在接合處；蓋軌條彎曲不能合法，則前後兩軌條不能圓轉如意，對於軌道本身及急行列車均有損害。最善之法，係將軌條預在軋鋼廠內用軋輪彎就。在一般電力鐵路所有曲率頗銳之軌條，均係如是。若在工地為之，則宜用彎軌器，每間兩呎將軌條彎曲少許。取細線張於軌條之兩端，則矢長可計算如下：

如圖 106，因三角形 AOE 與 ADC 為相似形，故 $AO:AE = AD:DC$ ，或 $R = \frac{1}{8} AD^2 \div x$ 。因 AB 弧之長度比較半徑頗為微小時， AD 略等於 $\frac{1}{2} AB$ ，代入式中則得

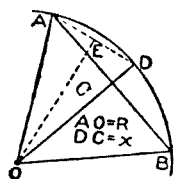


圖 106

$$R = \frac{(\frac{1}{2} AB)^2}{8x} \text{ (近似數)} \dots\dots\dots (54)$$

或
$$x = \frac{(\frac{1}{2} AB)^2}{8R} \text{ (近似數)} \dots\dots\dots (55)$$

在數理上，上式雖非精確，但在實用上已極敷用矣。

〔例題〕長 33 呎之軌條設在 6° 曲線之外軌時，應使矢長為若干？吾人可假定弦長為 33 呎，俾與公式中誤差相抵銷。則半徑 $R = 955.37 + 2.35 = 957.72$ 呎。

得
$$x = \frac{33^2}{8 \times 957.72} = 0.142 \text{ 呎} = 1.70 \text{ 吋。}$$

同法可算得用在內軌時其矢長應為 1.69 吋，此足證除極銳之曲線外，內外軌之彎度幾無分別，而無須將半軌距計及。預用此法算出 33 呎軌條鋪設為各種曲線之矢長，列成一覽表，在鋪軌時甚為便利。

軌條須用道釘釘着於軌枕之上，每側一釘須成犄角，以免軌枕破裂。軌枕另一端亦然，但此端內側之釘與彼端內側之釘必須成對，外側之釘亦然，庶軌枕常可保持直交於軌條之位置而不致移動。此事雖簡而關係至重，不可忽視也。

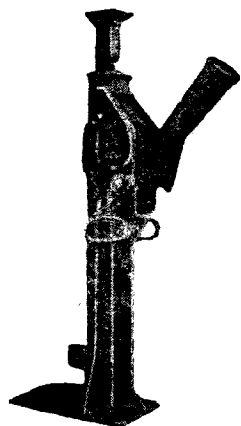


圖 107

117. 路面之校準 軌道之中線已與中心概符合，則路線業已完全。軌條設置時須令較低於規定高度數時，乃將頂重器(如圖107)，置軌枕或軌條之下，將軌道頂起至規定高度。一面用鍬或鏟將道渣嵌入軌枕之下，用力搗實之。道渣為碎石時，宜用鍬或鐵針，如為礫石時宜用鏟。

118. 外軌之超高度 按諸物理學理，欲令物體作圓周運動時須加以外力 $\frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R}$ 。式中 G 為物體之重量， g 為重力加速度， v 為運動之速率， R 為曲線半徑。若將曲線軌道鋪於水平位置，則此項外力之供給，須由輪緣對於軌條之壓力為之。為避免此種惡性壓力計，則宜將外軌抬高，使車輪偏倚方向之分壓力，適等於向心力。

如圖 108， oc 表示車輛之重量， oa 表示向心力，故 ob 為合力。由相似三角形理，得

$$sn : sm :: ao : oc. \quad \text{命 } g = 32.17$$

$$R = \frac{5730}{D}, \text{ (近似式), } v = \frac{V \times 5280}{3600}$$

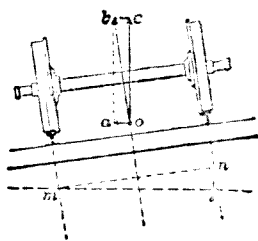


圖 108

(式中 V 之單位為 m.p.h.) mn 為軌條中心距離，在 80 磅軌條，標

準軌距之中心距爲 4.916 呎。 sm 因係水平投影，故較此數略小，命爲 4.900（即超高度爲 4 $\frac{1}{4}$ 吋時之實數），又命 $sn=e$ ，得

$$e = sm \frac{ao}{oc} = 4.9 \frac{Gv^2}{gR} \times \frac{1}{G} = \frac{4.9 \times 5280^2 V^2 D}{32.17 \times 3600^2 \times 5730}$$

或
$$e = .0000572 V^2 D \dots\dots\dots (56)$$

由上式，可知超高度應與行車速率之平方成正比，即行車速率變化 10%，則超高度應加 21%。因行車速率變化無定，故超高度不能適應於各種列車，而式 56 演繹時所用近似方法，亦無甚重要關係。

實用規律 通用之規律，爲每曲度一度，則設超高度一吋。此規律僅在每小時 38 哩之行車速率時，與理論算式相合。若速率較小於此，則外軌上壓力，可以大減。又每小時 38 哩之速率，在運輸業務較稀之支路，已屬極大值，故此種規律甚爲適用。

另一規律，頗便於養路工人如次：

命式 55 中 x 與式 56 中之 e 相等，則

$$\frac{\text{弦長}^2}{8R} = .0000572 V^2 D$$

因 $D = 5730 \div R$ ，得 弦長² = 2.621 V²，

$$\text{弦長} = 1.62 V \dots\dots\dots (57)$$

若以 50 m.p.h. 爲最高速率，則弦長 = 1.62 × 50 = 81 呎。意即如用 81 呎之捲尺張於外軌上，所得之矢長等於所求之超高度。其他行車速率亦可同法求得。在雙軌鐵路，兩軌道之行車一往一來，其速率顯屬有別，故超高度亦應有別。若干鐵路對於超高度均有特訂之規律。

第十八章 轉轍與分道叉

119. 轉轍之構造 舉世通行保持車輪於軌條上之方法，係將輪緣貼靠於軌頭之內側。如欲使車輪由幹道轉入側道，則必須為輪緣創一新路而後可。其方法有二：一為誘導輪緣通入側道；一為抬高車輛換入側道。茲詳述兩法於後：前法無須抬高車輛故採用頗廣。

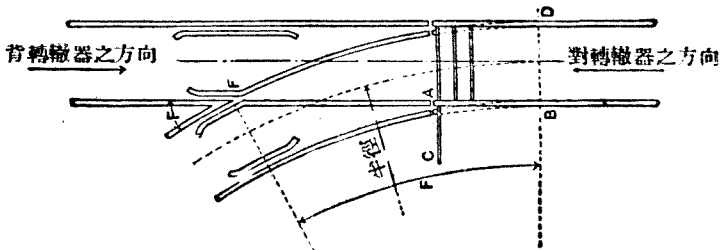


圖 109 平端轉轍器

自幹道開始分出軌條之法有二：一為平端轉轍法，如圖 109 所示。一為尖端轉轍法，如圖 110 所示。此等附圖及本章各附圖，均屬一目了然之圖解性質，故業將曲線半徑減小，軌距放寬，轍叉角度放大，以期說明原理較為便利，並縮小篇幅而便閱覽。

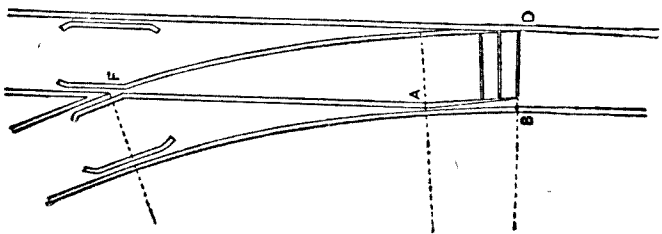


圖 110 尖端轉轍器

平端轉轍器之用途，現祇限於最廉之車場工程，及自側道分出之私用轉轍，而不宜採用於幹道。其構造可觀圖 109。其中有可以活動之軌條二支，用繫釘相聯，使其軌距不變。一方之平端軌條二對亦係固定。欲使車輛自幹道換入分道，可將繫釘拉緊，使活動平端軌條與分道平端軌條相銜接即可。尖端轉轍器之詳細構造，顯示於圖 111。注意每側各有軌條一支連續不斷。另一軌條之頭部則幾被

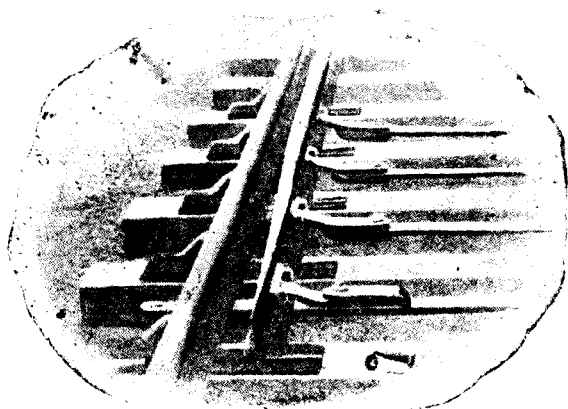


圖 111 尖端轉轍器之構造細目

完全削盡，底緣亦削去一部分。另一底緣及腹片，暨腹片以上之一部分軌頭均仍存在。圖中所示之各繫釘，則將此削剩之軌條與對側同式之軌條相聯。盡頭處之一繫釘，較為延長，以與轉轍機臺之轉轍針相連。此項活動軌條，滑動於軌枕鈹之上，鈹上附有軌條撐以增強軌條，使抵抗巨大之旁推力。此種轉轍軌條之尖端角度，自 $0^{\circ}52'$ 至 $2^{\circ}36'$ 不等。

轉轍機臺 圖 112 為轉轍機臺之一型，其上附有指示位置之號誌。其機械平常均掩藏於機壳之內，茲繪以輕淡線條，以指示機壳之位置。轉轍機臺型式甚多，本書篇幅有限，不克枚舉。

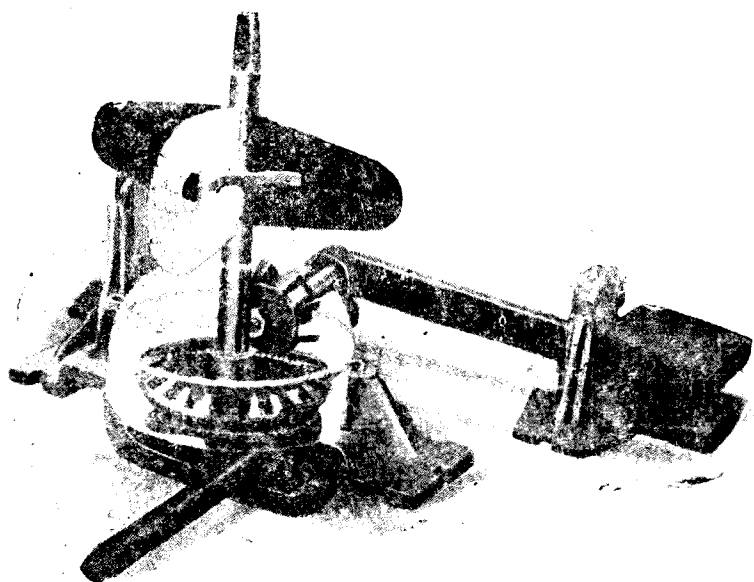


圖 112 轉轍機臺

護輪軌 在圖 109 與 110 內，轍叉之旁均為護輪軌。此所以避免車輛誤行於轍叉之彼方面，並減輕轍叉之蝕損。在護輪軌頭部與正軌間之距離，名為輪緣溝，不得過闊，大致以不超過 2 吋為度。普通兩軌條並置時，軌頭之間距較大於此，故護輪軌之底緣必須削去一部分。護輪軌長度自 10 呎至 15 呎不等，兩端須稍彎曲，俾輪緣不致撞擊其盡端。

轍叉 當輪緣進至分道外軌與幹軌相遇之處，則有兩種過渡

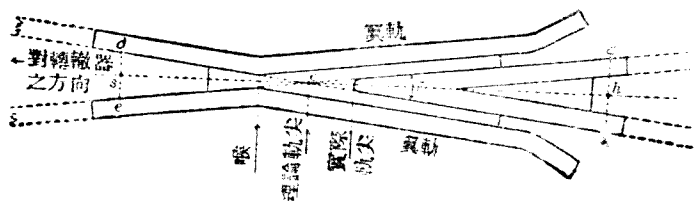


圖 113 叉轍之圖示

方法，一為穿過幹軌之頭部，一為抬高車輪越過幹軌，而前者最為通行。圖 113 表示轍叉之外形。

轍叉之號數，係自軌尖至任一點之距離，除以該點之轍叉寬度

而得，在本圖中即等於 $ch \div ab$ 。因 c 點為理論之交點，在實物上不易覓定，故宜在另一方向量取 ed ，將 ed 與 ab 相加而除 sh 。量算轍叉之號數，可用道釘或鉛筆一支為長度單位。將此種物品橫置於轍叉之上，若 ab 適等於長度單位，乃由 h 點量至 c 點，計其長度為若干單位。此若干單位數即為號數。軌條之中斷，為此種轍叉之缺點，以致急行車輛經過時發生震動。如將轉轍器照

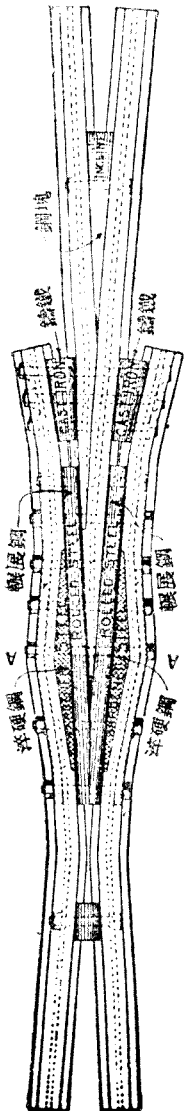
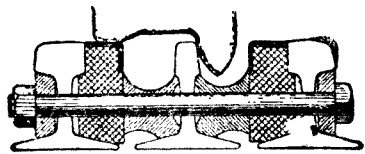


圖 114A

圖 114 作成硬固式，則此部分軌道較為固定，



截面A-A

圖 114B

但車輪仍須滾過所留之間隙。設計之原旨，在使車輪無論在於何點，均無突然墜落之虞。故於軌條間增加硬鋼一段以抵托輪緣。該處壓力頗鉅，若鋼面不被蝕損，則此項目的可期達到。

如圖 115 所示為彈軌轍叉，其設計原旨在欲避免軌條間所留間隙。輪緣行至轉轍時，能將強力彈簧所拉緊之一部分幹軌壓向分道。通常

車輛向轉轍進行時必稍緩慢，俾軌條得以壓緊而免脫軌之險。因軌道係藉彈簧之力以保持其位置，故其安全較諸固定轍叉為遜。抬高車輪越過幹軌之法，顯示於圖116，此項方法甚多，此不過其中之一例。此法之惟一優點為使幹軌完全不斷。

圖 117 為避免幹軌及轉轍器軌條中斷之一法。轉轍器軌條在轉轍點之高度與幹軌相等，自此以上乃逐漸隆起，抬高輪緣至可以超過幹軌為止。此種轉轍器之行車速度須極低緩。

120. 計算方法

在本文所用諸說明

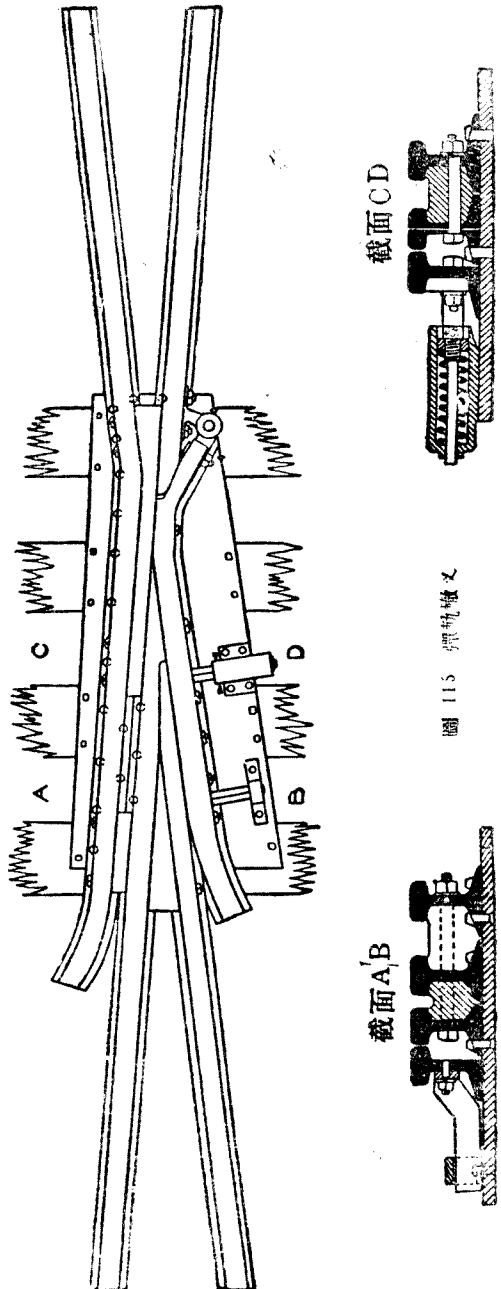
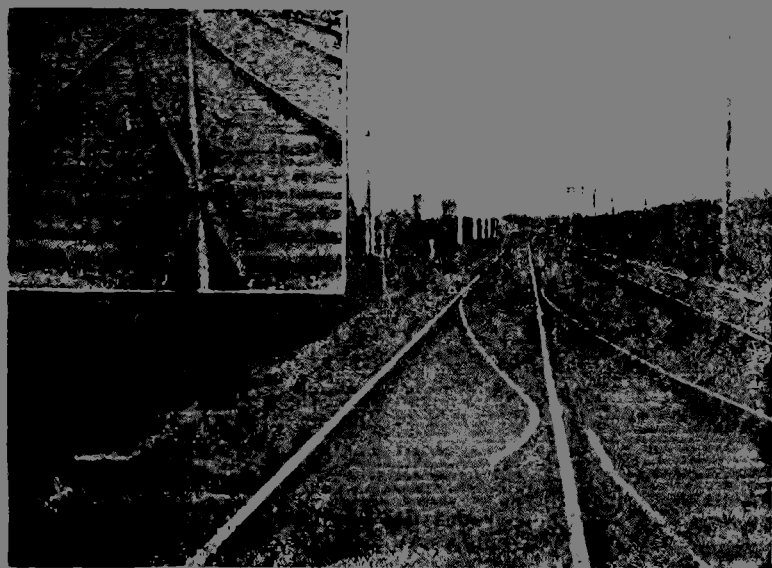
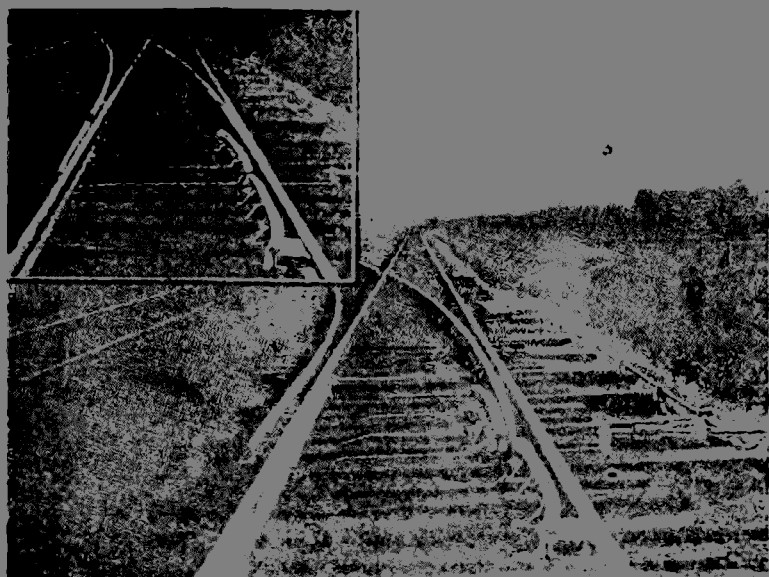


圖 115 彈簧轍叉



116



117

圖內,凡表示軌道之線,均指軌條頭部之內側而言,各種老算式,以其甚為簡單,故今猶沿用。其中所用分軌,均假設為簡單曲線,起自轉轍點終於轍叉,而與幹軌相切於轉轍點。為其應用甚廣,故詳述於次。命 R 為曲線幹軌之半徑, r 為分軌之半徑,

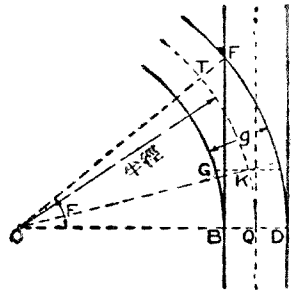


圖 118

F 為轍叉角度, g 為軌距, L 為導距,即自轉轍點 B 至轍叉 F 之距離。

在圖 118 中, 角 $FOD = F$, $BD = \frac{\text{vers } F}{OF}$;

由此得 $r + \frac{1}{2}g = \frac{g}{\text{vers } F}$ (58)

又因 $BF \div BD = \cot \frac{1}{2}F$, $BD = g$, $BF = L$, 故得

$$L = g \cot \frac{1}{2} F \text{ (59)}$$

又 $L = (r + \frac{1}{2}g) \sin F$ (60)

及 $QT = 2r \sin \frac{1}{2} F$ (61)

以上各式,均與 F 有關,由表 7,可見 F 之值均為畸零角度,而計算三角函數頗為複雜。圖 119 指明

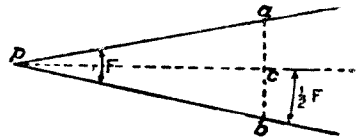


圖 119

轍叉號數 $n = pc \div ab$ 又等於 $\frac{1}{2} \cot \frac{1}{2} F$,

由此可得以下極簡單之算式:

因 $L = g \cot \frac{1}{2} F$, $n = \frac{1}{2} \cot \frac{1}{2} F$,

故得 $L = 2gn$ (62)

但自圖 120,若繪軌條中線 QZ ,與 DF 交於 Z 點,又因 $DQ = \frac{1}{2}DB$,

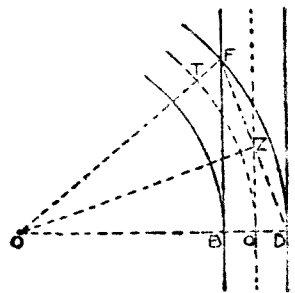


圖 120

$$QZ = \frac{1}{2}BF = \frac{1}{2}L, \quad OQ = r, \quad \text{角}ZOQ = \frac{1}{2}F,$$

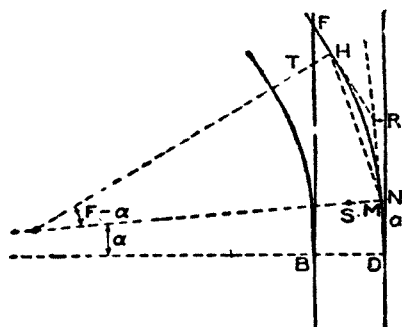
故
$$r \div \frac{1}{2}L = \cot \frac{1}{2}F,$$

由此得
$$r = nL \dots\dots\dots(63)$$

將 63 式與 62 式合併,得

$$r = 2gn^2 \dots\dots\dots(64)$$

以上諸式, 均係曩昔通行平端轉轍器時所演出, 事實上難於應用。現時通行尖端轉轍器, 分軌與幹軌所成角度起自 $0^{\circ}52'$ 至



$2^{\circ}36'$, 轍叉軌條亦改為直線。

由於此項變化, 導距為之減短 15 至 25%。在圖 121, DM 表示直線尖軌, HF 表示直線轍叉軌條, 兩者用相切之 MH 圓弧相聯, 圓弧之中心角為 $F - \alpha$, α 為尖軌角度即

圖 121

MDN。MH 弦與幹軌所成之角, 為 $\frac{1}{2}(F - \alpha) + \alpha = \frac{1}{2}(F + \alpha)$

命 $FH = f$, 與 $MN = k$, 則 $HM \sin \frac{1}{2}(F + \alpha) = g - f \sin F - k$,

但 $HM = (r + \frac{1}{2}g) 2 \sin \frac{1}{2}(F - \alpha)$, 將此值代入前式; 解出 $(r + \frac{1}{2}g)$,

則得

$$r + \frac{1}{2}g = \frac{g - f \sin F - k}{2 \sin \frac{1}{2}(F + \alpha) \sin \frac{1}{2}(F - \alpha)} = \frac{g - f \sin F - k}{\cos \alpha - \cos F} \dots\dots\dots(65)$$

$$ST = 2r \sin \frac{1}{2}(F - \alpha) \dots\dots\dots(66)$$

導距 $BF = L = HM \cos \frac{1}{2}(F + \alpha) + f \cos F + DN$

$$= (g - f \sin F - k) \cos \frac{1}{2}(F + \alpha) + f \cos F + DN \dots\dots\dots(67)$$

若 $r + \frac{1}{2}g$ 之值,已由式 65 算出,則計算 L 之值可用次法:

$$L = 2(r + \frac{1}{2}g) \sin \frac{1}{2}(F - \alpha) \cos \frac{1}{2}(F + \alpha) + f \cos F + DN$$

$$= (r + \frac{1}{2}g)(\sin F - \sin \alpha) + f \cos F + DN \dots\dots\dots(68)$$

例如由表 7, 求九號轍叉之 L 得 72.61, 若導軌為圓弧, 則此值應為 84.75 呎。表 7 即根據以上諸式算出以便檢查。

表 7 A. 轉轍及轍叉尺度表

轍叉 號數 (n)	轍叉角度 (F)	真數 sin F	真數 cos F	對數 sin F	對數 cos F	對數 cot F	對數 vers F	轍叉 號數 (n)
5	11° 25' 16"	.19802	.98020	9.296706	9.991814	10.694608	8.296703	5
6	9 31 38	.16552	.98621	.218840	.993968	.775128	.139656	6
7	8 10 16	.14213	.98985	.152685	.995569	.642393	3.006551	7
8	7 09 10	.12452	.99222	.095223	.996607	.501384	7.891110	8
9	6 21 35	.11077	.99385	9.044423	.997319	.952896	.739155	9
10	5 43 29	.09375	.99501	3.998909	.997829	10.998920	.697872	10
11	5 12 18	.09072	.99589	.957701	.998205	11.040505	.615267	11
12	4 46 19	.08319	.99653	.920071	.998492	.078421	.539864	12
14	4 05 27	.07134	.99745	.853320	.998892	.145572	.406164	14
15	3 49 06	.06659	.99778	.823430	.999035	.175605	.346312	15
16	3 34 47	.06244	.99805	.795444	.999152	.203708	.290282	16
18	3 10 56	.05551	.99846	.744385	.999330	.254945	.188074	18
20	2 51' 51"	.04997	.99875	8.698695	9.999457	11.300762	7.096631	20

表 7 B. 理論導距 (軌距 4'8 1/2")

轍叉 號數 (n)	轍叉		轉轍軌條		轉轍器之尺度			
	轍叉 鈍度	前 端 至 理 論 又 之 距 離 (W)	後 端 至 理 論 又 之 距 離 (K)	軌 距 (S)	角 度 (a)	半 徑 (r)	引 導 曲 線 之 度 數 (D)	轍 叉 之 實 在 尖 點 至 轍 叉 實 在 尖 點 (L')
		ft.	ft. in.					
5	0.21	3 4	5 8	11 0	2 36 19	195.59	31 15 28	43.15
6	0.25	3 6	6 6	11 0	2 36 19	280.48	20 33 14	48.86
7	0.29	4 5	7 7	16 6	1 44 11	364.39	15 47 19	62.23
8	0.33	4 9	8 3	16 6	1 44 11	488.71	11 44 40	67.80
9	0.37	6 0	10 0	16 6	1 44 11	616.27	9 18 27	72.61
10	0.42	6 0	10 6	16 6	1 44 11	730.25	7 15 18	77.98
11	0.46	6 0	11 0	22 0	1 18 08	940.21	6 05 48	92.52
12	0.50	6 5	12 1	22 0	1 18 08	1156.34	5 02 38	97.75
14	0.58	7 3	14 8	22 0	1 18 08	1600.73	3 34 48	107.74
15	0.62	7 8	14 10	30 0	0 57 18	1764.69	3 14 50	126.49
16	0.67	8 0	16 0	30 0	0 57 18	2032.74	2 49 08	131.52
18	0.75	8 10	17 8	30 0	0 57 18	2632.76	2 10 35	141.93
20	0.83	9 8	19 4	30 0	0 57 18	3324.16	1 43 08	151.69

表 7 C. 實用導距 (軌距 4'8 1/4")

轍叉 號數 (n)	中線半 徑 (r)	引導曲 線之度 數 (D)	接連 轉轍 軌條 之切 線長 (T _g)	接連 轍叉 前端 之切 線長 (T _f)	轉轍軌 條之質 在尖點 至轍叉 之實在 尖點 (L')	直線軌條 之閉塞	曲線軌條 之閉塞
	ft.	° ' "	ft.	ft.	ft.		
5	175 40	33 07 28	0 00	0 97	42 54	1-28 0	1-28.31
6	254 90	22 42 20	0.00	2 00	47 50	1-32 75	1-33
7	351 69	15 53 30	0.00	0 22	62 08	1-26	1-15.12
8	467 37	11 46 36	0.32	0.00	68 00	1-30	1-16.58
9	605 18	9 28 42	0.00	0 57	72 28	1-33	1-16.41
10	779 82	7 21 08	1.56	0.00	78 75	1-28	1-27.83
11	922 65	6 12 47	2.99	0 00	94 31	1-33	1-32.85
12	1098 73	5 12 59	5.33	0 00	100 80	2-24	1-23.88
14	1512 14	3 47 28	0.00	2 84	106 27	2-30	1-16.44
15	1748 29	3 16 40	0.00	0 51	126 19	2-30	1-27.90
16	2019 18	2 50 16	0 00	0 40	131 56	2-30	1-32.90
18	2380 47	2 24 26	0.00	6.38	138 50	2-33	1-32.92
20	3322 13	1 43 29	0.00	0 27	151 46	2-33	1-30
						1-14.96	1-16.02

121. 曲線幹軌道外側之分道叉 如擬計算由曲線幹軌之分道叉尺度,而以採用直線尖軌及直線轍叉軌條為根據,則不僅解釋甚為繁複,且製造上亦難實行。是以下列解釋,先以顯示曲線幹軌轉轍器尺度所受之影響(分道軌道全係曲線),次乃推定尖端轉轍器之尺度。如圖 122,三角形 FCD 中,

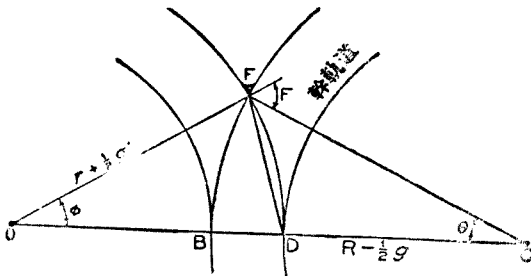


圖 122

$$(FC + CD) : (FC - CD) :: \tan \frac{1}{2}(FDC + DFC) : \tan \frac{1}{2}(FDC - DFC);$$

但 $\frac{1}{2}(FDC + DFC) = 90^\circ - \frac{1}{2}\theta$, 與 $\frac{1}{2}(FDC - DFC) = \frac{1}{2}F$;

又 $FC + CD = 2R$, $FC - CD = g$;

$$\therefore 2R:g :: \cot\frac{1}{2}\theta : \tan\frac{1}{2}F :: \cot\frac{1}{2}F : \tan\frac{1}{2}\theta$$

$$\therefore \tan\frac{1}{2}\theta = \frac{gn}{R} \text{-----} (69)$$

又 $OF:FC :: \sin\theta : \sin\phi$; 但 $\phi = (F - \theta)$

$$\text{故 } r + \frac{1}{2}g = (R + \frac{1}{2}g) \frac{\sin\theta}{\sin(F - \theta)} \text{-----} (70)$$

$$\text{導距 } BF = L = 2(R + \frac{1}{2}g) \sin\frac{1}{2}\theta \text{-----} (71)$$

由以上三式,可知幹軌曲率增加及 R 減少,則 $\tan\theta$ 與 θ 均隨以增加。 $F - \theta$ 減少而 r 增加。若 $\theta = F$, 則 $F - \theta = 0$, r 變成無窮大,換言之即分軌變為直線。若 θ 較 F 為鉅,則 $\sin(F - \theta)$ 為負值, r 亦為負值。此即分軌之中心與正軌之中心在同一方向,而其佈置將與圖 123 相同,僅 O 與 C , 及 ϕ 與 θ 應互調,而圖中所註幹軌字樣應改作分軌。式 73 與 75 與前相同,而式 74 應改為

$$(r - \frac{1}{2}g) = (R + \frac{1}{2}g) \frac{\sin\theta}{\sin(\theta - F)} \text{-----} (72)$$

若命 d 為半徑 r 曲線之曲度, D 為半徑 R 曲線之曲度, d' 為轍叉角度,同為 F 之直線幹軌所作分道叉之曲度,則可證知 $d = d' - D$ (近似數)。由此可知用上法算出之導距,與直線幹軌所算得者相去不過數吋,或竟至不及一吋。

〔例題〕 由以上諸式,計算 L 與 r 之值, (次計算 d 值) 先命幹軌為 4° 曲線,繼命為 10° 曲線。轍叉分別為 6, 9, 12 號, 故共為六種情形;再用簡略算式算出結果而比較之。

在以上各種情形之下,可以顯示其差數甚為微小,若計算時所

用之曲線甚爲尖銳，而轍叉角度甚巨，(此非良好之辦法)則差數將甚巨。但因此種分道叉如經建造，行車必須極緩，故其誤差實際無甚重要。是以吾人應用此項簡略算法，於曲線軌道之分道叉，實爲得當。採用與直線軌道同一之導距；分道軌條在幹軌道外側之曲度，將等於幹軌道曲度與表列分道軌條曲度之差；對於曲線幹軌道內側之分道叉，亦可同法顯示。分道軌條之適宜曲度，等於幹軌道之曲度與表列分道軌道(直線幹軌)曲度之和。

再者，因吾人可以顯示，採用直線尖軌條，與直線轍叉軌條後，其所生之影響，係將導距縮短，並將半徑按同一比例減小，故吾人可以假定採用前述簡略算法，並無大誤。對於導距及曲度，不用表列完全圓分道軌之數值，而用直線分道軌條與直線轍叉軌條之改正值。

132. 曲線幹軌內側之分道叉 援用完全類似上節之方法，可演得次式

$$\tan \frac{1}{2}\theta = \frac{gn}{R} \quad (73)$$

由三角形 OFC ，得

$OF:FC::\sin\theta:\sin(F+\theta)$ ，由此得

$$(r + \frac{1}{2}g) = (R - \frac{1}{2}g) \frac{\sin\theta}{\sin(F+\theta)} \quad (74)$$

導距 $BF = L = 2(R - \frac{1}{2}g) \sin \frac{1}{2}\theta \quad (75)$

以上諸公式之詳細演出方法，應由學者自爲之。又可用數字算例證明，如轍叉角度相同，則分道叉曲度(d)與幹軌曲度(D)及直線幹軌分道叉曲度(d')之和略相等。其差額較之前例雖似稍大，但幹軌曲度較小時，爲值仍微，可以略視。自附圖觀察，可知幹軌曲度甚銳

時，則分道叉之曲度亦極尖銳。此種情形須設法避免。換言之，幹軌曲線尖銳者，不宜於內方設置分道叉也。

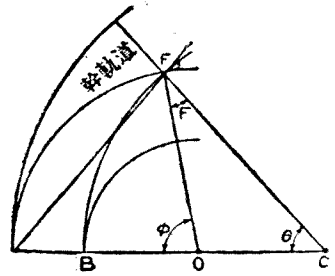


圖 123

123. 例題 1. 在 $4^{\circ}30'$ 曲線幹軌之外側，用八號轍叉及尖端轉轍器作分道叉，求導距與分道叉之曲度。

2. 在 $3^{\circ}40'$ 曲線正軌之內側，用七號轍叉及尖端轉轍器作分道叉，求導距及分道叉之曲度。

以上各例，可檢查表 7 以定尖軌角度，尖軌長度，直線轍叉軌條之長度。

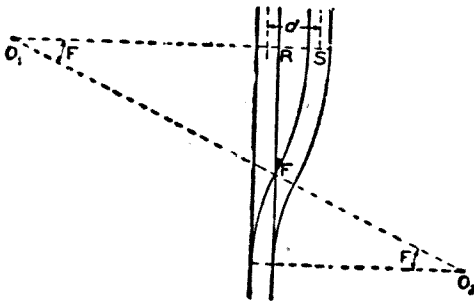


圖 124

124. 平行直軌

之連接法 如側道與幹道相平行，如圖124，則自轍叉 F 點至軌條開始平行處之 S 點間一段側道，名為連接曲線。命 d 為軌道中

線間距離，角 FO_1R 應等於 F 。若命 r 為連接曲線之半徑，則

$$(r' - \frac{1}{2}g) = \frac{d - g}{\text{vers } F} \dots\dots\dots(76)$$

$$FR = (r' - \frac{1}{2}g)\sin F \dots\dots\dots(77)$$

距離 FR 亦可用圖 129 所示之法縮短之。為求理論上精密計，則必須承認 F 點之一段軌條為直線。其影響將使 r' 隨以縮短， FR

之長度，亦須減去一段等於直線轍叉軌條長度，但在實際鋪軌工作時，此種手續未免過於瑣細，故在此處及以下同樣情形之下，對於轍叉軌條之為直線一問題，均略而不論。又為繪圖上簡單計，分道均繪為曲線。因 O_2 點與說明圖無關，故 F 點以次之分軌形式毫無關係。以下各圖亦然。

125. 曲線軌道外側之連接曲線 與前例相同，所求之數量

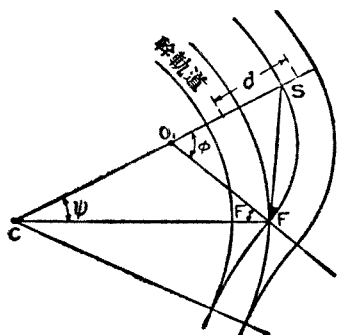


圖 125

為自 F 至 S 連接曲線之半徑 r ，如圖 125，此數應自半徑 r 與角度 $\phi (= F + \psi)$ 定之。由三角形 CSF 得

$$CS + CF : CS - CF :: \tan \frac{1}{2}(CFS + CSF) : \tan \frac{1}{2}(CFS - CSF)$$

但 $\frac{1}{2}(CFS + CSF) = 90^\circ - \frac{1}{2}\psi$,

又因三角形 O_1SF 為二等邊三角形， $\frac{1}{2}(CFS - CSF) = \frac{1}{2}F$ ，

$$\therefore 2R + d : d - g :: \cot \frac{1}{2}\psi : \tan \frac{1}{2}F :: \cot \frac{1}{2}F : \tan \frac{1}{2}\psi$$

由此得

$$\tan \frac{1}{2}\psi = \frac{2n(d-g)}{2R+d} \dots\dots (78)$$

由三角形 CO_1F ，得

$$(r - \frac{1}{2}g) : (R + \frac{1}{2}g) = \sin \psi : \sin(F + \psi)$$

於是得

$$r - \frac{1}{2}g = (R + \frac{1}{2}g) \frac{\sin \psi}{\sin(F + \psi)} \dots\dots (79)$$

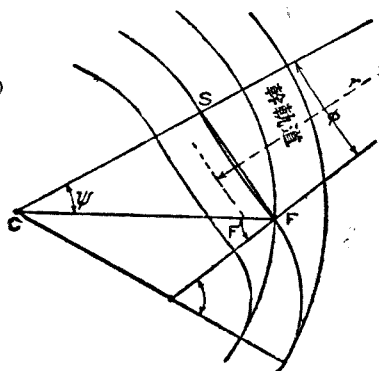


圖 126

又 $FS = 2(r - \frac{1}{2}g) \sin \frac{1}{2}(F + \psi) \dots\dots\dots(80)$

126. 曲線軌道內側之連接曲線 按 F 角大於, 等於, 或小於 ψ 角而有三種解決方法。在第一情形之下, 吾人可仿前例, 由三角形 CFS 導出:

$$(2R - d) : (d - g) :: \cot \frac{1}{2}\psi : \tan \frac{1}{2}F$$

最後可得

$$\tan \frac{1}{2}\psi = \frac{2n(d - g)}{2R - d} \dots\dots\dots 81$$

又自式 78 與 79, 可

$$(r - \frac{1}{2}g) = (R - \frac{1}{2}g) \frac{\sin \psi}{\sin(F - \psi)} \dots\dots\dots(82)$$

及 $FS = 2(r - \frac{1}{2}g) \sin \frac{1}{2}(F - \psi) \dots\dots\dots(83)$

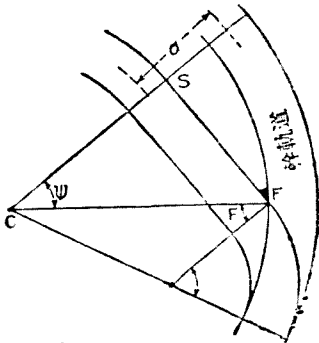


圖 127

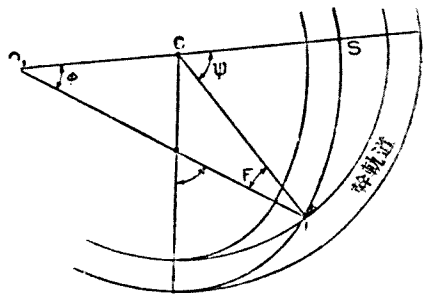


圖 128

若 $\psi = F$, 則式 80 變成

$$\tan \frac{1}{2}F = \frac{1}{2n} = \frac{2n(d - g)}{2R - d},$$

由此得 $2R - d = 4n^2(d - g) \dots\dots\dots(84)$

由此式可解出 R 之值。若在式 81 與 82 中 $\psi = F$, 則前者則 r 為無窮大, 意即軌道為直線, 次則 $FS = \infty \times 0$ 為一無定數。但由附圖, 吾

人可知

$$FS = (R - \frac{1}{2}g) \sin \psi \dots\dots\dots (85)$$

若 $F < \psi$, 則吾人可仿式 81 解得 $\tan \frac{1}{2}\psi$ 之值, 惟附圖則完全不同。同前可得

$$r + \frac{1}{2}g = (R - \frac{1}{2}g) \frac{\sin \psi}{\sin(\psi - F)} \dots\dots\dots (86)$$

又 $FS = 2(r + \frac{1}{2}g) \sin \frac{1}{2}(\psi - F) \dots\dots\dots (87)$

127. 平行直線雙軌道之互交道叉 本節所附之說明圖雖與前節相同, 為簡單起見, 將分軌繪為簡單曲線, 但圖中祇繪轍叉角與轍叉以外軌道之形式。若將兩轍叉間軌道作為直線如圖中實線所示者自屬較善, 惟耗費幹軌過多, 故以採用反曲線為宜。直線互交道叉軌道之長度為 F_1T ,

$$F_1T \sin F_1 + g \cos F_1 = d - g,$$

$$F_1T = \frac{d - g}{\sin F_1} - g \cot F_1 \dots\dots\dots (88)$$

軌道之總長度為

$$DV = D_1F_1 + YF_2 + F_2D_2 = D_1F_1 + XY - YF_2 + F_2D_2$$

但 $XY = (d - g) \cot F_1$, 與 $XF_2 = g \div \sin F_2$

$$\therefore DV = D_1F_1 + (d - g) \cot F_1 - \frac{g}{\sin F_2} + D_2F_2 \dots\dots\dots (89)$$

若用相等兩轍叉及反曲線, 則其構造將如圖中虛線所示, 得

$$\text{verse} \theta = \frac{d}{2r} \dots\dots\dots (90)$$

又 $DQ = 2r \sin \theta \dots\dots\dots (91)$

若為任何理由須採用不相等之兩轍叉, 亦屬可行, 惟反曲線之轉捩點即在中央, 而如圖 130 所示者,

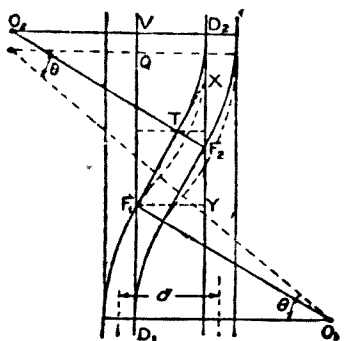


圖 129

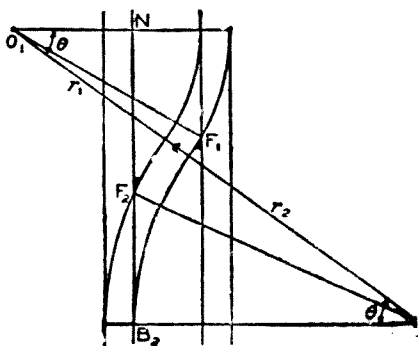


圖 130

則 $r_2 \text{ vers } \theta + r_1 \text{ vers } \theta = d$

$$\therefore \text{vers } \theta = \frac{d}{r_1 + r_2} \dots\dots\dots (92)$$

軌道之全長，須視每一轉轍器導距之長度而定。若為圓曲線，則

$$B_2N = (r_1 + r_2) \text{ sine} \dots\dots\dots (93)$$

但尖端轉轍器導距之真長，須較此減少 $L - (r + \frac{1}{2}g) \sin F$ ，故此項

改正數應算出，而每一轉轍器均須減去之。

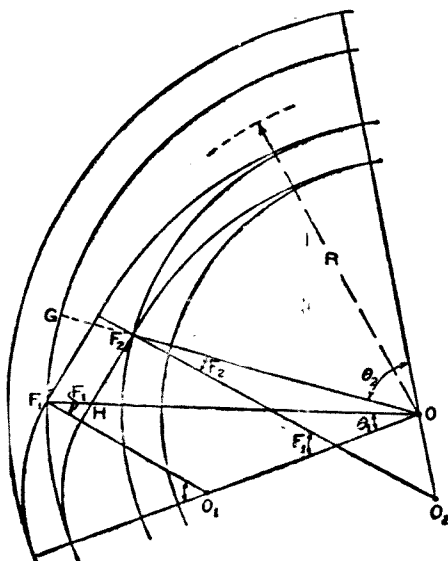


圖 121

128. 平行兩曲線軌道之互交道叉 在前節中，轍叉之號數並無任何限制，但在本節之情形下，轍叉號數須受限制。若所用連接軌道為直線形，則如 121 節之例，隨 F_2 角度而分為三種情形，其中兩種情形繪示於圖 131 軌

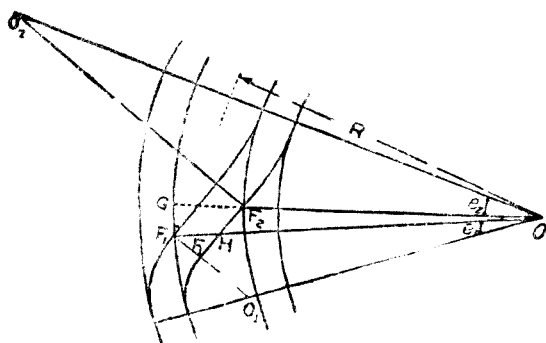


圖 132

132。次之說明，可適用於以上兩圖。若其中一轆叉(F_1)業經選定，則第二轆叉為 F_1 之函數，即隨以決定。雖 F_1 為一整齊號數，但由此算得之 F_2 未必為一整齊號數，而須特別製造。且 F_1 之號數若小於一定之限度，(視 d 而定)則常致無法用直線軌道相連接，又在某種限度時，又無法採用反曲線之連接軌道。(後當詳述)由圖 131 與 132，若命 F_1 為已知數，則 $F_1H = g \sec F_1$ ，在三角形 HOF_2 中，得

$$\sin HF_2O : \sin F_2HO :: HO : F_2O$$

但 $\sin F_2HO = \cos F_1$; $HF_2O = 90^\circ + F_2$; $\sin HF_2O = \cos F_2$;

$$HO = R + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}g - g \sec F_1; \quad F_2O = R - \frac{1}{2}d + \frac{1}{2}g$$

$$\therefore \cos F_2 = \cos F_1 \frac{R + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}g - g \sec F_1}{R - \frac{1}{2}d + \frac{1}{2}g} \quad (94)$$

若已知 F_2 ，則可由式 69 求出 θ_2 ，欲定 F_1 與 F_2 之相對位置，則

$$HO F_2 = 180^\circ - (90^\circ - F_1) - (90^\circ + F_2) = F_1 - F_2;$$

故
$$GF_1 = 2(R + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}g) \sin \frac{1}{2}(F_1 - F_2) \quad (95)$$

若如圖 133，將連接曲線作成反曲線，則 F_1 與 F_2 二轆叉可任意選取，(在比較狹小之範圍內) 如是可免採用特製之轆叉矣。以 F_2

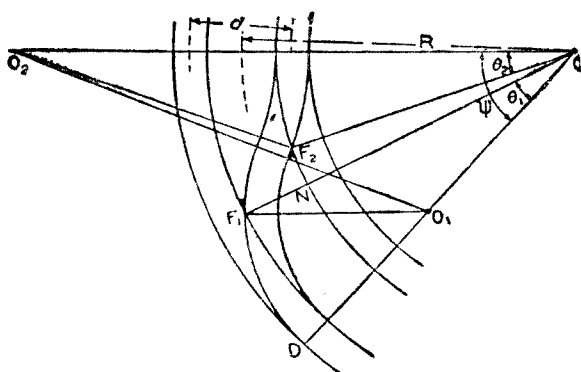


圖 133

與 F_2 爲已知數，相等或不等均可。由三角公式，知

$$\text{vers}\psi = \frac{2(S - OO_2)(S - OO_1)}{(OO_2)(OO_1)}$$

其中

$$S = \frac{1}{2}(OO_1 + OO_2 + O_1O_2)$$

但

$$OO_1 = R + \frac{1}{2}d - r_1$$

$$OO_2 = R - \frac{1}{2}d + r_2$$

$$O_1O_2 = r_1 + r_2$$

$$\therefore S = \frac{1}{2}(2R + 2r_2) = R + r_2$$

$$S - OO_2 = R + r_2 - R + \frac{1}{2}d - r_2 = \frac{1}{2}d;$$

$$S - OO_1 = R + r_2 - R - \frac{1}{2}d + r_1 = r_1 + r_2 - \frac{1}{2}d;$$

$$\therefore \text{vers}\psi = \frac{d(r_1 + r_2 - \frac{1}{2}d)}{(R - \frac{1}{2}d + r_2)(R + \frac{1}{2}d - r_1)} \quad \dots\dots(96)$$

$$\text{因 } \sin OO_2O_1 = \sin \psi \frac{OO_1}{O_1O_2} = \sin \psi \frac{R + \frac{1}{2}d - r_1}{r_1 + r_2} \quad \dots\dots(97)$$

$$O_2O_1D = \psi + O_1O_2O \quad \dots\dots(98)$$

$$NF_2 = 2(R - \frac{1}{2}d + \frac{1}{2}g) \sin \frac{1}{2}(\psi - \theta_1 - \theta_2) \quad \dots\dots(99)$$

上法之主要利益，不僅可令人採用標準轍叉，且可使兩最遠轉

轍點間之幹軌縮短。

129. 轉轍器之計算問題

1. 在直線幹軌之旁作一側道，用 8.5 號轍叉。兩軌道中線間距為 13 呎。求連接曲線之半徑與其長度？

2. 在 $4^{\circ}30'$ 曲線幹軌之外作一側道，用 9 號轍叉。問連接曲線之半徑與長度為若干？以上二題幹軌與側道之中線距均為 13 呎。

3. 用同一之轍叉求於前題曲線幹軌之內作一側道。問連接曲線之半徑與長度為若干？在角度 ψ 算出以前，無法確定其屬於三種情形中之何種。但分解公式 80 後，此點即可決定，蓋由此可知 ψ 角略比 F 角為大。因其差數甚微，故求得之 r 值甚巨。 $\frac{1}{2}(\psi - F)$ 之值甚小，故須用三角函數表以求出其正弦函數。

4. 若在距離 13 呎兩直線軌道間作一互交道叉，用 8 號轍叉，問採用反曲線較直線時可以省用幹軌若干？因本題祇求差數，故無須算出分軌之實在長度，而假定其在前後兩情形下均屬一律。

5. 求在兩個 $4^{\circ}30'$ 曲線幹軌道間，中距 13 呎，作一互交道叉，外軌道之轍叉採用 9 號（圖 132 之 F_1 ）； F_2 為 7 號；連接曲線為一逆曲線。題中所稱 $4^{\circ}30'$ 曲線，係指兩軌道中央之曲線。故應將 $4^{\circ}30'$ 曲線之半徑加減 6.5 呎，以得兩軌道之曲線半徑。假定採用尖端轍叉，故用 121 節之方法，求出 r_1 與 r_2 ； $R_1 = 1273.6 + 6.5 = 1280.1$ （即 $D = 4^{\circ}29'$ ） $R_2 = 1273.6 - 6.5 = 1267.1$ ，即 $D_2 = 4^{\circ}31'$ 。用 121 節之規律 $r_1 = (d_1 + D_1)$ 度曲線之半徑 $= (7^{\circ}31' + 4^{\circ}29')$ 曲線之半徑 $= 478.34$ ； $r_2 = (d_2 - D_2)$ 度曲線之半徑 $= (12^{\circ}26' - 4^{\circ}31')$ 曲線之半徑 $= 724.31$ 。 d_1 與 d_2 為表 7 首節所列之曲線度數，以其合於 9 與 7 號之轍叉

也。代入式 69 與 73, 得 θ_1 與 θ_2 之值。由此可得反曲線之轉捩點, 僅在 F_2 點以內不及一吋之處, 若此轉捩點, 在任一轍叉點以外, 即表明 9 號與 7 號轍叉無法採用, 而此例實已達到採用 9 號與 7 號轍叉之實際限度矣。

6. 在前題中, 兩轍叉均用 9 號, 而更算之。由此題之結果, 可知兩最外轉轍點間之軌道長度較前題為長, 而反曲線之轉捩點係在中央, 故較為合宜。由此兩題之計算中, 均可見所選轍叉號數均已在限界左近。

130. 鋪設轉轍器之法則 下文所示法則, 即根據前數節所述之方法, 容許曲線幹軌中, 引用直線尖軌與直線轍叉軌條, 若轉轍器之位置業已確定, 則祇可將幹軌軌條就其地點截斷, 但如僅須將幹軌軌條彎曲以成分道叉之外軌, 則在分軌點附近無須截割軌條。但在分軌點附近之幹軌, 不得有軌條結合。轍叉之長度, 約自六呎至九呎, 如將轍叉移前或移後 10 或 12 呎, 即可使轍叉與軌條原有盡端相接, 省免截軌手續矣。

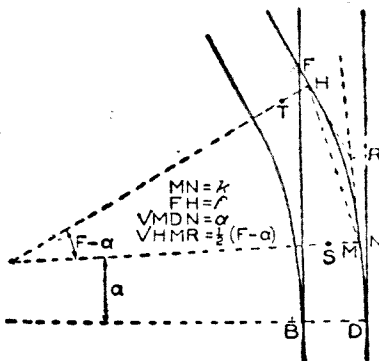


圖 134

設置轉轍地點決定以後, 可於軌條上照圖 134, 註出 B, D, F 諸點。量出分軌長度 DN , 並由 N 點量距離 k 以定 M 點。若轍叉須乘行車閒空之短時期內裝置完畢, 則宜預在轍叉之一端, 接裝適當長度之軌條, 庶於取出軌道上軌條後, 可以立

刻將此補入。轍叉既已安設，則 H 點即隨以設定。 M 與 H 點間之曲線，為已知半徑之圓弧。將弦長及 R 代入式 54，則得 x 之值，即圖 135 之 db 長度，為圓弧之矢長。 $a''a$ 與 $c''c$ 各等於 db 之四分之三。就數學理論言，若 $a''a$ 與 $c''c$ 為 db 之四分之三，則曲線為拋物線，但與圓弧之差別甚微，可以不計， HM 軌條釘設後，對面之軌條可按軌距釘設之。

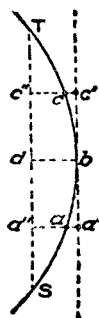


圖 135

〔例題〕 試於曲線幹軌道中設定轉轍器。命幹軌道為 $4^{\circ}30'$ 曲線，今欲於曲線之內設一分道叉，採用 9 號轍叉，軌距為 4 呎 $8\frac{1}{4}$ 吋， $f=6.00$ 呎； $k=5\frac{3}{4}$ 吋； $DM=16.5$ 呎； $a=1^{\circ}44'11''$ 。若為直線軌道，則 $r=616.27$ ($d=9^{\circ}18'27''$)。今係曲線軌道，故 d 當近似於 $(9^{\circ}18' - 4^{\circ}30') = 4^{\circ}48'$ ， $r=1194.0$ 。導距 L 在直線軌道當為 72.61，此處應略增 0.1，故命為 72.7 呎，(見 §121)。按此項差別，於實際鋪軌時不易覺察。既將轉轍器與轍叉點照前述方法設定以後，轍叉與分道軌即可裝置。曲線軌道之長度，照表 7 應為 42.92 呎，命為 43.0。 $R=1194.0+2.35=1196.35$ 。用式 55，得 $x=43.0^2 \div (8 \times 1196.35) = 0.193$ ，即為矢長，其餘四分之一點矢長，應為此數之四分之三，即 0.145 呎。

131. 交分道叉 在車場與終點之內，軌道之分歧常極繁複，惟有採用交分道叉，庶可改繁就簡，如圖 136 與 137 所示者是也。圖 136 所示者為單交分道叉，其中間兩個轍叉係固定；圖 137 所示為雙交分道叉，則中間兩個轍叉亦能活動，此其異點也。雙交分道叉可使行於任一軌道之列車，換行於另一軌道之上，故應用尤多。撥動軌

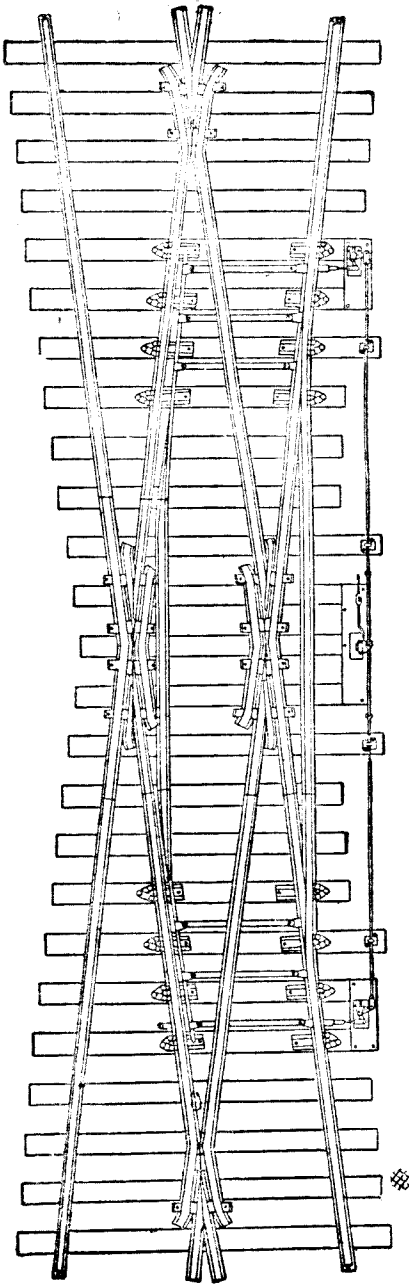


圖 136

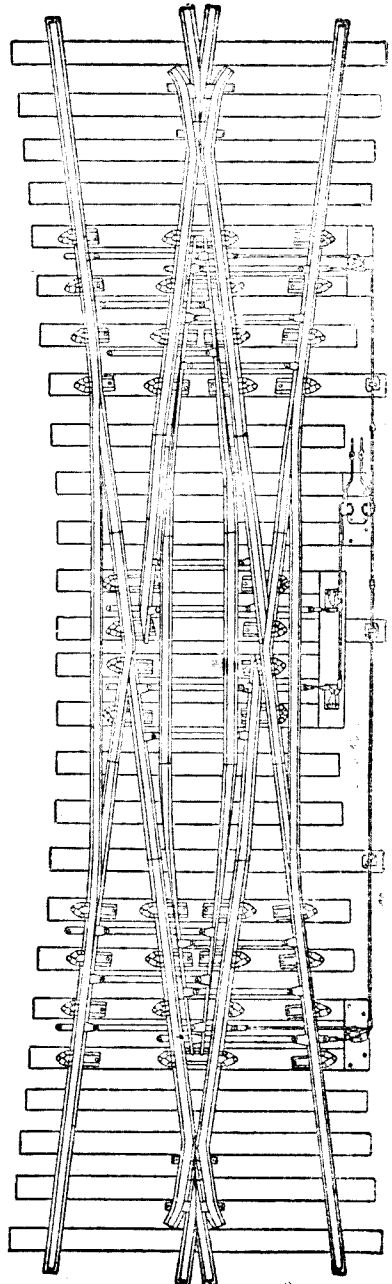


圖 137

條之機械均係互相聯鎖，故一端撥就，他端亦同時隨以撥正。

132. 交道叉 兩鐵路相交，或同一鐵路兩軌道相交，而欲省免轉轍器之裝置，則須採用交道叉。若相交之角度甚小(不甚適宜)，則可用圖 137 之雙交分道叉裝置。但兩路之交角常令迫近九十度，則宜如圖 138，採用螺栓或帽釘所接合之轍叉。此等轍叉常須按交角之大小特別製造。因列車經此，常用極高之速度，故製造須極堅強。相交之兩軌道，若均為直線軌道，則全部轍叉有同一之角度，換言之，一對之角度與他對之角度，互成補角是也。若其中一軌道或兩軌道均為曲線，則四個轍叉均各不同，而計算之方法較繁。其機械的構造略如圖 138。

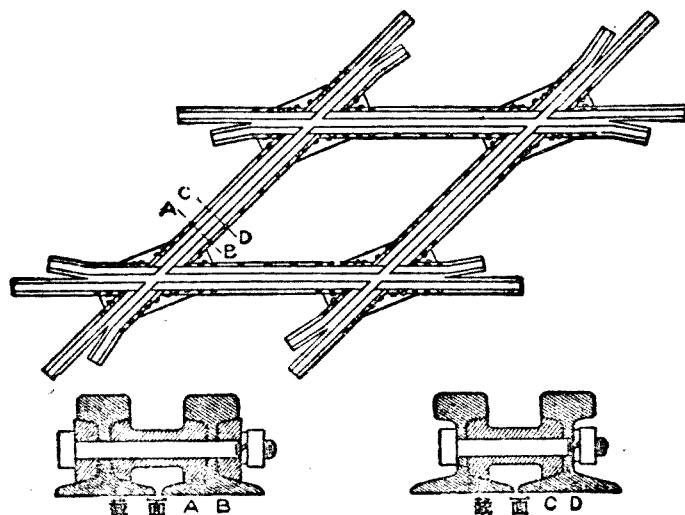


圖 138 交道叉

133. 直線軌道與曲線軌道相交 如圖 139, R 及 M 角均為已知數。

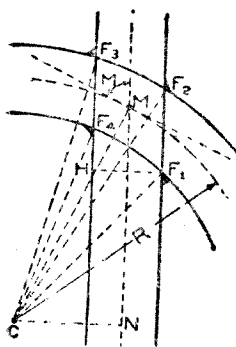


圖 139

$$M = NCM, \quad NC = R \cos M$$

故 $(R - \frac{1}{2}g) \cos F_1 = NC + \frac{1}{2}g$

$$\therefore \cos F_1 = \frac{R \cos M + \frac{1}{2}g}{R - \frac{1}{2}g}$$

同理可證

$$\cos F_2 = \frac{R \cos M + \frac{1}{2}g}{R + \frac{1}{2}g}$$

$$\cos F_3 = \frac{R \cos M - \frac{1}{2}g}{R + \frac{1}{2}g}$$

$$\cos F_4 = \frac{R \cos M - \frac{1}{2}g}{R - \frac{1}{2}g}$$

(100)

為計算各轍叉之相互位置，得

$$F_3F_4 = (R + \frac{1}{2}g) \sin F_3 - (R - \frac{1}{2}g) \sin F_4$$

$$HF_4 = (R - \frac{1}{2}g) (\sin F_4 - \sin F_1)$$

$$F_1F_2 = (R + \frac{1}{2}g) \sin F_2 - (R - \frac{1}{2}g) \sin F_1$$

(101)

此處須注意者， F_3F_4 與 F_1F_2 並不相等，但差別甚微。

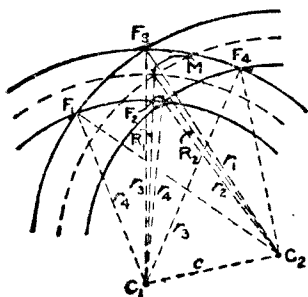


圖 140

134. 兩曲線軌道相交 交點

之切線間角度（或半徑間角度） M 為一已知數，半徑 R_1 與 R_2 亦為已知。欲求每軌道內外各軌之曲線半徑 r_1, r_2, r_3, r_4 ，可由 R_1 或 R_2 加減 $\frac{1}{2}g$ 得之，如圖 140，由三角形 $F_1C_1C_2$ ，命

$$S_1 = \frac{1}{2}(c + r_1 + r_4) \text{ 得}$$

$$\text{vers } F_1 = \frac{2(s_1 - r_1)(s_1 - r_4)}{r_1 r_4} \quad (102)$$

同理於三角形 $F_2C_1C_2$ 命 $s_2 = \frac{1}{2}(c + r_2 + r_4)$

於三角形 $F_3C_1C_2$ 命 $s_3 = \frac{1}{2}(c + r_1 + r_3)$

於三角形 $F_4C_1C_2$, 命 $s_4 = \frac{1}{2}(c + r_2 + r_3)$

$$\begin{aligned} \text{則得} \quad \text{vers } F_2 &= \frac{2(s_2 - r_2)(s_2 - r_4)}{r_2 r_4} \\ \text{vers } F_3 &= \frac{2(s_3 - r_1)(s_3 - r_3)}{r_1 r_3} \\ \text{vers } F_4 &= \frac{2(s_4 - r_2)(s_4 - r_3)}{r_2 r_3} \end{aligned} \quad (102)$$

欲定轍叉間軌道之長度, 則得

$$\sin C_1C_2F_4 = \sin F_4 \frac{r_3}{c}$$

$$\sin C_1C_2F_2 = \sin F_2 \frac{r_4}{c}$$

$$\therefore F_2C_2F_4 = C_1C_2F_4 - C_1C_2F_2 \quad (103)$$

已知 $F_2C_2F_4$ 之角度, 則可定弦 $F_2F_4 = 2r_2 \sin \frac{1}{2}(F_2C_2F_4)$, 同樣可定 F_1F_2 , F_1F_3 , F_3F_4 。此四個弦長均甚近似而不相等, 足為計算上核對之助。又四個轍叉角度之平均值, 與 M 角之差, 應在數秒以內。

135. 例題

1. 有直線軌道與 4° 曲線軌道相交, 其交角為 $M = 72^\circ 18'$ 求定出轍叉之尺度。(如圖 135)
2. 有 2° 曲線軌道與 4° 曲線軌道相交, 其交角為 $M = 52^\circ 20'$ 求定轍叉角與轍叉間曲線之弦長。

第十九章 車場與終站

136. 合宜的規畫之重要性 鐵路之終點車場，率爲繁盛之都市，爲幹支各路輻輳之處，每次到達之貨物列車，常須調至別路以待轉運或避讓於側道以待卸貨。若貨物爲混合性質，則又須按其性質分別拆開，例如煤車則調入煤炭支綫，而雜貨五穀則調入指定之卸貨地點。又每一車務段之分界點每爲支路之起點，貨車必須重行調整。如兩段之限界坡度不同，則機車牽引之量各別，調整車輛，尤所必要。

吾人略加思慮，即可恍然於車場內調整車輛工作之繁重。當列車抵站以後，其長路機車即被拆斷而另用調度機車司其分配車輛之工作。車場規模宏大者，常須使用多輛之調度機車。此等機車每日開支甚鉅，若調度得宜，將四輛機車減爲三輛，即以每輛每日行車費用爲美金 25 元計，每年工作日數爲 313 日，則每年可節省 \$7,825。如假定利率爲 5%，則此數等於投資 \$156,500，足以建造車場而有餘矣。

此種節省在事實上非不可能，將於後文詳述之，車場中之加水站，灰坑，加煤站，轉車臺，砂房，油房，機車房等均須佈置得宜，庶可免機車無謂之往返奔波。若車場屬於創建，則對於將來之擴展必須預留地步。多數舊式車場，均未能於建設之時遠矚將來，致今日添設工程困難殊多，反不若一舉廓清，重新建設之爲愈也。

137. 貨車場 車場之建設殊無完全合於理想之可能。地形

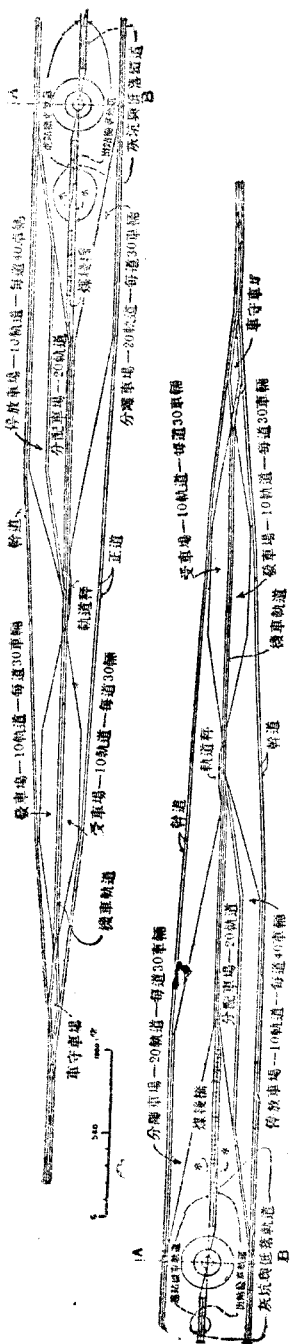


圖 141 貨車場平面圖示範

的限制，常足以影響車場之佈置，故祇可臚舉設計之原則，以供參考。

1. 車場為受車，調整，發車之總樞紐，其一切工作均須出以最敏捷之方法。工作之效率即以其迅速之程度及動力之節省而判別。

2. 貨物列車到達車務段之終點車場後，即被牽入受車軌道，不使停留於幹軌之上，而致阻塞車路。長路機車乃進至機車場，行其除灰加水加煤加砂等工作，以備下次開駛之用。車守車或須牽至近便之車守軌道，如列車為通車性質，則須另掛機車及車守車以備再駛。

3. 車場中有若干軌道可視為車場之骨幹。此等軌道名為『梯級母線』，專為暫時停車之用，如圖 141，每一單線均為一軌道，一切停放軌道均由母線分歧而出。

4. 停放軌道，通常均須兩端通行，或每端均為一條梯級母道。此種佈置頗便調車，蓋停留其上之一部分車輛可拆開調動，不致擾動其餘車輛也。

5. 近年多數車場，均於梯級母道至停放軌道間作 0.5% 之坡度，此可使每噸發生十磅之地心引力，使車輛自行進入停放軌道也。如是佈置，可使調車格外迅速，且可避免停放軌道上之車輛誤入於梯級母道之內。為地位之經濟及佈置之對稱計，各軌道所用轆叉號數及轉轆器須保持一律。通常均用 7 號轆叉，號數較大，行車較便，但所須地位較多，而減少停放軌道之地位。為地位經濟計，6 號或甚至 5 號轆叉間亦採用，但行車較為困難，易肇脫軌之禍。

138. 貨車場與幹軌之聯絡 以原則而言，車場中之幹軌道上，須竭力使其清澈，俾無論何時客車得以自由通行，不致發生撞及貨車之危險，或阻礙貨車場一切業務。如依此原則，則一切處理貨車場工作所須之軌道，均不得與幹軌道相交叉，一切轉轆除自幹軌分至受車軌道外，均須免除。此等轉轆均須用號誌周密保護。最合理想的建築，係將一軌道跨越於他軌道之上，使相對之來往列車，永無相交之機會（指雙軌鐵路）。受車軌道須利用為發車軌道，俾出駛之貨車，可等候號誌出發，不受幹軌道上客車或車場中調車工作之牽制。

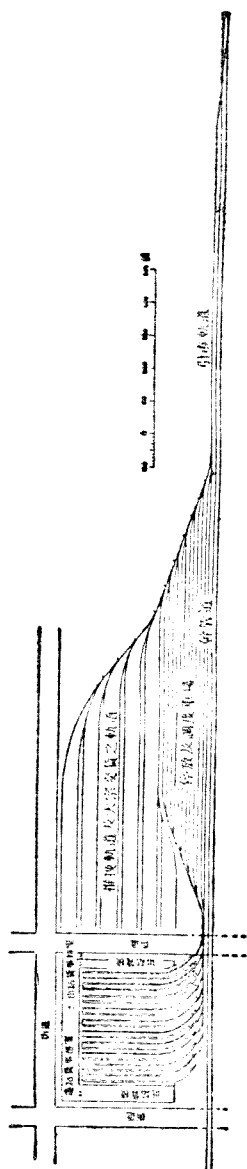
139. 次級貨車場 大城市之一部分貨運特盛，則須有局部之集貨或分配車場。此種車場名為次級貨車場。車輛經由支路以達次級貨車場，如車場濱臨河埠，則可由浮船載運。此種車場每位於地價極高之區域，故設計時須用極度之技巧，以儘量利用侷促之地面。尖銳之曲線常難盡免，但曲線過銳，則車輛之互鈎運用不靈，故容許之半徑不得小於 175 呎。若干車場曾用短至 50 呎半徑之曲線，但車輛之間，必須有伸展互鈎鈎之設備，貨車場中應設置推換軌道，一端為盡頭，彼此平行，中間留出走路，以便貨物之集散。

圖 141 與 142 爲 1902 年三月間向美國鐵路工程養路協會會議中提出之理想設計。此種設計屬於理想的，故未必可供實地之採用，但如加以研究，即可知其合於上述各原則，且足爲實際設計上之指導。

140. 貨車易之附屬設備 軌道秤

軌道秤爲設在軌道上衡量貨車重量之器具。此等軌道秤，常設置於使用頻繁之軌道內，在秤軌之旁六吋處，設副軌條二條，而於秤之兩端適當距離處，用交分道又相連接。副軌條之一支，承於秤坑之邊牆，另一副軌條，則支持於穿過秤下之柱子上。就經驗所知，全列車即使在行動之中，祇須速率稍緩，於每一車輛行抵秤中心時，均可秤得其重量。

圖 142 次級貨車場



起重機 因須常川轉運重達數噸之大件貨物，故有應用一類卸機之需要。此種卸機自簡單之臨時的三脚起重架起，至行動起重機止，種類不一。行動起重機常移行於與分道平行之一條或數條軌道之上，又可在垂直於分道之軌條上移動。由於其水平方面之雙重移動，及其起落自如，足使其在活動範圍內裝卸一切車輛之貨物。此種起

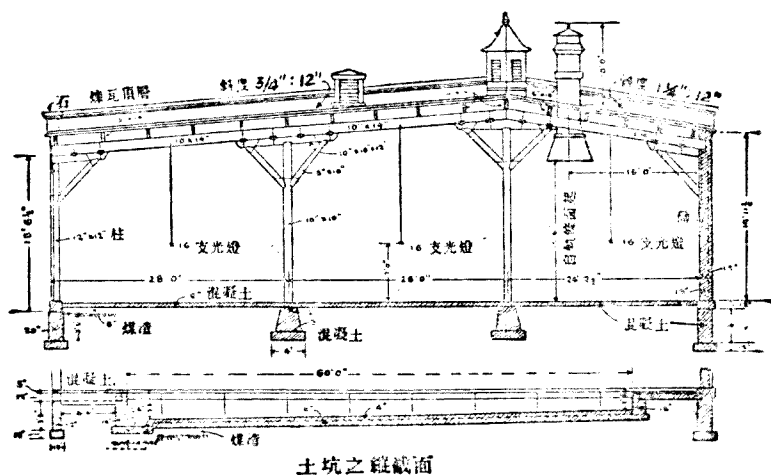


圖 143

重機之用途，雖似限於一隅，但常為不可缺少之設備。

141. 機車場 設置機車房及其附屬品之理想位置，乃在車場之中央，如圖141。機車房之附屬品繪示於圖 143 之理想計畫中。圖中所示之煤滓坑，約深四呎，佈置於兩條軌道之下，機車於此可直接卸出其灰燼。此項軌道位於一條深入地面下軌道之兩旁，若於其上置一低欄車，則此車之高度乃在灰坑底部以下，卸出之灰燼頗易用鏟移入。

大都市之客車終站建築物，有賴於建築美術家之努力，每較工程師之努力為多。工程方面之要素，不外將車站附近之軌道設法提高或放低，以免同一高度之市街交叉點。此種問題當按事件性質予以解決，學者如擬作深入之研究，宜參考柏格氏所著美國鐵路之房屋及建築一書。

第二十章 號誌

本章所述之號誌學，以篇幅所限，不能視爲此學之全貌。所論各點，祇以鐵路工程師必須知悉之基本事實爲限。近年來此學之進步甚速，惟有隨時瀏覽工程書報，方可免於落伍之誦。學者如擬作進一步之研究，則宜參考阿丹斯氏所著『段距制』（234頁）一書，及出版較早之挨利俄脫與得爾二氏所著書。

142. 號誌之制度 當鐵路建築尙在幼稚時代，而運輸業務則已日增月盛，以致雙軌鐵路常有追尾碰撞之危險，乃有兩種號誌制度之建議與嘗試。即（a）時距制及（b）段距制。現行之列車命令制及行車規則，行車時刻表中，雖猶存時距制之若干跡象，但對於鉅量運輸業務之處理時，業已發現該制之缺陷。若多次列車密接行動，則短時間之延誤，每足爲肇禍之原因。此種危機，雖可依賴後旗手之努力工作以期稍減，但因等候旗手之返回列車，致時間之延誤更甚。是以段距制乃演變而成近代號誌制度之骨幹。

由另一論點而言，列車之管理方法，可分爲二類，（a）電報命令制，各站員司由電報中接受關於列車即將蒞臨之命令，再用語言或號誌傳達此種命令與列車員司。（b）一站之號誌由鄰接站用機械管束之。以上兩種制度之差別，即前者可因員司的錯誤發生意外之事故；而後者因有機械之作用，幾無發生錯誤之可能，若有錯誤之發生，亦極易立刻覺察及時糾正之。

第一種制度中包括目下美國境內通行之列車命令制，因號誌

非此制所必須，故說明較略。在此制度之下，列車員司遵照各該段發車員之命令而行動，此項命令則由各站電報員於接獲電報後以書面通知之。列車遵照命令，行抵次站，則須聽次站之指揮。次節所述簡單手動制亦可包括於此制度中。管束號誌之各種制度，以及登峯造極之純粹自動制度，均於後文依次論述之。

143. 簡單手動制 在此制暨一切段距制之下，全路均分成段或區，每區段之長度，則視所採之方法，自然狀況，及運輸業務之繁簡而異。例如賓夕法尼亞鐵路之菲列得爾菲亞與哈利斯保間每區平均距離僅長二哩強，其中長者約四哩，短者（在近郊運輸最繁處）不及一哩。在運輸業務較簡之路，每區之長可數倍於是。施行絕對段距制者，非俟前列車離開此區，絕不容許任何列車之進入該區。如按照此法，則列車間之距離必遠在一區以上，蓋如圖 144，非俟 A 列車離開 2—1 區，B 列車不得進入此區。A 列車離開 2—1 區之事實，由電報傳達後，(2) 站乃設置平安號誌，許 B 列車駛入。C 列車及其餘後繼各列車，亦必維持同樣距離。設貨車之速率為每小時 15 哩，則長五哩之區須行 20 分鐘，外加各站間傳達號誌及列車進站之時間。雙軌鐵路採用簡單手動制之步驟如次：

列車 A 通過(1)站，該站員司即用電報通知(2)站，及(2)站員司既知(2)至(1)間業已平安，始可准許 B 列車駛入該區。若 B 列車延誤若干時間，始到(2)站，則(2)站員司應於 B 到達之前再詢(1)站，以確知該區是否平安，因或被調車等工作以致發生障礙耳。及 B 列車經過(2)站，則應以電報通知(3)站，告以(3) — (2)間業已平安。通報方法普通均用摩司電符，但因語句無多，故有用電鈴之

斷續聲以代之，較摩司電符為易學也。近年來更有代以電話者。此制之機械構造，當於後文再行詳述。採用此制之鐵路，均特訂號誌管理規則，使其工作益臻機械化，而免誤用號誌，苟有錯誤，亦可確定其責任。

號誌員雖存心懸示停車號誌，甚至彼雖已接受命令為之，或則甚至業用電報回報發令者，但仍難免其誤懸平安號誌。總之號誌員並不如機械之可控制，迨至禍患發生，彼與司機間輒生是非之爭執。此制之優點為費用廉省，蓋號誌可用最廉省之式樣，而通報方法可用最廉省之電報線路也。

權許段距制 此為絕對段距制之變通辦法，對於行車較為利便，惟安全則稍遜。用此制時，一區中雖尚有未開走之列車，亦可容許另一列車駛入。但此駛入之列車，必須在於完全控制之下（某種規則限制其速率在每小時六哩以下），庶隨時可使急速停車。如是可令後隨列車之延誤大為減少。採用此制自須格外謹慎，以免肇禍。而實行之際，須訂極詳細之規則以資遵守也。



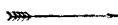
圖 144

重載客車若以 60 m.p.h. 之速度前進時，欲令其在 1500 呎距離之內停車，事實上殊為不易。雖欲迫使於短距離內停車非絕不可能，但對於車輛暗損甚重，不宜輕試。鐵路上每因曲線及其他障礙物，司機每難於數百呎外看清號誌，致不敢放膽用高速度衝過進站號誌以免措手不及。故須有遠距號誌，置於進站號誌以外 800 至 2,500 呎處，以資預告。兩號誌之間距，除由下文所述機械

的理由，須令愈短愈佳外，當視坡度及可以清晰瞭望之距離為斷。

若遠距號誌表示「平安」，則司機即能明瞭彼已被允許駛進車站，至少可達進站號誌處；若表示「謹慎」，則彼即能明瞭可以駛至進站號誌處，但隨時須準備停車。若列車行抵進站號誌處，號誌業已表示平安，則仍可向前進行，除速率稍緩外實際不致延誤時間。故設立遠距號誌後，至少可使司機安心駛至進站號誌處，且因遠距號誌業已表示平安，則可知進站號誌不久即須表示平安也。在一切控制號誌中，遠距號誌每被聯鎖，故若進站號誌表示「停止」，遠距號誌即無法表示平安。在自動制度中，遠距號誌每即與前一區之進站號誌置在同一桿上。如是遠距號誌表示平安，司機即知前兩區內軌道均已平安，但抵達其次之區站時必須緩行。

144. 控制手動制 在上述之制度中，號誌站間之聯絡，僅賴電報以傳達音信。控制手動制則包括下列要點：每站之號誌均用電磁鎖閉之，此項電磁則由前一號誌站控制其啓閉。例如列車行近(1)站，(1)站應即通知(2)站。若前次列車業已駛過(2)站，而別無障礙之事，則(2)站方可用電開啓(1)站之號誌槌，俾(1)站可將號誌設於平安部位。迨列車業已經過(1)站，(1)站之號誌應即重設於停車部位。如是(1)站非得(2)站之許可，即無法再設號誌於平安部位。(2)站既知列車將到，可向(3)站詢問(2)－(3)間是否平安，果爾，則(3)站可將(2)站號誌槌開啓，以便設置平安號誌。以上為此



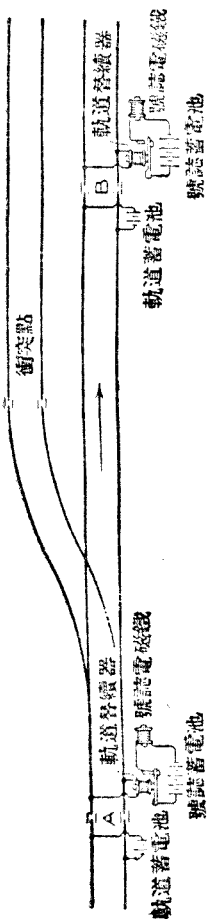
制之最簡單及最早期之方法。

此制較簡單手動制進步者，即在各號誌站之互相控制。此站之號誌員，非得前站號誌員證明該區平安後，無法表示平安號誌，故錯誤可期減少。此項電控制，全賴電線線路為之維繫，如能採用自動制之主要構造，則控制程度可以益臻完備。軌道之兩軌條須互相嚴密絕緣，又於靠近每一號誌站處，其盡頭軌條之接縫處須用絕緣

結合連接之，詳見 107 節。

如圖 146，在 *B* 點之軌道蓄電池，發出電流，經由軌條，加強 *A* 點替續器之電力，行動 *A* 點之號誌機械。設有車輪一對出現於 *A* 與 *B* 間，或甚至出現於分道叉之衝突點以內，則電流即走捷路，無法再使替續器發生作用。應用此法極易使列車經過 *A* 點後，*A* 點之號誌自動落至停車部位，並自行鎖閉，非俟列車經過 *B* 點絕緣結合後，無法開啓。迨列車經過 *B* 點後，替續器之電流增強，足以開啓聯鎖，如得 *B* 站之允許，可以表示平安號誌。

146
圖



此項方法必須同時應用電線線路與軌道線路，若區段甚長，則欲使軌道線路之電流不致走漏，並保持充分電力，甚為不易。故採用此制者，尚須設法省免長距離之軌道線路，僅存一小部分之軌道線路於每一

號誌站之附近，以便運轉及控制其號誌。職是之故，構造益形繁複。

若有車輛位於側道上，而因風力吹向轉轍點，或因別項錯誤舉動，而致車輛自走，惟當其達到衝突點時，A 點之號誌即自動落入停車部位，在軌道平安以前，均牢鎖不動，若軌道突被毀斷，亦必發生同樣影響將號誌鎖閉，俾人及時覺察而加以調查。

145. 自動制 自動制之若干要點，上文業已述及，其特異點則述於次。在控制手動制中電流所作之機械的工作，祇限於開啓某種機械或開啓號誌，而令其隨重力自墮至停車部位。運轉號誌之累重工作，（此種號誌通常為伸臂式）均由號誌員完成之。但自動制之號誌，則常由強有力之機械運轉之。實際上可云，自動制者，其號誌之形式與構造均可無須巨大之力以資運轉也。

最早期之自動號誌，為張設於垂直軸桿而用時鐘機械轉動之圓楯式，顯示紅色之楯面時為停車號誌，及紅色楯面旋轉至側首，而顯示形狀不同之白色楯面則為平安號誌。軸桿之頂置一玻璃燈，兩對面嵌有紅色玻璃，另兩對面嵌有白色或綠色玻璃。號誌之桿柱中空，內藏重錘，可以升降，隨時用人力提升以供時鐘機械所須之動力。每次號誌自停車位置轉至平安位置，或由平安位置轉至停車位置，其軸桿旋轉四分之一轉。此法有一缺點，蓋軌道上雖有一手車或軌距尺，足使號誌轉至停車位置，取去後，則又回復平安位置，機械工作過勤，以致必須常川旋緊時鐘發條，偶一不慎，即失其效用。

為預防危險計，須令時鐘發條走盡時，電路即行開啓，庶號誌表示停車而免列車誤會。時鐘機械仍甚通行於裝置久之號誌制中，但裝置較晚者，則多用封盤號誌。（詳述於後節）此種號誌必須

裝設於每區段進口以外 200 呎處。如是可使司機進入區段後，親見號誌旋轉至危險位置，獲有充分之保障。若斯時號誌並不轉動，則係表示機械發生故障，而必須加以慎防。

軌道線路制之另一利點，即在各區段有一轉轍器開放時，因該器備有斷流器，故電流立即停止，而號誌自動顯出危險。總之軌道上任何障礙均可使號誌如是表示。但因此亦有一弊，即線路靈敏過甚，任何偶然的停電（不必盡屬於軌道的故障），即足使行車爲之延誤。至於純因機械損壞，以致應示危險而反示平安，則其例殊少，以錯誤與號誌動作之次數相比，可謂絕無僅有也。

146. 機械構造之綱目 列車命令制，並不需要任何號誌，但多數並未採用段距制之鐵路，其列車命令室恆亦顯示一種號誌，此種號誌或祇爲繫於桿上之旗幟一面。較進步者，則將旗幟懸於水平支撐上，旗之下緣繫以重量，旗之上角則繫以繩索，可由室內將其掛出與收進。若干西部鐵路（指美國），有更進一步採用一種自製之號誌，其用法相同，但以薄板或頁鐵所製之楯以代旗幟。此種號誌與圖 147 所示之伸臂號誌，實僅差一籌而已。

伸臂號誌爲長約五呎之木板所造，臂之外口闊八吋，內口有鉸鏈處闊六吋。鉸鏈爲一較複雜之鐵鑄物，附有一個或數個眼鏡框，中嵌顏色玻璃片。因此端分量較輕不足以與木板平衡，故又聯附對重，庶通至號誌房掣動號誌之拉釘折斷時，號誌即可自動回至水平位置，以表示危險與停車。此號誌臂之中心線與鉸鏈中心成一直線，若臂斜墜與桿柱成 45° 角（如圖 147 之 *B*），則爲表示平安。

另有一種號誌臂，其臂中心線與鉸鏈中心不在一直線上，庶其

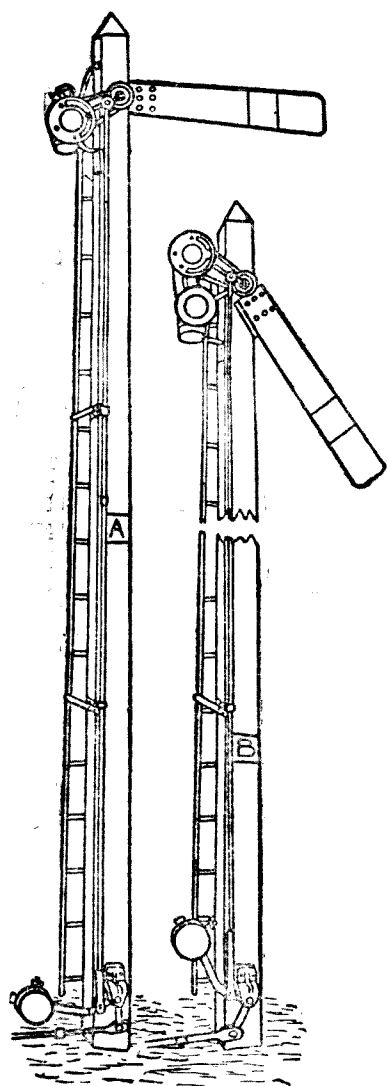


圖 147 伸臂號誌

臂垂掛柱上時，仍有一部分露出桿外。長臂在陰晦之日遠望仍須清晰，故在構造之原則上，須使長臂垂掛時不為桿柱所掩，以免司機誤認長臂仍在桿柱之前，而實則已被毀斷而軌道發生危險也。圖 147 所示之桿柱，係以木製，近年多改鐵製，頂端及底部均係鑄成物。此項桿柱可將拉釘藏置腹內，避冰霜凍結及閒人玩弄。

號誌臂所指之方向，均在所管軌道之右，換言之，當列車進行時所見伸在桿柱左方之號誌，係為管理前方來車而設。臂身於該方面常漆成紅色，反而則為白色。但號誌之意義與顏色無關，若干鐵路竟將號誌漆以中和色，使司機祇以長臂之形式與位置，判斷其動作而與顏色無涉也。

長臂之末端作方形者為進站號誌，作魚尾形者為遠距號誌。亦有以尖尾長臂作為遠距號誌者。軌道祇有二條者，伸臂號誌常分置

兩桿柱而設於各該路路基之旁。若有四軌道，則每側兩軌道之號誌置於同一桿柱之上，桿頂設一橫木，橫木之上設直立之桿二支，以承載長臂一條或數條，如圖 148 所示。若軌道之數，超過四條(例如

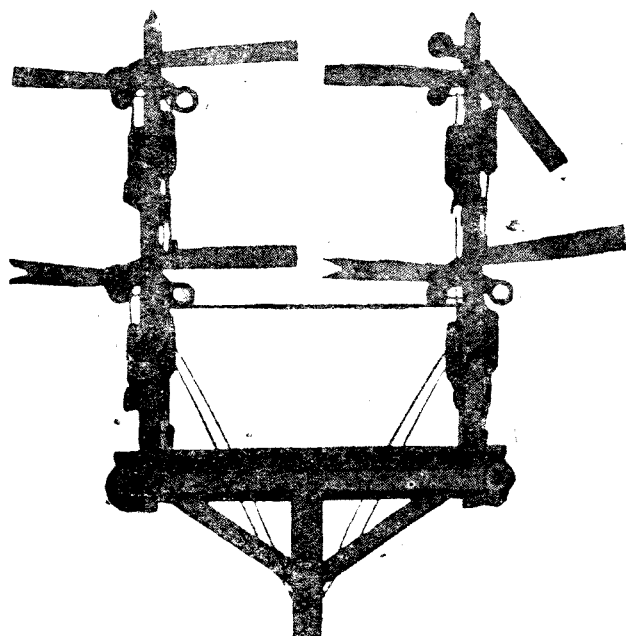


圖 148

在車場之內)，其號誌可設於橋架上，如圖 149 所示。在此情形下，每一軌道之號誌均在該軌道之上方。

每條軌道之上方，若有一個以上之方尾號誌時，則最上一個係指通車軌道，位其下者依次指示行將遇着之轉轍。圖 149 之背景中，另有號誌橋架一座，其長臂係在桿柱之左邊，臂面顯為白色。此即表示背景號誌橋架，係管束行向讀者之列車，而前方號誌橋架，則管束與讀者視線同方向之列車。此等號誌之一部分機械必須暴

露，若為冰霜所掩，易致凍結。故運轉此等號誌必須甚強之動力。

另有一種甚為通行之號誌，名為封閉號誌。

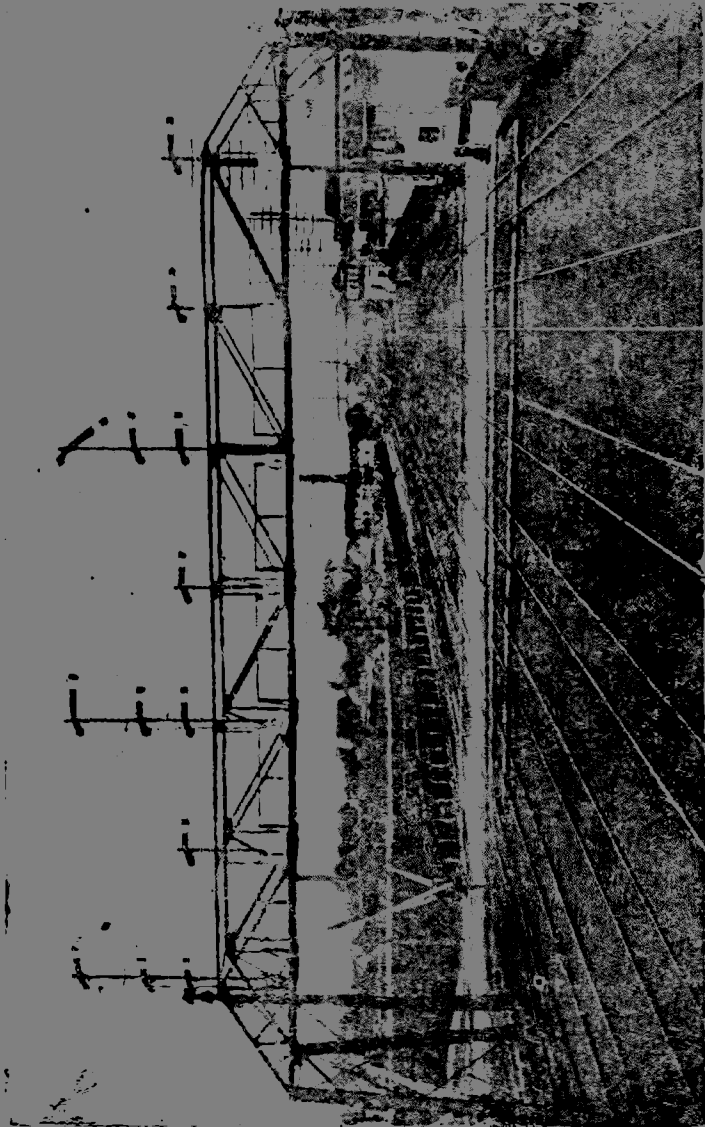


圖 140 伸臂號誌

封閉號誌 對於封閉號誌，有贊成與反對兩說。贊成者曰：一切機械均被封閉，則可不受風霜雪霰之影響。且機械之構造可以輕巧，所須運轉之力，僅及伸臂號誌百分之幾，故可用極低電壓之電流開動之。反對者曰：此種號誌不恃形式與位置而僅恃顏色。天氣惡劣之日，辨認不易清晰，故安全率較遜。按此種號誌。在陰霾之日固不如伸臂號誌之清晰，然究屬利多弊少，故採用者甚為普遍。

此號誌頂部之形狀如圖 150 所示，(圖中略去桿柱部分) 圓孔

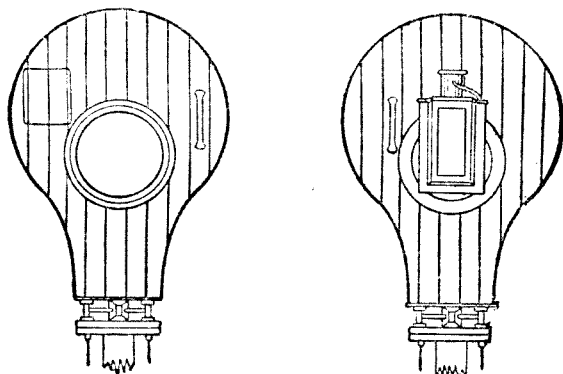


圖 150 封閉號誌

為白色時表示平安。若欲表示危險，則有一極輕之簾，以紅色絲綢製成，出現於圓孔之內，若在夜間則圓孔之後設有一燈，隨簾之位置而映出白色或紅色。詳細之機械構造及動作可視圖 151。當磁鐵受電後，其圓片即被吸引提升，號誌即呈白色。若電流因任何原因而中斷，則圓片因重下墮，紅色即出現。因所需電力至為微小，故設此磁鐵不僅可以控制號誌，且可供給工作所需之動力。

147. 線與管 傳導電流之線，與傳導壓縮空氣之管，當於下文詳述。茲所論者，為號誌室至號誌間傳達機械力所用之線與管也。

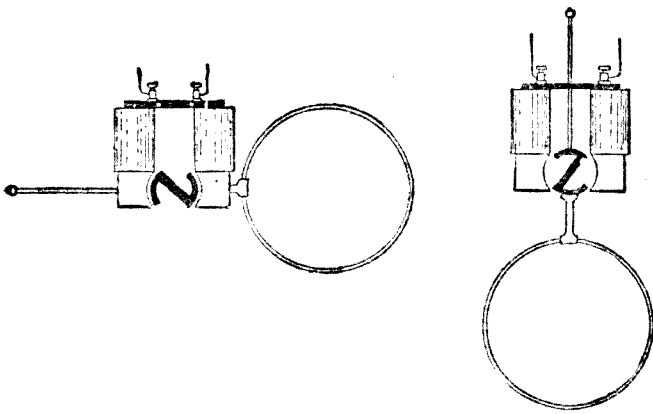


圖 151 發器自動號誌之機鐵

凡用以拉動機械者，宜用九號錄。若欲令此錄轉一直角方向，則宜用一緣有凹槽之輪，並用一小段之鏈以代替近輪處之錄。稍有彎曲之管可如圖 152，用彎釘及導輪一串插入其間。如彎度甚大，則每

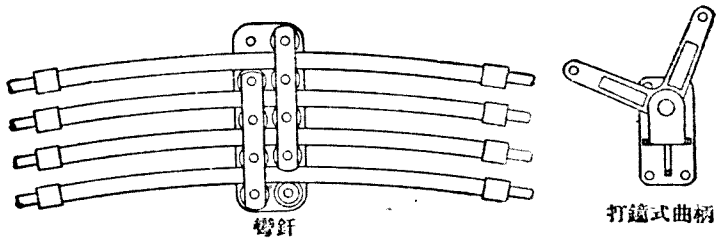
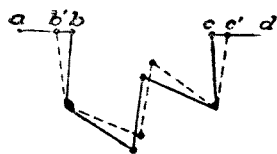


圖 152

釘須用一打鐘式曲柄。運轉號誌雖可用單錄爲之，而使重力完成其還原工作，但爲穩當起見，張弛工作宜各用一錄司之。號誌之用機械力運轉者，最遠可達 2000 呎。在此情形時，傳達動力惟恃用錄，若距離較近，則可用管以司推拉作用。

調整器 鐵之脹率殊鉅，長達數百呎之錄或管，其漲縮甚烈，

苟不設法調整，每足使機械失其效用。例如錄長 1500 呎，若溫度由 $100^{\circ}F$ 減至 $20^{\circ}F$ ，則長度須減縮 $1500 \times 80 \times .0000065 = 0.78$ 呎 $= 9.36$ 吋，即無如是之長度，亦已須要預為之備。自動調整器之幾何的原理，可視圖 153，及該圖下方之實際構造圖。由圖 153，若 ab



管遇冷收縮， b 點遂移至 b' 點， c 點移至 c' 點，而 $bb' = cc'$ 但如 $cd = ab$ ，則 dc 將縮為 dc' 故若將調整器置在號誌室與號誌之中點，號誌室端之管固定，則不問溫度如何變化，號誌端之位置可以不稍移動。

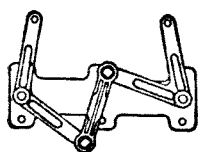


圖 153

事實上，調整器之各部分旋轉之角度不得過大。調整之距離以 500 呎最為

適宜。故號誌與號誌室之距離如為 1000 呎，則應用調整器二具，每具均設在距離兩端 250 呎處，如是兩端與中點之位置，可以不因溫度而變化。又此處須注意者，插入調整器後，管之運動方向即因以顛倒。即如 ab 向右移動，則 cd 向左移動，反之亦然。因為此部分或彼部分必在壓縮狀態之下，故惟用管方可應用調整器。錄之調整器迄今尚無滿意之設計。錄有鬆弛，可用彈簧或重錘以資調整，但錄如被物絆住，則拉緊時彈簧與錘均因抵抗力較小致先被拉長，而號誌即失其作用。目下實用上已有數種調整器出現，如機械不生障礙，尚堪使用。

148. 電氣號誌 利用錄針掣動之號誌，其距離約以 2000 呎為實用限界，即到此距離已易發生困難。若所需動力無多，則可用

電池供給之。電氣號誌係用壓縮空氣由管傳達，其力甚強，不僅可以運轉號誌，並可用以活動轉轍器。管束活塞之閥係用低壓電流之力，此項電流可用電池供給之，但如建有電廠則以利用蓄電池為經濟。閥之開動法，詳示於圖 154。在圖中所示為電磁鐵尚未通電之位

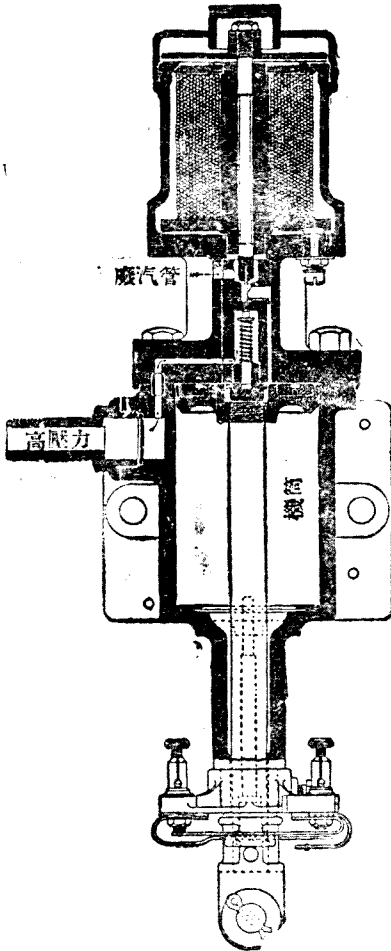


圖 154 電氣號誌

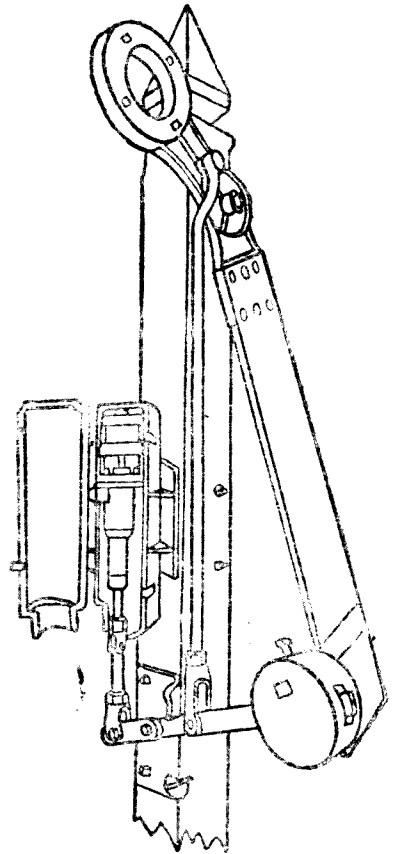


圖 155 電氣號誌

置。及電流通入後，電心（位於頂部）即被拉下，將彈簧上面之圓錐形閥開啓，空氣由高壓氣管穿閥轉入閥箱旁之通路，卒乃壓迫活寒之頂部，圖中所示，為活寒在最上位置之情形。活寒被空氣壓下後，即將對重（見圖 155）提升，而將號誌置於平安部位。迨磁鐵因任何原因失電後。其彈簧即推閥上升，機筒中之空氣由廢汽管逃出，對重不僅將活寒提升至頂部並將號誌拉至危險部位。是以凡電流或空氣中斷時亦可使號誌表示危險。

149. 電動伸臂號誌 自動號誌之另一變化式，為電動伸臂號誌；此種號誌為一普通伸臂號誌，而為約 $\frac{1}{6}$ 馬力之馬達所運轉。電源取自一排 10 個至 16 個愛迭生拉隆德電池，即藏在桿柱之部之箱中。馬達開動後將聯繫對重之細鋼鍊捲起，對重被其提升，號誌即表示平安。馬達之開動與停止，均由連接於軌道線路之替續器管束之。軌道線路之原則與前述相同，但構造較為繁複，俾進站與遠距號誌均可賴以運轉，區段內一切轉轍均可受其保護也。學者如欲研究軌道線路之詳細構造，宜參考前述之專書。

150. 聯鎖制 大型終站車場內轉轍與號誌之聯鎖，為一複雜之機械，欲加闡述，所需篇幅甚多。茲乃略論其基本原理。需要聯鎖制之理由甚簡。試一覘繁複車場之設計，即知如欲將各種不同之調車動作列成許多組合，以同時管理等數之列車，事屬可能。但此種調車之動作須由號誌為之控制，且此種組合苟無相當限制，則號誌員將致誤設轉轍器與號誌，使兩列車或多數列車互相撞。聯鎖方法之基本原理簡述如次：

(a) 一切轉轍號誌常時均在危險部位；

(b) 任何線之轉轍槌，非俟足以發生撞車之別路內一切轉轍器鎖閉後，無法設置通路。

(c) 經行任何轉轍器之號誌，非俟該轉轍器設置通路後，無法懸示。

司機將列車向危險號誌內駛入，雖可發生撞車，但號誌員之疏忽，祇以延誤運輸之時間為限。何則，號誌員無法設置號誌與轉轍器，使列車相撞或側擊也。故聯鎖機之設計，乃以安全組合的研究為根據，而機中之橫鎖與鎖突，必須如是排列，使無衝突之可能。圖 156 所示之例，乃故令簡單以期易曉。圖之上半部祇示鎖突(全黑色)，此等鎖突乃釘牢於鎖釘(自左至右之平行線)之上，而橫鎖(用網形表示之)則可在鎖桿之直角方向活動。在圖之下半部，顯示雙軌互交道叉之號誌與軌道。No.1 為遠距號誌。No.2 為對於互交道

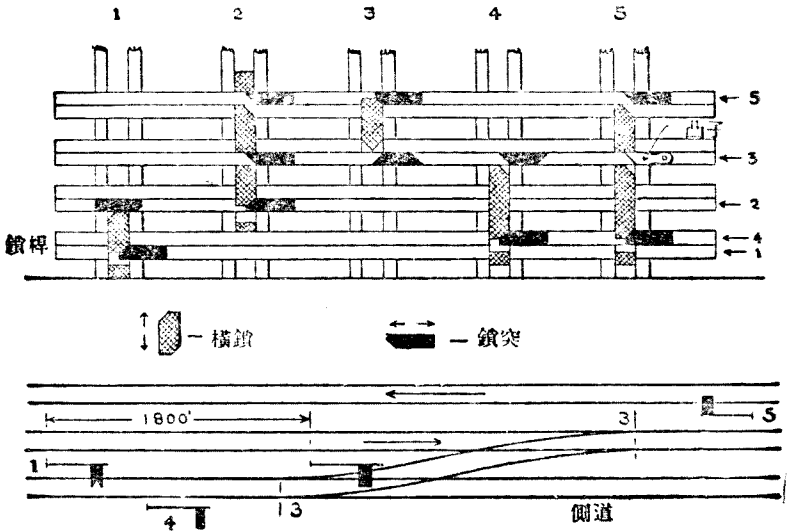


圖 156 聯鎖制

又管束幹道之進站號誌，No. 3 爲與 No. 2 號誌同時動作之轉轍槌。No. 4 爲管束自側道進入幹道之號誌，No. 5 爲管束自幹道進入側道之號誌。苟非照圖中所示，同時將鎖釘（註有相同之數字）自右向左拔出，則號誌或轉轍槌即無法移動。

橫鎖如無鎖突之阻礙，即可移開，而鎖釘即可拔至左方。如有任何橫鎖，因與其他鎖突相接觸，以致無法移開時，則表示該鎖突所管束之號誌，尙未解除障礙，非俟解除以後，無法移動其轉轍槌也。圖 156 中鎖突之位置，係表示一切號誌均在危險部位。今試移動 No. 1 號誌至平安部位，則必須將 No. 1 鎖釘移至左方，欲移此鎖釘，則必須移開 No. 1 橫鎖。但因 No. 2 鎖釘上有一鎖突，阻礙 No. 1 橫鎖，以致無法移開。然則 No. 1 鎖釘，非俟 No. 2 轉轍槌解除後，遂不克移開。如 No. 2 轉轍槌解除後，No. 2 鎖釘即被遠移至左方，而 No. 1 橫鎖遂可移至上方矣。此種動作均與上述之原理相符合，即遠距號誌非俟進站號誌解除危險後，不克解除是也。

今更舉一例，當號誌 No. 2 表示平安後，則鎖釘 No. 2 藉其上之鎖突，將橫鎖 No. 2 移向上方。此橫鎖遂緊靠於鎖釘 No. 3 及 No. 5 之鎖突上，以阻止其解除危險。此即表示正道之號誌，在平安部位時，互交道叉之號誌，必須表示危險之意。

練習 學者須將圖 156 之上半部改繪，以表明自側道至幹道之轉轍器業已開放。此處須加注意者，即 No. 4 號誌若在平安部位，則列車可以通過側道，無須應用轉轍器，No. 5 號誌若在平安部位，則列車可以倒行經過轉轍器，而並不應用之。No. 4 與 No. 5 若均設在危險部位，則列車可自一軌道進至別軌道。

自 No. 1 至 No. 4 之橫鎖，均削成缺口以容鎖突，橫鎖 No. 5 則上半部分離爲二。除非鎖針 No. 3 上之凸子，業已移至上下兩部之間，則下半部移動時，上半部並不隨之而動，凸子之用在此所示之簡單組合中，並非必要，但制度複雜者，則甚所需要。

以上所述，對於手動機器之詳細構造，尙未涉及，對於電氣聯鎖機更難備述，但不論其組合之如何複雜，與轉轍挺數目之如何繁多，聯鎖制之原理，則均與上述相同。

第二十一章 鐵路之養護

151. 工具 工具必須質料優良，適合需要，祇求初價之廉省反易增加工資之支出。軌道養護費中，工資一項常佔總數之 60% 以上，若更因工具之不適宜，則結果必至求儉反奢也。養路工隊所需之工具，名目繁多，茲特擬具一表，數量項目力求減削，但同時仍須足敷實際之用。工隊組織，假定為工目一人，路工六人。

養路工隊所需工具表

鉤斧	2	磨刀石	1	草鏟	4
斫斧	1	道釘鏈	4	樹鏟	4
手斧	1	大鏈	10磅 1	鏟刀柄	4
二吋螺鑽	1	敲鏈	10磅 1	軌道錘	3
起釘釘	2	拔釘鏈	1	匙形錘	3
楔頭釘	0	道確鏈*	6	長柄錘	1
刀口釘	6	斫木斧	1	鋸條	12
撬釘	1	草耨	1	弓形鋸	1
搗釘	8	頂軌器	1	手鋸	1
曲柄錘	1	轉轆器鑰	1	橫割鋸	1
掃帚	2	白光燈	2	螺釘鑿	1
荊簾	2	紅光燈	2	錘	1
手車	1	綠光燈	2	錘短	1
搖車	1	水準板	1	捲尺 (五十呎長每呎分爲 十分之一)	1
車鏈	2	懷中水準	1	釘鉗	4
繫	2	轉轆器鎖 (另備)	2	工具箱	1
軌道鑿	12	兩頭耨	2	工具篋	6
木繫	1	一加侖油桶	1	信號雷管	24
樹鏟	2	二加侖油桶	1	拔釘器	1
石灰線	100 呎	噴油器	1	鉗碇	1
麻線	150 呎	掛鎖	2	水桶	1
雙柄括刀	1	鍬	8	蘆簾	6
油壺	2	搗鍬*	8	鐵輪車	3
錐刀	3	鑿孔器	1	威司東試電器	4
紅旗	4	草耙	1	伸線器	1
綠旗	2	軌條鑽	1	軌條扳頭	3
道渣叉*	4	軌條鑽頭	6	活頭扳頭	1
軌距尺	1	折疊尺	1		

* 祇於用碎石為道確時需要之

大部分工具，因非各路工同時所使用，故數量較少。其數量為六個或六個以上者，苟非六人常川需用，即係極易損壞須有備件以資補充者。此表以『舖軌須知』一書為根據，而略予修改，

起釘鉗係供拔起道釘之用。在理想的設計上，此鉗須將道釘一拔即起，其支點之位置不稍移動。但事實上並不可能，雖經多人研究，新製造有發現，但仍不若舊式牛足起釘鉗為合用。

萬綠納拔釘器 利於起拔掩藏處之道釘。（例如護輪軌後面）用時將此器套於釘之頭部，將普通起釘鉗倚靠軌條頂端而拔起之。

楔頭鉗與刀頭鉗不同，前者兩側同時縮削，其尖端如楔形，後者一側縮削，一側不變，其尖端為刀口形。表中楔頭鉗之數量為0，蓋原著者 Mr. Camp 之意，此種鉗式殊不足取，不如刀頭鉗之有用也。

搗鉗之重不宜超過 10 磅，其長不宜超過 3 呎 3 吋。鉗柄宜以軟鋼管或木製，蓋細而實心之柄不易執持也。

軌道鑿為木柄之鑿，採用木柄以易執持。此鑿長約 8 吋，截面 $1\frac{1}{2}$ 吋見方，用工具鋼製成。重擊後其鋒易折，非經鍛磨，不復可用，故須準備之數量較多。

軌距尺 此尺可分三類。第一類為自製木尺，鑲以銅片。因其與軌條所成之直角，不能極度精確，致軌距常失之過小，不甚為人所喜用。第二類為罕丁吞軌距尺，足以改革上項弊端。此尺之一端有兩突刺相距約 7 吋，他端另有一突刺。軌距之實數，為此端兩突刺之中央至他端之突刺。因三刺排列如品字，故兩中線適成直角。此尺理論完善，惟使用時一端之兩突刺必須全與軌頭相觸，否則軌距

失之過寬。第三類爲窩楞軌距尺，係用一直尺，兩端釘設圓弧各一段，圓弧之直徑即與軌距相等。

鎚 爲養路用之道釘鎚，其重不宜超過 8 磅，長約 10 $\frac{1}{4}$ 吋。16 磅重鎚僅供必要時之需用。10 磅敲鎚若與軌道鑿併用，實較通常與道釘鎚併用爲適宜。道碴鎚祇供打碎塊石爲道碴之用，若道碴係用機器打碎，大小勻淨，即無須此鎚。

頂軌器 圖 107 爲此器式樣之一，對於修養軌道，此器殊爲經濟便利。但亦曾因此器而屢肇禍端者，蓋列車忽來，養路隊未及事前移去，而致脫軌。養路規則中，每載明此器不得放置於兩軌之間。

水準板 此尺之上邊，嵌有玻璃水平管，其一端鑿成梯級狀，每級橫闊 2 吋，縱高 $\frac{1}{4}$ 吋。此尺專供設置超高度之需。例如欲設 2.5 吋之超高度，則以尺之此端置於內軌，他端之第五梯級置於外軌。將外軌之高度校準，如水泡適在正中，即得其適當之高度。

鏟 短柄方口，鑄鋼一次澆成之鏟，最適於軌道工作之用。鏟面須長約 12 吋，磨蝕至 9 吋後，即應棄去，如仍繼續使用，徒多勞費。短柄鏟爲處置煤渣及積雪所需。長柄鏟係供挖掘柱穴而設，其口須爲圓形。

上表祇載養路工隊最需要之工具。搬移木料尙須挺鉤與皮維筒，若欲除去墜落之巨石則須助於鑽，楔，炸藥，信管。涵洞若被漂木阻塞，則須用繩索，滑車組以除去之。軌條彎曲器間亦需要，但若于工隊可以合用一具。

152. **工程車** 養路隊之工作，常以段爲範圍，每段之長通常爲五哩，運輸極盛者，每段祇一哩，稀少者每段八哩或十哩，則爲例

外也。材料與員工之輸送，通常祇須有一手車或搖車已足。若有規模較大之工程，則為經濟計，須用工程專車，一切軌枕，軌條，道渣等材料均可用以分配。任何鐵路之添鋪道渣工程，更換重磅軌條，及其他非平常工程隊所能勝任愉快之事，均以集中員工專組工程列車為得計。

各路習慣，每擇最陳舊破敗之機車以牽引工程車，然稽時誤事皆緣是而起，亦非得計。牽引工程車之機車，以客運機車較貨運機車為宜，蓋工程車載量較輕，而須以敏捷之速率行入側道以避其他車輛也。工程列車中至少須有大型車守車一輛，平臺車一輛，並置備大型工具箱，內貯鋸，鏟，釘，鏈及其他養路工具。車守車之下，宜懸一大箱，內貯繩索活轆，練條，頂軌器等。開駛列車所需工資燃料等費用為數甚鉅，故所載路工不宜過少，預擬工作亦須精密籌畫，以免浪費也。

每列車所載路工至少須有 20 人，人數愈多為愈有利益。各路工從事之工作，散佈各地，故主其事者必須考慮每日將此等工人往返接送是否經濟，否則寧在列車中，附掛路工臥車廚房車飯車為得計。大型箱車，稍加佈置，即易改成廚膳混合車，以供 24 路工之用。如人數甚多，則廚膳宜分為兩車。普通箱車或舊客車，可改裝為臥車，一側可容上下舖雙人床四具，他側可容上下舖單人床四具，合計可供 24 人之用。如工程係經常性質，則此種設備尚可格外考究，蓋所費無多而給予工人之福利殊巨也。

153. 通溝工作 通溝工作為養路隊日常工作之一，如遇挖基段之路基土壤，狀如粉屑，側坡甚峻，及隆冬冰霜以後，則路溝到

處淤塞，宜特遣工程車以疏通之。挖基段較短者，則溝中取出之淤土，可載於搖車或獨輪車，而運至挖基段外棄去之。如此段甚長，則人工運土殊不經濟。此等地方，尤以單軌鐵路為甚，通常不能長時間留置車輛於正道之上，故裝土工作須力求簡捷。欲達此目的，則若干路工須常留在挖基段中工作，俾列車卸土或避讓於側道之際，工作仍可不斷進行也。此際，各路工可將側坡之鬆土掘取，或將溝中淤土挖鬆，庶列車一到即可裝盛也。

若挖基段不甚深峻，則溝中淤土可用鏟拋諸岸頂，再用鏟移擲別處。此種廢土宜拋棄於較遠之處，以免被水沖洗回至原處。岸頂所挖水溝，旨在防免雨水淋洗側坡，亦須慎防廢土之沖入也。

154. 軌枕之分配 分配方法視軌枕之來源而異，如軌枕係當地農民所供給，昇至鐵路地權界交貨，則無須工程列車為之分配。若當地並無軌枕之生產，必須運自遠地，則務使分配得宜，以減少養路工人再行分配之勞。換置軌枕之先，須將舊軌枕逐個檢視，朽壞之軌枕，每達十個應作一記號。另法，則將路旁每兩支電桿間撤換軌枕之數，明白寫於電桿之上。如是，工程列車可以每小時六哩之速率徐徐進行，按照需要，將軌枕拋擲路旁。運輸較簡之鐵路，可由區間貨車擔任分配之責，此法固甚佳妙，但每一軌枕所派費用則較鉅。

155. 軌條之分配 軌條之分配工作，隨載運軌條之車輛及軌條之長度而異。平車卸落最易，亦有裝置於低欄車或箱車中，則須於車端開穴，以便卸落。長達 45 與 60 呎之軌條，必須載運於兩平車之上。如分配之軌條，祇為貯藏一地以備換修之用，則宜用一起重機或其他臨時起重機械以為之助。軌條卸落路旁者，可由車旁推落或

自車尾提出。軌條自車側墜落，易致彎折，故宜用木板二塊或長約 10 呎之軌條二支斜倚車側作為滑梯。此法亦有限於地域不克實行者。且卸落之軌條，離開軌道較遠，亦至不便。凡車輛中載有即需卸落之軌條者，宜附掛於列車之末尾，如是可用繫繩索之鋼鉤，插入軌條釘眼內，拉之使下。若於車後置一小平車，工作人站立其上，則軌條極易拉下。及軌條之重心業已拉過小平車，則軌條之一端即能自行彎墜觸及軌道。列車稍向前移則他端亦即墜落。長 60 呎之軌條富於彎曲性，故一端着地後大部分均彎垂地面，他端墜落時亦不致震壞也。

軌條甚長甚重者，可將鋼鉤勾住，將繩索繫於軌道上，（軌條或軌枕均可）及列車前移，即自然拉落，此法可併小平車而無需之矣。如欲同時卸落兩軌條，則可用鋼鉤兩副同時為之。將繩索之長度稍稍經意配置，則卸落之軌條可適在所需安設之處，如恐軌條震傷，則可於列車末尾加置搖車以承之。

舊軌裝車適與此法相反，如完全利用人工殊為繁重，故宜以起重機代之。如起重機不可得，則宜於車後置一搖車，造成斜面。斜面上，倒置小平車數輛，軌條拉上時，即可藉平車之輪以減少磨擦。按 30 呎長 70 磅軌條，共重 700 磅，路工六人本可舉起之。如此等路工訓練有素，則共舉軌條，高過其首，擲之車上，甚為便易。但若其中一二人經驗缺乏，臨時心慌或舉而不高，則其重量勢必集中於少數路工。斯時若更有人慌懼而脫手逃出，則餘人勢必被重量壓倒，折肢傷踝之事乃層見疊出。是以重而且長之軌條，不宜如是搬運也。

156. **道碴之搬運** 路綫所經如無出產礫石地層，可以視為該鐵路之缺憾。礫石地層若延袤及於鄰地，則宜購得其地權或採取

權。購買採礫權之契約中，恆規定面層土壤須予以保存，於礫石採竣後，仍須復蓋其地上。礫石層多為農田所掩，若蘊藏之量無多，則可略視，若礫層甚厚，則採掘殊為合算。礫坑所在地宜鋪支路一段，其長至少與列車相等。採取方法用汽鏟或人工均可。

在礫坑中，每日人工裝礫入車之數量，約以二十立方碼為平均數。如用汽鏟而調換空車敏捷，鏟斗容量 $1\frac{1}{2}$ 至 2 立方碼者，則每日可裝 800 至 1200 立方碼。情形特殊良好時，裝車量尚可加增。但應用汽鏟，則須連用機車，以來往拖運車輛，使坑中汽鏟附近常川有待裝之空車。汽鏟與機車每日開支約須美金五十元，其工作量約與 40 工人相等，故在經濟上並不合算。但此乃最低限度之比較，如汽鏟管理得宜，所挖數量甚鉅，則亦可較人工為廉。

在小規模之採礫工作中，裝卸均賴人工，如用犁以助卸落，尤為合算。裝運礫石，除享有專利權之道渣車外，幾全恃平車。犁有中央卸落與邊側卸落二種，新型之犁，可將礫石集中卸落於一側，或照預定比率，分卸於兩側。卸礫之犁，恆用鋼索以牽引之。最便之法，係將列車停止於需用礫石之處，設軌解開機車，而於機車之上繫 $1\frac{1}{2}$ " 或 $1\frac{1}{4}$ " 鋼索一根。置犁於最後之平車，藉機車之行動，以卸落各車輛之礫石。此法不適用於路綫彎曲之處，而其他流弊亦多。較善之法，則於車上載一吊車，如此機適置於機車之後，則其所須蒸汽可自機車用柔韌管供給之，否則須另備鍋爐以發生蒸汽。犁上所繫之鋼鍊，即由吊車牽引之。如用此法，則機犁工作之際列車仍可行動。

如沿路所須礫石較少，則可調節列車速率以勻佈之。此法亦可兼作洪水後修補路基或填塞棧橋之用。此時可將吊車置在列車之

尾，向後引犁，調節機車之速率，俾卸落之礫適合所需。近年來市上出現之道碴車甚多，咸能自動卸落，甚便應用。其中有專為附掛於貨車而設者，俾區間貨車經過礫坑時，將其帶往插有標誌之需要礫石地點，稍停一二分鐘，使其卸落，再引至側道，俟另一區間貨車將其拖回。活底貨車及煤車，亦有用作載運礫石者。

157. 棧橋之填土 棧橋填土為工程車普通工作之一。鐵路之建築，一經確定及工程開始以後，必須設法趕速通車，蓋早一日通車即早一日生利也。凡預備將來填築路基之處，遂暫時興建棧橋。蓋如立即填土，則須用牲畜自鄰近土坑內運土，需費甚鉅，如日後補填，則可利用工程車而需費甚廉也。且因所閱時間較久，可知流經路線下之最大水量若干，設備涵洞之尺寸可以更期精確。涵洞之建築費為數亦鉅，如建棧橋，則此項費用可延至鐵路財力充裕時再行支付，現有若干棧橋建築時，當地木料價值甚廉，故費用上確較別種建築方法為合算。

許多鐵路，目下正在籌慮重建棧橋或棧橋填土之問題。工程費之比較，常隨地而異，蓋當地木料價格，取土之遠近，與其方法均不能盡同。但以大概而言，高度在 25 呎以下之棧橋，填土恆較重建為合算。又自棧橋之修理方面而言，每年所需換補之木料，常達全橋木料之八分之一，所耗人工亦甚巨，而填築後之土基，則養護費甚微。再棧橋之出險機會，及棧橋上脫軌後肇禍之結果，在在均較土基為巨，故可云 50 呎高度，為重建與填土之經濟分點。但高棧橋之填土工程，常包含多種特有之建築問題。倘橋底窪處之土質甚為柔軟，則填築時之沉陷度自必甚鉅。所建之涵洞，若非位於堅實之基礎上，則

此種沉陷之結果，每足以摧毀之。在此種情形之下，涵洞基礎須打樁或以混凝土建築之。

泥土填入時，苟非設法防護，每足損傷棧橋。泥土中雜有巨石樹根凍土時尤甚。此可於棧橋兩側築一護床，使泥土墮下時落於棧橋之外。俟棧橋兩側土堆漸高，再填橋下空隙。縱向支撐最易受傷，故常用巨段舊木料加強之，(如拆下之樑木等)。全橋填土，須同時並進，以免一面承受土壓力而致橋架歪斜。若土基之填築，完全用鬆土由橋面墮落而成，則日後常易滑卸，側坡不易維持，是以填築之際，宜用土箕將其鋪平。如是分層敲實，沉陷度為之銳減，棧橋之縱桁亦可及時取出，填築完成即可鋪碴。否則沉陷極巨(常至十分之一)，常須閑時半年或一年，方可鋪設軌道也。鋪平工費每立方碼約須二三分。

選擇填築所用之土質，甚為重要。填土以含沙或含礫者為最優。黏土常有流弊，無論乾燥時如何堅硬，但透濕後即易滑卸也。尤以地基為傾側之邊坡時為甚，恆有全部填土向下滑卸之虞。避免此種滑卸之一法，係就邊坡開挖橫溝數道。用犁沿同高線刻成深痕，亦頗著效。填築用土常由擴展挖基而產生，有時用汽鏟裝入土車或平車內，由此再用犁括取之。

填築既竣，宜用爬根草之草皮，或能自生根之樹枝鋪蓋土面，使其固結並防止雨水淋洗。填築之總費用，應包含裝土，運土，鋪土及其他費用在內，由多數鐵路之經驗，此項費用每遠遜於鐵路初建時之價格也。

158. 養路隊之組織 鐵路高級職員之隸屬系統，雖各有不同，但軌道之守護，幾皆劃分為長約 100 哩之段，而以段長一人負

其責。亦有將段之長度增加，而於段長之下設分段長。每一分段之分段長，秉承於段長，而指揮其所屬之若干養路隊。

段長通常須秉承於總段工程師。但除異常重要之事務及有關工作上之新方法外，段長有負責處理其日常工作之權。段長對於管轄範圍內各種工作須充分熟悉，此項人材雖常自養路隊工目擢升，但宜受比較一般工目更優秀之教育。最優良之段長，宜受過技術教育，且曾在養路隊工作多時，熟悉養路工作之底細。南太平洋鐵路公司定章，段長必須步行或乘自行車巡行全段，平陸地方，每月至少二次。山區或深谷區地方，每月至少三次。段長對於全段工作，須了然於胸，無論何時，對於其段內任何地方之情形，須有清晰之觀念，庶可免疏忽職務之責難。

最有效之方法，須常川訓練各工目，使對於路線上之小缺點能隨時自動補救，較大之缺點，能立即報告。段長須嚴守其對於各工目之紀律，而不必事事躬親，但亦不能稍自鬆懈，致為人所蒙蔽。

養路隊工目常為任事多年之隊工所擢升，須有繕作報告之能力與了解圖表之智識。工目尤須能管理工人，而不苛暴。工目不僅必須完全明瞭養護軌道於良善狀況之詳細辦法，並須於尋常事變後（如軌條折斷路基沖毀及因脫軌而損傷軌道等事變），能急速修理以通行列車。工目必須熟諳該路之各種行車規程，以其與本身職務有密切之關係，又必須熟諳軌道工程之一切規範與標準，以其時須採擇施行也。最後所述之一種須要，隨時代之進展而愈感其重要，使工目之地位遠勝於昔日。

多數鐵路，其規程中規定工目須與隊工共同操作。此種規定之

是否聰穎，當視工作之性質與隊工之人數而定。若隊工多至八人，則工目當以專事指揮為宜。工作時常以分作兩人一組為便利，若隊中祇有隊工五人，則此工目宜與畸零之隊工合為一組。

鐵 路 工 程 學

第 三 篇

第二十二章 鐵路之財政

159. 投資 下文關於美國鐵路之資本等解釋，均以州際商務委員會之報告為根據，此為目下所獲得之資料中最可信任者也。多數統計係取諸 1912 年六月底之報告書。此時鐵路股本總額為 \$8,622,400,821 美元（1926 年底為 9,365,000,000 美元）公司債為 11,130 兆美元（1926 年底為 12,384 兆美元），若零數不計，總投資額為 19,752 兆美元（1926 年底為 21,749 兆美元）此數代表美國國富之一成。1912 年六月底，投資於路工及設備共計 16,004 兆美元。但因鐵路財政之處理素欠明朗，故關於鐵路工程費之報告，並不能代表建築方面之實在資本也。（1926 年路工及設備投資計為 23,000 兆美元）

上舉之數，係指 237,467 哩之路綫而言，其時總長度為 247,000 哩。雇用人員計 1,716,380 人，所付薪金計 1,252,000,000 美元，佔營業進款，2,842,000,000 美元之 44%。（1926 年營業進款為 130,768,559 美元，路綫共長 261,561 哩）此項雇員數目，可代表直接倚賴鐵路以生活者約八兆人。自實業方面而觀，如機車及車輛工廠。

其營業全以鐵路爲限，鋼廠與橋樑工廠，以鐵路爲其最大買主，則可謂全人口之四分之一，均直接或間接依賴於鐵路也。

若此種辯證法更進一步，則可見農礦產品及工業品之極大部分，苟無鐵路，則無法運輸至於其買主，無法被人利用，甚至因不需要而無生產之必要，故鐵路運輸對於國家之利益，可以見其一斑矣。

若干規模較小之鐵路股票及債券，雖爲若干大公司所有，然在 1912 年，流通股票債券總數 19,752 兆美元中，有 71% 或 13,986 兆美元，則不屬於公司而屬於私人投資。以全部資產 19,752 兆美元，暨全人口 95,172,000 人計，每人約佔 207 美元。又每年全部進款 2,842 兆美元中，平均每人約 30 美元。全年客運計 33,132 兆延人哩（每乘客一人旅行一哩曰延人哩），即平均每人每一年中旅行 348 哩。（1926 年計 36,000 兆延人哩）每列車平均乘客 53 人，平均旅行 33.18 哩，（1926 年平均 40.79 哩）

貨運以延噸哩爲單位之數量，計 264,080,000,000，（每噸貨物運輸一哩曰延噸哩）此即每一人口供給貨運 2775 延噸哩。等於移動 50 噸貨物至 55 哩。爲使讀者心目中容易造成此鉅額貨運之概念起見，我人須知每人每歲平均須付出運費 \$30，即平常每購一噸之煤或一磅之糖，其貨價中均有一部分須轉入鐵路公司之手中也。

上述之數，祇可目爲一種平均數，並非特指某路而言。但由此可以略知鐵路營業之概況，而爲普通鐵路所可希望達到者。但美國境內之重要鐵路均已完成，以後繼起建造者，其重要性均遜一籌，故以上所述，恆非新事業所可冀及也。

160. 股票與債券 通常商務企業或製造工廠之經營，均由

業主直接出資爲之，故開支以外之贏餘，無論如何微小，均作爲投資之股息。但美國鐵路之如是建造者，百不得一。蓋每一鐵路之實際業主，大部分以債券爲之代表。鐵路發行債券之限額，恆視公衆對於該企業之信仰而定，易言之，鐵路全部產業，於破產拍賣時所能得之產價，爲發行債券之限額。

當鐵路建設之初期，擬建之路，均係貫通向無鐵路之著名城市，企業成功之希望甚爲顯著，是以籌募足數路債甚爲容易，工費之外，常有餘資以使鐵路得完善之設備。但此種機會今已早成過去，實際上收足之資本，每介於拍賣價值與建設費用之間，不足之數，則以債券補充之。以1912年爲例。股票與債券之比率約爲86比111。（1926年股票佔43% 債券佔57%）

此種企業之發起，須有巨額之資金。若干發起人，鑒於建築某路利益甚巨，乃組織籌備處，着手籌備，舉行測量。如計畫完善，則印行債券在銀錢市場出售，尤以經由銀公司之手者爲多。用此方法常足籌集一部分之資金以供建築之需。所籌資金雖在全部資金中僅爲一部分，但其數已屬可觀矣。

鐵路開業之五年或十年間，運輸常難足額，苟無足數流動資本以渡過此種難關，則常致擱淺而須轉入清算人之手。

故股票與債券，可以視爲鐵路所有權之兩種形式。債券利息之能否發足，決定於除去營業費後所餘進款之多寡。債息全部發足以後，如尚有餘款，方可發給股息，是以債券之保證常比股票爲優，其利率雖較低，而利益則較爲穩固。

自另一方面言，則可謂股票之投機性較大，蓋非俟營業費與債

息除清後不能發給股息。且鐵路如不能發給債息時，債券所有人有權聲請將路產交付清算人，必要時得將路產出售。出售所得之價，常難超過債票之面額，股票所有人遂有完全喪失其投資之慮。若鐵路獲利甚多，則分配於股東之股息，常佔所投資本之大部分。總之，股票之股息變動甚易，營業上些微之變化即足使極巨之股息，化為烏有，且尚有召買之可能性也。

股票與債券之相對的利益，暨以鐵路為抵押品，殊不足持，觀於次節即可了然。按 1902 六月底終了之年度，為鐵路營業之黃金時代。但在此年中鐵路股票之不能發給股息者，達是時所有鐵路之 44.6%。(1926 年佔 30%) 股票所得之平均股息，祇及 5.55%。(1926 年為 7.32%) 雖多數鐵路股票，僅屬紅股性質(事實上並未繳出股款)，但 44.6% 之鐵路，無法分派股息，則為事實。在 1895 年至 1897 年間，鐵路之不能分派紅利者，達百分之七十以上。

關於債券之紀錄則較佳，當 1901—2 年間，不能分派債息之鐵路，不足 5%。鐵路建設以後，其經過區域之受益，固遠在鐵路造價之上，但歷史較久之鐵路，縱在現今其譽聲甚隆，亦幾無一不經過幾乎破產之危機也。

161. 總進款 估計任何擬建鐵路之運輸量或總進款，祇可採用簡算方法，然即使如是，亦非富有經驗者不能優為之也。蓋鐵路完成以後，既須五年或五年以上之時間，始能發展至於成熟時代。故投資者對於開始年份進款之減色，不得遽引為失望也。

估計運輸之惟一實際方法，須研究所經地帶之資源，以其將特擬建之路而輸出之尾閥也。例如該地帶內工廠，鑛山，鋼鐵廠，農

田，村鎮等咸是。若鐵路所經之城市，業已另有鐵路交通之便利，則營業之詳細估計，極難精確。反之，鐵路所經並無其他交通之方法，則估計上比較簡易。估計時最易發生之危險，不在忽視某種重要收入，即屬於過算某一資源之進款。目今及未來之營業競爭，常足使進款爲之減色，亦爲不可忽視之一端。

工廠與鑛山之生產，固可由其過去之紀錄而得知梗概，客運營業則僅可與別路比較得之。每路之貨運，除附郭運輸特盛之鐵路外，常佔全部營業三分之二。每延人哩之平均進款約爲二分，蓋因近年常期車票，暨一千哩程車票之增多，已使鐵路實際所定每哩三分之車價，跌至此數矣。（在若干運輸較少，營業費較重之鐵路，每哩票價超過三分以上）。

州際商務委員會年報，將全國分爲三區，而統計每區鐵路之總進款，足與上法相參證。將各區總進款除以各區人口數，則得每人口所攤進款數。上文業云以美國全國計，每人應攤進款 \$30，但由各區人口算得之攤款，則與此迥異。將鐵路所經地帶之人口數，乘以該區每人口之攤款，則可得鐵路進款之略數。此法有二大缺點，一則擬建鐵路之進款，或與該區平均數相差甚鉅，二則計算中所指之鐵路地帶，極難確定其範圍。但以此法簡單易試，故不妨用作參證。

更有一種參證法則須選出一條或數條與擬建鐵路情形極相類似者，則每哩之進款，亦可認爲大致相同。若有此項鐵路之存在，而工程師對於情形之估斷甚爲精審，則此法足爲估計上一種有力之參證。

每列車之搭客數目頗難確定，上文曾言平均每列車哩載客之

數爲 53，此數實較客車一輛之載重爲少。但試思此平均數中，業將客運極繁暨近郊鐵路併計在內，故客運較輕之鐵路載客數，當更較此爲稀。每日載客列車開行次數，與上舉之每列車哩載客數，並無任何關係。

客運營業必須盡力誘導，而開行次數尤須加多。鐵路每日僅備上下行列車各一次者，其營業定甚不良。蓋列車次數較多者，每列車之載客數固不甚多，但以每日載客總數計則恆較多。決定增加車次之條件如次：

「若增加車次以後足以誘起客運，而增收之進款相等或超過於增加列車之費用，則應即增加車次。」

1912 年平均每客列車哩之進款爲 \$1.29，此數包括郵件運費，包件運費及客票收入在內。平均每貨列車哩之進款爲 \$3.02，此數似較客列車哩多至二倍以上，然若以搭客平均體重爲 150 磅計，則每人每哩付款 1.987 分，而每噸貨物每哩僅付 0.744 分而已。兩數何以懸殊至此，則由於貨運之死荷重與活荷重比率爲 1:2，而客運則爲 5:1 或至 10:1。另一原因，則貨列車在可能範圍內可以合併，使機車得以儘量使用，而開行次數隨以減少，而客列車則必須定期行駛，庶可便利行旅也。

162. 鐵路營業之獨佔性 在估計總進款暨設計鐵路與設備之際，最大之危險，莫過於『一切運輸將盡歸本路』之一念。即置將來營業競爭於不論之列，殊不知大部分之運輸，均直接依賴於鐵路所能供給之便利情形也。（一切營業競爭，均因鐵路欠缺運輸的便利而起）。工廠所從事者爲徵集原料，加工製造，輸送其貨物至於遠地

銷費者之門前，苟其所付代價之低廉與其同業相同，方能生存。在競爭劇烈之秋，任何費用上些微之增加，足以影響利益與損失之分野，故自工廠至鐵路間之搬運費，亦在較量之列。

理想上鐵路之位置，宜穿過任何城市工業區之中心，而設客運車站於商業中心之左近。在設立已久之城市中，欲如是購置路基與站地自極昂貴，但苟不如是則又無法獲得便利。當鐵路競爭營業之時，此種不便利常足陷該路於絕境。客運營業亦必隨以減遜，蓋旅客亦莫不以趨擇便利是務也。

利益與損失之界限甚微，乃本問題之癥結所在。何則，總進款中大宗金錢，既耗諸營業費用，所餘無幾，則須先付債息，故能有若干足付股息，遂成疑問。是以嚴格而言，股息之來源大率出諸引誘而來之額外運輸，苟設備較差，則無此利益矣。

此種誘導力可自經營得當之鐵路見之。此等鐵路如賓夕法尼亞，紐約中央各鐵路等，進款甚鉅，一部分均用以增進客貨運輸上之便利，改善車輛等等。經此改善以後，運輸益增，而進款更鉅，財政之進步幾若無止境。自另一方面言，貧乏之鐵路，業務上窘態畢露，進款遂因以減退，卒至一蹶不振。多數鐵路每被迫而採用免費搬運(或退還搬運費)，以期抵消貨車站之缺點。但州際委員會現已禁止退還費用制度，故鐵路中貨車站處於不甚便利之地點者，已無採用此法之可能。寧費大宗款項設法使客車終點接近城市中心者，實由於此。

163. 總進款之分類 州際委員會註冊之二千餘鐵路公司中，多數已與實際營業之公司相合併，故不過名存實亡而已。多數

鐵路之股票，乃為營業之公司所有，其租賃條件亦種類繁多。是以欲由各大公司之財務報告中，得知總進款之分類乃一難事。次之所述，僅屬某一獨立鐵路公司之狀況。

該路長 371 哩為一獨立之鐵路，股本計 \$1,114,400，負債 \$9,415,000，以債券 \$8,555,000 及設備信托借款 \$860,000 補充之。由此足證該路之造成顯以債券為主，股本額為數較小也。當 1901—1902 年，總進款為 \$1,708,937。此款中 \$1,101,884 或 64.5% 係耗諸營業費用。餘款 \$552,821 或 32.4% 則須備付固定費用。所餘之款祇 \$54,232。此數雖足付股息 5%，但事實上並未宣布分給股息。此蓋顯欲將所餘之款歸入流動資本中，或欲用作改善工程之用。此種舉動實等於贏餘之再投資，以期鐵路之改進。

由於鐵路股票債券暨其他有收益財產之所有權，隸屬於投資公司之關係，使問題趨於複雜，多數鐵路公司之財務報告，遂致不克如上文所述之易於分析。甲公司列入支出項目者，在乙公司則列入收入項目之內。州際商務委員會每年出版統計一次，分析全國各路之報告，凡屬各公司間之相互付款，則祇取其抵銷後之餘額。1912 年六月底為止之統計如次：

營業進款(鐵路營業)	2,842 兆
營業費用(鐵路營業)	1,972 兆
淨收入(其他營業進款為一兆)	871 兆
應付稅款	120 兆
營業收入	751 兆
其他收入(主要的為所有股票押款之息金)	89 兆

總收入		840 兆
減去(主要爲負債之利息)		488 兆
淨收入		352 兆
加 1911 年六月底損益		1,124 兆
1912 年六月底總利益		1477 兆
淨損失(由損益賬轉來)		30 兆
足以分配之利益		1,447 兆
是年淨發股息	299 兆	
擴充及改進備用金	53 兆	352 兆
差額		1,095 兆

所發股息祇 299 兆元，與足以分配之利益相較，僅及其五分之一，實屬額外緊縮矣。又可注意者，最後之差額祇及每年營業費用之半數。故此數於發付是年利息外，若無任何收入，則僅足維持四個月之營業，此雖過慮，但足見流動資本實非寬裕也。此數較前一年亦已減少 30 兆矣。

164. 固定費用 在單純之鐵路公司，其營業限於自有之鐵路，則其主要固定費用，屬於債券之利息。除此以外則當屬於設備信託借款之利息。蓋此種借款實係該路添置設備而發行之特種路債也。雜類債務亦爲支出利息之一種，但爲數較少。發行新債票時，每將舊債票全部納入，而雜類債務亦同時爲之消滅。

鐵路公司因有自營鐵路及租營鐵路之複雜關係，其固定費用之項目亦隨之而異。例如『公司開支』，通常均不及固定費用全數之 1%，係指租借鐵路所留繼續工作之少數總務職員之薪金而言。另

一固定費用，則為租借鐵路之租費。因此項支出為各公司間之相互關係，故前舉之州際委員會統計中並未載入。所舉某鐵路實例中，亦無此項目，以該公司並無租賃營業之鐵路也。

165. 淨進款 總進款中除去營業費用及固定費用外，所餘之款謂之淨進款。通常此款固可用以發付股息，但事實上恆有一大部分留作改進費用，或作為公積金以充作流動資本。當 1911—12 年，鐵路中 34.57% 未發股息，而上舉之公司於支付營業及固定費用外，尚有大宗盈餘者，實為罕遇之一例也。股息不及 4% 者，佔全部股票之 2.67%。

此微小之比例數，足徵多數鐵路因派息無多，寧停止發給也。股息在 4 至 8% 者，約佔 49%，此足徵多數鐵路尚能發給正常之股息。少數鐵路尚能發給更高之股息，其中 8.43% 鐵路竟能付給 10% 以上之股息。此種鐵路大率甚短而性質頗為優異。讀者須知上記之股息情形，在鐵路史中已處於最高地位。若鐵路情況回復至於 1896 時代，則其中 70% 以上均難發付股息，斯時鐵路投資雖有獲利頗巨者，但幾已令人視若畏途矣。

166. 營業費用 數字之勻整 此處所採營業費用之分類方法，係完全遵循州際委員會之制度，所列數字咸屬平均數。更有一端堪以注意者，鐵路每列車哩之費用，不問列車繁簡輕重常屬定數。雖在短距離及運輸超常之鐵路，暨與母公司間有特殊財政關係之公司，不能盡與此定律相符合，但祇能視作特例而已。

據 1901—2 年報告，國內十大鐵路，每路長度超過 4000 哩，每列車哩之費用計為 \$1.167。美國全國平均數則為 \$1.1796，此十

表 8 營業費用

項目	長度(哩)	營業費用 每列車哩	營業費用對總進 款之比率%
1	21.25	\$0.70621	71.62
2	32.60	0.47828	64.21
3	31.00	0.60649	96.12
4	64.10	0.90588	43.41
5	42.00	0.54323	63.07
6	61.00	0.75357	81.05
7	50.00	0.87456	90.32
8	50.39	2.07044	97.58
9	70.78	1.02854	53.46
10	52.20	1.74952	62.15
平均數		\$0.97167	72.30
十大鐵路		1.167	59.78
美國全國		1.17960	64.66

大鐵路之營業費用，對於總進款之比率為 59.78%，全國之比率則為 64.66%。較小鐵路之營業費用詳見表 8，表中各路係任意選取，惟其長度均不及 100 哩，且均為獨立經營之鐵路。

就上舉數字稍加研究，可知地方情形對於小規模鐵路之影響甚鉅，每列車哩之營業費用，離開平均數甚為遙遠也。此處所選十條短鐵路之平均數，較美國全國之平均數為小，雖其中二路超過全國平均數甚多，但以大體言則咸較少也。

此項數字之勻整原因，不難明瞭。雖大鐵路任何項目之總費用（例如拆換舊軌）較諸小鐵路多寡懸殊，但列車數目亦隨之增多，故除得之數，即每列車哩之費用，在實質上甚為勻整。

平均費用^{6%}廿三年來每列車哩營業費用增加之狀況詳見表 9，當 1895 至 1912 年間，此項費用增加 73%，甚為勻整。關於表 9 未

來費用之預計，固屬臆測而成，但研究鐵路經濟者，必須竭其能力作未來五年或十年之預計。目前似無理由足以希冀此項費用之減少，換言之，此項費用仍在繼續增加之趨勢中，但祇可云其增加之速率不如昔日之甚而已。

表 9 每列車哩之平均營業費(美國境內)

年份	分	年份	分	年份	分	年份	分
1890	96.006	1896	93.838	1902	117.960	1908	147.340
1891	95.707	1897	92.918	1903	126.604	1909	143.370
1892	96.580	1898	95.635	1904	131.375	1910	148.865
1893	97.272	1899	98.390	1905	132.140	1911	154.338
1894	93.478	1900	107.288	1906	137.060	1912	159.077
1895	91.829	1901	112.292	1907	146.993		

167. 營業費用之分類 表 10 為州際委員會所採之分類法，表中顯示每項目之總費用，相當於總數之百分數，及每列車哩之費用(以美金一分為單位)。將百分數與是年平均每列車哩之費用(\$1.59077)相乘，即得該項每列車哩之費用。此項平均數，足令人得一廣博之概念，但應用時須極謹慎。例如每哩機車之燃料費為一易變之數，隨機車之尺度，及工作之數量而異，若貿然採取表中 16.27 分作估計之根據，則甚為愚拙也。

168. 路線與建築之養護 軌道材料中，以軌枕之費用為最巨，每列車哩之費用，已較 1895 年增加一倍。此蓋由於下列三原因：(a)軌枕價格之增加；(b)產量稀少以致購入時檢查鬆濫；(c)列車荷重，車輪集中荷重，均較增加，使軌枕毀壞更易。將來軌枕價格，除設法多用防腐方法，或發明金屬式鋼骨混凝土軌枕外，恐無減輕

之望。此項金屬或混凝軌枕，初價雖昂，但甚耐久，故每列車哩之費用可期較廉也。

表 10 美國各鐵路營業費之分析，(1912年度)。

項目	摘 要	總數 (千元爲 單位)	總費用之 百分數%	每列車哩 之費用 (以美金 一分計)
路線及建築之養護費用				
1	辦公費	18,789,	0.990	1.58
2	道渣	7,157,	0.377	.60
3	軌枕	55,463,	2.921	4.65
4	軌條	16,438,	.866	1.38
5	其他軌道材料	17,346,	.914	1.45
6	路基及軌道	129,397,	6.815	10.84
7	消除冰雪流沙	6,920,	.364	.58
8	隧道	1,141,	.060	.10
9	橋梁，棧橋，涵洞	27,712,	1.460	2.32
10-12	交叉，護籬，防雪建築	8,066,	.425	.68
13-15	號誌，電報，電力傳導	13,681,	.720	1.14
16,17	房屋，場地，船塢，碼頭	35,389,	1.864	2.96
18	築路工具及用品	4,480,	.236	.38
19	員工之傷害	1,989,	.105	.17
20,21	文具，印刷，其他費用	1,038,	.054	.09
22,23	與別路之聯合設備 (淨差額)	3,463,	.182	.29
小 計		348,471,	18.353	29.20
設備之養護費用				
24	辦公費	13,175	.694	1.10
修理，換新，折舊：				
25-30	機車 (汽電)	175,889,	9.263	14.74
31-33	車輛 (客車)	38,968,	2.052	3.26
34-36	車輛 (貨車)	183,968,	9.690	15.41
37-39	車輛電氣設備	318,	.017	.03
40-42	水上設備	1,333,	.071	.11
43-45	工具設備	6,128,	.322	.51
46	工廠設備 (機械及工具)	10,418,	.548	.87
47	動力廠設備	268,	.014	.02
48	員工之傷害	1,818,	.096	.15
49,50	文具印刷及其他	4,036,	.213	.34
51,52	在終點與別路之聯合設備 (淨差額)	676,	.036	.06
小 計		436,995,	23.016	36.61

53-60	、車務費用 代理處,廣告,快遞線等	59,047,	3.110	4.95
61,62	運輸業務費用	40,743,	2.146	3.41
63	辦公費與站上費用	133,877,	7.051	11.22
64-66	車站員工	15,949,	.839	1.33
67-72	過秤;車上服務社;煤及礦石船塢	116,781,	6.151	9.79
73-76	車場(工資,費用,材料)	33,658,	1.773	2.82
77,78	車場機車(燃料,水,機油,材料)			
104,105	管理聯合軌道,終站,車場,及其他			
79,80	設備(淨差額)	10,430,	.550	.88
81	司機	120,966,	6.371	10.14
82	機車,機車房費用	33,951,	1.788	2.84
83	機車,燃料	194,142,	10.225	16.27
84,85	機車,水	12,482,	.657	1.04
86,87	機車,機油,及其他	7,430,	.392	.62
88	動力廠及購入動力	1,797,	.095	.15
89	列車員工	128,339,	6.759	10.75
90-92	列車物品與費用	31,462,	1.815	2.89
93	聯鎖號誌,旗手,開動橋梁	17,831,	.939	1.49
94-98	清理毀壞	5,167,	.272	.43
99-103	電報,水上設備,文具,雜件	20,009,	1.054	1.68
	財產之損失,員工之損害	56,838,	2.994	4.76
	小 計	984,852,	51.871	82.51
106-116	總務費用 總務人員,辦事員等薪金,法律, 保險,撫卹,雜費	69,297,	3.650	5.81
	總計營業費用	1,898,662,	100.000	159.08

路基與軌道之費用(項目6),為養護軌道之工資。平均軌道工人之每日工資在1900年為\$1.22,至1912年已增為\$1.50;工目之工資均較工人工資高30%。在此時期中,每100哩所雇之工人數目雖時有變化,但已自118人增為143人,由于人數與工資之兩重增加,故軌道之養護費乃隨以大增。

169. 設備之養護 此類費用近年增加甚多,不僅總數之增

加，即百分數與每列車哩之攤派費均已驟增。增加費用之原因，蓋由於廠內工資之增巨及材料價格之昂貴。此項費用不隨改變路線後長度之增減而變，此外尚有若干項亦然。曲線與修理費用關係甚密，（尤以車輪之蝕損為甚）故工程師於考慮減省曲線時，必須計及此事，路之坡度對於養護費亦略有影響。

在機車生命之第一年內，除遇險以外，修理費尚極稀少，年齡愈增，則修理費即以高比率增加。及機車之修理費增至初價之四分之一時，（除特種情形此數改為三分之一）則宜廢棄，蓋斯時每列車哩攤派數甚高，不如另購一新機車為經濟也。若購置新機車以替代舊機車，其增出之費用，應記入改進設備帳中。

170. 運輸費用 此類費用計有五項，每列車哩攤費超過美金五分，其中最巨之項目為燃料。此項費用自 1895 年以來，增加幾及一倍。此蓋半由於煤價之增加，半由於機車動力增巨，以致每哩燃煤之量亦因以加增也。此外尚有四五項大宗費用，幾全為薪工，最近二十年中所增亦巨。凡作未來經濟之預測時，須知運輸費用恐無降落之望，而最近五年至十年間恐有顯著之加增也。

第二十三章 定線之經濟

171. 原則 綜觀上文所論，參以常識的判斷，可知下述各節之真實性：

(1)本國(指美國)若干鐵路之定線，其環境之艱難，非可言喻，故確係不可磨滅之偉績。至若祇以通行車輛為目的，而不問其位置是否足以吸引運輸業務，營業費是否過高，限界坡度是否過於峻急，列車荷重是否被其限制，則平庸之工程技能已足以應付之矣。

(2)在若干可能之路線中，就管理或營業方面言，必有一綫較優於他線，故如何選出最優之路線，不僅為工程師之分內事，亦其才具之一種試驗也。

(3)選定路線之際，恆有若干利害參半之問題，須加以精審之思慮：(a)必須獲得最大量之營業，但欲期達到此目的，恆須付出極大之初價；(b)限界坡度必須充分使其低緩，但通常需費每甚鉅大，且恆因此而不得不選取一種犧牲營業之位置；(c)曲線必須使其和緩以期減輕營業費，但此事恆以鉅價得之；(d)總工費必須使之在某種定額以內，庶可與未來收入相適應，且必須使之較少於所籌資金總數，庶通車後五年或十年間，營業尙未發展之際，尙有餘款以資挹注也。

(4)每一建議之新線，均含有上述之各問題，工程師之職務乃在估計與比較此種問題，擬定需費最少而收穫最巨之對策。初價，暨未來營業費，均須處處顧到也。

172. 經濟計算之確實性及其價值 讀者慎勿養成信念，以為下述之計算方法，可與算學的計算法相同，足以使人精密計算修改路線後所生之影響。實則本問題牽涉之因素過多，而其影響又復變化無定也。惟精密之結果雖不可得，但猶可賴以獲得實際上之方針；亦有法聊勝於無法之意耳。例如一段過度曲折之鐵路，若欲改成比較緩和之路線，則因減除多數曲線，須費凡 \$20,000。假定由計算(詳後)後，得知每年營業費用可以因之節省 \$3500，按 5% 利息計，此 \$3500 元之資金，相當於 \$70,000。今所費祇 \$20,000，故可知此項改善工程殊為合算。此為本方法最明顯之一例。

關於改善工程之費用，固可詳密估計，但關於每年節省營業費之估計則異是。估計此項營業費之節省數目，於若干不易確定之項目，予以寬裕之數目後，可設定其最多與最少之變化限界。在極有學識經驗之工程師，則足使此種限界極度減小，而不致發生重大之錯誤。且此種步驟亦常可無需，蓋問題之實質，並不在於受益之資金究為 \$70,000 或 \$50,000 或 \$90,000，蓋在乎經此改良後，所獲利益究僅數千元，或可達數十萬元耳。其詳細數目，實非所問。

若改良費用與所獲利益相去無多，則決定施工與否均無大礙，而全視乎公司當局之願否多費此款。此種方法對於無經驗之工程師亦甚有用，蓋藉此可使其建議發生力量。對於經驗豐富之工程師則為用更多，足使其提出最優之意見，且可使其應用其經驗於計算之中，以得最精密之結果。

讀者幸勿以為以下諸頁所示之數值，足以應用於任何假定之情形。蓋其目的在乎指示演算之方法，須憑工程師最良之判斷力，以期適合當地之情形。

第二十四章 長 度

173. 長度與運費及費用之關係 運費率通常係以旅行之距離為根據，蓋謂鐵路所盡之服務及費用，係與長度成正比例。此種假定實與事實不符。若搭客或貨物自甲城運至乙城相距 100 哩，則鐵路所給予之服務，為於最容易與敏捷情況下完成此種運輸。若另一公司費倍蓰之資本於此兩城間築一鐵路，縮短其距離為 90 哩，因其減除不必要之旅程，此路之服務當較前述之路更大更佳，然若按里程為計算運費率之根據，則此路所得運費當較少，豈非不通之論乎？

鐵路之費用與長度為比例之假定，似較為有理，但如後文所述，亦可知其非為確論。多數搭客列車之平均費用不難求得，更以搭客旅行之里程除之，即得每延入哩之費用。但於規定列車中增加搭客一人，所增之費用為數甚微，恐不致超過其車票之印刷費。緣雖增此搭客而多耗之煤，及其他所增之些微費用縱能算出，其數亦必甚微，僅為載客列車哩平均費用之極微分數。此種辯證法雖性質不一，但亦可用以推論貨車另增一噸貨物後所增之費用。

用此同一之辯證法，可以證明長度之變化所給予行車費用之影響，並不與此變化成正比例。最易知者，總務費用絕對不受路線長度改變之影響，又如後文所述燃料之消耗，並不與長度成正比例。若事實上有可能性，可製一運費率表，使顧及路線各部分尖銳之曲線與過甚之坡度，且此運費率除直接依賴此種情形外，並與其他足

以增加行車費用各建築要素相稱，則此運費率當與費用成正比例，但此種運費率表，不易獲得公衆之了解而無法實行。且鐵路常有爲營業競爭起見，所收運費率竟較廉于運輸之平均費用，此足證長度對於運費率及費用之關係，無法用簡單比例爲之顯示也。

174. 進款之影響 運費之規定既以長度爲根據，而不問曲度與坡度，故長度之增加可得若干之補償。雖將長度無故增長以增加運輸上之負擔，實與公衆利益政策相違反，但在無競爭之運輸上，隨長度增加之進款，恆較所增費用爲鉅。爲正常研究此種情形起見，必須將有競爭與無競爭運費率，加以顯著之區別。運輸又可分爲聯運與本路二部門，凡通過兩路或兩路以上之運輸爲聯運，不問所經各路之部分之或長或短；限于一路之運輸爲本路，所經路線有時可爲該路之全部。此種分類可更進一步區分如下：

(1)無競爭之本路 — 限於一路而無別路可資選擇。

(2)無競爭之聯運 — 行於二路或二路以上，但別無選擇餘地。

(3)有競爭之本路 — 有二線以上可資選擇，但每一路線均限於其本路。

(4)有競爭之聯運 — 有二條或二條以上路線可資選擇，但所選任何路線均須通過二路或二路以上。

(5)半競爭之聯運 — 在本路無競爭而在別路則有競爭。

凡通過兩路或兩路以上之進款，均按所經里程而分配。有在分配以前，先行減去終站費用。亦有勢力雄厚之路，迫使薄弱之路承認特種費用，於分配之前，先行扣除。但最後之分配，則不論客運與

貨運，均按長度而定。由以前所示，每哩之營業費用約為平均費用之 56%。此意即凡屬無競爭營業（第 1 類），均因長度之增加而獲得利益。就另一方面言，有競爭之路線，則不問長度如何，運費大率相等，所增之長度徒為無報酬之損失而已。此即屬於分類之第(3)項。

〔實例〕 各類運輸業務所受起迄點間距離之影響，多寡不一。假設某一運輸業務，在本路上之長度為 100 哩，在外路上之長度為 150 哩；又假定貨運費為 \$10。則本路應得 $\frac{100}{100+150} \times \$10 = \$4.00$ ，此即謂該等貨物每哩須費 4 分。若本路之長度增加 5 哩，又假定運輸業務完全在競爭情形之下，則所收運費將不問所增長度若干，祇能收取 \$10。則本路可得 $\frac{105}{105+150} \times \$10 = \$4.1176$ 。若原有之 100 哩仍按每哩 4 分計算，則所增之 5 哩共得 11.76 分，此即每哩 2.352 分，或 4 分運費率之 58.8%。

此數略等於所增里程之百分數，故原有 4 分運費率如屬有利，則所增進款，亦必足以經營所增之長度，有盈利而無損失。但外路却因以受損，因該路先後之服務完全相同，而所獲之酬報則減少矣。上舉之數字實例，已迫近增加長度之利益與不利益之限界。若本路之長度，祇居全運程之一極小部分，則可以同樣之算法，證明增加長度顯然處於有利地位。反之，若本路之長度居全運程之大部分，則增加長度顯無利益。總之外路愈短則利益愈寡，外路長度為零（即全部有競爭之運程均在本路之內），則本路所增長度為絕無補償之損失而已。

上舉之數字實例，祇為無數情形中之一事。鐵路中任何一站，幾無一不與國內其他車站相聯繫。由任何車站至另一車站之路線，即

爲一種新的組合，而增加長度所生之影響，卽一切單獨情事所生影響之和。由此足證精密之算法爲不可能，但由上舉之解法，足以指出下列之原則：

在一切無競爭之營業，不論爲聯運或本路，因增加長度而增加之進款，均屬有利，若營業完全不致發生競爭，則增加長度並非處于不利地位，尤於增加長度後可以減低建築費時爲甚。例如，某路遵一極度屈曲之河岸而建，較諸多穿隧道之路，雖其長度較大，曲折較多，但其建築費或可較少。

若鐵路所經手之競爭營業爲數甚巨，則增加長度每爲損失之一因，若損失過巨，則寧斥鉅費以改善之。繼續耗費鉅款以減縮長度之另一原因如次。當一路之聯運運費率訂定以後，卽不易因改革少許路線而加以推翻。

以上所述，可歸納爲次之結論：每路經手之無競爭營業爲數較多，則加增長度後之費用，均可得所取償。多數小鐵路所經營之營業，幾完全屬於無競爭的，故加增之運費，每足以補償其增加長度所增之費用，雖事實上並非利益之真實的來源。最後，鐵路斥鉅資以縮短里程（卽擇一費用較大而長度較減之路線）常不合算，除非該路所經手之營業，多數屬於高度競爭性質。

討論本問題時，尙有不可忽視之數點。其一爲增加里程後，所增之旅行時間。此事之重要性有二：(1)兩城市間客運營業之競爭，（例如紐約與菲城，或菲城與阿特蘭提克），常甚尖銳，致旅行時間相差 10 分鐘左右者，卽與財政上有嚴重之關係。(2)長度之改變過多，對於重聯運貨車或有嚴重之影響，雖然此種列車在該段之總行

車費通常所增之數，並不較多於額外之列車哩乘減低列車哩之費用之積。但在任何情形之下，此種問題不應忽視也。

另一考慮問題，爲其對於營業之可能的影響。計畫良好之鐵路，通常稱之爲『直線之捷徑』。工程師如存心祇求路線之徑直，則每致失去進款之來源，所建之路，收入與營業均將減色。是以選擇路線有一南針曰：『擇取每哩營業最巨之路線。』但在另一方面而言，亦不得專顧營業之來源，致所選路線曲折過甚，使一切運輸均因以增加額外之負擔。

第二十五章 曲 度

175. 曲度對於營業上之障礙 曲線之不利益，在非技術人員極易傾悟。但此種世俗共曉之事，在工程師反視為無甚經濟的價值。曲線之缺點，分論於次，以其重要之程度為序：

(1) 增加撞車與脫軌之危險。凡遇曲線上之脫軌，其損失必較重。然則鐵路應費若干資金於免除或減緩曲線方為合算乎？因盡除曲線，為地形及財力上所不可能，故此問題當改變為盡其可能以減輕肇禍之危險。按 1902 年度州際委員會報告，知旅客旅行一哩中遇險之機會，在 57,022,283 人中祇有一人。此即每一旅客旅行 57,000,000 哩始有被殺之機會。若按每小時旅行 60 英里之速率，則須 950,000 小時，即 40,000 日，即超過 100 年以上。

但此中遇險之原因，並非完全由於曲線，故按或是定理，此旅客不知更須旅行若干倍之距離，方能遭遇在曲線脫軌致死之厄運。此種出險之曲線，如限于地形或財力上可以避免者，則機會當更少。設吾人估計全國鐵路曲線為 250,000 處，試問在其中一處出險之機會若干？吾人應斥費若干以期減免該曲線之危機？斥費以後是否尚有其他之危機 關於此問題之合理的分析，結果足知吾人宜在特別危險之曲線設法減免危機，（例如加置旗手一人於曲線地方）但無法計算危機之財政的價值，以作改善工程之方針。

(2) 曲線對於運輸之影響約有三端：(a) 減低急行列車之可能的速率。在聯絡兩城市間競爭尖銳之鐵路，此事關係綦重，但多數

鐵路則無此情況。減除曲線後客運時間究能縮短若干，殊不一律，須詳加分析。(b)使行車發生顛簸，(c)使乘客危懼而減少旅行。以上三端所發生之缺點如有良好之路基及緩和曲線，即可彌補不少。在運輸中佔有三分之二之貨運，除非曲線特別尖銳不致受有影響，故工程師於研究曲線之財政價值時，每不措意於貨運也。

(3)曲線對於列車之行動所生影響為：(a)限制其長度，(b)限制機車之型式與重量。凡沿河岸而築之鐵路，普通均有陡峻之限界坡度，而曲線常甚尖銳。此種鐵路之列車長度，恆因曲線而有限制，但此種情形較罕，有之亦可按後述方法，算出在何種費用範圍內，減緩曲線方為合算也。若登山坡度長而勻整，則曲線足以限制列車之長度，但良善之經驗，當採後文所述之補救方法也。

登山鐵路所用之曲線，若過於尖銳，常難採用最大型之機車。但此種鐵路之運輸每較稀少，故無採用重型機車之需要。平常均認為馬蘭特機車，(有車輪 16，重逾 400,000 磅)可以通行於 20 度曲線，故在普通鐵路工作中，採用機車之限制可以忽視。

(4)曲線增加營業費用。此項缺點為一確定之數，可以約略算出，又因曲線減緩後費用可以減少，故吾人可先算出曲線對於營業費用之影響。

176. 曲線之補償 列車阻力因曲線而增加之數，甚為確定，而此種增加之阻力，可以等量之坡度增加數代表之。假定 6 度曲線之阻力為每噸 4 磅，則等於 0.2% 坡度之坡度阻力。若有 6 度曲線其坡度為 1.0%，則其阻力等於 1.2% 坡度之直線軌道也。依此根據，若 1.2% 坡度被選為限制坡度，則需用 6 度曲線時，其坡度不得

超過 1%，庶其阻力不致較切線爲鉅。此爲曲線補償之基本觀念。若坡度甚平，去限界坡度甚遠，則無須顧及曲線之補償。但坡度已達限界坡度者，則不可忽略此點，否則事實上因曲線阻力而超過限界坡度矣。

補償率 此名詞之意義，爲坡度應如是減低，使所省之坡度阻力可與曲線阻力相等。但曲線阻力略隨列車速率，軌條情形，車盤種類而異。爲計算上之簡單起見，可假定曲線阻力與曲線度數成正比例。此項假設，在低曲度時完全無誤，而在高曲度時則錯誤甚巨，惟所幸者此時之阻力較由比例算得者爲小耳。此蓋由於曲線之大部阻力與曲線之度數無關，在列車低速率時，曲線阻力大約每噸每度爲 2 磅。（相等於 0.1% 坡度）例如，列車開行之時，急行列車之阻力較緩行列車爲小，但因必須顧及緩行而量重之貨列車，故必須採用較大之補償率。由於補償之結果，必須犧牲一定平距內所增之高度，而欲減緩坡度至相當範圍以內，必須耗資於路線之延展。是以無目的之補償，爲一浪費的行爲，必須避免者也。若在各列車停留場之鄰接坡度之下，須有曲線，則此種補償必須減少或免除。蓋因曲線之阻力而耗費之能力，本須耗費于停留時之輟中也。若此坡度必須展至停留場以上，則以開車時阻力較巨，必須採用較大之補償數。因曲線阻力僅增加有效的坡度，而補償之目的，爲免除限界坡度之超過，故在業已平緩之坡度上，無再加補償之必要，以其決無超過限界坡度之可能性耳。但此事亦有例外之危險，蓋日後路線或須改變，而限界坡度減緩殊巨。但若忘將該處補償，則必致超過修正之限界坡度矣。以上所論，可歸納而爲次之規律：

(1)在一切重貨車停留場之上方，每度曲線應補償 0.10%。

(2)在此種停留場之下方，無須任何補償，但應用此規律須極審慎。

(3)普通每度曲線應補償 0.035%。

(4)若習慣上經此曲線時速率甚緩，或超高度對於貨列車已屬過度，此項補償率應增為每度 0.04%。但如補償後高度犧牲過鉅，致切線之坡度必須增加者，則不在此限。

(5)曲線之坡度甚微，且低於限界坡度甚遠，則無須補償，但將來限界坡度減低時，必須注意及此。

177. 曲線之限度 舉行鐵路測量之時，每受有上級命令，限制曲線不得超過某種限度。然則此等限度如屬必須，則應為若干度曲線歟？吾恐對於此一問題，並無準確答案可言，極言之，則無限度之必要。在通常一切曲線度數下，直至 20° 曲線為止，均可容許重機車之行駛。且已有無數事實，可以證明尖銳之曲線，經多年重量運輸之行駛後，並未發生嚴重之困難。包爾提摩爾與俄海俄鐵路在哈爾柏渡口即其一例，該處之曲線祇 $19^\circ 10'$ 耳。（半徑 360 呎，惟該曲線已於多年以前拆改。）但青年工程師未可援引此例，斷言曲線之為無足輕重，而以為任意縮短長度，盡力插入尖銳曲線，即為最容易之計畫。殊不知每減少中心角一度，即有其一定之價值，而曲度半徑苟無須重大犧牲其他利益或財力，則應在可能範圍使之放長也。在山區建造鐵路，必須度越山嶺之時，每非採用極尖銳之曲線或耗費巨量之金錢，無法減緩坡度。但建築費用每為財力所限，故常造成採取高級限界坡度與低級曲線度數之錯誤，殊與鐵路一

般情形懸納不入也。

亦有公司所籌有限之資金，均因力謀曲線之和緩而耗費殆盡，不知挹注於其他反較有利之途徑。最普通之錯誤，為將限界坡度作無謂之增加。若干鐵路均規定最大坡度為每哩 60 呎。最小之曲線為 6 度。此兩限制之援用，分合靡定。若 6 度曲線適在 60 呎坡度上，則坡度之實質增為每哩 71 呎。在某種情形之下，每哩 60 呎可為極合適之限界坡度，但如遇採用 10 度曲線，即可將限界坡度大為減緩之時，則減緩坡度之利益，實遠勝於尖銳曲線之缺點也。故就一般而言，如有規定此種限制之必要，則必須與當地情形相適應，苟遇有利之機會，如增加曲線度數，或中心角度數，即可減低限界坡度時，則不妨從權採用。（除非計算後，覺增加曲線度數後，有得不償失之情形則為例外）

第二十六章 坡 度

178. 低級坡度與限界坡度之區別 在計算低級與限界坡度不利點之前，必須明瞭其間之區別。每哩列車之行車費用，大部分隨列車之長短輕重而異。運輸貨物若干噸之進款為一定數，不論其裝在一列車內或兩列車內。若因減緩坡度後，原須分裝兩列車之貨物，可以併裝一列車，則進款仍舊，而行車費用幾可減半，自為有利之計畫。

通常貨列車之機車能力有限，無法將列車之運貨量增加一倍，但如能將限界坡度竭力減緩後，則列車運量即有顯著之增進。鐵路營業原在損失中者，即可一變而為盈利。機車拖運量受限界坡度之限制甚嚴，故所予財務上之影響甚為密切。自另一方面言，低級坡度對於車輛數目並無限制，故對於行車費用，除機車所需燃料與雜項物料略有增加外，並無其他影響也。燃料等增加之數，可以計算得之，為數雖鉅，但較諸另增列車以轉運同量之貨物，則所省實多矣。

低級坡度之實際費用，較吾人之想像為少，蓋有上昇之坡度，必隨以下降之坡度。兩終站之高度雖相差無多，但其間之路線則每有無數之起伏。即自極端之情形言，所有坡度均在同一方向，則上行車固甚費力，而下行車即可以省力也。

179. 加速運動之定律（對於列車行動之應用） 列車自靜止而開始行動，逐漸達到其正常速率，例如每小時 30 哩，則其機車不僅須發生動力以應付軌道阻力，坡度或曲線阻力，並須發生動能

以與其速率相稱。此項動能並非浪費也；此種能量均改變而成工作。一部分之能量，固須因輒而耗費及吸收，但一切阻力亦由以克制，以保持其速率。此項動能為一數學的定量。依力學定理，吾人知其量為 $W(v^2 \div 2g)$ ， W 為列車之重量， v 為其速度，以呎/秒計， g 為重力加速度，等於 32.16 呎/秒/秒。

如欲得對於此力之更佳之認識，可設想列車在無阻力之軌道上進行。若速度為 v 呎/秒，則其所蘊之動能，可使列車之本身提高 h 呎，而 $h = v^2 \div 2g$ 。若吾人假設機車所供給之能量，適足以克制其牽引抵抗力，則此車尚能藉其動能，升登 h 呎之坡度（平距不論）。此定理引伸之，可知此列車升登 h' 呎後（ h' 較 h 為小），則斯時之速度為 $v' = \sqrt{2g(h-h')}$

〔例題〕 假定列車之速度為每小時 30 哩，或每秒 44 呎，則其動能可令升登 $h' = \frac{44^2}{2 \times 32.16} = 30.1$ 呎。若機車所供給之能量足以克制其牽引阻力，則其動能足令列車繼續進行每哩 15 呎之坡度凡二哩，或每哩 60 呎之坡度凡半哩。若此列車先行之半哩為每哩 20 呎之坡度，則其自身業已升高 10 呎，尚有相等於 20.1 呎之動能。斯時列車之速度應降為 $v' = \sqrt{2 \times 32.16 \times 20.1} = 35.9$ 呎/秒，或 24.5 m.p. h.。

若此列車為一固體物質，則以上數字乃絕對無誤，但因列車內一部分重量為旋動之車輪，必須消費一部分之動能使之旋轉，故問題稍形複雜。旋動與移動所消費之動能比率不同，因車輪重量與全部重量之比率而定。後者又因車輛之構造，暨裝貨之盈虛而異。是以欲得精確數字，殊屬難能，但假定所增之動能平均為 5%，亦無大誤。

表 11 列車在各種速度下之速頭(與動能成正比)

速度 每小時 哩數	速 頭 $V^2 \times 0.03511$									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5	0.88	0.91	0.95	0.99	1.02	1.06	1.10	1.14	1.18	1.22
6	1.26	1.31	1.35	1.40	1.44	1.48	1.53	1.58	1.62	1.67
7	1.72	1.77	1.82	1.87	1.92	1.97	2.03	2.08	2.14	2.19
8	2.25	2.30	2.36	2.42	2.48	2.54	2.60	2.66	2.72	2.78
9	2.85	2.91	2.97	3.04	3.10	3.17	3.24	3.30	3.37	3.44
10	3.51	3.58	3.65	3.72	3.79	3.87	3.95	4.02	4.10	4.17
11	4.25	4.33	4.41	4.49	4.57	4.65	4.73	4.81	4.89	4.97
12	5.06	5.15	5.23	5.32	5.41	5.50	5.58	5.67	5.75	5.84
13	5.93	6.02	6.12	6.21	6.31	6.40	6.50	6.59	6.69	6.78
14	6.88	6.98	7.08	7.19	7.29	7.39	7.49	7.60	7.70	7.80
15	7.90	8.00	8.11	8.22	8.33	8.44	8.55	8.66	8.77	8.88
16	8.99	9.10	9.21	9.32	9.43	9.55	9.67	9.79	9.91	10.03
17	10.15	10.27	10.39	10.51	10.63	10.75	10.87	10.99	11.12	11.25
18	11.38	11.50	11.63	11.76	11.89	12.02	12.15	12.28	12.41	12.55
19	12.68	12.81	12.95	13.08	13.22	13.35	13.49	13.63	13.77	13.91
20	14.05	14.19	14.33	14.47	14.61	14.75	14.89	15.04	15.19	15.34
21	15.49	15.64	15.79	15.94	16.09	16.24	16.39	16.54	16.69	16.84
22	17.00	17.15	17.30	17.46	17.62	17.78	17.94	18.10	18.26	18.42
23	18.58	18.74	18.90	19.06	19.22	19.38	19.55	19.72	19.89	20.06
24	20.23	20.40	20.57	20.74	20.91	21.08	21.25	21.42	21.59	21.77
25	21.95	22.12	22.30	22.48	22.66	22.84	23.02	23.20	23.38	23.56
26	23.74	23.92	24.10	24.28	24.46	24.65	24.84	25.03	25.22	25.41
27	25.60	25.79	25.98	26.17	26.36	26.55	26.74	26.93	27.13	27.33
28	27.53	27.73	27.93	28.13	28.33	28.53	28.73	28.93	29.13	29.33
29	29.53	29.73	29.93	30.13	30.34	30.55	30.76	30.97	31.18	31.39
30	31.60	31.81	32.02	32.23	32.44	32.65	32.86	33.08	33.30	33.52
31	33.74	33.96	34.18	34.40	34.62	34.84	35.06	35.28	35.50	35.72
32	35.95	36.17	36.39	36.62	36.85	37.08	37.31	37.54	37.77	38.00
33	38.23	38.46	38.69	38.92	39.15	39.38	39.62	39.86	40.10	40.34
34	40.58	40.82	41.06	41.30	41.54	41.78	42.02	42.26	42.51	42.76
35	43.01	43.26	43.51	43.76	44.01	44.26	44.51	44.76	45.01	45.26
36	45.51	45.76	46.01	46.26	46.52	46.78	47.04	47.30	47.56	47.82
37	48.08	48.34	48.60	48.86	49.12	49.38	49.64	49.91	50.18	50.45
38	50.72	50.99	51.26	51.53	51.80	52.07	52.34	52.61	52.88	53.15
39	53.42	53.69	53.96	54.23	54.51	54.79	55.07	55.35	55.63	55.91
40	56.19	56.47	56.75	57.03	57.31	57.59	57.87	58.16	58.45	58.74
41	59.03	59.32	59.61	59.90	60.19	60.48	60.77	61.06	61.35	61.64
42	61.94	62.23	62.52	62.82	63.12	63.42	63.72	64.02	64.32	64.62
43	64.92	65.22	65.52	65.82	66.12	66.43	66.74	67.05	67.36	67.67
44	67.98	68.29	68.60	68.91	69.22	69.53	69.84	70.15	70.46	70.78

表 11 在計算上甚為有用，其編製之根據如次：

速頭 = $\frac{v^2(\text{秒/呎})}{2 \times 32.16} = \frac{1.466 \cdot V^2(\text{m.p.h.})}{64.32} = 0.03344V^2$	
加 5% 因車輪之旋動所增之動能	$= 0.00167V^2$
共計	<u>$0.03511V^2$</u>

表 11 中一部分數字係用中介法求得，故若干數之百位數中，略有錯誤在所不計。但自本問題本身而設想，則百位數之差異實無影響也。此表之用法實例，詳於後文。

在一定距離內，發生此種加速度所須之牽引力，可以次式表示

$$P = \frac{W}{2gs} (v_2^2 - v_1^2)$$

之式中 v_1 與 v_2 為低級與高級兩速度，以每秒呎計； s 為距離，以呎計； g 為重力加速度 = 32.16； W 為重量以磅計。若以 $W = 2000$ ，

$g = 32.16$ ， $v_1 = V_1 \frac{5280}{3600}$ ，及 $v_2 = V_2 \frac{5280}{3600}$ 代入，則得

$$P = \frac{2000}{2 \times 32.16s} \left(\frac{5280}{3600} \right)^2 (V_2^2 - V_1^2) = \frac{66.89}{s} (V_2^2 - V_1^2)$$

若增加 5%，則此係數 66.89 即改為 70.23，因 5% 非精確數，故此係數可改為 70，即得

$$P = \frac{70}{s} (V_2^2 - V_1^2) \dots \dots \dots (104)$$

式中 P 為使列車在 s 呎距離內，自每小時 V_1 哩之速度，加速至每小時 V_2 哩之速度，每噸所須之力（以磅計）。反之，若列車速度由 V_2 減為 V_1 時， P 為用以克制牽引與坡度阻力之力，

180. 實質縱剖面 次之說明中，假定機車之牽引阻力暨牽

引力均與速度無關。此種假設均非絕對合乎實際，尤以後者為甚。牽引力與速度之關係，當於後文述之。（191節）但由此種假定所得之略數，甚為有益，並切合實用。設圖 157 為路線一段之縱截面， AE 之坡度為 0.40% ，即每哩 21.12 呎。設由 A 升登此坡度之運貨機車之速度為每小時 20 哩，則自表 11 得知該機車之動能相當於速頭 14.05 呎。機車在 A 所遇為下坡 0.20% ，計長 1500 呎。由 A 至 B ，下坡雖祇 0.20% ，但對於 AE 之坡度 (0.40%) 而言，則為 0.60% 。故 B 點較 B' 點低 9 呎。因機車所作之工作，原可牽其列車以每小時 20 哩之速度升至 B' 點，但因 9 英尺之實質落差，使其速頭由 14.05 呎增至 23.05 呎，即速度增至每小時 25.6 哩，即列車在 B 點之實在速度也。在 B 點，坡度改為上坡 1.0% ，距離計 2300 呎。

坡道 BC 對於坡道 $B'C$ 之坡度，為 $1.0 - 0.4 = 0.6\%$ ，故 B 至 C

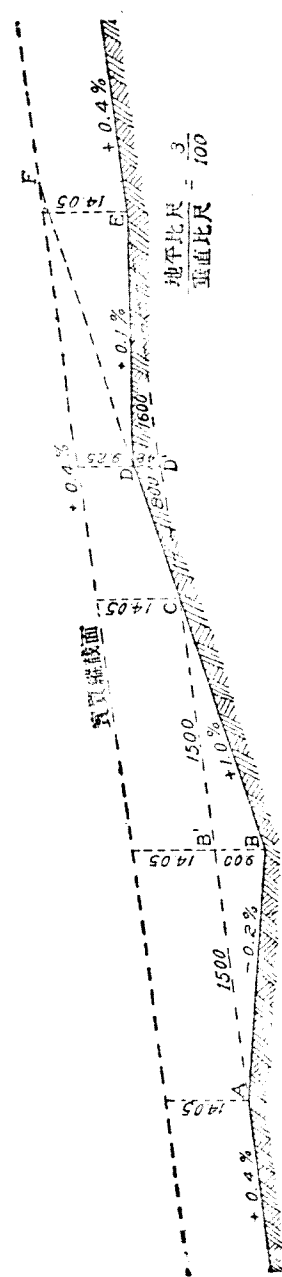


圖 157 鐵路之示範縱截面圖

點相距 1500 呎，所餘之 800 呎，使此路線升至 D 點，較 D' 點高 4.8 呎。列車於 B 點雖以 25.6 m.p.h. 之速度前進，但因坡度為 1.0%，而非 0.4%，故一部分動能為所增之坡度而消費。抵達 C 點後，列車由 A 至 B 所增之動能，完全損失，由此繼續前進時，則損失之動能更巨。抵達 D 點，列車損失速頭 4.8 呎，而速頭減為 $14.05 - 4.8 = 9.25$ 呎，相等於每小時 16.2 哩之速度。 D 點以上之坡度，又改為上坡 +0.1%。

在此，有一奇異之狀況，蓋坡度雖向上，而實質上則向下。何則，機車之工作，實較克服 0.1% 上坡為艱苦，故其速度隨以增加。抵達 E 點時，距離 D 點 1600 呎，列車即按 A 至 E 之平均坡度 0.4% 更向前進。自 D 至 E ，列車雖則升登 1.6 呎，但實則落低 4.8 呎，即由 D 降至 D' 點，其速頭則自 D 點之 9.25 呎，增至 14.05 呎，而其速度即增為每小時 20 哩。圖中繪在上方之直線，為實質的縱截面，此線可自各點之速頭繪成之。因本問題中之機車之工作始終如一，故此線為一直線。

阻力與牽引力之變化，對於上列數字之精度，雖有若干之影響，如後文所論，但所舉之例，不能視為幻想與不合實際。在某種確定條件之下此種情形確有實現之可能。如 BD 坡延長至 F ，或至真截面與實質截面相交之點，則此列車之動作即將停止，蓋此列車僅有升登 0.4% 坡之能力，決不能升登更高級之坡度也。在實際上，此列車未達 F 點前，即將停止，蓋牽引阻力於速度退至零點相近時，必須增加也。在此情形之下， BD 為一動量坡度，實質上或較限界坡度為高，但祇須列車無在該坡上停留之必要，則與事實無礙。 ABC

在技術上為 AC 間之一懸曲，雖 AB 為上坡而其坡度比較 AC 為小，吾人當以懸曲視之。此種懸曲苟不甚深，以致列車在底部 B 點處，速度高達危險之程度，通常並無害處也。

在上舉之數例中，速度祇每小時 25.6 哩，在現代氣軛及自動互鈎完備之時，即在運貨列車亦非危險。但如懸曲甚深，則或須用軛，是則不僅消費列車所蘊能量，且使輪底與軛靴發生磨蝕。

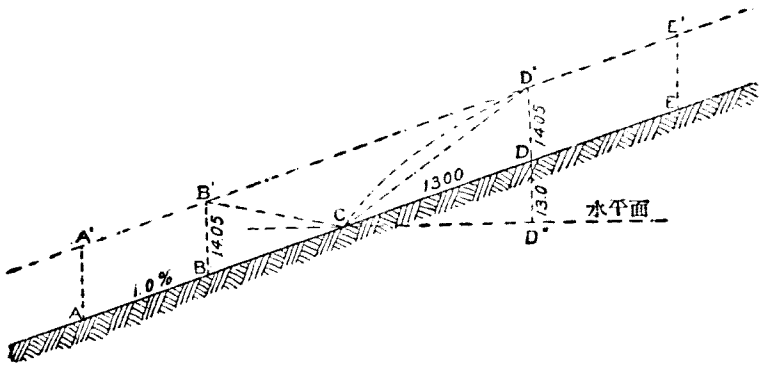


圖 158 列車停留於坡道上諸力作用之圖示

列車停留於坡道上所生之作用，為本問題之另一境界。如圖 158，假定列車以均勻速度升登 AB 坡道，其速頭係 $AA' = BB'$ 。自 B 點起，列車逐漸緩行以備至 C 點而停止。因列車停止於 C 點，故該處之速度為零，而實質截面 $A'B'$ 折向 C 點， $B'C$ 線之為曲線或直線均無定。假定列車再度開始進行，其機車所施之力，足使列車到達 D 點時，恢復其 AB 間之速度。 DD' 線應與 AA' 線相等，而實質坡線應自 C 點聯至 D' 點。 CD' 遂表示列車升登時之實質坡線。今以數字表示之。假設 $CD = 1300$ 呎， D 點所需之速度為每小時 20 哩，故 $DD' = 14.05$ 呎； CD 坡道為 1%，故 $DD'' = 13$ 呎， $D''D' = 27.05$

呎，故實質坡線 CD' 為 2.08% 而非 1%。以上數字表示機車牽引拉力之實際比率。

更進一步論，實質坡線 CD' 並非限於圖上所示之直線，而為一種曲線，開始因牽引阻力較鉅，故其坡度較峻。此時列車速度尚緩，機車牽引力甚強，故足以相抵。但為安全計，亦須稍留餘力。

鑒於機車能在短距離內，並在坡道上，將其速度由零增至 20 m.p.h. 故可知其能牽引列車以 20 m.p.h. 之速度，行動於 1% 坡道也。就事實上言，苟列車到達 D 點時，若不減其機力，則速度尚須繼續增加也。若阻力與牽引力及速度無關，則列車將愈行愈速，（假定坡道不變）。惟實際上速度加高後，阻力亦隨以增加，而牽引力隨以減弱，至速度無法再增為止。

由以上所論，可歸納為：

(1) 等速度時，實質坡線與真實縱截面相平行。

(2) 加速度時，則實質坡線與真實縱截面愈相分離，速度減少時，則愈形接近。

(3) 速度為零時，則實質坡線與真實縱截面相交。

(4) 實質坡線任何點之坡線，足以測量機車除克制牽引阻力外，應需供給之工作。若此線為水平線，則足以表示該機車除克制牽引阻力外無需任何工作。若如圖 157，此線向上而均勻，則可知機車之工作均等，而機車之位能即逐漸蘊積。此種位能苟非於前進時利用為下坡之用，即可利用於回程之內。若此線如圖 158 中 B' 至 C 之向下，則表示列車正在消費其動能，大部分用諸軌內，而一部分則蘊積以供給由 B 至 C 之牽引力及坡度阻力。

181. 實質坡線之應用與價值 前已論及，工程師選定路線時，除設法獲得最大量之運輸外，最要之事，即在設法獲得低平之限界坡度。但同時所費於減低坡度者，務令在可能範圍減至極低。如圖 157 之 BD 坡道，為一特例，以表示採用一種比較限界坡度更峻坡道之可能性。祇須此坡道之長，不致使列車在坡道底部，未達平易坡道以前，將動能耗盡，且不致有極重列車被迫而停留於此坡道之上。

坡道可以完全照圖 157 釘設，使一切重列車升登坡道中途絕不停留。將來如另一鐵路須在 C 點或其左近，作同高度之互交道叉，則列車偶須停留在交叉點，而因列車開動時牽引阻力較行動時為鉅，重載列車每難繼續上坡進行。以其為列車速度所影響，故此種方法之主要價值，在乎事實上足使工程師確定機車之實際能力。在建築費上，圖 157 所示起伏之縱截面，或較均等坡道 AE 為廉，蓋 B 點之填土與 D 點之挖土相抵銷。實質坡線之方法，可使立刻顯示該處之縱截面，是否係一種經濟的可能方法，雖因引用 1% 坡度，或較限界坡度為高也。許多舊路之改良，均藉此法以解決。

例如，某坡度向屬無礙，且不為人所注意，及為事實上需要，須使列車在其上停留，始驟成重要問題，如圖 158 即是。由上舉之方法，可知此問題應如何加以研究。坡道 CD 當然為一危險坡道，但在預定條件之下，其實質坡線將顯示機車應有之需要。此事之實例另詳於後。起伏坡道有減低建築費之利點，而在某種條件下並無妨礙，但含有若干危險成份。

圖 157 中 CDE 名為坡道中之駝背。在此例中，其高度祇有 4.8 呎，故在普通條件下無甚妨礙，但若駝背過高而列車於經過 C 點

時，其速度小於 20 m.p.h.，則恐未達頂點即已停止。滑溜之軌條或強烈之逆風，皆是增加阻力。若駝背頂點處所留之速頭餘裕無多，則將全被克制而中途停止進行。5 m.p.h. 之速度，相等於 0.88 呎之速頭，為最少應留之餘裕。蓋速度小於此數，則每噸之行車阻力，增加甚速，使前項規律之根據失其效力。

另一危險為懸曲過深，致列車經過時，苟非用軛則速度過鉅。此非謂懸曲之絕不可用也，祇謂懸曲處能量消耗於軛內，經過以後仍須由機車為之補充也。此為應加計算之問題，方法詳後，用以決定懸曲之是否合算及其程度何若，使所增之初價與所增之行車費用為一最小值。例如，貨列車行抵懸曲之速度為 20 m.p.h.。是時之速頭為 14.05 呎。若懸曲之最低點較虛坡線（即假定列車速度不變所可行駛之線，即圖 157 之 AB' 坡線）低下 40 呎，則列車在最低點之速頭為 54.05 呎，即相等於每小時 39.2 哩。此雖為貨車裝有氣軛及自動互鈎者之可以容許的速度，但已接近最高限度，且常因若干局部情形，雖此種速率已難容許。

132. 例題 1. 若列車在水平軌道上以 35 m.p.h. 之等速度前進，遇着 1.2% 上坡，問此列車之速度在減至 10 m.p.h. 以前，可行若干遠？

$$35 \text{ m.p.h. 速頭} = 43.01 \text{ 呎}$$

$$10 \text{ m.p.h. 速頭} = \underline{3.51 \text{ 呎}}$$

$$\text{可以升登之高度} = 39.50 \text{ 呎}$$

$$\text{距離} = 39.50 \div .012 = 3292 \text{ 呎}$$

2. 若軌道之懸曲較低於正常坡線為 28 呎，問欲使列車經過最

低點時之速度不逾 36 m.p.h., 問此列車行近懸曲時應保持何種速度?

$$36 \text{ m.p.h. 之速頭} = 45.51 \text{ 呎}$$

$$\text{減去懸曲深度} = \underline{28.00 \text{ 呎}}$$

$$\text{差額} = 17.50 \text{ 呎}$$

相等於 22.3 m.p.h. 之速度, 即此列車行近懸曲前所應有之速度也。

第二十七章 阻 力

183. 列車阻力 機車鍋爐內之蒸汽能量，最初因克制鍋爐及驅動輪之輪緣間一切內部阻力而消費。此種機車阻力之計算法，當述於後。在驅動輪與拉釘間，則消費於機車煤水車之車輪阻力及大氣阻力(假定列車在水平軌道以均勻速度進行)。拉釘之拉力消費於(1)坡度，(2)曲度，(3)在矢直水平軌道及均勻速度時之正常軌道阻力，(4)增加列車速度所需之能量，(5)始動時之阻力。今分論如次：

(1)坡度阻力 坡度阻力計算甚易，即每 1% 之坡度，每噸 (2000 磅) 之阻力為 20 磅，例如在 1.2% 坡道上之坡度阻力為 $20 \times 1.2 =$ 每噸 24 磅。

(2)曲度阻力 每度曲線之坡度阻力，通常認為相等於 .035% 之坡度，惟事實上此項阻力略隨速度超高度而變，若速度比較設定超高度時之速度為甚小時，則阻力為尤巨。但計算曲線之補償時，(見 176 節) 每按此數計算。故每噸每度曲線之曲線阻力，等於 $20 \times .035 = 0.7$ 磅。

習 題

1. 問 4° 曲線之每噸曲線阻力若干？

答 每噸 $4 \times 0.7 = 2.8$ 磅。

2. 有 6° 曲線軌道之坡度為 2.2%，問其合併阻力若干？

答 曲線阻力 $= 6 \times .035 = 0.21\%$ 與坡度 2.2% 相加，得 2.41%，

即其相當坡度。 $20 \times 2.41 = 48.2$ 磅，即每噸之阻力。

(3)正常軌道阻力 正常軌道阻力,爲數種阻力之混合數,故隨情形之改變而異。車輪在軌條上轉動之阻力,僅爲全部阻力之一小部分。由於軸摩擦之精細試驗,得知高速度時,車軸在軸承內之摩擦較少,其原因大率由於溫度較高時減少摩擦所致。阻力之總數,隨列車內車輛數目而異。每一車輪之荷重增巨,則每噸之阻力減低。貨列車之大氣阻力,視車輛爲一式(箱車,平車或低欄車)或多式而異。若爲多式混合而成,則阻力較鉅。無數之試驗業已施行,用測力表置於機車及第一車輛之間,以測定牽引力之數量,闡明牽引力與速度之關係及其他定律。在分析此種試驗之結果時,固須先行扣除坡度,曲度,加速度或減速度等影響;但其結果仍遠不齊一,以致不克擬成數字規律,以供普遍之應用。蓋坡度較巨,養護較佳,軌條較重之軌道,其阻力常微;否則阻力較鉅,此實使試驗結果未能齊一之一大原因也。惟由此種試驗中,可以引出一重要而奇特之結果,厥爲『阻力等於一常數乘噸數,加另一常數乘車輛數目,與速度之變化無關』。此種規律適用於 5 至 35 m.p.h. 之一切貨列車。在開車之際,阻力較鉅。速度高於 35 m.p.h. 時,其阻力亦較鉅,但因減低阻力之經濟問題,尋常均以貨列車之資用速度爲限,故以上之簡單規律甚爲重要。其中之常數歷次試驗不能盡同。美國鐵路工程協會搜集多次試驗,因得次之一般公式:

$$R = 2.2T + 121.6C \dots\dots\dots(105)$$

式中 R 爲貨列車在水平矢直軌道,以均勻速度進行時之總阻力,以磅計, T 爲車輛及車內物件之總重量,以噸計, C 爲列車中之車輛數目。

讀者須知阻力須視軌道情形而定，故上式並不能用以計算任何情形下之阻力。惟有此一式，以計算平均值及供比較研究之用，則甚有益。

速度高逾 35 m.p.h. 者，其阻力應隨速度而異，鮑爾文機車工廠所擬之公式為

$$R = 4.3 + 0.0017V^2 \dots\dots\dots (105)$$

式中 R 為每噸之阻力， V 為速度以 m.p.h. 計。此式對於客列車之車輛重逾 45 噸者，亦可通用。若車輛較輕，則宜用貨車公式。在低速度，例如 10 m.p.h. 以下者，暨輕量車輛，均不適用。

例 題

假定列車中車輛數目為 33，總重 2200 噸。問機車後總阻力若干？

解： 應用式 105, $R = 2.2 \times 2000 + 121.6 \times 33 = 8853$ 磅

為說明軌道之情況，足以左右結果之差異計，有將巴爾提摩爾及俄海俄鐵路之試驗結果，引成公式，與 105 式相仿，而常數則為 2.78 與 113.9。若用此項常數以計算上舉之算例，則阻力 R 應等於 9875 磅，較多 12%。此項差異足以證明凡引用此等公式時，無須過分之精算也。

(4) 加速力 加速力之理論的算法，已見 179 節。由此公式亦可用以確定列車之能力，足使機車於升登較峻之坡道時，究能進行至何種速度。

(5) 始動阻力 如前所論，列車每噸之始動阻力遠較平常阻力為鉅。車輛停止若干小時或數日後，尤以冬季為甚，恆須每噸 40 磅之力方能使之行動。車之軸承每多凍結。惟此種阻力，僅為短期現

象，常可將行動中之車輛或機車向之碰撞而消滅之。當司機將機車倒開，向車輛推進，再撥轉方向，向前駛進，所完成之工作如次：(1) 車軸在短期停頓時比較僵硬，乃改變而為寬弛；(2) 互鈎之彈簧於倒退時壓縮於前進時則伸張；(3) 若列車頗長，則車軸之總滯力甚巨，各車輛依次始動，必俟機車進行數呎後，後尾之車乃開始行動。此種方法足以稍減始動阻力，若各車輛同時拖動，則所須之力必遠過於此。在美國羅克蘭各鐵路所作多次試驗，因知始動阻力約在每噸 10 至 18 磅間，平均為 14.1 磅。在『凍結之軸承』狀態下，曾試得 30 磅之最高額，而在停頓片刻之情形，曾試得 6 磅之最低值。因為列車之震撼，在實質上可使發生與暫時停車同一之效果，故於後節問題內，關於列車始動阻力可視為每噸 6 磅。

例 題

牽引 10 輛車組成之列車，每輛重 70 噸，另有車守車一輛重 15 噸，速率 15 m.p.h. 向上坡度 0.9%，問所需拉針之拉力若干？

解：因速率為 15 m.p.h.，在 5 與 35 限界之內，故可應用式 105。坡度阻力每噸為 $20 \times 0.9 = 18$ 磅。11 車輛總重 715 噸，故坡度阻力共計 $715 \times 18 = 12,870$ 磅。按 105 式，牽引阻力

$$R = 2.2 \times 715 + 121.6 \times 11 = 2911 \text{ 磅,}$$

兩數相加，知總阻力為 15,781 磅。

上舉之例題中，假定低欄車重 40,000 磅，每車載貨 100,000 磅，車守車重 15 噸。若有未裝貨物之列車，內有廿噸空車 35 輛十五噸車守車一輛，則其總重相等。但因輛數增多，故牽引阻力較鉅，

$$R = 2.2 \times 715 + 121.6 \times 36 = 5951 \text{ 磅。}$$

較前題增加 3040 磅，所增在一倍以上。又須注意者，若軌道並無坡度，則牽引阻力在前例為 2911 磅，而後例為 5951 磅（相去逾一倍）。若在 0.9% 坡道上，則前例之總阻力為 15,781 磅，而後例則為 $5951 + 12,870 = 18,821$ 磅，較巨 19%。平均每噸之牽引阻力在前例為 $2911 \div 715 = 4.07$ 磅，而在後例則為 $5951 \div 715 = 8.32$ 磅。坡度阻力在前後兩例均為 18 磅之常數。由此而觀，可知列車荷重之性質，或係滿載，或係同重量之空載車輛，在水平或近於水平之軌道上為一重要之關鍵，若在較峻之坡道上，如 0.9%，則關係較輕。若在 2% 坡道之上，牽引阻力比較甚小，而列車荷重性質之差異遂處於無足輕重之地位。

〔例題〕 若將前題中速度在 500 呎內，自 15 m.p.h. 增為 20 m.p.h.，問牽引阻力若干？

解 應用式 104，以 $V_1 = 15$, $V_2 = 20$, $s = 500$ 代入，

$$\text{則得} \quad P = \frac{70}{500} (20^2 - 15^2) = 24.5 \text{ 磅 (每噸)}$$

如列車荷重為 715 噸，則機車於加速時須另增拉力 17,518 磅。此數相等於 $24.5 \div 20 = 1.225\%$ 坡度。機車是否足以供給 15,781 磅之牽引及上坡力，17,518 磅之加速力，或總數 33,299 磅之拉力，則為第 189 節『機車動力』所應研究之問題。又機車能否急速發生蒸汽以供給此項能力，亦於第 189 節論及之。

〔例題〕 列車以車輛四輛組成，每輛重 52 噸，速度 60 m.p.h. 問機車之牽引力若干？

解： 以 $V = 60$ 代入式 106，則得 $R = 10.42$ 磅，（每噸）今總

重 208 噸，故拉釘拉力為 2167 磅。

機車自身之阻力暫置不論，此 2167 磅之拉力，速度 60 m.p.h. 或每秒 88 呎，即等於 $88 \times 2167 = 190,696$ 呎磅（每秒），以 550 除之，等於 346 馬力。

第二十八章 機車之能力

184. 機車之檢定 每機車所拉之荷重，必須在其效率良好之限界內，庶合於行車經濟之道。又如 183 節所述，機車之拉車能力，尤以平坦坡道為甚，隨車輛之數目及總重而異。故檢定每一機車之荷重率，殊為重要。此項荷重率為機車力量之尺度，與車輛數目及坡度無關，此荷重率名為檢定率。若將此檢定率加以適當之改正，（隨車輛數目及坡度而定）即可決定該機車之拉車能力。

設 P 為機車之拉車能力，或驅動輪輪緣所量得之牽引能力； E 為機車與煤水車之重量，以磅計； W 為煤水車以後各車輛之重量，以磅計； R 為軌道之上坡坡度； K 為常數，由試驗所定，等於每噸 2.2 磅； C 為常數，由試驗所定，為每噸 121.6 磅，（均見式 105）； N 為列車中車輛數目； A 為所需之檢定率。則

$$P = (E + W)(R + K) + NC$$

移項得

$$\frac{P}{R + K} - E = W + N \frac{C}{R + K}$$

此式右側為煤水車以後列車之重量加車輛數目乘 C ， K ， R 所組成之數。此右側算式名為檢定率，以 A 代之。分數 $C \div (R + K)$ 之值，以每車噸數計，不隨機車或列車性質而變，列舉於表 12。在計算之際，因 C 與 K 為每噸之阻力， R 亦必為每噸之阻力。

表 12

各種坡度 $C \div (R + K)$ 之值

(以每車輛噸數計)

坡度 R %	每車噸 數 C $R+K$	坡度 R %	每車噸 數 C $R+K$	坡度 R %	每車噸 數 C $R+K$	坡度 R %	每車噸 數 C $R+K$	坡度 R %	每車噸 數 C $R+K$
水平	55	0.5	10.0	1.0	5.5	1.5	3.8	2.0	2.88
0.1	29	0.6	8.5	1.1	5.0	1.6	3.6	2.1	2.75
0.2	20	0.7	7.5	1.2	4.6	1.7	3.4	2.2	2.63
0.3	14	0.8	6.7	1.3	4.3	1.8	3.2	2.3	2.52
0.4	12	0.9	6.0	1.4	4.0	1.9	3.0	2.4	2.42

〔例題〕 1. 假定機車之拉車能力 P , 按 190 節方法算得為 33,742 磅, 機車與煤水車之重為 315,000 磅, 坡度為 0.5%, $R = .005$
 $K = 2.2$ 磅(每噸)或 .0011 磅(每磅)

解

$$A = \frac{P}{R+K} - E = \frac{33,742}{.005 + .0011} - 315,000 = 5,216,000 \text{ 磅}$$

$$= 2,608 \text{ 噸。}$$

此為 0.5% 坡度之檢定率。其他坡度之機車檢定率可用同法計算。此機車在任何坡道上可以牽引荷重 W , 則 $A = W + NC \div (R + K)$ 。由表 12, 若坡度為 0.5%, $C \div (R + K) = 10$ 。若列車中車輛數目為 40, 則

$$2608 = W + (40 \times 10)$$

$$W = 2608 - 400 = 2208 \text{ 噸。}$$

平均每車 55 噸, 若各車輛重量勻整(例如空車, 每輛重 18 噸), 則 $W = 18N$, 此公式化成

$$2608 = 18N + 10N = 28N$$

而 $N = 93$

此即機車能以等速度拉空車 93 輛，每輛重 18 噸，上 0.5%，坡度之意。注意此處曲線阻力不計，如有曲線時，假定其由坡度補償之。

2. 問此同一機車升登 1.6% 坡度時，檢定率若干？

解：—

$$A = \frac{33,742}{.016 + .0011} - 315,000 = 1,658,000 \text{ 磅} = 829 \text{ 噸}$$

由表 12，知每車係數為 3.6。若車輛均為 18 噸之空車，則

$$829 = 18N + 3.6N = 21.6N$$

$$N = 38$$

若各車輛均係滿載，平均重量為 56 噸，則

$$829 = 56N + 3.6N = 59.6N$$

$$N = 14 \text{ (約數) 或裝滿貨車 13 輛與車守車一輛}$$

在上舉之例中，決定機車之拉車能力 P ，係以該機車用最大速度 M 進行，並維持完全衝程為根據。（說明見第 190 節）此即實際上表示該機車之最大能力。速度 M 通常在最大坡度上應為 4 至 7 m.p.h.，蓋如再欲減低速度，以期利用較高之牽引力，則偶遇比較平常阻力較大之意外阻力，勢必致被迫而停車也。

185. 行車之單位 在鐵路經濟中，大部分之計算，均屬收線之利益，減少距離，曲線，起伏，限界坡度之財政估值等。昔時，此種計算均以平均每列車哩之費用為根據，蓋在各種鐵路或長或短，營業或繁或簡，此項平均數每甚一致也。通常之方法，係將列車行車

費逐項之平均費用，依次列舉，然後計算改善路線後各項增減之百分數。各項所蒙之影響輕重不等。將每項之正常平均值，乘以所蒙影響之百分數而求其總數，即為每列車哩所受之總影響。但經再度研究後，即可見燃料費用等，對於貨列車龐大異常。故如將兩種不同坡度運貨機車之行車費加以比較，實不應將所增燃料，根據各種機車平均燃料費而估計也。且因坡度對於行車費用之影響，大致係乎列車之重量與機車之性質及檢定率，故可云此種影響，不能用任何因素乘以列車哩，即可求得也。

若干足以左右行車費之因素，如用延噸哩為度量之單位，當更準確。由於研究車輛對於養護軌道之影響，便知與列車速度及車軸荷重之強度頗有關係。雖其間之比率無法計算，但一般均認客列車之有較高平均速度者，所予軌道之損傷兩倍於同噸位之貨列車；再車軸荷重較巨而不甚平衡之機車，其所予軌道之損傷亦兩倍於同一列車中之其他車輛。由此言之，高速度客列車之機車，較諸慢貨車所作之損傷，達於四倍也。

「延人哩」雖為鐵路統計中常遇之單位，但與服務之費用全無關係，故對於改善坡度及路線問題無須採用。

「車輛哩」在特種目的中為一有用之單位。若有鋼製客車重100,000磅，在最大荷重時可搭客80人，每人平均重量125磅，則總活荷重(10,000磅)僅為死荷重之10%。凡活荷重僅當死荷重之一小部分者，則車輛之滿裝與空裝，對於牽引力可謂無甚關係，尤以低坡度時為甚。其他費用項目，則幾與車輛哩之數目成正比例。

「機車哩」在估計某種專與機車哩有關之費用，而與其他因素

無甚關係者，甚為有用。

列車在某段內行車費用之另一有關因素，厥為慢貨列車行駛之總時間。依照舊時方法，恆以採用某種動力之機車時，如能容許最大之列車荷重，即為最經濟之坡度，速度雖極緩亦可不問。但嗣後發現以比較高級之速度行駛比較輕量之列車，實際上更為經濟；又知列車荷重與速度必須權衡至當，否則荷重雖增，而行車時間必隨以延長，如是機車燃料，列車員工之工作時間，及佔據軌道之時間，（尤以單軌路為甚）在在增加，所得殊不償所失也。試一審思此種不同之因素與行車之單位，便知減短一哩之軌道，改緩一度之曲線或 $\frac{1}{10}\%$ 之坡度，實無勻整的單位足以精密表示其價值，使各處可以通用也。在假設定量營業與機車式樣之下，研究改善路線之惟一精密方法，在乎估計改善前後機車之能力，列車中車輛之數目與行車之費用。若此種問題發生於已成之路，則祇須估計改善後之影響，以與現狀相比較。若為新路，則兩者均須出諸估計也。

186. 機車之型式 因用途之差異遂發生各種型式之機車，其中總重量，總重量與驅動輪之比率，車輪之型式，蒸汽量與牽引力之關係等等均各不同。以車輪為分類之根據，為一簡單之方法，若有先驅車盤，則將其車輪數目（兩軌道上車輪合計）作為三分類數字之第一數。如無先驅車盤則用0代之。繼則標示驅動輪之數目，最後則殿以從輪之數目。例如一太平洋式機車，有先驅車輪4個，驅動輪6個，鍋爐後方有從輪2個，則其符號應為4-6-2。茲列最普通機車型式之俗名與符號如下：

美利堅

4-4-0

四軸機車

2-8-0

<u>哥倫比亞</u>	2—4—2	<u>密楷伦</u>	2—8—2
<u>大西洋</u>	4—4—2	<u>馬斯托騰</u>	4—8—0
<u>摩格爾</u>	2—6—0	<u>聖塔飛</u>	2—10—2
<u>十輪</u>	4—6—0	<u>馬蘭特</u>	A-B-B-A
<u>太平洋</u>	4—6—2	A = 車盤輪平常爲 2 或 0	
六輪調度機車	0—6—0	B = 驅動輪, 自 4 至 10 不等	

1912 年美國州際商務會報告載美國共有機車 62,262 輛, 其中馬蘭脫型式者凡 543 輛。此數雖不及全數 1%, 但此種型式之機車一年之內增加 23%, 而其餘型式祇增 1½%, 故有一加討論之價值。如置細微之差異於不論之列, 則此型式常有複式四機筒, 其中兩機筒之蒸汽於廢棄以前先行輸入另兩機筒。此式常有五至十個驅動輪引擎, 車盤長度約 60 英尺。鍋爐有造成柔順式者, 其鍋壳係用風琴式鋼圈造成接合。鍋爐本身設在接合之一側。給水預熱器, 再暖器, 或超熱器則置在另一側。若鍋爐爲堅固式, 則其一端牢繫於高壓機筒之座架上, 另一端則支持於車盤架之一支點上, 所有低壓機筒咸置在車盤架上以轉動各驅動輪。低壓車盤架轉動於固定架上所設之支樞, 如是可使車盤長度減短, 雖駛經 20 度曲線亦可轉動自如。此種型式之機車, 主要用途爲運輸巨量之重貨物, (例如煤) 以升登長距離之高峻坡道, 以其所需牽引力甚巨也。此種機車之牽引力有逾 110,000 磅者, 較美國平均機車力大四倍。

187. 燃油機車 在 1912 年密士失必河以西之機車, 已有六分之一以上用油爲燃料, 用油之利益如次: (1) 每磅油之熱量爲 19,000 至 21,000 B. T. U., 而煤祇 14,000, 美國西部所產低級之褐

炭，祇有 5000，故用油以後，可節省機車燃料之運輸費；(2)使用燃料之費用減少，則堆積煤渣之事可省；(3)雖云用油後，因火焰之高熱度使火箱之修理增加，但一般修理可以減少，足以相抵而有餘；(4)油之火焰節制甚易，停車及下坡時可以控制而省熱之散失；(5)路旁火星所引起之災禍可以全免；(6)火夫每日給煤之量事實有限，而用油則無限；(7)每桶 42 加侖之油，每加侖重 7.3 磅，計價六角，但煤每磅熱量僅及油之三分之二，每噸價 \$2.61，較油價貴至 4.35 倍。尙有其他種種原因，均使油較煤為合用，故在煤賤油貴之區亦有用油者。在密士失必河以西用油甚為普遍，以該處產油而價廉，煤質劣而價昂耳。

188 型式與服務及軌道狀況之關係 欲期行車之經濟，必須使機車性能，所用燃料，路基與軌道之狀況，服務之狀況等完全調整。若一路之上，各段狀況不一，則用同型式之機車亦非經濟之道。

車輪荷重與軌條重量 因支承軌條之軌枕及道碴殊無一定，故關於車輪荷重與軌條重量之任何規律，均屬成法與簡略算式。鮑爾溫機車廠所採規律云：「三百磅之車輪荷重，須用每碼一磅之軌條」。此規律可用以繪成一圖，如圖 159，以顯示驅動輪之總重量，驅動輪之數目，軌條之重量各關係。

例如，軌條重量為 75 磅，驅動輪之荷重為 170,000 磅，由圖可知須用四對驅動輪之機車。若用 95 磅軌條，則祇須驅動輪三對。又如太平洋式機車，其六個驅動輪之總荷重為 150,000 磅，則軌條至少須 83 磅，故宜用 85 磅。

189. 機車之動力 機車之牽引力，或稱為拉針之拉力，係被

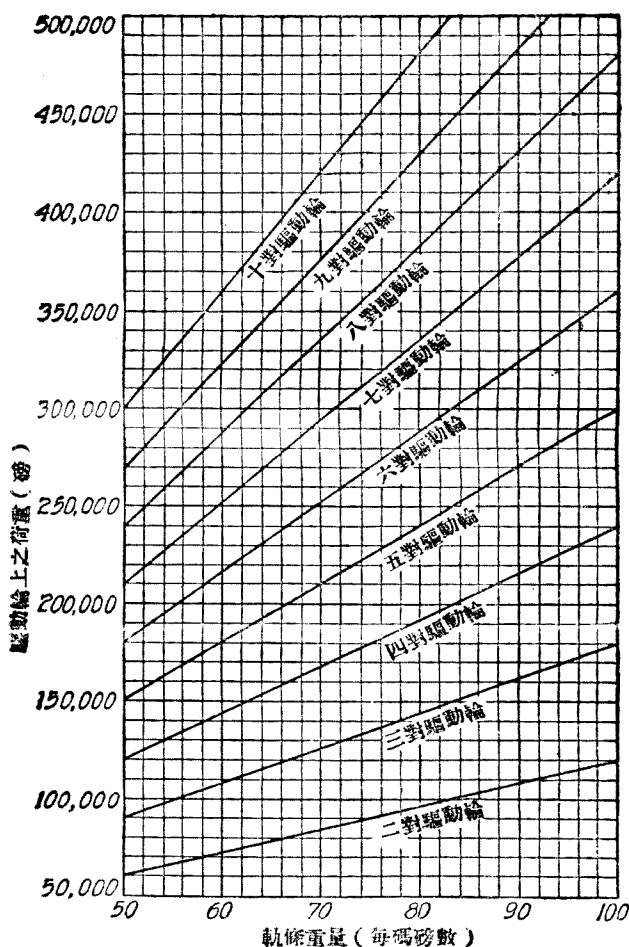


圖 159

驅動輪對於軌條之附着力及鍋爐之化汽量所限制。驅動輪之附着力與驅動輪上重量間有準確之比率。在最適宜之狀況下，乾燥軌條並鋪砂粒，此比率可得三分之一，或竟超過之。在通常狀況下，可得 $\frac{1}{4}$ 尤以 $\frac{9}{40}$ 為普通。在不適宜之狀況下，此比率減至 $\frac{1}{5}$ ，或更少。

鍋爐之化汽量，賴乎爐格面積，加熱面，與火夫加煤量（如爲近代重型貨機車）。

由經驗得知，普通火夫雖短時期之試驗可以造成甚高之紀錄，但如欲在長時期內維持機車全部之動力，則每小時可加煤4000磅。短時期之努力，而以輕便之工作隨之，則每小時可以加煤5000磅。如用自動加煤機，可提高此紀錄至7000磅，以及任何可能之數目。在燃油機車則無此種限制。

任何型式機車所發生之動力，隨所用之煤而定。英國熱量單位，（簡作B. T. U.）爲一磅淨水升高華氏一度所須之熱量。若某種之煤有熱量14,000 B. T. U.，意即一磅之煤，可使14,000磅之水增加華氏溫度一度，或100磅之水增加溫度140°。將水一磅自32°熱至212°，雖祇須180.9 B. T. U.之熱量，但自212°之水化爲212°之蒸汽，尚須熱量965.7 B. T. U.，而由212°之蒸汽熱至387.6°之蒸汽（即每方英寸氣壓200磅之蒸汽），則祇須53.6單位。

將聖路易博覽會機車試驗加以研究，可製成表13，（錄自美國鐵路工程協會會報，今已列爲該會手冊經濟章之第一表）。由此可知每方呎加熱面所化之蒸汽，與每方呎爐格面積所燃之煤，略成正比例。此表中各數，已將聖路易試驗結果，除去5%之折扣，俾與普通作業狀況相合。

190. 動力之計算〔說明例題〕設有密楷佗機車，其加熱面爲2565平方呎，所用之煤由試樣試得有13,000 B. T. U. 熱量。若以火夫每小時能加煤4000磅爲準，則每小時每平方呎之加熱面燃煤 $\frac{4000}{2565} = 1.56$ 磅。如曝乾礦煤之熱量爲13,000 B. T. U.，則車用

之煤祇可以九折計，即 11,700 B. T. U. 就表 13 用中介法於 1.56 及 11,700 間，得知每磅之煤可以發生蒸汽 4.72 磅。但因機車係按壓力計 175 磅壓力而設計，並非如該表之 200 磅，則所發生之蒸汽，將較多 0.3% 以上，或即 4.73 磅。加煤量變化殊無定準，故微細之改正數

表 13

燃燒各種烟煤之機車鍋爐對於每方呎加熱面每小時
加煤量所發生之蒸汽量

(以給水之溫度 20°F，蒸汽壓力 200 磅為根據)

每方呎加熱面每小時所加煤量 (磅)	每磅煤所發生之蒸汽 (磅)					
	15,000 B.t.u.	14,000 B.t.u.	13,000 B.t.u.	12,000 B.t.u.	11,000 B.t.u.	10,000 B.t.u.
0.8	7.86	7.34	6.81	6.29	5.76	5.24
0.9	7.58	7.07	6.57	6.06	5.56	5.05
1.0	7.31	6.82	6.34	5.85	5.36	4.87
1.1	7.06	6.59	6.12	5.65	5.18	4.71
1.2	6.82	6.37	5.91	5.46	5.00	4.55
1.3	6.59	6.15	5.71	5.27	4.83	4.39
1.4	6.37	5.95	5.52	5.10	4.67	4.25
1.5	6.17	5.76	5.35	4.94	4.52	4.11
1.6	5.97	5.57	5.18	4.78	4.38	3.98
1.7	5.79	5.40	5.02	4.63	4.25	3.86
1.8	5.61	5.24	4.86	4.49	4.12	3.74
1.9	5.44	5.08	4.71	4.35	3.99	3.63
2.0	5.27	4.92	4.57	4.22	3.86	3.51
2.1	5.12	4.78	4.44	4.10	3.75	3.41
2.2	4.97	4.64	4.31	3.98	3.64	3.31
2.3	4.83	4.51	4.19	3.86	3.54	3.22
2.4	4.69	4.38	4.07	3.75	3.44	3.13
2.5	4.56	4.26	3.95	3.65	3.34	3.04
2.6	4.44	4.14	3.84	3.55	3.25	2.96
2.7	4.32	4.03	3.74	3.46	3.17	2.88
2.8	4.21	3.93	3.64	3.37	3.09	2.80
2.9	4.10	3.83	3.55	3.28	3.01	2.73
3.0	3.99	3.73	3.46	3.19	2.93	2.66

在給水惡劣區域，上表之數字應分別折扣如下：

每厚 $\frac{1}{16}$ 吋之鍋垢，減去 10%；每加侖中每有一格蘭之起泡鹽類，減去 1%。

可以不計。茲設此機車內採用超熱器，則按諸常例，認定 0.85 磅之超熱蒸汽，與一磅之飽和蒸汽同其體積與壓力，則一磅之煤相等於 $4.73 \div 0.85 = 5.56$ 磅之蒸汽，每小時發生之蒸汽等於 $5.56 \times 4,000 = 22,240$ 磅。

每一衝程所需之蒸汽重量，可利用表 14 計算之。此表得自鐵路工程協會手冊經濟章第二表而略加改訂。直徑 22 吋，每衝程一呎所須之蒸汽，在 175 磅表壓力時，為 1.106 磅，而衝程 28 吋（即 2 呎）

表 14

機車汽筒每呎衝程所用之蒸汽

（汽筒直徑係指複式機車之高壓汽筒直徑）

汽筒直徑吋	各種汽壓(以每方吋磅計)下，每呎衝程所用蒸汽(磅)						
	220	210	200	190	180	170	160
12	0.405	0.389	0.370	0.354	0.337	0.321	0.304
13	0.475	0.456	0.435	0.415	0.396	0.376	0.357
14	0.551	0.529	0.504	0.482	0.459	0.436	0.414
15	0.633	0.607	0.579	0.553	0.527	0.501	0.476
15½	0.675	0.649	0.618	0.590	0.562	0.535	0.508
16	0.720	0.691	0.658	0.629	0.599	0.570	0.541
17	0.812	0.780	0.744	0.710	0.676	0.643	0.611
18	0.911	0.875	0.834	0.796	0.759	0.722	0.685
18½	0.962	0.924	0.881	0.841	0.801	0.762	0.724
19	1.015	0.975	0.928	0.887	0.845	0.804	0.763
19½	1.069	1.027	0.978	0.934	0.890	0.847	0.804
20	1.125	1.080	1.029	0.983	0.936	0.891	0.846
20½	1.181	1.134	1.081	1.032	0.984	0.936	0.888
21	1.240	1.191	1.134	1.083	1.032	0.982	0.932
22	1.361	1.307	1.245	1.189	1.133	1.078	1.023
23	1.487	1.428	1.361	1.300	1.238	1.178	1.118
24	1.620	1.555	1.482	1.416	1.348	1.283	1.218
25	1.758	1.688	1.608	1.536	1.462	1.392	1.322
26	1.901	1.825	1.739	1.661	1.582	1.506	1.430
27	2.050	1.968	1.875	1.792	1.706	1.624	1.542
28	2.204	2.117	2.017	1.926	1.835	1.745	1.657

呎)時,則爲 2.581 磅。驅動輪完全一旋轉時,共須 $4 \times 2.581 = 10.324$ 磅。因機車每小時可以發生相等於 22,240 磅之蒸汽,而每旋轉用汽 10.324 磅,則每小時可以旋轉 $22,240 \div 10.324 = 2154$ 次,或每分鐘 35.9 次(全衝程及完全鍋爐壓力)。驅動輪之直徑爲 57 吋,其周計 $(57 \div 12) \times 3.1416 = 14.923$ 呎,故機車在全衝程時最大速度爲每分鐘 $35.9 \times 14.923 = 535.7$ 呎,將此數乘以 60 而以 5280 除之,則得每小時 6.087 哩,此即維持全衝程之最大速度也。

表 15 採用手冊第四表,內示單式及複式機車在不同速度即 M 之倍數下,每實馬力小時所須之蒸汽重量。(命鍋爐在全汽壓之最大速度爲 M ,)此表係以 200 磅汽壓力爲計算之根據,表後附有改正數,以資計算別種汽壓力之蒸汽重量。例如,上舉之數字題,單式機車每實馬力小時之蒸汽磅數,於 M 速度及 200 磅壓力時,則按表 15 爲 38.30;如壓力爲 175 磅,則應以係數 101.7 乘之得 38.95。將此數除 22,240(每小時所發生之蒸汽量)得 571.0,爲 M 速度時之實馬力。乘以 33,000(每馬力每小時之工作數,以呎磅爲單位)除以 535.7(每分鐘速度以呎爲單位),則得 35,174 爲機筒牽引力(以磅爲單位)。斯時所燃之煤,每小時計 4000 磅,速度爲每小時 6.087 哩。

欲求拉釘之拉力,則應由表 16 求出機車阻力而減去之。此表錄自手冊第七表。應用此表於前舉之數字題,則 $A = (18.7 \times 76.6) + (80 \times 4) = 1432$ 磅,機車與煤水車之總重量爲 315,000 磅;減去驅動輪上之重量 153,200 磅,則得 161,800 磅,或 80.9 噸,爲機車及煤水車車盤所承之重量。 $B = (2.6 \times 80.9) + (20 \times 6) = 330$ 。 C 項在 M

表 15

在 M 各種倍數時每寶馬力小時之最大切斷度蒸汽量(M 爲 200 磅蒸汽壓力, 完全切斷時之最大速度, 以 m.p.h. 計)

速 度	切 斷 %	每寶馬力小時 之蒸汽磅數		速 度	切 斷 %	每寶馬力小時 之蒸汽磅數	
		單 式	複 式			單 式	複 式
1.0 M	完全	38.30	25.80	2.9 M	38.5	24.37	21.04
1.1 "	94.4	36.46	24.36	3.0 "	37.0	24.22	21.21
1.2 "	89.1	43.89	23.24	3.2 "	34.2	24.00	21.57
1.3 "	84.3	33.56	22.35	3.4 "	31.8	23.85	21.93
1.4 "	79.7	32.41	21.65	3.6 "	29.8	23.8	22.27
1.5 "	75.4	31.40	21.14	3.8 "	28.0	23.8	22.57
1.6 "	71.4	30.49	20.77	4.0 "	26.4	23.87	22.85
1.7 "	67.7	29.67	20.52	4.25 "	24.7	24.05	23.22
1.8 "	64.3	28.93	20.40	4.50 "	23.3	24.24	23.56
1.9 "	61.0	28.25	20.40	4.75 "	22.1	24.44	23.85
2.0 "	58.0	27.62	20.40	5.00 "	21.1	24.64	24.15
2.1 "	55.2	27.05	20.40	5.5 "	19.5	24.98	24.70
2.2 "	52.6	26.52	20.40	6.0 "	18.4	25.20	
2.3 "	50.1	26.06	20.40	6.5 "	17.6	25.45	
2.4 "	47.8	25.67	20.40	7.0 "	17.1	25.60	
2.5 "	45.7	25.32	20.47	7.5 "	16.7	25.70	
2.6 "	43.7	25.02	20.60	8.0 "	16.4	25.80	
2.7 "	41.8	24.76	20.73	9.0 "	16.1	25.90	
2.8 "	40.1	24.54	20.88				

別種汽鍋壓力下每寶馬力小時之蒸汽量應乘以次之百分數

160 磅	103 %	180 磅	101.3 %	210 磅	99.5 %
170 磅	102.1 %	190 磅	100.6 %	290 磅	99.2 %

速度時爲值甚微, 命爲 9 磅。A, B, C 三項之和爲 1771 磅; 由 35,174 磅內減去之, 得 33,407 磅, 即在所示速度與燃煤量時之拉釘拉力。

爲表示燃煤量增加時之影響起見, 上舉問題可重行計算一次, 假定每小時燃煤 4000 磅, 增爲(或暫時的)每小時 5000 磅。每磅煤所發之蒸汽, 已自 5.56 減爲 4.93, 但每小時總蒸汽量則由 22,240 增

表 16
機 車 之 阻 力

機車總阻力為 $A + B + C$

A = 機筒與驅動輪緣間之阻力, 以磅計

= $18.7T + 80N$, 式中 T 為驅動輪之荷重以噸計, N 為驅動輪之數目。

B = 機車與煤水車之阻力, 以磅計

= $2.6T + 20N$, 式中 T 為機車與煤水車盤上之重量以噸計, N 為車盤之輪軸數目。

C = 空氣阻力, 以磅計 = $.002V^2A$

式中 V = 每小時所行哩數, A = 機車之前端面積, 此面積平均為 125 平方呎, 故可化成 $C = 0.25V^2$

各種速度下之空氣阻力 (以磅計) 示於次表

速度 V	阻力 C	速度 V	阻力 C	速度 V	阻力 C	速度 V	阻力 C	速度 V	阻力 C	速度 V	阻力 C
1	0.25	8	16.00	15	56	22	121	29	210	36	324
2	1.00	9	20.25	16	64	23	132	30	225	37	342
3	2.25	10	25.00	17	72	24	144	31	240	38	361
4	4.00	11	30	18	81	25	156	32	256	39	380
5	6.25	12	36	19	90	26	169	33	272	40	400
6	9.00	13	42	20	100	27	182	34	289	50	625
7	12.25	14	49	21	110	28	196	35	306	60	900

拉鈎拉力在水平及直線軌道上, 等於機筒牽引力減去機車阻力總數後之餘數

在低速度時, 驅動輪之附着力必須計及, 如用砂則可用之拉鈎拉力不得估計至始動時驅動輪荷重之 30%, 在行動時則不得估計至驅動輪重量之 25%

為 24,650。此所增之體積乃由犧牲效率而得之。由於體積之增加, 使完全衝程之速度, 由 6.087 增至 6.746 m.p.h., 而實馬力則自 571.0 增為 632.8。但算得之機筒牽引力幾完全相同, 蓋其數僅由 35,174 改為 35,175 而已。惟此項機筒牽引力, 均按維持全衝程時之最大速

度 M 而計算，而 M 之值隨燃煤量而增加。為真確比較計，此項數字均應化為同一之速度，即 10 m.p.h. 之作業速度。 $10 \div 6.087 = 1.643$ ，即原題之乘數。每小時燃煤 5000 磅， $M = 6.746$ m.p.h.，而乘數為 1.482。由表 17，得知單式引擎對於以上 M 之兩乘數之機筒牽引力百分數為 77.44 與 81.93。後者為前者之 105.7%，此乃顯示燃煤量增加 25% 而在 10 m.p.h. 速度時，機筒牽引力僅增 5.7% 也。

自另一方面言，假定煤之熱量為 13,000 B. T. U. 而非 11,700。如是蒸汽之發生當更速， M 速度為 6.777 m.p.h.。而在此速度時之馬力為 635.7，但機筒牽引力算得 35,177 磅，此數雖 M 速度較高，與前得之值亦頗近似。10 m.p.h. 之乘數為 1.476，而由表 17 機筒牽力之百分數為 82.11，此數較 77.44% 增加 6%，顯示熱量由 11,700 增至 13,000 後，將 10 m.p.h. 時之機筒牽引力增加 6% 也。

此等機筒力之數值，可再以次之簡單規律校核之：

$$\text{牽引力} = \frac{(\text{活塞直徑})^2 \times \text{有效汽壓力} \times \text{衝程}}{\text{驅動輪之直徑}}$$

此式中有有效汽壓力通常認為表壓力之 85%，對於上例則為 $.85 \times 175 = 149$ 磅；活塞直徑 = 22 英寸；衝程 = 28 英寸；驅動輪直徑 = 57 英寸。因得牽引力為 35,425 磅，此較另一答數減少 1% 不足。此規律於求得低速度時最大牽引力為一比較簡單之方法，但前述方法雖較冗長，仍以採用為宜，蓋可用以算出限界速度 M ，及高速度時之牽引力也。

191. 高速度時之牽引力 在較 M 為高之速度時，機筒力減退甚速，蓋以蒸汽在部分衝程時即被切斷而聽其膨脹。切斷蒸汽之

表 17

在各種 M 之倍數時筒牽引力之百分數

(M 爲於蒸汽完全切斷時, 仍能維持鍋爐壓力之最大速度, 以 m.p.h. 計)

速 度	% 複式	% 單式	速 度	% 複式	% 單式	速 度	% 複式	% 單式
開始	135.00	106.00	3.6M	32.40	41.75	6.4M		23.59
0.5M	103.00	103.00	3.7 "	31.25	43.56	6.5 "		23.18
1.0 "	100.00	100.00	3.8 "	30.10	42.39	6.6 "		22.79
1.1 "	96.28	95.57	3.9 "	29.14	41.24	6.7 "		22.42
1.2 "	92.55	91.53	4.0 "	28.24	40.10	6.8 "		22.06
1.3 "	88.83	87.83	4.1 "	27.38	39.00	6.9 "		21.71
1.4 "	85.12	84.46	4.2 "	26.56	37.96	7.0 "		21.38
1.5 "	81.40	81.37	4.3 "	25.77	36.97	7.1 "		21.05
1.6 "	77.68	78.55	4.4 "	25.03	36.03	7.2 "		20.75
1.7 "	73.96	75.97	4.5 "	24.34	35.13	7.3 "		20.45
1.8 "	70.25	73.60	4.6 "	23.69	34.26	7.4 "		20.16
1.9 "	66.54	71.41	4.7 "	23.07	33.41	7.5 "		19.88
2.0 "	63.21	69.37	4.8 "	22.48	32.59	7.6 "		19.61
2.1 "	60.20	67.47	4.9 "	21.92	31.82	7.7 "		19.34
2.2 "	57.48	65.67	5.0 "	21.38	31.11	7.8 "		19.08
2.3 "	54.97	63.94	5.1 "	20.87	30.42	7.9 "		18.82
2.4 "	52.68	62.22	5.2 "	20.37	29.75	8.0 "		18.57
2.5 "	50.42	60.55	5.3 "	19.89	29.10	8.1 "		18.33
2.6 "	48.16	58.92	5.4 "	19.43	28.48	8.2 "		18.09
2.7 "	46.08	57.33	5.5 "	18.99	27.87	8.3 "		17.86
2.8 "	44.10	55.78	5.6 "		27.33	8.4 "		17.64
2.9 "	42.29	54.26	5.7 "		26.81	8.5 "		17.43
3.0 "	40.57	52.78	5.8 "		26.30	8.6 "		17.22
3.1 "	38.95	51.33	5.9 "		25.81	8.7 "		17.01
3.2 "	37.42	49.91	6.0 "		25.34	8.8 "		16.82
3.3 "	35.98	48.56	6.1 "		24.88	8.9 "		16.63
3.4 "	34.66	47.24	6.2 "		24.44	9.0 "		16.45
3.5 "	33.53	45.97	6.3 "		24.01			

合宜百分數, 及每寶馬力所用蒸汽重量, 均見表 15。在表 17 中, 列有各 M 乘數時之機筒牽引力百分數, 例如, 該表載明單式引擎之機筒牽引力, 爲全衝程及速度 $2M$ 時之 69.37%, 若速度增爲 $5M$, 則

牽引力減為 31.11%。應用此數於上舉之數字例題，當 $M=6.087$ m.p.h.時，機筒牽引力減為 35,174 之 31.11%，即 10,943 磅，但因速度增快五倍，發生之馬力為 31.11% 之五倍，即 1.55 倍。更應注意者，表 17 內顯示單式引擎之牽引力較巨，(始動時 6%)。此乃由於極低速度時，機筒壓力愈與鍋爐全壓力相等，而無須 15% 之減少也。再則，複式機車之各機筒均用全壓力之蒸汽，故雖因複式關係，致用汽之經濟稍遜，其始動效果可增 35%。因始動阻力較速度為 5 m.p.h. 時大至數倍，故始動效果之增加，頗有裨於用。

192. 機力之繼續計算〔說明例題〕茲更將 190 節密楷佗機車繼續研究如下：繪一曲線，以表示速度由 0 至 35 m.p.h. 之機筒牽引力。由 190 節所計算，知 M 速度時機筒牽引力為 35,174 磅。

速 度		機筒牽引力		機車阻力	拉鈎拉力
(M 之倍數)	(m.p.h.)	(%)	(磅)	(磅)	(磅)
0.0	0.000	106.00	37,284	1762	35,322
1.0	6.087	100.00	32,174	1771	33,403
1.2	7.304	91.53	32,195	1775	30,420
1.5	9.131	81.37	28,621	1783	26,838
2.0	12.174	69.37	24,400	1799	22,601
3.0	19.261	52.78	18,565	1854	16,711
4.0	24.348	40.10	14,105	1910	12,195
5.0	30.435	31.11	10,943	1993	8,950
6.0	36.522	25.34	8,913	2095	6,828

由表 17 知始動時之機力為此數之 106%，即 37,284 磅，此力之變化假定在此範圍內甚為勻整。將 35,174 乘以各 M 乘數之百分數，即得各速度時之牽引力，繪入圖 160。由表 16 得各速度時之 A, B 值為 1762 磅， C 值則於 M 速度時(6.087 m.p.h.)為 9 磅， $6M$ 速度時為 333 磅，將此項阻力由算得之機筒牽引力中減去後，則得各速度

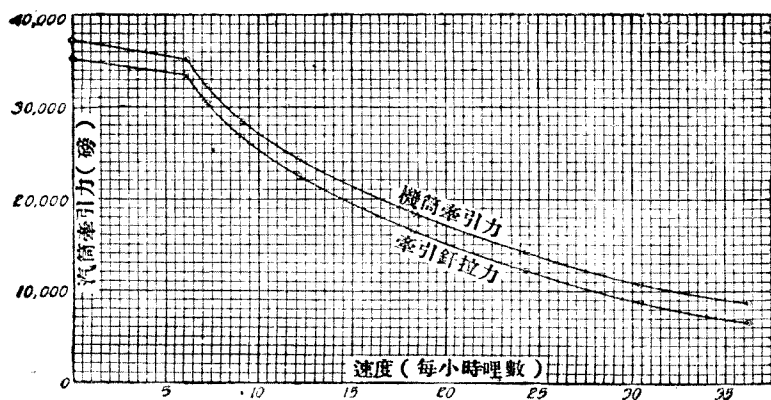


圖 160

時之拉釘拉力此等數值亦繪入圖 160 中。速度增加時，拉釘拉力之急速減退，亦可於此圖見之。學者須注意者，此拉釘拉力曲線。係表示其限度而非實際，蓋實際拉力較此殊微，且須以阻力測定之也。

193. 鍋爐能力與牽引力之關係 前已述及，高速度時之機力須賴蒸汽之迅速發生，而蒸汽之發生則有賴於火箱之面積。舊式機車之火箱均放置於驅動輪間，故其闊度為所限制。胡頓火箱則置於驅動輪之上，但除非驅動輪甚小，則位置高而不便。嗣乃設法將火箱置於較低之從輪上，其位置在驅動輪之後。用此方法後，庶克將火箱之淨闊增加一倍。舊式機車為增加火箱之面積計，每須將火箱之長度延長，甚至火夫難以伸及火箱之底以便清掃與照料。若將闊度加倍，則可將火箱面積充分增大，其長度亦遠較舊式者為短。由於火箱面積之增加，加熱面亦隨以增巨，每磅之煤足以發生更速更多量之蒸汽，機力乃大增。此種改變之價值，可自比較兩種大致相仿而火箱不同之機車而更形明瞭。此兩種機車為麻格爾(2-6-0)與

帕蘭里(2-6-2)。此兩機車之特徵列表如下：

	麻格爾	帕蘭里
機筒,直徑×衝程	20吋×26吋	20吋×24吋
汽鍋壓力	200磅	200磅
火箱,長×闊	108吋×33吋	74吋×66吋
爐格面積,方呎	24.70	34.00
加熱面積,方呎;火箱及火管	1952.00	2135.00
驅動輪,直徑,吋	51.00	51.00
驅動輪上之重量,磅	137,300.00	122,100.00
機車之重量,磅	154,000.00	153,300.00
機車與煤水車之重量,磅	254,000.00	253,000.00
假定煤之熱量,B.T.U.(每小時加煤4000磅)	12,000.00	12,000.00
每小時每方呎加熱面所用之煤,磅	2.05	1.873
每磅煤所生之蒸汽,磅(表13)	4.16	4.39
每小時發生之蒸汽,磅(以4000乘得)	16,640.00	17,560.00
每衝程之蒸汽,磅(表14)	2.230	2.058
每旋轉之蒸汽,磅(以4乘得)	8.920	8.232
在M速度,每小時之旋轉數	1865.50	2133.50
在M速度,每分鐘之旋轉數	31.09	35.56
驅動輪之周長,呎	13.35	13.35
速度(v)每分呎數,M速度	415.05	474.73
速度(V)每小時呎數,M速度	4.716	5.394
M速度時之馬力(表15)	434.40	458.40
機筒牽引力,磅,在M速度	31,400.00	31,865.00

已知M速度時之機筒牽引力(兩機車之M稍異),即可定出各M乘數之牽引力。此項結果繪於圖161。

讀者所應注意者,此兩機車重量幾相等,驅動輪直徑相同,機

M之倍數	麻格爾機車		帕蘭里機車	
	速 度 m.p.h.	機筒牽引力	速 度 m.p.h.	機筒牽引力
0.0	0.000	33,248	0.000	33,778
1.0	4.716	31,400	5.394	31,865
1.2	5.659	26,740	6.473	29,166
1.5	7.074	23,550	8.091	25,929
2.0	9.432	21,782	10.788	22,105
3.0	14.148	16,573	16.182	16,818
4.0	18.864	12,591	21.576	12,778
5.0	23.580	9,769	26.970	9,913
6.0	28.296	7,957	32.364	8,075
7.0	33.012	6,713		

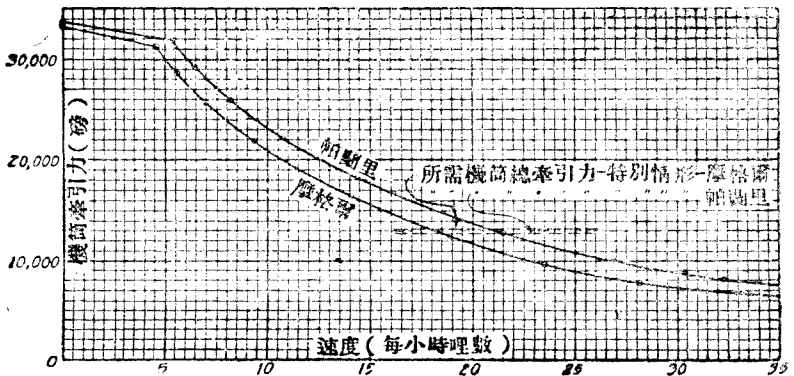


圖 161

筒直徑相同，汽鍋壓力相同，而所作比較，均以同質之煤為根據。麻格爾機車驅動輪上之重量較多 15,200 磅，似應使此型式之機車處於有利地位，但由 161 圖則見自始至終，麻格爾機車之牽引力較弱。帕蘭里機車之火箱較闊而短，面積較多 38%，因此發生蒸汽較速。今將兩曲線之垂直距離量出，便知速度在 5.5 至 25 m.p.h. 時，帕蘭里式之機筒牽引力較巨 2000 磅。此種比較，亦可以拉針之拉力為準，宜自表 16 求得機車阻力而減去之，但麻格爾之阻力較帕蘭里為鉅，故更顯後者為有利。

火箱下之從輪，於退行時有引導驅動輪廻轉於曲線之用，其效與前進時之先驅輪相彷彿。

此兩種機車之比較機力，可以次之算例說明之。假設列車中有煤車 16 輛，每輛裝滿時重 70 噸，另有車守車重 15 噸，向 0.3% 坡以上行，速度為 20 m.p.h. 由式 105，得其阻力為

$$R = 2.2 \times (16 \times 70 + 15) + 121.6 \times 17 = 4565 \text{ 磅。}$$

坡度阻力爲 $20 \times 0.3 \times 1135 = 6810$ 磅。茲假定遇有曲線處，其坡度量酌減低，故曲線阻力業已包括於坡度阻力之內。速度假定均等，故無須因加速度而耗費能力。列車之總阻力乃爲 11,375 磅。機車阻力爲速度之函數，但因其與速度之關係甚淺，故祇以 20 m.p.h. 時之平均阻力爲準，則麻格爾機車之阻力爲 1876 磅，所須之機筒牽引力爲 13,251 磅；帕蘭里機車之阻力爲 1532 磅，所須之機筒牽引力爲 12,907 磅。此種阻力實際上與速度無關，故爲水平線，如 161 圖所示。此足顯示麻格爾機車在 0.3% 坡度上速度極限爲 18 m.p.h. 而帕蘭里則爲 21 m.p.h.，所增之 3 m.p.h.，對於行車之經濟裨益甚鉅。換言之，帕蘭里機車如以 18 m.p.h. 速度升登 0.3%，可以牽引 19 輛煤車及一輛車守車也。

讀者應記清有許多因素，如火夫之體力與能力，軌道之狀況等，足以改變上舉之數字，使不克精密測量機車之實在能力，但在平均狀況下，固足爲兩種機車比較之尺度也。

194. 坡度對於牽引力之影響 說明坡度對於牽引力影響之最善方法，係用數字的計算，其結果繪於圖 162。取三個重量與機力各異之機車，計算其機筒牽引力，惟驅動輪上之荷重約略相仿（約 50,750 磅），故按 188 節之規律，各機車均可工作於同一之軌道。採用鮑爾溫機車廠之規律，如 188 節所述， $\frac{1}{2} \times 50,750 \div 300 = 84.5$ ，此即所用之軌條宜爲每碼 85 磅。在各機車之計算中，煤之熱量爲 12,000 B. t. u.，與 190 至 193 節所詳述者同，由此求得在水平軌道之上，太平洋，密楮佗，馬蘭特三種機車之機筒牽引力，分別爲 29,718，33,575，及 49,095 磅，其時之速度均爲 10 m.p.h.，而每小時

均用煤 4000 磅，各機車在 10 m.p.h. 速度時之機車阻力，應用表 16 計算甚易，列表如下：

機車特性(V = 10 m.p.h.)	太平洋 4-6-2	密借伦 2-3-2	馬蘭脫 2-8-3-2
機筒牽引力，(在水平軌道上) 磅	29,718	33,575	49,095
機車阻力，(在水平軌道上) 磅	2,205	2,648	4,864
拉釘拉力，(在水平軌道上) 磅	27,513	30,927	44,231
拉釘拉力，(在 0.3% 坡道上) 磅	15,213	18,207	25,631

拉釘拉力繪於圖 162 之左方垂直線上，即三實線之終點所在，三實線者表示三種機車之牽引力也。在 3% 坡道上，坡度阻力等於每噸 60 磅，故分別為 12,300, 12,720, 及 18,600 磅，此將拉釘拉

力各各減少約 40%。因此種減少數，隨坡度而作均勻之變化，故可將 15,213, 18,207, 及 25,631 繪於右方 3% 之垂直線上，與右方垂直線上各點聯成三直線，以表示水平與 3% 坡度間各坡度之機車牽引力 (速度為 10 m.p.h.)。

假定列車之車輛平均均為每輛 50 噸，則十輛車為 500 噸，50 輛為 2500 噸，在 10 m.p.h.

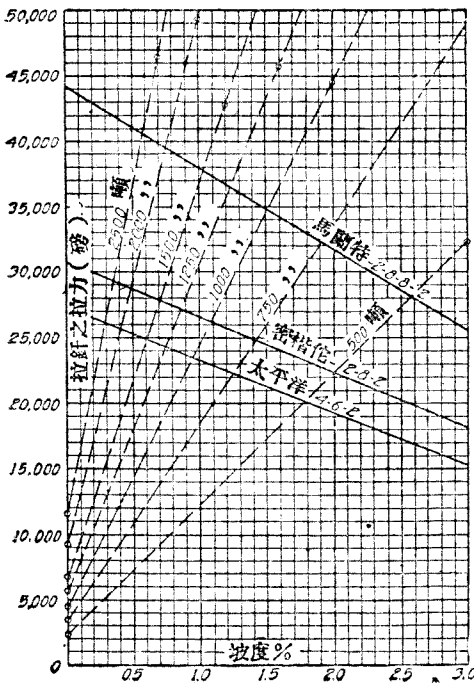


圖 162

及水平軌道時之阻力，可以式 105 求得，而繪入圖 162 之左方垂直線上。坡度阻力以坡度為正比例。例如，在 0.7% 坡道上，每噸之阻力為 14 磅，2500 噸，計為 35,000 磅，將此數加於 11,580，（即機車阻力）則得 46,580。將此數繪於 0.7% 之垂直線上，用小圓圈以標記之。聯接兩點則得 2500 噸列車在 10 m.p.h. 時之阻力。其他各線之繪入與此理同。此等阻力線與牽引力線之交點，即表示各機車之相對的機力。例如，1000 噸列車如用太平洋式機車，則可以 10 m.p.h. 之速度升登 0.96% 坡道，而密楛佗機車可以升登 1.1% 坡道，馬蘭特機車則可升登 1.52% 坡道。

所有計算，均以每小時燃煤 4000 磅為根據，而此數實為普通火夫在長時期內工作之極限。

馬蘭特機車（鮑爾溫機車廠製造）之牽引力，廠方聲稱 91,000 磅。若將煤之熱量假設為 12,000 B.t.u.，速度為 M ，則機筒牽引力為 95,389 磅，減去機車阻力 4843 磅，則得 90,546 磅，足與上述之數相參證。（雖該廠計算方法與此不同）

195. 加速度及速率曲線 一定重量及機力之機車，牽引一定重量及阻力之列車，在一定坡度及曲度之軌道上進行，所需之時間，為工程師所應計算之重要及必需之事項，蓋所能節省之時間，價值甚鉅，由建築或管理方面設法減省此時間，亦常值得也。圖 160 顯示拉鉗拉力在極低速度時比較平常 15 m.p.h. 速度時為巨。除在此等低速度時增加之阻力不計外，所餘以供加速度之機力猶甚寬裕，而速度曲線實係一種曲線而非直線也。此曲線之一般形式，以用數字演繹為最易。茲以每一情形有一特殊之曲線。

〔說明算例〕 密楷侖機車(其特徵業於190節及以下各節加以研究)在各種速度時之拉針拉力,已詳見 192 節表中,本節將一再援用之。假定此機車由靜止狀態開始升登 0.4% 坡道,牽引車輛 14 輛,每輛重 50 噸及車守車一輛,重 10 噸,則按 105 式,得水平牽引阻力為

$$R = (2.2 \times 710) + (121.6 \times 15) = 3386 \text{ 磅。}$$

車輛之坡度阻力為 $20 \times 0.4 \times 710 = 5680$ 磅。始動時特別增加之阻力設為每噸 6 磅,則共計 4260 磅。以上三項總計 13,326 磅。當機車速度在零與 M 速度(即 6.087 m.p.h.)間,拉針之平均拉力為 34,362 磅,但在此例中,應減少坡度阻力 $20 \times 0.4 \times 157.5 = 1260$ 磅,及始動阻力 $157.5 \times 6 = 945$ 磅,尚餘拉針拉力 32,157 磅,機車加速所須之力尚不在內。所餘以供機車及列車加速之力為 $32,157 - 13,326 = 18,831$ 磅,或比例的每噸 $18,831 \div (157.5 + 710) = 21.71$ 磅。將式 104 移項,命 $V_1 = 0$, $V_2 = 6.087$, $P = 21.71$ 磅,則得 $s = (37.05 - 0)70 \div 21.71 = 119$ 呎,此即增加速度至 6.087 m.p.h. 所須之距離。

當速度由 $1.0M$ 增至 $1.2M$ 之時,平均拉針拉力為 $31,912 - 1260 = 30,652$ 磅,(機車加速阻力不在內)將車輛之牽引及坡度阻力由此減去,則得 $30,652 - 3386 - 5680 = 21,586$ 磅。注意此時已無任何始動阻力。加速力遂為每噸 $21,586 \div 867.5 = 24.88$ 磅。所須自 6.087 m.p.h. 增至 7.304 m.p.h. 之距離 s 為 $(53.35 - 37.05) 70 \div 24.88 = 46$ 呎。同理,速度自 $1.2M$ 增至 $1.5M$, 及 $1.5M$ 增至 $2M$, 等等均可依次算出列為表式如後:(見 268 頁)

相當之距離與速度,繪於圖 163。速度 10 m.p.h. 在 300 呎稍過之距離內即已獲得,而獲得 15 m.p.h. 需 1000 呎,20 m.p.h. 須 2400

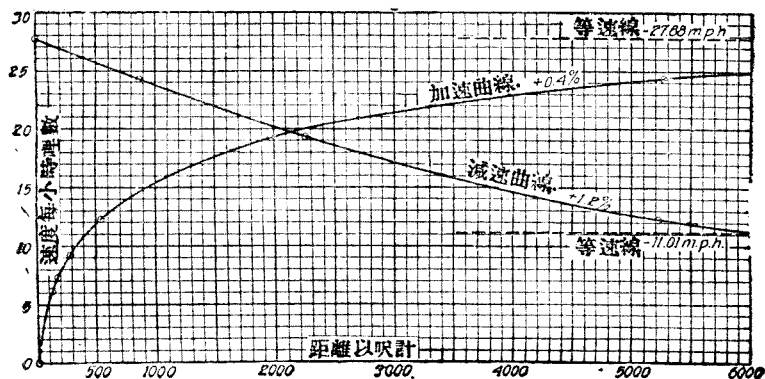


圖 163

呎。此足供加速之餘力以每噸若干磅計，在低速度克制始動阻力後為最大，因每噸足供加速之餘力漸進則漸減，故增加 1 m.p.h. 所須之距離乃愈長（尤以最後增加額為甚），至拉釘淨拉力等於全部車輛阻力而速度為均勻時為止。在各種不同速度間之拉釘拉力，係就各速度之拉釘拉力平均而得，故祇係略數，惟算出之距離，在 4M 速度以下（即 24.35 m.p.h. 以下），則實際均甚準確。由 4M 至 4.58M，如用平均拉力則錯誤較巨。4M 速度時之拉力為 12,195 - 1260 = 10,935，（減去機車之阻力）。車輛在此速度時之牽引力及坡度阻力為 3386 + 5680 = 9066。由 10,935 減去後，餘 1869 磅，足供機車列車加速之用。由 4M 速度至 5M 速度（見 192 節），牽引力之減額為 12,195 - 8950 = 3245 磅。用比例中介法，吾人可謂所餘加速之力在 1869 ÷ 3245 = .58 間距，或速度為 4.58M = 27.88 m.p.h. 時即已耗盡。如用平均加速力，則為 1869 之半數，即 935 磅，或每噸 1.077 磅。代入式 104，得距離 11,981 呎。由於作業力及阻力之變化無定，故加速之終止點（即等速度之起點）殊難確定。所幸者，此種欠準之處，對

鐵 路 工 程 學

速 度		牽 引 力 (以磅計)					距 離 (呎)		時 間		
呎/秒	範 圍 m. p. h.	平均 呎 秒	平均拉 力 (水平)	機車阻力 (坡度加 始動)	實際拉 力 (平均)	車輪阻力 (牽引與 坡度, 加 始動)	足供加速 之差數	每 噸 淨 力	加 速 的 距 離	總數 由開始 算起	秒
0.00	0.00	6.087	34,362	*2,265	32,157	*13,326	18,831	21.71	119	119	27
8.94	6.087	7.304	31,912	1,260	30,652	9,066	21,586	24.88	46	165	5
10.57	7.304	9.131	29,629	1,260	27,369	9,066	18,303	21.10	100	265	8
13.41	9.131	12.17	25,720	1,260	23,460	9,066	14,394	16.59	274	539	18
17.85	12.17	19.26	19,656	1,260	18,396	9,066	9,330	10.76	1,452	1,991	63
28.25	19.26	24.35	14,453	1,260	13,193	9,066	4,127	4.76	3,262	5,253	102
35.76	24.35	27.88	935	11,981	17,234	312

*額外始動阻力僅用於第一項

於實際問題毫無關係，而為吾人之計算起見，可命此為最後之間段為 11,981 呎，假定坡度之長為 17,234 呎，即 3.2 哩。如此 0.4% 坡度無限延長，則列車將以等速度繼續進行。注意圖 163，欲使等速度線與加速度線相切，尚須將本圖延長三倍以上也。

196. 減速度及速率曲線 若因坡度阻力過鉅，致坡度與牽引阻力之和大於拉釘之拉力，則將發生減速度。

〔說明算例〕 將 195 節之數字問題繼續計算，假設列車以 4.58 *M* 或 27.88 m.p.h. 速度升登 0.4% 坡道後，更遇 +1.2% 之坡道，則坡度阻力為 $20 \times 1.2 \times 710 = 17,040$ 磅，牽引阻力為 3386 磅，而總數為 20,426 磅。由 192 節之表式，用中介法求得 4.58 *M* 速度之拉釘拉力為 10,326；在 4*M* 時，為 12,195，平均為 11,260；但此數中須減去機車坡度阻力 $20 \times 1.2 \times 157.5 = 3780$ ，所餘拉釘淨拉力為 7480 磅。此時減速力為 $20,426 - 7480 = 12,946$ ；如以列車噸數均派，則為 $12,946 \div 867.5 = 14.92$ 。與前例同，應用 104 式，得 $s = (777 - 593)70 \div 14.92 = 863$ 呎，此即速度減為 4*M* 所須之距離，又與前同，其他各數均算出列於下表：（見 270 頁）

當速度由 4.58*M* 減至 4.0*M*，平均速度為每秒 38.33 呎，以此除 863 呎，則得 23 秒，速度由 4*M* 減至 3*M* 及 3*M* 減至 2*M* 之計算與此相同。在 1.5*M* 時水平拉釘拉力為 26,838（見 192 節），減去 3780，得淨拉力 23,058 磅。同法得 2*M* 時之淨拉力為 18,821 磅。由 18,821 增至 20,426 為 $\frac{1605}{4237} = 38\%$ 之間距，以 38% 乘以 .5 得 .19；故實際拉釘拉力等於在 $2.0 - .19 = 1.81*M*$ 或 11.01 m.p.h. 時之阻力。多餘之拉力，在 2.0 *M* 時為 $23,058 - 20,426 = 2632$ 磅，在 1.81*M* 時為零，故

.302%，則下行時之加速度頗鉅，如坡道過分延長，則速度將達到有害的高度。

〔說明算例〕 假定就軌道及車輛之現狀而論，貨列車之安全限界速度，為 40 m.p.h.；又假定此列車以 15 m.p.h. 速度開始向 0.4% 坡道下行。問蒸汽關斷後，此列車到達何處，其速度可增至 40 m.p.h.，而須應用輪軌？此處對於各種牽引阻力均不成問題，蓋僅有之原動力厥為重力。阻力幾與速度無關，茲假定如是，以便應用表 II。在 15 m.p.h. 時，列車之速頭為 7.90 呎，在 40 m.p.h. 時，其速頭為 56.19 呎。是以此列車之位置，必須低落 $56.19 - 7.90 = 48.29$ 呎，方可達到 40 m.p.h. 之速度。在 0.4% 坡道內，縱距 48.29 呎之橫距為 $48.29 \div .004 = 12,072$ 呎。在第 195 節問題中，0.4% 坡道之長，假定為 17,234 呎以上，此處則可顯示反向行車之狀況。

在飄行之時，不能謂為全無損耗之能力。雖機筒內並未用及蒸汽，但在保安閥內必須消費若干，而更有若干用諸軛暨維持軛內壓縮空氣之全壓力。又輻射為損耗熱量之一大原因，尤以冬季為甚，雖用被套亦屬無濟於事。各地試驗之結果，雖尚未臻於一致，但可得次之平均略數：列車停止時，每 1000 方呎加熱面，每小時耗煤 120 磅；在飄行時，此數增至 220 磅。發火所須之煤約 510 磅。以上各數，均以 12,000 B.t.u. 煤為準。煤質愈佳，需量愈少。

〔說明算例〕 如前舉之密楷佗機車，有加熱面 2565 平方呎，則所須發火之煤為 $2,565 \times 510 = 1308$ 磅。如向下坡飄行 12,072 呎，其平均速度為 $\frac{1}{2}(15 + 40) = 27.5$ m.p.h. = 40.3 呎/秒，所須之時間為 $12,072 \div 40.3 = 300$ 秒 = 5 分 = .083 小時。此短時間內所耗之煤

爲 $220 \times 2.565 \times .083 = 47$ 磅。

列車達到此點必須用軌，逾此距離以外之飄行時間及所需煤量亦可分別算出。雖 47 磅之煤爲一細數，但此種計算法可爲計算行車用煤方法之典型。

198. 機車機力計算之複驗 假定機車向 +0.4% 坡道開始進行時之荷重，爲 15 輛車共重 710 噸。在行動 17,234 呎（假定坡度長度如此），費時 535 秒（即 8 分 55 秒）後，此列車之速度已增至 27.88 m.p.h.。此機車在每小時燃煤 4000 磅之情形下，其機力足供永遠保持此項速度以升登坡道。如坡道長度有限，則必須算出坡度改變處之速度，以爲計算次段坡道之根據。若坡道長逾 17,234 呎，及速度增至 27.88 m.p.h. 後，續行若干距離，又遇 +1.2% 之峻坡，則其速度開始降落。在 6466 呎之距離與 295 秒之時間（或 4 分 55 秒）內，此列車速度減爲 11.01 m.p.h.。在此速度時，機車尙能充分發生蒸汽，用以克制高坡度之阻力。由此點而上，若假定坡道長逾 6466 呎，則此列車將以 11.01 m.p.h. 速度繼續進行。

如前所述，上項結果之精密度，有賴於甚多之因素（例如煤之熱量，每小時用煤量），而此等因素則皆變化無定。此種因素之變化，時或可以測知，時或無從判別，而計算之結果乃在未定之天矣。但不論結果之精疏，如於應用上述方法之際，能竭力採用最良數值，則頗足爲改善坡道與路線時比較之用。在此項比較時，各因素苟有錯誤，則對於所比較各路線之影響，大致相等，故比較之效用仍可不致喪失。

199 路線之選擇 以上各節，可利用爲兩路線比較之需。如

其中一路線業已通車，則工程師可藉以舉行試驗，以獲得所須之數字作比較之根據。斯時所應從事計算者，僅為建議中之新路線。如兩路線均在紙面定線時代，苟非一線有特殊優點，雖將不定因數略事更動，仍不致影響其優越地位者，則結果之精密度把握較少。應用 195 至 197 節之方法之先，必須預擬一種機車之型式，牽引一種或數種之列車荷重，通行於一定坡度與長度之軌道。如坡度業在建築時妥為補償，則曲線之影響可以不計，而曲線與直線軌道全長之坡度，可視作直線軌道之坡度。如坡度確係勻整，即曲線地方亦用此同一坡度，則曲線與直線軌道，應分別計算，每一度曲線相等於 .035% 之坡度。列車由始動至停止間之各現象，必須逐一計算，對於條件之變更足以影響機車之牽引力者，須酌留餘地。機車除下坡飄行或應用軛以免速度過高之時外，均視為用其完全蒸汽之量。軛在規定停車（與事故停車有別）時之作用，可視為減速力，約等於列車重量之 10 至 20%。惟不幸軛之作用變化無定，完全出於司機之操縱，其值自零至完全軛力為止，故欲計算其所耗之能量，幾不可能，而祇可以任意假定為根據。列車在全段中之行動，所須之時間，各部之速度，均可計算得之。在 195 與 196 節，嘗示其機車可將列車以 27.88 m.p.h. 之速度，升登 0.4% 坡度。並可無限維持此項速度。此同一之列車，如升登 1.2% 之坡度，亦可無限維持 11.01 m.p.h. 速度。如列車加重，此機車自亦可以升登 0.4 及 1.2% 之坡度，惟速度當減少耳。坡度與速度有無限可能之組合，惟常因別種之顧慮，縮小選擇之範圍。即在建築完成以後，仍可應用本篇各表，以研究何種型式之機車，何種列車荷重，得在軌道現狀之下，為最經濟之組合也。

第二十九章 後推坡道

200. 一般經濟原理 鐵路中常遇偶有一二處之坡道，險峻異常。此種險峻之坡道，常因得不償失，或財力不足，以致不克使之減緩。通常誤以此項坡度為限界坡度，致將路線內可以避免之高級坡道，均以其小於限界坡度而容忍之。實則對於少數險峻坡道，可用後推機車協助之，而別處坡道仍可力求平緩，增加普通機車牽引之車輛數目也。此種行車法之經濟理由，可由次述之例見之。

設行車段之長為 100 哩，其中有 5 哩長之坡道二處，須用後推機車為助；又設其他 90 哩之路線，坡度平緩，用機車一輛即可牽引極多輛之列車通行無阻。如是一經使用後推機車後，列車之重量可以加倍，列車次數可以減少至半。然則此方法之為經濟與否，全視後推機車之費用為斷。今以單輛機車經行全程，則兩倍荷重所成之工作，相當於 200 機車哩。但單輛機車祇可通行於 90 哩之路線，其餘 10 哩，則除此機車以外，須用後推機車一輛。每一後推機車在險峻坡道上經行 10 哩，則二輛後推機車共行 20 哩，故所成之工作為 120 機車哩，而非 200 機車哩。（普通機車之工作為 100 機車哩，後推機車之工作為 20 機車哩，故總數為 120 機車哩，如不用後推機車，則單輛機車祇可荷重一半，往來兩次則須工作 200 機車哩也。）又如後文所述，後推機車每機車哩之費用較少於普通機車之費用，則應用後推方法之優點益屬顯然。

此項行車方法之為經濟與否，全以最大通行坡度與後推坡度

之關係，是否合宜為關鍵。若最大通車坡度，超過此項合宜關係，即在普通坡道之上車輛數目被其限制，而後推機車不克利用其全方於後推坡道之上。為行車之經濟計，必須設法使機車之工作，於大部時間內接近於能力之限量，若因若干處坡度較峻，致全程 90% 左右之路線，均以重機車牽引輕列車，顯非經濟之道。茲述後推坡度與最大通行坡度間適當之關係。

201. 後推作業時坡道之平衡〔說明算例〕 假定路線中二三處之坡度，已無廉省方法可使之低於 2.10% (約每哩 111 呎)。但在路線之別處，可作低緩之坡道，故進而計算其通行坡度。假定通行機車與後推機車型式相似，為簡單計，命為密楷侘式，如 190 節以下所論及者。在 M 速度 (6.087 m.p.h.) 時，拉釘之拉力為 33,403 磅。但因在 2.10% 坡道上，其拉力須減少坡度阻力 $20 \times 2.10 \times 157.5 = 6615$ 磅。如是兩機車之拉力總計為 53,576 磅。設列車中各車輛均係煤車，每輛裝煤 100,000 磅，身重 40,000 磅，又有車守車一輛，重 15 噸。以式 105 為根據，每一煤車之牽引阻力為 275.6 磅，車守車為 148 磅。在 2.10% 坡道之上，每一煤車之總阻力為 3215.6 磅，車守車為 652 磅。機車拉力淨餘之數為 $53,576 - 652 = 52,924$ 磅，由此得 $52,924 \div 3215.6 = 16+$ ，此即除車守車外，尙可由兩機車牽引煤車 16 輛，升登 2.10% 之坡道。今單輛機車在 M 速度 (6.087 m.p.h.) 時有機筒牽引力 35,174 磅，可以牽引 157.5 噸之機車，加 16×70 ，或 1120 噸之煤車，再加 12 噸之車守車，總重量計 1289.5 噸。機車之牽引阻力 (見 190 節) 為 1771 磅；車輛之牽引阻力為 $275.6 \times 16 + 148 = 4558$ 磅，全列車之總數為 6329 磅。所餘升登坡

道之力爲 $35,174 - 6329 = 28,845$ 磅，而 $28,845 \div 1489.5 =$ 每噸 22.4 磅，此即 1.12% 坡道之坡度阻力。由本計算之結果，可知此路之後推坡度雖可爲 2.10%，而單輛機車之限界坡度，應以 1.12% 爲限。

在後推坡道之上應用二輛，甚至三輛後推機車者，雖屬罕見，但亦非絕無也。此種問題之計算較爲繁複，但原理則一。

202. 後推機車之管理 欲期行車上之經濟，須將列車時間表妥爲編排，使後推機車可以常川工作。若有數個極短之後推坡道，間以數哩之平坦軌道，則應否於每一後推坡道，各設一後推列車，或合用一輛後推列車，乃成問題。如各置後推機車一輛，則常因工作稀少，閑置時多，致每一列車哩之每日費用，異常高昂。如合用一輛，則經行平坦軌道時，此後推機車必須附掛列車之後，作無益之旅行。列車時間表之訂立，亦須以後推業務爲參證，勿使某一時間內，在後推坡道上運輸過於擁擠，而餘時則否。定線之工程師對於行車雖無關係，但宜將後推坡道聚於一處，即多費金錢，亦所值得。

在運輸稀少之路上，往來列車無多，因與列車時間表衝突較少，可用單輛機車司其事，其法先將列車之半數由機車牽引，半數留置側道內，及機車開回再行牽引。此法費時甚多（祇貧乏之鐵路爲之），但可省另一機車之費用，又如後推工作甚爲輕微，則可節省維持之費用。

此等鐵路除一年中特別時季外，常少繁劇之運輸，故終年維持贅疣之後推機車，殊可不必。惟無論是否採用此種政策，通行與後推坡度之比例原則，則並無二致。

另一節省後推工作之可能方法，尤適宜於運輸稀少之路，而後推坡道之終點或起點，適在大型車站之附近，乃用調車機車以司後推之職。蓋此等車站，運輸既繁，必有調車機車之設置，則可利用其暇時以作後推機車也。在訂立行車時間表時，苟能稍費心力，即可利用此機車於有益之工作。

203. 後推坡道之長度 在下文所述計算中，後推坡道之長度恆較實有長度為巨。後推機車雖可由後方追及列車，使一面完成後推工作，一面可免列車停止於坡道之始點，然後推機車必須較長之軌道，庶克達到目的。在客列車中，輔助機車常居於列車之前，雖可在坡道之頂，解開此機車之互鈎，增加速度，向前進行，轉入側道，以讓出幹道，勿使列車停頓，但在坡道之底，則必須使列車停止以便接合互鈎。軌道長度之增加，即由於此。重列車之停止及減速，耗費之能量甚鉅，此項能量足以牽引列車於水平軌道之上至極遠之距離，故苟能避免停車，則雖使後推機車多行若干里程亦至合算。在坡道之頂部及底部附近，若有側道（及一電報房）則對於後推工作之迅捷及安全上裨益甚多。此種側道宜在後推坡道之外，能相距較遠則尤佳。該項情形隨每一問題而異，次所計算之長度，則為後推機車實在經行之長度，常較縱截面圖所示後推長度為巨。

204. 後推機車業務之費用 此項費用，一部分隨所作之業務而異，一部分則隨時間而變。司機之工資，係按日計算而非按里程計算，如機車少作有收入之運行，則其單位里程之費用必增。試思機車對於路軌之損害，常二倍或四倍於一般同重量之車輛，可知重型之後推機車，對於養護費用消耗甚鉅。按表 10，此種費用約佔

列車哩平均費用之 18%。如將機車修理,燃料,水,機油,零件,號誌,電報,等費加入,而將司機工資除算,則照 1912 年統計,將佔列車哩平均費用之 40%,此數以內,尚須加入司機火夫之每日工資。在 1912 年,美國全國司機工資平均每日 \$5,火夫每日 \$3.02,較諸 1902 年,司機工資已增 \$3.84,火夫增 \$2.20,則今後數年中,自不能以此為準矣。費用之內,尚須加入機車之資本費,蓋修理與養護費用業已加入,則機車初價,按其一生所能運行里程除得之每哩資本費,亦應計及也。若此機車之初價為 \$20,000,一生能行之里程為 800,000 哩,每行一哩耗去初價 2.5 分。又因後推機車每次須來回各行一次,故上項數目應再以 2 乘之。

〔說明算例〕 設有定線工程師遇有次之問題: 彼將多耗工資使全路之最大坡度為 1.5%,抑將單輛機車之通行坡度減為 1.12%,而設長為 7 及 8 哩,坡度為 2.1% 之後推坡道兩處乎? 又設兩種建築費用相等,彼將選取何種?(以 201 節例題為準)

由 201 節之計算,吾人知在 M 速度時,在水平軌道上拉針拉力為 33,403 磅,在 1.5% 坡道上,則減少 $20 \times 1.5 \times 157.5 = 4725$ 磅,即 28,678 磅。車守車之牽引及坡度阻力,為 $148 + (20 \times 1.5 \times 12) = 508$ 磅,而 $28,678 - 508 = 28,170$,為足以牽引煤車之餘力。每一煤車之阻力為 $276 + (20 \times 1.5 \times 70) = 2376$ 磅。 $28,170 \div 2376 = 11.8$,可知此機車苟非另有助力,即已無法牽引 12 輛車升登 1.5% 之坡道。按 201 節之計算,將 1.12% 之通行坡度及 2.1% 之後推坡度相組合,足使機車牽引煤車 16 輛。再自別種運輸業務而言,若客運甚稀,列車之車輛無多,則除在若干點稍減速度外,不問坡度為 1.5 或 2.1%,

均無問題。爲求問題之簡單計，將比較根據以滿裝之煤車爲限。設此段路線長 100 哩，每日有煤車 96 輛，其他運輸概從免議（實則其他因素應逐一計算也）。若用後推列車，則運輸此煤共需 6 列車；若用 1.5% 之通行坡度，則須 8 列車（或 9），在 7 哩之後推坡度上之後推機車，每次須工作 14 機車哩，8 哩後推坡道上則爲 16 機車哩，每日行車里程，前者 84 哩，後者 96 哩。若此路每列車哩平均爲 \$1.60，而其中 40% 即 64 分，爲後推機車哩之費用，（包括養護路基，機器修理，燃料等），如後推機車初價 \$16,000，則每哩資本費 2 分。假定司機每日工資 \$5，火夫 \$3，則每一機車之費用爲

$$84(0.64 + 0.02) + 5.00 + 3.00 = \$63.44$$

另一機車之費用爲

$$96(0.64 + 0.02) + 5.00 + 3.00 = 71.36$$

費用中所有工資，修理，材料等項至爲明顯，但一大部分則由於軌道之養護，不可遺忘也。通行貨列車每哩之費用，如能達到其限量，自較平均列車爲巨。設通行貨列車之每哩費用爲 \$2.20，而平均列車爲 \$1.60 則費用之比較如次：

在 1.5% 通行坡度：

8 列車每哩 \$2.20，每 100	
哩，每日	\$1760
	<hr/>
	\$1760

在 1.12 通行坡度，2.1% 後推坡度：

6 列車，每哩 \$2.20，每 100	
哩，每日	\$1320
1 後推機車(84哩)	63
1 後推機車(96哩)	71
	<hr/>
	\$1454

若非 8 列車而爲 9 列車，則後推坡度之優點更著。自另一方面言，在

後推坡度 6 列車之每列車，較 1.5% 上 8 列車之每列車為重，故對於軌道之損傷，養護之費用均較巨，每哩所攤總費用亦必較巨。但如上文所論，機車所作損害為多，其餘車輛甚少。故每日所省 \$306，或每年 313 工作日共計 \$95,778，如以年利 5% 計，相等於資本 \$1,915,560。此數為一額外之費用，如屬必要，宜以採用後推坡度計劃為合算。

第三十章 平衡異量運輸之坡度

205. 基本定理 任何鐵路每一方向之運輸量常相懸殊，有相去 4 或 5 倍者。每日去程之機車數，必與回程之機車數相等。除若干機車可於回程時附掛外，列車之數目亦必相等。來回兩程之客車數目必相等，以長時期言，貨車數目亦必相等。若一方向之運輸重量遠勝於他方向，則一方向之車輛必裝滿，而回程則幾為空車。虛裝之列車，自必較輕，如用同一之機車，則可升登之坡度必較重載者為大。故對於輕裝之一程，坡度可以較峻，以期獲得建築上之經濟。

多數鐵路並無此種坡度問題之發生。但以山嶺為終站之支路，重大上坡均在入山之方向，而出山方向則除若干懸曲外無上坡之可言。此種鐵路之機車，均為單方向之坡度所限，故無須計算其平衡。若干幹路以橫貫東西者為多，東向運輸每較西向運輸多至三四倍。

姑舉一例而言，由 1875 至 1880 年間賓夕法尼亞鐵路東向延嘯哩與西向延嘯哩之比為 4.5 : 1。兩終站之高度差，對於本問題並不重要，蓋比諸全路長度，為數甚微。又因兩方向之路線，均因經過高嶺，坡度甚大，故隨坡度所生之影響亦失其重要地位。假定兩方向限界坡度宜有差異，以平衡其牽引力，則計算如下：

206. 理論平衡之計算 兩方向之貨運雖有顯明之差異，但有若干平衡之因素如次：

(1) 兩方向之機車及客車運輸常相等。

(2)兩方向之客運必相等。此因素在移民頻繁之路當爲例外，但一思客運內活荷重僅居死荷重之一小部分，則影響亦微。例如每輛客車有乘客 50，每人重 150 磅，總重 7500 磅，而客車身重爲 45,000 磅，祇佔六分之一。故兩方向乘客數雖異，而載重則相去無多。

(3)空車每噸之阻力較實車爲巨。兩者相去每噸達 4 磅。是以滿裝列車所須之總牽引力固較空裝者爲巨，但其與噸數之比率並不相同。

(4)車務方面不論訂立如何嚴格之章則，即在運輸繁重之方向內，若干貨車仍有空裝或裝而不滿者。

(5)普通由鄉村向城市之貨物，常爲體積與重量最大之貨物，例如穀類，煤，木材，礦砂等。

(6)回程之運輸以製造品爲多，價值較鉅，而重量則僅及笨重貨物之一小部分。

〔說明算例〕 假定有自東至西之鐵路，其東向運輸爲西向運輸之三倍，應用 201 節已得之數值，命東向之限界坡度爲 1.12%，後推坡度不計，採用密楷侖機車牽引 16 滿裝車輛(50 噸荷重，20 噸身重)以上此坡。列車荷重爲 $16 \times 50 = 800$ 噸。西向列車爲此數之三分之一，即 267 噸加 16 輛車身之重 $16 \times 20 = 320$ 噸，共計 587 噸。此 16 輛車在水平軌道上之牽引力，爲 $(2.2 \times 587) + (16 \times 121.6) = 3247$ 磅。另加車守車 148 磅，機車 1771 磅，則得總牽引阻力 5166 磅。由 35,174 磅減去此數，則得餘力 30,008 磅以應付坡度。列車總重爲 $157.5 + 587 + 12 = 756.5$ 噸。將此數除 30,008 噸，則得每噸 39.6 磅，即等於 1.98% 坡度。根據 3:1 之比率，西向 1.98% 之坡度，

相當於東向 1.12% 之坡度。

307. 未來運輸之估計 估計擬建鐵路之運輸量，除性質相同之已成鐵路作比較外，通常均為臆測工作。若為已成路之改善工作，則有無數現成資料可以搜集。因此問題祇與限界坡度相關，故祇影響於有關限界坡度之列車。所不幸者，運輸之變動甚劇。在估計之時雖甚精確，而日久即已不合現狀矣。地方之發展常使本為農業區域者。一變而為工業區域，又如新煤礦或別種礦產之發現均足使運輸面目為之一變。

由 1911—12 年州際商務會之報告，得主要運輸種類如下：

烟煤	525 兆噸
礦物	139 ,,
木材	125 ,,
無烟煤	119 ,,
砂石等	103 ,,
穀類	71 ,,
水泥, 磚, 石灰	62 ,,
骸炭	62 ,,
30 種其他貨物	580 ,,
總計	<hr/> 1,786 ,,

以上統計，祇以笨重貨物為限。製造品及農具祇重 3,399,214 噸，家庭用具及傢俱較此略多。此為上節所論兩方向運輸懸殊之一佐證。

以平常情形言，非由特殊理由，兩方向之限界坡度應使相等，

大幹路之重建，爲現代耗資最巨之工作，自以減低東向坡度爲目的。加拿大太平洋鐵路完成未久，卽以此故而改建。此雖爲估計中最無把握之一端，但在相當條件下，自有估計之必要也。

鐵路工程學中英文譯名對照表

說 明

本書爲讀者醒目便利起見，凡專門名詞，人名及地名等之原文，一律不在譯文中夾注，所有各該項原文，另列中英文對照表二種檢查之。兩表均以中文爲主，俾讀者可由書中譯名求得其原名。

(甲) 專門名詞對照檢查表 凡譯文中所引用之專門名詞，爲普通字書及辭書所不備，或意義稍有出入者歸入之。其意義明顯之普通名詞從略。

(乙) 人名及地名對照檢查表 凡在譯文中，見字下有細橫綫之名稱，均係人名或地名，概從音譯。人名及地名之音譯，大部分依照商務印書館二十四年五月出版之標準漢譯外國地名人名表，以資一律。其他該書所未載之人名及地名，則酌照國音譯之。

兩表中均依照中文譯名之筆畫數排列次序，而以英文原名殿之。故檢查時須先計筆畫數。計筆畫數之法，以普通寫體爲標準，與刻體略有不同。如比字片字均作爲四畫而非五畫。又專門名詞表中同筆畫之字數甚多，復採用起筆分部法排列次序，即「橫」，「直」，「撇」，「點」是也。此起筆亦以寫體作準，如半，戶，言等均以「點」爲起筆，而非以刻體之「撇」及「橫」爲起筆。遇兩筆連寫作一筆時，以起筆在先者爲主，例如尹，發等字之起筆均爲「橫」。但地名人名表中，同筆畫之字數無多，不另分部。

(甲) 專門名詞對照檢查表

二 畫

一 部

刀口鉗 Pinch bar

十輪機車 Ten-wheel locomotive

) 部

人工換氣 Artificial ventilation

三 畫

一 部

三脚起重架 Gin pole

三級截面 Three level section

土工 Earth work

工目 Foreman

下結構 Sub structure

四 畫

一 部

切斷 Cut-off

切線距 Tangent distance

支距 Off-set

太陽觀測法 Solar observation

| 部

水準儀 Level

水準板 Level board

水準標點 Bench mark

水之化學潔製法 Chemical purification of water

中介法 Interpolation

中心角 Central angle

四輪車 Four wheeled wagon

) 部

分道叉 Turnout

分度規 Protractor

分段長 Supervisor

分配車場 Distributing yard

手斧 Hand ax

、 部

火藥線 Powder fuse

六輪調度機車 Six wheel switcher

五 畫

一 部

五鈎 Coupler

五鈎鉗 Coupling bar

五交道叉 Cross-over

平肩 Corbel

平車 Flat car

平端轉轍法 Stub switch method

可搬引擎 Portable engine

打鐘式曲柄 Bell crank

| 部

北極星 Polaris

四軸機車 Consolidation locomotive

) 部

外距 External distance

皮維篙 Peavy

矢高 Middle ordinate

、部

立管 Stand-pipe

六畫

一部

列車哩 Train-mile

列車阻力 Train resistance

列車命令制 Train order system

地權界 Right of way

地形測量 Topographical survey

丨部

曲柄錐 Brace

曲線之起點 Point of curve

曲線之終點 Point of tangency

曲線之頂點 Vertex of curve

曲線之度數 Degree of curve

同高線 Contour

同高線地圖 Contour map

凸子 Tappet

吊車 Hoist

收縮率 Percentage of shrinkage

尖端轉轍法 Point-switch method

丿部

名稱長度 Nominal length

合掌頂蓋 Split cap

先驅車盤 Pilot truck

自在結合 Universal joint

行動起重機 Traveling crane

、部

交道叉 Crossing

交分道叉 Slip switch

次級貨車場 Minor freight yard

七畫

一部

車場 Yard

車盤 Truck

車守車 Caboose

車輛哩 Car mile

抗搖繩構 Sway bracing

坑內測量 Underground survey

改測 Resurvey

杉木 Cedar

折角 Deflection

尾形整環 Ajax tail washer

丨部

步程計 Pedometer

丿部

谷點 Sag

谷點 Low point

角釘 Angle bar

角錐體 Pyramid

低欄車 Gondola car

低級坡度 Minor grade

伸臂號誌 Semaphore

、部

汽鏟 Steam shovel

汽錘 Steam hammer

初測 Preliminary survey

八畫

一部

拉釘 Tie rod

拉釘 Draw bar
 拉釘拉力 Draw bar pull
 坡度 Slope
 坡槩 Slope stake
 兩頭鋤 Mattock
 取土坑 Borrow pit

| 部

長弦 Long chord
 長路機車 Road engine

J 部

延展 Development
 延頓哩 Ton mile
 延人哩 Passenger mile
 股票 Stocks
 股息 Dividend
 卸機 Unloader
 斧手 Axeman
 參證槩 Reference stake
 刮土箕 Drag scraper
 爬根草 Bermuda grass
 垂直曲線 Vertical curve

、 部

泥檻 Mud sill
 泥土道渣 Mud ballast
 底緣 Flange
 定線測量 Location survey

九 畫

一 部

軌枕 Tie
 軌道 Track

軌距 Gauge
 軌道秤 Track scale
 軌枕板 Tie plate
 軌條撐 Rail brace
 軌道線路 Track circuit
 軌條磨蝕 Rail cutting
 軌道蓄電池 Track battery
 軌道喂水槽 Track tank
 軌條之結合 Rail joint
 柏木 Cypress
 檜木 Hemlock
 挖基 Cut
 斫斧 Chopping ax
 拱涵洞 Arch culvert
 架棧橋 Framed trestle
 限界坡度 Ruling grade
 封閉號誌 Enclosed signal
 附加零距 Plus distance

J 部

段距制 Block system
 段距制 Space interval system
 段長 Road-masters
 後視 Back sight
 後推機車 Pusher engine
 後推坡道 Pusher grade
 牲畜通路 Cattle passage
 牲畜防護設備 Cattle guard
 紅松 Redwood
 信管 Cap

、 部

前視 Fore sight
 活塞 Piston

十 畫

一 部

起重機 Crane
 起重機 Derrick
 起釘鉞 Clow bar
 眞方位角 True azimuth
 眞實縱截面 Actual profile
 栗木 Chestnut
 挺鈎 Cant hook
 指水礮 Witness stake

丨 部

草簾 Grass scythe
 荆簾 Brush hooks
 時距制 Time interval system

、 部

凍結之軸承 Frozen bearing
 酒精水準測量法 Spirit leveling

十一畫

一 部

頂蓋 Cap
 頂重器 Jack
 框工 Crib work
 桿手 Rodman
 勘测 Reconnoissance survey
 基準平面 Datum plane
 控制手動制 Controll manual system
 推挽軌道 Team tracks
 連接曲線 Connecting curve
 連續式軌條之結合 Continuous rail joint

丿 部

終站 Termini
 終點 Terminal
 從輪 Trailing wheel
 側道 Siding
 側坡 Side slope
 側坡稜柱體 Grade prismoid
 停留場 Stopping place
 停放軌道 Storage track
 脫軌 Derailment
 猛炸藥 Dynamite
 貨車場 Freight yard
 偏心率 Eccentricity

、 部

牽引力 Tractive force
 牽引阻力 Tractive resistance
 涵洞 Culvert
 襯裏 Lining
 清算人 Receiver
 視距絲 Stadia wire

十二畫

一 部

強性 Stiffness
 強度 Strength
 發火 Exploding
 幹道 Main track
 捲尺手 Tapeman
 超高度 Super-elevation
 替續器 Relay
 硝酸甘油 Nitro-glycerine
 梯級母線 Ladder tracks
 握釘力 Holding power of the

spikse
 棧橋 Trestle
 遠距號誌 Distant signal
 | 部
 單曲線 Simple curve
 單位弦 Unit chord
 單分交道又 Single slip switch
 黑火藥 Black powder
) 部
 進款 Revenue
 進站號誌 Home signal
 犁 Plow
 給煤站 Coaling station
 經緯儀 Transit
 集貨車場 Collecting yard
 無液氣壓計 Aneroid barometer
 絕對段距制 Absolute block
 system
 、 部
 游標 Vernier
 溫度絕緣性 Compensated for
 temperature

十三畫

一 部

電氣聯鎖制 Electro pneumatic
 interlocking
 電報命令制 Telegraphic order
 system
 電氣號誌 Electro-pneumatic
 signal
 電線線路 Wire circuit
 搗鉞 Tamping bar

搗鉞 Tamping pick
 搗填工 Tamping
 鼓 Drum
 填基 Fill
 零弦 Sub-chord
 楔頭釘 Crow bar
 推車 Push car
 載面組織 Floor system
 雷酸水銀 Fulminate of mercury

| 部

路基 Roadbed
 路基面 Subgrade
 閥 Valve
 號誌 Signal
 落葉松 Tamarack
 圓機車庫 Round house
 圓管涵洞 Pipe Culvert
 裝輪土箕 Wheeled scraper
 運輸費用 Transportation
 expense

) 部

債券 Bond
 稜柱體 Prismoid
 稜柱體改正數 Prismoidal correc-
 tion
 腹片 Web
 腹土 Sub-soil
 鉞 Pick
 鉋斧 Adaxe
 鉛錘 Plumb bob
 、 部
 道釘 Spike
 道砟 Ballast

道磴車 Ballast car

煤水車 Tender

煤渣 Cinder

滑車組 Tackle

準備距離 Run-off

十四畫

一 部

磁鐵 Magnet

丨 部

蒸汽抽機 steam pump

丿 部

頭牆 Head wall

、 部

複曲點 Point of compound curvature

複曲線 Compound curve

複吊結合 Gimbel joint

複式四機筒 Four-cylinder compound

旗手 Flagman

十五畫

一 部

輪緣溝 Flange-way space

輪轉計 Odometer

劈形 Wedge

撐木 Timbering

榑木 Oak

撞車 Collision

撬釘 Raising bar

撬棧橋 Pile trestle

彈軌轆叉 Spring rail frog

丿 部

衝程 Stroke

衝鑽 Churn drill

衝突點 Fouling point

箱車 Box car

箱涵洞 Box culvert

緩和曲線 Transition curve

、 部

調整器 Compensator

調度機車 Switching engine

實體石 Solid Rock

實質縱截面 Virtual profile

十六畫

一 部

機車 Locomotive

機鑽 Machine drill

機車庫 Engine house

機車哩 Locomotive-mile

機筒牽引力 Cylinder tractive power

鎖 Cross lock

橫截面 Cross-section

隧道 Tunnel

隧道之門 H Portal

隊工 Track laborer

橋臺 Abutment

擁壁 Retaining wall

樞轂 hub

丿 部

鋼矩 Steel square

鋼捲簾門 Rolling steel shutter

獨輪車 Wheel barrow

部

導井 Shaft
 導坑 Heading
 導距 Lead
 營業費用 Operating expense

十七畫

一 部

聯繫線 Tie line
 聯鎖制 Inter-locking system
 翼牆 Wing wall
 檢定 Rating
 軋鋼廠 Rolling mill
 壓縮空氣 Compressed air

) 部

螺栓 Bolt
 螺線 Spiral
 螺鑽 Auger
 螺帽鎖 Nut lock
 崩點 summit

) 部

鍋爐 Boiler
 鍋爐能力 Boiler power
 縱截面 Profile
 縱桁 Stringer
 縱向編構 Longitudinal bracing
 鍬 Pick
 簡單手動制 Simple manual
 system
 總段工程師 Division engineer

十八畫

一 部

轉轍點 Turning point
 轉車臺 Turn-table
 轉轍器 switch
 轉轍機臺 switch stand

) 部

鬆散石 Loose rock

) 部

雙輪車 Two-wheeled cart
 雙柄括刀 Drawshave
 雙分交道叉 Double slip switch
 鎖突 Locking dog
 鎖釘 Locking bar
 斷流器 Circuit breaker

十九畫

一 部

轆叉 Frog
 轆叉號數 Frog number
 檻 Sill

) 部

懸曲 Sag
 羅盤儀 Compass
 藥浸軌枕 Chemically treated
 tie

) 部

鏟 Shovel
 鏈手 Chainman

、 部

爆炸 Blasting

二十畫

一部

飄行 Drifting

部

爐渣 Slag

二十一畫

一部

黏合 Clutch

部

護床 Apron

護輪軌 Guard rail

二十二畫

一部

權許段距制 Permissive block system

部

驅動輪 Driving wheel

疊層架棧橋 Multiple-story trestle

部

彎軌器 Rail bender

挖鑿 Carving hook

二十七畫

部

鑽手 Driller

(乙) 人名及地名對照檢查表

三 畫

大西洋 Atlantic

四 畫

巴法羅 Buffalo

戈登 Gordon

太平洋 Pacific

五 畫

加拿大 Canada

卡斯爾登 Costleton

未柏 Weber

包爾提摩爾 Baltimore

七 畫

克列馬克思 Climax

克奧達爾 Crandall

亨丁香 Huntington

佐治頓 Georgetown

八 畫

拉卡渾那 Lackawanna

舍斐 Schaefer

拉隆德 Lalande

帕蘭里 Prairie

舍夫爾德 Sheffield

阿特蘭迭克 Atlantic

阿爾平 Alpine

阿特拉斯 Atlas

阿丹斯 Adams

武爾豪普脫 Wolhaupter

九 畫

柏格 Berg

哈德松 Hudson

胡薩克 Hoosac

胡頓 Wooten

哈爾柏 Harper

哈里斯堡 Harrisburg

俄海俄 Ohio

威司東 Whetstones

保盧 Paula

十 畫

埃利俄脫 Elliot

馬蘭特 Mallet

哥倫比亞 Columbia

馬斯托騰 Mastodon

桑提薩斯 Sante-Sas

十一 畫

密楷佗 Mikado

密士失必 Mississippi

得拉章爾 Delaware

得爾 Derr

陸克 Locke

十二 畫

菲列得爾菲亞 Philadelphia

十三畫

萬綠納 Verona
塔馬拉克 Tamarack
聖塔飛 Santa Fe
聖路易 St Louis
愛迪生 Edison

十四畫

蓬若諾 Bonzano
豪爾 Hall
窩楞 Warren

十五畫

徹赤山 Church Hill

十六畫

鮑爾文 Balwin
賓夕法尼亞 Pennsylvania
摩格爾 Mogul
摩司 Morse

十九畫

羅克蘭 Rock island
羅柏特 Robert

