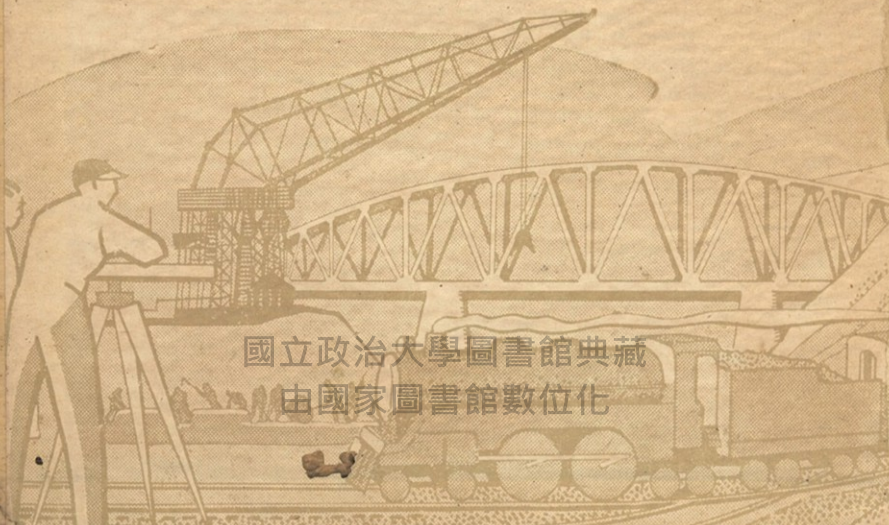


實用
土木工程學

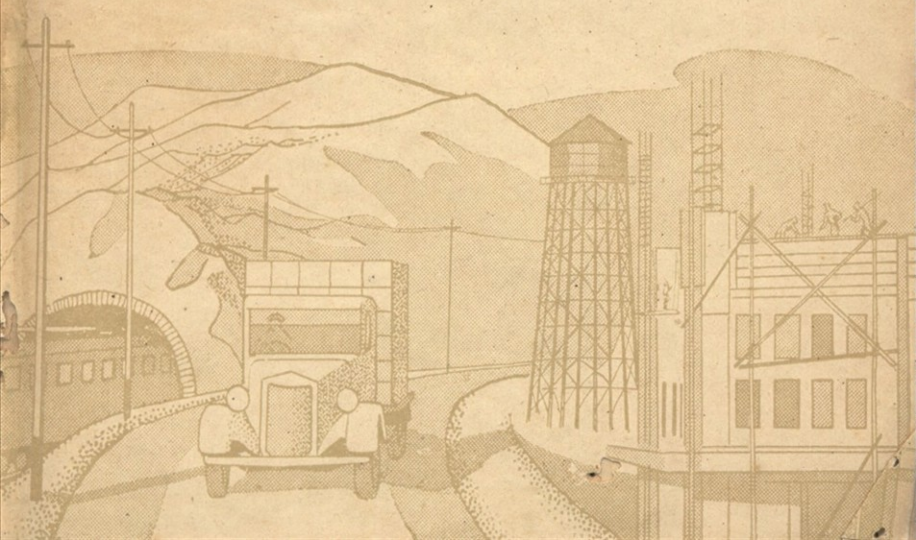


A215183

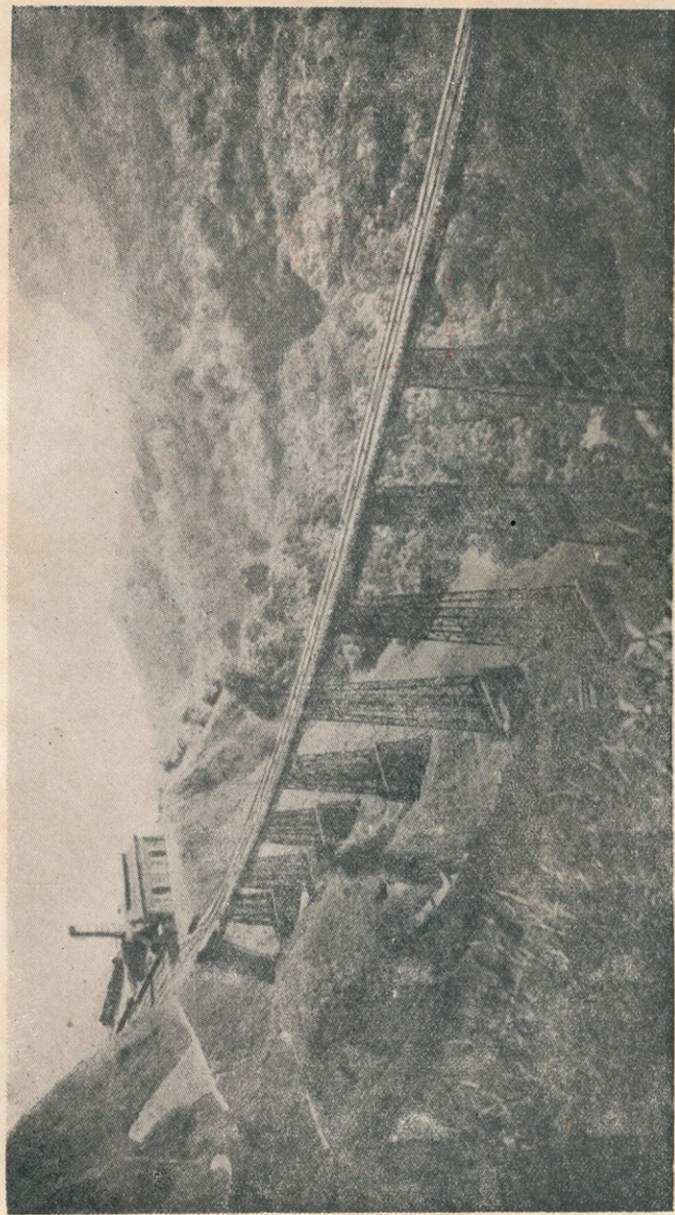
121



國立政治大學圖書館典藏
由國家圖書館數位化



中國科學社
愛迪生紀念基金
資助出版·



桑提薩斯保盧斯鐵路為世界上以設備完善及風景優美著名之鐵路

601.08
131
1.5

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

215183

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，惟尙無獨成系統之專著，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，實爲其主要原因。

民國二十七年春，本社雖處於特殊環境之中，惟出版事業尙未受若何影響。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，而爲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，至爲深切。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，尚不多觀。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；惟自慚譚陋，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名表爲準則，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。即原書

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

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，應向編著諸君子深致謝意。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. 軌枕鉸	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. 線與管 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..... 260

194. 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

641.01

791

V.5

部 02225

鐵 路 工 程 學

第 一 篇



教育部圖書室藏書

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 苟無可靠之同高線地圖，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，即在將必要的地形作迅速的決定，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

勿調準而逕用改正數也。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	.048	.048	.049	.050	.051	.052
48	.046	.047	.047	.048	.049	.050	.051	.052	.053	.053	.054
49	.048	.049	.050	.051	.052	.052	.054	.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	.065	.066
53	.057	.058	.060	.061	.062	.063	.064	.065	.066	.067	.068
54	.060	.061	.062	.063	.064	.065	.067	.068	.069	.070	.071
55	.062	.063	.064	.065	.066	.068	.069	.070	.071	.073	.074
56	.064	.065	.067	.068	.069	.070	.072	.073	.074	.075	.077
57	.067	.068	.069	.070	.072	.073	.075	.076	.077	.078	.080
58	.069	.070	.071	.073	.074	.076	.077	.078	.080	.081	.082
59	.072	.073	.074	.075	.077	.078	.080	.081	.083	.084	.085
60	.074	.076	.077	.078	.079	.081	.082	.084	.085	.086	.088
61	.076	.077	.079	.080	.082	.083	.085	.086	.088	.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	.093	.095	.096	.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	.108	.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	.128	.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	.125	.128	.130	.132	.134	.137	.139	.142	.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	-13.6	23.7	6.423	-11.5	27.4	2.470	-9.9
20.1	10.911	13.5	23.8	6.308	11.4	27.5	2.371	9.9
20.2	10.776	13.4	23.9	6.194	11.4	27.6	2.272	9.9
20.3	10.642	13.4	24.0	6.080	11.3	27.7	2.173	9.8
20.4	10.508	13.3	24.1	5.967	11.3	27.8	2.075	9.8
20.5	10.375	13.3	24.2	5.854	11.3	27.9	1.977	9.7
20.6	10.242	13.2	24.3	5.741	11.2	28.0	1.880	9.7
20.7	10.110	13.1	24.4	5.629	11.1	28.1	1.783	9.7
20.8	9.979	13.1	24.5	5.513	11.1	28.2	1.686	9.7
20.9	9.848	13.0	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	9.589	12.9	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	10.9	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	4.428	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	12.2	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	91	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	181	9.0
22.9	7.358	11.9	26.6	3.277	10.2	30.3	271	9.0
23.0	7.239	11.8	26.7	3.175	10.2	30.4	361	9.0
23.1	7.121	11.7	26.8	3.073	10.1	30.5	451	8.9
23.2	7.004	11.7	26.9	2.972	10.1	30.6	540	8.9
23.3	6.887	11.6	27.0	2.871	10.1	30.7	629	8.8
23.4	6.770	11.6	27.1	2.770	10.0	30.8	717	8.8
23.5	6.654	11.6	27.2	2.670	10.0	30.9	805	8.8
23.6	6.538	-11.5	27.3	2.570	-10.0	31.0	-893	-8.8
23.7	6.423		27.4	2.470				

表3 高度之改正係數表

t+r	C	每1°之 差數	t+r	C	每1°之 差數	t+r	C	每1°之 差數
0°	- .1024	10.9	60°	- .0380	10.7	120°	+ .0262	10.6
10	.0915	10.9	70	.0273	10.7	130	.0368	10.4
20	.0806	10.8	80	-.0166	10.7	140	.0472	10.3
30	-.0698	10.6	90	-.0056	10.8	150	-.0575	10.2
40	.0592	10.6	100	+ .0049	10.7	160	.0677	10.2
50	-.0486	10.6	110	-.0156	10.7	170	.0779	10.2
60	-.0380	10.6	120	+ .0262	10.8	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 -0.101 , 又在氣壓 29.0 吋及溫度 68°F 時, 得改正數為 -0.103 , 用中介法知氣壓 28.692 吋與溫度 68°F 時, 改正數應為 -0.102 (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 -0.105 , 今問題中之溫度為 68.5°F 。故改正數應為 -0.102 與 -0.105 之平均數, 即 -0.1035 , 除去三位以下小數, 則為 -0.103 。氣壓計之改正讀數乃為 28.589 吋。中介法稍經練習, 即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	1240	-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 1 佐治頓之鐵線

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。測樞之距離，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。測樞之長須約為 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 呎整數測站之測樞，須打至出地五吋以內。表示經緯儀站之測樞須打平地面，名為樞樞。另於樞右三呎處設一指示樞，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。測點樞之號數應書寫於樞之後方。水準班師經緯

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

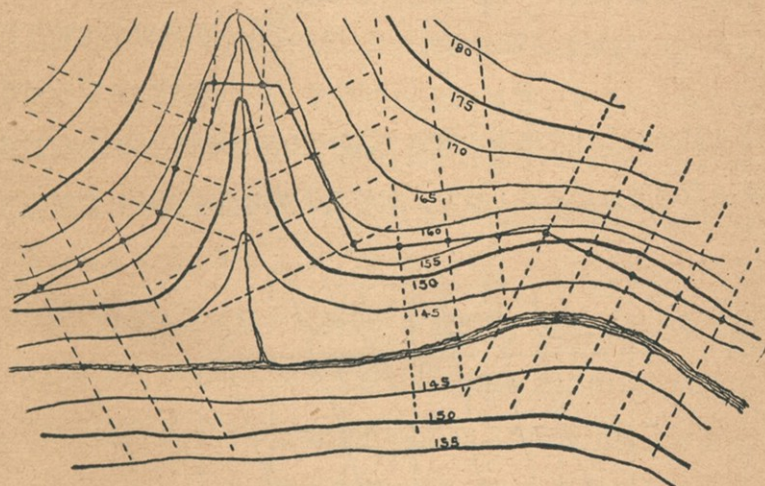


圖 2

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。今將水準尺擡向高處，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

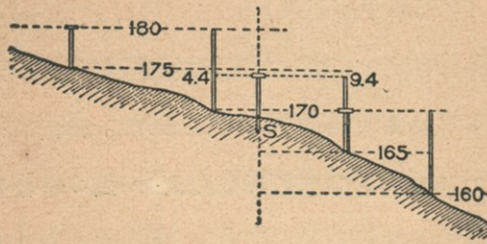


圖 3

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

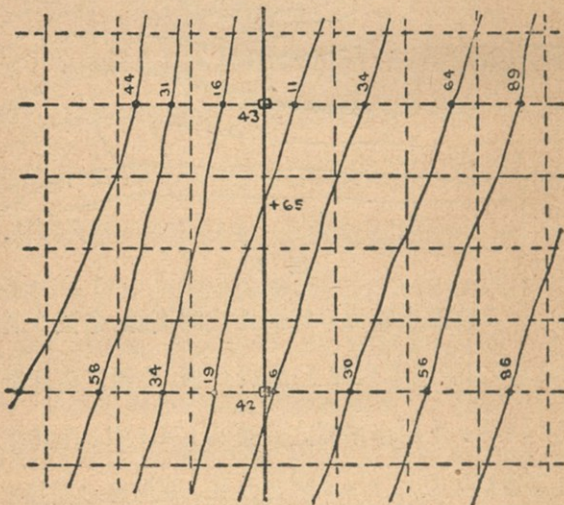


圖 4

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旋線，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

15. 路線之選擇 本國(指美國)多數鐵路之路線均係就地選定,且每每遵循初測時之中線,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%,同高綫之間距為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累積，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。磁針僅可特為參證之用，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，錘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.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 。

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

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

倒轉之成爲

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

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。

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

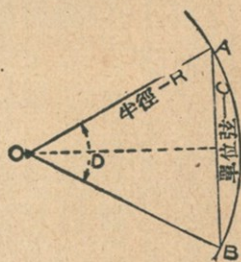


圖 5

表 4 曲線半徑表

度 分	0°		1°		2°		3°		度 分
	半徑	對數R	半徑	對數R	半徑	對數R	半徑	對數R	
0	∞	∞	5729.7	3.758128	2864.9	3.457115	1910.1	3.281051	0
1	343776	5.536274	5635.7	.750950	2841.3	.453511	1899.5	.278645	1
2	171887	5.235244	5544.8	.743888	2818.0	.449937	1889.1	.276258	2
3	114592	5.059153	5456.8	.736939	2795.1	.446392	1878.8	.273874	3
4	85944	4.934214	5371.6	.730100	2772.5	.442876	1868.6	.271508	4
5	68755	4.837304	5288.9	.723367	2750.4	.439388	1858.5	.269155	5
6	57296	4.758128	5208.8	3.716737	2728.5	3.435928	1848.5	3.266814	6
7	49111	.691176	5131.0	.710206	2707.0	.432495	1838.6	.264436	7
8	42972	.633184	5055.6	.703772	2685.9	.429099	1828.8	.262170	8
9	38197	.582031	4982.3	.697432	2665.1	.425710	1819.1	.259967	9
10	34377	.536274	4911.2	.691183	2644.6	.422356	1809.6	.257810	10
11	31252	4.494881	4842.0	3.685023	2624.4	3.419029	1800.1	3.255696	11
12	28648	.457093	4774.7	.678949	2604.5	.415727	1790.7	.253029	12
13	26444	.422331	4709.3	.672959	2584.9	.412449	1781.5	.250774	13
14	24555	.390146	4645.7	.667051	2565.6	.409197	1772.3	.248530	14
15	22918	.360183	4583.8	.661221	2546.6	.405968	1763.2	.246297	15
16	21486	4.332154	4523.4	3.655469	2527.9	3.402763	1754.2	3.244077	16
17	20222	.305825	4464.7	.649792	2509.5	.399582	1745.3	.241867	17
18	19099	.281002	4407.5	.644189	2491.3	.396424	1736.5	.239689	18
19	18093	.257521	4351.7	.638656	2473.4	.393289	1727.8	.237481	19
20	17189	.235244	4297.3	.633194	2455.7	.390176	1719.1	.235303	20
21	16370	4.214055	4244.2	3.627799	2438.3	3.387085	1710.6	3.233140	21
22	15626	.193852	4192.5	.622470	2421.1	.384016	1702.1	.230985	22
23	14947	.174547	4142.0	.617206	2404.2	.380969	1693.7	.228841	23
24	14324	.156064	4092.7	.612005	2387.5	.377943	1685.4	.226707	24
25	13751	.138333	4044.5	.606866	2371.0	.374938	1677.2	.224584	25
26	13222	4.121302	3997.5	3.601787	2354.8	3.371954	1669.1	3.222472	26
27	12732	.104911	3951.5	.596766	2338.8	.368990	1661.0	.220389	27
28	12278	.089117	3906.6	.591803	2323.0	.366046	1653.0	.218277	28
29	11854	.073877	3862.7	.586896	2307.4	.363122	1645.1	.216194	29
30	11459	.059154	3819.8	.582044	2292.0	.360217	1637.3	.214122	30
31	11090	4.044914	3777.9	3.577745	2276.8	3.357332	1629.5	3.212060	31
32	10743	.031125	3736.8	.572499	2261.9	.354468	1621.8	.210007	32
33	10417	.017782	3696.6	.567804	2247.1	.351618	1614.2	.207964	33
34	10111	4.004797	3657.3	3.563160	2232.5	3.348739	1606.7	3.205930	34
35	9822.2	3.992208	3618.8	3.558564	2218.1	3.345979	1599.2	3.203906	35
36	9549.3	3.979973	3581.1	3.554017	2203.9	3.343187	1591.8	3.201892	36
37	9291.3	.968074	3544.2	.549517	2189.8	.340412	1584.5	.199836	37
38	9046.7	.956493	3508.0	.545063	2176.0	.337655	1577.2	.197890	38
39	8814.8	.945212	3472.6	.540654	2162.3	.334919	1570.0	.195903	39
40	8594.4	.934216	3437.9	.536289	2148.8	.332193	1562.9	.193925	40
41	8384.8	3.923493	3403.8	3.531968	2135.4	3.329488	1555.8	3.191956	41
42	8185.2	.913027	3370.5	.527690	2122.3	.326799	1548.8	.189996	42
43	7994.8	.902808	3337.7	.523453	2109.2	.324127	1541.9	.188045	43
44	7813.1	.892824	3305.7	.519257	2096.4	.321471	1535.0	.186103	44
45	7639.5	.883065	3274.2	.515101	2083.7	.318832	1528.2	.184169	45
46	7473.4	3.873519	3243.3	3.510985	2071.1	3.316208	1521.4	3.182244	46
47	7314.4	.864179	3213.0	.506908	2058.7	.313600	1514.7	.180327	47
48	7162.0	.855036	3183.2	.502868	2046.5	.311008	1508.1	.178419	48
49	7015.9	.846082	3154.0	.498866	2034.4	.308431	1501.5	.176519	49
50	6875.6	.837308	3125.4	.494900	2022.4	.305869	1495.0	.174627	50
51	6740.7	3.828708	3097.2	3.490970	2010.6	3.303323	1488.5	3.172744	51
52	6611.1	.820275	3069.6	.487075	1998.9	.300791	1482.1	.170865	52
53	6486.4	.812002	3042.4	.483215	1987.3	.298274	1475.7	.169001	53
54	6366.3	.803885	3015.7	.479389	1975.9	.295771	1469.4	.167142	54
55	6250.5	.795916	2989.5	.475596	1964.6	.293283	1463.2	.165291	55
56	6138.9	3.788091	2963.7	3.471836	1953.5	3.290809	1457.0	3.163447	56
57	6031.2	.780404	2938.4	.468109	1942.4	.288349	1450.8	.161612	57
58	5927.2	.772851	2913.5	.464413	1931.5	.285902	1444.7	.159784	58
59	5826.8	.765427	2889.0	.460749	1920.7	.283470	1438.7	.157963	59
60	5729.7	.758128	2864.9	.457115	1910.1	.281051	1432.7	.156151	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	.154346	1142.5	.057846	952.72	.978966	817.08	.912263	1
2	1420.8	.152548	1138.7	.056407	950.09	.977768	815.14	.911234	2
3	1415.0	.150758	1134.9	.054972	947.48	.976569	813.22	.910208	3
4	1409.2	.148975	1131.2	.053542	944.88	.975375	811.30	.909183	4
5	1403.5	.147200	1127.5	.052116	942.29	.974185	809.40	.908162	5
6	1397.8	3.145431	1123.8	3.050696	939.72	2.972998	807.50	2.907142	6
7	1392.1	.143670	1120.2	.049280	937.16	.971814	805.61	.906125	7
8	1386.5	.141916	1116.5	.047868	934.62	.970633	803.73	.905111	8
9	1380.9	.140169	1112.9	.046482	932.09	.969456	801.86	.904098	9
10	1375.4	.138430	1109.3	.045059	929.57	.968282	800.00	.903089	10
11	1369.9	3.136697	1105.8	3.043662	927.07	2.967111	798.14	2.902081	11
12	1364.5	.134971	1102.2	.042268	924.58	.965943	796.30	.901076	12
13	1359.1	.133251	1098.7	.040880	922.10	.964778	794.46	.900073	13
14	1353.8	.131539	1095.2	.039495	919.64	.963616	792.63	.899073	14
15	1348.4	.129830	1091.7	.038115	917.19	.962458	790.81	.898074	15
16	1343.2	3.128134	1088.3	3.036740	914.75	2.961303	789.00	2.897078	16
17	1338.0	.126442	1084.8	.035368	912.33	.960150	787.20	.896085	17
18	1332.8	.124756	1081.4	.034002	909.92	.959001	785.40	.895094	18
19	1327.6	.123077	1078.1	.032639	907.52	.957855	783.62	.894104	19
20	1322.5	.121404	1074.7	.031281	905.13	.956711	781.84	.893118	20
21	1317.5	3.119738	1071.3	3.029927	902.76	2.955571	780.07	2.892133	21
22	1312.4	.118078	1068.0	.028577	900.40	.954434	778.31	.891151	22
23	1307.4	.116424	1064.7	.027231	898.05	.953300	776.55	.890171	23
24	1302.5	.114777	1061.4	.025890	895.71	.952168	774.81	.889193	24
25	1297.6	.113136	1058.2	.024552	893.39	.951040	773.07	.888217	25
26	1292.7	3.111501	1054.9	3.023219	891.08	2.949915	771.34	2.887244	26
27	1287.9	.109872	1051.7	.021890	888.78	.948792	769.61	.886272	27
28	1283.1	.108249	1048.5	.020565	886.49	.947673	767.90	.885303	28
29	1278.3	.106632	1045.3	.019244	884.21	.946556	766.19	.884336	29
30	1273.6	.105022	1042.1	.017927	881.95	.945442	764.49	.883371	30
31	1268.9	3.103417	1039.0	3.016614	879.69	2.944331	762.80	2.882409	31
32	1264.2	.101818	1035.9	.015305	877.45	.943223	761.11	.881448	32
33	1259.6	.100225	1032.8	.013999	875.22	.942118	759.43	.880494	33
34	1255.0	.098638	1029.7	.012698	873.00	.941015	757.76	.879534	34
35	1250.4	.097057	1026.6	.011401	870.79	.939916	756.10	.878580	35
36	1245.9	3.095481	1023.5	3.010107	868.60	2.938819	754.44	2.877627	36
37	1241.4	.093912	1020.5	.008818	866.41	.937725	752.80	.876678	37
38	1236.9	.092347	1017.5	.007532	864.24	.936633	751.16	.875730	38
39	1232.5	.090789	1014.5	.006250	862.07	.935545	749.52	.874784	39
40	1228.1	.089236	1011.5	.004972	859.92	.934459	747.89	.873840	40
41	1223.7	3.087688	1008.6	3.003698	857.78	2.933376	746.27	2.872898	41
42	1219.4	.086147	1005.6	.002427	855.65	.932295	744.66	.871959	42
43	1215.1	.084610	1002.7	.001160	853.53	.931218	743.06	.871021	43
44	1210.8	.083079	999.76	.000987	851.42	.930142	741.46	.870086	44
45	1206.6	.081553	996.87	.000837	849.32	.929077	739.86	.869152	45
46	1202.4	3.080333	993.99	2.997381	847.23	2.928000	738.28	2.868221	46
47	1198.2	.078518	991.13	.006129	845.15	.926933	736.70	.867291	47
48	1194.0	.077008	988.28	.004880	843.08	.925869	735.13	.866363	48
49	1189.9	.075504	985.45	.003635	841.02	.924807	733.56	.865438	49
50	1185.8	.074005	982.64	.002393	838.97	.923747	732.01	.864514	50
51	1181.7	3.072511	979.84	2.991155	836.93	2.922691	730.45	2.863593	51
52	1177.7	.071022	977.06	.001921	834.90	.921637	728.91	.862673	52
53	1173.6	.069538	974.29	.001630	832.89	.920585	727.37	.861755	53
54	1169.7	.068059	971.54	.001346	830.88	.919536	725.84	.860840	54
55	1165.7	.066585	968.81	.001063	828.88	.918489	724.31	.859926	55
56	1161.8	3.065116	966.09	2.995018	826.89	2.917446	722.79	2.859014	56
57	1157.9	.063653	963.39	.000880	824.91	.916404	721.28	.858104	57
58	1154.0	.062194	960.70	.000697	822.93	.915365	719.77	.857196	58
59	1150.1	.060740	958.02	.000517	820.97	.914329	718.27	.856290	59
60	1146.3	.059290	955.37	.000340	819.02	.913295	716.78	.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	2.855585	637.27	2.804327	573.69	2.758674	521.67	2.717397	0
1	715.29	.854483	636.10	.803525	572.73	.757932	520.88	.716742	1
2	713.81	.853583	634.93	.802724	571.78	.757232	520.10	.716093	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	.714761	4
5	709.40	.850892	631.44	.800332	568.96	.755079	517.76	.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	.752932	515.44	.712181	8
9	703.61	.847331	626.85	.797163	565.23	.752225	514.68	.711533	9
10	702.18	.846444	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	.709598	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	616.78	.790117	557.02	.745870	507.86	.705749	18
19	689.53	.838555	615.66	.789341	556.12	.745171	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	2.783943	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	604.88	.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	.779378	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	.732758	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	2.819852	592.40	2.772615	537.09	2.730045	491.26	2.691309	41
42	659.21	.819021	591.38	.771870	536.25	.729370	490.56	.690692	42
43	657.95	.818191	590.37	.771126	535.42	.728698	489.86	.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	.766689	530.49	.724674	485.73	.686398	49
50	649.27	.812428	583.38	.765955	529.67	.724008	485.05	.685788	50
51	648.05	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	.762299	525.64	.720689	481.67	.682751	55
56	642.02	2.807549	577.53	2.761572	524.84	2.720029	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	.718711	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	2.679735	14°	410.28	2.613076	16°	359.26	2.555415	21°	274.37	2.438337
	2477.02	.678535		2409.31	.612048		5357.42	.553173		10272.23	.434943
	4475.71	.677338		4408.34	.611023		10355.59	.550944		20270.13	.431575
	6474.40	.676145		6407.38	.610000		15353.77	.548726		30268.06	.428235
	8473.10	.674954		8406.42	.608980		20351.98	.546519		40266.02	.424921
10471.81	2.673767		10405.47	2.607962		25350.21	.544324		50264.02	.421633	
12470.53	.672584		12404.53	.606946		30348.45	2.542140	22°	262.04	2.418371	
14469.25	.671403		14403.58	.605933		35346.71	.539968		10260.10	.415134	
16467.73	.670226		16402.65	.604923		40344.99	.537806		20258.18	.411922	
18466.72	.669052		18401.71	.603914		45343.29	.535655		30256.29	.408734	
20465.46	2.667881		20400.78	2.602908		50341.60	.533516		40254.43	.405571	
22464.21	.666713		22399.86	.601905		55339.93	.531388		50252.60	.402431	
24462.97	.665549		24398.94	.600904	17°	338.27	2.529268	23°	250.79	2.399315	
26461.73	.664388		26398.02	.599905		5338.64	.527160		10249.01	.396222	
28460.50	.663229		28397.11	.598908		10335.01	.525062		20247.26	.393151	
30459.28	2.662074		30396.20	2.597914		15333.41	.522975		30245.53	.390103	
32458.06	.660922		32395.30	.596922		20331.82	.520898		40243.82	.387077	
34456.85	.659773		34394.40	.595933		25330.24	.518831		50242.14	.384073	
36455.65	.658628		36393.50	.594945	30°	328.68	2.516774	24°	240.49	2.381091	
38454.45	.657485		38392.61	.593960		35327.13	.514727		10238.85	.378130	
40453.26	2.656345		40391.72	2.592978		40325.60	.512690		20237.24	.375190	
42452.07	.655208		42390.84	.591997		45324.09	.510662		30235.65	.372270	
44450.89	.654075		44389.96	.591019		50322.50	.508645		40234.08	.369371	
46449.72	.652944		46389.08	.590043		55321.10	.506636		50232.54	.366492	
48448.56	.651816		48388.21	.589069	18°	319.62	2.504638	25°	231.01	2.363633	
50447.40	2.650691		50387.34	2.588097		5318.16	.502647		30228.55	.355173	
52446.24	.649570		52386.48	.587128		10316.71	.500668	26°	222.27	.346882	
54445.09	.648451		54385.62	.586161		15315.28	.498697		30218.15	.338755	
56443.95	.647335		56384.77	.585196		20313.86	.496736	27°	214.18	2.330785	
58442.81	.646221		58383.91	.584233		25312.45	.494783		30210.36	.322967	
13°	441.68	2.645111	15°	383.06	2.583272	30°	311.06	2.492839	28°	206.68	.315295
	2440.56	.644004		2382.22	.582314		35309.67	.490994		30203.13	.307764
	4439.44	.642899		4381.38	.581357		40308.30	.488978	29°	199.70	2.300370
	6438.33	.641799		6380.54	.580403		45306.95	.487061		30196.38	.293108
	8437.22	.640698		8379.71	.579451		50305.60	.485152	30°	193.19	.285974
	10436.12	2.639603	10378.88	2.578501		55304.27	.483252	30	190.09	.278963	
	12435.02	.638510	12378.05	.577553	19°	302.94	2.481361	31°	187.10	2.272071	
	14433.93	.637419	14377.23	.576608		5301.63	.479478		32181.40	.258632	
	16432.84	.636331	16376.41	.575664		10300.33	.477603	33	176.05	.245628	
	18431.76	.635246	18375.60	.574722		15299.04	.475736	34	171.02	.233035	
	20430.69	2.634164	20374.79	2.573783		20297.77	.473878	35	166.28	.220828	
	22429.62	.633085	22373.98	.572845		25296.50	.472028	36	161.80	2.208988	
	24428.56	.632008	24373.17	.571910		30295.25	.470186	37	157.58	.197494	
	26427.50	.630934	26372.37	.570977		35294.00	.468352	38	153.58	.186328	
	28426.44	.629863	28371.57	.570045		40292.77	.466526	39	149.79	.175475	
	30425.40	2.628794	30370.78	2.569116		45291.55	.464708	40	146.19	.164918	
	32424.35	.627728	32369.99	.568189		50290.33	.462897	41	142.77	2.154645	
	34423.32	.626664	34369.20	.567264		55289.13	.461095	42	139.52	.144641	
	36422.28	.625604	36368.42	.566340	20°	287.94	2.459300	43	136.43	.134895	
	38421.26	.624546	38367.64	.565419		5288.76	.457512	44	133.47	.125395	
	40420.23	2.623490	40366.86	2.564500		10285.58	.455733	45	130.66	.116130	
	42419.22	.622437	42366.09	.563583		15284.42	.453960	46	127.97	2.107092	
	44418.20	.621387	44365.31	.562667		20283.27	.452195	47	125.39	.098270	
	46417.19	.620339	46364.55	.561754		25282.12	.450438	48	122.93	.089657	
	48416.10	.619294	48363.78	.560842		30280.99	2.448688	49	120.57	.081243	
	50415.19	2.618251	50363.02	2.559933		35279.86	.446945	50	118.31	.073022	
	52414.20	.617211	52362.26	.559026		40278.75	.445209	52	114.06	2.057128	
	54413.21	.616173	54361.51	.558120		45277.64	.443480	54	110.13	.041923	
	56412.23	.615138	56360.76	.557216		50276.54	.441759	56	106.50	.027356	
	58411.25	.614106	58360.01	.556315		55275.45	.440044	58	103.13	.013359	
14°	410.28	2.613076	16°	359.26	2.555415	21°	274.37	2.438337	60	100.00	2.000000

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

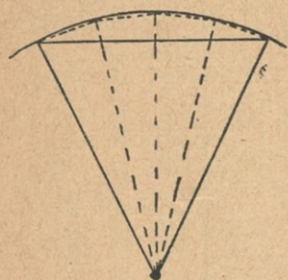


圖 6

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爲略長，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，稍大於一時。

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

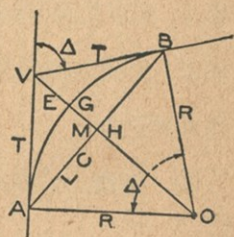


圖 7.

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。

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

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

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

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

（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。由附圖中稍加視察，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 $\frac{1}{8}$ 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 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.
1°	50.00	0.218	100.00	11°	551.70	26.500	1098.3	21°	1061.9	97.58	2088.3
10'	58.34	0.297	116.67	10	560.11	27.818	1114.3	10	1070.6	99.15	2104.7
20'	66.67	0.388	133.33	20	568.53	28.137	1131.5	20	1079.2	100.75	2121.1
30'	75.01	0.491	150.00	30	576.95	28.974	1148.1	30	1087.8	102.35	2137.4
40'	83.34	0.606	166.66	40	585.38	29.824	1164.7	40	1096.4	103.97	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°	1113.7	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	678.15	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	43.029	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	45.116	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	1279.0	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	146.79	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	2577.9
10'	308.64	8.307	616.38	10	813.75	57.498	1611.3	10	1331.6	152.69	2594.2
20'	316.99	8.762	633.02	20	822.25	58.699	1627.8	20	1340.4	154.69	2610.5
30'	325.35	9.230	649.66	30	830.76	59.914	1644.3	30	1349.2	156.70	2626.8
40'	333.71	9.710	666.30	40	839.27	61.141	1660.8	40	1358.0	158.72	2643.1
50'	342.08	10.202	682.94	50	847.78	62.381	1677.3	50	1366.8	160.76	2659.4
7°	350.44	10.707	699.57	17°	856.30	63.634	1693.8	27°	1375.6	162.81	2675.7
10'	358.81	11.224	716.21	10	864.82	64.900	1710.3	10	1384.4	164.87	2692.0
20'	367.17	11.753	732.84	20	873.35	66.178	1726.8	20	1393.2	166.95	2708.3
30'	375.54	12.294	749.47	30	881.88	67.470	1743.2	30	1402.0	169.04	2724.6
40'	383.91	12.847	766.10	40	890.41	68.774	1759.7	40	1410.9	171.15	2740.9
50'	392.28	13.413	782.73	50	898.95	70.091	1776.2	50	1419.7	173.27	2757.2
8°	400.66	13.991	799.36	18°	907.49	71.421	1792.6	28°	1428.6	175.41	2773.5
10'	409.03	14.582	815.99	10	916.03	72.764	1809.1	10	1437.4	177.55	2789.8
20'	417.41	15.184	832.61	20	924.58	74.119	1825.5	20	1446.3	179.72	2806.1
30'	425.79	15.799	849.23	30	933.13	75.488	1842.0	30	1455.1	181.89	2822.4
40'	434.17	16.426	865.85	40	941.69	76.869	1858.4	40	1464.0	184.08	2838.7
50'	442.55	17.066	882.47	50	950.25	78.264	1874.9	50	1472.9	186.29	2855.0
9°	450.93	17.717	899.09	19°	958.81	79.671	1891.3	29°	1481.8	188.51	2871.2
10'	459.32	18.381	915.70	10	967.38	81.092	1907.8	10	1490.7	190.74	2887.5
20'	467.71	19.058	932.31	20	975.96	82.525	1924.2	20	1499.6	192.99	2903.8
30'	476.10	19.746	948.92	30	984.53	83.972	1940.6	30	1508.5	195.25	2920.1
40'	484.49	20.444	965.53	40	993.12	85.431	1957.1	40	1517.4	197.53	2936.4
50'	492.88	21.161	982.14	50	1001.70	86.904	1973.5	50	1526.3	199.82	2952.7
10°	501.28	21.886	998.74	20°	1010.29	88.389	1989.9	30°	1535.3	202.12	2969.0
10'	509.68	22.624	1015.35	10	1018.89	89.888	2006.3	10	1544.2	204.44	2985.3
20'	518.08	23.375	1031.95	20	1027.49	91.399	2022.7	20	1553.1	206.77	2998.1
30'	526.48	24.138	1048.54	30	1036.09	92.924	2039.1	30	1562.1	209.12	3014.4
40'	534.89	24.913	1065.14	40	1044.70	94.462	2055.5	40	1571.0	211.48	3030.7
50'	543.29	25.700	1081.73	50	1053.31	96.013	2071.9	50	1580.0	213.86	3047.0
11°	551.70	26.500	1098.33	21°	1061.93	97.577	2088.3	31°	1589.0	216.25	3063.3

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°	1589.0	216.25	3062.4	41°	2142.2	357.38	4013.1	51°	2732.9	618.39	4933.4
10	1598.0	218.66	3078.4	10	2151.7	390.71	4028.7	10	2743.1	622.81	4948.4
20	1606.9	221.08	3094.5	20	2161.2	394.06	4044.3	20	2753.4	627.24	4963.4
30	1615.9	223.51	3110.5	30	2170.8	397.43	4059.9	30	2763.7	631.69	4978.4
40	1624.9	225.96	3126.6	40	2180.3	400.82	4075.5	40	2773.9	636.16	4993.4
50	1633.9	228.42	3142.6	50	2189.9	404.22	4091.1	50	2784.2	640.66	5008.4
32°	1643.0	230.90	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	5068.3
40	1679.1	240.96	3222.6	40	2237.7	421.48	4168.8	40	2835.9	663.42	5083.3
50	1688.1	243.52	3238.6	50	2247.3	424.98	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	672.66	5113.1
10	1706.3	248.66	3270.6	10	2266.6	432.04	4215.3	10	2867.1	677.32	5128.0
20	1715.3	251.26	3286.6	20	2276.2	435.59	4230.8	20	2877.5	681.99	5142.9
30	1724.4	253.87	3302.5	30	2285.9	439.16	4246.3	30	2888.0	686.68	5157.8
40	1733.5	256.50	3318.5	40	2295.6	442.75	4261.8	40	2898.4	691.40	5172.7
50	1742.6	259.14	3334.4	50	2305.2	446.35	4277.3	50	2908.9	696.13	5187.6
34°	1751.7	261.80	3350.4	44°	2314.9	449.98	4292.7	54°	2919.4	700.89	5202.4
10	1760.8	264.47	3366.3	10	2324.6	453.62	4308.2	10	2929.9	705.68	5217.3
20	1770.0	267.16	3382.2	20	2334.3	457.27	4323.6	20	2940.4	710.48	5232.1
30	1779.1	269.86	3398.2	30	2344.1	460.95	4339.0	30	2951.0	715.28	5246.9
40	1788.2	272.58	3414.1	40	2353.8	464.64	4354.5	40	2961.5	720.11	5261.7
50	1797.4	275.31	3430.0	50	2363.5	468.35	4369.9	50	2972.1	724.97	5276.5
35°	1806.6	278.05	3445.9	45°	2373.3	472.08	4385.3	55°	2982.7	729.85	5291.3
10	1815.7	280.82	3461.8	10	2383.1	475.82	4400.7	10	2993.3	734.76	5306.1
20	1824.9	283.60	3477.7	20	2392.8	479.59	4416.1	20	3003.9	739.68	5320.9
30	1834.1	286.39	3493.5	30	2402.6	483.37	4431.4	30	3014.5	744.62	5335.6
40	1843.3	289.20	3509.4	40	2412.4	487.18	4446.8	40	3025.2	749.59	5350.4
50	1852.5	292.02	3525.3	50	2422.3	490.98	4462.2	50	3035.8	754.57	5365.1
36°	1861.7	294.86	3541.1	46°	2432.1	494.82	4477.5	56°	3046.5	759.58	5379.8
10	1870.9	297.72	3557.0	10	2441.9	498.67	4492.8	10	3057.2	764.61	5394.5
20	1880.1	300.59	3572.8	20	2451.8	502.54	4508.2	20	3067.9	769.66	5409.2
30	1889.4	303.47	3588.6	30	2461.7	506.42	4523.5	30	3078.7	774.73	5423.9
40	1898.6	306.37	3604.5	40	2471.5	510.33	4538.8	40	3089.4	779.83	5438.6
50	1907.9	309.29	3620.3	50	2481.4	514.25	4554.1	50	3100.2	784.94	5453.3
37°	1917.1	312.22	3636.1	47°	2491.3	518.20	4569.4	57°	3110.9	790.08	5467.9
10	1926.4	315.17	3651.9	10	2501.2	522.18	4584.7	10	3121.7	795.24	5482.5
20	1935.7	318.13	3667.7	20	2511.2	526.18	4599.9	20	3132.6	800.42	5497.2
30	1945.0	321.11	3683.5	30	2521.1	530.13	4615.2	30	3143.4	805.62	5511.8
40	1954.3	324.11	3699.3	40	2531.1	534.15	4630.4	40	3154.2	810.85	5526.4
50	1963.6	327.12	3715.0	50	2541.0	538.18	4645.7	50	3165.1	816.10	5541.0
38°	1972.9	330.15	3730.8	48°	2551.0	542.23	4660.9	58°	3176.0	821.37	5555.6
10	1982.2	333.19	3746.5	10	2561.0	546.30	4676.1	10	3186.8	826.66	5570.2
20	1991.5	336.25	3762.3	20	2571.0	550.39	4691.3	20	3197.8	831.98	5584.7
30	2000.9	339.32	3778.0	30	2581.0	554.50	4706.5	30	3208.8	837.31	5599.3
40	2010.2	342.41	3793.8	40	2591.1	558.63	4721.7	40	3219.7	842.67	5613.8
50	2019.6	345.52	3809.5	50	2601.1	562.77	4736.9	50	3230.7	848.06	5628.3
39°	2029.0	348.64	3825.2	49°	2611.2	566.94	4752.1	59°	3241.7	853.46	5642.8
10	2038.4	351.78	3840.9	10	2621.2	571.12	4767.3	10	3252.7	858.89	5657.3
20	2047.8	354.94	3856.6	20	2631.3	575.32	4782.4	20	3263.7	864.34	5671.8
30	2057.2	358.11	3872.3	30	2641.4	579.54	4797.5	30	3274.8	869.82	5686.3
40	2066.6	361.29	3888.0	40	2651.5	583.78	4812.7	40	3285.8	875.32	5700.8
50	2076.0	364.50	3903.6	50	2661.6	588.04	4827.8	50	3296.9	880.84	5715.2
40°	2085.4	367.72	3919.3	50°	2671.8	592.32	4842.9	60°	3308.0	886.38	5729.7
10	2094.9	370.95	3935.0	10	2681.9	596.62	4858.0	10	3319.1	891.95	5744.1
20	2104.3	374.20	3950.6	20	2692.1	600.93	4873.1	20	3330.3	897.54	5758.5
30	2113.8	377.47	3966.3	30	2702.3	605.27	4888.2	30	3341.4	903.15	5772.9
40	2123.3	380.76	3981.9	40	2712.5	609.62	4903.2	40	3352.6	908.79	5787.3
50	2132.7	384.06	3997.5	50	2722.7	614.00	4918.3	50	3363.8	914.45	5801.7
41°	2142.2	387.38	4013.1	51°	2732.9	618.39	4933.4	61°	3375.0	920.14	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	5816.0	68°	3864.7	1181.6	6408.0	75°	4396.5	1492.4	6976.0
10'	3386.3	925.85	5830.4	10	3876.8	1188.4	6421.8	10	4409.8	1500.5	6989.2
20	3397.5	931.58	5844.7	20	3889.0	1195.2	6435.6	20	4423.1	1508.6	7002.4
30	3408.8	937.34	5859.1	30	3901.2	1202.0	6449.4	30	4436.4	1516.7	7015.6
40	3420.1	943.12	5873.4	40	3913.4	1208.9	6463.1	40	4449.7	1524.9	7028.8
50	3431.4	948.92	5887.7	50	3925.6	1215.8	6476.9	50	4463.1	1533.1	7041.9
62°	3442.7	954.75	5902.0	69°	3937.9	1222.7	6490.6	76°	4476.5	1541.4	7055.0
10	3454.1	960.60	5916.3	10	3950.2	1229.7	6504.4	10	4489.9	1549.7	7068.2
20	3465.4	966.48	5930.5	20	3962.5	1236.7	6518.1	20	4503.4	1558.0	7081.3
30	3476.8	972.39	5944.8	30	3974.8	1243.7	6531.8	30	4516.9	1566.3	7094.4
40	3488.2	978.31	5959.0	40	3987.2	1250.8	6545.5	40	4530.4	1574.7	7107.5
50	3499.7	984.27	5973.3	50	3999.5	1257.9	6559.1	50	4544.0	1583.1	7120.5
63°	3511.1	990.24	5987.5	70°	4011.9	1265.0	6572.8	77°	4557.6	1591.6	7133.6
10	3522.6	996.24	6001.7	10	4024.4	1272.1	6586.4	10	4571.2	1600.1	7146.6
20	3534.1	1002.3	6015.9	20	4036.8	1279.3	6600.1	20	4584.8	1608.6	7159.6
30	3545.6	1008.3	6030.0	30	4049.3	1286.5	6613.7	30	4598.5	1617.1	7172.6
40	3557.2	1014.4	6044.2	40	4061.8	1293.7	6627.3	40	4612.2	1625.7	7185.6
50	3568.7	1020.5	6058.4	50	4074.4	1300.9	6640.9	50	4626.0	1634.4	7198.6
64°	3580.3	1026.6	6072.5	71°	4086.9	1308.2	6654.4	78°	4639.8	1643.0	7211.6
10	3591.9	1032.8	6086.6	10	4099.5	1315.5	6668.0	10	4653.6	1651.7	7224.5
20	3603.5	1039.0	6100.7	20	4112.1	1322.9	6681.6	20	4667.4	1660.5	7237.4
30	3615.1	1045.2	6114.8	30	4124.8	1330.3	6695.1	30	4681.3	1669.2	7250.4
40	3626.8	1051.4	6128.9	40	4137.4	1337.7	6708.6	40	4695.2	1678.1	7263.3
50	3638.5	1057.7	6143.0	50	4150.1	1345.1	6722.1	50	4709.2	1686.9	7276.1
65°	3650.2	1063.9	6157.1	72°	4162.8	1352.6	6735.6	79°	4723.2	1695.8	7289.0
10	3661.9	1070.2	6171.1	10	4175.6	1360.1	6749.1	10	4737.2	1704.7	7301.9
20	3673.7	1076.6	6185.2	20	4188.4	1367.6	6762.5	20	4751.2	1713.7	7314.7
30	3685.4	1082.9	6199.2	30	4201.2	1375.2	6776.0	30	4765.3	1722.7	7327.5
40	3697.2	1089.3	6213.2	40	4214.0	1382.8	6789.4	40	4779.4	1731.7	7340.3
50	3709.0	1095.7	6227.2	50	4226.8	1390.4	6802.8	50	4793.6	1740.8	7353.1
66°	3720.9	1102.2	6241.2	73°	4239.7	1398.0	6816.3	80°	4807.7	1749.9	7365.9
10	3732.7	1108.6	6255.2	10	4252.6	1405.7	6829.8	10	4822.0	1759.0	7378.7
20	3744.6	1115.1	6269.1	20	4265.6	1413.5	6843.0	20	4836.2	1768.2	7391.4
30	3756.5	1121.7	6283.1	30	4278.5	1421.2	6856.4	30	4850.5	1777.4	7404.1
40	3768.5	1128.2	6297.0	40	4291.5	1429.0	6869.7	40	4864.8	1786.7	7416.8
50	3780.4	1134.8	6310.9	50	4304.6	1436.8	6883.1	50	4879.2	1796.0	7429.5
67°	3792.4	1141.4	6324.8	74°	4317.6	1444.6	6896.4	81°	4893.6	1805.3	7442.2
10	3804.4	1148.0	6338.7	10	4330.7	1452.5	6909.7	10	4908.0	1814.7	7454.9
20	3816.4	1154.7	6352.6	20	4343.8	1460.4	6923.0	20	4922.5	1824.1	7467.5
30	3828.4	1161.3	6366.4	30	4356.9	1468.4	6936.2	30	4937.0	1833.6	7480.2
40	3840.5	1168.1	6380.3	40	4370.1	1476.4	6949.5	40	4951.5	1843.1	7492.8
50	3852.6	1174.8	6394.1	50	4383.3	1484.4	6962.8	50	4966.1	1852.6	7505.4
68°	3864.7	1181.6	6408.0	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	.06	.06	.003	.13	.10	.004	.17	.13	.006	.25
20	.06	.005	.12	.13	.021	.25	.19	.017	.38	.26	.022	.51
30	.09	.012	.18	.19	.025	.37	.29	.038	.56	.39	.051	.75
40	.13	.022	.24	.26	.046	.49	.40	.070	.74	.53	.093	1.00
50	.16	.036	.30	.34	.075	.61	.51	.112	.92	.68	.151	1.23
60	.20	.054	.35	.42	.111	.72	.65	.168	1.09	.84	.225	1.48
70	.24	.077	.40	.50	.159	.83	.76	.240	1.25	1.02	.321	1.67
80	.29	.107	.45	.60	.220	.93	.91	.332	1.40	1.22	.455	1.87
90	.35	.145	.49	.72	.298	1.02	1.09	.451	1.54	1.46	.603	2.06

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

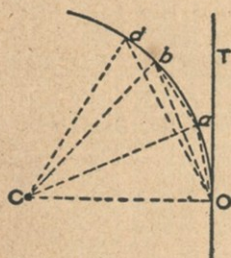


圖 8

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

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

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

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 為一零弦，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上之零數站。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

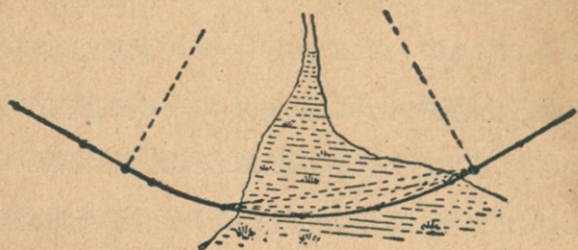


圖 9

切線上量出 Oa'' ，次乃於支距方向量出 $a''a$ 。再次量出 $aa (= a''a)$ ，使 aa' 垂直於 Oa' ，延長 Oa' 至 b 。 $Oa'' = Oa' = a'b$ ， b 點遂因以設定，

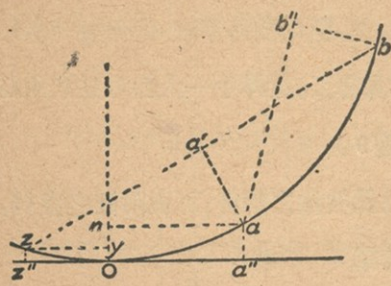


圖 12

c, d 等點準此。如圖 12, an 為 Oa 弧兩倍之長弦之半, On 為其矢高。同樣計算 zy 與 $z''z$ ，於地面測設 a 與 z 點。與通常情形相同, 計算 aa' 及 $za' (= a'b)$; 同前法設定 b 點。

(d) 應用長弦之支距 此法所據之幾何學理, 觀察圖 13 自明, 此圖表示曲線之普通情形, 其起點與終點均有零弦一段。

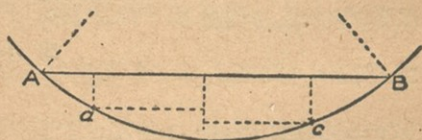


圖 13

以上所述方法, 在數理上均屬完備, 但曲線之測設如無經緯儀為之助, 除非特別審慎, 其結果恆難準確。

27. 定線之障礙 與上節相同, 各問題均僅屬幾何及三角法之簡單應用, 工程師應相機選用最適宜之解法。

(a) 頂點不能達到之時 切線每因某種條件而確定, 但切線之交點有時適在房屋之內, 或在無法安設經緯儀之地點。如圖 14 所示之例, 切線之位置, 由 a, b, n, m 諸點而定。量出 baV 與 abV 兩角, 及距離 ab , 則三角形 abV 可以分解, aV 與 bV 距離可以求得。外角 V 為 a, b 兩角之和, 又等於中心角 Δ 。若半徑長度業已決

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。

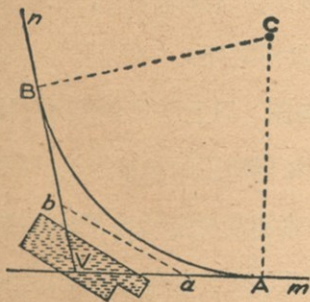


圖 14

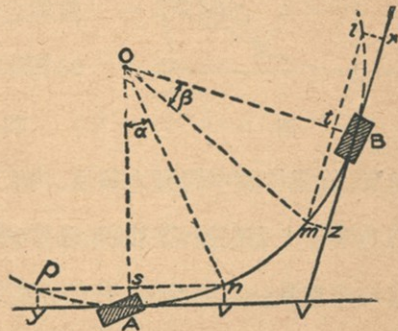


圖 15

(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，照平常方法將曲線延至 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，

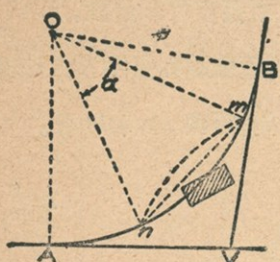


圖 16

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
$aV = ab \frac{\sin 34^\circ 22'}{\sin 58^\circ 40'}$	$aV = 314.74$ 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
	2.36068

$$bV = 229.45$$

$$\text{切線距 } BV = 920.04$$

$$bB = 690.59$$

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 線不致遭遇 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 $AA' = BB' = VV' = OO'$ 。

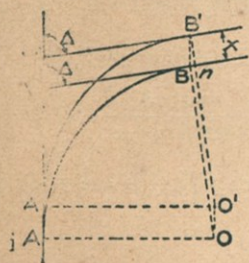


圖 17

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

(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 。

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

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

$$R' = R + mB = R + \frac{B'r}{\text{vers } B'm B}$$

$$= R + \frac{x'}{\text{vers } \Delta} \dots\dots(13)$$

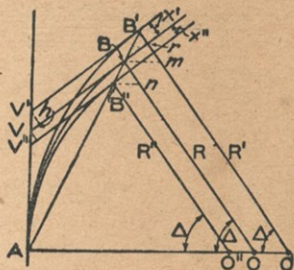


圖 18

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 ;

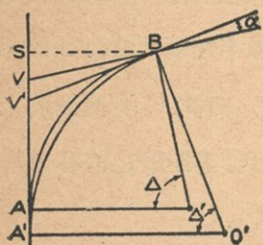


圖 19

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

$$AA' = A's - As$$

$$= R' \sin \Delta' - R \sin \Delta \dots\dots(15)$$

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')

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

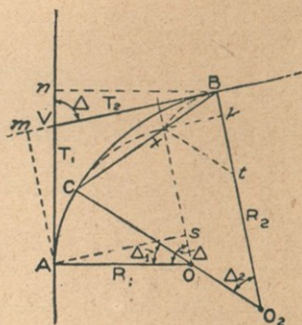


圖 20

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

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

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

$$Am = Bk + xs。$$

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

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。

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

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

33. 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

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

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

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

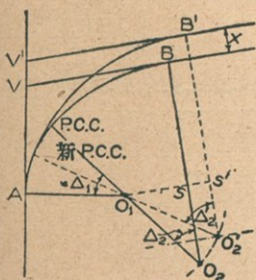


圖 21

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

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

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

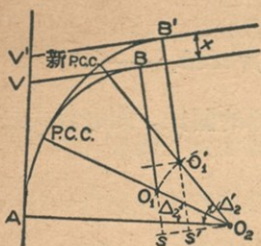


圖 22

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 。

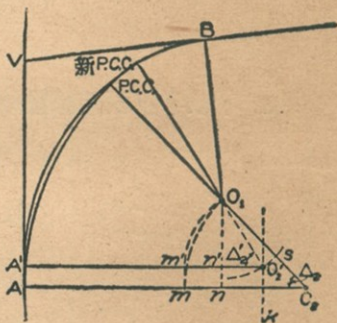


圖 23

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

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

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

$$AA' = O_1n - O_1n' = (R_2 - R_1) \sin \Delta_2 - (R_2' - R_1) \sin \Delta_2' \quad \text{-----} (23)$$

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_1' 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 $2^\circ 30'$ 曲線變更為 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。



461.01
3231-5 02225

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。

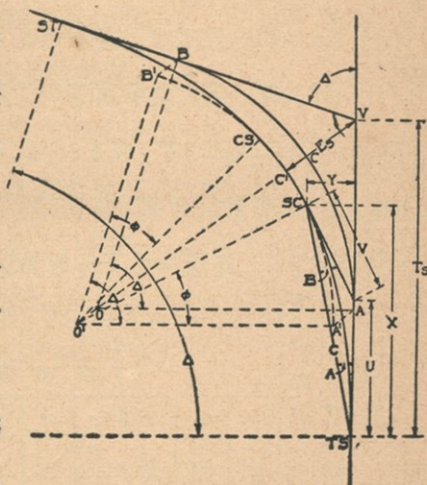


圖 24

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

(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 $S = 10s$ ， $a_1 = 10 \left(\frac{D}{10s} \right) s^2 = Ds$ ，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)。

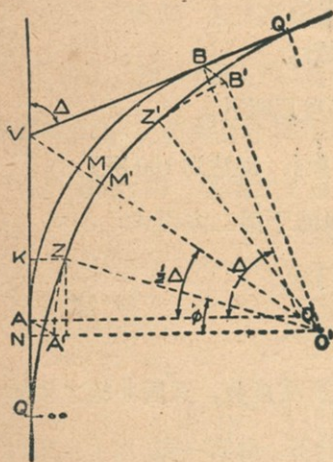


圖 25

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。曲線 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	.666 678	.333 343	24	.672 943	.339 061
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	.344 346
11	.667 968	.334 519	34	.679 478	.345 050
12	.668 216	.334 746	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	.671 926	.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	.999 993	.002 909
1 0	0 20 00	.999 987	.999 970	.005 818
30	0 30 00	.999 970	.999 932	.008 726
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	.999 788	.999 515	.023 263
30	1 30 00	.999 729	.999 387	.026 169
5 00	1 40 00	.999 666	.999 243	.029 073
30	1 50 00	.999 596	.999 084	.031 977
6 00	1 59 59	.999 519	.998 810	.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	.997 566	.994 494	.078 233
14 00	4 39 52	.997 383	.994 079	.081 106
30	4 49 51	.997 192	.993 650	.083 977
15 00	4 59 50	.996 996	.993 206	.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)

螺旋角度 之總和 ϕ	A	$\frac{C}{L}$	$\frac{X}{L}$	$\frac{Y}{L}$
22° 30'	7° 29' 26"	.993 248	.984 772	.129 483
23 00	7 39 24	.992 946	.984 093	.132 298
30	7 49 21	.992 636	.983 399	.135 105
24 00	7 59 19	.992 321	.982 691	.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	.990 612	.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	.160 178
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	.182 118
30	10 48 18	.985 948	.968 468	.184 833
33 00	10 58 13	.985 514	.967 504	.187 544
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	.209 014
30	12 27 28	.981 321	.958 221	.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。

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

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

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

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

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

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

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

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

$$VM' = VM + MM'$$

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

$$AQ = VQ - AV$$

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

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

$$\phi = \frac{DL}{200} = \frac{6 \times 240}{200} = 7^\circ.2 = 7^\circ 12'$$

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'	<u>7.89682</u>
	<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
	m = <u>2.587</u>	
	VM' = 32.408	
式 26	nat. tan $\frac{1}{2}\Delta = 0.25180$	
	nat. sin $\phi = \underline{0.12533}$	
	0.12647	<u>9.10198</u>
	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. 舊軌道間螺線之插入 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。

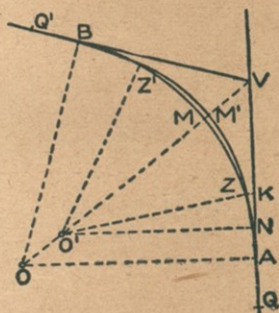


圖 26

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

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

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

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

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

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

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

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

新軌道之長度由 Q 至 Q' 爲 $2L + 100 \frac{\Delta - 2\phi}{D'}$ (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
		<hr style="width: 100%;"/>
119.709		2.07812
		<hr style="width: 100%;"/>
	R'	2.95671
	$\cos 7^\circ 36'$	9.99617
	$\tan \frac{1}{2} \Delta$	9.55909
		<hr style="width: 100%;"/>
325.069		2.51197
		<hr style="width: 100%;"/>
	$R = 955.37$	
	$y = 10.60$	
		<hr style="width: 100%;"/>

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

$$AQ = 102.630$$

自 Q 至 Q' 舊曲線之長度為

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

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

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

自 Q 至 Q' 新曲線之長度為

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

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

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

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

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。

為說明二次試算法計，假定尚須更精密之 R' ，所應注意者，前次算出之新曲線略似短小。若 R' 稍縮（假定 $D' = 6^\circ 20'$ 改為 $6^\circ 24'$ ），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。

修正之舊線長度為

862.343

修正之新線長度爲 862.395

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>
	<u>1.78373</u>
60.776	
$R' = 905.13$	
<u>965.906</u>	R' 2.95671
	$\cos \phi$ 9.99617
	$\sec \frac{1}{2} \Delta$ <u>0.02678</u>
954.255	<u>2.97966</u>
	$\log x =$ 1.02530
	$\sec \frac{1}{2} \Delta =$ <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

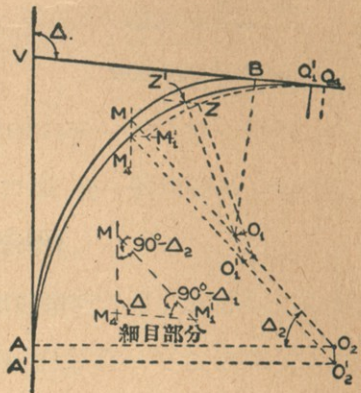


圖 27

MM_4 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

$$M_1'M_4 = MM_1' \frac{\sin M_1'MM_4}{\sin M_1'M_4M} = m_1 \frac{\sin(90^\circ - \Delta_2)}{\sin \Delta}$$

$$= m_1 \frac{\cos \Delta_2}{\sin \Delta} \dots \dots \dots (32)$$

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

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

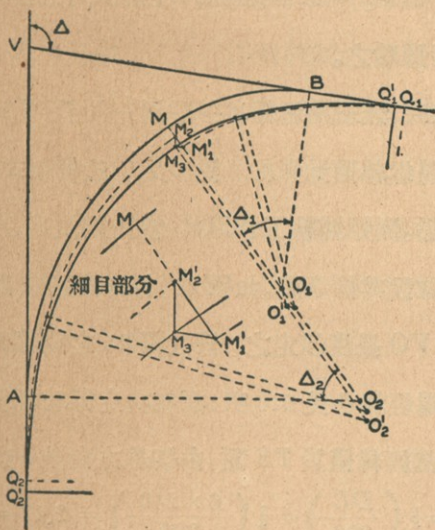


圖 28

$\Delta_1 \Delta_2$ 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:

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

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

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，應使此曲線具 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

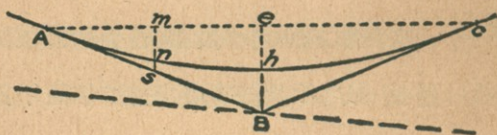


圖 29

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

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

但因 eh 為一常數。 $(Ae)^2$ 亦係常數，故可謂為垂直曲線上任何點至切線之距離為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 之測站為 $15+40$ ； AB 坡度為 -0.6% ， BC 坡度為 $+0.8\%$ 。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 點之高度為 152.50；則 A 點之高度應為 $152.50 + (7 \times 0.6) = 156.7$ 。同理 C 點之高度為 158.1。 e 點之高度為 A, C 兩點高度之平均數，故為 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 × 0.6)	= 156.70
9	= 156.70 - (0.6 × 0.6) + .000005 × 60 ²	= 156.36
10	= 156.70 - (1.6 × 0.6) + .000005 × 160 ²	= 155.87
11	= 156.70 - (2.6 × 0.6) + .000005 × 260 ²	= 155.48
12	= 156.70 - (3.6 × 0.6) + .000005 × 360 ²	= 155.19
13	= 156.70 - (4.6 × 0.6) + .000005 × 460 ²	= 155.00
14	= 156.70 - (5.6 × 0.6) + .000005 × 560 ²	= 154.91
15	= 156.70 - (6.6 × 0.6) + .000005 × 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 $\frac{1}{16} eh$;

$\frac{1}{4}$ 點為 $\frac{1}{4} eh$; $\frac{3}{4}$ 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，為簡便計，立距常定為 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，側坡可為垂直面，如石質開挖後經過風化而有碎落之虞，則坡度可為 $\frac{1}{2}$: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。

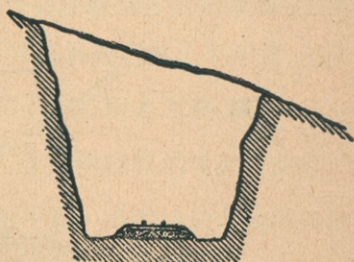
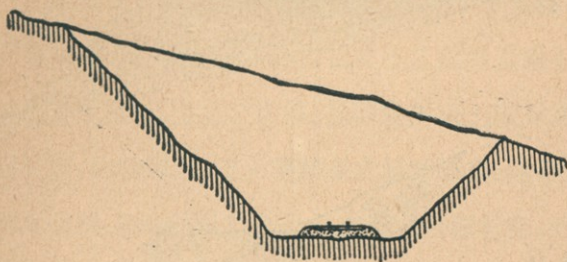


圖 30

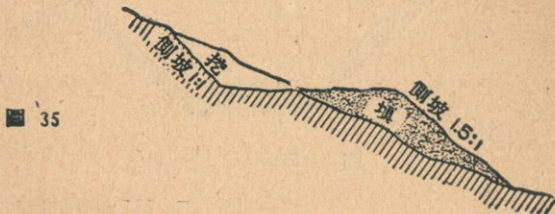
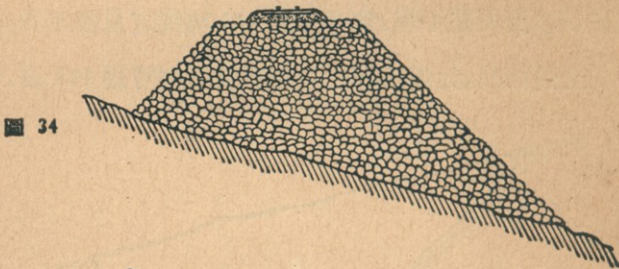
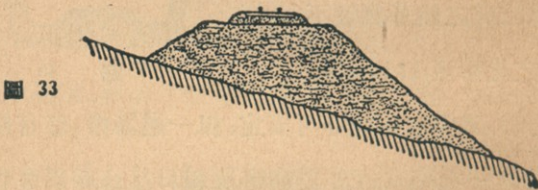
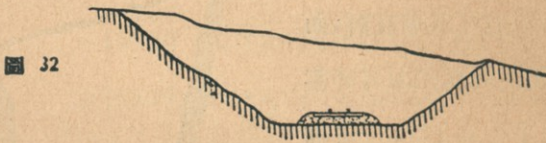
亦有初開挖時，雖側坡甚陡亦可安定，但一遇暴雨，即有傾墜之虞。在施行土工時，一次完成適當之側坡，反較日後修繕為廉省。開挖時如遇溜砂則坡度須甚平坦，曾有作成 4:1 坡度方見穩定者。填方之側坡亦視土質而異。如係炸碎之岩石所填者則可用 1:1 坡，位於山



■ 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



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。平均單軌墳基寬度爲 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，卽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，美國紐約中央鐵路卽如此規定也。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，庶路基告成後卽用以鋪貼於填挖之側坡上。如是則閱時未久，路基側坡卽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. 坡樞之位置 在側坡與地面交點所設之樞，謂之坡樞。坡樞之位置，隨路基之高度，及挖填之深度而異。自圖 36，可見

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

在此式內 s 為側坡之比率。

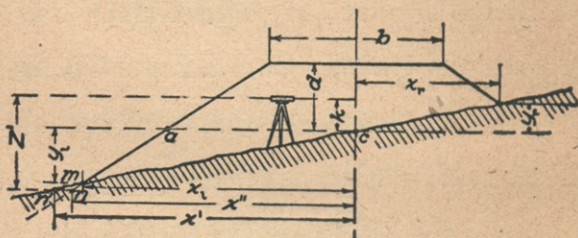


圖 36

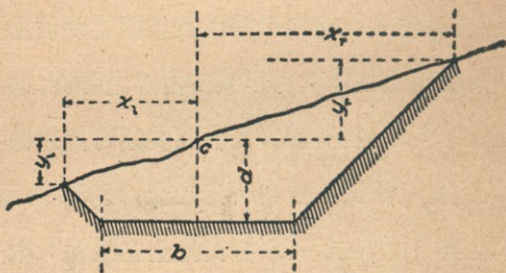


圖 37

同樣由圖 37，得

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

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

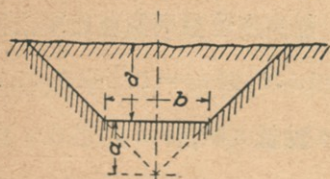


圖 38

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

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

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

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

$$\frac{ab}{2} = \frac{6.7 \times 20}{2} = 67$$

$$8 \times 67 = \frac{536.00}{1059.01}$$

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

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

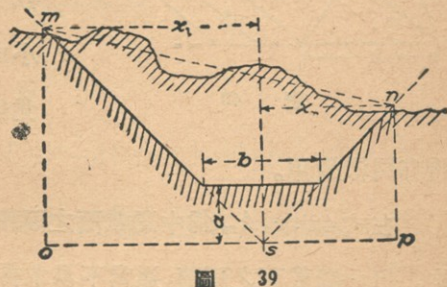
所割之面積略相等。乃量取 x_l 與 x_r 之長度，此處地面坡度

$$s = x_l \div mo = x_r \div np$$

故所需之面積等於

$mnop$ 面積，減去三角

形 mso , nps , 及 $\frac{1}{2}ab$, 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：

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

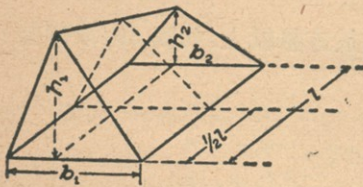


圖 40

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

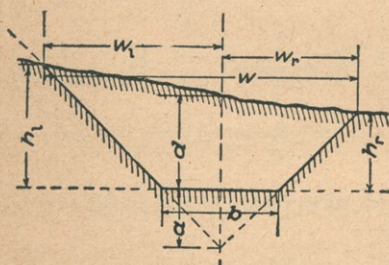


圖 41

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

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

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

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

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

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 $413 = \frac{25}{27} \times 11.1 \times 40.2$ ，餘仿此。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	$\frac{9.6C}{26.4}$	$\frac{1.2C}{13.8}$	11.1	40.2	413				
53	6.7C	$\frac{11.4C}{29.1}$	$\frac{4.2C}{18.3}$	14.7	47.4	645	702	-3.6	+ 7.2	- 8
54	10.6C	$\frac{15.6C}{35.4}$	$\frac{1.8C}{23.7}$	18.6	59.1	1018	1307	-3.9	+11.7	-14
+65	15.5C	$\frac{19.0C}{40.5}$	$\frac{10.6C}{27.9}$	23.5	68.4	1488	1397	-4.9	+ 9.3	- 9
55	8.7C	$\frac{12.4C}{30.6}$	$\frac{5.8C}{20.7}$	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

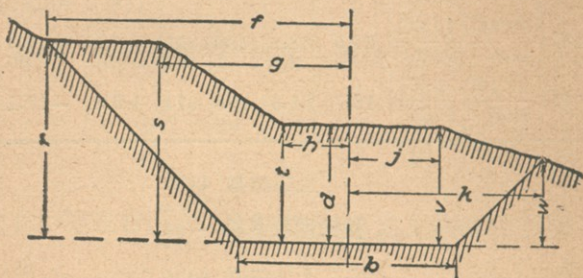


圖 42

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

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

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) 每一坡概至中點之距離，乘以坡概內鄰點之高度；（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) 路基寬度乘坡概高度之平均數』

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，即坡概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	$\frac{4.2 c}{16.4}$			$\frac{0.8 c}{11.2}$	
46	4.3 c	$\frac{5.1 c}{17.6}$	$\frac{6.2 c}{8.5}$		$\frac{2.1 c}{3.4}$	$\frac{1.6 c}{12.4}$
+42	13.6 c	$\frac{20.2 c}{40.3}$	$\frac{15.7 c}{32.4}$	$\frac{14.4 c}{16.8}$	$\frac{12.5 c}{10.2}$	$\frac{9.6 c}{24.4}$
45	9.2 c	$\frac{12.3 c}{28.5}$	$\frac{12.7 c}{16.0}$	$\frac{6.8 c}{1.4}$	$\frac{9.2 c}{8.5}$	$\frac{7.8 c}{21.7}$
44	3.2 c	$\frac{6.0 c}{19.0}$	$\frac{3.5 c}{8.3}$			$\frac{1.8 c}{12.7}$

〔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

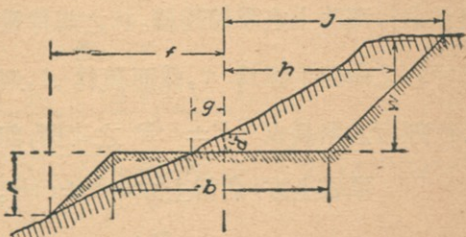


圖 43

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

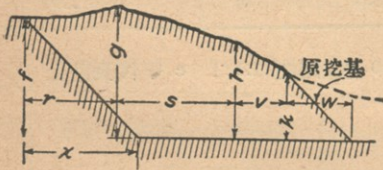


圖 44

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 ，則重心所經行之路長，與中心所經行之路長成 $R \pm e : R$ 之比例，即

準確土方：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：

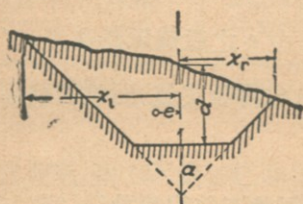


圖 45

$$\begin{aligned} & \frac{(a+d)x_l}{2} \frac{x_l}{3} - \frac{(a+d)x_r}{2} \frac{x_r}{3} \\ = & \frac{\frac{(a+d)x_l}{2} \frac{x_l}{3} - \frac{(a+d)x_r}{2} \frac{x_r}{3}}{\frac{(a+d)x_l}{2} + \frac{(a+d)x_r}{2}} = \frac{1}{3} \frac{(x_l^2 - x_r^2)}{(x_l + x_r)} \\ & = \frac{1}{3} (x_l - x_r) \dots \dots \dots (48) \end{aligned}$$

將此式之 e 代入式 47, 則得

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

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

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

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, 實在偏心率當較此為鉅, 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 $\frac{V(x_i - x_r)}{3R}$ 。 $3R$ 數通常為一大數, 例如 4° 曲線, 其值為 4298。 $(x_i + x_r)$ 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 $V(x_i - x_r)$ 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。若曲線轉向右侧，則用 $x_l - x_r$ ，如轉向左侧，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，因曲線轉向左侧，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

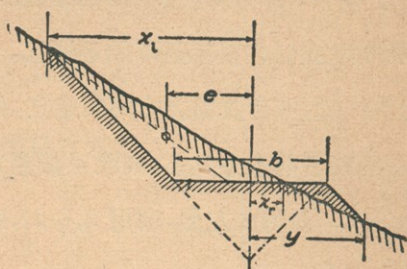


圖 46

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

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：

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

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 $\frac{1}{3}$ 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 $x:2=10^3:4^3$ ，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，信管上鉑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，暨須用鍬釘始能挖鬆之物質。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，常因地勢逼窄，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，以三脚架支承之。

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。

78. 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

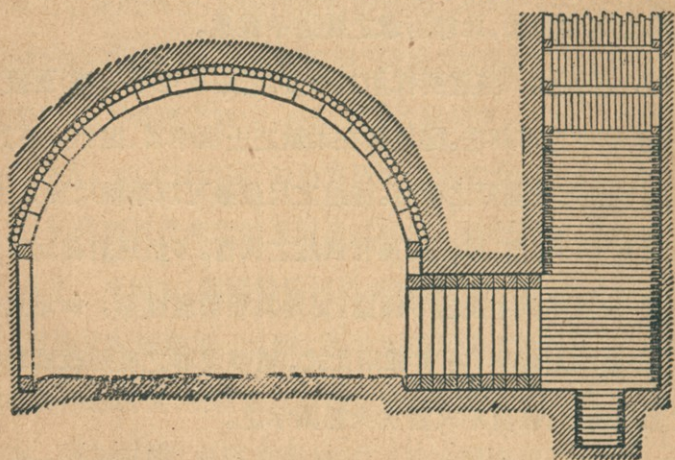


圖 47 隧道與導井之連接法（徹赤山隧道）

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

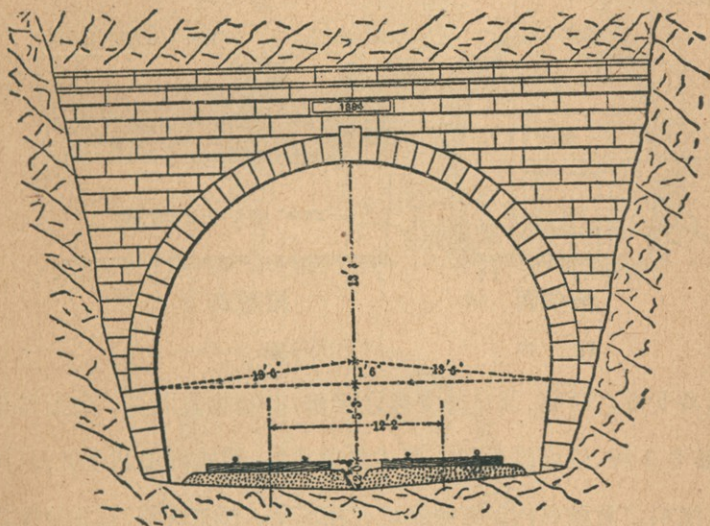
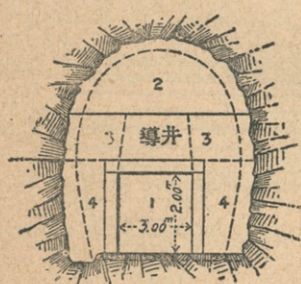


圖 48

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，同時作為門口之支梁。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，

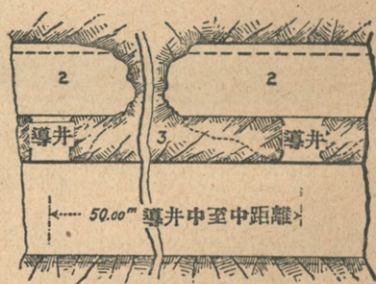
支撐非易，且土質脆弱易致滑卸，常須建立極堅之木架互相支撐，庶可免山坡滑卸之危險。某處隧道曾於門口短距離外鑿一導井，乃於井中向門口開鑿隧道並設置襯裏，及既達門口，則其上厚度不足之蓋頂，業已完全支撐，無滑卸之危險矣。

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，常可見綿亙 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。

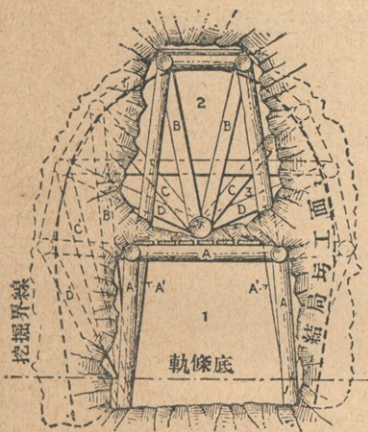


圖 51

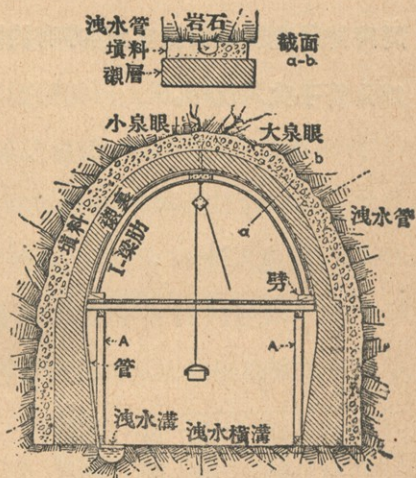


圖 52

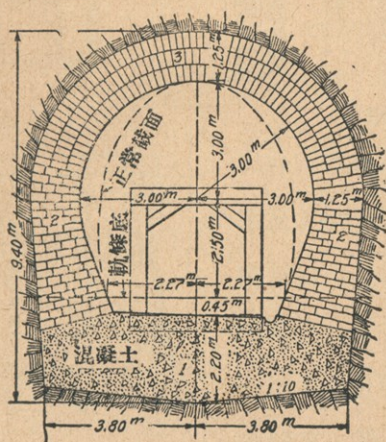


圖 53

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

棧橋分爲二部分，一爲下結構，一爲載面組織。兩部互相分立，故另節詳述。下結構之構造計有二類，爲樁棧橋與架棧橋。

83. 樁棧橋 樁棧橋之高度爲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 呎者幾爲極限。採用極長之樁固可建築更高之棧橋，但以改用架棧橋爲得計。通常認爲每一軌道宜用四樁，但亦可較多。裏樁恆打於垂直位置，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，通常爲 10×12 吋或 12×12 吋。圖 56 所示爲較善之頂蓋構造法，係以兩塊方木而以螺栓夾緊樁頂，名

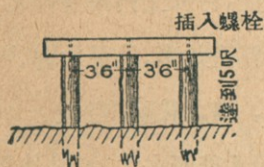


圖 54

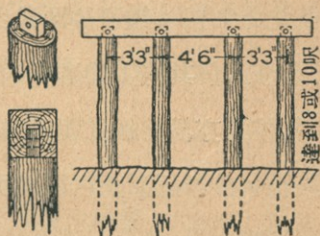


圖 55

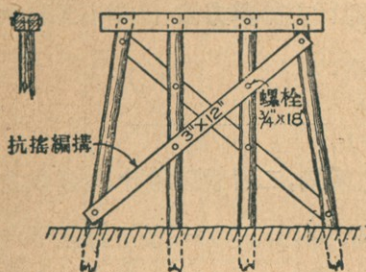


圖 56

曰合掌頂蓋。圖 54, 55 爲另兩種頂蓋之結合法，前者爲插合法，最爲省工，但修理不易。於臨時性質之棧橋尤爲不宜，因頂蓋中插入之釘除去時，易致損傷木材也。圖 55 爲樁合法，爲最

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

吋。斯時錘之落距爲 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，落距爲 22 呎，問最後五擊之平均透入量應爲若干？

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

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

另一種打樁之錘名爲汽錘。此錘之一端爲一機筒與活塞，藉蒸汽之力，使此錘上下躍動，以迫樁沉落。錘重約爲 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，使樁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 $s+1$ 改爲 $s+0.1$ ，故公式改爲：

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

85. 架棧橋 架棧橋式樣至多，但多數均與圖 57 相仿。外柱

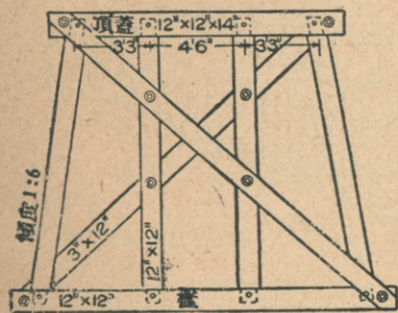


圖 57

之斜度約爲 1:6；頂蓋與檻均用榫合法與各柱接合。合掌頂蓋及合掌檻亦可應用於此。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。夾板亦可改用鐵鈸。插樺及插栓亦有採用者，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

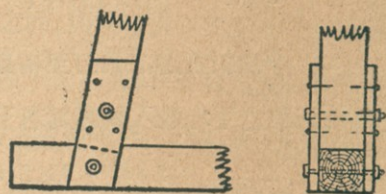


圖 58

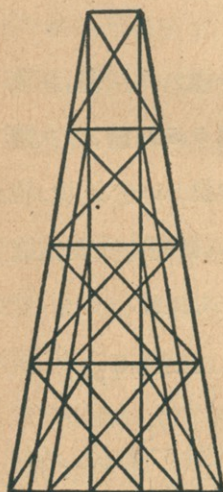


圖 59

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

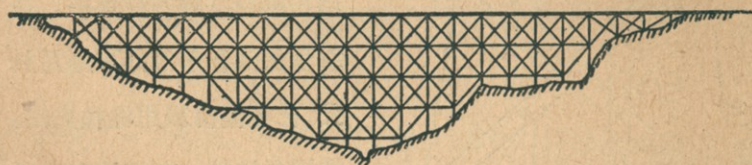


圖 60

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

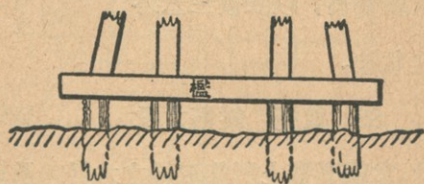


圖 61

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。

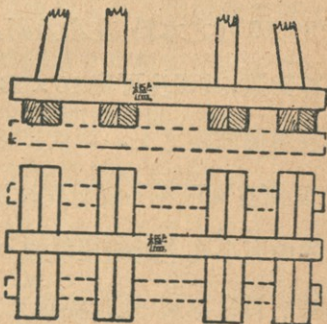


圖 62

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。

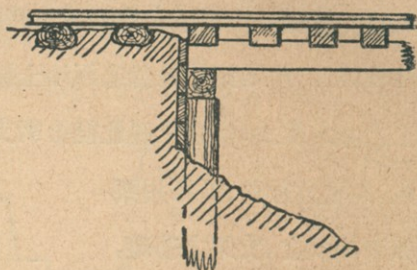


圖 63

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。縱桁宜搭攔於兩個間距之上，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。普通之縱桁咸屬狹而頗高之木材，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	每鋼軌所用縱桁數	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

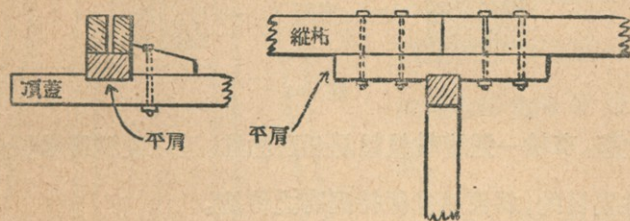


圖 64

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

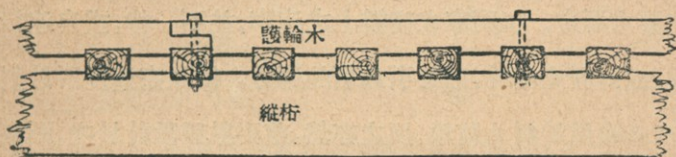


圖 65

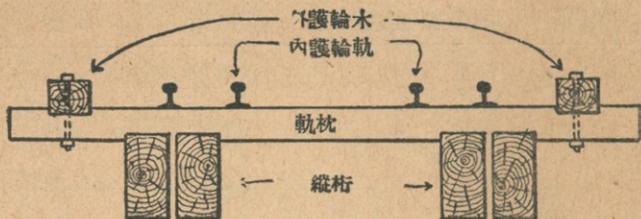


圖 66

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

92. 棧橋之軌枕 棧橋上之軌枕，常較普通之軌枕爲長，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，連繫爲一。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，但常亦爲事實所難盡免。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甯。雖然，設計棧橋時必須盡可能方法以爲此種外力之備。若列車係以同一之速率行經棧橋，則問題較爲簡單。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，或自速行漸減爲零，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。

(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

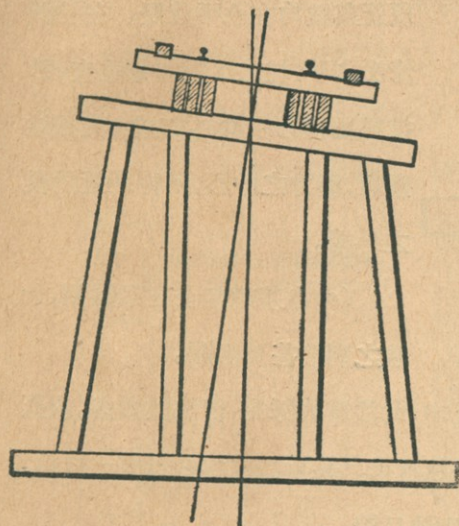


圖 67

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。

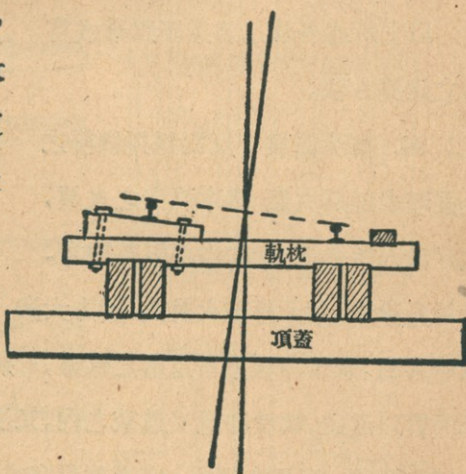


圖 68

(d) 變化平肩之高度。(如圖 69) 全部載面組織側斜，與 a 同，惟

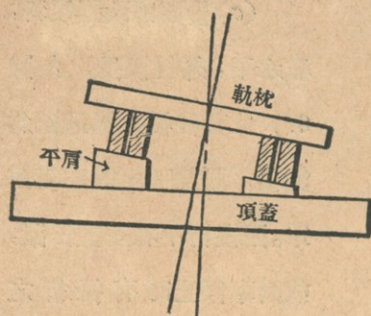


圖 69

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。

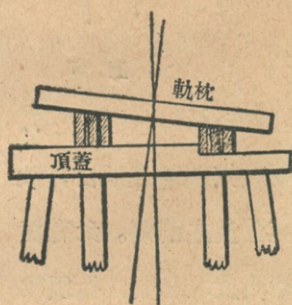


圖 70

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，軌枕與護輪木宜用櫟木，縱桁宜用櫟木或松木。平肩之作

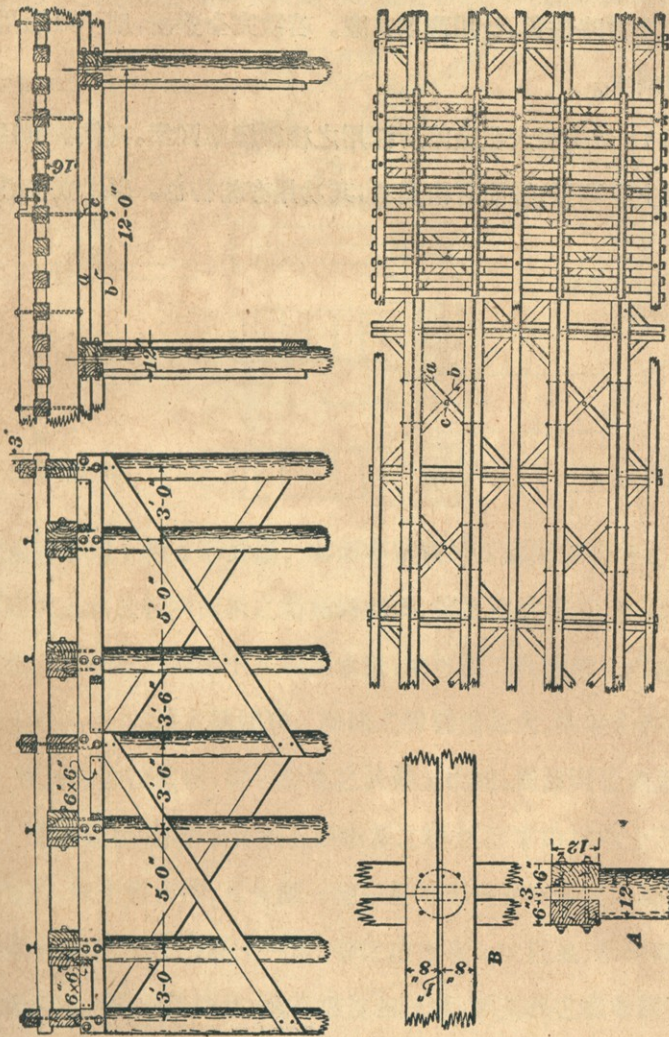


圖 71

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

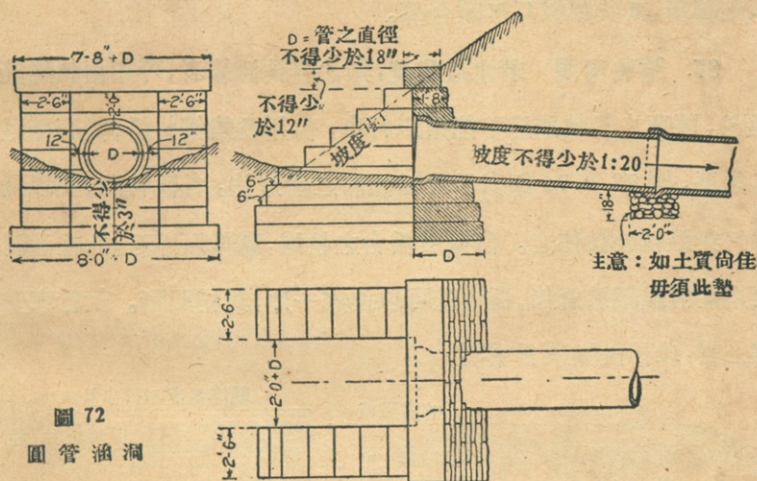


圖 72
圓管涵洞

在水流學理上較方形為優，其面亦常較圻工涵洞為光滑，故每分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。涵洞兩端須各建一圻工領牆。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，以為襯墊之用。管之結合處均須嵌塞，此可以粘土為之。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，但用為建築材料，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為佳，蓋道碴可以連成一片，無稍間斷。就行車安穩上言，此種優點頗為重要。

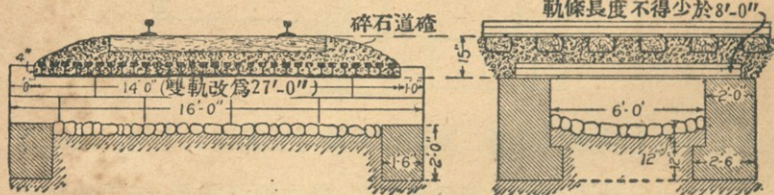
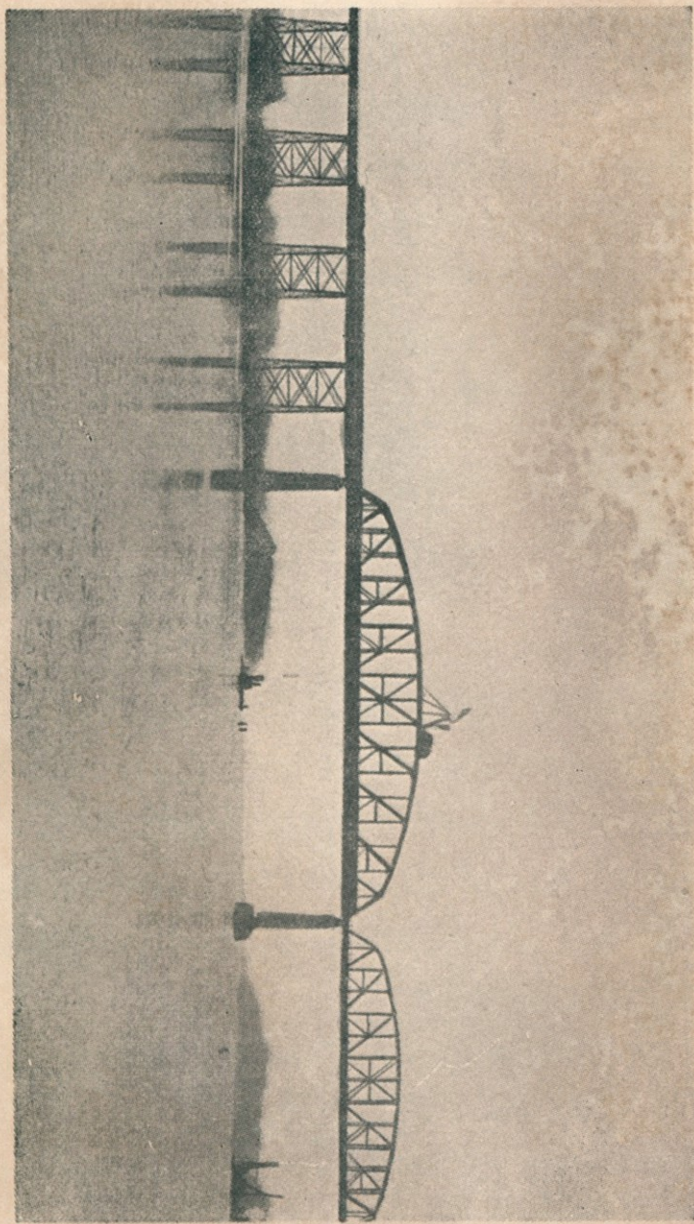


圖 73 舊軌涵洞

圖 74 舊軌涵洞

98. 牲畜通路 鐵路穿過農場，為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，亦為此式之缺點。如路基甚矮，則宜用舊軌建造。



橫跨哈德松河之卡斯爾吞鐵橋
(此橋用以便利貨運，建築費共二千五百萬美金)

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。各種雜質爲害之程度輕重不一，如分量不多，則影響尙微。惟鈣鎂之化合物，輒於水分化汽時，遺留於鍋爐之裏面。

此種遺留物之爲害有二。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爲頻將鍋爐清除，一爲將用水經過潔製。

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

鐵路用水之化學潔製法，爲一專門之技術。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，

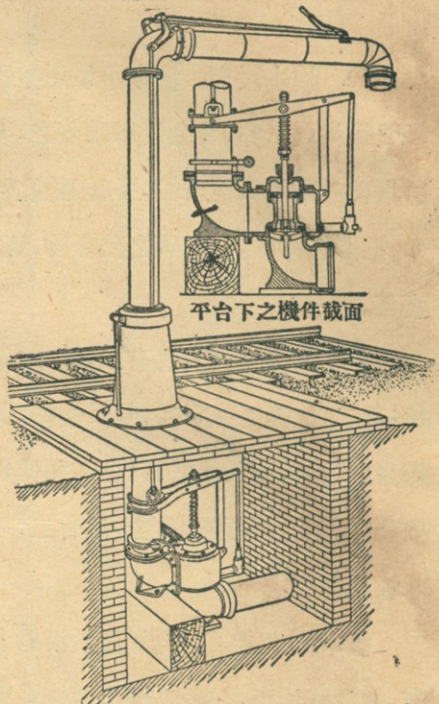


圖 75 自動立管

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。閥之機械均埋藏地內，上

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 為美國羅柏特及舍斐混凝土給煤機，煤炭由煤車運至煤斗坑之上，傾

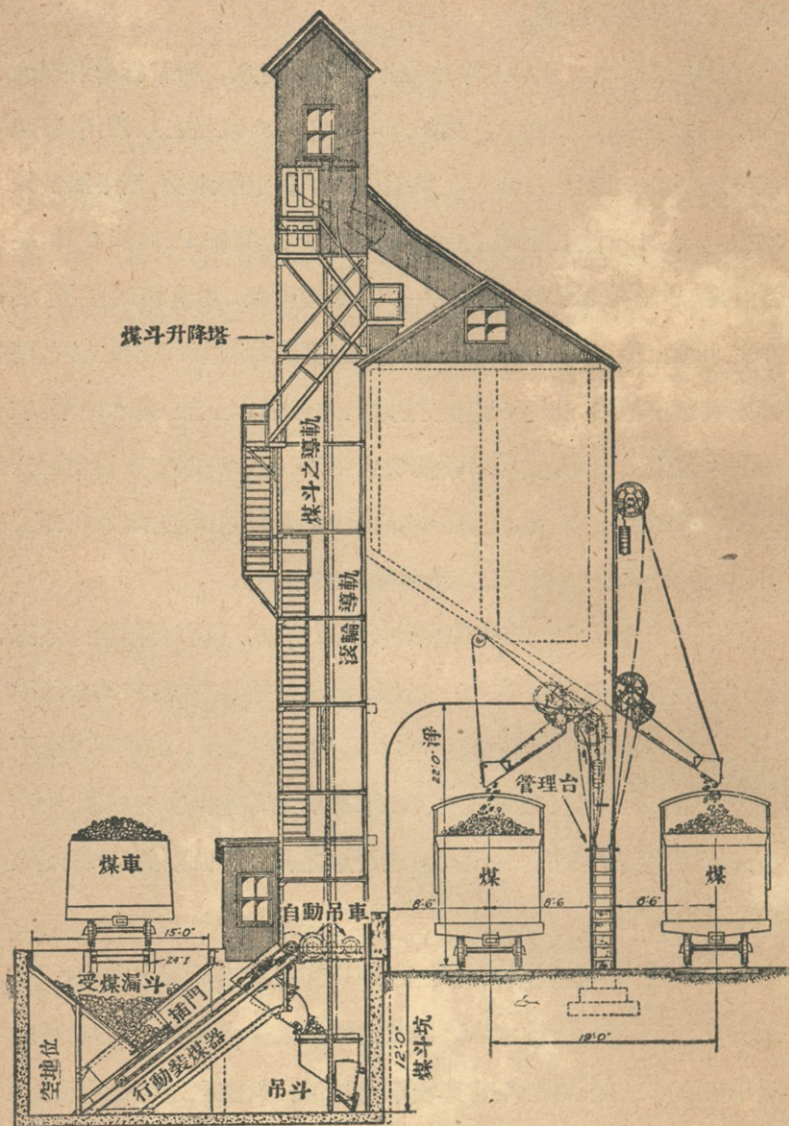


圖 76 三百噸鋼筋混凝土給煤機(附設二連式淺坑裝煤器)

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。

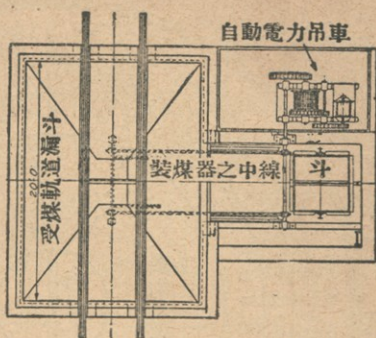


圖 77 煤斗坑平面圖

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

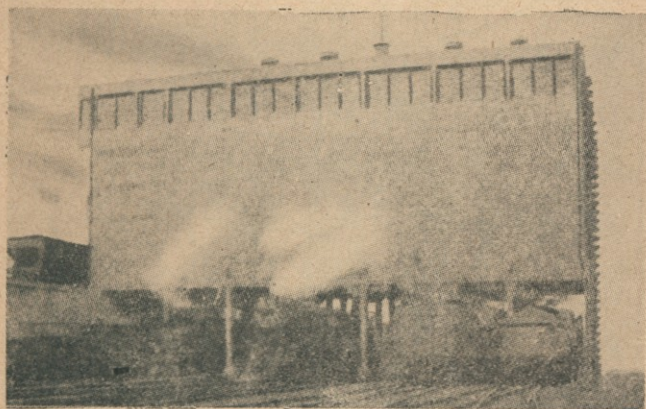


圖 78 二十噸電動給煤站(可以同時供給十四機車之煤，水與砂)

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

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，但不持久，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

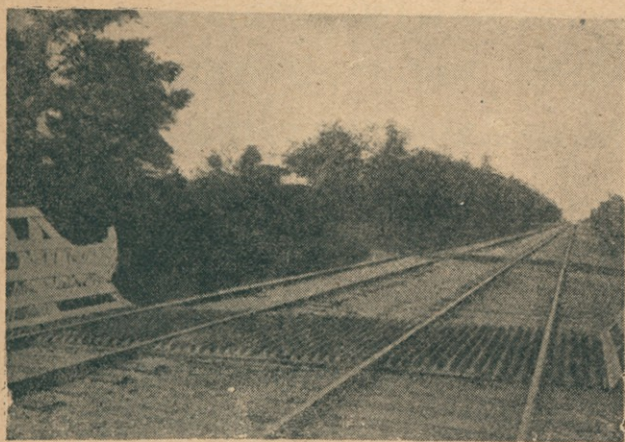
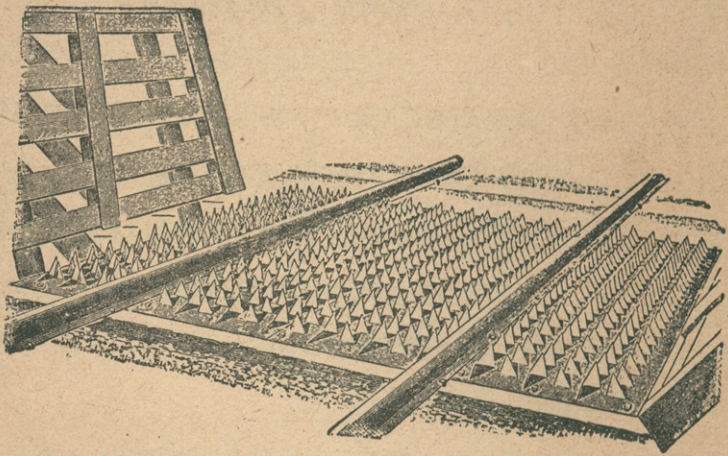


圖 80 克列馬克思牲畜防護設備



● 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，至路界爲止。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. 道渣 道渣在理想上之功用爲 (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。各種道渣之功用與費用均不相等。採用道渣，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。茲將常用之道渣分論於次：



圖 82 泥土道渣

泥土 泥道渣即爲天然之土壤，實非道渣也。如爲砂礫土壤，則亦具有良好之道渣作用，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，苟有別種道渣可資採用，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，路面絕無道渣也。

爐渣 鄰近熔鑛廠地方，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。

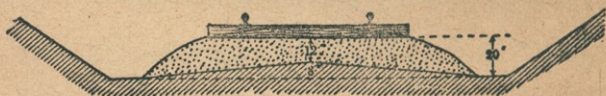


圖 83 礫道渣

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 $1\frac{1}{2}$ 或2吋之圓孔者為合度。鋪路時宜用鐵耙挑取，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。柵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，梅木，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，增加軌枕鈹，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



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

密則其間隙中道渣不易搗實，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

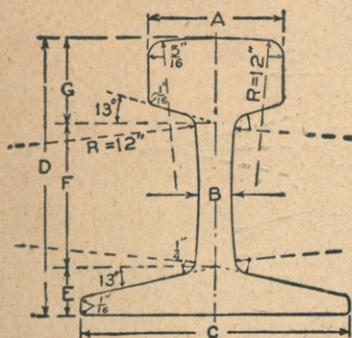


圖 87 A.S.C.E. 標準軌條截面

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	$1\frac{7}{8}$	2	$2\frac{1}{8}$	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{8}$	$2\frac{13}{32}$	$2\frac{7}{16}$	$2\frac{15}{32}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{9}{16}$	$2\frac{5}{8}$	$2\frac{11}{16}$	$2\frac{3}{4}$
B	$\frac{25}{64}$	$\frac{27}{64}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{15}{32}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{33}{64}$	$\frac{17}{32}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{9}{16}$
C與D	$3\frac{1}{2}$	$3\frac{11}{16}$	$3\frac{7}{8}$	$4\frac{1}{16}$	$4\frac{1}{4}$	$4\frac{7}{16}$	$4\frac{5}{8}$	$4\frac{13}{16}$	5	$5\frac{3}{16}$	$5\frac{3}{8}$	$5\frac{9}{16}$	$5\frac{3}{4}$
E	$\frac{5}{8}$	$\frac{21}{32}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{49}{64}$	$\frac{25}{32}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{27}{32}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{57}{64}$	$\frac{59}{64}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{31}{32}$
F	$1\frac{55}{64}$	$1\frac{31}{32}$	$2\frac{1}{16}$	$2\frac{11}{64}$	$2\frac{17}{64}$	$2\frac{3}{8}$	$2\frac{15}{32}$	$2\frac{35}{64}$	$2\frac{5}{8}$	$2\frac{3}{4}$	$2\frac{55}{64}$	$2\frac{63}{64}$	$3\frac{5}{64}$
G	$1\frac{1}{64}$	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{11}{64}$	$1\frac{7}{32}$	$1\frac{9}{32}$	$1\frac{11}{32}$	$1\frac{27}{64}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{35}{64}$	$1\frac{19}{32}$	$1\frac{41}{64}$	$1\frac{45}{64}$

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。

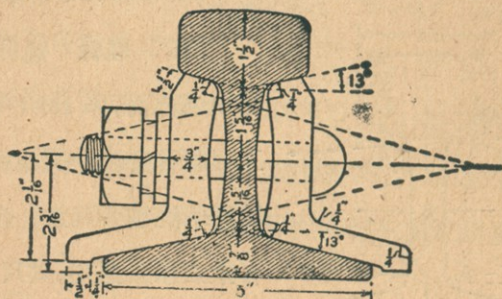


圖 88 軌條之結合

軌條截面之設計中,最為人所議論者,為頭部兩上隅之半徑問

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。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。

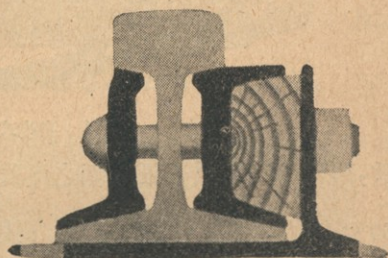


圖 89 未柏式軌條之結合

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 $\frac{3}{4}$ %，但

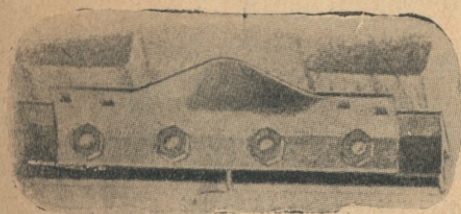


圖 90 蓬若諾式軌條之結合

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

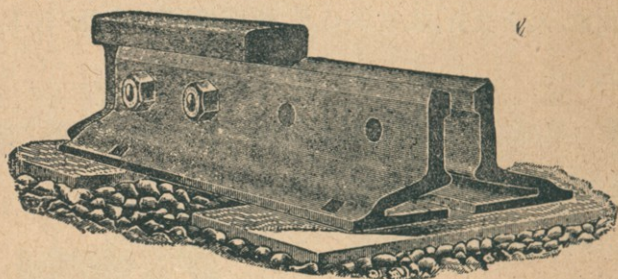


圖 91 連續式軌條之結合

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

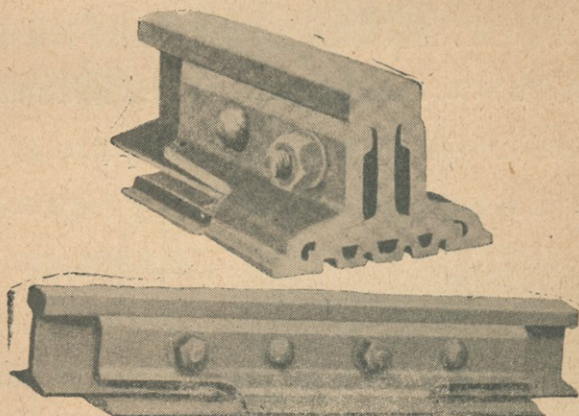


圖 92 武爾豪普脫式軌條之結合及其截面形

之短軌十分之一以內。軌條長度與規定長度之差數以 $\frac{1}{4}$ 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，惟有將軌條銲接方能達此目的，如採用結合鈑，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。

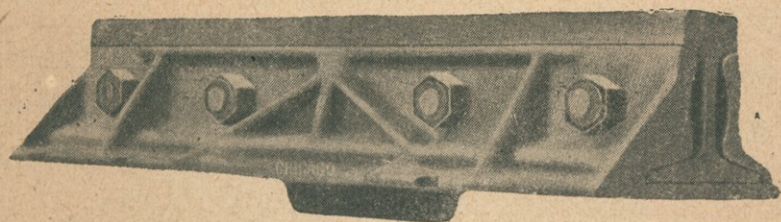


圖 93 阿特拉斯式懸空結合

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，其底鈑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

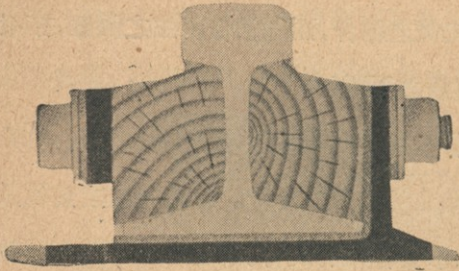


圖 94 軌道線路之絕緣結合

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。

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。採用櫟木軌枕者，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鎚擊沒於枕木之中。

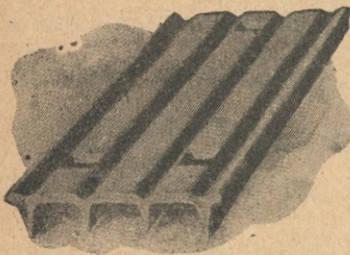


圖 96 武爾豪魯脫軌枕鈹

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。

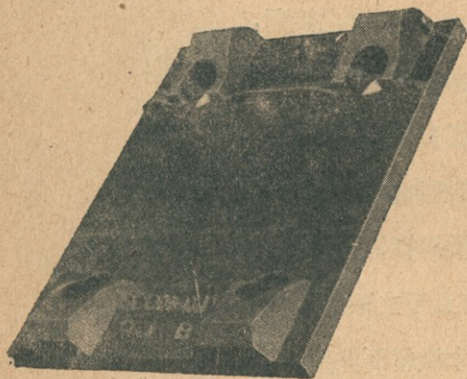


圖 97 「經濟」九號式軌枕鉸

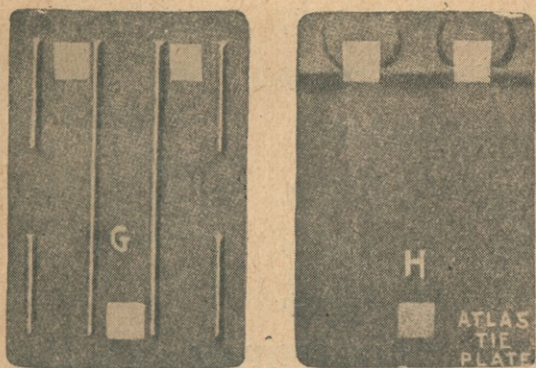


圖 98 阿特拉斯式軌枕鉸

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。

此項軌條撐有以鐵鑄者，但鑄質脆，錘擊道釘時易致破碎。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，可作軌條撐及軌枕鉸兩種用途。

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。如是則道釘鑄入之後，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

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。

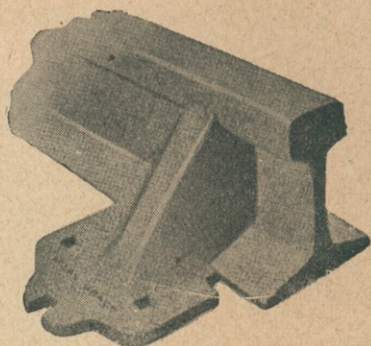


圖 99 阿特拉斯式KK號軌條榫

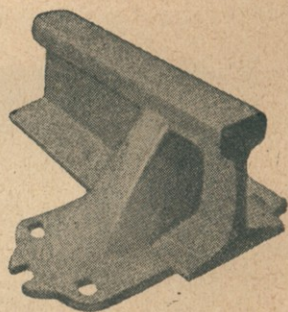


圖 100 阿特拉斯式K號軌條榫

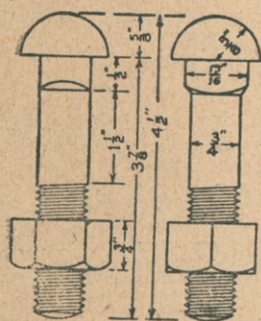


圖 101

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

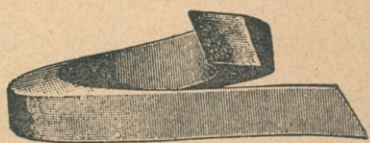


圖 102

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

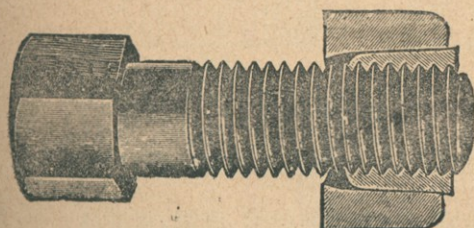


圖 103

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，爲 *c* 類螺帽鎖之一種。螺帽係方形，故將插釘插入時，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。

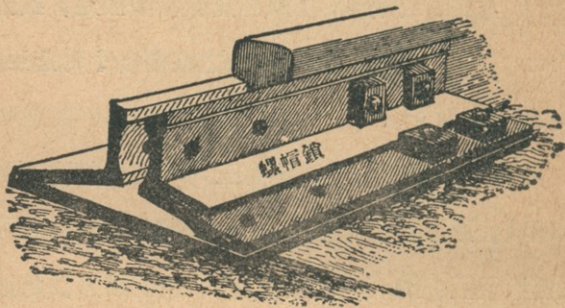


圖 104

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樑指明，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 $\frac{1}{8}$ 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校量，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 $R = \frac{1}{2} AD^2 \div x$ 。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

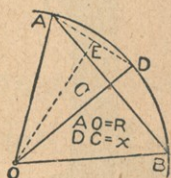


圖 106

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

或

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

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，應更矢長為若干？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，以免軌材破裂。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。

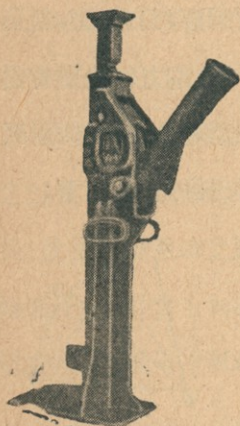


圖 107

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吋，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。一面用鍬或鏟將道碴嵌入軌枕之下，用力搗實之。道碴為碎石時，宜用鍬或鐵針，如為濘石時宜用鏟。

118. 外軌之超高度 揆諸物理學理，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

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

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

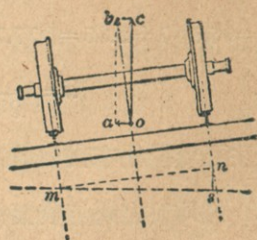


圖 108

(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
$$e = .0000572 V^2 D \text{ ----- (56)}$$

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 = $2.621 V^2$ ，

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

若以 50 m.p.h. 爲最高速率，則弦長 = $1.62 \times 50 = 81$ 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。

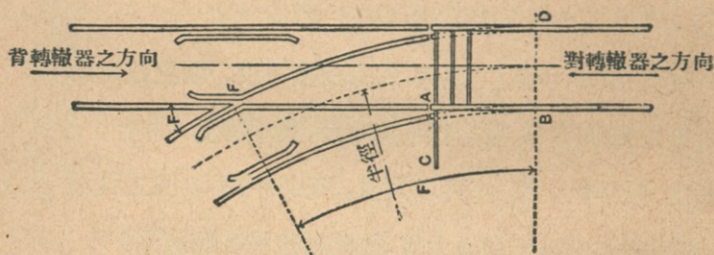


圖 109 平端轉轍器

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。

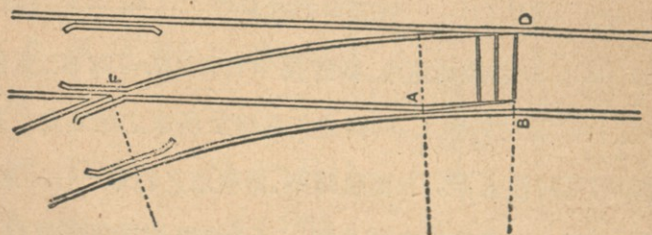


圖 110 尖端轉轍器

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

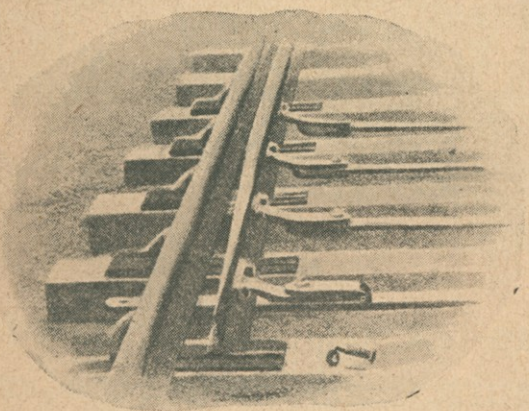


圖 111 尖端轉轍器之構造細目

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釘相連。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。

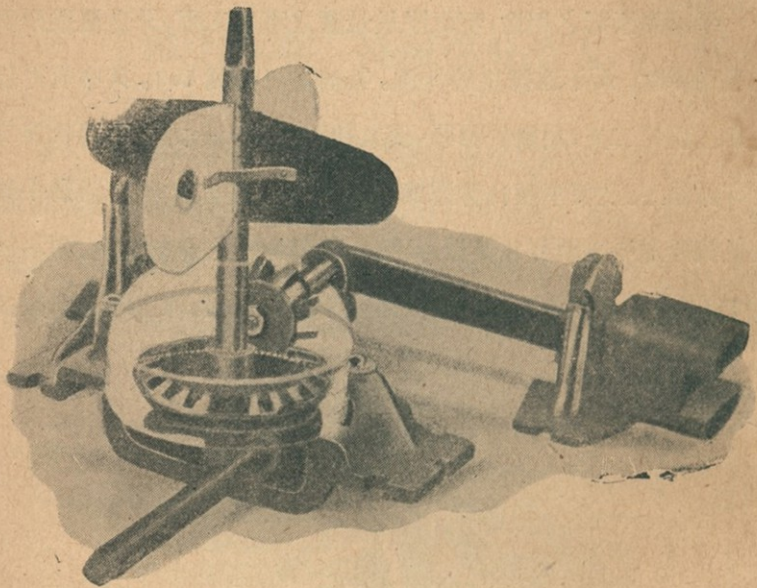


圖 112 轉轍機臺

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

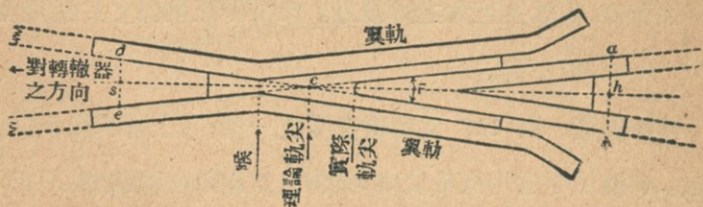


圖 113 叉轍之圖示