

書叢小學工

梁 橋

著助鴻凌

行發館書印務商

書叢小學工

梁

橋

著助鴻凌

行發館書印務商

中華民國二十二年三月初版  
中華民國二十二年九月再版

(一〇二九〇)

工學叢書 梁一冊

每冊定價大洋貳角五分

外埠酌加運費匯費

著者 凌鴻勛

發行人 王雲五  
上海河南路

印刷所 商務印書館  
上海河南路

發行所 商務印書館  
上海及各埠

\*\*\*\*\*  
版 翻  
權 印  
所 必  
有 究  
\*\*\*\*\*

# 橋梁

## 目錄

第一章	橋梁之初期及橋梁學之進化	一
第二章	橋梁之種類	八
第三章	橋梁之材料	二四
第四章	橋梁設計之選擇	三〇
第五章	橋梁之靜載重	三五
第六章	橋梁之活載重	四〇
第七章	橋梁之衝擊力及風力	四四
第八章	橋梁應力之計算	四九

第九章	橋墩橋座及基礎·····	六一
第十章	橋梁之建築及浮架·····	七一
第十一章	橋梁之檢驗修養及加固·····	七一
第十二章	中國橋梁概況·····	八

# 橋梁

## 第一章 橋梁之初期及橋梁學之進化

總論 人類利用橋梁以跨越水道，其思想之發達必甚早，且必在利用舟楫以前，蓋以水道寬闊，橋梁之計窮，然後始思及舟楫也。故壘石作橋，支木爲橋，殆爲橋梁之初步。雖初民之設置，已多不可考，而古代橋梁，建築在三百年以前者，除拱橋外，罕有若何技術之可言；然吾人能於今日探求橋梁學之微奧，並能建築偉大之橋梁，其得力於古人之遺法，卻非淺鮮，可毋疑也。

六七十年以前，歐美各國橋梁之建築雖漸多，然大抵視爲商品之一，在商業上占一位置而已。近年因科學之發達，橋梁學始在科學上，確立其地位。而物料之選擇，設計之精細，經濟之嚴密，均臻進步焉。

橋梁之進化，可依下列各項論之：（一）橋梁式樣之進化；（二）建築材料之進化；（三）設計之進化；（四）製造及建築之進化。

### 橋梁式樣之進化

（一）簡單梁橋 人類對於利用橋梁以跨過江河，其最初之智識，當屬支木或疊石爲簡單板梁橋（beam bridge）。然木石之用，祇限於短小之跨度（span）。若溪河過闊，則須於木板或石板以外求之矣。

（二）拱橋 中國最早利用拱之建築，而拱橋（arch bridge）之發明亦最早。萬里長城上之拱砌建築，遠在二千年以前。其他各地之拱橋，建立經數百年者，亦非罕見。拱橋不獨可增加跨度，且因高拱之故，橋下仍可通行舟楫。在我國港汊紛歧之地，此爲造橋一重要條件。故由板梁橋而至拱橋，實爲橋梁式樣上一大進化。且利用富於擠壓強度之石塊，實合於工程原則。今日重要橋梁及鐵路橋梁，亦有沿用石拱橋者也。

（三）吊橋 吊橋（suspension bridge）之發明亦甚早。中國、日本、印度均有舊式吊橋，多在巖谷深邃之地，以紐索爲之，長有至三十餘丈者。然因材料強度單薄之故，舊日吊橋無多大之進

化。直至百餘年前鋼鐵普用後，吊橋技術乃有重要之進展也。

(四) 翹橋 翹橋 (cantilever bridge) 亦為發達較早之橋式。今北美洲坎拿大 (Canada) 尚有舊日印第安人 (Indian) 建築之翹式橋。長一百五十呎，構造亦暗合學理。但因木料力薄之故，故在鋼鐵利用以前，此種式樣之橋，無多大之發展耳。

(五) 浮橋 浮橋 (pontoon bridge) 殆亦為中國所首創。試翻諸省府縣志書，多見有記載之者。大抵用木船聯繫，上鋪木板，以利行人，兩端各用巨練繫於鐵柱。其布置係使木船能隨水漲落而上下，且能解開移動，以便河中船隻通行。但此種橋，在今日，除軍用外，無重大價值也。

(六) 架橋 在各種橋梁式樣之中，其發明較遲，而其進展卻最有關係者，厥惟架橋 (truss bridge)。第十六世紀意大利人始有以木料搭架為橋者，其式樣且與近時之式樣相似。惜二百年來無繼起者。直至第十八世紀，始趨向架橋之建築，其式樣占最重要之位置焉。

### 橋梁材料之進化

(一) 木石 古人造橋，所能利用之材料，祇有木、石，及若干富於韌性纖維之植物。且因無工具可資利用，所有上項材料，亦僅依其天然形狀用之。數百年來，沿用不替，祇有



工具略爲改良，工事略爲精緻而已。木石之用在簡單板梁橋，以限於長度及所載之不能過重，故無甚進展。至架橋普用以後，木料之用遠逾疇昔。石料則因富於擠壓強度之故，至今仍用於拱橋也。

(二) 鋼鐵 自鋼鐵使用以來，橋梁建築爲之開新紀元。所有吊橋，翅橋，及簡單梁橋，皆利用之，以增其跨度。考鐵之始用於橋梁建築，爲約五百年前之吊橋鐵練。自後二三百年間，少有發明。直至一七七六年，英國始用生鐵建築拱式橋。其後百年間，生鐵多見用於歐洲，其建築亦多屬拱橋式。但以生鐵性質脆薄，不宜用於橋梁，變故發生，不少概見。自後歐洲及美國乃以熟鐵代生鐵，其在架梁橋，則拉桿多用熟鐵，壓桿多用生鐵。約一百年前，歐洲始於橋工用鋼鐵。一八五五年，柏塞麥煉鋼法 (Bessemer process) 始發明，繼之以西門子馬丁煉鋼法 (Siemens-Martin open hearth process)。自一八八〇年以後，鋼遂完全替代生鐵及熟鐵矣。

(三) 水泥 天然水泥 (natural cement) 之用於橋工建築，始於第十九世紀之初。自是而後，橋梁圻工大有進步。一八五五年後，純淨水泥 (Portland cement) (即現在工程上最通用之水泥) 之用漸廣，性質較爲可靠，而鋼骨三和土，遂於橋梁材料上，占重要位置焉。

橋梁設計之進化 自昔橋梁之建築，祇憑設計者及建築者之經驗，初無若何學理之可言，故

其進步殊爲遲緩。第十八世紀之橋梁，除橋基外，其他較之二千年前所築者，實無多大進化。自第十八世紀科學昌明，物理及化學之基本原則以立，橋梁學之進化，亦開一新紀元。第十七世紀之末，梁（beam）之原理及應力（stress）之傳布，梁身受重之撓曲，均漸次發明。一七一六年，法國政府設置橋路部（Département des Ponts et Chaussées），責有專司，橋工事業，益有進步。一七四七年，於橋路部附設測繪學校，一七六〇年改爲橋路大學（École des Ponts et Chaussées），爲今日著名學府。其時法國人儼爲橋梁界之先進。英國橋梁學，皆得之法國焉。

梁之研究，正在進步之時，同時柱之研究，亦爲當世所注意。歐拉（Euler）氏於一七四四年，發明一著名之柱公式。厥後據歐拉氏公式而爲柱之實驗者至夥。戈登（Gordon）氏，郎肯（Rankine）氏，迭加補充修改，均於柱之研究，有所貢獻，而有所謂戈登郎肯公式。美國工程師則爲使用簡單起見，多採取『直綫公式』。至今柱之研究，尙在學者努力中也。

架橋之思想雖遠出於第十六世紀，然其後繼不顯。第十九世紀初期，美國工程師始於架橋大

有發明橋式亦迭有改進。一八四〇年，美人豪（Howe）氏始為豪氏式架橋，其構造係以木料作上下桁及斜桿，而以鐵作直桿。如此木鐵並用，謂之『混合橋』。一八四四年，美人普利特（Pratt）氏始為普利特式架橋；混合橋及鋼橋，多用其式。在此時期中，發明架橋式樣者，多屬建橋之木匠，視橋梁為商品之一種，對於架橋各部之應力，尚無確定計算之方式，而橋梁之設計，直一經驗問題。一八四七年，美人喜普爾（Whipple）氏發表橋梁建築學（Work on Bridge Building）一書，始於應力分佈及計算法，確立基礎，為近世橋梁學所從出。厥後美國鐵路建築日多，橋梁學益發展，至今美國架橋之用較著，其跨度亦較長焉。

**橋梁製造及建築之進化** 橋梁之製造及建築，因設計之改良，及機廠之進步，而迭有進化。由螺絲釘而進為鉚釘，由人工鉚釘而進為機器鉚釘，均足使橋梁各部門之聯接愈加穩固。昔日之鐵橋多震動搖擺，今則穩固多矣。至於建築方法，昔日對於架橋建築，祇憑橋下之臨時架撐，在溪谷深邃之處，或不便阻塞河道通航之時，實為極大困難。自有用翅橋伸出方法，則由兩端各向中部搭接，此困難問題，可謂解決。或將中部橋架另在岸上便利地方搭好，用船載至橋址，然後將兩端吊起，與

兩頭相接，亦爲解決之一法。近來鐵路大興，對於橋梁之加固或更換，更有不妨礙原來車務之必要，建築方法，因之迭有改進焉。

## 第二章 橋梁之種類

橋梁之分類 橋梁可依其使用之別，而區分為二類：

(一) 公路橋 (highway bridge)

(二) 鐵路橋 (railway bridge)。

又可依其路面之位置，而區分為二類：

(一) 面路橋 (deck bridge)

(二) 底路橋 (through bridge)。

又可依其構造之方法，而區分為三類：

(一) 板梁橋 (beam bridge, 或 girder bridge)

(二) 鉚釘橋 (riveted bridge)

(三) 栓釘橋 (pin-connected bridge)。

又可依其載重傳播於橋墩橋基之情形，而區分爲六類：

(一) 簡單板梁橋 (simple beam bridge) 及架梁橋 (truss bridge)

(二) 通貫橋 (continuous bridge)

(三) 拱橋 (arch bridge)

(四) 翅橋 (cantilever bridge)

(五) 吊橋 (suspension bridge)

(六) 活動橋 (movable bridge)

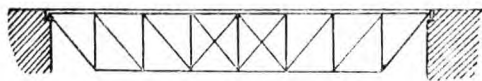
**公路橋與鐵路橋** 公路橋承載行人、牲畜，及普通載客載貨之車輛。其最大之活載重 (Live

Load) 當爲行駛其上之最重車輛。但修路用之輾路機，常須經行其上，而此項輾路機之重量，常大於普通車輛，故即用作公路橋設計之標準。鐵路橋之活載重爲一路最重之機車，及其所牽引之列車。益以經行迅速所發生之衝擊力，及因車身高大，所抵抗之風力，均足增加鐵路橋設計問題之複

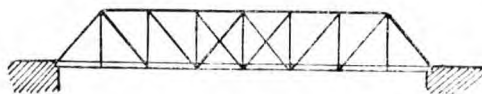
雜。故鐵路橋較公路橋倍加重要。公路橋上有電車行駛者，性質實介乎公路橋與鐵路橋之間。鐵路橋有時則兼備行人及行駛別種車輛之路面焉。

**面路橋與底路橋** 橋梁之應為面路（第一圖，）或為底路（第二圖，）視路身之水平高度，

及橋下所須有懸空高度而異。大抵兩岸寬平，水面高漲，而河流又通舟楫者，則水面上須有較大之懸空高度，如是則以底路橋為宜。若兩岸高出水面甚多，而河流又並不通航者，可用面路橋。單就建築之簡單及物料之經濟而言，則面路橋之橋身，橋墩，橋基均較省。就行人之舒適而言，則面路橋無兩旁橋架之障礙，行人有縱覽風物之便利，故城市橋梁以用面路橋為多，其形式亦較為美觀。惟面路橋橋身較窄，若橋梁甚長則非所宜。在跨過較長之河道，而河面有一部不通航者，則可於通航部用較長之底路橋，而於不通航部用較短之面路橋。此例甚多，如平漢鐵路之黃河橋是也。



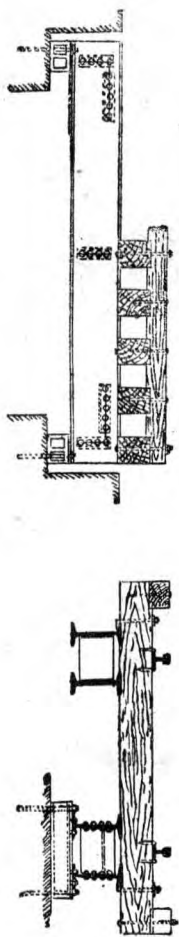
第一圖 面路橋



第二圖 底路橋

**板梁橋與架梁橋** 短小之橋多爲板梁橋，如木梁橋及三和土梁橋是也。此類橋且多爲面路橋。至於鋼橋則有工字梁（第三圖）及結構板梁（plate girder）（第四圖及第五圖）之別，且并可作面路及底路式。

若橋梁之跨度增加，單條之木料過於笨重昂貴，則結木爲架，而爲架梁橋。三和土因不便搭架，故不作架梁橋。惟鋼板梁橋，因結構便利，故常得有頗大跨度。就工程方面言，鋼板梁橋之設計及施工均較架梁橋爲簡單而準確。一經建築，其經常修養工費，亦較架梁橋爲輕。若有製造廠之設置，及運轉之便利，鋼板梁橋常造至一百呎至一百二十呎之長度，鐵路上尤多以此爲定則。但若運輸困

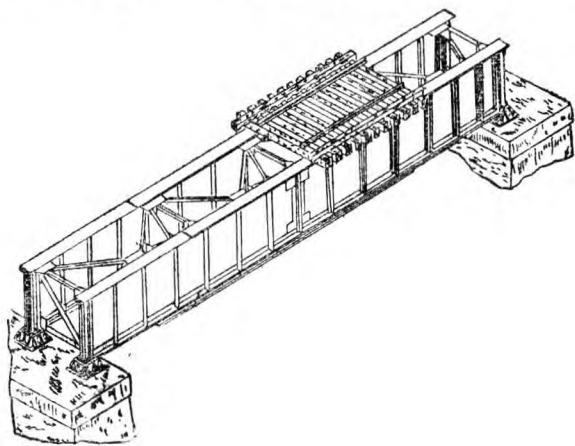


第三圖 工字梁橋

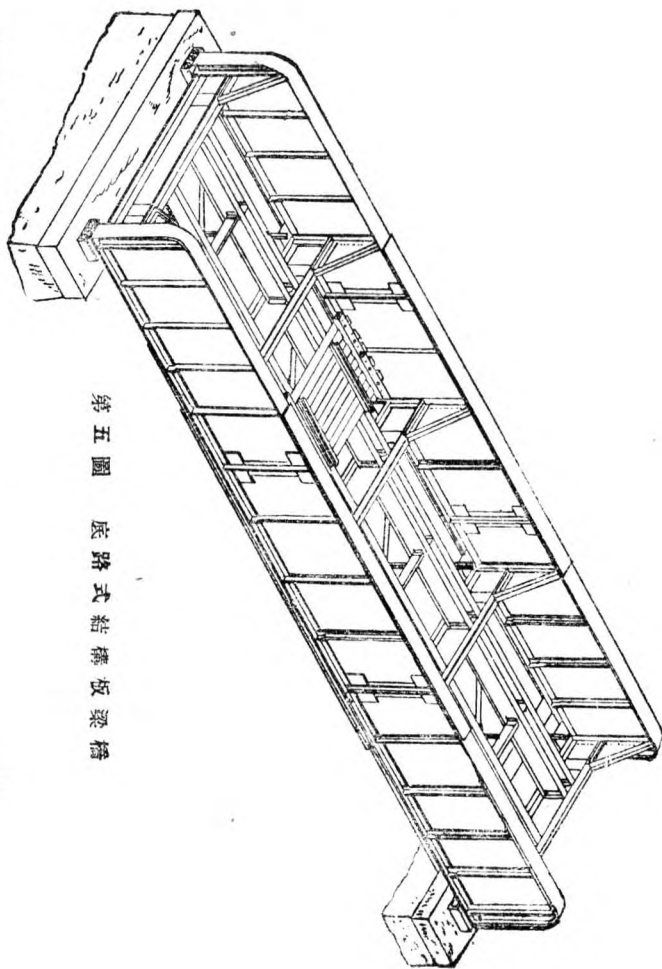


難，則此龐大笨重之物，運輸安放，兩不便利。若再無製造之便利，而須遠求於國外，則為船舶所限，其長度祇能在四十呎以下。其過長者，須分段起運，則鋼板梁橋之優點，多已喪失。我國鐵路橋，長度在七八十呎以下者，仍以鋼板梁橋為多。

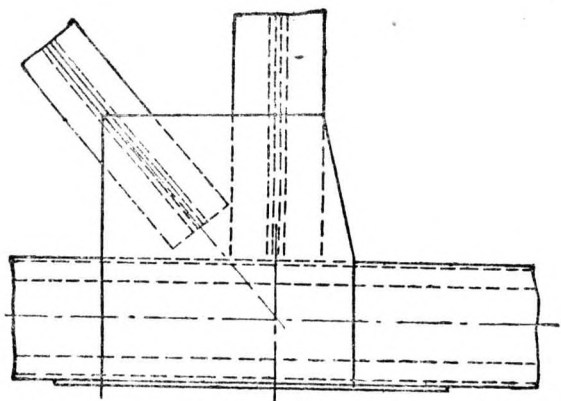
鉚釘橋與栓釘橋 鐵橋之以鐵板，角鐵，槽鐵，及工字鐵等結構，而用鉚釘 (rivet) 聯接而成者，謂之鉚釘橋 (第六圖)。若於聯接處用栓釘 (pin) 者，謂之栓釘橋 (第七圖)。在歐洲幾全用鉚釘橋，但鉚釘橋之較長者，彎折之度較大，而鉚釘聯接處又牢固而無伸縮之餘地，致使橋架各部發生極大之次生應力 (secondary stress)。故用於長跨度極為不宜。依美國習慣，鉚釘橋之長度大都以二百呎為限；二百呎以



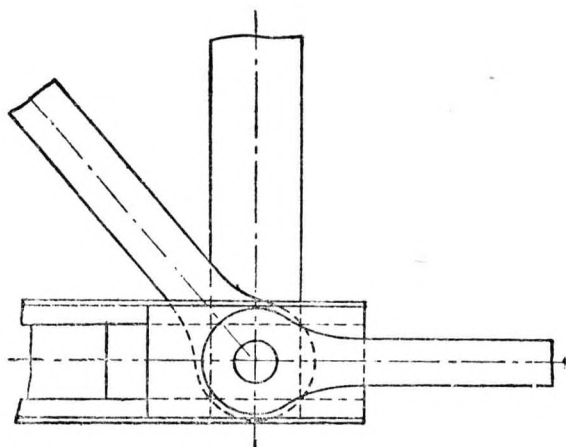
第四圖 橋梁板結構式路面



第五圖 底路式結構板梁橋



第六圖 鉚釘橋之結合

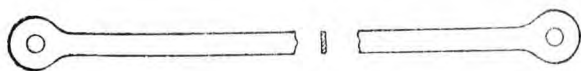


第七圖 栓釘橋之結合

上，多用栓釘聯接。如是則各桿聯接時得以栓釘爲中心，依受力而漲縮移轉，免去次生應力之發生。惟栓釘橋之斜桿 (diagonal) 須用眼桿 (eye bar) 爲之（第八圖）。眼桿之製造較難，單價較高。若兩眼中心之距離，偶有不準，則配合困難，傳力不勻。故栓釘橋須有良好之製造廠，及良好之人工，方克濟事。國內各鐵橋，因材料多屬舶來品，眼桿運轉不便，且無從修理，故以鉤釘式者爲多，栓釘式者僅居極少數也。

**簡單式板梁橋及架梁橋** 所謂簡單式板梁橋者，橋之兩端各平置於橋基或橋墩上，而力之傳遞得以確實計算者也。板梁橋中如石板橋可供人行，木板橋可作公路橋，三和土梁橋及鋼板梁橋皆可供鐵路之用，而鋼板梁且可作面路橋或底路橋，其長度亦可至一百呎以外。

在八十呎或一百呎以外之跨度，鋼板梁橋需材料較多，不似架梁橋之省。在八十呎至百二三十呎間之底路鐵架梁橋，兩橋架之上端，可不必互相聯接。跨度加大，兩架之高度亦增。則須互相聯接，以求鞏固。但須留有適當地位，俾行人、車輛，或火車



第八圖 眼桿

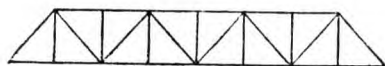
得以通過。簡單式架梁橋之最普通者，爲普刺特式架梁（第九圖）及窩稜式架梁（Warren truss）（第十圖）。若橋之跨度過長，則因中部受方大，兩端之受力小，可將中部高度增加，而向兩端漸漸減小（第十一圖），是名帕刻式架梁（Parker truss）。如此既可省材料，又可增美觀。若跨度在三百四十呎以上，則可添插橋桿，增加鞏固，外觀亦美。是名賓夕法尼亞式架梁（Pennsylvania truss）（第十二圖及第十三圖）。簡單式碳鋼橋以在六百呎以內之跨度爲經濟，如用合金鋼料建築，則可長至七百五十呎也。

通貫橋 通貫橋 (continuous)

bridge) 者，一橋而支於兩支點以上者也（第十四圖）。此種橋梁今日甚少用



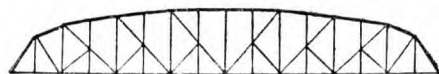
第九圖 普刺特式架梁



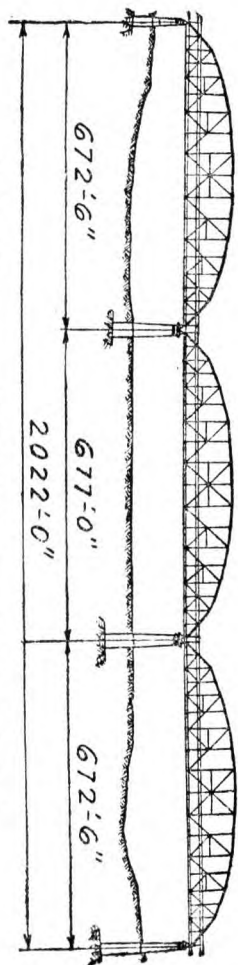
第十圖 窩稜式架梁



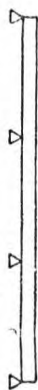
第十一圖 帕刻式架梁



第十二圖 賓夕法尼亞式架梁



第十三圖 美國聖路易市密七夫必河上之自由橋

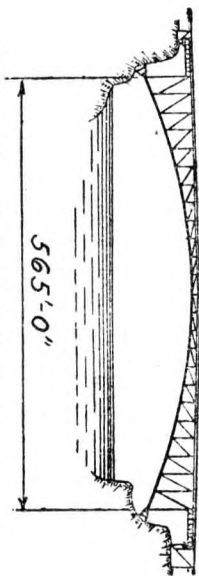


第十四圖 通貫梁

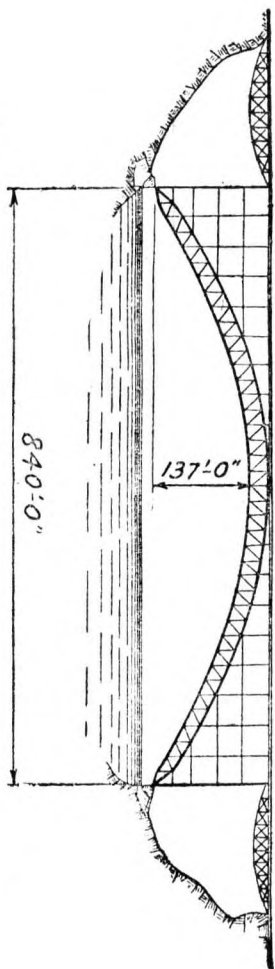
者。三個支點中之一，偶或因地基沈陷，離其原位，則全橋各部之受力，均起變化，而發生危險矣。在地質鬆浮之處，橋基橋墩，不免沈陷，則此種橋式，絕對不宜用也。

**拱橋** 在兩岸地勢高聳，中間須留航行地位，而近水處，復有岩石可以築基者，則拱橋至為適用，且最美觀。拱橋得為石拱橋，三和土拱橋，及鋼拱橋。石拱橋自古用之，雖在今日，亦有築作鐵路橋者。三和土拱橋則在公路鐵路中，均使用最廣。鋼拱橋之築法及式樣甚多。第十五圖及第十六圖所

示，俱為公路橋。第十七圖所示之鐵路橋，兩座間距離為九七七呎六吋，乃世界最長之鋼拱橋也。

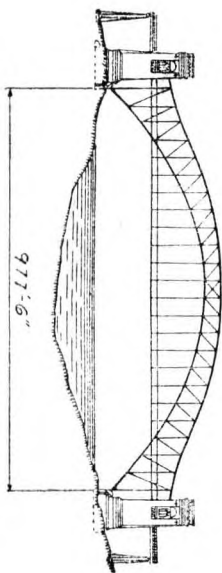


第十五圖 坎拿大聖約翰河上公路橋

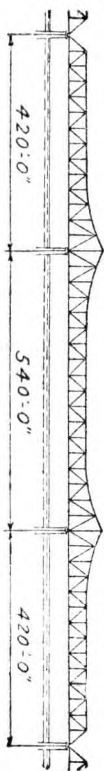


第十六圖 美國耐亞嘎拉克力夫谷公路橋

翅橋 簡單式橋，跨度在五六百呎以上，則橋身鋼料重量增加甚速，且中部彎折度亦過大，故長橋以翅橋為多（第十八圖及第十九圖）。翅橋者，以兩橋墩上建兩塔，伸出兩翅，而中間一部之簡單式架梁橋，則懸於兩翅端者也。如第十九圖之甲乙段，乃一簡單式架梁橋，而懸於甲乙二點也。



第十七圖 美國紐約市東河上之獄門橋



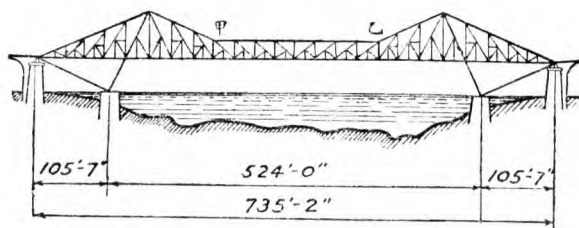
第十八圖 津浦鐵路梁口黃河橋



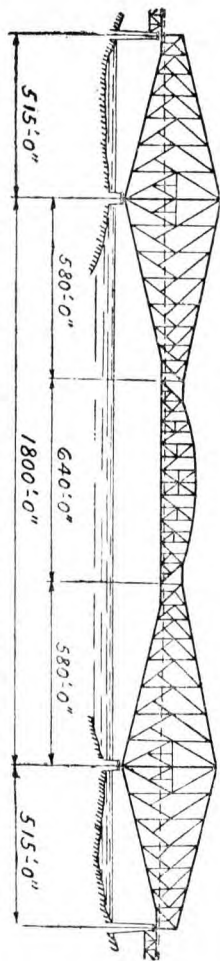
翅橋建築時，可不用在水面搭架，祇須由兩塔起構造兩翅，向中心逐段伸長，至中心一段，則由兩翅起分節構造以至相接也。

惟在河中水深流急處，搭架建築，頗屬困難；故有時即簡單式架梁橋亦用翅橋法建築，以免困難。

以翅橋與簡單式橋之本身重量相較，簡單式橋之靜載重 (Dead Load) (即橋身之重) 頗為均勻，而翅橋則大部分重量聚於兩塔，中部重量不大，故靜載重之分配，自然得宜。第十八圖所示，乃我國津浦鐵路黃河橋之一部。中間跨度為五四〇呎。世界上翅橋之大者，有蘇格蘭之福耳司橋 (Forth Bridge)，用碳鋼建築，中間跨度長一七一〇呎；北美洲羅凌士 (Lawrence) 河上之魁北克橋 (Quebec Bridge)，用合金鋼建築，中間跨度長一八〇〇呎，為目下世界最長之翅橋 (第二十圖)。



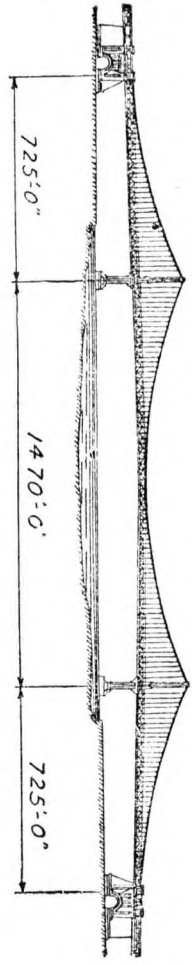
第十九圖 蘇格蘭厄替甫湖上昆涅爾渡鐵路橋



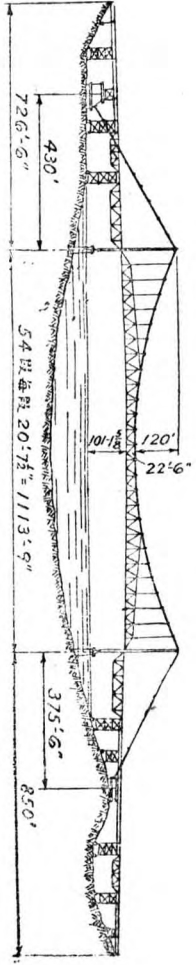
第二十圖 北美洲羅凌士河上魁北克橋

**吊橋** 吊橋多為跨度甚大之橋，於兩橋墩上各建高塔，以鋼索吊起橋架，而將索之兩端深扣於兩岸，如第二十一圖。吊橋之最要部分為鋼索。如用碳鋼索，其牽引應力可高至每方吋五萬五千磅至六萬磅。故使用物料上頗為經濟。吊橋之缺點為乏勁性，不便鐵路車輛經行，故吊橋甚少用作鐵路橋，而多用作公路橋，在其上行駛電車。最近巴西國建一吊橋，乃以碳鋼眼桿代索，而橋架之上部，即以眼桿為之，如第二十二圖。

**活動橋** 在岸平水漲，船隻往來頻繁之處，為維持水上交通起見，可建築活動橋，俾得依時啓



第二十一圖 美國紐約東河上之滿哈坦 (Manhattan) 橋



第二十二圖 巴西國新吊橋

閉，以通舟楫。活動橋之種類，大概可分為以下各種：

(一) 單葉式或雙葉式開動橋 (bascule bridge) 其開闔係利用一重體之下墜者也 (第

二十三圖)

(11) 旋轉橋 (swing bridge)

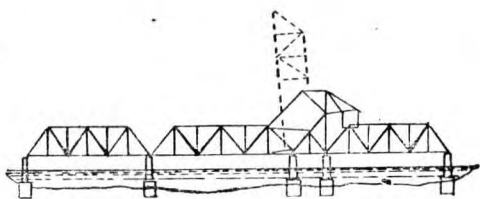
以橋墩中心為支點。開橋時用機械力使橋旋轉約九十度，以容舟楫通過者也 (第二十四圖)。

(11) 升降橋 (lift bridge)

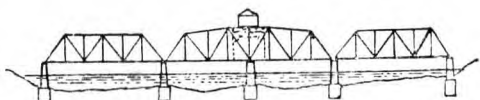
橋之一部能上下升降，依時使舟楫通行者也 (第二十五圖)。

活動橋之優點，在橋身毋庸全部

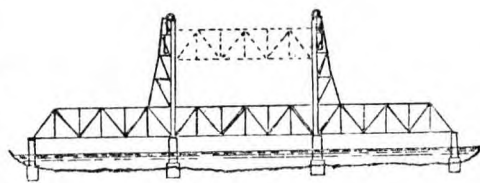
升高，減少橋墩之建築費。其缺點，在水上交通，未免感覺不便；且機械運用，亦極須謹慎，以防危險。天津萬國橋及金剛橋，皆屬於第一類之活動橋。以國內東南水道情形而言，將來此類橋梁之建築，或頗多也。



第二十三圖 開動橋



第二十四圖 旋轉橋



第二十五圖 升降橋

## 第三章 橋梁之材料

**木料** 昔日建橋多用木料。不獨橋身爲然，卽橋墩亦以木爲之。近日則以木料漸缺乏，大材難得，價值奇貴，且木料較易腐蝕，故稍長及稍重要之橋，悉多用三和土及鋼建築之。惟內地交通不便之處，水泥缺乏，或鋼鐵之運轉較難，而就地富於木材者，則自以就地取材，較爲經濟而省時。西南各省之公路橋，不少此例也。

木料以體直，理密，强度高，而產量多，能得多數大料者爲最佳。但售價亦因之以昂。種類大抵以松類爲佳。我國海岸各埠多用美松，南方亦有用南洋所產之硬木。國內森林不盛，木材之合於築橋用者，不多見也。

木料無論何種，伐下後必須經過若干時間，使樹液發散後，方可使用，否則易於腐朽，形狀亦易歪曲。爲延長木料之使用年齡起見，可施以藥料蒸製。最普通者厥惟幾阿蘇油 (Creosote)，用壓力

使之深滲入木理中，如是可使木料較爲耐用。因木料之缺乏及價貴而難得，故蒸製法頗爲一般工業界所注意也。

**石料** 石料之用於橋工者，分爲砌石及三和土內之碎石二種。石砌拱橋爲初期橋梁之最著者，今日較重要之橋及鐵路橋亦尙有用石砌拱橋。祇以佳石價昂，大者運轉不易，施工難而費時多，故多代以三和土。砌石中最良者厥惟花崗石，價亦最昂，蓋以琢石需時也。次一等之石料爲上等石灰石，價較廉，使用最著。沙石質鬆，不宜於用。

用於三和土之碎石宜堅硬，潔淨，而耐用；不宜雜有塵埃汗泥；且應多稜而忌圓滑，庶易與水泥及沙等固結也。普通用於三和土之碎石，亦以石灰石爲較多，以出產多而較廉故也。橋上路面之鋪砌，則少有用碎石者。

**沙** 沙爲三和土中重要成分，亦爲膠沙之重要材料。沙之良否，影響於強度不小。沙宜粗糙有稜而潔淨，不宜圓滑。且其大小宜不整齊，俾大小參合，易於固結。

**水泥** 水泥爲三和土中極重要之成分，其良否影響於三和土之強度者至鉅。國內製造廠頗

有數家。舶來品良莠不齊，用時宜慎於試驗選擇。

近日三和土之用於橋梁工程，日見顯著。蓋砂及碎石幾隨處可以取用，價亦不昂。水泥使用之量不多，且以桶載，運轉並不困難，而施工則普通工匠即能勝任，不若鋼鐵工匠之須有特殊技能。凡此皆係三和土優於木料及鋼之要點，而為他日廣於使用之原因。惟橋之跨度較大者，則仍須讓鋼鐵一步也。

**鋼** 橋之較重要而跨度較大者，多用鋼料以鉚釘結構而成。鋼料依其製成之形狀，名為角條 (angle)，槽條 (channel)，工字條 (I-beam)，及鋼板 (plate) 等，如第二十六圖。此種鋼條有大小尺寸之不同，而同一高度亦有厚薄之不同，得配合用之。鋼質內因含有若干之碳質，故名為碳鋼。並依所含碳質成分之多少，而區別為軟鋼，半硬鋼，及硬鋼三種。強度亦因之各異。大抵牽引或擠壓強度，每方吋有五萬磅至六萬磅者，謂之軟鋼；六萬磅至七萬磅者謂之半硬鋼；七萬磅至八萬磅者



角條

槽條

工字條

鋼板

第二十六圖 各種鋼料

謂之硬鋼；然其間亦無顯著之分別也。

軟鋼多用於鋤釘。其他如角條，槽條，工字條，鋼板等則多用半硬鋼。昔日眼桿之用於跨度較長之橋者，偶有用及硬鋼者。今則幾全代以合金鋼。硬鋼性脆，不能多受衝撞之力也。

鋼之製造有柏塞麥法與平爐法二種。用於橋工之鋼，多以後者為佳。後者依其製造法而有酸性及鹼性之別，以鹼性者之用為多。

鋼中所含之碳質與鋼條強度之關係，約略如下：

每方吋之強度	含 碳 量 (%)
五〇、〇〇〇磅	〇・二五至〇・三〇
六〇、〇〇〇磅	〇・三〇至〇・三五
七〇、〇〇〇磅	〇・三五至〇・四〇
八〇、〇〇〇磅	〇・四〇至〇・四五
九〇、〇〇〇磅	〇・四五至〇・五〇



三和土內所用之鋼條，以半硬鋼爲宜。其形式有方者，有圓者，有光滑者，有起稜以增加三和土與鋼條間之固結者。起稜鋼條，市上出售者種類甚多，用時宜慎擇之。

**生鐵** 生鐵不宜用於橋工，以其質地不結實，強度薄弱故也。然亦有其適用之處，如橋座之鐵板，用以傳達重力於一較大之面積時，可以用之。又活動橋中之重物，其功用祇在得其重力，而不論其強度者，則生鐵至爲合用。

**熟鐵** 熟鐵內幾無碳質，而爲純粹之鐵。在未製鋼以前，橋工即多用之。今日則熟鐵之用甚少。熟鐵較鋼爲易於鎔合，故橋上之須鎔合者，如吊桿等，仍用熟鐵，又熟鐵較能抵抗銹蝕，亦其特性。

**合金鋼** 近二三十年來，橋工之大者，始有以合金鋼爲之。最著者爲鎳鋼 (nickel steel)。世界有名之翅式魁北克橋，中孔一、八〇〇呎，其一部分即以鎳鋼爲之。蓋因鎳鋼與碳鋼同樣可靠，而其強度則增加五〇%至七〇%故也。因其強度較大之故，用料較少，而橋身較輕。在跨度較大之橋，所關亦甚重要。雖其每磅單價較之普通碳鋼略高，而其應用日見推廣。鎳鋼中所含鐵以外之主要成分，約略如下：

成分	鉋釘鋼 (%)	鋼板及鋼條 (%)	鋼眼杆 (%)
錳	〇・六〇	〇・七〇	〇・八〇
碳	〇・一五	〇・三八	〇・四五
鎳	三・五〇	三・五〇	四・二五

## 第四章 橋梁設計之選擇

在重要橋梁，設計之選擇，所關至大。不獨圖建築費之低廉而已，舉凡運輸上之便利，商業上之影響，及常年修養費之減省，皆大有研究。此外有關之問題尚多。雖或未能一一求其適合，然不能不一一研究。今將各種問題別舉於次。

**政府之規定** 橋梁爲內政事項之一。在地方，固關係於人民安全與便利；而在國家，則影響於政治，交通，水利，軍事者至大。故凡文明國家，對於橋梁之設置，所有跨度之長短，橋身之高度，橋梁跨過水道之爲斜爲正，及橋梁之強度，均有相當之規定。又如所跨過爲可以通航之大河，則橋身應高出於水面幾何，俾商輪或軍艦得以穿過橋洞；或所築之橋爲活動橋，則橋式，橋長，及活動之方法等，皆須先得政府之核准，方能着手。

**坡度與路線** 橋面宜平，而無坡度。若不得已而有坡度，則宜全橋劃一，而不宜於橋上將坡度

變更。蓋橋上若有變更之坡度，則無論爲凸爲凹，必足使運輸上之原動力耗失。若係凹入，且足使車輛經行時發生震動。惟普通習慣，常使橋之中部拱起若干，使滿載時即平直無坡度。橋上路線宜直而無曲線，且不獨橋身宜直，即兩端以外亦須有數百呎之直線，方可彎曲，以防萬一脫軌之危險。

**地理** 橋梁所在地之爲城市爲鄉野，交通之便利與否，工業之有無，皆直接影響於設計。若某種材料特別缺乏而昂貴，或運輸不便而限制大料或重料之使用，皆與設計之選擇有關。

**商業影響** 商業上影響於橋梁之設計者，爲經過橋上人物之性質及數量。應研究最經濟之方法，以應付之。若設計者有充分之經驗與研究，則可使橋梁之運輸能力增加，較建築費之增加爲緩也。

**水道情形** 水面最高度及最低度，爲橋墩設計所由定。而河中船舶，足以決定橋底與最高水位之距離，亦即橋墩高度所由定。如橋墩之建築費過昂，或須減少橋墩之數，而增加橋梁之跨度。又全橋之總長度，亦視最高水位而定。

**基礎情形** 橋梁之位置，常因有無良好基石而定。若附近無較好之基石，則地質如何，及建築

橋墩方法如何，足影響橋之跨度。因建基之費愈大，則橋梁之跨度必趨向較大也。

**施工之便利** 材料之供給，巧工之招致，修理廠之有無，運輸之便否，皆影響於設計之選擇。至於建築之方法，或搭用木架，或用翅橋建築法，或載橋於躉船上，浮至造橋處，而整個懸起，皆直接影響於橋梁之式樣。又新橋如係用以代舊橋，而同時又須保持運輸之無礙，則設計尤應注意。

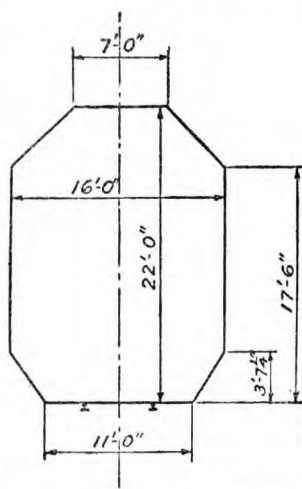
**橋梁之經濟跨度** 較長之橋，應於河中建墩，而將全橋分為若干段。若多建橋墩，而使每段橋梁之跨度短小，則橋身省，而橋墩之費昂。若用少數橋墩，則橋墩之費省，而橋梁之跨度增長，其建築費約與其跨度之正方成正比。最經濟之橋，為使橋身橋墩之總價最低。大抵橋身之價約與橋墩之價相等時，其總價為最低，而斯時之橋梁跨度，即為最經濟之跨度。如何得此經濟跨度，須經數次之試算而得之。然此乃就最普通情形而言。若橋墩建築時遇特殊之困難，或所跨過之河道，因船隻來往頻繁而不能多造橋墩，則每段橋梁之經濟跨度，又有他項限制矣。

**橋梁之經濟高度** 橋梁之高者，斜桿之受力大，而上下橫桿之受力小。故耗斜桿料，而省橫桿料。橋梁之低而扁者，橫桿耗料，而斜桿可省料。最經濟之高度，為使全橋橫桿之重約等於全橋斜桿

之重。普通底路式公路橋，其兩梁上端互相聯結者，則車輛通過之淨空高度，應至少有十二呎。若係鐵路橋，則此淨空當以鐵路所規定者為準。我國國有鐵路之單軌橋梁淨空如第二十七圖。

#### 橋面之寬度 橋面寬度應視運輸及車

務而定。橋梁之建築費常甚大，橋面寬度問題之解決，實較道路路面為難。且路面猶可放寬，橋梁則無從放寬也。普通公路橋，至少須有十六呎之寬度。若在城市，而橋之兩端公路甚闊，運輸不繁者，則橋面寬度可較小於道路之寬度，以求經濟。若係鐵路橋，則橋上應否預備雙軌，或預留雙軌地步，當視在此橋之使用年內有無行使雙軌之必要而定。橋梁之預備雙軌者，其造價約比單軌者多費五〇%。故為節省起見，苟目前或最近無設雙軌之必要，自應先設單軌。即使運輸驟加發達，橋之兩端軌道已設兩條，而橋上一段仍無妨暫設單軌，於橋端特設號誌以管理車輛之行動，而策安全。此



第二十七圖 中華民國國有鐵路單線橋梁淨空圖

於運輸上，亦無多大妨礙也。京漢鐵路黃河橋籌備重建時，亦主張單軌。津浦鐵路黃河橋係預留雙軌地位，而十餘年來，迄未見有改設雙軌之必要也。

## 第五章 橋梁之靜載重

橋梁所受之重，得分爲靜載重 (dead load) 與活載重 (live load) 二種。車輛行人之行動，足使橋梁之應力隨時變遷者，謂之活載重。而橋身之重，與橋身所時常承受之重，如自來水管，橋面鋪砌等，皆謂之靜載重。

在計算簡單式橋梁之重，每作每呎之平均重量計算。此法計算固甚便捷，而與事實相去亦不遠。蓋上橫桿及下橫桿，在橋之中部，重於橋之兩端，而斜桿則兩端重於中部也。在式樣複雜之橋梁，如拱橋，翹橋，活動橋等，其靜載重並不均勻，不能再以平均重量計算，祇有假定其每段之靜載重若干，俟設計略定，再將其每段之確數計出。如不差謬，自可作準。否則比照增減，至與事實相差不遠爲止。

橋身之重，當視橋所承受之力爲斷。在簡單式公路橋，祇能就其運輸之量，約略假定，然後試其



確否。在鐵路橋則假定爲難，而橋身重量與活載重之關係，又頗有準則。今假定照古柏氏  $E_{50}$  之活載重計算。以橋身每呎鋼料之重量磅數爲  $P$ ，跨度之長度爲  $L$ ，則：

在面路式鋼板梁橋， $P = 12L + 150$

在底路式鋼板梁橋， $P = 13L + 600$

在鋼架橋， $P = 7L + 660$

若活載重爲  $E_{60}$  或  $E_{40}$ ，則照上式各增或減八分之一。以上各式亦祇爲便於計算起見，設計成後，仍須復核，庶知照式所算是否準確也。

照上式計算，如全橋分作若干截，每截之長度爲  $l$ ，則在聯接點之總重爲  $Pn = P$ 。在底路橋可假定  $\frac{3}{4}P$  之力聚於下桁間之聯接點，而  $\frac{1}{4}P$  聚於上桁間之聯接點。在面路橋則反是。若橋面鋪有厚重之路面，則其上下之分配，可爲  $\frac{2}{3}P$  及  $\frac{1}{3}P$ 。

材料	單位	重量(以磅計)
----	----	---------

木料	橋上之鋼軌及其扣件	三和土	鋼骨三和土	地瀝青鋪砌地面	磚砌地面	泥土	鋼	吊橋鋼索,直徑一吋	吊橋鋼索,直徑一又四分之一吋	吊橋鋼索,直徑一又二分之一吋
體積一立方呎	對於標準軌距之鐵路一呎	體積一立方呎	體積一立方呎	體積一立方呎	體積一立方呎	體積一立方呎	體積一立方呎	長一呎	長一呎	長一呎
六〇	一五〇	一五〇	一五五	一三〇	一五〇	一〇〇	四九〇	一・七〇	二・六五	三・八二

吊橋鋼索,直徑一又四分之三吋	長一呎	五・二〇
吊橋鋼索,直徑二吋	長一呎	六・八〇
吊橋鋼索,直徑二又四分之吋	長一呎	八・六〇
吊橋鋼索,直徑二又二分之一吋	長一呎	一〇・六二
吊橋鋼索,直徑二又四分之三吋	長一呎	一二・八五
吊橋鋼索,直徑三吋	長一呎	一五・三〇

## 第六章 橋梁之活載重

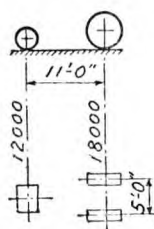
凡經行橋梁上之車輛行人等，在橋梁上之位置不定者，謂之橋梁之活載重。在公路橋則有電車，汽車，小車，牲畜，行人之區別。在鐵路橋則有汽機鐵路，及電機鐵路之區別。活載重常較靜載重爲大。且因位置不定，對於橋梁各部應力之計算亦較繁。

**公路橋** 橋上行人之重量，常以每方呎若干磅數表示之。假使橋上滿載行人，以致擁擠不能動彈時，其每方呎之重量，約自八十磅至一百磅。在此特殊情形之下，人羣既不能急速行動，除本身重量外，所發生衝擊力，幾等於零。行人之衝擊力，在短窄之橋，約等於其活載重之六〇%。行人愈衆，則速度必減，所發生之衝擊力亦遞減。故行人重量實無過分估量之必要。且橋梁短者，滿載之機會較多；橋梁愈長，則滿載之機會亦愈少。故行人重量之估算，可視橋之長度爲定。牲畜之重量，分計之，雖或較人爲重，但羣畜過橋時，其總重則常較密集行人爲輕。惟牲畜之衝擊力則較大。公路橋上最

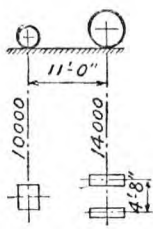
大之衝擊力，大約為在軍隊依照步伐過橋之時。如係吊橋，尤易發生危險。故陸軍習慣，每有於過橋時故亂其步伐者。

大抵公路橋除極短小者外，

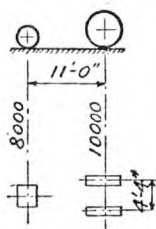
皆有路面以行車輛。故最大活載重常以經行最重之車輛為準。近來汽車之用日著，重量亦日增。除汽車外，修築道路所用之輾路機亦常為活載重之最大者。輾路機之重量雖常較汽車為重，但行駛遲緩，其衝擊力遠不若汽車所發生之大。第二十八圖所示，乃各種輾路機與載貨汽車之軸距及軸



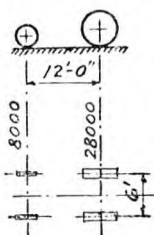
十五噸輾路機



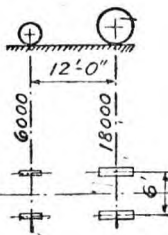
十二噸輾路機



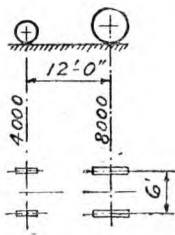
九噸輾路機



十八噸貨車



十二噸貨車



六噸貨車

軸重以磅計

第二十八圖 各種輾路機與載貨汽車之軸距及軸重

重也。

**電車** 電車之重量，與年俱增，而對於橋梁上之關係，亦漸覺重要。今日所用之電車，有長至六十呎以上，滿載時重在六十噸以上者。至於此項車輛之有幾輛同行，則視各種情形而異。惟至少應以二輛計算。第二十九圖所示，乃各種電車之軸距及軸重之可作為標準者也。

### 鐵路橋

鐵路橋之活載重，當為經過該橋之最重機車，及其所牽引之最重車輛。然機車各個不同，所牽引之車輛各異。且各路所用之種類不同，因之計算橋梁應力最為繁瑣。美人古柏 (Theodore Cooper) 氏，首創標準活載重，使各種不同之機車及車輛悉納於數種標準載重之中，而此數種標準載重又有相互之比例。因之計算橋梁應力之方法歸於簡易。人以其便捷利

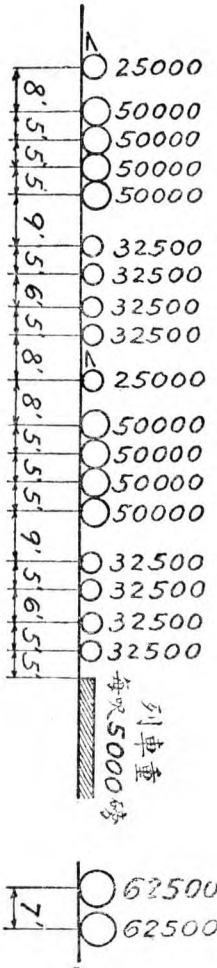
類目	軸距(呎)					軸重(磅)
	○	○	○	○	○	
15	5	5	20	5	5	15,000
20	6	5.5	23	5.5	6	20,000
25	7	6	26	6	7	25,000
30	8	6.5	29	6.5	8	30,000
35	9	7	32	7	9	35,000
40	10	7.5	35	7.5	10	40,000

第二十九圖 各種電車之軸距及軸重

用，因名之曰『古柏氏活載重。』

古柏氏活載重係包含連接兩輛之鞏固式機車 (Consolidation Locomotive) 附掛煤水車及車輛。其全車之長度及軸數，軸距，皆一定。惟軸重則視各種活載重比例。如 E50 之軸重較之 E30 之軸重為四與五之比例；以便於計算及比較也。所以用機車二輛者，則因機力不足時，或機車損壞時，每多拖帶一輛也。第三十圖乃示古柏氏 E50 活載重之軸重。

近世機車之製造日趨於強有力，因之體重亦有加。自雙套輪過山式機車 (Mallet type



第三十圖

古柏氏 E50 載重

(locomotive) 行使以來，機車之重量更遠逾曠昔。故各國標準軌距（兩軌頭內側距離四呎八吋半者爲標準軌距）之鐵路，橋梁之設計多用  $E_{50}$  至  $E_{60}$  之活動載重。我國鐵路建設之始，多因陋就簡，故現有橋梁中其能力有祇有古柏氏  $E_{25}$  至  $E_{30}$  者。雖車務日繁，亦不能改駛重機車，於車務至有妨礙。今則國有鐵路，規定所有幹路橋梁，悉須依  $E_{50}$  計算；而舊日橋梁之薄弱者，亦須依照加固也。



## 第七章 橋梁之衝擊力及風力

**衝擊力** 車輛在橋上行動，其輪軸地位隨時不同，因之橋梁各部分之應力亦隨時而異，既如上述。此種車軸之重，在停放時與在急行時所影響於橋梁之應力，大大不同，其在急行時之力，多出於在停放時之力，謂之衝擊力 (impact)。

衝擊力發生之原因甚為複雜。幾經專家研究，知機車主動輪 (driver) 之不均衡，路軌之粗糙不勻，機車車輪之重心離出，橋梁受力之急驟，及橫梁及承軌梁 (stringer) 之因受力而撓曲，皆為衝擊力之主要原因。

衝擊力之大小，就歷來經驗所得，係視橋梁之長短而異。短橋所感受之衝擊力較長橋為大，而列車初行駛上橋梁時，其衝擊力又較列車全部已抵橋上時為大。最初規定計算衝擊力之公式，為美人司乃得 (Schneider) 氏所規定，如下列所示：

$$I = S \times \frac{300}{L + 300}$$

上式中，S 爲橋梁某一部之最大活載重應力，L 爲列車駛上橋梁時之長度，I 爲衝擊力。譬如列車以最急速度初駛上橋時，L 爲 0，如是 I 卽等於 S；卽列車初駛入橋時，其衝擊力等於在停放時之應力，而全部分所受之應力，等於 S 之一倍也。此種結果，與實地試驗所得之結果，大致相符。照上式，L 愈大，則 I 愈小。卽列車駛入橋梁愈長，I 愈小。如駛入橋梁上之列車長三百呎時，I 將僅爲 S 之一半也。

近年學者關於衝擊力之研究，未嘗或止，新出公式亦甚多。但因司氏之公式發明最早，與試驗結果較近，且甚便於應用，故仍以此公式最爲通行。

**風力** 風力對於橋梁所發生之主要影響如下：

(一) 使橋梁兩架間之上下支撐 (lateral bracing and sway bracing) 發生直接應力。

- (二) 使橋梁上下兩橫桿發生直接應力。
- (三) 如橋上有列車行駛，則風之橫吹重力，足以增加橋梁兩端支點之反應力。
- (四) 使橋梁主要之部因風力而致撓曲，如橋梁兩端之斜桿 (end Post) 是。
- (五) 使橋梁全部趨向於傾側。
- (六) 在活動橋中增加活動機械之應力。

計畫橋梁時，計算橋梁旁面面積（即暴露於風力之面積）每方呎有若干磅之風力，實為一不易決定之問題。關於此事，學者之研究與試驗，已屬不少。但因風力變化莫測，且他種事物之影響太大，出乎人力之外，故試驗之結果多難符合。然大致為世所公認者，有下列數事：

- (一) 對於一定面積之風力，其壓力與風行速度之平方為比例。
- (二) 受風之面積增加，則平均之單位風力減少。

一平面與風之壓力成直角時，其所受壓力之大小，得以左列公式表示之：

$$P = KV^2$$

上式中：P 爲風力之每方呎磅數，V 爲風行速度之每小時哩數，K 爲一系數，其數目約爲 0.00 三二至 0.00 四。假定風行速度爲每小時一百哩，則 P 爲每方呎三十二磅至四十磅。一百哩之風，爲極強烈之暴風，不常遇見，故設計橋梁之時，取每方呎三十至四十磅，爲風力之量，已足防備意外矣。

普通計算鐵路橋上下兩層之風力撐桿 (wind bracing) 所用之風力強度如下：

(一) 如橋上有車輛行走，就橋架所暴露於風力之面積，照每方呎三十磅算，另計列車每呎長度所受風力四百磅，施於高出軌面約七呎之處。

(二) 如橋上無車輛行走，則依其暴露於風力面積，照每方呎五十磅計算。以上兩種計算法，視何種能發生較大之力而用之。

橋梁之長者，所受風力，較短橋爲小，關於此點，美人華特爾 (Waddell) 曾提出下列之計算法：

(一) 如橋上有列車行走，則長二百呎之橋用三十磅；長六百呎之橋，用二十五磅；長一千呎以上之橋，用二十磅之單位風力。

(二) 如橋上無列車行走，則長二百呎之橋，用三十五磅；長六百呎之橋，用三十磅；長一千呎以上之橋，用二十五磅之單位風力。

公路橋可用三十磅之單位風力。但最大之活載重，與最大之風力，可不必同時計算。因發生每方呎三十磅之狂風時，滿載車輛必不敢經行橋上也。

**列車牽引力** 如列車在橋上驟然開行，或驟然停止；在高架之橋或棧道 (Trestle)，此種牽引力頗堪注意。大抵列車如用氣軌 (air track)，使之在橋上驟然停止，其牽引力較開行時為大。故鐵路之建設，常使車站與橋梁距離稍遠，俾不致受氣軌之影響也。此種牽引力在計算時應作為列車活載重之二%，施於軌道之平面上。但在普通橋梁，每忽略之。

**列車離心力** 橋梁若位在鐵路之曲線上，則列車之離心力足以增加橋梁之受力。若物體之重為  $W$ ，速度為  $V$ ，曲線半徑為  $R$ ，則離心力等於  $WV^2/Rg$ 。 $g$  為重力加速度，每秒每秒  $32.2$  呎。列車之速度  $V$ ，應以  $60 - 2\frac{1}{2}D$  為限；式內  $D$  為曲線之角度數。此種離心力，亦當視為一種活載重而計算之。

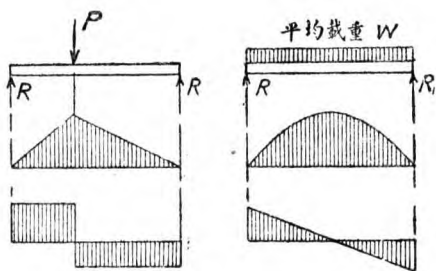
## 第八章 橋梁應力之計算

橋梁設計之基本科學爲算學，力學，工程材料學，及材料強度學。此四者之研究，另有專書，學者應於此四科先有相當之研究，茲編不能多贅。又三和土橋之理論及設計，應求之三和土學專書。本編爲便利起見，祇以簡單式鋼橋爲範圍。所有拱橋，翅橋，懸橋等，則因理論較深，學說較繁，概從省略。

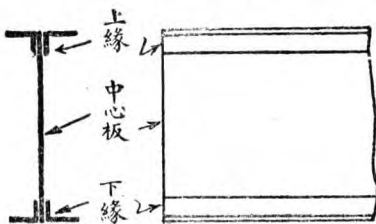
**撓曲力與剪割力** 無論板梁橋或架梁橋，若橋上載有重力，則橋之全部即受有撓曲力 (bending) 及剪割力 (shearing) 二種。撓曲力自兩端向中心逐漸增大。靜載重之撓曲力以橋之中心點爲最大。活載重之撓曲力最大之處，須視載重而異，雖非真正中心點，然距離中心總不遠。剪割力則以兩端爲最大，向中心逐漸減少（第三十一圖）。在鋼板梁橋則所以抵抗撓曲力者係恃上下兩緣 (upper and lower flanges)（第三十二圖）。上下兩緣之重心距離愈大，則抵抗力愈大；因兩緣之強度等於撓曲力以此距離除之也。鋼板梁橋係靠中心板以抵抗剪割力。中心板之

面積愈大，則其抵抗力亦愈大。在鋼架梁橋則上下兩橫桁用以抵抗撓曲力，而各斜桿用以抵抗剪割力。若橋梁攔於兩端，而中部受下向之載重，則鋼板梁橋之上緣常受擠壓力，而下緣常受牽引力。鋼架梁橋之上下橫橋亦如之。鋼架梁橋之斜桿為有擠壓力或為有牽引力，則須視剪割力之性質而異。大抵近橋之兩端者多屬固定，而近橋之中部者，則或偶受擠壓力，偶受牽引力，常因情形而異也。

**板梁橋之最大承受力** 板梁橋兩承座之承受力 (Reaction) 若祇受靜載重，則其位置及重量均有一定。若其靜載重為平均分配者，則每承座之承受力各等於橋上全部分靜載重之一半。若



第三十一圖 撓曲力及剪割力之分配圖



第三十二圖 鋼板梁

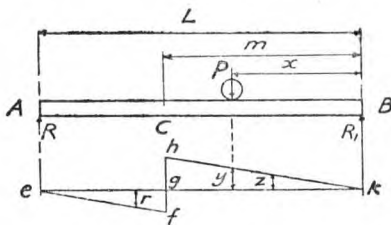
橋上有活載重，則兩端之承受力，依重量之位置而異；而此載重在一定之地位時，其一端之承受力為最大。在平均分配之活載重，則兩端之承受力以此活載重載滿全橋時為最大。若為輪軸之活載重，如機車車輛等，其輪軸有一定距離者，則其一端之承受力以全橋滿載，及輪軸中較重者接近此端時為最大。

板梁橋之最大剪割力 板梁橋上某一截面之剪割力，為此一截

面左方（或右方）承受力及載重力之和。（方向同者相加，異者相減。）靜載重祇可以加減得之，無所謂最大也。活載重則某一截面之剪割力，視輪重之位置而異。如第三十三圖 C 截面之剪割力，視  $x$  而異。而剪割力  $S$  為

$$S = \frac{Px}{L} = R$$

上式中  $x$  等於  $m$  時， $S$  之數為最大，即等於  $Pm/L$ 。今假使以  $h_g$  線之長度代表此  $S$  之數，而聯  $h_k$  線，則此三角形中任何一處之高度，為  $C$



第三十三圖 板梁橋上某一截面之剪割力

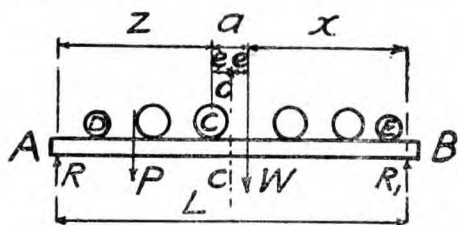


截面遇 P 在此處時之剪力。若 P 在 C 截面之左，則  $S_1 = \frac{Px}{L} - P = R - P$ ，此數可以  $egf$  三角形代表之。如此可見 P 最接近 C 截面時，其截面之剪力為最大。如活載重係包含前頭一小輪，後頭數大輪，如普通之機車，則應以一大輪靠近此截面以求最大之剪力。至如何地位能致最大之剪力，可試驗得之。至於平均分配之活載重，則以此截面至較遠一橋座滿載時，其剪力為最大。

**板梁橋之最大撓曲力** 板梁橋之最大靜載重撓曲力為在正中間之一截面，其數為  $\frac{WL}{4}$ 。式內 W 為靜載重每呎之重，L 為跨度之長。至於任何一截面之撓曲力，亦易計算得之。活載重最大撓曲力發生之處，係在活載重中一重輪之下，其位置可依下定律求之。

『板梁橋上最大撓曲力之地點，與橋上各輪軸之重心，在板梁橋中心左右同一距離。』

此定律可以學理證明之，茲不贅。如第三十四圖，梁上有動輪凡六，



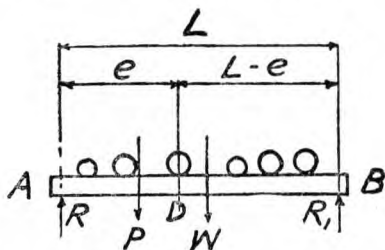
第三十四圖 板梁橋上因活載重發生最大撓曲力之地點

C 爲大輪之一，W 爲六輪之重心，○○ 爲梁之中線。今若移動此數輪，使梁之中線與 W 及 C 之距各爲 E，則 C 輪下之撓曲力爲最大。此係指斷定最大撓曲力所發生之處而言。至於在某一定截面而欲求其活載重之部位，致發生最大撓曲力，可依下定律求之。

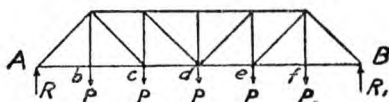
『活載重之地位，須使在此截面之上有一重輪，而同時全橋上之平均載重等於此截面以左之平均載重。』

如第三十五圖，D 爲梁上任一截面，W 爲梁上活載重之重心，P 爲 D 以左各重輪之重心。按照上定律，如 W—L 等於 P—E 時，D 截面之撓曲力爲最大。

**架梁橋之最大承受力** 架梁橋上之載重，係直接或間接傳遞於架梁之聯接點，在靜載重中，如架梁各節之距離一致，則各聯接點之重亦一律，而橋座之承受力亦易算出。如第三十六圖爲一六節之架梁橋，



第三十五圖 板梁橋上某一截面之最大撓曲力



第三十六圖 架梁橋之剪割力

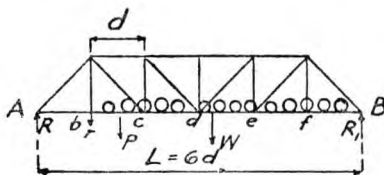
每節之長為  $d$ ，每呎之重為  $w$ ，則每聯接點之重  $P$  為  $\frac{1}{2}P$ ，而每端之承受力等於  $\frac{1}{2}P$ 。在活載重中，則一端之承受力亦以全橋滿載，及一重輪靠近該端時為最大。

**架梁橋之最大剪割力** 靜載重各節之剪割力為固定。如第三十六圖  $\Delta D$  節內之剪力為  $R$ ， $Dc$  節內為  $R - P$ ，餘類推。在平均分配之活載重，則某一節之剪割力以活載重行至該節時為最大。至於輪軸載重之最大剪割力，可依下定律求之。

『在同長  $n$  節之架梁橋，其任何一節之剪割力，以此節內之重量等於各節之平均重量時為最大。』

如第三十七圖， $W$  為橋上之總重， $P$  為在  $Dc$  一節之重，如使  $P$  等於  $W - n$ ，則  $Dc$  節之剪割力為最大。

**架梁橋之最大撓曲力** 在靜載重及平均分配之活載重，其任何一聯接點之撓曲力，均以全橋滿載時為最大。而最大撓曲力之一點，即為中部之聯接點。如係輪軸之活載重，則可依下定律求之。



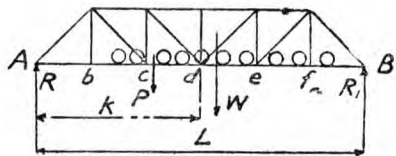
第三十七圖 架梁橋因活載重發生最大剪割力

『架梁橋任何聯接點之撓曲力，係以全橋平均載重等於聯接點左方平均載重時為最大。』

如第三十八圖， $W$  為全橋輪軸之總重， $P$  為自聯接點  $d$  至左端  $A$  中間之重量，如  $W = L$  等於  $P = K$ ，則  $d$  點之撓曲力為最大。

**架梁橋各部之應力** 架梁橋各部所受之重，皆由聯接點傳遞，故所有應力都係單純之牽引力或擠壓力。依上所述架梁橋之上下兩桁，乃係抵抗撓曲力，而各斜桿則抵抗剪力，故計算上下桁時，應視最大之撓曲力而定，而計算各斜桿時，應視最大之剪力而定。今特舉一極普通之例，以概其餘。

第三十九圖 (a) 為一六等長節之簡單式架梁橋。每下部聯接點受一重量  $d$  為每一節之距， $h$  為橋架之高度，即上下兩桁間中心之距離， $L$  為橋架之跨度，即兩端承座中心之距離， $R$  及  $R_1$  為兩端之承受力。如此各部分之應力可依各個力之均勢，及各個力撓幾 (bending moment) 之均勢得之。如欲求斜桿  $L_0O_1$  之應力  $S$ ，及下橫桿  $L_0L_1$  之應力  $S_1$ ，可假設一截線  $mm$ ，在此截線



第三十八圖 架梁橋因活載重發生之撓曲力

之左， $R$ 、 $S$  及  $S_1$  三力均衡（如圖 b）。其垂直力之和及其橫力之和均為零。故

$$R - S \cos \theta = 0$$

$$S_1 - S \sin \theta = 0$$

上式中  $\theta$  為斜桿與直桿間之角，因上二式可得

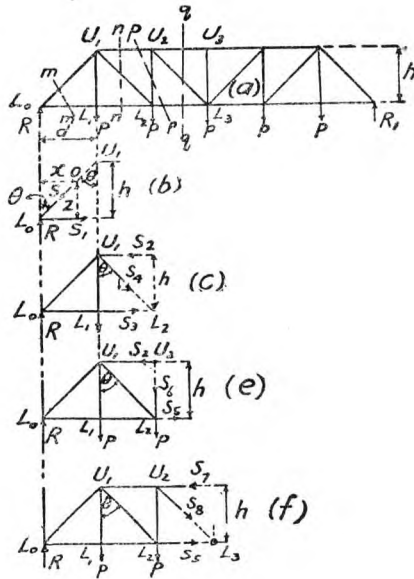
$$S = R \cos \theta = R \sec \theta$$

$$S_1 = S \sin \theta = R \tan \theta$$

在均衡各力中，得知各力之方向，並決

定  $S$  為擠壓力，而  $S_1$  為牽引力。又就聯接點  $L_1$  之四周各外力而言，即知直桿  $D_1L_1$  之力為牽引力，且等於  $P$ 。蓋以兩力成平衡，此外再無其他同方向之力也。

欲求上橫桿  $U_1U_2$  之應力  $S_2$ ，下橫桿  $L_1L_2$  之應力  $S_3$ ，及斜桿  $D_1L_2$  之應力  $S_4$ ，可假設一截



第三十九圖 架梁橋各部分應力之計算

線  $mn$  在此截線以左，各力均衡（圖 c），故以  $U_1$  為各力撓幾之中心，則

$$Rd - hS_3 = 0$$

如是

$$S_3 = R \frac{d}{h} = R \tan \theta = R_1$$

在聯接點  $L_1$  上，祇有  $S_1$  與  $S_3$  兩橫線，故兩應力當然相等。今又以  $L_2$  為各力撓幾之中心，

$$2dR - dP - hS_2 = 0$$

如是

$$S_2 = 2 \frac{d}{h} R - \frac{d}{h} P$$

又合五種外力之垂直分力 (vertical component) 而計，則

$$R - P - S_1 \cos \theta = 0$$

$$S_1 = \frac{(R - P)}{\cos \theta} = (R - P) \sec \theta$$

欲求  $S_5, S_6$  各力，可假設一截線  $pp$  (圖 e)。在此截線以左，有  $S_2, S_5, S_6, R, P, P_1$  六種力均衡。合以上各力之垂直分力而計，

$$R - P - P_1 - S_6 = 0$$

如是

$$S_6 = R - P - P_1$$

即等於全橋第二段之剪割力也。又合以上六力之橫分力而計，

$$S_2 - S_5 = 0$$

即

$$S_5 = S_2$$

欲求  $S_7, S_8$  各力，可假設一截線  $qq$  (圖 f)。在此截線以左，有  $S_5, S_7, S_8, R, P, P_1$  六種力均衡。若以  $L_3$  爲各力之撓幾中心，則

$$3dR - 2dP - dP_1 - hS_7 = 0$$

如是

$$S_1 = \frac{d}{4} (3R - 2P - P_1)$$

又合以上六種力之垂直分力而計，則

$$R - P - P_1 - S_3 \cos \theta = 0$$

$$S_3 = \frac{R - P - P_1}{\cos \theta} = (R - P - P_1) \sec \theta$$

就圖中所示載重而論，直桿  $U_3L_3$  並不受有應力。

以上乃述橋之左半各部應力之計算法。至於其他一半，可繼續依上法求之。又上例乃假定  $P_1, P_2$  等為固定。如屬於活載重，則宜求橋上各聯接點之最大撓曲力，及各節間之最大剪割力，以求各部分之最大應力焉。

**牽引力及擠壓力** 鋼鐵之極限牽引強度 (ultimate strength in tension) 約為每平方吋六萬四千磅，而其彈限 (elastic limit) 約為每平方吋三萬二千磅。為求安全起見，拉桿所受之



力，應在此彈限以下。但因鋼鐵製造或有不勻，人工或有不準，材料或有銹蝕，以及橋身因受重而致各部分所發生之次生應力，其影響如何，難以確定，故安全單位應力應為彈限之一半左右。現在公認之鋼鐵安全單位應力之用於拉桿者，為每平方吋一萬六千磅。

鋼鐵擠壓之極限強度，約與牽引相等。惟鐵桿受壓，恐致撓曲，故單位應力常不敢用至一萬六千磅，而依桿之長度遞減之。最通用之擠壓公式為直線公式如下：

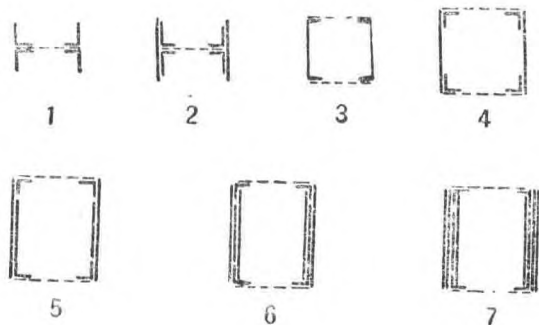
$$S = 16000 - 70 \frac{l}{r}$$

上式  $S$  為鐵桿安全壓力每平方吋之磅數， $l$  為壓桿之長， $r$  為壓桿之最小環動半徑 (Least radius of gyration)。此公式可以由線表示之。假如鐵桿之長度為十呎，其最小環動半徑為二吋，則  $S = 16000 - 70 \times \frac{120}{2} = 16000 - 70 \times 60 = 11800$ ，為鐵桿之安全單位應力，此數亦可於曲線上得之。

上述  $l/r$  亦名曰狹長度比例 (slenderness ratio)。此比例在鋼鐵壓桿約以 100 為限。若此比例過大，則單位壓力雖小，而鐵桿過弱，亦不能認為安全矣。又慣例  $l/r$  雖甚小，而  $S$  亦常

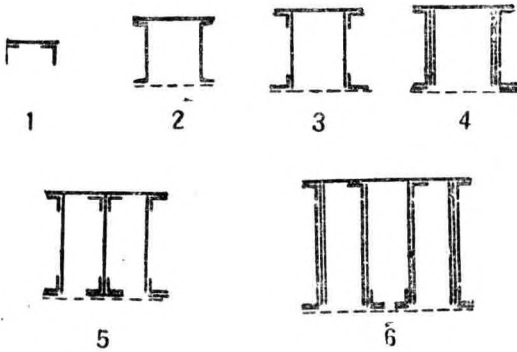
以一萬四千磅為限。即如  $l-r$  假定為二十， $S$  應為一萬四千六百磅，但仍以一萬四千磅計算，以保安全。

**普通拉桿及壓桿截面** 一拉桿或一壓桿之截面面積，應為多少，係此拉桿或壓桿所受之應力，而以安全單位應力除之。壓桿之安全單位應力依桿之長度而遞減，而拉桿之面積又須注意其為淨面積。所有鉚釘穿過之面積，均須扣除之。拉桿截面之形式與安全單位應力無大關係，但求便於結構而已。壓桿之面積則除便於結構外，須將材料分散於四週，以增加最小之環動半徑，方為經濟。第四十圖乃示下橫桿（拉桿）最普通之截面，其中(1)(2)兩種用於較短之桿，其他用於較長之桿。第四十一圖係上橫桿（壓桿）之普通式樣，其中(5)(6)兩種係用於大耐力之壓桿，於內部加用鋼片，以增加其

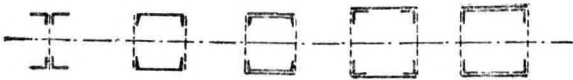


第四十圖 普通下橫桿截面

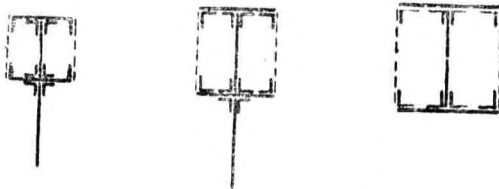
截面面積積者。第四十二圖為普通之斜拉桿截面，第四十三圖為普通直壓桿之截面。



第四十一圖 普通上橫桿截面



第四十二圖 普通斜拉桿截面



第四十三圖 普通直壓桿截面

## 第九章 橋墩橋座及基礎

**橋墩** 橋墩(Pier)係建築於河中，以承受兩橋者也。橋墩所受之力，除兩橋端之承受力外，爲水之衝擊力，風力，列車經行時之推動力，及列車在橋上驟加氣軛停車時之推動力等。

橋墩昔日以石砌爲最多，因其堅固而又美觀故也。近則以鋼骨三和土之用爲著，因其建築便利，而其耐力亦較石墩爲可靠故也。若以三和土作墩心，外層裹以石塊，則美觀與石墩無異。此外有以鋼鐵搭成塔形者，有以鋼板作壳而實以三和土者，亦可擇善用之。

橋墩之形式，大抵上小下大。惟上層承接橋端之處，則較爲寬大，如第四十四圖。墩身四周斜下之斜度，最小約爲每呎斜下半吋。但須視墩身是否有相當之強度，墩底是否有充分之面積，及形式是否美觀爲斷。橋墩之截面以兩端作半圓形最爲美觀。但在水流衝急之處，爲減少水流之障礙，及隨流而下之木排浮冰等之衝撞墩面，故上流一部在水面以下常作三角尖形，以殺水勢。至於橋墩

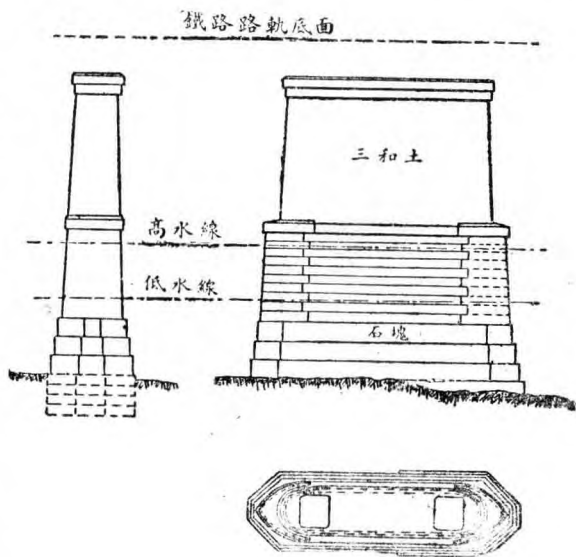
之設計，當會合在各種情形下所發生之力，而使其力之焦點常降落於中心三分之一之處，且須將橋墩全部分截計算，併使各截中間不發生過度之剪力也。

**橋座**

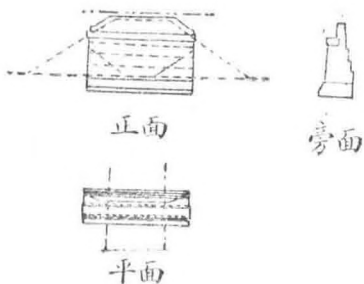
橋座 (abutment) 為兩岸

承受橋端之處。其承受橋梁之力，一如橋墩；但同時抵禦岸旁之泥土，又如護牆。故橋座之設計，須合兩者而為之。橋座之形式有為一字形者，(第四十五圖) 有為於座身外，添以左右兩翼者，(第四十六圖) 有為U字形者，(第四十七圖) 有

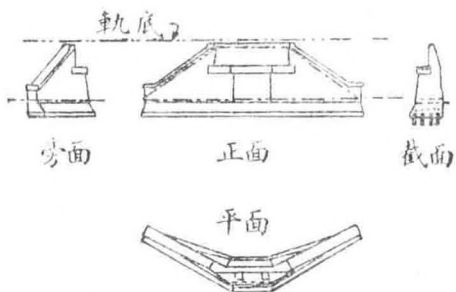
為T字形者，(第四十八圖) 各依其地位情形而用之。橋座大小，上部依橋端之大小而定，下部則



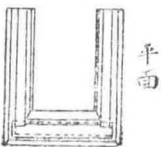
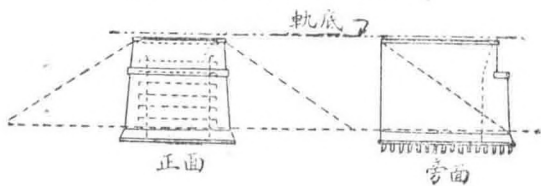
第四十四圖 橋墩



第四十五圖 一字橋座



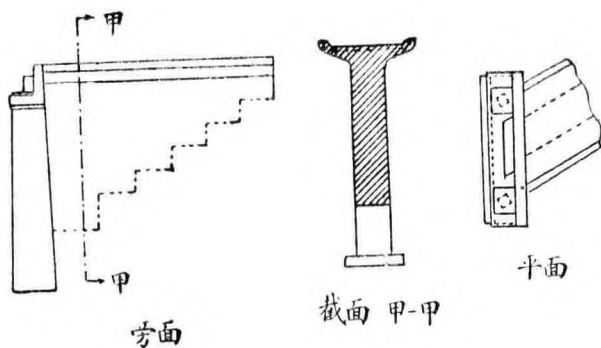
第四十六圖 雙翼橋座



第四十七圖 U字形橋座

依基礎需要之大小而定。橋座亦以石砌及三和土建築者爲最普通。

**基礎** 橋墩與橋座之基礎，大致皆在水中。是以與普通建築之基礎相較，實爲困難。一則水下土質之承受力如何較難確定，二則施工不易也。關於水底土質之承受力，工程界雖不乏爲種種之試驗者，然究以工程師個人對於該處地基之判斷力爲依歸。以水中施工較難，且爲力避危險起見，故計算務來精密而安全，下表乃示深基礎與淺基礎各種土質安全承受力之準則：



第四十八圖 T字形橋座

地質	每方呎之安全承受力(以磅計)	
	深基礎	淺基礎
在限制範圍內之流沙	七、〇〇〇	
細沙	九、〇〇〇	六、〇〇〇
粗沙及石子	一一、〇〇〇	八、〇〇〇
混合沙泥	七、〇〇〇	五、〇〇〇
泥積	五、〇〇〇	三、〇〇〇
實泥	一二、〇〇〇	九、〇〇〇
堅土	一八、〇〇〇	一四、〇〇〇
石	四〇、〇〇〇	四〇、〇〇〇

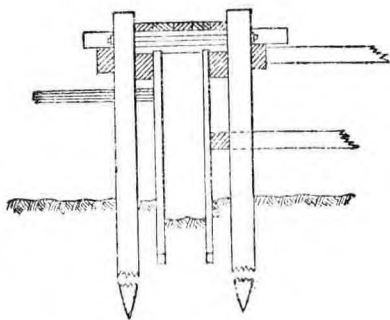
以上係普通可用之數目。如橋梁須建多數之橋墩，則不妨施行試驗，俾得較切實之結果。又定



土質承受力時，面積較小者，每得較大之承受力。此蓋由於面積較小者，其四周之磨擦阻力較大也。計算基礎所受之力，應先計算橋梁部分所受之靜載重及活載重之承受力，外加橋墩全部在空氣中之重量，減去最低水面時與淹在水中一部橋墩同體積之水重。至於橋梁上列車之衝擊力，則在經過橋墩時已為橋墩所吸收，對於基礎已不生幾何影響也。

在水面下建築橋墩之基礎，其主要之方法有三種：  
 (一) 築圍堰乾水法，(二) 沈氣箱法，(三) 深掘法。今依次略述之：

**圍堰法** 最簡易之建築橋墩法，為在水中環繞橋墩所在之地築成圍堰 (coffer-dam)，將堰內之水抽出，然後起出浮泥，掘至相當地底，以築墩基。然此法祇能適用於深十數呎之地基。若地基過深，則築堰困難，且泥堰不能耐久，水易由下部滲入。故為較能耐久起見，可

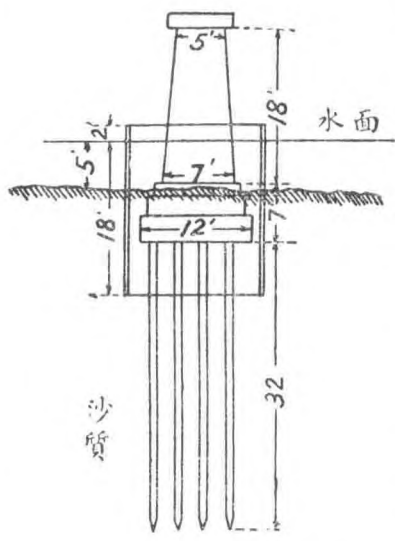


第四十九圖 木板樁圍堰

用雙層板樁，打入地中，中間實以泥（第四十九圖）或竟用鋼板作樁，俾深入於地基。橋墩下如須打樁，亦可於堰內打入（第五十圖）。圍築堰常有危險，蓋因中間空虛，水力從旁壓下，四周板樁易於傾陷故也。又築堰之處，如河水漲落甚大，亦不適用。

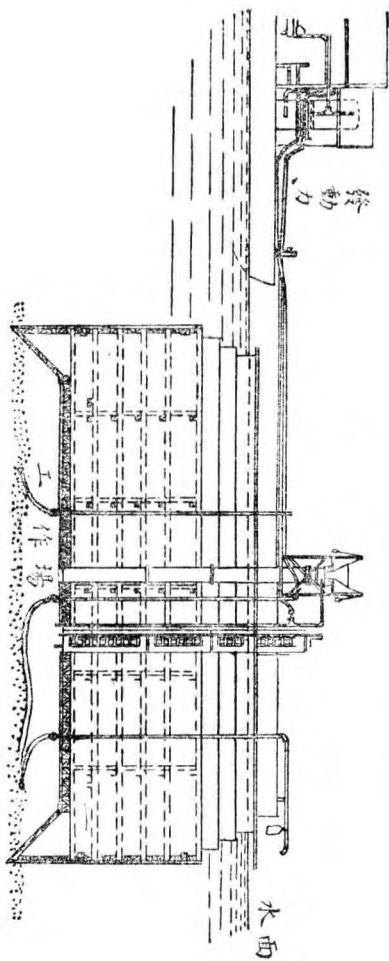
**氣箱法** 上述築堰之法祇適用於十數呎之深度。若深度達數十呎，則氣箱 (pneumatic caisson) 之用為多。氣箱

用木及鐵結構，大小以能承受橋墩為度。箱之地位作覆盆式，邊緣用鋼鐵鑲入。箱之結構使空氣及水均不能透過，外面用壓氣機，使受壓之空氣輸入箱內，抵抗水之侵入。工人即在箱內工作，一面挖掘泥土，一面使氣箱降下。箱內有機械上下，可使箱內所掘之泥土，得以輸出。工人亦可以上下（第五十一圖）。此法對於除去基礎下一切



第五十圖 鋼板樁圍堰

障礙物殊覺便利，且可確定地下石層之達到，深度亦可達百呎。（太深則恐氣壓過大，危及工人。）但氣箱之用祇限於有此種設備之地方，若無此種設備，而特製之，則殊不經濟。



第五十一圖 氣箱之沉下工作

深掘法 氣箱之用，限於深度一百呎左右。若再深之地基，即不能再用壓氣。可用製好之箱，一

面挖掘，一面沈下，此法名深掘法 (open-dredging process)。箱之製法，與氣箱略同。地基下挖掘之土石，可用機械運上，或用水管沖上。如係沙泥或小石子，則此法甚覺便利而迅速。但偶遇略大之石塊，或阻礙物，則挖掘將發生困難，或須雇用潛水者入水工作。如此則時間及經濟，均受極大之影響。

**打樁** 打樁爲橋基極普通之一種。除極堅實之土質或石質外，皆可用之。木樁之上端出於泥土之外者，可以三和土包圍之，使各樁聯成一氣，然後建橋墩於其上。樁基每爲極廉而易於從事之方法。但須注意其下樁之處，不受河流衝刷之影響。否則樁身且感不穩。故在某種情形下，應否用樁，及斷定河流衝刷能否達到之處，須惟經驗是賴。樁之材料可爲木或三和土。倘地質鬆弱，須達至深處，可用木板釘成樁形，中留方孔，內裝水管，壓水使下，以沖刷泥土，俾助樁之沈下，甚爲經濟而便利。以此法打下木樁，可深至一百五十呎。

## 第十章 橋梁之建築及浮架

橋梁在橋址上之建築方法，得依橋梁之情形及當地之便利而異。大別之可分爲用浮架 (false work) 與不用浮架二種。

**浮架法** 普通之鋼架梁橋建築，如當地可以搭建浮架，自當以用浮架爲宜。他如石拱橋及三和土拱橋之須有連續不斷之支座者，亦須搭建浮架。至於浮架之便於搭建與否，則視乎河底之能否打樁，航行之有無妨礙，發水時期有無困難，及河水是否甚深，河面有無木排與浮冰之飄流而定。

普通之單軌鋼架橋建築，宜於用浮架。每架以樁木四條爲之，於架梁橋每一聯接點之下用一架，聯接點之間，再用若干架。架之闊度須使於兩邊鋼橋架梁位置之外，尙能安裝鋼軌各一道，以爲起重架行走於上之用。起重架爲一覆形U字之架。能吊起橋梁之各部，行使於兩軌之上，安放於相當之處所。此種起重架用於跨度二百五十呎以上之橋梁，至爲適宜。若短小之橋梁，則可不用行動

式之起重架，而用在橋內部行駛之起重機。至於建築鋼架橋之次序，普通先裝承軌梁及橫梁，然後至主要兩架。但因欲避免河水泛濫，沖崩浮架，而欲於較短期間，先完成主要架梁，則可將上述次序變更之。

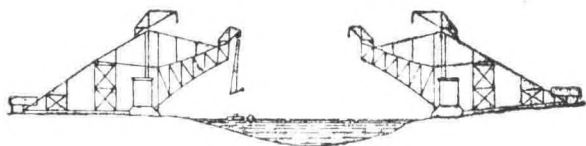
石拱橋或三和土拱橋所需浮架之建築，較之普通架梁橋尤為重要而困難。一則以拱形之架較難做，二則以拱橋處處受有重力，不若架梁橋受重之聚於聯接點。故拱橋浮架須有繼續不斷之承托，且於完工取落浮架時，尤須小心，務使各部分同時慢慢脫落，俾橋之各部同時接受壓力。

**不用浮架法** 若河流之情形不容許有浮架之建築，則可將橋身在他處用船數隻載之，拖至橋址，然後移上橋墩。如此則雖障礙交通若干時，然就橋工論，自屬簡便也。

若河流既不容有浮架，而船之移轉又有不便時，則以用翅橋法建築為最簡單。其法從兩岸造起，逐漸伸向中心，至相接時則將兩半聯成之。然本非翅橋，而用翅橋法建築，必須另行計算橋梁各部在建築時之應力。其應力有與原來之應力相反而抵消者，亦有相同而合併者。如是則用料亦須酌為加多，此為翅橋法建築之不經濟處。但以其方法之簡便，除翅橋本身自可適用外，他如普通式



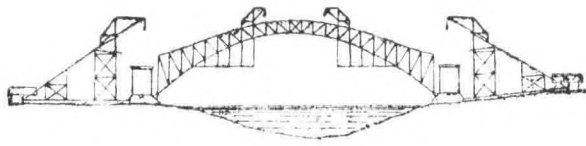
①



②



③



④

第五十二圖 美國紐約城獄門橋之建築程序

橋及拱橋亦多用之。如美國紐約城之獄門橋 (Hell Gate Bridge) 是也 (第五十二圖)。

不用浮架法，亦可與浮架法混合參用。如一長橋有若干之跨度，則若者可用浮架法，若者可用翅橋法，可就地研究定之。

通常之板梁橋建築，大抵不須浮架。祇須用起重機，於一岸上吊起，而置於適當之地位也。

橋梁之建築，須賴有良工良具，方能時速而費省。而上述各建築法中，以何者為適用，有時亦以有無此良工與良具為斷。若缺乏此兩種便利，則必甚費經營也。



## 第十一章 橋梁之檢驗修養及加固

製造時之檢驗 橋梁固貴有精細之設計，及嚴密之建築章程，然若於製造及建築時乏相當檢驗，使之完全依照進行，則雖有良好之設計，及建築章程，直與無等耳。鋼橋之構造至為精細，建築章程亦至詳明。差之毫釐，謬以千里。故鋼橋製造時之檢驗，關係尤重。檢驗可分材料之檢驗，及工作之檢驗二種。今若在某鐵廠定製鋼橋，必先在煉鋼廠中派一檢驗員，熟諳購主所規定之材料成色。於每爐鑄鐵中，取樣檢驗，是否相符。並將廠中之化學成分試驗，詳為比對。其與規定之成色不符者，應拒絕使用之。原料倘經審定，則入廠施工時應派定檢驗員，先將工作詳圖細閱，熟諳工作之細則，然後一一驗其大小長短厚薄，及剪切或接搭之是否合法。所有製造各料，均須一一經購主所派定之檢驗員檢驗簽證，方能出廠。及至場中建築，又須另派監工，為建築工作之查驗。對於由廠運來之各材料，是否於途中受損害，件數之是否完全，建築時一切方法是否與規定者相符，各桿之接搭及

鉚釘是否堅固。如經過上述各種檢驗手續，均認爲一一滿意，直至橋梁全部完工後，方能開放通行。

使用時之檢驗 橋梁之安全與否，關係於人民之生命財產至鉅。故在使用中之橋梁，應有一定期之檢驗，並應覓一於橋梁之製造及修養有經驗者主持之。其檢驗之範圍及目的約如次：

(甲) 尋覓橋梁上有無弱點及破綻之處。如有，其程度何若。

(乙) 察知橋梁之剝蝕情形，並約計其剝蝕之速度，以定該橋尚能使用之年齡。

(丙) 在各種載重情形之下，斷定該橋之安全程度。

(丁) 決定一橋梁有無修理加固或重建之必要。如有，其需要之緩急程度如何。

(戊) 決定在修理或加固時維持運輸之方法。

橋梁所需檢驗之期間，視橋梁之性質，所在地載重量，及其物質上之情形而不同。如較新之橋，設計有方，而製造時所有材料經過嚴密之檢驗，則使用時之檢驗，可以一年一次。較舊之橋，設計不見得宜者，應每兩月或每月一次。其已露破綻，而須格外慎用者，或須數日一次。此種檢驗，係完全就橋之安全而言。至於鐵路橋之日常巡察，留心橋上有無遺火，有無水患，及他項之損害或意外，則又

在此定期檢驗之外也。

鐵路橋較之公路橋，關係更爲重要。故其檢驗更須嚴密。鐵路局應有較大規模之組織。除主持檢驗之人，確須富有經驗，以期洞察微末外，並常雇用本路以外之人員，辦理檢驗。蓋以本路人員對於一路建設過於慣熟，雖有破綻，易於忽略，若生疏之人則每易於發覺也。

製造工作之良否，應於製造時及建造時加以檢驗。若至使用時期，則對於工作一方面祇察其外表。而最重要之檢驗，殆爲鉚釘之牢固與否。鉚釘之牢固與否，在工作時已有分別。經使用日久，常有因磨擦而鬆脫。萬一鉚釘稍有疏虞，則橋梁易生危險。故檢驗時應用錘逐一敲擊，視其形，察其聲，及以手搖撼之，當能斷定其堅固情形。若察見不堅固，應即另易之。

舊石拱橋之檢驗，較之舊鋼橋爲難。然大約可用小鐵桿於石塊接縫處探驗之。如鐵桿能插入甚深，則此橋即須注意。三和土橋之檢驗則較易，蓋以破綻多露於外面，容易察覺也。

若一鐵路上同時欲察知一帶數橋之安全情形，最好用一列車，配合重機車一輛，重貨車數輛，以各種速度經行橋上，而察橋上之震動情形。並用測儀以測驗橋梁中部之彎度，及各主要部分伸

長或縮小之度，而比較其有無過量。其各種速度，或以紀錄一定長之路線及所需之時間而定之，或直以車上之測速器或司機人之經驗爲準。

### 橋梁之修養

橋梁之修養，所以慎重使用橋梁，而延長其使用之年齡者也。健全之橋梁，原係對於一定活載重之設計，則不能爲過分之加重，而舊橋或且不能安全載其原來設計之載重。故須視橋梁之情形，而限定載重之增加，或限制一定之速度，皆爲修養中所應有之事。而在鋼橋中尤要常常於橋之各部加以油漆，免其銹蝕；橋座各部，除去泥積；橋之一端，用轆轤以資漲縮者，常加滑油。凡此皆係慎重使用之道，減少橋梁破壞之機會者也。

### 橋梁之加固

經檢驗及修養之結果，而察知橋梁耐力之不足，而其程度又未到另建新橋之時，則應量爲加固。如檢驗之結果祇係一部分之薄弱，則可於該部分加用鋼板物料。或舊橋悉屬薄弱，而欲加重列車之載重，可全部加固之。例如京漢鐵路原有各鐵橋均甚薄弱，若全數更換，爲費甚巨，故將同樣二橋之料併爲一橋（如一橋原有二架，今每邊各用兩架，平行聯接之，作一架用。）或將同樣三橋之料併作兩橋（如橋梁係作面路式者，於兩梁之間，再放一梁，共爲三梁。）在多數橋

梁須同時加固時，此法可使原有橋梁材料仍可利用，僅新添一部分之橋梁。此種辦法除京漢鐵路外，膠濟鐵路亦嘗採用之。

## 第十二章 中國橋梁概況

中國建築橋梁之歷史雖早，然根據科學上設計，而能承受重車者，不過三四十年間事耳。自鐵路逐漸建築，而橋梁之用漸著。近十年來公路勃興，公路橋梁逐漸加多。然中國鐵路及公路幹線去完成尙遠，所須建築之橋梁，不止十倍於今日也。

**鐵路橋** 吾國初期所築各鐵路，大抵皆有借款關係，以致全路一應材料式樣制度，皆視債權國而異。橋梁亦爲其中顯著事項之一。是以各鐵路橋皆有特殊情形，非僅形式不同而已，其強度及其尺寸寬度皆有不同，影響於各路間之聯運及橋梁本身之修添移補至大。且各幹路多因設計時之遠大眼光，或係因陋就簡，爲急求通車起見，所造橋梁大都過於薄弱，而爲臨時性質，一路之運輸量因之大被牽制。故目下各鐵路橋，無一不發生問題也。

**中國最通用之橋梁** 吾國鋼鐵出產不多，鐵廠亦少，除普通鋼板梁橋及短小之鋼架梁橋尙

能自製外，較大之鐵橋，均來自外洋。因航運困難，而國內起重設備復甚缺乏，故每段之長度及重量，均有相當之限度。設計既不經濟，建築亦較困難。在臨海各省，交通便利之地猶可，若至內地，則運輸尤苦。故鐵橋之使用，確是一重大問題。國內水泥出產漸盛，細砂碎石到處皆有，工價亦廉，故三和土橋自當較鋼橋為儉省。京綏鐵路少用鋼橋，而多用圻工橋，是為一證。然鋼橋自有其相當之價值與地位，亦未可故意抑之也。

美國橋梁專家華特爾博士，昔年被聘為我國京漢鐵路黃河新橋設計顧問。對於吾國中北部鐵路經過寬而淺之沙底河流，彼主張用面路式鋼板梁橋。橋墩之建築，下部打入極長之木樁，上部以三和土作墩身。其理由如下：（一）用面路式鋼板梁橋則兩梁間之橋面材料，可以省去。（二）橋墩之長度，可以減省十呎左右，因之橋墩之建築費可減省三〇至四〇%。（三）面路式鋼板梁橋，可減少橋墩之高度。此種減省，影響於橋墩之費頗大，因橋墩愈高，則底部愈為闊大，橋墩高度減少，則底部之材料減少甚多也。

面路式鋼板梁橋，在兩岸低平而河流復有航運之處，每有水面空間高度不足之虞。蓋以由路

而至橋之底部之距，面路橋較之底路橋爲大也。此種困難，可以升高路面水平，或用較扁平之板梁橋，或兩法兼用，以解決之。普通升高長橋路面水平，並非甚費之事。所有兩岸填高，在工值低廉之地，無多大影響。

現在國內各鐵路之短小橋梁，其跨度在百呎以下者，亦每好用底路式之架梁橋，而少用面路式之鋼板梁橋。其意或以爲底路橋有兩架作護，出軌之禍，可以減少，不若面路橋之危險。此種心理，在常人自不必怪。然就工程方面而論，出軌之能肇大禍與否，實關係於枕木之是否鞏固，排列是否緊密，及兩旁護軌之有無。今日國內各舊路之橋梁上枕木不見堅固，排列甚疏，兩旁又無護軌，此種情形，在歐洲式之橋梁尤著（如京漢鐵路）。如此而靠兩旁架梁以防出軌，乃不可能之事。倘用上述之面路式板梁橋，使橋面軌枕合度，旁有堅固護軌，則雖萬一出軌，亦不至肇大禍也。

此外尚有一極大便利，爲面路式鋼板梁橋所獨有者，卽此種橋能受極大量之過重，而毫無損傷或危險。在底路式架梁架橋則不然。故在車務發展急速，機車重量驟增時面路式鋼板梁橋，尙能使用無虞也。



上述面路式鋼板梁橋所適用之橋墩，宜用長木樁作基，深入地內。其三十呎以三和土包圍之。橋墩即建立其上。橋墩之四周，以鐵絲繞柳枝作網，而以大石塊墜下，作為維護。其所以用極長之樁者，蓋使其下部完全在河底砂積受河流沖蝕範圍之外；且樁長則所發生之四週磨擦阻力亦大，樁短則樁之數必多，而上部所須用三和土以包圍之面積亦大，橋墩定必較費也。此種長樁，可用四塊六吋闊十二吋深之木連接而成，中留一六吋方孔，俾容水管之下降。打樁時可同時以高壓力激水從水管而下，以沖刷下部之沙泥，而促進木樁之下降。如用相當之水壓，則樁之降下甚速。

倘使橋之跨度過長，致不克使用板梁橋時，則可用簡單式之鉚釘架梁橋。惟須注意其建築規範，使其製作合乎法則。架梁橋中如能用面路式，可省架梁與橋墩之材料。至於栓釘橋，則在本國製造未精，殊不適用。

鋼骨三和土橋，有以本國製作未精，工人未盡諳練為理由，不主張廣用者。但工人之工作，較易訓練。三和土材料多屬國產，較為經濟。惟三和土拱橋則無論鐵路橋或公路橋，苟非兩岸有良好之石基，則斷不宜用。故此種拱橋在沖積之地帶，實為不宜，即用木樁打入地基，亦不可靠。但在西南部

各省河流出於兩山之間者，甚覺適宜。

### 京漢鐵路黃河橋述略

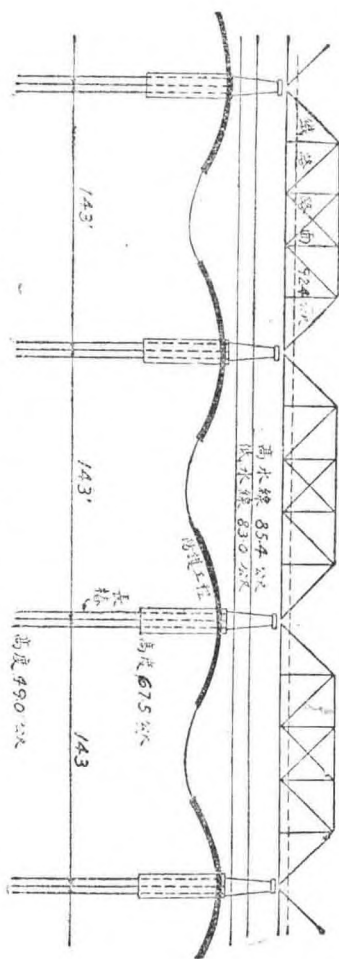
本國橋工之大者，在本部各省首推跨過黃河之鐵橋。黃河橋計有三：一爲在甘肅蘭州之公路橋，一爲在山東濟南城之津浦鐵路橋，一爲在河南鄭州北之京漢鐵路橋。京漢鐵路橋關係南北運輸至大，且橋身危險，中間曾經籌建新橋，故其經過，有足述者。

京漢鐵路黃河橋共長三〇一〇公尺，其中有三十一公尺之鋼架梁橋四十八座，二十一公尺之鋼板梁橋五十二座，二十九公尺之鋼架梁橋二座，共一百零二座。橋墩用螺絲鐵樁鑽入地內，上搭鐵架，以承橋梁。橋工係比國公司承辦。計自清光緒二十七年開始建築，光緒三十一年竣工。當時因限於成本，且欲速成，故該橋原屬便橋性質。保固之期爲自竣工日起十五年。機車重量行車速度均有限制。橋體甚輕（載重量約合古柏氏 *Engg.*），更兼鐵樁入地祇深十餘公尺（該橋軌面水平爲九〇・四五公尺，高水位爲八五・四〇公尺，低水位爲八二・九五公尺，樁底之水平高度則自六六至六九公尺不等）。尙在流沙之內，未着實地。其中橋墩稍有傾斜沈陷。歷年投石河中，以資維護。近年車務日益發達，機車重量日增，該橋已有不能支持之勢。

中華民國六七年間，北京交通部已着手爲新橋之籌備，開始爲河道測量。曾決定新橋地址在舊橋下游少許。新橋之總長定爲二千八百公尺，其載重量爲 500。九年，決定招請世界各廠家及工程師投標設計及承築，冀得最佳之計畫。並聘英、美、法等國橋梁工程師爲審查顧問，以定去取。十年六月，在北京開標。計投標者共十有八家，所投式樣則板梁橋，架梁橋，簡單式橋，翹橋，拱橋，吊橋，涵貫橋，無不具備。開價則少者國幣五百餘萬圓，多者二千三百餘萬圓。經顧問工程師議定去取標準數條。（其中一條爲基礎下部不在高度六十公尺以下者不取，又一條爲標價逾一千二百萬元者不取。）遂擇定比國設計公司之乙標爲比較可取者。予以第一名獎金。其設計係用長六七·五公尺之底路式鋼架梁橋四十座，長一二·一九二公尺之面路式鋼板梁橋二座。基礎用氣箱沈下至低水位下三十公尺爲止。造價一千零八十八萬餘元。嗣因款絀，至今迄無興工之訊。

審查顧問之中，其一人爲美國橋梁專家華特爾氏。華氏經驗極富，著作等身。彼所擬之黃河新橋爲多數之一百四十呎架梁橋連貫而成。每橋墩下用十七根長木椿，打至四十九公尺之高度。其上部以三和土包圍，上建橋墩，其建造法如第五十三圖所示。建築費，據其在中華民國十年所估計

約爲國幣七百五十萬圓。



第五十三圖 華特爾氏設計之京漢鐵路黃河橋

**武漢三鎮聯絡橋** 近年來各處新橋之計畫甚夥。如武漢三鎮之聯絡橋，南京至浦口之長江

橋，上海至浦東之黃浦江橋，廣州至河南之珠江橋，其工程之預計，均甚偉大。後二者爲公路橋，前二者爲鐵路橋。而前二者之中，南京至浦口一橋工程艱鉅，江南北運輸情形恐一時尙無須乎大橋之

建築。惟武漢三鎮聯絡橋，則就鐵路與公路兩者體察，均覺重要。中華民國十年，華特爾氏到華時，對於此橋之計畫，有所建議。茲節錄其說如下：

武漢爲聯絡南北鐵路幹線之樞紐。而三鎮人口近二百萬，車輛及行人交通至爲繁密。故此橋之需要，至爲急亟。關於跨過長江之橋，應在上游或下游，前人意見不同。第以在上游則三鎮之聯絡較密切，且上游河道寬度亦較小，故以上游爲宜。其路線所經，係由漢口京漢鐵路終站起，向西行，跨過漢水。再沿龜山而南，至晴川閣之旁，跨越長江，而接武昌之黃鶴樓旁，沿蛇山以與粵漢鐵路之湘鄂線接軌。其長江一橋，則兩岸皆有天然之高墩，無待乎填築。漢水一橋，則因河水漲落頗大，船隻又至多，橋下至高水位之淨空，要有六十呎。因此鐵路路線，須逐漸升高至河之上游，方能跨河而過。如此路線增長，而橋之建築費亦鉅。故兼擬一在下游跨過之橋。此橋有上下兩橋面，上橋面載大路及行人，下橋面載鐵路。但使下橋面能上下移動，列車將到即將橋面降下以通車，列車過後，即將橋面升上，以通航速。兩說並存，以待選擇。

跨過長江一橋，自武昌數起，首爲二百四十呎之簡單式架梁橋兩座，然後爲翹式大橋一座，

(兩翅各長三百九十四呎，中間跨度爲五百九十呎) 又爲二百十呎簡單式架梁橋八座，共長三千七百七十八呎。其翅橋中間一座中有三百二十六呎長之活動橋。上升時橋之下部至高水面之淨空爲一百五十呎，以備大輪船之經過。此橋在兩橋架間可容雙軌鐵路。每橋架之外各有十八呎闊馬路一道，及八呎闊之人行路一道，以供運輸之需求。

橋之基礎因河之下層有石，故擬用氣箱沈下。綜計建築經費，長江一橋連兩岸聯絡工程爲銀九百七十萬圓，漢水一橋連兩岸聯接工程爲銀二百五十萬圓，自京漢鐵路至粵漢鐵路中間之聯絡鐵路工程爲銀三十萬圓，總共需費約銀一千二百五十萬圓云。