

鐵路曲線及土方

童大塤編著

龍門聯合書局出版

鐵路曲線及土方

童大塤編著

龍門聯合書局出版

序 言

鐵路爲陸地運輸之主要工具，無論在國防建設或經濟建設上，均佔絕對重要之位置。早在 1875 年，我國即已開始建築鐵路，距世界上第一條鐵路之完成，相去不過 45 年，實開東亞各國築路風氣之先，但由於最近一百年來帝國主義及封建主義之侵略與壓迫，鐵路建設，非但不能有長足之進展，反因客觀條件之限制，形成若干計劃不合理，制度不健全之現象。截止 1949 年止，我國已有鐵路里程不足二萬五千公里，以國土面積論，每平方公里僅有鐵路三公尺，以人口論，每二十人方能分配鐵路一公尺。就鐵路計劃言，路線大部份集中沿海一帶，且均自海口向內展築，充份表現殖民地鐵路之本質，及帝國主義者侵略我國之野心，試一展讀我國全國鐵路圖，則錦繡河山，無一尺一寸之鐵路可通者，尙比比皆是，以此欲求國民生計之發展，自屬難於辦到。再就鐵路技術標準而言，我國興建鐵路之初，因投資國別之不同，有從英美者，有從法比者，亦有從德日者，零亂紛雜，無以復加，此後雖曾力謀統一，但始終未能加以革命性之改革。因此我國鐵路建設，雖有相當悠久之歷史，但獨立自主之精神，則早已隨國勢之衰弱而全部喪失矣。

中華人民共和國成立後，鐵路建設轉入高潮，不久已有

期教材之用。如作為職業學校或短期訓練班教材，則複曲線及緩和曲線之理論部份可以酌量從簡或略去。

目 錄

第一章 草測.....	1
1—1 目的.....	1
1—2 步驟及方法.....	2
1—3 曲線及坡度.....	3
1—4 山脊線,山谷線,及越嶺線.....	5
1—5 減低坡度之方法.....	7
1—6 草測隊之組織.....	10
1—7 控制點間相互高低差之測定.....	11
1—8 距離之測定.....	16
1—9 方向之測定.....	16
1—10 野外作業述要.....	17
1—11 室內作業.....	19
第二章 初測.....	23
2—1 目的.....	23
2—2 坡度問題.....	23
2—3 曲線問題.....	27
2—4 選線原則.....	29
2—5 初測隊之組織.....	31
2—6 選點及導線測量.....	32
2—7 水平測量.....	34
2—8 地形測量.....	36
2—9 地形圖之繪製.....	39
2—10 紙上定線.....	41

2-11	報告及圖表.....	43
------	------------	----

第三章 定測.....44

3-1	目的.....	44
3-2	定測隊之組織.....	45
3-3	交點之設置.....	45
3-4	中線測量.....	46
3-5	曲線測量.....	47
3-6	中線水平測量.....	48
3-7	斷面測量.....	48
3-8	用地測量.....	49
3-9	地質探鑽.....	50
3-10	經濟調查.....	50
3-11	室內作業.....	51

第四章 單曲線.....54

4-1	曲線之意義.....	54
4-2	單曲線公式.....	54
4-3	R, D 間相互關係之近似值	61
4-4	c, d 間相互關係之近似值.....	62
4-5	1° 曲線基數法.....	63
4-6	公制曲度與英制曲度之關係.....	65
4-7	單曲線之計算及設置.....	66
4-8	總偏角法.....	69
4-9	曲線上之障礙.....	72
4-10	切線支距法.....	73
4-11	弦線偏距法.....	78
4-12	長弦支距法.....	80
4-13	P.I. 點不能置鏡時之施測方法.....	83

4—14	T.C. 或 C.T. 點不能置鏡時之施測方法.....	84
4—15	曲線上之限制.....	85
4—16	曲線之移動.....	86
4—17	固定點與已有曲線之連接.....	89
4—18	兩單曲線之連接.....	90
第五章 複曲線.....		91
5—1	複曲線之意義.....	91
5—2	同向複曲線公式.....	91
5—3	同向複曲線之計算.....	96
5—4	算例.....	97
5—5	野外工作.....	101
5—6	複曲線之應用一.....	102
5—7	複曲線之應用二.....	103
5—8	複曲線之移動.....	104
5—9	三心複曲線.....	106
5—10	連接兩平行直線之反向複曲線.....	110
5—11	連接兩任意直線之反向複曲線.....	111
5—12	連接兩任意直線之反向複曲線, 假定 $R_1 = R_2 = R$	113
第六章 緩和曲線.....		115
6—1	超高度.....	115
6—2	緩和曲線之需要.....	118
6—3	緩和曲線之長度.....	118
6—4	緩和曲線之理論及公式.....	121
6—5	三次方螺旋線之主要性質.....	123
6—6	p, q , 近似值之計算.....	130
6—7	緩和曲線之設置.....	131
6—8	緩和曲線之計算 (總偏角法)	132

6—9	總偏角法釘立緩和曲線之野外作業	140
6—10	緩和曲線上之障礙	140
6—11	緩和曲線之計算(切線支距法)	144
6—12	連接兩圓曲線之緩和曲線	148
6—13	複曲線上緩和曲線之性質	153
6—14	複曲線上緩和曲線之應用	157
6—15	算例	160
6—16	單曲線上增設緩和曲線之方法	164

第七章 豎曲線..... 170

7—1	豎曲線之應用	170
7—2	對稱式豎曲線之分析	170
7—3	不對稱式豎曲線之分析	173
7—4	豎曲線之長度	175
7—5	豎曲線算例一(不對稱式豎曲線之計算)	175
7—6	豎曲線算例二(對稱式凸形豎曲線之計算)	178
7—8	豎曲線算例三(對稱式凹形豎曲線之計算)	180

第八章 土方測量..... 182

8—1	土方之形式	182
8—2	斷面測量	185
8—3	邊樁之設置	188
8—4	d_1, d_2, h_1, h_2 之決定方法	190
8—5	土方截面式樣之分類	194
8—6	土方截面之測取地點	195

第九章 土方計算..... 196

9—1	土方截面積之計算	196
9—2	求積儀	200

9—3	土方體積之計算一(平均截面法).....	202
9—4	土方體積之計算二(稜柱體公式).....	203
9—5	稜柱體校正數.....	206
9—6	平截面之稜柱體校正數.....	206
9—7	三點截面之稜柱體校正數.....	207
9—8	不規則形截面之稜柱體校正數.....	207
9—9	曲線土方校正數.....	209
9—10	路堤上橋孔坡脚土方之計算.....	211
9—11	借土坑.....	212
9—12	借土坑爲同一正截面稜柱體組合時之計算方法.....	216
9—13	草測或初測工作中土方之估計.....	217

第十章 土方調配..... 220

10—1	運土問題.....	220
10—2	土方體積中心點之計算.....	222
10—3	土方運量之計算.....	224
10—4	土方體積圖.....	225
10—5	土方體積圖舉例.....	226
10—6	土方體積圖之性質.....	228
10—7	經濟運距.....	229
10—8	土方調配問題.....	230
10—9	土方調配舉例.....	235

附表..... 1

附表用法說明.....	1
表 1101 視距改算表.....	6
表 1102 度數分數秒數折算弧度表.....	9
表 1103 分數秒數折算度數表.....	10
表 1104 平方,立方,平方根,立方根,及倒數表.....	11

表 1105	數值對數表.....	28
表 1106	正弦,餘弦,正切,餘切對數表	55
表 1107	正矢外割對數表.....	100
表 1108	正弦,餘弦真數表	145
表 1109	正切,餘切真數表	160
表 1110	正矢外割真數表.....	175

第一章 草 測

1-1 目的 鐵路測量，通常分爲草測 (Reconnaissance)；初測 (Preliminary survey) 及定測 (Location survey) 等三個階段進行之。草測又名踏勘，目的在兩擬定鐵路終點間，作一廣泛而詳盡之地面勘查，以爲初測之根據；初測則在草測所指定之範圍內，作一比較詳細之地形測量，以爲定測之根據；定測則將初測後決定之路線，直接投射於地面之上。故草測實爲一面的勘查，初測爲一帶的測量，至定測方爲一線的設置，如依此步驟，循序漸進，則路線之選擇範圍，逐漸縮小，設能充份掌握各階段之基本精神及原則，實爲最科學化之選線方法，蓋兩終點之間，理論上雖有無數條路線可通，但實際上最經濟最合理之路線，則僅有一條也。

草測之目的，既如上述，其意義除研究擬定之路線，有無經濟上或國防上之價值外，尚有下列數端。

1. 在兩鐵路終點間，有無合宜之路線可通。
2. 如有數線可通，究以何者爲最適宜。
3. 決定路線上建築標準，特別注意限制坡度之約略數字。
4. 調查沿線地質情形及工程數量，估計施工期限及全

部建築費用概數。

5. 調查沿線農工商業及資源情形，估計通車後每年營業收入概數。

草測雖爲一迅捷之測量工作，然以其爲一切築路工程之基本，稍一不慎，非但直接影響新建工程之建築費用，亦將間接增加通車後之維持費及改善費，且草測時所鑄成之錯誤，必須於日後付出相當高昂之代價，方能加以糾正，故宜不厭求詳，審慎研究，俾草測所決定之路線，非但能完全符合經濟之原則，尤須顧及日後可能之發展，而成爲一最經濟最合理之路線。根據一般經驗，鐵路測量費用，通常僅佔全部建築費用1%以下，就加強測量工作所增加之費用而論，應係一極微細之數字，如能因此而將日後路線改善工作，減少至最低限度，實爲最聰明之投資。此點非但應爲鐵路工程司共同之認識，尤須爭取上級之了解，以獲得行政上之援助。

1-2 步驟及方法 草測工作之進行，計分下列諸步驟。

1. 選擇兩終點間之重要城鎮，工商業中心，橫斷山嶺之壠口，重要河流之適宜橋址等，定爲路線必須經過之控制點。

2. 決定各控制點間相互之高低，方向，及距離。

3. 決定各比較線間之方向距離，限制坡度，及工程數量等，以爲取捨之依據。

草測工作開始前，應先設法取得該地區最詳盡之地形

圖，以爲地面勘查之依據。我國目前可能得到者，爲前陸軍測量總局之軍用地圖，惟內容極不齊全，且多錯誤，僅可作爲參考之用。測量儀器以輕巧便於攜帶者爲主如計步器(Pedometer)，真空氣壓錶(Aneroid barometer)，羅盤儀，及手水平等，在地形複雜區域非已有地形圖可能表達者，則以用視距法(Stadia method)施行草測爲最可靠。

草測工作進行時，應避免因主觀而發生之成見，例如山嶺之區，未必無優良之路線，而平坦之地，有時反無路可通，爲選線工程司所習見之事實，如扭於成見，必致徒勞而無功。又如沿公路，人行道，平原等雖便於勘查，但工程司設不深入考察，僅以此爲自足，亦終難覓得最理想之路線。因此選線工程司必須將足跡遍佈整個區域之內，事實上有經驗之工程司，祇須重點勘查，即可收事半功倍之效，但多下一份功夫，必能多有一份收穫也。草測所決定之路線方向及坡度，以在兩控制點間平直爲原則，但得就規定之建築標準範圍內，酌量加以變更，以減少工程數量，同時亦應顧及通車後之行車費用，以及將來之改進與擴充，作最經濟之抉擇。如在山嶺崎嶇地帶，限制坡度不易通過時，則應設法將距離故意增長或將此項坡度儘量集中，用雙機牽引推送，如此機車能力，得以發揮至最高限度，不致於發生浪費及不足諸弊端。

1-3 曲線及坡度 鐵路爲大陸上大量運輸之主要工具，爲完成此項任務起見，路線自以平直爲最理想，但由於

建築費用之限制，路線上坡度與曲線之設置，殆為事實上所必需。坡度及曲線，對於行車之阻力甚大（坡度阻力每 1% 為每公噸 10 公斤，曲線阻力約為每公噸 $\frac{600}{R}$ 公斤）因

此必須設法減少至最低限度，以免增加列車運轉之費用。

一般規定，鐵路縱向坡度以百分率或千分率表述之，例如 100 公尺水平距離中上升或下降一公尺者，其坡度為 1% 或 10‰；鐵路曲線則以弦長 20 公尺所對之中心角 D 或半徑之公尺數 R 表述之，曲線度數 D 與半徑 R 間之換算，見單曲線章。

在新建工程中，各級鐵路之曲線最小半徑（或最大曲度）及限制坡度應如何規定，各國均有詳盡之建築規程可資遵守。我國新路建築分為特級線，一級線，二級線，三級線，及四級線等五級，由鐵道部按照估計運輸量及其他重要性劃分之。

1. 特級線。特別重要幹線，每年通過線路之客貨運輸總量在 14,000,000 公噸以上者。

2. 一級線。重要幹線，每年通過線路之客貨運輸總量在 7,000,000 至 14,000,000 公噸之間者。

3. 二級線。普通幹線，每年通過線路之客貨運輸總量在 4,000,000 至 7,000,000 公噸之間者。

4. 三級線。次要幹線，每年通過線路之客貨運輸總量在 1,500,000 至 4,000,000 公噸之間者。

5. 四級線。支線，每年通過線路之客貨運輸總量在 1,500,000 公噸以下者。

各級鐵路上最銳曲線及最大限制坡度之使用，以不超出表 101 所規定之範圍為原則，如有特殊情形，必須變通辦理時，應俟上級批准後方能施行。

表 101

鐵路等級	最 銳 曲 線		直 線 上 限 制 坡 度 ‰
	R	D	
特 級	800 公尺	1°-25'-57"	6
一 級	500	2°-17'-31"	10
二 級	300	3°-49'-14"	12
三 級	250	4°-35'-06"	15
四 級	200	5°-43'-55"	18

在曲線上之限制坡度，應按照下列公式將表 101 中列舉之數字加以折減，

$$S = \frac{600}{R} \dots\dots\dots (1.1)$$

其中 S 為折減率以 ‰ 計， R 為曲線半徑以公尺計，例如二級鐵路直線上之限制坡度不得超過 12‰， $R=400$ 公尺曲線上之限制坡度則不得超過 $\left(12 - \frac{600}{400}\right) = 10.5‰$ 。

1-4 山脊線，山谷線，及越嶺線 在地形複雜地帶，草測所得之鐵路路線，計可分為下列數種不同之型式。

1. 山脊線。路線大部份循山脊而行，一般說來，路線較兩側地形為高，成覆盆形。由於路基面提高，河道匯水

面積減少，橋工數量可以大為簡省。除非山脊中斷，土石方數量亦不致十分鉅大。

2. 山谷線。路線大部份循山谷而行，一般說來，路線較兩側地形為低，成盆形。設兩終點係在同一峽谷之中，則在測定兩點間相互之高低差，距離及方向後，即可決定路線之大致方向及坡度。如所經之峽谷為一大河流時，應將兩岸澈底考查，以決定路線之位置；設橋工並不困難時，並應考慮建橋之可能性，俾兩岸並用，截彎取直，以求得比較平直之路線。此時橋址之選擇，遂為決定控制點之必要條件。普通峽谷中之天然坡度，常較規定之限制坡度為小，故在山谷線中，選線比較自由，不受坡度之限制，但在山岳地帶，峽谷中之天然坡度，較限制坡度為大時，則必須將路線迂迴折入附近橫連之小峽谷中，以增加路線距離從而減少路線之坡度。山谷線因路基面降低，沿線水道之匯水面積增大，橋工數量勢必大為增加，如兩岸並用，更增添跨越河流之大橋費用，同時路線接近河流，易受洪水沖刷，尤為其最不利之處。

3. 越嶺線。此類路線，穿越兩個以上之橫斷山嶺，無連續之山谷或山脊可以遵循，而為一連串之頂點及窪點，頂點為橫斷山嶺之垭口，窪點則為橫斷山嶺間之峽谷。草測工作進行時，應選擇最低之山嶺垭口及最高之峽谷高點，作為路線必須經過之控制點，以減少路線之坡度。如所得坡度，仍超過規定限度時，則應開鑿隧道，減低頂點，或建築大

橋，提高窪點，或迂迴路線增加距離，以達到所需要之目的。一般而論，越嶺線需要大量土石方工程，必要時尚須配合大量隧道及橋樑工程，且不易獲得平和而均勻之坡度，實為各類路線中之最困難者。越嶺路線通常與山谷線配合運用。

兩終點如在同一山脊上或在同一峽谷中，則選線問題，並無重大困難，惟在兩終點間同時可用山脊線或山谷線通達時，則兩者間之抉擇，往往成為爭論之焦點，必須根據充份周詳之勘察，深入之調查，以作最明智之決定。敘昆鐵路工程局於草測威寧宣威間路線時，事前未作詳盡之比較，即決定初測山谷線，結果發現路線坡度陡峻，隧道，橋樑及土石方工程等極端重大，因決定再行踏勘山脊線從而大量減低建築費用及通車後之行車費用等。由此可見決定路線時審慎周詳之必要，如不及時發覺，遲至通車後再行糾正，將為不可挽回之損失。

1-5 減低坡度之方法 路線通過兩控制點時，如高低懸殊，距離不足，以致路線坡度，超過規定限度時，必須設法補救，以利行車。普通減低坡度之方法，計有下列數種。

1. 路線迂迴。將兩控制點間之距離，按照山地形勢，予以故意之增長，俾兩者間之坡度，得以比例減少。敘昆鐵路於路線經過金斗鋪壩口時，控制點 A（金斗鋪壩口）與控制點 B（金斗河設橋地點）間之高低差約為 200 公尺，而水平距離則尚不足兩公里，路線至此幾無通過之可能，不得已將路線引入兩橫連之小峽谷中，迂迴成 W 形，因此路