

## 第十二章 铁路线路测量

第十二章 铁路线路测量.....	1
§12-1 铁路线路测量概述.....	2
一、方案研究.....	2
二、初测和初步设计.....	2
三、定测和施工设计.....	2
§12-2 铁路新线初测.....	3
一、插大旗.....	3
二、导线测量.....	3
三、高程测量.....	10
§12-3 铁路新线定测.....	11
一、线路平面组成和平面位置的标志.....	11
二、中线测量.....	12
三、线路高程测量.....	18
四、线路横断面测量.....	22
§12-4 圆曲线的测设.....	25
一、圆曲线要素计算与主点测设.....	25
二、偏角法测设圆曲线.....	26
三、长弦偏角法测设圆曲线.....	29
四、切线支距法测设圆曲线.....	30
§12-5 缓和曲线的性质.....	31
一、缓和曲线的作用.....	31
二、缓和曲线的性质.....	31
三、缓和曲线方程式.....	32
四、缓和曲线的插入方法.....	32
五、缓和曲线常数的计算.....	33
§12-6 缓和曲线连同圆曲线的测设.....	35
一、偏角法测设曲线.....	35
二、切线支距法测设曲线.....	39
三、长弦偏角法测设曲线.....	39
§12-7 遇障碍时的曲线测设方法.....	41
一、偏角法遇障碍时曲线的测设.....	41
二、控制点遇障碍时曲线的测设.....	43
三、用任意点极坐标法测设曲线.....	44
§12-8 长大曲线和回头曲线的测设.....	47
一、长大曲线的测设.....	47
二、回头曲线的测设.....	48

§12—9 曲线测设的误差.....	49
一、曲线测设闭合差的规定.....	49
二、曲线测设误差的分析.....	49
§12—10 线路施工测量.....	50
一、线路复测.....	50
二、护桩的设置.....	51
三、路基边坡放样.....	51
四、竣工测量.....	53
§12—11 既有线和既有站场的测量.....	54
一、既有线的纵向丈量及调绘.....	54
二、既有线路中线平面测量.....	57
三、既有线路的高程测量.....	61
四、既有线路的横断面测量.....	61
五、既有线路站场测量.....	62

## § 12—1 铁路线路测量概述

线路测量是指铁路线路在勘测、设计和施工等阶段中所进行的各种测量工作。它主要包括：为选择和设计铁路线路中心线的位置所进行的各种测绘工作；为把所设计的铁路线路中心线标定在地面上的测设工作；为进行路基、轨道、站场的设计和施工的测绘和测设工作。

修建一条铁路，国家要花费大量的人力、物力、财力，为保证新建铁路在国民经济建设和国防建设中能充分发挥其效益，故修建一条新线一般要经过下列程序：

### 一、方案研究

在小比例尺地形图上找出线路可行的方案和初步选定一些重要技术标准，如线路等级、限制坡度、牵引种类、运输能力等，并提出初步方案。

### 二、初测和初步设计

初测是为初步设计提供资料而进行的勘测工作，其主要任务是提供沿线大比例尺带状地形图以及地质和水文资料。初步设计的主要任务是在提供的带状地形图上选定线路中心线的位置，亦称纸上定线。经过经济、技术比较提出一个推荐方案；同时要确定线路的主要技术标准，如线路等级、限制坡度、最小半径等。

### 三、定测和施工设计

定测是为施工技术设计而做的勘测工作，其主要任务是把已经上级部门批准的初步设计中所选定的线路中线测设到地面上去，并进行线路的纵断面和横断面测量；对个别工程还要

测绘大比例尺的工点地形图。施工技术设计是根据定测所取得的资料，对线路全线和所有个体工程做出详细设计，并提供工程数量和工程预算。该阶段的主要工作是线路纵断面设计和路基设计，并对桥涵、隧道、车站、档土墙等作出单独设计。

“精心勘测、精心设计、精心施工”是我们应遵循的准则，因为每一个环节上的差错都会给工作带来不应有的损失。

## § 12—2 铁路新线初测

初测工作包括：插大旗、导线测量、高程测量、地形测量。初测在一条线路的全部勘测工作中占有重要地位，它决定着线路的基本方向。

### 一、插大旗

根据方案研究中小比例尺地形图上所选线路位置，在野外用“红白旗”标出其走向和大概位置，并在拟定的线路转向点和长直线的转点处插上标旗，为导线测量及各专业调查指出进行的方向。大旗点的选定，一方面要考虑线路的基本走向，故要尽量插在线路位置附近；另一方面要考虑到导线测量、地形测量的要求，因为一般情况下大旗点即为导线点，故要便于测角、量距及测绘地形。插大旗是一项十分重要的工作，应考虑到设计、测量各方面的要求，通常由技术负责人来做此项工作。

### 二、导线测量

初测导线是测绘线路带状地形图和定测放线的基础。导线测量的外业及内业工作已在第七章中作了介绍，此处仅介绍线路测量中导线的检核计算方法。

#### （一）导线联测及限差要求

《铁路测量技术规则》以后简称“测规”规定，导线起终点及不远于 30 km 应与国家大地点（三角点、导线点、I 级军控点）或其它单位不低于四等的大地点联测；有条件时，也可采用 GPS 全球定位技术加密四等以上大地点。其限差要求见表 12—1。

表 12—1 导线测量限差

水平角	检测时较差（″）			30
	闭合差 （″）	附和闭合导线		$\pm 30\sqrt{n}$
		延伸导线	两端测真北	$\pm 30\sqrt{n+10}$
			一端测真北	$\pm 30\sqrt{n+5}$
长度	检测较差	光电测距（mm）		$2\sqrt{2}M_D$
		其他测距方法		1/2000
	相对闭合差	光电测距	水平角平差	1/4000

		水平角不平差	1/2000
		其他测距方法	1/2000

注:  $n$ ——置镜点总数;  $M_D$ ——光电测距仪标称精度。

## (二) 导线长度的两化改正

当初测导线与国家大地点联测时, 首先应将导线测量成果改化到大地水准面上, 然后再改化到高斯平面上, 才能与大地点坐标进行比较检核, 为此要进行导线的两化改正。特别是导线处于海拔较高或位于投影带的边缘时, 必须进行两化改正。

设导线在地面上的长度为  $s$ , 则改化到大地水准面上的长度  $s_0$ , 可按式计算

$$s_0 = s \left( 1 - \frac{H_m}{R} \right) \quad (12-1)$$

其距离改正数为  $-s \frac{H_m}{R}$ 。

式中  $H_m$ ——导线两端的平均标高,  
 $R$ ——地球半径。

将  $s_0$  再改化至高斯平面上, 可按式计算:

$$s_g = s_0 \left( 1 + \frac{y_m^2}{2R^2} \right) \quad (12-2)$$

其改正数为  $s_0 \frac{y_m^2}{2R^2}$ 。

式中  $y_m$ ——导线边距中央子午线的平均距离,  
 $R$ ——地球半径。

当用  $s$  代替  $s_0$  时, 其改正数与用式 (12-2) 计算出的数值相差甚微, 故铁路工程测量规范采用简化公式计算。

在初测导线计算中, 都是采用坐标增量  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  来求算闭合差, 故只须求出坐标增量总和 ( $\sum \Delta x, \sum \Delta y$ ), 将其经过两化改正, 求出改化后的坐标增量总和, 才能计算坐标闭合差。

两次改化后的坐标增量总和按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} \sum \Delta x_s &= \sum \Delta x \left( 1 - \frac{H_m}{R} + \frac{y_m^2}{2R^2} \right) \\ \sum \Delta y_s &= \sum \Delta y \left( 1 - \frac{H_m}{R} + \frac{y_m^2}{2R^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (12-3)$$

式中  $\sum \Delta x_s, \sum \Delta y_s$ ——两化改正后的纵、横坐标增量和 (m);

$\sum \Delta x, \sum \Delta y$ ——导线的纵、横坐标增量和 (m);

$y_m$ ——距中央子午线的平均距离 (即导线两端点横坐标的平均值);

$H_m$ ——导线两端点的平均绝对高程。

## (三) 坐标换带计算

在高斯平面直角坐标系中, 由于分带投影, 使参考椭圆体上统一的坐标系被分割成各带

独立的直角坐标系。铁路初测导线与国家大地点联测，有时两已知点会处于两个投影带中，因而，必须先将邻带的坐标换算为同一带的坐标才能进行检核，这项工作简称坐标换带。它包括  $6^\circ$  带与  $6^\circ$  带的坐标互换、 $6^\circ$  带与  $3^\circ$  带的坐标互换等。

### 1. 坐标换带计算公式

坐标换带可利用《高斯、克吕格坐标换带表》(表 12-2) 并按下列严密公式计算

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + (m + m_1 \Delta y_1) \Delta y_1 + \delta_x \\ \mp y_2 &= y_0 + (n + n_1 \Delta y_1) \Delta y_1 + \delta_y \end{aligned} \right\} \quad (12-4)$$

当  $\Delta y_1$  大于 60 km 时，用下式计算：

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + \{m + (m_1 + m_2 \Delta y_1) \Delta y_1\} \Delta y_1 + \sigma_x \\ \pm y_2 &= y_0 + \{n + (n_1 + n_2 \Delta y_1) \Delta y_1\} \Delta y_1 + \sigma_y \end{aligned} \right\} \quad (12-5)$$

式中  $x_1, y_1$ ——为换带前的已知坐标值。

$x_2, y_2$ ——为换带后的坐标值。由西带向东带换带时  $y_2$  取负值；由东带向西带换带时  $y_2$  取正值。

$y_0$ ——换带中辅助点的横坐标，即在带边缘上相应于  $x_1$  的横坐标， $y_0$  恒为正值，可查换带表，并按下式内插求得：

$$y_0 = y'_0 + \Delta x \{ \delta_{y_0} + d(\delta_{y_0}) \} \quad (12-6)$$

式中  $\Delta x = x_1 - x_0$

$x_0$ ——略小于  $x_1$  的表列引数；

$y'_0$ ——与  $x_0$  对应的横坐标值；

$\delta_{y_0}$ ——每公里的平均变率；

$d(\delta_{y_0})$ ——以  $\delta_{y_0}$  的表差和  $\Delta x$  为引数由表中查得，与  $\delta_{y_0}$  同符号。

$$\Delta y_1 = \pm y_1 - y_0$$

由西带换至东带时  $y_1$  前取正号，由东带换至西带时  $y_1$  前取负号， $y_1$  则采用其坐标系中应有的正负号。

$m, n, m_1, n_1, m_2, n_2$ ——换带常数，以  $x_0$  为引数由换带表中查出；

$\delta_x, \delta_y, \sigma_x, \sigma_y$ ——换带常数，以  $\Delta y_1$  为引数由换带表中查出；

坐标换带表分为表 I 和表 II。使用严密公式，可用表 I (表 12-2) 查取有关常数计算，结果最大误差不大于 1mm。表 II 为简表。

### 2. $6^\circ$ 带坐标换带计算算例

已知某三角点在  $6^\circ$  带第 20 带内的坐标为：

$$x_1 = 4\,593\,760.100$$

$$y_1 = 20\,732\,025.600$$

求其在 21 带中的坐标。

计算按表 12-3 进行。

计算说明：

(1) 将  $y_1$  去掉带号 20 并减去 500 km，得横坐标的自然值  $y_1 = +232\,025.600$ ，将  $x_1, y_1$  分别填入入表 12-3 中的顺序第 1、2 内。

(2) 计算  $y_0$ ：先以比  $x_1$  略小的表列数值  $x_0 = 4\,592\,000$  为引数从表 12-2 中查得：  
 $y'_0 = 250\,802.894\text{ km}$ ， $\delta_{y_0} = -34.674$ ， $d(\delta_{y_0}) = -0.005\text{ km}$ 。( $d(\delta_{y_0})$  与  $\delta_{y_0}$  同符号，

表列数值相当  $\delta_{y_0}$  的最后两位。) 再按式 (12-6) 计算:

$$\Delta x = x_1 - x_0 = 4\,593\,760.100 - 4\,592\,000.000 = 1.760\,1\text{km}$$

$$y_0 = y'_0 + \Delta x \{ \delta_{y_0} + d(\delta_{y_0}) \}$$

$$= 250\,802.894\,1 + 1.760\,1 \{-34.674\,0 - 0.005\,4\} = 250\,741.855\text{m}$$

填入顺序第 3。

(3) 从表 12-2 中以  $x_1$  为引数查取  $m$ 、 $n$ 、 $m_1$ 、 $n_1$  分别填入顺序第 4、5、6、7。

$$m = (-6\,926\,473 + 1.760\,1 \times (-1\,230.0)) \times 10^{-8} = -6\,928\,638 \times 10^{-8}$$

$$n = (-99\,759\,831 + 1.760\,1 \times (+85.5)) \times 10^{-8} = -99\,759\,681 \times 10^{-8}$$

$$m_1 = (63\,970 + 17\,601 \times (+2)) \times 10^{-14} = +63\,974 \times 10^{-14}$$

$$n_1 = (612\,995 + 1.7601 \times (-87)) \times 10^{-14} = +612\,842 \times 10^{-14}$$

(4) 计算  $\Delta y_1$ : 由西带换至东带,  $y_1$  前取十号。

$$\Delta y_1 = \pm y_1 - y_0 = +232025.600 - 250\,741.855 = -18\,716.255\text{ m}$$

填入顺序第 8。

(5) 查取  $\delta_x$ ,  $\delta_y$ : 因  $\Delta y_1 < 60\text{ km}$ , 故用式 (12-4), 只需查取  $\delta_x$ 、 $\delta_y$ , 以  $\Delta y_1$  为引数查得  $\delta_x = +2\text{ mm}$ ,  $\delta_y = 0$ , 填入顺序第 9、10。

(6) 计算  $n_1 \Delta y_1$ ,  $m_1 \Delta y_1$

$$n_1 \Delta y_1 = 612\,842 \times 10^{-14} \times (-18\,716.255) = -0.000\,114\,70\text{ m}$$

$$m_1 \Delta y_1 = 63\,974 \times 10^{-14} \times (-18\,716.255) = -0.000\,011\,97\text{ m}$$

分别填入顺序第 13、14。

(7) 计算  $(n+n_1 \Delta y_1) \Delta y_1$  及  $(m+m_1 \Delta y_1) \Delta y_1$

$$N \Delta y_1 = (-0.997\,596\,81 - 0.000\,114\,70) \times (-18\,716.255) = +18\,673.423\text{ m}$$

$$M \Delta y_1 = (-0.069\,286\,38 - 0.000\,011\,97) \times (-18\,716.255) = +1\,297.066\text{ m}$$

分别填入顺序第 15 和 16。

表 12—2 高斯、克吕格坐标换带表（六度带）

$X_0$ km	$y_0$	$\delta_{y_0}$	$m$	$\delta_m$	$n$	$\delta_n$	122—124		125—126	
	+ m	- m	- $10^{-8}$	- $10^{-8}$	- $10^{-8}$	+ $10^{-8}$	$\Delta x(m)$	$d(\delta_{y_0})$	$\Delta x(m)$	$d(\delta_{y_0})$
4 500	253 966.660 9	34.102 4	681 254 4	1 246.0	99 767 677	85.0	33		32	
2	898.444 0	114 8	1 503 6	5.5	507	5.5	98	2	96	2
4	830.201 8	127 4	1 752 7	5.5	336	5.0		4		4
6	761.934 4	139 9	2 001 8	5.0	166	5.5	163	6	160	6
8	693.642 3	1523	2 250 8		99 766 995		228	8	224	8
4 510	253 625.321 5	34.164 8	682 499 7	1 244.5	99 766 825	85.0	293		288	
2	556.983 0	177 3	2 748 6	4.5	655	5.0	358	10	352	10
4	488.615 9	189 8	2 997 4	4.0	484	5.5		12		12
6	420.223 9	202 3	3 246 1	3.5	314	5.0	423	14	416	14
8	351.806 7	214 7	3 494 8		144		488	16	480	16
4 520	253 283.3651	34.227 2	683 743 5	1 244.5	99 765 973	85.5	553		544	
2	214.897 9	239 7	3 992 0	2.5	803	5.0	618	18	608	18
4	146.406 2	252 2	4 240 5	2.0	633	5.0	683	20	672	20
6	077.889 3	264 6	4 488 9	1.5	463	5.5	748	22	736	22
8	009.347 8	277 1	4 737 2		292		813	24	800	24
4 530	252 940.781 0	34.289 6	684 985 4	1 241.0	99 765 122	85.0	878		864	
2	872.189 5	302 0	5 233 6	1.0	99 764 951	5.5	943	26	928	26
4	803.572 9	314 5	5 481 7	0.5	780	5.5		28		28
6	734.931 6	326 9	5 729 8	0.0	610	5.0	1 008	30	992	30
8	666.265 3	339 3	5 977 8		440		1 073	32	1 056	32
4 540	252 597.574 3	34.351 8	686 225 7	1 239.5	99 764 269	85.0	1 138		1 120	
2	528.858 2	364 2	6 473 6	9.5	098	5.5	1 203	34	1 184	34
4	460.117 5	376 6	6 721 3	8.5	99 763 928	5.0	1 268	36	1 248	36
6	391.351 7	389 2	6 969 0	8.5	757	5.5	1 333	38	1 312	38
8	322.550 9	401 4	7 216 7		587		1 398	40	1 376	40
4 550	252 253.745 9	34.413 8	687 464 3	1 238.0	99 763 416	85.5	1 463		1 440	
2	184.935 5	426 4	7 711 8	7.5	246	5.0	1 528	42	1 504	42
4	116.040 3	438 8	7 959 2	7.0	075	5.5	1 593	44	1 568	44
6	047.150 5	451 2	8 206 6	6.0	99 762 905	5.0	1 659	46	1 632	46
8	251 978.235 7	463 6	8 453 8		734		1 724	48	1 696	48
4 560	251 909.296 2	34.476 0	688 701 1	1 236.5	99 762 563	85.5	1 789		1 760	
2	840.331 9	488 4	8 948 2	5.5	392	5.5	1 854	50	1 824	50
4	771.342 6	500 8	9 195 3	5.0	222	5.5	1 919	52	1 888	52
6	702.328 6	513 2	9 442 3	5.0	051	5.0	1 984	54	1 952	54
8	633.290 0	525 6	9 689 3		99 761881		2 000	56	1 968	56
4 570	251 564.226 4	34.538 0	689 936 2	1 234.5	99 761 710	85.5	2 065		2 000	
2	495.137 9	550 3	690 183 0	4.0	535	5.5		58		58
4	426.025 1	562 7	0 429 7	3.5	368	5.0		60		60
6	356.887 2	575 2	0 676 4	3.0	198	5.5		62		62
8	287.724 5	587 4	0 923 0		027					
4 580	251 218.537 4	34.599 8	691 169 5	1 232.5	99 760 857	85.0				
2	149.325 3	612 2	1 416 0	2.5	686	5.5				
4	080.088 4	624 6	1 662 4	2.0	515	5.5				
6	010.626 8	636 9	1 908 7	1.5	344	5.5				
8	250 941.540 8	649 3	2 155 0		173					
4 590	250 872.229 7	34.661 7	692 401 2	1 231.0	99 760 002	85.5				
2	802.894 1	674 0	2 647 3	0.5	99 759 831	5.5				
4	733.333 6	686 3	2 893 3	0.0	660	5.5				
6	644.148 8	698 6	3 139 2	1 229.5	489	5.0				
8	594.739 0	711 1	3 385 2		319					
4 600	250 525.304 5	34.723 4	693 6310	1 229.0	99 759 148	85.5				

续上表

$X_c$ km	$m_1$ +	$\delta m_1$ +	$n_1$ +	$\delta n_1$ -	$m_2$ -	$n_2$ +	$\Delta y_1$ $\pm$ km	$\delta_r$ mm	$\Delta y_1$ + km	$\delta_y$ + mm
	$10^{-14}$	$10^{-14}$	$10^{-14}$	$10^{-14}$	$10^{-19}$	$10^{-19}$	12.0 17.3 20.5 23.0 25.0 26.7 28.2 29.6 30.9 32.0 33.1 34.2 35.1 36.0 36.9 37.7 38.5 39.3 40.0 40.7 41.4 42.1 42.7 43.3 44.0 44.5 45.1 45.6 46.2 46.8 47.2 47.8 48.3 48.8 49.2 49.7 50.2 50.6 51.1 51.5 52.0 52.4 52.8 53.2 53.6 54.0 54.4 54.8 55.2 55.6 55.9 56.3 56.6 57.0 57.4 57.7 58.0 58.4 58.8 59.0 59.4 59.8 60.0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62	0 60.0	0
4500	63 726	3	620 961	86	2 864	1				
2	732	3	790	86	5	0				
4	738	3	618	86	6	0				
6	744	3	446	86	7	1				
8	750	3	274	86	8	1				
4510	63 756	2	620 102	86	2 869	2				
2	761	3	619 929	86	2870	2				
4	767	3	757	86	1	3				
6	773	2	585	86	2	3				
8	778	3	413	86	3	4				
4520	63 784	3	619 240	86	2 874	4				
2	790	2	068	86	5	5				
4	795	3	618 895	86	6	5				
6	801	2	723	86	6	6				
8	806	3	550	86	7	6				
4530	63 812	2	618 377	86	2 878	7				
2	817	3	205	86	9	7				
4	823	2	032	86	2 880	8				
6	828	3	617 859	86	1	8				
8	834	2	686	86	2	9				
4540	63 839	2	617 513	86	2 883	9				
2	844	3	340	86	4	10				
4	850	2	167	86	5	0				
6	855	2	616 994	86	6	1				
8	860	3	821	86	7	1				
4550	63 866	2	616647	87	2 888	12				
2	871	2	474	86	9	2				
4	876	2	301	86	2 890	2				
6	881	2	127	87	1	3				
8	886	2	615 954	86	2	3				
4560	63 891	3	615 780	87	2 893	14				
2	897	2	607	86	4	4				
4	902	2	433	87	5	5				
6	907	2	259	87	6	5				
8	912	2	085	87	7	6				
4570	63 917	2	614 912	87	2 898	16				
2	922	2	738	87	8	7				
4	927	2	564	87	9	7				
6	932	2	390	87	2 900	8				
8	937	2	216	87	1	8				
4580	63 941	2	614 041	87	2 902	19				
2	946	2	613 867	87	3	9				
4	951	2	693	87	4	20				
6	956	2	519	88	5	0				
8	961	2	344	87	6	1				
4590	63 965	2	613 170	88	2 907	21				
2	970	2	612 995	87	8	2				
4	975	2	821	87	9	2				
6	980	2	646	88	2 910	3				
8	984	2	472	87	1	3				
4600	63 989		612 297	88	2 912	24				



表 12-3 坐标换带计算

计算顺序	计算项目	换带点 (西→东)	反算检核 (东→西)
1	$x_1$	4 593 760.100	4 595 057.108
16	$M\Delta y_1$	+ 1 297.006	- 1 297.006
9	$\delta_x$ 或 $\sigma_x$	+ 2	- 2
17	$x_2$	4 595 057.108	4 593 760.100
8	$\Delta y_1 = \pm y_1 - y_2$	- 18 716.255	+ 18 718.415
2	$y_2$	+ 232 025.600	- 269 415.278
3	$y_0$	250 741.855	250 696.883
15	$N\Delta y_1$	+ 18 673.423	- 18 671.263
10	$\delta_y$ 或 $\sigma_y$	0	0
18	干 $y_2$	- 269 415.278	+ 232 025.600
4	$M \begin{cases} m \\ m_1 \Delta y_1 \end{cases}$	- 0.069 286 38	- 0.069 302 33
14		- 0.000 011 97	+ 0.000 011 98
5	$N \begin{cases} n \\ n_1 \Delta y_1 \end{cases}$	- 0.997 596 81	- 0.997 595 70
13		- 0.000 114 70	+ 0.000 114 69
6	$M_1 \begin{cases} m_1 \\ m_2 \Delta y_1 \end{cases}$	+ 63 974 $\times 10^{-14}$	+ 63 977 $\times 10^{-14}$
12		—	—
7	$N_1 \begin{cases} n_1 \\ n_2 \Delta y_1 \end{cases}$	+ 612 842 $\times 10^{-14}$	+ 612 728 $\times 10^{-14}$
11		—	—

(8) 将顺序 1、16、9 的值相加得  $x_2$ ；3、15、10 的值相加得  $y_2$ 。分别填入顺序第 17、18。由于正算是由西带换至东带，故  $y_2$  取负值。故

$$x_2 = 4\,595\,057.108 \text{ m}$$

$$y_2 = -269\,415.278 \text{ m}$$

该三角点在 21 带的通用坐标值为：

$$x_2 = 4\,595\,057.108 \text{ m}$$

$$y_2 = 21\,230\,584.722 \text{ m}$$

(9) 检核计算为由东带换至西带，故  $y_2$  前为“+”号， $y_2 = +2\,320\,25.600$ 。

### 3. 3° 带与 6° 带间坐标换算

由于 3° 带的奇数带中央子午线与 6° 带的中央子午线相重合；而 3° 带的偶数带中央子午线则与 6° 带的边缘子午线相重合（图 12-1），所以坐标换带有两种情况。

#### (1) 两者中央子午线重合

图 12-1 中，6° 带第 20 带中的  $p_1$  点坐标要换算为 3° 带的坐标，则无须作任何计算，只要将横坐标前的带号由 20 改为 39 即可，而  $x$ 、 $y$  坐标值均不变。

#### (2) 两者中央子午线不重合

图 12-1 中，欲将 6° 带第 20 带中的  $p_2$  点坐标，换算为 3° 带第 40 带的坐标时，先将  $p_2$  点 6° 带坐标换算为 3° 带第 39 带的坐标（第 39 带坐标与 6° 带坐标相一致）；再将 39 带坐标换算成邻带第 40 带坐标（此处用 3° 带坐标换带表）。

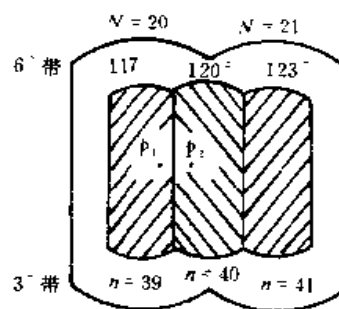


图 12-1

### 三、高程测量

初测高程测量的任务有两个，一是沿线路设计水准点，作为线路的高程控制网；二是测定导线点和加桩的高程，为地形测绘和专业调查使用。

#### （一）水准点高程测量

线路水准点一般每隔 2 km 设置一个，重点工程地段应根据实际情况增设水准点。水准点高程按五等水准测量要求的精度施测；水准点高程测量应与国家水准点联测，其路线长度不远于 30 km 联测一次，形成附合水准路线；水准点高程测量可采用水准测量或光电测距三角高程测量方法进行，高程取至于 mm。

##### 1. 水准测量

水准仪的精度不应低于 DS<sub>3</sub> 级，水准尺宜用整体式；可采用一组往返测或两台水准仪并测。高差较差在限差以内时采用平均值。限差要求见表 12—4。表中  $R$  为测段长度， $L$  为附合路线长度， $F$  为环线长度，均以 km 为单位。

表 12—4 五等水准测量精度

每公里高差中数的中误差 (mm)	限差 (mm)			
	检验已测段高差之差	往返测不符值	附合路线闭合差	环闭合差
$\leq 7.5$	$\pm 30\sqrt{R}$	$\pm 30\sqrt{R}$	$\pm 30\sqrt{L}$	$\pm 30\sqrt{F}$

视线长度应不大于 150 m，跨越深沟、河流时可增至 200 m。前、后视距离应大致相等，其差值不宜大于 10 m，视线离地面高度不应小于 0.3 m，并应在成像清晰稳定时进行。

当跨越大河、深沟，其视线长度超过 200 m 时，应按五等跨河水准测量的要求进行。

##### 2. 光电测距三角高程测量

光电测距三角高程测量，可与平面导线测量合并进行。水准点的设置要求、闭合差限差及检测限差应符合水准测量要求。

导线点应作为高程转点。高程转点间的距离和竖直角必须往返观测；斜距应加气象改正；高差可不加折光改正，采用往返观测取平均值；仪器高、棱镜高应在测距前和测角后分别量测一次，取位至 mm，两次量测的较差不大于 2 mm 时，取其平均值。测量的技术要求见表 12—5。

表 12—5 水准点光电测距三角高程测量技术要求

距离测回数	竖 直 角				边长范围 (m)
	测回数	最大角值 (")	测回间较差 (")	指标差互差 (")	
往返各一测回	往返各测两测回	20	8	8	200~500

#### （二）加桩（中桩）高程测量

加桩是指导线点之间所钉设的板桩，它用于里程计算和专业调查，一般每 100 m 钉设一桩；在地形变化处及地质不良地段，亦应钉设加桩。

##### 1. 加桩水准测量

加桩水准测量使用精度不低于原 S<sub>0</sub> 级的水准仪；采用单程观测，水准路线应起闭于水

准点，导线点应作为转点，转点高程取位至 mm；加桩高程取位至 cm。限差要求见表 12—6。

表 12—6 加桩高程测量限差 (mm)

项目		附和路线 线闭合差	检测	附注
水准测量		$\pm 50\sqrt{L}$	$\pm 100$	$L$ ——附和 路线长度 (km)
光电三角高程		$\pm 50\sqrt{L}$	$\pm 100$	
一般三角 高程	困难地段	$\pm 300$	$\pm 150$	
	隧道项	$\pm 800$	$\pm 400$	

## 2. 加桩光电测距三角高程测量

加桩高程测量可与水准点光电测距三角高程测量同时进行；若单独进行加桩光电测距三角高程测量时，其高程路线必须起闭于水准点，其限差要求见表 12—6。

高程转点间的竖直角用中丝法往返观测各一测回；加桩高程测量的距离和竖直角，可单向观测一测回，半测回间高差之差在限差以内时取平均值。加桩光电测距三角高程测量的技术要求见表 12—7。

表 12—7 加桩光电测距三角高程测量技术要求

类别	距离测回数	竖直角			半测回或两次 高差 (mm)
		最大竖直角 (°)	测回数	半测回间较差 (″)	
高程 转点	往返各一测回	30	中丝法往返	12	
			各一测回		
加桩	单向一测回	40	单向两次		100
			单向一测回	30	

## 3. 一般三角高程测量

在困难地段和隧道顶加桩高程测量亦可采用一般三角高程测量。其三角高程路线分段起闭于具有水准高程的导线点；转点间的竖直角应往返观测各一测回，半测回间角值较差限差  $DJ_2$  为 30″；高程测量限差见表 12—6。

# § 12—3 铁路新线定测

新线定测阶段的测量工作主要有：中线测量、线路纵断面测量、线路横断面测量。

## 一、线路平面组成和平面位置的标志

由于受地形、地质、技术条件等的限制和经济发展的需要，铁路线路的方向要不断改变。为了保持线路的圆顺，在改变方向的两相邻直线间须用曲线连接起来，这种曲线称平面曲线。平面曲线有两种形式，即圆曲线和缓和曲线。线路平面组成，见图 12—2。

圆曲线是一段具有半径相同的圆弧；缓和曲线则是连接直线与圆曲线间的过渡曲线，其曲率半径由无穷大逐渐变化到圆曲线的半径。铁路干线的平面曲线都应加设缓和曲线，地方和厂矿专用线在行车速度不高时，可不设缓和曲线。

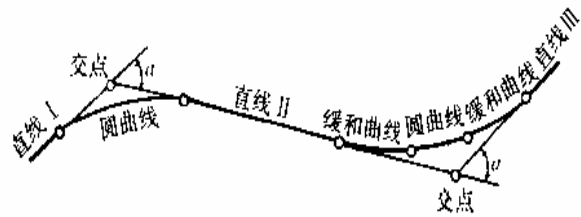


图 12-2

在地面上标定线路的位置，是将一系列的木桩标定在线路的中心线上，这些桩称为**中线桩**，简称中桩。中线桩除了标出中线位置外，还应标出各个桩的名称、编号及里程等。对线路位置起控制作用的桩称**线路控制桩**，直线上的控制桩有**交点桩**（用 JD 表示）和**直线转点桩**（用 ZD 表示）；曲线上也有一系列控制桩，详见第 12-4~12-6 节。控制桩通常用 4~5 cm 见方的方桩钉入地面，桩顶应与地面齐平，并订一小钉表示它精确的点位。直线和曲线上的控制桩均应设置标志桩，标志桩用宽 5~8cm 的板桩，上面写明点的名称、编号及里程。标志桩钉在离控制桩 30~50 cm 处，直线上钉在线路前进方向的左侧，曲线上则钉在曲线的外侧，字面向着控制桩（图 12-3）。

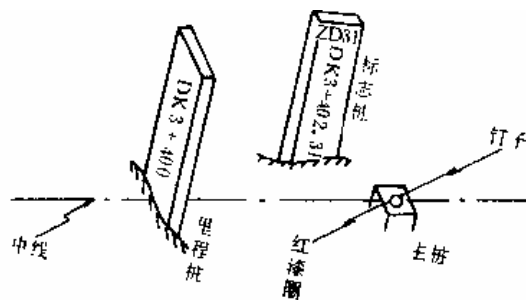


图 12-3

为了详细标出直线和曲线的位置和里程，在直线上每 50 m、在曲线上每 20 m 钉一中线桩；里程为整百米的称**百米桩**，里程为整公里的称**公里桩**，在地形明显变化和线路与其他道路管线交叉处应设置**加桩**。百米桩、公里桩和加桩用宽 4~5 m 的板桩钉设，上端标明里程，字面背着线路前进方向，桩顶上也无需钉小钉。

**里程**是指中线桩沿线路至线路起点的距离，它是沿线路中线计量，以 km 为单位。一般以线路起点为 DK0+000，图 12-3 中为直线转点（ZD）桩，该桩距线路起点为 3 km 又 402.31 m。即 3 402.31 m，DK 表示定测里程。交点虽不是中线点，但它是重要的控制点，一般也要标明它的里程，因此它只是一种相应的里程。

## 二、中线测量

中线测量是新线定测阶段的主要工作，它的任务是把在带状地形图上设计好的线路中线测设到地面上，并用木桩标定出来。

中线测量包括放线和中桩测设两部分工作。放线是把纸上定线各交点间的直线段测设于地面上；中桩测设是沿着直线和曲线详细测设中线桩。

### （一）放线测量

放线的任务是把中线上直线部分的控制桩（JD、ZD）测设到地面，以标定中线的位置。放线的方法有多种，常用的有：拨角法、支距法和极坐标法三种。可根据地形条件、仪器设备及纸上定线与初测导线距离的远近等情况，选择一种或几种交替使用。

#### 1. 拨角法放线

它是根据纸上定线交点的坐标，预先在内业计算出两相邻交点间的距离及直线的转向角，然后根据计算资料在现场放出各个交点，定出中线位置。

拨角放线的工作程序为：计算放线资料、实地放线、联测与放线误差的调整。现以图 12-4 为例来说明。

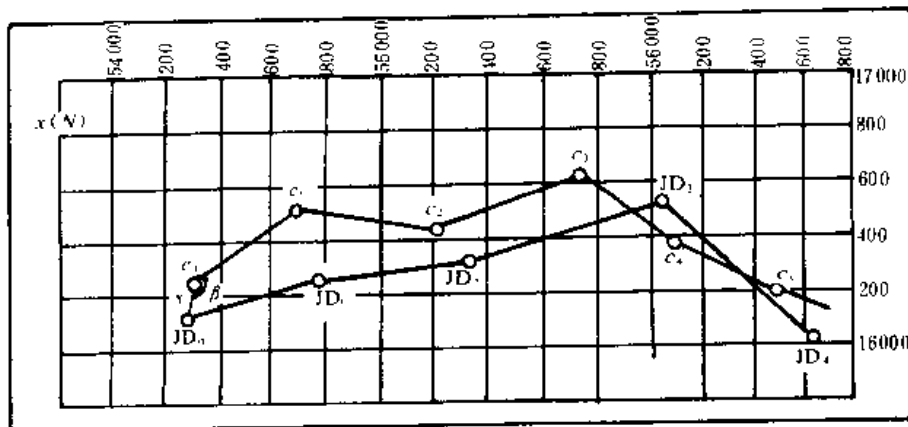


图 12-4

#### (1) 计算放线资料

图 12-4 中  $c_0$ 、 $c_1$ ……为初测导线点，其各点坐标在初测导线计算表中可以查得； $JD_0$ 、 $JD_1$ ……为纸上定线各直线段的交点，它们的坐标可在地形图上量取。根据坐标反算公式，可以计算出各直线段的长度及其坐标方位角，相邻两直线段的坐标方位角之差，即为各交点的转向角（后视边的坐标方位角减前视边的坐标方位角，差值为正则左转，为负则右转），见表 12-8。计算出的距离及转向角，应使用比例尺和量角器在图上检查无误后，方可提供给外业放线使用。

例如，图中由导线点  $c_0$  放出中线起点  $JD_0$  的测设资料为

$$s = \sqrt{(-138)^2 + (-46)^2} = 145.47 \text{ m}$$

$$\beta = \alpha_{c_0 \sim JD_0} - \alpha_{c_0 \sim c_1} = 143^\circ 07' 36''$$

$JD_0$  的转向角为

$$\alpha_0 = \alpha_{c_0 \sim JD_0} - \alpha_{JD_0 \sim JD_1} = 124^\circ 20' 176'' \quad (\text{左})$$

余此类推。

表 12-8 拨角放线资料计算表

桩号	坐标 (m)		坐标增量 (m)		坐标方位角 ° ' "	直线长度 (m)	转向角 ° ' "
	x	y	$\Delta x$	$\Delta y$			
$c_1$					235 18 30		
$c_0$	16 263	54 311	-138	-46	198 26 06	145.47	$\beta = 143^\circ 07' 36''$
	16 125	54 265					124 20

			153	537	74 05 49	558.37	17 (左)
$JD_1$	16 278	54 802					7 12 40
			85	556	81 18 29	562.46	(右)
$JD_2$	16 363	55 385					9 25
			228	697	71 53 10	733.34	19 (左)
$JD_3$	16 591	56 055					55 42
							04 (右)
$JD_4$	16 113 3	56 650	-458	595	127 35 14	750.86	

根据计算出的转向角、曲线段长度和设计的曲线半径、缓和曲线长,计算出曲线要素(包括切线长、曲线长和外矢距)及曲线主点的里程。所有计算资料经复核后,填入“拨角放线资料表”,供外业放线及中线测量使用。

### (2) 实地放线

根据放线资料,首先置镜于初测导线点  $c_0$  上,后视  $c_1$ ,盘左、盘右拨角  $\beta = 143^\circ 07' 36''$ ,分中后定出  $c_0 \sim JD_0$  方向,在此方向上量出  $s = 145.47$  m 定出  $JD_0$  点。然后依次在  $JD_0$ 、 $JD_1$ ……上安置经纬仪,根据相应的转向角和直线段长度,定出  $JD_1$ 、 $JD_2$ ……交点。

交点水平角(转向角)应使用  $DJ_6$  或  $DJ_6$  经纬仪,采用正倒镜测设。在限差范围内时,分中取平均位置。距离采用往返观测,交点至转点或转点之间的距离,在使用光电测距仪时不宜长于 1 000 m,使用钢卷尺时不宜长于 400 m;地形平坦、视线清晰时,亦不应长于 500 m;而两点间的最短距离不得短于 50 m,当短于 50 m 时应设置远视点。

钉设转点时,正、倒镜的点位横向误差每 100 m 距离不应大于 5 mm;当点间距离大于 400 m 时,最大点位横向误差不应大于 20 mm,在限差以内分中定点。在测设距离的同时,可以钉出直线上的中线桩(公里桩、百米桩、加桩)和曲线主点桩。

### (3) 联测与放线误差的调整

拨角法放线虽然速度较快,但其缺点是放线误差累积,为了保证测设的中线位置不致偏离理论位置过大,“测规”规定中线每隔 5~10 km,应与初测导线(或航测外控点、GPS 点)联测一次,其闭合差不应超过表 12-9 的规定。

表 12-9 中线闭合差

水平角闭合差 (")	$DJ_6$	$\pm 30\sqrt{n}$
	$DJ_2$	$\pm 25\sqrt{n}$
长度相对闭合差	钢卷尺	1/2000
	光电测距	1/3000

表中,  $n$  为闭合环中线上置镜点和初测导线点的总和;长度采用初、定测闭合环长度。

当闭合差超限时,应查找原因,纠正放线点位;若闭合差在限差以内,则应在联测处截断累积误差,使下一个放线点回到设计位置上。

图 12-5 为联测关系示意图,虚线中的  $JD_2$ 、 $JD_3$ ……为纸上定线位置;实线中的  $JD'_2$ 、 $JD'_3$ ……为现地放出的中线交点; $c_3$ 、 $c_4$  则是现地已有的初测导线点。联测时要现场测出联测点  $JD'_3$  和  $c_4$  处的水平角  $\beta_1$ 、 $\beta_2$  和水平距离  $d_1$ ,根据初测导线的坐标方位角  $\alpha_{3-4}$ ,可以推算出现地放出的中线的坐标方位角  $\alpha_{JD'_2 \sim JD'_3}$ ,其与纸上定线的理论坐标方位角  $\alpha_{JD_2 \sim JD_3}$  之差,即为角度闭合差;而由  $c_4$  点坐标推算出的  $JD'_3$  坐标与纸上定线位置  $JD_3$  坐标之差,即可算出距离闭合差,从而可以衡量放线的精度。若闭合差均在限差之内,则前面已测设的中线位置不必调整,而放下一个  $JD'_4$  点时,要根据  $JD'_3$  的实测坐标和纸上定线  $JD_4$  的理论坐标来反算放线所需的坐标方位角。 $\alpha_{JD'_3 \sim JD_4}$  及距离  $d_2$ ,使  $JD'_4$  回到纸上定线位置  $JD_4$  上。

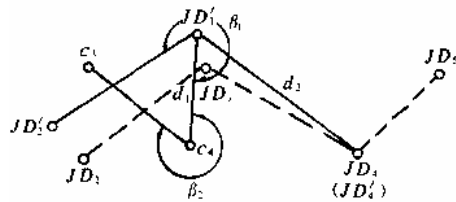


图 12-5

例如,图 12-5 中联测数据为

$$d_1 = 144.89 \text{ m}; \beta_1 = 266^\circ 05' 12''; \beta_2 = 323^\circ 40' 36''$$

联测坐标计算资料填入表 12-10 中。

表 12-10 联测坐标计算表

点号	右角 ° ' "	坐标方位角 ° ' "	距离 (m)	坐标增量 (m)		坐标 (m)	
				$\Delta x$	$\Delta y$	$x$	$y$
$c_3$							
		121 38 30					
$c_4$	323 40 36					16 457.00	56 110.00
		337 57 54	144.89	+134.31	-54.36		
$JD'_3$	266 05 12					16 591.31	56 055.64
		251 52 42					
$JD'_4$							

(a) 距离闭合差的计算

$JD_2$  的理论坐标由表 12-8 中查得

$$x = 16\ 591 \text{ m}, y = 56\ 055 \text{ m},$$

$$\therefore \text{坐标闭合差} \quad \delta_x = +0.31 \text{ m}, \delta_y = +0.64 \text{ m}$$

$$\text{故 距离闭合差} \quad f_s = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} = \pm 0.71 \text{ m}$$

(b) 角度闭合差的计算

$$\text{由表 12-8 查得} \quad \alpha_{JD_2 \sim JD_3} = 71^\circ 53' 10''$$

$$\text{由表 12-10 查得} \quad \alpha_{JD'_2 \sim JD'_3} = 71^\circ 52' 42''$$



$$\therefore \text{角度闭合差 } f_{\beta} = 71^{\circ}52'42'' - 71^{\circ}53'10'' = -28''$$

(c) 精度评定

已知联测闭合环中, 置镜点数  $n = 9$ ; 闭合环总长约 4 130 m。

$$\therefore f_{容} = \pm 30'' \sqrt{n} = \pm 90''$$

$$f_{\beta} = -28 < \pm 90''$$

$$\text{距离相对闭合差 } K = \frac{0.71}{4\,130} = \frac{1}{5\,800} < \frac{1}{2\,000}$$

故 放线符合精度

(d) 放线误差的调整

由于放线精度合格, 则闭合差在  $JD'_3$  处截断,  $JD'_3$  以前的中线位置现地不再调整; 而以后的放线资料, 则由  $JD'_3$  的实测坐标和  $JD_4$  的理论坐标来计算。

将经纬仪安置在  $JD'_3$  上, 后视  $JD'_2$ , 拨角量距定出  $JD'_4$ 。

## 2. 支距法放线

初测导线与纸上定线相距较近时, 为控制好线路位置, 可采用支距法放线。它是以导线点 (或航测外控点) 为基础, 独立测设出中线的各直线段, 然后将两相邻直线段延伸相交得到交点。由于每一直线段都是独立放出, 误差不会积累, 是其优点, 但放线程序较繁。其工作程序为: 准备放线资料、放点、穿线、交点。

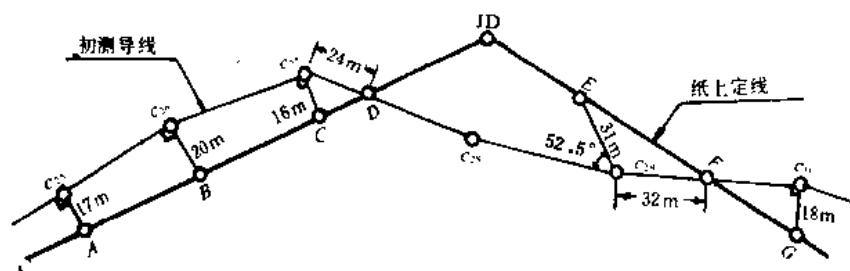


图 12-6

### (1) 准备放线资料

从地形图上选定一些导线点, 用比例尺和量角器量出这些点到纸上定线的距离和角度, 如图 12-6 中的 A、B、C……, 这些点的选择既要考虑测设方便, 又要使用同一直线段上相邻两点间通视, 且两点间距尽量远些; 此外也可选取中线上的特征点, 如明显地物点、导线与中线相交点, 即如图中的 D、E、F 点。

为了检核和保证放线位置的精度, 《测规》规定每一线段上不能少于三个点。最后, 应将量得的数据标在放线示意图上。

### (2) 实地放线

#### a. 放点

根据放线示意图, 在现地拔出相应的导线点, 利用经纬仪、方向架或直角器测设方向, 用钢卷尺或皮尺量出距离, 定出临时支距点, 并插上一带红白旗的竹杆标出点位。

#### b. 穿线

支距法放出的各点均是独立的点, 故放线误差不会累积, 但由于放线资料的量取和实



际测设中都会有误差,故实地放出的同一直线上的各点并非在同一直线上,需用经纬仪将相应的各点调整到同一直线上,这一工作称为穿线。

穿线时,一种方法是将经纬仪安置于一个较高的临时点上,照准最远处一个转点(ZD),若中间各点偏离视线方向不大,则可将各点移动,标定在视线方向上,并打桩钉上小钉;另一种方法是将经纬仪安置于某临时支点附近,使其前、后大多数点均在仪器正、倒镜视线所指直线的方向附近,则以此视线作为直线的方向,在此方向上钉出若干个直线转点桩 ZD。

### c. 延长直线

为了得到相邻两直线段的交点,一般采用盘左、盘右分中定点法来延长直线。如图 12-7,欲将 AB 延长,置经纬仪于 B 点,盘左后视 A 点,倒转望远镜后在视线方向上打一木桩,并在桩顶上标出一点  $c_1$ ;然后盘右后视 A 点,倒镜后在桩顶上标出  $c_2$  点,若  $c_1c_2$  之间的距离小于横向误差容许值时(见拨角放线要求),则取其中点 c 作为 AB 延长直线上的点,并钉一小钉标之。

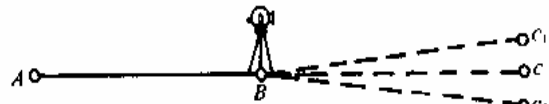


图 12-7

为保证延长直线的测设精度,前、后视线长度不能相差太大,且后视距离不能太短;对点和设点尽量采用垂球,且距离较远时,亦可用测钎或标杆,但要尽量照准其底部。

### (3) 交点

相邻两直线段在实地测设出来之后,将它们延长即可测设出直线的交点 JD。交点是确定中线的直线段方向和测设曲线的重要控制点。

如图 12-8,将经纬仪安置在直线 I 的转点 ZD 上,延长直线 I,估计在与直线 II 相交处的前后打下 a、b 木桩,并在桩顶钉一小钉,拉上细线,此两桩称骑马桩。然后用经纬仪将直线 II 延长,在视线与骑马桩上的细线相交处订上方木桩,然后悬吊垂球沿细线移动,当垂球线与直线 II 的视线方向重合时,即可定出交点位置,钉一小钉示之;亦可先将直线 I 的方向沿细线用铅笔投画在桩顶上,利用垂球移动定出与直线 II 的交点。

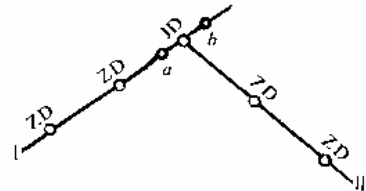


图 12-8

当受地形、地物限制交点不能测设,或交点过远测设不便时,常用副交点代替交点(见第 12-7 节)。

### 3. 极坐标法放线

它是利用光电测距仪测距速度快、精度高的特点,可在一个导线点上安置测距仪,同时测设几条直线上的若干个,如图 12-9。测距仪安置在导线点  $c_4$  上,可同时测设出 A、B……G,大大提高了放线的效率。其距离、角度应通过坐标反算来确定,而且最后亦要经过

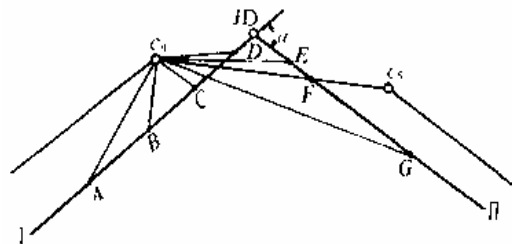


图 12-9

穿线来确定直线段的位置。

## （二）中线测设

放线工作完成之后，地面上已有了控制中线位置的转点桩 ZD 和交点桩 JD。依据 ZD 和 JD 桩，即可将中线桩详细测设在地面上，这项工作通称中线测量。它包括直线和曲线两部分，此节先介绍直线测设，曲线测设在后面几节中介绍。

中线上应钉设公里桩、百米桩和加桩。直线上中桩间距不宜大于 50 m；在地形变化处或按设计需要应另设加桩，加桩一般宜设在整米处。

中线距离应用光电测距仪或钢尺往返测量，在限差以内时取平均值。百米桩、加桩的钉设以第一次量距为准。中桩桩位误差，按《测规》要求不超过下列限差：

$$\text{纵向为 } \left( \frac{s}{2000} + 0.1 \right) \text{ m, 横向为 } 10 \text{ cm。}$$

式中， $s$ ——转点至桩位的距离，以 m 计。

定测控制桩——直线转点、交点、曲线主点桩，一般都应用固桩。固桩可埋设预制混凝土桩或就地灌注混凝土桩，桩顶埋入铁钉。

## 三、线路高程测量

铁路新线的初测和定测阶段都要进行高程测量。它包括水准点高程测量和中桩高程测量。

### （一）线路水准点高程测量

线路水准点高程测量现场称基平测量。它的任务是沿线布设水准点、施测水准点的高程，作为线路及其它工种测量工作的高程控制点。

#### 1. 水准点的布设

定测阶段水准点的布设应在初测水准点布设的基础上进行。首先对初测水准点逐一检核，其不符值在  $\pm 30\sqrt{K}$  mm 以内时，采用初测成果（ $K$  为水准路线长度，以 km 为单位）；若确认超限，方能更改。其次，若初测水准点远离线路，则重新移设至距线路 100 m 的范围内。水准点的布设密度一般 2 km 设置一个，但长度在 300 m 以上的桥梁和 500 m 以上的隧道两端和大型车站范围内，均应设置水准点。

水准点设置在坚固的基础上或埋设混凝土的标桩，以 BM 表示并统一编号。

#### 2. 水准点高程测量

其测量方法与要求同初测水准点高程测量（见 § 12—2）。

#### 3. 跨河水准测量

在铁路水准点测量中，当跨越河流或深谷时，由于前、后视线长度相差悬殊及水面折光的影响，不能按通常的方法进行水准测量。当跨越大河、深沟视线长度超过 200 m 时，应按跨河水准测量进行，方法可参考 § 8—6。

## (二) 中桩高程测量

初测时中桩高程测量是测定导线点及加桩桩顶的高程为地形测量建立图根高程控制。定测时，则是测定中线上各控制桩、百米桩、加桩处的地面高程，为绘制线路纵断面提供资料。

## 1. 中桩水准测量

中桩水准采用一台水准仪单程测量，水准路线应起闭于水准点，限差为  $\pm 50\sqrt{L}$  mm ( $L$  为水准路线长度，以 km 计)。中桩高程宜观测两次，其不符值不应超过 10 cm，取位至 cm；中桩高程闭合差在限差以内时不作平差。

中桩高程测量方法如图 12-10 所示。

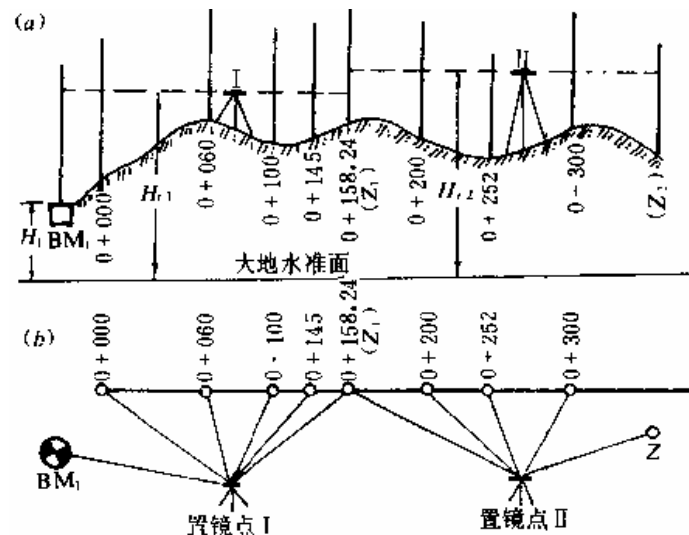


图 12-10

表 12-11 中桩水准测量记录

测 点	水准尺读数 (m)			仪器高程 (m)	高程 (m)	备 注
	后视	中视	前视			
BM1	3.769			56.229	52.460	水准点高程:
0+000		2.21			54.02	BM1——52.460m
0+060		0.58			55.65	BM2——55.471m
0+100		1.52			54.71	实测闭合差
0+145		2.45			53.78	$f_h = 55.450 - 55.471$
0+158.24 ( $Z_1$ )	0.659		0.415	56.473	55.814	$= -21\text{mm}$
0+200		1.37			55.10	容许闭合差
0+252		2.79			53.68	$F_h = \pm 50\sqrt{2.1} =$
0+300		1.80			54.67	$\pm 70\text{mm}$
$Z_2$	1.458		2.610	55.321	53.863	精度合限。
.....	.....	.....	.....	.....	.....	
ZH <sub>2</sub> +046.15	3.978		2.410	56.696	52.718	
BM2			1.246		55.450	
$\Sigma$	+30.559		27.609		55.450	
	-27.609				-52.460	
	+2.990				+2.990	

将水准仪安置于 I，读取水准点 BM<sub>1</sub> 上的尺读数，作为后视读数。然后依次读取各中线

桩的尺读数，由于这些尺读数是独立的，不传递高程，故称为中视读数。最后读取转点  $Z_1$  的读数，作为前视读数。再将仪器搬至 II，后视转点  $Z_1$ ，重复上述方法，直至闭合于  $BM_2$ 。中视读数读至 cm，转点读数读至 mm。记录、计算见表 12—11。

中桩高程计算采用仪器视线高法，先计算出仪器视线高  $H_i$ ，即

$$H_i = \text{后视点高程} + \text{后视读数}$$

$$\text{中桩高程} = H_i - \text{中视读数}$$

在表 12—11 中，并参考图 12—10 (a)，测站 I 的视线高为：

$$H_i = 52.460 + 3.769 = 56.229 \text{ m}$$

中线桩 DK+000 的高程为：

$$H_i - 2.21 = 54.019 \text{ m, 采用 } 54.02 \text{ m}$$

转点  $Z_1$  的高程为：

$$H_i - 0.415 = 55.814 \text{ m}$$

隧道顶部和个别深沟的中桩高程，可以采用三角高程测量法测定。

## 2. 跨深谷的中桩水准测量

线路中桩水准测量，往往需要跨越深谷，如图 12—11。为了避免因仪器通过谷底的多次安置中产生的误差，可在测站 1 先读取沟对岸的转点 2+200 的前视读数，然后以支水准路线形式测定谷底中桩高程；结束后，将仪器搬至测站 4 读取转点 2+200 的后视读数。为了削减由于测站

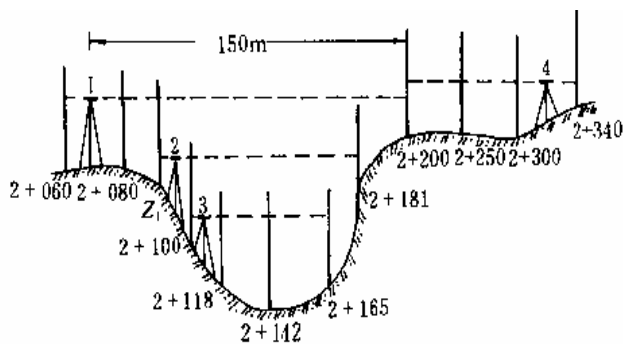


图 12—11

1 前视距离长而产生的测量误差，可将测站 4 的后视距离适当加长。另外，沟底中桩水准测量因为是支水准路线，故应另行记录。

当跨越的深谷较宽时，亦可采用跨河水准测量方法。

## 3. 中桩光电三角高程测量

中桩高程可与水准点光电三角高程一起进行；亦可与线路中线光电测距同时进行。若单独进行中桩高程测量或与中线测设同时进行，则应起闭于水准点上，满足限差  $= \pm 50\sqrt{L} \text{ mm}$  的要求及检测限差  $\pm 100 \text{ mm}$  的要求。

直线转点、曲线起终点及长度大于 500 m 的曲线中点，均应作为中桩高程测量的转点。中桩光电三角高程测量技术要求见表 12—7。

## (三) 线路纵断面图

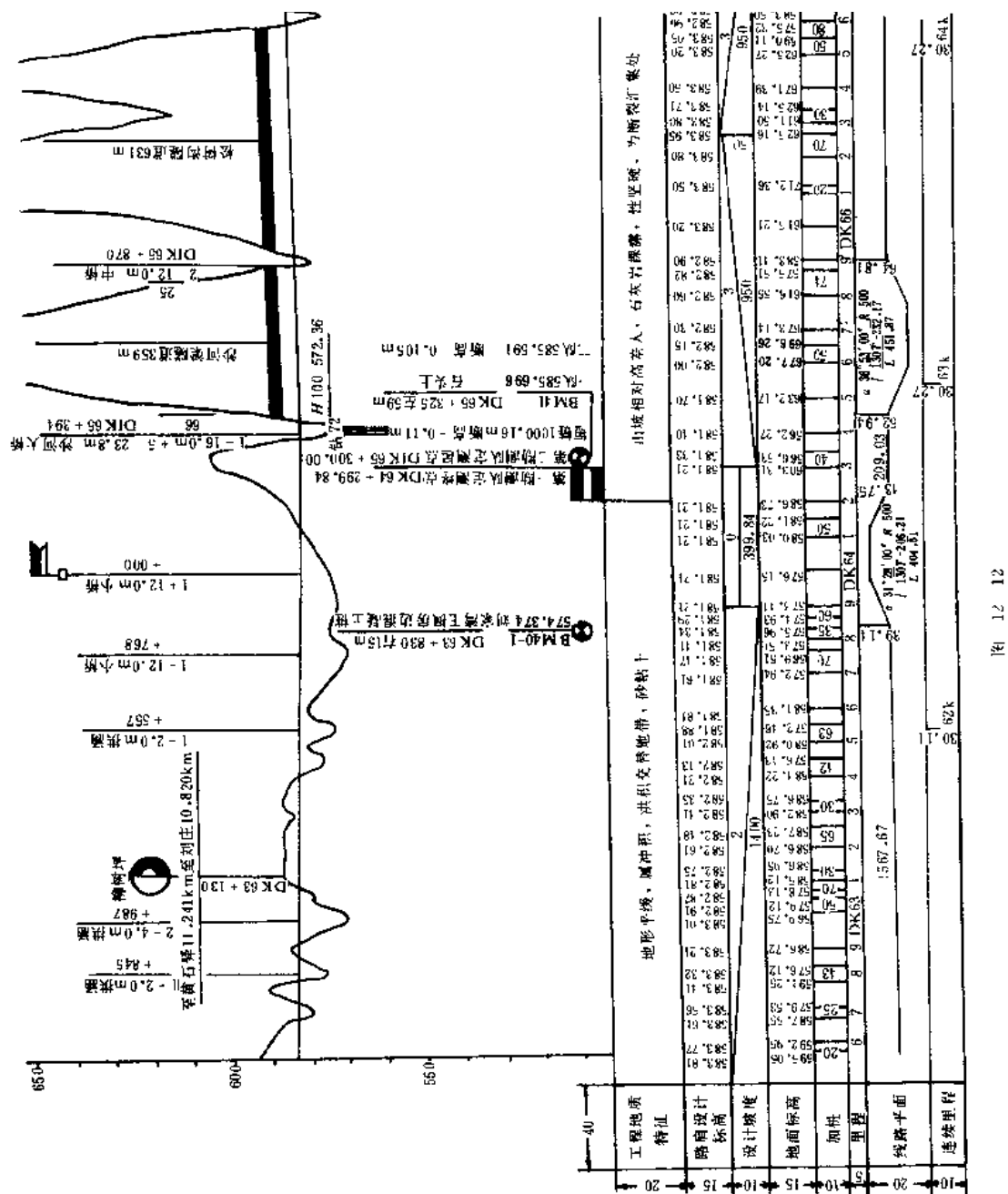
按照线路中线里程和中桩高程，绘制出沿线路中线地面起伏变化的图，称纵断面图。

线路纵断面图中，其横向表示里程，比例尺为 1 : 10 000；纵向表示高程，比例尺为 1 : 1 000，它比横向比例尺大 10 倍，以突出地面的起伏变化。纵断面图上还包括线路的平面位置、设计坡度、地质状况等资料，因此，它是施工设计的重要技术文件之一，见图 12—12。

图中各项内容说明如下：

工程地质特征	填写沿线地质情况。
路肩设计标高	是设计路基的肩部标高。
设计坡度	是中线纵向的设计坡度，斜线方向代表纵坡度，斜线上方数字表示坡度的千分率（‰），下方数字表示坡段长度。
地面标高	为中桩高程。
加桩	竖线表示百米桩和加桩的位置，数字表示至相邻百米桩的距离。
里程	表示勘测里程，在百米桩和公里桩处注字。
线路平面	它是线路平面形状示意图，中央实线代表直线段；曲线段向下凸者为左转，向上凸者为右转，斜线代表缓和曲线，斜线间的直线为圆曲线。曲线起终点的里程，只注百米以下里程尾数。
连续里程	表示线路自起点开始计算的里程公里数，短实线表示公里标位置，下面注字为公里数，短线左侧注字为公里标至相邻百米桩的距离。

图的上部按比例绘出地面线及设计坡度线，注明沿线桥涵、隧道、车站等建筑物的形式和中心里程，并注明沿线水准点的位置和高程。



#### 四、线路横断面测量

**横断面**是指沿垂直线路中线方向的地面断面线。横断面测量的任务，是测出各中线桩处的横向地面起伏情况，并按一定比例尺给出横断面图。横断面图主要用于路基断面设计、土石方数量计算、路基施工放样等。

### (一) 横断面测量的密度和宽度

横断面施测的密度和宽度，应根据地形、地质情况和设计需要而定。

一般应在百米桩和线路纵、横向地形明显变化处及曲线控制桩处测绘横断面。在大桥桥头、隧道洞口、挡土墙重点工程地段及地质不良地段，横断面应适当加密。

横断面测绘宽度,根据地面坡度、路基中心填挖高度、设计边坡及工程上的需要来决定。应满足路基、取土坑、弃土堆及排水沟设计的需要和施工放样的要求。

## （二）横断面方向的测定

线路横断面方向，在直线上应垂直线路中线；在曲线地段，则应与测点处的切线相垂直。

确定直线地段横断面的方向，可以用经纬仪或方向架直接测定。若用方向架（图 12-13）测定，可将方向架立于中线测点上，用一个方向瞄准中线上远方定向标杆，则方向架瞄准的另一个方向就是横断面的方向。

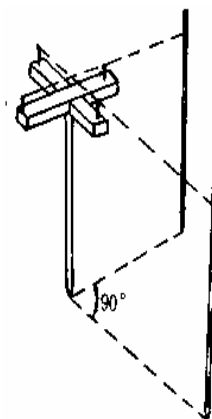


图 12-13

曲线上的横断面方向，若用方向架，则如图 12-14 所示，将方向架立于待测断面  $B$  上，使其一个方向照准曲线上的  $A$  点，在另一方向上可标定出 1 点；再用方向架照准与  $A$  等距的  $C$  点，同法可标定出 2 点，使  $B1=B2$ ，则 1~2 的中点  $N$  与  $B$  的连线即为横断面的方向。若用经纬仪标定方向，则应拨角  $90^\circ \pm \delta$ （ $\delta$  为后视点偏角）。

## （三）横断面测绘方法

横断面的测量方法很多，应根据地形条件、精度要求和设备条件来选择。下面介绍几种常用的方法。

### 1. 经纬仪视距法

将经纬仪安置在中线上，利用视距方法直接测出横断面上各地形变化点相对于测站的距离和高差。这种方法速度快、精度亦可满足路基设计要求，尤其在横向坡度较陡地区，其优点更明显，所以它是铁路线路横断面的常用测量方法。

### 2. 经纬仪测距法

将经纬仪安置在中线点上，在横断面上地形变化处立标杆。用经纬仪照准标杆上仪器高的标记读取竖直角，用皮尺量出仪器到标杆标记处的斜距，如图 12-15。根据竖直角和斜距，在现场即可绘出横断面图。这种方法是工效高且质量也较好的一种测绘方法。

### 3. 水准仪法

水准仪法是用方向架定方向，用皮尺量距，用水准仪测高程，这种方法精度最高，仅适用于地形较平坦地段；但只安置一次仪器，可以测各个断面，如图 12-16。

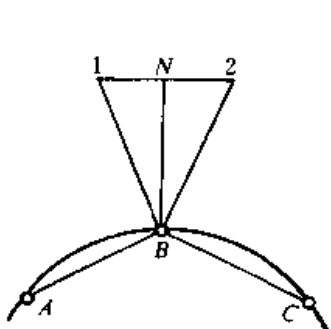


图 12-14

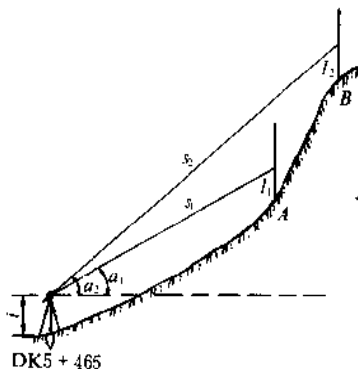


图 12-15

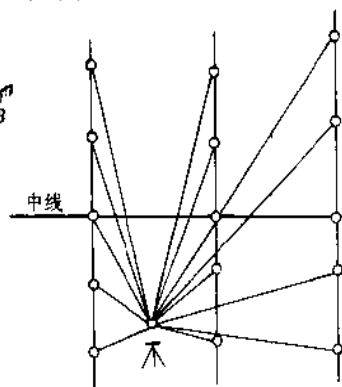


图 12-16

## （四）光电测距仪法

利用光电测距仪测量横断面，不仅速度快、精度高，而且安置一次仪器可以测多个断面，所以在有条件的单位，应大力推广使用这种方法。值得注意的是，由于视线长，为防止各断面点互相混淆，应画草图，做好记录。

## （四）横断面测量的精度要求



《测规》规定，横断面检测限差如下：

$$\text{高程} \quad \pm \left( \frac{h}{100} + \frac{l}{200} + 0.1 \right) \quad (\text{m})$$

$$\text{距离} \quad \pm \left( \frac{l}{100} + 0.1 \right) \quad (\text{m})$$

式中  $h$ ——检查点至线路中桩的高差 (m)。

$l$ ——检查点至线路中桩的水平距离 (m)。

#### (五) 横断面图的绘制

横断面图一般绘在毫米方格纸上，为便于路基断面设计和面积计算，其水平距离和高程采用相同比例尺，一般为 1:300，如图 12-17。

横断面图最好采取现场边测边绘的方法，这样既可省去记录，又可实地核对检查，避免错误。若用全站仪测量、自动记录，则可在室内通过计算绘制横断面图，大大提高工效。

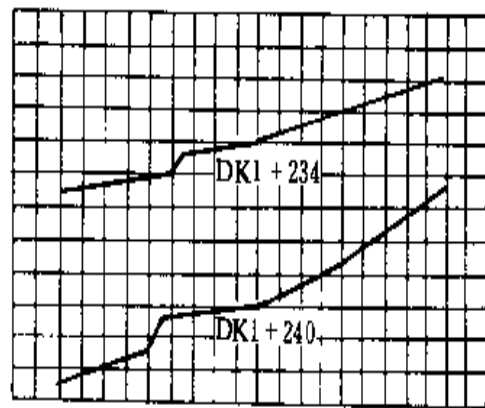


图 12-17



## § 12—4 圆曲线的测设

铁路线路平面曲线部分为两种类型：一种是圆曲线，主要用于专用线和行车速度不高的线路上；另一种是带有缓和曲线的圆曲线，铁路干线上均用此种曲线。

铁路曲线测设一般分两步进行，先测设曲线主点，然后依据主点详细测设曲线。

铁路曲线测设常用的方法有：偏角法、切线支距法和极坐标法。

首先介绍圆曲线的测设方法。

### 一、圆曲线要素计算与主点测设

为了测设圆曲线的主点，要先计算出圆曲线的要素。

#### (一) 圆曲线的主点

如图 12—18 所示：

JD——交点，即两直线相交的点；

ZY——直圆点，按线路前进方向由直线进入曲线的分界点；

QZ——曲中点，为圆曲线的中点；

YZ——圆直点，按线路前进方向由圆曲线进入直线的分界点。

ZY、QZ、YZ 三点称为圆曲线的主点。

#### (二) 圆曲线要素及其计算

在图 12—18 中：

$T$ ——切线长，为交点至直圆点或圆直点的长度；

$L$ ——曲线长，即圆曲线的长度（自 ZY 经 QZ 至 YZ 的弧线长度）；

$E_0$ ——外矢距，为 JD 至 QZ 的距离。

$T$ 、 $L$ 、 $E_0$  称为圆曲线要素。

$\alpha$ ——转向角。沿线路前进方向，下一条直线段向左转则为  $\alpha_{\text{左}}$ ；向右转则为  $\alpha_{\text{右}}$ 。

$R$ ——圆曲线的半径。

$\alpha$ 、 $R$  为计算曲线要素的必要资料，是已知值。 $\alpha$  可由外业直接测出，亦可由纸上定线求得； $R$  为设计时采用的数据。

圆曲线要素的计算公式，由图 12—18 得：

$$\left. \begin{aligned} \text{切线长} \quad T &= R \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \\ \text{曲线长} \quad L &= R \cdot \alpha \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \\ \text{外矢距} \quad E_0 &= R \cdot \sec \frac{\alpha}{2} - R \end{aligned} \right\}$$

(12—7)

式中计算  $L$  时， $\alpha$  以度为单位。

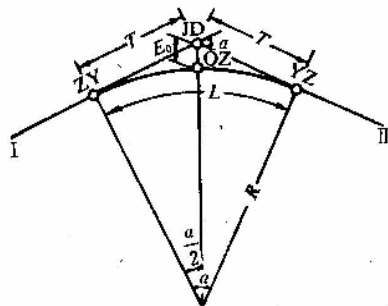


图 12—18

在已知 $\alpha$ 、 $R$ 的条件下,即可按式(12-7)计算曲线要素。它可用计算器求得,也可根据 $\alpha$ 、 $R$ 由《铁路曲线测设用表》中查取。

【例】已知 $\alpha=55^{\circ}43'24''$ ,  $R=500\text{ m}$ , 则曲线要素为 $T=264.31\text{ m}$ ,  $L=486.28$ ,  $E_0=65.56\text{ m}$ 。

### (三) 圆曲线主点里程计算

主点里程计算是根据计算出的曲线要素,由一已知点里程来推算,一般沿里程增加的方向由 $ZY \rightarrow QZ \rightarrow YZ$ 进行推算。

如上例已知 $ZY$ 点的里程为 $DK53+621.56$ ,则各主点里程计算如下:

$ZY$	$DK53+621.56$
$+L/2$	$243.14$
$QZ$	$DK53+864.70$
$+L/2$	$243.14$
$YZ$	$DK54+107.84$

若已知交点 $JD$ 的里程,则需计算出 $ZY$ 或 $YZ$ 的里程,由此推算其它主点的里程。

### (四) 主点的测设

在交点( $JD$ )上安置经纬仪,瞄准直线 $I$ 方向上的一个转点,在视线方向上量取切线长 $T$ 得 $ZY$ 点,瞄准直线 $II$ 方向上的一个转点,量 $T$ 得 $YZ$ 点;将视线转至内角平分线上量取 $E_0$ ,用盘左、盘右分中得 $QZ$ 点。在 $ZY$ 、 $QZ$ 、 $YZ$ 点均要打方木桩上钉小钉以示点位。

为保证主点的测设精度,以利曲线详细测设,切线长度应往返丈量,其相对较差不大于 $1/2000$ 时,取其平均位置。

## 二、偏角法测设圆曲线

仅将曲线主点测设于地面上,还不能满足设计和施工的需要,为此应在两主点之间加测一些曲线点,这种工作称圆曲线的详细测设。曲线上中桩间距宜为 $20\text{ m}$ ;若地形平坦且曲线半径大于 $800\text{ m}$ 时,圆曲线内的中桩间距可为 $40\text{ m}$ ;且圆曲线的中桩里程宜为 $20\text{ m}$ 的整数倍。在地形变化处或按设计需要应另设加桩,则加桩宜设在整米处。

偏角法是曲线测设中最常用的方法。

### (一) 偏角法测设曲线的原理

#### 1. 测设原理

偏角法实质上是一种方向距离交会法。

偏角即为弦切角。

偏角法测设曲线的原理是:根据偏角和弦长交会出曲线点。如图12-19,由 $ZY$ 点拨偏角 $\delta_1$ 方向与量出的弦长 $c_1$ 交于1点,拨偏角 $\delta_2$ 与由1点量出的弦长 $c_2$ 交于2点;同样方法可测设出曲线上的其它点。

#### 2. 弦长计算

铁路曲线半径一般很大, $20\text{ m}$ 的圆弧长与相应的弦长相差很小,如 $R=450\text{ m}$ 时,弦弧差为 $2\text{ mm}$ ,两者的差值在距离丈量的容许误差范围内,因而通常情况下,可将 $20\text{ m}$ 的弧长当作弦长看待;只有当 $R<400\text{ m}$ 时,测设中才考虑弦弧差的影响。

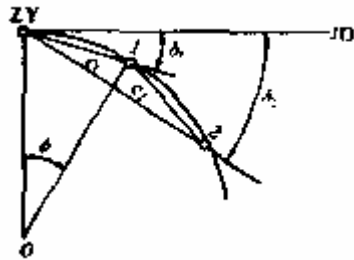


图 12-19

### 3. 偏角计算

由几何学得知，曲线偏角等于其弦长所对圆心角的一半。

图 12—19 中，ZY~1 点的曲线长为  $K$ ，它所对的圆心角为  $\varphi = \frac{K}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$ ，则其对应的偏角为

$$\delta = \frac{\varphi}{2} = \frac{K}{2R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

式中， $R$  为曲线半径； $K$  为置镜点至测设点的曲线长。

若测设点间曲线长相等，设第 1 点偏角为  $\delta_1$ ，则各点偏角依次

$$\begin{aligned}\delta_2 &= 2 \cdot \delta_1 \\ \delta_3 &= 3 \cdot \delta_1 \\ \dots \\ \delta_n &= n \cdot \delta_1\end{aligned}$$

由于《测规》规定，圆曲线的中桩里程宜为 20 m 的整倍数，而通常在 ZY、QZ、YZ 附近的曲线点与主点间的曲线长不足 20 m，则称其所对应的弦为分弦。分弦所对应的偏角可按式 (11—8) 来计算。

上例中，ZY 里程为 53+621.56，则第 1 点里程应为 53+640，它与 ZY 间的分弦长（曲线

长）为 18.44 m；同理，53+860 的曲线点与 QZ 间的分弦长为 4.70 m。

测设曲线点的偏角，既可以按式 (12—8) 用计算器计算，亦可由《铁路曲线测设用表》（以下简称曲线表）第二册第六表查取。

#### （二）圆曲线详细测设举例

圆曲线详细测设前，曲线主点 ZY、QZ、YZ 已测设好，因此通常以 ZY 为测站，分别测设 ZY~QZ 和 YZ~QZ 曲线段，并闭合于 QZ 作检核。

以上例资料为依据，举例说明测设的步骤与方法。

#### 1. 以 ZY 为测站

##### （1）偏角计算

已知 ZY 里程为 DK53+621.56，QZ 为 DK 53+864.70， $R = 500$  m，曲线 ZY→QZ 为顺时针转（图 12—20）。偏角资料计算见表 12—12。由于偏角值与度盘读数增加方向一致，故称“正拨”。

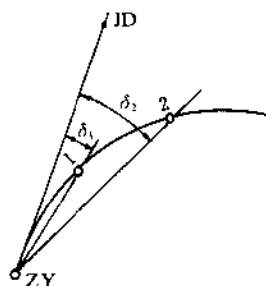


图 12—20

表 12—12 曲线偏角资料(1)

置镜点及测设里程	点间曲线长 (m)	偏角 ° ' "	备注
ZY 53+621.56		0 00 00	后视 JD
+640	18.44	1 03 24	
+660	20	2 12 09	
.....	.....	.....	
+860	20	13 39 42	校核
QZ 53+864.70	4.70	13 55 51	

## (2) 测设方法

- 置经纬仪于 ZY 点，盘左以  $0^{\circ} 00' 00''$  后视 JD；
- 打开照准部并转动之，当水平度盘读数为  $1^{\circ} 03' 24''$  时制动照准部；然后由 ZY 点开始沿视线方向丈量 18.44 m，得 1 点，并打下木板桩；
- 松开照准部，继续转动，当度盘读数为  $2^{\circ} 12' 09''$  时制动照准部，由 1 点丈量 20 m，视线与钢尺 20 m 分划相交处即为 2 点；
- 同法，依次测出 3, 4……直至 QZ' 。

测得 QZ' 点后，与主点 QZ 位置进行闭合校核。当闭合差合限时（纵向为 1/2 000，横向为  $\pm 10$  cm），曲线点位一般不再作调整；若闭合差超限，则应查找原因并重测。

若利用曲线表测设，为了避免第 1 点的分弦偏角与以后各点 20 m 弦的偏角累计工作，可以使 ZY→1 为零方向 ( $0^{\circ} 00' 00''$ )，此时后视 JD 的度盘读数应为  $(360^{\circ} - 1^{\circ} 03' 24'') = 358^{\circ} 56' 36''$ ，当照准部转到水平度盘读数为  $0^{\circ}$ 、 $1^{\circ} 08' 45''$ 、……，即为曲线点 1、2……的视线方向。

偏角法的优点是有闭合条件做校核，缺点是测设误差累积。

## 2. 以 YZ 为测站

如图 12-21, 曲线 YZ→QZ 为逆时针, 偏角资料计算应采用“反拨”值, 见表 12-13。由于偏角值与度盘读数减少方向一致, 故称“反拨”。其测设方法同 1。

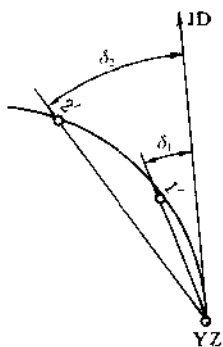


图 12-21

表 12-13 曲线偏角资料(2)

置镜点及测设里程	点间曲线长 (m)	偏角 ° ' "	备 注
ZY 54+107.84		0 00 00	后视 JD
+100	7.84	359 33 03	
+80	20	358 24 18	
.....	.....	.....	
53+880	20	346 56 45	校核
QZ 53+864.70	15.30	346 04 09	

### 三、长弦偏角法测设团曲线

利用光电测距仪配合带有编程功能的计算器来测设曲线, 采用长弦偏角法最适宜, 如图 12-22。

知道了曲线点的测设里程, 即测设的曲线长  $L$ , 即可进行计算, 其资料计算公式如下:

$$\begin{aligned}
 a_i &= \frac{L}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \\
 \delta_i &= \frac{a_i}{2} \\
 c_i &= 2R \sin \delta_i
 \end{aligned}
 \quad (12-9)$$

式中,  $\delta_i, c_i$  为测设曲线点  $i$  的偏角和弦长。

测设时, 将测距仪安置于 ZY 点上, 以 JD 为后视  $0^\circ 00' 00''$  方向, 照准部旋转  $\delta_i$  偏角, 持镜者沿长弦视线方向移动, 司镜人员用测距仪的跟踪测量法跟踪, 当显示数字与弦长接近时, 反光镜停下,

正式测出斜距和竖直角, 然后算出水平距离; 当平距与弦长相差 1 m 左右时, 用 2m 的钢卷

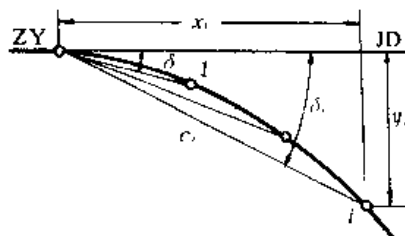


图 12-22

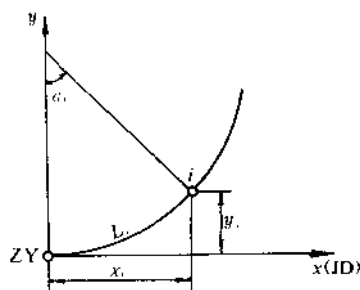
尺直接量距并钉下木板桩，再将反光镜安于木桩上来校核距离，与弦长相差 1 cm 之内即可。

长弦偏角法不仅可以跨越地面上的障碍，而且精度高、速度快，是一种能适用于各种地形的测设方法。

#### 四、切线支距法测设圆曲线

切线支距法，实质为直角坐标法。它是以 ZY 或 YZ 为坐标原点，以 ZY（或 YZ）的切线为  $x$  轴，切线的垂线为  $y$  轴。 $x$  轴指向 JD， $y$  轴指向圆心  $O$ ，如图 12-23。

曲线点的测设坐标按下式计算



$$\begin{aligned}x_i &= R \cdot \sin \alpha_i \\y_i &= R(1 - \cos \alpha_i) \\a_i &= \frac{L_i}{R} \frac{180^\circ}{\pi}\end{aligned}$$

式中， $L_i$  为曲线点  $i$  至 ZY（或 YZ）的曲线长。 $L_i$  一般定为 10 m、20 m、……，已知  $R$ ，即可计算出  $x_i$ ， $y_i$ 。亦可从曲线表第三册第九表中查取每 10 m 一桩的  $(L_i - x_i)$  及  $y_i$  值，如表 12-14。

图 12-23

表 12-14 圆曲线切线支距

$L$	$R = 700$		$R = 600$		$R = 500$	
	$L - x$	$y$	$L - x$	$y$	$L - x$	$y$
10	0.00	0.07	0.00	0.08	0.00	0.10
20	0.00	0.29	0.00	0.33	0.10	0.40
30	0.01	0.64	0.01	0.75	0.02	0.90
40	0.02	1.14	0.03	1.33	0.04	1.60
50	0.04	1.79	0.06	2.08	0.08	2.50

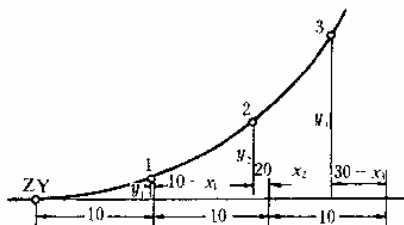


图 12-24

测设时从 ZY 或 YZ 开始，沿切线方向直接量出  $x_i$  并钉桩，若  $y_i$  较小时，可用方向架或直角器在  $x_i$  点测设曲线点，当  $y_i$  较大时，应在  $x_i$  处安置

经纬仪来测设。若使用曲线表，则从 ZY（或 YZ）开始沿切线方向每丈量  $L_i$ ，应退回  $(L_i - x_i)$  钉桩来测设曲线点，如图 12-24。

切线支距法简单，各曲线点相互独立，无测量误差累积。但由于安置仪器次数多，速度较慢，同时检核条件较少，故一般适用于半径较大、 $y$  值较小的平坦地区曲线测设。

## § 12-5 缓和曲线的性质

### 一、缓和曲线的作用

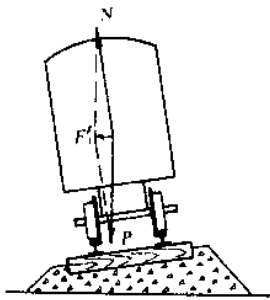


图 12-25

当列车以高速由直线进入曲线时，就会产生离心力，危及列车运行安全和影响旅客的舒适。为此要使曲线外轨比内轨高些（称超高），使列车产生一个内倾力  $F'_1$  以抵消离心力的影响，图 12-25。为了解决超高引起的外轨台阶式升降，需在直线与圆曲线间加入一段曲率半径逐渐变比的过渡曲线，这种曲线称缓和曲线。另外，当列车由直线进入圆曲线时，由于惯性力的作用，使车轮对外轨内侧产生冲击力，为此，加设缓和曲线以减少冲击力。再者，为避免通过曲线时，由于机车车辆转向架的原因，使轮轨产生侧向摩擦，圆曲线的部分轨距应加宽，这也需要在直线和圆曲线之间加设缓和曲线来过渡。

### 二、缓和曲线的性质

缓和曲线是直线与圆曲线间的一种过渡曲线。它与直线分界处的半径为  $\infty$ ，与圆曲线相连处的半径与圆曲线半径  $R$  相等。缓和曲线上任一点的曲率半径  $\rho$  与该点到曲线起点的长度成反比，如图 12-26。

$$\rho \propto \frac{1}{l} \quad \text{或} \quad \rho l = C$$

式中， $C$  是一个常数，称为缓和曲线的半径变更率。

当  $l=l_0$  时， $\rho=R$ ，所以：

$$Rl_0 = C$$

式中， $l_0$  为缓和曲线总长。

$\rho l = C$  是缓和曲线的必要条件，实用中能满足这一条件的曲线可作为缓和曲线，如辐射螺旋线、三次抛物线等。我国的缓和曲线均采用辐射螺旋线。

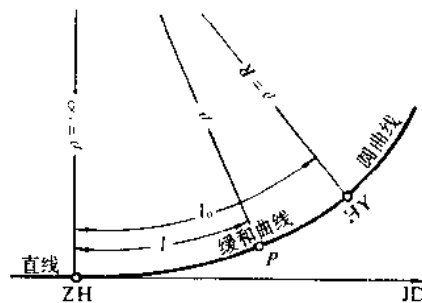


图 12-26

### 三、缓和曲线方程式

按照  $\rho l = C$  为必要条件导出的缓和曲线方程为：

$$\left. \begin{aligned} x &= l - \frac{l^5}{40C^2} + \frac{l^9}{3456C^4} + \cdots \\ y &= \frac{l^3}{6C} - \frac{l^7}{336C^3} + \frac{l^{11}}{42240C^5} \cdots \end{aligned} \right\} \quad (12-13)$$

根据测设要求的精度，实际应用中可将高次项舍去，并顾及到  $C = R l_0$ ，则上式变为

$$\left. \begin{aligned} x &= l - \frac{l^5}{40R^2 l_0^2} \\ y &= \frac{l^3}{6R l_0} \end{aligned} \right\} \quad (12-14)$$

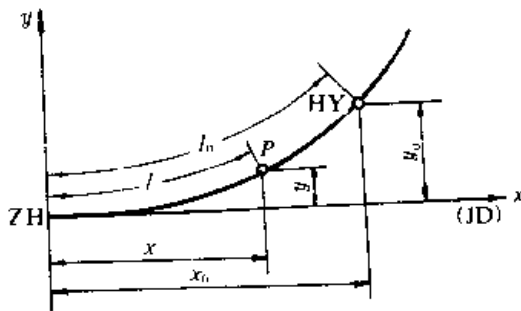
式中  $x$ 、 $y$  为缓和曲线上任一点的直角坐标，坐标原点为直缓点（ZH）或缓直点（HZ）；通过该点的缓和曲线切线为  $x$  轴，如图 12-27。

$l$  为缓和曲线上任意一点  $P$  到 ZH（或 HZ）的曲线长；

$l_0$  为缓和曲线总长度。

当  $l = l_0$  时，则  $x = x_0$ ， $y = y_0$ ，代入式（12-14）得：

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= l_0 - \frac{l_0^3}{40R^2} \\ y_0 &= \frac{l_0^2}{6R} \end{aligned} \right\} \quad (12-15)$$



式中， $x_0$ 、 $y_0$  为缓圆点（HY）或圆缓点（YH）的坐标。

图 12-27

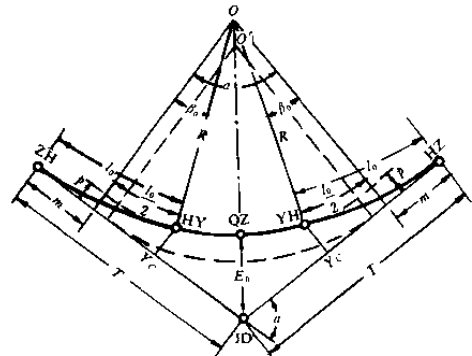


图 12-28

### 四、缓和曲线的插入方法

缓和曲线是在不改变曲线段方向和保持圆曲线半径不变的条件下，插入到直线段和圆曲线之间，如图 12-28。缓和曲线的一半长度处在原圆曲线范围内，另一半处在原直线段范围内，这样就使圆曲线沿垂直切线方向，向里移动距离  $p$ ，圆心  $O'$  移至  $O$ ，显然

$O'O = p \cdot \sec \frac{\alpha}{2}$ 。插入缓和曲线之后，使原来的圆曲线长度变短了。

插入缓和曲线之后，曲线主点有 5 个，他们是：直缓点 ZH、缓圆点 HY、曲中点 QZ、圆缓点 YH 及缓直点 HZ。



## 五、缓和曲线常数的计算

$\beta_0$ 、 $\delta_0$ 、 $m$ 、 $p$ 、 $x_0$ 、 $y_0$ 等称为缓和曲线常数，其物理含义及几何关系由图 12-29 得知：

$\beta_0$ ——缓和曲线的切线角，即 HY（或 YH）点的切线角与 ZH（或 HZ）点切线的交角；亦即圆曲线一端延长部分所对应的圆心角。

$\delta_0$ ——缓和曲线的总偏角。

$m$ ——切垂距，即 ZH（或 HZ）到圆心  $O$  向切线所作垂线垂足的距离。

$p$ ——圆曲线的内移量，为垂线长与圆曲线半径  $R$  之差。

$x_0$ 、 $y_0$  计算见式 (12-5)，其它常数的计算公式如下：

$$\left. \begin{aligned} \beta_0 &= \frac{l_0}{2R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \\ \delta_0 &= \frac{1}{3} \beta_0 = \frac{l_0}{6R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \\ m &= \frac{l_0}{2} - \frac{l_0^3}{240R^2} \\ p &= \frac{l_0^2}{24R} - \frac{l_0^4}{2688R^3} \approx \frac{l_0^2}{24R} \end{aligned} \right\} \quad (12-16)$$

下面我们推证式 (12-16) 中最常用的两个常数  $\beta_0$  和  $\delta_0$ ，见图 12-29。

(一) 求  $\beta_0$

设  $\beta$  为缓和曲线上任一点的切线角； $\rho$  为该点的曲线曲率半径； $l$  为该点至 ZH 点的缓和曲线长。

$\therefore d\beta = dl / \rho$ ，将  $\rho l = Rl_0$  代入上式，则

$$d\beta = l \cdot dl / Rl_0$$

$$\therefore \beta = \int_0^l d\beta = \int_0^l \frac{l dl}{Rl_0} = \frac{l^2}{2Rl_0}$$

当  $l = l_0$  时， $\beta = \beta_0$

$$\text{则 } \beta_0 = \frac{l_0}{2R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

17)

(二) 求  $\delta_0$

$$\tan \delta_0 = \frac{y_0}{x_0}$$

由图 12-29 得知，

$$\therefore \delta_0 \text{ 很小，故 } \delta_0 \approx \tan \delta_0 = \frac{y_0}{x_0}$$

将式 (12-15) 代入上式，并取至二次项，

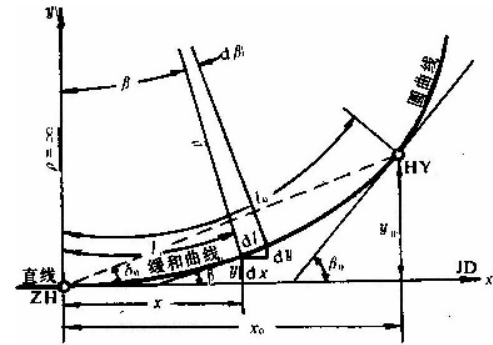


图 12

$$\therefore \delta_0 = \frac{l_0}{6R} = \frac{\beta_0}{3} \quad (12-18)$$

缓和曲线常数，亦可以  $R$  和  $l_0$  为引数，由曲线表第三册第二表查取，如表 12—15。

表 12—15 缓和曲线常数

$R$	$l_0$	$\beta_0$	$\delta_0$	$m$	$p$	$x_0$	$y_0$
500	130	7° 26' 54"	2° 28' 58"	64.963	1.407	129.780	5.627
	100	5° 34' 46"	1° 54' 35"	49.983	0.833	99.900	3.331
	90	5° 09' 24"	1° 43' 08"	44.988	0.675	89.927	2.698
	80	4° 35' 01"	1° 31' 40"	39.991	0.533	79.949	2.123
	70	4° 00' 39"	1° 20' 13"	34.994	0.408	69.966	1.633
	60	3° 26' 16"	1° 08' 45"	29.996	0.300	59.978	1.200

如， $R = 500 \text{ m}$ ， $l_0 = 60 \text{ m}$ ，由表 12—15 查得  $\beta_0 = 3^\circ 26' 16''$ ， $\delta_0 = 1^\circ 08' 45''$ ， $m = 29.996 \text{ m}$ ， $p = 0.300 \text{ m}$ ， $x_0 = 59.978 \text{ m}$ ， $y_0 = 1.200 \text{ m}$ 。

## § 12—6 缓和曲线连同圆曲线的测设

### 一、偏角法测设曲线

(一) 曲线综合要素计算

由图 12—28 可知, 曲线综合要素计算公式如下:

$$\left. \begin{aligned} \text{切线长} \quad T &= m + (R + p) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \\ \text{曲线长} \quad L &= 2l_0 + \frac{\pi R(\alpha - 2\beta)}{180^\circ} = l_0 + \frac{\pi R \alpha}{180^\circ} \\ \text{外矢距} \quad E_0 &= (R + p) \cdot \sec \frac{\alpha}{2} - R \\ \text{切曲差} \quad q &= 2T - L \end{aligned} \right\} \quad (12-19)$$

使用时, 亦可依据  $R$ ,  $\alpha$ ,  $l_0$  由铁路曲线测设用表第一、二册第一表查取, 该表格式如表 12—16。

$R=500$

表 12—16 综合要素

$\alpha$	$T$	$\Delta$	$L$	$\Delta$	$q$	$E_0$	$\Delta$
$l_0=100\text{m}$							
28° 00'	174.86		344.35		5.37	16.17	
05	175.24	8	345.07	15	5.41	16.26	2
10	175.63		345.80		5.46	16.35	
15	176.02	15	346.53	19	5.51	16.45	4
20	176.40		347.25		5.55	16.54	
25	176.79		347.98		5.60	16.64	
30	177.18		348.71		5.65	16.73	
35	177.57	8	349.44	15	5.70	16.83	2
40	177.95		350.16		5.74	16.92	
45	178.34	15	350.89	19	5.79	17.02	4
50	178.73		351.62		5.84	17.12	
55	179.12		352.35		5.89	17.21	

当  $l_0 \neq 100\text{m}$  时之校正数

线路等级	$l_0$	$\Delta T$	$\Delta L$	$\Delta q$	$\Delta E_0$
I、II	130	+15.13	+30.00	+0.26	+0.59
I	90	-5.04	-10.00	-0.08	-0.16
II	80	-10.07	-20.00	-0.14	-0.31
III	70	-15.10	-30.00	-0.20	-0.44
III	60	-20.12	-40.00	-0.24	-0.55
专	40	-30.17	-60.00	-0.34	-0.72

专	30	-35.18	-70.00	-0.36	-0.78
专	20	-40.19	-80.00	-0.38	-0.83

注：表中的 $\Delta$ 为 $1'$ 与 $2'$ 之插值，以cm为单位。

【例】 已知 $R=500\text{ m}$ ， $l_0=60\text{ m}$ ， $\alpha=28^\circ 36' 20''$ ，求曲线综合要素。  
由表 12-16 查得：

$$T = 177.57 + 0.11 - 20.12 = 157.56\text{ m}$$

$$L = 349.44 + 0.20 - 40.00 = 309.64\text{ m}$$

$$E_0 = 16.83 + 0.03 - 0.55 = 16.31\text{ m}$$

$$q = 5.70 + 0.01 - 0.24 = 5.47\text{ m}$$

(二) 主点的里程计算与测设

1. 主点里程计算

已知 ZH 里程为 33+424.67，则主点里程为

ZH	33+424.67		
+ $l_0$	60		
HY	33+484.67		
+ $\frac{L}{2}-l_0$	94.82		
QZ	33+579.49	ZH	33+424.67
		+ $2T$	315.12
			33+739.79
+ $\frac{L}{2}-l_0$	94.82	- $q$	5.47
YH	33+674.31	HZ	33+734.32 (校核)
+ $l_0$	60		
HZ	33+734.31		

2. 主点的侧设

主点 ZH、HZ、QZ 的测设方法与前述圆曲线主点测设方法相同，而缓圆点 HY 和圆缓点 YH 的测设通常采用切线支距法，见图 12-27。自 ZH（或 HZ）沿切线方向量取  $x_0$ ，打桩、钉小钉，然后将经纬仪架在该桩上，后视切线沿垂直方向量取  $y_0$ ，打桩、钉小钉，得 HY（或 YH）点。

为保证主点测设精度，角度要用测回法分中定点，距离应往返丈量，在限差以内取平均值。

(三) 缓和曲线的详细测设

1. 偏角计算

由图 12-30 得知，缓和曲线上任一点  $i$  的偏角为：

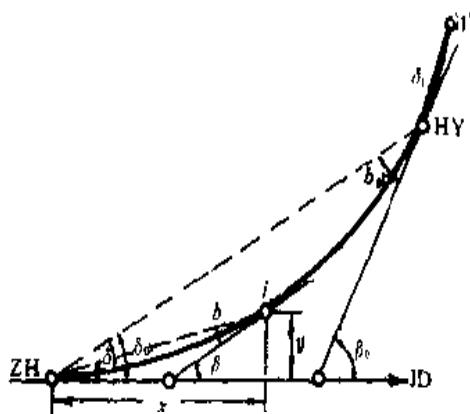


图 12-30

$$\delta \approx \sin \delta \approx \frac{y}{l} (\because \delta \text{ 很小})$$

$$\therefore y = \frac{l^3}{6Rl_0} \quad (\text{见式12-14})$$

$$\therefore \delta = \frac{l^2}{6Rl_0} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (12-20)$$

$$\text{又} \because \beta = \frac{l^2}{2Rl_0} \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$\therefore \delta = \frac{\beta}{3} \quad (12-21)$$

$$\text{故} \quad b = \beta - \delta = 2\delta \quad (12-22)$$

式中,  $\delta$  为缓和曲线上任一点的正偏角,  $b$  为该点的反偏角。

$$\text{同理可得,} \quad b_0 = 2\delta_0 \quad (12-23)$$

由式 (12-22)、式 (12-23) 得出结论 (a)

缓和曲线上任一点后视起点的反偏角, 等于由起点测设该点正偏角的二倍。

在铁路设计中, 缓和曲线长度均为 10 m 的整倍数, 为测设方便, 一般每 10 m 测设一点。

若将缓和曲线等分为  $N$  段, 则各分段点的俯角之间有如下关系:

$$\begin{aligned} \text{设 } \delta_1 \text{ 为第 1 点的偏角, } \delta_i \text{ 为第 } i \text{ 点的偏角, 则由式 (12-20) 可知,} \\ \therefore \delta_1 : \delta_2 : \cdots : \delta_n = l_1^2 : l_2^2 : \cdots : l_n^2 \end{aligned} \quad (12-24)$$

由式 (12-24) 得出结论 (b):

偏角与测点到缓和曲线起点的曲线长度的平方成正比。

在等分的条件下,  $l_2 = 2l_1, l_3 = 3l_1, \cdots, l_n = Nl_1$ ,

$$\text{故} \quad \delta_2 = 2^2 \cdot \delta_1, \quad \delta_3 = 3^2 \cdot \delta_1, \quad \cdots, \quad \delta_n = N^2 \cdot \delta_1 = \delta_0$$

$$\therefore \delta_1 = \frac{1}{N^2} \delta_0 \quad (12-25)$$

由式 (12-25) 可得出结论 (c):

由缓和曲线的总偏角  $\delta_0$ , 可求得缓和曲线上任一点的偏角  $\delta_i$ 。

$\delta_0$  可由铁路曲线测设用表第三册第三表查取, 亦可计算求得。

**【例】** 已知  $R = 500 \text{ m}$ ,  $l_0 = 60 \text{ m}$ , ZH 的里程为 DK33+422.67, 求缓和曲线上各点的偏角。

按铁路测规要求, 缓和曲线应 10 m 一点, 则

$$N = 6$$

由式 (12-21) 可知

$$\delta_0 = \frac{\beta_0}{3} = \frac{l_0}{6R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{60}{6 \times 500} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = 1^\circ 08' 45''$$

$$\therefore \delta_1 = \frac{\delta_0}{N^2} = \frac{1^\circ 08' 45''}{6^2} = 1' 55''$$

各点偏角值计算见表 12—17。

表 12—17 偏角值计算表

里 程	偏 角 值
↑ZH DK33+424.67	0° 00' 00"
+434.67	$\delta_1 = 1' 55''$
+446.67	$\delta_2 = 2^2 \cdot \delta_1 = 7' 38''$
+454.67	$\delta_3 = 3^2 \cdot \delta_1 = 17' 11''$
+464.67	$\delta_4 = 4^2 \cdot \delta_1 = 30' 33''$
+474.67	$\delta_5 = 5^2 \cdot \delta_1 = 47' 45''$
HY DK33+484.67	$\delta_6 = 6^2 \cdot \delta_1 = 1^\circ 08' 40'' = \delta_0$

查铁路曲线测设用表第三册第三表《缓和曲线偏角表》，亦可得到上表结果。

缓和曲线偏角表的形式见表 12—18，该表只能竖查，而不能横向使用。

$R=500 \quad l_0=60$

表 12—18 缓和曲线偏角表

转镜点 前后视点	0	10	20	30	40	50	60
0	$\nearrow$	0° 03' 49"	0° 15' 17"	0° 34' 23"	1° 01' 07"	1° 35' 30"	2° 17' 31"
10	0° 01' 55"	$\nwarrow$	0° 09' 33"	0° 26' 44"	0° 51' 34"	1° 24' 02"	2° 04' 08"
20	0° 07' 38"	0° 07' 38"	$\nearrow$	0° 15' 17"	0° 38' 12"	1° 08' 45"	1° 46' 57"
30	0° 17' 11"	0° 19' 06"	0° 13' 22"	$\nwarrow$	0° 21' 01"	0° 49' 39"	1° 25' 57"
40	0° 30' 33"	0° 34' 23"	0° 30' 33"	0° 19' 06"	$\nearrow$	0° 26' 44"	1° 01' 07"
50	0° 47' 45"	0° 53' 29"	0° 51' 34"	0° 42' 01"	0° 24' 50"	$\nwarrow$	0° 32' 28"
60	1° 08' 45"	1° 16' 24"	1° 16' 24"	1° 08' 45"	0° 53' 29"	0° 30' 33"	$\nearrow$

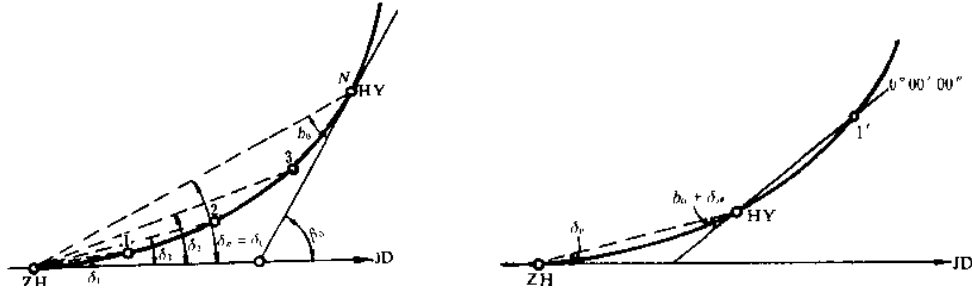
## 2. 缓和曲线的测设方法

如图 12—31，将经纬仪安置于 ZH 点，后视 JD，将水平度盘安置在 0°00' 00" 位置，转动照准部拨偏角  $\delta_0$ ，校核 HY 点位，如在视线方向上，即可开始测设其它点。依次拨  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、...  $\delta_n$ ，量出点与点之间的弦长与相应视线相交，即可定出曲线点 1、2、...

在缓和曲线的测设中，亦应注意偏角的正拨与反拨的度盘安置方法。

### (四) 圆曲线的详细测设

加设缓和曲线之后圆曲线的测设，其关键是正确确定后视方向及度盘安置值。如图 12-31，经纬仪安置于 HY 点上，后视 ZH，并将度盘读数安置为反偏角  $b_0$  值（正拨），倒转望远镜反拨圆曲线上第 1' 点的偏角  $\delta_1$ ，得相应曲线点，直至 QZ。另一半曲线，则在 YH 点设站，以  $(360^\circ - b_0)$  来后视 HZ，而倒镜后圆曲线为正拨偏角值来测设。



为避免仪器视准误差的影响，也可以  $(180^\circ + b_0)$  后视 ZH，平转照准部，当度盘读数为  $0^\circ 00' 00''$  时，即为 HY 点的切线方向。

若利用《铁路曲线测设用表》测设，为避免分弦偏角的累计计算工作，现场常把  $HY \rightarrow 1'$  的方向作零方向，如图 12-32，以  $b_0 + \delta_1'$  ( $\delta_1'$  为圆曲线上第 1 点的偏角) 后视 ZH 点。

## 二、切线支距法则设曲线

### (一) 坐标计算公式

如图 12-33，它是以 ZH (或 HZ) 为坐标原点，以切线为 x 轴，垂直切线方向为 y 轴。

#### 1. 缓和曲线部分

$$\left. \begin{aligned} x &= l - \frac{l^5}{40R^2l_0^2} \\ y &= \frac{l^3}{6Rl_0} \end{aligned} \right\} \quad (12-26)$$

#### 2. 圆曲线部分

$$\left. \begin{aligned} x_i &= R \cdot \sin \alpha_i + m \\ y_i &= R(1 - \cos \alpha_i) + p \end{aligned} \right\} \quad (12-27)$$

$$\alpha_i = \frac{l_i - l_0}{R} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} + \beta_0$$

式中

实际应用时，切线支距亦可由《铁路曲线测设用表》第三册第九表中查取，其格式如表 12-14。

### (二) 测设方法

与切线支距法测设圆曲线的方法相同 (§ 12-4-四)

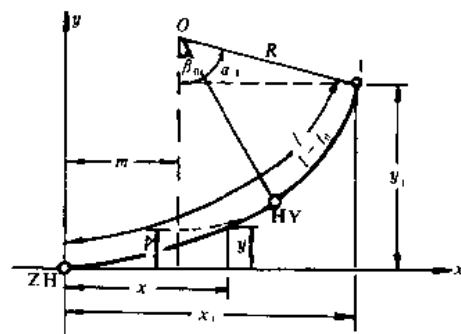


图 12-33

## 三、长弦偏角法测设曲线

由式 (12-26) 及式 (12-27) 可以按式 (12-28) 计算出曲线上任一点的弦长  $c$  及偏角  $\delta$ ，将测距仪安置于 ZH (或 HZ) 点，即可进行曲线测设。其中

$$\left. \begin{array}{l} \text{弦长} \quad c_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \\ \text{偏角} \quad \delta_i = \arctan \frac{y_i}{x_i} \end{array} \right\} \quad (12-28)$$

式中  $x_i, y_i$  为曲线上任一点  $i$  的坐标。

偏角法有校核，适用于山区，但其缺点是误差积累，故测设时要注意经常检核。支距法，其方法简单，误差不积累，其缺点是安置仪器次数多，曲线点相互独立，故测设中的错误不易发现，它仅适用于平坦地区及支距  $y$  较小的曲线。长弦偏角法测设精度高、速度快、任何地区均可适用。



## § 2-7 遇障碍时的曲线测设方法

### 一、偏角法遇障碍时曲线的测设

#### (一) 圆曲线测设遇障碍

如图 12-34, 在圆曲线 A 安置经纬仪测设完 1、2、3 点, 当测设 4 点时不通视, 需要把仪器安置于 3 点上 (该点桩已钉小钉)。为了利用原先已算好的偏角资料, 以  $0^{\circ}00' 00''$  后视 A 点, 倒镜后直接拨偏角  $\delta_4$ , 用钢尺量出弦长 3~4 与视线相交定出 4 点, 同法可定出 5、6、……各点。

由以上测设方法得出结论: 经纬仪置于曲线上任一点, 继续向前测设曲线点时, 首先将度盘读数拨到所对后视点点的偏角值, 照准后视点, 倒镜后, 打开照准部拨所测点的偏角值即可。

另一种测设方法如图 12-35, 以 3 点为测站, 以  $(360^{\circ} - \delta_3)$  后视 A 点, 倒镜后, 当度盘读数为  $0^{\circ}00' 00''$  时, 其视线方向为 3 点的切线方向, 再拨偏角  $\delta_{3-4}$  即可得到 4 点的方向, 量弦长 3~4 与视线方向相交, 即可得到 4 点; 同法可定出 5、6……等点。

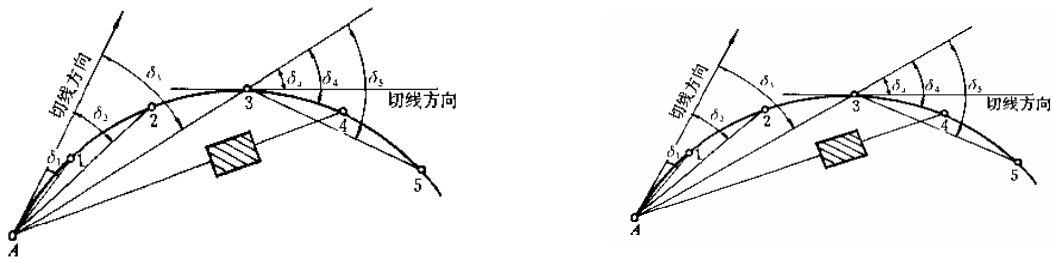


图 12-34

由以上测设方法得出结论: 经纬仪置于曲线上任一点, 继续向前测设曲线点时, 首先将度盘读数拨到所对后视点点的偏角值, 照准后视点, 倒镜后, 打开照准部拨所测点的偏角值, 即可得到测设点的方向。

上述二种方法, 可按照测设者的习惯来选用, 其关键是正确计算后视点方向的度盘安置读数。

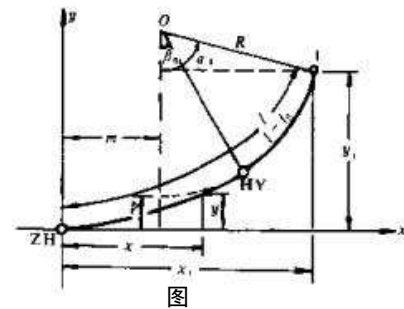
#### (二) 缓和曲线测设遇障碍

因视线受阻, 仪器安置于 ZH (或 HZ) 点不能一次将缓和曲线上各分段点测设完, 可将经纬仪安置于任一已测设的分段点上, 继续向前测设。

如图 13-36, B, T 为缓和曲线上已测设的分段点 (已打桩钉钉), 置镜于 T 点, 后视 B 点并使度盘安置为后视偏角  $\delta_B$ , 倒镜, 松开照准部, 反拨前视点 F 的前视偏角  $\delta_F$ , 在此视线上量距即可得 F 点。

后视点和前视点得偏角, 可按下列公式计算:

$$\left. \begin{aligned} \text{后视点偏角 } \delta_B &= \delta_1 (T - B)(B + 2T) \\ \text{前视点偏角 } \delta_F &= \delta_1 (F - T)(F + 2T) \end{aligned} \right\} \quad (12-28)$$



式中  $\delta_1$  为缓和曲线第一分段点得偏角， $\delta_1 = \frac{l_1^2}{6Rl_0} \frac{180^\circ}{\pi}$ ； $B$ 、 $T$ 、 $F$  分别为后视点、置镜点、前视点的分段点编号； $l_1 = 10 \text{ cm}$

导证：如图 12-36

设  $l_1$  为第 1 分段点的曲线长（一般为 10 cm），则

$B$  点距 ZH 点的曲线长  $l_B = B \cdot l_1$ ；

$T$  点距 ZH 点的曲线长  $l_T = T \cdot l_1$ ；

$F$  点距 ZH 点的曲线长  $l_F = F \cdot l_1$ ；

$\beta_T$  为测站  $T$  点的切线角

$$\therefore \quad \delta_F = \alpha_{TF} - \beta_T$$

$$\beta_T = \frac{l_T^2}{2Rl_0} \quad (\text{见 12-5-五})$$

而

$$\tan \alpha_{TF} = \frac{y_F - y_T}{x_F - x_T}$$

$$\therefore \quad \alpha_{TF} \text{ 角甚小, } \tan \alpha_{TF} \approx \alpha_{TF}; \text{ 又 } x_F - x_T \approx l_F - l_T$$

$$\begin{aligned} \delta_F &= \frac{y_F - y_T}{l_F - l_T} - \frac{l_T^2}{2Rl_0} \\ \therefore \quad &= \frac{\frac{l_F^3}{6Rl_0} - \frac{l_T^3}{6Rl_0}}{l_F - l_T} - \frac{l_T^2}{2Rl_0} \\ &= \frac{1}{6Rl_0} (l_F^2 + l_F \cdot l_T - 2l_T^2) \quad (\text{y 得转换见式 (12-14)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{6Rl_0} (l_F - l_T)(l_F + 2l_T) \\ &= \frac{l_1^2}{6Rl_0} (F - T)(F + 2T) \\ &= \delta_1 \cdot (F - T)(F + 2T) \end{aligned}$$

同理可证  $\delta_2 = \delta_1 \cdot (T - B)(B + 2T)$

在使用时，也可按铁路曲线测设用表第三册第三表（格式见表 12-18），查取前、后视点的偏角值。

【例】已知  $R = 500 \text{ m}$ ， $l_0 = 60 \text{ m}$ ， $N = 6$ ，经纬仪安置在第 2 点上，求前、后视点的偏角值（已知 ZH 点的里程为 DK33+424.67），

由表 12-15 查得

$$\delta_0 = 1^\circ 08' 45''$$

$$\delta_1 = \frac{\delta_0}{N^2} = 1' 54.6''$$

则

按式（12-29）计算前、后视各点偏角值如表 12-19。

表 12-19		前、后视点偏角计算表
曲线点号	里 程	偏 角 计 算
0	ZH DK33+424.67	$\delta_{ZH} = (2-0)(0+2 \times 2) \cdot \delta_1 = 8\delta_1 = 15'17''$
1	+434.67	$\delta_1 = (2-1)(1+2 \times 2) \cdot \delta_1 = 5\delta_1 = 9'33''$
2	$\uparrow$ +444.67	
3	+454.67	$\delta_3 = (3-2)(3+2 \times 2) \cdot \delta_1 = 7\delta_1 = 13'22''$
4	+464.67	$\delta_4 = (4-2)(4+2 \times 2) \cdot \delta_1 = 16\delta_1 = 30'34''$
5	+474.67	$\delta_5 = (5-2)(5+2 \times 2) \cdot \delta_1 = 27\delta_1 = 51'34''$
6	HY DK33+484.67	$\delta_6 = (6-2)(6+2 \times 2) \cdot \delta_1 = 40\delta_1 = 1^\circ 16'24''$

由表 12-18 查出得缓和曲线偏角与上表计算结果相同。

## 二、控制点遇障碍时曲线的测设

### (一) 交点不能到达时的测设方法

当交点位于河流、深沟、建造物中，或由于线路转角过大使切线太长，交点不便测设，这时可用副交点法或导线法来测设副交点，以代替交点。

#### 1. 副交点法

如图 12-37，交点  $JD_{10}$  (C) 位于河流中不能测设，因而转向角  $\alpha$  也就无法直接测定。此时可在直线 I 的适当位置选择一点 A 打桩钉钉，该点称为副交点  $JD_{10-1}$ ；同法，可在直线 II 选一点 B 与 A 通视，且便于量距，称为副交点  $JD_{10-2}$ 。

测量  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , 并丈量 AB 的距离。为保证精度，角度应用  $J_2$  或  $J_6$  级经纬仪观测二个测回；距离应往返丈量，在限差内时取平均值。

由于转向角  $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$ ；AC, BC 的距离按正弦定理推得。根据  $R$ ,  $\alpha$ ,  $l_0$  即可计算曲线综合要素  $T$ 、 $L$ 、 $E_0$ 、 $q$ ，并由此来测设主点 ZH、HZ, QZ。其方法为：

(1) 置镜于 A，后视直线 I 上任一转点桩，在该方向上由 A 量取  $(T - AC)$  长度，即得 ZH 点；用同样得方法，置镜于 B 点，可测设出 HZ 点。

(2) 因为  $CM = E_0$ ,  $\theta = (180^\circ - \alpha)/2$ ，在  $\triangle CAM$  中，根据 AC、CM 及  $\theta$ ，用余弦定理可求出 AM 的长度，并由正弦定理求得  $\angle CAM (\gamma)$ 。

置镜于 A，后视 ZH，根据  $\gamma$  及 AM 可定出 QZ (M) 点。QZ 应用测回法分中定点，距离应往返丈量，在限差内时取平均值。

#### 2. 导线法

当地形复杂，二切线上的副交点不通视或者相距较远时，可以用导线将二个副交点联系起来，如图 12-38。

实地测出导线各转折及连接角 A、B 和导线边长、以 A 为坐标原点，AC (切线) 为 x 轴，则  $\alpha_{AC} = 0^\circ 00' 00''$ ；转向角  $\alpha = \alpha_{CB} - \alpha_{AC}$ ，即直线 CB 的方位角为曲线的转向角。

根据计算出来的导线点坐标，可以求得 AC 及 BC 得边长，即：

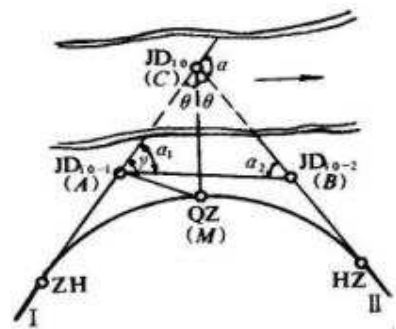


图 12

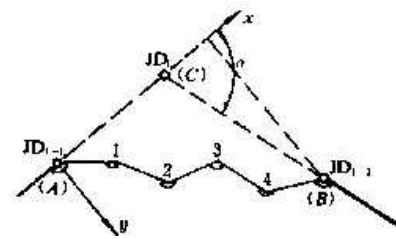


图 12

$$AC = x_C = x_B - \frac{y_B}{\tan \alpha}$$

$$BC = \frac{y_B}{\sin \alpha}$$

曲线综合要素计算和主点测设方法同副交点法。

(二) 主点不能到达时的测设方法

### 1. 在 HY (或 YH) 上安置经纬仪测设

如图 12-39, 主点 ZH (或 YH) 位于水中不能测设, 这时首先利用切线支距法由 JD 沿切线方向量出  $(T-x_0)$  打桩钉钉, 再由此桩于切线垂直方向量出  $y_0$  打桩钉钉, 得到 HY (或 YH), 然后将经纬仪安置在 HY 上, 后视 JD 转  $\omega$  角得到切线方向, 即可测设曲线。其中

$$\omega = 180 - \beta_0 - \arctan \frac{y_0}{T - x_0}$$

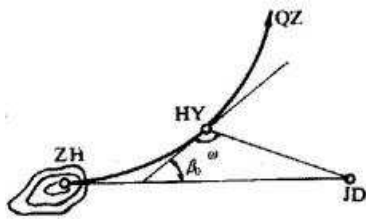


图 12-39

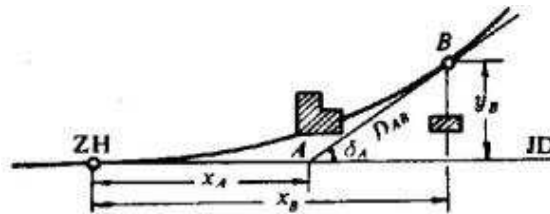


图 12-40

### 2. 利用极坐标法在曲线上设置控制点

如图 12-40, 当缓和曲线上有障碍时, 可由切线上的 A 点用极坐标法测设曲线点 B。

由 B 点里程可以得到 B 上得切线坐标  $x_B$ ,  $y_B$ , 从而可以得到距离  $D_{AB}$  和  $\delta_A$ 。

$$\delta_A = \arctan \frac{y_B}{(x_B - x_A)}$$

$$D_{AB} = y_B / \sin \delta_A$$

将经纬仪置于 A 点, 后视 JD, 拨  $\delta_A$  角, 沿视线方向量出  $D_{AB}$ , 即得 B 点。

## 三、用任意点极坐标法测设曲线

前面介绍的几种遇到障碍物时曲线的测设方法, 基本上都是在路上设站来进行的, 导致测站多, 工作进度慢。若中线上也有障碍时, 则测设起来更加困难。若用光电测距仪 (或全站仪) 配合袖珍计算机 (如 PC-1500 或 PC-E500), 则可在任意点设站利用坐标法测设曲线, 这种方法灵活、效率高, 应予推广使用。

### (一) 测设原理

它是根据坐标反算求得角度和距离, 再利用极坐标法进行测设。

如图 12-41, 当仪器在中线上设站测设曲线不便时, 可预先在与

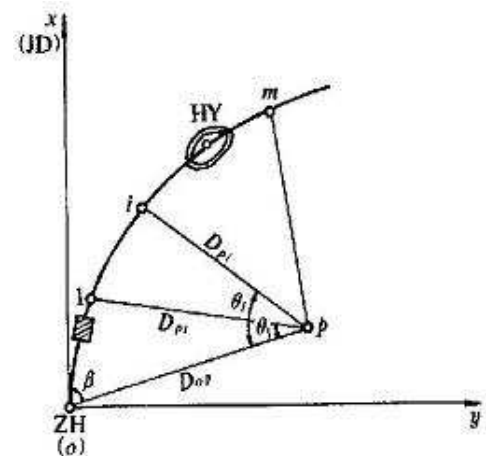


图 12-41

曲线通视良好的地方选一测站点  $p$ ，钉桩打小钉，先将一起安置于  $ZH(0)$  点，以  $JD$  为后视零方向，以  $ZH$  为坐标原点，量出水平角  $\beta$  及到坐标  $p$  点的平距  $D_{0p}$ ，则  $\beta = \alpha_{0p}$  即可求得测站  $p$  的坐标  $x_p, y_p$ ，然后将测距仪安置于  $p$  点，根据 1 点里程即可知道  $x_1, y_1$ ，则

$$\left. \begin{aligned} \text{平距 } D_{p1} &= \sqrt{(x_1 - x_p)^2 + (y_1 - y_p)^2} \\ \text{方位角 } a_{p1} &= \arctan \frac{y_1 - y_p}{x_1 - x_p} \\ \text{水平角 } \theta_1 &= \alpha_{p1} - \alpha_{p0} \end{aligned} \right\} \quad (12-30)$$

30)

同法，可求得  $i, m, \dots$  点的测设数据。

测设时，以  $p$  为测站，以  $p0$  为极坐标轴，转水平角  $\theta_i$ ，测出平距  $D_{pi}$ ，即可得到  $i$  点。

## (二) 测设方法

测设方法有两种，一是将整个曲线分成  $ZH \sim QY$  和  $HZ \sim QZ$  两个半曲线来测设，此时坐标原点应分别为  $ZH$  和  $HZ$ ，而曲线点坐标可直接由《铁路曲线测设用表》第三册第七表中查取，亦可计算求得。另一种是在  $p$  点置镜，一次将整个曲线测设完毕，显然这种方法效率更高。但在测设后半部曲线时，要注意将切线坐标转换为以  $ZH$  为坐标原点，以切线为  $x$  轴的测量坐标系之后，才能进行测设。

如图 12-42，(a) 为右转曲线，(b) 为左转曲线，测设时均以  $ZH$  点为坐标原点，以  $ZH \rightarrow JD$  的切线坐标系为准，先将前半部曲线测设完；在测设后半部曲线时，应将其以  $HZ$  为原点的切线坐标转换到以  $ZH$  为原点的测量坐标系中，其坐标转换计算公式如下：

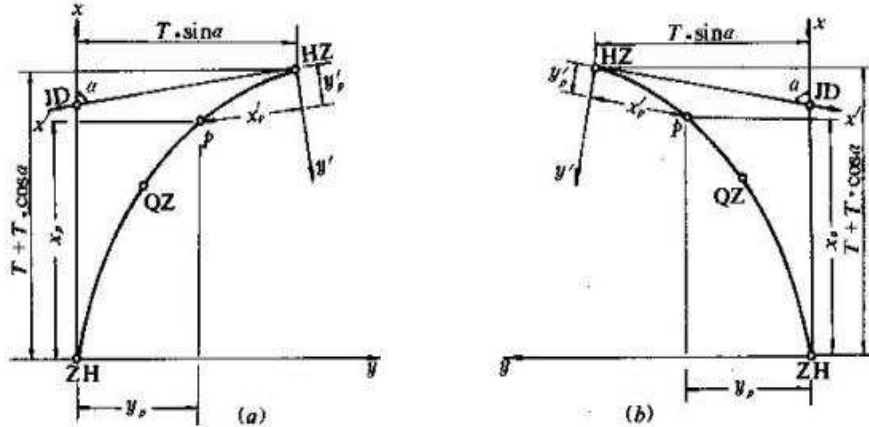


图 12-42

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T(1 + \cos a) \\ T \sin a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\cos a & -\sin a \\ -\sin a & \cos a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (12-31)$$

式中  $T$ ——切线长；  
 $a$ ——转向角；

$x, y$ ——以  $ZH$  为原点，切线为  $x$  轴的测量坐标系；

$x', y'$ ——以  $HZ$  为原点的切线坐标。

## (三) 测设注意事项

1. 曲线主点桩应单独测设，不得与曲线测设同时进行。

2. 用任意点极坐标法测设主点时，必须更换测站点或后视点以做较核，其点位误差不应大于 5 cm。
3. 用极坐标法详细测设曲线时应加强检核，每百米不宜少于 1 个点；当置镜点多于 2 个时，应形成闭合环，其限差要求见表 12—9。

## § 12—8 长大曲线和回头曲线的测设

### 一、长大曲线的测设

当转向角比较大时,曲线会很长,采用偏角法测设,若中间不增加控制点,则横向误差极易超限而返工。通常是在圆曲线部分增加若干控制点,采用分段测设、分段闭合。如图 12—43,将曲线分为三段,两端是缓和曲线加圆曲线,称两端曲线;中间仅有圆曲线,称中间曲线。

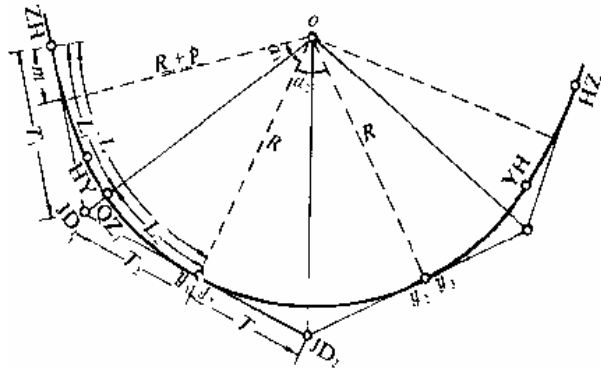


图 12—43

分段时应注意使各段曲线长为 10 m 的整倍数;由两端向中间分段,不使一根缓和曲线分为两段。

分段后曲线综合要素的计算略有变化,如图 12—44,做平行于切线  $T_2$  的直线,交切线  $T_1$  于  $JD'_1$ ,使二平行线间的距离为  $p$ ,则

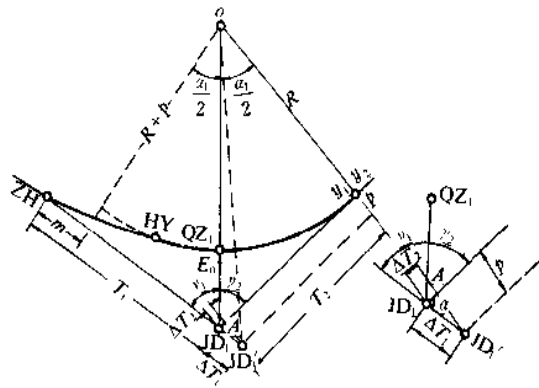


图 12

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= (R+p) \tan \frac{a_1}{2} + m - p / \sin a_1 \\ T_2 &= (R+p) \tan \frac{a_1}{2} + p / \tan a_1 \\ a_1 &= \left( L - \frac{l_0}{2} \right) \cdot 180^\circ / \pi R \end{aligned} \right\} \quad (12-32)$$

曲中点 QZ 测设所用的  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$  角,不再是  $JD_1$  内角的一半,而由下式计算:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= \arctan \frac{R+p}{(R+p) \tan \frac{a_1}{2} - \Delta T_1} \\ \gamma_2 &= \arctan \frac{R}{(R+p) \tan \frac{a_1}{2} - \Delta T_2} \end{aligned} \right\} \quad (12-33)$$

其中

$$\Delta T_1 = p / \sin a_1, \quad \Delta T_2 = p / \tan a_1$$

$$E_0 = \frac{R+p}{\sin \gamma_1} - R \quad (12-34)$$

中间圆曲线的计算同 § 12—4—一。

长大曲线测设资料,亦可查《铁路曲线测设用表》第三册第八表“几个偏角时曲线综合要素表”。

测设时,由 ZH 点按起始切线方向量  $T_1$  得第 1 分段的交点 JD<sub>1</sub>,按第 1 分段的转向角  $\alpha_1$ ,在这个方向上量  $T_2$ ,得圆曲线上的主点  $y_1$ 、 $y_2$ ;不改变方向继续向前丈量中间圆曲线的切线  $T$ ,可得 JD<sub>2</sub>;用  $\gamma_1$  或  $\gamma_2$  角和  $E_0$  测设 QZ<sub>1</sub>。再按同样方法继续测设各分段的控制桩。

## 二、回头曲线的测设

曲线总转向角  $\alpha$  大于或接近  $180^\circ$  时为回头曲线,亦称套线。由图 12-45 得知,切线长  $T$  的计算公式如下:

$$T = (R + p) \tan(180^\circ - \alpha/2) - m \quad (12-35)$$

当  $180^\circ < \alpha < 360^\circ$  时,由 JD 沿切线方向丈量  $T$ ,可得 ZH 和 HZ;当按式 (12-35) 所得  $T$  为正值时,交点位于直线段内,自交点沿直线里程增加的方向量出  $T$  得 ZH 点,在另一方向得 HZ 点,如图 12-45;当所得  $T$  为负值时,交点位于切线内,故自交点沿切线向里程减少的方向量出  $T$  得 ZH,在另一方向上得 HZ,如图 12-46。

得出曲线的起终点后,按长大曲线的测设方法分段定点、分段测设。

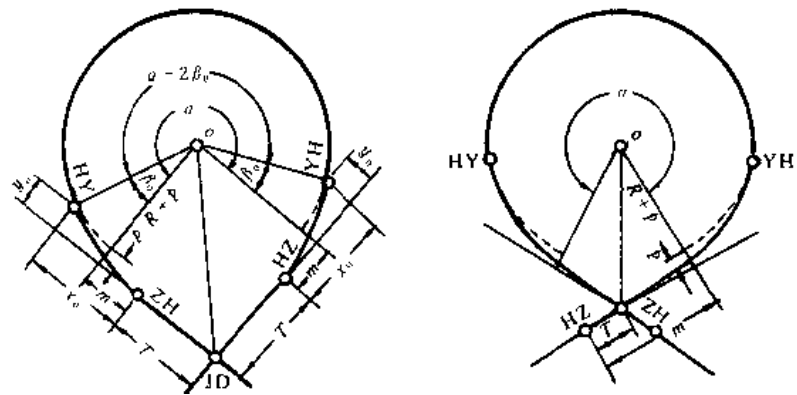


图 12



## § 12—9 曲线测设的误差

曲线测设，首先是测定出主点，然后以主点为依据，由一个主点测设至另一个主点。由于多方面因素的影响，导致产生闭合差，如图 12—47，用偏角法由 ZH 测设至 QZ 点时，测定的 QZ' 点与主点 QZ 不重合，产生闭合差  $f$ 。将  $f$  在 QZ' 处分解为切线方向分量  $f_{\text{纵}}$ ，称纵向闭合差；和法线方向分量  $f_{\text{横}}$ ，称横向闭合差，以此来衡量曲线测设的精度。

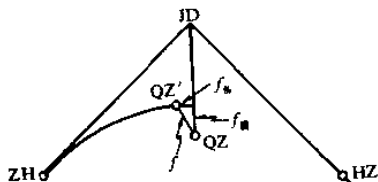


图 12

### 一、曲线测设闭合差的规定

《铁路测量技术规则》规定，曲线闭合差限差为

#### 1. 偏角法

$$\text{纵向闭合差} = \frac{1}{2000} \quad (l \text{ 为两主点间的曲线长});$$

横向闭合差 10 cm。  
2. 极坐标法  
点位误差  $\pm 10$  cm。

### 二、曲线测设误差的分析

曲线测设都是先定出主点，然后详细测设曲线桩，分段闭合到主点上以作检核。

用偏角法测设曲线时，其闭合差既受主点测设精度的影响，又受详细测设时的误差影响。主点测设的精度主要受到：转向角测量的误差、切线丈量的精度、确定 ZH 及 HZ 时的定向误差、确定 HY 及 YH 时  $x_0$  及  $y_0$  的丈量精度及其定向误差、确定 QZ 时  $E$  的丈量精度及分角线方向的测角误差等因素的影响。详细测设曲线时的误差主要来自：主点测设的精度、偏角测设的精度（包括经纬仪对中、目标偏心、照准和度数误差、投点误差等）、照准后视点的方向误差、以弦长代替弧长的误差及弦长丈量误差等因素的影响。

用极坐标法测设曲线时，由于光电测距仪测距精度高，故测距误差对点位精度的影响不显著。对点位精度影响较大的主要是：主点测设精度、设置测站时的测角精度、详细测设时的角度安置精度、测站数的个数等因素。

在上述因素中，以切线丈量精度、弦长丈量精度及偏角测设误差和转镜次数对曲线测设闭合差的影响最大。而且，曲线愈长闭合差愈大；曲线半径愈小对横向闭合差的影响愈大。

为保证曲线的测设精度，首先要提高切线的测量精度，以确保主点的测设精度；其次，在详细测设曲线时，要认真使仪器对中、整平，仔细对准后视点以减少偏角的测量误差，丈量弦长时要抬平钢尺、垂球落点准确；再者，对于长大曲线应增设控制点，分段测设、分段闭合。在有条件时，应采用长弦偏角法或极坐标法，利用光电测距仪或全站仪测设曲线，以提高工作效率和测设精度。

## § 12—10 线路施工测量

铁路线路施工时，测量工作的主要任务是测设出作为施工依据的桩点的平面位置和高程。这些桩点是指标志线路中心位置的中线桩和标志路基施工界线的边桩。线路中线桩在定测时已标定在地面上，它是路基施工的主轴线，但由于施工与定测间相隔时间较长，往往会造成定测桩点的丢失、损坏或位移、因此在施工开始之前，必须进行中线的恢复工作和水准点的检验工作，检查定测资料的可靠性和完整性，这项工作称为线路复测。在线路复测后，路基施工前，对中线的主要控制桩应钉设护桩。由于施工中经常需要找出中线位置，而施工过程中经常发生中线桩被碰动或丢失，为了迅速又准确地把中线恢复在原来位置，必须对交点、直线转点及曲线控制桩等主要桩点设置护桩。

修筑路基之前，需要在地面上把路基施工界线标定出来，这些桩称边桩；测设边桩的工作称为路基边坡放样。

### 一、线路复测

线路复测工作的内容和方法与定测时基本相同。施工复测前，施工单位应检核线路测量的有关图表资料，会同设计单位进行现场桩橛交接。主要桩橛有：直线转点（ZD）、交点（JD）、曲线主点、有关控制点、三角点、导线点、水准点等。

线路复测包括：转向角测量、直线转点测量、曲线控制桩测量和线路水准测量。它的目的是恢复定测桩点和检查定测质量，而不是重新测设，所以要尽量按定测桩点进行。若桩点有丢失和损坏，则应予以恢复；若复测与定测成果的误差在容许范围之内，则以定测成果为准；若超出容许范围，则应多方查找原因，确实证明定测资料错误或桩点位移时，方可采用复测成果。

复测与定测成果的不符值限差为：

- （1）水平角： $\pm 30''$ ；
- （2）距离：钢卷尺  $1/2000$ ，光电测距  $1/4000$ ；
- （3）转点点位横向差：每 100 m 不应大于 5 mm，当点间距离长于 400 m 时，亦不应大于 20 mm；
- （4）曲线横向闭合差：10 cm（施工时应调整桩位）；
- （5）水准点高程闭合差： $\pm 30\sqrt{K}$  mm；
- （6）中桩高程： $\pm 10$  cm。

在施工复测中要增加或移设的水准点，增测的横断面等工作，一律按新线勘测的要求进行。由于施工阶段对土石方数量计算的要求比定测时要准确，所以横断面要测得密些，其间隔应根据地形情况和控制土石方数量需要的精度而定，一般平坦地区每 50m 一个；而在起伏大的地区，应不大于 20 m 一个，同时中线上的里程桩也应加密。

## 二、护桩的设置

设置护桩可采用图 12-48 中的任意一种进行布置。一般设两根交叉的方向线，交角不小于  $60^\circ$ ，每一方向上的护桩应不少于三个，以便在有一个不能利用时，用另外两个护桩仍能恢复方向线。如地形困难，亦可用一根方向线加测精确距离，也可用三个护桩作距离交会。

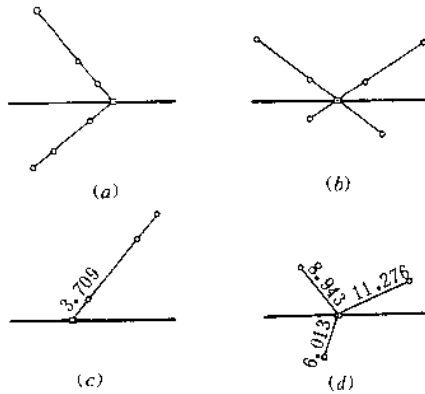


图 12-48

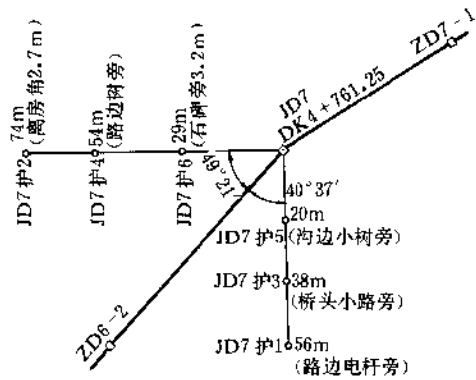


图 12-49

设护桩时将经纬仪置在中线控制桩上；选好方向后，以远点为准用正倒镜定出各护桩的点位；然后测出方向线与线路所构成的夹角，并量出各护桩间的距离。为便于寻找护桩，护桩的位置用草图及文字作详细说明，如图 12-49。护桩的位置应选在施工范围以外，并考虑施工中桩点不至于被破坏，视线也不至于被阻挡。

## 三、路基边坡放样

路基横断面是根据中线桩的填挖高度和所用材料在横断面图上画出的。路基的填方称为路堤；挖方称为路堑；在填挖高为零时，称为路基施工零点。

路基施工填挖边界线的标定，称为路基边坡放样。它是用木桩标出路堤坡脚线或路堑坡顶线到线路中线的距离，作为修筑路基填挖方开始的范围。

测设边桩时，根据不同条件，采用不同的方法。

### （一）断面法

在较平坦地区，当横断面的测量精度较高时，可以根据填挖高绘出路基断面图，由图上直接量出坡脚（或坡顶）到中线桩的水平距离。根据量得的平距，即可到现地放出边桩，这是测设边桩最常用的方法。

### （二）计算法

如图 12-50，(a) 为路堤，(b) 为路堑，若地形平坦，则可根据设计的路基填挖高，按公式 (12-36) 来计算边桩到中线桩的水平距离。

$$D_1 = D_2 = \frac{b}{2} + m \cdot H \quad (12-36)$$

式中  $b$ ——路堤或路堑（包括侧沟）的宽度，根据设计决定；

$m$ ——路基边坡坡度比例系数，依填挖材料而定，通常填方为 1.5，挖方为 1 或 0.75；

$H$ ——填挖高度。

### （一） 试探法

在倾斜地面上，随着地面横向坡度起伏的变化，使  $D_1$  和  $D_2$  不相等，因而不能利用上式计算。若横断面测量精度高，可在路基设计断面图上量取距离，否则应用试探法在

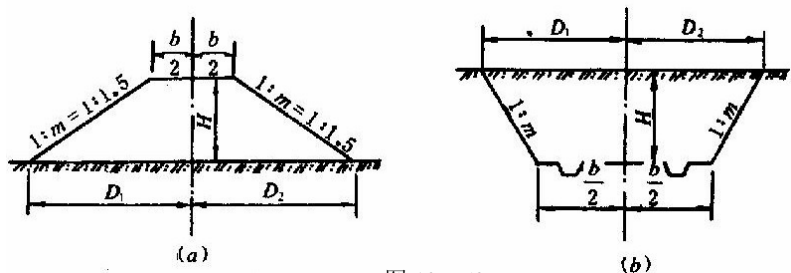


图 12-50

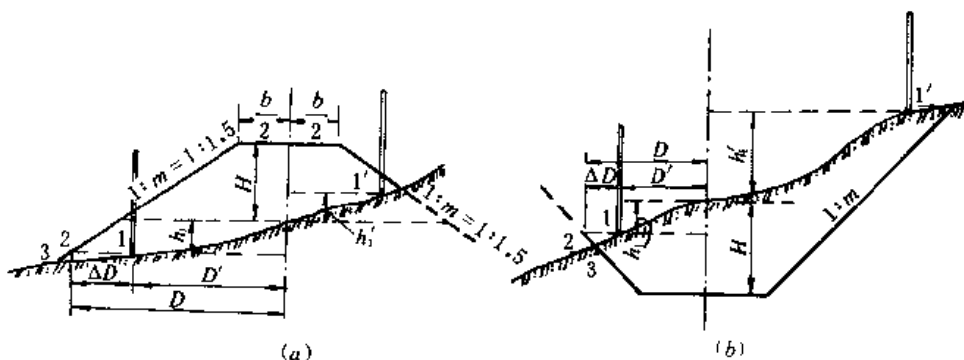


图 12-51

现地测设。

如图 12-51，先在断面方向上，根据路基中线桩的填挖高度，大致估计边桩 1 的位置并立水准尺。用水准仪测出 1 点与中桩的高差  $h_1$ ，用尺量出 1 点到中桩的水平距离  $D'$ 。根据高差  $h_1$ ，按式（12-36）计算出图 12-51（a）中路堤下坡一侧到中桩的正确平距为

$$D = \frac{b}{2} + 1.5 \times (H + h_1) \quad (12-37)$$

若  $D > D'$ ，说明边桩的位置在 1 点外边；当  $D < D'$  时，则在 1 点的里边。根据  $\Delta D = D - D'$  的数值，重新移动水准尺的位置再次试测，直至  $\Delta D < 0.1\text{m}$  时，即可认为立尺点为边桩的位置。从图中看出，算出的  $D$  是 2 点到中桩的距离，实际上 3 点为坡脚。为减少试测次数，在路堤下坡一侧时，移动尺子的距离要比算出的  $\Delta D$  大些为好。

在测设路堤上坡一侧时，它的计算公式为

$$D = \frac{b}{2} + 1.5 \times (H - h'_1) \quad (12-38)$$

尺子移动的距离要比算出的  $\Delta D$  小些为宜。

测设路堑边桩时，参看图 12-51（b），距离  $D$  的计算公式为

$$D = \frac{b}{2} + m(H - h_1) \quad (12 - 39)$$

下坡一侧

$$D = \frac{b}{2} + m(H + h'_1) \quad (12 - 40)$$

上坡一侧

试探法要在现场边测边算，有经验之后试测一两次即可确定边桩位置，在地形复杂地段采用此法较为准确、便捷。

## 四、竣工测量

在路基土石方工程完工之后，铺轨之前应当进行线路竣工测量。它的任务是最后确定线路中线位置，作为铺轨的依据；同时检查路基施工质量是否符合设计要求。它的内容包括中线测量、高程测量和横断面测量。

### （一）中线测量

首先根据护桩将主要控制点恢复到路基上，进行线路中线贯通测量；在有桥、隧的地段，应从桥梁、隧道的线路中线向两端引测贯通。贯通测量后的中线位置，应符合路基宽度和建筑物接近限界的要求；同时中线控制桩和交点桩应固桩。

对于曲线地段，应支出交点，重新测量转向角值；当新测角值与原来转向角之差在允许范围内时，仍采用原来的资料；测角精度与复测时相同。曲线的控制点应进行检查，曲线的切线长、外矢距等检查误差在 1/2 000 以内时，仍用原桩点；曲线横向闭合差不应大于 5 cm。

中线上，直线地段每 50 m、曲线地段每 20 m 测设一桩；道岔中心、变坡点、桥涵中心等处均需钉设加桩；全线里程自起点连续计算，消灭由于局部改线或假设起始里程而造成的里程不能连续的“断链”。

### （二）高程测量

竣工测量时，应将水准点移设到稳固的建筑物上，或埋设永久性混凝土水准点；其间距不应大于 2 km；其精度与定测时要求相同；全线高程必须统一，消灭因采用不同高程基准而产生的“断高”。

中桩高程按复测方法进行，路基高程与设计高程之差不应超过 5 cm。

### （三）横断面测量

主要检查路基宽度，侧沟、天沟的深度，宽度与设计值之差不得大于 5 cm；路堤护道宽度误差不得大于 10 cm。若不符合要求且误差超限者应进行整修。

## § 12—11 既有线和既有站场的测量

为了适应和促进国民经济的发展，必须大力增强铁路的运输能力。这方面除了修建新线之外，对既有铁路进行技术改造，充分挖掘潜能，亦是一种有效的措施之一。

改造既有铁路的原则，应是在满足运输需要和保证安全的前提下，充分利用既有建筑物与设备，以发挥其潜在能力。既有铁路的线路改造方式，主要是落坡和改善线路平面，延长站线，修建复线插入段，增大曲线半径，增建第二线等。

既有铁路改造的外业勘测与新线勘测不同，它是沿一条运营铁路进行勘测，因而具有以下特点：选线工作较新线少；要充分了解和考虑既有铁路原有的设备；要考虑改造中能保证铁路的正常运营和相互配合。因而它是一项比较复杂、细致的工作，以分阶段进行为宜。

既有铁路线路测量的内容主要有：线路纵向丈量、横向调绘、水准测量、横断面测量、线路平面测绘、地形测绘、站场测绘及绕行线定测等。

既有铁路的勘测设计，一般应分两阶段进行，即初测，初步设计；定测，施工设计。由于各勘测阶段的目的不同，因面对某些测量资料要求的广度和深度也不一样。下面介绍既有线测量中的主要工作内容。

### 一、既有线的纵向丈量及调绘

线路纵向丈量，又称百米标纵向丈量或里程丈量。它是沿既有线丈量，定出公里标、百米标及加标，作为勘测设计和施工的里程依据。公里标、百米标及加标统称里程桩。

#### （一）量距

线路里程丈量的起点，应在《设计任务书》中规定。一般是从附近的车站中心或大型建筑物中心的既有里程引出，并应与附近的公里标里程核对，而且应与既有线文件上的里程取得一致，按原里程方向连续推算。其“断链”位置应在车站、大型建筑物、曲线以外的直线百米标上。

丈量时，双线区段里程沿下行方向进行；并行直线地段的上行线里程，是采用将下行线里程向上行线投影的方法来确定，使两者里程一致；曲线地段，宜从曲线测量起点开始分别丈量，并在曲线测量终点外的直线上取得投影“断链”。当上行线为绕行线时，应单独丈量，“断链”设在曲线外的百米标处。

车站内的里程丈量，应沿正线进行。当车站为鸳鸯股道布设时，应从车站中心转入另一股道连续丈量并推算里程，如图

12—52。

支线、专用线、联络线等，应以联轨道岔中心为里程起点。

距离丈量，可以采用下列三种方法：

#### 1. 沿轨道中心丈量

在起点里程处定出线路中心，作为里程及百米标丈量起点。前、后尺手各用一根轨道

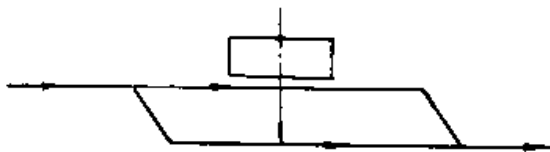


图 12—52



分中尺放在钢轨上，将钢尺置于轨道尺中心进行丈量。每丈量一尺段，应用红铅笔标划在枕木上或平稳的道碴上，并用白粉笔划圈，在枕木上注明公里标、百米标、加标字样，以供后尺手识别。

此法因质量能得到保证，故用得较多。但因在轨道中心工作，特别要注意人身安全。

## 2. 直线上沿钢轨顶丈量，曲线上沿轨道中心丈量

这种方法在平道上沿轨顶丈量比较简单、方便，但在有较大坡道上（10%以上）丈量时，要注意保持钢尺水平；曲线地段仍用轨道分中尺移到轨道中心丈量。

此法简单，能保证质量，但要注意安全。

## 3. 沿路肩丈量距离

沿路肩丈量距离，必须与钢轨保持一定的相等距离，但遇到桥梁、隧道、曲线时，应用放桩尺移到轨道中心进行丈量，过了此段之后，再移到路肩上进行丈量，并另有专人用放桩尺将所有公里标、百米标及加标移到钢轨上。

此种方法对有轨道电路的既有线，在路肩上丈量不影响列车运行，且能保证人身安全，也能满足质量要求；但遇桥、隧、曲线等要移上移下，稍嫌不便，且增加测量误差。

量距时，应当使用经过检定或与已检定过的钢卷尺进行过比长的钢尺。同时对丈量结果要进行尺长改正和温度改正。丈量一般应由两组人员各拿一根钢卷尺独立进行，每公里核对一次，当两组丈量结果的相对较差小于  $1/2000$  时，则以第一组丈量的里程为准，同时应与原有桥梁、隧道、车站等建筑物的里程核对，并在记录本上注明其差数。

## （二）里程桩的标记

对里程进行丈量时，应设公里标、百米桩和加标。曲线范围内每 20 m 设一加桩，加桩里程应为 20m 的整倍数。除此之外，在下列地点应增设加标。

1. 桥梁中心、大中桥的桥台挡碴墙前缘和台尾、隧道进出口、车站中心、进站信号机和远方信号机等，取位至 cm；

2. 涵渠、渡槽、平交道口、跨线桥、坡度标、圆曲线和缓和曲线始终点标、跨越铁路的电力线与通讯线及地下管线的中心，新型轨下基础、站台、路基防护及支挡工程等的起终点和中间变化点，取位至 dm；

3. 路堤和路堑最高处，填挖零点、路基宽度变化处、路基病害地段，取位至 m。

拟设加标处，最好在里程丈量之前，派人预先确认，并用粉笔在钢轨腰部。在轨枕头部注明名称，以便记录。

线路里程的位置,包括公里标、百米标和加标,均应用白油漆标记,直线地段在左侧钢轨(面向下行方向分左、右)外侧的腰部划竖线;曲线范围内(包括曲线起终点 40—80 m)的内、外股钢轨的外侧腰部,均应划竖线。公里标和半公里标应写全里程,百米标及加标可不写公里数,如图 12—53 所示。

### (三) 线路调绘

线路调绘又称横向测绘,是对既有线路两侧 30~50 m 以内的地物、地貌的调查测绘。其目的是作为修改和补充既有线平面图及作为拆迁建筑物、路基加宽、路基防护、排水系统布置、土方调配以及第二线左右侧选择等意见的依据。

调绘时,以纵向里程为纵坐标、横向距离为横坐标,以支距法进行测绘;测绘比例尺为 1:2 000 或 1:1 000;测绘结果必须在现场按比例描绘在记录本上。

根据纵向丈量记录,

先在室内将所测地段的百米标、加标,自下而上抄录在记录本中的中线右侧 1 cm 以内,以中线左右各 1 cm 宽度绘一直线表示路肩线,路肩上的各种标志,如公里标、坡度标、信号机等,测绘在中线左侧 1 cm 之内。测绘时,一人用方向架瞄准施测点,两人用皮尺以附近桩号为准,量出该点的纵向里程;再以中线为准量出横向距离。绘图时横向距离一般减去 3 m,以路肩线为零点,向两侧按比例绘图。在 30 m 以外的地物、地貌可用目估测绘。

在记录本上应测绘的内容包括:

1. 路堤坡脚线、路堑边坡顶,取土坑、弃土堆、排水沟等。
2. 公路、房屋、电杆、河流、水塘等。
3. 挡墙、桥涵、隧道洞口、平交道和立交桥等。道路和河流与线路相交时,要测出交

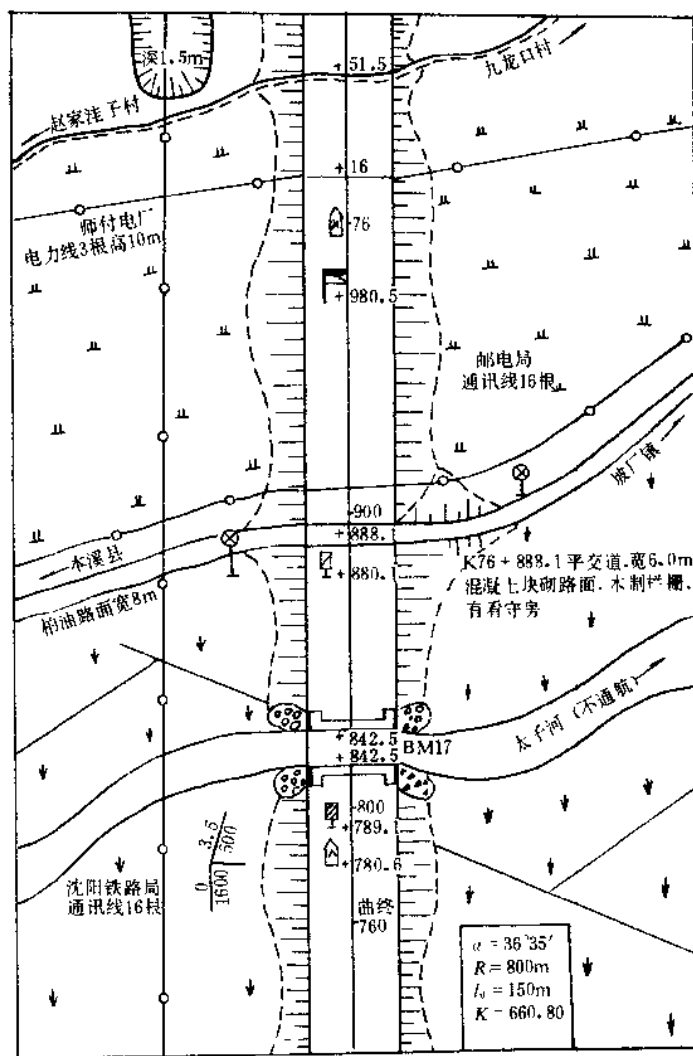
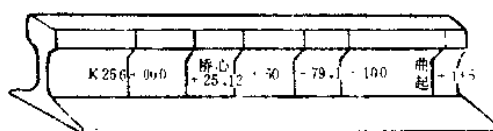


图 12-54



角。

4. 通讯线、电力线跨过线路时，要测出交角和在轨道面以上的高度。
5. 对有拆迁可能的建筑物要详细测绘。
6. 对第二线左右侧的意见。

线路调绘记录格式见图 12—54。

## 二、既有线中线平面测量

既有铁路在长期运营过程中，由于受到列车的冲击，使线路位置和形状发生变化，尤其曲线部分更是如此。为了改建既有线和增建第二线，首先应把既有线路的现状测绘出来，以便更新选择半径和计算拨正量，使线路恢复到较佳状态。

### （一）线路中线外移桩的设置

在运营线上进行线路中线测量，为了保证人身和行车安全，以及固定测绘成果便于据此进行施工，常将中线平行外移到路肩上，并用桩加以标定，这些标桩称“中线外移桩”。这样，中线测设工作可在路肩上进行。

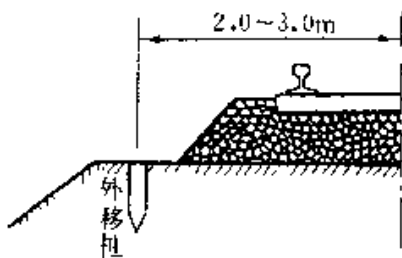


图 12—55

外移桩在直线地段宜设在百米标处左侧路肩上，曲线地段应设在曲线外侧路肩上，距线路中心一般为 2.0~3.0 m，如图 12—55。外移桩应注明里程，但不另外编号；同一条线路上的外移桩距中线的距离应相等。如有困难，则在一个曲线范围内应相等，这样便于计算。外移桩的设置可利用放桩尺，使用时用横木的内边紧贴钢轨头的内侧，为了行人安全和保护外移桩，应将桩顶打到与地面齐平。

外移桩间的距离，在直线地段不应长于 500 m 或短于 50 m；在曲线地段不应长于 100 m。桩与桩之间应通视，并尽可能将其设置在公里标或半公里标处。所设外移桩应及时记入手簿，注明其位置及外移距离。在遇到特大桥及隧道时，应将外移桩移回线路中心；当增建的第二线变侧，或与曲线外侧非同侧时，外移桩需在曲线前的直线上用等距平行线法换侧，如图 12—56 所示。用经纬仪量出直角，将外移桩移到线路中心或对侧，前后换侧点的距离不应小于 200 m，得一平行导线后，再继续前进。

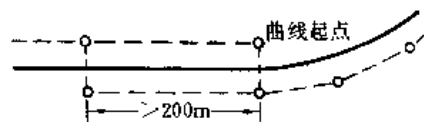


图 12—56

在曲线地段，为了便于测量隙望，应将外移桩设在曲线外侧；但在连续反向曲线的情况下，为了减少外移桩的换边次数，亦可将外移桩设在曲线内侧的路肩上。

### （二）直线的测量方法

既有线的直线测量，是在直线各中线外移桩上安置经纬仪。作外移导线的水平角测量。

同新导线测量一样，在起点应测定起始边的方位角，然后按百米标的前进方向，用 DJ<sub>6</sub> 或 DJ<sub>2</sub> 级经纬仪测出各外移桩的水平角，一般测一个测回即可。

### （三）曲线的测量方法

既有线曲线测量，是为了给既有线选择合理的设计半径和曲线的拨正量提供平面资料。

既有线曲线测量常用的方法有：矢距法、偏角法、正矢法。而正矢法由于操作、计算简便易于掌握，故在工务部门线路养护中为拨道常用的方法。但由于其精度较低，故在既有线改建和增建第二线的勘测中很少使用，在此仅介绍矢距法和偏角法。

#### 矢距法

用矢距法测量曲线是利用曲线上的外移导线进行的。相邻外移桩的连线称照准线，利用它来测量曲线上每 20 m 点的矢距值，测各外移桩的转向角，同时测若干个大转向角作为检核之用。

如图 12-57 (a)，从曲线测量起点的外移桩 I 开始，依次在外移桩 I、II、III、……上安置经纬仪，测出各段曲线的转向角  $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、 $\phi_3$ 、……；并读出曲线上每隔 20 m 的点从线路中心到照准线的垂距  $c$ ，则矢距  $f = A - c$ ， $A$  为外移桩离线路中线的距离。

曲线上各转向角的测量要求，见表 12-20。

表 12-20 测角要求及角值限差表

仪器等级	测回数	两半测回间较差 (″)	两测回间较差 (″)
DJ <sub>2</sub>	1	20	
DJ <sub>6</sub>	2	30	20

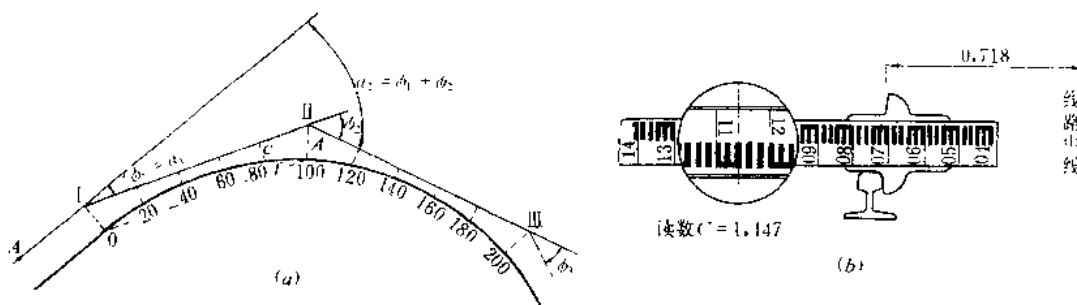


图 12-57

曲线测量的一般步骤及要求如下：

(1) 将经纬仪安置在 I 点（曲线起点），后视直线上一点 A，前视 II 点，用测回法测出转向角  $\phi_1$ ；然后在曲线上各 20 m 点处垂直于照准线 I—II 放置矢距尺（图 12-57 (b)），使矢距尺的角铁紧贴钢轨头的内侧，则其零点正好位于线路中线上，并读出照准线上的矢距尺读数  $C$  值，记入表 12-21 第 11 栏的前视中；

(2) 将经纬仪安置在 II 点, 后视 I 点, 再次读出 I~II 点间曲线上各 20 m 点的 C 值, 记入后视栏中 (第 12 栏)。当同一点的前、后视 C 值读数之差不超过 5 mm 时取平均值。然后测  $\varphi_1$  角, 读 II~III 各 20 m 点之前视 C 值;

(3) 重复以上工作步骤, 直至曲线终点。

(4) 为了检核转向角  $\varphi$ , 应该每隔一个或几个中线外移桩测一个大偏角  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、……, 如图 12-58。

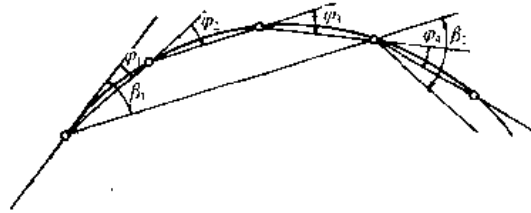


图 12-58

各转向角总和与大偏角总和之差, 即为角度闭合差  $\Delta\beta$ 。

$$\Delta\beta = \sum\varphi - \sum\beta$$

《测规》规定, 角度闭合差的容许值为

$$\Delta\beta_{\text{容}} = \pm 30''\sqrt{n} \quad (n \text{ 为置镜点数})。$$

角度闭合差  $\Delta\beta \leq \Delta\beta_{\text{容}}$  时, 以各分转向角之和作为曲线的转向角值。

## 2. 偏角法

用偏角法测量既有线曲线的方法, 基本上与测设新线曲线的方法相同, 仅是目的不同。

如图 12-59, 既有线曲线的偏角  $i$ , 是根据已知曲线间的长度 (一般是 20 m) 和测点的实际位置量测出来的。测量曲线偏角时, 应在 ZH、HZ 附近 20 m 标上安置经纬仪, 相邻两置镜点间的距离不应大于表 12-22 中的规定。

图中 I、II、……为曲线的外移桩, 分别在其上置镜, 测出前进方向每 20 m 曲线点的偏角  $i$ 。每个偏角应测一个测回, 上、下半测回角值之差在  $30''$  以内时取平均值。置镜点间各大偏角的测角要求及大偏角之和与总偏角之和的角度闭合差的限差要求, 同矢距法测量。

在外移桩上量测偏角时, 用放线尺定出测点的外移位置; 沿轨道中心进行时, 用轨道丁字尺把置镜点和每 20 m 的测点, 从左轨引到线路中心点; 沿外轨面进行时, 用特制小木块定出测点 (钢轨中心) 位置。

表 12-21 既有曲线测绘记录

[illegible]

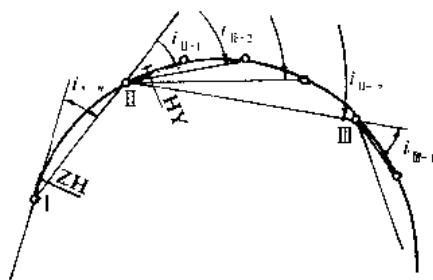


图 12-59

表 12-22 偏角法测量曲线相邻两置镜点间距离(m)

曲线半径	相邻两置镜点间距离	
	有缓和曲线地段	圆曲线地段
250~350	140	300
351~500	180	
501~800	240	
800 以上	300	

偏角法与矢距法相比，其操作、记录、计算均较简单，但从外移桩上放设第二线（或第一线）位置时，不如矢距法方便。

### 三、既有线路的高程测量

既有线高程测量，是为了核对或补设沿线既有水准点；以及对既有线所有百米标及加标沿轨顶进行高程测量，作为纵断面设计的依据。

水准点的高程和编号，应以既有线的资料为准。并且要到现地加以核对、确认，不但里程和位置要相符，同时注字要清晰；如痕迹已不清楚应加凿，并按原号编注。

当水准点遗失、损坏或水准点间的距离大于 2 km 时，应补设水准点。在大中桥头、隧道洞口、车站等处应增设水准点，并另行编号。

水准点高程测量，可采用一组往返测，亦可采用两组水准并测，其高差较差与原水准点的高程闭合差，均不应超过  $\pm 30\sqrt{K}\text{mm}$ （K 为单程水准路线长度，以 km 为单位），如闭合差超限，须返工重测。只有确认原水准点高程有误后，才能改动原高程。新补设的水准点高程应与其前、后水准点高程闭合。

水准点高程施测时应单独进行，不宜同时兼作中桩高程测量。既有线高程应采用国家统一的高程基准系统（1985 国家高程基准或 56 年黄海高程系），如个别地段有困难时，可以引用其它高程系统，但全线高程测量连通后，应消除断高，换算成国家高程基准系统。

中桩高程，直线地段为左轨轨顶高程；曲线地段为内轨轨顶高程。

中桩高程应测量两次，与水准点高程的闭合差不应超过  $\pm 30\sqrt{K}\text{mm}$ ，在限差以内时，按与转点个数成正比的原则分配闭合差；两次中桩高程的较差在 20 mm 以内时，以第一次测量平差后的高程为准，取位至 mm。

### 四、既有线路的横断面测量

既有线横断面测量是一项繁重的工作。横断面图是线路维修、技术改造时的设计、施工的重要依据；拨道、道床抬高或降低、施工间距及施工措施等，都要在横断面图上考虑。在线路维修或改建时，要考虑到限界的要求，因此，对既有线的建筑物及设备的位置、标高等，

在测量横断面时均应详细测绘、记录，所以它比新线横断面测量要求精度高。

#### 横断面位置与测绘宽度

既有线百米标、地形变化处的加标、挡土墙、护坡、路基病害处、平交道口、隧道洞口、涵管中心及桥台台尾处等，均应测绘比例尺为 1:200 的横断面图。在轨顶、碴肩、碴脚、路肩、侧沟、平台等处均应测点。

横断面的密度及宽度以满足设计需要为原则，此外还应满足以下要求：直线地段，一般每隔 20~50 m；曲线地段一般每隔 20 m 应测一个横断面，但不宜大于 40 m。其宽度，从既有线中心向两侧应测到最后一个路基设备（如取土坑、弃土堆、排水沟、天沟等）以外 5m。如拟修建路第二线，则第二线一侧为 20 m；同时，离开路基坡脚和路堑边缘不应小于 20 m。

#### （二）横断面测绘方法

横断面的方向可用方向架或经纬仪测设。

横断面测绘中的距离，可用钢尺或皮尺丈量。距离应自轨道中心起算，为了便于丈量，可自轨头内侧开始量起，以 0.72 m（半个轨距）为起点；曲线上内轨有加宽，所以应从外轨的内侧量起，丈量曲线内侧的距离时应扣除 0.72 m。

测点高程，一般用水准仪测定，在每个断面上根据轨面高程求出其它点的高程，对于深堑高堤和山坡陡峻的断面，可用经纬仪斜距法、水准仪斜距法、断面仪进行测绘，但路肩及其以上的测点仍应用水准仪测定。

#### （三）横断面测量精度

测量精度的要求：距离、高程取位至 cm；检查时的限差：高程为  $\pm 5$  cm，距离为  $\pm 10$  cm。

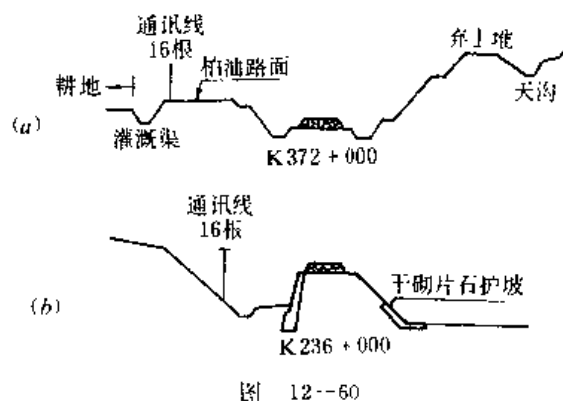
图 12-60 为区间线路横断面示意图，(a) 为路堑横断面；(b) 为路堤横断面。

## 五、既有线站场测量

既有线的站场测量资料是车站改建设计的依据。既有线站场测量的特点是：面积大、地物多、车站作业频繁、测量要求精度高，与既有线路测量相比，难度和复杂性就要大得多。尤其在大的枢纽作站场测绘，采用一般的方法几乎是不可能的，必须结合具体的测量

点，采用不同的作业方法。在工作开始之前，要先作好测区资料收集及准备工作，如专用线、联络线的接轨点、站内曲线半径、道岔号数、高程系统、车流密度及列车运行图等；应与地方、工业厂矿取得联系，以求得支持。

既有站场测绘内容，视车站类型及要求而有所不同，主要包括：纵向丈量、基线测设、



横向测绘、道岔测量、站内线路平面测绘,以及站场导线、地形、高程及横断面测量等。其中纵向丈量、横向测绘、高程测量和横断面测绘与区间线路测量大同小异。此节主要介绍基线测设、道岔测量、站场线路测量及横断面和地形测绘。

### (一) 站场基线测设

基线是站场平面测绘、车站改建或扩建设计时计算道岔和各种建筑物坐标的依据,同时也是施工时标定各种设备的基础。因此,基线的布置应满足测量、设计与施工的需要。

#### 基线布置原则

(1) 基线的布设要便于丈量各处的设备及建筑物,并且尽量少受行车的干扰。一般应将基线设在正线与到发线之间;中小站可以中线外移桩作基线。

(2) 基线长度可视需要而定,但主要基线至少应布置到进站信号机外方终止。

(3) 主要基线与辅助基线,应尽量平行于正线或其邻近的线路,以减少计算工作量;控制点间距宜为 100~300 m。

(4) 站场测绘宽度大于 30 m 时,应加设辅助基线;基线与辅助基线、辅助基线之间的距离以 30 m 为宜,但最大不宜超过 50 m (用光电测距仪施测时不受此限)。

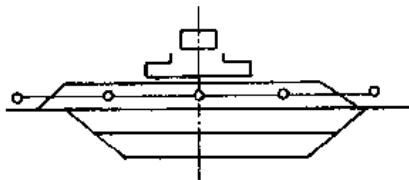


图 12-61

### 2. 基线类型

#### (1) 直线型基线

图 12-61 是设在车站内直线上的主要基线。设在到发场、编组场、机务段、车辆段、货场内直线股道间的辅助基线,亦可采用这种类型。

#### (2) 折线型基线

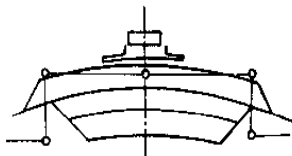


图 12-62

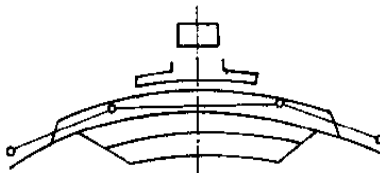


图 12-63

车站设在曲线上,一般应采用折线型基线布置,如图 12-62,图 12-63。

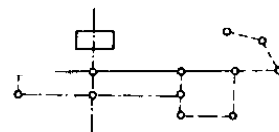


图 12-64

#### (3) 综合型基线

大型车站规模大、建筑物及设备多,为满足测量、施工的需要,一般采用基线与导线配合的综合形式布置,如图 12-64。图中实线为基线;点划线为辅助基线;虚线为导线。

### 3. 基线的测设方法

由于站场平面测绘一般都采用平面坐标系,故通常采用平行于正线股道的基线为  $x$  轴;以通过车站中心、垂直于  $x$  轴的方向作为  $y$  轴;以两轴的交点作为坐标原点。为了测绘方便,一个车站里可以采用几种坐标,但彼此之间应有一定的联系。

确定坐标原点,首先要找出车站中心。而车站中心一般为站房中心或运转室中心,它可由车站提供或重新测定。车站中心确定后,投影到正线以计算里程,从而定出坐标原点的位置。然后朝两个方向沿基线丈量长度、测量转折角等,这与新线勘测中的导线测量方法相同。



站内布设的辅助基线，均应与主要基线相联系，组成基线控制网。

基线原点应埋设永久基线桩标志，基线丈量中要钉设百米标，并用白油漆标记在相应的轨道上。基线设置的精度要求为：桩间距离用检定过的钢尺往返丈量两次，相对较差不大于  $1/2000$  时，取平均值；基线桩的方向要用正倒镜分中确定；基线网的角度测量方法和精度要求与线路测量相同，角度闭合差允许值为  $\pm 30''\sqrt{n}$ ， $n$  为测角数；全长的相对闭合差应不超过  $1/4000$ 。在限差以内时，将闭合差调整，角度闭合差按置镜点数平均分配；边长闭合差可按坐标增量或边长比例分配。

### (一) 道岔测量

道岔是列车由一股道驶入另一股道时的关键设备。根据搜集到的站内道岔资料，应到现场逐个核对道岔号数，并测定道岔的中心。

#### 1. 道岔号数的测定

道岔号是辙叉角的余切，一般采用下列两种方法测定：

##### (1) 步量法

如图 12-65，在辙叉上找出和步量者脚长相等处，然后用脚量至理论叉尖处，所量的脚数即为该道岔的号数。如图中所量为 6 倍脚长，即为 6 号道岔，此法在现场经常使用。

##### (2) 丈量法



图 12-65

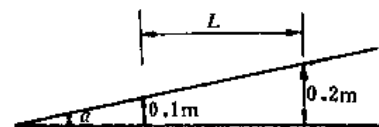


图 12-66

如图 12-66，在辙叉上找出宽 1dm 和 2dm 处的位置，丈量出间距为  $L$ dm，则  $L$  的 dm 数即为其道岔号数。

#### 2. 测定道岔中心

道岔中心是道岔所联系的两条线路中心线的交点，通称岔心。在设计时均以道岔中心点的坐标表示道岔位置；施工时可根据道岔中心点安设道岔。

在站场平面测绘之前，应将站内所有道岔中心的位置钉出。钉设道岔中心的方法，根据道岔类型的不同，可采用下述两种方法。

##### (1) 直接丈量法

若为单开道岔，可以用钢尺直接量出道岔中心位置。如图 12-67，在道岔表中可以查出道岔理论辙叉尖端到岔心的距离  $b_0$ 。若没有现成资料，可用轨距（1435 mm）乘以道岔号数，近似地确定  $b_0$ 。如 12 号道岔， $b_0 = 17250$  mm， $b'_0 = 17220$  mm。

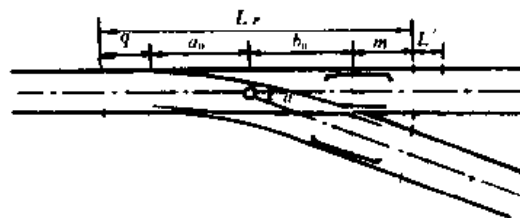


图 12-67

##### (2) 交点法





图 12-68

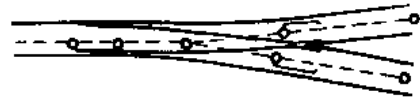


图 12-69

对于曲线道岔(图 12-68)、对称道岔(图 12-69)、复式交分道岔(图 12-70)等道岔的岔心钉设,应采用交点法。先在尖轨附近的直线部分钉出其线路中心,即图中“○”代表线路中心点;然后在辙叉附近钉出侧线线路中心点,用经纬仪延长两中心线得到的交点即为道岔中心点,图中用“·”表示岔心点。

用上述方法定出岔心之后,应打一木桩并钉上小钉作为标志;同时在两侧的钢轨上用白油漆划线标志其位置。道岔细部尺寸应逐项核对或丈量,并填写在道岔调查表中。

### (三) 站场线路平面测量

#### 1. 股道全长及有效长测量

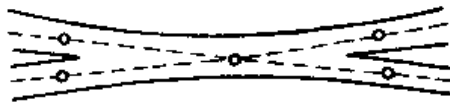


图 12-70

股道长度测量是在站内横向测绘后进行的,故应充分利用已掌握的资料,尽量避免重复工作,而现场丈量只是补充其长度推算的不足部分。车站内线路为直线的股道全长,可根据横向测绘的道岔资料及道岔主要尺寸计算,缺少部分可到现场补量。股道有效长,是指股道内能容纳列车的停留而不影响邻线上列车运行的股道长度。它可根据警冲标、出发信号机、车档或侧线出岔的辙轨尖的坐标计算

得到;当股道位于曲线上时,应进行实地丈量。

#### 1. 站内曲线平面测绘

既有线曲线平面测绘方法有:矢距法、偏角法等,这在本节二中已作了介绍,它同样适用于站内曲线平面测绘。

当站线上仅有圆曲线时,可按下面介绍的方法进行测绘。曲线测绘主要是测定交点的位置、转向角的大小和曲线半径。

#### (1) 用导线控制平面位置

导线的布置形式,视具体条件而定。

沿线路中线敷设导线来控制曲线平面,称为股道导线。其曲线两端的直线部分,至少应有两个导线点来固定切线方向(如图 12-71 中的  $a$ 、 $b$  点),如有可能应钉出交点,量出转向角  $\alpha$  和外矢距  $E_0$ 。

若沿线路一侧敷设导线,然后用极坐标法测设点位,以此来控制曲线平面位置,称为辅助导线法。如在  $B$  点安置仪器,后视  $A$  点,分别测出  $a$ 、 $b$  点的极坐标要素  $\beta$  及  $D$ 。

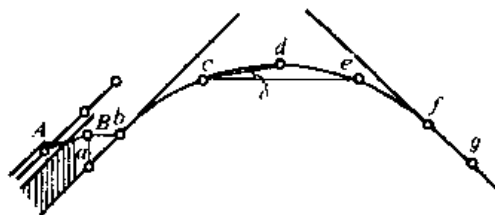


图 12-71

导线应与站内基线联测,这样才能保证站内设备与建筑物之间正确的关系。

#### (2) 计算曲线转向角

若能定出交点位置,则可直接测出转向角;否则,可根据曲线两端直线点的坐标,反算出

切线的方位角来求转向角；若用中线法测绘线路时，把导线有关转角相加，即可得出曲线转向角。

### (3) 计算曲线半径

#### a. 正矢法

从曲线起点开始测量，逐一量出每 20 m 或 10 m 线段的正矢  $f$  后，按下式计算曲线半径  $R$

$$R = \frac{n \cdot \Delta l^2}{8 \sum f} \quad (12-41)$$

式中  $\Delta l$  —— 线段长度；

$n$  —— 正矢的个数。

#### b. 偏角法

如图 12-71， $c$ 、 $d$ 、 $e$  为线路中心上的三点，间距为  $\Delta l$ ，测得  $\angle dce = \delta$ ，则

$$R = \frac{\Delta l}{2 \sin \delta} \quad (12-42)$$

#### c. 外矢法

利用外矢距  $E_0$  和转向角  $\alpha$  计算  $R$

$$R = \frac{E_0}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1} \quad (12-43)$$

### 3. 站内三角线测量

三角线是机车转向的重要设施。三角线曲线要素是通过部分外业实测的资料求算的；三角线的中线位置，可用股道导线法来测定。

现以图 12-72 为例，说明测量的方法。

#### (1) 外业测量

a. 定出岔心  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的位置并安置经纬仪，测出三点连线与辙叉中线的夹角  $\beta$ ；

b. 量出  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点之间的距离  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ；

c. 量出各曲线短弦  $\Delta L$  (20 m 或 10 m) 之正矢  $f_i$ 。

#### (2) 内业计算

a. 计算连线  $L$  与相应曲线的切线间夹角  $\gamma$

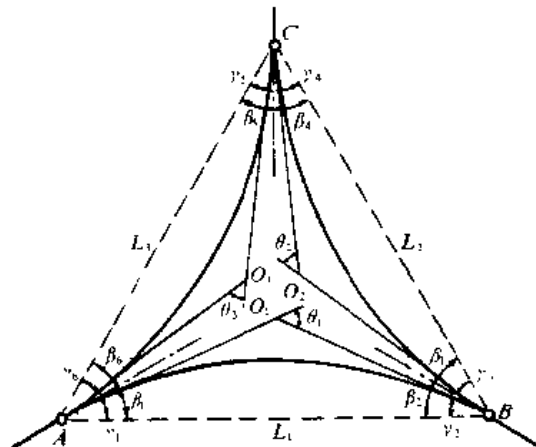


图 12-72

$$\gamma_i = \beta_i - \frac{\alpha}{2}$$

式中  $\alpha$ ——道岔辙叉角。

b. 计算各曲线的转向角  $\theta$

$$\theta_1 = \gamma_1 + \gamma_2, \quad \theta_2 = \gamma_3 + \gamma_4, \quad \theta_3 = \gamma_5 + \gamma_6$$

c. 利用正弦定律, 求出  $\Delta AO_1B$ 、 $\Delta BO_2C$ 、 $\Delta CO_3A$  之边长  $AO_1$ 、 $BO_1$ 、 $BO_2$ 、...

d. 由式 (12-41) 算出半径  $R$ , 然后计算曲线要素, 推算曲线起点到相邻岔心的距离。

由于站场设备多、地物复杂, 站场平面测绘内容除道岔测量和站场线路平面测量之外, 尚有站场客、货运输设备及建筑物、站场排水系统及其它与设计有关的建筑物及设备, 也需要测绘出它们的平面位置。距离用钢尺丈量, 取位至 cm。

#### (四) 站场横断面测量

##### 1. 横断面位置

站内除了在正线公里标、百米标、加标及曲线地段不大于 40 m 处需测横断面外; 根据具体情况, 尚需单独施测支线、专用线、机务段、车辆段、大型货场等的横断面; 车站中心、站台坡顶、站台坡脚、道岔区路基变化处、站内平交道等处, 亦需测量横断面。

##### 1. 横断面宽度

站内横断面宽度应满足设计需要, 一般应测到取土坑或堑顶天沟外缘 5~10 m 处; 在站场改、扩建一侧, 应测至路基设计坡脚或堑顶以外 30 m。

##### 3. 测绘内容

站内横断面除了与区间横断面测量内容相同者外, 尚需在各股道的轨顶、碴肩、碴脚、路肩、排水沟等处有测点; 各股道的间隔、断面方向上遇到的设备均应测量, 如图 12-73。

站内横断面测量, 距离用钢尺丈量, 高程用水准仪测定。距离、高程均取位至 cm。

#### (五) 站场地形测量

站场地形的比例尺一般为 1:2 000, 对于大型站场亦可按 1:1 000 测绘。

站场地形图的测绘范围, 以满足设计需要而确定。对于中间站的测绘, 一般横向为正线每测 150~200 m; 纵向为改建设计进站信号机以外 300~500 m。

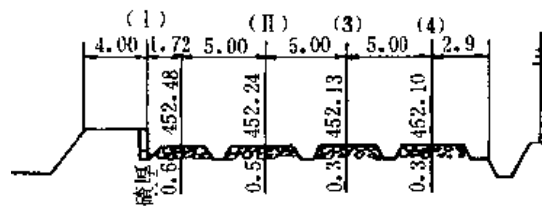


图 12-73