

铁路线路设备技术资料丛书

曲线设备与曲线整正

崔恩波 娄永录 编
帅子嘉 审

中 国 铁 道 出 版 社

1997年·北京

内 容 简 介

本书简略介绍了铁路线路平面曲线和竖曲线的一般特点,着重介绍了曲线轨道设备和轨道方向的整正等方面内容,并附有相关的曲线测设用表等资料,内容较为丰富、新颖,可供从事该专业的有关人员阅读参考,亦可供职工现场培训使用。

目 录

第一章 平面曲线	1
第一节 概述.....	1
第二节 圆曲线.....	3
一、规章、规范的有关规定.....	3
二、最小曲线半径选定原则	3
三、曲线半径与列车运行的制约关系	4
第三节 缓和曲线.....	8
一、缓和曲线的作用和类型	8
二、规章、规范的有关规定	12
三、缓和曲线长度选定的原则.....	17
第四节 夹直线	21
一、规章、规范的有关规定	21
二、夹直线长度与列车运行的关系.....	23
第二章 曲线轨道设备	24
第一节 曲线轨距加宽及外轨超高的设置	24
一、由主要类型车辆确定曲线轨距加宽标准.....	24
二、曲线外轨超高.....	33
第二节 曲线缩短轨的配置	50
一、里股缩短量的计算.....	50
二、缩短轨根数的计算.....	52
三、缩短轨的配置.....	53
第三节 曲线加强的有关规定	57

一、作用于曲线轨道上横向力产生的原因·····	58
二、曲线轨道加强的有关规定·····	59
三、曲线轨道的其它加强设备·····	60
第四节 曲线建筑接近限界及线间距的加宽 ·····	61
一、曲线地段建筑接近限界的加宽·····	61
二、曲线线间距的加宽·····	64
三、曲线加宽计算实例·····	67
第三章 曲线轨道方向的整正 ·····	71
第一节 曲线正矢的计算 ·····	72
一、圆曲线正矢的计算·····	73
二、缓和曲线上整点与半点计划正矢的计算·····	74
第二节 曲线方向的整正 ·····	87
一、绳正法·····	87
二、简易拨道法 ·····	102
三、角图法拨正曲线 ·····	106
四、大型养路机械拨道法 ·····	106
第三节 道岔附带曲线的整正·····	107
一、长弦矢距法 ·····	108
二、支距法 ·····	114
第四节 电算法简介·····	125
一、曲线正矢计算程序框图 ·····	125
二、利用角图法进行曲线拨正计算的程序框图 ···	126
第四章 曲线轨道综合养护简述·····	130
第一节 曲线轨道质量的监控·····	130
一、曲线轨道的静态检查 ·····	130
二、曲线轨道的动态检查 ·····	132
第二节 曲线钢轨养护·····	137

一、曲线钢轨波浪磨耗及防治措施	137
二、曲线钢轨侧面磨耗及防治措施	141
三、曲线钢轨伤损及防治对策	143
四、钢轨接头的综合养护	150
第三节 曲线主要病害的整治	156
一、曲线方向不良	156
二、曲线“鹅头”及接头“支嘴”	157
第四节 曲线养护中的几个问题	158
一、曲线轨道作业	158
二、电气化铁路线路作业应遵守的规定	160
第五章 竖曲线	163
第一节 竖曲线的类型	163
一、圆曲线型竖曲线	163
二、抛物线型竖曲线	167
三、链条型竖曲线	169
第二节 规章、规范的有关规定	170
一、有关规定概述	170
二、相邻坡段最大坡度差的限制	170
三、可不设置竖曲线的坡度差	171
四、竖曲线半径的设计	172
五、竖曲线与轨道设备关系的若干规定	176
第三节 国外高速铁路的竖曲线简介	177
附 录	
一、曲线里股缩短量表	179
二、纵距率表	180
三、附带曲线要素表	182
四、附带曲线始点位置表	183

五、全国各地最高、最低及中间轨温表·····	184
六、圆曲线型竖曲线 T 长度 ·····	186
七、圆曲线型竖曲线纵距 y ·····	189
八、抛物线型竖曲线 L 、 T 、 Y 值 ·····	191

第一章 平面曲线

第一节 概 述

铁路线路的平面线形,无论从运营行车的质量、或是从维修保养方便考虑,都是采用直线为最好。但由于站区设置的需
要、地形地貌的限制、大型建筑物的障碍及地质病害的威胁等
原因,经常要改变走向、展线和绕避。铁路勘测设定的平面导
线,是由若干个不同方向的直线段组成的。两相邻不同方向的
直线段相交为一折角,需用曲线圆顺地联接起来。

我国是个多山的国家,山区铁路曲线占很大的比重。目前
我国铁路正线总延长 71338km,其中曲线 62028 个,延长
21560km,占总延长的 30.2%。表 1—1 列举了几条山区铁路
的曲线分布情况,可以看出曲线所占的比重之大。

表 1—1

线名	正线延展长度 (km)	曲 线 数 量		曲线分布密度	
		个数	长度(km)	占总延长(%)	平均(个/km)
石太	476	801	222	46.6	1.68
宝成	669	982	304	45.4	1.47
成昆	1091	1051	503	46.1	0.96
鹰厦	695	1307	374	53.8	1.88

曲线轨道对行车安全、机车车辆和轨道的磨损、旅客舒适度及能源消耗等方面都存在着严重的问题,特别是小半径曲

线,在运营中长期造成的危害,应引起充分的重视。

在过去的许多年中,我国新建铁路和旧线改造工程、受到施工技术装备、工程投资、竣工期限及其它种种因素的制约,往往偏向于标准的低限。为避开长大隧道和桥渡,尽量依山傍水,曲折迂回。结果使运营里程增长,小半径曲线增多,洪水灾害和塌山落石地段比比皆是,影响了行车速度和输送能力,增加了机车车辆和轨道损耗,且不能保证安全畅通。

近年来,由于施工技术装备的现代化等原因,新建铁路和旧线改造工程,出现新的趋向。京广线的衡(阳)广(州)段,修建复线时,同时对既有线进行了大规模的改造,被改造的地段占全长的 60%,改造的线路营业里程缩短、灾害地段减少,曲线半径加大,行车速度和输送能力提高。表 1—2 对坪石至乐昌间,改造前后作了比较,仅从运营里程缩短 28%,行车速度提高 54%来看,对长期运营的效益是巨大的。它突破了保留小半径曲线可节省投资的传统观念。

京广线坪石至乐昌间旧线改造项目 表 1—2

项 目	原有线路	改造后线路	说 明
营业里程(km)	53. 24	38. 30	缩短 28%
允许最高速度(km/h)	65	100	提高 54%
曲线最小半径(m)	229	600	
曲线个数/km	131/34. 4	27/11. 8	改造后为双线,此处取平均数,以便于比较
曲线占总长的%	64. 6	30. 8	
平均每公里曲线个数	2. 46	0. 72	

第二节 圆 曲 线

一、规章、规范的有关规定

圆曲线是在整个曲线段内保持曲率不变的最基本最简单的曲线形式。在铁路线路中,圆曲线半径的大小,影响到行车速度,运行安全、乘客舒适度等行车质量指标;也影响到修建工程造价和运营维修经费等经济指标。大半径曲线对运营有利,但修建时可能引起较大的工程难度;小半径曲线在修建时施工灵活方便,但可能给运营留下长期的后患。因此《铁路线路设计规范》(以下简称《规范》)规定“设计线路平面的曲线半径应因地制宜、由大到小合理选用”。该规定是要求设计者首先根据地区特点,权衡修建过程和运营过程的利弊,并优先选用大半径曲线。若遇到地形复杂工程艰巨的地段,不得不采用小半径曲线时,应使近似的半径集中在一定的区段内,一方面便于运营后行车速度的掌握,另一方面也为将来的改造集中实施预留条件。

为避免设计的曲线半径过于零乱,使曲线半径简化统一,形成系列,以利于勘测设计和维修养护,《规范》规定:“曲线半径宜采用下列数值:4000、3000、2500、2000、1500、1200、1000、800、700、600、550、500、450、400、350 和 300m”。还规定“特殊困难条件下,可采用上列半径间 10m 整倍数的曲线半径。”

二、最小曲线半径选定原则

最小曲线半径,是修建铁路的主要技术指标之一,历来都是很慎重、很敏感、有争议的问题。由于国情和路情等原因,我国铁路曲线半径的确定,一直停留在低水平上。表 1-3 和表

1—4 列出了 70 年代和 80 年代规范对最小曲线半径的规定，可以看出，没有明显的提高。

(1975 年规范)最小曲线半径(m) 表 1—3

铁路等级	最小曲线半径	
	一般地段	困难地段
I、II	800	400
III	600	350

(GBJ90—85 规范)最小曲线半径(m) 表 1—4

铁路等级	一般地段	困难地段
I	1000	400
II	800	350
III	600	300

《规范》还规定“特殊困难条件下的个别曲线，经技术经济比选和鉴定审批，可采用小于表 1—4 规定的最小曲线半径，但 I、II、III 级铁路分别不应小于 350m、300m、250m”。此段规定是十分重要的，设计人员和决策人员对此段规定的理解和掌握正确与否，涉及到长期的运营质量和效益。规定之所以强调“特殊困难”、“个别曲线”、“比选”、“审批”等前提，不外乎两个含义：第一，尽量不采用；第二，为顾及全线大局，不得不采用时，要考虑到以后有条件改造时的可能性。如果把一般困难都视为特殊困难，把个别曲线放宽到多数曲线，以后线路改造的难度将大增，甚至不可能改善线路平面状况了。

三、曲线半径与列车运行的制约关系

列车在曲线上(特别是小半径曲线)运行时的轮轨作用关

系,是非常复杂的问题,众说纷纭,尚未得出完全一致的结论。但是,轮缘冲击钢轨;车轮踏面在轨面上扭转和滑动;轮重加载或减载;横向力不均衡等现象,以及由此而引起的列车运行特性和后果,是被公认的。

1. 列车驶经曲线时,由于机车轮踏面与钢轨面发生滑动,使粘着系数降低,因而降低了粘着牵引力。曲线半径越小,降低的越显著。见表 1—5。

电力、内燃机车牵引小半径
曲线粘降坡度减缓值(‰) 表 1—5

最大坡度(‰) 曲线半径(m)	4	6	12	20	25	30
450	0.20	0.25	0.45	0.70	0.90	1.05
400	0.35	0.50	0.85	1.35	1.65	1.95
350	0.50	0.70	1.25	2.00	2.45	2.90
300	0.70	0.90	1.65	2.60	3.20	3.80
250	0.85	1.15	2.05	3.25	4.00	4.70

由表可知,小半径曲线(特别是大坡度地段的小半径曲线),使机车有效的牵引力大为降低。

2. 列车在曲线轨道上运行的复杂性,给运行安全造成威胁。据对北京、郑州、兰州、成都等四个铁路局的统计,1981~1990 年的 10 年中,在其营业线上因列车脱轨造成颠覆重大事故共 176 起,其中 124 起发生在曲线上,占 70.5%,而且大多数发生在小半径曲线上。另据日本既有线(轨距 1067mm)统计,在 1972~1978 年间,共发生列车爬轨脱线事故 124 起,其中 100 起发生在曲线上,占 80.6%,大部分也是发生在小半径曲线上(见表 1—6)。由此可见,曲线(特别是小半径曲

线)的安全度明显降低。

3. 列车在曲线上运行,机车车辆和轨道部件的伤损,都较直线严重的多。美国铁路曾对钢轨的寿命系数做过测定,在同样运输条件下,以直线上钢轨的寿命为 1,对各种半径曲线上的钢轨寿命作了比较,见表 1—7。

日本既有线 1972~1978 年

爬轨脱线事故统计 表 1—6

线 型	半径(m)	爬轨脱线件数	所占比例(%)
曲 线	$R<420$	51	41.1
	$420\leq R<820$	42	33.9
	$R\geq 820$	7	5.6
	小计	100	80.6
直 线		24	19.4
合 计		124	100

钢轨寿命系数 表 1—7

曲线度数(°)	0	3.5	4.5	6.5	9.5
换算成半径(m)	直线	498	388	269	184
钢轨寿命系数	1.00	0.61	0.38	0.22	0.10

70 年代,我国铁路对 43kg/m 钢轨的磨耗与曲线半径的关系,进行了测定分析,见表 1—8。

钢轨磨耗系数表 表 1—8

曲线半径(m)	直线	1200	1000	800	600	500	400	300
磨耗系数 (mm ² /Mt)	2.12	2.40	2.50	2.71	3.18	3.65	4.52	6.36
相对比例	1	1.13	1.18	1.28	1.50	1.72	2.13	3.00

原西安铁路局管内的宝成线,1970~1976 年折断的钢轨,97.6%发生在半径 300~600m 的曲线上。

近年来,列车重量和年通过总重增加,曲线轨道伤损相应加剧。表 1—9 是京沪线测定的 60kg/m 钢轨的侧磨率,可以看出,半径 1000m 以上的曲线也发生严重侧磨,使用寿命缩短一半。北京铁路局对大秦线观测,半径小于 800m 的曲线,侧磨速度平均每月达 1mm 以上,侧磨率达 0.55mm/Mt。

京沪线钢轨侧磨率 表 1—9

曲线半径(m)	钢轨侧磨率(mm/Mt)	侧磨控制的钢轨寿命(Mt)
600	0.089	213
1200	0.058	328

轨道结构重型化后,小半径曲线的钢轨出现波磨现象。根据北京铁路局观测统计,石太、丰沙等山区铁路,1986 年以前是 50kg/m 的钢轨,其使用寿命受到侧面磨耗的控制;1986 年逐渐换铺了 60kg/m 钢轨后,波磨跃居为控制钢轨使用寿命的因素。

4. 圆曲线两端增设缓和曲线后,占据了原圆曲线的一部分长度,中间剩余的圆曲线最小长度,规范规定不得小于 20m。在改建既有线和增建第二线时,困难条件下可减至 14m。

现场维修养护,通常用绳正法整正曲线,保持其圆顺性。即用 20m 长的弦线测量现场实际正矢数,与该点的计划正矢数相比较并拨正,至少需要有一个完整的正矢点,因此圆曲线的最小长度不得小于 20m。另外,车辆全轴距 18m(一般取用 20m)范围内,轨道线型不宜多变,以避免影响行车的平稳性。

但是,以前的《设计规范》曾把圆曲线的最小长度定为

14m,并按此标准修建了很多铁路,而且基本上都在困难地段,因此在困难条件下,允许缩短至 14m。

第三节 缓和曲线

一、缓和曲线的作用和类型

1. 在直线轨道上,任何一个横剖面的两股钢轨的轨距和水平都应当是相等的;在曲线轨道上,大多数情况都有设置外轨超高和内侧加宽的必要。圆曲线在切线上的切点,既在曲线上,同时又在直线上,而该点的轨距和水平出现两组不同的数据,形成台阶,不能直接连接。从列车运行的工作状况看,曲线外轨设置超高,是为了平衡离心力,而直线上不存在离心力,如果在切点上离心力突然产生和突然消失,必将造成车体转向架和车钩相对位置的突然改变,引起列车的剧烈震动和摇晃。为了解决这个难题,早在 19 世纪末期,用缓和曲线来联接直线和圆曲线,或联接不同半径的两个圆曲线的方法,已被普遍采用。

世界各国的铁路工程技术人员,对缓和曲线做了大量的研究和试验,曾提出 20 多种缓和曲线。我国长沙铁道学院赵方民教授和同济大学马地泰教授对缓和曲线的研究,都有独特的见解和卓越的成就。

2. 从曲线外轨超高顺坡的形式来看,缓和曲线可分为直线型外轨超高顺坡的缓和曲线和曲线型外轨超高顺坡的缓和曲线两大类,见图 1-1。

在一些发达国家的高速铁路上,基于对线路稳定和旅客舒适度的要求,已经采用了曲线型外轨超高顺坡的缓和曲线。我国现有铁路均采用直线型外轨超高顺坡的缓和曲线,将来

修建高速铁路,也必将用曲线型外轨超高顺坡的缓和曲线取代之。

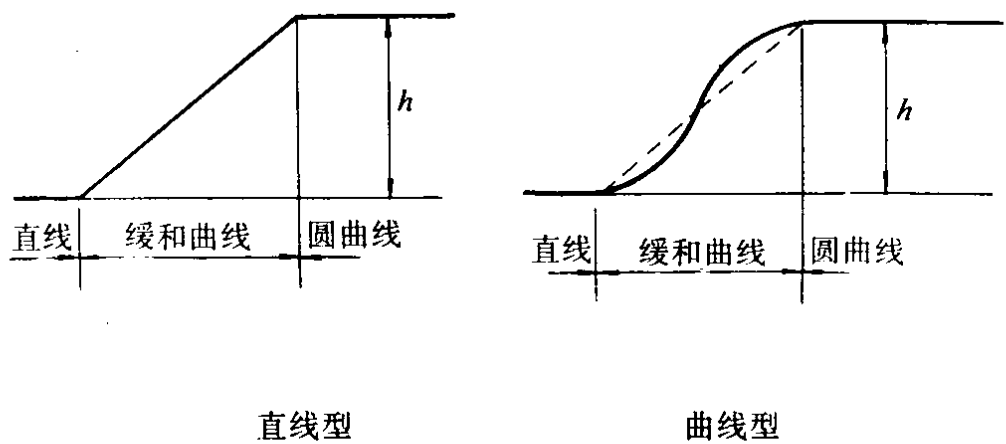


图 1-1 两大类缓和曲线示意图

直线型外轨超高顺坡的缓和曲线,有许多种线形,我国铁路常用的是放射螺形线和三次抛物线两种,它们都必须符合以下四个基本条件:

- (1)在缓和曲线的始点(直缓点),曲线的纵坐标 $y=0$;
- (2)在缓和曲线的始点(直缓点),曲线的倾斜角 $\varphi=0$;
- (3)在缓和曲线的始点(直缓点),曲线的曲率 $k=0$ 或曲率半径 $\rho=\infty$,见图 1-2;

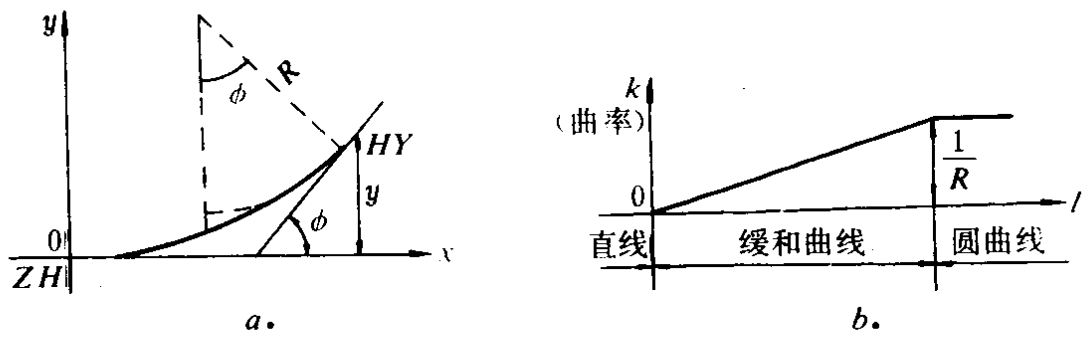


图 1-2 四个基本条件示意图

- (4)在缓和曲线的终点(缓圆点),曲线的曲率 $k=\frac{1}{R}$ 或曲

率半径 $\rho=R$ 。 R 是缓和曲线所联接的圆曲线的半径(见图 1-2b)。

3. 放射螺形线(图 1-3)的曲率变动函数式为

$$k=\frac{l}{RL}$$

式中 k ——放射螺形线任一点的曲率;
 l ——放射螺形线任一点的弧长;
 L ——缓和曲线全长;
 R ——圆曲线半径。

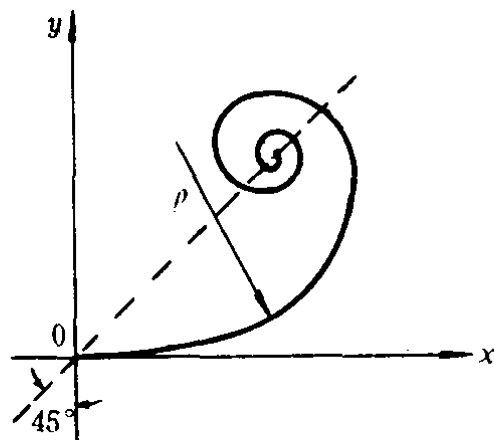


图 1-3

可以看出:在缓和曲线的始点 $l=0, k=0$;

在缓和曲线的终点 $l=L, k=\frac{1}{R}$;

放射螺形线的直角坐标方程式为:

$$y=\frac{x^3}{6Rl}(1+\frac{2x^4}{35R^2L^2}+\frac{293x^8}{237000R^4L^4}+\dots\dots)$$

可以看出,在缓和曲线的始点 $x=0, y=0$;该点是缓和曲线与直线的切点,因而曲线的倾斜角 $\varphi=0$ 。

由以上可见,放射螺形线能够符合缓和曲线的四个基本条件。

4. 三次抛物线的方程式,可用 $y=\frac{x^3}{6RL}$ 表示。以此与放射螺形线的方程式比较,可以说它是简化了的放射螺形线。三次抛物线的曲率变动规律甚为复杂,研究证明,只有中心角小于 $24^{\circ}05'41''$ 的那部分才有作缓和曲线的可能,考虑到其它方面的误差因素,一般限制在 $10^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 的范围内。

图 1-4 是用缓和曲线联接直线和圆曲线的示意图。图中的 AB 和 $A'B'$ 是两端的缓和曲线, BB' 是半径为 R 的圆曲线。 A 和 A' 两个点称为缓和曲线的始点(ZH), B 和 B' 两个点称为缓和曲线的终点(HY), ϕ 是缓和曲线的总中心角。为了能在圆曲线的两端设置缓和曲线, 必须把圆曲线从原来与直线相切的位置向曲线中心方向移动, 以获得缓和曲线的位置。在图 1-5 中, AB 是缓和曲线, A_2BG 就是移动后的圆曲线位置。 $P=A_1A_2$ 是圆曲线的内移距, 被缓和曲线取代了的圆弧 A_2B 的中心角等于缓和曲线 AB 的中心角 ϕ 。研究证明, 缓和曲线的总中心角 $\phi = \frac{L}{2R}(\text{rad})$ 。

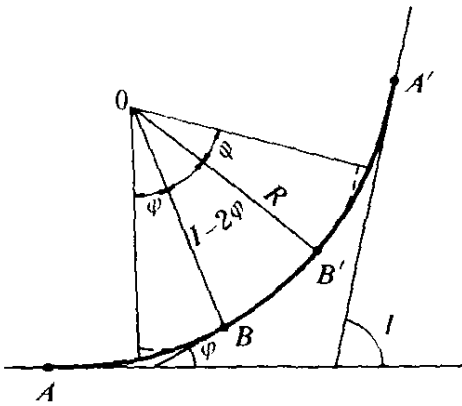


图 1-4

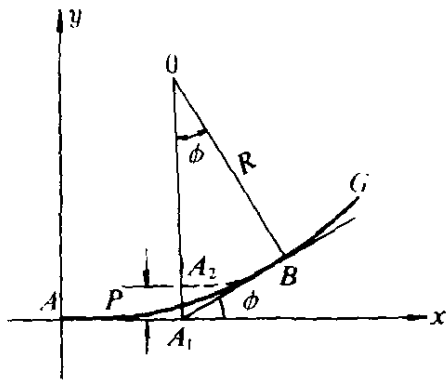


图 1-5

我国铁路根据旅客列车现行的最高速度并考虑到发展提高的可能性, 认为采用三次抛物的线型是可行的, 它线型简单, 测设和维修方便, 长度短而实用。

二、规章、规范的有关规定

1. 《规范》规定: 直线与圆曲线间应采用缓和曲线连接。