

ሐዘን ለሐዘን ሆኖ ለሐዘን ሆኖ

方面的帮助,在此表示衷心的感谢。

本书的编写限于笔者的理论水平和实践经验,肯定有不少写得不妥当甚至错误的地方,敬请读者批评指正。



编著者

1995年4月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书简明扼要地阐述了铁路线路平面曲线、竖曲线地段,轨道的特点和曲线轨道设计有关的计算原理、方法。全书共分七章,内容包括引论,曲线外轨超高,缓和曲线线型,曲线方向整正,竖曲线,曲线内股缩短轨的布置,曲线的维修养护等。

书中关于缓和曲线类型设计提出的统一计算方法等,是作者具有独创性的研究成果。其论文被专家评为有重大学术意义和理论价值的作品。它的实用意义在于为高速和准高速铁路缓和曲线的选型,提供了新的计算途径。

铁路曲线及曲线养护

吴耀庭 主编

吴耀庭 池奉林 张正江 编著

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 陈 健 封面设计 赵敬宇

各地新华书店经售

北京顺义板桥印刷厂印刷

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:6.625 字数:169 千

1995 年 12 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—4 000 册

ISBN7-113-02116-6/TU·464 定价:8.30 元

前 言

本书简明扼要地阐述了线路平面曲线、竖曲线的基本计算原理和方法,并尽量介绍了这方面的最新研究成果。近几年来修订出版的有关技术规范和规则是编写时的主要依据。在编写时主要着重于原理和方法的阐述,务使读者不但知其然,而且要知其所以然。

在第一章引论中,简略介绍了我国普通铁路、准高速铁路和拟议中的京沪高速铁路的曲线技术条件与要求,并附录了国外几个主要国家的曲线技术条件供参考。

在曲线外轨超高一章中,着重叙述未被平衡超高及其允许值,为后面的缓和曲线内容的需要作准备。

在缓和曲线这一章中,用了较多的篇幅讲述缓和曲线的线型设计问题。对于缓和曲线理论的发展,不应该忘记马地泰教授所作出的贡献。马地泰教授在他的专著《铁路缓和曲线理论和类型》的第二章中,首先导出了中心对称缓和曲线的若干通用公式。本书中吸取了他的成果,并作了专节介绍。本书在叙述缓和曲线线型设计时,根据缓和曲线边界条件 $k', k'', k''' = 0$ 的内在联系采用了模式方程法。此方法的优点在于能将各种缓和曲线线型都归纳到统一的模式方程中来,且推导方法规律化,概念清楚,说理简明,可为今后高速铁路缓和曲线的选型提供一个新的参考。对缓和曲线应满足的条件中的力学条件,本书采用未被平衡横向加速度和外轮升高速度来描述,这样可以与计算缓和曲线长度的舒适度条件前后相呼应,比用车辆回转角速度来叙述直观得多。

曲线方向整正是曲线养护工作中的重要内容。本书中首先略述了渐伸线原理和计算渐伸线的方法。这对弄通校正曲线计算方

法是很重要的。然后重点而系统地介绍了绳正法曲线拨道的计算方法。绳正法始见于 30 年代美国的 Pickels 和 Wiley 二氏的《Route Surveying》一书。40 年代我国杨培璋教授首先得出了现在仍沿用的“流水法”和“简易法”两种拨道计算公式。50 年代黄翮飞工程师和童大坝教授都进一步地发展了绳正法。1960 年英国 Jenkins 的《Curve Surveying》一书中虽有专章介绍绳正法,但没有新的内容。在我国,60 年代至 80 年代虽然也出版了这方面的书籍,但在理论和方法上多沿用绳正法拨道计算。此法对里程的确定计算方法比较繁杂。本书中介绍了一种新的简化算法,其精度完全能满足要求,而计算工作量确可大大地节省,尤其是复曲线。本书中较好地解决了复曲线的拨道计算问题。为了适应今后高速铁路的需要,对高次缓和曲线的拨道计算方法也作了介绍。高次缓和曲线的正矢计算,如采取常用的方法,难度较大。本书中采用了刘思社工程师的差分法,不但简化了计算,还为计算程序化提供了条件。

在竖曲线一章中,除介绍了常用的圆曲线型和抛物线型两种竖曲线外,考虑到既有曲线改造和线路大修时为了减少工程量或消灭断钩处所,还介绍了短坡竖曲线,并列举了较详细的算例。

在曲线内股缩短轨的布置一章中,除叙述常用的计算方法外,还考虑了钢轨长度公差对钢轨接头位置的影响。

最后一章结合现行的维修规则,介绍了曲线维修与养护的工作方法。

本书编写人员分工如下:

第一章引论、第二章曲线外轨超高、第三章缓和曲线和第四章曲线方向整正由广州铁路局吴耀庭高级工程师执笔;第五章竖曲线由沈阳铁路局张正江高级工程师执笔;第六章曲线内股缩短轨的布置和第七章曲线维修与养护由北京铁路局池奉林高级工程师执笔。全书由吴耀庭补充、修改定稿。书中大部分插图由铁道部株洲车辆工厂吴华同志协助绘制。

本书的责任编辑陈健同志对全书内容的组织与选取给予了多

目 录

第一章 引 论	1
第一节 曲线的分类.....	1
第二节 曲线的技术条件与要求.....	2
一、平面曲线	2
二、竖 曲 线	8
第二章 曲线外轨超高	11
第一节 外轨超高的计算	11
一、超高计算公式.....	11
二、行车速度的测定.....	16
第二节 未被平衡超高容许值	18
第三节 曲线上外轨最大超高的限制	20
第四节 曲线上允许的最高行车速度和未被 平衡超高的检算	22
第五节 超高算例	23
第六节 曲线外轨超高顺坡	25
第三章 缓和曲线	28
第一节 缓和曲线应满足的条件	28
第二节 缓和曲线的通用公式及其特性	31
一、缓和曲线的参变方程.....	31
二、缓和曲线的曲率.....	32
三、缓和曲线的中心角.....	33
四、缓和曲线的纵坐标.....	34
五、圆曲线的内移量和起点后退距离.....	35
六、缓和曲线的一个重要特性.....	35

第三节 缓和曲线的模式方程及其基本线型	36
一、缓和曲线的模式方程	36
二、缓和曲线的基本线型	36
第四节 缓和曲线线型设计	37
一、一段式曲线	39
二、二段式曲线	45
三、三段式曲线	49
第五节 缓和曲线线型总结	64
第六节 缓和曲线长度的计算	68
一、保证行车安全	68
二、保证旅客的舒适度	68
第四章 曲线方向整正	72
第一节 渐伸线原理	72
一、渐伸线定义	72
二、渐伸线的计算公式	72
第二节 渐伸线的计算方法	73
一、既有曲线测设方法略述	73
二、用绳正法计算渐伸线	74
第三节 拨量计算	76
一、流水法公式	77
二、简易法公式	78
三、绳正法曲线拨量计算公式的又一推导方法	78
第四节 曲线正矢计算	80
一、圆曲线正矢	81
二、三次缓和曲线正矢	82
第五节 曲线转角计算	85
第六节 曲线上正矢总和	86
一、整个曲线上的正矢总和	86
二、缓和曲线上的正矢总和	86
第七节 曲线里程计算	87

一、常用计算法	37
二、简化计算法	91
第八节 整正曲线的基本原则和要求	93
一、整正曲线的两个基本原则	93
二、整正曲线的两个基本要求	93
第九节 曲线拨道计算例题	95
一、流水法拨道计算	99
二、简易法拨道计算	107
第十节 复曲线拨道计算	110
一、复曲线的渐伸线图及其绘制	110
二、复曲线上圆圆(YY)点坐标的计算	112
三、中间缓和曲线的长度和里程的计算	113
四、中间缓和曲线的方程式及其性质	113
五、中间缓和曲线正矢的计算	115
六、两圆直接相连时,圆圆(YY)点附近两点 正矢的计算	119
七、复曲线拨道计算例题	121
第十一节 曲线上有控制点时拨道计算的特点	130
第十二节 曲线型超高顺坡时的缓和曲线 拨道计算方法	133
第十三节 道岔连接曲线的整正	141
第五章 竖曲线的设置和计算	145
第一节 设置竖曲线的要求	145
一、竖曲线类型	145
二、竖曲线设置要求	147
第二节 竖曲线的设计计算	148
一、圆曲线形竖曲线	148
二、抛物线形竖曲线	153
三、连续短坡计算	164
第三节 竖曲线比较和纵断面接坡方法	166

一、几种竖曲线优缺点	166
二、线路纵断面接坡方法	167
第六章 曲线内股缩短轨的布置	172
第一节 曲线内股缩短量的计算	172
一、圆曲线内股缩短量	172
二、缓和曲线内股缩短量	173
三、曲线内股总缩短量 E_g	173
第二节 厂制缩短轨的适用范围	173
第三节 缩短轨需要量的计算及其布置	174
一、曲线外轨铺设标准长度钢轨的根数 N_0	174
二、曲线内股需要缩短轨的根数 N	174
三、缩短轨的布置	174
四、算例	175
第四节 曲线上成段更换钢轨时空头与搭头的计算	178
第七章 曲线维修与养护	181
第一节 优质曲线	181
第二节 曲线方向整正	182
一、曲线方向不良产生的原因	182
二、曲线方向整治措施	185
第三节 小半径曲线上无缝线路的养护维修	189
一、严格控制作业轨温	190
二、影响无缝线路稳定性的作业注意事项	190
三、无缝线路地段曲线方向的整正	190
四、防止胀轨跑道	191
第四节 曲线加强设备	191
一、木枕地段	191
二、混凝土枕地段	192
三、轨道加强设备伤损标准	193
第五节 防止钢轨磨耗	193

一、正确设置曲线外轨超高	193
二、按新标准做好轨距加宽	193
三、慎重设置轨底坡	194
四、坚持钢轨涂油	195
五、提高钢轨材质,增加抗磨性能	196
第六节 钢轨波形磨耗的防治	196
一、钢轨波形磨耗概述	196
二、波形磨耗的成因及特点	197
三、波磨的防治	198
第七节 建立曲线养护制度	198
一、检查制度	198
二、拨道制度	199
三、坚持曲线涂油制度	199
四、测量行车速度	199

第一章 引 论

第一节 曲线的分类

铁路线路在空间的位置,是由线路的平面和纵断面所决定的。线路平面是指线路在水平面上的投影。线路纵断面是指线路纵向展开后在竖直面上的投影。

线路平面由若干直线所组成,在相邻两直线的连接处用圆曲线连接。列车在曲线上行驶时产生离心力。为了平衡离心力,外轨设有超高。超高是按平均速度设置的。当列车速度高于平均速度时,产生欠超高;当列车速度低于平均速度时,产生余超高。在小半径曲线上,还将轨距适当加宽,以利列车顺利通过。所有这些直线上都不存在。为了消除这些影响,于是在直线与圆曲线之间加设变曲率的缓和曲线予以过渡。一般圆曲线两端的缓和曲线是等长的;有时因某些原故,也可以是不等长的。

如果因地形限制或其他原因,而不能用单圆曲线连接相邻两直线时,可以用两个或两个以上曲率方向不同的不同半径的圆曲线连接,这样的曲线称为复曲线。因半径不同,外轨超高也不同。如相邻两圆曲线的曲率差小于或等于 $\frac{1}{2000}$ 时,可以直接相连;如相邻两圆曲线的曲率差大于 $\frac{1}{2000}$ 时,应加设中间缓和曲线。

中间缓和曲线的一端为小圆,另一端为大圆;普通缓和曲线的一端为圆曲线,另一端为直线,直线的曲率为零,即半径为 ∞ ,若半径不为 ∞ 而为大圆时,这样的缓和曲线就是复曲线的中间缓和曲线。所以说,常用的缓和曲线实际上是复曲线中间缓和曲线的特例。同样,两圆曲线直接相连的复曲线,如大圆的半径为 ∞ 时,这个复曲线就变成单圆曲线。

表 1-2

$V_{\max}$	$V_{\text{货}}$	一般地段	困难地段	个别地段
160	70	1600	1400	1400
200	70	3000	2600	2200

拟议中的京沪高速铁路(客车专线)的 $R_{\min}$ 见表 1-3。

表 1-3

速 度	一般地段	困难地段
250/140	3500	3000
350/160	7000	6000

2. 超高

(1) 允许的最大超高 h 。

外轨超高是有一定限度的,一是要保证列车一旦在曲线上停车,若遇到大风时,不致使列车有颠覆的危险;二是各次列车的行车速度不同,所产生的未被平衡横向加速度,不致相差太大。我国规定各种铁路上的允许最大超高 h_0 均为 150mm。

(2) 允许最大的欠超高 $\Delta h_{\text{欠}}$ 。

在普通铁路上,客车的速度一般都大于平均速度,客车通过曲线时产生欠超高。允许最大的欠超高 $\Delta h_{\text{欠}}$ 决定于旅客乘车的舒适度。《维规》规定:一般不大于 75mm,困难时不大于 90mm,个别情况下不得大于 130mm。

广深准高速铁路上规定:一般地段为 90mm,困难地段为 110mm,个别地段 130mm。

京沪高速铁路上允许的最大欠超高:一般地段 90mm,困难地段 110mm。

(3) 允许最大的余超高 $\Delta h_{\text{余}}$

在普通铁路上,货车的速度一般都小于平均速度,货车通过曲线时产生余超高。余超高的危害比欠超高大得多。余超高过大,容易使货物移位,由于外轮荷载的减轻,可能使外轮爬上钢轨而造

成脱轨事故。

在高速铁路上,余超高常发生在中速或准高速客车上。广深准高速铁路为客货混运线,根据国外经验,允许最大的余超高值主要是由经济上的合理性这一条件确定的。而高速客车线上,客车轴重比货车要小,允许值可以适当放宽。广深准高速铁路上的允许余超高为 160km/h 地段 60mm,200km/h 试验段 50mm。

京沪高速铁路上,一般地段为 75mm,困难地段为 90mm。

3. 缓和曲线的线型与长度

缓和曲线的基本线型是三次螺旋线,外轨超高顺坡是直线形的,曲线两端有折角存在,列车通过时产生摇晃,降低了旅客的舒适度。当速度不断提高后,应采用曲线形的超高顺坡,以消除端点的折角。曲线形超高顺坡的缓和曲线为高次缓和曲线,种类繁多,计算复杂,铺设与养护都比较困难。为了降低曲线的次数,常将曲线分成二段,使其在中点相连,但整个曲线仍然是曲线形的。为了改善铺设与养护条件,在曲线中部插入一段直线形超高顺坡的三次曲线,而两端仍是曲线形的,这样就形成了三段式的缓和曲线。缓和曲线的线型详见后面的第三章。

高次缓和曲线只是解决了曲线端点的连接条件,缓和曲线当中的变化情况应由缓和曲线的长度来解决。缓和曲线的长度取决于列车运行的安全度和旅客乘车的舒适度。当列车进入缓和曲线时,外轮升高,前轴内轮离开轨面呈悬空状态。若悬空高度超过轮缘高度时,可能会导致车轮脱轨,超高顺坡坡度 i 就是根据悬空高度不超过轮缘高度这一要求决定的。外轮升高时,产生了未被平衡的横向加速度和升高速度,这两个速度都是以旅客不会感受到任何不愉快的感觉为限。《铁路线路维修规则》(以下简称《维规》)中对普通铁路只规定了车轮升高速度(超高时变率) $f = 32\text{mm/s}$, $i = \frac{h}{l} = \frac{1}{9V}$; 困难时 $f = 40\text{mm/s}$, $i = \frac{h}{l} = \frac{1}{7V}$ 。但 i 都不能超过 2%。(V 为线路容许速度)。

广深准高速铁路上的超高时变率与《维规》中的规定相同,欠

超高时变率($\Delta h'$)采用(45 ~ 51)mm/s。京沪高速铁路上均采用45mm/s。

根据这三者算得的缓和曲线长度取其大者,并取整为10m的倍数。曲线形超高顺坡的缓和曲线长度再乘以展长系数。

复曲线中间缓和曲线的长度按计算决定,但不应短于20m。

4. 圆曲线的最小长度

两缓和曲线之间的圆曲线长度一般不应小于20m,为的是不使同一车辆同时跨在两个缓和曲线上(客车的全轴距为18m)。从养护维修方面考虑,为保持曲线圆顺,也希望圆曲线上至少有两个正矢点,以便绳正曲线,故也不应小于20m。

由于按1961年《铁路线路设计规范》(以下简称《设规》)中圆曲线最小长度14m修建了大量的铁路,在改建既有线或增建第二线时,如按20m要求将引起大量工程时,圆曲线最小长度仍可采用14m。

广深准高速铁路上的最小圆曲线长度见表1-4。

表1-4

V(km/h)	一般地段(m)	困难地段(m)
160	100	70
200	120	90

特殊困难条件下,如按表1-4要求将引起大量工程时,可用20m。

5. 两曲线间的夹直线长度

两相邻曲线的曲率方向相同时称为同向曲线;曲率方向相反时称为反向曲线。

相邻两曲线间的夹直线长度,应从下面三个方面来考虑:

(1) 养护维修的要求

为了能正确保持直线方向,夹直线长度不宜短于2~3根钢轨,即50~75m,至少也要有一根钢轨在直线上,即不短于25m。

(2) 行车平稳的要求

列车从一个曲线经过夹直线转至另一个曲线的运行过程中,由于外轨超高的变化引起车辆的横向摇摆。为了减缓这种变化过程,使列车平稳运行,夹直线长度最好不宜短于2~3节客车长度,即50~75m,最少也应有一节客车长度,即25m。

(3) 为了避免列车连续通过缓和曲线起、终点产生的冲击振动频率,与车辆自振频率相吻合而发生振动迭加或共振,夹直线长度 L 应按下式计算:

$$L = \frac{V \times T}{3.6} (\text{m})$$

式中 T ——车辆自振周期(s);

V ——行车速度(km/h)。

《设规》中规定普通铁路的夹直线长度如表1-5。

表 1-5

铁路等级	一般地段(m)	困难地段(m)
I	80	40
II	60	30
III	50	25

改建既有线和增建第二线时,如按上述标准将引起大量工程时,I、II、III级铁路可分别缩短至30m、25m、20m。

广深准高速铁路上的夹直线最小长度见表1-6。

表 1-6

$V(\text{km/h})$	一般地段(m)	困难地段(m)
160	100	70
200	120	90

广深准高速铁路属既有线路改建,为了减少改建工程量,个别地段允许反向曲线的相邻两缓和曲线直接相连。

6. 连接曲线

道岔后连接曲线的半径不得小于该道岔的导曲线半径,但也不宜大于导曲线半径的 1.5 倍。因曲线长度较短,不设缓和曲线。

道岔与连接曲线之间应有一个过渡的直线段,其长度以能满足超高顺坡和轨距加宽的需要。如设置的超高和轨距加宽均为 15mm,顺坡率和加宽递减率均为 2‰ 时,则需要 7.5m 的直线段。困难条件下或道岔后的两线间距较小时,不得小于 6m,则顺坡率不得大于 2.5‰;加宽递减率不得大于 3‰。

7. 小半径曲线轨距加宽

为了使机车车辆能顺利通过曲线,尽可能减少行车阻力,轮轨磨损及机车车辆对轨道的破坏,在小半径曲线上,轨距应适当加宽。我国的旧加宽标准是按固定轴距为 4m 作为计算依据的,这既不符合实际情况,加宽的半径范围也较广。目前,我国多数货车的固定轴距为 1.75m,客车的固定轴距最大为 2.7m。新的加宽标准是以固定轴距最大的车辆能以“自由偏转”的位置,即车辆转向架(两轴转向架)的前轴外轮导向,而后轴内外轮轮缘和钢轨之间呈无横向作用力的状态,顺利通过曲线时计算轨距加宽值。然后用最大轴距的机车和少数固定轴距最大的车辆,对按车辆要求所确定的轨距加宽值进行检算,并考虑在最不利的条件下,车轮踏面在轨头上的覆盖面不少于 30mm 的要求,来确定新的加宽标准。

《技规》中对轨距加宽的规定如下:

(1) 新建、改建及成段更换轨枕的线路大修地段,按表 1—7 规定标准。

表 1—7

$R(\text{m})$	加宽值(mm)
$R \geq 350$	0
$350 > R \geq 300$	5
$R < 300$	15

(2) 其他线路按表 1—7 规定标准逐步改建,在未改建前可维