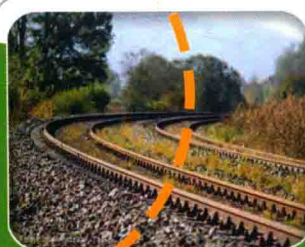


铁路曲线

养护维修作业及现场病害

杨 辉 刘小锋 主编
黄北川 邹堂生



中国铁道出版社有限公司
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE CO., LTD.

铁路曲线养护维修作业及现场病害

杨 辉 刘小锋 主编
黄北川 邹堂生

中国铁道出版社有限公司

2019年·北京

内 容 简 介

本书从铁路曲线日常养护实际出发,以平面曲线、竖曲线、曲线养护维修、曲线病害分析四个方面为重点,大量运用现场病害案例和图片,较为完整的阐述了曲线的要素及病害分析、整治方法。

本书图文并茂,贴近现场实际,适用于铁路工务系统技术人员、一线职工和大专院校相关专业学生学习参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

铁路曲线养护维修作业及现场病害/杨辉等主编. —北京:
中国铁道出版社有限公司,2019.5
ISBN 978-7-113-25621-0

I. ①铁… II. ①杨… III. ①曲线-轨道(铁路)-铁路养护
②曲线-轨道(铁路)-维修 IV. ①U216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 044386 号

书 名:铁路曲线养护维修作业及现场病害
作 者:杨 辉 刘小锋 黄北川 邹堂生

策 划:邱金帅
责任编辑:邱金帅 编辑部电话:010-51873347 电子信箱:shuai827@gmail.com
封面设计:崔丽芳
责任校对:焦桂荣
责任印制:高春晓

出版发行:中国铁道出版社有限公司(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京柏力行彩印有限公司

版 次:2019年5月第1版 2019年5月第1次印刷

开 本:700mm×1000mm 1/16 印张:11.5 字数:185千

书 号:ISBN 978-7-113-25621-0

定 价:48.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

铁路曲线,一直是铁路工务部门技术含量较高、养修难度较大的重要设备之一,并随着铁路运输日趋高速和重载化发展,加重了列车对曲线轨道的破坏,造成了曲线轨道病害日益复杂而多样化。因此在整治曲线病害过程中,既能用较少的人工,又能达到最佳整治效果,成为铁路工务系统广大技术管理人员和一线职工不懈追求的永久课题。

本书从铁路曲线日常养护实际出发,不局限于单纯介绍曲线结构及现场养护维修作业,难能可贵的是,为提高工务系统广大技术人员、一线职工和大专院校相关专业学生学习的兴趣,相关章节运用了大量现场曲线病害图片,重点讲述每种曲线病害产生的原因和整治方法,旨在编写本书能够做到三个突破:

一是本书总结归纳出曲线常见病害 22 种,突破了以往我们固定的认为曲线只有 4 种常见病害(即曲线方向不良、曲线“鹅头”、接头支嘴、钢轨磨耗),极大丰富了曲线病害的种类;

二是本书图文并茂地运用了大量现场曲线病害案例及图片,突破了以往介绍曲线时多以枯燥的文字为主,极大调动了广大技术人员和一线职工的学习热情,更加直观、贴近现场;

三是本书在分析曲线病害时,突破了专业局限性,不仅从工务专业查寻病害源头,而且从机车、钢轨生产、行车速度等多方面、多角度查找

原因,极大拓宽了工务技术人员和一线职工的视野。

在编写、审定本书过程中,得到了中国铁路广州局集团有限公司职工教育处、工务处及海口综合维修段等一线工务部门全力协助和支持;同时也参考了相关文献资料,由于涉及太多,不能一一列举,在此一并表示感谢。限于编者工作环境所限及编写时间仓促,书中难免有不当和需要完善之处,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2019年2月

目 录

第一章 平面曲线	1
第一节 曲线分类	1
第二节 曲线要求及技术条件	2
第三节 曲线超高设置	9
第四节 曲线轨距加宽	19
第五节 缓和曲线	21
第二章 竖曲线	28
第一节 竖曲线分类	28
第二节 竖曲线有关规定	28
第三节 竖曲线技术条件及计算	31
第三章 曲线养护维修	37
第一节 曲线绳正法拨道基本原理及要求	37
第二节 曲线绳正法拨道正矢计算	40
第三节 曲线绳正法拨道量计算	48
第四节 曲线缩短轨配置及成段更换钢轨	54
第五节 道岔连接曲线	59
第四章 曲线病害分析	63
第一节 曲线晃车	63
第二节 曲线方向不良	70
第三节 曲线接头病害	72
第四节 缓和曲线段轨顶面车轮轧伤	79

第五节	“麻点”式轨面擦伤	82
第六节	曲线下股轨顶面外侧单边肥边	88
第七节	曲线下股轨顶面内外侧双边肥边	92
第八节	曲线轨距不良	98
第九节	曲线接头支嘴	103
第十节	曲线上股侧面磨耗	108
第十一节	曲线“鹅头”	113
第十二节	无缝曲线焊接接头不良	116
第十三节	曲线钢轨折断	129
第十四节	曲线高低不良	136
第十五节	无缝线路曲线不良	138
第十六节	“三无”曲线病害	140
第十七节	曲线暗坑吊板	145
第十八节	曲线水平加速度超限	153
第十九节	两反向曲线间无夹直线或夹直线过短	156
第二十节	曲线道床不良	160
第二十一节	曲线轨道零部件不良	167
第二十二节	小半径曲线不良	172
参考文献		177

第一章 平面曲线

铁路线路在平面上转向时,中间必须借助曲线来完成,这种曲线称为平面曲线;铁路线路在纵断面上变化坡度时,在坡度差满足条件下,中间亦须借助曲线来完成,这种曲线称为竖曲线。

第一节 曲线分类

铁路线路在空间的位置,是由线路的平面和纵断面决定的。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,产生过超高。在小半径曲线上,还将轨距适当加宽,以利列车顺利通过。而所有这些现象直线上都不存在,为了消除这些影响,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;有时因某些缘故,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相同、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表 1-1 中规定的数值时,可以直接相连;如相邻两圆曲线的曲率差大于表 1-1 规定的数值时,应加设中间缓和曲线。

表 1-1 复曲线可不设中间缓和曲线的两圆曲线的最大曲率差

超高顺坡坡度 i_0 (%)		1.8	1.4	1.2	1.0
设计行车速度 v (km/h)		80	100	120	140
曲率差 ($1/\Delta R$)	计算值	1/1 118	1/2 184	1/3 773	1/5 992
	采用值	1/1 000	1/2 000	1/4 000	1/6 000

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,即半径为无穷大,若半径不为无穷大而为大圆时,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,如大圆的半径为无穷大时,这个复曲线就变成单圆曲线。

平面曲线还包括道岔侧向与相邻平行线路间的连接曲线。

第二节 曲线要求及技术条件

一、曲线基本要素

如图 1-1 所示,曲线的基本要素为:

- (1) 曲线的转向角 α (转向角和线路中心角相等);
- (2) 曲线半径 R (即圆曲线半径);
- (3) 曲线切线长 T ;
- (4) 曲线外矢距 E ;
- (5) 曲线全长 L ;
- (6) 缓和曲线长 l_0 。

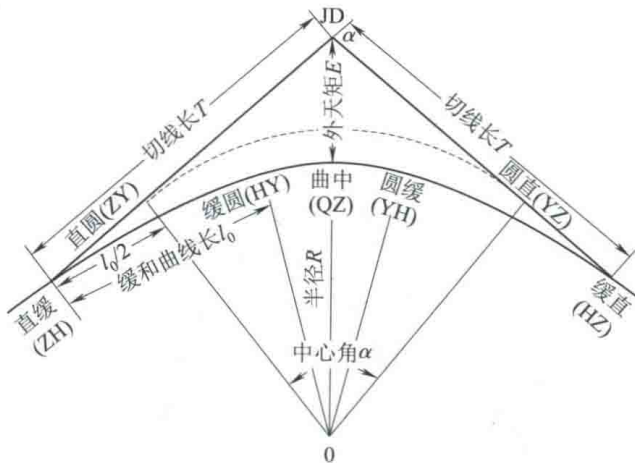


图 1-1 曲线要素

ZY—单圆曲线始点(直圆点);YZ—单圆曲线终点(圆直点);ZH—缓和曲线始点(直缓点);

HZ—缓和曲线终点(缓直点);HY—缓和曲线与圆曲线之交点(缓圆点);

YH—圆曲线与缓和曲线之交点(圆缓点);JD—两切线的交点;QZ—整个曲线的中央点(曲中点)

图 1-1 中虚线为无缓和曲线的情况,实线为有缓和曲线的情况。

二、曲线种类

- (1)单曲线:只有一个半径的曲线。
- (2)复曲线:由两个或两个以上不同半径组成的曲线。
- (3)同向曲线:两相邻曲线转向角方向相同的曲线。
- (4)反向曲线:两相邻曲线转向角方向相反的曲线。

三、曲线半径

根据所经地区不同的地形条件,铁路线路可选择一定的交角(转向角)和曲线半径。转向角愈小,列车运行条件愈好。因此,若地形条件允许,应尽量采用大半径、小转向角曲线,但半径太大了,又难以保持正确的位置。曲线半径也不能太小,否则将影响行车速度,因此《铁路技术管理规程》规定,不同等级的铁路,有不同的最小曲线半径。

1. 圆曲线最大半径 R_{\max}

总的来说,大半径曲线比小半径曲线有很多优越性,但事物总是一分为二的,若半径过大,当达到一定程度则对运营并无显著改善,但因矢距值过小,曲线很难保持正确形状,往往容易形成折线,反而增加了养护的困难,因此需要对曲线半径给予一定的限定。《铁路技术管理规程(高速铁路部分)》规定:最大曲线半径为 12 000 m。

2. 圆曲线最小半径 R_{\min}

全线或某一区段的最小曲线半径就是该线或该区段最小曲线半径的允许值,它是铁路的主要技术标准之一,与铁路等级、行车速度、地形等自然条件有关,一般在初步设计阶段,经过比选确定。特殊困难条件下的个别曲线,结合技术条件、经济条件进行比选确定最小曲线半径,但 I、II、III 级铁路应分别不小于 350 m, 300 m, 250 m。

最小曲线半径系根据理论计算,并结合经济和安全养护等条件确定的。其理论计算公式如下:

(1)满足欠超高要求的最小曲线半径

$$R_{\min} = \frac{11.8v_{\max}^2}{H_{\text{实}} + \Delta H_c} \quad (1-1)$$

(2)满足过超高要求的最小曲线半径

$$R_{\min} = \frac{11.8(v_{\max}^2 - v_{\min}^2)}{(\Delta H_c + \Delta H_g)} \quad (1-2)$$

式中 v_{\max} ——旅客列车最高行车速度(km/h);

v_{\min} ——货物列车设计行车速度(km/h);

$H_{\text{实}}$ ——实设超高(mm);

ΔH_c ——允许欠超高(mm);

ΔH_g ——允许过超高(mm)。

总之,在具体地段选用曲线半径时,原则上不应小于全线或某一区段的最小允许半径。到底采用多大值,要结合地形条件、地质条件,因地制宜,由大到小,合理选用。同时还应考虑线路纵断面,不能因所选半径过小而限制行车速度。因此,为了勘测设计、养护维修工作的方便和适应地形、地物、地质条件的需要,一般采用下列各种曲线半径:12 000 m、10 000 m、8 000 m、7 000 m、6 000 m、5 000 m、4 500 m、4 000 m、3 500 m、3 000 m、2 500 m、2 000 m、1 800 m、1 600 m、1 400 m、1 200 m、1 000 m、800 m、700 m、600 m、550 m、500 m、450 m、400 m、350 m 和 300 m。特殊困难条件下,可采用上列半径间 10 m 整数倍的曲线半径。

《铁路技术管理规程》规定普速铁路、高速铁路区间线路最小曲线半径见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 普速铁路区间线路最小曲线半径(m)

铁路等级	I			II	
路段设计行车速度(km/h)	200	160	120	120	80
一般	3 500	2 000	1 200	1 200	600
困难	2 800	1 600	800	800	500

表 1-3 高速铁路区间线路最小曲线半径

路段设计行车速度(km/h)		最小曲线半径(m)	
200	客运专线	一般	2 200
		困难	2 000
250	有砟轨道	一般	3 500
		困难	3 000
	无砟轨道	一般	3 200
		困难	2 800
300	有砟轨道	一般	5 000
		困难	4 500
	无砟轨道	一般	5 000
		困难	4 000
350	有砟轨道	一般	7 000
		困难	6 000
	无砟轨道	一般	7 000
		困难	5 500

四、超 高

1. 允许最大超高 H_0

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。我国铁路线路修理规则规定:普速铁路有砟轨道实设最大超高,在单线上不得大于 125 mm,在双线上不得大于 150 mm,无砟轨道实设最大超高不得大于 150 mm;高速铁路有砟轨道超高最大值一般不得超过 150 mm,在困难条件下仅运行客车的线路不得超过 170 mm;高速铁路无砟轨道超高最大值不得超过 175 mm。

2. 允许最大欠超高 ΔH_c

(1)在普速铁路,客车速度一般都大于平均速度,客车通过曲线时产生欠超高,因此允许最大的欠超高 ΔH_c 决定了旅客乘车的舒适度。《普速铁路线路修理规则》规定:未被平衡欠超高不应大于 75 mm,困难情况下不应大于 90 mm,但允许速度大于 120 km/h 线路个别特殊情况下已设置的 90(不含)~

110 mm 的欠超高可暂时保留,但应逐步改造。

(2)在高速铁路,欠超高一般不应大于 40 mm,困难条件下不大于 60 mm。

3. 允许最大过超高 ΔH_g

(1)在普速铁路上,货车的速度一般都小于平均速度,货车通过曲线时产生过超高。过超高过大,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。故《普速铁路线路修理规则》规定:未被平衡过超高不应大于 30 mm,困难情况下不应大于 50 mm,允许速度大于 160 km/h 线路的个别特殊情况下不应大于 70 mm。

(2)在客运专线上,旅客所承受的离心加速度和向心加速度的能力大体相同。在中、远期高速铁路上将以高速列车为主,应保证高速列车的舒适度。故《高速铁路有砟轨道线路维修规则(试行)》和《高速铁路无砟轨道线路维修规则(试行)》规定:过超高不应大于 70 mm;初期兼顾货运的客运专线,货物列车按 80 km/h 速度检算时,最大过超高不得大于 90 mm。

五、缓和曲线线形与长度

缓和曲线的基本线形有螺旋线形、三次抛物线形和更多级的抛物线形等,我国铁路目前主要采用三次抛物线形缓和曲线。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。为了降低曲线的方次,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。

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长度来解决。缓和曲线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。

在我国,根据线路设计要求不同,如客运专线、客货共线提速线路及客货

共线普速线路等,对外轨升高速度(超高时变率 f_0)采用不同的值,分别在 25~40 mm/s 范围内取值。客运专线一般条件下, $f_0 = 25$ mm/s, 则顺坡坡度 $i_0 = 1/11v_{\max}$; 客运专线困难条件下和客货共线提速线路一般条件下, $f_0 = 28$ mm/s, 则顺坡坡度 $i_0 = 1/10v_{\max}$; 客货共线提速线路困难条件下和普速线路一般条件下, $f_0 = 31$ mm/s, 则顺坡坡度 $i_0 = 1/9v_{\max}$; 客货共线特别困难条件下和普速线路困难条件下, $f_0 = 34$ mm/s, 则顺坡坡度 $i_0 = 1/8v_{\max}$; 普速线路特别困难条件下, $f_0 = 40$ mm/s, 则顺坡坡度 $i_0 = 1/7v_{\max}$ 。当 $1/7v_{\max}$ 大于 2‰ 时,按 2‰ 设置。

根据计算所得的缓和曲线长度取其大者,并取整为 10 m 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,但不应小于 20 m。

六、圆曲线和夹直线最小长度

相邻两曲线的缓和曲线起点间的直线段称为夹直线。夹直线长度与相邻两曲线的位置有关,在地形困难条件下,为了适应地形的曲折变化,相邻两曲线的位置较近,因而夹直线就较短,夹直线太短,将影响线路的维修及行车的安全平稳。因此夹直线最小长度必须受到限制。

圆曲线和夹直线的最小长度一般不应小于 20 m,为的是不使同一车辆同时跨在两个缓和曲线上(客车的定距为 18 m)。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 20 m。

两相邻曲线间的夹直线长度,应考虑以下诸因素。

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 50~75 m,至少也要有一根钢轨在直线上,即不短于 25 m。

2. 行车平稳的要求

列车从一条曲线经过夹直线转至另一条曲线的运行过程中,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 50~75 m,最少也应有一节客车长度,即 25 m。

为了避免列车通过缓和曲线起、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 应按式(1-3)计算。

$$L = \frac{v \times T}{3.6} \quad (1-3)$$

式中 T ——车辆自振周期(s);

v ——行车速度(km/h)。

当行车速度为 70~100 km/h 时,振动周期的波长一般为 50~70 m。

《普速铁路线路修理规则》规定:夹直线长度不短于 25 m;反向曲线间不足 25 m 时,正线可不短于 20 m,站线上可不短于 10 m。

《高速铁路有砟轨道线路维修规则(试行)》和《高速铁路无砟轨道线路维修规则(试行)》规定:相邻两曲线间夹直线和缓和曲线间圆曲线最小长度,一般条件下不应小于 $0.8v_{\max}$,困难条件下不应小于 $0.6v_{\max}$ 。

为了避免因改建既有线和增建二线引起大量工程,最小长度不得小于 20 m。

七、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。

《普速铁路线路修理规则》规定:正线道岔(直向)与曲线超高顺坡终点之间的直线段长度,线路允许速度大于 160 km/h 时不应小于 70 m,困难条件下不应小于 30 m;线路允许速度为 120(不含)~160 km/h 时不应小于 40 m,困难条件下不应小于 25 m;其他地段不应小于 20 m。站线道岔与曲线或道岔与其连接曲线之间的直线段长度不应小于 7.5 m,困难条件下不应小于 6 m。轨距加宽递减率不应大于 2‰,困难条件下不应大于 3‰。连接曲线半径不应小于该道岔导曲线半径。连接曲线超高不应大于 15 mm,顺坡不应大于 2‰。

《高速铁路有砟轨道线路维修规则(试行)》和《高速铁路无砟轨道线路维修规则(试行)》规定:正线曲线与道岔间夹直线长度,一般条件下不应小于 $0.6v_{\max}$,困难条件下不应小于 $0.5v_{\max}$ 。

八、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、轮轨磨耗及机车车辆对轨道的破坏,故在小半径曲线上,轨距应适当加宽。我国铁路轨距旧加

宽标准是按固定轴距为 4 m 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 1.75 m,客车的固定轴距最大为 2.7 m。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 30 mm 的要求,来确定新的加宽标准。

曲线轨距加宽值应在缓和曲线全长范围内均匀递减。在复曲线上,轨距加宽值应在正矢递减范围内递减。

九、曲线圆度标准

曲线的圆度是用半径 R 或曲率 $1/R$ 表示的。铁路曲线用测半径的方法来检查曲线的圆度是有困难的,现场多采用测正矢的方法,检查相应曲线半径的圆度。如果曲线是圆顺的,曲线上的正矢应与计算的相符合。

曲线因列车的不间断运行,其圆度是难以保持的,常常被打乱而呈不很圆顺的状态。为了保证行车安全,应对曲线进行不定期的(临时补修)和定期的(计划维修)拨正,以使曲线的圆度误差在容许范围内。

第三节 曲线超高设置

列车在曲线上行驶时,产生了一个直线上所没有的离心力 $F(F=mv^2/R)$,使外轨承受较大的压力,钢轨磨耗加剧,旅客感到不适,严重时甚至会造成列车脱轨或颠覆。列车由直线进入曲线时所产生的离心力大小,取决于列车前进的速度和曲线半径。速度越高,半径越小,则离心力就越大,作用在外轨的力也越大,外轨磨耗加剧,钢轨外挤。为了克服离心力对车辆的影响,应该有一个与离心力相反、大小相等的向心力。这就需要将曲线外轨抬高(即设置超高),使车体内倾产生一个向心力,来平衡这个离心力。

设置曲线外轨超高能达到下列三个目的:

(1)减少曲线外股钢轨所受的垂直力和水平力,使两股钢轨受力均匀、垂直磨耗均匀等。

(2) 保证轨道稳定, 防止车辆倾覆。

(3) 将离心力限制在一定范围内, 保证旅客的舒适度。

一、曲线外轨超高计算公式

如图 1-2 所示, 列车在曲线上运行时产生的离心力以 F 表示。为防止车辆向外倾倒, 在外轨设置超高度, 使列车产生向心力 P , 则

$$F = \frac{Gv^2}{gR} \quad (1-4)$$

$$P = G \tan \alpha \quad (1-5)$$

式中 G ——车辆质量(kg);

v ——运行速度(m/s);

R ——曲线半径(m);

g ——重力加速度(取 9.81 m/s^2)。

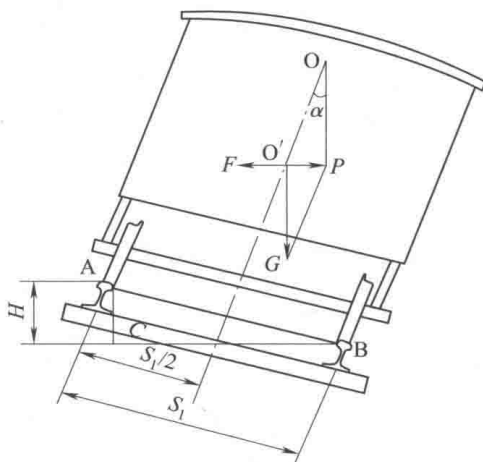


图 1-2 外轨超高

α 的数值很小, 可采用 $\tan \alpha \approx \sin \alpha = \frac{H}{S_1}$, 故

$$P = G \times \frac{H}{S_1} \quad (1-6)$$

式中 H ——外轨超高(mm);

S_1 ——两轨头中心间距(1 500 mm)。