

铁路曲线养护

(修订本)

南昌铁路局上饶工务段编

何佩瑜 陈汉娥 执笔

中国铁道出版社

1966年·北京

前 言

曲线是铁路线路的一个重要组成部分，也是一个薄弱环节，作好曲线的养护维修，提高曲线质量是工务工作者的一项重要任务。为了帮助现场工人学习曲线养护的有关知识，提高曲线养护的技术水平，在南昌铁路局上饶工务段的领导下，由我们二人执笔，编写成《铁路曲线养护》，于1974年由人民铁道出版社公开出版。

1977年5月人民铁道出版社于上饶召开了《铁路曲线养护》一书的评书会，上海、北京、西安、哈尔滨、沈阳、广州、南昌等铁路局对曲线养护有丰富经验的工长、领工员、主任领工员、主管该项工作的技术人员以及衡阳铁路工程学校的教师参加了会议，对该书内容提出了修改补充意见，并介绍了各铁路局的曲线养护先进经验。会议责成我们对该书进行修订。由于我们的业务和编写水平有限，虽然作了较大的修改，缺点和错误仍在所难免，希望读者批评指正。

何佩瑜 陈汉娥

1978年6月

内 容 提 要

本书叙述铁路曲线养护的基本知识,作业方法和曲线整正的计算方法。全书共三章和十个附表。第一章铁路曲线的构造,叙述曲线各部分主要尺寸和技术标准。第二章曲线养护,叙述曲线的养护原则、标准、方法,主要病害的原因分析和防治办法。第三章曲线绳正法拨道计算,叙述绳正法的基本原理,简易拨道法和流水拨道法的计算方法,并附算例。

本书可供铁路养路工人、工长、领工员,也可供基层技术人员学习参考。

铁路曲线养护

南昌铁路局上饶工务段编

执笔者 何佩瑜、陈汉娥

责任编辑 郭允度

封面设计 赵数字

中国铁道出版社出版、发行

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 4.25 字数: 95 千

1978年11月第1版

1986年12月第2版第6次印刷

印数: 53,001—61,000 册 定价: 0.67 元

目 录

第一章 铁路曲线的构造	1
第一节 曲线设置的目的与要求.....	1
第二节 缓和曲线.....	4
第三节 曲线外轨的超高.....	8
第四节 曲线轨距的加宽.....	27
第五节 曲线缩短轨的设置.....	34
第六节 曲线地段限界的加宽.....	43
第二章 曲线养护	49
一 第一节 养护原则.....	49
第二节 养护标准.....	50
第三节 曲线养护方法.....	52
✓第四节 主要病害的预防与整治.....	60
第五节 防止钢轨磨耗的措施.....	64
第三章 曲线绳正法拨道计算	69
第一节 绳正法的基本原理.....	69
第二节 曲线正矢的计算.....	73
第三节 曲线拨道量的计算.....	89
附 表	
附表1. 速度与时间换算表	113
附表2. 曲线外轨超高表 $\left(h = 11.8 \frac{V_{平}^2}{R}\right)$	117
附表3. 曲线外轨超高表 $\left(h = 7.6 \frac{V_{最高}^2}{R}\right)$	119

附表4. 曲线里股缩短量表	120
附表5. 圆曲线正矢表	121
附表6. 弦长相同测点不同正矢换算图	122
附表7. 圆曲线始、终点两邻点正矢系数表	123
附表8. 缓和曲线始、终点邻点正矢系数 表 (一).....	125
附表9. 缓和曲线始、终点两邻点正矢系 数表 (二).....	126
附表10. 修正正矢算出表	128

第一章 铁路曲线的构造

第一节 曲线设置的目的与要求

1. 铁路曲线的分类

铁路线路在平面上由一个方向转向另一个方向时，中间必须用曲线来连接，这种曲线通称平面曲线。只有一个半径的曲线称为单曲线。由两个或两个以上不同半径组成的曲线称为复心曲线。线路上设置曲线时，应尽量采用单曲线，仅在困难条件下才设置复心曲线。

铁路线路在纵断面上由一个坡度转向另一个坡度时，中间也必须用曲线来连接，这种曲线通称竖曲线。竖曲线有圆曲线型和抛物线型两种。

2. 曲线设置的目的与要求

列车在运行时，是由轨道来导向的。车体在运行时，由于惯性作用是不会改变方向的，而曲线上轨道却不断转变方向，迫使车体也不断转变方向。因此，车体运行方向和曲线轨道方向总是互相矛盾着的，表现为车体向外倾倒，轨道受冲击而变形，车轮和钢轨产生严重磨损，旅客感觉不舒适等现象。为了解决这些矛盾，使列车安全、平稳通过曲线，就需在曲线上设置缓和曲线，合理设置外轨超高，加宽轨距，加强线路设备和维修养护，保持曲线线形等。

铁路曲线半径愈大，列车运行条件愈好。若地形条件允许，应尽可能采用大半径曲线。曲线最小半径根据铁路等级而不同，Ⅰ、Ⅱ级铁路为800米，困难地段为400米，Ⅲ级铁

路为600米，困难地段为350米。在个别情况下，如有充分依据，并经铁道部批准，最小半径Ⅰ、Ⅱ级铁路可不小于300米，Ⅲ级铁路可不小于250米。

曲线最小半径主要是根据行车速度，运营和养护维修的方便，技术经济上的合理等因素规定的。曲线最高速度按公式 $V_{\text{最高}} = 4.3\sqrt{R}$ 计算如下表。

曲线半径 (米)	250	300	350	400	450	500	600	800
最高速度 (公里/小时)	68	74.5	80.5	86	91.5	96.5	105	121.5

直线与圆曲线间应以缓和曲线连接。缓和曲线长度应根据圆曲线半径，结合该地段的行车速度和地形条件选用。有条件时，应尽量采用较长的缓和曲线。

两相邻曲线间应有一定长度的夹直线。夹直线最小长度的确定是根据：

1) 线路养护维修要求夹直线最小长度为2~3节轨长，至少应有一节轨在直线上。按目前生产的标准轨长25米计算，应为50~75米，困难地段也应有25米；

2) 行车平稳性要求夹直线最小长度为2~3节客车长度，客车长度以24米计算，应为48~72米，困难地段也不应少于一节客车车厢长。

在一般情况下，两缓和曲线间夹直线均应大于客车车辆的全轴距，以使车辆在夹直线上有一瞬间的水平位置，减轻摇摆和振动叠加的影响。

根据上述要求，两相邻曲线间夹直线规定为：Ⅰ级铁路最小长度为80米，困难地段40米；Ⅱ级铁路最小长度为60米，困难地段30米；Ⅲ级铁路最小长度为50米，困难地段25米。

在特殊困难条件下，Ⅰ、Ⅱ级铁路允许采用不短于30米，Ⅲ级铁路允许采用不短于20米的夹直线。在既有线上，铁路工务规则规定：两曲线间的直线长度，在同向曲线间不得短于50米，特殊情况下，允许缩短到30米。两反向曲线间不得短于30米，特殊情况下，两个缓和曲线可以直接连接，但不得重叠。

两缓和曲线间圆曲线的最小长度的规定是根据：

1) 当两缓和曲线间圆曲线太短时，缓圆点(HY)与圆缓点(YH)很近，在纵断面上，外轨出现了近似以超高 h 值为顶点的三角形，影响车轮平顺地通过。因此，从行车平稳性考虑，至少应有一个车辆不同时跨在二个缓和曲线上，即圆曲线最小长度不应小于客车的全轴距（接近20米）。

2) 为保持曲线圆顺，使圆曲线有二个正矢桩，便于正矢检查和养护维修。

3) 由于旧有线路上在困难条件下采用过14米，为减少改建和废弃工程，在改建既有线和增建第二线时，困难条件下，仍允许减短至14米。

因此，两缓和曲线间圆曲线的长度规定不小于20米，困难条件下，允许减短至14米。

复心曲线的两个圆曲线间，缓和曲线最小长度应不短于20米。如条件困难不能设缓和曲线时，两个连续圆曲线的曲率差不应大于 $\frac{1}{2000}$ ，每个圆曲线的长度不得短于50米。

设置竖曲线也是为了使列车安全、顺利通过变坡点。列车经过变坡点时，车钩的应力发生变化，影响列车运行的平顺性。当速度高、变坡点代数差大时，一方面引起车辆的相互冲击，车钩中产生附加应力，可能使车钩折断和脱钩；另一方面引起局部车辆的加速度，使旅客感到前俯后仰和货物

发生移位。车钩中附加应力和车辆局部加速度，都和相邻坡度的代数差有直接关系，所以铁路工程技术规范规定，在Ⅰ、Ⅱ级铁路的坡度代数差大于3%，Ⅲ级铁路大于4%时，应以竖曲线连接。竖曲线的半径在Ⅰ、Ⅱ级铁路为10000米，Ⅲ级铁路为5000米。

在既有线上，铁路工务规则规定，采用抛物线型竖曲线时，凡相邻坡段的坡度代数差大于2%时，须设计竖曲线。采用圆曲线型竖曲线时，凡相邻坡段的坡度代数差大于3%时，须设计竖曲线。

竖曲线不应与平面曲线的缓和曲线重迭，也不应设在无碴桥的桥面上。困难条件下，抛物线型竖曲线可不受缓和曲线位置的限制。竖曲线应尽量避免与道岔重叠，困难条件下必须重叠时，竖曲线半径不应小于10000米。

我们通常说的曲线，是指平面曲线。平面曲线是线路上的一个薄弱环节。本书介绍的铁路曲线养护知识，就是指平面曲线的养护知识。

第二节 缓和曲线

1. 缓和曲线的作用

列车由直线进入圆曲线，随即产生一个向外的离心力。离心力的突然发生，会使旅客感到不舒适，使轨道遭到破坏，甚致造成列车倾覆。当两个不同半径的圆曲线直接相连时，也会发生上述情形。为了避免离心力的突然发生或突然消失，必须铺设一段一个半径逐渐变化的专门的线形，把直线和圆曲线连接起来，使离心力逐渐地增加或减少。这段线形称为缓和曲线。

缓和曲线的作用是：

1) 增加列车运行的平稳性和安全性。当列车通过曲线时, 不使离心力突然发生或突然消失, 同时使圆曲线上的超高、轨距加宽逐渐变化, 以提高运行速度和增加行车的平稳性和安全性。

2) 减少机车车辆对轨道的冲击, 使机车车辆及轨道易于保养, 减少其维修费。

3) 使车辆在曲线上所形成的内接平顺, 使旅客感觉舒适。

缓和曲线是一段半径由无限大逐渐变至与圆曲线半径相同的曲线, 它能使车辆自直线进入圆曲线或自圆曲线进入直线时, 离心力不是突然发生或消失, 而是逐渐变化, 使外轨超高及轨距加宽在缓和曲线上逐渐增加或减少。由此可知, 缓和曲线对列车安全平稳通过曲线有着重要的作用。因此, 直线与圆曲线间, 复心曲线的两个圆曲线间都需要设置一个半径逐渐变化的缓和曲线。

2. 缓和曲线的技术要求

缓和曲线的线型有三次抛物线型和螺旋线型等。为了测设与维修的简便, 很多从事工务工作的人对缓和曲线进行了研究, 并提出了一些见解。当前一般多用三次抛物线型。

缓和曲线长度的确定条件为:

- 1) 外轨超高递减坡度不致使车轮出轨;
- 2) 外轨的升高(或降低)速度不致使旅客感到不适;
- 3) 未被平衡的离心加速度的时变率不致影响旅客的舒适;
- 4) 车轮由直线进入曲线时, 由于撞击钢轨所产生的动

能损失不应超过一定值；

5) 测设及养护维修便利。

其中以满足旅客列车外轮升高速度不致使旅客感到不适为主要条件，如果能满足这一条，其他各条基本上也能满足。故缓和曲线长度按下列公式计算：

$$\text{缓和曲线长 } l_s = \frac{V_{\text{最高}} \times h}{f}$$

式中 缓和曲线长 l_s 单位为米；

最高速度 $V_{\text{最高}}$ 单位为公里/小时；

超高度 h 单位为米；

外轮升高速度 f 单位为公里/小时。

当前我国采用的外轮升高速度 f 为32毫米/秒，困难时采用40毫米/秒。新建和改建的缓和曲线长度，应按表1规定设置。有条件时，应尽量采用较长的缓和曲线。

工务规则规定缓和曲线长度一般应不短于 $10 \times \text{超高} \times \text{最高速度}$ ，这是根据外轮升高速度 f 值采用28毫米/秒求得的。在特别困难地段应不短于 $7 \times \text{超高} \times \text{最高速度}$ ，即外轮升高速度 f 值为40毫米/秒。

式中 超高度单位为米；

最高速度单位为公里/小时；

缓和曲线长度为米。

例如：已知某曲线超高120毫米，最高速度80公里/小时，求该曲线的缓和曲线长度？

解：缓和曲线长度 $= 10 \times 0.120 \times 80 = 96$ 米

取整后为100米。

计算求得的缓和曲线长度，应取整到10米，缓和曲线长度最小不得短于20米。当外轨超高的计算数值小于10毫米时，可不考虑设置超高，也可不设置缓和曲线。

缓和曲线长度 (米)

表1

曲线半径 (米)	缓和曲线长度							
	Ⅰ级铁路			Ⅱ级铁路			Ⅲ级铁路	
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)
4000	30	30	20	20	20	20	20	20
3000	40	30	20	30	20	20	20	20
2500	50	40	20	30	30	20	20	20
2000	60	50	30	40	30	20	20	20
1800	70	60	30	40	30	20	20	20
1500	80	70	40	50	40	30	30	20
1200	100	80	50	60	50	30	30	30
1000	120	100	60	70	60	40	40	30
800	150	120	70	90	70	40	50	40
700	150	120	90	100	80	50	50	40
600	140	110	90	110	90	60	60	50
550	140	110	90	130	110	70	70	50
500	130	100	90	130	100	80	70	60
450	120	100	80	120	100	80	80	60
400	120	90	80	120	90	80	90	70
350	110	90	70	110	90	70	100	70
300	100	80	70	100	80	70	100	70
250							90	70

养护维修时, 找设计资料比较困难, 同时线路经过多年行车, 实际情况与原设计有所出入, 故一般情况下, 多数是根据超高顺坡, 轨距递减, 正矢递减的需要, 确定缓和曲线的长度。一般如能满足超高的需要, 其他两个也能得到满足。

在既有线受线路条件和地形的限制, 改建困难时, 允许同一曲线两端采用不同长度的缓和曲线。

第三节 曲线外轨的超高

1. 设置超高的目的

列车由直线进入曲线时产生的离心力的大小决定于列车前进速度和曲线半径。速度越高半径越小则离心力越大，作用在外轨的力也越大。外轨磨耗加剧，轨距挤开，严重时会造成机车车辆脱轨或倾覆。为避免发生这种情况，应该有一个与离心力方向相反，大小相等的向心力。这就需要将曲线外轨抬高（设置超高），使车体内倾，产生一个向心力，以平衡这个离心力。

曲线设置外轨超高的目的是：

- 1) 防止车辆通过曲线时向曲线外侧倾倒；
- 2) 使上下股钢轨的荷载平衡，减少钢轨磨耗；
- 3) 使列车安全平稳通过曲线，使旅客感到舒适。

为了达到这三个目的，就要正确测定行车速度，合理确定超高度。

2. 超高的计算公式

列车在曲线上运行产生的向外离心力，以 F 表示；为防止车辆向外倾倒，在外轨设置超高度，使列车产生的向心力以 P 表示，如图 1—1，则

$$F = \frac{GV^2}{gR}$$

式中 G ——车辆重量（公斤）；
 V ——运行速度（米/秒）；
 R ——曲线半径（米）；
 g ——重力加速度（9.81米/秒²）。

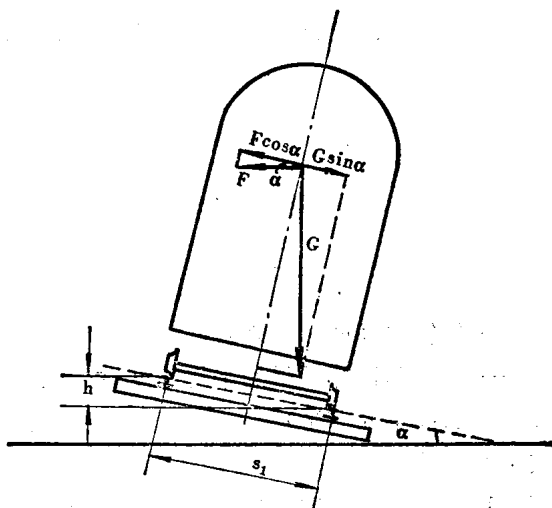


图 1-1 外轨超高

$$P = G \cdot \sin \alpha$$

由于 α 的数值很小，可采用 $\sin \alpha = \frac{h}{S_1}$

$$\therefore P = G \times \frac{h}{S_1}$$

式中 h ——外轨超高（毫米）；

S_1 ——两轨头中心间距（1500毫米）。

当离心力和向心力相等时

则

$$F = P$$

$$\frac{GV^2}{gR} = \frac{Gh}{S_1}$$

$$\therefore h = \frac{S_1 V^2}{gR}$$

将 $S_1 = 1500$ 毫米， $g = 9.81$ 米/秒² 代入上式（上式行车速度单位为米/秒，如速度单位为公里/小时，则应将公里

/小时换算为米/秒，即须乘以 $\frac{1}{3.6}$ ，再代入上式）。

则

$$h = \frac{1500 \left(\frac{1}{3.6} \right)^2 V^2}{9.81 R}$$

$$= 11.8 \frac{V^2}{R}$$

式中 h ——外轨超高度（毫米）；

V ——经实测计算而得的平均速度（公里/小时）；

R ——曲线半径（米）。

用文字表示即：

超高 = $11.8 \times$ 平均速度 $\times$ 平均速度 $\div$ 半径

用此式计算的外轨超高度见附表 2。

如果用最高速度来计算超高，则采用上式的平均速度为最高速度的 80% 代入：

得

$$h = \frac{11.8 (0.8V_{\text{最高}})^2}{R}$$

$$= \frac{11.8 \times 0.64 V_{\text{最高}}^2}{R}$$

$$= \frac{7.552 V_{\text{最高}}^2}{R}$$

$$\approx \frac{7.6 V_{\text{最高}}^2}{R}$$

用文字表示即：

超高 = $7.6 \times$ 最高速度 $\times$ 最高速度 $\div$ 半径

用此式计算的外轨超高度见附表 3。

在新线设置超高时，一般用最高速度（容许速度）来计算超高。在运营线上，一般都用平均速度来计算超高。

3. 设置超高的技术要求

曲线外轨超高的数值是按照离心力的大小决定。曲线半径愈小，速度愈高，离心力愈大，需要平衡离心力的超高数值也就愈大。外轨超高的数值应以保证行车安全为前提，就是说超高不能太小，要保证列车以较高速度通过时不至发生脱轨和倾覆事故。外轨超高也不能太大，要保证低速列车通过或在曲线上停车产生向心倾覆力时，即使有侧向大风，也不致发生倾覆的危险。为此，工务规则规定，曲线超高度应根据曲线半径，实测行车速度合理设置，超高度按公式

$$h = \frac{11.8V_{\text{平均}}^2}{R} \text{ 计算。并规定超高度的最大限度不得超过}$$

150 毫米。单线上下行列车速度相差悬殊时，不得超过 125 毫米。

由于各次列车通过曲线时的速度不可能完全相同，且与计算超高时的平均速度也不相同。因此，外轨超高不可能与行车速度完全适应，必然会产生没有被平衡的离心力或向心力。为保证行车安全和旅客的舒适，要限制这个没有被平衡的离心力或向心力，通常是把它换算成未被平衡的超高来加以限制。经实地测定，当未被平衡横向加速度 $\alpha = 0.2 \text{ 米/秒}^2$ 时，旅客没有感觉； $\alpha = 0.4 \text{ 米/秒}^2$ 时，稍有感觉； $\alpha = 0.6 \text{ 米/秒}^2$ 时，感觉较大，坐着须有意识地支持身体，行走时须有扶持； $\alpha = 0.8 \text{ 米/秒}^2$ 时，推力很大，人会被晃倒。因此，一般采用未被平衡横向加速度 $\alpha = 0.4 \sim 0.5 \text{ 米/秒}^2$ ，特殊情况下采用 $\alpha = 0.6 \text{ 米/秒}^2$ 。据此数值，工务规则规定：允许最大未被平衡超高度，一般为 60~75 毫米，特殊情况允许达到 90 毫米。

由于超高的设置直接关系行车安全，旅客舒适，钢轨磨

损等，因此，确定超高时应慎重。当行车速度发生变化，木枕明显切压，混凝土轨枕胶垫严重损坏，挡肩撞坏，钢轨加剧磨损时，应及时测速，调整超高。

根据上述允许最大未被平衡超高的规定，对通过曲线的允许最高行车速度，按下列公式进行估算，

$$V_{\text{最高}} = \sqrt{\frac{(h + h_0) R}{11.8}}$$

式中 $V_{\text{最高}}$ ——允许最高行车速度（公里/小时）；

R ——曲线半径（米）；

h ——设置的超高度（毫米）；

h_0 ——允许最大未被平衡超高度（毫米）。

用文字表示即：

$$\text{最高速度} = \sqrt{\frac{(\text{超高} + \text{允许最大未被平衡超高}) \times \text{半径}}{11.8}}$$

例题：曲线半径400米，超高125毫米，允许最大未被平衡超高采用75毫米，求该曲线的最高允许速度？

$$\begin{aligned} \text{最高速度} &= \sqrt{\frac{(125 + 75) \times 400}{11.8}} \\ &= \sqrt{\frac{200 \times 400}{11.8}} \\ &= \sqrt{6780} \\ &= 82.4 \text{公里/小时} \end{aligned}$$

4. 超高的顺坡

曲线上的超高是采取抬高外轨来实现的，所以称为外轨超高。超高的顺坡不能太急，否则会影响列车行驶的平稳，使旅客感觉不舒适。

外轨超高度应在整个缓和曲线内顺坡，顺坡坡度应不大