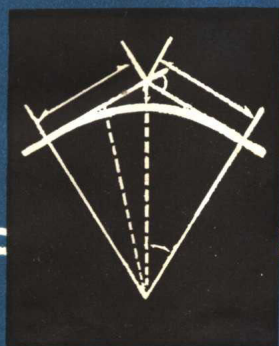


铁路竖曲线设计

孙 清 璐 编



人 民 铁 道 出 版 社

前



在全国科学大会的鼓舞下，为了认真贯彻英明领袖华主席提出的“办好人民铁路，为高速度发展国民经济当好先行”的伟大号召和实现新时期的总任务，建设社会主义的现代化强国，加速铁路现代化建设，根据工作中积累的资料，编写了这本《铁路竖曲线计算》。

本书对铁路线路的各种竖曲线作了论述和分析，并结合铁路规章作了解释和说明，以提高专业理论知识和执行规章的业务水平。对于各种竖曲线的计算，除推导了计算公式外，并附有计算实例，以达到理论结合实际的目的。书后附表包括了计算竖曲线时的各种有关数据和资料，可在工作中作为手册查阅，以减少繁琐的计算，提高工作效率。

本书的编写工作，得到了太原铁路局工电处、基建处和线桥大修队领导的热情支持和指导。朱元正、陈修伟同志协助编写工作，基建处大修设计组的同志们帮助整理、核对资料，太原铁路机械学校任有道老师作了审阅，对此表示衷心感谢。

由于个人理论水平不高，实践经验不足，书中如有错误或不足之处，请读者批评指正。

编 者

1978·5

目 录

第一章 铁路线路竖曲线的应用和形式	1
§ 1. 竖曲线的应用	1
§ 2. 圆曲线形竖曲线	2
§ 3. 抛物线形竖曲线	4
§ 4. 连续短坡 (链条坡)	5
§ 5. 关于竖曲线的有关规定	6
第二章 圆曲线形竖曲线的计算	9
§ 6. 公式推导	9
§ 7. 计算实例	11
第三章 抛物线形竖曲线的计算	15
§ 8. 抛物线的性质及支距计算	15
§ 9. 对称式抛物线形竖曲线的分析	16
§ 10. 对称式凸形抛物线形竖曲线计算实例	20
§ 11. 对称式凹形抛物线形竖曲线计算实例	22
§ 12. 不对称式抛物线形竖曲线的分析	25
§ 13. 不对称式抛物线形竖曲线计算实例	28
第四章 连续短坡的计算	31
§ 14. 计算公式	31
§ 15. 连续短坡计算实例	34
第五章 竖曲线结论	35
§ 16. 竖曲线的比较分析	35
第六章 纵断面设计的接坡方法	38
§ 17. 接坡方法	38
附表一 圆曲线形竖曲线 T 长度	42

附表二	圆曲线形竖曲线纵距.....	45
附表三	抛物线形竖曲线 L 、 T 、 Y 值.....	48
附表四	与 $\angle g$ 及 L 相适应的 $\gamma(\%)$ 值	53
附表五	抛物线形竖曲线纵距.....	77
附表六	连续短坡纵断面 R 对照.....	90
附表七	连续短坡纵断面高程.....	91
附表八	坡度高程.....	99

第一章 铁路线路竖曲线的应用和形式

§ 1. 竖曲线的应用

铁路线路最理想的坡度是平坡，但因地势关系不能完全达到这一目的。为了适合地形的起伏，减少建筑工程费用，铁路线路的纵断面是由连续不同数值的直线坡段连接而成。所以，铁路线路所包含的坡度除平坡外，有上坡、下坡、陡坡、缓坡。所谓坡度，即铁路线路的高程变化率，用千分率来表示。千分率是每1000米水平距离高程上升或下降的数值，通常用符号（+）、（-）及（0）表示上坡、下坡或平道。

由于线路纵断面是由不同数值的直线坡段连结而成，故在坡段与坡段的相接处，线路便形成凸出或凹入的形状。如果两邻接坡度的数值相差很大时，当列车行经变坡点处，整个列车分布在不同的坡段上，这种情况使车钩应力发生变化，而且个别车辆也发生负荷过重或减轻的现象，有时还往往会发生断钩。

为了保证列车安全与平顺地运行，如同线路平面的连接一样，当两相邻坡度的代数差达到一定数值时，应在相邻坡段间用一圆顺的曲线连接，以改善列车运行条件，这种在线路垂直面上的曲线称为竖曲线。

铁路线路采用的竖曲线，按其形状可分为以下三种：

- （一）圆曲线形竖曲线；
- （二）抛物线形竖曲线；
- （三）连续短坡（链条坡）。

§ 2. 圆曲线形竖曲线

在直线坡段的变更处，用一个半径较大的圆弧把相邻两个坡段连接起来的竖曲线，因其形状为单曲线，故称为圆曲线形竖曲线。圆曲线形竖曲线的曲率可直接用其半径表示之，即半径愈大，曲线愈平缓，行车亦愈平顺；半径愈小，曲线愈峻急，对行车亦愈不利。

《铁路工务规则》（以下简称规则）规定：“相邻坡段的连接，应按原线路标准设计为抛物线形或圆曲线形的竖曲线。”

“采用圆曲线形竖曲线时，凡相邻坡段的坡度代数差大于3‰时，须设计竖曲线。竖曲线半径应根据运营条件采用20000~10000米，困难条件下应不小于5000米。”

如果竖曲线的半径过小，则单位距离内的高差增大，坡度变陡。这样，列车在上坡时，就须加力运行；而在下坡时，又须减速运行，结果会引起线路爬行，破坏线路稳定，增加线路病害，加大维修工作量。

我们知道：为了抵消列车通过平面曲线时所产生的离心力，曲线外轨须设置超高。超高值在圆曲线内保持固定不变，而在缓和曲线全长内顺坡。因此，如果平面曲线内设有竖曲线时，在圆曲线内，内轨与外轨在线路的垂直面上必须按竖曲线形状同时弯曲，并使外轨保持其应有的超高度 h

（图1）；而在缓和曲线部分，内轨是按竖曲线形状弯曲，而外轨既要求保持一定的超高度 h' ，又需要符合竖曲线形状，这实际上是不能做到的。在圆曲线形竖曲线与缓和曲线重迭的条件下，施工时是按缓和曲线内逐渐变更的超高度来设置外轨。这样，外轨所形成的空间曲线，并不是正确的圆曲线，其形状对行车不利，并给线路养护工作带来困难。

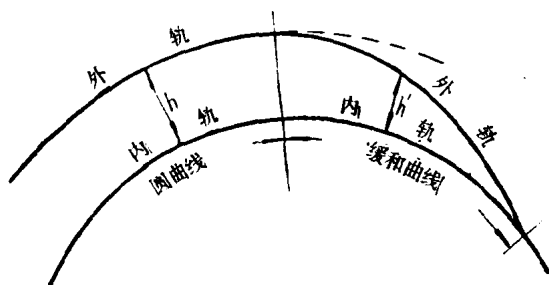
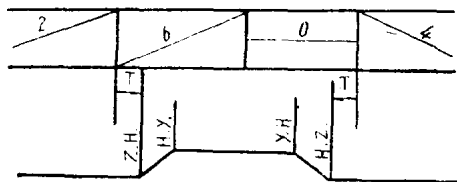


图 1

为了保证列车运行的平顺性，便于线路维修工作的进行，设计时应当把缓和曲线全部放在一个坡段上，而不要与竖曲线相重叠。如图 2 所示。

图 2 T 为竖曲线切线长度

同样，在未设有缓和曲线的圆曲线内，竖曲线也不应当与圆曲线的超高顺坡同时存在。

另外，如果圆曲线形竖曲线与道岔重叠时，必然要引起转辙器、辙叉及护轨部分在线路垂直面上的弯曲，这从道岔本身的构造来说是不允许的。在钢梁桥、木桥及混凝土无碴梁桥上，因其构件不能弯曲，也同样不能设置竖曲线。

综合以上所述，所以规则规定：“圆曲线形竖曲线不应侵入缓和曲线、道岔及无碴桥梁上。”

当两相邻坡度的代数差未超过 3‰ 时，坡度变坡点的位置

置可以不考虑线路平面,亦即允许竖曲线与缓和曲线相重迭。

圆曲线形竖曲线的优点是计算简单,施工方便。

§ 3. 抛物线形竖曲线

这种竖曲线,在离开切线后,其曲度逐渐变更,将一端的坡度缓缓变化而成为他端的坡度,因其图形与抛体运动的轨道形状相同,故称为抛物线形竖曲线。

竖曲线的长度依两邻接坡度的变更大小而定,其长度对行车安全与平顺甚为重要。竖曲线愈长,则其坡度的变化愈和缓;反之,则对行车不利。在凸形纵断处所,车钩为拉紧状态;而在凹形纵断处所,车钩由压紧状态过渡到拉紧状态,从列车断钩的观点来看,这种地段是最危险的。因此,竖曲线的长度,在凹形纵断处所应较凸形纵断处所为长。

为了保证列车安全平顺地由一个坡段过渡到另一个坡段,规则规定:“采用抛物线形竖曲线时,凡相邻坡段的坡度代数差大于2‰时,须设计竖曲线,每20米竖曲线长度的变坡率,凸形应不大于1‰,凹形应不大于0.5‰。”

当抛物线形竖曲线与平面曲线的缓和曲线重迭时,如上节所述的理由,同样给行车和线路养护带来不利。因此,规则规定:“抛物线形竖曲线最好设计在平面曲线两端的缓和曲线之外。”

不过,因抛物线形竖曲线的曲度是逐渐缓和变更的,正因为它比圆曲线形竖曲线具有这样的优点,所以规则允许:

“仅在困难条件下,允许重迭而不受缓和曲线的限制。”

抛物线形竖曲线对适应高速列车的运行,较圆曲线形竖曲线有其优越性。

两相邻坡度代数差未超过3‰的圆曲线形竖曲线,或未超过2‰的抛物线形竖曲线,其切线距竖曲线的垂距(纵

距) 均在 2 厘米以下。因其值甚小, 故设计时可不考虑设置竖曲线, 施工时竖曲线内的实际轨顶可用增减道碴调整。

不论圆曲线形或抛物线形竖曲线均不应重迭。

§ 4. 连续短坡 (链条坡)

在既有线改建或进行线路大修时, 为了减少工程量或消灭断钩处所, 当两相邻坡段的坡度急剧变化时, 纵断面坡度间可用曲线连接。这种连接曲线 (即竖曲线) 是由许多坡度逐渐变更的连续短小直线组合而成, 故称为连续短坡或链条坡。这些坡度不同的短小直线构成一个很平缓的纵断面, 它们是一个半径很大的曲线的内接多边形。

为了便于列车运行, 这些短小直线的长度一般为 25 米至 75 米 (为 12.5 米的倍数); 坡度变更率为 0.5‰ 至 1.5‰ (为 0.5‰ 的倍数)。这种连接曲线是作为一个坡段来看待的, 因此它的总长度不得小于 200 米。

为了提高线路质量, 保证列车安全、平稳地运行, 规则规定: “为避免降低路基或起道过高, 可采用每段坡长不短于 25 米的连续短坡道, 其两个相邻短坡道的变坡率应不大于 1‰, 连续短坡道的总长应不短于 200 米。”

连续短坡示例如图 3。

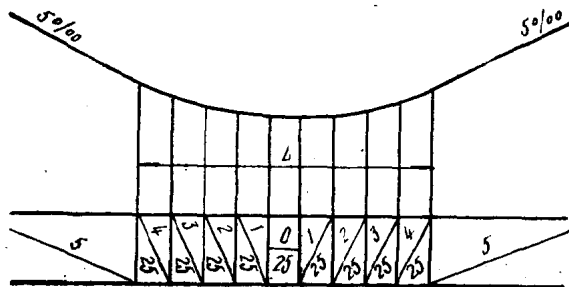


图 3

因为这个连接曲线是由许多短小直线组合而成，在列车经常运行的条件下，线路容易变形，从而给养护工作带来了不便，因此它应使用较强的轨道，以适应运输的需要。

§ 5. 关于竖曲线的有关规定

前面我们已经引用了《铁路工务规则》中“线路设备大修基本技术条件”关于竖曲线的具体规定，同时作了相应的解释。现在再将《铁路工程技术规范》和《工业企业标准轨距铁路设计规范》里有关竖曲线的规定摘录于下，以便工作中参考。

《铁路工程技术规范》在“正线的纵断面”一节里规定：

“相邻坡段的坡度代数差应尽量小些，最大不得超过重车方向的限制坡度值。

I、Ⅱ级铁路相邻坡段的坡度代数差大于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。

竖曲线不应与缓和曲线重迭。

改建既有线和增建第二线时，如既有坡段系用抛物线形竖曲线连接时，允许保留不低于上列相应标准的既有连接标准。困难条件下，竖曲线可不受缓和曲线位置的限制。”

“竖曲线不应设在无碴桥的桥面上。”

“竖曲线应尽量避免与道岔重迭，困难条件下必须重迭时，竖曲线半径不应小于10000米。”

这里我们可以这样来分析：如果竖曲线与道岔重迭时，竖曲线半径采用10000米，按我国现行标准道岔来考虑，在尖轨长为7.7及6.25米的范围内，竖曲线的影响值为3及2毫米；而在道岔全长范围内，其坡率变化如下表所列数值。

钢轨类型	辙叉号数	道岔长度 (米)	竖曲线影响值 (毫米)	坡 (‰)	坡率倍数
P 44.6 或 P 50	12	36.815	68	1.85	540
	9	28.848	42	1.47	680

应当注意：除非确系困难条件，一般不得采用上述规定。

《铁路工程技术规范》并在“站线平面和纵断面”一节里按线路的用途对竖曲线作了以下规定：

“枢纽进站线路及到发线的相邻坡度代数差和竖曲线半径，位于Ⅰ、Ⅱ级铁路上大于3‰时，应以10000米半径的竖曲线连接，位于Ⅲ级铁路上大于4‰时，应以5000米半径的竖曲线连接。行驶正规列车的其他站线，应按上述Ⅲ级铁路标准办理。不行驶正规列车的站线，如相邻坡度代数差大于5‰时，可采用3000米半径的竖曲线连接，但高架卸煤线及货物线的竖曲线可采用不小于600米的半径。”

“车站道岔应尽量避免布置在竖曲线范围之内，在困难条件下必须布置时，在车站正线与到发线上，其竖曲线半径不应小于10000米，在没有正规列车行驶的线路上不应小于5000米。

当竖曲线半径小于3000米时，仅可例外地在竖曲线范围内布置道岔的导曲线，道岔的辙叉与尖轨应布置在竖曲线之外。”

(74) 交铁基字1740号颁发的《工业企业标准轨距铁路设计规范》中关于竖曲线的规定：

“两相邻坡段应根据下表的规定，以圆曲线形竖曲线连接。

竖 曲 线 标 准

铁 路 等 级	需 设 置 竖 曲 线 的 坡 度 代 数 差	竖曲线半径 (米)
I、II 级	4.0%以上	5000
III 级及限期使用的铁路	5.0%以上	3000

竖曲线应设在缓和曲线和无碴桥面范围以外。”

“竖曲线应尽量避免与道岔重迭。困难条件下必须重迭时，竖曲线半径，不应小于5000米。”

“车站到发线的纵断面坡度代数差和竖曲线半径应采用所衔接的厂外区间线路的标准。其他站线，纵断面坡度代数差大于 5 % 时，应以半径为3000米的竖曲线连接之。”

第二章 圆曲线形竖曲线的计算

§ 6. 公式推导

圆曲线形竖曲线的几何要素按以下公式计算 (图 4) :

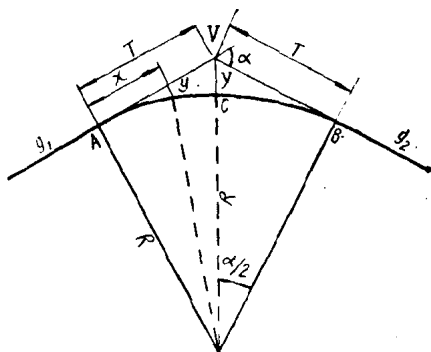


图 4

设 g_1 及 g_2 —— 竖曲线两端切线的坡度 (%),

上坡取 (+) 号, 下坡取 (-) 号;

$g_1 \pm g_2 = \Delta g$ 为两相邻坡度的代数差 (两坡度方向不同时则坡度数值相加, 如两坡度方向相同时则相减);

T —— 切线长度 $AV = BV$ (米);

L —— 竖曲线长度 ACB 弧 (米);

α —— 竖曲线中心角。

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{g_1 \pm g_2}{1000} = \frac{\Delta g}{1000}$$

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

因 α 角甚小, 故令

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha$$

$$\therefore T = \frac{1}{2} R \operatorname{tg} \alpha = R \cdot \frac{\Delta g}{2000} \quad (1)$$

$$L \approx 2T = R \cdot \frac{\Delta g}{1000} \quad (2)$$

当 $R = 20000$ 米时, $T = 10 \Delta g$ $L = 20 \Delta g$

$R = 10000$ 米时, $T = 5 \Delta g$ $L = 10 \Delta g$ (3)

$R = 5000$ 米时, $T = 2.5 \Delta g$ $L = 5 \Delta g$

为了使圆曲线形竖曲线不侵入平面曲线两端的缓和曲线之内或无碴桥梁上, 设计时应保持变坡点距缓和曲线的始点或终点及无碴桥梁两端的距离不小于下列 T 值:

相邻坡度代数差每 1 ‰, 当 R 为 20000 米、10000 米及 5000 米时, 相应的 T 值为 10 米、5 米及 2.5 米。

纵断面两变坡点之间的最小距离应保证设置竖曲线而不重迭, 即应等于或大于 $2T$ 。

根据《铁路技术管理规程》第 27 条规定:

“各级铁路加力牵引坡度可用至 20‰。”

在这种情况下, 当相邻坡度的代数差为 20‰ 时, 竖曲线半径采用 10000 米, $2T$ 的值等于 200 米。所以, 纵断面的坡段长度, 就是在困难条件下, 也不应短于 200 米。

下面我们来确定竖曲线的纵距值:

设 x —— 竖曲线上任意点距竖曲线始点或终点的距离 (米);

y —— 对应 x 值的纵距 (米)。

由图 4 得 $R + y = \sqrt{R^2 + x^2}$

两边平方 $R^2 + 2Ry + y^2 = R^2 + x^2$

$$2Ry = x^2 - y^2$$

因 y^2 与 x^2 相比甚小, 故可略去不计,

于是, $2Ry = x^2$

$$\therefore y = \frac{x^2}{2R} \quad (4)$$

在竖曲线的中央点,

$$Y = \frac{T^2}{2R} = \frac{1}{2R} \left(\frac{L}{2} \right)^2 = \frac{L^2}{8R} \quad (5)$$

圆曲线形竖曲线的切线长度及纵距值参阅附表一及附表

二。

§7. 计算实例

设

$$g_1 = +2\%$$

$$g_2 = -4\%$$

$$\Delta g = 6\%$$

$$V = K32 + 400$$

$$H_v = 85.70 \text{ (米)}$$

计算竖曲线上每20米点的标高。

(一) 公式计算法:

(A) 当 $R = 10000$ 米时 (图 5)

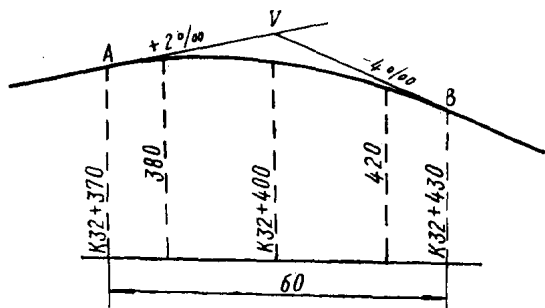


图 5

由公式 (3), $T = 5\Delta g = 5 \times 6 = 30$ (米)

$$L = 10\Delta g = 10 \times 6 = 60 \text{ (米)}$$

竖曲线起点 A — $K32 + 400 - 30 = K32 + 370$

竖曲线终点 B —— $K32+400+30=K32+430$

(1) 各点坡度标高计算

$$K32+370 \quad H=85.70-30 \times 2\text{‰}=85.64 \text{米}$$

$$K32+380 \quad H=85.70-20 \times 2\text{‰}=85.66 \text{米}$$

$$K32+420 \quad H=85.70-20 \times 4\text{‰}=85.62 \text{米}$$

$$K32+430 \quad H=85.70-30 \times 4\text{‰}=85.58 \text{米}$$

(2) 各点纵距计算 用公式 (4) $y = \frac{x^2}{2R}$

$$K32+380 \text{ 及 } K32+420 \quad y = \frac{10^2}{2 \times 10000} = 0.005 \text{米}$$

$$K32+400 \quad y = \frac{30^2}{2 \times 10000} = 0.045 \text{米}$$

用公式 (5) 核对中央点纵距,

$$Y = \frac{L^2}{8R} = \frac{60^2}{8 \times 10000} = 0.045 \text{米}$$

(3) 竖曲线标高=坡度标高-纵距

竖曲线全部计算如下表

里 程	坡度标高 H	纵 距 y	竖曲线标高 H'	附 注
K32+370	85.640	0	85.640	$g_1 = +2\text{‰}$
380	85.660	0.005	85.655	$g_2 = -4\text{‰}$
400	85.700	0.045	85.655	$R = 10000$
420	85.620	0.005	85.615	$V = K32+400$
K32+430	85.580	0	85.580	$A = K32+370$ $B = K32+430$

(B) 当 $R=20000$ 米时 (图 6)

由公式 (3), $T=10\angle g=10 \times 6=60$ 米

$$L=20\angle g=20 \times 6=120 \text{米}$$

竖曲线起点 A —— $K32+400-60=K32+340$

竖曲线终点 B —— $K32+400+60=K32+460$

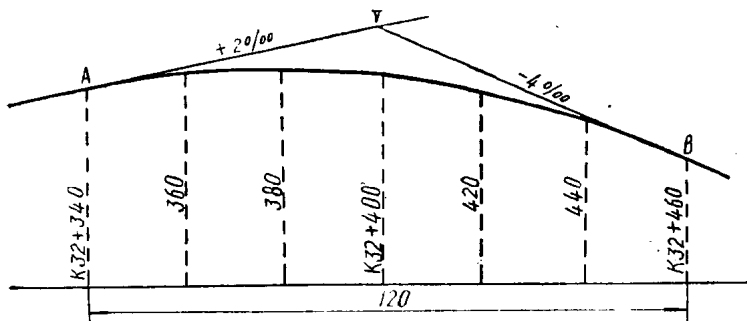


图 6

(1) 各点坡度标高计算

$$K32+340 \quad H = 85.70 - 60 \times 2\text{‰} = 85.58 \text{米}$$

$$K32+360 \quad H = 85.70 - 40 \times 2\text{‰} = 85.62 \text{米}$$

$$K32+380 \quad H = 85.70 - 20 \times 2\text{‰} = 85.66 \text{米}$$

$$K32+420 \quad H = 85.70 - 20 \times 4\text{‰} = 85.62 \text{米}$$

$$K32+440 \quad H = 85.70 - 40 \times 4\text{‰} = 85.54 \text{米}$$

$$K32+460 \quad H = 85.70 - 60 \times 4\text{‰} = 85.46 \text{米}$$

(2) 各点纵距计算 用公式 (4) $y = \frac{x^2}{2R}$

$$K32+360 \text{ 及 } K32+440 \quad y = \frac{20^2}{2 \times 20000} = 0.01 \text{米}$$

$$K32+380 \text{ 及 } K32+420 \quad y = \frac{40^2}{2 \times 20000} = 0.04 \text{米}$$

$$K32+400 \quad y = \frac{60^2}{2 \times 20000} = 0.09 \text{米}$$

用公式 (5) 核对中央点纵距

$$Y = \frac{L^2}{8R} = \frac{120^2}{8 \times 20000} = 0.09 \text{米}$$

竖曲线标高 = 坡度标高 - 纵距

竖曲线全部计算如下表