

高等级公路护栏施工安装测量

机械工业部第三勘察研究院 陈和鸣

【提要】本文简介了公路护栏施工技术要求、放样方法及质量检验。提出的缓和曲线放样方法，简易适用，使用方便。

【Abstract】 The construction technique requirement, the setting out method and the quality checking of the guard barrier for the highway are introduced in this paper. The proposed method of slightly curve setting is easy and convenient.

一、概述

当前我国高等级公路建设发展很快，为保证行车安全和提高行车速度，沿公路两侧和部分中央分隔带都必须设置防撞护栏。护栏设置以支柱固定的有梁支护栏、缆式护栏等，梁支护栏按梁的结构又分波形梁、管式梁及箱形梁。目前国内所采用的多为梁支波形护栏，有欧美式的“Z”形固定支柱，日本式的圆管形固定支柱两种。波形梁是指梁采用波纹形截面，具有一定的刚度和韧性，受碰撞时能产生较大的塑性变形，视线诱导作用良好。

高速公路护栏设置为全封闭式的，一级公路有的只是对公路的桥梁、通道、高路堤、靠铁路、陡坡及极限最小半径等地段设置护栏。对特殊路段，如立交桥墩处、靠铁路及水深大于2m等路段都必须设置高规格的护栏。高规格护栏一般采用减窄支柱间距办法，如将支柱间距为4m安装A型梁、改变为支柱间距为2m安装B型梁，增强护栏强度。第二汽车厂试车场在高速弯道随曲线半径和车道超高变化路段，同时考虑到汽车碰撞角度，相应还设置不同倾斜和高度变化的梁支波形护栏，增强护栏防撞强度。

近几年来我们承担了部分高等级公路护栏施工安装和护栏维护任务，护栏支柱埋设为增强支柱的稳定性均采用击压方法，使用了经改装的YD-1型全液压钻机和筒式柴油打桩机施工。为保证施工质量和速度，必须进行支柱位置放样，确定支柱高度及质量检验

等测量工作，经施工实践并提出了缓和曲线放样方法。现将护栏施工技术要求，放样支柱位置方法及质量检验简要介绍如下。

二、主要技术要求

公路护栏设置，无论是采用全封闭或非全封闭方式，对危险路段都必须进行详细施工图设计，施工图中有起止支柱及各支柱的里程桩号，支柱间距和离行车道边线（或离路缘石）的距离，以及支柱高度等。而桥墩特殊路段及一级公路的加、减速三角端各拐点处，都还必须以圆曲线过渡计算各有关支柱离行车道边线不同的距离，因此要求放样护栏支柱必须正确准确。

施工放样主要技术要求：放样按施工图设计图，不能任意改变设置护栏的里程桩号和设置形式；施工放样应按路线直线、圆曲线及缓和曲线放样；支柱位置竖向、纵向误差及横向偏差均不应大于1cm，误差出现应是偶然性质的；对一级公路设置的车站加速、减速路段三角端拐点处，应采用适当的半径以圆曲线过渡设计计算支柱中心离路边线的距离；对特殊路段及不易击压改变施工方案时，确定支柱长度还应经抗拔抗拉力的计算，并绘制施工图经审定后再施工。

三、施工放样

1. 主点测设与详细放样

主点测设。高等级公路设计为使司机驾驶集中注意力，一般均采用双曲线设计方案，但曲线半径很大，当曲线半径小于4000m时，还必须设计缓和曲线，这些曲线的主点

当进入护栏施工时往往不存在。为沿公路设置护栏便于施工放样，还必须依据公路中心线或行车道边线及里程桩号，将路线各曲线主点测设于行车道边线上，并绘注标记、曲线号、里程桩号及主点名称。同时收集曲线竣工测量元素，如曲线半径、缓和曲线长等，以便进行护栏施工详细放样工作。

详细放样即是按护栏施工设计图，详细放样护栏各支柱的实地位置。放样依据一般依路中心线或行车道边线，当路缘石很准时也可依路缘石详细放样，然而路缘石经铺沥青碾压后位移达3~5cm是不准确的。但为便于刻划也可将点放样在路缘石上，击压支柱时再依此以直角尺把支柱放在实地位置，当挖坑埋设支柱时再次确定支柱位置也比较方便。

2. 放样方法

直线路段放样采用仪器和拉直线定向方法，曲线路段采用直角坐标弦线支距等方法。当依行车道边线高确定各支柱高度时，还必须考虑到横向坡度改正，不同路段放样方法如下。

(1) 直线路段放样。由设计护栏起点里程桩号，在行车道外边线上(沥青路面行车道内边线)，采用分角法或分距方法作垂直路边线的直线，量设置支柱离路边线的距离，并打入小铁钉即护栏支柱起点。同样以此方法沿路边线再量一段距离如50m放另一点，在中间也可放一点检核，所放点连线即路线直线，依此直线按设置支柱间距4m或2m一个点设置标记(或打入铁钉)，以便击压支柱对点，以此类推即可放样直线路段所有支柱，支柱高度由水准仪或依路缘石由水平尺确定。

(2) 圆曲线路段放样。在圆曲线路段同上述放点方法一样，将点放在设置支柱的位置，即支柱在圆曲线上的点，连接两点即为圆曲线的弦线，于是便可采用任意弦支距法放样各支柱在曲线上的实地位置。如图1，

令O点为坐标原点，弦为x轴，过O点垂直x轴即为y轴，于是得曲线上第i点支柱坐标为

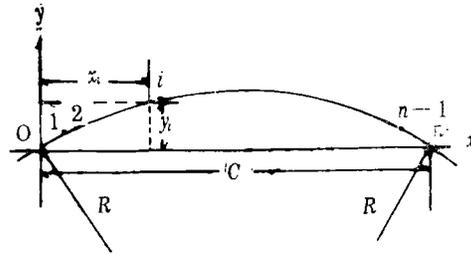


图 1

$$\left. \begin{aligned} x_i &= i \cdot D \\ y_i &= \sqrt{R^2 - \left(\frac{c}{2} - x_i\right)^2} \\ &\quad - \sqrt{R^2 - \left(\frac{c}{2}\right)^2} \end{aligned} \right\} (1)$$

式中 i —— 曲线上第*i*点点号，由0、1、2……至*n*点；

D —— 支柱标准间距2m或4m；

R —— 曲线半径；

c —— 任意弦长取用2*D*的倍数。

由式(1)便可计算各支柱相应的 x 、 y 值，依此采用弦支距法即可放样出各支柱在该曲线上的相应位置。

施工放样作业时，是将施工路线所有不同的曲线半径，及以2*D*倍数取不同的弦长，编制圆曲线短弦支距表在实地放样使用很方便。为便于常用50m钢卷尺放样弦长 $c \leq 50m$ ，当曲线半径 R 较小时，表中还应分别列入外曲线和内曲线的 y 值。表1为支柱标准间距 D 等于4m时的部分圆曲线短弦支距表，表中 $R = 600m$ 的外、内曲线 y 值，是 $R \pm 1/2$ 路宽为12m后分别计算的，由表可见相邻两点的 y 值最大增量，是当 $R = 600m$ 、 $c = 48m$ 时弦的两端处，即0、1点及 $n-1$ 、 n 两对点，由此计算两点间距最大为4.003m，与支柱标准间距相差3mm，其它均小于该差值或等于标准间距，故采用此法完全满足支柱放样精度要求。当放样支柱间距为2m时，也可由表内插得相应的 y 值进行放样。

表 1

| c (m) | y (mm) | R (m) | 600(m) | | 2500 (m) | 5000 (m) | 7000 (m) |
|----------|-----------|----------|--------|-----|-------------|-------------|-------------|
| | | | 外曲线 | 内曲线 | | | |
| | x(m) | | | | | | |
| 16 | 4 | 12 | 39 | 41 | 10 | 5 | 3 |
| | 8 | | 52 | 54 | 13 | 6 | 5 |
| 32 | 4 | 28 | 92 | 95 | 22 | 11 | 8 |
| | 8 | 24 | 157 | 163 | 38 | 19 | 14 |
| | 12 | 20 | 196 | 204 | 48 | 24 | 17 |
| | 16 | | 209 | 218 | 51 | 26 | 18 |
| 48 | 4 | 44 | 144 | 150 | 35 | 18 | 13 |
| | 8 | 40 | 262 | 272 | 64 | 32 | 23 |
| | 12 | 36 | 353 | 368 | 86 | 43 | 31 |
| | 16 | 32 | 418 | 436 | 102 | 51 | 37 |
| | 20 | 28 | 458 | 476 | 112 | 56 | 40 |
| | 24 | | 471 | 490 | 115 | 58 | 41 |

(3) 缓和曲线段放样。在缓和曲线路段采用切线支距等方法放样，由于缓和曲线较长，当圆曲线半径较小时y值较大，有些点垂足落在路边下，以及支柱间距短放样各支柱慢又很不方便，故在此提出缓和曲线任意弦支距法。如图2缓和曲线设在直线与圆曲线之间，令曲线起点ZH为坐标原点，切线方向为x轴，过原点垂直x轴为y轴。设 \$l_i\$ 为ZH点至缓和曲线上任一i点的曲线长，取微分线段 \$dl_i = \rho_i \cdot d\beta_i\$，经 \$\sin\beta_i\$ 和 \$\cos\beta_i\$ 级数展

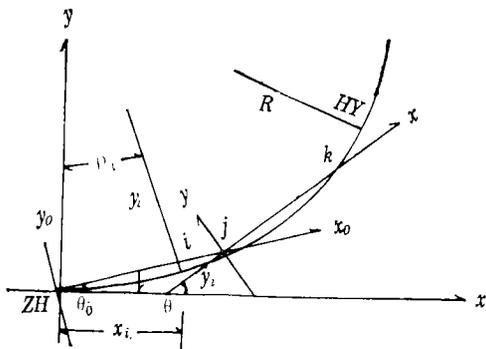


图 2

开，各自积分略去高次项简化则得该点直角坐标为

$$\left. \begin{aligned} x_i &= l_i - \frac{l_i^3}{40R^2l_n^2} \\ y_i &= \frac{l_i^3}{6Rl_n} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 \$\rho_i\$——曲率半径；
 \$\beta_i\$——曲线上 \$i\$ 点切线与起点切线交角；
 \$R\$——圆曲线半径；
 \$l_n\$——缓和曲线长。

由此可见以任意 \$l\$ 曲线长便可得 \$(x, y)\$ 坐标，同样以任意 \$l\$ 曲线长也可以得缓和曲线上任意弦坐标系的坐标。由图 2 设缓和曲线上有 \$i, k\$ 两点，两点连线即缓和曲线的弦，弦与 \$x\$ 轴交角 \$\theta\$ 为

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{20Rl_n(l_k - l_i)}{120R^2l_n^2(l_k - l_i) - 3(l_k^3 - l_i^3)} \right) \quad (3)$$

假设 \$i\$ 点为原点，弦为 \$x\$ 轴，过 \$i\$ 点垂直 \$x\$ 轴为 \$y\$ 轴，于是以 \$l\$ 曲线长计算 \$(x, y)\$ 坐标公式，并取 \$y\$ 为正值则得

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{l^3}{6Rl_n} \sin\theta \\ &+ \left(l - \frac{l^3}{40R^2l_n^2} \right) \cos\theta - a \\ y &= \left(l - \frac{l^3}{40R^2l_n^2} \right) \sin\theta \\ &- \frac{l^3}{6Rl_n} \cos\theta - b \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中 \$l\$——ZH点至缓和曲线上点的曲线长；
 \$a, b\$——常数由 \$l_i\$ 代入式(4)，因 \$i\$ 点为原点则 \$x = y = 0\$ 便可求得。

当ZH起点与缓和曲线上任一 \$i\$ 点连线的弦，该弦与 \$x\$ 轴交角以 \$\theta\$ 表示为

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{20Rl_n l_n^2}{120R^2 l_n^2 - 3l_n^3} \right) \quad (5)$$

假设ZH起点为原点，弦为 x_0 轴，过ZH点垂直 x_0 轴为 y_0 轴，将 θ_0 代入求(4)，而 $a=b=0$ ，同样以 l 缓和曲线长可得该弦坐标系的坐标。

同圆曲线一样也可将不同的缓和曲线编制成弦线支距表，如表2为当 $R=600\text{m}$ 和 2500m ， $l_n=100\text{m}$ 时，以曲线起点、中点及终点分两弦线的两个坐标系，取弦长为 50m ，支柱间距为 4m 的部分数值，表列数均以米为单位，表中两弦坐标的交角 θ_0 和 θ 按下式计算

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{80Rl_n}{1920R^2 - 3l_n^2} \right) \quad (6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{560Rl_n}{1920R^2 - 93l_n^2} \right) \quad (7)$$

表 2

| 弦长 | $R(l_n)$ | | 600 (100) | | 2500 (100) | |
|----|----------|------|-----------|---------|------------|---------|
| | l | iD | x | y | x | y |
| 50 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | | 4.000 | 0.028 | 4.000 | 0.007 |
| | 8 | | 8.000 | 0.054 | 8.000 | 0.013 |
| | ⋮ | | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | 44 | | 43.999 | 0.069 | 44.000 | 0.016 |
| | 48 | | 47.999 | 0.026 | 48.000 | 0.006 |
| 50 | 50 | 0 | (49.956) | (2.084) | (49.997) | (0.500) |
| | 52 | 2 | 1.999 | 0.054 | 2.000 | 0.013 |
| | 56 | 6 | 5.998 | 0.151 | 6.000 | 0.036 |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | 92 | 42 | 41.995 | 0.226 | 42.000 | 0.054 |
| | 96 | 46 | 45.994 | 0.126 | 46.000 | 0.030 |
| | 100 | 50 | 49.992 | 0 | 50.000 | 0 |

注：1.表中 x 和 y 括号内的数字分别为式(4)中的 a 和 b 。

2.表2中单位为 m 。

由表2可见当 $R=600\text{m}$ 、 $l_n=100\text{m}$ 时，曲线终点处两支柱为最小间距也等于标准间距，完全满足支柱放样精度要求。当支柱间距为 2m 时也可内插求得 x 、 y 值，采用该放

样方法即可准确较快而方便地放样支柱在缓和曲线路段的实地位置。

四、质量检验

护栏支柱经放样施工后，对支柱位置整齐、平直圆顺的质量检验，检查支柱竖向高度较差由水准仪测定各支柱的高程，以相邻支柱高度较差比较统计，检查支柱横向位移偏差由经纬仪方向线法和曲线段偏角法测定，采用数理统计方法确定护栏施工安装质量。以一个施工路段为例，由放样支柱施工安装波形梁后，并对少数支柱进行调整校正以后，进行最后质量检验。在对平直路段，等坡度及曲线路段抽样检查，高程检查14处，横向偏差检查9处，各处连续检查支柱不少于10个点，综合分析高度较差及平面横向偏差所达到的精度如表3。

表 3

| 误差区间(mm) | | 5 | 10 | 15 | 合计 |
|----------|-----|------|------|-----|-----|
| 高度较差 | 个数 | 133 | 34 | 2 | 169 |
| | 百分数 | 78.7 | 20.1 | 1.2 | 100 |
| 平面偏差 | 个数 | 91 | 21 | 1 | 113 |
| | 百分数 | 80.5 | 18.6 | 0.9 | 100 |

$$\text{高度较差中误差 } m_h = \pm \sqrt{\frac{4692}{169}} = \pm 5.3\text{mm}$$

$$\text{平面偏差中误差 } m_p = \pm \sqrt{\frac{2899}{113}} = \pm 5.1\text{mm}$$

由表列精度可见，误差出现的百分比基本符合规律，护栏施工安装精度较好，支柱施工竖向高度较差和平面横向偏差均满足施工安装技术要求。

五、结束语

护栏施工一般均采用边击压支柱边安装波形梁的方法，为保证施工速度和质量，采用简易适用放样方法是很重要的。本文提出的缓和曲线放样方法，经实践使用效果好。但影响施工速度和质量的因素很多，因此要在施工不同环境和条件下，进一步研究施工和放样方法、精度及质量标准。