

文章编号: 1674—8247(2021)03—0071—08  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.03.013

## 铁路建筑限界曲线加宽通用计算方法研究

赵振刚

(中铁工程设计咨询集团有限公司济南设计院, 济南 250022)

**摘 要:**为解决现行铁道行业规范体系中缺少通用的直线-圆曲线过渡段、直线-缓和曲线-圆曲线过渡段建筑限界加宽计算规定的问题,完善铁道行业基础性、底层性标准,明确相关概念和理论,本次研究以图解法生成的建筑限界曲线加宽值数据为基础,绘制了各类过渡段的加宽值曲线图,分析提出了加宽值曲线分段特征点,对加宽值曲线进行了分段。利用 MATLAB 软件对各分段加宽值数据进行了数值回归分析,归纳提出了适用于不同车辆定距、不同车辆悬长、不同平面曲线半径、不同缓和曲线长度、不同计算里程点的曲线内外侧加宽值通用计算公式。并于与图解法数据进行了对比、验证,极限误差小于 2 mm。

**关键词:**铁路; 建筑限界; 加宽; 回归分析

中图分类号:U211.7 文献标志码:A

## On the Universal Calculation Method for Curve Widening of Railway Structure Gauge

ZHAO Zhengang

(Ji'nan Design Institute of China Railway Engineering Consulting Group Co., Ltd., Ji'nan 250022, China)

**Abstract:** There is no universal rule in the current railway standard system for calculating the widening of structure gauge of the transition section from straight track to circular curve track and that from straight track via transition curve track to circular curve. In order to solve the problem, improve the fundamental and underlying standards of the railway industry and clarify related concepts and theories, this study draws curve charts for the widening values of various transition sections based on the curve widening values of structure gauge generated by graphic method, to analyze and propose the characteristic points of widening value curve segmentation and segment the widening value curve. Furthermore, a numerical regression analysis is made with MATLAB for the widening values of each section, and the universal calculation formulas for the widening value of the inner and outer sides of curve are proposed for different distances between bogie centers, different suspension lengths, different radiuses of horizontal curve, different lengths of transition curve, and different calculating chainages. The results are then compared with and check against those of the graphic method, and the limit error is less than 2 mm.

**Key words:** railway; structure gauge; widening; regression analysis

收稿日期:2020-07-06

作者简介:赵振刚(1972-),男,高级工程师。

引文格式:赵振刚. 铁路建筑限界曲线加宽通用计算方法研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(3): 71-78.

ZHAO Zhengang. On the Universal Calculation Method for Curve Widening of Railway Structure Gauge[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(3): 71-78.

## 1 现行铁路建筑限界曲线加宽规定、存在的问题及研究现状

目前,铁路行业建筑限界执行《铁路技术管理规程》和GB 146.2《标准轨距铁路建筑限界》的规定。计算车型为二轴车,车体长度 $l=26\text{ m}$ ,车辆定距 $S=18\text{ m}$ ,车辆前悬、后悬 $q=4\text{ m}$ 。规范规定了圆曲线地段内外侧限界加宽方法,即在直线-缓和曲线-圆曲线过渡段可采用阶梯型方式或曲线圆顺方式,虽给出了阶梯型加宽的具体方法,但未明确曲线圆顺加宽的具体方法。

目前,许多专家学者开展了相关研究,周兵和<sup>[1]</sup>创造性地绘出了缓和曲线内外侧限界加宽值分布示意图,提出了缓和曲线铁路建筑限界加宽方法,对加宽曲线中曲线部分采用了直线拟合的方式,车型采用铁路行业规定的计算车型。赵振刚<sup>[2]</sup>绘制了缓和曲线段加宽值曲线示意图,采用多项式拟合的方法对加宽值线的曲线部分进行拟合,分段给出了加宽值计算式。但仅适用于铁路行业标准计算车型。李长准、李明炜<sup>[3-4]</sup>利用数学分析方法,创造性地提出了不同车型参数,不同线路平面参数下,直-圆过渡段、直-缓-圆过渡段铁路建筑限界加宽计算方法,公式简单,方法明确,较好地解决了方法的通用性问题。但经验证,在小半径曲线条件下,在缓和曲线起点处误差较大。在缓和曲线与圆曲线连接处加宽值线与实际不符,误差值较大。张徐<sup>[5]</sup>利用MATLAB软件,分析了地铁车辆在圆曲线、缓和曲线及曲线过渡段的限界加宽量,绘制了内外侧加宽值曲线。温双义<sup>[6]</sup>通过几何分析方法,阐述了缓和曲线与圆曲线加宽值的比值成正比例关系,提出限界缓和曲线地段加宽计算的比值加宽法。

作为铁道行业基础性标准,对直-圆过渡段、直-缓-圆过渡段建筑限界加宽计算方法进行研究,明确过渡段加宽值变化规律,提出适应不同车型、不同线路平面参数的曲线加宽值计算方法是必要的。笔者利用VB软件编制了建筑限界曲线加宽值计算程序,可进行不同车辆尺寸、不同线路平面参数曲线内、外侧及超高加宽计算,可生成线路平面及车体动态中心线图解图形、内外侧加宽值曲线图形,导出各里程点的加宽值。

## 2 技术路线

### 2.1 研究目标

提出不同车辆定距、不同车辆悬长、不同曲线半

径、不设缓和曲线或不同缓和曲线长度、不同计算里程共五个变量条件下,建筑限界曲线内外侧加宽值计算式。

### 2.2 技术路线

(1)不设缓和曲线时,结合站场手册规定的加宽公式,以计算机程序生成的不同计算条件的图解法大数据为基础,绘制加宽值曲线图,利用MATLAB软件分析总结各加宽值变化规律,提出不设缓和曲线时,曲线内外侧通用加宽计算式。

(2)设缓和曲线时,以计算机程序生成的图解法大数据为基础,绘制不同计算条件下加宽值曲线图,利用MATLAB软件分析曲线特征点(如交点)规律,提出特征点计算式;在特征点计算式基础上,结合参考文献中的资料,利用MATLAB软件,分段分析提出设缓和曲线时,曲线内外侧通用加宽计算式。

(3)与计算机程序生成的图解法数据进行对比,验证通用计算式的误差和正确性。

限于篇幅,本文间隔列出部分图解法基础数据和分析过程。验证不列具体过程,仅给出结论。为便于验证、理解,给出的计算式未化简。

## 3 建筑限界曲线加宽计算参数

### 3.1 计算变量及符号

包括曲线半径 $R$ 、缓和曲线长 $l$ 、车辆定距 $S$ 、车辆悬长 $q$ 、计算点里程 $x$ 共5个变量。车型按二轴车,即不考虑转向架的曲线横向偏移量。

### 3.2 里程及单位约定

本文中以ZY点、ZH点里程为+000,ZY点、ZH点前里程为负值。除加宽值单位以mm计外,其他尺寸单位均以m计。

## 4 不设缓和曲线时建筑限界曲线加宽

### 4.1 不设缓和曲线时建筑限界曲线内侧加宽

#### 4.1.1 图解法数据及内侧加宽值示意图

主要影响变量为车辆定距 $S$ 及半径 $R$ 。通过图解法数据,得出 $R=600\text{ m}$ 、 $S=12\text{ m}$ ;  $R=600\text{ m}$ 、 $S=14\text{ m}$ ;  $R=600\text{ m}$ 、 $S=16\text{ m}$ ;  $R=600\text{ m}$ 、 $S=18\text{ m}$ ;  $R=600\text{ m}$ 、 $S=24\text{ m}$ ;  $R=300\text{ m}$ 、 $S=16\text{ m}$  不设缓和曲线时各点的内侧加宽值,如表1所示。以 $R=600\text{ m}$ 、 $S=18\text{ m}$ 为例绘制不设缓和曲线时内侧加宽值示意图,如图1所示。

《铁路工程设计技术手册 站场及枢纽》规定了不设缓和曲线时直线与圆曲线过渡地段变加宽计算方法:

(1) 不设缓和曲线时曲线内侧变加宽(m)  
以ZY点前18 m为里程0点,曲线ZY点前18 m至ZY点曲线内侧变加宽为:

$$y_{内} = \frac{x^3}{243R} \tag{1}$$

ZY点至ZY点后9 m曲线内侧变加宽为:  
$$y_{内} = \frac{x^3}{243R} - \frac{(x-18)^2}{2R} \tag{2}$$

(2) 不设缓和曲线时曲线外侧变加宽(m)  
以ZY点前22 m为里程0点,曲线ZY点前22 m至ZY点前4 m,曲线外侧变加宽为:

$$y_{内} = \frac{x^2}{9R} \tag{3}$$

ZY点前4 m至ZY点,曲线外侧变加宽为:  
$$y_{内} = \frac{44}{R} - \frac{(22-x)^2}{2R} \tag{4}$$

表1 不设缓和曲线时内侧加宽值表(mm)

里程 x	R=600 m S=12 m	R=600 m S=14 m	R=600 m S=16 m	R=600 m S=18 m	R=600 m S=24 m	R=300 m S=16 m
-024	-	-	-	-	0	-
-022	-	-	-	-	0.039	-
-020	-	-	-	-	0.326	-
-018	-	-	-	0	1.111	-
-016	-	-	0	0.052	2.626	0
-014	-	0	0.059	0.434	5.135	0.117
-012	0	0.067	0.488	1.481	8.889	0.977
-010	0.078	0.558	1.667	3.501	14.102	3.333
-008	0.651	1.905	3.939	6.846	21.055	7.878
-006	2.222	4.501	7.702	11.852	30.000	15.404
-004	5.251	8.802	13.333	18.802	41.133	26.667
-002	10.269	15.238	21.152	28.073	54.753	42.305
+000	17.779	24.174	31.582	40.000	71.112	63.165
+002	24.870	32.760	41.666	51.510	87.053	83.332
+004	28.776	38.095	48.365	59.669	99.560	96.728
+006	30.000	40.513	52.128	64.814	108.886	104.252
+008	30.000	40.833	53.333	67.180	115.192	106.660
+010	30.000	40.833	53.333	67.499	118.811	106.660
+012	30.000	40.833	53.333	67.499	119.996	106.660
+014	30.000	40.833	53.333	67.499	119.996	106.660

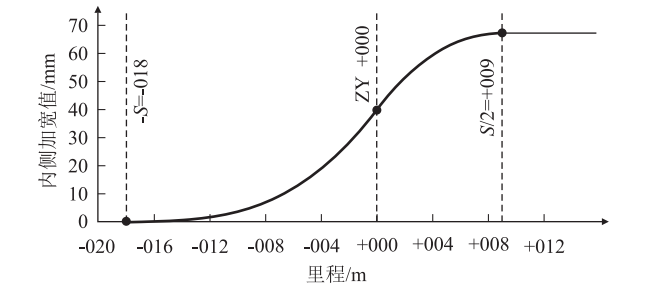


图1 R=600 m,S=18 不设缓和曲线时内侧加宽值示意图

4.1.2 内侧加宽值特征点及分段分析  
(1) 根据图1和式(1),特征点定为ZY点前定距点、ZY点和ZY点后1/2倍定距点。  
(2) ZY点前定距点至ZY点:利用MATLAB软件辅助分析,将ZY点(即表1中里程为+000点)加宽值参照式(1)格式进行整理,如表2所示。

表2 不设缓和曲线地段ZY点内侧加宽值表

序号	半径R/m	定距S/m	里程+000处加宽值/mm	参考站场手册式(1)整理/m
1	600	12	17.779	$\approx 12^3/162R$
2	600	14	24.174	$\approx 14^3/189R$
3	600	16	31.582	$\approx 16^3/216R$
4	600	18	40.000	$\approx 18^3/243R$
5	600	24	71.112	$\approx 24^3/324R$
6	300	16	63.165	$\approx 16^3/216R$

参考式(1),可得不设缓和曲线时ZY点前定距点至ZY点曲线内侧加宽计算式为:

$$W_{nw1} = \frac{2(x+S)^3}{27SR} \quad [-S \leq x \leq 0] \tag{5}$$

经验证,采用式(5)计算结果与表1中各组合加宽值差值在0.045~-0.002 mm之间。

(3) ZY点至ZY点后1/2倍定距点  
利用MATLAB软件,ZY点后1/2倍定距点处加宽值参照式(2)、式(5)整理,如表3所示。

表3 不设缓和曲线地段ZY点后1/2倍定距长处内侧加宽值表

序号	半径R/m	定距S/m	ZY点后1/2倍定距长里程值x	里程点内侧加宽值/mm	参考站场手册式(2)整理/m
1	600	12	+006	30.000	$\approx 2 \times (6+12)^3/27/S/R - 6^2/2/R$
2	600	14	+007	40.833	$\approx 2 \times (7+14)^3/27/S/R - 7^2/2/R$
3	600	16	+008	53.333	$\approx 2 \times (8+16)^3/27/S/R - 8^2/2/R$
4	600	18	+009	67.499	$\approx 2 \times (9+18)^3/27/S/R - 9^2/2/R$
5	600	24	+012	119.996	$\approx 2 \times (12+24)^3/27/S/R - 12^2/2/R$
6	300	16	+008	106.660	$\approx 2 \times (8+16)^3/27/S/R - 8^2/2/R$

参考式(2)、式(5),可得不设缓和曲线时ZY点至ZY点后1/2倍定距点曲线内侧加宽计算式:

$$W_{nw2} = \frac{2(x+S)^3}{27SR} - \frac{x^2}{2R} \quad \left[0 \leq x \leq \frac{S}{2}\right] \tag{6}$$

经验证,采用式(6)计算结果与表1中各组合加宽值差值在0.069~0 mm之间。

4.2 不设缓和曲线时建筑限界曲线外侧加宽

4.2.1 图解法数据及外侧加宽值示意图

主要影响变量为车辆定距S、悬长q及半径R,通过图解法数据,得出R=600 m、S=12 m、q=4 m;R=600 m、S=16 m、q=4 m;R=600 m、S=18 m、q=4 m;R=600 m、S=16 m、q=5 m;R=300 m、S=16 m、q=5 m、R=300 m、S=18 m、q=6 m 不设缓和曲线时各点的内侧加宽值,如表4所示。以R=600 m、

$S=18\text{ m}$ 、 $q=4\text{ m}$  为例绘制不设缓和曲线时外侧加宽值示意图,如图2所示。

表4  $R=600\text{ m}$ 、 $S=12\sim 24\text{ m}$  不设缓和曲线时外侧加宽值表 (mm)

里程 $x$	$R=600\text{ m}$ $S=12\text{ m}$ $q=4\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $S=16\text{ m}$ $q=4\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $S=18\text{ m}$ $q=4\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $S=16\text{ m}$ $q=5\text{ m}$	$R=300\text{ m}$ $S=16\text{ m}$ $q=5\text{ m}$	$R=300\text{ m}$ $S=18\text{ m}$ $q=6\text{ m}$
-024	-	-	-	-	-	0
-023	-	-	-	-	-	0.556
-022	-	-	0	-	-	2.222
-021	-	-	0.185	0	0	5.000
-020	-	0	0.741	0.260	0.521	8.889
-019	-	0.208	1.667	1.042	2.083	13.889
-018	-	0.833	2.963	2.344	4.687	20.000
-017	-	1.875	4.630	4.167	8.333	27.222
-016	0	3.333	6.667	6.510	13.021	35.555
-015	0.278	5.208	9.074	9.375	18.750	44.999
-014	1.111	7.500	11.852	12.760	25.520	55.554
-013	2.500	10.208	15.000	16.667	33.333	67.221
-012	4.444	13.333	18.518	21.094	42.187	79.998
-011	6.944	16.875	22.407	26.042	52.082	93.887
-010	10.000	20.833	26.667	31.510	63.020	108.886
-009	13.611	25.208	31.296	37.500	74.999	124.997
-008	17.778	30.000	36.296	44.010	88.019	142.218
-007	22.500	35.208	41.666	51.041	102.081	160.551
-006	27.778	40.833	47.407	58.593	117.185	179.993
-005	33.611	46.874	53.518	66.666	133.329	198.324
-004	40.000	53.333	59.999	74.166	148.328	213.322
-003	45.833	59.166	65.833	79.999	159.993	224.986
-002	50.000	63.333	69.999	84.166	168.325	233.318
-001	52.500	65.833	72.499	86.665	173.324	238.316
+000	53.333	66.666	73.332	87.499	174.990	239.982
+001	53.333	66.666	73.332	87.499	174.990	239.982
+002	53.333	66.666	73.332	87.499	174.990	239.982

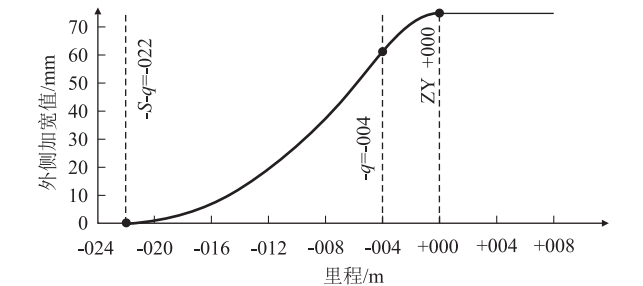


图2  $R=600\text{ m}$ 、 $S=18\text{ m}$ 、 $q=4\text{ m}$  不设缓和曲线时外侧加宽值示意图

4.2.2 外侧加宽值特征点及分段分析

(1) 结合图2和式(3),特征点定为ZY点前定距加悬长点、ZY点悬长点和ZY点。

(2)ZY点前定距加悬长点值ZY点前悬长点;利

用MATLAB软件,将ZY点前悬长点加宽值参照式(3)进行整理,如表5所示。

表5 不设缓和曲线ZY点前悬长点外侧加宽值表

序号	半径 $R/\text{m}$	定距 $S/\text{m}$	悬长 $q/\text{m}$	ZY点前悬 长点里程 $x/\text{mm}$	外侧 加宽值 $W_{\text{ww1}}/\text{mm}$	参考站场手册式(3) 整理/m
1	600	12	4	-004	40.000	$=(-4+12+4)^2/6R$
2	600	16	4	-004	53.333	$=(-4+16+4)^2/8R$
3	600	18	4	-004	59.999	$\approx(-4+18+4)^2/9R$
4	600	16	5	-005	66.666	$\approx(-5+16+5)^2/6.4R$
5	300	16	5	-005	133.329	$\approx(-5+16+5)^2/6.4R$
6	300	18	6	-006	179.993	$\approx(-6+18+6)^2/6R$

参考式(3)分析整理后,可得不设缓和曲线时ZY点前定距加悬长点至ZY点前悬长点曲线外侧加宽计算式:

$$W_{\text{ww1}} = \frac{(x + S + q)^2 q}{2SR} \quad [-S - q \leq x \leq -q]$$

(7)

经验证,采用式(7)计算结果与表4中各组合加宽值差值在0.007~ -0.0004 mm之间。

(3)ZY点前悬长点至ZY点:利用MATLAB软件,对ZY点前悬长点至ZY点外侧加宽值参考式(4)、式(7)整理,如表6所示。

表6 不设缓和曲线ZY点前悬长点外侧加宽值表

序号	半径 $R/\text{m}$	定距 $S/\text{m}$	悬长 $q/\text{m}$	里程 $x/\text{mm}$	外侧加宽 值/mm	参考站场手册式(4) 整理/m
1	600	12	4	-004	40.000	$=(20^2-12^2)/8/R-(-4)^2/2R$
2	600	16	4	-004	53.333	$=(24^2-16^2)/8/R-(-4)^2/2R$
3	600	18	4	-004	59.999	$\approx(26^2-18^2)/8/R-(-4)^2/2R$
4	600	16	5	-005	66.666	$\approx(26^2-16^2)/8/R-(-5)^2/2R$
5	300	16	5	-005	133.329	$\approx(26^2-16^2)/8/R-(-5)^2/2R$
6	300	18	6	-006	179.993	$\approx(30^2-18^2)/8/R-(-6)^2/2R$

参考式(4)、式(7)分析整理后,可得不设缓和曲线时ZY点前悬长点至ZY点曲线外侧加宽计算式:

$$W_{\text{ww2}} = \frac{(S + 2q)^2 - S^2}{8R} - \frac{x^2}{2R} \quad [-q \leq x \leq 0]$$

(8)

经验证,采用式(8)计算结果与表4中各组合加宽值差值在0.018~0 mm之间。

5 设缓和曲线时建筑限界曲线内外侧加宽

5.1 设缓和曲线时建筑限界曲线内侧加宽

5.1.1 图解法数据及内侧加宽值示意图

影响变量为半径 $R$ 、缓和曲线长 $l$ 及车辆定距 $S$ 。通过图解法数据,得出不同车辆尺寸、不同线路平面参数设缓和曲线时内侧加宽值如表7所示。以 $R=$

600 m、 $l=100$  m、 $S=20$  m 为例绘制设缓和曲线时内侧加宽值示意图,如图 3 所示。

表 7  $R=600$  m、 $S=12\sim 24$  m 设缓和曲线时内侧加宽值表 (mm)

里程 $x$	$R=600$ m $l=100$ m $S=12$ m	$R=600$ m $l=100$ m $S=18$ m	$R=600$ m $l=100$ m $S=20$ m	$R=600$ m $l=120$ m $S=16$ m	$R=600$ m $l=120$ m $S=18$ m	$R=800$ m $l=100$ m $S=18$ m	$R=1\ 000$ m $l=80$ m $S=18$ m
-020	-	-	0.000	-	-	-	-
-016	-	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
-012	0.000	0.021	0.060	0.004	0.018	0.016	0.016
-008	0.006	0.163	0.304	0.062	0.136	0.122	0.122
-004	0.100	0.625	0.960	0.316	0.521	0.469	0.469
+000	0.506	1.709	2.344	1.000	1.424	1.281	1.281
+004	1.422	3.635	4.682	2.293	3.029	2.726	2.726
+008	2.531	6.022	7.583	3.889	5.018	4.516	4.516
+012	3.694	8.556	10.677	5.575	7.130	6.417	6.417
+016	4.866	11.156	13.867	7.292	9.297	8.367	8.367
+020	6.058	13.781	17.106	9.042	11.484	10.336	10.336
+024	7.249	16.444	20.365	10.792	13.704	12.333	12.333
+028	8.441	19.111	23.650	12.543	15.926	14.333	14.333
+032	9.633	21.778	26.950	14.314	18.148	16.333	16.333
+036	10.824	24.449	30.250	16.085	20.374	18.337	18.337
+040	12.016	27.141	33.550	17.856	22.617	20.356	20.356
+044	13.208	29.833	36.852	19.627	24.860	22.374	22.374
+048	14.400	32.524	40.177	21.398	27.104	24.393	24.393
+052	15.600	35.216	43.502	23.168	29.347	26.412	26.412
+056	16.800	37.907	46.827	24.939	31.590	28.431	28.431
+060	18.000	40.599	50.152	26.710	33.833	30.449	30.449
+064	19.200	43.291	53.477	28.481	36.076	32.468	32.468
+068	20.400	45.982	56.801	30.252	38.319	34.487	34.487
+072	21.600	48.674	60.126	32.022	40.562	36.506	36.502
+076	22.800	51.365	63.451	33.793	42.805	38.524	38.361
+080	24.000	54.057	66.776	35.564	45.048	40.543	39.740
+084	25.200	56.749	70.101	37.335	47.291	42.562	40.370
+088	26.400	59.440	73.426	39.111	49.534	44.580	40.499
+092	27.600	62.127	76.730	40.889	51.777	46.596	40.500
+096	28.789	64.625	79.713	42.666	54.020	48.469	40.500
+100	29.700	66.486	81.943	44.444	56.263	49.865	40.500
+104	29.989	67.325	83.031	46.222	58.506	50.494	40.500
+108	30.000	67.497	83.320	47.999	60.749	50.623	40.500
+112	30.000	67.499	83.331	49.777	62.998	50.624	40.500
+116	30.000	67.499	83.331	51.481	65.104	50.624	40.500
+120	30.000	67.499	83.331	52.740	66.655	50.624	40.500
+124	30.000	67.499	83.331	53.258	67.354	50.624	40.500
+128	30.000	67.499	83.331	53.333	67.498	50.624	40.500
+132	30.000	67.499	83.331	53.333	67.499	50.624	40.500

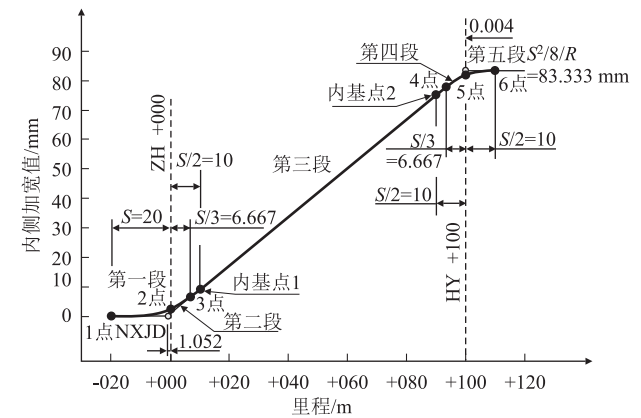


图 3  $R=600$  m、 $l=100$  m、 $S=20$  m 设缓和曲线时内侧加宽值示意图

5.1.2 内侧加宽值曲线特征分析

(1) 内侧加宽值曲线的交点

从图 3 可以看出,设缓和曲线时内侧加宽值曲线近似为反向曲线。经过对程序生成的内外侧加宽值曲线图形进行分析,中间一段可近似为直线。为便于分析,考虑平衡误差以及适应短夹直线的计算条件,按 ZH 点后 1/2 倍定距点(命名为内基点 1)、HY 点前 1/2 倍定距点(命名为内基点 2)作为拟合该直线的基点。内基点 1、2 间直线与 0 加宽值水平线、圆曲线段加宽值水平线有两个交点,命名为 NXJD 和 NSJD。从图 3 可以看出,确定 NXJD、NSJD 坐标即可基本确定加宽曲线形状。

图 3 中内基点 1 里程取 +010,内基点 2 里程为 +090。经测量程序导出的加宽值线图形,下交点 NXJD 坐标为 ( - 1.052, 0 ),上交点 NSJD 坐标为 (99.996,83.333)。

为分析 NXJD 和 NSJD 变化规律,测量得出其他计算条件下 NXJD、NSJD 坐标,如表 8 所示。

表 8 内侧加宽曲线 NXJD、NSJD 坐标值表

坐标	$R=600$ m $l=100$ m $S=12$ m	$R=600$ m $l=100$ m $S=18$ m	$R=600$ m $l=100$ m $S=20$ m	$R=600$ m $l=120$ m $S=16$ m	$R=600$ m $l=120$ m $S=18$ m	$R=800$ m $l=100$ m $S=18$ m	$R=1\ 000$ m $l=80$ m $S=18$ m
NXJD- $x$	-0.605	-0.940	-1.052	-0.814	-0.926	-0.940	-0.961
NXJD- $y$	0	0	0	0	0	0	0
NSJD- $x$	100.039	100.036	99.996	120.058	120.075	100.036	79.993
NSJD- $y$	30.000	67.499	83.333	53.333	67.499	50.624	40.500

利用 MATLAB 软件,结合其他计算条件图解法数据,分析下交点  $x$  坐标关于定距和缓和曲线长的变化规律,得出  $x$  坐标可近似为:

$$x_{\text{nsjd}}=-\frac{S}{22}-\frac{14}{l}\tag{9}$$

上交点  $x$  坐标与缓和曲线长差距小于 0.1,经验证对加宽值曲线影响较小,上交点  $x$  坐标取为缓和曲线长。

$$x_{\text{nsjd}}=l\tag{10}$$

(2) 内侧加宽值曲线特征点

结合参考文献[3],将内侧加宽值曲线分为 5 段,特征点有 6 个,如表 9 所示。

表 9 设缓和曲线时内侧加宽值曲线分段表

特征点	描述	里程值	内侧加宽值曲线分段
1 点	ZH 点前定距点	-S	第一段
2 点	ZH 点	0	
3 点	ZH 点后 1/3 倍定距点	S/3	第二段
4 点	HY 点前 1/3 倍定距点	$l-S/3$	第三段
5 点	HY 点	$l$	第四段
6 点	HY 点后 1/2 倍定距点	$l+S/2$	第五段

5.1.3 内侧加宽值曲线分段分析

(1) 第一、二段(从 ZH 点前定距点至 ZH 点、至

ZH 点后 1/3 倍定距点)

利用 MATLAB、Excel 软件,对参考文献[3]中两段计算式进行验证分析,经验证与表 7 中各组合加宽值差值在 0.000 5 mm ~ -0.000 4 mm 之间。整理得出则第一、二段加宽计算式为:

W<sub>ny1</sub> = 9(x+S)<sup>4</sup> / 512RlS [-S ≤ x ≤ 0] (11)

W<sub>ny2</sub> = 9(x+S)<sup>4</sup> / 512RlS - x<sup>3</sup> / 6Rl [0 ≤ x ≤ S/3] (12)

(2) 第三段(从 ZH 点后 1/3 定距点至 HY 点前 1/3 定距点)

根据图 3 及加宽曲线 NXJD、NSJD 坐标,采用内插法,得出第三段加宽式为:

W<sub>ny1</sub> = S<sup>2</sup>(x + S/22 + 14/l) / 8R(l + S/22 + 14/l) [S/3 ≤ x ≤ l - S/3] (13)

经验证,采用式(13)计算结果与表 7 各组合加宽值差值在 0.322 mm ~ -0.120 mm 之间。

(3) 第四、五段(从 HY 点前 1/3 倍定距点至 HY 点至 HY 点后 1/2 倍定距点)

参考前述分析,第五段加宽计算式应较第四段简单,因此先分析第五段。利用 MATLAB 软件,对 HY 点至 HY 点后 1/2 倍定距点内侧加宽值进行分析,按 w = S<sup>2</sup>/8/R + a(x - l - S/2)<sup>3</sup> 格式进行整理,如表 10 所示。

表 10 不设缓和曲线 HY 点后 1/2 倍定距长点内侧加宽值表						
序号	半径 R/m	定距 S/m	悬长 q/m	里程 x/mm	外侧加宽值/mm	按 w = S <sup>2</sup> /8/R + a(x - l - S/2) <sup>3</sup> /m
1	600	100	12	+100	29.700	= 12 <sup>2</sup> /8/R + 1.389e - 6(100 - l - S/2) <sup>3</sup>
2	600	100	18	+100	66.486	= 18 <sup>2</sup> /8/R + 1.391e - 6(100 - l - S/2) <sup>3</sup>
3	600	100	20	+100	81.943	= 20 <sup>2</sup> /8/R + 1.390e - 6(100 - l - S/2) <sup>3</sup>
4	600	120	16	+120	52.740	= 16 <sup>2</sup> /8/R + 1.159e - 6(120 - l - S/2) <sup>3</sup>
5	600	120	18	+120	66.655	= 18 <sup>2</sup> /8/R + 1.159e - 6(120 - l - S/2) <sup>3</sup>
6	800	100	18	+100	49.865	= 18 <sup>2</sup> /8/R + 1.043e - 6(100 - l - S/2) <sup>3</sup>
7	1000	80	18	+80	39.740	= 18 <sup>2</sup> /8/R + 1.043e - 6(80 - l - S/2) <sup>3</sup>

从表 10 可以看出,a 值与定距无关,与 R、l 成反比,对 a 值进行整理,初步得 a = 1/(12Rl)。

第四段,利用 MATLAB 软件,对 HY 点前 1/3 倍定距点至 HY 点内侧加宽值进行分析、结合初拟第五段计算式,按 w = S<sup>2</sup>/8/R + a(x - l - S/2)<sup>3</sup> + b(x - l)<sup>3</sup> 格式进行整理,如表 11 所示。

表 11 不设缓和曲线 HY 点前内侧加宽值表

序号	半径 R/m	定距 S/m	悬长 q/m	里程 x/mm	外侧加宽值/mm	按 w = S <sup>2</sup> /8/R + a(x - l - S/2) <sup>3</sup> + b(x - l) <sup>3</sup> /m
1	600	100	12	+096	28.789	= 12 <sup>2</sup> /8/R + 1.389e - 6(96 - l - S/2) <sup>3</sup> - 2.778e - 6(100 - l) <sup>3</sup>
2	600	100	18	+096	64.625	= 18 <sup>2</sup> /8/R + 1.393e - 6(96 - l - S/2) <sup>3</sup> - 2.857e - 6(96 - l) <sup>3</sup>
3	600	100	20	+096	79.713	= 20 <sup>2</sup> /8/R + 1.392e - 6(96 - l - S/2) <sup>3</sup> - 3.068e - 6(96 - l) <sup>3</sup>
4	600	120	16	+116	51.481	= 16 <sup>2</sup> /8/R + 1.157e - 6(116 - l - S/2) <sup>3</sup> - 2.315e - 6(116 - l) <sup>3</sup>
5	600	120	18	+116	65.104	= 18 <sup>2</sup> /8/R + 1.157e - 6(116 - l - S/2) <sup>3</sup> - 2.315e - 6(116 - l) <sup>3</sup>
6	800	100	18	+096	48.469	= 18 <sup>2</sup> /8/R + 1.045e - 6(96 - l - S/2) <sup>3</sup> - 2.143e - 6(96 - l) <sup>3</sup>
7	1000	80	18	+076	38.361	= 18 <sup>2</sup> /8/R + 1.038e - 6(76 - l - S/2) <sup>3</sup> - 2.242e - 6(76 - l) <sup>3</sup>

从表 11 可以看出,a 值与表 10 中 a 值基本相同,b 值与半径无关,约等于 a 值的 -2 倍,对 b 值进行整理,初步得 b = -1/(6Rl)。

将上述 a、b 值进行第四、五段内侧加宽值验算,发现当半径、缓长取值较小时误差较大,如当 R = 200, l = 20, S = 18, x = 14 及 20 时,按该式计算加宽值为 123.188 mm、187.313 mm,而图解法计算加宽值为 146.064 mm、188.344 mm,误差值较大。说明 a、b 直接按与 R、l 取反比不严谨。因此利用大数据分析的方法,重新分析 a、b 取值。研究了半径采用 R = 200、300, l = 20 ~ 100, S = 18 时 a、b 取值,如表 12 所示。

表 12 设缓和曲线第四、五段 a、b 值表

半径 R/m	缓长 l/m	a (× 10 <sup>-6</sup> )	b (× 10 <sup>-6</sup> )	半径 R/m	缓长 l/m	a (× 10 <sup>-6</sup> )	b (× 10 <sup>-6</sup> )
200	20	19.140	-38.660	300	20	12.760	25.780
200	30	13.320	-27.880	300	30	8.880	18.590
200	40	9.927	-18.450	300	40	6.620	12.310
200	50	7.942	-14.760	300	50	5.296	9.845
200	60	6.663	-12.750	300	60	4.443	8.500
200	70	5.819	-11.930	300	70	3.880	7.957
200	80	5.188	-11.200	300	80	3.460	7.470
200	90	4.656	-10.070	300	90	3.105	6.725
200	100	4.177	-8.566	300	100	2.786	5.712

利用 MATLAB 软件,分析 a、b 值规律,得出 a、b 值与 R 成反比,与 l 成非线性递减,b ≈ 2a。拟合整理为:

a = (1/13Rl + 1/17940R) (14)

b = (2/13Rl + 2/17940R)

则得出第四、五段加宽计算式:

W<sub>ny4</sub> = S<sup>2</sup> / 8R + (1/13Rl + 1/17940R)(x - l - S/2)<sup>3</sup> - (2/13Rl + 2/17940R)(x - l)<sup>3</sup> [l - S/3 ≤ x ≤ l] (15)



$$W_{ny5} = \frac{S^2}{8R} + \left( \frac{1}{13Rl} + \frac{1}{17\,940R} \right) \left( x - l\frac{S}{2} \right)^3 \quad [l \leq x \leq l + \frac{S}{2}] \quad (16)$$

经验证,采用式(15)、式(16)计算结果与表 7 各组合加宽值差值在 0.018 ~ -0.007 mm 之间。与  $R=200,300,l=20\sim100,S=18$  时各组合加宽值差值在 0.929 ~ 1.043 mm 之间

5.2 设缓和曲线时建筑限界曲线外侧加宽

5.2.1 图解法数据及外侧加宽值示意图

影响变量为半径  $R$ 、缓长  $l$ 、车辆定距  $S$  及悬长  $q$ 。通过图解法数据,得出不同车辆尺寸、不同线路平面参数设缓和曲线时各点的外侧加宽值,如表 13 所示。以

表 13 设缓和曲线时外侧加宽值表 (mm)

里程 $x$	$R=400\text{ m}$ $l=60\text{ m}$ $S=12\text{ m}$ $q=3\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $l=100\text{ m}$ $S=12\text{ m}$ $q=3\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $l=100\text{ m}$ $S=18\text{ m}$ $q=4\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $l=120\text{ m}$ $S=18\text{ m}$ $q=4\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $l=120\text{ m}$ $S=18\text{ m}$ $q=5\text{ m}$	$R=800\text{ m}$ $l=100\text{ m}$ $S=20\text{ m}$ $q=5\text{ m}$	$R=1\,000\text{ m}$ $l=80\text{ m}$ $S=20\text{ m}$ $q=5\text{ m}$
-024	-	-	-	-	-	0.001	0.001
-020	-	-	0.005	0.004	0.017	0.065	0.065
-016	-	-	0.133	0.111	0.221	0.380	0.380
-012	0.047	0.019	0.617	0.514	0.856	1.144	1.144
-008	0.595	0.238	1.694	1.412	2.170	2.559	2.559
-004	2.311	0.924	3.600	3.000	4.407	4.821	4.821
+000	5.625	2.250	6.356	5.296	7.454	7.812	7.812
+004	9.375	3.750	9.289	7.741	10.648	10.937	10.937
+008	13.125	5.250	12.222	10.185	13.843	14.062	14.062
+012	16.875	6.750	15.156	12.630	17.037	17.187	17.187
+016	20.625	8.250	18.089	15.074	20.231	20.312	20.312
+020	24.375	9.750	21.022	17.519	23.426	23.437	23.437
+024	28.125	11.250	23.956	19.963	26.620	26.562	26.562
+028	31.875	12.750	26.889	22.407	29.815	29.687	29.687
+032	35.625	14.250	29.822	24.852	33.009	32.812	32.812
+036	39.375	15.750	32.755	27.296	36.204	35.937	35.937
+040	43.125	17.250	35.689	29.741	39.398	39.062	39.062
+044	46.874	18.750	38.622	32.185	42.592	42.187	42.187
+048	50.577	20.250	41.555	34.630	45.787	45.312	45.312
+052	53.779	21.750	44.489	37.074	48.981	48.437	48.437
+056	55.813	23.250	47.422	39.518	52.176	51.562	51.562
+060	56.249	24.750	50.355	41.963	55.370	54.687	54.622
+064	56.249	26.250	53.288	44.407	58.564	57.812	57.432
+068	56.249	27.750	56.222	46.852	61.759	60.937	59.793
+072	56.249	29.250	59.155	49.296	64.953	64.062	61.503
+076	56.249	30.750	62.088	51.740	68.148	67.186	62.366
+080	56.249	32.250	65.017	54.185	71.342	70.247	62.500
+084	56.249	33.750	67.821	56.629	74.536	73.057	62.500
+088	56.249	35.231	70.271	59.073	77.731	75.417	62.500
+092	56.249	36.512	72.127	61.518	80.925	77.128	62.500
+096	56.249	37.325	73.154	63.962	84.119	77.991	62.500
+100	56.249	37.500	73.332	66.402	87.296	78.124	62.500
+104	56.249	37.500	73.332	68.740	90.287	78.124	62.500
+108	56.249	37.500	73.332	70.781	92.846	78.124	62.500
+112	56.249	37.500	73.332	72.328	94.726	78.124	62.500
+116	56.249	37.500	73.332	73.184	95.684	78.124	62.500
+120	56.249	37.500	73.332	73.332	95.832	78.124	62.500
+124	56.249	37.500	73.332	73.332	95.832	78.124	62.500

$R=600\text{ m},l=100\text{ m},S=18\text{ m},q=4\text{ m}$  为例绘制设缓和曲线时外侧加宽值示意图,如图 4 所示。

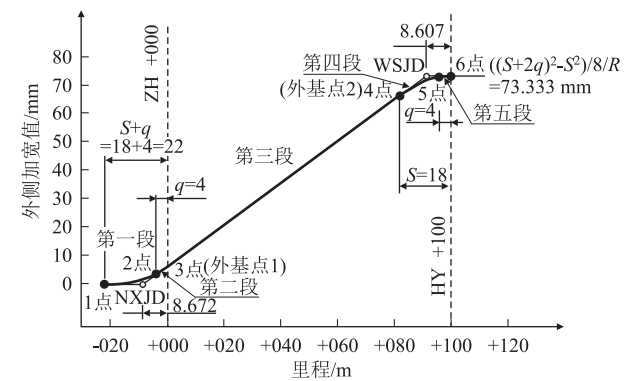


图 4  $R=600\text{ m},l=100\text{ m},S=18\text{ m},q=4\text{ m}$  设缓和曲线时外侧加宽值示意图

5.2.2 外侧加宽值曲线特征分析

(1) 外侧加宽值曲线的交点

从图 4 可以看出,设缓和曲线时外侧加宽值曲线也近似为反向曲线,中间一段可近似为直线。与内侧类似,按 ZH 点(命名为外基点 1)、HY 点前 1 倍定距点(命名为外基点 2)作为拟合该直线的基点。下部和上部交点命名为 WXJD 和 WSJD。

图 4 中外基点 1 里程取为 +000,外基点 2 里程取为 +082。经测量程序导出的加宽值线图形,下交点 WXJD 坐标为 (- 8.672, 0),上交点 WSJD 坐标为 (91.393,73.333)。

为分析 WXJD 和 WSJD 变化规律,测量得出其他计算条件下 WXJD、WSJD 坐标,如表 14 所示。

表 14 外侧加宽曲线 WXJD、WSJD 坐标值表

坐标	$R=400\text{ m}$ $l=60\text{ m}$ $S=12\text{ m}$ $q=3\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $l=100\text{ m}$ $S=12\text{ m}$ $q=3\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $l=100\text{ m}$ $S=18\text{ m}$ $q=4\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $l=120\text{ m}$ $S=18\text{ m}$ $q=4\text{ m}$	$R=600\text{ m}$ $l=120\text{ m}$ $S=18\text{ m}$ $q=5\text{ m}$	$R=800\text{ m}$ $l=100\text{ m}$ $S=20\text{ m}$ $q=5\text{ m}$	$R=1\,000\text{ m}$ $l=80\text{ m}$ $S=20\text{ m}$ $q=5\text{ m}$
WXJD- $x$	-6.006	-6.003	-8.672	-8.671	-9.343	-10.011	-10.014
WXJD- $y$	0	0	0	0	0	0	0
WSJD- $x$	54.056	94.053	91.393	111.392	110.776	90.094	70.097
WSJD- $y$	56.249	37.500	73.332	68.740	90.287	78.124	62.500

利用 MATLAB 软件,结合其他计算条件图解法数据,分析得出  $WXJD-x$  坐标可近似采用式(17)。上交点 WSJD- $x$  坐标可近似采用式(18)。

$$x_{wx} = -\frac{S}{3} - \frac{2q}{3} \quad (17)$$

$$x_{wx} = l - \frac{S}{3} - \frac{2q}{3} \quad (18)$$

(2) 外侧加宽值曲线特征点

结合参考文献[3],将外侧加宽值曲线分为 5 段,

特征点有6个,如表15所示。

表15 设缓和曲线时外侧加宽值曲线分段表			
特征点	描述	里程值	内侧加宽值曲线分段
1点	ZH点前定距加悬长点	$-S-q$	第一段
2点	ZH点前悬长点	$-q$	
3点	ZH点	+000	第二段
4点	HY点前定距点	$l-S$	第三段
5点	HY点前悬长点	$l-q$	第四段
6点	HY点	$l$	第五段

5.2.3 外侧加宽值曲线分段分析

(1)第一、二段(从ZH点前定距加悬长点至ZH点前悬长点、至ZH点)

利用MATLAB、Excel软件,对参考文献[3]两段计算式进行验证分析,经验证与表13中各组合加宽值差值在0.014 mm~ -0.209 mm之间。整理得出则外侧加宽第一、二段加宽计算为:

$$W_{wy1} = \frac{q}{6RLS}(x+S+q)^3 \quad [-S-q \leq x \leq -q]$$

(19)

$$W_{wy2} = \frac{q}{6RLS}(x+S+q)^3 - (\frac{q}{6RLs} + \frac{1}{6Rl})(x+q)^3 \quad [-q \leq x \leq 0]$$

(20)

(2)第三段(从ZH点至HY点前定距点)  
根据图4及加宽曲线WXJD、WSJD坐标,采用内插法,得出第三段加宽计算式:

$$W_{wy3} = \frac{(S+2q)^2 - S^2}{8Rl}(x+\frac{S}{3}+\frac{2q}{3})$$

$$[0 \leq x \leq l-S]$$

(21)

经验证,采用式(21)计算结果与表7各组合加宽值差值在0.322 mm~ -0.120 mm之间。

(3)第四、五段(从HY点前定距点至HY点前悬长点、至HY点)

与内侧类似,先从第五段分析。利用MATLAB软件,对HY点前悬长点至HY点外侧加宽值进行分析,按 $w=((S+2q)^2-S^2)/8R+c(x-l)^3$ 格式进行整理,如表16所示。

结合表16和其他计算条件图解法数据,利用MATLAB对c值进行分析,得出 $c=1/(6Rl)$ 。

第四段,利用MATLAB软件辅助,对HY点前定距点至HY点前悬长点外侧加宽值进行分析、结合初拟的第五段计算式,按 $w=((S+2q)^2-S^2)/8R+c(x-l)^3+d(x-l+q)^3$ 格式进行整理,如表17所示。

表16 设缓和曲线HY点前悬长点外侧加宽值表

序号	半径 $R/m$	缓长 $l/m$	定距 $S/m$	悬长 $q/m$	里程 $x/mm$	外侧加宽 值/mm	按 $w=((S+2q)^2-S^2)/8R+c(x-l)^3/m$
1	400	60	12	3	+057	56.062	$= (18^2-12^2)/8/R-6.963e-6(57-l)^3$
2	600	100	12	3	+097	37.425	$= (18^2-12^2)/8/R-2.778e-6(97-l)^3$
3	600	100	18	4	+096	73.154	$= (26^2-18^2)/8/R-2.802e-6(96-l)^3$
4	600	120	18	4	+116	73.184	$= (26^2-18^2)/8/R-2.333e-6(96-l)^3$
5	600	120	18	5	+115	95.542	$= (28^2-18^2)/8/R-2.331e-6(115-l)^3$
6	800	100	20	5	+095	77.864	$= (30^2-20^2)/8/R-2.088e-6(95-l)^3$
7	1000	80	20	5	+075	62.239	$= (30^2-20^2)/8/R-2.088e-6(75-l)^3$

表17 不设缓和曲线HY点前定距点外侧加宽值表

序号	半径 $R/m$	缓长 $l/m$	定距 $S/m$	悬长 $q/m$	里程 $x/mm$	外侧加宽 值/mm	按 $w=((S+2q)^2-S^2)/8R+c(x-l)^3+d(x-l+q)^3/m$
1	400	60	12	3	+048	50.577	$= (18^2-12^2)/8/R+6.944e-6(48-l+q)^3-8.680e-6(48-l+q)^3$
2	600	100	12	3	+088	35.231	$= (18^2-12^2)/8/R+2.778e-6(88-l)^3-3.472e-6(88-l+q)^3$
3	600	100	18	4	+082	66.449	$= (26^2-18^2)/8/R+2.778e-6(82-l)^3-3.395e-6(82-l+q)^3$
4	600	120	18	4	+102	67.596	$= (26^2-18^2)/8/R+2.315e-6(102-l)^3-2.829e-6(102-l+q)^3$
5	600	120	18	5	+102	88.830	$= (28^2-18^2)/8/R+2.315e-6(102-l)^3-2.958e-6(102-l+q)^3$
6	800	100	20	5	+080	70.247	$= (30^2-20^2)/8/R+2.083e-6(80-l)^3-2.604e-6(80-l+q)^3$
7	1000	80	20	5	+060	54.622	$= (30^2-20^2)/8/R+2.083e-6(60-l)^3-2.604e-6(60-l+q)^3$

利用MATLAB软件,分析c、d值规律,得出c、d值与R、l成反比,c与R、l成线性递减,d与R、l成非线性递减。拟合整理为:

$$c = \frac{1}{6Rl}$$

(22)

$$d = (\frac{q}{6RLS} + \frac{1}{6Rl})$$

则第四、五段加宽计算式为:

$$W_{wy4} = \frac{(S+2q)^2 - S^2}{8R} + \frac{1}{6Rl}(x-l)^3 - (\frac{q}{6RLS} + \frac{1}{6Rl})(x-l+q)^3 \quad [l-S \leq x \leq l-q]$$

(23)

$$W_{wy5} = \frac{(S+2q)^2 - S^2}{8R} + \frac{1}{6Rl}(x-l)^3$$

$$[l-q \leq x \leq l]$$

(24)

(下转第90页)



参考文献:

[1] 吴朝荣 杨健 张家发. 铁路进出站线疏解方式及接轨站布置探讨[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(6):4-14.  
WU,Chaorong YANG Jian, ZHANG Jiafa. Discussion on Untwining Mode of Access Line and Layout of Junction Station [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(6):4-14.

[2] 任冲. 成都铁路枢纽环线承担城市交通功能的探讨[J]. 高速铁路技术, 2011, 2(5):30-33.  
REN Chong. Discussion on Urban Transport Function of Chengdu Railway Ring Line [J]. High Speed Railway Technology, 2011, 2(5):30-33.

[3] 房新智, 杜文. 成都铁路环线开行公交化列车的探讨[J]. 中国铁路, 2008(10):48-51.  
FANG Xinzhi, DU Wen. Discussion on the Operation of Shuttle Train on Chengdu Loop Railway Line[J]. Chinese Railways, 2008(10):48-51.

[4] 刘丽波, 陈立群. 世界典型城市轨道交通环线的运营方式分析[J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9(3):52-54.

LIU Libo, CHEN Liqun. On Operation Methods of World Urban Rail Rings[J]. Urban Mass Transit, 2006, 9(3):52-54.

[5] 孙青梅. 铁路旅客换乘相关问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.  
SUN Qingmei. Research on the Interrelated Problems of Railway Passenger Transfer [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.

[6] 王晓荣, 荣朝和, 盛来芳. 环状铁路在大都市交通中的重要作用: 以东京山手线铁路为例[J]. 经济地理, 2013, 33(1):54-60.  
WANG Xiaorong, RONG Chaohe, SHENG Laifang. Enlightenment of Yamanote Loop Line in Tokyo: an Important Role of Rail Loop Line in Metropolitan Transportation [J]. Economic Geography, 2013, 33(1):54-60.

[7] 周侃. 高铁客运枢纽换乘行为分析与设施配置方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.  
ZHOU Kan. Analysis of Transfer Behaviour and Research on Transfer Facility Configuration in High-speed Railway Passenger Transport Hub [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.

(上接第78页)

经验证,采用式(23)、式(24)计算结果与表13各组合加宽值差值在0.019 mm~ -0.000 2 mm之间。

5.2.4 运动附加超高

曲线内侧加宽还应考虑超高影响,在超高顺坡段起点,除线路超高外,还存在着运动附加超高。其影响变量为车辆定距*S*、缓和曲线长*l*及超高值*h*。

结合参考文献[2],利用MATLAB软件辅助,对既有资料进行整理,得出设缓和曲线时各点的计算超高(已包含运动附加超高)值计算式为:

$$h_{js} = \frac{h}{l} \left( \frac{1}{4S} x^2 + \frac{1}{2} x + \frac{S}{4} \right) \quad [-S \leq x \leq S] \tag{25}$$

$$h_{js} = \frac{hx}{l} \quad [S \leq x \leq l] \tag{26}$$

6 结束语

本次研究利用计算机程序生成的不同计算条件建筑限界加宽值图解法数据,绘制了不同车辆尺寸、不同线路平面参数的直-圆、直-缓-圆过渡段建筑限界曲线内外侧加宽值示意图,分析明确了各加宽值示意图的特征,提出了各特征点计算方法。在研究借鉴参考文献的基础上,完善、提出了建筑限界曲线加宽通用计算式,并与图解法数据对照,验证了通用计算式的正确性。本次研究针对铁道行业底层性、基础性的技术问题,研究成果可以推广至不同轨距铁路、地铁、市域

铁路等轨道交通领域。

参考文献:

[1] 周兵和. 铁路曲线限界加宽研究[J]. 铁道标准设计, 2013, 57(4):20-26.  
ZHOU Binghe. Study on Widening of Clearance Limit of Railway Curve[J]. Railway Standard Design, 2013, 57(4):20-26.

[2] 赵振刚. 铁路建筑限界缓和曲线地段加宽研究[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(5):16-22.  
ZHAO Zhengang. Study on Widening of Railway Structure Clearance on Transition Curve[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(5):16-22.

[3] 李长淮. 铁路曲线平面加宽通用计算理论研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(S2):36-46.  
LI Changhuai. Research on Universal Calculation Theory of Railway Curve Plane Widening[J]. Railway Transport and Economy, 2017, 39(S2):36-46.

[4] 李明炜. 对铁路站场到发线曲线地段建筑限界加宽方法的探讨[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(2):10-13.  
LI Mingwei. Study on Method of Widening Structure Gauge at Curve Section of Railway Arrival-Departure Line [J]. Railway Standard Design, 2017, 61(2):10-13.

[5] 张徐. 利用MATLAB计算地铁线路曲线地段限界的加宽范围及加宽量[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(6):78-84.  
ZHANG Xu. Using MATLAB to Calculate the Widening of Gauge of Curve Section of Metro Line[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2018, 31(6):78-84.

[6] 温双义. 铁路客运站台建筑限界曲线和过渡段的加宽研究[J]. 高速铁路技术, 2016, 7(4):24-29.  
WEN Shuangyi. Study on Widening of Railway Passenger Platform Construction Clearance Curve and Transition Section[J]. High Speed Railway Technology, 2016, 7(4):24-29.