

ICS 45.020
S 30

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 3332—2013

铁路应用 确定轮轨等效锥度的方法

Railway applications-
Method for determining the equivalent wheel/rail conicity

2013-03-13 发布

2013-09-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

目 次

前 言 II

引 言 III

1 范 围 1

2 符号定义 1

3 确定等效锥度的原理 2

4 基准计算方法概述 3

5 基准计算 4

附录 A(资料性附录) 采用非线性微分方程积分算法确定等效锥度的方法示例 6

附录 B(资料性附录) 采用 Δr 函数线性回归方法确定等效锥度的示例 10

附录 C(规范性附录) 基准廓形 11

附录 D(规范性附录) 基准廓形计算结果 17

附录 E(规范性附录) 等效锥度的容许误差 29

附录 F(资料性附录) 有引入误差的计算结果示例 37

附录 G(资料性附录) 误差应用原理 48

附录 H(资料性附录) 应用指南 51

参考文献 52

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 EN 15302:2008《铁路应用 确定等效锥度的方法》。

本标准与 EN 15302:2008 相比较,在结构上主要有如下变化:

- 按照正文中附录出现的先后顺序,对正文后的附录顺序进行了相应的调整;
- 删除原标准中第 2 章“规范性引用文件”,正文中章、条的编号也做出了相应的调整;
- 删除了原标准中资料性附录 A 和资料性附录 ZA。

本标准与 EN 15302:2008 相比较存在的技术性差异如下:

——删除了 EN 15302:2008 标准附录 E 中的图 E. 1. a ~ 图 E. 9. a 中关于 $\tan\gamma_s$ 的图形,此部分与等效锥度计算无直接关系。

——删除了 EN 15302:2008 标准中 E. 1 ~ E. 9 中的 b 图,即图 E. 1. b ~ 图 E. 9. b,此部分与等效锥度计算无直接关系。

——删除了 EN 15302:2008 标准中附录 E 中的 E. 2 ~ E. 9,该附录 E 中的 E. 2 ~ E. 9 均为欧洲国家铁路应用的轮轨廓形等效锥度计算示例,算例过多,且部分算例不适合中国铁道现状。

——增加了我国铁路轮轨廓形算例,使本标准等效锥度计算和验证示例涵盖国内外铁路应用中的轮轨廓形,添加了一个针对我国铁路应用的 CN 车轮和 60 kg/m 钢轨轮轨廓形等效锥度计算示例(CN 车轮简称轮 A,60 kg/m 钢轨简称轨 A),保留了原标准中一个针对欧洲国家铁路应用的 R-UIC519-A 车轮和 S-UIC519-A 钢轨轮轨廓形等效锥度计算示例(R-UIC519-A 车轮简称轮 B,S-UIC519-A 钢轨简称轨 B)。

本标准由南车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司提出并归口。

本标准起草单位:中国铁道科学研究院机车车辆研究所、青岛四方车辆研究所有限公司、长春轨道客车股份有限公司、南车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司。

本标准主要起草人:董孝卿、张文斌、吴宁、刘新明、李秋泽。

本标准为首次发布。

引 言

轮轨几何接触是解释铁道车辆动力学性能的基础,锥度是轮轨几何接触中的重要参数。当铁道车辆运行在直线线路或大半径曲线线路上时,锥度决定着轮轨之间的匹配程度。锥形踏面轮对在线路上具有相对固定的正弦运动轨迹,Klingel 理论指出这一运动轨迹的波长取决于轮对踏面的锥度角以及左右轮轨接触斑之间的距离。实际运用中的车轮踏面具有变化的锥度角,可以采用对左右车轮滚动半径差(取决于轮对横移量)进行积分的方法获得轮对的运动波长,再将该波长与 Klingel 理论中的相应波长对照,得出轮对等效锥度。

一些国家或铁路组织已经采用不同的方法来求解等效锥度,如附录 A 给出的采用非线性微分方程积分算法确定等效锥度的方法,附录 B 给出的采用 Δr 函数线性回归方法确定等效锥度的方法,有必要定义一种明确的方法来评估这些等效锥度计算方法。

等效锥度计算结果应是确定的。如果采用附录 C 基准廓形计算得到的计算结果与附录 D 中基准廓形等效锥度的计算结果一致,可采用本标准中未提及的算法计算等效锥度。

为了确认某一算法是否能够得到本标准中规定的计算结果,需要采用本标准中给出的标准步骤对算法的 3 个计算过程进行验证,标准步骤分为三步。

第一步,采用附录 C 中的基准廓形数据表中数据验证计算程序的插值算法和接触点算法。由接触点位置可以得到左右车轮滚动半径差,由左右车轮滚动半径差和轮对横向振幅得到轮对等效锥度。

将最后得到的计算结果与附录 D 中的基准结果进行对照,若误差在附录 E 规定的误差范围之内,则通过第一步验证,否则该算法不予接受(见图 1)。

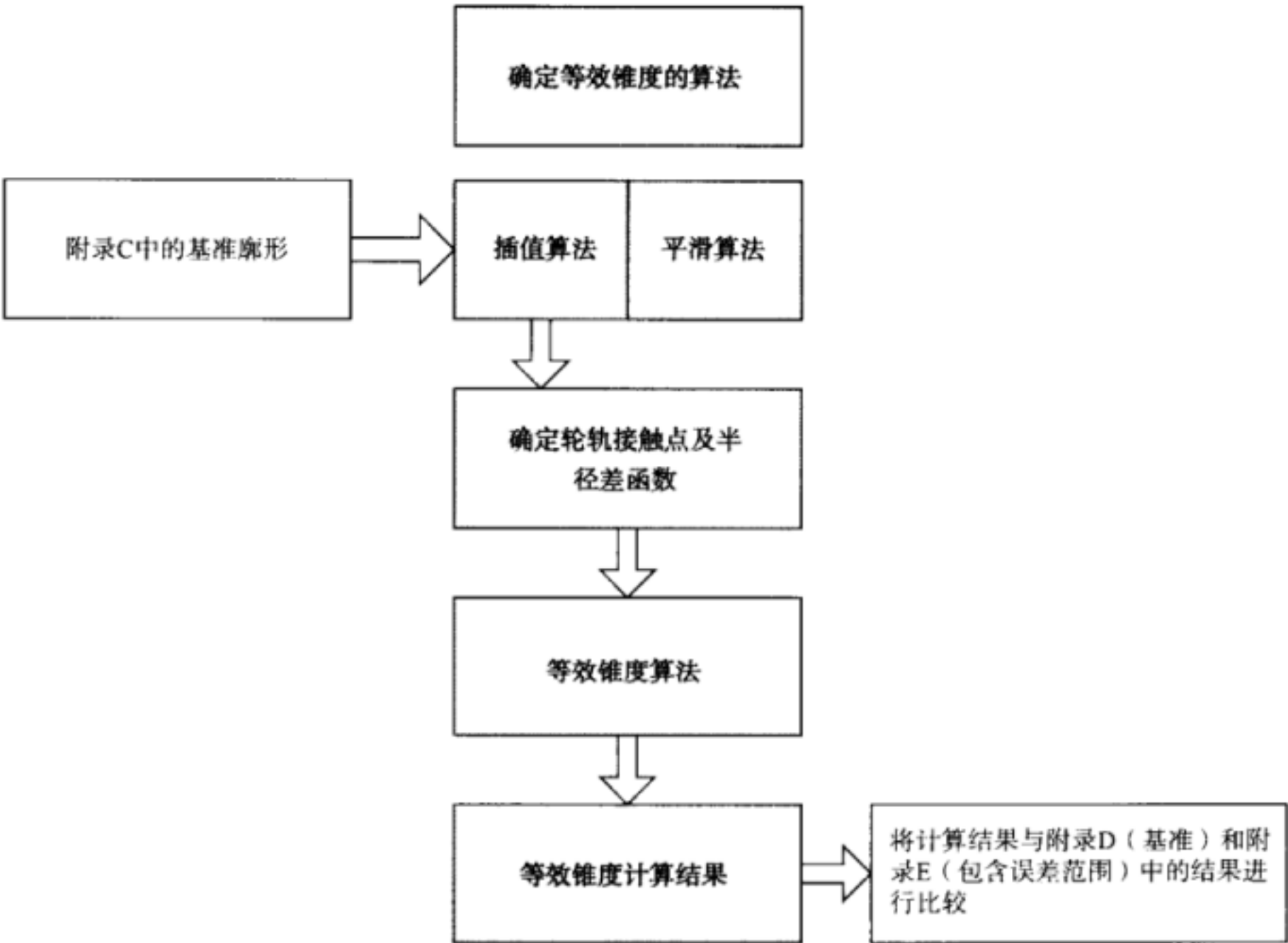


图 1 第一步验证过程

第二步,将附录 F 中的随机误差加到附录 C 中的基准廓形里,采用平滑和插值算法对数据进行处理,误差的应用原理参见附录 G。将最后得到的计算结果与附录 D 中的基准结果进行对比,若误差在附录 E 中规定的误差范围之内,则通过第二步验证,否则该算法不予接受(见图 2)。

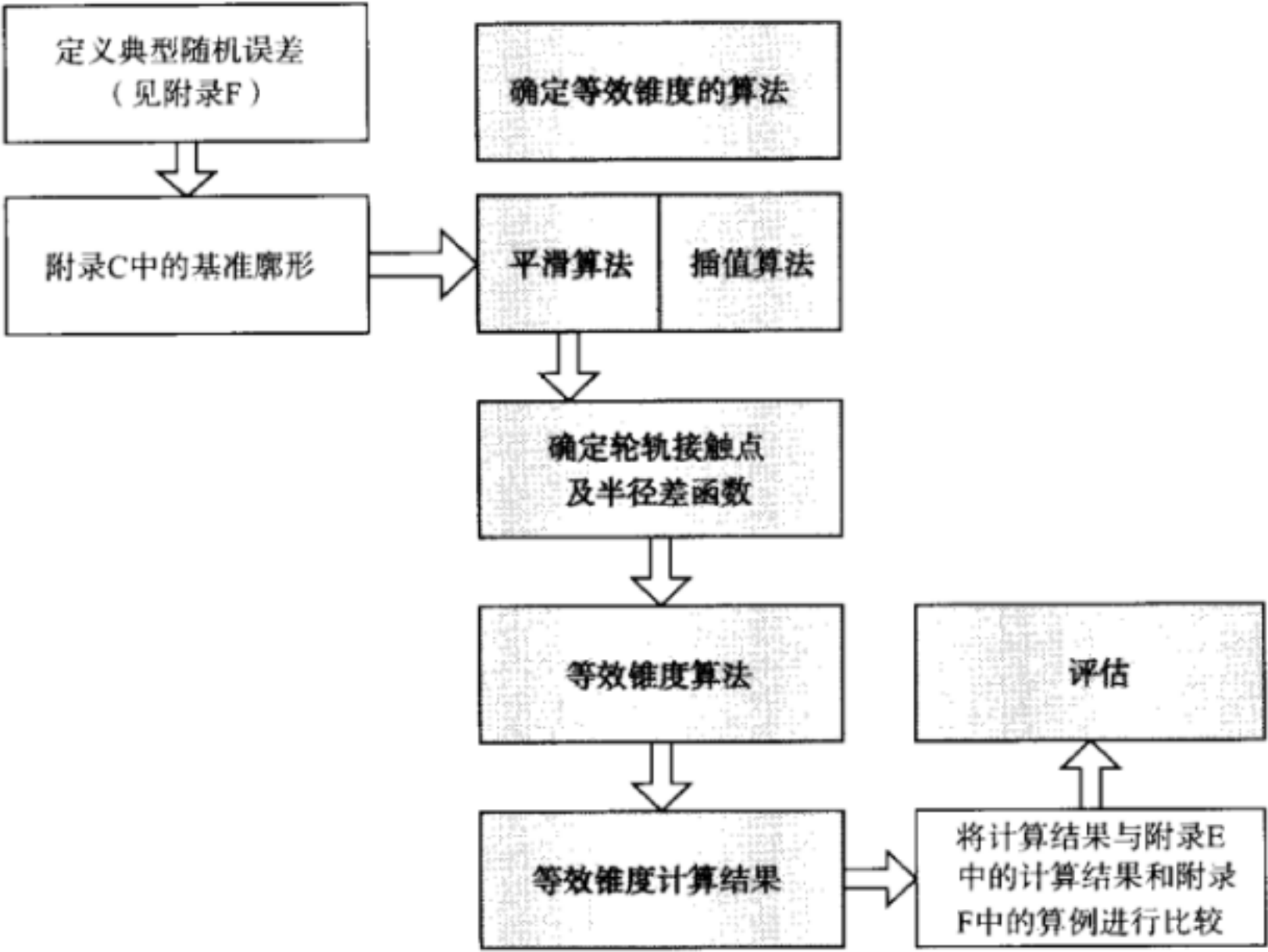


图 2 第二步验证过程

第三步,将测量系统的容许误差和第二步中所采用的随机误差引入基准廓形,计算等效锥度,与附录 F 中等效锥度计算结果进行对比,评估这些误差对等效锥度计算结果的影响(见图 3)。

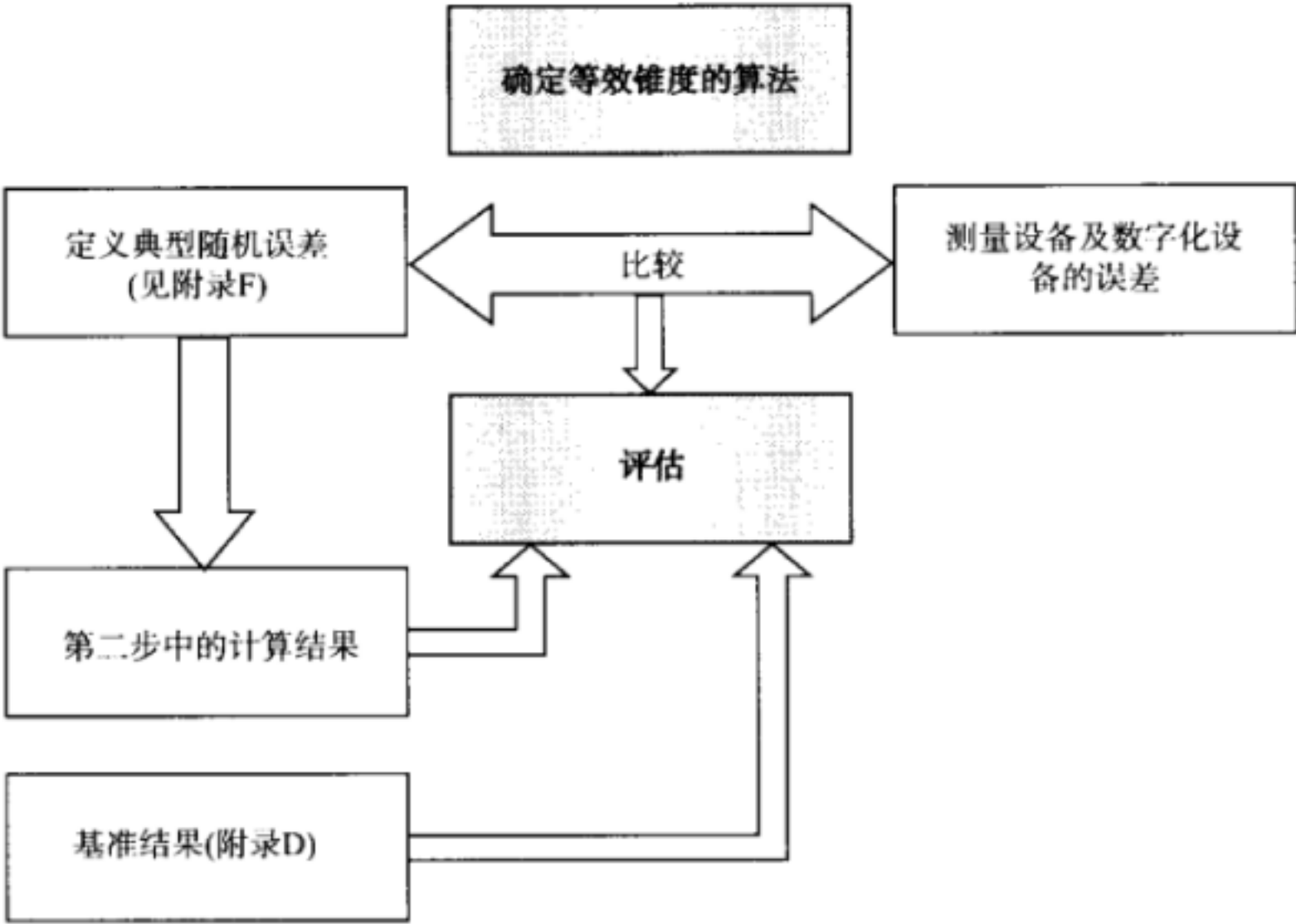


图 3 第三步验证过程

铁路应用 确定轮轨等效锥度的方法

1 范 围

本标准等效锥度算法提供了一种评价方法。除本标准给出的算法外,还可采用其他算法计算等效锥度。为了能够得到准确的等效锥度计算结果,本标准给出了一套计算基准。本标准还给出了其他可能采用的等效锥度算法,资料性内容中给出了示例,如 Klingel 公式(参见附录 A)和 Δr 线性回归函数(参见附录 B)两种等效锥度的算法。

本标准包含轮轨基准廓形、轮轨廓形组合、容许误差以及含容许误差限值的参考值,使用者能够借此评价测量计算系统(包含随机误差和栅格误差)是否能够被接受。本标准确定了等效锥度的计算原理,但没有规定具体的数值计算方法。

本标准没有给出等效锥度限值,也没有给出可以获得认可的等效锥度计算结果所需的轮轨廓形容许误差。

对于本标准内容之外的应用目的(如车辆动态性能仿真),可能需要采用更为深层次的理论,本标准没有涵盖这些理论。

本标准的附录 H 给出了一些使用本标准的注意事项。

2 符号定义

对本标准中用到的符号,定义如下:

- x ——轮对在钢轨上的纵向位移;
- y ——轮对在钢轨上的横向位移;
- ψ —— $x-y$ 平面上的旋转角度;
- e ——接触点跨距;
- λ ——波长;
- r_0 ——轮对中心位于轨道中心时的车轮半径;
- r_1 ——右侧车轮滚动半径;
- r_2 ——左侧车轮滚动半径;
- r ——车轮名义滚动半径;
- Δr ——右侧和左侧车轮滚动半径差;
- R ——轮对中心移动轨迹的曲线半径;
- ds —— $d\psi$ 角对应的曲线长;
- $\tan\gamma_e$ ——等效锥度;
- \hat{y} ——轮对横向振动波形的振幅;
- y_{em} —— $\Delta r = 0$ 时的 y 方向位移;
- y_{emin}, y_{emax} —— y 方向位移的最小值和最大值;
- v ——车辆运行速度;
- γ ——轮轨接触面公切角。

3 确定等效锥度的原理

3.1 锥形踏面轮对运动方程的积分

轮对结构及主要尺寸标注见图 4。

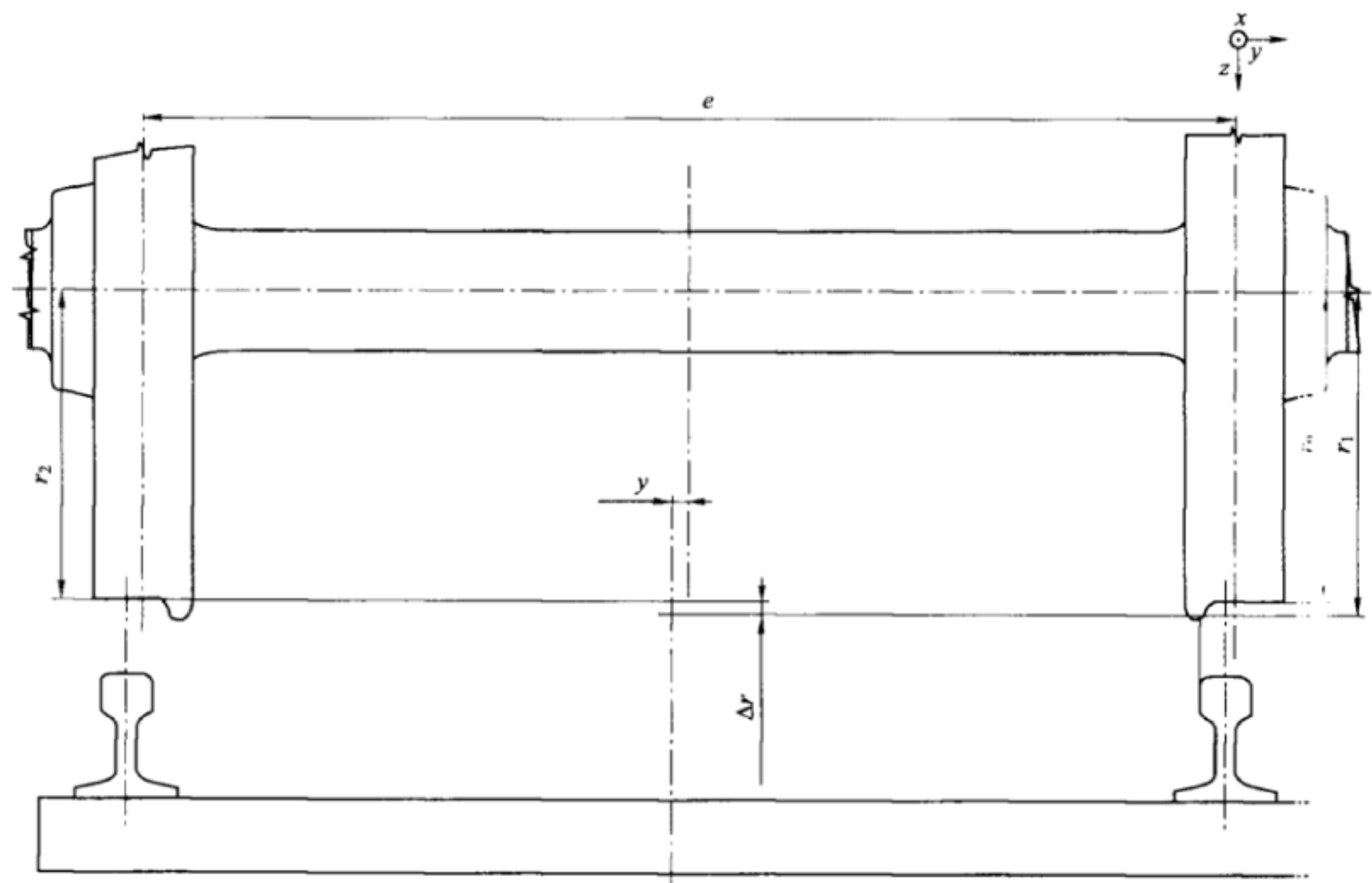


图 4 轮对的尺寸标注

在线路上运行的无阻尼自由轮对横向运动方程可由下面的微分方程表达：

$$\ddot{y} + \frac{v^2}{er_0} \Delta r = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

假定车辆前进速度为常数(不会影响等效锥度计算结果),于是：

$$v = \frac{dx}{dt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

因此：

$$\frac{dy}{dt} = v \frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dt^2} = v^2 \frac{d^2y}{dx^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

微分方程变为：

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{\Delta r}{er_0} = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

前面确定的特征函数 $\Delta r = f(y)$ 需要同下面的初始条件一起运用：

$$x = 0 \text{ 时}, y = y_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$x = 0 \text{ 时}, \frac{dy}{dx} = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

基于初始横向振幅 y_0 进行积分,可以得到轮对的周期运动,该周期运动的峰峰值为 $2\hat{y}$, 波长为 λ , 具体波形见图 5。

3.2 确定锥形踏面轮对运动的波长

对于轮轨接触面公切角为 γ 的锥形踏面轮对,其滚动半径差为：

$$\Delta r = 2y \tan \gamma \quad \dots\dots\dots (7)$$

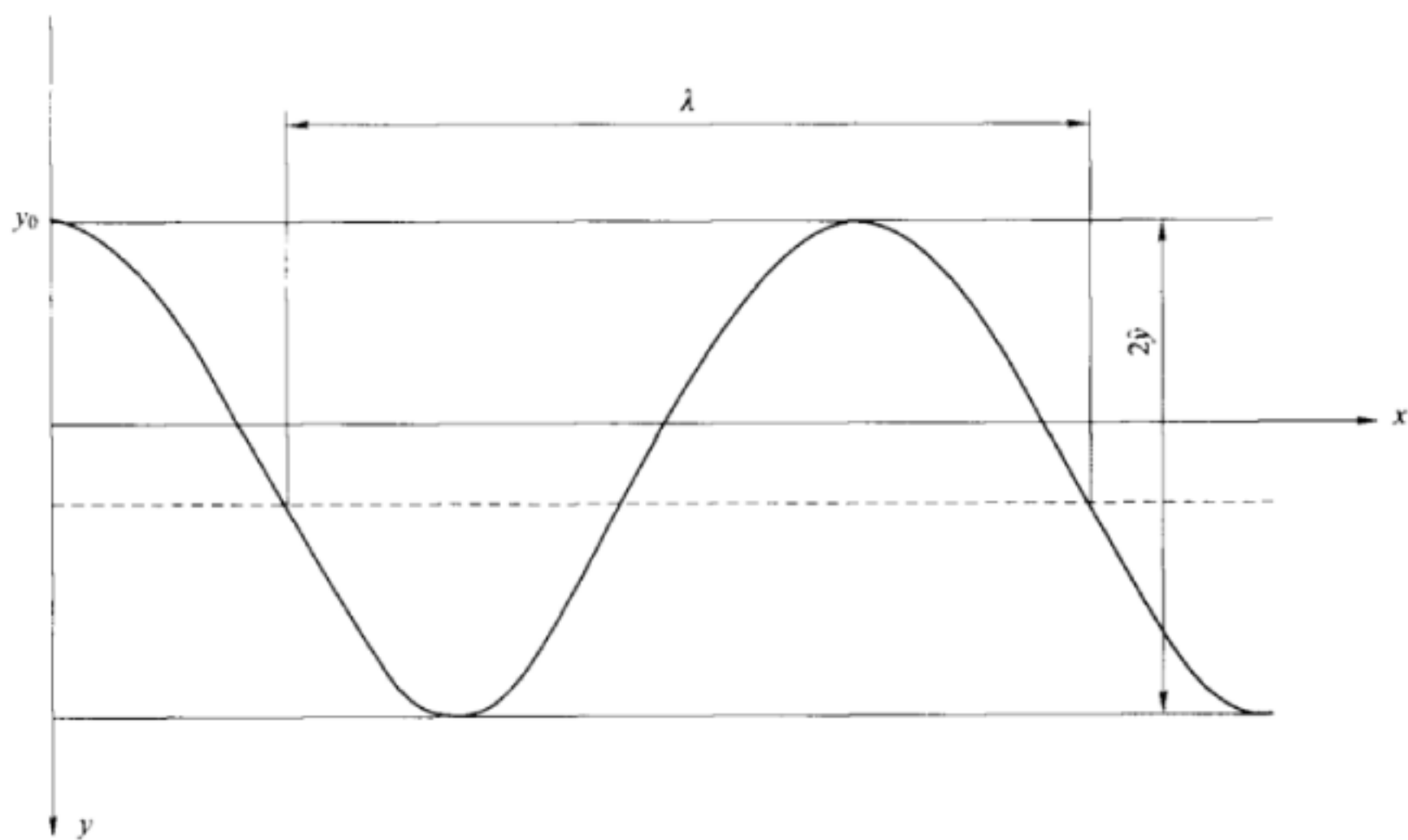


图 5 $y = f(x)$ 函数波形

因此微分方程(4)变为：

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{2\tan\gamma}{er_0}y = 0 \tag{8}$$

常系数二阶微分方程的解是波长为 λ 的正弦波，即 Klingel 公式：

$$\lambda = 2\pi \sqrt{\frac{er_0}{2\tan\gamma}} \tag{9}$$

3.3 非锥形踏面等效锥度定义

当车轮踏面不是锥形踏面廓形时，应采用线性化方法，在微分方程中以等效锥度 $\tan\gamma_e$ 取代 $\tan\gamma$ 进行线性化计算。

$$\tan\gamma_e = (\pi/\lambda)^2 2er_0 \tag{10}$$

等效锥度定义为与给定轮对运动波长相同的锥形车轮轮对的车轮锥度角正切值。

附录 A 和附录 B 给出了计算等效锥度的两种可选方法。

4 基准计算方法概述

4.1 一般原理

等效锥度计算时，做如下假设：

- 计算过程中视车轮和钢轨都是刚性的；
- 车轮旋转对称，每个车轮由单一廓形表示；
- 钢轨是直的，两条钢轨平行，每条钢轨可以用单一廓形表示；
- 车轮不侵入钢轨，只考虑点接触；
- 当轮对在轨道上横移时，不考虑由此引起的侧滚，（轮对绕纵向轴 x 的转动）。

对于任意给定的车轮和钢轨廓形（理论或实测），可以确定轮对在轨道上横移幅值 \hat{y} 相对应的等效锥度 $\tan\gamma_e$ 。

具体做法如下：

- a) 确定轮轨廓形，车轮和钢轨廓形既可以采用测量得到的实际廓形，也可以采用理论廓形；
- b) 确定 $\Delta r = f(y)$ 特性，给出轮对在轨道上的横移 y 对应的右侧和左侧车轮滚动半径差 $\Delta r = r_1 - r_2$ ；

c) 计算轮对在轨道上横移幅值为 \hat{y} 的等效锥度。

4.2 确定轮轨廓形

4.2.1 轮轨廓形测量原理

线路两条轨道以及轮对两个车轮的位置应该表示在以线路中心为坐标原点的坐标系中。该坐标系的 x 轴、 y 轴、 z 轴分别为纵向坐标轴、横向坐标轴、垂向坐标轴。

车轮和轨道的廓形由笛卡尔坐标系 (y_i, z_i) 给出：

——对于轨道，既要定义轨顶的廓形，也要定义轨道内侧的廓形；

——对于车轮，既要定义传统意义上踏面的廓形，也要定义车轮外部和轮缘根部的廓形。

如果廓形需要通过测量得到，可以采用一些特殊装置，如便携式车轮和轨道廓形测量仪、车载轨道廓形测量系统或安装于轨道旁的车轮廓形测量系统。需要在报告中指出轮轨廓形是在有载荷还是无载荷的情况下测量的。

当采用理论轮轨廓形时，需要考虑到轨底坡。

4.2.2 测量系统的精度

为了确保等效锥度的计算精度，轮轨廓形测量精度要满足下面的误差要求：

- a) 半径：0.2 mm；
- b) 轮对内侧距：0.5 mm；
- c) 轨距：0.5 mm。

计算等效锥度前，轮轨廓形测量数据需要进行平滑处理。

4.3 确定车轮滚动半径差 Δr

确定车轮滚动半径差 Δr 应按照如下步骤：

- a) 首先，根据每个车轮的半径，确定车轮廓形的笛卡尔坐标。
- b) 其次，对车轮和钢轨在线路中心坐标系中的坐标数据进行处理（根据需要做平滑或插值处理）。
- c) 最后，求解相对于中心位置的滚动半径差函数 $\Delta r = f(y)$ 。需要至少从 $\Delta r = 0$ 计算 i ， $\Delta r = r_1 - r_2 = 5 \text{ mm}$ ，计算 Δy 步长最大取 0.2 mm。

注：计算时的最大横移量取决于轮轨之间的间隙。

4.4 确定等效锥度

等效锥度的计算要与轮对实际运动的横向振幅对应。

通常需要计算轮对横向振幅 \hat{y} 从 1 mm 到 8 mm 之间的等效锥度。如果 $\Delta r = f(y)$ 函数具有较强的非线性或出现跳跃，很可能根本不会达到 8 mm 的最大横向振幅。

5 基准计算

5.1 概述

本标准未规定项目如下：

- 轮轨廓形测量的采样率；
- 平滑算法；
- 计算轮对运行轨迹波长的积分方法。

因此本标准指定特定的轮轨基准廓形评估等效锥度计算方法，将计算结果作为基准，验证计算等效锥度的计算过程。

确定等效锥度的算法和轮轨廓形平滑算法都需要进行验证，验证时采用特定的轮轨基准廓形，该廓形需计入随机性误差和栅格化误差。整个验证过程分为以下三部分：

- 第一步，验证轮轨廓形的插值计算和等效锥度计算。
- 第二步，在轮轨廓形引入规定误差，再次验证轮轨廓形的插值和计算。第二步计算应在第一步的验证通过后进行。

——第三步,对整个等效锥度的计算过程进行验证。第三步计算应在第二步的验证通过后进行。

5.2 计算方法的验证

对于每一个计算步骤,需要采用附录 D 中的所有基准廓形的组合对其进行验证,其中包括由同一轮对两个车轮的半径差或廓形不同引起的非对称 Δr 函数的影响。

本标准的等效锥度为特定振幅下的等效锥度,如在此振幅下等效锥度发生突变,就需要进一步的测量和(或)计算,以确定突变的敏感度和趋势。这种进一步的测量应当包括在对测量和计算的评估当中。

注:附录 C 中给出的轮轨基准廓形仅用于基准计算,以检验等效锥度算法。这些基准廓形在设计真实轮轨廓形时并无实际意义。

第一步,验证插值算法和等效锥度算法。对附录 C 给出的基准廓形进行插值和等效锥度计算,将计算得到的结果与附录 D 中给出的标准结果及附录 E 中规定的容许误差进行对比。只有当计算结果在附录 E 规定的容许误差范围之内,该计算方法才能通过验证。

第二步,评价平滑算法。需要重复第一步的计算过程。但在第二步对附录 C 中的基准廓形进行平滑、插值和计算时,需要叠加附录 F 中所有的误差。随机性误差和栅格误差要体现在所有可能的情况:仅在车轮廓形有误差、仅在钢轨廓形有误差、两个廓形都有误差。

误差包括三个方向: z 、 y 和 $(z+y)$ 方向。这取决于测量系统,若采用非笛卡尔测量系统,应采用合适的坐标系统。

对每一种算例,都要做充分的计算(通常不少于 20 次),以验证不同随机误差的影响。这些随机误差由不同的栅格原点位置和随机误差范围引起(参见附录 G)。

要采用图 2 所示的方法进行评估。需要将计算结果和带有容许误差范围(见附录 E)的参考结果进行对照。

第三步,检查整个系统和计算过程是否能够得到准确的结果。重复第二步的过程,但需要用测量和量化系统的容许误差代替第二步中采用的误差。

注:附录 F 中给出了典型的可以接受的计算结果。

附录 A
(资料性附录)

采用非线性微分方程积分算法确定等效锥度的方法示例

A.1 原理

轮对重心在轨道上的移动可以用基于角度的公式表示：

$$\psi = \frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \frac{dy}{dx} \dots\dots\dots (A.1)$$

dx,dy 函数的示意图见图 A.1。ds,dψ 函数的示意图见图 A.2。

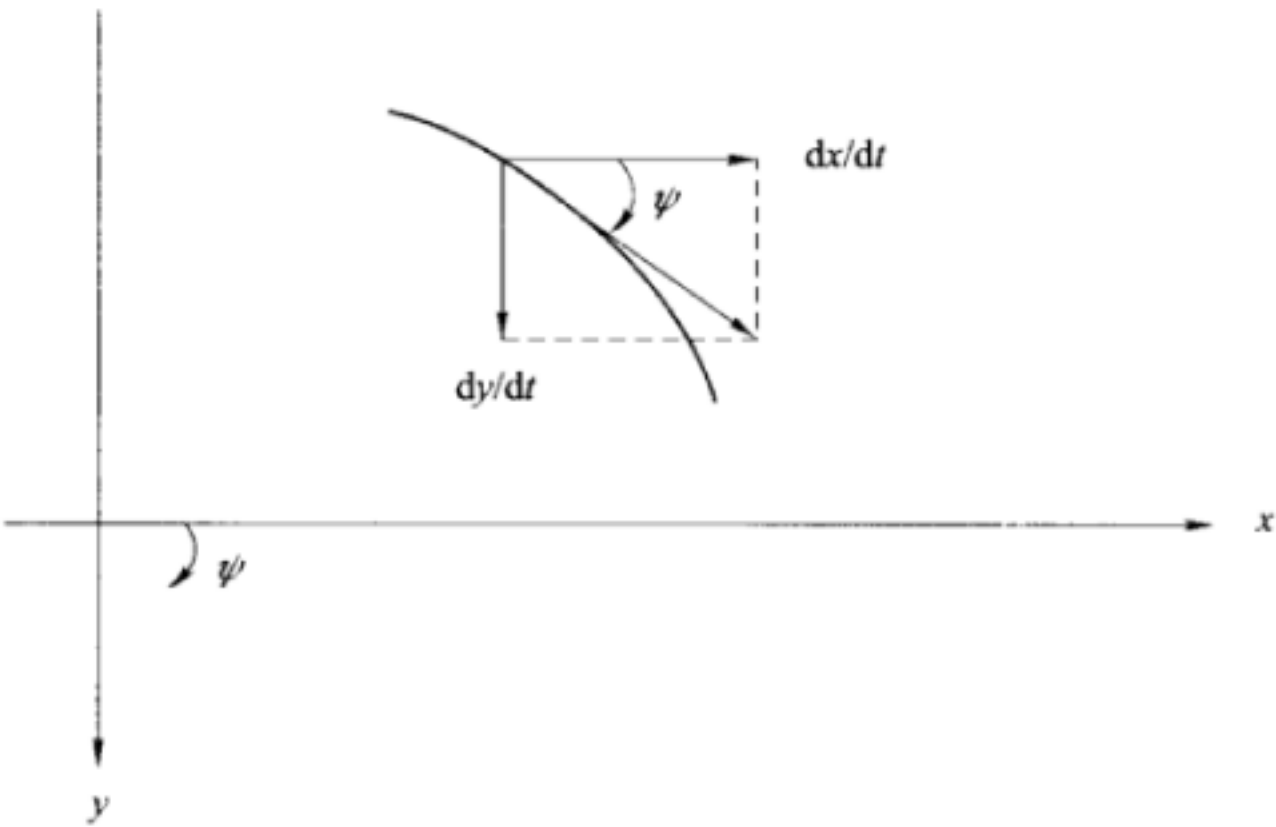


图 A.1 dx,dy 函数的示意图

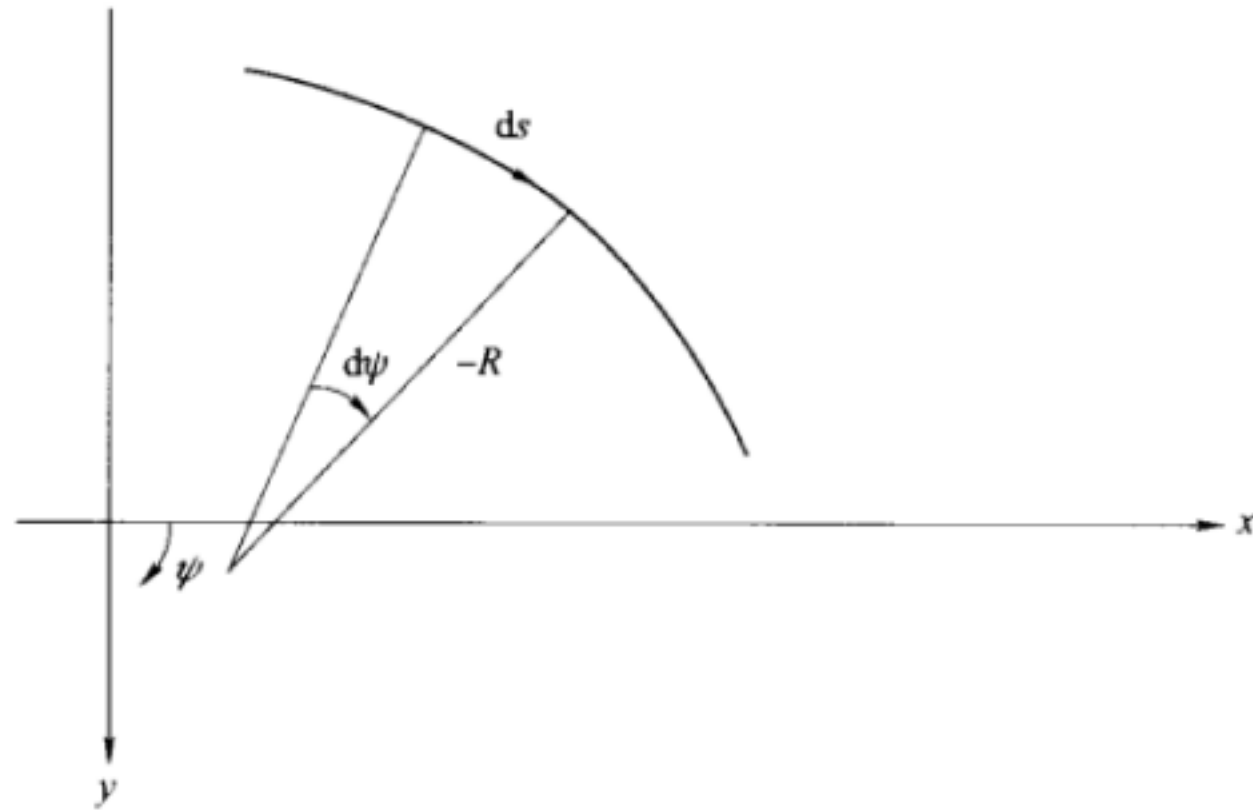


图 A.2 ds,dψ 函数的示意图

$$ds = -Rd\psi$$

对于很小的角度 ψ, ds ≈ dx。

$$dx = -Rd\psi \dots\dots\dots (A.2)$$

将公式(A.2)代入公式(A.1)可得：

$$\psi = \frac{dy}{dx} = -\frac{dy}{Rd\psi}$$

因此：

$$\psi \cdot d\psi = -\frac{dy}{R} \dots\dots\dots (A.3)$$

其中 r_1, r_2, e 之间的关系参见图 A.3。

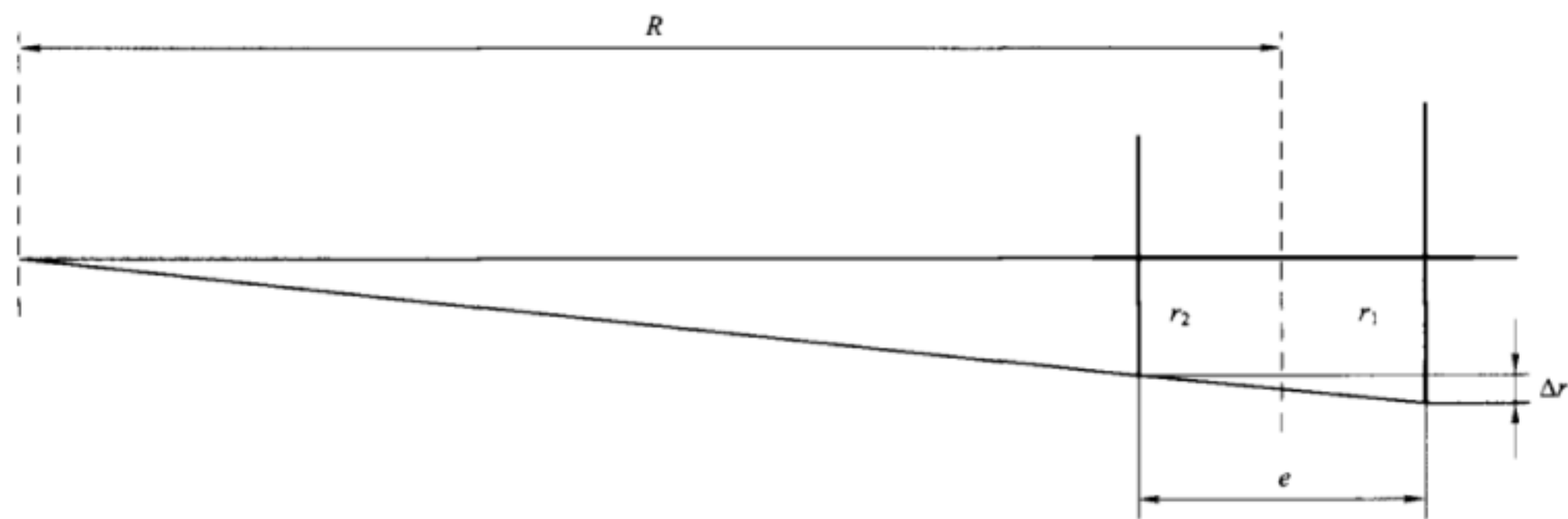


图 A.3 r_1, r_2, e 之间的关系示意图

$$\frac{R}{e} = \frac{(r_1 + r_2)/2}{r_1 - r_2}$$

再由 $\frac{r_1 + r_2}{2} = r_0, r_1 - r_2 = \Delta r$, 可得:

$$R = \frac{e \cdot r_0}{\Delta r} \dots\dots\dots (A.4)$$

用公式 (A.4) 替代公式 (A.3) 中的 R , 可得:

$$\psi \cdot d\psi = \frac{-\Delta r \cdot dy}{e \cdot r_0} \dots\dots\dots (A.5)$$

因此可通过积分得到:

$$\frac{\psi^2}{2} = -\frac{1}{e \cdot r_0} \left[\int \Delta r \cdot dy + C \right] \dots\dots\dots (A.6)$$

通过公式 (A.6) 可得到轮对重心在轨道上的移动轨迹, 特别是和半波长相符的轨迹。波长范围从 y_{emin} (对应 $\psi_{emin} = 0$) 到 y_{emax} (对应 $\psi_{emax} = 0$)。

积分 $\int \Delta r \cdot dy$ 只需以足够大的轮对横向幅值计算一次, 积分的轮对横向振幅要能覆盖到计算等效锥度的横向振幅范围 (参见图 A.6)。

通过下面的积分可以计算出轮对在轨道上的纵向位移:

由 $dx = \frac{1}{\psi} dy$ 得到 $x = \int \frac{dy}{\psi}$

注: 方程式 (A.5) 等同于微分方程 $\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{\Delta r}{er_0} = 0$, 这是因为: $\psi = \frac{dy}{dx}, \frac{d\psi}{dx} = \frac{d^2 y}{dx^2}$ 。从而微分方程就变为: $\frac{d\psi}{dx} + \frac{\Delta r}{er_0} = 0$

其中: $dx = \frac{dy}{\psi}$, 由此可得: $\frac{\psi}{dy} d\psi + \frac{\Delta r}{er_0} = 0$, 故: $\psi \cdot d\psi = -\frac{\Delta r \cdot dy}{e \cdot r_0}$ 。

A.2 计算步骤

具体计算步骤如下:

- a) 基于函数 $\Delta r = r_1 - r_2 = f(y)$, 找出与 $\Delta r = 0$ 相对应的 y_{em} 的值 (参见图 A.5)。
- b) 从 y_{em} 到 $+y$ 步长用 $dy = +0.1$, 从 y_{em} 到 $-y$ 步长用 $dy = -0.1$ 进行积分计算 $S(y) = - \int \Delta r \cdot dy$ (图 A.6)。
- c) 确定对应的横向振幅 y_{emin} 和 y_{emax} , 计算平均横移 \hat{y} (图参见 A.6)。
- d) 确定函数关系 $y_{emin} = f(\hat{y})$ 及 $y_{emax} = f(\hat{y})$, 据此可得出与轮对横移 $2\hat{y}$ 对应的最小横向振幅 y_{emin}

和最大横向振幅 y_{emax} (参见图 A. 7)。

e) 计算横移量为 \hat{y} 时的等效锥度 $\tan\gamma_e$ ：

1) 由 y_{emin} 对应的 $\psi_{\text{emin}} = 0$ 得出方程 (A. 6) 中的常量 C (参见图 A. 8)。

2) 通过积分方程 (A. 5) 计算角度 ψ , 积分步长取 $dy = 0.1 \text{ mm}$; $\psi = \sqrt{\frac{-2}{e \cdot r_0} \left[\int \Delta r \cdot dy + C \right]}$ 。

3) 计算轮对横移量从 y_{emin} 到 y_{emax} 对应的移动轨迹的纵向坐标: $x = f(y) = \int \frac{dy}{\psi}$; 此可以确定轮对运动轨迹波长 λ 。多数情况下, 从 y_{emin} 到 y_{emax} 范围内的积分不能通过一步完成, 因此, 波长 x 应通过 $dx = \frac{dy}{\psi}$ 的累加计算, 步长 dy 应该小于等于 0.1 mm 。

4) 应用 Klingel 公式计算等效锥度。

$$\tan\gamma_e = \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot 2 \cdot e \cdot r_0$$

f) 应用 A. 2 的 e), 确定函数 $\tan\gamma_e = f(\hat{y})$, 其中横向振幅 \hat{y} 范围从 1 mm 到由 $\Delta r = f(y)$ 所允许的最大值, 计算最大步长为 $\Delta\hat{y} = 0.5 \text{ mm}$ 。

A. 3 特殊情况

当 $\Delta r = f(y)$ 特性曲线的斜率为负时, 应选择合适的 y_{em} 。

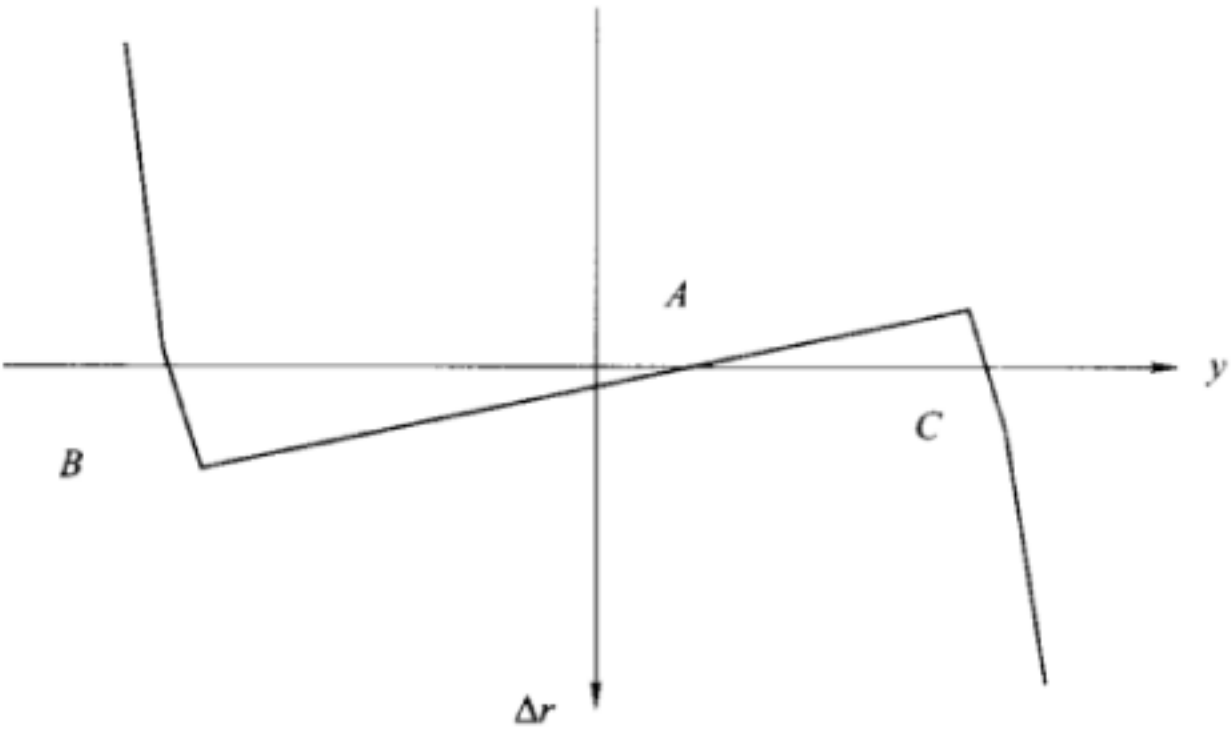


图 A. 4 负斜率的 $\Delta r = f(y)$ 特性曲线

在图 A. 4 示例中, 要根据轮对的初始位置选择 B 或 C 点, 而非 A 点。其他参数的计算参见图 A. 5 ~ 图 A. 8。

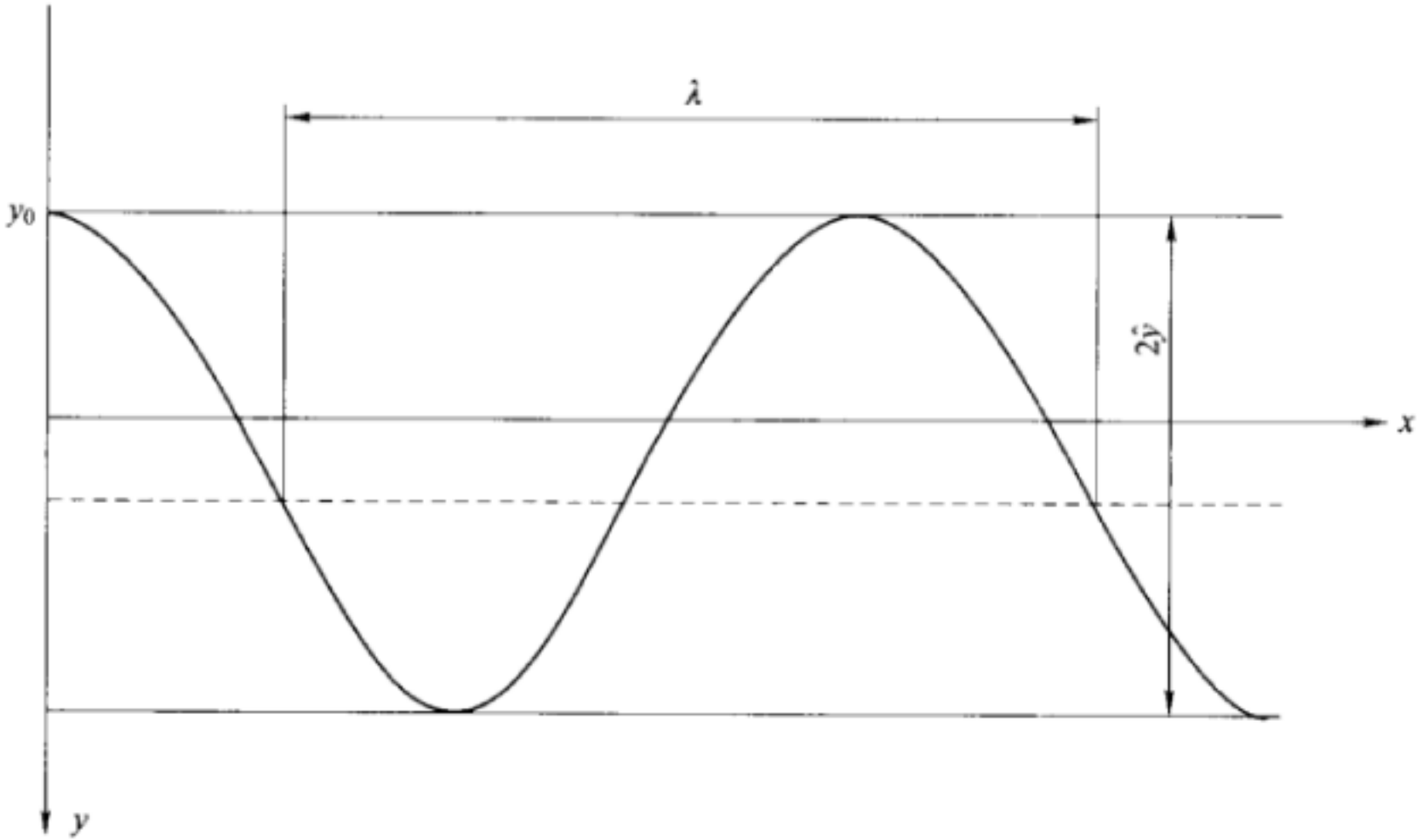
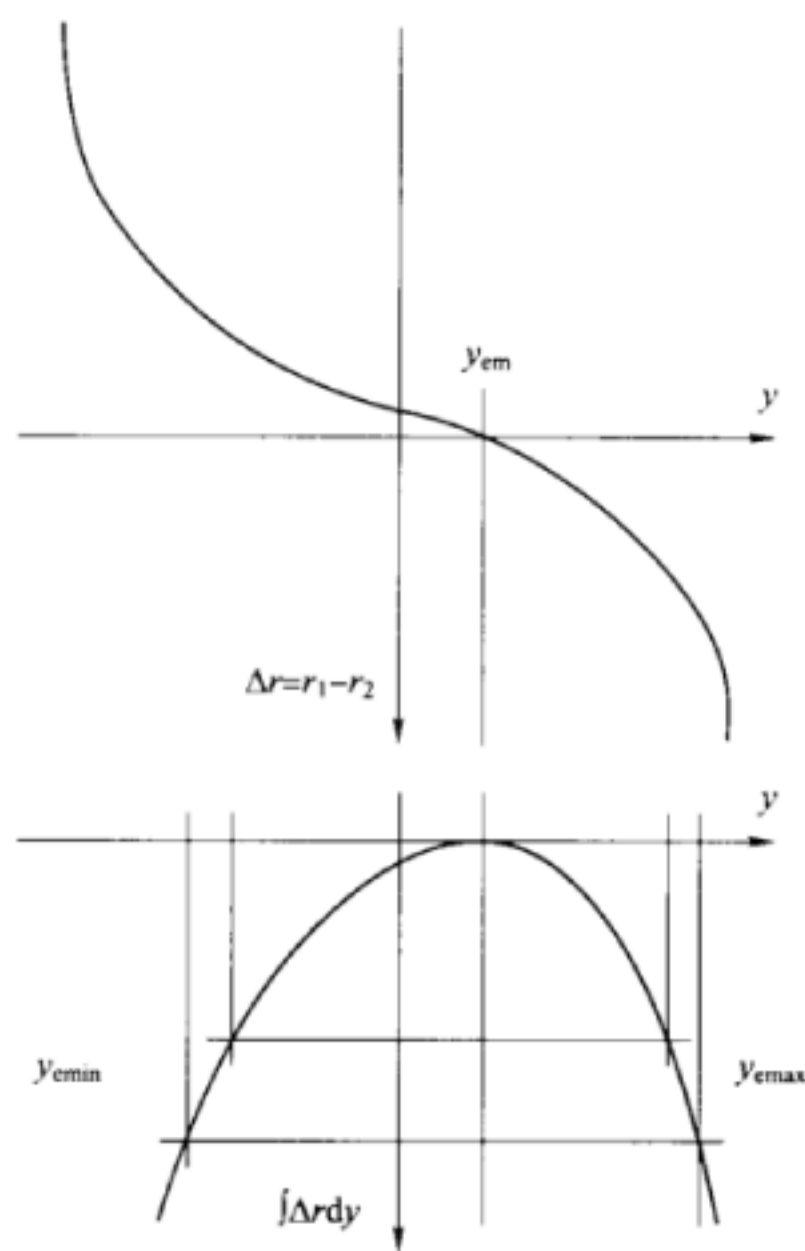


图 A. 5 积分 $\int \Delta r \cdot dy$ 的计算



确定 $y_{em} : \Delta r = 0$;
计算 $\int_{y_{em}}^{y_{em}} \Delta r dy = f(y)$, $\int_{y_{em}}^{y_{em}} \Delta r (-dy) = f(y)$, 确定 y_{emin}, y_{emax} , 从而可得到 $\hat{y} = (y_{emax} - y_{emin})/2$ 。

图 A. 6 确定 y_{em} 和 \hat{y}

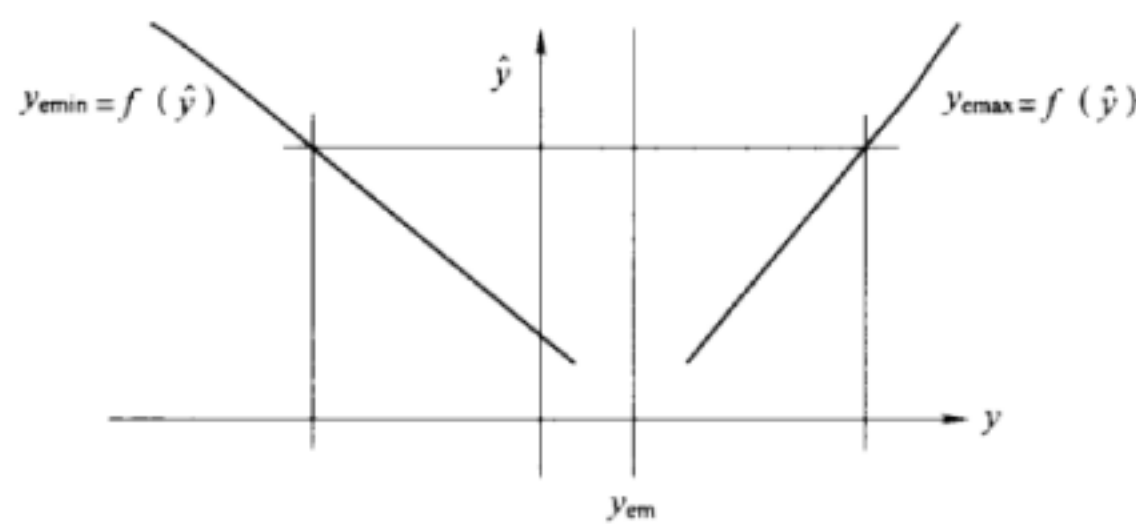


图 A. 7 确定 $y_{emin} = f(\hat{y})$ 和 $y_{emax} = f(\hat{y})$ 函数

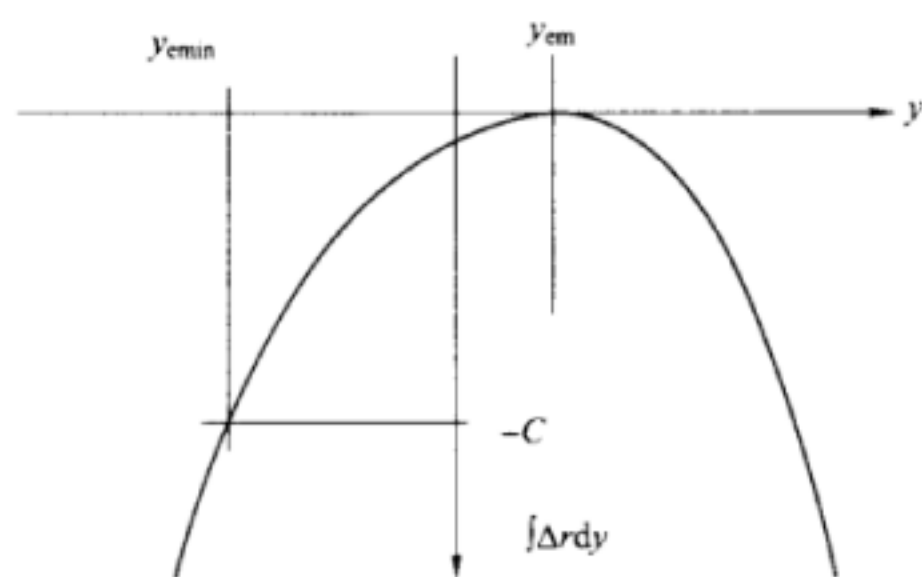


图 A. 8 确定常数 C

附录 B

(资料性附录)

采用 Δr 函数线性回归方法确定等效锥度的示例

B.1 原理

对于线性 Δr 函数来说,其斜率等于 $2\tan\gamma_e$ 。

对于非线性 Δr 函数,其线性回归斜率近似于 $2\tan\gamma_e$ 。

在 $2\hat{y}$ 区间内, Δr 函数应在 y_{emin} 和 y_{emax} 间进行回归,其中 y_{emin} 和 y_{emax} 分别为轮对运行轨迹波形的最小横向幅值和最大横向幅值。

对于对称性 Δr 函数, y_{emin} 和 y_{emax} 等于平均幅值 \hat{y} ,但对于非对称性 Δr 函数, y_{emin} 和 y_{emax} 通常不等于 \hat{y} ,对应的最小幅值 y_{emin} 和最大幅值 y_{emax} 由附录 A 中的 Δr 函数计算得到。

B.2 处理步骤

实际计算过程中按照如下步骤进行:

- 根据函数 $\Delta r = r_1 - r_2 = f(y)$,找出与 $\Delta r = 0$ 对应的 y_{em} 的值(参见图 A.5)。
- 计算 $S(y) = - \int \Delta r \cdot dy$, y_{em} 到 $+y$ 积分步长为 $dy = +0.1$, y_{em} 到 $-y$ 积分步长为 $dy = -0.1$ (参见图 A.6)。
- 确定横向位移幅值 y_{emin} 和 y_{emax} ,计算平均横移 \hat{y} (参见图 A.6)。
- 确定函数 $y_{emin} = f(\hat{y})$ 及 $y_{emax} = f(\hat{y})$,得出与轮对横移 $2\hat{y}$ 对应的最小位移 y_{emin} 和最大位移 y_{emax} (参见图 A.7)。
- 在 y_{emin} 至 y_{emax} 之间计算 Δr 函数线性回归函数,并通过 $\tan\gamma_e = B/2$ 计算等效锥度,其中 B 是回归斜率。
- 通过 B.2 中的步骤 e) 确定函数 $\tan\gamma_e = f(\hat{y})$,其中平均幅值 \hat{y} 范围从 1 mm 到由 $\Delta r = f(y)$ 所允许的最大值,计算最大步长为 $\Delta\hat{y} = 0.5$ mm。

B.3 特殊情况

如果 $\Delta r = f(y)$ 特征在 $2\hat{y}$ 区间内关于原点非对称性较强,可近似为两部分直线段,建议对每部分(正和负)进行回归得到两个锥度 $\tan\gamma_{e,p}$ 和 $\tan\gamma_{e,n}$,等效锥度就可通过下式得到:

$$\tan\gamma_e = \left[\frac{2}{\frac{1}{\sqrt{\tan\gamma_{e,p}}} + \frac{1}{\sqrt{\tan\gamma_{e,n}}}} \right]^2$$

附录 C
(规范性附录)
基准廓形

C.1 轮 A
C.1.1 轮 A 廓形图形见图 C.1。

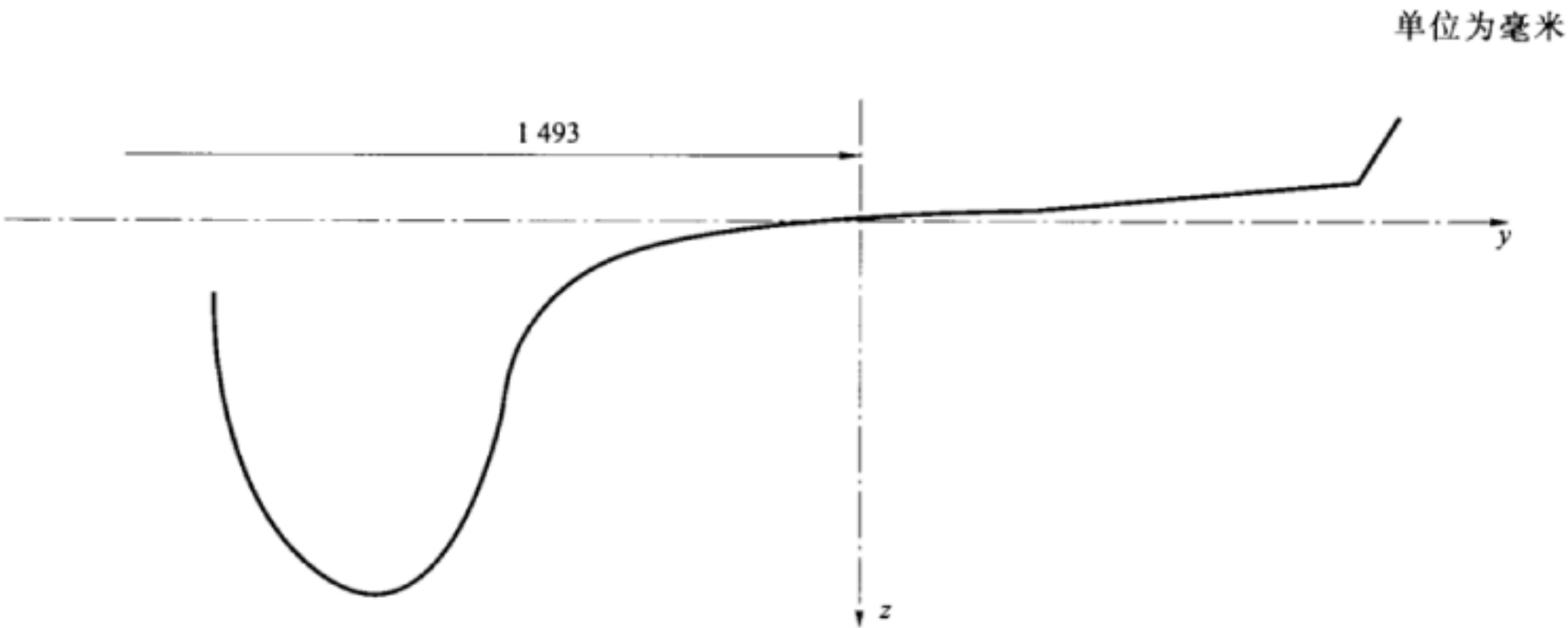


图 C.1 轮 A 廓形图

C. 1.2 右轮廓形笛卡尔坐标值见表 C. 1。

表 C. 1 轮 A 廓形坐标(右轮) 单位为毫米

y	z	y	z	y	z	y	z	y	z
-70.000	5.636	-42.000	23.501	-14.000	1.127	14.000	-0.440	42.000	-1.728
-69.000	12.633	-41.000	22.323	-13.000	1.009	15.000	-0.459	43.000	-1.795
-68.000	15.432	-40.000	20.839	-12.000	0.900	16.000	-0.478	44.000	-1.861
-67.000	17.509	-39.000	18.809	-11.000	0.796	17.000	-0.498	45.000	-1.928
-66.000	19.200	-38.000	16.088	-10.000	0.699	18.000	-0.517	46.000	-1.995
-65.000	20.635	-37.000	13.341	-9.000	0.608	19.000	-0.538	47.000	-2.061
-64.000	21.884	-36.000	10.839	-8.000	0.522	20.000	-0.559	48.000	-2.128
-63.000	22.985	-35.000	9.162	-7.000	0.441	21.000	-0.583	49.000	-2.194
-62.000	23.966	-34.000	7.912	-6.000	0.365	22.000	-0.609	50.000	-2.261
-61.000	24.845	-33.000	6.926	-5.000	0.294	23.000	-0.637	51.000	-2.328
-60.000	25.635	-32.000	6.122	-4.000	0.227	24.000	-0.667	52.000	-2.394
-59.000	26.335	-31.000	5.459	-3.000	0.165	25.000	-0.701	53.000	-2.461
-58.000	26.902	-30.000	4.909	-2.000	0.106	26.000	-0.739	54.000	-2.527
-57.000	27.352	-29.000	4.447	-1.000	0.051	27.000	-0.782	55.000	-2.595
-56.000	27.698	-28.000	4.051	0.000	0.000	28.000	-0.827	56.000	-2.661
-55.000	27.948	-27.000	3.706	1.000	-0.048	29.000	-0.878	57.000	-2.728
-54.000	28.111	-26.000	3.398	2.000	-0.093	30.000	-0.935	58.000	-2.795
-53.000	28.187	-25.000	3.118	3.000	-0.134	31.000	-0.996	59.000	-2.861
-52.000	28.181	-24.000	2.86	4.000	-0.174	32.000	-1.061	60.000	-2.928
-51.000	28.090	-23.000	2.624	5.000	-0.209	33.000	-1.128	61.000	-3.928
-50.000	27.927	-22.000	2.405	6.000	-0.242	34.000	-1.194	62.000	-4.928
-49.000	27.693	-21.000	2.203	7.000	-0.273	35.000	-1.261	63.000	-5.928
-48.000	27.385	-20.000	2.015	8.000	-0.302	36.000	-1.328	64.000	-6.928
-47.000	26.997	-19.000	1.841	9.000	-0.329	37.000	-1.395	65.000	-7.928
-46.000	26.524	-18.000	1.679	10.000	-0.354	38.000	-1.461	—	—
-45.000	25.954	-17.000	1.526	11.000	-0.377	39.000	-1.528	—	—
-44.000	25.275	-16.000	1.384	12.000	-0.398	40.000	-1.595	—	—
-43.000	24.468	-15.000	1.251	13.000	-0.420	41.000	-1.661	—	—

C.2 轮 B
C.2.1 轮 B 廓形见图 C.2。

单位为毫米

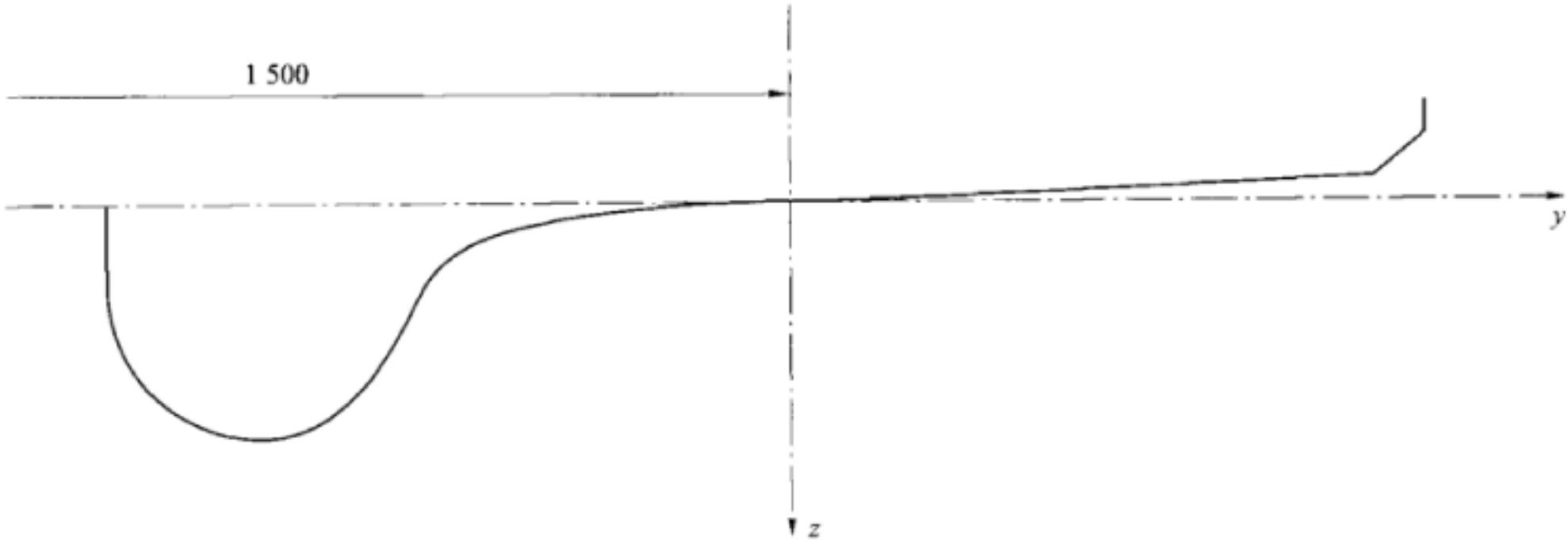


图 C.2 轮 B 廓形图

C. 2. 2 右轮廓形笛卡尔坐标值见表 C. 2。

表 C. 2 轮 B 廓形坐标(右轮)						单位为毫米			
y	z	y	z	y	z	y	z	y	z
-70.000	9.519	-42.000	20.052	-14.000	1.071	14.000	-0.464	42.000	-1.292
-69.000	15.844	-41.000	18.411	-13.000	0.959	15.000	-0.475	43.000	-1.359
-68.000	18.351	-40.000	16.291	-12.000	0.856	16.000	-0.483	44.000	-1.426
-67.000	20.196	-39.000	13.576	-11.000	0.765	17.000	-0.489	45.000	-1.492
-66.000	21.685	-38.000	11.178	-10.000	0.680	18.000	-0.492	46.000	-1.559
-65.000	22.936	-37.000	9.541	-9.000	0.599	19.000	-0.492	47.000	-1.626
-64.000	24.011	-36.000	8.290	-8.000	0.521	20.000	-0.492	48.000	-1.693
-63.000	24.947	-35.000	7.284	-7.000	0.446	21.000	-0.492	49.000	-1.759
-62.000	25.747	-34.000	6.456	-6.000	0.373	22.000	-0.492	50.000	-1.826
-61.000	26.392	-33.000	5.769	-5.000	0.304	23.000	-0.492	51.000	-1.893
-60.000	26.909	-32.000	5.200	-4.000	0.237	24.000	-0.492	52.000	-1.959
-59.000	27.314	-31.000	4.733	-3.000	0.174	25.000	-0.492	53.000	-2.026
-58.000	27.619	-30.000	4.358	-2.000	0.113	26.000	-0.492	54.000	-2.093
-57.000	27.832	-29.000	4.059	-1.000	0.055	27.000	-0.492	55.000	-2.159
-56.000	27.958	-28.000	3.782	0.000	0.000	28.000	-0.492	56.000	-2.226
-55.000	28.000	-27.000	3.516	1.000	-0.052	29.000	-0.492	57.000	-2.293
-54.000	27.958	-26.000	3.262	2.000	-0.101	30.000	-0.492	58.000	-2.360
-53.000	27.832	-25.000	3.019	3.000	-0.147	31.000	-0.559	59.000	-2.426
-52.000	27.619	-24.000	2.787	4.000	-0.191	32.000	-0.625	60.000	-2.493
-51.000	27.314	-23.000	2.567	5.000	-0.231	33.000	-0.692	61.000	-3.493
-50.000	26.909	-22.000	2.357	6.000	-0.268	34.000	-0.759	62.000	-4.493
-49.000	26.403	-21.000	2.159	7.000	-0.303	35.000	-0.825	63.000	-5.493
-48.000	25.821	-20.000	1.971	8.000	-0.335	36.000	-0.892	64.000	-6.493
-47.000	25.157	-19.000	1.794	9.000	-0.363	37.000	-0.959	65.000	-7.493
-46.000	24.401	-18.000	1.628	10.000	-0.389	38.000	-1.026	—	—
-45.000	23.538	-17.000	1.473	11.000	-0.412	39.000	-1.092	—	—
-44.000	22.548	-16.000	1.328	12.000	-0.432	40.000	-1.159	—	—
-43.000	21.402	-15.000	1.195	13.000	-0.449	41.000	-1.226	—	—

C.3 轨 A

C.3.1 轨 A 廓形见图 C.3。

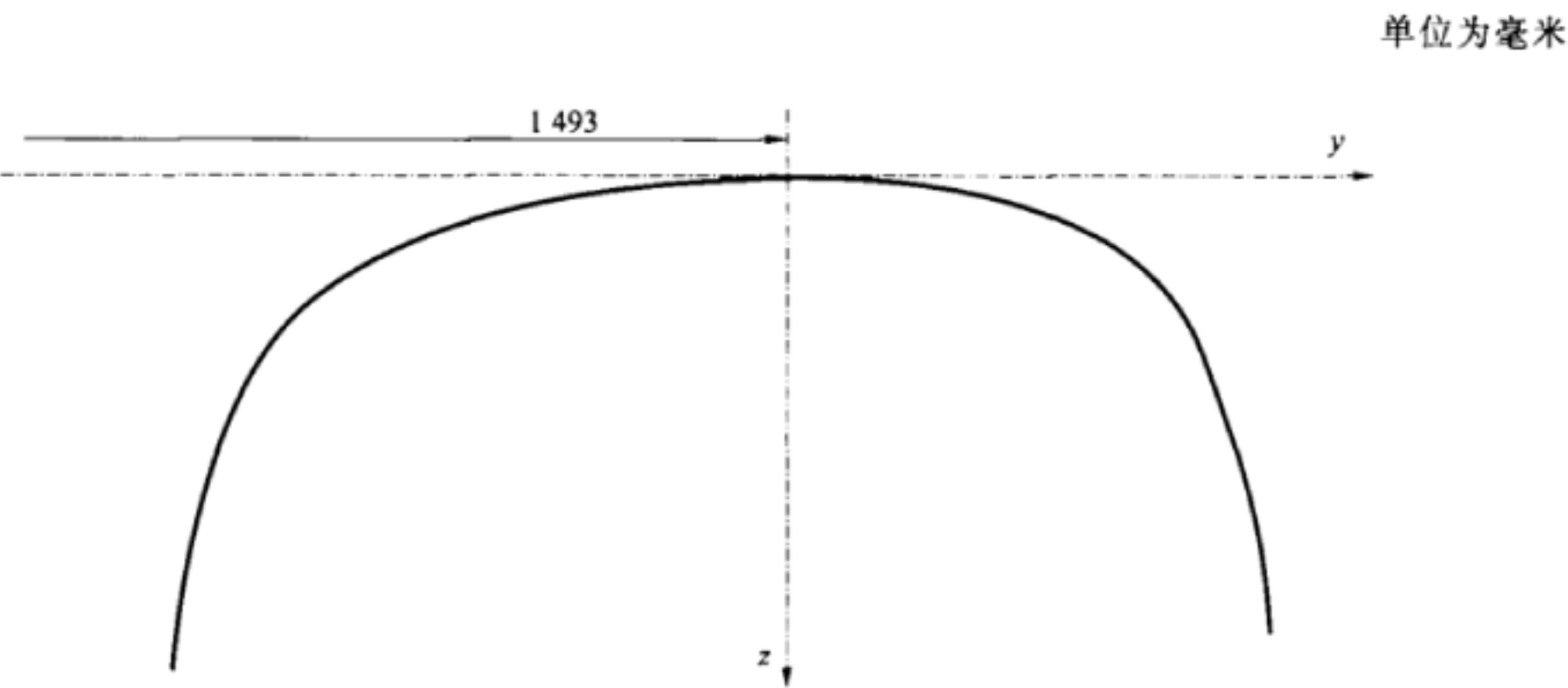


图 C.3 轨 A 廓形图

C.3.2 轨 A 的廓形笛卡尔坐标值参见表 C.3。

表 C.3 轨 A 廓形坐标(右轨) 单位为毫米

y	z	y	z	y	z	y	z
-39.000	12.127	-21.000	1.172	-3.000	0.062	15.000	0.643
-38.000	9.540	-20.000	1.037	-2.000	0.043	16.000	0.777
-37.000	7.906	-19.000	0.913	-1.000	0.028	17.000	0.923
-36.000	6.680	-18.000	0.803	0.000	0.016	18.000	1.082
-35.000	5.706	-17.000	0.706	1.000	0.007	19.000	1.254
-34.000	4.915	-16.000	0.620	2.000	0.002	20.000	1.439
-33.000	4.267	-15.000	0.548	3.000	0.000	21.000	1.637
-32.000	3.740	-14.000	0.488	4.000	0.001	22.000	1.884
-31.000	3.318	-13.000	0.432	5.000	0.006	23.000	2.218
-30.000	2.989	-12.000	0.380	6.000	0.015	24.000	2.646
-29.000	2.730	-11.000	0.332	7.000	0.034	25.000	3.180
-28.000	2.489	-10.000	0.286	8.000	0.066	26.000	3.835
-27.000	2.261	-9.000	0.244	9.000	0.111	27.000	4.635
-26.000	2.047	-8.000	0.205	10.000	0.168	28.000	5.621
-25.000	1.846	-7.000	0.170	11.000	0.238	29.000	6.865
-24.000	1.658	-6.000	0.138	12.000	0.320	30.000	8.530
-23.000	1.483	-5.000	0.109	13.000	0.415	31.000	11.228
-22.000	1.321	-4.000	0.084	14.000	0.523	—	—

C.4 轨 B

C.4.1 轨 B 廓形见图 C.4。

单位：毫米

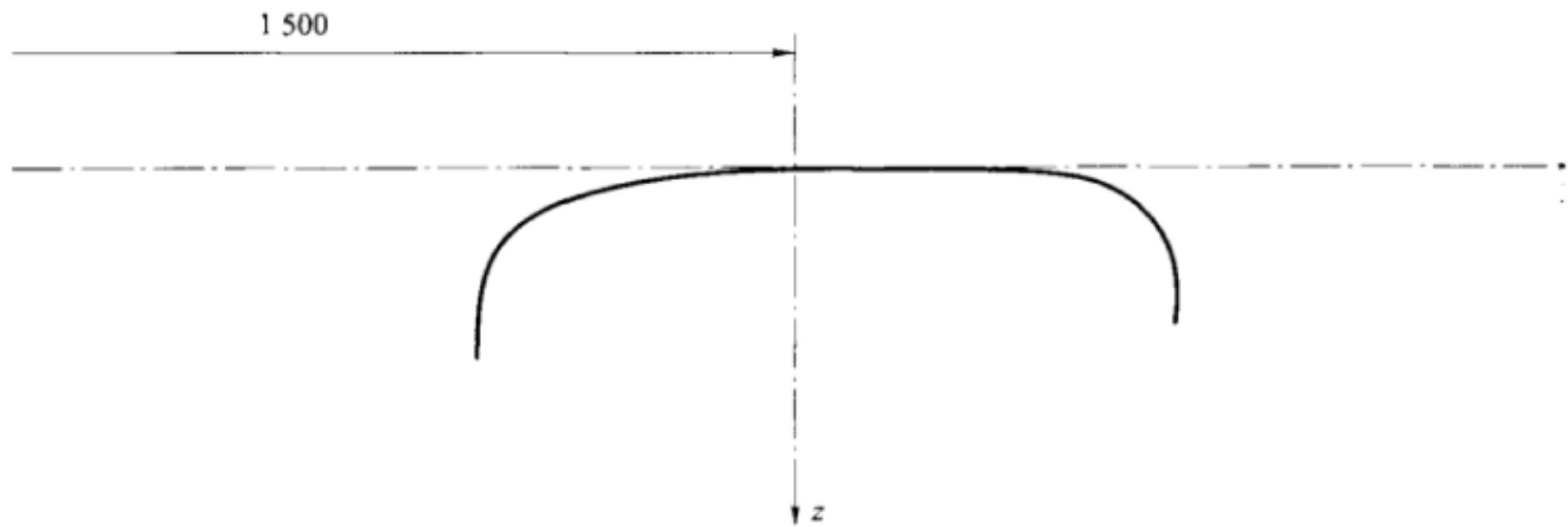


图 C.4 轨 B 廓形图

C.4.2 轨 B 廓形笛卡尔坐标值参见表 C.4。

表 C.4 轨 B 廓形坐标(右轨) 单位为毫米

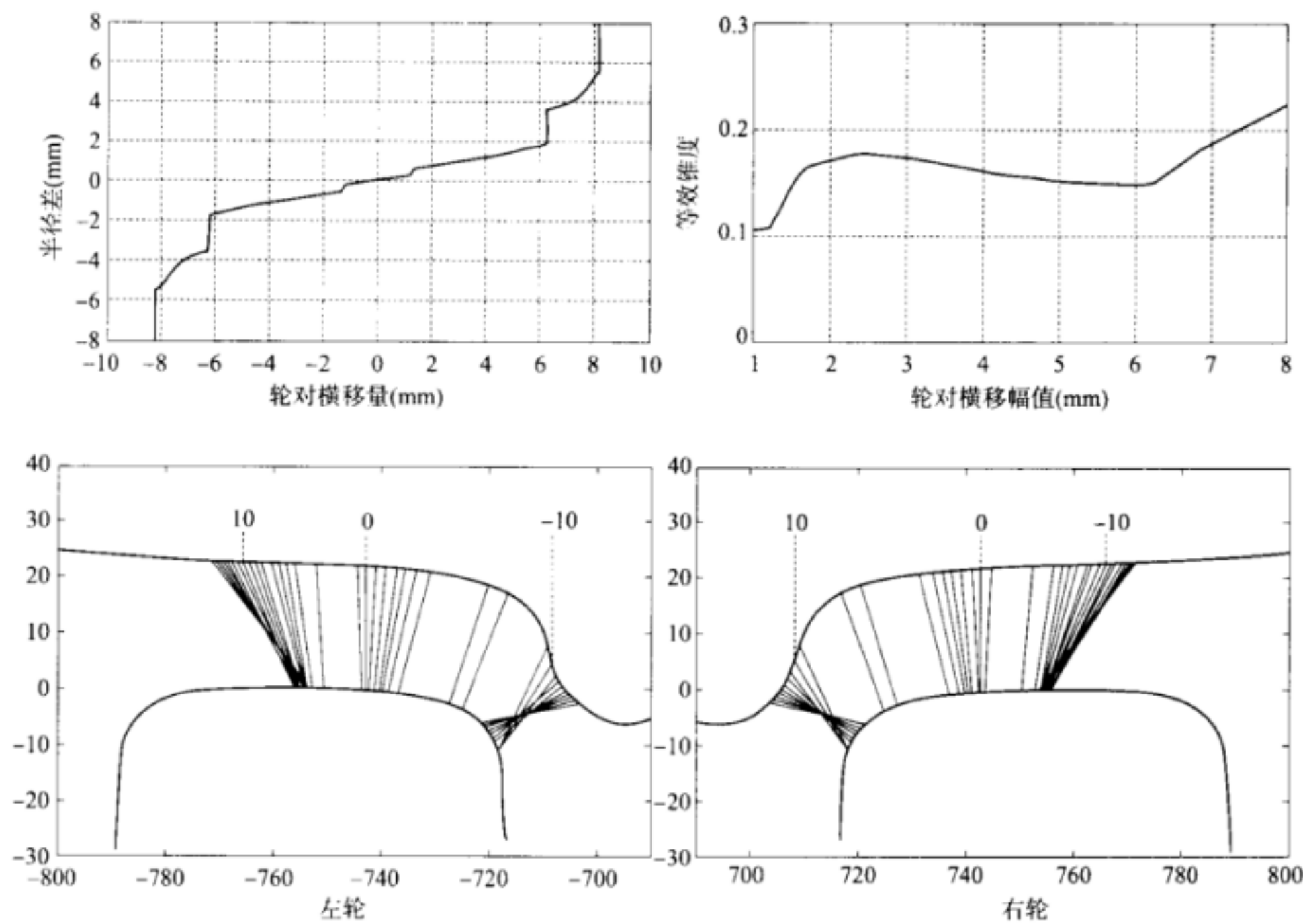
y	z	y	z	y	z	y	z
-32.500	14.000	-14.000	1.328	5.000	-0.252	24.000	3.099
-32.000	11.872	-13.000	1.171	6.000	-0.292	25.000	3.227
-31.000	9.579	-12.000	1.026	7.000	-0.329	26.000	3.369
-30.000	8.047	-11.000	0.895	8.000	-0.363	27.000	3.523
-29.000	6.878	-10.000	0.776	9.000	-0.393	28.000	3.690
-28.000	5.944	-9.000	0.671	10.000	-0.420	29.000	3.874
-27.000	5.183	-8.000	0.578	11.000	-0.444	30.000	4.126
-26.000	4.561	-7.000	0.494	12.000	-0.464	31.000	4.464
-25.000	4.056	-6.000	0.413	13.000	-0.481	32.000	4.897
-24.000	3.652	-5.000	0.336	14.000	-0.491	33.000	5.437
-23.000	3.339	-4.000	0.262	15.000	-0.489	34.000	6.098
-22.000	3.061	-3.000	0.191	16.000	-0.474	35.000	6.907
-21.000	2.797	-2.000	0.124	17.000	-0.446	36.000	7.904
-20.000	2.547	-1.000	0.060	18.000	-0.406	37.000	9.164
-19.000	2.310	0.000	0.000	19.000	-0.354	38.000	10.860
-18.000	2.087	1.000	-0.057	20.000	-0.288	39.000	13.065
-17.000	1.877	2.000	-0.111	21.000	-0.211	—	—
-16.000	1.681	3.000	-0.161	22.000	-0.120	—	—
-15.000	1.498	4.000	-0.208	23.000	-0.017	—	—

附 录 D
(规范性附录)
基准廓形计算结果

- D.1 不同基准廓形组合的计算结果
- 不同轮轨基准廓形组合的计算结果按照下面的方式给出：
- a) 附录 D.x.1：
 - 滚动半径差 $\Delta r=f(y)$ ，等效锥度计算必需；
 - $\tan\gamma_e=f(y)$ ，等效锥度；
 - 轮轨接触点。
 - b) 附录 D.x.2：函数 $\Delta r=f(y)$ 的数值。
 - c) 附录 D.x.3：函数 $\tan\gamma_e=f(y)$ 的数值。

D.2 轮 A/轨 A 的计算结果

D.2.1 函数 $\Delta r, \tan\gamma_e$ 及轮轨接触点见图 D.1。



车轮直径：右轮为 920 mm，左轮为 920 mm；轨距为 1 435 mm；名义滚动圆间距为 1 493 mm。

图 D.1 函数 $\Delta r, \tan\gamma_e$ 及轮 A/轨 A 的接触点图形

D. 2. 2 Δr 函数数值见表 D. 1。

表 D. 1 轮 A/轨 A 轮轨接触几何： $\Delta r = f(y)$ 单位：毫米

y	Δr	y	Δr	y	Δr	y	Δr
-8.000	-5.252	-3.900	-1.140	0.200	0.038	4.300	.221
-7.900	-5.066	-3.800	-1.128	0.300	0.057	4.400	.234
-7.800	-4.849	-3.700	-1.102	0.400	0.083	4.500	.257
-7.700	-4.686	-3.600	-1.090	0.500	0.102	4.600	.280
-7.600	-4.531	-3.500	-1.069	0.600	0.127	4.700	.305
-7.500	-4.351	-3.400	-1.054	0.700	0.140	4.800	.329
-7.400	-4.219	-3.300	-1.031	0.800	0.166	4.900	.357
-7.300	-4.153	-3.200	-1.017	0.900	0.191	5.000	.393
-7.200	-4.057	-3.100	-1.003	1.000	0.217	5.100	.417
-7.100	-3.994	-3.000	-0.982	1.100	0.235	5.200	.458
-7.000	-3.932	-2.900	-0.968	1.200	0.266	5.300	.567
-6.900	-3.871	-2.800	-0.945	1.300	0.557	5.400	.594
-6.800	-3.836	-2.700	-0.931	1.400	0.575	5.500	.621
-6.700	-3.774	-2.600	-0.908	1.500	0.597	5.600	.648
-6.600	-3.709	-2.500	-0.877	1.600	0.627	5.700	.678
-6.500	-3.651	-2.400	-0.854	1.700	0.649	5.800	.708
-6.400	-3.618	-2.300	-0.829	1.800	0.660	5.900	.737
-6.300	-3.558	-2.200	-0.807	1.900	0.691	6.000	.752
-6.200	-1.824	-2.100	-0.785	2.000	0.705	6.100	.794
-6.100	-1.794	-2.000	-0.705	2.100	0.785	6.200	.824
-6.000	-1.752	-1.900	-0.691	2.200	0.807	6.300	.8558
-5.900	-1.737	-1.800	-0.660	2.300	0.829	6.400	.8618
-5.800	-1.708	-1.700	-0.649	2.400	0.854	6.500	.8651
-5.700	-1.678	-1.600	-0.627	2.500	0.877	6.600	.8709
-5.600	-1.648	-1.500	-0.597	2.600	0.908	6.700	.8774
-5.500	-1.621	-1.400	-0.575	2.700	0.931	6.800	.8836
-5.400	-1.594	-1.300	-0.557	2.800	0.945	6.900	.8871
-5.300	-1.567	-1.200	-0.266	2.900	0.968	7.000	.8932
-5.200	-1.458	-1.100	-0.235	3.000	0.982	7.100	.8994
-5.100	-1.417	-1.000	-0.217	3.100	1.003	7.200	.9057
-5.000	-1.393	-0.900	-0.191	3.200	1.017	7.300	.9153
-4.900	-1.357	-0.800	-0.166	3.300	1.031	7.400	.9219
-4.800	-1.329	-0.700	-0.140	3.400	1.054	7.500	.9351
-4.700	-1.305	-0.600	-0.127	3.500	1.069	7.600	.94531
-4.600	-1.280	-0.500	-0.102	3.600	1.090	7.700	.94686
-4.500	-1.257	-0.400	-0.083	3.700	1.102	7.800	.94849
-4.400	-1.234	-0.300	-0.057	3.800	1.128	7.900	.95066
-4.300	-1.221	-0.200	-0.038	3.900	1.140	8.000	.95252
-4.200	-1.199	-0.100	-0.019	4.000	1.162	—	—
-4.100	-1.174	0.000	0.000	4.100	1.174	—	—
-4.000	-1.162	0.100	0.019	4.200	1.199	—	—

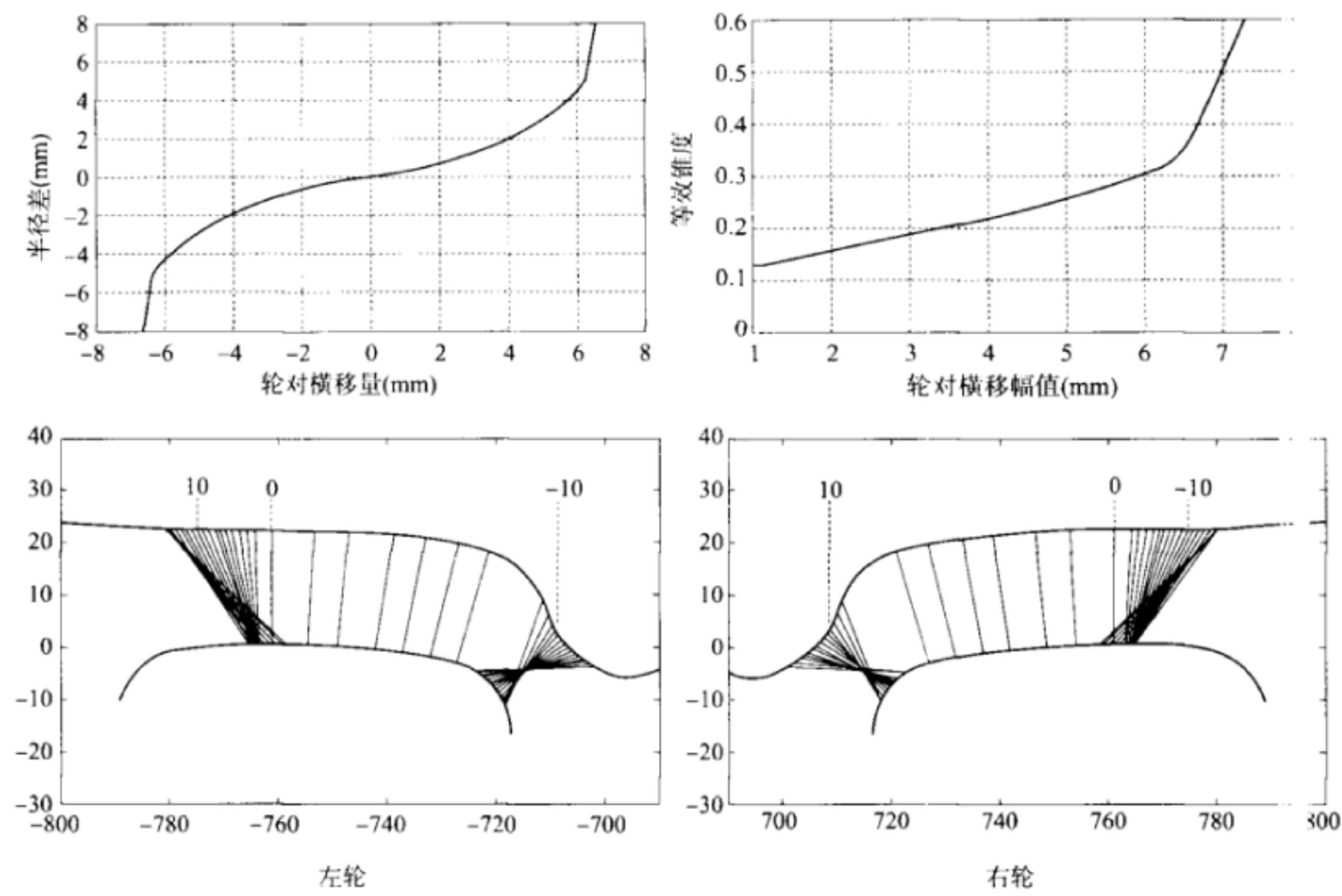
D. 2. 3 轮对等效锥度函数 $\tan\gamma_e$ 的数值见表 D. 2。

表 D. 2 轮 A/轨 A 轮轨接触几何等效锥度

\hat{y} mm	$\tan\gamma_e$	y_{\max} mm	y_{\min} mm
1. 000	0. 104	1. 000	- 1. 000
1. 200	0. 106	1. 200	- 1. 200
1. 400	0. 138	1. 400	- 1. 400
1. 600	0. 158	1. 600	- 1. 600
1. 800	0. 167	1. 800	- 1. 800
2. 000	0. 171	2. 000	- 2. 000
2. 200	0. 174	2. 200	- 2. 200
2. 400	0. 175	2. 400	- 2. 400
2. 600	0. 175	2. 600	- 2. 600
2. 800	0. 175	2. 800	- 2. 800
3. 000	0. 173	3. 000	- 3. 000
3. 200	0. 171	3. 200	- 3. 200
3. 400	0. 169	3. 400	- 3. 400
3. 600	0. 166	3. 600	- 3. 600
3. 800	0. 164	3. 800	- 3. 800
4. 000	0. 161	4. 000	- 4. 000
4. 200	0. 159	4. 200	- 4. 200
4. 400	0. 157	4. 400	- 4. 400
4. 600	0. 154	4. 600	- 4. 600
4. 800	0. 153	4. 800	- 4. 800
5. 000	0. 151	5. 000	- 5. 000
5. 200	0. 150	5. 200	- 5. 200
5. 400	0. 149	5. 400	- 5. 400
5. 600	0. 149	5. 600	- 5. 600
5. 800	0. 149	5. 800	- 5. 800
6. 000	0. 149	6. 000	- 6. 000
6. 200	0. 149	6. 200	- 6. 200
6. 400	0. 158	6. 400	- 6. 400
6. 600	0. 169	6. 600	- 6. 600
6. 800	0. 179	6. 800	- 6. 800
7. 000	0. 187	7. 000	- 7. 000
7. 200	0. 195	7. 200	- 7. 200
7. 400	0. 202	7. 400	- 7. 400
7. 600	0. 209	7. 600	- 7. 600
7. 800	0. 216	7. 800	- 7. 800
8. 000	0. 223	8. 000	- 8. 000

D.3 轮 B/轨 B 的计算结果

D.3.1 函数 $\Delta r, \tan\gamma_e$ 及轮轨接触点图形见图 D.2。



车轮直径:右轮为 920 mm,左轮为 920 mm;轨距为 1 435.16 mm;名义滚动圆间距为 1 500 mm。

图 D.2 函数 $\Delta r, \tan\gamma_e$ 及轮 B/轨 B 的接触点图形

D.3.2 Δr 函数数值见表 D.3。

表 D.3 轮 B/轨 B 轮轨接触几何： $\Delta r = f(y)$ 单位为毫米

y	Δr	y	Δr	y	Δr	y	Δr
-8.000	—	-3.900	-1.834	0.200	0.051	4.300	2.185
-7.900	—	-3.800	-1.752	0.300	0.071	4.400	2.286
-7.800	—	-3.700	-1.673	0.400	0.092	4.500	2.373
-7.700	—	-3.600	-1.598	0.500	0.116	4.600	2.481
-7.600	—	-3.500	-1.539	0.600	0.142	4.700	2.593
-7.500	—	-3.400	-1.471	0.700	0.167	4.800	2.709
-7.400	—	-3.300	-1.407	0.800	0.197	4.900	2.808
-7.300	—	-3.200	-1.346	0.900	0.227	5.000	2.931
-7.200	—	-3.100	-1.299	1.000	0.257	5.100	3.058
-7.100	—	-3.000	-1.236	1.100	0.292	5.200	3.189
-7.000	—	-2.900	-1.177	1.200	0.328	5.300	3.324
-6.900	—	-2.800	-1.111	1.300	0.361	5.400	3.440
-6.800	-10.954	-2.700	-1.055	1.400	0.402	5.500	3.582
-6.700	-9.010	-2.600	-0.992	1.500	0.443	5.600	3.729
-6.600	-7.597	-2.500	-0.931	1.600	0.481	5.700	3.879
-6.500	-6.521	-2.400	-0.879	1.700	0.527	5.800	4.008
-6.400	-5.692	-2.300	-0.822	1.800	0.574	5.900	4.166
-6.300	-5.064	-2.200	-0.766	1.900	0.616	6.000	4.328
-6.200	-4.636	-2.100	-0.719	2.000	0.667	6.100	4.494
-6.100	-4.494	-2.000	-0.667	2.100	0.719	6.200	4.636
-6.000	-4.328	-1.900	-0.616	2.200	0.766	6.300	5.064
-5.900	-4.166	-1.800	-0.574	2.300	0.822	6.400	5.692
-5.800	-4.008	-1.700	-0.527	2.400	0.879	6.500	6.521
-5.700	-3.879	-1.600	-0.481	2.500	0.931	6.600	7.597
-5.600	-3.729	-1.500	-0.443	2.600	0.992	6.700	9.010
-5.500	-3.582	-1.400	-0.402	2.700	1.055	6.800	10.954
-5.400	-3.440	-1.300	-0.361	2.800	1.111	6.900	—
-5.300	-3.324	-1.200	-0.328	2.900	1.177	7.000	—
-5.200	-3.189	-1.100	-0.292	3.000	1.236	7.100	—
-5.100	-3.058	-1.000	-0.257	3.100	1.299	7.200	—
-5.000	-2.931	-0.900	-0.227	3.200	1.346	7.300	—
-4.900	-2.808	-0.800	-0.197	3.300	1.407	7.400	—
-4.800	-2.709	-0.700	-0.167	3.400	1.471	7.500	—
-4.700	-2.593	-0.600	-0.142	3.500	1.539	7.600	—
-4.600	-2.481	-0.500	-0.116	3.600	1.598	7.700	—
-4.500	-2.373	-0.400	-0.092	3.700	1.673	7.800	—
-4.400	-2.286	-0.300	-0.071	3.800	1.752	7.900	—
-4.300	-2.185	-0.200	-0.051	3.900	1.834	8.000	—
-4.200	-2.088	-0.100	-0.032	4.000	1.906	—	—
-4.100	-1.995	0.000	0.000	4.100	1.995	—	—
-4.000	-1.906	0.100	0.032	4.200	2.088	—	—

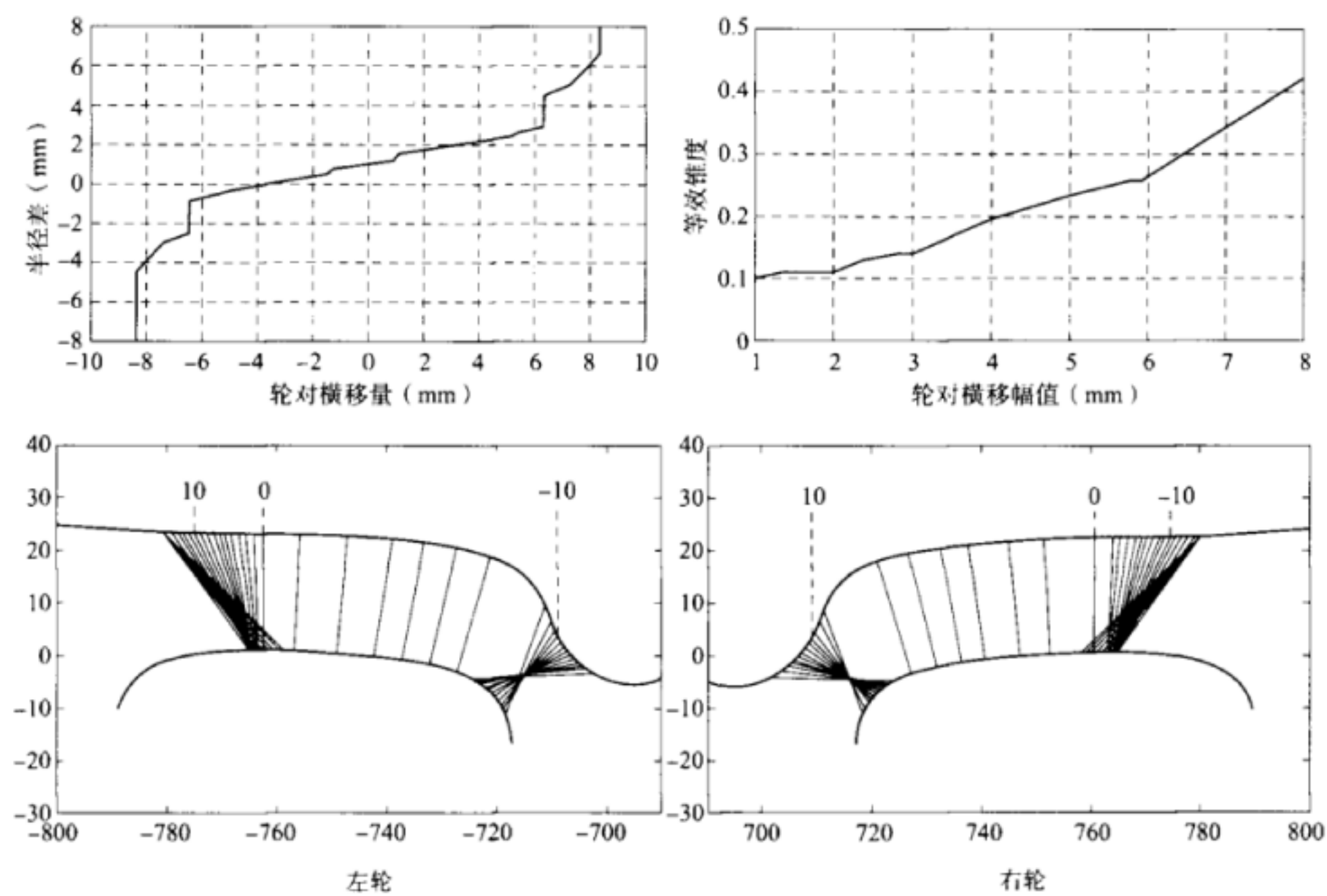
D.3.3 轮对等效锥度函数 $\tan\gamma_e$ 的数值见表 D.4。

表 D.4 轮 B/轨 B 轮轨接触几何等效锥度

\hat{y} mm	$\tan\gamma_e$	y_{\max} mm	y_{\min} mm
1.000	0.125	1.000	-1.000
1.200	0.130	1.200	-1.200
1.400	0.136	1.400	-1.400
1.600	0.142	1.600	-1.600
1.800	0.149	1.800	-1.800
2.000	0.155	2.000	-2.000
2.200	0.161	2.200	-2.200
2.400	0.168	2.400	-2.400
2.600	0.175	2.600	-2.600
2.800	0.181	2.800	-2.800
3.000	0.188	3.000	-3.000
3.200	0.194	3.200	-3.200
3.400	0.199	3.400	-3.400
3.600	0.204	3.600	-3.600
3.800	0.210	3.800	-3.800
4.000	0.216	4.000	-4.000
4.200	0.223	4.200	-4.200
4.400	0.230	4.400	-4.400
4.600	0.238	4.600	-4.600
4.800	0.246	4.800	-4.800
5.000	0.254	5.000	-5.000
5.200	0.263	5.200	-5.200
5.400	0.273	5.400	-5.400
5.600	0.282	5.600	-5.600
5.800	0.292	5.800	-5.800
6.000	0.303	6.000	-6.000
6.200	0.313	6.200	-6.200
6.400	0.332	6.400	-6.400
6.600	0.368	6.600	-6.600

D.4 修正轮 A(左轮直径比右轮直径小 2 mm)/轨 A 的计算结果

D.4.1 函数 $\Delta r, \tan\gamma_c$ 的图形以及接触点图形见图 D.3。



车轮直径:右轮为 920 mm,左轮为 918 mm;轨距为 1 435 mm;名义滚动圆间距为 1 493 mm。

图 D.3 函数 $\Delta r, \tan\gamma_c$ 及轮 A/轨 A 的接触点图形

D.4.2 Δr 函数数值。

当右轮直径为 920 mm,左轮直径为 918 mm;轨距为 1435 mm;名义滚动圆间距为 1493 mm 时,修正轮 A/轨 A 轮径差见表 D.5。

表 D.5 修正轮 A/轨 A 轮轨接触几何: $\Delta r = f(y)$ 单位:毫米

y	Δr	y	Δr	y	Δr	y	Δr
-8.000	-4.242	-3.900	-0.133	0.200	1.051	4.300	.228
-7.900	-4.058	-3.800	-0.111	0.300	1.076	4.400	.251
-7.800	-3.839	-3.700	-0.097	0.400	1.096	4.500	.276
-7.700	-3.676	-3.600	-0.076	0.500	1.114	4.600	.301
-7.600	-3.485	-3.500	-0.062	0.600	1.140	4.700	.325
-7.500	-3.342	-3.400	-0.038	0.700	1.159	4.800	.351
-7.400	-3.204	-3.300	-0.026	0.800	1.184	4.900	.377
-7.300	-3.106	-3.200	0.000	0.900	1.210	5.000	.401
-7.200	-3.041	-3.100	0.011	1.000	1.234	5.100	.451
-7.100	-2.974	-3.000	0.025	1.100	1.528	5.200	.561
-7.000	-2.912	-2.900	0.049	1.200	1.549	5.300	.590
-6.900	-2.851	-2.800	0.065	1.300	1.567	5.400	.619
-6.800	-2.820	-2.700	0.086	1.400	1.589	5.500	.646
-6.700	-2.756	-2.600	0.117	1.500	1.619	5.600	.674
-6.600	-2.697	-2.500	0.151	1.600	1.641	5.700	.688
-6.500	-2.639	-2.400	0.174	1.700	1.660	5.800	.716
-6.400	-2.583	-2.300	0.244	1.800	1.738	5.900	.757
-6.300	-0.847	-2.200	0.267	1.900	1.760	6.000	.799
-6.200	-0.806	-2.100	0.287	2.000	1.782	6.100	.828
-6.100	-0.775	-2.000	0.309	2.100	1.804	6.200	.859
-6.000	-0.744	-1.900	0.332	2.200	1.826	6.300	.579
-5.900	-0.715	-1.800	0.354	2.300	1.849	6.400	.636
-5.800	-0.687	-1.700	0.373	2.400	1.871	6.500	.693
-5.700	-0.659	-1.600	0.396	2.500	1.902	6.600	.723
-5.600	-0.632	-1.500	0.418	2.600	1.922	6.700	.781
-5.500	-0.602	-1.400	0.701	2.700	1.936	6.800	.841
-5.400	-0.573	-1.300	0.726	2.800	1.959	6.900	.902
-5.300	-0.463	-1.200	0.752	2.900	1.973	7.000	.934
-5.200	-0.427	-1.100	0.783	3.000	1.999	7.100	.996
-5.100	-0.391	-1.000	0.809	3.100	2.013	7.200	.059
-5.000	-0.364	-0.900	0.822	3.200	2.033	7.300	.155
-4.900	-0.340	-0.800	0.853	3.300	2.047	7.400	.254
-4.800	-0.314	-0.700	0.873	3.400	2.061	7.500	.357
-4.700	-0.290	-0.600	0.892	3.500	2.083	7.600	.537
-4.600	-0.265	-0.500	0.917	3.600	2.097	7.700	.731
-4.500	-0.242	-0.400	0.930	3.700	2.118	7.800	.855
-4.400	-0.229	-0.300	0.955	3.800	2.132	7.900	.117
-4.300	-0.204	-0.200	0.968	3.900	2.154	8.000	.306
-4.200	-0.182	-0.100	0.994	4.000	2.166	—	—
-4.100	-0.170	0.000	1.006	4.100	2.189	—	—
-4.000	-0.148	0.100	1.032	4.200	2.213	—	—

D.4.3 轮对等效锥度函数 $\tan\gamma_r$ 的数值：

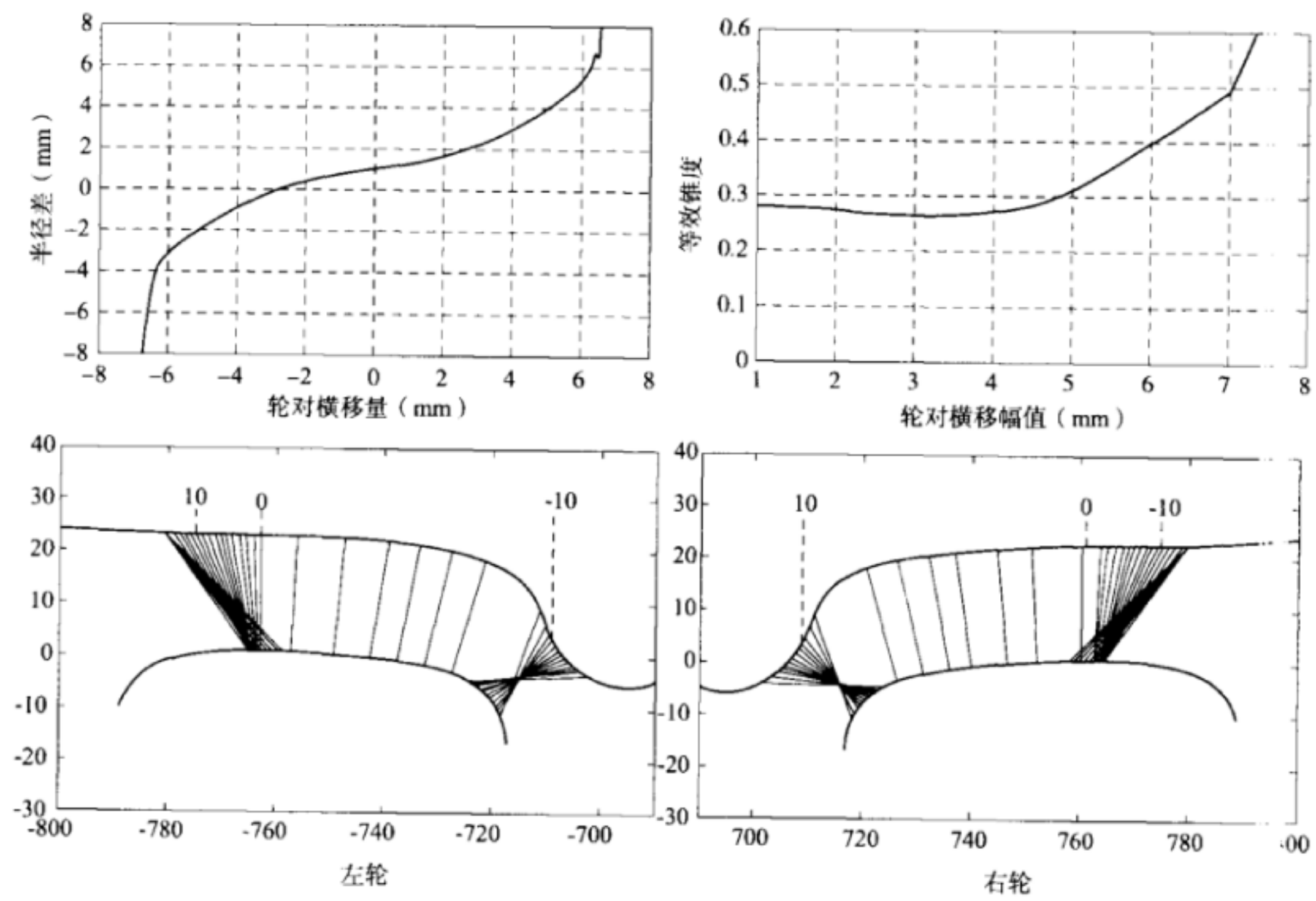
当右轮直径为 920 mm,左轮直径为 918 mm;轨距为 1 435 mm;名义滚动圆间距为 1 493 mm 时,修正轮 A/轨 A 轮轨等效锥度见表 D.6。

表 D.6 修正轮 A/轨 A 轮轨接触几何等效锥度

\hat{y} mm	$\tan\gamma_r$	y_{\max} mm	y_{\min} mm
1.000	0.103	-2.224	-4.224
1.200	0.108	-2.050	-4.450
1.400	0.109	-1.872	-4.672
1.600	0.110	-1.684	-4.884
1.800	0.111	-1.495	-5.095
2.000	0.120	-1.329	-5.329
2.200	0.129	-1.156	-5.556
2.400	0.136	-0.978	-5.778
2.600	0.140	-0.789	-5.989
2.800	0.143	-0.605	-6.205
3.000	0.149	-0.376	-6.376
3.200	0.160	-0.089	-6.489
3.400	0.172	0.200	-6.600
3.600	0.183	0.486	-6.714
3.800	0.193	0.771	-6.829
4.000	0.202	1.048	-6.952
4.200	0.212	1.314	-7.086
4.400	0.221	1.572	-7.228
4.600	0.228	1.832	-7.368
4.800	0.234	2.093	-7.507
5.000	0.240	2.353	-7.647
5.200	0.246	2.617	-7.783
5.400	0.252	2.887	-7.913
5.600	0.257	3.158	-8.042
5.800	0.262	3.429	-8.171
6.000	0.275	3.735	-8.265
6.200	0.292	4.064	-8.336
6.400	0.309	4.402	-8.398
6.600	0.325	4.738	-8.462
6.800	0.341	5.073	-8.527
7.000	0.356	5.405	-8.595
7.200	0.371	5.735	-8.665
7.400	0.385	6.062	-8.738
7.600	0.399	6.379	-8.821
7.800	0.416	6.676	-8.924
8.000	0.431	6.971	-9.029

D. 5 修正轮 B(左轮轮径比右轮轮径小 2 mm)/轨 B

D. 5. 1 函数 $\Delta r, \tan\gamma_e$ 及修正轮 B/轨 B 的接触点见图 D. 4。



车轮直径:右轮为 920 mm,左轮为 918 mm;轨距为 1435.16 mm。

图 D. 4 函数 $\Delta r, \tan\gamma_e$ 及修正轮 B/轨 B 的接触点图形

D.5.2 Δr 函数数值。

当右轮直径为 920 mm,左轮直径为 918 mm,轨距为 1435.16 mm,名义滚动圆间距为 1500 mm 时,修正轮 B/轨 B 轮径差见表 D.7。

表 D.7 修正轮 B/轨 B 轮轨接触几何: $\Delta r = f(y)$ 单位为毫米

y	Δr	y	Δr	y	Δr	y	Δr
-8.000	—	-3.900	-0.834	0.200	1.051	4.300	3.185
-7.900	—	-3.800	-0.752	0.300	1.071	4.400	3.286
-7.800	—	-3.700	-0.673	0.400	1.092	4.500	3.373
-7.700	—	-3.600	-0.598	0.500	1.116	4.600	3.481
-7.600	—	-3.500	-0.539	0.600	1.142	4.700	3.593
-7.500	—	-3.400	-0.471	0.700	1.167	4.800	3.709
-7.400	—	-3.300	-0.407	0.800	1.197	4.900	3.808
-7.300	—	-3.200	-0.346	0.900	1.227	5.000	3.931
-7.200	—	-3.100	-0.299	1.000	1.257	5.100	4.058
-7.100	—	-3.000	-0.236	1.100	1.292	5.200	4.189
-7.000	—	-2.900	-0.177	1.200	1.328	5.300	4.324
-6.900	—	-2.800	-0.111	1.300	1.361	5.400	4.440
-6.800	-9.954	-2.700	-0.055	1.400	1.402	5.500	4.582
-6.700	-8.010	-2.600	0.008	1.500	1.443	5.600	4.729
-6.600	-6.597	-2.500	0.069	1.600	1.481	5.700	4.879
-6.500	-5.521	-2.400	0.121	1.700	1.527	5.800	5.008
-6.400	-4.692	-2.300	0.178	1.800	1.574	5.900	5.166
-6.300	-4.064	-2.200	0.234	1.900	1.616	6.000	5.328
-6.200	-3.636	-2.100	0.281	2.000	1.667	6.100	5.494
-6.100	-3.494	-2.000	0.333	2.100	1.719	6.200	5.636
-6.000	-3.328	-1.900	0.384	2.200	1.766	6.300	6.064
-5.900	-3.166	-1.800	0.426	2.300	1.822	6.400	6.692
-5.800	-3.008	-1.700	0.473	2.400	1.879	6.500	7.521
-5.700	-2.879	-1.600	0.519	2.500	1.931	6.600	8.597
-5.600	-2.729	-1.500	0.557	2.600	1.992	6.700	10.010
-5.500	2.582	-1.400	0.598	2.700	2.055	6.800	11.954
-5.400	-2.440	-1.300	0.639	2.800	2.111	6.900	—
-5.300	-2.324	-1.200	0.672	2.900	2.177	7.000	—
-5.200	-2.189	-1.100	0.708	3.000	2.236	7.100	—
-5.100	-2.058	-1.000	0.743	3.100	2.299	7.200	—
-5.000	-1.931	-0.900	0.773	3.200	2.346	7.300	—
-4.900	-1.808	-0.800	0.803	3.300	2.407	7.400	—
-4.800	-1.709	-0.700	0.833	3.400	2.471	7.500	—
-4.700	-1.593	-0.600	0.858	3.500	2.539	7.600	—
-4.600	-1.481	-0.500	0.884	3.600	2.598	7.700	—
-4.500	-1.373	-0.400	0.908	3.700	2.673	7.800	—
-4.400	-1.286	-0.300	0.929	3.800	2.752	7.900	—
-4.300	-1.185	-0.200	0.949	3.900	2.834	8.000	—
-4.200	-1.088	-0.100	0.968	4.000	2.906	—	—
-4.100	-0.995	0.000	1.000	4.100	2.995	—	—
-4.000	-0.906	0.100	1.032	4.200	3.088	—	—

D. 5.3 等效锥度函数 $\tan\gamma_e$ 的数值。

当右轮直径为 920 mm,左轮直径为 918 mm,轨距为 1435.16 mm,名义滚动圆间距为 1500 mm 时,修正轮 B/轨 B 等效锥度见表 D. 8。

表 D. 8 修正轮 B/轨 B 轮轨接触几何等效锥度

\hat{y} mm	$\tan\gamma_e$	y_{\max} mm	y_{\min} mm
1.000	0.280	1.584	-3.584
1.200	0.278	-1.370	-3.770
1.400	0.277	-1.149	-3.949
1.600	0.275	-0.924	-4.124
1.800	0.274	-0.693	-4.293
2.000	0.272	-0.456	-4.456
2.200	0.269	-0.214	-4.614
2.400	0.266	0.034	-4.766
2.600	0.264	0.285	-4.915
2.800	0.262	0.539	-5.061
3.000	0.261	0.797	-5.203
3.200	0.261	1.057	-5.343
3.400	0.262	1.317	-5.483
3.600	0.263	1.577	-5.623
3.800	0.266	1.838	-5.762
4.000	0.269	2.098	-5.902
4.200	0.273	2.357	-6.043
4.400	0.277	2.615	-6.183
4.600	0.284	2.876	-6.324
4.800	0.295	3.146	-6.454
5.000	0.307	3.427	-6.573
5.200	0.321	3.719	-6.681
5.400	0.338	4.021	-6.779
5.600	0.357	4.330	-6.870
5.800	0.376	4.644	-6.956
6.000	0.395	4.954	-7.046
6.200	0.413	5.259	-7.141
6.400	0.431	5.559	-7.241
6.600	0.449	5.853	-7.347

附录 E
(规范性附录)
等效锥度的容许误差

E.1 容许误差

本附录中等效锥度计算的容许误差应符合如下条件：

$\Delta(\tan\gamma_e) = \pm \min(0.05; 0.5 \tan\gamma_e)$

当 $\tan\gamma_e$ 急剧变化时，很难满足上述条件，此时，还应考虑 y 方向的偏移量 Δy ， Δy 计算如下：

$$\Delta y = a_0 (1 - \cos(\arctan a_1 \frac{d \tan \gamma_e}{dy}))$$

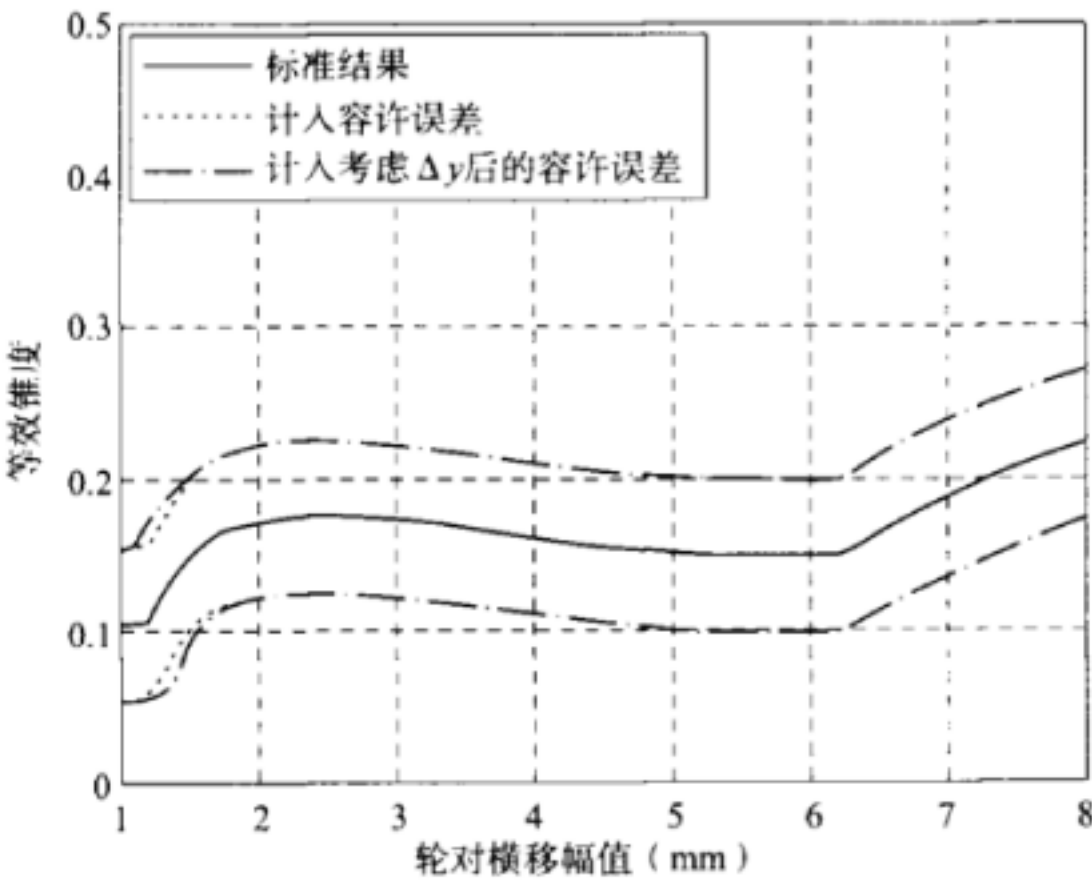
式中：

$a_0 = 0.2 \text{ mm} ;$

$a_1 = 10 \text{ mm} .$

E.2 轮 A/轨 A 的容许误差

E.2.1 图形见图 E.1。



车轮直径：左轮为 920 mm，右轮为 920 mm；轨距：1 435 mm。

图 E.1 轮 A/轨 A 的容许误差

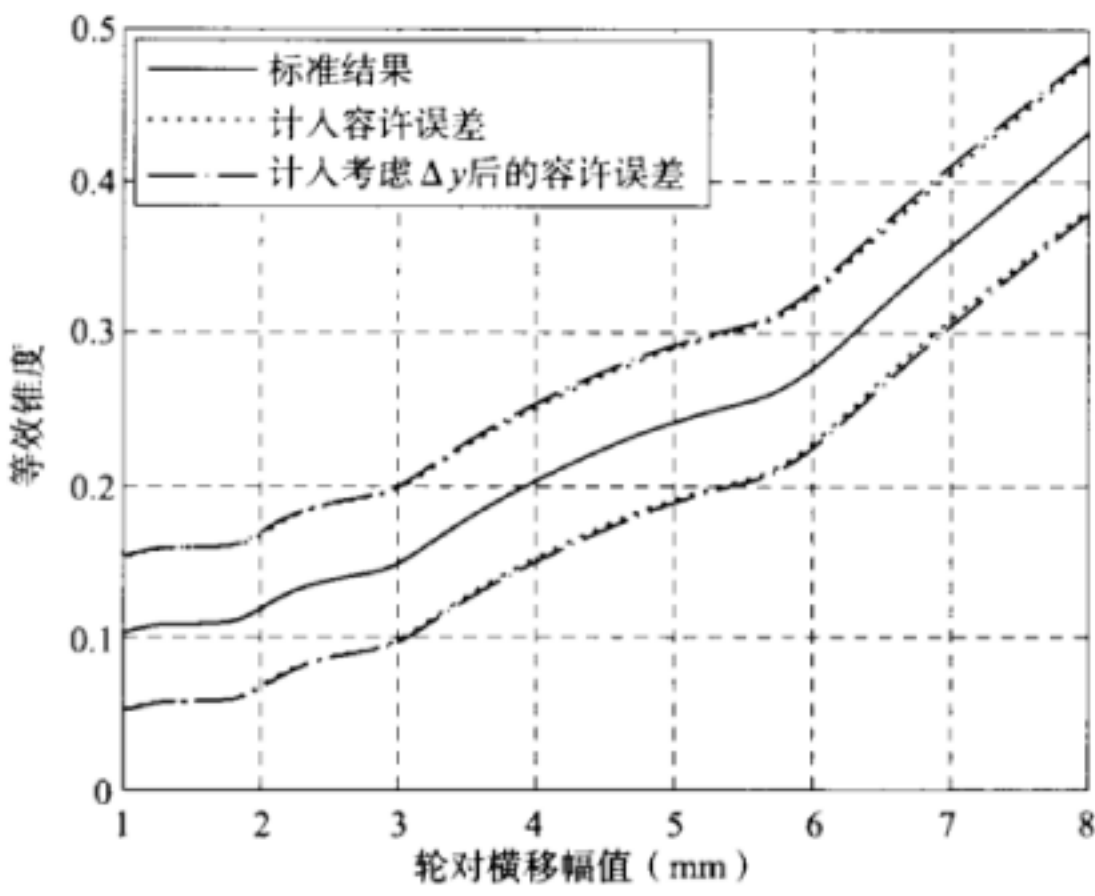
E. 2.2 当左轮直径为 920 mm,右轮直径为 920 mm,轨距为 1 435 mm 时,轮 A/轨 A 容许误差数值见表 E. 1。

表 E. 1 轮 A/轨 A 基准计算:容许误差

y mm	tany _e	tany _e max	tany _e min	tany _e max	tany _e min	y mm	tany _e	tany _e max	tany _e min	tany _e max	tany _e min
		计入容许误差		计入偏移量				计入容许误差		计入偏移量	
1. 000	0. 104	0. 154	0. 054	0. 154	0. 054	4. 600	0. 154	0. 204	0. 104	0. 204	0. 104
1. 100	0. 105	0. 155	0. 055	0. 155	0. 055	4. 700	0. 153	0. 203	0. 103	0. 203	0. 103
1. 200	0. 106	0. 156	0. 056	0. 170	0. 055	4. 800	0. 153	0. 203	0. 103	0. 203	0. 103
1. 300	0. 120	0. 170	0. 070	0. 184	0. 058	4. 900	0. 152	0. 202	0. 102	0. 203	0. 102
1. 400	0. 138	0. 188	0. 088	0. 194	0. 069	5. 000	0. 151	0. 201	0. 101	0. 201	0. 101
1. 500	0. 149	0. 199	0. 099	0. 203	0. 092	5. 100	0. 150	0. 200	0. 100	0. 201	0. 100
1. 600	0. 158	0. 208	0. 108	0. 209	0. 105	5. 200	0. 150	0. 200	0. 100	0. 201	0. 100
1. 700	0. 164	0. 214	0. 114	0. 214	0. 113	5. 300	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
1. 800	0. 167	0. 217	0. 117	0. 217	0. 117	5. 400	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
1. 900	0. 170	0. 220	0. 120	0. 220	0. 120	5. 500	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
2. 000	0. 171	0. 221	0. 121	0. 221	0. 121	5. 600	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
2. 100	0. 172	0. 222	0. 122	0. 222	0. 122	5. 700	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
2. 200	0. 174	0. 224	0. 124	0. 224	0. 124	5. 800	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
2. 300	0. 175	0. 225	0. 125	0. 225	0. 125	5. 900	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
2. 400	0. 175	0. 225	0. 125	0. 225	0. 125	6. 000	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
2. 500	0. 176	0. 226	0. 126	0. 226	0. 126	6. 100	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
2. 600	0. 175	0. 225	0. 125	0. 225	0. 125	6. 200	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 099
2. 700	0. 175	0. 225	0. 125	0. 225	0. 125	6. 300	0. 152	0. 202	0. 102	0. 204	0. 101
2. 800	0. 175	0. 225	0. 125	0. 225	0. 125	6. 400	0. 158	0. 208	0. 108	0. 209	0. 106
2. 900	0. 174	0. 224	0. 124	0. 224	0. 124	6. 500	0. 164	0. 214	0. 114	0. 215	0. 112
3. 000	0. 173	0. 223	0. 123	0. 223	0. 123	6. 600	0. 169	0. 219	0. 119	0. 220	0. 118
3. 100	0. 172	0. 222	0. 122	0. 222	0. 122	6. 700	0. 174	0. 224	0. 124	0. 225	0. 123
3. 200	0. 171	0. 221	0. 121	0. 221	0. 121	6. 800	0. 179	0. 229	0. 129	0. 229	0. 128
3. 300	0. 170	0. 220	0. 120	0. 220	0. 120	6. 900	0. 183	0. 233	0. 133	0. 234	0. 132
3. 400	0. 169	0. 219	0. 119	0. 219	0. 119	7. 000	0. 187	0. 237	0. 137	0. 238	0. 136
3. 500	0. 167	0. 217	0. 117	0. 217	0. 117	7. 100	0. 191	0. 241	0. 141	0. 241	0. 140
3. 600	0. 166	0. 216	0. 116	0. 216	0. 116	7. 200	0. 195	0. 245	0. 145	0. 245	0. 144
3. 700	0. 165	0. 215	0. 115	0. 215	0. 115	7. 300	0. 198	0. 248	0. 148	0. 249	0. 148
3. 800	0. 164	0. 214	0. 114	0. 214	0. 114	7. 400	0. 202	0. 252	0. 152	0. 252	0. 151
3. 900	0. 162	0. 212	0. 112	0. 212	0. 112	7. 500	0. 205	0. 255	0. 155	0. 255	0. 155
4. 000	0. 161	0. 211	0. 111	0. 211	0. 111	7. 600	0. 209	0. 259	0. 159	0. 259	0. 158
4. 100	0. 160	0. 210	0. 110	0. 210	0. 110	7. 700	0. 212	0. 262	0. 162	0. 263	0. 162
4. 200	0. 159	0. 209	0. 109	0. 209	0. 109	7. 800	0. 216	0. 266	0. 166	0. 266	0. 165
4. 300	0. 158	0. 208	0. 108	0. 208	0. 108	7. 900	0. 220	0. 270	0. 170	0. 270	0. 169
4. 400	0. 157	0. 207	0. 107	0. 207	0. 107	8. 000	0. 223	0. 273	0. 173	0. 271	0. 173
4. 500	0. 155	0. 205	0. 105	0. 205	0. 105	—	—	—	—	—	—

E.3 修正轮 A(左轮直径比右轮小 2 mm)/轨 A 的容许误差

E.3.1 图形见图 E.2。



车轮直径:左轮直径为 918 mm,右轮直径为 920 mm;轨距:1 435 mm。

图 E.2 轮 A/轨 A 的容许误差

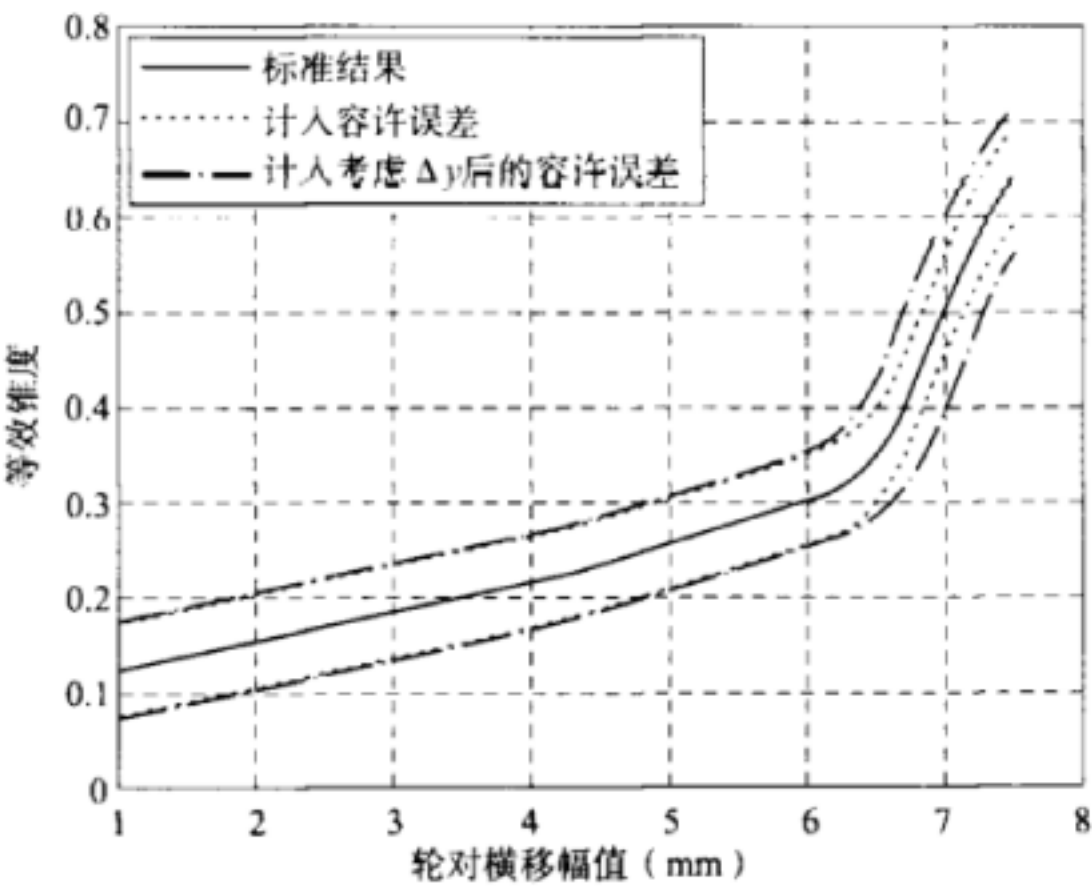
E. 3.2 当左轮直径为 918 mm,右轮直径为 920 mm,轨距为 1435 mm 时的修正轮 A/轨 A 容许误差数值见表 E. 2。

表 E. 2 修正轮 A/轨 A 基准计算:容许误差

y mm	tany _c	tany _{cmax}	tany _{cmin}	tany _{cmax}	tany _{cmin}	y mm	tany _c	tany _{cmax}	tany _{cmin}	tany _{cmax}	tany _{cmin}
		计入容许误差		计入偏移量				计入容许误差		计入偏移量	
1.000	0.103	0.153	0.053	0.154	0.052	4.600	0.228	0.278	0.178	0.278	0.178
1.100	0.106	0.156	0.056	0.156	0.056	4.700	0.231	0.281	0.181	0.28	0.181
1.200	0.108	0.158	0.058	0.158	0.058	4.800	0.234	0.284	0.184	0.285	0.184
1.300	0.109	0.159	0.059	0.159	0.059	4.900	0.237	0.287	0.187	0.288	0.187
1.400	0.109	0.159	0.059	0.159	0.059	5.000	0.240	0.290	0.190	0.29	0.190
1.500	0.110	0.160	0.060	0.160	0.060	5.100	0.243	0.293	0.193	0.293	0.193
1.600	0.110	0.160	0.060	0.160	0.060	5.200	0.246	0.296	0.196	0.296	0.196
1.700	0.111	0.161	0.061	0.161	0.061	5.300	0.249	0.299	0.199	0.299	0.199
1.800	0.111	0.161	0.061	0.161	0.061	5.400	0.252	0.302	0.202	0.302	0.202
1.900	0.114	0.164	0.064	0.165	0.063	5.500	0.255	0.305	0.205	0.305	0.204
2.000	0.120	0.170	0.070	0.171	0.068	5.600	0.257	0.307	0.207	0.307	0.207
2.100	0.125	0.175	0.075	0.176	0.074	5.700	0.260	0.310	0.210	0.310	0.210
2.200	0.129	0.179	0.079	0.180	0.079	5.800	0.262	0.312	0.212	0.314	0.212
2.300	0.133	0.183	0.083	0.183	0.083	5.900	0.268	0.318	0.218	0.32	0.216
2.400	0.136	0.186	0.086	0.186	0.086	6.000	0.275	0.325	0.225	0.325	0.222
2.500	0.139	0.189	0.089	0.189	0.088	6.100	0.283	0.333	0.233	0.337	0.229
2.600	0.140	0.190	0.090	0.190	0.090	6.200	0.292	0.342	0.242	0.346	0.237
2.700	0.142	0.192	0.092	0.192	0.092	6.300	0.300	0.350	0.250	0.354	0.246
2.800	0.143	0.193	0.093	0.193	0.093	6.400	0.309	0.359	0.259	0.363	0.255
2.900	0.144	0.194	0.094	0.195	0.094	6.500	0.317	0.367	0.267	0.37	0.264
3.000	0.149	0.199	0.099	0.200	0.098	6.600	0.325	0.375	0.275	0.378	0.272
3.100	0.154	0.204	0.104	0.206	0.103	6.700	0.333	0.383	0.283	0.386	0.280
3.200	0.160	0.210	0.110	0.211	0.108	6.800	0.341	0.391	0.291	0.394	0.288
3.300	0.166	0.216	0.116	0.217	0.114	6.900	0.348	0.398	0.298	0.402	0.295
3.400	0.172	0.222	0.122	0.223	0.120	7.000	0.356	0.406	0.306	0.409	0.303
3.500	0.177	0.227	0.127	0.229	0.126	7.100	0.363	0.413	0.313	0.416	0.311
3.600	0.183	0.233	0.133	0.234	0.132	7.200	0.371	0.421	0.321	0.423	0.318
3.700	0.188	0.238	0.138	0.239	0.137	7.300	0.378	0.428	0.328	0.430	0.325
3.800	0.193	0.243	0.143	0.244	0.142	7.400	0.385	0.435	0.335	0.437	0.332
3.900	0.197	0.247	0.147	0.248	0.147	7.500	0.392	0.442	0.342	0.445	0.339
4.000	0.202	0.252	0.152	0.253	0.151	7.600	0.399	0.449	0.349	0.453	0.346
4.100	0.207	0.257	0.157	0.258	0.156	7.700	0.408	0.458	0.358	0.46	0.354
4.200	0.212	0.262	0.162	0.263	0.161	7.800	0.416	0.466	0.366	0.469	0.362
4.300	0.217	0.267	0.167	0.267	0.166	7.900	0.424	0.474	0.374	0.476	0.370
4.400	0.221	0.271	0.171	0.271	0.170	8.000	0.431	0.481	0.381	0.48	0.381
4.500	0.224	0.274	0.174	0.275	0.174	—	—	—	—	—	—

E.4 轮 B/轨 B 的容许误差

E.4.1 图形见图 E.3。



车轮直径:左轮直径为 920 mm,右轮直径为 920 mm;轨距:1 435.16 mm。

图 E.3 轮 B/轨 B 的容许误差

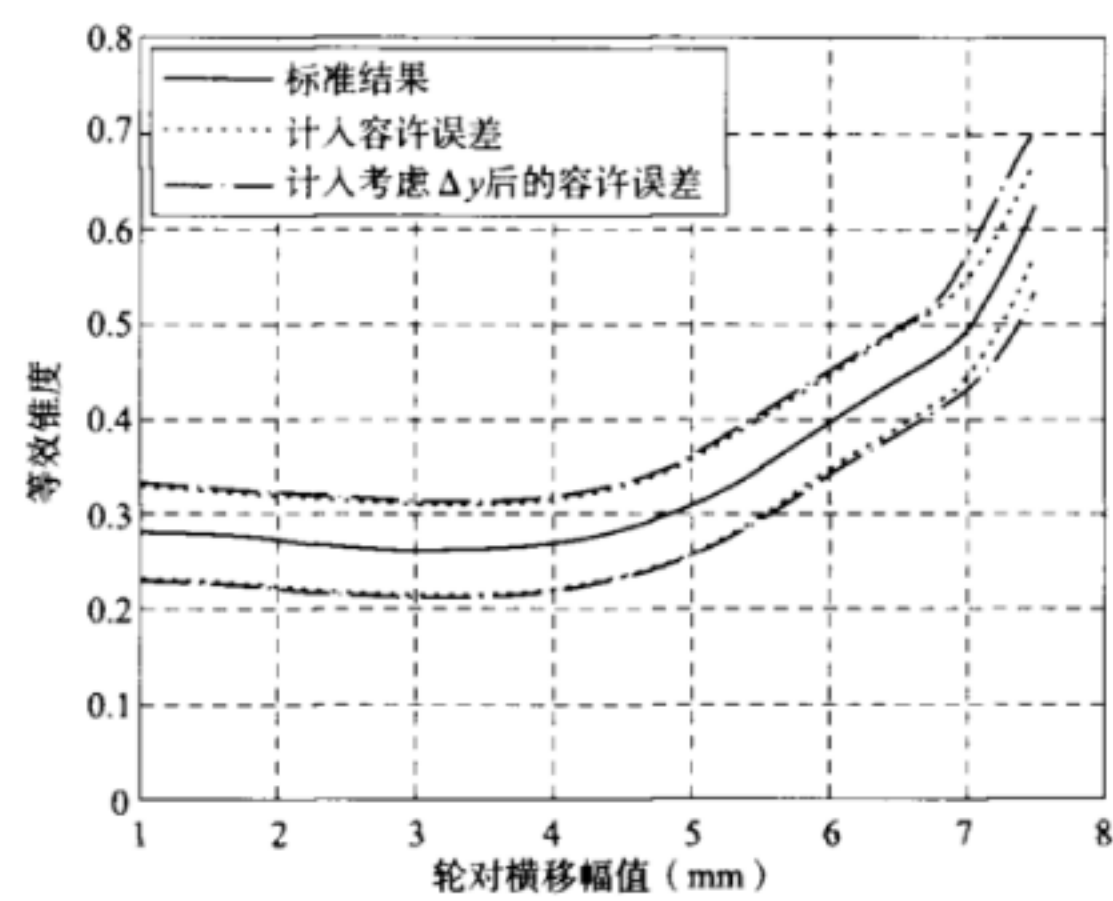
E. 4.2 左轮直径为 920 mm,右轮直径为 920 mm,轨距为 1 435.16 mm 时,轮 B/轨 B 容许误差数值见表 E. 3。

表 E. 3 轮 B/轨 B 基准计算:容许误差

y mm	tany _e	tany _{emax}	tany _{emin}	tany _{emax}	tany _{emin}	y mm	tany _e	tany _{emax}	tany _{emin}	tany _{emax}	tany _{emin}
		计入容许误差		计入偏移量				计入容许误差		计入偏移量	
1. 000	0. 125	0. 175	0. 075	0. 175	0. 075	4. 300	0. 226	0. 276	0. 176	0. 276	0. 176
1. 100	0. 128	0. 178	0. 078	0. 178	0. 077	4. 400	0. 230	0. 280	0. 180	0. 280	0. 180
1. 200	0. 130	0. 180	0. 080	0. 181	0. 080	4. 500	0. 234	0. 284	0. 184	0. 284	0. 183
1. 300	0. 133	0. 183	0. 083	0. 183	0. 083	4. 600	0. 238	0. 288	0. 188	0. 288	0. 187
1. 400	0. 136	0. 186	0. 086	0. 186	0. 086	4. 700	0. 242	0. 292	0. 192	0. 292	0. 191
1. 500	0. 139	0. 189	0. 089	0. 190	0. 089	4. 800	0. 246	0. 296	0. 196	0. 296	0. 195
1. 600	0. 142	0. 192	0. 092	0. 192	0. 092	4. 900	0. 250	0. 300	0. 200	0. 300	0. 199
1. 700	0. 145	0. 195	0. 095	0. 196	0. 095	5. 000	0. 254	0. 304	0. 204	0. 304	0. 204
1. 800	0. 149	0. 199	0. 099	0. 199	0. 098	5. 100	0. 259	0. 309	0. 209	0. 310	0. 208
1. 900	0. 152	0. 202	0. 102	0. 202	0. 101	5. 200	0. 263	0. 313	0. 213	0. 314	0. 212
2. 000	0. 155	0. 205	0. 105	0. 205	0. 105	5. 300	0. 268	0. 318	0. 218	0. 318	0. 217
2. 100	0. 158	0. 208	0. 108	0. 209	0. 108	5. 400	0. 273	0. 323	0. 223	0. 324	0. 222
2. 200	0. 161	0. 211	0. 111	0. 212	0. 111	5. 500	0. 277	0. 327	0. 227	0. 328	0. 226
2. 300	0. 165	0. 215	0. 115	0. 215	0. 114	5. 600	0. 282	0. 332	0. 232	0. 334	0. 231
2. 400	0. 168	0. 218	0. 118	0. 218	0. 118	5. 700	0. 287	0. 337	0. 237	0. 338	0. 236
2. 500	0. 171	0. 221	0. 121	0. 222	0. 121	5. 800	0. 292	0. 342	0. 242	0. 342	0. 241
2. 600	0. 175	0. 225	0. 125	0. 225	0. 124	5. 900	0. 297	0. 347	0. 247	0. 348	0. 246
2. 700	0. 178	0. 228	0. 128	0. 228	0. 128	6. 000	0. 303	0. 353	0. 253	0. 354	0. 251
2. 800	0. 181	0. 231	0. 131	0. 232	0. 131	6. 100	0. 308	0. 358	0. 258	0. 360	0. 257
2. 900	0. 185	0. 235	0. 135	0. 235	0. 134	6. 200	0. 313	0. 363	0. 263	0. 368	0. 261
3. 000	0. 188	0. 238	0. 138	0. 238	0. 138	6. 300	0. 321	0. 371	0. 271	0. 380	0. 267
3. 100	0. 191	0. 241	0. 141	0. 241	0. 141	6. 400	0. 332	0. 382	0. 282	0. 400	0. 274
3. 200	0. 194	0. 244	0. 144	0. 244	0. 143	6. 500	0. 348	0. 398	0. 298	0. 420	0. 284
3. 300	0. 196	0. 246	0. 146	0. 246	0. 146	6. 600	0. 368	0. 418	0. 318	0. 450	0. 297
3. 400	0. 199	0. 249	0. 149	0. 249	0. 149	6. 700	0. 394	0. 444	0. 344	0. 498	0. 313
3. 500	0. 202	0. 252	0. 152	0. 252	0. 151	6. 800	0. 427	0. 477	0. 377	0. 530	0. 334
3. 600	0. 204	0. 254	0. 154	0. 254	0. 154	6. 900	0. 467	0. 517	0. 417	0. 570	0. 361
3. 700	0. 207	0. 257	0. 157	0. 257	0. 157	7. 000	0. 505	0. 555	0. 455	0. 590	0. 396
3. 800	0. 210	0. 260	0. 160	0. 260	0. 160	7. 100	0. 538	0. 588	0. 488	0. 620	0. 436
3. 900	0. 213	0. 263	0. 163	0. 263	0. 163	7. 200	0. 567	0. 617	0. 517	0. 650	0. 473
4. 000	0. 216	0. 266	0. 166	0. 266	0. 166	7. 300	0. 593	0. 643	0. 543	0. 670	0. 506
4. 100	0. 219	0. 269	0. 169	0. 270	0. 169	7. 400	0. 618	0. 668	0. 568	0. 690	0. 535
4. 200	0. 223	0. 273	0. 173	0. 273	0. 172	7. 500	0. 640	0. 690	0. 590	0. 710	0. 561

E.5 修正轮 B(左轮轮径比右轮轮径小 2 mm)/轨 B 的容许误差

E.5.1 图形见图 E.4。



车轮直径:左轮为 918 mm,右轮为 920 mm;轨距:1 435.16 mm。

图 E.4 修正轮 B/轨 B 的容许误差

E. 5.2 左轮直径为 918 mm,右轮直径为 920 mm,轨距为 1 435.16 mm 时,修正轮 B/轨 B 容许误差数值见表 E.4。

表 E.4 修正轮 B/轨 B 基准计算:容许误差

y mm	tany _c	tany _{emax}	tany _{emin}	tany _{emax}	tany _{emin}	y mm	tany _c	tany _{emax}	tany _{emin}	tany _{emax}	tany _{emin}
		计入容许误差		计入偏移量				计入容许误差		计入偏移量	
1.000	0.280	0.330	0.230	0.330	0.230	4.300	0.275	0.325	0.225	0.325	0.225
1.100	0.279	0.329	0.229	0.329	0.229	4.400	0.277	0.327	0.227	0.325	0.227
1.200	0.278	0.328	0.228	0.328	0.228	4.500	0.280	0.330	0.230	0.331	0.230
1.300	0.278	0.328	0.228	0.328	0.228	4.600	0.284	0.334	0.234	0.335	0.234
1.400	0.277	0.327	0.227	0.327	0.227	4.700	0.289	0.339	0.239	0.341	0.238
1.500	0.276	0.326	0.226	0.326	0.226	4.800	0.295	0.345	0.245	0.346	0.243
1.600	0.275	0.325	0.225	0.325	0.225	4.900	0.301	0.351	0.251	0.353	0.249
1.700	0.274	0.324	0.224	0.324	0.224	5.000	0.307	0.357	0.257	0.360	0.255
1.800	0.274	0.324	0.224	0.324	0.224	5.100	0.314	0.364	0.264	0.367	0.261
1.900	0.273	0.323	0.223	0.323	0.223	5.200	0.321	0.371	0.271	0.375	0.268
2.000	0.272	0.322	0.222	0.322	0.222	5.300	0.329	0.379	0.279	0.384	0.276
2.100	0.270	0.320	0.220	0.320	0.220	5.400	0.338	0.388	0.288	0.393	0.284
2.200	0.269	0.319	0.219	0.319	0.219	5.500	0.347	0.397	0.297	0.403	0.292
2.300	0.267	0.317	0.217	0.317	0.217	5.600	0.357	0.407	0.307	0.413	0.301
2.400	0.266	0.316	0.216	0.316	0.216	5.700	0.367	0.417	0.317	0.423	0.311
2.500	0.266	0.316	0.216	0.316	0.216	5.800	0.376	0.426	0.326	0.431	0.321
2.600	0.264	0.314	0.214	0.314	0.214	5.900	0.386	0.436	0.336	0.440	0.331
2.700	0.263	0.313	0.213	0.313	0.213	6.000	0.395	0.445	0.345	0.449	0.340
2.800	0.262	0.312	0.212	0.312	0.212	6.100	0.404	0.454	0.354	0.459	0.349
2.900	0.262	0.312	0.212	0.312	0.212	6.200	0.413	0.463	0.363	0.467	0.358
3.000	0.261	0.311	0.211	0.311	0.211	6.300	0.422	0.472	0.372	0.476	0.367
3.100	0.261	0.311	0.211	0.311	0.211	6.400	0.431	0.481	0.381	0.485	0.376
3.200	0.261	0.311	0.211	0.311	0.211	6.500	0.440	0.490	0.390	0.494	0.385
3.300	0.261	0.311	0.211	0.311	0.211	6.600	0.449	0.499	0.399	0.503	0.394
3.400	0.262	0.312	0.212	0.312	0.212	6.700	0.458	0.508	0.408	0.513	0.403
3.500	0.262	0.312	0.212	0.312	0.212	6.800	0.467	0.517	0.417	0.525	0.412
3.600	0.263	0.313	0.213	0.313	0.213	6.900	0.477	0.527	0.427	0.544	0.420
3.700	0.265	0.315	0.215	0.315	0.214	7.000	0.492	0.542	0.442	0.567	0.428
3.800	0.266	0.316	0.216	0.316	0.216	7.100	0.511	0.561	0.461	0.596	0.441
3.900	0.267	0.317	0.217	0.317	0.217	7.200	0.535	0.585	0.485	0.626	0.457
4.000	0.269	0.319	0.219	0.319	0.219	7.300	0.564	0.614	0.514	0.656	0.478
4.100	0.271	0.321	0.221	0.321	0.221	7.400	0.595	0.645	0.545	0.680	0.503
4.200	0.273	0.323	0.223	0.323	0.223	7.500	0.623	0.673	0.573	0.702	0.533

附录 F
(资料性附录)
有引入误差的计算结果示例

F.1 计算过程中引入随机误差的轮 A/轨 A 计算结果示例 1(参见图 F.1)

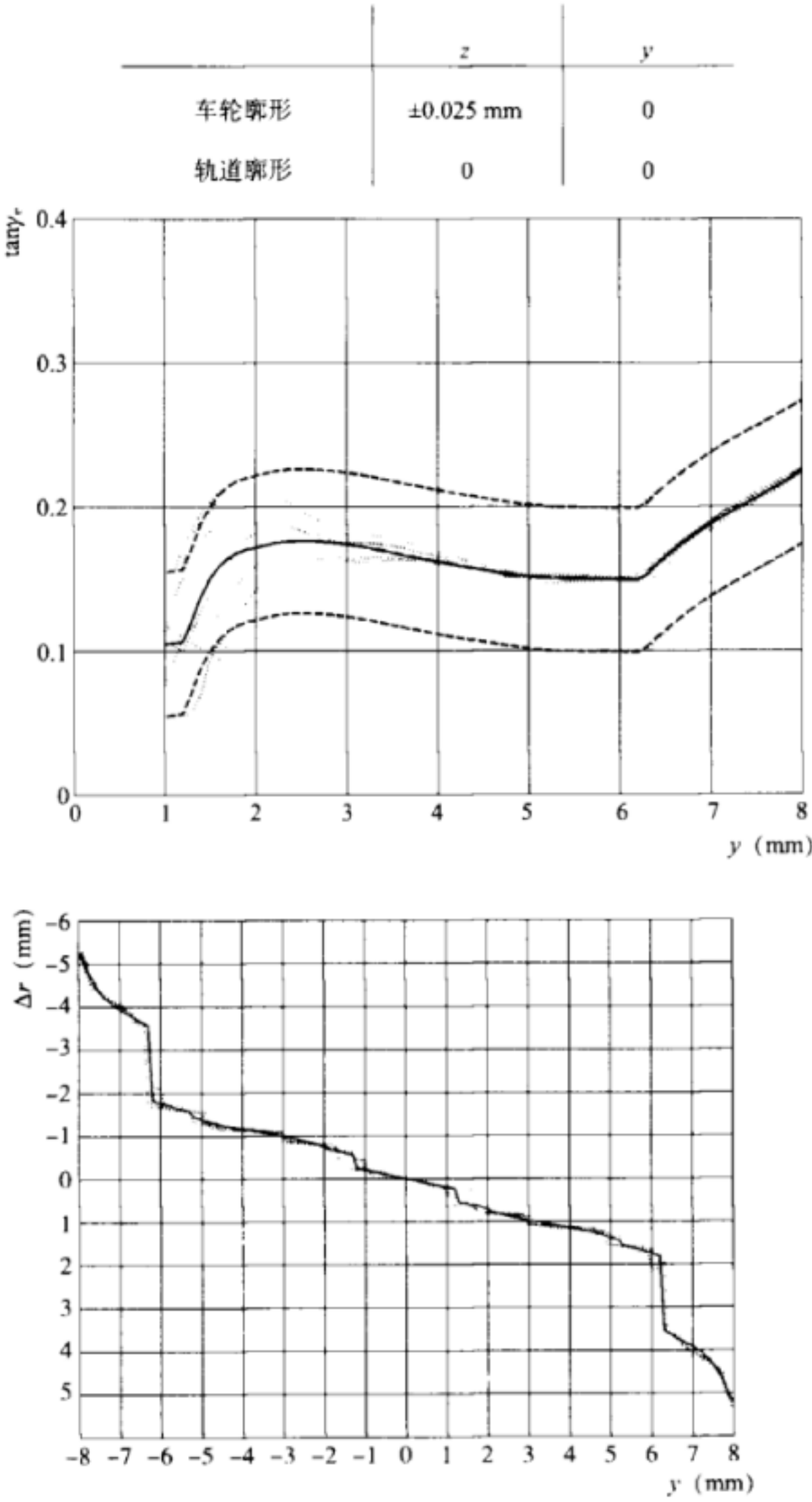


图 F.1 引入随机误差的轮 A/轨 A 计算结果

F.2 计算过程中引入随机误差的轮 A/轨 A 计算结果示例 2(参见图 F.2)

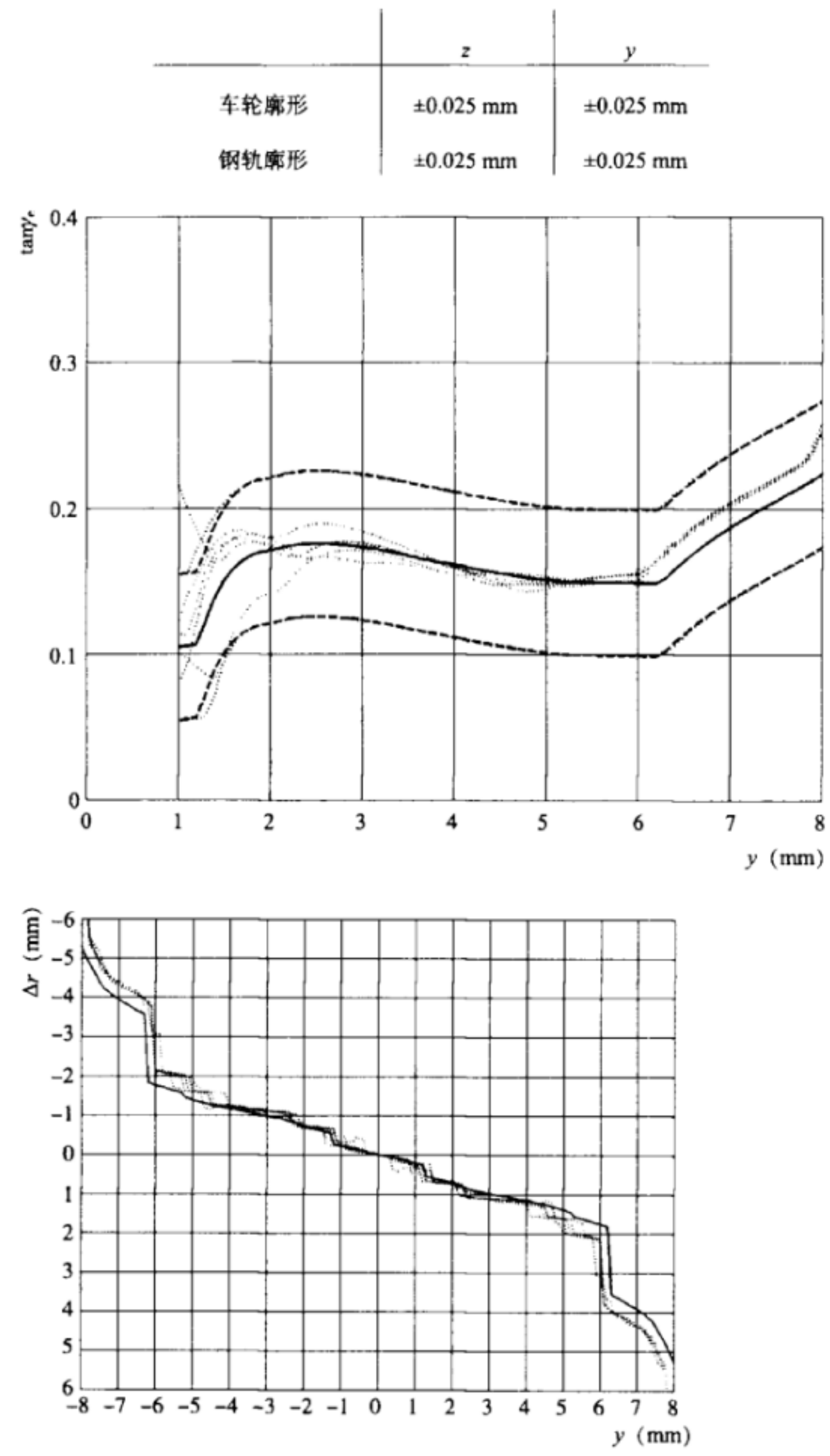


图 F.2 引入随机误差的轮 A/轨 A 计算结果

F.3 计算过程中引入随机误差的轮 A/轨 A 计算结果示例 3(参见图 F.3)

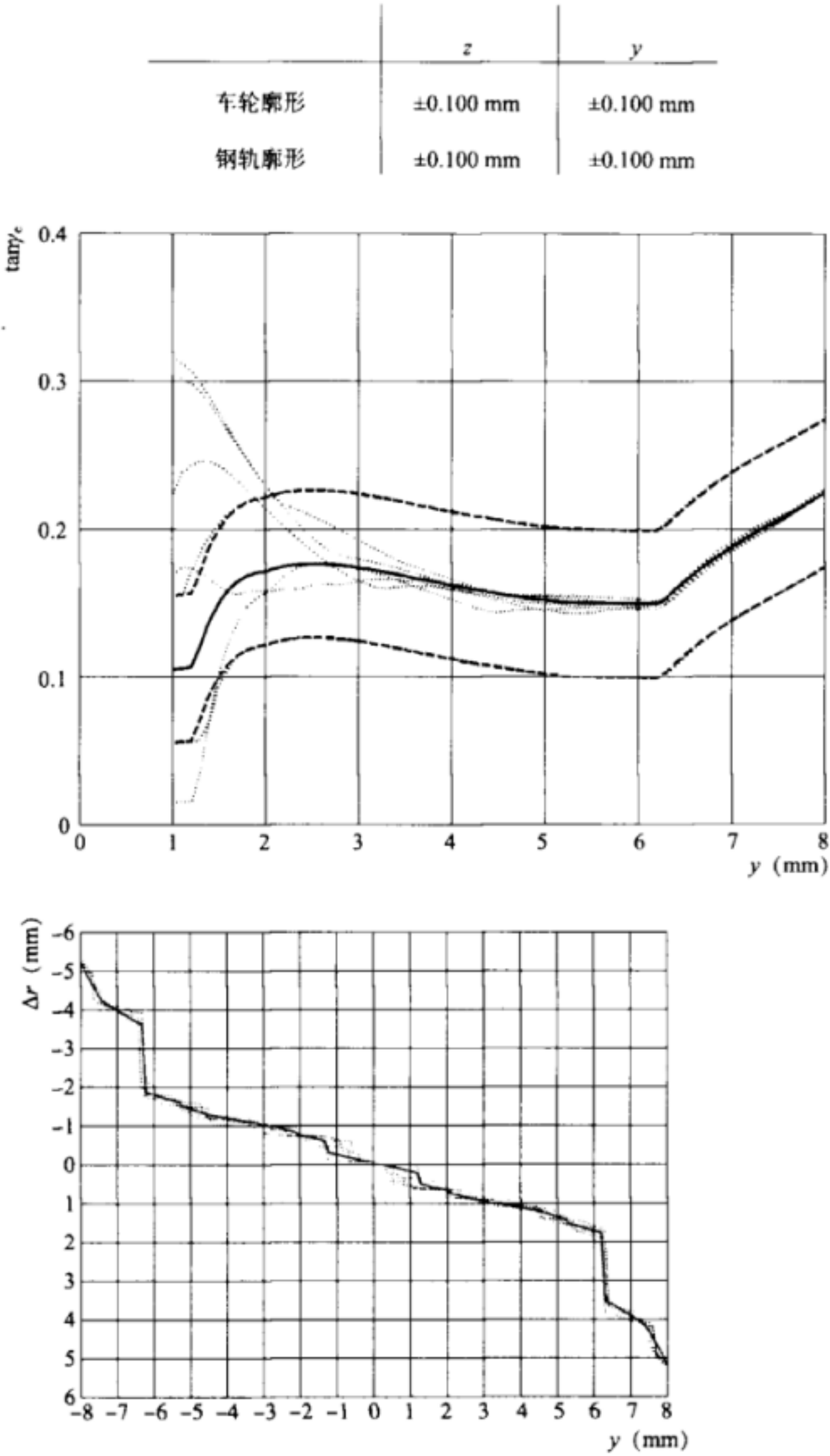


图 F.3 引入随机误差的轮 A/轨 A 计算结果

F.4 计算过程中引入随机误差的轮 B/轨 B 计算结果示例 1(参见图 F.4)

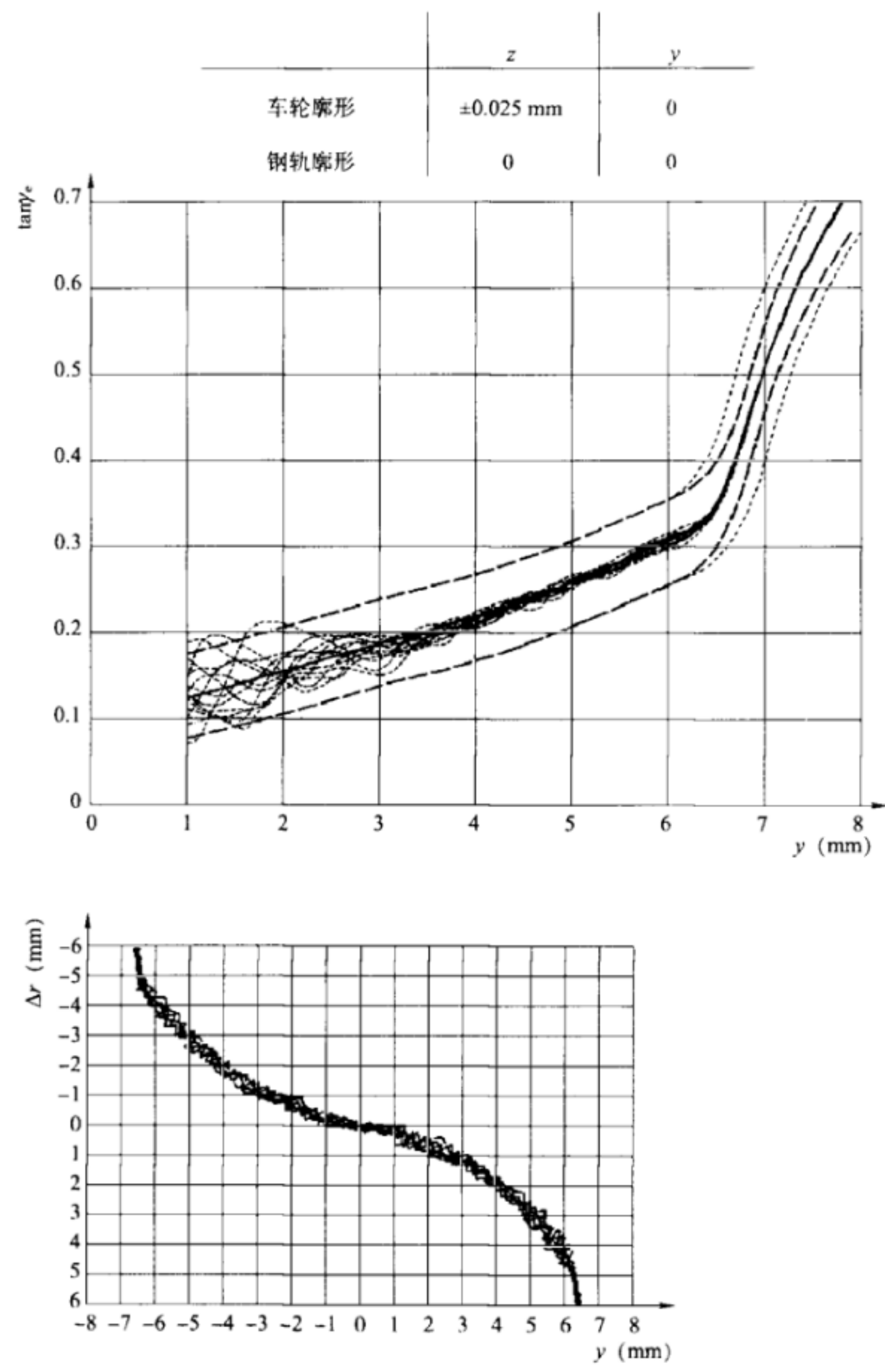


图 F.4 引入随机误差的轮 B/轨 B 计算结果

F.5 计算过程中引入随机误差的轮 B/轨 B 计算结果示例 2(参见图 F.5)

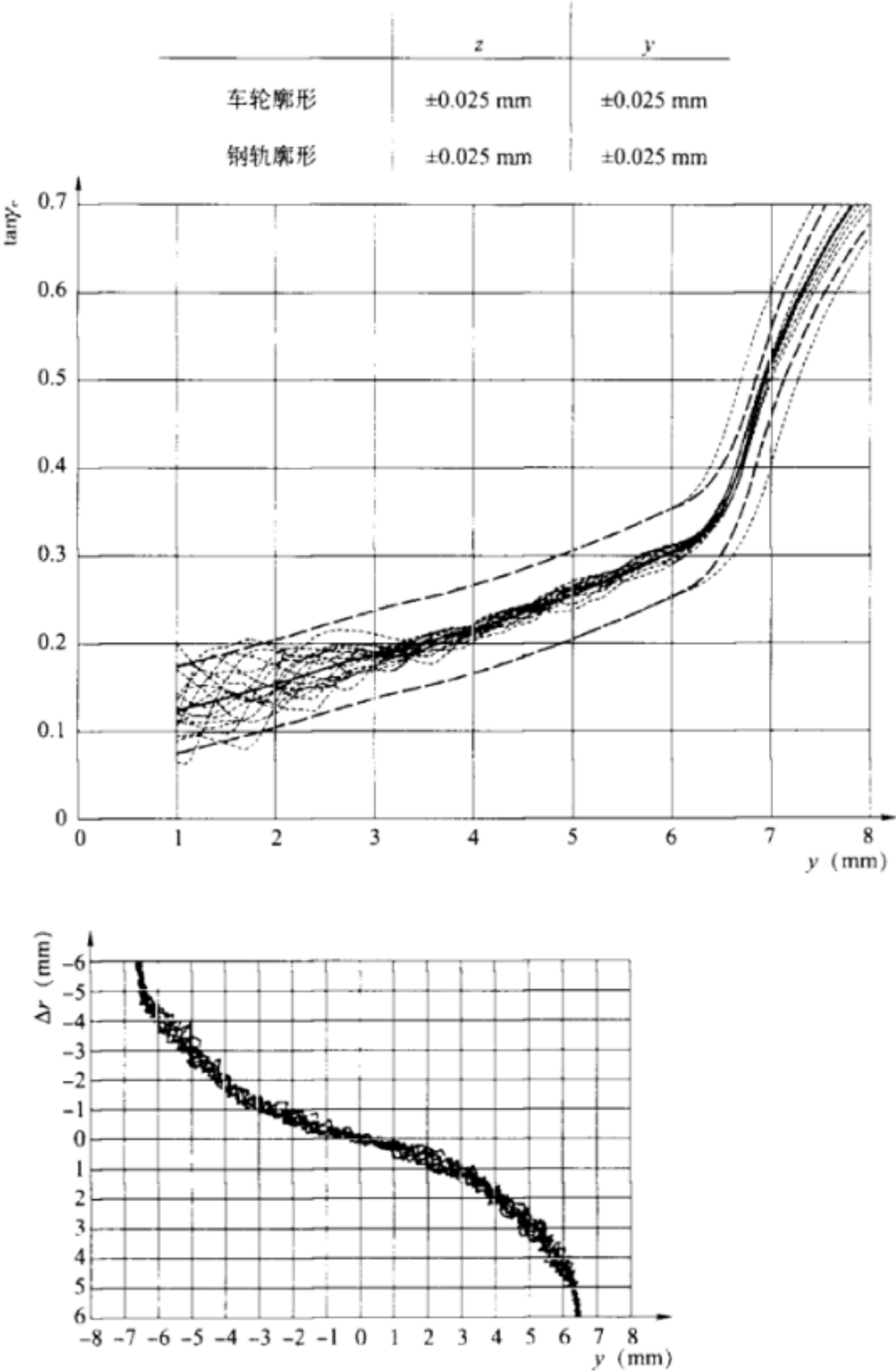


图 F.5 引入随机误差的轮 B/轨 B 计算结果

F.6 计算过程中引入随机误差的轮 B/轨 B 计算结果示例 3(参见图 F.6)

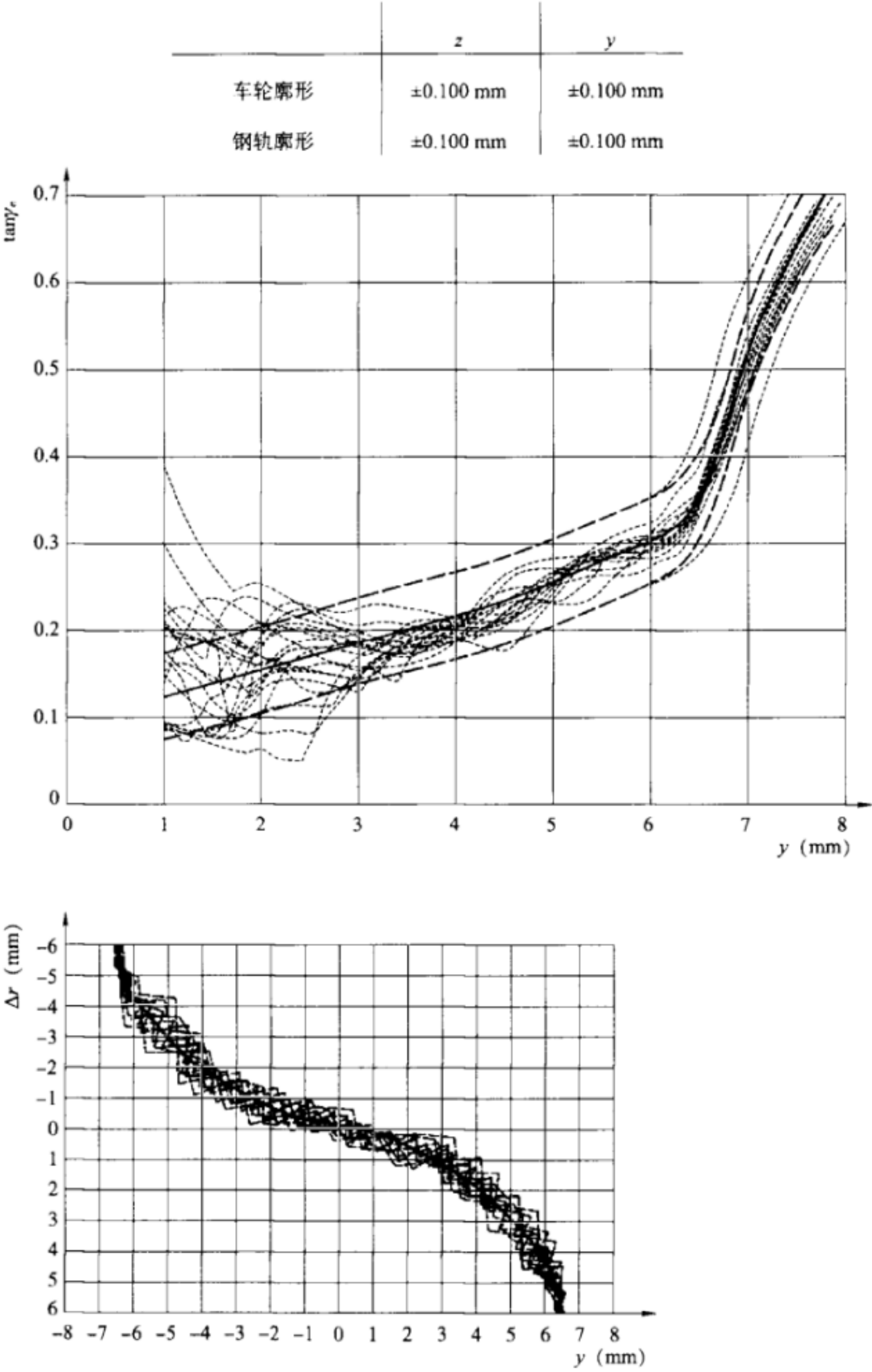


图 F.6 引入随机误差的轮 B/轨 B 计算结果

F. 7 计算过程中引入栅格误差的轮 A/轨 A 计算结果示例 1(参见图 F. 7)

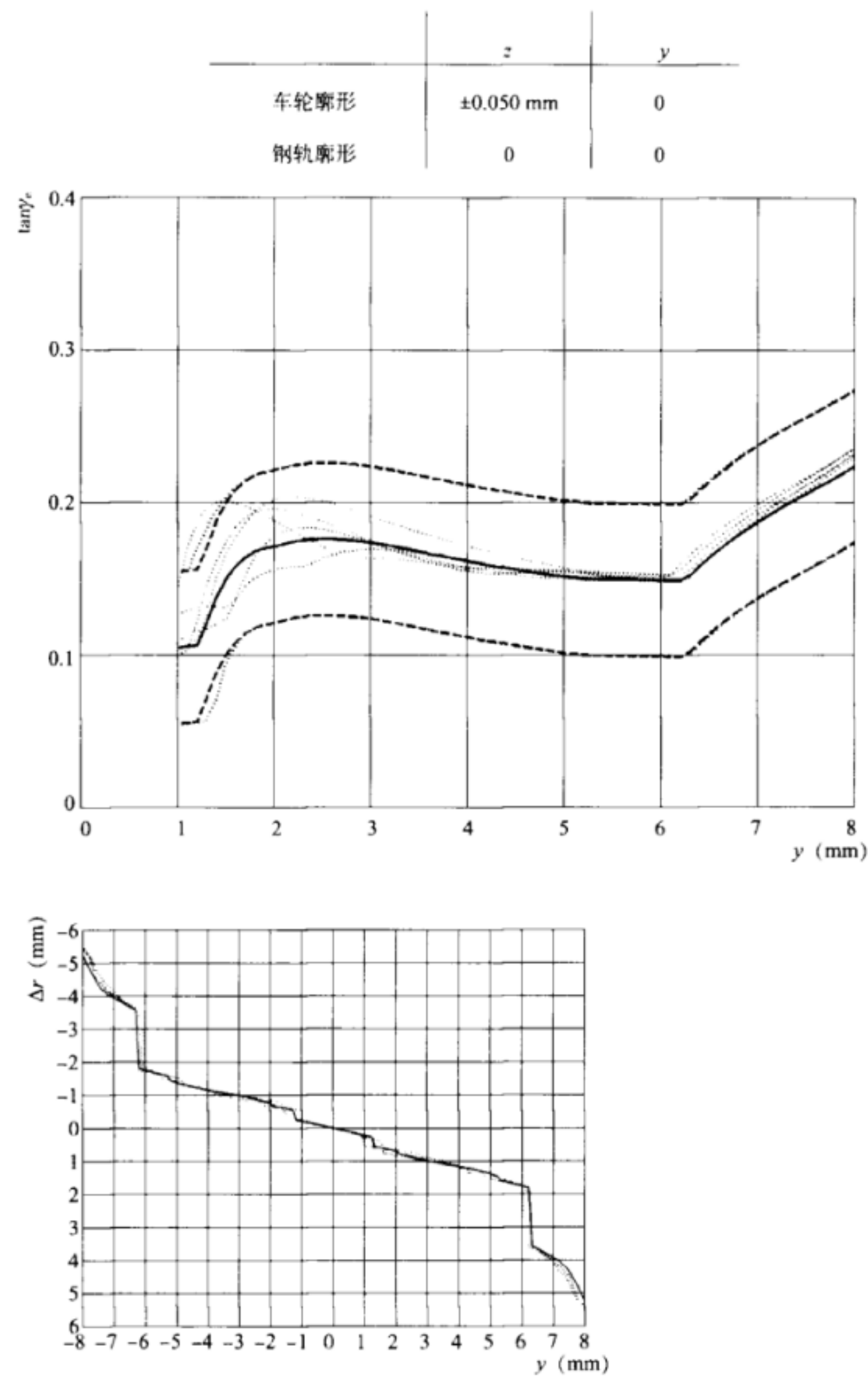


图 F. 7 引入栅格误差的轮 A/轨 A 计算结果

F.8 计算过程中引入栅格误差的轮 A/轨 A 计算结果示例 2(参见图 F.8)

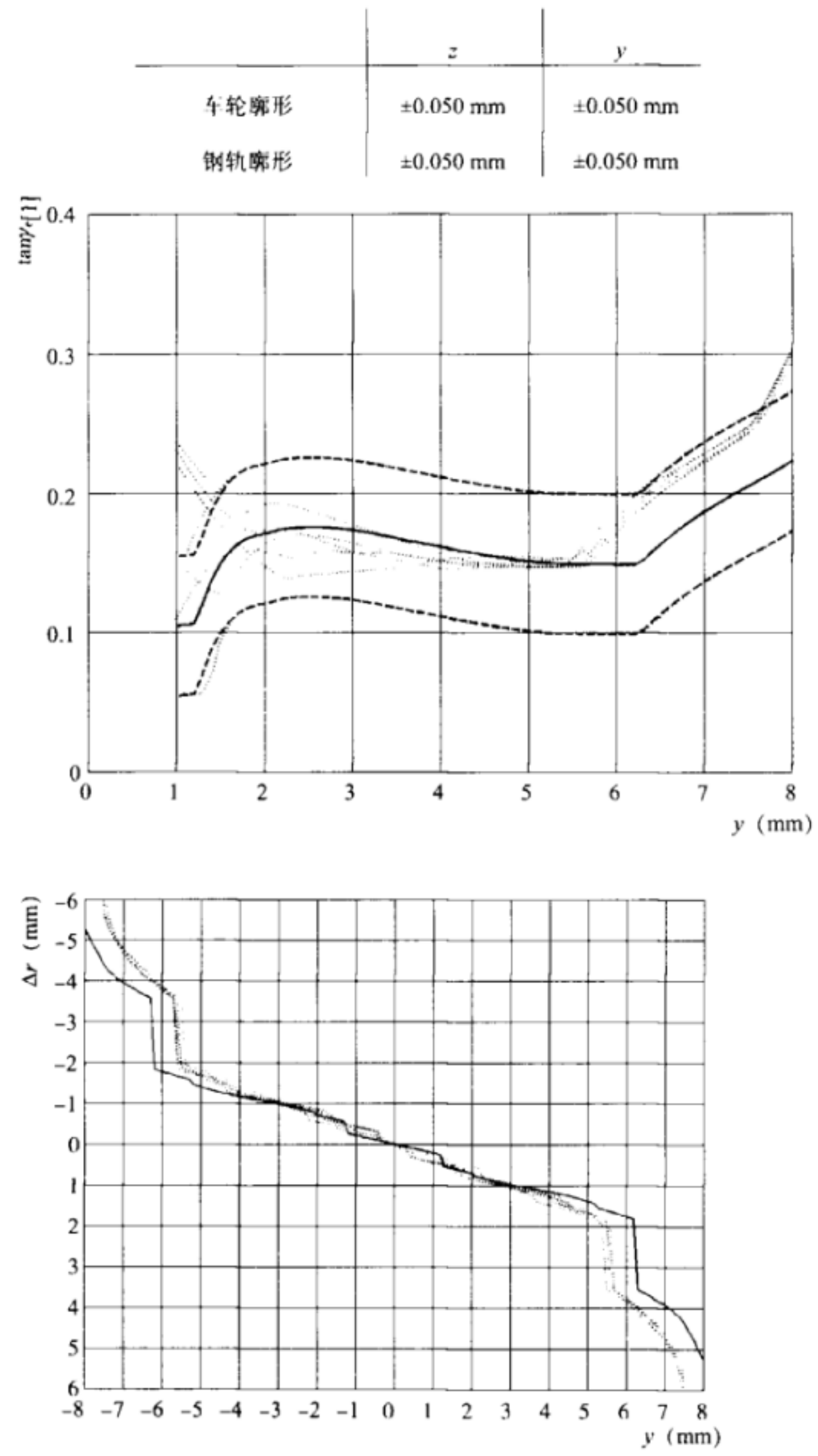


图 F.8 引入栅格误差的轮 A/轨 A 计算结果

F.9 计算过程中引入栅格误差的轮 B/轨 B 计算结果示例 1(参见图 F.9)

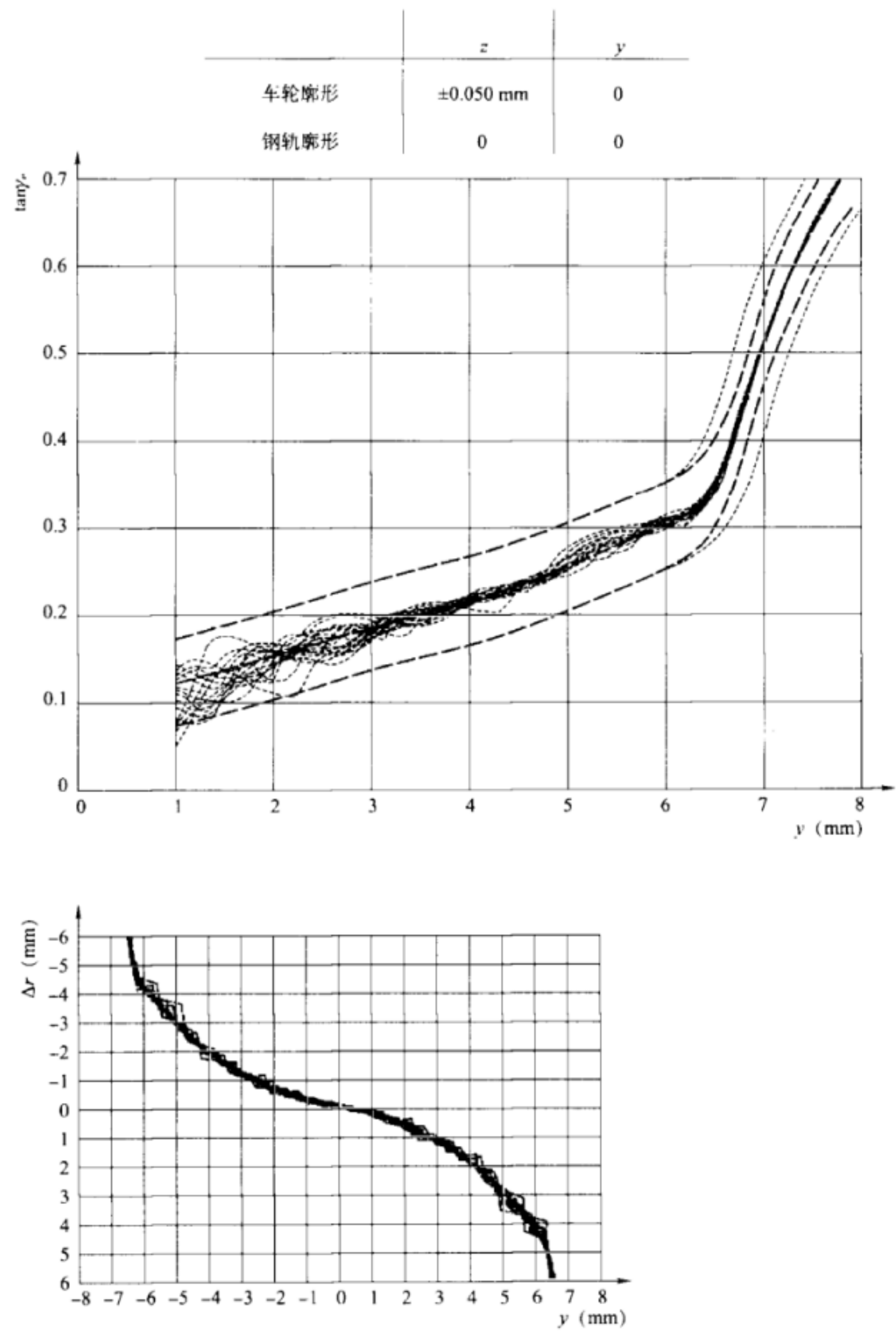


图 F.9 引入栅格误差的轮 B/轨 B 计算结果

F. 10 计算过程中引入栅格误差的轮 B/轨 B 计算结果示例 2(参见图 F. 10)

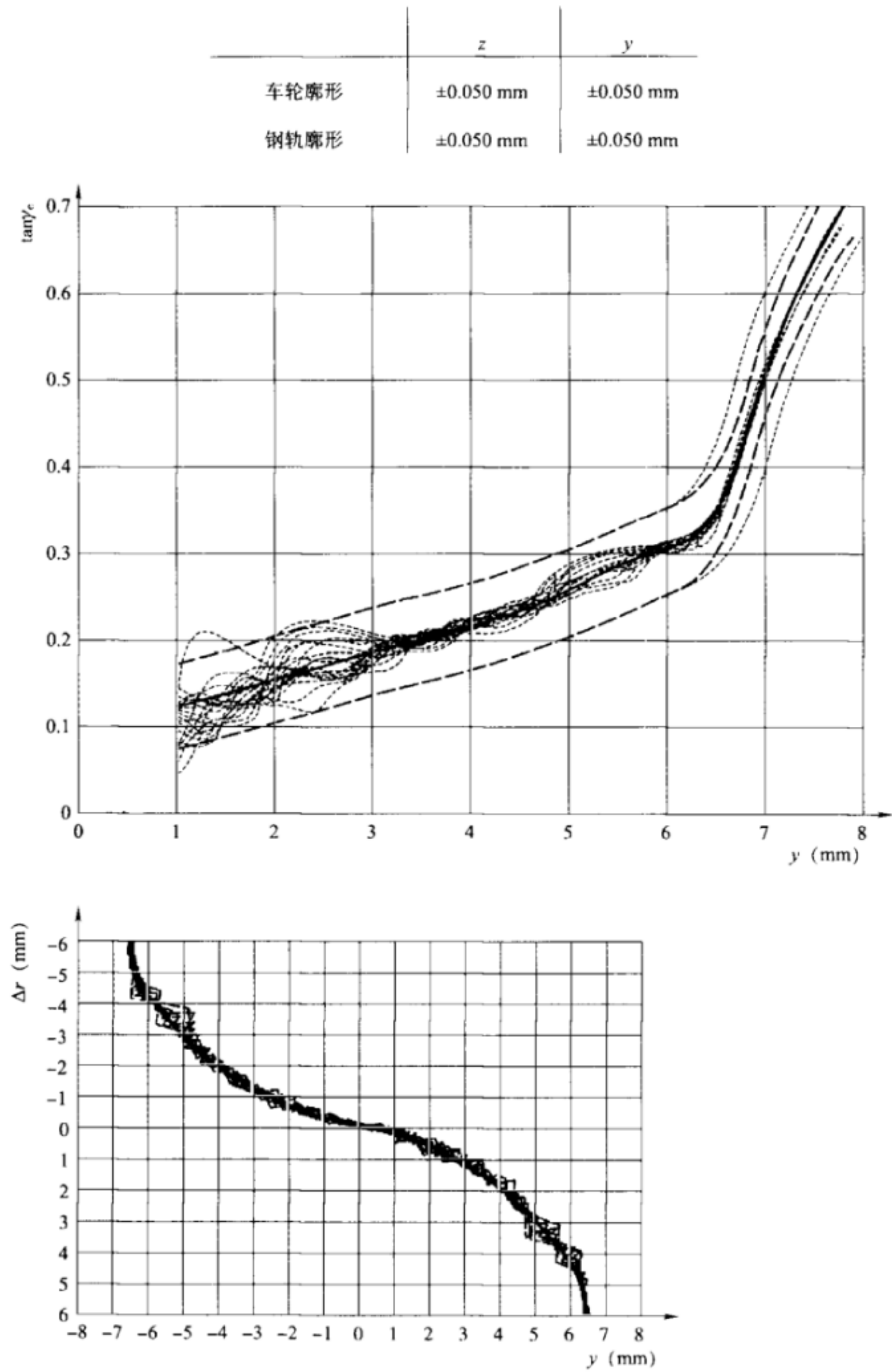


图 F. 10 引入栅格误差的轮 B/轨 B 计算结果

F. 11 计算过程中引入栅格误差的轮 B/轨 B 计算结果示例 3(参见图 F. 11)

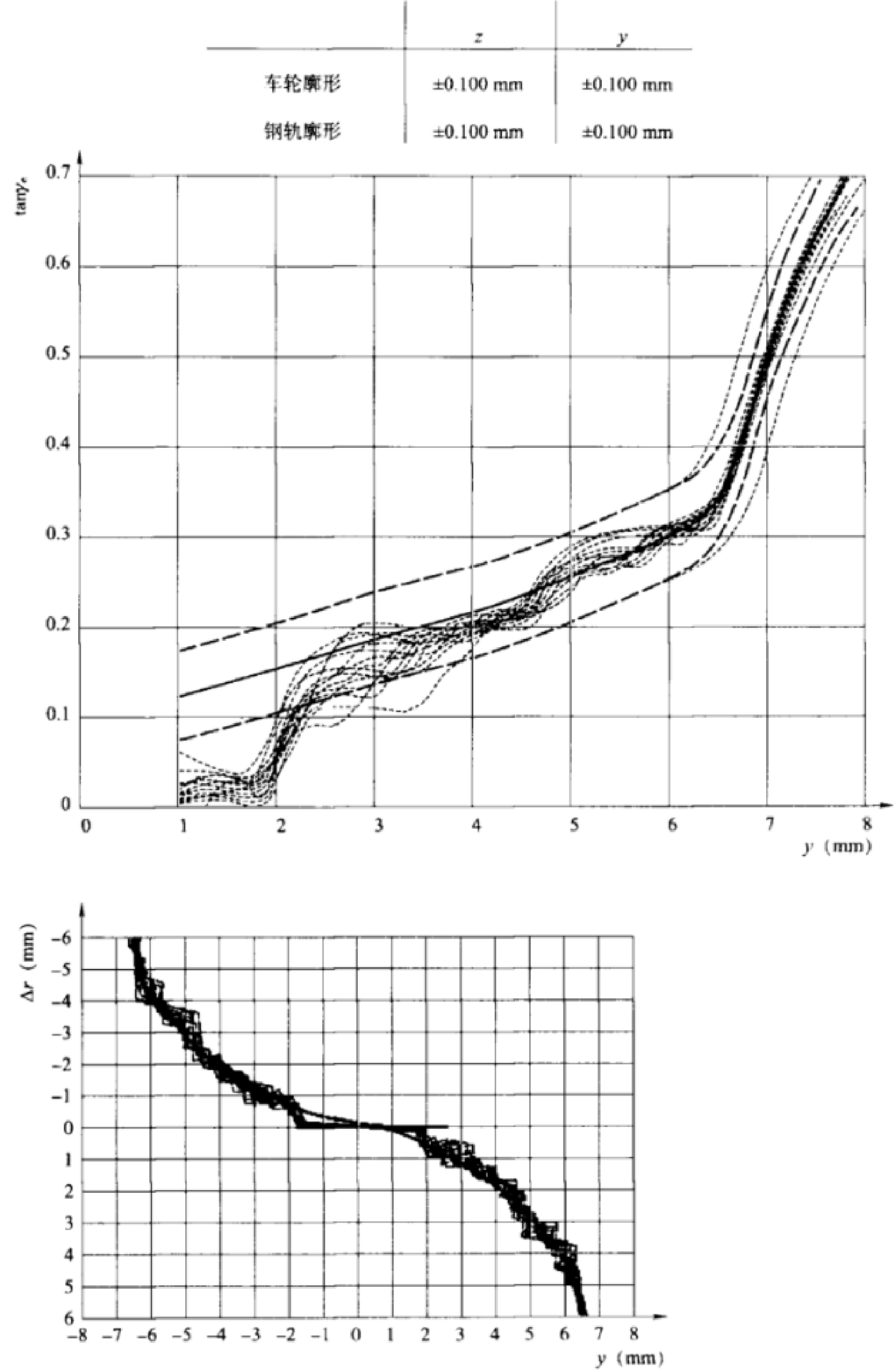


图 F. 11 引入栅格误差的轮 B/轨 B 计算结果

附录 G
(资料性附录)
误差应用原理

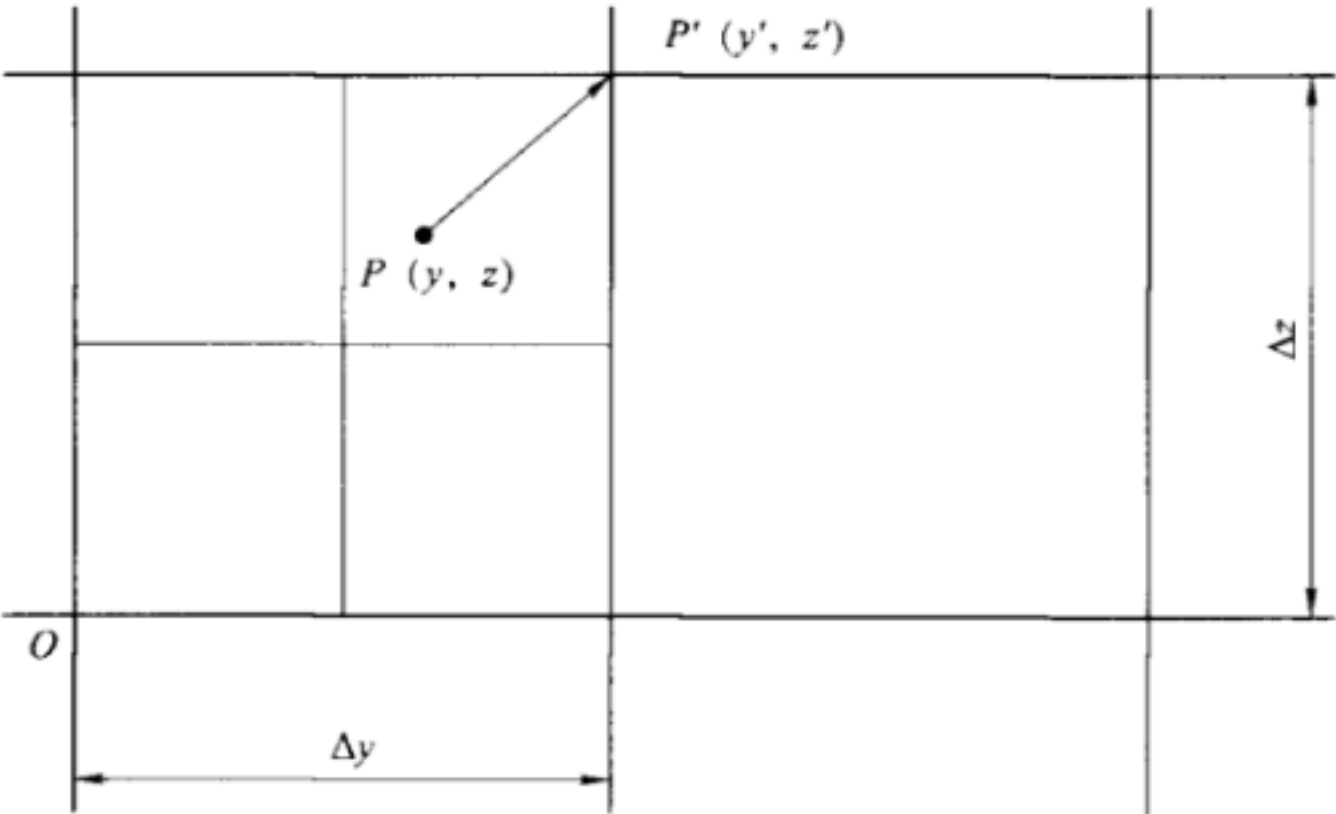
G.1 栅格误差

图 G.1 给出了栅格宽度为 Δy 和 Δz 的测量数据点的数字化处理结果,点 P 的实际坐标 (y, z) 被转换为距其最近的栅格点坐标 (y', z') 。

$$y_i' = \Delta y [\text{NINT}((y_i + y_0)/\Delta y)]$$

$$z_i' = \Delta z [\text{NINT}((z_i + z_0)/\Delta z)]$$

这一最近点(NINT)“优化”转换过程中,由栅格所定义的方块被分为四块面积相等的象限块,所有处在同一象限块内的点均被转换为相同的栅格点。



注：
NINT = 元素归整化函数(通用),返回距参数最近的整数。
i1 = NINT(2.783)！返回整数 3.

图 G.1 点 $P(x, y)$ 转换成栅格宽度为 $\Delta y, \Delta z$ 的栅格坐标

在图 G.2 中这一方法被应用在一条连续平面曲线的所有点上。所得到的结果是一行离散点。

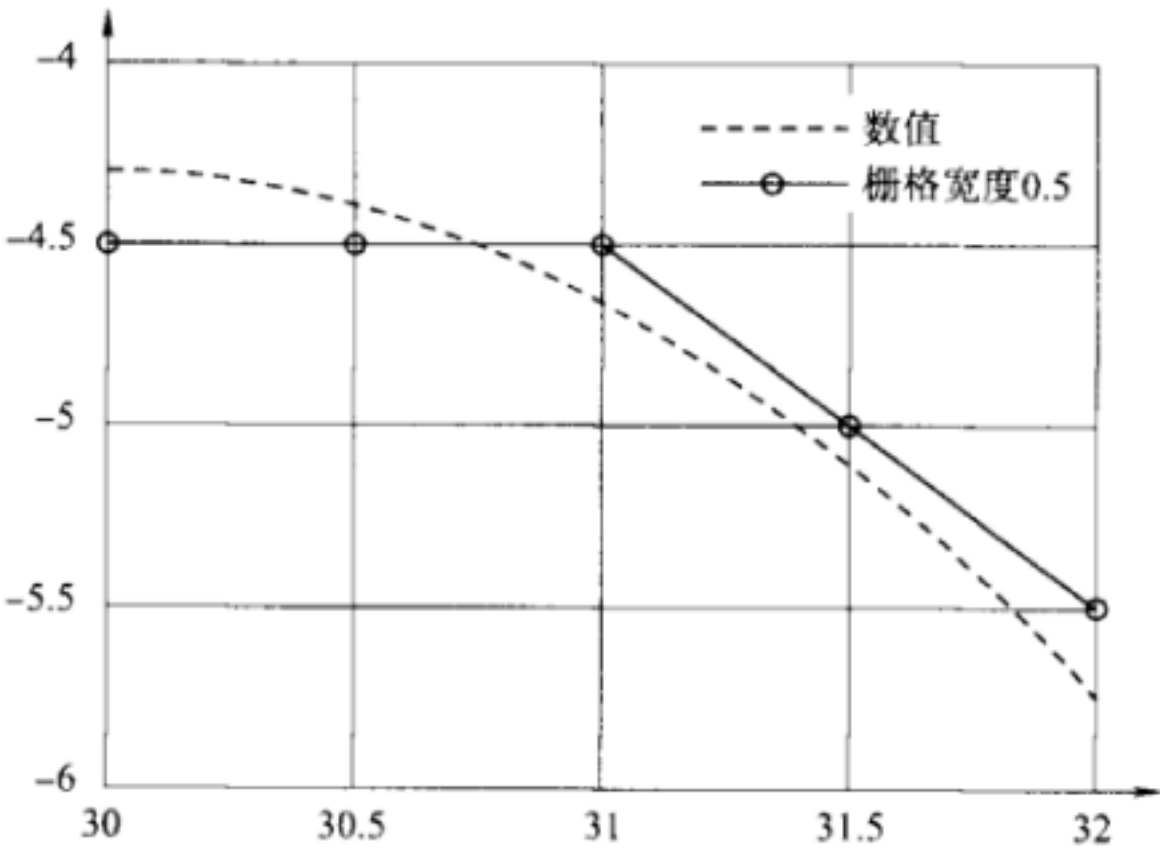


图 G.2 栅格宽度为 0.5 mm 的栅格转换

由于栅格的原点 $O(y_0, z_0)$ 是任意的,为了充分验证等效锥度计算过程,很有必要选取足够多的原点位置,见图 G.3 示例。

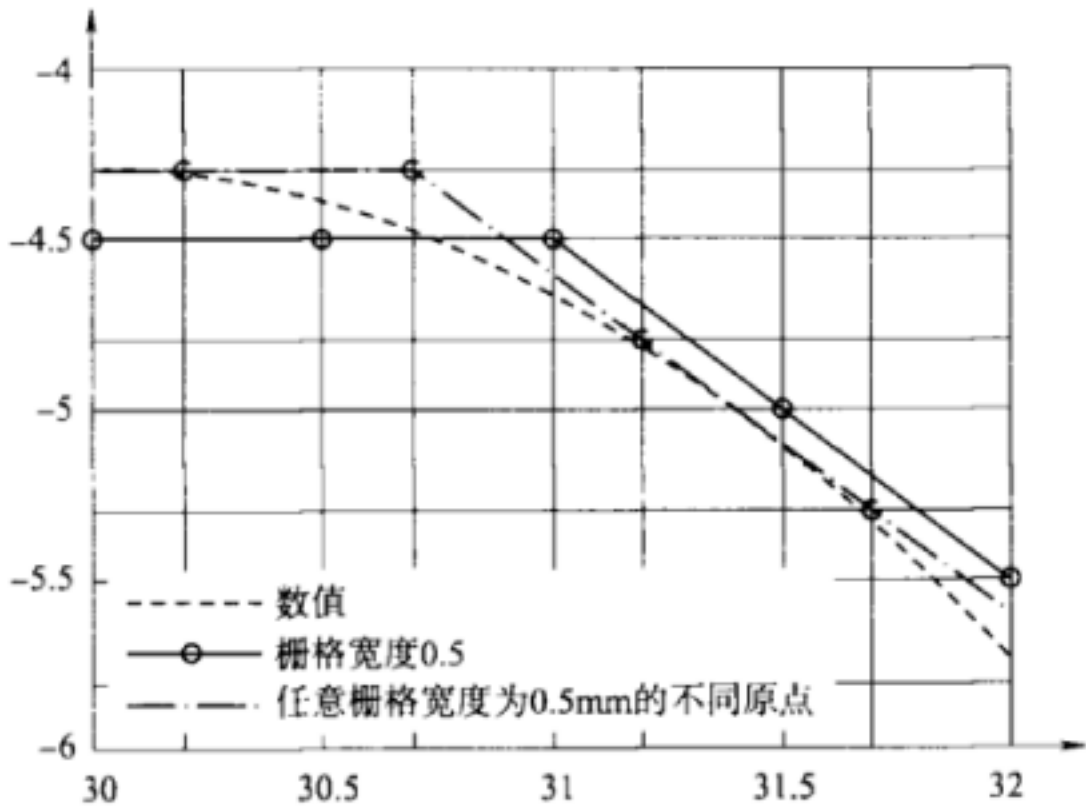


图 G.3 栅格原点位置的变化

这些任意原点位置选择可以采用 $\text{RANDOM}()$ 完成, $\text{RANDOM}()$ 是一个可调用函数,该函数返回 0 到 1 之间的随机实数。

$y_0 = (\text{上限值} - \text{下限值}) \times \text{RANDOM}() + \text{下限值}$

$z_0 = (\text{上限值} - \text{下限值}) \times \text{RANDOM}() + \text{下限值}$

在下面的原点变化例子中用到了以下限值:

上限值 = +0.5

下限值 = -0.5

$y_0 = [+0.5 - (-0.5)] \times \text{RANDOM}() - 0.5$

$z_0 = [+0.5 - (-0.5)] \times \text{RANDOM}() - 0.5$

转换后点的分布为一条均匀的扩展带(参见图 G.4)。

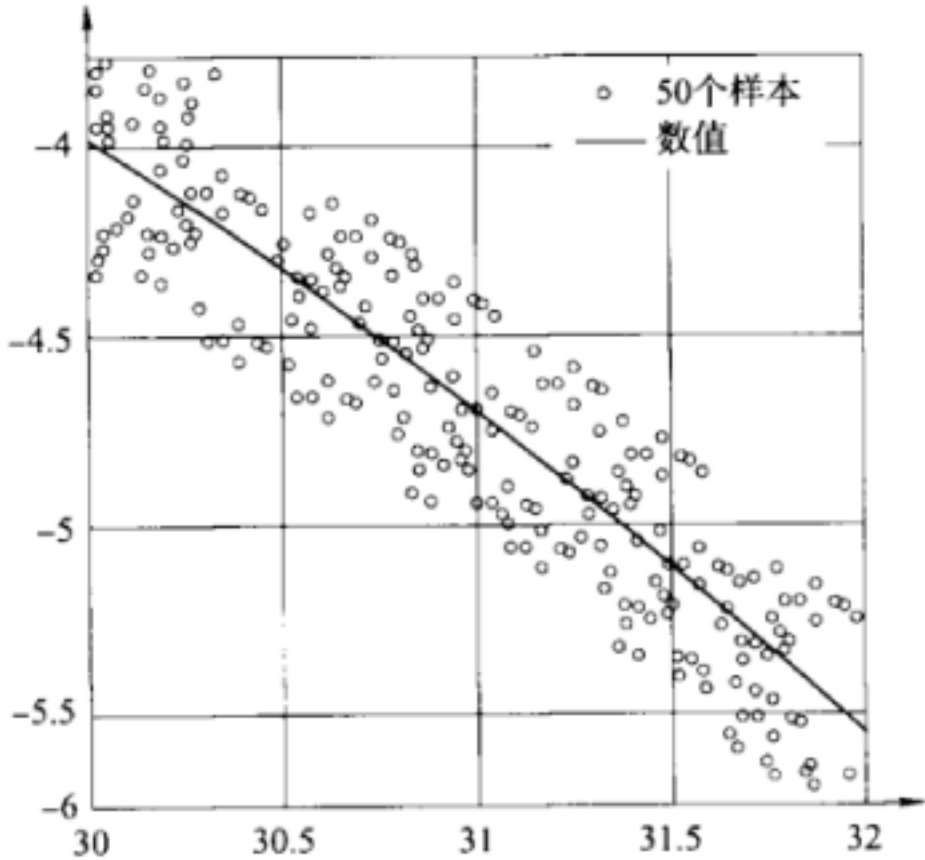


图 G.4 50 个原点位置的变化

G.2 随机误差

为了对平滑和计算方法进行分析和验证,需要在基准轮廓中加入随机误差:

$y_i = (\text{上限值} - \text{下限值}) \times \text{RANDOM}() + \text{下限值}$

$z_i = (\text{上限值} - \text{下限值}) \times \text{RANDOM}() + \text{下限值}$

在下面的例子中以下限值被用来产生垂向随机误差：

上限值 = +0.5

下限值 = -0.5

$y_i' = y_i$

$z_i' = z_i [\text{RANDOM}() + (-0.5)]$

或

$y_i' = y_i$

$z_i' = z_i + \{ [+0.5 - (-0.5)] \times \text{RANDOM}() + (-0.5) \}$

图 G. 5 给出了一段具有四个不同随机误差的廓形。

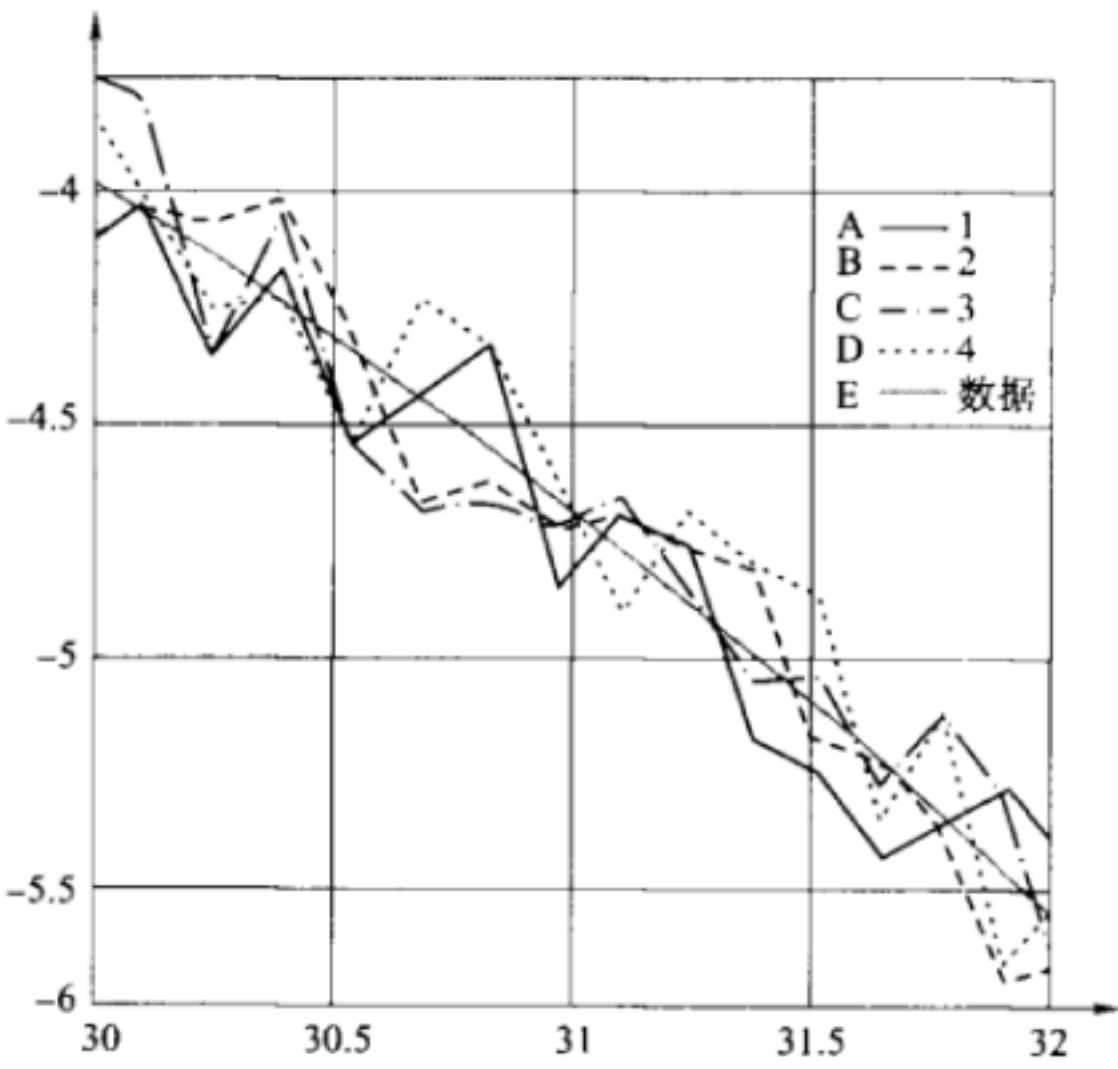


图 G. 5 测量点的随机误差

附录 H
(资料性附录)
应用指南

利用本标准进行等效锥度计算时,需考虑以下注意事项:

- a) 在测量确定廓形的过程中,要使用一些专用设备,如便携式轮轨廓形测量仪、车载轨道廓形测量系统或固定位置的车轮廓形测量系统。
- b) 需要指出轮轨廓形是在负载还是空载的状态下测量获得的。
- c) 至少采用 11 个钢轨廓形描述实际钢轨廓形,这些廓形均匀取自至少 100 m 线路区段;最后得到的等效锥度为采用以上这些钢轨廓形计算得到的等效锥度的平均值,且需要给出标准偏差。如果某条线路不同位置的钢轨廓形差异较大,可能需要沿线路测量钢轨廓形并计算轮对对应于该段线路的平均等效锥度。
- d) 在测量车轮廓形的过程中,应注意确保等效锥度计算采用的车轮廓形可以代表车轮整个圆周的形状。
注:在特殊情况下,若车轮廓形在圆周上有变化,需要沿车轮圆周合理地等距测量一定数量的廓形,然后采用这些廓形做平均处理得到所需要的车轮廓形。
- e) 不应忽略轮轴在载荷状态下的弯曲变形,因此需要测量正常运用状态下轮轨接触点附近的车轮廓形,进行等效锥度计算。对于货车来说,轮轨几何接触更易受到载荷的影响,应在空载和负载两种工况下计算轮轨等效锥度。
- f) 在正常运用中,同一车辆可能在不同钢轨廓形的线路上运行。因此不可能考虑到所有的钢轨廓形种类。
- g) 等效锥度对于车辆在直线线路或大半径曲线线路上的动态特性很重要。车辆在小曲线上的动态特性则与等效锥度的关系不大,但是左右车轮半径差可能会影响到轮对或转向架的动态特性。
- h) 表 H.1 给出了等效锥度的各种应用以及轮轨的测量廓形和理论廓形。

表 H.1 各种应用条件下的轮轨廓形组合

应用	车轮	钢轨
等效锥度计算评估	测量得到廓形 ^a	理论廓形 ^b
车辆动态特性评价	测量得到廓形 ^a	测量得到廓形 ^c
车辆明显失稳状态的研究(例如验收试验期间)	测量得到廓形 ^a	测量得到廓形 ^c
钢轨廓形参数的评价(如轨距),检验线路保养测试的必要性(是否修形或打磨钢轨)	理论廓形 ^d	测量得到廓形 ^c
车轮状态的评价,检验是否有必要进行车轮廓形测量(是否进行轮对修形)	测量得到廓形 ^a	理论廓形 ^b
在设计开发阶段进行理论分析	理论廓形 ^d	理论廓形 ^b
<div><div>^a 如果可行,车轮廓形测量要在正常载荷状态下进行,否则轮对弯曲变形应计入计算结果。</div><div>^b 应考虑到轨底坡和轨距。</div><div>^c 如果可行,钢轨廓形测量要在正常载荷状态下进行(比如可以采用检查车),否则(尤其是软紧固钢轨)就要在计算结果中考虑载荷的影响。</div><div>^d 要考虑到滚动圆中心距。</div></div>		

参 考 文 献

- [1] EN 15313 Railway applications-In-service wheelset operation requirements-In-service and off-vehicle wheelset maintenance
 - [2] ERRI Report, ORE C116 Interaction between vehicle and track, RP3 October 1973, Geometry of the contact between wheelset and track-Part 1: Methods of measurement and analysis
 - [3] UIC 519:2004 Method for determining the equivalent conicity
 - [4] EN 14363 Railway applications-Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles-Testing of running behaviour and stationary tests
 - [5] EN 15302 Railway applications-Method for determining the equivalent conicity
-

中 华 人 民 共 和 国
铁道行业标准
铁路应用 确定轮轨等效锥度的方法

Railway applications-
Method for determining the equivalent wheel/rail conicity
TB/T 3332—2013

*

中国铁道出版社出版、发行
(100054,北京市西城区右安门西街8号)
读者服务部电话:市电(010)51873174,路电:(021)73174
中国铁道出版社印刷厂印刷

版权专有 侵权必究

*

开本:880 mm×1 230 mm 1/16 印张:3.75 字数:104 千字
2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

*



定 价 : 37.50 元