

高速铁路曲线外轨超高智能调节

乔力伟, 牟瑞芳

(西南交通大学 交通运输学院, 四川 成都 610031)

摘要:当列车高速通过曲线时,由于离心力和向心力的作用,当列车通过曲线时,固定的外轨超高不仅对列车运行速度有很大的限制,也增加了轮轨磨损,威胁到行车安全。对列车通过曲线时车体受力进行了分析,结合铁路运输设备的特点,提出了铁路曲线外轨超高智能调节方法。

关键词:铁路曲线;高速列车;外轨超高;智能调节

中图分类号:U213.2+32 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2010)03-0097-04

0 引言

列车通过曲线时,外侧钢轨需要设置超高以平衡离心力的作用。离心力的大小与列车运行速度成正比,而与曲线半径成反比。理论上,应根据不同列车速度和曲线半径设置相应的超高。目前的铁路系统中,实际上是以线路上运行的各种列车的平均速度为依据设置超高值。这导致高速列车通过曲线时出现欠超高现象,而低速列车通过曲线时存在过超高。过超高、欠超高均影响列车运行的平稳性及旅客的舒适度,甚至影响行车安全。

1 国内外现状

在铁路曲线上设置外轨超高的目的是为了运行中的列车产生一个向心力,用以平衡列车在曲线段运行时产生的离心力。当向心力小于离心力时则产生欠超高问题,而欠超高过大,会使旅客感到不舒适;当向心力大于离心力时则会产生过超高问题,过超高和欠超高都将导致加剧轮轨的磨损。在客运专线或货运专线上,外轨超高值的设置通常较为简单。而在客货混跑的既有线上,为了使运行速度较低的货物列车在通过曲线段时不出现大的过超高,需要减小外轨超高,但同时应避免旅客列车高速通过曲线段时出现较大的欠超高,解决这一问题的传统途径是加大曲线半径或规定旅客列车在曲线段限速运行。

当列车以高速通过曲线时产生的离心力,会出现下列四方面的问题:乘坐舒适性恶化;线路外侧受到横向作用力,导致线路位置失常;列车容易在曲线外侧脱轨;列车有在曲线内侧翻车的危险。

为了减小离心加速度的影响,通常的做法是在轨道上将曲线外侧的钢轨增高,利用此超高使车体向曲线内侧倾斜。但是为了兼顾货物列车运行及旅客列车低速通过曲线,外轨超高值应该受到限制。如果曲线外轨超高过大,列车在曲线上停车时就有向内侧倾覆的危险。在既有线上,如列车速度越高,离心加速度就越大,仅仅利用曲线外轨的固定超高使车体倾斜就不够了,目前国内外解决该问题的方法有以下几种:① 限制列车通过曲线段时的速度,但是该方法不利于列车的高速运行。② 使车体向曲线内侧倾斜,以弥补外轨超高的不足,也就是摆式车体得以发展的原因。摆式列车在曲线段运行时自动向曲线内侧倾斜,倾斜度在 $3^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 之间,摆式车体客车的倾斜量相当于加了一个附加的外轨超高量,使横向加速度减小,解决了列车通过曲线段时限速以及因欠超高过大而引起的乘坐不舒适问题。但是其不足之处在于列车走行部通过曲线时不发生倾斜,由于离心力的作用,外轨磨损还是较为严重。③ 使曲线外轨超高按照列车运行速度的大小自行调解曲线内侧倾斜角度,使得不同速度的列车经过曲线时都不发生欠超

收稿日期:2010-03-10

作者简介:乔力伟 男 1985年出生 硕士研究生

高。该方法既可以满足列车高速运行的要求,同时也能减少曲线钢轨磨损,降低列车曲线外侧脱轨率。

2 受力分析

当列车经由超高不够的曲线线路时,车轮与钢轨接触状态如图 1^[1]所示。可以发现,由于离心力和钢轨导向力的作用,使列车车轮密贴外侧钢轨运行,车轮中心线与轨道中心线不重合。此时,外侧钢轨磨损最为严重,如图 2^[1]所示。

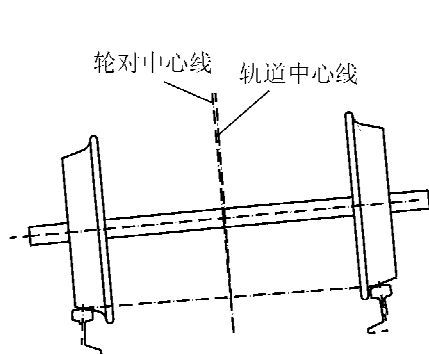


图 1 列车运行曲线线路时车轮与钢轨接触状态

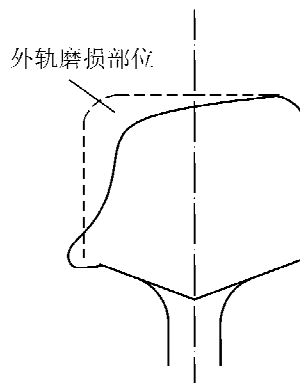


图 2 钢轨磨损示意

超高的大小对轮轨之间导向力的影响非常敏感,所以超高对钢轨的侧磨具有很大的影响。由于超高引起导向力和冲角的变化,所以也就直接影响钢轨轨头侧磨速率的大小。

外轨侧磨一般发生在小半径曲线上,这是因为在小半径曲线上列车被外侧钢轨约束和引导,不断发生“转向”作用,驾驭了轮轨间的相互摩擦造成的。但是在列车高速运行在大半径曲线上时这种摩擦也会发生。

为研究这一相互作用,取一转向架作为研究对象,分析其受力情况。当列车在曲线上作匀速运动时,整个转向架受到的力^[2]有:通过车辆销孔、转向架中心销作用在转向架上的机车牵引力 Q ; 外轨对车轮轮缘的作用力 F ; 离心力 W , 当列车通过曲线时即产生相应的离心力。此外,纵向阻力(如滚动摩擦力等)可用牵引力合力代替; 横向阻力(如车轮在轨面上横向滑动产生的阻力)可用 F 合力代替。 F 、 Q 、 W 三力中,牵引力 Q 因与 F 垂直。故对 F 值无影响。

2.1 F 产生的原因

机车车辆在曲线上行驶时除向前平动外,还要随曲线不断的转变方向,这一转变完全是靠外轨约束作用实现的。因此外轨侧面和外轮轮缘之间必然要产生剧烈的摩擦。即

$$F = \sum_{i=1}^2 f N_i \quad (2)$$

式中, f 为滑动摩擦系数; N_1 为轮对作用在钢轨踏面上的纵向作用力; N_2 为轮对作用在钢轨踏面上的横向作用力。

车辆质量越大,轮缘与钢轨侧面之间的作用力也就越大,这也是形成钢轨侧面磨耗的一个重要原因。

2.2 离心力 W 对 F 的影响

在曲线上如果外轨的超高不足以平衡列车行驶时产生的离心力,那么未被平衡的离心力就会通过车体与转向架的联结装置——中心销作用于转向架上。根据轮对“直行性”的特点,外轮轮缘必定与外轨接触,限制转向架横向运动,使其顺利通过曲线。因此可以设想,如果外轨的超高使经过的机车车辆产生的离心力不断转变为正压力,且转向架转动的角加速度正好相当于车辆以此速度通过该曲线是转向架在外轨约束下被迫转向的角加速度,则此时轮缘与外轨之间侧磨现象可以大幅度的降低。

如图 3 所示,当列车高速运行在超高合适的曲线线路上,离心力 W 与外轨对车轮轮缘的作用力 F 的合力为 R , 列车重力 G 与 R 的合力 T , 其方向向下,垂直与线路中心线。此时,外轨的超高高度使经过的机车车辆产生的离心力可以被抵消,钢轨磨损降低,由此可以得出:

(1)外轨超高值的大小直接关系到 F 的方向。如果超高值过大, F 的方向就会向顺时针方向移动;如果超高值过小, F 的方向就会向逆时针方向移动。无论超高值过大或者过小,都会导致合力 T 不能垂直与线路中心线。钢轨就会发生严重的磨损。

(2)列车运行的速度也会影响合力 T 的方向。在超高值不变的情况下,速度过高会导致离心力 W 增大,同时, R 的方向会发生逆时针转动并且增大;列车速度过低则会导致离心力 W 减小,同时 R 的方向发生顺时针转动并且减小。所以无论车速过高或者过低都会导致合力 T 不能垂直与线路中心线。加剧钢轨和轮缘发生磨损。

3 曲线外轨智能调节系统

由于列车运行中速度有高有低,很难控制到完全适合外轨超高值所对应的运行速度,因此,可以设置一种根据列车运行速度智能调节内外轨高度差的装置,以此来解决曲线线路轮轨磨损问题。其目的在于:通过安装在曲线段的智能系统,实时调整内外轨高度差值,以适应不同速度的列车对外轨超高的需要,确保列车安全、平稳运行。该智能系统包括速度检测装置、中央处理系统、外轨超高调节装置等^[3],如图4所示。

在线路进入曲线前的直线段上安装速度检测装置,检测即将驶入曲线段的列车速度,并将速度信息传输给中央处理系统。中央处理系统根据列车运行速度,计算出所需外轨超高值的大小,并向位于曲线段上的外轨超高调节装置发送调节指令。外轨超高调节装置根据指令,在列车驶入曲线段之前完成超高调节。当列车在曲线上运行时,各超高调节器上的测速装置对其运行状态进行实时监控,并将有关信息发回中央处理系统。中央处理系统据此评判超高调整是否满足列车运行要求,必要时,发出修正超高指令。当列车在曲线上加(减)速时,各测速器检测其速度值,反馈给 CPU, CPU 向调节器发出指令,亦可调整内外轨高度差值,使其与列车速度相适应。

4 技术方案

4.1 速度检测装置设置

在距离曲线 L 个单位处处设置速度检测装置,如图4所示。要求该装置能准确检测出即将驶入曲线段的列车速度。 L 为预警距离,是轨道超高值调整完成后,列车安全驶入曲线段的保证。 L 可按式计算

$$L = V_{\max}(t_r + t_c) \quad (2)$$

式中, L 为预警距离; $V_{\max}$ 为列车行驶的最大时速,一般可按该线路既有列车最大速度或设计最大速度取值; t_r 为调节装置调整外轨至 $V_{\max}$ 所需超高的持续时间; t_c 为调节装置修正时间。

4.2 中央处理系统

在曲线段附近适当位置安装中央处理系统。中央处理系统根据测速器反馈回来的列车瞬时速度信息,计算出整个曲线中不同半径曲线段对应速度上两钢轨之间的水平高度差值,并变成信号指令发送给钢轨调节器。当列车进入曲线,曲线上的各级测速器再次进行测速,并将信息发送给中央处理系统处理,转化成为信号指令发送给下一级钢轨调节器,钢轨调节器进行动作,调节两钢轨之间的水平高度差值。从而可以达到在不列车匀速运行的状况下调节两钢轨之间的水平高度差的目的。超高值 h 可采用下

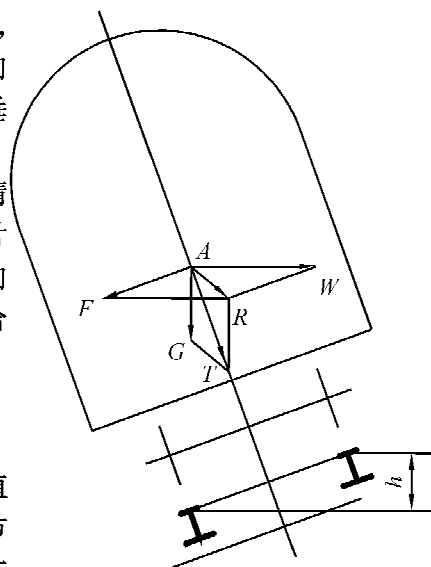


图3 列车通过曲线受力示意

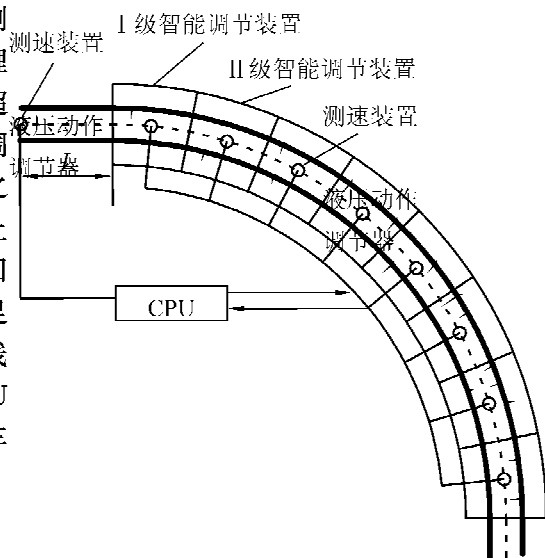


图4 曲线外轨超高智能调节系统

式^[4]计算

$$h_i = 11.8V_i^2/R_i (i = 1, 2, \dots, 3) \quad (3)$$

式中, h_i 为 i 号调节器上两钢轨之间的水平高度差值; V_i 为列车通过 i 号调节器瞬时速度; R_i 为 i 号调节器上曲线半径。

4.3 曲线钢轨超高调节装置

自线路进入缓和曲线起设置各级曲线钢轨超高调节装置,直至曲线线路转入直线线路,如图 4。曲线钢轨超高调节装置接受到中央处理器发送的指令后,按照其发送的调节值,运行液压动作调节器,推(拉)动整个调节装置绕线路中心线 O 点转动(保持曲线半径不发生变化),使调节装置上的内外两根钢轨产生水平高度差。该高度差正好满足当前列车运行速度的要求。如图 5 所示。

5 结束语

目前我国大力发展高速铁路,货物列车也在足部的提速。从而对曲线超高的设置提出了更高的要求。目前解决这一问题的较好途径是增大曲线半径,使得最大超高值和欠超高值均满足列车运行或者采用摆式列车,但是其无法解决长期以来车轮对铁路曲线线路外轨的磨损。采用外轨超高智能系统,可根据不同列车时速设置超高,基本可消除过超高和欠超高现象,提高旅客乘坐舒适度及便于线路养护等。曲线外轨超高智能系统不仅适用于调节铁路曲线外轨超高,也适用于轨道交通线路的曲线外轨调整^[5]。对于既有线,采用该智能系统后,可以在最大超高满足要求的范围内,既减小轮轨磨损,又可以在不改变曲线半径的前提下达到提速目的。曲线外轨超高智能系统的采用,可有限缓解曲线超高设置对列车运行的影响,提高列车运行的平稳性、安全性、旅客舒适度,同时可减小钢轨磨损。

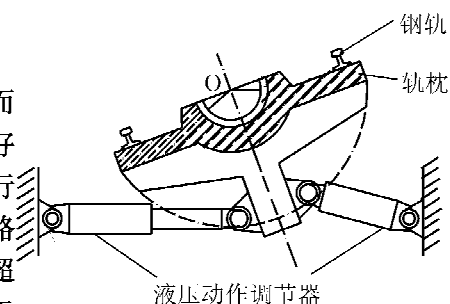


图5 智能调节装置

参 考 文 献

- [1] 练松良,孙琦,王午生. 铁路曲线钢轨磨耗及其减缓措施[M]. 北京:中国铁道出版社,2001.
- [2] 朱锦煜. 曲线超高与外轨侧磨的关系探讨[J]. 铁道工程学报,1985(2):183-184.
- [3] 刘凤奎,蔺鹏臻,王亚军. 铁路曲线外轨超高智能系统[J]. 城市轨道交通研究,2009(1):66-67.
- [4] 吴禄保. 曲线外轨超高受力分析[J]. 铁道运营技术,2000(4):172-173.
- [5] 范钦爱. 曲线超高的调整[J]. 铁道标准设计,2002,20(4):19-21.

Smart Conditioning in Superelevation of Outer Rail on Curve

Qiao Liwei, Mou Ruifang

(College of Traffic Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: When the train speeds through the curve, due to centrifugal and centripetal forces, train wheel-rail wear and tear of line outside is very serious. Fixed superelevations of outer rail not only have strict restrictions on train speed, but also increase wheel-rail wear and tear, and even cause threat to train safety. This paper makes an analysis of the forces on the train running through railway curve, and put forward a smart-conditioning method of outer rail superelevation on curve combining the characteristics of rail transportation equipment.

Key words: rail curve; high-speed train; superelevation of outer rail on curve; smart conditioning