

曲线超高与外轨侧磨的关系探讨

郑州铁路局柯柯工务段 朱锦煜

众所周知, 在小半径曲线上由于轮轨间的剧烈作用, 加剧了机车车辆的车轮和曲线外股钢轨的侧面磨耗。这一磨耗严重时使钢轨及车轮过早报废, 促使各部门花费更多的投资和精力去进行维修养护。因此努力减轻小半径曲线上外轨的磨耗, 已成为工务工作者的一个研究课题。本文仅就这一磨耗与曲线超高之间的关系谈述一点浅见, 供同志们参考。

一、曲线超高对外轨侧磨的影响

按常规理论, 曲线上外轨侧磨应与超高成反比例, 即超高越大, 外轨侧磨应越小。因超高越大, 列车在曲线上行驶时产生的离心力越易被平衡, 当列车速度不高时这种过超高甚至可以使列车偏压内轨, 从而减轻对外轨的磨耗。《铁路工务技术手册—轨道》一书认为: 机车车辆通过曲线时“离心力把车体推向外倾, 并加大外轨承压力, 造成外股钢轨加速磨损。”

但是大量实践证明, 实际磨损情况恰与上述理论相反: 过超高越大, 外轨侧磨越严重, 欠超高越大则侧磨越轻微。下面是笔者在现场调查的记录:

表 1

线 别	里 程	半 径	最高速度	实侧超高	铺设时间	测量时间	侧 磨 (毫米)
青 藏 线	K220	300	60	95	1960	1981.10	4.5
	K321	300	40	125	1978.8	1983.8	4.5
	K328	300	40	120	1978.8	1983.8	4.5
	K330	300	40	138	1978.9	1983.8	5.3
	K333	300	40	135	1978.9	1983.8	5.0
	K334	300	40	130	1978.9	1983.8	5.0

由于外轨侧磨时, 形状大部分如

右图可示(图 1)故现场测量时自制了如图 2 所示的简易量具, 借助于道尺测量块与道尺平面间组成的直角, 量取侧磨情况。测量方法如图 3 所示, 侧磨数字从楔形塞尺的刻划上读取。笔者认为这种楔形塞尺测量侧磨, 数值准确, 携带方便, 使用简单。

对此曾树谷、栾承高二同志通过试验调查得出了同样结论。(见“铁道科学技术”, 工务工程分册”1981年第 9 期: “曲线外轨超高和轨距加宽对外轨侧向磨耗的影响”。现摘抄其中有关数字如表 2。

张掖工务段在总结多年经验的基础上, 从 1980 年以来把所有 300m 半径的曲线超高都从

90改为70mm, 调整后的侧磨大大减轻。

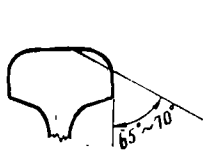


图 1



图 2

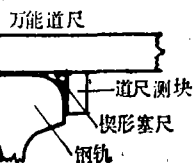
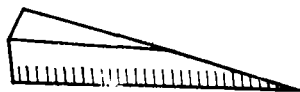


图 3

超 高 与 侧 磨 的 关 系

表 2

线 别	里 程	半 径	平均速度	实设超高	铺设时间	侧磨mm
石 太	K84	295m	50km/h	90mm	77.9~79.7年	6.7
石 太	K88	270m	50km/h	110mm	77.9~79.7年	8.17
石 太	K105	300m	41.1km/h	82mm	54~62年	8.56
石 太	K105	300m	48.3km/h	86mm	54~62年	6.20
宝 成		400m		85mm	71~72年	3.3
宝 成		400		85mm	71~72年	1.59
宝 成		400		80mm	71~72年	0.75
宝 成		400		80mm	71~72年	0.85

上述数字说明, 超高越大, 外轨侧磨越严重。尤其如青藏线哈柯段曲线, 300 米半径普遍设120~140mm超高, 78年通车以来运量不大, 外轨侧磨却已达到十分严重的程度。说明小半径曲线上过超高越大, 外轨侧磨越严重, 即过超高导致侧磨。

二、过超高导致侧磨的原因分析

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股钢轨约束和引导, 不断发生“转向”作用, 加剧了轮轨间的相互磨擦造成的。为研究这一相互作用, 现取一转向架作为研究对象, 试分析其受力情况, 如图 4 所示。当列车在曲线上作匀速运动时, 整个转向架受力有:

Q : 机车牵引力, 通过车辆销孔、转向架中心销作用在转向架上。

F : 外轨对车辆轮缘的作用力;

W : 离心力, 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; 垂直力系(如重力, 钢轨对车轮的反力等)互相平衡且垂直于 F 、 Q 、 W 、力系, 略去不计。

上述 F 、 Q 、 W 三力中, 牵引力 Q 因与 F 垂直, 故对 F 值无影响。

1. F 力的产生原因: 机车车辆在曲线上行驶时除向前平动外, 还要沿曲线不断地转变

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作用。这一摩擦力的大小可以这样理解:轮对在钢轨上滚动时,由于固装在同一根轴上转动,两轮转速一致,转过的距离并不完全一致由于车轮踏面有1:20的锥度,故大端转过的距离比小端略长。如距轮缘内侧50mm处车轮的周长比距轮缘内侧85mm处的车轮周长

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 - L_2 = \pi D_1 - \pi D_2 \\ &= \pi \left(D_2 + z_1 \frac{25}{20} - D_2 \right) \\ &= \pi \times 3.5 = 10.99 \text{ mm}\end{aligned}$$

——(取35mm是因为考虑轮轨游隙21mm,轨距加宽15mm。)但在 $R=300\text{m}$ 曲线上,内轨缩短量 $\varepsilon = \frac{S_1 L}{R} = \frac{1500}{300} \times 2.2 = 11.0\text{mm}$,式中2.2m为直轮直径700mm时车轮周长即轮对转动一周时在钢轨上走过的距离。如

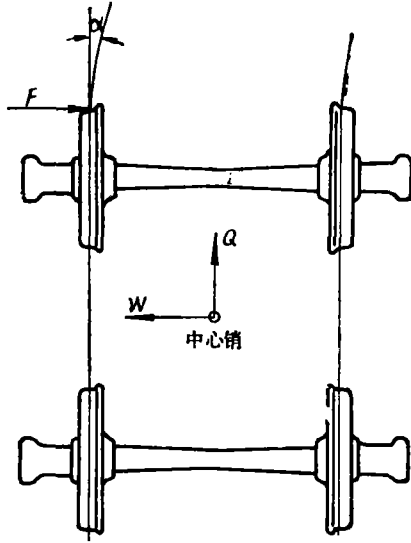


图4

车轮直径大于700mm,则周长大于2.2m, $R=300\text{m}$ 曲线之内轨缩短量亦大于11.0mm。因此内外两轮转速相等而转动距离不等,势必有一轮要发生“拖滑移动”或“原地打滑”,才能实现同轴转动。换言之,轮对的构造决定了轮对走行时的“直行性”,这种“直行性”导致曲线上轮轨踏面间的相对滑动,其中既有纵向也有横向滑动。因此,外轨对外轮轮缘的作用力的大小应等于轮轨踏面之间的滑动摩擦力,即 $F = \Sigma f N$ 。

式中 f 为滑动摩擦系数, N 为轮对压在钢轨上的正压力, $\Sigma f N$ 系指轮轨踏面上纵横两向发生的滑动摩擦力之和。由于车辆重量很大,所以轮缘与钢轨侧面之间的作用力也很大,这就造成了钢轨侧面的磨损。

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车辆行驶时的离心力,未被平衡的离心力就会通过车体与转向架之间的联结装置——中心销作用在转向架上,如图4所示。转向架在这个离心力的作用下必将产生绕 A 点的转动。(因为根据轮对“直行性”的特点,外轮轮缘必定与外轨接触,限制其横向移动,转向架在离心力作用下只能绕 A 点转动。)必须特别指出的是,离心力是通过中心销作用到转向架上的,不是直接作用在轮对上,因此离心力 W 的作用即是一个力偶,其力臂为中心销至前轮与外轨接触点 A 的距离 l ,其效果就是使转向架“自动转向”,转动的角加速度是 $\varepsilon = \frac{W \cdot l}{\Sigma M}$

式中 ΣM 指转向架及其上车辆部分之质量和。

转向架的这种“自动转向”作用正有利于克服轮对的“直行性”,有利于减轻外轨与轮缘之间的磨损。可以设想,如果外轨的欠超高使经过的车辆产生的离心力不断使转向架自动转向,且转动的角加速度正好相当于车辆以此速度经过该曲线时转向架在外轨约束下被迫转向的角加速度,则此时轮缘与外轨间将无相互作用力,亦即无侧磨现象发生。

反之,如果外轨超高大于车辆在该速度时产生的离心力,即有“过超高”存在,则合力

作用线向曲线内侧偏斜,离心力也通过转向架中心销作用在转向架上。此时 W 的作用结果是使转向架反时针转动,与车辆在曲线上行驶时转向架应转动的方向恰好相反,这就使得车辆的转向完全依靠外轨与轮缘之间的相互作用来实现,也就大大增加了轮轨之间的磨耗。

3. 前轮轮缘与外轮之间的冲角对侧磨的影响:

在曲线上由于前轮轮缘与外轨之间有一定的冲角 α (如图4):

$$\alpha \approx \arctan l/R$$

(式中 l 为固定轴距, R 为曲线半径。)所以轮轨作用点不在车轮转动瞬心(压力点)处,而是导前一定量 λ 。

由于 λ 的存在,轮轨作用点处除约束作用外还有相对运动存在,即 $V_A = \omega \cdot \lambda$ 。

此中 ω 为车轮绕瞬心 O' 转动的角速度,

所以相对滑动速度正比于导前量。

反之,如果冲角 α 越小,轮轨作用点越接近转动瞬心, $\lambda \rightarrow 0$, $V_A \rightarrow 0$,就越能减轻轮轨之间的磨耗作用。

另一个重要因素,是由于冲角 α 的存在使轮对的横向移动量大大增加。当冲角为 α 时,轮对前进 Δx 距离,同时需横向移动 Δy ,而 $\Delta y = \Delta x \cdot \tan \alpha$ 此时轮轨作用力所做的功 A 是:

$$A = F \cdot \Delta y = F \cdot \Delta x \cdot \tan \alpha$$

对钢轨来说,这些功将全部转化为磨损,因此磨损即正比于 $\tan \alpha$ (当然磨损还与过车次数即运量、摩擦系数等有关)。亦即冲角越大,磨损越严重。

设固定轴距为1800mm, 轨距加宽为15mm轮轨游间为23mm, 则 α 的值为:

$$\alpha_{\max} = \arctan \left(\frac{1.8}{300} + \frac{15+23}{1800} \right) = 1.553^\circ$$

$$\alpha_{\min} = \arctan \frac{1.8}{300} = 0.344^\circ$$

因此

$$\tan \alpha_{\max} = 0.027$$

$$\tan \alpha_{\min} = 0.006$$

$$\tan \alpha_{\max} / \tan \alpha_{\min} = 4.5$$

所以冲角最大时的横向移动量是冲角最小时的移动量的4.5倍,从而使磨损大大增加。

当然冲角大小对磨耗的影响因素是多方面的,但笔者认为导前量的存在和横向移动的发生是冲角对磨耗的主要影响因素。

三、结 论

综上所述,可得出结论:

1. 小半径曲线上久超高越大(超高越小),外轨侧磨越轻微。这既是实践经验,也是可以找到充分的理论根据。

2. 由此,以前规定的定期测速,按平均速度设置超高是不合理的,也是不必要的。养路部门现场实际上也很少这样做。笔者认为,关于曲线超高的设置,应先按最高容许速度确定超高度最小值,即在最高容许速度下保证车辆不致向外侧倾复的最小超高度,在此基础上

预留一定的安全系数(稳定系数)并考虑旅客在车上所能忍受的最大容许未被平衡离心加速度,在此前提下尽量减小外轨超高,以减轻外轨侧磨和机车车辆轮缘的磨耗。不再进行实际速度的测算和相应调整。

根据超高度计算公式:

$$h \geq \frac{11.8V_{\max}^2}{R} - 153a$$

式中 R : 曲线半径; V_{\max} 最高行车速度;

a : 容许未被平衡的离心加速度,我国暂定为 0.6m/sec^2

因为未被平衡离心加速度的条件能满足时车辆安全也能保证,故以上式为根据,分别计算及各种半径及各种最高行车速度下相应的曲线外轨超高度如附表3。建议以此作为设置超高的标准。这样做即能保证行车安全,又有利于减轻钢轨和车轮的磨耗,也方便养路部门现场的维修保养,避免不必要的测算和频繁调整超高的无谓劳动。

曲线超高设置的建议数值

表 3

超高度 mm		最高行车速度 (公里/小时)						
		50	60	70	80	90	100	110
曲线半径 (米)	300	10	50	100	(160)			
	350	0	30	75	125	(185)		
	400	0	15	55	100	150	(205)	
	450	0	5	40	80	125	(170)	
	500	0	0	25	60	100	145	(195)
	600	0	0	5	35	70	105	150

说明: 1. 括号内数字为超过现行规定说明不能达到相应速度。

2. 本表计算公式: $h = \frac{11.8V^2}{R} - 91.8$

由于本人才疏学浅,上述观点必有谬误之处。本想收集更多资料,但限于客观条件不能实现,谨在此粗述愚见,希望能起到抛砖引玉的作用,并望有关部门能就此进行一些必要的实验研究。