

时速 140km/h 列车对道岔的冲击影响*

雷晓燕

管天保

(土木工程系)

(上海铁路局)

摘要 本文论述了机车车辆通过道岔时轮对与辙叉相互作用的机理,建立了简化的计算模型.在此基础上,应用轮轨冲击力计算方法,分析了时速 140km/h 列车对道岔的冲击影响.根据计算,建议当列车速度提高至 140km/h 后,辙叉容许垂直磨耗应限制在 4mm 以内.

关键词 道岔;冲击

分类号 U213.212

0 引言

根据铁道部规划,我国铁路未来发展方向是高速、重载.围绕铁路高速化的发展,又可以采取两条腿走路的方针:一是既有线路提速,二是新建高速铁路.作为既有线路提速项目的试点,铁道部决定在沪宁线试运行 140km/h 旅客列车.列车速度提高后,既有线路是否能满足安全运行的要求,这是需要回答的问题.本研究“时速 140km/h 列车对道岔的冲击影响”作为沪宁线提速项目的子课题,旨在讨论列车速度由 80km/h 提高至 140km/h 后,机车车辆对道岔的冲击影响.

1 基本概念与基本假设

道岔是机车车辆从一股轨道转入或越过另一股轨道时必不可少的线路设备,是铁路轨道的一个重要组成部分,它直接关系到铁路运输的效率和行车安全.根据用途和形状,道岔可分为普通单开道岔、单式对称道岔、三开道岔和交分道岔等.单开道岔使用最为普遍,占各类道岔总数的 90% 以上^[1].为此在以下的讨论中,以 60kg/m 轨 12 号整涛辙叉为例.

为了研究机车车辆对道岔的冲击作用,首先让我们分析轮对从翼轨向辙叉又心滚动过程.由于车轮实际滚动圆半径 r 是处于不断变化状态,车轮重心的运动轨迹是一条不平顺直线,见图 1^[2].如果辙叉沿长度方向具有不均匀的磨耗,或者车轮存在严重的踏面磨耗,车轮重心的运动轨迹更是一条不规则的曲线.车轮沿着不平顺轨面运行时,将引起附加的冲击力.从理论上讲,由于车轮实际滚动圆半径 r 不同而引起机车车辆对道岔的附加冲击可以通过增加翼轨顶面的标高来消除.但对于辙叉具有不均匀垂直磨耗、轮对踏面磨耗、以及列车运行过程中的

收稿日期:1995-09-12. 雷晓燕,男,1956年生,教授.

* 铁道部科技发展计划项目

蛇行运动而引起的附加冲击则很难通过改变翼轨和辙叉的纵向断面来解决. 而这些不利因素又总是存在的, 因而轮对在从翼轨过渡到辙叉的过程中不可避免地要产生冲击.

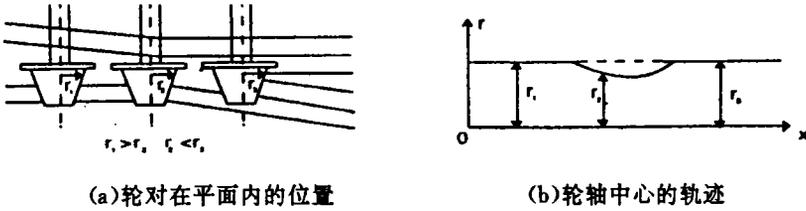


图 1

当轮对逆岔运行时, 轮对将冲击辙叉; 轮对顺岔前进时, 轮对将冲击翼轨. 在这种冲击荷载的反复作用下, 辙叉和翼轨垂直磨耗将大大加剧. 使得轮对中心的运动轨迹接近图 2 所示的形状. 为了简化计算, 将轮对冲击道岔模型选取如图 3.



图 2 轮对经过具有垂直磨耗道岔时的运动轨迹

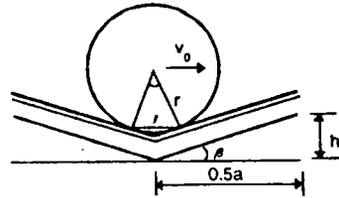


图 3 轮对冲击道岔模型

当轮对以速度 v_0 通过道岔时, 轮对以 A 点为速度瞬心冲击 B 点

$$v_B = \frac{v_0}{r} l = 2\beta v_0 \approx \frac{4h v_0}{a} \tag{1}$$

其中 h 为辙叉垂直磨耗; r 为轮对半径; a 为轨枕间距.

其垂直速度分量为

$$v_n = v_B \cos \beta \approx v_B \tag{2}$$

2 轮轨冲击力计算方法

由于车轮的振动加速度比车体的振动加速度要大的多, 车体振动对轮轨相互作用的冲击力的影响是可以忽略不计的. 轮轨冲击力计算模型见图 4

由图 4 可建立轮轨相互作用动力学方程

$$m_H \ddot{z}_H = Q_B + Q_H - P, \tag{3}$$

$$m_P \ddot{z}_P = Q_P + P, \tag{4}$$

其中, z_H 和 z_P 分别为轮对中心和钢轨的垂向位移; m_H 、 m_P 分别为轮对和钢轨的当量质量; Q_B 、 Q_H 和 Q_P 分别为车辆、轮对和钢轨的当量重量; P 为轮轨接触力. 钢轨的当量质量可按下式计算⁽³⁾

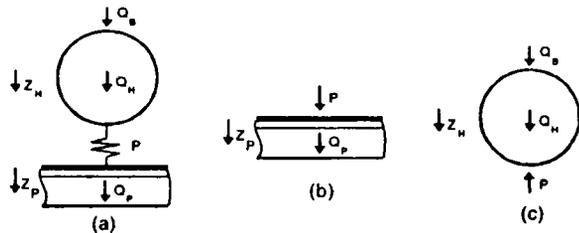


图 4 轮对相互作用计算简图

$$m_p = m_d + \frac{m_i}{4a} \quad (5)$$

式中, m_d 为每米道岔质量; m_i 为半根轨枕的质量.

将(4)减去(3),则有

$$\frac{d}{dt}(\dot{z}_H - z\dot{z}_P) = -\frac{P}{\epsilon} + A \quad (6)$$

其中

$$\epsilon = \frac{m_H m_P}{m_H + m_P}, \quad A = \frac{Q_B + Q_H}{m_H} - \frac{Q_P}{m_P}.$$

由于弹性力学的赫兹理论得知

$$P = n\alpha^{3/2} \quad (7)$$

其中, $\alpha = z_H - z_P$, 为轮轨接触相互压缩的距离, 单位为 mm; n 按照赫兹理论推导出来的常数, 为简化计算, 假设轮轨为两个相互垂直的圆柱体接触. 我国现行钢轨顶面圆弧半径是 300mm, 车轮直径 $D = 840\text{mm}$, $n = 2.85 \times 10^6 \text{N/mm}^{3/2}$; $D = 915\text{mm}$ 时, $n = 2.89 \times 10^6 \text{N/mm}^{3/2}$.

将式(7)代入式(6), 得到

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -n\epsilon^{-1}\alpha^{3/2} + A, \quad (8)$$

上式可改写成

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \left[\left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 \right] dt = (-n\epsilon^{-1}\alpha^{3/2} + A)d\alpha, \quad (9)$$

$$\text{积分得} \quad \frac{1}{2} \left[\left(\frac{d\alpha}{dt} \right)^2 - v_n^2 \right] = -\frac{2}{5} n\epsilon^{-1}\alpha^{5/2} + A\alpha. \quad (10)$$

当轮轨碰撞达到最大压缩 α_{\max} 时, 相对速度为零, 即 $\frac{d\alpha}{dt} = 0$. 这时式(10)变成

$$\frac{4}{5} n\epsilon^{-1}\alpha_{\max}^{5/2} - 2A\alpha_{\max} - v_n^2 = 0. \quad (11)$$

如不考虑 A , 可直接由上式求出 α_{\max}

$$\alpha_{\max} = \left(\frac{5\epsilon V_n^2}{4n} \right)^{2/5}. \quad (12)$$

如考虑 A , 式(11)可用迭代法求解, 迭代公式为

$$\alpha_{\max} = \left(\frac{2A\alpha_{\max} + v_n^2}{\frac{4n}{5\epsilon}} \right)^{2/5}. \quad (13)$$

计算时, 可选择式(12)的 α_{\max} 作为初值, 迭代后获得收敛的解. 需要指出的是 A 对 α_{\max} 的影响甚微, 实际应用时, 只要用式(12)便可得到足够准确的结果.

一旦获得 α_{\max} , 即可运用式(7)求得最大的轮轨接触力

$$P_{\max} = n\alpha_{\max}^{3/2}. \quad (14)$$

如果在式(10)中不计 A 的影响, 则可写成

$$dt = \frac{d\alpha}{\sqrt{v_n^2 - \frac{4n}{5\epsilon}\alpha^{5/2}}}, \quad (15)$$

对上式积分, 即可求得对应于发生最大相对变形所需要的时间 t_* 为

$$\int_0^{t_s} dt = \int_0^{\alpha_{\max}} \frac{d\alpha}{\sqrt{v_n^2 - \frac{4n}{5\epsilon} \alpha^{5/2}}}, \quad (16)$$

积分后得到

$$t_s = 1.47 \frac{\alpha_{\max}}{v_n}. \quad (17)$$

3 时速 140km/h 列车对道岔冲击作用分析

利用上述介绍的公式(1)、(2)、(12)、(14)和(16),即可进行轮轨相互冲击作用分析.基本数据如下: $v_0 = 140\text{km/h}$,车轮半径 $r = 420\text{mm}$,单轮质量 $m_H = 500\text{kg}$,60钢轨质量 $m_r = 60\text{kg/m}$,半根 81 型轨枕质量 $m_s = 125\text{kg}$,轨枕间距 $a = 0.5\text{m}$, $n = 2.85 \times 10^6\text{N/mm}^{3/2}$,道岔质量 $m_d = 190.38\text{kg/m}$.

计算中考虑三种工况:

工况 1 辙叉垂直磨耗对道岔冲击影响.考虑辙叉垂直磨耗分别为 1、2、3、4、5、6mm 6 种情况;

工况 2 不同列车速度对道岔的冲击影响.考虑列车速度 v_0 分别为 80、100、120、140、160km/h 5 种情况;

工况 3 不同辙叉质量对道岔的冲击影响.考虑 $m_d = m_r, 2m_r, 3m_r, 4m_r, 5m_r, 6m_r$ (m_r 为 60kg/m 钢轨) 6 种情况.

计算结果分别见表 1、2、3.图 5、6、7 分别表示辙叉垂直磨耗 h 、列车速度 v_0 及道岔质量 m_d 变化时对道岔冲击力的影响.

从上述计算可得到如下规律:

(1) 轮轨冲击力随着辙叉垂直磨耗的增加而增加,见图 5;

表 1 $v_0 = 140\text{km/h}$ $m_d = 190\text{kg/m}$ 辙叉垂直磨耗对道岔的冲击影响

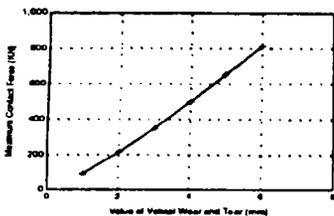
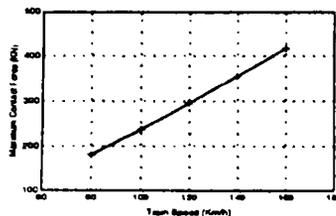
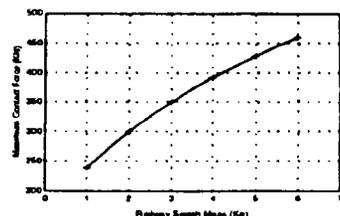
辙叉垂直磨耗 $h(\text{mm})$	轮轨最大相对位移 $\alpha_{\max}(\text{mm})$	轮轨最大接触力 $P_{\max}(\text{kN})$	发生最大接触力 时间 $t(\text{ms})$
1			
2	0.104	95	0.49
3	0.181	219	0.43
4	0.250	356	0.39
5	0.315	503	0.37
6	0.376	658	0.35
	0.435	819	0.34

表2 $h = 3\text{mm}$ $m_d = 190\text{kg/m}$ 列车速度 v_0 对道岔的冲击影响

列车速度 v_0 km/h	轮轨最大相对位移 a_{\max} (mm)	轮轨最大接触力 P_{\max} (kN)	发生最大接触力 时间 t (ms)
80	0.16	182	0.44
100	0.191	238	0.42
120	0.221	296	0.41
140	0.250	357	0.39
160	0.278	419	0.38

表3 $v_0 = 140\text{km/h}$ $h = 3\text{mm}$ 道岔质量对道岔的冲击影响

道岔质量 m_d kg	轮轨最大相对位移 a_{\max} (mm)	轮轨最大接触力 P_{\max} (kN)	发生最大接触力 时间 t (ms)
m_r	0.191	239	0.30
$2m_r$	0.223	300	0.35
$3m_r$	0.246	349	0.39
$4m_r$	0.266	391	0.42
$5m_r$	0.282	427	0.44
$6m_r$	0.296	459	0.47

图5 辙叉垂直磨耗 h 对道岔冲击力的影响图6 列车速度 v_0 对道岔冲击力的影响图7 辙叉质量 m_d 对道岔冲击力的影响

- (2) 轮轨冲击力几乎正比于列车通过道岔速度 v_0 , 见图6;
- (3) 随着道岔质量的增加, 轮轨冲击力也增大, 开始时增加较快, 以后渐趋饱和, 见图7;
- (4) 轮对质量 m_H 对轮轨冲击力的影响不大;
- (5) 车辆重量 Q_B 对轮轨冲击力的影响甚微, 可略去不计。

由此可见, 在列车速度不变的条件下, 为了减小小轮轨冲击力, 应限制辙叉允许磨耗。根据《规范》, 对列车速度为 80km/h 的普通线路, 辙叉容许垂直磨耗为 6mm 。当速度提高至 140km/h 后, 按表1, 辙叉垂直磨耗为 6mm 时, 最大冲击力为 819kN 。根据英国铁路关于轮轨接触力许用值的规定, 磨耗形踏面机车轮的许用轮轨接触力为 510kN , 磨耗形踏面货车轮的许用

接触力为 425kN。目前英国铁路对上述轮轨许用接触力限制有所放松,例如重新规定机车轮许用轮轨接触力的最大值可达 760kN。根据我国的实际情况,当速度提高至 140km/h 后,现有干线上的道岔仍可适用,但应将辙叉容许垂直磨损限制在 4mm 以内。同时我们还看到,减小道岔的质量能有效地减小轮轨冲击力。因此在保证道岔具有足够强度的条件下,应尽量减小道岔的质量。

参 考 文 献

- 1 童大坝主编. 铁路轨道. 北京:中国铁道出版社,1990. 193 ~ 218
- 2 王福天等译. 铁路车辆动力学. 北京:中国铁道出版社,1986. 32 ~ 43
- 3 Kerr A D. 轨道力学及轨道工程(中译本). 1985. 302 ~ 332
- 4 许实儒. 重载铁路线路结构与养护. 北京:中国铁道出版社. 1992. 116 ~ 123
- 5 张定贤等. 由钢轨接头等一类离散不平顺引起的轮轨间的非稳定垂向动力学效应. 北京:中国铁道出版社,1992. 106 ~ 116

Impact Effects of the Train with Speed of 140km/h on Railway Switch

Lei Xiaoyan

Gun Tianbao

(Department of Civil Engineering)

(Bureau of Shanghai Railway)

Abstract

The interaction mechanism of the train with the railway switch on passing through the truck is studied and the simplified computational model is established in the paper. Based on the discussion, the impact effects of the train with speed of 140km/h on railway switch is analyzed by using calculational method for wheel/rail impact force. In light of the computation, the tolerated vertical wear and tear for railway switch is suggested to be 4mm in the case of the train speed increased to 140km/h.

Key words Railway switch; Impact