

文章编号:1005-0523(2018)05-0009-08

编组方式对驼峰下道岔区脱轨系数的影响

乔雨¹,许玉德¹,孙小辉²,邱俊兴¹

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804; 2. 比亚迪汽车工业有限公司,广东 深圳 518118)

摘要:驼峰调车利用车辆重力进行溜放式调车作业,是调车作业的常用方式,但驼峰下道岔区车辆脱轨事故时有发生。文章设计了现场试验,测试了驼峰调车场下6#道岔在晴天多勾溜放、雨天摩擦控制多勾溜放、雨天摩擦控制整列溜放3种工况下的横向力与垂向力,分析了编组方式对驼峰下道岔区车辆脱轨系数的影响。结果表明,空车比重车脱轨系数高12%左右,空重车混编顺序对空重车影响不同,能够小幅影响重车脱轨系数,重车在前空车在后的编组方式能在雨天摩擦控制情况下使空车脱轨系数降低16%,应根据不同工况选择空重混编顺序,整列溜放会大幅提高车辆的脱轨系数,重车平均提高41%,空车平均提高38%,应避免长编组溜放方式,为保证车辆安全及调车效率,建议每次溜放8辆车,在日常养修作业中,应重点关注道岔曲线外轨和尖轨区。

关键词:驼峰调车;编组方式;脱轨系数;现场试验

中图分类号:U216.4

文献标志码:A

驼峰调车是在驼峰上进行列车解体的调车作业,必要时也协助峰尾牵出线进行编组作业。驼峰解体列车由4个环节组成:挂车,推峰,溜放,整理车场。机车去到达场连挂车列,将车列牵引至峰前推送线,然后机车将车列推至峰顶,继续推送车列,使被摘解的车组脱钩溜向调车场内的指定线路,在连续解体几个车列以后,机车下峰连挂车组并尽可能向尾部推送,为驼峰继续溜放创造条件。为缩短咽喉区、平衡各股道有效长度,驼峰调车场常采用小号码道岔(我国常采用6#道岔),但驼峰下小号码道岔区脱轨事故时有发生,为保证调车安全及效率,有必要对编组方式对驼峰下道岔区车辆脱轨系数影响进行研究。

列车编组数量的增加使得编组方式多变,空重车混编成为常见的列车编组方式,有研究表明:空重车辆混编对脱轨系数及轮重减载率有影响,改善重车辆编组可以调高列车脱轨安全性^[1-3]。列车通过曲线轨道时,由于列车前后车辆处于曲线的不同位置,车钩会对相邻两车一个横向的分力,会对列车曲线运行安全性产生较大影响^[4],所以对于不同线性,空重车辆混编的行车安全性及动力性能不尽相同^[5-10]。空重车辆不同编组方式对车钩最大压缩力有着不同程度的影响,以此来优化空重车辆的编组方式^[11-13]。但是对驼峰下道岔区的空重混编通过方式的安全性研究较少,因此有必要对空重混编列车驼峰下道岔区通过安全性能的影响进行深入分析。

本文以芜湖某驼峰调车场发生的货物列车脱轨事故为研究背景,设计了现场试验,在晴天多勾溜放、雨天摩擦控制多勾溜放、雨天摩擦控制整列溜放3种工况下溜放车辆,测试3种工况下车辆经过道岔区时的轮轨横向力与垂向力,分析编组方式对驼峰下道岔区车辆脱轨系数的影响。

收稿日期:2018-04-13

基金项目:国家自然科学基金项目(51678445)

作者简介:乔雨(1994—),男,硕士研究生,研究方向为轨道管理与轨道养修技术。

通讯作者:许玉德(1965—),男,教授,博士,研究方向为轨道管理与轨道养修技术。

1 试验设计

芜湖某驼峰调车场 6# 道岔处多次发生货物列车脱轨事故,该处道床为碎石有砟道床,道岔型号为 50 kg/m 钢轨 6 号混凝土枕双开对称道岔,全长 17.457 m,尖轨为 AT 型尖轨,尖轨长 4.6 m,基本轨长 7.695 m,该 6# 道岔与 180 m 圆曲线直接相连,线路条件较差。为探究事故原因,将此道岔区作为试验区,使列车通过 13 号股道。测试设置了 3 个断面,断面 1 位于出道岔位置,断面 2 位于尖轨尖端后 60 cm 处,断面 3 位于道岔前第一跨枕之间。该道岔区及测点示意图如图 1 所示,现场测点及传感器布置如图 2 所示。

试验主要对轮对通过测点时在钢轨上产生的横向力和垂向力进行采集,在钢轨轨腰位置对称贴片,采用全桥的测试方法。

测试前,在钢轨上施加一定的标定荷载,垂向力采用机车施加,横向力采用千斤顶施加,读出标定荷载下输出的信号值,即为标定值。

试验列车设计为 6 钩 37 辆,第 1 钩、第 6 钩均为空车,第 2、第 3、第 4、第 5 钩采取空重混编,列车编组信息如表 1 所示。

表 1 测试车辆编组信息表
Tab.1 Test vehicle marshalling information

钩序	车辆载重/t	车辆自重/t	总重/t	类别	车辆数/辆
第 1 钩	0	22.2	22.2	空车	3
第 2 钩	70	23.8	93.8	重车	2
	0	23.8	23.8	空车	1
第 3 钩	0	23.3	23.3	空车	2
	70	23.3	93.3	重车	1
第 4 钩	61	22.5	83.5	重车	4
	0	22.5	22.5	空车	4
第 5 钩	0	22.5	22.5	空车	4
	61	22.5	83.5	重车	4
第 6 钩	0	22.5	22.5	空车	12

试验分为晴天多钩溜放、雨天摩擦控制多钩溜放、雨天摩擦控制整列溜放 3 种工况,试验时间与试验环境如表 2 所示。在 3 种工况下分别溜放测试车辆,采集轮对经过 5 个测点时的横向力和垂向力。

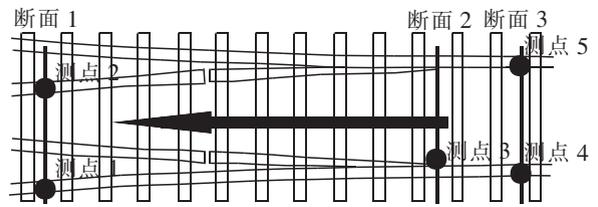


图 1 道岔区及测点示意图

Fig.1 Diagrammatic sketch of turnout and measurement points



图 2 现场测点及传感器布置图

Fig.2 Site measurement points and sensor layout

表 2 试验时间与环境
Tab.2 Test time and environment

工况	试验时间	试验环境	溜放方式
工况 1	10 月 19 日 11:51	晴	多勾溜放
工况 2	10 月 20 日 13:42	雨、摩擦控制	多勾溜放
工况 3	10 月 20 日 15:13	雨、摩擦控制	整列溜放

2 空重车对脱轨系数的影响

溜放测试车辆后,各轮对对经过测点时,传感器会产生一个横向力与垂向力的峰值。车辆在通过曲线过程中,转向架的第 1 轮对为主动轮,其贴靠钢轨轨距角位置运动,第 2 轮对为从动轮,贴靠钢轨顶面左右摇摆,其动力特征有一定的随机性,而脱轨通常是前轴轮对(第 1,3 轮对)通过时爬轨导致的,所以对前轴轮对进行重点分析,对 37 辆车的 74 个前轴轮对按 1-74 依次进行编号,一个轮对号对应一个横向力及垂向力测量值。转向架轮对示意图如图 3 所示,3 种工况下各测点处 74 个前轴轮对的轮轨横向力如图 4 所示。

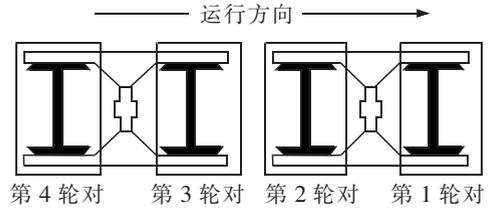
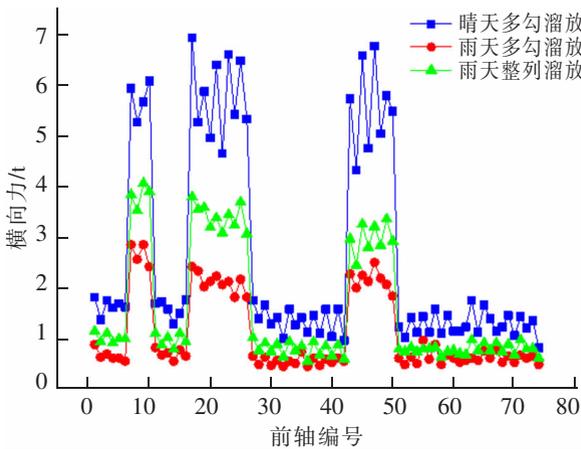
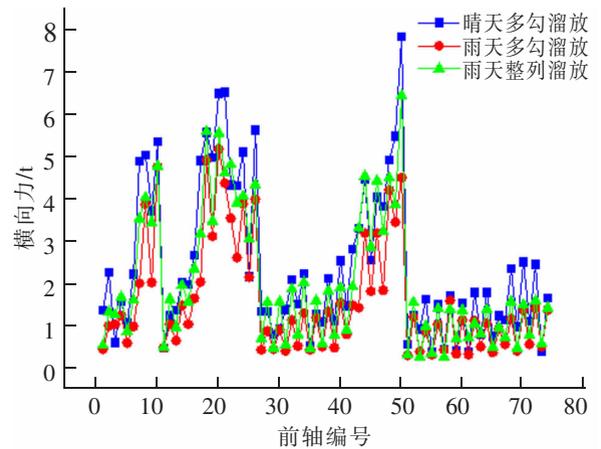


图 3 转向架轮对示意图

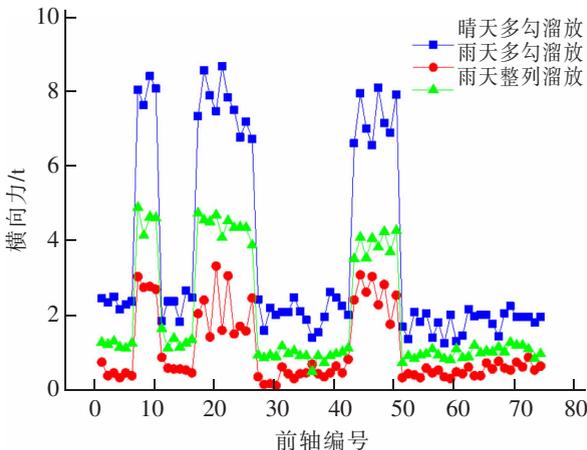
Fig.3 Diagrammatic sketch of bogie wheel pair



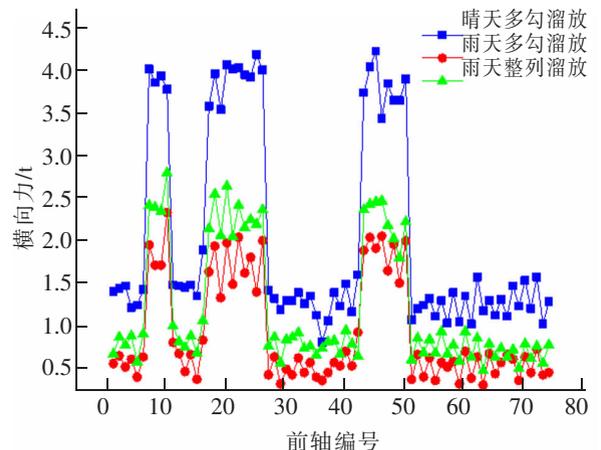
(a) 测点 1 处横向力



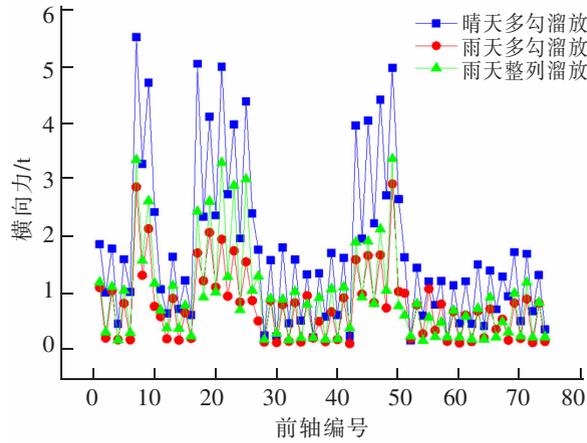
(b) 测点 2 处横向力



(c) 测点 3 处横向力



(d) 测点 4 处横向力



(e) 测点 5 处横向力

图 4 各测点横向力

Fig.4 Lateral force of each measuring point

可以看到,图 4 均出现 3 个峰值,3 个峰值对应的为重车轮对,其余为空车轮对。而空重车辆的横向力差异较大,没有可比性,所以只对其拖轨系数进行对比。

脱轨系数作为评定车轮脱轨稳定性的指标,是作用在轮对上的横向力与垂向力之比。我国制定的防止脱轨稳定性的评定标准如表 3 所示,其中第 1 限度为合格标准,第 2 限度为增大了安全系数的标准。

表 3 防止脱轨稳定性评定标准

Tab.3 Evaluation criteria for preventing derailment stability

限度	第 1 限度	第 2 限度
脱轨系数	≤ 1.2	≤ 1.0

为定量对比空重车在各测点 3 种工况下的脱轨系数,将重车前轴、空车前轴在各测点处 3 种工况下的脱轨系数列表,如表 4 所示。

表 4 重车相对空车脱轨系数降幅

Tab.4 Decrease of the derailment coefficient of the heavy vehicle relative to the empty vehicle

测点	晴天多勾溜放	雨天多勾溜放	雨天整列溜放	均值
1(曲线内轨)	5.1	10.3	10.0	8.4
2(曲线外轨)	5.7	-1.0	-3.1	0.4
3(直股尖轨)	11.3	14.9	10.0	12.3
4(直线内轨)	21.9	20.1	25.0	22.4
5(直线外轨)	13.8	24.6	17.0	18.5
均值	11.6	13.7	11.9	12.4

从表 4 可以看出,除雨天多勾溜放及雨天整列溜放的测点 2(曲线外轨)处外,各测点处重车脱轨系数均小于空车,晴天多勾溜放情况下,重车脱轨系数较空车平均减小 11.6%,雨天多勾溜放情况下,重车脱轨系数较空车降幅最大,平均减小 13.7%,雨天整列溜放情况下,重车脱轨系数较空车平均下降 11.9%,总体来看,重车脱轨系数比空车小 12.4%。

从各测点对比来看,测点 4(直线内轨)、测点 5(直线外轨)处重车脱轨系数降幅最大,分别为 22.4%和 18.5%,测点 3(直股轨尖)次之,降幅为 12.3%,测点 1(曲线内轨)、测点 2(曲线外轨)降幅最小,分别为 8.4%

和0.4%,可以看出测点2(曲线外轨)处对空重车变化并不敏感。从内外轨对比来看,对于空重车辆脱轨系数,内轨重车相对空车脱轨系数的降幅要大于外轨。

3 空重车混编顺序对横向力及脱轨系数的影响

3.1 空重车混编顺序对横向力的影响

为分析空重车混编顺序对横向力的影响,绘制晴天多勾溜放、雨天多勾溜放两种工况下重车前轴、空车前轴在各测点处的横向力对比数据如表5所示。

由图4可知,晴天多勾溜放情况下,除测点2(曲线外轨)处空车前轴横向力外,重车在前空车在后的编组方式的横向力均大于空车在前重车在后的编组方式,但两者差距不大;雨天多勾溜放情况下,除测点2(曲线外轨)处重车前轴横向力外,重车在前空车在后的编组方式的横向力均小于空车在前重车在后的编组方式,两者差距大于晴天多勾溜放情况。无论是哪种工况,测点2(曲线外轨)处的横向力均出现了与其他测点规律不一致的情况,说明测点2(曲线外轨)是道岔区受力最复杂的区域;而测点3(直股尖轨)处的横向力均保持一个较高的水平,重空车情况下最大值分别达到7.86,2.49 t,说明测点3(直股尖轨)是道岔区的薄弱环节。

表5 重车在后相对重车在前横向力增幅

Tab.5 Increase of the lateral force of the heavy vehicle in the front relative to the heavy vehicle at the back %

测点	晴天多勾溜放		雨天多勾溜放	
	重车	空车	重车	空车
1(曲线内轨)	-2.7	-9.7	5.3	5.3
2(曲线外轨)	-7.9	11.2	-18.2	29.5
3(直股尖轨)	-2.9	-4.2	19.9	31.5
4(直线内轨)	-3.7	-5.5	9.0	10.1
5(直线外轨)	0	-6.7	3.2	3.7
均值	-3.5	-2.9	3.8	16.0

从表5可以看出,晴天多勾溜放情况下,重车在后空车在前相对于重车在前空车在后的编组方式各测点前轴横向力是降低的,但是降幅很小,重车平均降幅为3.5%,空车平均降幅为2.9%,说明在晴天多勾溜放情况下重车在后空车在前的编组方式能够略微降低轮对横向力;雨天多勾溜放情况下,重车在后空车在前相对于重车在前空车在后的编组方式各测点前轴横向力是增加的,增幅相对较大,重车平均增幅为3.8%,空车平均增幅为16%,说明重车在前空车在后的编组方式在雨天摩擦控制多勾溜放情况下可以略微改善重车轮对横向力,有效地改善空车轮对横向力。

3.2 空重车混编顺序对脱轨系数的影响

为分析空重车混编顺序对脱轨系数的影响,绘制晴天多勾溜放、雨天多勾溜放两种工况下重车前轴、空车前轴在各测点处的脱轨对比数据如表6所示。

由图4可知,晴天多勾溜放情况下,对重车来说,除测点2(曲线外轨)处外,重车在前空车在后的编组方式的脱轨系数均小于空车在前重车在后的编组方式,但两者差距很小,对空车来说,除测点2(曲线外轨)处外,重车在前空车在后的编组方式的脱轨系数均大于空车在前重车在后的编组方式,两者差距比重车稍大;雨天多勾溜放情况下,除测点2(曲线外轨)处外,重车在前空车在后的编组方式的脱轨系数均小于空车在前重车在后的编组方式,两者差距大于晴天多勾溜放情况。无论是哪种工况,测点2(曲线外轨)处的脱轨系数均出现了与其他测点规律不一致的情况,同样说明测点2(曲线外轨)是道岔区受力最复杂的区域;而测点3(直股尖轨)处的脱轨系数均保持一个较高的水平,重空车情况下最大值分别达到0.96,1.08,同样说明测点3(直股尖轨)是道岔区的薄弱环节。

表6 重车在后相对重车在前脱轨系数增幅

Tab.6 Increase of the derailment coefficient of the heavy vehicle in the front relative to the heavy vehicle at the back %

测点	晴天多勾溜放		雨天多勾溜放	
	重车	空车	重车	空车
1(曲线内轨)	1.3	-4.0	5.0	14.7
2(曲线外轨)	-2.0	6.8	-11.5	26.3
3(直股尖轨)	1.9	-2.8	23.6	22.8
4(直线内轨)	1.0	-6.4	8.5	10.8
5(直线外轨)	1.9	-5.6	3.9	5.2
均值	0.8	-2.4	5.9	16.0

从表6可以看出,晴天多勾溜放情况下,对重车来说,重车在前空车在后的编组方式能略微降低其脱轨系数,但影响很小,平均降幅为0.8%,而对空车来说,重车在前空车在后的编组方式会提高其脱轨系数,平均增幅为2.4%,说明在晴天多勾溜放情况下空重车混编顺序对空车和重车脱轨系数的影响不一致,重车在前空车在后的编组方式能够略微降低重车脱轨系数,但会提高空车脱轨系数;雨天多勾溜放情况下,重车在后空车在前相对于重车在前空车在后的编组方式各测点前轴脱轨系数是增加的,增幅相对较大,重车平均增幅为5.9%,空车平均增幅为16%,说明重车在前空车在后的编组方式在雨天摩擦控制多勾溜放情况下可以略微降低重车轮对脱轨系数,有效地降低空车轮对脱轨系数。总体来看,空重车混编顺序对空车脱轨系数的影响大于重车。

4 整列溜放对横向力及脱轨系数的影响

4.1 整列溜放对横向力的影响

为分析整列溜放对横向力的影响,绘制雨天多勾溜放、雨天整列溜放两种工况下重车前轴、空车前轴在各测点处的横向力对比数据如表7所示。

由图4可知,多勾溜放情况下,测点2(曲线外轨)处重车前轴横向力最大,达到3.26 t,测点3(直股尖轨)处空车前轴横向力最大,为0.86 t;整列溜放情况下,测点3(直股尖轨)处重车空车前轴横向力均达到最大值,分别为4.62,1.40 t,说明曲线外轨和直股尖轨是道岔区的薄弱环节。两种工况对比来看,整列溜放会大幅提高各测点的横向力。

表7 整列溜放相对多勾溜放横向力增幅

Tab.7 Increase of the horizontal force of the whole row relative to multiple hooks %

测点	重车	空车
1(曲线内轨)	49.2	35.6
2(曲线外轨)	27.2	31.0
3(直股尖轨)	66.7	62.5
4(直线内轨)	24.9	31.3
5(直线外轨)	25.6	15.3
均值	38.7	35.2

从表7可以看出,无论空重车,整列溜放都会大幅提高各测点横向力,增幅在测点3(直股轨尖)均达到了最大值,分别为66.7%和62.5%,曲线增幅次之,直线增幅最小,说明整列溜放对于尖轨区的影响大于道岔其他区域。空重车对比来看,整列溜放均会明显提高轮对横向力,重车增幅为38.7%,空车增幅为35.2%。内外轨对比来看,内轨横向力增幅要大于外轨。

4.2 整列溜放对脱轨系数的影响

为分析整列溜放对脱轨系数的影响,绘制雨天多勾溜放、雨天整列溜放两种工况下重车前轴、空车前轴在各测点处的脱轨系数对比数据如表 8 所示。

由图 4 可知,多勾溜放情况下,测点 3(直股尖轨)处重车空车前轴脱轨系数均达到最大,分别为 0.35,0.41;整列溜放情况下,同样在测点 3(直股尖轨)处重车空车前轴脱轨系数达到最大值,分别为 0.58,0.64,同样说明直股尖轨是道岔区的薄弱环节。两种工况对比来看,整列溜放会大幅提高各测点的脱轨系数。

表 8 整列溜放相对多勾溜放脱轨系数增幅

Tab.8 Increase of the derailment coefficient of the whole row relative to multiple hooks

%

测点	重车	空车
1(曲线内轨)	41.7	41.3
2(曲线外轨)	33.7	31.3
3(直股尖轨)	66.6	58.9
4(直线内轨)	27.9	36.3
5(直线外轨)	34.8	22.5
均值	41.0	38.0

从表 8 可以看出,无论空重车,整列溜放都会大幅提高各测点脱轨系数,增幅在测点 3(直股轨尖)均达到了最大值,分别为 66.6%和 58.95%,曲线增幅次之,直线增幅最小,说明尖轨区受整列溜放影响大于道岔其他区域。空重车对比来看,整列溜放均会明显提高列车脱轨系数,重车增幅为 41.0%,空车增幅为 38.0%,为保证车辆安全及调车效率,建议每次溜放 8 辆车。内外轨对比来看,内轨脱轨系数增幅要大于外轨。

5 结论

为研究编组方式对驼峰下道岔区脱轨系数的影响,设计了现场试验,测试了驼峰下道岔区钢轨在晴天多勾溜放、雨天摩擦控制多勾溜放、雨天摩擦控制整列溜放 3 种工况下,车辆通过 6 个测点时钢轨的横向力及垂向力,通过分析实验数据发现:

1) 空车比重车脱轨系数高 12%左右,直线区段对空重车敏感性最高,尖轨区段次之,曲线区段最小,内轨对空重车敏感性大于外轨;

2) 空重车混编顺序对道岔区轮轨横向力和脱轨系数的影响随天气和摩擦控制条件变化,晴天情况下,空车在前重车在后相对于重车在前空车在后的编组方式能小幅降低轮轨横向力,重车平均降低 3.5%,空车平均降低 2.9%,脱轨系数重车平均提高 0.8%,空车平均降低 2.4%;雨天摩擦控制情况下,重车在前空车在后相对于空车在前重车在后的编组方式能小幅降低重车的轮轨横向力和脱轨系数,横向力平均降低 3.8%,脱轨系数平均降低 5.9%,大幅降低空车的轮轨横向力和脱轨系数,降幅均为 16%,建议根据不同工况选择不同编组方式。

3) 整列溜放会大幅提高道岔区轮轨横向力和脱轨系数,横向力方面,重车提高 38.7%,空车提高 35.2%,脱轨系数方面,重车提高 41%,空车提高 38%,为保证车辆安全及调车效率,建议每次溜放 8 辆车,尖轨区段对整列溜放敏感性最高,曲线区段次之,直线区段最小,内轨对整列溜放敏感性大于外轨,建议避免长编组溜放方式;

4) 曲线外轨受力情况最为复杂,尖轨区的轮轨横向力和脱轨系数显著大于道岔其他位置,在日常养修作业中,应重点关注道岔尖轨区和曲线外轨。

参考文献:

- [1] 向俊,曾庆元. 轻重车辆混编对列车脱轨安全性的影响分析[J]. 长沙铁道学院学报,2002(3):1-6.
- [2] 王新锐,姜成,张生立,等. 27 t轴重重载货车混编列车运行安全试验性研究[J]. 铁道车辆,2015,53(12):20-25.
- [3] ZENG QINGYUAN, LOU PING, XIANG JUN. The principle of total potential energy with stationary value in elastic system dynamics and its vibration analysis[C]/Song Jian, Zhou Ganshi, Chinese Academy of Engineering. Proceedings of International Conference on Engineering and Technological Science 2000, Beijing: Science Press, 2000.
- [4] 魏伟,王强. 坡道上重载列车纵向冲动研究[J]. 振动与冲击,2014,33(5):143-148.
- [5] 唐永康. 朔黄铁路不同列车编组条件下线路动态试验[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2013,26(S1):40-42.
- [6] 田光荣,张卫华,池茂儒,等. 列车混编对曲线通过安全性的影响分析[J]. 铁道机车车辆,2010,30(3):5-9.
- [7] 马卫华,王自力. 缓和曲线长度对2C0轴式机车曲线通过性能的影响[J]. 内燃机车,2005(7):16-18.
- [8] 王雄健. 宁东矿区铁路专用线工程地质选线研究[J]. 华东交通大学学报,2018,35(2):9-15.
- [9] 曲铭,许玉德. 基于小波的列车加速度和轨道不平顺关系分析[J]. 华东交通大学学报,2008,25(5):36-41.
- [10] 李伟. 基于有限-无限元法的CRTSⅢ板式无砟轨道系统动力参数敏感度分析[J]. 华东交通大学学报,2017,34(3):27-33.
- [11] 梁杰,米彩盈,王军平. 空重车混合编组方式对重载列车纵向力的影响[J]. 机械工程与自动化,2013(6):36-38.
- [12] 郭刚,常崇义,王俊彪,等. 不同轴重货物列车编组方案的计算分析[J]. 铁道机车车辆,2014,34(5):12-16.
- [13] 陈建黎,池茂儒,朱旻昊,等. 机车编组方式对列车纵向冲动的影响[J]. 内燃机车,2012(11):23-28.

Influence of Marshalling Mode on Derailment Coefficient at the Turnout of Hump Yard

Qiao Yu¹, Xu Yude¹, Sun Xiaohui², Qiu Junxing¹

(1.Key Laboratory for Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. BYD Auto Industry Co., Ltd., Shenzhen 518118, China)

Abstract: Hump shunting is a common way of shunting operations by using the gravity of a vehicle to carry out shunting operations, but derailment accidents often happen at the turnout zone of hump yard. In this paper, a test was designed in hump yard. The horizontal force and vertical force of the 6# ballast in the hump yard were tested under the three conditions of the multi-hook slide on the sunny day, the multi-hook slide besides friction control on the rainy day and the entire column slide besides friction control on the rainy day. The influence of marshalling mode on the vehicle derailment coefficient at the turnout zone of hump yard was also analyzed. The research results show that the derailment coefficient of empty vehicles is about 12% higher than that of the load vehicles. The impact of the mixed sequence of empty and load vehicles on empty vehicles and load vehicles are different. The sequence can change the derailment coefficient of load vehicles slightly. The sequence of empty and load vehicles should be selected according to different working conditions. The order of the load vehicles before the empty vehicles can reduce the derailment coefficient of the empty vehicles by 16% under the condition of the friction control on rainy days. The entire column slide mode would greatly improve the derailment coefficient of vehicles. For load vehicles, it is increased by 41%; for empty vehicles, it is increased by 38%. Then, long marshalling should be avoided. To ensure the safety of the vehicle and the efficiency of marshalling, it is recommended that 8 cars should be thrown each time. For daily maintenance work, the high rail and switch rail at the turnout zone should be paid more attention to.

Key words: hump shunting; marshalling mode; derailment coefficient; field test