文章编号：2097-5899(2026)05-0046-06　　**中图分类号**：U294.25　　**文献标识码**：A
DOI：10.16669/j.cnki.issn.2097-5899.202509130001
引用格式：赵强，孙木亮，肖波. 武钢100 m长钢轨装运偏重问题整改实践[J]. 铁路物流，2026，44(5)：46-51.
ZHAO Qiang，SUN Muliang，XIAO Bo. Rectification Practice for Unbalanced Load in Shipment of 100 m Long Steel Rails at WISCO[J]. Railway Logistics，2026，44(5)：46-51.

武钢100 m长钢轨装运偏重问题整改实践

赵　强，孙木亮，肖　波

(武汉钢铁有限公司 运输部，湖北 武汉　430080)

摘　要：为进一步找出武汉钢铁有限公司100 m长钢轨普通平车矩形装运方案偏重的主要原因，保证铁路运输安全，提高运输效率，建立长钢轨装运偏重问题标准化整改方案，通过对100 m长钢轨运输过磅数据和座架垫高情况进行分析，提出“1011垫高法”，解决车辆高差引起的偏重问题；通过对车组端部偏重原因的分析，找出钢轨牌号是长钢轨装运偏重的影响因素，分析钢轨挠度的影响，提出整改方案；将100 m长钢轨装运偏重整改方案整理成标准化作业流程，建立车组偏重风险预警系统，提前对偏重现象预防整改。结果表明，推广“1011垫高法”，武汉钢铁有限公司100 m长钢轨普通平车矩形装运偏重现象大幅减少，为长钢轨装运安全管理提供一定参考。

关键词：100 m长钢轨；矩形装运方案；座架垫高；1011垫高法；钢轨牌号；车组偏重风险预警系统

武汉钢铁有限公司(以下简称“武钢”)自2019年使用100 m长钢轨普通平车矩形装运方案[1]，车辆因偏重返厂整装率(以下简称“返厂率”)在3%～5%左右，2025年初，武钢100 m长钢轨订单激增，同时引起返厂率上升，2月100 m长钢轨返厂率上升到12%。“偏重”是指货物总重心在车地板上的投影位于车地板横中心线一侧，造成同侧转向架承重或两转向架承重差超过限度，有危及行车安全后果的情形，《铁路货物装载加固规则》[2]规定“每个车辆转向架所承受的重量不得超过货车容许载重量的1/2，且两转向架承重差不得大于10 t”。100 m长钢轨偏重运输存在较大行车安全隐患，其返厂处理产生重复运输，钢厂成品库重复装卸作业，影响到100 m长钢轨正常的装车和运输组织。

1　100 m长钢轨矩形装运方案设计分析

1.1　武钢使用的矩形方案

武钢采用《铁路货物装载加固规则》附件1中“100 m长定尺和短尺钢轨(60 kg/m)普通平车矩形装运”方案四来运输100 m长钢轨，该方案最多可装载4层100 m长钢轨，每层装载14根，共计装载56根，每根钢轨重约6 t，总重约339 t；允许100 m长钢轨装载3层，共52根，总重约254 t。矩形方案示意图如图1所示。

1.2　车辆理论承重情况

武钢100 m长钢轨矩形装运方案采用7车跨装，第2，6位车为NX_{70}和NX_{70H}型平集共用车，其他位次为NX_{70A}型平集共用车5辆，每车安装2个座架[3]，座架承载力的计算属于高次超静定问题，当端部车较高时，端部车转向架承重差较大；中部某一车辆较高时，会导致其相邻两车转向架承重差较大；当某一车较低时，也会导致其相邻车转向架承重差增大。考虑车辆高差15 mm和钢轨整体纵向偏移200 mm各种可能的组合工况，理想工况下(车辆等高，钢轨无纵向偏移)车辆转向架承重差在1 t之内，恶劣工况下车辆转向架承重差最高达到7.7 t[4]。

1.3　座架和转向架承重比率

根据座架承重和转向架承重信息[4]，计算理想工况下座架承重同对应转向架承重的比率(座架承重同对应

收稿日期：2025-09-13
基金项目：武汉钢铁有限公司科研项目(K25QSYS158)

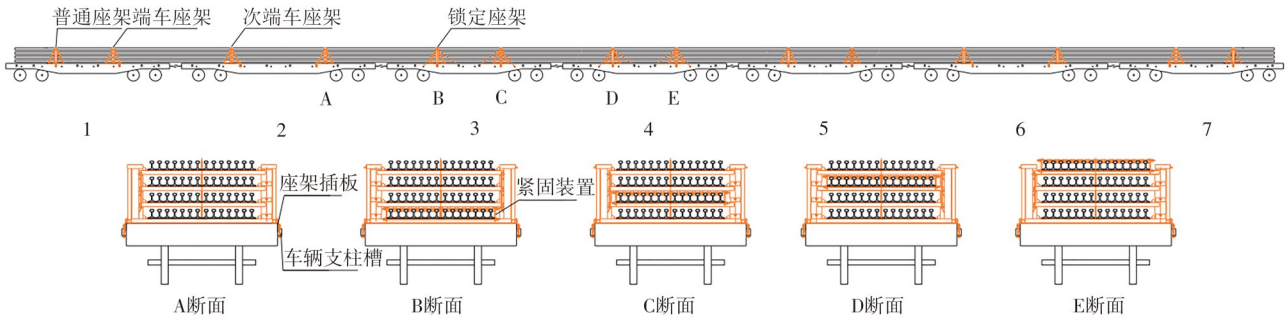


图1　矩形方案示意图

Fig.1　Schematic diagram of rectangular scheme

转向架承重的比率=转向架承重/座架承重)，1号座架承重的变化对转向架承重的影响最大，2号座架承重的变化对转向架承重的影响最小(100 m长钢轨装载时两端基本对称，本研究分析时只表述一端，另一端不再赘述，以下内容相同)。座架和转向架承重比率如表1所示。

1.4　装车后枕簧压缩引起车地板高差变化

100 m长钢轨装车后，相邻车承重有差别，第1车承重最小，第2车承重最大，车辆枕簧压缩量随之变化，进而造成车地板出现高差，理想工况下车辆承重情况如表2所示。

2　武钢100 m长钢轨装运偏重情况分析

2.1　钢轨种类

武钢生产的100 m长钢轨牌号有5种，分别是：U75VH，U75V，U71MnH，U71Mn，U68CuCr。其中，“H”代表在线余热淬火热处理；数字“75”“71”“68”分别对应碳含量，U75V和U75VH碳含量0.71%～0.80%，U71Mn和U71MnH碳含量0.65%～0.80%，U68CuCr碳含量0.62%～0.72%[5]。

2.2　钢轨挠度分析

钢轨的显微组织为珠光体+少量铁素体，珠光体的片层间距越细，钢轨的力学性能越好，碳元素强化铁素体和珠光体组织，碳含量升高会细化珠光体的层片间距；热轧态的珠光体片层间距较大，在线余热淬火热处理后，片层间距得到细化，铁素体与渗碳体变薄，相界面增多，铁素体中位错不易滑动，导致变形抗力增大[6-8]。因此，钢轨的挠度同钢轨化学成分碳含量和热处理工艺相关，钢轨碳含量高时挠度小，经余热淬火热处理的钢轨挠度小。

分析100 m长钢轨矩形装运方案，把2号座架视为支点，挠度大的钢轨端部弯曲下沉量大，1号座架承重就大，挠度小的钢轨相反，钢轨的挠度对车组中间转向架承重影响较小。综上分析，在同一组车装运不同牌号钢轨时，第1车前偏说明此牌号钢轨挠度大，第1车后偏说明此牌号钢轨挠度小。整理12组车125趟次100 m长钢轨端部车辆过磅数据进行分析(同一车组相同牌号钢轨多趟次过磅数据取平均值)，得出结论，武钢生产的5种100 m长钢轨的挠度从小到大依次为U75VH，U71MnH，U75V，U71Mn，U68CuCr，因U68CuCr钢轨产量较小，以U75VH和U71Mn两个牌号钢轨为典型品种进行分析整改。125趟100 m长钢轨端部车辆过磅数据如表3所示。

2.3　钢轨挠度对偏重的影响

钢轨挠度同支点间距密切相关，车组中1号和2号

表1　座架和转向架承重比率

Tab.1　Load-bearing ratio of support frame and bogie

车辆序号	第1车		第2车		第3车		第4车		第5车		第6车		第7车	
座架序号	1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号	9号	10号	11号	12号	13号	14号
座架承重/t	18.82	23.23	29.3	27.81	23.09	23.86	23.65	23.65	23.86	23.09	27.81	29.3	23.23	18.82
转向架承重/t	21.86	21.67	29.81	28.81	24.23	24.66	24.62	24.62	24.43	24	28.81	29.81	21.67	21.86
座架承重同转向架承重的比率	1.16	0.93	1.02	1.04	1.05	1.03	1.04	1.04	1.02	1.04	1.04	1.02	0.93	1.16

表2　理想工况下车辆承重情况　t

Tab.2　Vehicle load-bearing status under ideal operating conditions

车辆序号	第1车	第2车	第3车	第4车	第5车	第6车	第7车
车辆承重	43.53	58.62	48.89	49.24	48.43	58.62	43.53

表3　125趟100 m长钢轨端部车辆过磅数据　t

Tab.3　Weighing data of end vehicles for 100 m long steel rails in 125 trips

车组	钢轨牌号	端部车		车组	钢轨牌号	端部车	
		前偏量	后偏量			前偏量	后偏量
1	U68CuCr	2.81	—	7	U71Mn	4.29	—
	U71Mn	1.19	—		U75V	2.98	—
	U75V	—	1.38		U75VH	—	1.58
	U71MnH	—	3.84	8	U71Mn	0.59	—
	U75VH	—	4.55		U75V	—	1.10
2	U68CuCr	5.40	—		U71MnH	—	1.98
	U71Mn	4.13	—		U75VH	—	3.62
	U75V	2.57	—	9	U71Mn	—	0.23
	U75VH	—	1.71		U75V	—	1.97
3	U68CuCr	3.83	—		U71MnH	—	4.93
	U71Mn	2.67	—		U75VH	—	4.64
	U75VH	—	2.15	10	U68CuCr	2.58	—
4	U71Mn	1.52	—		U71Mn	1.41	—
	U75V	—	1.86		U75V	—	1.63
	U71MnH	—	3.49		U71MnH	—	2.11
	U75VH	—	3.98		U75VH	—	4.68
5	U71Mn	4.75	—	11	U71Mn	1.83	—
	U75V	2.98	—		U75VH	—	3.24
	U75VH	—	5.11	12	U71Mn	1.87	—
6	U71Mn	0.62	—		U75V	—	1.86
	U75V	—	2.84		U71MnH	—	4.08
	U75VH	—	3.64		U75VH	—	5.81

座架间距4.61 m，2号和3号座架间距9.41 m，3号和4号座架间距7.45 m，2号和3号座架间距大导致此段钢轨下沉量大，在杠杆原理作用下引起钢轨同1号、4号座架接触力减小；第2车承重比第1车多，车辆枕簧压缩量大，相应车地板降低，也会加大2号座架承重量。通过以上分析，2号座架对应的车辆转向架承重偏离理想值最多，3号座架对应的车辆转向架次之。

对2025年1—2月期间30组100 m长钢轨返厂车的过磅数据情况进行分析，2号座架对应的第1车后转向架、3号座架对应的第2车前转向架偏重现象严重，同上述理论分析吻合。2025年1—2月期间100 m长钢轨偏重情况统计如表4所示。

3　解决100 m长钢轨运输偏重返厂的措施

3.1　控制相邻座架底面高度差

新组装100 m车组时，因车源紧张和车辆质量参差不齐，往往相邻车辆、同一车前后端满足不了车地板高差小于15 mm的要求，相邻车地板存在高差是偏重的主要原因，故采用手持式激光测距仪测量待装空车车地板距轨面高度，现场记录并分析车组各车的高差数据，通过木板垫高座架的方式满足装运方案要求。

3.2　力学分析改进座架垫高方式

100 m长钢轨矩形装运方案使用以来，通过在3号、4号座架下增加1层或2层木板方式减少相邻车地板的高差，缓解了车辆偏重现象，但因偏重导致返厂整装问题依然突出。在日常装运中发现，3号座架垫板厚度不够时会造成第1车后转向架偏重，3号座架垫板厚度过高会造成第2车前转向架偏重，偏重现象难以解决。对100 m长钢轨进行多支点力学分析和实践检验，通过垫高1号座架增加1号座架承重量，可同时减少2号、3号座架承重量，解决第1车后转向架、第2车前转向架偏重严重问题。把垫高1号、3号、4号座架解决100 m长钢轨运输第1车后转向架、第2车前转向架偏重的方法，简称为“1011垫高法”。

“10”是指在1号座架下垫一层16 mm木板，2号座架下不垫木板。“11”是指在3号、4号座架下垫一

表4　2025年1—2月期间100 m长钢轨偏重情况统计　次

Tab.4　Statistics on unbalanced load of 100 m long steel rails from January to February 2025

车辆序号	第1车		第2车		第3车		第4车		第5车		第6车		第7车	
	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏
偏重超8 t	0	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0
偏重超9 t	0	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	10	12	0

层16 mm木板，抵消第1车和第2车存在的车地板高差。偏重返厂车组采用“1011垫高法”后，偏重情况明显好转。“1011垫高法”整改偏重车组效果比较如表5所示。

从2025年2月中旬起，武钢将偏重返厂车组和有返厂风险车组按照“1011垫高法”进行逐步整改。“1011垫高法”推广率达到70%左右，2025年7—8月期间，武钢发运100 m长钢轨205组，偏重超9 t现象仅出现2次(2025年1—2月期间出现36次)，“1011垫高法”总体效果良好。2025年7—8月205组100 m长钢轨过磅数据统计如表6所示。

3.3　根据钢轨牌号改进座架垫高方式

3.3.1　钢轨牌号不同对车组头部偏重的影响

推广100 m长钢轨“1011垫高法”后，运输过程中出现车组头部转向架偏重超8 t现象，偏重钢轨牌号均是U71Mn，头部偏重车组过磅数据如表7所示。

表5　“1011垫高法”整改偏重车组效果比较　　t

Tab.5　Effectiveness comparison of rectifying unbalanced load train sets by “1011 height adjustment method”

钢轨牌号	第1车车号	第7车车号	第1车		第2车		第6车		第7车		垫高方式
			前偏量	后偏量	前偏量	后偏量	前偏量	后偏量	前偏量	后偏量	
U75VH	5483093	5489918	—	10.5	4.08	—	—	10.5	7.46	—	0011+0021
U75VH	5483093	5489918	—	4.33	0.08	—	—	3.73	3.31	—	1011+1011
U75VH	5493673	5491481	—	6.78	6.97	—	—	10.11	6.93	—	0021+0021
U75VH	5493673	5491481	—	8.25	6.94	—	—	4.83	10.3	—	0021+0011
U75VH	5493673	5491481	—	6.89	3	—	—	6.01	5.65	—	1011+1011
U71Mn	5493673	5491481	—	0.8	—	0.72	—	4	—	0.6	1011+1011
U75VH	5487174	5736055	—	3.06	2.79	—	0.74	—	10.2	—	0011+0011
U75VH	5487174	5736055	2.81	—	3.1	—	—	1.58	2.6	—	1011+1011

注：垫高方式一栏中“0011+0021”表示车组的垫高情况，其中0011对应车组一端1号至4号座架下垫木板数量(1号和2号座架下垫木板是0，3号和4号座架下垫木板1层)；+0021对应车组另一端14号至11号座架垫木板数量(14号和13号座架下垫木板是0，12号座架下垫木板2层，11号座架下垫木板1层)。其他垫高方式的表示以此类推。

表6　2025年7—8月205组100 m长钢轨过磅数据统计　　次

Tab.6　Statistics on weighing data of 205 groups of 100 m long steel rails from July to August 2025

车位	第1车		第2车		第3车		第4车		第5车		第6车		第7车	
	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏	前偏	后偏
偏重超8 t	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
偏重超9 t	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

表7　头部偏重车组过磅数据　　t

Tab.7　Weighing data of head-unbalanced load train sets

钢轨牌号	第1车车号	第7车车号	第1车			第2车			第6车			第7车			垫高方式
			总重	前偏量	后偏量	总重	前偏量	后偏量	总重	前偏量	后偏量	总重	前偏量	后偏量	
U75VH			60.03	2.81	—	86.29	3.1	—	80.01	—	1.58	65.39	2.6	—	1011
U75VH	5487174	5736055	62.09	4.21	—	86.48	4.33	—	79.11	0.28	—	63.26	4.1	—	1011
U71Mn			63.54	10.8	—	85.39	2.61	—	78.77	0.87	—	63.26	—	2.16	1011
U75VH			61.33	0.59	—	85.98	1.24	—	84.18	—	1.65	64.01	0.41	—	1011
U75V	5738160	5491009	64.06	4.87	—	85.16	1.2	—	83.55	0.63	—	63.45	—	1.08	1011
U71Mn			63.85	8.98	—	85.26	0.71	—	83.27	1.03	—	62.82	—	4.46	1011

3.3.2　针对车组头部转向架偏重采取的措施

分析车组头部转向架偏重数据，发现第2车总质量大于85 t，明显高于均值(第2车总重量平均值为81.43 t)，承重多说明第2车车地板偏高。因此，采用减小垫板厚度或取消1号、3号、4号座架垫板方法解决偏重问题，头部偏重车组改进前后过磅数据如表8所示。

表8　头部偏重车组改进前后过磅数据　t

Tab.8　Weighing data of head-unbalanced load train sets before and after improvement

钢轨牌号	第1车车号	第7车车号	第1车			第2车			第6车			第7车			垫高方式
			总重	前偏量	后偏量	总重	前偏量	后偏量	总重	前偏量	后偏量	总重	前偏量	后偏量	
U71Mn	5487174	5736055	63.54	10.8	—	85.39	2.61	—	78.77	0.87	—	63.26	—	2.16	1011+1011
U75VH			64.45	—	4.73	81.73	3.21	—	79.28	—	0.31	63.12	5.55	—	0000+1011
U71Mn			62.18	0.83	—	83.31	2.24	—	81.48	—	1.3	66.44	0.09	—	0000+1011
U71Mn	5738160	5491009	63.85	8.98	—	85.26	0.71	—	83.27	1.03	—	62.82	—	4.46	1011+1011
U71Mn			64.33	2.99	—	84.12	0.59	—	83.74	0.55	—	62.44	—	1.86	1011薄+1011

注：100 m长钢轨装运时存在不同牌号钢轨同车组混装现象，按占比多的牌号统计。

3.4　建立车组偏重风险预警系统

3.4.1　车组偏重风险预警值设定

同一组车重复使用时，装运的钢轨存在整体前后偏移、牌号不同等情况，将引起偏重数据的变化，要保证不出现偏重返厂情况发生，就要将偏重值控制在一定范围内，故设置车组偏重风险预警值，当偏重值超出预警值时，就要对座架垫高进行调整。汇总整理2025年4—8月560组100 m长钢轨装运数据，分析出各牌号钢轨偏重的预警值范围，100 m长钢轨装运偏重预警值如表9所示。

表9　100 m长钢轨运输偏重预警值　t

Tab.9　Early warning value of unbalanced load in 100 m long steel rail shipment

钢轨牌号	偏重车位次	预警值
U71Mn/U68CuCr	第1车	前偏≥6.5或后偏≥1.5
	第2—6车	前偏≥6.5或后偏≥6.5
	第7车	前偏≥1.5或后偏≥6.5
U75VH	第1车	前偏≥1.5或后偏≥6.5
	第2—6车	前偏≥6.5或后偏≥6.5
	第7车	前偏≥6.5或后偏≥1.5
U75V/U71MnH	车组中任1车	前偏≥6或后偏≥6

3.4.2　车组偏重风险预警智能化

在武钢运输信息管理系统中增加“百米重轨信息录入管控”模块，采集车组交铁路局集团公司日期、车号、钢轨牌号、过磅数据、座架垫高方式、前期整改方案等相关信息[9-10]，当装运偏重值达到预警范围时，系统对该车组进行预警标识，当预警标识的车组再次进入武钢装车时，系统自动提醒作业人员进行整改[11]。

4　结束语

“1011垫高法”是武钢在整改100 m长钢轨装运偏重问题过程中总结提炼出的有效方法，在车辆质量参差不齐和装载检测技术满足不了需求等情况下，解决了现场难题；通过总结不同牌号钢轨挠度大小，首次提出钢轨牌号不同对偏重的影响，为后期装运方案的改进提供参考；经过一段时间整改，武钢100 m长钢轨偏重返厂率降低至0.4%，使用效果明显，该方法可为国内其他钢厂装运长钢轨提供借鉴。下一步，通过信息化技术对长钢轨过磅数据进行自动分析，提升偏重风险预警的准确率和及时性，提前整改，消除偏重现象，保障长钢轨运输安全。

参考文献：

[1]　中国铁道科学研究院.100 m长钢轨普通平车运输矩形装载加固方案研究[R].北京：中国铁道科学研究院，2009.

[2]　中国铁路总公司工程管理中心. 普速铁路桥隧建筑物修理规则[M]. 北京：中国铁道出版社，2018.

[3]　李善坡，马玉坤，张长青，等. 普通平车运输100 m长定尺钢轨新型座架设计及有限元分析[J]. 铁道运输与经济，2010，32(9)：80-84.

[4]　李善坡. 100 m长钢轨普通平车矩形方案偏重原因分析及应对措施[J]. 铁道货运，2019，37(12)：69-73.
LI Shanpo. A Study on the Causal Analysis and Solutions to the Occurrence of Unbalanced Weight for the Rectangular Loading of the Normal Flat Cars on the 100 m Long Steel Rails[J]. Railway Freight Transport，2019，37(12)：69-73.

[5] 国家铁路局.钢轨 第1部分：43 kg/m~75 kg/m钢轨：TB/T 2344.1—2020[S].北京：中国铁道出版社，2020：6.

[6] 董华利.U71Mn、U75V和U78CrV钢轨在线热处理后性能改善比较[J].金属热处理，2016，41(8)：133−137.
DONG Huali. Comparison of Property Improvement of U71Mn, U75V and U78CrV Rail Steels by Online Heat Treatment[J]. Heat Treatment of Metals，2016，41(8)：133−137.

[7] 张惠泽英，高明昕，宋　华，等.百米U75V钢轨在线热处理技术研究进展[J].金属热处理，2024，49(6)：270−276.
ZHANG Huizeying，GAO Mingxin，SONG Hua，et al. Research Progress on On-Line Heat Treatment Technology for U75V Steel Rail with 100-Meter Length[J]. Heat Treatment of Metals，2024，49(6)：270−276.

[8] MARDER A R，BRAMFITT B L. The Effect of Morphology on the Strength of Pearlite[J]. Metallurgical Transactions A，1976，7(3)：365−372.

[9] 张善东.铁路货运发站超偏载源头防治的研究与实践[J].铁路物流，2025，43(4)：52−57.
ZHANG Shandong.Research and Practice on Prevention and Control of Overload and Unbalanced Load from Source at Railway Freight Departure Station[J]. Railway Logistics，2025，43(4)：52−57.

[10] 张善东，厉劲松.铁路货物装载加固方案管理信息化探索与实践[J].铁路物流，2025，43(2)：27−32.
ZHANG Shandong，LI Jinsong.Exploration and Practice of Management Informatization for Railway Freight Loading and Reinforcement Schemes[J]. Railway Logistics，2025，43(2)：27−32.

[11] 武文斌.铁路货运检查项点识别及安全风险分级分类研究[D].北京：中国铁道科学研究院，2023.

（责任编辑：刘宁馨）

Rectification Practice for Unbalanced Load in Shipment of 100 m Long Steel Rails at WISCO

ZHAO Qiang，SUN Muliang，XIAO Bo

（Transportation Department，Wuhan Iron & Steel Co.，Ltd.，Wuhan 430080，Hubei，China）

Abstract: To further identify the main causes of unbalanced load in the rectangular loading scheme of 100 m long steel rails on ordinary flatcars at Wuhan IRON & STEEL CO., LTD (WISCO), ensure railway transport safety, and improve transport efficiency, a standardized rectification scheme for unbalanced load in long steel rail shipment was established. By analyzing the weighing data and support frame height adjustment conditions during the transport of 100 m long steel rails, the “1011 height adjustment method” was proposed to resolve the unbalanced load caused by vehicle height differences. Through the analysis of the causes of unbalanced load at the ends of train sets, the rail grade was identified as an influencing factor for unbalanced load in long steel rail shipment; the impact of rail deflection was analyzed, and rectification schemes were proposed. The rectification scheme for unbalanced load in 100 m long steel rail shipment was compiled into standardized operating procedures, and a risk early warning system for unbalanced load of train sets was established to prevent and rectify unbalanced load phenomena in advance. The results show that promoting the “1011 height adjustment method” significantly reduces the unbalanced load phenomena in the rectangular loading scheme of 100 m long steel rails on ordinary flatcars at WISCO, providing a certain reference for the safety management of long steel rail shipment.

Keywords: 100 m Long Steel Rail; Rectangular Loading Scheme; Support Frame Height Adjustment; 1011 Height Adjustment Method; Rail Grade; Risk Early Warning System for Unbalanced Load of Train Set