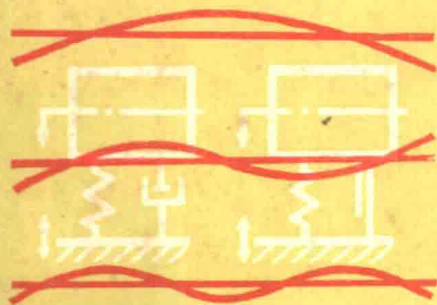


87.18221

БЭД

〔苏联〕巴尔捷聂瓦等著
陶崇刚 邱贵芳 译



铁路货车

二轴转向架的研究

人民铁道出版社

铁路货车二轴转向架的研究

〔苏联〕巴尔捷聂瓦等著

陶崇刚 邱贵芳 译

邓爱莲 校

人 民 铁 道 出 版 社

1 9 7 9 年 • 北 京

内 容 简 介

本书分析了现代货车转向架设计中的现有结构和发展趋势。拟定了车辆转向架的评定标准。引出了货车动力学研究结果,以改善其动力和运用性能,使之适于高速运行,并提出了选择货车二轴转向架主要参数的建议。

本书可供铁路车辆设计,制造,维修和科研部门的工程技术人员及铁路院校师生参考。

Бартенева Л.И., Долматов А.А.,

Требования к конструкции двухосных тележек грузовых вагонов для перспективных условий эксплуатации.

Труды ЦНИИ МПС Вып 483

Москва «ТРАНСПОРТ» 1975

铁路货车二轴转向架的研究

〔苏联〕巴尔捷聂瓦等著

陶崇刚 邱贵芳 译

邓爱莲 校

人民铁道出版社出版

责任编辑 朱全凯

封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张: 3.875 字数: 84 千

1979年9月第1版 1979年9月第1次

印数: 0001—3,300 册

统一书号: 15043·5137 定价: 0.42 元

前 言

铁路货车的运用条件对其本身的结构和运用性能提出了很高的要求。在线路主要方向的列车密度大、货运量高的情况下，转向架的可靠性有特别重要的意义，它决定着运行的安全和列车在运用中不致甩车。

由于运用货车的强度进一步提高和制造量显著增大，全苏铁路运输科学研究院进行了理论和试验研究，以期改进车辆的动力性能，提高运行的安全性和结构的可靠性，以及减少定期修理所必须的工作量。这些研究可以修订和补充对货车二轴转向架（譬如，对目前使用的货车和将来大批生产的八轴车的主型转向架）结构的要求。书中阐明了设计弹簧悬挂装置的新建议，这些建议可以减小垂直和侧向动载荷，减小车辆和线路承载构件的应力，以及改善所运货物的完好性。

H. A. 富法利雅斯基

K. A. 别林

目 录

第一章 货车转向架动力性能和运用性能的评定	
标准	1
第一节 概述	1
第二节 转向架动力（运行）性能的评定标准	2
第三节 转向架运用性能的评定标准	7
第四节 转向架结构的评定标准	7
第二章 ЦНИИ-ХЗ-О型转向架的动力性能和运	
用性能以及二轴转向架结构的改进	9
第一节 ЦНИИ-ХЗ-О型转向架结构的研制	9
第二节 ЦНИИ-ХЗ-О型转向架的主要特性	
及其在运用过程中的稳定性	13
第三节 ЦНИИ-ХЗ-О型转向架的动力（运	
行）性能	17
第四节 ЦНИИ-ХЗ-О型转向架的运用性能	21
第五节 新型二轴转向架的研制	25
第三章 转向架动力学的理论与转向架主要参	
数的选择	35
第一节 弹簧悬挂原理图的选择	35
第二节 具有线性刚度特性的弹簧悬挂参数的	
选择	43
第三节 采用非线性刚度特性的弹簧悬挂合理	
性的分析	59
第四章 选择弹簧悬挂参数，减少车辆横向振动的	
强度	67

第一节	减小车体强迫振动强度的途径.....	67
第二节	研究转向架蛇行运动的轮轨接触计算 简图的选择.....	73
第三节	蠕动系数值及其非线性对铁路转向架 横向振动的影响.....	97
第四节	轮对与转向架构架之间的弹性连接刚 度对横向振动的影响	104
结论与建议		111
参考文献		114

第一章 货车转向架动力性能和运用性能的评定标准

第一节 概 述

车辆转向架结构上的复杂程度，以及它在传递线路作用于车辆的载荷中为完成一种或几种功能而设置的特殊装置，是根据目前或今后车辆运用条件的要求来设计的。这些条件一般以标准的方式来表述，所有研制的转向架均应满足这些标准。目前，有三组评定转向架的标准，即：动力（运行）性能标准、运用性能标准和结构标准。

转向架动力性能标准包括：车辆抗脱轨的稳定性；线路抗轨排移动的稳定性；限定的车辆运行平稳性；走行部与线路必要的强度贮备。

转向架运用性能的标准包括：转向架在运用中的保养成本；转向架在相邻两次修理之间运行性能的稳定性；运用中更换磨损件方便与否；转向架日常与定期修理成本。

结构标准包括：转向架参数与技术要求相符；转向架的重量（或它与载重量的比值）；各构件与整个转向架结构是否简单；利用标准件与通用件的程度；快速组织大批量生产的可能性（转产时的损耗）；对短缺材料的要求；制造成本。

在大多数情况下，结构标准和运用性能标准的评定是具有与现有技术水平相对比较的特征，而表示车辆动力性能的构造速度与最大允许运行速度则属于限定标准的范围，这些标准是依据机车车辆与线路相互作用的允许条件用试验计

算法求得。

超过这些标准的极限值，将破坏运行安全的要求，或出现机车车辆与线路强度条件所不允许的力。同时，选择标准极限值的正确程度如何，将影响铁路潜在通过能力的利用。因此，选择与修正车辆动力性能标准的极限值是个重要而迫切的问题，而这个问题的解决程度如何与车辆、线路相互作用的动力学研究方法的总发展水平有关。

第二节 转向架动力（运行）性能的 评定标准

一、车辆抗脱轨稳定性

车辆运行的安全性用脱轨系数* 来评定。该系数是作用在滚动车轮上的侧向（水平）力与垂直力之比的允许极限值。尽管苏联与其它国家都进行了大量的理论与试验工作，但到现在为止，各国专家对作用于车轮各力之比的允许限度标准，还没有一致的观点。

在苏联的实践中，采用Марье公式来确定脱轨系数。该公式是轮对在静力与动力作用下的静平衡条件。同时，把这些力在达到极限平衡条件（即轮缘的直线部分支承在钢轨的侧缘上）时的比值，称为爬上钢轨的车轮侧向力对垂直力之比的极限值。在这种情况下，轮缘有往下滑的倾向〔1〕**。在苏联，装有各种结构转向架车辆的运用经验表明，如果考虑各种动力同时作用于轮对上，按Марье公式计算的脱轨系数 $\eta = 1.03 \frac{P_B}{P_\sigma} \geq 1.5$ ，那就不会发生脱轨。这相当于侧向力 P_σ 的值不超过车轮在轮轨接触处作用于钢轨的总垂直载

* 原文为抗脱轨稳定安全系数（Коэффициент запаса устойчивости против схода с рельсов），以下统称脱轨系数。

**〔 〕内所用数码为本书所列参考文献的序号。

荷 P_B 的0.7。这个比值可以作为限定运行安全的标准。因为在这里作用于轮对上的各种力的同时组合具有决定性的意义，所以不能说出任意一个允许侧向(或垂直)力的绝对值。

众所周知，对于脱轨，超过上述力的比值($P_0 > 0.7P_B$ ——译者)是必要条件，但不是充分条件，因为轮缘与钢轨接触的物理与几何条件以及各种动力作用的不利组合的延续时间对于脱轨都具有重要意义。因此，所用的安全标准，看来是有相当贮备的。为利用这种贮备以提高所有运用车辆的允许运行速度，现正进行修正安全标准的工作。

二、线路抗轨排移动的稳定性

线路抗轨排移动的稳定性条件所允许的力，并不是决定机车车辆运行安全性的次要因素〔2、3〕。在试验-理论研究的基础上，对于苏联碎石道碴的现代铁路结构取用：构架力 H_P 与轮对作用于钢轨上的静载荷 P_0 的比值为 $\frac{H_P}{P_0} \leq 0.4$ 〔4〕。这与国际铁路联盟推荐的数值相符合。

这样，为保证线路抗轨排移动的稳定性，在货车的轴重 $P_0 = 22$ 吨(考虑了允许超载)时，构架力的临界值为8.8吨。

三、车辆的运行平稳性

评定车辆的振动，也就是分析车体垂直与横向加速度振幅的函数和它的重复率与频率。这些都属于“运行平稳性”的特性。因为衡量运行平稳性的这些标准取决于人体生理学的感觉，而对于货车这是第二位的，它不表示保持所运货物完好的条件。为评定货车的运行性能，美国过去采用的“货物损坏率”(Lading Damage Index-L D I)是较为可行的，它也考虑了动力的绝对值及其重复率。

$$LDI = \sum n_i \left(\frac{P_{di}}{0.25P_{CT}} \right)^2$$

式中 P_{di} ——动力；

n_i ——第 i 动力的重复率；

P_{CT} ——弹簧组的静载荷。

取用的动力值等于25%的静载荷，它实际上是不会引起货物损坏的动力值。

评定车辆运行平稳性的这个指标是相对的。因为对于被试验车辆，这些指标是与标准车辆相比较而得。例如，把装 ЦНИИ-ХЗ-О 型转向架的敞车作为标准（100%），那么，根据试验数据，在运用速度达80公里/小时时，装备了 МТ-50 型转向架的敞车货物损坏率为115~120%。也就是在这种速度下，МТ-50 型转向架车辆损坏的货物比成批生产的 ЦНИИ-ХЗ-О型转向架车辆损坏的货物约高20%。

现在，美国正力求过渡到以运输成本来评定动力性能〔5〕，也就是把因车辆动力性能不佳而造成货物损坏的价值与改进转向架的费用相比较，若前者小于后者，那么改进结构是没有益处的。在这种情况下，必须分析这样一些因素，如：货物对冲击与振动的敏感性，货物损坏与车辆动力性能的关系，这些货物在整个货物周转量中所占的比重。用运输费用评定时，可以说明新结构能否防止货物损坏，而增加的费用是否恰当。

在苏联的实践中，为大体评定车辆的动力性能拟订了绝对（分界）标准的等级，这些标准包括垂直与水平动力系数、加速度和运行平稳性指标的允许值（表1）。垂直动力系数是作用于簧上部分的垂直动载荷与静载荷的比值；水平动力系数是作用于轮对的构架力与轮对作用到钢轨上的静载荷的比值。

货车的构造速度按相当于“最大许可”这一级动力标准来确定。为确定车辆正常运用时的最大运行速度，应按照国家规定的“满意”这一级动力标准来确定，这样，在线路日常维

货车动力性能标准的等级

表 1

动 力 性 能	动 力 系 数		加 速 度 (g)		运行平稳 性 指 标
	垂 直	水 平	垂 直	水 平	
优 秀	小于0.2	小于0.08	小于0.20	小于0.10	小于1.0
良 好	0.20~0.35	0.08~0.15	0.20~0.35	0.10~0.15	小于2.0
满 意	0.36~0.45	0.16~0.25	0.36~0.45	0.16~0.30	小于3.25
最大许可	0.46~0.65	0.26~0.35	0.46~0.65	0.31~0.45	小于4.0
按车辆的脱轨稳定性是不安全的	大于0.7	大于0.4	大于0.7	大于0.5	大于5.0

修低于“优秀”和“良好”等级时，车辆的各项动力指标不超过标准的最大允许值。

所列评定动力性能的等级（见表1）主要用于重车。对于空车，这些动力指标的允许极限值由于各作用力的绝对值小，而不能决定车辆结构强度及其抗脱轨稳定性。

四、转向架结构与线路结构强度

前面指出，转向架结构与线路结构强度是决定货车构造速度与最大允许运行速度的重要参数。结构强度按下列主要参数的允许值评定：应力；静强度与疲劳强度的贮备；稳定性的贮备；弹性变形与永久变形；所需的耐久性（技术寿命）。对于每个具体的构件，应选择最能表示其工作条件的参数。车辆转向架结构的强度计算是按许用应力和疲劳强度贮备进行。

货车的计算载荷按两种基本运用工况来选取：

工况Ⅰ——起动，低速推送或低速制动，以及在车站的调车与编组作业。在此情况下，取计算速度及其相应的动载荷为零。

工况Ⅱ——属于客车工况。

工况Ⅲ——列车以最大（构造）速度运行。在此情况下，转向架构架及其它构件强度是按纵向力、侧向力与垂直力同时作用，并考虑相当于最大运行速度时的各动力系数来校核。按照车辆强度计算规范，对于运行速度120公里/小时的四轴货车，取垂直动力系数为0.45，水平动力系数为0.5。

决定线路结构强度的主要参数是钢轨与路基顶面的许用应力，超过路基顶面许用应力就要导致永久变形的累积，这样就会造成很难排除的线路错位现象。但是，路基顶面许用应力的大小不仅与机车车辆的轴重和动力性能有关，而且与线路上部建筑的结构和强度有关，特别是与道碴石块的厚度、枕木型式等因素有关。因此，这个标准还没有充分地研究，看来应进一步修正。

现在，在运用成批生产的机车车辆情况下，遵照线路干线区段应力状态的现有水平，取下列各值：

由于垂直力与侧向力共同作用在钢轨底部边缘而产生的弯曲应力不应超过2,400公斤/厘米²；

路基顶面的应力应不大于0.9公斤/厘米²。

分析全苏铁路运输科学研究院多年观察与动力试验结果表明，如轴距为1,850毫米的二轴转向架簧下构件的垂直动力过载不超过静载荷的90%，那么钢轨与路基的应力就在允许范围内〔6，7〕。这时必须注意，这里说的是这样一些力的允许极限值，它们的重复率小，并且对线路的疲劳强度与永久变形的累积没有显著影响。因此，按照线路结构强度所允许的动力过载，要比按运行安全与保证运行平稳性所要求的动力过载高。

第三节 转向架运用性能的评定标准

转向架在运用中的保养与修理成本取决于运用过程中的修理工作量。转向架运用性能的基本标准是不需修理的运行期。不需修理的最小运行期应由计划货车厂修的周期来决定。所有的中间保养与中间修理费用应最少。

美国铁路协会(AAR)对货车转向架提出的主要要求之一是保证两个相邻厂修之间的日常修理中无焊接作业〔8〕。

众所周知,现规定的厂修期限:敞车是七年,罐车(石油——汽油的)与棚车是十年。

这样,转向架以近于构造速度运行时,其结构至少应保证在七年内不用修理。在最大运用速度为80公里/小时时,货车的年平均行驶里程为10~12万公里(七年就是70~84万公里)。考虑到将来运用速度的提高,作为转向架运用可靠性的标准应取不需修理的运行里程不小于100万公里。评定转向架运用性能的重要标准是在相邻两次修理期间动力指标的恶化程度。如果车辆在两次修理期间的行驶里程已满,而它以最大运用速度运行时,转向架的动力性能仍不超过相当于“最大许可”这一级标准,根据评定动力性能的标准等级(表1),应认为转向架动力性能是稳定的。

第四节 转向架结构的评定标准

评定转向架结构的主要标准之一是它的参数要符合运用条件的技术要求,要按照这些要求来研制转向架。所谓“符合技术要求”就是在转向架结构中各构件(及其组合)应保

证限定的动力指标，以及给定的运用可靠性。

为使货车转向架最经济，它的结构参数应该这样，在给定的轴载荷下，以构造速度运行时，转向架的动力作用达到允许的极限水平。

这样，与成批生产的转向架结构比较，转向架改进的目的可归纳为下述几方面：

1. 在轴载荷与允许最大动力作用保持不变的情况下，旨在提高构造速度的结构改进；
2. 在同样的构造速度下，旨在增加轴载荷的动力性能改进（降低动力水平）；
3. 改进运送对振动敏感的贵重货物的特种车辆的动力性能；
4. 旨在提高运用可靠性与降低转向架维修成本的结构改进。

若对转向架结构所作的改进不是为了这些具体目的中的任何一个（或是没有解决它），那么，这样的改进是没有经济价值的。

因此，现在来研究在苏联货车中占多数的 ЦНИИ-ХЗ-О 型转向架，对上面确立的各项标准达到了什么程度，以及改进它的合理途径，是恰当的。

第二章 ЦНИИ-ХЗ-О型转向架的动力 性能和运用性能以及二轴转向架 结构的改进

第一节 ЦНИИ-ХЗ-О型转向架结构的研制

战前，世界车辆制造的特点是力求改进货车动力性能。主要是在垂直方向采用能吸收车体振动多余能量的弹簧悬挂装置。这就出现了大量的不同类型带减振器的弹簧悬挂装置，这些减振器主要是利用干摩擦力工作。

在苏联，带有楔形摩擦减振器弹簧悬挂装置的第一个转向架方案是 А.Г.哈宁工程师在1934~1939年期间设计的。А.Г.哈宁提出的弹簧悬挂装置与其它国家类似结构的区别是利用螺旋弹簧的横向（相对于弹簧中心线）变形能力。这样，来自线路的水平力就可通过弹簧组弹性地传到车体上。此外，还用同一个楔形减振器来吸收车辆水平振动的多余能量。新悬挂装置的第二个特点是提高了弹簧的柔度，并有变化的（双线性的）特性，对于装载少的车辆，这可以得到满意的动力性能。弹簧刚度特性的转折点，是选择在车辆载荷为19吨时。

有新弹簧悬挂装置（假定代号为X-1）的转向架在1947~1948年期间进行的动力（运行）试验很快就表明了这种悬挂装置的优越性与它在货车上运用的前景。这些试验结果成了1949年设计变柔度的七弹簧弹簧组（假定代号为X-2）的基础。为了安装弹簧组与制动装置，转向架轴距增加到1850毫

米。1952年的第二次试验证实悬挂装置X-2能保证车辆有良好的动力性能。分析有双特性悬挂装置X-2的车辆动力试验结果(表2)表明,车辆在相当于弹簧刚度特性转折点处的载荷下,它的动力指标与车辆在总重下的动力指标相等。这就是说,车辆在相当于悬挂装置非线性特性区域的载荷下运行,悬挂装置的刚性转换到更大的时候,不会引起附加的动载荷。

X-2悬挂装置动力性能试验结果

表2

装有X-2悬挂装置 的车辆动力性能	车辆中的货 物重量(吨)	车辆在下列速度(公里/小时) 下的动力性能		
		40	70	100
弹簧的动挠度 (毫米)	空 车	2.5	4.0	8.0
	9	3.5	5.0	8.0
	19	2.5	5.0	8.5
	48	2.5	3.5	7.5
心盘处的车体垂直 加速度(厘米/秒 ²)	空 车	350	850	850
	9	250	350	450
	19	200	250	350
	48	210	250	370
心盘处的车体水平 加速度(厘米/秒 ²)	空 车	100	260	280
	9	50	170	280
	19	60	140	180
	48	90	150	180
车辆在垂直方向 的运行平稳性指标	空 车	2.1	3.6	4.4
	9	3.4	3.8	4.2
	48	3.0	3.05	3.7

与此同时,有双特性弹簧悬挂的转向架也有其结构上的缺点:弹簧组的零件多;在支持摩擦楔块的一个弹簧折断时,摩擦楔块可能丢失;悬挂的水平刚度大。这些缺点降低

了转向架的运用可靠性。因而，在1952年设计了七个双卷弹簧组成的单特性弹簧组（假定代号为X-3），它具有自动车钩联挂条件所允许的最大柔度。

在小载荷情况下，单特性悬挂装置的计算垂直刚度较双特性的高38%。而在载荷大于 $0.3P_{\text{总}}$ 时，又较双特性的低50%（图1）。同时弹簧组的刚度在必要时用选择弹簧数量的方法可以变换。单特性弹簧组水平刚度约为双特性的1/2。这样，除小载荷工况外，单特性弹簧组的设计是较成功的。

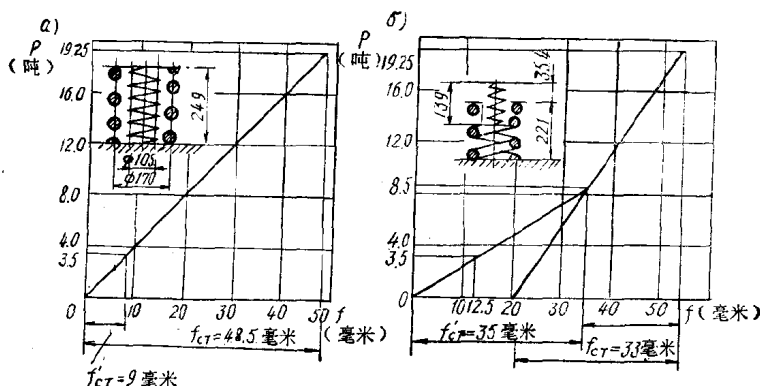


图1 A.Г.哈宁转向架弹簧组的刚度特性

a) —— 单特性的, б) —— 双特性的。

分析表3所列的数据表明，尽管弹簧静挠度有显著的差别，两种弹簧组在小载荷时的相对摩擦系数实际相等，并超过了允许的数值，这就不能不影响空车的与装载少的车辆的动力性能。因此，对具有这些悬挂装置的车辆作比较试验时，在载荷小的情况下，它们的动力性能没有表现出明显的差别。

考虑到试验结果，以及单特性弹簧组X-3的结构较简单，最后采用了X-3。