

轮轨相互作用丛书

轮 轨 磨 损

龚积球 谭立成 俞铁峰 编著

中国铁道出版社

1997年·北京

务、车辆)来研究车轮磨损或者仅从工务来研究钢轨磨损,而不从轮轨系统来研究,这样问题是得不到合理解决的。70年代以来,经过各方的努力,轮轨关系的系统概念已为生产、科研、教学及管理部门所接受,而且也取得了不少成果。

读者在阅读导向理论会注意到现代曲线通过理论的建立是这个领域的突破。能取得这种突破,关键是对蠕滑力导向理论的核心部分——“轮轨”几何学理论和“轮轨”蠕滑理论进行了系统地研究的结果。所以说,现代曲线通过理论的问世,是系统研究的一大成功。

本书第2,3,4章为龚积球同志所撰写,第1,5章为谭立成,俞铁峰同志所撰写。

编著者

1996年

(京)新登字 063 号

图书在版编目(CIP)数据

轮轨磨损/龚积球等著. -北京:中国铁道出版社,1997

(轮轨相互作用丛书/谭立成主编)

ISBN 7-113-02570-6

I. 轮… II. 龚… III. 磨损-轮轨关系 IV. U211.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 08394 号

轮轨相互作用丛书

轮 轨 磨 损

龚积球 谭立成 俞铁峰 编著

*

中国铁道出版社出版发行

(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑 陈 健 李云国 封面设计 赵敬宇

各地新华书店经售

北京市兴顺印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:5.625 字数:145千

1997年8月 第1版 第1次印刷

印数:1—1000册

ISBN 7-113-02570-6/TU·532 定价:29.30元

总 序

铁路运输是一部联动机，是一个包括车、机、工、电、辆的综合系统。其中，机车、车辆子系统和线路、轨道、桥梁子系统组成列车与线路、列车与轨道、列车与桥梁的大系统。轨道起承载作用，机车提供动力，客、货车起不同的承载作用。机车或动车轮轨间的牵引粘着力和机车、车辆轮轨间制动粘着力使客、货列车以不同速度运行，完成铁路客、货运输的任务。轮轨间的相互作用问题与铁路运输一系列重大的问题，如提高轴重与速度以及列车重量等密切相关。很明显，没有轮轨相互作用，就没有列车的运行。所以，轮轨相互作用或轮轨关系问题是铁路基础性的、关键性的科学技术问题，是铁路的永恒课题。

列车运行时，轮轨间的垂向、横向、纵向的相互作用及轮轨系统的振动，直接影响着行车安全；机车、车辆、轨道部件的磨损、疲劳、断裂和寿命，轨道状态的恶化，桥梁的疲劳与寿命，影响铁路的效率和效益。因此，研究、分析、解决轮轨相互作用领域的问题，并出版这个领域的书籍，无疑具有重要意义。

我们认为，根据所要解决问题的性质或其深度和广度，轮轨相互作用可以分为三个层次：第一层次为单轮（单轮对）与钢轨的相互作用，即狭意的轮轨相互作用；第二层次为机车（动车）或车辆的所有车轮（轮对）与轨道（线路）或桥梁的相互作用，即机车或车辆与轨道（线路）或桥梁的相互作用；第三层次为所有列车的所有车轮（轮对）与轨道（线路）或桥梁的相互作用或者称之为轮轨系统动力学；机车或车辆轨道或桥梁动力学；列车轨道（线路）、桥梁动力学三个层次。轮轨相互作用研究的最终目的，是在第一、第二、第三个层次轮轨相互作用研究基础上，实现优化的列车/轨道或线路（桥梁）系统（包括普通列车、重载列车、高速列车与其轨道或线路（桥梁）构

成的系统),使其轮轨相互作用较为合适,系统运行也安全,效益最高、最经济。这是个复杂而困难的系统工程,但也是必须逐步解决的科教兴路的重大问题。

三个层次中,第一层次的轮轨相互作用是基础,因为车轮与钢轨的滚动接触是铁路运输的基本特点。当人们弄清了滚动接触的基本问题以后,就可以进入到第二个层次、第三个层次的轮轨相互作用。每当第一层次的轮轨相互作用有了突破性的认识,就会给铁路技术带来新的进步,成为铁路科技的里程碑。例如,为了评定车轮爬轨的安全性问题,Nadal 于 1896 年提出了脱轨系数的公式并一直沿用到现在。Carter 于 1926 年对机车车轮与钢轨间的蠕滑率进行了实验与分析。本世纪 60 年代以来 Kalker 等系统地发展了轮轨蠕滑理论,成为研究机车车辆动力学性能——轨道、桥梁动力学的基础。现代曲线通过理论的建立,自导向、迫导向转向架的应用就是轮轨相互作用第一及第二层次突破的突出例证。钢轨接头区的轮轨相互作用研究的进展,使人们对接头区钢轨和道床的破坏得到了新的科学认识等等。

六七十年代以来,随着大轴重(23、25、27、30、35t)、长大重载列车的发展,北美、前苏联、澳大利亚、南非等铁路为了减少行车事故,减少机车车辆和轨道部件的伤损,防止轨道恶化,长期花大力气加强了轮轨相互作用的研究,取得很大成效,提高了铁路的劳动生产率和效益。

在此期间铁路高速运输也有很大发展,法国试验运行的最高速度曾达 515.3 km/h。一些国家的客运速度最高达 200、250、300、350 km/h。这中间日本、法国、德国、英国等铁路在发展高速运输中进行了大量轮轨相互作用的实验与理论研究,研究成果均反映在高速列车/轨道系统中。

我国铁路发展重载运输,货车轴重将提高到 23 t,在专线上将运用 25 t 轴重的货车。广深线准高速线已投入运营,京沪高速线也已提上议事日程,主要干线相继要提高旅客、货运列车的速度。环形试验线旅客列车速度已达 212.6 km/h。对如何减小重载、高

速运输下的轮轨动力相互作用,使列车/轨道成为一个优化的系统,是个复杂的跨世纪的大工程,是培养跨世纪人才的重要领域。

制订和完成轮轨相互作用领域科学研究的国家规划,是一些国外铁路顺利发展重载、高速运输的关键。为了顺利发展我国重载、高速运输,优化列车/轨道(线路)或桥梁系统,从而提高铁路的安全性和经济效益,我国铁路急需制订一个包括三个层次的轮轨相互作用研究的国家规划,统一规划轮轨系统的综合研究。

虽然铁路的实践与发展迫使轨道专业和机车车辆专业向轮轨系统综合专业发展,以便正确地解决两个专业中的问题,但是,教育、科研管理、生产管理的专业分工却又妨碍人们以轮轨系统观点去分析、解决处于轮轨系统中的本专业的问题,或两专业的实际和理论问题,特别是现场的工程技术人员,他们在学校里受的是专业教育,在工作上所承担的又是专业上的生产、技术管理,客观上较难接触其它专业的知识,难于从系统出发正确解决问题。专业的局限束缚了轮轨相互作用科学与技术的生产力,要把它解放出来,是出版这套丛书也是出于这个目的。我们力求以轮轨系统的观点来说明机车、车辆与轨道(桥梁)相互作用的实际问题,把机车、车辆、轨道(桥梁)放在轮轨系统中考察,把两个专业综合起来,使读者对轮轨系统的基本问题有所了解,促进现场实际问题的解决,从而解放并发展生产力。

丛书内容将概括介绍国内科研、高校、铁路现场多年来在轮轨相互作用方面取得的成果,并反映国外在这一领域的现代水平。

根据我国近年来研究工作的进展,轮轨相互作用丛书首批规划有以下各册:

- | | | | |
|----------------|----|-----|----------|
| 1.《轮轨相互作用浅说》 | 作者 | 谭立成 | 顾培雄 |
| 2.《轮轨接触力学》 | 作者 | 沈志云 | |
| 3.《轨道不平顺和轨道管理》 | 作者 | 罗林 | |
| 4.《轮轨磨损》 | 作者 | 龚积球 | 谭立成 俞铁峰 |
| 5.《轮轨疲劳》 | 作者 | 曾树谷 | |
| 6.《铁道机车车辆脱轨》 | 作者 | 李富达 | 黄建萼 吴光勇等 |

7.《轮轨材质、性能及损伤》作者 杨开亭 张颖智等

8.《重载列车系统动力学》作者 严隽堯等

9.《列车与桥梁相互作用》作者 程庆国 潘家英等

由于轮轨关系课题研究仍在深化进行之中,系统领域还在拓宽,本套丛书将随着科研工作的进展而陆续出版其它分册,希望读者给予关注并提出宝贵见解。

编著者

1996年

前 言

铁路运输是藉轮轨相互作用产生的牵引和制动粘着力实现列车的运行,从而完成铁路客、货运输任务的。从这个角度来看,大轴重、大功率机车及大吨位、大轴重的货车,可以说铁路的发展也就是轮轨牵引粘着力和制动粘着力的提高。

粘着力是摩擦力,没有这个摩擦力,机车就会空转,原地不动,因而擦伤钢轨,列车也不能运行;若摩擦力过大,车轮抱闸,在钢轨上滑行,因而在车轮上产生扁疤。轮轨纵向的牵引粘着力推动列车运行,轮轨制动粘着力使列车减速。本书涉及的是轮轨接触或轮轨相互作用的纵向力,此外,还有轮轨之间的横向相互作用力。如在轨顶和轮踏面之间,轮缘和轨头之间的相互横向作用力,以及轮轨的垂向作用力。前者是导向列车所必需,后者是承受载荷所产生的。

轮轨相互作用是列车在轨道上运行的基本特点,也是铁路运输的基本特点。

运输要完成规定的运量和吨公里的任务。吨公里就是功的表现。机车做功就有消耗,这个消耗,在一般速度运行下主要是伴随轮轨摩擦而来的轮轨磨损。除了纵向摩擦力以外,轮轨顶面也存在横向摩擦力,两者影响钢轨顶面和轮踏面的磨损。对钢轨来说是垂直磨损,对车轮来说是踏面磨损。除此以外,当列车由靠轮轨侧向力导向的机车车辆组成(即非自导向和迫导向等新结构的转向架的机车车辆组成),通过曲线时,导向轮对的导向轮轮缘贴靠曲线外股钢轨内侧,由轮轨侧压力形成的摩擦力引起车轮的轮缘和钢轨的侧面磨损。这种磨损是导向列车所付出的消耗,但与上述粘着力是必需的有所不同,它不是必需的,或者说可以减小到很低很低的程度。假若我们采用自导向或迫导向等结构的转向架,当然,在

采用这种类型结构的转向架,利用蠕滑力导向时,轨顶、轮踏面也会有磨损,但总的磨损状况将得到极大的改善。

在1979年铁道部科学研究院召开的第一次全路轮轨关系(机车车辆和线路相互作用)学术讨论会上总结说:**“钢轨磨耗出运量”**。这里需要略加补充的是**“轮轨磨损出运量”**,因为这里我们所讨论的是轮轨这一对摩擦副。

既然我们这样提出和认识问题——运量增加,轮轨磨损必然加剧。那么在国民经济不断高速增长背景下,为了解决运量与运能的尖锐矛盾,除了修建新线以外,发展重载运输和提速已经是我国铁路的现实。如机车工厂生产大功率内燃机车和电力机车供机务部门使用;车辆工厂生产23 t及25 t轴重大型货车供车辆部门使用;工务部门采用60 kg/m、75 kg/m重载线路,超长无缝线路等等。钢厂和材料部门也不断改进质量,生产了强度、硬度较高的车轮与钢轨。为适应这种形势,铁路现场,科研单位,铁路高校都做了大量工作。虽然如此,轮轨磨损问题的形势仍然是严峻的。

我国铁路波磨绝大部分发生在部分小半径曲线的上股钢轨上,其波长多为100~300 mm,称之为长波(国外多发生在曲线下股钢轨上),而波长50~80 mm的短波波磨多发生在国外高速线上,它是高速运输线上的轮轨关系领域的关键问题之一。波磨问题具有重要意义,因此国外专家学者研究近百年。近20年国内不少专家学者也进行了不少研究,有很多不同观点,不同理论。但至今尚没有一个经过实用检验,得到大家所公认的理论,或者大家所公认的适合某种条件的某种理论。

轮轨磨损,其中包括波状磨损,这是世界铁路长期研究的课题,在理论上、实践措施上都有很大进展。而且,铁路在发展,这方面的问题还将出现,又需要解决,既有问题有的还需深入探索。本书不可能对国内外以往大量的研究和经验作全面介绍,只是想从理论和实践的结合上,从轮轨系统的角度,在最新的理论成果的基础上,对问题作必要的论述,即把机务、车辆和工务结合起来阐述轮轨关系中的一个重大的实际问题——轮轨磨损。若仅从车轮(机

目 录

1 章 轮轨磨损的发展	(1)
1.1 蒸汽牵引和内燃、电力牵引下的轮轨磨损	(1)
1.2 大轴重、大运量下的轮轨磨损	(2)
1.3 减轻轮轨磨损的重要意义	(3)
2 章 机车车辆导向理论和轮轨侧面磨损	(5)
2.1 轮缘导向理论——摩擦中心法	(5)
2.1.1 概 述	(5)
2.1.2 摩擦中心法的一系列假设	(7)
2.1.3 转向架在曲线上的受力	(8)
2.1.4 轮轨间的作用力	(12)
2.1.5 计算例题	(14)
2.1.6 摩擦中心法的适用范围	(18)
2.2 蠕滑力导向的现代曲线通过理论	(18)
2.2.1 蠕滑力导向理论的发展	(18)
2.2.2 蠕滑的概念	(19)
2.2.3 线性稳态曲线通过理论概述	(20)
2.2.4 非线性动态曲线通过简介	(24)
2.3 轮轨磨耗的评定指标	(33)
2.3.1 磨耗因数	(33)
2.3.2 踏面磨耗指标	(34)
2.3.3 轮轨接触斑处所消耗的功	(34)
2.3.4 轮轨接触斑处所消耗的功率	(35)
2.3.5 几个计算实例	(35)
2.4 改善轮轨几何学匹配 减轻磨损	(37)
2.4.1 磨耗形踏面(或称凹形踏面)	(37)

2.4.2	等效斜度·····	(40)
2.4.3	轨距与轨底坡·····	(43)
2.4.4	磨耗形踏面的应用实例·····	(45)
3章	减轻轮轨侧面磨损的措施 ·····	(52)
3.1	轮轨磨损的摩擦学机理·····	(52)
3.2	改善轮轨相互作用减轻轮轨侧面磨损·····	(53)
3.2.1	机车车辆本身的结构措施·····	(54)
3.2.2	合理选择线路的几何参数·····	(64)
3.2.3	钢轨非对称打磨·····	(66)
3.2.4	加强机车车辆和轨道的维修保养·····	(67)
3.2.5	改进轮轨材质·····	(67)
3.2.6	采用轮轨润滑·····	(69)
4章	轮轨踏面磨损及减磨措施 ·····	(80)
4.1	轮轨踏面磨损机理·····	(83)
4.2	轴重的影响·····	(84)
4.2.1	轮轨间的接触应力·····	(84)
4.2.2	减缓轮轨磨耗的措施·····	(86)
4.2.3	车轮踏面的剥离及减缓措施和实例·····	(88)
4.3	粘着系数和大轴重的影响·····	(91)
4.3.1	大轴重的影响·····	(92)
4.3.2	粘着系数的影响·····	(94)
4.3.3	25t 轴重货车对钢轨磨损特性的影响·····	(97)
5章	钢轨波状磨损及减轻措施 ·····	(100)
5.1	国内外波状磨损简况·····	(100)
5.2	国内外波状磨损研究简况·····	(102)
5.2.1	国外研究简况·····	(103)
5.2.2	国内研究简况·····	(105)
5.3	国外波磨试验结果和运用情况·····	(107)
5.3.1	美国 FAST 的试验结果·····	(107)
5.3.2	FAST 试验的延伸——上股润滑减小轮对	

纵向力的试验·····	(111)
5.3.3 FAST 试验的又一延伸——钢轨纵向加速度 试验·····	(112)
5.4 曲线钢轨波磨在内、外股钢轨上分布的情况·····	(113)
5.5 曲线钢轨波状磨损形成的基本机理和发展·····	(114)
5.6 轮对摩擦自激振动形成波磨和轮轨垂向相互作用 加速波磨形成和发展的假说·····	(115)
5.6.1 钢轨波状磨损的特点·····	(115)
5.6.2 轮对非线性摩擦自激振动产生的条件·····	(116)
5.6.3 物理模型和数学模型的建立与分析·····	(117)
5.6.4 计算结果与试验及调查资料的比较·····	(127)
5.6.5 波磨的发展问题·····	(138)
5.6.6 减轻波状磨损的措施·····	(143)
5.6.7 有待深入研究的问题·····	(144)
5.7 垂向振动引起塑流的波磨成因假说·····	(144)
5.8 轮轨接触疲劳的波磨成因假说·····	(146)
5.8.1 Kalousek(克劳塞克)假说·····	(146)
5.8.2 羊关怀工程师假说·····	(147)
5.9 钢轨磨耗、波磨与疲劳打磨治理·····	(148)
5.9.1 减轻钢轨侧磨、轮缘磨耗的钢轨非对称 打磨·····	(150)
5.9.2 波磨和疲劳打磨的试验研究·····	(154)
5.9.3 校正性和预防性打磨·····	(157)
5.10. 关于减轻钢轨波状磨损应继续进行的工作·····	(159)
5.10.1 钢轨波状磨损长期得不到整治的原因 (除打磨等外)·····	(159)
5.10.2 多假说中多数学者所倾向的假说·····	(160)
5.10.3 具体作法·····	(161)

1 章 轮轨磨损的发展

1.1 蒸汽牵引和内燃、电力牵引下的轮轨磨损

随着世界铁路运输的发展,蒸汽机车的功率早已不能满足运输生产的需要,世界各国铁路先后进入了牵引动力内燃化和电气化的发展阶段。我国铁路也大力发展内燃和电力牵引,以满足运量不断增长的要求。内燃、电力机车除动力改变为柴油机、电动机外,机车的走行部分采用两轴或三轴转向架。转向架的轴距较四个或五个动轮轴置于一个车架内的轴距为短。这种结构有利于通过曲线。但是,世界铁路实际运行经验却表明,内燃化和电气化以后钢轨的侧磨却加剧了。初期,它成了突如其来的不解之谜。我国铁路也不例外,据统计^[1],京广线广水—王家店区段,由蒸汽牵引改为内燃牵引,钢轨的平均使用寿命从 1.82 亿吨下降到 1.06 亿吨;每兆吨的平均侧磨量从 0.073 mm 上升到 0.152 mm,使用寿命下降了 42%,每兆吨的平均侧磨量却提高到 1.03 倍,半径 600 m 到 400 m 的曲线钢轨侧磨均基本如此。

内燃、电力牵引导致钢轨侧磨加剧可从其结构特点、牵引力分布特性,以及轴重、运量上分析其原因。

首先,内燃、电力机车一般采用两台转向架(除六轴三个两轴转向架机车以外),每台转向架有一个导向轮,两台转向架就有两个导向轮和钢轨侧面接触,而蒸汽机车导向轮只一个,也就是一个轮缘贴靠钢轨,仅就导向轮数目而言,导向轮愈多,轮轨磨损愈大。

第二,内燃、电力机车轴重大,机车功率大,轮周牵引力大,而且整个圆周的牵引力是相等的。蒸汽机车轴重较轻,根据作者对“蒸汽机车牵引力在动轮上分配”的研究^[2],蒸汽机车轮周牵引力较小,而且是由大到小变化的,特别是导向轮的牵引力最小。牵引力的大小决定轮轨蠕滑力的大小,牵引力越大,车轮的瞬时转动中

心越靠近轮轨踏面接触点的上方,轮缘的滑动越大,磨损也越重。

第三,内燃、电气化的目的是用大功率的机车牵引更重的列车,对侧磨的发展除机车的影响以外,车辆也在侧磨中起很大作用。所以,内燃化、电气化区段侧磨较重。运量大也是一个重要原因,如京广线广水—王家店区段,重车方向的运量是轻车方向的一倍,半径 600 m 以下曲线钢轨每百万吨平均侧磨量重车方向比轻车方向大 70%~80%。国外也有类似资料说明这个问题。

1.2 大轴重、大运量下的轮轨磨损

随着机车车辆轴重的增加,不仅轮轨接触应力随之增大;轮轨踏面的纵向、横向摩擦力也随之增大,轮轨侧压力也随之增大;钢轨的垂直磨损、侧面磨损,以及塑性流动也随之增大;轮缘和轮踏面磨损将会增大。我国货车随着小型车的淘汰,大型货车投入运用平均载重不断增加。而 23 t 轴重货车将普遍投入运营,轴重 25 t 的货车将在煤运专线上使用,轮轨相互作用将普遍增大。我国铁路列车牵引重量新中国成立后也是不断增大,特别是 90 年代发展重载运输,普遍开行 5000 t 的重载列车以后,轮轨关系方面的问题将愈来愈多,愈来愈严重。认真研究解决现有问题及将来出现的问题,是运输发展的迫切要求。特别值得强调指出的是,贯彻轮轨系统的观念进行综合研究,是研究理论和措施有无成效的关键。

国外有些学者已经从轴重对钢轨磨损率进行过研究。根据斯通(stone)^[3]的研究,当载荷增加 25%时,标准碳素轨直线轨道的磨损率增加 5.5 倍;在半径为 437 m(4°)的曲线上磨损率增加 1.2 倍。曲率增加的影响较稳定。但在小半径曲线上轴重仍是一个有影响的参数,因车轮的位置和取向而施于轨头的横向力和蠕滑力对轨头的磨损影响大。应指出的是,作者是用大载重货车(148 t 和 115 t 及 140 t)在三条重载线上的实际数据作出比较的。它可以作为我们评估轴重对磨损影响的参考。关于我国大轴重(23 t, 25 t)货车对钢轨磨损的实际影响,将是今后研究的课题。西南交通大学王夏整教授已在试验台上做了一些工作。

关于牵引重量增大磨损率也增大的问题,澳大利亚纽曼山铁路的统计表明,在 $0\sim 50\text{ Mt}$ 阶段,轨头加速磨损,随后即较缓和。对各种质量的钢轨来说,近似两段线性关系。从加拿大和美国FAST的钢头磨损外形来看也是如此。

1.3 减轻轮轨磨损的重要意义

我国山区占很大比重,铁路曲线所占比例较大,约占线路总长的 $1/3$,而其中半径 $R=300\sim 400\text{ m}$ 的曲线又占相当比重,不少是处在重载干线、运煤干线上,因此,轮轨磨损非常严重。有的机务段,车轮镟修公里很短,有时甚至影响机车运用。有的工务段曲线钢轨或因侧磨,或因波磨仅使用一年左右就需提前更换。随着运量的增加,大功率内燃、电力机车的作用以及大型货车投入运营,钢轨侧磨早已不是人们以前所有的概念,即轮轨磨损是小半径中的问题,它已经扩大到半径 $R\approx 1000\text{ m}$ 的大半径曲线,不仅磨损范围大,而且磨损率也在增加。非正常的磨损,过早地更换钢轨、车轮,除人工、材料等的消耗外,还会给运输带来干扰。我国铁路每年都需大量车轮和钢轨用于维修,生产缺口还得靠进口补充,这是一笔不小的支出。轮轨磨损除材料消耗外,在轮轨摩擦磨损过程中,除了使列车运行的正常消耗外,克服轮轨阻力的能量消耗也是很大的,增加了机车的电力、柴油和煤的消耗。我国铁路每年电力、燃料的消耗也是一笔很大的开支,因此节能也是轮轨关系中的一个重要课题。若在改善轮轨关系(相互作用)的基础上,将轮轨寿命延长一倍,将牵引机车的电力、燃料消耗降低 5% ,就可以获得巨大的经济效益,相应地改善机车、车辆、工务以及运输部门的运营条件。

波状磨损为害很大,除加速轨道和机车、车辆走行部的破损,产生噪声,影响舒适度以外,还潜伏着对行车安全的威胁。因此,列车运行在波状磨损线路上,伴随轮轨动力增载、减载的产生,可能引起脱轨事故。严重波磨地段,道床板结,必须换轨清筛。所以波磨影响着钢轨的寿命,轨枕的寿命,轨道找平周期和燃料的消耗。

若将轮轨动载荷增加一倍(如通过波深为 1.27 mm 的波磨时)钢轨寿命缩短因子大于 2。

例如,在年运量 25 Mt 的 $R=437$ m(4°)曲线上,若将轮轨载荷增加一倍,则枕木的寿命将从 24 年缩短到 13 年。

又例如,若将轮轨载荷增加一倍,则轨道找平作业就要增加一倍。这里未计及机车、车辆的破损。因此,减轻或防止钢轨波磨对减少轨道和机车、车辆的维修开支,保障安全运行具有重要意义。

波磨产生的动力学运动在车辆悬挂系统和道床中引起的能量消散也是可以用车辆/轨道模型计算的。例如,列车以速度 48~64 km/h 运行在 0.76 mm 深的波磨上,其吨英里的能量消耗为 3~5W·h,若内燃机车每 kHP·h 用油 53 加仑,则万吨单元列车通过一英里的上述波磨轨道得多消耗 2~3.5 加仑的燃料。

显然,减轻轮轨磨损和钢轨波状磨损具有重要的意义。

参 考 文 献

- [1]范铁华,罗清士.小半径曲线钢轨不均匀侧磨及从轮轨关系浅议减少磨耗的途径.中国铁道学会第四次轮轨关系学术讨论会论文(1988)
- [2]谭立成.蒸汽机车牵引力在动轮上分配的研究.技术科学副博士论文.莫斯科,1955
- [3]Stone, D. H., *Comparison of Rail Behavior with 125-Ton and 100-Ton Cars*. AAR, Report No. R-405, January, (1980)

2 章 机车车辆导向理论和轮轨侧面磨损

2.1 轮轨导向理论——摩擦中心法

2.1.1 概 述

长期以来,机车车辆通过曲线是认为依靠轮缘导向的。由于机车转向架的轴距长、轴重大,曲线通过时引起的轮轨横向作用力(或称导向力)大,因此机车的曲线通过较车辆问题多,故对机车曲线通过的研究也就比较深入。

轮轨间产生大的横向力及大的轮对冲角,会导致机车轮缘和曲线外轨内侧的过早磨损。大的横向力还可能引起轨距展宽,甚至使机车脱轨。我国铁路比较突出的问题是机车轮缘和曲线钢轨的剧烈磨损,因此,研究改善机车车辆的曲线通过性能,减缓轮轨磨损,对曲线占三分之一的我国铁路有着重大的现实意义。

值得指出的是,机车轮缘的磨损虽远较车辆剧烈,然而对钢轨磨损的研究指出^[1],引起曲线钢轨过早磨损的原因,其中机车与车辆各占的百分比,车辆约为70%~80%,而机车约为20%~30%。应该说引起曲线钢轨侧磨的主要因素是车辆而不是机车,因为列车中车辆轮对远较机车为多。

国外的线路试验还指出^[2],曲线钢轨侧磨分两个阶段:第一阶段为新轨有不大的侧磨(2~3mm),此后为第二阶段(侧磨至10mm以上)。第一阶段侧磨以机车轮对为主,占70%,而车辆仅为30%;而第二阶段侧磨,车辆轮对占65%~80%,而机车仅占20%~35%,即曲线钢轨的侧磨绝大部分属第二阶段。因此钢轨侧磨的主要因素是车辆轮对。改善车辆的曲线通过性能,特别是货车显得尤为必要。如采用承载鞍、自导向或迫导向转向架结构,将会