



国际重载铁路最佳应用指南

——线路施工与运营维修

国际重载协会

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2011-4629

图书在版编目(CIP)数据

国际重载铁路最佳应用指南. 线路施工与运营维修
/国际重载协会编. —北京:中国铁道出版社, 2011. 6
ISBN 978-7-113-12921-7

I. ①国… II. ①国… III. ①重载铁路—铁路线路—
工程施工—指南②重载铁路—铁路线路—维修—指南
IV. ①U239.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 075073 号

书 名: 国际重载铁路最佳应用指南——线路施工与运营维修
作 者: 国际重载协会
译 者: 任 化 钱 珺 谷爱军 白 雁 魏庆朝 肖 宏 蔡小培
韩 冰 冯瑞玲 朱尔玉 钟铁毅 张 楠 闫志刚 万传风
江 辉 郑方圆 马嘉琪 艾山丁 杨 坤 郭丽娜等
统稿审核: 谷爱军 白 雁
审 校: 任 化
专家技术审校: 薛继连
出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)
责任编辑: 刘 钢 熊安春
封面设计: 冯龙彬
印 刷: 北京市兴顺印刷厂
开 本: 880 mm×1 230 mm 1/32 印张: 16 字数: 477 千
版 本: 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-113-12921-7
定 价: 68.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

编辑部电话: (010) 51873138 发行部电话: (010) 51873170

打击盗版举报电话: (010) 63549504

These Guidelines have been prepared by the Technical Review Committee under the auspices of the International Heavy Haul Association as an input to the decision making processes of heavy haul railways. They represent the best efforts of the Technical Review Committee authors and reviewers. The Guidelines are neither mandatory directives nor intended to summarize and interpret the extensive heavy haul technical literature. There are . special combinations of circumstances in which the best practices may differ from those discussed in the Guidelines. Therefore, these guidelines are neither mandatory nor do they describe exclusive methods to achieve optimum rail/wheel performance.

Copyright . 2009 International Heavy Haul Association
All rights reserved.

Reproduction or translation of any part of this work without the permission of the copyright owner is unlawful. Requests for permission or further information should be addressed to:

International Heavy Haul Association
2808 Forest Hills Court
Virginia Beach, Virginia 23454 USA

13 12 11 10 9 1 2 3 4 5

Library of Congress Control No. :??

Printed in the United States of America

Book design and layout by D. & F. Scott Publishing, Inc. ,
North Richland Hills, Texas

前 言

我在铁路岩土工程领域从事教师、顾问和研究员工作已有 40 余年。还记得在 20 世纪 60 年代,我参加了由 AAR(北美铁道协会)和 AREA(美国铁路工程协会)举办的技术委员会会议。在会上,有人提议要解散这些学会,因为该领域所需的“岩土”领域的相关知识都已经掌握。而当时我作为这个领域的一个新成员,和其他人一样,还是有很多未解的疑问。不过幸好,这两个委员会最终保留了下来,而今天相关研究仍在继续。

我对铁路线下结构的了解都来自于以前的一些研究。我曾在布法罗的纽约州立大学、马萨诸塞大学、TTCI(北美铁道协会下属的铁道技术研究中心)普韦布洛以及其他一些实际铁路工程项目中进行研究工作。

为了促进重载铁路岩土工程技术的发展,几年前成立了一个委员会,隶属于 IHHA(国际重载运输协会)。该委员会包含了 IHHA 的各成员国的代表,旨在实现世界范围内的重载信息交流。来自任何国家的工程师只要有兴趣都可以加入。在重载大会上大家也进行了良好的交流。IHHA 的这些活动让我受益匪浅,并且发现通过交流、阅读大会论文集和相关书籍有助于对重载运输新进展和其他相关信息的进一步了解,否则我很难去接触到这些知识。

这本书由 IHHA 赞助。如果想致力于重载铁路研究,这本书是很好的补充,它包含了当前重载铁路规划和设计的大量实用信息。

过去的 40 年间,很多技术突飞猛进。比如,施工技术、土质改良技术、排水系统以及对于连续检测线路状态以确定薄弱点位置的技术都不断提升。这些进步大幅度提高了重载铁路的运输能力。

重载铁路要保持自己在全球经济中的重要地位,就需要不断地开展研究、教育和培训。这些挑战已经来临并且将延续下去。

将铁路线下结构简化为一个多层的系统有助于理解重载铁路线路的性能和功效。上部结构包括 2 根钢轨、轨枕以及扣件;中间部分包括道床

以及下层的路基。铁路线路的生命周期包括设计、施工、日常养护和大修。

改建线路结构或设计新结构时,要考虑到车速、轴重以及编组等众多方面。例如,速度引起的冲击力可能是车辆缓慢通过时的3倍。另外,如果轨道存在缺陷,就会在缺陷处产生冲击力;如果车轮存在缺陷,那么车轮每转一圈都会导致这种冲击的发生。

这些力的大小以及重复的次数在设计轨道结构的时候就应当予以考虑。但目前绝大部分的方法都忽略了这一点。下部结构材料受到的重复荷载可能会大幅度增加或减小其强度,也可能几乎没有影响。其中,伴随着重复荷载的施加,道砟和底砟的材料强度会增加,而通常路基的材料强度会减小,但也排除不变或是增大的可能。

排水系统的重要性在于它可以防止因路基中不断地积水而最终影响轨道的性能。对于轨道下部结构加强的需求是持续不断的,它是经济效益的保障。在建设完成以后的检测维修成本中,最大的一部分就是排水成本。良好的重载铁路线路需要一个能将水顺利排出,并能降低路基含水量的排水系统。虽然传统的铁路设计在荷载增加时成本也会增加,但是,如果轨道结构中含水量增多,下部结构承载力下降,这样就会导致增加额外的治理成本。

轨道会由于某些因素而产生变形,比如车辆荷载和一些自然气候原因。例如洪水可能会使土壤的承载能力减小,潮湿或者干燥的天气可能导致土壤的膨胀或收缩。进行轨道结构研究时,这些因素都需要考虑进去。

钢轨爬行由下部结构开始,但最终导致失效的不主要是道床,而是路基。对运营铁路轨道性能研究的结果显示,轨道伤损通常出现在含有黏土的路基断面上。如果某处路基断面上黏土量大,那么该断面处就很有可能发生伤损。但如果黏土的含水量处于某个最佳值时,黏土也可用来做路基。相关分析表明,绝大部分线路变形都发生在路基上,而且也增加了养护维修的费用。

钢轨和轨枕变形也在很大程度上受到下部结构的影响。大部分钢轨、轨枕的更换都是下部结构导致的,尤其是路基。下部结构的更换比施工建设初期的费用要高出很多。

显然,倘若路基有问题,进行整治是一笔值得的投资。而若不对路基的问题进行整治,即使不断地对下部结构其他部分进行修复也于事无补。随着时间的推移,项目建设开始时对路基的优化设计以及合理的整治成为最为经济的办法。

TTCI 等组织已经完成的工作对于全面研究这些问题很有帮助。另外,还有很多在美国以及其他世界各地做的现场实验作为补充。本书所提供的信息就是来自这些资源。

虽然本书内容较为详细,但仍有很多未尽之处。希望读者能有效地利用此书并继续从事发展重载铁路的事业,使重载铁路能以最高效经济的办法来满足当前的运输需求。

Ernest T. Selig

2008.10

致 谢

衷心地感谢很多为这本《国际重载铁路最佳应用指南》付出辛劳的编者。本书《国际重载铁路最佳应用指南:线路施工与运营维修》,是国际重载铁路协会委员会委托编写的《最佳应用指南》系列书籍的第2部。第1部已于2001年出版,主要讨论了轮轨关系问题,并在国际重载运输界得到好评。IHHA的委员们在策划这两本书的时候一直围绕着一个中心,就是要呈现给读者全世界范围内重载铁路领域的理论和实践,从而使得重载铁路的运输取得成功。第1部讨论了重载中轮轨的相互作用,而第2部延续着这个主题,讨论了钢轨、轨道结构和路基,覆盖范围更广,覆盖了重载铁路相关的7大领域,总计650页(英文版)。

很多在重载铁路养护维修以及建设方面杰出的学者都加入到了本书的撰写和编辑工作中来。要不是他们付出的辛劳和时间,本书不可能顺利完成。他们作为一个团队,在IHHA委员会的指导下完成了此书,并受到国际铁路行业的一致好评。在此表示我对他们的衷心感谢:

主编—Darrel Cantrell

Cantrell从BNSF铁路工程部门退休时已有36年的线路养护维修和施工建设的经验。1999年开始,他掌管的Cantrell铁路运营公司为国际重载铁路提供咨询服务。

统稿/编辑—John Leeper, PE

John退休时已在BNSF的工程运营部门工作了41年。他编写了BNSF很多的工程建设规范和其他的技术性规范。

前言作者—Ernest T. Selig, Ph. D., PE

Ernest是马萨诸塞大学工程学院的名誉教授。他一直专注于轨道、道砟的性能研究。他在技术上的支持使得编者对于轨道结构在重载铁路中的角色有了更清楚的理解。他在他担任顾问的公司中继续从事相关的活动和研究。

引言作者—Bill Wimmer

Bill 于最近从联合太平洋铁路公司退休,之前担任该公司工程部门的副总经理,已有 50 年的铁路工作经验。他一直倡导重载铁路形式,并为 IHHA 提供相关技术支持。他在重载铁路工程问题上经验丰富。

各章节主要编者:

第 1 章 线路是重载铁路成功的关键—Michael Roney, 加拿大太平洋铁路公司

第 2 章 铁路经济—Carl Martland (退休), 麻省理工大学

第 3 章 轨道结构部件—David Staplin, 国家铁路公司(美国铁路公司)

第 4 章 轨道检测—Robert Blank, 诺福克南方铁路公司

第 5 章 线路重载化轨道改造—Donald Holfeld, ZETA 技术协会公司

第 6 章 轨道养护维修—James Bagley(退休), 诺福克南方铁路公司和 CSX 交通公司

第 7 章 重载铁路的桥梁和结构概述—John Unsworth, 加拿大太平洋铁路公司

第 8 章 实例分析—Roy Allen, 美国铁道技术研究中心

还有很多的编者协助这些章节主编完成撰稿、内容组织以及审稿工作。

总共有 50 余名编者加入到本书的撰写和材料收集中。

本书的撰写持续了 3 年时间,编者们的倾注了大量的心血来完成这本技术参考书,读者阅读起来会饶有兴趣且受益匪浅。每章的主编负责各自一章的结构;整本书的章节组织、编辑、定义格式的工作都是由项目主编和本书的统稿/编辑来负责的,他们分别是 Darrel Cantrell 和 John Leeper。IHHA 委员会对他们完成这份艰巨任务而付出的努力表示感谢。委员会还想对发行人 Bill Scott 表示感谢。如果没有他们的帮助,就不可能有这本高质量的技术参考书。谢谢各位。

国际重载铁路协会
首席执行官
W. Scott Lovelace

这本《最佳应用指南》通过国际重载铁路协会由以下理事会成员完成：

澳大利亚

澳大利亚公共铁路公司

Brian G. Bock 主任

澳大利亚私立铁路公司

Arthur Wessling 主任

巴西

Companhia Vale Do Rio Doce (VALE)

Adaauto Caldara 主任

加拿大

加拿大铁路协会 (RAC)

Michael Roney 副主席

中国

中国铁道学会

吕长清秘书长

印度

印度铁道部

Pradeep Bhatnagar 主任

俄罗斯

全俄罗斯铁路研究所 (VNIIZhT)

Andrey Semechkin 主任

瑞典/挪威

北欧重载铁路协会 (NHH)

Thomas Nordmark 主任

南非

Transnet

Willem Kuys 主任

国际铁路联盟 UIC

World Division

V. C. Sharma 副主任

美国

北美铁道协会 (AAR)

Roy A. Allen 联合主席

IHHA CEO

W. Scott Lovelace 国际重载铁路协会首席执行官

公制和英美制单位转换

面积

单位	转换单位	折合
平方厘米(cm^2)	平方英寸(in^2)	0.155
平方英尺(ft^2)	平方米(m^2)	0.092 9
平方英寸(in^2)	平方米(m^2)	0.000 645 16
平方英寸(in^2)	平方毫米(mm^2)	645.16
平方英寸(in^2)	平方厘米(cm^2)	6.451 6
平方米(m^2)	平方码(yd^2)	1.196
平方米(m^2)	平方英尺(ft^2)	10.76
平方米(m^2)	平方英寸(in^2)	1 550
平方毫米(mm^2)	平方英寸(in^2)	0.001 55
平方码(yd^2)	平方米(m^2)	0.836 1

长度/距离

单位	转换单位	折合
厘米(cm)	英寸(in)	0.393 7
英尺(ft)	米(m)	0.304 8
英寸(in)	米(m)	0.025 4
英寸(in)	厘米(cm)	2.54
英寸(in)	毫米(mm)	25.4
千米(km)	英里(mi)	0.621 37
米(m)	英尺(ft)	3.280 8
英里(mi)	米(m)	1.609 3
毫米(mm)	英寸(in)	0.039 37
码(yd)	米(m)	0.914 4

质量

1 千磅等于 453.59 千克

单位	转换单位	折合
千克(kg)	公吨	0.001
千克(kg)	吨(ton)	0.001 102 3
千克(kg)	磅(lb)	2.204 6
千克(kg)	盎司(oz)	35.274
千磅(kip)	磅力(lbf)	1 000
盎司(oz)	千克(kg)	0.028 35
磅(lb)	千克(kg)	0.453 6
吨(ton)	千克(kg)	1.609 3
吨(ton)	公吨	0.907 2
公吨	吨(ton)	1.102 3

压强

单位	转换单位	折合
帕(Pa)	千帕(kPa)	0.001
帕(Pa)	千克/平方米(kg/m ²)	0.101 971 6
帕(Pa)	磅/平方英寸(lbf/in ²)	0.000 145

力矩/扭矩

单位	转换单位	折合
牛·米(N·m)	英尺·磅(ft·lb)	0.737 56
英尺·磅(ft·lb)	牛·米(N·m)	1.355 82
千牛·米(kN·m)	英尺·磅(ft·lb)	737.562
英尺·磅(ft·lb)	千牛·米(kN·m)	0.001 36

温度

单位

转换单位

折合

摄氏度(°C)

华氏温度(°F)

$9/5 \times ^\circ\text{C} + 32$

华氏温度(°F)

摄氏度(°C)

$5/9 \times (^\circ\text{F} - 32)$

曲度

曲度	半 径	
	英尺	米
1°	5 730	1 746
2°	2 865	873
3°	1 910	582
4°	1 433	437
5°	1 146	349
6°	955	291

引 言

国际重载运输协会(IHHA)于 1983 年夏正式成立,由澳大利亚、加拿大、中国、南非和美国的铁路成员代表组成。在此之后,俄罗斯、巴西、挪威、瑞典以及国际铁路联盟(UIC)的国际部也相继成为该协会的会员。

第 1 部《国际重载铁路最佳应用指南——轮轨关系》手册于 2001 年 5 月印刷出版。该手册基于效益成本方法,总结了重载铁路的最佳应用。研究结果以这种手册的方式展示,为铁路运营管理者提供了如何将这些应用技术与他们自己的运营管理相结合的技术支持。第一本手册的理念在 1991 年的国际重载运输协会会议上提出,经过 10 年整理最终出版。

自从第一本手册出版以来,全世界范围内对重载线路大宗货物运输的需求不断增长。与高速公路之间的竞争显示,铁路运输在成本上占据优势,这表现在铁路的长距离运输,特别是重载货物的长距离运输。因为列车可以一次作业完成,实现迅速装卸,因此从经济学的角度,重载运输更偏重利用单元列车。最大的单元列车的应用是将煤从煤矿运送到热电厂,也可以用来运输谷物、纯碱粉末、酒精、矿石和多式联运(特别是双层集装箱列车)。

所有铁路部门主要的责任就是提高安全性,减少对从业人员和社会的安全伤害。它们都有自己的基础设施和机车车辆的养护维修标准。大多数铁路部门都发现,从长远来看,新线建设和维护采用高标准,会降低线路的养护维修和运营支出费用。重载铁路要求更高的养护维修标准,一些北美铁路注意到了这一点,在那里有多条线路,每条线路的年运量超过 3 亿吨。

科研开发(R&D)在分析重载铁路轮轨接触方面起了很重要的作用。这种研发可以通过多种途径来实现:

1)通过铁路自身的生产活动,或者像北美那样,通过北美铁道协会(AAR)及其附属部门;

2)铁路供应商、车主或货主;

3)政府或大学赞助的研究机构。

铁路行业与政府部门的联合研究项目加深了人们对线路和列车相互作用的认识。在北美,自从1984年起,北美铁道协会(AAR)及其附属的美国铁道技术研究中心(TTCI)组建管理提速运营测试研究室(FAST)并为其配备人员。在提速运营测试研究室(FAST)设备发挥效用之前,影响铁路行业科研开发效率的主要障碍是,根据各个部件在正常运营中的磨损,得到可靠的生命周期成本的比较结果所耗费的时间过长。提速运营测试研究室具有重要意义的测试所关注的焦点是,重载运输给基础设施带来的影响,以及运行“125 t”(39 t轴重)重载车辆的成本和安全性。这些努力的成果已用于帮助铁路部门进行养护维修作业,更好地规划在这样荷载作用下的轨道维修。自从上世纪90年代后期,北美铁路行业已经学会处理36 t轴重列车所带来的影响,在本书的很多章节中会讨论这些应用结果。除了提速运营测试研究室进行的重载测试外,除在FAST的重载实验外,现在铁路行业与美国铁道技术研究中心的合作,正在实施超大规模现场效益测试。一些重载线路的年运量大幅度超过了提速测试运营研究测试室的年运量。优势是明显的,例如,现在我们知道的轨道组成部件的磨损和疲劳状况比实际线路上的要快。这就是新技术的广泛应用对铁路行业的贡献。

铁路行业的技术研发仍然需要继续发展,以提高安全和服务质量,同时应对环境的挑战、能力与安全性能等问题。由于铁路设备需要长久寿命,并且更换费用高,因此这个问题十分重要。由于从科技研发到实施应用需要很长的时间,我们必须通过国际重载运输协会共同努力,共同迎接铁路货运的需求和挑战。

下面简略概括一下这本IHHA手册的8章内容。

第1章介绍了线路作为一个整体系统要满足重载运输要求所必须具备的一些基本属性。本章从作用于轨道的轮对和轮轨之间的作用力着眼开始论述,继而扩展到轨道的几何形位和它的重要性。该章还论述了轨道几何形位的临界值,然后讨论了轨道超高和不同类型列车运行的各种影响。综述了轨道刚度的作用和它对轨道部件的影响,轨道过渡段和它们的重要性也有所涉及。结合一些分析工具,强调论述了轨道横向稳定的基本原理,如影响胀轨跑道的参数和一些实际运营中预防胀轨跑道的最佳措施。

第2章涵盖了重载铁路运营的相关经济成本问题,介绍了将工程经济的方法运用到铁路线路基础设施建设上的基本方法。接着论述了生命周期成本和其在工程问题中的应用。生命周期成本分析必须具有大量的信息,包括从施工到检测和轨道部件维修等详细内容。详尽论述了北美铁道协会(AAR)关于重载与相关经济效应的分析结果。列举了一些实际的工程决策问题,包括何时选用优质的轨道部件。本章还给出了欧洲高密度客货共线铁路的案例。

第3章是关于轨道和其组成部件以及支撑轨道的路基的相关内容。轨道和路基作为一个整体系统,必须满足商业运营的要求,这往往取决于长期支撑重载线路的路基的变形情况。通过世界各地的研究,关于重载列车不断增加的编组长度的性能研究已取得进展。通过这方面的知识和技术的运用,有助于了解轨道状态和改善其性能。设计和维修实践必须与其成果紧密地结合,所以重载运输的需求推进着轨道结构和路基的设计进展。在重载铁路线上,因为商业运营的需求,维修及检测周期是非常有限的,所有部件的设计必须保证在养护维修周期内能够使用更长的时间。

第4章讨论了负责轨道检测和维修人员面临的特殊挑战。列车轴重、行车密度、列车编组长度的增加以及运行速度的提高,增加了疲劳损伤率、磨耗以及轨道整体结构的恶化。由于重载运输的严格要求,全面和

及时的轨道检测获得轨道结构状态变化信息对于设备安全、使用寿命和运营效率是至关重要的。本章编纂了一些专家对于轨道检测问题的看法,非常具有价值。作者介绍了新的检测技术。与目视检查相比,新技术可以提高检测的速度,增加检测的可靠性和精确性。结合 GPS 定位技术,现有多种检测技术可以精确定位轨道缺陷的位置并及时上报。另外,数据处理系统非常重要,可以利用采集到的庞大的数据进行各项分析,从而得知缺陷的发展情况和确定养护维修计划。

第 5 章详细说明了需要采取哪些措施来改善轨道结构,使之能够为重载运输服务。本章的作者根据自己在重载方面的实际经验分别介绍了各个部件的改进情况。

第 6 章介绍了线路的养护维修。该章开始部分讨论了如何合理设置重载线路的排水系统,因为在重载线路上,如果没有适当排水系统,任何含水量大的地方没有得到妥善处理都可能在一夜间就会变成病害处。本章的第 2 部分专门讨论钢轨的养护维修,如打磨、焊轨、润滑(包括钢轨的轨距角和轨顶面)和钢轨应力放散。本章的结尾部分,为解决不断增加的轴重问题,作者详细讨论了应该选择哪些工具来监测验收养护维修的完成情况,哪些轨道结构改进是必要的,以及如何选择最佳方法进行重载线路的维护。

第 7 章概述了重载铁路桥梁和其他重载结构。本章作者是重载桥梁工程研究、设计、维护和建设方面经验丰富的行业专家。本章内容涉及重载铁路桥梁检测、评价、日常维修、大修、部件更换和设计以及一些特殊的针对重载运输的考虑。首先全面介绍了桥梁类型、构件和材料,接着论述有关重载桥梁的检测、评价和经济性。本章的最后部分是铁路桥梁的养护、修复和构件更换。

第 8 章是重载铁路的案例研究。本章给出了 3 个来自于不同国家重载运输案例——中国、美国和北极圈北部地区的挪威/瑞典。在前 2 个案例中,运送的主要货物是煤。瑞典/挪威线的重载铁路主要运输产品则