



朔黄重载铁路轮轨关系

WHEEL-RAIL INTERACTION IN
SHUOHUANG HEAVY-HAUL RAILWAY

薛继连 著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

朔黄重载铁路轮轨关系

Wheel-Rail Interaction in Shuohuang
Heavy-Haul Railway

薛继连 著

中国铁道出版社

2013年·北京

内 容 简 介

本书在当今国内外重载铁路轮轨关系的研究基础上,对朔黄重载铁路钢轨的现有伤损病害及轨道结构部分强化改造措施进行了阐述,并对现场调查与测试的项目进行归纳总结分析;从轮轨相互作用关系源头出发,研究重载铁路轮轨型面合理匹配、小半径曲线钢轨打磨参数和摩擦控制技术,提出重载铁路延长钢轨使用寿命的综合技术措施。

本书可供铁道工程领域特别是重载铁路的科研人员、工程技术人员及管理人员阅读参考,也可作为铁道工程专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

朔黄重载铁路轮轨关系/薛继连著. —北京:中国铁道出版社,2013. 9

ISBN 978-7-113-16691-5

I. ①朔… II. ①薛 III. ①重载铁路—轮轨关系—研究 IV. ①U239. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 122299 号

书 名:朔黄重载铁路轮轨关系

作 者:薛继连 著

策 划:洪学英

责任编辑:时 博 洪学英

电话:010-51873141

电子信箱:crph@163.com

编辑助理:刘 霞

封面设计:郑春鹏

责任校对:龚长江

责任印制:陆 宁

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)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

版 次:2013年9月第1版 2013年9月第1次印刷

开 本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:18.25 字数:445千

书 号:ISBN 978-7-113-16691-5

定 价:80.00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,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

作者简介

薛继连,男,汉族,1954年10月出生于山西省大同市,管理学硕士,教授级高级工程师;中国岩土力学与工程学会常务理事,中国铁道学会理事,中国企业家联合会理事;全国人大代表,北京市人大代表,河北省政协委员;曾任中铁十六工程局总工程师、副局长,现任中国神华股份公司副总经理、副总裁,朔黄铁路发展有限责任公司董事长、总经理。



薛继连同志在铁道兵部队工作期间因事迹突出多次荣立二等功和三等功。曾荣获天津市劳动模范,北京市优秀共产党员,铁道部先进科技工作者,河北省“九五”重点建设突出贡献先进个人。1996年,主持研究的“赣江特大桥的深水溶岩钻孔桩施工技术”荣获国家科学技术进步三等奖;1999年,主持研究的“景忠山隧道施工现代化管理技术”被授予世界华人重大科学技术成果荣誉;1999年,参与研究的“大秦铁路修建及运营管理新技术”获铁道部科技进步一等奖;2002年获全国“五一劳动奖章”;2003年,主持研究的“复杂地质条件下特长双线隧道综合施工技术”荣获国家科技进步二等奖;2004年被人事部、国务院国有资产监督管理委员会评为“中央企业劳动模范”;2005年被评为“全国劳动模范”、“十大中国最受关注企业家”;2005年,主持研究的“朔黄铁路建设运营技术”荣获北京市科学技术一等奖;2007年,主持研究的“朔黄重载铁路建设与运营技术”获国家科技进步二等奖;2010年10月荣获“2010年度中国改革十大新闻人物”;2011年,主持研究的“朔黄重载铁路延长钢轨使用寿命综合技术措施”获中国铁道科学技术奖一等奖。

序

朔黄重载铁路作为西煤东运第二大通道的重要组成部分,在我国铁路路网中占据着特殊的地位,为保障我国能源安全起着显著作用;同时,朔黄重载铁路还作为环渤海地区与内陆地区连接的新通道而发挥关键作用。虽然目前朔黄重载铁路的出海口还比较单一,但随着黄万线和黄大线的建成开通,西煤东运第二通道的出海口将增至2~3个,形成“多口对一路,一路对多港”的格局。这些港口地处环渤海经济圈,目前该区域的经济发展速度明显加快,区域经济一体化的趋势日益明显,朔黄重载铁路的战略价值更加凸显,发展前景十分广阔。

朔黄重载铁路上行线自2005年开始更换U75V 75 kg/m钢轨后,运营半年左右时间,小半径曲线内股钢轨轨面表层开始出现鱼鳞状裂纹,到2006年2月底已有钢轨出现大范围的剥落掉块,严重影响运输效率。要研究解决朔黄重载铁路曲线钢轨病害问题,延长钢轨使用寿命,必须深入细致地研究重载铁路运输条件下的轮轨相互作用关系。为此,朔黄重载铁路发展有限责任公司于2006年在铁道部科技司申请立项,铁道部科技司将“朔黄铁路轮轨关系及延长钢轨使用寿命的试验研究”正式立为重点科研课题,承担单位为朔黄铁路发展有限责任公司。四年时间里,研究团队通过加强重载铁路技术国际交流,现场调查与测试,室内理论仿真和试验,试验段长期观测,研究提出曲线钢轨非对称型面打磨、曲线钢轨润滑、曲线设置参数优化等延长钢轨使用寿命的技术措施,并在现场实施,取得良好效果,为我国重载铁路运输轮轨关系技术的发展作出巨大贡献。2011年,“朔黄重载铁路延长钢轨使用寿命综合技术措施”获中国铁道科学技术奖一等奖。

在实施朔黄重载铁路延长钢轨使用寿命综合技术措施研究的过程中,朔黄铁路发展有限责任公司董事长、总经理薛继连同志作为技术领头人,带领他的团队艰苦奋斗,大胆创新,持续攻关,取得丰硕成果。这部《朔黄重载铁

路轮轨关系》,集中国内目前对朔黄重载铁路轮轨关系研究的最新成果,凝聚着一大批科研、建设、运营工作者的智慧和汗水。本书系统地总结了朔黄重载铁路轮轨关系中存在的问题,科学地阐述了解决现有轮轨问题的关键技术方法,提出延长钢轨使用寿命的技术措施。书中对于朔黄重载铁路轮轨关系研究中新发现和新技术的总结,为我国重载铁路技术的全面提升,将会奠定坚实的基础。

中国科学院院士,西南交通大学首席教授



2013 年 5 月

前言

铁路是交通运输的大动脉,对社会经济发展起着十分重要的作用。发展重载铁路运输是国际上货运铁路的主要方向,也是既有铁路扩能增效的一种有效途径。大轴重重载运输,一方面运能大、效率高、运输成本低,另一方面可显著提高机车车辆运转效率,减少机车车辆数量,同时降低牵引能耗、机车车辆维护费用和设备占用时间等,目前已成为大宗货物最为经济有效的运输方式。

朔黄重载铁路西起山西省神池县神池南站,东至河北省黄骅市黄骅港口站,正线总长近 600 km,是我国主要重载铁路之一。朔黄重载铁路于 2000 年 5 月 18 日建成通车,当年完成运量 524 万 t,随后运量逐年大幅增长,到 2005 年底已完成年运量 9 230 万 t,2007 年完成 1.3 亿 t,2012 年完成 1.9 亿 t。

随着运量的增加,小半径曲线钢轨伤损及磨耗严重。为延长钢轨的使用寿命,2005 年对朔黄上行线进行改造工作,将上行线全部更换为 75 kg/m 钢轨,共更换 557.5 km。上行线采用区间无缝线路轨道结构,轨枕为 II 型混凝土轨枕,配置 1840 根/km,II 型弹条扣件,II 级碎石道床(部分补充 I 级碎石),道床宽度 3.4 m 并堆高砟肩 650 mm。下行线仍为 60 kg/m 钢轨。

更换 75 kg/m 钢轨后,运营半年左右时间后,小半径曲线下股钢轨踏面表层开始出现鱼鳞状裂纹,逐步发展出现轻微的鱼鳞状剥落掉块,曲线上股钢轨侧磨与原 60 kg/m 钢轨相比较,虽较为缓慢,但当钢轨发生鱼鳞状剥离掉块趋向稳定后,上股钢轨侧磨速度加剧,成为钢轨下道的关键因素。个别小半径曲线($R=500\text{ m}$)上股钢轨的磨耗寿命仅为 3 亿 t 左右。

曲线钢轨磨耗与疲劳伤损是铁路重载运输的一个突出问题。朔黄重载铁路目前主要开行 23 t 轴重、牵引质量 6 000 t 和部分万吨重载列车,与国外重载铁路运能相比差距较大,因此,增大轴重、开行长大编组的重载组合列车将是扩大朔黄重载铁路运输能力的最佳途径。然而,随着轴重和运量的增加,轮轨磨耗、钢轨伤损也将日益严重。

世界各国重载铁路的发展经验表明,曲线钢轨磨耗与疲劳伤损和很多因素有关,如轮对运动行为、轮轨作用力、轮轨间摩擦系数、接触界面介质、接触面粗糙度、轮轨材质、轮轨几何型面、轨道结构、曲线设置参数等,然而,要研究解决朔黄重载铁路钢轨伤损问题,改善轮轨关系,减轻小半径曲线钢轨的侧磨,延长钢轨的使用寿命,必须深入细致地研究朔黄重载铁路运输条件下的轮轨相互作用关系。

本书共分为六章,按三个层次展开:一是立足我国铁路大发展的背景,在概括总结当今国内外重载铁路轮轨关系的研究基础上,对朔黄重载铁路钢轨的现有伤损病害及轨道结构部分强化改造措施进行阐述,并对现场调查与测试项目进行归纳总结分析;二是从轮轨相互作用关系源头出发,研究朔黄重载铁路轮轨型面合理匹配、小半径曲线钢轨打磨参数和摩擦控制技术,结合朔黄重载铁路的运输特点,对朔黄重载铁路轨道主要部件进行优化分析,提出朔黄重载铁路延长钢轨使用寿命的综合技术措施;三是通过现场验证段的方案设置和现场实践来对前述综合技术措施效果进行验证。

本书的编写凝聚着一大批科研、建设、运营工作者的智慧和汗水,通过编写本书来总结朔黄重载铁路轮轨关系研究中的新发现和新技术,既展示朔黄重载铁路轮轨关系研究所取得的重要成果,也期望对今后的重载铁路运输技术研究能有所帮助。

由于作者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

薛继连
2013年3月

目 录

1 重载铁路轮轨关系研究现状	1
1.1 重载铁路概述	1
1.2 重载铁路轮轨关系国外研究现状	17
1.3 重载铁路轮轨关系国内研究现状	27
1.4 朔黄重载铁路轮轨关系主要研究内容	33
2 朔黄重载铁路现状调查及测试	38
2.1 轨道结构及车辆概况	38
2.2 轨道几何状态与曲线参数设置	43
2.3 典型钢轨病害区段轮轨相互作用特征	54
2.4 道床与橡胶垫板刚度	64
2.5 轮轨型面磨耗与硬度分布规律	66
2.6 钢轨伤损统计分析	71
2.7 美国铁路运输技术中心的考察评估	80
3 重载铁路钢轨打磨(铣磨)技术	99
3.1 钢轨疲劳裂纹萌生寿命仿真分析	99
3.2 曲线钢轨磨耗测试与分析	103
3.3 在役钢轨金相分析	112
3.4 钢轨打磨参数的确定	131
3.5 曲线钢轨打磨型面设计	134
3.6 重载铁路钢轨打磨技术应用效果	139
3.7 重载铁路钢轨铣磨技术应用	147
4 重载铁路钢轨摩擦控制技术	153
4.1 钢轨侧面摩擦控制研究	153
4.2 钢轨侧面润滑观测与分析	164
4.3 钢轨全断面摩擦控制方法及效果	167
5 轨道部件与曲线参数优化	225
5.1 轨道结构配置	225

5.2	小半径曲线参数优化	241
5.3	轨道结构与曲线参数优化应用效果	256
6	现场综合技术应用及前景	266
6.1	应用实例分析	266
6.2	研究成果与发展前景	273
参考文献		277
后 记		280

Contents

1	Current situation of wheel/rail interaction research at heavy-haul rail	1
1.1	Introduction to world heavy-haul rail and Shuohuang heavy-haul rail	1
1.2	Current situation of wheel/rail interaction research at heavy-haul rail at abroad	17
1.3	Current situation of wheel/rail interaction research at heavy-haul rail in China	27
1.4	Main contents of wheel/rail interaction research	33
2	Current situation of Shuohuang heavy-haul railway	38
2.1	Introduction to track structure and rolling stock	38
2.2	Track geometry and curve parameters setting	43
2.3	Characteristics of wheel/rail interaction at typical rail defects section	54
2.4	Ballast and rubber pad stiffness	64
2.5	Wheel/rail profile wear and hardness distribution rule	66
2.6	Statistic analysis of rail defects	71
2.7	Investigation of TICI at America	80
3	Rail grinding (Mill Grinding) technology at heavy-haul rail	99
3.1	Simulation analysis of rail fatigue crack initiation life	99
3.2	Measurement and analysis of rail wear at curve	103
3.3	Metallographic analysis of in-service rail	112
3.4	Determination of rail grinding parameters	131
3.5	Design of rail grinding profile at curve	134
3.6	Application of rail grinding technology at heavy-haul rail	139
3.7	Application of rail Mill Grinding technology at heavy-haul rail	147
4	Rail friction control technology at heavy-haul rail	153
4.1	Research of rail side friction control	153
4.2	Investigation and analysis of rail side lubrication	164
4.3	Method and effectiveness of full rail profile friction control	167
5	Optimization of track components and curve parameters	225
5.1	Setting of track structure	225

5.2	Optimization of sharp curve parameters	241
5.3	Application of optimization of track structure and curve parameters	256
6	In-situ application of integral technologies	266
6.1	Practice and analysis	266
6.2	Development and prospect	273
Literatures		277
Epilogue		280

1 重载铁路轮轨关系研究现状

曲线钢轨磨耗与疲劳伤损是重载铁路运输的一个突出难题,其与很多因素有关,如轮轨作用力、轮轨型面、轮轨材质、轮轨相对运动、轮轨接触斑表面状态、轨道结构、曲线参数等,关系非常复杂。世界各国铁路部门每年用于维修和更换钢轨的费用十分庞大,所以,在过去的 20 年间,许多国家投入大量的人力和财力对减小钢轨磨耗和伤损技术措施进行深入仔细的研究,并取得一定的进展,尤以北美重载铁路、澳大利亚、南非等重载运输发达国家或组织所取得的研究成果最为显著。

我国对重载铁路钢轨磨耗和伤损的研究一直以来都非常重视,特别是我国运煤干线电气化改造后,机车车辆轴重的增加、列车牵引质量和运行速度的提高,使得小半径曲线钢轨侧磨大幅度上升,更是引起管理部门的注意。因此,在“七五”期间,原铁道部先后立项研究了几种典型条件下的钢轨侧磨问题,取得一些进展;在“八五”期间,又申请了国家重点科技攻关项目“减轻重载列车轮轨磨耗的研究”,比较系统地研究了我国主要干线铁路钢轨磨耗和伤损问题,结合当时铁路干线运输条件,提出减小曲线钢轨侧磨、延长钢轨使用寿命的一些具体技术措施,取得良好运用效果。近年来,随着我国重载铁路的万吨/两万吨长大编组列车开行常态化、大量 25 t 轴重货车上道运输、载重货车速度进一步提高到 100 km/h 等运输条件的改变,我国相关科研部门和钢铁厂借鉴国外重载铁路发展经验,联合开发了新型材质的试验钢轨,用于小半径曲线以延长钢轨使用寿命,初步试验显示出良好效果。

本章主要总结世界重载铁路的发展趋势,提炼重载铁路在轮轨方面所进行的研究,提出朔黄重载铁路轮轨关系研究的主要内容。

1.1 重载铁路概述

1.1.1 国外重载运输概况

1. 发展历程

重载铁路运输因其运能大、效率高、运输成本低而受到世界各国铁路的广泛重视,特别是在一些幅员辽阔、资源丰富、煤炭和矿石等大宗货物运量占有较大比重的国家,如美国、加拿大、巴西、澳大利亚、南非等,发展尤为迅速。目前,重载铁路运输在世界范围内迅速发展,重载运输已被国际公认为铁路货运发展的方向,成为世界铁路发展的重要趋势。

世界铁路重载运输是从 20 世纪 50 年代开始出现并发展起来的。第二次世界大战后的经济复苏及工业化进程的加快,对原材料和矿产资源等大宗商品的需求量增加,导致这些货物的运输量增长,给铁路运输提出新的要求,而大宗、直达的货源和货流又为货物运输实现重载化提供了必要的条件。铁路部门从扩大运能、提高运输效率和降低运输成本出发,也希望提高列车的重量。同时,铁路技术装备水平的不断提高,又为发展重载运输提供了技术保障。

从 20 世纪 50 年代起,一些国家铁路就有计划、有步骤地进行牵引动力的现代化改造,先

后停止使用蒸汽机车,新型大功率内燃和电力机车逐步成为主要牵引动力。由于内燃、电力机车比蒸汽机车性能优越,操纵便捷,采用多机牵引能获得更大的牵引总功率,这为大幅度提高列车的重量提供了必需的牵引动力,以开行长大列车为主要特征的重载运输开始出现。但这一时期的重载技术尚不配套,长大列车货车间的纵向冲动、车钩强度、机车的合理配置、同步操纵及制动等技术问题都没有得到很好的解决。

20 世纪 60 年代中后期,重载运输开始取得实质性进展,并逐步形成强大的生产力。美国、加拿大及澳大利亚等国铁路相继在运输大宗散装货物的主要方向上开创了固定车底单元列车循环运输方式,而且发展很快。

20 世纪 80 年代以后,由于新材料、新工艺、电力电子、计算机控制和信息技术等现代高新技术在铁路上的广泛应用,铁路重载运输技术及装备水平又有很大提高,特别是在大功率交流传动机车,大型化、轻量化车辆,同步操纵和制动技术等方面有新的突破,极大促进了重载运输的发展。

近 50 年来,重载运输技术的不断进步,推动以下重载列车试验牵引重量的世界纪录不断被刷新。

(1)1967 年 10 月,美国诺福克西方铁路公司(N&W,现已归入诺福克南方铁路公司)在韦尔什—朴次茅斯间 250 km 区段内,开行 500 辆煤车编组的重载列车,由分布在列车头部和中部的 6 台内燃机车进行牵引。列车全长 6 500 m,总重达 44 066 t。

(2)1989 年 8 月,南非铁路在锡申—萨尔达尼亚矿石运输专线上,试验开行 660 辆货车编组的重载列车,由 16 台机车牵引(5 台电力机车+470 辆货车+4 台电力机车+190 辆货车+7 台内燃机车+1 辆罐车+1 辆制动车)。列车总长 7 200 m,总重达 71 600 t。

(3)1996 年 5 月 28 日,澳大利亚在纽曼山—海德兰铁路线上,开行 540 辆货车编组的重载列车,由 10 台 Dash 8 型内燃机车牵引(3 台机车+135 辆货车+2 台机车+135 辆货车+2 台机车+135 辆货车+2 台机车+135 辆货车+1 台机车)。列车总长 5 892 m,总重达 72 191 t,净载重 57 309 t。这次试验列车平均车速为 57.8 km/h,最高达 75 km/h。

(4)2001 年 6 月 21 日,澳大利亚在纽曼山—海德兰铁路线上,开行 682 辆货车编组的重载列车,由 8 台 AC 6000 型机车牵引。列车总长 7 353 m,总重达 99 734 t,净载重 82 000 t,创造了最长、最重列车新的世界纪录。8 台机车分散布置,每 2 台 1 组,分成 3 组,另外 2 台机车单独布置。1 名司机通过 LOCOTOL 机车无线同步操纵系统操纵全部机车。该列车平均车速为 55 km/h。

目前,国外重载列车实际运营中的牵引重量一般为 1 万 t~3 万 t,美国重载列车编组通常为 108 辆货车,牵引重量为 13 600 t;加拿大典型单元重载列车编组为 124 辆货车,牵引重量为 16 000 t;南非重载列车的牵引重量一般为 20 000 t;澳大利亚纽曼山重载铁路列车的编组通常为 320 辆货车,牵引重量在 37 500 t;巴西维多利亚—米纳斯铁路标准编组列车为 320 辆编组,列车牵引重量 31 000 t。国外年运量超过 1 亿 t 的重载铁路主要有:巴西维多利亚—米纳斯铁路(898 km,年运量为 1.3 亿 t)、卡拉雅斯铁路(892 km,年运量为 1.08 亿 t);澳大利亚纽曼山—海德兰铁路(426 km,年运量为 1.09 亿 t)。

2. 主要国家铁路重载运输概况

(1) 美国

美国的重载铁路研究水平在国际上处于领先地位,位于科罗拉多州的 AAR 所属的运输试

验中心 TTCI 已经在大轴重(36 t 及以下)重载方面取得大量的研究成果,另外北美铁路现在运营的重载铁路轴重基本上在 30 t 以上,所以已有丰富的实用经验。

美国是世界上最早发展重载运输的国家之一,其重载运输的发展历程大体可以分为三个阶段。

第一阶段,从 20 世纪 50 年代到 70 年代末,重载运输在铁路货运整体低迷的背景下诞生并初步发展。从 20 世纪 40 年代后半段开始,在政府对铁路长期严格管制及公路、航空运输迅猛发展的双重影响下,美国铁路在运输市场上的份额大幅下降。为了改善这种不利状况,美国铁路从 50 年代起开始有计划地着手牵引动力的现代化改造,大力发展新型大功率机车,为发展重载运输储备技术能力。20 世纪 60 年代正式开展重载运输业务,主要通过重载单元列车运输煤炭。1960 年,美国只有一条固定的重载单元列车运煤线路,年运量不过 120 万 t,到 1969 年重载煤炭运输专线增加到 293 条,运量达 1.44 亿 t,占铁路煤炭运量的近 30%。1967 年 10 月,美国诺福克西方铁路公司创造了总重 44 066 t 的重载列车世界纪录。

第二阶段,从 20 世纪 70 年代末到 20 世纪 90 年代末,通过提高轴重、增加装载能力等举措,推动重载运输飞速发展,带动了美国铁路货运的复兴。在这一阶段内,美国铁路重载运输的发展受到了三方面因素的影响和推动。一是 20 世纪 70 年代世界石油危机使煤炭在新的能源结构中占有重要地位,煤炭运输成为美国政府关心的重要问题。二是公路、航空运输迅速发展带来的环境污染和交通拥堵问题日益突出,政府和民众逐渐认识到铁路是一种环保的、可持续的运输方式,美国政府分别于 1978 年和 1980 年颁布了“4R 铁路复兴法”、“斯塔格斯法”,解除了对铁路的严格管制,为铁路发展提供了较好的政策环境。三是 1978 年第一届国际重载大会召开,重载运输成为国际公认的铁路货运发展方向。

在上述背景下,20 世纪 70 年代末,美国 I 级铁路公司开始大力发展重载运输,为美国铁路的复苏作出了重要贡献。到 1999 年,铁路货运市场份额为 40.3%,远远高于公路 29.4%、水运 13.1%、航空 4%、石油管道 16.8% 的水平。此外,北美 I 级铁路公司的货车平均容量提高 15.1%,事故率降低 64%,运行成本减少 65%,生产率提高 171%(达到 271%),并且创造了相当高的收入水平。据 1998 年 AAR 统计,北美重载铁路运输收入主要包括三项:煤运收入 80 亿美元,化学产品运输收入 47 亿美元,汽车及设备运输收入 32 亿美元。

第三阶段,进入 21 世纪后,美国铁路加强交流内燃机车和轮轨界面等技术领域的研究,进一步提高重载运输效率和生产率。经过 40 多年的发展,美国重载运输已经确立了其在货运市场中的牢固地位。目前,美国 70% 的铁路线路为重载铁路,标准轴重 33 t。重载列车编组通常为 108 辆货车,由 3~6 台机车牵引,列车总重为 13 600 t。重载列车采用大容量、低自重的货车,最大允许轴重范围在 29.8~35.7 t 之间。一般采用大功率内燃机车多机牵引,并配合采用机车同步操纵技术。重载运输线路采用重型钢轨,最大可达近 70 kg/m。为了适应重载运输的需要,一些主要编组站的股道长达数公里。对于煤炭运输车辆,一些铁路公司采取了 5 列一组、整列无隔墙的槽式车组,以减轻自重,增加载重。为进一步开拓重载运输市场,美国还在海铁联合运输中开行了高效率的双层集装箱重载货物列车,使重载运输前景被更加看好。美国 BNSF 主要煤炭运输线路及列车见图 1—1—1 和图 1—1—2。

考虑到线路条件等各方面因素的限制,为了进一步提高重载运输的效率,降低成本,美国铁路将重载运输发展的重点转向诸如增大交流内燃机车功率,改善轮轨黏着力,提高转向架的导向性能,对机车和列车运行状况进行智能监控,研究电空制动技术,对故障车辆的稳定性监

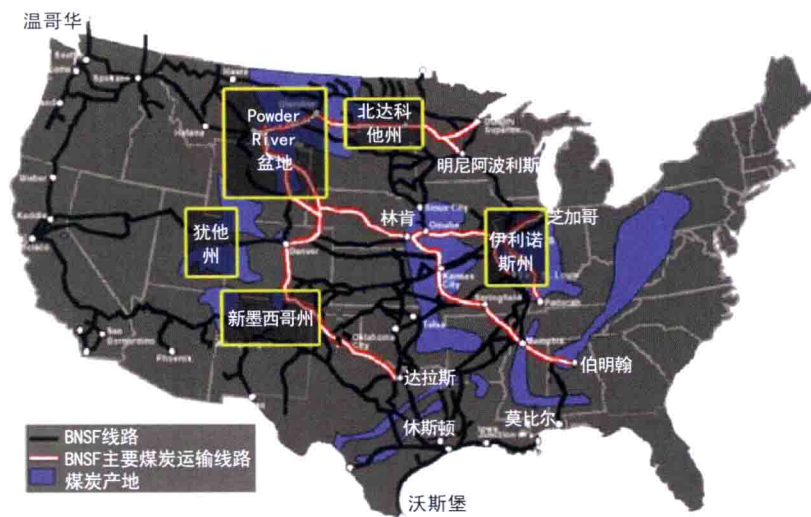


图 1—1—1 美国 BNSF 铁路公司主要煤炭运输线路



图 1—1—2 BNSF 铁路公司的运煤重载单元列车

控及处理智能技术,研制更好的车辆合成材料,使用 IT 技术进行车辆维护保养,轨道故障探测系统等方面。

(2) 澳大利亚

澳大利亚的矿产资源非常丰富,煤炭和铁矿石以及铝土、黄金的储量都位居世界前列。煤炭主要分布在东南部的南新威尔士州,这里的煤田面积达 55 000 km² 以上,储量占全国的 75%。铁矿石主要分布在西澳大利亚西部的皮尔巴拉(Pilbara)地区。铝土矿分布在北部的约克角半岛等地。澳大利亚昆士兰煤矿是世界上最大的煤矿之一,煤产量逐年上升,1994 年为 0.85 亿 t,2005 年为 1.5 亿 t。澳大利亚必和必拓(BHPbilliton)、力拓(RioTinto)与巴西的淡水河谷(CVRD)公司是世界三大矿业巨头,掌控着全世界铁矿石海运量的 70%。此外,澳大利亚还是世界上主要的粮食(小麦)输出国之一。这样的资源特点推动了澳大利亚铁路重载运输的发展。

自从美国南方铁路公司(Southern Railroad)于 1960 年成功开行重载单元列车以后,澳大



图 1—1—3 澳大利亚重载铁路分布

①昆士兰的电气化运煤铁路线



图 1—1—4 澳大利亚运矿车