

XIANLU YANGXIU GONGZUO TANSUO YU SHIJIAN

线路养修工作

探索与实践

李庆鸿 编著



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

线路养修工作探索与实践/李庆鸿编著. —北京: 中国铁道出版社, 2008. 10

ISBN 978-7-113-09058-6

I. 线… II. 李… III. ①铁路养护—研究②铁路线路—维修—研究 IV. U216.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 163205 号

书 名: 线路养修工作探索与实践

作 者: 李庆鸿

责任编辑: 江新锡

电话: 010-51873018

电子信箱: jxinxi@sohu. com

封面设计: 冯龙彬

责任校对: 张玉华

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京佳信达艺术印刷有限公司

版 次: 2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 25.5 插页: 4 字数: 645 千

印 数: 1~10 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-09058-6/U·2268

定 价: 65.00 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



李庆鸿简介

男，汉族，上海市人，1945年2月出生。铁道部铁路专业技术带头人，教授级高级工程师，大学兼职教授、研究生导师。

1967年同济大学铁路、道路、桥隧系铁道工程专业本科毕业。先后在沈阳铁路局瓦房店工务段、上海铁路局芜湖工务段、上海铁路局工务处、上海铁路分局、上海铁路局、长江三角洲城际铁路公司筹备组，任实习生、养路工、测量工、技术员、助理工程师、工程师、高级工程师、教授级高级工程师、副科长、科长、副处长、副分局长、处长、副局长、筹备组组长（正局级）兼副局长、正局级调研员，2008年2月退休。曾受聘西南交通大学、北京交通大学、中南大学、清华大学研究生校外导师。现任同济大学兼职教授，中国铁道学会工务委员会委员，上海市铁道学会工务工程委员会主任委员，詹天佑铁道科技发展基金奖励评审委员会委员，上海市退（离）休高级专家协会土建委员会副主任。1993年10月起享受国务院政府特殊津贴，2003年获全国绿化奖章，2004年获全国铁路劳动模范称号、火车头奖章。发表论文40余篇，曾出版液压养路工具、新建时速200 km铁路改良膨胀土路基施工技术专著，主持轨道“状态修”探索与实践、繁忙干线大型养路机械夜间线路大修综合施工作业研究、重载快速线路修程修制改革探索与实践、提高新型轨检车检测能力和优化工作性能、沪宁线上海至南京铺设成功全国最长303 km跨区间无缝线路、合宁线膨胀土路基土质改良措施及填筑工艺试验研究等18项重点技术攻关课题的研究与工程实践，先后获得铁道部、上海市多项科技进步奖和优秀发明选拔赛一等奖，7次创造《中国企业新纪录》。

序

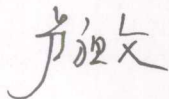
工务工作是以设备状态变化规律和运输市场需求为依据的技术经济活动，一切安排必须服从于设备状态和运输市场的客观需要，这是工务工作的基本出发点；工务部门必须使设备经常保持均衡良好状态，确保列车按规定的最高速度，安全、平稳、不间断地运行，以最经济的投入，获得最大的产出效益，这是工务工作的最终归宿点。

改革开放以来，我国铁路工务工作遵循上述两个基本观点，沿着线桥结构现代化、施工作业机械化、企业管理科学化的道路阔步前进，为我国铁路重载、提速战略的顺利实施和运输事业的迅速发展奠定了重要基础。

李庆鸿编著的《线路养修工作探索与实践》，首次以文集的形式，透析出改革开放三十年来，线路养修工作与时俱进的发展轨迹；具体、翔实、深刻地诠释了线路养修工作的认识论与方法论。对我国铁路广大工务工作者，具有实用的参考价值和指导意义。

当前，我国铁路工务工作正面临着第六次提速后运输强度的最新发展和新建高速客运专线相继投入运营的历史性考验。在科学发展观的引领下，依靠广大铁路工务工作者的科学探索与实践，必将会迎来线路养修理论和应用技术创新发展的又一个春天。

中国铁道学会工务委员会副主任



2008年6月18日

前言

1962年9月,当我怀揣大学录取通知书,第一次踏进同济大学铁路、道路、桥隧系铁道工程专业的那一刻起,似乎已经注定了我的人生之旅。46年后回首,竟然已不知不觉地在铁道线路上摸爬滚打了整整40多个春夏秋冬。

40多年来,我作为一名长期从事铁路工务工作的工程技术人员和管理人员,不仅亲眼目睹改革开放以来,我国铁路高举邓小平理论和“三个代表”重要思想伟大旗帜,深入贯彻落实科学发展观,在重载、提速、扩能、增效和路网建设等方面取得了举世瞩目的辉煌成就。与此同时,还亲身经历并深切感受到我国铁路工务事业瞄准国际先进水平,沿着线桥结构现代化、施工作业机械化、企业管理科学化的“三化”道路,勇于探索与大胆实践的快速发展历程。

十一届三中全会以后,我国铁路工务事业在改革开放的强劲东风吹拂下,紧紧围绕重载、提速、安全、优质、减员、增效的主题,抓住发展重载运输与实施提速战略的良好契机,大规模地开展了线路结构的强化与改造。通过全面铺设60 kg/m及以上重型钢轨、Ⅲ型预应力钢筋混凝土轨枕、一级火成岩优质道碴、更换新型弹性扣件和提速道岔、大力发展跨区间无缝线路,使主要繁忙干线基础设备的技术装备标准与我国铁路运输强度基本匹配,并正在逐步达到或接近国际先进铁路的装备水平。

在坚持引进国外先进技术与自主创新相结合的正确方针指引下,经过20多年的努力,我国铁路大型养路机械从引进、制造、装备、使用到检修、管理已有了比较完整的规模化体系。大型养路机械在实施线路各种修程、既有线提速改造、新线施工、新线提速、轨道检测等技术与管理领域中,越来越显示出其不可替代的技术优势。一个以大型养路机械为主骨架的我国铁路机械化养路新格局已经形成。

随着铁路运输强度迅猛发展、轨道装备标准日益提高、大型养路机械等先进养路手段的大量使用,我国铁路传统的轨道修程、修制以及养修工作的方式、方法,逐渐显现出其诸多的不适应。针对发展中出现的新情况、新问题,铁道部从上世纪70年代末开始,不失时机地组织全国铁路工务部门深入开展了线路

养修工作的改革,在铁道工务技术与管理领域不断进行科学探索和创新实践。根据运输强度和“状态修”新理念,大胆改革了“一刀切”的线路养修制度,实行线路设备的等级管理并建立相应的装备技术标准,设置合理的轨道修程,制订了更加适合我国铁路路情的线路养修制度;不断优化大型养路机械施工组织技术,实施线路“天窗修”,努力改变以劳力密集型为主要特征的落后养修方式;着力提高线路检测能力与水平,构建并逐步完善工务管理信息化系统。通过一系列的改革创新,我国铁路的线路养修工作已大大提升了整体技术含量和管理科学化程度。

历史经验证明,线路养修工作是以设备状态变化规律和运输市场需求为依据的技术经济活动,一切安排必须服从于设备状态和运输市场的客观需要,这是线路养修工作的基本出发点;线路养修部门必须使设备经常保持均衡良好状态,确保列车按规定的最高速度,安全、平稳、不间断地运行,以最经济的投入,获得最大的产出效益,这是线路养修工作的最终归宿点。线路养修工作必须将“主要设备实现良性循环,安全进入宏观受控状态,工作注重投入产出效益”作为最基本的目标追求。客观环境在不断地变化,线路养修工作的探索与实践也无有穷尽。

在我国铁路既有线实施第六次大面积提速,线路养修工作将同时经受时速200 km及以上旅客列车、时速120 km货物列车、25 t轴重双层集装箱货物列车和客货共线等多重运输强度严峻考验的新形势下,本书以线路养修工作的两个基本观点和基本目标追求为主线,从本人40多年从事工务工作所积累的百万多字文稿中,遴选、集合、整理而成了有关线路养修工作探索与实践的文集。其中,主要包括20世纪80年代至今发表的论文、科研成果、管理成果、书稿摘选、考察报告、工作报告以及吸纳了相关的报道文章。在书稿整理过程中,只对文章的字、词作了符合现在要求的修改和形式上的规范,文章的观点、时间表述、单位名称表述以及内涵均保持文章发表时的状况。本书的出版,希望能给工务专业或相关专业技术人员、管理人员、现场作业人员以及教育培训工作者提供借鉴、启发和帮助。

全书由45篇独立文章组成,内容分为三个部分。第一部分,技术攻关篇:以顺应运输强度发展为历史脉络,认识与处理一些生产实践性很强并具有典型意义的线路养修技术问题;第二部分,改革实践篇:记录了线路养修工作改革的渐进轨迹,透析出线路养修工作始终存在着与时俱进,不断适应运输强度发展需要的改革潜势;第三部分,管理探索篇:借鉴国内外的管理经验,结合我

国铁道线路养修工作的具体实际，多角度地探索线路养修工作的科学化管理途径。

本书凝聚着上海铁路局几代工务工作者的智慧与汗水，在几十年来的技术业务积累中，吸纳了许多工务同行们的睿智，也倾注着我的恩师周光华老先生对我的培育之情。在本书选编过程中，复旦大学张行治，上海铁路局龚佩毅、俞峰、谢华、杨骅、卞扣明等同志付出了辛勤劳动。特别是铁道部运输局原副局长兼基础部主任、中国铁道学会工务委员会主任卢祖文同志给予了精心指导并提出了许多宝贵意见，承蒙铁道部运输局基础部主任康高亮同志的大力支持与帮助，在此一并深致谢意。

李庆鸿

2008年6月

目 录

技术攻关篇

大运量重载轨道的钢轨疲劳破损 (一九八三年十月)	3
无缝线路胀轨与防胀工作 (一九八四年三月)	15
铁路液压起道机 (一九八四年五月)	23
轨道接头状态的改善与控制 (一九八四年九月)	41
钢轨电弧焊补技术条件 (一九八五年十一月)	56
列车脱轨第一落轨点调查与判断及对脱轨事故调查与预防的几点建议 (一九九一年四月)	59
电动道岔结合部病害的联合整治与预防 (一九九三年一月)	64
60AT-12 单开道岔辙叉直股护轨的局部改造 (一九九六年十二月)	72
用荷载增量法求解无缝线路的稳定性 (一九九七年三月)	76
重载快速区段直线钢轨交替不均匀侧磨及其防治对策 (一九九七年十二月)	80
优化曲线几何状态控制钢轨不均匀侧磨 (一九九七年十二月)	96
繁忙干线大型养路机械夜间无缝线路维修作业研究 (一九九八年十二月)	102
大型养路机械低温维修无缝线路对轨道的影响 (二〇〇〇年八月)	126
提速道岔可动心轨与翼轨胶结抗剪式温度力传递结构 (二〇〇一年十月)	132
小波变换及其在轨道检测中的应用 (二〇〇二年五月)	135
提高新型轨检车检测能力和优化工作性能 (二〇〇二年十二月)	142
大型养路机械夜间线路大修综合施工提高线路允许速度的现场测试与分析 (二〇〇三年五月)	149
提高提速改线段线路开通允许速度的技术对策 (二〇〇三年十月)	159
新建合肥—南京铁路试验段改良膨胀土路基沉降分析 (二〇〇五年十二月)	168
改良膨胀土新线路基施工质量控制技术 (二〇〇六年三月)	175
既有线提速至 200 km/h 的轨道养修对策 (二〇〇七年三月)	186
提速线路正线道岔群与相邻曲线连接不平顺的整治与预防 (二〇〇七年八月)	196

改革实践篇

根据轨道变化规律探索状态维修途径 (一九八一年七月)	209
轨道几何状态的质量控制 ——介绍“状态修”原则在线路养护工作中的应用 (一九八四年十一月)	220
轨道“状态修”探索与实践 (一九八五年十一月)	227

轨道“状态修”实践——养路工作的十年改革（一九八九年十月）	240
沪宁线工务一体化改革对策与初步实践（一九九七年十一月）	248
工务线路设备等级管理探索与实践（一九九九年十二月）	255
繁忙干线大型养路机械夜间线路大修综合施工作业研究（二〇〇一年十一月）	263
观念和技术的重大突破——上海局沪宁线夜间线路大修综合施工纪实 （二〇〇一年十一月二十七日）	282
重载快速线路修程修制改革探索与实践（二〇〇二年十二月）	286

管理探索篇

从限制型到适应型——日本铁路改造与管理掠影（一九八八年十二月）	305
养路工区“一、四、三”管理工作标准化体系（一九九四年十二月）	308
加快“三化”步伐，适应重载快速 ——关于强化工务安全基础建设的思考（一九九六年五月）	314
奥地利、德国、意大利铁路大型养路机械使用与管理（一九九七年四月）	319
加强维修成本管理，提高投入产出效益（一九九八年一月）	324
加强基础建设，培育跨世纪人才 ——介绍上海铁路局工务处注重专业技术人才队伍建设的做法 （一九九八年十二月）	331
建设以“五控”“两适应”为基本特征的工务自控型班组（一九九九年十月）	339
深化管理，务实创新，实现工务工作跨世纪新发展（二〇〇〇年一月）	345
把握头等大事，学会实际本领 ——与铁道工程专业大学毕业生讨论如何迈出踏上社会的第一步 （二〇〇〇年六月）	351
铁路大修综合施工管理（二〇〇一年六月）	358
内实为本，创新发展，创建沪宁安全优质文明达标线（二〇〇二年十一月）	366
中国铁路的“路”有了“沪宁品牌”（二〇〇二年十一月二十七日）	376
沪宁铁路运输系统功能优化管理（二〇〇三年十月）	382
践行跨越式发展战略，加快工务工作由限制型向适应型的根本转变 （二〇〇四年十月）	392

技术攻关篇

大运量重载轨道的钢轨疲劳破损

(一九八三年十月)

摘 要: 阐述当前我国铁路在大运量重载轨道钢轨运营中存在的突出问题, 介绍近年来发生在大运量重载轨道上的轨头鱼鳞伤、轨头核伤、早期螺孔裂纹与下颞处轨腰水平裂纹等几种典型的钢轨疲劳破损形式。通过分析其成因机理, 提出了加强大运量重载轨道钢轨运营安全的对策措施。

关键词: 大运量重载轨道; 钢轨; 疲劳破损

近几年来, 随着国民经济的迅速发展, 在一些货流密度过于集中的大运量重载轨道上, 钢轨疲劳破损的问题非常突出。例如, 铺设在年通过总重超过 $90 \text{ Mt}\cdot\text{km}/\text{km}$ 的上海铁路局津浦下行线 $50 \text{ kg}/\text{m}$ 钢轨, 平均运营仅 6 年, 1982 年发现的伤损及断轨事件, 已达到全局的 40.7% 与 34.7%, 而其线路长度只占全局管辖正线总长度的 12%。更为严重的是, 我国有的主要干线还发生了因钢轨疲劳折断而造成的列车颠覆重大事故。因此, 研究大运量重载轨道钢轨疲劳破损及其对策, 已成为铁路运营安全的一个重要课题。

1 大运量重载轨道钢轨运营特点与疲劳破损的主要形式

根据近几年来对津浦、沪宁、沪杭、浙赣等主要干线钢轨运营现状的调查分析发现, 由于大运量重载轨道与一般轨道相比, 普遍存在着“两大”(牵引定数大、通过总重大)、“两多”(大型机车多、重载列车多)、“两高”(车流密度高, 行车速度高), 而轨道强度尤其是钢轨强度很不适应。出现了运量迅猛上升, 轴重不断加大, 钢轨类型太轻, 超期使用偏多, 伤损日益严重, 断轨逐年增加的严峻局面。

1.1 运营特点

1.1.1 运量迅猛上升

图 1 为上海铁路局管内津浦、沪宁、沪杭、浙赣 4 条干线 1976 年~1982 年的年平均通过总重增长曲线。1982 年全局干线的年平均通过总重为 $51.87 \text{ Mt}\cdot\text{km}/\text{km}$, 比 1976 年增加了 42.7%。其中津浦下行线达到 $90.23 \text{ Mt}\cdot\text{km}/\text{km}$ 。根据运量迅猛上升的发展趋势, 津浦下行线的年通过总重很快将超过 $100 \text{ Mt}\cdot\text{km}/\text{km}$ 。

1.1.2 轴重不断加大

以运煤为主的 60 t 以上重轴车辆的比重不断增大, 使得大运量重载轨道的车辆平均净

注: 此文由本书编著者独著, 在 1983 年 11 月中国铁道学会第 1 次轮轨关系学术讨论会上发表, 刊登于铁道建筑 1984 年第 7 期。

载重连年上升（如图 2 所示），平均实际轴重不断加大。以津浦下行线为例，1976 年～1982 年期间的车辆平均净载重增长了 8.4%，每辆车的平均实际轴重为 17.28 t，并有一部分车辆的实际轴重超过了 21 t。

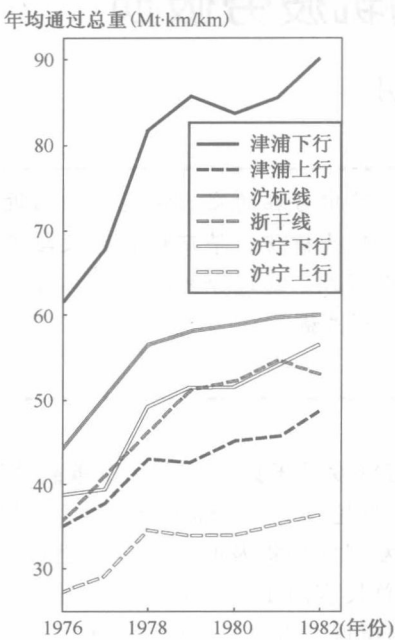


图 1 年平均通过总重增长曲线

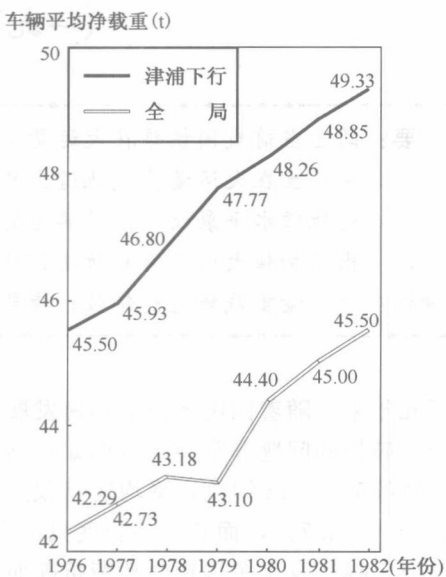


图 2 车辆平均净载重上升曲线

1.1.3 钢轨类型太轻

按照我国《铁路工程技术规范》，年通过总重在 30 Mt·km/km 以上的轨道，应采用 60 kg/m 及以上的重型钢轨。但由于各种原因，我国绝大部分大运量重载区段的轨道仍采用 50 kg/m 钢轨，钢轨类型与运输强度不相适应的问题十分突出。仅据上海铁路局对现有正线钢轨类型的调查分析，其管内 1 724 km 干线（占全局正线总长度 55.4%）的钢轨类型全部不符合我国《铁路工程技术规范》的要求（详见表 1）。

表 1 上海铁路局管内正线钢轨类型调查分析表

类别	年通过总重 (Mt·km/km)	延展长度 (km)	占全局正线 比重 (%)	现有轨型 (kg/m)	需要轨型 (kg/m)	需要量 (km)	需要量占全局 正线比重 (%)
I	>50	868	27.9	50	60 及以上	868	27.9
II	≥30~50	856	27.5	50	60	856	27.5
III	≥18~30	191	6.1	50、43	50		
IV	≥8~18	585	18.8	50、43 旧	43		
V	<8	612	19.7	43 杂型	43、38		
全局合计 (平均)		3 112	100	(47.60)	(57.03)	1 724	55.4

注：表中 I、II 类为干线。

1.1.4 超期使用偏多

根据我国铁路的具体条件，我国铁路有关部门提出了国产 50 kg/m 钢轨的合理使用期

为累计通过总重 470 Mt·km/km,国产 43 kg/m 钢轨的合理使用期为 240 Mt·km/km。

然而，由于受到客观条件的限制，各铁路局在钢轨运营的生产实际中，都存在着相当一部分的超期使用钢轨。在大运力干线上，钢轨超期使用现象更为严重。图 3 为上海铁路局 1978 年~1982 年期间，管内四大干线的超期轨数量。其中，1982 年已达到 490 km，占全局干线总长的 28.4%。

1.1.5 伤损日益严重

大运力重载轨道钢轨运营中存在的以上各种不利因素，不仅直接加快了钢轨的接触疲劳破损，而且还因轨道变形积累和轨下弹性恶化周期的缩短而加剧了轮轨间的相互作用力，使钢轨伤损愈益严重。仅上海铁路局管内津浦下行线 1982 年与 1976 年相比，在年通过总重和车辆净载重分别增长了 46.8%与 8.4%的情况下，平均每 km 钢轨伤损根数增长了 8.91 倍，其中重伤钢轨增长了 4.4 倍（详见表 2）。

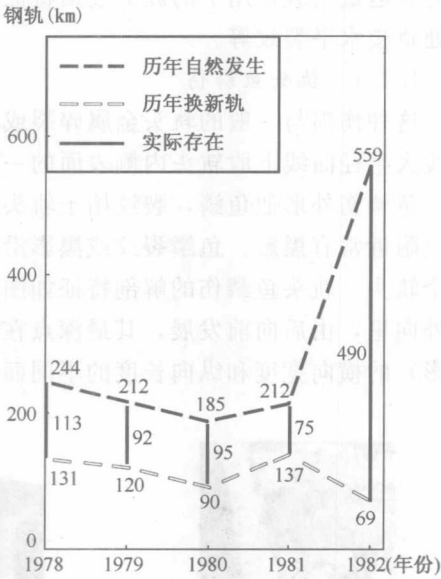


图 3 四大干线历年超期轨数量

表 2 上海铁路局管内津浦下行线伤损钢轨增长表

分 类 \ 年 份	1976	1982	增长率 (%)
年通过总重 (Mt·km/km)	61.46	90.23	46.8
车辆净载重 (t)	45.50	49.33	8.4
钢轨伤损 (根/km)	0.44	4.36	891
其中重伤 (根/km)	0.20	1.08	440

1.1.6 断轨逐年增加

工务部门针对大运力重载轨道钢轨强度不足的矛盾，尽管已采取了加强检查、严密监视、及时加固、局部抽换的措施。但由于钢轨类型大轻、超期使用偏多等根本性问题尚未解决，故断轨事件仍呈现出逐年增加的发展趋势。图 4 反映的是上海铁路局近 4 年断轨事件的发展实录。随着运输强度的继续发展，大运力重载轨道断轨逐年增加的严峻形势，应该引起铁路各有关部门的极大关注。

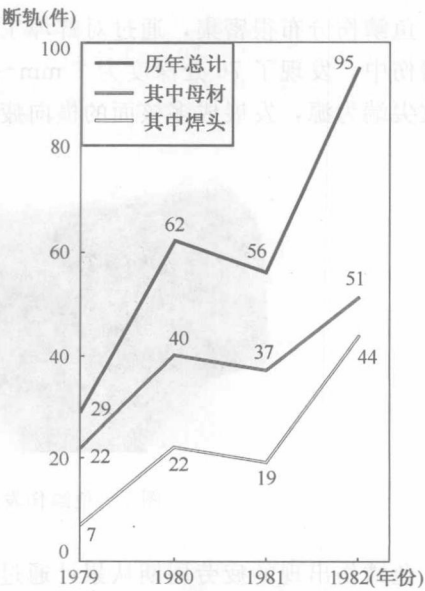


图 4 上海铁路局近 4 年断轨事件发展实录

1.2 疲劳破损的主要形式

大运力重载轨道的运营实践表明，由于列车轴重大，而且反复作用的次数多，钢轨所受的接触应力、挠曲应力以及作用力的循环周次，均比

一般区段高得多。在这种运营条件下, 钢轨疲劳破损除了通常出现的破损形式外, 更多地表现为大运量重载作用下的疲劳破损特征。主要有轨头鱼鳞伤; 轨头核伤; 早期螺孔裂纹; 下颚处轨腰水平裂纹等。

1.2.1 轨头鱼鳞伤

这种伤损与一般的轨头金属碎裂或剥离不同, 是近年来出现在运量、轴重很大的津浦下行线大半径曲线上股轨头内侧表面的一种接触疲劳破损 (如图 5 所示)。

鱼鳞伤外形似鱼鳞, 裂纹始于轨头内侧圆弧附近, 顺列车运行方向向前作鱼鳞状延展, 裂纹附近常有黑影。鱼鳞裂纹或黑影沿轨头横向的宽度一般为 $6\text{ mm} \sim 20\text{ mm}$, 最大的接近半个轨头。轨头鱼鳞伤的解剖特征如图 6 所示。由图可见, 鱼鳞伤内部裂面分别由浅入深, 由外向里, 由后向前发展, 其最深点在鱼鳞裂面的前内角处。裂纹深度随着鱼鳞裂纹 (包括黑影) 的横向宽度和纵向长度的不同而变化, 鱼鳞越大, 裂纹越深, 最深可超过 20 mm 。



图 5 轨头鱼鳞伤外观形态

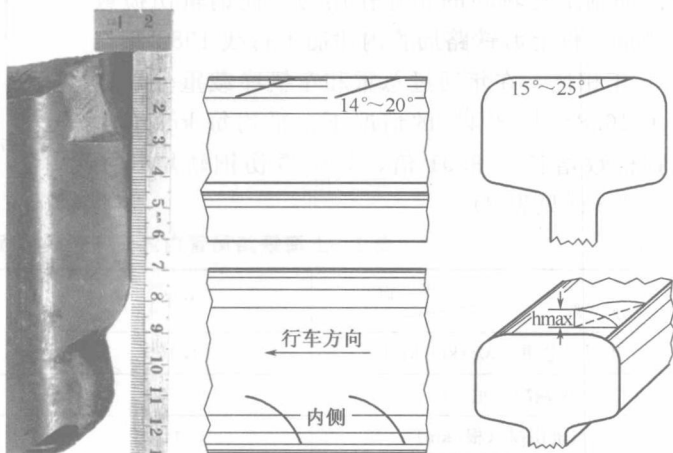


图 6 轨头鱼鳞伤解剖特征

鱼鳞伤分布很密集, 通过对蚌埠工务段 11.18 m 长的鱼鳞伤轨进行解剖, 在 157 处表面鱼鳞伤中, 发现了 76 处深度为 $7\text{ mm} \sim 22\text{ mm}$ 的内部伤损。更为严重的是, 鱼鳞伤还常以裂纹尖端为源, 发展成多核面的横向疲劳核伤断裂, 对行车安全威胁极大 (见图 7)。

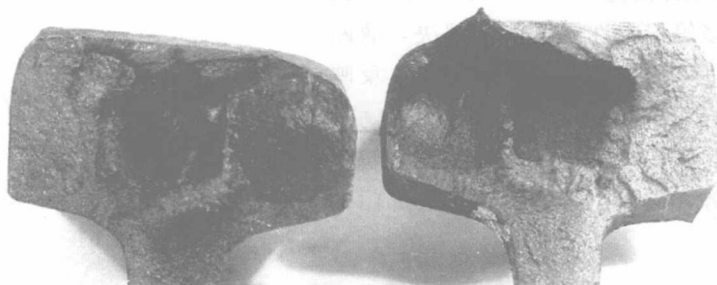


图 7 鱼鳞伤发展成多核面的横向疲劳核伤断裂

鱼鳞伤出现的疲劳周期从累计通过总重 $170\text{ Mt} \cdot \text{km/km}$ 到 $560\text{ Mt} \cdot \text{km/km}$ 不等, 一般为 $300\text{ Mt} \cdot \text{km/km}$ 左右。

1.2.2 轨头核伤

大运量重载轨道的钢轨轨头核伤主要是轮轨间接接触应力过大所致。因而发生部位多在近轨顶面 5 mm~15 mm 的轨头内上侧（如图 8 所示）。曲线上股由于轨头接触应力更大，此类破损容易发生。据蚌埠工务段统计，该段 1978 年以来发生的 55 处轨头接触疲劳核伤中，有 49 处发生在曲线上股，占 89.1%。

核伤是引起钢轨横向断裂的最危险的一种伤损。其形状一般多呈椭圆形，有裂源、核面，在核伤断面上通常具有疲劳圈和自裂源始发的放射状宏观特征（如图 9 所示）。经冷弯、疲劳试验表明，当核伤面积占轨头总面积 5%~10% 时，核伤轨的静力强度只有正常钢轨的 16%~40%；当核伤面积占轨头总面积 10%~15% 时，核伤轨的疲劳强度将比正常钢轨降低 90% 以上。

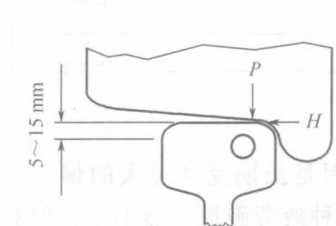


图 8 轨头核伤多发部位示意图

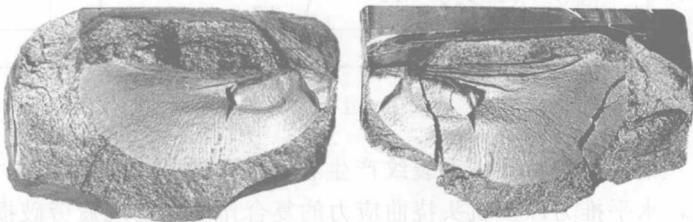


图 9 轨头核伤宏观解剖特征

运营实践表明，在正常情况下，用 JGT-2 型探伤仪探测，一般能查出垂向高度 ≥ 10 mm 的钢轨头部核伤（此时核伤面积约占轨头总面积的 5%）。当核伤面积发展到占轨头总面积的 20%~30% 时，往往会发生钢轨的疲劳折断。轨头核伤发展比较快，据上海铁路局对大运量重载轨道 50 kg/m 钢轨无缝线路的监测试验，轨头核伤面积由占轨头总面积 5% 发展到 20%~30%（易发生钢轨疲劳折断）期间，其残余寿命仅为 20 Mt·km/km 左右通过总重，一般的三四个 月就断裂，个别的发展更快。若以累计通过总重为随机变量，则轨头核伤的统计平均值分别为：曲线地段 329 Mt·km/km，直线地段 404 Mt·km/km。均方差分别为：曲线地段 93 Mt·km/km，直线地段 132 Mt·km/km。其统计分布特征如图 10 所示。

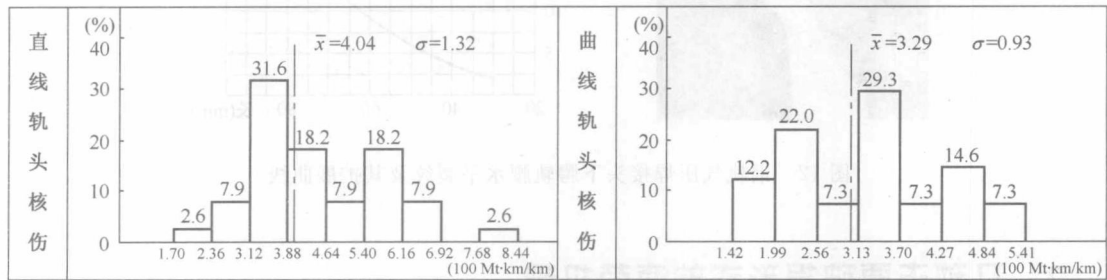


图 10 轨头核伤统计分布特征

1.2.3 早期螺孔裂纹与下腭处轨腰水平裂纹

在大运量重载轨道上，由于机车车辆对钢轨接头动力冲击振动作用比一般轨道大得多，作用在钢轨接头螺孔上的周边应力往往会造成螺孔的早期拉裂，螺孔裂纹严重时甚至会导致轨头揭掉。螺孔裂纹方向一般与水平线成 45° 交角，但由于螺栓有时挤压孔壁使裂向有所改

变。据上海铁路局调查统计,大运量重载轨道在累计通过总重达到 100 Mt·km/km 左右时,已经开始出现钢轨接头的螺孔裂纹。图 11 为以累计通过总重为随机变量的钢轨接头螺孔裂纹统计分布特征,其统计平均值分别为:普通线路 435 Mt·km/km,无缝线路缓冲区 325 Mt·km/km。均方差分别为:普通线路 168 Mt·km/km,无缝线路缓冲区 115 Mt·km/km。在所有的螺孔裂纹中,累计通过总重尚未达到 200 Mt·km/km 的约占 17.3%。

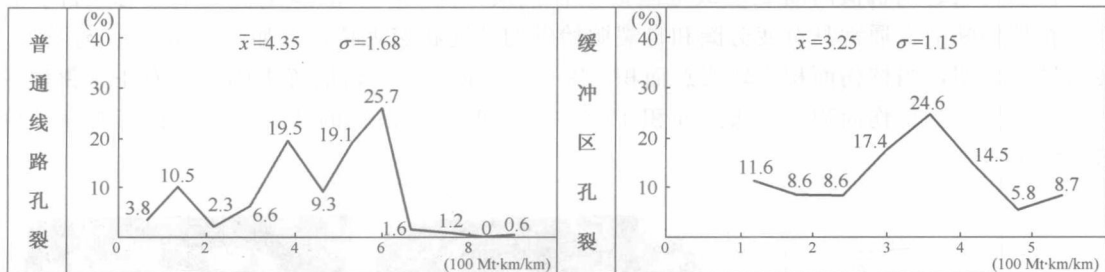


图 11 钢轨接头螺孔裂纹统计分布特征

钢轨下腭轨腰水平裂纹产生在轨头与轨腰连接处,主要原因是长期受到过大的偏心荷载,水平推力以及轨头挠曲应力的复合作用而出现疲劳破损。这种疲劳破损虽然不多,但对行车颇具威胁,能导致钢轨掉头。近年来,焊接接头下腭轨腰水平裂纹在沪宁线上出现较多,其特点是先从焊筋外面出现裂纹,然后逐渐扩大至母材。图 12 为钢轨气压焊接头下腭轨腰水平裂纹的解剖特征及其裂纹的扩展曲线。

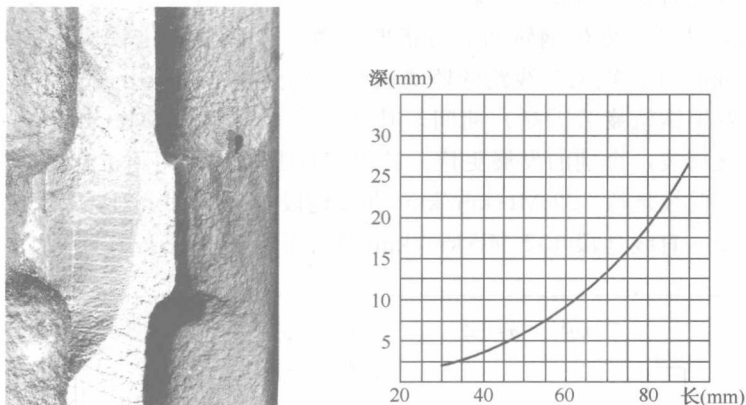


图 12 钢轨气压焊接头下腭轨腰水平裂纹及其扩展曲线

2 几种主要破损形式的疲劳机理

2.1 力学机理分析

2.1.1 鱼鳞伤与轨头核伤

鱼鳞伤与轨头核伤是典型的大运量重载条件下的轮轨接触疲劳破损。根据赫芝理论,车轮作用在钢轨头部的接触应力及其接触面积按半椭球体分布。设 R_r 为钢轨横断面上的轨顶曲率半径、 R_l 为车轮横断面上的踏面曲率半径、 R_w 为接触点处车轮的半径,则接触部分的