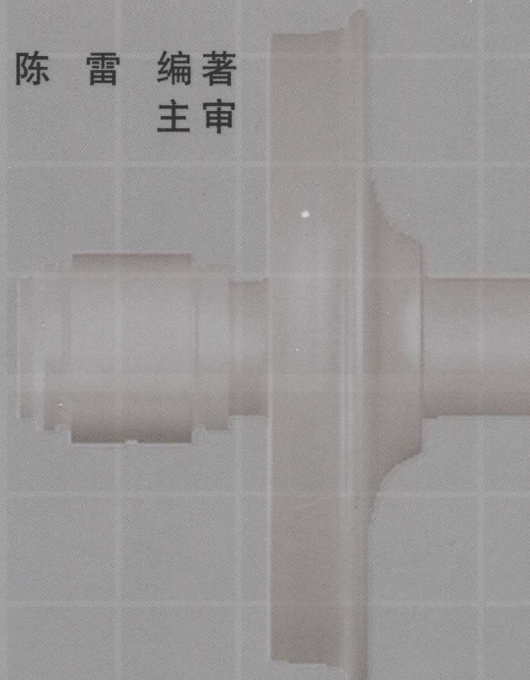
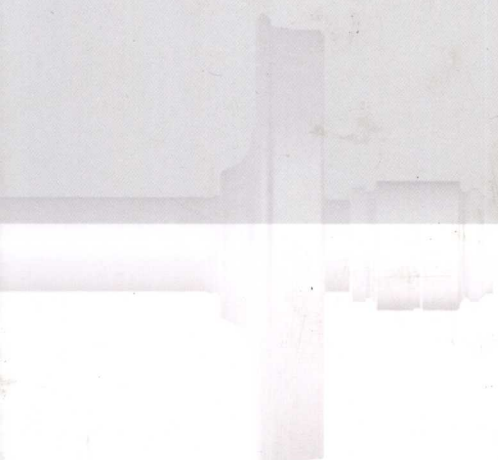


铁路货车轮轴技术概论

TIELU HUOCHE LUNZHOU JISHU GAILUN

刘吉远 陈雷 编著
杨绍清 主审





中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地址：北京市宣武区右安门西街8号
邮编：100054
网址：<http://www.tdpress.com>

ISBN 978-7-113-10470-2



定 价：200.00 元

铁路货车轮轴技术概论

刘吉远 陈 雷 编著
杨绍清 主审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 9 年 · 北 京

内 容 简 介

本书分为 10 篇,全面总结了铁路货车轮轴技术发展历程,系统阐述了轮轴设计原理、生产制造技术及工艺、检修工艺、检测技术、轮轴技术管理体系及安全防范体系,同时介绍了国外铁路货车轮轴技术、工艺的发展情况。本书是国内第一部全面、系统论述我国铁路货车轮轴设计、制造、检修、检测及安全防范、管理体制及制度等技术发展的书籍,许多内容为编者多年来所进行的科研成果的总结,具有创新性、规范性、服务性、资料性、系统性和理论性。

本书是了解中国铁路货车轮轴技术和管理的窗口,也是铁路行业不可多得的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路货车轮轴技术概论/刘吉远,陈雷编著. —北京:
中国铁道出版社,2009. 11
ISBN 978-7-113-10470-2

I. 铁… II. ①刘…②陈… III. 铁路车辆:货车-轮轴
IV. U270. 331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 176052 号

书 名:铁路货车轮轴技术概论
作 者:刘吉远 陈 雷 编著

责任编辑:薛 淳 韦和春 聂清立 王明容
封面设计:郑春鹏
责任校对:孙 玫
责任印制:郭向伟

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:北京捷迅佳彩印刷有限公司
版 次:2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷
开 本:880 mm×1 230 mm 1/16 印张:55 字数:1843 千
书 号:ISBN 978-7-113-10470-2/U·2555
定 价:200.00 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

铁路货车是铁路货物运输的重要装备,在国民经济发展中起着重要的作用。随着我国铁路运输事业的发展,货车技术也有了较快的发展。自 20 世纪 60 年代,货车载重由 30 t 提高到 50 t,商业运行速度 50~80 km/h。到 20 世纪 80 年代,货车载重由 50 t 提高到 60 t,商业运行速度 80 km/h。20 世纪 90 年代末至 21 世纪初,研发了时速为 120 km 的转 K1、转 K2、转 K3、转 K4 型提速转向架,并实施了转 8A 型转向架提速改造方案,时速 120 km P₆₅ 型行包快运棚车和 X_{2K} 型集装箱等快运专用平车投入运用,25 t 轴重全钢浴盆式运煤专用敞车投入运用考验。2006 年,铁路货车实现升级换代,新造货车载重由 60 t 提高到 70 t,轴重提高到 23 t、25 t,研发了转 K5、转 K6 型等提速转向架,载重 70 t 通用货车、载重 80 t 专用货车大量投入使用。目前我国铁路货车保有量已达到 70 万辆。

铁路货车轮轴是货车的最重要部件,承担着货车导向、移动和承载的功能,是直接关系到铁路货车安全的最关键部件。货车轮轴技术促进了货车技术的发展。从新中国成立到 1998 年,用了 40 年的时间,货车轮轴全面实现滚动轴承化。货车轴重由 11 t 提高到 21 t,到 2006 年,轴重提高到 23 t、25 t;车轴材质由 40 钢发展到 50 钢,车轴结构由轴颈根部带有卸荷槽发展到无卸荷槽,大大提高了车轴的运行安全性;轴承由钢保持架轴承发展到塑钢保持架紧凑型轴承;淘汰了铸铁车轮和逐步淘汰辐板孔车轮,采用辗钢和铸钢车轮,并发展到提速减重车轮。截至目前,我国铁路每年使用新车轮达 60 万片、新轴承 80 万套、新车轴 35 万根,检修轮对 160 万条,检修轴承 100 万套。

铁路货车轮轴的安全和寿命不仅与轮轴设计、制造工艺、检修有关,而且与运用条件有紧密关系。轮轴设计不仅要考虑货车使用需求,而且还要充分考虑轮轨关系、线路工况、桥梁等诸多因素;轮轴材料和生产技术即钢水冶炼、浇铸、锻轧、热处理、机械加工、探伤检查及组装等等决定了轮轴质量、决定了轮轴的使用寿命和安全性。目前,中国铁路是全世界运输效率最高的铁路,占全世界 6% 的营业里程完成了全世界 25% 的运输工作量,特别是实施提速、重载战略以来,我国铁路在对既有线改造的基础上,实现了动车、客车及货车的共线运行,这就要求货车必须保证绝对安全,货车轮轴的安全尤为重要。因此,为了适应铁路运输,特别是货车提速、重载的需要,为了使铁路货车工作者更好地了解和掌握铁路货车轮轴基础知识和发展趋势,铁道部运输局装备部组织编写了《铁路货车轮轴技术概论》一书。本书全面总结了铁路货车轮轴技术发展历程,科学、系统地阐述了轮轴设计原理、生产制造技术及工艺、检修工艺、检测技术、轮轴技术管理体系及安全防范体系,同时介绍了国外铁路货车轮轴技术、工艺的发展情况。本书是国内第一部全面、系统论述我国铁路货车轮轴设计、制造、检修、检测及安全防范、管理体制及制度等技术发展的书籍,许多内容为编者多年来所进行的科研成果的总结,具有创新性、规范性、服务性、资料性、系统性和理论性。本书是了解中国铁路货车轮轴技术和管理的窗口,也是铁路行业不可多得的参考书。

四方车辆研究所、中国铁道科学研究院金化所、马鞍山钢铁公司、大同爱碧玺铸造有限公司、晋西车轴股份有限公司、太原重工集团公司轮轴分公司、太钢不锈钢股份有限公司、瓦房店轴承股份有限公司、北京南口斯凯孚铁路轴承有限公司、舍弗勒(宁夏)有限公司、上海联合滚动轴承有限公司、成都天马铁路轴承有限公司、洛阳 LYC 铁路轴承股份有限公司、北京隆轩橡塑有限公司、张家口时代橡胶制品有限公司、南车二七车辆有限公司和北京铁路局等单位为本书的编写在人员、资料等方面给予了大力支持。

本书的编写,是在那些曾经从事铁路货车轮轴技术和管理工作的同志们多年沉淀、积累的基础上完成的,尽管他们没有亲自参加编写,但他们当年编制的技术管理文件和保存的珍贵材料,丰富了本书的内容;田缙谟、谈大同、宋凤书、陈伯施等老领导对铁路货车轮轴技术和管理快速发展发挥了重要的领导作用,在此一并表示衷心的感谢!

本书由铁道部运输局装备部杨绍清主审,刘吉远、陈雷编著。参加编写人员:铁道部运输局装备部余明贵、王春山、赵长波、黄毅、周磊;四方车辆研究所刁克军、刘会英、张澎湃、刘新明;中国铁道科学研究院金化所张斌、项彬、黎连修、王夕明、付秀琴、张弘、刘鑫贵、潘安徽;北京铁路局车辆处郎顺明;南车二七车辆有限公司孙蕾;大同爱碧玺铸造有限公司李彧、宋国祥、于学峰;马鞍山钢铁股份有限公司安涛、吴耀光、龚志翔、李翔、许章泽、吴永中、王世付、肖峰;晋西车轴股份有限公司吴海英;太原重工集团轮轴分公司王群娣;太原钢铁集团公司王玉玲;瓦房店轴承股份有限公司曲荣君;北京南口斯凯孚铁路轴承有限公司程刚、严长杰;舍弗勒(宁夏)有限公司包小俊;上海联合滚动轴承有限公司陈爱华;成都天马铁路轴承有限公司李勇;洛阳轴承集团公司常洪;北京隆轩橡塑有限公司戴树林、刘凤山、刘向东;张家口时代橡胶制品有限公司张利强。

由于经验和水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳求广大读者和业内人士批评指正,并及时将使用中出现问题告知我们。

作者

绪 论..... 1

第一篇 轮轴结构设计及实物试验

第一章 车 轮..... 9

第一节 基础知识..... 9

第二节 车轮结构设计 21

第三节 车轮强度设计计算方法 24

第四节 国外车轮设计计算标准简介 28

第五节 车轮形式与基本尺寸 32

第二章 车 轴 34

第一节 车轴结构设计 34

第二节 车轴形式和基本尺寸 41

第三章 轴 承 42

第一节 概述 42

第二节 轴承结构设计 44

第三节 轴承基本额定寿命和修正额定寿命 51

第四节 轴承形式和基本尺寸 53

第五节 轴承试验 56

第四章 轮 轴 60

第一节 车轮与车轴组装 60

第二节 轴承与车轴组装 60

第三节 轮轴形式和基本尺寸 62

第五章 实物轮轴试验 63

第一节 疲劳性能检验 63

第二节 疲劳极限测试 67

第三节 疲劳性能比较试验 70

第四节 寿命确定及可靠性考查 72

第二篇 轮轴材料应用技术

第一章 轮轴材料基本性能 77

第一节 钢中的化学元素及其作用 77

第二节 钢的低倍组织缺陷及其危害 82

第三节 钢中的非金属夹杂物 85

第四节 常规力学性能 87

第五节 车轮、车轴钢的金相组织..... 92

第二章 车轮、车轴材料特性..... 94

第一节	断裂性能	94
第二节	疲劳性能	106
第三节	残余应力	116
第四节	磨损性能	117
第三章	轴承材料特性	126
第一节	轴承钢材料基本性能	126
第二节	组织特征	127
第三节	淬透性能	130
第四节	断口	131
第五节	疲劳强度和断裂韧性	133
第六节	接触疲劳	134
第七节	轴承润滑脂	139
第八节	保持架用工程塑料材料	144
第九节	油封材料	148

第三篇 辗钢车轮制造技术

第一章	辗钢车轮制造技术概述	155
第二章	辗钢车轮的炼钢工艺及设备	158
第一节	国内外辗钢车轮冶炼—铸造工艺技术装备综述	158
第二节	我国车轮用钢生产技术的发展	168
第三节	平炉—模铸工艺技术及设备	174
第四节	转炉—连铸工艺技术及设备	185
第三章	辗钢车轮钢坯的准备及加热	203
第一节	车轮钢坯准备	203
第二节	车轮钢坯加热工艺原理	204
第三节	车轮钢坯加热缺陷及其预防纠正	205
第四节	国内外车轮钢坯加热工艺及设备简介	208
第四章	辗钢车轮的热成形工艺及设备	210
第一节	国内外辗钢车轮热成形工艺及设备概述	210
第二节	辗钢车轮热成形原理	212
第三节	我国辗钢车轮典型热成形工艺介绍	227
第四节	辗钢车轮生产线典型设备参数及压力机工作原理	231
第五节	辗钢车轮热成形工艺研究综述	235
第五章	辗钢车轮的热处理工艺与设备	237
第一节	钢铁材料热处理基本原理	237
第二节	车轮轧后冷却原理	239
第三节	车轮热处理工艺	242
第四节	车轮热处理缺陷产生原因及预防方法	244
第五节	国内外车轮热处理工艺及设备介绍	246
第六节	我国车轮热处理工艺研究进展	252
第六章	辗钢车轮的加工工艺及设备	262
第一节	辗钢车轮加工工艺	262
第二节	辗钢车轮加工的单体设备及功能介绍	264
第三节	辗钢车轮加工成线设备	268
第四节	辗钢车轮特种加工设备	271

第七章 辗钢车轮在线检测工艺及设备..... 273

第一节 国内外在线检测工艺及设备概况..... 273

第二节 静平衡测试..... 274

第三节 硬度检测..... 276

第四节 超声波探伤..... 278

第五节 磁粉探伤..... 280

第六节 抛丸..... 281

第七节 在线剩余应力检测..... 283

第八节 尺寸及外观检测方法..... 284

第四篇 铸钢车轮制造技术

第一章 铸钢车轮的发展概况..... 293

第二章 铸钢车轮设计及使用标准..... 294

第三章 我国铸钢车轮产品的发展历程..... 295

第四章 铸钢车轮制造技术..... 297

第一节 格里芬技术..... 297

第二节 ABC 技术..... 298

第五章 铸钢车轮生产工艺..... 299

第一节 车轮钢冶炼..... 299

第二节 造型..... 306

第三节 浇注..... 316

第四节 车轮热处理..... 317

第五节 机械加工..... 322

第六节 质量检查..... 324

第七节 铸钢车轮信息系统..... 326

第六章 CAE 在车轮开发设计中的应用..... 328

第一节 车轮铸造过程数值模拟..... 329

第二节 车轮有限元分析..... 333

第七章 我国铸钢车轮生产主要设备..... 337

第一节 电炉..... 337

第二节 射砂机..... 337

第三节 射芯机..... 339

第四节 环形炉..... 339

第五节 回火炉..... 340

第六节 抛丸机..... 340

第七节 加工设备..... 341

第八节 探伤设备..... 344

第九节 直读光谱仪..... 347

第十节 氮氢氧分析仪..... 348

第八章 铸造缺陷..... 350

第一节 铸造过程中常见的缺陷..... 350

第二节 铸钢车轮主要缺陷及其产生原因..... 354

第五篇 车轴制造技术

第一章 概 述..... 359

第二章 车轴钢制造技术..... 361

第一节 概述..... 361

第二节 车轴钢冶炼技术..... 361

第三节 车轴钢轧制技术..... 375

第四节 车轴钢坯的质量、影响原因及措施 380

第三章 车轴制造装备及工艺..... 385

第一节 车轴钢坯检验..... 385

第二节 车轴钢坯下料..... 386

第三节 车轴钢坯加热工艺及设备..... 386

第四节 车轴锻造工艺及设备..... 393

第五节 车轴热处理工艺及设备..... 400

第六节 车轴机械加工工艺及设备..... 406

第七节 车轴检验、试验技术 416

第八节 车轴加工过程和产品的防护..... 421

第九节 国外车轴制造技术介绍..... 422

第十节 国外车轴其他检验、试验技术要求概述 427

第四章 车轴超声波探伤新技术..... 430

第六篇 轴承制造技术

第一章 轴承钢的冶炼..... 437

第一节 冶炼方法..... 437

第二节 轴承钢冶金质量..... 439

第二章 锻造加工..... 444

第一节 下料准备..... 444

第二节 锻造的基本过程..... 445

第三节 锻件的退火热处理..... 446

第四节 锻件的清理..... 448

第五节 锻造的基本知识..... 448

第六节 轴承锻造常用设备简介..... 453

第七节 国内外轴承锻造的发展动态..... 454

第八节 圆锥滚子成型加工..... 456

第三章 车削加工..... 463

第一节 车削加工的内容及分类..... 463

第二节 车削加工原理..... 465

第三节 车削加工刀具..... 472

第四节 套圈车削加工的夹具..... 476

第五节 车削加工工艺过程设计..... 483

第六节 车削加工设备..... 489

第七节 车削加工的质量检查和常见问题分析..... 490

第四章 热处理工艺及设备..... 495

第一节 轴承零件热处理技术要求..... 495

第二节 套圈渗碳热处理..... 498

第三节 套圈二次加热淬火热处理..... 507

第四节 滚动体、密封座的热处理设备与工艺 509

第五章 磨削加工..... 513

第一节 套圈的磨削加工	513
第二节 滚子磨加工及检测	540
第六章 轴承零件的探伤	549
第一节 轴承零件无损检测	549
第二节 铁路货车轴承零件的磁粉检测	549
第七章 轴承零件的磷化处理技术	555
第一节 磷化处理基本原理	555
第二节 磷化前表面处理	556
第三节 磷化处理	558
第四节 磷化处理常见故障、产生原因及解决方法	561
第五节 磷化膜的质量检验及磷化溶液的检验	562
第六节 磷化处理的工艺设备	563
第八章 油封、保持架制造技术	565
第一节 油封的制造技术	565
第二节 轴承保持架制造技术	573
第九章 轴承的装配	592
第一节 轴承装配的基本知识	592
第二节 轴承装配工艺过程	596
第三节 轴承的防锈和包装	602
第四节 轴承装配工艺规程	604
第五节 轴承装配质量检测	607
第六节 圆锥滚子轴承随机装配原理	622
第七节 轴承的装配技术的发展趋势	631
附录 轴承成品及零件常用公差术语	633

第七篇 铁路货车轮轴组装、检修技术和管理制度

第一章 轮轴组装	637
第二章 铁路货车轮轴检修制度	641
第三章 铁路货车轮轴检修工艺	645
第一节 概述	645
第二节 铁路货车轮轴厂、段修工艺	647
第三节 铁路货车轮轴运用维修与临修	667
第四节 铁路货车轮轴检修检测技术	670
第四章 轴承一般检修技术	682
第五章 铁路货车轴承大修	692
第一节 轴承的过早失效及对策	692
第二节 大修轴承技术的发展	693
第三节 轴承大修与新制、一般检修的关系及差异	694
第四节 轴承大修的技术	695
第五节 大修轴承管理要求	704
第六章 铁路货车轮轴主要检修限度的确定	708
第七章 铁路货车轮轴管理	711
第一节 铁路货车轮轴造修资质管理	711
第二节 铁路货车轮轴寿命管理和质量保证	711
第三节 备用轮轴管理	715
第四节 报废轮轴管理	720

第五节 轮轴信息化管理..... 721

第八篇 无损检测和 5T 技术

第一章 轮轴无损检测技术..... 727

第一节 无损检测简介..... 727

第二节 超声波探伤基础知识..... 731

第三节 磁粉探伤基础知识..... 745

第四节 车轴探伤..... 757

第五节 车轮探伤..... 771

第六节 滚动轴承零件磁粉探伤..... 780

第二章 车辆运行安全监控系统(5T 系统) 782

第九篇 轮 轴 故 障

第一章 失效分析简述..... 787

第一节 失效分析工作方法..... 787

第二节 裂纹判断方法..... 787

第三节 失效分析试验检测技术..... 788

第二章 典型故障..... 790

第一节 崩轮及裂损..... 790

第二节 冷切轴..... 797

第三节 热切轴..... 820

第四节 热轴..... 822

第三章 其他缺陷..... 825

第一节 车轮缺陷..... 825

第二节 车轴缺陷..... 832

第三节 轴承缺陷..... 834

第十篇 轮轴技术展望

第一章 车 轮..... 851

第二章 车 轴..... 857

第三章 轴 承..... 861

参考文献..... 866

绪 论

铁路货车轮轴是货车的最重要部件,承担着货车承载、走行的功能,是直接关系到铁路货车安全的最关键部件。货车轮轴技术促进了货车技术的发展。从新中国成立到1998年,用了40年的时间,滑动轴承全部升级换代为滚动轴承,货车轮轴全面实现滚动轴承化。货车轴重由11 t提高到21 t,到2006年,轴重提高到23 t、25 t。车轴材质由40钢发展到50钢,车轴轴身结构由变截面的纺锤形发展到等截面的平直形;轴颈根部由带卸荷槽发展到无卸荷槽,缩短了轴颈载荷中心到根部的距离,大大提高了车轴的运行安全性。轴承结构由传统型发展到紧凑型,由钢保持架发展到工程塑料(塑钢)保持架,由接触式油封发展到迷宫式密封。采用辗钢和铸钢车轮,淘汰了铸铁车轮,并正在逐步淘汰辐板孔车轮,由斜直辐板发展到S形和盆形辐板,并发展到提速减重车轮。截止2008年底,我国铁路货车每年使用新车轮达60万片、新轴承80万套、新车轴35万根,检修轮对160万条,检修轴承100万套。目前,随着我国铁路货车快速、重载的发展,已经开始研发30 t及以上轴重铁路货车轮轴,并在新工艺、新材料、新技术等方面开展了有针对性的研制工作。

一、铁路货车轮轴技术发展

1. 车轮

(1) 车轮标准的形成。中国铁路车轮规模化生产发展至今已历经40多年,其产品从单一逐步趋于多样化,同时为满足不同时期的铁路运输需求,新产品新技术也在不断研制和开发当中。

1964年冶金部、铁道部制订了TB 455—1964《车辆用轧制车轮试生产暂行技术条件》,1988年1月国家标准局正式颁布了我国第一个车轮产品国家标准GB 8601—1988《铁路用辗钢整体车轮》。该标准把车轮分为A、B两级,货车车轮型号为 $\phi 840B$ 、 $\phi 840C$ 、 $\phi 840D$ 、 $\phi 840E$,辗钢车轮为斜辐板形式,辐板上设有两个直径为45 mm的工艺孔,车轮材质为CL60。1984年以前,我国货车辗钢车轮踏面一直采用锥形轮缘踏面外形,该外形的缺点是轮缘磨耗比较严重,为了减轻轮缘磨耗,1984年研制成功的LM型磨耗形轮缘踏面外形,在铁路货车车轮上开始推广使用。1991年,研制成功S形辐板车轮,对车轮的结构做了重大修改,强度高,耐热性能良好。

1996年铁道部开始实施提速战略,GB 8601—1988辗钢车轮标准已经不能适应我国铁路的发展对车轮使用性能的要求,为此铁道部在参考国外车轮标准的基础上,制订了适用于中国铁路运输时速120 km辗钢货车车轮的铁道部行业标准TB/T 2817—1997《铁道车辆用辗钢整体车轮技术条件》,采用了S形辐板取代了货车车轮的斜辐板结构形式,取消了辐板孔,轮辋厚度为65 mm,型号HDS。为满足减轻簧下质量的要求,设计了轮辋厚度为50 mm的S形辐板车轮,21 t轴重的为HDSA型,25 t轴重的为HESA型,这两种车轮于2001年投入运用。1999年铁道部制订了TB/T 1013—1999《碳素钢铸钢车轮技术条件》,该技术条件加入了部分破坏性理化检验项目要求,铸钢车轮材质为ZL-B,车轮型号为840HDZ。根据降低车轮重量的要求,2000年8月,设计出新产品840HDZA型铸钢车轮;2001年3月设计出新型薄轮辋840HDZB型铸钢车轮;2003年1月,自主设计的第一种铸钢车轮为轴重25 t的840HEZB型车轮,新设计了840HDZC型薄轮辋铸钢车轮。2006年,新设计了840HDZD、840HEZD型铸钢车轮。

(2) 车轮生产能力的形成。建国初期,我国还没有自己的车轮生产制造厂,1949年10月,戚墅堰铁路工厂曾组织了冷铸生铁轮的试制工作,1964年7月29日,我国第一个热轧辗钢整体车轮在马鞍山钢铁公司车轮轮箍厂轧制成功,马鞍山钢铁股份有限公司成为中国铁路车轮最重要的生产基地。20世纪80年代后期至90年代中期,随着中国铁路运输事业的不断发展,对车轮的需求也不断增加,车轮供不应求,造成“以轮定产”的局面,为此,铁道部开始从国外进口车轮,以缓解车轮供应紧张的局面。90年代初,大同机车厂开始了

铸钢车轮研制。1997年12月,太原重型机械(集团)有限公司引进了国外的设备,经过改造建成了中国第二条辗钢整体车轮生产线,并在国内首先按TB/T 2817—1997《铁道车辆用辗钢整体车轮技术条件》试制成功了构造速度为120 km/h的HDS新型货车车轮。1998年5月17日,大同爱碧玺铸造有限公司引进国外技术生产出了我国第一个铸钢货车车轮,随后,大同、太重开始批量生产车轮。这两个车轮厂的批量生产,不仅大大缓解了国内车轮生产的紧张态势,而且推动了车轮技术的进步与发展。2007年11月,我国第四家铁路货车车轮制造企业即信阳同合车轮有限公司建成投产。

2. 车轴

我国铁路货车车轴最初装用滑动轴承,有A型、B型、C型和D型及其他类型车轴,由国内生产厂家制造。1963年制定了TB 450—1963《车辆用车轴型式尺寸》,规定了4种使用滑动轴承的B型、C型、D型和E型车轴,轴身为变截面的纺锤形;材质为碳素结构钢,符合TB 451—1963《车辆和煤水车用车轴技术条件》的规定。随着铁路货车由滑动轴承向滚动轴承转化,20世纪70年代修订的TB 450—1979《车辆用车轴型式尺寸》(试行)在4种滑动轴承的基础上增加了使用滚动轴承的RB₂型、RC₂型、RD₂型、RE₂型、RC₃型、RD₃型、RC₄和RD₄等8种车轴,轴身为等截面的平直形。1983年确定为正式标准TB 450—1983《车辆用车轴型式尺寸》,车轴的轴身均为等截面的平直形;材质为专用优质碳素结构钢即40钢,符合TB 451—1986《车辆和煤水车用车轴技术条件》的规定。1991年TB 450—1983被纳入国家标准GB/T 12814—1991《铁道车辆用车轴型式与基本尺寸》,规定了B型、C型、D型、E型、F型、G型、RB₂型、RC₂型、RD₂型、RD_{2A}型、RE₂型、RC₃型、RD₃型、RC₄型、RD₄型和RE₃型等16种车轴的基本尺寸,1996年TB 451—1986修订为TB/T 451—1996《车辆和煤水车用车轴技术条件》。针对40钢车轴技术性能的不足,从20世纪80年代初开始,我国铁路开展了碳的质量分数(含碳量)为0.5%的50钢车轴的研究,以期提高车轴疲劳强度,延长车轴的使用寿命,最终成功地研发了LZ50车轴钢,制订了TB/T 2945—1999《铁道车辆用LZ50钢车轴及钢坯技术条件》。2002年GB/T 12814—1991修订为GB/T 12814—2002《铁道车辆用车轴型式与基本尺寸》,取消了C型、RC₂型和RE₃型,增加了RE_{2A}型、RD_{3A}型、RD_{4A}型、RD_{3B}型车轴,车轴材质为LZ40和LZ50钢。2007年将GB/T 12814—2002转为TB/T 3169—2007。

1963年制定标准时,因当时国内磨削工艺设备落后,轴颈根部只能采用有卸荷槽的一种形式;修订标准TB 450—1983、GB/T 12814—1991和GB/T 12814—2002时,虽仍受国内磨削设备限制,但考虑到今后的技术进步,货车车轴轴颈根部设计了两种有卸荷槽(A、C型)和一种无卸荷槽(B型)形式。

由于货车滚动轴承采用冷压装方式安装和退卸,因此车轴轴颈表面发生损伤的数量逐步增加,为做到物尽其用,1993年RD₂型车轴开始生产K1、K2等级车轴,K1等级车轴的轴颈直径比原型减少0.5 mm,K2等级车轴的轴颈直径比原型减少1 mm。

随着铁路货车载重的增加及速度的提高,带有卸荷槽的车轴,在轴颈卸荷槽部位发生了多起冷切事故,2003年3月起停止车轴等级修并报废正在使用的等级修车轴。2004年对RD₂型车轴轴颈卸荷槽进行了研究改进,仅采用了比原型车轴轴颈直径减少0.5 mm的D1等级修,并严格规定了车轴轴颈的加工工艺。

为满足载重70 t铁路货车的使用需求,2005年设计研发了25 t轴重的RE_{2B}型车轴,其轴颈根部和防尘板座根部仅采用了无卸荷槽一种形式,并缩短了轴颈载荷中心到根部的距离,材质为LZ50车轴钢。采用成形磨削的先进加工工艺,保证加工后的轴颈根部形状和表面粗糙度完全符合图样要求,消除了过去车轴在轴颈加工时因设备落后造成的卸荷槽深度、形状和表面粗糙度不符合图样而给货车运用安全带来的隐患,同时提高了车轴制造合格率,降低了轮轴的检修成本。

3. 滚动轴承

(1) 轴承基本结构

我国铁路货车最初装用滑动轴承,为减少列车的起动阻力和运行阻力,增加列车牵引吨位;减少燃轴事故,保证行车安全;提高运行速度,加快车辆周转;节省白合金,降低运营成本;延长货车检修周期,我国从1965年开始进行滚动轴承的试验研究工作,设计的97826型及97726型无轴箱双列圆锥滚子轴承装车运行考验。1973年,为加快货车滚动轴承化进程,决定从国外引进铁路货车轴承技术,在北京南口建立生产厂生产197726型轴承。

在货车滑动轴承向滚动轴承转化的初期,由于未能确定哪种形式轴承最适合我国的使用条件要求和线

路状况,铁道部决定采取多种型号轴承装车运行试验,因此国外公司的轴承也相继装车运行考验。轴承类型分为有轴箱短圆柱型轴承、无轴箱圆锥滚子滚动轴承、无轴箱短圆柱滚子轴承;轴承型号分为国产的 97720、197720、97726、197726、97730、42726ET、152726ET、172726T、172726YT、172826E 型, FAG 公司的 197726A 型、NSK 公司的 197726B 型、NSK 公司的 172826A 型、NTN 公司的 197726C 型等。

通过运行考验,197726 型轴承基本符合我国的环境条件和线路状况,铁道部决定我国货车批量装用 197726 型无轴箱双列圆锥滚子轴承,从此该型轴承成为我国货车轴承的主型产品。为加快我国滚动轴承化的速度,1986 年铁道部决定对当时使用滑动轴承的货车进行逐步改造,装用滚动轴承,这是我国货车实现滚动轴承化的一个重要转折点,从此滚动轴承在铁路货车上大量装车使用。该轴承自 2002 年 1 月起停止生产。

1999 年 10 月,我国研发出了具有自主知识产权的 352226X2-2RZ 型轴承,该型轴承滚子每列为 20 粒,比 197726 型轴承少 1 粒,滚子素线采用对数曲线全凸度,内圈滚道采取圆弧全凸度设计,内圈大挡边采用斜挡边,采用橡胶迷宫式密封,采用钢保持架。2001 年 1 月批量生产 352226X2-2RZ 型轴承,2004 年 9 月采用我国自行设计和研发的工程塑料保持架。目前国内轴承厂(北京南口斯凯孚铁路轴承有限公司除外)均生产该型轴承,该型轴承也是我国铁路货车上保有量最多的轴承。

2003 年,我国自主研发的工程塑料保持架通过了评审,并于 2004 年 9 月开始在 352226X2-2RZ 型新造轴承上装用,同时对 197726 型轴承内圈进行改进设计,实现了 197726 型轴承换装工程塑料保持架的历史性突破,至此结束了我国铁路货车轴承装用钢保持架的历史。

随着我国铁路事业的快速发展和车辆的大编组、高速、重载的发展趋势,研制一种适应 25 t 轴重、运行速度达到 120 km/h 的轴承迫在眉睫。因此,我国一边采用引进国外轴承装车使用,一边研究国产品牌。

2002 年 12 月,具有自主知识产权的 353130X2-2RZ 型轴承产品设计图样通过了技术评审。2003 年在北京环形线完成了 120 km/h 可靠性试验考验。2005 年 7 月在大秦线进行运用考验。该轴承内圈挡边为斜挡边,内滚道为圆弧全凸度形式,滚子端面为球基面,素线为对数曲线全凸度形式,采用工程塑料保持架,每列 23 个滚子,采用铁道车辆滚动轴承Ⅳ型润滑脂和迷宫式橡胶油封。2007 年 7 月,该轴承进行批量生产,代替进口的 TBU150 型、TAROL150 型及 AP150 型轴承。

2005 年 3 月,在 353130X2-2RZ 型轴承的基础上,研发了 25 t 轴重铁路货车用 353130A 型轴承,2005 年 9 月装车运用。该轴承适用于轴颈中心到轴颈根部的距离为 110 mm 的车轴,轴承内部结构与 353130X2-2RZ 型轴承相同,取消了密封座和内油封,通过改变前盖、后挡的结构和橡胶件组成混合迷宫密封装置,能够防止油脂的泄漏以及外界杂质进入轴承内,以适应现有的检修体制和检修设备。2006 年 5 月,因引进 353130B 型轴承而停止生产 353130A 型轴承。

2006 年 1 月,铁道部与瑞典 SKF 公司合作,引进了 CTBU150 型紧凑型轴承技术,建立了 353130B 型轴承的标准,实现了 353130B 型轴承的国产化。

353130B 型轴承取消了密封座;每列 23 个滚子,采用了低摩擦式的 LL 型油封,油封的固定件安装在轴承外圈的两端牙口上,旋转件安装在轴承内圈的大挡边外径上,这种新概念的油封保证了低的摩擦扭矩,同时也能够防止油脂的泄漏以及微动磨蚀颗粒和其他杂质进入轴承内;在后挡与轴承内圈大端面之间安装了一个塑钢隔圈,消除了内圈和后挡接触面产生的微动磨蚀;在保持架的兜孔上,留有独特的检查兜孔,能够很方便地检查内圈滚道和大挡边的状态;中隔圈部位与内组件部位均有注脂量要求。

1996 年,北京南口斯凯孚铁路轴承有限公司开始生产我国 197726 型轴承。1998 年 1 月,斯凯孚公司对 197726 型轴承提出了第一步改进设计,改进设计主要包括轴承制造质量的改进,采用塑钢保持架。改进后的轴承型号为 SKF197726 型轴承,仅在该公司生产。1999 年 4 月,在第一步改进的基础上又在油脂和密封两个方面进行了改进。采用密封罩与油封一体化的接触式密封结构,采用铁道车辆滚动轴承Ⅱ(A)型润滑脂。1998 年 6 月,从 SKF 公司进口的 TBU150 型轴承装车使用,该轴承为密封式双列圆锥滚子轴承,采用接触式密封装置和整体塑钢保持架;每列 23 个滚子,采用圆弧全凸度设计。2004 年 5 月,北京南口斯凯孚铁路货车轴承有限公司按照 SKF 公司的 TBU150 图纸在国内生产,定型为 SKF353130-2RS。

1998 年 7 月,从 TIMKEN 公司进口的 AP150 型轴承装车使用,2000 年,从 TIMKEN 公司进口的 AP130 型轴承开始装车使用,两种型号轴承为密封式双列圆锥滚子轴承,采用 HDL 型液动迷宫式低转矩密

封装置和整体钢保持架。2003年5月,从FAG公司进口的TAROL150型滚动轴承装车使用,该轴承为密封式双列圆锥滚子轴承,采用密封罩与油封一体化的接触式密封结构和整体塑钢保持架;每列23个滚子,采用圆弧全凸度设计。

(2) 轴承材质

轴承套圈材质一直使用G20CrNi2MoA渗碳轴承钢,滚子采用GCr15高碳铬轴承钢,冶炼方式均为电渣重熔或真空脱气。由于标准不统一,理解存在分歧,2006年7月,铁道部统一和提高了货车轴承用渗碳轴承钢及高碳铬轴承钢的技术要求,并对电渣重熔和真空脱气两种工艺都进行了明确的规定,对4种主要元素指标进行了调整,提高了对氧含量的控制。

(3) 润滑脂

轴承油脂最初使用国产铁道车辆滚动轴承I型润滑脂,1983年9月开始,在197726型滚动轴承上使用日本进口的RB320润滑脂;1991年1月开始,在各型轴承上使用铁道车辆滚动轴承II型润滑脂;2003年3月开始使用铁道车辆滚动轴承IV型润滑脂。2005年7月开始用铁道车辆滚动轴承IV型脂代替铁道车辆滚动轴承II(A)型润滑脂。

SKF197726型滚动轴承在1998年7月从铁道车辆II型润滑脂改用II(A)型润滑脂。II(A)型润滑脂使用中有的变为深棕色,有的变为黑色,使用寿命不能满足使用要求,2005年7月SKF197726型滚动轴承也开始使用铁道车辆IV型润滑脂。

(4) 轴端螺栓密封圈

引进日本197726型轴承时,没有轴端螺栓密封圈。为防止水从前盖与螺栓配合面进入车轴端面,再从密封座补油孔进入轴承内部,加装了圆柱形及改进的圆锥形螺栓密封圈。由于圆柱(圆锥)形螺栓密封圈的刚度过大,抵消了轴端螺栓的拧紧力矩,造成使用中轴端螺栓出现松动,1993年9月197726型轴承取消了螺栓密封圈。1997年1月在推广橡胶迷宫式密封装置时,加装了低刚度的V形螺栓密封圈。随着前盖与螺栓配合面加工质量的提高,取消了轴端螺栓密封圈。

(5) 密封罩

最初的密封罩是通过压力成形的,密封罩的外径面上的凸台通过挤压形成。由于压力成形的特点,外径的椭圆度比较大,凸台形状不符合要求,使密封罩的实际配合过盈量不足或凸台尺寸不符合要求,压装中被剪切及检修中密封罩允许整形后使用,都造成了密封罩在使用中松动甚至脱落。为此,增加了密封罩的厚度,在冲压成形后,对外径面进行加工,以保证外径的椭圆度和凸台尺寸;又规定在检修中一律更换新的密封装置,大大减少了密封罩的松动,基本消除了密封罩的脱落。

(6) 工程塑料保持架的应用

轴承保持架最初使用08AlT或B275TZ钢板冲压成型,钢保持架因其结构、材质、工艺等先天性因素的影响,导致轴承转动顺时性差,易造成卡滞。钢保持架一旦裂损,仅仅运行几公里就可能发生切轴,不易防范。工程塑料保持架具有良好的耐磨性、耐腐蚀、自润滑、抗冲击性、质量小、成本低,特别是应急安全性好,即使在无油状态,由于工程塑料保持架自润滑的特点,能够维持滚动轴承正常运转一段时间。1998年1月开始,在SKF197726型滚动轴承上装用工程塑料(俗称塑钢)保持架,仅在该公司使用;同期我国也开始研发工程塑料保持架,并由北京隆轩橡塑有限公司成功批量生产,2004年9月开始,国内各轴承厂在新造及大修的352226X2-2RZ型滚动轴承上装用工程塑料保持架;2005年6月开始,在197726型轴承大修时,装用工程塑料保持架。通过对轴承内圈小挡边外径尺寸进行补充加工后,实现了换装工程塑料保持架要求。至此,352226X2-2RZ和197726型钢保持架轴承换装工程塑料保持架从技术上有了可靠的保证。

除在新造轴承上采用工程塑料保持架外,2006年1月开始,在货车厂修时,凡装有钢保持架的352226X2-2RZ型轴承结合轴承一般检修全部换装工程塑料保持架,在货车段修或车轮厂进行轮对厂修时,凡退卸的装有钢保持架的352226X2-2RZ型轴承,结合轴承一般检修换装工程塑料保持架;2006年6月开始,对退卸的、已经过大修的装用钢保持架197726型轴承返原厂进行检修,换装工程塑料保持架。2007年,强制性淘汰352226X2-2RZ型和197726型轴承钢保持架,货车厂、段修时,凡352226X2-2RZ型和197726型钢保持架轴承全部退卸,结合一般检修或大修换装工程塑料保持架。截至目前,上述钢保持架轴承全部淘汰完毕。

(7) 迷宫式密封代替接触式密封

轴承密封最初使用的是接触式密封,由于接触式密封唇口与密封座过盈配合,在旋转时因摩擦造成轴承运转温度过高,油封唇口老化。因弹性降低,又加快了油封唇口磨耗,密封性能差。1997年1月在国产的新造或大修铁路轴承上全部使用迷宫式密封装置。

2005年10月开始在SKF197726型新造、大修轴承全部使用迷宫式密封或LL型密封装置(LL油封)。迷宫式密封使油脂或外部异物通过小间隙、长流程、多曲路、多气室时增大流动阻力和能量消耗。该密封结构转矩小、低摩擦、温升比较低、密封性能稳定,现已在铁路货车轴承上广泛使用。

(8) 换装橡胶分体迷宫式密封或LL型油封

为解决已装用接触式密封的SKF197726型轴承运转热过高的问题,从2007年4月开始在货车段修时,对2004年1月至2005年9月期间新造、大修和2004年1月至2005年8月期间一般检修的SKF197726型轴承全部退卸做一般检修,全部换装352226X2-2RZ型轴承用橡胶分体迷宫式密封。从2008年6月开始在货车段修时,对2003年1月至2005年9月期间新造、大修和2003年1月至2005年8月期间一般检修的SKF197726型轴承全部退卸做一般检修,全部换装352226X2-2RZ型轴承用橡胶分体迷宫式密封。

二、我国铁路货车轮轴设计制造与检修体制

新中国成立60年以来,我国铁路货车轮轴有了突飞猛进的发展,从建国初期依赖于进口,到目前通过原始创新、集成创新、引进消化吸收再创新,我国铁路货车轮轴逐步走出了一条完全自主知识产权并全部实现国产化的发展之路。

铁路货车轮轴研发设计主要依托于四方车辆研究所和中国铁道科学研究院金化所,各铁路局、货车造修工厂、铁路货车轮轴部件生产厂参加和配合。四方车辆研究所主要负责货车轮轴的设计、试验,中国铁道科学研究院金化所主要负责货车轮轴材料方面的研发、试验,同时两个研究所还承担铁路货车轮轴故障的研究。

铁路货车轮轴生产由专业化生产厂承担。目前车轮共4个生产厂家,年生产货车车轮能力总计约100万片;车轴共9个生产厂家,年生产能力总计约45万根;轴承共9个生产厂家,新造轴承年生产能力约120万套,大修年生产能力90万套;完全满足我国铁路货车制造、检修用轮轴需要。

铁路货车轮轴检修实行以专业化集中修为主,以状态修、换件修为辅的检修管理体制,结合货车定期检修进行。铁路货车轮轴定期检修分为厂修和段修,目前我国有18个铁路局的19个轮轴车间,17个货车造修工厂承担铁路货车轮轴新组装和检修工作。

铁路货车轴承检修分为一般检修和大修。轴承一般检修在经过铁道部批准的铁路货车检修工厂、车辆段的检修车间或车轮车间、轴承制造(大修)单位进行,轴承的大修必须经过铁道部批准的轴承制造(大修)单位进行。目前我国有18个铁路局的25个轴承一般检修单位和12个货车检修工厂承担轴承一般检修工作,有8个轴承造修厂承担轴承大修工作。

三、铁路货车轮轴产品制造工艺技术发展

轮轴产品制造工艺技术是实现其设计要求的根本保证,也是保证产品制造质量最重要的因素。轮轴产品制造工艺技术有其特殊性。

车轮铸造技术:我国铸钢车轮采用电弧炉炼钢、石墨铸型表面挂砂衬、雨淋式浇口浇注、中央冒口集中补缩的铸钢车轮生产技术,并采用相共振控制超探技术进行探伤,其产品具有尺寸精度高、浇注操作简单、车轮内部质量稳定、制造成本低等特点。

整体辗钢车轮制造技术:整体辗钢车轮是指成形过程采取锻压-辗轧工艺制造的整体车轮。辗钢车轮热成形工艺过程主要包括预成形、成形、轧制和冲孔压弯等。一般采用成形压力机+车轮轧机+压弯压力机的方式。

车轴锻造技术:车轴锻造采用的是热锻,目前我国锻造车轴的成形方式有两种,一种为径向精密锻造,另一种为自由锻造条件下的锻造,所采用的设备分别为径向精密锻造机(简称精锻机)和快速锻造液压机组(简称快锻机),均能保证锻件精度。