



TIELU SHIYAN JIANCE PINGGU JISHU

铁路试验检测评估技术

康熊 编著



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

铁路试验检测评估技术

康 熊 编著

中国铁道出版社

2012年·北京

内 容 简 介

随着高速铁路、重载铁路和高原铁路技术的发展和运用,以安全为核心的试验检测评估体系的建立和全过程覆盖,对我国铁路现代化的发展具有越来越重要的意义。自1995年开始,中国铁路相继开展了既有铁路提速、高速铁路、重载铁路和高原铁路的研究和建设,并且组织了多次重大科技试验。在铁路发展的每一个进程中,不断创新的试验检测评估技术都发挥了重要作用。对试验检测的大量技术资料进行梳理、思考、总结和归纳形成本书。本书主要内容包括:概论、铁路工务工程试验检测评估技术、机车车辆试验检测评估技术、铁路通信信号系统试验检测评估技术、铁路运输试验检测评估技术、材料试验检测评估技术、综合试验检测评估技术、综合试验与联调联试。本书将我国铁路专业试验检测评估体系和综合试验检测体系全面地展现出来,可供相关专业的管理人员、科研人员、工程技术人员、教师和学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路试验检测评估技术/康熊编著. —北京:中国铁道出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-113-15019-8

I. ①铁… II. ①康… III. ①铁路工程—试验 ②铁路工程—检测 IV. ①U21

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第202594号

书 名: 铁路试验检测评估技术
作 者: 康 熊 编著

策划编辑: 熊安春
责任编辑: 杨 哲 刘 钢 电话: 010-51873055
封面设计: 郑春鹏
责任校对: 张玉华
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: 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷
开 本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 45.25 字数: 1310千
书 号: ISBN 978-7-113-15019-8
定 价: 360.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电话:(010) 51873170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010) 63549504,路电(021) 73187

EDITORIAL BOARD

编委会

主 编 康 熊

副 主 编 王 澜 李 琴

执行主编 侯文葳

编 委 会 晏兆晋 甘敦文 柯在田 杨志杰

王卫东 朱克非 李卫东 李耀增

张金月 王俊彪

序

近十年是中国铁路现代化发展的重要时期。截止 2012 年 7 月,我国已建成投入运营的高速铁路共有 21 条,总里程达 6 894 km,居世界第一。其中时速 200 ~ 250 km 的高速铁路 3 324 km,时速 300 ~ 350 km 的高速铁路 3 570 km。在青藏高原建成了长度超过 1 800 km 的高原铁路;建设并改造了大秦重载铁路,开行 2 万 t 列车,使这条线路年运量超过了 4 亿 t。这些举世瞩目的成就是在大量科技攻关的前提下取得的。每条线路在建设过程中都经过无数次的试验、仿真计算、检测和评估,确保了线路在安全可靠的情况下开通运营。

在中国铁路发展的进程中,技术创新体系是最具推动力的部分。承载着技术创新活动的基础设施、创新资源和创新环境是技术创新的关键要素,试验检验技术、装备、标准的研究与运用在很大程度上决定了技术创新成果的质量和推广前景。

在铁路生产运营过程中,运行安全保障体系是铁路的生命线,其中的安全检查检测体系占有举足轻重的地位。因此,以安全为核心的试验检测评估体系的构建和纳入建设程序的全方位试验评估,对于我国铁路的现代化发展具有愈来愈重要的意义。

自从 1814 年发明铁路以来,铁路在世界各国的国民经济发展中起到重大作用。铁路年复一年、日复一日地承担着运送旅客、运送货物的工作,其安全性、耐久性、可靠性成为铁路科学研究永远的主题。世界各国都非常重视铁路科学技术的研究与实验,建设了许多试验研究中心、大型的试验场地、装备并不断更新实验设备,以满足铁路发展的需要。

中国铁路在几十年的发展过程中,国家在科研和试验方面的大量投入和几代人的不懈努力,逐步形成了比较成熟的技术创新流程和比较完善的试验检测评估体系,基本做到了铁路建设和运营全过程和全方位的覆盖。随着铁路技术的不断发展,铁路试验检测评估体系也在不断地改进与完善。近年发展的综合试验技术、联调联试技术、运营过程中的试验检验技术等就是铁路试

作者多年主持中国铁道科学研究院科研工作,在铁道部领导下,参加并组织了近年来几乎所有的中国铁路提速、高速、重载等科学攻关试验项目全过程,既具有深厚的理论功底,又具有丰富的实践经验,通过总结梳理铁路试验检测评估技术形成了本著作。著作内容充实、丰富,是迄今为止全面论述铁路试验检测评估技术的一本好书,值得铁路科技工作者认真研读。

何華武

2012 年 7 月

前言

铁路曾经是一种传统产业,然而,近年来世界各国在高速铁路、重载铁路等方面的发展,使现代铁路充满新的活力。由于铁路与其他交通方式相比,具有运载量大、消耗能源少、对环境破坏小的优势,成为当今世界各国发展绿色交通的首选。

中国铁路在发展的进程中,不断用世界最新的科技创新成果武装与完善自己,使得现代铁路在动力传导、运行控制、运营管理等诸方面有了全新的发展。旅客列车运行速度从过去的约 100 km/h,发展到现在的 300 km/h 以至更高速度。单列货物列车的运输重量从过去的几千吨,发展到当今的 2 万 t。铁路的发展与人民的生命财产密切相关,安全性、可靠性、耐久性 is 铁路发展永恒的主题。因此,铁路强调通过一步一个脚印的科学实验,扎扎实实地实现技术上的每一项进步,并由此形成了中国铁路试验检测评估体系。

形成中国铁路试验检测评估体系从时间层面上可划分为四个阶段:专业研究阶段、综合性研究阶段、竣工验收阶段和运营阶段。专业研究阶段,主要是通过试验研究验证各专业创新技术成果的基本性能和可靠性,提出各专业新的技术参数和新的标准。比如:新研制的钢轨、扣件的力学性能和疲劳性能,新研制的机车转向架的动力性能,新研制的信号系统的可靠性等等。这阶段的研究工作,主要依赖于室内实验验证新技术的可靠性。综合性研究阶段,是将各专业研究的新成果与相关联的多专业进行系统集成,联动起来进行试验,检验新成果对系统的适应性和可靠性,各专业提出的新标准之间的关联性和适应性。比如:不同运行系统引起的轨道系统以及轨下基础的响应,信号系统与道岔系统的联锁,运输指挥系统与实际运行系统的一致性等等。这阶段的研究工作,一般先在试验基地进行试验研究,然后再在现场进行试验,试验完成后,总结评估试验成果,与理论研究的成果结合在一起,形成比较完善的新技术标准。竣工验收阶段,对按照新标准建成的新建铁路或既有线经过改造后的铁路线,主要通过运行试验进行验收,然后铁路才能够开通运营。这个

谨以此书献给为中国铁路试验检测和评估技术创新付出辛苦努力、拼搏奉献的科研人员。

2012 年 5 月

目录

第一章 概 论	1
第一节 科学实验与检测评估在铁路技术创新中的作用	1
一、科学实验的概念	1
二、科学实验在铁路科技创新中的作用	2
第二节 国外铁路研发机构和实验基地的建设	5
一、美国运输技术中心	6
二、德国铁路实验基地	9
三、法国铁路研究机构和实验基地	12
四、俄罗斯铁道运输科学研究院试验基地	16
五、捷克铁道运输科学研究院维里姆实验研究中心	19
六、波兰铁路日米格鲁德实验中心	20
七、罗马尼亚运输技术科学研究院综合试验研究中心	20
八、日本铁路研究机构和试验装备	21
九、韩国铁路研究机构和试验设备	24
第三节 中国铁路试验与检测评估体系	25
一、铁路试验检验与评估体系的发展	25
二、专业试验检验评估机构与功能	27
三、综合试验检测评估机构与功能	33
四、国家铁道试验中心	35
第二章 铁路工务工程试验检测评估技术	47
第一节 轨 道	47
一、轨道静态试验检测与评估	47
二、轨道动态检测与评估	59
三、轨道实验室试验	65
四、轨道状态远程实时监测系统	85

2

二、测试方案设计	324
三、试验项目	325
四、评定指标	327
五、测试系统	327
第四章 铁路通信信号系统试验检测评估技术	331
第一节 信号系统试验检测	331
一、检测目的	331
二、检测内容	332
三、检测方法	345
四、检测设备	349
第二节 通信系统试验检测	352
一、检测目的	352
二、检测内容	352
三、检测方法	354
四、检测设备	355
第三节 电磁兼容及综合接地系统试验检测	357
一、电磁兼容	357
二、综合接地	360
第四节 青藏线信号系统试验	361
一、概 述	361
二、试验结果	362
第五节 既有线第六次提速通信信号系统试验	363
一、既有线第六次提速通信系统试验	363
二、既有线第六次提速信号系统试验	363
第六节 高速铁路通信试验	371
一、高速铁路通信系统构成	371
二、高速铁路通信系统联调联试	372
三、高速铁路通信联调联试关键技术	373
四、高速铁路通信联调联试主要方法	377
第七节 客运专线通信信号联调联试	379
一、客运专线 CTCS-2 级列控系统联调联试	379
二、高速铁路 CTCS-3 级列控系统联调联试	381
第五章 铁路运输试验检测与评估技术	386
第一节 长定尺钢轨装载加固试验	386
一、装载加固性能试验	386
二、运输车组动力学试验	387
三、小半径曲线及道岔动力响应试验	388
四、试验结果与分析	388
第二节 高速铁路试运行的测试与评估技术	394
一、试运行目的及条件	394
二、试运行测试流程	395

4

5

第一章 概 论

第一节 科学实验与检测评估在铁路技术创新中的作用

铁路科学技术在科学技术领域属于应用科学范畴。铁路科学技术的研究主攻方向不是发明和发现新的理论,而是应用新的科学发明与发现,解决铁路中的实际科学技术问题。铁路是多专业的系统集成,轮轨接触的复杂性、系统接口的多样性、运行系统和指挥系统的交互性决定了这门应用科学不是可以拿来就用的科学,而是需要不断探索、不断发现的科学技术。特别是在中国铁路进入高速铁路时代的今天,更需要加快对铁路科学技术的研究与发展,保障列车运行的安全可靠。铁路科学研究的方法主要有理论研究和科学实验,而理论研究如果运用到铁路实践中,都需要通过科学实验来验证。

一、科学实验的概念

自然现象中充满了科学原理,人们通过观察去认识世界。当人们不满足在自然条件下观察对象时,要求对被研究对象进行积极的干预,导致科学实验的产生。

科学实验是为了观察事物的变化过程,寻求结果或探索规律进行的某种操作或从事的某种活动,在科学研究中具有特殊重要的地位。

科学实验就是根据一定的目的,运用仪器、设备等物质手段,在人为控制的条件下模拟自然现象以进行研究的方法。科学实验以实验者、实验手段和实验对象为三项基本要素。其特点是可以纯化、简化或强化以及再现科学研究现象。科学实验可以延缓和加速自然过程,为理论概括准备充分可靠的客观依据;可以超越现实生产所及的范围,缩短认识周期。科学实验的范围和深度,随科学技术的发展和社会的进步而不断扩大和深化,在现代自然科学的发展中,科学实验具有越来越重要的作用。

科学实验离不开科学理论的指导,科学理论对科学实验有巨大的能动作用。爱因斯坦说:“一个矛盾的实验结果就足以推翻一种理论。”这句话高度概括了科学发展过程中科学实验举足轻重的地位。科学实验是科学认识的基础,又是判断认识是否具有真理性的标准,是理论与实践相互作用的表现形式之一。

从1901~2000年的100年中,诺贝尔物理学奖获奖项目115项,获奖人160名,其中2/3的项目是由于实验结果不同寻常而获此殊荣的,可见科学实验在科学发展中的重要作用。

科学实验不是简单地观察,需要通过试验设计,借助仪器设备,完成特定目标的研究与试验,取得有规律、有价值的结果。科学实验主要有以下特点。

1. 纯化观察对象的条件

自然界现象错综复杂,某些特性或者被掩盖、或者规律不清晰,导致观察认识上的困难。因为在科学实验中,人们可以利用各种实验手段,对研究对象进行各种的人工变革和控制,使其摆脱各种偶然因素的干扰,让被研究对象的特性能以纯粹的本来面目而暴露出来。人们就能获得被研究对象在自然状态下难以被观察到的特性。

2. 强化观察对象的条件

在科学实验中,人们可以利用各种试验设备和手段,创造出在自然状态下无法出现的或几乎无法出现的特殊条件,如超高温、超高压、超低温、超真空、短期内的反复荷载等。在强化了的特殊条件下,人们观察到了许多前所未有的在自然状态中不能或不易遇到的新现象,使人们发现了许多具有重大意义的新事实。例如,人们能通过一定实验手段,制造接近绝对零度的超低温,从而把几乎所有的气体液化。在这样的条件下,发现某些材料具有特殊优良的导电性能,即具有无电阻、抗磁等超导态特性。

自然条件中发生的某些现象,可能转瞬即逝,或者在漫长的周期后才可能出现,使人们无法对其反复地观察,如地震、宇宙中星球的衰变与陨落等。在科学实验中,人们可以通过一定手段使被观察对象重复出现,这样,既有利于人们长期进行观察研究,又有利于人们进行反复比较观察,追寻规律。

二、科学实验在铁路科技创新中的作用

简单地看铁路就是车轮在铁轨上跑,实际上却与众多的学科领域息息相关。比如,可以看到的是钢轨铺设在轨枕上,轨枕铺设在路基或结构物上,但是,什么样的材料最适合做钢轨?车轮飞速地旋转,会给钢轨造成什么样的损伤?钢轨的形状(廓形)为什么会是现在这个样子?这种形状是最好的吗?运动在轨道上的轮子在什么条件下爬上轨道以至出轨?轨道的不平顺对车轮与钢轨的运动产生什么影响?这一系列的问题涉及到非常复杂的金属学、运动学、动力学,如果再考虑轨枕、路基、轨下结构物,又涉及结构力学、材料力学、土力学、结构动力学等等。

工务工程包含线路、轨道、路基、桥涵、隧道等专业。机车车辆包括动车组、电力机车、内燃机车、接触网供电、客车、货车、集装箱车、特种车辆等专业。列车运行与控制工程包含铁路信号、铁路通信等专业。铁路运输管理工程包含车站与枢纽、行车组织、旅客运输、货物运输等。信息系统包括所有通过互联网进行管理的系统,比如覆盖全路运输部门铁路运输管理信息系统(TIMIS)和行车调度指挥系统(DIMIS)、安全监控信息系统、电子售票信息系统等。环境保护专业包括环境评价、环境监控。

```

graph TD
    A[铁路专业] --> B[工务工程]
    A --> C[机车车辆]
    A --> D[列车运行与控制]
    A --> E[运输管理]
    A --> F[信息系统]
    A --> G[环境保护]
    B --> B1[轨道]
    B --> B2[路基]
    B --> B3[桥涵]
    B --> B4[隧道]
    C --> C1[动车组]
    C --> C2[电力机车]
    C --> C3[内燃机车]
    C --> C4[客货列车]
    D --> D1[铁路信号]
    D --> D2[铁路通信]
    E --> E1[行车组织]
    E --> E2[车站与枢纽]
    E --> E3[客货运输]
    E --> E4[运输管理]
    F --> F1[行车调度]
    F --> F2[安全监控]
    F --> F3[电子售票]
    G --> G1[环境评价]
    G --> G2[环境监控]
  
```

铁路专业																		
工务工程				机车车辆				列车运行与控制		运输管理		信息系统			环境保护			
轨道	路基	桥涵	隧道	动车组	电力机车	内燃机车	客货列车	铁路信号	铁路通信	行车组织	车站与枢纽	客货运输	运输管理	行车调度	安全监控	电子售票	环境评价	环境监控

(二) 铁路在科学实验过程中发展

1771 年,英国发明家瓦特(1736—1819 年)取得旋转蒸汽机的专利。1814 年,英国最著名的工程师乔治·史蒂芬森(1781—1848 年)(以下简称史蒂芬森)利用蒸汽机原理悉心研制了世界上第一台蒸汽机车样车。试验的时候,这台机车以 6 km/h 的速度,牵引 8 辆矿车运行,振动非常厉害。他继续研究采用多烟管道加热的办法,极大地增加蒸汽量,并引导废气向上排,喷出烟筒,提高了机械功率,使新设计的机车成为当时世界上最先进的机车,并进入实用阶段。1825 年 9 月 27 日,第一列由史蒂

芬森设计的蒸汽机车“动力一号”，牵引着一辆试验型客车和 31 节车厢 80t 煤以平均 24 km/h 的速度行进在由他勘察设计的达林顿到斯托克的世界第一条准轨铁路上行驶时，被世界公认为铁路运输诞生的标志。但是，仍然有人讥讽他的蒸汽机车速度达不到奔马的速度。此后，他又负责设计、建造世界上第一条利物浦—曼彻斯特铁路。并在 1829 年 10 月铁路建成之际，举行一次蒸汽机车比赛，他和他儿子设计的“火箭号”蒸汽机车，用 3 h 12 min 牵引 13 t 车厢，全程无故障地跑完 20 圈。单机最高速度达到 46 km/h。在拿到大奖以后，史蒂芬森又冒险开足马力，把“火箭号”的最高速度开到 56 km/h，在这之前，人们公认的运动速度是奔马的速度约为 47 km/h，他终于超越了当时认为不可逾越的奔马速度。

从铁路诞生的过程可以看出，史蒂芬森的成功是从研制到现场实验，根据实验结果不断进行改进的反复过程，每一次反复都是在改进基础上进步的过程。这以后，人们通过无数次的实验，发明内燃机车、电力机车，以至于今天高速运行的动车组列车。

2. 科学实验是铁路技术科技创新的基础工作

从技术发展的角度来讲，铁路是一种传统产业，但是随着整个社会科学技术的进步，铁路在发展的进程中，不断采用世界最新的科技成果武装与完善自己。现代铁路，在动力传导、运行控制、运营管理等诸方面已经是高科技的系统集成，在车桥耦合、车线耦合、轮轨关系等基础理论方面的研究已经达到相当的深度。

科技创新包括原始创新、集成创新和引进、消化吸收再创新。在铁路科技发展中大量进行的是集成创新，引进、消化、吸收再创新，原始创新主要体现在专业性的科学研究与创新。经过多年的科学研究实验，中国铁路技术创新与应用从整体层面上看已经形成图 1-1-2 所示的技术流程。

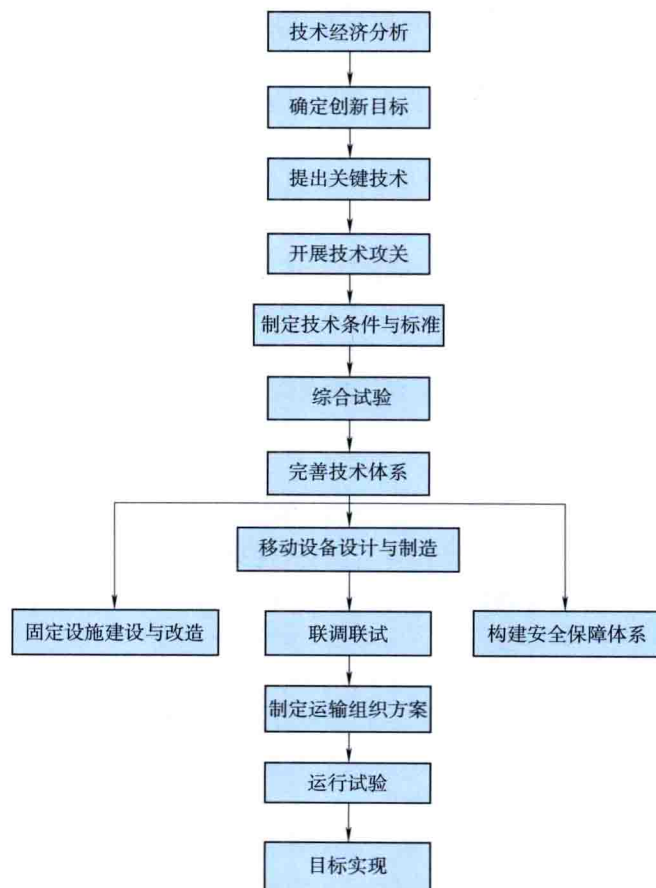


图 1-1-2 铁路技术创新流程

中国铁路试验检测评估体系的组成从时间层面上可划分为四个阶段:专业研究阶段、综合性研究阶段、竣工验收阶段和运营阶段。专业研究阶段,主要是通过试验研究验证各专业创新技术成果的基本性能和可靠性,提出各专业新的技术参数和新的标准。比如:新研制的钢轨、扣件的力学性能和疲劳性能,新研制的机车转向架的动力性能,新研制的信号系统的可靠性等等。这阶段的研究工作,主要依赖于室内实验验证新技术的可靠性。综合性研究阶段,是将各专业研究的新成果与相关联的多专业进行系统集成,联动起来进行试验,检验新成果对系统的适应性和可靠性,各专业提出的新标准之间的关联性和适应性。比如:不同运行系统引起的轨道系统以及轨下基础的响应,信号系统与道岔系统的联锁,运输指挥系统与实际运行系统的一致性等等。这阶段的研究工作,一般先在试验基地进行试验研究,然后再在现场进行试验,试验完成后,总结评估试验成果,与理论研究的成果结合在一起,形成比较完善的新技术标准。竣工验收阶段,对按照新标准建成的新建铁路或既有线经过改造后的铁路线,主要通过运行试验进行验收,然后铁路才能够开通运营。这个阶段必须以设计速度的1.1倍进行联调联试,对创新技术有进一步探索要求的,还需要在预先设定的试验段进行综合实验。这个阶段的试验,一方面是对新建或改建铁路的试验检测评估与验收,同时也是对铁路新技术更加深入地探索。运营阶段,是在铁路开通运营后进行普遍地、周期性地试验检测,及时发现可能出现事故隐患,指导运用部门养护维修。这个阶段还可以发现列车运营期间线路、钢轨、弓网、通信信号等设施出现的共性、普遍性的问题,提供给研究部门进行深入研究。

实践是检验真理的唯一标准,没有各阶段精心设计、精心组织的科学实验,就没有铁路新科技的发展,因此科学实验是铁路技术创新的基础性工作。

铁路是国民经济的大动脉,自从 1814 年发明铁路以来,铁路在世界各国的国民经济发展中起到重大作用。铁路年复一年、日复一日承担着运送旅客、货物的工作,其安全性、耐久性、可靠性是铁路科学研究永远的主题。

铁路交通的安全性主要体现在运行安全和调度指挥系统正确两个方面,运行系统安全事故主要有列车冲突、脱轨、火灾、爆炸、相撞、冒进信号等,调度指挥系统的错误主要体现在漏发、错发、漏传、错传调度命令等。引起安全事故的原因很多,有人为因素,也有技术层面的原因。铁路创新技术在运用过程中的安全性,必须通过科学实验来检验。

4