

铁路隧道重点施工技术 管理优化研究

Management Optimization
of Key Construction Technology
in Railway Tunnel

田慧生 马国瑞◎编著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

铁路隧道重点施工技术 管理优化研究

Management Optimization
of Key Construction Technology
in Railway Tunnel

田慧生 马国瑞◎编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

铁路隧道重点施工技术管理优化研究 / 田慧生, 马国瑞编著. —
北京: 中国科学技术出版社, 2015.6

ISBN 978 - 7 - 5046 - 6933 - 9

I . ①铁… II . ①田…②马… III . ①铁路隧道—重点施工

IV . ① U459.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 113499 号

责任编辑 高雪岩

封面设计 三鼎甲

责任校对 何士如

责任印刷 张建农

出 版 中国科学技术出版社

发 行 科学普及出版社发行部

地 址 北京市海淀区中关村南大街16号

邮 编 100081

发行电话 010-62103130

传 真 010-62179148

投稿电话 010-62176522

网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm × 1092mm 1/16

字 数 285千字

印 张 15.75

版 次 2015 年 9 月第 1 版

印 次 2015 年 9 月第 1 次印刷

印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司

书 号 ISBN 978 - 7 - 5046 - 6933 - 9/U · 90

定 价 68.00元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

序

近年来，中国高铁建设施工技术和隧道施工技术飞速发展，形成了一套完整的有特色的施工创新方法，推动了世界隧道施工技术的进步。特别是在近两年，中国高铁技术正在探索走出国门之路，说明中国铁路施工技术从落后、向国外学习，再到走出国门，再次说明在铁路建设高潮中，中国铁路施工技术已发生质的飞跃。本书作者在工程实践中总结出创新的通风技术、高原隧道特殊地段处理技术，很好地解决了隧道或平导单洞隧道的施工建设中的技术难题。创新的技术和实践也进一步改变了特殊地质隧道设计理念。

高质量的技术管理和良好的安全技术作业环境是隧道施工的前提条件，也是隧道施工中以人为本、科技领先理念的重要体现，要创造、要发展、要技术，离不开在隧道施工中不断总结和提炼隧道通风、岩溶处理的经验与技术，这方面的书籍并不多，真正能展示这方面的技术成果、特色技术、创新方法的书就更少。本书的作者均来自施工一线，田慧生善于钻研，技术严谨；马国瑞勤奋好学，善于探讨总结。他们作为施工单位的管理者，潜心研究务实可靠的技术方案，高度重视施工经验的提炼与升华，撰写出对施工有指导意义的理论书籍，是十分难能可贵的。本书的出版发行一定会激励更多从事铁路隧道施工建设者更好地去实践和创新，本书对在建和筹划中的隧道施工有着重要指导和参考价值。

本书作者长期从事长大隧道施工，既有扎实的理论功底，又有丰富的现场技术经验。他们在多年研究和技术实践的基础上，对铁路隧道重点施工技术进行了深入的研究与总结，并编著成书，将隧道施工技术发展、技术创新、技术总结和隧道设计推向了新的起点。书中的新思想、新技术、新理念，也必将启发更多的

建设者和学者把隧道施工技术推向一个新的发展平台和研究领域。

我很愿意将此书推荐给广大读者，特别是正在从事我国铁路隧道建设的技术人员。本书对隧道规划、设计和施工都有很大的指导作用，认真阅读将会带给你诸多启发和收获。我也很是希望正在从事我国铁路建设的技术人员，能在实践与工作中，研究和创新出更多的技术成果和实用型技术专利，为中国铁路走出国门做出更大的贡献。



全国工程勘察设计大师

国家科学技术进步奖特等奖获得者

中国铁路勘察设计行业著名专家

青藏铁路勘察设计工作的直接领导者、决策者

中国科学院冻土国家重点实验室学术委员会副主任

2014年8月12日于北京

目 录

概论篇

1 铁路隧道基础知识概论	3
1.1 中国铁路和铁路隧道建设发展概况	3
1.2 中国长大铁路隧道施工技术现状及发展前景	11
1.3 隧道基础知识(普氏理论)	34
1.4 铁路隧道支护理论概述及设计基础原则	38

项目管理篇

2 铁路隧道项目管理技术优化研究	53
2.1 铁路隧道项目优化管理研究概论	53
2.2 铁路隧道建设项目管理概况	60
2.3 铁路隧道建设项目多目标协同度模型	76
2.4 铁路隧道项目多目标协同度优化实例分析	82

重点技术研究篇

3 浅埋暗挖法铁路隧道重点技术优化研究	91
3.1 浅埋暗挖法定义	91

3.2	浅埋暗挖法修建隧道的一般规定	91
3.3	浅埋暗挖法修建隧道施工程序	92
3.4	施工辅助措施	93
3.5	竖井施工关键技术优化研究	94
3.6	横通道施工	97
3.7	铁路区间隧道标准断面正台阶法施工	99
3.8	大断面隧道 CRD 法施工	102
3.9	大断面隧道双侧壁导坑法（眼镜）施工	105
3.10	双联拱隧道中洞法施工	108
3.11	渡线段隧道施工	110
4	铁路浅埋暗挖隧道技术优化研究概论	112
4.1	浅埋地下工程概要	112
4.2	浅埋暗挖隧道技术发展历程	114
4.3	浅埋暗挖隧道技术基本原理及设计理论	117
4.4	浅埋暗挖隧道技术适用条件与施工要点	119
4.5	浅埋暗挖隧道技术发展前景	121
5	铁路浅埋暗挖隧道监控量测及实时监测技术优化研究	124
5.1	监控量测的目的与意义	124
5.2	监控量测技术流程	125
5.3	监控量测项目内容及方法	126
5.4	监测数据采集与分析	137
5.5	铁路隧道实时监测技术	142
5.6	基于 GIS 的监测信息可视化管理	147

风险控制篇

6	铁路隧道工程建设风险管理技术优化研究	157
6.1	铁路隧道施工环境风险的定义	157
6.2	浅埋暗挖铁路隧道施工风险的特点	158
6.3	浅埋暗挖铁路隧道施工风险发生机理	158
6.4	铁路隧道施工建设风险管理技术优化流程	163

通风理论篇

7 隧道空气流动的基本理论	189
7.1 空气的主要物理参数	189
7.2 管道内空气的运动状态	193
7.3 风流的能量与压力	196
7.4 空气流动的三个基本方程	202
8 铁路隧道施工通风方式	208
8.1 基本通风方式	208
8.2 常见隧道及辅助坑道条件下的通风方式	212
参考文献	233
索引	243

概 论 篇

1 铁路隧道基础知识概论

1.1 中国铁路和铁路隧道建设发展概况

中国铁路迄今已有 100 多年的历史。百余年来,中国的铁路事业经历了新旧两个根本性质不同的社会。无论从政治上还是从经济上,这都决定了在其发展历程中必然会遭遇到两种迥然不同的命运和前途。同样中国隧道工程跟历史的命运一样,在近半个世纪以来得到迅猛发展。截至 2014 年,中国已建成隧道(洞)超万座,据不同的资料统计,总延长已经远远超过 8000km。中国已成为世界上隧道及地下工程建设数量最多、规模最大、发展速度最快的国家。

1.1.1 中国铁路建设历程

(1) 开创时期(1876—1893 年)

中国第一条铁路是 1876 年 7 月 3 日由英商在上海至吴淞间修建的上海吴淞铁路,长 145km,轨距 762mm,轨重 13kg/m,这也是中国第一条营业性铁路。1881 年,中国自办的第一条铁路唐胥铁路建成,自唐山起至胥各庄止,全长 9.7km,采用 1435mm 的轨距和 15kg/m 的钢轨,掀起了中国铁路建设的序幕。1886 年,开平铁路公司成立,这是中国自办的第一个铁路公司。

(2) 缓慢发展时期(1894—1948 年)

1876—1911 年,清政府修建铁路约 9400km。其中,京张铁路(北京至张家口)是第一条由中国人主持修建的铁路干线。1912 年,孙中山先生提出要修建 160000km 铁路的规划。这是中国最早的铁路网布局设想。1912—1927 年,北洋政府在关内修了约 2100km 的铁路,大都是原有铁路的展筑和延续;在东北修了约 1800km 铁路,多数是日本帝国主义采用借款、垫款或“合办”等方式修建和控制的,还有一些是官商合办的铁路。1928—1948 年,南京国民党政府在中国大陆上共修建铁路约 13000km。

(3) 抢修恢复铁路运输生产时期(1949—1952 年)

1949 年,共抢修恢复了 8278km 铁路,到 1949 年年底,全国铁路营业里程达

21810km, 客货换算周转量 $3.1401 \times 10^{10} \text{ t} \cdot \text{km}$ 。1952 年 6 月 18 日, 满洲里至广州开行了第一列直达列车, 全程 4600km 畅通无阻。至 1952 年年底, 全国铁路营业里程增加到 22876km, 客货换算周转量达 $8.0224 \times 10^{10} \text{ t} \cdot \text{km}$ 。在三年经济恢复时期 (1949—1952 年), 相继完成了成渝、天兰铁路的铺轨通车任务。接着又动工新建了兰新、宝成、丰沙铁路。

(4) 铁路网骨架基本形成时期 (1953—1978 年)

1958—1965 年, 新建铁路干线有包兰、兰新、兰青、干武、黔桂铁路都匀至贵阳段、京承、太焦、外福、肖甬铁路等, 建成第一条宝成铁路宝鸡至凤州段 91km 的电气化铁路区段。“文化大革命”期间, 铁路建设遭受了极大的干扰, 但施工生产没有完全停滞, 建成铁路干线有贵昆、成昆、湘黔、京原、焦枝等铁路。到 1980 年年底铁路营业里程达 49940km, 全国铁路网骨架基本形成, 客货换算周转量达 $7.087 \times 10^{11} \text{ t} \cdot \text{km}$ 。

(5) 新的发展时期 (1979—2002 年)

1986 年开始, 中国进入第 7 个五年计划时期 (1986—1990 年), 京秦、大秦 (第一工程) 等双线电气化铁路相继竣工。全长超过 14km 的大瑶山隧道顺利打通, 使南北主要大干线——京广铁路双线全线通车, 大大提高了通过能力。兰新铁路修到了阿拉山口, 完成了横贯中国大陆东西的钢铁运输线。1992 年 8 月, 国务院批准中央与地方合资建设铁路的政策。合资建设铁路的政策实施, 调动了中央和地方建设铁路的积极性, 带来了铁路建设和运营体制上的变革, 加快了铁路建设速度, 促进了地区经济的发展。至 1996 年, 全国建成的合资铁路有三茂线、集通线、阳涉线、合九线、广梅汕线、漳泉肖线、成达线、北疆线和孝柳线等, 正在建设的有广大、金温、石长、横南、邯济、水柏、朔黄等铁路。1997 年, 国家铁路全年完成货物发送量 $1.62 \times 10^9 \text{ t}$, 货物周转量 $1.305 \times 10^{12} \text{ t} \cdot \text{km}$; 全年旅客发送量可完成 9.2 亿人, 旅客周转量 3500 亿人·千米。

(6) 跨越式发展新时期 (2003 年至今)

2004 年 4 月 18 日, 铁道部对列车运行图进行了大调整, 增开北京至上海、杭州、南京、哈尔滨、武汉、西安、长沙等 19 对一站到达的直达特快旅客列车。截至 2009 年底, 中国铁路营业里程达 $8.6 \times 10^4 \text{ km}$, 超过俄罗斯, 跃居世界第二位。2010 年, 全国铁路营业里程达 $9 \times 10^4 \text{ km}$, 快速客运网总规模达 $2 \times 10^4 \text{ km}$ 。2012 年, 铁路新线建成和老线改造路线包括京石武、哈大、盘锦到营口、津秦、

地下直径线、合蚌、宁杭、杭甬、杭州东、厦深、汉宜、龙厦、湘桂扩能改造、合肥三线电改、遂渝二线、沾六复线、南疆二线等线路，6366km 铁路新线中包括 7 条高速铁路，总里程 3400km。2013 年，有一批重要的铁路线路开通运营，包括津秦客专、宁杭客专、杭甬客专、厦深铁路、武汉黄冈城际、武咸城际等，其中大部分铁路为 200km/h 的城际线路。

1.1.2 中国地下工程的历史

从历史资料来看，远古穴居、窑居，有历史记载（见《东周列国志》之《郑庄公掘地见母》），庄公母姜氏因袒护其弟段谋反，庄公对其母誓言“不及黄泉，无相间见也！”颖考叔献鸛鸟“掘地见泉，建一地室，在地室中相见，于及黄泉之誓，未尝违也。”

1.1.3 中国地下工程分类

泛指时，“隧道”“地下工程”通用，都是指通过人工开凿地下空间，满足人类生活、生产的需要。目的都是开发、利用地下空间。严格讲，凡是通过人工在地下开凿空间的工程都称地下工程；隧道指在山中或地下凿成的通路，形成人流、物流的通路，它是地下工程的一个组成部分。

从修建目的，隧道可分为交通隧道（如铁路隧道、公路隧道、城市地铁）、输气隧道、输水隧道；从工程所处位置，可分为山岭隧道、水下隧道、城市地铁；其他地下工程还包括采矿、仓储（油、气及各种物资堆放或存储）、地下厂房、人防、地下车库、特殊用途的地下军事工程。

1.1.4 中国铁路隧道工程建设发展状况

中国铁路隧道修建技术是在矿山建设经验基础上逐步发展起来的，交通隧道均以铁路隧道积累的宝贵经验推广应用。到 20 世纪末中国铁路隧道数量已居世界第一位。

自 1876 年中国建成第一条营业铁路起，中国铁路隧道工程建设已有 130 多年的历史。第一座铁路隧道——狮球岭隧道始建于 1888 年，至今也有 120 余年。铁路隧道是随着铁路建设的发展而发展的。100 多年来，中国铁路隧道的发展走过了艰难曲折的道路。

清末和民国时期(1888—1949年),中国处于半封建半殖民地社会,帝国主义列强入侵,国内连年战乱,铁路建设受外国资本控制,大多建于东北和沿海地区,建成隧道不多,技术方法落后。

中华人民共和国成立后,铁路建设得到大发展,特别是铁路向西部山区推进,隧道建设技术突飞猛进。在勘测设计、施工、运营、科研、教学等方面,都有许多重大成就和创新,20世纪末中国已跻身于世界铁路隧道大国的行列。

(1) 中国铁路隧道建设历程

中国第一座铁路隧道是1888—1890年修建的台湾基隆至台北铁路上的狮球岭隧道,全长261m。

1903年,在滨洲线建成兴安岭隧道,按双线断面施工,铺设单线,长3077m,是中国第一座长度超过3km的铁路隧道。

詹天佑主持修建的京张铁路,是中国自行设计、施工的第一条铁路,在关沟段建有4座隧道,总延长1645m,其中长1091m的八达岭隧道,于1908年建成,是中国自主修建的第一座越岭铁路隧道。

1939年,为增建滨绥二线修建的杜草隧道,长3840m,是中华人民共和国成立前最长的铁路隧道。

据史料记载,清末时期共修建隧道238座,总延长42km;民国时期共修建隧道427座,总延长114km。截至1949年,全国共修建铁路隧道665座,共计156km。中华人民共和国成立后的50年,共建成铁路隧道6211座,总延长3514km,平均每年建成的铁路隧道超过120座,长度超过70km。

20世纪50年代,开始大规模铁路建设,铁路向西部推进,隧道建设步入新阶段。这一时期建成隧道多的铁路主要有宝成、天兰、丰沙I线、石太复线、鹰厦、川黔、太焦等线,共建成隧道1005座,总延长306km。10年建成隧道的数量比新中国成立前增长近1倍。

60年代,经国民经济调整后,中国组织西南铁路建设大会战,建成一批隧道多的山区铁路,隧道建设在停建、发展、延滞的曲折前进中取得了成就。相继建成贵昆、成昆、京原以及东川、镜铁山、嫩林、盘西、水大、渡口等干支线,这一时期共修建隧道1111座,总延长664km,总延长为50年代的2倍多。这一时期又称为三线建设时期。

70年代,铁路路网迅速扩展,进行了大规模铁路建设,完成了较多的隧道工

程。这一时期，主要是焦枝、枝柳、襄渝、京通、阳安、湘黔等线，这都是铁路网中隧道多的山区铁路干线，工程非常艰巨。这一时期共建成隧道 1954 座，总延长 1034km，在规模、速度和数量上，又大大超过五六十年代，是中国铁路隧道建设史上建成隧道较多的时期，又称全民修路时期。

80 年代，由于改革开放的需要，旧线改造与新线建设并举，出现了特长隧道。为改变铁路运输的紧张状态，旧线改造和新线建设重点放在加强晋煤外运通道和改造既有铁路能力不足的“瓶颈”上，开展了“南攻衡广、北战大秦、中取华东”的会战，加速了衡广、沪宁、沪杭、浙赣等的复线建设，并修建京秦、大秦、兖石、新菏、南防等铁路。这一时期共建成隧道 319 座，总延长 199km；从数量上看虽然比六七十年代大为减少，但建成的长隧道特别是双线长隧道增多。其中衡广复线大瑶山隧道（14.29km）是中国已建成的最长的双线隧道；大秦铁路的军都山（8.46km）、白家湾（5.06km）等双线隧道都是在这时期建成的。

90 年代，随着改革开放的深入发展，国家要求加快铁路建设，拉动国民经济发展，铁路工程建设的重点是发展和完善路网，加强路网大通道建设，提高铁路综合运输能力。这一时期建设的铁路干线主要有侯月、宝中、京九、南昆、神朔、朔黄、达成、横南、广大、西康、神延、内昆等线，同时还对宝成、兰新、宝天、株六等线增建第二线。这些铁路隧道工程浩大，长隧道多，工程地质极其复杂，铁路隧道建设技术水平提高很快，也进入了新的高潮时期。南昆线米花岭隧道和家竹菁隧道、西康线秦岭 I 线隧道、京九线的五指山隧道以及朔黄线的长梁山隧道等均在这一时期建成。90 年代共建成隧道 1822 座，总延长 1311km，是中国建成铁路隧道总延长最多、隧道平均长度最长的时期。

2000 年至今，中国铁路保持快速的发展，特别是在高速铁路建设方面，取得了重大成就。自铁道部体制改革以来，高铁进入了另一个发展阶段，铁路建设不仅从管理上，而且从技术上发生了质的飞跃，铁路技术已经发展到世界领先水平，逐渐从国内向国外市场发展。2010 年，新建铁路完成投资 5612.89 亿元，其中高速铁路项目（含收尾和筹建项目）完成投资 4415.9 亿元；2011 年，中国新投产铁路 2167km，其中高铁 1421km，占比 65.58%；2012 年，中国新投产铁路 5382.2km，其中高铁 2722.5km，占比 50.58%。《2013—2017 年中国铁路行业市场前瞻与投资战略规划分析报告》研究显示：中国电气化铁路建设总里程在 54 年中突破 51000km，超越了原电气化铁路世界第一的俄罗斯，跃升为世界第一位。在

此铁路建设过程中，铁路隧道的数量也超出历史规模，建设过程中遇到的科学难题也是前所未有。山岭隧道修建过程最具风险。由于地质情况复杂、多变，难以预见，可能遇见的地质威胁名目繁多，例如深埋、浅埋、岩爆、断层带、突泥、涌水、高水头、高应力、瓦斯、岩溶等，充分反映出地下工程的复杂性、不可预见性、危险性和风险性。伴随着科学技术的突飞猛进，一座座铁路隧道在建设大军的攻坚克难和先进的科学施工技术发展中建成。

(2) 中国铁路隧道建设成就

1888—2005 年中国各时期铁路隧道修建数量见表 1.1。

表 1.1 中国各时期铁路隧道^②修建数量(1888—2005)^①

时期	末年营业	建成隧道数量		平均每座隧道长度	末年建成隧道数量累计	
	铁路 ^③	座 数	总延长		座数	总延长
	里程					
	(km)	(座)	(km)			
1888—1949 年	21810	665	156.34	235	665	156.34
1950—1959 年	33890	1005	306.39	304	1670	462.73
1960—1969 年	40989	1111	664.03	598	2781	1126.76
1970—1979 年	49940	1954	1034.67	529	4735	2161.43
1980—1989 年	53378	325	202.60	624	5054	2360.03
1990—1999 年 ^④	57923	1826	1312.72	720	6876	3670.75
2000—2005 年	75027	651	642.246	987	7538	4314.07

注：①本表统计时缺台湾铁路隧道资料，未能列入统计数。
②本表中所列铁路隧道均为铁路山岭隧道。
③营业铁路为国家铁路，建成隧道包括未交付运营及已报废的隧道。
④1990—1999 年数量中含个别延至 1999 年后竣工的隧道。

(3) 中国万米以上建成铁路隧道成就

中国万米以上建成铁路隧道(1980 年 1 月至 2015 年 1 月 1 日)共有 166 座(表 1.2)，其中 1980 年至 2015 年 1 月建成万米以上铁路隧道共计 57 座(80 年代建成 1 座，90 年代建成 2 座，2000—2005 年建成 5 座，2005—2014 年建成 49 座)。

表 1.2 中国建成的万米以上铁路隧道统计

序列	名称	长度 (m)	所在线路
1	太行山隧道	27848	石太客运专线
2	青云山隧道	22175	向莆铁路
3	吕梁山隧道	20785	太中银铁路
4	新乌鞘岭	20060	兰新铁路复线
5	秦岭隧道	18456	西康铁路
6	雪峰山隧道	17842	向莆铁路
7	高盖山隧道	17612	向莆铁路
8	永寿梁隧道	17160	西平铁路
9	大坂山隧道	15918	兰新铁路第二双线
10	象山隧道	15917	龙厦铁路
11	戴云山隧道	15617	向莆铁路
12	冒天山隧道	14915	包西铁路
13	岩山隧道	14693	贵广铁路
14	武夷山隧道	14659	向莆铁路
15	三都隧道	14637	贵广铁路
16	大瑶山隧道	14295	京广铁路
17	金瓜山隧道	14097	向莆铁路
18	雁门关隧道	14085	韩原铁路
19	天平山隧道	14005	贵广铁路
20	同马山隧道	13929	贵广铁路
21	野三关隧道	13841	宜万铁路
22	宝峰山隧道	13727	贵广铁路
23	北天山隧道	13610	精伊霍铁路
24	万寿山隧道	13468	渝利铁路
25	长洪岭隧道	13299	渝利铁路
26	两安隧道	12668	贵广铁路
27	高家山隧道	12613	兰新铁路第二双线
28	北岭山隧道	12438	南广铁路