



丛书总主编
洪开荣

铁路隧道钻爆法 施工机械化配套技术

卓越 宋 华 等 编著
林春刚 李 荆



RAILWAY TUNNEL
DRILLING AND BLASTING
CONSTRUCTION MECHANIZATION TECHNOLOGY



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



丛书总主编
洪开荣

铁路隧道钻爆法 施工机械化配套技术

卓越 宋 华 等 编著
林春刚 李 荆



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书基于中铁隧道局集团有限公司自大瑶山隧道开启的隧道钻爆法施工的机械化配套及装备研究的相关成果,系统总结了各作业线的施工经验与设备研发应用情况,致力推进以钻爆法为基础的机械化快速施工技术体系的建立。全书共分为8章,内容包括:绪论,机械化配套技术,铁路山岭隧道常用机械设备简介,单双线铁路隧道钻爆法施工设备配套方案以及典型的单双线铁路隧道机械化配套实例,结论及发展方向。

本书可供铁路、公路等隧道工程建设领域的相关科技人员及一线工程技术人员使用,也可作为高等院校工程机械及相关专业学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路隧道钻爆法施工机械化配套技术/卓越等编著

.—北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.12

ISBN 978-7-114-14525-4

I. ①铁… II. ①卓… III. ①铁路隧道-隧道施工-钻爆法施工-施工技术 IV. ①U459.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第260126号

面向挑战的隧道及地下工程

书 名:铁路隧道钻爆法施工机械化配套技术

著 者:卓越 宋 华 林春刚 李 荆 等

责任编辑:谢海龙

责任校对:宿秀英

责任印制:张 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010) 59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京印匠彩色印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11

字 数:237千

版 次:2018年12月 第1版

印 次:2018年12月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-14525-4

定 价:80.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

丛书编写委员会

主任委员

洪开荣

副主任委员

王小平 郭卫社

编委 (按姓氏笔画排序)

于明华 方俊波 卢建伟 叶康慨 冯欢欢 吕建乐 刘龙卫
刘瑞庆 阮清林 孙振川 杜闯东 李丰果 李凤远 李红军
李志军 李治国 杨卓 邹翀 汪纲领 张迅 张辉
陈文义 陈振林 陈馈 国佳 郑大榕 赵胜 莫智彪
高攀 郭陕云 康宝生 董子龙 韩忠存 曾冰海

本册编写委员会

主任委员

卓越

副主任委员

宋华 林春刚

编委 (按姓氏笔画排序)

王华 王百泉 冯欢欢 刘东亮 刘瑞庆 刘兴波 张洋
李治国 李荆 李大伟 何峰 宋妍 杨友生 杨君华
杨文影 邹翀 尚伟 宫学君 高攀 袁朋飞 黄大伟
常翔 焦义 蒙先君

本册顾问

郭陕云 韩忠存 陈建 康宝生 郑大榕 吕建乐 郭卫社



主 编 单 位

中铁隧道局集团有限公司
中铁隧道勘察设计研究院有限公司

协 编 单 位



中铁隧道集团二处有限公司
中铁隧道集团三处有限公司
中铁隧道集团四处有限公司
中铁隧道股份有限公司
中铁隧道局集团有限公司专用设备中心

丛书序

Introductory

200 万年前人类祖先已择洞而居，遮蔽风雨，抵御猛兽。中华文明文字记载的隧洞挖掘可追溯至公元前 722 年郑庄公与其母姜氏“阙地及泉，隧而相见”。人类经过不断探索研究和工程实践，如今随着技术的不断进步与可持续的文明发展，人们对采用隧道与地下工程解决人类生存与地面环境矛盾的认识越来越深刻，如解决地面交通问题、解决水资源分布不均的问题、解决地表土地资源稀缺的问题、解决能源安全储存的问题、解决城市地表环境的问题，等等。特别是进入 21 世纪以来，人类已广泛形成了“来自地表挑战的地下工程解决方案”的共识。同时，正是这些应对挑战的隧道与地下工程解决方案，使得隧道与地下工程建设本身又面临着新的技术挑战，如超深埋的山岭隧道、超浅埋的城市隧道、超长隧道、跨江越海隧道以及复杂地面与地下建（构）筑物环境下的隧道与地下工程等。另外，隧道及地下工程建设还要面临极其复杂的地质条件与恶劣环境的挑战，如高地温、高地应力、高水压、极硬岩、极软岩、地下有害气体、岩溶等。

新中国成立以后，随着铁路、公路、水利水电等基础设施的大规模建设，隧道与地下工程进入快速发展期。至 20 世纪末，我国累计建成铁路隧道 6211 座，隧道总长度达 3514km，为解放前铁路隧道长度的 22 倍。进入 21 世纪以来，中国的铁路、公路、水利水电、城市地铁、综合管廊、城市地下空间、能源洞库等得到爆发式的发展，中国一跃成为隧道与地下工程发展最快的国家，隧道总量居全球首位。至 2017 年年底，中国运营隧道（洞）总长达 39882km，在建隧道总长约 17000km，规划的隧道长度约 25000km。隧道与地下工程呈现出向多领域应用延伸，并具有明显地向复杂山区、城市人口密集敏感区发展的趋势。可以说，21 世纪，隧道与地下工程将大有作为，但面临的挑战与压力也将是史无前例的。

中铁隧道局集团为原铁道部隧道工程局，是国内隧道与地下工程建设的主力军，年隧道建设能力达 500km 以上，累计建成隧道（洞）约 7000km。中铁隧道局自 1978 年建局以来，承担了我国大量的重、难、险隧道与地下工程建设任务，承建了众多具有标志性、里程碑意义的隧道与地下工程，如首次采用新奥法原理修建的衡广复线大瑶山隧道



(14.295km)——开创了我国修建长度超过10km以上隧道的先河，创立浅埋暗挖法修建的北京地铁复兴门折返线——标志着我国地铁建设由“开膛破肚”进入暗挖法时代，首次采用沉管法修建的宁波甬江隧道——标志着我国水下隧道建设的跨越，创建复合盾构施工工法建设的广州地铁2号线越秀公园—广州火车站—三元里区间隧道——标志着我国地铁建设迈入盾构时代。从北京地铁，到广州地铁，再到全国其他43座城市的地铁建设，标志着我国地铁建设技术迈入了引领行列；从穿越秦岭的西康铁路秦岭隧道(19.8km)，到兰武铁路乌鞘岭隧道(20.05km)、南库二线中天山隧道(22.48km)、兰渝线西秦岭隧道(28.24km)、成兰线平安隧道(28.43km)等众多20km以上的隧道，再到兰新铁路关角隧道(32.6km)、大瑞铁路高黎贡山隧道(34.5km)，以及引水工程的引松隧洞(69.8km)、引汉济渭隧洞(98.3km)、引鄂喀双隧洞(283km)，展示着我国采用钻爆法、TBM法技术能力的综合跨越；从“万里长江第一隧”武汉长江隧道，到首座钻爆法海底隧道厦门翔安隧道、海域第一长隧广深港高铁的狮子洋隧道(10.8km)、首座内河水下立交隧道长沙营盘路湘江隧道、内河沉管隧道南昌红谷隧道，镌刻下我国水下隧道建设技术的成熟与超越；从平原，到高山，到水下，隧道无处不在，给人们带来了便利生活与环境的改善。同时伴随着这些代表性隧道工程的建设，我国隧道施工机械装备与技术方法，也实现了一个又一个台阶的跨越，每一个台阶无不留有隧道人为人类美好生活而挑战自然、驾驭自然的智慧与创造。

“隧贯山河，道通天下”是隧道人的追求与梦想，更是我们的情怀，也是我们对美好生活向往的真实写照！中铁隧道局集团的广大技术人员，本着促进隧道技术进步、共享隧道建设成果为目的，以承建的重、难、险隧道工程为依托，计划将隧道建设中遇到的难题、形成的技术、积累的经验以及对隧道工程的思考，以专题技术的方式记录和编写一部部出版物，形成“面向挑战的隧道及地下工程”系列丛书。希望本丛书对隧道及地下工程领域的发展与进步具有一定的参考与借鉴价值，同时期待耕耘于该领域的专家、学者和同行进行批评指正，也寄望能给未来的隧道人带来启迪，从而不断地推动隧道及地下工程技术的进步，更加自信地应对社会发展对隧道的需要与建设隧道中的挑战，更好地服务于人类！

在我们策划“面向挑战的隧道及地下工程”丛书的过程中，人民交通出版社股份有限公司给予了我们极大的帮助，共同讨论丛书的架构、篇目布局等，在此致以崇高的敬意！

本系列丛书在编写过程中得到了许多基层技术人员的支持与帮助，相关单位和专家也为丛书的出版做了大量的组织和支持工作，在此一并向他们致以诚挚的感谢！

2018年12月

前言

Preface

当前，国内大量的山岭隧道工程正在如火如荼的建设中，钻爆法仍然是国内山岭隧道最常用的施工方法。随着技术的进步，该法对机械化要求也越来越高。而我国隧道钻爆法施工的机械化配套及装备研究是以衡广铁路复线的“大瑶山隧道”为历史节点，该隧道工程引进了四臂液压台车、混凝土输送泵、12m全液压钢模衬砌台车。二十多年来，我国铁路机械化施工技术和管理人员，充分发挥自己的才干，依靠自己的辛勤努力，在铁路长大隧道机械化硬岩施工配套方面取得了较大的进步。作者所在的中铁隧道局集团有限公司是我国隧道与地下工程领域的特级大型专业化施工企业，集团公司长期奋斗在长大隧道科技开发的前沿，承担了大量有关长大隧道工程的科研、施工设计和设备制造工作。特别是拥有勘察设计研究院、设备制造公司、集团专家委员会和以钱七虎、施仲衡等一批院士为代表的外聘资深专家，在长大隧道施工技术研究领域取得了许多研究成果，具有丰富的实践经验，专家们先后主持了大瑶山长大隧道、广州地铁隧道、城陵矶长江隧道、圆梁山长大隧道、乌鞘岭长大隧道、太行山长大隧道和包家山公路长大隧道等国内有重大影响的科研工作，积累了丰富的经验。

虽然目前国外机械化施工程度整体上远高于国内，但是，近几年来国内也在迎头追赶，许多隧道工程的机械化配套越来越完善。目前市场上急需一本关于山岭隧道钻爆法机械化配套的书籍，以便对这些年钻爆法机械化施工的经验 and 相应的设备研发成果进行总结，以此来推动机械化配套技术进一步发展。在此背景下，由中铁隧道局集团有限公司牵头编写的《铁路隧道钻爆法施工机械化配套技术》有效地弥补了这片空白。该书的编写有利于隧道建设者对机械化施工有更全面的认识和理解；有利于推动对当前国内山岭隧道钻爆法施工机械化配套经验进行总结；有利于推动钻爆法机械化施工向更高层次发展。本书是在中铁隧道局集团有限公司多年来积累的山岭隧道施工经验以及机械化配套设备研发成果的基础上，进行系统总结而成的。这使得本书的内容具备以下几个特色：①既体现理论价值，同时又具有很强的实践性；②通俗易懂，普遍适用于从事隧道建设的科技工作者和现场操



作工人；③弥补国内该领域缺乏相应技术图书的空白。

本书在编写之时，就确立了其定位为系统介绍当前国内铁路山岭隧道钻爆法施工机械化配套情况的科普性读物，普遍适合广大一线施工人员以及相关的科技和管理人员进行阅读。本书先从国内山岭隧道钻爆法施工机械化配套技术的发展历程介绍开始；接着介绍了机械化配套原则，这些原则很大一部分是由中铁隧道局集团有限公司几十年来施工经验总结而成的，里面包含了无数隧道建设者的努力，是集体智慧的结晶；随后作者按照隧道施工作业线的划分顺序，依次介绍了已经在国内相关隧道工程中得到广泛应用的国内外设备；最后，按照修建年代顺序列举了一些具有典型意义的隧道施工机械化配套工程实例（其中尤其以米花岭隧道与大瑶山隧道最具代表性），以期让读者能有更直观、更全面的了解。总之，希望通过我们的努力，共同推动我国山岭隧道钻爆法施工机械化配套技术的发展与进步。

本书系“面向挑战的隧道及地下工程”丛书之一。该系列丛书由中铁隧道局集团有限公司组织编写，总工程师洪开荣总主编，依托中铁隧道局集团有限公司承担的重、大、艰、险工程项目以及重大科技攻关项目，系统梳理总结隧道及地下工程领域的建设关键理论、创新技术与发展成果。

本分册由卓越总体策划并担任编委会主任，由宋华、林春刚担任编委会副主任。具体编写分工如下：卓越、李治国编写第1章；宋华、王华编写第2章；林春刚、李荆、刘瑞庆、高攀编写第3章；卓越、林春刚、袁鹏飞、邹翀编写第4章；宋华、李荆、宋妍编写第5章；宋华、王百泉编写第6章；宋华、林春刚、李荆编写第7、8章。在本书在编写过程中得到了许多专家和技术人员的支持与帮助，主要人员包括郭陕云、韩忠存、陈建、康宝生、郑大榕、吕建乐、郭卫社、何峰、冯欢欢、刘东亮、刘兴波、张洋、李大伟、杨友生、杨君华、杨文影、尚伟、黄大伟、常翔、官学君、焦义、蒙先君等，在此向他们致以诚挚的感谢！

由于编者水平有限，书中疏漏与不足之处难免，有些说法也需要大家一起讨论，敬请批评指正。

编者

2018年12月

目录

Contents

第 1 章	绪论	001
1.1	背景和意义	003
1.2	隧道钻爆法施工在国内的发展历程	004
1.3	隧道施工装备国产化情况	007
第 2 章	机械化配套技术	011
2.1	总体原则与要求	013
2.2	设备选型	014
2.3	设备配套技术	023
第 3 章	铁路山岭隧道常用机械设备简介	025
3.1	超前地质预报作业线	027
3.2	开挖作业线	038
3.3	喷锚支护作业线	041
3.4	装运作业线	062
3.5	仰拱作业线	075
3.6	防水板铺设作业线	085
3.7	混凝土衬砌作业线	087
3.8	其他辅助设备	101



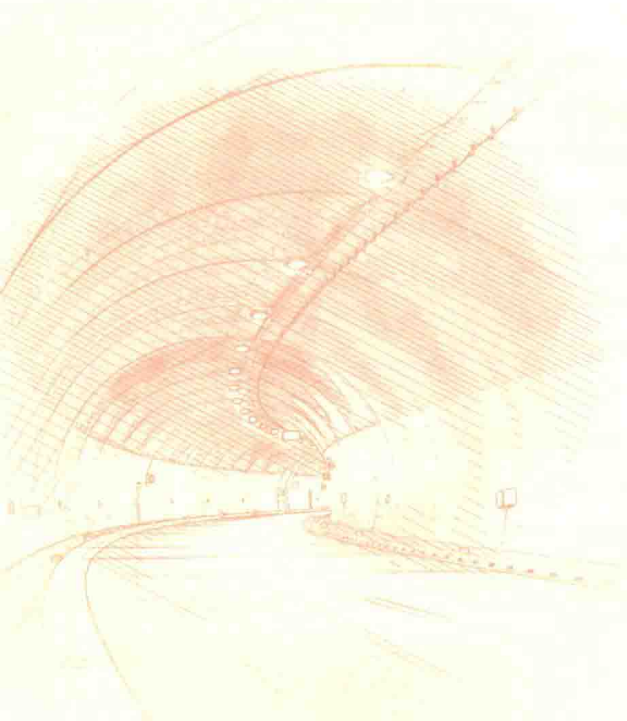
第4章	单线铁路隧道钻爆法施工设备配套	105
4.1	全断面作业机械化配套	107
4.2	台阶法作业机械化配套	111
第5章	双线铁路隧道钻爆法施工设备配套	117
5.1	全断面作业机械化配套	119
5.2	台阶法作业机械化配套	125
第6章	单线铁路隧道机械化配套实例	133
6.1	米花岭隧道	135
6.2	乌鞘岭隧道	138
第7章	双线铁路隧道机械化配套实例	143
7.1	大瑶山隧道	145
7.2	三都隧道	147
7.3	天平山隧道	150
第8章	结论及发展方向	155
8.1	结论	157
8.2	存在的问题及解决措施	157
8.3	发展方向	160
	参考文献	164



面向挑战的
隧道及地下工程

第 1 章

绪论



Railway Tunnel Drilling and Blasting
Construction Mechanization Technology

1.1 背景和意义

目前,我国铁路隧道建设的总量已远远领先世界其他国家。截至 2017 年年底,已建成并投入运营的铁路隧道总长度已经达到 15326km,在建铁路隧道总长度已超过 8125km,即将开工和规划建设的隧道总长度超过 13331km,我国已成为世界上铁路隧道建设规模和建设速度双第一的“隧道大国”。

国内外已经建设或正在建设的长度在 10km 以上的单个长大隧道已经很多,长大隧道的施工方法有掘进机(TBM)等机械开挖法和钻爆法施工两种。机械开挖法安全、环保、效率高,但设备投入大,动辄上亿元,而且施工过程中的维护、配件消耗等费用高,施工成本大,另外机械开挖法的地层变化适应能力差,对岩性比较单一的地层还比较适应,但对地质构造发育、岩性变化大的隧道,就比较难适应,其综合施工效率不如钻爆法开挖。钻爆法施工由于其地质适应性较好,设备投入较少,特别适合于我国装备制造业技术水平相对落后、人力资源成本较低的国情,因此在我国具有很强的生命力,是国内目前的主要施工方法,预计在相当长的时期内仍占主导地位。

虽然钻爆法在我国铁路山岭隧道施工中有广泛的应用,但是与之相应的机械设备配套技术水平、施工装备及国产化则刚进入隧道施工机械化初期,技术发展速度缓慢,整体技术仍很落后。当前国内隧道施工机械化配套的不足之处主要体现在以下三个方面。

(1)以钻爆法为基础的机械化快速施工技术体系尚未形成,在机械化作业线设备配套技术、环境控制、施工安全与风险控制、岩溶高压水、大变形治理等方面,许多设备配套关键技术尚未取得突破,施工进度差别很大,事故隐患较多,施工后对环境的影响较大。

(2)以钻爆法为基础的机械化设备配套在硬岩或围岩稳定性较好的条件下才能实现快速施工。

(3)对于软岩和土质隧道,大多数仍以人工为主,工序循环时间长,围岩扰动大,安全风险高,支护困难,进度缓慢。造成软岩隧道既不能快速施工,也不能形成机械化作业。

通过对瑞典和丹麦等国家隧道施工的现场考察和调研,国外隧道施工,从开挖、支护、钻注浆、锚杆、喷混凝土、出渣等各工序都配置了全机械化作业线,机械化程度高,且配套完整。施工方拥有的施工机械设备较少,各生产线基本上是利用较为发达的租赁市场租用,且配套维修在现场跟进。在设备租赁方面,特别是大型专用设备的租赁,方式较为灵活,便于现场推广应用。由于施工设备的完善配套,国外隧道施工作业人员每班仅 7~10 人(未含出渣人员),仅为国内隧道施工同一工序人数的 1/12~1/8,在出现重大异常时,可以有效杜绝群死群伤的现象。



尽管机械化配套之路在国内铁路隧道钻爆法施工过程中走的异常艰难,但是在国内专家学者及广大技术人员共同努力下,这条“路”已经初具雏形,而且发展迅速。数年前各作业线的主要设备都立足于从国外引进,而现在,在各大工程局以及工程机械公司的合力下,我国隧道领域自主创新开发的设备品种逐渐增多、质量稳步提高、故障越来越少、主要技术性能参数与铁路隧道现有施工条件的匹配度也在逐年提高。随着国产化程度的进一步提高,先进的机械化作业线已经逐步形成,特别是在开挖出渣、喷锚、支护和二次混凝土衬砌等工序方面,设备国产化程度大大提高,实现了从无到有的跨越式进步。例如,在郑万高铁隧道施工中,经过业主和施工方多方面的创新和探索,基本实现了全工序机械化及全地质机械化,其中诸如锚杆钻注一体机、自行式仰拱栈桥、半自动防水板铺设台车、整体式沟槽模板台车、衬砌模板台车及温控自动喷淋养护台架等作业线设备均为自主研制。

本书的内容是以中铁隧道局集团有限公司修建的贵广及兰渝铁路隧道为依托,在贵广铁路三都隧道出口和天平山隧道研究成果的基础上,通过对长大隧道机械化配套技术的研究,凝练总结,提出了一套完整的、具有理论指导且具有广泛的适应性以及工法完善的软硬岩隧道全断面和台阶法施工的设备配套体系期待以此,为解决我国铁路隧道修建技术方面的设备配套及国产化问题提供有益参考与借鉴,进而提升我国的隧道施工机械化水平。



1.2

隧道钻爆法施工在国内的发展历程

钻爆法是一种通过钻孔、装药、爆破等一系列工序来实现岩石开挖的方法,由于钻爆法施工具有经济、高效及较强的地质适应性等优点,因此,广泛运用于各类山岭隧道以及许多城市地下隧道的施工。从早期的八达岭隧道到如今种类繁多的高速铁路隧道,大都采用了钻爆法这一施工方法。

钻爆法施工发展之初,工人们基本使用钢钎和大锤进行凿岩、打孔等原始方式作业,临时支护采用原木支架和扇形支撑,隧道施工基本无通风设施。在20世纪50年代初,为了避免修建长隧道,常常尽可能地采用迂回展线来克服地形障碍,使线路靠近地表。宝成铁路翻越秦岭的一段线路就是采用短小隧道群迂回展线的一个实例。在这段线路上有34座隧道,最长的秦岭隧道长度仅为2363m,该隧道在施工中首次使用了风动凿岩机和轨行式矿车,使得宝成铁路秦岭隧道的修建成为从“人力开挖”过渡到“机械开挖”的标志。

自20世纪60年代开始,我国隧道爆破作业已基本甩掉了使用钢钎和大锤进行凿岩、打孔的原始方式,改用手持气动冲击钻进行钻孔作业,进入了普及小型施工机具的时期。这一时期的代表性工程是20世纪60年代中期修建的成昆铁路。成昆铁路全长1085km,隧道占31%。其中关村坝隧道和沙马拉达隧道长度均在6km以上。在这批隧道的施工中采用