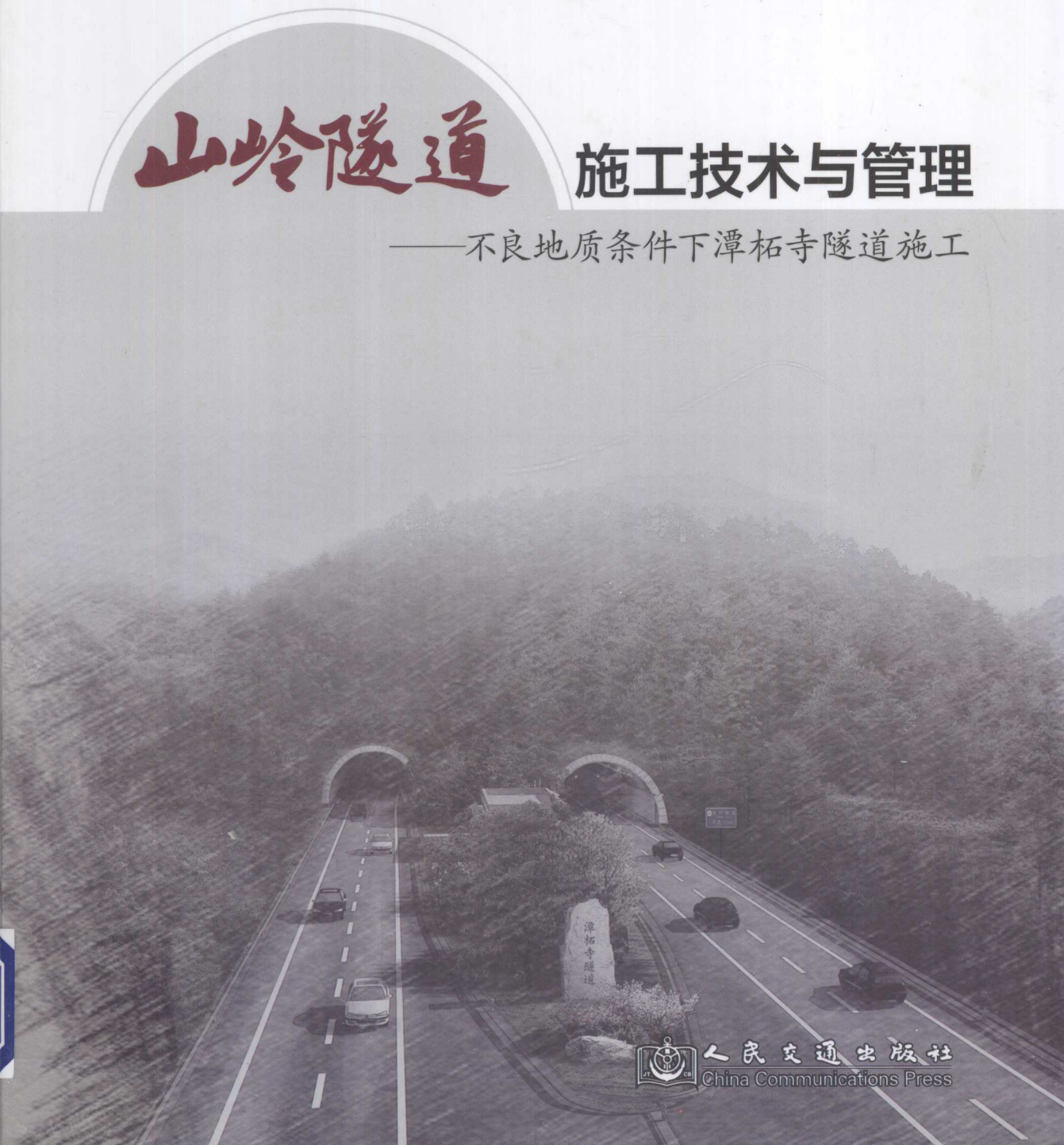


北京市公路桥梁建设集团有限公司 编著

# 山岭隧道

## 施工技术与管理

——不良地质条件下潭柘寺隧道施工



人民交通出版社  
China Communications Press

北京市公路桥梁建设集团有限公司 编著

# 山岭隧道

# 施工技术与管理

——不良地质条件下潭柘寺隧道施工

ShanLing SuiDao ShiGong JiShu Yu GuanLi  
buliangdizhitiaojianxiatanzhesisuidaoshigong



人民交通出版社  
China Communications Press

## 内 容 提 要

本书包括隧道工程技术的基础知识、隧道动态设计和信息化施工的专业知识、设计施工总承包管理的依据和原理、设计施工总承包全过程管理等内容。第一章包括隧道工程技术的基础知识、设计施工总承包管理的依据和原理；第二章介绍了信息化安全施工系统；第三章介绍了围岩等级与开挖方法及爆破施工原理与技术；第四章介绍了不良地质地段爆破开挖与初期支护技术；第五章介绍了复合式衬砌和其他辅助施工作业；第六章介绍了设计施工总承包模式的全过程重点管理和思考。

### 图书在版编目(CIP)数据

山岭隧道施工技术与管理：不良地质条件下潭柘寺  
隧道施工 / 北京市公路桥梁建设集团有限公司编著. —  
北京：人民交通出版社，2013.12

ISBN 978-7-114-10996-6

I. ①山… II. ①北… III. ①山岭隧道—隧道施工  
IV. ①U459.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 267032 号

书 名：山岭隧道施工技术与管理——不良地质条件下潭柘寺隧道施工

著 作 者：北京市公路桥梁建设集团有限公司

责任编辑：刘永芬

出版发行：人民交通出版社

地 址：(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址：<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话：(010)59757973

总 经 销：人民交通出版社发行部

经 销：各地新华书店

印 刷：北京市密东印刷有限公司

开 本：787×1092 1/16

印 张：16.75

彩 插：2

字 数：400千

版 次：2013年12月 第1版

印 次：2013年12月 第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-114-10996-6

定 价：50.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

## 编 委 会

主 任 王 晓 冬

副主任 王 义 海

主 编 周 世 生 薛 二 平

副主编 谷 文 元 胡 建 华 高 维 兵

编 委 申 国 奎 樊 宇 郭 冬 春 黄 朱 盛 高 飞

徐 晨 光 李 会 叶 锦 华

## 审 定 委 员 会

主 任 陈 贺 孙 海 庆

副主任 孙 文 龙 孙 西 濛

委 员 蒋 仲 庸 卢 清 国 何 世 鸣 陈 旭 东 翟 相 飞

齐 琳 石 清 宇 石 效 民 马 瑞 翟 文 静

杨 景 安 吴 杰



## 前 言

在 21 世纪全球人类可持续发展的大背景下,地下空间的利用早已成为不容忽视的一环,同时,也为地下空间开发与隧道设计施工提供了巨大的市场机遇与挑战。我国隧道及地下工程建设成就和发展速度是举世瞩目的。已投入运营的各类隧道、隧洞的数量及里程为世界各国之最,正在进行的隧道、隧洞及地下工程的建设规模和速度,也是世界第一。据不完全统计,截止到 2010 年底,我国建成的铁路隧道总长度已经超过 8.6 万 km,公路隧道总里程数超过 400 万 km。到“十二五”末,全国轨道交通规划线路总长将达到 12 万 km,其中需要建设隧道的线路占了相当大的比例。另外,包括西部大开发的铁路、公路隧道、地铁、地下公用设施、顶管机械及其他西气东输、水电站工程等,一年也有 450km 的隧道建设量。我国到 2020 年前规划建设 5 000 座隧道,长度超过 9 000km。

我国是多山国家,75%左右国土都是山地,且江河纵横,海域宽阔。近 10 年来,公路隧道平均每年新建 350km,28 座水下公路隧道已建成通车,它在交通基础设施的建设中起到越来越重要的作用,同时在城市建设中,以节约土地和保护环境为宗旨,城市道路隧道也方兴未艾。总体上,公路隧道已由重丘走向深山,由陆域走向水下,由山区走向城市。面对地震、火灾和暴雨等灾害日益频发,面对高地应力、活动断裂、高寒、高海拔和富水等复杂地质条件,面对保护环境和节约能源等日益增强的建设理念,面对我国跨江海、穿高原等重要战略通道建设的实际需要,公路隧道建设尚存在突出技术瓶颈亟待解决。

潭柘寺隧道是北京 108 国道(潭柘寺—石门营段)改建工程中的重点控制工程,总长 2 743m,是双向四车道一级公路隧道。在施工中遇到软弱破碎围岩、煤系地层、挖煤巷道、隧道初期支护侵限、中台阶出现较大的渗水及洞口段的塌方。由于围岩变化频繁,隧道围岩类别与原设计有较大变化,特别是软弱围岩导致的侵限及塌方,因此导致工程造价大大超出了原预期,施工工期也延后了将近两年。掌子面时常出现滑塌及超挖现象,已封闭成环的初期支护也常发生侵限。为了应对围岩的变化,设计进行了大大小小的变更达 28

次之多。

为了培养符合新时代要求的隧道工程技术和管理人员,课题组按照北京市公路桥梁建设集团有限公司发展要求,组织有关人员编著了《山岭隧道施工技术与管理》一书。

为了满足编著的科学性、先进性、可行性要求,在编写中体现了以下特点:

(1)紧密结合当前我国隧道工程技术和管理的现实情况,充分考虑学科发展的最新态势和动向,力求理论最快融入实践应用的实施方法。

(2)在内容上博采众长,广泛参考和吸取了国内外相关著作的优点,充分吸收最新的理论研究成果,做到了既符合理论发展潮流,又切实反映隧道工程技术和管理的实际情况。

(3)在知识结构上,以公路隧道工程技术和管理的为主线,介绍了山岭区公路隧道信息化动态设计和动态施工的依据及全过程管理的内容和方法,做到了主线明确、层次清晰、重点突出、结构合理。

(4)在写作方法上,力求规范分析和实例分析相结合,实例分析逐渐渗入并系统化,提高实际可操作性。

(5)体现了“通”、“专”相宜。

本书包括隧道工程技术的基础知识,动态设计和信息化施工的专业知识,设计施工总承包管理的依据和原理,设计施工总承包全过程管理等内容。第一章包括隧道工程技术的基础知识,设计施工总承包管理的依据和原理;第二章介绍了信息化安全施工系统;第三章介绍了围岩等级与开挖方法及爆破施工原理与技术;第四章介绍了不良地质地段爆破开挖与初期支护技术;第五章介绍了复合式衬砌和其他辅助施工作业;第六章介绍了设计施工总承包模式的全过程重点管理和思考。

由于本工程采取总承包模式,为了更好地提高管理水平,我们对总承包模式也做了比较详细的研究,探索了如何更好地开展对总承包工程的项目管理,如何使企业能够结合自身特点发挥工程总承包的优势,通过内部整合、挖掘潜力来提高整体竞争力,更好地适应市场经济的发展规律,形成独特的企业文化。同时,通过这次工程的实践经验,也发现了我国目前工程总承包模式中的一些问题,这也为工程总承包模式在我国的继续推行准备了一手资料。



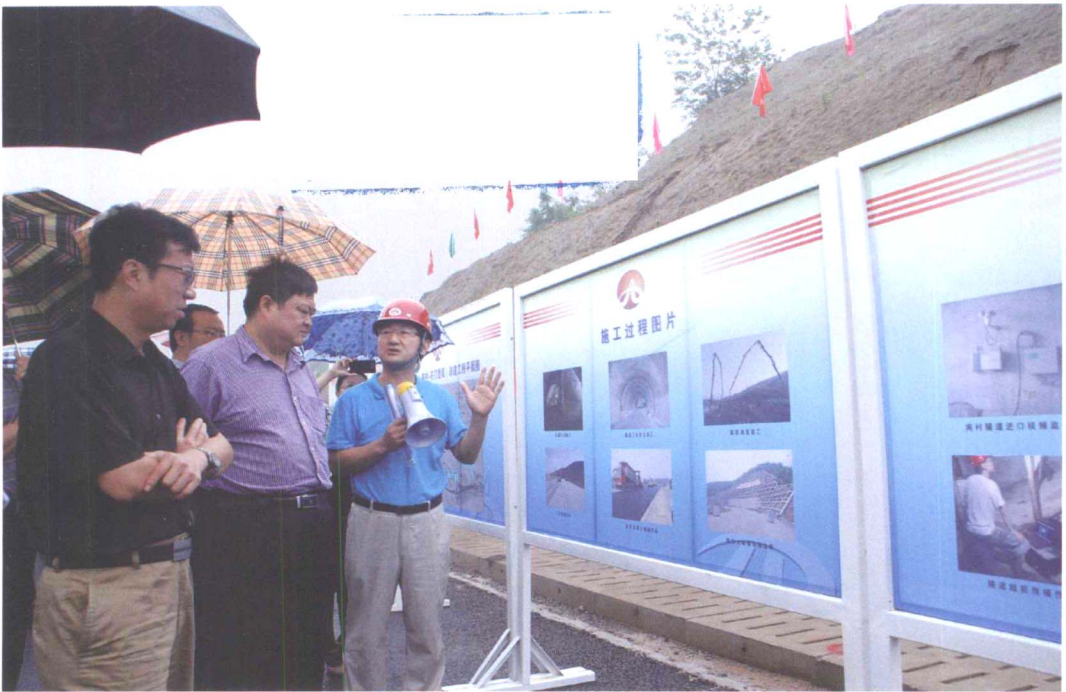
本书由经验丰富的工程人员和专家共同完成,是对北京复杂地质条件下隧道修建的经验总结,对类似的工程有一定的参考价值。鉴于作者水平有限,对于书中谬误和不妥之处,敬请指正。

编 者

2013年8月



北京市门头沟区区长王洪钟同志(左一)到潭柘寺隧道调研



北京市交通委员会副书记张树森同志(中间)到潭柘寺隧道调研





北京市交通委员会路政局副局长范玉亮同志(右二)到潭柘寺隧道调研



北京市交通委员会路政局门头沟分局副局长王成同志到潭柘寺隧道调研



北京市国资委监事会领导到 108 国道改建工程调研



北京市政路桥集团有限公司董事长郝志兰同志到 108 国道改建工程调研





北京市政路桥集团有限公司总经理裴宏伟同志(右二)到 108 国道改建工程调研



北京市公路桥梁建设集团有限公司领导到 108 国道改建工程调研

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 隧道的分类	1
第二节 我国山岭隧道修建的趋势	1
第三节 北京公路隧道基本概况	4
第四节 潭柘寺隧道工程概况	7
第五节 潭柘寺隧道工程承包模式	14
第二章 隧道安全施工信息系统	17
第一节 隧道围岩等级分类	17
第二节 隧道施工围岩等级判定方法	21
第三节 隧道风险分析与监控量测	29
第四节 隧道施工安全人员定位系统与预警系统	38
第三章 隧道爆破开挖技术	49
第一节 隧道围岩等级与开挖方法	49
第二节 隧道爆破开挖特点	50
第三节 隧道爆破掏槽形式	51
第四节 爆破设计原理	54
第五节 潭柘寺隧道爆破设计与钻爆施工	58
第四章 不良地质段开挖与支护技术	68
第一节 潭柘寺隧道不良地质概述	68
第二节 隧道洞口边仰坡防护技术	68
第三节 洞口管棚的进洞施工技术	73
第四节 软弱围岩开挖与支护技术	79
第五节 潭柘寺隧道贯通开挖与支护技术	99
第六节 潭柘寺隧道与挖煤巷道交会施工技术	105
第七节 潭柘寺隧道侵限处理技术	110
第八节 潭柘寺隧道塌方处理技术	119
第九节 隧道开挖与支护的数值模拟	133
第十节 复合式衬砌隧道黏土浆液背后注浆技术	144



第五章 复合式衬砌施工与辅助作业	149
第一节 初期支护结构施工	149
第二节 防排水技术	160
第三节 二衬施工	164
第四节 通风、防尘、防有害气体	176
第五节 供风和供水	178
第六节 供电及照明	179
第六章 潭柘寺隧道总承包管理	182
第一节 总承包管理概况及背景	182
第二节 DB 总承包模式下承包人风险分析	186
第三节 DB 总承包项目集成化管理机制设计	207
第四节 施工前期项目系统集成化管理	219
第五节 施工阶段项目系统集成化管理	229
第六节 108 国道改建工程总承包项目管理的思考	240
第七节 施工企业成为总承包企业模式的探讨	243
附录	253
参考文献	256

# 第一章 绪 论

## 第一节 隧道的分类

隧道是一种用于交通运输、埋置于地层内的地下线状结构物。隧道按其所处位置可分为山岭隧道、水底隧道和城市地下隧道；按用途可分为汽车隧道、铁路隧道、输水隧道、输气隧道等；按长度可分为特长隧道、长隧道、中隧道、短隧道；按结构划分包括主体结构和附属设备两部分，其中主体结构物由洞身和洞门组成，附属设备包括避车洞和防排水设施，长大隧道还有专门的通风和照明设备；按掘进方法可分为爆破掘进法隧道、机械掘进法隧道，而机械法又可分为 TBM 法（用于坚硬岩体）、盾构法（用于软弱岩体和土体）；按断面成型方法可分为全断面法、台阶法、CD（中隔壁）法、CRD（双隔壁）法。

## 第二节 我国山岭隧道修建的趋势

我国是一个多山的国家，向中西部开发是今后的国策。发展山区交通，脱贫致富是我国的具体要求，高速、准高速铁路、公路的发展和建设又是 21 世纪的特色，这必然需要修建大量隧道，包括许多长隧道的建设，“一多、一长”将是 21 世纪山岭隧道修建的两大特点。

### 一、建立“中国隧道修建法”原理和要点

新奥法（NATM）和挪威法（NTM）的是人所共知的施工方法，但其应用面窄，内容少。而每年以 200km 以上速度在各种不同围岩、不同用途、不同形状和断面建成山岭隧道的中国却没有自己的方法，21 世纪我国应有一个既适合国情也可为国外所采用的“中国隧道修建法”，将我国近 20 多年来山岭隧道修建的设计、施工原理、方法、要点、教训以及特殊点总结出来，以指导我国为持续性发展战略而进行的山岭隧道、地下工程的修建。

1988 年铁道部基建总局发布实施了“铁路隧道新奥法指南”，这是在总结我国并吸取国外十多年来按新奥法修建铁路隧道经验的基础上编制的。当时在我国起到了隧道修建开始全面应用新原理法与传统法交替更新的作用，成为当时隧道设计、施工的指导性文件。又经过六年的工程实践，我国取得了不少成果，同时也交了不少学费，深感新奥法在我国这样辽阔的地下工程领域中应用还有不少亟待解决的问题。

为此，1992 年铁道部又发布实施了“铁路隧道喷锚构筑法技术规则”（简称“规则”），该规则出台后引起不同反映和争论，主要对“喷锚构筑法”的用词感到不当，易引起混淆。喷锚构筑

法本身不是一种方法,而是一种原理,应将该原理要点贯彻到各种施工开挖方法中去,如正台阶法、全断面法等。当时在确定这个规则名字时经过不少比选和周折,苦于找不到较合适的名字,而用了当时就感到不太妥当的“喷锚构筑法”。

今天,随着工程实践的经验积累,证明我国地下工程在许多方面超越了新奥法范畴,也有类似挪威法的实例,有许多独特的见解和成就,有必要重新评价、总结中国的隧道修建方法。目前,时机已经成熟。“中国隧道修建法”的建立可为隧道设计、施工规范的修订完善提供原理、方法和要点。

## 二、以结构可靠性为基础、消除隧道运营病害为目的,修改各规范

据有关资料统计,截至 1995 年年末,铁道部管理的已建成并交付运营的隧道共有 4 855 座,总长为 2 260km。但在这 4 855 座隧道中,净空不足侵入建筑限界的有 2 546 座,严重漏水的有 1 428 座,衬砌严重腐蚀裂损的有 677 座,仰拱变形损坏的有 212 座,通风不良的有 112 座,照明不良的有 817 座。但近十多年修建的隧道质量大大提高,这说明传统法设计、施工的隧道从理论到施工方法均存在严重错误和不足。因此,只有用结构整体可靠性理论才能快速、优质地建成不裂、不渗漏、通风、照明良好的隧道。

影响隧道工程可靠度的因素极其复杂,主要表现在:围岩类别变化不定性和对其认识的主观性;荷载沿隧道横向、纵向分布的不确定性;按局部或共同变形理论分析结构内力的近似不定性;计算参数的统计误差及约束条件简化处理的不足性;施工中内轮廓尺寸误差和厚度误差的不定性;不同施工措施引起内力变异性的不定性;施工工序之间时间效应不同所引起的不定性等。七种主要不定性、不确定性、主观性、变异性决定了不能仅用一种固体力学方法或弹塑性力学去准确地描述力学行为,去求算应力、校核强度而忽视结构在施工过程中未达到设计强度要求时的稳定性分析。

按结构-荷载模式进行可靠度设计,配合现场监控量测与反馈进行设计修正的方法具有简单、易行、结合实际的优点,可以克服许多不定性,用这种信息化设计、施工的全过程来完善设计的方法,这是隧道工程所具有的特点。那种设计不能改变论,绝对相信精确计算论,设计与施工不紧密结合的对立做法都是当今影响隧道安全优质、快速、经济建成的阻力。

## 三、基于安全环保的快速施工将是 21 世纪隧道修建的主攻方向

### (一)提高隧道施工机械化是快速施工的主要措施

1)应用 TBM 掘进机和超前导洞并进的施工方法研究。钻爆法+TBM 法可实现快速施工,其组合形式有两种:一是先中心导洞超前,用钻爆法施工,这样可提早认清地质,提早进行处理,有利于 TBM 在不良地层的掘进。二是用  $\phi 3\sim 4.5\text{m}$  小 TBM 快速进行导洞的掘进,后部用钻爆法扩大。该组合造价低,灵活方便,成洞速度比全断面钻爆法提高 2 倍以上,能充分发挥 TBM 和钻爆法的各自优点,将是 21 世纪施工新模式,应予以推广。

2)必须加大隧道施工机械配套的力度。隧道快速施工的唯一出路在于机械化,机械配套不是越先进越好,要从合理配套的总体考虑,除社会环境、生产安全需要外,首先要考虑技术条

件和经济条件。技术条件包括工程量、工作效率、能源消耗、劳力资源、设备易操作性、通用性、耐久性、灵活性以及维修的难易性等九个方面;经济条件包括购置费、使用年限、单位时间利用率、设备在场的工作效率、易损件的储备量等五个方面,在满足技术条件前提下应重点考虑经济条件。具体配套原则应予以改进,按以下意见进行:

(1)施工机械的配套应与施工方法相匹配,更应与施工进度相匹配。要确定合理的施工进度,以确保经济、优质建成,使这两个指标科学地实现。建议取消盲目抢工期的不合理施工进度要求。

(2)提高隧道施工机械投入量的预算费用。实践证明一般低于工程总预算5%以下的设备购置费属不合理施工,长大隧道应有10%以上的设备投入费才是合理的。利用设备创造的产值一般应大于设备费的5倍,先进施工组织管理的设备所创造的产值可达10倍以上。当前施工单位缺设备是主要矛盾,但拿到设备又组织管理不好,养、用、管、修较差而创造不出10倍左右的产值,这是我国施工人员素质不高的后果,还需适应和提高。

(3)设备配套时,单机生产能力应大于均衡生产能力的1.2~1.5倍。

(4)隧道施工机械配套应立足国产化,重复地引进设备而忽视技术引进的倾向应予以克服。引进时应考虑价格是否经济合理,引进的同时应考虑国产化。铁道部应与机械工业部组织设备国产化攻关,组织开展国产化的制造研究。

3)机械配套的模式应随隧道长度的不同采用不同的模式,配套后的模式在能实现快速施工的同时,还应具有适应不同地质条件的应变能力。作为设计单位只重视隧道纵、横断面、结构支护的设计,而不研究隧道施工所需机械配套的设计,是一个不完善的设计。

## (二)施工信息化和切实可行的技术对策是快速施工另一主要措施

1)施工信息化必须作为一道工序列入施工工序中,盲目开挖爆破而引起塌方的损失和费用远远大于增加超前预报工序的费用。无限期的立项研究而不全面配合施工的做法该结束了,引进国外超前预报的软、硬件结合国内成果进行国产化研制是当务之急。

2)针对不良地层采用合理施工技术,如各种超前支护的施工技术,各种注浆方法和参数的选取,钢拱架施工技术,降排水施工技术,一次喷锚支护从上向下施工、二次模筑从下向上施工,落底紧封闭技术和合理开挖方法技术等。

3)严格施工纪律,严格施工工艺,严格施工管理,做到“三严”可以确保施工组织的实现,确保爆破、喷锚支护、监控量测、及时反馈四大关键技术的落实。

## 四、减少辅助坑道设置

横洞、平行导坑、斜井、竖井等统称辅助坑道,我国长隧短打设置辅助坑道费用很高,应合理布置,发挥进、出口的功能以减少投资。国外山岭隧道施工,一般6~8km长的隧道不设辅助坑道,将辅助坑道费用的一部分投入到鼓励使用施工机械设备是今后发展的方向。

从运营维修、防灾角度出发,对山岭隧道长度超过10km以上的应设服务性平行导坑,尤其隧道处于地质条件较差之处更应设置,作为永久建筑交付运营单位。另外,从通风、防灾考虑最好改为两座单洞隧道为宜,这样可不设服务性平行导坑。



## 五、隧道施工运营的通风及设置

必须重视施工和运营中的通风。施工通风的设计应满足相关国家标准的要求,在可能的条件下实现从无轨向有轨运输转化,尤其对于地层不好的大断面隧道,无轨运输会隧道围岩基础的破坏,在运营中造成翻浆冒泥。加强对节能低噪声、大风量风机的研制;加强对大直径低漏风率(百米漏风率 $<1\%$ )、表面摩阻力小的( $\rho_0 \leq 0.017$ )高强软风管的研制,彻底改变隧道施工环境,是 21 世纪必须解决的问题。通风、电费、设备的预算不能少,施工不能简化设计要求,加强管理是隧道建设人员的责任。

在运营通风方面,隧道应大力推广洞口准放式射流通风的方案,充分利用列车活塞风,选用单向行驶的隧道设计方案以减少运营通风的电费。对运营的公路隧道,当前用分散式纵向射流通风方案的做法很受欢迎,其实这仅适用于 5km 以下的中、短隧道,而且分散式布置不便维修和管理,但其造价相对在洞口设置 1~4 级堆放式射流风机组会更经济。而对于长大隧道通风选用全横向式或半横向式,可使全洞的 CO 浓度、粉尘浓度不会超标,司机能见度提高,所以这两种通风方式仍是长大隧道不可舍弃的方案。

## 六、加大科研力度,组织联合攻关是提高隧道修建技术的动力

当前,山岭隧道和地下工程是人类向自然界要空间,进行资源开发的主要方向之一,“上天入地”是人类向主体空间发展的必然趋势。然而地下工程从衬砌结构理论、计算、室内试验到现场应用;从地质勘探到洞内精密施工测量控制;从消除当前隧道不同病害到隧道在不间断运营下进行扩大;从封堵漏水、翻浆到整治渗水;从机械非标设备的单机制造到开挖、装运、衬砌各条作业线的机械配套;从中速运行到高速、准高速运行等,给隧道工程带来了一系列的需要研究的关键技术,举不胜举,这些都是跨行业、互相交叉、互相融合在一起的边缘科学。应组建隧道及地下工程实验、研究、培训中心,结合工程实践进行研究,把地下工程的全过程进行分类、分工序攻关,在确保优质、快速修建隧道工程的前提下,把地下工程的建设投资降下来,用有限的资金修建更多的隧道及地下工程,以适应 21 世纪的需要。

## 第三节 北京公路隧道基本概况

### 一、北京已修建山岭隧道

近年来,北京的公路建设呈现出突飞猛进的发展,多条新建高速公路(六环路、京承路、京包路)对原有国道进行的升级改造(108 国道),为人们的出行提供了便利条件。随着高等级公路建设的日益增多,山区隧道工程大量增加,近年来北京修建的隧道工程如表 1-1 所示。

### 二、北京地区山岭隧道的地质特征及水文特点

北京中心位于北纬  $39^{\circ}54'$ ,东经  $116^{\circ}23'$ 。全市土地面积  $16\ 400\text{km}^2$ ;其中平原面积