

QINLING ZHONGNANSHAN GONGLU SUIDAO GONGCHENG JIANSHE YU YUNYING GUANLI

# 秦岭终南山公路隧道 工程建设与运营管理

冯西宁 杨育生 乔怀玉 等 编著



人民交通出版社

China Communications Press

Qinling Zhongnanshan Gonglu Suidao Gongcheng Jianshe Yu Yunying Guanli

# 秦岭终南山公路隧道工程建设与运营管理

冯西宁 杨育生 乔怀玉等 编著

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书全面系统地介绍了秦岭终南山公路隧道工程建设和运营管理情况。主要内容分为十章,包括项目概况,隧道设计,技术研究,快速施工,运营通风,隧道照明,通信、监控与供配电系统,防灾救援体系,隧道养护和运营安全管理。

本书可供公路隧道建设和运营管理方面的专业技术人员、管理人员阅读,也可供高速公路建设及运营管理、隧道建设管理、应急救援等方面人员参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

秦岭终南山公路隧道工程建设与运营管理/冯西宁等编著.

北京:人民交通出版社,2010.1

ISBN 978-7-114-08227-6

I. 秦… II. 冯… III. ①秦岭-公路隧道-隧道工程-建设②秦岭-公路隧道-交通运输管理 IV. U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 019516 号

书 名: 秦岭终南山公路隧道工程建设与运营管理

著 作 者: 冯西宁 杨育生 乔怀玉等

责任编辑: 谢仁物 刘 倩

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) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 20

字 数: 624 千

版 次: 2010 年 1 月 第 1 版

印 次: 2010 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08227-6

印 数: 0001~1500 册

定 价: 90.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 《秦岭终南山公路隧道工程建设与运营管理》

## 编 委 会

主 编:冯西宁

副主编:杨育生 乔怀玉 黄会奇

委 员(以姓氏笔画排列):

|     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王利民 | 白应科 | 刘 朋 | 仵 涛 | 刘宝许 | 李 庆 | 李 权 |
| 沈 彤 | 杨 健 | 李军峰 | 张志瑜 | 张欣源 | 宋荣敬 | 杜晓军 |
| 杨海峰 | 杨尊会 | 罗 鹃 | 胡全保 | 姚战良 | 赵超志 | 秦 刚 |
| 耿新雷 | 梁俊海 | 黄海波 | 董争海 | 魏军政 |     |     |

# 一项伟大的世界级工程

陕西省交通运输厅党组书记 曹 森

巍巍秦岭,蜿蜒起伏,峰峦叠嶂,绵延千里,它以其雄伟横亘于我国中部,是我国南北气候的分水岭。数千年来,它既养育了无数代的人们,又给人们带来通行不便,它无情地阻隔了南北人文交流、经济发展。从古至今,人们饱尝了穿越秦岭的辛酸,发出了“蜀道难,难于上青天”、“云横秦岭家何在,雪拥蓝关马不前”的千古感叹。进入20世纪以来,虽然修建了一些翻越秦岭的公路,改变了人们穿越秦岭的交通条件,但道路技术指标低、路况差,秦岭仍然是制约人们出行、经济发展的屏障。

大秦岭期待着大穿越,这是历史的呼唤,也是人们的期盼,穿越大梦必然梦圆于我们这个建功立业的好时代。

2001年1月8日,是一个数九寒冬飘着雪花的日子,秦岭终南山公路隧道试验段隆重开建。在陕西省委、省政府的坚强领导下,万余名科技、建设人员齐聚秦岭脚下、乾佑河边,风餐露宿,艰苦奋战,经过两千多个日日夜夜,单洞长18.02km、双洞共长36.04km的秦岭终南山公路隧道终于在2007年1月20日建成通车。这是历史的壮举,是人类交通建设史上的奇迹,是科技加实干、智慧与创新的结晶,是陕西交通的辉煌和自豪,更是我国公路建设的骄傲。秦岭终南山隧道的建成缩短了公路里程,节约了能源,最大限度地保护了自然环境,形成了翻越秦岭最便捷、最安全的公路运输通道。交通运输部李盛霖部长在隧道通车典礼上讲:“秦岭隧道是国家高速公路网贯通黄河经济圈与长江经济圈的黄金通道,规模在山区公路隧道中属于世界级的工程,它的建成通车,在我国隧道建设史上谱写了新的篇章,在公路交通史上创造了新的纪录,这将会极大地方便人民群众安全便捷出行,同时也将为推进沿线区域经济协调发展发挥重要的作用。”

隧道通车后,在国内外产生了很大的反响,国内各大媒体都在显要位置进行了大幅报道,尤其是中央电视台在几个频道、几档栏目中进行了深度报道,极大地吸引了全国观众,同时通过中央四套向外报道,吸引了世界的目光。台湾一家报纸在头版进行了刊登。世界上不少报刊媒体登了此消息,电视台转播了隧道通车实况。前来参观隧道的人络绎不绝,通车当年的“五一”长假,穿越隧道的车辆高达数万辆,隧道南侧的柞水县旅游实现了井喷式的增长。身临其境的人无不惊叹赞赏,一些外国友人也前来参观终南山隧道。挪威交通通讯部大臣纳瓦塞特女士参观了秦岭终南山隧道后很有感慨,她说:“过去你们到我们挪威去参观,现在我们到你们这里来学习。”国际隧道协会主席哈维·帕克先生看过秦岭终南山公路隧道后也赞叹不已。现在秦岭终南山隧道已经成了陕西的一个旅游热点。

秦岭终南山公路隧道不但解决了南北的交通问题,而且创造了多项世界第一,是公路隧道建设史上的里程碑。它是一个庞大的系统工程,科技含量高,在科技人员的共同努力下,开展了多项科学研究和技术创新,克服了一个又一个技术难题,在关键技术上实现了突破,先后获得科研成果11大类40余项,成功解决了隧道建设、管理中的诸多难题。此外,秦岭终南山隧道还取得了长大隧道综合选线及系统集成、可靠节能环保的运营通风、高效安全的综合防灾救援集成体系、超大规模智能先进安全可靠的监控系统、坚硬岩石公路隧道快速掘进施工、超大直径深竖井成套施工、环境保护和节能、长大隧道安全和运营管理8大技术领域的创新,填补了多项国内外空白,为中国长大公

路隧道建设提供了理论、新技术和管理创新,极大地推动了行业技术发展,标志着我国长大公路隧道整体修建技术达到世界领先水平。“秦岭终南山公路隧道建设与运营管理关键技术”获得了2009年中国公路学会科学技术奖特等奖。

秦岭终南山隧道是里程超长的高速公路隧道,建设规模世界第一,在亚洲乃至世界都没有类似建设经验借鉴,风险很大,责任重大。当时对18km长大隧道方案争议很大,在时任陕西省省长程安东的带领下,组织相关技术人员,在已基本建成的西安至安康铁路秦岭终南山隧道的基础上,进行了大量广泛的调查研究,积极主张修建长大公路隧道。2000年9月中旬,时任陕西省委书记李建国在陕西宾馆召开书记办公会,果断决策,支持程安东省长的意见,拍板建设高速公路长大隧道。实践证明,陕西省委、省政府的决策非常正确,为我们国家开创了修建长大高速公路隧道的先例,积累了宝贵的经验。这是陕西省党政主要领导勇于担当责任的政治勇气和政治智慧的体现,是向历史负责、向人民负责的政治家胆略的体现,为我国长大公路隧道建设作出了历史性的重大贡献。

2001年1月20日,省政府下发《关于设立陕西秦岭终南山公路隧道有限责任公司等有关问题的批复》,批准成立陕西秦岭终南山公路隧道有限责任公司,为国有独资企业,由陕西省投资集团公司负责组建,承担秦岭终南山公路隧道的资金筹措、建设和运营管理等任务。刘春茂、冯煦初两位同志先后担任陕西省投资集团公司董事长,为建设秦岭终南山公路隧道做了大量工作。陕西省投资集团公司委派王足同志出任陕西秦岭终南山公路隧道有限责任公司执行董事,并担任法定代表人,先后聘任袁雪戡、王治效为公司总经理。2001年6月18日,陕西秦岭终南山公路隧道有限责任公司完成工商注册登记手续,注册资金8亿元,其中陕西省投资集团公司出资4亿元,陕西省交通厅代政府补助4亿元。

陕西省投资集团公司管理期间,组织实施了秦岭终南山公路隧道的设计,国家计委至国务院的立项,资金筹措,试验段开工,专家委员会的组建,关键技术包括通风、防灾、监控、救援、环保、定额、信息等方面的组织研究,施工监理招投标等工作。中铁一局、五局、十二局、十八局承担隧道主体开挖施工任务,利用西康铁路隧道做平行导洞,增加工作面,长隧短打,减少建设投资,隧道东、西线分别于2003年8月28日和2004年12月13日提前贯通。特别值得一提的是,陕西省投资集团公司董事长冯煦初,在当时交通部门对建设长大隧道有疑虑的情况下,遵照程安东省长的指示,积极承担了这个艰巨任务,在建设过程中,经常深入施工现场,协调解决施工难题,为隧道建设作出了重要贡献。

2004年8月9日,陕西省政府第7次省长办公会议决定,“秦岭终南山隧道经过资产评估后,全部移交给省交通厅建设运营管理”。副省长洪峰先后3次召开专题会议,使隧道项目顺利移交省交通厅。在隧道以后的建设、运营中,洪峰多次深入建设工地,为隧道建设排忧解难,使建设运营工作得以顺利开展。

我代表交通厅负责移交接收工作,2004年8月底顺利完成工作任务。之后,我按照省政府的要求,及时安排部署后续工程建设。省交通厅多次召开党组会,研究隧道建设和运营安全管理问题,成立了陕西省交通建设集团隧道分公司,积极地投入到后续的建设管理之中。隧道分公司克服困难,完成了隧道后续工程及3个通风竖井的建设任务,尤其是中交隧道局承担的2号竖井,深度达661m,是世界上最深的大口径通风竖井。他们努力探索特长隧道运营安全管理新办法,提供了美观舒适、安全通畅的隧道通行条件,安全通行各种车辆500多万辆,向人民群众交上了一份满意的答卷。我在这里特别要说明的是,抓好秦岭终南山公路隧道的安全管理,是一件长久的事情,是一个永恒的主题,在任何时候都要紧绷通行安全的这根弦,一丝一毫都不能马虎和放松。

秦岭终南山公路隧道的建成是工程技术人员集体智慧的结晶。公路隧道因修建长度的变化而面临产生质变的挑战,面对这个世界级难题,一个集全国工程科技实力的专家团队迅速组建起来,

在孙钧、王梦恕、郑颖人、钱七虎4位院士和13位知名专家的全程指导下,52个参建单位、科研院所的100多位高级工程师进行了联合攻关,他们深入现场,潜心研究,精益求精,不断创新,精心指导,严密组织,创造了工程奇迹。当人们畅顺地通过秦岭终南山隧道,感受这项世界级的伟大工程时,不会忘记广大建设者、决策者所付出的辛勤劳动,所作出的卓越贡献。

我以为,秦岭终南山公路隧道不仅是一项浩大工程,更是一个值得记载的历史事件。冯西宁、杨育生、乔怀玉、黄会奇几位同志都是秦岭终南山公路隧道后续建设与运营管理的直接参与者,他们为长大隧道建设和运营管理工作作出了不懈的努力,付出了辛勤的劳动,取得了骄人的成绩。他们主持编写了这本《秦岭终南山公路隧道工程建设与运营管理》,从隧道项目概况、设计、科研、施工、通风、照明、通信、监控与供配电、防灾救援、养护、运营安全管理等方面,比较翔实地记录了建设与运营管理情况,是一件很有意义的事。建设管理长大隧道是我们的职责,把今天留给历史、把财富留给后人更是我们的责任和义务。千秋伟业,永垂历史!



二〇一〇年一月于西安

# 前 言

近 20 年来,随着我国公路交通事业飞速发展,公路的等级不断提高,通车里程逐年攀升,公路建设已成为拉动国民经济增长的支柱产业和带动地方经济发展的龙头。在山岭、丘陵地区以至越江过河的公路建设中,隧道方案以能缩短行车里程、提高线形标准,保障运营安全、保护生态环境等优点,得到普遍采用,许多特长隧道、大跨度扁平隧道、双层隧道、沉管隧道、盾构隧道、高海拔隧道、寒区隧道相继建成。在坚持可持续发展,切实保护生态环境和有限土地资源的战略指导下,长大隧道建设项目越来越多,管理需求更加紧迫,技术要求越来越高。

建国初期,我国公路隧道仅有 30 多座,总长度约 2.5km。截至 2009 年年底,我国建成的公路隧道近 6 000 座,总里程达 3 000 多 km,长度是建国初期的 100 多倍,尤其是建成了长度达 18.02km 的秦岭终南山公路隧道和多座长度在 10km 以上的公路隧道。随着长大公路隧道的不断建设和投入运营,如何建好和管好高速公路隧道,充分发挥隧道作为现代化交通基础设施的作用,成为最迫切的问题。我国隧道科技工作者在工程实践和应用中,进行了深入研究与创新,使我国公路隧道建设与运营管理技术取得了长足发展,许多方面步入了世界先进行列,有些已达到世界领先水平。

本书记述了秦岭终南山公路隧道工程建设与运营管理实践中积累的一些经验和体会,并参考国内外公路隧道的一些论著,系统归纳整理了秦岭终南山公路隧道设计、施工、科研与运营管理等方面的工作。本书可供公路隧道建设和运营管理方面的专业技术人员、管理人员阅读,也可供高速公路建设及运营管理、隧道建设管理、应急救援等方面人员参考使用。

本书编写中,陕西省交通运输厅、陕西省交通建设集团公司、陕西省公路局等单位的领导、专家给予了积极帮助和支持。本隧道设计单位中铁第一勘察设计院,施工单位中铁五局集团、中铁十二局集团、中交隧道工程局、北京瑞华赢科技发展有限公司,科研单位陕西省公路局、重庆交通科研设计院有限公司、长安大学、西南交通大学、厦门市路桥信息工程有限公司提供了施工、科研技术资料,在此一并表示感谢,并向所有关心、支持本书编写的有关领导、专家、学者表示衷心感谢。

本书由编写委员会集体编写,由黄会奇、仵涛、罗鹄、秦刚等人执笔,魏军政、黄海波、宋荣敬等提供了有关资料,宋荣敬拍摄了全部照片,黄会奇完成全书统稿。

限于作者水平,书中疏漏及不足在所难免,恳请读者和同行批评指正。

本书编委会  
二〇一〇年一月

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 项目概况                     | 1   |
| 第一节 项目基本情况                   | 1   |
| 第二节 项目主要功能及特点                | 3   |
| 第二章 隧道设计                     | 8   |
| 第一节 建设规模与标准                  | 8   |
| 第二节 地质条件研究                   | 12  |
| 第三节 综合方案比选                   | 18  |
| 第四节 总体设计                     | 30  |
| 第三章 技术研究                     | 45  |
| 第一节 项目研究工作概况                 | 45  |
| 第二节 项目的实施与管理                 | 50  |
| 第三节 研究成果的应用推广                | 54  |
| 第四节 西部交通科技人才培养情况             | 56  |
| 第五节 经费使用情况                   | 57  |
| 第六节 验收鉴定情况及评价                | 57  |
| 第七节 社会经济效益评价                 | 58  |
| 第四章 快速施工                     | 59  |
| 第一节 多通道运输                    | 59  |
| 第二节 多施工通道混合通风                | 63  |
| 第三节 大断面隧道硬岩光面爆破              | 70  |
| 第四节 多工作面测量控制                 | 74  |
| 第五节 大跨渐变断面施工技术               | 78  |
| 第六节 超大直径深竖井工程快速施工技术          | 83  |
| 第七节 高应力区深埋长大公路隧道竖井及洞室群安全保障施工 | 89  |
| 第五章 运营通风                     | 106 |
| 第一节 汽车动态排放研究                 | 106 |
| 第二节 卫生标准研究                   | 109 |
| 第三节 隧道通风方案研究                 | 111 |
| 第四节 井下通风站技术                  | 123 |
| 第五节 竖井及风道工程实施                | 132 |
| 第六节 实施效果                     | 135 |
| 第六章 隧道照明                     | 138 |
| 第一节 概述                       | 138 |
| 第二节 一般照明                     | 143 |
| 第三节 应急照明                     | 149 |
| 第四节 LED 诱导灯照明                | 150 |
| 第五节 特殊灯光照明                   | 152 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第六节 照明控制·····                | 154 |
| 第七节 照明系统供电·····              | 159 |
| <b>第七章 通信、监控与供配电系统</b> ····· | 161 |
| 第一节 通信系统·····                | 161 |
| 第二节 监控系统·····                | 166 |
| 第三节 供配电系统·····               | 204 |
| <b>第八章 防灾救援体系</b> ·····      | 213 |
| 第一节 防灾救援技术研究·····            | 213 |
| 第二节 公路隧道防灾救援体系·····          | 227 |
| 第三节 终南山公路隧道应急救援体系·····       | 232 |
| <b>第九章 隧道养护</b> ·····        | 234 |
| 第一节 土建工程养护·····              | 234 |
| 第二节 机电工程养护·····              | 240 |
| 第三节 安全管理·····                | 256 |
| <b>第十章 运营安全管理</b> ·····      | 257 |
| 第一节 概述·····                  | 257 |
| 第二节 运营管理机构·····              | 259 |
| 第三节 应急预案·····                | 261 |
| 第四节 监控指挥中心·····              | 275 |
| 第五节 路政安全管理·····              | 279 |
| 第六节 车辆安全检查·····              | 286 |
| 第七节 消防值守与救援·····             | 291 |
| 第八节 安全宣传·····                | 295 |
| 第九节 一次火灾事故的成功处置·····         | 297 |
| 第十节 运营节能·····                | 299 |
| <b>参考文献</b> ·····            | 301 |

# 第一章 项目概况

秦岭终南山公路隧道是国家高速公路网内蒙古包头—广东茂名线的重要一段,也是陕西省“三纵四横五辐射”公路骨架网中西安—安康高速公路的控制性工程,位于西康高速公路西安—柞水段,北口距西安市 28km。隧道项目全长 21.185km,其中主隧道长 18.02km,引线桥隧长 3.165km,双洞共长 36.04km,按双向 4 车道高速公路标准建设。隧道净宽 10.5m,限高 5m,设计车速 80km/h,安全等级一级,消防等级标准 50MW。建设规模世界第一,单洞长度居世界第二(仅次于挪威莱尔多隧道 24.5km),是目前世界上最长的高速公路隧道。

秦岭终南山公路隧道是贯通黄河经济圈和长江经济圈的黄金通道,穿越中国南北分水岭——秦岭。隧道的建成通车,使西安—柞水的行驶里程缩短了 60km,技术标准大大提高,受冬季积雪和泥石流、滑坡等不良地质影响程度大为改观,对促进秦岭南北文化经济交流和发展、完善国家和陕西干线公路网具有十分重要的意义。

秦岭终南山公路隧道最大埋深达 1 640m,它的建设极大地降低了路线高程,保护了森林植被和生态环境,减少了汽车爬坡排放废气对环境的污染,推动了我国乃至世界公路隧道建设的发展,在我国高速公路隧道建设史上谱写了新的篇章。

## 第一节 项目基本情况

### 一、工程地理位置

秦岭是黄河与长江两大水系的分水岭,是西安—安康高速公路西安—柞水段必须克服的天然屏障。秦岭主脊海拔较高,南北两侧地形陡峭,沟谷纵横,地形十分复杂,地质复杂多变。既有西康公路西柞段基于当时的交通量、技术水平和经济条件,其路线由长安县西行,经喂子坪南折,而后溯沔河而上,由沔峪口越岭至广货街,再东行翻黄花岭,经营盘至柞水,全长约 146km。西安至沔峪口段,全长 31km,为平原微丘区三级公路标准,既有路基宽 8.5m,平纵面指标较高。由沔峪口向南进入秦岭山区,由于受规划的沔峪水库坝顶高程的限制,既有路线由沟口起就采用大坡度沿沟展线上坝,致使该段路线迂回曲折,平纵面指标很差。过坝后库区路线高悬于半山腰,十分险要,使沿线沟底村民难以利用该路。路线经过库区后即进入秦岭越岭线,由于秦岭两侧地形复杂,路线迂回弯曲,视距极差,部分段最小平曲线半径仅 10m,大纵坡达 10% 以上,个别路段一坡多线集中盘旋,路基宽度勉强达到山岭重丘区四级公路标准。根据调查资料,黄花岭路段地质较复杂,地质不良路段较长,滑坡体较多,对道路危害严重。营盘—柞水段为沿河线,基本可达到三级公路标准,路基宽度为 7.5~8.5m,平面指标相对较高,但营盘桥两端设有 20m 小半径的反向平曲线,线形差,且桥头一端为滑坡体,对行车安全不利。由此可见,现有的西安至柞水公路为三、四级公路标准,其中越秦岭段为展线经山脊垭口通过,技术标准低,行车条件差,事故灾害频发,运输效率低下。

为降低越岭高程,缩短公路里程,改善行车条件,对穿越秦岭地段的隧道方案和重大技术问题进行了专门研究。经多方案研究,隧道长度在 18km 左右较为适宜,为特长隧道。秦岭终南山隧道工程是西柞公路的控制性工程,作为西柞公路的一个单独项目实施。

国家对于全国的公路干线实行统一规划,陕西省相应应有全省性的公路规划。西安—安康高速公路西安—柞水段位于西安与柞水之间的秦岭山区,纵跨西安、商洛两个地(市),途经西安、长安、柞水三县市,是国家高速公路网内蒙古包头—广东茂名线的重要组成部分,也是陕西省规划的以西安为中心的

“米”字形公路网主骨架中贯通南北中轴极其重要的路段。秦岭终南山特长公路隧道作为国家高速公路网上的控制性特大工程,它的修建将极大地改善中西部地区的路网布局,对促进陕西省经济发展及西部大开发有着重要的作用和意义。秦岭终南山公路隧道建设对适应运输增长,打通陕西通向华中、西南的主干线,扩大西安市经济辐射力,促进陕西南部安康、商洛山区经济发展将起到重要作用。

秦岭终南山公路隧道建设,对缩短公路里程,改善行车条件,提高运输效率有显著作用。作为控制工程的该隧道及西柞高速公路建成后,西安至柞水的通行里程由 146km 缩短为 86km 左右,缩短里程近 60km;解决了从海拔 2 000m 左右的高度两次翻越山岭的问题,并降低了冬季积雪对交通的影响,见图 1-1。



图 1-1 西柞公路翻越秦岭的比较

## 二、工期及投资

### 1. 施工和工期

秦岭终南山公路隧道 2002 年 3 月开工建设,主洞采用新奥法设计,钻爆法开挖施工,利用了当时已经贯通,但尚未投入运营的西康铁路西线隧道作为公路东线隧道施工导洞,开挖了 8 个横洞,将 18km 隧道分为 9 段来施工,大量石渣用铁路轨道运出;东线贯通后作为西线开挖的施工导洞,利用车行横通道作为施工横洞,实现长洞短打,加快速度,于 2007 年 1 月 20 日建成通车,建设工期 58 个月。

竖井工程,1 号竖井(井深 191m,直径 10.8m)和 3 号竖井(井深 392m,直径 11.2m)采用反井法施工。反井法是目前比较先进的施工工艺。反井法施工分两步进行,先用天井钻机自上而下钻直径 28cm 的导孔,然后用反井钻机自下而上钻孔,第一次扩孔直径 140cm,第二次再用钻爆法扩成直径 350cm 的卸渣孔,然后自上而下用钻爆法扩挖到设计断面。竖井的出渣、排水均从先期打通的风道及主隧道通过。用反井法减少了大量的提升出渣工作量,效果较为满意。2 号竖井(井深 664m,直径 11.5m)采用正井法施工,采用了大型伞钻、稳车和提升设备,月进尺达到了 78m,创造了公路竖井开挖的世界纪录。

### 2. 批准概算和实际投资

本项目全长 21.185km,交通部<sup>①</sup>批准概算 31.93 亿元,其中:第一部分建筑安装工程费 22.82 亿元,1.09 亿元/双幅公里;第二部分设备购置费 3.75 亿元;第三部分工程建设其他费用 3.72 亿元,包含建设期贷款利息 1.78 亿元;预留费用 1.42 亿元。

实际建设总投资 31.40 亿元,其中引线 2.48 亿元,管理区等房建 0.5 亿元,主隧道 28.42 亿元。在主隧道 28.42 亿元中,竖井工程 2.84 亿元,机电工程 6.90 亿元,主隧道土建工程 18.68 亿元,折合

<sup>①</sup> 交通部现已更名为交通运输部。

5 183万元/单洞公里。

### 三、建设、研究和咨询

#### 1. 参建单位

建设单位:陕西省交通建设集团公司秦岭终南山公路隧道分公司

设计单位:中铁第一勘察设计院,重庆交通科研设计院有限公司

土建工程施工单位:中铁一局集团,中铁五局集团,中铁十二局集团,中铁十八局集团

路面工程施工单位:中路通(北京)隧道工程有限公司(现更名为中交一公局桥隧工程有限公司)

竖井施工单位:中铁二十一局三公司,中交隧道工程局有限公司,中铁二十局二公司

土建工程监理单位:山西省交通建设工程监理总公司,西安方舟工程咨询监理有限责任公司

机电工程施工单位:

中铁隧道股份有限公司 水消防安装

亿阳信通股份有限公司 通信管道

西安辉煌软件信息产业有限公司 消防、火灾报警

中铁三局集团电务工程有限公司 供配电(东线)

中化二建集团电仪安装工程公司 供配电(西线)、电力监控

上海电器科学研究所(集团)公司 风机、桥架安装

北京瑞华赢科技发展有限公司 监控系统

深圳高力特通电器公司 照明(东线)

西安汉森电器工程公司 照明(西线)

大连恒为电子有限公司 广播、紧急电话

机电工程监理单位:西安金路交通工程科技发展有限公司,陕西金盾消防工程事务所

#### 2. 调研考察

本项目在建设前期对国内外特长隧道进行了广泛调研。对日本、美国、奥地利、德国、挪威等欧美国家的特长隧道进行实地考察,吸取了欧洲3起隧道大火灾经验教训,借鉴先进的控制模式、多种通风方式和照明方式等技术。

成立由孙钧、王梦恕、郑颖人、钱七虎等4位院士领衔的13位专家组成的秦岭终南山公路隧道专家技术委员会,对设计标准和重大技术问题把关和技术咨询。

#### 3. 关键技术研究

交通部立项开展了《秦岭终南山特长公路隧道关键技术研究》,由陕西省公路局组织,长安大学、西南交通大学、重庆交通科研设计院有限公司、厦门市路桥管理有限公司、中铁西南科研设计院等8个单位近百名专家、教授和科技工作者,开展了特长隧道通风、防灾救援、监控、定额、环保、运营管理、信息等7个方面的课题研究,其中运营通风技术、防灾救援技术、监控技术已有多项成果通过专家鉴定,达到了世界领先水平。研究成功指导和解决了设计、施工和运营管理中的各类问题,提升了工程项目的技术水平。

邀请了香港柏成公司、瑞士瓦特公司、挪威辛泰夫公司和北京交通科研院等4家知名公司对运营安全等技术方面进行了多次交流和咨询,并委托挪威辛泰夫公司对照明效果进行模拟测试和验证,使设计达到了国际先进水平。

## 第二节 项目主要功能及特点

### 一、隧道主要功能

秦岭终南山公路隧道设计有非常完善的机电设施,包括通风、照明、消防、通信、监控、交通控制、供

配电和防灾救援八大系统;开发应用了自动化程度很高的策略管理软件,创造了许多世界之最,成为我国公路隧道标志性工程。

### 1. 通风

采用射流风机和轴流风机相结合的3竖井纵向分段送排式通风技术。3个竖井把隧道分为4段,从西安至安康方向,通风区段长度分别为:3 781m、4 461m、4 948m、4 830m,竖井高度分别为191m、664m、392m,井径分别为10.8m、11.2m、11.5m(图1-2),竖井下方设大型地下风机厂房。

隧道内安装射流风机72组共144台,每台功率22kW,3个竖井共安装轴流风机32台,排风机15台,送风机17台,功率从132~450kW不等。

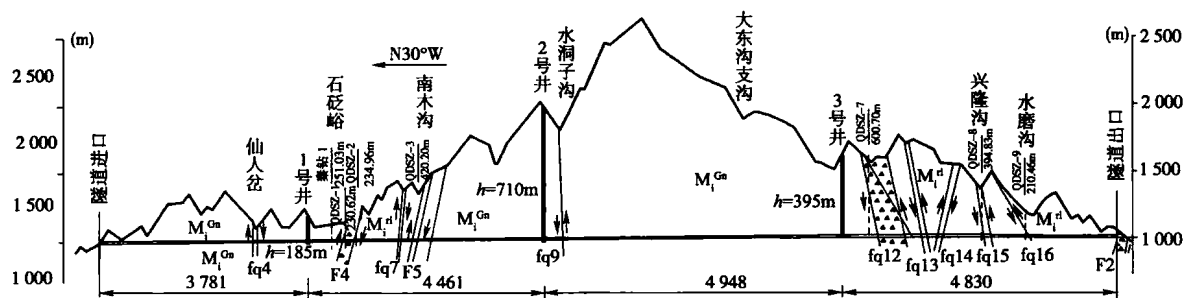


图1-2 竖井示意图(尺寸单位:m)

通风主要按照正常运营和火灾工况下通风需要设计。正常运营按交通量计算需风量,2025年交通量 $N=25\,849$ 辆/日,2035年交通量 $N=45\,000$ 辆/日;2025年以前需风量主要为换气控制;2025年以后需风量主要为稀释烟尘控制。火灾工况下,通风分疏散救援阶段和灭火阶段,疏散救援阶段通风以控制风量分配为主,火灾区域洞内风速按 $2.0\sim 3.0\text{m/s}$ 控制。灭火阶段通风以控制温度分布为主。

### 2. 照明

基本照明以高压钠灯为主,灯具安装于隧道侧壁,中间段灯间距按10m布置,每4盏基本照明灯具中有1盏为应急照明灯具。为消除进入隧道产生“黑洞”效应及驶出隧道时的“白洞”效应,在隧道入口段、过渡段、出口段根据不同亮度要求设置加强照明。

在隧道两侧道沿,距地面0.25m处设LED轮廓诱导灯,间距15m,正面白色,反面红色。距地面0.8m处设疏散指示灯,间距为10m。

### 3. 消防

隧道双线各铺一路消防干管,通过人行横通道连接,形成消防供水管网。

隧道内配置消防设备箱,间距50m,箱内配备手提式灭火器和标准消防接口(水接口和水成膜接口),在消防箱旁边,设消防报警按钮,可按下按钮报警。

隧道南口山上设有 $1\,000\text{m}^3$ 独立消防水池,双管道布设,保证6h消防用水。

隧道公司成立专职消防队,配备5辆消防车、10辆消防摩托车和1辆救护车,在隧道南、北口和14号行车横通道处24h执勤,保证最短时间到达火灾现场灭火和救援。

### 4. 通信

信号传输采用工业以太网,系统结构采用双纤自愈环,系统具有很高的可靠性。

隧道内每150~200m设一处紧急报警电话,按下按钮即可与监控中心通话,监控中心计算机可识别任何一部报警电话的编号、地点和呼叫起止时间。

移动、联通手机信号在隧道内全线覆盖。

隧道内设有有线广播系统,每隔50m设置1台扬声器,由监控中心控制,紧急情况下可指导车辆、人员自救或疏散。

### 5. 监控

监视:隧道每125m安装1套枪式固定摄像机,全线安装288套,实现无盲区监控。

视频事件检测:每250m安装1套视频事件检测器,全线安装144套,隧道任何区段发生交通异常都能自动报警。

空气检测:隧道全线布设60套CO/VI和风速风向检测设备,通过对CO和空气能见度的检测,控制风机的启动和关闭。

火灾报警:西线全线采用武汉理工光科股份公司光栅光纤火灾报警系统,东线全线采用SIEMENS拉曼光纤火灾报警系统,如发生火灾,可实现自动报警。

委托北京瑞华赢科技发展有限公司和重庆交通科研设计院有限公司开发应用了先进的策略管理系统,通过计算机对通风、照明、环境参数和交通状况等实时动态监测。报警管理系统接到报警信号后,通过声光报警器自动进行报警提示,中心控制计算机根据事件类型、规模和发生地点自动生成控制策略程序,并通过监控员确认后发布实施,保证隧道照明、通风、交通控制系统联合启动。

## 6. 交通控制

隧道设置可变情报板13块。其中F式情报板1块,位于小青岔隧道入口;门架式情报板2块,位于西线青岔隧道入口和东线主隧道入口;悬挂式情报板10块,主隧道东、西线各5处,约每3km设置1块。

隧道安装交通指示灯2组,分别位于南、北洞口。

隧道内共有车道指示器56组,每组两个,位于每个车行横通道处及南、北洞口;共有转向器52个,位于每个车行横通道处。

隧道设限速标志3处,分别位于小青岔隧道入口和主隧道东、西线入口。

## 7. 供配电

隧道南口建有110kV专用变电所,两条专用线路供电,配置双变压器,一级保护。隧道内设置3处35kV变电站和13处10kV变电站,均为双回路供电;同时配备UPS和EPS备用供电系统,计算机等不可断电设备接UPS;应急照明灯、LED轮廓诱导灯、LED疏散诱导灯和移动、联通通信设备接EPS,确保在发生突然断电时,备用供电系统向重要负荷供电,保证隧道安全正常运行。

## 8. 防灾救援

隧道南、北两端分别设有安全检查站,严禁运输易燃、易爆等危险品车辆通行隧道,严禁超重、超长车辆通行。隧道限速70km/h。

及早发现火情:隧道全线布设感温光纤发生火灾自动报警,发现火情可利用消防报警按钮手动报警,也可利用隧道报警电话报警,还可使用手机拨打报警电话报警。

接到报警信号,监控员确认后启动相应的紧急预案。

监控中心计算机自动生成策略程序,启动火灾模式:隧道照明全部开启;火灾区域风速控制在2~3m/s,保证火灾前方车辆顺利逃生,烟雾不倒流,不危及火灾后方人员;情报板和交通信号灯以及疏散标志进入相应的疏散模式;有线广播指挥人员逃生。

消防、交警、路政和医护人员实施灭火、交通管制和救援。

火灾情况下,关闭两个隧道,只准车辆出,不准车辆进;火灾前方车辆继续驶出,火灾后方着火点附近的车辆和人员以弃车逃生为主;先半开行车横通道门,人员弃车从横通道逃入非火灾隧道;非火灾隧道车辆腾空后,开启距着火点最近的第一个行车横通道门,隧道管理人员和警察疏导车辆和人员进入非火灾隧道,然后开启第二个横通道,依次疏导车辆和人员。人员和车辆进入非火灾隧道后,立即关闭横通道门,防止烟雾进入非火灾隧道。

## 二、项目特点

秦岭终南山公路隧道在山岭公路隧道中长度排世界第二位,总规模长度排世界第一,在我国公路隧道建设史上尚属首次,我国乃至世界缺少修建这样特长高等级隧道的资料和经验。为了提高设计质量和保证建成一流的隧道工程,针对本工程的关键技术难点开展了科研攻关和国内外技术咨询及技术交流,组织了数家科研院校等单位的近百名专家开展专题工程科研,多次组织到国内外进行类似工程的考

察调研和与国外公司的技术交流、咨询,重大设计项目 and 设计标准都得到了专家委员会的评审和技术咨询,这些卓有成效的工作为设计提供了可靠的技术支持,有些研究成果已取得重大突破,确保了隧道的顺利贯通和工程质量。

### 1. 修建超特长公路隧道技术难度大

秦岭终南山公路隧道是一座超长的世界级山岭公路隧道,其长度、规模在中国尚属首次,现有的资料较少,在设计、施工、科研、运营管理等方面缺少建设经验。建设初在中国建成的最长高速公路隧道仅4km;亚洲建成的最长公路隧道为日本关越隧道,长度10.9km,双洞单向4车道;世界上建成的最长公路隧道为挪威莱多尔隧道,长度24.5km,单洞双向双车道。由此可以看出,我国要建设18km的超长山岭公路隧道其难度非常大。最突出的难题集中在方案拟订、运营通风、监视和控制、防灾救援和运营管理等。针对本工程的关键技术难点开展了专题工程科研、国内外技术咨询及技术交流,多次组织到国内外进行类似工程的考察调研,成立的专家委员会对设计标准进行了评审和技术咨询。这些工作为隧道建设提供了可靠的技术支持,确保隧道的顺利建设。

### 2. 利用铁路隧道资源修建公路隧道

西康铁路秦岭特长隧道长18.46km。铁路秦岭特长隧道Ⅰ线于2001年初投入运营。Ⅱ线采用宽4.8m的平行导坑开挖,于1998年3月已贯通。根据设计预测,2004年其运输能力已不能满足要求,Ⅱ线须开通。Ⅱ线平导扩大成为单线隧道于2000年8月底开工,2004年开通运营,工期约3.5年。根据铁路秦岭隧道的建设情况,平行导坑扩大成铁路Ⅱ线隧道工期较为富余,利用铁路隧道Ⅱ线平导进行施工18km左右的公路秦岭特长隧道,可利用铁路隧道已查明的地质资料,现有的建设队伍可以就地施工,利用铁路临时工程,达到长洞短打、节省投资、缩短工期的目的。利用已经贯通的西康铁路秦岭隧道H形平导,将18km隧道分为22段,多开工作面长隧短打,节省投资约3.54亿元,缩短建设周期2.5年。

### 3. 工程科研提供技术支撑

针对本隧道的技术难点,成立《秦岭终南山特长公路隧道修建技术研究》项目,开展课题研究。以研究成果作工程技术支撑,提升工程的技术水平。科研和设计、施工紧密结合。本项目科研紧密围绕设计和施工中遇到的实际问题,展开广泛深入的研究,并用阶段性成果指导设计和施工,使研究和设计相互促进,不断完善和提高,达到了世界先进水平。

### 4. 先进的建设管理模式

小业主、大咨询的管理模式充分体现了管理人员少而精,技术咨询广而深的特点。

### 5. 科学咨询提供技术保证和把关

为了慎重决策技术问题,本项目成立了由孙钧、王梦恕、郑颖人、钱七虎4位院士组成的秦岭终南山公路隧道专家委员会,对重大设计项目 and 设计标准进行把关和技术咨询。先后进行了三次重大会议,对隧道的技术标准、行车横通道的设置间距、运营通风方式、卫生和安全标准、支护结构形式、机电控制、照明方式等方面进行把关和技术咨询。充分发挥了全世界学者、专家的作用。对于涉及设计标准、运营安全等重大技术问题都邀请国内外咨询单位和专家技术委员会反复研究论证,保证了高质量的决策。

邀请三家国外咨询公司进行技术交流和咨询。香港柏成公司、瑞士瓦特公司、挪威辛泰夫公司分别对运营通风、监控、防灾救援、供配电、照明、运营管理技术进行交流和咨询。

对国内外特长隧道进行调研,分别对日本、美国、奥地利、德国、挪威等欧美国家的特长隧道进行实地考察,从感性认识到专题研究,逐步取得了较多的经验和教训,如欧洲三起隧道大火灾教训、较先进的控制模式、多种通风方式和照明方式等。多次进行专题研究和专家审查咨询,如机电技术专题交流,与国内外知名厂商相互交流技术信息;竖井的设计和施工;通风、控制、照明专家咨询会等。

### 6. 艰险山区修建特长隧道的综合选线技术

秦岭山区地形复杂,山峦叠嶂,植被茂密,人烟稀少。地质条件十分复杂,岩层软硬交替,硬岩以片麻岩、花岗岩为主,抗压强度平均达200MPa以上;软岩以断层泥砾、变质岩为主。主要不良地质现象表现为高地应力引起的岩爆、大变形、突然涌水和高地温,分布有几十条断层,其中有2~3条较大的区域

性活动大断裂。选线中首先应查明各种地质条件对工程的影响,选择最佳的隧道方案,制订科学、稳妥的对策。在选线和勘察中采用了多种先进技术手段开展工作,首次在国内采用了卫星定位技术进行无通视测量,采用了大地音频测深技术、钻探、物探勘探、遥感等腰三角形立体化综合勘探技术和地应力测试技术,在  $460\text{km}^2$  范围内进行综合勘察选线,查明了该地区全部越岭垭口的地质条件,累计研究各种有价值的线路方案  $700\text{km}$ ,最后选定了地质条件最好、线路走向较短、对自然环境影响最少的石砭峪垭口作为主隧道的越岭通道,这一成果在中咨公司组织的全国性专家评审中得到高度肯定。

### 7. 山区修建公路的环境保护技术

隧道经过的山区是陕西省重要的自然保护区,其山岭主峰牛背梁有许多国家重点保护的珍贵动植物,而石砭峪河流也是西安市重要用水的水源之一。为了使隧道和引线工程的建设尽可能减少对环境的影响,在选线过程中,共研究了不同高程、不同长度共 5 个隧道方案的比选,同时针对由  $9\text{km}$  到  $18\text{km}$  各方案的隧道加强了水文地质和环境评价、地质灾害的研究和勘察工作。经充分论证后,利用已建成的铁路隧道的平行导洞及相关施工设施作为公路隧道施工组织的重要支撑,从节约投资,缩短工期,降低建设风险和减少对自然环境的影响等多方面综合比较后,采用了  $18.02\text{km}$  的长隧道方案,使进口的高程降低在  $900\text{m}$  以下,出口高程控制在  $1\,000\text{m}$  左右,正常地下涌水控制在  $2\text{万 m}^3/\text{昼夜}$  以内。设计中对施工废水、废渣都进行了处理和防护,并在山区为农民造地近百亩,公路越岭高程降低到  $1\,000\text{m}$  以下,极大地改善了雨雪气候对行车安全的影响,使西安—柞水的公路里程缩短了  $60\text{km}$  左右,提高了运输效率,减轻了山区修建公路对环境造成的不良影响,对保护秦岭地区的生态环境起到了积极作用。

### 8. 深埋大直径通风竖井技术

运营通风是特长公路隧道的关键设计内容,而通风方式是十分复杂的综合技术。在科技攻关的支持下,本隧道最终选取用了简单、可靠、节能、环保的竖井分段纵向式通风方式,而通风竖井及地下通风站就成了建设中的关键技术。在科研单位有效的科研支持下,广泛研究了国内外相关工程实践经验和成果,在结合了铁道、煤炭、矿山、冶金等行业的技术成果和国内知名风机供应商的技术指标后,在多种竖井方案比选的基础上,确定了设置 3 座通风竖井,最深的竖井深度超过  $661\text{m}$ ,最大竖井直径达  $11.5\text{m}$ ,每个竖井下方均设有大型地下风机厂房,竖井的工程规模和通风控制系统在国内是首创,在世界上也十分罕见。

### 9. 特长隧道的安全控制技术

安全控制技术是涉及防灾救援、照明、监控、供配电、消防等多种专业的技术,是一项十分庞大的系统工程。在设计、科研、业主等单位的共同努力下,已经完成了全部专项课题论证,全面开展了试验和理论研究,部分成果已经应用在设计中,其综合研究成果和系统设计达到了世界先进水平,许多技术在国内属于首创。

### 10. 为特长公路隧道的建设奠定科学基础

通过秦岭终南山路隧道的设计、施工、科研、建设管理,到目前为止,已经为我国公路隧道的建设积累了较丰富的经验、资料,为公路隧道的建设奠定了科学基础。在公路特长隧道、海底隧道、城市隧道等方面亦有一些借鉴经验。秦岭终南山隧道已解决的技术难题成果也可以在其他隧道的建设中得以应用。

### 11. 运营管理与养护作为隧道安全畅通的保障

特长公路隧道的管理与养护内容非常多,涉及面非常广,难度也很大,国外可借鉴成功经验较少,国内的研究尚属空白。运用现代先进管理科学理念和方法,结合终南山公路隧道的实际,建立了一套有效、完备、先进的管理与养护系统,保障隧道安全、畅通运营。