

**2006**

**中国高速铁路隧道  
国际技术交流会论文集**

**Proceedings of 2006 China International Symposium  
on High Speed Railway Tunnels**

铁道部工程设计鉴定中心 编  
中铁西南科学研究院

---

**中国铁道出版社**  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

---

# **2006 中国高速铁路隧道 国际技术交流会论文集**

**Proceedings of 2006 China International  
Symposium on High Speed Railway Tunnels**

铁道部工程设计鉴定中心 编  
中铁西南科学研究院

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 6 年 · 北 京

## 内 容 简 介

本书收录了“2006 年中国高速铁路隧道国际技术交流会”论文 57 篇,内容涉及高速铁路隧道的设计、施工、监理、运营管理各个领域和环节,集中了国内、外高速铁路建设方面专家、学者及工程技术人员的大量研究成果和实践总结,具有广泛的代表性,对中国铁路客运专线建设和世界高速铁路建设都具有借鉴意义。

## 图书在版编目(CIP)数据

2006 中国高速铁路隧道国际技术交流会论文集/铁道部工程设计鉴定中心, 中铁西南科学研究院编. —北京:中国铁道出版社,2006. 11

ISBN 7-113-07544-4

I. 2… II. ①铁…②中… III. 高速铁路-铁路隧道-隧道工程-中国-国际学术会议-文集-汉、英 IV. U459. 1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 130943 号

书 名:2006 中国高速铁路隧道国际技术交流会论文集

作 者:铁道部工程设计鉴定中心,中铁西南科学研究院

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑:傅希刚

责任编辑:时 博 傅希刚 编辑部电话:(010)51873141

封面设计:冯龙彬

印 刷:北京佳信达艺术印刷有限公司

开 本:880 mm×1 230 mm 1/16 印张:42 字数:1344 千

版 本:2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-113-07544-4/TU·859

定 价:180.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:(010)51873169



# 前 言

高速铁路是铁路现代化的重要标志。自 1964 年世界第一条高速铁路日本东海道新干线开通以来,世界高速铁路快速发展,截至 2005 年底,全世界已开通运营的时速 250 公里以上高速铁路里程达 6400 公里。高速铁路建设为世界铁路的发展注入了强大的生机与活力。

本世纪头二十年是中国开展大规模铁路建设时期,也是中国高速铁路快速发展时期。按照《中长期铁路网规划》和《铁路“十一五”规划》,到 2010 年,中国铁路营业里程将达到 90 000 公里以上,其中新建客运专线铁路 7 000 公里,实施时速 200 公里既有线提速改造 13 000 公里,快速客运网总规模达到 20 000 公里以上,中国铁路网的质量和能力的跃上一个新的台阶。

高速铁路行车速度高,对基础设施建设标准要求高,线路曲线半径要求大,因而建设高速铁路必然会出现大量的隧道工程,必须要解决好隧道这一关键性技术难题。按照“四纵四横”客运专线规划,中国铁路网在建和拟建的客运专线和高速铁路项目中,隧道总长度将超过 1 000 公里。能否搞好高速铁路隧道建设,将直接关系到《中长期铁路网规划》的实施,关系到中国铁路现代化目标的实现。

为适应中国大规模铁路建设和高速铁路建设需要,推动对高速铁路隧道建设重大问题的研究、探索和交流,铁道部工程设计鉴定中心、铁道部国际合作司联合牵头,铁道第三勘察设计院、中铁西南科学研究院、铁道部工程管理中心、中国铁道学会协助,共同组织筹办了 2006 年中国高速铁路隧道国际技术交流会。我们邀请了近 300 位来自国际、国内高速铁路建设方面的专家、学者及工程技术人员参加会议,拟以高速铁路隧道建设为主题,对高速铁路隧道设计、施工、管理等问题进行广泛深入的研讨和交流,期望本次国际技术交流会能对中国铁路客运专线隧道建设提供有力的技术支持和有益的借鉴。

为使学术成果得到更为广泛的交流和应用,我们从会议征集到的 90 多篇论文中选择了 57 篇,编辑成《2006 中国高速铁路隧道国际技术交流会论文集》。这些论文涉及高速铁路隧道的设计、施工、监理、运营管理等各个领域和环节,既有对世界高速铁路隧道建设技术总体趋势的分析,也有对中国铁路隧道建设技术发展方向展望;既有对国外高速铁路隧道建设成功经验的介绍,也有对国内正在

设计建设的客运专线隧道实践的总结;既有一些技术层面的深入探讨,也有一些前瞻性的理性思考。总之,这些论文具有很强的针对性、实用性和理论性,代表和反映了当今人类对高速铁路建设特别是高速铁路隧道建设的认识水平和最新成果,对于中国铁路客运专线建设和世界高速铁路建设都将具有十分重要的借鉴意义。

需要特别说明的是,这些论文主要来自目前世界上掌握高速铁路建设技术的国家和地区,作者中既有长期从事高速铁路隧道技术研究的专家、学者,也有来自高速铁路隧道建设实践一线的工程技术人员,具有广泛的代表性。

在本书的编辑过程中,我们得到了铁道部领导的亲切关怀和国际隧道协会的大力支持,同时我们还特别聘请了由部分专家组成的学术委员会对论文进行了最终阅读和把关,在此一并表示衷心的感谢。由于时间紧迫,在编校、出版过程中难免有疏漏之处,敬请读者谅解和指正。

编 者

2006 年 11 月



# 目 录

## 综 述

|                                                                   |                 |    |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------|----|
| 中国铁路隧道建设技术的发展 .....                                               | 何华武             | 1  |
| Environmental, Cost and Safety Challenges                         |                 |    |
| to Large-Scale Tunnel Schemes .....                               | Harvey W.Parker | 11 |
| 大型隧道工程面临环境、成本和安全方面的挑战 .....                                       | Harvey W.Parker | 17 |
| 中国是世界上隧道最多、发展最快、地质条件和结构形式最复杂的国家 .....                             | 王梦恕             | 22 |
| 中国高速铁路隧道主要技术标准和关键技术 .....                                         | 赵 勇 唐国荣 倪光斌 武 赞 | 27 |
| 铁路客运专线隧道设计咨询中问题的探讨 .....                                          | 张 梅 肖广智 韩贺庚     | 35 |
| Key Aspects of Long and Deep Tunnelling: Excavation Technologies, |                 |    |
| Risk management and Safety .....                                  | Michael Rehbock | 41 |
| 深埋长大隧道掘进的关键因素: 开挖技术, 风险管理和安全问题 .....                              | Michael Rehbock | 48 |
| 郑西铁路客运专线大断面黄土隧道施工管理有关问题的探讨 .....                                  | 王晓州             | 54 |
| 高速铁路隧道项目管理 .....                                                  | 王春生 王树强 贺廷西 赵 勇 | 61 |

## 空气动力学

|                                                                                   |                                                |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----|
| 高速铁路隧道空气动力学若干问题探讨 .....                                                           | 王建宇                                            | 74  |
| Effectiveness of Pressure Relief Shafts-full Scale Assessment                     |                                                |     |
| ..... Bernd Hagenah, Peter Reinke, Alan Vardy                                     |                                                | 87  |
| 高速铁道隧道减压竖井的作用 .....                                                               | Bernd Hagenah, Peter Reinke, Alan Vardy        | 96  |
| Aero and Thermodynamic Models for Emergency Air Flow Simulations                  |                                                |     |
| in the Gotthard Base Tunnel .....                                                 | Dipl.-Ing. Reto Buchmann, Dr.-Ing. Ralf Wetzel | 104 |
| 用于圣哥达山底隧道中紧急情况下空气流模拟的空气动力学和热力学模型                                                  |                                                |     |
| ..... Reto Buchmann, Ralf Wetzel                                                  |                                                | 113 |
| Reducing the Consequences of an Emergency Situation in the World's Longest Tunnel |                                                |     |
| ..... Dr. -Ing. Ralf Wetzel, Dipl. -Ing. Reto Buchmann                            |                                                | 121 |
| 在世界上最长的隧道内降低紧急情况带来的影响 .....                                                       | Ralf Wetzel, Reto Buchmann                     | 131 |
| 时速 200 km 单线铁路隧道洞口缓冲结构研究 .....                                                    | 郑长青 赵万强 喻 渝 陈赤坤                                | 140 |

# 设计

## 郑西客运专线大断面黄土隧道设计与施工技术要点

..... 梁文灏 李国良 杨国柱 李 雷 147

## High Speed Railway Tunnels: Complexity of the Design,

Know-HOW and Know WHY ..... Rudolf Pöttler 162

高速铁路隧道:设计的复杂性、关键技术及其原因 ..... Rudolf Pöttler 175

太行山隧道工程设计 ..... 王立暖 索晓明 马志富 187

## A Methodology for the Geotechnical Design of Long High Speed Railway

### Tunnels under the Conditions of Uncertainty

..... Piergiorgio GRASSO, Shulin XU, Moreno PESCARA, Giordano RUSSO, Luca REPETTO 196

在不确定条件下高速铁路长隧道的岩土力学设计方法 ..... 217

## Tunnel Design and Construction Experience for High Speed

Railways in Austria ..... Harald Wagner 236

奥地利高速铁路隧道设计和施工经验 ..... Harald Wagner 242

## Constitution and Facilities of Long Railway Tunnel at Great Depth in JAPAN

..... Eijiro TAMURA, Akifumi SHIMODA, Hiroaki OZAWA, Minoru SHIMOKAWACHI 248

日本长大铁路隧道的构成和设备 ..... 田村荣二郎 下田哲史 小泽启明 下河内稔 255

石太客运专线南梁隧道超大断面设计研究 ..... 马志富 朱国伟 刘惠敏 262

广深港客运专线狮子洋水下隧道设计中的几个关键技术问题 ..... 肖明清 269

## Gotthard Base Tunnel in Switzerland Focus on the Design Procedure and

some Particular Project Features ..... Walter Schneebeil, Uwe Jäger, Willy Gehriger 276

## 瑞士圣哥达山底高速铁路隧道设计程序和工程特点

..... Walter Schneebeil, Uwe Jäger, Willy Gehriger 288

勒奇山山底隧道的设计和施工 ..... 陈景文 300

The Loetschberg Base Tunnel-First Lessons ..... Francois Vuilleumier 319

勒奇山山底隧道的经验教训 ..... Francois Vuilleumier 327

合(肥)武(汉)铁路大别山隧道设计优化 ..... 吴建军 贾华强 戴建龙 335

## Design and Construction of Mountain Tunnels in Taiwan High Speed Railway-Taiwan

High Speed Railway Contract C210 and C215- ..... Toru Matsuno, Tetsuji Yamamichi 343

## 台湾高速铁路 C210 和 C215 合同标段山岭隧道的设计与施工

..... Toru Matsuno, Tetsuji Yamamichi 355

## 关于韩国高速铁路隧道支护系统及施工方法的考察

..... 金承烈 孙炳斗 金炳镐 李涓穆 朴致勉 366

北京某铁路隧道大直径盾构技术研究 ..... 张继清 王立暖 杨毅秋 李爱东 376

## Introductory Tunnel Design-Lining Types and Selection A Case History

|                                                             |                                   |     |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----|
| of Large Span Soft Ground Tunnel Design .....               | B.F.Townsend,C.R.Speers,H Lager   | 388 |
| 隧道衬砌类型与选择 .....                                             | B.F.Townsend,C.R.Speers,H Lager   | 394 |
| 大断面客运专线隧道衬砌设计浅析 .....                                       | 谭永杰                               | 399 |
| 客运专线隧道细部设计 .....                                            | 陈赤坤                               | 407 |
| 客运专线大跨黄土隧道支护参数及受力研究 .....                                   | 宋超业 周书明 张洪威                       | 415 |
| 隧道单层衬砌受力机理研究 .....                                          | 张俊儒 仇文革 郭宏博 胡 辉                   | 422 |
| 高速铁路隧道结构在动荷载列作用下的动力响应分析 .....                               | 黄 娟 彭立敏 杨伟超                       | 428 |
| Waterproofing and Drainage Design for the Goldberg Tunnel   |                                   |     |
| ..... Dipl.-Ing.Franz Starjakob,Dipl.-Ing.Johannes Benedikt |                                   | 435 |
| Goldberg 高速铁路隧道防排水设计 .....                                  | Franz Starjakob,Johannes Benedikt | 440 |

## 施 工

## Excavation, Using TBM, of the Longest Railway Tunnel

|                                                                                             |                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----|
| of the World Concepts and Experiences .....                                                 | Andreas HENKE                                     | 445 |
| 采用掘进机开挖世界上最长铁路隧道的理念与经验 .....                                                                | Andreas HENKE                                     | 453 |
| On the Choice of Optimal Method for the Excavation of Long High Speed Railway               |                                                   |     |
| Tunnels at Great Depth .....                                                                | Piergiorgio GRASSO, Shulin XU, Giampiero CARRIERI | 460 |
| 高速铁路深埋长隧道最优施工方法的选择                                                                          |                                                   |     |
| ..... Piergiorgio Grasso, Shulin Xu, Giampiero Carrieri, Vittorio Guglielmetti, Fabio Rizzo |                                                   | 480 |
| 大断面湿陷性黄土隧道施工技术                                                                              |                                                   |     |
| ..... 王晓州 赵永明 王庆林 初厚永 马中海 王许雄 李 雷                                                           |                                                   | 497 |
| 大断面黄土隧道快速掘进施工方法研究 .....                                                                     | 霍玉华 王晓州 孟飞彪 鲍海荣                                   | 510 |
| 软弱破碎围岩超大断面隧道施工方法的探讨 .....                                                                   | 王立川 阳军生                                           | 518 |
| 浅谈铁路客运专线大断面隧道开挖方法选择 .....                                                                   | 罗 琼 孙兆远 耿 伟 焦 苍                                   | 525 |
| 大别山特长隧道施工技术问题及思考 .....                                                                      | 阮清林 蒋 肃 贾华强                                       | 534 |
| 关于京釜高速铁路隧道工程施工考察 .....                                                                      | 李良相 卢炳国 尹浩硕 李东德 吴诚洙                               | 541 |
| HSR Tunnel Construction and Design Monitoring Hukou HSR Tunnel-A Case History               |                                                   |     |
| ..... Bradford F.Townsend, Colin Speers                                                     |                                                   | 551 |
| 高速铁路隧道施工与设计监理——湖口高速铁路隧道案例                                                                   |                                                   |     |
| ..... Bradford F. Townsend, Colin Speers                                                    |                                                   | 558 |
| The Hard Rock TBMs for the World Longest Railway Tunnel St.Gotthard, Switzerland            |                                                   |     |
| ..... Dr.Ulrich Rehm                                                                        |                                                   | 565 |
| 世界最长的瑞士圣哥达山底隧道硬岩隧道掘进机的经验 .....                                                              | Ulrich Rehm                                       | 570 |
| BEAM-Bore-Tunnelling Electrical Ahead Monitoring for TBM                                    |                                                   |     |

|                                                               |             |     |
|---------------------------------------------------------------|-------------|-----|
| and Drill & Blast Drivages .....                              | Thomas Kopp | 574 |
| BEAM 系统在高速铁路隧道施工地质超前预报中的应用 .....                              | Thomas Kopp | 582 |
| TBM 在客运专线隧道施工中的应用分析 .....                                     | 陈 馈         | 589 |
| 客运专线超大断面隧道不同工法引起围岩变形机理分析<br>..... 焦 苍 罗 琼 孙兆远 刘建平 耿 伟 李 波 梁 东 |             | 594 |
| 红石岩瓦斯隧道涌出机理试验研究及施工对策<br>..... 奚正巧 焦 苍 罗 琼 耿 伟 罗占夫 梁 东         |             | 598 |
| 乌鞘岭特长隧道特殊地质段施工关键技术 .....                                      | 张金柱         | 604 |
| 湿喷技术的应用前景 .....                                               | 罗朝廷         | 612 |

## 防灾及其他

|                                                    |                 |     |
|----------------------------------------------------|-----------------|-----|
| 太行山隧道运营通风和防灾通风技术研究 .....                           | 杨智华             | 621 |
| 高速铁路岩溶隧道突发地质灾害防治技术研究 .....                         | 梅志荣 马士伟 李苍松     | 629 |
| 高速铁路隧道客车火灾时人员安全疏散研究 .....                          | 谢宝超 徐志胜         | 636 |
| 谈高速铁路隧道洞门设计 .....                                  | 仇文革 章慧健 毕海权 雷 波 | 642 |
| The New Direction of Tunnel Survey Technique ..... | Xiao Shu'an     | 648 |
| 隧道测量技术的发展新方向 .....                                 | 肖书安             | 653 |
| 客运专线隧道接触网预埋滑槽施工工法 .....                            | 鲍海荣 郭银新         | 658 |



# 中国铁路隧道建设技术的发展

何华武

(铁道部, 北京 100844)

**摘要:**回顾中国铁路隧道建设的历程,系统介绍运营隧道、在建隧道和规划(拟建)隧道建设技术的发展,全面展示隧道建设的技术进步,提出中国铁路隧道建设技术发展的方向。

**关键词:**铁路隧道;技术进步;创新;发展

## 1 概 述

据不完全统计,中国自 1949 年 10 月至 2005 年末的半个多世纪以来,共建成铁路隧道 6 874 座、总延长 4 158 km,连同此前修建的 664 座、总延长 156 km 的铁路隧道,现中国铁路建成的隧道达 7 538 座、总延长 4 314 km,其中,长度大于 5 km 的隧道有 53 座。2006 年 在建的隧道有 1 785 座、总延长 2 164 km,即将开工修建的高速铁路隧道约 146 座、长度约 184 km,规划修建的客货共线铁路隧道长度约 2 100 km,其中特长隧道约 760 km。这一组组生机勃勃的数字,足以显示中国铁路隧道光辉的历程和美好的发展前景。

## 2 运营隧道

### 2.1 运营隧道概况

截至 2005 年末,中国铁路建成的隧道数量如表 1 所示。

表 1 中国铁路建成的隧道数量

Table 1 Amount of railway tunnels built in China

| 时期(年)     | 建成隧道  |           | 末年建成隧道累计 |           | 建成 3 km 以上隧道 |    |     |              |              |
|-----------|-------|-----------|----------|-----------|--------------|----|-----|--------------|--------------|
|           | 座数    | 总延长(km)   | 座数       | 总延长(km)   | 座 数          |    |     | 其 中          |              |
|           |       |           |          |           | 单线           | 双线 | 合计  | 5~10 km 隧道座数 | 10 km 以上隧道座数 |
| 1888~1911 | 237   | 42.199    | 237      | 42.199    | 0            | 1  | 1   | 0            | 0            |
| 1912~1949 | 427   | 113.881   | 664      | 156.080   | 2            | 0  | 2   | 0            | 0            |
| 1950~1959 | 1 005 | 306.387   | 1 669    | 462.467   | 3            | 0  | 3   | 0            | 0            |
| 1960~1969 | 1 113 | 660.302   | 2 782    | 1 122.769 | 20           | 0  | 20  | 5            | 0            |
| 1970~1979 | 1 954 | 1 034.668 | 4 736    | 2 157.437 | 36           | 0  | 36  | 7            | 0            |
| 1980~1989 | 325   | 202.118   | 5 061    | 2 359.555 | 4            | 8  | 12  | 3            | 1            |
| 1990~1999 | 1 826 | 1 312.269 | 6 887    | 3 671.824 | 68           | 13 | 81  | 14           | 2            |
| 2000~2005 | 651   | 642.246   | 7 538    | 4 314.070 | 43           | 11 | 54  | 16           | 5            |
| 合 计       | 7 538 | 4 314.070 | —        | —         | 176          | 33 | 209 | 45           | 8            |

注:(1)建成隧道数量包括部分未交付运营及改建后功能调整的隧道。

(2)本表统计时由于中国台湾铁路建成隧道资料收集不全,仅列入其北回线、南回线和高速铁路长度大于 3 km 的 9 座隧道。

(3)截至 2005 年末,中国建成总延长 4 314 km 铁路隧道中,有 962 km(占 22.3%)为大于 3 km 的长隧道,且此 962 km 隧道有 31.3%是在 2000~2005 年间建成的。

**作者简介:**何华武,铁道部总工程师,教授级高级工程师。

## 2.2 铁路隧道修建技术的发展

铁路隧道的修建经历了从清末到现在近 120 年的时间,其建设技术的发展可谓是沧桑巨变。隧道控制测量,从使用光学经纬仪到使用光电测距仪,现已推广应用 GPS(全球定位系统)技术;地质勘探,从单纯钻探到利用遥感、物探和综合勘探;围岩分类,从按土石分类、以地层坚固性系数分类到以坑道围岩稳定性为基础的分类,后又改为围岩分级;围岩压力计算方法,从按垂直均布荷载为主到按马鞍形、偏载、局部集中荷载等形式计算;设计观念,从过去单纯依靠衬砌承载的观点,改变为主要依靠围岩,即充分利用围岩自身承载能力的观点;设计手段,从人工计算、手工绘图,发展到广泛应用 CAD(计算机辅助设计)技术;施工方法,从矿山法施工、采用导坑先行和分部开挖,到按新奥法原理设计与施工,尽量发挥围岩的自承作用,使围岩与支护成为一个整体共同工作,保持隧道的稳定;施工技术,从人工操作、小型机械化施工,逐步发展到配套成龙的凿岩装运、喷锚支护、衬砌模筑等机械化作业线,以及到 20 世纪 90 年代采用的全断面掘进机(TBM),使隧道的施工从“手工化”到“工厂化”。同时,建设标准也在不断提高,初期支护、混凝土衬砌、防排水、轨下结构、防灾救援、通风照明等技术都有不同程度的提高。

铁路运营隧道具有标志性的工程主要有大瑶山隧道、秦岭隧道、乌鞘岭隧道、风火山和昆仑山隧道。

### 2.2.1 大瑶山隧道

大瑶山隧道位于京广铁路衡(阳)广(州)段,全长 14 294 m,是中国目前已建成的最长的双线电气化隧道。大瑶山隧道的建成,是新奥法原理在中国铁路隧道修建中的成功典范,其科研、设计、施工技术开拓了一个新领域,是中国铁路隧道建设史上的一座里程碑。

大瑶山隧道于 1981 年 8 月正式开工,1988 年 12 月通车。隧道洞身地层以变质砂岩、板岩为主,中部班古坳地区,穿越泥盆系白云质灰岩、泥灰岩及砂岩,穿越大、小断层 14 条,其中 9 号断层影响带宽达 465 m,全隧道涌水量高达 5.1 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,地质条件复杂。隧道主体结构,在进出口局部浅埋偏压地段,采用整体模筑混凝土衬砌,其余地段采用复合式衬砌,初期支护与二次衬砌之间设 PVC 塑料板防水层。

隧道采用 3 座斜井,1 座竖井及部分平行导坑,分成 5 段 6 个工区施工。在围岩较好地段,使用 4 臂液压台车、装载机、载重汽车及全断面模板衬砌台车等大型机械。对于 9 号断层带,采用平行导坑排水降压、超前地质预报、周边浅孔预注浆等整套技术。全隧道最高年成洞 4 245 m,最高月成洞 521 m,单口最高月成洞 218 m,单口月开挖最高达 205 m,单口月衬砌最高达 303 m。

### 2.2.2 秦岭隧道

秦岭 I、II 线铁路隧道是 2 座平行的单线隧道,位于西安—安康铁路青岔站至营盘站区间,隧道全长 18 456 m,是 20 世纪中国最长的铁路隧道。该隧道于 1995 年 1 月开工,I 线隧道于 2000 年 5 月建成,II 线隧道于 2003 年 12 月建成。

秦岭 I、II 线隧道线间距为 30 m,进口 15.2 km 为 11‰ 上坡,出口 3.2 km 为 3‰ 下坡,隧道最大埋深 1 600 m。隧道地质构造复杂,断裂构造发育,主要的地质灾害有断层、涌水、高地应力、岩爆、高地热、高辐射等多种。隧道内采用弹性支承块式整体道床,铺设超长无缝线路。

秦岭 I 线隧道进、出口各采用 1 台 TBM 施工,II 线隧道先期以平行导坑贯通,为 I 线隧道提前探明地质条件,后期扩挖成 II 线隧道。I 线 TBM 掘进进口最高日进尺达 40.5 m,最高月进尺达 528.1 m;出口最高日进尺达 35.2 m,最高月进尺达 509 m。II 线隧道平导钻爆法施工进口最高月进尺达 456 m,出口最高月进尺达 426 m,全隧道大断面导坑单口平均月进尺为 250 m。

秦岭隧道建设中,设立有施工技术、地质研究、通风降温、弹性整体道床、特长隧道运营维护、环境保护综合治理等方面的科研项目,解决了设计施工中的许多难题。

秦岭隧道的设计与施工以“高起点、高标准、高速度、高效益,决策科学化、施工规范化、作业标准化、管理现代化”为指导方针,使中国隧道由钻爆法施工上升到采用敞开式全断面掘进机(TBM)施工的一个新台阶,标志着中国铁路隧道机械化施工跨入世界先进行列,在 20 世纪末为中国铁路隧道史树立起一座跨世纪的里程碑。

### 2.2.3 乌鞘岭隧道

乌鞘岭隧道位于兰新铁路增建二线兰州至武威段,全长 20 050 m,设计为 2 座单线隧道,线间距 40 m,隧



道净空满足双层集装箱运输条件,旅客列车设计行车速度为 160 km/h。隧道洞身在海拔 2 400 m 以上,最大埋深 1 100 m,穿越  $F_4$ 、 $F_5$ 、 $F_6$ 、 $F_7$  共 4 条区域性大断层组成的挤压构造带和长约 3 000 m 的高致密千枚岩地层,地质构造复杂、变异频繁,在高及极高地应力作用下,极易发生软岩大变形。

乌鞘岭隧道设计为 11‰ 的单面下坡,Ⅰ、Ⅱ线均采用钻爆法施工。Ⅰ线隧道先期开通,Ⅱ线隧道施工前期作为平行导坑尽早贯通,为Ⅰ线隧道探明地质并辅助Ⅰ线隧道施工,最后再扩挖为Ⅱ线隧道。隧道于 2003 年 3 月开工,Ⅰ线、Ⅱ线分别于 2006 年 3 月 30 日和 8 月 12 日开通运营。

乌鞘岭隧道在较短的时间内顺利建成,在技术方面又有新的突破:

(1)创造了单线隧道施工进度最快的记录。无轨运输斜井Ⅳ级围岩单工作面最高月掘进 436 m、Ⅴ级围岩连续 5 个月掘进超过 200 m,Ⅳ、Ⅴ级围岩交错情况下平均月掘进 324 m,以及Ⅲ、Ⅳ级围岩条件下正洞单工作面月最高成洞 271.8 m、连续 6 个月成洞超过 200 m 等多项快速掘进记录。

(2)软岩深埋复杂应力隧道的修建技术取得突破。针对  $F_4 \sim F_7$  区域性压性断裂带遇到的高地应力、软岩大变形、富水等地质难题开展了多项科研工作,摸清了围岩应力状态和变形机理,确定了设计参数、结构形式和施工方案,成功地解决了困扰乌鞘岭隧道修建的软岩深埋复杂应力变形控制技术的难题。

## 2.2.4 风火山和昆仑山隧道

青藏铁路风火山隧道,是目前世界上海拔最高的多年冻土隧道,全长 1 338 m,山顶海拔高度 4 995 m,洞内轨面高程 4 905 m,隧道区多年冻土层厚 80~100 m。该隧道于 2001 年 10 月 18 日开工建设,2002 年 10 月 19 日胜利贯通。

青藏铁路昆仑山隧道是目前世界上最长的多年冻土隧道,全长 1 686 m,该隧道于 2001 年 9 月开工,2002 年 9 月 26 日胜利贯通。

以上 2 座隧道是青藏铁路典型的多年冻土隧道,处于高寒、缺氧、环境恶劣、氧分压低于生命极限的地区。在生命禁区中修建隧道,具有许多与常规修建隧道不同的难点与特点,设计和施工中采用双层模筑混凝土、多道防水措施、保温隔热措施、低温早强耐久性防水混凝土、洞内空调和工作面供养等多项新技术,创新了中国高原冻土隧道修建技术。

# 3 在建隧道

## 3.1 在建隧道概况

在建铁路隧道有客运专线(含高速铁路、城际铁路)隧道和客货共线隧道。截至 2006 年 10 月,在建铁路客运专线隧道约 516 座,总长约 708 km;在建客货共线隧道约 1 269 座,总长约 1 456 km;即将开工建设的铁路客运专线隧道约 146 座,长约 184 km。2006 年在建和即将开工的客运专线铁路隧道概况如表 2 所示,在建的客货共线铁路隧道概况如表 3 所示。

表 2 2006 年在建和拟建铁路客运专线隧道概况

Table 2 Railway passenger—dedicated tunnels under construction and to be constructed in 2006

| 时期 | 客 运 专 线  | 隧道数量<br>(座/延长 km) | 按隧道长度(L)分类的数量(座/延长 m) |                               |                               |             | 最长隧道  |        | 设计行车速度<br>目标值<br>(km/h) |
|----|----------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------|--------|-------------------------|
|    |          |                   | $L \leq 500$ m        | $500 \text{ m} < L \leq 3$ km | $3 \text{ km} < L \leq 10$ km | $L > 10$ km | 名 称   | 长度(m)  |                         |
| 在建 | 武汉—广州    | 222/172.152       | 151/32 776            | 58/62 132                     | 12/67 163                     | 1/10 081    | 大瑶山一号 | 10 081 | 350                     |
|    | 广州—深圳—香港 | 24/32.016         | 16/3 236              | 5/8 487                       | 2/9 493                       | 1/10 800    | 狮子洋   | 10 800 | 350                     |
|    | 郑州—西安    | 38/76.879         | 12/3 468              | 15/16 043                     | 11/57 368                     | —           | 张茅    | 8 483  | 350                     |
|    | 石家庄—太原   | 32/74.904         | 19/5 348              | 6/7 191                       | 5/23 000                      | 2/39 365    | 太行山   | 27 839 | 250                     |
|    | 合肥—武汉    | 37/64.076         | 21/4 349              | 10/13 771                     | 4/21 934                      | 2/24 022    | 大别山   | 13 256 | 250                     |
|    | 甬台温      | 59/88.115         | 22/5 456              | 26/31 186                     | 11/51 473                     | —           | 凤凰山   | 7 979  | 250                     |
|    | 温州—福州    | 59/149.423        | 13/4 369              | 29/38 096                     | 16/93 859                     | 1/13 099    | 霞浦    | 13 099 | 250                     |

续上表

| 时期       | 客 运 专 线   | 隧道数量<br>(座/延长 km) | 按隧道长度(L)分类的数量(座/延长 m) |                               |                               |             | 最长隧道  |       | 设计行车速度<br>目标值<br>(km/h) |
|----------|-----------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------|-------|-------------------------|
|          |           |                   | $L \leq 500$ m        | $500 \text{ m} < L \leq 3$ km | $3 \text{ km} < L \leq 10$ km | $L > 10$ km | 名 称   | 长度(m) |                         |
| 在建       | 福州—厦门     | 37/40.406         | 18/5012               | 16/21701                      | 3/13693                       | —           | 黄晶岭二号 | 5735  | 250                     |
|          | 广州—珠海     | 4/4.172           | 3/954                 | —                             | 1/3218                        | —           | 凤凰山   | 3218  | 200                     |
|          | 合(肥)宁(南京) | 2/2.005           | 1/370                 | 1/1635                        | —                             | —           | 亭子山二号 | 1635  | 250                     |
|          | 新广州站      | 2/4.266           | 1/209                 | —                             | 1/4057                        | —           | 金沙洲   | 4057  | 350                     |
|          | 小 计       | 516/708.414       | 277/65547             | 166/200242                    | 66/345258                     | 7/97367     |       |       |                         |
| 即将<br>开工 | 厦门—深圳     | 80/118.337        | 39/11876              | 30/38063                      | 10/55697                      | 1/12701     | 大南山   | 12701 | 250                     |
|          | 郑州—武汉     | 40/41.154         | 20/6216               | 18/21552                      | 2/13386                       | —           | 黄龙寺   | 8716  | 350                     |
|          | 哈尔滨—大连    | 8/9.694           | 3/955                 | 4/4399                        | 1/4340                        | —           | 九里庄   | 4340  | 350                     |
|          | 北京—上海     | 18/14.376         | 9/1897                | 9/12479                       | —                             | —           | 西渴马二号 | 2812  | 350                     |
|          | 小 计       | 146/183.561       | 71/20944              | 61/76493                      | 13/73423                      | 1/12701     |       |       |                         |
| 合 计      |           | 662/891.975       | 348/86491             | 227/276735                    | 79/418681                     | 8/110068    |       |       |                         |

表 3 2006 年在建客货共线铁路隧道概况

Table 3 Railway passenger—freight—mixed tunnels under construction in 2006

| 序号  | 线 别        |      | 隧道数量<br>(座/延长 km) | 按隧道长度(L)分类的数量(座/延长 m) |                               |                               |             |
|-----|------------|------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
|     |            |      |                   | $L \leq 500$ m        | $500 \text{ m} < L \leq 3$ km | $3 \text{ km} < L \leq 10$ km | $L > 10$ km |
| 1   | 精河—伊宁      | 单线   | 37/56.126         | 18/2947               | 13/19409                      | 5/20160                       | 1/13610     |
| 2   | 襄渝二线       | 单线   | 239/297.886       | 116/25430             | 94/122779                     | 28/139019                     | 1/10658     |
|     |            | 双线   | 8/28.013          | 2/232                 | 2/2586                        | 4/25195                       | —           |
| 3   | 宜昌—万州      | 单线   | 161/333.422       | 58/12378              | 69/99881                      | 29/160020                     | 5/61143     |
| 4   | 岢岚—瓦塘      | 单线   | 8/10.261          | 5/1636                | 2/2672                        | 1/5953                        | —           |
| 5   | 兰新线天山隧道群改建 | 双线   | 3/8.879           | —                     | 2/4877                        | 1/4002                        | —           |
| 6   | 昆明—沾益      | 双线   | 13/11.417         | 8/2441                | 4/5084                        | 1/3892                        | —           |
| 7   | 大理—丽江      | 单线   | 47/78.601         | 11/3757               | 30/43557                      | 6/31287                       | —           |
| 8   | 黔桂         | 单线   | 149/121.185       | 84/20157              | 57/62193                      | 8/38835                       | —           |
| 9   | 达成         | 双线   | 117/57.411        | 88/20224              | 26/22913                      | 3/14274                       | —           |
| 10  | 洛湛         | 单线   | 152/103.899       | 108/25197             | 37/46224                      | 7/32478                       | —           |
| 11  | 遂渝引入重庆枢纽   | 单线   | 7/10.021          | 3/815                 | 3/3989                        | 1/5217                        | —           |
| 12  | 襄渝引入重庆枢纽   | 单线   | 22/22.990         | 10/2116               | 9/7134                        | 3/13740                       | —           |
| 13  | 玉溪—蒙自      | 单线   | 35/58.978         | 18/5523               | 11/15181                      | 5/27972                       | 1/10302     |
| 14  | 京广线信阳陈家河   | 双线   | 9/10.781          | 5/1168                | 3/3905                        | 1/5708                        | —           |
| 15  | 井冈山        | 单线   | 20/7.525          | 16/3175               | 4/4350                        | —                             | —           |
| 16  | 浙赣铁路复线     | 双线   | 35/23.225         | 26/6036               | 6/5554                        | 3/11635                       | —           |
| 17  | 太原—中卫(银川)  | 双、单线 | 162/157.049       | 100/23688             | 54/60494                      | 6/40847                       | 2/32020     |
| 18  | 张家口—集宁     | 双线   | 14/18.923         | 5/966                 | 8/8372                        | 1/9585                        | —           |
| 19  | 铜陵—九江      | 单线   | 16/7.887          | 11/3075               | 5/4812                        | —                             | —           |
| 20  | 白河—和龙      | 单线   | 7/18.875          | 1/500                 | 4/4170                        | 2/14025                       | —           |
| 21  | 滨洲         | 单线   | 1/0.870           | —                     | 1/870                         | —                             | —           |
| 22  | 金州—大窑湾     | 单线   | 1/1.390           | —                     | 1/1390                        | —                             | —           |
| 23  | 伊敏—伊尔施     | 单线   | 6/10.064          | —                     | 5/6515                        | 1/3549                        | —           |
| 合 计 |            |      | 1269/1455.678     | 693/161461            | 450/559091                    | 116/607393                    | 10/127733   |



## 3.2 高速铁路隧道关键技术

高速铁路隧道与普通铁路隧道最大的区别就是当列车以高速通过隧道时,产生的空气动力学效应(行车阻力、瞬变压力、微气压波、列车风等)对行车、旅客乘车舒适度、列车相关性能和洞口环境的不利影响十分明显,所以高速铁路采用的关键技术主要是与空气动力学方面有关的。

### 3.2.1 选择合适的净空有效面积

采用较大的隧道净空有效面积,有利于消减高速列车在隧道内运行时的空气动力学效应,但隧道的建设成本增大,选择较小的隧道净空有效面积,则难以满足乘车舒适度的要求,所以确定合适的净空有效面积和与之匹配的头部流线型、密封性能高的先进动车组,减少工程投资,是高速铁路隧道的一项关键技术。根据不同的行车速度目标值、建筑限界和动车组的参数,考虑空气动力学效应等各种情况,拟定的隧道净空有效面积标准如表4所示。

表4 中国高速铁路隧道净空有效面积标准

Table 4 Standards for the clearance cross-sectional areas of high-speed railway tunnels in China

| 序号 | 类 别                 | 单线隧道(m <sup>2</sup> ) | 双线隧道(m <sup>2</sup> ) |
|----|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1  | 200 km/h 客运专线兼顾普货运输 | 52(53.6)              | 80(85)                |
| 2  | 250 km/h 高速铁路       | 58(60)                | 92                    |
| 3  | 300~350 km/h 高速铁路   | 70                    | 100                   |

注:括号内数值为兼顾双层集装箱运输条件下,考虑特定接触网高度等因素的面积。

### 3.2.2 拟定支护和衬砌设计参数

与普通铁路隧道相比,高速铁路隧道的支护和衬砌结构设计参数主要体现以下几个特点:

(1)初期支护参数考虑支护结构耐久性因素,喷射混凝土的厚度按满足钢架保护层设计,同时喷射混凝土中掺加合成纤维,既可减少回弹量,也可减少喷射混凝土硬化过程中的早期裂缝,有利于防水与耐久性。

(2)双线隧道衬砌内轮廓均采用单心圆,更加有利于结构受力。

(3)突出“加强基底”和注重“刚度变化”的原则。针对以往隧道底部易发生病害和高速列车运行要求,加强了基底设计,Ⅲ~Ⅴ级围岩衬砌均采用有仰拱结构,且仰拱厚度较拱墙大。Ⅱ级围岩隧道底板采用钢筋混凝土结构,部分地下水发育地段也采用有仰拱结构。

(4)Ⅳ、Ⅴ级围岩和Ⅲ级围岩偏压段二次衬砌均采用钢筋混凝土结构,主要考虑列车长期的振动作用以及减少大跨混凝土结构的收缩裂缝,同时对软弱围岩大跨隧道可增加衬砌的承载能力,满足必要时及时施作的要求。

### 3.2.3 设置可靠的防灾救援系统

高速铁路隧道防灾救援设计应遵循以下基本原则:

(1)针对高速铁路的运营特点,消防设计应贯彻“以防为主,以消为辅,防消结合,立足自救”的消防工作方针,要充分体现“以人为本”的设计理念。

(2)采取经济可靠的防火措施和消防手段,做到安全可靠,经济合理,使用维修方便。

(3)当列车在隧道内发生火灾,凡能继续运行时,均应遵循“先将列车拉出洞外再进行列车解体及火灾事故处理”的基本原则。但一旦列车失去动力不能运行,或因隧道太长无法及时拉出洞外时,考虑在洞内实施快速疏散和消防救援。

(4)隧道内设置贯通的救援通道和必要的紧急出口。

(5)总长大于20 km的特长隧道或隧道群的防灾救援方案应优先采用“定点”模式,“定点”附近设置紧急出口。

(6)在需要防灾救援的隧道内应设置必要的监控系统、防灾报警系统、消防灭火系统、防排烟系统等。

### 3.2.4 采用有利于缓解空气动力学效应的洞口形式

在当前对环境保护和结构美观要求越来越高的情况下,特别是随着高速铁路隧道的修建,洞口设计既要满足结构安全稳定、环保、景观的要求,又要满足减缓微气压波影响的要求,切削式洞口结构就成为主导的洞

口形式。

### 3.2.5 大断面黄土隧道的技术要点

黄土隧道的主要特点是垂直节理发育,竖向荷载大,土体破坏一般不能形成普氏压力拱,初期支护收敛变形量大且底鼓现象严重,遇水后土体的物理力学性能会发生较大变化,所以对于大断面黄土隧道的设计和施工,应顺应其特性。

(1)黄土隧道的衬砌应根据新奥法的基本原理和复合式衬砌的作用原理进行设计,按初期支护和二次衬砌共同承载考虑。

(2)初期支护是永久衬砌的重要组成部分,大断面黄土隧道的初期支护应该有足够的刚度和强度,以有效抑制黄土地层的过大变形。

(3)黄土隧道中不宜采用注浆锚杆,在边墙部位可设置砂浆锚杆或药包式锚杆,浅埋新黄土地段和湿陷性黄土地段的隧道拱部可不设锚杆。在隧道拱脚、钢架基脚应设置锁脚锚管,以控制基脚变形。

(4)黄土隧道二次衬砌与开挖工作面的距离不宜过长,其长度应以不产生过大的施工干扰经试验确定。自稳性差的黄土地段仰拱应紧跟开挖工作面施作、及早封闭成环。

(5)黄土地层变形过大或初期支护变形不收敛,又难以及时补强时,可设置临时仰拱或横撑封闭开挖面,必要时也可提前施作二次衬砌,以确保围岩和支护结构稳定。

在建的高速铁路隧道修建技术上具有代表性的工程有太行山隧道、大瑶山隧道群、狮子洋隧道、函谷关隧道、浏阳河隧道等。

#### (1) 太行山隧道

石太铁路客运专线上的太行山特长隧道,是目前中国在建最长的铁路山岭隧道。左线隧道长 27 839 m,右线隧道长 27 848 m;最大埋深 445 m,设计为双洞单线隧道,两线间距 35 m。设计行车速度目标值为 250 km/h,设计的隧道净空有效面积为  $60 \text{ m}^2$ 。隧道洞口结合缓冲结构段设计为斜切式隧道门,进出口洞门效果如图 1 所示。



图 1 太行山隧道洞门效果图

Fig. 1 Perspective view of the portal of Taihangshan tunnel

太行山隧道土建工期为 40 个月,共设计 9 座斜井,总长 11 120 m。

#### (2) 大瑶山隧道群

武广铁路客运专线大瑶山隧道群穿越南岭山系大瑶山区,由大瑶山一号、大瑶山二号、大瑶山三号共 3 座隧道组成,隧道长度分别为 10 081 m、6 024 m、8 387 m。大瑶山一号隧道出口至二号隧道进口距离为 167 m,二号隧道出口至三号隧道进口距离为 47 m。3 座隧道均为双线隧道,线间距为 5 m。设计最高行车速度为 350 km/h,断面净空有效面积为  $100 \text{ m}^2$ 。

大瑶山隧道群施工总工期为 40 个月。为满足工期要求,大瑶山一号隧道在进口右侧设置长约 2 268 m 的平导,在出口左侧设置长约 888 m 的横洞;大瑶山二号隧道在进出口左侧分别设置长约 340 m 和 320 m 的横洞;大瑶山三号隧道分别在进出口左侧设置长约 256 m 和 1 272 m 的平导。

#### (3) 狮子洋隧道

狮子洋隧道位于广深港客运专线东涌站至虎门站区间,穿越珠江口狮子洋河段,是中国第一座水下铁路



隧道。设计行车速度目标值为 350 km/h。

隧道工程范围全长 10 800 m,其中隧道长度 10 490 m,引道敞开段长 310 m。隧道长度中明挖暗埋段(含缓冲结构)1 104 m,盾构段 9 340 m,工作井段 46 m。隧道采用双洞单线结构,断面净空有效面积约  $66 \text{ m}^2$ 。盾构隧道段结构内径 9.8 m,外径 10.8 m,管片厚度 50 cm,采用“7+1”分块方式的通用楔形环钢筋混凝土单管片衬砌。全隧道共设置左右线之间的连接横通道 23 处,其中盾构段 19 处。盾构段采用 4 台泥水平衡式盾构施工,总工期为 41 个月。

#### (4) 函谷关隧道

郑西客运专线铁路函谷关隧道全长 7 851 m,最大埋深 220 m,是中国最长及断面最大的黄土隧道。隧道设计为单洞双线,线间距 5 m,设计行车速度目标值为 350 km/h,净空有效面积为  $100 \text{ m}^2$ 。

函谷关隧道设计施工工期为 34 个月。为加快隧道施工速度,保证工期,共设置 1 个横洞与 3 座斜井,横洞长度为 244 m,3 座斜井长度分别为 589 m、970 m 和 391 m。

#### (5) 浏阳河隧道

武广铁路客运专线浏阳河隧道位于湖南省长沙市东部,下穿京珠高速公路、星沙开发区、浏阳河与长沙机场高速公路。设计最高行车速度为 350 km/h,线间距 5 m,隧道内采用板式无碴轨道。

隧道工程范围全长 10 100 m,由进口明挖暗埋段(含缓冲结构,长 1 484 m)、暗挖段(长 7 416 m)、出口明挖暗埋段(含缓冲结构,长 1 020 m)、出口引道敞开段(长 180 m)组成。其中隧道长度为 9 920 m,暗挖下穿浏阳河段长度为 362 m。拱形结构段隧道采用武广客运专线双线隧道衬砌内轮廓,矩形结构段隧道断面净空尺寸采用 13.4 m(宽)×7.6 m(高),两者净空有效面积均达  $100 \text{ m}^2$ 。

全隧道共设 3 座竖井和 1 座斜井。竖井采用矩形结构,均位于隧道顶;斜井采用单车道无轨运输拱形断面,并间隔 200 m 左右设置错车道。根据隧道各段所处的地质、地面环境、隧道埋深等条件分别采用明挖法、钻爆法及非爆破法施工,隧道施工总工期为 27 个月。

### 3.3 客货共线铁路隧道关键技术

在建总长约 1 456 km 的客货共线隧道中,特长隧道有 10 座,长度约为 128 km。其中,最长的隧道为太中银铁路吕梁山隧道,长度为 20 780 m;地质最复杂的隧道为宜万铁路的岩溶隧道;瓦斯含量最大的隧道为达成线的云顶隧道和天台寺隧道;最长的内燃牵引铁路隧道为东北东部铁路通道白河一和龙段的南山隧道,长度为 7 595 m。隧道施工中超前地质预报与防止突发性地质灾害的报警技术是修建客货共线铁路隧道的关键技术。

#### 3.3.1 综合施工地质预报技术

由于勘察设计和手段限制,很难在隧道开工之前准确地探明隧道洞身段的地质情况。在前方地质情况不明的前提下施工,经常会因遇到断层、破碎带、暗河、高地应力等不良地质体而导致塌方、泥石流、涌水、突水、岩爆等地质灾害发生。这些灾害的出现,往往会影响施工进度,造成人员伤亡,给施工单位、人民和国家造成严重的经济损失。在建的复杂地质隧道中均采用了综合施工地质预报技术,并作为施工工序纳入建设管理。常用的超前地质预报方法有地质调查法、工作面地质素描法、地震波反射法、地质雷达法、水平声波反射法、高频地震反射法等。

#### 3.3.2 复杂岩溶隧道施工防灾报警技术

为防止复杂岩溶隧道或其他地质极其复杂隧道在施工期间发生突水、突泥等突发性地质灾害,避免造成人员伤亡和设备损失,采用施工防灾报警技术。根据不同的地质灾害,可采用不同的防灾报警系统。复杂岩溶隧道施工防灾报警系统由声光报警、应急通信及电视监控、逃生通道及疏散标志、应急照明、逃生装备、应急排水等六部分组成。

在建的客货共线铁路隧道修建的难点以宜万线岩溶隧道与吕梁山特长隧道最具有代表性。

##### (1) 宜万线岩溶隧道

宜万铁路全长 378 正线 km,隧道长度所占比例高达 60%,其中宜昌至利川段隧道设计有单洞双线和双洞单线隧道,利川至万州段隧道全部为单线。全线隧道总数为 161 座,总长约 333 延长 km,其中岩溶隧道有

92 座,总长为 247 km。全线岩溶极其发育,被划分为 I 级风险的隧道有 8 座,分别为八字岭(5 867 m)、野三关(13 833 m)、大支坪(8 770 m)、云雾山(6 640 m)、马鹿箐(7 879 m)、金子山(6 835 m)、齐岳山(10 528 m)和别岩槽(3 721 m)隧道。

宜万线岩溶隧道,特别是 8 座划为 I 级风险的隧道,曾多次发生突水、突泥。设计和施工采用综合超前地质预报系统、超前钻探等多种手段,及时探明前方的岩溶水发育情况,采取注浆堵水、限量排水等技术措施和防灾报警系统等综合技术,预防地质灾害的发生。

## (2) 吕梁山隧道

吕梁山隧道为太中银铁路吕梁山越岭隧道,全长为 20 780 m,设计为双洞单线,线间距为 30 m,设计行车速度目标值为 200 km/h,并满足通行双层集装箱列车的条件。

为满足工期要求,共设置 5 座斜井作为施工辅助坑道,其中 1 号斜井长约 1 290 m,2 号斜井长约 2 460 m,3 号、4 号斜井长约 1 790 m,5 号斜井长约 1 200 m。斜井均采用单车道无轨运输方式,根据需要间隔一定长度设置会车道。辅助坑道除个别兼作紧急出口外,其余辅助坑道完工后均予以封堵。

# 4 规划(拟建)隧道

## 4.1 规划隧道概况

据不完全统计,未来 5~10 年,中国将开工修建的铁路隧道工程总长度超过 2 500 km,目前即将开工和正在设计的隧道已经超过 2 100 km,其中特长隧道总长度约 760 km,超过规划修建隧道总长度的 1/3。隧道长度超过 100 km 的线路有兰州—重庆铁路(约 480 km)、向塘—莆田铁路(约 290 km)、大理—瑞丽铁路(约 225 km)、包头—西安铁路(约 167 km)、利川—涪陵铁路(约 183 km)等。规划修建最长的隧道为青藏线西宁—格尔木段增建第二线的关角隧道,全长约 32.6 km。规划修建的铁路隧道概况如表 5 所示。

表 5 规划修建的铁路隧道概况

Table 5 Railway tunnels to be constructed according to plan

| 序号 | 线 别        | 隧道长度(延长 km) |                | 备 注                     |
|----|------------|-------------|----------------|-------------------------|
|    |            | 总长          | 其中特长隧道的长度      |                         |
| 1  | 兰州—重庆      | 480         | 190            |                         |
| 2  | 向塘—莆田(福州)  | 290         | 176            |                         |
| 3  | 大理—瑞丽      | 225         | 116(7 座)       |                         |
| 4  | 丽江—香格里拉    | 70          | 11             |                         |
| 5  | 西宁—格尔木     | 65          | 32.6(关角隧道)     | 青藏铁路西格段复线               |
| 6  | 西安—平凉      | 46          | 17(永寿梁隧道)      |                         |
| 7  | 昆明—广通      | 56          | 13(暂定名象山隧道)    | 成昆铁路昆广段复线               |
| 8  | 东北东部铁路通道   | 67          | —              | 包括新通化—灌水、丹东枢纽及岫岩—庄河 3 段 |
| 9  | 包头—神木—西安   | 167         | 25(冒天山、庆兴 2 座) | 包西铁路复线                  |
| 10 | 吐鲁番—库尔勒    | 47          | 22(中天山隧道)      | 南疆铁路吐库段复线               |
| 11 | 六盘水—沾益     | 74          | 24(2 座)        |                         |
| 12 | 大同—包头      | 19          | 10(八苏木隧道)      |                         |
| 13 | 柳州—南宁      | 34          | —              |                         |
| 14 | 成都—绵阳(峨眉山) | 23          | 10(1 座)        | 城际铁路                    |
| 15 | 海南东环线      | 23          | —              |                         |
| 16 | 利川—涪陵      | 183         | 57(5 座)        | 沪汉蓉通道                   |
| 17 | 朔州—准格尔     | 60          | 36(3 座)        |                         |
| 18 | 韶关—赣州      | 22          | —              |                         |