

五指山公路隧道 工程技术

WUZHISHAN GONGLU
SUIDAO GONGCHENG JISHU

陈先国 田 义 罗春雨 等 编著



人民交通出版社
China Communications Press

Wuzhishan Gonglu Suidao Gongcheng Jishu

五指山公路隧道工程技术

陈先国 田 义 罗春雨 等 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书以五指山特长隧道为工程背景,较详细地介绍了五指山特长隧道的勘察设计及施工。在勘察设计方面,介绍了五指山隧道的原设计、突水坍方后五指山隧道的专项水文地质调查、物探工作及变更设计;在施工方面,介绍了五指山隧道的洞口施工、洞身开挖、超欠挖控制、监控量测及超前地质预报在五指山隧道中的应用;迂回导洞施工时,对主洞影响的数值模拟,主要介绍了五指山特长隧道涌水地段、坍方地段、膏盐地段的施工以及特大突水及坍方的处治过程。本书是对五指山特长隧道施工技术的全面总结,内容全面,资料翔实。

本书可供从事隧道工程设计、施工、监理及科研工作的工程技术人员使用,也可供大中专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

五指山公路隧道工程技术 / 陈先国等编著. —北京: 人民交通出版社, 2008.11

ISBN 978-7-114-07382-3

I. 五… II. 陈… III. 公路隧道—隧道工程—工程施工—施工技术 IV.U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 139956 号

书 名: 五指山公路隧道工程技术

著 作 者: 陈先国等

责任编辑: 丁润铎 贾秀珍

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: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 19

字 数: 482 千

插 页: 1

版 次: 2008 年 11 月 第 1 版

印 次: 2008 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07382-3

定 价: 45.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

本书编委会

编写顾问 孙 云 甘 洪

技术顾问 吴明显 刘德永

参编单位 四川公路桥梁建设集团股份有限公司

主 编 陈先国 田 义 罗春雨

编 委 陈先国 田 义 罗春雨 陈 渤 袁飞云

雷 良 董武斌 祁海军 曾晓勤 皇 民

邓承波 孙 振 肖宽怀 谢盛嘉 张一明

郑金龙 贾疏源

前 言

随着国民经济的发展,公路建设进入新的发展时期,特别是2000年以后,全国公路建设飞速发展,日新月异。从1988年上海至嘉定高速公路建成通车至今的20年间,在“国道主干线系统规划”的指导下,中国高速公路总体上实现了持续、快速和有序的发展,特别是1998年以来,国家实施积极的财政政策,高速公路得到快速发展,年均通车里程超过了4000km,到2004年底,中国高速公路通车里程已超过3.4万公里,继续保持世界第二。国家高速公路网规划采用放射线与纵横网格相结合的布局方案,形成由中心城市向外放射以及横连东西、纵贯南北的大通道,由7条首都放射线、9条南北纵向线和18条东西横向线组成,简称为“7918网”,总规模约8.5万公里,其中主线6.8万公里,地区环线、联络线等其他路线约1.7万公里。重点建设高速公路网规划中的“五射两纵七横”共14条路线,并力争到2010年基本贯通。因此,我国的公路建设任重而道远。

“十一五”期间,四川公路建设计划投资1453亿元,全面建设进出川国道主干线、西部开发省际通道和主要站点,5年间新增高速公路1401km以上,至2010年建成公路出川大通道11条,在建7条。这较以往四川省规划的14条出川大通道新增4条。新增的4条出川大通道分别是:成渝高速公路复线,预计2009年开工,总投资107亿元;达州至重庆万州高速公路,预计2009年开工,总投资45亿元;泸州(合江)至贵州界高速公路,预计2010年开工,总投资38亿元;攀枝花至云南丽江高速公路,预计2010年开工,总投资42亿元。

我国是一个多山的国家,平原地区公路建设已基本完成,今后要修建的公路多数集中在山区。在山区修建公路必然要受地形的限制,必然要设计一定数量的隧道。随着公路等级的不断提高,隧道在山区公路中的比例越来越大,单座公路隧道的长度也越来越长,这将对公路隧道的建设提出新的要求。我国公路隧道建设起步较晚,虽在隧道设计与施工方面取得很大的成绩,但与发达国家相比,施工技术水平还有一定的差距。我国除少数隧道采用TBM、盾构机施工外,其余的隧道几乎都采用钻爆法施工,施工速度慢,人工钻眼爆破,劳动强度较大,工人工作环境比较恶劣。公路隧道工程受地质条件的影响较大,施工技术复杂,如遇地下富水、岩溶、断层破碎带、高地应力、岩爆、瓦斯、偏压等不良地质,施工起来难度就更大。我国幅员辽阔,南方与北方、高海拔与低海拔地区地质情况相差较大,在设计与施工中,不能采用一个统一的标准和方法,要根据具体情况加以分析。

我国虽然在20世纪80年代便开始学习新奥法,但由于施工队伍的技术水平不平衡,对新奥法的基本原理缺乏深入的学习,在施工中未认真研究和应用,对新奥法的三大技术措施(光面爆破、锚喷支护、监控量测)缺乏深入的理解,导致大多数隧道在施工中对超欠挖、锚喷支护施工、隧道监控量测不够重视,形成超欠挖较严重、注浆锚杆的施工质量达不到要求、喷混凝土回弹量大、浪费严重。在隧道施工管理中,有些地方仍采用管理道路和桥梁的方法来管理隧道,对于围岩与设计有不一致的,有些单位不敢变更、害怕变更,认为变更更多了无法向上级交代。但隧道围岩千变万化,隧道具体的围岩,必须是开挖之后才能完全清楚,隧道工程由于受

到围岩的制约,这就决定了隧道设计与施工是一个动态过程,隧道的支护参数要随隧道围岩的变化而不断调整。

五指山隧道全长 3 926m,属特长隧道。在施工中遇煤系地层、膏盐地段、断层破碎带、涌水、突水及坍方,围岩变化频繁,隧道围岩类别与原设计有较大变化,特别是发生较大突涌水及坍方,导致工程造价大大超过原预算,施工工期也延后了两年。在施工中,五指山隧道部分围岩涌水较大,爆破效果不好,钻孔、装药及喷混凝土作业均困难,工人们经常在瀑布一样的环境中作业,围岩含泥岩成分较重,经涌水冲刷和浸泡后,洞内一片淋漓,施工进度较慢,施工条件可想而知。2005 年 8 月 6 日掌子面突然发生涌突水,隧道被淹总长度 920m,涌水淹过隧洞顶部达 700 余米,给进口端施工造成很大困难。一直至 2006 年 4 月底,其间尝试的各种卸水方案均收效不大,卸水不成功,坍方无法处理,一直处于停工状态,最后被迫实施迂回导洞泄水方案。2005 年 7 月,施工至出口段 K30+912 时,最大涌水量达 $66\,518\text{m}^3/\text{d}$,此涌水一直延至 K30+817,持续时间 4 个月;施工至 K30+750 附近时,原涌水减小后又增大,涌水量达 $591\,710\text{m}^3/\text{d}$;施工至 K30+600 附近,隧道围岩遇膏盐地层,对膏盐段隧道的结构进行特殊设计。

虽然有这些困难,但全体隧道建设者们不畏艰辛,共同努力,特别是突水坍方发生后及迂回导洞发生坍方后,积极寻求各种解决方法,在施工中大胆探索,创造条件,认真贯彻落实各种施工措施,克服各种困难,终于成功修建了五指山隧道。在施工中坚持监控量测工作,获得了大量的监控量测数据,并及时进行了回归分析,获得了五指山隧道各类围岩的水平收敛、拱顶下沉的稳定位移、稳定时间及最终收敛位移,为类似工程提供了可参考的资料。在施工中为搞好施工管理和变更工作,施工单位与业主、设计、监理一起深入现场,掌握施工中的第一手资料,及时处理围岩类别变更与支护参数变更等问题。在施工期间,施工单位技术人员认真学习新奥法施工的理论,坚持理论联系实际;施工完毕后,全体技术人员又撰写了多篇论文,总结了修建五指山隧道的经验教训,对新奥法施工又有了更深刻的认识和体会。

我们编写本书的目的,是希望全面介绍五指山隧道的设计、施工方法,使读者了解五指山隧道施工特点、一些比较特殊的做法,特别是五指山隧道涌水、突水及坍方的处理方法以及突水坍方后对五指山隧道水文地质的重新认识,对突水坍方原因的探讨,为类似工程设计和施工提供参考。该书实际上是一个工程实录,记录了五指山隧道涌水、突水、坍方地段所采取的一些工程措施。至目前为止,比较全面地介绍某一隧道的设计、施工措施、施工经验的书还不多见。我们编写此书,也希望能与有关单位相互交流,不断地总结复杂水文地质条件下隧道设计、施工经验,不断提高隧道建设的水平。

五指山隧道采用的规范是我国原《公路隧道设计规范》(JTJ 026—90)和《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042—94),即本书中的围岩分类仍用的是老标准,与现在使用的围岩分级标准不同,请读者阅读时注意。

本书由具有丰富施工技术经验的工程人员和专家共同编著而成,是对复杂水文地质条件下隧道修建技术的总结,对类似工程具有一定的参考价值。由于水平有限,对于书中谬误和不妥之处,敬请指正。作者联系方式:成都市高新区九兴大道 12 号四川路桥集团技术质检部陈先国,邮编 610041, Tel:028-85126080, E-mail:m. cls520@163. com。

编者

2008 年 6 月

目 录

第一章 综述	1
第一节 五指山隧道工程概况	1
第二节 五指山隧道施工概况	7
第二章 五指山特长隧道勘察与设计	21
第一节 五指山隧道勘察概述	21
第二节 五指山隧道勘察成果	23
第三节 五指山隧道补充地质勘察	33
第四节 物探成果	42
第五节 五指山隧道新奥法设计	48
第三章 洞口设计与施工	56
第一节 概述	56
第二节 五指山隧道的线形、洞门位置及形式	56
第三节 边仰坡防护及洞口开挖	60
第四章 五指山隧道洞身开挖	65
第一节 五指山隧道开挖方法	65
第二节 钻爆设计与施工	72
第五章 五指山隧道开挖与支护的数值模拟	93
第一节 概述	93
第二节 FLAC 程序简介	94
第三节 五指山隧道三维计算模型	95
第四节 三维计算结果分析	97
第五节 迂回导洞修建对主洞的影响分析	107
第六章 复合式衬砌施工	113
第一节 锚喷支护	113
第二节 二衬施工	127
第七章 超前地质预报及监控量测	132
第一节 超前地质预报	132
第二节 隧道监控量测	144
第八章 五指山隧道不良地质施工	161
第一节 不良地质施工辅助措施	161
第二节 五指山隧道软弱围岩施工	163
第三节 五指山隧道涌水地段的施工	168
第四节 迂回导洞施工	180

第五节	膏盐地层处治·····	194
第六节	五指山隧道坍方处治·····	199
第七节	未开挖段 K29 + 600 ~ K30 + 900 段施工 ·····	210
第九章	特大突涌水及坍方处治·····	233
第一节	特大突涌水、坍方情况简介及原因分析 ·····	233
第二节	突水及坍方发生后的抢险工作·····	239
第三节	突水坍方前期处治·····	244
第四节	突水坍方后期处治·····	266
第五节	突水坍方处治过程回顾及感想·····	273
第十章	防排水设计与施工·····	276
第一节	隧道防排水设计·····	276
第二节	隧道防排水设计变更·····	280
第三节	防排水施工·····	287
第四节	隧道进口端洞内集水池设计·····	291
参考文献	·····	294

第一章 综 述

第一节 五指山隧道工程概况

一、隧道位置与结构设计参数

(一) 隧道位置

五指山特长隧道为国道 213 线乐山沐川至宜宾市新市镇二级公路改建工程的一部分,隧道位于四川省乐山市沐川县楠木村境内,是国道 213 线沐川至新市镇改建工程的控制工程。五指山隧道进口端位于 C 合同段,由四川公路桥梁建设有限公司隧道分公司施工;出口端位于 D 合同段,由中铁隧道集团施工。隧道原设计全长 3 911m,后期施工 C 合同段增加了 12m 明洞,变更后隧道全长 3 926m,起点桩号 K29 + 406,终点桩号 K32 + 332。原设计两合同段在 K30 + 280 处分界,后期由于进口端发生突水及坍方,进口端停工长达一年多,在后期施工中两合同段分界点桩号根据两合同段的施工进度有所调整,最后定于 K30 + 100 处。

(二) 隧道结构设计参数

五指山隧道为单洞双车道隧道,为山岭重丘区二级公路隧道,设计行车时速为 40km/h,隧道净宽 8.5m,即 $3.5\text{m} \times 2$ (行车道) + $0.25\text{m} \times 2$ (余宽) + $0.5\text{m} \times 2$ (检修道),净高 5.0m (图 1-1)。全隧道共设置 6 个紧急停车带,停车带间距在 500 ~ 600m 之间,紧急停车带净宽 12m,净高 5m,加宽带 3.5m。隧道路面横坡为“人字坡” $\pm 2\%$ 。隧道纵面线形设计综合考虑了进出口地形、地质条件和通风、排水、施工及隧道两端的接线条件,也考虑了隧道进口的行车视距,经综合比较,决定采用 $-2.23\% \sim -1.9\%$ 的单向下坡。隧道进口位于半径 R 为 4 000m 的竖曲线上。设计荷载:汽-20 级,挂-100。

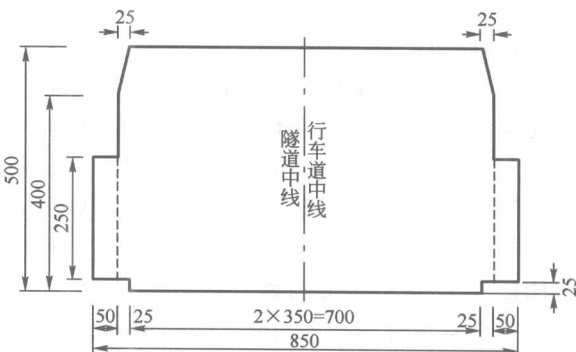


图 1-1 五指山隧道建筑界线(尺寸单位:cm)

进口端位于半径 R 为 400m 的圆曲线上,曲线进洞长度 99.6m,洞身和出口为直线。进口起点高程 879.66m,出口高程终点高程 801.37m。隧道内轮廓为三心圆曲边墙,拱部半径 4.5m,圆心距基线高度 2.37m,基线以上的拱顶净高 6.87m,内空净面积 53.37m^2 。

二、隧道地形地貌

隧址区五指山处于四川盆地西南缘向云贵高原抬升带上,地形最高点七星包高程 1 710m,最低点中都河高程 450m,相对高差 1 260m,为侵蚀、溶蚀构造中山地貌。区内植被茂密,沟谷

纵横、深切,地形陡峻,峰峦起伏。其山岭地面海拔 1 200 ~ 1 600m,沟谷地面海拔 700 ~ 800m,高差 500 ~ 600m;地形陡峻,切割强烈,沟谷横断面多为 V 形,地面横坡一般为 25 ~ 40°,部分可达 50°以上;沟谷覆土厚度一般 2 ~ 3m,个别大于 6m。

隧道轴线与地层走向近似正交,从崩坡积层块石质土进洞,于崩坡积层块石(质)土出洞,洞身穿过岩性差异较大的地层,最大埋深约 790m。隧址区位于马边—沐川弧形构造带内的五指山背斜南东段,处于背斜南翼和向核部的过渡带上。岩层产状由隧道进口处(五指山北东坡)的飞仙关组转为隧道出口处的(五指山南西坡)香溪群及自流井组。场地受地质构造影响较严重,节理在不同的岩性、构造和褶皱的部位而发育不同,局部会有层间破碎带发育,岩体的完整性不均。

隧道最大埋深约 790m,岩体自重地应力可达 20.0MPa,在隧道开挖过程中,在硬~极硬质岩类(砂岩、白云质灰岩)段的围岩中易引起岩爆,在极软~软质岩类(泥岩、页岩、炭质页岩、粉砂岩)段的围岩中易导致围岩发生流变或挤压破坏。隧区新构造运动以间歇性的缓慢上升为主,处于马边地震带的影响区,区域稳定性较差,但场内未见有活动断层。

三、隧道地层岩性

隧址区出露地层从新至老为第四系、侏罗系、三叠系,现按地层组段分述于下。

第四系全新统崩坡积层(Q_4^{+dl}):块石,局部小块石、角砾、粉黏粒富集而成小块石质土、角砾土、含角砾(块石)低液限黏土;松散~中密,稍湿~饱和,透水性较好,一般厚 5.0 ~ 15.0m,局部可达 60 余米(隧道进口处);主要分布于悬崖脚、陡坡及沟谷地带。

侏罗系中统自流井组(J_{2z}):钙质泥岩、砂质泥岩为主,夹粉砂岩、石英细砂岩;以软质岩为主,中~厚层状构造,厚约 175 ~ 202m。

三叠系上统至侏罗系下统香溪群($T_3 \sim J_{1x}$):为一套内陆盆地沉积的河湖沼泽相含煤建造,可明显划分为三个由砂岩—粉砂岩—页岩夹煤层;薄~厚层状构造,细砂岩和粉砂岩为硬质岩,炭质页岩为软质岩。

三叠系上统垮洪洞组(T_{3k}):灰岩、泥灰岩夹杂色钙质泥岩、黑色页岩,泥灰岩、钙质泥岩中常见黄铁矿晶粒,底偶见砾岩;薄~厚层状构造,厚约 6 ~ 38m。

三叠系中统雷口坡组(T_{2l}):白云岩、白云质灰岩、粉砂岩、砂质泥岩为主,夹石膏层、泥灰岩及炭质页岩;以硬质岩为主,中~厚层状构造为主。

三叠系下统嘉陵江组(T_{1j}):泥质灰岩、泥质白云岩为主,夹角砾状灰岩或石膏层;以厚层状构造为主,主要为硬质岩。

三叠系下统铜街子组(T_{1t}):岩屑砂岩、粉砂岩为主,夹灰岩;中~厚层状构造,以硬质岩为主。

三叠系下统飞仙关组(T_{1f}):岩屑砂岩、粉砂岩、含砾砂岩为主,夹砂质泥岩、砾岩及含铜砂岩;中~厚层状构造,细砂岩为硬质岩,粉砂岩为软质岩。

四、地质构造及地震

(一)区域地质构造

测区位于马边—沐川弧形构造带内的五指山背斜,从 1:50 万的构造纲要图上可以看出,该区的主要构造运动为海西运动。海西运动广泛接受海浸,晚期地壳运动加剧,大规模基性岩

浆喷发之后又频遭海侵,二叠系及中、下三叠统间一般为连续沉积,印支运动地壳大面积抬升,结束了海浸历史,进入陆相河流湖盆相沉积。

马边—沐川弧形构造,由一系列大致呈弧形的褶皱构造组成,一般背斜陡窄,向斜开阔,分布地层主要为中生界地层,仅在五指山背斜轴部才有古生界地层零星出露。

五指山背斜,其轴线由北北东、北东东转向南东呈弧形展布,长 50km,宽约 10km,弧顶在沐川生基坪菜园坡一带,形成若干隆起高点,由生基坪向南,背斜轴线呈南东向延伸,在屏山龙桥金沙江一带逐渐倾伏。

背斜轴部出露二叠系上统至三叠下统地层,岩层产状平缓,倾角 $2^{\circ} \sim 15^{\circ}$,两翼为上三叠系至侏罗系中、下统地层,产状较陡,倾角多为 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$,南西翼陡,北东翼缓,在沐川红庙子一带,地层发生倒转,剖面上呈倒转的不对称“箱状”背斜。

五指山背斜的断裂构造,在其西翼发育有一北西向展布的中都断层,断层发育在侏罗纪上统蓬莱镇组(J_{3p})和白垩系(K)地层中。背斜倾伏端屏山县龙桥断层,该断层切割背斜轴部的二叠系与三叠系地层。

因受多次构造运动的影响,岩层破碎、裂隙发育,特别在背斜翼部的转折端及其影响带,岩层变形更为强烈,次级小断裂(错动)与破碎带较为发育。

(二) 隧道区地质构造

隧道区位于五指山背斜南东段,处于背斜核部向南西翼的急转带上,进口位置在五指山北东坡五指山背斜核部地带,洞口处为三叠系飞仙关组(T_{1f})岩层产状 $290^{\circ} \angle 3^{\circ} \sim 5^{\circ}$,其上伏地层由老至新按正常层序产出,依次为:铜街子组(T_{1t})、嘉陵江组(T_{1j})、雷口坡组与垮洪洞组(T_{21-3k}),其产状为 $285^{\circ} \angle 5^{\circ} \sim 15^{\circ}$,总体来看岩层产状变化不大,地层平缓。

隧道穿越五指山脊后 K29+800 附近进入背斜南西翼向出口处倾斜,岩层急剧陡倾,地层产状 $218^{\circ} \sim 240^{\circ} \angle 44^{\circ} \sim 54^{\circ}$,其岩性由老至新为三叠系铜街子组(T_{1t})、嘉陵江组(T_{1j})、雷口坡组与垮洪洞组(T_{21-3k})须家河组(T_{3xj})和侏罗系自流井组与珍珠冲组(J_{1-221}),呈正常层序产出,剖面上显示单斜、“箱状”形态,倾向南西。

(三) 隧道区的节理裂隙

隧道区地层节理裂隙发育情况总体来看是较发育—发育,由于岩性差异较大,泥岩、页岩到砂岩、灰岩、白云岩、岩质软硬不均,呈薄层、中、厚层不等厚互层结构,裂隙发育程度软薄岩层大于厚硬岩层,互层大于单层。

在多次构造营力的作用下,隧区岩层主要表现为褶曲错动,特别在背斜翼部的转折部位其影响尤为强烈。受其主应力方向的影响,隧区裂隙主要发育两个方向, L_1 走向北东,陡倾北西或南东,隙面较平整,平面延长大于 5~8m,垂直向切割大于 1~2m; L_2 走向南东,陡倾南西或北东,隙面较平整,平面延长大于 1~3m,垂向切割大于 0.5~2m。

背斜的转折部位,层间裂隙发育,隧道进口段施工时,在 1124m 处,发生涌水和洞体垮塌,长度近 80m,亦说明该段地层在水的作用下完整性遭受破坏。

各组裂隙发育的组数,间距为薄层状构造的岩石中发育 4~6 组节理,间距 0.3~2.5m,岩体体积节理数 $J_v > 6$;在中层状构造岩石中发育 4~6 组,间距多为 0.4~2.0m, $J_v > 5$;在厚层状岩石中发育有 2~3 组节理,0.4~1.0m, $J_v > 3$;在巨厚层构造的岩石中发育有 2~3 组,间距 3.0m, $J_v < 3$ 。

根据《五指山隧道工程地质详勘报告》，场地裂隙发育等级见表 1-1。

裂隙统计表

表 1-1

地层代号	岩石名称	岩石构造	节理组数	节理间距范围 (m)	节理一般间距 (m)	岩体体积节理数 (条/m ³)	节理发育等级
J _{2z}	细砂岩夹粉砂质泥岩透镜体	中~厚层状	5	0.48~0.99	0.48~0.79	7.54	较发育~发育
T ₃ ~J _{1x}	细砂岩	厚巨层状	3	0.53~7.14	0.53~1.08	2.94	较发育
T ₃ ~J _{1x}	碳质页岩与粉砂岩互层	薄~中层状	6	0.33~4.54	0.33~1.00	5.84	较发育~发育
T ₃ ~J _{1x}	细砂岩	厚层状	6	0.89~3.44	0.89~1.61	3.83	较发育
J _{1j}	灰岩夹泥灰岩	薄~厚层状	4	0.46~4.16	0.46~0.83	5.23	较发育~发育
J _{1t}	灰岩粉砂岩互层	薄~厚层状	6	0.33~11.11	0.33~2.56	4.32	较发育
J _{1f}	粉砂岩	中~厚层状	2	0.37~0.48	0.37~0.48	4.74	较发育

注：场地及周边地区植被茂密，地表多被崩坡积层覆盖，T₂₁少量露头，无法进行节理、裂隙统计；T_{3k}在测绘、调查时未见其露头。

(四) 隧道区的褶曲、断裂

隧址区除五指山背斜外，未见较大的褶曲和断层。受该背斜形态的影响，在岩层倾角急剧变化，硬质中~厚层状的岩层中，主要表现为层间错动，使其错动带岩体变碎；而薄岩层则表现为层间挤压、扭曲、褶皱等形态，在施工中表现为破碎和不稳定。

(五) 地震活动性与地震动参数

测区位于川滇南北构造带的东缘，四川盆地西南部马边地震带北东侧，马边地震区，北西有利店断层，南西有玛脑断层，均为近南北向展布的压扭性断层，亦是 1971 年马边 5.8 级地震群的发震断层。

该地震带活动频繁，以群震型为特点，属浅层地震，深度多在 15~19km，从历史上发生地震的地点看，从雷波马湖—玛脑—马边一带，其震源具有向北迁移的趋势。根据《中国地震烈度区划图》(1990)，该区地震基本烈度为Ⅶ度。

隧道工程为越岭深埋特长隧道，工程重要等级为一级。依据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001)，隧道区地震动峰值加速度定为 0.10g，地震动反应谱特征周期定为 0.40s。同时，在中国地震局地壳应力研究所《国道 213 线沐川至新市镇公路隧道工程场地地震安全性评价报告》(2003 年 10 月)中，在 50 年超越概率 10% 时，场地基岩加速度峰值 0.113g，反应谱特征周期 0.40s。

五、气象与气候

测区地下水类型主要由松散堆积层孔隙水、基岩裂隙水及岩溶水。测区地形破碎，树枝状溪沟发育，隧道进口段的支沟均汇入永福河，属岷江水系。隧道范围内的溪沟流程短，汇水面积小，流量小，其中最大的溪沟(进口处的张家沟)流量为 55m³/s(修建隧道前，在进口段突水坍方发生后，张家沟水量大大减少，有时断流)。张家沟为场地地表、地下水汇集、排泄通道，同时也为地表水侵蚀基准面。

线路位于四川盆地西南部,属于亚热带湿润季风气候区,四季温和,降雨充沛;夏季时间短,光照充足,降雨量占全年降雨量的60%以上,常有洪涝发生;秋季降温快,日照剧减,绵阴雨显著;冬季时间长,干冷少雨。施工期间据施工单位统计,2004年全年有280d下雨,由于是改建工程,施工路段交通不能中断,与隧道进口端相邻的B合同段施工期间,路基、路面半幅施工半幅通行,严重影响了C、D两合同段隧道施工的材料运输。

沐川县多年平均气温 17°C ,场地地形虽破碎,沟谷发育,但植被茂密,具地下水储量较丰富,动态变化受降水影响较小的特征。

六、水文地质与工程地质

原设计指出,II类围岩含少量孔隙潜水,呈滴水或淋雨状渗出;III类围岩含少量风化裂隙水及层间裂隙水,呈滴水或淋雨状渗出;IV类围岩岩溶以溶孔、溶隙或小型岩溶管道为主,富含岩溶水,多以细股~大股状涌、突水和轻微突泥。原设计根据水文地质条件,将全隧地下水涌水量分段预测,进口端最大涌水量 $1\,287\text{m}^3/\text{d}$,出口端最大涌水量 $5\,486\text{m}^3/\text{d}$ 。在实际施工中,涌水量远远大于设计值,造成施工困难。进口端由于涌水量远大于设计值,造成隧道被涌水淹没900余米的后果,突水坍方造成进口端停工达一年多,出口端涌水最大时达每天6万余立方米,施工环境恶劣,严重影响施工进度,大大延迟了原定的施工工期。

场地在区域应力场和局部应力场作用下,于背斜转折部和陡倾段发育了一些层间破碎带,岩石中发育了2~6组节理,属受地质构造影响较重~严重,节理发育~较发育范围。隧道洞身围岩以碎块状镶嵌结构一大块状砌体结构为主,局部为呈碎石状压碎结构~角碎状松散结构。在实际施工中,发现了4个较大的断层破碎带,其中一个破碎带在隧道纵向上的宽度达360m,给隧道施工造成严重影响。进口端2005年8月6日发生的特大突水坍方就发生在这一破碎带上。全隧道原设计II类围岩占5.1%,以强风化带的粉砂岩、细砂岩、泥岩、泥灰岩、泥质粉砂岩、薄层状构造为主,受地质构造影响严重,层间结合较差,构造、风化裂隙发育,岩体以块碎状镶嵌结构为主;III类围岩占全隧道围岩的62.0%,主要集中在洞身地段,以细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩、炭质页岩夹灰岩构成,薄~厚层状构造,进口段岩层产状较平缓,并于五指山脊处岩层急剧弯曲,受地质构造影响较重,层间结合较差,节理较发育;IV类围岩占18.2%,以泥灰岩、泥质白云岩夹灰岩、白云岩、粉砂岩和细砂岩为主,中~厚层构造为主,受地质构造影响较重,不同岩性层间结合力差,节理较发育,以大块状砌体结构为主。

隧址区植被茂密,地表多被松散层覆盖,岩溶发育总体上规模较小,区域岩溶发育高程主要在1000~1600m之间,比隧道设计高程805~885m高100m以上,故岩溶强烈发育带对隧道无大的影响,形成大型的溶洞、暗河可能性极小,多以溶孔、溶隙及小型管道形态出现。隧道通过碳酸盐岩地层时,和其相邻的非可溶性岩层接触界面处可能会发生涌、突水。但开挖后在某些区段,在1000~1600m之间的岩溶水发生了越层补给,造成隧道涌水时间较长,涌水较大的现象,岩溶水越层补给现象在勘察设计阶段未发现。

香溪群出露炭质页岩夹薄煤层,具有生烃(瓦斯)能力。煤层厚度一般小于或等于0.4m,厚度薄,储量小,煤层及其他烃源岩形成的瓦斯有限,可能含有涌出类型的瓦斯,但无煤突出危险。在埋深较大及背斜挤压部位仍有聚集条件,故穿越煤系地层仍有瓦斯封闭与聚集、瓦斯危害的可能性存在,施工中应加强瓦斯监测及通风。据调查,因煤质差,开采条件困难,隧址区附近的煤窑,早已停挖多年或距隧道很远,均对隧道无影响。隧道开挖后经检测,进出口段均未发现有瓦斯,隧道中部属于深埋地段也未发现有岩爆现象。

隧址区地下水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 为主, $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型少量, pH 值 7.4 ~ 8.3, 为中性 ~ 弱碱性水, 对混凝土无腐蚀性。

根据隧道地下水水文地质条件, 对地下水涌水量计算见表 1-2。

五指山隧道地下水涌水量分段预测表 表 1-2

桩 号	最大涌水量(m^3/d)	一般涌水量(m^3/d)
K28 + 418 ~ K30 + 300	1 287	1 210
K30 + 300 ~ K31 + 180	5 486	2 592
K31 + 180 ~ K32 + 205	2 689	1 296
K32 + 205 ~ K32 + 329	285	9
合计	9 747	5 107

预测该隧道最大涌水量 $9\,747\text{m}^3/\text{d}$, 一般涌水量 $5\,107\text{m}^3/\text{d}$ 。

由于隧道线路较长, 造成围岩类别众多, 变化频繁, 工程地质与水文地质特征差异较大, 在实际施工中, 围岩类别与设计有较大差异, 变更较多。

设计中指出, 当埋深大于 500m 时, 可能会出现弱岩爆现象, 在实际施工中未发生岩爆现象。出口段通进煤系地层, 属低瓦斯隧道, 在实际施工中进出口端加强了瓦斯的检测工作, 但均未发现有瓦斯。

七、隧道施工变更情况

五指山隧道由四川省交通厅公路规划勘察设计院设计, 通过招标, 进口端 C 合同段由四川路桥集团隧道分公司施工, 出口端 D 合同段由中铁隧道集团第三施工处施工。在施工开挖后围岩类别与实际相差较大, 实际开挖后涌水量与预测涌水量也有很大差别, 根据动态设计与施工的原则, 在施工中作了大量的变更, 主要是围岩类别变更和初期支护参数变更。各类围岩变更情况见表 1-3。

隧道围岩类别变更情况对比表 表 1-3

围 岩 类 别	II	III	IV	V
原设计长度(m)及比例	200(5.1%)	2 423(62%)	711(18.2%)	577(14.7%)
实际长度(m)及比例	1 384(35.4%)	1 908(48.8%)	532(13.6%)	86(2.2%)

由于围岩类别的变更, 隧道支护结构同时也作了相应的变更, 以保证隧道安全, 各类围岩每延米支护材料见表 1-4。

五指山隧道各类围岩每延米支护材料数量表 表 1-4

围岩	喷射混凝土 (m^3)	锚杆 (m)	钢筋网 (kg)	钢拱架 (kg)	仰拱填充 混凝土 (m^3)	模筑混凝土 (m^3)	注浆小导管 (m)	大管棚 (使用地段) (m)
II	5.4	158.3	79.4	758	6.4	20.2	38.7	32.4
III	3.3	67.5	46.5 (单层 $\phi 6.5\text{mm}$) 317 (双层 $\phi 12\text{mm}$)	—	6.4	13.0	—	—
IV	2.24	32.3	38.1	—		8.1	—	—
V	1.1	12.5	—	—		6.3	—	—

由于围岩的变化,五指山隧道工程量及工程造价也相应地有较大变化。

1. 总工程造价由原来的近 1 亿增加至约 2 亿。
2. 工程材料变更:锚杆数量增加 32%,钢筋、钢架数量增加 45%,混凝土数量增加 24%。

第二节 五指山隧道施工概况

一、工期及施工进度

(一) 隧道施工工期

五指山隧道于 2003 年 12 月 18 日开工,原计划总工期 30 个月,后来由于不良地质、特大突水坍方、膏盐地段的影响,实际工期大大延后。进口端突水坍方发生后,停工达一年多,后修建迂回导洞绕过坍方,成功泄水,为坍方处治和前方未开挖段继续施工创造了条件。迂回导洞进入主洞后,前方继续向前施工,后方处治坍方,至 2007 年 8 月 11 日,隧道进出口两个合同段上台阶贯通,2007 年 9 月 26 日全隧道在 K30+100 处顺利贯通。

(二) 隧道施工进度

1. 全隧道平均开挖月进度 89.2m(两合同段总进度,计入特大突水坍方处理时间)。
2. 原计划进口端施工 K28+418~K30+280 段,共计 1 862m,实际施工 K28+406~K30+100 段,共计 1 694m,月平均进度 58.4m(特大突水坍方处理时间未计),最高月进 155m,出口端平均月进度 50.7m,最高月进度 150m。
3. 全隧二衬平均进度 110m,进口端月平均进度 50m,最高月进度 120m;出口端月平均进度 60m,最高月进度 120m。

二、主要经济技术指标

主要经济技术指标与隧道涌水量大小密切相关。涌水量大时,隧道施工要采取专项措施,装药时要绑在钢筋上送上炮孔中,开挖后要有专人排水,第一次放炮时瞎炮多,要重新钻孔进行补炮,所用炸药、人工等均大大增加。在施工中,施工单位根据涌水量大小,分别进行了主要经济指标的测试,主要测试隧道开挖、喷混凝土、 $\phi 25$ 中空注浆锚杆及小导管施工的主要经济技术指标,测试定额通过加权平均处理后和设计院预算定额及调整洞长系数后的补充定额进行比较。表 1-5~表 1-7 是进口端隧道开挖、初期支护喷混凝土、初期支护中空注浆锚杆实测定额与预算定额比较表。从对比表中可以看出,隧道开挖施工中加权平均后定额数量与调整洞长系数后的 92 预算定额(即 1992 年原定额)比值为 2.77,是所有的项目比值中最大的;空心钻杆、合金钻头加权平均后定额数量与调整洞长系数后的 92 预算定额比值为 2.7 和 2.0,硝酸炸药比值为 1.556,即开挖人工、空心钻杆、合金钻头实际施工比 92 预算定额大得多;水泵的值也比 92 定额大;喷混凝土与中空注浆锚杆均施工实测定额与 92 定额预算差不多。这说明五指山隧道由于涌水较大,开挖施工中所用人工比一般隧道定额预算大得多,开挖所用的部分材料也要比一般隧道预算大得多。实测定额与设计院预算定额的比值大致相当,说明突水坍方后,设计院所作的预算考虑到了五指山隧道施工中的实际困难,所作的设计变更、预算合理。

五指山隧道开挖实测定额与预算定额比较表 表 1-5

编 制 范 围		五指山隧道(K29 + 834 ~ K30 + 100)								工程数量		100m ³
统计工程名称		五指山隧道开挖			工程细目			软石		工程数量		100m ³
序号	涌水段划分	涌水量 0 ~ 5 000 m ³ /d	涌水量 5 000 ~ 15 000 m ³ /d	涌水量 15 000 ~ 35 000 m ³ /d	加权平均 定额数量	92 预算定额 (人工、机械 乘以洞长系数 1.15)	设计院 预算定额	加权平均后定额 数量与调整洞长系 数后的 92 预算定 额比		加权平均后定额 数量与设计院预算 定额比		
	工程项目	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输		机械开挖自卸 汽车运输		
	工料机名称	平均值 1	平均值 2	平均值 3	加权平均值	定额	定额	定额		定额		
1	人工	单位 工日	144.788	287.688	289.374	277.269	99.935	274.390	2.774	1.010		
2	原木	m ³	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.029	1.000	0.724		
3	锯材	m ³	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.029	1.000	0.655		
4	钢管	t	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.015	1.000	0.733		
5	空心钢钎	kg	9.005	22.781	22.627	21.615	8.000	20.950	2.702	1.032		
6	合金钻头	个	6.239	8.727	7.855	8.085	4.000	8.000	2.021	1.011		
7	铁钉	kg	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.300	1.000	0.667		
8	聚氯乙烯塑料管	m	24.418	92.503	119.645	101.005		117.000		0.863		
9	8 ~ 12 号铁丝	kg	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	2.300	1.000	0.783		
10	硝敏炸药	kg	99.455	141.863	138.822	136.960	88.000	136.000	1.556	1.007		
11	非电毫秒雷管	个	116.465	123.273	117.221	119.641	107.000	114.000	1.118	1.049		
12	电	kW · h	225.321	250.272	249.472	247.893	224.000	244.000	1.107	1.016		
13	水	m ³	66.840	88.777	91.520	88.448	57.000	88.000	1.552	1.005		
14	其他材料费	元	172.700	172.700	172.700	172.700	172.700	187.660	1.000	0.920		
15	2m ³ 以内轮胎式装载机	台班				0.000	1.231	1.231				

编制范围		五指山隧道(K29+834~K30+100)										
统计工程名称		五指山隧道开挖			工程细目		软石			工程数量		100m ³
序号	涌水段划分	涌水量 0~5 000 m ³ /d	涌水量 5 000~15 000 m ³ /d	涌水量 15 000~35 000 m ³ /d	加权平均 定额数量	92 预算定额 (人工、机械 乘以洞长系数 1.15)	设计院 预算定额	加权平均后定额 数量与调整洞长系 数后的 92 预算定 额比		加权平均后定额 数量与设计院预算 定额比		
	工程项目	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	机械开挖自卸 汽车运输	
	工料机名称	单位	平均值 1	平均值 2	平均值 3	加权平均值	定额	定额	定额	定额	定额	
16	3.5m ³ 以内轮胎式装载机	台班	0.653	0.685	0.920	0.803						
17	12t以内自卸汽车	台班	1.961	2.057	2.054	2.048	2.312	2.312	0.886		0.886	
18	15t以内自卸汽车	台班	0.653	0.685	0.678	0.679						
19	1t以内机动翻斗车	台班	1.991	3.122	3.099	3.021	2.484	2.484				
20	φ150mm以内电动单级水泵	台班	2.595	3.735	3.846	3.702	2.599	2.599	1.424		1.424	
21	气腿式风动凿岩机	台班	11.142	18.078	25.671	21.413						
22	9m ³ /min以内机动空压机	台班					6.003	14.858				
23	20m ³ /min以内机动空压机	台班	5.828	9.881	12.464	10.882						
24	30kW以内轴流式通风机	台班					6.026	11.213				
25	75kW以内轴流式通风机	台班	5.655	6.805	5.801	6.201						
26	小型机具使用费	元	122.500	122.500	122.500	122.500	122.500	140.875	1.000		0.870	
桩号		K29+834 ~855		K29+855 ~964		K29+964~ K30+100						
施工长度(m)		21		109		136						
备注:加权平均定额数量=(各种涌水量情况下的定额数量×对应施工长度)÷合计总长度												