

煤系地层公路隧道 设计与施工技术研究

张志沛 张武祥 张天军 著



西安地图出版社

煤系地层公路隧道 设计与施工技术研究

张志沛 张武祥 张天军 著

西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤系地层公路隧道设计与施工技术研究/张志沛等著. —西安:西安地图出版社, 2005.7

ISBN 7-80670-833-2

I. 煤... II. 张... III. ①含煤地层-公路隧道-设计 ②含煤地层-公路隧道-施工 IV. U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 090487 号

煤系地层公路隧道设计与施工技术研究

张志沛 张武祥 张天军 著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码:710054)

新华书店经销 西安工业学院印刷厂印刷

850 毫米×1168 毫米 1/16 开本 11 印张 326 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

印数:0001~1000

ISBN 7-80670-833-2/TU·20

定价:48.00 元

前言

随着国家对公路建设投入的加大和高速公路的迅猛发展,全国各省都有大量高速公路穿山越岭进入山区,使得山区公路隧道的建设数量也逐年增多。山区地质构造和地层岩性复杂多变,公路隧道的勘察设计过程中面临各种地质条件的考验,尤其是隧道穿越煤系地层及其采空区的设计与施工技术问题。山西祁(县)临(汾)高速公路灵石至霍州段常家山隧道为穿越煤系地层的公路隧道,施工过程中存在的技术问题较多,如施工中塌方、采空区综合治理对策等。另外,煤系地层在我国多个省份分布,随着山区高速公路的不断发展沿伸,隧道工程勘察设计势必遇到更多这样的地层条件。煤系地层围岩的特点是:①通过煤层的层数多,厚度不等,倾角小,规模大小不一;②煤层强度低,多呈碎块状、鳞片状、粉状,坚固性系数 f 值较小;③煤层中瓦斯含量高,瓦斯浓度、瓦斯压力变化不定;④富水软弱的煤系地层隧道结构初期支护变形大,开挖易塌方,对施工非常不利;⑤高压瓦斯、高地应力与低煤层强度三者结合,致使煤层在开挖暴露后有发生“突出”灾害的危险;⑥煤系地层多有采煤活动,其中采空区对工程的影响规模、影响程度,直接关系到施工安全、工程的经济性。对穿越煤系地层的公路隧道,在勘察设计中遇到的主要问题是:①在路线方案的确定过程中不能很快查清、了解影响工程的规模、程度、范围,直接影响路线方案的选定;②设计基础资料的不定因素太多,设计因素考虑不周全,即使结构计算分步较细,隧道结构设计支护参数把握性也较差,不是过于保守就是支护强度不足,造成成本过高或施工塌方;③由于煤系地层特点的特殊性,施工方案的设计缺乏合理性。煤系地层公路隧道在施工过程中遇到的主要问题是:①防突;②防爆;③保持隧道围岩的稳定;④采空区综合治理,防止塌方冒顶、结构基础落空。综合以上因素,开展对煤系地层公路隧道设计与施工的技术系统研究是非常必要的。

通过山西祁(县)临(汾)高速公路灵石至霍州段常家山隧道的设计、数值模拟对煤层采空区等各种工况下不同围岩参数同跨径隧道的受力状态进行仿真分析研究,了解围岩破坏性质和部位与时空变化规律及不同施工工序对隧道稳定性的影响,确定合理的结构形式与设计支护参数;进行富水煤系地层隧道塌方段、采空区治理等围岩加固技术研究;施工所遇到的地质病害成因分析和处理对策研究;设计、施工技术经验教训总结等关键技术方面的研究、总结,对确保常家山隧道工程勘察设计、施工质量,节约工程投资具有十分重要的意义。同时为解决公路隧道在穿越煤系地层所遇到的设计、施工技术难题,指导类似项目的设计、施工,节约工程投资更具有实际的指导意义。

本书共分七章,其中:第一章、第二章由张志沛、张武祥撰写。第三章、第四章由张志沛、张武祥、张天军撰写。第五章、第六章由张武祥、张志沛撰写。第七章由张志沛、张天军撰写。在本书撰写过程中,秦羨安、刘旭、张鑫、杨创奇等同志参加了资料的整理、分析与研究工作。

由于作者水平有限,书中难免存在错漏和不足之处,恳请读者批评指正。

在本书的撰写过程中,中交第一公路勘察设计研究院和中交通力岩土工程有限公司领导及相关的技术人员提供了大量的帮助,煤炭科学总院西安分院张景海高级工程师给予了热心的指导,北京石油大学王芝银教授为本书的修改提出了宝贵意见,在此一并表示感谢。

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 研究现状及发展趋势	1
1.2 研究内容和技术路线	4
1.2.1 主要研究内容	4
1.2.2 技术路线	4
1.3 主要成果	5
2 煤系地层隧道设计施工所遇到的地质病害特征与处理对策	9
2.1 工程地理位置	9
2.2 地形、地貌、气象条件	9
2.3 工程地质条件	9
2.3.1 地层岩性	9
2.3.2 地质构造	11
2.3.3 水文地质条件	12
2.4 隧道围岩分类	12
2.5 煤系地层设计施工所遇到的地质病害特征	12
2.5.1 采空区	12
2.5.2 有害气体	12
2.5.3 突水、涌水	12
2.5.4 常家山隧道出口端(灵石端)滑坡	13
2.6 煤矿采空区特征与处理对策	13
2.6.1 煤矿采空区范围确定的依据	13
2.6.2 煤矿采空区特征	14
2.6.3 采空区覆岩剖面特征	14
2.6.4 采空区垮落带体积估算	14
2.6.5 隧道路段(k88+800~k89+600)采空区岩体基本特征	15
2.6.6 老采空区稳定性和地表沉陷机制	16
2.6.7 祁临高速公路隧道采空区段工程地质特征	17
2.6.8 祁临高速公路隧道采空区段围岩变形破坏特点	18
2.6.9 隧道围岩应力分布特征的分析	20
2.6.10 祁临高速公路隧道采空区段围岩稳定性分析与评价	31
2.6.11 采空区治理对策	38
2.7 瓦斯	39
2.7.1 煤系地层瓦斯的基本特征	39
2.7.2 影响瓦斯含量的因素	39
2.7.3 煤层采空区瓦斯特点	39
2.7.4 常家山隧道段煤层瓦斯特点	39

2.7.5 瓦斯隧道施工安全措施	41
2.8 涌水、突水	45
2.8.1 煤矿采空区涌水、突水基本特征	45
2.8.2 涌水、突水防治对策	45
3 煤系地层隧道支护结构设计	47
3.1 煤矿开采特征	47
3.1.1 煤矿开采一般特征	47
3.1.2 煤矿采空区特征	47
3.2 移动变形规律	48
3.2.1 采空区地表移动变形规律	48
3.2.2 地表移动延续时间	48
3.3 煤矿采空区岩体基本特征	48
3.3.1 采动破裂岩体结构中的结构面	49
3.3.2 采动(破碎)岩石的分类	49
3.3.3 采动破裂岩体结构中的结构体	50
3.3.4 采动影响岩体结构分类	50
3.3.5 采动破碎岩体的孔隙度和碎胀系数	51
3.4 隧道支护设计思想与方法	51
3.5 常家山隧道支护设计与计算	52
3.6 设计、施工概况	60
3.6.1 常家山隧道段(k87+000~k93+263.977)初步设计及优化情况	60
3.6.2 隧道位置设计	61
3.6.3 隧道横断面设计	61
3.6.4 衬砌结构设计	61
3.6.5 常家山隧道采空区处理	62
3.6.6 洞口位置设计	62
3.6.7 防排水设计	62
3.6.8 路面及内装饰设计	62
3.6.9 紧急停车带及安全横通道设计	62
3.6.10 检修道设计	62
3.6.11 现场监控量测	62
3.6.12 施工方案设计	63
4 隧道支护设计中围岩变形与破坏分析及预测	64
4.1 有限单元法概述	64
4.1.1 有限单元法的基本分析过程	64
4.1.2 有限元分析的力学模型	64
4.1.3 有限元分析软件 NCAP-2D 程序	65
4.2 材料的参数及计算模型	66
4.3 I类围岩隧道开挖支护分析	66
4.4 II类围岩隧道开挖支护分析	72
4.5 III类围岩隧道开挖支护分析	78
4.6 IV类围岩隧道开挖支护分析	83

4.7 采空区隧道开挖支护模拟分析	86
4.7.1 数值模型及其假定	86
4.7.2 采空区位于隧道上方地段的模拟结果	87
4.7.3 采空区位于隧道底部	94
4.7.4 小结	100
4.8 结论	100
5 施工及监控技术	102
5.1 隧道开挖方法	102
5.1.1 公路山岭隧道常用开挖方法	102
5.1.2 常家山隧道开挖方案的探讨与选定	104
5.2 施工期地质预测、预报	105
5.2.1 常用的超前预报方法	105
5.2.2 采空区的预报	105
5.2.3 瓦斯突出的监测与预报	106
5.2.4 涌水、突水的监测与预报	107
5.3 控制爆破与安全爆破技术	108
5.3.1 爆破分类与影响爆破效果的因素	108
5.3.2 常家山隧道爆破方案	109
5.4 防排水措施	113
5.4.1 隧道内外总的防排水措施	114
5.4.2 初期支护防水	114
5.4.3 初期支护和二次衬砌之间防排水	116
5.4.4 二次衬砌防排水	116
5.4.5 防排水系统施工质量控制	117
5.4.6 小结	118
5.5 施工阶段围岩类别的判定与核实	118
5.5.1 概述	118
5.5.2 常家山隧道施工阶段核实隧道围岩类别的方法	118
5.5.3 判定结果	122
5.6 施工监控测量	122
5.6.1 监控量测目的	122
5.6.2 测量原则与内容	122
5.6.3 数据分析结果	124
6 隧道塌方处理	126
6.1 Lk89+420~Lk89+450 段塌方	126
6.1.1 概述	126
6.1.2 原因分析	126
6.1.3 治理方案的讨论与选定	127
6.1.4 塌方段施工处理	127
6.1.5 处理效果	127
6.2 Lk88+676.5~Lk88+740 段大变形和塌方	128
6.2.1 概述与原因分析	128

6.2.2 处治方案	129
6.2.3 处治效果	130
6.3 Lk88+740~Lk88+802 段沉降变形和塌方	130
6.3.1 概述	130
6.3.2 处治方案	130
6.4 小结	131
6.4.1 经验体会	131
6.4.2 塌方的技术处理措施	132
7 煤系地层隧道围岩内地面注浆加固技术	133
7.1 注浆法特征	133
7.2 注浆材料选择	133
7.3 注浆边界范围	137
7.4 采空区覆岩注浆法	137
7.5 采空区注浆参数试验研究	139
7.6 祁临高速公路隧道采空区注浆效果及质量评价	146
7.6.1 注浆效果评价	146
7.6.2 注浆质量检验内容及标准	146
7.6.3 注浆治理工程的质量检验方法及工程质量评述	147
7.7 采空区注浆工程优化设计	153
7.7.1 施工概述	153
7.7.2 工程变更及理由	153
7.8 结论与建议	156
参考文献	159

1 绪 论

1.1 研究现状及发展趋势

我国金属与非金属的矿产分布范围广、储量丰富,其开发开采的规模也很大。尤其是煤炭储量和产量,分别居世界第三位和第一位。煤炭是我国当前的主要能源。据统计,国内一次能源的生产和消费中,煤炭约占 3/4。预计今后三五十年里,煤炭作为我国第一能源的地位不会改变。据调查,我国除上海市外,各省(区、直辖市)都有煤炭赋存及其煤矿(层)采空区的分布。金属和非煤的非金属矿床及其采空区的分布范围,远远小于煤矿床及其采空区。因此,煤矿(层)采空区对我国高等级公路的影响和危害程度也最为严重;此外,十几年来已治理的公路下或公路上的采空区,95%以上都是煤矿采空区。

我国地域辽阔,成煤时代多且环境多种多样,后期保存条件较好,故全国有规模大小不等的数百个煤田分布(见图 1-1)。由图 1-1 可见,煤田地理分布很不均衡,90%以上的煤炭储量集中于长江以北和西北地区,其中新疆、内蒙古、山西和陕西的储量占全国的 75%以上,华北聚煤区储量约占全国的 40%,西北聚煤区约占全国储量的 1/3,而滇藏中、新生代聚煤区的煤炭储量不到 100 亿吨,台湾聚煤区不到 2 亿吨。

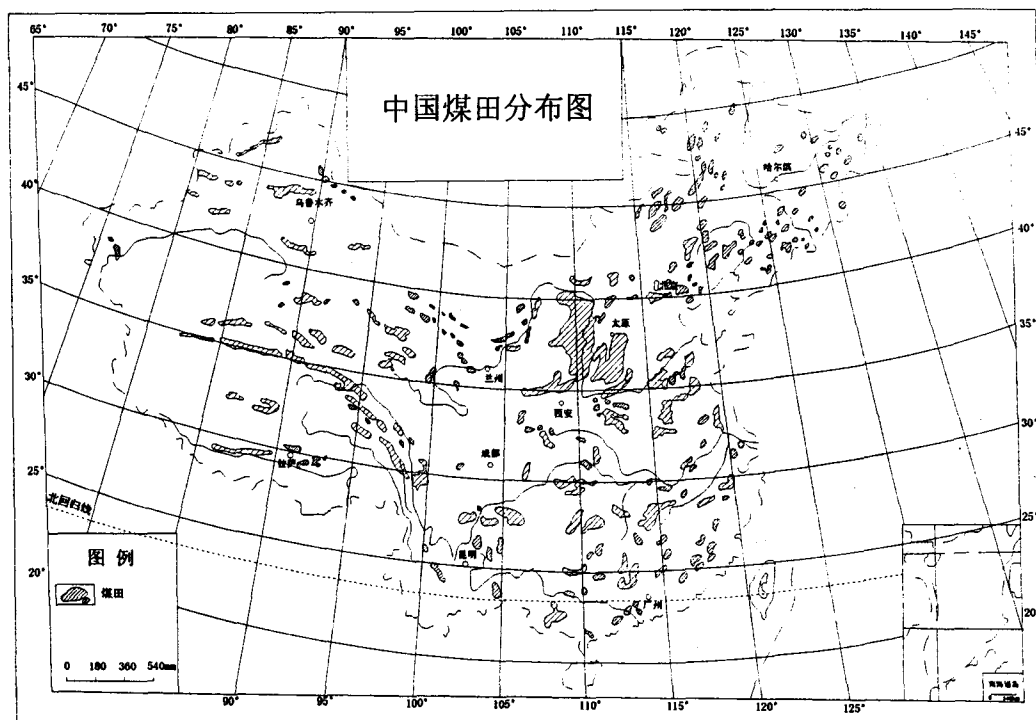


图 1-1 中国煤田分布图

我国煤田,除西藏、新疆、青海等省(区)开发较晚、开采规模和范围较小外,其他省(区)和直辖市都较早、较大。其中开滦矿区是我国开发最早,规模和范围大、开采深度(-1000m 以下)也最大的矿区之一;此外,山西大同矿区、江苏贾旺矿区、安徽淮南矿区,东北的抚顺、阜新、鸡西、鹤岗、双鸭山等矿区,山东的枣

庄、莱芜、新汶和四川的南桐等矿区,开采的时间也都较早,开采的规模和范围也较大。其中江西、湖南等省的部分矿区开采也较早,但规模和范围及开采深度都很小。河南的平顶山矿区、安徽的淮北矿区、陕西的神府矿区、山东兖州矿区和贵州的六盘水等矿区,开发开采的时间较短(多在 20 世纪 60 年代以后开发的),但规模和范围都较大。

有煤田的地方或地区,就可能有煤矿采空区。因而在煤田分布的范围内,一般都有煤矿采空区的存在。根据我国聚煤区的煤炭储量、主要成煤时代及其煤田分布(图 1-1)、开采规模、开采深度,并考虑到采空区对公路的危害程度,可将我国煤矿采空区划分六个大区,如图 1-2 和表 1-1 所示。

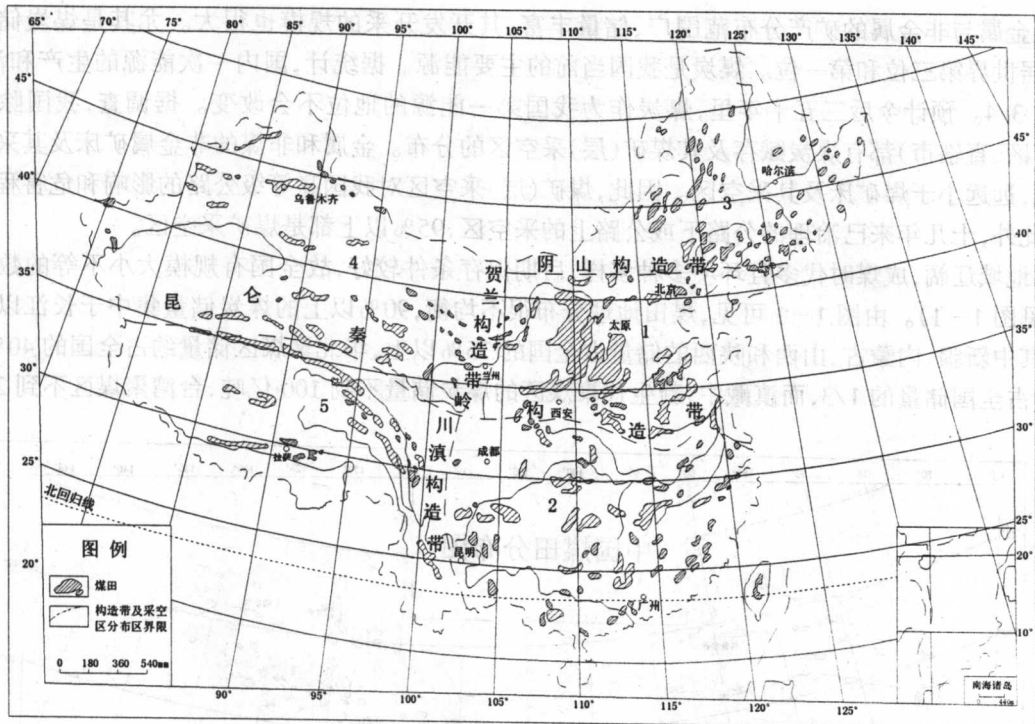


图 1-2 中国煤矿(层)采空区分布示意图

1. 华北石炭二叠纪煤田的煤矿采空区; 2. 华南晚二叠世煤田的煤矿采空区; 3. 东北侏罗纪煤田的煤矿采空区;
4. 西北侏罗纪煤田的煤矿采空区; 5. 西藏-滇西中生代煤田的煤矿采空区; 6. 台湾第三纪煤田的煤矿采空区。

(1) 华北石炭二叠纪煤田的煤矿采空区(简称华北区)

由图 1-2 和表 1-1 可知,本区煤田分布范围广、数量多、煤炭储量大、煤层多;开采范围和规模(原煤产量、矿井数量)也最大。因此,本区是我国多层采空区分布最多的地域;也是对高速公路影响和危害程度最为严重的地区,如焦作至晋城的高速公路、太晋高速公路、津宝高速公路、大运(大同至运城)高速公路、祁临高速公路、大同 109 国道改建工程、京福国道主干线徐州绕城公路、太旧高速公路、郑少高速公路等都多处(最长达 4~5 段)通过煤矿采空区。

本区内,山西、河北、河南、山东、陕西、安徽等省的煤矿采空区分布较多,其中以山西、河南、河北、山东四省为最多。

(2) 华南晚二叠世煤田的煤矿采空区(简称华南区)

由表 1-1 看出,本区 15 个省(区)、直辖市的原煤产量虽然大于东北侏罗纪煤田的煤矿采空区(简称东北区),但多数煤田范围小、煤层少、煤层薄,属不稳定和极不稳定状态,开采规模也小于东北区。煤矿采空区分布的数量和范围,次于华北区和东北区而列第三位。滇、川、黔、湘、赣等五省的原煤产量和矿井数,分别占本区的 84.2% 和 95%;显然,本区的煤矿采空区主要分布于这五省。

表 1-1 中国各省(区、直辖市)煤田开采规模及煤炭储量表

省、自治区、 直辖市名称	原煤产量(万吨) 1991 年	矿井数量(处) 1991 年	累计探明煤炭储量(亿吨) 1990 年	说 明
北 京	993	8	27.09	矿井数量不包括地方集体煤矿
河 北	6142	144	161.91	
山 西	28857	279	2608.73	集体矿井 1133 处
内 蒙 古	4922	1246	2056.32	吉林省集体矿井 181 处;个体矿 井 127 处,均包括在 397 处内
辽 宁	5234	556	84.87	
吉 林	2558	397	29.01	
黑 龙 江	8514	306	199.62	浙江省内累计探明储量实际为 0.5 亿吨;安徽广德为 1.18 亿吨 (划归浙江开采)
江 苏	2470	189	44.91	
浙 江	139	17	1.68	
安 徽	3080	60	259.11	江西 2147 处矿井,其中集体矿 井 2068 处
福 建	857	49	11.65	
江 西	2123	2147	16.59	
山 东	6054	86	252.12	
河 南	8972	161	217.95	2222 处矿井,其中集体矿井为 1975 处(湖南)
湖 北	810	57	8.41	
湖 南	3314	2222	34.20	
广 东	933	46	8.75	重庆市的相关资料已含在四川 省内
广 西	993	54	24.15	
四 川	6904	264	102.80	陕西省至 1990 年底乡镇煤矿 1755 处,其中 79 处年产量在 3 万吨以上
贵 州	3723	66	493.00	
云 南	2193	55	235.76	
西 藏	0.9	1	0.49	青海省 91 处矿井,其中集体矿 井为 64 处
陕 西	3289	170	1559.66	
甘 肃	1543	12	90.43	
青 海	286	91	44.70	新疆 592 处矿井,其中集体矿井 448 处
宁 夏	1403	31	314.40	
新 疆	2111	592	942.54	
海 南	1.5	1	0.67	
全国总计	108419.40	9307	9831.52	

※ 天津、上海、香港、台湾、澳门等地未统计。

(3) 东北侏罗纪煤田的煤矿采空区

本区包括吉林、辽宁和内蒙古等省(区)的大部分和黑龙江省全部。主要为侏罗纪煤系地层,次为石炭二叠纪、第三纪的煤系地层,还有少量的白垩纪的煤层。本区煤田分布范围大、煤层多、煤层厚度大而稳定,开采规模和强度亦大,是我国煤矿采空区分布最多的地区之一,仅次于华北区(见表 1-1)而名列第二

位。

(4) 西北侏罗纪煤田的煤矿采空区

西北侏罗纪煤田的煤矿采空区(以下简称西北区),主要开采侏罗纪的煤层,次为石炭二叠纪的煤层。本区煤田分布范围广、煤层多而厚度大;又很稳定。其中新疆的煤炭储量占全国第一位,然而,煤田的开发与开采的规模小(原煤产量仅 3940 万吨、矿井 695 处)。

但本区是我国重要煤炭能源后备基地。因此,目前煤矿采空区较少(主要分布在乌鲁木齐和哈密地区),未来新疆将是煤矿采空区分布最多的地区之一。

(5) 滇藏(西藏-滇西)中新世代和台湾第三纪煤田的煤矿采空区

本区煤田小而少,煤层薄且极不稳定。两大区的煤炭储量不到 200 亿吨。据 1991 年统计,西藏只有一个年产量达 3 万吨的矿井。其他均为一些土法开采的地方小矿。台湾的煤层很薄(据统计,有 70% 的煤矿开采的煤层厚度在 0.25~0.60m 之间);其中煤炭储量约 4 亿吨。煤矿总数 840 个,年产量达 2850 万吨。综上所述,这两大聚煤区的煤矿采空区是最少的。又由于煤层薄,故采空区对修建公路路基危害程度很小。

公路交通属于国家的基础设施,随着国力的增强和经济实力的增大,建设公路交通已成为重中之重,公路交通网络,尤其是山区高速公路,规划设计除考虑到平纵几何线形满足设计要求外,还要充分体现地质选线、地形选线、景观选线的原则,但不可避免线路跨越煤系地层。因此,如何解决隧道穿越煤层和采空区所遇到的地质病害,保证设计施工运营的安全,便成为煤系地层隧道研究的主要问题。国内铁路隧道发展较早,遇到煤系地层的隧道也较多,如近年来有代表性的南昆铁路威(舍)红(果)段全长为 4990m 的家竹箐隧道、侯月铁路云台山隧道等;公路隧道有代表性的有四川广渝高速公路广安至邻水段左洞长为 4705.95m,右洞长为 4684m 的华蓥山隧道、四川巴彭公路隧道全长为 2099m 的铁山隧道等。从现有的资料看,对穿越煤系地层的隧道已做了部分的研究工作,如华蓥山隧道针对隧道穿越煤层段进行施工技术及安全监测、揭煤防突、防塌技术进行了研究;铁山隧道针对煤层采空区病害综合治理进行了研究;南昆铁路威(舍)红(果)段全长为 4990m 的家竹箐隧道针对突出煤层的预测技术及防突技术进行了研究;家竹箐隧道针对部分高瓦斯、大变形、大涌水的整治与对策研究等等。但上述研究工作,关于公路隧道的研究内容较少,缺乏对煤系地层瓦斯、变形、涌水,煤系地层采空区等病害综合整治与对策的设计、施工技术综合研究。

1.2 研究内容和技术路线

1.2.1 主要研究内容

① 煤系地层的成因、特点、分布范围,采空区地段隧道变形破坏特征。

② 采用数值模拟对煤层、采空区各种工况在不同围岩参数下,同跨径隧道受力状态仿真分析,了解围岩破坏性质和部位与时空变化规律及不同施工工序对隧道稳定性的影响,确定合理的结构形式与支护参数。

③ 瓦斯、突煤、突水、采空区预报研究;结合围岩情况开展安全施工技术研究,确定合理的开挖方法与各种支护手段的综合运用,确保隧道的安全施工。

④ 结合爆破机理对控制爆破技术开展研究。

⑤ 富水煤系地层隧道塌方段、采空区治理等围岩加固机理、加固方式及技术研究,对隧道整体稳定性进行评价。

1.2.2 技术路线

本项研究工作主要采取依托常家山隧道设计、理论分析、全过程施工、现场监控量测与反馈修正设计、

调研验证、咨询相结合的研究方法,具体研究技术路线为:

- ① 设计、全过程施工参与、调研、专家咨询及研究方案确定;
- ② 结合施工现场再次进行理论分析,对设计进行修正;
- ③ 依托工程进行现场监控量测,优化设计参数,指导施工;
- ④ 理论分析与现场量测、搜集与整理资料、调研成果,进一步完善并形成研究成果。

1.3 主要成果

通过常家山隧道穿越煤系地层的设计与施工技术研究,获得以下成果:

1. 煤层采空区特征

常家山隧道通过道圩—沟东古采空区(即Ⅳ号采空区)。该煤矿采空区位于 $k88+990 \sim k89+600$ 之间。常家山隧道设计标高 $900 \sim 936\text{m}$,在采空区段埋深 $100 \sim 150\text{m}$,受采空区影响长约 245m ,其中采空区位于隧道洞身及其以上长 110m ,位于洞身以下长 135m 。

该采煤生产活动在民国以前,现在古窑进口已被埋没,该段线路之下均发生过采煤活动,所开采煤为 2[#]煤,煤层厚 2m ,产状 $170^\circ \angle 16^\circ$,顶板为砂质泥岩或泥岩,底板为砂岩,埋深 $90 \sim 150\text{m}$,点柱支护,回采后回撤,顶板任其自然垮落。据地勘分析,采空区顶板冒落高度在 $0.5 \sim 6.5\text{m}$,塌陷堆积物厚 $0.2 \sim 2.5\text{m}$,实际悬空高度 $0.5 \sim 2.0\text{m}$,采空区内部分充水。隧址地下水主要为第四系孔隙水和基岩裂隙水,局部地段发育岩溶水。同时,该隧道断层破碎带中可能有承压水,开挖时会产生涌水现象。另外,采空区内会出现积水的突涌现象。常家山隧道穿越数百米煤系地层,且有废弃的古井。

2. 采空区路段围岩等级

对于采空区位于隧道下方的路段,岩体以碎石状松散结构为主;对于采空区位于隧道上方的路段,岩体以碎石镶嵌结构为主。在采空区隧道路段的左线 $Lk89+440 \sim +460$ 和右线 $Rk89+440 \sim +460$ 处有 F_5 正断层,断距在 $50 \sim 200\text{m}$ 以上,断层带宽度为 20m ,与隧道相交角度为 65° 。受此构造作用的影响,围岩节理发育,围岩受地质构造影响程度为严重等级。因受到采矿活动的影响,采空区的存在使得覆岩产生塌陷与冒落,其结果,围岩中岩体节理和裂隙发育,围岩节理(裂隙)发育程度为节理很发育等级。

在采空区部位充水,按公路隧道围岩分类标准,由于岩体破碎,无法按正常围岩分类进行分类,本书将该路段隧道围岩按Ⅰ类考虑。按普氏岩石坚固性分类,该路段属Ⅵ类,其坚固性系数 $f_k=2$ 。

3. 围岩变形破坏特点

该采空区隧道路段围岩包括各种软弱的层状结构岩体(如泥岩、细砂岩等)和散体结构岩体(采空塌陷冒落区)。这类围岩的变形与破坏,主要有塑性挤出、膨胀内鼓和重力坍塌等不同类型。

4. 采空区治理对策

采空区治理方案主要依据地表的变形特征、地质与采矿特征等因素确定,有地面注浆治理方案、隧道内大管棚预注浆超前支护方案、隧道内预注浆方案等。依据已有的工程实践,对隧道区采空区治理采用以下方案:

当煤层采空区为一层,且采厚在 $2 \sim 3\text{m}$ 以下时,宜采用隧道内预注浆,或隧道内大管棚预注浆超前支护方案。

当煤层采空区为多层,或是一层但采厚大于 $2 \sim 3\text{m}$ 以上时,宜首先考虑采用地面注浆方案。鉴于隧道路段地形条件变化较大,当采空区埋深大于 150m 时,虽然,地面注浆方案可行,但工程费用较大,在此种情况下,仍建议采用隧道内预注浆,或隧道内大管棚预注浆超前支护方案。

5. 隧道采空区支护特点

由于采空区围岩等级无法准确地确定,参照相应的规范技术要求,将该路段隧道围岩按Ⅰ类考虑。按

普氏岩石坚固性分类,该路段属Ⅵ类,其坚固性系数 $f_k=2$ 。在此种条件下,通过计算与施工,建议采空区部位支护参数可选用:超前支护: $\Phi 89$ 长管棚注浆支护,环向间距30cm, $\alpha=6^\circ$;C20喷射混凝土:30cm;锚杆: $\Phi 25$ 有压注浆锚杆, $L=4$ m,间距80cm $\times$ 80cm;钢筋网: $\Phi 6.5$ 钢筋网,规格为20cm $\times$ 20cm;钢支撑:I20钢拱架,纵向间距75cm;二次衬砌:C25钢筋混凝土,厚度50cm。

从数值模拟的结果可以看出,采空区(特别是位于隧道上方的采空区)对隧道的稳定性有巨大影响。隧道开挖前必须探明采空区分布范围及其与隧道的空间位置关系,对采空区进行地面注浆后再进行隧道开挖,严格按照规范 and 设计要求施工,并加强围岩的应力位移监测,掌握隧道变形动态,必要时,可修正支护参数,以便顺利通过采空区。

6. 防排水

防排水是隧道工程中的重要内容,防排水质量的好坏直接影响到隧道的质量安全和运营期间的行车安全性。鉴于煤层采空区的特征,加强洞外截水排水,洞内设置初期支护防排水、初期支护和二次衬砌之间铺设防水板、二次衬砌防水三道防线,使隧道的防排水质量得到了保证,从后期的隧道运营来看,以上的防排水措施是有效的,可行的。

7. 瓦斯预报

参照铁道部《铁路瓦斯隧道技术规范》的标准,常家山煤系地层隧道属于高瓦斯隧道,该瓦斯隧道无突出危险,但个别判定指标较高,在施工过程中应予以重视。

在施工过程中,当掘进工作面接近2[#]、11[#]煤层15~20m时,提前先向煤层中打钻孔,钻孔孔径为75mm,排距与孔距为5m左右,初探煤层位置。当掘进工作面接近2[#]、11[#]煤层10m处时,打了3个超前探孔,分别探测开挖工作面前方上部、左右部位煤层位置。在钻孔中,采用黏土测压法测的2[#]煤层的瓦斯压力为0.63MPa。参照铁道部《铁路瓦斯隧道技术规范》的标准,该煤层无突出危险性。但考虑预测指标值解决临界值,因此,结合隧道台阶法施工过程,在采空区部位,加密瓦斯浓度的检测工作,每天2次,确保隧道施工的安全。

8. 突水预报

对采空区积水和断层带涌水超前预报,采用钻探的方法,探明采空区具体位置后,在距采空区或断层位置2~3m处,利用炮眼量测积水的水平射距分别为4~5、7~8m之间,按照上述工作方法和预测用水级别,预测相当涌水量为50~300m³/h,在探放水后,实际涌水量分别约为63.0、105.0m³/h。

9. 采空区预报

采用钻探的方法,利用岩芯特征及钻探情况判断划分“三带”的标志,准确判断采空区的位置及采空塌陷情况,为隧道安全施工提供可靠的基础资料。

10. 采空区路段开挖方案

由于采空区地质条件较差,开挖过程中洞身的稳定性较差,宜采用上半断面弧形导坑开挖初期支护先拱后墙法施工。Ⅰ~Ⅲ类围岩段开挖时,上半断面与下半断面的距离不能太大,应小于15m,在将要揭穿和通过煤层段,这个距离应更小,以便于瓦斯的排放。

11. 控制爆破技术

钻爆法是当今隧道施工中常用的掘进方式。合理的选用爆破方式和爆破参数,可减少爆破对围岩的扰动和减少超(欠)挖量,取得良好的爆破效果。

在Ⅰ~Ⅱ围岩段采用台阶法施工,因围岩太破碎,自稳性差,其上断面采用环形导坑开挖,光面爆破效果不是很理想,半边炮眼痕迹保存率较低,仅为40%~45%,且超挖量过大。其下断面采用预裂爆破,爆破参数与Ⅲ围岩的相同,爆破效果相对上断面的要好一些。

影响爆破效果的因素很多,作业时应根据具体的围岩情况和施工条件选取合理的爆破参数,以最大限度地保证爆破效果。

12. 地面注浆技术

(1) 祁临高速公路隧道穿越采空区注浆治理工程采用纯水泥浆,浆液配比为水灰比 0.7:1~1:1 之间,治理工程采用水灰比为 0.7、0.8 稠浆与水灰比为 1.0 稀浆的浓度配比。其中稀浆灌注量位单孔注浆量的 30%。这种浓度配比满足了注浆工程的需要,保证了灌浆工程质量。结石体的抗压强度大于 8MPa,达到设计要求。

(2) 祁临高速公路隧道穿越采空区注浆治理工程依据工程地质条件,隧道部位设三排注浆孔,孔距和排距为 8m。为充分发挥每个注浆孔的作用,注浆孔的布孔方式建议采用三角形布孔方式为主,矩形布孔方式为次。

(3) 注浆压力通过试验或理论估算来确定。依据工程实践,注浆孔口管压力一般大于 1.5MPa,多为 1.8~2.5MPa,最高可达 2.9MPa。单孔注浆结束标准为:在注浆孔的注浆末期,泵压逐渐升高,当泵量小于 70L/min 时,孔口管压力在 1.5~2.5MPa,稳定 10~15min,可结束该孔的注浆施工。

(4) 祁临高速公路隧道穿越采空区注浆治理工程,采用全孔一次注浆方式,考虑采空区与隧道的关系,确定注浆段的位置与长度,且定量注浆,此种方式的设计满足了隧道工程对围岩强度的要求。

(5) 注浆量的大小不但直接影响到工程质量,而且还影响着工程造价,在祁临高速公路隧道穿越采空区注浆治理工程实践中,其注浆量可进行理论估算,由于剩余空隙率难以准确估算,因此,施工的注浆量超过设计注浆量,建议该值应在治理工程前进行试验,以确订其值的合理性。

(6) 注浆施工前,钻孔内的岩芯裂隙发育,岩芯较短或呈末状,取芯率一般在 15%~30%之间;注浆施工后,钻孔内的岩芯裂隙被灰色水泥浆液充填,岩芯呈短或长柱状,取芯率一般在 60%以上,钻孔内提取的水泥浆结石体长度为 0.2~0.6m 之间,其抗压强度值均大于设计要求的 8MPa。

(7) 通过声波测试,注浆后岩体的横波速度提高到 160m/s 以上,达到设计要求。但研究表明:横波速度很容易受到所注岩体结构的影响,表现出横波速度值较低。如采用横波速度作为一个检测标准,尚需要进一步的研究工作,依据郑少高速公路煤矿采空区治理工程的研究成果,采用纵波速度作为一个检测标准,是较为合理的。

(8) 据现场观测与统计:隧道位于采空区及垮落带地段,大多数注浆孔的有效扩散范围为 10~20m 之间,注浆浆液的结石体比较集中,充填效果较好,充填率达到 90%~96%之间。隧道位于采空区以下地段,由于受区域地质构造的影响,岩体内以这种裂隙为主,大多数注浆孔的有效扩散范围为 5~15m 之间,注浆浆液的结石体比较分散,注浆浆液往往沿某个(组)裂隙流动,扩散范围较大,但有效扩散范围较小,充填率达到 85%~95%之间。

(9) 在采空区地段注浆施工后,隧道围岩结构由碎石状松散结构、碎石镶嵌结构“转化”块石状镶嵌结构,岩体中的节理裂缝被水泥浆液固结,呈“不发育状态”,同时,注浆施工减少了地下水对隧道工程的影响。基于上述的分析结果,按公路系统隧道围岩的分类方法,则注浆后采空区路段隧道围岩的类别为 I~II 类。

13. 隧道塌方处理

(1) 恶劣的工程地质条件是造成大跨隧道塌方的主要原因之一。一般对隧道的地质勘查,其网度都较大,对隧道所经地层的结构、构造,岩体的岩性和节理裂隙发育程度等的判断识别的精度都较差,与实际情况有较大的出入。因此,在隧道施工过程中,要加强对围岩的观察和描述,掌握围岩地质构造变化的规律。在受地质构造影响严重的地段,采用“短进,强支护,早封”的施工工艺,千方百计不令其垮塌,借以获得“优质、高效”的施工效果。

(2) 在隧道施工中,加强围岩变形量测工作是很重要的。对量测数据要及时处理反馈,当有异常变化时,如围岩位移的加速度突然增大,出现围岩失稳特征时,及时发出险情预报,使险情得到及时处理,或人员和施工设备及时撤出,免受更大的损失。

(3) 在隧道施工中,必须使用正确的施工工艺。目前公路隧道都采用新奥法施工,但在各个环节上各

有特色。在遇到岩体破碎软弱,地下水丰富时,爆破开挖要尽量减少对围岩的扰动,超前支护必须加强,初期支护类型必须满足强大地压的需要。

(4)隧道塌方处理是一项艰难而复杂的作业,处理方法很多,需根据塌方的规律、部位、具体状况而定。

14. 量测项目选择

结合煤系地层隧道施工特点,主要选择了地质及支护状况观察描述、拱顶下沉量测、周边收敛量测及锚杆抗拔力试验等四个项目,对施工进行监控,通过信息反馈,进一步验证研究成果,更好地服务于施工。

2 煤系地层隧道设计施工所遇到的地质病害特征与处理对策

2.1 工程地理位置

常家山隧道位于山西省灵石县南关镇仁义河与左沟之间(见图 2-1),祁临高速公路左线 Lk88+290~Lk89+650 和右线 Rk88+275~Rk89+670 之间,属基岩中低山剥蚀地貌,海拔 820~1100m,相对高差 280 余米。隧道进口端地形较陡,局部出现岩溶地貌。出口端受断层构造影响较大,地形相对平缓,沟谷多以 V 型出现,沟谷两侧展露多处崩塌。

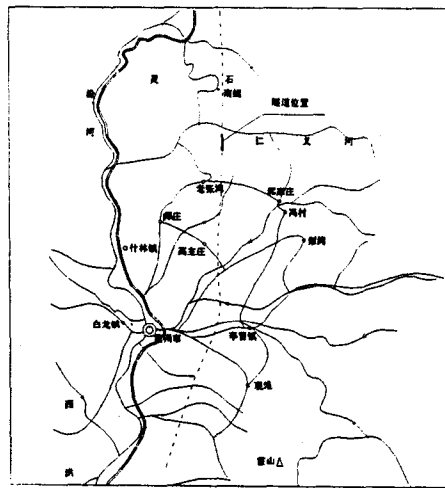


图 2-1 工程地理位置简图

2.2 地形、地貌、气象条件

1. 地形地貌

隧址区地处太岳山脉,西临汾河峡谷,属中低山区剥蚀地貌,山峦起伏,沟壑纵横,冲蚀切割强烈,地形极为破碎,呈不规则的鸡爪形。山沟间河流流向汾河,沟深坡陡,沟深绝大多数在 30m 以上,最深者常家山隧道进口端的仁义沟超过 200m。

2. 气象

隧址区属温带大陆性季风气候,气候特征为:冬季漫长,寒冷少雪干燥,多偏北风;春季短促,多风沙,常干旱;夏季炎热,雨量集中,温度高,多偏南风;秋季温和,秋高气爽。年平均气温 10.0℃~12.2℃,冬季(12月~次年2月)平均气温-4℃;极端最高气温 41.9℃,极端最低气温-25.6℃,均出现在临汾地区。冰冻期 60d 左右,一般出现在 10 月至次年 4 月,最大冻深 93cm,无霜期 130~197d。

该区降水较少,一年四季均有干旱出现。年平均降水量 435~560mm,最大月降水量 90~313mm,雨季集中在夏季,占全年降水量的 60% 左右。年平均蒸发量 1700~1993mm。年降水量变化较大,临汾站丰水年降水量为年水平 155%,枯水年降水量仅占年水平的 54%。

沿线风速以春季最大,尤以四月更甚,历年绝对最大风速 20.7~24.0m/s,主导风向受气候和地形控制,因区段和地形条件而异。

3. 植被及人文活动

该区内植被稀疏,主要为荒草植被,有零星的耕田和人工林,水土流失严重。该区内因有煤层,近期人类活动频繁,主要以采煤为主。

2.3 工程地质条件

2.3.1 地层岩性

根据地质调查及勘探资料揭示,隧址区内的地层从新到老依次为:第四系、二叠系、石炭系、奥陶系等。