

文章编号: 0451-0712(2011)06-0199-06

中图分类号: U455.49

文献标识码: A

# 公路隧道穿越软弱破碎煤系地层及采空区施工安全控制技术

叶飞<sup>1,2</sup>, 霍三胜<sup>3</sup>, 常文伟<sup>3</sup>

(1 长安大学桥梁与隧道陕西省重点实验室 西安市 710064; 2 西南交通大学地下工程系 成都市 610031;

3 山西高陵高速公路有限公司 陵川市 046000)

**摘要:** 郭家川 II 号隧道属典型煤系地层隧道, 该隧道穿越软弱破碎煤系地层, 围岩内富存采空区。首先对其施工过程中面临的各种风险进行了综合分析, 包括揭煤施工风险、瓦斯突出风险、采空区施工风险、围岩大变形风险、塌方风险, 以及边仰坡失稳风险等。进而有针对性地提出了风险规避措施, 包括安全教育、揭煤防突措施、瓦斯防治措施、边坡卸载、现场监控, 及地质超前预报等。依据与隧道结构之间的空间关系, 将采空区分为上位式、侧位式、交叉式、重叠式, 以及下位式等类别, 并在对现有采空区处治措施全面分析的基础上, 将采空区处治措施归纳为“探”、“钻”、“喷”、“填”、“撑”、“注”、“灌”等方面。

**关键词:** 隧道工程; 公路隧道; 煤系地层; 采空区; 风险; 施工安全

公路隧道施工过程中, 经常会遭遇各种不良地质现象, 其中煤系地层及采空区即为隧道建设中时而碰到的不良地质。

国内的公路隧道诸如国道 212 线重庆至合川高速公路上的北碚隧道<sup>[1]</sup>、国道 212 线重庆至合川高速公路上的尖山子隧道<sup>[2]</sup>、重庆市省道 202 线城(口)至黔(江)公路上的通渝隧道<sup>[3]</sup>、沪蓉国道重庆忠(县)石(柱)高速公路的方斗山隧道<sup>[4]</sup>、广渝高速公路广安至邻水段华盖山隧道<sup>[5]</sup>、山西大(同)一运(城)高速公路灵石县境内的常家山隧道<sup>[6]</sup>、贵州省镇(宁)一胜(境关)高速公路关岭县永宁镇的孙家寨隧道<sup>[7]</sup>、金沙江溪洛渡水电站对外交通专用公路上的大路梁子隧道<sup>[8]</sup>。铁路隧道如: 渝怀铁路线上重庆市酉阳县境内圆梁山隧道<sup>[9]</sup>、株六铁路复线的新脚岩隧道、南昆铁路的天生桥隧道和家竹箐隧道、内昆铁路的朱嘎隧道和青山隧道、水柏铁路的发耳隧道等<sup>[10]</sup>等。均为近些年建成的典型穿煤隧道工程。

而福建省永武高速公路位于龙岩市武平县的龙井隧道<sup>[11]</sup>、山西省晋城市王坡煤矿铁路专运线柏树底隧道<sup>[12]</sup>、山西省大运公路介休至霍州段改建工程上的灵石隧道<sup>[13]</sup>、山西岢岚—瓦塘铁路专线上的贺家沟隧道<sup>[14]</sup>、广东省梅河高速公路程江—华城段的

葵岗隧道<sup>[15]</sup>, 以及四川省达州市巴(中)—彭(水)二级公路上的铁山隧道<sup>[16,17]</sup>、国道 212 线重庆至合川高速公路的西山坪隧道<sup>[18]</sup>、武广铁路客运专线新南岭隧道<sup>[19]</sup>等, 均为典型的穿越采空区的隧道工程。

诸多的穿煤及穿越采空区隧道工程的成功修建, 为我们积累了一定穿煤或穿采空区隧道建设的工程经验。但与此同时, 随着在煤系地层中及采空区地层中施工的隧道工程越来越多, 许多新问题也随之而来。掌握与选用合理的勘查、预测及施工方法, 对穿越煤系地层, 尤其是软弱、破碎、存在各种采空区, 而又埋深较浅的煤系地层的隧道工程尤为重要, 直接关系到隧道施工及营运的安全。

## 1 工程概况

郭家川 II 号隧道位于山西省高(平)—陵(川)高速公路陵川县郭家川村以南约 600 m、北四渠村以北约 500 m, 设计为左右线分离式; 右线高平端里程桩号 K27+775, 新乡端洞口里程桩号 K28+220, 洞身长 445.0 m, 最大埋深 46.04 m, 位于 K27+890 处; 左线高平端洞口里程桩号 ZK27+780, 新乡端洞口里程桩号 ZK28+215, 洞体长 435.0 m, 最大埋深 43.57 m, 位于 ZK27+890 处。

依据设计文件,郭家川 II 号隧道围岩主要由石炭系中统本溪组(C2b)及石炭系上统太原组(C2t)的煤系地层构成,地表多为第四系中更新统冲洪积(Q2)黄土(粉质黏土)、全新统(Q4)坡积碎石覆盖。

## 2 施工风险分析

近年来,国家对安全生产的重视被提到了前所未有的高度,工程建设的安全一直是有关方关注的重点,安全生产成为重中之重,隧道作为一项潜在安全问题较多的地下工程项目,安全问题不可小觑!但是,值得注意的是:安全,什么是安全?安全不是不出事故,安全应该是一种状态,即通过持续的危险识别和风险管理过程,将可能发生的安全隐患和风险降至并保持在接受的水平或其以下。对于郭家川 II 号隧道,穿越软弱破碎煤层、围岩内富含采空区,以及大范围内的浅埋,是该隧道的主要特点,也是施工过程的重要风险源。为确保施工安全,在该隧道施工前,对各种潜在的风险进行了详尽分析,并有针对性地提出了规避方案。

### 2.1 揭煤施工风险

依据设计文件,郭家川 II 号隧道几乎整个长度均穿越煤系地层,煤层为本隧道十分重要的围岩,该煤层当地编号为 15 号煤,钻探岩芯及野外露头显示该煤层风氧化程度很高,煤以粉末状或土状产出,该煤层在隧址范围内地表以下的埋深约 10~40 m,煤层厚度约 2.2~4.5 m,较厚煤层之间常夹有约 1.0 m 厚的煤矸石,煤层主要分布在隧道边墙及顶板附近,局部段分布于洞身仰拱附近。

公路隧道穿过煤层的主要问题是穿煤防突问题。如果对穿煤时的煤突出没有充分地认识和准备,不仅会发生严重的生产事故,还会增加隧道建设费用,耽误隧道的建设工期。所以,隧道穿煤防突一直是隧道穿煤施工中的重点<sup>[10]</sup>。作为典型煤系地层隧道,揭煤防突风险是郭家川 II 号隧道施工中一重要潜在风险。

### 2.2 瓦斯突出风险

设计文件中提到:根据临近矿井瓦斯调查与监测结果,与本隧道地层相关的 15 号煤层中瓦斯含量较低,瓦斯成分以 CO 为主,属低瓦斯矿。

但是,设计文件中也特别提到“施工过程中仍需对洞室内瓦斯含量做必要的动态监测”。显然,瓦斯突出风险亦是郭家川 II 号隧道施工中需关注和重视的问题。

### 2.3 采空区施工风险

依据设计文件,在郭家川 II 号隧道建设影响范围内存在硫磺矿采空区,采空区分布在路线 YK27+770~YK29+220 段,ZK27+780~ZK27+900、ZK28+155~ZK28+220 段,该硫磺矿与 15 号煤层相伴生,属于煤燃料与非金属矿伴生矿床,开采企业全名为陵川东升硫磺厂,1958 年建矿,1998 年关闭,开采 15 号煤层及煤层底板之下富硫铁矿泥岩,因 15 号煤层埋藏深度较浅,煤质风氧化严重,基本无燃用价值,又因其中含大量硫磺,煤层作为提取硫磺的矿井进行开采,矿开采范围内地表可见竖井 2 个,竖井为圆形,直径 1.8 m。平洞 3 个,断面尺寸 2.6 m(宽)×2.2 m(高)。

采空区的施工风险主要表现为以下几方面:

(1)施工过程中的支护结构失稳或塌方风险。隧道穿越区段因存在采空区,造成支护结构的不合理受力,或局部采空区内空腔的坍塌,致使围岩松动区的持续增大,进而造成支护荷载的持续增大,都可能造成支护结构失稳,或者塌方破坏。

(2)充填物突出风险。采空区内可能充填着之前垮塌的松散堆积物,一定范围的垮落带内的裂隙中可能充满了地下水,煤系地层的采空区空腔内还可能充填着瓦斯等有害气体。这些,都可能造成施工中的突水、突泥、瓦斯突出等事故。

(3)隧道结构沉降,带来结构及运营安全风险。当采空区位于隧道结构下方时,若施工过程中未得到妥善处理,运营过程中在持续动荷载作用下,采空区位置可能发生结构的裂缝或局部沉降,造成结构破坏,并危及运营安全。

### 2.4 大变形风险

依据设计文件,郭家川 II 号隧道整个纵向长度范围内均为 V 级围岩,且软弱破碎。

在这种围岩条件下,围岩岩体极易产生流动或塑性变形,在地下水的参与下岩体软化流动,进而在施工过程中发生大变形。

### 2.5 软弱破碎围岩塌方风险

郭家川 II 号隧道全长度皆为 V 级围岩,整个隧道穿越区域的围岩软弱而破碎。

而且,由设计文件可知,郭家川 III 号隧道开挖跨度近 12.5 m(实际开挖跨度 12.42 m),而最大埋深才 46.04 m,依据现行设计规范对隧道深浅埋的界定:

$$h_q = 0.45 \times 2^{-1} \cdot \omega = 0.45 \times 2^{-1} \times [1 + i \cdot (B - 5)] = 0.45 \times 16 \times 1.742 = 12.5$$

而在V级围岩条件下,取:  $H_p = 2.5q$ , 得  $H_p = 31$  m。所以,据此推断,郭家川II号隧道200多m范围均属浅埋区段。

这些无疑均加大了该隧道施工过程中围岩塌方甚至冒顶的风险。

### 2.6 边仰坡失稳风险

郭家川II号隧道计划从进口端(即高平端)掘进施工,该位置处“地表多为第四系中更新统冲洪积(Q2)黄土(粉质黏土)、全新统(Q4)坡积碎石覆盖”。经现场查看,进口端仰坡坡度较大,存在较大范围的松散堆积体(图1),施工过程中会对边仰坡脚形成一定扰动,存在边仰坡失稳而滑塌的风险。

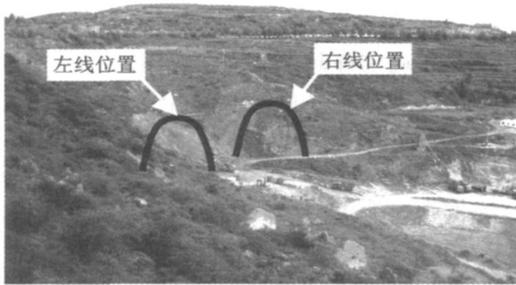


图1 郭家川2号隧道进口边仰坡情况

## 3 风险规避措施

### 3.1 加强安全教育

针对郭家川II号隧道围岩软弱破碎、全长度范围穿越煤层,而且富含采空区的工程实际,开工前对施工作业及管理人员,进行必要的安全技术培训。爆破、电工、瓦检等特种作业人员必须持证上岗。

### 3.2 揭煤施工防突

#### 3.2.1 完善防突施工工艺

为防止郭家川II号隧道施工过程中发生煤层突出问题,揭煤施工前制定了严格的揭煤施工方案,工艺流程如图2所示。

#### 3.2.2 加强支护参数

为更有效地防止穿越煤层施工过程中的煤层突出、坍塌,以及煤系地层围岩的大量级移动,并为运营期的安全提供可靠保证,在郭家川II号隧道的设计过程中就特别采用了强力支护。

### 3.3 瓦斯综合防治

#### 3.3.1 加强瓦斯监测

隧道技术人员、各作业队负责人均配备便携式

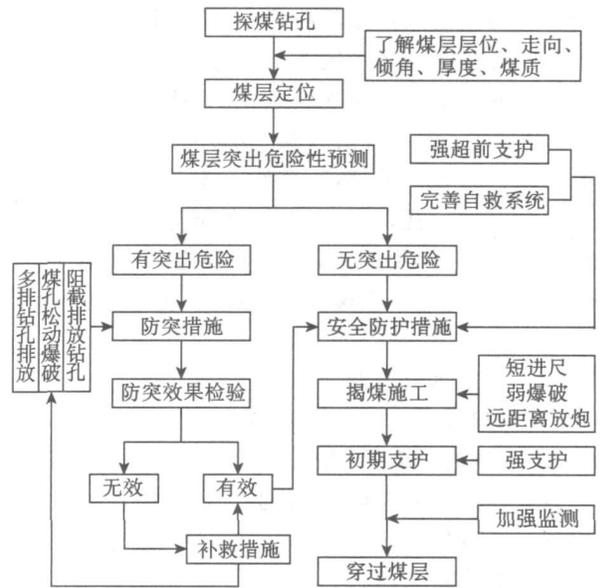


图2 郭家川2号隧道揭煤防突施工工艺流程

瓦斯检测仪,随时对洞内瓦斯含量进行跟踪检测,检测方法及控制标准见表1。瓦斯检查专职人员配备光学瓦斯检定器、便携式瓦斯警报仪及迷你型四合一气体检测仪,对整个隧道进行瓦斯等有毒有害气体全面监控。

表1 瓦斯检测方法与控制标准

瓦斯检测	要求	检测仪器	控制标准
定时检测	上班前检测	便携式瓦斯监测仪	0.5%
	施工途中检测		
	下班前检测		
定点检测	掌子面附近		
	各种作业台车、机械、机电设备附近		
	煤线或接近地质破碎带处		
定工序检测	开挖炮眼打完,装药前		
	放炮前		
	放炮后		

#### 3.3.2 加强施工通风

(1)选用防爆型风机、阻燃型防静电风管,风机距洞口20m布设。

(2)配置两路供电系统,并装设风电闭锁装置。当一路电源停止供电时,另一路电源在15min内启动,确保风机的运转。

(3)备用一套同等性能的通风机,并经常保持良好的使用状态。

(4)对通风机械设、通风管路经常性维护保养

和检查,降低通风系统的故障率、减少通风管路的漏风量,确保施工通风系统正常和通风效果。

(5)施工期间实施连续通风。当因检修、停电等原因停风时,必须撤出人员,切断电源。恢复通风前,必须检查瓦斯浓度,符合要求才启动机器。

(6)当发生瓦斯涌出、喷出的异常状况时,首先杜绝一切可能产生的火源,立即断电,并加强通风,同时尽快撤出施工人员,对隧道进行警戒,进一步研究考虑采取抽排瓦斯的措施。

### 3.3.3 杜绝烟火进洞

在洞口设立一个烟火检查站,禁止任何人员将烟火带入洞内,洞内严格禁止吸烟。在洞内采用电焊、气焊、喷灯焊作业时,作业点 20 m 以内的风流中瓦斯浓度必须在 0.5% 以下方可进行作业。

### 3.3.4 洞内设备改造

当洞内检测发现到瓦斯时,洞内的施工机械必须更换为防爆型电器设备,如防爆型柴油装载机及汽车;电线、电缆、闸盒采用安全防爆型;禁止洞内电气接零,采用双回路直电源,在洞口安设避雷装置;禁止内燃机车等机具入洞;使用雷管和炸药必须更换为煤矿许用炸药、雷管。

### 3.4 边坡卸载

对洞口边仰坡表面的覆盖层进行了刷坡卸载,将边仰坡表面的松覆土进行有效清除,用以减小可能的滑移体的自重和坡脚处的推力。

### 3.5 全面监控量测

为对施工过程提供直接和快速的反馈和指导,对初期支护进行了拱顶下沉、周边收敛等必测项目的监测,量测断面每 10 m 布设 1 个,结合隧道所采用的台阶法(二台阶或三台阶法)施工工艺,运用四测线和五测线的方式进行周边收敛量测,如图 3 所示)。

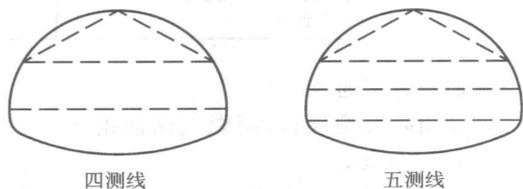


图 3 收敛测线布置简图

与此同时,为更好了解和掌握郭家川 II 号隧道支护结构的受力特性,计划在右洞 YK27+900、YK28+000、YK28+100 等位置布设选测断面,量测的主要项目有:围岩与初期支护及初期支护与二

次衬砌间的接触压力、初期支护钢拱架受力、初期支护混凝土应变、二次衬砌钢筋受力、二次衬砌混凝土应变等。跟随施工进度,目前已埋设了 YK27+900 断面的量测元件。

此外,为深入了解在采空区富存的软弱破碎煤系地层开挖隧道,对周围围岩的扰动范围和扰动程度,在左线隧道正上方的地表布设了 2 个多点位移计(里程为:ZK28+000 及 ZK28+030),量测围岩内部位移。

### 3.6 超前地质预报

在郭家川 II 号隧道的施工过程中,为对潜在的地质隐患进行预测,尤其是对设计文件所提到的采空区进行综合预测,特采用了美国 GSSI 公司生产的 SIR-3000 型地质雷达进行了掌子面超前地质预报,该项措施对施工中所遭遇采空区的位置、规模、走向等的确定都起到了一定作用。

### 3.7 穿越采空区段综合施工技术

前已提及,采空区对隧道工程的影响主要表现在洞害、水害、气害、采空区内腔坍塌及采空区填充物,以及洞顶地表沉陷等几个方面。而依据其成因、位置、特征等的不同,又各具特点。

#### 3.7.1 采空区分类与评价

依据采空区与隧道结构间的空间关系,本文将公路隧道采空区分类如下。

##### (1)上位式采空区。

当采空区位于隧道上方与拱部圆心呈 90° 圆心角范围之内时,本文将其定义为上位式采空区,如图 4、图 5 所示。

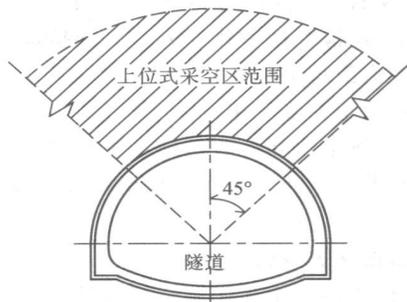


图 4 上位式采空区范围

当采空区属于本文所定义的上位采空区时,若采空区与隧道拱顶间的净距为  $h$  (图 5),本文经综合分析后认为如下。

$h > h_p$  时,若不考虑因采空区引起的地表沉

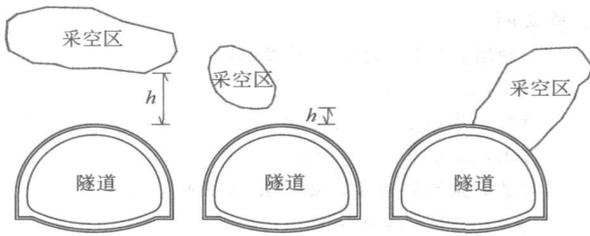


图5 典型上位式采空区

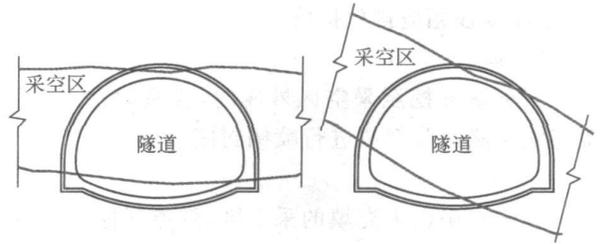


图7 交叉式采空区

降因素, 可认为采空区对隧道无影响;

$h < h_p$  时, 须考虑采空区对隧道施工及运营安全的影响, 即在施工过程中需要考虑适当的处治措施。其中,  $h_p$  为普氏平衡拱高度:

$$h_p = \frac{1}{2} \frac{[B_t + 2H_t \tan(45^\circ - \frac{\varphi_g}{2})]}{f_{kp}}$$

式中:  $B_t$  为坑道跨度(m);  $H_t$  为坑道高度(m);  $\varphi_g$  为围岩计算摩擦角( $^\circ$ );  $f_{kp}$  为普氏岩石坚固性系数。

以郭家川II号隧道为例, 该隧道整体围岩皆为软煤地层, 全部V级围岩, 取  $B_t$  为12 m,  $H_t$  为10 m,  $\varphi_g$  为  $40^\circ$ ,  $f_{kp}$  为0.8, 则可求得普氏平衡拱高度  $h_p$  为13.3 m。

(2)侧位式采空区。

当采空区位于隧道拱肩(与拱顶呈  $45^\circ$ 角)与边墙墙脚范围内的区域时(图6), 本文将其定义为侧位式采空区。

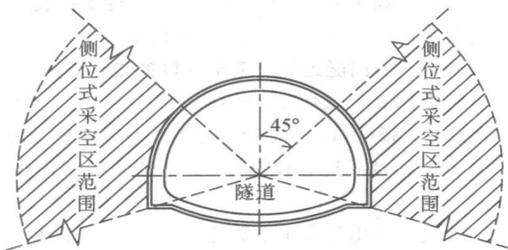


图6 侧位式采空区范围

(3)交叉式采空区。

当采空区不位于隧道空间任意方位的一侧, 而是呈条带状局部或整体与隧道走向交叉时, 本文定义为交叉式采空区, 如图7所示。

(4)重叠式采空区。

当采空区大部分区域与隧道局部或整体重合时, 本文定义为重叠式采空区, 如图8所示。

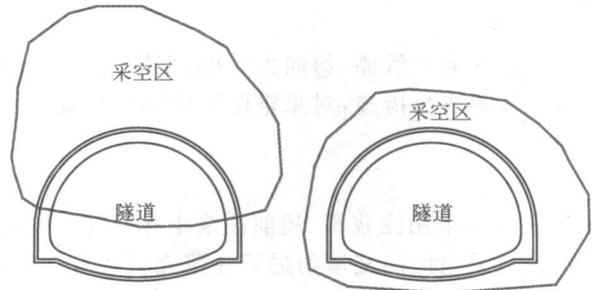


图8 重叠式采空区

(5)下位式采空区。

当采空区位于隧道仰拱以下, 处在两侧边墙墙脚与拱部圆心组成的圆心角以下时, 本文定义其为下位式采空区, 如图9所示。

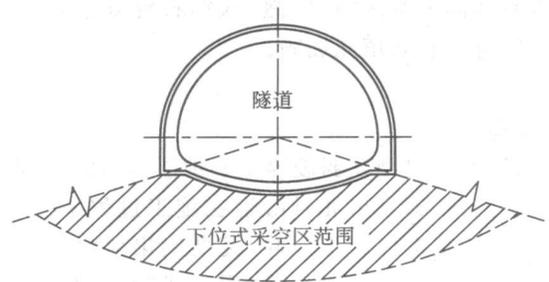


图9 下位式采空区范围示意图

3.7.2 采空区综合处治

对采空区的综合处治, 目前国内已有一些处理成功的案例, 经系统分析总结, 并结合郭家川II号隧道采空区的处理, 本文将其归结为“探”、“钻”、“喷”、“填”、“撑”、“注”、“灌”等几个方面。

(1)探。

主要是采用物探或超前探孔等手段对掌子面前方的采空区进行定位, 并结合设计图纸, 对采空区的走向、大小、范围等, 进行综合评判, 以便有针对性地采取相应方案。

(2)钻。

根据超前探测结果, 对未坍塌充填但有水的采空区地段, 采取钻孔排水的方式放水, 若充填有瓦

斯, 还需加强相应排放措施。

(3) 喷。

当洞室开挖至采空区外露时, 应及时在采空区四壁施工能触及部位进行喷锚封闭。

(4) 填。

对未坍塌也未充填的采空区, 隧道开挖后, 可在适当位置采用土石、浆砌片石等材料回填, 用以进行封堵或者保护支撑护墙。

(5) 撑。

包括纵向大管棚、斜向大管棚、型钢支撑, 以及护拱加固等支撑措施, 对采空区区段形成有效的支撑骨架。

(6) 注。

主要是采用注浆管、超前注浆小导管等手段对采空区或采空区的充填物进行注浆充填或者加固, 并可固结堵水。

有时在处理下位式采空区时, 采用钢管桩内压注水泥浆, 或水泥—水玻璃双液浆进行充填、固结加固。

(7) 灌。

在护拱或者支撑骨架上预留输送泵管孔, 通过预留泵孔向采空区内泵(灌)入细石混凝土回填, 对采空区进行有效填充加固。

4 结语

(1) 作为典型软弱破碎煤系地层围岩隧道, 而且富含采空区, 郭家川 II 号隧道在施工过程中存在诸多风险, 包括揭煤施工风险、瓦斯突出风险、采空区施工风险、围岩大变形风险、塌方风险, 以及边仰坡失稳风险等。

(2) 对于辨识出的施工风险, 确定施工工艺和施工方案时, 针对不同的风险, 采取相应措施, 予以规避, 防范于未然。

(3) 依据与隧道结构间的空间关系, 采空区可分为上位式、侧位式、交叉式、重叠式, 以及下位式等类别, 各类型式的采空区对隧道施工带来的影响有所不同, 要区分对待。

(4) 对不同类型采空区的处治, 归结起来包括“探”、“钻”、“喷”、“填”、“撑”、“注”、“灌”等各种方案, 方案选择时须有所侧重。

参考文献:

[1] 王渝培, 李勇. 北碚隧道煤系地层施工技术[J]. 地下空间, 2003, 23(3): 260—264

[2] 菅毅. 尖山子煤系地层隧道施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2005(1): 38—40

[3] 高波. 通渝隧道出口煤层瓦斯段施工技术[J]. 隧道建设, 2004, 24(4): 37—40

[4] 王学生. 方斗山隧道揭煤施工技术[J]. 西部探矿工程, 2009(3): 150—152

[5] 亢会明, 李晓红, 靳晓光, 等. 华蓥山隧道穿煤段施工技术[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(2): 10—11

[6] 杨治岗, 孙斌科. 韩信岭路段隧道煤系地层塌方处治的技术措施[J]. 山西交通科技, 2002, (增2): 92—93

[7] 肖锡庄, 罗迁. 孙家寨煤层瓦斯隧道施工技术[J]. 中外公路, 2008, 28(4): 203—207

[8] 徐稳超. 大路梁子隧道煤系地层施工处理技术[J]. 山西建筑, 2007, 33(15): 153—154

[9] 金强国. 圆梁山隧道进口揭煤防突施工技术研究[J]. 隧道建设, 2004, 24(5): 61—65

[10] 姜德义, 刘春, 张广洋, 等. 公路隧道全断面揭煤防突技术[J]. 岩土力学, 2005, 26(6): 906—909

[11] 邱礼球, 王彦虎. 高速公路隧道通过煤矿采空区施工技术[J]. 隧道建设, 2008, 28(5): 616—619

[12] 金鑫光, 孙兴亮, 贾仁政. 晋城市王坡煤矿铁路专运线柏树底隧道下伏采空区治理[J]. 地质灾害与环境保护, 2003, 14(1): 61—65

[13] 姜杰, 常明. 灵石隧道之石膏矿采空区设计研究[J]. 山西交通科技, 2009, (4): 37—38

[14] 刘文军. 煤矿采空区流沙隧道开挖与支护技术[J]. 山西建筑, 2009, 35(4): 343—345

[15] 侯浙学. 葵岗隧道煤层采空区段的处治技术[J]. 建筑科学, 2008, 24(3): 116—117

[16] 谢晓东, 张显伟, 李之利. 煤层采空区对铁山隧道病害区的影响[J]. 中国煤田地质, 2000, 12(4): 44—47

[17] 李治国. 铁山隧道采空区稳定性分析及治理技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(8): 1168—1173

[18] 王联. 西山坪隧道隧底煤层采空区的整治[J]. 现代隧道技术, 2007, 44(6): 74—76

[19] 赵庚亮, 文富源. 隧道通过岩溶和采空区施工方案探讨[J]. 隧道建设, 2008, 28(6): 716—719

文章编号: 0451-0712(2011)06-0205-05

中图分类号: U452.11

文献标识码: A

# 高频大地电磁法在慈母山隧道勘察中的应用

陈志平, 张照秀, 叶兴军

(重庆市市政勘察设计院 重庆市 400015)

**摘要:** 慈母山隧道是重庆市城市快速干道之“三横线”的关键节段工程, 隧址区地形地质条件复杂, 隧道涌水、断层破碎带、煤系地层与瓦斯成为工程的主要不良地质和施工地质灾害问题。为查明上述不良地质, 沿隧道轴线采用高频大地电磁测深(EH-4电导率系统)方法开展地球物理探测, 并根据探测结果, 圈定了低阻异常区, 与隧道施工开挖对比分析表明, 发生涌水的位置、断层的位置均处于低阻异常范围内。实践表明, 该方法探测深度大、精度高, 有助于查明隧道富水条件、断层带等不良地质体, 提高隧道宏观超前地质预报的准确性。

**关键词:** 高频大地电磁; EH-4系统; 慈母山隧道; 不良地质; 分析

长大公路隧道在地质勘察过程中经常会遇到一系列不良地质问题, 如断层、地下水、溶洞、采空区等, 对隧道施工产生严重安全隐患, 如不及早发现并采用有效措施, 将会造成施工人员伤亡、工期延误。因此在勘察阶段采用准确、快速的探测方法进行超前宏观预测, 一直是隧道工程建设中的一项技术难题<sup>[1]</sup>。长大隧道一般穿越山体长, 地形复杂, 对采

用的方法、仪器都有较大的限制。高频大地电磁法(High-frequency Magneto Telluric HMT)由于具有工作效率高、成本低廉、勘探深度范围大、垂向、地质分辨能力高、地形影响小、高阻层的屏蔽作用小等特点<sup>[2]</sup>, 在隧道与地下工程勘察中得到了较为广泛应用<sup>[3-8]</sup>。本文论述高频大地电磁法在慈母山隧道勘察中的应用情况, 实践表明应用效果良好。

收稿日期: 2010-06-28

## Construction Safety Control Technology in Highway Tunnel Traversing Soft and Weak Coal Formation and Mined-out Area

YE Fei<sup>1,2</sup>, HUO San-sheng<sup>3</sup>, CHANG Wen-wei<sup>3</sup>

(1 Shaanxi Provincial Major Laboratory for Highway Bridge & Tunnel, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2 Department of Underground Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

(3 Shanxi Gaoling Expressway Ltd., Lingchuan 046000, China)

**Abstract:** As a typical coal formation tunnel, Guojiachuan No. II Tunnel would traverse the soft and weak coal formation surrounding rock, in which existing large mined-out area. Firstly, the risks in the tunnel construction progress are analyzed, including seam opening construction risk, gas ejection risk, construction risk in mined-out area, large deformation risk of surrounding rock, collapse risk, and the side and upward slope instability risk, etc. And then, some relevant risk averse methods are presented, such as safety education, coal ejection precaution means, gas ejection precaution means, slope unloading, site monitoring, and the geological prediction, etc. Based on the dimensional relation with the tunnel, the mined-out area are classified as the above the tunnel form, beside the tunnel form, intersecting with the tunnel form, superposed with the tunnel form, and the underside the tunnel form. Last, the dealing methods of mined-out area are summed as 7 ways: exploring, boring, spraying, filling, supporting, effusing and grouting.

**Key words:** tunnel engineering; highway tunnel; coal formation; mined-out area; risk; construction safety