

# The Technology Optimization of Coal and Gas Outburst Measures of Cutting through Close-Distance Coal Seam Group in the Expressway Tunnel

Ying Hu<sup>1</sup>, Shiying Zhong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Industry, Liu Panshui Vocational and Technical College, liupanshui Guizhou

<sup>2</sup>College of Mining Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang Guizhou

Email: \*247651516@qq.com

Received: Jul. 1<sup>st</sup>, 2018; accepted: Jul. 13<sup>th</sup>, 2018; published: Jul. 20<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Coal and gas burst is highly possible to happen in the coal seam group with close quarters during the coal uncovering in a tunnel. Currently, the high way system has no national standard about this area. So we take the related standard of coal mine tunnel and the railway as a reference, and considering the characteristics of high way such as bigger cross-section, complicated geological condition and more possibility of burst near the coal seam group with close quarters. We optimized the technology of outburst prevention for high way from the reference of the main technology of coal mine. And the example is Fa'er tunnel. During the Fa'er tunnel engineering, we put forward the dividing evidence of coal uncovering unit, design a way of 150 meters horizon exploratory hole, compare to confirm a 10 meters safety distance, analyze the drainage technique from engineering, technology and economy, stress on the way of outburst prevention, long distance explore, monitoring and safety measure like ventilation.

## Keywords

Gas Tunnel, Burst Coal, Uncovering in Tunnel, Close-Distance Coal Seam Group, Technology of Outburst Prevention

---

# 高速公路隧道揭近距离突出煤层群防突技术优化

胡英<sup>1</sup>, 钟诗颖<sup>2\*</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>六盘水职业技术学院, 工业系, 贵州 六盘水

<sup>2</sup>贵州理工学院, 矿业工程学院, 贵州 贵阳

Email: 247651516@qq.com

收稿日期: 2018年7月1日; 录用日期: 2018年7月13日; 发布日期: 2018年7月20日

## 摘要

隧道揭煤发生煤与瓦斯突出可能性最大的为揭近距离突出煤层群, 在目前高速公路行业未制定瓦斯隧道揭煤的相关国家标准前提下, 通过参照煤矿巷道和铁路隧道揭煤的相关技术规范, 本文结合高速公路隧道施工断面大、地质条件复杂、近距离煤层群发生突出的危险性大等特点, 在煤矿两个“四位一体”综合防突措施的主体技术下, 针对性地优化了高速公路隧道揭近距离突出煤层群防突技术。本文以发耳隧道为工程实例, 提出揭煤单元的划分依据; 设计施工150 m超前水平探孔的探测方案; 类比分析确定10 m超前安全岩柱距离留设; 对抽排放技术从工程、技术、经济等因素分析, 推荐采用抽放瓦斯措施; 重点强调防爆措施、远距离放炮、监测监控、通风措施等安全防护措施。

## 关键词

瓦斯隧道, 突出煤层, 隧道揭煤, 近距离煤层群, 防突技术

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

国外对瓦斯隧道的研究, 最早可追溯到二十世纪初, 前苏联泽连丘克斯基水力发电站隧道使用喷射胶凝材料封堵瓦斯、改善隧道通风和爆破作业等瓦斯防治技术, 但其防治技术基本上是机械地沿用煤矿经验[1]。我国对隧道瓦斯工程领域的研究起步较晚, 特别是高速公路瓦斯隧道, 当前这方面的工程应用研究基本借鉴煤矿、铁路瓦斯隧道等相关的工程技术, 还停留在诸如通风、瓦斯检测、防突设计、稳定性监测、超前地质探测等单项监测技术及其相应安全对策的研究上[2] [3], 尤其是没有对这些单项技术进行很好的集成融合, 以至于瓦斯隧道施工安全控制技术还停留在手段单一、方法片面的阶段。

近十多年, 随着中国高速公路的飞速发展, 从以前的“盘山绕水”修路方式, 改用了效率更高的“逢山打洞, 遇沟架桥”修路方式。因此, 在西南煤海多山地区建设高速公路时, 遇到了穿越煤系地层的高速公路隧道。在隧道揭煤过程中, 甚至发生了几起煤与瓦斯突出事故[4]。瓦斯隧道揭近距离煤层群时, 由于煤(岩)层赋存不稳定, 煤层间距小, 容易误穿煤层; 揭煤段距离增长, 揭煤过程复杂; 邻近煤层瓦斯涌入, 隧道瓦斯涌出量增大。因此, 瓦斯隧道揭近距离煤层群时, 发生煤与瓦斯突出危险的可能性增大, 须采取安全有效的防突技术措施。目前, 公路行业没有制定隧道揭煤防治煤与瓦斯突出的国家标准, 只有贵州和四川颁布有地方性设计和施工技术指南。尽管已有煤炭行业的《防治煤与瓦斯突出规定》(2009年), 铁路行业的《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB10120-2002, J160-2002)等规程规范可参照, 但由于高速公路隧道断面较大, 施工工艺复杂, 存在超大断面揭煤安全距离的留设、大型作业机械的防爆技术、作业人员缺少防突工作经验等安全问题, 使得隧道揭穿近距离突出煤层群突出危险性增大, 面临的技术问

题更为复杂[5][6]。鉴于此, 本文参照及借鉴煤矿先进的防突技术及经验, 再结合高速公路隧道施工的特点, 以发耳隧道为工程实例, 对高速公路隧道揭近距离突出煤层群的防突技术进行优化方案设计。

## 2. 工程概况

发耳隧道为一座上下行分离的四车道高速公路长隧道, 左线长 2064 m, 底高程为+1272.19~+1228.75 m, 右线长 2099 m, 底高程为+1270.82~+1225.80 m。隧道围岩为 IV~V 级高瓦斯煤层地段, 开挖宽度 12.72~13.02 m, 高度 10.06~10.42 m。隧道支护分两次, 第一次为开挖放炮之前的超前支护, 第二次为开挖掘进之后的后期支护。

依据发耳隧道地质资料, 隧道区域由二叠系上统大隆组(P<sub>2</sub>d)煤系地层构成, 含有 17 层煤, 编号为 1~17 号。隧道煤层富含瓦斯, 最大瓦斯含量为 8.63 m<sup>3</sup>/t, 隧道属于二级瓦斯地段, 根据煤层瓦斯含量预测 1~17 号煤层均具有煤与瓦斯突出危险性。

## 3. 隧道防突技术方案

根据《防治煤与瓦斯突出规定》(2009)等煤矿行业的规程规范, 高速公路隧道揭穿近距离突出煤层群也同样须采取区域和局部两个“四位一体”的综合防突措施, 区域综合防突措施为区域突出危险性预测、区域防突措施、区域措施效果检验和区域验证, 局部综合防突措施为工作面突出危险性预测、工作面防突措施、工作面措施效果检验和安全防护措施, 揭煤流程见图 1。

但由于高速公路隧道大断面与煤矿巷道小断面施工的不同, 突出煤层群较单一煤层发生突出的危险性增大等因素, 为了安全、高效和经济地进行隧道施工, 高速公路隧道揭突出煤层群的防突技术不能完全照搬煤矿两个“四位一体”的综合防突措施, 须对其进行针对性的设计及优化, 这也是隧道揭突出煤层群防突技术的关键。本文重点阐述隧道揭煤与煤矿巷道揭煤不同的防突关键技术[7][8]。

### 3.1. 揭煤单元划分

近距离煤层群与单一煤层相比, 在揭煤时为了保证安全, 不误揭煤层, 须进行揭煤单元划分。隧道穿过区域的煤层, 一般有 3 层煤以上且煤层间距不大时, 可以称为煤层群; 当煤层, 间距小于 5 m 时, 可视为近距离煤层群[9]。根据近距离煤层群的层间距大小, 划分隧道揭煤单元。当煤层间距大于 5 m 时, 隧道揭单一煤层划分为一个单元; 若煤层间距小于 5 m 或层间岩石破碎时, 隧道一次揭多煤层划分为一个单元。

发耳隧道所揭煤层中, 6、7、8 号煤层的层间距为 2.7 m、3.7 m, 9、10 号煤层的层间距为 2.3 m, 11、12 煤层号的层间距为 2.5 m, 煤层间距都小于 5 m。因此, 6、7、8 三层煤, 9、10 二层煤, 11、12 三层煤分别划分为一个揭煤单元, 其它煤层分别划分为一个独立单元, 单独揭煤。

### 3.2. 超前探测方案

隧道施工掘进工作面接近煤层前, 必须对所揭煤层采取超前探测措施, 以便准确掌握煤层的层位、赋存条件和瓦斯地质规律。超前探孔施工满足下列规定:

1) 隧道掘进开挖工作面, 在距煤层最小垂距 15 m 时施工 2 个超前探测钻孔, 初探煤层位置。两个探测钻孔均朝隧道掘进方向施工, 1#探孔向正斜上方施工, 2#探孔水平施工。

2) 发耳隧道为近距离煤层群, 发育有 F1、F2 断层。为防止断层影响误揭煤层发生事故, 提出隧道除采取自身监控量测的超前预报措施外, 还采取循环施工超前水平长探孔的方案。按照隧道配备的 ZDY750 型钻机能力, 钻孔循环施工的探测长度按 150~200 m 计。当循环施工了 150~200 mm 超前水平探测钻孔时, 要保证隧道掘进方向开挖工作面有 60 m 的超前水平安全距离, 同时满足垂距大于 15 m [6]。

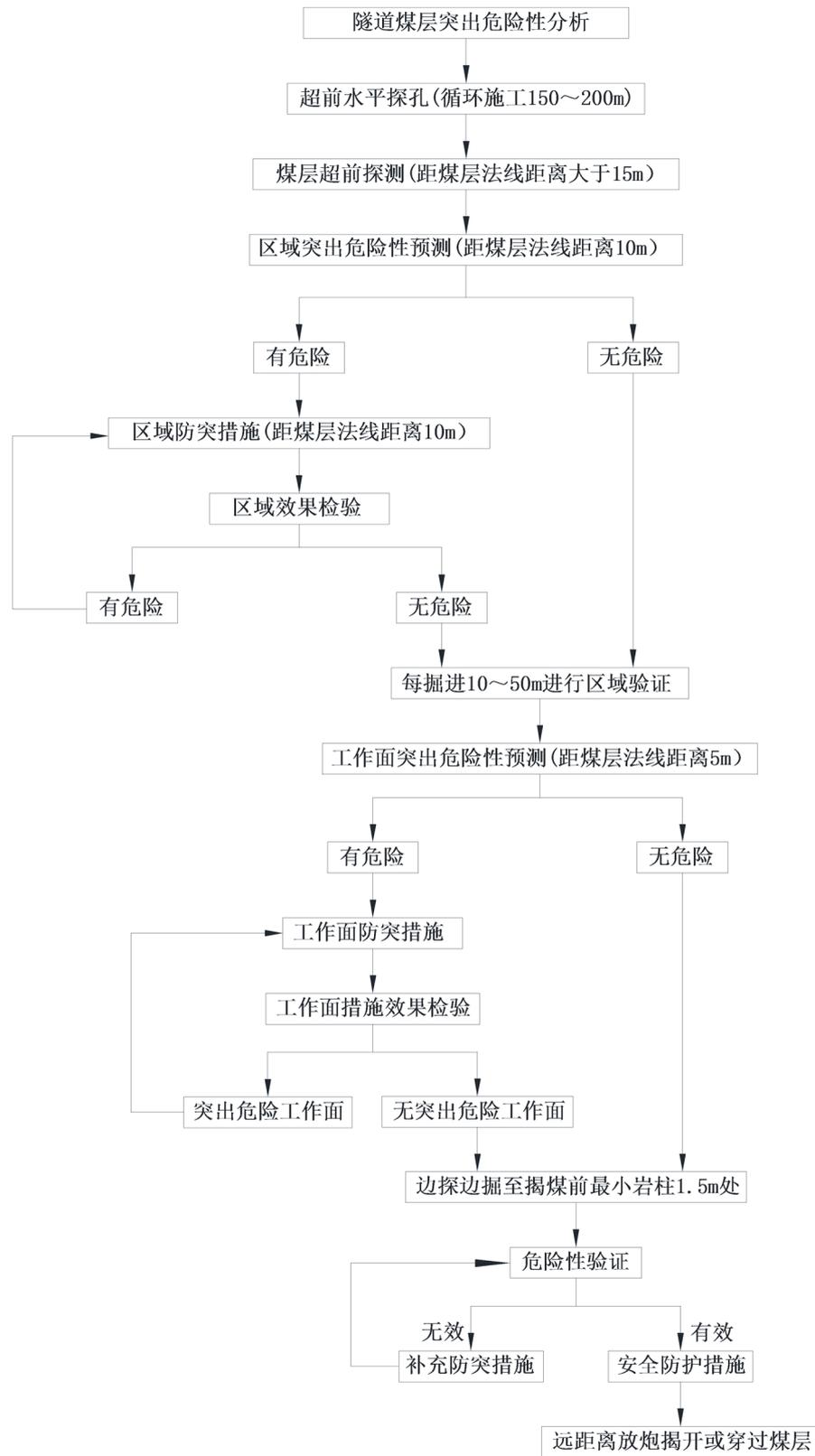


Figure 1. Flow chart of tunnel uncovering coal  
图 1. 隧道揭煤流程图

当隧道施工 150~200 m 的超前水平探测钻孔后, 在掘进至与距煤层最小垂距 15 m 时, 可不再施工步骤 1) 中的超前水平 2# 探孔, 而只施工隧道掘进正斜上方的 1# 探孔, 钻孔布置见图 2。

### 3.3. 超前安全岩柱距离的合理确定

由于高速公路隧道断面一般比煤矿巷道断面大 4~8 倍, 最大的甚至超过 150 m<sup>2</sup>。隧道断面的增大而导致揭煤超前安全岩柱距离的变化对施工安全影响巨大, 若安全岩柱距离过小则容易导致施工中的煤与瓦斯突出, 若安全岩柱预留距离过大则会提高工程量, 增加钻孔治理瓦斯的成本。因此, 合理确定隧道揭突出煤层的超前安全岩柱十分重要。

根据《防治煤与瓦斯突出规定》的要求, 区域防突措施在揭煤工作面在距煤层最小垂距 7 m (超前安全岩柱) 时采取。高速公路隧道揭煤断面的增大势必引起围岩应力的变化, 为防止隧道开挖扰动及安全距离不足而引起煤与瓦斯突出事故, 则区域防突措施超前安全最小垂距也相应的增大。根据类比工程及经验分析, 发耳隧道揭煤区域防突措施超前安全岩柱取 10 m 设计[10]。

### 3.4. 抽排放技术的选择

高速公路突出隧道揭煤防突措施的采取, 与煤炭行业相比, 它不需要建立固定的抽放系统, 防突技术的选择原则为在最短时间内, 以最经济的方式安全揭穿前方突出煤层。消除煤层突出危险性最有效和广泛采用的方法有两种, 一是抽放、二是排放, 即为通过抽(排)放将瓦斯释放, 使得煤层瓦斯压力、瓦斯含量等突出指标降到规程规范要求的临界值以下。突出煤层抽排放技术不同, 投入的管理、仪器设备和煤层消突的时间、综合经济成本也均不一样, 因此, 隧道施工与矿井煤层开采的差异决定了防突技术的优化选择。

发耳隧道煤层为近距离煤层群, 各煤层预计均具有煤与瓦斯突出危险性。以发耳隧道煤区域防突措施超前安全岩柱 10 m 处揭单一煤层施工抽、排放钻孔比较, 隧道掘进宽度为 13.02 m, 高度为 10.42 m, 钻孔控制范围隧道轮廓线外 12 m, 钻孔呈三花眼布置, 抽放钻孔终孔间距 4 m, 排放钻孔终孔间距 2 m。抽放钻孔预计施工 142 个, 钻孔总工程量约 6500 m, 钻孔工程量费用约 45 万元, 预抽天数 15 天; 排放钻孔预计施工 455 个, 钻孔总工程量约 16,000 m, 钻孔工程量费用约 115 万元, 预抽天数 30 天。

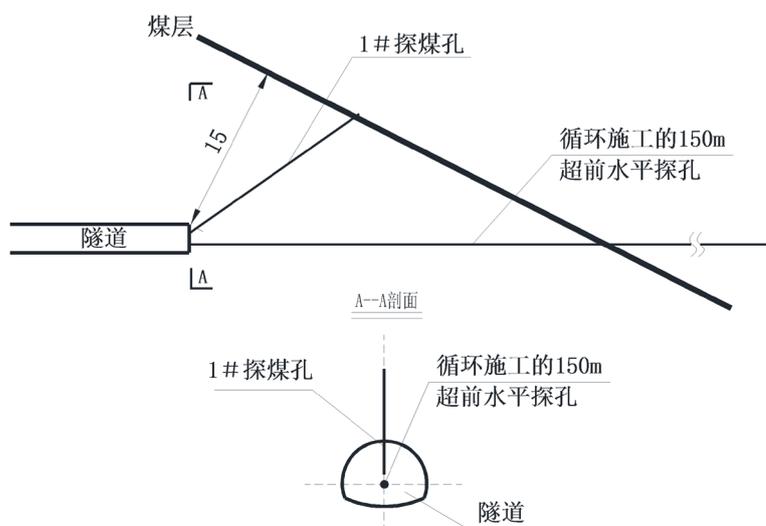


Figure 2. Layout plan of tunnel ahead detection drilling  
图 2. 隧道超前探测钻孔布置方案图

综上, 隧道揭近距离突出煤层群工作面的防突措施经综合比较分析推荐宜采用抽放瓦斯措施。根据揭煤单元划分的不同, 各揭煤单元均按一个整体设计。抽放钻孔的最小控制范围按照《防治煤与瓦斯突出规定》来取值, 为隧道揭煤处轮廓线外 12 m, 且同时满足控制范围的外边缘到隧道轮廓线最小距离不小于 5 m, 而当钻孔未能一次穿透煤层全厚时, 煤孔最小超前距需保持至少 15 m, 抽放钻孔直径 75 mm, 终孔间距按 4 m 计[11][12]。当隧道所揭煤层倾角变缓, 抽放瓦斯钻孔不能一次施工或一次施工工程量较大时, 隧道揭煤采取分段瓦斯抽放方式。发耳隧道各揭煤单元抽放钻孔布置见图 3~图 5。

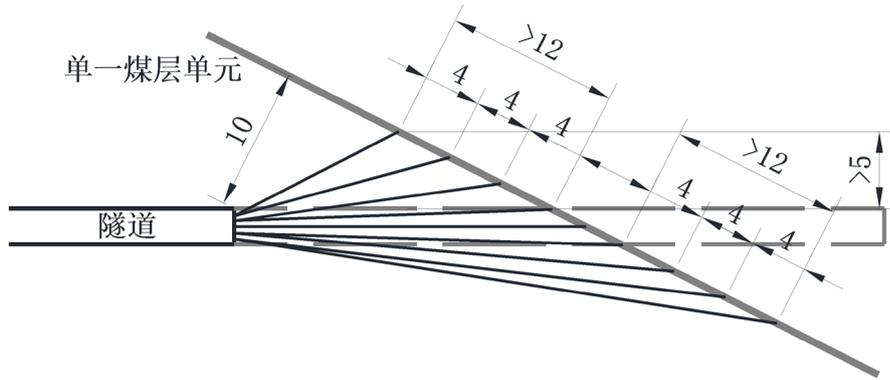


Figure 3. Layout plan of one layer of coal uncovering unit  
图 3. 一层煤揭煤单元抽采钻孔布置方案图

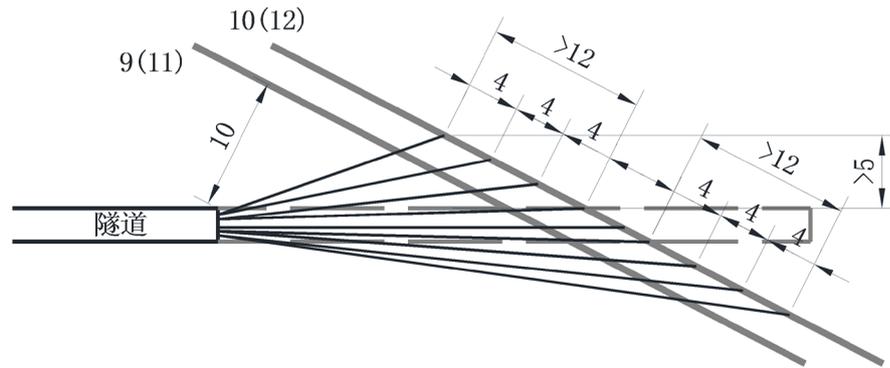


Figure 4. Layout plan of two layer coal uncovering unit  
图 4. 两层煤揭煤单元抽采钻孔布置方案图

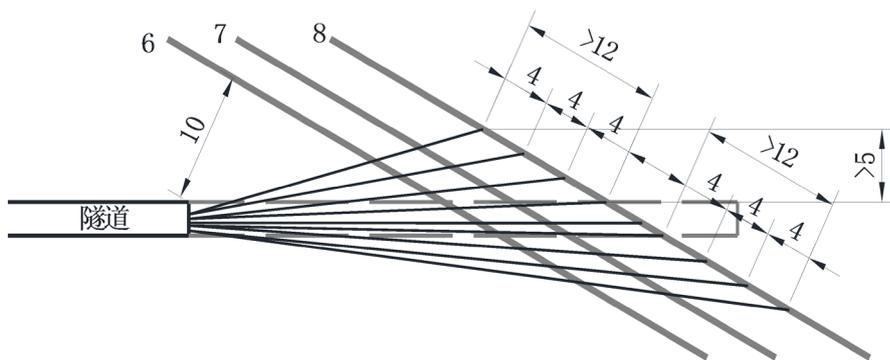


Figure 5. Layout plan of three layer coal uncovering unit  
图 5. 三层煤揭煤单元抽采钻孔布置方案图

### 3.5. 加强支护

近距离突出煤层群揭煤区域的围岩一般较松软、破碎, 须采取加强支护措施。根据隧道的超前小导管支护, 从防治煤与瓦斯突出因素考虑, 要扩大隧道的注浆范围以提高煤(岩)体的强度。现有注浆材料为水泥浆, 当其效果不好时, 选用其它注浆材料, 如固体 364 材料。注浆范围根据围岩破碎程度确定, 一般为隧道轮廓线外上部、左右部位 4 m, 下部 2 m。

同时, 根据煤矿应用比较成熟的锚索支护技术, 当隧道揭煤层群时, 遇到地质构造复杂, 煤(岩)层松软条件, 考虑隧道掘进断面大情况, 为了预防隧道揭煤后出现冒顶、垮塌等诱发突出事故, 在隧道揭煤段采取增加长锚索的加强支护措施。隧道揭煤段包括开挖工作面距离所揭煤层最小垂距 5 m 处到揭开煤层最小垂距 2 m 处, 在隧道第一次初期支护时, 在架设工字钢拱架前, 向隧道顶部按间排距 3 m 施工三根 8 m 长的锚索, 见图 6。

### 3.6. 安全防护措施

瓦斯突出隧道揭煤的安全防护措施按《防治煤与瓦斯突出规定》和《煤矿安全规程》的相关要求, 参照煤矿执行[13][14]。

1) 基本管理措施。隧道内瓦斯工区施工作业人员必须随身携带隔离式自救器; 建立进入检身制度; 禁止穿化纤等产生静电的衣服; 隧道洞口一定范围内, 包括主要通风机场地 20 m 范围内禁止烟火等。

2) 防爆措施。隧道内瓦斯工区所有作业机械和设备必须进行防爆改装, 对运渣汽车和挖掘进机的发动机、照明灯、尾气排放等易产生火花部件请有资质的单位进行防爆改装, 改装后的设备须标有 MA 标志。

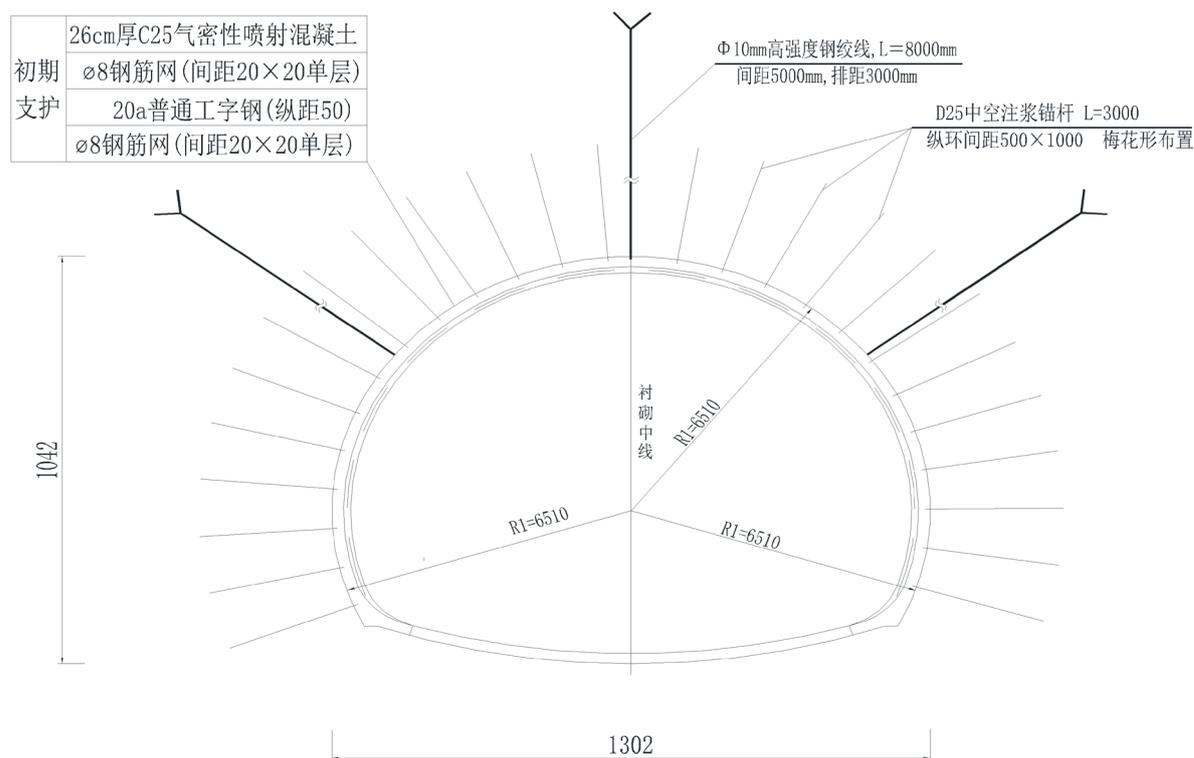


Figure 6. Reinforcement drawing of the anchorage cable in the area of tunnel uncovering coal

图 6. 隧道揭煤区域锚索加强支护图

3) 远距离放炮。隧道揭煤段爆破必须按规程, 使用安全等级三级或三级以上的煤矿许用炸药。远距离放炮揭煤, 隧道内必须停电, 停止作业, 全部隧道内的作业人员须撤离至隧道洞口安全距离外, 起爆在隧道外进行。

4) 监测监控措施。一般隧道的施工工期短, 不按煤矿的标准建立地面永久抽放泵站, 而采用移动瓦斯抽放泵对煤层进行抽放。安装 KJ90 监测监控系统, 对瓦斯、CO 及其它有害气体进行浓度等参数的监测。根据监测的瓦斯实时数据, 制定隧道内断电的措施。当瓦斯浓度大于 1% 时报警和断电, 立即撤出隧道内全部人员, 停止作业。在采取瓦斯治理措施, 瓦斯浓度小于 1% 后, 恢复送电。

5) 通风措施。隧道主要通风机实行“三专, 两闭锁”, 隧道掘进设计独立通风系统, 不允许串联通风; 隧道施工一般进出口两端同时进行, 双向掘进贯通前 50 m 时, 须停止一个方向的掘进, 编制隧道贯通施工及通风技术措施; 隧道左右线置的横通道, 不用的应进行封闭, 而作为隧道联络用横通道应设两道反向风门。

#### 4. 应用效果

1) 参照煤矿近距离煤层群的定义, 结合隧道断面大的特点, 提出了隧道近距离煤层群揭煤单元划分的层间距依据, 保证了隧道揭煤时安全距离的留设, 防止了因煤层间距太小而误揭煤层发生安全事故。

2) 采用循环施工超前水平长探孔的方案, 取消了在距离隧道掘进开挖工作面 15 m 垂距时初探煤层位置的 2# 水平探孔, 在减少钻孔工程量的同时, 保证了探煤的准确性。

3) 区域防突措施超前安全岩柱从 7 m 扩大到 10 m, 防止了因瓦斯地段围岩破碎、隧道断面大而导致揭煤工作面应力集中诱导突出, 提高了隧道揭开煤层的安全系数。

4) 通过抽排放钻孔工程量比较可知, 抽放瓦斯钻孔布置终孔间距大, 钻孔布置数量少, 易于施工, 降低煤层瓦斯含量和压力快, 有利于缩短揭煤时间, 节约揭煤成本。同时由于隧道采用正压通风, 回风线路长, 采取瓦斯排放措施, 易造成整个隧道风流瓦斯超限, 排放时不能施工作业。因此, 近距离突出煤层群隧道揭煤宜采用瓦斯抽放措施。

5) 采用锚索和注浆加固措施, 揭高了隧道揭煤区域煤系地层的围岩稳定性, 确保了施工安全和工程质量。

6) 根据煤矿安全防护措施的基本要求, 结合瓦斯隧道施工的特点, 优化后的安全防护措施加强了基本管理措施, 强化了防爆改装、远距离放炮、监测监控和通风措施的重要性, 提升了隧道安全防护的水平。

#### 5. 结论

1) 根据煤矿行业及铁路行业的规范, 结合高速公路隧道施工及揭近距离突出煤层群的特点, 对两个“四位一体”综合防突措施进行优化, 揭出了高速公路隧道揭近距离煤层群的防突技术。

2) 与煤矿巷道揭煤相比, 对隧道揭近距离煤层群防突技术的优化主要为揭煤单元的划分、超前探测方案的制定、超前安全岩柱距离的确定、抽排放技术的选择、加强支护和安全防护措施。这些技术在发耳隧道得到了很好的应用, 并成功、安全地揭穿了全部突出煤层。

3) 发耳隧道超前安全岩柱距离的确定、抽排放技术的选择和锚索加强支护技术的优化, 仅是从工程实际出发, 结合类比经验对其进行了定性的分析而确定, 但为了更好地为类似的突出隧道揭煤提供技术支撑, 还需进一步的理论研究。

#### 参考文献

- [1] 雷升祥. 瓦斯隧道施工技术研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 1999.

- [2] 陆春昌, 吴再生. 穿越煤层地段隧道瓦斯监控防治技术研究[J]. 矿业安全与环保, 2008, 35(2): 45-46.
- [3] 周军红. 穿越煤层隧道瓦斯防治技术探讨[J]. 交通世界, 2011(9): 206-207.
- [4] 李晓余. 高瓦斯隧道揭煤防突施工技术概述[J]. 施工技术, 2017, 46(S1): 830-832.
- [5] 陈沅江, 程刚. 瓦斯隧道施工安全标准化管理实施方案研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(5): 140-146.
- [6] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 防治煤与瓦斯突出规定[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009: 7.
- [7] 中华人民共和国铁道部. 铁路瓦斯隧道技术规范(TB10120-2002, J160-2002) [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002: 3.
- [8] 国家安全生产监督管理总局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2016: 2.
- [9] 赵训, 韩真理. 发耳隧道防治煤与瓦斯突出措施[J]. 煤矿安全, 2011, 42(10): 76-79.
- [10] 赵训, 韩真理, 罗勇. 水盘高速公路发耳隧道防治煤与瓦斯突出措施研究[J]. 公路, 2011(9): 256-261.
- [11] 张云龙. 成贵铁路白杨林高瓦斯隧道施安全关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [12] 黄长国. 公路隧道揭煤防突技术及实践[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(1): 236-242.
- [13] 刘辉, 张智超. 定量改进 HAZOP 法在瓦斯隧道施工通风安全中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(4): 92-97.
- [14] 刘敦文, 唐宇, 李波, 彭卫东. 瓦斯隧道施工通风风筒优化数值模拟及试验研究[J]. 中国公路学报, 2015, 28(11): 98-103 + 142.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7301, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [me@hanspub.org](mailto:me@hanspub.org)