

# 达陕高速金竹山隧道涌水塌方的综合处治研究

李永江<sup>1</sup>, 江勇顺<sup>1,2</sup>, 王琪<sup>3</sup>, 李晓洪<sup>4</sup>, 孟陆波<sup>2</sup>

(1. 四川达陕高速公路有限责任公司, 成都 610041; 2. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059; 3. 中铁十二局集团有限公司, 太原 030024; 4. 四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院, 成都 610041)

**摘要:** 在调查隧道 K64+664~K64+674 段涌水塌方特征的基础上, 从地质结构和地层岩性分析其成因。相应地, 建立综合工作程序, 采用“超前双排长管棚+小导管+注浆+三台阶法施工+瓦斯监测”的综合方案, 对灾害进行处治, 效果明显。

**关键词:** 金竹山隧道; 涌水塌方; 复杂地质; 综合处治

**中图分类号:** U459.2; P642.21 **文献标识码:** A

随着我国西部大开发战略的逐步实施, 交通工程特别是高速公路项目的顺利建设与安全运营关系到国民经济快速、健康发展和地区稳定, 具有十分重要的意义。目前, 四川高速公路正在往山峦起伏的盆周山区和高原地区迅速发展, 受地形条件的制约, 在高速公路选线过程中常采用隧道方案穿越山岭。由于地质条件复杂, 高速公路隧道建设将面临更大的挑战, 特别是断层、褶皱、岩溶、高地应力、煤层瓦斯等不良地质发育时, 施工安全风险高, 涌水、塌方、大变形、岩爆等施工地质灾害控制难度大, 若处治不当不仅将造成安全质量事故、增大投资、影响工期, 而且还会恶化生态环境, 导致隧道施工灾害“蝴蝶效应”<sup>[1~4]</sup>。因此, 在隧道建设过程中应把对灾害的控制放在首要地位, 加大对灾害综合处治技术的研究。本文以达陕高速公路金竹山隧道为例, 探讨复杂地质条件下公路隧道涌水塌方地质灾害综合处治技术和方法。

## 1 工程概况

达陕高速公路是国家“十五”规划的高速公路网包头至茂明的重要路段, 起于大巴山(陕西境)北麓, 止于达州徐家坝, 全长 143.244 km。金竹山隧道是达陕高速公路的控制性工程之一, 隧道左线长 2 712 m, 右线长 2 687 m。

隧址区地质条件极其复杂, 测区位于 NW 向大巴山陷褶束南西侧的固军坝复背斜与 NE 向川北台陷川东陷褶束的黄金口背斜交汇处, 发育固军坝复式背斜、黄金口背斜、梧桐坪背斜和付家湾向斜, 隧道穿越 F1~F6 共 6 条大断层和多条次级断层。穿越地层岩性包括三叠系中统巴东组( $T_2b$ )灰岩、泥灰岩、盐溶角砾岩, 三叠系上统须家河组( $T_3xj$ )砂岩、砾岩、泥岩夹薄煤层及煤透镜体, 侏罗系下统白田坝组( $J_1b$ )砂岩、泥岩、砾岩、炭质泥岩夹薄煤层及煤透镜体, 以及构造角砾岩和第四系( $Q_4$ )堆积层。隧址区地下水发育, 主要有孔隙水、裂隙水和岩溶水, 设计最大涌水量达 18 000  $m^3/d$ , 局部段落存在突涌水的可能。经对煤层采样作瓦斯含量测定, 吨煤瓦斯含量为 4.53~6.79  $m^3/t$ , 含量低于 10  $m^3/t$ , 为低瓦斯隧道。该隧道不良地质主要有岩溶、涌水、矿洞、煤层、瓦斯、小煤窑等, 施工安全风险高。

## 2 K64+664~K64+674 段涌水塌方灾害特征及成因分析

### 2.1 涌水塌方灾害特征

2010 年 3 月 13 日, 金竹山隧道出口右洞 K64+664 上台阶掌子面顶部出现掉块并不断加剧, 拱顶逐渐出现滴水、线状流水与股状涌水, 几分钟后发

生塌方。塌方体将 K64+664~K64+674 上台阶掩埋呈倒三角状,塌体为碎屑塑流状夹巨砾,以破碎炭质泥岩及泥质胶结松散砾岩为主,巨砾为钙质胶结砾岩,最大达  $1.5\text{ m} \times 1.2\text{ m} \times 1.8\text{ m}$ ,重约 8 t。K64+664 处一榀拱架被折断(图 1),拱架发生明显变形,拱顶被巨大的钙质胶结砾岩卡住。通过对塌体涌水进行监测,最大涌水量达  $11\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,正常涌水量  $7\,000 \sim 8\,000\text{ m}^3/\text{d}$ (图 2)。松动塌体最高 47 m,纵向最深 43 m,横向最宽 51 m,顶部形成最大 5 m 高空腔,塌体及拱顶最高瓦斯浓度 0.25%,瓦斯浓度受控。



图 1 K64+664 掌子面塌方

Fig. 1 Collapse at the workface of K64+664



图 2 K64+664 掌子面涌水

Fig. 2 Water gush at the workface of K64+664

## 2.2 成因分析

从地质构造上分析,该段隧道受固军坝复式背斜、梧桐坪背斜以及于家湾向斜构造、F4 断层影响,地质构造复杂,并且 F4 断层带导水性较好,且地表有一深约 60 m 的冲沟,受地表水补给,地下水十分发育。

从地层岩性上分析,该段围岩以粉砂质泥岩、泥质胶结砾岩为主,属泥岩与砾岩接触挤压破碎带,围岩软弱,受水浸泡后,容易软化,强度急剧降低。

由此可见,该段围岩受 F4 断层影响强烈,次生断层、褶曲发育,围岩极其破碎,层间结合性差,节理

裂隙十分发育,裂隙为张开状,内有粘滑充填物。由于 F4 断层导水,地下水十分发育,破碎围岩在地下水的侵蚀作用下,岩层逐渐剥落,最终导致围岩失稳。

## 3 涌水塌方灾害综合处治工作程序

在发生涌水塌方隧道施工地质灾害时,各方应迅速反应,沉着冷静,按既定程序及要求开展灾害处治工作。

(1) 施工单位应立即启动应急预案(包括:综合应急预案、专项应急预案和现场紧急处治方案),撤离施工人员与设备,对掌子面进行封闭,采取临时加固措施加固围岩与初期支护等,加强监测,避免发生次生灾害而导致损失进一步加大。

(2) 立即成立以监理牵头,施工、设计、业主、物探等参与的综合现场技术小组,对灾害情况及原因进行调查分析,形成调查分析报告,并提出初步处理方案。

(3) 按“动态设计与信息化施工”的原则,设计单位应及时完善处治设计文件,必要时由专家把关,以确保处治方案合理可靠,经济安全;施工单位应同步加强围岩与支护结构监控量测及瓦斯浓度、涌水监测,加强通风管理,及时整理反馈设计以修改完善处治设计参数,严格按处治要求组织施工。

## 4 K64+664~K64+674 段涌水塌方综合处治

### 4.1 临时加固措施

(1) 封闭掌子面并进行反压回填

为防止松散塌体在涌水作用下不断掏空而使拱顶渣体继续下塌,立即对塌渣进行喷锚加固,并拉运弃渣对 K64+664~K64+674 段反压回填,既起到临时加固的作用,又为后续管棚施工提供操作平台。

(2) 对初期支护进行临时加固

K64+664 初期支护钢架被折断,且 K64+664~K64+674 喷射混凝土多处出现开裂,拱顶下沉最大达 18 cm。为确保初支稳定性,避免塌方进一步加大,对 K64+664~K64+684 初期支护进行临时加固处理(图 3),在原初期支护下采用 I18 工字钢拱架加强,间距 40 cm/榀,拱架采用  $\phi 22$  钢筋连接,环向间距 100 cm;K64+664~K64+674 打设径向 450 cm 长  $\phi 42$  小导管注浆,间距  $100\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ ,注浆采用水泥-水玻璃双液浆,以快速固结围岩,控制围岩及初支变形。



图3 塌方体处初期支护临时加固和管棚施工

Fig. 3 Temporary reinforcing the initial prop and pipe-shed construction

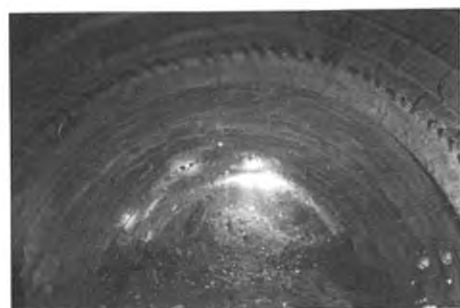


图4 双排长管棚

Fig. 4 Long pipe-shed in two rows

## 4.2 坍塌体围岩支护与衬砌设计

### (1) 采用超前大管棚穿越塌体

根据矿井地质雷达扫描结果,塌体长度约42 m,采用两排 $\phi 108$ 长管棚(图4),第一排仰角按 $20^\circ \sim 30^\circ$ 考虑,施工长度20 m。环向间距30 cm,范围 $150^\circ$ 。起钻部位在已完成的初期支护上,并施工钢架混凝土套拱。管棚施工采用跟管钻进形式,注浆采用水泥-水玻璃双液浆。第一排管棚施工段落内,提前扩挖出施工第二排管棚的工作室。

第二排管棚施工前要进行超前钻探以确定管棚施工长度。两排管棚搭接长度不小于5 m,管棚锚入基岩不得少于5 m,仰角 $1^\circ \sim 2^\circ$ ,环向间距30 cm,范围 $150^\circ$ ,注浆采用水泥-水玻璃双液浆。

由于塌体为碎屑塑流状夹巨砾,在开挖前为了防止松散破体滑落,采用 $\phi 42$ 超前小导管进行注浆加固,导管长450 cm,环向间距30 cm,与大管棚间隔布置。

### (2) 初期支护设计

由于前期松散压力大,其主要由初期支护承受,本着塌方段加强支护的原则,采用双层I20b工字钢拱架作初期支护,间距40 cm/榀,每侧施作6根450 cm长 $\phi 42$ 小导管作为锁脚锚管,以增加初支整体刚度及强度。同时,为使松散围岩与初期支护共同作为支护结构重要的一环,减小初支背后的松散压力,

外层拱架支护好后,采用环向450 cm长 $\phi 42$ 注浆小导管对松散围岩进行径向注浆加固(图5),小导管长450 cm,间距 $150 \text{ cm} \times 150 \text{ cm}$ ,注浆采用水泥-水玻璃双液浆。仰拱设单层I20b工字钢拱架,并与拱墙外层拱架闭合成环,间距40 cm/榀。



图5 管棚和小导管注浆

Fig. 5 Pipe-shed and small pipe grouting

### (3) 衬砌及排水设计

仰拱及二次衬砌采用80 cm厚C30防水气密性钢筋混凝土,初支背后间隔10 m设置一道环向排水管并与纵向排水管接通,二衬背后及仰拱底部满铺自粘式防水板,满足瓦斯段落设计与施工要求。

## 4.3 涌水处治措施

坍塌开挖后岩体呈大面积渗水、淋水状,开挖后立即挂网喷浆、立拱架进行隧道初支施工,随后沿初支面钻孔进行小导管开挖后注浆堵水。金竹山隧道涌水处治和松散围岩加固一并实施。

### (1) 孔眼布置

开挖后周边注浆加固范围为隧道开挖轮廓线4.5 m,注浆孔孔口环向间距1.5 m,纵向间距1.5 m,梅花形布置。

### (2) 注浆材料及方法

浆液采用水泥浆与水玻璃液双液浆,浆液参数现场确定,尽量缩短凝结时间。金竹山隧道小导管压注双液浆水泥浆与水玻璃体积比1:1,水泥浆水灰比0.8:1,水泥采用42.5普通硅酸盐水泥;水玻璃采用模数2.8,浓度20~25 Be。两种液体混合后的凝固时间20~25 s,如涌水较大时可适当提高水玻璃的模数和浓度。右洞K64+780~740段注浆效果来看单孔量 $\geq 2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,掌子面段总涌水量 $140 \sim 160 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右时周边开挖后注浆效果还是可行。

注浆采用防爆双液注浆泵,从两边到中间,分两序隔排施作,对于同排孔按照由上到下的顺序进行,注浆压力控制在1.0 MPa左右。

### (4) 注浆效果检查

注浆效果应在注浆7d后检查,采用单点压水试验,检查孔数不少于注浆孔数的2%,透水率不小于

2 Lu,孔段合格率应在80%以上,不合格孔段的透水率值不超过设计的50%,且不集中,注浆质量合格,否则应加密钻孔注浆。

#### 4.4 施工技术要求

处治过程中应严格遵循“管超前、短进尺、弱爆破、强支护、快封闭、勤量测”的原则。开挖采用短三台阶预留核心土法(图6),进尺为一榀拱架间距,预留沉降量按20 cm控制。拱架必须单侧落底并及时施工初期支护,两侧不得同时落底;中台阶采用临时118工字钢拱架封闭,并与初期支护拱架连接,以便于初期支护及早闭合成环;下台阶及仰拱初期支护完成后,采用环向450 cm长 $\phi 42$ 注浆小导管注浆加固围岩,以便于初期支护能承受巨大的松散压力。此外,由于日均涌水量保持6 000~7 000 m<sup>3</sup>/d,按照“堵排结合,限量排放”的原则,在每个台阶处预留泄水管,以适量排放裂隙水。

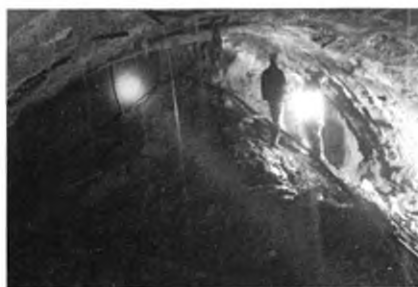


图6 三台阶的上台阶掏槽预留核心土

Fig. 6 Reserving core soil at the upper step among the three steps

施工过程中应严格执行瓦斯隧道进出洞、爆破、瓦检、通风、动火作业、电器设备等管理制度,加强地

质综合分析,加强监控量测与涌水监测,及时整理反馈设计以动态调整支护参数,确保施工安全。

## 5 结论

(1) K64+664~K64+674段涌水塌方灾害形成主要原因是粉砂质泥岩、泥质胶结砾岩接触挤压破碎带,围岩破碎、软弱,并受导水F4断层影响,地下水十分发育,围岩在浸泡软化后,强度急剧降低,导致围岩失稳。

(2) 建立了较完善的涌水塌方施工地质灾害的应急预案,当发生施工地质灾害时立即启动应急预案,施工、设计、业主等各方应迅速反应,沉着冷静,按既定程序及要求开展灾害处治工作,避免造成次生灾害而使损失加剧。

(3) 针对瓦斯隧道中出现涌水塌方地质灾害特征,采用临时加固和永久衬砌两种措施,提出了“超前双排长管棚+小导管+注浆+三台阶法施工+瓦斯监测”的综合处治方案,经过K64+664~K64+674段涌水塌方灾害治理应用,证明其是有效的。

#### 参考文献

- [1] 关宝树. 隧道工程设计要点集[M]. 北京:人民交通出版社, 2003.
- [2] 黄成光. 公路隧道施工[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [3] 王建宇. 隧道工程监测和信息化设计原理[M]. 北京:中国铁道出版社, 1990.
- [4] 徐干成, 白洪才, 郑颖人, 等. 地下工程支护结构[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.

## TREATING THE GUSH AND COLLAPSE COMPREHENSIVELY IN THE JINZHUSHAN TUNNEL ON DA-SHAN EXPRESSWAY

Li Yong-jiang<sup>1</sup>, Jiang Yong-shun<sup>1,2</sup>, Wang Qi<sup>3</sup>, Li Xiao-hong<sup>4</sup>, Meng Lu-bo<sup>2</sup>

(1. Sichuan Da-shan Expressway Company Ltd., Chengdu 610041, China; 2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. 12th Bureau of China Railway Group Ltd., Taiyuan 030024, China; 4. Highway Planning, Survey, Design & Research Institute, Sichuan Provincial Communications Department, Chengdu 610041, China.)

**Abstract:** Based on the investigation of the features of the gush and collapse at Segment K64+664 ~ K64+674, its causes were analyzed in terms of the geological structure and stratum lithology. Accordingly, with a comprehensive work program established, the treatment method was defined as an integration of lead long double pipe-shed, small pipe, grouting, three-step construction and gas monitoring. The final effect has been obvious.

**Key words:** Jinzhushan tunnel; gush and collapse; complicated geology; integrated treatment

**作者简介:** 李永江(1965—),男,高级工程师,从事公路隧道工程建设与管理。