

文章编号: 0451-0712(2007)02-0182-06

中图分类号: U457.5

文献标识码: B

明月山隧道涌突水处理设计与施工

陈贵红¹, 刘传兵², 林国进¹

(1. 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院 成都市 610041; 2. 中铁二局集团第二工程有限公司 成都市 610031)

摘要: 明月山隧道水文地质条件复杂, 岩溶地下水发育, 施工过程中发生大的涌突水, 掌子面最大流量达 15 万 m^3/d 。设计采用先在突水点设止浆墙, 然后再对前方围岩进行全断面深孔预注浆进行堵水, 施工实践表明该处理方式是成功的, 目前, 隧道施工已顺利通过突水地段。本次注浆堵水的成功为隧道涌突水的处理积累了经验, 可供类似工程借鉴与参考。

关键词: 隧道工程; 岩溶; 注浆; 止浆墙

1 工程概况

明月山隧道是沪蓉国道主干线支线重庆垫江~四川邻水高速公路的控制性工程, 长 6 560 m, 双向四车道, 设计行车速度为 80 km/h。全隧地质条件复杂, 地下水丰富, 主要工程地质问题有岩溶突泥、突水、薄煤层低瓦斯、煤层采空区、老窖积水、断层破碎带等。隧道近垂直穿越明月山背斜, 背斜两翼为三叠系上统须家河组砂页岩和侏罗系下统珍珠冲组砂泥岩, 背斜轴部为三叠系中下统碳酸盐岩类, 因受两侧

碎屑岩所构成的中低山岭脊夹峙, 具备有利的岩溶发育条件, 岩溶地层长约 2 000 m, 其中 F_1 断层下方嘉陵江组灰岩为岩溶较强发育带, 见图 1 所示。根据地勘资料, 施工期间单洞丰水期总涌水量可达 13.5 万 m^3/d , 施工过程中具有突泥、突水的可能, 最大瞬间涌水量可达 894~2 978 m^3/h 。为了保证施工安全及保护生态环境, 岩溶地下水处理坚持“以堵为主, 限量排放”的设计思想, 采用注浆作为堵水的主要手段。

收稿日期: 2006-08-14

Exploration of Double-Arch Highway Tunnel Constructed by Single-Tunnel Method

LIU Ren-yang

(The Fifth Engineering Co. Ltd of China Railway Fifth Engineering Bureau, Kunming 650118, China)

Abstract: The adoption of double-arch tunnel escapes separating the roadbed or bridge at tunnel openings, and makes the route inside and outside the tunnel smoother. At the same time, the double-arch tunnel has a lot of superiorities such as suiting the landform, availing to environment protection and reducing the work quantity. Therefore developing the construction methods of double-arch tunnel is great significance. In this paper, the single-tunnel construction technology adopted at the three double-arch tunnels located in No. 1 Contract of Funing-Guangnan Expressway is introduced. Compared with three-pilot heading or one-pilot heading (middle-pilot heading) methods, it has obvious advantages in technics, cost, time limit, safety and quality. The successful adoption of the single-construction technology gives a new way to design and construction of the double-arch tunnel.

Key words: double-arch; highway tunnel; single-tunnel method; construct; exploration

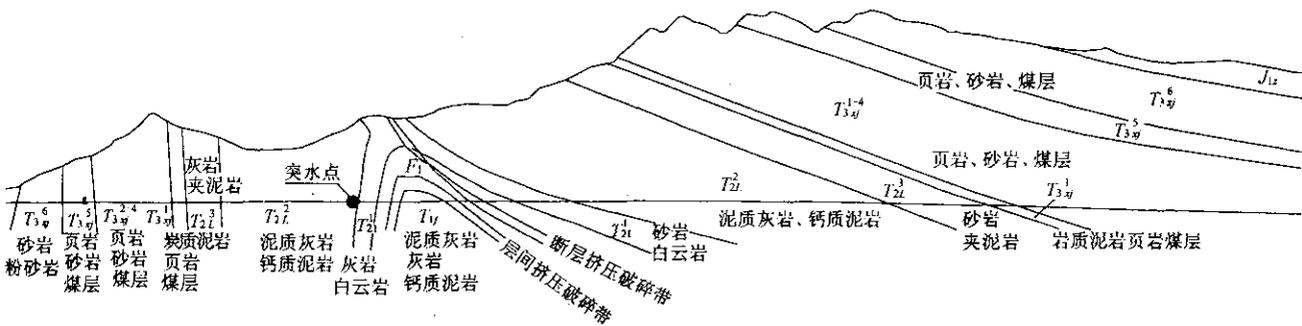


图1 明月山隧道地质纵断面

2 涌突水的发生与发展

2006年1月5日下午,明月山隧道右洞开挖至YK5+379,掌子面右侧拱部出现较大渗水、股水,不时出现掉块现象,至20:50于渗水处发生突水、突泥,冲出大量的碎石块,形成一直径约2~4 m,深度约7 m的狭长坑道,在坑道的尽头,水流量约5 m³/min。

2006年1月17日,明月山隧道右洞施工至YK5+398,掌子面岩性为钙质泥岩夹泥灰岩,层厚5~10 cm,岩体受地质构造影响严重,软层多见扭曲、拖拉现象,节理发育,层理、片理发达,层间多为泥膜、拖屑物、泥质物充填,层间结合差,有错孔迹象,裂隙发育,岩体呈碎块状、片状、碎裂结构,围岩类别为Ⅱ类。

晚上23:00,初期支护喷射混凝土完成后,拱顶陆续出现掉块现象,有坍塌前兆,23:30拱部发生塌方,形成长6 m,宽10 m,高2~7 m的塌腔,塌方处揭露的泥灰岩节理发育,多数间距在0.1 m左右,不时出现掉块现象。

由于水的作用,围岩自稳能力差,18日早上5:00,拱部右侧掌子面发生突水,形成一直径约1 m的大股水,流量达33 m³/min,水质浑浊,水流夹带泥灰岩、碎石流出,粒径约5~10 cm。冲出的岩体以灰岩为主,判断该处为泥灰岩与灰岩的接触带,该处岩溶发育,地下水丰富。

1月18日下午,隧道专家咨询小组对现场涌水察看后,决定暂停隧道开挖作业,持续对涌水进行观测。从1月18日上午9:00至1月20日上午9:00,观测涌水量为33~43 m³/min,涌水量总体呈上升趋势。此后涌水量稳定在39 m³/min左右,水流无减小趋势。

在施工止浆墙的过程中,2月28日13:10掌子面涌水开始变浑浊,夹杂大量片石(10~15 cm)、小粒径(0.5~2 cm)碎石、砂等,16:10掌子面涌水量突然增加,达97 m³/min,整个隧道被水淹没,一直漫至隧道口外50 m处。3月1日掌子面涌水呈瀑布状。

2006年3月2日,水质更浑浊,掌子面有异响,于13:30涌水量再次增大,达到109 m³/min,此后长时间稳定在110 m³/min左右。

3 处理方案设计

根据地勘资料推测,YK5+442为雷口坡组二段钙质泥岩与雷口坡组一段灰岩、白云岩的分界点,两种岩性的接触带一般岩溶较为发育,具有突水的可能,因此,原设计在YK5+427~+457段设有30 m深孔周边预注浆。根据岩性判断目前的掌子面YK5+398仍然处于雷口坡组二段钙质泥岩中,但根据涌水冲出岩体以灰岩为主,推测前方应是雷口坡组一段,目前所处位置应为泥灰岩与灰岩的接触带。为了保证施工的顺利进行,同时也尽可能地保护当地的生态环境不受破坏,必须对前方涌突水进行注浆封堵。

设计本着“以堵为主、堵排结合、稳扎稳打、确保安全”的处理原则,形成如下处理方案。

第一步:为了确保预注浆施工期间的施工安全,首先对已开挖段右洞YK5+341~+391及左洞K5+334~+374段进行全断面开挖后周边注浆加固,加固范围为开挖轮廓线外5 m。

第二步:根据右洞地质情况推断左洞前方20多米后即雷口坡组二段钙质泥岩、泥灰岩与雷口坡组一段灰岩、白云岩接触带,因此对左洞K5+374~+414段进行全断面深孔预注浆,注浆范围为开挖轮廓线外10 m。

在施工第一、二步的同时施工右洞C30混凝土止浆墙,并采用C15片石混凝土对止浆墙与掌子面之间的空隙进行回填,待止浆墙浇筑完毕利用预留管泵送C15混凝土对掌子面上方塌腔进行回填。

第三步:利用止浆墙对右洞YK5+391~+431段进行全断面深孔预注浆,注浆范围为开挖轮廓线外10 m。

涌突水处理总体平面布置如图 2 所示,右洞坍塌情况及回填处理如图 3 所示。

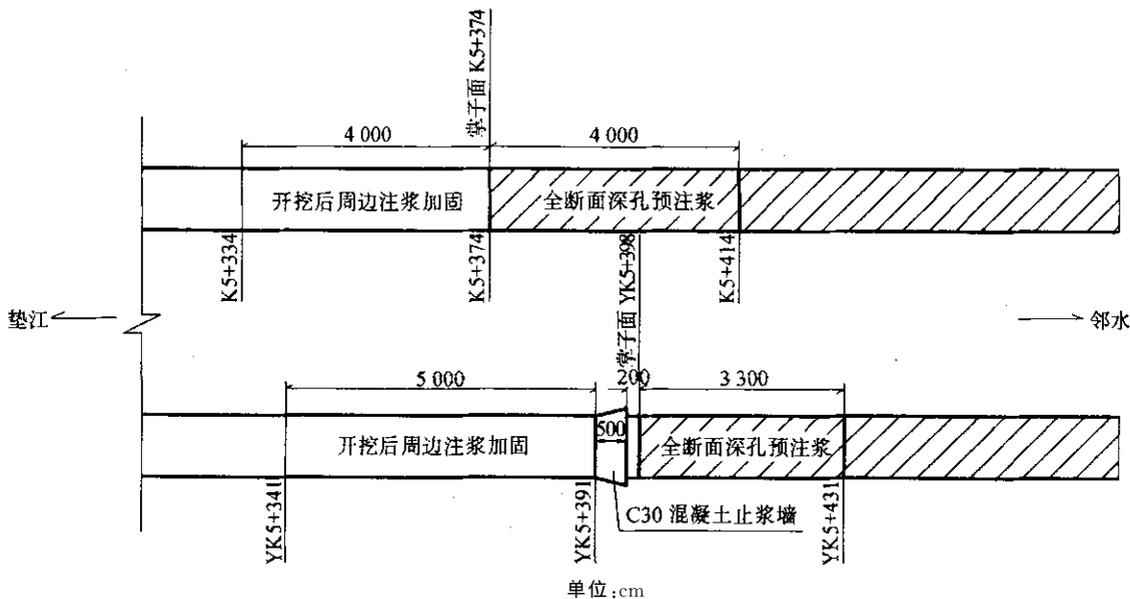


图 2 YK5+398 涌突水处理平面布置

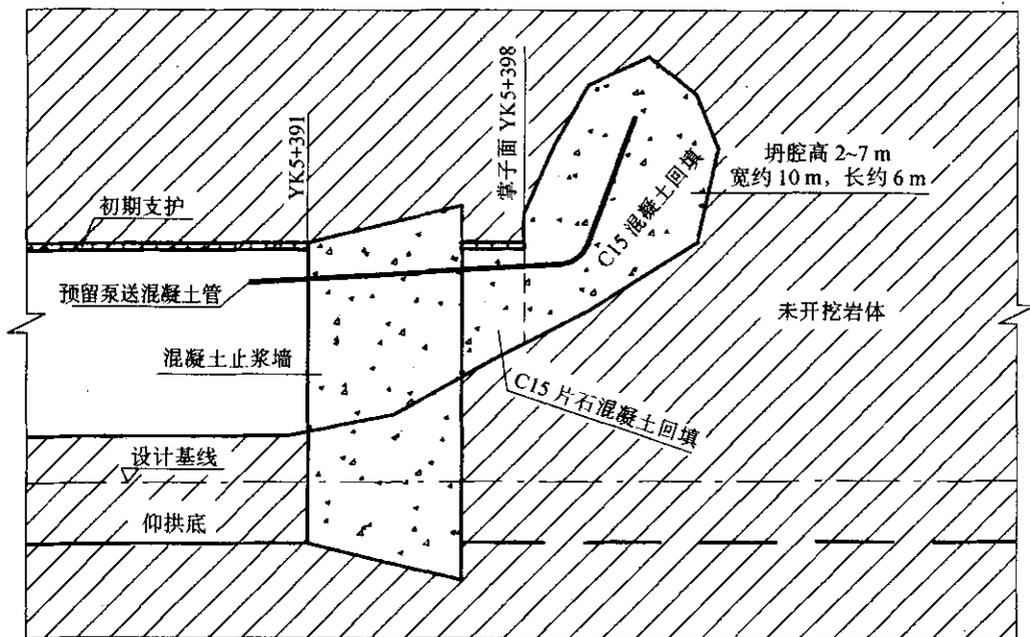


图 3 右洞坍塌情况及回填处理纵断面

3.1 开挖后注浆设计

注浆加固范围为隧道开挖轮廓线外 5 m, 注浆孔孔口环向间距为 1.5 m, 纵向间距 1.5 m, 梅花形布置, 注浆孔孔径为 50 mm, 孔口设 0.5 m 长的 $\phi 54$ 热轧无缝钢管作为孔口管。由于该段岩层陡立, 为了使钻孔穿过不同的岩层界面便于浆液扩散, 注浆孔斜向布置成与隧道轴线呈 60° 交角。注浆材料采用水泥水玻璃双液浆, 初拟注浆参数为: $C : S = 1 : 0.6 \sim$

$1 : 1.0$ (体积比), 水泥浆水灰比为 $0.8 : 1 \sim 1 : 1$, 水玻璃模数为 $2.6 \sim 2.8$, 水玻璃浓度为 35°Be , 注浆压力为 $0.5 \sim 1.0 \text{ MPa}$ 。开挖后周边注浆设计如图 4 所示。

3.2 全断面深孔预注浆设计

注浆加固范围为开挖轮廓线外 10 m, 注浆段长 40 m, 分 3 环实施, 第 1 环长 15 m, 第 2 环长 27 m, 第 3 环长 40 m, 注浆孔由工作面向开挖方向呈伞形辐

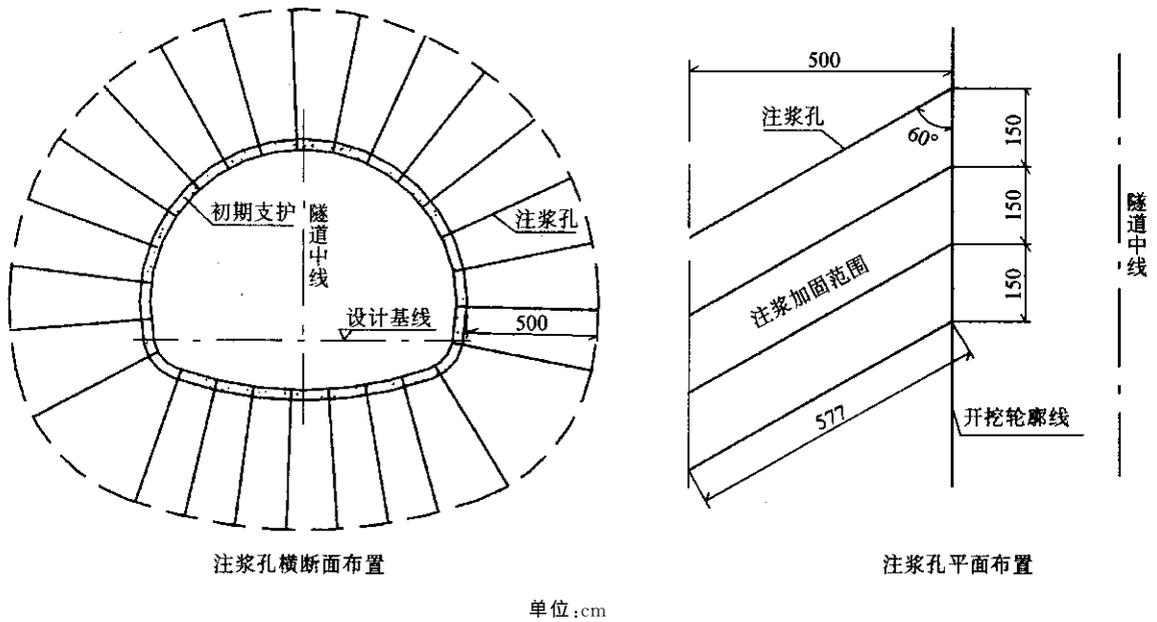


图4 开挖后周边注浆设计

单位:cm

射状,钻孔布置成数圈,内外圈按梅花形排列,并采用长短孔相结合,以达到注浆充分不留死角,浆液扩散半径为2 m,孔底间距不大于3 m,开孔直径为115 mm,终孔直径为75 mm,注浆孔布置如图5所示。注浆材料采用水泥—水玻璃双液浆,浆液浓度初

拟参数同开挖后周边注浆。注浆压力采用在测量所得静水压力的基础上增加0.5~1.5 MPa。注浆前在止浆墙或止浆岩盘内埋设φ127 无缝钢管作为孔口管,孔口管长3 m,孔口外露0.2~0.3 m。

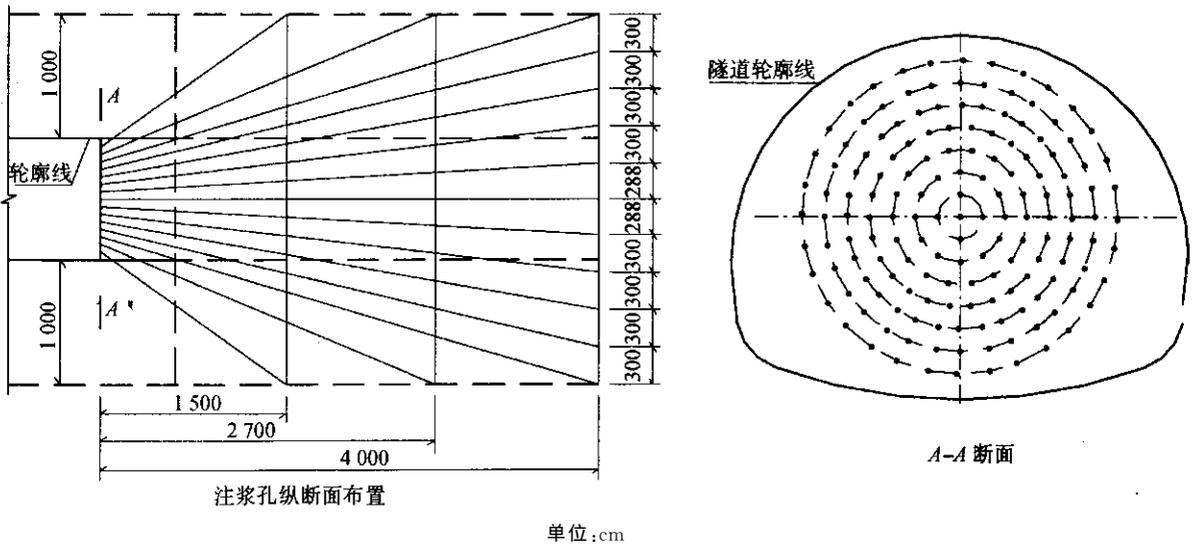


图5 全断面深孔预注浆设计

单位:cm

3.3 右洞止浆墙设计

由于右洞掌子面已形成突水,在大股水流动的情况下,要想对前方围岩进行注浆是不现实的,为此,必须设止浆墙使动水变成静水。根据文献[1],止浆墙厚度可按下式计算:

$$B = K_0 \sqrt{\frac{Wb}{2h[\sigma]}} \quad (1)$$

式中: K_0 为安全系数,取1.5; W 为作用在止浆墙上的荷载($W = P \cdot F$, P 为注浆终压, F 为混凝土止浆墙面积,取隧道开挖断面积 $F = 96.93 \text{ m}^2$); b 为隧道跨度, $b = 12.2 \text{ m}$; h 为隧道高度, $h = 9.78 \text{ m}$; $[\sigma]$ 为混凝土允许抗压强度,对于C30 混凝土 $[\sigma] = 22.5 \text{ MPa}$ 。

止浆墙计算简图如图6所示。YK5+398 处隧道

埋深 184 m, 地下水位深 20~30 m, 设计静水压力按 160 m 水深考虑, 根据预注浆设计, 注浆终压取 3.1 MPa, 本计算偏于安全地取 $P=3.5$ MPa, 经过反复试算, 止浆墙最终采用 5 m 厚的 C30 混凝土。

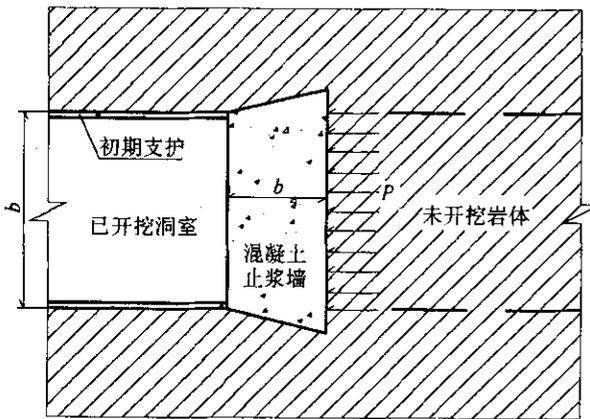


图 6 止浆墙计算简图

4 注浆堵水施工

4.1 开挖后注浆与左洞预注浆施工

开挖后注浆采用全孔一次注浆, 注浆机械采用耿力 GZJB 双液注浆机, 注浆终压为 1 MPa, 注浆顺序由下向上, 先注无水孔, 后注有水孔。

左洞由于未形成突水, 因此未设止浆墙。为了确保施工安全, 同时也为了达到良好的注浆效果, 注浆工艺采用分段前进式, 首先完成掌子面前方 10 m 所有孔的注浆, 加固围岩作后续注浆的止浆墙使用, 然后再采用分段前进式完成本注浆段后面的注浆。注浆机械采用黑旋风 3SNS-A 注浆泵, 注浆终压为 3~4 MPa。

4.2 右洞预注浆施工

首先应完成止浆墙的浇筑, 止浆墙浇筑从 2006 年 2 月 10 日开始, 预计分 3 层, 最底层分左、右幅浇筑, 先将涌水从左侧引出, 施作右幅止浆墙, 同时预埋 10 根 $\phi 200$ 无缝钢管用作排水管, 排水管均焊有法兰盘, 用于连接高压闸阀, 待右幅混凝土达到一定强度后, 改变水流方向将涌水从预埋排水管引出, 施作左幅止浆墙。底层施工完毕后, 2 月 28 日涌水量突然增大, 掌子面涌水量迅速达到 $110 \text{ m}^3/\text{min}$ 左右, 中央水沟被堵, 水全部在路面漫流, 严重影响了施工材料的正常运输及已开挖段的仰拱和衬砌的施工。为了保证施工的顺利进行, 决定在已开挖段左洞 K5+337 与右洞 YK5+358 之间开挖一条 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的导流洞, 把右洞的水分流到左洞。导流洞施工完成后,

由于涌水量增大, 底层预埋排水管无法将涌水全部排出, 因此, 中间层的施工仍然分左、右幅浇筑。原设计在施工止浆墙的同时, 采用 C15 片石混凝土对止浆墙与掌子面之间的空隙进行回填。施工过程中, 由于涌水量太大, 施工困难, 而未能进行。直到 5 月初才全部完成止浆墙的施工。

止浆墙施工完成后, 首先对止浆墙周边与岩面的接缝进行了注浆处理, 保证关水后, 水不会从接缝处流出, 然后关闭闸阀使动水变成静水, 按照设计要求采用泵送混凝土回填止浆墙背后的空腔。关水后, 经量测静水压力达 0.8 MPa。由于混凝土泵压力较小, 泵送混凝土无法施工, 经现场研究将泵送混凝土改为注浆回填。墙背回填注浆从下往上进行, 最后在止浆墙顶部打向上的斜孔注浆回填塌腔, 通过检查预埋到塌腔顶的泵送混凝土管是否有浓浆液流出, 来判断塌腔回填是否已经饱满。

最后在混凝土止浆墙上打孔, 对前方围岩进行全断面深孔预注浆, 注浆顺序由下向上, 由外向内。注浆机械采用黑旋风 3SNS-A 注浆泵, 原设计单个注浆段长 40 m, 由于施工机械能力的限制, 施工中将注浆段调整为 30 m。注浆工艺采用分段前进式, 实施过程中量测到的静水压力一般在 0.6~1.2 MPa, 注浆终压在 3~4 MPa。整个帷幕注浆结束后, 在掌子面共打了 7 个检查孔, 其中 4 孔在钻进到约 18 m 时开始出水, 钻进到 31 m 时涌水量达 12~20 L/min, 另有 2 孔在钻进到 27 m 时才开始出水, 仅有 1 孔涌水量较大, 孔深 21.2 m 时涌水量达 40 L/min, 孔深 26.7 m 时涌水量达 114 L/min。综合判断前方 25 m 范围内注浆效果良好, 决定结束本次注浆, 拆除止浆墙。后来的施工开挖表明, 浆液充填良好, 未发现大的溶洞或管道, 这说明本次涌水量虽然很大, 但仍然主要是裂隙水而并非大的溶洞或暗河水。

5 几点认识与体会

本次注浆堵水的成功表明, 对于以裂隙水为主的涌突水, 即使涌水量很大, 且有较大的水压, 仍然可以采用先设止浆墙后注浆堵水的办法进行处理。

当静水压力较大时, 关水后采用泵送混凝土对止浆墙后的空隙及塌腔进行回填是不合适的, 主要是因为混凝土泵压力较小, 这种情况下应采用压力较高的注浆泵进行, 注浆材料可采用水泥砂浆。

注浆技术对于注浆效果的保证具有决定性的作

用,只有具备高超的注浆技术并配备必要的注浆设备才能保证注浆的成功,本次注浆施工由国家电力公司贵阳勘测设计研究院岩土工程公司进行。

本次处理涌突水,由于各种因素的影响前后共花费了半年时间,严重影响了工期,代价是巨大的。现在来看,没有可靠的超前地质预报是发生本次涌突水的一个重要原因。根据地勘资料推测,YK5+442为雷口坡组二段钙质泥岩与雷口坡组一段灰岩、白云岩的分界点,两种岩性的接触带一般岩溶较为发育,具有突水的可能,原设计在YK5+427~+457段设有30 m深孔周边预注浆,若有可靠的超前地质预报资料,将预注浆提前施做,本次涌突水应该是

不会发生的。因此,在岩溶隧道的施工中,必需充分重视超前地质预报工作的重要性,避免涌突水的形成与发生,一旦形成突水,处理难度将会大大增加。

参考文献:

- [1] 鞠建英. 实用地下工程防水手册[M]. 北京:中国计划出版社,2002.
- [2] 岩石锚固与注浆技术委员会. 锚固与注浆技术手册[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [3] 邹振华. 全断面帷幕注浆堵水在歌乐山隧道施工中的应用[J]. 现代隧道技术,2003,40(1).
- [4] 李治国. 隧道岩溶处理技术[J]. 铁道工程学报,2002,(4).

Design and Construction of Swelling Disposal for Mingyueshan Tunnel

CHEN Gui-hong¹, LIU Chuan-bing², LIN Guo-jin¹

(1. Highway Design and Research Institute, Department of Communications of Sichuan Province, Chengdu 610041, China;

2. The 2nd Engineering Co. Ltd of the 2nd Bureau Group of the Railway Building Corporation of China, Chengdu 610031, China)

Abstract: Hydrogeologic conditions are complicated in Mingyueshan Tunnel on Dianlin Highway, karst and groundwater are developed. Groundwater flushed heavily in the course of construction, the maximum inflow rate reaches 150 000 m³/d. The design plan is that preventing-grout wall is constructed at the point of swelling earlier and full-face curtain grouting is brought into effect for the forward surrounding wall. The construction practice indicates that the design plan is successful. The construction of the tunnel has passed successfully the swelling place. The experiences of the swelling disposal provide the reference for the analogous engineering.

Key words: tunnel engineering; karst; grouting; preventing-grout wall

欢迎补订 2007 年《公路》杂志

《公路》月刊于1956年9月创刊。是我国公路行业出版最早的综合技术类科学技术期刊;全国中文核心期刊。《公路》杂志由交通部主管,由中交公路规划设计院主办,由《公路》杂志社出版。《公路》杂志1996年获第二届全国优秀科技期刊三等奖;双效期刊;2005年荣获第三届国家期刊奖百种重点期刊。

《公路》杂志为大16开,全年12期。栏目主要有道路、桥梁、公路养护与环保、材料与试验、隧道、综合…等等;读者对象主要是从事公路建设的有关人员、大中专院校师生及市政、铁路、水利、林业、机场、矿业及石油等行业的有关人员。

《公路》杂志邮发代号:2—81。每期每本单价:6.80元。

若错过订阅时间的读者,可直接在我部办理零售业务。2007年零售价全年每套81.60元(免全年邮寄费)。

另本刊还有《公路》2000年~2006年合订本,每年度合订本200.00元(免邮寄费)。欢迎选购。

零售部联系电话:010—65235625,65279988(总机)转1408(上午)、2202(下午)

联系人:叶萍 地址:北京东四前炒面胡同33号 邮编:100010