

文章编号: 0451-0712(2005)10-0205-05

中图分类号: U455.49

文献标识码: B

导管注浆在涌水治理施工中的应用

王殿会

(路桥集团第一公路工程局厦门工程处 厦门市 361021)

摘 要: 结合紫桐隧道右洞涌水段的综合治理,就隧道在渗漏水、淋水、涌水等病害治理中,对所采用的超前导管注浆和径向导管注浆的施工工艺和施工方法做总结。

关键词: 涌水; 治理; 导管注浆; 施工

隧道涌水是隧道工程地质中的一个复杂问题,是指在富水的岩体中开挖隧道,当裂隙互相贯通又含水时,大量的地下水就涌入洞内,新开挖的隧道就成为排泄地下水的新通道。在土及未胶凝的断层破碎带中,涌水的动水压力和冲刷作用,可能导致隧道围岩失去稳定性。从目前的隧道施工技术角度,治理涌水的方法很多,大多分为两类,即排水法和止水法。实际上排水和止水常常是不能截然分开的。因此,“堵排结合”是经常被采用的治理方法。下面结合紫桐隧道右洞涌水工程实例,介绍超前导管注浆和径向导管补充注浆在涌水治理中的应用。

1 工程概况

铜汤高速公路 TT12 合同段紫桐隧道位于黄山区西约 4 km 处,隧址区属断褶侵蚀剥蚀低山区,海拔 178.7~641.2 m,相对高差约 463 m,山脊走向北偏东 40°左右。隧道轴线与山脊走向大角度相交,轴线通过处最高海拔约 605 m。隧址区地形坡度较陡,一般为 25°~45°。

隧址区发育的地层主要有:第四系松散堆积层和志留系中统畈村组(S2fn)中厚层状泥质砂岩夹石英砂岩。隧址区地层为单斜构造,隧址区内的主要构造类型为断层和节理裂隙。隧址区主要不良地质现象为断层破碎带。断层破碎带内岩石破碎,节理裂隙发育,地下水相对集中,对隧道围岩的稳定性有较大影响。

紫桐隧道右洞 YK157+381~+396 段围岩受区域构造影响,地下水丰富,并具有承压性,隧道围岩裂隙发育,经项目办召集各方论证后,将 YK157+

381~+396 段作为设计变更试验段,采取“以堵为主,堵排结合”的原则进行施作。全隧道中央水沟调整为 $\phi 50$ cm,边墙脚纵向排水管调整为 $\phi 160$ mm(壁厚 5 mm)PVC 塑料管,该段横向排水管调整为 $\phi 100$ mm,半圆管调整为 $\phi 100$ mm,5 m 一道,并根据实际情况酌情调整。在初期支护过程中,改进了喷射混凝土工艺,加大了速凝剂用量,并在主裂缝处不喷射混凝土,让水流能集中在主裂缝处,然后通过半圆管引入边墙脚的纵向排水管。

将隧道右线 YK157+381~+396 段调整为Ⅲ类加强支护衬砌,并在隧道起拱线以上采用小导管注浆水泥~水玻璃双液浆堵水,小导管既作为注浆管,又作为超前支护,视施工后堵水效果再对本方案进行优化调整。在注浆开挖过后,如初期支护表面仍有漏水,可视具体情况采用径向小导管补充注浆堵水。

以目前隧道施工的技术水平,采用止水方法,达到完全止水的效果是不可能的,要根据围岩条件和周边环境条件,同时采用压注工法和引排工法才能取得较好的效果,而且经济。上述方案中在堵止方面采用了以填充岩层裂隙为目的的岩层压注法。它的机理是,在隧洞周边围岩中形成一个难以透水的隔离环,在一定范围内提高围岩的止水性能,把透水系数提高到某一基准值。

2 注浆导管施工工艺

2.1 工艺流程(图 1)

2.1.1 定位

用全站仪准确放出隧道开挖轮廓线,在轮廓线

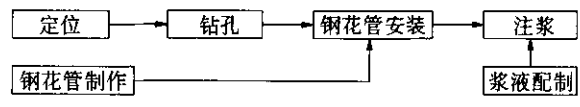


图1 注浆工艺流程

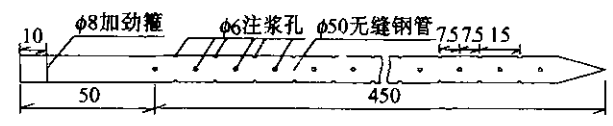
外侧打设超前管孔位, 布设范围在起拱线以上, 孔位间距为50 cm, 每环共37 个孔。钻孔实际位置偏差不应超过设计位置5 cm, 确因围岩节理裂隙影响, 钻孔偏离设计位置时, 可视具体情况予以调整。

2.1.2 钻孔

在满足设计要求的前提下, 施工中采用TY28型凿岩机不少于6 台, 进行钻孔作业, 采用70 mm 钻头钻孔。钻孔时, 钻机的气腿应落于台车稳定处, 不得悬空。开始钻孔时, 低压慢转, 确保钻机的稳定性。每台钻机设2 名钻工, 尽量减小钻孔横向偏位, 控制钻孔深度误差在+5 cm 以内, 并保证设计要求的30°外插角。

2.1.3 钢管制作及安装

严格采用试验合格并批复使用的 $\phi 50\text{ mm}\times 5$ 钢管制作注浆管, 注浆管在前端4.5 m 范围内打花孔, 管身采用钻床打 $\phi 6\text{ mm}$ 注浆孔, 注浆孔纵向间距为15 cm, 呈梅花形布置。尾部0.5 m 不打孔。钢管花管尾端10 cm处设置 $\phi 8$ 加劲箍, 在钢管尾部加丝扣, 用于连接止浆阀和注浆管。钢管花管见图2 所示。



单位: cm
图2 钢管花管大样

每个孔位打至设计深度后立即下管, 钢管花管由人工辅助机械送入。钢管到位后, 采用锚固剂或水玻璃和水泥封口, 以防注浆时冒浆。

2.1.4 注浆

采用水泥水玻璃双液注浆机1 台, 见图3 所示, 注浆时注浆压力控制为初压1.0~2.0 MPa, 在注浆孔的注浆末期, 泵压逐渐升高后增压至3 MPa。当注浆压力不低于3.0 MPa, 稳定5 s 时可作为注浆孔施工的结束标准。

注浆过程中, 采用与双液注浆机配套的灰浆拌和机, 以满足正常的施工要求。搅拌后的浆液均匀, 一次搅拌量为 0.125 m^3 , 现场循环搅拌施作, 以保证注浆施工的连续性。

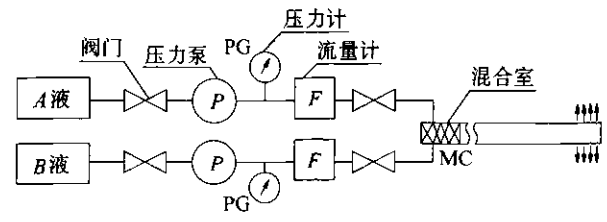


图3 双液浆机(一段半)示意

在施工过程中, 画出草图, 一一对孔位编号, 在钻孔、打管、注浆过程中, 应认真填写施工记录和质量检测报告, 以便对注浆、注浆压力和注浆量变化等进行综合分析, 及时调整。

2.2 注浆材料与浆液配合比

压浆材料一般要求在一定时间内具有胶凝作用, 因此, 多数情况下都采用以水玻璃为主体材料。根据该段围岩特点, 设计中采用了水泥水玻璃类浆液, 它是以水泥和水玻璃为主剂(水泥浆要求: $W:C=1:1$; 水玻璃要求: 模数 $m=2.4\sim 3.4$, 浓度 $B=35e'$), 两者按1:1 的比例采用双液方式注入, 加入2%缓凝剂(磷酸氢二钠)所形成的注浆材料。它具有以下优点:

- (1)可以调节胶凝时间;
- (2)结石体抗压强度高, 可达到5~20 MPa(后期强度由于水玻璃的作用易降低);
- (3)不会产生固化收缩而形成空隙, 有利于保持胶凝体与岩体的胶结和挤压作用;
- (4)浆液结石率为100%, 结石体渗透系数为 10^{-3} cm/s , 抗渗性能好;
- (5)浆液在流散过程中, 发生的化学反应产生大量水化热, 这些热量将促使岩体含水量降低, 岩体强度和自稳性则因此而提高。

2.3 注浆设备

紫桐隧道所用的注浆设备见表1。

表1 注浆设备

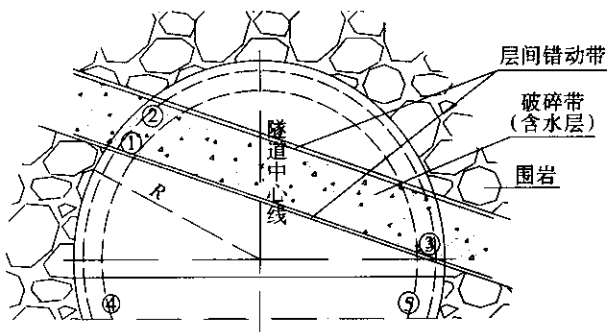
设备名称	型号	数量
钻 机	DK-150	2 台
凿岩机	ZY-28	6 台
双液注浆机	GYZB	1 台
灰浆拌和机		1 台
抽水机		6 台
其他设备		2 套

2.4 施工中应注意的细节问题

设计方案理论上的正确性和实践中的可行性是无须置疑的,而往往由于实际施工条件与设计方案的微小差异会导致施工中出现许多小问题。针对施工中遇到的这些问题,我部在已有施工经验的基础上,结合现场实际情况,克服各种困难,不断地总结并及时调整施工工艺。现将施工中应注意的细节问题做如下总结。

2.4.1 泄水孔施工

泄水孔施作的目的,一是减小裂隙水水压力,以预防掌子面突然涌水引起坍塌;二是集中引排,减少掌子面渗漏水,改善施工条件,减少材料浪费。在泄水孔施工过程中,我部参照设计建议,在掌子面下部施作泄水孔,泄水效果不明显。本着上述宗旨通过观察围岩节理的发育情况和裂隙走向,分析裂隙水分布及补给并对孔位做了及时调整,改在掌子面节理、裂隙发育的右上及左边偏上位置施打泄水孔,单孔泄水量达到 $60 \text{ m}^3/\text{h}$,使掌子面的淋水情况大为改观,泄水效果比较理想。泄水孔孔位见图 4 所示。



注: ①、②、③号孔为调整后孔位, ④、⑤号孔为设计孔位。

图 4 泄水孔孔位调整示意

2.4.2 止浆措施

设计中指出小导管管尾 0.5 m 范围内不打注浆孔。YK157+396 断面超前导管注浆过程中,孔口出现大量溢浆现象。分析原因:施打泄水孔后,实际涌水量为 $120 \sim 140 \text{ m}^3/\text{h}$,设计方案治理水量为 $60 \sim 80 \text{ m}^3/\text{h}$,这样实际水压力也会比设计大很多。经调整我部采取如下措施进行止浆:管尾 0.7 m 范围内不打注浆孔,送管施工完成后,先用止浆塞塞紧 0.7 m 中的前 $0.15 \sim 0.20 \text{ m}$ 范围,减小导管与孔壁之间的水量和流速,使渗漏水从导管中流出,便于封堵止浆。再用干水泥和水玻璃严密封堵后面的部分,以确保可以承受 3.0 MPa 的压力。

2.4.3 预防堵管措施

注浆前用 $1:1$ 水泥浆润湿注浆机和注浆管路,防止注浆机和注浆管路附着部分水份,使双液浆浓度相对变大,导致堵管和机械损坏。

采取上述方法施工后,在 YK157+396 断面导管注浆过程中,3 号、7 号、21 号等孔位出现堵管现象。分析认为:双液浆凝结时间较短,施工中若采用一段或一段半注浆设备,在换孔过程中,如果时间过长,浆液就会在注浆管中胶凝而堵管。因此在换孔过程中,首先要打开合流管部位的排浆阀,排出浆液,再用清水清洗注浆管,防止多次注浆的胶凝物累积堵管。

2.4.4 注浆顺序控制

YK157+396、YK157+393 断面导管顺序注浆施工后,个别孔周边仍存在渗漏现象。考虑到该段围岩裂隙发育,在裂隙分布及走向影响下,渗水、涌水分布、压力等存在不规律性的特点,在孔位注浆顺序上做了适当调整。

(1)在裂隙发育程度相近、渗漏水、涌水情况基本相同的部位,采用间隔注浆法,这样不仅可以节约注浆材料,还可以使封闭更加严密,提高帷幕效果;

(2)在渗漏水、涌水情况不同且压力相差较大的部位,采用由弱到强,即由渗漏水部位向涌水部位注浆,保证每个孔在裂隙水压力差及注浆泵压力作用下注浆饱满、充分填满裂隙,提高止水效果。

2.4.5 单孔注浆压力控制

因为渗水、涌水分布和压力等均不存在规律性,针对不同的孔位,注浆压力控制也不尽相同。

(1)在压力相对较小的孔位,先低压注浆,减小管尾附近围岩裂隙渗漏,再高压注浆,使浆液进一步充满裂隙,封堵裂隙水,最后降压持荷 5 s ,降低浆液流速,让导管及其周围浆液有充分的胶凝时间;

(2)在压力较大的孔位,先高压,再低压,实行高低压反复的方法,既保证有足够的压力将浆液压入裂隙,又保证导管及裂隙中的浆液有足够的时间胶凝。

2.4.6 径向注浆导管施工控制

(1)导管与中空注浆锚杆长度控制。

在 YK157+406~+396 段径向打孔过程中,5 号、8 号等孔位出现强涌水。分析认为,设计图中指出超前注浆导管长 5 m ,环向间距 0.5 m ,外插角 30° (径向高差 2.5 m),搭接长度 1.33 m ,说明其扩散半径在 1.0 m 左右,注浆后形成最厚的隔水层为弧线

线向外 3.5 m 范围。该段水量及水压都很大,局部根本达不到 3.5 m 的理想状态,施打的导管和中空注浆锚杆长度如果过长,就会刺穿隔水层,裂隙水会出现压力差的导管和锚杆孔渗漏出来,形成二次渗漏,封堵存在相当的难度。因此,应控制部分导管与中空注浆锚杆长度或改变部分导管、中空注浆锚杆的施做方向。

(2) 注浆压力控制。

径向导管注浆是在初期支护完成后进行的,注浆目的是封闭围岩裂隙、初期支护与围岩空隙及喷射混凝土的气孔等出水路径。当围岩裂隙被封堵后,浆液会渗透并充满初期支护与围岩空隙及喷射混凝土气孔,如果注浆压力继续增大,就会在初期支护背后形成液体压力环,增大了初期支护的荷载,甚至导致其破坏。

(3) 孔位控制。

因为格栅钢拱架是镂空结构,喷射支护时很难喷射密实,初期支护完成后,钢拱架部位渗漏相对明显,径向导管孔位尽量靠近拱架,以保证注浆时浆液最大限度地封堵钢拱架部位的混凝土空隙。

3 注浆效果

YK157+396 施工完成后,堵止效果不十分明显;YK157+393 施工完成后,堵止效果有所改观;YK157+390 施工完成后,堵止效果明显。全段 15 m 治理完后围岩含水量、孔隙比有明显下降,围岩透水系数有明显改观。

(1) 注浆前 YK157+399~+396 段拱部渗漏、淋水严重,无法完成喷射作业,注浆后浆液通过裂隙反渗至该段封闭围岩,现在只有 2~3 处存在极少量的滴水现象。

(2) 超前注浆导管施工旨在封闭围岩裂隙水,从注浆后的效果来看,掌子面弧缘线、注浆渗透半径范围以内,淋水、涌水现象已有明显改善,仅为原来的 40% 左右。

(3) 注浆前部分导管及其周边有渗漏水或涌水现象,注浆后在原渗漏水部位绝大部分有浆液渗出,渗漏水明显减少,仍有渗漏,位置比较集中。便于集中引排或补充注浆封堵。

(4) 经过超前导管注浆治理段落,开挖施工后,围岩裂隙水及孔隙水明显减少,爆破后的洞渣中含大量的浆液胶凝体,洞渣结块率高,充填密实,胶结牢固。

(5) 通过径向小导管注浆施工,初期支护表面的

渗漏水、淋水基本消失,格栅拱架处渗漏水明显减少。这说明浆液已经渗透至围岩裂隙、初期支护与围岩空隙及喷射混凝土气孔之中,封闭了出水路径。

(6) 从出水量方面看,自 YK157+396 断面施打泄水孔后,最大水量达到 $140 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上,注浆施工后水量降低至 $95 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右。

4 施工中存在的问题

4.1 注浆压力

从设计注浆终压 3.0 MPa 来看,设计者是根据 YK157+396 断面围岩情况推断以后一段为软弱岩体,采取了“劈裂注浆与渗透注浆相结合”的方案。实际上,YK157+396 以后的围岩裂隙发育,节理逐渐清晰,强度也有提高,与软弱岩体存在一定差异。

注浆过程中,在没有止浆墙的情况下,压力过大浆液会从裂隙中渗出,甚至喷射出来,压力难以增高,并使周边泥质岩和欠稳定的岩块掉落。实际施工过程中这样的孔难以达到 3.0 MPa 的压力,长时间维持在 0.7~1.5 MPa 左右。围岩整体性较好的孔位注浆 2.5 min 左右,压力会迅速增至 3.0 MPa,甚至更高,注浆量则略低于设计值。

将其与 $\phi 89$ 管棚比较: $\phi 89 \times 6$ 管棚注浆压力为 2.0 MPa,而该段 $\phi 50 \times 5$ 小导管注浆压力为 3.0 MPa,加之上述的水文地质因素,部分孔很难达到 3.0 MPa 的设计终压。

4.2 注浆量

在围岩裂隙发育段,部分孔在注浆 2~2.5 min 后,浆液会从裂隙中渗漏、喷射出来,但渗漏或喷射的浆液会逐渐胶凝逐渐堵住裂隙。为了达到止水目的,就要延长注浆时间,导致浆液大量流失。注浆开挖后发现,洞渣中存在大量双液浆胶凝体。这些都是注浆量加大的体现。

4.3 治理方案的调整

考虑到涌水治理后地下水重新分布,涌水必须全面治理。YK157+406~+396 段是在涌水段变更方案确定前开挖支护的段落,存在渗漏现象。YK157+396~+381 段属中间治理,YK157+396~+381 段裂隙水被封堵之后,裂隙水的水量、水压逐渐增大,地下水重新分布,会进一步向周围围岩裂隙渗透,使 YK157+409~+396 段渗漏更加严重。为达到整体的堵水效果,并检验径向小导管注浆的堵水效果,我部将 YK157+406~+396 段作为试验段,对其渗漏水部位进行了径向小导管注浆施做。堵

止效果充分说明了径向导管注浆施工的可行性及全面治理的正确性。

5 方案调整

按照原设计,在注浆开挖后初期支护表面仍有漏水,须视具体情况采用径向小导管补充注浆堵水。通过对 YK157+396、YK157+393 两断面施工的过程控制与注浆效果的综合分析,该试验段设计方案治理水量为 60~80 m³/h,实际涌水量为 120~140 m³/h,为设计的 2 倍。超前注浆施工后,水相对集中、水量较大的部位效果不十分理想。而在这样的情况下开挖支护,辅以径向注浆小导管,达不到预期的堵止效果。又因已注过浆的导管会被迅速封堵,在一次超前导管注浆施工后掌子面弧缘线附近仍有涌水、淋水部位补打超前小导管,补充注浆堵水,进一步减小了渗漏水量,减轻了径向导管注浆的堵止负担,提高了注浆堵水效果。

增设止浆墙:该段围岩裂隙发育,施工前应对掌子面弧缘线以内 2.0 m 范围喷射 12 cm 厚的 C25 混凝土作为止浆墙,封闭裂隙,防止浆液大量外溢,保证注浆压力,使浆液进一步填充围岩裂隙,并与地下水发生聚合反应和水化反应,提高胶结效果,充分发挥堵止作用。

注浆量与注浆压力是注浆施工的控制指标,施工过程中发现裂隙发育部位注浆压力较小,注浆量相对较大;围岩完整性较好的部位注浆压力较大,注浆量相对较小。即注浆量与注浆压力须充分考虑裂隙的发育程度及漏水、涌水等情况,针对不同孔位的实际情况,可以适当调整注浆量与注浆压力,两者互为补充,相得益彰,起到更好的止水效果。另外,为达到饱满的效果,当注浆压力在持荷 5 s 时,浆液外溢严重。

浆液配合比调整。我部根据设计中“浆液水灰比等具体技术参数,可通过现场试验进行酌情调整,以满足现场注浆对浆液凝胶时间的要求”,按照提供的参考配合比进行了试配,得到了几种配比的标准胶凝时间,在实际施工过程中,通过几个循环的注浆施工发现,浆液的实际胶凝时间要比标准胶凝时间长很多,总结见表 2。

实际胶凝时间与标准胶凝时间为何有差异,分

表 2 双液浆胶凝时间对比

$m_w:m_c$	设计参考		标准试验		现场施工	
	$V_C:V_S$		$V_C:V_S$		$V_C:V_S$	
	1:1	0.8:1	1:1	0.8:1	1:1	0.8:1
1:1	1 min 20 s	55 s	1 min 45 s	1 min 15 s	4 min 50 s 左右	3 min 00 s 左右
0.8:1	1 min 15 s	49 s	1 min 35 s	1 min 05 s	3 min 40 s 左右	2 min 20 s 左右

注: $m_w:m_c$ 为水灰比(质量比), $V_C:V_S$ 为水泥浆与水玻璃体积比。

析认为:该段为涌水段,裂隙水丰富,浆液进入围岩裂隙后,裂隙水便与之混合,并溶入其中,降低了浆液浓度,从而延缓了胶凝时间。

从施工过程控制和注浆效果看,0.8:1 的水泥浆与水玻璃按 1:1 的体积比配制的浆液较为理想,注浆过程相对较容易操作,且很少堵管,浆液压入围岩裂隙比较饱满,且浆液外溢量相对较小,综合堵止效果明显。

6 结语

在 YK157+396~+381 涌水段超前注浆导管施工过程中,我们坚持“以堵为主,堵排结合”的原则,按照设计方案进行施工,总结了一套操作简便、易于控制的施工工艺。虽然施工中还存在问题,但从总体来看,还是达到了封闭围岩、封堵裂隙水的效果,改善了施工作业条件,确保了安全掘进支护,减小了材料浪费,缓解了操作人员的畏难情绪。这些都说明该导管注浆方案是可行的。前期施工因实际情况与设计有差异,导致局部治理不很完善,通过方案调整和工艺改进,注浆效果有较大改善,达到了预期的治理目标。

参考文献:

[1] 吴焕通,崔永军. 隧道施工及组织管理指南[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
[2] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
[3] 窦明健. 公路工程地质[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
[4] JTJ042—94,公路隧道施工技术规范[S].