

# 地表深孔注浆在深埋盾构隧洞断层带加固中的应用

李剑

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v6i4.4348

**[摘要]** 随着盾构机等大型地下洞室凿岩设备的广泛应用,工程施工中所面临的工程问题也越来越多,其中如何安全快速通过富水断层破碎带、避免卡盾事故成为影响工程顺利完工的关键因素,尤其是一些深埋长距离TBM、盾构法等施工隧洞。本文就某工程深埋软岩隧洞盾构法施工穿越富水断层破碎带所采取的加固处理措施进行比选分析,确定了地表深孔注浆加固处理措施为最适合的方案,提出详细的注浆方案及技术参数要求,为处理类似工程地质问题提供参考。

**[关键词]** 长距离深埋隧洞; 富水断层带加固处理; 袖阀深孔注浆

中图分类号: TV543+.3 文献标识码: A

## Application of Deep Hole Grouting in Reinforcement of Fault Zone of Deep Shield Tunnel

Jian Li

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design and Research Institute Co., Ltd

**[Abstract]** With the wide application of drilling equipment in large underground caverns such as shield machine, there are more and more engineering problems in engineering construction. Among them, how to safely and quickly pass through the water-rich fault fracture zone and avoid the shield jam accident has become the key factor affecting the successful completion of the project, especially some deep-buried long-distance TBM, shield method and other construction tunnels. In this paper, the reinforcement measures adopted by a deep-buried soft rock tunnel through the broken zone of water-rich fault in shield construction of a project are compared and analyzed, and the reinforcement measures of deep hole grouting on the surface are determined to be the most suitable scheme, and the detailed grouting scheme and technical parameter requirements are put forward to provide reference for similar engineering geological problems.

**[Key words]** long-distance deep-buried tunnel water-rich fault zone reinforcement treatment sleeve valve deep hole grouting

## 引言

上世纪80年代以来,我国水利、公路等基础设施建设正在高速发展,尤其是近些年来,出现了很多超长公路隧道及深埋长距离输水隧洞等。地下隧洞施工中常遇到富水围岩软弱破碎带,其自稳能力一般较差,开挖后地下水大量涌入隧洞,会出现坍塌及地表沉降过大等情况,极易出现大规模塌方、冒顶等事故,对工程施工安全、进度以及总投资都产生重要影响。为保工程顺利进行,必须做好不良地质段预处理,提前注浆加固是工程常用的处理措施,其借助压力将能固化的浆液通过钻孔注入不良地质段岩土孔隙或建筑物的裂隙中,以此增强岩土体物理力学性能,满足工程需要。注浆法最早在19世纪初的法国工程施工中被采用,在我国起步较晚,上世纪50年代以前因技术条件限制,国内很少见,50年代以后注浆技术在一些工程中被初步应用、掌握。目前注浆法在国内水电、公路、铁路工程及井巷工程中得到广泛的

应用,尤其是一些重难点特殊地质件的工程,注浆法已成为保证工程顺利施工的重要方法。注浆法在浅埋隧洞中应用较广,深埋隧洞因受施工条线限制,应用较少。本文所选取工程通过方案比选,考虑工程施工特性,最终采用地表深孔注浆方案。以下结合选取工程施工情况,对地表深孔注浆进行探讨。

## 1 工程地质概况及施工复核

### 1.1 工程概况

本工程为一条长距离深埋输水隧洞,选取其中盾构法施工洞段,隧洞埋深约75~130m,开挖直径5.5m,穿越地层依次主要为下白垩统的砂岩、泥岩、泥质砂砾岩,新近系泥岩、第四系上更新统含碎石粉土砂、含碎石粘土,下石炭统凝灰质砂岩等,岩性较为复杂,总长约12000m,目前已掘进完成11420m,盾构已掘进至桩号SD76+617处,该处地层为洪积含碎石土粉土、含碎石粘土层,埋深约110m,地下水位埋深约45m。据前期地勘成果,掌子

面距离F94区域断裂带约852m,该断层破碎带宽约68m(桩号SD77+469~SD77+537),断层产状:310~320° NE/65~70°,属陡倾角断层,断层带内主要为碎裂岩和断层角砾岩、断层泥等,岩体稳定性差,该段隧洞埋深为122m~128m,地下水位埋深为57.8m。盾构末端接收洞室为钻爆法施工,由钻爆法施工,桩号SD77+615~SD77+645,计划于5月30日掘进施工完成。

### 1.2 施工地质情况复核

为保证盾构机能安全通过F<sub>94</sub>区域断裂带,施工方在SD77+471.5处对断层破碎带进行补勘,根据地质钻机取芯情况:该孔岩性主要为青灰色凝灰质砂岩,岩芯较破碎,洞身穿越段岩芯多为散碎状碎裂岩,岩体完整性差,孔内地下水位埋深与设计图纸基本相符。

## 2 断层带加固处理措施介绍及方案比选

结合前期地质勘察资料以及补勘情况,盾构机穿越该区域断层破碎带时风险极高,一旦因地层不稳出现刀盘、盾体卡死时,难以脱困。为保证盾构顺利通过破碎带,施工中考虑采用从地表深孔注浆或者盾构接收端头(桩号SD77+615.307)水平注浆两种方式对整个断层破碎带区域进行加固,注浆加固区域为断层破碎带隧洞段洞身周围3m范围内。

### 2.1 方案1地表袖阀管注浆加固

袖阀管注浆法是通过较大的压力将浆液注(压)入岩土层的孔隙中,注浆芯管上下的阻塞器可实现分段分层注浆,视施工需要可选择连续或跳段注浆。在松散地层和较密实的地层中通过全程注浆及分段注浆,将较松散地层中的孔隙进行注浆固结,使其满足工程需要。袖阀管注浆加固区域为破碎带区域隧道周围3m范围,地面加固区域尺寸为11.5m×68m,打孔平均深度约为130m,注浆长度为10m,袖阀管打孔间距为3m@3m,梅花形布置,总孔数为66孔。

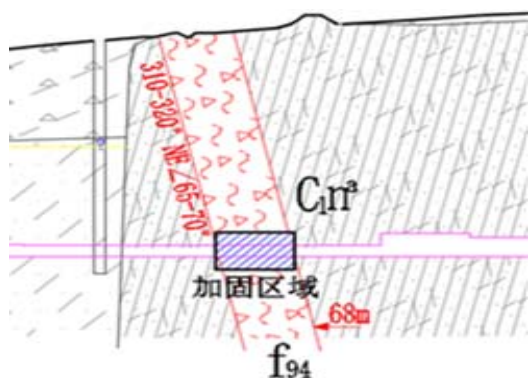


图1 断层破碎带位置及加固范围图

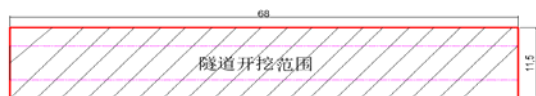


图2 断层破碎带注浆加固范围纵剖面图

### 2.1.1 施工工艺流程

袖阀管注浆施工流程图如图3所示:袖阀管注浆顺序原则上

采取由外到内约束一发散性方式,采用分段后退式注浆,先注下层双液浆,再注上层单液浆。考虑地层以加固为主,先注周边孔,然后注内圈孔。钻孔至设计深度后,将套壳料通过钻杆泵送至孔底,自下而上灌注套壳料至孔口溢出符合浓度要求的原浆液为止。在不注浆部位下I型没孔的袖阀管注浆管,在注浆部位下II型有孔的袖阀管注浆管,II管要覆盖橡胶套。下管前必须在最下端一根II管上加下闷盖,然后利用丝扣连接下一根II管,直到连至注浆段长度。然后再连接I管至设计钻孔深度,并露出地面10cm。在顶部加上闷盖,然后进行封孔作业,在地表以下3m至孔口部位采用速凝水泥砂浆填充封孔,以防止注浆时返浆。套壳料采用膨润土和水泥配制,配比范围为水泥:膨润土:水=1:1.5:1.88,实际施工时通过多组室内及现场试验,选取最佳配比。

套壳料浇筑:把Φ25mm注料钢管下入孔底,用注浆泵从注料管中注入,直至注浆段高度以上0.2m处为止。袖阀管B型管采用Φ65×5PVC袖阀管,在管子注浆段上每隔30cm钻一排4个孔眼,孔眼直径6mm。针对每排孔眼,在管子外面套上一段长10cm厚1-2mm紧贴的橡皮箍并加以固定。

采用双栓塞心管进行灌浆。根据各组注浆参数表要求,采取后退式注浆分段注浆工艺,即利用止浆系统,在注浆带内由孔底进行注浆,每次注浆长度长0.5~1m。注完第一段注浆段后,再进行第二段注浆,以此下去,直至完成注浆带。注浆过程中做好记录,并对浆液进行凝胶时间的测定,确保注浆施工效果。注浆液采P0.42.5普通硅酸盐水泥,注浆时按先灌入稀浆后灌入浓浆的原则逐渐调整水灰比。开环压力为0.5MPa。正常注浆压力为0.5~1MPa。注浆终压力控制在1.5~2MPa以内。满足2MPa稳压状态下,进浆量小于1L/min,继续灌注30min结束灌注。注浆次序:每次都必须跳开一个孔进行注浆,以防止发生窜浆现象。全孔段注浆完成后,间歇一段时间再进行第二次注浆,间歇时间控制在10~30min之内。单孔内满足2MPa稳压状态下,进浆量小于1L/min,继续灌注30min结束灌注。每孔注完浆后,用Φ20水管插入袖阀管内,泵入清水把袖阀管内残留水泥浆冲洗干净,以备复注。注浆完成待浆液凝固后进行压水试验和钻孔取芯,检验土体透水性和抗压强度。

### 2.1.2 注浆加固参数

- (1) 袖阀管采用Φ65×5PVC袖阀管和双向皮碗式止浆塞;
- (2) 采用Φ25镀锌钢管做芯管分段进行注浆;
- (3) 注浆材料采用普通硅酸盐水泥和水玻璃;水灰比W:C=0.8:1~1:1;水泥-水玻璃体积比C:S=1:1;水玻璃美度:33~38Be,注浆加固参数可根据现场实际情况进行调整
- (4) 注浆终压1.5~2.0MPa。

### 2.1.3 特殊情况处理

灌浆工作连续进行,避免中断。如因故中断,应立即冲洗袖阀管,而后恢复灌浆。若无法冲洗或冲洗无效,则应进行扫孔,而后恢复灌浆。恢复灌浆时,应使用开灌比级的水泥浆进行灌注。如注入率与中断前的相近,即可改用中断前比级的水泥浆继

续灌注;如注入率较中断前的减少较多,则浆液应逐级加浓继续灌注。恢复灌浆后,如注入率较中断前的减少很多,且在短时间内停止吸浆,应采取补救措施。灌浆段注入量大,压力达不到要求,灌浆难于结束时,可选用下列措施处理:①低压、浓浆、限流、限量、间歇灌浆;②浆液中掺加速凝剂,或采取双液注浆;③灌注稳定浆液或混合浆液。灌浆过程中,发现冒浆、漏浆,应根据具体情况采用嵌缝、表面封堵、低压、浓浆、限流、限量、间歇灌浆等方法进行处理。

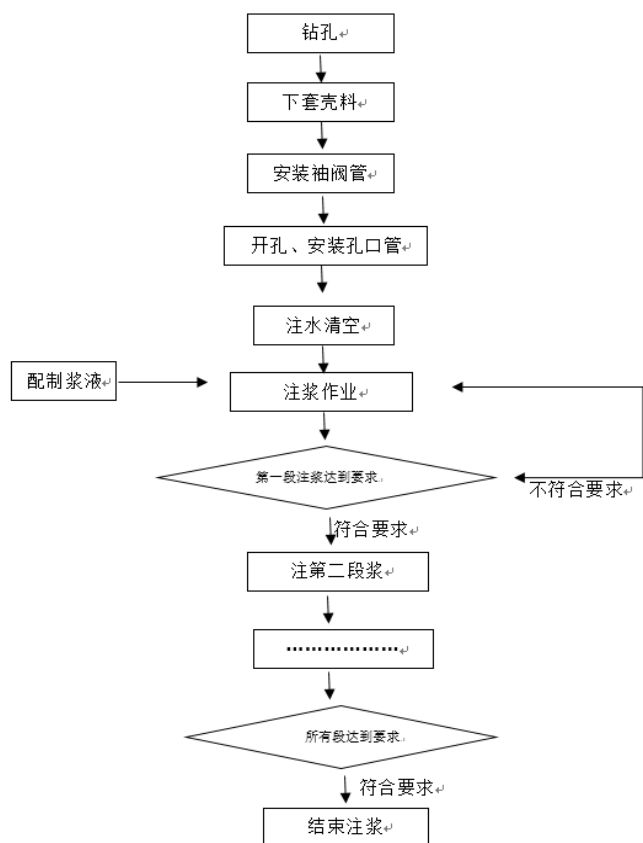


图3 袖阀管地表注浆工艺流程图

2.1.4 人员、设备投入及经济性分析

袖阀管加固工程量统计如下表所示:

表1 袖阀管注浆工程量统计表

孔数(个)	长度(m)	总米数(m)	备注
66	130	8580m	注浆总长度 660m

袖阀管注浆计划于3月20日起,采用两台KR909-1钻机双班施工,每天施工孔数4个,投入人员共计31人,配套设备等13台(套),于4月10日施工完成,总工期20天。总投资约为400万元。

2.2 方案2盾构下游末端接收洞室水平加固注浆

水平注浆是通过在掌子面钻注浆孔,再向孔内压注浆液,浆液挤出加固断面及其周围一定范围内岩缝中的水,保证围岩的裂隙被具有一定强度的浆体充填密实,并与岩体结成一体,起到加固岩体及止水的作用。水平注浆加固区域为破碎带区域隧道

周围3m范围,水平向钻孔平均深度约为146m(SD77+469.431~SD77+615.307),注浆长度68m,钻孔间距为3m@3m,梅花形布置,总孔数约为19孔。

2.2.1 施工工艺流程

盾构末端接收洞室水平注浆施工工艺流程如下图4所示,浆液优先采用P0.42.5水泥单浆液,水灰比按 1:1~0.5:1进行控制裂隙较发育部位和封孔时可采用水泥水玻璃双浆液,水玻璃与水泥浆液体积比控制在 0.3:1~0.5:1,具本配比通过现场试验进行确定。注浆方式采用前进式分段注浆。即将逐渐段分为22段(总计68m),每3m为一段,实施钻一段灌浆一段,再清孔钻一段、再灌注一段的钻、注交替方式进行钻孔注浆施工。注浆采用纯压式进行注浆,主要方法为:钻孔完成→退出钻杆及冲击器→卸下冲击器→钻杆前端安装逆止阀→利用钻机将钻杆重新塞入灌浆孔至出水位置→连接注浆管进行灌浆施工。灌浆过程中经常转动和上下活动灌浆管,防止灌浆管在孔内被水泥浆凝住。为了减少等强时间,可视情况在浆液中增加速凝剂。

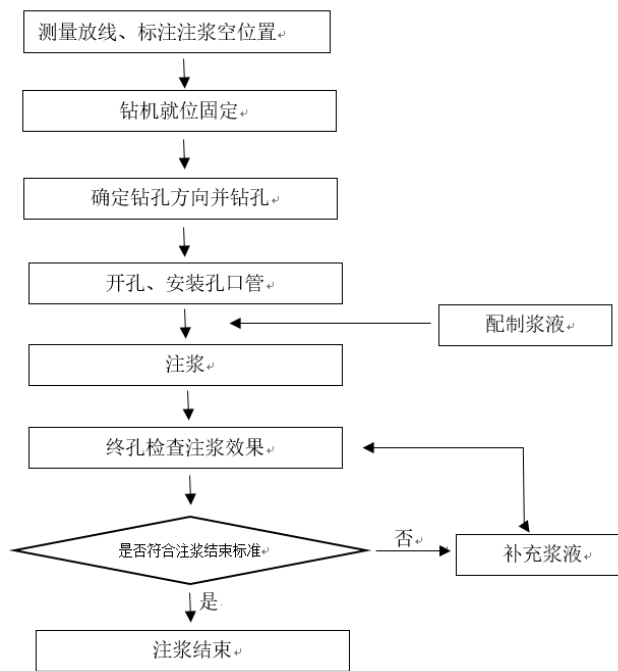


图4 盾构接收洞室水平注浆工艺流程图

2.2.2 技术参数

注浆中压力控制在1.5~2Mpa,在注浆压力逐步达到设计终压,注入率不大于1L/min后,继续注浆30min,即可结束注浆,对于水平横向钻孔,控制其水平偏差。

2.2.3 设备人员投入及经济性分析

总计投入人员12人、相关设备8台,注浆孔总计19个,单个长度146m,总计2774m,计划于5月30日(盾构水平接收洞室施工完成)采用1台潜孔钻双班施工,施工时间约60日,于8月13日完成,总工期76天,总投资约777万元

2.3 加固方案方案综合比选确认

对两种不同的断层破碎带加固方案措施,从施工工期要求、总投资及安全性的三个方面进行对比分析,不难看出本工程段地表袖阀注浆加固方案是要优于洞内接收端水平注浆方案的。详细对比内容见下表2。

表2 方案比选对比表

对比项目	方案一(地表袖阀管注浆加固)	方案二(盾构末端接收洞室水平注浆加固)
工期	地表场地开阔,可在盾构机施工时提前进行加固,施工周期仅20天	需要在盾构末端接收洞室施工完成后进行,且分段注浆工作量大,工期长,总施工时间76天,而盾构机5月底即可施工至该断层破碎带处,接收洞室水平加固8月13日才能施工完成,盾构机需停机2个月
经济型	投资约增加400万元	投资增加约777万元
安全性	袖阀管注浆技场地开阔,从地表钻孔加固,无涌水风险,施工时可采用泥浆护壁,减少塌孔风险,施工更安全	破碎带为富水区域,水平钻孔至破碎带时可能出现涌水情况;水平注浆采用风动潜孔钻孔,无法对破碎带地层护壁,且水平钻孔风险高,一旦塌孔钻杆将被卡死,无法拔出,卡住的钻杆将会导致盾构机无法正常推进。盾构机需停机2月,长时间停机可能出现卡机风险。

### 3 结论及建议

隧洞地表深孔注浆技术主要靠浆液把洞身即将通过段断层破碎带、富水松散体等预先固结,形成完整性较好、较高强度的岩体,确保隧洞开挖掘进的安全性、可靠性,且能有效控制突水突泥等地质危害。现结合本工程特点,浅谈深孔地表注浆的几点看法,以供参考。

(1)深孔注浆时钻孔时务必控制好钻孔位置,保证孔斜率不大于1%,确保注浆固结范围为隧洞洞身部位,注浆结束标准应从注浆压力、单位时间注入量、单位体积注入量和注入时间及受注地层需达到的质量要求等多方面综合考虑。

(2)由于断层破碎带范围无法精准测算,故不可将实际注浆量与设计注浆量是否吻合作为判断破碎带岩孔隙完全封堵完成的

依据。实际注浆量的控制,应以满足设计注浆压力为基本前提,注浆量可大幅度上下浮动。受注地层注浆加固前应取芯检测其物理力学性质指标,然后再与注浆后取自同一层的岩芯检测结果进行对照,说明注浆效果。

(3)较好的注浆工艺设计与严格的施工管理措施,是取得较好注浆效果的有力保证。地表深孔注浆施工法,有它的局限性,但在一些地下洞室工程特殊部位,考虑工期要求、施工难度及安全性等多方面因素,往往能作为有效解决工程难题的有力措施,取得较好工程经济效益,保证工程顺利完工。

#### [参考文献]

- [1]罗亚伟.电站引水隧洞塌方处理初探[J].水利建设与管理,2011,(11):15-19.
- [2]黄立新,马栋,韦昌云.隧道地表深孔注浆处理断层及坍塌施工技术[J].西部探矿工程,1997,9(3):48-51.
- [3]张虎.地表注浆在隧道工程中的应用[J].公路,2006,(03):204-209.
- [4]张校甫,周冠男,苏华友.复杂地质浅埋隧道袖阀管地表注浆加固技术[J].施工技术,2017,(46):1049-1052.
- [5]霍小妹.袖阀管封闭节水施工技术[J].施工技术,2011,(20):65-66.
- [6]徐万春,刘光,刘晓阳.富水地层深孔注浆加固区暗挖施工渗流特征研究[J].四川建筑,2021,41(01):108-110.
- [7]张文强.袖阀管注浆技术在高速公路路基工程中的应用[J].隧道建设,2014,34(12):1183-1195.

#### 作者简介:

李剑(1983—),男,汉族,新疆乌鲁木齐人,大学本科,工程师,从事水利水电工程地质及水文地质勘察、施工等工作。