

# 临海富水地区全强风化花岗岩围岩条件下隧道综合修建技术

徐正陶

中国南水北调集团江汉水网建设开发有限公司 湖北 武汉 430000

**摘要：**深江铁路珠江口隧道南沙钻爆法斜井临近狮子洋且施工中穿越全强风化花岗岩地段，在该地层中围岩遇水迅速软化崩解，导致隧道自稳性极差，收敛变形大，极易造成隧道溜塌、冒顶，施工风险极高，修建难度大。文章结合该隧道修建过程中遇到的各种难题，根据现场施工经验对临海富水地区全强风化花岗岩隧道的修建重难点及处置措施进行探讨，为类似工程提供经验参考。

**关键词：**临海富水；全强风化花岗岩；隧道；修建技术

## 前言

花岗岩是隧道施工中常见的一种地层岩性，在我国华南及西南地区分布较为广泛<sup>[1]</sup>。对于全强风化花岗岩，其节理裂隙发育，导致花岗岩的结构、构造遭到破坏，遇水后软化，且受开挖扰动后呈砂状，强度和稳定性也大大降低<sup>[2]</sup>。

在国内，学者针对富水地层海底隧道和花岗岩地层隧道全强风化花岗岩段的力学特性、变形机制、灾害控制、施工技术等开展了很多的研究工作，并提出了相应的处理措施。比如袁敬强<sup>[3]</sup>等人采用现场勘探、理论分析与室内试验等方法，对全强风化花岗岩隧道发生的突水致灾机制以及灾变特征进行研究；王明年<sup>[4]</sup>等对厦门翔安海底隧道穿越全强风化花岗岩地段的CED 法施工控制基准进行了研究，得出CRD1部和CRD3部拱顶垂直位移约为200mm和130mm；张慧峰<sup>[5]</sup>等人采用高压固结灌浆施工方法对富水锦屏山隧道进行排水加固。

本文以深江铁路珠江口隧道南沙斜井工程为载体，主要研究在临海富水地区全强化花岗岩围岩条件下的隧道综合修建技术，采用在地面采用降水的方案，以及在洞内紧紧围绕隧道施工十八字方针即管超前、严注浆、短开挖、强支护早封闭、勤量测进行隧道修建。本文针对该条件下，对工程中出现的技术难题进行思考与总结，为类似工程提供经验参考。

## 1 工程概况

新建深江铁路珠江口隧道设计里程DK39+905~DK53+595，该隧道穿越狮子洋，正洞采用盾构+钻爆法进行施工。南沙斜井（里程XJK1+160~XJK0+000）为钻爆法施工通道，位于南沙岛线路前进方向右侧，全长1160m，场区原为海岸潮间带，经人工填筑成陆地，地形有较大起伏，地面高程一般-0.1~4.2m，局部为缓

丘，地质条件复杂。斜井井口XJK1+160位于南沙区海滨路侧绿化带、人行道内，在南沙海滨公园附近接入主洞DK47+070位置。

## 2 工程地质和水质地质

### 2.1 自然特征、地形地貌

斜井段地貌单元主要为珠江一级阶地，地面高程0~5.8m，局部为漫滩。覆盖层厚0~30m不等；上部主要为海陆交替相沉积淤泥②1层夹细砂或粗砂层，厚度0.7~12.4m；其下为上更新统黏性土层局部夹淤泥质土层或粗砂层，厚度0~16.7m；覆盖层底部不连续分布残坡积粉质黏土④1层，厚度0~7.3m；基岩主要为花岗，局部震旦系片麻岩起伏较大，全强风化带厚度9.8~80.8m不等，局部受次生断裂带影响弱风化岩面深达-88~-80m；弱微风化基岩岩质硬—极硬，岩面起伏较大。

### 2.2 地层岩性、质构造

斜井里程 XJK0+627~XJK0+845 段，隧道洞身主要置于全强风化花岗岩中，局部为弱风化花岗岩。地下水为孔隙裂隙水，水量整体较丰富，综合围岩分级为V级。斜井地质剖面示意图详见图1。

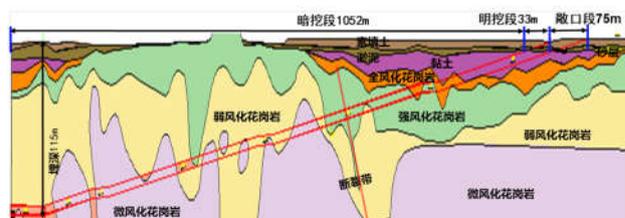


图1 斜井地质剖面示意图

### 2.3 水文地质、气象条件

地下水有上层滞水、孔隙水、孔隙裂隙水。上层滞水水位连续性差，无统一的自由水面，接受大气降水和

供、排水管道渗漏水垂直下给,水量有限。勘察期间,上层滞水位埋深0.4~4.2m,高程0.3~1.95m。下部砂层含孔隙下水,与全强风化带中的孔隙裂水构成统一含水层,具有承压水头高、水量丰富的特点。勘察期间,测得承压水埋深多在0.9~1.4m,高程-1.35~0.16m。

(1) 渗透系数。根据勘察关于渗透系数的建议值,全风化花岗岩、砂砾状强风化花岗岩渗透系数为0.1m/d,碎块状强风化花岗岩为0.5m/d,本次计算取综合渗透系数加权平均值为0.28m/d。

(2) 水位降深。根据勘察初始水位标高为0.16m,隧道底标高约为-41m~-54m,水位降深为42.16~59.16m。

### 3 修建中主要难题及总体应对措施

在斜井全强风化花岗岩段,隧道开挖出来后表现为砂土,类似于第四纪沉积物,但是实质上与砂土区别较大,按照天然含水量不同,存在不同的表现形式。经检测,本工程全强风化花岗岩段含水率检测结果为19.3%,开挖中时极易滑塌。此外,本工程最大的难题是斜井线路临近狮子洋,地下水位高且承压水压力大,水除了软化作用之外,尚有因流动而造成的突泥、突水危害,同时造成围岩收敛变形大,进而造成隧道修建难度大幅度增加、施工进度严重受阻。

#### (1) 超前注浆加固无效果

在修建过程中,采用了管棚超前注浆加固,先后采用了超细水泥进行劈裂注浆及普通水泥进行渗透注浆进行加固试验,但是均无法出现期望的树根状浆脉,加固效果不理想,不能满足工程修建需要。

#### (2) 围岩遇水易垮塌、崩解严重

斜井南面与珠江岸堤及河道相距50~70m,地表仅高出海平面5~8m,施工中存在补给风险。隧道开挖揭示掌子面围岩以全风化花岗岩及砂砾状强风化花岗岩为主,自稳性差,遇水易垮塌、崩解,施工过程中时有不同程度的垮塌掉块发生,造成施工难度增加,月综合进度不足18m。

#### (3) 围岩收敛变形严重

由于本工程中全强风化花岗岩段含水率高达19.3%,在受到围岩蠕变特性的影响下,变形控制难度将大大增加,给施工环节带来极大的风险,同时大大增加了施工难度。通过对隧洞监控量测数值的回归分析,围岩最终变形量将达到22cm。

经过对工程存在的问题进行分析和总结后,采用地表分层降水技术降低隧道上部地层含水量,降低地下水位,增加隧道围岩自稳性,满足隧道开挖为主要目的,以此在本工程发展为在该地层条件下采取地表分层降水+

矿山法等综合技术进行隧道的修建。

## 4 现场实施

### 4.1 地表分层降水

#### (1) 降水设计

对于XJK0+627~XJK0+832范围内,下部花岗岩裂隙水水位降至隧底以下1-5m,可按大井法简化,选择承压水完整井基坑涌水量计算,公式如下:

$$Q = 2\pi k \frac{Ms_d}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})}$$

式中:  $Q$ —基坑总涌水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$k$ —渗透系数 ( $\text{m}/\text{d}$ );

$M$ —承压水含水层厚度 ( $\text{m}$ );

$A$ —基坑面积 ( $\text{m}^2$ );

$R$ —降水影响半径 ( $\text{m}$ );

$s_d$ —基坑地下水水位设计降深 ( $\text{m}$ );

$r_0$ —基坑等效半径 ( $\text{m}$ )。

渗透系数:根据勘察关于渗透系数的建议值,全风化花岗岩、砂砾状强风化花岗岩渗透系数为0.1m/d,碎块状强风化花岗岩为0.5m/d,本次计算取综合渗透系数,加权平均值为0.28m/d。

水位降深:根据勘察初始水位标高为0.16m,隧道底标高约为-41m~-54m,水位降深为41.16~54.16m。

经过对分段降水计算分析、单井出水量、降水井数量等综合计算后,得出该段地表需布置38口降水井。降水井分列隧道轮廓线两侧,其纵向间距为10m,横向至开挖轮廓线外5m。

#### (2) 分层降水条件下的降水井结构

降水井设计为分层降水,上部砂层淤泥的水不进入井内,因此,所有降水井的泥孔径为500mm,采用直径273mm,壁厚5mm钢管,底部设置1m沉淀管、顶部约17米为实管并采用黏土夯实,滤管采用桥式滤水管,外包60目锦纶滤网,滤料回填滤管上1m,后填场地土至地面进行固井。

#### (3) 成井施工

成井施工采用反循环回转钻进成孔工艺,钻进过程中泥浆比重宜控制在1.10~1.15。钻孔到设计深度后,进行清孔换浆。成孔立即采用悬吊法下管,井管底部焊接钢板封堵牢靠,井管与井管之间焊接牢固,确保焊缝均匀、无砂眼。为保证井管不靠井壁及一定厚度的滤料,在滤管段上下部各加一组扶正器,保证环状填砂间隙厚度不小于75mm。下井管完成后,按设计要求沿井壁四周均匀填入滤料,并随填随测滤料层的顶面高度。滤料回

填后,应在24h内用潜水泵洗井,直至井水洗清达到规范要求为止。

施作水位观测井,主要目的为:复核初始地下水位;测定单井的实际出水量,为配置水泵、后期降水运行提供指导依据;检验水位能否降深,验证降水方案设计的合理性,必要时根据试验结果对降水方案进行调整,包括井的数量、深度、结构等。

#### (4) 运行管理

降水运行前,降水井应合理布设排水管道并便于接入施工现场排水设施;做好降水供电系统,配备独立的电源线,为保证降水连续,降水运行期间配置一台应急发电机;现场应具备完好的排水系统;降水运行至设计水位后,保持水位,遵循“科学降水、按需降水原则”,控制水位降深。

#### 4.2 隧道开挖支护及二次衬砌

开挖支护紧紧围绕隧道施工十八字方针即管超前、严注浆、短开挖、强支护早封闭、勤量测进行施工,根据本工程地质及隧道断面情况,开挖工法采用两台阶预留核心土法环形开挖,主要施工步骤如下:

第1步进行上台阶开挖。在拱部超前支护后,开挖上台阶弧形断面,台阶长度控制在5m以内,按照短进尺进行开挖,每循环开挖长度为0.75m。开挖完成后立即喷射混凝土,然后铺挂钢筋网片,再安装钢拱架。并在钢拱架拱脚位置打设锁脚锚管,与钢拱架焊接牢固。

第2步进行下台阶开挖。开挖进尺确定为1.5m,左右两侧错开开挖、不得对称同时开挖,开挖完成后及时施作初期支护。

第3步进行隧底开挖。仰拱初期支护紧跟,及时封闭成环,根据初期支护钢拱架间距循环进尺不大于3m。二衬仰拱距掌子面距离不大于80m,二次衬砌距掌子面距离不大于160m。

在开挖支护后,及时进围岩监控量测,掌握围岩和支护的变形变化动态,量测结果及时反馈,便于确认或调整支护参数和施工方法。

本工程由于是海底隧道,二次衬砌混凝土采用了防水防腐混凝土,在隧道修建过程中主要采用了严控原材料及混凝土配比、集中拌合生产、模板台车拱顶防脱空报警装置、带模注浆等技术措施有效确保了二次衬砌混凝土质量。

#### 4.3 地下水位回升

在该地层隧道开挖及支护完成后,并在二次衬砌施工前需要进行地下水水位回升,具体位置宜在初支仰拱施作完成且回水降水井距掌子面大于50m。在回水前布置

好地表沉降、建构筑物监测及洞内初支面监控量测桩并开展监控量测初始值的采集工作,监测频率为12h/次。根据降水井的布置及地层渗透系数等,通过建模检算并结合类似地层施工经验,回水速率可按照0~5m/天控制,回水过程中按照8h/次的频率持续监测洞内初支渗漏水情况。在回水过程中,若隧道内未发生异常情况,如位出现股状、线状漏水,则回水至静水位(降水前的水位)且监测数据稳定,持续观测24h内无变化后即可施作二次衬砌。

#### 4.4 实施效果

在实施分层降水前,隧道施工过程中有股状出水,围岩崩解现象严重、难以自稳,极易发生垮塌,且收敛变形大,施工难度大,综合月进度不足18m;在采取地表分层降水技术后,开挖过程中围岩稳定性增强,无垮塌现象发生,综合月进度达到50m,较之前提升188%,综合效果十分显著。

#### 结论与建议

(1) 珠江口隧道南沙斜井穿越临海地区全强风化花岗岩修建过程中,通过采用地表分层降水、加强超前支护、两台阶预留核心土环形开挖、地下水位回升控制等施工措施,结合隧道监控量测等技术手段,工程修建效率得到显著提高。

(2) 在类似地层及隧道埋深条件下,采用地表分层降水是确保隧道正常修建较好的辅助方式,应控制降水井水位至隧底距离,减少抽水,能够更好地控制降水的影响半径及隧道的变形。

(3) 在全强风化花岗岩地段隧道修建中,针对坍塌变形、冒顶等灾害,在大管棚的基础上,可采用旋喷桩对隧道拱顶一定范围内进行加固处理后再开挖的方式。

#### 参考文献

- [1]李炳元,潘保田,程维明,等.中国地貌区划新论[J].地理学报,2013,68(3): 291-306.
- [2]陈洪江.花岗岩类全风化带的工程地质性质[J].港工技术,1995(3):61-65.
- [3]袁敬强,陈卫忠,黄世武.全强风化花岗岩隧道突水灾害机制与协同治理技术研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(S2):4164-4171.
- [4]王明年,路军富,刘大刚.大断面海底隧道CRD法绝对位移控制基准建立及应用研究[J].岩土力学,2010(10): 3354-3360.
- [5]张慧峰,吴建文,张恒.已揭露高压地下水隧道注浆参数与工艺[J].筑路机械与施工机械化,2017,34(8)47-52.