

半成岩富水地层超深管井全过程综合降水方法研究

崔红利

中铁隧道集团四处有限公司, 广西 南宁 530000

[摘要]在复杂水文地质条件下的城市地铁车站工程降水施工中,通过单井、多井及水位恢复试验获取抽水量、水位降深与抽水延续时间的关系,运用地下水渗流理论模拟反演降水效果,满足降水要求后,综合分析取得该地层渗透系数、影响半径、涌水量等水文参数,进而计算确定降水井结构及布置方案,降水井施工完成后进行降水生产验证试验,经过统计分析验证试验数据,最终明确降水运行管理要点,完成全部降水施工。文章结合青秀山站工程实例,介绍在半成岩富水地层中利用超深管井综合降水方法的全过程施工,取得良好的效果,为类似工程降水施工提供参考与借鉴。

[关键词]半成岩富水;深基坑;综合;全过程综合降水

Study on Comprehensive Precipitation Method of Ultra-deep Pipe Well in Semi-diagenetic Water-rich Formation

CUI Hongli

China Railway Tunnel Group Limited, Guangxi Nanning, China 530000

Abstract:In the precipitation construction of urban subway station under complex hydrogeological conditions, the relationship between pumping water, water level drop depth and pumping duration is obtained by single well, multi-well and water level recovery test. The groundwater seepage theory is used to simulate and retrieve the precipitation effect, and after meeting the precipitation requirements, the formation permeability coefficient, influence radius, water inrush and other hydrological parameters are obtained by comprehensive analysis, and then the structure and arrangement scheme of the reducing water well are calculated and determined. After the construction of the dewatering well, the precipitation production verification test is carried out, and the test data are verified by statistical analysis. Finally, the key points of precipitation operation and management are clarified, and all the precipitation construction is completed. This paper combines the project of Qingxiushan Station with the project practice of Qingxiushan Station. This paper introduces the whole process construction of ultra-deep pipe well comprehensive precipitation method in semi-diagenetic water-rich strata, and obtains good results, which provides reference and reference for precipitation construction of similar projects.

Keywords:Semi-diagenetic water-rich; Deep foundation pit; Synthesis; Comprehensive dewatering in the whole process

引言

在复杂的城市地下工程施工中,当地下水位较高时,基坑开挖施工会切断地下含水层,地下水受压力影响进入基坑后,将给工程施工带来安全隐患。如不及时开展降排水处理,将出现严重积水,从而恶化施工环境,同时还会导致工程周边整体岩层的承载能力下降,最后导致基坑内发生管涌、流砂、坍塌等各种安全事故,对工程施工安全产生极大的威胁^[1]。

针对粉质黏土、砂质粉土、圆砾土、泥质粉砂岩地层,地下水渗透性不等的工程施工难点,选择全过程综合降水施工是一种解决问题的重要途径,对于工程施工的顺利、安全开挖起着至关重要的作用。本文以南宁地铁3号线明暗挖结合施工的青秀山车站为工程背景,车站所处的地层为第三系泥质粉砂岩的半成岩地层中,采用抽水试验、模拟反演、降水井施工、降水生产验证及降水运行管理等全过程降水施工。

1 工程概况

1.1 车站概况

青秀山站站位位于凤岭南路与青山路交叉口东侧约180m,站位南侧为青秀山公园景区,北侧为金汇如意坊和秀山花园小区,横跨凤岭南路布置。车站与凤岭南路斜交,凤岭南路为市区主干道路,道路宽度约为40m~50m,交通繁忙由于车站与凤岭南路斜交,后期暗挖法施工时,暗挖车站位于凤岭南路下侧,道路中间无法布设降水井,对降水施工影响很大。

1.2 工程地质及水文地质特征

场地范围内主要揭露第四系、古近系地层，包括填土层①、黏性土层②、粉土层③、砂土层④、古近系半成岩的泥岩、砂岩地层⑦。

本车站工程影响范围内的地下水主要为上层滞水、松散岩类孔隙水、碎屑岩孔隙裂隙水。

根据详勘报告测得的地下水位埋深为 1.00 ~ 7.80m，水位高程 98.10 ~ 117.50m，平均埋深 3.90m，平均高程 109.70m。受地势高低起伏影响，水位埋深差异大 [2]。

2 青秀山站降水方法的选择

2.1 常见的降水方法

根据不同的地质、水文地质条件，尤其是各含水层涌水量的大小不同，所采用的降水施工方法也不同。工程降水采用的主要方法有：真空井点、喷射井点、电渗井点、引渗井、管井、辐射井、潜埋井等。

表 2-1 常用降水方法及其使用条件

降水方法	适用地层	渗透系数	降水深度 (m)
轻型井点	含薄层粉砂的黏土、黏质粉土、砂质粉土，粉细砂	$1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-4}$	<6 6~10
喷射井点	同上	$1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-4}$	8~20
电渗井点	黏土、淤泥质黏土，粉质黏土	$< 1 \times 10^{-7}$	根据井点确定
管井	薄层粉砂的粉质黏土，砂质粉土，各类砂土，砾砂，卵石	$> 1 \times 10^{-6}$	>10
砂(砾)渗井	含薄层粉砂的粉质黏土，黏质土、粉土，砂质粉土、粉土、粉细砂	$> 5 \times 10^{-7}$	根据下卧导水层的性质确定

2.2 青秀山站降水方法的确定

降水方法根据水文地质资料和规范要求确定，一般从含水层岩性、渗透系数、降水深度三个方面综合考虑。

根据地下水位埋深为 9.20 ~ 37.80m，水位高程为 71.11 ~ 102.13m，平均高程 89.50m，测量水位由于受钻探工艺的因素及周边环境的影响，离散性较大，结合表 2-1 及以上所述，根据本车站地质条件、施工环境、水位降深要求等因素，采用超深的管井降水为主（基坑开挖施工前）、集水井明排为辅（基坑开挖施工期间）的综合降水方法，确定青秀山站采用超深管井全过程综合降水的方法 [3]。

3 全过程综合降水研究过程

3.1 工艺原理及流程

根据水文地质条件的技术参数，通过单井、多井及水位恢复试验获取抽水量、水位降深与抽水延续时间的关系，运用地下水渗流理论模拟反演降水效果，满足降水要求后，综合分析取得该地层渗透系数、影响半径、涌水量等水文参数，进而计算确定降水井结构及布置方案，降水井施工完成后进行降水生产验证试验，经过统计分析验证试验数据，最终明确降水运行管理要点，完成全部降水施工。

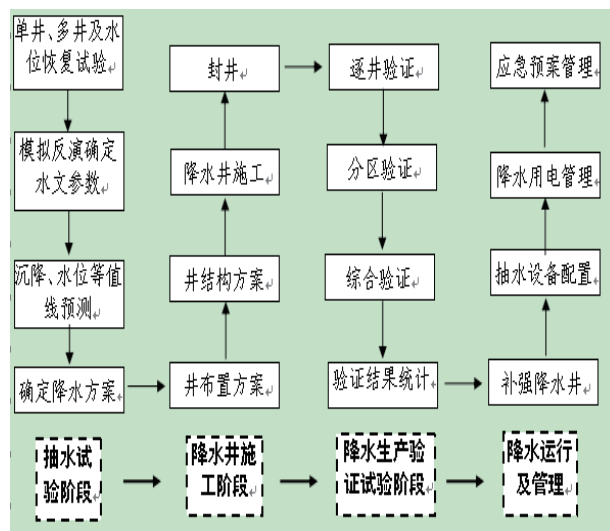


图3-1 施工流程

3.2 操作要点

3.2.1 抽水试验阶段

(1) 单井、多井抽水及水位恢复试验

根据现场试验条件和降水区域内降深要求, 先进行单井抽水试验, 观测井可共用多井试验的其余井。单井试验以布置一个抽水井、三个及以上观测井为原则, 观测井距离抽水井的距离依次为 15m、30m、50m、100m。单井抽水试验抽降深层地下水, 观测并收集降深范围内的水头高度与抽水时间的变化关系数据, 直至水头高度稳定 4 小时计以上; 抽水过程进行完毕后即进行单井水位恢复试验, 同理收集水头高度恢复与时间的变化关系, 直至水头高度稳定 4 小时及以上。

抽水泵型号选择应根据试验井大小、地层渗透性等参数计算的单井涌水量进行确定。

多井抽水试验以布置四口抽水井、四口观测井为原则, 水位观测井宜布置在含水层的不同深度, 对于承压水类型, 观测井数量也应确保能够反映头坡降情况; 同时观测记录水位变化并根据观测数据评估预测降水对周边环境的影响。多井抽水试验水位稳定 4 小时后即进行水位恢复试验, 收集多井水头高度恢复与时间的变化关系, 直至地下水水位稳定 4 小时以上。

进行抽水试验必须确保获得数据的真实性, 试验完成后, 应采取可靠措施确保降水试验井在后续施工中不会被破坏^[4]。

(2) 模拟反演确定地层参数

根据试验场地的水文地质条件, 包括试验场地的静止水位、地下水埋藏条件与分布特征、含水介质的土性与渗透特征等, 利用《Visual Modflow 4.2》软件, 建立该地层地下水渗流数值模型。对模型进行参数识别和验证后, 利用该数值模型输入抽水试验数据确定抽水试验期间地下水渗流场的时空分布规律。

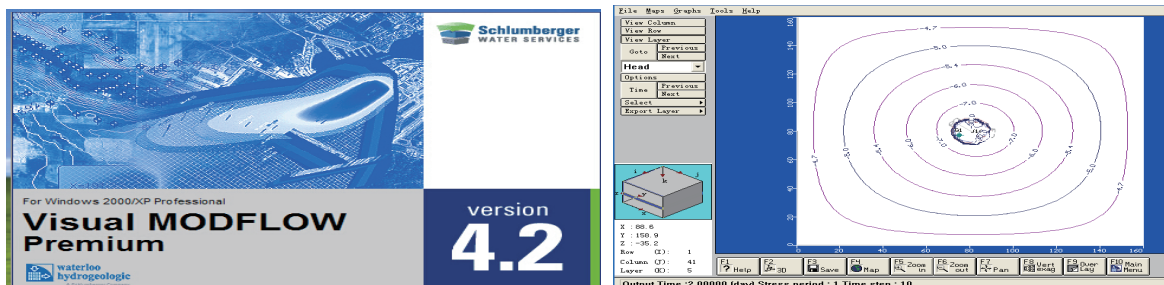


图3-2 Visual ModFlow 4.2示意图

数值模拟的模拟期宜为 3 天, 将整个模拟期划分为若干个计算周期。在每个计算周期中, 所有外部源汇项的强度保持不变。通过三维数值计算分析, 获取该地层模型参数。

(3) 沉降预测

针对多井抽水试验的实测数据, 选取代表性的沉降数据点位, 运用 Modflow 中沉降计算理论与太沙基固结理论进行分析, 得到引起地面沉降的变化规律, 进一步预测抽水试验阶段和降水运行阶段引起的地面沉降量。

(4) 水位等值线预测确定降水方案

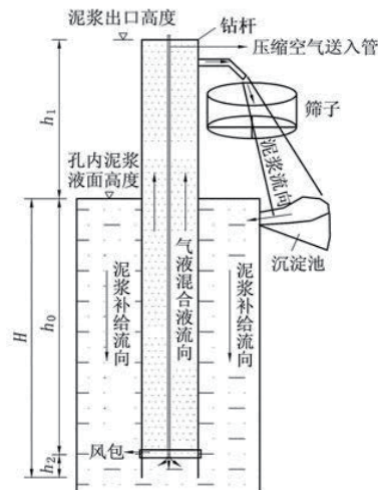
经过对抽水试验数据的模拟反演, 反复调整井布置及井结构方案进行水位等值线预测分析, 达到水位降深要求, 最终形成降水井布置、井结构等参数的降水方案。

3.2.2 降水井施工阶段

为确保井管顺利下放, 务必保证钻孔垂直度 $\leq 1\%$ 。在钻进过程中采用垂直度控制较好的旋挖钻机进行钻进。考虑钻进深度超过 50m, 为防止卡钻, 钻孔直径宜为 800mm-1000mm。钻孔施工达到设计深度后, 宜多钻 30cm~50cm。钻进过程中泥浆比重控制在 1.10~1.15g/cm³, 黏度 $\leq 28s$, 含砂率 $\leq 4\%$, 当提升钻具或停工时, 孔内须压满泥浆, 防止孔壁坍塌。为确保降水井降水效果, 应把控以下重点施工步骤:

(1) 第一次洗井清孔

第一次洗井采用气举反循环法清孔, 如图 3-3 所示。钻机钻进至设计标高后, 将孔内的泥浆密度逐步调至接近 1.05 g/cm³, 安装导管, 导管口接入高压风送入管, 高压风管插入至孔深 h1+h0 位置处, 导管口顶部接排出管。洗井过程中空压机压力调节至 0.4~0.6Mpa, 排出管的泥浆先排入到泥浆沉淀池沉淀处理后, 再返回孔内。清孔换浆过程中, 当孔底淤积厚度 $<20cm$ 、返出的泥浆含砂率 $<1/2$ 万, 该工序完成^[5]。



$$\Delta p = \gamma_a h_0 - \gamma_m (h_0 + h_1)$$

图3-3 气举反循环清孔原理示意图

$$a = \frac{h_0}{h_0 + h_1} = (\gamma_a - \gamma_m) h_0 - \gamma_m h_1$$

或

要求 $a > 0.5$ ，但不得小于 0.4。

Δp - 提供反力的压力差； a - 沉没比； h_0 - 沉没深度； h_1 --- 升液高度；

γ_a - 泥浆比重； γ_m - 钻杆内泥浆、钻渣、空气混合流的比重。

(2) 滤料回填

第一次洗井结束后，立即下放井管到位后固定牢固，井管采用桥式滤水管和井壁管，直径宜为 400mm，外包密目网宜采用双层 80 目的尼龙网，在井管外侧范围进行滤料回填，如图 3-3 所示。依次安装沉淀管、滤水管和井壁管后，采用绿豆沙石回填，回填高度为滤水管顶面高出 4m 为宜，绿豆砂石级配宜为 $\Phi 3\text{mm} \sim \Phi 6\text{mm}$ ，严格控制绿豆砂的含泥量及颗粒大小。滤料回填前，采用测绳测量井管内外的深度，两者的差值不应超过沉淀管的长度，如图 5-4 所示。滤料回填过程中，采用测绳测量滤料的高度，并做到随填随测。对滤料进行连续匀速分层回填，直至滤料填至预定位置，中途不得暂停。最终投入滤料量不应少于计算量。

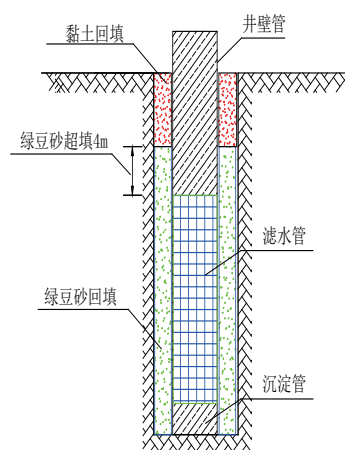
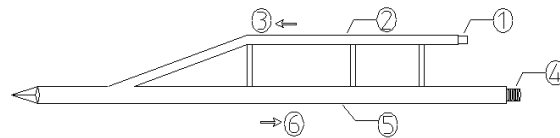


图3-4 滤料回填示意图

(3) 第二次洗井清孔

利用直径大小不同的钢管自制洗井器，小直径钢管接入高压风管，直径稍大钢管接入排水管，高压风管机水管安装至洗井器后，整体下放至井深约 $L/3$ 处，并满足沉没比 $a > 0.5$ 要求，开启空压机，进行二次洗井工序。



①高压风管接口，外径 25mm；②镀锌钢管，内径 25mm，壁厚 $t=2.5\text{mm}$ ；③高压风进风方向；
④排水管接口，外径 45mm；⑤镀锌钢管，内径 45mm，壁厚 $t=2.5\text{mm}$ ；⑥排水方向。

图 3-5 洗井器大样图

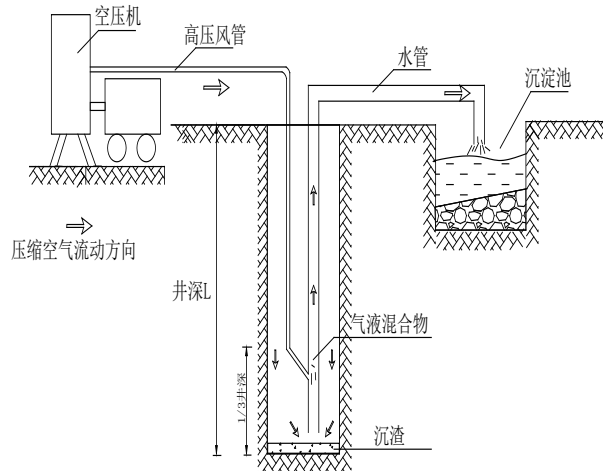


图3-6 压缩空气法洗井原理

(4) 回填黏土止水封孔

第二次洗井完成后，对井口进行封闭保护，防止黏土填入井管内。一般填至比地面高 10cm 左右，进行夯实压平后与地面齐平，后续需要做井盖时再进行调整。

(5) 第三次洗井

降水井施工结束后，应及时下入潜水泵，即可开始试抽水，同时也是第三次洗井过程。试抽阶段应保证含砂率 < 1/2 万，若含砂率达不要求则应利用洗井器继续进行压缩空气法洗井。

(6) 封井

利用密封井盖封闭管井。

3.2.3 降水生产验证试验阶段

(1) 降水验证

第一阶段为逐井验证：要求每施工一口降水井分别进行一次试抽，判断降水井成井质量；

第二阶段为分区验证：即将施工完成的降水井按照施工进度分成若干个降水区，每一个降水区单独进行多井降水，进一步判断各区的降水效果；

第三阶段为综合验证：降水井全部施工完成后进行全部降水井降水验证，最终判别降水效果，重点是最终确定降水方案的可行性以及确定相应的降水运行工况。

(2) 试验结果统计与分析

统计各降水井出水量；观测最大降深，看是否能达到设计最大降深的要求。结束后需要对抽水过程中所采集的数据进行统计与分析，分析得出结果，并将该结果应用于后续施工的优化设计中。

3.2.4 降水运行及管理

(1) 补强降水井

根据生产验证结果，对存在降水效果较差的区域实施补强降水井施工。

(2) 抽水设备配置

每口井单独采用一台深井潜水泵，要求深井潜水泵的抽水能力大于单井的最大出水量，在施工至地下水水位标高前至少提前 20 天进行降水。

(3) 降水运行用电管理

在正常的降水运行过程中，必须有合理的用电保障满足降水运行的需要。通常要求施工现场应有两路工业用电，

降水运行中应保证一路工业用电停电后另一路工业用电能及时使用，保证停电 30 分钟内能将确保降水井正常运转，避免影响降水效果甚至危害工程安全。

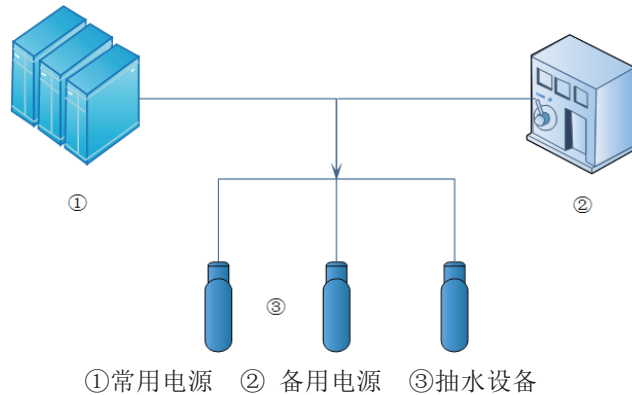


图3-7 双路电源供电示意图

(4) 应急预案管理

包括降水过程中周边环境的监测发生异常时的应急处置、降水盲区出现达不到降水效果采取的应急措施等。应根据工程需要制定相应的应急预案，纳入降水运行的工序进行管理。

4 结束语

本工程降水方案设计及施工工艺研究充分考虑现场的施工环境、工程地质条件和应用新技术成果及现有的技术水平、施工经验等情况，从抽水试验确定地层参数，制定降水方案并实施，进一步的验证降水效果、改进，直到降水的运行及管理的全过程降水施工，形成一套有效的降水方法，过程中严密的模拟反演理论推导，改进了降水井洗井工艺，节省洗井时间，确保洗井效果，大大降低了降水井洗井后的含砂率及含泥量。该施工工法中的抽水试验、方案形成、降水施工、效果验证等步骤过程控制可靠性高。对地下水位高、地层渗透性弱、要求水位降深大的地下工程降水施工针对性强。对滤料材质及级配的选择和自制洗井器应用到超深管井施工中，解决了复杂地质条件下滤水器的滤水效果和超深管井洗井难的问题，使超深管井全过程降水施工应用更加趋于成熟。

[参考文献]

- [1] 罗晶. 富水砂层地铁车站施工期动态降水技术研究[D]. 北京: 中南大学, 2012.
 - [2] 吕勤, 熊军. 管井降水在深基坑工程中的应用[J]. 低温建筑技术, 2005, 23(2): 71-72.
 - [3] 许春枝, 陈彦群, 李玉栋. 城市深大基坑降水方法研究[J]. 中国煤田地质, 2005, 17(2): 21-24.
 - [4] 董利华, 张荣灿, 张文健, 王燮良, 瞿成松. 复杂地质条件下深大基坑的综合降水技术[J]. 施工技术, 2006, 35(6): 73-80.
 - [5] 徐接武. 管井井点降水技术及工程实例[J]. 山西建筑, 2007, 33(22): 137-139.
- 作者简介: 崔红利(1979-), 大学本科, 高级工程师