

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.11.049

近海富水地铁车站基坑管井降水技术

刘银环

(中铁一局集团厦门建设工程有限公司, 福建 厦门 361000)

摘要:厦门市地铁 3 号线湖里法院站主体结构基坑位于近海且富水的地质,为提高基坑降水效果,通过基坑用水量及降水井的计算分析,选择管井降水井点的布设方法,并针对管井降水井施工容易出现的质量问题,提出相应的施工技术及操作细节,最后通过降水从监测数据,表明该基坑降水效果良好。实践证明:管井降水作为地铁车站基坑开挖降水工艺具有较好的应用前景。

关键词:井点降水;富水地层;基坑开挖;管井;施工工艺

中图分类号: TU46+3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)11-0182-06

0 引言

地铁车站一般埋置深度较深,地下水位往往高于车站结构的基础标高,为保证车站结构的顺利施工,开挖深基坑前,需要进行降水。由于地下水控制失效而引起的事故在所有岩土工程事故中占较大的比例^[1-2]。井点降水是富水地区深基坑降水的主要方法,国内学者针对失败的教训及成功的案例进行深基坑降水的研究。张永乐等^[3]采取一种基于超大深基坑降水井封堵的施工方法,包括降水井套管的制作与预埋,降水井封堵配件的制作,封堵配件的安装和连接,从而保证了降水井封堵质量。谭峰等^[4]以广州地铁 21 号线 18 标明挖基坑降水失败的工程为例,总结了相关施工经验;邓青^[5]探讨地铁超深基坑坑内降水及降水井封堵施工技术,总结坑内降水处理中应考虑的因素,以及施工工艺要点;曾超峰等^[6]提出了一种降水井错位布置的方法,用于控制预降水引起的围护结构变形,指出可使距离围护结构越近的降水井相对越深,相邻降水井间距相对越小。刘俊杰等^[7]结合青岛富水地层某地铁车站深基坑开挖降水的案例,阐述降水方案、井管布置、降水施工运行等。简永星^[8]以厦门轨道交通 1 号线火炬园站~高殿站区间降水为工程背景,分析管井降水在花岗岩残积土地层中的应用效果。苏江川^[9]以福州地铁某透水地层车站基坑降水为例,通过建立数值模型

分析降水对周围环境的影响,提出透水地层深基坑降水施工控制措施,以及基坑降水对周边地表变形影响防治措施。孙英健^[10]以天津地铁某车站为例,针对所处区域地下水分布特点,通过分析、计算确定该车站疏干井布置数量及深度。孙明祥^[11]以福州地铁 5 号线两座车站明挖基坑施工为背景,对比分析了这两座车站的深基坑围护结构设计及降水设计。李立国^[12]以武汉地区典型长江一级阶地深基坑——轨道交通 12 号线双墩站基坑降水工程为例,对降水专项方案的设计计算、施工工艺、降水监测措施等进行详细阐述;王宇博^[13]以石家庄地铁 1 号线二期为例,基于区域数值模拟研究抗浮水位。

上述大部分工程案例采用小管径的井点降水,效率相对较低,特别是针对近海富水的地铁车站基坑工程。本文以厦门地铁 3 号线为例,采用管井降水方法进行降水,重点阐述降水井选型计算以及降水井的施工工艺,并对降水效果进行评价。

1 工程概况

厦门轨道交通 3 号线厦门岛内段共有车站 12 座,湖里法院站为出岛第 10 座车站。位于金尚路与枋湖北二路路口,车站为地下一层侧式站台车站,双柱三跨框架结构,车站总长 314 m,基坑开挖深度 11.2~17.4 m。

车站基坑支护体系为 $\phi 1\ 000(1\ 200)@1\ 200(1\ 400)$ mm 钻孔桩 + $\phi 800@600$ mm 三重管高压旋喷桩 + 内支撑(钢支撑 + 钢筋混凝土梁支撑)体系,基坑侧壁采用 10 cm 厚 C20 挂网 ($\phi 6.5@150$ mm \times

收稿日期: 2021-07-21

基金项目: 中铁一局集团有限公司技术研发项目(2017A-043)

作者简介: 刘银环(1985—),女,本科,工程师,从事交通运输工程施工技术研究。

150 mm 钢筋网片)喷射混凝土作为初支体系,如图 1 所示。基坑围护结构施工完成后组织坑内降水,水位高度达到基底以下 1 m 范围外后组织基坑开挖。

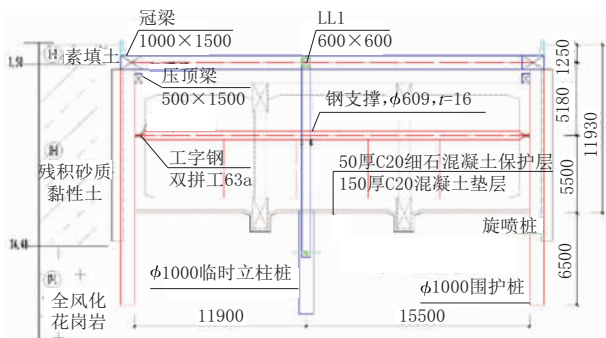


图 1 基坑支护典型断面图(单位:mm)

车站基坑范围内地质分别根据前期钻探勘察揭示,自上而下依次主要为人工填土、坡积粉质黏土、基坑底部地基土多为残积土及全风化岩层。站址区周边无地表水。

地下水主要为第四系孔隙水,主要分两种类型:松散岩类孔隙水和风化残积孔隙裂隙水及基岩裂隙水。其中,表层松散岩类孔隙水主要表现为日周期变化型,水位变化频率较高,升降幅度较小;而深层风化残积孔隙裂隙水及基岩裂隙水表现为年周期变化型,一年之内出现一次水位高峰和一次水位低谷,较长时间滞后于降雨,水位升降幅度较大。站址区稳定水位埋深为 3.2 ~ 3.8 m,水位标高 11.21 ~ 13.47 m,年变化幅度约 1 ~ 3 m。基坑底大部分位于残积砂质黏性土与全风化花岗岩交界,地层处于富水状态。因此,地下水的降水效果,对于车站主体结构的顺利施工起到关键的作用。车站 15~25 轴地质断面图如图 2 所示。

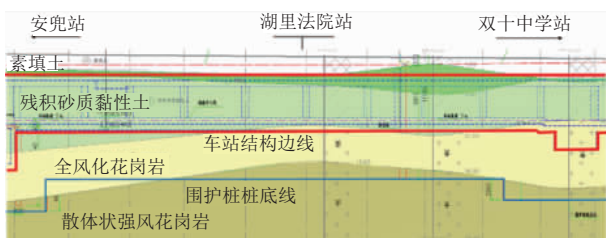


图 2 车站 15~25 轴地质断面图

2 降水井选型计算

2.1 基坑涌水量计算

基坑采用 $\phi 800$ mm 三重管旋喷桩止水帷幕进行桩间止水,止水帷幕穿透残积土层进入全风化花岗岩 1 m。根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)^[14]及勘察资料,按大井法估算基坑涌水量,计算公式为:

$$Q = \pi k \frac{(2H - S_d) S_d}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})} \quad (1)$$

式中: Q 为基坑涌水量, m^3/d ; k 为渗透系数,根据车站工程地质资料,该站基坑范围内取 $k=1.5 m/d$; H 为潜水层含水层厚度,取 $H=15 m$; S_d 为基坑水位降深,取 $S_d=12 m$; Q 为降水影响半径, m ,根据基坑降水手册,取 $R=30 m$; r_0 为基坑等效半径, m ,可按 $r_0 = \sqrt{A/\pi}$ 计算; A 为基坑面积, m^2 ,车站基坑面积约 $4\ 200 m^2$ 。

根据以上公式计算该基坑的总涌水量: $Q = 8\ 547 m^3/d$ 。

2.2 降水井计算

降水井采用 $\phi 609$ mm ($t=16$ mm) 的无缝钢管,在该钢管管壁上加工 $\phi 15$ mm@50 mm 的渗水孔,孔位梅花形布置。钢管外壁自内向外依次包 2 层 20 目玻璃纤维滤网+1 层 10 目钢丝网作为反滤层。基底若为不透水或弱透水土层时,降水井深度进入基底土层 10 m,以保证降水效果。若岩面较高时,降水井深度应进入中风化岩或微风化岩 2 m 即可,在岩层中采用坑内排水即可。降水井用于疏干基坑上部强风化岩层、全风化岩层、残积黏性土层、填土层中含水。

降水井底部设置沉砂段,滤管有效进水段不小于 15 m,单井理论出水量按下述管井经验公式计算:

$$q = 120 \pi r_w L \sqrt[3]{k} \quad (2)$$

式中: q 为管井涌水量, m^3/d ; r_w 为管井虑管半径,取 $= 0.305 m$; L 为滤管进水段长度, m ; k 为渗透系数,根据地质车站工程地质资料,取最小渗透系数 $k=0.5 m/d$;

根据上述公式计算本次管井单井水量:

$$q = 120 \times 3.14 \times 0.305 \times 15 \times 0.793 \sqrt[3]{0.5} = 1\ 368.2 m^3/d$$

根据管井单井最大出水量计算管井数:

$$n = 1.1Q/q = 1.1 \times 8547 / 1\ 368.2 = 6.25 \approx 7 \text{ 口}$$

综上所述,在该段结构基坑范围内,施工的疏干井数量 $n \geq 7$ 口时,即可达到在疏干开挖土体地下水含量的同时,也能很好的疏干基坑地基土的地下水含量的目的,确保地下水位始终保持在开挖面以下,且不会出现基坑渗水甚至涌水现象,影响施工过程安全及结构工程质量。因此,在该段基坑设置 7 口降水井,井位布置如图 3 所示。

3 坑内降水井施工工艺

3.1 施工流程

车站基坑围护结构及桩间止水帷幕施工完成封

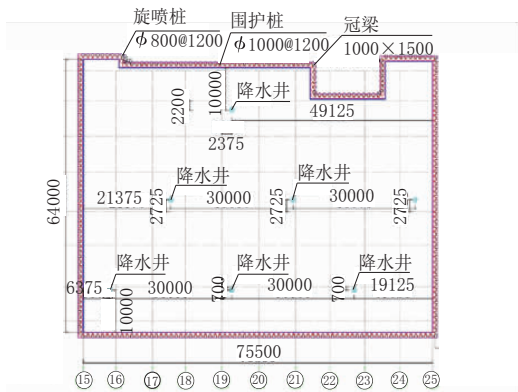


图3 降水井平面布置图(单位:mm)

闭成环后组织基坑降水作业。

基坑开挖前 30 d 应采用内井点对基坑不透水层进行预降水、疏干,以加固坑内土体,保证无水开挖。降水后基坑内水位需在坑底以下 1 m。基底若为不透水或弱透水土层时,降水井深度应进入基底土层 10 m,以保证降水效果。若岩面较高时,降水井深度应进入中风化岩或微风化岩 2.0 m 即可,在岩层中采用坑内排水即可。施工工艺流程如图 4 所示。

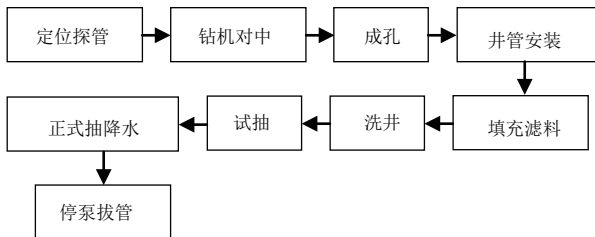


图4 坑内井点降水施工工艺流程图

3.2 施工工艺

3.2.1 定位探管

施工前,由专人协调施工区域范围内的管线产权管养单位现场责任人,详细摸排核实各类地下管线管位、埋深、走向、是否承压等情况,采用物探法+人工探挖的形式进行排查,并形成管线调查报告,在现场明显位置做好标记,做好技术安全交底,防止施工中误碰管线造成事故。当无法迁移的管线与井位冲突时,井位需避让管线位置,具体方案需经二次计算确定。其余无影响区域可按计算及经论证审批的基坑开挖及降水方案组织实施。降水井的间距一般按 30 m/井呈梅花形布置。根据地层地质情况,若土层渗透系数小,井间距应适宜调小;若土层渗透系数大,井间距可适宜增大。基坑转角、地下水流上游、近江河湖泊等水源补给侧,需适当加密降水井间距。

当井位为避开地下管线、已探明的开挖范围内的孤石等障碍物时,降水井间距调整以最大不超过 130%设计井间距为宜,若在此范围内仍无法避开则

需要重新计算并设计井位。

3.2.2 钻机对中

降水井的垂直度是影响降水效果的重要因素之一,因此,在施工过程中,通过控制钻机钻杆工作垂直度来控制成井的垂直度。钻机调试安装完成后,移位至需施工的降水井附近,再次核对井孔位置,钻机钻头对中降水井中心,固定钻机,调节钻杆垂直度,经验收合格后开机钻孔。钻杆垂直度控制标准要求 $\leq 1\%H$ (H 为钻杆工作高度)。根据设计的降水井规格,选择合适的钻进设备,确保成井直径满足要求,按相关规范,要求成井井径误差不得超过 ± 20 mm;

3.2.3 成孔

正式钻进前,须在降水井位人工埋设护壁套管,测量人员二次校核护壁套管中心是否与降水井中心重合,误差是否满足要求。确认无误后开机钻进成孔,孔深按设计深度控制,终孔前需确认钻进深度及孔底标高是否达到设计标高。钻进过程中采用泥浆护壁,并保持孔内泥浆高度,防止塌孔。降水井钻进过程中使用的泥浆护壁要求与钻孔灌注桩泥浆护壁要求一致。

3.2.4 井管安装

钻进成孔结束,井孔深度达到设计深度,并经验收合格后,停钻清孔。清孔采用抽渣筒,根据泥浆带出的沉渣含量判断井内沉渣含量。若井内沉淀物过多,将会导致井孔淤塞,影响降水效果。清孔结束后,按地面试拼的顺序依次吊装各节井管。井管节段之间要求同心,并焊接严密,焊接完成后在焊缝位置按本文 2.2 要求包裹滤网层。井管吊装时,必须严格控制井管中心位置以及垂直度。待井管全部安装完成后,在管内安装潜水泵,连接抽排水管路,并将地表管口临时封堵。要求每个降水井独立安装水表,实时监测该降水井降水运行情况,定期统计该井累计抽排水量,与地下水位监测点统计的地下水位降深数据做对比分析,指导施工。降水系统如图 5 所示。



图5 降水系统管道及监测表

3.2.5 填充滤料

井管安装稳固后,填充滤料。滤料投放前需清孔稀释泥浆。井管需垂直正中放在井孔中,滤料沿井管周围均匀投放。因滤料规格影响透水能力,需根据含水层土质颗粒分析。一般滤料选择为8~10 mm砾砂。填充滤料采用人工铁锹沿井管周边下料,严禁采用机械直接倾填,造成砾砂分层不均匀,冲击井管。砾砂滤料填至地表下1 m位置后,采用不含砂的黏土继续回填,直至井口地表。施工中判断降水井的渗水性能是否合格的两个现象是当投放滤料时,管口有泥浆水冒出,或向管内灌水能快速下渗。

3.2.6 洗井

滤料填充完成后应立即洗井。洗井一般采用的方案为孔内泥浆抽排清理后,采用活塞洗井,或用泥浆泵大排量冲灌清水与活塞洗井相结合方案,其目的是确保破坏降水井井壁残余的泥皮,并将附近土层内残存的泥浆洗出。

另外一种常用的方案为空压机+活塞联合洗井法,利用空压机产生高压水流洗井,之后再用水洗井。根据降水井实际情况,重复上述流程,直至井内出水含砂率小于1/10 000为止。洗井的目的是确保在正式抽降水阶段,降水井正常运行,既保证地下水被有效抽降,又能确保降水过程不带走周边地层泥沙导致地面发生超限沉降。

若降水井内砾砂滤层含泥量过大,洗井过程中未能有效破坏孔壁泥皮,降水井周边土层在钻孔时残存的泥浆未被清除干净,会严重阻碍地下水向井内渗透,堵塞地下水流通通道,极大降低削弱单井的集水能力。因此,洗井要严格做到以下要求:

(1)洗井后达到“水清砂净”;

(2)完成下管、填充滤料后需及时进行洗井,其时间间隔不得超过8 h;

(3)若井深较大,采用隔离塞分段洗井方案时,若含泥砂量较大时,可先捞渣,再洗井;

(4)若常规洗井方案效果不佳时,可添加洗井剂,浸泡一段时间后再洗。

3.2.7 试抽

降水井正式抽降水前,需进行试抽,检查出水是否正常,有无淤塞。发现异常及时进行检修。

降水选择深井泵(或深井潜水泵)时需根据不同降水阶段的涌水量和水位降深要求进行优化调整,确保降水效果及经济效益。根据经验,一般在降水开始初期,地下水位高,地层富水,井内出水量大,抽降

效率要求较高;随着降水时间推移,基坑开挖等因素综合影响,地下水位降低,地层含水量下降,单井出水量会相应减小。

井内更换或维修深井泵(或深井潜水泵)时,需检查降水井的深度和沉渣厚度,若出现井深不足或沉渣过厚的情况,需进行二次冲洗、排渣操作。

若渗透系数较小的土层区域,单靠深井泵抽水无法满足降水要求,无法有效抽降地层地下水时,可增加真空泵进行辅助降水:通过真空泵抽排井内空气,使井内形成负压,迫使周围土体的地下水较快的进入井内,提高降水效率。

3.2.8 正式抽降水

试抽确定降水井正常运行后,组织正式降水。要求基坑开挖至勘察确定的地下水位标高前,降水井正式抽降水时间不得少于14 d。降水水位在达到设计深度以前,地下水位观测频率按3次/d进行;降水水位达到设计深度后,观测频率按一次/d组织。观测记录当时水位、累计出水量、当时流量、当时含砂量。过程中经常检查抽水设备的电机、电流、电压以及管路等项目。含砂量检测应在开泵后30 min取样测试,要求砂含量 $<1/50\ 000$;对于长期运行得降水井,其含砂量 $<1/100\ 000$ 。

基坑总降水深度超过8 m时,一般采用二道以上的滤管分层取水。下层设置深井滤水管,滤管部位的下层水最早被抽降,上层地下水受水的重力作用,通过土体的空隙下渗至抽水点,循环往复达到降低地下水位的目的;这种方案受土层厚度影响明显,往往土层越厚,降水需要的时间越长。因此,采用多道滤管分层取水可有效缩短降水时间,但要注意,挖土暴露每道滤管后,要及时用毛毡或其他材料将其封闭,尽量降低滤管暴露对抽水效果的影响。

3.2.9 停泵拔管

按要求,降水井停泵拔管一般在结构施工完成后进行。管井拆除后所留孔洞采用高一标号的微膨胀混凝土修补。

4 管井基坑降水评价

4.1 综合效果评价

采用管井降水井进行开挖前的井点降水,在基坑开挖及结构施工期间,基底始终处于无水状态,且在雨季,由于管井的降水点的集水抽排能力较强,兼做坑内集水井,从一定程度上代替了坑内临时集水坑,可谓一举多得。

设计建议采用 $\phi 127 \text{ mm}(t=4 \text{ mm})$ 的无缝钢管,经计算,本基坑需设置 30 口降水井才能满足降水要求。根据现场实际情况,采用管井的井管数量减少,且极大地减少了降水井对基坑开挖、结构施工的影响。降水井运行情况见表 1。

表 1 车站 15~25 轴基坑降水运行统计表

序号	降水井编号	统计时长 /d	累计降深 /m	累计出水量 /m ³	单日最大出水量 /m ³
1	JS-10	40	13.633	859	55
2	JS-11	44	15.589	974	63
3	JS-12	43	13.515	765	49
4	JS-13	44	14.324	391	14
5	JS-14	45	14.332	181	10
6	JS-15	42	13.858	466	20
7	JS-16	44	14.840	527	39

图 6 所示为坑底水抽干的情况。从中可以看出,经过管井降水,降水效果良好,坑底无明水,可以满足坑底基础施工的要求。



图 6 降水效果良好(坑底无明水)

4.2 工期评价

根据目前的工装水平及类似工程实际施工经验,井点降水工程在成井抽水阶段其工效指标如下。

4.2.1 常规井($\phi 127 \text{ mm}$)

- (1)施工准备:1 d。
- (2)设备安装、调试、实验孔成孔及检测:1 d。
- (3)正常钻进:2 井 /d。

因常规井直径较小,可采用潜孔钻钻机引孔,在施工场地允许的情况下可同时配备多台钻机同时作业以提高单日工效。综合考虑该工程实际情况,若采用常规井方案,配置 2 台钻机较为经济合理,据此资源配置估算工期,完成施工任务需要 $1+1+30/(2 \times 2)=9.5 \text{ d}$ 。

4.2.2 管井($\phi 609 \text{ mm}$)

- (1)施工准备:1 d。
- (2)设备安装、调试、实验孔成孔及检测:1.5 d。
- (3)正常钻进:3 井 /2 d。

管井成井需采用大直径钻机钻进,本项目基坑围护桩采用旋挖钻成桩,可借此设备作为管井成孔设备(若降水井数量规模较大,类似工程可单独安排旋挖钻钻进成孔,可获得较好的工期效益及经济效益)。旋挖钻成孔速度较快,且成孔质量有保证。本工程配置一台旋挖钻即可满足工期要求,综合计算,此方案完成施工任务需要约 $1+1.5+7/(3/2 \times 1)=7.1 \text{ d}$ 。

综上,仅就成井工期而言,因管井数量减少,直接导致其工期减少明显,若降水井工程规模较大,其节约工期效益将更为明显。

4.3 经济效益评价

以该工程为例,分析两种方案需要投入的施工资源,计算两种方案的直接成本:

4.3.1 常规井($\phi 127 \text{ mm}$)

(1)施工人员投入:施工主管 1 人,设备操作工 4 人,普工 4 人。

(2)主要设备投入:潜孔钻机 2 台,吊车 1 台,挖机 1 台。

(3)主要材料:127 mm($t=4 \text{ mm}$)无缝钢管、滤网、轧带、滤料等。

4.3.2 管井($\phi 609 \text{ mm}$)

(1)施工人员投入:施工主管 1 人,设备操作工 2 人,普工 2 人。

(2)主要设备投入:旋挖钻机 1 台,吊车 1 台,挖机 1 台。

(3)主要材料:609 mm($t=16 \text{ mm}$)无缝钢管、滤网、轧带、滤料等。

根据施工投入、材料费用等,常规井成井单价约 450 元 /m,管井成井单价约 964.3 元 /m,计算两种方案的直接工程费用(单井深度按 19.6 m 计算)。两者的对比见表 2。

表 2 井点降水工程直接费用对比表

序号	降水井类型	数量 / 口	综合单价 / (元·井 ⁻¹)	总价 / 万元
1	常规井($\phi 127 \text{ mm}$)	30	8 820	26.46
2	管井($\phi 609 \text{ mm}$)	7	18 900	13.23

综上,受成孔直径、材料使用等因素影响,管井单井单延米工程直接费较普通井高约 114%,但因同等降水范围内,管井总量减少,工程直接费总费用降低 50%。其经济效益优势明显。

5 结论

通过近海富水地层深基坑降水案例分析,可以

得出以下结论:

(1)管井降水的井管施工工艺流程主要包括:定位探管、钻机对中、成孔、井管安装、填充滤料、洗井、试抽、正式抽降水、停泵拔管。

(2)在富水地层,采用管井降水井对比常规降水井,可以取得较好的降水效果。

(3)由于管井降水井的孔径较大,因此数量较少,便于施工,可操作性强,以利于节约造价,经对比,管井单井单延米工程直接费较普通井高约 114%,但因同等降水范围内,管井总量减少,工程直接费总费用降低 50%。

(4)兼做排水用的集水井,且因井管直径增大,土方开挖施工中更便于保护,以及井点井位减少,后期结构施工中因井位与结构框柱、梁等位置冲突带来的施工不便风险极大降低,结构施工完成后井位封堵工程量减小,因井位封堵带来的结构渗水等风险降低等诸多便利。

参考文献:

[1] 龚晓南,沈小克.岩土工程地下水控制理论、技术及工程实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2020.

[2] 吉泳安,孟舰.南京江北新区中心区地下空间一期基坑涌水事故处

理与启示[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):94-99.

[3] 张永乐,张进,孙中昕,等.深基坑降水井封堵施工技术[J].施工技术,2015(S1):85-88.

[4] 谭峰.广州地铁粉细砂层地质条件下明挖基坑降水井施工技术总结[J].建设科技,2016(4):76-77.

[5] 邓青.地铁超深基坑坑内降水及降水井封堵施工技术[J].交通世界(中旬刊),2019(9):23-24.

[6] 曾超峰,袁志成,薛秀丽.降水井错位布置对基坑预降水引发围护结构侧移的影响[J].岩土工程学报,2019,41(Z1):33-36.

[7] 刘俊杰,张晓婷,戴小倩,等.富水地层地铁车站深基坑自动降水方法探讨与实测研究[J].青岛理工大学学报,2020,41(3):9-14,94.

[8] 简永星.管井降水在厦门地铁隧道施工中的应用[J].福建建设科技,2020(2):65-67.

[9] 苏江川.地铁车站深基坑降水方案研究[J].福建建筑,2020(3):101-105.

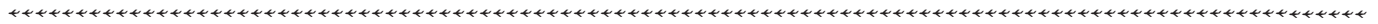
[10] 孙英健.地铁车站深基坑降水实例分析[J].科技创新与应用,2021,11(29):71-73.

[11] 孙明祥.福州地区高承压富水砂层地铁车站深基坑工程降水技术[J].城市轨道交通研究,2021,24(9):173-177.

[12] 李立国,石湛.武汉长江一级阶地地铁车站深基坑降水设计[J].科学技术创新,2021(20):111-112.

[13] 王宇博.基于区域数值模拟的抗浮水位研究——以石家庄地铁1号线二期为例[J].铁道勘察,2020,46(3):28-36.

[14] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].



《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com