引渗疏干技术在复杂水文地质条件下深大基坑降水中的应用

李　兵
(中铁十四局大盾构工程有限公司,江苏 南京 210031)

摘要:长江漫滩地区第四系松散层是一个巨厚的、复杂的含水体,具有典型的二元地质结构特征,含薄层状夹层,导致垂向透水性远小于水平向,对深基坑工程降水影响极大。南京梅子洲过江通道及青奥轴线地下交通系统及相关工程充分利用引渗技术,成功地对基底上部的地层进行疏干,达到干燥安全的作业环境,满足基坑开挖要求,为工程节省了大量的成本,对类似水文地质条件的深基坑工程具有很好的借鉴意义。

关键词:长江漫滩;深大基坑;引渗降水;多含水层;弱透水层
中图分类号:TU46+3　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1672－7428(2018)04－0069－04

Application of Diversion Infiltration Technique in Dewatering of Deep Foundation Pit under Complicated Hydrogeological Conditions/*LI Bing* (Large Diameter Shield Co., Ltd. of China Railway Bureau 14 Group, Nanjing Jiangsu 210031, China)

Abstract: The Quaternary loose soil of the Yangtze floodplain area is a thick and complex aquifer with typical binary characteristics of geological structure, containing thin interlayer, leading to the vertical permeability far less than the horizontal direction, which has great influence on the dewatering of deep foundation pit engineering. In the river channel, underground traffic system of Qing'ao axis and the related works of Meizizhou in Nanjing, by the full use of the advantages of diversion infiltration technology, it is successful to dewatering the upper formation of the basement to achieve a safe and dry work environment, meet the requirements of foundation pit excavation and save a great deal cost of the project, which has very good reference for deep foundation pit engineering with similar hydrogeological conditions.

Key words: Yangtze floodplain; deep foundation pit; dewatering by diversion infiltration; multi-aquifer; aquitard

0　引言

引渗疏干技术是一种将基底以上的地下水通过钻孔引导自行渗入到下部含水层中,从而达到疏干上部地层水的一种降水方法。该方法适用于场地内存在多层地下水的基坑工程,且基底以下存在稳定的、透水性好的含水层,该含水层水位需低于基底,可以是其天然水位低于基底(引渗自降)或通过抽水降低该层水位至基底(引渗抽降),原理参见图 1。引渗井可以是裸井,即成孔后直接在孔内回填洗净的砂、砾或砂砾混合滤料;也可以是管井,即成孔后在孔内安装滤水管,井周根据情况填入滤料。

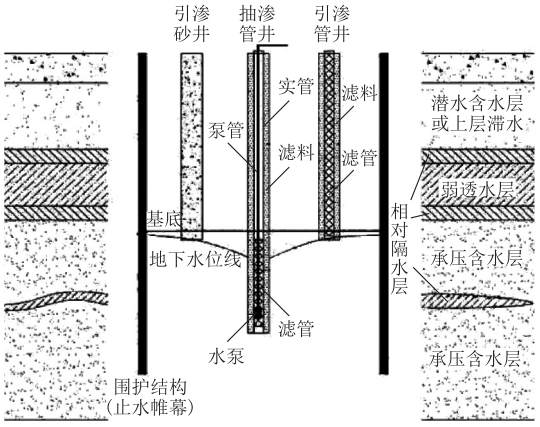

图 1　引渗原理示意图

在南京长江漫滩地区,受沉积环境的影响,地层上存在有典型的二元地质结构特征,上部的粘性土层夹有薄层的粉土、粉砂;而下部巨厚的砂性土中又夹有薄层的粉质粘土,整体上是一个多含水层的含水系统。可结合基坑开挖深度、围护结构特征、水文地质条件等,充分利用引渗疏干技术对开挖范围内的土体进行疏干。

收稿日期:2018－03－17

作者简介:李兵,男,汉族,1982 年生,项目副经理,中铁十四局隧道公司南京青奥轴线项目经理部总工程师,土木工程专业,主要研究方向为地下交通工程,北京市海淀区大运村西路艾锐斯足球训练场(100048),497837662@qq.com。

1 工程概况

南京梅子洲过江通道及青奥轴线地下交通系统及相关工程是 2014 年青奥会的主要配套工程之一，主要由梅子洲过江通道连接线、滨江大道下穿隧道、互通匝道和青奥轴线广场地下空间 4 部分组成，工程地处长江漫滩，水系发育，地层条件复杂，基坑工程受地下水威胁严重，降水难度大，工程的核心控制性区域 B2－J1 区为地下立交段施工，由梅子洲主线隧道、滨江大道及互通匝道和地下空间叠落交错组成，为局部地下 3 层框架结构，主要采用明挖暗埋法施工，“坑中坑”设计为其主要特点，采用大放坡开挖的地下空间基坑内套直立开挖的隧道基坑的形式，基坑最大开挖深度达 27 m，最大开挖宽度(东西向)约 258 m，最大开挖长度(南北向)约 320 m。地面下 8 m 为放坡＋悬臂开挖区，合计开挖土方约 34 万 m^3；放坡开挖 8 m 深度后，再在坑底垂直开挖主隧道及 4 条匝道，合计开挖土方约 20 万 m^3。本工程地处长江边强透水地质条件下，基坑开挖深、面积大，涌水量大，开挖期间每天的涌水量达 20 万 m^3，整个工程下来，要抽出 6000 万 m^3 水，相当于 10 个玄武湖[1－4]。B2－J1 区平面及空间布置见图 2。

根据基坑开挖深度不同，基坑围护结构分别采用放坡、钻孔桩、地下连续墙等形式，除有部分围护结构隔断基坑内外水力联系外，其余均为“悬挂式”围护结构，坑内外地下水具有水力联系。本文以 B2－J1 为例，详细介绍本工程的引渗疏干降水技术。

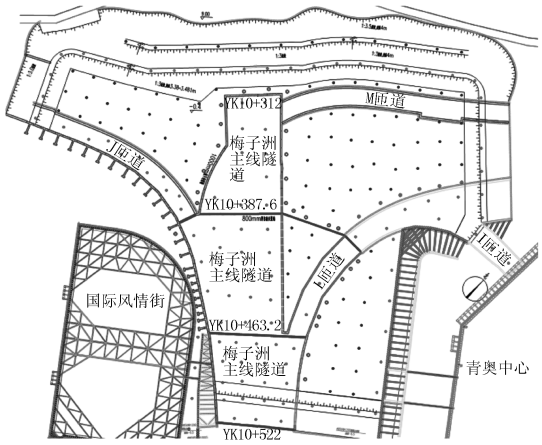

图 2 B2－J1 区平面布置图

2 地质及水文地质条件[1,5－7]

2.1 地形地貌

工程位于长江夹江东南岸，属长江古河道漫滩地貌区，长江为本区最大的地表水体，场地附近的夹江宽约 400 m，另外场地附近还分布有红旗南河、韩二河、江东南河。

2.2 岩土工程地质条件

南京长江漫滩地区第四系土层厚度 50～60 m，局部深度＞70 m。工程区第四系沉积物主要为河流相沉积，具有典型的二元结构特征，因此，自上而下形成多个含水层。其中近地表为浅层孔隙潜水含水层，主要为淤泥质粉质粘土夹粉土，透水性差，层厚 16.2～26.7 m，渗透系数 0.05～1.5 m/d；以下为承压含水层，承压水层表现为由上向下依次为粉土、中砂和粉质粘土混粗砂卵砾石等。本区地层结构见图 3。

2.3 水文地质条件

根据区域地质资料以及本工程岩土工程勘察

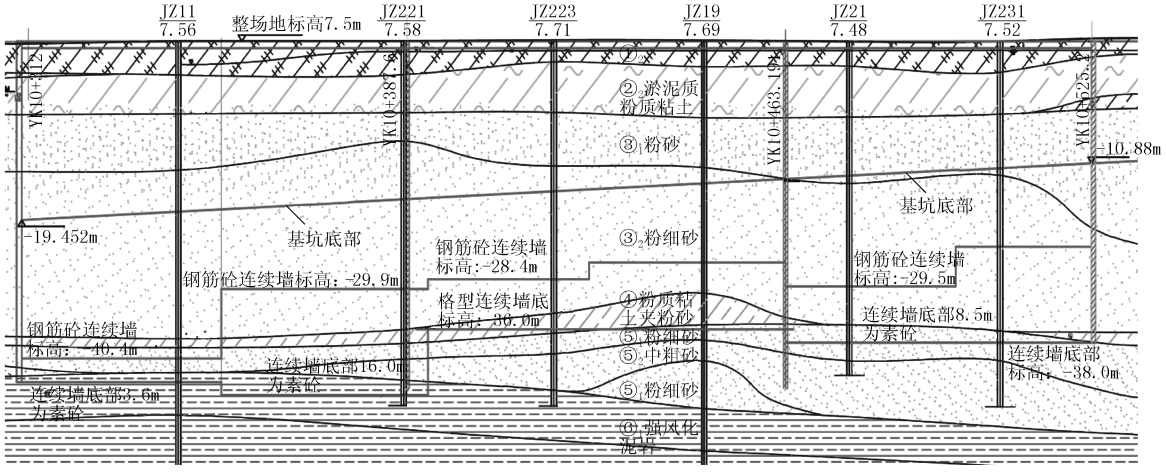

图 3 工程地质剖面图

资料,按照地基岩土层的含水层岩性、埋藏条件和地下水赋存条件、水力特征,场区地下水类型可分为松散岩类孔隙潜水、松散岩类孔隙承压水和基岩裂隙水。

第四系松散岩类孔隙潜水主要赋存于长江漫滩区上部地层,含水介质为粘性土、淤泥质土及粉土,厚度 6～30 m。其渗透性和富水性差,含水量贫乏,单井出水量一般小于 50 m^3/d,渗透系数多小于 0.1 m/d。地下水位埋深为 1.45～2.90 m,水位标高 4.55～8.47 m,水位变化主要受大气降水和长江水位的影响,年水位变幅一般为 0.5～1.0 m。

松散岩类孔隙承压水主要分布于基岩上部松散层中,其沉积物多呈二元或多元结构,上细下粗,在漫滩区由于上部覆盖淤泥质土及粘性土隔水层或弱透水层,下部多为承压含水层,含水介质主要为粉细砂、底部为卵砾石层,厚度 40～60 m,在长江河道区直接与江水相通。含水层的渗透性和富水性良好,单井涌水量在 500～1000 m^3/d,上部粉细砂渗透系数为 8.5～25.0 m/d,下部卵砾石层的渗透系数为 30.0～50.0 m/d,水位埋深 2.0～5.0 m,水位标高 3.50～6.20 m。上、下段之间局部有④层粉质粘土夹粉砂分布,厚 0～8 m,极不稳定,可视为相对隔水层。勘察期间水位埋深 1.50～5.50 m,水位标高 3.50～6.20 m,近长江处水位随江水位变化明显。

3　引渗疏干井设计

B2－J1 区基坑开挖面积约 5 万 m^2,整个基坑先放坡开挖至地面下 8 m,形成盆式基坑,再进行主线隧道及匝道基坑的施工。

3.1　放坡开挖引渗井设计

盆式基坑开挖范围内主要为淤泥质粉质粘土层,含水量高、透水性差,对土方开挖运行影响大;坑底下 1～2 m 则为③层粉砂、粉细砂承压含水层,透水性好、涌水量大。因此,盆式基坑开挖过程中,需要考虑开挖范围内的土体疏干以及下部承压含水层的减压降水问题。

整个盆式基坑面积大,无任何支撑体系,降水井的运行管理难度大,若每口降水井都安装水泵抽水,则场地内管线密布,对土方开挖影响很大,同时抽水的连续性也受土方开挖影响,势必会造成降水效果差的同时土方开挖进度慢等一系列问题。

为确保基坑安全,承压水位需降低至基底以下 1 m,而基底距离下部承压含水层较近,因此,可利用引渗疏干技术将开挖范围内的地下水引渗至下部承压含水层中,达到对开挖范围内的淤泥质粉质粘土进行疏干的目的。

3.1.1　降压井布置

放坡开挖属于敞开式降水,因此可采用《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)中的解析公式预测出总涌水量及单井出水能力,最后确定降压井数量。

3.1.1.1　基坑涌水量预测

根据水文地质条件分析,选用承压含水层非完整井稳定流计算公式[1,6]:

$$Q=\frac{2.73KMS_w}{\lg\frac{R_0}{r_0}+\frac{M-l}{l}\lg\left(1+0.2\frac{M}{r_0}\right)}=45170.97\ m^3/d$$

式中:Q——基坑总涌水量,m^3/d;K——渗透系数,根据抽水试验结果,取 18 m/d;M——含水层厚度,取 45 m;S_w——水位降深,取 8 m;l——滤管进入含水层深度,取 14 m;r_0——引用半径,$r_0=\sqrt{A/\pi}$,m;R_0——引用影响半径,$R_0=r_0+R=265$ m。

3.1.1.2　单井出水能力计算

可按下式进行计算[5]:

$$q=120\pi rl\sqrt[3]{K}\approx1381\ m^3/d$$

式中:q——单井出水能力,m^3/d;r——滤管半径,取 0.15 m;l——有效滤管长度,取 9 m;K——含水层渗透系数。

群井干扰抽水时,单井出水能力会大大减小,计算时取单井出水能力 $q=1000\ m^3/d$。

3.1.1.3　降压井数量计算

可根据下式计算:

$$n=1.1Q/q\approx50\ 口$$

式中:Q——总涌水量,m^3/d;q——单井出水能力,m^3/d;1.1——安全备用系数。

由于基坑开挖过程中,降压井必须保持连续抽水,因此井位应尽量少受现场施工影响。根据场地平面布置图,降压井分两圈布设,第一圈沿基坑边坡二级平台间距 15 m 布置 39 口;第二圈 11 口布置在主线隧道基坑外,可作为后期主线隧道基坑的坑外备用井使用。

二级平台上的降压井深 25 m,主线隧道基坑外降压井深 40 m;泥孔径为 750 mm;边坡上降水井易于保护,因此,采用造价低的内径 400 mm、外径 500

mm 的无砂混凝土滤管,而主线隧道的降压井则采用钢管,井结构见图 4。

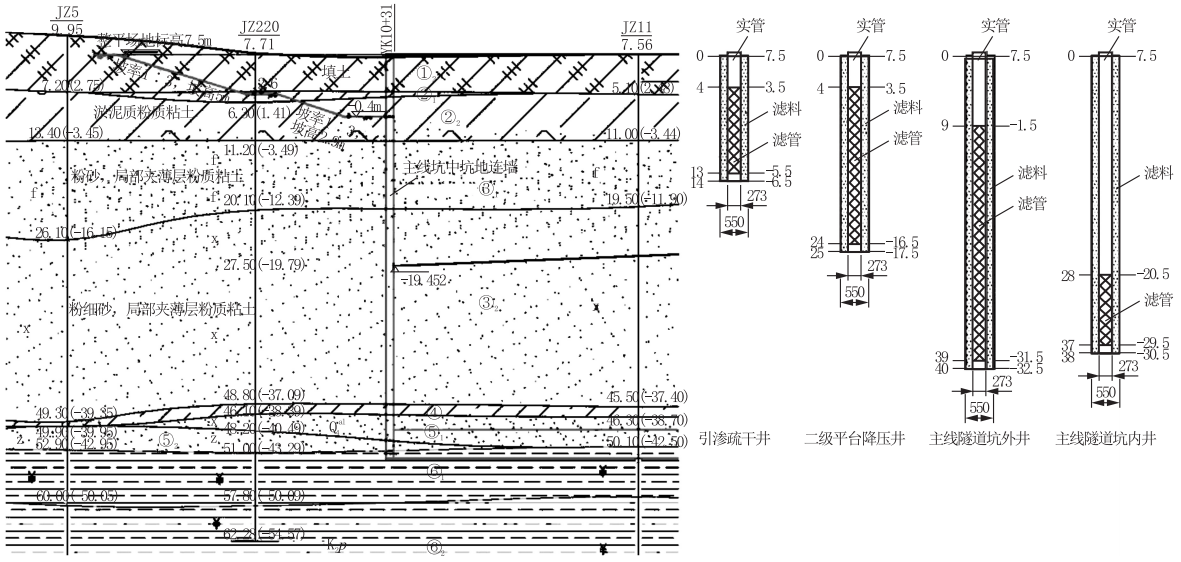

图 4 降水井结构示意图

3.1.2 引渗井布置

为便于土方开挖、运行及坑内施工作业,需对开挖范围内的土体进行疏干,提供一个干燥的作业环境。淤泥质粉质粘土层透水性差,其间地下水主要赋存在粉土、粉砂夹层中,不属于传统意义上的含水层,无解析公式可适用。因此,对此类地层的疏干通常根据单井有效疏干面积 $a_{井}$ 的经验值来确定,而经验值又根据疏干土体的特性及基坑的平面形状来确定,一般为 150～250 m^2。本次布置引渗疏干井时 $a_{井}$ 取 250 m^2,整个盆式基坑共布置 110 口疏干井(坑中坑区域除外)。

为便于洗井,增强引渗疏干井的质量,必要时也可对引渗井进行抽水。因此,本次采用安设井管的引渗井。考虑到土方开挖过程中,井管需不断拆除,本次管材选用单节长度为 1 m 的无砂混凝土管。

引渗井深 16 m,进入下部承压含水层 4～5 m,泥孔径为 600 mm;全孔为内径 300 mm、外径 360 mm 的无砂混凝土滤管,外包 80 目锦纶滤网;全孔投滤料。井结构见图 4。

3.2 坑中坑区域引渗井设计

坑中坑区域包括主线隧道及匝道,其中主线隧道围护结构采用地下连续墙,匝道采用灌注桩+三轴搅拌桩止水,基底均进入到③$_2$ 层粉细砂承压含水层中,水位需降低至基底以下 1 m。理论上,基坑内地下水位降低至基底以下 1 m 后,开挖范围内砂层中就不存在地下水。但根据地勘资料,③$_2$ 粉细砂层中"局部夹少量粉质粘土薄层,单层厚度 1～20 mm 不等",粉质粘土夹层的存在,再加上围护结构的止水作用,造成了含水层在垂直方向上的水力联系变差,在围护结构深度范围内形成多层地下水,会出现观测井水位已经位于基底,而开挖范围内却出现滞水的现象。

坑内降水井布置时,首先考虑的是将地下水位降低至基底以下。对基底以上地层的疏干问题,若增加疏干井,无疑将加大成本投入;若采用混合井,将增加降水井封井问题。因此,针对此种状况,坑中坑区域在降水井结构上采用引渗技术,滤管只设置在基底以下地层中,开挖范围内采用钢实管,滤料回填至初始地下水位附近,基底以下地下水通过滤管进入降水井,而开挖范围内的地下水则通过滤料渗入基底以下,即可达到将地下水位降低至基底以下,又可对开挖范围内土体进行疏干的目的,同时解决减少降水井后期封井问题(参见图 4)。

由于坑中坑降水受围护结构阻碍作用,地下水渗流较为复杂,降水计算需借助数值法,本文不展开详细论述。

4 结论

引渗疏干降水在本工程的成功应用,可以得出以下结论:

(1)基坑降水设计时,应充分分析场地水文地质

(下转第 77 页)

较容易—容易,适宜管道输送,用作填土的适宜性为尚可。

④层粉质粘土:采用耙吸、绞吸、链斗、抓斗、铲斗为较容易,经碎化后较适宜管道输送,但用作填土的适宜性较差。

⑤层细砂:采用耙吸、小功率绞吸、小抓斗均较难,采用大功率绞吸、链斗、大抓斗及铲斗为尚可—较易,适宜管道输送,用作填土的适宜性较好。

⑥层细砂:采用耙吸、绞吸、链斗和抓斗为较难—困难,采用铲斗尚可,适宜管道输送,用作填土的适宜性也较好。

⑦层粉质粘土:采用耙吸、绞吸、小链斗为较难—困难,采用大链斗、抓斗和铲斗为尚可—较易,经碎化后较适宜管道输送,用作填土的适宜性差。

⑧层细砂:采用耙吸、绞吸、链斗和抓斗为较难—困难,采用铲斗尚可,适宜管道输送,用作填土的适宜性也较好。

本工程采用 1980 国家高程基准,理论最低潮面标高为－0.864 m,按照疏浚清淤最大深度 3.0 m 考虑,只涉及本工程区浅层地层①②③层。其中第①层素填土主要是由人工修筑养殖池坝体形成,成分以粘性土和砂性土为主,第②层为可塑局部软塑的粉质粘土,第③层为松散饱和的粉砂。以上土层疏浚适宜性均较强。

6　结语

七里海潟湖湿地生态修复工程是典型的生态环境整治工程,而地质钻探是环境修复类项目中不可或缺的重要环节,通过地质钻探获取最基础、最真实的地层信息,可以为项目设计、施工提供有力依据。由此可见,钻探工程在生态环境修复与改造建设中发挥着重要作用。

参考文献:

[1] 昌黎黄金海岸科技培训中心勘察报告[R].河北秦皇岛:秦皇岛华勘岩土工程勘察有限责任公司,2010.
[2] 杨会利,袁振杰,高伟明.七里海泻湖湿地演变过程及其生态环境效应分析[J].湿地科学,2009,7(2),118－123.
[3] 周相国,聂洪玮.岩土工程勘察有关问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(7):1－4.
[4] 吉利.河北省廊坊市某小区岩土工程勘察及成果分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(12):32－35.
[5] 王维献.地铁工程勘察水域钻探油桶筏钻探平台的设计与安全保障措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(4):40－43.
[6] GB 50021—2001,岩土工程勘察规范[S].
[7] GB 50011—2010,建筑抗震设计规范[S].
[8] JGJ/T 87—2012,建筑工程地质勘探与取样技术规程[S].
[9] GB/T 50123—1999,土工试验方法标准[S].
[10] JTJ/T 320—96,疏浚岩土分类标准[S].

(上接第 72 页)

条件,合理利用地层条件进行降水设计。

(2)在多含水层系统、砂性土与粘性土互层区域,可结合基坑开挖条件、围护结构条件,采取引渗疏干技术。

(3)引渗井一般不下泵、不抽水,不存在用电、管线铺设、封井等问题,大大降低了材料及管理费用,在保证基坑疏干效果的同时,降低了工程造价。

根据本工程基坑不同部位开挖深度,结合上部地层主要为淤泥质粉质粘土层的特点,在其边坡上和一些开挖较浅基坑底部设置了引渗疏干井。引渗井的设置,保证了基坑疏干效果和边坡稳定;利于土方顺利快速开挖,同时还有利于基坑底板的快速浇筑,有效地保证了基坑快速封底,确保了基坑开挖安全。该深大基坑工程引渗降水技术的成功实施对今后类似工程具有重大的参考意义。

参考文献:

[1] 刘清文,车灿辉.长江漫滩复杂地层条件下超大超深基坑降水设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(5):54－59.
[2] 史庆涛.放坡开挖基坑内套直立开挖基坑施工技术[J].施工技术,2015,44(S2):123－125.
[3] 濮仕坤,李二兵,谭跃虎,等.复杂条件下多梯度基坑施工力学效应分析[J].施工技术,2017,46(1):28－31.
[4] 李成勋.南京青奥轴线地下工程施工现场风险管理——以 B2－J1 区地下立交段施工为例[J].信息化建设,2015,(3):106－108.
[5] 范永芳.地下水回灌在基坑工程周边环境保护中的应用[J].中国科技信息,2014,(11): 85－88.
[6] 耿会勇.长江沿岸深基坑长期降水条件下周围建筑物沉降控制技术研究[D].山东青岛:青岛理工大学,2015.
[7] 沈通.复杂地质条件下超大不规则基坑支护与降水方案研究[D].江苏南京:南京大学,2017.
[8] 耿会勇.长江漫滩地区长大隧道分区降水设计与应用研究[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2013,(S2):212－214.