

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2021.12.053

井点降水技术在市政道路工程中的应用

朱荣军, 曾惠芬

[悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司, 江苏 苏州 215000]

摘 要:我国东南沿海地区由于其独特的区位优势,成为发展各类产业园的首选地区,但其地下水位普遍较高、土质松软,为工程建设带来了一定困难。通过项目实践,介绍了井点降水在市政道路施工中的运用,并提供了理论公式与有限元计算的分析,表明了井点降水技术适用于有一定透水性的土体,该工法在路基施工、地下管线施工时起到了提升土体工程特性,保证管线顺利开挖施工的作用,具有良好的可行性和经济性。

关键词:井点降水;管线施工;市政道路

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)12-0187-04

0 引 言

井点降水常见于深基坑开挖过程中,通过降水和隔水墙使地下水位低于基坑底部,使施工得以安全进行。在滨海地区,地下水位较高、土壤含水量高的场地进行市政道路施工时,井点降水可以起到增加土壤固结度、提高土壤强度、保障管线施工的作用,具有广泛的应用价值。本文结合了苏州盐城沿海合作开发园区市政道路工程,介绍了井点降水在市政道路工程的设计原理与方法。

1 工程概况

苏州盐城沿海合作开发园区是 2013 年经苏州市政府和盐城市政府携手共建的沿海合作开发园区,落户于盐城大丰市。大丰市属于淤积平原,地形南宽北窄,呈不规则的三角形,似葫芦,全市地势东高西低,南高北低。中部老斗龙港两侧为槽形洼地,地面标高在 2.2 ~ 2.8 m 之间。东南部川东港以南地区为高亢地,海岸线长 112 km,滩涂面积约 140 多万亩。

苏盐沿海合作开发园区规划总面积 50.5 km²,采取“一区两园”的发展模式,着力建设先进制造业集聚区、机制创新试验区、现代服务业示范区、临港产业承载区,打造南北共建的示范区,推进区域协调发展。

拟建启动区由同庆路、丰朗路等道路组成,其设计技术指标作为后续片区开发建设的技术标准,启

动区道路工程设计方案既要合理性又要经济性,具有重要的指导意义。

2 地质情况

大丰市地处江苏沿海,淮河流域尾间,苏北滨海淤积平原的中段,里下河腹部地区下游。拟建场地勘察揭示 81.30 m 以浅各土层主要为全新世和晚更新世松散堆积层,由第四系人工堆填土、滨海相沉积砂性土及粘性土组成,周边河道、灌溉渠水面及潜水稳定水位标高在 1.45 m 左右,与河道水位基本持平。对比软土鉴别指标含水量 30%,天然孔隙比 0.9,该项目内土体含水量为 24.3% ~ 26.3%,孔隙比 0.63 ~ 0.76,且压缩性中等偏差为主。因此,本项目内土体并不属典型的软土,路基技术处理可结合道路与管线基础同步协调处理。

3 路基设计处理方法

本项目内土体工程性质一般,无软弱土层,潜层以粉土为层为主承载力为 80 kPa,地下水位较高。综合比选后需对土路基进行浅层换填结合降低地下水处理,使土体满足路基使用要求。

填筑前清除表层 30 cm 素(回)填土,超挖至车行道路床下 120 cm,分层采用 6% 石灰土 + 路床下 80 ~ 120 cm 4% 水泥石灰土回填,路床下 80 cm 采用 8% 石灰土回填至路面结构底。

因道路埋设有污水主管及雨水管等各类市政管线,需采取降水措施保证基坑开挖时不渗水,防止边坡失稳及流砂。降低地下水可防止管道施工时基坑渗水,保证基坑坡面稳定,同时可降低土体含水量,提高

收稿日期: 2021-09-17

作者简介: 朱荣军(1974—),男,博士,高级工程师,从事道路交通设计工作。

土体固结度,增加承载力,降低地下水位是路基及管道施工的首要目标。

4 井点降水技术的应用

4.1 降水目的

市政道路新建工程常采用开挖施工,但过高的地下水会对工程施工有影响,且污水管道等施工开挖面均低于地下水位,地下水将不断渗入开挖的基坑内,造成坑内地基土强度降低、压缩性增大,施工质量堪忧。若放坡施工,则将使边坡失稳并产生流砂的可能。

本工程同庆路路幅内设有污水主管,设计管底标高为 -3.5 m ;雨水管管底标高最低为 0.2 m ,污水管与雨水管沟槽底部标高最低分别为 -4.0 m 和 -0.3 m ,管道沟槽采用明挖施工。该区域地下水位标高约 1.45 m ,为保证开挖后沟槽底部施工质量,改善沟槽底土壤含水量,增强地基承载力,减少压缩性,设计采取井点降水措施,要求水位降至基坑底下 0.5 m 处,见图1。

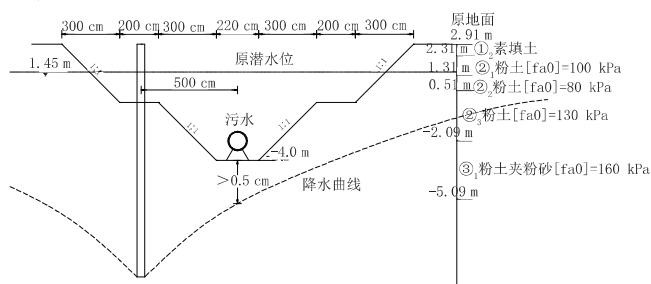


图1 井点降水曲线与基坑相对位置图

4.2 降水方法

拟建同庆路基坑底部主要为粉土和粉土夹粉砂层,根据渗透试验显示,透水系数建议值为 $5.0 \times 10^{-4}\text{ cm/s}$,属弱透水。因透水系数偏低,如采用开挖沟渠将无法达到理想的排水效果。设计采用了强制式降水方式,即井点降水,该方法能克服流砂现象,稳定基坑边坡,降低承压水位,防止坑底隆起并加快土层固结。

井点降水有轻型井点(单级、多级轻型井点)、喷射井点、电渗井点、管井井点和深井井点等不同工法,由于本工程为市政道路,属非建筑的基坑开挖,降水区域为带状,设计采用增大井间距,减少井点数量可有效降低工程成本,且为降低对施工机械的干扰影响要求井点设置不宜过密。但轻型井点井间距较近,一般为 $1\sim 5\text{ m}$,并需设置集水总管和井外排水泵^[1],在实际施工过程中较为复杂,成本较高。基于此本项目采用了深井井点,该工法使地下水通过设置

在井管内的潜水电泵将地下水抽出,具有排水量大,降水深,不受吸程限制,排水效果好的优点;井距大($10\sim 30\text{ m}$),对平面布置的施工干扰较小。

4.3 降水设计

井点降水的设计需结合实际路幅布置,在 30 m 宽的拟建同庆路,采取单排井点降水,将排水井布置在道路中分带位置。根据当地的水文地质条件,设计使用经验公式进行设计计算。井点的计算内容包括:井点深度的确定、涌水量的计算、井点管间距的确定和抽水设备的选择。受水文地质和井点设备等多种因素的影响,理论计算值只作为近似参考值。井点管的埋置深度 H_A (不包括滤管)可根据工程具体情况按式(1)计算。

$$H_A \geq H_1 + h + iL \quad (1)$$

式中: H_1 为井点管埋设面至基坑底部的高差; h 为基槽中心线底面至地下水位降低后水位线的距离,一般为 $0.5\sim 1.0\text{ m}$; i 为地下水降落坡度,单排井点可取 $1/4\sim 1/5$; L 为井点管至基坑中心线的距离。

该工法主要用于粉土、粉砂内浅层降水,对应的井类型为无压非完整井,涌水量计算时考虑 50 m 井段进行计算。根据基坑的长宽比大于 10 ,确定为窄长式基坑,总涌水量 Q 由式(2)计算得出,而非在基坑工程中常见的虚拟圆环法^[2]。

$$Q = \frac{KL(2H-S)S}{R} \quad (2)$$

式中: Q 为总涌水量, m^3/d ; K 为土层渗透系数, m/d ; H 为含水层厚度, m ; S 为水位降低值, m ; R 为抽水影响半径,由式(3)得出:

$$R = 1.95S\sqrt{HK} \quad (3)$$

单井最大涌水量主要取决于井点管滤管的半径与长度以及土层的渗透系数,由式(4)得:

$$q = 120\pi rl^3\sqrt{K} \quad (4)$$

式中: q 为单井涌水量, m^3/d ; l 为过滤器进水部分长度, m ; r 为过滤器半径, m 。

在 50 m 井段内,井点管最少根数 $n_{\min}$ 可根据总涌水量和单井涌水量由式(5)得出

$$n_{\min} = \frac{1.1Q}{q} \quad (5)$$

由此也可得出 50 m 井段内井点管的最大间距 $D_{\max}$ 见式(6):

$$D_{\max} = \frac{50}{n_{\min}} \quad (6)$$

抽水设备的选择主要应考虑满足流量和扬程的

要求,水泵功率的计算见式(7):

$$W=1.34 \times 10^{-4} \frac{KQH_0}{\eta_1 \eta_2} \quad (7)$$

式中: H_0 为包括扬水、吸水以及由各种阻力所造成的水头损失在内的高度总和,引进 η_1 后可将 H_0 近似为 H_A ; k 为安全系数,一般为2; η_1 为水头损失系数,取0.4~0.5; η_2 为水泵效率系数,取0.75~0.85。

由上述公式计算得出,在设计道路中央每50 m井段设置4个深井井点即可满足降水要求,设计井点间距为12.5 m。单井涌水量理论结果为92.5 m³/d,井深计算设计为8 m,考虑到水文地质条件的不确定性,实际井深采用12 m以保证降水效果。路宽50 m的丰朗路由于路幅较宽,在中央分隔带设置单排排水井无法满足路幅宽度的降水需求,故分别在道路两侧机非分隔带中分别设置排水井。井点降水处理在道路上路堤40 cm水泥石灰土施工完成后拆除以满足施工期降水要求。

5 有限元计算

通过经验公式设计计算深井井点的布置可简便得出设计结果,但由于经验性过强,计算有失精确,且经验公式法是对地下水渗流三维空间的简化,基于了土体的均匀性及各项同性的假设,随着有限元分析软件不断发展,通过数值模拟法来精确地进行渗流分析地下水在井点降水后的水头空间分布情况,并可考虑到土体的各项异性以及土体的变化,在工程设计实践中是可行有效的。

5.1 理论原理

本次计算模拟在井点处不断抽水后,井点附近地下水位随之降低,但地下水由离井点群中心线30 m外的定水头边界不断补给,当地下水位降低至目标高度时,地下水补给流量与井点抽水流量相等,达到稳定状态,采用三维稳定流数学模型计算^[3],见式(8)。

$$\begin{cases} T\left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2}\right) = 0 \\ H|_{B_1} = H_1(x, y, z), (x, y, z) \in B_1 \\ \frac{\partial H}{\partial n} = 0, (x, y, z) \in B_2 \end{cases} \quad (8)$$

式中: $T=K(H-Z)$ (无压水时), K 为渗透系数, Z 为含水层底板标高, H 为水头; B_1 为定水头边界,即一类边界; $H_1(x, y, z)$ 为第一类边界定水头值; B_2 为零流量边界。

5.2 模型设计

在假设土体均为各项同性情况下,单排井点降

水后,地下水水头的分布具有良好的对称性,故仅需用有限元数值分析最小对称单元的水位降低情况即可。

由于本有限元模型主要研究土体内潜水的渗透情况,浅层潜水主要储存在粉土层内,渗透系数建议值为 5×10^{-4} m/s,下有粘土层可作为不透水底面,标高-17m,地面标高约为3 m,因此土体可简化为一层20 m厚的粉土。

在理论计算模型中,由于对土体的简化,以及深井的平面排布呈一直线,具有良好的对称性,仅需通过有限元软件对其中最小的对称单元进行数值模拟即可得到预想的计算结果。本次模型计算的计算单元划分见图2,井点布置在 XX 轴上,间距12 m,渗透计算结果应关于 xx 轴对称, yy 轴于井点中心垂直 x 轴, $y'y'$ 轴为相邻井点的对称轴,都应为计算结果的对称轴。这三类对称轴有垂直于对称轴方向的渗透流速为0的特性,即可认为是零流量边界。这三类对称轴可划分得出最小计算单元为30 m×6 m×20 m的土体,并在井点处设置一个1/4圆弧面用来模拟井点,井点12 m深,井底渗透面为1.5 m厚。

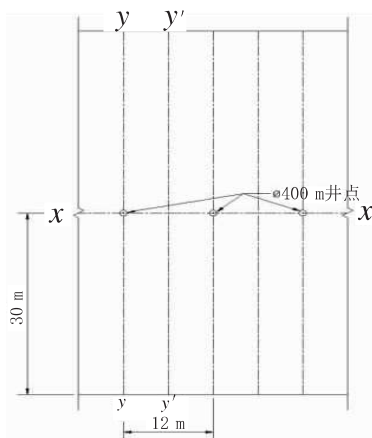


图2 理论模型简化对称轴示意图

边界条件的确定直接决定了有限元模型的计算结果。在本次计算中,参考经验公式得出的抽水影响半径,离井点中心线30 m处的土体内水位被设定为1.5 m,与地下潜水位一致,井点处水位设置为井底,即-9 m。

网格划分是有限元分析中的重要环节,合适的网格划分可以保持计算精度与计算速度的平衡。在本项目中,采用四面体网格的形式,整体网格精度为0.5 m,在井点附近提高网格划分的精度至0.05 m,以保证计算精度,模型见图3。

5.3 计算结果

数值计算结果的水头见图4、图5,可见在靠近

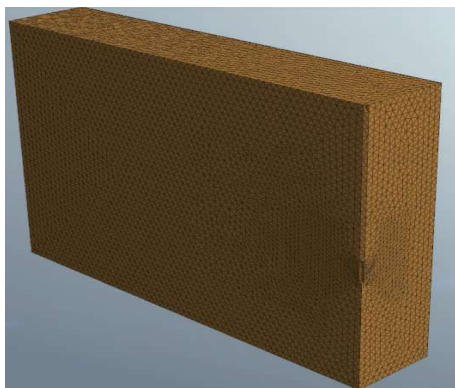


图3 有限元模型网格划分示意图

井点处,水头等势面呈漏斗状,与理论情况符合,远离井点中心处,水头分布近似线性分布,符合长窄形基坑降水的结果。根据零水头等势面,可见基坑中心处地下水位深 7.62 m,即标高 -4.62,满足低于基坑底部 0.5 m 的要求。同时渗流分析也得出了单井涌水量,为 $22.9 \text{ m}^3/\text{d}$,约为理论值的 1/4。

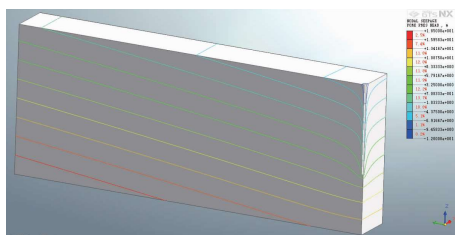


图4 有限元模型水压头计算结果

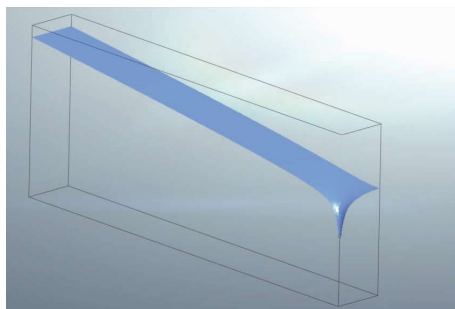


图5 有限元模型计算结果零水头等势面

6 施工现场效果

图6左图所示在采取降水措施之前,场地内土质偏软较泥泞,施工设备及人员进场施工较困难。基

坑开挖一昼夜时间,坑内便会渗入大量地下水,基坑内管线施工无法进行,边坡不稳。



图6 井点降水前后现场土质情况

图6右图所示井点降水后,由于地下水位降低,坑内涌水问题得到解决,土壤固结,工程性能得到了明显提高,基坑边坡得以稳定。施工器械和人员能顺利进场并安全施工。以此可证明井点降水工法在高地下水位,低渗透性土层的地区进行市政道路施工时,有广泛的应用价值。

7 结语

在沿海地区进行基础设施开发是我国经济发展的趋势,在这类高地下水,土壤具有一定渗透性的地区,井点降水不仅限于建筑基坑开挖,在市政道路建设中也有广泛的应用价值。

相较于常见的地基处理方法,井点降水法经济性强,效果良好,可有效提高土体固结程度,保证边坡稳定,保障市政管线及道路路基安全稳定。在土质较差工况下,井点降水后土体性能的提升可有效减少地基处理的工作量,节约工程经济,在新建开发区等建设资金较紧张的片区开发建设中有较大的实用参考意义。

参考文献:

- [1] 于海洋.单排轻型密布井点降水在基槽开挖施工中的应用[J].市政技术,2010(9):128-129.
- [2] 赵志缙,应惠清.简明深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [3] 吴林高.工程降水设计施工与基坑渗流理论[M].北京:人民交通出版社,2003.

(上接第186页)

维激光扫描技术在桥梁墩柱垂直度测量过程中的应用和计算方法。同时,结合实际墩柱测量结果,得出该方法与传统方法测量结果一致,且测量精确度较高。因此,对于桥梁墩柱或类似高耸建筑的垂直度测量均具有一定的实际应用前景。

参考文献:

- [1] 舒乐,李冲.高速公路高墩桥梁垂直度无接触快速检测技术研究[J].

交通世界,2019(36):78-79.

- [2] 余加勇,邵旭东,朱建军,等.柱状构筑物垂直度非接触检测方法及其精度分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2008,32(6):1153-1156.
- [3] 寇广明.浅谈桥梁墩柱垂直度的测量控制方法[J].西南公路,2015(3):26-27,39.
- [4] 刘亚杰,丁克良,关士新,等.桥梁高墩柱垂直度的快速检测方法研究[J].山东建筑大学学报,2018(33):33-37.