

临近河流地铁车站深基坑降水施工技术

李金昌*

中铁十四局集团第四工程有限公司, 山东 250000

摘要: 本文主要介绍了利用井管降水实现临河地段地铁车站深基坑土体降水的分析与实施, 根据宁波市轨道交通5号线雅渡站基坑降水施工的实例, 详细介绍了基坑抗突涌、基底稳定验算以及降水井设计的相关内容, 同时对降水施工要点做了详细地说明, 以期为相似临水临河段深基坑降水施工提供理论依据。

关键词: 临河; 深基坑降水; 抗突涌; 泄压井; 沉降

De-watering Construction Technology of Subway Station Deep Foundation Pit near Rivers

Jin-Chang Li*

China Railway 14th Bureau Group 4th Engineering Co., Ltd., Jinan 250000, Shandong, China

Abstract: This paper introduces the analysis and implementation of using well pipe de-watering to realize the de-watering of the deep foundation pit soil of the subway station near the river. According to the example of the de-watering construction of the foundation pit of Yadu station of Ningbo Rail Transit Line 5, it introduces relevant contents of the anti inrush of the foundation pit, the checking calculation of the stability of the basement and the design of the de-watering well in detail. At the same time, it explains key points of de-watering construction in detail in order to provide a theoretical basis for the de-watering construction of similar deep foundation pit section near rivers and waters.

Keywords: Near rivers; de-watering of deep foundation pit; anti inrush; relief well; sedimentation

一、工程概况

宁波市轨道交通5号线一期工程雅渡站起止里程SDK7+100.056~SDK7+308.056, 为地下两层岛式站台车站, 车站全长约208 m。标准段基坑宽度为19.7 m, 基坑深度为16.342 m, 西端盾构井基坑深18.194 m, 东端盾构井基坑深17.778 m。车站北侧有现状河流一条, 名为横五河, 与主体车站最近距离为26.2 m, 距附属基坑最近距离为2 m。车站与横五河位置关系见图1。



图1 车站与横五河位置关系

由于主体车站靠近横五河, 基坑开挖时易发生突涌, 对基坑降水要求较高, 降水施工难度较大复杂性较高。根据地下水含水空间介质和水理、水动力特征及其赋存条件, 雅渡站沿线地下水主要为第四系孔隙潜水类型、孔隙承压

*通讯作者: 李金昌, 1987年3月, 男, 汉族, 山东济南人, 就职于中铁十四局集团第四工程有限公司, 工程师, 本科。研究方向: 土木工程。

水、基岩裂隙水。车站孔隙承压水主要赋存于土层中部第⑤1T、⑥4a层承压含水层和土层深部第⑦、⑧、⑨层承压含水层中。雅渡站工程地质剖面图见图2。由于基坑围护已隔断⑤1T层，层厚较薄并局部分布接近基坑底，基坑收底时易形成较严重的滞水现象，采用泄压井在坑内泄压；由于基坑围护未深入⑥4a层中，基本属于敞开式降水，对于⑥4a层，根据“按需减压”原则用降水井进行降水，保证基坑施工安全。基坑内布置降水井的同时在基坑外布置水位观测兼备用井，用以检验坑内降水效果及应急备用。

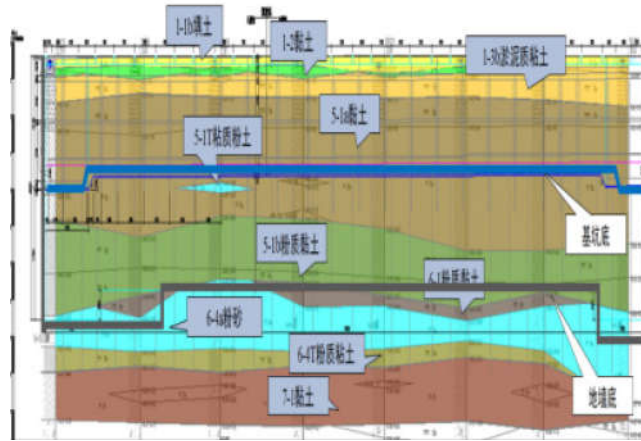


图2 雅渡站工程地质剖面图

二、基坑抗突涌和稳定性验算

(一) 抗突涌稳定性验算

采用安全系数法对雅渡站基坑稳定性分析^[1]。

基坑底板的稳定条件：基坑底板至承压含水层顶板间的土压力应大于承压水的顶托力，即：

$$P_{ce} / P_{wy} = (H \cdot \gamma_s) / (\gamma_w \cdot h) \geq F_s \text{ 式中:}$$

P_{ce} ：基坑底至承压含水层顶板间土压力 (Pa)；

P_{wy} ：承压水头高度至承压含水层顶板间的水压力 (Pa)；

H ：基坑底至承压含水层顶板间距离 (m)；

γ_s ：基坑底至承压含水层顶板间土的加权平均重度 (KN/m³)；

h ：承压水头高度至承压含水层顶板的距离 (m)

γ_w ：水的重度 (KN/m³)，取10KN/m³；

F_s ：安全系数，取1.10；

计算中使用地勘报告中给出的地基土物理力学性质指标建议表中的数据。

对本工程有影响的孔隙承压含水层为⑤1T层黏质粉土、⑥4a层粉砂。

1. 第⑤1T层顶距坑底最小处为0.7 m，该承压水层最大厚度约1.5 m，且被地下连续墙隔断，基坑收底时易形成较严重的滞水现象，采用泄压井在坑内泄压。

2. 第⑥4a层在车站整体分布，取最不利位置进行验算（靠近S5XZ2地质钻孔），小里程端头井基坑底至承压含水层顶板间土的层厚为16 m，⑤1a层4.983 m（重度1.96）、⑤1b层5.989 m（重度1.92）、⑤4a层5.019 m（重度1.91），经计算土层加权平均重度为19.3，场地内⑥4a层最浅水位在+1.7 m左右，为确保基坑安全，计算时采用+1.7 m进行计算，地面标高3.3 m，承压含水层顶面标高-31.15 m，则：

小里程端头井开挖深度约18.2 m，

$$P_{ce} = H \cdot \gamma_s = 16 \times 19.3 \approx 308.8 \text{ KPa};$$

$$P_{wy} = \gamma_w \cdot h = (1.7 + 31.15) \times 10.0 \approx 328.5 \text{ KPa};$$

$$F_s = P_{ce} / P_{wy} = 308.8 / 328.5 \approx 0.94 < 1.10;$$

通过验算，在雅渡站小里程端头井基坑开挖过程可能存在突涌，为确保开挖安全，需进行降水。

3. 第⑥4a层在标准段基坑底至承压含水层顶板间土的总层厚为13.9 m (参照S5XZ6地质钻孔), ⑤1a层5.316 m (重度1.96)、⑤1b层7.201 m (重度1.92)、⑤4a层1.4 m (重度1.91), 经计算土层加权平均重度为19.3, 场地内⑥4a层最浅水位在+1.7 m左右, 为确保基坑安全, 计算时采用+1.7 m进行计算, 地面标高3.3 m, 承压含水层顶面标高-27.29 m, 则:

小里程标准段开挖深度约16.3 m,

$$P_{cz} = H \cdot \gamma_s = 13.9 \times 19.3 \approx 268.27 \text{ KPa};$$

$$P_{wy} = \gamma_w \cdot h = (1.7 + 27.29) \times 10.0 \approx 289.9 \text{ KPa};$$

$$F_s = P_{cz} / P_{wy} = 268.27 / 289.9 \approx 0.93 < 1.10;$$

通过验算, 在雅渡站标准段开挖过程可能存在突涌, 为确保开挖安全, 需进行降水。

4. 第⑥4a层在大里程端头井基坑底至承压含水层顶板间土的总层厚为16.3 m (靠近S5XZ17地质钻孔), ⑤1a层7.883 m (重度1.96)、⑤1b层4.596 m (重度1.92)、⑤4a层3.78 m (重度1.91), 经计算土层加权平均重度为19.3, 场地内⑥4a层最浅水位在+1.7 m左右, 为确保基坑安全, 计算时采用+1.7 m进行计算, 地面标高3.3 m, 承压含水层顶面标高-31.1 m, 则:

大里程标准段开挖深度约17.7 m,

$$P_{cz} = H \cdot \gamma_s = 16.3 \times 19.3 \approx 314.59 \text{ KPa};$$

$$P_{wy} = \gamma_w \cdot h = (1.7 + 31.1) \times 10.0 \approx 328 \text{ KPa};$$

$$F_s = P_{cz} / P_{wy} = 314.59 / 328 \approx 0.96 < 1.10 \text{ (有突涌可能性)};$$

通过验算, 在雅渡站大里程端头井基坑开挖过程可能有突涌, 为确保开挖安全, 需进行降水。

(二) 基坑安全稳定性计算

1. 安全降深计算

取安全系数1.10进行稳定性计算^[2]。

主体基坑开挖深度17.7 m时,

$$F_s = P_{cz} / P_{wy} = 1.10,$$

$$h_1 = H \times \gamma_s / \gamma_w / 1.1 = (16.3 \times 19.3) / 10 / 1.1 = 28.6 \text{ m}$$

$$S_w = h - h_1 = 32.8 - 28.6 = 4.2 \text{ m},$$

$$h_2 = H_0 - S_w = 1.7 - 1.8 = -2.5 \text{ m}。$$

即车站开挖到17.7 m最大设计深度时, 基坑水头的最小降深为4.2 m (以承压水水头1.7 m计算), 承压水水位降至-2.5 m。

S_w — 承压水含水层水头最小降深 (m)

h_1 — 降水后承压水头高度至承压含水层顶板的距离 (m)

h_2 — 降水后承压水水位 (m)

H_0 — 承压水最浅水位 (m)

2. 安全开挖临界深度

取安全系数1.10,

$$F_s = P_{cz} / P_{wy} = 1.10,$$

$$P_{cz} = 360.8 \text{ Kpa};$$

$$(17.7 - h_3) \times 19.3 + 314.59 = 360.8$$

$$h_3 = 15.3 \text{ m}$$

h_3 — 开挖临界深度 (m)

根据“按需降水”原则, 当基坑开挖到15.3 m前20天开始启动降水。为保证基坑施工安全, 降水时间要结合情况减小到最小以对周边环境的影响为最小, 降水工程实际开始时间需根据实际水位进行计算, 确定降水启动时间^[3]。计算结果见表1。

表1 基坑降水计算结果表

承压含水层	工程部位	地面标高 (m)	坑底标高 (m)	承压含水层顶板标高 (m)	承压水顶托力 (kPa)	覆土压力 (hys) (kPa)	降深 (m)	临界开挖标高 (m)
⑥4a粉砂	小里程端头	3.0	-15.20	-31.15	328.5	308.8	4.75	-12.5
	标准段		-13.3	-27.29	289.9	268.27	4.6	-10.6
	大里程端头		-14.7	-31.1	328	314.6	4.2	-13.3

三、基坑降水设计

(一) 泄压性降水设计

为确保基坑顺利开挖，需泄压⑤1T层中的地下水。布置泄压井时，按单井有效降水面积的经验值并结合基坑土层性质、基坑尺寸、基坑平面形状和位置确定，满足基坑开挖及施工要求，确保基坑施工安全、顺利进行^[4]。因⑤1T层承压水呈局部分布，设置一口泄压井，本工程基坑围护结构已隔断基坑内外潜水的水力联系，开挖深度范围内总涌水量可根据下式计算：

$$W = \mu \times V = \mu \times A \times M$$

W：应抽出的水体积 (m³)

V：含水层体积 (m³)

A：含水层面积 (m²)

M：泄压含水层厚度 (m)

μ：含水层给水度（给水度经验值为0.05~0.10）

根据此计算式对基坑进行总泄压水量计算如下：

⑤1T层含水层长度为27 m、宽度为19.7 m，含水层最大厚度1.5 m，泄压范围内均为给水度取0.05。

由此计算基坑需泄压的总水量为：

$$W_{A1} = 0.05 \times 27 \times 19.7 \times 1.5 \approx 40 \text{ m}^3$$

根据长期的降水经验，结合本次降水井井结构、地层情况，对于本工程基坑初始降水时最大单井涌水量为20.0~50 m³/d，抽水量随抽水天数增加逐渐减小，平均日单井涌水量约10.0 m³/d。

则基坑单日总出水量分别为：

抽水天数T = 基坑总储水量W ÷ 单日出水量Q，则基坑抽水天数计算如下：

$$T_A = W_A / Q_A = 40 / 10 \approx 4 \text{ d}$$

依据上面的井数计算，在本工程基坑内共布置泄压井1口。

(二) 降压性降水设计

第⑥4a层降压设计，采用井点降低承压水水头能满足基坑开挖要求，保证基坑稳定安全。承压含水层平均厚度6 m左右。取渗透系数k = 33，基坑总涌水量按地下连续墙未隔断第⑥4a承压含水层基坑内外水力联系进行计算，计算式如下：

$$Q = 2.73k \frac{MS_w}{\lg \frac{R_0 + r_0}{r_0}}$$

式中：Q — 基坑总涌水量；

k — 含水层渗透系数；

S_w — 基坑水位最小安全降深 (m)；

M — 承压含水层厚度 (m)；

R₀ — 抽水影响半径 (m)；

r₀ — 基坑等效半径 (m)。

本工程降压具体计算如下：

考虑到基坑开挖安全，按最大水位降深S_w = 4.75 m，主体结构基坑等效半径r₀ = 1.10 × (19.7 + 208) / 4 ≈ 60 m，抽水影

响半径 $R_0 = 200\text{ m}$ ，均质含水层承压水完整井基坑涌水量公式计算：

$$Q = 2.73 \times 33 \times 6 \times 4.75 / \lg((200+60)/60) \approx 4031\text{ m}^3/\text{d}$$

单井涌水量计算

管井的单井出水能力可按下式进行计算：

$$q^0 = 120\pi r_s k(1/3) \quad (\text{《建筑基坑支护技术规程》7.3.11})$$

q^0 — 单井出水能力 (m^3/d)

r_s — 过滤器半径 (m)

l — 过滤器进水部分长度 (m)

k — 含水层渗透系数 (m/d)

可求得： $q^0 = 120 \times 3.14 \times 0.1365 \times 5 \times 33(1/3) \approx 800\text{ m}^3/\text{d}$

降水井数量 $n = 1.1Q/q^0 \approx 5$ 口

所以现场布置1口泄压井5口降水井，4口观测兼备用井，降水井平面布置图见图3。

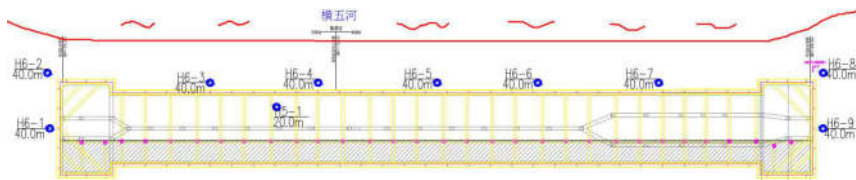


图3 降水井平面布置图

四、预估沉降计算

根据勘察报告提供的土层特质（含水层埋深、厚度）建立⑥4a层基坑降水等值线模型，根据降水等值线模型进行预测，将计算区域边界外扩一定范围，以消除边界对模拟结果的影响^[5]。分局计算的平面范围、地层特性、初始条件和边界条件，同时考虑抽水井、观测井在离散模型中的空间位置，对计算区域进行分析离散，建立三维计算数值模型。⑥4a层基坑降水等值线图见图4。基坑降水等值线图见图4。

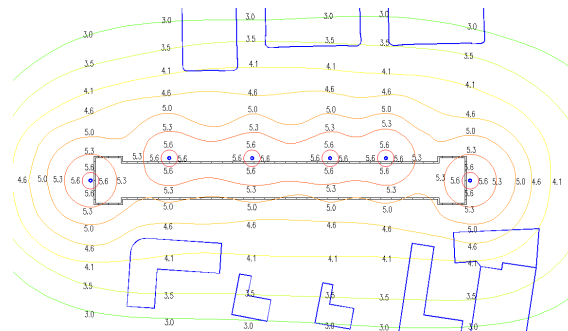


图4 ⑥4a层基坑降水等值线图

通过理论计算分析，可以总结得到地面沉降因降水发生的变化规律。⑥4a层敞开式减压降水后，预估产生的地面沉降如图5所示：

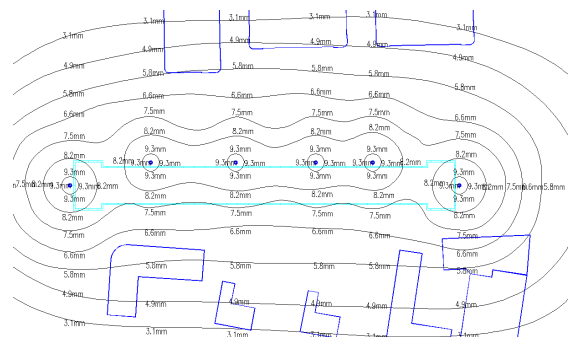


图5 预估周边地面沉降等值线图

五、施工注意事项

(一) 井位放样

根据雅渡站降水井平面布置图,使用全站仪或GPS确定井位位置,井位位置确定完毕后做好相应标记。当地面有障碍物影响降水井布设时,可做适当调整降水井位置,确保降水井施工能安全有序进行^[6]。

(二) 埋放护筒

为防止孔口坍塌,对空口应采用护筒保护,同时对埋设护筒进行外围封堵防止防止浆液外返,护筒的埋设高度不少于地面上30 cm。

(三) 钻机就位

选用GPS-10型工程钻机进行成孔,钻机安装需平稳牢固,钻机大钩对准孔位中心,使转盘、大钩、井孔中心在一条直线上。

(四) 钻进成孔

降水井直径为 $\text{O}600$ mm,开孔时应轻压慢转,以保证垂直度。钻进时一般采用自然造浆钻进,遇砂层较厚时,应人工制备泥浆护壁,泥浆密度控制在1.10~1.15。当提升钻具和临时钻停时,孔内应压满泥浆,防止孔壁坍塌。钻进时按指定钻孔、深度采取土样,核对含水层深度、范围及颗粒组成^[7]。

(五) 清孔换浆

清孔换浆是成井质量的关键,直接影响成井质量,首次清孔尤为重要。若清孔换浆没有达到规定要求,则绝不能进入下一工序。到达设计标高后,提升钻具至距孔底0.5 m处,采用泥浆泵清孔,直至孔内沉淤小于0.2 m,清孔过程中将泥浆比重调至1.05左右。

(六) 井管下放

滤水管外包2~3层尼龙网,下放井管使用直接提吊法。现场使用管材应进行质量验收,符合标准。下管时要保证井管居中,井管之间满焊,且焊缝高度不小于8 mm,焊接完成后敲掉焊渣,焊接时应保证焊缝均匀,饱满,不对接口处钢环造成破坏,应安排专人进行盯控,严格控制焊接质量,焊接井管应垂直且不透水。井管下放要一次性连续完成,避免中途孔内坍塌、沉淀过厚等造成二次清孔。

(七) 清孔及回填滤料

逐步稀释井管内泥浆,使泥浆密度稀释到1.05~1.07。滤料沿井孔均匀填入,宜保持连续,将泥浆挤出井孔,填滤料时随填随测滤料填入高度,当填入量与理论量不一致时,及时查找原因。不得用装载机械直接灌入滤料,应人工使用铁锹下料,以防下料不均匀和冲击井壁,直至滤料下入指定位置。

(八) 黏土封孔

滤料填至承压含水层顶板上3 m~5 m后使用黏土球回填封孔,黏土球围填长度也不宜少于2 m。围填前需将黏土捣碎,防止围填出现“架桥”现象^[8]。围填以“少放慢下”为原则,严格控制下入数量及速度。

(九) 洗井

洗井采用真空+活塞法。在井管内钻杆提出前,利用空压机接钻杆进行抽水,至井管内能出水后断开空压机连接,提出钻杆后用活塞进行洗井。活塞大小与井管内径相差2~5 mm,洗井时把活塞从滤水管底部往上拉。若降水井出水量很少,可用活塞在井管过滤器处上下移动,将孔壁泥皮冲出,直至活塞带出水中泥砂含量很少后,再用空压机抽水洗井,至水清澈且不含砂为止。

(十) 管井试抽

将潜水泵下入井管内,电缆铺设、排水管道,排水和抽水系统安装完后可进行试抽水。抽排水系统及配套电缆在设置时要避免被挖机、吊车等碰撞、碾压。

(十一) 降水运行

根据基坑分段开挖和支撑的施工实际工况,提前开启降压井的数量和井号。基坑外深井降水时,若承压水头降至设计水位要求时,现场可适当控制井点开启数从而控制承压水头的降幅,以减少由于基坑降水造成周边沉降。

(十二) 排水

洗井及降水运行时排出的水,通过场地内排水管道或明渠汇入沉淀池,达标后排入市政管道中。

六、实施效果

在雅渡站基坑开挖前20天,开始运行该站降水系统。当基坑开挖至地表以下4 m时,开启坑内降水井进行降水,待车站主体负一层侧墙施工完成后,停止降水。降水过程中,土方开挖和主体结构施工顺利,没有发生险情事故。

七、结语

临近河流地段地铁车站如果在承压水埋深较浅的地段施工,降水施工的合理与否极为重要。此站正是通过抗突涌和基坑底稳定性计算和预估沉降计算,才保证了施工中无降水原因而造成的事故。通过本工程的降水施工实例为后续临河临水地下工程降水施工提供有力的技术支持。

参考文献:

- [1]陈仲颐.《土力学》.清华大学出版社,2013(7).
- [2]杨永全.现代工程水力学[J].西南民族学院学报(自然科学版),2001,(03):253-257.
- [3]潘海泽.隧道工程地下水水害防治与评价体系研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [4]刘杰.建筑施工手册(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [5]于福有.抓安全文明施工的做法和体会[J].建筑安全,2003,(02)
- [6]毕新玲.基坑降水与沉降治理工程实录[J].西部探矿工程,2005
- [7]李晓阳.地铁深基坑降水施工技术要点分析[J].建材与装饰,2019(36):266-267.
- [8]张科.地铁深基坑降水施工技术分析[J].建材与装饰,2018(13):248-249.