

赵王河闸降水井设计与施工技术

陈新苗

(安徽省水利水电勘测设计院 安徽 蚌埠 233000)

摘要 介绍涡河近期治理工程中的赵王河节制闸施工降水方案设计和成井施工工艺 ,对其降水观测成果进行分析 结果显示施工降水工作达到了预期效果。
关键词 降水技术 ;成井施工工艺 涡河治理 赵王河节制闸
中图分类号 :TV66 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2009)S1-0135-04

涡河近期治理工程中的赵王河节制闸地基为软弱淤泥、淤泥质土 ,地质条件复杂 ,地基处理难度大。地基处理采用水泥粉喷桩 ,由于处理过程存在一些缺陷 ,致使闸室下复合地基承载力低 ,不能满足设计要求。为了保证工程质量 ,确保工程安全 ,经专家咨询论证 ,采取以下 3 个方案进行综合比较 :对闸基表层换土加深层补桩、闸基表层换土加深层换砂以及移址。闸基表层换土加深层补桩及闸基表层换土加深层换砂 2 个方案都必须对基坑进行大幅度降深降水 ,特别是闸基表层换土加深层换砂对基坑降水的要求更高 ,难度更大。基坑降水方法较多^[1-2] ,有轻型井点、管井、电渗井点、喷射井点、深井井点等 ,就该工程基坑降水来说应该采取深井管井降水方法。

1 闸基地层及地下水

勘探最大深度达 30.00 m ,至高程 - 5.00 m ,在钻探深度内所揭露的地层如下 :①人工填土。为素填土 ,主要分布在闸址处赵王河两岸 ,为施工开挖临时弃土或施工时临时填土 ,以中粉质壤土为主 ,夹有轻粉质壤土 ,灰黄色 ,厚 3.0 m。②淤泥或淤泥质土。灰、灰黑色 ,夹有腐殖质 ,上部呈流塑状 ,下部多呈软塑状 ,夹有蚌壳 ,具高压缩性。主要分布在河道中 ,层厚 5.6 ~ 6.1 m ,平均厚度为 5.89 m ,层底标高为 19.17 ~ 17.65 m ,平均层底高程为 18.29 m。③细砂。灰黄 ~ 灰褐色 ,局部为粉土或轻粉质壤土夹粉砂 ,呈松散 ~ 中密状 ,闸室附近连续分布。层厚 8.7 ~ 14.8 m ,平均厚度为 10.43 m ,层底标高为 8.95 ~ 4.37 m。④重粉质壤土。其上部多为中粉质壤土 ,其下局部为粉质黏土 ,灰黄 ~ 褐黄色 ,可塑 ~ 硬塑状 ,

具中等 ~ 低压缩性 ,夹有砂礅或铁锰质结核 ,闸址附近该层连续分布。层厚 1.8 ~ 5.1 m ,平均厚度为 3.7 m ,层底标高为 7.15 ~ 3.03 m。⑤层及以下各土层由于其埋深较大 ,强度较高 ,对工程的影响较小。
闸基上部为不透水的淤泥质土 ,其下为细砂 ,具明显的二元结构 ,砂层中的地下水具承压性 ,承压水位为 24.78 m ,高出地面 0.6 m 左右。地下水的补给来源主要是赵王河与涡河水和大气降水。

2 降水井方案设计

2.1 降水井布置及结构

赵王河闸闸室(图 1)共 6 孔 ,总宽 38.0 m ,加空箱岸墙宽 48.0 m ,顺水流方向长 17.0 m ,上游翼墙为圆弧形扶壁式挡土墙 ,顺水流方向投影长 15 m ,下游消力池两岸采用八字墙与圆弧墙连接 ,顺水流方向投影长 26 m。

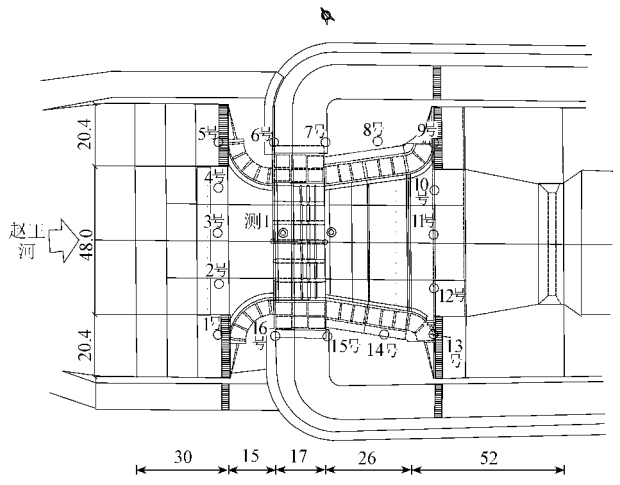


图 1 赵王河闸平面布置(单位 :m)

按闸室平面布置图,并考虑基坑开挖留有一定坡度,降水井必需分布在闸基外围 60 m 的平面内。

地基处理方案是采用将表层淤泥质土全部挖除,换填质量好的黏性土方案。因此基坑地下水位必须降到砂层顶板以下,才能保证正常施工。闸基淤泥质土和砂层厚度共 16.32 m,而基坑内水位要求降深较大,故设计降水井为完整井,深度打穿砂层,至下部的重粉质壤土,孔深应超过 16.5 m。施工降水为临时性工程,井管一般都采用无砂管,当地预制好的无砂管内径大都是 400 mm(外径 450 mm),孔隙率约为 30%。通常情况下,滤层厚度为 100 ~ 200 mm,为安全起见,取用 200 mm,则设计成孔直径 $D = 450 + 200 \times 2 = 850 \text{ mm}$ 。

2.2 基坑涌水量计算

估算基坑涌水量一般采用大井法。根据设计要求和施工方案布置,降水井分布在 60 m × 60 m 的正方形外围,此时的引用半径 r 可按下式计算^[3-5]:

$$r = \left(\frac{F}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

式中 $F = 60 \text{ m} \times 60 \text{ m}$,计算得 $r = 33.9 \text{ m}$ 。按承压水——潜水完整井公式计算基坑总涌水量为

$$Q = \frac{1.366k[(2H - M)M - h^2]}{\lg\left(\frac{R}{r}\right)} \tag{2}$$

式中: Q 为基坑总涌水量 m^3/d ; k 为砂层渗透系数,根据室内土工试验并参考经验,取 $k = 5 \times 10^{-3} \text{ cm/s} = 4.32 \text{ m/d}$; H 为承压水水位至砂层底板高度,承压水位为 24.78 m, $H = 16.93 \text{ m}$; M 为承压含水层厚度, $M = 10.43 \text{ m}$; h 为大井井内水位至砂层底板高度,大井内水位应低于淤泥层最低底板高程 17.65 m,按 17.5 m 计,降深 $s = 7.28 \text{ m}$,则 $h = 9.65 \text{ m}$; R 为影响半径,取 $R = 60 \text{ m}$ 。

按式(2)计算得基坑总涌水量为 $3\,619 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.3 确定降水井数量

用试算法确定所需降水井数,要根据抽水设备的能力和要求的降深 s ,选取各降水井的水位降深值 s_w ,很明显 s_w 应大于 s ,然后给出不同的降水井数,并假设各降水井沿半径为 r (34 m)的圆周均匀布置,按式(3)近似计算每个井的流量和总流量。基坑中心处的降深 $s = 7.28 \text{ m}$,基坑长度 $l = 60 \text{ m}$,则深井中心的降深

$$s_w = s + \frac{l}{2} \times \frac{1}{10} = 10.28$$

选取 $s_w = 10.50 \text{ m}$, $h' = H - s_w = 6.43 \text{ m}$:

$$Q' = \frac{1.366k[(2H - M)M - h'^2]}{\lg\left(\frac{R^n}{nr_w r^{n-1}}\right)} \tag{3}$$

式中: n 为降水井数量; r_w 为降水井半径,取 0.2 m 。

当 $n = 12$ 时, $Q' = 291.5 \text{ m}^3/\text{d}$, $nQ' = 3\,498 \text{ m}^3/\text{d}$;

当 $n = 15$ 时, $Q' = 240.5 \text{ m}^3/\text{d}$, $nQ' = 3\,607 \text{ m}^3/\text{d}$;

说明降水井数量不够;

当 $n = 16$ 时, $Q' = 233.8 \text{ m}^3/\text{d}$, $nQ' = 3\,740 \text{ m}^3/\text{d} > 3\,619 \text{ m}^3/\text{d}$,故取降水井数量为 16。

2.4 检查降水装置总流量

已知降水井的数量和实际降水井的布置,按式

(4)检查降水装置的总流量:

$$Q = \frac{1.366k[(2H - M)M - h^2]}{\lg R - \frac{1}{n} \lg(x_1 x_2 \dots x_n)} \tag{4}$$

式中 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 分别为各降水井到大井中心的距离。

由式(4)计算得降水装置的总流量 $Q = 3\,730 \text{ m}^3/\text{d}$,每一个降水井的流量 $Q' = Q/n = 233.13 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2.5 检查各点的降深

降水水井的数量和降水井的位置设计好后,还应该检查基坑内各点的水位降深是否满足设计要求,一般检查离装置中心最远的几个点,因为这些点往往容易发生降深不符合要求的情况。按式(5)验算任意点 A 的降深:

$$H_A = H_0 - \frac{Q \left[\ln R - \frac{1}{n} \ln(x_{1A} x_{2A} \dots x_{nA}) \right]}{2\pi k M} \tag{5}$$

式中 $x_{1A}, x_{2A}, \dots, x_{nA}$ 分别为各降水井到任意点 A 的距离。经验算,各点降深均满足要求。

3 降水井成井工艺

3.1 成井要求

a. 开孔前按照图纸定出孔位。由于场地地形变化大,加上河床内淤泥层较厚,淤泥强度低,有些孔位钻机到位要花很大代价,有的无法到位,在实际成井中,对成井井位进行适当的调整。

b. 钻孔严格控制井孔垂直度($\alpha \leq 1\%$),保证井孔孔径上下一致,孔径大于或等于 800 mm。

c. 灌填砂砾料前,把孔内泥浆适当稀释到比重为 1.08 左右,灌填高度符合设计要求,灌填量不得小于计算值的 95%。

d. 井点管口有保护措施,井点设有标志,防止杂物掉入管内。

e. 成井施工中及时做好施工记录。

f. 井管外包 2 层 80 目尼龙布,防止地层中的细砂进入井内。

g. 凿井完成后及时下泵抽水,并抽到水清为止,水中砂的质量分数小于 0.001%。

3.2 施工工艺及技术措施

3.2.1 工艺流程

准备工作→钻机进场→定位→开孔→下护口管→钻进→终孔→冲孔换浆→井管外包尼龙布→下井管→冲孔换浆(泥浆比重换到 1.05)→填砾→止水封孔→洗井→下泵试抽→合理安排排水管路及电缆电路→正式抽水→记录。

3.2.2 技术措施

a. 准备工作。接任务后 ,即开始施工部署 ,落实材料和人员 ,合理安排人、财、物。专人负责进料 ,确保井壁管、过滤管、围填砂、黏土等材料的质量。

b. 钻进清孔。钻进前测量好钻具总长 ,精确计算机上余尺 ,控制钻进深度 ,钻进中保持泥浆比重在 1.15 ~ 1.25 之间 ,钻进中对地层要分层描述 ,确定降水含水层的确切层位和岩性。终孔深度达到后 ,即可清孔 ,调浆宜慢 ,清孔后泥浆比重为 1.10 左右 ,孔底岩粉小于或等于 10 cm。

c. 下井管。按设计井深事先将井管排列、组合 ,并在滤管外包扎尼龙布 ,下管时所有深井的底部按标高严格控制。井管应平稳入孔 ,为了保证井管不靠在井壁上并与井管外有一定的填砾厚度 ,在滤水管下部加托盘 ,四周用竹片加固 ,保证环状填砾间隙厚度大于 200 mm。下管要准确到位 ,自然落下 ,不可强力压下 ,以免损坏过滤结构。下好井管后 ,把井管居中国定。

d. 填砾冲孔。下入钻杆至离沉淀管底 50 cm ,井口加上补心进行换浆 ,逐步调稀泥浆到相对密度 1.08 左右时边填边测 ,一边填一边开小泵量泥浆循环。填砾达到要求深度后停止。

e. 止水封孔。为了防止上部泥浆及降水直接渗入砾料内影响成井质量 ,等填砾结束 20 min 后 ,上部填黏土。

f. 洗井。洗井采用潜水泵抽水洗井 ,要求至少有 2 个台班 ,确保洗井质量 ,直至井内出清水 ,基本不含砂 ,出水量大 ,井底沉砂不大于 10 cm。

g. 下泵试抽。洗井结束后 ,待水位恢复可按设计下泵 ,下入深度宜在滤水管下半部分位置 ,以保证足够的降深。排水管道及电源线路一定要先连接好 ,试抽 3 h ,测定井内水位及观测孔水位变化 ,预估降水试验运行途径。

h. 为了能够直观反映降水过程中基坑内地下水位变化情况 ,在降水井所围范围内打 2 个观测管 ,观测管内量测砂层水位下降过程。

i. 抽水需要每天 24 h 派人现场值班 ,并做好抽水记录 ,每天报水位、流量。记录内容包括降水井涌水量和水位降深 ,以掌握抽水动态。

4 降水观测成果及分析

4.1 降水井内水位、水量观测

由于下伏砂层厚度有所变化 ,因此在实际降水井施工过程中 ,各井深度以打穿砂层预留一定的沉淀管长度为限 ,为了观测降水后基坑内水位变化情况 ,在基坑内布置了 2 个测压管。

按各降水井含水层厚度、降深等资料计算其出水量 ,与实际抽水测到的出水量相比较(表 1)。表 1 中动水位为降水井抽水后实际水位 ,为了确保降水后达到预期效果 ,降水井抽水实际降深都大于设计降深 ,故计算出水量和实际出水量总数要大于设计出水量。

表 1 各降水井计算出水量和实际出水量比较

井号	深度/m	管口 高程/m	井底 高程/m	动态水位 高程/m	计算出水量/ (m ³ · d ⁻¹)	实际出水量/ (m ³ · d ⁻¹)
01	17.0	29.02	12.02	14.2	186.2	225
02	22.0	27.17	5.17	10.5	275.3	289
03	22.0	25.90	3.90	9.5	282.1	330
04	21.0	24.96	3.96	9.5	286.6	257
05	19.0	24.56	3.56	8.5	290.7	275
06	19.0	24.81	5.81	9.5	284.4	298
07	17.0	27.24	10.24	12.5	223.5	252
08	21.0	25.17	4.17	9.0	286.8	302
09	17.0	29.44	12.44	14.2	187.8	175
10	24.0	27.24	3.74	9.0	275.4	319
11	22.0	27.34	5.34	9.0	281.9	305
12	21.0	25.30	4.30	8.5	291.2	380
13	20.0	24.35	4.35	8.5	289.4	295
14	21.0	24.79	3.79	9.0	286.6	329
16	17.0	29.16	12.16	14.5	187.5	155

4.2 测压管水位观测

未降水前 ,基坑内承压水位高程为 24.78 m ,2006 年 3 月 7 日 18 :00 时开始全面降水 ,抽水过程中各测压管内水位变化情况见表 2。

表 2 测压管内水位变化情况 m

日期	时间	1 号观测管 (管口高程 24.8 m)			2 号观测管 (管口高程 24.68 m)		
		测深	水位高程	降深	测深	水位高程	降深
06-03-07	20 :00	1.23	23.57	1.21	1.05	23.63	1.15
06-03-08	18 :00	2.92	21.88	2.90	2.74	21.94	2.84
06-03-09	18 :00	4.53	20.27	4.51	4.37	20.31	4.47
06-03-10	18 :00	6.02	18.78	6.00	6.12	18.56	6.22
06-03-11	18 :00	6.55	18.25	6.53	6.57	18.11	6.67
06-03-12	18 :00	6.92	17.88	6.90	6.99	17.69	7.09
06-03-13	18 :00	7.09	17.71	7.07	7.11	17.57	7.21
06-03-14	18 :00	7.18	17.62	7.16	7.20	17.48	7.30
06-03-15	18 :00	7.23	17.57	7.21	7.22	17.46	7.32
06-03-16	18 :00	7.25	17.55	7.23	7.23	17.45	7.33

4.3 降水成果分析

①从表 1 可以看出 ,各降水井实际抽水量与计算出水量都有一些差别 ,有的差别达 20% 以上 ,这

是因为理论计算是假定地层均质同性,而实际上自然界沉积的地层千变万化,不但地层厚度变化较大,而且砂层本身不均一,其渗透系数在水平和垂直方向都有所不同。

②基坑内水位开始时降低很快,但随着时间的推移,以缓慢递变的速度向下降落,但递变的趋势已呈渐近线状态,直至稳定。

③降水井内动水位高程大都在 9 m 左右,按理论推算:各井点到基坑中心距离平均值在 35.0 m 左右,水力梯度取最大值 1/10,井内到基坑抬高水头约 3.5 m,外加井侧动水跃最大值 5.0 m(注:花管的空隙率大于 30%),理论上基坑内最终稳定水位应在 17.5 m 左右,和观测结果非常接近。

5 结 语

赵王河节制闸施工降水工作达到了预期的效果。降水后由于含水量降低,以及因自重应力增加而固结,淤泥土强度也有了明显提高,地基处理起来

不但容易,而且还节约了大量经费。

在水利工程施工中,基坑降水是关系工程质量和进度的重要环节,因此要做好施工降水设计、成井工艺等工作。基坑降水方法很多,应根据地质条件和工程情况确定方法,不仅可用单一方法,更可以多种方法综合利用。

参考文献:

- [1] 伍夕国.井点降水施工工艺在水电工程施工中的运用[J].四川水利,2008(6):20-25.
- [2] 吴昌瑜,李思慎,谢红.深基坑开挖中的降水设计问题[J].岩土工程学报,1999(3):92-94.
- [3] 薛禹群,朱学愚.地下水动力学[M].北京:地质出版社,1979.
- [4] 罗建军,瞿成松,姚天强.上海环球金融中心塔楼基坑降水工程[J].地下空间与工程学报,2005(4):645-649.
- [5] 刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.

(收稿日期:2009-02-23 编辑:方宇彤)

(上接第 131 页)

图 11 为 3 种参数模型的地表电流密度曲线,参数 1: $k_1 = k'_1 = 0.707, x_0 = 0.641, k_2 = 0.0425$;参数 2: $k_1 = k'_1 = 0.707, x_0 = 0.741, k_2 = 0.087$;参数 3: $k_1 = k'_1 = 0.707, x_0 = 0.841, k_2 = 0.125$ 。由图 11(a),图 11(b),图 11(c)可知,椭圆高阻体的深度基本一致,模型截面逐渐减小。在截面体顶部表现为高电流密度,说明探测视电阻率较大,随着截面减小,峰值变小,曲线趋于平缓,表明大尺度截面体对地表视电阻率影响较大。

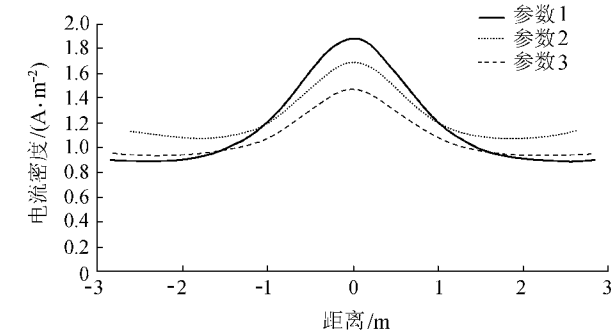


图 11 3 种参数的电流密度曲线

4 结 语

将堤防裂缝作为垂直地面的高阻板状体模型,详细计算了不同埋深的堤防内部裂缝模型的电流密度曲线,将堤防管涌视为低阻椭圆体模型,穿堤空的管道视为高阻椭圆体模型,计算了不同椭圆体条件下的地表电流密度曲线,结果表明:高阻异常体在地

表表现为较高的电流密度值,低阻异常体在地表表现为低电流密度值;埋深越浅、尺度较大的异常体,在地表引起的异常较大。

保角变换方法解决的是二维的电场问题,电流密度反映视电阻率的变化规律。利用保角变换方法,计算各参数模型的堤防隐患模型,建立典型隐患模型的样本数据,为堤防电法探测成果的解释提供参考。

参考文献:

- [1] 肖柏勋,何继善,刘光鼎.我国堤防隐患快速无损探测技术的现状与思考[C]//工程地球物理学进展.武汉:武汉水利电力大学出版社,2002:9-16.
- [2] 陈效国.堤防工程新技术[M].郑州:黄河水利出版社,1998:1-2.
- [3] 郭秀军,张晓培,牛建军.分布式高密度电阻率探测系统及其在堤坝隐患探测中的应用[J].工程地球物理学报,2004,1(4):309-312.
- [4] 姚南,王玉钰,吴有信.高密度电阻率法在工程勘察中的应用[J].西部探矿工程,2005(15):52-53.
- [5] 罗延中,万乐.高密度电阻率法成像[J].CT理论与应用研究,2006,15(1):61-65.
- [6] 胡嗣柱.数学物理方法[M].北京:高等教育出版社,2002:17.
- [7] 徐世浙,王柏钧.保角变换在电法勘探中的应用[M].北京:地质出版社,1977:111-126.

(收稿日期:2008-00-00 编辑:方宇彤)