

南水北调东线解台泵站基坑降水处理方法

戴敬秋¹,白福青²,唐洪武²

(1.江苏省苏北供水局,江苏 南京 210029;2.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 :为解决南水北调东线解台泵站复杂水文地质条件下的基坑降水问题,补充进行水文地质试验,并实施多种基坑降水方法。通过大量的现场水文地质试验和降水过程观测资料分析,提出采用井点降水与管井降水共同作用的双包围圈围封降水方法。研究结果和工程实践表明,对于补充水源丰富、渗流方向较难确定的工程,双包围圈围封降水方法的基坑降水效果比较明显。

关键词 :复杂水文地质;井点降水;管井降水;双包围圈围封降水;解台泵站

中图分类号 :TV551.4⁺12;TV46⁺3 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2008)S1-0080-04

在基坑开挖施工中,为了避免产生流沙、管涌,防止坑壁土体坍塌,一般尽量避免在水下作业^[1]。当地下水位高于基坑面时,必须做好基坑降水工作。目前基坑排水方法主要包括明排法和人工降低地下水位等方法。人工降低地下水位方法,按排水原理又可分为管井法和井点法^[2]。实际工程中,降水方法的选取应视工程性质、开挖深度、场区水文地质条件、经济条件等因素进行综合考虑。由于水文地质条件不易准确确定,降水设计有时难以与现场实际情况相吻合^[3]。尤其对于水文地质条件复杂的工程,施工过程中有时需要根据现场渗水状况采取多种降水方法相结合的处理方式。

南水北调东线解台泵站工程遭遇了复杂水文地质条件,该水文地质条件在江苏省内罕见,尚无成功经验借鉴。由于初期对场区的复杂水文地质条件勘察不够准确,导致基坑开挖过程中不断调整降水方法。鉴于总体施工计划和节点工期要求,以及基坑开挖已接近尾声的实际情况,决定将勘测单位的补充水文地质勘察、设计单位的降水变更设计和施工现场的基坑降水实施同步交错进行。降水实施过程中,在基坑范围及周边布设了 20 多支测压管,组织了一个多月的 24 h 地下水位下降过程连续观测、轻型井点和管井出水量量测,以及多次现场试验。通过大量的第一手资料分析,最终实施轻型井点和管井相结合的双包围圈围封降水方案,使地下水位降至合理高程,保证了基坑开挖的正常施工。

1 工程概况及水文地质条件

1.1 工程概况

南水北调东线解台泵站工程位于江苏省徐州市贾汪区境内的京杭大运河(不牢河段)输水线上,是南水北调东线多级提水系统的第八梯级工程。新建解台泵站工程采用闸站结合的布置形式(节制闸紧邻泵站,其上部建泵站控制室),包括 125 m³/s 的泵站、500 m³/s 的节制闸和跨河公路桥。泵站安装 5 台套直径为 2 900 mm 的立式轴流泵(含备机 1 台套),节制闸共 3 孔,单孔净宽 10 m。新建闸站工程区位于东西走向的老河道内,上下游施工围堰距闸站基坑中心各约 300 m,南北两侧为平行于老河道的导流河和解台船闸及其下游引航道,各距基坑中心约 180 m。基坑开挖深度为 17 m 左右。

1.2 水文地质条件

1.2.1 原勘察结果

根据初步设计阶段勘察成果,解台泵站工程场区岩土层按其成因类型及岩土性状自上而下可分为以下诸层(图 1)。

- a. 现代堆积层:高程 30.2 ~ 34.9 m 至 29.0 ~ 32.4 m,为杂填土、人工堆积土。
- b. 全新世沉积层:①₂层(高程 29.0 ~ 32.4 m 至 27.0 ~ 29.8 m),灰黄色重粉质砂壤土、轻粉质壤土,渗透系数为 3.4 × 10⁻⁵ cm/s;①₃层(高程 27.0 ~ 29.8 m 至 26.3 ~ 29.3 m),灰黄色淤泥质粉质黏土、淤泥质重粉质壤土等;①₄层(高程 26.3 ~ 29.3 m 至 25.5 ~ 26.6 m),灰黄色重粉质砂壤土、轻粉质壤土,渗透系

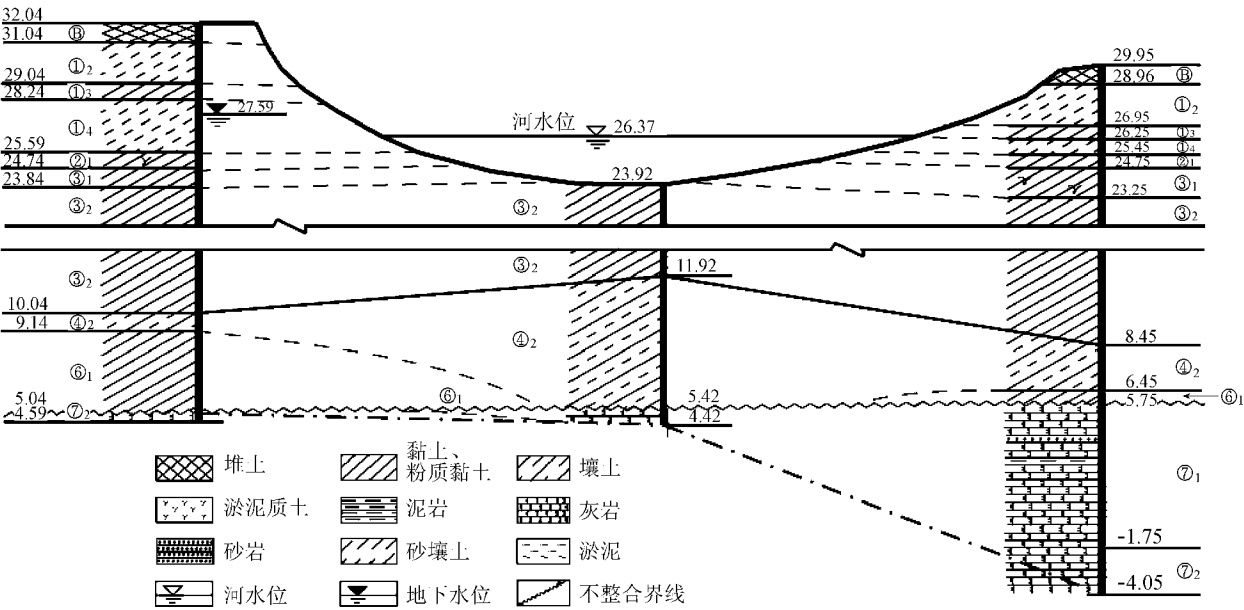


图1 解台泵站枢纽工程地质剖面示意图(单位:m)

数为 $4.4 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$; ②₁ 层(高程 25.5 ~ 26.6 m 至 23.1 ~ 24.8 m), 黄灰色淤泥质粉质黏土、软粉质黏土, 渗透系数为 $1.6 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。

c. 晚更新世沉积层: ③₁ 层(高程 23.1 ~ 24.8 m 至 22.2 ~ 23.8 m), 灰绿、深灰、灰黄色粉质黏土; ③₂ 层(高程 22.2 ~ 23.8 m 至 8.5 ~ 15.2 m), 棕黄夹灰色粉质黏土, 含砂礓, 含铁锰质结核, 渗透系数为 $5.6 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$; ④₂ 层(高程 8.5 ~ 15.2 m 至 4.6 ~ 10.9 m), 棕黄夹浅灰色重粉质壤土、粉质黏土, 含铁锰质结核; ⑥₁ 层(高程 4.6 ~ 10.9 m 至 1.5 ~ 8.8 m), 棕黄、黄夹灰色粉质黏土, 含铁锰质结核及砂礓, 底部含砾石, 风化岩碎片。

d. 二叠世 ~ 石炭世灰岩夹泥岩、砂岩: ⑦₁ 层(高程 1.5 ~ 8.8 m 至 1.5 ~ 6.2 m), 棕黄、灰白、灰、紫红色全风化灰岩, 夹泥岩和砂岩; ⑦₂ 层(高程 1.5 ~ 6.2 m 至 -1.8 m 以下), 棕黄、灰白、灰、紫红色强风化灰岩, 夹泥岩和砂岩。

1.2.2 补充勘察成果

施工期发现基坑渗水严重, 经补充现场水文地质试验, 勘测单位提出相关土层渗透系数见表 1。原勘察报告提出的③₂ 层因砂礓含量分布不均, 渗透系数差异较大。补充勘察报告将原③₂ 层细分为 3 小层, 即③₂₋₁, ③₂₋₂ 和③₂₋₃ 层, 其中③₂₋₂ 层(高程 22.0 ~ 21.0 m 至 18.0 ~ 17.0 m) 砂礓含量大, 土中微裂隙发育, 现场注水试验测得渗透系数为 $3.7 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 为承压含水层。④₂ 层粉质壤土现场注水试验测得渗透系数为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 承压水位与③₂₋₂ 层基本相近, 判定为承压含水层。

表1 渗透系数现场试验值与降水设计建议值 cm/s

土层	初步设计阶段勘察 报告提供值	施工阶段现场水 文地质试验值	降水设计 建议值
③ ₂₋₁	5.6×10^{-7}	1.2×10^{-6}	1.2×10^{-6}
③ ₂₋₂	5.6×10^{-7}	3.7×10^{-4}	3.6×10^{-3}
③ ₂₋₃	5.6×10^{-7}	6.2×10^{-5}	2.0×10^{-4}
④ ₂		1.0×10^{-4}	1.0×10^{-3}
⑦		2.4×10^{-2}	2.4×10^{-2}

1.2.3 根据实际降排水量修正渗透系数

因场区水文地质条件极其复杂, 实测基坑涌水量远大于按取现场水文地质试验成果计算得出的涌水量。勘测单位结合现场实际, 提出供设计单位降水设计时采用的渗透系数, 见表 1。

2 基坑降水实施过程

解台泵站基坑底面(最低处)设计高程为 16.3 m, 位于③₂ 层粉质黏土层。原勘察提供该土层渗透系数为 $5.6 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, 为基本不透水层, 而且③₂ 层以下无承压含水层。初步设计、招标图设计及施工方案对基坑开挖降排水均采用明沟排水方法。

2005 年 9 月初, 基坑土方开挖至高程 20.0 m 左右, 局部至高程 18.5 m(即③₂ 层内)时, 发现土层剖面与地质勘察报告描述基本一致, 但基坑渗水严重。明沟排水法无法将渗水降至土面以下, 导致土方开挖暂停施工。由于工期和施工总进度计划安排需要, 建设单位决定在补充水文地质勘察的同时实施基坑降水并组织地下水位观测工作。解台泵站工程所采用的基坑降水方法和基坑降水实施过程如表 2 所示。

2.1 轻型井点降水

考虑到泵站基坑土方继续挖深不足 4 m, 经研究决定在已开挖的基坑范围内, 沿周边布设轻型井点,

表 2 基坑降水方法及相应渗水状况

基坑降水方法	施工日期	降水至高程/m	基坑渗水状况
明沟排水	2005-08-15 ~ 2005-09-02	> 20.0	基坑渗水严重
轻型井点降水	2005-09-09 ~ 2005-09-17	约 19.0	基坑内明水无法排干
管井围封降水	2005-09-22 ~ 2005-10-09	约 17.0	不满足基坑挖深要求
双包围圈围封降水	2005-10-17 ~ 2005-10-21	约 16.0	满足基坑干施工要求

采用真空井点降水方法。井点降水前,基坑已开挖范围为南北向 60 m,东西向 50 m(泵站底板尺寸为 43.3 m×32.3 m)。2005 年 9 月 9 日至 17 日期间,在基坑周围设置轻型井点 5 组计 92 支井管(其中东侧因保留基坑土方机械施工通道,井点降水未形成封闭圈)。工程中采用的井管长 6.0 m,下部透水段长 1.0 m。轻型井点的布置见图 2 和表 3。

表 3 轻型井点及井管布设方案

井点布置位置	井点组数	井管支数	管顶高程/m
东 侧	1	5	约 19.0
南 侧	1	24	约 19.0
西 侧	2	35	约 20.0
北 侧	1	28	约 20.0

轻型井点施工过程中,发现地下水普遍从井管端部直接外溢(水位超过土层面),这与初期的水文地质勘察结果(③₂层及其以下无承压含水层)相矛盾。轻型井点全面抽水以后,基坑内明水仍无法排干。因此,面对有可能存在很大渗水量的承压含水层以及基坑内明水无法排干的现状,有必要采取更有效的降水措施。

2.2 管井围封降水

由于轻型井点降水方案不能满足基坑降水要求,9 月 19 日试打一口管井,发现出水量较大。经过研究分析,决定实施管井围封降水方案。管井控制范围(包括泵站基坑和节制闸基坑)东西向 80 m,

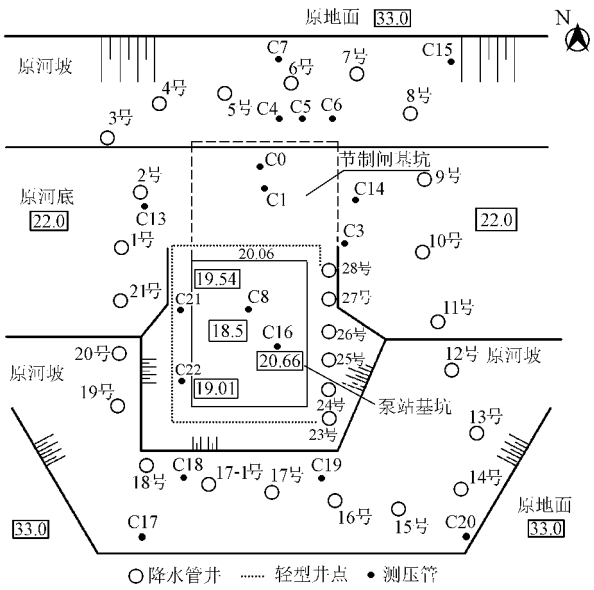


图 2 基坑降水轻型井点、管井和测压管位置示意图

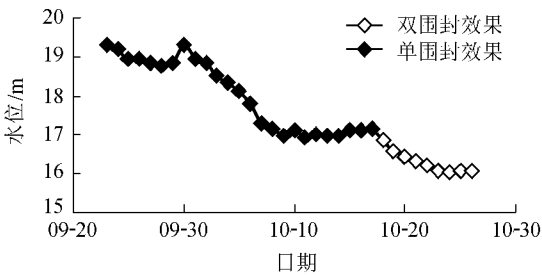
南北向 120 m。管井施工从 9 月 22 日开始至 10 月 9 日结束,共布置 22 口井,井距一般不大于 20 m。管井位置见图 2,管井基本情况见表 4。从第一口管井出水到管井封闭圈形成,基坑内地下水位逐日下降。以位于基坑中心处的 C8 测压管为例,测压管水位的变化过程如图 3 所示。通过 C8 测压管的单围封效果水位变化过程线可以看出,管井围封降水作用十分明显。10 月 9 日单围封管井施工结束后,C8 测压管水位基本维持在 17 m 左右不再下降,地下水位仍不能满足低于基坑底面设计高程 16.3 m 的要求。因此,仍需研究进一步降低地下水位的工程措施。

为验证位于管井围封圈内出水量很小的轻型井点(10 月 10 日实测 92 支井管总出水量仅为 18.3 m³)对基坑降水所起的作用,10 月 10 日 12 :00 ~ 14 :00 时,在管井全部正常抽水的前提下,做了一次轻型井点停止抽水试验(停抽试验)。停抽试验时部分测压管实测水位变化过程见图 4。井点停止抽水 2 h 后

表 4 单围封管井基本情况

井号	出水日期	管底高层/m	井内水位/m	平均出水量/(m ³ ·h ⁻¹)	井号	出水日期	管底高层/m	井内水位/m	平均出水量/(m ³ ·h ⁻¹)
1	09-20	5.71	8.09	6.2	12	10-05	6.48	7.78	11.8
2	09-22	4.81	5.96	4.4	13	10-03	4.89	6.94	8.3
3	09-23	6.78	7.33	5.7	14	10-04	4.70	6.15	6.9
4	09-29	5.65	6.53	5.2	15	10-05	5.14	7.44	11.5
5	10-02	5.95	8.46	5.5	16	10-06	6.35	8.90	5.3
6	10-04	6.87	8.59	6.4	17	10-08	5.98	8.08	8.2
7	10-05	6.28	8.93	5.9	18	09-25	5.49	6.69	4.6
8	10-02	6.48	8.13	4.3	19	09-27	5.04	6.49	7.1
9	09-30	6.58	8.33	4.8	20	09-28	4.72	6.47	7.0
10	10-03	6.86	7.81	5.6	21	09-24	4.66	5.61	4.4
11	10-04	5.20	6.90	6.9	17-1	10-09	5.16	5.76	3.8

注 ①所有管井均间歇出水,井内水位与潜水泵放置高程有关。②井内水位为 10 月 15 日实测值。③平均出水量根据 9 月 27 日~10 月 13 日期间实测水量估测。



①观测时间为9月23日~10月26日;②9月29日夜下大雨基坑被淹,实测9月30日7:30和10月1日8:00地下水位均超过测压管顶部(高程19.3m),水往外溢。

图3 C8测压管水位随施工日期的变化过程

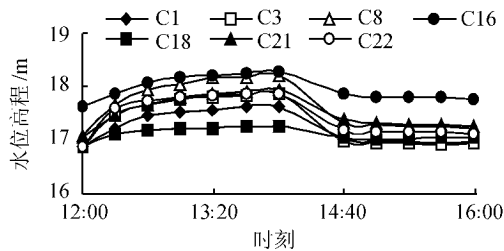


图4 真空井点停抽试验测压管实测水位

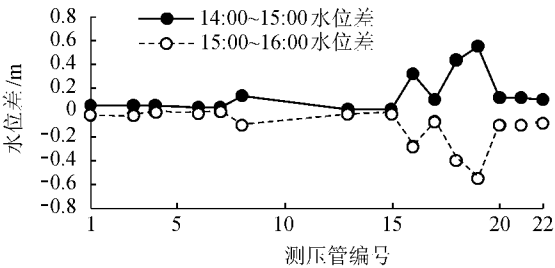


图5 14:00~15:00和15:00~16:00各测压管水位变化值
测压管水位基本稳定,基坑内C8,C16,C21,C22这4只测压管水位上涨0.65~1.11m;基坑外C1,C3,C18这3只测压管水位上涨了0.37~1.00m。恢复抽水2h后(即16:00时)测压管水位与12:00时水位基本持平。相应于停止所有井点抽水试验,10月12日对基坑南侧1排轻型井点做了30min(14:40~15:10)的停抽试验。试验结果表明,管井大包围圈以内的几乎所有测压管水位都受到了影响。14:00~16:00期间各测压管水位变化值见图5。由图2和图5可知,虽然C4,C6测压管距南侧轻型井点约有100m,但仍然发生了水位变化;而位于南侧轻型井点外围的C18,C19测压管,距轻型井点10m左右,其水位变化约50cm。

由以上两个试验结果得知,对于本工程复杂水文地质条件下的基坑降水问题,虽然轻型井点相对于管井而言出水量很小,但可以结合管井围封降水使降水效率得到提高。

2.3 双包围圈围封降水

考虑到管井围封降水的效果和轻型井点对基坑降水的作用,以及仅1m深的续降地下水位要求,确

定将轻型井点降水小包围圈东侧未封闭部分实施围封,从而实现双包围圈围封降水。由于东侧需保留基坑土方开挖施工机械通行道路,因此只拟采取管井方案。10月17日至21日期间,在基坑已开挖范围内与原轻型井点大致同一直线位置共补充施打6口管井(23~28号),井距8.0m左右。补充管井位置见图2,管井基本情况见表5。

表5 双围封补充管井基本情况

井号	出水日期	管底高程/m	井内水位/m	平均出水量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
23	10-17	9.68	10.12	5.58
24	10-17	9.39	9.69	2.85
25	10-19	8.07	8.77	2.35
26	10-21	8.73	9.33	3.59
27	10-20	6.73	7.33	1.68
28	10-20	7.74	8.50	1.80

注 ①23号、24号井的井内水位于10月19日测得,25~28号井的井内水位于10月22日测得。②平均出水量为10月22日实测值。

双围封补充管井的作用见图3中C8测压管双围封效果过程线。从图3中可以看出,补充管井完成后(10月21日)至底板混凝土浇筑,C8测压管封闭为止,水位基本稳定在16m左右,满足基坑土方开挖和底部工程干施工要求。这表明双包围圈围封降水在解台泵站基坑降水中得到了成功应用。

3 结论

解台泵站工程水文地质条件复杂,基坑土方开挖过程中进行了大量水文地质试验,采用了多种基坑降水方法,最终成功解决了基坑降水问题。由此可以得出如下结论:

- 详细准确的水文地质勘察成果是确定正确降水方案的前提。本工程发现异常水文地质现象以后补充了水文地质勘察和降水过程地下水位观测工作,为成功降低地下水位提供了决策依据。
- 由于室内土工试验得出的渗透系数往往与复杂水文地质条件下的现场相应土层的渗透系数不相吻合,因此复杂水文地质条件下的基坑降水,必须通过现场试验来确定相关的渗透系数。
- 对于补充水源丰富、渗流方向较难确定的工程,双包围圈围封降水方法效果比较明显。

参考文献:

[1] 姜清华, 颜克诚, 蔡枫. 浅谈基坑降水发展及优化设计[J]. 中国水运: 理论版, 2006, 12(12): 99-101.
 [2] 张智涌. 水利水电工程施工技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 166.
 [3] 刘志军. 井点降水方案的实例分析与比较[J]. 山西建筑, 2007, 33(8): 143-144.

(收稿日期 2007-07-02 编辑 骆超)