

文章编号:1671-6833(2012)05-0082-05

南水北调中线典型渠段施工期降水措施研究

王金龙^{1,2}, 张家发^{1,2}, 崔皓东^{1,2}, 李少龙^{1,2}

(1. 长江科学院 水利部岩土力学与工程重点实验室, 湖北 武汉 430010; 2. 国家大坝安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010)

摘要: 针对南水北调中线工程陶岔—沙河南段施工期地下水问题, 选取典型断面建立渗流数值模型, 计算分析有、无降水措施及不同计算条件下基坑的渗流场分布特征。研究表明, 对于存在承压水的基坑工程, 当基坑开挖深入地下水位以下且随着含水层顶板减薄, 基坑底部易出现安全问题, 应采取渗流调控措施; 施工期补给边界、含水层厚度及其渗透性、降水井布置等因素对基坑降水效果的影响显著。

关键词: 南水北调中线; 基坑降水; 渗流场

中图分类号: TV223.4 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.05.018

0 引言

南水北调中线工程陶岔—沙河南段干渠总长约215.8 km, 总干渠工程沿线地层岩性复杂, 存在分布广泛的膨胀土以及局部地段的承压水问题。依据沿线地形地貌, 部分渠段基坑需要开挖至地下水水位线以下。为了工程施工安全, 在基坑开挖之前, 需要根据工程场地的水文地质条件, 掌握地下水对工程的影响。当地下水危及基坑施工安全时, 需人工降低地下水位, 通过对渗流场的有效调控, 既为基坑提供安全和干燥的施工环境, 又可增加土层的稳定性、防止边坡开裂和崩塌、防止挖方底部的土体隆起或涌水涌砂, 从而保证工程顺利进行。

基坑降水设计所依据的计算公式众多, 一般都具有理想化的假设条件, 而实际地下水问题受补给边界、地层结构、地层渗透性等因素的影响而复杂得多^[1-3]。例如降水设计中的影响半径就是一个很难确定的参数条件。《建筑基坑支护技术规程 JGJ 120-99》中仅指出降水井影响半径宜通过试验或根据当地经验确定。经验计算公式虽然简便, 但受假设条件的限制, 渗流数值模型则可以针对基坑实际规模形状、实际水文地质条件、复杂模型边界条件等因素进行更接近实际的概化, 数

值模拟结果也可以更加全面准确的掌握地下水分布规律, 从而为有效调控基坑渗流场提供依据。

作者选取南水北调中线工程陶岔—沙河南段干渠工程135+400典型挖方渠段, 首先建立开挖完工时的稳定渗流模型, 运用GMS软件计算无渗流控制措施条件下基坑的渗流场, 分析无降水措施时开挖渠坡的渗流安全状态, 论证降水的必要性。在依据经验公式进行井点降水初步设计的基础上, 建立了典型渠段基坑降水三维渗流计算模型, 利用GMS软件通过数值模拟, 对模型边界距离、含水层厚度及其渗透性等影响因素进行敏感性分析, 研究这些因素对基坑降水的影响规律, 并提出施工期降水方案。

1 基本条件

135+400典型渠段地表高程140.7 m, 表层为10 m厚的微透水性的上更新统黏土, 130 m高程以下为中等~强透水性的上第三系(N)砂砾层, 为典型的二元结构地层。天然地下水位137.9 m, 高于强透水砂砾含水层顶面约8 m, 渠坡开挖基坑底部位于上部微透水性黏土层中, 基坑底面高于砂砾层顶面约0.85 m, 比天然地下水位低约7.1 m。地质及开挖完工时的基坑剖面如图1。该处基坑开挖及运用过程中, 承压含水层不被揭穿,

收稿日期:2012-05-15; 修订日期:2012-07-10

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2011BAB10B04); 国家大坝安全技术研发中心资助项目(2011NDS003); 中央级公益性科研院所基本科研业务费资助项目(CKSF2010017)

作者简介: 王金龙(1978-), 男, 湖北罗田人, 长江科学院工程师, 硕士, 主要从事地下水环境及岩土工程渗流研究, E-mail:52523070@qq.com.

承压水问题是影响基坑安全和基坑渗流控制方案研究要考虑的重要条件.

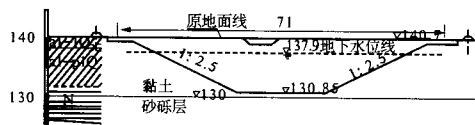


图 1 典型断面开挖剖面图(单位:m)

Fig.1 The cross section of tytical canal(unit:m)

2 无降水措施条件下基坑渗流分析

运用国际上通用的地下水模拟系统软件 GMS,建立基坑开挖完工时无降水措施的渗流计算模型.模型中黏土层的渗透系数为 1×10^{-6} cm/s,砂砾层层厚 15 m,渗透系数取为 8×10^{-3} cm/s.模型边界条件为:距渠道中心线 100 m 处取为上游定水头边界,水位为天然地下水位 137.9 m;以基坑底面为下游定水头边界,基坑内水位取为基坑底面高程;渠道开挖边坡为出逸边界;基坑中心断面为对称隔水边界;砂砾层底为模型底部隔水边界.

二维有限元稳定渗流计算成果见表 1,开挖完工时的渗流场分布如图 2.渗流等势线在基坑底部的弱透水层中高度集中,是强弱含水层之间渗透性存在显著差异,以及含水层顶板极薄造成的结果.

表 1 无降水措施渗流计算成果

Tab.1 The result of seepage simulation without seepage control measures

坡脚 水平比降	坡脚 垂直比降	抗浮安 全系数	出逸高度/ m	单宽流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
3.2	8.7	<0.3	5.9	0.09

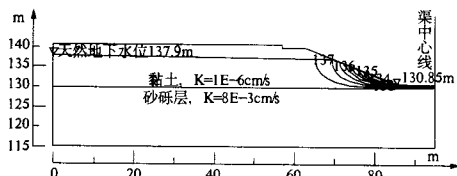


图 2 无降水措施时地下水等势线分布

Fig.2 Water head isolines without seepage control measures

无降水措施条件下基坑开挖至 130.85 m 时,基坑底弱透水性黏土层厚 0.85 m,黏土层承受压力水头约 7 m,抗浮安全系数小于 0.3,在承压水作用下基坑底不满足抗浮稳定;开挖渠坡坡脚处水平比降达 3.2,垂直比降达 8.7,在施工期动水

压力作用下,可能引起边坡坡脚渗透破坏;开挖边坡自由面高,出逸高度达 5.9 m,不利于边坡的抗滑稳定,施工期可能因坡脚部分土体的渗透破坏导致边坡失稳.

渗流计算结果表明,类似 135 + 400 渠段基础中存在承压含水层,基坑开挖深入地下水位以下,含水层顶板被开挖减薄的基坑,为保障开挖及运用过程中基坑的安全,应采取渗流控制措施降低基坑底部承压含水层水头.

3 降水数值模型分析

3.1 降水方案设计

针对本渠段的地质条件,设计拟采用深井降水.依据降水设计经验计算公式,施工期 135 + 400 段降水设计方案为:顺渠道水流方向布置两列降水井,在渠轴线两侧对称布置,距渠轴线 35.7 m.同一井列相邻井间距 15 m,井深约 15 m,滤管直径 0.3 m,长 2 m,对应高程 125.25 ~ 127.25 m.

3.2 降水渗流计算模型

运用 GMS 中的 MODFLOW 模块建立三维渗流计算模型^[4-6].距渠道中心线一定距离处取为上游定水头边界,水位为天然地下水位 137.9 m;模型底部以砂砾层底面为界,取为隔水边界;降水井按定降深井元素(WELL)赋参,井径 0.3 m,滤管长 2 m.

3.3 计算方案及条件

基坑外侧距离降水井 57 m 处取为天然地下水补给边界;降水井按定降深井处理,井水位 127.25 m,井水位以下 2 m 为花管段.

针对干渠工程范围广,地质条件复杂,缺少完整水文地质单元资料和场地抽水试验资料,因此在基本方案的基础上,针对地下水补给边界距离、含水层厚度、含水层渗透性等条件开展敏感性分析,并开展增加降水井列和加深降水井两种改进条件下的降水效果分析.分析这些因素对降水效果的影响规律,可以为其它渠段设计提供参考.

根据地下水补给边界距离、含水层厚度、含水层渗透性以及降水井布置条件拟定 16 个计算方案,见表 2.

3.4 计算成果及分析

各方案的计算成果见表 3,表列中“距基坑底面高差”项表示基坑中心处地下水位与基坑底面的距离,正值表示地下水位高于基坑底面,负值表示低于基坑底面.降水设计以地下水位低于基

坑底面 0.5 m 为控制标准.

表 2 计算方案

Tab.2 The cases of caculation

方案	含水层渗透参数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	补给边界 距离/m	含水层 厚度/m	井水位 /m	方案说明
1	8×10^{-3}	57	15	127.25	基本方案
2			10		
3	8×10^{-3}	57	20	127.25	含水层厚度的比较
4			30		
5			50		
6		100			
7		200			
8	8×10^{-3}	300	15	127.25	补给边界距离比较
9		500			
10		1 000			
11		2 000			
12	1×10^{-2}				
13	1×10^{-3}	57	15	127.25	含水层渗透性比较
14	1×10^{-4}				
15		同方案 1		127.25	渠中心处加一列井
16				125.00	井加深 2m

表 3 渗流计算成果

Tab.3 The result of caculation

方案	基坑最高地 下水位/m	距基坑底面 高差/m	单井流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	方案说明
1	131.7	0.8	169	基本方案
2	130.7	-0.2	132	
3	132.5	1.7	196	承压含水层厚度的影响
4	133.6	2.8	230	
5	134.8	4.0	262	
6	130.5	-0.3	115	
7	129.4	-1.4	67	
8	128.9	-1.9	48	边界距离的影响
9	128.4	-2.4	30	
10	127.9	-2.9	16	
11	127.6	-3.3	8	
12	131.7	0.8	211	
13	131.7	0.8	21	承压含水层渗透性的影响
14	131.7	0.8	2.1	
15	130.3	-0.6	两侧井:143 中间井:97	渠中心处加一列井
16	130.0	-0.9	215	井加深 2 m

3.4.1 基本方案基坑降水成果

方案 1 平面(127 m 高程)地下水等势线分布见图 3,沿井列方向降水井所在剖面地下水等势线分布见图 4,垂直渠轴线方向降水井所在横剖

面基坑地下水等势线剖面分布见图 5.

沿渠轴线方向降水井间距 15 m,从平面地下水等势线分布(图 3)可以看出,由于在井周形成降落漏斗,在距离井较近范围内地下水等势线成较密集的环形分布;总体看两排降水井形成了近似减压沟的效果,基坑外侧为补给源,经过降水井后,水头降低,基坑内侧水位平缓.

从沿井列渗流等势线分布(图 4)可以看出,井间最高地下水位为 131.7 m,高于井水位约 4.3 m,较天然地下水位降落 6.3 m.

从垂直渠轴线方向降水井所在剖面基坑地下水等势线分布(图 5)可以看出,由于降水井没有揭穿砂砾层,为非完整井,降水井主要降排基坑外侧水平补给和井底部绕渗的地下水.降水井附近地下水比降较大,靠基坑外侧降落漏斗很陡.

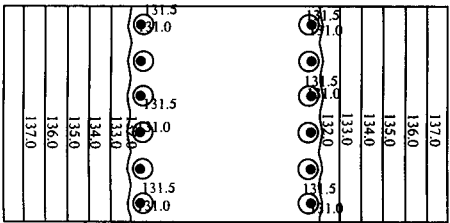


图 3 方案 1 平面(127 m 高程)地下水等势线分布
Fig.3 Water head isolines for section of case 1
($z = 127 \text{ m}$)

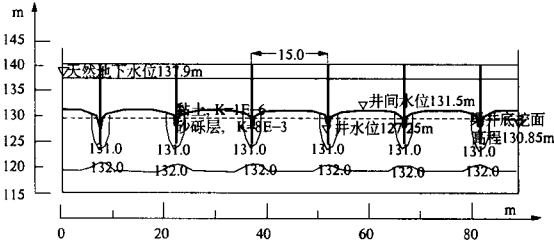


图 4 方案 1 沿井列渗流等势线分布
Fig.4 Water head isolines for section of well row
(case 1)

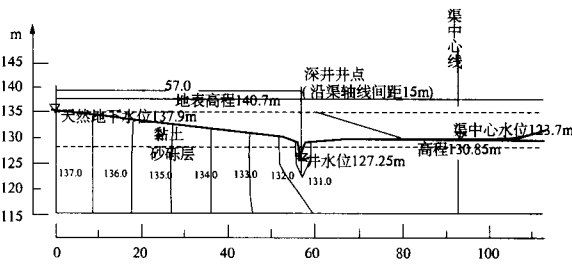


图 5 基坑横剖面地下水等势线分布(方案 1)
Fig.5 Water head isolines for transverse section
(case 1)

基坑两侧地下水经过降水井后水头显著降低,基本方案条件下,单井流量为 $169.0 \text{ m}^3/\text{d}$,开

m^3/d ; 基坑内地下水最高水位为 130.3 m, 较方案 1 降低 1.4 m, 并且低于开挖底面 0.55 m, 基本满足设计要求。

3.4.6 井深对降水效果的影响分析

在基本方案降水计算的基础上, 考虑加深两侧降水井深度, 将井底高程从原方案 125.25 m 加深至 123.0 m, 井内水位从 127 m 降至 125 m。渗流计算结果表明, 两侧降水井单井流量从 $169.0 \text{ m}^3/\text{d}$ 增大至 $215.0 \text{ m}^3/\text{d}$; 渠道开挖基坑内最高地下水位为 130.0 m, 较方案 1 降低 1.7 m, 并且低于开挖底面 0.85 m, 满足设计要求。由此可见, 适当加深降水井, 降低井内水位, 可以有效改善降水效果和基坑安全状况。

4 结束语

对于存在承压水的基坑工程, 当基坑开挖面高程低于承压含水层水位, 随着含水层顶板被开挖减薄, 基坑底部和开挖边坡的地下水分布逐渐集中, 易出现土层渗透变形或基底抗浮失稳, 为保障开挖及运行过程中基坑的安全, 应采取调控措施降低基坑底部承压含水层水头。

通过含水层厚度、模型补给边界、含水层渗透性、降水井布置条件对基坑降水效果的敏感性分析, 可以得出如下规律。

(1) 当降水井没有贯穿含水层, 为非完整井时, 含水层厚度越大, 水流经过井底以下含水层进入基坑范围的绕渗越强, 相同降水系统对基坑内降水效果越差。

(2) 地下水补给条件直接影响基坑降水效果, 补给源离基坑或降水井越近, 排水量越大, 定降深条件下基坑内地下水位的降落幅度越小。

(3) 含水层渗透系数对基坑降水的流量影响显著。

(4) 补给边界、地层结构、地层渗透性等显著影响基坑降水效果, 应在充分掌握水文地质条件的基础上进行降水方案设计。

(5) 当基坑降水难以满足要求时, 可以通过加密降水井布置或者增大井深, 降低井水位来改善降水效果。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院. JGJ 120—99 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [2] 刘国彬, 王卫功. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 232—260.
- [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: 210—234.
- [4] MC DONALD MG, HARBAUGH AW. MODFLOW: 模块化三维有限差分地下水流动模型[M]. 郭卫星, 卢国平, 译. 南京: 南京大学出版社, 1998.
- [5] 丁金华, 陈劲松. 南水北调中线工程汉江兴隆水利枢纽初步设计阶段围堰渗流控制措施及基坑降水措施研究报告[R]. 武汉: 长江科学院, 2006: 20—21.
- [6] 王金龙, 张家发. 南水北调中线陶岔~沙河南典型渠段施工期降水研究[R]. 武汉: 长江科学院, 2010: 13—33.

Dewatering Measures for Construction Period of the Typical Canal Stretch of Middle Route Project of SNWT

WANG Jin-long^{1,2}, ZHANG Jia-fa^{1,2}, CUI Hao-dong^{1,2}, LI Shao-long^{1,2}

(1. Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of the Ministry of Water Resources, Yangtze River Scientific Research Institute Wuhan 430010, China; 2. National Research Center for Dam Safety Technology, Wuhan 430010, China)

Abstract: The groundwater is an important factor for the safety of foundation pit. In order to analyse the distribution of seepage field under different calculating conditions with seepage control measures, a typical canal stretch was modeled for construction period of Middle Route Project of SNWT. The numerical simulation results show that the pit safety would decrease with the less permeable layer being excavated step by step and aquifer confined beneath it, so measures should be taken to control and regulate the seepage field. The efficiency of foundation pit dewatering would be affected by the water recharge boundary, the thickness and permeability of the aquifer, the arrangement of dewatering wells, and so on.

Key words: south-north water transfer project; foundation pit dewatering; seepage field