

# 多层地质结构条件下轻型井降深影响因素研究

刘伟, 蒋定国

(三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002)

**摘要:** 轻型井点降排水在基坑施工临时降排水方案中应用极为广泛, 但因影响因素较多, 施工中常会出现原设计方案降深不足而影响施工或降深过大造成浪费的情况。采用三维有限元方法, 以南水北调干渠镇平段一断面为例, 分析了多层地质结构条件下, 井深、井点间距及井底地层特性对轻型井降深的影响。结果表明, 若井底位于强透水层, 轻型井降深随井深增加而增大; 若井底位于相对不透水层, 轻型井井深对降深没有影响; 井点间距越大, 降深越小。此外, 井底强透水层越厚, 无效降深越小; 当强透水层厚度大于 5 m 时, 无效降深基本恒定, 但井点间距越大, 该值也越大。

**关键词:** 多层地质结构; 轻型井; 降深; 影响因素; 有限元

**中图分类号:** TV 551.4   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2015)02-0339-04

## Impact factors of drawdown in light well with multilayer geologic structure

LIU Wei, JIANG Ding guo

(College of Hydroelectric & Environment Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

**Abstract:** Light well dewatering is widely used in the temporary dewatering scheme of foundation pit. However, it is affected by many factors and insufficient or excessive draw down can impact the construction or cause waste. In this paper, a cross section in Zhenping of the main channel in the South to North Water Transfer Project was taken for example, and the finite element method was adopted to analyze the effects of well depth, well spacing, and well bottom characteristics on the drawdown in the light well with multilayer geologic structure. The results showed that (1) the drawdown in the light well increases with the increasing of well depth when the well bottom is in the strongly permeable layer; (2) well depth has insignificant effects on the drawdown when the well bottom is in the relatively impermeable layer; (3) the drawdown decreases with the increasing of well spacing; (4) the invalid drawdown decreases with the increasing of the thickness of the strongly permeable layer where the well bottom occurs; and (5) the invalid drawdown is nearly constant when the thickness of the strongly permeable layer is higher than 5 m, and the invalid drawdown increases with the increasing of well spacing.

**Key words:** multilayer geological structure; light well; draw down; impact factor; finite element method

由于明渠开挖及穿河工程较多, 基坑开挖成为南水北调工程中重要组成部分<sup>[1]</sup>。作为必要的工程措施, 基坑降排水在南水北调工程中得到了大范围的应用。南水北调干渠镇平段在开挖施工过程中, 降深多在 4~8 m 之间, 施工期排水采用的是轻型井点降排水方案。但受渠段常见多层地质结构条件影响, 根据基坑工程手册<sup>[2]</sup>设计出的降排水方案常出现降深无法满足设计要求的情况, 因此需要采用其它方法分析多层地质结构条件下轻型井降深影响因素, 以指导南水北调干渠镇平段施工期降排水措施的设计。地下水数值模型作为地下渗流分析的重要工具<sup>[3-7]</sup>, 在解决具体的工程问

题过程中起着日益重要的作用<sup>[8-11]</sup>。鉴于, 本文以南水北调干渠镇平段典型断面为例, 采用有限元方法, 通过求解三维饱和恒定渗流偏微分方程, 分析稳态饱和和渗流条件下轻型井的井深、井点间距及井底地层特性等因素对轻型井降深的影响。

## 1 研究对象

南水北调中线一期总干渠镇平段是陶岔渠首至沙河南段干渠的一个设计单元, 位于河南省南阳市镇平县境内, 起点在邓州尚寨以北约 1 km 的邓州与镇平县界, 终点在官鲁岗镇附近潦河右岸的镇平县与南阳市卧龙区交界处。地质

收稿日期: 2014-03-21   修回日期: 2015-03-09   网络出版时间: 2014-03-20  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150320.1639.013.html>  
基金项目: 三峡大学人才科研启动基金项目(KJ2012B034)  
作者简介: 刘伟(1979-), 女, 江苏江都人, 讲师, 博士, 主要从事大型水利工程环境效应方面的研究。E-mail: lw791231@aliyun.com

构成可大致分为双层结构和多层结构两大类;依据开挖底板高程和透水砂砾层在高程方向上的相对关系,又可分为开挖到强透水层及未能开挖至强透水层两大类。渠道地质条件为多层组成时,可视为双层地质的组合情况,在施工中存在的问题与双层渠道类似,见图 1,即轻型降水井点水位接近相对不透水层时,设计降深无法满足施工要求,应同时考虑其它合理的降水措施。本文以具有双相对不透水层和单强透水层的典型多层地质结构渠段为例,分析轻型井降深的影响因素。

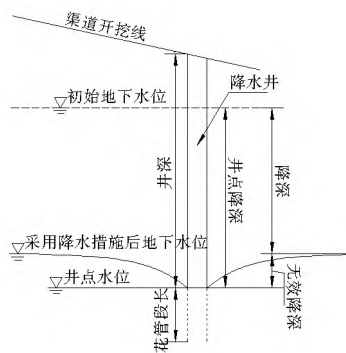


图 1 井点降水示意图

Fig. 1 Schematic diagram of well dewatering

典型渠段地质及渠坡开挖剖面见图 2,其地表高程约 144.0 m,表层为 5.0 m 厚的上更新统冲湖积层 at1Q<sub>3</sub> 黏土,渗透系数为  $2 \times 10^{-6}$  cm/s; 139.0~134.0 m 高程为 5.0 m 厚的砂砾层,渗透系数为  $1.6 \times 10^{-3}$  cm/s; 134.0 m 高程以下为相对不透水的上第三系(N)黏土岩,渗透系数为  $5 \times 10^{-6}$  cm/s。地下水位 142.4 m,高于强透水砂砾层顶面约 3.4 m。基坑底面高程为 135.6 m,进入强透水的砂砾层,比天然地下水位低 6.8 m。

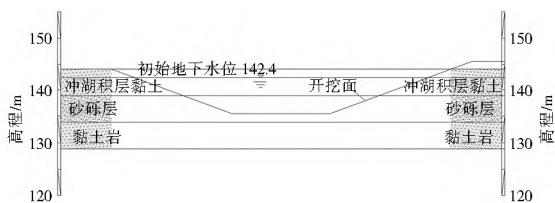


图 2 典型渠段开挖剖面图

Fig. 2 Typical cross section of channel excavation

## 2 计算条件

### 2.1 计算区域

计算采用有限元方法,通过求解三维饱和恒定渗流偏微分方程,分析不同工况下降深的变化。考虑到渠道两侧地形、地质条件的对称性,取渠道轴线一侧作为计算对象,渗流计算模型底部隔水边界至 114.0 m 高程,侧边界与渠坡的距离约为 50.0 m,沿渠向长度取为井点间距。有限元网格三维计算模型采用六面体八节点等参单元,局部区域采用五面体六节点等参单元过渡。为方便计算,将网格节点布置在轻型井所处位置上,同时加密井点附近单元网格,以减弱由此带来的数值影响。三维有限元网格剖分见图 3。

### 2.2 边界条件

左侧边界为第一类边界条件,即已知水头值等于天然地

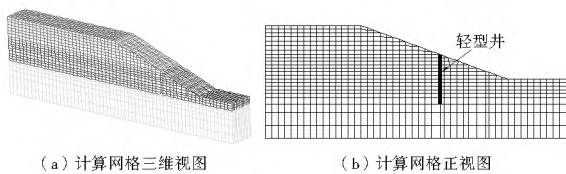


图 3 计算模型三维有限元网格

Fig. 3 Three dimensional finite element mesh of model

下水位(142.4 m);为简化计算,轻型井所处位置节点给定井点水位;渠断面中心对称面及渠道沿长度方向两侧满足自然边界条件均为不透水边界,开挖渠坡设为可逸出边界。

### 2.3 计算工况

为分析多层地质结构条件下轻型井井深、井点间距及井底地层特性对地下水降深的影响,分别计算井点水位分别为 136.2 m、135.1 m、134.0 m、131.8 m 及井间距为 3 m、5 m、8 m 时的研究区域三维饱和恒定渗流场。由已知条件可知,井点水位为 136.2 m、135.1 m 时井底位于强透水层中,井点水位为 134.0 m 时井底恰在交界面上,井点水位为 131.8 m 时井底位于相对不透水层中。

## 3 计算结果及分析

### 3.1 井深对降深的影响

为分析井深对降深的影响,计算了井点间距为 5 m 且井点水位分别为 136.2 m、135.1 m、134.0 m、131.8 m 时浸润线沿渠道横断面及顺渠向断面的分布情况,见图 4。

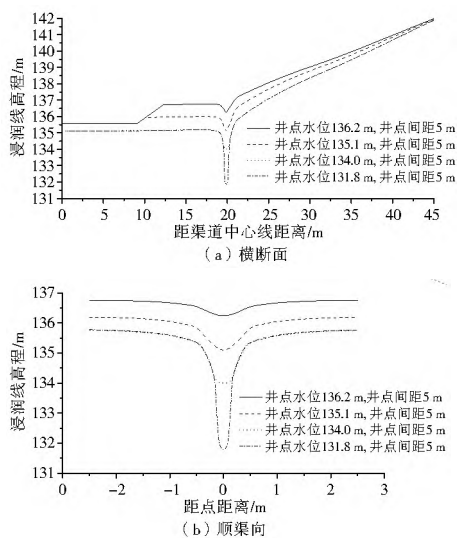


图 4 渠道横断面浸润线分布

Fig. 4 Saturation line distribution across and along the channel

由图 4(a)可知,在渠道横断面上,所有工况下浸润线高程自远端边界处逐步降至井点管附近,在井点管附近突然降低,经井点管后又突然升高,在井点管附近形成明显漏斗区。过漏斗区后,浸润线近似水平,在渠道基坑中形成稳定降水面,且都在相对不透水层之上。由图 4(b)可知,浸润线顺渠向的分布与渠道横断面上类似,即在井点管附近 0.5 m 范围内形成明显漏斗区后,在其它区域降水曲线变得平缓,井点管的降水效果大体由漏斗区深度决定。由此可知,当井底位于强透水层时,降深随井深增加而增加;若井底位于相对不透水层,除井点附近外,降深并不随井深增加而改变。

### 3.2 井点间距对降深的影响

为分析井点间距对降深的影响,分别计算了井点水位为135.1 m(井点在强透水层)、131.8 m(井点在相对不透水层)且井点间距分别为3 m、5 m、8 m时浸润线沿渠道横断面及顺渠向断面的分布情况(图5)。

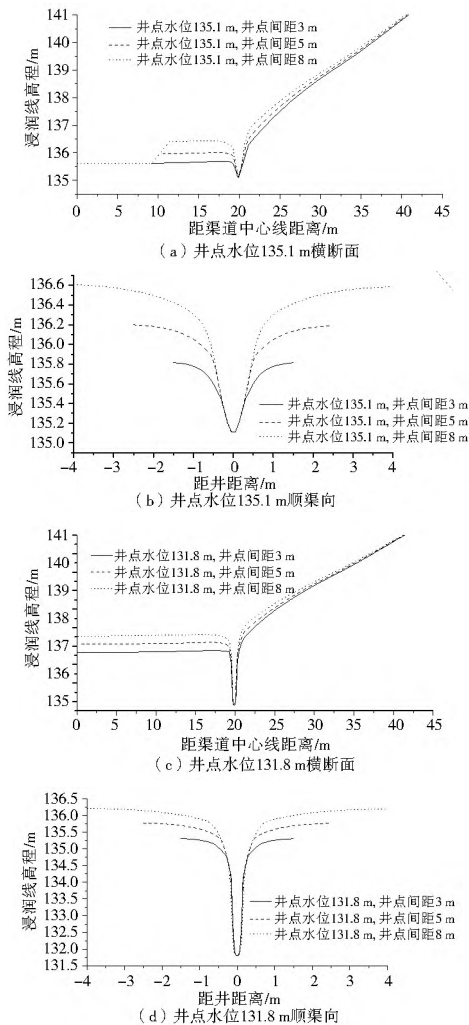


图5 渠道横断面、顺渠向浸润线分布

Fig. 5 Saturation line distribution across and along the channel

由图5可知,无论降水井井底是在强透水层还是在相对不透水层,降深都随井点间距的增大而减少。井点水位为135.1 m时,随着井点间距增加无效降深分别为0.72 m、1.10 m、1.51 m;与井点间距为3 m时相比,井点间距为5 m、8 m时的降深分别减少了0.38 m、0.79 m。井点水位为131.8 m时,无效降深分别为3.51 m、3.98 m、4.42 m;与井点间距为3 m时相比,井点间距为5 m、8 m时的降深分别减少了0.47 m、0.91 m,井间距对降深的影响大于井底在透水层中的情况。

### 3.3 井底地层特性对降深的影响

井点水位分别为136.2 m、135.1 m、134.0 m、131.8 m(即井底强透水层厚度分别为2.2 m、1.1 m、0 m、-2.2 m)时,不同工况下井点无效降深见表1。可以看出,强透水层的厚度对井点降深影响明显,不论井点间距如何变化,各井点无效降深都随井底强透水层厚度减少而增加,井底越接近相对不透水层增加速度越快。同时由图4可知,在井点进入相

对不透水层后,浸润线高程不再随井深增加而改变,即无效降深随井深呈现直线变化。

表1 不同工况下井点无效降深

Tab. 1 Invalid drawdown with different well spacing under different working conditions

井底透水层厚度	无效降深		
	井点间距 3 m	井点间距 5 m	井点间距 8 m
2.20	0.40	0.56	0.80
1.10	0.72	1.10	1.51
0.00	1.29	1.76	2.21
-2.20	3.51	3.98	4.42

对不同井点间距下无效降深和井底透水层厚度间的关系进行拟合,可分别得到式(4) - 式(6)。

$$h = 0.24 + \frac{4.30}{1 + \exp^{(x+1.102)/1.02}} \quad (\text{井点间距 } 3 \text{ m 时}) \quad (4)$$

$$h = 0.34 + \frac{4.93}{1 + \exp^{(x-1.049)/1.19}} \quad (\text{井点间距 } 5 \text{ m 时}) \quad (5)$$

$$h = 0.37 + \frac{5.52}{1 + \exp^{(x+0.901)/1.33}} \quad (\text{井点间距 } 8 \text{ m 时}) \quad (6)$$

式中: $h$ 为无效降深; $x$ 为井底强透水层厚度。

由式(4) - 式(6)可知,当井底强透水层厚度大于5 m时,井点无效降深与强透水层厚度相关性不大,主要受井间距影响,且随井点间距的增加而增大。井底强透水层厚度为无穷大且井点间距为3 m、5 m、8 m时,无效降深分别为0.24 m、0.34 m、0.37 m,无效降深与井间距之比的最大值约为1/12,在基坑工程手册给定的范围内。当井底强透水层厚度小于5 m时,强透水层厚度对井点无效降深的影响显著,无效降深随井底强透水层厚度减小显著增加;井点间距为3 m、5 m、8 m时,无效降深分别为1.29 m、1.76 m、2.21 m,无效降深与井点间距之比分别为0.43、0.35、0.28,最小值约为1/3.6,大于基坑工程手册给定值。因此若要采用基坑工程手册的公式计算降深,应保证井底透水层的厚度大于5 m才能得到合理结果。但应注意,由式(4) - 式(6)所得结果是依据假定的计算模型拟合得到的,忽略了井径的影响,实际应用中仅适用于井径较小且井点花管段透水性较好的轻型井情况。

## 4 结论

本文采用三维数值模拟的方法分析了多层地质结构条件下轻型井降深的几个影响因素,结果表明,轻型井降水效果受井深、井点间距及井底地层特性共同的影响;在井底强透水层厚度大于5 m时,井深与降深基本呈线性关系;井底强透水层厚度小于5 m时,降深随井深增加而增加,但降水效果变差;若井底为相对不透水层,受相对不透水层顶托作用影响,强透水层中总会有一定厚度的含水层,其厚度随井点管间距的增加而增加。

设计轻型井降排水方案时,若井底强透水层厚度较小,需结合数值方法对降水方案重新评估。本文采用简化的处理方法分析了对轻型井降深几个的因素,但实际情况下轻型井降水方案设计时还要考虑井点流量的计算、泵及排水管道的选择等,而且降深还受地层的渗透参数、地下水的补给情况、施工工艺及施工质量等因素的影响,因此在今后的研究

中还需要逐步揭示这些影响因素,为降排水方案的合理设计提供参考。

#### 参考文献(References):

- [1] 韩永席,张建强,陈杰.南水北调穿漳工程基坑降水[J].水力发电,2011,37(7):73-75.(HAN Yongxi,ZHANG Jianqiang,CHEN Jie.Foundation pit drainage in the construction of Zhanghe River crossing project of South to North Water Diversion Project[J].Water Power,2011,37(7):73-75.(in Chinese))
- [2] 刘国彬,王卫东.基坑工程手册[K].中国建筑工业出版社,2009.(LIU Guobin,WANG Weidong.Excavation Engineering Handbook[K].China Building Industry Press,2009.(in Chinese))
- [3] 薛禹群,谢春红,吴吉春.水文地质数值法存在的问题及其对策[J].地球科学进展,1996,11(5):472-474.(XUE Yurqun,XIE Chunhong,WU Jichun.Problems in hydrogeological numerical methods and its countermeasures[J].Advance in Earth Sciences,1996,11(5):472-474.(in Chinese))
- [4] JIANG Q H,DENG S S,ZHOU C B,et al. Modeling unconfined seepage flow using three dimensional numerical manifold method [J]. Journal of Hydrodynamics, Ser B, 2010, 22(4): 554-561.
- [5] LUO Z J,ZHANG Y Y,WU Y X. Finite element numerical simulation of three dimensional seepage control for deep foundation pit dewatering [J]. Journal of Hydrodynamics, Ser B, 2008, 20(5): 596-602.
- [6] WANG G H,YANG Y Y,ZHANG H, et al. Failure characteristics and its influencing factors of talus derived rock mass during open pit mining [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2013, 23(2): 462-471.
- [7] ZHOU N,VERMEER P A,LOU R, et al. Numerical simulation of deep foundation pit dewatering and optimization of controlling land subsidence [J]. Engineering Geology, 2010, 114(3-4): 251-260.
- [8] 杨春山,何娜,张雅宁.考虑渗流-应力耦合基坑开挖降水数值分析[J].广东工业大学学报,2013,30(4):43-48.(YANG Chunshan,HE Na,ZHANG Yanning.Numerical analysis of seepage stress coupling of deep foundation pit excavation [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2013, 30(4): 43-48.(in Chinese))
- [9] CHEN X X,LUO Z J,ZHOU S L. Influences of soil hydraulic and mechanical parameters on land subsidence and ground fissures caused by groundwater exploitation [J]. Journal of Hydrodynamics, Ser B, 2014, 26(1): 155-164.
- [10] WANG J,FENG B,GUO T, et al. Using partial penetrating wells and curtains to lower the water level of confined aquifer of gravel [J]. Engineering Geology, 2013, 161: 16-25.
- [11] YAO L,FENG S,MAO X, et al. Coupled effects of canal lining and multilayered soil structure on canal seepage and soil water dynamics [J]. Journal of Hydrology, 2012, 430-431: 91-102.
- [12] 孟伟,张远,渠晓东,等.河流生态调查技术方法[M].北京:科学出版社,2011:70.(MENG Wei,ZHANG Yuan,QU Xiaodong, et al. River ecological investigation methods [M]. Beijing: Science Press, 2011: 70.(in Chinese))
- [13] 孙军,刘东艳.多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J].海洋学报(中文版),2004(1):62-75.(SUN Jun,LIU Dongyan.The application of diversity indices in marine phytoplankton studies [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004 (1): 62-75.(in Chinese))
- [14] 耿世伟,渠晓东,张远,等.大型底栖动物生物评价指数比较与应用[J].环境科学,2012(7):2281-2287.(GENG Shirwei,QU Xiaodong,ZHANG Yuan, et al. Comparison and application of biological indices of macroinvertebrates in river health assessment [J]. Environmental Science, 2012 (7): 2281-2287.(in Chinese))
- [15] 王勇,宗亚杰,陈猛.用生物多样性指数法评价河流污染程度[J].辽宁城乡环境科技,2003(4):22-24.(WANG Yong,ZONG Yajie,CHEN Meng.Evaluation method for the biodiversity index of river pollution [J]. Liaoning Urban and Rural Environmental Science & Technology, 2003 (4): 22-24.(in Chinese))

(上接第 262 页)