

# 超大型基坑复杂地层降水技术与施工工艺探讨

解西成 吴胜元 金惠宁 姚书荣

(中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司 河北·保定 071069)

**摘要** 超大型基坑降水由于基坑开挖面积大,降深大,基坑涌水量大等因素,在周围没有其它重要建筑物前提下,一般选择井点降水即管井降水方法使地下水位达到降水要求。此类降水工程的难点在于如何设置降水管井及如何保证所施工的管井达到设计出水能力,包括降水管井的井径、深度、间距、施工工艺等方面内容。该文结合首钢某超大基坑降水工程设计与施工实例对上述问题进行了分析和探讨。

**关键词** 超大型基坑 抽水试验 水文地质参数 施工工艺

## Dewatering and Construction Technology of Very Large Foundation Pit in Complex Strata

Xie Xicheng Wu Shengyuan Jin Huining Yao Shurong

(Zhongkan Metallurgical Investigation Design & Research Institute Co., Ltd)

**Abstract** Because of big excavation area, deep drawdown, large hydraulic discharge etc. of very large foundation pit dewatering, well point dewatering (tube well dewatering) is often chosen to reach the dewatering requirements without other important buildings surrounding. The difficulties of dewatering engineering are how to set tube well and to guarantee the construction tube well reach the design water capacity, including tube well diameter, depth, spacing, construction technology and so on. The design and construction examples of very large foundation pit dewatering engineering in Shoudu Steel Group are analyzed and discussed.

**Keywords** very large foundation pit; pumping test; hydrogeological parameters; construction technology

### 1 前言

首钢某热带连轧项目,地下厂房基坑长650m,宽70~160m不等,开挖深度7.20~15.06m,降水面积约65000m<sup>2</sup>,设计要求最大降深15.3m,被称为“冶金第一坑”。该场地水文地质条件复杂,未做水文地质勘察。要求达到设计降深,具备基坑开挖条件的时间只有20d。

工程开始后,首先根据以往设计施工经验,进行初步方案设计及验算,工程前期先根据初步设计进行管井施工,对已完成的管井进行对井群井进行抽水试验,依据试验结果调整初步设计方案,确定降水管井施工的各种参数。

最终该工程按期将水位降至设计要求标高,达到了基底干作业施工条件。在施工技术、工艺及降水效果等方面取得了一定的突破和创新。

作者简介:解西成(1968-),男,工程师,岩土工程专业。

收稿日期:2010-07-21

### 2 场地地质条件

#### 2.1 场地工程地质条件

场地内地质条件复杂,自西向东地层岩性变化较大,据岩土工程地质报告及本次降水管井和观测孔施工中地层揭露情况,自上而下简述如下:

第①层杂填土:成分复杂,结构松散。

第②层中砂:松散—中密。

第③层粉质粘土:可塑—软塑状态,具中等偏高压缩性。

第④层细砂:中密—密实状态。

第⑤层粘土:可塑—软塑状态,中等偏高压缩性。

第⑥层碎石:密实状态。

第⑦层黑云斜长角闪片麻岩:顶部2~3m为全风化岩石,呈碎石或砂状。

第③、④、⑤层仅分布于拟建场地的中部、东部及南部,地层层面坡度小于10%,而第⑥、⑦层层面坡度大于10%,基岩面起伏大,西部浅,东部深。

## 2.2 场地水文地质条件

场地内水文地质条件较复杂,主要含水层为中砂、细砂、碎石和全、强风化片麻岩,勘察期间稳定水位埋深在 0.30 ~ 5.30m 之间,相当于标高 73.14 ~ 77.36m,降水管井施工期间地下水水位埋深在 2.10 ~ 6.70m 之间。地下水类型:西部为潜水,至中偏西部线以东渐变为上部潜水下部承压水。地下水补给源主要为自西向东的侧向补给、大气降水和周围建筑施工排水的渗漏补给。地下水位年变幅 1.0m 左右。

## 3 降水设计

### 3.1 降水设计计算

依据地质资料、降深要求、现场条件及施工经验,初步确定采用管井法降水。

由于本场地缺乏水文地质勘察资料,场地各岩土层水文地质参数不详,本设计使用的水文地质参数,是依据岩土工程勘察报告及有关资料建议的经验值。

1) 基坑开挖长 650m,宽 70 ~ 160m 不等,为超大基坑。设计开挖放坡比为 1:0.75,设计管井轴线距基坑开挖边线外 1.5m。

等效半径  $r_0 = 0.29(a + b) = 0.29 \times (650 + 150) = 232(\text{m})$

2) 渗透系数  $K$  取经验值为 15m/d,影响半径

$$R = 2s \sqrt{KH} = 2 \times 13.5 \times \sqrt{15 \times 15} = 405(\text{m})$$

3) 基坑涌水量

$$Q = \frac{1.36K(2H - S)S}{\lg(1 + \frac{R}{r_0})}$$

式中:  $Q$  为基坑涌水量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $K$  为含水层渗透系数,  $\text{m}/\text{d}$ ;  $H$  为含水层厚度,  $\text{m}$ ;  $S$  为基坑水位降深,  $\text{m}$ ;  $R$  为降水影响半径,  $\text{m}$ ;  $r_0$  为基坑等效半径,  $\text{m}$ 。

$$Q = \frac{1.366 \times 15 \times (2 \times 15 - 13.5) \times 13.5}{\lg(1 + \frac{405}{232})}$$

$$10614.3(\text{m}^3/\text{d})$$

4) 单井允许进水量

$$q = 120\pi r_s l \sqrt[3]{K} =$$

$$120 \times 3.14 \times 0.15 \times 1 \times \sqrt[3]{15} = 139.4(\text{m}^3/\text{d})$$

式中:  $q$  为管井出水能力,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $r_s$  为过滤口半径,  $\text{m}$ ;  $l$  为过滤口进水部分长度,  $\text{m}$ 。

5) 管井数量

$$n = 1.1 \frac{Q}{q} = 1.1 \times \frac{10614.3}{139.4} = 84(\text{眼})$$

由于该基坑为不规则长面状形态,范围大,为加快水位下降速度,在基坑内临设降水管井 15 ~ 20 眼。

### 3.2 降水水位预测

基坑呈长面状形态,面积大,据岩土工程勘察资料,中东部区域地质条件复杂,降水难度大。选择东部区域进行水位预测计算。该区域设计基坑开挖深度 9.5m,降水深度为 10m,该范围共设计有 23 眼降水井,设计管井单井出水量为 139.4  $\text{m}^3/\text{d}$ 。降水水位预测计算结果如下:

等效半径:  $r_0 = 0.29 \times (a + b) = 0.29(100 + 90) = 55.1(\text{m})$

抽水影响半径:  $R = 2s \sqrt{KH} = 2 \times 13.5 \times \sqrt{15 \times 15} = 405(\text{m})$

总出水量:  $Q = 139.4 \times 23 = 3206.2(\text{m}^3/\text{d})$

其中心点水位下降值为:

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366K} [\lg R - \lg r_0]} =$$

$$15 - \sqrt{15^2 - \frac{3206.2}{1.366 \times 15} [\lg 405 - \lg 55.1]} =$$

$$5.54(\text{m})$$

在降水管井施工期间,地下水水位埋深在 2.10 ~ 6.20m 之间,综合考虑地层和水位条件,计算用地下水埋深取 4.50m,得降水后水位埋深为: 4.50 + 5.54 = 10.04(m),满足该区域设计降深要求。

### 3.3 抽水试验

#### 3.3.1 对井抽水试验

由于该工程前期没有做降水水文地质勘察,在初期的降水管井施工过程中,选取该区内最不利降水地段(基坑东部),首先成井并进行了对井抽水试验,由此确定了降水管井间距及成井方法。对井抽水试验成果见表 1。

J47 井距 J48 井间距为 25m, J47' 为上述两管井间中点观测孔。

从上述对井抽水试验结果可以得出,在两抽水井连续工作 6h 后,两井中间位置的水位已达到设计降深要求,所以该参数可以初步做为后续同类地层施工管井的依据。基坑降水所抽取的地下水来源分为坑内的静水储量和周围的地下水补给量,施工期间综合考虑到要求降水的周期短、基坑面积大、降水深度大等因素,最终确定加密降水管井间距至 10 ~ 15m 的方法解决以上问题。

表1 简易对井抽水试验最终结果

井(孔)编号	井(孔)深度/m	水泵下置深度/m	抽水延续时间/h	涌水量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	动水位埋深/m	动水位标高/m	备注
J47	24.0	22	6	51.65	-21.50	56.501	抽水井
J48	24.5	22	6	45.17	-21.50	56.791	抽水井
J47'	23.0				-10.57	67.704	观测孔

3.3.2 群井抽水试验

为了更准确验证及掌握降水管井的参数及预测全基坑降水效果,依据初步设计及对井抽水试验结果,施工完成基坑东部 8600m<sup>2</sup> 范围内 19 眼降水管井后,在该区域进行了群井抽水试验。试验开始 4d 后,区域中心观测孔地下水水位埋深为 9.235m。据此试验结果,结合以往降水工程经验类推,大面积开始降水 15~20d 左右,基坑内水位即可达到设计要求。事实证明 2005 年 5 月 12 日(正式降水维护开始 18d)该孔水位已达到设计降水要求。

3.4 最终降水方案的确定

依据对井抽水试验、群井抽水试验成果,反演场区地层的水文地质参数,再根据这些参数,重新确定了管井间距、井深等设计参数,调整出了设计方案。基本原则是,松散地层区域地下水通过管井降水达到设计要求。开挖深度达到基岩地层的区域,由于黑云斜长角闪片麻岩透水性极差,只存在有局部裂隙水,该区域上部松散层用管井降水,下部基岩通过基坑底部明排水沟排出。

最终降水设计方案确定基坑降水管井数量 104 眼,降水管井深度 18~25m,间距 10~15m。降水管井设计平面布置见图 1。

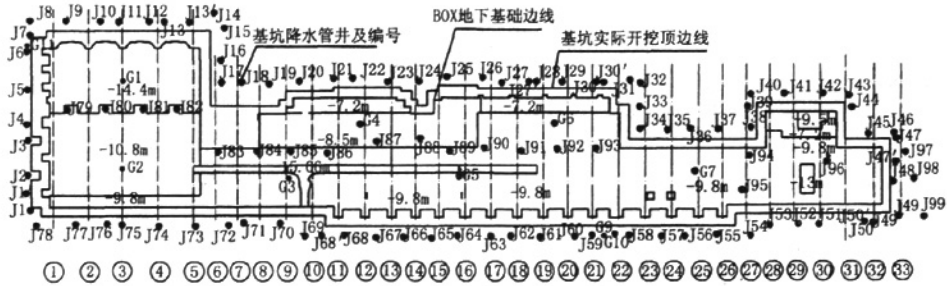


图1 降水管井设计平面布置

4 降水管井施工工艺探讨

降水管井单井出水能力是关系到降水工程成功与否的关键。影响单井出水能力的因素包括管井结构的确定、井管材料及滤料的选取及成井工艺等。

该工程降水管井结构为:钻孔直径 600mm,井管为内径 300mm,壁厚 50mm 的无砂混凝土管,滤料规格为粒径 4~10mm 的砾石,井管口高出地表 500mm。井结构设计见图 2。

在确定了降水管井的结构后,井管材料、滤料的选取及成井工艺的选择成为了施工重点。而成井工艺包括钻探成孔、清孔换浆、下管填砾、洗井等过程的具体实施要求。下面结合本工程特点就成井工艺中的重点问题及解决方法做一简述。

1) 严格把好原材料的质量关。首先,选择透水

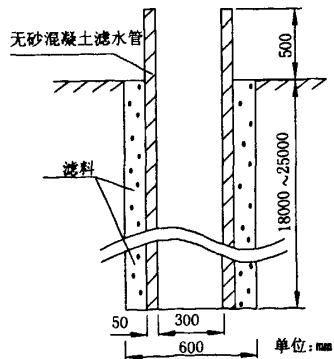


图2 管井设计结构示意图

性能好而且较坚固的无砂混凝土管;其次,根据前期肉眼管井完成后都做了有针对性的简易抽水试验,最终确定了 4~10mm 直径级配的天然水洗砂石做为本次成井使用的滤料,管外包两层 60 目尼龙纱网。

2) 该基坑面积大地层变化大,不同的部位需确定不同的钻探工艺,其目的是在保证钻探成孔稳定的前提下,尽量降低孔壁泥皮的厚度,以解决成孔过程中孔壁泥皮过厚而增加洗井难度的问题。首先,在钻探成孔过程中,东部区域由于地层中粘性土含量较大,使用井孔内粘性土自造泥浆即可保证井孔的稳定,该区域施工管井时,井孔不得使用红粘土造浆护壁。而西部区域地层中的粘性土在自造浆过程中不足以保证井孔的稳定,在井孔钻探到2~3m深度时,填入红粘土在此深度段内进行造浆,以保证井孔上部的稳定性;但下部钻探时是否要填入红粘土,要经现场技术人员同意后方可实施;其次,在设备及地层允许的情况下,实施二次成孔工艺。我们的做法是,第一次钻探孔径为40mm至设计深度后,再进行二次成孔使孔径达到60mm。这样由于第二次成孔时间短,在孔壁上形成的泥皮厚度较薄。

3) 本次成孔采用的是泥浆护壁工艺,虽然在下管填砾前进行了清孔换浆工作,但由于地层中粘性土自造浆液或红粘土造浆液的不稳定性,导致下管这段时间内孔内泥浆粘度自上而下由稀变稠,如果在这种情况下填入砾料,下部砾料即可能被较稠的泥浆严重包裹,形成工程上所说的泥包砾现象,增加洗井难度,或者在某些部位干脆就洗不通。为解决该方面问题,我们的做法是,首先,井管下置完毕后,应立即进行回填滤料工作;其次,采用动水填砾法,此法为将水泵下入距井管底部1~2m处进行抽水抽浆,同时,用另一水管向井内供清水,并均匀、连续、缓慢地填入滤料,不得突填、间歇猛填或机械填砾。填砾过程中要及时记录填砾方量,及时测量砾面深度,根据井内水位情况调节抽水和供水强度。如发现填入量与砾面高度不符,应放缓填砾速度或设法进行处理。应用此法的作用:一是在填砾的工程中稀释和置换管井中的泥浆,减少泥浆的沉淀和堵塞地层、滤料及滤网孔隙;二是保证滤料的密实,减少管井出砂的可能。

## 5 降水效果评述

### 5.1 水量观测

本降水工程降水面积大,降水管井数量多,且基坑北侧及中西侧所抽出的地下水由迁钢动力厂通过封闭式铁管回收了,基坑总涌水量无法准确测量,只能每眼井孔逐一观测后累加而得,水量观测工作量非常大。鉴此,在基坑降水维护期间除在2005年4

月份针对各井水量观测两次外,其余为每月观测一次各降水管井抽降水量,据此结果绘制了基坑降水井总出水量历时曲线,见图3。

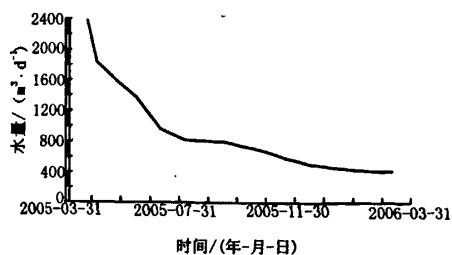


图3 基坑降水井总出水量历时曲线

由历时曲线中可以看出,达到降水水位要求后,总涌水量大幅下降,于2005年4月25日实际观测的各降水管井抽水总水量为2380.1m³/d,而降水设计中的基坑总涌水量为10614.3m³/d,两者相差较大。分析有如下主要原因。首先,设计计算中的基坑总涌水量是在降水初始条件下,即在静止水位条件下抽水时的基坑最大涌水量,此时基坑周边过水断面面积是降水期间的最大值,同时,包括了基坑范围内的地下水部分静储量,也就是说,用此计算所得的基坑涌水量为本基坑出水能力最大时的涌水量。而观测结果为降水延续几天后各降水井中的涌水量之和,它不包括基坑中明排水水量。另外,由于热轧项目总工期非常短,这也要求降水达到开挖条件的时间也非常之短,所以在降水管井施工初期,完成一眼降水管井即下入水泵抽水,以便缩短具备开挖条件的条件,这即损耗了大部分的地下水,也可以理解为小批量降水管井提前抽水,至最后降水管井全部完成后全面抽水,这必将影响到观测水量,即此观测水量不是基坑最大涌水量。

### 5.2 水位观测

降水维护期间,观测孔水位每天观测一次,在观测结果中,选取了场区内有代表性的观测井孔的观测资料绘制了水位观测历时曲线,见图4。

由观测资料可以看出,除西部基岩地区外,其它区域地下水水位在2005年的5月中旬即已达到设计降水深度,即在基坑降水全面开启后的15~20d达到设计降深的要求。而西部基岩地区,由于基岩的透水性差,在开挖过程中和BOX基础施工中,采用管井抽水和明排水相结合的方法最终水位降深才达到要求。

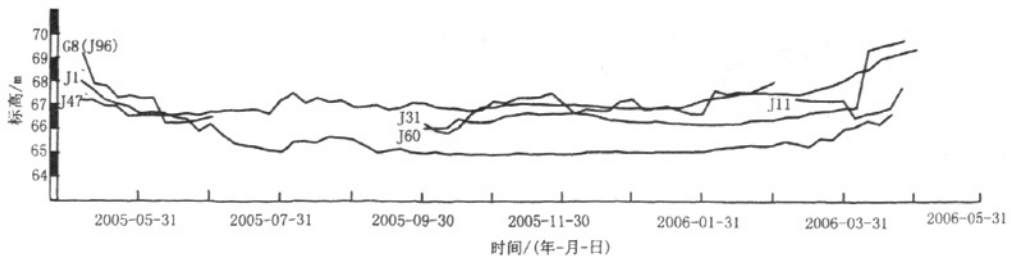


图4 观测孔水位历时曲线

## 6 小结

1) 从降水的最终结果以及现场试验参数和各种降水观测成果看,针对本工程实例设计的基坑降水方案是可靠的;为满足工期要求和场地特殊地质条件所制定的施工工艺是切实可行的。

2) 对于复杂地层超大型基坑,在缺乏水文地质资料,工期短的情况下,能够按期将水位降至设计要求的高程,只凭热情和经验是无法实现的,必须从对问题的根源所在,有技术理论上的突破和创新,以准确可靠的数据为设计依据,选择切实可行的途径

和工艺流程,才能达到目的。事实证明,在热带连轧工程基础施工期内即基坑降水期内,不论是观测孔数据显示还是开挖验证,地下水位一直保持在设计降水要求的水位以下。在迁安地区基坑内作业面首次达到了干作业条件。

3) 从设计计算的基坑总出水量与实际测量统计的出水量比较来看,两者相差较大,虽然在理论上进行了分析,不足之处就是缺乏数据上的统计,类似工程应提前做好准备,加强技术管理与统计工作,以获取更详实的数据进行理论分析。

(上接第27页)

## 5 结论

转换程序的设计实现,解决了使用手动在文件的编辑器中进行将 SL-CAD 的文件格式转换成 PLS-CADD 的文件格式的修改所带来的不方便,又需要耗费大量的工作时间,并且也很容易造成数据链的错误和图形显示错误等等的问题。本文所设计和实现的由 SL-CAD 的文件格式向 PLS-CADD 的文件格式的转换,是一个不同格式文件之间转换的程序。它的设计实现,为基于 SL-CAD 文件格式到 PLS-CADD 文件格式转换的实现提供了一个有效的途径。避免了因人工编辑数据而出的错误,并且大大地节省了作业修改的时间,减小了电力勘测设计人员的劳动量,提高了电力勘测设计的工作效率。

## 参考文献

- 1 教传艳,王果. Visual Basic 6.0 程序设计完全自学手册.北京:人民邮电出版社,2009
- 2 DL/T 5122-2000 500kV 架空送电线路勘测技术规程
- 3 GB 50026-2007 工程测量规范
- 4 北京道亨公司. SL-CAD 架空送电线路平断面处理及定位 CAD 系统用户手册.2008
- 5 Powline. Power Line Systems, Inc. PLS-CADD Version 7 User's Manual.2007
- 6 张春雨,左燕凤,左海燕. DWG 文件批量化“瘦身”的设计与实现. 城市勘测,2008,(2):125~126
- 7 左海燕,张春雨,左燕凤. 导线测量记录簿的自动化生成. 城市勘测,2009,(6):112~114
- 8 左燕凤,左海燕,张春雨. VB 在普通水准测量中的应用. 测绘与空间地理信息,2009,32(6):220~221,224
- 9 GB/T 20257.1-2007 1:500 1:1000 1:2000 地形图图式