

[文章编号] 1003-4684(2019)05-0108-06

基于井群相互干涉原理深基坑降水设计研究

龚少飞, 苏林林, 王翠英

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 以湖北某船闸大型基坑深井降水工程为依托, 阐述井群相互干涉原理, 分析其影响因素, 并通过现场单井、多井抽水试验验证拟建场地的深井抽水符合该井群相互干涉原理, 得出结论: 考虑井群相互干涉原理的降水方案比未考虑该原理(天汉软件设计)的方案降水井数减小了 24.4%, 且与实际运行结果相符。该研究成果具有实用价值, 极大地降低了工程造价, 缩短了工期。

[关键词] 井群相互干涉; 深基坑降水; 抽水试验

[中图分类号] TU47

[文献标识码] A

随着高层、超高层建筑的涌现, 基坑降水工程越来越多。在基坑工程的开挖过程中, 为了避免地下水的渗入而导致基坑施工处于水中作业, 湖北地区一级阶地地层采用深井降水。由于地层的复杂性、不均匀性, 使得深井降水传统的计算理论、软件应用有很多不完善的地方, 与实际工程存在差异。目前深基坑深井降水已有许多学者进行了研究, 杨钧^[1]讨论了基坑降水的地下水位控制问题; 李敏^[2]通过对某长、大、深基坑的研究, 提出了一个安全可行便捷的设计方法; 黄显成、樊德强^[3]介绍了真空井点降水技术在建筑工程深基坑中的应用; 李再兴^[4]探讨了截水法和降水法在深基坑降水中注意的事项; 韩梅传^[5]根据工程案例推求水文地质参数, 采用软件建立了地下水模型, 提出了较佳的降水方案。上述深井降水研究基于裘布依理论, 与实际工况不太相符。考虑井群相互干涉原理的深井降水鲜有研究。笔者以湖北某船闸大型基坑深井降水工程为依托, 进行了现场单、多井抽水试验, 验证了拟建场地地层深井降水符合井群相互干涉原理。该工程降水方案优化设计中考虑了井群相互干涉原理, 设计降水井数比常规设计方法减小井数 24.4%, 其结果与实际施工工程采用降水井数相符, 降低了工程造价, 缩短了工期, 研究成果为类似的基坑降水工程提供有益的参考。

1 井群相互干涉原理

1.1 井群相互干涉原理

深基坑深井降水中, 若有多口井同时工作, 且井与井之间的间距小于影响半径, 则多口井之间存在相互干涉、相互影响, 井群中各井间的关系称为多井干涉系统。实际上, 多井系统就是考虑了实际工程中多井降水时, 各井间的水位降深相互干涉的作用, 使得原本多个抽水井对某点的水位降深, 转化为各井对该点的水位降深之和, 这种现象也称为群井间相互干涉的水位叠加原理。

设在含水层中有 n 口非完整井, 按任意方式分布, 而且互相干扰, 各井到某计算点的距离分别用 r_1, r_2, \dots, r_n 表示, 干扰涌水量分别为 Q_1, Q_2, \dots, Q_n 。如果各井的干涉涌水量相等, 即 $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q$ 。

涌水量公式^[6]有:

$$\text{承压井} \quad Q = \frac{2\pi k M (H_0 - h)}{\ln \frac{R^n}{r_1 \cdot r_2 \cdot \dots \cdot r_n}}$$

$$\text{潜水井} \quad Q = \frac{\pi k (H_0^2 - h^2)}{\ln \frac{R^n}{r_1 \cdot r_2 \cdot \dots \cdot r_n}}$$

降深公式为:

$$\text{承压井} \quad s = H_0 - h = \frac{nQ}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_i}$$

$$\text{潜水井} \quad s = H_0 - \sqrt{H_0^2 - \frac{nQ}{\pi k} \ln \frac{R}{r_i}}$$

[收稿日期] 2019-01-23

[第一作者] 龚少飞(1993-), 男, 甘肃庆阳人, 湖北工业大学硕士研究生, 研究方向为岩土工程

[通信作者] 王翠英(1965-), 女, 湖北武汉人, 湖北工业大学教授, 研究方向为岩土工程

式中: Q 为涌水量, m^3 ; k 为渗透系数, m/d ; M 为含水层厚度, m ; R 为抽水影响半径, m ; r_i 为第 i 口井到计算点的距离; H_0 为含水层底面为基准承压水测压水位高度, m ; h 为含水层底面为基准基坑降水后测压水位高度, m 。

1.2 井群相互干涉程度的影响因素

多井系统中,各井的相互干涉受多种因素影响,井的布置与地下水的流向、井与井之间的间距及井的数量等。

1) 抽水井的间距和数量对井群干涉程度的影响
抽水井间距愈小,井数愈多,则井群间的干涉程度也就愈大。

2) 水位降深对井群干涉程度的影响
水位降深对井群干涉程度的影响与涌水量曲线方程的类型有关。当水位降深与涌水量两者间约为直线关系时,则随着水位降深的增大,各干涉井涌水量的变化近似保持为一定值;当水位降深与涌水量曲线方程为对数或抛物线曲线关系时,各井的涌水量变化值,随水位降深的增大而减少。

3) 地下水的补给条件对井群干涉程度的影响
若抽水井与地下水流向垂直时,在两井水位降深基本相同的情况下,由于补给条件基本一致,所以两口井涌水量变化值基本相等;当平行于地下水流向布置的两口干涉井,井群同时抽水时,位于地下水上游的井的补给来源比位于下游的井充沛,所以在水位降深基本相同的情况下,下游的井比上游井干涉程度要小。

2 现场抽水试验

由湖北某船闸工程项目地质勘察报告得知,拟建场地地层含水层有两层,上部为细砂含水层,下部为砂砾石含水层;含水层厚度达 57 m 左右,承压水水位埋深在地面下 1~2 m。现场抽水试验中施工了 3 个非完整抽水井一个观测孔,分别进行单井和多井的抽水试验。抽水采用的设备是潜水泵,用水表测量实际涌水量;抽水试验孔的孔口高程均为 32.40 m,井孔的深度为 30.00 m,井孔的直径为 0.50 m,井管直径为 0.25 m;观测孔井孔直径为 0.30 m,井管直径为 0.20 m,水位量测前检查每个观测标尺,同时对抽水孔和观测孔进行观测,以便消除时差,减少误差。

2.1 抽水试验方案

抽水试验分别采用 50 m^3/h 和 80 m^3/h 潜水泵进行抽水,分为 4 个阶段:静水位观测,动水位观测,恢复水位观测和稳定水位观测。动水位稳定后,进行恢复水位观测,整个抽水过程中对各个井同时进

行观测,并记录相应水井的降深和涌水量。
1) 静水位观测:按照相应规范要求,静水位观测在正式抽水之前开始,并且要按规范要求的观测时间进行观测,直到水位无明显变化视为稳定。
2) 动水位观测:按照相关规范要求对抽水井、观测井水位进行相应时间间隔进行观测并记录数据,直到水位保持稳定。

3) 恢复水位观测:抽水试验过程中,若出现停泵现象或一些不确定的因素故障,则需要进行恢复水位观测。
4) 稳定水位观测:要求抽水孔的水位上升或下降幅度不大于 3 cm,观测孔的水位幅度不大于 1 cm 为稳定水位。

2.2 单井抽水试验

单井抽水试验采用一个抽水井抽水,另两个抽水井做为观测井以观测水位。抽水井抽水所形成的降落曲线如图 1 所示, s_1 为抽水井降深, s_2 、 s_3 分别为另外两个观测井水位,从图 1 可知,距离抽水井远的观测井 2 比距离近的观测井 1 水位降深小,即 $s_3 < s_2$,可见水位的降深受井间距的影响。

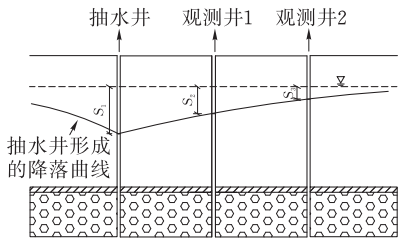


图 1 单井抽水示意图

图 2 为抽水井动水位降深与时间的关系,图 3 为抽水井涌水量与时间关系,图 4 为抽水井涌水量与降深的关系,图 5 为抽水井分别以 80 m^3/h 和 50 m^3/h 抽水时观测井 1 和观测井 2 水位与时间的关系,图 6 为抽水井与观测井水位恢复与时间的关系。

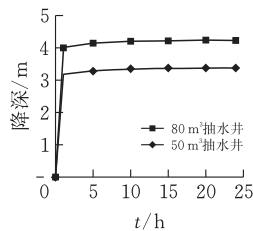


图 2 降深与时间关系

由图 2 可知,80 m^3/h 的水泵最大降深 4.22 m 比 50 m^3/h 的水泵最大降深 3.37 m 大;由图 3 可知,80 m^3/h 的水泵抽水时实际涌水量最大为 87.9 m^3/h ,50 m^3/h 的水泵抽水时实际涌水量最大为 71.2 m^3/h ;图 4 中,两种水泵抽水时涌水量与降深关系均近似为直线。

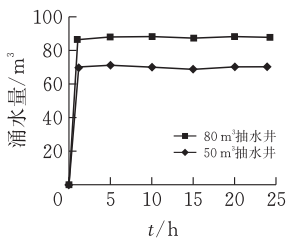


图 3 涌水量与时间关系

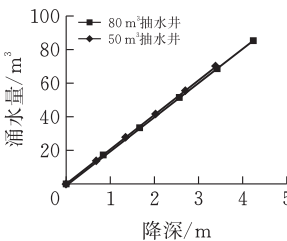


图 4 涌水量与降深关系

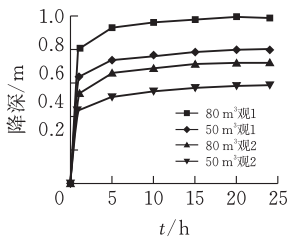


图 5 观测孔降深与时间关系

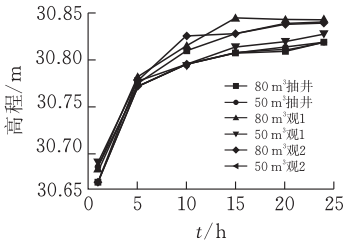


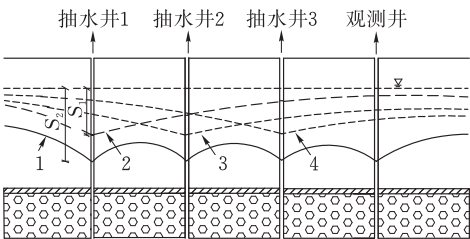
图 6 抽水井与观测井水位恢复与时间关系

图 5 中观测井 1 在 $80\text{ m}^3/\text{h}$ 的水泵抽水时降深为 0.99 m , 在 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 的水泵抽水时降深为 0.81 m ; 观测井 2 在 $80\text{ m}^3/\text{h}$ 的水泵抽水时降深为 0.73 m , $50\text{ m}^3/\text{h}$ 的水泵抽水时降深为 0.60 m , 随着抽水量的增大, 水位降深也增大。图 6 为抽水井、观测井 1 和观测井 2 分别在 $80\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 的井泵下水位恢复与时间的关系图, 由图可知, 观测井 1 ($80\text{ m}^3/\text{h}$) 水位恢复的最快, 水位恢复后高程为 30.83 m , 观测井 2 ($50\text{ m}^3/\text{h}$) 水位恢复的较慢, 水位恢复后高程为 30.81 m 。

2.3 多井抽水试验

采用三个抽水井同时抽水进行多井抽水试验, 一个观测井观测水位, 多井抽水试验示意图如图 7 所示, 并将多井抽水试验成果与单井试验成果做了比较(图 8—10)。

图 8 为干涉井和单井在同一时间内降深的变化关系, 在相同时间内, 单井的最大降深为 4.23 m , 干



1—3 个抽水井叠加形成的降落曲线;
2—抽水井 1 形成的降落曲线;3—抽水井 2 形成的降落曲线;
4—抽水井 3 形成的降落曲线

图 7 多井抽水试验示意图

涉井最大降深为 6.29 m , 降深增加了 48.8% ; 图 9 干涉井和单井在同一时间内涌水量的变化关系, 在相同时间内, 单井的实测涌水量为 $88.0\text{ m}^3/\text{h}$, 干涉井的实测涌水量为 $57.7\text{ m}^3/\text{h}$; 图 10 干涉井和单井涌水量与降深的变化关系, 当两者的降深相同时, 单井的涌水量大于干涉井的涌水量, 当两者的涌水量相同时, 单井的降深小于干涉井的降深。

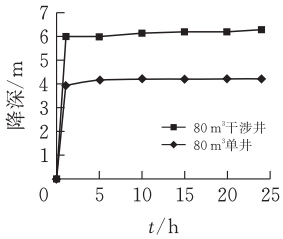


图 8 单井与干涉井降深-时间关系

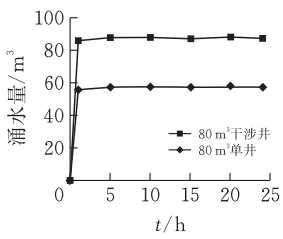


图 9 单井与干涉井涌水量-时间关系

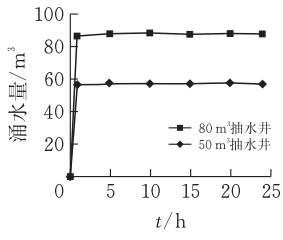


图 10 单井与干涉井涌水量-降深关系

多井抽水试验成果进一步验证了拟建场地地层深井抽水仍符合井群相互干涉原理, 多井同时抽水相互干涉对某点水位降深会产生削减、重叠。

3 水文地质参数确定

影响半径和渗透系数是反映含水层设计重要的水文地质参数; 在实际工程降水方案设计中, 水文地质参数选取的正确与否关系到降水的成败, 在基坑

开挖前需要进行现场抽水试验以确定水文地质参数。

3.1 渗透系数

渗透系数是反应岩石透水性性能的指标,一般渗透系数在水跃值的影响下是一个变量,但根据工程的实际情况和累计经验,一般是用井壁外水位降深来计算 k 值,如果实测得的井管动水位,要考虑扣除水跃值的影响,常用的计算方法如下。

1)裘布依公式

$$k = \frac{Q(\lg 1.6l - \lg r_w)}{2.73lS_w} \tag{1}$$

式中: r_w 为井管半径; S_w 为单井抽水时动水位降深,m。

2)《水利水电工程钻孔抽水试验规程》公式
《水利水电工程钻孔抽水试验规程》附录 B 中^[7]渗透系数公式

$$k = \frac{0.16Q}{l \cdot (s_1 - s_2)} \times \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right)$$

式中: s_1 、 s_2 为第一、第二个观测井水位降深,m; r_1 、 r_2 为第一、第二个观测井与抽水井的距离,m。

3.2 影响半径

1)通过对补给排水量的控制确定影响半径
根据降水井周边地下水的流量几乎为零时的点的集合到井中心的平均距离可定义为影响半径,此范围内井点附近任意一点处的流量与该点处的水力坡度成正比;根据泰斯公式

$$Q_r = 2\pi T \frac{\partial s}{\partial r} = Q \exp\left(-\frac{r^2}{4at}\right) \tag{2}$$

当 $Q_r/Q \leq 5\%$ 时,可以忽略 r 之外区域的补给,这个距离长度就是影响半径。式中: T 为导水系数, m^2/d , $T=kM$; k 为渗透系数, m/d ; M 为含水层厚度,m; a 为导压系数, m^2/d , $a=k/u_s$; u_s 为储水系数,1/m。

2)沉降控制时降水影响半径的确定
因抽降水后产生的降落漏斗,当远处水位标高恰好为该处的历史最低水位标高(干旱时期最低的地下水位)时的范围可视为影响半径。该范围的水位上升下降不致产生地面沉降。利用单井抽水试验公式,降落漏斗范围内任意点的动水位(h_i):

$$h_i = h_0 = \frac{0.366Q(\lg r_i - \lg r_0)}{kM} \tag{3}$$

变换后得:

$$\lg r_i = \frac{2.73kM(h_i - h_0)}{Q} + \lg r_0$$

式中: r_i 为距抽水井距离,m; h_0 为井管动水位,m。
以当地历史上水位降幅最大深度 h_i 对应的 r_i 值即为影响半径,武汉地区这一最大降幅一般为 2 m。

3)《水利水电工程钻孔抽水试验规程》公式,影响半径:

$$\lg R = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2} \tag{4}$$

式中: s_1 、 s_2 为第一、第二个观测井水位降深,m; r_1 、 r_2 为第一、第二个观测井与抽水井的距离,m。

4 湖北某船闸大型基坑深井降水优化设计

湖北某船闸大型基坑深井降水是引江济汉工程,含水层厚度平均约 57 m,承压水水位地面下 1~2 m;本工程基坑开挖深度 12.60 m,上游导航墙处开挖深度为 11.60 m,船闸基坑长约 260 m,宽约 70 m,该船闸为超大型深基坑,开挖面积大,施工难度高。基坑开挖至 10 m 时已揭穿承压含水层(细砂层),基坑开挖及基础施工时需要进行深井降水,设计降深 12.0 m。

4.1 水文地质参数确定

根据湖北长江一级阶地地层深井降水经验,采用井管直径 250 非完整井,井深 35 m,滤水管长度 13 m,采用 50 m^3/h 的水泵进行抽水试验,观测孔 1、观测孔 2 距抽水井的距离分别为 15 m、30 m,5 h 后,观测孔 1、观测孔 2 水位分别下降 0.74 m、0.53 m;水表读数显示实际平均流量为 60 m^3/h ,井管动水位相对稳定值 5.36 m。

4.1.1 渗透系数的确定

1)采用非完整井单井抽水试验的实测数据, $Q=60 \text{ m}^3/\text{h}$, $r_w=0.125 \text{ m}$, $S_w=0.74 \text{ m}$ 代入式(1):

$$k = \frac{Q(\lg 1.6l - \lg r_w)}{2.73lS_w} = 22.71 \text{ m}/\text{d}$$

2)采用《水利水电工程钻孔抽水试验规程》公式(6),将两个观测孔距离 $r_1=14.93 \text{ m}$, $r_2=29.78 \text{ m}$,水位降深 $s_1=0.806 \text{ m}$, $s_2=0.594 \text{ m}$ 代入公式

$$k = \frac{0.16Q}{l \cdot (s_1 - s_2)} \times \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right) = 27.34 \text{ m}/\text{d}$$

经上述综合对比,结合以往类似工程中实践经验,渗透系数 k 取值为 25 m/d 。

4.1.2 影响半径的确定

1)通过对补给排水量的控制计算影响半径。考虑 $Q_r/Q=0.05$ 时, r 值做为影响半径,由式(2)得

$$Q_r = Qe^{-\frac{r^2}{4at}}, e^{-\frac{r^2}{4at}} = \frac{Q_r}{Q} = 0.05, -\frac{r^2}{4at} = \ln 0.05,$$

$r=196.3 \text{ m}$,即影响半径 $R=196.3 \text{ m}$ 。

2)沉降控制时降水影响半径的确定
武汉地区最大降幅一般为 2 m,将 $h_i=2 \text{ m}$, $h_0=5.36 \text{ m}$, $r_w=0.125 \text{ m}$ 代入式(3)

$$\lg r_i = \frac{2.73kM(h_i - h_0)}{Q} + \lg r_0$$

计算得 $r_i=208.5\text{ m}$,即影响半径 $R=208.5\text{ m}$ 。

3)《水利水电工程钻孔抽水试验规程》确定影响半径

将两个观测孔资料 $s_1=0.806\text{ m}$, $s_2=0.594\text{ m}$, $r_1=14.93\text{ m}$, $r_2=29.78\text{ m}$ 代入式(4)

$$\lg R = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2} = 2.30$$

$R=201.4\text{ m}$ 。结合以往类似工程中实践经验,考虑影响半径 R 取值为 200 m 。

4.2 依据天汉软件计算涌水量

天汉软件中降水涌水量计算采用《湖北省深基坑工程技术规定》中^[8]公式:

$$S = \frac{0.366}{Mk} \sum_{i=1}^n Q_i (\lg R - \lg r_i)$$

式中: S 为承压水位下降设计值; k 为综合渗透系数, m/d ; M 为含水层厚度, m ; R 为抽水影响半径, m ; Q_i 为单井抽水量, m^3/d ; r_i 为任意点距抽水井的平面距离, m 。

将相关参数 $k=25\text{ m/d}$, $R=200\text{ m}$, $M=57\text{ m}$, $S=12\text{ m}$ 输入天汉软件程序,计算得总涌水量为 $4121\text{ m}^3/\text{h}$,采用 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 水泵所需 82 口井。

4.3 根据井群相互干涉原理计算涌水量

等效圆半径 $R_0=1.13(l+b/4)=93.23\text{ m}$,代入承压井涌水量公式,求得基坑总涌水量

$$Q_{\Sigma} = \frac{2\pi T(H_0 - h_w)}{\ln \frac{R}{R_0}} =$$

$$\frac{2 \times 3.14 \times 24 \times 60 \times (70 - 56.5)}{\ln \frac{200}{93.23}} = 112074\text{ m}^3/\text{d}$$

采用试算法,求不同井数时每口井的干扰涌水量。

井数 $n=59$ 时,

$$Q' = \frac{2\pi k M (H_0 - h_w)}{\ln \frac{R^n}{n \cdot r_w \cdot r^{n-1}}} = \frac{131126.4}{70} = 1873\text{ m}^3/\text{d}$$

$$nQ' = 59 \times 1873 = 110507\text{ m}^3/\text{d} < 112074\text{ m}^3/\text{d}$$

井数不够,再设 $n=62$ 时, $Q'=1873\text{ m}^3/\text{d}$; $Q_{\Sigma}=nQ'=112380\text{ m}^3/\text{d} > 112074\text{ m}^3/\text{d}$,满足要求。

天汉软件计算基坑降水涌水量采用理论未能考虑到井群之间相互干涉的影响,计算的井的数量 82 口偏大。考虑到施工降水过程中干涉之间的相互叠加和相互干涉的井群相互干涉理论,计算得所需井数 62 口。本工程深井降水按 65 口井布置,多布置了 3 口井做为安全储备。

群井抽水形成以基坑中部为中心的降落漏斗,故基坑中部降深大,四角处降深较小,只要基坑四角部位能达到设计降深即可。 65 口降水井,在基坑范围内均匀布置,但应考虑避开工程桩,因船闸中部底板混凝土整体一次性浇筑,故不宜布井,井位尽量布

置于桩间距较大处,地下水流入井管时阻碍小些;反复调整井孔布置,并通过天汉软件计算降深,直到基坑四角水位降深达到设计降深,即基坑四角部位水位低于基坑底以下 1.0 m ,满足开挖要求。图 11 为基坑降水井平面布置图。

实际运行结果证明,基坑开挖到最大深度时全部运行的井数为 60 口,与设计计算结果井数 62 口相符,比常规设计方案采用 82 口降低了造价,减少了工期。

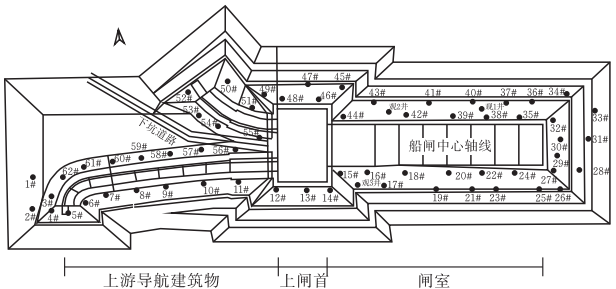


图 11 基坑降水井平面布置图

5 小结

1)阐述了井群相互干涉原理并给出了基本理论公式,分析了抽水井间距、井数量、水位降深及地下水的补给条件对井群干涉程度的影响。

2)分别进行了现场单井、多井抽水试验,将单井、多井降深与时间、涌水量与时间、涌水量与降深关系进行了分析对比,验证了拟建场地地层深井降水也符合井群相互干涉原理。

3)以湖北某船闸大型深基坑降水工程为依托,利用抽水试验及常规方法综合比选确定了水文地质参数,考虑井群相互干涉的降水方案设计中,计算得井数为 62 口,比用天汉软件方法设计井数 82 口减小了 24.4% ,且与实际运行结果相符,降低了工程造价缩短了工期。

[参 考 文 献]

[1] 杨钧.对基坑降水若干问题的思考[J].工程建设与管理,2008;204-205.
[2] 李敏.基坑降水设计浅谈[J].山西建筑,2009,35(1):143-144.
[3] 黄显成,樊德强.深基坑降水技术的研究[J].建筑施工,2009,7(26):68-70.
[4] 李再兴.有关基坑降水方法的探讨[J].地下水,2008,30(2):72-79.
[5] 韩传梅.深基坑降水工程试验及降水方案设计[J].地下水,2007,29(6):40-46.
[6] 苑莲菊,李振栓.工程渗流力学及应用[M].北京:中国

建材工业出版社,2001.

[7] 中国电力企业.《水利水电工程钻孔抽水试验规程》SL 320—2005[M].北京:中国电力出版社,2012.

[8] 湖北省住房和城乡建设厅.《湖北省深基坑工程技术规定》DB42/T159-2012[M].湖北:湖北省建设工程标准定额管理总站,2012.

Design Study on Deep Base Pit Precipitation Based on the Principle of Mutual Interference of Wells Group

GONG Shaofei,SU Linlin,WANG Cuiying

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment,Hubei Univ.of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract:Based on the deep well precipitation project in a large foundation pit of a ship lock in Hubei province, the principle of mutual interference between well groups is expounded and the factors that affect the degree of mutual interference between well groups are analyzed. The test results of single well and multi well pumping are compared. The results prove that the deep well pumping in the proposed site still conforms to the principle of mutual interference between well groups. By means of water pumping test and conventional method, the permeability coefficient and influence radius are determined, and the number of wells calculated by the precipitation scheme with mutual interference of well groups consists with the actual number of wells, which reduces the project cost and shortens the duration.

Keywords: mutual interference between well groups; deep pit precipitation; pumping test

[责任编辑:裴 琴]

(上接第 99 页)

Study on the Growth Effect of Slope Protection Plants under Fly Ash Base Material of Waste Incineration

ZHAO Hongbo, WAN Juan, XIAO Henglin, LIU Jiarui, HU Qiang

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment,Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430064,China)

Abstract:In fly ash,phosphorus,potassium and other elements can promote plant growth,fly ash was added into slope protection base material in order to examine the effect of fly ash on plant growth. Three representative slope protection plants, Bermudagrass, Festuca arundinacea and Magnolia multiflora, were selected to establish a model for experiment to observe and analyze the plant growth under different fly ash content. The results showed that when the fly ash content was less than 5.0%, the fly ash promoted the germination of canine root, but inhibited the growth of Tall Fescue and Magnolia multiflora. When the fly ash content was more than 10%, the germination time and number of germinating seeds of the three slope protection plants decreased with the increase of fly ash content. In terms of the number of germinating seeds, the maximum number of germinating seeds of Bermudagrass is 2.5 times that of tall fescue, which has better slope protection effect and soil consolidation performance. When the fly ash content is less than 20%, the coverage of bermudagrass and tall fescue is more than 50%, which can shade the soil and improve the soil consolidation and erosion resistance of plants. However, Magnolia multiflora is not suitable to grow under fly ash.

Keywords: slope protection material; incineration fly ash; fly ash content; slope protection plant

[责任编辑:裴 琴]