

文章编号: 1000-7598-(2006)06-1011-06

# 深基坑降水引起周边地面沉降量值 计算修正系数 $M_s$ 的确定

王翠英<sup>1</sup>, 黄理兴<sup>2</sup>, 段卫昌<sup>3</sup>, 余义锋<sup>3</sup>

(1. 湖北工业大学; 武汉 430068; 2. 中国科学院武汉岩土力学所, 武汉 430071; 3. 湖北长安省建筑股份有限公司, 湖北 英山 438700)

**摘 要:** 从降落漏斗水位以上覆盖层、弱透水层的排水固结过程到多孔介质(岩土层)的压缩、水的压缩三方面分析了深井降水引起地面沉降的机理, 得出降水引起地面沉降的压缩层厚度主要为降落漏斗水位以上降水范围内的覆盖层和弱透水层厚度的结论。同时收集了 10 个有代表性的深基坑降水工程的相关资料, 通过实测值与理论值的比值, 得出一批降水引起地面沉降修正系数  $M_s$  值(880 组数据)。采用 BP 神经网络对这批数据进行处理, 使它能在给定的输入( $t, S, \bar{E}_s, h$ )和输出( $M_s$ )之间, 建立一种网络映射关系。利用该网络任意输入一组( $\bar{E}_s, h$ )值, 即可得出不同  $t, S$  对应的修正系数  $M_s$  等值线图, 为类似地层的基坑降水工程, 在预测不同的时间、距离的实际沉降量上具有实用价值。

**关 键 词:** 修正系数  $M_s$ ; 基坑; 降水; 覆盖层

中图分类号: TU 46<sup>+</sup>.3

文献标识码: A

## Determination of coefficient $M_s$ during calculation of surrounding ground settlement due to foundation pit dewatering

WANG Cui-ying<sup>1</sup>, HUANG Li-xing<sup>2</sup>, DUAN Wei-chang<sup>3</sup>, YU Yi-feng<sup>3</sup>

(1. Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 3. Hubei Chang An Building Stock Co., Ltd. Yingshan 438700, China)

**Abstract:** From overburden layers, semipervious layers above depression-cone level drainage consolidation, porous media (geo-formation) compression and water compression, the ground settlement mechanism is analysed during foundation pit dewatering. Compression layers thickness due to dewatering is chiefly overburden layers, semipervious layers thickness above depression-cone level. Collecting the related data of 10 foundation pits dewatering engineering, the practical values and theoretical values are compared and a set of modified-coefficient  $M_s$  of surrounding ground settlement due to foundation pit dewatering (aggregately 880 groups of data) are got. Using BP neural network method to process those data, we can find a sort of net mapped connection between given inputs ( $t, S, \bar{E}_s, h$ ) and outputs ( $M_s$ ). We can use net connection to input a sort of ( $\bar{E}_s, h$ ), and get isoline of modified-coefficient  $M_s$  which is corresponding with different  $t, S$ . Accordingly we can find modified-coefficient  $M_s$  of arbitrary  $t, S$ , which has practical value to foundation pit dewatering engineering of similar layers to forecast practical settlement at different times and distances from foundation pit.

**Key words:** modified-coefficient; foundation pit; dewatering; overburden layer

## 1 引 言

深井降水引起地面沉降的理论计算值远远大于实测值。目前湖北省地方标准基坑工程技术规程(DB42/159-2004)<sup>[1]</sup>中降水引起的地面沉降计算式为

$$\Delta_{sw} = M_s \sum_{i=1}^n \sigma_{wi} \frac{\Delta_{hi}}{E_{si}} \quad (1)$$

式中  $\Delta_{sw}$  为水位下降引起的地面沉降;  $M_s$  为经验系数;  $\sigma_{wi}$  为水位下降引起的各计算分层有效应力增量(kPa);  $\Delta_{sw}$  为受降水影响地层的分层厚度(cm);  $E_{si}$  为各分层的压缩模量(kPa)。从式中可看出:

①压缩层厚度采用覆盖层、过渡层及承压含水层作为整个压缩层来计算

②修正系数  $M_s = M_1 \times M_2$ ,  $M_1$  (0.3~0.9) 与

收稿日期: 2005-01-17

作者简介: 王翠英, 女, 1965 年生, 副教授, 博士, 从事岩土工程地质方面的教学与科研工作。E-mail: wangcuiying1255@21cn.com

土质有关,  $M_2(0.5\sim 0.9)$ 为3个月内和超过3个月的取值范围, 没有考虑不同的情况如: 降深、地层结构、具体时间、距离(与基坑边的距离)时的影响, 人为因素很大。

工程资料显示, 在计算降水引起周边地面沉降量时采用覆盖层、过渡层及承压含水层作为压缩层来计算必须考虑其合理性。引起理论与实践误差的关键是修正系数  $M_s$  及压缩层厚度如何确定。

## 2 深井降水引起地面沉降的机理分析

作用在地层平面上的总重量  $\sigma$ , 形成的压力与土骨架应力  $\sigma'$  和水的压力  $p$  相平衡<sup>[2]</sup>, 关系式为

$$\sigma = \sigma' + p \quad (2)$$

深基坑降水导致饱和多孔介质水头(即水压)的减小, 它将引起下列作用:

疏干段部分, 水压  $p$  的降低, 地下水对上覆岩土体的浮力降低, 为了维持平衡, 这部分力转嫁到多孔介质固体骨架上, 在土层固结过程中, 排水与固结作用是同时进行的。

由于粒间应力的改变, 土层一定会发生变形, 这种变形包括固体颗粒的位移和颗粒的重新排列, 因而改变了多孔介质的孔隙度, 使孔隙度减小, 多孔介质岩土层压密; 水压力的降低, 还使水的体积发生膨胀, 使含水层储存量中释放出一定数量的水。

### 2.1 降落漏斗水位以上覆盖层、弱透水层的排水固结过程

深基坑降水过程中下部承压含水层中水头下降, 在水头差作用下, 使弱透水层中的水向下产生越流补给。越流过程中, 弱透水层中的水头变化时, 弱透水层内部释放水量的效应称为延迟储水效应。因弱透水层的渗透率很小, 使得其中的水流基本上是垂向的, 设通过弱透水层的水流已形成稳定流, 假定在主承压含水层中抽水而产生的水头逐渐下降的情况下经过足够长的时间之后, 新的稳定状况又会出现(水头为线性变化)。但是在这个时间内, 弱透水层中水头的降低会落后于新的稳定状态。沿弱透水层初始水头与变化的水头之间的差值用  $S'(Z', t) - \phi'/t = 0$  表示。降落漏斗水位以上覆盖层、弱透水层的沉降随时间而变化, 沉降量与固结度大小有关。

### 2.2 多孔介质(岩土层)的压缩

水压的变化  $dp$  引起岩土压力的变化, 转化为有效应力的变化:

$$dp = -d\sigma', \quad d\sigma' = -\frac{1}{\alpha} \frac{dV_b}{V_b} \quad (3)$$

式中  $V_b$  岩土的总体积;  $\alpha$  岩土体积压缩系数;  $V_b = V_s + V_v$  一般假定认为岩土固体部分体积是不可压缩的, 因此水压的变化  $dp$  引起岩土体积的变化,  $dV_b$  实际上就是  $dV_v$ 。

$$\text{故} \quad dp = \frac{1}{\alpha} \frac{dV_v}{V_b} = \frac{1}{\alpha} \frac{de}{1+e} \quad (4)$$

式中  $e = \frac{V_v}{V_s}$  为体积比, 厚度为  $H$  的总沉降量为

$$S(x, y, t) = \int_0^H \frac{\Delta e}{1+e_0} dz = \int_0^H \frac{\alpha \Delta p}{1+e_0} dz \quad (5)$$

### 2.3 水的压缩

假定水近似地符合弹性变形, 根据虎克定律有:

$$dp = -\frac{1}{\beta} \frac{dV}{V} \quad \text{或} \quad \beta = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp} \quad (6)$$

式中  $p$  为水压;  $V$  为水的体积;  $\beta$  为水的体积弹性模量(或膨胀系数),  $V$  随  $p$  的增大而减小,  $\beta$  的倒数称为体积弹性模量  $E$ , 单位为  $\text{MPa}^{-1}$ 。

含水层中水头下降一单位时, 从含水层中弹性储存释放的水 ( $\Delta U_{m1} = S_h$ ) 与由于从孔隙空间实际排出的水 ( $\Delta U_{m2} = S_y$ ) 两者之间相比存在  $S_h \leq S_y$ , 因而弹性储存释放的水  $\Delta U_{m1}$  可以忽略不计; 因此水头的下降, 使得含水层储存量中释放出一定数量的水, 其水量主要为孔隙空间实际排出的水。

根据研究结果, 当改变一个大气压时, 水的体积只改变大约 0.046%<sup>[3]</sup>。目前深基坑降水在武汉地区最大降深未超过 18 m, 故最大水压降  $\Delta P = 180 \text{ kPa}$ , 约为 1.78 个大气压, 对水的体积只改变了大约 0.082%, 故深井降水在基坑周边产生降落漏斗, 漏斗水位以下多孔介质空隙中充满了水, 由于水压的变化而引起的水体积及土颗粒体积的变化可忽略不计, 视为不可压缩部分, 故降水引起周边土体地面沉降量实际上为抽水降深稳定后水位维持期降落漏斗水位以上降深范围内土层的沉降变形量。

## 3 沉降修正系数 $M_s$ 的确定

### 3.1 深井降水引起周边地面沉降量的计算

图1为汉口地区典型的地质剖面图。土层下部承压含水层水头下降, 水位降落漏斗逐渐形成过程中, 覆盖层及弱透水层中的水产生越流补给, 水位

以下的土层空隙中充满了水，水及土颗粒视为不可压缩的，降水引起地面沉降的压缩层厚度主要为降落漏斗水位以上降深范围内的覆盖层和弱透水层的厚度。

$$S = S_1 + S_2 \quad S_1 = \frac{\sigma_z(i)}{E_{s1}} h_i = \frac{1}{2} \frac{r_w h_1}{E_{s1}} h_1 = \frac{5h_1^2}{E_{s1}} \quad (7)$$

$$S_2 = \frac{\sigma_z(i)}{E_{s2}} h_i = \frac{1}{2} \frac{r_w (h_2 + h_1)}{E_{s2}} (h_2 - h_1) = \frac{5h_2^2 - h_1^2}{E_{s2}} \quad (8)$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = S_1 U_{t1} + S_2 U_{t2},$$

$$\Delta S = \frac{5h_1^2}{E_{s1}} U_{t1} + \frac{5(h_2^2 - h_1^2)}{E_{s2}} U_{t2} \quad (9)$$

式中  $S$  为总沉降量； $S_1$  为上覆覆盖层的沉降量； $S_2$  为过渡层弱透水层疏干段的沉降量； $\Delta S$ ， $\Delta S_1$ ， $\Delta S_2$  为某一时间总沉降量、上覆覆盖层的沉降量、过渡层弱透水层疏干段的沉降量； $\sigma_z(i)$  为作用在  $i$  层上的平均附加应力； $U_{t_i}$  为第  $i$  层的固结度； $h_1$ ， $h_2$  为覆盖层、弱透水层的水位降。

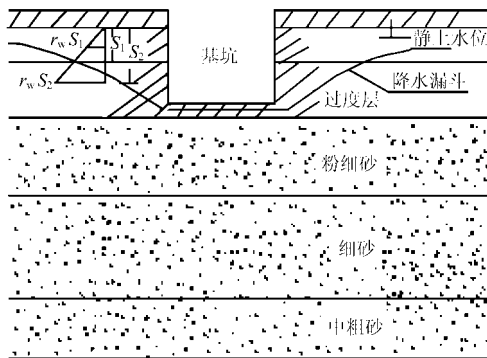


图 1 汉口地区地质剖面图

Fig.1 Geological profile in Hankou area

### 3.2 沉降修正系数 $M_s$ 的确定

本文收集了武汉地区 10 个深基坑降水工程的相关资料：降水维持期水位、工程地质勘察报告及周边地面沉降观测资料。通过对实际工程计算与实测的资料，得出下面的结果：

降水形成的降落漏斗各点水位计算中，假定基坑为一“大口井”，采用的渗透系数为承压含水层的综合渗透系数。其计算公式<sup>[4]</sup>为：

$$\text{渗透系数} \quad k = \frac{0.366Q}{M(h_1 - h_2)} \log \frac{r_1}{r_2} \quad (10)$$

$$\text{影响半径} \quad \log R = \frac{h_1 \log r_2 - h_2 \log r_1}{h_1 - h_2} \quad (11)$$

基坑外任意点的水位降深

$$h = \frac{0.366 \sum_{i=1}^n Q_i (\log R - \log r_i)}{Mk} \quad (12)$$

$h_1$ ， $h_2$  分别为观测孔水位降深(m)； $r_1$ ， $r_2$  为两个观测孔至抽水孔的距离(m)。

不同的建设工程由于其地层情况不同，深基坑降水工程在降深范围内土层压缩模量加权平均值  $\bar{E}_s$  值也不同，通过理论方法计算出不同时间、不同距离（与基坑边的距离）的沉降量  $S_{理}$  与实测得的不同时间、不同距离的沉降量  $S_{实}$  的比值得出沉降修正系数  $M_s$  值。限于篇幅，下面仅以长天大厦工程为例阐述降水引起周边地面沉降修正系数  $M_s$  计算结果。

工程实例 1：长天大厦降水工程降水引起周边地面沉降修正系数  $M_s$  计算结果。表 1 为降水计算参数。

表 1 降水计算参数

Table 1 Dewatering calculating parameters

土层	厚度 /m	压缩系数 $\alpha_{1-2}$	压缩模量 $E_s$ /MPa	孔隙比 $e$	渗透系数 $k$ /cm·s <sup>-1</sup>
黏性土（覆盖层）	7.0	0.652	3.6	1.08	$6 \times 10^{-7}$
粉质黏土与粉土互层（过渡层）	3.3	0.350	5.8	0.876	$1 \times 10^{-5}$
强透水层	32.5		20.0		$2.3 \times 10^{-6}$

强含水层厚度  $M = 32.5$  m， $Q = 6$  口井  $\times 80$  t/h = 11 520 t/h；基坑范围：35.6 m  $\times$  37.6 m，概化半径  $r = 20.65$  m。两观测井距基坑中心距离为  $r_1 = 16$  m， $r_2 = 22.0$  m；观测孔水位降  $h_1 = 8.4$  m； $h_2 = 7.5$  m；代入式(10)、(11)中求得综合渗透系数  $k = 19.94$  m/d，影响半径  $R = 312.6$  m。因此，代入式(12)可计算出基坑外任意点的水位降深  $h$  值，再代入式(7)、(8)中，可算出黏性土（覆盖层）、粉质黏土与粉土互层（过渡层）的沉降量  $S_1$ 、 $S_2$  值。计算出上述两层不同时间、不同距离的固结度后可得出  $\Delta S_1$ ， $\Delta S_2$  值，利用式(9)可求出  $\Delta S$  值；计算结果见表 2<sup>[5]</sup>

表2 不同时间、不同距离理论计算与实测沉降量值 (单位: mm)  
Table 2 The theoretical and practical settlement values of different times and distances (unit: mm)

时间/d	5		10		15		20		25		30		35		40	
距离/m	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测	计算	实测
3	28.90	19.72	48.67	22.38	58.23	34.21	67.78	42.73	73.65	44.73	76.54	47.17	79.60	52.61	81.56	52.62
5	27.04	18.30	43.88	21.64	53.28	33.52	62.54	42.00	68.24	44.00	71.06	46.29	74.01	51.25	75.90	51.30
10	22.80	15.89	35.85	18.49	43.39	26.57	51.76	36.78	57.07	37.84	59.73	40.25	62.45	45.27	64.19	46.89
15	20.16	12.42	31.68	16.84	37.90	24.70	45.32	32.41	50.48	34.74	53.23	36.82	55.52	42.59	56.04	43.84
20	17.98	10.93	28.32	14.31	33.55	24.28	40.20	31.73	44.76	33.25	47.04	35.93	49.85	41.47	51.80	42.49
25	15.93	8.47	25.17	12.85	29.55	21.14	35.58	28.88	39.64	30.51	41.56	33.44	44.08	38.22	46.08	38.85
30	14.11	7.54	22.45	8.57	26.18	15.39	31.73	22.10	35.42	23.33	37.09	24.64	39.40	29.12	41.11	30.41
35	12.35	4.05	19.87	5.93	23.06	11.23	28.19	17.88	31.57	19.88	33.05	22.44	35.18	27.40	36.64	27.96
40	10.72	3.14	17.63	4.75	20.36	10.99	25.20	15.80	28.34	18.56	29.76	19.13	31.74	24.13	33.08	24.42
45	9.26	2.60	15.51	4.26	17.97	6.62	22.44	12.93	25.44	13.39	26.65	14.38	28.50	18.43	29.78	18.60
50	8.13	1.04	13.87	2.04	15.96	4.41	20.16	10.18	22.90	11.45	24.04	12.49	25.80	16.86	27.01	17.21

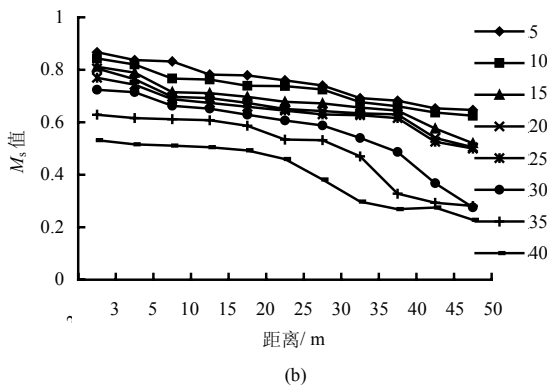
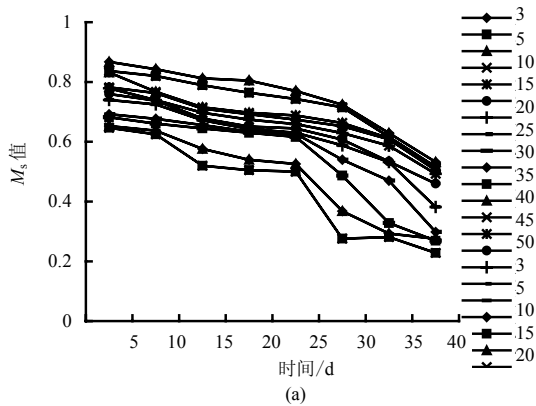


图2 长天大厦降水引起周边地面沉降修正系数  $M_s$  与时间和距离的关系

Fig.2 Connection between modified-coefficient  $M_s$  of surrounding ground settlement by dewatering with time and distance in Changtian Hotel

表3 降水引起周边地面沉降量值计算的修正系数  $M_s$   
Table 3 Modified-coefficient  $M_s$  of surrounding ground settlement by dewatering

	$\bar{E}_s=2.76$					$h=10.5\text{ m}$					
	3 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m
5 d	0.833	0.795	0.671	0.660	0.535	0.532	0.471	0.291	0.237	0.234	0.228
10 d	0.830	0.784	0.656	0.638	0.491	0.531	0.455	0.284	0.227	0.232	0.205
15 d	0.815	0.766	0.654	0.616	0.481	0.500	0.453	0.265	0.222	0.211	0.186
20 d	0.805	0.764	0.641	0.600	0.472	0.451	0.417	0.236	0.216	0.188	0.174
25 d	0.778	0.758	0.634	0.590	0.457	0.444	0.410	0.232	0.199	0.184	0.166
30 d	0.779	0.735	0.627	0.565	0.450	0.421	0.373	0.173	0.176	0.155	0.101
35 d	0.712	0.673	0.580	0.522	0.430	0.410	0.300	0.126	0.116	0.104	0.100
40 d	0.631	0.493	0.479	0.474	0.427	0.355	0.256	0.102	0.102	0.100	0.100

按式(1)计算的最终沉降量  $\Delta_{sw}=0.3 \times 95.0\text{ mm}=28.5\text{ mm}$ (取  $M_s=M_1 \times M_2=0.5 \times 0.6$ ), 可见规范计算的最终沉降量值未考虑具体的时间和距离, 且  $M_s$  值的选取完全凭经验。

同理可计算出另外 9 个降水工程沉降修正系数  $M_s$  值。

#### 4 利用 BP 神经网络对修正系数 $M_s$ 的处理

本文采用 10 个降水工程实例的修正系数  $M_s$  数据结果, 这批数据一共 880 组, 每组包括 5 个数据, 其中 4 个输入量(变量):  $t$  (时间)、 $S$  (与基坑边的距离)、 $\bar{E}_s$  (降深范围内土层压缩模量加权平均值)、 $h$  (基坑最大降深), 一个输出量  $M_s$  (沉降量计算值修正系数)。其目的是要找出输出跟输入之间的一种对应关系函数  $f$ , 即  $M_s=f(t, S, \bar{E}_s, h)$ 。因为无法在数学上建立精确的模型或找出一个确定的函数关系式, 同时又想达到在给定的参数范围内, 任意输入一组参数  $(t, S, \bar{E}_s, h)$ , 能得到相应的输出值  $M_s$ 。基于这个要求, 本文选定了 BP(back propagation)神经网络算法进行处理。

BP 神经网络是一个多层次网络结构, 适合于多输入、多输出非线性的映射关系。通过对 BP 神经网络的训练, 使它能在给定的输入  $(t, S, \bar{E}_s, h)$  和输出  $(M_s)$  之间, 建立一种网络映射关系(这个映射关系并没有用明确的数学形式表示出来), 然后达到给定任意的(参数范围内)一组输入  $(t, S, \bar{E}_s, h)$ , 得到相应的输出  $(M_s)$ 。

##### 4.1 网络训练过程

神经网络的主要特征是它的学习能力, 它的学习通常由训练集的数据驱动。训练数据通常分为 3 类, 第 1 类数据仅由一组输入向量  $\{x_i\}, i=1:n$ ; 第

2 类数据由一组输入向量和相应的输出向量  $\{x_i, y_i\}$  共同组成，在这类数据中， $y_i$  通常称为希望值或目标值，第 2 类的数据训练方式称之为有导师训练方式；第 3 类数据无希望值或目标值（未曾给出）。结合实际目的，选取有导师的训练方式，因为有导师的训练方式结合输入值与目标值，能使网络映射最好的逼近训练数据赖以产生的映射，从而达到较为满意的结果；即在本次处理中，将  $(t, S, \bar{E}_s, h, M_s)$  共同看成一组数据作为训练数据。

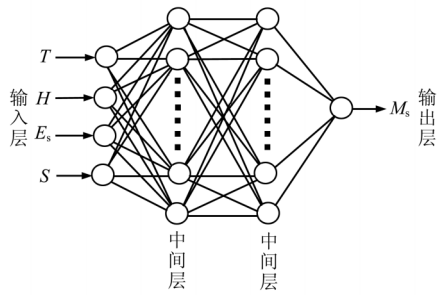


图 3 BP 神经网络结构图

Fig.3 Structural sketch of BP neural network

训练样本与训练参数的选择及训练过程：将 880 组样本数据分为两部分，数据的三分之二作为训练数据用，数据的三分之一作为测试数据用。在使用 BP 神经网络进行训练时，不断的调整优化网络参数，最后得到一组最优参数设置。网络训练情况：中间层网络节点数(20, 20)，训练循环次数 1 000 次，训练要达到的精度目标为平均绝对误差达到  $10^{-5}$ 。

4.2 预测与应用

以上数据来源于武汉地区 10 个降水工程的资料<sup>[5]</sup>。由于修正系数  $M_s$  的影响因素  $(t, S, \bar{E}_s, h)$  较多，不同的  $t, S, \bar{E}_s, h$ ，都对一个修正系数  $M_s$ ，又无法得出一个统一固定的普适计算公式，因此，采用了 BP 神经网络算法来进行模拟计算，利用该网络，建立一种网络映射关系。某一基坑降水工程，其基坑最大降深及降深范围内土层压缩模量加权平

均值可以确定，任意输入一组  $(\bar{E}_s, h)$  值，即可得出不同  $t, S$  对应的修正系数  $M_s$  的等值线图，通过内插法，可查出任意  $t, S$  的修正系数  $M_s$  值，较准确地预测基坑降水引起周边地面沉降量。

4.3 工程实例

福星惠益降水工程降深范围内土层的加权平均值  $\bar{E}_s = 3.3$  MPa，基坑最大降深  $h = 7.5$  m，利用该系统，可得出随着时间、距离的变化基坑降水引起地面沉降量计算修正系数  $M_s$  的等值线图，如图 4。

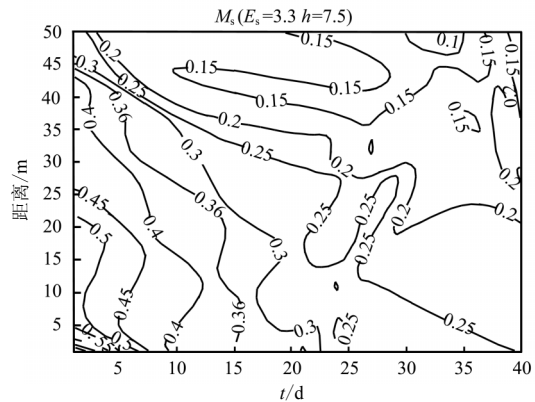


图 4 基坑降水引起地面沉降量计算修正系数  $M_s$  等值线图  
Fig.4 Contour map of modified-coefficient  $M_s$  of surrounding ground settlement due to dewatering

根据图 4，可查出不同时间、距离的修正系数  $M_s$  值，利用理论公式，可计算出不同时间、不同距离的沉降量值，乘以对应的修正系数，可以预测降水引起周边地面的沉降量。

表 4 为降水计算参数。同前所述，利用式(7)、(8)可计算黏性土（覆盖层）、粉质黏土与粉土互层（过渡层）的沉降量  $S_1, S_2$  值，再利用式(9)可求出  $\Delta S$  值（未经  $M_s$  修正的总沉降量值），再乘以相对应的  $M_s$  值得出理论计算值，计算结果见表 5。

将表 5 的理论计算值乘以相对应的  $M_s$  值与实测沉降量值相比较，结果基本相符，故利用 BP 神经网络算法来进行模拟计算，得到的修正系数  $M_s$  值预测的沉降量较符合实际。

表 4 降深范围内土层的加权平均值  $\bar{E}_s = 3.30$   
Table 4 Layers weighted average in lowering depth  $\bar{E}_s = 3.30$

工程名称	影响半径 /m	基坑最大降深 /m	渗透系数 /m·d <sup>-1</sup>	承压含水层厚度 /m	覆盖层			过渡层		
					$k$ (m/d)	$E_s$ /MPa	厚度 /m	$k$ (m/d)	$E_s$ /MPa	厚度 /m
福星惠誉	213.4	7.5	18.0	21.2	2.22E-4	3.3	7.5	3.78E-3	12.9	12.37

表5 不同时间、距离 $\Delta S$ 值与 $M_s$ 值  
Table 5  $\Delta S$ ,  $M_s$  value of different times and distances

时间/d	5		10		15		20		25		30		35		40	
距离/m	$\Delta S$ 值	$M_s$	$\Delta S$ 值	$M_s$	$\Delta S$ 值	$M_s$	$\Delta S$ 值	$M_s$	$\Delta S$ 值	$M_s$	$\Delta S$ 值	$M_s$	$\Delta S$ 值	$M_s$	$\Delta S$ 值	$M_s$
3	10.60	0.47	12.72	0.39	15.66	0.36	17.78	0.32	19.60	0.29	21.13	0.27	22.62	0.26	22.86	0.24
5	8.97	0.45	10.91	0.40	13.67	0.36	15.72	0.29	17.47	0.26	18.95	0.26	20.35	0.25	21.68	0.23
10	7.92	0.46	9.77	0.42	12.44	0.35	14.41	0.30	16.12	0.27	17.56	0.25	19.00	0.24	21.45	0.23
15	6.96	0.47	8.78	0.41	11.34	0.34	13.25	0.28	14.91	0.25	16.29	0.23	17.81	0.23	19.30	0.22
20	6.13	0.46	7.89	0.38	10.35	0.33	12.20	0.27	13.80	0.24	15.14	0.20	16.64	0.21	18.02	0.20
25	5.39	0.42	7.10	0.37	9.45	0.29	11.23	0.27	12.78	0.23	14.06	0.20	15.63	0.20	17.12	0.20
30	4.99	0.40	6.40	0.33	8.64	0.27	10.37	0.25	11.84	0.19	13.09	0.20	14.50	0.19	16.12	0.18
35	4.20	0.36	5.78	0.30	7.93	0.22	9.58	0.20	11.01	0.17	12.19	0.17	13.69	0.16	15.12	0.16
40	3.70	0.35	5.22	0.18	7.27	0.16	8.86	0.14	10.21	0.13	11.34	0.15	12.85	0.15	14.12	0.15
45	3.26	0.20	4.70	0.15	6.66	0.14	8.17	0.13	9.46	0.13	10.52	0.13	12.13	0.14	13.62	0.14
50	2.86	0.18	4.23	0.17	6.10	0.16	7.52	0.15	8.74	0.14	9.73	0.12	11.10	0.12	12.63	0.12

## 5 结论

(1) 降水引起地面沉降的压缩层厚度的计算主要为降落漏斗水位以上降落范围内的覆盖层和弱透水层厚度。

(2) 深井降水引起周边地面沉降量的计算公式可由公式(9)获得。

(3) 收集了10个有代表性的深基坑降水工程的相关资料,用理论公式计算出不同的降深( $h$ )、地层结构( $\bar{E}_s$ )、时间 $t$ 、距离 $S$ (与基坑边的距离)时的沉降量,实测值与理论值的比值,得出一批降水引起地面沉降修正系数 $M_s$ 值(880组数据)。

(4) 采用BP神经网络对这批数据进行处理,使它能在给定的输入( $t, S, \bar{E}_s, h$ )和输出( $M_s$ )之间,建立一种网络映射关系。某基坑降水工程,  $\bar{E}_s, h$

值可以确定,利用该网络任意输入一组( $\bar{E}_s, h$ )值,即可得出不同 $t, S$ 对应的修正系数 $M_s$ 值等值线图,从而查出任意 $t, S$ 的修正系数 $M_s$ 值,对类似地层的基坑降水工程在较准确地预测不同的时间、距离的实际沉降量具有实用价值。

## 参考文献

- [1] DB42/159-2004, 湖北省深基坑工程技术规定[S].
- [2] 陈仲颐, 土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [3] 陈崇希, 林敏. 地下水动力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996.
- [4] 施普德, 井水量计算的理论与实践[M]. 北京: 地质出版社, 1977.
- [5] 王翠英. 武汉市深基坑降水引起周边地面沉降的研究[博士学位论文D]. 中国地质大学, 2005, 4: 60-86.

## 中国土木工程学会隧道及地下工程分会第十四届年会将召开

**主办单位:** 中国土木工程学会隧道及地下工程分会

**承办单位:** 同济大学、上海隧道工程股份有限公司

**主要议题:** 1. 地下空间的规划与设计; 2. 长大隧道工程的设计、施工及监测; 3. 越江及海底隧道的研究; 4. 客运专线与高速公路隧道工程技术; 5. 城市轨道交通的地下工程问题; 6. 长期健康检测与耐久性; 7. 安全与风险管理研究; 8. 隧道运营通风与灾害防治; 9. 数字化隧道及地下工程技术; 10. 隧道工程节能、环保与绿色施工; 11. 能源储备与废弃物地下处置技术; 12. 防护工程新技术; 13. 隧道及地下工程的新设备、新材料、新工艺; 14. 隧道工程教育与国际新动态; 15. 设计与施工的典型工程实例及其它。

**会议征文:** 论文内容不宜超过6000字(5页内)。论文摘要(200-300字), 请注明作者的E-mail 邮箱或传真号。论文摘要和论文以E-mail 或邮寄方式提交, 邮寄稿件务必一式两份, 以供审查(作者自留底稿)。请在信封上注明“学术年会”字样。论文拟以《现代隧道技术》增刊形式出版, 版面格式另行通知

**重要日期:** 论文摘要提交2006年03月31日; 摘要接受通知2006年04月30日; 论文提交2006年05月31日; 论文录用通知2006年07月31日(均为最后截止日期)。

**联系方式:** 上海市四平路1239号; 上海同济大学地下建筑与工程系隧道及地下工程研究所(邮编: 200092);

**联系人:** 丁文其, 刘丰军, 叶飞; 电话: 021-65985140, 13817786949; 传真: 021-65985140;

**电子邮件:** dingwq2004@263.net; **网址:** http://geotec.tongji.edu.cn/