

台州电厂堆煤场非理想砂井地基 参数的确定^①

唐晓武 潘秋元 谢康和

(浙江大学土木系岩土工程研究所)

摘 要: 本文利用台州电厂堆煤场砂井地基分层沉降实测数据, 反分析确定非理想砂井地基参数。(砂井渗透系数 K_w , 土层水平向、竖向渗透系数 K_h 和 K_v , 地基压缩模量 E_s , 染林区渗透系数 K_s 和范围 S)。为避免初始值不当及缩小搜索区间, 首先运用正交设计法确定各参数的变化区间, 随后采用 POWELL 最优化方法确定各参数。

关键词: 非理想砂井地基参数, 正交设计法, 最优化法

中国图书分类号: TU471

随着袋装砂井、塑料排水板等细密型排水井的广泛应用, 人们日益认识到考虑井阻和涂抹作用的重要性。人们之所以仍普遍采用 Barron 理想井理论, 与其说是简单, 到不如说是采用已成熟的非理想井理论, 会碰到非理想砂井地基参数难以确定的问题。

1 逐渐加荷条件下非理想单井固结问题解答

根据文献[1]、[2]、[3]得非理想砂井地基任一深度任一时刻的竖向位移,

$$W = Pt / E_s(H - Z) \bar{U}_i(Z) \quad (1)$$

式中 $\bar{U}_i(Z)$ 为深度 Z 至砂井底面平均固结度。

$$\bar{U}_i(Z) = 1 - \sum_{i=1}^k R_i / P_i [(t_i - t_{i-1}) - H / (H - Z) \sum_{n=0}^{\infty} 2M^2 \beta_{rz} \cos(\frac{MZ}{H}) E e^{-\beta_{rz}}] \quad (2)$$

式中: K ——荷载级数; $R_i = P_i(t_i - t_{i-1})$, 加荷速率; P_i ——各级加荷增量;

$$P_t = \sum_{i=1}^k P_i$$

$$E = e^{\beta_{rz} + t_i} - e^{\beta_{rz} + t_{i-1}}, \text{ 当 } t_i = t_k \text{ 时 } t_i \text{ 改为 } t;$$

$$\text{式中: } \beta_{rz} = \beta_r + \beta_z; \beta_r = \frac{MC_c}{H^2}; \beta_z = \frac{8C_v}{de^2(f_s + d)};$$

$$F_s = \left(\ln \frac{n}{s} \frac{K_h}{K_s} \ln s - \frac{3}{4} \right) \frac{n_2}{n^2 - 1} + \frac{S^2}{n^2 - 1} \left(1 - \frac{K_h}{K_s} \right) \left(1 - \frac{S^2}{4n^2} \right) + \frac{K_h}{K_s} \frac{1}{n^2 - 1} \left(1 - \frac{1}{4n^2} \right);$$

$$D = \frac{8G(n^2 - 1)}{M^2 n^2}; G = \frac{K_h}{K_w} \left(\frac{H}{d_w} \right)^2; n = d_e / d_w;$$

① 国家自然科学基金会青年基金资助项目。

井径比: d_w, d_e ——砂井直径及砂井影响区直径; $S = r_3 / r_w$; r_3, r_w ——砂井涂抹区半径及砂井半径; C_h, C_v ——土层水平向及竖向固结系数; H ——排水距

离; $M = \frac{\pi}{2} (2m + 1)$, $m = 0, 1, 2, \dots$ 。

2 工程概况

浙江台州电厂位于浙江中部沿海椒江北岸入海口处。根据煤场工艺要求, 煤场长 250m, 宽 100m, 堆煤高 12m, 堆载为 120KPa。由于主要受力层是第四纪以来河湖相及海相沉积的淤泥质土组成, 其含水量高, 压缩性大, 故采用袋装砂井预压进行处理。砂井直径 7cm, 长 20m, 正三角布置, 边长 1.2m。预压采用开山后石碴, 加荷分四级, 第一级堆高 4m, 堆载为 616KPa, 第二三四堆分别为 5m、6m、7m, 最后堆载预压力为 107.8KPa。各分层沉降标埋设位置距 ±0.0 距离 Z(1) 分别为 1.8m、7m 和 16.7m。

3 实测值的选取

由于非理想单井固结理论解只适用于打穿砂井, 而不适用于未打穿砂井。因此分层沉降必须以砂井底面为标准, 即离地面 20 米处沉降为零, 由此引起相对误差, 在目标函数中用加权函数 $[H - Z(1)] / H$ 来考虑, 一般越深相对误差越大。文献[1]、[2]曾考虑实测值相对为 31%, 由于引入类似加权函数, 反分析结果很稳定很理想。

4 利用正交设计法确定非理想砂井地基参数范围

利用正交表安排的参数组合具有均匀分散性和整齐可比性, 并利用极差分析等手段确定各参数合理组合范围。正交设计法不纯粹是一个数学问题, 在使用过程中, 例如正交表的选择、因素的选择及划分、各因素水平的删除、加密、参数之间的合理组合, 都需加入人们的经验判断, 这在岩土工程问题中尤为重要。正是这种经验判断, 才能科学地使用正交设计法, 较快地得到各参数的合理取值范围和较好的初始值。

正交设计法采用第 33, 39, 42 天的分层沉降。

目标函数采用:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k 1 / n * 1 / k * PW_{ij} (S_{ij} / S_{ij} - 1) \quad (3)$$

式中: $PW_{ij} = [H - Z(i)] / H * S_{ij} / S_{ij}$ ——第 j 时刻第 i 测点的实测沉降值; S_{ij} ——相应时刻及测点的计算沉降值; $n = 3$; $j = 3$ 。

极差分析采用无量纲式:

$$K = [H(1) - H(5)] / [水平(5) - 水平(1)] \quad (4)$$

式中: $H(i)$ ——第 i 水平的目标函数 F 值之和。

目标函数 F 之所以不采用最小二乘, 是为了充分反映各参数各水平对 F 的单调性。通过计算 H 值, 可较方便地判断参数的这一水平取值是过高还是过低。根据单调性, 去掉最高和最低的水平, 就能缩小参数的取值范围。

正交设计法所确定非理想单井参数 K_w 、 E_s 、 K_h 、 K_v 、 K_h / K_s 、 S 。正交表选择

$L_{25}(5^8)$ 。为避免随后连续函数寻优过程中的病态,各参数需等量化,归一化值凭工程经验取,见表1。在首轮正交设计中,各参数取值经等量化后, K_w 为0.1-10, E_s 为0.25-2.25, K_h 和 K_v 为0.33-3333, K_h/K_s 为0.4-2.5, S 为1.5-4.5。为减少篇幅,只讨论第三轮正交设计方案。见表1。根据 K_w 、 K_h 对 F 的单增性及 E_s 、 K_h/K_s 的单减性。删除 K_w 的水平 a_1 和 a_5 、 E_s 的 b_1 和 b_5 、 K_h 的 c_1 和 c_5 、 K_h/K_s 的 e_1 和 e_5 。至于 S 的各水平 F 值之和不符合单调性,是因为 S 对 F 的灵敏度较小及别的参数各水平间隔还太大。 K_v 更是如此,根据工程经验,在砂井地基中,竖向排水作用是很小的。最后确定各参数的取值范围 K_w 为0.8-2, E_s 为0.75-1.4, K_h 为0.5-2.3; K_v 为0.5-1.8; K_s 为1.9-2.2; S 为1.4-4.5,以此作为连续函数优化反分析参数的取值范围。

通过极差分析可得,各参数对砂井地基固结作用依次为 K_w 、 K_h/K_s 、 K_h ,且 K_h 比前二者作用小得多。由于打设了袋装砂井,地基的固有渗透系数对地基固结影响减小了,足见采用砂井预压方案效果是明显的。由于 K_w 的影响大,在施工中采用渗透性良好的砂料,降低井阻将极大地发挥砂井作用。 K_h/K_s 的极差约为 K_w 的一半,减少对土层的扰动也能明显加快砂井地基固结。既强调了井阻作用,但并不否定砂井作用。当然,参数对固结的影响取决于此参数的极差和变化区间。

正交设计法实质上是离散变量优化方法。而参数的变化区间也是离散概念。因此通过正交设计法确定参数变化区间是可行的,且效果很好。如果要获得较精确解,虽可通过加密和删除等方法来得到,但由于此时的 F 值较小,较难判断参数组的优劣,很有可能删除最优解。因此还不如采用连续函数最优化方法来得到最终结果,且此时参数的取值范围较小及初始点较好,收敛性很好。

表1

正交设计方案之三

因素 情况	K_w 10^{-3} cm/S'	E_s 2000KPa b	K_h $3 \times 10^{-3}\text{cm}/\text{S}^2$ c	K_v d	K_h/K_s 5 e	S f	误差 F
1	0.80	0.75	1.00	10.0	1.60	2.00	-0.061
2	1.00	0.75	33.3	33.3	2.20	3.50	0.113
3	1.20	0.75	10.0	0.33	2.00	1.50	0.153
4	1.50	0.75	0.33	3.33	0.90	2.50	-0.035
5	2.00	0.75	3.33	1.00	1.30	4.50	0.278
6	0.80	0.875	3.33	3.33	2.00	3.50	-0.042
7	1.00	0.875	1.00	1.00	0.90	1.50	-0.030
8	1.20	0.875	33.3	1.00	1.30	2.50	0.131
9	1.50	0.875	10.0	33.3	1.60	4.50	0.196
10	2.00	0.875	0.33	0.33	2.20	2.00	-0.146
11	0.80	1.00	0.33	33.3	1.30	1.50	-0.105
12	1.00	1.00	3.33	0.33	1.60	2.50	0.009
13	1.20	1.00	1.00	3.33	2.20	4.50	0.100
14	1.50	1.00	33.3	1.00	2.00	2.00	0.167
15	2.00	1.00	10.0	10.0	0.90	3.50	0.440

16	0.80	1.25	10.0	1.00	2.20	2.50	-0.060
17	1.00	1.25	0.33	10.0	2.00	4.50	-0.240
18	1.20	1.25	3.33	33.3	0.90	2.00	0.046
19	1.50	1.25	1.00	0.33	1.30	3.50	-0.018
20	2.00	1.25	33.3	3.33	1.60	1.50	0.189
21	0.80	0.50	33.3	0.33	0.90	4.50	-0.080
22	1.00	1.50	10.0	3.33	1.30	2.00	-0.035
23	1.20	1.50	0.33	1.00	1.60	3.50	-0.214
24	1.50	1.50	3.33	10.0	2.20	1.50	0.039
25	2.00	1.50	1.00	33.3	2.20	2.50	-0.019
H(1)	-0.348	0.451	-0.740		0.401	0.309	
H(2)	-0.123	0.169	-0.168		0.251	-0.029	
H(3)	0.019	0.411	0.330		0.119	0.026	
H(4)	0.349	-0.083	0.697		0.022	0.279	
H(5)	0.742	-0.309	0.520		-0.154	0.054	
K	0.436	0.388	0.012		0.227		

5 最优化确定非理想砂井地基参数

单井固结反分析程序 BASW 包括 POWELL 优化法程序 PCD; 单井固结正分析程序 SW。根据式 1 编制: 目标函数计算程序 F。

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{1}{k} \times \frac{1}{n} PW_{ij} (S_{ij} / S'_{ij} - 1)^2} \quad (5)$$

式中: 参数意义同式 4。

根据文献[1]、[2]在采用不同时刻的分层沉降实测数据进行反分析参数时, 参数 Kh 、 Kh/Ks 、 S 不可能收敛至标准值, 这属离散参数数据反分析中亚定问题, 且亚定参数之间的不同组合对常定参数反分析收敛性无影响。因此可通过工程经验及正交设计法等固定其中二个亚定参数, 反分析另一亚定参数。只要施工条件相同 Kh/Ks 和 S 保持不变是可能的。根据正交设计结果, 现取 Kh/Ks 经归一后为 2, 即由于打设砂井使涂抹区渗透系数降低 10 倍。S 取 3。由于砂井地基参数会随加荷和时间而改变, 必须分时段反分析参数。根据文献[1]、[2], 时段至少在 8 天以上, 否则, 实测数据相关性太大, 现取 10-26 天。反分析结果见表 2。

由表 2 可得, Kw 、 Es 、 Kh 反分析结果没有取在边界上, PCD 程序在一维搜索中允许变量超出边界, 笔者没有发现当变量取值超出边界时, F 为最小。可见各参数取值范围是合理的。

四参数中对目标函数 F 值灵敏度最大的 Kw 除情况(2)以外, 随加荷和时间而减小, 根据经验, 随荷载增加, 土层压缩, 加之砂井与土层之间压力梯度较大, 土粒进入袋装砂井, 都将减小砂井渗透系数。

至于 K_h 的结果并不随时间及加荷而减小, 不过变化幅度不大, 这是因为 K_h 的灵敏度比 K_w 要小, 主要通过 K_w 减小来完成。

K_v 一直停留在初值上是正常的, 在砂井地基固结中, 竖向固结所占比重较小。以后可不必反分析 K_v 。

由反分析得到的 E_s 为 24.2 Kg/cm^2 , 而室内试验的各土层的 E_s 为 $19 \sim 35 \text{ Kg/cm}^2$ 。可见反分析结果是合理的, 文献[1]、[2]还通过非理想砂井固结理论及群井固结有限元计算, 再一次证实反分析结果的可靠性。

表2 最优化反分析确定煤场砂井地基参数

情况 No	时间天	深度 Z m	EPSLS CRIT	初始值 Kw, Es Kh, Kv	反分析结果 Kw, Es Kh Kv	误差 F	迭代 次数 n
1	33, 35, 37, 39, 42	1.8, 7.4, 16.7	$2\text{E}-4$ $2\text{E}-3$	0.8, 0.875 1.0, 0.666	1.926, 0.877 0.999, 0.666	.62E-2	3
2	70, 72, 74, 76, 78	1.8, 7.4, 16.7	$2\text{E}-4$ $2\text{E}-3$	0.8, 0.875 1.0, 0.666	1.709, 1.012 0.936, 0.666	.14E-2	4
3	138, 143, 148, 151, 157	1.8, 7.4, 16.7	$2\text{E}-4$ $2\text{E}-3$	0.8, 0.875 1.0, 0.666	1.915, 0.916 1.041, 0.666	.60E-2	1
4	190, 193, 195, 197, 200	1.8, 7.4, 16.7	$2\text{E}-4$ $2\text{E}-3$	1.915, 0.916 1.041, 0.666	1.860, 0.905 1.057, 0.666	.27E-2	2
5	211, 214, 217, 220, 226	1.8, 7.4, 16.7	$2\text{E}-4$ $2\text{E}-3$	1.860, 0.905 1.057, 0.666	1.818, 0.857 1.015, 0.666	.60—2	1
6	271, 277, 283 290, 297	1.8, 7.4, 16.7	$2\text{E}-4$ $2\text{E}-3$	1.081, 0.857 1.015, 0.666	1.808, 0.888 1.285, 0.666	.72—2	2

6 结论

6.1 正交设计法能依据岩土工程师经验, 在确定非理想砂井地基参数范围及选择较优初始值方面达到事半功倍的效果。

6.2 连续函数优化法在取值范围较小, 初始值较好的情况下, 能较精确确定非理想砂井地基参数, 但必须考虑离散数据反分析中参数的亚定情况。

参 考 文 献

- [1] 唐晓武、反分析法确定非理想砂井地基参数。浙江大学硕士学位论文, 1991年1月
- [2] 唐晓武, 谢康和, 潘秋元。用微机进行非理想砂井地基参数反分析, 全国土木工程青年科技工作者计算机应用研讨会, 南京。1991年5月。东南大学出版社。
- [3] 谢康和、砂井地基(固结理论、数值分析与优化设计), 浙江大学博士学位论文, 1987。

Determining Mechanical Parameters Of Taizhou Power Plant's Vertical Well

Tang Xiaowu, Pan Qiuyuan, Xie Kanghe

(Zhejiang university institute of geotechnical engineering hangzhou china)

Abstract: This paper is proceed to back analysis those geotechnical parameters of vertical drains. The direct approach of back analysis BASW program is based on both the theoretical solutions for vertical drains taking account of well resistance and smear action and powell's conjugative direction method.

In order to erduce amount of work and cancel the bad combinations of parameters, the Orthogonal Design is developed.

The field data are from Taizhou Power Plant. Zhejiang, P.R.China. The results the parameters determined by back analysis are in good agreement with those observed.

It may be concluded that the methods of determining the parameters of vertical drains by back analysis is reliable.

Key words: Mechanical parameters of vertical well, Orthogonal design, Optimim mrthod

(上接 136 页)

参 考 文 献

- [1] 楼世博等.模糊数学.科学出版社, 1985.
- [2] 张忠礼.模糊数学在工程投标评估中的应用.黑龙江水利科技, 1989.1pp42-47.
- [3] 贺北方等.多级模糊层次综合评价的数学模型及应用.河南水利科技, 1990.1.P201-206.

Application of Fuzzy Evaluation To Agriculture Multiple-transforming System

Cheng Xingguang

(Farm Irrigation Research Institute of MWRC)

Abstract: Evaluating agriculture multiple-transforming system is a complicated problem. It is satisfaction to apply evaluation to this system. A try is given in the paper using fuzzy level value to congregate the evaluating set.

Keywords: Fuzzy evaluation, Agriculture multiple -Transforming system, Fuzzy level value, Evaluating set