

文章编号: 1000-7598(2009)04-1170-05

挡土墙库仑土压力的遗传算法求解分析

赵同彬^{1,3}, 谭云亮^{1,3}, 王虹², 孙振武^{1,3}, 肖亚勋²

(1. 山东科技大学 矿山灾害预防控制教育部重点实验室, 青岛 266510; 2. 山东科技大学 研究生教育学院, 青岛 266510;
3. 山东科技大学 资源与环境工程学院, 青岛 266510)

摘要: 在对破裂面上滑动土体静力极限平衡分析的基础上, 建立了基于优化方法求解无黏性土、黏性土库仑土压力的自变量取值区间和目标函数模型, 并采用遗传进化方法进行了实例求解分析。研究表明, 遗传算法在计算挡土墙库仑主动土压力的过程中, 收敛速度快、用时短, 并具有较高的计算精度。算例1中5组无黏性土挡土墙的主动土压力的计算结果与经典库仑解析解非常接近, 平均误差为1.748%, 平均进化代数数为15代。算例2中8组黏性土挡土墙的主动土压力计算结果与文献的解答非常吻合, 平均误差仅为0.017%, 平均进化代数数为17.125代。遗传算法具有良好的适应性和强大的搜索性能, 非常适合求解岩土工程优化问题。

关键词: 库仑土压力; 遗传算法; 优化求解; 目标函数

中图分类号: TU 411.2; TP 302

文献标识码: A

Analytical solution of Coulomb earth pressure on retaining wall by genetic algorithm

ZHAO Tong-bin^{1,3}, TAN Yun-liang^{1,3}, WANG Hong², SUN Zhen-wu^{1,3}, XIAO Ya-xun²

(1. Key Laboratory of Mine Disaster Prevention and Control, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China;
2. Graduate College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China;
3. College of Resources and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Abstract: Based on the static limit equilibrium analyses of sliding soil mass on rupture, the range of variable and the model of objective function are built to calculate the Coulomb earth pressure of cohesionless soil and cohesive soil by optimization method, and the genetic evolutionary method is used to carry out an example analytical solution. The results indicate that the genetic algorithm increases the convergence speed, shortens time and has high calculation precision in the process of calculating Coulomb active earth pressure on retaining wall. The numerical results of cohesionless soil active earth pressure on retaining wall about 5 groups from example 1 are very closer to the classical Coulomb solutions; the average error is 1.748 % and the average number of generation is 15. The numerical results of cohesive soil active earth pressure on retaining wall about 8 groups from example 2 also match well with the documents' solutions; the average error is only 0.017 %; and the average number of generation is 17.125. The genetic algorithm is very suitable for solving optimization problem of geotechnical engineering because of its good adaptability and strong search performance.

Key words: Coulomb earth pressure; genetic algorithm; optimization; objective function

1 引言

库仑土压力理论是计算挡土结构和基坑支护工程土压力问题的经典基本理论, 其力学概念清晰, 并且考虑到了地面坡度、墙面倾角以及墙与土之间的摩擦阻力等多种影响因素, 在工程中应用非常广

泛^[1]。由于库仑土压力公式复杂、计算繁琐, 关于其计算方法的探索研究一直是岩土工程领域中的一个比较活跃的课题。王奎华等^[2]通过作图, 结合几何和物理两方面的关系, 得出了一种新的土压力图解法, 并对库尔曼图解法进行了改进, 李兴高等^[3]、李小明等^[4]采用极限平衡变分法, 对库仑土压力求

收稿日期: 2007-10-15

基金项目: 山东科技大学矿山灾害预防控制教育部重点实验室开放基金项目 (No. MDPC0811); 国家自然科学基金 (No. 5067063); 山东省教育厅科技计划项目 (No. J06N04)。

第一作者简介: 赵同彬, 男, 1975年生, 硕士, 讲师, 从事岩土力学及采矿工程方面的研究。E-mail: ztbwh2001@yahoo.com.cn

解进行了研究。兑关锁等^[5]利用对破裂面斜率求极值的方法,得到了库仑土压力与破裂角的计算公式,并给出了各种等价表达形式。黄健平^[6]采用黄金分割法探讨了库仑土压力的求解问题。

近些年来,一种源于自然进化的遗传算法(简称GA),以其良好的优化性能引起了岩土工程界学者的重视,并取得了丰富的研究成果^[7-9]。实际上,可以将计算库仑土压力的问题归结为求解一个目标函数极值的优化问题,遗传算法在求解函数极值中不需要函数满足连续可微、凸性等条件,也不必对目标函数进行求导,只需在可行解域内进行编码、选择、交叉、变异等操作,就可以得到目标函数的极值。本文拟采用遗传算法对挡土墙库仑土压力进行求解,并将其计算结果与文献中的算例进行比较分析。

2 挡土墙库仑土压力优化求解的数学模型

库仑土压力理论假设挡土墙是刚性的,在主动和被动极限状态下(本文以求解主动土压力为例),墙后产生的滑动土楔沿墙背和另一个通过墙踵的平面滑动,将滑动土楔体视为刚性体,对填土面和墙背的方向未作假设。主动库仑土压力的确定方法是,考虑挡土墙后整个土体的滑动平衡,在一簇滑裂面中找出最大土压力值,即为作用在挡土墙上的主动库仑土压力,因此可将库仑土压力的求解看成一个寻优问题。

2.1 无黏性土优化求解数学模型

库仑理论最初是针对砂土而提出的,没有考虑土体的黏性,如图1所示。不考虑土体以及土体与墙背之间的黏聚力,以滑动体 ABC 为分析对象,在滑动楔体上作用有自重 W 、挡土墙支承力 P 以及滑动面上的反力 R ,其中自重 $W=(ABC)\gamma$ (挡土墙的长度取1延米), W 数值取决于滑动面的位置。滑动面 BC 上,作用的反力 R 的方向与滑动面的法线 N_1 成 φ 角, R 的数值取决于滑动面的位置。墙背 AB 面上的支承力 P ,与墙背法线 N_2 成 δ 角, P 数值也取决于滑动面的位置,此支承力 P 与要求解的土压力 E 大小相等,方向相反。在 W 、 R 、 E 作用下滑动楔体处于静止平衡状态,构成一个封闭的力矢量三角形 Δabc ,如图2所示。

当挡土墙和土体的情况都已确定时,滑动角 θ 为基本变量, θ 发生变化时, E 随之发生相应的变化。当 $\theta=\varphi$ 时, R 和 W 的作用线重合, $E=0$;当 $\theta=90^\circ+\alpha$ 时,滑面 BC 与墙背 AB 重合, $E=0$ 。

假想的滑面在两种极端情形之间变动,墙背所受的土压力也就在0与某个极大值之间变动。根据正弦定理,库仑主动土压力求解的数学模型为

自变量 θ 的取值区间: $[\varphi, 90^\circ+\alpha]$ 。

目标函数:

$$\max E(\theta) = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\cos(\alpha - \beta) \cos(\theta - \alpha) \sin(\theta - \varphi)}{\cos^2 \alpha \sin(\theta - \beta) \sin(\theta - \varphi + 90^\circ - \alpha - \delta)} \quad (1)$$

式中: α 为墙背倾角; β 为填土坡角; r 为填土重度(kN/m^3); φ 为土体内摩擦角; δ 为墙背与填土之间的摩擦角; θ 为滑动面倾角。

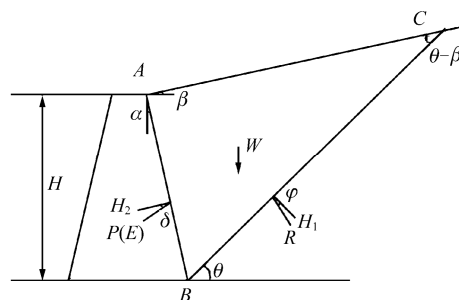


图1 挡墙与无黏性滑动土体

Fig.1 Retaining wall and cohesionless soil mass

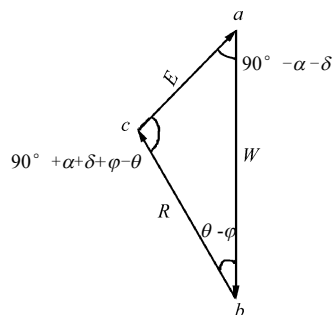


图2 无黏性滑动土体力矢图

Fig.2 The vector diagram of force for cohesionless soil mass

2.2 黏性土优化求解数学模型

在经典的库仑理论基础上,一些学者建立了黏性土的土压力计算方法^[10-12]。文献[11]在考虑滑裂面上黏聚力、填土与墙背接触面黏着力以及填土表面裂缝和超载的影响基础上,应用数学力学方法建立了可直接计算的黏性填土挡墙的主动库仑土压力计算公式。如图3所示,以 BD 面上的滑动体为分析对象,滑动楔体在自重 W 与挡土墙支承力 P 和滑动面上的反力 R 、填土的黏聚力 c 以及墙背接触面的粘着力 c_w 几个力作用下处于静止平衡状态。因此这几个力构成一个封闭的矢量五边形 $abdgf$,其中 $\Psi=90^\circ-\alpha-\delta$,如图4所示。根据文献[11]的研

究结果,可以建立黏性土体的库仑主动土压力求解数学模型:

自变量 θ 的取值区间: $[\varphi, 90^\circ + \alpha]$ 。

目标函数:

$$\max E(\theta) = \frac{(W_1 + W_2 + W_3) \sin(\theta - \varphi)}{\sin(\theta - \varphi + 90^\circ - \alpha - \delta)} - \frac{cH \cos(\alpha - \beta) \cos \varphi + c_w H \sin(\theta - \varphi - \alpha) \sin(\theta - \beta)}{\cos \alpha \sin(\theta - \beta) \cos(\theta - \varphi - \alpha - \delta)} \quad (2)$$

式中:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\cos(\alpha - \beta) \cos(\theta - \alpha)}{\cos^2 \alpha \sin(\theta - \beta)}; \\ W_2 &= \gamma z_0 H \frac{\cos(\theta - \alpha) \cos \beta}{\cos \alpha \sin(\theta - \beta)}; \\ W_3 &= qH \frac{\cos(\theta - \alpha) \cos \beta}{\cos \alpha \sin(\theta - \beta)}; z_0 = \frac{2c}{r\sqrt{k_a}} - \frac{q}{\gamma}; \\ H &= H_0 - z_0; k_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中: W_1 为未开裂部分土体自重; W_2 为开裂部分土体自重; W_3 为填土表面超载的合力; q 为填土表面的单位集中力; c 为填土的黏聚力; c_w 为填土与墙背间的单位粘着力; H 为未开裂部分墙体的竖直高度; z_0 为开裂部分墙体的竖直高度; k_a 为主动土压力系数,其他参量的含义同式(1)。

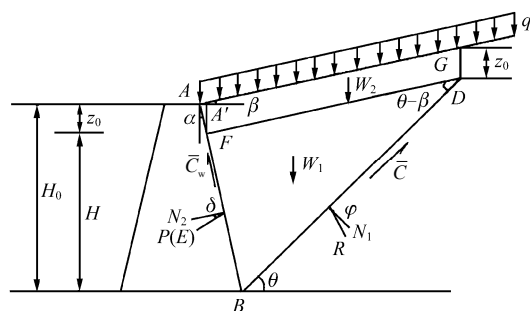


图3 挡墙与黏性滑动土体
Fig.3 Retaining wall and cohesive soil mass

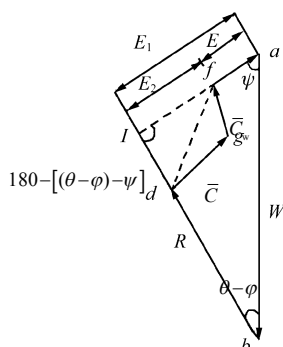


图4 黏性滑动土体力矢图
Fig.4 The vector of force for cohesive soil mass

3 挡土墙库仑土压力的遗传算法求解

3.1 算法设计

遗传算法求解库仑土压力的实现,可按如下过程进行算法设计:

第1步 采用二进制表达方法对滑动面倾角 θ 进行编码;

第2步 随机初始化 θ 群体,生成 n 个个体 $X(0)=(x_1, x_2, \dots, x_n)$;

第3步 对当前群体 $X(t)$ 中每个个体 x_i ,按照本文模型式(1)或式(2)计算其土压力值 $E(x_i)$,其值大小即表示了该个体的性能好坏;

第4步 将选择算子作用于群体 $X(t)$;

第5步 对 $X(t)$ 作用交叉算子、变异算子,产生新一代群体 $X(t+1)$;

第6步 $t \rightarrow t+1$,如果满足终止条件,则结束程序,否则,继续执行第3步。

3.2 算例分析

在算例计算过程中,GA 交叉概率取 0.75,变异概率取 0.05,种群数设定为 20,进化代数取 100。计算精度为 0.001,每种情况计算 10 次,结果取其平均值。

3.2.1 无黏性土算例

某挡土墙墙高 H ,墙背倾斜,倾角为 α (俯斜),填土坡角为 β ,填土重度为 γ ,填土内摩擦角为 φ ,填土与墙背的摩擦角为 δ ,求解挡土墙的库仑主动土压力 E_a 。

具体的算例参数及计算结果见表1。由表1计算的5组无黏性土挡土墙的主动土压力的结果中可以看出,采用遗传算法求解的结果与经典库仑解析解非常接近,平均误差为 1.748%,平均进化代数为 15 代,进化时间为 1~2 s。

3.2.2 黏性土算例

某挡土墙墙高 $H=10$ m,填土重度 $\gamma=18.6$ kN/m³,填土内摩擦角 $\varphi=24^\circ$,填土表面无荷载作用 $q=0$,当墙背倾角为 α (俯斜)、填土坡角 β 、填土与墙背的摩擦角 δ 、填土黏聚力 c 以及填土与墙背间的单位粘着力 c_w 取不同值时,求解挡土墙的库仑主动土压力 E_a 。

算例具体的参数及计算结果见表2,由表中计算的8组黏性土挡土墙的主动土压力的计算结果可以看出,采用遗传算法求解的结果与文献[11]的解也非常接近,平均误差为 0.017%,平均进化代数为 17.125 代,进化时间为 2~3 s。

表1 库仑主动土压力算例1
Table 1 Example 1 of coulomb active earth pressure

序号	$\alpha/(^\circ)$	$\beta/(^\circ)$	$\delta/(^\circ)$	$\varphi/(^\circ)$	H/m	$\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	$E_a/(\text{kN}/\text{m})$			误差/%
							库仑解	GA 解	进化代数	
1	10	30	20	30	4	18	151.3	151.333	11	0.022
2	10	15	20	30	4.5	17.5	85.1	85.115	19	0.018
3	10	25	10	30	5	17	132.18	132.102	17	-0.059
4	0	0	20	30	6	18.5	103.0	99.006	18	-3.878
5	10	10	20	30	6	18.5	153.0	145.713	10	-4.763

表2 库仑主动土压力算例2
Table 2 Example 2 of coulomb active earth pressure

序号	$\alpha/(^\circ)$	$\beta/(^\circ)$	$\delta/(^\circ)$	c/kPa	c_w/kPa	$E_a/(\text{kN}/\text{m})$			误差 /%
						文献[11]解	GA 解	进化代数	
1	0	0	0	0	0	392.2	392.209	9	0.002
2	0	0	0	10	0	273.1	273.076	15	-0.009
3	5	5	5	0	0	433.8	433.828	17	0.006
4	5	5	15	0	0	414.3	414.310	18	-0.002
5	5	10	10	10	0	328.4	328.329	15	-0.022
6	5	10	10	10	5	310.4	310.367	19	-0.011
7	5	10	10	10	10	293.5	293.267	21	-0.079
8	10	10	15	10	0	368.8	368.816	23	0.004

4 结 论

(1) 确定了采用优化方法求解库仑土压力的数学模型, 自变量滑动面倾角的取值区间为 $[\varphi, 90^\circ + \alpha]$ 。无黏性土目标函数为式(1), 黏性土目标函数为式(2)。

(2) 算例表明, 遗传算法求解无黏性土库仑主动土压力与经典库仑解相比误差为 1.748%, 求解黏性土库仑主动土压力与文献计算结果相比误差仅为 0.017%, 本文的方法具有较高的求解精度。

(3) 遗传算法在优化求解过程中, 不需要函数满足连续可微等条件, 也不必对函数进行求导, 非常适合在计算库仑土压力等复杂目标函数的岩土工程优化分析中应用。

参 考 文 献

- [1] WEI Ru-long. Application of Coulomb's theory to cohesive soil[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(3): 80—84.
WEI Ru-long. Application of Coulomb's theory to cohesive soil[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 1998, 20(3): 80—84.
- [2] 王奎华, 阙仁波. 改进的库尔曼图解法及其在土压力计算中的应用[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(2): 167—169.
WANG Kui-hua, QUE Ren-bo. Ameliorated Culmann's graphical construction and its application to earth pressure calculation[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2003, 25(2): 167—169.
- [3] 李兴高, 刘维宁. Coulomb 土压力理论的两种解法[J]. 岩土力学, 2006, 27(6): 981—985.
LI Xin-gao, LIU Wei-ning. Two methods to get the Coulomb earth pressure theory[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2006, 27(6): 981—985.
- [4] 李小和, 李兴高. 库仑土压力的变分法研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(1): 78—82.
LI Xiao-he, LI Xin-gao. Study of the Coulomb earth pressure by variational method[J]. **Journal of Engineering Geology**, 2006, 14(1): 78—82.
- [5] 兑关锁, 左晓宝. 库仑土压力与破裂角公式的各种等价形式[J]. 南京理工大学学报, 1999, 23(3): 270—272.
DUI Guan-suo, ZUO Xiao-bao. Some equivalent formulae for Coulomb's earth pressure and rupture angle[J]. **Journal of Nanjing University of Science and Technology**, 1999, 23(3): 270—272.
- [6] 黄健平. 用优化法计算库仑土压力[J]. 路基工程, 2006, (4): 26—27.
HUANG Jian-ping. Calculation of Coulomb's earth pressure by optimization[J]. **Subgrade Engineering**, 2006, (4): 26—27.
- [7] 陈昌富, 杨宇, 龚晓南. 基于遗传算法地震荷载作用下边坡稳定性分析水平条分法[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(11): 1919—1923.
CHENG Chang-fu, YANG Yu, GONG Xiao-nan. Horizontal slice method of slope stability analysis under seismic load based on genetic algorithm[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2003, 22(11): 1919—1923.
- [8] 赵同彬, 谭云亮, 刘传孝. 基于遗传算法的巷道位移反分析研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(增): 107—109.
ZHAO Tong-bin, TAN Yun-liang, LIU Chuan-xiao. Research on back-analysis of roadway displacement based on genetic algorithms[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(Supp.): 107—109.
- [9] 李守巨, 上官子昌, 刘迎曦. 基于混合遗传算法岩土抗剪指标参数识别方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(4): 676—680.

- LI Shou-ju, SHANGGUAN Zi-chang, LIU Yin-xi. Identification procedure for shear strength parameters of geotechnical materials using hybrid genetic algorithms[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2005, 24(4): 676—680.
- [10] 陈希哲. 土力学地基基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 203—215.
- [11] 卢廷浩. 考虑黏聚力及墙背黏着力的主动土压力公式[J]. 岩土力学, 2002, 23(4): 470—473.
- LU Ting-hao. A formula of active earth pressure including cohesion and adhesion[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2002, 23(4): 470—473.
- [12] 胡晓军. 黏性土主动土压力库仑精确解的改进[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(8): 1049—1052.
- HU Xiao-jun. Improvement of Coulomb accurate solution of active earth pressure of cohesive soil[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2006, 28(8): 1049—1052.

《岩土力学》2009 年第 1 期被 EI 收录论文 (51 篇, 收录率 100 %)

No.	论文题名	作者	页 码
1	膨胀土和黄土的微观结构及其演化规律研究	陈正汉, 方祥位, 朱元青, 等	1—11
2	用 5 种圆盘试件的劈裂试验确定岩石断裂初度	张 盛, 王启智	12—18
3	泥岩隧道施工过程中渗流场与应力场全耦合损伤模型研究	贾善坡, 陈卫忠, 于洪丹, 等	19—26
4	虚拟单元法求解渗流流量	李守德, 朱岳明, 程德虎	27—32
5	基于 Melan 解的水平基床系数分析方法及工程运用	胡 琦, 凌道盛, 陈云敏	33—39
6	土钉技术补强土质古窑受拉破坏裂缝	柴新军, 林重德, 杨泽平, 等	40—44
7	含软夹层的层状沉积河谷场地的地震动力响应分析	李伟华, 赵成刚	45—51
8	混凝土二维骨料随机分布对物质扩散的影响	赵艳林, 韦克宇, 吕海波	52—57
9	化学溶液及其水压作用下单裂纹灰岩破裂的细观试验	姚华彦, 冯夏庭, 崔 强, 等	59—66
10	水平-摇摆耦合振动波阻板主动隔振三维分析	高广运, 熊 浩, 李 伟, 等	67—72
11	不同温度下冻土单轴抗压强度与电阻率关系研究	付 伟, 汪 稔, 胡明鉴, 等	73—78
12	土体冻胀与地基梁相互作用的叠加法研究	李方政	79—85
13	土坡稳定分析的颗粒流模拟	周 健, 王家全, 曾 远, 等	86—90
14	垃圾卫生填埋中的一些岩土工程技术	卢应发, 陈朱蕾, 谢文良, 等	91—98
15	岩体结构面剪切流变试验及模型参数反演分析	朱珍德, 李志敬, 朱明礼, 等	99—104
16	齿坎式挡土结构物极限抗滑力研究	屠毓敏, 俞亚南	105—108
17	矿井深部巷道围岩变形浅析及控制	李德忠, 李冰冰, 檀远远	109—112
18	层状地基中瑞利波随深度的衰减特性	黄茂松, 任 青, 周仁义, 等	113—117
19	对土体动力黏塑性记忆型嵌套面模型的改进	庄海洋, 陈国兴	118—122
20	地铁列车振动作用下近距离平行隧道的弹塑性动力响应	白 冰, 李春峰	123—128
21	交通荷载作用下软基加筋道路变形机制研究	刘飞禹, 蔡袁强, 徐长节, 等	129—134
22	土石坝下游坝坡砌块在地震作用下的稳定性评价	田景元, 刘汉龙, 李永红	135—138
23	基于 RAGA 的指数曲线模型预测基桩承载力	许小健, 钱德玲, 郭文爱, 等	139—142
24	纳米硅水泥土弹塑性有限元分析	王立峰, 黄洪勉	143—146
25	钙质砂室内载荷试验研究	王新志, 汪 稔, 孟庆山, 等	147—151
26	竖向荷载下矩形闭合地下连续墙桥梁基础群墙效应研究	文 华, 程谦恭, 陈晓东, 等	152—186
27	Kriging 插值方法在地层模型生成中的应用	李晓军, 王长虹, 朱合华	157—162
28	高层建筑刚性桩复合地基反力现场测试研究	郭忠贤, 王占雷, 杨志红	163—168
29	水力压裂扩展特性的数值模拟研究	连志龙, 张 劲, 王秀喜, 等	169—174
30	深厚覆盖层上复合土工膜防渗堆石坝坝坝特性研究	岑威钧, 沈长松, 童建文	175—180
31	素混凝土劲性水泥土复合桩承载力机理分析	李俊才, 邓亚光, 宋桂华, 等	181—185
32	螺旋桩基础抗拔试验研究	董天文, 梁 力, 黄连壮, 等	186—190
33	软黏土层一维有限应变固结的超静孔压消散研究	陈敬虞, 龚晓南, 邓亚虹	191—195
34	考虑填埋场沉降和生物降解作用下的孔隙度仿真预测研究	刘 磊, 梁 冰, 薛 强, 等	196—200
35	刚-柔性桩复合地基中桩荷载传递规律试验研究	朱 奎, 魏 纲, 徐日庆	201—205
36	土工格栅加筋土挡墙试验研究	杨广庆, 周亦涛, 周乔勇, 等	206—210
37	基于 Casagrande 法数学分析确定先期固结压力	刘用海, 朱向荣, 常林越	211—214
38	双剪双参数强度准则硬化函数的探讨	贾瑞华, 阳军生, 渠时勤	215—220
39	堤内压盖渗流分析的临界破坏点法	罗玉龙, 彭 华, 张 晋, 等	221—225
40	迭代增量法分析地下连续墙的受力性状	冯世进, 陈晓霞, 高广运, 等	226—230
41	人工侧向冻结条件下土的冻结试验	于琳琳, 徐学燕	231—235
42	鹤上大断面小净距隧道施工方案优化分析	龚建伍, 夏才初, 朱合华, 等	236—240
43	粉砂地基深基坑渗透破坏研究	冉 龙, 胡 琦, 等	241—245
44	基于粗糙集的隧道围岩质量可拓学评价	张 鹏, 陈剑平, 邱道宏	246—250
45	基于 Cauchy 积分解法与遗传算法的随机位移反分析研究	焦春茂, 赵春风, 楼 云, 等	251—256
46	风积沙地基斜柱基础上拔水平力组合荷载试验	乾增珍, 鲁先龙, 丁士君	257—260
47	基坑降水中渗流破坏归类及抗突涌验算公式评价	杨建民, 郑 刚	261—264
48	基于 Web GIS 的城市地铁施工监测信息管理系统研究	贺跃光, 杜年春, 李志伟	265—269
49	水库库岸滑坡体稳定性与三维可视化模拟分析系统研究	李明超, 王忠耀, 刘 杰	270—274
50	不耦合装药爆破对硬岩应力场影响的数值分析	姜鹏飞, 唐德高, 龙 源	275—280
51	群桩与筏板的竖向动力相互作用研究	徐新生, 燕 彬	281—284