

文章编号: 1000-7598-(2006) 04-0581-05

土工合成材料界面作用特性的拉拔试验研究

吴景海

(天津市市政工程研究院, 天津 300074)

摘 要: 在土工合成材料加筋土工程中, 土工合成材料与填料的界面作用特性是最关键的技术指标, 因此利用拉拔试验研究土工合成材料与填料的界面作用特性是非常必要的。以 5 种不同种类的国产土工合成材料为加筋材料, 以砂和石灰粉煤灰为填料, 比较了各种土工合成材料与填料的界面作用特性, 试验表明: (1) 石灰粉煤灰自重较轻, 摩擦角高, 并且比砂的拉拔系数相对偏高一倍左右, 是理想的土工合成材料加筋土工程的填料; (2) 土工合成材料的拉拔系数从高到低排序为涤纶纤维经编土工格栅最高, 塑料拉伸土工格栅次之, 土工网较低, 土工织物最低; (3) 不同填料、不同土工合成材料的拉拔系数相差较大, 具体加筋土工程采用的拉拔系数需要通过拉拔试验确定。这些结论可指导土工合成材料的优选和研究加筋机理。

关 键 词: 界面作用特性; 土工合成材料; 砂; 石灰粉煤灰; 拉拔试验

中图分类号: TU 43

文献标识码: A

Study on interaction characteristics between geosynthetics and fill materials by pull out tests

WU Jing-hai

(Tianjin Municipal Engineering Research Institute, Tianjin 300074, China)

Abstract: The interaction characteristics of geosynthetics with fill materials are the key factors for geosynthetic reinforcement projects; hence, it is essential to study interaction characteristics by pull out tests. The comprehensive investigation into the interaction characteristics of 5 kinds of domestic geosynthetics with sand and lime fly ash was presented by pull out tests. Experimental results show: (1) Lime fly ash is light in unit weight, high in shear strength and its pull out coefficient (C_{po}); therefore, it is ideal fill material; (2) Geosynthetics are arranged in C_{po} from high to low: polyester (PET) warp knitting geogrids, uniaxial/biaxial oriented geogrids, geonets and geotextiles; (3) The variation of C_{po} for various geosynthetics and fill materials is larger, hence C_{po} should be determined through pull out tests for concrete projects. These conclusions can be used to guide choosing geosynthetic type and to make research on geosynthetic reinforcement mechanism.

Key words: interaction characteristics; geosynthetics; sand; lime fly ash; pull out test

1 引 言

美国和法国从 20 世纪 70 年代初开始将土工合成材料用于加筋土工程, 目前已经广泛用于各类加筋工程中, 如挡土墙、陡坡、软基上路堤和海堤等。我国 80 年代初开始将土工合成材料用于加筋土工程, 取得了可喜的成果, 但主要用于软基处理。目前土工合成材料的加筋机理不是十分清楚, 计算方法不成熟, 理论研究明显落后于工程实践, 需要进行深入的理论研究。

在土工合成材料加筋土工程中, 土工合成材料

与填料的界面作用特性直接决定加筋土工程的内稳定性, 因此土工合成材料与填料的界面作用特性是最关键的技术指标。国外许多学者利用拉拔试验研究土工合成材料与填料的界面作用特性, 填料主要是砂和黏性土。土工合成材料包括有纺土工织物、无纺土工织物、塑料拉伸土工格栅, 只有 Hausmann 和 Clarke(1994 年)通过直剪试验和拉拔试验对塑料拉伸土工格栅与粉煤灰的界面摩擦特性进行了初步研究^[1~5]。国内一些学者利用拉拔试验研究国产土工合成材料与填料的界面作用特性, 填料包括砂、黏土、圆砾、残积土、风积砂土、细粒尾矿^[6~9]。

收稿日期: 2004-08-25

修改稿收到日期: 2004-10-26

作者简介: 吴景海, 男, 1965 年生, 工学博士, 教授级高工, 副院长, 曾从事过结构工程的设计、工程地质勘察, 现主要从事高速公路路桥的检测技术及加固处理对策、软土地基处理、土工合成材料的工程应用和科研工作。E-mail: wujinghai@eyou.com

近年来国产土工合成材料种类增多,相继出现了单向和双向塑料拉伸土工格栅、经编土工格栅和土工网。

本文以 5 种不同种类的国产土工合成材料为加筋材料,以砂和石灰粉煤灰为填料,利用拉拔试验比较不同种类国产土工合成材料与填料的界面作用特性,得到一些有益的结论,可以指导土工合成材料的优选和研究加筋机理。

2 试验仪器、材料和试验方法

2.1 试验仪器及试验方法

拉拔试验装置:试验箱尺寸(长×宽×高)为 500 mm×240 mm×300 mm。垂直加荷利用油压千斤顶配量力环。水平加荷利用机械千斤顶配压力传

感器。拉拔试验采用应变控制方式,拉拔速率为 1.0 mm/min。拉拔到峰值后或 50 mm 拉拔位移为止。

2.2 试验材料

试验中采用了 5 种国产土工合成材料,分别是针刺无纺土工织物(TW)、涤纶纤维经编土工格栅(ZH)、聚乙烯单向土工格栅(STD)、聚丙烯双向土工格栅(STS)和聚乙烯土工网(TS)。试样宽 200 mm,长 200~400 mm,其尺寸大小与土工合成材料的种类和法向应力有关,以能够拔出为原则。土工合成材料的技术指标见表 1。试验采用干粗砂和石灰粉煤灰两种填料,其中砂的技术指标见表 2。试样的干密度为 1.66 g/cm³,粉煤灰为天津市军粮城电厂的粉煤灰,石灰、粉煤灰和石灰粉煤灰混合料的技术指标见表 3。

表 1 土工合成材料的技术指标
Table 1 Technical indexes of different geosynthetics

技术指标		无纺土工织物	经编土工格栅	单向土工格栅	双向土工格栅	土工网
规格			TGS-2	TGDG25	TGSG15	CE131
原材料		丙纶	涤纶纤维	聚乙烯	聚丙烯	聚乙烯
纵 向	单位面积质量/g·m ²	398	560	293	415	673
	极限抗拉强度/kN·m ⁻¹	13.7	55.2	37.5	19.1	9.4
	极限延伸率/%	78.4	23.6	8.9	33.2	29.6
	2 %延伸率抗拉强度/kN·m ⁻¹	<0.5	9.8	10.0	6.5	1.1
	5 %延伸率抗拉强度/kN·m ⁻¹	<0.5	17.8	25.9	12.2	3.3
横 向	极限抗拉强度/kN·m ⁻¹	10.1	52.6		20.0	5.1
	极限延伸率/%	106.7	27.3		15.2	44.1
	2 %延伸率抗拉强度/kN·m ⁻¹	<0.5	9.5		5.1	1.1
	5 %延伸率抗拉强度/kN·m ⁻¹	<0.5	13.1		10.5	1.8
网孔尺寸/mm			25×25		40×50	φ 20

表 2 砂的技术指标
Table 2 Technical indexes of the sand

不同粒径(mm)颗粒组成/%				限制粒径/mm				C _u	C _c
2~0.5	0.50~0.25	0.25~0.10	<0.10	d ₆₀	d ₅₀	d ₃₀	d ₁₀		
62	25	9	4	0.77	0.62	0.43	0.20	3.8	1.20

注: C_u 为不均匀系数, C_c 为曲率系数。

表 3 石灰粉煤灰的技术指标
Table 3 Technical indexes of lime fly ash

名称	指标及成份	量值
石灰	CaO / %	33.11
	MgO / %	17.21
	烧失量 / %	3.95
粉煤灰	Fe ₂ O ₃ / %	7.80
	Al ₂ O ₃ / %	28.82
	SiO ₂ / %	49.43
配合比	1: 9	
石灰粉煤灰 (不养生)	最佳含水量 w _{op} / %	24.0
	最大干密度 ρ _{max} / g·cm ⁻³	1.27
	压实度 / %	90
	试样干密度 / g·cm ⁻³	1.14

由表 3 可知,石灰粉煤灰干密度为 1.14 g/cm³,最佳含水量为 24.0 %,湿密度为 1.41 g/cm³,而我国加筋土工程多采用黏性土作为填料,黏性土的湿密度一般为 1.70~1.90 g/cm³,石灰粉煤灰比黏性土轻 25 %左右,所以采用石灰粉煤灰作为填料一方面可以减少软土地基的沉降,另一方面可以减小土压力。

3 计算公式

界面抗剪强度: $\tau_{sg} = c_{sg} + \sigma_n \tan \varphi_{sg}$ (1)

拉拔系数: $C_{po} = \tan \varphi_{sg} / \tan \varphi_{ss}$ (2)

式中 C_{po} 为拉拔系数; φ_{ss} 为填料的内摩擦角; τ_{sg} 为土工合成材料与填料的界面抗剪强度; φ_{sg} 为土工合成材料与填料的界面摩擦角; c_{sg} 为土工合成材料与填料的界面凝聚力; σ_n 为法向压力。

4 拉拔结果

土工合成材料的拉拔强度由两部分组成:一部分为土工合成材料表面与填料的摩擦力,另一部分为填料对土工合成材料横格的部分被动土压力。土工织物仅存在第一部分,其他土工合成材料两部分均存在,由于其他土工合成材料表面与填料的接触面积太小,所以第二部分起控制作用。

试验结果如图1~3,表4及表5所示。试验表明:(1)砂作为填料时拉拔系数的变化范围:0.18~0.45,其中土工织物和土工网仅为0.18,塑料拉伸土工格栅为0.27~0.37,经编土工格栅为0.45。石灰粉煤灰作为填料时拉拔系数的变化范围为0.35~0.85,其中土工织物仅为0.35,土工网为0.48,塑料拉伸土工格栅为0.54~0.56,经编土工格栅高达0.85;(2)石灰粉煤灰比砂的拉拔系数相对偏高50%~150%;(3)拉拔系数从高到低排序为经编土工格栅最高,塑料拉伸土工格栅次之,土工网较低,土工织物最低;(4)黏聚力的变化范围:0~10.65 kPa(砂),0~7.02 kPa(石灰粉煤灰),黏聚力均相当小,并且不稳定,所以计算锚固长度时可以忽略不计黏聚力。

对试验结果进一步分析讨论如下:(1)由于石灰粉煤灰比砂的颗粒细,比表面积较大,石灰粉煤灰与土工合成材料接触面积较大,并且压实后石灰粉煤灰以团粒存在,团粒比单个砂粒变位困难,即石灰粉煤灰比砂对土工合成材料嵌固作用大,所以石灰粉煤灰比砂的拉拔系数大;(2)土工织物仅存在土工织物表面与填料的摩擦作用,不存在填料被动土压力部分,而被动土压力部分对拉拔强度起控制作用,所以尽管土工织物表面与填料的接触面积最大,但土工织物的拉拔系数还是最低。土工网的侧向约束较弱,产生的被动土压力太小,所以土工网的拉拔系数较低。塑料拉伸土工格栅的网孔较小,侧向约束较强,产生的被动土压力较大,尽管表面比较光滑,但表面接触面积还是较大,所以塑料拉伸土工格栅的拉拔系数较高。经编土工格栅的网孔最小,侧向约束作用最强,产生的被动土压力最大,并且表面接触面积最大和表面粗糙,所以经编土工格栅的拉拔系数最高;(3)经编土工格栅和塑料拉伸格栅的拉拔系数较高,并且它们的抗拉强度高、延伸率低,所以对变形有严格要求的加筋土工程,如加筋土挡墙和加筋土桥台,优先采用经编土工格栅和塑料拉伸土工格栅;(4)由于不同填料、不同土工合成材料的拉拔系数相差较大,所以具体加筋土工程的拉拔系数需要通过拉拔试验确定。

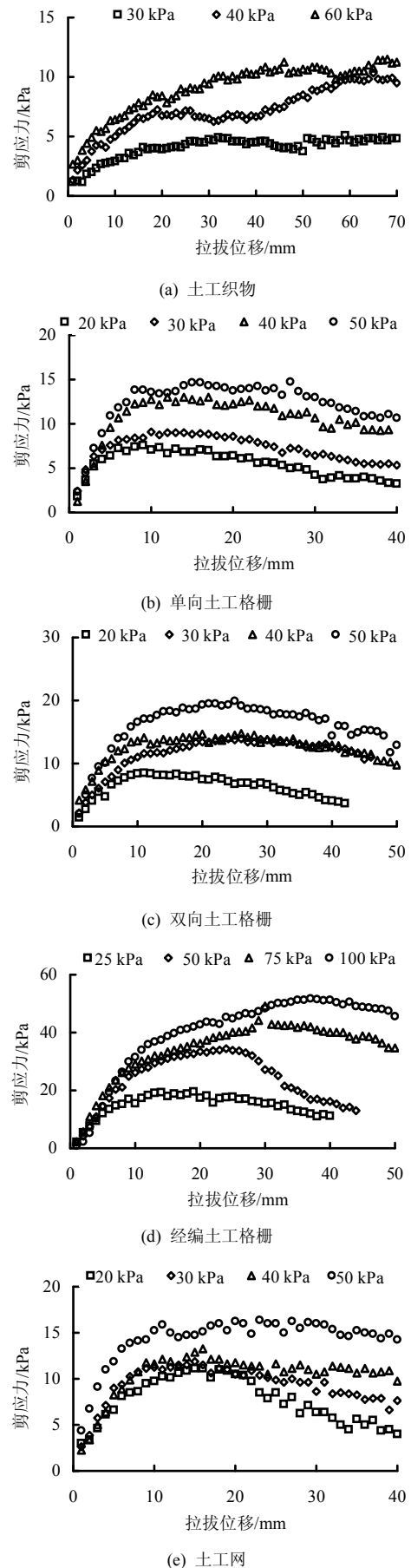


图1 不同法向应力剪应力与拉拔位移关系曲线(砂)
Fig.1 Shear stress-pull out displacement curves under different vertical pressures (sand)

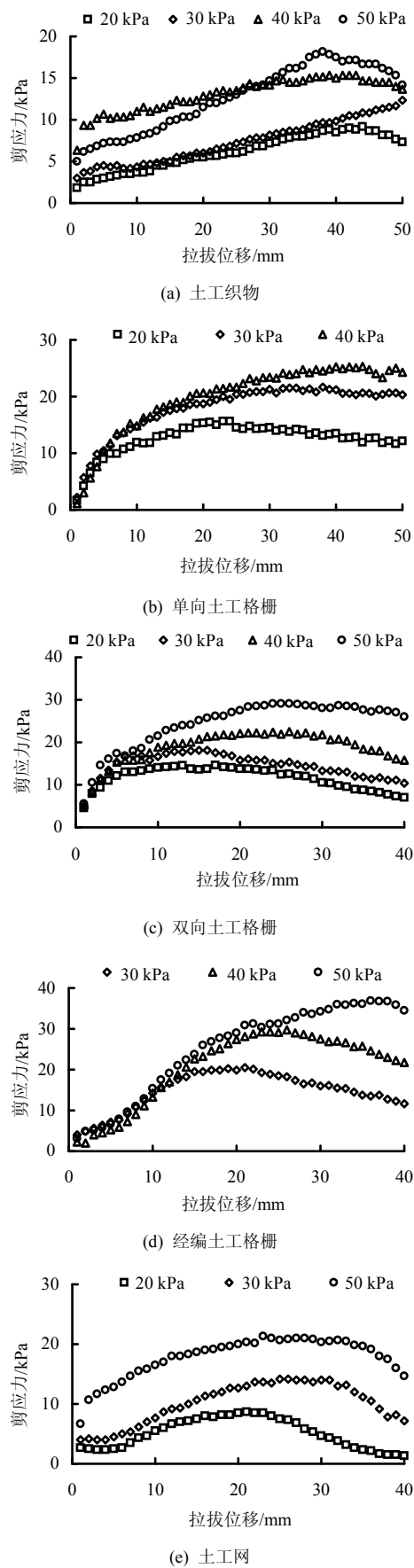


图 2 不同法向应力剪应力与拉拔位移关系曲线
(石灰粉煤灰)
Fig.2 Shear stress-pull out displacement curves under
different vertical pressures (lime fly ash)

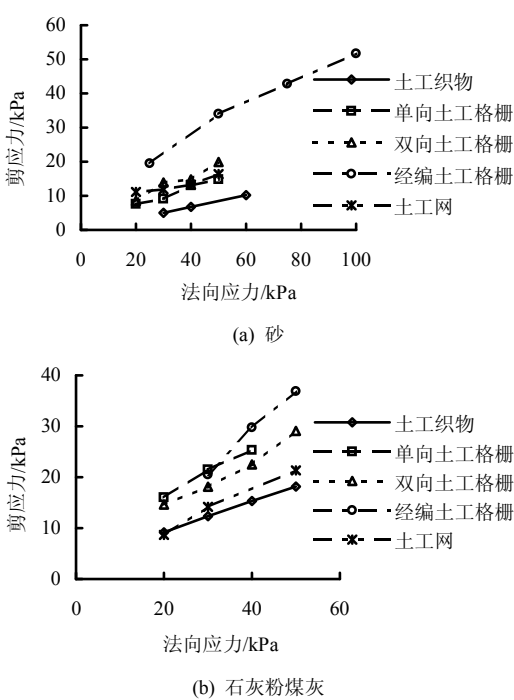


图 3 剪应力与法向压力的关系曲线
Fig.3 Shear stress-vertical pressure curves

表 4 土工合成材料与砂的拉拔系数

Table 4 Pull out coefficients of geosynthetics with sand

参数	土工 织物	土工格栅			
		单向	双向	经编	土工网
内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	9.6	14.3	19.3	22.9	9.7
黏聚力 c/kPa	0	2.20	1.99	10.65	7.16
相关系数 R^2	0.999 4	0.969 1	0.941 8	0.983 1	0.908 7
拉拔系数 C_{po}	0.18	0.27	0.37	0.45	0.18

注：砂的 $\varphi=43.3^{\circ}$ ， $c=0\text{ kPa}$ 。

表 5 土工合成材料与石灰粉煤灰的拉拔系数

Table 5 Pull out coefficients of geosynthetics with
lime fly ash

参数	土工 织物	土工格栅			
		单向	双向	经编	土工网
内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	16.7	24.9	25.5	36.1	22.4
黏聚力 c/kPa	3.25	7.02	4.36	0	0.96
相关系数 R^2	0.999 4	0.989 3	0.979 0	0.982 2	0.986 9
拉拔系数 C_{po}	0.35	0.54	0.56	0.85	0.48

注：石灰粉煤灰的 $\varphi=40.6^{\circ}$ ， $c=21.5\text{ kPa}$ 。

5 结 论

(1) 石灰粉煤灰自重较轻，内摩擦角相当于中、粗砂的内摩擦角，并且石灰粉煤灰比砂的拉拔系数相对偏高一倍左右，因此石灰粉煤灰是理想的土工合成材料加筋土工程的填料。

(2) 土工合成材料的拉拔系数从高到低排序为经编土工格栅最高，塑料拉伸土工格栅次之，土工网较低，土工织物最低。

(3) 不同填料、不同土工合成材料的拉拔系数相差较大，具体加筋土工程采用的拉拔系数需要通过拉拔试验确定。

(4) 经编土工格栅和塑料拉伸土工格栅的拉拔系数较高,且它们的抗拉强度高、延伸率低,所以对变形有严格要求的加筋土工程,如加筋土挡墙和加筋土桥台,优先采用经编土工格栅和塑料拉伸土工格栅。

(5) 土工合成材料拉拔强度的黏聚力分量均相当小,并且不稳定,所以计算锚固长度时可以忽略不计黏聚力分量。

参 考 文 献

- [1] Ochiai H, Hayashi S, Otani J, Hirai H. Evaluation of pull out resistance of geogrid reinforced soils[A]. **Proceedings of Earth Reinforcement Practice**[C]. Kyushu, Japan: A. A. Balkema, 1992. 141—146.
- [2] Bergado D T, Chai J C, Balasubramaniam A S. Interaction between grid reinforcement and cohesive-frictional soil[A]. **Proceedings of Earth Reinforcement Practice** [C]. Kyushu, Japan: A. A. Balkema, 1992. 29—34.
- [3] Cancelli A, Rimoldi P, Tongi S. Frictional characteristics of geogrids by means of direct shear and pull out tests[A]. **Proceedings of Earth Reinforcement Practice**[C]. Kyushu, Japan: A. A. Balkema, 1992. 141—146.
- [4] Hausmann M R, Clarke J. Fly ash-geosynthetic interaction[A]. **Proceedings of 5th International Conference on Geosynthetics**[C]. Singapore: SEAC-IGS, 1994. 433—436.
- [5] Koutsourais M, Sandri D, Swan R. Soil interaction characteristics of geotextiles and geogrids[A]. **Proceedings of 6th International Conference on Geosynthetics**[C]. Atlanta, USA: IFAI, 1998. 739—744.
- [6] 刘霖, 李桂英, 李驰. 土工格栅与风积砂界面作用特性的试验研究[J]. 内蒙古公路与运输, 2003, (1): 14—6.
LIU Lin, LI Gui-ying, LI Chi. Testing study on interaction characteristics between aeolian sand and geogrids[J]. **Highways & Transportation in Inner Mongolia**, 2003, (1): 4—6.
- [7] 施有志. 土工合成材料的拉拔试验研究[J]. 岩土工程界, 2003, 6(10): 75—78.
SHI You-zhi. Research on geosynthetics by pull-out tests[J]. **Geotechnical Engineering World**, 2003, 6(10): 75—78.
- [8] 尹光志, 张东明, 魏作安, 等. 土工合成材料与细粒尾矿截面作用特性的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(3): 426—429.
YIN Guang-zhi, ZHANG Dong-ming, WEI Zuo-an, et al. Testing study on interaction characteristics between fine grained tailings and geosynthetics[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(2): 426—429.
- [9] 徐超, 赵春风, 叶观宝. 关于土与土工合成材料界面的试验研究[J]. 同济大学学报, 2004, 32(3): 307—311.
XU Chao, ZHAO Chun-feng, YE Guan-bao. Research on interface between soil and geosynthetics[J]. **Journal of Tongji University**, 2004, 32(3): 307—311.

喜看《岩土力学》这几年的进步与发展

《岩土力学》作为岩土力学与工程专业的学术期刊,主要报道岩土力学与工程科研和工程实践的最新成果,内容包括岩土力学、岩土工程、典型工程实录、测试技术与测试方法、综述、讨论、信息、学术与工程动态、学术讲座等。《岩土力学》编辑部围绕办刊宗旨,一直竭尽全力为岩土力学与工程学科的发展而积极努力工作,尤其是近几年来,在中国科学院岩土力学研究所的直接领导和《岩土力学》编委会、编辑部的共同努力之下,《岩土力学》越来越得到岩土界同仁的支持和厚爱,取得比较显著的进步。2003~2005年统计结果如下:

来稿数量逐年增加 2003年748篇,2004年1172篇,2005年1416篇。作者层次提高,其中博士、副教授以上占90%,基金产文(国家基金及地方基金资助)占58%左右。稿件来自全国各地,国外作者主要来自日本、法国和加拿大等国相关研究领域。

扩刊及刊发论文 2004年起《岩土力学》刊期由双月刊扩为月刊,人员不变,工作力度加大,2003~2005年间出刊36期,刊发论文1645篇,其中为一些岩土力学与工程学会规模和影响力较大的学术会议出版专刊6期。

EI收录率翻番 1999~2005年EI收录总计1091篇。其中2003年刊发476篇(含增刊),收录133篇,正刊收录率为27.9%;2004年刊发605篇(含增刊),EI收录434篇,正刊收录率为83%,增刊收录率为43%;2005年刊发564篇(含增刊),收录524篇(截止05年11期,刊发528篇),正刊收录率为99.5%,增刊收录率为99.3%。

加强信息交流 借助中国期刊网平台(<http://ytlx.chinajournal.net.cn/>),3年来发布信息200余条,内容包括论文索引、录用公告、会讯、行业新闻、EI收录信息、书讯、稿件安排通知、文摘书写要求、作者与编者问答以及编辑部的动态等,内容丰富多样,是读者了解我刊的重要窗口,3年来游览人次到8.5万多人次,增加编辑部与作者、读者的互动,提高了《岩土力学》的知名度和影响力。

编委会换届 为了利于期刊的发展,2003年《岩土力学》编委会进行了结构性调整,改变了编委一直由本所人员组成的格局,增加了所外部分正活跃在岩土力学与工程专业领域、具有较高专业水平的教授和专家为本刊编委,充实了编委会力量。

期刊各项工作实现电子化 2003年起我刊开始将计算机应用于期刊各个方面工作,诸如期刊编辑、稿件处理、审稿、清样校对等各方面均计算机化,并且充分利用电信、网络等手段,提高了期刊编辑质量。

期刊在《中国科技期刊引证报告》中排名 (以清华光盘为例,在ZK2.7.3科技与生产\建筑工程与技术类):

2003版本 2002年按影响因子排名:第5名,影响因子0.364;2002年按总被引频次排名:第6名,被引频次238;

2004版本 2003年按影响因子排名:第6名,影响因子0.4672;2003年按总被引频次排名:第6名,被引频次389;

2005年版本 2004年按影响因子排名:第3名,影响因子0.834;2004年按总被引频次排名:第4名,被引频次980。