

深圳河反滤土工布试验研究

Experimental study on filter geotextiles applied in Shenzhen River project

胡利文

(广州四航工程技术研究院, 广东 广州 510230)

摘要 对深圳河治理工程边坡防护反滤运行期的土工布进行了综合试验研究, 分析了土工布长期运行过程中的渗透性、保土性和淤堵性能, 从强度损失角度分析了土工布长期运行的强度衰减情况, 并对土工布的耐久性进行了试验分析。由试验知, 土工布渗透系数降低约 100 倍左右, 而土工布强度降低了 50% 左右, 强度衰减速率小于 0.26%/月。试验表明, 土工布已进入稳定渗透期和强度的稳定衰减期, 土工布满足防护反滤的要求。

关键词 土工布; 反滤; 渗透; 强度; 长期特性

中图分类号: TU 41

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)03-0351-05

作者简介 胡利文(1971-)男, 四川威远人, 硕士, 1997年毕业于河海大学岩土工程专业, 主要从事地基处理、土工织物、环境岩土工程等方面的研究和应用工作。

HU Li-wen

(Guangzhou Sihang Institute of Engineering Technology, Guangzhou 510230, China)

Abstract Comprehensive tests on filter geotextiles applied in Shenzhen River are carried out, and the long-term permeability, soil retention capacity and clogging of geotextiles are analyzed. The method of strength declining is used to analyze the long-term strength of geotextile and geotextile durability. From the tests, the permeability of geotextile declines to few percent, meanwhile, the strength loses about 50 percent and the declining rate is less than 0.26 percent per month. It is indicated by the tests that the permeability and strength declining of geotextiles tend to be stable and the geotextiles meet the demands of filter protection.

Key words geotextiles; filtration; permeability; strength; long-term performance

1 前言*

深圳河是一条污染严重的临海河流, 河床及河岸土质主要为淤泥, 在潮汐及行船引起的水动力作用下有较高的可动性, 因此其治理工程采用了无纺土工布以解决护坡反滤问题^[1]。典型反滤结构布置见图 1。

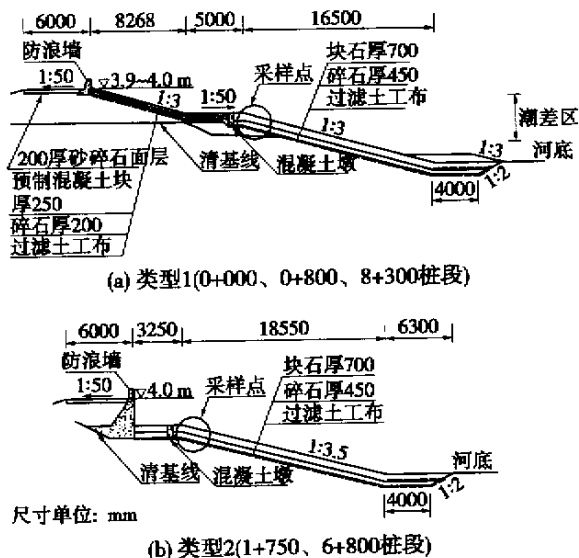


图 1 土工布反滤结构图

Fig. 1 The layout of geotextile filtration

对于土工布反滤来说, Palmeira 对土-土工布过滤系统进行了室内试验分析, 从渗透、淤堵及保土性对不同级配土-土工布过滤特性进行了较为全面的评价^[2]。对于工程上土工布反滤来说, 深圳河中土工布一方面将受到海水及污染水特别是污水中大量有机质和微生物的腐蚀影响, 同时半日潮引起的潮涨潮落使土工布承受双向渗水和干湿交替的影响。为了验证土工布的透水性及防止堤体临水侧流水冲刷时引起泥土流失, 对深圳河不同河段不同埋置期的土工布进行了试验评价。

反滤土工布采用核工业部湖南无纺布厂生产的 200 g/m² 涤纶长丝土工织物, 材质为聚酯长丝纤维, 其物理力学性能指标如表 1。

考虑到深圳河治理有其阶段性, 为了全面分析反滤土工布在深圳河治理工程中的运行情况, 试验取样由深圳河出海口向上游分别在 0+000、0+800、1+750、6+800、8+300 桩段, 于 2000 年 1 月、3 月、5 月、11 月取样做渗透试验、强度试验及耐久性试验。取样时, 趁低潮人工挖取潮差区土工布 2 m² 以上, 同时在土工布表面附近采取被保护土样做颗分试验。同一桩段不

表 1 土工布原材料性能
Table 1 Original characteristics of geotextile

项目	质量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	厚度 /mm	孔隙率 /%	抗拉强度/($\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$)		断裂延伸率/%		垂直渗透系数 ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	等效孔径 O_{95} /mm
				纵向	横向	纵向	横向		
均值	209.8	1.53	89.42	11.70	10.15	73.56	79.82	$3.46\times 10^{-1}/0.42\text{ kPa}$ $1.53\times 10^{-1}/20\text{ kPa}$ $5.90\times 10^{-2}/60\text{ kPa}$ $2.50\times 10^{-2}/200\text{ kPa}$	0.11
测试方法	GB/T 13762	GB/T 13761	GB/T 14799	宽条拉伸试验		GB/T 15788		GB/T 15789	GB/T 14799

同取样点相距一般为 2 ~ 3 m,取土工布时尽量少扰动,土工布不清洗,并将土工布包于黑色袋中密封。

试验按国标系列标准进行,对于渗透试验,土工布只做表面清洗,而对于强度试验,在防止对土工布强度有影响的情况下,做较为彻底的清洗。抗拉强度试验为便于比较,均采用宽条试验。土工布铺设前被保护土颗粒曲线见图 2,其中 6 + 800、8 + 300 桩段土样为 2000 年 1 月的采取样。

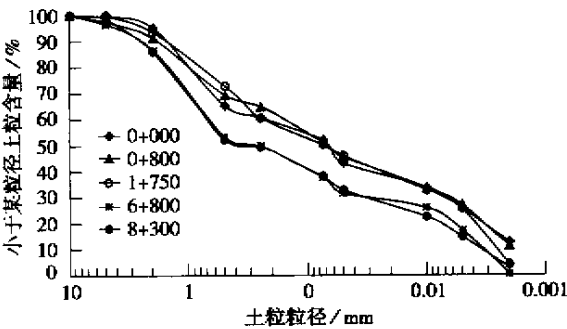


图 2 粒径分布曲线

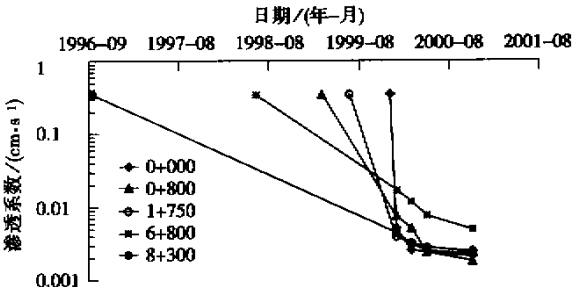
Fig.2 Grain size distributions of the soils

2 反滤指标分析

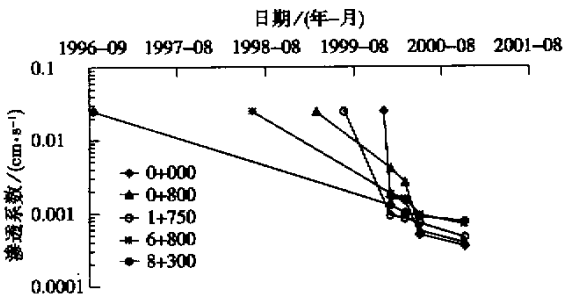
对原材料及现场取样进行 0.42 kPa、20 kPa、60 kPa 和 200 kPa 压力下的渗透试验,其中 0.42 kPa 和 200 kPa 压力下的试验结果参见图 3。由图 3 知,土工布渗透性随压力的关系是,正压力越大,土工布越薄,但等效孔径越小,渗透系数越小。土工布渗透性随时间的关系是,埋置时间越长,渗透系数因土体细颗粒向土工布不断淤积而越小。

考虑土工布用于工程中渗透系数随时间而变化,由图 3 中 0 + 000 曲线不难得出,土工布用于工程中,其渗透系数随时间变化可分为 3 个时期,即急剧下降期、过渡期和稳定渗透期。急剧下降期出现在埋置后 1 个月内,土工布渗透系数在此期间降低很大,其急剧下降期渗透系数降低值几乎达其稳定渗透期渗透系数降低值的 95% 以上。在压力为 0.42 kPa、20 kPa、60 kPa 和 200 kPa 的条件下,经历 1 个月渗透系数分别为原样相同压力下的 1.47%、2.8%、4.2% 和 6.5%;而

原材料无压情况时,渗透系数降低分别为 1.47%、1.23%、0.7% 和 0.5%。由此可以看出,经过 1 个月埋置后的土工布,其渗透系数是急剧下降的,超过 1 个月后,渗透系数随时间变化趋向稳定的过渡期。



(a) 0.42 kPa 压力下土工布渗透系数-时间关系



(b) 200 kPa 压力下土工布渗透系数-时间关系

图 3 土工布渗透系数-时间关系曲线
Fig.3 Permeability of geotextiles vs. time

由图 3 曲线 0 + 000 可看出,渗透系数变化过渡时期大约维持 5 个月,在 0.42 kPa、20 kPa、60 kPa 和 200 kPa 的条件下,其渗透系数分别为原样同压力条件下的 0.7%、1.0%、1.7% 和 2.0%,平均为 1.5%。经过半年的埋置,土工布渗透系数趋于稳定,出现稳定期。经过 1 年的运行,土工布在 0.42 kPa、20 kPa、60 kPa 和 200 kPa 的条件下,其渗透系数分别为原样同压力条件下的 0.6%、0.72%、1.1% 和 1.4%,平均为 1.0%。由此可以看出,土工布运行稳定期渗透系数比其原样渗透系数小很多,达到 10^{-4} cm/s 数量级,但比较其周围土体来说,渗透系数还是比较大的,说明土工布透水性能满足要求。

考虑土工布运行的长期性 ,各桩段平均渗透系数保持率相对于运行时间来说如表 2 所示。

表 2 深圳河反滤土工布的渗透系数保持率

Table 2 Permeability retention of geotextile

桩段	运行时间/月	渗透系数保持率/%				
		0.42 kPa	20 kPa	60 kPa	200 kPa	平均
0+000	11	0.60	0.72	1.10	1.40	0.96
0+800	20	0.50	0.65	1.23	1.52	0.98
1+750	16	0.70	0.92	0.94	1.86	1.10
6+800	29	1.41	1.89	2.29	2.82	2.10
8+300	50	0.64	0.76	1.66	3.00	1.52

由表 2 知 ,长期运行中的土工布渗透系数保持率在各桩段是基本相同的 ,在不同压力下 ,其平均渗透系数保持率最小为 0.96% ,最大为 2.1% ,表明土工布长期运行渗透系数变化的时间敏感性已没有 ,而其值大小将由桩段土质特性、环境因素等决定。很明显 ,0+000 与 0+800 经历过渡期后进入稳定期 ,其渗透系数保持率基本不受时间决定 ,比较其他几个桩段其渗透系数保持率是最小的 ,这主要是因这两桩段处于下河口 ,污染与淤积相对严重 ,而其下土质为海相淤泥 ,这是土工布运行渗透系数保持率相对较低的原因。

比较所有桩段 ,渗透系数保持率最大的桩段出现在 6+800 桩段 ,其运行两年半后渗透系数保持率达到 2.1%。这是因为 6+800 桩段土工布基本上处于水中 ,在土工布上的垂直及平面渗流较难发生 ,因此细颗粒对土工布的淤积堵塞作用相对弱于其他桩段 ,而且此处土工布上下基本上是碎石料 ,由颗分试验可看出 ,大于 0.075 mm 的颗粒相对于其他桩段含量最多 ,发生淤积堵塞的程度相对较小 ,因此渗透系数保持率相对较高。

8+300 桩段的土工布 ,平时较难出现感潮情况 ,被水淹没的时间相当少 ,尽管其埋置时间较长 ,但土工布上下土颗粒大于 0.075 mm 的含量较大 ,仅次于 6+800 桩段 ,在土工布诱发下土颗粒易形成骨架 ,而不易使土工布发生细颗粒堵塞 ,而且土工布处于渗流的情况相对于其他桩段少 ,因此其渗透系数保持率相对较大。

由表 2 知 ,渗透系数降低最大的地方是感潮地段 ,感潮地段渗透常年发生 ,渗流带动细颗粒向土工布淤积 ,使得渗透系数下降 ,其保持率甚至小于运行时间较长的非感潮段。另外 ,由土颗分试验知 ,影响渗透系数变化的因素还与土的细颗粒组分有关 ,常年感潮段细颗粒组分明显高于非常年感潮河段 ,这也是感潮地段渗透系数较小的原因 ,这在今后工程设计与应用中应充分注意。

经过检测 ,各桩段平均细颗粒流失量减少约 8.18% ,而且各桩段细颗粒流失量与渗透系数保持率

有一定相关关系。由淤堵试验知 ,各阶段平均梯度比为 0.83 ,满足淤堵要求。虽然土工布运行时渗透系数呈数量级下降 ,但相对于其隔离的土体的渗透系数来说 ,还是比较大的 ,同时透水性及抗淤堵性均满足要求 ,经过长达 50 个月的埋置 ,土工布仍起到反滤作用。

3 强度指标分析

对各桩段不同时间取样依据 GB/T 15788 做宽条拉伸强度试验得图 4。

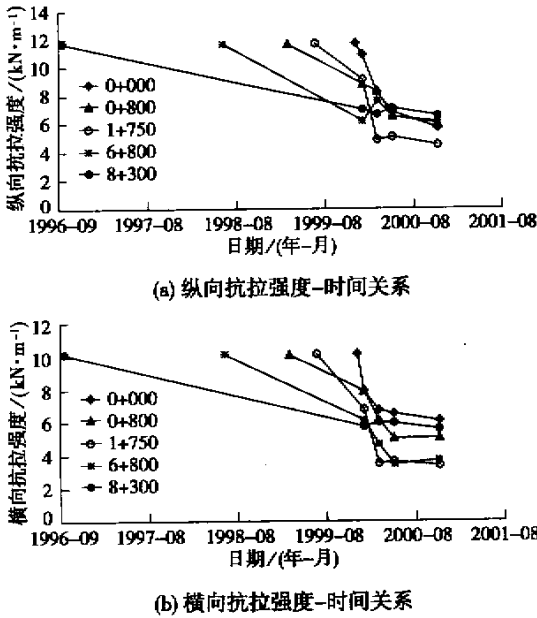


图 4 各阶段土工布抗拉强度 - 时间关系曲线

Fig.4 Tensile strength of geotextiles vs. time at different stages

由图 4 知 ,随着时间的延长 ,土工织物的强度与原状土工织物强度相比 ,都有不同程度的降低 ,其原因是土工布铺设时有施工强度损失 ,铺设后 ,土工布强度将受环境影响并同时发生不同程度的蠕变 ,使工作强度随时间而降低。

强度的机械损失和施工损失发生在施工期 ,由埋置时间较短的 0+000 和 1+750 可以看出 ,施工损失对强度影响很大 ,经过 6 个月 ,强度损失为 45% ,而后其强度因各种腐蚀、行船引起动水压力及蠕变而进一步降低。由图 4 ,比较各桩段强度时间曲线 ,明显的强度损失不尽相同 ,但基本一致 ,除 1+750 桩段强度损失较大外(强度降低率为 61.54%) ,其余桩段强度降低率基本上低于 50% ,这可能与施工及采样对强度造成影响有关。

各桩段经过半年时间后 ,强度基本上进入蠕变期和腐蚀期 ,长期强度受蠕变与腐蚀的影响较大 ,长期性强度损失参见表 3。

表 3 反滤土工布的强度保持率

Table 3 Strength retention of filtration geotextile

桩段	运行时间/月	强度保持率/%			长期性损失/%
		施工后 6 月	施工后 1 年	2000 年 11 月	
0+000	11	58.12	48.55	48.55	—
0+800	20	75.00*	60.05	51.45	8.60
1+750	16	77.90	43.16	38.46	4.70
6+800	29	62.82*	52.82	52.14	0.68
8+300	50	69.66*	59.66	55.98	3.68

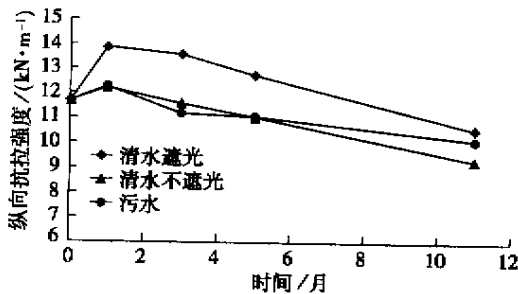
注：* 为近似值

由表 3 不难看出,各桩段施工后 6 个月内强度保持率平均达 68.7%,强度损失速率平均为 5.21%/月,反映了施工对土工布的影响;而施工后 6 个月到 1 年强度保持率平均为 52.85%,强度损失速率为 2.64%/月,到最后一次采样(2000 年 11 月),强度保持率平均为 49.31%,强度再次损失 4.415%,而损失速率为 0.26%/月,反映了蠕变等的影响。比较各桩段,1+750 桩段强度损失最大,这与其施工和采样有很大关系。从表 3 可看出,2000 年 11 月后深圳河反滤土工布强度已基本趋于稳定,月强度损失速率已很小,长期性强度损失速率小于 0.26%/月。

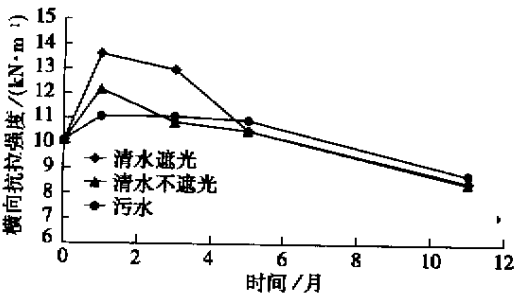
4 耐久性分析

4.1 浸泡试验分析

考虑到土工布浸泡在深圳河污水中,对土工布分别进行了清水、污水浸泡试验,试验结果如图 5 所示。污水浸泡是直接将土工布泡于深圳河水低潮水位下 0.5 m 左右。



(a) 纵向抗拉强度-时间关系



(b) 横向抗拉强度-时间关系

图 5 清水、污水试验强度-时间关系曲线

Fig. 5 The strength-time curves of water corrosive resistance

由图 5 可以看出,清水、污水浸泡的初期,土工织物强度与原材料强度相比不但没有降低,反而有所提高,随着浸泡时间延长,土工织物强度才逐渐降低。浸泡时间越长,强度降低得越多。清水遮光的情况下,纵向强度降低得较少,经过 11 个月,强度保持率为 90.6%。污水及清水不遮光情况下,强度降低稍多,经过 11 个月后的强度保持率分别为 79.7% 和 86.7%。尽管强度有所下降,但比起在工程中运行的土工布来说,强度保持率更大。

经测定,深圳河污水有机质含量约 3.39%,它对土工织物可能产生腐蚀作用,因此使土工织物的强度逐渐降低。污水及清水不遮光情况下,浸泡于其中的土工织物强度降低相对多一些。比较图 5 中各纵横向强度曲线,可以看出,几种情况对土工布强度影响差别不大,这可能是试验时间不算长,同时织物也有一定抗深圳河污水能力的缘故。清水不遮光情况下,强度降低相对多一些,这反映了光照对土工织物强度有较大影响。

4.2 老化试验分析

由厂家委托化工部合成材料研究院依据 GB 9344—88 标准做人工老化试验,并按 GB 6529 进行窄条拉伸试验,结果参见表 4。

表 4 人工老化试验结果

Table 4 Results of accelerated aging test

老化时间/h	拉伸强度/(kN·m ⁻¹)	强度保持率/%
0	13.6	100
200	11.6	85.3
400	10.4	76.5
600	9.8	72.1

由表 4 可知,照射时间越长,强度越低,但强度的衰减并不是与时间呈直线关系,而是呈二次多项式关系,强度降低随照射时间增长逐渐趋于平缓。

图 6 为不同暴露时间下,土工织物在水下不同埋深的抗拉强度-时间关系曲线。试样分 4 种:直接铺于混凝土板上,平铺于水下 20 cm,水下 40 cm 和水下 60 cm,按不同时间取样做宽条拉伸试验。

由图 6 可以看出,土工织物在水上,其强度降低得最多,这是因为在水上受到阳光照射,其接受的辐射能转化为热能加快了织物的老化。随着深度增加,强度降低程度减小,在深度 40 cm 及 60 cm 处,强度较为接近,这说明土工织物只要有适当埋深,就可以避免由光照引起的老化。此外,与图 5 所得强度降低率比较还可以看出,暴露情况下,特别是完全暴露时(水上),强度降低程度比浸于水中大。由图 6,老化强度最初降低较快,然后缓慢进行。

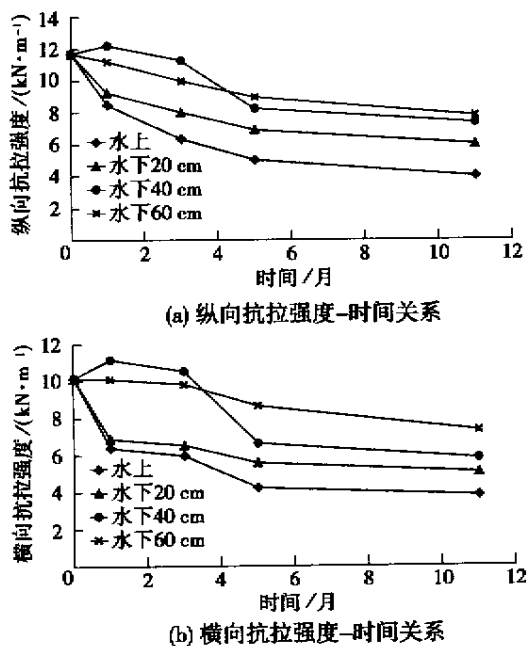


图6 暴露(老化)试验强度-时间关系曲线

Fig. 6 Relationship between strength of geotextiles exposed outdoors and time

经过 11 个月的暴露老化,混凝土板上、水下 20 cm、水下 40 cm 和水下 60 cm 的土工布的强度保持率分别为 34.2%、51.45%、63.2% 和 66.8%。由此可见覆水能大幅度降低土工布的光氧、热氧老化。因此在应用土工织物时应注意使土工织物有适当埋深,以避免土工织物强度降低太多而影响其使用功能。

5 结 论

(1) 土工布用于反滤,渗透系数会在施工及开始运行的 1 个月内急剧下降,呈现急剧下降期,在出海口,渗透系数降低率达 95% 以上;然后出现半年的过渡期,经过半年运行后,土工布反滤呈现稳定期。深圳河工程反滤土工布经过 50 个月埋置,渗透系数保持率为

1.52%,长期运行渗透系数平均保持率为 1.36%。同时渗透系数受土工布上下土颗粒含量及渗流影响,细颗粒含量大的桩段,渗透系数小,常年感潮河段土工布反滤渗透系数比非常年感潮河段降低更多。

(2) 土工织物应用于深圳河工程后不同阶段的土体颗粒分试验表明,不同阶段的土体中细粒流失量减少约 8.18%,而且淤堵试验测得的梯度比 GR 平均值为 0.83。反映了土工织物较强的保土性能及抗淤堵性能。

(3) 反滤土工布运行的强度损失主要集中在施工期及开始运行期约半年时间,经过半年的土工布强度保持率平均为 68.7%,其后强度受蠕变及腐蚀等影响,经过 4 年,强度的长期损失为 4.415%,月均损失率小于 0.26%,反映了土工布长期性工作蠕变等的影响。同时感潮段强度损失相对要大一些,总的来说,经过 4 年运行,强度保持率为原样的 50% 左右。

(4) 暴露于混凝土板上的自然老化强度损失最快,这主要由光氧、热氧老化相互作用引起。浸于水中能大幅降低老化程度,首先可极大程度降低因光产生的热氧化,埋于水下 60 cm,光照及水中腐蚀 11 个月后强度保持率相当于人工老化 600 h,为 67%。覆水能很大程度降低土工布老化。

本文研究工作得到了水利部的资金资助和深圳市治理深圳河办公室的帮助,同时参与试验工作的还有杨鹏、郭伟玲、谢仁红等,在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 胡利文,董志良.土工合成材料在治理深圳河二期工程中的应用[A].全国第五届土工合成材料学术会议论文集[C].宜昌:现代知识出版社,2000.792-795.
- [2] Palmeira E M, Fannin R J, Vaid Y P. A study on the behaviour of soil-geotextile systems in filtration tests[J]. Can Geotech J, 1996, 33: 899-916.

本刊电话、传真号码变更启事

自 2001 年 11 月 8 日起,本刊电话、传真号码改用直拨新号如下:

电话 { 废旧号 025-3739178-512

{ 用新号 025-5829553, 5829555(两部直拨)

传真 { 废旧号 025-3734321

{ 用新号 025-5829555

敬请周知,并请转告,谢谢!

本刊编辑部