# 宽级配砾石土作为 GCLs/GM 防渗垫保护层的 可行性研究

王红雨<sup>1,2</sup> ,张学科<sup>1</sup> ,杨燕伟<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学,银川 750021;2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心,银川 750021)

摘要: 鉴于西北地区干 - 湿与冻 - 融交替循环的气候特征、砾质土料储存量丰富以及土工织物膨润土垫(GCLs)防渗新 技术在国内外已逐步得到推广应用,提出了宽级配砾质土料、土工织物粘土垫层(GCLs)和土工膜(GM)组合作为垃圾填 埋场防渗系统的构想。通过对宽级配砾质土料的室内试验数据和国内外有关文献资料的分析研究表明,以 GCLs/GM 作 为隔渗层,以宽级配砾质土代替粘土作为隔渗层的保护层所构成的复合防渗系统,能有效抵御干 - 湿与冻 - 融交替循环 作用的影响,显著提高垃圾填埋场长期防渗能力和整体稳定性。对于处在西北地区特殊环境中的垃圾填埋场而言,文中 所建议的复合防渗系统设置方法,可能是一种值得期待的垃圾填埋场防渗型式。

关键词:砾质土料;GCLs/GM防渗垫;冻 - 融循环;干 - 湿循环;垃圾填埋场 中图分类号:U214.9\*2;X705 文献标识码:A 文章编号:1000-3665(2010)05-0102-06

城市固体废弃物填埋技术以及填埋场对周边环境 的影响,受当地自然条件和社会经济状况的制约,地域 之间差异性较大。在西北干旱、半干旱地区,一些主要 城市及周边地区的垃圾填埋场大多位于山谷丘陵带, 地下水水位随季节变幅较大,填埋场处于干-湿与冻 -融交替循环的非饱和土体(包气带)特定环境中。

为了确保垃圾填埋场衬垫系统的隔离功能,我国 制定的城市垃圾卫生填埋场技术规范中对填埋场衬垫 提出了具体设计标准<sup>[1]</sup>。但是,在干 - 湿与冻 - 融交 替作用的环境中,采用粘土衬里防渗,存在易干裂、抗 剪强度低以及粘土料源匮乏等问题;而规范中推荐的 高密度聚乙烯(HDPE)防渗材料不但成本高,还存在 机械破坏和安装技术不易掌握等难题<sup>[2-6]</sup>;目前有望 代替天然粘土衬里,已被越来越多地应用到垃圾填埋 场以及其他防渗工程中的土工织物粘土垫层(GCLs), 也存在接触面抗剪强度低以及在干 - 湿与冻 - 融交替 循环条件下的长期防渗性能等有待进一步研究的问 题<sup>[7-13]</sup>。而砾质土料源在自然界分布广泛、储量丰 富,且土料具有压实性能好、填筑密度大、抗剪强度高、 沉陷变形小、承载力高等工程特性。为此,本文提出以

收稿日期: 2009-11-06; 修订日期: 2010-01-18

- 基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(207126); 宁夏自然 科学基金项目(NZ0942) 联合资助
- 作者简介:王红雨(1961-),男,博士,教授,主要从事土力学地 基与基础的教学与科研工作。 E-mail:why.nxts@163.com

宽级配砾质土料代替粘土,与 GCLs和土工膜(GM)共同构成垃圾填埋场复合材料防渗系统的设计构想,并 探讨了在西北地区特殊环境中采用这种防渗方式的可 行性。

### 1 宽级配砾石土料特性

#### 1.1 宽级配砾石土料的渗透性能

在国内外土石坝工程的防渗体中,宽级配砾质土 料得到广泛应用<sup>[14]</sup>。就防渗体而言,土石坝防渗体与 垃圾填埋场防渗系统有许多共同之处,当然也有各自 对防渗性能的一些特殊要求。新颁布的生活垃圾卫生 填埋场防渗系统工程技术规范规定采用天然粘土或改 性粘土类衬里防渗的填埋场,其底部及四壁衬里厚度  $\geq 2m$ ,其衬里的渗透系数  $k \leq 1.0 \times 10^{-7}$  cm/s;作为防 渗保护层,压实土壤的渗透系数  $k \leq 1.0 \times 10^{-5}$  cm/s, 而水利工程中对土石坝防渗体渗透系数的要求亦为 k $\leq 1.0 \times 10^{-5}$  cm/s<sup>[15]</sup>。国内外大量试验研究表明,砾 石土的渗透系数与小于 0.075mm 颗粒含量的增加, 砾石土的渗透系数减小。

以取自宁夏宁东供水工程筑坝土料不同料场的3 种宽级配砾石土样(表1),分别进行渗透试验和无反 滤料保护下的抗渗试验。试验参照《SL237—056— 1999 土工试验规程》中粗粒土的渗透及渗透变形试验 步骤进行。两个试验均采用内径为10cm的垂直渗透 变形仪,土样高度按规程要求为8cm,分4层击实至控

# 制高度,利用真空饱和法将其饱和,并静置12h。

根据渗透速度的不同,采用常水头和变水头两种 方法进行了土样的渗透试验。3种宽级配砾石土样中 小于 0.075mm 颗粒含量与渗透系数的关系曲线如图 1 所示。由于宽级配砾石土料渗透系数一般介于 1.0×10<sup>-4</sup>~1.0×10<sup>-7</sup> cm/s之间,无法直接满足填埋 场防渗系统工程技术规范的要求,使其在垃圾填埋场 防渗体系中的应用受到限制。

表 1 砾石土料颗粒组成 Table 1 Composition of grain – size for gravel soil material

 	颗粒组成(%)					d	d	d	d	C	С	
	卵石	砾石	砂粒	粉粒	粘粒	(1)	(2)	(3)	(4)	(2)/(4)	$(3)^{2}/(2) \cdot (4)$	土类划分
-/m	$> 20\mathrm{mm}$	$20 \sim 2\mathrm{mm}$	$2 \sim 0.\ 075\mathrm{mm}$	0.075 ~ 0.005 mm	$< 0.\ 005\mathrm{mm}$	(1)	(2)	(5)	(+)	(2)7(4)	(3) / (2) - (4)	
1#	2.6	15.4	61.0	17.8	3.2	2.8	0.4	0.11	0.03	12.1	0.92	细粒土质砾
2#	1.9	13.9	65.2	15.1	3.9	2.0	0.7	0.14	0.03	23.3	0.93	细粒土质砾
3#	1.8	28.8	53.7	12.0	3.8	4.0	1.4	0.37	0.03	46.7	3.26	细粒土质砾







在进行无反滤料保护下的土样抗渗稳定性试验时,水流自下而上通过试样,逐级升高水头,每级水头稳定20min后,测定其渗透流速与渗透坡降,直至土样渗透破坏为止。所做的6组土样试验的最大破坏坡降大于20,考虑到一定的安全储备,土样的允许渗透坡降约在10以上。

从宽级配砾石土料的渗透及渗透变形试验结果可 以看出,原状宽级配砾石土料的渗透系数尚不能满足 现行垃圾填埋场技术规范的要求,而对于西北干旱-半干旱山谷型垃圾填埋场而言,压实后的宽级配砾石 土料其自身的抗渗稳定性能却比较高。

1.2 宽级配砾石土料的抗剪强度

山谷型垃圾填埋场的抗滑稳定性非常重要。而位 于填埋场底部的防渗衬垫系统,其沉降变形和抗滑稳 定性对填埋场整体稳定性影响极大。

按照有关规程<sup>[16]</sup>,对表1所列的3种宽级配混合 土料进行了固结不排水(CU)和不固结不排水(UU)三 轴剪切试验。以击实试验得到的最优含水量控制试样 的含水率,按0.98的压实度控制试样的干密度。三轴 剪切试验的围压分为0.1、0.2、0.3和0.4MPa;试样饱 和度大于98%;固结不排水剪切速率采用0.08mm/ min;不固结不排水剪切速率采用 0.9mm/min。试验 结果见表 2,与一般粘土类防渗材料的抗剪强度参数 相比较,宽级配砾质土的抗剪强度参数具有明显优势。

表 2 砾石土料 UU、CU 剪切试验成果(平均值)

 Table 2
 Shearing strength results of UU and CU

for gravel soils (averaged)

土样		UU		CU				
编号	с <sub>и</sub> ( kРа)	φ <sub>u</sub> (0)	$c_{\rm cu}$ (kPa)	$arphi_{ m cu}$ ( o )	<i>c'</i> ( kPa )	$arphi^{\prime}$ ( $_{ m O}$ )		
1#	47.3	30.4	47.3	27.5	13.2	32.4		
2#	90.8	21.4	49.6	18.9	11.9	31.2		
3#	143.0	20.2	63.8	20. 2	18.0	32.4		

#### 1.3 抵抗冻融破坏的性能

由于冻融循环影响,天然或固结土的土工特性发 生变化,开裂和"融沉"是固结土遭受冻融破坏的普遍 结果。研究表明,大多数冻融破坏发生在土的融化阶 段,尤其是在冻结的地基土发生融解时,情况最为严 重。其原因是,冻结时转移到冻结层上部的水分,在自 上而下的融解过程中,水分无法排出,含水量的增加, 导致地基土承载力减小。Hausson K<sup>[17]</sup>选择了3种典 型土样(淤泥、壤土和砂土)进行冻融试验和数值模拟 分析。结果显示,随着地下水水位的上升,除砂土地基 外,冻结导致其他2种地基材料水分显著增加(图2)。 在冻结过程中,淤泥和壤土的冻结层表面会吸附较多 的水分,持续的冻结时间也较长,而在融化过程中,冻 结层上这部分附加的水分便会造成地基承载力减小。 这也就是在岩土工程设计中,通常选砂砾土作为防冻 融材料的原因。

2 复合防渗系统的设置与评价

2.1 填埋场复合防渗垫层的设置

以宽级配砾质土代替粘土作为 GCLs/GM 膜防渗







垫保护层的设计构想如图 3 所示。



Fig. 3 Design of composite liners for landfill

宽级配砾质土与 GCLs/GM 组合防渗系统合理利 用了砾质土料的力学特点以及 GCLs 防渗垫的防渗透 优势,采用宽级配砾质土作为 GCLs/GM 保护层,其厚 度一般在 50~75cm 即可(现行规范中未规定 GCLs/ HDPE 复合防渗系统压实土壤保护层的厚度,此处数 据是根据经验给出的),远小于采用传统粘土单层防 渗体厚度( $\geq 2m$ ),这部分土料被压实后,其渗透系数 k介于 1.0×10<sup>-5</sup>~1.0×10<sup>-7</sup> cm/s 之间,且抗剪强度 较大,一方面对 GCLs/GM 隔渗层起到防渗保护作用 和抗剪切缓冲作用,另一方面可以作为 GCLs 或 GM 与上下排水材料之间的一个过渡层,起到承上启下的 作用。

## 2.2 复合防渗系统的技术可行性

现有的垃圾填埋场最简单的防渗垫层主要由 GM 与压实粘土构成,或者由 GM 和 GCLs 组合而成。鉴 于这些防渗材料各自的特点,通常现代垃圾填埋场采 用两种或两种以上防渗材料构成复合防渗系统,例如 在压实粘土层上铺设 GM;在 GCLs 上铺设 GM;或在压 实粘土层上铺设 GCLs,然后在 GCLs 上铺设 GM。许 多国家的垃圾填埋场设计中采用由压实粘土、GCLs 和 GM 共同构成的复合防渗系统。例如法国环境部门规 定垃圾填埋场中必须在不小于 50cm 压实粘土层上才 能铺设 GCLs;加拿大和葡萄牙的大多数垃圾填埋场采 用由压实粘土、GCLs 和 GM 构成的复合防渗系统<sup>[2]</sup>。 我国的一些垃圾填埋场也尝试了采用这种由多种防渗 材料构成的复合防渗系统<sup>[13]</sup>。

至于用宽级配砾石土代替粘土作为垃圾填埋场复 合防渗系统的一个组成部分,目前还未见到有关这方 面的研究报道。这里仅对由 GCLs/GM(HDPE)及其 宽级配砾质土保护层构成的复合防渗系统在干 – 湿与 冻 – 融交替循环条件下受上覆荷载作用时的长期防渗 性能及其可行性进行一些理论探讨。

2.2.1 宽级配砾质土直接与 GCLs 接触的可行性

Rowe R K 等<sup>[18]</sup> 将 5 种 GCLs 产品分别铺设在不同地基(土工网格、6mm 的砾石和砂土)上,测试其内部侵蚀状况。试验结果表明,砂土是 GCLs 最佳铺设垫层(地基)。图4给出了宁夏当地宽级配砾质土(表1)与文献[18]中试验所用砂土的颗粒级配曲线,除部分大颗粒卵石外,表1中的宽级配砾质土与 Rowe R K 等试验所用砂土级配基本相近。虽然一些文献<sup>[19~21]</sup>报道了在 GCLs 上面或下面铺设粗颗粒土可能会对GCLs 的防水性能造成一定影响,但是,如果粗粒土级配合适的话,不会对 GCLs 构成危险。





为了克服覆盖层可能遇到较大不均匀沉降的影响。 覆盖层防渗系统的 GCLs 之上铺设带褶皱的土工 膜 抵抗差异沉降或避免 GCLs 中膨润土受到侧向挤 压的效果很明显<sup>[20]</sup>。 2.2.2 GCLs 的抗剪强度问题

抗剪强度低是 CCLs 的一个缺陷。为克服该缺 点,国内外有关研究主要集中在两个方面:一方面从产 品研发角度寻求解决途径,推出了加固的 GCLs 产品; 另一方面从工程设计角度出发,通过研究 GCLs 剪切 破坏的机理与发生、发展过程,以及抗剪强度参数的确 定方法,探讨弥补 GCLs 抗剪强度低的工程技术措施。 例如设计中取 GCLs 的峰值强度低于接触面的最小峰 值强度,便会阻止 GCLs 发生应变软化现象<sup>[11]</sup>。

由于水化后 GCLs 表现出极低的抗剪强度,特别 是水化后 GCLs 中的膨润土受集中荷载作用产生侧向 挤压扩散,直接影响 GCLs 的防渗效果。Koerner R M<sup>[10]</sup>作了如图5所示的试验。试验表明,如果荷载直 接作用到 GCLs 上,由于侧向挤压,GCLs 局部受力区 域将失去一部分膨润土。如果在 GCLs 上铺设一定厚 度的砂土垫层,就会避免 GCLs 中的膨润土因受挤压 而失去防渗作用。





采用宽级配砾质土层作为 GCLs 的保护层,增加 了土层与 GCLs 接触面的摩擦阻力,可以利用砾质土 抗剪强度高、压缩性低,使得土中应力发生扩散的机 理,来弥补 GCLs 抗剪强度低的缺陷。

2.2.3 干 – 湿与冻 – 融交替循环对防渗系统的影响

Rowe R K<sup>[22]</sup>等研究了复合防渗系统中的 GCLs 在冻 – 融交替循环条件下其渗透系数的变化规律。试 验结果表明,水化后的 GCLs,在 21 ~ 28kPa(未冻结) 和 14~18kPa(冻结)水头压力(远大于实际填埋场水 头压力)作用下,冻 – 融交替循环 12 次后 GCLs 的渗 透系数与未冻结的 GCLs 的渗透系数无明显变化,其 值介于 3.4×10<sup>-9</sup>~4.1×10<sup>-9</sup> cm/s 之间。而干 – 湿 循环可能对 GCLs 的影响较大<sup>[22-25]</sup>。GCLs 水化前 (干燥状态)与水化后(湿润状态)的防渗性能存在较 大差异,渗透系数变化非常明显。Barroso M 等<sup>[2]</sup>以及 Bouazza A 等<sup>[23]</sup>通过室内试验,分别研究了 GM 出现 瑕疵情况下,复合防渗系统中 GCLs 的防渗性能和防 气体泄漏性能。结果显示,GCLs的饱和度对其防水和 防气性能的影响非常显著。

已有的研究表明,GCLs的饱和度与其相邻土层的 含水率关系密切,而砾质土天然含水率较高,保水性能 好,为GCLs长期保持湿润状态创造了有利条件。另 外,砾质土抵抗冻融破坏的能力远高于粘土,克服了由 于采用粘土作为保护层而出现的"融沉"现象。

与压实粘土、GCLs 和 GM 构成的复合防渗系统相 比较,以宽级配砾质土代替粘土作为 GCLs 的保护层 的最大优势在于缓解了干 – 湿与冻 – 融交替循环对防 渗系统的影响。

2.2.4 提高宽级配砾质土渗透系数的途径

以用于宁夏宁东供水工程筑坝材料的宽级配砾石 土料为例,其渗透系数介于 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-7}$ cm/s之间,无法直接满足填埋场防渗系统工程技术规 范的要求,但是,国内外研究表明<sup>[26]</sup>,通过增加细颗粒 数量、优化土颗粒级配等技术处理后,土料的渗透系数 可以满足 $k \leq 1.0 \times 10^{-7}$  cm/s 的要求。笔者正在尝试 采用黄土或污水处理厂的副产品污泥来增加宽级配砾 石土中细颗粒成分的试验研究。

## 3 结论及问题

(1) 压实后的宽级配砾质土渗透系数  $k \le 1.0 \times 10^{-5}$  cm/s,查阅文献资料表明,经过一些技术处理,其 渗透系数可以达到  $k \le 1.0 \times 10^{-7}$  cm/s。宽级配砾质 土作为防渗垫的保护层,其渗透系数已经满足现行垃 圾填埋场规范要求。

(2) 宽级配砾质土料本身的抗剪强度较高,而宽级配砾质土料与 GCLs 或 GM 之间接触面的摩阻力较大,增加了复合防渗垫层的抗剪强度。

(3) 宽级配砾质土料的保水性能较好,具有优越的抗干 – 湿循环影响以及抵抗冻 – 融破坏的能力,宽级配砾质土料与 GCLs 和 GM 组合在一起,可以减小出现 GCLs 失水干裂的机率。

(4) 当然,采用宽级配砾质土料与 GCLs 和 GM 组 合构成的防渗系统还有许多有待研究的问题。例如, 一些试验研究表明,当上覆压力较大时,复合防渗垫层 的剪切破坏面由接触面进入 GCLs 内部,而 GCLs 本身 的抗剪强度很低,可能会发生破坏;在极端干燥情况 下,GCLs 会因失水而干裂,特别是当 GM 存在瑕疵时, 可能会造成废水和废气的泄漏。

(5)本文未涉及宽级配砾质土料对渗滤液的吸附 阻滞等防污性能,因此,还需进一步进行宽级配砾质土 料作为垃圾填埋场复合防渗系统保护层可行性的室内 外试验研究论证工作。

综上所述,本文提出的垃圾填埋场防渗系统设计 方案满足现行规范对垃圾填埋场防渗系统技术指标的 要求。就理论分析而言,采用宽级配砾质土与 GCLs/ GM 的防渗组合型式,更适应西北地区干 - 湿与冻 -融交替循环的自然环境,长期防渗性能优越。该防渗 系统设计方案的有关试验研究工作正在进行之中。

#### 参考文献:

- [1] CJJ113—2007 生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程 技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社 2007.
- [2] Barroso M ,Touze-Foltz N ,von Maubeuge K , et al. Laboratory investigation of flow rate through composite liners consisting of a geomembrane ,a GCL and a soil liner [J]. Geotextiles and Geomembranes ,2006 ,24 (3):139 - 155.
- [3] Benson C H ,Abichou T H ,Olson M A ,et al. Winter Effects on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay
   [J]. J Geotech Eng ,1995 ,121 (1) :69 - 79.
- [4] Dennis M, Turner J. Hydraulic conductivity of compacted soil treated with bio-film [J]. J Geotech Geoenviron Eng ,1998 ,124(2):120-127.
- [5] 杨一清.高密度聚乙烯(HDPE)膜在垃圾填埋场基 底防渗层中的应用[J].环境卫生工程,2001,9 (3):116-119.
- [6] 黄琬荣, 郭志平. 填埋场压实粘土衬垫防干裂试验 研究[J]. 河海大学学报 2000 28(6):19-22.
- [7] Katsumi T, Ishimori, Onikata M, et al. Long-term barrier performance of modified bentonite materials against sodium and calcium permeant solutions [J]. Geotextiles and Geomembranes 2008 26:14 - 30.
- [8] Jo H ,Benson C H ,Shackelford C D ,et al. Long-term hydraulic conductivity of a geosynthetic clay liner permeated with inorganic salt solutions [J]. J Geotech Geoenviron Eng 2005, 131(4):405-417.
- [9] Daniel D E ,Koerner R M ,Bonaparte R ,et al. Slope stability of geosynthetic clay liner test plots [J]. J Geotech Geoenviron Eng ,1998 ,124(7):628-637.
- [10] Koerner R M ,Narejo D. Bearing capacity of hydrated geosynthetic clay liners [J]. J Geotech Eng ,1995 ,121 (1):82 85.
- [11] Gilbert R B, Fernandez F, Horsfield D W. Shear strength of reinforced geosynthetic clay liner [J]. J Geotech Geoenviron Eng ,1996 ,122 (4) :259 - 266.
- [12] 徐超,廖星樾,叶观宝,等.土工合成材料界面摩擦

特性的室内剪切试验研究 [J]. 岩土力学,2008,29 (5):1285-1289.

- [13] 姚庆.卫生填埋场防渗系统设计与材料选用[J].中 国建筑防水 2003(3):13-16.
- [14] 宁夏水利水电勘察设计研究院,宁夏宁水务有限责任公司,水利部西北水利科学研究所.鸭子荡水库坝体研究与设计[R].银川:宁夏水利水电勘察设计研究院 2004.
- [15] SL274—2001 碾压式土石坝设计规范[S]. 北京:中 国水利水电出版社 2002.
- [16] SL237—1999 土工试验规程 [S]. 北京:中国水利水 电出版社,1999.
- [17] Hausson K ,Lundin L C. Equifinality and sensitivity in freezing and thawing simulations of laboratory and in situ data [J]. Cold Regions Science and Technology , 2006 A4:20 - 37.
- [18] Rowe R K ,Orsini C. Effect of GCL and subgrade type on internal erosion in GCLs [J]. Geotextiles and Geomembranes 2003 21 (1):1-24.
- [19] Shan H Y ,Chen R H. Effect of gravel subgrade on hydraulic performance of geosynthetic clay liner [J]. Geotextiles and Geomembranes 2003 21:339 - 354.
- [20] Dickinson S, Brachman R W I. Deformations of a geosythetic clay liner beneath a geomembrane wrinkle and coarse gravel [J]. Geotextiles and Geomembranes 2006 24:285 - 298.
- [21] Fox P J, DeBattista D J, Mast D G. Hydraulic performance of geosynthetic clay liners under gravel cover soils [J]. Geotextiles and Geomembranes 2000. 18:179 - 201.
- [22] Rowe R K, Mukunokib T, Bathurst R J, et al. Performance of a geocomposite liner for containing Jet A-I spill in an extreme environment [J]. Geotextiles and Geomembranes 2007 25:68 – 77.
- [23] Southen J M, Rowe R K. Modelling of thermally induced desiccation of geosynthetic clay liners [J]. Geotextiles and Geomembranes 2005 23:425 - 442.
- [24] Bouazza A , Vangpaisal T. Laboratory investigation of gas leakage rate through a GM/GCL composite liner due to a circular defect in the geomembrane. Geotextiles and Geomembranes 2006 24(2):110 - 115.
- [25] Shen S Y ,Yao J T. Measurement of air permeability of geosynthetic clay liners [J]. Geotextiles and Geomembranes 2000, 18:251 - 261.
- [26] 刘长礼,王秀艳,张云.垃圾填埋场砂土衬垫中膨润 土添加剂的防渗能力[J].地球学报,2000,21(1): 98-103.

# A study of the feasibility of gravel soils material as a protector of the GCLs/GM barrier

WANG Hong-yu12 , ZHANG Xue-ke1, YANG Yan-wei1

(1. Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Ningxia Engineering Technique Research Center for Water Saving Irrigation and Water Resources, Yinchuan 750021, China)

**Abstract**: The design conception of composite lines consisting of a geomembrane (GM) geosynthetic clay liners (GCLs) and compacted gravel soils in landfills was presented based on the climate characteristics gravel soils material rich in nature and GCLs have been exported all over the world for various applications. The analysis results from the test data of gravel soils material suggest that the power to resist the collapse of wetting-drying and freezing-thawing long-term barrier performance and the general sliding stability of the barrier system were enhanced obviously by using GCLs/GM as a barrier and displacing clay by gravel soils as a protector in this paper. It will be plausible as an effective design for the barrier system of landfill under wet-dry and freeze-thaw alternation cycles in northwest China.

Key words: gravel soil material; GCLs/GM barrier liners; wetting-drying; freezing-thawing; landfill

责任编辑:汪美华

#### (上接第60页)

# A research on the correlativity between rock abrasion and mechnical strength of TBM construction tunnel

WANG Hua, WU Guang

(The Civil Engineering Department of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract**: Combined abrasion and mechanical strength experiments of tunnel rock mass with TBM construction technology, abrasion values and mechanical strength values of rock are obtained. The correlative model between abrasion and mechanical strength is builted by regression analysis method. The research results indicate that the compressive strength, tensile strength, cohesion and point load strength are in exponential relationship with abrasion of rock, and the internal friction angle of rock is in logarithmic function relationship with abrasion. The abrasion of rock has a positive correlation with mechanical strength.

Key words: rock abrasion; TBM; correlativity; mechanical strength

责任编辑:张明霞