

DOI: 10.11779/CJGE2016S1010

# 影响 GCL 防渗性能因素分析

谢世平, 何顺辉, 张 健

(天津中联格林科技发展有限公司, 天津 301617)

**摘 要:** 钠基膨润土防水毯 (以下简称 GCL) 在国内已应用 20 多年, 但 GCL 的生产和使用存在一些疏忽, 影响了 GCL 的防渗性能和使用效果。通过对编织布、膨润土粒径、施工搭接, 以及测试方法等方面存在的问题进行分析, 阐明这些因素对 GCL 防渗性能以及测试的影响。研究表明: 圆织编织布不宜用于防渗要求严格的 GCL 的生产; 以 GCL 为主防渗层的工程, 应该使用粉末型 GCL; GCL 检测应将由于编织布不平整导致的缺土现象列入检测指标; 施工中处理 GCL 搭接区域阻断无纺布导渗作用的措施应有效可靠。

**关键词:** GCL; 防渗性能; 圆织编织布; 粉状膨润土; 搭接; 无纺布导排

中图分类号: TU5

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 4548(2016)S1 - 0056 - 06

**作者简介:** 谢世平(1963 - ), 男, 总经理, 副研究员, 主要从事钠基膨润土防水毯 (GCL) 的生产和科研工作。E-mail: tjzjgl@163.com。

## Factors for anti-seepage performance of GCL

XIE Shi-ping, HE Shun-hui, ZHANG Jian

(Tianjin Zhonglian Gelin Science and Technology Development Co., Ltd., Tianjin 301617, China)

**Abstract:** The sodium bentonite geosynthetic clay liner (hereinafter short for GCL) has been applied for over twenty years in China. However, there are some important negligences in the production and applications of GCL, and its anti-seepage performance is affected. The factors such as type of woven geotextile, particle size of bentonite, overlapping in construction as well as some issues in the test methods are analyzed, and their effects on the test methods and anti-seepage performance of GCL are clarified. The results show that the circular woven geotextile is not suitable for producing GCL. The right kinds of GCL should be selected according to the project. For example, while using GCL as the main impermeable layer, powdered GCL should be chosen. GCL construction should strictly follow the installation guide, handling the overlapping area should be standardized and reliable, and the most crucial of overlapping is to stop the drainage effect of nonwoven geotextile. The dead zone of the relevant standards should be improved.

**Key words:** GCL; anti-seepage performance; circular woven geotextile; powdered bentonite; overlapping; nonwoven drainage effect

## 0 引 言

钠基膨润土防水毯 (GCL) 是一种以膨润土为主防渗材料的新型土工合成材料, 它是将钠基膨润土颗粒或粉末通过针刺等工艺, 均匀固定在两层土工布之间制成的一种毯状防水材料。GCL 既有土工材料的密封、隔离和增强作用, 又具有优异的防水 (渗) 性能, 是现代土木工程中不可或缺的材料之一。

GCL 从 20 世纪 90 年代进入国内, 特别是 2008 年奥运水系防水防渗工程和 2010 年上海世博会场馆地下室基础防渗工程采用 GCL, 使其优异的防渗性能和生态友好特性为大家所熟知<sup>[1]</sup>。随着 GCL 的大范围应用, 不断出现一些质疑声音, 特别是一些工程采用 GCL 后, 工程达不到设计的防渗要求, 产生负面影响。

在国外表现优异的 GCL, 为什么在国内出现水土不服? 一些存在瑕疵的 GCL 也能够通过第三方检测?

针对以上 GCL 在应用中的困惑, 本文通过对编织布种类、膨润土粒径、施工搭接、测试方法等方面存在的问题进行分析, 为正确的生产和使用 GCL 提供借鉴和参考。

## 1 GCL 研发背景

GCL 最初被发明的目的是替代压实黏土层 (CCL), 解决部分工程所在地缺乏黏土资源的问题。GCL 在工程领域中的应用, 应尽量遵循替代黏土的作

用。相比于 CCL 和 HDPE 膜, GCL 具有柔韧性好、抗干湿冻融循环、自愈性好、施工简单等特点。GCL 防渗性能优于压实黏土而低于 HDPE 膜, 吸附和生态性能优于 HDPE 膜, 低于黏土。在防渗要求较高或者环境复杂的场地, GCL 不能替代 HDPE 膜。

在 GCL 中, 膨润土起到主要防渗作用。膨润土是以蒙脱石为主要矿物成分的非金属矿产, 遇水膨胀是其主要物理特性之一。膨润土通过水化作用, 使其主要成分蒙脱石吸水发生层间膨胀, 形成渗透系数很小的材料(渗透系数 $<10^{-9}$  cm/s), 可以有效地防止渗滤液向周围环境迁移<sup>[2]</sup>。膨润土与水反应时的膨胀系数可达 24 ml/2g 以上, 膨润土在有限空间内膨胀, 形成的凝胶态横隔膜阻水层(参见图 1), 起到优异的防渗效果。从原理上讲, GCL 的防渗性能是不用怀疑的。

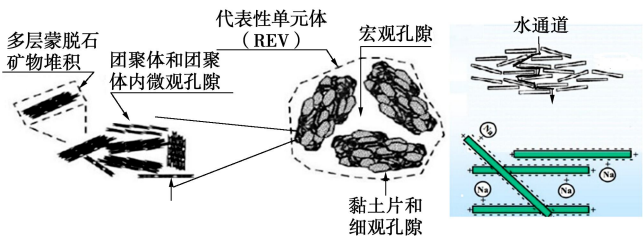


图 1 钠基膨润土结构单元体和水化示意图<sup>[3]</sup>

Fig. 1 Microscopic model for sodium bentonite and hydration<sup>[3]</sup>

## 2 试验原料和方法

### 2.1 原料

试验用材料的有关情况列于表 1。

表 1 试验用原料种类

Table 1 Information of raw materials

原料	规格	生产厂家
圆织编织布	120 g/m <sup>2</sup>	无锡市虎峻塑业有限公司
平织编织布	110 g/m <sup>2</sup>	仪化博纳织物有限公司
颗粒型钠基膨润土	0.2~2 mm	建平县青宇膨润土有限公司
粉末型钠基膨润土	74 μm(200 目)	建平县科力矿业有限公司

### 2.2 设备与仪器

试验设备和仪器的有关情况列于表 2。

表 2 设备和主要仪器

Table 2 Equipments and main instruments

设备	型号	生产厂家
GCL 生产线	—	常熟市晨阳无纺设备有限公司
土工布综合强力机	YT010-3000	温州市大荣纺织标准仪器厂
电子剥离强力机	Y(B)090N	温州市大荣纺织标准仪器厂
垂直渗透仪	—	自制

### 2.3 试验内容

钠基膨润土具有优异的离子交换特性, 在酸、碱、

盐以及其它复杂环境下, 钠离子容易被置换, 其防渗性能受到限制, 作为材料自身特性, 这方面因素对 GCL 防渗性能的影响不在本次分析之列, 但是设计单位在设计使用 GCL 时, 必须考虑到这种局限性。本文从编织布、膨润土粒径、检测与应用盲区、GCL 搭接等四方面入手, 分析这些因素对 GCL 防渗性能以及测试结果的影响, 以获得对 GCL 的更为深入的认识。

#### (1) 编织布对 GCL 的影响

分别使用圆织编织布和平织编织布作为载布生产 GCL, 观察生产过程中两种编织布的差别, 通过测试两种 GCL 成品的各项性能, 分析编织布问题的隐蔽性和其对 GCL 产品质量的重大影响。

#### (2) 膨润土粒径对 GCL 的影响

通过测试两种粒径膨润土遇水后的反应和渗透系数上的差别, 分析膨润土粒径对 GCL 防渗性能的影响。

#### (3) 检测与应用盲区

按有关标准测试, 分析测试结果能否反映 GCL 产品质量好坏。通过测试颗粒型和粉末型 GCL 水化过程中的渗透系数, 讨论它们的适用领域。

#### (4) GCL 搭接

通过分析 GCL 搭接存在的问题, 指出一个常常被忽视的处理细节, 为 GCL 正确搭接提供参考。

通过对以上问题进行分析探讨, 找出现行 GCL 生产、使用和检测上存在的不足, 规范 GCL 的生产和使用。

## 3 结果与分析

### 3.1 编织布对 GCL 的影响

如图 2 所示, 目前应用最广泛的针刺型钠基膨润土防水毯的加工是以编织布为载布, 撒土装置将膨润土铺在编织布上, 经刮刀调整膨润土厚度, 然后上层覆盖无纺布, 通过针刺机的刺针将无纺布上的纤维固结到下层编织布上, 形成稳定的三明治结构。

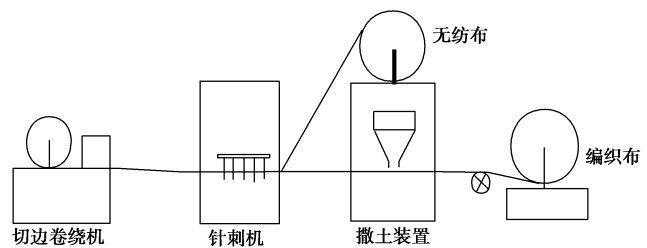


图 2 常规针刺钠基膨润土防水毯加工流程

Fig. 2 Manufacturing processes of conventional needle-punch GCL

#### (1) 平织编织布

平织编织布的生产遵循传统织造技术，在织造过程中，经纱均匀缠绕在经轴上，纬纱通过引纬器与经纱交织，打纬机构将纬纱打入织口，如此往复得到平织编织布。平织编织布的优点是织物外观平整，经纬向性能差异小，当作为 GCL 载布时，膨润土可以连续且均匀的铺设在上面，产品整体性能均衡稳定。图 3 为载布为平织编织布的 GCL 生产图。

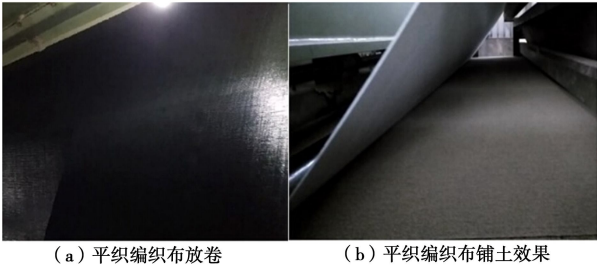


图 3 平织编织布生产图

Fig. 3 Production photos plain woven GCL

由于平织编织布在生产上存在一些局限性，使其在 GCL 领域中的应用的比例很小，并没有大面积推广开来。首先是幅宽限制，平织编织布纬纱需要由投梭器从一端引到另一端，幅宽越宽，投梭器行程和所需动能越大，对织机性能要求越高。目前国内织机幅宽绝大部分都在 5.5 m 以下，而国内 GCL 主要是以 6 m 幅宽为主，单块平织编织布是不能够满足 6 m 幅宽 GCL 生产要求的。如使用平织编织布生产 6 m 幅宽 GCL，需要两块编织布拼接，而这不仅会造成原料浪费，同时需要对设备进行大幅度升级改造。此外，由于平织编织布生产工艺流程长、生产效率低、织机价格昂贵等因素，其产品价格远高于圆织编织布的价格，因此，在国内 GCL 市场上，只有少数几个生产厂家使用平织编织布生产 GCL。

(2) 圆织编织布

相比于传统织造技术，圆织机采用多梭引纬，并且经纱从经纱架直接引入机器，省去整经工序，在织造过程中，由于没有打纬机构，又省去打纬步骤，使得生产效率大幅度提升，产品价格较为低廉。圆织机的结构紧凑，圆形织口使其幅宽不受限制，目前市面上 6 m 及以上幅宽编织布，基本上都是圆织。因此，在以 6 m 幅宽为主的国内 GCL 市场上，绝大多数生产商都采用圆织编织布作为载布。

从图 4 可知，圆织编织布经纬向张力明显不匀，致使布面平整度很差。在 GCL 生产过程中，即使施加一定外力使其展平（如增加一个扩布滚或者用人力拽扯编织布），但随着编织布向前推进，编织布还是会恢复到初始形态。由圆织编织布生产工艺引起的张力不匀，目前是不能消除的。如图 5 所示，布面不平整带

来的最直接的后果就是缺土，这些缺土的部位最后都会成为整个 GCL 防渗系统的缺口。

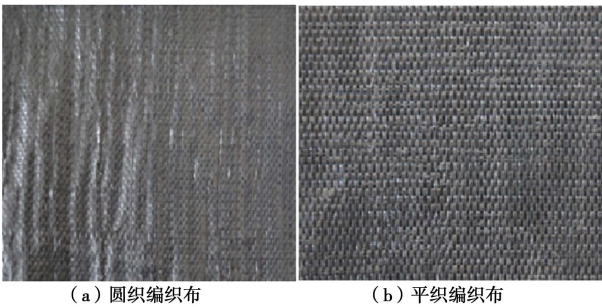


图 4 编织布布面对比图

Fig.4 Comparison of flatnesses of circular and plain woven GCLs

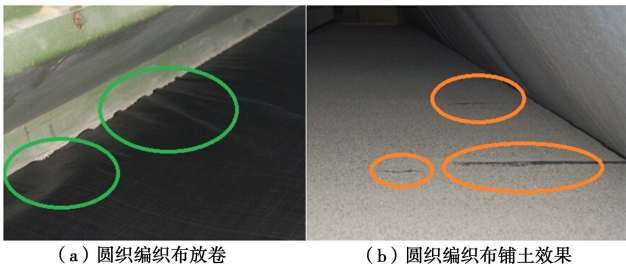


图 5 圆织编织布生产图

Fig. 5 Production photos of circular woven GCL

常规 GCL 所用的膨润土为直径 0.2~2 mm 的颗粒型膨润土，编织布的略微不平就会影响膨润土的分布，造成膨润土克重分布不均。颗粒膨润土的重度约为 1.03 g/cm<sup>3</sup>，以 5000 g/m<sup>2</sup> 的 GCL 为例，其膨润土厚度大约为 5 mm，厚度每相差 1 mm，克重就相差约 1000 g/m<sup>2</sup>。由表 3 可知，克重对 GCL 防渗性能的影响是显而易见的。膨润土另外一个特性就是可自愈，小于 2 mm 的空隙，膨润土遇水膨胀后是可以愈合的。由图 5 所示的圆织编织布铺土效果可知，肉眼明显可见的厘米级漏洞，通过膨润土自身的膨胀特性是不能愈合的。膨润土作为 GCL 的主防渗材料，其均匀、连续铺设，是 GCL 防渗系统能够发挥作用的关键，以圆织编织布为载布的 GCL，其整体防渗性能是不可能达到要求的。

表 3 膨润土克重对渗透系数的影响<sup>[4]</sup>

Table 3 Influence of bentonite weight on permeability coefficient <sup>[4]</sup>	
膨润土单位面积含量 /(g·m <sup>-2</sup> )	渗透系数/(m·s <sup>-1</sup> )
4800	1.7×10 <sup>-11</sup>
4100	2.0×10 <sup>-11</sup>
3500	2.6×10 <sup>-11</sup>
3200	6.0×10 <sup>-10</sup>
2700	1.5×10 <sup>-9</sup>

3.2 膨润土粒径对 GCL 的影响

目前 GCL 按照粒径可以分为颗粒型和粉末型两

大类,在国内市场上,颗粒型 GCL 占主导地位,由于技术上的限制,粉末型 GCL 只有极少厂家能够生产。

颗粒型 GCL 生产工艺简单,刺针能够轻易穿过颗粒型膨润土,将带过去的纤维较好地固结在编织布上,得到的成品各项力学性能较好。粉末型 GCL 生产工艺较为复杂,刺针穿过粉末型膨润土的难度较大,同时对刺针的磨损成倍提升,刺针带过去的纤维量相对较少,使得 GCL 剥离性能比颗粒型稍差。由于粉末型膨润土成本比颗粒型膨润土高很多,再加上工艺复杂,对刺针的损伤大,致使其成本较高。图 6 为两种膨润土的对照图片。



图 6 颗粒型膨润土与粉末型膨润土

Fig. 6 Granular and powdered bentonite

由表 4 可知,两种膨润土的性能指标基本上相同,但是比较 GCL 性能发现,在粉末型 GCL 克重小于颗粒型 GCL 的情况下,其防渗性能是颗粒型的 2.8 倍,耐静水压达到 0.6 MPa, 1 h 无渗漏,远高于颗粒型 GCL。颗粒型膨润土粒径较大,表层遇水后形成防水膜,阻挡水分进入颗粒内部,延缓膨润土水化膨胀。与此同时,由于粒径较大,膨润土之间的空隙需要依靠自身膨胀封堵,其水化需要一定的时间,使其前期防渗性能较差。此外,颗粒型膨润土较大的粒径,使其所含杂质成分较为复杂,在一定程度上会对其防渗性能产生一定的影响。粉末型 GCL 则能够解决颗粒型 GCL 的缺点,由于粉末型 GCL 所采用的膨润土粒径通常为 200 目,较小且均匀的粒径在遇水后形成完整的水化膜防水层,阻止水分的透过,从而在遇水初期就能起到良好的防渗效果。

3.3 检测和应用盲区

(1) GCL 检测

由表 5 可知,两种编织布在力学测试上相差不大,由其提供拉伸性能的 GCL,样品都能够满足测试要求,各项测试指标上的差异也比较小,按照现有的测试标准取样进行测试,两种产品都是合格的。但是对比图 4 与图 5 可知,明显缺土的圆织编织布 GCL 应

用到工程中是存在缺陷的。

表 4 颗粒型 GCL 与粉末型 GCL 的性能对比

Table 4 Comparison of performances of granular and powdered GCLs

项目	测试方法	技术要求	性能指标	
			颗粒型	粉末型
膨润土	过筛率/%	GB/T 20973	≥95	0.2~2 mm, 97
	膨胀系数/(ml·2g <sup>-1</sup> )	ASTM D5890	≥24	28
	滤失量/mL	ASTM D5891	≤18	14.8
平织 GCL	GCL 总克重/(g·m <sup>-2</sup> )	ASTM D5993	≥4800/4380	5143
	拉伸强度/(N·(10 m) <sup>-1</sup> ), MD	ASTM D4595	1116	1135
	最大载荷伸长率/%	ASTM D4595	16.72	12.2
	MD 剥离强度/(N·(10 m) <sup>-1</sup> )	ASTM D6496	≥60	68
	渗透系数/(m·s <sup>-1</sup> )	ASTM D5887	≤5×10 <sup>-11</sup>	4.5×10 <sup>-11</sup>
	耐静水压	JG/T 193	无渗漏	0.4 MPa /h, 无渗漏

注:数据来源于作者所在公司实验室随机抽取。

表 5 圆织编织布 GCL 与平织编织布 GCL 的性能对比

Table 5 Comparison of performances of circular and plain GCLs

项目	测试方法	技术要求	性能指标	
			圆织	平织
编织布	单位面积克重	GB/T 13762	≥110	114.2
	强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	GB/T 15788	≥20	22.66
	伸长率/%	GB/T 15788	≥20	20.4
	强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	GB/T 15788	≥16	16.65
	伸长率/%	GB/T 15788	≥15	18.84
	GCL 总克重/(g·m <sup>-2</sup> )	ASTM D5993	≥4500	4519
GCL	拉伸强度/(N·(10 m) <sup>-1</sup> )	ASTM D4595	≥800	1135
	最大载荷伸长率/%	ASTM D4595	≥10	12.2
	拉伸强度/(N·(10 m) <sup>-1</sup> )	ASTM D4595	≥600	1115
	最大载荷伸长率/%	ASTM D4595	≥8	9.6
	剥离强度/(N·(10 m) <sup>-1</sup> )	ASTM D6496	≥60	75.2
	渗透系数/(m·s <sup>-1</sup> )	ASTM D5887	≤5×10 <sup>-11</sup>	4.5×10 <sup>-11</sup>
	耐静水压	JG/T 193	无渗漏	0.4 MPa /h, 无渗漏
				0.4 MPa /h, 无渗漏
				1.6×10 <sup>-11</sup>

注：数据来源于作者所在公司实验室。

图 7 为圆织编织布 GCL 结构示意图，其布面不平整带来的问题，不仅仅是克重不均匀，还有不断出现的缺土部位。作为膨润土的载布，编织布在为 GCL 提供必要的力学性能外，其平整度直接影响膨润土铺土的均匀度和连续性，而国内对 GCL 平整度的检测以及技术规范要求上，该部分性能基本上处于空白。按现有 GCL 检测标准，体现不出两种编织布生产出的 GCL 在渗透系数上的差别：一方面是现有取样方法中取样面积偏小，导致取到有缺陷部分的几率降低而产生误判；另一方面，一些不够严谨或者对 GCL 生产流程不了解的第三方检测机构，会忽略缺土和少土的部位，给使用者带来误导。

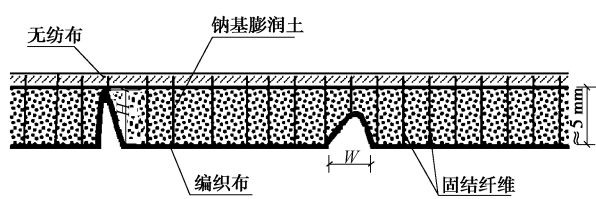


图 7 圆织编织布 GCL 示意图

Fig. 7 Schematic of circular woven GCL

(2) GCL 应用领域

表 6 不同时间下渗透系数对比

Table 6 Comparison of permeability coefficients under of different time

时间/h	颗粒型	粉末型
	GCL/(10 <sup>-11</sup> m·s <sup>-1</sup> )	GCL/(10 <sup>-11</sup> m·s <sup>-1</sup> )
1	538.26	未渗出
2	334.73	未渗出
3	265.27	未渗出
4	219.20	未渗出
5	180.49	未渗出
6	163.87	未渗出
24	53.45	未渗出
48	13.26	未渗出
72	9.59	0.50
96	4.66	0.49

注：样品为随机抽取，粉末型膨润土前期为膨润土吸水水化阶段，该阶段没有渗滤液流出。

表 6 为颗粒型 GCL 与粉末型 GCL 遇水后，在不同时间下的渗透系数，颗粒型 GCL 在 48 h 后才表现出一定的防渗性能，96 h 才能够满足标准要求，而粉末型 GCL 在整个前期都没有水分渗出。

检测合格的 GCL，用于做主防渗时（水环境工程居多）为什么经常不成功，除了使用圆织编织布以外，颗粒型膨润土也是导致失败的主要原因之一。颗粒型膨润土粒径较大，遇水响应速度慢，完全水化需要 48

h 或者更长时间，而这样也完全符合国家有关标准要求。而对于完全水化的两种 GCL，粉末型的防渗性能大大优于颗粒型。在一些防渗要求较高的工程，应该优先选择粉末型 GCL。

因此，在 GCL 的使用上，检测合格的颗粒型 GCL 在一些情况下并不能满足要求，应该根据工程的具体特点，正确选择 GCL 类型。

3.4 GCL 搭接

正确的施工，是 GCL 能够发挥其优异防渗性能的保证。在 GCL 铺设前，应避免水化和碾压，铺设的 GCL 不能有折叠等情况。影响施工效果的因素还有很多，如场地的处理情况，GCL 铺设后的覆盖问题等，但搭接区的处理是整个 GCL 施工的关键。如图 8 所示，将 GCL 沿铺设方向展开，在相邻两边与两端 GCL 之间，需至少搭接 30 cm，搭接区域禁止碾压踩踏，搭接部分也不能折叠和混有杂物，端边的搭接处理中要避免出现空洞和上下颠倒的情况等。

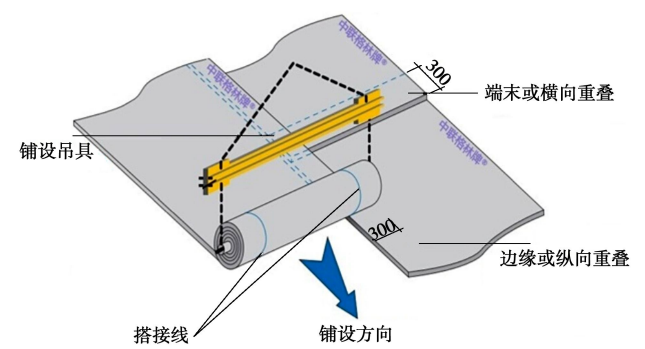


图 8 GCL 的搭接

Fig. 8 Overlapping of GCL

搭接部位无纺布较强的导渗作用往往容易被忽略，若不能有效阻断无纺布的导渗作用，则整个搭接处理是不成功的。国内由于施工队伍素质参差不齐，一些施工单位不对搭接区域进行处置，或随意缩减搭接区域；一些负责任的施工单位会在搭接区域撒膨润土粉，少数企业会在搭接区抹一层密封膏，用来减弱无纺布的导渗作用，但这些措施起到的作用是有限的。施工单位需要严格按照设计要求和 GCL 生产商提供的施工规范进行搭接处理，最大限度的消除无纺布的导渗作用给 GCL 防渗性能带来的影响。

4 结 论

GCL 在理论上具有较强的防渗性能，但由于生产商受到生产工艺限制以及处于成本的考量，使用圆织编织布，致使 GCL 防渗系统存在难以避免的瑕疵；由于采购方不了解 GCL 特性，没有针对使用场合选择合适的 GCL，使得 GCL 不能发挥应有的防渗效果；

由于现行检测标准并不能完全反映 GCL 的性能, 使得质次 GCL 进入土工材料市场。此外, 由于施工单位在施工过程的不规范和存在认识盲区, 也使得 GCL 的防渗效果大打折扣。基于本文分析得出以下结论:

(1) 圆织编织布不宜用于防渗要求严格的 GCL 的生产。

(2) 以 GCL 为主防渗层的工程, 应该使用粉末型 GCL。

(3) GCL 检测应将由于编织布不平整导致的缺土现象列入检测指标。

(4) 施工中处理 GCL 搭接区域阻断无纺布导渗作用的措施应有效可靠。

#### 参考文献:

- [1] 巴 图. 膨润土防水毯特性测试及其防渗性能影响的研究[D]. 内蒙古农业大学, 2011. (BA Tu. Characteristics testing and studies on anti-seepage availabilities of GCL[D]. Inner Mongolia Agricultural University, 2001. (in Chinese))
- [2] 何 俊. 膨润土水化膨胀行为简化计算[J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2006, **34**(3): 299 - 301. (HE Jun. Simplified calculation of swelling behavior of hydrated bentonite[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2006, **34**(3): 299 - 301. (in Chinese))
- [3] YONG R N. Overview of modeling of clay microstructure and interactions for prediction of waste isolation barrier performance[J]. Engineering Geology, 1999, **54**: 83 - 91.
- [4] 郑勇亚. 膨润土防水毯应用若干问题探讨[J]. 中国建筑防水, 2011, **21**(9): 4 - 7. (ZHENG Yong-ya. Discussion on application of bentonite carpet[J]. China Building Waterproofing, 2011, **21**(9): 4 - 7. (in Chinese))

(本文责编 明经平)