

DOI: 10.11779/CJGE2016S1041

# 新型反滤结构在护坡工程中的应用与分析

李彪, 柴华峰, 刘林双

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

**摘要:** 本文针对长江中游湖广—罗湖洲西河铺岸滩不良地质, 提出了一种由三维聚丙烯网芯与两层针刺并经热处理的无纺土工布通过热粘合作用形成的“M”型新型反滤结构。通过室内试验表明, 新型排水垫的透水、保土以及防淤堵均满足反滤材料技术要求; 通过综合比较及工程现场应用表明, 新型反滤结构在不良地质护坡中能够取得较好效果, 具有较好的推广价值。

**关键词:** 护坡工程; 新型排水垫; 反滤; 防淤堵

**中图分类号:** U419.92

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4548(2016)S1-0221-04

**作者简介:** 李彪(1979-), 男, 高级工程师, 主要从事航道整治设计与研究。E-mail: libiaohao308@163.com。

## Application and analysis of new type filter structure in slope protection engineering

LI Biao, CHAI Hua-feng, LIU Lin-shuang

(Changjiang Waterway Planning Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

**Abstract:** A new “M” type filter structure is put forward to solve the infiltration problem of bad geology in Xihepu slope of Huguang-Luohuzhou reach in the middle of Changjiang River. The structure is made of polypropylene mesh core and nonwoven fabric through thermal bonding. The fabric is made by two layers of knitting and heat treatment. The indoor experimental results show that the permeability, soil conservation and anti-clogging property of the new structure can meet the structural stability requirements of revetment engineering. Comprehensive comparison and field test results show that the new structure is applicable to the slope protection engineering in bad geological areas, and it has a better promotion value in the future.

**Key words:** slope protection engineering; new filter structure; filter; anti-clogging

## 0 前言

长江中下游护坡工程中岸坡结构自内向外主要向排水系统、反滤结构及坡面面层结构三部分组成。其中反滤结构是土层与坡面结构之间的隔离层, 主要起渗水保土的作用, 反滤结构功能发挥的好坏直接关系到岸坡的稳定, 是护坡工程中关键结构之一。

反滤结构在工程中应用较早, 传统反滤结构主要由砂砾等组成, 随着反滤材料的发展, 20世纪80年代开始使用土工织物, 也称土工布。土工布作为一种很好的反滤材料, 既可挡土又能排水, 以往的直观概念都认为土工布起反滤作用等同于过筛作用, 后来的研究却证明土工布所发挥反滤功能主要是由于它具有促进天然滤层形成的“催化”作用<sup>[1-4]</sup>。目前工程中常常采用砂石与土工布联合一起作为反滤结构层来使用, 但遇到渗流严重等不良地质条件时, 仍存在渗透能力不足, 易于变形等问题, 其反滤的效果难以长久发挥<sup>[5]</sup>, 如长江中游碾子湾水道鲁家湾护岸的护坡工程中采用常规的砂石反滤结构, 工程实施后受渗流的影响, 护坡坡面多处出现了严重鼓包现

象, 不仅影响工程美观, 对工程稳定也不利。因此, 针对岸坡渗流严重等不良地质河段, 有必要开展新型反滤结构研究, 以提高岸坡稳定性。

## 1 新型反滤结构的提出

长江中游湖广—罗湖洲河段航道整治西河铺高滩守护工程于2013年开始实施, 在施工过程中发现该段渗流严重, 若护坡工程中采用常规的反滤层结构则存在开挖量大、施工期较长、施工难度大等缺点, 而且效果也不理想, 因此, 为了提高反滤效果, 保证岸坡稳定, 设计单位在借鉴马克菲尔公司的新材料、新技术发展成果的基础上, 提出一种适应于不良地质的新型反滤结构——“三维网复合排水垫”<sup>[6]</sup>。

该新型排水垫是一种具有较好的分离、排水、过滤以及加固功能的新型土工材料, 新型排水垫的构造为排水芯材与两侧土工布通过热粘合作用而形成, 其中排水芯材是经过特殊挤压形成“M”型的纵向全断

面排水通道的三维聚丙烯网垫,而土工布则是针刺并经热处理的无纺土工布。从生产加工方便考虑,单块排水垫宽度为 2.1 m(中间三维垫的宽度为 1.9 m,两边各有 0.075 m 宽的双层无纺布),长度根据设计坡长加上一定的富余量确定。构件图如图 1。



图 1 “M”型新型排水垫构件  
Fig.1 Components of “M” type filter structure

2 新型排水垫反滤特性研究

2.1 物理特性

新型排水垫的排水芯材主要起支撑和排水作用,无纺土工布对土体起反滤保护作用。新型排水垫反滤原理与现有反滤结构基本一致,只是增强了排水能力与自身的强度。

根据《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ239—2005)的要求,采用土工织物作为反滤材料,宜选用透水性好,且满足保土性较大的等效孔径,以减少在长期运行过程中土工织物发生淤堵的可能性。采用无纺土工布与其它材料组合形成组合式反滤材料时,应符合以下条件:① $0.1\text{ mm}\geq O_{95}\geq 0.03\text{ mm}$ ,且尽量靠近上限取值;② $k_v\geq 10^{-2}\text{ cm/s}$ 。

采用室内试验抽检了新型排水垫 3 组样品的渗透系数、等效孔径两项指标,结果列于表 1。

表 1 无纺布物理特性指标检测成果表

Table1 Physical characteristic testing results of non-woven fabrics

检测项目	单位	第一组	第二组	第三组
反 渗透系数	cm/s	$2.14\times 10^{-1}$	$2.21\times 10^{-1}$	$2.20\times 10^{-1}$
滤 等效孔径	mm	0.10	0.10	0.10
层				

检测结果表明,新型排水垫各样品渗透系数均远大于  $1.0\times 10^{-2}\text{ cm/s}$  量级,等效孔径  $O_{95}$  为 0.10 mm,满足保土、透水等方面的要求,其结构可以对岸坡土体起到有效的反滤保护作用。

2.2 反滤及防淤堵性能

(1) 反滤性能

为研究新型排水垫对岸坡土层的反滤保护效果,在室内进行了反滤试验。被保护土试样均从依托工程湖广—罗湖洲西河铺岸坡现场取样,反滤材料则为新

型排水垫。  
试验在 260 型水平渗透仪(见图 2)内进行。被保护土位于仪器上游侧,装样高度 20 cm,宽 20 cm,厚 26 cm。新型排水垫紧贴被保护土,其下游以多孔板为支撑。土工布与仪器侧壁的接触面以及仪器顶面采用水泥密封。待密封水泥层干燥后开始饱和试验。

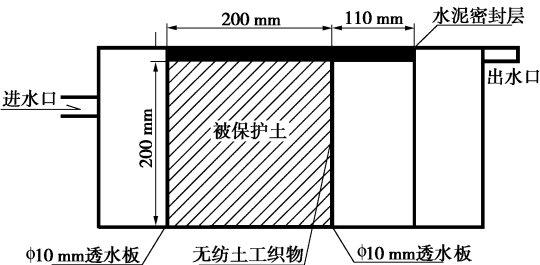
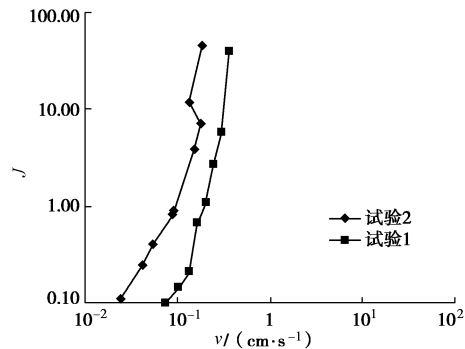


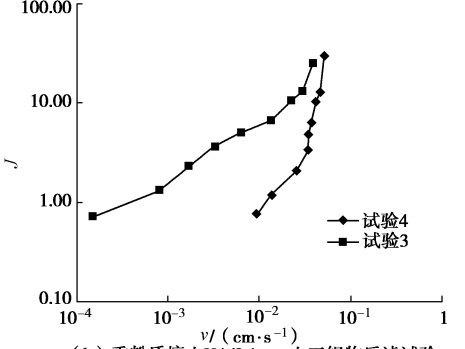
图 2 反滤试验装样示意图  
Fig. 2 Diagram of filtration tests

试验时逐级提升上游水头,观测并记录下游水箱内水体变化情况。

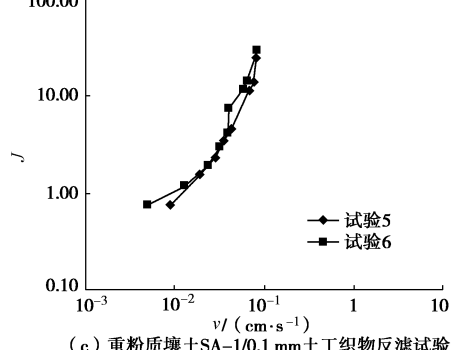
根据不同土体承受的比降  $J$  与水流速度  $v$  点汇曲线见图 3。



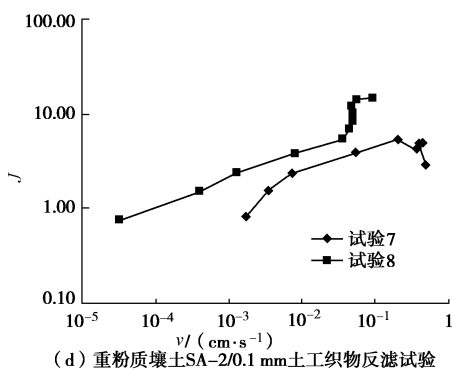
(a) 粉质黏土 4-3/0.1 mm 土工织物反滤试验



(b) 重粉质壤土 NA/0.1 mm 土工织物反滤试验



(c) 重粉质壤土 SA-1/0.1 mm 土工织物反滤试验

图3 反滤试验  $J-v$  曲线Fig. 3  $J-v$  curves of filtration tests

由试验可知, 比降越大, 渗流流速越大, 在上游水头升高的过程中, 下游水体一直保持澄清, 无细粒流失。即便是比降达到最大, 下游水体仍澄清, 无渗透破坏现象。因此, 在新型排水垫的保护下, 被保护土的破坏比降都有较大幅度的提高, 并且在下游有足够的强度支撑条件下, 新型排水垫可起到良好的反滤作用。

## (2) 长期防淤堵性能

长期淤堵试验的主要目的是研究新型排水垫与土体形成的反滤组合在长期运行过程中其反滤保护作用随时间变化情况。由于排水芯材过水断面远大于周围土颗粒直径, 在工程应用中, 很少发生排水芯材堵死的现象。排水垫排水能力的下降主要还是由于水中气泡、土颗粒在无纺土工布排水通道内形成淤堵造成, 因此, 长期淤堵试验主要针对无纺土工布进行。

淤堵试验仪器为垂直渗透仪, 本项研究为了模拟实际边坡中的水平排水情况, 试验仍采用水平渗透仪。被保护土体常分别采用粉质黏土 SB (干密度  $1.42 \text{ g/cm}^3$ ) 和重粉质壤土 NA (干密度  $1.35 \text{ g/cm}^3$ ) 两种。土体尺寸为  $26 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 。土工布下游用多孔板支撑。试验用水为水箱储存的曝气水, 试验共进行 42 d。

土体渗透性随时间变化曲线见图 4。

一个月余的淤堵试验监测结果表明, 土工布下游未出现水浑浊现象, 说明土工布保土性能良好。从土体渗透系数变化来看, 试验初期其渗透系数较大, 随时间推移, 土体渗透性有所下降, 有一定程度淤堵, 但趋势很快趋于稳定, 稳定后土体与土工布组合的综合渗透系数仍与土体自身渗透系数相当, 排水能力能满足要求。

导致渗透系数下降主要有以下几个因素: ①试验用水含气的影响。试验用水含气量一直是影响渗透试验结果的主要因素之一, 本试验尽管采用了曝气水, 但在试验过程中, 由于温度、压力、储存等因素影响, 气泡不断溶解于水中, 理论上的脱气水较难取得。尤

其是淤堵试验时间跨度较大, 试验室温度条件难以精确控制, 导致水中含气量难以精确控制。以往试验研究成果表明, 由于土工布的材料特性, 水中气泡容易在土工布与土的交界面处析出, 减小了有效过水断面, 从而导致渗透性降低。②土体中部分细小土颗粒 (主要是粒径在  $d_{15}$  以下的细颗粒) 随水流进入并淤塞在土工织物的孔隙中, 减小了过水通道, 降低了土工布的渗透性能。③有关研究表明, 在一定压应力的作用下, 织物纤维的孔隙率可由 90% 左右迅速下降至 40%, 甚至更低, 从而导致渗透性降低。试验中, 渗透比降为 10 左右, 在一定的渗透压力作用下, 土体和土工织物均可能产生压密, 从而减小渗透性。

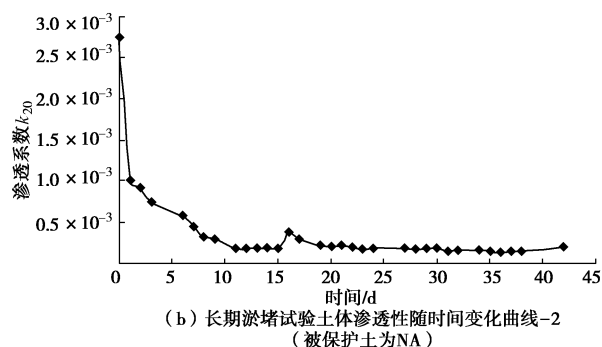
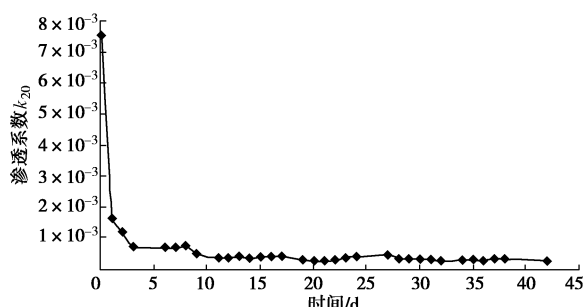


图4 土体渗透性随时间变化曲线

Fig. 4 Variation of soil permeability with time

## 3 新型排水垫与现有反滤结构的综合比较

### 3.1 排水能力比较

在同一水槽装置内放置相同平面尺寸的排水垫和碎石层进行排水试验, 相同条件下, 2 min 内, 排水垫排水约 800 ml, 砂石排水 500 ml 左右, 由此可见, 6 mm 厚新型排水垫的排水能力比 50 cm 厚的碎石排水层强。

### 3.2 施工便捷性比较

新型排水垫施工的主要优势如下: ①与现有反滤结构施工相比, 新型排水垫层施工仅需少量人工、机械和时间; ②单元之间采用搭接的方式保证了施工的

连续性,便捷性;③新型排水垫材质较轻,无需机械辅助,仅人工即可施工;④在竖向工程中,工人仅用手工即可安装定位;⑤无需额外的砂砾垫层;⑥无需高级技工及特殊的施工工具,采用常规的切割器具、钉子和锤子即可完成施工。

3.3 经济性比较

新型排水垫与常规反滤结构造价对比见表 2。

表 2 不同反滤结构造价对比表

Table 2 Comparison of costs of different filter structures

材料	单价	砂垫层+土工布		新型排水垫	
		数量	总价/元	数量	总价/元
新型排水垫	28 元/m <sup>2</sup>	—	—	1.05 m <sup>2</sup>	29.4
砂石垫层	112 元/m <sup>3</sup>	0.15m <sup>3</sup>	16.8	0.12 m <sup>2</sup>	13.44
土工织物 400g/m <sup>2</sup>	11 元/m <sup>2</sup>	1.1m <sup>2</sup>	12.1	—	—
高级技工	40 元/m <sup>2</sup>	0.2 h	8	—	—
一般技工	20 元/m <sup>2</sup>	0.5 h	10	0.3 h/m	6
每平方米造价		46.9 元		48.84 元	

单从综合单价来看,新型排水垫仅比现有的砂砾石反滤层高 1.9 元,但新型排水垫还具有质量轻,运输方便,施工质量容易保证,且施工进度快等优点。

4 工程应用

目前该新型排水垫已在湖广—罗湖洲河段左岸西河铺护岸工程下段渗流严重区域应用,与现有反滤结构护坡工程比较,经过一个洪水期的考验,未见局部和整体的崩塌现象,护岸整体稳定,由此表明,该新型排水垫能够适应渗流严重等不良地质河段,提高了护岸的整体稳定性,达到了预期效果。

5 结 论

(1)针对长江中游湖广—罗湖洲西河铺岸滩不良地质,提出了一种“M”型三维聚丙烯网芯与两层针刺并经热处理的无纺土工布通过热粘合作用形成的新型排水垫。

(2)新型反滤结构能有效提高岸坡土层的抗渗比降,阻止土体细粒流失,起到良好的反滤保护作用,满足反滤材料技术要求。

(3)针对粉质黏土和重粉质壤土两种类型土长期淤堵试验表明,土体渗透系数经过初期的衰减后,稳定保持在  $1 \times 10^{-4}$  cm/s 左右,与室内渗透变形试验中

所获得土体渗透系数接近,排水能力能够满足要求。

(4)通过综合比较及工程现场应用表明,新型反滤结构比现有反滤结构优良,在不良地质护坡中能够取得较好效果,并具有较好的推广价值。

参考文献:

[1] 刘 杰, 张 雄. 多级配砾石土反滤设计方法试验研究[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(6): 1 - 9. (LIU Jie, ZHANG Xiong. Study on filter design of broadly-graded soil[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 1996, 18(6): 1 - 9. (in Chinese))

[2] 胡丹兵, 陆士强, 王 钊. 土工织物反滤层透水性设计准则[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(3): 93 - 102. (HU Dan-qiang, CHEN Shi-qiang, WANG Zhao. Geotextile filter layer permeability design criteria[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering. 1994, 16(3): 93 - 102. (in Chinese))

[3] 田 海, 周顺和, 陈秀安. 土工织物反滤层局部保护岸的试验研究[C]//中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集(下册). 2003. (Experimental study of geotextile filter layer partial protection revetment[C]// The Ninth Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Conference Memoir(volume 2). 2003. (in Chinese))

[4] 李 杰, 俞晟峰, 李永春. 在往复水流中进行土工织物反滤层稳定性的试验分析[J]. 产业用纺织品, 2008, 26(9): 16 - 20. (LI Jie, YU Cheng-feng, LI Yong-chun. Test analysis on the seepage stability of the soil-geotextile filtration under cyclic flow[J]. Industry Textiles, 2008, 26(9): 16 - 20. (in Chinese))

[5] 李宝龙, 于立忠. 用土工织物作反滤层的设计与施工[J]. 防渗技术, 2000, 6(2): 32 - 34. (LI Bao-long, YU Li-zhong. Design and construction of geotextiles[J]. Seepage, 2000, 6(2): 32 - 34. (in Chinese))

[6] 李 彪. 长江中游湖广-罗湖洲河段航道整治工程新型排水垫层专题研究[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2015. (LI Biao. A new drainage cushion research of Huguang-Luohuzhou reach waterway regulation engineering in middle Yangtze River[R]. Wuhan: Changjiang Waterway Planning Design and Research Institute, 2015. (in Chinese))

(本文责编 明经平)