

# 耐老化增糙高性能防汛土工袋研制及试验

陈擎宇<sup>1</sup>, 武闻天<sup>1</sup>, 曹驰宇<sup>2</sup>

(1. 江苏省水利防汛物资储备中心, 江苏 南京 210029; 2. 南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:**用于防汛抢险的土工袋多为聚丙烯(PP)编织基布,耐候性差,在野外使用时较易老化;聚酯(PET)长丝机织布土工袋尽管比PP编织袋性能好,但其野外耐老化及抗滑性能仍有待提高。阐述耐老化增糙高性能聚酯机织布土工袋的研制方法与工艺,主要物理力学性能测试指标以及耐候性试验和野外堆砌试验。测试及试验显示,所研制的防汛抢险土工袋具有力学性能高、持土析水与耐候性能好、摩擦系数大的特点,可在南方汛期较长或野外恶劣环境下应用于堤坝重大险情的抢护。

**关键词:**防汛抢险; 土工袋; 研制试验

中图分类号:TV84

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)09-0065-0004

## Development and test of anti-aging and roughening high-performance flood control soilbag

CHEN Qingyu<sup>1</sup>, WU Wentian<sup>1</sup>, CAO Chiyu<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Flood Control Material Reserve Center, Nanjing 210029, China;

2. Nanjing Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

**Abstract:** Soilbags used for flood control and emergency rescue are mostly polypropylene (PP) woven fabrics, which have poor weather resistance and are easy to age when used in the field. Although polyester (PET) filament woven geotextile bag has better performance than PP woven bag, its field anti-aging and skid resistance still need to be improved. This article introduces the development method and technology of aging resistance, roughness high performance polyester machine woven geobag, main physical and mechanical properties test indexes, as well as weather resistance test and field stacking test. The trials show that the developed flood control and emergency soilbag has the characteristics of high mechanical properties, good soil retention and water separation, good weather resistance, and large friction coefficient. It can be applied to the rescue and protection of dikes in the south under the long flood season and the harsh field environment.

**Key words:** flood control and rescue; soilbag; development experiment

## 1 概 述

20 世纪 90 年代中期以来,抗洪抢险中大量使用土工合成材料防汛物资,其中编织袋应用广泛<sup>[1-3]</sup>,其可用于临时加高堤顶防止漫溢,加固堤脚

及堤坡防止侵蚀和滑坡,构筑反滤围井缓解管涌险情等<sup>[4]</sup>。绝大部分抢险编织袋用白色聚丙烯裂膜丝制成,抗冲击性能不高,抢险工程中易破损,其耐老化性能也不高,尤其南方地区汛期较长,抢险编织袋暴露使用时间长,影响后期使用效果。若使用一

收稿日期: 2022-07-12

基金项目: 江苏省水利科技项目(2016026)

作者简介: 陈擎宇(1976—),男,本科,主要从事防汛抢险器材研究工作。E-mail: 458088881@qq.com

般长丝机织物制成的土工袋,抗冲击和耐老化性能均有提高,但其界面摩擦系数较低,往往需要较缓坡度得以维持稳定。所以,研发既有较高抗冲击及耐老化性能又具有较高界面摩擦性能的土工袋,对长汛期抢险工程的安全具有较大的社会和经济效益。

## 2 高性能抢险土工袋研制

所谓高性能抢险土工袋是指具有较高抗拉及抗冲击强度、较高摩擦系数与较高耐老化性能的抢险土工袋。

### 2.1 抢险土工袋的材质及特性

从袋体强度与耐老化性能综合考虑,材质选择聚酯(PET)型为长丝纤维。聚酯(PET)即聚对苯二甲酸乙二酯,比重为1.38,熔点255℃~260℃,吸湿度很低,仅为0.4%。聚酯长丝的断裂强度为4.5~5.5 g/d,长丝的断裂伸长率为15%~25%;高强低伸型纤维强度可达7~8 g/d,伸长率为7.5%~12.5%。聚酯长丝强度高,伸长率低,具有良好的尺寸稳定性,耐日光,耐摩擦,不霉不蛀,有较好的耐化学性能。

纤维级PET切片通常分为超有光型、有光型、半消光型及全消光型(表1),在本研发项目中,对材料的强度要求较高,采用有光型作为生产原料。

表1 聚酯切片类型及主要特征

切片类型	氧化钛含量/%	色泽	特性黏度/(dL·g <sup>-1</sup> )
超有光	0	无色透明	0.65
有光	0.1	无色半透明	0.65
半消光	0.3~0.5	乳白色	0.65

### 2.2 抢险土工袋制造工艺

#### 2.2.1 高强低伸工艺

普通纺PET长丝强度为4.5 g/d左右,伸长率为25%左右,难以满足本研制项目的材料力学指标要求。为获得高拉伸强度及低变形率,采用纺牵一步法工艺进行生产,以期获得高强低伸型长丝纤维,其黏度由0.65 dL/g增加到0.75 dL/g左右,所制得的长丝纤维强度为6.7 g/d左右,伸长率为14%。强度上升48%,伸长率下降44%,满足了本研制产品对材料的要求。

#### 2.2.2 提升耐老化性能工艺

虽然聚酯的耐老化性能远高于聚丙烯,但聚酯在加工、存储、使用过程中,受外界(光、水、热)条件影响,会发生分子链降解,导致性能产生不可逆转

的衰减。本研制项目为提升耐老化工艺,舍弃能耗高、效率低、污染重的后整理法,采用纺丝获得法,即在纺丝过程中按比例添加抗老化剂,使得长丝纤维本身具有优良的抗老化性能,主要涉及抗老化剂的选择、添加比例、具体生产工艺的调整优化。

采用纳米级硅灰石系聚酯纤维专用抗老化剂,使用特殊的母粒注射设备按0.8%左右添加。纳米级材料分散性优良,易形成晶核,纤维结晶度增加,抗拉强度、冲击强度上升,其有效成分为紫外线吸收剂,可大量吸收紫外线。热稳定性好,在加工过程中不会因为高温而发生变化,由于紫外线吸收剂均匀分布于纤维之中,不会因为露天雨水冲刷而衰减。

经过半年多生产调整与选择,最终确定采用含有光稳定剂、抗氧剂及紫外线吸收剂的复合抗老化剂,不仅完全满足生产工艺的要求,而且与普通土工袋布比较,性能大幅度提高,具有明显的技术优势。经成品检测,耐老化性能满足本研制项目的要求。

#### 2.2.3 增糙织造及缝制工艺

一方面,保证足够的经纬向密度,使袋体具有透水持土的性能;另一方面,布料组织采用2.5 cm×2.5 cm平纹加筋格,确保每个方向均能增加同等的摩擦系数,并采用特制吸水膨胀线和凹凸点增糙技术,进一步提高袋体的摩擦系数,增加抢险工程的安全性和经济性。所谓凹凸点增糙技术,是对织物进行后整理加工,采用热扎定型工艺,在保证材料力学指标不受影响的前提下,采用特殊轧点,施以加温、加压,使布体材料具有0.5 mm×0.5 mm×0.5 mm左右的凹凸点,使摩擦系数明显提高。在生产过程中,需充分考虑温度、压力、生产速度等因素,以达到最佳增糙效果。

采用与袋体同材料的聚酯(PET)缝制线,严格要求缝制密度及松紧度,确保缝接平整、密实,确保防汛土工布袋整体的可靠性。采用与袋体同材料的聚酯(PET)织布带,材质柔软、高强度,与袋体连接可靠,位置适宜。

## 3 抢险土工袋的主要特征指标

### 3.1 主要工艺特征

高性能抢险土工袋以聚酯(PET)长丝为原料,经消除静电处理、工艺织造、固纱处理、平整定型及裁剪缝制而成。袋体材料包括聚酯(PET)布料、聚酯(PET)缝制线、聚酯(PET)扎口绳等。布料组织

形式为加筋格形,布料单位面积质量为100~140 g/m<sup>2</sup>,布料抗拉强度为20~30 kN/m,布袋尺寸为85 cm×50 cm,布袋质量为0.10~0.15 kg,布袋装填荷载为15~30 kg,布袋颜色为白色、灰色等,可印图案和文字。

3.2 主要力学指标

经力学性能测试,袋布的主要力学性能指标见表2。袋体缝制强度为29 kN/m,扎口绳极限受力为480 N。

3.3 耐老化性能指标

长丝经过耐老化工艺处理后,袋布的耐老化性能明显提高,经过室内、野外暴露,自然老化试验的性能指标测试值见表3。

从表3中可见,在室内存储条件下,袋布质量无明显变化。而野外暴露使用,未经耐老化处理的袋布强度指标下降约20%,经耐老化工艺处理的袋布强度指标只下降了约10%,处理效果明显。

表2 主要力学性能指标

项目	纵向断裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	纵向断裂伸长率/%	顶破强力/kN	摩擦系数	纵横向撕破强力/kN	等效孔径(O <sub>95</sub> )/mm	垂直渗透系数/(cm·s <sup>-1</sup> )
指标值	(干态)	≥30	≤12	≥4.1	≥0.41	≥0.85	0.102
	(湿态)	≥30	≤12	≥4.1	≥0.43	≥0.85	2.76×10 <sup>-3</sup>
检测方法	GB/T 15788	GB/T 15788	GB/T 14800	GB/T 17635.1	GB/T 13763	GB/T 17634	GB/T 15789

表3 耐老化处理前、后的性能指标

测试日期	拉伸强度/kN		伸长率/%		撕破强力/N		顶破强力/kN		外观	存储条件
	处理前	处理后	处理前	处理后	处理前	处理后	处理前	处理后		
2016-11-18	31.6	31.6	12	12	460	460	4.1	4.1	本白	
2017-11-18	31.6	31.6	12	12	460	460	4.1	4.1	本白	室内
	29.2	30.2	11.6	11.8	420	443	3.9	3.9	本白	野外
2018-05-18	31.6	31.6	12	12	460	460	4.1	4.1	本白	室内
	25.1	28.8	11.0	11.6	366	421	3.3	3.7	本白	野外

3.4 界面摩擦性能指标

一般长丝平纹结构机织布,材料表面较平整,摩擦系数较小。本研制项目采用方格加粗筋、遇水膨胀线、凹凸点增糙等工艺技术,使袋布材料摩擦系数有较大提高,表4为加糙工艺处理后与平纹结构袋布的摩擦系数值。

从表4可见,经过加粗筋、加膨胀线、加凹凸等工艺处理后,袋布的摩擦系数从0.12大幅度提升至0.41(干)、0.43(湿),很大程度增加了袋体之间、袋

体与土体之间的堆砌稳定性,实际堆砌高度1 m以上的,稳定坡度可达到30°以上。

4 抢险土工袋布耐候试验

高性能土工袋研制生产后,除分别进行了袋布力学性能和界面性能的室内试验测试外,还开展了历时1年的野外耐候及室内耐候试验。

4.1 试验材料

本次试验选取当前作为防汛土工袋的3种主流

表4 平纹结构袋布与加糙措施袋布的摩擦系数

基布结构	摩擦系数(干)	摩擦系数(湿)	可堆砌坡度/(°)
平纹结构	0.12	0.12	≤10
方格加粗筋	0.18	0.18	≤17
方格加粗筋+膨胀线	0.18	0.29	≥28
方格加粗筋+膨胀线+凹凸点	0.41	0.43	≥35

袋布材料:聚丙烯(PP)编织布、聚酯(PET)无纺布、聚酯(PET)长丝机织布。聚丙烯(PP)编织基布为全新料制品,不包括回料制品;聚酯(PET)无纺布为长丝制品,不包括短纤维制品;聚酯(PET)长丝机织布为本次研制的高性能土工袋布,通过试验比较上述3种袋布材料的耐候性能。

## 4.2 试验环境

试验时间为2016年11月18日至2017年11月18日。野外试验地点位于江苏省仪征市,属北亚热带季风气候区,全年雨量充沛,四季分明,温和湿润。年平均气温15.1℃,年降水量1 014 mm,年平均日照2 160 h左右,无霜期224 d。

3种袋布材料试验样品的尺寸大小及野外摆放方式均相同,即完全暴露、无遮挡、无阳光阴影,各种材料试样均处于相同的外界气候环境中。作为野外耐候的环境对比,在室内通风、防光、防潮储存条件下,3种袋布材料也作相同时间的耐候试验。

## 4.3 试验结果

### 4.3.1 试样外观描述

经过1年时间的室内储存和野外暴露耐候试验,3种袋布试样的外观面貌描述如下。

#### (1)聚丙烯(PP)编织布

室内储存环境下,试样形状完整,颜色无明显变化;野外暴露环境下,试样已完全缺失,除夹具钳口内有部分残留外,无任何存在痕迹。

#### (2)聚酯(PET)长丝无纺布

室内储存环境下,试样形状完整,颜色无明显变化;野外暴露环境下,试样形状保持完整,颜色呈钝色,表层纤维有部分降解。

#### (3)高性能聚酯(PET)长丝机织布

室内储存环境下,试样形状完整,颜色无明显变化;野外暴露环境下,试样形状保持完整,颜色无明显变化,表层无降解现象。

### 4.3.2 力学及界面指标

各试样在试验前(2016年11月18日前)与试验后(2017年11月18日后)分别进行主要物理力学指标及界面指标的测试,测试结果见表5。

### 4.3.3 耐候试验结果分析

#### (1)聚丙烯编织布

室内存储条件下摆放1年,主要力学指标略有下降;野外暴露摆放1年,试样已完全降解。故聚丙烯编织布只能作为土工袋临时使用。

#### (2)聚酯长丝无纺布

室内存储条件下摆放1年,主要力学指标无明显变化;野外暴露摆放1年,主要力学指标下降约20%。所以聚酯长丝无纺布可室内长期存储,作为土工袋可供野外数月的短期使用。

#### (3)高性能聚酯长丝机织布

室内存储条件下1年,主要力学指标无明显变化;野外暴露摆放1年,外观完整良好,主要力学指标下降约3%。因此,高性能聚酯长丝机织布可室内长期存储,作为土工袋可在野外确保安全使用1年以上。

## 5 野外土工袋堆砌试验

### 5.1 试验内容

模拟南方较长汛期的防汛抢险环境,将高性能聚酯长丝机织布土工袋在野外散堆与子堰型堆砌,经过3个月的野外试验,评估其实际工程应用特点

表5 主要物理力学指标及界面指标

材料	克重/(g·m <sup>-2</sup> )	断裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	断裂伸长率/%	CBR 顶破/kN	撕破强力/kN	摩擦系数	试验环境
聚丙烯(PP)编织基布	81	5.6	13	1.2	0.23	0.21	试验前
	81	5.3	12	1.2	0.22	0.21	室内存储
	0	0	0	0	0	0	露天摆放
普通聚酯(PET)无纺基布	163	8.1	29	1.7	0.26	0.92	试验前
	163	8.1	29	1.7	0.26	0.91	室内存储
	162	5.9	18	1.4	0.18	0.92	露天摆放
高性能聚酯长丝机织基布	118	31.6	12	4.1	0.46	0.42	试验前
	118	31.6	12	4.1	0.46	0.43	室内存储
	118	30.2	11.6	4.0	0.42	0.41	露天摆放

(下转第72页)