

文章编号:1006-2106(2015)09-0055-05

重载铁路盐渍土路基中土工布使用寿命评估^{*}

陈文化^{**}

(北京交通大学, 北京 100044)

摘要:研究目的:欲使土工布大规模地应用于工程,对其寿命的影响需进一步研究。针对土工布多为出厂预期寿命,缺乏工程最关心的现场使用寿命判定依据,且国内、外研究成果不多,本文通过现场和室内研究,以期确定其使用寿命并获得土工布保护技术,为重载铁路路基中土工布使用设计与施工提供参考。

研究结论:(1)结合现场埋置土工布跟踪分析,初步估计盐渍土路基中两布一膜土工布现场使用寿命在80年以内;(2)两布一膜土工布的老化因素影响程度由大到小依次为紫外线、高拉应力、盐池水、海水等;(3)基于现场取样试验和运营线路调查分析,建议工程抽检周期为10年;(4)该研究成果可为盐渍土铁路、公路和民航工程的设计与施工提供依据。

关键词:两布一膜土工布;盐渍土路基;老化系数;现场寿命

中图分类号:U416.166;TU448 **文献标识码:**A

Life Prediction for Geotextile in Saline Soil Roadbed of Heavy Haul Railway

CHEN Wen - hua

(Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: **Research purposes:** For lack of the research results of geotextile field life at home and abroad, in this paper, the lab and field researches are carried out to find the engineering life and protect technology in field. which will provide reference for the design and construction of geotextile in heavy haul railway roadbed.

Research conclusions: (1) A preliminary estimated life of two cloth a membrane geotextile in saline soil embankment is within 80 years by tracking experiments. (2) The effect sequences of aging factor of two cloth a membrane geotextile are as follows: ultraviolet, high pressure, salt pond water, sea water, etc. (3) The engineering sampling period is suggest as 10 years based on field sampling test and operating line survey. (4) The research results can be successly used in some saline soil railway, highway and civil aviation engineering.

Key words: two cloth and a membrane geotextile; saline soil roadbed; aging coefficient; in - situ life

两布一膜土工布是一种土工合成材料,其强度高、韧性好、耐腐蚀、耐老化、耐热、耐寒,现已广泛应用于建筑、水利、铁路、公路、港口、采矿、军工等多个领域^[1-2]。两布一膜土工布耐久性是指其物理和化学性能的稳定性,老化现象主要是因为高分子聚合物受紫外线辐射、温度和湿度变化、化学与生物侵蚀、冻融变化和机械损伤等外界因素的影响,链节结构发生降解

反应或交联反应的结果。目前绝大部分土工布的材料寿命为出厂预计寿命,主要原因是土工合成材料在世界上推广使用不过40年,国内使用不过20年,缺乏工程使用实测依据,且国内对其在耐久性设计方面的规定目前比较模糊。随着土工布大规模的工程应用,土工布能否在几十年甚至更长时间内保持性能的稳定,其工程寿命是工程所担心的^[2]。不同材料、不同土

^{*} 收稿日期:2015-04-15

^{**} 作者简介:陈文化,1967年出生,男,教授。

壤、不同使用环境(水、化学、生物、温度、pH 值)、不同工程(路基、地基、边坡),土工布强度损失率不同。如聚脂材料 PES 在中性饱和土体内,现场强度降低主要是水解,强度损失率为 0.25 ~ 0.5%/年,热粘无纺土工织物强度损失率为 2.45 ~ 5.06%/年,聚丙烯类为 0.54 ~ 2.56%/年。目前,法国、美国、德国等为研究土工布抗老化及耐久性,工程现场取样检验力学和化学性质,但样品使用年限都没超过 20 年^[3],而我国现场土工织物老化工作和成果研究很少^[4]。

1 工程现场调查分析

我国第二大重载铁路在盐池和海水浸泡地段是盐



(a) 现场埋置的两布一膜土工布



(b) 两布一膜土工布的迅速老化现象

图 1 现场取样

2 盐渍土路基中两布一膜土工布试验

气候、海水浸泡、微生物、地下水、蠕变、环境温度都可能对盐渍土路基中两布一膜土工布材料产生影响,盐溶解与土混合介质的强酸腐蚀,盐失水后结晶膨胀都会使得土工布高分子断裂、纤维断裂,直接影响土工布的强度与寿命,因此有必要对海水、盐渍水、盐渍土、暴晒等因素对土工布寿命的影响进行进一步研究^[5]。

2.1 浸泡试验

为研究两布一膜土工布用于盐池中修建路基时海水、盐渍水长期作用于土工布对其强度的影响,2007 年 1 月取盐池水,在黄海取海水,在室内进行浸泡试验,通过人工方法将原有的天然海水浓度分别增加 5%、10%、15%、20% 或减少 5%、10%、15%、20%,并分别浸泡 3 个月、半年、1 年、2 年,进行室内抗拉试验,对比分析含盐量及时间因素对土工布强度的影响,如图 2、表 2、表 3 所示。试验发现:海水、盐池水含盐浓度增加,土工布抗拉强度明显降低,主要是盐晶体影响高分子结构强度。



图 2 海水、盐池水浸泡试验

表 2 受海水浸泡的两布一膜土工布 5% 的拉应变对应纵向抗拉强度 (单位: N/5 cm)

浓度改变 浸泡时间	浓度变化情况					
	天然海水	增加 5%	增加 10%	增加 20%	减少 5%	减少 10%
1 个月	153	147	133	155	144	153
3 个月	133	130	78	122	117	123
半年	123	102	47.2	92	90	88.9
1 年	101	87	32	87	81	70
2 年	80	63	22	76	59	55

注:天然海水原质量浓度为 4.2%。下同。

表3 受盐池水浸泡的两布一膜土工布5%的拉应变对应纵向抗拉强度 (单位:N/5 cm)

浓度改变情况 浸泡时间	天然盐池水	增加5%	增加10%	减少5%	减少10%
1个月	147	132	127	157	154
3个月	143	120	123	138	130
半年	135	117	117	135	123
1年	120	111	106	122	105
2年	87	86	77	110	78

注:天然盐池水浓度为2.2%。下同。

2.2 暴晒与埋置于盐渍土试验

对两布一膜土工布产品进行老化试验,包括光老化、热老化、酸碱液体老化、低温老化试验等,掌握各类产品的老化规律^[6-8]。土工布中间膜是一种不透水高分子化学柔性材料,比重较小,延伸性较强,适应变形能力高,耐腐蚀,耐低温,抗冻性能好,主要有聚氯乙烯(PVC)和聚乙烯(PE)、EVA(乙烯/醋酸乙烯共聚物)、ECB,老化的各种因素中暴晒最为明显。土工布的暴晒试验:加工土工布长1 m,宽5 cm,分5组,每组3条,2组完全埋入盐渍土,1组暴露在楼顶平台上,2组一半埋藏在盐渍土另一半暴露在空气中,如图3所示。



图3 半埋藏在盐渍土半暴露在空气中的土工布

表4 暴晒后土工布5%的拉应变对应的拉应力 (单位:N/5cm)

试验条件 试验周期	全埋在盐渍土中	半埋半露在盐渍土中	暴晒
1个月	121	100	87
3个月	121	89	77
半年	121	77	68
1年	116	75.2	65
2年	103	53.6	13

2.3 长期拉应力下的徐变试验

路基土体变形会导致埋置其中的土工布产生张拉力,长期作用土工布强度也会受影响,为此将土工布沿长度方向分别加工成宽5 cm、长1 m,分别施加50 N/5 cm、

100 N/5 cm、200 N/5 cm的张拉力,作用3个月、半年、1年、2年后分别进行力学试验,如图4、图5所示,研究两布一膜土工布在长期拉应力作用下强度随时间的变化及徐变问题。试验数据如表5所示,综合因素对两布一膜土工布强度影响如表6和图6所示。



(a) 长期张拉试验 (b) 力学强度测试

图4 长期拉应力作用下的徐变试验

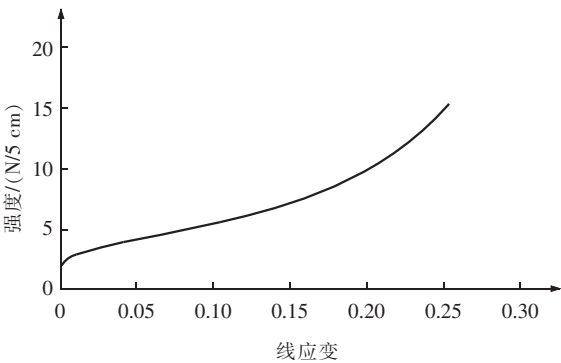


图5 两布一膜土工布在25 N/5 cm拉应力作用下半年后的强度曲线

表5 拉应力作用下的强度试验结果

试验项目 张拉应力/(N/5 cm) 试验周期	张拉强度/(N/5 cm)			徐变变形/%		
	50	100	200	50	100	200
半年	72	56	46	<0.5	<1	<5
1年	70.9	49	42	1	3	10
2年	62	35	31	3	7	15

表6 强度-变形影响因素试验结果

序号	试验条件	拉应变			
		5%	10%	15%	20%
1	盐池水浓度降低10%	125	190	221	252
2	盐池水浓度增加10%	117	176	206	227
3	天然盐池水浓度	135	198	229	250
4	天然海水浓度	123	189	224	248
5	海水浓度增加10%	47.2	163	209	239
6	海水浓度降低10%	88.9	202	250	-

续表 6 强度 - 变形影响因素试验结果

序号	试验条件	拉应变			
		5%	10%	15%	20%
7	25 N/5 cm 4 个月	72	184.3	234	-
8	50 N/5 cm 4 个月	46.3	158.9	208.7	234
9	100 N/5 cm 4 个月	55.9	140.5	174.6	194
10	野外晾晒(半年)	71.3	131.5	159.7	178
11	野外晾晒(4 个月)	68.1	147.3	178.9	198
12	半埋入盐渍土	77.6	156	188	208
13	埋入盐渍土	121.8	171	196.4	214
14	现场取样(5 年)	130	188	202	250

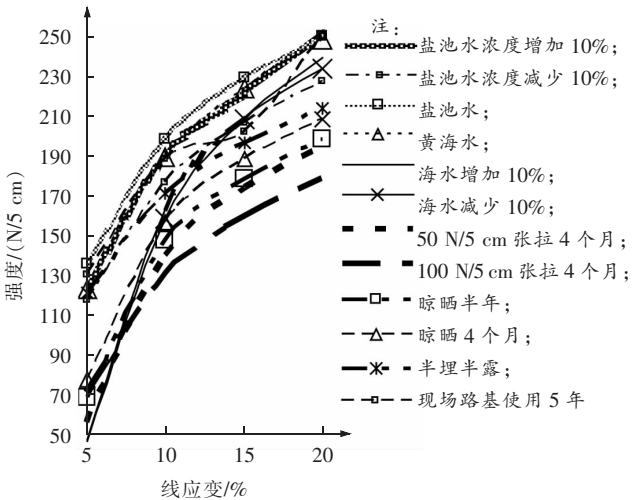


图 6 强度 - 变形多因素测试

2.4 老化因素试验分析

在研究海水、盐池水、张拉、暴晒等因素对土工布强度影响基础上,为了进一步研究各因素对土工布材料抗变形能力影响,定义 k 值如式(1):

$$k = \frac{\Delta N}{\Delta \epsilon} = \frac{N_{\epsilon_1} - N_{\epsilon_2}}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \tag{1}$$

式中 N_{ϵ_1} 、 N_{ϵ_2} ——应变 ϵ_1 、 ϵ_2 下土工布张力。

k 值越大,土工布材料抗拉变形能力越高,抗摩擦能力越高。海水、盐池水、张拉、暴晒等对土工布材料抗变形能力的 k 值,如表 7 所示。

表 7 土工布材料抗变形能力的 k 值

序号	试验条件	$\Delta N(\Delta \epsilon = 5\%) / (N/5 \text{ cm})$	$k / (N/5 \text{ cm} / \%)$	$\Delta N(\Delta \epsilon = 10\%) / (N/5 \text{ cm})$	$k / (N/5 \text{ cm} / \%)$
1	盐池水浓度降低 10%	65	13	96	9.6
2	盐池水浓度增加 10%	59	11.9	89	8.9
3	天然盐池水浓度	63	12.6	94	9.4
4	天然海水浓度	66	13.2	101	10.1
5	海水浓度增加 10%	126	25.2	162	16.2
6	海水浓度降低 10%	113	22.6	161	16.1
7	25 N/5 cm 4 个月	112	22.4	162	16.2
8	50 N/5 cm 4 个月	112	22.4	162	16.2

续表 7 土工布材料抗变形能力的 k 值

序号	试验条件	$\Delta N(\Delta \epsilon = 5\%) / (N/5 \text{ cm})$	$k / (N/5 \text{ cm} / \%)$	$\Delta N(\Delta \epsilon = 10\%) / (N/5 \text{ cm})$	$k / (N/5 \text{ cm} / \%)$
9	100 N/5 cm 4 个月	95	19	118	11.8
10	野外晾晒(半年)	60	12	88	8.8
11	野外晾晒(4 个月)	79	15.8	110	11
12	半埋入盐渍土	78	15.6	111	11.1
13	埋入盐渍土	49.8	9.9	75	7.5
14	现场取样(5 年)	58	11.6	72	7.2

线应变控制在 10% ~ 15% 的张拉试验发现:半露半埋、盐池水条件下土工布强度 - 变形规律相似;完全暴晒、海水条件下,张拉作用模量和强度屈服明显。5% ~ 10% 线应变,各种因素影响下的土工布张拉强度都比较低,如表 8 所示。

老化因素包括紫外线、温度、化学和生物、干湿变化、冻融变化和机械磨损等。老化系数和抗老化系数如式(2)和式(3):

老化系数:
$$\Psi = 1 - f/f_0 \tag{2}$$

抗老化系数:
$$\Psi' = 1 - \Psi \tag{3}$$

式中 f ——老化后纵向抗拉强度;

f_0 ——出厂时纵向抗拉强度。

两布一膜土工布多因素老化试验与分析,如表 8、图 7、图 8 和图 9 所示。

表 8 老化多因素试验结果

类别	项目	试验数据 / (N/5 cm)	损失 / (N/5 cm)	老化系数	抗老化系数
盐池水	盐池水浓度降低 10%	252	-8	0.03	0.97
	盐池水浓度增加 10%	227	-33	0.127	0.873
	天然盐池水浓度	250	-10	0.038	0.962
黄海水	天然海水浓度	248	-12	0.046 1	0.954
	海水浓度增加 10%	239	-11	0.042 3	0.958
	海水浓度降低 10%	250	-10	0.038 4	0.962
张拉力	25 N/5 cm 4 个月	234	-26	0.10	0.9
	50 N/5 cm 4 个月	234	-26	0.10	0.9
	100 N/5 cm 4 个月	194.5	-65	0.25	0.75
晾晒	晾晒(半年)	178.3	-82.7	0.318	0.685
	晾晒(4 个月)	198.7	-62	0.238	0.762
对比	半埋入盐渍土	208	-52	0.20	0.8
	埋入盐渍土	214	-46	0.177	0.823
	现场取样(5 年)	250	-10	0.038	0.962

注:土工布出厂强度为 260 N/5 cm。

综合上述试验发现:暴晒 2 年的强度从 260 N/5 cm 降到 13 N/5 cm,强度损失率为 95%;高应力(200 N/5 cm)长期受拉 2 年的强度从 260 N/5 cm 降到 31 N/5 cm,强度损失率为 88%。对两布一膜的寿命影响的因素分析如图 10 所示。

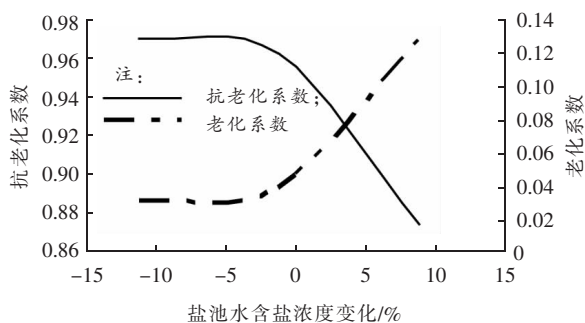


图7 盐池水浓度对土工布老化的影响

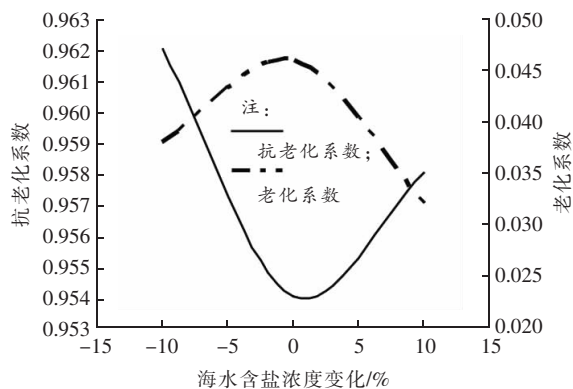


图8 海水浓度对土工布老化的影响

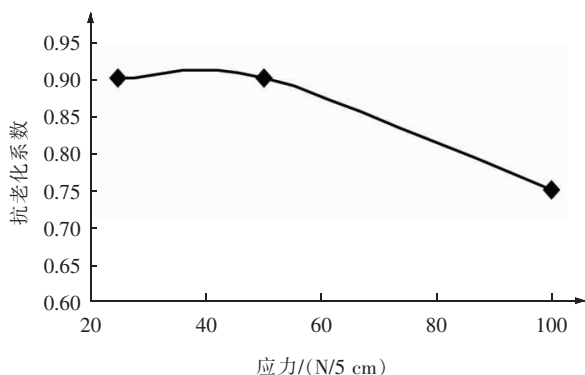


图9 张拉应力对土工布老化的影响

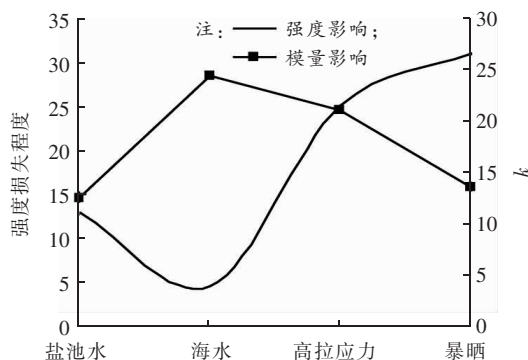


图10 两布一膜土工布材料损失因素对比

循环引起盐溶解和晶胀引起两布一膜土工布材料高分子键断裂破坏,对寿命有一定影响;参考现场取样试验结果,结合土工布抗变形的多因素分析工作,建议重载盐渍土路基中土工布的年强度损失率取 1.21%,相应使用寿命在 80 年以内。

(2) 老化因素影响程度由大到小依次为紫外线、高拉应力、盐池水、海水等;工程中土工布张拉力宜控制在 20 N/5 cm 以内。

(3) 本次研究抽检周期是 5 年,建议工程进行定期抽样检验,比如 10 年检验一次。

参考文献:

- [1] 陈文化. 地基处理 [M]. 北京:人民交通出版社,2011.
Chen Wenhua. Foundation Treatment [M]. Beijing: China Communications Press,2011.
- [2] 高宝林,王进昌,李勇. 青藏铁路察尔汗盐湖路基盐溶病害研究[J]. 铁道工程学报, 2015(5):6-12.
Gao Baolin, Wang Jinchang, Li Yong. Research on the Salt Soluble Disasters of Saline Lake Subgrade along the Qinghai-Tibet Railway in Chaerhan Salt Lake Region [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015(5):6-12.
- [3] Samson, Lamiu Adetayo Dauda, Afeez Salami. Geonets and Geotextiles as Leachate Containment Materials in Landfills [J]. Journal of Civil Engineering and Architecture,2011(2):23-28.
- [4] Xiao Zhaoyun. Hdpe Geomembrane-geotextile Interface Shear Properties Determined by Large Size Direct Shear Test [J]. Engineering Mechanics, 2010(12):186-191.
- [5] 薛继连,陈文化,刘放民,等. 盐渍土软土地区重载铁路路基修建技术[M]. 北京:科学出版社,2009.
Xue Jilian, Chen Wenhua, Liu Fangmin, etc. Construction Technology of Heavy Haul Railway Roadbed on Saline and Soft Soil [M]. Beijing: Science Press,2009.
- [6] 陈文化,赵成刚,曾巧玲. 地基的温度场和湿度场的数值模拟及人工边界[J]. 岩土工程学报, 2000(5):545-548.
Chen Wenhua, Zhao Chenggang, Zeng Qiaoling. Artificial Boundary Conditions and Simulation of Temperature and Moisture of Subsoil [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2000(5):545-548.
- [7] Chen Wenhua. Test Study on Strength and Velocity of Longitudinal Wave of Crushed Stone Concrete[J]. Key Engineering Materials, 2005(302):451-459.
- [8] Chen Wenhua. Test on Bonding Mechanical Properties of Cement-Dried Sand When Filling in Small Diameter and Ultra Deep Borehole[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2014(19):993-1002.

3 结论

(1) 盐池水、海水、重载长期作用、盐渍土路基干湿