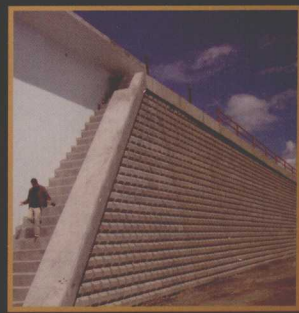
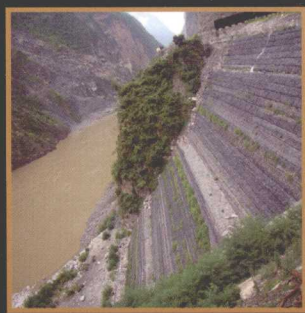


土工合成材料工程与 可持续发展

——第八届中国土工合成材料学术会议论文集

李广信 严 驰 李树奇 主 编



人民交通出版社
China Communications Press

土工合成材料工程与可持续发展

——第八届中国土工合成材料学术会议论文集

李广信 严 驰 李树奇 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本论文集汇集了2012年第八届土工合成材料学术会议近百篇论文。内容包括土工合成材料的基本原理与特性,土工合成材料的设计理论、应用技术、测试方法及产品研发等方面的研究成果,反映了近年来水利水电、港口航道、公路铁路、机场建设、建筑市政、环保生态等工程领域的研究水平和发展趋势,对今后相关领域的实践和发展具有理论指导意义和应用参考价值。

本论文集可供土木、建筑、材料和环境等行业的技术人员和大专院校有关师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土工合成材料工程与可持续发展:第八届中国土工合成材料学术会议论文集/李文信,严驰,李树奇主编. —北京:人民交通出版社,2012.5
ISBN 978-7-114-09780-5

I. ①土… II. ①李…②严…③李 III. ①土木工程—合成材料—学术会议—文集 IV. ①TU53-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第080888号

书 名: 土工合成材料工程与可持续发展
——第八届中国土工合成材料学术会议论文集

著 者: 李广信 严 驰 李树奇

责任编辑: 刘永芬

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880 × 1230 1/16

印 张: 33.5

字 数: 858 千

版 次: 2012年5月 第1版

印 次: 2012年5月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09780-5

定 价: 180.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

土工合成材料工程与可持续发展

——第八届中国土工合成材料学术会议论文集

主办单位

中国土工合成材料工程协会
国际土工合成材料学会中国委员会

承办单位

天津大学
中交天津港湾工程研究院有限公司

协办单位

山东宏祥化纤集团有限公司
河北省水利水电勘测设计院
河北工业大学
青岛旭域土工材料股份有限公司
铁道第三勘察设计院集团有限公司
天津市水利科学研究院
天津市政工程设计研究院
天津市汉高德瑞实业有限公司
天津市兴荣非织造布有限公司
山东莱芜新甫冠龙塑料机械有限公司
中国水利学会河口专业委员会
上海市水利发电工程学会
天津中联格林科技发展有限公司
江苏省宜兴市鑫泰岩土科技有限公司
《水利学报》编辑部
《岩土工程学报》编辑部
《中国港湾建设》编辑部

土工合成材料工程与可持续发展

——第八届中国土工合成材料学术会议论文集

编 委 会

主 任 李广信

副 主 任 严 驰 李树奇

委 员 (按姓氏读音排列)

白建颖 包承纲 蔡正银 程晓陶 李雪萍

束一鸣 唐晓武 王正宏 徐 超 杨广庆

叶国良 张美燕 张孟喜

前 言

中国土工合成材料协会第八届中国土工合成材料学术会议于2012年5月22~25日在天津召开,会议由中国土工合成材料工程协会、国际土工合成材料学会中国委员会主办,天津大学、中交天津港湾工程研究院有限公司承办。会议以“土工合成材料与可持续发展”为主题,对水利水电、港口航道、公路铁路、机场建设、建筑市政、环保生态等工程领域中土工合成材料的应用技术、理论研究、检验测试、产品创新及生产工艺技术等成果和实践经验进行广泛的交流与研讨,旨在促进土工合成材料在相关工程及研究领域内的技术理论和应用水平的提高。

会议共收到论文107篇,经论文编审委员会评审,在本论文集中共收录其中的88篇。其中包括:综合报告7篇,加筋技术39篇,防渗反滤23篇,环境土工9篇,产品特性与测试10篇。

随着我国国民经济的快速发展,相关行业都在土工合成材料工程方面积累的丰富的实践经验,同时也给土工合成材料工程提出了许多新的研究课题,这必将推动我国土工合成材料工程理论研究的深入和应用水平的提高。

向支持本届会议召开的企事业单位、向为本届会议撰写论文的作者、向为本论文集出版而辛勤工作的人员致以深深的谢意。

编委会
2012年5月

目 录

一、综合报告

1. 土工合成材料在水运工程中的应用 李树奇 叶国良 侯晋芳(3)
2. 息壤与土工合成材料 李广信(17)
3. 工后塑料排水板综合性能试验研究 董志良 王波(23)
4. 土工合成材料在公路工程中的应用 邓卫东(31)
5. 土-土工合成材料相互作用试验与界面特性 徐超(41)
6. 目前加筋土结构设计中存在的主要问题 包承纲(50)
7. 从我国土工合成材料大发展中试论全面改革创新的重要性 王育人(53)

二、加筋技术

1. 某高原机场加筋土高边坡土工材料应用研究 朱方海(61)
2. 土工格栅在砂土中的界面摩擦特性研究 赵川 窦远明 耿敏(70)
3. 用简化的水平条分法分析加筋土挡墙的稳定性 阮晓波 孙树林(74)
4. 土工合成材料拉拔应力分布规律研究 刘续 唐晓武 申昊(80)
5. 高土石坝坝坡的土工格栅抗震加固措施研究 朱亚林 孔宪京 邹德高(85)
6. 土一格栅界面剪切刚度影响因素的大型直剪试验研究
..... 邹维列 王协群 温家华 庄艳峰 张俊峰(93)
7. 加筋土挡墙设计及模型试验研究 袁茂林 王宁 王新科 时伟(98)
8. 加筋土结构顶钢护栏碰撞试验研究
..... 王金忠 顾启英 彭程 汤弘 赵刚 何波(103)
9. 材料蠕变特性对软土地基加筋土挡墙长期性能的影响 邹超 汪益敏 高水琴(108)
10. 基于数值模拟的软基临时性复合土工路面作用机理分析 徐倩 樊军 梁进军(115)
11. 桩承式加筋路堤离心模型试验研究 徐超 吴迪 高彦斌 杨阳 王潇宇(119)
12. 关于土工合成材料加筋设计的若干问题 李广信(126)
13. 加筋土工程设计参数取值方法研究 丁金华 包承纲 陈仁朋(134)
14. 土工格栅加筋土挡墙设计的比较 乔丽平(142)
15. 废旧轮胎条加固岸堤影响分析 李丽华 肖衡林 唐辉明 孙龙 陈辉(149)
16. 土工格栅返包加筋土路基变形规律的数值模拟 罗玉珊 徐超 王进 杨帆(154)
17. 充泥管袋加筋设计的简化计算 王永庆 丁丽(160)
18. 土工格栅拉伸特性试验分析 程和堂 周乔勇 陈丽丽 王旭龙 杨广庆(164)
19. 路堤荷载下柔性桩一网复合地基差异沉降研究 周亦涛 杨广庆 吕鹏(167)
20. 加筋尾矿砂三轴试验研究 周乔勇 张京波 杨广庆(175)
21. 加筋土挡墙设计方法对比分析 郭强 杨广庆 沈立森 程和堂(179)
22. 加筋土挡墙拉筋轴向应力分布规律研究 杨广庆 周亦涛 周乔勇(189)

23. 短加筋土挡墙数值模拟与实例分析 胡 荣 徐 超 朱 洪 罗玉珊(194)
24. 高速公路路基加宽土工格栅加筋优化技术研究
..... 沈立森 杨广庆 程和堂 郑瑞君 陈君朝(199)
25. 刚性基础上土工格栅加筋土挡墙现场试验研究
..... 杨广庆 周亦涛 熊保林 Liu Huabei 戴征杰(207)
26. 关于路堤刚—柔性桩复合地基应用“自预膜壳结构法”的探讨——自预倒锥膜壳结构物
..... 王海清 宫慧范(214)
27. 关于桩承柔性筋垫层法在计算中几个假设的探讨 王海清 宫慧范(219)
28. 关于路堤软基处理采用“自预膜壳结构法”的探讨——自预倒筒膜壳结构物
..... 王海清 宫慧范(225)
29. 加筋土强度影响因素的三轴试验研究 雷胜友 陈 辉 刘 昭(230)
30. 钢网面板加筋土挡墙动力特性研究 黄向京(236)
31. 多级加筋土复合式挡墙的试验研究 周亦涛 薛晓辉 杨广庆 Liu Huabei 俞 缙(244)
32. 黏土地区土工格栅加筋土高边坡试验研究 孙 倩 杨广庆 王子鹏(250)
33. 土工格栅与锚杆结合使用的应用研究 陈学东 王旭龙 陈丽丽 戴征杰 岳景哲(258)
34. 土石混合填料在土工格栅加筋土挡墙中的应用 周乔勇 陈丽丽 王旭龙 褚景英(262)
35. 土工格栅加筋土高挡墙的施工技术 陈学东 王旭龙 陈丽丽 岳景哲(265)
36. 桩网结构路基荷载传递特性试验研究 蔡德钧 陈 锋 史存林 叶阳升 张千里(269)
37. 土工格栅在 CFG 桩复合地基的应用与有限元分析 王 建 吴连海 袁小波 周 俊(274)
38. 一种新型桥涵台背填料技术 宋稳明 汪益敏 陈页开(279)
39. 土工袋加固软土地基现场荷载试验的数值模拟 刘斯宏 王柳江 李 卓 孙 来(286)

三、反 滤 防 渗

1. 有限元法在土工膜气场分析中的应用 刘一龙(295)
2. 土工膜缺陷的孔隙压力分布模型及仿真分析 刘一龙(301)
3. 土工充淤模袋排水保土特性模型试验研究 吴月龙 王海鹏 程万钊 秦恩磊 水 君(306)
4. 复合土工膜防渗施工接缝加固方法研究 蒋学行 李翠玲(311)
5. 钠基膨润土在不同条件下的膨胀行为研究 朱天戈 者东梅 武 鹏 杨化浩(314)
6. 单向拉伸对土工织物反滤性能的影响 唐 琳 唐晓武 余 巍(318)
7. 水平排水管防治不同厚度降雨型滑坡效果模拟 唐 琳 唐晓武 刘 维 张泉芳(323)
8. 土工织物电渗排水实验研究 曹明杰 束一鸣 吕 鑫 张宪雷(330)
9. 土工织物反滤淤堵实验研究 曹明杰 易进蓉 宋 倩 吕 鑫(335)
10. 土石坝防渗土工膜缺陷成因及渗漏特性探析 岑威钧 王 蒙(340)
11. 不同充淤模袋土工材料挂袋试验研究 龚丽飞 唐彤芝 吴月龙 王海鹏 张 红(345)
12. 糙面复合土工膜在南水北调工程中的推广应用 崔占明 孟灵晋 刘好武(351)
13. 复合土工膜在水利工程中的应用情况及自排气防水卷材在水利工程中的开发和应用
..... 崔占明(354)
14. 关于竖向加筋和抽、排水及反滤土工合成材料产品的研制及其应用的探讨
..... 王海清 海晓丹 宫慧范(358)
15. 土工合成材料在加筋与反滤中试验和应用的若干观点、理论、方法探讨 王海清 宫慧范(361)
16. 土工合成排水设备采用某些排水计算方法的介绍 王海清 宫慧范(367)
17. 土工膜焊缝质量控制及破坏原因分析 孙叶芝 束一鸣 吴海民(372)

18. EPS 颗粒改良膨胀土的膨胀特性、冻胀特性试验研究 徐丽丽 刘丽佳 曲祥民(376)
19. 土工合成材料垂直渗透性能试验研究 钱 巍 孙 冰 于双双 严 驰(379)
20. 真空预压法加固大面积吹填淤泥土效果分析 朱 平 赵立致 严 驰(383)
21. 在暴露的土工膜下的膨润土防水毯(GCL)发生面层间的原位分离
Robert M. Koerner and George R. Koerner [美] 戚晶磊 张 伟 译(388)
22. 增压真空预压淤泥固结技术的实验研究(超压真空密实法)
..... 金亚伟 崔俊杰 戚家华 白成全 张铁锁(397)
23. 谈超软土地基处理的来由、实践、认识及建议 段玉玲 谢月庚 张米军 王育人(406)

四、环境土工

1. 人工净水草水质净化技术研究 郝志香 张 振 郎荣良(411)
2. 土工合成材料在海水淡化预处理取水工程中的应用 刘天韵 诸葛爱军 阙卫明(414)
3. 新型净水合成材料人工净水草的特性与应用 杨 鹏 郎荣良 张克强 郎克增(418)
4. 土工织物在龙口保护及合拢中的应用 陆健辉 阮龙飞(423)
5. 一种新型填料用于污水处理的实验研究 冀思扬 王增长 郎荣良(429)
6. 人工净水草的研制与在水净化中不同铺装形态的研究 郎荣良(438)
7. 挥发性气体通过复合覆盖层的一维扩散解析解 关 驰 谢海建 唐晓武 陈云敏(441)
8. 土工织物在连云港陆域形成工程中的应用 白 帆 杨华东 武 霄(448)
9. Polyethylene Geomembrane for Liquid Containments H. B. Ng David Qi(453)

五、产品特性及测试

1. 《土工合成材料测试规程》修订内容介绍 杨明昌(465)
2. 侧限约束条件下 HDPE 土工格栅的拉伸特性
..... 董 放 王协群 丁金华 岑 胜 张 静(470)
3. 土工布卷筒式宽条拉伸夹具的研制及其对试验结果的影响 章晓桦 陈 莺(475)
4. 土工合成材料测试标准体系的建立与完善 张鹏程 白建颖(479)
5. 几项土工合成材料测试设备的研制 张鹏程 王 宵(490)
6. 土工膜未暴露和暴露状态下的寿命预测
Robert M. Koerner, Y. Grace Hsuan, George R. Koerner
..... 方远远 白建颖 译(495)
7. 应用 ASP 开发基于 B/S 模式的土工合成材料检测实验室数据管理系统
..... 王 宵 方远远 戚晶磊(507)
8. 土工合成材料检测技术中的常见问题及影响 谢仁红 董志良 郭伟玲 周庆华(512)
9. 关于有色土工布一些问题的探讨 裴 生(518)
10. 聚乙烯土工膜中碳黑分散度研究 龙新文 者东梅 朱天戈(520)

一、综合报告

1. 土工合成材料在水运工程中的应用

李树奇 叶国良 侯晋芳

(中交天津港湾工程研究院有限公司,港口岩土工程技术交通行业重点实验室,
天津市港口岩土工程技术重点实验室 天津)

摘要 土工合成材料在水运工程中应用已近40年,应用范围涉及水运工程各个领域。本文简要介绍了水运工程土工合成材料规范的修订工作,并对土工合成材料在水运工程各个领域中所发挥的作用、功能和实际应用进行了总结,指出随着水运工程行业大力发展,新材料的不断出现,土工合成材料使用会更加广泛。

关键词 土工合成材料 工程应用 水运工程

1 引言

土工合成材料是用于土木工程等工程建设用聚合物材料或聚合物工程材料的总称,通常分为土工织物、土工膜、特种土工合成材料、复合土工合成材料四类,起着加筋、防护、过滤、排水、隔离及防渗等作用^[1]。

早在20世纪50年代欧美国家开始使用土工合成材料,发展至今,土工合成材料已在大多数发达国家的水运工程领域广泛应用。国内水运工程土工合成材料的生产、应用从1974年开始^[2],至今已将近40年,广泛应用于码头、航道、内河、软基加固及围堰等工程中,发挥着重要作用。土工合成材料具有价格便宜、施工方便等特点,可节约工期,节省造价,在实际应用中具有显著的技术经济效益。

水运工程中,常见的土工合成材料有土工织物反滤层、加筋土垫层、加筋土岸壁、土工织物充填袋、模袋混凝土、软体排、塑料排水板、土工膜等。其中土工织物反滤层顾名思义是起反滤作用,码头、护岸、航道整治、围堰工程应用较多。加筋土垫层和加筋土岸壁主要是加筋作用,加筋垫层是由土工织物与垫层组成,常用于堤底,增加堤的稳定性;加筋土岸壁多用于内河码头岸壁,通过合理布置土工合成材料增强岸壁稳定性。土工织物充填袋和模袋混凝土均是将土工织物做成袋状,内充填材料而成。土工织物充填袋一般是充填砂、砂土混合物等,以及充填水泥与淤泥形成的固化土,通常用作堤心材料;而模袋混凝土则是充填混凝土,常用于护面。软体排的功能是护底、固滩,在航道工程中较为常见。塑料排水板常用于软土地基加固工程中,作为排水通道,使得水快速排出,加固地基。而土工膜则主要是起防渗作用,单纯或与土工织物加工形成复合土工膜应用于工程中。

随着水运工程的发展,各种土工合成材料突破传统使用领域,在水运工程各个领域灵活使用,并作出相应的改进和发展,应用的范围更加广泛。同时,在工程应用过程中,新材料、新工艺、新性能不断涌现,土工合成材料在水运工程中的应用更加形式多样,因此,土工合成材料在水运工程中具有良好的应用前景。

2 规范修订情况

水运工程中与土工合成材料相关的规范主要是《水运工程土工织物应用技术规程》(JTJ/T 239—98)^[3](以下简称98规程),经修订后称为《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTJ 239—2005)^[4],相比原规范,修订的主要内容有:

- (1) 名称“土工织物”改为“土工合成材料”，“规程”改为“规范”；
- (2) 总则中增加了“1.0.3 本规范结构设计采用定值单一安全系数法。”；
- (3) 将原来“土工织物材料”一章删除，改为“基本规定”；
- (4) 根据土工合成材料的发展，增加了“软土排”一章，包括软土排的设计、施工等；
- (5) 土工织物滤层设计内容中增加了“土工织物防淤堵性能指标”；
- (6) 调整了加筋垫层设计计算；
- (7) 调整“直立加筋土岸壁”为“加筋土岸壁”，并增加了土工格栅拉力及锚固长度的计算；
- (8) 调整模袋混凝土稳定性计算；
- (9) 删去原规程中对土工合成材料性质试验的规定；
- (10) 将各种材料“施工与质量检验”改为“施工”，与质量检验相关的内容删除。

由此可以看出，规范修订工作根据土工合成材料的发展，总结实际工程设计、施工经验，做了较大的改动，增加了滤层和加筋土岸壁的设计，软土排设计、施工，对加筋土垫层设计则进行了调整和修改。

98 规程对加筋垫层的抗滑作用按单一的设计抗拉强度计算，但加筋垫层的实际抗滑作用与堤体的填筑高度、材料强度等有关，若不考虑这些因素，当堤体的抛填高度较小时，计算出的安全系数会有偏大的情况存在，影响堤坝等的安全。因此，在规范修订时修改了加筋垫层抗滑作用，考虑了抛填高度等，计算的安全系数较为合理。

2005 规范修订如下：厚层软基可采用圆弧滑动面法进行计算(图 1)，抗滑稳定安全系数可按下列公式进行计算^[4]：

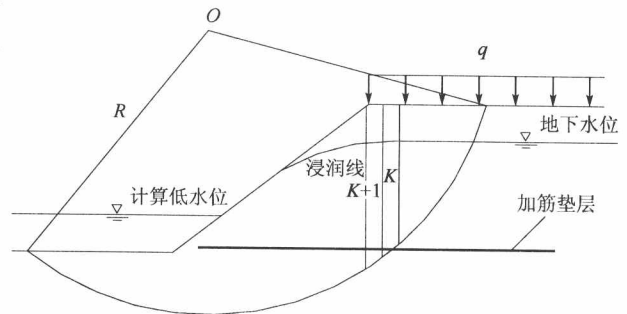


图 1 圆弧滑动面法稳定验算图示

$$K_{GR} = \frac{M_r + \Delta M_g}{M_0} \quad (1)$$

$$M_r = R \sum_{i=1}^n [c_i L_i + (q_i b_i + W_i) \cos \alpha_i \tan \phi_i] \quad (2)$$

$$M_0 = R \sum_{i=1}^n (q_i b_i + W_i) \sin \alpha_i \quad (3)$$

$$\Delta M_g = \eta_g R K_{GR} \left\{ \sum_{i=1}^k (q_i b_i + W_i) \sin \alpha_i - \frac{1}{K_{GR}^{i=1}} \sum_{i=1}^k [c_i L_i + (q_i b_i + W_i) \cos \alpha_i \tan \phi_i] \right\} \quad (4)$$

式中： K_{GR} ——抗滑稳定安全系数，取 1.1 ~ 1.3；

M_r ——不计加筋垫层的抗滑力矩(kN·m/m)；

ΔM_g ——加筋垫层产生的抗滑力矩(kN·m/m)；

M_0 ——滑动力矩(kN·m/m)；

R ——滑弧半径(m)；

n ——土条总个数；

c_i ——第 i 个土条滑动面上土的粘聚力(kPa)；

L_i ——第 i 个土条滑弧的弧长(m)；

q_i ——第 i 个土条上的附加荷载(kPa)；

b_i ——第 i 个土条的宽度(m)；

W_i ——第 i 个土条的重力(kN/m)，浸润线以下计算低水位，以上滑动力矩计算时取土体饱和重度，抗滑力矩计算时取土体浮重度；

α_i ——第 i 个土条滑弧中点切线与水平线的夹角($^\circ$);

ϕ_i ——第 i 个土条滑动面上土的内摩擦角($^\circ$);

η_g ——经验系数,取 0.5~0.75;

k ——以滑弧通过堤顶为起点至加筋垫层处的土条个数。

现在该规范已颁布近 6 年,这期间,土工合成材料迅猛发展,出现了很多新材料、新技术,其应用领域也有了新的扩展。因此,将对规范再进行一次修订,目前已在申报阶段,本次修订工作主要将增加防渗垫层设计、施工、土工合成材料在内河工程中的应用及土工合成材料检测等方面内容。

3 土工合成材料在水运工程实践中的应用

3.1 土工织物反滤层

3.1.1 功能及应用

反滤是土工合成材料的一项主要功能,水运工程中往往采用 1~2 层土工布就可代替传统的由粗到细过渡砂石料反滤层,其施工效率是传统施工方法的 5~10 倍,常用于码头工程、护岸工程、航道岸坡及围堰工程等的反滤层。

反滤层材料要满足保土性能、透水性能和防淤堵三方面性能,可选用编织布、机织布和无纺布,具体选择哪种材料,需根据被保护土体的土性、土工织物的使用条件及环境、施工方式等情况综合确定。土工织物反滤层在使用过程中在上覆压力作用下,孔径和渗透性发生变化,造成淤堵,使得土工织物反滤层失去反滤功能应引起重视。反滤层施工的关键是保证铺设的连续、完整,不得有损坏,并使土工布能适应结构的允许变形。

土工织物反滤层在水运工程中应用普遍,长江口深水航道整治一期工程就曾采用 $450\text{g}/\text{m}^2$ 无纺布作为反滤层保护袋装砂,用量达 39 万 m^2 ;在长江口航道清淤护岸工程,采用 $400\text{g}/\text{m}^2$ 无纺布与黄砂、碎石组成反滤层保护粉细砂夹淤泥,用量 10 万 m^2 ;澳门国际机场人工岛护岸采用 $400\text{g}/\text{m}^2$ 无纺布与碎石组成反滤层,用量 18 万 m^2 ;还有黄骅港引堤工程、天津港东突堤码头工程等都采用了大量的土工织物反滤层。这些反滤层在实际应用中均发挥了作用,使用效果良好。

3.1.2 典型工程实例

天津临港产业港区某围埝工程采用斜坡堤结构,总长 5511m,典型断面形式如图 2 所示。反滤层采用 $400\text{g}/\text{m}^2$ 的长丝无纺土工布,厚度 3mm,纵、横向断裂强度大于 $12.5\text{kN}/\text{m}$,纵、横向断裂伸长率 40%~80%,CBR 顶破强度大于 2.1kN ,等效孔径 O_{90} 为 $0.07\sim 0.1\text{mm}$,垂直渗透系数 $0.2\sim 0.002\text{cm}/\text{s}$,在堤内坡与袋装碎石组成反滤层,保护堤心材料。该工程土工布反滤层用量约 20 万 m^2 ,实际应用效果良好。

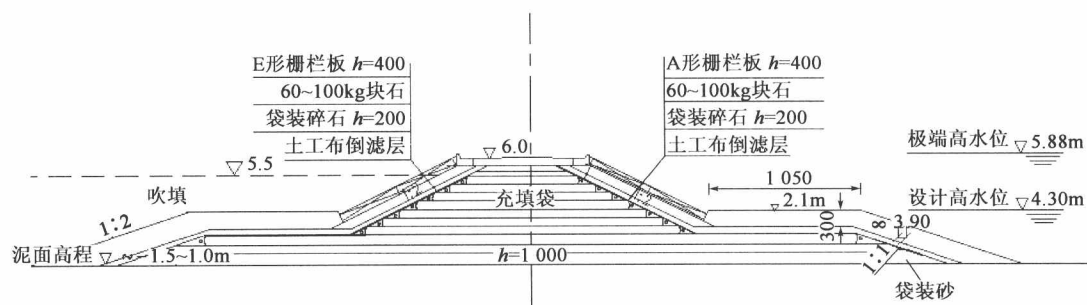


图2 天津临港产业港区某围埝工程结构断面

3.2 加筋垫层

3.2.1 功能及应用

在加固处理防波堤、护岸、临时围埝、海堤等软基,可采用土工合成材料加筋垫层。土工合成材料要具有较高的抗拉强度和低的延伸率,可以与土共同工作等特性。加筋垫层在工程中的作用有:

- (1) 约束堤体和地基土的侧向变形;
- (2) 使地基的附加应力均匀化;
- (3) 减少地基的沉降和不均匀沉降;
- (4) 提高边坡的整体稳定性;
- (5) 提高地基的承载力。

加筋垫层的基本机理是通过铺在堤底的土工布与砂垫层共同组成连续完整的加筋垫层,这种加筋垫层能够保持基底的完整连续,通过土体与筋材间的相互摩擦作用,约束浅层地基的侧向变形,减小侧向挤出;改变填土对软土表面摩擦力的方向,改变软基浅部的位移场和应力场,均化应力分布,使加筋土中的土工布和土体都能较好发挥自己的潜能,从而提高地基的承载力和稳定性,调整不均匀沉降^[5]。土工合成材料加筋垫层在堤基层不仅起到加筋作用,同时还起到隔离和排水作用,形成一个良好的排水面,从而促进软土地基的固结^[6]。

加筋垫层在防波堤、护岸等工程中广泛使用,其中在青岛前湾港区防波堤工程中加筋垫层采用土工布 45 000m²,天津新港五期围埝应用 41 250m²,黄骅港防波堤应用 400 000m²,青岛港油港改造护岸工程应用 13 000m²。

3.2.2 典型工程实例

张敬等^[5]总结了加筋垫层在黄骅港的应用。黄骅港南北防波堤工程是我国首次在港口工程中大面积应用高强土工合成材料加筋垫层技术进行海上软基加固的工程。该防波堤由南北两堤组成,堤长分别为 5 030m(南防波堤)、4 082m(北防波堤),直接修建在表层为淤泥的软土地基上。土工布选用高强的聚酯机织布,重量为 800g/m²,纵向极限抗拉强度大于 200kN/m,纬向极限抗拉强度大于 120kN/m,延伸率不小于 25%。防波堤的断面结构形式如图 3 所示。

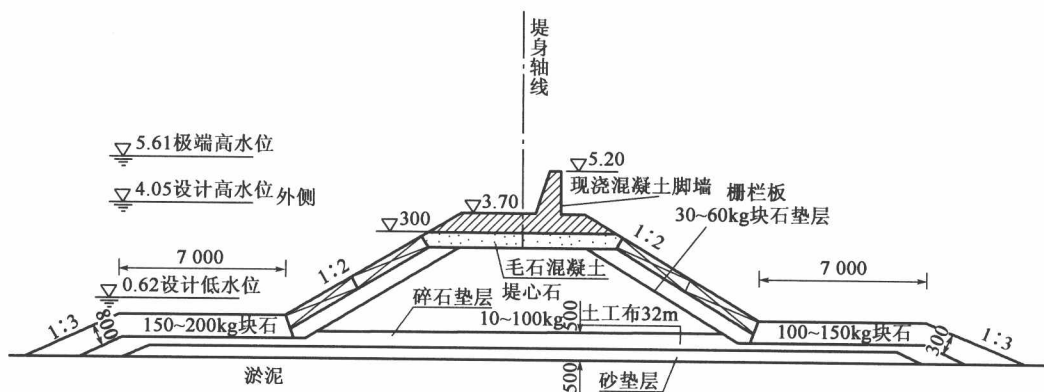


图3 防波堤断面结构

堤底 0.5m 厚的砂垫层与土工布组成加筋垫层,根据断面监测数据,土工布拉力发挥程度只有设计拉力的 13.9% ~ 34.0%,堤中心处的拉力最大。由图 4 可知,土工合成材料拉力与沉降差有关,沉降差增大,拉力也增大,当堤基中心沉降达到 60mm 左右时,拉力随沉降急剧增大,说明土工织物加筋垫层的设置对堤底的差异沉降起到了抑制作用。

3.3 加筋土岸壁

3.3.1 功能及作用

加筋土岸壁是一种新型的水工结构,由面板、筋材、填料等组成的挡墙结构,具有造价省、工期短、结构简单、施工方便,对地基承载力要求不高的特点。加筋土岸壁是多用于内河航道护岸和中小型码头岸壁,土工合成材料在其中起到加筋的作用^[7]。

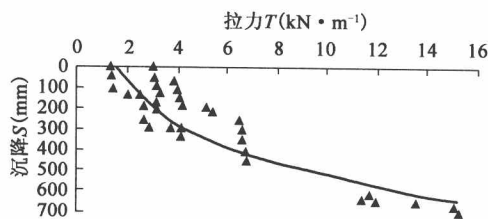


图4 土工合成材料拉力-沉降关系

加筋土岸壁基本可分为两种:包裹式加筋挡墙和条带式加筋挡墙。包裹式加筋挡墙是采用机织土工织物将填料分层包裹,直至墙顶起到加筋作用,或者采用土工格栅、土工网等,在填料中水平分层铺满来起到加筋作用。条带式挡墙则采用高强度、高模量表面加糙的特制条带或扁条带等起到加筋作用。目前,内河码头岸壁条带式加筋挡墙结构使用较多。

加筋土挡墙设计应进行加筋材料抗拉强度和锚固长度计算、岸壁稳定计算、沉降量计算和墙面板块构件计算。而施工的关键是筋带的铺设压实和墙面板后排水和滤层的施工,筋带铺设应拉直、拉紧,后半部分均匀分布在填层中,方可有效发挥土工合成材料的作用。

3.3.2 典型工程实例

加筋土岸壁在长江中上游地区使用较多,像重庆地区在河岸整治、内河港口码头建设及防洪工程中,大量采用加筋土岸壁技术,在长江、嘉陵江两岸及乌江等地修筑了长约 17.8km 的加筋土河岸和码头,三峡移民迁建的不少工程中也采用加筋土岸壁技术。

重庆渔洞长江河岸整治工程修建 2.7km 长的河岸线,是集城市防洪、国土开发和园林绿化、城市发展和港口码头建设为一体的一项城市河岸综合整治工程。工程场地为长江低河漫滩,洪水期淹没,枯水期出露。根据使用要求和场地自然条件,提出了直立式加筋土岸壁护岸方案、衡重式条石直立式挡墙护岸方案、铅丝笼加钢筋混凝土面板护坡方案等 3 个方案。经过全面比较,加筋土结构方案仅是衡重式条石挡墙方案造价的 58.4%,节约投资近 2 000 万元,是铅丝笼护坡方案造价的 85.1%,节约投资约 600 万元。施工上,加筋土结构方便、快速,提高工效好几倍,在一个枯水季节就可施工完毕,加筋土结构方案显示出了较大的优越性,故作为最终方案。

该工程的码头和护岸挡墙均采用加筋土结构。码头和护岸工程全长 3 138m,墙高 12 ~ 19.5m,大部分墙高在 15m 以上,加筋土挡墙墙面面积 5.5 万 m^2 。加筋土墙采用双十字形钢筋混凝土面板、条带式加筋带、天然砂砾石填料。工程主体完工后,先后经历了 1996 年、1997 年、1998 年汛期各种洪水的考验,尤其 98 年长期较大洪水的考验,通过断面上布置仪器的观测结果,显示在汛期墙体变形稳定,经受住了较大洪水的考验。

3.4 土工织物充填袋

3.4.1 功能及应用

土工织物充填袋是利用土工布制作成管状袋,向其内充填以疏浚材料或泥浆等的一种土工特种材料,具有隔离、排水和防护功能^[8]。利用充填袋可构筑堤防、丁坝和砂丘等结构物,目前已广泛地应用于海岸防护、抗洪抢险、冲刷防治、填海造陆等领域中,发挥着重要的作用。图 5 为围埝工程中的土工织物充填袋。

土工织物充填袋目前向大型化发展,充填材料、充填袋布、充填设备及施工工艺是土工织物充填袋应用中考虑的几个方面。中粗砂、粉砂、中粗砂、粉砂与疏浚土的混合物、粉土及淤泥土掺入一定量水泥形成的固化土都可以用作充填材料;袋布一般采用土工布缝制而成,水下应用一般采用丙纶纺织布,对于海上施工,为保证袋体有足够的强度,建议采用机织土工布,对于近海且掩护条件好的地方也可采用编织土工布;不同的充填材料应采用不同的充填设备。对砂性土、粉土应采用水力充填泵进行充填。对充填固化土的设备,采用高压混凝土泵作为充填设备较为合适。

目前国内充填袋已在多个工程中使用,形成了较成熟的施工工艺,但具体的设计规范缺乏,张文斌,谭家华^[9]对土工合成材料充填管状袋在水利和海岸工程应用中存在的实际问题,引入了美国爵硕大学

(Drexel University) 的土工合成材料研究中心(Geosynthetic Research Institute,简称 GRI)的有关土工织物充填管袋的材料和施工规范,指出设计时应在综合考虑充填材料、土工合成材料和地基等基础上,通过有限元计算和模型试验的方法展开强度研究,并应开展海洋浪、流等外载荷的计算,进行稳定性的理论和试验研究。国内不少学者在开展充填袋方面的研究。

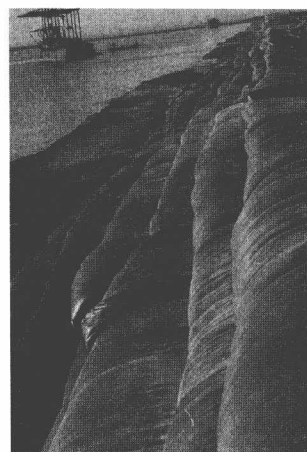


图 5 土工织物充填袋围埝

3.4.2 典型工程实例

土工织物充填袋多用作堤心材,在国内外的码头、防波堤、围埝等工程中大量使用,像长江界牌航道整治工程应用土工织物充填袋 $450\,000\text{m}^3$,黄骅港一期工程引堤南护岸应用 $2\,910\,000\text{m}^3$,长江口深水航道整治一期工程应用 $229\,100\text{m}^3$,太仓中远国际城港区护岸应用 $163\,270\text{m}^3$,可以看出,土工织物充填袋的使用量可观。

杨明江等^[10]通过论证在阿联酋 NAJMAT 码头工程中采用了充砂袋围埝,断面如图 6 所示。相比土围埝、钢板桩围埝,充砂袋围埝造价低的明显优势,因此袋布采用 $200\text{g}/\text{m}^2$ 抗老化聚丙烯裂膜丝编织布,具体指标见表 1。充填材料利用港池基坑开挖的砂料,填充后每层砂袋厚约 80cm ,建成后的围埝止水效果良好。

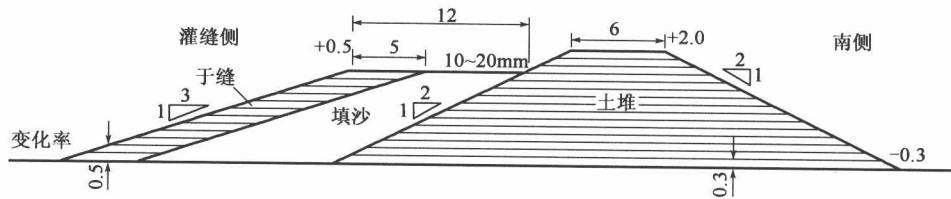


图 6 结构断面图

抗老化聚丙烯裂膜丝编织布性能参数

表 1

序号	项目	参数	序号	项目	参数
1	单位面积质量 (g/m^2)	≥ 200	5	CBR 顶破强度 (kN)	3.2
2	纵向抗拉强度 (kN/m)	≥ 30	6	等效孔径 O_{90} (mm)	0.07 ~ 0.5
3	横向抗拉强度 (kN/m)	0.7 ~ 1.0	7	垂直渗透系数 (cm/s)	10^{-2} ~ 10^{-5}
4	延伸率 (%)	≥ 25	8	抗紫外线 (%)	70 (500h)

马燕^[11]在黄骅港一期工程引堤南护岸东侧 3075m 和横堤采用大型充泥袋结构。

充泥袋袋布采用聚丙烯编织袋,质量为 $132\text{g}/\text{m}^2$,经向抗拉强度 $\geq 750\text{N}/50\text{mm}$,纬向抗拉强度 $\geq 800\text{N}/50\text{mm}$ 。袋布拼接缝制采用锦纶线,拼接处折叠 3 层,宽度为 $5 \sim 10\text{cm}$,缝 3 道线。袋内充填物要求粒径小于 0.05mm 的颗粒含量小于 10%,充填 5d 后的干重度 $\geq 15\text{kN}/\text{m}^3$ 。保土性、透水性和抗拉强度满足要求,充填料就地取材为引堤地基亚砂土,施工方法为水力充填。根据断面宽度设计大型充填袋的宽度。采用土工织物充填袋作为堤心结构,解决了当地砂石料匮乏的困难,造价低廉,比抛石堤造价低 40%。

田庆利等^[12]在天津港南疆港区 1 号靠船墩改造工程中采用模袋固化土填筑围埝取得成功。其断面见图 7。该工程位于天津港南疆港区旧防波堤区南侧滩涂地带,设计长度 2 174.4m,其使用功能为防浪兼作吹填围埝。围堰高度为 4m,由 7 层模袋固化土构成。

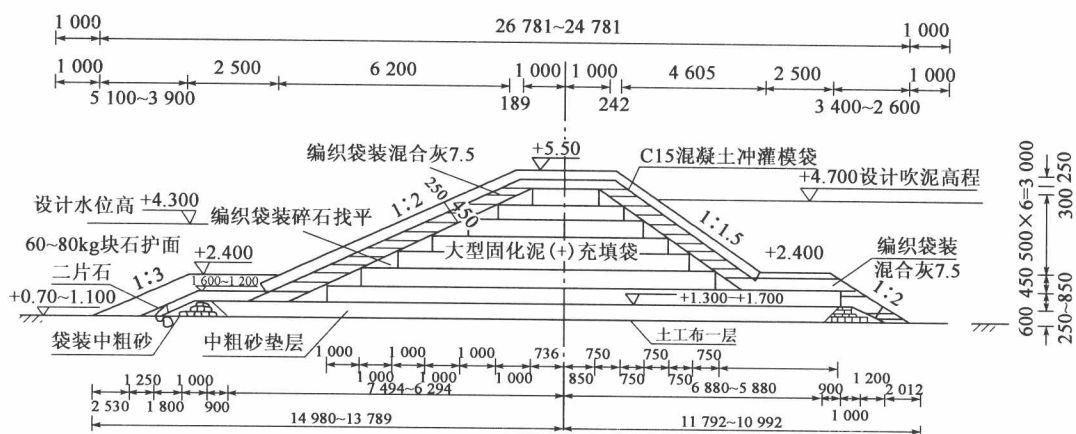


图 7 南疆港区 1 号靠船墩改造工程断面图