

土工合成材料 防渗排水防护 设计施工指南

束一鸣 陆忠民 侯晋芳 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

土工合成材料 防渗排水防护 设计施工指南

束一鸣 陆忠民 侯晋芳 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书分为防渗篇、排水反滤篇和防护篇共计3篇31章，其中，防渗篇13章，排水反滤篇10章，防护篇8章；还有介绍国内土工合成材料防渗、排水、防护各类产品及其性能的附录。

本书以单独成章的形式阐述水利、水陆交通、环境保护、生态维护、灾害防治等领域里20多种主要工程建筑、工程设施和工程措施中发挥防渗、排水、防护关键作用或重要作用的土工合成材料构件或结构，着重阐述土工合成材料在整体结构中的布置和设计方法、计算校核方法及其特点、适用条件；对于重要的设计思想，或者被一些不正确的现行做法所误导而形成习惯思维的重要设计原理，也在书中作出简要阐述。防渗篇专门设置一章，阐述发挥防渗主体作用的土工合成材料的施工方法，其余都在各章中阐述与设计内容相关的施工流程、施工工艺、施工方法以及施工技术要求。本书不仅在设计、施工的主体内容中包含了20多年的宝贵工程经验，各章还专门集中介绍了相关的工程实例，为读者提供典型工程经验。

本书可作为从事土工合成材料防渗、排水、防护设计及施工的工程技术人员的工具书或专业进修参考书，也可作为相关专业高等院校师生拓展专业技术知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土工合成材料防渗排水防护设计施工指南 / 束一鸣
等编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2020.7

ISBN 978-7-5170-8671-0

. 土... . 束... . 土木工程 - 合成材料 -
防渗材料 - 工程施工 - 指南 土木工程 - 合成材料 - 排水
工程 - 工程施工 - 指南 土木工程 - 合成材料 - 防护工程
- 工程施工 - 指南 . TU53-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第119258号

书 名	土工合成材料防渗排水防护设计施工指南 TUGONG HECHENG CAILIAO FANGSHEN PAISHUI FANGHU SHEJI SHIGONG ZHINAN
作 者	束一鸣 陆忠民 侯晋芳 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京印匠彩色印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 66.75印张 1624千字
版 次	2020年7月第1版 2020年7月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	360.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

由中国土工合成材料工程协会防渗与排水专业委员会组织编写的《土工合成材料防渗排水防护设计施工指南》(以下简称《指南》),历经4年多的努力,最近就要出版,这是土工合成材料防渗、排水、防护技术领域一件值得祝贺的事。

20世纪80年代以来,土工合成材料的防渗、排水、防护功能在我国水利水电、水陆交通、近海开发及保护、生态维护与环境保护、尾矿处理等工程领域发挥的作用日益增多,也使工程整体结构更加安全、经济和可靠。近一二十年来,我国的基础设施建设规模迅速增大,工程设计、施工工艺水平显著提升。利用土工合成材料制成防渗、排水及防护等重要构件,完成了长江口青草沙水库、长江南京以下深水航道整治、上海洋山港深水码头、黄河干流小浪底配套工程西霞院土石坝、穿越膨胀土区域的南水北调中线干渠等标志性工程,并在遍布全国各地的高速铁路和高速公路隧道、城市地下空间、生态维护及环境保护、水土保持、风沙防护等工程中应用。《指南》以科学理论为基础,提炼、总结工程建设中出现的新理念和新技术,并以工程师熟悉的思路加以阐述,体现出科学性、先进性,同时也注重了实用性和可读性,所以,《指南》的出版将在更高层面上促进土工合成材料在工程防渗、排水、防护方面新成果的推广应用。

土工合成材料不仅在我国基础设施建设各个领域中得到广泛应用,工程种类繁多,而且专业知识涉及多个学科,其工程应用所包含的深刻科学与技术内涵远未被完全揭示清

楚，唯有努力践行和不懈探索尚可趋近之。相信本书将成为从事该领域设计、施工等工程技术人员的良师益友，同时促进该领域的技术践行和探索。

中国科学院院士

中国土工合成材料工程协会

专家工作委员会主任

浙江大学教授

陈云敏

2019年2月于杭州

自 20 世纪 80 年代以来，土工合成材料在我国水利水电、水陆交通、近海开发及保护、生态维护与环境保护、尾矿处理等工程领域的应用日益广泛，逐渐成为大土木工程领域的重要建筑材料和结构构件，并使工程整体结构更加安全、经济和可靠。

30 多年来，土工合成材料技术在工程实践中得到长足进步，创建于 20 世纪 80 年代中期的中国土工合成材料工程协会（以下简称“协会”）在土工合成材料工程技术的交流、推广、促进方面发挥了积极的引导作用，协会分别于 1994 年、2000 年组织编写的第一、第二版《土工合成材料工程应用手册》成为土木工程各相关领域广大工程师的良师益友，在指导设计、保证施工质量方面发挥了重要作用。

最近 10 多年来，国内建成了以土工膜为防渗主体的黄河干流西霞院土石坝以及白鹤滩水电站围堰（高 84m）等一批土工膜挡水水头 40m 以上的高围堰，国外建成了由我国设计的老挝南欧江六级软岩面膜堆石坝（高 87m），哥伦比亚建成了高 188m 的土工膜裸露防渗的碾压混凝土重力坝；我国还完成了以土工织物管袋坝为主体的长江口青草沙水库、长江深水航道整治、上海洋山港深水码头等工程。以土工合成材料作为防渗及排水主要构件建成了大量的高速铁路和高速公路隧道，面广量大的环境生态保护、水土保持、风沙防护、城市地下空间等工程中土工合成材料更是发挥着重要作用。与此同时，土工合成材料工程的设计、施工水平和工程可靠性也得到了很大提升。

为了梳理、提炼、总结工程建设中出现的新理念、新材料、新工艺、新技术，在更高层面上推广土工合成材料在工程防渗、排水、防护方面的新成果，中国土工合成材料工程协会防渗与排水专业委员会组织全国该领域的工程技术专家编写《土工合成材料防渗排水防护设计施工指南》（以下简称《指南》），企望以该书更具体地服务于大土木工程领域的工程技术人员。

《指南》编写秉承的原则：一是科学性和先进性，较为系统地梳理、总结最近 10 多年来该领域的新理念、新材料、新工艺和新技术及其创新成果，较为充分地体现我国当前该领域工程技术和科学研究的发展水平；二是实用性和可读性，结合我国国情较为深入地分析、总结国内外工程设计与施工经验，服务于今后一个时期该工程领域从事设计与施工的广大工程技术人员参阅的需要。

在本书的写作上两点需要说明：其一，虽然“手册”的形式作为工具书更加实用，直接告知读者某事该如何做，不必说明为何如此做，但对于有些设计中并不正确的习惯做法或概念不便展开评述，加以澄清，所以选择“指南”这种形式更加合适，主要告知读者如何做，必要时说明为何如此做；其二，区别于一般专著递进式的阐述形式，《指南》以主要工程结构为阐述对象，各章独立阐述相关设计方法与工艺技术，更便于设计、施工技术人员实际使用。

《指南》分为防渗篇、排水反滤篇和防护篇共 31 章内容，其中防渗篇 13 章，排水反滤篇 10 章，防护篇 8 章；

还有介绍国内土工合成材料防渗、排水、防护各类产品及其性能的附录。本书内容未涉及固体废弃物填埋场工程的土工合成材料防渗、排水、防护技术，该内容由协会环境土力学专业委员会或有关专家负责编写。

《指南》以单独成章的形式阐述水利、水陆交通、环境保护、生态维护、尾矿处理等工程领域里 20 多种主要工程建筑、工程设施和工程措施中发挥防渗、排水、防护关键作用或重要作用的土工合成材料构件或结构，着重阐述土工合成材料构件在整体结构中的布置及设计方法、计算校核方法及其特点、适用条件；对于重要的设计思想或者被一些不正确的现行做法所误导而形成习惯思维的重要设计原理，也在书中作出简要阐述。防渗篇专门设置一章阐述发挥防渗主体作用的土工合成材料构件的施工方法，其余都在各章中阐述与设计内容相关的施工流程、施工工艺、施工方法以及施工技术要求。《指南》不仅在设计、施工的主体内容中包含了近 10 多年的宝贵工程经验，各章还专门集中介绍了相关的工程实例，为读者提供典型工程经验。

《指南》编写工作从 2014 年开始，参加本书编写的 76 位作者来自 31 个国家行业及省级设计院、科研院所、高等院校、工程建造企业及产品制造企业，他们在完成本职工作的前提下利用业余时间从事编写工作，经过 5 年多的辛勤努力，历经 3 次统稿修改完成终稿；协会资深专家李广信教授、包承纲教授、杨光煦教授分别主审了防渗篇、排水反滤篇和防护篇，提出了宝贵的修改意见；协会专家

工作委员会主任、中国科学院院士陈云敏教授为本书的撰写给予指导，并为本书作序。

本书的编写、出版得到中央高校建设世界一流大学（学科）和特色发展引导专项资金项目——水利工程学科、江苏高校优势学科建设工程项目——河海大学水利工程、国家自然科学基金项目（51379069）、宏祥新材料股份有限公司的资助，在此表示衷心的感谢！同时感谢中国水利水电出版社前总编辑王国仪女士给予的指导！

在本书出版之际，谨向所有关心、支持和参与编写、审查、出版工作的领导、专家和同行们，表示诚挚的感谢！并祈望广大读者批评指正。

中国土工合成材料工程协会
防渗与排水专业委员会主任



2019年2月

目 录

序
前言

第 1 篇

防渗篇

第 1 章

概 述

- 1.1 土工合成材料防渗工程进展** 3
 - 1.1.1 水坝、围堰防渗工程 3
 - 1.1.2 水库库盘及蓄水池防渗工程 6
 - 1.1.3 堤防工程 8
 - 1.1.4 渠道防渗工程 9
 - 1.1.5 隧道、地下空间防渗工程 9
 - 1.1.6 尾矿(料)库、废液池防渗工程 10
- 1.2 我国土工合成材料防渗工程特点** 11

参考文献 13

第 2 章

堆石坝(土石坝)膜防渗设计

- 2.1 概述** 15
 - 2.1.1 堆石坝(土石坝)膜防渗技术进展 15
 - 2.1.2 堆石坝(土石坝)膜防渗工程的一般特点 18
 - 2.1.3 面膜堆石坝的特点及适用条件 19
 - 2.1.4 芯膜堆石坝的特点及适用条件 20
 - 2.1.5 膜防渗堆石坝设计相关规范 20
- 2.2 面膜堆石坝防渗结构设计** 21
 - 2.2.1 面膜堆石坝结构型式 21
 - 2.2.2 防渗结构的组成与功用 21
 - 2.2.3 防渗膜的设计 22
 - 2.2.4 防渗膜的垫层设计 37
 - 2.2.5 防渗膜的防护层设计 39

2.2.6	防渗膜铺设设计与拼接工艺	39
2.2.7	防渗膜周边锚固设计与工艺	43
2.2.8	堆石坝其他主体区域布置与填筑概要	48
2.3	芯膜堆石坝防渗结构设计	48
2.3.1	芯膜堆石坝的结构	48
2.3.2	芯膜堆石坝防渗结构布置	48
2.3.3	防渗膜选择及设计指标	49
2.3.4	防渗膜的反滤层及过渡层设计	49
2.3.5	防渗膜铺设与反滤层、过渡层填筑	50
2.3.6	防渗膜的周边锚固	50
2.4	土工膜坝面防参加固措施	51
2.4.1	土工膜坝面防参加固需满足的一般条件	52
2.4.2	不同坝型（坝高 30m 以下）的加固措施	52
2.4.3	防渗结构设计	53
2.4.4	防渗膜铺设、拼接、锚固	53
2.5	工程实例	53
2.5.1	Bovilla Dam（博维拉坝）	53
2.5.2	西霞院土石坝	54
2.5.3	仁宗海堆石坝	55
2.5.4	老挝南欧江六级面膜（裸露）软岩堆石坝	57
2.5.5	华山沟芯膜/砾质土心墙组合防渗堆石坝	59
2.5.6	盐泉面板堆石坝防参加固	61
附录 A		
A.1	一些材料间的界面特性参数	61
A.2	垫层上面膜液胀变形应变量计算公式推导 ..	62
A.3	面膜周边锚固夹具效应概念	63
A.4	堆石坝其他主体设计与地基防渗处理概要 ..	65
参考文献		67

第 3 章	混凝土坝土工膜防渗设计
3.1	概述····· 71
3.1.1	混凝土坝土工膜防渗工程进展····· 71
3.1.2	混凝土坝土工膜防渗的特点与适用条件····· 73
3.1.3	相关规范····· 75
3.2	新建碾压混凝土坝土工膜防渗设计····· 75
3.2.1	土工膜防渗碾压混凝土坝整体结构布置····· 75
3.2.2	碾压混凝土坝土工膜防渗系统结构布置····· 78
3.2.3	防渗层设计····· 81
3.2.4	排水系统设计····· 86
3.2.5	支持层设计····· 90
3.2.6	保护层设计····· 91
3.2.7	锚固系统设计····· 91
3.2.8	防渗系统安装施工工艺····· 96
3.2.9	土工膜防渗系统渗漏监测····· 100
3.3	老混凝土坝土工膜防渗加固设计····· 101
3.3.1	老混凝土坝土工膜防渗加固整体结构布置····· 101
3.3.2	老混凝土坝土工膜防渗加固结构布置····· 102
3.3.3	防渗层设计····· 102
3.3.4	排水系统设计····· 102
3.3.5	支持层设计····· 104
3.3.6	锚固密封系统设计····· 105
3.3.7	防渗系统安装施工工艺····· 107
3.4	工程实例····· 109
3.4.1	新建碾压混凝土坝实例····· 109
3.4.2	老混凝土坝防渗加固实例····· 118

参考文献	122
------	-----

<p>第 4 章</p>	<p>平原水库（蓄水池）膜防渗设计</p> <p>4.1 概述 124</p> <p> 4.1.1 平原水库膜防渗型式及特点 125</p> <p> 4.1.2 平原水库膜防渗设计相关规范 126</p> <p>4.2 平原水库、蓄水池膜防渗结构设计 127</p> <p> 4.2.1 平原水库土工膜垂直防渗结构设计 127</p> <p> 4.2.2 平原水库土工膜水平防渗结构设计 132</p> <p>4.3 工程实例 141</p> <p> 4.3.1 大屯水库 141</p> <p> 4.3.2 奥林匹克水上公园 142</p> <p> 4.3.3 永定河减渗工程 144</p> <p> 4.3.4 部分平原水库库区及坝基防渗设施简况 147</p>
<p>参考文献</p>	<p>..... 149</p>
<p>第 5 章</p>	<p>抽水蓄能电站水库防渗设计</p> <p>5.1 概述 151</p> <p> 5.1.1 抽水蓄能电站水库膜防渗技术进展 151</p> <p> 5.1.2 抽水蓄能电站水库膜防渗特点 152</p> <p> 5.1.3 相关规范 153</p> <p>5.2 抽水蓄能电站库、坝设计 153</p> <p> 5.2.1 膜防渗库、坝结构型式 153</p> <p> 5.2.2 坝下部填渣库盆膜防渗结构布置 153</p> <p>5.3 防渗层设计 155</p> <p> 5.3.1 防渗膜选择 155</p> <p> 5.3.2 防渗膜性能指标 157</p> <p>5.4 下支持层设计 158</p> <p> 5.4.1 设计原则 158</p> <p> 5.4.2 一些已建工程下支持层设计 159</p>

	<p>5.5 上保护层设计 160</p> <p>5.6 排水设计 160</p> <p>5.7 防渗膜施工工艺与技术要求 161</p> <p> 5.7.1 材料验收储存和运输 161</p> <p> 5.7.2 防渗层铺设、拼接工艺与技术要求 161</p> <p> 5.7.3 防渗膜质量检查和验收 165</p> <p>5.8 防渗膜的周边连接 166</p> <p>5.9 工程实例 169</p> <p> 5.9.1 山东泰安抽水蓄能电站上水库土工膜防渗技术 ... 169</p> <p> 5.9.2 江苏溧阳抽水蓄能电站上水库土工膜防渗技术 ... 173</p> <p> 5.9.3 日本冲绳海水抽水蓄能电站上水库膜防渗技术 ... 178</p> <p>附录 B</p> <p>B.1 聚乙烯 (PE) 土工膜的物理力学性能 181</p> <p>B.2 聚氯乙烯 (PVC) 土工膜的物理力学性能 182</p>
	<p>参考文献 182</p>
第 6 章	尾矿库 (灰渣库) 防渗设计与施工
	<p>6.1 概述 184</p> <p> 6.1.1 尾矿库 (灰渣库) 膜防渗技术进展 184</p> <p> 6.1.2 尾矿库膜防渗适用条件与特点 185</p> <p> 6.1.3 相关规范 185</p> <p>6.2 尾矿库膜防渗结构设计 186</p> <p> 6.2.1 尾矿库膜防渗总体布置及要求 186</p> <p> 6.2.2 尾矿库膜防渗结构 187</p> <p>6.3 防渗膜设计 191</p> <p> 6.3.1 不同防渗区域的土工膜选择 191</p> <p> 6.3.2 防渗膜性能指标 192</p> <p>6.4 防渗膜的铺设与拼接 193</p>

6.4.1	防渗膜铺设工艺与技术要求	193
6.4.2	防渗膜拼接工艺与技术要求	193
6.4.3	土工膜施工后防漏控制	193
6.5	防渗膜的周边锚固	194
6.5.1	防渗膜周边锚固工艺	194
6.5.2	防渗膜周边锚固技术要求	198
6.5.3	防渗结构边坡稳定性分析	198
6.6	防渗膜的垫层设计	198
6.6.1	垫层布置、材料及指标	198
6.6.2	垫层填筑技术要求	200
6.7	防渗膜的防护层设计	201
6.7.1	防护层布置、材料及指标	201
6.7.2	防护层技术要求	204
6.8	地基处理	204
6.8.1	处理原则	204
6.8.2	湿陷性土处理	204
6.8.3	软土处理	204
6.8.4	采空区处理	204
6.8.5	岩溶发育区处理	205
6.9	工程实例	205
6.9.1	沙特 AL MASANE 铜/锌矿选厂尾矿库工程	205
6.9.2	伊春鹿鸣尾矿库工程	207
6.9.3	山西某赤泥尾矿库	210
附录 C		
C.1	GCL 物理力学性能指标	213
C.2	非织造布复合土工膜基本项技术要求	213
C.3	针刺非织造土工布	214
参考文献		215

第7章

废水池防渗设计

7.1	概述	216
7.1.1	废水池膜防渗技术发展	216
7.1.2	废水池膜防渗特点与适用条件	216
7.1.3	相关规范	217
7.2	废水池防渗结构设计	217
7.2.1	防渗结构系统组成与作用	217
7.2.2	常用的防渗结构型式	219
7.2.3	防渗层中各类材料的作用	220
7.2.4	防渗材料的耐久性	221
7.3	土工膜的设计	225
7.3.1	土工膜选择	225
7.3.2	土工膜厚度计算	226
7.4	防渗结构稳定性计算	226
7.4.1	支持层的稳定性计算	226
7.4.2	防渗结构的稳定性计算	226
7.4.3	保护层的稳定性计算	226
7.5	锚固结构的设计	227
7.5.1	锚固结构的作用	227
7.5.2	锚固沟的类型	227
7.5.3	锚固沟的破坏方式	227
7.5.4	假设防渗结构拉拔破坏的计算方法	228
7.5.5	假设锚固土体剪切破坏的计算方法	229
7.5.6	安全系数计算	232
7.6	渗漏量的估算方法	233
7.6.1	无损土工膜的渗漏量	233
7.6.2	单层土工膜的缺陷渗漏量	233
7.6.3	组合防渗层缺陷渗漏量	233
7.7	工程实例	234

目 录

		7.7.1 Piñon Ridge 蒸发塘 234
		7.7.2 唐山恒天然牧场污水池 234
	参考文献 236	
	第 8 章	地下空间防渗排水设计与施工
		8.1 概述 239
		8.1.1 地下空间防渗排水技术进展 239
		8.1.2 地下空间防渗排水技术特点 240
		8.2 地下空间防渗排水设计 241
		8.2.1 防渗排水材料选择 241
		8.2.2 防渗排水结构设计 243
		8.3 防渗排水施工 245
		8.3.1 施工工艺及要求 245
		8.3.2 质量控制与检验要求 247
		8.4 工程实例 249
		8.4.1 某地铁车站防渗排水设计 249
		8.4.2 某山区隧洞防渗排水设计 250
		8.4.3 某城市地下车行通道防渗排水设计 257
		8.4.4 某盾构施工地下通道防渗排水设计 258
	参考文献 263	
	第 9 章	堤防膜防渗设计
		9.1 概述 264
		9.1.1 堤防土工膜防渗技术进展 265
		9.1.2 堤防土工膜防渗型式及特点 267
		9.1.3 堤防膜防渗设计相关规范 269
		9.2 堤防膜防渗结构设计 269
		9.2.1 堤防加固工程土工膜防渗结构设计 269
		9.2.2 堤防新建土工膜防渗结构设计 275