

# 土工合成材料 与防汛抢险

俞仲泉 主编



黄河水利出版社

# 土工合成材料与防汛抢险

俞仲泉 主编

黄河水利出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

土工合成材料与防汛抢险/俞仲泉主编. —郑州: 黄河水利出版社, 2003. 7

ISBN 7-80621-691-X

I. 土… II. 俞… III. 水利工程: 土木工程-合成材料 IV. TV4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 037098 号

---

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话及传真: 0371-6022620

E-mail: yrep@public.zz.ha.cn

承印单位: 黄河水利委员会印刷厂

开本: 850 mm × 1 168 mm 1/32

印张: 5.75

字数: 150 千字

印数: 1—2 500

版次: 2003 年 7 月第 1 版

印次: 2003 年 7 月第 1 次印刷

---

书号: ISBN 7-80621-691-X/TV·316

定价: 15.00 元

# 前 言

新中国成立以来,我国在防洪减灾方面成绩斐然。各主要江河基本形成了以水库、堤防、蓄滞洪区或分洪河道为主体的拦、排、滞、分相结合的防洪工程体系,防洪减灾效果明显。

河道堤防是我国防洪工程体系的重要组成部分。在长江、黄河等我国七大江河的中下游地区,堤防是防御洪水的最后屏障。目前,我国建有各类堤防长约 25 万 km,但由于其漫长的形成历史和自古以来民堤民修的形成方式,故我国堤防具有三大特点:一是堤基条件差。堤防傍河而建,堤线选择受到河势条件制约,地基大多为砂性土,而且绝大部分堤防未进行地基处理。二是堤身填筑质量差。不少堤防是在原民堤的基础上,经历年逐渐加高培厚而成,故往往质量欠佳。三是堤后坑塘多。尤其是长江干堤和洞庭湖、鄱阳湖区,长期以来普遍在堤后取土筑堤,致使堤后坑塘密布、覆盖薄弱。因此,当遭遇洪水时,堤防经常会发生管涌、流土、滑坡、岸坡坍塌和漫溢等险情,甚至发生大堤溃决。在 1998 年长江全流域特大洪水的情况下,仅长江中下游干堤就出现险情 6 100 多处,高水位时每天出险达 300 余处。新中国成立 50 多年来建设的水利工程和防洪设施在抗御特大洪水中发挥了重大的调洪作用,特别是土工合成材料在抗洪抢险中作用突出,有着无可比拟的明显优越性。土工合成材料可在防汛抢险中单独使用,也可结合其他材料共同发挥作用。土工合成材料已经成为防汛抢险的有力武器。因此,本书将重点介绍土工合成材料在防汛抢险中应用的新材料、新方法和新工艺。本书可作为水利技术人员的参考书,也可作为基层水利技术人员的培训教材。

本书第一、四章由俞仲泉、俞菁编写,第二章由周萍、俞仲泉编写,第三章由俞仲泉、施建勇编写,第五章由朱海生、许德智编写,第六章由罗伯明、俞仲泉编写。全书由潘贤德审稿复核。在编写过程中,得到了江苏省盐城市水利局、大丰市水利局、滨海县水利局、宿迁市水利局、泗洪县水利局、沭阳县水利局、淮安市水利局、金湖县水利局、扬州市水利局、苏州市水利局,浙江省湖州市水利局,安徽省滁州市水利局、天长市水利局和定远县水利局等提供的有关工程实例资料和热情指导,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促及编者水平有限,书中难免存在着不足和错误,敬请广大读者给予批评指正。

**编 者**

2002 年 7 月

# 目 录

## 前 言

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| <b>第一章 绪 论</b> .....               | ( 1 ) |
| 第一节 土工合成材料及其发展简史 .....             | ( 1 ) |
| 第二节 土工合成材料的功能与应用 .....             | ( 4 ) |
| 第三节 土工合成材料的分类 .....                | ( 9 ) |
| 第四节 土工合成材料用于防汛抢险的优点 .....          | (13)  |
| <b>第二章 土工合成材料的工程特性与试验</b> .....    | (15)  |
| 第一节 物理特性 .....                     | (15)  |
| 第二节 力学特性 .....                     | (17)  |
| 第三节 水力学特性 .....                    | (25)  |
| 第四节 土工合成材料的耐久性 .....               | (30)  |
| <b>第三章 土工合成材料工程的设计与施工要点</b> .....  | (34)  |
| 第一节 加筋设计 .....                     | (34)  |
| 第二节 反滤设计 .....                     | (45)  |
| 第三节 防渗设计 .....                     | (50)  |
| 第四节 防护设计 .....                     | (56)  |
| <b>第四章 土工合成材料在防汛抢险中的应用</b> .....   | (66)  |
| 第一节 汛期常见的险情 .....                  | (66)  |
| 第二节 险情成因和抢护原则 .....                | (75)  |
| <b>第五章 土工合成材料在防汛抢险中的工程实例</b> ..... | (94)  |
| 第一节 堤防渗漏抢护 .....                   | (94)  |
| 第二节 滑坡、坍塌抢护 .....                  | (120) |
| 第三节 堤防溃口抢险 .....                   | (135) |

|             |                    |              |
|-------------|--------------------|--------------|
| 第四节         | 堤防洪水漫顶抢险·····      | (142)        |
| 第五节         | 闸坝除险加固·····        | (144)        |
| 第六节         | 河道防护工程·····        | (149)        |
| 第七节         | 堤坝白蚁隐患处理·····      | (161)        |
| <b>第六章</b>  | <b>工程汛后除险·····</b> | <b>(165)</b> |
| 第一节         | 概 述·····           | (165)        |
| 第二节         | 工程实例·····          | (169)        |
| <b>参考文献</b> | ·····              | <b>(176)</b> |

# 第一章 绪 论

## 第一节 土工合成材料及其发展简史

### 一、土工合成材料

土工合成材料(Geosynthetics)是 20 世纪 50 年代末兴起的一种新型的岩土工程材料。它是以人工合成的聚合物(如塑料、合成纤维、合成橡胶等)为原料制成各种类型的产品(如土工织物、土工膜、特种土工合成材料和复合型土工合成材料等),将其置于土体内部、表面或各层土体之间,可发挥加强或保护土体的作用。

土工合成材料只是到了近 20 年才广泛应用于世界各地。然而从人们利用土工合成材料的方式,即纤维与土体联合作用来看,却有着悠久的历史。

远在新石器时代(距今约 6 000 年前),我们的祖先就利用茅草作为土的加筋材料。约公元前 130 年,黄河在今河南濮阳县的瓠子口决口,历时 20 余年未能堵闭。后来汉武帝“自临决河……令群臣自将军以下,皆负薪填决河……下棋园之竹为榦”,终于把决口堵闭。经过逐代改进,利用梢料、柳枝、秸料、竹苇、结合绳、木桩等“以土压之,杂以碎石”,形成我国所特有的“埽工”。埽工在黄河大堤上应用广泛,沉放于坡面及水底,抗御冲刷,护坡护底。我国战国时期(公元前 475 ~ 前 221 年),都江堰工程中使用的“竹笼”就是纤维材料与土石材料相结合的又一范例,这种竹笼技术一直沿用了 2 000 多年。

在国外,荷兰与海洋进行了长期的斗争,曾大量利用柳枝、梢

料加固堤坝,防止冲刷。20 世纪初叶,美国曾利用金属构件作为土的加筋材料,为岩土工程材料开辟了一个新的领域。

虽然天然植物或金属构件用作岩土工程材料有着悠久的历史,但金属容易锈蚀,抵御化学腐蚀的能力较弱;而天然植物作为岩土工程材料也有致命的缺点,就是易于腐烂,不能经久耐用,因而限制了使用的范围。由于土工合成材料具有强度较高、用途多样、施工方便和造价便宜等优点,因而受到工程界的普遍重视和欢迎,整个岩土工程也因此发生了一次重大的革命,其广阔的发展前景是毋庸置疑的。

## 二、土工合成材料应用简史

约在 20 世纪 30 年代末至 40 年代初,大量合成材料防渗薄膜开始应用于灌溉工程。1953 年美国垦务局在渠道上开始应用聚乙烯薄膜。1959 年意大利的 Contrada Sobeta 堆石坝使用聚异丁烯合成橡胶薄膜。1960 年捷克的 Dobsina 堆石坝使用聚氯乙烯薄膜。1984 年西班牙的 Pozade Los Romos 砌石坝,在上游坝面铺放聚氯乙烯薄膜防渗。这些都是在土石坝中使用合成材料防渗薄膜的一些先例。

土工织物在岩土工程中的应用始于 20 世纪 50 年代。在 1957 年以前,以合成纤维织物作为砂袋已在荷兰、德国和日本等国家应用了。在 60 年代,合成纤维土工织物在美国、欧洲和日本逐渐推广。所用的土工织物主要是机织型织物(俗称有纺织物),大部分用于护岸防冲等工程中。由于机织型土工织物的强度具有很大的方向性,限制了它的应用。非织造型织物(俗称无纺布或无纺布织物的特点是将纤维作多方向或任意性的排列,故其强度没有显著的方向性。厚的非织造型织物不仅可用作滤层,还可用作导水体,也可用于加筋土体。1968~1970 年这种土工织物相继用于德国的护岸工程、法国 Valcros 土坝的下游坝趾排水体周围和上游块石护

坡底层。此后,土工织物很快由欧洲传播到美洲、西非洲、澳洲和亚洲。

在土工织物的应用不断发展的同时,用于防渗的土工膜和一些特种土工材料(如土工格栅、土工网、土工席垫、土工模袋和土工格室等)以及复合型土工材料(由土工织物、土工膜和某些特种土工材料中的两种或两种以上的材料组合而成)相继应用,发展也很快。由于这些材料已经超出了“土工织物”的范畴,所以 1983 年 J. E. Fluet 建议使用“土工合成材料”(Geosynthetics)一词来概括各种各样合成材料的产品(Giroud, 1986)。

合成材料在我国的应用始于 20 世纪 60 年代中期,首先是塑料薄膜在渠道防渗方面的应用,较早的工程有河南人民胜利渠、陕西人民引渭渠、北京东北旺灌区等,继而推广应用到水库、水闸和蓄水池等工程。1965 年河北省子牙新河献县水利枢纽曾利用粘土夹塑料薄膜作为进洪闸上游护坦的防渗措施。1976 年在江苏省长江嘶马护岸工程中,首先使用了由聚丙烯扁丝织成的编织布,结合聚氯乙烯绳网和混凝土块压重组成软体排,防止河岸冲刷。类似的软体沉排相继应用于江苏省江都西闸和湖北省长江堤防工程。1983 年在深厚的超软土地基上,采用土工织物与砂垫层复合加固的方法成功地修筑了深圳赤湾港西防波堤。这种土工织物与砂垫层复合加固的方法又相继在青岛前湾港防波堤、宁波北仑港电厂灰坝、福建过桥山围堤工程中得到了应用。1984~1985 年间,云南的麦子河水库、内蒙古的翰嘎利水库、天津的鸭淀水库、河北的庙官水库等都用无纺型织物作为反滤层。

还有几种土工合成材料的研究与应用在我国发展也很快。一种是用于软土地基加固的塑料排水板(带),系河海大学于 1979 年开发研制的。1981~1983 年在天津新港试用以后,现已广泛用于港口码头、高速公路、电厂厂房、飞机场、铁路等工程地基加固。一种是灌注混凝土的土工模袋,自 1983 年 5 月从国外引进后,开始

试用于江苏的泰州船闸引航道、通沙汽渡停泊区和南官河航道上,现已在十几个省(市)数十项工程中推广应用。我国东北地区,在水利护坡工程中还自行研制了一种简易土工模袋,比较经济合理,并有许多成功的经验。

土工合成材料在国外的发展方兴未艾,在我国起步虽晚,但近十多年来发展极快,进口了上百套生产土工合成材料的设备,产品和品种有着大幅度的增长。截至 1998 年,我国已有上万个工程使用了各种土工合成材料。

## 第二节 土工合成材料的功能与应用

土工合成材料用于岩土工程的功能,可以概括为反滤、排水、防渗、加筋、隔离和防护等作用。

### 一、反滤作用

在水工建筑物中,为了防止流土、管涌破坏,常设置由砂石料所组成的反滤层。而土工合成材料完全可以取代这种常规的砂石料反滤层,起到防止渗流破坏的反滤作用。编织的、机织的及无纺的土工织物都可以起到这种反滤作用。例如,土石坝粘土心墙或粘土斜墙的反滤层,块石护坡下面的反滤层,土坝下游堆石棱体上游侧的反滤层以及水闸下游护坦、海漫或护坡下部的反滤层等,如图1-1所示。

### 二、排水作用

有些土工合成材料可以在土体中形成排水通道,把土体中的渗水汇集起来,并将渗水沿垂直于织物平面或平行于织物平面的方向排出土体外。较厚的针刺型无纺织物和某些具有较多孔的复合土工织物均可起排水作用。此外,它还可以与其他材料(如粗

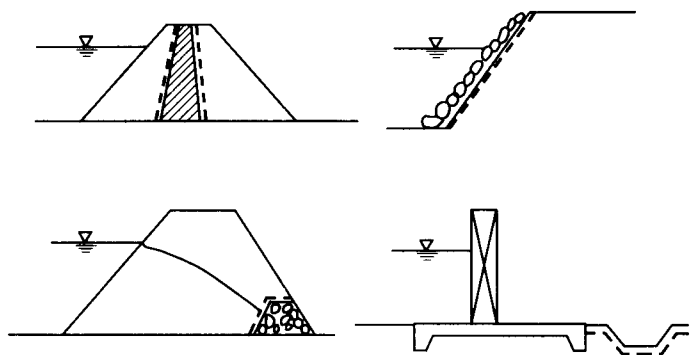


图 1-1 反滤作用示意图

粒料、排水管、塑料排水板等)一起构成排水系统或深层排水井。例如,土坝内部的垂直或水平排水、隧洞周边的排水、碎石暗沟周边的排水、堤坝软土地基处理中的垂直排水等,如图 1-2 所示。

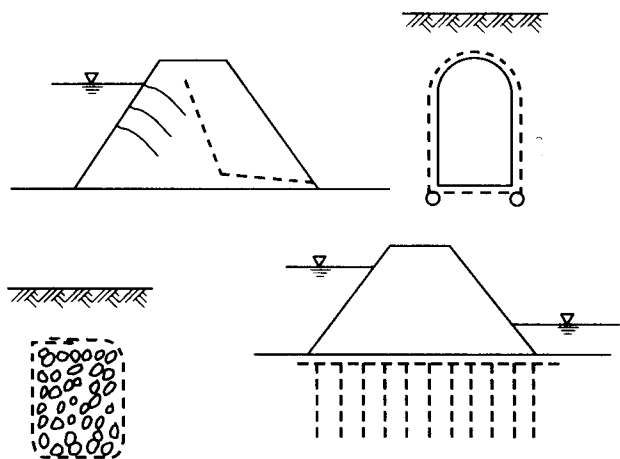


图 1-2 排水作用示意图

### 三、防渗作用

土工膜和复合型土工合成材料可以防止液体的渗漏、气体的挥发,保护环境或建筑物的安全。例如,土坝或水闸地基的垂直防渗墙、渠道防渗、水闸上游护坦及护坡防渗等,如图 1-3 所示。

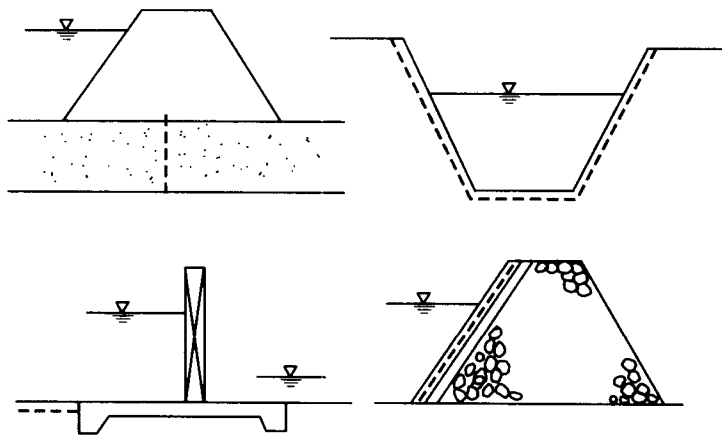


图 1-3 防渗作用示意图

### 四、加筋作用

由于土工合成材料具有较高的抗拉强度,又有较好的柔性,容许一定的变形而不破坏,当以适当的方式铺设在土中时,可以约束土的拉伸应变,减小土的变形,从而增加土的模量,改善土的受力状况,增加土的稳定性。例如,软土地基上堤坝的加筋垫层、加强堤坝边坡稳定性、加筋土挡墙、加固柔性路面等,如图 1-4 所示。

### 五、隔离作用

将土工合成材料设置在两种不同的土(材料)之间,或者设置

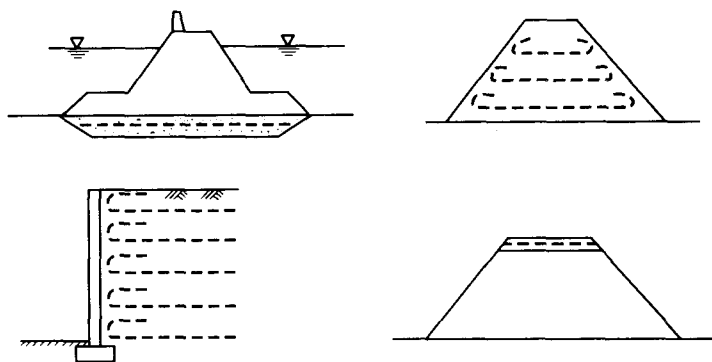


图 1-4 加筋作用示意图

在土与其他材料之间予以隔离,以免相互混杂失去各种材料和结构的完整性,或发生土粒流失现象。土工织物和土工膜都可以起隔离作用。例如,土石混合坝体中隔离不同的筑坝材料,公路基层碎石与路基或地基之间的隔离,铁路道渣与路基之间的隔离,石笼、砂袋、堆石或材料堆物与软土地基的隔离层等,如图 1-5 所示。

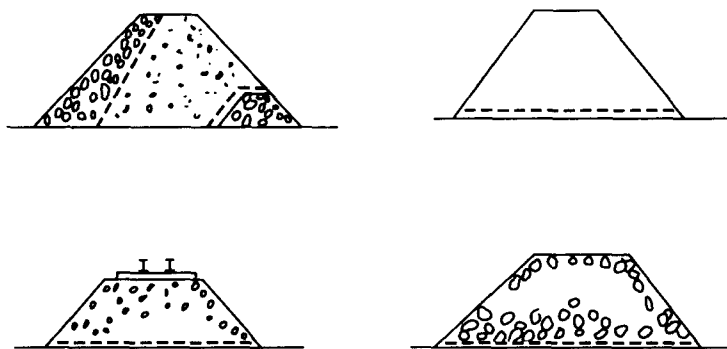


图 1-5 隔离作用示意图

## 六、防护作用

土工合成材料对土体或水面可以起防护作用。例如,防止河岸或海岸被冲刷,防止土体的冻害,防止路面裂缝,防止水面蒸发或空气中的灰尘污染水面,防止垃圾、废料或废液污染地下水或散发臭味等,如图 1-6 所示。

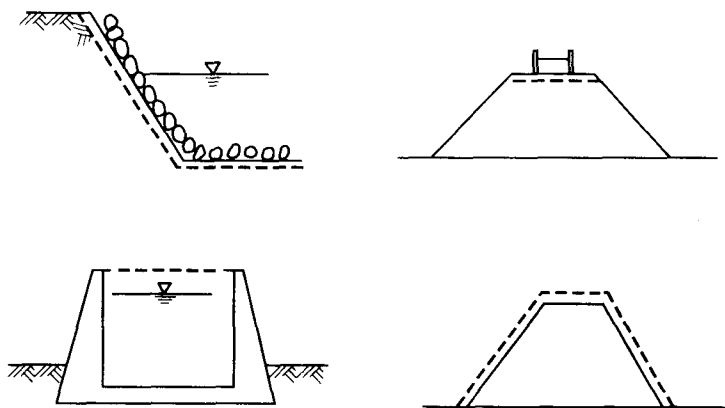


图 1-6 防护作用示意图

必须指出,在工程实际中运用土工合成材料往往是几种作用的综合,其中有的是主要的,有的是次要的。例如,在水中(江、河、湖、海)抛填土石方筑堤坝,将土工织物铺放在水下,主要起隔离作用,但也起反滤、加固作用;又如,在软土地基上的公路、铁路、土石坝、防波堤等工程中,用于加固软土地基,则加筋作用是主要的,隔离和反滤作用是次要的。

### 第三节 土工合成材料的分类

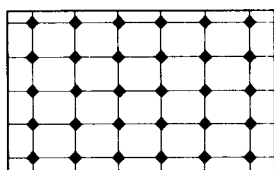
土工合成材料的分类随着新材料和新技术的发展还将有所变化。从现状和分类趋向出发,暂将土工合成材料分为四大类,即土工织物、土工膜、特种土工合成材料和复合型土工合成材料。特种土工合成材料包括:土工垫(一种类似丝瓜瓢网络的网垫)、土工网(由合成材料条带、粗股条编织或合成树脂压制的具有较大孔眼、刚度较大的平面结构或三维结构的网状土工合成材料)、土工格栅(如图 1-7 所示);土工格室(如图 1-8 所示);土工模袋(如图 1-9 所示)和土工泡沫塑料等。复合型土工合成材料是由上述各种材料复合而成的,如复合土工膜和复合土工排水材料等。

各种类型的土工合成材料,如土工垫、土工网、土工格栅、土工格室、土工模袋以及各种规格的土工织物、土工膜等,在国内均能生产,并已在许多工程中应用,但我国目前在工程实际中使用最多的还是土工织物和土工膜。

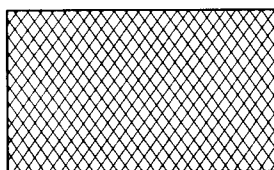
土工合成材料由合成纤维制成。合成纤维是以煤、石油、天然气和石灰石等为原料,经过化学加工而成为聚合物(高分子化合物),再经过机械加工制成纤维、条带、网格和薄膜等。纤维又分短丝、连续长丝(直径一般为  $0.02 \sim 0.04 \text{ mm}$ )、条丝、单丝、多股丝、纺纤和各种纱线等。

合成纤维的品种主要有锦纶、涤纶、腈纶、丙纶和氯纶等。目前国内外用于生产的土工纤维以丙纶(聚丙烯)、涤纶(聚酯)为主要原料。

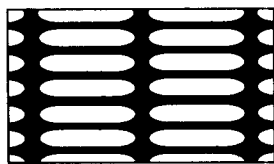
各种类型土工合成物的原材料、制作方法和主要用途,见表 1-1。



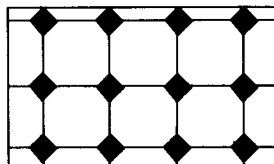
(a) “坦沙” SS<sub>21</sub>



(b) “奈特龙” CE<sub>121</sub>(网状)

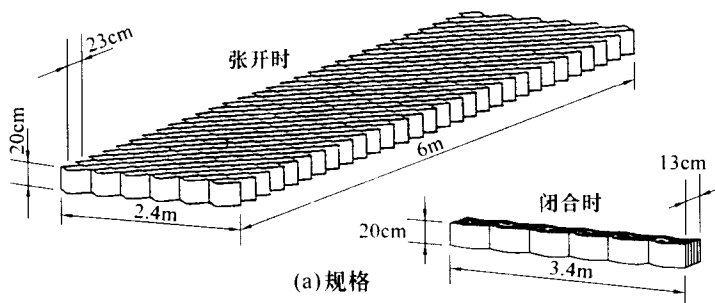


(c) “坦沙” SR<sub>21</sub>

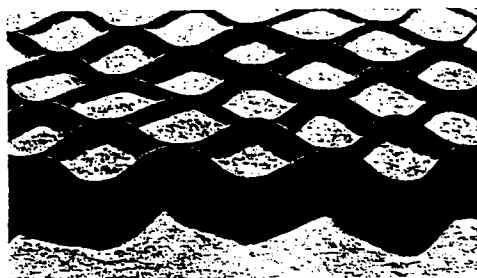


(d) “坦沙” GM<sub>1</sub>

图 1-7 土工格栅



(a) 规格



(b) 铺设后

图 1-8 土工格室