

第一章 绪论

第一节 土工合成材料及土工合成材料工程

土工合成材料或称土工聚合物是土木建筑工程(以下称土建工程)中以高分子聚合物为原料制成的各种人工合成材料的总称。它包括各种塑料、合成纤维、合成橡胶制成的土工织物、土工膜、土工塑料板、土工网、土工格栅、土工垫、土工绳索制品以及由两种以上的土工合成材料或其他有关材料复合(或组合)而成的复合型土工材料。例如,由土工织物与土工膜复合而成的复合土工膜及由塑料槽形板与土工织物组合而成的土工排水板,等等。而以土工合成材料为主体构筑而成的工程结构,则可称其为土工合成材料工程。例如用土工膜或复合土工膜为主体构筑的堤坝防渗结构、用土工织物、土工带、土工网或土工格栅构筑而成的各种加筋挡墙、加筋土陡坡和用土工排水板及其他土工合成材料构筑而成的土工排水系统,等等。

第二节 土工合成材料工程发展简史^{①②}

土工合成材料作为一种新的土建工程建筑材料的历史不长,即使自1930年首次由美国杜邦公司制成现代聚酰胺(尼龙)合成纤维,1940年成为商品以来,也只有60多年的历史。但由于合成纤维发展速度很快,在很短时间内不仅在民用上风靡全球,而且很快就超出民用范围,扩大到工业、土建工程和军事等部门,发展成为一种新型的土建工程材料。土工合成材料最早用于土建工程的确切年代尚待考证。但土工薄膜的应用则可追溯到20世纪30年代,先用于游泳池和灌溉渠道防渗,然后发展到土石坝、水闸及其他土建工程。至于将合成纤维材料真正应用于土建工程,则是从20世纪50年代末期开始的。

1957年,荷兰用尼龙有纺织物做成充砂管袋用于护岸和堵口工程。

1958年,美国在佛罗里达州大西洋海岸防护工程中,将聚氯乙烯有纺织物代替传统的砂砾石滤层置于土与块石之间,经过27年的运用,情况仍然良好。

1959年,在日本伊势湾修复围堤沉排时,采用维尼纶编织布替代沉排。5年后检查未发现腐蚀现象,强度也没有明显下降。

1962年,美国杜邦公司开发纺粘法长纤维无纺布以取代短纤维无纺布,作为滤层和导水体应用于道路和护岸等土木工程。

① 刘宗耀,土工合成材料在我国的应用,全国第二届土工合成材料学术讨论会论文,1989

② J.P.Giroud,从土工织物到土工合成材料——岩土工程领域的一场革命,王正宏译,水利科技译文集,河北省水利勘测设计院,1986

1967年 英国、日本应用土工格栅修建加筋土堤 并予以推广。

总之 从 20世纪 50年代末期开始至 60年代期间,有纺和无纺土工织物在土建工程(特别是水利工程)中成功地用作反滤、排水及隔离材料 推动了土工合成材料的应用 形成了产品市场,品种和质量都得到进一步的发展和提高。

20世纪 70年代,由于纺粘法无纺布的大量生产,使土工织物的应用有了新的发展,其特点首先是应用范围日益广泛 在水利水电、海港、公路、铁路、建筑和国防等各个领域中都得到应用;其次,像美国陆军工程师兵团水力学研究室等科研、教学单位都针对土工合成材料的应用开展了系统的试验和理论研究工作,大大促进了土工合成材料科学的发展。例如,1970年法国修建的法拉克罗斯(Viacros)土坝 就在上游块石护坡底层和下游坝趾排水体周围铺设了土工织物;以后,几乎每座土石坝出于不同原因都使用了土工织物,土工织物在法国得到了广泛应用。

1977年,在法国召开了首届国际土工织物会议。

从 1978年开始 在坝高达 80 m的土坝中也采用土工织物排水和反滤系统,如西德的佛朗奥(Frauncu)坝和南非的斯特里基多姆(Strijdom)坝。

20世纪 80年代以后,土工合成材料的应用有了新的飞跃,产品型式不断革新,各种复合型、组合型土工合成材料不断涌现。据统计,1985年国外生产土工织物的大公司就接近 40家 其中美国的杜邦公司、法国的罗纳普朗克公司等都在国际上享有盛名 前者年产土工织物 4.6万 t 可提供 24种不同性能和用途的土工织物。到 1984年 全世界使用土工合成材料的工程超过 10万项 铺设土工织物面积超过 3亿 m^2 。

1982年 在美国召开了第二届国际土工织物会议 此后每 4年召开一次,1983年成立了国际土工织物学会(简称 IGS)。土工合成材料工程逐渐形成一门以岩土力学和工程力学为基础 与高分子聚合物及纺织工业生产相联系 应用于土建各个领域的新的边缘学科。

土工合成材料在我国的应用开始于 20世纪 60年代中期 首先是把塑料薄膜用于灌溉渠道防渗 较早的工程有山东打渔张灌区、河南人民胜利渠、陕西人民引渭工程等 主要是聚氯乙烯(个别为聚乙烯)以后推广到蓄水池、水库和闸坝工程。1965年 桓仁水电站用沥青聚氯乙烯热压膜锚固并粘贴于混凝土支墩坝上游面,防治裂缝漏水获得成功,是我国采用土工合成材料处理混凝土坝裂缝的首例。同年,河北省子牙新河献渠枢纽工程,采用粘土夹塑料薄膜构筑进洪闸上游铺盖的防渗结构。此后 宁夏、陕西、北京、河北、山东、辽宁、黑龙江等地也都在中小型(后来推广到大型)水库及土石坝(包括补强除险工程)中使用土工膜或复合土工膜防渗,并取得了良好效果。

我国在土工织物应用方面起步较晚,但发展速度很快。1974年 在江苏省长江嘶马护岸工程中,首先使用由聚丙烯扁丝编织布为排体,结合聚氯乙烯绳网和混凝土块压重组成软体沉排 防止河岸冲刷。

80年代以后,土工织物的应用日渐增多,尤其是针刺型土工织物在水利工程中的应用 发展更为迅速。仅 1984~1986年 3年时间 云南麦子河水库、江苏昆山暗管排水、内蒙的翰嘎利水库、天津鸭淀水库、黑龙江的引嫩工程、河北的庙宫、山东省牟山水库、广北引黄平原水库等,都用其做反滤排水,效果良好。不久,无纺土工织物的应用范围很快扩展到储灰坝、尾矿坝、港口码头、海岸护坡及储油罐等地基处理领域。一大批生产针刺无

纺织物的工厂也应运而生，纷纷建成投产。

此外，土工排水板、土工网、土工格栅和土工模袋等土工合成材料在我国也得到长足发展。土工合成材料的应用领域已扩大到高速公路、铁路、飞机场、电厂、井灌、民用建筑等几乎所有土建工程行业。

及至 20 世纪 90 年代末期，由于土工合成材料所具有的功能和特性及其在工程实践中的卓越成效，引起了全国有关部门的充分重视，土工合成材料开始在一些国家大型重点工程中得以应用。如三峡工程、秦山核电工程、长江口整治工程、治黄工程、治淮工程、京杭大运河、大型引黄平原水库工程和江河防汛抢险等，并获得了较大的技术经济效益和社会效益。国内有关科研机构、大专院校、设计部门结合工程实际建立专项研究课题，进行长期系统的科学研究，培养出一批专攻土工合成材料工程技术的硕士研究生、博士研究生。

据初步统计，到 1995 年，我国应用土工织物的工程项目累计超过 1 万个，使用土工织物近 5 亿 m^2 。

1995 年，在 1984 年成立的全国土工合成材料技术协作网的基础上，成立了中国土工合成材料工程协会。1996 年在上海召开了第四届全国土工合成材料学术讨论会暨第一届国际土工合成材料展览会，有力地推动了土工合成材料工程技术的发展。

1998 年末至 1999 年初，在我国国家领导人关注下，国家有关部门用最快的速度制定并颁布了第一个土工合成材料应用技术国家标准《土工合成材料应用技术规范》(GB50290—98)以及水利部发布的《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》(SL/T225—98)和《土工合成材料测试规程》(SL/T235—1999)、铁道部发布的《铁路路基土工合成材料应用技术规范》(TB10118—99)、交通部发布的《公路土工合成材料应用技术规范》(JTJ/T019—98)和《水运工程土工织物应用技术规程》(JTJ/T239—98)等 6 个专门规范及规程。这些规范及规程科学地总结了国内外土工合成材料工程技术的经验教训，为今后土建工程领域内全面推广应用该项技术提供了依据，成为我国土工合成材料工程技术发展的里程碑。从此，工程设计、施工部门把土工合成材料技术正式列入了工程设计、施工议程。

第三节 土工合成材料的主要功能

土工合成材料在土建工程中应用时，不同的材料用在不同的部位，能起到不同的作用，这就是土工合成材料的功能。这些功能主要可归纳为六类，即反滤、排水、隔离、防渗、防护和加筋。应当指出，在实际使用时，一种土工合成材料往往兼有数种功能，随着复合土工合成材料的发展，材料的多重功能将会更为突出。现概括简述如下。

一、反滤功能

由于土工织物具有良好的透水性和阻止颗粒通过的性能，是用作反滤设施的理想材料。在土石坝、土堤、路基、涵闸、挡墙等各种土建工程中，用以替代传统的砂砾反滤设施，不仅可以获得巨大的经济效益，而且技术性能亦将大为提高。

用作反滤的土工织物一般是非织造型无纺土工织物，有时也可使用织造型土工织物。

二、排水功能

具有一定厚度的土工织物或土工席垫，具有良好的垂直和水平透水性能，可用作排水设施，有效地把土体中的水分汇集之后予以排出。例如，用以降低坝身浸润线，控制渗透变形的坝身及坝基排水 减小孔隙压力 防止土坡失稳的土坡排水 消减墙后水压力 提高墙体稳定性的挡墙墙背排水 以及加速土体固结 提高地基承载力的软土地基排水 等等。

三、隔离功能

将土工合成材料放置在两种不同材料之间，或两种不同土体之间，使其隔离开来。隔离可以产生很多好的工程技术效果，当结构承受外部荷载作用时，隔离作用使材料不致互相混杂或流失 从而保持其整体结构和功能。例如 土石坝、堤防、路基等不同材料的各界面之间的分隔层；在冻胀性土中，用以切断毛细水流以消减土的冻胀和上层土融化而引起的沉陷或翻浆现象 以及防止粗粒材料陷入软弱路基和防止开裂反射到表面的作用 等等。显然 如果从更广泛的角度考虑 用土工织物作反滤和用土工膜防渗也是一种隔离作用。

四、防渗功能

土工膜及复合土工膜防渗性能很好 其渗透系数一般为 $10^{-11} \sim 10^{-15} \text{ cm/s}$ 。土工膜可以用于各种防水、防气以及防有毒害物质的地方，例如土石坝及堤防的防渗结构、闸坝工程的水平防渗铺盖及垂直防渗墙、渠道和蓄水池防渗衬砌、碾压混凝土坝及浆砌石坝的防渗面层等。

五、防护功能

防护功能是指土工合成材料及由土工合成材料为主体构成的结构或构件对土体起到的防护作用。例如，目前应用最多的表面保护措施，就是把拼成大片的土工织物，或者是用土工合成材料做成土工膜袋、土枕、石笼或各种排体铺设在需要保护的岸坡、堤脚及其他需要保护的地方，用以抵抗水流及波浪的冲刷和侵蚀。此外，将土工织物置于两种材料之间，当一种材料受力时，它可使另一种材料免遭破坏。例如，干砌石护面的土工织物垫层就是内部接触面保护的一个典型。

六、加筋功能

所谓加筋就是将具有高拉伸强度、拉伸模量和表面摩擦系数较大的土工合成材料（筋材）埋入土体中，通过筋材与周围土体界面间摩擦阻力的应力传递，约束土体受力时侧向位移，从而提高土体的承载力或结构的稳定性。用于加筋的土工合成材料有编织土工织物、土工拉筋带、土工网和土工格栅 较多地应用于软弱地基处理、陡坡、路堤、挡土墙等边坡稳定方面。在填土中随机地掺入人工合成短纤维则成为加筋纤维土，其作用仍然是提高土体承受荷载能力。

最后再次指出，在实际应用中，土工合成材料通常同时发挥着数种功能，例如排水和反滤、隔离和防冲，经常是联系在一起的。上述功能的划分则是为了探讨土工合成材料在

实际应用中所起的主要作用。此外，有的土工合成材料还有一些不包括在上述六大功能之内的功能。例如，利用泡沫塑料质量轻、变形特大的特点，用以替代工程结构中某些部位的填土，则可大幅度减少其荷载强度和填土产生的压力，这就是所谓减荷功能。

同样，有的土工合成材料具有很好的隔热、保温性能。在严寒地区修建的大型渠道和道路工程中，使用这种土工合成材料作为渠道保温衬砌和道路隔离层时，主要是利用其隔热、保温功能。

图 1-1 至图 1-7 就是土工合成材料各种主要功能的应用示意。

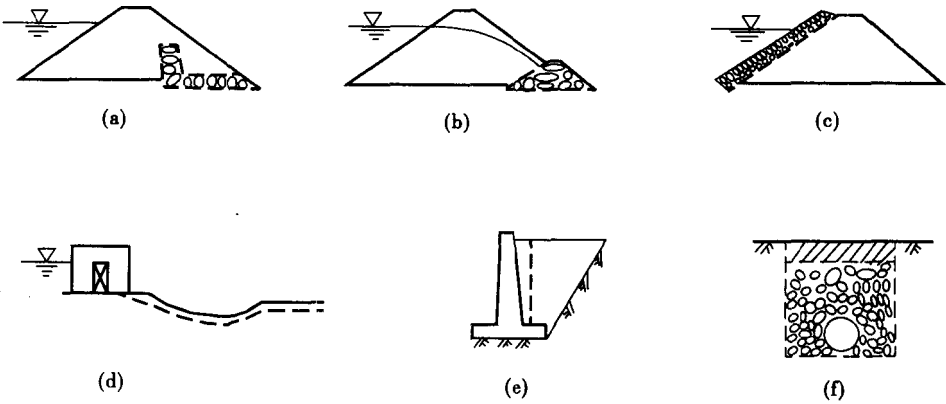


图 1-1 反滤功能应用

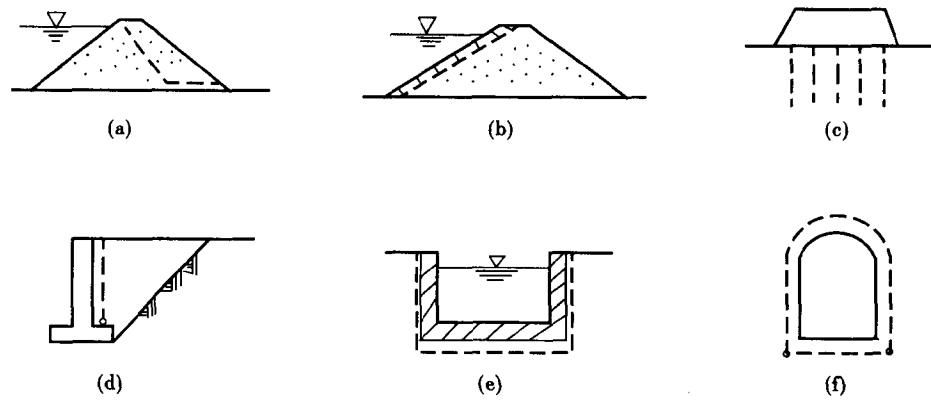


图 1-2 排水功能应用

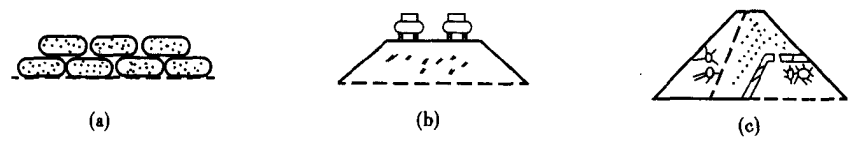


图 1-3 隔离功能应用

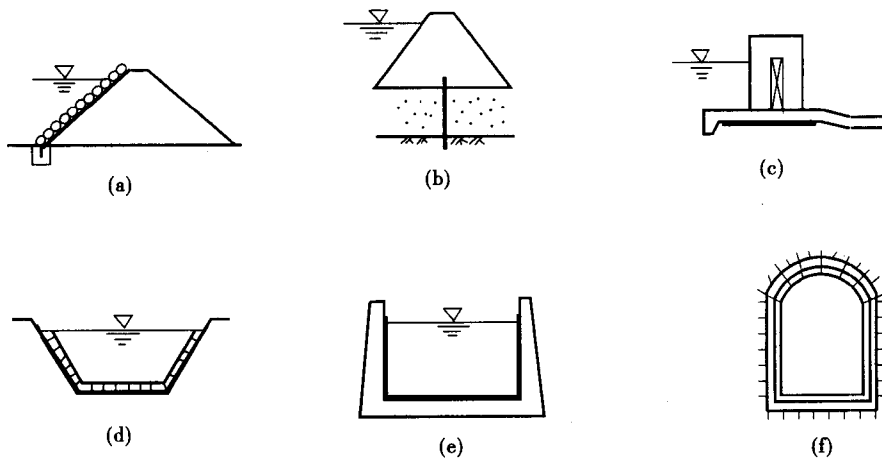


图 1-4 防渗功能应用

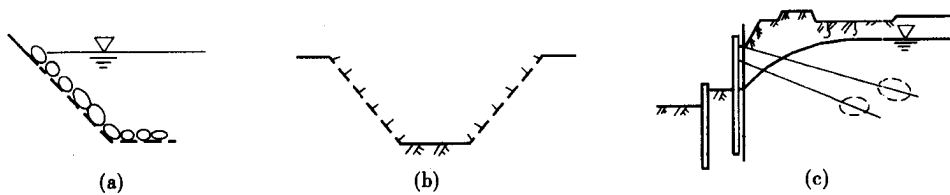


图 1-5 防护功能应用

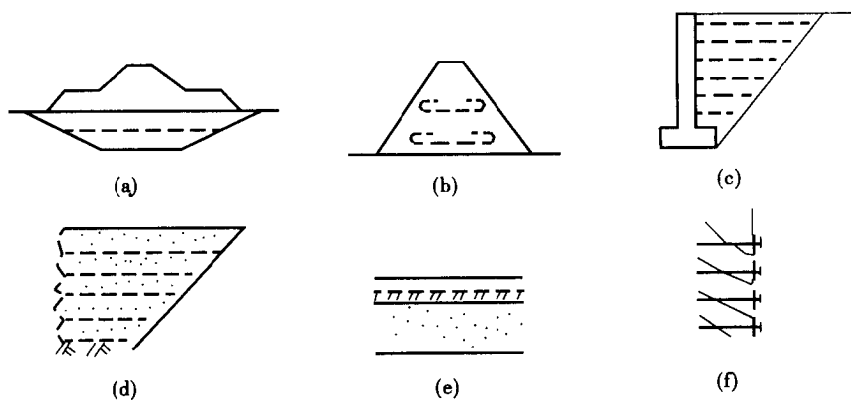


图 1-6 加筋功能应用

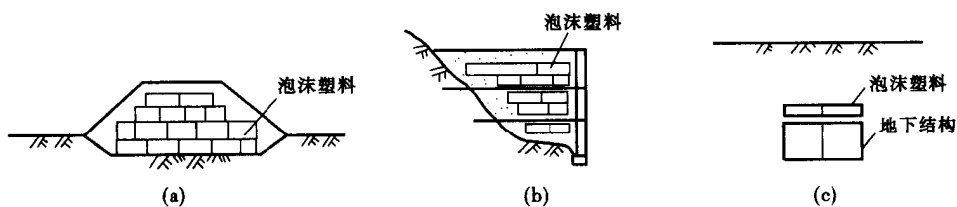


图 1-7 减压功能应用

第四节 土工合成材料在土建工程中的应用与展望

土工合成材料作为一种新型的建筑工程材料,已经显示其独特的优越性和强大的生命力。随着我国国民经济的发展和高分子聚合物生产工业及纺织工业技术进一步提高,将会在更多的工程领域内,更大规模地予以使用。土工合成材料所具有的强度高,重量轻 防渗、反滤、隔离、排水、加筋、防护性能可靠 施工简易 速度快 节省劳力 便于运输,与传统的砂、石材料相比可以大大减少运输量(这在缺少砂石料的平原地区,优点更为突出)耐腐蚀、耐久性好 使用寿命较长和能够大幅度降低工程造价等优点也将进一步得到发挥。

根据云南麦子河水库土坝和山东引黄平原水库围坝建设等工程实践,用土工织物代替砂砾反滤料 可节省投资 30%~50% 以上。

青岛前湾港区工作船港池防波堤 为保证施工和使用时的稳定 采取了部分清淤、换填砂垫层和土工织物垫层结合反压台的方案,较原设计少填筑 2 m 砂垫层 仅此一项就节省投资 100 万元 并使工期缩短 1 年还多,经济效益和社会效益均十分可观。

我国土工合成材料事业 从原材料生产、工程应用到科学研究等各个方面 都取得了显著成绩。我们从德国、英国、瑞士、日本、意大利等国家引进了一大批先进生产设备和全套流水线 国内也自行设计加工生产了一些新型设备。目前 无论是产品的品种、规格 还是产品的质量、数量均可基本满足国内各项工程的需求。同时,我国在土工合成材料工程的设计理论、施工技术、试验及测试技术等方面也取得不少突破,为正确应用该项技术提供了基本保证。但是 与世界发达国家相比 无论是产品质量、品种类型 还是设计、施工技术都还有一定的差距 尚需进一步提高产品质量 增加品种 深化试验研究 扩大应用范围 提高设计水平 加强施工技术研究 强化施工管理 确保施工质量的可靠性 也就是说需要在提高现有产品质量的前提下 进一步开发新产品、新技术 扩大应用领域 完善和发展符合土工合成材料工程实际的设计理论和施工方法,土工合成材料工程前景是广阔的。

以下从土建工程角度考虑 提出今后土工合成材料应用潜力较大的几个领域 供读者参考。

一、水利水电建设方面^①

就当前我国而言 水利水电是土工合成材料应用最广泛、用量最大、应用品种最多的工程部门。主要用于土石坝、堤防、水闸、护岸、河道整治及农田水利等工程建筑物和软弱地基加固、反滤、加筋、防渗等方面。但是 囿于技术、经济等各种原因 发展很不平衡。总的情况是东南沿海地区和技术比较先进的地区推广应用较多,技术落后(包括思想保守)地区则应用较少。此外,技术信息短缺、业务的欠缺、主管部门推广不力和缺乏可以遵循

① 徐又建,山东土工合成材料进展与思考,山东省水利系统土工合成材料应用技术研讨会论文 2000

的技术规范规程等也是造成这种不平衡的一种原因。

近年来 随着国内土工合成材料工程技术的成熟和国家技术规范规程的发布 并在长江三峡工程、长江口综合开发整治工程、治黄工程和一些大型水利水电工程得到应用,标志着今后土工合成材料在水利水电领域内的应用,将从中小型发展到大型,从试用发展到正常使用甚至是优先使用 应用部位也从比较次要的部位、中低水头 发展到高水头、关键部位。因此 提高质量 增加品种 满足水利水电工程各种要求 将是今后一个阶段的主攻方向 产量也将会逐年有较大增长 有人估计近年来土工织物产量年增长为 20%左右。

二、防汛抢险方面●

自古以来 洪涝灾害就是中华民族的心腹之患。据不完全统计 自西汉至中华人民共和国成立的 2 155 年间 共发生可考证的洪水灾害有 1 092 次 黄河决溢 1 000 余次 重大改道 26 次 波及范围北抵天津 南达江淮 纵横 28 万 km^2 长江较大洪水 200 余次 平均 10 年 1 次。因此,历代都把防治洪水作为治国安邦的大事。中华人民共和国成立后,对主要江河进行了大规模治理,防洪减灾成效显著,但是由于气候的异常变化,人类活动对生态环境的影响 我国的防洪形势仍十分严峻 例如 1954 年长江,1963 年海河,1975 年淮河,1991 年江、淮,1994 年珠江,1995~1996 年湘、资、沅水及赣江,1998 年长江及松花江等相继发生大洪水,经济损失均以千亿计。特别是 1998 年的特大洪水 受淹面积达 6 610 km^2 受害人口 2.3 亿 直接经济损失高达 2 600 多亿元。因此 增强水患意识 更有效地防治洪水灾害,已成为我国日益迫切的任务。由于我国主要江河现已达到的防洪标准普遍较低 洪灾频发区经济发达 人口密集 因此 全国各地每年都要在防汛上投入大量的人力、财力和物力。

防汛抢险的大量实践表明,土工合成材料是一种比较理想的防汛抢险材料。它与传统的防汛材料 草袋、梢料、木桩、抛石等 相比 具有强度高、重量轻、工业化生产、供应有保证、耐久性好、耐摩擦、抗滑稳定性好和便于运输、便于加工、便于铺设及投放等优点。例如,我国每年汛期各地都要储备大量草袋、麻袋,以备抢险急需,仅中央防办就要储备 300 万只。由于草袋、麻袋极易腐烂 常需年年更换 耗费甚巨 而土工编织袋体积及重量只有麻袋的 1/8 耐储存 柔性好 经过特殊处理的土工编织袋与土工布和细砂之间的摩擦系数分别为 0.567 和 0.584,均高于麻袋。至于像柳枝、梢料和木桩等材料不仅费用高,而且破坏生态环境,来源日益枯竭。至于土工合成材料在质量和技术效果方面的优越性则更是传统材料所无法比拟的。根据我国近 20 年在防汛抢险中的实践 可概括为效果好、速度快、耗费省等三大优点。例如 在防汛抢险中比较难处理的散浸、管涌险情 现在只要铺一块土工布(排)就能很快堵住漏洞 效果好 速度快 工料都比较节省。

可以预见 随着社会对防汛要求的提高 大量采用工业化生产、适合防汛抢险需要的土工合成材料防汛是必然的趋势。例如,专用的编织袋,抗冲、防漏及抗管涌的土工布排及采用土工网、土工格栅和土工绳网做成的各种碎石枕、石笼及防冲体,等等。

● 王正宏,全国土工织物在防汛抢险中的应用经验交流会总结,全国土工织物在防洪抢险中的应用经验交流会文集,中国水利学会岩土力学专业委员会水利部长江水利委员会编印,1990

三、港湾与海岸工程建设方面

港湾与海岸工程是最早使用土工合成材料的工程部门之一，情况与水利水电工程类似，主要用作反滤材料、软土地基加固、海岸防护及防波堤工程。随着经济建设的发展和海岸防护工程标准的提高，土工合成材料的应用前景十分广阔，而且具有工程规模大、技术要求高等特点。另外，港区集装箱堆场、场内排水盲沟及港区内部道路等也可以广泛采用土工合成材料，比较著名的如长江口航道整治、天津新港东突堤软基处理及码头滤层、青岛前港湾区防波堤、上海卢潮港及金山石化防波堤等。

四、环境工程方面

众所周知 随着世界经济的发展 大量的工业废渣、建筑垃圾、生活垃圾及废水、废气等，严重污染着城市和乡村的整个生态环境，严重影响人们的正常生活和生产，危害全人类的生存和安全，环境问题已引起全世界各国的重视。保护环境、防止并治理污染已成为我国的基本国策。土工合成材料是环境工程中比较理想的建筑材料，采用土工合成材料构筑工业废料库、垃圾场、废水处理池等工程，在国外早已获得极大成功。国内随着环保意识的增长和有关环保法规的制定，此类工程在我国城市和乡镇都将有很大的发展前景。

此外 土工合成材料在水土保持、保护水源和造林绿化等方面也都有广泛的应用。

五、铁路、公路、市政建设及其他工业与民用建筑方面

土工合成材料在铁路和公路工程中 主要用于路基加固、防治翻浆冒泥、防治严寒地区路基冻融、加筋路堤、加筋挡墙以及边坡防护、路基排水等方面。另外 利用薄型无纺土工织物防止沥青路面产生反射裂缝，效果也很显著。

目前 在铁路、公路和高速公路建设中 均在不同程度上应用了土工合成材料 并取得了良好的技术经济效果，发展亦比较迅速。

至于在市政和其他建筑工程方面，土工合成材料的应用尚处于开始阶段。虽然应用尚不广泛，但是也有很好的发展前景。

近年来 在地下工程 隧洞、地铁、廊道及压力矿井等 防渗、减压 建筑物及构筑物地基排水固结、加筋垫层、基坑支护、水下基础托换 均化沉井基底压力分布 地面防渗、防裂，地面排水和屋面防水等方面，都有成功的范例。可以预见，在其他土建工程实践带动下，随着设计、施工技术的提高和传统观念的改变，土工合成材料在市政和建筑工程其他部门的推广应用速度将会迅速加快。

参考文献

- 1 顾淦臣，土工薄膜在坝工建设中的应用，水力发电，1985，(10)
- 2 朱诗鳌，土工织物在国外水利工程中的应用，水利水电技术，1986，(3)
- 3 刘宗耀，土工合成材料近期发展概况和存在问题，水利管理技术，1993，(1)
- 4 徐又建，土工织物在水利工程中的应用，山东水利科技，1987，(2)

第二章 土工合成材料的种类及工程特性

第一节 高分子聚合物

一、基本概念

土工合成材料是用高分子聚合物为原材料制成的。所以，要了解土工合成材料的种类及工程特性，就必须对高分子聚合物有一个粗略的了解。

高分子聚合物是 20 世纪开始出现 30 年代得到蓬勃发展的新型材料。它是由一种或几种低分子化合物通过化学聚合反应，以共价键结合而形成的高分子化合物。其分子量一般都大于 5 000。聚合物的力学性能和加工性能都和聚合物的分子量的平均值及其分布有密切关系。

二、聚合物的名称

聚合物的命名习惯上主要是根据聚合物的化学组成来命名的。如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯 等等。“聚”字表示是由一个单体聚合而得到的聚合物。聚合物也有以其结构特征来命名的 如聚酯、聚酰胺、聚氨酯 等等。具体品种还有其商品上的名称 例如尼龙 商品名 为聚酰胺中的一大类，我国还以“纶”字作为合成纤维商品的后缀字 如锦纶（尼龙—6）、腈纶（聚丙烯腈）、氯纶（聚氯乙烯）、丙纶（聚丙烯）、涤纶（聚对苯二甲酸乙二酯）等等。

聚合物还可以采用代号（英文缩写）代表其名称。土工合成材料中最常见到聚合物的代号如表 2-1 所示。

表 2-1 常见聚合物的代号

名 称	英文名称	代 号
氯化聚醚	Chlorinated polyethylene	CPE
聚酰胺	Polyamide	PA
聚乙烯	Polyethylene	PE
聚 酯	Polyester	PES
聚烯烃	Polyolefin	PO
聚丙烯	Polypropylene	PP
聚苯乙烯	Polystyrene	PS
聚氯乙烯	Polyvinyl chloride	PVC
氯丁橡胶	Chloroprene Rubber	CR
顺丁橡胶	Butadiene Rubber	BR

三、聚合物的分类

聚合物品种繁多 按其性能 聚合物可分为塑料、纤维和橡胶三大类 此外还有涂料、胶粘剂和离子交换树脂等。

(1)塑料。在一定条件下具有流动性、可塑性 并能加工成型 当恢复平常条件 (如除去压力和降温), 则仍保持加工时形状的聚合物称为塑料。塑料又分为热塑性塑料和热固性塑料两类。热塑性塑料是指在温度升高后能够软化并能流动, 当冷却时即变硬并保持高温时的形状的塑料, 而且在一定条件下可以反复加工定型, 例如聚乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯等; 热固性塑料是指加工成型的塑料在温度升高时不能软化, 其形状不变的塑料, 例如酚醛树脂、脲醛树脂等。

(2)纤维。直径很小, 并且具备或保持其本身长度大于直径 1 000 倍以上 而又具有一定强度的线条或丝状聚合物称为纤维。人工合成纤维是由聚合物原料 (又称为树脂) 经纺丝而形成的合成纤维。

重要的合成纤维品种有 聚酯纤维 如涤纶 聚酰胺纤维 如尼龙 66 烯类纤维 如腈纶、维尼纶等。

(3)橡胶。在室温下具有高弹性的聚合物材料称为橡胶。在外力作用下, 能产生很大的应变 (可以达到 1 000%), 外力除去后又能迅速恢复原状。重要的合成橡胶品种有顺丁橡胶、氯丁橡胶、硅橡胶等。以上是从性能上的分类 就其原材料来说可以是相同的 例如聚氯乙烯可以制成塑料产品、纤维和类似于橡胶的软制品。产生这些性能上的差别的原因是这些聚合物的分子间的作用力的差别, 其中以橡胶的分子聚集力为最弱, 纤维的分子间吸引力最强, 而塑料则介于两者之间。

聚合物也可按其分子主键结构分为线形聚合物、支化聚合物和网状聚合物。

键结构是指分子本身的结构, 即原子在分子中的排列运动情况。根据其主键的几何形状一般分为:

(1)线形聚合物。它是指每个重复单元仅仅和另外两个单元相连接的聚合物。每一个分子链为一独立的单位, 尽管有时也有短的分支, 但分子链之间没有任何化学键连结。因此它们柔软 有弹性 分子链之间易于产生相互位移 可以热塑成各种形状的产品 为热塑性聚合物。这一类聚合物很多 如无支化的聚乙烯、定向聚丙烯、聚脂和尼龙等。

(2)支化聚合物。它是指在主链上带有侧链的聚合物。它可以形成一些较长的支链。如在高温高压下形成的低密度聚乙烯在 100 个碳原子上含有大约 20~30 个支链 其中包含少量较长的支链。这时它的性能明显不同于高密度聚乙烯。短支链使得聚合物主链之间跳离增大 有利于活动 流动性较好 而支链过长则反而阻碍聚合物的流动 影响结晶, 降低弹性。总的说来 支链聚合物密度较低 但穿透性能有所增加。

(3)网状聚合物。它是指一种相互连接起来 (又称交联) 的支化聚合物。由于分子链通过支链以化学键与其他分子链相连接, 其形状不易改变。因而网状聚合物为热固性聚合物 如环氧树脂、酚醛树脂 等等。这类聚合物的耐热性好 强度高 形态稳定。

最后还应指出, 聚合物的物理力学性能不仅和其化学成分有着密切关系, 也与其分子量、支化、交联、结晶、取向、添加剂及其加工工艺程序等有密切关系。相同材料的力学性

能又和其试验时的条件 如温度、湿度、加荷条件、加荷速度等有关。因此 在选择土工合成材料时，应对材料的化学成分、加工工艺、力学特性和材料工作环境和荷载情况进行综合的全面的考虑。

第二节 土工合成材料的种类

根据土工合成材料技术发展现状和我国有关规范，目前土工合成材料可分为土工织物、土工膜、土工复合材料和土工特种材料等四大类 其体系如图 2-1 所示。

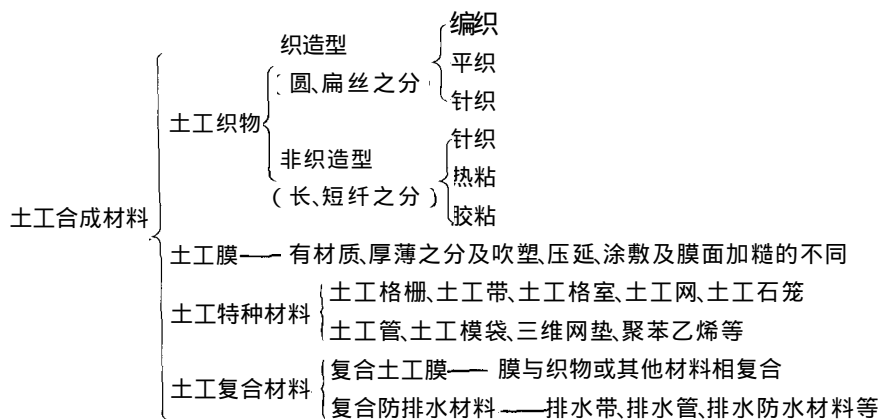


图 2-1 土工合成材料体系示意

一、土工织物

土工织物也称土工布，它是由聚合物纤维制成的透水性土工合成材料，根据制造方法的差异，土工织物又可分为织造型土工织物和非织造型土工织物两大类。

（一）织造型土工织物

织造型土工织物是问世最早的一种土工织物，亦称有纺土工织物。其制造工序是先将聚合物原材料加工成丝、纱或带，再借织机织成平面结构的布状产品。织造时有相互垂直的两组平行丝 沿织机〔长〕方向的称经丝 横过织机〔宽〕方向的称纬丝。

丝种包括单丝、多丝及二者的混合。单丝是单根丝，典型直径为 0.5 mm 它是将聚合物热熔后从模具中挤出来的连续长丝。在挤出的同时或刚挤出后将丝拉伸，使其中的分子定向，以提高丝的强度。多丝是由若干根单丝组成的，在制造高强土工织物时常采用多丝 多丝也有用切割成的短丝 一般长 100 mm 搓拧而成的。

早期的土工织物系由单丝织成，后来发展为采用扁丝。扁丝是由聚合物薄片经利刀切成的薄条，其厚度比单丝薄得多，且在切片前后都要牵引拉伸以提高其强度。扁丝宽度约为 3 mm，是其厚度的一二十倍。目前，大多数编织土工织物是由扁丝织成，而圆丝和扁丝结合织成的织物有较高的渗透性。

另一种特殊的扁丝叫裂膜丝。它是将一根扁丝剖许多根细丝，但仍连在一起。由裂膜丝织成的织物较为密实，柔软而渗透性小。多丝和裂膜丝结合织成的编织物厚度可达

1~2 mm 比扁丝织成的要厚。

织造型土工织物有三种基本的织造型式：平纹、斜纹和缎纹。平纹是一种最简单、应用最多的织法，其形式是经、纬丝一上一下。斜纹则是经丝跳越几根纬丝，最简单的形式的经丝二上一下，从织物表面看去，长经丝段的分布呈对角线形。缎纹织法是经丝和纬丝长距离的跳越，例如经丝五上一下，因而看上去织物的一面几乎全是经丝，另一面却全是纬丝，这种织法仅用于衣料类产品。

合成纤维不同于天然纤维的一个特点是可以抽成不同细度的丝。纤度是表示纤维粗细程度的一种指标，有质量单位和长度单位两种。质量单位以一定长度纤维的质量表示，一般采用“旦”(denier)是 9 000 m 长纤维的质量(单位以克计)纤维越细旦数越小。例如 200 旦的一种纤维表示 9 000 m 长的该种纤维质量是 200 g。长度单位是以一定质量纤维的长度表示采用公支即 1 g 的纤维长度或 1 kg 纤维单位为 km 的长度)如 1 g 的纤维长 100 m 即为 100 公支。纤维愈细，公支数愈大。旦与公支之间的关系是旦数 $\times$ 公支数 = 9 000。例如 100 旦的粘胶纤维就是 90 公支的粘胶纤维。

在织造时由于梭子要不断地牵引纬丝从经丝的空间中穿过故要求经丝强度比纬丝高。采用不同的丝和纱以及不同的织法，可以使织成的产品具有不同的特性。例如，平纺织物有明显的各向异性如图 2-2 其经、纬向的摩擦系数也不一样圆丝织物的渗透性一般比扁丝的要高，每厘米长的经丝间穿越的纬丝愈多，织物也愈密愈强，渗透性则愈低。单丝的表面积较多丝的要小，其防止生物淤堵的性能要好一些。由此可见，可以借调整丝(纱)的材质、品种和织造方式等来得到符合工程要求的强度、经纬强度比、摩擦系数、等效孔径和耐久性等项指标。在工程实施中应根据具体要求来优选产品，铺设时要注意材料的合理铺设方向。

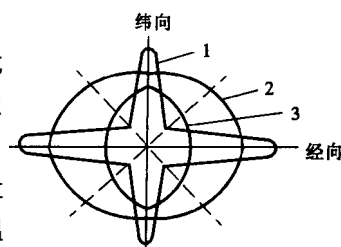
(二 非织造型土工织物

非织造型土工织物又称无纺土工织物，20 世纪 60 年代才开始在欧洲兴起。根据粘合方式的不同，非织造型土工织物分为热粘合、化学粘合和机械粘合等三种。

热粘合非织造型土工织物是将纤维在传送带上成网，让其通过两个反向转动的热辊之间热压，纤维网受热到一定温度后部分纤维软化熔融互相粘连冷却后得到固化。该法主要用于生产薄型土工织物厚度一般为 0.5~1.0 mm。由于纤维是随机分布的，织物中形成无数大小不一的开孔。再因为无经纬丝之分，故其强度的各向异性不明显，见图 2-2 所示。

纺粘法是热粘合法中的一种是将聚合物原料经过熔融、挤压、纺丝成网纤维加固后形成的产品。这种织物厚度薄而强度高，渗透性大。由于制造流程短，产品质量好，品种规格多成本低用途广近年来在我国发展较快。

化学粘合法是通过不同工艺将粘合剂均匀地施加到纤维网中待粘合剂固化纤维之间便互相粘连使网得以加固厚度可达 3 mm。常用的粘合剂有聚烯酯、聚酯乙烯等。也可以在施加粘合剂前加以滚压，得到较薄的和孔径较小的产品。



1—织造型土工织物；
2—非织造型土工织物；
3—短纤维非织造型土工织物
图 2-2 土工织物抗拉模量
极坐标曲线

机械粘合法是以不同的机械工具将纤维网加固，应用最广的是针刺法。针刺法用装在针刺机底板上的许多截面为三角形或菱形且侧面有钩刺的针，上下往复运动，让网内的纤维互相缠结，从而织网得以加固。产品厚度一般在 1 mm 以上，孔隙率高，渗透性大，反滤排水性能均佳，在工程中应用很广。

二、土工膜

土工膜是一种相对不透水的土工合成材料。根据原材料不同，可分为聚合物和沥青两大类。为满足不同强度和变形需要，又有不加筋和加筋的区分。聚合物膜在工厂制造，沥青膜则大多在现场制造。

制造土工膜的聚合物有热塑塑料（如聚氯乙烯）、结晶热塑塑料（如高密度聚乙烯）、热塑弹性体（如氯化聚乙烯）和橡胶（如氯丁橡胶）等。工厂制造土工膜的方法主要有挤出、压延或加涂料等。挤出是将熔化的聚合物通过模具制成土工膜，厚 0.25~4 mm。压延则是将热塑性聚合物通过热辊压成土工膜，厚 0.25~2 mm。加涂料是将聚合物均匀涂在纸片上，冷却后将土工膜揭下而成。

现场制造土工膜是在地面喷涂或敷一层冷或热的粘滞聚合物而成。沥青土工膜用的是沥青聚合物或合成橡胶。

制造土工膜时需要掺入一定量的添加剂，使在不改变材料基本特性的情况下，改善其某些性能和降低成本。例如，掺入碳黑可以提高抗日光紫外线能力，延缓老化；掺入铅盐、钡、钙等衍生物可以提高材料的抗热、抗光照稳定性；掺入滑石等润滑剂以改善材料可操作性；掺入杀菌剂可防止细菌破坏等。

三、土工复合材料

土工复合材料是两种或两种以上的土工合成材料组合在一起的制品。这类制品将各组合料的特性相结合，以满足工程的特定需要。土工复合材料的品种繁多，是今后一段时期发展的方向。下面简单介绍几种。

（一）复合土工膜

复合土工膜是将土工膜和土工织物（包括织造和非织造型）复合在一起的产品。应用较多的是针刺土工织物，其单位面积质量一般为 200~600 g/m²。复合土工膜在制造时可以有两种方法，一是将织物和膜共同压成；另外也可在织物上涂抹聚合物以形成二层（俗称一布一膜）、三层（二布一膜）、五层（三布二膜）的复合土工膜。

复合土工膜有许多优点。例如，以织造型土工织物复合，可以对土工膜加筋，保护膜不受运输或施工期间的外力损坏；以非织造型织物复合，不仅对膜提供加筋和保护，还可起到排水排气的作用，同时提高膜面的摩擦系数，在水利工程和交通隧洞工程中有广泛的应用。

（二）塑料排水带

塑料排水带是由不同截面形状的连接塑料芯板外面包裹非织造土工织物（滤膜）而成。

芯板的原材料为聚丙烯、聚乙烯或聚氯乙烯。芯板截面有多种型式，常见的有城垛

式、口琴式和乳头式等 如图 2-3。芯板起骨架作用，截面形成的纵向沟槽供通水之用，而滤膜多为涤纶无纺布物 作用是滤土、透水。塑料排水带的宽度一般为 100 mm 厚度 3.5 ~ 4 mm 每卷长 100~200 m 每米重约 0.125 kg。我国目前排水带的宽度最大达 230 mm 国外已有 2 m 以上的宽带产品。

(三) 款式排水管

软式排水管又称为渗水软管，是由高强钢丝圈作为支撑体 和具有反滤、透水及保护作用的管壁包裹材料两部分构成的。高强钢丝由钢线经磷酸防锈处理，外包一层 PVC 材料，使其与空气及水隔绝，避免氧化生锈。包裹材料有三层，内层为透水层，由高强尼龙纱作为经纱，特殊材料为纬纱制成 中层为非织造土工织物过滤层 外层为与内层材料相同的覆盖层。为确保软式排水管的复合整体性 支撑体和管壁外裹材料间 以及外裹各层之间都采用了强力粘结剂，结合牢固。目前市场出售的管径分别为 50.1、80.4 和 98.3 mm 相应的通水量 坡降 $i = 1/250$ 时为 45.7、162.7 和 311.4 cm^3/s 。

软式排水管兼有硬水管耐压与耐久性能，又有软水管的柔性和轻便特点 过滤性强 排水性好 可以用于各种排水工程中。

(四) 其他复合排水材料

现在已生产出各种型式芯材和外包滤膜的复合排水材料。芯材有平板上立管柱的，有做成各种奶头形的 有土工网的 还有用塑料丝缠成的网状体的等等 如图 2-4 它们均具有较大的排水能力，可按工程需要选用。

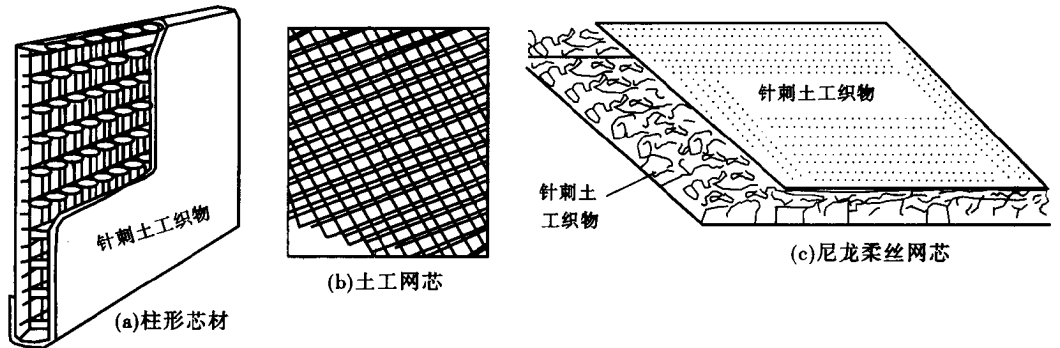


图 2-3 塑料排水板断面 (单位: mm)

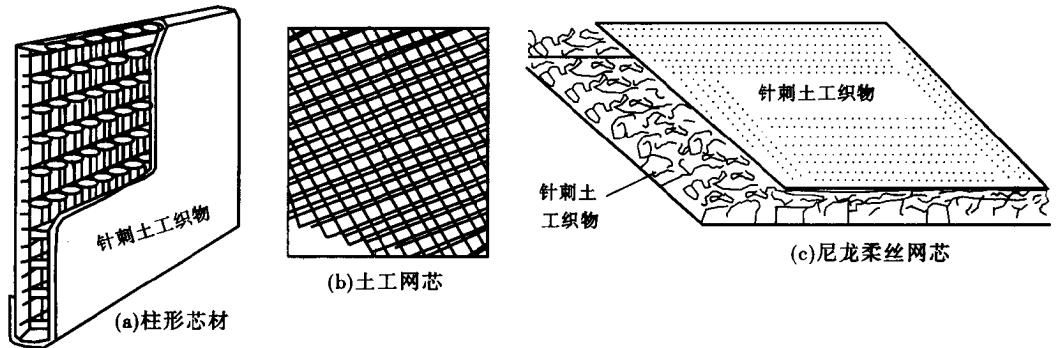


图 2-4 复合排水材料举例

四、土工特种材料

土工特种材料是为工程特定需要而生产的产品，品种多，现选几种主要品种介绍如下。

(一) 土工格栅

土工格栅一般是指在聚丙烯或高密度聚乙烯板材上先冲孔，然后进行拉伸而成的带

长方形或方形孔的板材 如图 2-5。加热拉伸是让材料中的高分子定向排列 以获得较高的抗拉强度和较低的延伸率。按拉伸方向不同, 格栅分为单向拉伸和双向拉伸两种。前者在拉伸方向上有较高的强度, 后者在两个拉伸方向上皆有较高的强度。

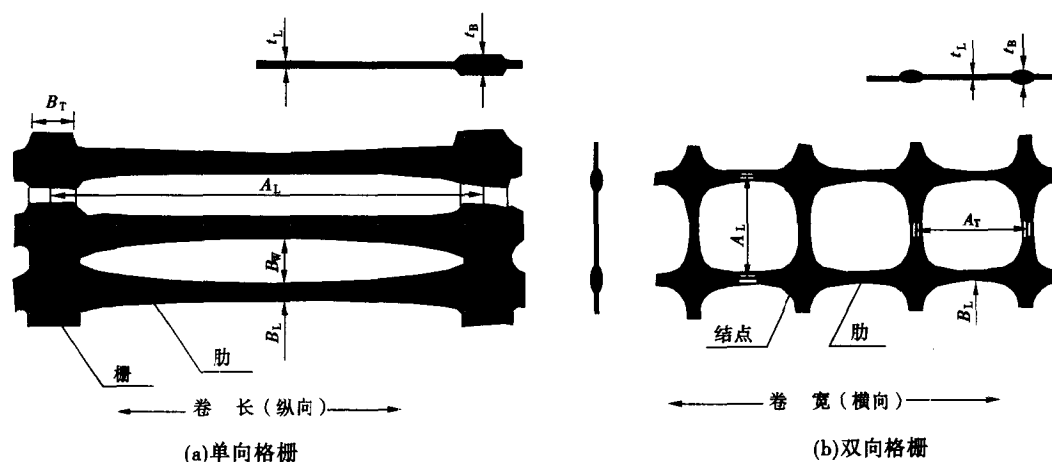


图 2-5 土工格栅的形状及细部

土工格栅因其高强度和低延伸率而成为加筋的好材料。例如, 英国奈特龙 (Netlon) 公司生产的坦萨 (TENSAR) SR2 单向 的纵、横向抗拉强度分别为 80 和 13 kN/m 延伸率分别为 9% 和 15% (常温下)。土工格栅埋在土内 与周围土之间不仅有摩擦作用 而且由于土石料嵌入其开孔中 还有较高的咬合力 它与土的摩擦系数可以高达 0.8~1.0。

土工格栅的品种和规格很多。目前开发的新品种有用加筋带纵横相连而成的, 有用高强合成材料丝纵横连接而成的。如玻璃纤维土工格栅、涤纶纤维土工格栅等。

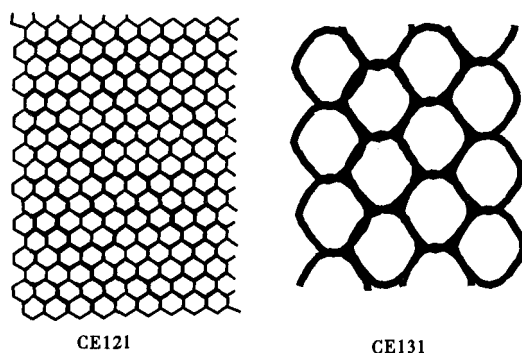


图 2-6 土工网

(二) 土工网

土工网是以聚丙烯或聚乙烯为原料 应用热塑挤出法生产的具有较大孔径和较大刚度的平面结构材料 (图 2-6)。可因网孔尺寸、形状、厚度和制造方法的不同而形成性能上的很大差异。一般而言, 土工网的抗拉强度较低, 延伸率较高, 以英国奈特龙系列为例, 其抗拉强度仅为 2~8 kN/m 延伸率一般达到 20% 以上。

这类产品常用于坡面防护、植草、软基加固垫层, 或用于制造复合排水材料。只有在受

力不大的场合 才可用作加筋。

(三) 土工模袋

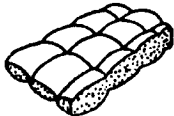
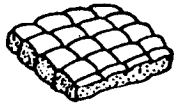
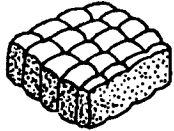
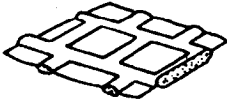
土工模袋是由上下两层土工织物制成的大面积连续袋状土工材料, 袋内充填混凝土或水泥砂浆, 凝固后形成整体混凝土板, 可用作护坡。这种袋体代替了混凝土的浇注模

板，故而得名。模袋上下两层之间用一定长度的尼龙绳来保持其间隔，可以控制填充时的厚度。浇注在现场用高压泵进行。混凝土或砂浆注入模袋后，多余水量可从织物孔隙中排走，故而降低了水分，加快了凝固速度，使强度增高。

按加工工艺的不同，可将模袋分为两类，即机织模袋和简易模袋。前者是由工厂生产的定型产品，而后者亦可用手工缝制而成。

机织模袋按其有无排水点和充填后成型的形状分成许多种。我国现行的机织模袋的基本型式有五种，其规格特征及用途见表2-2。

表 2-2 模袋基本型式

型 式	厚度(cm)	特 征	充填料	示意图
有反滤排水点 - FP 型	6.5 10.0 14.0 15.0 16.5	除接缝排水，还有等间距的排水点。每个点面积 4 cm^2 ，厚 6.5 cm 的用于临时性工程，10~16.5 cm 的用于永久性工程	水泥砂浆	
无反滤排水点 - NF 型	5 10 15	不另设排水点。填充料硬结后不透水，用于对排水要求不高的工程	水泥砂浆	
无排水点 混凝土袋 - CX 型	15 20 30 50 70	不设排水点。如果排水，在护面上另设排水孔，用于要求厚护面的工程	15 ~ 30 cm 厚，骨料粒径不大于 10 ~ 15 mm 30 ~ 70 cm 厚，粒径不大于 25 mm	
铰链块型 - RB 型	10 15	填充料硬结后为许多相互连接的独立块。排水畅通。由高强尼龙绳 ($\phi 5\text{ mm}$) 联络各块，各块可相互转动。适用于沉降差和地形变化大的工程	水泥砂浆	
框格型 - NB 型	空格 30×60 空格 22×22	填充料硬结后呈格形。格内可植花草，绿化坡面及环境	水泥砂浆	

(四) 土工格室

土工格室是由强化的高密度聚乙烯宽带，每隔一定间距以强力焊接形成的网格室结构。典型的条带厚 1.2 mm 宽 100 mm 每隔 300 mm 进行焊接。闭合和张开时的形状如图 2-7。格室张开后，填以土料，由于格室对土的侧向位移的限制，可大大提高土体的刚度和强度。它可用于处理软弱地基，增大其承载力；还可用于固沙和护坡等。