

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50290—201X

土工合成材料应用技术规范

Technical standard for applications of geosynthetics

(征求意见稿)

(仅供征求意见，请勿引用)

201X- X- X 发布

201X- X- X 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

土工合成材料应用技术规范

Technical standard for applications of geosynthetics

GB 50290—201X

主编部门：中华人民共和国水利部
批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部
施行日期：201X年XX月XX日

中国计划出版社

201X 北京

前 言

本规范是根据住房和城乡建设部“关于印发《2010年工程建设标准规范制订、修订计划》的通知”（建标〔2010〕43号）的要求，由水利部水利水电规划设计总院和中国水利水电科学研究院会同有关单位共同修订完成的。

修订后的《土工合成材料应用技术规范》（以下简称本规范）共8章37节，主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、反滤和排水、防渗、防护、加筋、施工检测等。

本次主要修订的内容：

——补充了术语（如土工合成材料隔渗材、软体排、格宾、包容、吸水速凝挡水子堤、土工合成材料加筋桩网基础等）的解释及英文翻译；

——增加了环保等土工合成材料应用领域的内容；

——补充了新型材料，完善了土工合成材料分类体系；

——修改了材料的强度折减系数，增加了材料渗透性指标的折减系数；

——反滤和排水一章增加了土坝坝体排水、道路排水、地下埋管降低地下水位等节内容；

——防渗一章增加了粘土土工合成材料隔渗材（GCL）用于防渗内容，完善与增加了土工膜隔渗材的设计与施工相关条目内容；

——防护一章增加了防汛抢险、土工系统用于防护等节内容；

——加筋一章增加了软基上加筋桩网结构的设计与施工内容；

——增加了施工检测一章。

本规范由水利部负责管理，由水利部水利水电规划设计总院负责具体技术内容的解释。为不断提高规范质量，请各单位在执行本规范的过程中注意总结经验，积累资料，将有关意见和建议反馈给水利部水利水电规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街2-1号，邮政编码：100120，E-mail：jsbz@giwp.org.cn），以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位：水利部水利水电规划设计总院
中国水利水电科学研究院

参编单位：北京市水利规划设计研究院
中国土工合成材料工程协会
上海勘测设计研究院
重庆交通科研设计院
长江科学院
中交第三航务工程勘察设计院有限公司
中国铁道科学研究院
中国环境科学研究院
南京水利科学研究院
中国建筑科学研究院
北京高能时代环境技术股份有限公司
中国民航机场建设集团公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符 号.....	4
3	基本规定	6
3.1	材 料.....	6
3.2	设计原则.....	8
3.3	施工检验.....	8
4	反滤和排水	9
4.1	一 般 规 定.....	9
4.2	反 滤 准 则.....	9
4.3	设计方法.....	11
4.4	施 工 要 点.....	13
4.5	土坝坝体排水.....	13
4.6	道 路 排 水.....	14
4.7	地下埋管降低地下水位.....	14
4.8	软基中塑料排水带设计与施工.....	15
5	防 渗	17
5.1	一 般 规 定.....	17
5.2	防 渗 结 构.....	17
5.3	土工膜隔渗材的设计方法与施工要点.....	18
5.4	水利工程防渗.....	19
5.5	交通工程防渗.....	20
5.6	房屋工程防渗.....	21
5.7	环保工程防渗.....	21
5.8	粘土土工合成材料隔渗材（GCL）用于防渗.....	22

6	防 护	24
6.1	一 般 规 定.....	24
6.2	软体排工程防冲.....	24
6.3	土工模袋工程护坡.....	25
6.4	土工网垫植被护坡和土工格室工程护坡.....	26
6.5	防 汛 抢 险.....	26
6.6	路面反射裂缝防治.....	27
6.7	土工系统用于防护.....	27
6.8	其它防护工程.....	31
7	加 筋	33
7.1	一 般 规 定.....	33
7.2	加筋土结构设计的一般方法.....	33
7.3	加筋土挡墙设计与施工.....	33
7.4	软基加筋土垫层设计与施工.....	36
7.5	加筋土坡设计与施工.....	37
7.6	软基上加筋桩网结构的设计与施工.....	38
8	施 工 检 测	41
8.1	一 般 要 求.....	41
8.2	具体工种的施工检测要求.....	41
	规范用词用语说明.....	44
	引用标准名录.....	45
	条 文 说 明.....	46

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Notations.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Notations.....	4
3	Basic Requirements	6
3.1	Materials.....	6
3.2	Design Principles.....	8
3.3	Field Inspection.....	8
4	Filtration and Drainage.....	9
4.1	General Provisions.....	9
4.2	Filter Criteria.....	9
4.3	Design Methods.....	11
4.4	Main Points for Construction.....	13
4.5	Drainage for Earth Dam.....	13
4.6	Drainage for Roadway.....	14
4.7	Subdrain for Lowering Water Table.....	14
4.8	Design and Construction of PVD in Soft Ground.....	15
5	Waterproofing.....	17
5.1	General Provisions.....	17
5.2	Structure for Waterproofing.....	17
5.3	Design and Construction of Geomembrane.....	18
5.4	Waterproofing in Hydraulic Engineering.....	19
5.5	Waterproofing in Communication Engineering.....	20
5.6	Waterproofing in Building Engineering.....	21
5.7	Waterproofing in Environmental Engineering.....	21
5.8	GCL Used for Waterproofing.....	22

6	Protection.....	24
6.1	General Provisions.....	24
6.2	Flexible Mattress Used for Erosion Control.....	24
6.3	Geofabriform Used for Bank Protection.....	25
6.4	Geosynthetic Fiber Mattress and Geocell Used for Slope Protection....	26
6.5	Flood Control and Emergency Prevention.....	26
6.6	Prevention of Road Surface from Reflexive Cracks.....	27
6.7	Geosystem Used for Protective Engineerings.....	27
6.8	Other Protective Engineerings.....	31
7	Reinforcement.....	33
7.1	General Provisions.....	33
7.2	General Methods for Reinforced Earth Structure Design.....	33
7.3	Design and Consruction of Reinforced Earth Retaining Wall.....	33
7.4	Design and Consruction of Reinforced Embankments on Soft Foudations	36
7.5	Design and Consruction of Reinforced Slope.....	37
7.6	Design and Consruction of Geosynthetic Reinforced Pile Foudation.....	38
8	Field Inspection.....	41
8.1	General Requirements.....	41
8.2	Requirements for Various Engineering Items.....	41
	Explanation of Wording in the Code.....	44
	List of Quoted Standards.....	45
	Explanation of Provisions.....	46

1 总 则

1.0.1 为推动土工合成材料在工程建设中的应用，统一设计、施工、验收等方面的技术要求，确保工程质量，做到技术先进、经济合理、安全适用，符合环保要求，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水利、电力、铁路、公路、水运、建筑、机场、环保、市政、矿冶等工程中应用土工合成材料的设计、施工及验收。

1.0.3 土工合成材料的设计、施工除应符合本规范规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 土工合成材料 geosynthetics

工程建设中应用的与岩石、土或其它岩土材料接触的聚合物材料（合成的或天然的），即土工织物、土工膜、土工复合材料、土工特种材料的总称。

2.1.2 土工织物 geotextile

平面透水性土工合成材料。按制造方法不同，分为有纺土工织物和无纺土工织物。

2.1.3 有纺土工织物 woven geotextile

由纤维纱或长丝按一定方向排列机织的土工织物。

2.1.4 无纺土工织物 no woven geotextile

由短纤维或长丝按随机或定向排列制成的薄絮垫，经机械结合、热粘或化粘而成的织物。

2.1.5 土工膜 geomembrane

由聚合物或沥青制成的相对不透水薄膜。

2.1.6 土工格栅 geogrid

由有规则的网状抗拉条带经定向拉伸形成的用于加筋的土工合成材料。其开孔可容周围土、石或其它土工材料嵌入。分塑料土工格栅、玻纤格栅、经编格栅和粘接或焊接成的土工格栅等。

2.1.7 土工带 geobelt

经挤压拉伸或再加筋制成的条带抗拉材料。

2.1.8 土工格室 geocell

由土工格栅、土工织物或土工膜、条带构成的蜂窝状或网格状三维结构材料。

2.1.9 土工网 geonet

由平行肋条经以不同角度与其上相同肋条粘结为一体的用于平面排液、排气的土工合成材料。

2.1.10 土工模袋 geofabriform

由双层有织物制成的连续或单独的袋状结构材料。其中充填混凝土或水泥砂浆，凝结后形成板状防护板块体。

2.1.11 土工网垫 geosynthetic fiber mattress

以热塑性树脂为原料制成的三维结构，亦称三维植被网。其底部为基础层，上覆起泡膨松网包，包内填沃土和草籽，供植物生长。

2.1.12 土工复合材料 geocomposite

由两种或两种以上材料复合成的土工合成材料。

2.1.13 塑料排水带 prefabricated vertical drain (PVD)

由不同凹凸截面形状、具有连续排水槽的合成材料芯材，外包或外粘无纺土工织物构成的复合排水材料。

2.1.14 土工合成材料膨润土垫 geosynthetic clay liner (GCL)

土工织物或土工膜间包有膨润土或其它低透水性材料，以针刺、缝接或化学剂粘接而成的一种隔水材料。

2.1.15 土工合成材料隔渗材 geosynthetic barriers

具隔渗功能的土工合成材料的统称。包括聚合物（polymeric）土工合成材料隔渗材，即常称的土工膜，粘土（clay）土工合成材料隔渗材，即常称的 GCL 和沥青（bituminous）土工合成材料隔渗材，即土工织物上涂沥青而成的隔渗材。

2.1.16 聚苯乙烯板块 expanded polystyrene sheet (EPS)

聚苯乙烯中加入发泡剂膨胀经模塑或挤压制成的轻质板块。

2.1.17 玻纤格栅 glass grid

以玻璃纤维为原料，通过纺织加工，并经表面后处理而成的网状制品。

2.1.18 软式排水管 soft drain pipe

高强圈状弹簧钢丝作支撑体外包土工织物及强力合成纤维外覆层制成的管状透水材料。

2.1.19 缠绕式排水管 wound drainage pipe

以聚乙烯或其它聚合材料挤成的条带，或在其中加入其它材料的条带，经缠绕焊接制成的排水管体。

2.1.20 格宾 gabion

英文名词音译的市场俗名，工程界常称为石笼。以涂聚氯乙烯（PVC）等的防锈铁丝、土工格栅或土工网等材料捆扎成的管状、箱状笼体。内填块石或土袋。

2.1.21 软体排 flexible mattress

用于取代传统梢石料沉排的防护结构。双层排采用两层有纺土工织物按一定间距和型式将两片缝合在一起。两条联结缝间形成管带状或格状空间，其中充填透水料而构成压重砂肋。单层排上系扣预制混凝土块，或抛投砂石等作为压重。两类排按需要纵横向以绳网加固，并供牵拉排体定位之用。排体借船只辅以人工铺盖在河床或岸坡上可能遭到冲刷的部位。

2.1.22 反滤 filtration

土工织物在使液体通过的同时，保持受渗透压力作用的土粒不流失的功能。

2.1.23 隔离 separation

防止相邻的两种不同介质混合的功能。

2.1.24 加筋 reinforcement

利用土工合成材料的抗拉性能，改善土的力学性的功能。

2.1.25 防护 protection

利用土工合成材料作为局部应力减小层，防止或减轻对给定面层或界面破坏的功能。

2.1.26 包容 containment

将松散的土、石料包裹聚合为大块体并防止它们流失的功能。包括以有纺土工织物缝制成的个体土袋、大直径长管袋或大体积包，用于充填散土、石，疏浚土或垃圾杂物等，利用其大体积和整体性特点，筑造堤坝、圈围人工岛、护岸防崩或形成建筑物的水下基础。袋内充填混凝土或砂浆（土工模袋），凝固后的模袋常用于边坡护坡。上述的各工程构件包括格宾，国外统称为土工系统（geosystem）。

2.1.27 极限抗拉强度 ultimate tensile strength

材料试样在缓慢增大的均匀单轴拉力作用下破坏时的最大拉力。

2.1.28 延伸率 elongation

材料试样受单轴拉力时的伸长量与原长度的比值。

2.1.29 垂直渗透系数 coefficient of vertical permeability

垂直于土工织物平面方向上的渗透系数。

2.1.30 平面渗透系数 coefficient of planar permeability

平行于土工织物平面方向上的渗透系数。

2.1.31 透水率 permittivity

土工织物在层流状态下单位面积、单位水力梯度时，沿织物法线方向的渗流量。

2.1.32 导水率 transmissivity

土工织物在层流状态下单位水力梯度时沿织物平面的单宽渗流量。

2.1.33 等效孔径 equivalent opening size (EOS)

土工织物的最大表观孔径。即干筛法试验中，试验用标准砂有 95%（按质量计）留在筛上的那个粒径。

2.1.34 梯度比 gradient ratio (GR)

在淤堵试验中，水流通过土工织物及其上 25mm 厚土料时的水力梯度与水流通过再上面 50mm 厚土料的水力梯度的比值。

2.1.35 渗沥液 leachate

通过填埋场固体废料流出的含可溶物、悬浮物和带出的混合物的液体。

2.1.36 顺机向 machine direction

与机器产出平行的方向，如有纺土工织物的经向、土工格栅的肋条向。

2.1.37 横机向 cross-machine direction

与顺机向垂直的方向。

2.1.38 脱水 dewatering

带水的疏浚土、淤泥、污染物、工业废渣等充灌入管袋，随时间进程，含水逐渐从管袋泌出，残渣干化的过程。经脱水的残渣体积减小，变干的渣料等更便于搬运处理，或回收为肥料或填料。

2.1.39 吸水速凝挡水子堤

有纺土工织物作外套，土工膜作内套，袋内装高效保水剂（SAP），配有护垫、加强带和注水孔的长管袋。注水入袋，数十秒内保水剂即吸水膨胀达自身重量的百倍，形成塑性胶凝体，在堤坝顶成为高度可达 1m 的挡水子堤。

2.1.40 土工合成材料加筋桩网基础 geosynthetic reinforced pile foundation

亦称加筋桩网结构，系在软基中设置带桩帽的群桩，以土工合成材料在其上建传力承台，借桩群形成的拱作用，将大部分堤身重量通过桩柱传递给桩下相对硬土层。

2.2 符 号

- A——系数，断面积
- A_r ——筋材覆盖率
- B, b——系数，宽度
- C_h ——水平固结系数
- C_i ——相互作用系数
- C_u ——不均匀系数
- C_v ——固结系数
- D, d——力臂，直径、厚度
- d_{15} 、 d_{85} ——土的特征粒径
- d_w ——当量井直径
- F_s ——安全系数
- f——摩擦系数
- GR——梯度比
- H, h——高度
- i——水力梯度
- K_a ——主动土压力系数
- K_0 ——静止土压力系数
- k_g ——土工织物的渗透系数
- k_h ——土工织物的平面渗透系数
- k_s ——土的渗透系数

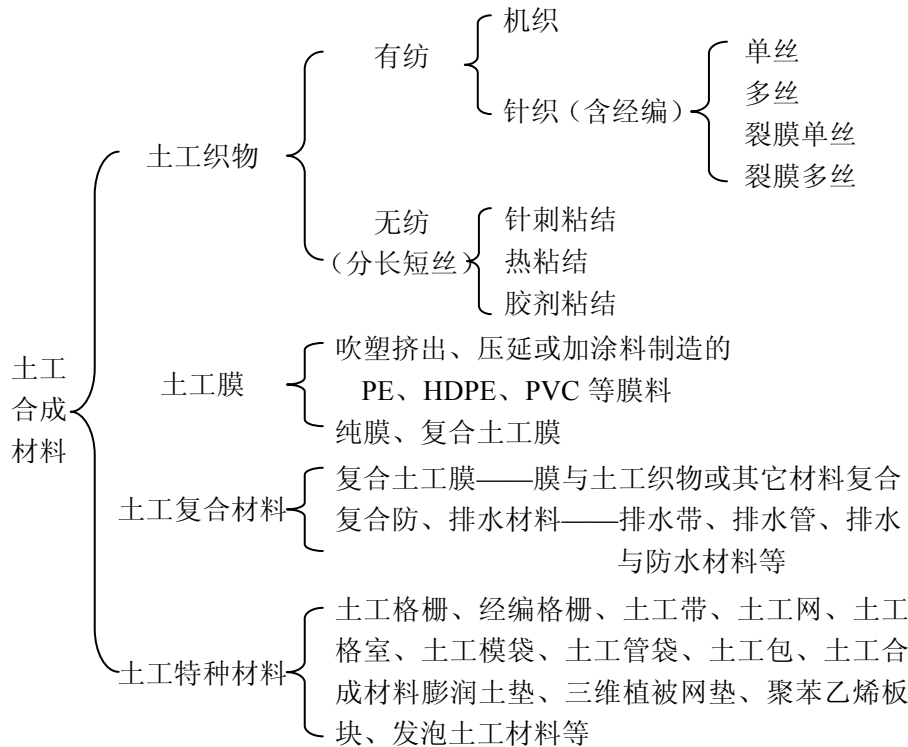
k_v ——土工织物的垂直渗透系数
 L ——长度
 M_D ——滑动力矩
 n ——坡率
 O_{95} ——土工织物的等效孔径
 q ——流量
 r ——降水强度
 RF ——总折减系数
 s_h ——水平间距
 s_v ——垂直间距
 T ——由加筋材料拉伸试验测得的极限抗拉强度
 T_a ——允许抗拉（拉伸）强度
 T_s ——筋材总拉力
 T_t ——总设计强度
 U_r ——固结度
 w_0 、 w_t ——含水率
 z ——深度
 α ——阻力系数
 β ——入渗系数，倾角
 δ ——厚度
 ε ——应变，延伸率
 θ ——导水率
 v ——流速
 σ_h ——水平应力
 σ_v ——垂直应力
 φ ——内摩擦角
 ψ ——透水率

3 基本规定

3.1 材料

3.1.1 土工合成材料产品的原料主要有聚丙烯 (PP)、聚乙烯 (PE)、聚酯 (PET)、聚酰胺 (PA)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚苯乙烯 (EPS) 和聚氯乙烯 (PVC) 等。

3.1.2 土工合成材料应包括土工织物、土工膜、土工复合材料和土工特种材料四大类。



3.1.3 土工合成材料的性能指标包括下列内容，应按工程设计与施工需要确定试验项目：

- 1 物理性能：材料比重、厚度（及其与法向压力的关系）、单位面积质量、等效孔径等。
- 2 力学性能：拉伸、握持拉伸、撕裂、顶破、CBR 顶破、刺破、胀破等强度和直剪摩擦、拉拔摩擦等。
- 3 水力学性能：垂直渗透系数（透水率）、平面渗透系数（导水率）、梯度比等。
- 4 耐久性能：抗紫外线能力、化学稳定性和生物稳定性、蠕变性等。

3.1.4 设计指标的测试应模拟工程实际条件进行，并应分析工程实际环境对指标测定值的影响（如无纺土工织物孔径随法向应力而改变）。

3.1.5 材料应根据工程要求的设计指标优选，不应简单地按物理性指标（例如单位面积质量等）确定。

3.1.6 材料的允许抗拉（拉伸）强度 T_a 应根据实测的抗拉强度 T ，通过下式计算确定：

$$T_a = \frac{T}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_D} = \frac{T}{RF} \quad (3.1.6)$$

式中： RF_{CR} ——考虑材料因蠕变影响的强度折减系数；

RF_{ID} ——考虑材料在施工过程中受损伤的强度折减系数；

RF_D ——考虑材料长期老化的强度折减系数；

RF——综合强度折减系数。

以上各折减系数应按具体工程采用的加筋材料类别、填土情况和工作环境等通过试验测定。通常可参考表 3.1.6-1~表 3.1.6-3 合理取值。

表 3.1.6-1 蠕变折减系数 RF_{CR}

加筋材料	折减系数 RF_{CR}
PET 土工格栅	2.5~2.0
PP 土工格栅	5.0~4.0
PE 土工格栅	5.0~2.5

表 3.1.6-2 施工损伤折减系数 RF_{ID}

加筋材料	填料最大粒径 102mm, 平均粒径 D_{50} 约为 30mm	填料最大粒径 20mm, 平均粒径 D_{50} 约为 0.7mm
HDPE 单向土工格栅	1.20~1.45	1.10~1.20
PP 双向土工格栅	1.20~1.45	1.10~1.20
PP、PET 有纺土工织物	1.40~2.20	1.10~1.40
PP、PET 无纺土工织物	1.40~2.50	1.10~1.40
PP 裂膜丝有纺土工织物	1.60~3.00	1.10~2.00

注：1 用于加筋的土工织物的单位面积质量不应低于 $270g/m^2$ 。

2 单位面积质量低、抗拉强度低的加筋材料取用表列系数中的大值。

原材料为 PET 的加筋材料的老化折减系数 RF_D 见表 3.1.6-3。PP 与 HDPE 加筋材料制造时掺入了要求数量的抗老化、抗氧化剂，在温度为 $20^\circ C$ 、设计使用寿命为 100 年时，老化折减系数可采用 1.1。

表 3.1.6-3 PET 加筋材料的老化折减系数 RF_D

加筋材料	$5 < pH < 8$	$3 < pH < 5$ $8 < pH < 9$
土工织物, $M_n < 20000$, $40 < CEG < 50$	1.60	2.00
涂面土工格栅, $M_n < 25000$, $CEG < 30$	1.15	1.30

注： M_n —分子量；CEG—碳酰基；pH—酸碱度。

3.1.7 蠕变折减系数、施工损伤折减系数、老化折减系数在无实测资料时，综合强度折减系数宜采用 3.0~5.0；施工条件差、材料蠕变性大时，综合强度折减系数应采用大值。

3.1.8 设计采用的撕裂强度、握持强度、胀破强度、顶破强度以及接缝连接强度的确定也应符合本规范 3.1.6 条的规定。

3.1.9 对于不均匀系数 $C_u > 5$ 的透水性回填土料，在没有实测资料，用有纺土工织物作为加筋材料时，其与土的摩擦系数可采用 $2/3 \tan \varphi$ ；用塑料土工格栅作为加筋材料时，摩擦系数可采用 $0.8 \tan \varphi$ ，其中 φ 为土的内摩擦角。对于粘性回填土料，土工合成材料与土的摩擦系数应通过试验测定。

3.1.10 土工合成材料应具有经国家或部门认可的测试单位的测试报告。材料进场时，应进行抽检。

3.1.11 材料应有标志牌，并应注明商标、产品名称、代号、等级、规格、执行标准、生产厂名、生产日期、毛重、净重等。外包装宜为黑色。

3.1.12 材料运送过程中应有封盖。在现场存放时应通风干燥，必须防止日光照射，并应远离火源。

3.2 设计原则

3.2.1 土工合成材料用于岩土工程，是利用其特定功能弥补岩土体性能之不足，它只是复合体的构件之一。工程设计与施工仍应遵从岩土工程及各行业标准的原则。

3.2.2 设计应全面考虑工程的主要目的、材料的布放位置、施工环境、长期工作条件对材料耐久性的要求，以及经济因素等最终确定。

3.2.3 土工合成材料常具有多种功能，应按其主要功能设计。对因采用该材料带来的负面效应，应同时给予核算，并拟订出有效的防护措施。

3.2.4 选用材料时，应考虑是用于永久性结构，还是临时性结构。材料是长期埋置于土内，还是暴露于大气。

3.2.5 设计中采用的材料指标应按相应规定予以折减。

3.2.6 应考虑工程场地周围常年的天气条件，它们会影响施工方法、回填时间要求和临时性的防护措施等。

3.2.7 应根据具体条件和工程经验，确定合理的各项校核安全系数。

3.2.8 应根据工程需要，确定必要的原位测试项目。

3.3 施工检验

3.3.1 施工时应有专人随时检查，每完成一道工序应按设计要求及时验收，合格后，方可进行下道工序。对重要或隐蔽性工序（例如土工膜焊接、胶接和土工格栅连接等）应实行旁站监理。

3.3.2 检查、验收的主要内容应包括清基、材料铺放位置和方向、材料的接缝或搭接、材料与结构物的连接、回填料及压实质量、压重和防护层等。

3.3.3 应根据设计要求，埋设必要的观测设备。

4 反滤和排水

4.1 一般规定

- 4.1.1** 应根据工程反滤、排水需要，合理选用土工织物、土工复合材料和土工管等。
- 4.1.2** 需要反滤功能时，可采用无纺土工织物；为兼顾其它需要，亦可采用有纺土工织物。
- 4.1.3** 需要排水功能时，可采用无纺土工织物（利用其平面排水）。要求大的排水能力时，可采用复合排水材料和结构（如排水沟、排水管、软式排水管、缠绕式排水管等）。
- 4.1.4** 工程中需要排水功能时，应根据具体情况，利用土工合成材料建成不同结构形式的排水体：在沟内以无纺土工织物包裹碎石形成暗沟或渗沟；以无纺土工织物包裹带孔管（塑料管、波纹管、混凝土管等）形成的排水暗管；或上述二者的结合；地基深层排水需利用预制成的塑料排水带。空间排水可利用带排水芯材的大面积排水板等。
- 4.1.5** 包裹式排水暗沟宜用于短程和要求排水量较小的情况；排水暗管适合于长距离和排水量较大的情况。
- 4.1.6** 用作反滤的无纺土工织物首先应符合反滤准则，见 4.2 节。其次其单位面积质量不应低于 $300\text{g}/\text{m}^2$ 。而其拉伸强度应能承受施工应力，其最低强度要求见表 4.1.6。

表 4.1.6 用作反滤排水的无纺土工织物的最低强度要求⁺⁺

强度	单位	当 $\epsilon^+ < 50\%$	当 $\epsilon \geq 50\%$
握持强度	N	1100	700
接缝强度	N	990	630
撕裂强度	N	400*	250
穿刺强度	N	2200	1375

*对有纺单丝土工织物要求 250N；+ ϵ 代表应变；++弱方向卷材平均值。

- 4.1.7** 土工合成材料应与工程结构中的其它排水结构共同构成完善的排水系统。
- 4.1.8** 采用土工合成材料作反滤、排水设施的主要工程有：
- 1 铁路、公路反滤、排水设施。
 - 2 挡墙后排水系统。
 - 3 岸墙后填土排水系统。
 - 4 隧洞、隧道排水系统。
 - 5 土石坝斜墙、心墙上、下游侧的过渡层。
 - 6 堤、坝坡、灰坝、尾矿坝反滤层。
 - 7 土石坝、堤内排水体。
 - 8 防渗铺盖下排气、排水系统。
 - 9 农田水利工程、减压井、农用井等外包反滤层。
 - 10 水闸分缝处、下游护坦、海漫下的反滤层。
 - 11 塑料排水带排水加速软土地基固结。
 - 12 地下、道旁沟管排水外包反滤层。
 - 13 冻胀区或干旱区用于截断毛细水上升铺设的排水层。

4.2 反滤准则

- 4.2.1** 无论是用作反滤或用作排水的土工织物都必须符合反滤准则。
- 4.2.2** 反滤准则指所选材料应满足下列要求：

- 1 保土性：织物的孔径应与被保护土的颗粒粒径相匹配，防止被保护土的骨架颗粒流失而引起渗透变形。
- 2 透水性：织物必须具有足够的透水性，保证渗透水通畅排除。
- 3 防堵性：织物在长期工作中不应因被细小颗粒及生物淤堵等失效。

4.2.3 反滤材料的保土性应符合下列要求：

$$O_{95} \leq B d_{85} \quad (4.2.3-1)$$

式中： O_{95} ——土工织物的等效孔径（mm）；

d_{85} ——被保护土的特征粒径（mm），按土中小于该粒径的土粒质量占总土粒质量的 85% 确定；

B ——与被保护土的类型、级配、织物品种和状态等有关的系数，应按表 4.2.3 规定采用。

表 4.2.3 系数 B 的取值

被保护土的细粒 ($d \leq 0.075\text{mm}$) 含量 (%)	土的不均匀系数或土工织物品种	B 值
≤ 50	$C_u \leq 2, C_u \geq 8$	1
	$2 < C_u \leq 4$	$0.5 C_u$
	$4 < C_u < 8$	$8/C_u$
> 50	有织物	1
	无织物	$O_{95} \leq 0.3\text{mm}$ 1.8

注：只要被保护土中含有细粒（ $d \leq 0.075\text{mm}$ ），应采用通过 4.75mm 筛孔的土料供选择土工织物之用。

表中 C_u 为不均匀系数，按下式计算：

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (4.2.3-2)$$

式中： d_{60} 、 d_{10} ——土中小于各该粒径的土质量分别占总土质量的 60% 和 10%（mm）。

当被保护土受动力水流时， B 值应采用 0.5。

4.2.4 反滤材料的透水性应符合下列要求：

$$k_g \geq A k_s \quad (4.2.4)$$

式中： A ——系数，按工程经验确定，不宜小于 10。来水量大、水力梯度高时，可增大 A 值。

防汛抢险，治理管涌时甚至达 50 或以上；

k_g ——土工织物的垂直渗透系数 k_v （cm/s）；

k_s ——被保护土的渗透系数（cm/s）。

4.2.5 反滤材料的防堵性应符合下列要求：

1 以现场土料制成的试样和拟选土工织物在进行淤堵试验后，所得等效孔径应符合下式要求：

$$O_{95} \geq 3d_{15} \quad (4.2.5-1)$$

式中： d_{15} ——土中小于该粒径的土质量占该土总质量的 15%（mm）。

2 被保护土易管涌，具分散性，水力梯度高，流态复杂， $k_s \geq 10^{-5}\text{cm/s}$ 时，应以现场土料作试样和拟选土工织物进行淤堵试验，得到的梯度比 GR 应符合下式：

$$GR \leq 3 \quad (4.2.5-2)$$

3 当排水失效后损失巨大时，应以拟用的土工织物和现场土料进行室内淤堵试验，验证其防堵有效性。

4.2.6 遇往复水流，且排水量较大时，应选择较厚的土工织物，或采用砂砾料与土工织物的复合反滤层。

土工合成材料用于治理路基翻浆冒泥病害时，宜在土工织物的上下各铺设 100mm 左右厚度的中、粗砂层，构成更有效的过滤层。

4.3 设计方法

4.3.1 土工织物用作反滤材料时应满足反滤准则，并按下列步骤进行选料：

- 1 确定土工织物的等效孔径 O_{95} 、渗透系数 k_v 、 k_h 和被保护土的特征粒径 d_{15} 、 d_{85} 。
- 2 按本规范第 4.2.3 条、第 4.2.4 条和第 4.2.5 条的规定检验待选土工织物。

4.3.2 土工织物用作排水材料时，应按下列步骤进行选料：

- 1 待选土工织物应符合反滤准则。
- 2 按下式计算土工织物具有的导水率 θ_a 和工程要求的导水率 θ_r ：

$$\theta_a = k_h \cdot \delta \quad (4.3.2-1)$$

$$\theta_r = q/i \quad (4.3.2-2)$$

式中： k_h ——土工织物平面渗透系数（cm/s）；

δ ——土工织物在预计现场法向压力作用下的厚度（cm）；

q ——预估单宽来水量（cm³/s）；

i ——土工织物首末端间的水力梯度。

- 3 待选土工织物的导水率 θ_a ，应满足下式要求：

$$\theta_a \geq F_s \cdot \theta_r \quad (4.3.2-3)$$

式中： F_s ——排水安全系数，可取 3~5，重要工程取大值。

- 4 当土工织物导水率不满足要求时，可选用较厚土工织物，或改用其它复合排水材料。

4.3.3 土工织物允许（有效）渗透性指标（如透水率 ψ 和导水率 θ ）应根据实测指标除以总折减系数，总折减系数 RF 应按下式计算：

$$RF = RF_{SCB} \cdot RF_{CR} \cdot RF_{IN} \cdot RF_{CC} \cdot RF_{BC} \quad (4.3.3)$$

式中： RF_{SCB} ——考虑织物被淤堵的折减系数；

RF_{CR} ——考虑蠕变导致织物孔隙减小的折减系数；

RF_{IN} ——相邻土料挤入织物孔隙引起的折减系数；

RF_{CC} ——化学淤堵折减系数；

RF_{BC} ——生物淤堵折减系数。

以上各折减系数可参考表 4.3.3 合理取值。

表 4.3.3 土工织物透水性指标折减系数

应用情况	折减系数范围				
	$RF_{SCB}^{①}$	RF_{CR}	RF_{IN}	$RF_{CC}^{②}$	RF_{BC}
挡土墙滤层	2.0~4.0	1.5~2.0	1.0~1.2	1.0~1.2	1.0~1.3
地下排水滤层	5.0~10	1.0~1.5	1.0~1.2	1.2~1.5	2.0~4.0
防冲滤层	2.0~10	1.0~1.5	1.0~1.2	1.0~1.2	2.0~4.0
填土排水滤层	5.0~10	1.5~2.0	1.0~1.2	1.2~1.5	5.0~10 ^③
重力排水	2.0~4.0	2.0~3.0	1.0~1.2	1.2~1.5	1.2~1.5
压力排水	2.0~3.0	2.0~3.0	1.0~1.2	1.1~1.3	1.1~1.3

注：1 如果织物表面盖有乱石或混凝土块，采用上限值。

2 对含高碱的地下水数值可取高些。

3 对于混浊水和（或）微生物含量超过 500mg/L 的水，采用更高数值。

4.3.4 土工织物滤层用于坡面时，应进行稳定性验算。

4.3.5 土工织物作表面防护应采取下列措施：

- 1 土表面为粗粒料时，应先铺薄砂砾层，再铺土工织物；土工织物顶面应设防护层。
- 2 坡顶部与底部的土工织物应锚固；水下岸坡脚处土工织物应采取防冲措施。

4.3.6 利用土工织物包裹碎石作暗沟或包裹带孔管作暗管时，其尺寸、布置方式、间距和坡度

等均应按相应规范的规定确定。

4.3.7 排水沟、管的具体设计应按下列步骤进行：

- 1 估算可能的来水量 q_r 。
- 2 确定沟、管的排水能力 q_c 。
- 3 确定排水能力的安全系数 F_s 。

4.3.8 工程来水量应按有关规范估算。亦可根据土体中的流网估计。若来水源于天然降雨，则来水量可按式估算：

$$q_r = \beta \cdot r \cdot s \cdot L \quad (4.3.8)$$

式中： β ——地基土的入渗系数（建议 $\beta=0.5$ ）；

r ——降水强度（m/s），按日最大降水强度计；

s ——平行沟、管的排列间距（m）。若为单独沟、管，取最大受水宽度；

L ——沟、管长度（m），即沿沟、管纵向的排水出口距离。

4.3.9 沟、管的排水能力 q_c 的确定

- 1 排水沟的排水能力按下式计算

$$q_c = k \cdot i \cdot A \quad (4.3.9-1)$$

式中： k ——包裹碎石的渗透系数（m/s），可参考表 4.3.9 取值；

i ——排水沟的纵向坡度；

A ——排水沟断面积（m²）。

表 4.3.9 粒料渗透系数

粒料粒径（mm）	k （m/s）
>50	0.8
50 单粒	0.78
35~50 级配	0.68
25 单粒	0.60
19~25 级配	0.41
19 单粒	0.37
12~19 级配	0.20
12 单粒	0.16
9~12 级配	0.12
9 单粒	0.10
6~9 级配	0.06
6 单粒	0.05
3~6 级配	0.02
3 单粒	0.015
0.5~3 级配	0.0015

- 2 带孔管的排水能力按下式计算

- 1) 渗入管内的水量 q_e

$$q_e = k_s \cdot i \cdot \pi d_{ef} \cdot L \quad (4.3.9-2)$$

式中： k_s ——管周土的渗透系数（m/s）；

d_{ef} ——等效管径（m），即包裹土工织物的带孔管（直径为 d ）虚拟为管壁完全透水的排水管的等效直径，由式（4.3.9-3）换算；

L ——意义同式（4.3.8）。

$$d_{ef} = d \cdot \exp(-2\alpha\pi) \quad (4.3.9-3)$$

式中： α ——无因次水流流入管内的阻力系数， $\alpha = 0.1 \sim 0.3$ 。包裹土工织物渗透系数大时取小值。

2) 带孔管的排水能力 q_t

$$q_t = v \cdot A \quad (4.3.9-4)$$

式中：A——管的断面积 (m^2)；

v ——管中水流速度 (m/s)。对开孔的光滑塑料管， $v = 198.2R^{0.714}i^{0.572}$ ，对波纹塑料管

$v = 71R^{2/3}i^{1/2}$ ，其中 R——水力半径， $R = \frac{d}{4}$ (m)；d——管直径 (m)；i——水力梯度。

3) 排水能力取值 q_c

排水能力取上述 q_c 和 q_t 中的较小值。

4.3.10 排水的安全系数

$$F_s = \frac{q_c}{q_r} \quad (4.3.10)$$

排水安全系数要求为 2.0~5.0。设计时，对于排水暗管，有清淤能力的可取低值，无清淤能力的应取高值。

4.4 施工要点

4.4.1 场地应平整，场地上的杂物应清除干净。

4.4.2 备料时，应先将窄幅缝接，并应裁剪成要求的尺寸和形状。

4.4.3 铺设应符合下列要求：

1 铺放平顺，松紧适度，应与土面贴紧。

2 有损坏处，应修补或更换。相邻片（块）可搭接 300mm；对可能发生位移处应缝接；不平地、松软土和水上铺设搭接宽度应适当增大；水流处上游片应铺在下游片上。

3 坡面上铺设宜自下而上进行。在顶部和底部应予以固定；坡面上应设防滑钉，并应随铺随压重。

4 与岸坡和结构物连接处应结合良好。

5 铺设人员不应穿硬底鞋。

4.4.4 土料回填应符合下列要求：

1 应及时回填，一般延迟最长不超过 48h。

2 回填土石块最大落高不得大于 300mm；石块不得在坡面上滚动下滑。

3 填土的压实度应符合设计要求；回填 300mm 松土层后，方可用轻碾压实。

4.4.5 用于排水沟的土工织物包裹碎石要求洁净，其含泥量应低于 5%。

4.5 土坝坝体排水

4.5.1 坝内排水体可以采用土工织物或复合排水材料将坝内渗透水导至坝外。

4.5.2 土工织物坝内排水体分为竖式、倾斜式及水平式三种。排水体的位置、尺寸均应符合有关规范的要求。

4.5.3 排水体选用土工织物应符合本规范 4.3 节的要求。

4.5.4 土工织物排水体需要排走的水量可用流网法估算（图 4.5.4）。由于排水体流量自上而下逐渐增多，应分段估算排水流量。

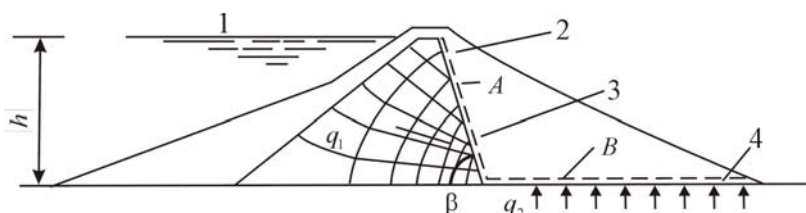


图 4.5.4 坝内排水体示意图

1—水面；2—心墙；3—竖式排水；4—水平排水

A、B—土工织物或复合排水材料

q_1 —来自竖式排水材料的流量； q_2 —来自水平排水材料的流量

4.5.5 土工织物平面导水能力，应按本规范式（4.3.2—1）和式（4.3.2—2）沿排水体自上而下地逐段计算导水率 θ_a 和 θ_r 。

1 倾斜式排水体在设计排水所需导水率 θ_r 时，式（4.3.2—2）中的水力梯度 i 可按下式计算：

$$i = \sin\beta \quad (4.5.5)$$

式中： β ——排水体的倾角（°）。

2 选用土工织物导水率应满足式（4.3.2—3）的要求。如不能满足，应更换较厚的土工织物或其它复合排水材料。

4.5.6 下游水平排水体的总排水量应为竖向排水底部最大流量和从地基进入水平排水体内的流量之和。来自地基的流量应按有关规范进行估算。

4.6 道路排水

4.6.1 为克服路基长期积水增加道路使用年限，可利用土工合成材料设置合宜的排水系统予以改善。

4.6.2 道路排水系统应包括下列两方面内容：

1 基层排水：作用是尽快将流入其中的水量汇集，以便导入道旁排水。

2 道旁纵向排水：将基层来水通过沟、管引至路外。纵向排水每隔一定距离（50m~150m），应设一排水口将来水导出道路。

4.6.3 道路基层排水可在基层粒料或面层下设置透水性很大的土工复合排水网，将来水迅速汇流至道旁纵向排水体。复合排水材料应具有较高抗压强度和足够的导水率。

4.6.4 道旁纵向排水可采用无纺土工织物包裹的砾、碎石的排水沟或包裹的多孔管。设计方法见 4.3 节。

4.6.5 排水沟或排水管的设计应符合 4.2 节的选料要求和第 4.3.7 条的设计方法。

4.7 地下埋管降低地下水位

4.7.1 需要大面积降低地下水位时，可以利用带孔塑料管埋入地下来实现。常用的是外包薄层热粘型无纺土工织物的带孔塑料管。管内径一般为 50~100mm。

4.7.2 降水设计应在掌握当地自然条件下，合理布置排水管位置，限制地下水位不超过一定高度。

1 已知自然条件

当地的降水强度 r (m/s)、地基土的入渗系数 β 、地基土的渗透系数 k_s (m/s) 和规定的最

高地下水位 D 。

2 待选参数

排水管埋深 H 、排水管间距 s 、排水管直径 d 与纵向坡度 i 等。

4.7.3 设计计算

1 每根排水管该分配到的降水量 (图 4.7.3)。

$$q_r = \beta \cdot r \cdot s \cdot L \quad (4.3.8)$$

式中: L ——排水管长度 (m);

β ——入渗系数, 取 0.5。

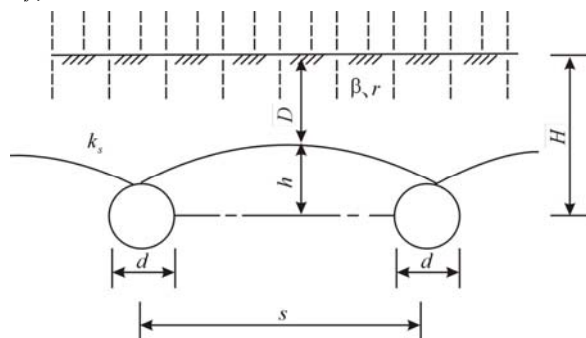


图 4.7.3 地下埋管的布置

2 每根管的进水量

$$q_c = \frac{2k_s h^2 L}{s} \quad (4.7.3-1)$$

式中: h ——规定最高地下水位与排水管中心线的高差 (m)。

3 给定 h 时, 进水量等于降水分配量时要求的埋管间距 s :

$$s = \sqrt{\frac{2k_s}{\beta \cdot r}} \cdot h \quad (4.7.3-2)$$

由上式可确定埋管间距 s 。

4 管中流速

$$v = \frac{q_c}{A} \quad (4.7.3-3)$$

式中: A ——埋管面积 (m^2);

v ——与管几何尺寸及其坡降 i 有关的流速, 不同排水管的 v 值见第 4.3.9 条。

将已知 q_c 、 A 代入式 (4.7.3-3), 反求得埋管要求铺装坡度 i 。

5 为防排水管淤堵失效, 管道的排水能力应加大, 安全系数可取 2~5。

4.8 软基中塑料排水带设计与施工

4.8.1 排水带地基设计应按传统的砂井地基的设计方法进行:

1 排水带的平面布置可为等边三角形或正方形。

2 排水带的间距及插入深度应通过计算确定。

3 排水带的等效 (砂) 井直径 d_w 可按下式计算:

$$d_w = 2(b + \delta) / \pi \quad (4.8.1-1)$$

式中: b ——排水带的宽度 (cm);

δ ——排水带的厚度 (cm)。

4 设计的主要任务应是根据现场条件, 确定排水带的平面布置 (确定排水带间距 L), 使地基在要求的时限 (t_r) 内完成规定的平均固结度 U_r 。固结所需的时间按下式计算:

$$t_r = \frac{d_e^2}{8C_h} \left(\ln \frac{d_e}{d_w} - 0.75 \right) \ln \frac{1}{1 - U_r} \quad (4.8.1-2)$$

式中: d_e ——排水带排水范围的等效直径 (cm)。三角形分布时, $d_e = 1.05L$; 正方形分布时, $d_e = 1.13L$;

L ——排水带的平面间距 (cm);

C_h ——地基土的水平固结系数 (cm^2/s)。

5 应根据设计要求完成的固结沉降量和预定时间进行预压设计, 并按设计要求分级施加荷载, 采取现场监测措施。

6 排水带地基表面应铺设供横向排水的砂垫层, 其厚度应大于 400mm。砂料宜选用中、粗砂, 含泥量应少于 5%。

7 采用的排水带应符合排水带产品质量标准。

4.8.2 排水带处理软土地基的施工应符合下列规定:

1 插带机插带时应准确定位。

2 插设应垂直, 并应达到设计要求深度。应采取防止发生回带的措施。

3 排水带上端应伸入砂垫层, 并应与砂垫层贯通。

4 排水带存放时应覆盖。

5 防 渗

5.1 一 般 规 定

5.1.1 水利工程、交通工程、建筑工程、环保工程等需要隔水防渗时，可根据具体条件和要求，选用合适的土工合成材料。

5.1.2 应按具体条件和要求选用的主要材料有：

- 1 一般采用的是土工膜。
- 2 预计将承受除施工应力外的较高应力时（例如铺放在斜坡上的膜，因不均匀沉降引起较大应力），常采用加筋复合土工膜。
- 3 地形复杂，土工膜焊接质量难以保证，和要求隔渗层受损后易于自愈的情况，可考虑改用粘土工合成材料隔渗材（俗称 GCL）。
- 4 道路工程亦可考虑用现场涂（喷）沥青的无纺土工织物——薄膜土工织物。
- 5 或上述材料的结合。

5.1.3 铺放在斜坡上的土工膜应采用土工织物复合土工膜。膜的一侧或两侧与无纺土工织物复合，分别称一布一膜或二布一膜。该产品除有加筋功能，还起到保护单薄膜的作用。另外表面摩擦由此增大，无纺土工织物尚有助于排除渗穿膜后的水量。

有织物与土工膜复合主要起加筋保护作用。

5.1.4 土工膜大面积用于水下易受膜下水与气的顶托，甚至引起破坏，应采取适当的防护措施。

5.1.5 防渗设施设置的高程、尺寸、范围、抗震要求以及与其它部位或岸坡的连接等，都必须符合主体工程设计的要求。

5.1.6 采用土工合成材料防渗的主要工程有：

- 1 土石坝、堆石坝、砌石坝和碾压混凝土坝等。
- 2 堤、坝前水平防渗铺盖，地基垂直防渗墙。
- 3 尾矿坝、污水库坝身及库区。
- 4 施工围堰。
- 5 引水、输水渠道、蓄液池（坑、塘）。
- 6 垃圾和废料填埋场（坑）及贮存设施。
- 7 地铁、地下室和隧道、隧洞防渗衬砌。
- 8 路基。
- 9 路基及其它地基盐渍化防治。
- 10 膨胀土和湿陷性黄土的防水层。
- 11 深基坑开挖的支挡结构（地连墙等）防渗。
- 12 屋面防漏。

5.2 防 渗 结 构

5.2.1 保护土工膜的防渗结构应包括防渗材料的上、下垫层、上垫层上部的护面、下垫层下部的支持层和排水、排气设施（图 5.2.1）。

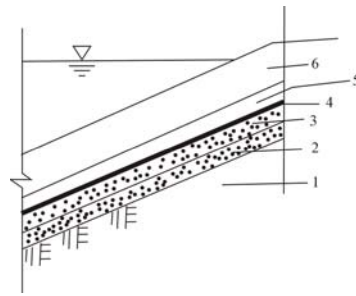


图 5.2.1 防渗结构

1—坝体；2—支持层；3—下垫层；
4—土工膜；5—上垫层；6—护面

5.2.2 防渗结构应根据工程性质、类别、重要性和使用条件等确定。

5.2.3 护面材料可采用压实土料、砂砾料、水泥砂浆、干砌块石、浆砌块石或混凝土板块等。对下列情况可以不设护面：

- 1 防渗材料位于主体工程内部。
- 2 防渗材料有足够的强度和抗老化能力，且有专门管理措施。
- 3 防渗材料用作面层，更换面层在经济上比较合理。

5.2.4 上垫层材料可采用砂砾料、无砂混凝土、沥青混凝土、土工织物或土工网等。对下列情况可不设上垫层：

- 1 当护面为压实细粒土，且有足够的厚度。
- 2 选用复合土工膜。
- 3 本规范第 5.2.3 条规定的不设护面的情况。

5.2.5 下垫层材料可采用压实细粒土、土工织物、土工网、土工格栅等。对下列情况可不设下垫层：

- 1 基底为均匀平整细粒土体。
- 2 选用复合土工膜、粘土土工合成材料隔渗材或防排水材料。

5.2.6 排水、排气设施，可采用逆止阀、排水管和纵、横排水沟等。当采用厚层土工织物复合土工膜时，可不设排水、排气系统。

5.3 土工膜隔渗材的设计方法与施工要点

5.3.1 工程防渗的要求应符合国家现行有关工程防渗方面的标准、规范的规定。

5.3.2 应在全面考虑影响工程的所有方面的基础上进行设计与施工。

- 1 工程目的：是临时性工程或永久性工程（3 年以上的）。是用作主防渗还是次防渗。
- 2 长期工作条件：土工膜是埋在土内，还是长期外露。受不受极端环境影响（高温与低温、日照、巨风）。除施工应力外，有无其它荷载（铺在斜坡上受较大拉力、不均匀沉降）。
- 3 施工条件：当地气温、降水、风吹、填料等。

5.3.3 防渗设计主要应包括以下内容：膜材选择、膜厚确定、锚固与稳定、排水排气措施、膜与周边的连接等。

5.3.4 膜材应按具体工程条件选择：

- 1 常用的是聚乙烯膜（PE）和聚氯乙烯膜（PVC）。PE 膜比重 0.94~0.96，在水中飘浮；PVC 膜比重 1.39，比水重。PE 膜用热熔焊法连接，PVC 膜既可用热熔焊法，亦可用胶粘法连接。
- 2 与水接触的工程，上述两种膜均可采用。
- 3 接触液体中富含酸、碱、盐及重金属元素时，应在考虑抗化学性的原则下优选膜材。
- 4 废料场含不确定化学成分时，可优先考虑高密度聚乙烯膜（HDPE）。

5.3.5 土工膜厚度：

膜厚应按不同行业标准确定。一般不应小于 0.5mm。遇重要工程或有严格要求情况（如废料场），膜厚应予加大，甚至达 1.5~2.0mm。

5.3.6 土工膜的固定和稳定性：

斜坡上的土工膜应予固定。一般要求在坡顶与坡趾埋入预设的锚定沟，以回填土料固定。或从铺设方法上（踏步式或设戗台）予以固定。

应按有关标准，验算其稳定性。

5.3.7 水下大面积铺设土工膜，膜下应设排水排气系统。可根据具体条件分别采用：内填透水料的纵横沟，设置逆止阀，或在膜上压重，亦可考虑较厚无纺布物的复合膜。注意要与坡上的排放系统相连。

5.3.8 土工膜防渗系统应与周边地基及建筑物连接，形成完全封闭的防渗体系。

5.3.9 应在保证施工各道工序安全可靠的基础上进行施工。

1 准备工作：清除场地上一切尖硬杂物。地面的局部凸起不得大于 12mm。挖好锚固沟。作好排水排气系统。

2 制备土工膜：尽量采用宽幅膜。尽量在工厂拼接成要求尺寸的膜块，卷在钢轴上运工地。

3 铺膜：尽量在干燥天气进行。铺放松紧适度，不得有折皱。膜尺寸应考虑其因气温发生胀缩而留适当的松弛量，特别是在和暖天气铺设时。工作人员穿软底鞋。防风吹掀压上砂包。

4 拼接：有热熔焊法和胶粘法。PE 膜用热熔焊法。PVC 膜既可用热熔焊法，亦可用胶粘法。大面积铺膜前热熔焊法应先进行试焊，确定适宜的焊接温度和速度。胶粘法多用于局部修补。应注意胶剂的稳定性，长期在水下不得溶解失效。

5 拼接质量检测：检测方法有目测法、现场检测法和抽样试验室检测法。

1) 目测法：观察有无漏接，有未烫伤，是否均匀，有无褶皱等。

2) 现场检测法：有充气法和真空抽气法。

a 充气法：用于双焊缝膜。将待检的两端卡死，往两焊缝间的空腔内充气，充至（0.05~0.20）MPa，静待 0.5min。如腔内气压不下降，则为合格。

b 真空抽气法：利用包括吸盘、真空泵和真空机的一套设备。将待检接缝处擦净，涂肥皂水，放上吸盘，紧压，抽气至负压（0.02~0.03）MPa，关闭气泵，静待 0.5min。观察真空罐内有无气泡发生和气压有无变化。如无变化，表明接缝合格。

3) 试验室检测：将焊接好的土工膜抽样切取试样送试验室作剪切试验和剥离试验。要求剪切强度不低于母材的 80%，且试样断裂不得在缝接处。

6 土料回填：拼接合格后尽快回填。填料及压实不得损伤土工膜。

5.4 水利工程防渗

5.4.1 土石堤、坝的防渗设计应符合下列规定：

1 土工膜厚度、材质及类型的选择应按水头大小、填料、垫层条件和铺设部位确定。

2 对 1、2 级建筑物土工膜厚度不应小于 0.5mm。对于高水头工程或重要工程还应适当加厚；对 3 级及 3 级以下的工程，不应小于 0.3mm。

3 防渗结构应进行稳定性分析。可采取膜面加糙，按台阶形、锯齿形或折皱形铺设等方法提高其稳定性。

4 斜墙、心墙等防渗材料应与坝基和岸坡防渗设施紧密连接，并应形成完整的封闭系统。

5 对含毒矿场的尾矿坝，当库区地基为透水层时，应铺设两层及以上的土工膜或复合土工膜或 1m 以上的压实粘土层或粘土土工合成材料隔渗材（GCL）。防渗土工膜、复合土工膜的焊接应严格监控。

6 蓄水池、库底等大面积，防渗膜下应设置必要的膜下排水与排气措施。

5.4.2 混凝土坝、碾压混凝土坝、砌石坝的防渗设计应符合下列规定：

1 土工膜及复合土工膜可用于已建和新建混凝土坝、砌石坝等的上游面防渗。但用于 1、2 级建筑物和高坝必须通过专门论证。

2 应采用抗老化的土工膜及复合土工膜，厚度不应小于 1.5mm。膜应固定于上游坝面。表面应有水泥砂浆或混凝土或防老化涂料保护。

3 膜与坝体的结合固定可采用锚固或锚固与粘贴相结合的方法。

5.4.3 输水渠道的防渗设计应符合下列规定：

1 防渗材料的厚度、材质及类型，应根据当地气候、地质条件和工程规模确定。其厚度不应小于 0.3mm，重要工程和特殊部位应增加厚度。

2 渠道边坡防渗材料的铺设高度，应达到最高水位以上并有一定超高，超高值不宜小于 0.5m。并应予以固定。

3 对防渗结构应采取防冻措施（如在防护层下铺设一定厚度 30~50mm 的 EPS 板）。

5.4.4 当采用土工膜作为防渗层，截断地下水流或地上水流时，应符合下列要求：

1 地下垂直防渗和地下截潜流采用的土工膜厚度不宜小于 0.3mm。重要工程可采用复合土工膜或复合防排水材料，膜厚度不宜小于 0.5mm。设膜深度一般在 15m 以内。

2 用作垂直防渗墙时透水层中大于 50mm 的颗粒含量不得超过 10%。应根据地基土质的具体条件，选用成槽机具和固壁方法。

3 挖槽铺膜后，应及时在膜两侧回填，并应防止下端绕渗。土工膜的上端应与地面防渗体连接。

4 土工膜用作水库水平防渗（铺盖）时，膜厚不应小于 0.5mm，应采用无纺土工织物的复合膜。膜向水库大坝上游展伸长度，应按相关水工规范计算确定。库底应去除一切尖硬杂物，基本平整，注意膜下设排水排气设施和膜与岸边的密封连接。

5 地上临时挡水坝宜用于高度不大于 4m 的浅河床及滩地围堵。膜的强度应能承受相应的水压力，并采用耐老化、强度高的复合土工膜。

5.5 交通工程防渗

5.5.1 当采用土工膜或复合土工膜作路基防渗隔离层，防止路基翻浆冒泥、防治盐渍化和防止地面水浸入膨胀土及湿陷性黄土路基时，应置于路基的防渗透隔离位置，同时防止水从侧面渗入（图 5.5.1），并应设置封闭和排水系统。

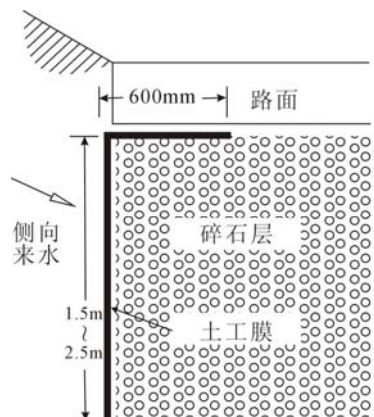


图 5.5.1 截断侧面来水

5.5.2 当采用土工膜对地下铁道、交通隧洞、隧道进行防渗设计时，应符合下列要求：

1 洞室排水防渗土工膜可采用复合土工膜，对排水量较大的洞室，可选用合适的防排水复合料。

2 对于岩体中的洞室、隧洞等，掘成后应向洞壁上喷浆，形成平整面，再设复合土工膜（无

纺织物应较厚)。复合土工膜的土工织物一侧应与洞壁紧贴, 并予固定 (图 5.5.2)。

3 洞室两侧壁下方应设纵向 (横向) 排水沟、管。

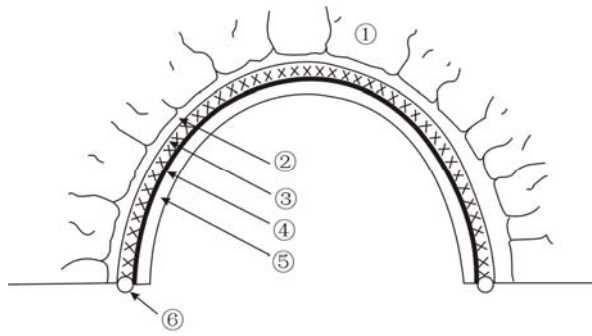


图 5.5.2 交通隧道用土工膜防渗示意

①—岩体; ②—水泥喷浆; ③—土工织物;
④—土工膜; ⑤—衬砌; ⑥—纵向排水沟、管

5.6 房屋工程防渗

5.6.1 土工合成材料用于屋面防渗工程时, 应符合下列规定:

1 所用复合土工膜的抗渗性不应小于在 0.3MPa 水压力作用下保证 30min 以上不漏水; 并应具有耐热稳定性。

2 复合土工膜在屋面工程中可以单独用作防水层, 也可与其它防水材料结合使用, 作成多道防水层。使用时应注意表面防护。

3 复合土工膜的接缝及与找平层的粘接, 所采用的粘接剂应与所采用的复合土工膜匹配。

4 当采用土工织物作为屋面涂膜防水胎基增强材料时, 其材料性能应符合有关屋面防水规范的要求。

5.7 环保工程防渗

5.7.1 生活垃圾填埋场防渗系统设计应根据国家标准 GB16889、CJJ 113 相关规定进行。表 5.7.1 列出了按当地地基条件确定的防渗方案和相应技术要求。生活垃圾填埋场防渗结构见图 5.7.1-1~图 5.7.1-2。

表 5.7.1 生活垃圾填埋场防渗方案选择

地基条件	防渗方案	技术要求
天然地基土的渗透系数 $k < 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$; 地基土层厚度 $d \geq 2\text{m}$	天然地基防渗层	土压实后 $k < 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$; 压实土层 $d \geq 2\text{m}$
天然地基土 $k < 1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$; 土层厚度 $d \geq 2\text{m}$	单层土工合成材料防渗层	采用 HDPE 膜做为防渗衬层, 其厚度不小于 1.5mm; 膜下的压实土 $d \geq 0.75\text{m}$; 被压实后土的渗透系数 $k < 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$
天然地基土 $k \geq 1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 或土层 $d < 2\text{m}$	双层土工合成材料防渗层	采用 HDPE 膜做为防渗衬层, 其厚度不小于 1.5mm; 下层 HDPE 膜下压实土厚度 $d \geq 0.75\text{m}$; 压实后土的 $k < 1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$

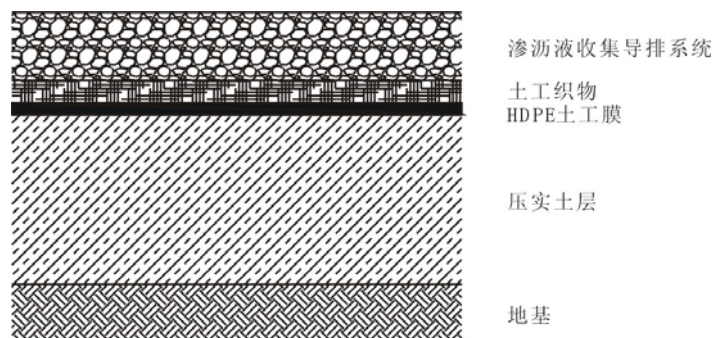


图 5.7.1—1 单衬层防渗结构示意图

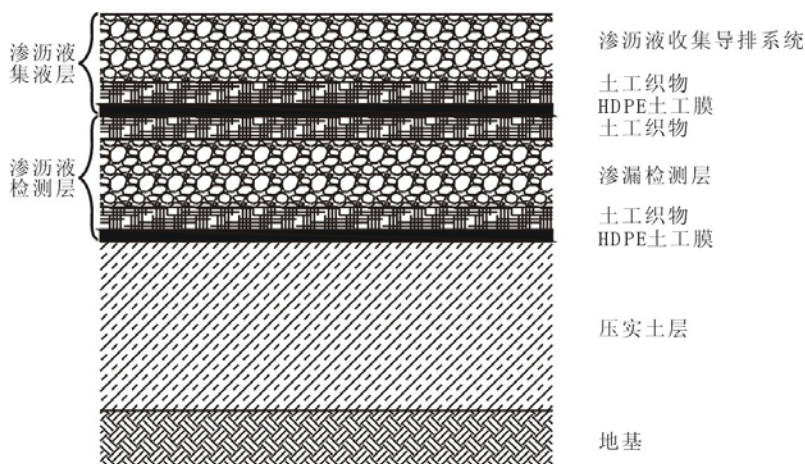


图 5.7.1—2 双衬层防渗结构示意图

5.7.2 填埋场采用的双层防渗系统包括渗沥液集液层和渗沥液检测层。前者在填埋场运行期间用于控制防渗土工膜 HDPE 上的渗滤液深度不超过 300mm，后者用于发现防渗层出现渗漏现象时，可及时采取措施。施工结束后应进行渗漏检测，以确保填埋场防渗系统的完整性。

5.7.3 填埋场使用最终到期后应及时封场，以防长期降水入渗。封场系统应包括气体导排层、防渗层、雨水导排层、最终覆土层和地面植被层，应按国家相应环保标准设计，它们都采用相应的土工膜、土工网、土工织物，乃至土工格栅等土工合成材料。

5.7.4 关于工业固体废料、液态废料和危险性（如放射性）废料的填埋场处理，应遵照国家环保系统的相应规定执行。

5.8 粘土土工合成材料隔渗材（GCL）用于防渗

5.8.1 利用土工合成材料作防渗工程时，如果有下列特别要求，可考虑利用粘土土工合成材料隔渗材，或将其与土工膜联合使用：

- 1 地形复杂，不能保证土工膜焊接质量良好。
- 2 土工膜易受穿刺，要求防渗材自愈性强。
- 3 预计地基有较大变形，要求防渗材适应性好。
- 4 防渗材受气温影响较小。
- 5 希望被防渗土料与地下水的交换不被绝对切断。

5.8.2 为进行工程设计，应通过试验测定隔渗材的防渗指标和它的抗剪强度指标。

5.8.3 防渗指标用于一般水利工程时（如渠道、水池等），应注意渗透系数 k 的合理取值。在水工建筑上的覆盖压力比试验时试样上所受有效法向压力（35kPa）为低时，材料的实际 k 值与法向压力有反比关系。

5.8.4 隔渗材用于边坡上防渗时应验算其覆盖于坡面的稳定性。验算指标的抗剪强度分两种：

其一是隔渗材与接触介质（如土或其它材料）的界面抗剪强度；另一种是材料本身内部膨润土的水化强度。

5.8.5 隔渗材在储运和操作等全过程中应注意下列事项：

1 未施工前，材料应始终存放在防潮袋中；让卷材勿受湿；避免直立与弯曲；防止刺破；卸货不得从高处掷下。

2 卷材宜绕在刚性轴上，借挖土机，装载机结合专用框架起吊铺设（图 5.8.5—1）。应铺放平整无皱折，不得在地上拖拉，不得直接在其上行车。

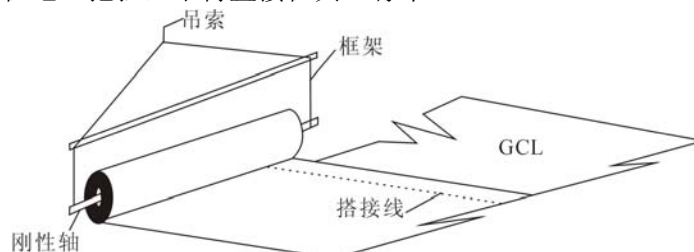


图 5.8.5—1 GCL 起吊装置示意图

3 现场铺设时的连接采用搭接。若材料的一面为土工膜的，则需焊接。纵向搭接宽度一般为 150mm，端尾搭接宽度最小为 500mm。搭接处上下片之间要散铺膨润土粉或颗粒，用量约 0.4kg/m，洒水使粘合。

4 隔渗材沿坡面铺展，不得形成横缝；上下片搭迭，防止水流侵入。坡顶处材料应埋入锚固沟，并予回填。

5 遇有贯穿物或与结构物连接处，应特别注意隔渗材在接触周边的密闭（图 5.8.5—2）

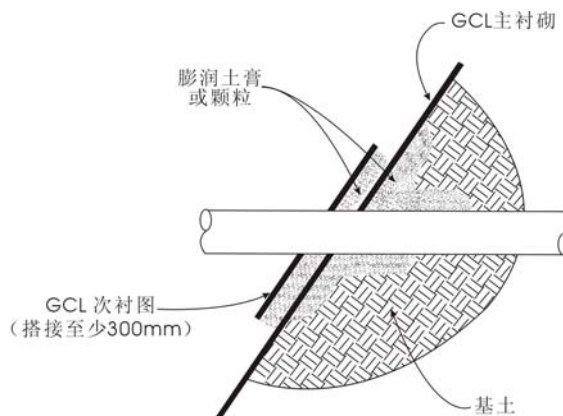


图 5.8.5—2 遇贯穿物时 GCL 的布置

6 隔渗材如有撕裂，穿孔等损伤应全部更换，或从新卷材切割片块，配置于损伤部位的上下。片块尺寸围绕损伤区最小搭接应达 300mm。放片之前，沿损伤部位四周布放膨润土粉末或膏。

7 隔渗材上应尽快覆土。覆土中不得含石灰等钙、镁高价离子料。

8 当隔渗材可能会与碳水化合物及非极性液体接触时，则铺材后应即引净水至覆材区域，使其充分水化。

6 防护

6.1 一般规定

6.1.1 需要利用工程措施来实现防冲、防浪、防冻、防震、固砂、险情抢护、防止盐渍化，防泥石流或需用轻质材料使结构减载等时，可以考虑选用相应的土工合成材料或其制品。

6.1.2 作防护用的土工合成材料可根据要求结构形式和应力变形条件等分别选用土工织物、土工膜、土工格栅、土工网、土工模袋、土工格室、土工网垫及聚苯乙烯板块以及由它们构成的制品等。

也可以利用统称为土工系统（geosystem）的、以有纺土工织物（或涂塑金属丝网、土工格栅、土工网等）包裹松散土、石或混凝土等形成的土工袋、土工管袋、土工包、土工模袋以及土工箱笼等作为防护体。

6.1.3 采用土工合成材料进行防护的主要工程有：

- 1 江、河、湖、海和渠道、储液池护坡、护底。
- 2 水下结构基础防冲。
- 3 道路边坡防冲。
- 4 涵闸工程护底。
- 5 涵箱顶部减载。
- 6 减小路桥衔接处的不均匀沉降。
- 7 泥石流和悬崖侧建筑物障墙防冲。
- 8 防汛抢险。
- 9 沙漠地区砂篱滞砂和固砂。
- 10 军工弹药库防爆堤。
- 11 严寒地区防冻。
- 12 道路防止盐渍化。
- 13 隔振与减震。

6.1.4 统称为土工系统的各种包裹体能将天然的松散土体聚拢构成连续整块的大体积，能发挥多种功能，可利用来达到以下防护和更广的工程目的：

- 1 建造丁坝、顺坝。
- 2 兴建堤坝或围埝。
- 3 围垦造地。
- 4 防治崩岸。
- 5 建造人工岛。
- 6 水上或软基上建造浮桥。
- 7 建造水下平台。
- 8 建造挡墙。
- 9 环保疏浚。
- 10 深海投放垃圾（不得含有害物质）。

6.2 软体排工程防冲

6.2.1 软体排的铺设范围、高程等应根据待防护的面积和位置确定。

6.2.2 软体排材料可选用 $130\text{g}/\text{m}^2$ 以上的有纺土工织物在其正、反面连以尼龙绳网构成。单片软体排可用于一般防护，双片排软体可用于重点防护；按软体排上压载方式，砂肋排可用于淤

积区，混凝土连锁排可用于冲刷区。

6.2.3 顺水流方向的排宽应为防护区的宽度、相邻排块缝接或搭接宽度和排体收缩需预留宽度的总和。相邻排块应采取缝接或搭接，搭接宽度不应小于 1m。

6.2.4 垂直水流方向的软体排长度应为水上部分软体排长度与水下部分软体排长度之和。

1 水上部分软体排长度应为水上坡面长度和坡顶固定所需长度之和。

2 水下部分软体排长度应为与水上排衔接长度、水下坡长度（含折皱和计入伸缩量所需长度）和预计冲刷所需预留长度之和。

6.2.5 对软体排应进行下列验算：

1 抗浮稳定。

2 排体边缘抗冲刷稳定。

3 抗滑稳定。

4 软体排需要的压重量。

6.2.6 软体排沉排施工应根据具体条件选用下列方法：

1 人工或机械直接沉排。

2 水上船体或浮桥沉排。

3 冰期沉排，包括冰上沉排和冰下沉排。

6.3 土工模袋工程护坡

6.3.1 土工模袋是土工系统中的一种，是以双层有纺土工织物缝制的带格状空腔，可以充填混凝土或水泥砂浆的、凝固后形成高强的硬板块，可用于护坡。有多种规格可供选用。

6.3.2 模袋护坡设计应包括下列内容：

1 岸坡稳定性验算。

2 模袋选型及充填厚度确定。

3 模袋稳定性验算。

4 模袋护坡的细部构造及边界处理。

6.3.3 模袋类型和规格应根据当地气象、地形、水流条件和工程重要性等选择（充灌料是水泥砂浆还是混凝土，厚度，和有无滤水点等）。

6.3.4 岸坡稳定性验算应进行模袋的平面抗滑稳定分析。模袋厚度应通过抗浮稳定分析和抗冰推移稳定分析确定。

6.3.5 模袋护坡的细部构造和边界处理应符合下列要求：

1 顶部宜采用浆砌块石或填土予以固定。有地面径流处，坡顶应采取防止地表水侵蚀模袋底部的措施。

2 岸坡模袋底端应设压脚或护脚棱体；有冲刷处应采取防冲措施。

3 模袋护坡的侧翼宜设压袋沟。

4 相邻模袋接缝处底部应设土工织物滤层。

6.3.6 模袋护坡施工应符合下列要求：

1 坡面应清理整平，凹坑应填土压实。

2 模袋铺展后应拉紧固定，在充填混凝土或砂浆时不得下滑。

3 充填料用混凝土及砂浆的配合比应遵照设计要求。可采用泵车进行混凝土（砂浆）充填，充填应连续。充填速度宜为 10~15m³/h、充填压力宜为 0.2~0.3MPa。

4 需要排水的边坡，应在混凝土或砂浆充填后初凝前开孔埋设排水管。

5 水深超过 2m 时，应由潜水员配合控制水下铺设和充填质量。要特别注意人身安全。

6.6 路面反射裂缝防治

- 6.6.1** 在公路和城市道路路面及机场道面中可采用土工合成材料防治路面及道面的反射裂缝。
- 6.6.2** 用于防治反射裂缝的材料应符合下列要求：
- 1 土工织物的单位面积质量不应大于 200g/m^2 ；抗拉强度宜大于 7.5kN/m ，耐温性应在 170°C 以上。
 - 2 玻纤格栅的孔眼尺寸宜为沥青面层骨料最大粒径的 $0.5\sim 1.0$ 倍，抗拉强度应大于 50kN/m 。
- 6.6.3** 土工合成材料应铺设于新建沥青面层或旧路沥青罩面层的底部。可满铺，也可局部铺设。
- 6.6.4** 对旧路面在铺设罩面层前应对路面进行检验，应确定材料的铺设方案。
- 6.6.5** 材料铺设应符合下列规定：
- 1 施工前对旧路面应清扫干净，对局部的坑洞和路面严重不平的段落应进行整平。
 - 2 对长丝纺粘针刺非织造土工织物，应先洒布粘层油再摊铺土工织物，最后再洒布粘层油，粘层油用量以 $0.6\sim 0.8\text{kg/m}^2$ 为宜；对于聚酯玻纤土工织物，应在原路面上喷洒 $0.6\sim 0.9\text{kg/m}^2$ 的重交道路沥青或 SBS 改性沥青，喷洒温度以 $160^\circ\text{C}\sim 180^\circ\text{C}$ 为宜，然后铺设土工织物，上层沥青混合料摊铺前不必再洒粘层油。铺设时应将土工织物拉紧、平整顺直。
 - 3 对玻纤格栅，宜先铺设，再洒布热沥青粘层油；其用量以 $0.4\sim 0.6\text{kg/m}^2$ 为宜。铺设时应保证铺设平顺。
 - 4 施工车辆不得在土工合成材料表面转弯。摊铺时如出现摊铺机车轮打滑，应在粘层油表面撒石屑，用量为 $(3\sim 5)\text{m}^3/1000\text{m}^2$ 。

6.7 土工系统用于防护

- 6.7.1** 土工系统的包容体按其体积、功能和施工方法等可区分为下列各类：
- 1 土工袋：较小体积，一般用于堤坝芯材、护坡压载和护面等临时结构。
 - 2 土工管袋：袋状长条体积，一般用作护岸、防冲、建围堤和人工岛；亦可为工业废料脱水。
 - 3 土工包：充填土石料和垃圾的大体积包容体，需在船上充填，运至深水投放。可作为水下结构地基和处置废料垃圾。
 - 4 土工箱笼：以防锈金属丝、土工格栅等制成的包裹体，内填石块、混凝土块等形成中等尺寸的构件，用于岸坡防护、护底、坡面防护等。
- 6.7.2** 土工袋工程的设计与施工应注意下列事项：
- 1 制作土工袋的材料为有纺织物（有时结合使用无纺土工织物）。要求材料有相应拉伸强度，较高的摩擦系数，较大透水性和耐久性。
 - 2 土工袋的几何尺寸应根据需要确定。应考虑填土后单人可以搬动，如防汛袋的标准尺寸为 $950\text{mm}\times 550\text{mm}$ 。丁坝等用作芯材时的直径可达 $0.6\sim 1.0\text{m}$ ，长度数米。大长度袋亦称土枕，长宽都较大的袋称砂被。
 - 3 土工袋填土时的充满度不宜过高，可控制于约 85% 。应分层错开叠放，防止水流直接流过袋间空隙。叠袋坡度不得陡于 $1:1.5$ ，坡趾要防冲。
 - 4 土工袋用于建堤坝，其底部应垫反滤土工织物。
 - 5 土工袋在水中经受水流速不应大于 $1.5\sim 2.0\text{m/s}$ ，浪高不高于 1.5m 。
 - 6 土工袋用作堤芯时，外面应建保护层。
- 6.7.3** 土工袋用于建（防护）堤坝时，设计应符合下列规定：
- 1 设计内容包括：袋体材料选择、堤身断面确定、砂料选择与充填度控制、护坡与护底设计以及堤身整体与局部稳定性验算。

2 制作土工袋体材料宜选用有纺土工织物。单位面积质量不应小于 $130\text{g}/\text{m}^2$ ，应符合反滤准则，能经受施工应力。极限抗拉强度不应低于 $18\text{kN}/\text{m}$ 。

3 防护堤的断面型式分全断面、双断面和单断面（图 6.7.3）。堤身高度较低时，可选用全断面形式；高度大时可选用双断面；单断面则宜用于围垦造地工程围堤。

4 充填料应采用透水性较好的砂性土、粉细砂类土，其粘粒含量不应超过 10%。充填密度不宜小于 $14.5\text{kN}/\text{m}^3$ ，充满度不宜小于 85%。

5 防护堤护坡与护底应按港工有关防波堤等行业标准规定进行。

6 堤身的整体稳定性应进行验算。

7 土工袋之间的抗滑稳定性应进行验算。

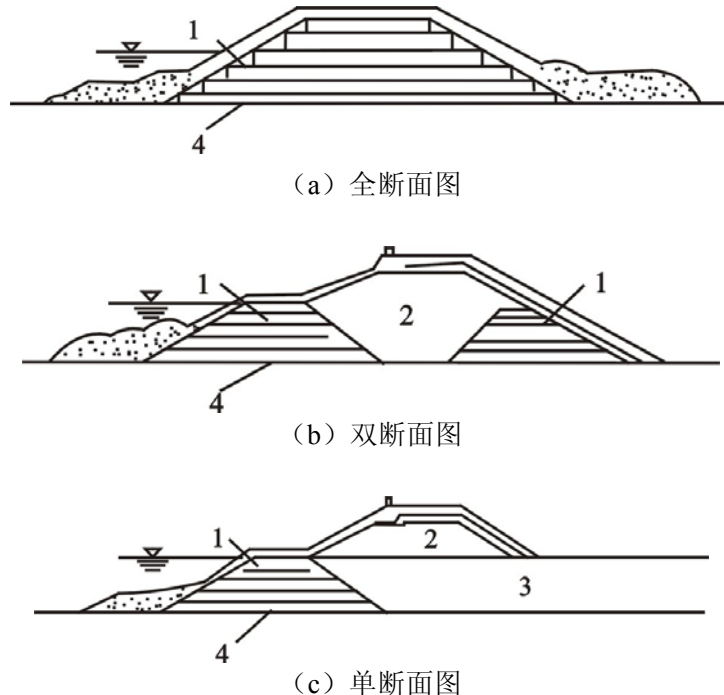


图 6.7.3 土工袋（砂被）防护堤示意

1—土工织物袋；2—充填土；3—吹填土；4—垫层

6.7.4 土工袋筑防护堤施工应符合下列规定：

- 1 场地应平整。
- 2 采砂处应离堤趾有足够距离。
- 3 应采用高压水枪造浆和充填，浆液浓度宜为 20%~45%，并按充填—进浆—二次充填的顺序进行。泥浆泵的出口压力宜为 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ ，充满度宜为 85%。
- 4 土工袋应垂直于堤轴线方向铺放，上下袋错缝，不得形成贯通缝隙。
- 5 如系水下抛投，应测定砂袋水面投掷点至沉落于河底的流动距离（流距），并应确定其投放的提前量。
- 6 充填后应尽快护面，不得长时间暴露于日照。

6.7.5 土工管袋工程的设计与施工应注意下列事项：

1 土工管袋应由有纺土工织物缝制。对充填泥浆有过滤要求时，可用无纺土工织物制成内管套在有纺织物管的内部；如需不透水，可以土工膜作内管。

2 制作土工管袋的有纺土工织物应具有相应的拉伸强度，应通过计算确定；材料应符合反滤准则；并有要求的耐久性。

3 土工管袋的几何尺寸应视工程需要而定。一般规格是管直径 $3\sim 5\text{m}$ ，长度数米至百米。

6.7.6 土工管袋设计应包括下列内容：

- 1 充灌后管袋的稳定外形和管袋材料应力。
- 2 管袋高度估计。
- 3 固结时间估算。

6.7.7 土工管袋设计，可参考图 6.7.7-1 进行。图中给出了 b_1/S 与下列各参数的关系。其中 b_1 为管袋内充灌泥浆压力的当量水头高度， S 为管袋周长。其它代号的含义见图 6.7.7-1 (a)：

管袋充灌后高度与宽度比	H/B
高度与周长比	H/S
宽度与周长比	B/S
面积比	A/BH
接地底宽与宽度比	B'/B
最大底宽处高度比	H'/H
箍拉力参数	$T/\gamma S^2$ (γ ——水容重)

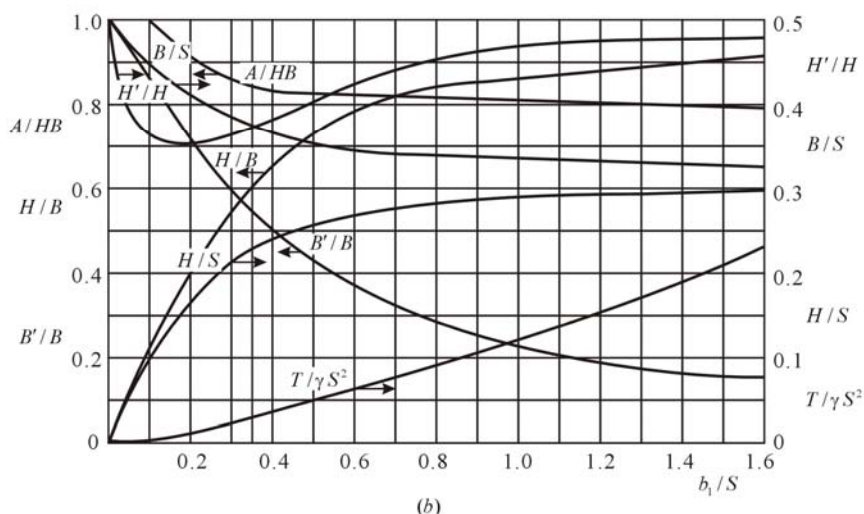
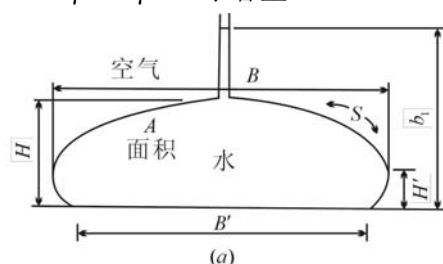


图 6.7.7-1 管袋设计用图

(a) 稳定后管袋形状；(b) 按理论与试验建立的各项参数间的关系

根据图 6.7.7-1，可按下列顺序求解：

- 1 按 b_1/S 查 H/S 曲线，求得管袋充填高度 H 。
- 2 按 H'/H 曲线，由 H 求得 H' 。
- 3 按 H/B 曲线，求得充填后袋的最大宽度 B 。
- 4 按 $T/\gamma S^2$ 曲线求得要求管袋材料的环向拉力 T 。 T 为安全系数 $F_s=1$ 时的织物拉力。选用材料时，应考虑 $F_s=3\sim 5$ 。
- 5 管袋材料的轴向拉力（管袋长度方向） T_{axial} 可由图 6.7.7-2 查到。
- 6 为了不让管浆压力过大造成管袋爆破，上述压力头 b 不应超过袋高 H 的 1.5 倍，即需控制 $b_1/H \approx 1.5$ ，或 $b_1/S \approx 0.35$ 。

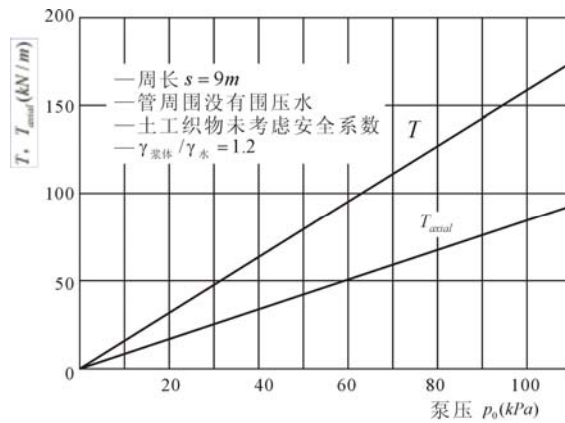


图 6.7.7-2 泵压和环向拉力、轴向拉力的关系曲线

注：T 为环向拉力

6.7.8 管袋高度变化和变形稳定时间估算

1 高度变化估算

泥浆注入管袋，随排水固结，浆液失水成土，管袋高度逐渐变低。假设成土后仍完全饱和，按一维固结状态，可得管袋成土时的高度 h 与继续排水高度下降 Δh 的关系如下：

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{G_s(w_0 - w_f)}{1 + w_0 G_s} \quad (6.7.8-1)$$

式中： G_s ——管袋中土的土粒比重；

w_0 、 w_f ——分别为管袋中泥浆成土时和沉降稳定时的含水率（%）。

实际上，充灌要进行多次。工程中常要求充填后高度达到一定值。按经验，充填后的最大稳定高度约可达到管袋直径的 1/2。

2 变形稳定时间估算

1) 如充填的是砂土，充填施工后不久变形即告稳定。

2) 如充填的是粘性土，稳定时间可按土力学一维固结理论估算。时间 t 估算公式如下：

$$t = \frac{T_v}{C_v} h_{av}^2 \quad (6.7.8-2)$$

式中： T_v ——固结时间因数（无因次）；

C_v ——土的一维固结系数（ cm^2/s ）；

h_{av} ——管袋中固结土的平均厚度（ cm ）， $h_{av} = \frac{1}{2}(h_1 + h_2)$ 。其中 h_1 是袋中泥浆成土时

的厚度，而 h_2 则为沉降稳定时的厚度。按经验，可取 $h_{av} \approx 0.6D$ ， D 为管袋直径。

6.7.9 土工管袋的施工应符合下列要求：

- 1 施工前应平整场地。
- 2 应确定土工管袋的放置位置，打小木桩，以绳带固定其位置。
- 3 在管袋下应铺设土工织物的防冲垫层，避免管袋中的出水冲坏地基。
- 4 注浆管和充填孔在衔接的部位应保持竖直。充填孔的间距对砂土一般取 10m。对粘性土，间距可加大。铺设时应注意充填孔向上（沿着顶部中心线）。
- 5 两段管接头处可用小砂袋等将它们做可靠。
- 6 管袋上应加外罩保护层。

6.7.10 土工包的设计应注意下列事项：

1 土工包的外裹材料采用有纺土工织物，必要时尚需增加内衬。织物要求有高强度（ $T=100\sim 200\text{kN/m}$ ），符合反滤要求，抗紫外线，高抗磨损能力。

2 土工包体积大，投放阶段形状时时变化，材料的应力应变关系复杂多变，迄今尚无定型设计方法，可根据以往实践经验作初步设计，配合必要的现场施工观测，指导施工。土工包应力应变的关键时刻是包裹体即将离开驳船底和在水中沉落冲击水底时。设计应按土工包处于最不利状态着手。

3 土工包应在驳船上封包砂料、疏浚物或污染垃圾等形成大体积包裹体，靠卫星定位系统 GPS 将船拖到指定地点，开启船底，投放大包，让其沉落于水底。

6.7.11 土工包施工中应重点注意下列事项：

1 开底驳船的底板面应尽量光滑，减小土工包从开底处滑离船体时的摩阻力。必要时，可在船底板上设 HDPE 板。

2 船底开启度愈大愈好。

3 土工包在驳船甲板上包装封闭，形状为长条形。装满度不宜过大，要求超过 50%。长径比最好不超过 2。

4 要求土工包有高接缝强度，该强度最好达到材料的拉伸强度。

6.7.12 土工箱笼的设计与施工应注意下列事项：

1 宜采用高强、高模量、抗老化、耐低温的土工合成材料，拉伸强度 $>30\text{kN/m}$ ；材料中的抗紫外线剂的碳黑掺量应达到 2%。金属丝一般应外涂 PVC 层以防锈蚀。

2 单个箱笼的最大尺寸宜为 $2\text{m}\times 1\text{m}\times 1\text{m}$ （长 \times 宽 \times 高）。长度大于 1m 时，应添加中间隔网。管状笼直径一般为 $0.5\sim 0.6\text{m}$ ，每隔一定长度要加箍。

3 土工箱笼结构应进行笼体的稳定性分析。

4 土工箱笼的施工应符合下列要求：

1) 箱笼内填充石块应尽量填充密实。

2) 石笼高度大于约 0.5m 时，沿高度每隔 $0.25\text{m}\sim 0.4\text{m}$ ，应用高强塑料绳对该部分填料相互绑扎。

3) 填充时应将箱笼放在平整的地面上。

4) 箱笼下面应设置无纺土工织物滤层。

6.8 其它防护工程

6.8.1 选用土工合成材料建造防止悬崖附近建筑物受落石冲击或沟谷处泥石流顶冲的障墙时，应符合下列规定：

1 障墙可由土工格栅笼、箱堆筑而成，其内应填大块石或装土的土工织物充填袋。笼、箱断面宜呈梯形，并应采用筋绳将笼、箱捆扎。

2 障墙结构：

1) 障墙底部应设石块糙面垫层；

2) 墙体应有足够抗滑稳定性；

3) 应有足够的排水能力，必要时，应在水出流处设置消能墩。

6.8.2 在沙漠地带流沙或寒冷风雪地带可采用土工合成材料固砂、屏蔽流沙和建造滞砂篱或滞雪篱。滞砂篱和滞雪篱可每隔 $1.5\text{m}\sim 3.0\text{m}$ 竖立高出地表 $1\text{m}\sim 2\text{m}$ 的桩柱排，并应在桩排上固定土工网，形成长距离的防护墙。土工网应有一定耐久性。

6.8.3 军火库、爆炸物仓库可采用土工合成材料建造防爆堤。防爆堤与仓库距离可为 2m，高度不应低于仓库屋顶。防爆堤可为土工格栅加筋土堤，顶宽不宜小于 2m，在坡面可植草，或喷水水泥砂浆护面。

6.8.4 严寒地区挡墙及涵闸底板可采用土工合成材料在墙背及板下设置保温层，并应符合下列

规定:

- 1 保温层可采用聚苯乙烯（EPS）板块。材料应具有一定的强度、低导热系数、低吸水率。
- 2 聚苯乙烯板块保温层的厚度应通过计算确定。对于小型工程，可取当地标准冻深的 $1/10\sim 1/15$ ，并不应小于 50mm。
- 3 保温板设置可为单向、双向或三向。单向可设于墙背面；双向可设于墙背面和作为墙顶的地面层；三向可设于墙背面、墙顶地面层和垂直于墙轴的两端板。保温板长度应超出要求保温区的范围。
- 4 铺设保温板时接缝处应密闭。铺设厚度大于 100mm 的板时，可采用双层板或企口板，接缝错开，防冷气从接缝侵入，形成冷桥。保温板应固定于墙背。

6.8.5 路、桥交接处因两侧沉降差异造成的过高跳台和软基上筑堤导致的过大沉降，可利用轻质材料的聚苯乙烯（EPS）块来代换土作填料解决上述问题。应根据该材料特性指标（容重 γ ）用传统的单向压缩沉降算法来确定地基需要的开挖深度来达到下列目标之一：1) 开挖后坑底不发生附加应力；2) 换填后堤顶沉降仅是填土堤的 $1/n$ ($n>1$ ，由设计者决定)。堤身稳定性应仍按传统滑弧法校核。

6.8.6 聚苯乙烯板块筑堤的施工应注意下列事项：

- 1 砌块事先由电锯切成。块体积尺寸可为 $0.5\text{m}\times 1\text{m}\times 5\text{m}$ ，每块重约 30~50kg。
 - 2 材质比重远小于 1，在水下应采取抗浮措施。
 - 3 防止 EPS 块接触油类或化学剂，一般可在其上盖钢筋混凝土板。
 - 4 为防结冰，路面下基层可铺卵石。
 - 5 铺砌 EPS 块由路中线往两侧推进错开砌置。块与块间用木质或金属钉连接
- 6.8.7** 道路穿堤涵洞、涵箱顶宽范围内可铺一定厚度的 EPS 板块，作为减载措施，降低洞、箱顶的竖向荷载，提高结构安全度。

7 加 筋

7.1 一 般 规 定

7.1.1 为改善土体强度以提高土工结构物稳定性或其地基承载力，可利用加筋土原理对其进行加筋。按该原理可以建成安全经济的加筋土挡墙、加筋土陡坡、加筋软土地基及其它的加筋体。

7.1.2 用作加筋材的土工合成材料按不同结构需要可选用：土工格栅、土工织物、玻纤土工格栅、土工带和土工格室等。

7.1.3 加筋土结构设计荷载和总体设计方法应符合国家现行有关工程设计和荷载规范的规定。

7.1.4 采用土工合成材料进行加筋的主要工程有：

- 1 加筋土挡墙。
- 2 加筋土垫层。
- 3 加筋土坡。
- 4 软土地基加固。
- 5 加筋土桥台、墩台。
- 6 道路加筋。
- 7 桩网式加筋路基。
- 8 大坝抗震防护结构。

7.2 加筋土结构设计的一般方法

7.2.1 加筋土结构设计应基本按岩土工程广泛采用的极限平衡法。一般包括两部分的验算：

- 1 外部稳定性，即整体稳定性核算。
- 2 内部稳定性核算。包括加筋材的强度校核和筋材被拔出验算（或筋材锚固长度确定）。

7.2.2 进行加筋设计应通过计算，选择加筋材料、确定筋材的布放位置、长度和间距以及安排排水系统等细节。

7.2.3 加筋材应满足下列要求：

1 拉伸强度应符合设计要求。注意筋材的允许强度应按式（3.1.6）求得。材料在设计使用年限内的蠕变应较低。

2 界面摩阻力，即筋材与周围土介质的表面摩阻力和咬合力。摩阻力和咬合力应较高，应通过试验确定。无实测资料时，可初步按第 3.1.9 条的规定采用。

3 具有较高的抗磨损能力和耐久性。

7.2.4 加筋土填料宜采用洁净粗粒料。

7.2.5 设计应根据不同结构，分别按各别标准进行。

7.2.6 设计中应考虑适当的安全系数。外部稳定性核算的安全系数应遵照相应的结构设计规范。内部稳定性核算，除特殊要求，一般安全系数可采用 1.5。

7.3 加筋土挡墙设计与施工

7.3.1 墙面坡度 $\alpha > 70^\circ$ 时按挡墙设计； $\alpha \leq 70^\circ$ 时则按土坡设计。

7.3.2 加筋土挡墙的组成部分应包括：墙面、墙基础、筋材和墙体填土（图 7.3.2）。

墙面应根据筋材类型和具体工程要求确定。可采用整体的或拼装模块的钢筋混凝土板、预制混凝土模块、包裹式墙面、挂网喷浆式墙面等类型。

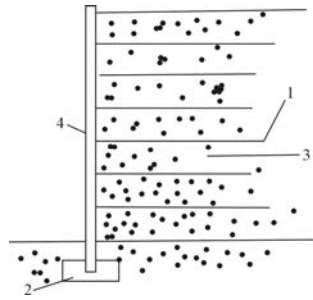


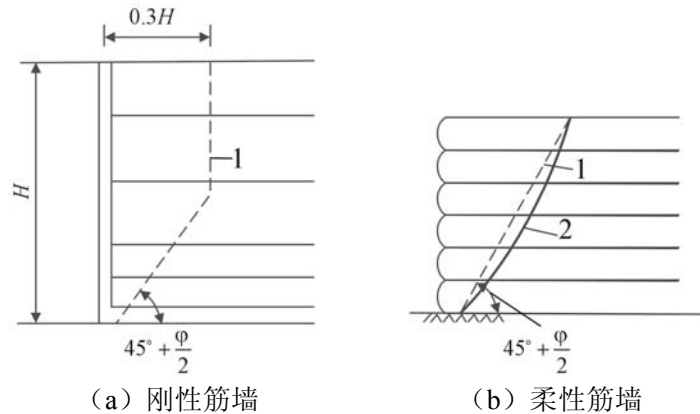
图 7.3.2 加筋土挡墙结构

1—筋材；2—基础；3—填土；4—墙面板

7.3.3 加筋土挡墙按筋材模量可分为下列两种型式：

1 刚性筋式：用抗拉模量高、延伸率低的土工带等作为筋材；墙内填土中的潜在破裂面见图 7.3.3 (a)。

2 柔性筋式：以塑料土工格栅或有纺土工织物等拉伸模量相对较低的材料作为筋材，墙内土中潜在破裂面如朗肯破坏面见图 7.3.3 (b)。



(a) 刚性筋墙

(b) 柔性筋墙

图 7.3.3 两类加筋土挡墙的破裂面

1—破裂面；2—实测破裂面

7.3.4 加筋土挡墙设计采用极限平衡法。内容包括：挡墙外部稳定性验算、挡墙内部稳定性验算以及确定墙后排水和墙顶防水措施。

7.3.5 外部稳定性验算应采用一般重力式挡墙的方法验算墙体的抗水平滑动稳定性、抗深层滑动稳定性和地基承载力。加筋土体实际上是非刚体，一般不作抗倾覆校核，但要求墙底面上作用合力的着力点在底面中三分段之内。墙背土压力按朗肯 (Rankine) 土压力理论确定 (图 7.3.5)。

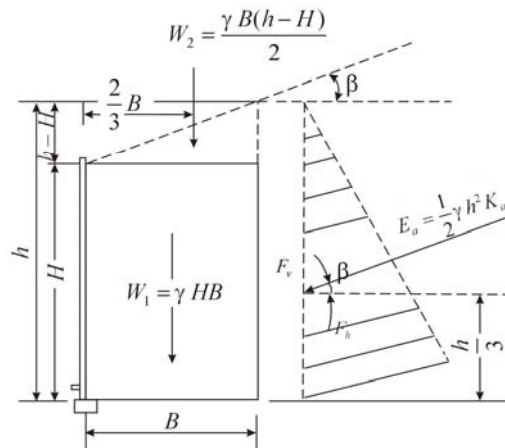


图 7.3.5 墙背垂直，填土倾斜时的土压力计算

7.3.6 内部稳定性验算应包括筋材强度验算和抗拔稳定性验算，并按下述方法进行：

1 筋材强度验算:

1) 每层筋材均应进行验算。第*i*层单位墙长筋材承受的水平拉力 T_i 按下式计算:

$$T_i = [(\sigma_{vi} + \sum \Delta \sigma_{vi}) K_i + \Delta \sigma_{hi}] s_{vi} / A_r \quad (7.3.6-1)$$

式中: σ_{vi} ——验算层筋材所受土的垂直自重压力 (kPa);

$\sum \Delta \sigma_{vi}$ ——超载引起的垂直附加压力 (kPa);

$\Delta \sigma_{hi}$ ——水平附加荷载 (kPa);

A_r ——筋材面积覆盖率。 $A_r = 1/s_{hi}$, 对于筋材满铺的情况取 1;

s_{hi} ——筋材水平间距 (m);

s_{vi} ——筋材垂直间距 (m);

K_i ——土压力系数。

2) 式 (7.3.6-1) 中 k_i 的取值, 对于柔性筋材 [图 7.3.6-1 (a)],

$$K_i = K_a \quad (7.3.6-2)$$

对于刚性筋材, K_i 按下式确定 [图 7.3.6-1 (b)]:

$$\begin{aligned} K_i &= K_0 - [(K_0 - K_a) z_i] / 6 & 0 < z \leq 6\text{m} \\ K_i &= K_a & z > 6\text{m} \end{aligned} \quad (7.3.6-3)$$

式中: K_a ——主动土压力系数;

K_0 ——静止土压力系数。

3) T_i 应满足下式要求:

$$T_a / T_i \geq 1 \quad (7.3.6-4)$$

筋材的允许抗拉强度 T_a , 应符合本规范第 3.1.6 条的规定。

4) 当 T_a / T_i 值小于 1 时, 应调整筋材间距, 或改用具有更高拉伸强度的筋材。

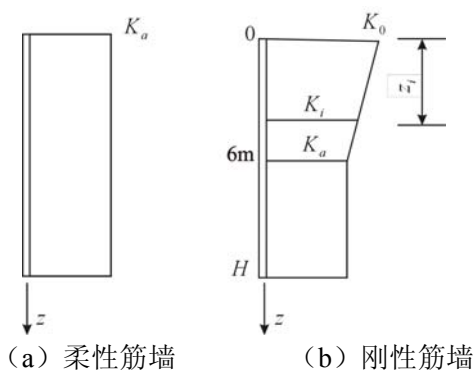


图 7.3.6-1 挡墙土压力系数

2 筋材抗拔稳定性验算:

1) 第*i*层筋材的抗拔力 T_{pi} 应根据填土破裂面以外筋材有效长度 L_{ei} 与周围土体产生的摩擦力 (图 7.3.6-2) 按下式计算:

$$T_{pi} = 2\sigma_{vi} \cdot B \cdot L_{ei} \cdot f \quad (7.3.6-5)$$

式中: f ——筋材与土的摩擦系数, 应由试验测定;

L_{ei} ——筋材有效长度 (m), 即破裂面以外的筋材长度;

B ——筋材宽度 (m); 筋材满堂铺时, $B=1$ 。

2) 筋材抗拔稳定性安全系数按下式确定:

$$F_s = T_{pi} / T_i \quad (7.3.6-6)$$

3) 安全系数不应小于 1.5。不能满足时, 应加长筋材, 重新进行验算。

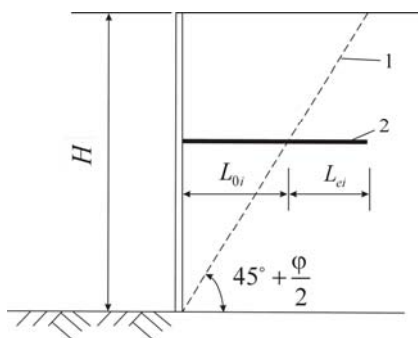


图 7.3.6—2 筋材长度

1—破裂面；2—第 i 层筋材

7.3.7 筋材总长度：第 i 层筋材总长度 L_i 应按下式计算：

$$L_i = L_{0i} + L_{ei} + L_{wi} \quad (7.3.7)$$

式中： L_{0i} ——第 i 层筋材破裂面以内长度 (m)；

L_{wi} ——第 i 层筋外端部包裹土体所需长度，或筋材与墙面连接所需长度 (m)。

为施工方便，自上而下筋材宜取等长度，也可分段采用不同长度。

7.3.8 对于面板为模块的挡墙，模块上、下面应有足够的抗剪力；上下相邻筋材面的间距限为块体宽度（墙前至墙后间的距离， W_u ）的 2 倍或 0.8m 二者中的小值。最上层筋材以上和底部筋材以下的面板最大高度也不得大于 W_u 。

法向压力下模块间的抗剪力应超过面板处水平土压力，安全系数达到 2。

7.3.9 加筋土挡墙应设置墙外与墙内的排水措施：

1 为防止地表水渗入墙体的外部排水可在墙顶地面做防水层（如不透水夯实粘土层或混凝土面板），向墙外方向设散水坡和纵向排水沟，将集水远导。

2 导走墙内土中水的墙内排水，可根据具体条件分别选用：

- 1) 紧贴墙面板背的有一定厚度的透水料的竖向排水层；
- 2) 墙后填土为透水料的全断面排水体；
- 3) 倚贴在墙后开挖坡上的透水料的斜排水层；
- 4) 位于挡墙底部的水平排水层。

以上不同排水措施都应通过墙面的冒水孔管将水导出墙外。

3 如果挡墙建在丰水的山坡坡趾或塌方处，应向坡内钻仰斜排水管。

7.3.10 加筋土挡墙的抗震设计的稳定性验算方法及安全系数应符合国家现行有关抗震设计标准、规范的规定。

7.3.11 设计应对加筋土挡墙的填料及填筑施工方法提出具体要求。

7.3.12 加筋土挡墙的施工构造应符合下列要求：

- 1 加筋土挡墙应根据地形、地质、墙高等条件设置沉降缝。
- 2 加筋土挡墙高度大于 10m 时，应考虑设置一定宽度的戗台，并应慎重选择填料。

7.4 软基加筋土垫层设计与施工

7.4.1 软基上垫层可采用土工织物、土工格栅或土工格室等加筋。

7.4.2 加筋土垫层的设计应包括下列内容：

- 1 稳定性验算。
- 2 确定加筋构造。
- 3 加筋垫土层地基承载力和沉降验算。

7.4.3 稳定性验算应包括垫层筋材被切断及不被切断的地基稳定、沿筋材顶面滑动、沿薄软土层底面滑动以及筋材下薄层软土被挤出。验算方法及稳定安全系数应符合国家现行有关地基设

计标准、规范的规定。

7.4.4 垫层构造应符合下列要求：

1 在软土上宜先铺砂垫层，再覆盖筋材。砂垫层厚度在陆上施工时不应小于 200mm，水下施工时不应小于 500mm。垫层料宜采用中、粗砂，含泥量不应大于 5%。

2 筋材上直接抛石时，应先铺一层保护层或土工网。

7.4.5 加筋土垫层的施工应符合下列要求：

1 筋材的铺设宽度应符合设计要求。施工时，筋材应垂直于堤坝轴线方向铺设，需要接长时，连接强度不应低于原筋材强度。

2 水下铺设土工织物筋材时应采用工作船或工作平台，并应及时定位或压重。

3 应按先两侧后中央的顺序分层回填，应按设计要求进行施工监测，并应控制施工速率。

7.5 加筋土坡设计与施工

7.5.1 加筋土坡筋材可采用土工格栅、土工织物或土工网等。

7.5.2 加筋土坡应沿坡高按一定垂直间距水平方向铺放筋材，其地基应是稳定的，承载力足够。

7.5.3 加筋土坡设计应按下列步骤进行：

1 应先对未加筋土坡进行稳定分析，求得其最小安全系数 F_{su} 。并与设计要求的安全系数 F_{sr} 比较，当 $F_{su} < F_{sr}$ ，应采取加筋处理。

2 应将上款中所有 $F_{su} \approx F_{sr}$ 的潜在滑弧与滑动面绘在同一幅图中，各弧面和平面的外包线即为需要加筋的临界范围（图 7.5.3-1）。

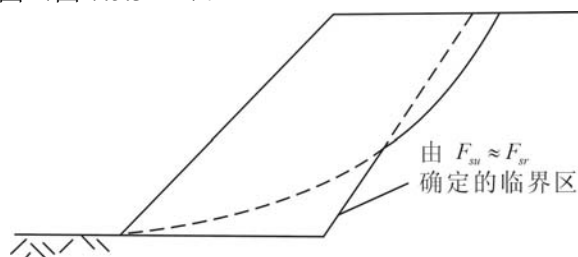


图 7.5.3-1 有待加筋的临界区范围

3 针对每一假设潜在滑弧，所需筋材总拉力 T_s （单宽）应按下列公式计算：

$$T_s = (F_{sr} - F_{su}) M_D / D \quad (7.5.3)$$

式中： M_D ——未加筋土坡某一滑弧对应的滑动力矩（ $kN \cdot m$ ）；

D ——对应于某一滑弧的 T_s 对于滑动圆心的力臂（ m ），按图 7.5.3-2 确定。当 $D=T$ 时， T_s 的作用点可设定在坡高的 $1/3$ 处。

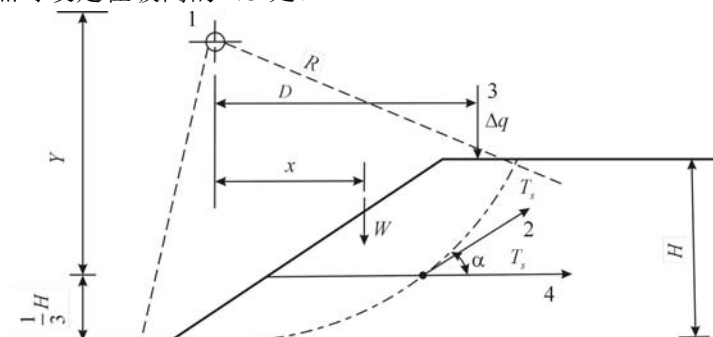


图 7.5.3-2 确定加筋力的圆弧滑动计算

1—滑动圆心；2—延伸性满铺筋材拉力（ $D=R$ ）；

3—超载；4—独立条带筋材拉力（ $D=Y$ ）

4 各滑弧中 T_s 的最大值 T_{smax} 应为设计所需的筋材总加筋力。加筋层数应合理确定。

5 筋材的强度验算和抗拔稳定性验算应符合本规范第 7.3.6 条的要求。

- 6 筋材布置应便于施工，筋材长度可定为一种或二种长度。
 - 7 坡面应植草或采取其它有效的防护，并应设置排水措施。坡内设置有效的截排水设施。
- 7.5.4** 加筋土坡的施工应符合下列要求：
- 1 填土质量应符合设计规定。压实机械运作时与筋材间至少应有 300mm 厚的土料。
 - 2 当坡面缓于 1:1，且筋材垂直间距不大于 400mm 时，坡面处筋材端部可不包裹；否则应予以包裹，折回段应压在上层土之下。
 - 3 当筋材为土工格栅时，坡面包裹处应设细孔土工网或土工织物，防止土料外漏。

7.6 软基上加筋桩网结构的设计与施工

7.6.1 在软基上要求快速筑堤，又不允许有过大的工后沉降，可考虑采用土工合成材料和碎石（或砂砾）构成的加筋网垫形式的桩网支承结构，对地基进行加固处理。

7.6.2 加筋桩网基础要求在软基中设置带桩帽的群桩，利用土工合成材料在其上建传力承台，借桩与桩间土形成的拱作用，将大部分或全部堤身重量通过桩柱传递给桩下相对硬土层（图 7.6.2）。

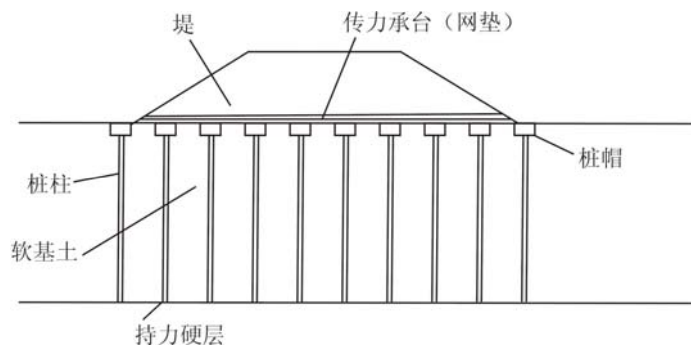


图 7.6.2 软基上的加筋桩网结构

7.6.3 加筋桩网基础一般用于提高不大于 10m 的工程，主要设计内容应包括：桩型选择、桩沿堤横断面的分布、堤坡稳定性校核、传力承台（加筋网垫）设计和筋材强度确定。

1 桩柱选择

假设堤重全部由群桩均匀承担。按经验，不要求桩有较高承载力。传统的各类桩（如木桩，预制混凝土桩、振动混凝土桩、水泥土搅拌桩等）均可采用。桩顶应设配筋桩帽。

2 桩柱分布

桩柱间距按经验均布，一般为 1.5~3.0m。为防堤坡失稳，沿堤断面桩要求分布的范围 L_p 按下式计算（图 7.6.3-1）：

$$L_p = H(n - \tan\theta_p) \quad (7.6.3-1)$$

式中：H——堤身高度（m）；

n——堤坡坡率 1:n；

θ_p ——与垂线的夹角（°）， $\theta_p = 45^\circ - \frac{\varphi_{em}}{2}$ ；

φ_{em} ——堤身土的有效内摩擦角（°）。

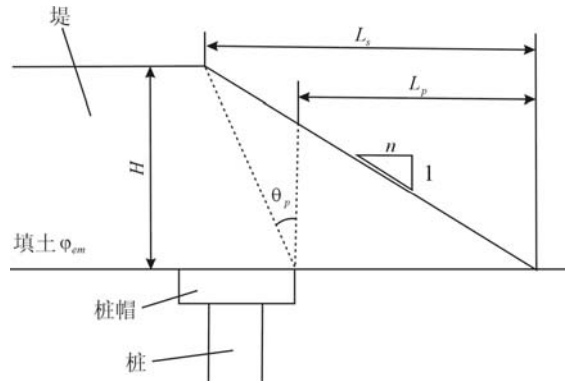


图 7.6.3-1 桩的分布范围计算

3 堤坡稳定性校核

1) 抗挤滑校核

堤坡下筋材应有足够的强度和长度，抵抗坡肩处主动土压力 P_a 的推动，要求筋材抗拉力 $T_{1s} \geq P_a$ (图 7.6.3-2)：

$$T_{1s} \geq P_a = \frac{1}{2} K_a (\gamma H + q) H \quad (7.6.3-2)$$

式中： K_a ——主动土压力系数， $K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi_{em}}{2})$ 。

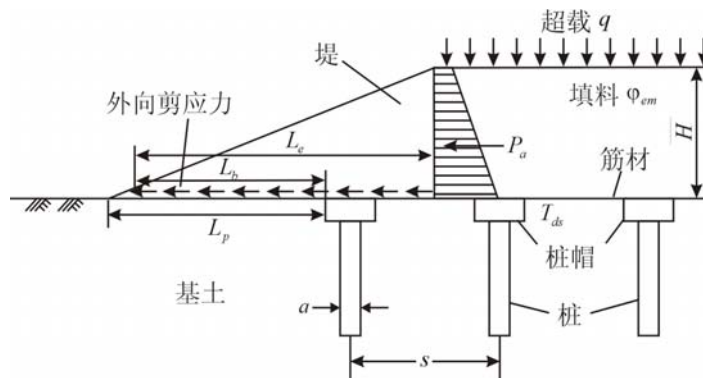


图 7.6.3-2 堤坡抗挤滑验算

提供抗拉力 T_{1s} 的锚固长度 L_e 按下式计算：

$$L_e = \frac{T_{1s}}{0.5 \gamma H \cdot C_i \cdot \tan \varphi_{em}} \quad (7.6.3-3)$$

式中： C_i ——筋材与堤土之间抗滑相互作用系数， $C_i < 1$ 。

2) 地基与堤身整体稳定性验算

按传统的圆弧滑动法验算。计算中应考虑桩柱的抗剪力和承台底筋的抗拉作用。

7.6.4 加筋网垫设计

1 设计方法

现行设计方法并不统一。国内外较流行的是悬索线理论法。悬索线理论视承台的筋材为挂在桩群上的悬索，堤身荷载作用于悬索，悬索拉力传到桩帽上，再由后者通过桩柱作用于桩端相对硬土层。

2 方法基本依据

1) 最小堤身高度为桩净距 $(s-a)$ 的 0.7 倍 (s 为桩距， a 为桩帽直径或宽度)。

2) 桩顶上筋材为可延伸材料，筋材最大许可应变为 6%。工作期间蠕变应尽量小，仅许可达到 2%。

3) 堤内存在拱效应。承台内填粒料的强度 $\varphi \geq 35^\circ$ 。

3 土拱作用使桩顶平均垂直应力 p'_c 与堤底平均垂直应力 σ'_v 之比为:

$$\frac{p'_c}{\sigma'_v} = [C_c a/H]^2 \quad (7.6.4-1)$$

式中: a ——桩直径 (m);

$$\sigma'_v = f_{fs} \gamma H + f_g q;$$

f_{fs} ——土单位质量分项荷载因数 (1.3);

f_g ——超载分项荷载因数 (1.3);

C_c ——成拱系数

$$= \left(1.95 \frac{H}{a} - 0.18 \right) \text{——端承桩;}$$

$$= \left(1.50 \frac{H}{a} - 0.07 \right) \text{——摩擦桩。}$$

4 悬索承受的竖向荷载 W_T

当 $H > 1.4 (s-a)$,

$$W_T = \frac{1.4 s f_{fs} \gamma (s-a)}{s^2 - a^2} [s^2 - a^2 \frac{p'_c}{\sigma'_v}] \quad (7.6.4-2)$$

式中: s ——桩间净距 (m)。

当 $0.7 (s-a) \leq H \leq 1.4 (s-a)$,

$$W_T = \frac{s (f_{fs} \gamma H + f_g q)}{s^2 - a^2} [s^2 - a^2 \frac{p'_c}{\sigma'_v}] \quad (7.6.4-3)$$

5 筋材的单宽拉力 T_{rp}

$$T_{rp} = \frac{W_T (s-a)}{2a} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon}} \quad (7.6.4-4)$$

式中: ε ——筋材的应变。堤重全部传递给桩时的最大应变为 6%。

6 传力承台筋材的总设计强度 T_t

$$\left. \begin{array}{l} \text{堤轴线方向} \quad T_t = T_{rp} \\ \text{横贯堤轴线方向} \quad T_t = T_{1s} + T_{rp} \end{array} \right\} \quad (7.6.4-5)$$

7.6.5 施工要点:

1 施工应按常规公路标准进行, 以下仅针对传力承台施工说明。

2 填料应尽量用高强度粒料。合适材料为 GW、GW-GM。

3 加筋材料应为土工格栅或高强有纺土工织物, 拉伸强度和伸长率应符合设计要求。

4 布筋应按设计放到规定位置和高程。筋材可搭接或缝接, 接缝宜在桩帽上方, 仅沿次要应力方向。搭接宽度大于或等于桩径。

5 填料铺摊厚度对机械压实处为 250mm, 人工夯实处 150mm。压实含水率控制为 $w_{op} \pm 2\%$, 压实度应达 95% 以上。压实要求现场检查。

6 碾压机离筋材的垂直距离至少为 150mm。机械尽量直行。

8 施工检测

8.1 一般要求

8.1.1 土工合成材料工程从材料进场、检验、存储到各施工环节及验收，都必须进行检测，以确保工程质量符合设计预期要求。

8.1.2 负责现场检测任务的单位和人员都应事先阅读有关的施工计划、试验大纲和方案具体内容及合同要求等，作为施工前的必要准备。

8.1.3 材料进场应逐批检查供货是否与批准的种类、型号相符；是否具有产品的相应文件和合格证，以及经国家认证单位开具的检测报告。应检查材料有无损伤，如不相符，或有损伤，业主方可据理退货。

8.1.4 业主方可委托指定单位按相应技术规范对进场材料遵照规定频率进行技术指标抽样检查，验证是否符合要求。对合格产品，从卷材中割取两块相同样品，交业主方和供货方各执一份，留供日后供货时用作对比验证。

8.1.5 如果大幅材料需要供货方事先在厂内连接，应检查其是否合格。

8.1.6 对施工中需要采用的缝接材料及胶接材料等（如土工膜等用的胶结剂）也需要检测其合格性。

8.1.7 施工过程中，地面平整、材料铺放、回填压实等每道工序完成后，都应经认真检查合格后，方可进行下一道工序。每道工序应进行的检测内容应该列入施工规定。

8.2 具体工种的施工检测要求

8.2.1 施工检测应根据所属行业制订的施工规则，按不同工序中的具体内容和允许偏差逐项进行。常见工种要求检测的要点分述如下。未列入工种的要求可参照有关规范执行。

8.2.2 反滤排水工程

反滤排水工程常用材料为无纺土工织物、软式排水管、排水管及其它排水材料，它们都应符合反滤准则。

1 地下排水沟、管

- 1) 所用无纺土工织物应符合反滤准则，不得沾污受损。
- 2) 排水沟开沟的底部应达设计高程，纵向不得有反坡。
- 3) 织物铺放的顺机向应与水流方向一致。不得有折皱，织物与地面要紧贴。
- 4) 织物搭接最小宽度 0.3m，允许误差为+50mm。检测频率可为 1 次/1 万 m²。如预计会发生位移，应加钉固定，上游片应搭在下游片之上。
- 5) 排水沟顶部织物搭接宽不小于 0.3m。沟顶回填土料应压实。

2 软式排水管

- 1) 埋管底部铺砂卵石，安放软管，分层回填压实，使其稳固。
- 2) 接头处剪去钢丝圈相互套接，以尼龙绳捆紧，包以无纺土工织物。
- 3) 外包尼龙纱应尽量少受日光照射。

3 塑料排水管

- 1) 要求插带平面位置准确，偏差不大于 100mm。
- 2) 插带深度应达设计高程。插带要求垂直，偏差不大于 1.5%。
- 3) 插带时带滤膜不得被扯破。带底部应可靠锚固。若带随套管拔出，拔出长度超过 0.5m，应重新补插。
- 4) 排水带接长时，芯板平接不应短于 0.2m，再将滤膜覆盖包好。

5) 地面应设横向排水垫层, 厚度不小于 0.4m。

6) 检测频率可为 1 次/10 万 m。

8.2.3 防渗工程

防渗工程常用材料为土工膜, 复合土工膜和粘土土工合成材料隔渗材 (GCL) 等。

1 土工膜与复合土工膜防渗

1) 铺设大面积水下防渗膜应在整平地面后作好排水排气系统。地面不得有坚硬突起物。

2) 铺设坡上土工膜, 应埋在坡顶锚固沟内。

3) 土工膜焊接后应按规定方法检测其密闭性; 复合土工膜焊接后应将复合用土工织物平整缝合; 土工膜胶接后, 除检验其密封性, 尚应论证其胶结剂长期在水下的可靠性。

4) 做好土工膜与周围地基和结构物的连接, 使形成完整的密闭系统。

5) 检测频率可为 1 次/1 万 m²。

2 GCL 防渗

1) 坡上铺设应锚固。

2) 块间连接宽度应符合规定。搭接块间应布放膨润土膏。搭接缝应尽量不形成水平缝。

3) 铺放后洒水使充分水化。

4) 其上覆盖不得用含钙、镁等高价离子的土料。

8.2.4 防护工程

防护工程包括以软体排防冲防浪、以土工织物作垫层护坡、以土工模袋护岸、以土工织物和玻纤格栅防道路反射裂缝、以 EPS 泡沫板防冻以及以土工系统的包容体建防冲结构等, 种类繁多, 以下择要说明。

1 软体排防冲防浪

1) 铺放排体要准确定位。排片搭接, 上游片搭在下游片上。排片上要能及时压重。

2) 水下排末端要做好防冲结构。

2 护坡垫层工程

一般是在临江河坡面铺放土工织物作反滤防冲垫层, 其上盖抛石或混凝土块等作保护层。

1) 织物的顺机向应平行于水流向。

2) 相邻织物搭接, 搭接宽度应符合设计要求。预计保护层会移动时, 应以钉锚固。

3) 织物应按设计埋入锚固沟。水下末端应作好防冲结构。

4) 检测频率可为 1 次/1 万 m²。

3 土工模袋护岸工程

1) 作好水上、水下锚固沟。

2) 充灌用混凝土及砂浆的原材料、配合比和拌和物性能均应符合设计要求。

3) 充灌自下而上, 自上游往下游, 由深水至浅水进行。充灌过程中及时调整松紧器。充灌后约 1h 设置排水管。充灌毕, 及时以水冲洗表面灰渣, 待养护。

4) 充满度应符合要求厚度, 许可厚度误差为+50mm。

4 路面防止反射裂缝工程

防止反射裂缝采用无纺土工织物或玻纤格栅, 铺设于沥青面层的底部。

1) 铺加筋材料要拉紧。横向连接用钉固定, 纵向可用粘层油。

2) 搭接宽度应符合设计规定。转弯处织物要搭接或切割, 顺转向叠盖, 前一片在上, 加固定钉。格栅要割断, 顺转向布放。

3) 铺土工织物应先在地面洒粘层油, 铺料后, 再洒粘层油; 用玻纤格栅时, 则铺后洒热沥青粘层油。油量应符合设计规定。

8.2.5 加筋土工程

- 1 加筋土挡墙
 - 1) 墙体范围内的地基用振动碾或汽胎碾压实。
 - 2) 筋材的主强度方向应垂直于墙面。
 - 3) 墙面处如为格栅包裹结构, 应采用土工织物或其它材料防止填土漏失。
 - 4) 锚固长度应抽查 2%, 垂直间距许可误差 $\pm 50\text{mm}$ 。
- 2 软基上的加筋垫层
 - 1) 筋材的顺机向应垂直于堤轴线; 接缝不得平行于轴线, 必要时需设钉固定。
 - 2) 分层回填应始终保持筋材处于拉伸状态。第一层用轻型机械, 只允许沿道路轴向行驶。软土地基先以后卸式卡车, 沿道路两侧筋材边缘卸土, 形成交通便道。卸土只能卸在已摊铺成的土面上。卸土高不得超过 1m。形成便道后, 再平行于路轴由两侧向中心对称填筑, 保持填土呈 U 形向前推进。
- 3 加筋土坡
 - 1) 筋材顺机向应垂直于坡面。加钉防位移。
 - 2) 筋材垂直间距不大于 400mm, 边坡不陡于 1:1 时。
 - 3) 如按设计筋材末端要求包裹, 包裹时的返回长度至少为 1.2m。
 - 4) 筋材长度应抽查 2%, 垂直间距许可误差 $\pm 50\text{mm}$ 。
- 4 加筋桩网基础(桩网结构)上筑堤
 - 1) 加筋平台填料应符合设计要求。应采用具有高抗剪强度的粗粒土作填料, 如 GW、GW-GM 等。
 - 2) 筋材应按设计布放到规定位置与高程。
 - 3) 填料要分层填放, 分层压实到标准压实的 95%以上, 含水率控制为 $w_{op}\pm 2\%$ 。

规范用词用语说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 规范中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《土工合成材料 术语和定义》GB/T 13759
- 《生活垃圾填埋污染控制标准》GB 16889
- 《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》GB 18599
- 《危险废物填埋污染控制标准》GB 18598
- 《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》SL/T 225
- 《土工合成材料试验规程》SL/T 235
- 《铁路路基工程土工合成材料应用技术规范》TB 10118
- 《公路土工合成材料应用技术规范》JTJ/T 019
- 《水运工程土工合成材料应用技术规范》JTJ 239
- 《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术规范》CJJ 113

中华人民共和国国家标准

土工合成材料应用技术规范

Technical standard for applications of geosynthetics

GB 50290—201X

条文说明

目 次

1	总 则	48
2	术语和符号	49
2.1	术 语.....	49
2.2	符 号.....	49
3	基本规定	50
3.1	材 料.....	50
3.2	设计原则.....	50
3.3	施工检验.....	50
4	反滤和排水	51
4.1	一 般 规 定.....	51
4.2	反 滤 准 则.....	51
4.3	设计方法.....	51
4.5	土坝坝体排水.....	52
5	防 渗	53
5.2	防 渗 结 构.....	53
5.3	土工膜隔渗材的设计方法与施工要点.....	53
5.4	水利工程防渗.....	54
5.7	环保工程防渗.....	57
5.8	粘土土工合成材料隔渗材（GCL）用于防渗.....	57
6	防 护	58
6.1	一 般 规 定.....	58
6.2	软体排工程防冲.....	58
6.3	土工模袋工程护坡.....	58
6.4	土工网垫植被护坡和土工格室工程护坡.....	60
6.5	防 汛 抢 险.....	60
6.7	土工系统用于防护.....	60
6.8	其它防护工程.....	61
7	加 筋	62
7.2	加筋土结构设计的一般方法.....	62
7.3	加筋土挡墙设计与施工.....	62
7.5	加筋土坡设计与施工.....	62
7.6	软基上加筋桩网结构的设计与施工.....	63

1 总 则

1.0.1 20 世纪 80 年代初，土工合成材料的土工织物、土工膜等在我国已开始应用和研究。1998 年我国发生特大洪水后，陆续编制和发布了国家和各行业的土工合成材料的设计和施工标准，执行历时已超过 10 年，完成了众多的工程项目，包括国家的许多重大工程。多年来从实践中积累了丰富的经验，加之国内外无论在新材料、新技术或新理论等方面皆有较大创新和发展。在此基础上，对本规范进行了修订，使其内容更加充实和先进，工程人员借此在应用该技术时，选料更加经济合理，设计与施工水平进一步提高，工程质量更加完善。

1.0.2 水利、电力、铁路、公路等行业的土建工程中需要解决的问题无非都涉及岩土体的稳定、变形、防排水及处理与加固等方面，而土工合成材料种类繁多，功能多样，能基本上弥补岩土体性能之不足，故可满足各行业工程的所需而得到广泛应用。

1.0.3 土工合成材料配合岩土工程应用，只是主体工程中的一个组成部分，其设计施工原理与操作都应与主体工程协调一致；另外，对不同行业，由于特殊要求，在一些细节上常有差异，故在遵守本规范的同时，尚应满足相应岩土规范和行业规范的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

本节中所列的术语是本规范中提及的各种技术词汇，旨在帮助读者更准确地理解它们的含义，从而更深入地掌握各条条文述及的技术内容。术语涵盖以下诸方面的内容：材料的名称、材料的功能、材料的性能、技术指标以及少量的工程名称。对术语的定义根据了《土工合成材料工程应用手册》、美国材料与试验协会（ASTM）标准及国际土工合成材料学会（IGS）等的有关资料与文献。IGS 于 2009 年 9 月颁布了第 5 版的《土工合成材料的功能、术语、数学和示图符号的推荐性说明》。

2.2 符号

所列符号是各章共用和出现频率较高的符号。岩土工程中常见的业已俗成的通用符号未予列入。

3 基本规定

3.1 材料

3.1.1 所列材料是制造土工合成材料的最常见的和最通用的原材料。

3.1.2 分类系统根据 IGS 分类法编写。

3.1.3 材料性能测试的常用方法与项目皆已包含其中，应根据工程的需要从中选用。

3.1.4 土工合成材料的性能常随所处温度、压力、试样尺寸等而改变，试验理应使材料在工程中的工作条件下进行。

3.1.5 材料在工程中发挥作用常决定于其主要的力学性能指标，它们经常不能以其简单的物理性指标来反映。特别是有些新产品，单位面积质量减小了，强度反有增大。

3.1.6 高分子材料有别于常规材料，其强度受时效与施工影响显著，设计时，首先应考虑材料的安全系数，它们不同于一般稳定性校核等时的工程安全系数 F_s 。式 (3.1.6) 中各折减系数理应按具体工程各别测定，实际上存在困难。该式和相应各表所列数值为目前国际上所通用，暂引录供设计者查用。

3.1.7 式 (3.1.6) 中的综合强度折减系数，是三项不同性质影响的系数。如果将所取系数相乘，数值可能很大，意味着过低地利用了材料强度造成浪费。事实上，各种影响的严重程度不同，均较严重的机遇不可能同时发生，故三者乘积应有限制，如本条规定为 3.0~5.0。

3.1.9 本条规定是经验总结，为设计提供方便。

3.2 设计原则

3.2.1 土工合成材料应用于工程，只是工程材料的变更，它们毕竟是岩土工程中的局部，工程的总体设计计算与施工，仍应服从相应的专业和行业标准。

3.3 施工检验

3.3.3 观测结果主要有下列用途：1. 工程运行是否正常，是否需要缮修。2. 原设计施工方法是否正确，需不需要改进。

4 反滤和排水

4.1 一般规定

4.1.1 工程中的反滤和排水传统上采用粒状材料的砂、砾料。它们不仅要从自然界采掘，而且体积巨大，还常要进行筛选。在用作竖向或斜向反滤和排水体时，质量往往还难以保证。采用土工合成材料，因它们是工厂制品，质量轻，运输方便，施工简易，选用得当，能充分保证工程质量。

4.1.2 无纺土工织物，是用作反滤的首选材料，用途最广。如果还要求材料有较高的强度等，也可选用合适的有纺土工织物。

4.1.3 无纺织物用于排水是依靠其平面（断面）排水能力。但其断面毕竟不大，排水能力有限，故需要大的过水能力时，应考虑改用其它排水材料和结构。

4.1.6 无纺土工织物无论用于单纯反滤或排水，首先要满足反滤准则。要求一定的厚度，保证其能长期安全工作。虽然它们的主要功能是反滤和排水，显然要求最低的强度是其发挥作用的前提。表列要求摘自 *Geosynthetic Design and Construction Guidelines Reference Manual (2007)*，NHI Course NO.132013。

4.1.8 土工合成材料用于工程，反滤和排水的功能密不可分，相互依存，它们的用途甚广，这里只是部分举例。

4.2 反滤准则

4.2.2~4.2.5 反滤准则是一切排水材料必须满足的条件。它保证材料在允许顺畅排水的同时，土体中的骨架颗粒不随水流流失，又在长期工作中不因土粒堵塞而失效，从而确保有水流通过的土体保持渗流稳定。

条文中的准则是目前美国、加拿大和其它不少国家通用的规定。

4.2.4 条中指出，来水量大，水力梯度高时，A 值可以增大，是吸取了我国 1998 年特大洪水时治理管涌险情时的教训。在上述情况下，由于来水量过猛，织物孔隙来不及将其即时排走，会造成顶冲使反滤织物失效。故要求织物具更大的透水性。

4.2.6 往复水流时，难以期望在织物背后靠较粗土粒架空形成天然滤层，最好有砂砾料与之结合使用。

路基上形成翻浆冒泥，是因为冻土暖融时，上部先融，产生积水，土的含水率增大，而下部土层仍处冻态，形成隔层，为此表层土受扰成为泥浆。织物上下各铺砂层，旨在更好地促进反滤排水。

4.3 设计方法

4.3.2 土工织物用于排水时，除需满足反滤准则，还要依靠其平面排水功能，排走来水量，故需验算其排水能力。

4.3.3 土工织物在长期排水过程中，必然受各种因素影响使其透水性减小。在设计中，为考虑该影响，将试验室测得的透水性指标加以折减，如式（4.3.3）所示。该式系采自国际通用的规定。式中的各系数应按工程情况具体测定，但如此相当复杂，故常参照美国公路系统（FHWA）业已制订的建议数值表，合理选用。

4.3.4 土工织物与下卧土间的界面摩擦系数不高，铺在斜坡上，有滑动可能性，应进行稳定性验算。如不稳定，应采取必要措施。

4.3.6 地下排水经常用暗管或暗沟。它们的外层都包裹无纺土工织物作为反滤层。

4.3.7 条文中的设计方法是现今国内外常用方法，即计算来水量和确定沟、管的排水能力，两相比较，求得排水的安全系数，要求其达到要求数值。

4.3.8 式（4.3.9-2）和式（4.3.9-3）是带孔管入渗流量的通用计算公式。连同表 4.3.9 皆采自：N.W.M. John（1987）Geotextiles 一书。

4.5 土坝坝体排水

4.5.4 排水体上游的来水量可按流网估算：

$$q_1 = k_s \cdot \frac{n_f}{n_d} \cdot \Delta H \quad (1)$$

式中： k_s ——坝体上的渗透系数（m/s）；

ΔH ——上下游水头差（m）。当下游水位为地面，则 $\Delta H=h$ ；

n_f ， n_d ——流网中的流槽数和水头降落数，图 4.5.4 中的 $n_f=5$ ， $n_d=7$ 。

5 防 渗

5.2 防 渗 结 构

5.2.1 防渗结构的作用主要是为了保护土工膜和提供膜下的排水排气，确保其长期安全工作。

5.2.3~5.2.4 护面材料皆是已建工程中大量采用的类型。土石坝的防护层和上垫层的作法可参考表 1。

表 1 土石坝的防护层及上垫层

防护层型式	土工膜类型	建议上垫层型式	防护层做法
预制混凝土板	复合土工膜 (与无纺布物复合)	不设上垫层	混凝土板直接铺在膜上
	土工膜	喷沥青胶砂或浇厚约 40mm 的无砂混凝土	板铺在上垫层上，接缝处塞防腐木条或沥青玛蹄脂，或 PVC 块料等，留排水孔
现浇混凝土板 或钢筋网混凝土板	复合土工膜	不设上垫层	板直接浇在膜上
	土工膜	膜上先浇厚约 50mm 的细砾无砂混凝土垫层	在垫层上布置钢筋，再浇混凝土。分缝间距 15m，缝间填防腐木条或沥青玛蹄脂，或 PVC 块料等，留排水孔
浆砌石块	复合土工膜	铺厚约 150mm、粒径小于 20mm 的碎石垫层	在垫层上砌石。应设排水孔，间距 1.5m
	土工膜	铺厚约 50mm、细砾混凝土垫层	
干砌石块	复合土工膜	铺厚约 150mm、粒径小于 40mm 的碎石垫层	在垫层上铺干砌石块
	土工膜	铺厚约 80mm 的细砾无砂混凝土或无砂沥青混凝土垫层	

5.3 土工膜隔渗材的设计方法与施工要点

5.3.5 土工膜的厚度很薄。虽然在工程中应根据其所受的作用水头大小和工作条件等而定，实际上当支承膜片的垫层安全可靠（垫层坚固，无尖棱物质的级配良好的砂砾层等），极薄的膜也能承受较大水头而不致被击穿。如前苏联学者作过土工膜耐水压的试验，曾经得到过，在含砾粒 67.1%、砂粒 32.9%的级配良好的垫层下，0.25mm 厚的膜在水头 200m 作用下也未见因水力作用面破坏的记录。膜需要的厚度固然可以通过计算而合理确定。但计算依据的假定（如膜跨越自由空间的尺寸和形状）经常不能符合实际情况，并且算得的厚度常常都很薄，按其采用，安全度甚难保证。加之，土工膜的实际防渗能力，首先要靠材质（产品有无砂眼或其它瑕疵）的可靠，其次要看粘接和施工是否完善，特别是施工质量十分关键，对此，在计算中都无法计及。为此，现今土工膜的厚度是靠工程经验确定。不同行业有尽相同的要求，应按行业标准最终选用。

5.3.7 大面积铺膜蓄水后，水进入土孔隙会置换出原占据孔隙中的气体，地基中也可能洩出潜藏气体或生物分解的气体，都应设法将它排走。

5.3.9 铺膜应注意膜材随气温的胀缩性。故铺膜最好在较低温度下进行，但不要妨碍焊接质量。膜质不同，温度不同，热胀系数也不同。但一般可取该系数为 1.5×10^{-4} ，以估算膜所需的松弛量。单位长度的胀缩量应为 $\Delta L = 1.5 \times 10^{-4} \times$ （预计温差范围）。

5.4 水利工程防渗

5.4.1 对含毒矿场的尾矿坝等，有毒物质进入地下水，污染环境，危及人畜生命安全，必须严格防止。条文中所述是为了确保安全。

5.4.2 土工膜在混凝土材料坝中的应用已日渐普遍。据文献报导，国际大坝会议（ICOLD）早在 1981 年就发表了题为《填筑坝中土工薄膜的应用》的第 38 号通报，报导土工坝首先用于高 30m 的坝，后来逐渐推广于各种坝型：混凝土重力坝、支墩坝、拱坝、多拱坝、面板堆石坝和沥青面堆石坝。20 世纪 80 年代初碾压混凝土坝（RCC）问世不久，土工膜又被应用于该坝型。1991 年国际大坝会议又发表了题为《土工膜用于大坝止水——国际先进水平》的 78 号通报，阐明土工膜对于混凝土坝、圪工坝和填筑坝等皆是一项成熟技术，而应用于新型碾压混凝土坝乃是一种“预期前景”（future prospect）。并强调对于填筑坝，没有理由为其适用高度推荐一个限定高度。

欧洲是应土工膜于坝工的开拓者。1993 年“土工膜和土工合成材料欧洲工作组”，专门研究了欧洲的 80 多座坝，建立了数据库。1999 年制订第 38 和 78 通报的“填筑坝材料委员会”根据在上述数据库中的发现，责成工作组起草了一份新通报，阐述土工膜的设计、制造、铺设、质量控制和合同签订等细节。

新通报包括 9 章和 3 个附录。介绍了坝工中应用土工膜的类别，如表 2。用于填筑坝的土工膜的类型如表 3，其中的 90% 用作坝上游斜墙，只有 10% 用作心墙，主要是在中国。在混凝土坝和圪工坝中，主要用于修复，即用于坝的上游面，部分用于止水缝，如奥地利 200m 高的 Kolnbrein 的拱坝和 131m 的 Schlegeis 拱坝和葡萄牙的 Vale do Rossim 坝用于修理坏了的止水。用于混凝土坝和圪工坝的土工膜列于表 4。43 座坝中有 37 座用的是 PVC 土工膜。对于碾压混凝土坝，土工膜于 1984 年用于新建坝，2000 年用于修复坝。对这类坝有两种用法：土工膜外露和土工膜有盖面，它们都有专利。其中前者杰出的有 2002 年完成的哥伦比亚的高 188m 的 Miel 1 号坝，和 2003 年完建的美国的高 97m 的 Olivenhain 坝。后者则始建于 1984 年。著名的有土耳其的高 107 的 Cindere 碾压混凝土坝和安哥拉高 110m 的 Capanda 碾压混凝土坝。碾压混凝土坝应用土工膜的情况见表 5。

坝工用土工膜防渗逐年增多。新通报有如下的结束语：土工膜用于坝工的高度现在没有理论上的限值。目前的记录是：新填筑坝是 196m（冰岛 Karahnjukar，2005），旧重力坝（意大利 Alpe Gera，1993/1994），新碾压混凝土坝 188m（哥伦比亚，Miel 1，2002）。上游外露膜可抗御严峻环境（紫外线、冰、浪和漂浮物冲击）。

表 6 是已建混凝土坝和圪工坝应用土工膜防渗的另一份统计资料，可供参考。

表 2 坝工中应用的土工膜

土工膜类别	外露总数	盖面总数	合计	最早外露	最早盖面
PVC 聚氯乙烯	73	70	143	1974	1960
LLDPE 线型低密度聚乙烯	0	28	28	—	1970
HDPE 高密度聚乙烯	2	11	13	未知	1978
EPDM 乙烯/丙烯/二烯共聚物	5	4	9	1982	1959
CSPE 氯硫化聚乙烯	3	5	8	未知	1981
PP 聚丙烯	1	2	3	未知	未知
CPE 氯化聚乙烯	0	3	3	—	1970
OX.Bit 氧化沥青	7	10	17	1973	1978
SBS 苯乙烯—丁二烯—苯乙烯	0	1	1	—	1996

表 3 填筑坝中所用土工膜

土工膜所处状态	PVC	LLDPE	Bit ^①	HDPE	Elast ^②	CSPE	PP	CPE
外 露	21	1	7	2	5	2	1	0
有 盖 面	54	25	11	10	4	4	2	2
未 知	4	—	—	1	2	1	1	—
总 数	80	26	18	13	11	7	4	2

注：1 沥青；

2 弹性的和 EPDM。

表 4 混凝土坝和圪工坝中所用土工膜

土工膜	PVC	LLDPE	CSPE	CPE	总 数
外 露	36	0	1	1	38
有盖面	1	2	1	1	5
总 数	37	2	2	2	43

表 5 用土工膜的碾压混凝土坝

土工膜	PVC	LLDPE	HDPE	总 数
外 露	10	0	0	10
有 盖 面	15	1	1	17
接缝外露	3	0	0	3
裂缝外露	2	0	0	2
外露总数	15	0	0	15
有盖面总数	15	1	1	17
坝 总 数	30	1	1	32

表 6 混凝土坝和圪工坝采用土工膜防渗的部分工程

坝名称	坝型	坝高(m)	坡度	工程完建年份	土工膜类型	膜厚度(mm)	盖面层保护	膜完建年份	膜背支承
桓仁(中国)	大头坝	79	1:0.4	1967	PVC	2.0	混凝土	1967	—
Lago Baitone	圪工坝	37	垂直	1930	PIB	2.0	无	1970	—
Pantano d' avio	圪工坝	63	1:0.5	1959	PIB	2.0	无	1974	—
Lago Miller	圪工坝	11	垂直	1926	PVC	2.0	无	1976	—
Lago Nero	混凝土坝	40	垂直	1929	PVC	2.0	无	1980	GT
Lago Molato	混凝土坝	48	1:1	1928	PVC	3.0	无	1986	GT
Pino Barbellino	混凝土坝	69	垂直	1931	PVC	2.0	无	1987	GT
Cignana	混凝土坝	58	垂直	1928	PVC	2.5	无	1988	GT
Publino	双曲拱坝	42	垂直	1951	PVC	2.5	无	1989	GT GN
Pian Sapejo	连拱坝	19		1923	PVC	2.5	无	1990	GT
Migoelou	混凝土坝	15	垂直	1970	PVC	2.5	无	1989	GT GN
Riou	碾压混凝土坝	30	垂直	1990	PVC	2.5	无	1990	GT
Concepcion	碾压混凝土坝	70	垂直	1990	PVC	2.5	无	1990	GT
Ceresole	连拱坝	52	垂直	1930	PVC	2.5	无	1990	GT
Gorghiglio	混凝土坝	12	1:1	1942	PVC	2.0	无	1979	GT
Crueize	混凝土坝	5	1:1	1950	PVC	2.0	无	1988	GT GN
Alento	混凝土坝	21	1:2.5	1988	PVC	1.5	无	1988	GT
Alpe Gera	干性混凝土坝	174	垂直	1964	PVC	2.2	无	1992	GT
温泉堡(中国)	碾压混凝土拱坝	49	垂直	1994	PVC	1.5	河床段无保护;岸坡为混凝土	1994	GT

注: 1 PIB—聚异丁烯; PVC—聚氯乙烯; GT—土工织物; GN—土工网。

2 表中资料大部分采自第 17 届国际大坝会议 (ICOLD) 论文集, 1991。

5.4.4 土工膜用于水库作铺盖时, 要设置排水排气措施, 防止水、气顶托造成膜材破坏。可采取的措施有设置逆止阀、挖纵横排水盲沟和压重。

设置逆止阀的作法是: 在膜上每隔 30m~50m, 设一个逆止阀, 即在膜上切割一直径为 20cm 的孔, 焊上一块直径为 30cm 的针刺无纺土工织物。在膜下约 1.5m 深度处预埋一直径为 40cm 的混凝土块, 块上系尼龙绳多根, 向上穿过土工织物, 并和膜以上的铝盖板连接, 如图 1。膜面以上绳长为 15cm。则铝板将随膜下水气压力的大小而上浮或下盖。

在土工膜下地基中开挖排水、气盲沟, 使水气汇集于沟内而排走。故盲沟应与外导的或坡上的排水、气通道相连接。盲沟可以土工织物包裹卵、碎石等排水材料建成。

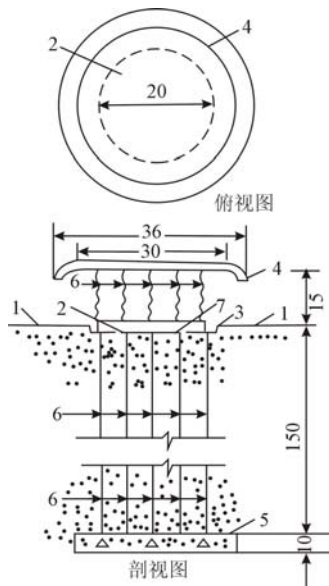


图1 逆止阀结构

1—土工膜铺盖；2—土工织物排水直径20cm；3—焊接或胶接；
4—铝盖板直径30cm；5—混凝土块，直径40cm；6—尼龙绳；7—铝框

5.7 环保工程防渗

5.7.1~5.7.4 生活垃圾填埋和危险废物填埋控制等应遵照环境保护部发布的相应标准执行。

5.7.3 填埋场最终的封盖结构设计应重点考虑：便于维管和防止雨水渗入废料中，尽量减少渗沥液的产生。封盖系统从填埋废弃物顶部开始，向上由多层构成，它们的作法与功能如下：1. 排气层——收集和排走因废料分解而来的可燃气体（甲烷）和其它有害气体（硫化氢等）。可为300mm厚的中粗砂层，或以带孔塑料管代替，再以竖管导出处理，或作能源。2. 防渗层——可以低透水性压实粘土或土工膜建成。3. 雨水导排层——防止雨水下渗，并将其导走。可采用约300mm厚的洁净粗粒料，如SP，底部有斜坡至少3%。亦可用导水率相当于上述粗粒料的土工合成材料。顶层要铺无纺土工织物滤层，以防止被上覆土料堵塞或植被根系入侵。4. 地面覆土和植被层——用作表面绿化和防冲。可为600mm厚的填土和地表耕植土。

应注意以上各层间的稳定性和封盖系统外坡的稳定性。

5.7.4 工业固体废料和危险废物填埋场的防渗设计可参考住房和城乡建设部发布的国家标准GB 18599和GB 18598。

5.8 粘土土工合成材料隔渗材（GCL）用于防渗

5.8.1 GCL原用作次隔渗材与土工膜结合使用铺放于固体垃圾场底部与周边防渗。目前正推广应用到其它防渗目的。本条实际是说明它与土工膜的比较，当遇到条文中所述情况时，可以考虑改用它来替代土工膜。当然并不排除它与土工膜结合均为复合防渗体系。

5.8.3 本条强调测定k值是在有效法向应力为35kpa作用下进行的。而研究获知，该k值与法向应力呈反比。如果在实际应用中其上的覆盖压力比试验时的为低，则其k值将较测定值为大。

5.8.5 强调GCL在操作时避免直立与弯曲，以及不得从高处掷下，是为了防止其中的膨润土引起位移，而使其渗透性增大。

覆土不得含钙、镁，是为了避免它们与膨润土中钠离子交换，造成渗透性增大。

GCL与不同液体接触时反应不一。用蒸馏水、自来水、垃圾场淋滤液及柴油等分别与之接触，结果发现，蒸馏水水化后膨胀量最大，渗透性低，而柴油几乎不起水化作用，渗透性大。

6 防 护

6.1 一 般 规 定

6.1.2 土工系统是国外土工合成材料专著中出现不久的一个涵盖较广的统称。主要指以高强土工织物（或其它土工合成材料）制成的能包裹松散岩土、混凝土等形成大块体的封密系统，和以单片材料，将两端锚固形成挡水、挡土屏障的开敞系统。本节所述限于封闭系统。它们除用于防护，亦可建成水下平，围垦造地，兴建人工岛等。

6.2 软体排工程防冲

6.2.1~6.2.2 软体排的作用类似于河工中的传统柴排等。但与帚枕、柴排、抛石等护坡相比，土工织物具反滤功能，能在水流作用下保持土粒不被冲走，同时水流通畅，从而保证土体稳定。另外，织物系工厂制造，来源丰富，不需要砍伐树木、芦苇，保护自然生态。

6.2.5 软体排的各项验算可参考岩土工程和相关专业标准的方法进行。

6.2.6 软体排的沉排方法和机具并无统一规定。应根据已有条件，因地制宜地组织施工。冰期沉排是我国东北地区采用的方法，是先在冬天河流的冰面上制作好排体，待春融时，适时凿冰，四周开沟，助其下沉。

6.3 土工模袋工程护坡

6.3.6 有关模袋充灌的细节和故障排除方法等由模袋生产厂家和施工队伍提供。

充灌料混凝土和砂浆的配合比可参考国内已建工程的经验制订，见表 7~表 8。

表 7 国内几项模袋工程水泥砂浆配合比

工程名称	水泥砂浆设计要求	水胶比	外加剂		材料用量 (kg/m ³)				备注
			品种	掺量(%)	水泥	水	砂	外加剂	
嫩江防洪堤护坡	200号	0.6	普通减水剂	0.3	461	277	1383	1.383	简易模袋
吉林向阳水库库岸护坡	200号	0.6	木钙	0.3	425	255	1257	1.275	简易模袋
第二松花江鲫鱼泡堤防护坡	200号 F100	0.65	SK 引气减水剂	0.36	430	280	1290	1.548	简易模袋

表 8 国内几项模袋工程混凝土配合比

工程名称	混凝土设计要求	水胶比	粉煤灰掺量(%)	外加剂		砂率(%)	塌落度(cm)	材料用量 (kg/m ³)					
				品种	掺量(%)			水泥	粉煤灰	水	砂	小石	外加剂
江阴石庄段长江大堤护坡	C20	0.52	29	泵送剂 JM-II	0.60	51	22±1	300	120	208	821	821	2.4
九江长江江心洲崩岸治理	C20	0.50	20	泵送剂 JM-II	0.50	50	25	360	90	225			2.25
辽宁大洼三角洲平原水库护坡	C20 F150	0.53	0	泵送剂 ZL	0.6	55	24	350	0	185	927	820	ZL 2.10
				引气剂 DH ₉	0.005								DH ₉ 0.0175
	C25 F250	0.51	0	泵送剂 ZL	0.6	55	24	370	0	187	915	810	ZL 2.22
				引气剂 DH ₉	0.005								DH ₉ 0.0185
沈阳市浑蒲区总干渠护坡		0.5	20	泵送剂 ZL	0.6	60	24	312	78	196	955	639	ZL 2.34
				引气剂 DH ₄	0.3								DH ₄ 1.17
				引气剂 DH ₉	0.005								DH ₉ 0.0195
松花江三家子段护岸	C15	0.62	16			50		310	62	192	800	800	0
松花江玉花泡段护岸	C20 F200	0.42	11	减水剂 FE-C	0.7	50	18	320	40	151	811	811	FE-C 2.52
				引气剂 SJ-1	0.004								SJ-1 0.0144
北京永定河卢沟晓月岸护坡	C20 F100	0.53	0	减水剂 FX-128	1.5	50	22±1	385	0	204	905	905	5.78

6.4 土工网垫植被护坡和土工格室工程护坡

6.4.1 护坡植物应根据当地气温、降水和土质条件等进行优选。中国科学院植物研究所专家曾推荐选用表 9 的草籽，可供参考。

表 9 护坡植草籽参考表

地 区	草 籽 名 称
华北、东北、西北	野牛草、无芒雀麦、冰草、高羊茅（沈阳以南）
华中、华东	狗牙根、高羊茅、黑麦草、香根草*
西南	扁穗牛鞭草、园草芦、黑麦草、香根草*
华南	雀稗、假俭草、两耳草、香根草*
青藏高原	老芒麦、垂穗披碱草
新疆	无芒雀麦、老芒麦

*香根草是我国南方地区的经验。

6.5 防汛抢险

6.5.5 吸水速凝挡水子堤是由有纺土工织物作外袋，土工膜作内袋的。带有护垫、加强带及注水孔组成的长袋体，内装高效保水剂（SAP）。SAP 是一种新型高吸水树脂，白色或浅黄色颗粒，无毒。在 1t 水中掺入 2.5~3kg，20 秒内可吸水达自重的百倍。其中的 2/3 在 15 秒内吸水完成，形成塑性胶凝体。可反复吸水和释水。该保水剂事先放在子堤空袋内。子堤袋可根据要求的尺寸缝制。护垫用于防冲刷，加强带有助埧体稳定。注水口供现场进水。

6.7 土工系统用于防护

6.7.2 在江河岸坡边有较大风浪之处，为防袋内填料漏失，宜采取有纺与无纺织物相结合。土工袋充填度过大易于折损破裂或造成袋与袋间的贴合不密。袋的几何尺寸将影响堆积体的稳定性。

6.7.3 利用土工袋围海造陆时，在沿海一侧可将单断面堤建造至平均潮位以上，在其内侧以吹填筑造，筑堤和吹填可同时进行。

充填尽量利用透水性好的砂性土，这样织物不易淤堵，且填土可加速固结。

6.7.7 土工管袋的材料应力和外形估计，首先由 Leshchinsky 于 1995 年根据箍应力基本理论建立的平衡微分方程给出解答。后来在该理论基础上一一些学者以水为充灌液进行试验，结果与理论解相符。为了简化，Silvester 得到了条文给出的各参数间的关系供查用。

6.7.8 1. 高度变化的估算 泥浆入管，经排水固结，管高度逐渐降低。泥浆成土时仍保持饱和状态，可根据土力学中的指标换算关系，求出初始和最终土体的含水率分别为：

$$w_0 = \frac{G_s - \frac{\gamma_{sl}}{\gamma_w}}{G_s \left(\frac{\gamma_{sl}}{\gamma_w} - 1 \right)}, \quad w_f = \frac{G_s - \frac{\gamma_s}{\gamma_w}}{G_s \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)}$$

假设管内土的固结为一维状态（实际上成土后管断面的最大宽度几乎不变），故有：

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{G_s (w_0 - w_f)}{1 + w_0 G_s} \quad (2)$$

2. 变形稳定时间结算 根据 Terzaghi 一维固结理论, 土层的平均固结度 \bar{U} 与其时间因数 T_v 对应理论关系。达到某固结度 U_x 所需的时间 t_x 由下式计算:

$$t_x = \frac{T_v}{C_v} h_{av}^2 \quad (3)$$

式中: T_v ——达到 U_x 的时间因数 (无因次);

C_v ——土在加荷范围内的固结系数 (cm^2/s), 由试验测定;

h_{av} ——固结过程中土层的平均厚度 (cm)。

一般可取稳定时间相当于 $U_x=90\%$, 此时的固结时间因数的理论数值应为 0.848, 将各数值代入式 (3), 可估算袋内土固结达 90% 所需的时间。

6.7.9 土工管袋顶上的充填孔的间距应根据土的类型确定。因为如是砂土, 浆液入管后, 砂粒很快沉淀, 阻碍后续浆液往远处流动。若为粘粒, 其下沉时间较长, 充填孔间距可大大增加。

6.7.10 土工包体积大, 性状不定, 其外包材料的受力条件随施工进度时时改变, 初期应用时基本上是根据经验制作, 辅以现场观测施工。近年来随荷兰、美国等国专家们的实践和研究, 总结了模型试验、原型观测和力学分析, 已拟订了一套供设计用的计算方法, 但涉及因素多, 步骤较复杂, 加之并未成型, 故目前仍需按以往实践经验配合必要的现场观测, 指导施工。

6.8 其它防护工程

6.8.1 利用土工合成材料修建的柔性障墙可以保护建筑物不受陡岩落石冲击破坏。香港九龙狮子岭曾为某住宅小区修建了障墙。该地为有一有 5 万居民的小区, 临岩建造, 岩坡坡角达 $50^\circ \sim 60^\circ$, 坡上巨石累累, 尺寸大的达 1~3m。研究了多种防护措施最后决定采用柔性障墙, 受巨石冲撞, 墙产生变形, 吸收大部分能量。墙体位移可借其底面的摩阻来阻滞。

6.8.7 管、涵结构广泛应用于公路、铁路、水利、市政和军工等部门。它们的埋设常有两种方式: 沟埋式和上埋式。前者是在天然场地挖沟至设计高程, 放入管、涵, 回填土到地面标高; 后者是在地面直接布放管、涵, 再在其上填土至要求高程。上埋式管、涵顶部的垂直压力, 由于两侧土的填土厚度较管、涵顶的要大, 土的压缩量相应较大, 故两侧土对管顶土将产生向下的剪应力, 从而使顶部承受的竖向压力大于顶上土的自重压力, 而使管、涵受超压破坏。为减小顶部压力, 可在顶部铺放压缩性大的材料, 使管顶土的沉降大于两侧土沉降, 即可起减压作用。

采用 EPS 板块减压, 可根据该材料的性质指标 (E, μ) 和土的压缩性指标等借弹性理论计算出所需的板块厚度。通常采用的厚度为 200mm~300mm, 满铺于管、涵的宽度范围内。

在挡墙背面竖向铺放一定厚度的 EPS 板, 利用其较大的压缩变形, 可以减小作用于墙背的主动土压力。

7 加 筋

7.2 加筋土结构设计的一般方法

7.2.4 加筋土填料强调应尽量采用透水性良好的粒状土，因为该类土摩阻力大，性质较稳定，土中孔隙水压力小，甚至为零，土的蠕变性低，保证加筋土的长期稳定性。如果采用粘性土等，设计中要特别注意采用指标的稳定性，对于含水率过高的粘性填土，甚至应考虑采用其排水功能的加筋材，以消减孔隙水压力对加筋摩阻的负面作用。

7.3 加筋土挡墙设计与施工

7.3.3 筋材按其在受力时延伸率的大小可区分为柔性材料与刚性材料。柔与刚是一个相对概念，难定量划分。在设计中，习惯上将破坏延伸率可能达到约 10%以上的如土工格栅、土工织物等视为柔性材料；而延伸率仅是 3%~4%的如强化加筋带等视为刚性材料。

设计中所以要区分筋材的柔与刚，是因为其刚度影响土压力的计算。在作墙的外部稳定性核算时，两种情况下墙背土压力都按库仑主动土压力考虑。但作内部稳定性验算时，对于刚性筋墙，因墙内上部填土侧向位移受到限制，不能达到主动破坏极限状态，故土压力系数应在静止状态与主动极限状态之间。法向加筋土挡墙规范根据大量试验结果，建议按图 7.3.3 (a) 及式 (7.3.6-2) 和式 (7.3.6-3) 确定土压力系数。而对柔性墙，则仍按库仑主动土压力考虑。

7.3.6 土压力一般针对单位墙的长度计算。如果墙的填土中的每层筋材是连续铺放，即满堂铺情况，则由土压力引起的荷载将由单位长度的筋材来承担，此时式 (7.3.6-1) 中的筋材面积覆盖率 $A_r=1$ 。覆盖率指在筋材非满堂铺（如筋材为土工加筋带，在一层中平面铺放间距为 S_{hi} ）时，单位墙长中含有的筋材数，故 $A_r=1/S_{hi}$ 。例如，若 $s_{hi}=0.5m$ ，则 $A_r=1/0.5=2$ ，即每根筋材承担（覆盖）单位墙长二分之一范围内的横向荷载。

7.3.7 模块挡墙面板的墙块系上下独立叠放，为防止墙面发生局部鼓胀，要求相邻上下块接触面间有足够摩阻力。上下层筋材间的间距作出规定，也是为了这个目的。

7.3.8 加筋土挡墙的主体是土料。受到水的作用时，土强度会发生变化，特别是当填土为粘性土时，水流会产生渗流加和引起土的冲刷，对结构带来负面作用。要特别注意墙体内外的排水措施。

7.5 加筋土坡设计与施工

7.5.3 本规范推荐的设计方法来源于美国联邦公路管理局 (FHWA) 2000 年发布的 Mechanically Stabilized Earth Walls And Reinforced Soil Slopes Design And Construction Guidelines (加筋土坡设计与施工导则)。该法与以往方法的最大不同是认为加筋前土坡安全系数最小的滑弧并不代表需要最大筋材拉力的那个滑弧。因此，在定出需要加筋的范围后，仍要逐个滑弧地按式 (7.5.3) 算出各别要求的筋材总拉力 T_s ，最后求得诸 T_s 中的最大值 T_{smax} 作为要求的拉筋力。

T_{smax} 是一个土坡单位长度所需的总加筋力，假设是作用在坡高的 1/3 高度处。需要将其分配给土坡全高范围。建议分配原则如下：

- (1) 如坡高 $H \leq 6m$ ，将其均匀分配于全高；
- (2) 如坡高 $H > 6m$ ，可分为二个或三个垂直等距加筋区。

① 分二区： 底部
$$T_b = \frac{3}{4} T_{smax}$$

$$\begin{aligned} \text{顶部} \quad T_t &= \frac{1}{4} T_{s \max} \\ \text{② 分三区: 底部} \quad T_b &= \frac{1}{2} T_{s \max} \\ \text{中部} \quad T_m &= \frac{1}{3} T_{s \max} \\ \text{顶部} \quad T_t &= \frac{1}{6} T_{s \max} \end{aligned}$$

虽然假设每区分配到的加筋力为 T_z ，该部分的筋材层数为 N ，则一根筋材拉力 T_i 应满足下式：

$$T_i = \frac{T_z}{N} \leq T_a \quad (4)$$

式中： T_a ——材料的许可拉力。

筋材布置的垂直间距一般为 $S_v=400\sim 600\text{mm}$ 。为避免墙面向外鼓胀，有时可在相邻二层主筋之间插入铺筋，长度可取 $1.2\sim 2\text{m}$ ，其强度可略低于主筋。若 $S_v=450\text{mm}$ ，且边坡 $1:1$ ，筋材外端不需要折回包裹。

7.6 软基上加筋桩网结构的设计与施工

7.6.3 本节中规定的设计方法和内容取材于英国标准 BS8006 (1995): Code of Practice for strengthened/reinforced soils and other fills, section 8。其中的“桩柱选择”可以参考美国 FHWA 发表的 Publication NO. FHWA NHI-04-001 给出的桩的承载力建议表 10。

表 10 可考虑的各种桩的技术参数

桩 类 型	承载力 (kN)	典型长度 (m)	典型直径 (mm)
木 桩	100~500	5~20	300~550
钢 管 桩	800~2000	10~40	200~1200
预制混凝土桩	400~1000	10~15	250~600
就地灌注桩 (有套管)	400~1400	3~40	200~450
钻 孔 桩	350~700	5~25	300~600
深层搅拌桩	400~1200	10~30	600~3000
碎 石 桩	100~500	3~10	450~1200
振动混凝土桩 (VCC)	200~600	3~10	450~600

7.6.4 土工合成材料加筋材料加筋桩网基础亦称桩网基础，是在软基中设置群桩，下端坐落于地基中的相对硬层上。在桩顶满铺土工合成材料筋材网。利用该系统将其上路堤荷载全部或部分地传递给群桩。由于桩柱和地基土的沉降量有差异，路堤土中形成拱作用，使堤重荷载大部分传递给桩顶。

桩网构成的垫层称传力平台。各国有不同的平台设计方法，并不统一。但它们大致可归纳为两大类。一类可称为悬索线理论法，即将筋材网视为挂在桩顶上的索体，路堤荷载作用于悬索，通过其拉力传递给桩顶，再及于地层中硬层。属这类的有英国标准 BS8006、瑞典标准和德国方法 (EBGEO) 等。另一大类可称梁理论法，即由多层筋材，其间填土，构成一有相当刚度的垫层，视为搁置在桩顶上的梁。这类方法有柯林 (Collin) 法和贵多 (Guido) 法等。一般而论，悬索法要求筋材的强度高于梁法，而梁法的桩间距却大于悬索法。

悬索理论法目前采用较多。该法中由于对桩间土反力对承载力贡献程度有不同考虑，出现了不同设计方法。例如 EBGEO 法就按地基土反力模量 (modulus of subgrade reaction) 来考虑桩间土的支承作用，Russell 法也可以计算地基反力的贡献。但地基反力究竟能起多大作用终是一个不确定因素。为安全和简化起见，BS8006 标准不考虑地基土对承载力的助益，即在拱作用下桩间的路堤荷重全数由索体承担。许多文献作过比较研究，提出“就实用而言，采用简化的例如 BS8006 法足够保守可靠”。另外，美国联邦公路管理局 (FHWA) 的《地基改良方法》(参考手册) 2004 中也推荐了该法。故本规范介绍的是 BS8006 法。

表 11 是用加筋桩网法已建成的部分工程，其工程技术参数可供设计参考。

表 11 加筋桩网法建成堤的部分工程

例号	参考文献	工程应用	地基土质	桩类型	加筋材料	统计参数
1	Reid et al. (1983)	桥台引堤	软粘土	混凝土送入桩	加筋膜	H=10m, s=3.5~4.5m, a=1.1~1.5m, P _c =5~14%, N=1
2	Barksdale et al. (1983)	铁路	极软泥炭	刚性碎石桩	织物	H=7.6m, s=1.6~2.2m, d=0.51~0.56m, T=0, P _c =6~8%, N=1
3	Jones et al. (1990)	铁路	极软沉积、泥炭	半预制混凝土桩	土工织物	H=3~5m, s=2.75m, a=1.4, T=0.5m, P _c =20%, N=1
4	Tsukada et al. (1993)	街道路面	泥炭	混凝土桩	土工格栅 Tensar SS2	H=1.5m, s=2.1m, d=0.8m, P _c =11%, N=1, T=0
5	Holtz et al. (1993)	路面	均质灰粘土	木桩	多股土工织物	H=5~6m, s=1.5m, a=1m, P _c =44%, N=3
6	Bel Y et al. (1994)	商场	高压缩性泥炭、粘土	VCC 桩	Tensar SS2	H=2.5~6.0m, s=2.2~2.7m, d=0.4m, N=2
7	Card et al. (1995)	轻轨铁路	淤质有机粘土、泥炭、粘土	钻孔桩	双向格栅 SS2	H=2.5~3m, s=3m, a=1m, N=3, d=0.45m
8	Topolnicki (1996)	公路、电车路	松填土、泥炭有机质粘土	VCC 桩	Tensar SS1, SS2	H<1.5m, s=1.8~2.5m, d=0.55m, P _c =9~17%, N=2~3, T=0
9	Brandl et al. (1997)	铁路	泥炭、有机质粉土	打入桩	土工格栅	H>2m, s=1.90m, d=0.118m, a=1.0m, P _c =35%, N=3
10	Geo-Institute (1997)	桥台引堤	软粘土、粉土, 砂混合土, 夹泥炭带	VCC 桩、碎石桩	土工织物	H<7m, s=1.6m—VCC, s=2.2m—碎石桩, N=1
11	Jenner et al. (1998)	旁道	泥炭、软粘土沉积	VCC 桩	Tensar SS1, SS2	H=4~7m, s=2.05~2.35m, d=0.45m, a=0.75m, N=2~3
12	Rogbeck et al. (1998)	试验堤	松粉土、细砂	预制混凝土桩	土工格栅	H=1.7m, s=2.4m, a=1.2m, P _c =25%, N=1
13	Kuo et al. (1998)	加筋挡土墙	极软弃粘土	木桩	土工织物	H=6m, s=1.5m, d=0.3m, P _c =3%, N=2
14	Alzamora et al. (2000)	模块加筋挡土墙	0~1 击的有机粉土和粘土	注浆桩	单向格栅	H=2~8.2m, s=3m, d=1.2m, P _c =13%, N=3
15	H.A.A.Habib et al. (2002)	公路拓宽	7m 厚泥炭和淤泥	混凝土桩	土工格栅 SS30	H=1.55, s=2.5m, a=0.2m, d=0.29m, N=3
16	H.Zanzinger et al. (2002)	为提速铁路改建	人工填土下为有机质土, ω=300~600%, q _u =10kg/m ²	混凝土桩	Tensar PET 格栅	N=3
17	M.Raithel et al. (2008)	为提速铁路改建	中粉砾砂含有有机泥炭, ω=80~330%, 有机质 25~80%	水泥搅拌桩	PVC 土工格栅	H=1.7m, s=1.5m, d=0.63m, N=2
18	L.R. Zu (2008)	高速铁路试验堤	第四纪湖相沉积	砂桩	土工格栅	H=6.29m, L=15~25m, d=0.4m, s=2.0m

注：H—堤高；s—桩的中心距；d—桩直径；a—桩帽宽度；P_c—桩帽复盖率；N—筋材层数；VCC—振动混凝土桩；效率—桩帽承担的堤重百分率；T—桩帽厚度；L—桩长。桩帽复盖率—在桩基平面布置图上，每根桩有其相应的负荷范围，或影响直径（D_e）。例如当为棋盘形布置时，D_e=1.13s（s—桩间距）；等边三角形布置时，D_e=1.05s。桩帽复盖率指桩帽平面面积与单根桩影响面积之比。