

UDC

SL

中华人民共和国行业标准

P

SL/T225—98

SL/T 225—98

0720013386

水利水电工程土工合成材料 应用技术规范

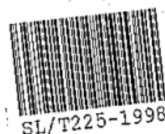
Standard for applications of geosynthetics in
hydraulic and hydro-power engineering

1998-11-10 发布

1998-11-15 实施

书号:1580124·102

定价: 6.60 元



SL/T225-1998

中华人民共和国水利部 发布

20013386

中华人民共和国行业标准

水利水电工程土工合成材料
应用技术规范

Standard for applications of geosynthetics in
hydraulic and hydro-power engineering

SL/T 225—98

主编单位：华北水利水电学院北京研究生部

批准部门：中华人民共和国水利部

施行日期：1998年11月15日



中国水利水电出版社

1998 北京

中华人民共和国行业标准
水利水电工程土工合成材料
应用技术规范
SL/T 225—98

中国水利水电出版社出版、发行
(北京市三里河路6号 100044)
北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 3印张 75千字
1998年11月第一版 1999年6月北京第三次印刷
印数 10111—15140册
书号 1580124·102
定价 6.60元

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水利水电工程土工合成材料
应用技术规范》SL/T 225—98 的通知

水国科[1998] 482号

根据水利部水利水电技术标准制定、修订计划，由水利部国际合作与科技司主持，以华北水利水电学院北京研究生部为主编单位制定的《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》，经审查批准为推荐性的水利行业标准，并予以发布。标准的名称和编号为：

《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》SL/T 225—98

本标准自1998年11月15日起实施。在实施过程中各单位应注意总结经验。

本规范由水利部国际合作与科技司负责解释。

标准文本由中国水利水电出版社出版发行。

一九九八年十一月十日

前 言

本规范是根据水利部水利水电技术标准制定、修订计划进行编写的。

本规范内容包括：用土工合成材料作反滤、排水体、防渗、护岸、防冲，和土体加筋与加固的设计方法，以及施工技术要点。

在编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，认真总结了我国有关领域的工程实践经验，并参考了有关国家标准、行业标准和国外先进经验；在听取了国内众多专家意见的基础上，经过认真修改，完成了本规范。

希望各单位在采用本标准的过程中，不断积累资料，总结经验，对需要修正和补充之处，请函告主编单位。

本规范主持部门：水利部国际合作与科技司

本规范主编单位：华北水利水电学院北京研究生部

本规范参编单位：中国土工合成材料工程协会
铁道部科学研究院

本规范主要起草人：王正宏 杨灿文 王育人 彭一江
窦宝松

目 次

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	材料及其性能测试	4
3.1	一般规定	4
3.2	性能指标及其测试	4
3.3	材料的验收、运送和储存	6
4	反滤、排水	7
4.1	一般规定	7
4.2	反滤准则	7
4.3	通用设计方法	9
4.4	坝内竖式排水体设计	11
4.5	施工要点	12
5	防渗	14
5.1	一般规定	14
5.2	土工膜防渗结构	14
5.3	土石堤、坝防渗设计	15
5.4	防渗铺盖设计	16
5.5	垂直防渗	17
5.6	施工要点	18
6	护岸和防冲	22
6.1	一般规定	22
6.2	对土工织物材料的要求	23
6.3	软体排设计与施工要点	23
6.4	土工模袋护坡设计与施工要点	28
6.5	植被防护设计与施工要点	30

6.6 防汛抢险技术	32
7 土体加筋与加固	37
7.1 一般规定	37
7.2 软土地基加筋设计与施工	37
7.3 软土地基排水加固设计	40
7.4 加筋陡坡设计与施工	40
7.5 加筋土挡墙设计与施工	42
附录 A 土工膜防渗体的稳定分析	46
附录 B 膜后土工织物排渗能力核算	49
附录 C 铺盖土工膜厚度计算	51
附录 D 软体排稳定性计算	53
附录 E 土工模袋基本型式	56
附录 F 土工模袋厚度计算	57
附录 G 深层抗滑稳定性校核	58
附录 H 薄软土层抗滑稳定性校核	60
附录 J 陡坡加筋设计	63
附录 K 加筋土挡墙计算	69
条文说明	73

1 总 则

1.0.1 为使水利水电工程采用土工合成材料技术先进,安全可靠,经济合理,保证质量,特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水利水电工程的以下分部工程:滤层、排水、防渗、防护以及土体加筋。以设计为主,兼述施工。

1.0.3 应用土工合成材料进行设计与施工时,除应符合本规范外,尚应符合国家现行的其他有关规范及标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

- 2.1.1 土工合成材料。岩土工程应用的合成材料产品的总称。
- 2.1.2 土工织物。透水性土工合成材料。按制造方法不同,分为织造土工织物和非织造土工织物。
- 2.1.3 织造土工织物。由单丝或多丝织成的,或由薄膜形成的扁丝编织成的布状卷材。
- 2.1.4 非织造土工织物。由短纤维或喷丝长纤维按随机排列制成的絮垫,经机械缠合(针刺),或热粘,或化学粘合而成的布状卷材。
- 2.1.5 土工模袋。由双层化纤织物(织造型)制成连续的不同间距(厚度)的平面袋状结构材料。其中充填混凝土或水泥砂浆,凝结后形成板状护块。
- 2.1.6 土工膜。由聚合物或沥青制成的一种相对不透水卷材。前者在工厂采用吹塑,压延或涂敷法制造;后者在现场或厂内以喷涂或浸渍法形成。
- 2.1.7 土工格栅。聚合物片材经冲孔和单向或双向拉伸,形成具有条格形或长方形格栅状的抗拉材料。
- 2.1.8 土工网。由聚合物经挤塑成网,或由粗股条编织,或由合成树脂压制成的具有较大孔眼和一定刚度的平面结构网状材料。
- 2.1.9 土工带。经挤压拉伸,或再加筋材复合制成的条带抗拉材料。
- 2.1.10 三维植被土工网。由聚合物经热挤出、拉伸等工序制成的三维立体网状结构。其底部为高模量基础层,上覆起泡膨松网包,包内填沃土和草籽,供植物生长。
- 2.1.11 塑料排水带。由不同凹凸截面形状并形成连续排水槽的带状芯材,外包非织造土工织物构成的排水材料。

2.1.12 土工复合材料。由两种或两种以上土工合成制品经复合或组合而成的材料。如土工膜与土工织物经加热滚压而成为各种复合土工膜。

2.1.13 等效孔径。织物的表观最大孔径。

2.1.14 梯度比(GR)。水流垂直通过土工织物和 25mm 厚土层的水力梯度与通过上覆 50mm 厚土层的水力梯度的比值。

2.2 符号

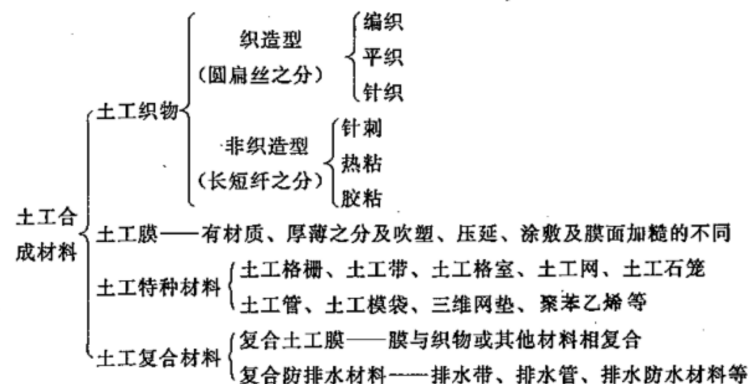
A, a ——面积	Q ——流量
B ——宽度	q_u ——极限承载力
c ——粘聚力	R ——半径
C_u ——不均匀系数	s ——秒
c_v ——固结系数	T ——抗拉强度
D, d ——粒径	T_a ——容许抗拉强度
e ——偏心距	t ——时间
F_s ——安全系数	U ——固结度
f ——摩擦系数	v ——速度
g ——重力加速度	W ——重量
H ——高度	w ——含水率
J, i ——水力梯度	y ——力臂
K ——土压力系数	z ——深度
k ——渗透系数	α, β ——角度、系数
L ——长度	γ ——容重
M ——弯矩	δ ——厚度
m_v ——体积压缩系数	ϵ ——应变
N, n ——数目, 系数	θ ——导水率、系数
N_c, N_r ——承载力因数	σ ——法向应力
O_{95} ——等效孔径	τ ——剪应力、剪切力
P_a ——主动土压力	φ ——摩擦角
P_p ——被动土压力	ϕ ——透水性

3 材料及其性能测试

3.1 一般规定

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

3.1.2 土工合成材料包括下列土工织物、土工膜、土工特种材料和土工复合材料四大类。



3.2 性能指标及其测试

3.2.1 土工合成材料指标包括其本身的特性指标和与土相互作用指标 (性能指标)。后者为与土共同作用时的反应, 应模拟实际工作条件, 由试验测定。

3.2.2 指标测定试验包括以下主要项目:

1 物理性指标。单位面积质量、厚度、等效孔径 (EOS) (及其与压力的关系) 等。

2 力学性指标。拉伸强度、撕裂强度、握持强度、顶破强度、胀破强度、材料与土相互作用的摩擦强度等。

3 水力学指标。垂直渗透系数 (或透水率)、平面渗透系数 (或导水率)、梯度比 (GR) 等。

4 耐久性。抗老化性、抗化学腐蚀性。

3.2.3 根据工程具体需要, 选择材料的测试项目。测试方法应符合有关标准。

3.2.4 确定设计指标时, 应考虑环境变化对参数的影响。例如非织造土工织物受压而变薄, 等效孔径、渗透性相应降低。

3.2.5 测得的极限抗拉强度 T 用于设计时, 应按式 (3.2.5) 予以折减; 具体可按表 3.2.5 的规定取值。

$$T_a = \frac{1}{F_{iD} F_{cR} F_{cD} F_{bD}} T \quad (3.2.5)$$

式中 T_a ——材料的许可抗拉强度, kN/m;

T ——极限抗拉强度, kN/m;

F_{iD} ——考虑铺设时机械破坏影响系数;

F_{cR} ——考虑材料蠕变影响系数;

F_{cD} ——考虑化学剂破坏影响系数;

F_{bD} ——考虑生物破坏影响系数。

表 3.2.5 土工织物强度的最低影响系数

适用范围	影响系数			
	F_{iD}	F_{cR}	F_{cD}	F_{bD}
挡 墙	1.1~2.0	2.0~4.0	1.0~1.5	1.0~1.3
堤 坝	1.1~2.0	2.0~3.0	1.0~1.5	1.0~1.3
承 载 力	1.1~2.0	2.0~4.0	1.0~1.5	1.0~1.3
斜坡稳定	1.1~1.5	1.5~2.0	1.0~1.5	1.0~1.3

注 1. 临时性工程取小值。

2. 系数乘积 ($F_{iD} F_{cR} F_{cD} F_{bD}$) 宜采用 2.5~5.0。

3.2.6 材料的撕裂强度、握持强度、胀破强度、顶破强度以及材料的接缝强度等也应符合 3.2.5 条的规定。

3.2.7 编织型土工织物用于无粘性土加筋, 在缺少摩擦强度实测

资料时,织物与土之间的摩擦角 φ_g 可采用土料内摩擦角 φ 的 $2/3$ 。

3.3 材料的验收、运送和储存

3.3.1 使用土工合成材料时,应检验试验单位的检测试验报告。由用户进行抽样检查,抽样率应多于交货卷数的5%,最少不应小于1卷。内容按合同规定。

3.3.2 送货时产品应有标签,标明生产厂、编号、生产日期及产品规格等。运输过程中不得直接受阳光照射,应有蓬盖或包装。

3.3.3 产品存储时必须避免阳光照射;远离火种;存放期不得超过不同产品的有效期。

3.3.4 每完成一道施工工序开始下一道工序前,应按规定进行施工阶段验收。

4 反滤、排水

4.1 一般规定

4.1.1 土工合成材料可以代替传统粒料建造反滤层和排水体。

4.1.2 用无纺土工织物作为反滤材料,其单位面积质量和厚度应符合工程要求,遇往复水流时,应采用较厚织物。

4.1.3 采用的无纺土工织物排水能力不足时,可用其他复合排水材料。

4.1.4 下列水利水电工程部位可采用土工合成材料:

- 1 土石坝斜墙、心墙上、下游侧的过渡层。
- 2 坝体内竖式排水体。
- 3 堤坝下游排水体。
- 4 堤坝坡过滤层。
- 5 排水廊道周边排水体。
- 6 铺盖下排水、排气层。
- 7 暗沟排水外包体。
- 8 岸墙、岸墩后排水体。
- 9 水闸底板分缝和出流处保护体。
- 10 水工隧洞衬砌后排水体。
- 11 排水管、减压井、农用井外包体。

4.2 反滤准则

4.2.1 反滤材料应满足以下要求:

- 1 保土性。防止被保护土流失,引起渗透变形。
- 2 透水性。保证渗透水通畅排除。
- 3 防堵性。保证不致被细土粒淤堵失效。

4.2.2 土工织物保土性应以土工织物等效孔径与土的特征粒径之间关系表征。等效孔径应符合式(4.2.2-1)的条件:

$$O_{95} \leq nd_{85} \quad (4.2.2-1)$$

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, 即土中小于该粒径的土质量占总质量的 85%, 采用试样中最小的 d_{85} , mm;

n ——与被保护土的类型、级配、织物品种和状态有关的经验系数, 按表 4.2.2 规定采用。

表 4.2.2 系 数 n

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

注 预计所埋土工织物连同其下土粒可能移动时, n 值应采用 0.5。

土的不均匀系数 C_u , 应按式 (4.2.2-2) 计算:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (4.2.2-2)$$

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%。

4.2.3 土工织物透水性应符合以下条件:

1 被保护土级配良好, 水力梯度低和预计不致发生淤堵 (净砂、中粗砂等) 时:

$$k_g \geq k_s \quad (4.2.3-1)$$

2 排水失效导致土结构破坏, 修理费用高, 水力梯度高, 流态复杂时:

$$k_g \geq 10k_s \quad (4.2.3-2)$$

式中 k_g 、 k_s ——土工织物、被保护土的渗透系数, cm/s。

4.2.4 土工织物防堵性要求其孔径应符合以下条件:

1 被保护土级配良好, 水力梯度低, 流态稳定, 修理费用小及不发生淤堵时:

$$O_{95} \geq 3d_{15} \quad (4.2.4-1)$$

式中 d_{15} ——被保护土的特征粒径, 即土中小于该粒径的土质量占总土质量的 15%, mm。

其余符号见本规范式 (4.2.2-1)。

2 被保护土易管涌, 具有分散性, 水力梯度高, 流态复杂, 修理费用大时:

(1) 被保护土的渗透系数 $k_s \geq 10^{-5}\text{cm/s}$ 时:

$$GR \leq 3 \quad (4.2.4-2)$$

式中 GR ——梯度比, 试验方法见有关规程。

(2) 被保护土的渗透系数 $k_s < 10^{-5}\text{cm/s}$ 时, 应以现场土料进行长期淤堵试验, 观察其淤堵情况, 试验方法见有关规程。

4.3 通用设计方法

4.3.1 设计应具备下列各项基本资料:

1 被保护土或用作排水体土料的土类、颗粒分析曲线、渗透系数、抗剪强度指标和土的化学成分等。

2 土工织物的等效孔径 O_{95} 、垂直渗透系数 k_v 、水平渗透系数 k_h 、渗透系数和法向压力的关系等。

4.3.2 以反滤准则校核选用的土工织物:

1 保土性。应按式 (4.2.2-1) 验算。

2 透水性。应按式 (4.3.2-1) 和式 (4.3.2-2) 计算出土工织物提供的透水率 ψ_a 和要求的透水率 ψ_r , 按式 (4.3.2-3) 进行判定。

$$\psi_a = \frac{k_v}{\delta} \quad (4.3.2-1)$$

$$\psi_r = \frac{q}{\Delta h A} \quad (4.3.2-2)$$

$$\psi_a \geq F_s \psi_r \quad (4.3.2-3)$$

式中 k_v ——土工织物的垂直渗透系数, cm/s;

δ ——土工织物厚度, cm;

q ——估计的来流量, cm^3/s ;

Δh ——土工织物两侧水头差, cm;

A ——土工织物过水面积, cm^2 ;

F_s ——安全系数, 应不小于 3。

3 防堵性。应按本规范 4.2.4 的规定校核。

4 土工织物均应符合上述三准则。

4.3.3 土工织物用作排水时, 除应符合 4.3.2 条要求外, 尚应计算土工织物的平面导水能力。土工织物的导水率和为满足平面排水所需的导水率。

1 导水率 θ_a 和 θ_r 应按式 (4.3.3-1) 和式 (4.3.3-2) 计算:

$$\theta_a = k_a \delta \quad (4.3.3-1)$$

$$\theta_r = \frac{q_r}{i} \quad (4.3.3-2)$$

2 土工织物导水率应满足式 (4.3.3-3) 的要求:

$$\theta_a \geq F_s \theta_r \quad (4.3.3-3)$$

式中 θ_a ——土工织物导水率, cm^2/s ;

θ_r ——排水所需导水率, cm^2/s ;

δ ——土工织物厚度, cm;

q_r ——单宽流量, cm^2/s ;

k_a ——土工织物的平面渗透系数, cm/s;

i ——土工织物两端的水力梯度。

3 不符合 1、2 要求时, 可采用其他复合排水材料。

4.3.4 在坡面上铺土工织物应进行抗滑稳定分析, 安全系数应符合有关规范要求。

4.3.5 表面防护结构。为确保反滤、排水系统始终保持正常工作, 应作表面防护和织物固定措施。

1 土工织物下面为粗料, 为防织物被刺破, 应先铺厚度为 10cm 的砂砾料, 平整后再铺织物。

2 土工织物上应设砂砾料保护层。

3 坡顶和坡趾应将土工织物埋入锚固沟, 沟深应不小于 30cm, 如图 4.3.5-1 所示; 在河岸坡脚处, 为了防冲, 应将土工织物延长回折, 做成压枕, 如图 4.3.5-2 所示, 压枕应达冲刷线以下。

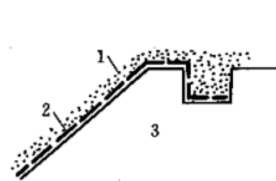


图 4.3.5-1 土工织物坡顶埋固

1—保护层; 2—土工织物; 3—土坡

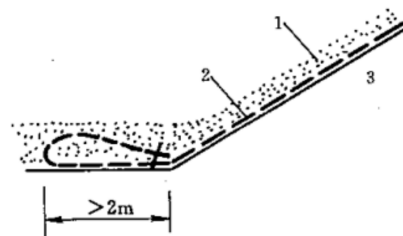


图 4.3.5-2 坡趾防冲结构

1—保护层; 2—土工织物; 3—土坡

4.4 坝内竖式排水体设计

4.4.1 均质土坝采用竖式排水体时, 可以是向上游或下游倾斜的形式, 底部连接水平排水垫层将渗水导至坝外。排水垫层的位置和尺寸应符合有关规范的要求。

4.4.2 校核土工织物的反滤准则。应按本规范 4.2 要求进行。

4.4.3 来水量估算。坝内竖式排水体的示意如图 4.4.3 所示。来水量可借流网估算。土工织物排水体的流量自上而下逐渐增多, 应分段估算所需排走的流量。

4.4.4 校核土工织物平面导水能力。应按本规范式 (4.3.3-1) 和式 (4.3.3-2) 沿排水体自上而下, 逐段计算导水率 θ_a 和 θ_r 。

1 式 (4.3.3-2) 中的水力梯度 i 应按式 (4.4.4-1) 计算:

$$i = \sin \beta \quad (4.4.4-1)$$

式中 β ——竖向排水体的倾角。

2 逐段验算应满足 $\theta_a \geq F_s \theta_r$, 否则应更换较厚织物, 或采用其他复合排水材料。

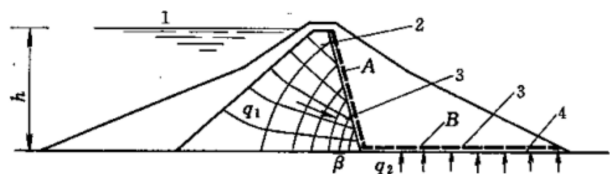


图 4.4.3 坝内排水示意图

1—水面；2—心墙；3—竖式排水；4—水平排水

4.4.5 下游水平排水垫层计算。验算垫层导水能力的计算应按本规范 4.4.2 条和 4.4.3 条规定进行。排水量应为竖向排水底部最大流量和来自地基进入水平垫层的流量之和。来自地基的流量应按有关规范估算。

4.5 施工要点

4.5.1 土工织物反滤层和排水体施工包含以下工序：平整碾压场地、织物备料、铺设、回填和表面防护。

4.5.2 平整碾压场地。应清除地面一切可能损伤土工织物的带尖棱硬物，填平坑凹，平整土面，或修好坡面。

4.5.3 备料。按工程要求裁剪、拼幅；应避免织物被损伤，保持其不受脏物污染。

4.5.4 铺设。应符合以下要求：

1 应力求平顺，松紧适度，不得绷拉过紧；织物应与土面密贴，不留空隙。

2 发现织物有损，应立即修补或更换。

3 相邻织物块拼接可用搭接或缝接。一般可用搭接。平地搭接宽度可取 30cm，不平地面或极软土应不小于 50cm；水下铺设应适当加宽。

4 预计织物在工作期间可能发生较大位移而使织物拉开时，应采用缝接。缝接形式见图 4.5.4。

5 有往复水流时，宜在织物下铺厚 5~10cm 砂层。此时不宜

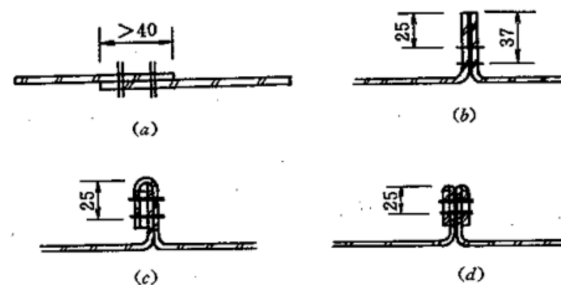


图 4.5.4 接缝形式 (尺寸单位: mm)

(a) 平接；(b) 对接；(c) J 字形接；(d) 螺旋形接

用搭接，以免砂进入夹缝，使织物分离。有动力荷载作用时，亦应先铺砂层。

6 流水中铺设时，搭接处上游织物块应盖在下游块之上。

7 坡面铺设一般应自下而上进行。坡顶、坡脚应以锚固沟或其他可靠方法固定，防止其滑动。

8 铺设工人应穿软底鞋，以免损伤织物。

9 织物铺好后，应避免受日光直接照射。随铺随填，或采取保护措施。

10 与岸坡结构物的连接处，不得留空隙，结合良好。

4.5.5 回填应符合以下要求：

1 回填料不得含有损于织物的物质。

2 回填时，不得破坏土工织物。土工织物上至少有厚 30cm 的松土垫层，方允许轻碾压密。不得使用重型机械或振动碾压实。

3 回填料的压实度应符合设计要求。

5 防 渗

5.1 一 般 规 定

5.1.1 对于高水头（大于 50m）挡水建筑物，采用土工膜防渗应经过论证。

5.1.2 用于防渗的土工合成材料主要有土工膜及复合土工膜。其厚度应根据具体基层条件、环境条件及所用土工合成材料性能确定。承受高应力的防渗结构，应采用加筋土工膜。为增加其面层摩擦系数，可采用复合土工膜或表面加糙的土工膜。

5.1.3 为防止土工膜受水、气顶托破坏，应该采取排水、排气措施。一般可用土工织物复合土工膜，预计有大量水、气作用时，应根据情况设专门排放措施。

5.1.4 下列水利水电工程部位可考虑应用土工膜防渗：

- 1 堤、坝心墙，斜墙。
- 2 堤、坝水平铺盖。
- 3 堤、坝地基垂直防渗墙。
- 4 土坝加高。
- 5 堆石坝、面板坝、砌石坝、碾压混凝土坝的上游面防渗。
- 6 渠道及水库防渗衬砌。
- 7 施工围堰防渗墙。
- 8 河道截潜流。
- 9 水工隧洞防渗。

5.1.5 渠道防渗设计应遵照 SL18—91《渠道防渗工程技术规范》进行。

5.2 土工膜防渗结构

5.2.1 防渗土工膜应在其上面设防护层、上垫层，在其下面设下垫层。防渗结构示意图见图 5.2.1。

5.2.2 防护层材料和构造应按工程类别、重要性和使用条件等合理确定。

1 渠道、蓄水池等的防护层可采用压实素填土、砂砾石、预制或现浇混凝土板、浆砌石或干砌石。

2 防护层采用堆石或混凝土等刚性材料时，防护层下应设置上垫层。当采用上复土工织物复合土工膜时可以不设上垫层。

3 防护层的具体要求和作法应符合水利电力部规范 SDJ218—84《碾压式土石坝设计规范》的规定。

5.2.3 上垫层的材料及作法应根据防渗土工膜及防护层的类型确定。

5.2.4 下垫层应按工程类别，土工膜类型和地基条件等确定。

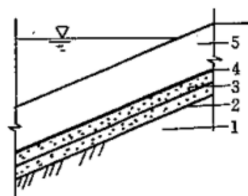


图 5.2.1 防渗面层结构
1—坝体；2—支持层；3—
下垫层；4—土工膜层；
5—上垫层和防护层

5.3 土石堤、坝防渗设计

5.3.1 土石堤、坝防渗结构应符合本规范 5.2 的规定。

5.3.2 土石堤、坝防渗土工膜厚度不应小于 0.5mm。对于重要工程应适当加厚；对于次要工程，可以适当减薄，但最小不得薄于 0.3mm。

5.3.3 上游防渗土工膜铺设通常有以下几种方式，示意图见图 5.3.3。

1 平直坡形。斜墙，薄保护层，用于低水头坝；或用作心墙；或用于已建堤、坝加固。如图 5.3.3 (a) (b) (c)。

2 折坡形。斜墙，较高水头坝设马道，如图 5.3.3 (f)。

3 锯齿形。斜墙，如图 5.3.3 (d)。

4 台阶形。斜墙，如图 5.3.3 (e)。

5.3.4 土工膜防渗系统的计算应进行稳定性验算及膜后排渗能力校核：

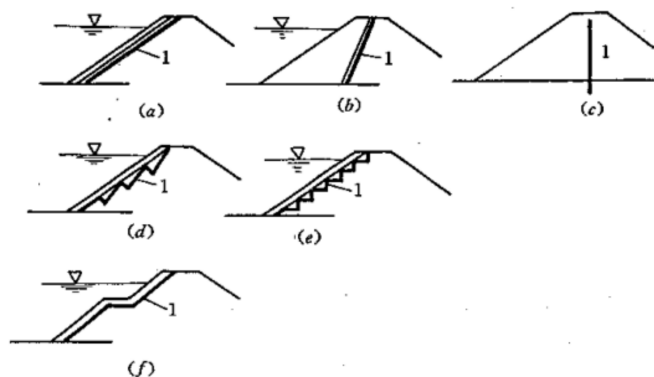


图 5.3.3 土工膜铺设形式
1—土工膜

1 稳定性验算。验算条件：验算仅针对防护层与上垫层与土工膜之间的抗滑稳定。验算的最危险工况为库水位骤降。具体验算方法见附录 A。验算要求的最小安全系数应符合标准 SDJ218—84。

2 膜后排渗能力核算。核算针对膜后无纺土工织物平面排水或砂垫层导水能力进行。上游水位骤降时，坝体中部分水量将流向上游，沿土工织物顺流至坡底，经坝后排水管或导水沟导向下游排走。应先估算来水量，校核自上而下各段土工织物的导水率，并考虑一定的安全系数。具体计算方法见附录 B。

5.3.5 堤防防渗设计可参考本规程有关规定。

5.4 防渗铺盖设计

5.4.1 当坝基为砂砾石等透水地基，确定选用上游铺盖方案时可以用土工膜取代传统的弱透水土料。

5.4.2 土工膜厚度应根据作用水头，膜下可能产生裂隙宽度，膜的应变和强度等通过计算估算，按附录 C 估算。对中水头坝，要求厚度一般为 0.5mm~0.6mm。

5.4.3 铺盖的合理长度，应使坝基渗透坡降和渗流量限制在许可值内，通过水力计算确定，按规范 SDJ218—84 规定计算。一般长度为作用水头的 5~6 倍。

5.4.4 铺盖与库底接触面应基本平整，并应符合反滤准则。为防止可能裂隙处产生管涌、坍塌，土工膜应采用土工织物复合土工膜。

5.4.5 防渗土工膜在水库蓄水后，水仍可能进入膜下，置换出部分空气，并与原膜下的向上水压力共同作用，使膜漂浮或顶破，故应根据情况采取防范措施。常用方法有：“逆止阀”（如图 5.4.5 所示）、盲沟及压重。当采用压重法时，加在土工膜上的要求压重根据膜下作用水头确定，可通过水力计算求得，计算时可认为土工膜不透水。当所需压重大时，可以上述两种方法结合使用。

5.4.6 铺盖与岸坡的连接，应符合规范 SDJ218—84 的规定。

5.4.7 库区防渗设计可参照进行。

5.5 垂直防渗

5.5.1 当地基水平防渗方案欠合理，地基内强透水层埋深又在开槽能力范围内时，可以考虑采用土工膜垂直防渗方案。

5.5.2 当地基符合以下条件时，可以实施土工膜垂直防渗方案：

1 透水层深一般在 12m 以内，或通过努力，开槽深度可以达到 16m。

2 透水层中大于 5cm 的颗粒含量不超过 10%（以重量计），

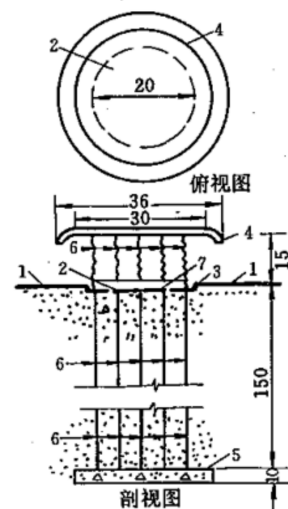


图 5.4.5 逆止阀结构

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

且少量大石块的最大粒径不超过 15cm, 或不超过开槽设备允许的尺寸。

3 透水层中的水位应能满足泥浆固壁的要求。

4 当透水层底为岩石硬层时, 对防渗要求不很严格。

5.5.3 造孔机具与方法:

1 当不含粗颗粒的砂土透水层埋深不大于 10m, 其上粘土层又较薄时, 可以选用高压水头造孔冲槽法成槽。

2 当地基为含粗颗粒的强透水层, 上覆粘土层又较薄时, 宜选用链斗式或液压力式锯槽机开槽。

5.5.4 垂直防渗可采用聚乙烯土工膜、复合土工膜或防水塑料板等。土工膜厚度应不小于 0.5mm, 采用热熔法焊接。

5.5.5 土工膜铺入槽内后, 应及时进行膜两侧的填土, 最长不得延迟 24h, 以免槽壁塌落。槽底填土应用粘性土, 厚度应不小于 1m; 然后再填入一般土料, 从上部往槽内浸水, 促其下沉, 经 7d ~ 10d 沉降后, 往槽内补充填土, 并夯实。土工膜出槽后不得外露, 应与地面建筑物妥善连接。

5.6 施工要点

5.6.1 施工应包括以下工序: 准备工作、铺设、拼接、质量检验和回填。

5.6.2 土工膜应尽量用宽幅, 减少拼接量; 应使在不利条件下能满足拼接; 在工厂应尽量拼成要求尺寸的块体; 卷在钢管上, 妥善运至工地。

5.6.3 平整场地, 清除一切尖角杂物; 作好排渗设施, 挖好固定沟。

5.6.4 土工膜的铺设, 在库底、池底等平地上借拖拉机或人工滚放; 在坡面上, 将卷材装在卷扬机上, 自坡顶徐徐展放至坡底; 坡顶、坡底处, 埋入固定沟。应该注意以下事项:

1 铺放应在干燥和暖天气进行。

2 铺放时不应过紧, 应留足够余幅 (大约 1.5%), 以便拼接

和适应气温变化。

3 铺放时随铺随压, 以防风吹。

4 接缝应与最大拉力方向平行。

5 坡面弯曲处特别注意剪裁尺寸, 务使妥贴。

6 施工时发现损伤, 应立时修补。

7 应密切注意防火, 不得抽烟。

8 施工人员应穿无钉鞋或胶底鞋。

5.6.5 土工膜拼接。有热熔焊法和胶粘法, 应根据膜材种类、厚度和现有工具等优选采用。热熔焊法应用较普遍, 焊缝抗拉强度较高。胶粘法多用于局部修补, 焊缝搭接宽约 10cm。保证拼接的质量应注意以下事项:

1 应进行试拼接。

2 所用胶料应在蓄水后不溶解。

5.6.6 下垫层施工工序应按下列规定实施。

1 渠道、蓄水池工程:

1) 一般土质地基, 可先铺薄层透水料, 压实后铺土工膜。

2) 级配良好天然透水基层, 可整平土面, 作好排水系统后, 直接铺土工膜。

3) 为保护土工膜和排除膜下积水, 可在膜下铺设砂垫层, 也可铺一层无纺土工织物; 或直接铺放无纺土工织物复合膜。

2 碾压式土坝可直接铺设无纺土工织物复合土工膜。

5.6.7 防渗土工膜顶部应固定, 埋入坝顶锚固沟内。其底部必须嵌入坝底。如为透水地基, 土工膜应与上游防渗铺盖或截水墙紧密连接。应与岸坡和一切其他防渗体密接, 构成完全封闭体系。

5.6.8 土工膜封闭体系的具体结构可根据地基土质条件和结构物类型分别采用以下型式。

1 土质地基。土工膜直接埋入锚固槽, 填土应予夯实, 槽深 2m, 宽 4m, 见图 5.6.8 (a)。

2 砂卵石地基。应清除砂卵石, 直达不透水层。浇混凝土底座, 埋入土工膜。底座宽对新鲜和微风化基岩, 应为水头的 1/10

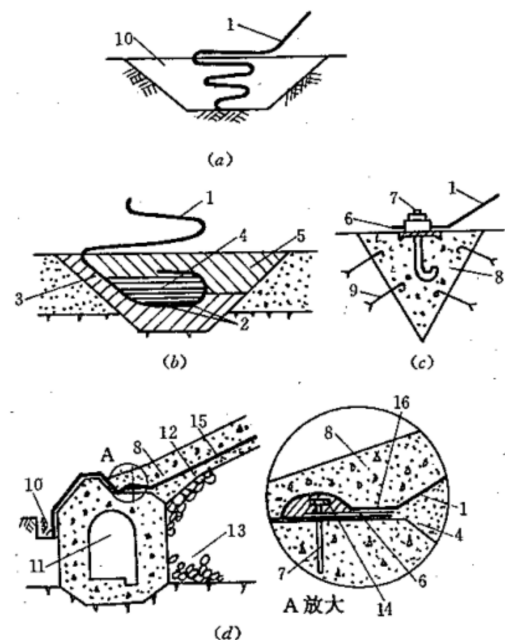


图 5.6.8 土工膜与地基等的连接

- (a) 与粘土地基的连接; (b) 与砂卵石地基的连接;
 (c) 与岩石地基或混凝土的连接; (d) 与廊道顶部的连接
 1—薄膜; 2—钢筋; 3—一期混凝土; 4—二期混凝土; 5—三期混凝土; 6—氯丁橡胶垫片; 7—锚栓; 8—混凝土;
 9—锚筋; 10—回填粘土; 11—廊道; 12—过渡层; 13—堆石;
 14—高密度聚乙烯; 15—土工薄膜与土工织物组合层;
 16—五层薄膜

~1/20。底座宽对半风化和全风化岩应为水头的 1/5~1/10, 所有裂缝要填实, 见图 5.6.8 (b)。当砂卵石太厚, 不能开挖至不透水层, 可将土工膜向上游延伸一段, 形成水平铺盖, 要求长度应通过计算确定, 见标准 SDJ218—84。土工膜下应设排水、排气措施。

3 岩石地基, 见图 5.5.8 (c)。

4 与结构物连接。如与输水管、溢洪道、混凝土、廊道连接,

见图 5.6.8 (d), 应符合的原则:

相邻材料的弹性模量不能差别过大; 平顺过渡; 充分考虑结构物可能产生较大位移。

5.6.9 接缝检测。方法有目测法、现场检漏法和抽样测试法。

1 目测法。观察有无漏接, 接缝是否无烫损、无褶皱, 是否拼接均匀等。

2 现场检漏法。应对全部焊缝进行检测。常用的有真空法和充气法。

1) 真空法: 利用包括吸盘、真空泵和真空机的一套设备。检测时将待测部位刷净, 涂肥皂水, 放上吸盘, 压紧, 抽真空至负压 0.02MPa~0.03MPa, 关闭气泵。静观约 30s, 看吸盘顶部透明罩内有无肥皂水泡产生, 和真空度有无下降。如有, 表示漏气, 应予补救。

2) 充气法: 焊缝为双条, 两条之间留有约 10mm 的空腔。将待测段两端封死, 插入气针, 充气至 0.05MPa~0.20MPa (视膜厚选择), 静观 0.5min, 观察真空表, 如气压不下降, 表明不漏, 接缝合格, 否则应及时修补。

3 抽样测试法。约 1000m² 取一试样, 作拉伸强度试验, 要求强度不低于母材的 80%, 且试样断裂不得在接缝处, 否则接缝质量不合格。

5.6.10 回填保护。膜铺好后应尽快填土。土料不得损伤土工膜。

1 一般填土厚 30cm~40cm。寒冷地区应及时覆盖。坝面和库盘地下水以上应有永久性防冻覆盖, 冬季水位变动区要加厚保护层。

2 有度汛要求的坝, 铺好预计挡水位以下的膜后, 应立即筑好护坡体。汛后再完成上部铺设, 注意两期膜的妥善连接。

6 护岸和防冲

6.1 一般规定

6.1.1 防护用土工合成材料主要有无纺土工织物、织造土工织物、土工模袋、土工膜、土工格室、三维植被网等,有时也需用土工格栅、土工网等加筋。应按工程具体要求,通过设计方案比较,正确选用。

6.1.2 为满足工程特定需要,常将上述材料制成符合一定规格的制品,用作临时性工程或水上、水下部位的永久性防护。

1 土袋。织造土工织物缝成的袋体,类似于草包,内填土料,可用作压载、堵塞洞穴、填补涡坑和塌陷。

2 土枕。即长土袋,直径可为0.4m~1.0m,长度可按工程要求而定,内充土、砂料,既作长条压重,亦可作为堤坝迎水面的组成部分。

3 石笼。以土工网或土工格栅制成的类似于传统的铅丝笼,内填石块,用于河岸、河底防冲。它长期在水下不锈蚀,耐久性好。

4 简易模袋。由双层编织土工织物缝制成,用于坡面防护。

5 软体排。以单层或双层土工织物制成的大面积排体,可取代传统柴排。能起反滤排水作用,有效地防冲。也可制成较大面积的土工膜排体。

6 土工模袋。由双层编织土工织物(织造)缝制成,内充混凝土或砂浆,凝固后形成防护块体。

7 土工格室。由长条塑料片材焊接成菱形或六角形的立体网格,高度的2/3嵌入坡土,1/3露于坡面外,格室空间填小砾石或植草,可防止坡面雨水冲刷。

8 三维植被网。以热塑性丝网制成的膨松制品,覆于坡面,

在草籽未生长成草毯之前可有效地防止水流、雨淋冲刷,保护草籽流失。

6.1.3 下列水利水电工程部位可考虑应用土工合成材料作为护岸和防冲:

- 1 江河湖岸护坡。
- 2 护底工程和水下防护。
- 3 渠道水池护坡。
- 4 兴建堤坝外坡及堤防内坡的水上部分。
- 5 水闸工程护底。
- 6 岸坡防冲植被。

6.2 对土工织物材料的要求

6.2.1 土工织物材料必须符合本规范4.2.2的反滤准则。

6.2.2 对有动力作用和往复水流的情况,不论保护何种土类,材料的保土性应符合式(6.2.2)规定:

$$O_{95} \leq 0.5d_{85} \quad (6.2.2)$$

式中 O_{95} ——土工织物等效孔径,mm;

d_{85} ——被保护土的特征粒径,mm。

6.2.3 防护工程护面上应有足够盖重,土工织物的强度应符合要求。

6.3 软体排设计与施工要点

6.3.1 软体排覆盖于可能冲刷的部位。覆盖范围、高程等应符合国家标准GB50286—98《堤防工程设计规范》的规定。

6.3.2 软体排设计内容包括:结构型式、排幅、结构稳定性校核、护底结构及锚固方式等。

6.3.3 软体排分为单片排和双片排。

1 单片排。由织造土工织物缝制成的单片大排体。宽度一般不小于10m,长度按防护范围、施工机具能力和环境条件等确定。排体周边加缝一道 $\phi 14$ mm的绳,在宽度方向每隔0.4m~0.6m

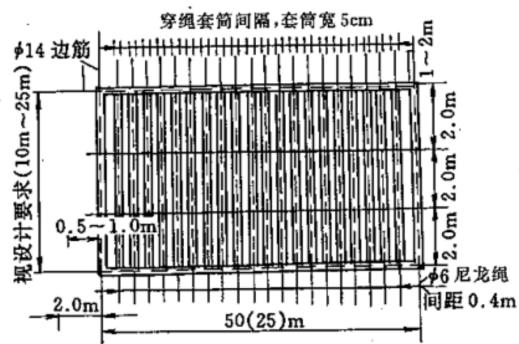


图 6.3.3-1 软体排结构示意图

要缝制一道套筒，并穿一根 $\phi 6\text{mm}$ 的绳。绳的作用是加固和牵引锚固排体。见图 6.3.3-1。也可在软体排上下两侧各布设一片绳网，周边系压重混凝土块，见图 6.3.3-2。单片排重量轻，施工简便，但需随沉排随压重，宜用于一般小型防护工程。

2 双片排。由双片土工织物叠合一起，隔一定间距，按压重材料的特征，缝制成的长管状或格状的空室，填以透水料，作为排体铺设时的压重或全部压重。用于重要工程和风大浪急、流速高的防护部位。

6.3.4 排体顺水流方向的尺度称排宽，垂直水流方向的尺度称排长。枯水位以上的排长为水上部分，以下为水下部分。

1 排体长度：

1) 水上部分排长为护坡长度 L_u 与挂排所需长度 L_a 之和。

2) 水下部分排长由三部分组成：①与水上部分排体连接所需长度 L_{11} ；②水下坡长度 L_{12} ，应计及排布褶皱（褶皱系数可取 $C_1=1.4$ ）和收缩（收缩系数 $C_2=1.05$ ）作用，留有余幅；③预留因

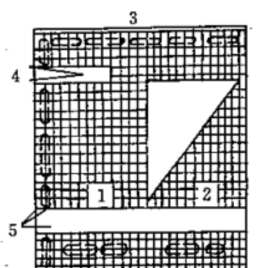


图 6.3.3-2 排体结构示意图

1—上网；2—下网；3—排边混凝土预制块；4—聚丙烯编织土工织物；5—聚氯乙烯绳网

冲刷增加的长度 L_{13} （应考虑安全系数，可取 $F_s=2$ ）。河床冲刷深度应按国标 GB50286—98 估算。

3) 排体长应为水上部分与水下部分长度之和。

2 排体宽度。应为保护区宽度、相邻排体搭接或缝接所需宽度（一般不小于 0.5m）和考虑排体收缩余幅之和。收缩余幅等于排体制作宽度扣除搭接宽度后的尺寸乘以收缩系数（在静水中可取 1.015~1.024；动水中取 1.025~1.04）。

6.3.5 排体稳定静力计算包括以下内容：

- 1 排体抗漂浮校核。
- 2 排体抗边缘掀动校核。
- 3 排体抗顺坡下滑校核。
- 4 排体上要求的压载。

以上计算方法见附录 D。

6.3.6 水下软体排末端应有防冲刷措施，其型式应按可能冲刷程度确定。

- 1 冲刷不明显河床，可采用图 6.3.6-1 (a) 所示结构。
- 2 冲刷可能性大的河床，可采用图 6.3.6-1 (b)、(c) 所示结构。

3 排体端部防冲结构应是柔性的，以适应地基变形，可采用图 6.3.6-2 所示结构。

6.3.7 排体锚固。岸坡上的排体必须保持稳定，在坡顶与坡底应分别加以锚固。缓坡上排体坡顶锚固可采用锚固桩，即在坡肩稍向里处设挂排桩，用尼龙排挂在桩上。陡坡可采用锚固沟法，即在坡肩向里平行于坡轴，开挖宽、深不应小于 0.6m 的沟，用石块、砾石或镇压梁回填。

6.3.8 软体排施工。施工方法应根据排的类型、大小、地形、气候和水情，水上作业或水下作业和现有机具能力等因地制宜地确定。主要工序包括：场地准备、排体制作、沉排和压载。

6.3.9 场地准备。应清除地面杂物，整平地面；所需工具和车、船到位。

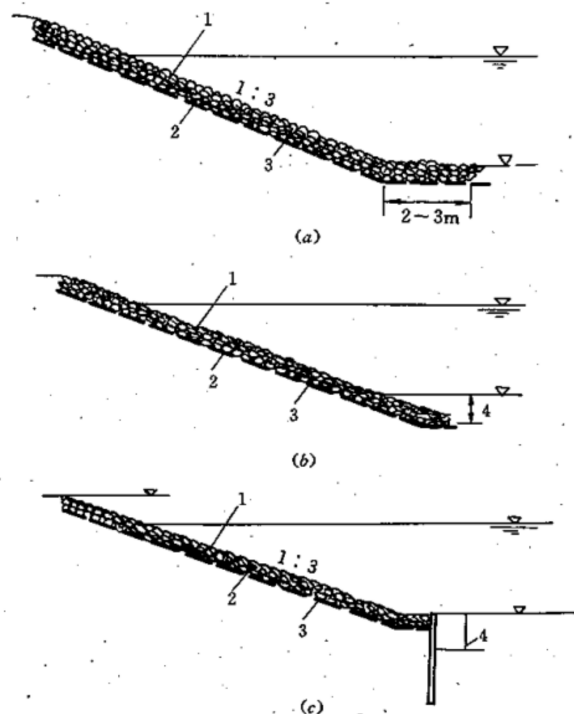


图 6.3.6-1 岸坡端部防冲结构

(a) 岸坡的一般防护; (b) 底部可能被冲刷; (c) 排水端部防冲
1—胶结乱石; 2—40cm 乱石; 3—土工织物滤层; 4—估计冲刷深度

6.3.10 排体制作。应将织物按规定尺寸裁剪好,拼成大片,拼接方式见 4.5.4。接缝不得垂直于最大荷载方向。接缝针脚密度应使排体在受荷时不至绽开或破裂。

6.3.11 水上沉排。分单片排或双片排,可按以下方式进行。

1 单片排:

- 1) 将排片绕在钢管轴上,移至坡肩,与坡肩平行,将排挂在系排桩上,倒转轴使排片顺坡缓缓下放。
- 2) 相邻二排片搭接约 0.5m,上游片铺在下游片上。
- 3) 往排片上及时压载、覆盖。
- 4) 进行现场试验,确定压载石块不致击伤排片的最大自由落

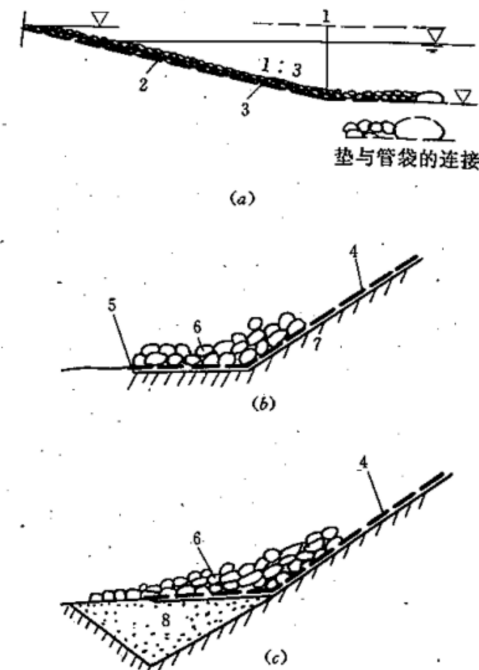


图 6.3.6-2 排端的柔性防冲结构

1—乱石 (未粘结); 2—40cm 乱石; 3—土工织物滤层;
4—土工织物; 5—端部开始冲刷区; 6—堆石;
7—基土; 8—反滤料

高。任何情况下不允许大于 450N 的石块从坡面下滚。一般 1kN 的大石块的许可最大落高不超过 30cm。

5) 铺排后至压载的时间,未经抗老化处理的排片原则上应随铺随压;经抗老化处理的不应多于 72h。

2 双片排。步骤类似单片排,尚应注意:

- 1) 排体准确定位。
- 2) 预计排体充填砂砾料时,排宽会有所收缩。排宽的(顺水流方向)上游侧应留一定距离不填充,以便与相邻的上游片能够紧密相重贴。

3) 充填利用专用设备,也可填多孔混凝土小块,填充不得使排片胀裂。如以压缩空气充填,应注意防止操作失慎造成严重破裂。

4) 块石压载和平整可用自卸卡车或人工。机械施工应避免机具直接在排体上运行。

6.3.12 水下沉排:

1 单片排:

1) 排片可在旱地上或在退潮滩地上制作。

2) 排片上缝筋绳。长度方向上应留 1m~2m 余幅,供压载土枕之用。

3) 排片周围系部分浮筒,利用水力将排片运至预定位置沉放。

4) 护底排的一端一般要连接沉梁,另一端连接尾梁。

5) 土工织物排体。沉放时往往较慢,要随时抛较小袋土,待全部下沉至底,再均匀抛压载石块至规定要求。

2 双片排。靠自重下沉。在专用船上制作排体,充填和沉放。工序与沉放单片排类似。

3 单双片排体上可先穿系预制压块,作为部分压载在船上独幅吊装、铺设、并拼接。

6.4 土工模袋护坡设计与施工要点

6.4.1 护坡土工模袋有多种类型。袋内充填水泥砂浆或混凝土。基本结构参考附录 E。应根据工程现场地形(坦地或起伏地)、工程类别、水流条件和工程重要性等综合考虑选用。按工程类别选用时可参考表 6.4.1。

表 6.4.1 模袋的工程应用

模袋型式	填充料	填充厚度 (cm)	工程应用
砂浆型——有、无滤水点	水泥砂浆	6.5	临时性
		10~15	护坡、渠道、内河航道
混凝土型——无滤水点	混凝土	15~20	护岸、码头工程
		30~70	海岸防护工程

6.4.2 护坡模袋工程设计应包括:厚度确定、稳定分析、排渗考虑和抗滑措施。

6.4.3 厚度确定。模袋厚度应能抵抗在水下漂浮和抵抗冬季坡前水体冻胀水平力将其往坡上推移,估算方法见附录 F。

6.4.4 稳定分析。抗滑安全系数可按式 (6.4.4) 计算:

$$F_s = \frac{L_3 + L_2 \cos \alpha}{L_2 \sin \alpha} \cdot f_{cs} \quad (6.4.4)$$

式中 L_2 、 L_3 ——长度, m; 见图 6.4.4;

α ——坡角 ($^\circ$);

f_{cs} ——模袋与坡面间摩擦系数,应由试验测定。无试验资料时,可采用约 0.5;

F_s ——安全系数,应符合标准 SDJ218—84 的规定。

6.4.5 排渗考虑。模袋底部渗水应及时排走,以保稳定。如排渗能力不足,应增设排水孔,如图

6.4.5。顺坡轴方向 1m 所需排水孔数 n 可按式 (6.4.5) 估算:

$$n = F_s \cdot \frac{\Delta q}{kJa} \quad (6.4.5)$$

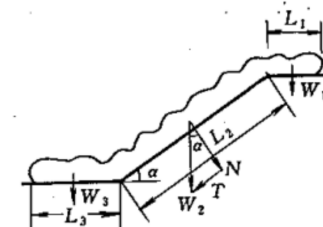


图 6.4.4 抗滑稳定分析示意图

式中 Δq ——顺坡轴方向 1m 需要的排水量, m^3/s ;

k ——渗水孔处滤层渗透系数, m/s ;

J ——渗水处水力梯度;

a ——一个排水孔的面积, m^2 ;

F_s ——安全系数,可取 1.5。

6.4.6 抗滑措施。为增加抗滑稳定,可根据不同条件,参考图 6.4.6 采取合理措施。

6.4.7 施工要点。应包括以下内容:

- 1 平整场地。清除杂物并整平地面,开挖水上水下埋沟。
- 2 展铺模袋。展袋后在其上下缘插入挂袋钢管,铺于坡面,

在坡肩处设挂袋桩,钢管上装松紧器,将模袋挂在桩上。

3 充灌填料。灌料用特制的混凝土泵。充填自下而上,从两侧向中间进行充灌;充填1h后即可设排水孔,回填上下固定模袋沟。



图 6.4.5 模袋上设排水孔示意

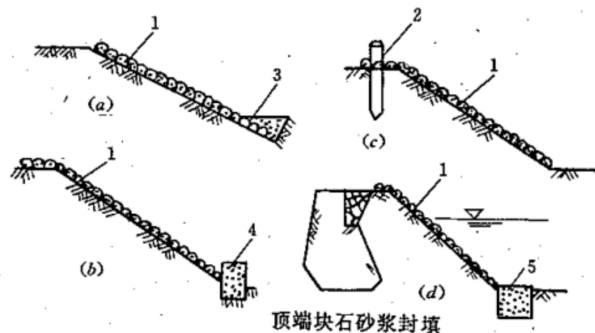


图 6.4.6 土工模袋抗滑措施举例

1—模袋; 2—固定柱; 3—回填; 4—混凝土块;
5—底端埋入沟槽回填

4 为防出现充灌故障,应注意:①骨料最大粒径不得大于泵送管直径的1/3;②严格控制充填坍落度,防止管道内发生硬结;③充灌泵送压力不宜小于200kPa;④泵送距离不宜超过50m。

5 水下施工与安全。水深超过2m施工时,应由潜水员配合控制水下充灌和铺设质量,也要特别注意人身安全。

6.5 植被防护设计与施工要点

6.5.1 植被防护是在坡面上植草,保护坡面不受水流与雨水等冲刷破坏。设计包括以下内容:

- 1 判别植被的必要性。
- 2 确定植被网长度。
- 3 草种选择。

6.5.2 植被必要性对水下坡按坡土类别和坡前流速决定,见图6.5.2-1;水上坡按坡土类别和降水强度决定,见图6.5.2-2。

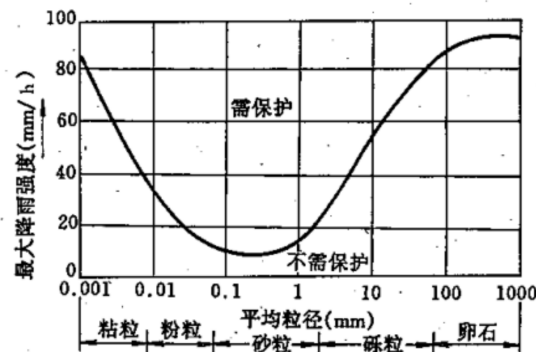


图 6.5.2-1 水上坡防冲要求

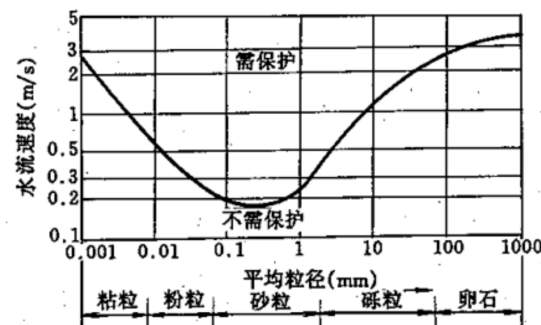


图 6.5.2-2 水下坡防冲要求

6.5.3 为保护草籽生长和未长成草毯之前的雨水冲刷,采用塑料三维植被网,对堤防工程铺设植被网的长度可按式(6.5.3-1)确定。

1 水下坡 [图 6.5.3 (a)]

$$L = 1.7 + [(HL - LL) + \Delta H]\eta \quad (6.5.3-1)$$

2 水上坡 [图 6.5.3 (b)]

$$L = 0.5 + H\eta \quad (6.5.3-2)$$

式中 HL, LL——分别为高水位与低水位高程, m;

ΔH ——波浪垂直高度, m;

η ——斜长系数, 按表 6.5.3 的规定取值。

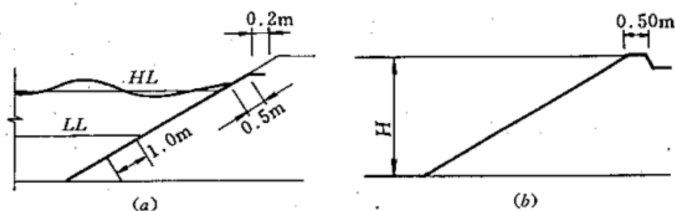


图 6.5.3 植被铺设长度

表 6.5.3 斜长系数 η

坡度 (V:H)	1:1	1:2	1:3	1:4
η	1.4	2.24	3.16	4.12

6.5.4 草种选择。

应根据地区气温, 降水和土质条件等优选草种, 必要时进行试种。草种主要应符合以下条件: ①对土质适应性强, 耐盐碱; ②对环境适应性强, 耐寒, 耐旱, 耐涝; ③生长快, 根系长而发育, 绿期长; ④价格低廉。具体参见条文说明。

6.5.5 施工要点。①植草时间应避免在寒冷和高温多雨季节; ②要整平坡面; ③铺种植土 50mm~75mm, 整平; ④在坡面上铺植被网, 邻片搭接约 0.1m, 以防滑钉固定, 间距可取 1.5m, 网在坡顶与坡脚应埋入沟内; ⑤播草籽于网内; ⑥松土覆盖; ⑦再播草籽, 轻轻压实土面。

6.6 防汛抢险技术

6.6.1 防汛抢险应以防为主, 以抢为辅。土工合成材料制品应有合理的储备。

6.6.2 防汛抢险技术属于临时性的, 但又是高风险及关键性的技术措施。

6.6.3 防汛抢险时, 由于堤、坝工程险情的发生具有突发性, 必

须及时采取技术措施。各种技术可根据需要合理采用。

6.6.4 堤、坝工程的主要险情如下:

- 1 在持续高水位下, 迎水坡发生大面积塌落。
- 2 堤坝内出现贯通水流通道和裂缝。
- 3 下游出现管涌、流土及成片泡泉。
- 4 下游坡面出现大面积散浸。
- 5 洪水漫顶等。

6.6.5 防护所用的土工合成材料及制品应符合本规范 6.1.1 和 6.1.2 的规定。

6.6.6 各种险情宜采用下列技术方案:

1 当堤坝上游坡有大规模塌落险情时, 可采用覆盖软体排防护, 如图 6.6.6-1 和图 6.6.6-2; 这种险情大多要分秒必争地进行抢救, 因此除必须提前备料外, 还应在汛前对抢险队伍进行抛放铺设技术的培训。当填补凹坑或加强单薄堤身时, 可采用长土枕, 如图 6.6.6-3。

2 当堤身有漏洞或裂缝时, 上游坡以软体排覆盖; 下游坡一般可铺无纺土工织物, 上盖足够量透水料, 如图 6.6.6-4。下游如

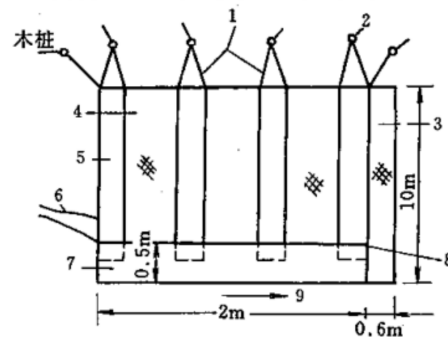


图 6.6.6-1 抢险用软体排结构

- 1— $\phi 5$ mm 纵向拉筋绳; 2— $\phi 10$ mm 缆绳;
3—编织布条; 4—抢险排体; 5— $\phi 60$ cm 纵向土枕;
6— $\phi 5$ mm 定位引绳; 7—横枕; 8— $\phi 2$ mm
间距 20mm; 9—水流方向

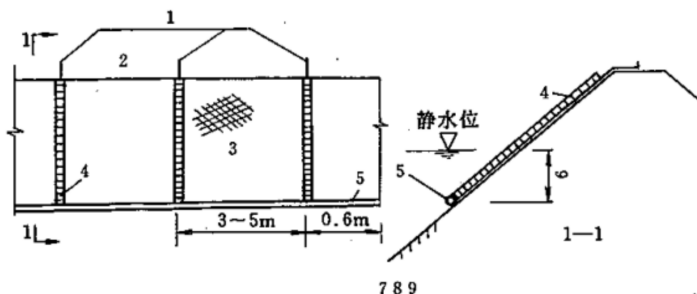


图 6.6.6-2 风浪险工抢护软体排示意图

1—木桩；2—堤顶；3—排体；4—压载纵枕；5—碎石横枕；6—2倍波高

出水过猛，可以先在出流处压盖一层土工织物，并在四周以土袋或土枕迅速围堆一反滤井至高出迎水面水位20cm，井内投透水料压重，如图6.6.6-5。

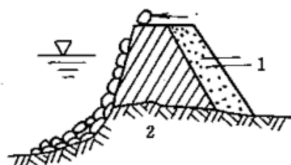


图 6.6.6-3 陡坡抢护示意图

1—内帮；2—长土枕

3 当下游出现流土管涌时，可按“上堵下排原则”，上游以土枕或适当尺寸的土工膜软体排封堵进水口，下游盖大块无纺土工织物，压透水材料，严重时可建滤水围井。

4 当下游坡出现散浸时，一般可覆盖土工织物，压重导渗，如图6.6.6-6；或做导渗沟，如图6.6.6-7。

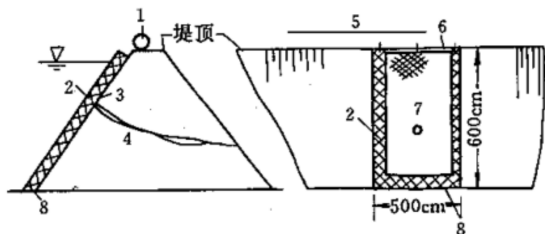


图 6.6.6-4 临河封堵漏洞方案

1—排捆沉放前位置；2—纵向压载土枕（土袋）；3—PE编织物排体；4—漏水通道；5—木桩 $\phi 4 \sim 6 \times 80\text{cm}$ ；6—尼龙绳 $\phi 8\text{mm}$ ；7—PE排体洞口；8—横向压载土枕

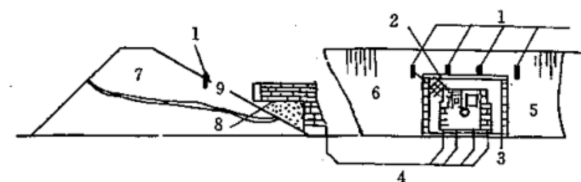


图 6.6.6-5 背水坡封堵漏洞方案

1—木桩 $\phi 4 \sim 6 \times 60\text{cm}$ ；2— $\phi 8\text{mm}$ 尼龙绳；3—滤水围井；4— $\phi 8 \sim 10 \times 150$ 木桩；5—防滑织物袋（边压载）；6—滤水排体；7—漏洞；8—2cm~4cm 碎石；9—围井（防滑织物土袋）

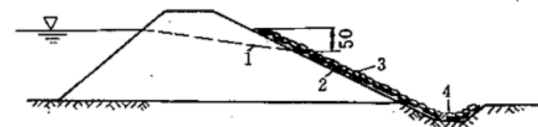


图 6.6.6-6 背水坡散浸压坡

1—浸润线；2—土工织物；3—碎石压载；4—排水沟

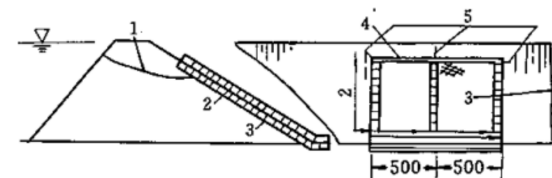


图 6.6.6-7 背水坡散浸导渗方案

1—浸润线；2—防滑织物土袋压载；3— 350g/m^2 无纺布排体；4— $\phi 8\text{mm}$ 尼龙绳；5— $\phi 4 \sim 6 \times 60\text{cm}$ 木桩

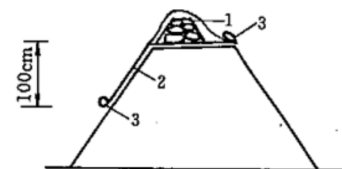


图 6.6.6-8 土袋子堰

1—编织袋子堤；2—防渗排体；3—横土枕（袋土）

5 当洪水位过高,即将漫顶时,可以用土枕或土袋在堤坝顶筑临时子埝,如图 6.6.6-8;风浪大时,上游同时挂防冲软体排,如图 6.6.6-8。

7 土体加筋与加固

7.1 一般规定

7.1.1 加筋是在土体中按一定方向铺设一定的高拉伸模量筋材,增加土的抗剪强度、抗拉强度和整体性的技术。

7.1.2 主要的加筋材料有土工织物,土工格栅和土工带等。加筋用土工织物一般为机织土工织物。

7.1.3 加筋技术的主要应用领域有:软土地基加固,稳定的地基上兴建陡坡和建造挡土结构物。

7.2 软土地基加筋设计与施工

7.2.1 设计的基本资料:

- 1 堤坝或填土的几何尺寸:堤坝高度、顶宽和坡角等。
- 2 填土和地基土性质及地质条件:地层剖面、地下水高程与变幅、各层土容重、含水率、填土的颗粒分析曲线、排水和不排水抗剪强度、固结和压缩性指标及击实性等。
- 3 加筋材料的强度指标。
- 4 荷载及超荷载等。

7.2.2 设计方法。可采用传统的极限平衡法。分深层抗滑稳定性和浅层抗滑稳定性校核两类。

7.2.3 深层抗滑稳定性校核,采用圆弧滑动法。

1 针对所论堤坝断面进行圆弧滑动稳定性分析,得到未加筋堤坝的稳定安全系数为 $[F_s^*]$ 。经多次试算,求得最小安全系数为 $[F_s^*]_{\min}$ 。

2 按国标 GB50286—98《堤防工程设计规范》规定确定安全系数为 F_s 。如果 $[F_s^*]_{\min} < F_s$,堤坝应加筋。

3 加筋一般将筋材铺放在堤坝底部(底筋);如筋材的抗拉强度不足,可铺设一层以上,或采用高强度筋材。任两层之间应

铺砂层。铺筋后应对筋材强度和筋材的抗拔安全分别进行校核。核算方法详见附录 G。

7.2.4 浅薄软土层的抗滑稳定性校核。采用平面滑动极限平衡法进行。校核针对以下情况。

- 1 沿底筋顶面的抗滑稳定。
- 2 沿下卧硬层顶面的抗滑稳定。
- 3 底筋下和硬层顶面以上软土的抗挤出稳定。

上述校核方法见附录 H。三种情况下的安全系数均应符合规定值。

7.2.5 施工要点。施工包括以下工序：

- 1 准备场地。应砍除地表树木及突起物，平整场地。
- 2 铺放底筋：

1) 筋材应尽量宽，要求纵向无接缝；筋材强度最大方向应垂直于堤轴。以人力拉紧使无褶皱；铺筋后尽速在其上压载，或放砂包，防止被风吹掀。

2) 铺筋后应尽快填土。

3) 填土前应检查筋材有无孔洞、撕裂或绽缝，如有损坏，应立即修补。大面积破坏应割去接缝，另接新材；小面积破坏，应割去破坏部分，缝上新块。

3 填土：



图 7.2.5-1 在极软地基上填筑加筋堤的程序

1—横向铺土工织物，将织物缝接；2—后卸式卡车卸土筑交通道（钱台）；3—填两侧土，将织物锚定；4—填内部土；5—填两侧土，使织物被拉紧；6—填最后的中心部分

1) 极软地基。按图 7.2.5-1 工序：

(a) 采用轻型机械。后卸式卡车先沿筋材边缘卸土①，在坡两

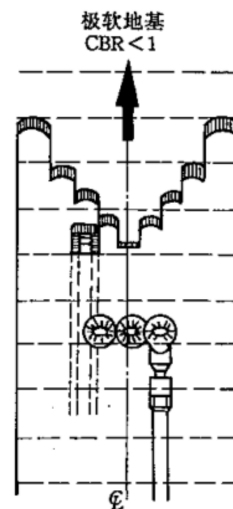


图 7.2.5-2 极软地基上两钱台间填土的程序

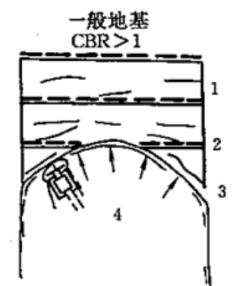


图 7.2.5-3 一般地基上，填土促使加筋

材料内产生张力

1—筋材（织物）；2—褶皱
施工前要拉平；3—填土
15cm~30cm；4—前进方向

侧先筑成低钱台②；后继土应卸在已铺好的土面上，土堆高

不得超过 1m；用轻型机械散土。

(b) 往两钱台间填土③；平行于堤轴对称地向堤轴方向推进④；在平面上始终保持填土进程呈凹形，如图 7.2.5-2。

(c) 机械在第一层填土面上只允许沿堤轴方向运行，不得折回；机械车辙深不得超过 7cm~8cm，第一层土仅靠推土机等轻型工具压实，填厚达 0.6m~0.7m 后才容许采用平碾或汽胎碾。

2) 一般地基填土工序：

(a) 人工拉直筋材，不使折皱。

(b) 在平面上填土由堤轴处向两坡侧推进时，如图 7.2.5-3；填土不应太高。

(c) 施工机械的大小与重量不得使车辙深于 7cm~8cm。第一层可用平碾或汽胎碾，但勿过压。施工观测应布置必要的观测设备，如孔隙水压力仪、位移边桩及测斜仪，随时监测基土动态。一旦发现异常现象，及时调整填土速率或暂停工和采取对策。

7.3 软土地基排水加固设计

7.3.1 利用塑料排水带垂直插入软土地基,借水平排水和垂直排水的联合作用,加速软土排水固结,从而提高软土强度和增大地基承载力。

7.3.2 塑料排水带地基设计的任务,是根据当地土层、土质条件、给定的加固处理时间,选择合理的排水带布置型式、间距和长度。

7.3.3 设计可按 CTAG0297《塑料排水带地基设计规程》进行。

7.4 加筋陡坡设计与施工

7.4.1 设计的基本资料:

- 1 堤坝几何尺寸等。
- 2 填土和地基土的性质指标。
- 3 筋材强度指标。

7.4.2 计算方法。按传统极限平衡理论的圆弧滑动法和楔体滑动法进行验算。

7.4.3 计算步骤:

1 针对加筋前的陡坡作稳定分析,确定为达到国标 GB50286—98 规定的安全系数 F ,所需的加筋大致范围(指需要加筋的)。

2 加筋设计。确定需要靠加筋提供的总加筋力;在坡高内将加筋力合理分配;决定筋材的间距和长度,作内部稳定性复核。

3 陡坡的外部稳定性分析。

4 沉降计算。

5 坡内及坡外排水系统安排。

以上 1~4 项的具体计算见附录 J。

7.4.4 施工要点。施工方法与常规填土类似,加筋配合填土层交替进行。

7.4.5 清除地面一切杂物,平整地表。

7.4.6 加筋和填土:

1 铺筋材。筋材主强度方向应垂直于坡面;筋材上应插防滑钉;采用土工织物筋材时,如坡面处要包裹,相邻织物搭接至少 15cm;如不需包裹,则平接即可。如筋材为土工格栅,则两相邻片边缘应卡紧或扎紧。

2 填土。借机械填土时,车轮与筋材间的距离至少应保持 15cm。粒状土用振动碾或夯板,粘性土用气胎碾或平碾压密。近坡肩处用轻碾。碾压时,注意防止筋材移动,应压实至要求密度。

7.4.7 表面处理。坡面缓于 1:1 时,如果筋材垂直间距不大于 40cm,坡面处可不将筋材回折包裹,而直接延至坡面。为防止雨水与径流冲蚀坡面,坡面应植草,或采取其他防护措施。

坡面需要包裹时,可将土工织物在坡面处折回,使其压在上一层织物下,长度应不短于 1m,如图 7.4.7。若坡面很陡,可能需利用堆土袋、模架等支持坡面。层厚大于 45cm~60cm 时即需支持。

如筋材是土工格栅,在坡面处包裹需要加设细孔土工网或土工织物,防止填土漏失。

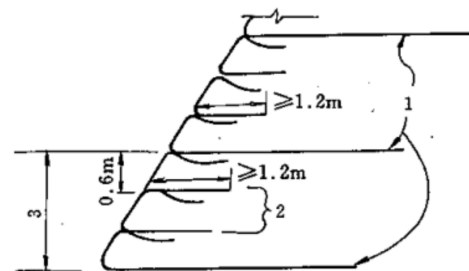


图 7.4.7 主筋与中间辅筋

1—主筋; 2—辅筋; 3—可变化距离

7.4.8 设置坡面与坡内排水:

1 坡面排水。坡顶应设排水系统,将地表水汇集,通过排水沟管导往坡底排走。图 7.4.8 为在坡缘设置纵向排水沟示意图。坡面应植草防冲,草种需根据当地土质气候条件优选,使能长期成

活（见 6.5.4 条文说明）。有时尚需在两主筋间增加中间次筋，减小间距，以防坡面塌落。有条件时可在坡面铺合成材料防冲垫。

2 坡内排水。主要排除地下水，如图 7.4.8。可以采用土工织物包裹碎卵石的排水暗沟，或土工复合材料的排水体。土工复合材料应通过试验，确保其芯材有足够抗压曲强度，滤膜在压力下凹入芯材，芯材仍应有足够的排水能力。设排水处，土工织物或土工复合排水材料与土接触面强度较低，应充分注意其对边坡稳定性的影响。

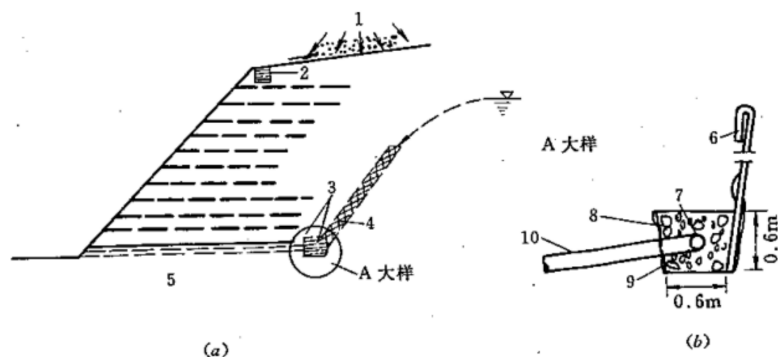


图 7.4.8 坡面及坡内排水

1—降水；2—集水沟；3—土工织物反滤；4—粗料或土工复合材料；5—排水；
6—回折；7—带孔 PVC 管；8—碎石；9—土工织物；10—导至坡外

7.5 加筋土挡墙设计与施工

7.5.1 设计的基本资料：

- 1 墙高、墙面仰角。
- 2 墙顶超荷载。
- 3 填土与基土特性指标等。

7.5.2 加筋土挡墙的组成及形式。

墙面系统、基础、筋材和填土（如图 7.5.2）。加筋土挡墙有刚性筋式和柔性筋式两种型式，前者用加筋带或刚性大的土工格栅，后者用土工织物建成。

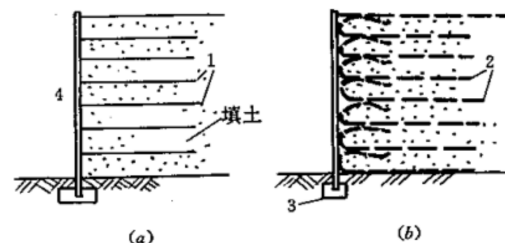


图 7.5.2 加筋土挡墙的基本型式

(a) 刚性筋式；(b) 柔性筋式

1—拉筋；2—土工织物；3—基础；4—面板

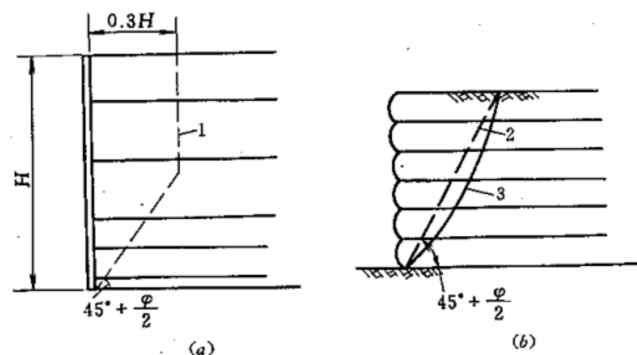


图 7.5.3 两种挡墙型式的破裂面

(a) 刚性筋式；(b) 柔性筋式

1—破裂面；2—朗金破裂面；3—实测破裂面

7.5.3 筋材刚度模量不同，墙后填土的潜在破坏面形状有异。刚性筋式（抗拉模量高）和柔性筋式（模量较低）的设计破坏面如图 7.5.3。

7.5.4 加筋土挡墙设计可循以下步骤：

- 1 按经验确定一个初始核算墙断面。
- 2 确定作用于墙上的各项荷载，其中包括土压力。
- 3 墙体外部稳定性验算。

4 筋材内部稳定性验算。

5 必要时调整筋材长度，以利施工。

7.5.5 初始断面。初设水平筋材长度应不小于 $0.7H$ 和 $2.5m$ (H 为墙高)；墙顶填土面如为斜面，或填土上有集中荷载，筋长应不小于 $0.8H$ 。

7.5.6 荷载。包括墙后填土重、墙顶超荷载和土压力等。墙背土压力按库仑理论确定，见附录 K。

7.5.7 外部稳定性验算。包括墙体抗水平滑动稳定、抗深层滑动稳定和地基承载力校核。验算方法与传统方法一致，补充内容见附录 K。

7.5.8 内部稳定性验算：

1 每层（条）筋材不因受拉力超限而被拉断失效（强度验算）。

2 每层（条）筋材不因长度不足，端部握裹力不足而被拔出失效（抗拔验算）。需根据各项荷载确定筋材拉力，按平衡条件，判别筋材是否满足强度准则；再验算筋材是否符合抗拔安全准则；由此确定各层筋材所需的实际长度。为便于施工，对筋材长度需要作必要修正，以完成挡墙的最终断面。以上验算详见附录 K。

7.5.9 施工要点。施工工序包括：设置基础、平整墙基、铺设筋材、墙体填土和墙面施工。

1 设置基础。按设计的墙面系统进行施工，当选用预制钢筋混凝土墙面板时，一般厚 $12cm \sim 15cm$ ；支承在预制混凝土基础上。其宽度不小于 $30cm$ ，厚度不小于 $20cm$ ，埋深不小于 $60cm$ 。应防止地基冻胀影响。

2 平整墙基。按设计要求开挖，平整。软土需压实或换填，压实到要求密度，应略超出墙面范围。

3 铺设筋材。筋材主强度方向应垂直于墙面，以销钉固定。对柔性筋式挡墙，相邻织物搭接至少 $15cm$ 。地基沉降量较大时，相邻织物应予缝接；对格栅筋材，相邻片应扎紧。

4 墙体填土。借机械填土，车轮与筋材间的距离至少应保持

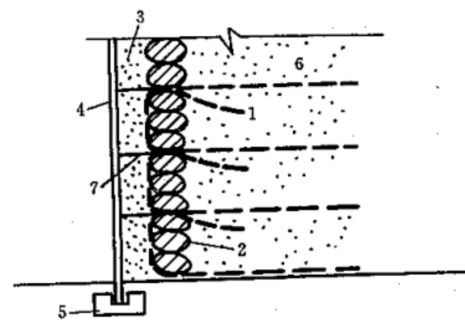


图 7.5.9 加筋土挡墙施工

1—土工织物（折回包裹）；2—土袋（织物袋装土）；3—填砂夯实（缝宽 $10cm \sim 15cm$ ）；4—墙面板；5—基础；6—回填土；7—连接带

$15cm$ 。土料应压实到要求密度。压实后一层土厚约 $20cm \sim 15cm$ 。

5 墙面施工利用堆土袋或模架法铺放土工织物，其程序如图

7.5.9。

1) 铺土工织物；

2) 堆土袋（约 3 层，每层厚约 $20cm$ ）；

3) 回填土，至一层厚，回包土工织物，将填土夯实；

4) 铺次一层土工织物，继续填土。所用为土工格栅时，墙面处应包土工织物，防止填土漏失。在近墙面的范围内，压实应用轻型机械。

附录 A 土工膜防渗体的稳定分析

A.1 计算条件

A.1.1 水位骤降,校核防护层(连同上垫层)与土工膜之间的抗滑稳定性。

A.1.2 防护层的透水性有良好和不良两种情况。

A.1.3 保护层断面有等厚度和变厚度(自上而下逐渐增厚,呈楔形)两种情况。

A.2 计算方法

A.2.1 采用极限平衡法。

A.2.2 防护层不透水时,采用容重变化法计及层内孔隙水压力影响。即降前水位以上土料及护坡采用湿容重;计算滑动力时,降前水位与降后水位之间用饱和容重,降后水位以下用浮容重;计算抗滑力时,降前水位以下一律用浮容重。土的抗剪强度采用有效指标 c' 和 φ' 。

A.3 等厚度防护层

A.3.1 保护层透水性良好,安全系数 F ,应按式(A.3.1)计算(图 A.3.1):

$$F_s = \frac{\text{tg} \delta}{\text{tg} \alpha} \quad (\text{A.3.1})$$

式中 δ ——上垫层土料与土工膜之间的摩擦角;

α ——土工膜铺设坡角。

A.3.2 防护层透水性不良,安全系数 F ,应按式(A.3.2)

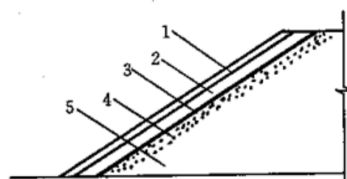


图 A.3.1 等厚防护层
1—防护层; 2—上垫层; 3—土工膜; 4—下垫层; 5—堤坝体

计算:

$$F_s = \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \cdot \frac{\text{tg} \delta}{\text{tg} \alpha} \quad (\text{A.3.2})$$

式中 γ' 、 γ_{sat} ——防护层(包括上垫层)的浮容重和饱和容重, kN/m^3 。

A.4 不等厚保护层

A.4.1 防护层透水性良好,安全系数 F ,按式(A.4.1)计算(图 A.4.1):

$$F_s = \frac{W_1 \cos^2 \alpha \cdot \text{tg} \varphi_1 + W_2 \text{tg}(\beta + \varphi_2) + c_1 l_1 \cos \alpha + c_2 l_2 \cos \alpha}{W_1 \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad (\text{A.4.1})$$

式中 W_1 、 W_2 ——主动楔 $ABCD$ 和被动楔 CDE 的单宽重量, kN/m ;

c_1 、 φ_1 ——沿 BC 面防护层(上垫层)土料与土工膜之间的粘着力(kN/m^2)和摩擦角($^\circ$);

c_2 、 φ_2 ——防护层土料的粘聚力(kN/m^2)和内摩擦角($^\circ$);

α 、 β ——坡角(见图 A.4.1);

l_1 、 l_2 —— BC 和 CE 的长度, m 。

防护层如为透水性材料, $c_1 = c_2 = 0$ 。

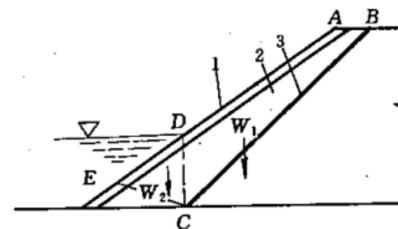


图 A.4.1 不等厚防护层
1—护坡; 2—防护层; 3—土工膜

A. 4. 2 防护层透水性不良

按式 (A. 4. 1), 依据上述容重变化法计算, 分子上的 W 应按单宽浮容重, 分母上的 W 应按单宽饱和容重计算。

降后水位至图 A. 4. 1 中 D 点时, 将属最危险情况。

附录 B 膜后土工织物排渗能力核算

B. 0. 1 计算条件。计算图如图 B. 0. 1。从坝断面浸润线最高点自上而下将断面分为若干层。

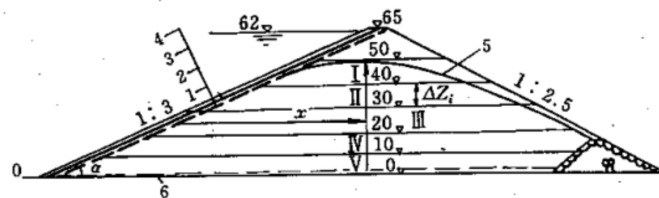


图 B. 0. 1 土工织物排水计算图

1—土工织物; 2—土工膜; 3—防护层 (上垫层); 4—护坡;
5—浸润线; 6—排水管

B. 0. 2 估算来水量。设某层厚度为 ΔZ_i , 由该层流入土工织物的水量应按式 (B. 0. 2-1) 计算:

$$\Delta q_i = k J_i \Delta Z_i \quad (\text{B. 0. 2-1})$$

$$J_i = \frac{h_i}{l_i} \quad (\text{B. 0. 2-2})$$

式中 k ——坝体土料的渗透系数, m/s ;

J_i ——第 i 层的平均水力梯度;

h_i ——第 i 层中点处的水头, m ;

l_i ——渗水流程 (见图 B. 0. 1), m 。

第 i 层土工织物接受的来水量 q_i 应为该层以上各层来水量之和

$$q_i = \sum_{j=1}^i \Delta q_j \quad (\text{B. 0. 2-3})$$

B. 0. 3 土工织物要求的导水率 θ_r 按式 (B. 0. 3-1) 计算:

$$\theta_r = \frac{q_i}{J_s} \quad (\text{B. 0. 3-1})$$

$$J_g = \sin \alpha \quad (\text{B. 0. 3-2})$$

式中 q_i ——单宽流量，由式 (B. 0. 2-3) 算得， $\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ ；

J_g ——来水沿土工织物渗流的水力梯度；

α ——土坝上游坡角。

B. 0. 4 土工织物实际提供的导水率 θ_a 按式 (B. 0. 4-1) 计算：

$$\theta_a = k_p \delta \quad (\text{B. 0. 4-1})$$

式中 k_p ——土工织物沿平面的渗透系数，由试验确定， m/s ，但针刺土工织物系蓬松材料，其厚度及渗透系数随压力而变化，故应先通过试验求得土工织物的导水率与压力的关系 ($\theta \sim p$)，以备查用，如图 B. 0. 4；

δ ——土工织物厚度， m ，如有数层织物，则为各层厚度之和。

B. 0. 5 排水能力评价。比较各层的 θ_r 与 θ_a ，要求每层 $\theta_r > \theta_a$ ，并有适当的安全系数 (可取 3)。如不满足，可以增加织物层数，或采用其他复合排水材料，直至满足要求。

B. 0. 6 计算可按表 B. 0. 6 程序进行。

表 B. 0. 6 土工织物排水核算表

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
分层号	平均水头 h_i (m)	平均渗径 l_i (m)	水力梯度 J_i	分层流量 Δq_i ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$)
(6)	(7)	(8)	(9)	
累计流量 q_i ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$)	要求的 $\theta_r = \frac{q_i}{\sin \alpha}$ (m^2/s)	土工织物所受压力 P_i (kPa)	提供的 $\theta_a = k_p \cdot \delta$ (m^2/s)	

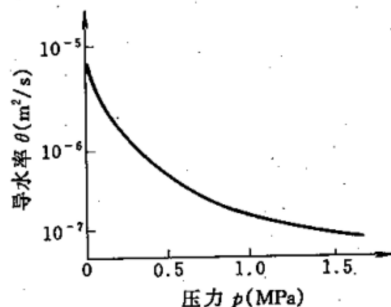


图 B. 0. 4 针刺土工织物压力与导水率关系示意

附录 C 铺盖土工膜厚度计算

C. 0. 1 土工膜厚度的计算方法。

$$T = 0.204 \frac{pb}{\sqrt{\epsilon}} \quad (\text{C. 0. 1-1})$$

式中 T ——单宽土工膜所受拉力， kN/m ；

p ——膜上作用水压力， kPa ；

b ——预计膜下地基可能产生的裂缝宽度， m ；

ϵ ——膜的拉应变， $\%$ 。

假设裂缝宽度为 b_1 、 b_2 ，则

$$T_1 = 0.204 \frac{pb_1}{\sqrt{\epsilon_1}} \quad (\text{C. 0. 1-2})$$

$$T_2 = 0.204 \frac{pb_2}{\sqrt{\epsilon_2}} \quad (\text{C. 0. 1-3})$$

绘制 $T \sim \epsilon$ 图，如图 C. 0. 1。在同一图中绘出选用土工膜的试验曲线。交点对应的应变 ϵ_1 、 ϵ_2 分别为裂缝宽 b_1 、 b_2 ，拉力 T_1 、 T_2 时的拉伸应变。

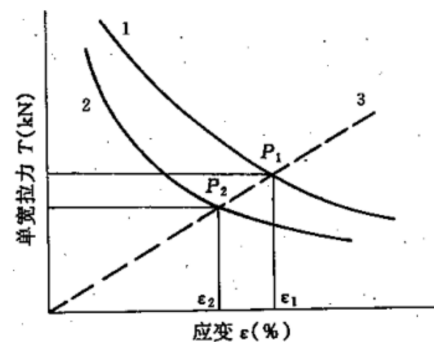


图 C. 0. 1 土工膜应力~应变关系
1— b_1 曲线；2— b_2 曲线；3—选用土工膜的试验曲线

如果选用土工膜的极限抗拉强度为 T_f , 相应应变为 ϵ_f , 则拉力与应变的安全系数 F_s 分别为:

$$F_s = \frac{T_f}{T}$$

$$F_s = \frac{\epsilon_f}{\epsilon} \quad (\text{C. 0. 1-4})$$

(T 、 ϵ 分别为 T_1 或 T_2 , ϵ_1 或 ϵ_2)

要求的安全系数为 $F_s=4\sim5$ 。如不满足, 应选较厚膜。

附录 D 软体排稳定性计算

D. 1 抗漂浮核算

D. 1. 1 静水下坡面上排体抗浮稳定条件如下:

$$\Delta h \leq \gamma'_p \cos \alpha / \gamma_w \quad (\text{D. 1. 1})$$

式中 Δh ——排体上下水头差, m;

γ'_p ——排面压载体单位面积浮重, kN/m²;

γ_w ——水容重, kN/m³;

α ——坡角。

D. 1. 2 风浪作用下稳定性由稳定系数 S_N 判别, 可按式 (D. 1. 2-1) 计算:

$$S_N = \frac{H}{\gamma'_r \delta_m} \quad (\text{D. 1. 2-1})$$

$$\gamma'_r = \frac{\gamma_a - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (\text{D. 1. 2-2})$$

式中 H ——浪高, m;

δ_m ——护坡厚度, m;

γ'_r ——护坡的浮相对容重。

γ_a 、 γ_w ——护坡材料容重与水容重, kN/m³。

用各种护坡压载材料时, 要求的 S_N 按表 D. 1. 2 取值。

表 D. 1. 2 抗浪击要求的稳定系数 S_N

排体型式	要求的 S_N	排体型式	要求的 S_N
乱石压载	<2	连锁压载	<5.7
独立块体压载	<2	浆灌连锁排压载	<8
充砂压载	<5		

对表 D. 1. 2 中未列情况, 采用 $S_N < 2$, 偏安全。

如果排体织物的透水性低, 接近于被保护土的透水性, 则需将表列数值乘以 0.6, 采用折减值与 2 之间的较小值。

D.2 抗掀起核算

D.2.1 当水下流速不大于按式 (D.2.1) 算得的临界流速 v_{cr} 时, 排体将是稳定的。

$$v_{cr} = \theta \sqrt{\gamma'_r g \delta_m} \quad (D.2.1)$$

式中 θ ——系数, 按表 D.2.1 取值;

g ——重力加速度, m/s^2 。

其余符号见本规范式 (D.1.2-1)。

表 D.2.1 护底排抗掀动要求的 θ 值 (水深 2m)

排体型式	要求的 θ 值	排体型式	要求的 θ 值
独立块体压载	2	块石沥青排	2
柴梢织物排 (单位压 载 $2000N/m^2$)	2	砾石充填排	1.4

对直接放在河床底, 无压载的织物排, θ 值可采用 1.4。

D.3 抗排体顺坡下滑核算

D.3.1 排体连同压载抗滑稳定条件如下:

$$\Delta h \leq \gamma_{sat} \delta_m \left[\cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{f_{sg}} F_s \right] \frac{1}{\gamma_w} \quad (D.3.1)$$

式中 γ_{sat} ——排体连同压载的饱和容重, kN/m^3 ;

α ——坡角;

f_{sg} ——排体材料与坡面间的摩擦角, 用水下值, 由试验测定;

F_s ——安全系数, 可用 1.3。

其余符号见本规范式 (D.1.2-1)。

D.4 压 重

D.4.1 排体上要求的压重, 与当地水流流态与流速有关, 可按图

D.4.1 查用。当流速 $v \leq 3m/s$ 时, 可以采用 $1kPa$ 。

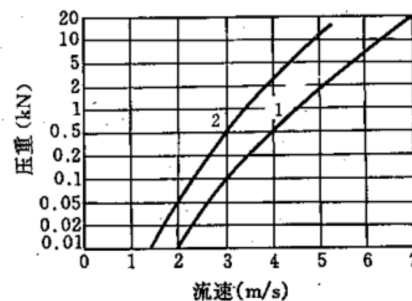
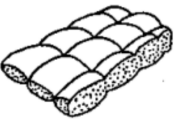
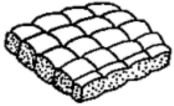
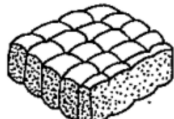

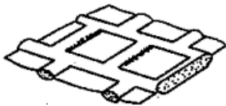


图 D.4.1 排体上的压重

1—层流; 2—紊流

附录 E 土工模袋基本型式

表 E 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 4cm ² , 厚 6.5cm 的用于临时性工程, 10cm~16.5cm 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	5、20 30、50 70	不设排水点。如要排水, 在护面上另设排水孔, 用于要求厚护面的工程	15cm~30cm 厚骨料粒径不大于 10mm~15mm 30cm~70cm 厚, 粒径不大于 25mm	
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 (φ5mm) 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 (如图)。格内可植花草, 绿化坡面及环境	水泥砂浆	

附录 F 土工模袋厚度计算

F.1 抗漂浮所需的厚度

F.1.1 抗漂浮所需厚度按式 (F.1.1) 估算:

$$\delta \geq 0.07cH_w \sqrt{\frac{L_w}{L_r}} \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_c - \gamma_w} \cdot \frac{\sqrt{1+m^2}}{m} \quad (\text{F.1.1})$$

式中 c ——面板系数, 大块混凝土护面, $c=1$, 护面上有滤水点, $c=1.5$;

H_w 、 L_w ——波浪高度与长度, m;

L_r ——垂直于水边线的护面长度, m;

m ——坡角 α 的余切;

γ_c ——砂浆或混凝土有效容重, kN/m³;

γ_w ——水容重, kN/m³。

F.2 抗冰推所需的厚度

F.2.1 模袋重应能抵抗水体水平冻胀力将其沿坡面推动。如果忽略护面材料的抗拉强度, 厚度可按式 (F.2.1) 估算:

$$\delta \geq \frac{P_i \delta_i (F_s m - f_a) - H_i C_a \sqrt{1+m^2}}{\gamma_c H_i (1+m f_a)} \quad (\text{F.2.1})$$

式中 δ ——所需厚度, m;

δ_i ——冰层厚度, m;

P_i ——设计水平冰推力, 有资料建议初设取 150kN/m²;

H_i ——冰层以上护面垂直高度, m;

C_a ——护面与坡面间粘着力, 150kN/m²;

f_a ——护面与坡面间摩擦角;

F_s ——安全系数, 一般可取 3。

附录 G 深层抗滑稳定性校核

G.0.1 铺设底筋后堤坝坡的安全系数由原来的 $[F_s^*]_{\min}$ 提高到规定的 F_s 。提高值 ΔF_s 应按式 (G.0.1) 计算 (图 G.0.1)：

$$\Delta F_s = F_s - [F_s^*]_{\min} = \frac{T \cos \beta_i / F_s}{\sum W_i \sin \alpha_i} \quad (\text{G.0.1})$$

式中 T ——加筋材料要求的拉力, kN/m;

W_i ——第 i 土条的重量, kN;

α_i ——斜角 (见图 G.0.1)。

G.0.2 筋材强度校核。式 (G.0.1) 中的 T 应满足强度要求, 即:

$$T \leq T_a \quad (\text{G.0.2-1})$$

式中 T_a ——加筋材料的容许抗拉强度, kN/m。

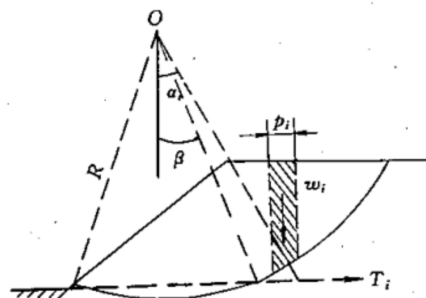


图 G.0.1 堤坝稳定性核算

如果式 (G.0.2-1) 不成立, 应改用更高强度的筋材或采用 N 层筋材, N 应按式 (G.0.2-2) 计算:

$$N = \frac{T}{T_a} \quad (\text{G.0.2-2})$$

G.0.3 筋材抗拔校核。筋材尚需有足够的抗拔能力, 并有要求的安全系数。抗拔所需筋材有效埋入长度 L_e (超出滑弧的长度) 按式 (G.0.3) 计算:

$$L_e = \frac{F_p T}{2 \sigma f_{sg}} \quad (\text{G.0.3})$$

式中 F_p ——抗拔安全系数, 可取 1.5;

σ ——作用在某层筋材上的法向应力, kPa;

f_{sg} ——筋材与周围土的摩擦系数, 如无实测资料, 可取 $f_{sg} \approx 0.8 f_s$ (f_s 为土的摩擦系数 $f = \tan \varphi$, φ 为土的内摩擦角)。

G.0.4 如果采用的筋材不止一层, 则布置好筋材后, 应按本规范式 (G.0.2) 复核。

附录 H 薄软土层抗滑稳定性校核

H.0.1 沿筋材顶面的抗滑稳定系数可按式 (H.0.1-1) 计算 (图 H.0.1):

$$F_s = \frac{F_{sg}}{P_A} \quad (\text{H.0.1-1})$$

土坡为无粘性土

$$F_{sg} = \left(\frac{1}{2} L_s + L_c \right) \gamma H \tan \varphi_{sg} \quad (\text{H.0.1-2})$$

土坡为粘性土

$$F_{sg} = (L_s + L_c) c_d \quad (\text{H.0.1-3})$$

式中 F_{sg} ——坡底与筋材间的抗滑力, kN;

P_A ——主动土压力, 按土压力理论计算;

L_s 、 L_c ——长度, m, 见图 H.0.1;

γ ——填土容重, kN/m³;

H ——填土高度, m;

φ_{sg} ——堤坝填土与筋材的摩擦系数;

c_d ——堤坝填土与筋材间粘着力, kN/m²。

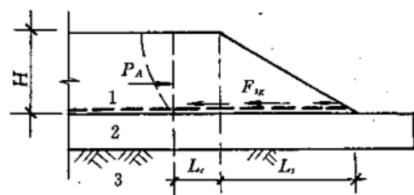


图 H.0.1 浅层抗滑稳定计算

1—筋材; 2—软土; 3—硬层

F_{sg} 应不超过筋材在以下应变时的抗拉力:

压实粘土, $\epsilon = 5\% \sim 10\%$;

无粘性土和少粘性土, $\epsilon \leq 2\%$ 。

H.0.2 沿下卧硬层顶面的抗滑稳定系数可按式 (H.0.2) 计算 (图 H.0.2):

$$F_s = \frac{\alpha P_p + T_g + S_b}{P_A} \quad (\text{H.0.2})$$

式中 α ——计及被动土压力 P_p 发挥程度的系数, 可采用 $\alpha = 30\%$;

T_g ——筋材的抗拉强度, kN/m;

S_b ——硬层顶面的抗滑力, kN/m。

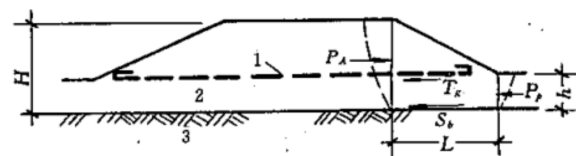


图 H.0.2 浅层抗滑稳定计算

1—筋材; 2—软土; 3—硬土

H.0.3 抗挤出稳定性。安全系数按式 (H.0.3) 计算 (图 H.0.3):

$$F_s = \frac{\alpha P_p + S_i + S_b}{P_A} \quad (\text{H.0.3})$$

式中 S_i ——挤出土块顶面与筋材的抗滑力, kN。

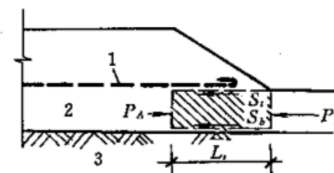


图 H.0.3 浅层抗滑稳定计算

1—筋材; 2—软土; 3—硬土

S_i 与 S_b 可按下列式计算:

$$S_b = (c + \sigma_{v1} \tan \varphi) L$$

$$S_i = (c_g + \sigma_{v2} \tan \varphi_{sg}) L$$

式中 c 、 c_g ——软土与硬土、软土与筋材间的粘着力, kN/m^2 ;

φ 、 φ_{sg} ——软土与硬土、软土与筋材之间的摩擦角;

σ_{v1} 、 σ_{v2} ——作用于硬层顶面和筋材上的法向压力, kPa 。

附录J 陡坡加筋设计

J.1 未加筋陡坡稳定分析

J.1.1 采用传统的土坡稳定分析圆弧法及楔体法, 对未加筋的陡坡进行验算。针对每一个假设的滑弧, 求出其安全系数 F , 和相应的滑动力矩 M_0 。

J.1.2 将上述所有滑弧绘在同一土坡剖面上。勾绘出其中安全系数恰好等于要求安全系数 F_{sr} , 即 $F_m = F_{sr}$ 的许多滑弧的外包线, 如图 J.1.2, 该范围即为有待加筋的临界区。如果滑弧深入坡趾以下, 表明地基要考虑加固。

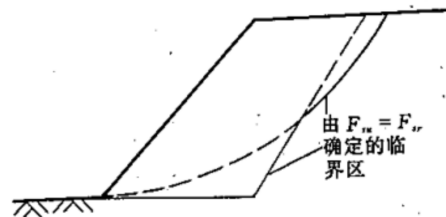


图 J.1.2 有待加筋范围

J.2 加筋设计

J.2.1 每一滑弧的加筋力 T_s 应按式 (J.2.1) 计算 (见图 J.2.1)。针对以上每一个滑弧, 为将其安全系数 F_m 提高到所需的 F_{sr} , 需要的总加筋力 T_s 为:

$$T_s = (F_{sr} - F_m) \frac{M_0}{D} \quad (\text{J.2.1})$$

式中 T_s ——作用于单位坡长 (位于 $H/3$ 处 H 为坡高) 需要的总加筋力, kN ;

M_0 ——针对某一滑动圆心的滑动力矩之和, $\text{kN} \cdot \text{m}$;

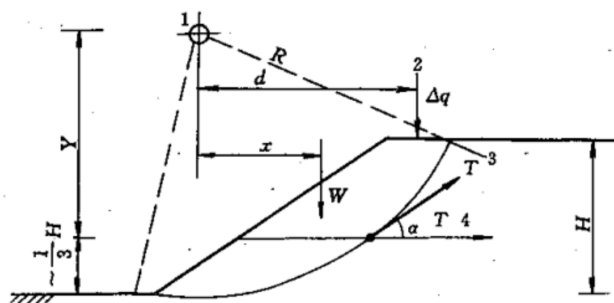


图 J.2.1 确定加筋力的滑弧计算

1—圆心；2—超载；3—延伸性筋材；

4—非延伸性筋材

D ——加筋力 T_i 的力臂，m。

对于土工织物加筋料， $D=R$ （圆半径）（认为筋材转折），对于延伸率低的加筋料， $D=Y$ （认为筋材不转折）。

J.2.2 取以上诸 T_i 中的最大值，即 T_{\max} 作为加筋的依据。需要最大加筋力的滑弧一般并非安全系数最小的圆弧。

为了快速复核上述所需的最大加筋力，可以利用计算图 J.2.2 (a) 查取 K 值，按式 (J.2.2) 计算出 T_i ：

$$T_i = \frac{1}{2} K \gamma H'^2 \quad (\text{J.2.2})$$

式中 γ ——坡土容重， kN/m^3 ；

H' ——坡高加化引土层厚 $\left(H + \frac{q}{\gamma}\right)$ ，m；

H ——坡高，m；

$\frac{q}{\gamma}$ ——均布超载化引土层厚，m。

查表时应依据下式的 φ_f' ：

$$\varphi_f' = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\text{tg} \varphi}{F_r} \right) \quad (\text{J.2.2-2})$$

式中 φ ——坡土内摩擦角；

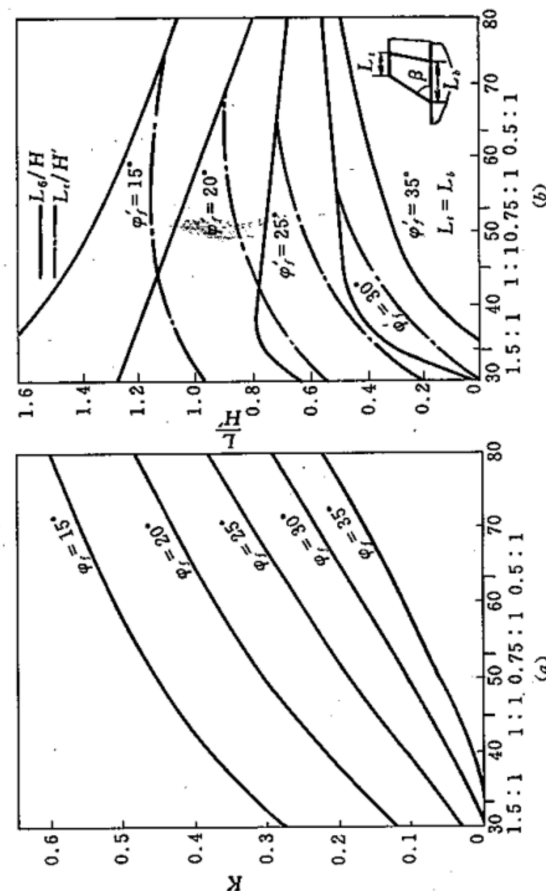


图 J.2.2 确定筋材强度的计算图
(a) 坡角 β (度)；(b) 坡角 β (度)

F_{sr} ——陡坡要求的安全系数。

该计算图系由计算机计算和绘制。由图算得到的 T_r 应与以上计算的接近, 否则应查明其差别的原因。

J. 2.3 加筋力分配。业已确定的最大加筋力 T_{smax} 需沿坡高分配:

对于低坡 ($H \leq 6m$), 均匀分配;

对于高坡 ($H > 6m$), 可按二区或三区分配。

按二区分: 底区 $T_s = \frac{3}{4} T_{smax}$

顶区 $T_s = \frac{1}{4} T_{smax}$

按三分区: 底区 $T_s = \frac{1}{2} T_{smax}$

中区 $T_s = \frac{1}{3} T_{smax}$

顶区 $T_s = \frac{1}{6} T_{smax}$

在每一区内拉力均匀分布。

J. 2.4 筋材间距和设计拉力。在每个区, 根据假设的垂直间距 S_v 计算筋材要求承受的拉力 T_r ; 或根据筋材的容许拉力 T_a , 确定该区的间距与需要的加筋层数 N :

$$T_r = T_a R_c = \frac{T_s S_v}{H_z} = \frac{T_s}{N} \quad (J. 2.4-1)$$

$$R_c = \frac{1}{S_h} \quad (J. 2.4-2)$$

式中 T_a ——筋材的容许拉力, kN;

S_v 、 S_h ——筋材在垂直与水平方向的布置间距, m;

R_c ——筋材布满率;

T_s ——分配于该区的总拉力, kN;

H_z ——该区高度, m。

筋材间距最大不得超过 $S_v = 60cm$ 。为使间距较密和提高坡缘压实质量, 可在两层主筋间铺长 1.2m~2m 的中间铺筋材, 如本规程图 7.4.4-2 所示。辅筋抗拉强度可较主筋的略低。

以上土工织物陡坡如果陡于 1:1, 而坡土级配又较均匀, 则坡面处应折回包裹。对于坡度缓于 1:1 的良好级配土坡, 筋材密布 ($S_v \leq 40cm$) 时, 其端部可不包裹。

J. 2.5 加筋料需要的长度

每层筋材为满足抗拔要求需要伸出滑动面 (给出 T_{smax} 的滑动面) 的长度 L_e 应按式 (J. 2.5) 计算。

$$L_e = \frac{T_a F_s}{2 f_p \alpha \sigma_v'} \quad (J. 2.5)$$

式中 T_a ——筋材的容许拉力, kN/m;

F_s ——抗拔安全系数, 采用 1.5;

f_p ——抗拔摩擦系数, 应由试验测定; 无试验资料时, 编织土工织物可采用 $\frac{2}{3} \tan \varphi$, 土工格栅采用 $0.8 \tan \varphi$, φ 为土料的内摩擦角;

α ——考虑锚固长度内应力非线性衰减的系数, 对土工织物可采用 0.6;

σ_v' ——筋材上的垂直有效压力, kPa。

锚固长度 L_e 不得小于 1m。

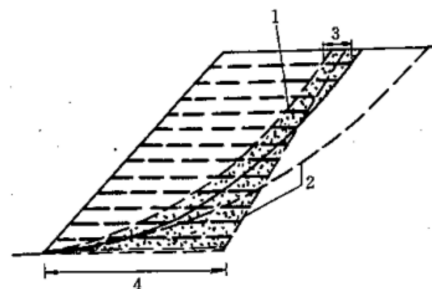


图 J. 2.5 加筋料长度

1—由 T_{smax} 确定的临界面; 2—由 $F_{su} = F_{sr}$ 确定的临界区; 3—按拉拔要求 $> 1m$; 4—由抗滑稳定性决定

将算得的筋长绘在临界区大致范围的土坡剖面图上, 如图 J. 2.5。底部筋长一般由抗平面滑动要求控制。下部的筋长至少要

延伸至临界区边界。如果下部筋材足以使临界区内各圆的安全系数提高到 F_{cr} ，则上部筋材就不一定都要达到临界区边界。

为了施工方便，应将算得的筋材长度简化为二三种等长度。除去下部分的筋材，其他的不一定都要达到临界区边缘。

J.2.6 筋材长度校核。可以采用图 J.2.2(b) 所示的快速校核法。注意在该图中，锚固长度 L_a 已经包含在 L_i 和 L_b 中。

J.3 陡坡外部稳定性核算

J.3.1 抗平面滑动稳定性。按传统方法计算，但应针对不同长度加筋区的底面进行；计算抗滑力采用土与土工织物及土本身摩擦系数中的较小者。

J.3.2 抗深层滑动稳定性；按传统圆弧滑动法核算。

J.3.3 坡趾局部承载力核算（侧向挤出）。当坡底以下有厚度为 D_s 的薄软土层，有可能产生挤出破坏，对其安全系数应按式

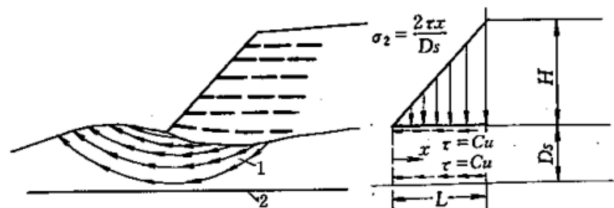


图 J.3.1 坡趾承载力校核

1—软土；2—硬土

(J.3.3) 计算 (图 J.3.1)。

$$F_s = \frac{2C_u}{\gamma D_s \tan \theta} \quad (\text{J.3.3})$$

式中 γ ——坡土容重， kN/m^3 ；

θ ——坡角；

C_u ——软土的不排水抗剪强度， kN/m^2 。

当软土层厚度 D_s 大于坡底宽，则需验算地基承载力。

附录 K 加筋土挡墙计算

K.1 土压力计算

K.1.1 墙背垂直的加筋土墙，墙顶土面水平或倾斜，其土压力按库仑土压力理论计算，如图 K.1.1。

$$p_i = \gamma \cdot Z_i \cdot K_a \quad (\text{K.1.1})$$

式中 p_i ——墙顶下 Z_i 深处墙背土压力， kPa ；

γ ——墙后填土容重， kN/m^3 ；

K_a ——填土主动土压力系数；

Z_i ——墙顶下土深， m 。

作用于墙背（高 h ）的主动土压力按式 (K.1.2) 计算。

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_a \quad (\text{K.1.2})$$

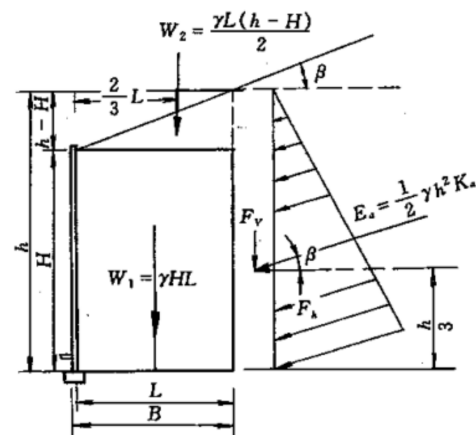


图 K.1.1 墙背垂直，填土倾斜时的土压力计算

K.2 墙体外部稳定性验算

K.2.1 抗水平滑动稳定性。安全系数按式 (K.2.1-1) 计算。

$$F_s = \frac{\sum p_r}{\sum p_d} \quad (\text{K.2.1-1})$$

式中 $\sum p_d$ 按式 (K.2.1-2) 计算 (图 K.1.1)。

$$\begin{aligned} \sum p_r &= (W_1 + W_2 + E_a \sin \beta) f \\ \sum p_d &= E_a \cos \beta \end{aligned} \quad (\text{K.2.1-2})$$

式中 W_1 、 W_2 、 β ——见图 K.1.1 注释；

E_a ——主动土压力，kN；

f ——墙底面摩擦系数。

F_s 安全系数，应大于、等于 1.3。

f 按式 (K.2.1-3) 采用：

$$f = \text{Min}(\tan \varphi_b, \tan \varphi_f, \tan \varphi_g) \quad (\text{K.2.1-3})$$

式中 φ_b 、 φ_f ——分别为地基土和填土的摩擦角；

φ_g ——土工织物与地基土或土工织物与填土之间摩擦角中的较小者，应由试验测定。

计算 $\sum p_r$ 时不计墙前被动土压力和活荷载引起的抗力。式 (K.2.1-1) 如不满足 $F_s \geq 1.3$ ，应加长筋材重新验算，直至满足。

K.2.2 抗深层圆弧滑动稳定性验算。将筋材范围内的复合土体视为一刚体按传统方法计算，安全系数应符合 $F_s \geq 1.3$ 。如不满足，应加长筋材或进行地基处理。

K.2.3 地基承载力校核

1 防止地基整体剪切破坏应符合以下条件：

$$\sigma_v \leq \frac{q_u}{F_s} \quad (\text{K.2.3-1})$$

式中 σ_v ——等效基底压力，kPa；

q_u ——地基极限承载力，kPa；

F_s ——安全系数，要求 F_s 大于、等于 1.3。

地基极限承载力按太沙基公式计算。

$$q_u = cN_c + 0.5(L - 2e)\gamma N_\gamma \quad (\text{K.2.3-2})$$

式中 c ——地基土粘聚力，kPa；

L ——墙底宽度，m；

N_c 、 N_γ ——由土的内摩擦角 φ 查取的承载力因数；

e ——墙底面上作用荷载的偏心距，m。

2 防止地基局部剪切破坏仍按式 (K.2.3-1) 和式 (K.2.3-2)

验算，但查用 N_c 、 N_γ 时，应根据修正摩擦角 $\varphi' = \text{tg}^{-1} \left[\frac{2}{3} \varphi \right]$ 确定。

K.3 筋材内部稳定性验算

K.3.1 筋材的强度验算：

1 筋材水平拉力。可按式 (K.3.1-1) 计算：

$$T = [(\sigma_v + \sum \Delta \sigma_v) K_i + \Delta \sigma_h] S_v \quad (\text{K.3.1-1})$$

式中 σ_v ——某层筋材所受覆盖土层压力，kPa；

$\sum \Delta \sigma_v$ ——超荷载引起的垂直附加压力，kPa；

$\Delta \sigma_h$ ——水平附加荷载，kPa；

S_v ——筋材的垂直间距，m；

K_i ——主动土压力系数。如图 K.3.1 所示，可按式 (K.3.1-2) 确定：

$$K_i = \begin{cases} K_0 - [(K_0 - K_a) Z_i] / \sigma & (0 < Z_i \leq 6\text{m}) \\ K_a & (Z_i > 6\text{m}) \end{cases} \quad (\text{K.3.1-2})$$

2 强度条件。筋材强度安全应符合式 (K.3.1-3)：

$$T \leq T_a \quad (\text{K.3.1-3})$$

式中 T_a ——筋材的容许抗拉强度，kN/m。

K.3.2 筋材的抗拔验算。抗拔安全应符合式 (K.3.2)：

$$T \leq 2(\sigma_v + \sum \Delta \sigma_v) L_e f \frac{1}{F_s}$$

(K.3.2)

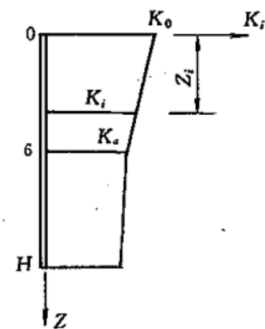


图 K.3.1 刚性筋式挡墙

墙面板背土压力系数

式中 L_e ——筋材的有效长度,即超出填土破坏面的筋材锚固长度, m;

f ——筋材与周围土的摩擦系数;

F_s ——要求的安全系数, $F_s \geq 1.3$ 。

K.4 筋 材 长 度

K.4.1 筋材总长度按式 (K.4.1) 计算:

$$L = L_e + L_a + L_w \quad (\text{K.4.1})$$

式中 L_e ——筋材有效长度, m;

L_a ——筋材在填土滑动面以内长度, m;

L_w ——筋材端部包裹长度,应为包裹层厚度与不小于 1.2m 的转折长度之和, m。

K.4.2 L_e 与 L_a 可分别按式 (K.4.2) 计算:

$$\left. \begin{aligned} L_e &= 0.5 F_s \frac{T}{(\sigma_v + \Sigma \Delta \sigma_v) f} \\ L_a &= (H - Z_i) \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (\text{K.4.2})$$

式中 Z_i ——墙顶下深度, m;

φ ——填土的内摩擦角, ($^\circ$)。

为施工方便,不同层的筋材应按要求的最大长度等长度铺设。如从内部稳定要求出发,亦可分段采用不等长度,底部较短,顶部较长。

中华人民共和国行业标准

水利水电工程土工合成材料 应用技术规范

SL/T225—98

条 文 说 明

1998 北京

1 总 则

1.0.1 80年代初,我国即开始土工织物等土工合成材料的应用和研究。据不完全统计,应用这种材料完建的工程迄今已超过七八千项。材料与技术的优点愈来愈为工程界所认可,尤其是近几年来在防洪抢险中的大量应用及其成效,引起了广大岩土工程人员的高度重视。但是该技术还没有被设计、施工人员深入掌握,限制了它的进一步发展。各方强烈要求制定出一本标准,为设计与施工提供正确应用的方法,故制定本规范。

1.0.2 土工合成材料技术只是工程中的组成部分,施工中的许多要求与一般工程中的规定基本相同,这里仅为这种新技术提出补充规定。

1.0.3 土工合成材料只是主体工程中的一个组成部分,其设计、施工应符合其它有关规程、规范的规定。

2 术语、符号

2.1 参考美国 ASTM 资料、《土工合成材料工程应用手册》和中华人民共和国国家标准 GB/T13759《土工布术语》等。

3 材料及其性能测试

3.1 一般规定

3.1.1 按 IGS 分类法编写。

3.1.2 相关特种材料产品甚多，这里只列出了本规范中提及的几种。

3.2 性能指标及其测试

3.2.2 土工织物在工程实际压力作用下被压薄，透水性及等效孔径降低，故应注意到其对设计的影响。

3.2.5 式 (3.2.5) 在国际上普遍采用。

3.2.7 普遍的工程经验。

4 反滤、排水

4.1 一般规定

4.1.3 用粒状材料建竖向或斜向反滤或排水体质量很难保证。采用土工合成材料,不仅能保证质量,而且施工方便。

4.1.4 可以采用土工织物作反滤和排水体的工程项目很多,这里列举的只是其中的一部分,它们的设计方法在原理上基本相同。

4.2 反滤准则

4.2.1 这是任何反滤材料必须遵守的要求。

对于编织型土工织物保土性准则可以采用以下规定:

1 粘粒含量大于10%的粘、壤土,在覆盖保护层块大(0.4m×0.6m)缝隙小(如预制件)的条件下,可采用 $O_{90} \leq 10d_{90}$ 。

2 粘粒含量小于10%的砂性土,在覆盖保护层块大(0.4m×0.6m)缝隙小(如预制件)的条件下,可采用 $O_{90} \leq (2 \sim 5)d_{90}$;浪高小于0.6m时,取大值,否则取小值。

注 O_{90} 表示编织土工织物的等效孔径。

4.3 通用设计方法

4.3.3 材料尚须符合(垂直)透水性要求,否则水量不能进入织物而排走。材料用作排水体时,有大量水需要排走,主要靠织物的平面排水能力,需要验算。

4.3.4 土工织物与坡面的摩擦系数较小,有滑动的可能性,对其稳定性应予以核算。

4.3.5 为保证土工织物正常工作,必须加以保护。其端部应予以固定,防止位移。下端更应妥加保护,不允许冲刷破坏。

4.4 坝内竖式排水体设计

4.4.1 竖式排水体是坝内排水的一种型式。以往采用砂砾等透水土料,现以土工织物取代。该设计方式应与传统设计方式类似。

4.4.3 按传统方式估算来水量。

4.4.5 由堤坝底垫层排出的水量应为竖向排水体的来水和地基流入垫层的水量两者之和,后者可按传统方法估算。

4.5 施工要求

4.5.4 有往复流时,织物后面的土料不易形成天然滤层,需要铺薄砂层予以改善。

土工织物是聚合材料,紫外线直接照射会引起降解等破坏作用,故应尽早覆盖保护。

5 防 渗

5.2 土工膜防渗结构

- 5.2.1 设上、下垫层是为了保护土工膜和提供膜下排水。
5.2.2 所列防护层材料皆是已建工程中大量应用的类型。
5.2.3 土石坝的防护层及上垫层的做法可参考表 5.2.3。

表 5.2.3 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 4cm 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 5cm 的细砾无砂混凝土垫层	在垫层上布置钢筋,再浇混凝土。分缝间距约 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 15cm、粒径小于 2cm 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 5cm、细砾混凝土垫层	
干砌石块	复合土工膜	铺厚约 15cm、粒径小于 4cm 的碎石垫层	在垫层上铺干砌石块
	土工膜	铺厚约 8cm 的细砾无砂混凝土或无砂沥青混凝土垫层	

5.3 土石堤、坝防渗设计

5.3.2 土工膜厚度是根据国内坝工实践经验确定的。

5.4 防 渗 铺 盖 设 计

5.4.2 铺盖下地基总不免产生局部裂缝,为安全计,假设裂缝宽度达到 5mm~10mm 时,验算在水压力作用下,土工膜的抗拉强度及应变是否能接受,据此计算膜所需厚度。

5.4.3 这里只是用土工膜代替传统的粘土,故对土工膜要求的尺寸应符合现行规范。

5.4.5 膜下积水、积气会造成土工膜破坏,必须将它们排除,建议的方法在实践中已用过。

本节所述的防范措施的具体作法如下:根据膜下土层渗透性的高低,在膜上每隔 30m~50m 设一逆止阀。即在膜上开一直径为 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,并和其上铝盖板连接。地面以上的绳长约 15cm,则铝板将随膜下水气压力的大小而上浮或下盖,如图 5.4.5 所示。

对蓄泄次数少、水位变幅不大的浅水水库,亦可采用简易逆止阀:在土工膜上每隔一定距离开一孔洞,贴上比孔洞稍大的针刺无纺土工织物,其上放置比洞大些的泥饼,其成分为粉砂加 5% 的膨润土或沥青乳液。泥饼作用与上述铝盖板的作用相同。

排水排气盲沟。在土工膜铺盖下部设置纵横盲沟,使水气集中到几条沟内,排往下游。盲沟可在沟内以土工织物包裹卵石而成。

5.5.3 目前我国主要采用的开槽设备与方法有 3 种:钻孔造孔冲槽、链条带抓斗挖掘和梯形锯槽机挖掘。后两种方法在粘性土层中作业较慢。在远离电力的地方,应自备发电设备。

我国用土工膜作垂直防渗体首创于福建省水利系统,山东省

予以改进,江苏省的开槽深度现已达到 16m。辽宁省水利科学研究院研制成功了锯槽机,深度可达 12m,仍在发展之中。

开槽的关键是泥浆围壁,泥浆配合比应通过试验确定。

6 护岸和防冲

6.1 一般规定

6.1.1 与传统的防护工程如帚枕、柴排、抛石等相比,土工织物有反滤功能,能在水流作用下保护土粒不致流失,而水流畅通,这样就保证了土体的稳定性。另外,这种材料由工厂生产,比天然材料的来源多,质量稳定。

6.1.2 三维防护网是一种新型防护材料。将它固定在坡面上,植草后,它能保护草籽生长,而草的根系又发挥固坡作用。此外还可以美化环境。

6.1.3 将土工织物作成各种规格的制品,可随时调用,免得在现场制作,耽误时间。

6.2 对土工织物材料的要求

6.2.2 有动力作用和往复水流时,在土工织物后面不能形成天然滤层,为保证细土粒不流失,对织物孔径应有较高要求。

6.3 软体排设计与施工要点

6.3.1 软体排覆盖在有水流冲刷处,既能削减水流冲击能量,又借其反滤作用,使土粒不被水流冲走,从而保证了土体的稳定性。

6.3.3 单片排和双片排在我国都曾应用过,这里是工程实践的经验。

6.3.4 条文中褶皱系数和收缩系数都是过去实践经验的数字。

6.3.11~6.3.12 国内目前还没有统一、配套的沉排机具与规程,皆是根据已有条件,因地制宜地组织施工。这里介绍的是国内较普遍的方法。在我国东北,尚有进行冰上沉排的,即先在冬天河流的冰面上制作好排体,并压盖好,待春融时,利用凿冰技术,四周开沟,助其下沉。

6.4 土工模袋护坡设计与施工要点

6.4.1 国内利用模袋护坡的工程已较多,表 6.4.1 所列为其中的

表 6.4.1 国内模袋护坡使用型号举例

工程地质	工程性质	模袋型号	充填料		充填厚度 (cm)	日期	备注
			混凝土	砂浆			
江苏南官河口岸	内河道护坡	FP-100	✓		10~15	1983.5	有过滤点
江苏无锡锡澄运河	内河道护坡	CX-150	✓		15	1985.6	无过滤点,另装渗水管
江苏常州南运河	内河道护坡	混凝土 150	✓		15	1986.11	无过滤点,另装渗水管
上海淀浦船闸	引航道护坡	混凝土 150	✓		15	1987.3	无过滤点,另装渗水管
上海南汇县	海堤护坡	混凝土 200	✓		20	1986.12	
上海川沙县	海堤护坡	混凝土 200	✓		20	1986.12	
内蒙古巴盟	排灌渠道防护			✓	10	1986.7	有过滤点
江苏镇江港	长江港口引航道口门		✓		17	1987.12	无过滤点
江苏泰州船闸	船闸引航道防护		✓		15	1987.12	
天津尔王庄	河堤防护			✓	12	1987	有过滤点
江苏泰兴	航道护坡		✓		15	1988.3	无过滤点
江苏南通	长江春濠停泊区防护			✓	15	1988.3	有过滤点
上海嘉定	海堤护坡		✓		20~30	1988	无过滤点

一部分,可供参考。

6.4.4 在推导公式(6.4.4)时,坡顶模袋长 L_1 范围内的摩阻力未予考虑,作为安全储备。

6.4.5 使用无过滤点模袋时,如果需要排出袋下渗水,则需在模袋充填后及时装设排水孔。

6.4.7 排除灌料故障的经验系由模袋生产厂家和施工队伍提供。充灌砂浆和混凝土的配合比可参考表 6.4.7-1 和表 6.4.7-2。

表 6.4.7-1 水泥砂浆标准配合比(日本)

编号	灰砂比	水灰比 (%)	流量值	单位用量 (kN/m ³)			备 注
				水泥	砂	水	
M-2 (水下)	1:2.0	60	20±2	6	12	3.6	FM=2.8 混合剂 AE 剂 减水剂 抗压强度 5kN/cm ²
M-2 (水上)	1:3.0	70		4.61	13.83	3.26	

表 6.4.7-2 混凝土配合比(南京水利科学研究院)

编号	水泥:砂:石	估计水泥用量 (kN/m ³)	备 注
1	1:2.56:2.09	3.50	①以含气量 5%、水灰比 0.65 计, 325 号普通硅酸盐水泥; ②骨 料最大粒径为 25mm, 坍落度 21 ±2cm, 砂率 0.55
2	1:2.73:2.23	3.35	
3	1:3.08:2.52	3.08	

6.5 植被防护设计与施工要点

6.5.2 植被必要性的经验系由美国 AKZO Nobel 公司提供。该公司是一家国际知名的厂家,专门生产防冲席垫,利用该产品完成的工程甚多。

6.5.4 草籽应根据当地气温、降水和土质条件进行优选。中国科学院植物研究所的专家提供的草籽可供参考,如表 6.5.4 所示。

表 6.5.4 可供草籽参考表 (中国科学院植物研究所)

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
西南	扁穗牛鞭草、圆草芦、黑麦草
华南	雀稗、假俭草、两耳草
青藏高原	老芒麦、垂穗披碱草
新疆	无芒雀麦、老芒麦

7 土体加筋与加固

7.1 一般规定

7.1.1 加筋土技术是一项应用较广的技术,我国已在多项工程中应用。

7.1.2 我国加筋土大多采用机织土工织物和加筋带,国外用土工格栅居多。国外有一些低堤坝也曾应用无纺土工织物,这类材料强度较低,伸长量较大。

7.2 软土地基加固设计与施工

7.2.2 稳定计算的实用方法仍是传统的极限平衡法,虽然也有采用有限元法的,但不确定因素较多,成果的可靠性难以保证,目前只能作为辅助方法。

7.2.3 用圆弧滑动法验算深层抗滑稳定性,目前已发现理论上加筋的效果并不显著,事实上对工程却起到了良好的作用,说明此法偏于保守。其实际效果可能是地基中的应力场发生了改变,应变场也有变化,并且加筋使地基土的侧向位移受到限制,但这些正面效应迄今尚未能定量计及。本法是一种偏保守的、有待进一步研究的课题。

7.2.5 筋材是一种抗拉材料,发挥的拉力随其应变增大。施工时应始终保持其具有一定的应变,否则不能利用其拉力。故铺设筋材时,往往要给予预拉,使效果更好。文中所述步骤就是为了这一目的。

7.4 加筋陡坡设计与施工

7.4.3 本规程所制定的方法取材于美国联邦公路局出版的“Mechanically Stabilized Earth Walls And Reinforced Soil Slopes Design And Construction Guidelines”, June 1996。该法与以往方法

的最大不同,是认为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。故需要针对给定陡坡,按不同滑动圆心与半径,通过试算,找出各个滑动圆心时的一系列最危险滑动圆弧;再按楔体法找出不同滑动圆的安全系数。将上述所有安全系数恰好等于要求安全系数的滑动面绘在同一张纸上,它们的外包线即为有待布筋的范围。另外再针对不同滑弧,按附录J中的公式求出相应于每一滑弧,为使其安全系数达到要求值(一般可取1.3)所需要的总加筋力,其中的最大值 T_{\max} 即为最终加筋的依据。显然,这样的布筋方法更为合理。

7.5 加筋土挡墙设计与施工

7.5.3 当加筋材刚度不同时,实测的破坏面形状不同,如图7.5.3所示。

7.5.5 初始核算墙断面尺寸是根据经验确定的。

7.5.6 考虑刚性筋式挡墙的加筋带抗拉模量较大,与位移相关的土压力将有变化,故校核筋材强度时,土压力计算应按附录图K.3.1中的规定。但两种加筋土挡墙的设计基本相同。只是二者的潜在破坏面有所不同,故破坏面以内的筋材长度亦有不同。

7.5.7 外部稳定性计算时,墙背土压力应采用库仑土压力。

7.5.8 对刚性筋式挡土墙内部稳定性计算,筋材上的拉力应按图K.3.1所示土压力计算。对柔性筋式挡墙,仍按库仑土压力计算。