

ICS
CCS

团 体 标 准

T/JSSLKX—2026

堤防和穿堤建筑物防渗设计规程

Code for seepage prevention design of levees and cross-levee structures

（征求意见稿）

2026 年 月 日发布

2027 年 月 日实施

江苏省水利勘测设计协会 发布

目 次

前言..... III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总体要求 3

5 防渗材料 4

 5.1 基本要求 4

 5.2 黏土 4

 5.3 水泥土 4

 5.4 混凝土 4

 5.5 灌浆浆液 5

 5.6 土工防渗材料 6

 5.7 其他防渗材料 7

 5.8 伸缩缝嵌缝密封材料 7

 5.9 止水材料 7

6 堤防防渗设计 8

 6.1 基本要求 8

 6.2 堤身防渗设计 8

 6.3 堤基防渗设计 12

 6.4 岸堤坡接头防渗设计 13

 6.5 排水反滤设计 13

7 穿堤建筑物防渗设计 14

 7.1 基本要求 15

 7.2 水闸及泵站防渗设计 15

 7.3 穿堤涵洞防渗设计 16

 7.4 穿堤管道防渗设计 17

 7.5 接缝止水设计 19

7.6 排水反滤设计	19
8 防渗计算分析	20
8.1 基本要求	20
8.2 计算内容	20
8.3 计算过程及成果	20
9 渗流监测	21
9.1 基本要求	21
9.2 监测设计	22
9.3 监测设备	23
附录 A（资料性）常见土体渗透系数参考值	24
附录 B（资料性）常用防渗材料性能参数参考值	25
附录 C（资料性）典型工程防渗结构形式示意图	26
附录 D（资料性）渗流计算常用计算方法及示例	32
附录 E（资料性）典型工程防渗监测布置示意图	42

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020 《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能直接或间接涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由江苏省水利勘测设计协会提出并归口。

本文件起草单位：盐城市水利勘测设计研究院有限公司、江苏省水利工程科技咨询股份有限公司、连云港市水利规划设计院有限公司、镇江市工程设计研究院有限公司、华设设计集团股份有限公司、江苏鸿基水源科技股份有限公司。

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中，请各单位注意积极总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给江苏省水利勘测设计协会秘书处（通信地址：南京市上海路 9 号江苏省水利勘测设计协会 504 室；邮编：210029；电话：025—86338359），以供今后修订时参考。

堤防和穿堤建筑物防渗设计规程

1 范围

本文件规定了堤防和穿堤建筑物防渗设计的总体要求、防渗材料、防渗设计、防渗计算分析和渗流监测。

本文件适用于平原及丘陵地区堤防和穿堤建筑物的防渗设计，不适用于海堤。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 175 通用硅酸盐水泥

GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

GB/T 2059 铜及铜合金带材

GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带

GB 8076 混凝土外加剂

GB/T 14683 硅酮和改性硅酮建筑密封胶

GB/T 14684 建设用砂

GB/T 14685 建设用卵石、碎石

GB/T 18173.2 高分子防水材料 第2部分：止水带

GB/T 18242 弹性体/塑性体改性沥青防水卷材

GB/T 19250 聚氨酯防水涂料

GB/T 23445 聚合物水泥防水涂料

GB/T 23446 喷涂聚脲防水涂料

GB 50265 泵站设计标准

GB 50286 堤防工程设计规范

GB/T 50290 土工合成材料应用技术规范

GB 50487 水利水电工程地质勘察规范

GB/T 51320 建设工程化学灌浆材料应用技术标准

JC/T 482 聚氨酯建筑密封胶

JC/T 483 聚硫建筑密封胶

JC/T 2054 天然钠基膨润土防渗衬垫

SL 55 中小型水利水电工程地质勘察规范

SL/T 62 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

SL 174 水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范

SL 188 堤防工程地质勘察规程

SL 265 水闸设计规范

SL 274 碾压式土石坝设计规范

SL 564 土坝灌浆技术规范

SL 704 水闸与泵站工程地质勘察规范

SL 725 水利水电工程安全监测设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 穿堤建筑物 cross-levee structures

以引、排水为目的，从堤身或堤基穿过的水闸、泵站、涵洞、管道等水工建筑物的总称。

[来源：GB 50286—2013，2.0.7，有修改]

3.2 防渗体系 seepage control system

由防渗体、排水反滤设施、止水设施等组成，用于控制渗流、防止渗透破坏的综合性工程系统。

3.3 防渗体 seepage barrier

采用低渗透性材料构筑，用于截断、阻挡或减小渗流通道，降低渗透比降，防止渗透破坏和渗漏损失的结构体总称。

3.4 渗透破坏 seepage failure

在渗透水流作用下，岩土体发生流土、管涌、接触冲刷或接触流失等现象，导致工程结构失稳的破坏形式。

[来源：GB/T 50941—2014，4.4.15，有修改]

3.5 渗透系数 coefficient of permeability

表征岩土体或防渗材料渗透能力的指标。

[来源：GB/T 50941—2014，4.4.13，有修改]

3.6 岸堤坡接头 bank slope joint

堤身与天然岸坡或边坡相衔接的部位。

3.7 接缝止水 joint water stop

设置于穿堤建筑物各类接缝处，用于封堵渗流通道、适应接缝相对变形的止水材料及配套构造的统称。

3.8 覆盖层堤基 overburden foundation

基岩上部由砂土、粉土、黏性土、卵砾石等松散堆积物构成的堤基。

4 总体要求

4.1 堤防和穿堤建筑物的防渗设计应遵循安全可靠、经济适用、环保耐久的原则，根据上下游水位、工程地质条件、施工条件、施工工艺要求等因素，结合堤防和穿堤建筑物类型及工程布置综合分析比选确定，构建“上堵、中截、下排”协同的防渗体系。堤防和穿堤建筑物防渗设计除应符合本文件规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

4.2 开展防渗体系设计前，应完成必要的地质勘察、水文资料收集及周边环境调研。排查附近堤段历次高水位运行产生的裂缝、渗水、绕渗、管涌、冒砂等病害，重点核查险工、堵口修复及堤防与穿堤建筑物衔接区域，查明历史险情成因与治理效果。

4.3 勘察应符合 GB 50487、SL 188 的规定，穿堤建筑物工程尚应符合 SL 704、SL 55 的规定。应查明各土层岩性、物理力学性质、渗透性、空间分布及与地表水、地下水的水力联系，测定各土层饱和渗透系数、允许渗透比降及颗粒级配等防渗设计参数，初步判别可能发生的渗透破坏形式。常见土体渗透系数可按附录 A 取值。

4.4 防渗体系设计应确保防渗体的可靠性和连续性，确定防渗体布置型式、尺寸、材料参数、止水、排水反滤及渗流监测措施，并进行系统渗流计算分析。

4.5 防渗体系设计应与主体结构、地基处理、安全监测等设计相协调，满足渗透稳定、渗漏量及结构变形、安全稳定要求。堤防与穿堤建筑物结合部位应采取接触防渗漏补强措施。

4.6 防渗材料应具有良好的抗老化、抗腐蚀、抗冻融和抗生物侵蚀性能，在设计使用年限内防渗效果不应显著衰减。

4.7 渗流监测贯穿工程施工与运行全生命周期，实现动态监测及预警。

5 防渗材料

5.1 基本要求

5.1.1 防渗材料的选择应根据其防渗性能、力学性能、耐久性、施工适应性、经济性以及对环境的影响等因素综合确定。常用防渗材料性能参数可参照附录 B 选用。

5.1.2 防渗材料的质量、性能指标和试验方法应符合国家现行有关标准的规定。

5.1.3 防渗材料进场时应提供产品合格证、质量检验报告，并按批次抽样复检合格后方可使用。

5.2 黏土

5.2.1 附近有储量充足、性能合格的黏性土料，或防渗体需适应地基不均匀沉降变形时，可采用黏土防渗体。黏土应质地均匀，不应含有树根、草皮等杂物及冻土块。有机质含量，心墙或斜墙不大于 2%，均质土堤不大于 5%；水溶盐含量，3 级及以上土堤不大于 3%，4~5 级土堤不大于 5%。防渗黏土料塑性指数宜为 14~20。

5.2.2 黏土防渗体设计渗透系数应根据防渗要求确定。土体经压实、人工改性等处理后，饱和渗透系数，均质土堤不大于 1×10^{-4} cm/s，心墙和斜墙不大于 1×10^{-5} cm/s。渗透系数应通过室内渗透试验或现场原位试验确定。

5.2.3 黏土防渗体填筑前应通过击实试验确定最大干密度和最优含水率，防渗土料的填筑含水率与最优含水率的允许偏差宜控制为-2%~+3%。

5.2.4 黏土防渗体的压实度应满足设计要求。各级堤防防渗体的最小压实度不应小于 GB 50286 规定的堤身压实度要求。1 级堤防压实度不应小于 0.95；2 级和堤身高度不低于 6m 的 3 级堤防压实度不应小于 0.93；堤身高度低于 6m 的 3 级及 3 级以下堤防压实度不应小于 0.91。

5.3 水泥土

5.3.1 堤基为黏性土、粉土、粉细砂及淤泥质土等土层，中低水头防渗工程，且适宜采用原位搅拌成墙工艺时，可采用水泥土防渗体。水泥土宜采用强度等级不低于 42.5 级的普通硅酸盐水泥，饱和渗透系数不宜大于 1.0×10^{-6} cm/s。地下水和土壤腐蚀性较强时，可采用抗硫酸盐硅酸盐水泥。

5.3.2 水泥土配合比应通过室内试验并结合现场工艺试验确定，合理确定水泥掺入比及水灰比。

5.3.3 防渗墙水泥土 28d 龄期的无侧限抗压强度不宜低于 0.8MPa，临时工程不宜低于 0.5MPa。

5.4 混凝土

5.4.1 承受水头较高、对墙体强度和耐久性要求较高，或需与混凝土建筑物可靠连接时，可采用混凝土防渗体。混凝土防渗体包括普通混凝土和黏土混凝土，原材料质量应符合 GB 175、GB/T 1596、GB 8076、GB/T 14684、GB/T 14685 的规定。

5.4.2 永久建筑物混凝土防渗体宜采用普通混凝土，与周围岩土体模量协调有特殊要求或围堰等临时工程的防渗体可采用黏土混凝土。

5.4.3 普通混凝土胶凝材料用量不宜少于 $350\text{kg}/\text{m}^3$ ，水胶比不宜大于 0.60，其抗渗等级不宜低于 W6，强度等级不宜低于 C25，且不低于主体工程的混凝土强度等级。

5.4.4 黏土混凝土的胶凝材料用量不宜少于 $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，水胶比不宜大于 0.8，黏土掺量不宜大于胶凝材料（含黏土）总量的 30%，其 28d 无侧限抗压强度不小于 7MPa，渗透系数不大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ，弹性模量宜为 12~20GPa，允许渗透比降宜为 60~80。

5.5 灌浆浆液

5.5.1 灌浆适用于堤基岩体裂隙、砂卵石层、粉细砂地层，以及堤身裂缝、空洞缺陷的防渗固结。常用灌浆浆液类型包括粒状灌浆浆液（水泥浆、自凝灰浆、固化灰浆）和化学灌浆浆液。灌浆浆液的选择应根据灌浆目的、地层孔隙或裂隙的大小、地下水流速等因素确定，其技术要求应符合 SL/T 62 和 SL 564 的规定。

5.5.2 地层裂隙或孔隙尺寸应与浆液颗粒级配适应、具有一定可灌性。对地下水流速不大，需采用帷幕灌浆、劈裂灌浆或锥探灌浆截渗时，宜选用水泥浆液。水泥浆液水固比宜为 3:1~0.6:1，具体水固比应根据灌浆试验和现场情况确定。

5.5.3 砂卵石等覆盖层地基采用槽孔建造防渗墙、需要泥浆护壁与防渗功能一体化，且作用水头较低、工期较短的工程，可采用自凝灰浆。自凝灰浆浆液由水泥、膨润土或黏土、缓凝剂和水组成，单位体积水泥用量宜为 $100\text{kg}/\text{m}^3 \sim 300\text{kg}/\text{m}^3$ ；膨润土或黏土用量宜为 $40\text{kg}/\text{m}^3 \sim 60\text{kg}/\text{m}^3$ ，有特殊强度需求时可适当增加胶凝材料用量。凝结时间应根据施工工艺要求进行调配，浆液稳定、不泌水、渗透性低。

5.5.4 砂卵石等覆盖层地基的中低水头防渗墙要求槽孔内就地固化成墙、墙体强度高于自凝灰浆时，可采用固化灰浆。固化灰浆单位体积的水泥用量不宜少于 $200\text{kg}/\text{m}^3$ ，水玻璃用量宜为 $35\text{kg}/\text{m}^3$ 左右，砂用量不宜少于 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 。新拌混合浆液失去流动性的时间不宜小于 5h，固化时间不宜大于 24h。原位搅拌法施工时固化灰浆的密度宜为 $1.3\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，置换法施工时固化灰浆的密度不宜小于 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。

5.5.5 化学灌浆适用于常规颗粒材料灌浆后难以达到防渗要求的工程，以及鼠类、白蚁等生物洞穴、植物根系穿透建筑物接缝或混凝土裂缝等部位的防渗处理。化学灌浆可采用环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸盐、水玻璃、硅溶胶等灌浆材料。化学灌浆浆液宜采用专业厂家的合格产品，如购买原料现场自行配制，应对配制的浆液进行性能测试。浆液及灌浆材料性能指标应符合 GB/T 51320 的规定。

5.5.6 浆液固化形成的结石体渗透系数不应大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。

5.6 土工防渗材料

5.6.1 防渗土料缺乏或堤身断面受限时，可采用土工膜作为堤身防渗材料，以斜向或垂直铺膜形式铺设。土工防渗材料的选择和应用应符合 GB/T 50290 的规定。

5.6.2 土工膜防渗材料包含均质土工膜、复合土工膜。防渗型式分为单层防渗、双层防渗及组合防渗。铺设基面平整、垫层和保护层设置可靠、作用水头较低时，可采用均质土工膜；当堤身沉降变形较大、基面条件较差或有抗刺破、抗滑稳定要求时，宜采用复合土工膜。防渗用土工膜渗透系数不宜大于 $1.0 \times 10^{-11} \text{ cm/s}$ 。

5.6.3 土工膜应具有良好的抗紫外线老化性能和耐化学腐蚀性能，并应符合下列规定：

- a) 土工膜的厚度应根据水头高度、覆盖层压力、地基条件和耐久性要求确定，1、2 级堤防及其穿堤建筑物不宜小于 0.5mm，3 级及以下不宜小于 0.3mm；承受高水头、地基条件复杂或有特殊耐久性要求的工程，应适当加厚。
- b) 膜材宜采用聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）聚合物材料；土工布基材分为短纤针刺非织造土工布、长丝纺粘针刺非织造土工布。
- c) 短纤针刺复合土工膜标称抗拉强度宜选用 10kN/m~20kN/m；长丝纺粘复合土工膜标称抗拉强度宜选用 15kN/m~40kN/m。
- d) 土工膜及复合土工膜纵、横向最大负荷下伸长率宜控制在 30%~100%。

5.6.4 土工布通常用作土工膜的保护层或反滤层，应符合下列规定：

- a) 作为保护层时，应选择单位面积质量较大、抗穿刺能力强的针刺非织造土工布。土工布的标称断裂强度不宜小于 30kN/m，单位面积质量不宜小于 400g/m²。
- b) 作为反滤层时，应根据被保护土的颗粒级配，选择具有合适等效孔径和渗透系数的土工布，以满足保土性和透水性要求。土工布的标称断裂强度不宜小于 15kN/m，单位面积质量不宜小于 300g/m²。

5.7 其他防渗材料

5.7.1 膨润土防渗衬垫适用于地基沉降变形较小、经常处于浸润状态的中低水头堤防防渗，以及与土工膜等材料复合使用的辅助防渗部位。膨润土防渗衬垫的产品性能应符合 JC/T 2054 的规定，并应符合下列规定：

- a) 渗透系数不应大于 $5.0 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ ，单位面积膨润土质量宜选用 5000g/m^2 及以上型号；
- b) 膨润土原料膨胀指数不应小于 18mL/2g ，膨胀指数变化率不应小于 80%，滤失量不应大于 18mL ，耐久性不应小于 20mL/2g ；
- c) 干燥气候条件下不应采用膨润土防渗衬垫。

5.7.2 改性沥青防水卷材适用于水位变动区以上非长期浸水部位及变形较小的混凝土表面等需要柔性覆盖防渗的部位。弹性体/塑性体改性沥青防水卷材应符合 GB/T 18242 的规定。

5.7.3 防渗涂料适用于堤防及穿堤建筑物混凝土表面的大面积防渗处理、迎水面防渗涂层以及裂缝、缺陷部位的防渗修补。防渗涂料可选用环氧树脂类、聚酯树脂类、聚氨酯类、改性沥青类以及其他化学类涂料等。聚合物水泥防水涂料性能应符合 GB/T 23445 的规定；聚氨酯防水涂料性能应符合 GB/T 19250 的规定；喷涂聚脲弹性体材料适用于复杂基面无缝防水、防腐及接缝防渗工程，材料性能应符合 GB/T 23446 的规定。

5.8 伸缩缝嵌缝密封材料

5.8.1 伸缩缝嵌缝密封材料包含沥青浸渍软木板、沥青浸渍纤维板、聚乙烯闭孔泡沫塑料板。嵌缝密封材料包含聚硫密封胶、聚氨酯密封胶、硅酮密封胶等。

5.8.2 沥青浸渍软木板板材应质地均匀、无空洞、无腐朽，密度 $180 \text{kg/m}^3 \sim 250 \text{kg/m}^3$ ，吸水率不大于 3%，压缩回弹率不小于 75%。

5.8.3 沥青浸渍纤维板板面应平整、不分层、无松散掉渣，密度 $250 \text{kg/m}^3 \sim 350 \text{kg/m}^3$ ，吸水率不大于 4%，压缩永久变形不大于 5%。

5.8.4 聚乙烯闭孔泡沫塑料板通体闭孔、无连通孔隙、板面平整，吸水率不大于 2.0%、压缩 50% 复原率不小于 90%。

5.8.5 长期浸水、高水压接缝优先选用聚硫密封胶嵌缝；潮湿施工、变形量大接缝选用聚氨酯密封胶嵌缝；露天、强老化环境可选用硅酮密封胶嵌缝。聚硫密封胶性能应符合 JC/T 483 的规定；聚氨酯密封胶性能应符合 JC/T 482 的规定；硅酮密封胶性能应符合 GB/T 14683 的规定。

5.9 止水材料

5.9.1 止水带可采用橡胶止水带、铜止水带、不锈钢止水带。橡胶止水带适用于接缝变形量较大、水头中等的部位；铜止水带、不锈钢止水带适用于水头较高、防渗透与耐久性要求较高或剪切变形较大的接缝部位。橡胶止水带成品性能应符合 GB/T 18173.2 的规定，铜止水带母材应符合 GB/T 2059 的规定，不锈钢止水带母材应符合 GB/T 3280 的规定。

5.9.2 止水带应综合考虑接缝变位、水压力、水质侵蚀、施工工艺、钢筋布置等因素，优先选用定型产品；施工缝宜采用平板型止水带，变形缝止水带几何可伸展长度应大于接缝可能产生位移的矢径长度。

5.9.3 低温运行环境不宜选用橡胶止水带；露天受光照部位应选用抗老化性能优良的合成橡胶、铜质或不锈钢止水带；对有抗震要求的多道止水结构，宜选用不同材质止水带组合布设。

5.9.4 橡胶止水带厚度宜为 6mm~12mm。橡胶止水带硬度应为 60±5（邵尔 A），B 型变形缝拉伸强度不小于 15MPa，S 型施工缝拉伸强度不小于 12MPa。

5.9.5 铜止水带厚度宜为 0.8mm~1.2mm，抗拉强度不小于 195MPa，伸长率不小于 30%。不锈钢止水带材质抗拉强度不小于 485MPa，伸长率不小于 40%。剪切位移较大部位，铜及不锈钢止水带断面尺寸应按专用核算方法确定。

5.9.6 沥青止水材料包括沥青胶、沥青麻絮等，常用于简易止水或临时性止水工程，其性能应符合国家现行有关标准的规定。

6 堤防防渗设计

6.1 基本要求

6.1.1 堤防防渗设计应统筹堤身、堤基及岸堤坡接头防渗排水设计，合理选型防渗体，形成完整、连续的防渗体系。防渗材料应符合本文件第 5 章的规定。典型堤身及堤基防渗结构形式可参照附录 C 选用。

6.1.2 堤身防渗的结构形式应根据渗流计算成果及技术经济比较合理确定。

6.1.3 当堤基渗漏或渗透稳定不能满足安全要求时，应进行堤基防渗处理；堤基防渗方案的选定应根据透水层厚度、埋深、覆盖层条件及施工条件综合比较确定。

6.1.4 堤防加固设计应收集堤防建设、运行及出险情况等历史资料，开展检测和隐患探测工作，必要时还应补充勘测、试验工作，并复核堤身堤基渗透稳定及穿堤建筑物安全。

6.2 堤身防渗设计

6.2.1 堤身防渗宜采用均质土堤形式，也可采用单一或复合结构形式。常见的防渗结构形式包括均质土堤、心墙、斜墙、垂直防渗墙、灌浆、防渗铺盖以及由上述两种或多种形式组合而成的复合防渗结构。已建均质土堤防渗加固可采用增设垂直防渗墙、灌浆、斜墙及防渗铺盖等措施。

6.2.2 当地具备储量充足、抗渗性良好的黏性土时，堤身防渗应采用均质土堤。土堤堤顶高程应按设计洪水位或设计高潮位加堤顶超高确定。土堤应预留沉降量，沉降量可根据堤地质、堤身土质及填筑密度等因素分析确定，宜取堤高的 3%~5%。当有下列情况之一时，沉降量应按《堤防工程设计规范》GB50286-2013 第 9.3 节规定计算。

- a) 土堤高度大于 10m。
- b) 堤基为软弱土层。
- c) 因筑堤材料、施工条件等限制而导致压实度较低的土堤。

6.2.3 筑堤土料渗透系数不能满足堤防防渗设计要求时，应采用均质土堤结合防渗体结构。防渗体按其在堤身横断面中的位置可分为垂直防渗体和临水侧斜向或水平防渗体。

- a) 垂直防渗体主要有黏土心墙、水泥土搅拌桩防渗墙（含多头小直径、三轴、液压双轮铣等工艺）、高压喷射防渗墙、垂直铺塑、劈裂灌浆、锥探灌浆等结构形式。连续型防渗墙可采用封闭式、半封闭式或悬挂式，防渗墙的具体形式应在分析渗流控制效果和对地下水环境的影响后综合确定。
- b) 黏土、复合土工膜、水泥土、混凝土、塑性混凝土等，均可作为临水侧斜向或水平防渗墙墙体材料。

6.2.4 黏土心墙、斜墙适用于地基条件相对均匀堤段，且当地具备一定储量、开采方便的黏性土料。采用黏土心墙、斜墙防渗结构时，应符合下列规定：

- a) 堤前水位变幅相对较小、不宜在临水坡单独布置防渗结构，且要求防渗体与堤身协同受力、适应地基一定沉降变形时，宜采用黏土心墙防渗体。黏土心墙防渗体应布置于堤身轴线中部或偏向上游侧，底部深入至相对不透水层的深度不小于 1.0m，或与堤基形成完整防渗体系。心墙断面应自上而下逐渐加厚，底部厚度不宜小于堤前设计水深的 1/4，顶部厚度不宜小于 1.0m，墙体坡度宜为 1:0.1~1:0.25；心墙顶高程应高出设计洪水位 0.5m，且不应低于校核洪水位，并应预留竣工后沉降量。心墙上下游侧均应设置反滤过渡层，其材料级配、层数和厚度应按 SL 274 有关规定经计算确定。
- b) 当临水坡具备放坡填筑与保护层设置条件，或需与铺盖等水平防渗设施联合截渗、兼顾

临水坡稳定时，宜采用黏土斜墙防渗体。黏土斜墙防渗体应设于堤身上游临水侧，底端深入相对不透水层深度不小于 1.2m，或与堤基防渗设施可靠连接；斜墙顶部的水平宽度不宜小于 1.0m，底部宽度宜大于水头的 1/5；斜墙内坡宜不陡于 1:2，外坡宜不陡于 1:2.5，具体应结合边坡稳定计算确定；斜墙与岸坡接头或与穿堤建筑物接头处宜适当加大斜墙厚度；斜墙顶高程应高出设计洪水位 0.5m，且不低于校核洪水位，并应预留竣工后沉降量；临水侧应设置保护层，保护层厚度应满足防冻和防冲要求，可采用干砌石、浆砌石、混凝土预制块或厚度不小于 1.0m 的砂砾石、碎石。斜墙底端与堤脚连接处宜设置黏土或混凝土铺盖水平防渗体。

c) 心墙或斜墙应分层铺筑、分层压实，填筑面宜按 1% 的坡度向上游倾斜。

6.2.5 堤身填筑质量差、渗漏较严重，透水层埋深较浅、中低水头，且堤顶具备桩机作业条件的，可采取水泥土搅拌桩防渗墙。一般堤防防渗、场地空间有限时，宜采用多头小直径水泥土搅拌桩防渗墙；上下游水头较大、砂层较厚或对墙体整体性要求较高时，宜采用三轴水泥土搅拌桩防渗墙。透水层厚度大、防渗深度大、地层含碎石或为老旧堤身杂填土，以及防渗标准较高的重要堤防工程，宜采用液压双轮铣水泥土防渗墙。采用水泥土搅拌桩防渗墙结构时，应符合下列规定：

a) 防渗墙宜布置在堤身上游侧，封闭式、半封闭式防渗墙墙底嵌入相对不透水层深度不应小于 1.0m，或与堤基防渗结构可靠衔接；墙顶高程应高出设计洪水位 0.5m 以上，且不低于校核洪水位。

b) 水泥土搅拌桩防渗墙的有效厚度应根据防渗要求及桩型确定。多头小直径搅拌桩防渗墙厚度宜为 0.25m~0.45m，处理深度不宜大于 15m；三轴搅拌桩防渗墙厚度不宜小于 0.4m，处理深度不宜大于 20m；双轮铣防渗墙厚度不宜小于 0.6m，处理深度不宜大于 50m。水泥土配合比应经室内试验确定，水泥掺入比宜为 12%~20%，水灰比宜为 0.45~1.5。

c) 相邻桩体墙段搭接宽度不应小于 100mm，墙体垂直度偏差不应大于墙深的 1/300。

6.2.6 地层中含碎石土、卵砾石等粗颗粒或含少量孤石、块石，水泥土搅拌桩成墙困难，或防渗处理深度较大、作用水头较高时，可采用高压喷射防渗墙。高压喷射防渗墙适用于淤泥质土、粉质黏土、粉土、砂土、卵砾石等松散透水地层。采用高压喷射防渗墙结构时，应符合下列规定：

a) 防渗墙宜布置在堤身上游侧，离堤顶边缘不小于 2m；封闭式、半封闭式防渗墙墙底嵌入相对不透水层的深度不应小于 1.0m，或与堤基防渗结构可靠衔接。墙顶高程应高出设计洪水位 0.5m，且不应低于校核洪水位。

- b) 根据地质条件、设计深度和防渗要求选择适宜的喷射工艺（旋喷、定喷或摆喷）和管法（单管、双管或三管）。高压喷射灌浆单管法施工深度不宜大于 10m，双管法不宜大于 15m，三管法不宜大于 30m。
- c) 承受水头较小或运行期较短的高压喷射防渗墙，可采用摆喷对接、折接或定喷折接形式，折接摆角不宜小于 30°；防渗处理深度小于 20m 时，可采用定喷折接、摆喷对接或折接形式；防渗处理深度 20m~30m 时，可采用单排或双排旋喷套接、旋摆搭接形式。
- d) 高喷灌浆浆液宜使用水泥浆。单、双管高喷水泥灰比 1.5 : 1~1.0 : 1，三管高喷水泥灰比 0.8 : 1~0.6 : 1；粉土层、砂土层、砾石层墙体 28d 龄期无侧限抗压强度分别不宜低于 1.0MPa、1.5MPa、3.0MPa。
- e) 灌浆孔采用单排孔或多排孔（梅花形或矩形）布置。采用摆喷或定喷工艺时，墙厚不宜小于 400mm。采用旋喷桩搭接时，有效墙厚不宜小于有效桩径，桩间距应小于有效桩径。

6.2.7 已建堤防防渗加固不宜大规模开挖，需在运行期沿堤轴线形成连续浆体防渗幕、快速处理堤身渗透隐患时，可采用劈裂灌浆，防渗处理深度不宜超过 10m。采用劈裂灌浆防渗结构时，应符合下列规定：

- a) 灌浆孔宜沿堤轴线或略偏上游布置；灌浆孔深应穿透堤身隐患层，当存在相对不透水层，嵌入深度不应小于 1.0m；当无明确不透水层时，钻孔深度应至临、背水堤脚连线以下 2.0m；孔顶高程应高出设计洪水位 0.5m，且不应低于校核洪水位。
- b) 劈裂浆液可采用黏土水泥浆或纯黏土浆。当需掺入水泥作为添加剂时，可采用 42.5 级普通硅酸盐水泥，水泥掺量宜为干料质量的 10%~15%。
- c) 灌浆孔宜沿堤轴线单排布置；隐患程度特别严重时，可根据堤身隐患的范围和程度采用双排或多排布孔。孔径宜为 45mm~76mm，孔径应与所下注浆管相匹配，孔距一般采用 1.5m~3.0m，排距宜为 1.5m~2.5m。在岸坡段和弯曲段，应适当缩小孔距，并应进行布孔设计。防渗墙厚度应根据堤防土质、堤高情况等合理确定，可采用 50mm~200mm。
- d) 劈裂灌浆的成孔及灌浆工艺应符合 SL 564 的规定；灌浆压力应以不导致堤身隆起或产生新的裂缝为控制原则，并通过灌浆试验确定。

6.2.8 堤身隐患的性质和范围已基本查明、孔洞、蚁穴、溶洞、不密实区等缺陷呈局部零星分布，或劈裂灌浆可能引起堤身开裂变形受限的堤段，可采用锥探灌浆处理。锥探灌浆适用于堤防以黏土或粉质壤土为主的堤段，防渗处理深度不宜超过 10m。采用锥探灌浆防渗结构时，应符合下列规定：

- a) 锥探灌浆孔布孔要求按本文件第 6.2.7 条 a) 的规定执行。
- b) 锥探灌浆浆液可采用黏土水泥浆或纯黏土浆。当掺入水泥作为添加剂时，可采用 42.5 级普通硅酸盐水泥，掺量一般为干料质量的 10%~15%。
- c) 锥探灌浆的成孔、灌浆次序及封孔工艺应符合 SL 564 的规定；灌浆前应进行灌浆试验，确定合理的孔距、排距、浆液浓度、灌浆压力等设计参数。

6.2.9 当防渗土料缺乏、堤身断面受限，或工期要求较紧、需适应堤身一定变形的新建与加固工程，可采用土工膜防渗体。土工膜防渗适用于各种土质的堤防，可用于水平、坡面和垂直等方向，可与其他材料组成复合防渗体。采用土工膜防渗结构时，应符合下列规定：

- a) 采用土工膜水平或坡面铺设防渗时，土工膜应完整覆盖设计防渗区域，铺设于临水侧或堤身中部，其上端应锚固于堤顶或防浪墙下，下端与堤基防渗体系可靠连接。铺膜基面应平整、压实、无尖锐突出物。膜材顶部、周边及与结构物连接处宜采用锚固沟锚固，采用压实土或混凝土回填。土工膜接缝应采用双轨热熔焊接；膜下应设置垫层，膜上应设置保护层，保护层材料可为土工布、细砂等。
- b) 垂直铺膜适用于处理深度在 15m 以内的可开挖土层，如黏性土、粉土、中细砂等地层。垂直铺膜底部应嵌入相对不透水层的深度不应小于 1.0m，膜顶应高出设计洪水位或连接到其他防渗结构。现场连接可采用专用锁扣式接头连接；采用搭接回填，搭接宽度不应小于 2.0m；采用折叠焊接工艺连接，焊接对折搭接宽度不小于 20cm，幅间连接采用热熔焊，焊接翻折部分应放置在土工膜背水侧。
- c) 复合土工膜应做好防腐、抗老化保护，铺设完成后应及时覆盖保护层；接缝应采用双轨焊接，并逐段进行渗漏检测。

6.3 堤基防渗设计

6.3.1 覆盖层堤基防渗设计应根据透水覆盖层的厚度、岩性、渗透性及下伏基岩的埋深等条件确定。防渗措施可采用开挖回填黏土截水槽、防渗墙及防渗帷幕等组合措施。

6.3.2 当透水覆盖层较薄时，可采用开挖回填换基法，清除透水层，用水泥土分层压实回填；或采用黏土截水槽进行垂直截渗，截水槽底部应嵌入相对不透水层，槽底宽度应根据回填土料、下卧的相对不透水层的允许渗透比降及施工条件确定。

6.3.3 堤基透水层深厚、垂直截渗难以完全封闭时，可选用水平铺盖防渗或防渗墙防渗方案；临水侧具备稳定滩地、便于铺设铺盖时，宜优先采用铺盖防渗，并宜与垂直防渗体结合使用。防渗

方案应符合下列规定：

- a) 防渗墙可采用钢筋混凝土防渗墙、水泥土搅拌桩防渗墙或高压喷射防渗墙。封闭式、半封闭式防渗墙嵌入相对不透水层深度不应小于 1.0m；透水层深厚无法完全截断透水层时，可采用悬挂式防渗墙。
- b) 临水侧具备稳定滩地条件时，可在堤前设置水平防渗铺盖，铺盖应与堤身防渗体可靠连接。铺盖长度应通过渗流计算确定，可按上下游最大水位差的 3~5 倍初拟，并经计算验证。

6.3.4 采用铺盖防渗结构时，应符合下列规定：

- a) 黏土铺盖采用低渗透性黏性土，混凝土铺盖采用素混凝土或钢筋混凝土，其材料要求及抗渗等级可按第 5 章有关规定执行。土工膜铺盖应按第 6.2.9 条执行。
- b) 黏土铺盖厚度应满足抗渗要求，铺盖应自上游向下游逐渐加厚，上游末端最小厚度不宜小于 0.5m，与堤脚连接处的厚度应通过计算确定，且不宜小于 1.5m。
- c) 混凝土铺盖厚度主要根据构造和耐久性要求确定，宜为 0.3m~0.5m，应设置伸缩缝和变形缝，接缝处应做好止水处理。
- d) 铺盖在靠近堤脚处应与堤身防渗体或临水坡进行可靠搭接，连接处应适当加厚，确保防渗体系的连续性。
- e) 砂砾石地基在铺设黏土铺盖或土工膜铺盖前，应设置满足反滤要求的反滤层或垫层。

6.3.5 碎石土、砂土等覆盖层地基可采用防渗帷幕。帷幕灌浆孔的排数应根据帷幕厚度要求经计算确定，宜为 1~2 排。灌浆孔的排距和孔距宜为 1m~3m，排距宜小于孔距。防渗帷幕应连续，且底部宜伸入相对不透水层不小于 5m。当相对不透水层较深时，可设置悬挂式帷幕。

6.3.6 岩石堤基的防渗处理应根据岩体裂隙发育程度、透水性及可灌性选择灌浆帷幕或混凝土防渗墙。对溶洞、断层、破碎带及节理裂隙等不良地质，应以帷幕灌浆为主进行处理。

6.3.7 岩石堤基灌浆帷幕宜布置在堤轴线堤身防渗体下方，由多排灌浆孔组成。帷幕的深度和厚度应根据岩体风化程度、裂隙发育情况和水头高低确定。帷幕底部应达到相对完整、渗透性弱的岩层。灌浆压力应通过灌浆试验确定，灌浆时不得抬动结构混凝土和地基岩体。

6.4 岸堤坡接头防渗设计

6.4.1 岸堤坡接头防渗应根据地形地质条件，采用开挖清基、防渗齿槽截水、岸坡灌浆帷幕、混凝土防渗趾墙连接等形式。堤身防渗体应可靠连接到岸坡的相对不透水层上。

6.4.2 接头处的接触面应进行清理，清除松散覆盖物、树根、杂物，直至坚实的原状土或新鲜岩体。当岸坡陡峻时，应开挖成平缓的台阶状。

6.5 排水反滤设计

6.5.1 堤防排水设施包括棱体、贴坡排水、排水沟或减压井等，排水设施应与防渗体统筹布置。

6.5.2 当堤身背水侧有水时，可采用棱体排水。棱体应设于堤防背水侧堤脚位置，沿堤线连续贯通布置，不应分段间断。棱体顶部高程应高出下游常年最高水位不小于 0.5m，并应在设计洪水工况下满足无反水倒灌要求。棱体顶宽不宜小于 1.0m，内坡坡度宜采用 1:1.0，外坡坡度宜采用 1:1.5，棱体尺寸应通过渗流稳定计算确定。棱体与堤身、堤基土体的接触面应设置反滤层。

6.5.3 当堤身浸润线很低和堤身背水侧无水时，可采用贴坡排水。沿背水堤坡坡面通长铺设，底部衔接堤脚排水结构，顶部延伸至浸润线出逸点以上不小于 0.5m。

6.5.4 减压井适用于深层渗压高、存在管涌、承压水顶托风险的堤防区段。减压井应布置于堤防背水侧堤脚附近，井径、井深、井间距经渗流计算确定。井深应穿透浅层相对隔水层，深入透水层不小于 1m。井管应采用透水滤管，滤孔布置均匀，井周回填反滤料，反滤厚度不小于 0.3m，井口应接入排水干沟并设置沉沙井防淤堵。

6.5.5 平行堤轴线的排水沟可设在戕台内侧或近堤脚处。坡面竖向排水沟可每隔 30~50m 设置一条，并应与平行堤轴向的排水沟连通。排水沟可采用混凝土或砌石结构，沟底及边坡土质松软、易冲刷区段应做防冲处理，进、出口应设置防淤、防冲、防倒灌设施。

6.5.6 排水体外侧应设置反滤层，反滤材料可选用级配天然砂石料或土工织物，并满足下列规定：

- a) 砂石料颗粒级配应满足反滤排水要求，反滤设计应符合 SL 274 的有关规定；分层铺设时，层次应清晰；反滤料的渗透性能应沿渗流出逸方向逐层递增。
- b) 反滤料应具有长期稳定性，填料含泥量应小于 5%。
- c) 土工织物应选用孔隙率较大、有效孔径分布均匀的产品，其保土性、透水性及防堵性能应符合 GB/T 50290 的有关规定。

6.5.7 堤防背水堤脚区域采用盖重压渗处置时，盖重厚度经渗流稳定计算确定，验算工况取最不利渗流条件，应保证扣除浮力后的盖重自重大于渗流扬压力，抗浮安全系数不应小于 1.2；盖重宽度除计算确定外，同步结合区域历史渗漏险情调研复核，布设覆盖范围不得小于历史险情分布范围。

6.5.8 软弱堤基采用排水加固时，应结合表层换填、地基固结预压、注浆固化等综合措施，防止

大规模排水诱发地基渗透变形。当上游防渗体系效果不佳，应首先处理上游防渗截水设施。

7 穿堤建筑物防渗设计

7.1 基本要求

7.1.1 穿堤建筑物防渗措施应与堤防防渗体系相协调，根据地质条件在建筑物基础下设置防渗铺盖、防渗墙、齿墙或灌浆帷幕等，在穿堤建筑物外围设置截流环或刺墙等，正向防渗与侧向防渗应可靠闭合。

7.1.2 采用刚性桩进行地基处理的穿堤建筑物，应采取桩头与底板接触面密封止水、底板前端设置防渗齿墙、帷幕灌浆等措施，防止底板底部接触冲刷或渗流破坏。

7.1.3 穿堤建筑物防渗铺盖应设置变形缝，缝距不宜大于 20m，并应与建筑物底板永久变形缝错开布置，不应形成通缝。

7.1.4 穿堤建筑物混凝土结构应满足抗渗要求，施工缝、变形缝应设置可靠的止水措施。

7.1.5 建筑物正向及两岸侧向渗流出口处均应设置反滤层和排水设施。

7.2 水闸及泵站防渗设计

7.2.1 水闸、泵站防渗应符合 SL 265 和 GB 50265 的规定，根据工程地质、基础和两侧轮廓线布置、上下游水位等综合确定。上游高水侧应设置防渗铺盖和垂直防渗体，下游低水侧应设置排水孔、反滤层、减压井、排水沟。双向水头建筑物应以水位差较大或扬程较高的一侧为主。垂直防渗体可采用混凝土防渗墙（防渗板桩）、深层搅拌桩防渗墙、帷幕灌浆等，技术要点应符合 6.2 和 6.3 的相关规定。

7.2.2 防渗体宜设置在底板高水头端底部，防渗墙与基底连接宜采用柔性接头，并应对止水和填充材料性能参数提出要求。防渗体的深度应根据覆盖层的厚度与层次结构、渗透特性、挡水水头及渗控要求等综合确定。

7.2.3 两岸防渗墙可根据两岸的地形地质条件和水文地质条件采用折线布置，并应便于与基底防渗墙及灌浆帷幕的连接。

7.2.4 防渗墙上部宜配置构造钢筋，结合防渗墙应力变形分析成果可配置受力钢筋。

7.2.5 防渗墙与土工膜防渗体可采用锚固连接或嵌固连接。采用锚固连接时，锚固面宜设在防渗墙的顶面；采用嵌固连接时，土工膜嵌入混凝土的长度不宜小于 1.0m。

7.2.6 采用防渗墙对原有防渗体进行补强时，防渗墙布置应结合原闸基防渗型式和布置、施工可

行性及防渗可靠性等综合确定，补强防渗墙宜布置在防渗体中部。防渗墙灌注混凝土与上部明浇混凝土应紧密结合，连接面应凿毛并宜设置连接筋。

7.2.7 泵房水下段永久变形缝应埋设不少于一道止水带，大中型泵站流道伸缩缝应埋设双层止水带。流道混凝土宜采用抗渗等级不低于 W6 的补偿收缩混凝土，并宜掺加聚丙烯纤维，掺量不宜小于 0.9kg/m^3 ；对抗渗要求高时，可在流道表层增涂 1.5mm 厚聚氨酯防水涂料。

7.2.8 防渗铺盖宜采用黏土或钢筋混凝土，黏土铺盖渗透系数与地基土渗透系数比值小于 1/100，长度宜为上下游最大水位差的 3~5 倍；混凝土铺盖抗渗等级不应低于 W6，厚度不宜小于 0.4m。

7.3 穿堤涵洞防渗设计

7.3.1 涵洞防渗设计应根据涵地质情况、洞身轮廓线、上下游水位等条件进行；复核正向、侧向渗径，设置永久变形缝。

7.3.2 涵洞混凝土抗渗等级按水力梯度 i 确定，抗渗等级不宜低于 W6。

7.3.3 穿堤涵洞应采取多重防渗措施：外围设置截流环或刺墙，洞身周边宜水泥土回填；水平渗径不足时迎水坡铺设防渗土工膜，出口设置反滤排水，保证涵洞与土堤接合部渗透稳定。

7.3.4 采用截流环防渗结构时，应符合下列规定：

- a) 截流环采用钢筋混凝土结构，结合洞身分缝处布置。
- b) 截面应采用梯形断面，梯形上口宽度不小于 0.3m，高度不小于 0.5m。
- c) 洞身外侧包裹水泥土防渗体和截流环处边缘外包厚度均不小于 1.0m。

7.3.5 采用刺墙防渗结构时，应符合下列规定：

- a) 刺墙结构形式应根据渗流计算及技术经济比较合理确定。
- b) 为防止涵洞洞身外侧和回填土体二者交界面的接触冲刷，选用钢筋混凝土刺墙；为解决涵洞绕渗问题，选用水泥土搅拌桩或高压旋喷桩防渗墙等。
- c) 洞身处钢筋混凝土刺墙宜设置一道，方便土方回填和压实，上部截面采用梯形断面，上口厚度不小于 0.3m、与洞身连接处厚度不小于 0.5m、高度不宜小于 1.0m；洞身下部是否设置刺墙，依据建基面地质条件综合判断，砂性土建基面洞身下部宜增设倒梯形截面刺墙，梯形下口宽度不小于 0.5m。
- d) 水泥土搅拌桩或高压旋喷桩防渗刺墙轴线应布置在涵洞所在堤肩上游侧，一般离迎水侧堤肩 1.5m~2.0m，墙底嵌入相对不透水层深度不小于 1.0m，或与堤基防渗结构可靠衔接；墙顶高程应高出设计洪水位 0.5m，且不低于校核洪水位。

- e) 水泥土搅拌桩或高压旋喷桩防渗刺墙与洞身一般采用水泥土衔接过渡。在洞身周边回填 10%~15%水泥土，刺墙进入水泥土不小于 0.5m。

7.3.6 涵洞周边采用黏性土或水泥土回填，并应符合下列规定：

- a) 洞身周边应清理干净，不得残留渗水通道。
- b) 回填土不应含有大块石、硬土块等，其含水率与压实度应严格控制。
- c) 涵洞周边回填土应分层压实，压实度不应低于堤身同部位压实度设计标准。
- d) 基础处理应确保涵洞受力均匀，减少不均匀沉降导致的接口错位。

7.3.7 位于防渗范围内的永久变形缝应至少设一道止水，防渗要求高的可设两道止水。土基应采用铜止水带止水，岩基可采用橡胶止水带止水。垂直止水与水平止水应连接形成挡水封闭系统。临土侧缝口宜铺设土工织物带。

7.3.8 已建工程结合部出现渗漏、散浸时，采用接触灌浆、锥探灌浆处理。接触灌浆沿洞身外围布孔，孔距 1.5m~2.5m，低压灌注黏土水泥浆，填充混凝土与土体之间的空隙、裂缝。

7.3.9 涵洞下游翼墙墙背和渗流出口处宜设置反滤层，采用级配砂石或土工织物，反滤层级配满足保土、透水要求。

7.4 穿堤管道防渗设计

7.4.1 堤身较低、具备明挖条件且施工期可断流或可靠导流、管道埋深较浅、管径较小时，可采用沟埋开挖方案，穿堤管道宜选用钢管或钢塑复合管，并应符合下列规定：

- a) 穿堤管道整段外包混凝土保护层厚度不宜小于 0.3m，且不宜小于管道外径 0.5 倍，取二者较大值。保护层外沿管线间隔 10m~20m 分段设置环形混凝土截流环，宜布置单节管中部，不得布置在管节接缝、环向焊缝位置。截流环与管壁之间应设置橡胶柔性衬垫。
- b) 截流环环厚不小于 0.3m，外挑管壁高度 0.5m~1.5m，与穿堤管道外包混凝土整体现浇。管道与外包混凝土间设置土工膜或沥青油毡等柔性防水隔离层。
- c) 管道四周包裹水泥土防渗体和截流环处边缘外包厚度均不小于 1.0m，水泥土分层压实度不低于堤身同部位设计标准。

7.4.2 堤身较高、不允许大开挖或施工期不能断流，穿越段地层适宜定向钻成孔，入土点、出土点具备钻机作业场地条件时，可采用水平定向钻非开挖方案，配套孔口防渗、封堵及监测措施，并应符合下列规定：

- a) 定向钻回拖完成后，应对管外壁与钻孔土体间隙进行压力注浆充填，注浆分段长度不宜

大于 20m；浆液宜采用水泥浆，注浆压力不应小于 0.35MPa，充填体渗透系数不应大于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。管道入土、出土堤身处应加密设置截流环，每侧不应少于 2 道，间距宜为 4m~6m；截流环要求同沟埋开挖穿堤管道。

- b) 工作坑、出土坑扰动区应采用黏性土或水泥土分层换填，换填范围自管底以下 1.0m 至地面，管道两侧水平宽度不应小于 1.5 倍管径，回填土分层压实度不应低于堤身同部位设计标准。穿堤管道上下游管理范围边界外应设置钢筋混凝土控制闸阀井，管道穿墙位置应预埋刚性防水翼环。
- c) 根据堤防结构型式及地质情况，对穿堤管道两侧及其上下游不小于 30m 范围内的堤防进行压密注浆或高压旋喷防渗墙加固处理，必要时增设迎水侧垂直防渗帷幕，加固段堤坡应设置护坡及贴坡反滤。浅层堤身扰动土体采用压密注浆防渗处理时，处理深度宜为管底以下 1.0m~2.0m，注浆孔梅花形布置，孔径 70mm~110mm，孔距 1.5m~2.0m，内侧孔距管道外壁不应小于 1.0m；应采用水泥浆、自凝灰浆或固化灰浆，分序跳孔、由稀至浓注浆，注浆压力 0.2MPa~0.6MPa，脱空区域应补浆封堵，注浆完成后孔口采用稠浆封堵、表层黏土夯实封闭。粉砂、细砂、薄层砂卵石堤防采用高压旋喷防渗墙加固处理，技术要点可参照本文件 6.2.7 执行。

7.4.3 堤身较高、不允许大开挖或施工期不能断流，管道管径较大、顶进距离较短且工作井与接收井具备施工条件时，可采用顶管穿堤，应符合下列规定：

- a) 管道顶进完成后，应及时通过管节预留注浆孔对管壁与土体间的环形间隙分段充填防渗浆液，分段长度不宜大于 10m；注浆浆液可采用水泥浆、自凝灰浆或固化灰浆，注浆压力宜为 0.05MPa~0.2MPa。
- b) 钢筋混凝土顶管管节接口采用钢承口、F 型接口，内设多道橡胶止水圈，接口缝填充遇水膨胀止水条。
- c) 工作井、接收井不应布置在堤身及堤基范围内，宜布置于堤脚线以外。工作井、接收井兼作永久建筑物时，应采用钢筋混凝土防渗结构，井壁设置水平、竖向施工缝止水带。管道穿墙洞口预埋刚性止水穿墙套管，套管与管壁间隙充填微膨胀防水砂浆、密封膏，洞口外侧设置环形土工膜或沥青油毡等柔性防水隔离层。井外侧 1.5 倍管道外径范围回填分层夯实黏土或水泥土。
- d) 堤管道两侧各不小于 10m、上下游各不小于 20m 范围内的堤防防渗加固处理要求同本文件 7.4.2 的规定。

7.5 接缝止水设计

7.5.1 穿堤建筑物混凝土结构中的接缝，包括伸缩缝、沉降缝、施工缝。止水设计应能适应接缝的拉伸、压缩、剪切各种变形，并保持长期的水密性。

7.5.2 止水形式包括中埋式或背贴式止水带，可选用铜止水带或橡胶止水带，止水带拉伸强度、抗渗性能满足规范要求。

7.5.3 止水带应连续贯通，布置合理，在转角和交叉处应采用定型配件连接。水平缝与垂直缝交叉处、水平缝之间止水带均采用柔性连接。

7.5.4 接缝及止水应符合下列规定：

- a) 穿堤建筑物伸缩缝、沉降缝缝宽宜为 20mm~30mm，缝内设置止水带，止水带宽度不小于 300mm。铜止水带搭接长度不小于 20mm，双面焊接；中埋式橡胶止水带应采用热硫化对接，搭接长度不小于 100mm；迎水面设置外贴式止水带，缝内填充闭孔泡沫板，表面嵌填密封膏。
- b) 穿堤建筑物混凝土结构施工缝应设置止水钢板，止水钢板厚度不小于 3mm，弯折长度不小于 20mm，钢板搭接长度不小于 50mm，双面焊接。
- c) 管涵承插口需采用橡胶圈止水，并辅以水泥砂浆勾缝；平接口需采用沥青麻絮柔性材料嵌缝，外部用混凝土包裹或抹带处理。
- d) 盖板涵在盖板与涵台支承面之间铺设沥青毛毡或橡胶垫层，顶部接缝用水泥砂浆或沥青麻絮填塞。

7.6 排水反滤设计

7.6.1 穿堤建筑物消能设施末端、翼墙墙后、堤身接合段绕渗出口、减压井井壁等渗流逸出部位应设置排水反滤措施。

7.6.2 贴坡排水、排水沟、减压井及反滤要求同本文件 6.5 的规定。

7.6.3 砂石反滤不少于 3 层，沿渗流方向粒径由细至粗，每层厚度不小于 20cm；土工织物反滤选用无纺土工布，搭接宽度不小于 30cm；桩头、管道周边增设环形包裹加强层。

7.6.4 穿堤建筑物下游翼墙外侧堤坡、涵洞出口两侧堤坡、泵站进出水池岸坡渗流出口设置贴坡反滤；翼墙墙后设置竖向反滤。贴坡及竖向反滤层顶部高出常水位不小于 0.5m，反滤总厚度不小于 50cm。

7.6.5 穿堤建筑物消力池、护坦、海漫及常水位以下护坡应布设梅花形 50mm~100mm 排水孔，

孔口包裹土工布反滤。

8 防渗计算分析

8.1 基本要求

8.1.1 渗流计算应在详细的工程地质与水文地质勘察成果基础上进行，所采用的渗透系数等计算参数应具有代表性，并通过原位或室内试验确定。

8.1.2 堤防计算断面的选择应具有代表性，宜选取地质条件较差、堤身较高、历史险情严重或布置有重要穿堤建筑物的地段。

8.1.3 渗流计算应考虑最不利工况组合，包括稳定高水位渗流和水位骤降等非稳定渗流情况。

8.2 计算内容

8.2.1 渗流计算应确定不同工况下堤防和穿堤建筑物的渗流场，包括水头、浸润线位置、渗透比降分布等水力要素，计算堤身、堤基及绕渗渗流量，绘制流网图，并对堤身坡脚、堤基下游覆盖层出逸区、防渗体下游、穿堤建筑物结合部等关键部位进行渗透稳定验算。

8.2.2 渗流量计算成果应与排水设施排水能力相匹配，并与工程允许渗漏量比较；渗流量或出逸比降不满足要求时，应调整防渗体布置、断面尺寸或排水设施设计。

8.2.3 堤防渗流计算内容应包括下列内容：

- a) 按设计洪水位确定堤防浸润线分布位置，当浸润线自背水堤坡出逸时，核算出逸点高程与位置，结合背水堤身填土及地基土渗透变形类型，开展渗透稳定性判别。浸润线应位于背水坡坡面以下不小于 0.5m。对于设有棱体或盖重的堤防，浸润线不应超出棱体或盖重的后缘。
- b) 核算水位降落工况下临水堤坡渗透出逸比降，进行临水坡渗透稳定验算。
- c) 对背水堤脚、减压井周边渗流出逸区域，进行管涌渗透稳定验算。

8.2.4 穿堤建筑物渗流计算内容应包括下列内容：

- a) 对穿堤建筑物与地基接触面开展接触冲刷稳定验算，判别接触面渗透稳定性。
- b) 对穿堤建筑物与堤防结合部位开展绕渗渗透比降及渗流出逸点位置验算，判别结合部位绕渗稳定性。

8.3 计算过程及成果

8.3.1 计算方法

对于简单地质条件和规则断面，采用流网图解法或直线比例法、改进阻力系数法等简化计算公式进行分析。对于复杂地质条件、非均质各向异性介质或复杂边界条件，宜采用有限单元数值模拟分析方法进行计算。渗流常见计算方法及示例参照本文件附录 D。

8.3.2 计算边界条件

上游设计水位，为已知水头边界。当下游有水时，取下游水位；当下游为排水设施或地面时，为渗流逸出边界。相对不透水层顶面为流线边界。

8.3.3 计算参数选取

各类土料和防渗材料的渗透系数应通过室内试验或现场原位渗透试验确定，并可结合工程类比经验综合选用；对于土石材料，应考虑其渗透系数的各向异性；应对关键参数的取值进行敏感性分析，以评估其不确定性对计算结果的影响。

8.3.4 渗透稳定性验算

堤防和穿堤建筑物各部位计算渗透比降 i 应小于土体允许渗透比降 $[i]$ 。允许渗透比降 $[i]$ 按临界渗透比降除以安全系数 K 取值，无黏性土安全系数宜取 1.5~2.0，黏性土安全系数不应小于 2.0。1、2 级堤防和穿堤建筑物，或土质不均匀、资料不确切的情况，应取上限。当设有反滤层时，允许渗透比降可适当提高，结合工程实践可乘以 1.3 左右的系数。

8.3.5 渗透破坏形式判别

渗透破坏形式应按下列规定判别：流土、管涌应根据土的不均匀系数、细粒含量及级配连续性判别；接触冲刷、接触流失应根据相邻两层土体的颗粒级配关系判别；判别方法应符合 GB 50487 附录的规定。

9 渗流监测

9.1 基本要求

9.1.1 渗流监测应根据堤防和穿堤建筑物级别及工程地质条件设置。1、2 级堤防及地质条件复杂、存在重大隐患的 3 级堤防，应设置渗流监测系统，重点地段应冗余设置渗流监测测点。其他等级的堤防和穿堤建筑物，可根据具体情况确定是否设置。

9.1.2 渗流监测内容主要包括堤身浸润线、堤基渗透压力、防渗墙后地下水位，穿堤建筑物基底扬压力及侧向绕渗等，必要时还需配合进行渗流量、水质分析等监测项目。

9.1.3 渗流监测设计除应符合本文件规定外，尚应符合 SL 725 的规定，明确监测设备型号、安装位置、监测频次及预警阈值，自动化监测系统应具备数据传输、存储、预警功能。

9.1.4 渗透压力、扬压力及侧向绕渗宜采用渗压计、测压管进行监测；渗流量监测宜分区进行，宜采用量水堰进行监测。

9.1.5 堤防和穿堤建筑物除险加固、改扩建或渗流监测设施增补完善更新改造，应对原有监测设施开展鉴定工作，设置新的安全监测系统后，应做好与原监测系统数据的衔接。

9.1.6 渗流监测应与变形监测、环境量监测等统一部署，形成完整的安全监测系统。

9.2 监测设计

9.2.1 堤防渗流监测应符合下列规定：

- a) 堤防渗流监测断面应选择临背水位差较大、水头作用时间长、堤身或堤基透水性较大、渗径较短、堤基有较大承压水等可能出现异常渗流的堤段。
- b) 堤防工程监测断面间距宜为 300m~500m，每一代表性堤段布置的监测断面宜为 1~4 个，对地质条件变化大、断面型式不一、冲刷严重、沉降变形大、渗漏严重、水毁决口堤段、险工险段以及修复堵口段等运行工况复杂且安全状况差的堤段，应加密选取。如地形地质条件无异常变化，断面间距可适当扩大。
- c) 如需设置渗流量监测，应在堤防下游排水体处设置监测槽，实时监测总渗流量。
- d) 堤防监测孔应布置在临背水侧两侧堤肩、背水侧堤坡及坡脚不同高程，每个断面宜布置 3~5 个测点，测压管底部高程或渗压计埋设高程应低于非汛期地下水位 2m。堤防有防渗体，可在监测横断面之间防渗体前后 0.5m~1m 内增设测点，深度穿透防渗体至地基土层。典型堤防工程防渗监测布置示意参照本文件附录 E 图 E.1、E.2。

9.2.2 穿堤建筑物渗流监测应符合下列规定：

- a) 穿堤建筑物基底扬压力监测应根据建筑物结构型式、工程规模、基础轮廓线、地质条件、渗流控制措施等进行布置，并以能测出基底扬压力分布及其变化为原则。侧向绕渗监测断面应布置在穿堤建筑物与两侧堤防的接触面位置；当穿堤建筑物宽度较大时，应沿穿堤建筑物轴线方向的接触面增设监测断面。
- b) 基底扬压力测点宜根据地质条件、防渗措施选择合适部位布置，每个断面上的测点不应少于 3 个。侧向绕渗监测可在岸墙、翼墙填土侧布置测点，每个断面上的测点不应少于 3 个。接触面渗流监测在穿堤建筑物防渗刺墙上、下游各布置 1~2 个测点，背水侧坡面

及坡脚位置各布置 1 个测点。典型穿堤建筑物工程防渗监测布置示意参照本文件附录 E 图 E.3。

9.2.3 监测点应具有较好的交通、照明等条件，并应有安全保护措施。

9.3 监测设备

9.3.1 监测仪器与设备选型应遵循技术先进、运行可靠、操作便捷、耐久适用、经济合理的原则。

9.3.2 堤防测压管由透水花管和导管组成，宜采用热镀锌无缝钢管；管周应设置反滤料，顶部黏土封堵厚度不小于 0.5m，孔口宜设置测压孔盒保护；堤身测压管孔底应深入建基面以下，堤基测压管孔底应深入强透水层不小于 1.0m，透水花管进水段长度宜为 1.0m。

9.3.3 穿堤建筑物测压管宜采用可替换双层热镀锌无缝钢管，内管钢管内径不小于 50mm，外管钢管内径不小于 100mm，内外钢管之间设置反滤料，顶部不小于 0.5m 厚粘土封堵，孔口设置测压孔盒。

9.3.4 测压管的造孔、安装与封孔应符合 SL 725 的规定。

9.3.5 渗压计可采用振弦式或硅压阻式，宜采用钻孔埋设安装方式。

9.3.6 采用渗压计监测渗透压力时，应根据被测点可能产生的最大渗透压力选择渗压计量程，渗压计量程宜不低于 1.5 倍最大渗透压力且不高于 2 倍最大渗透压力。

9.3.7 浸润线、渗透压力监测精度不低于 $\pm 50\text{mm}$ ，墙后地下水位监测精度不低于 $\pm 20\text{mm}$ 。

9.3.8 渗流监测宜配置模块化数据采集装置，采集装置机箱应便于安装，各部件装配牢固，电缆进口应采取密封措施。如无数据采集装置，各监测设备采集信号应能转换输出 RS485 信号。

附录 A

(资料性)

常见土体渗透系数参考值

常见土体渗透系数参考值按表 A.1 采用。

表 A.1 常见土体渗透系数参考值表

序号	土体类型	渗透系数范围 k (cm/s)	渗透性等级	备注
1	淤泥、淤泥质土、黏土、重粉质黏土	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-6}$	极微透水～微透水	天然状态下构成良好隔水层；黏土压实后可降至 1×10^{-7} ，为心墙、铺盖等防渗体常用料
2	粉质黏土	$1 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-5}$	微透水～弱透水	堤防均质土堤、心墙常用料区
3	粉质壤土、粉土、砂壤土	$6 \times 10^{-6} \sim 6 \times 10^{-4}$	微透水～中等透水	渗透性随黏粒含量变化较大
4	黄土	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3}$	微透水～中等透水	具湿陷性，竖向渗透系数一般大于水平向
5	粉质砂土	$1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$	中等透水	应设置防渗体
6	粉砂、细砂	$6 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-3}$	中等透水	应设置防渗体及反滤
7	中砂	$6 \times 10^{-3} \sim 2.4 \times 10^{-2}$	中等透水～强透水	应设置防渗体及反滤
8	粗砂	$2.4 \times 10^{-2} \sim 6 \times 10^{-2}$	强透水	应设置防渗体及反滤
9	砂砾、圆砾	$6 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1}$	强透水	应设置防渗体及反滤
10	卵石	$1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^0$	强透水～极强透水	应设置防渗体及反滤
11	粒径均匀的巨砾	$\geq 1 \times 10^0$	极强透水	应设置防渗体及反滤

附 录 B

(资料性)

常用防渗材料性能参数参考值

常用防渗材料性能参数参考值按表 B.1 采用。

表 B.1 常用防渗材料性能参数参考值表

序号	材料类型	渗透系数 (cm/s)	抗渗 等级	允许渗透比 降 [i]	关键指标
1	压实黏土 (防渗体)	$\leq 1.0 \times 10^{-7}$	—	50~100 (取决于塑性 指数)	黏粒 $\geq 30\%$; 压实度 ≥ 0.95 (1 级堤)
2	黏土 (心墙 / 斜墙)	$\leq 1.0 \times 10^{-5}$	—	50~80	塑性指数 14~20; 有机质 $\leq 2\%$
3	水泥土	$\leq 1.0 \times 10^{-6}$	—	50~80	28d 抗压 $\geq 0.8\text{MPa}$ (临时工程 $\geq 0.5\text{MPa}$); 42.5 级水泥
4	普通混凝土	$\leq 1.0 \times 10^{-8}$	$\geq \text{W6}$	80~100	C25 以上; 胶凝 $\geq 350\text{kg/m}^3$
5	黏土混凝土	$\leq 1.0 \times 10^{-6}$	—	60~80	弹性模量 12~20GPa; 黏土掺量 $\leq 30\%$
6	灌浆结石体	$\leq 1.0 \times 10^{-6}$	—	> 100 (取决于浆液)	抗压 $\geq 1\text{MPa}$
7	高压喷浆体	$\leq 1.0 \times 10^{-6}$	—	50~80	粉土/砂/砾石抗压强度 $\geq 1.0/1.5/3.0\text{MPa}$; 透水率 $\leq 5\text{Lu}$
8	复合土工膜	$\leq 1.0 \times 10^{-11}$	—	> 1000	膜厚 $\geq 0.5\text{mm}$; 抗拉 $\geq 10\text{kN/m}$
9	HDPE 土工膜	$\leq 1.0 \times 10^{-12}$	—	> 1000 (取决于厚度)	厚度 $\geq 1.0\text{mm}$; 抗老化
10	膨润土防渗衬垫	$\leq 5.0 \times 10^{-9}$	—	> 100	单位面积膨润土质量 $\geq 5000\text{g/m}^2$

注：本表数据综合自相关规范及工程经验，具体参数应根据材料试验确定。

附 录 C

(资料性)

典型工程防渗结构形式示意图

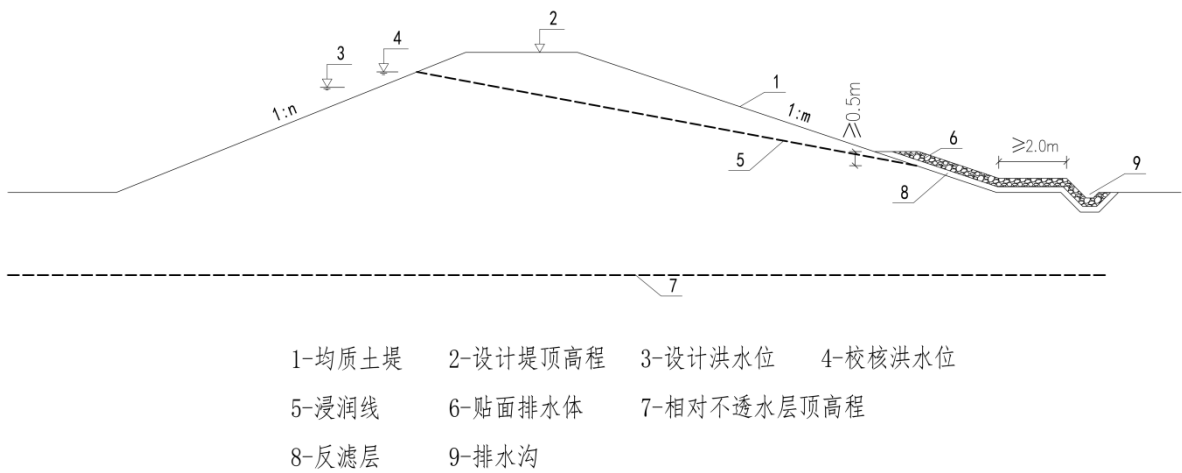


图 C.1 均质土堤防渗结构示意图

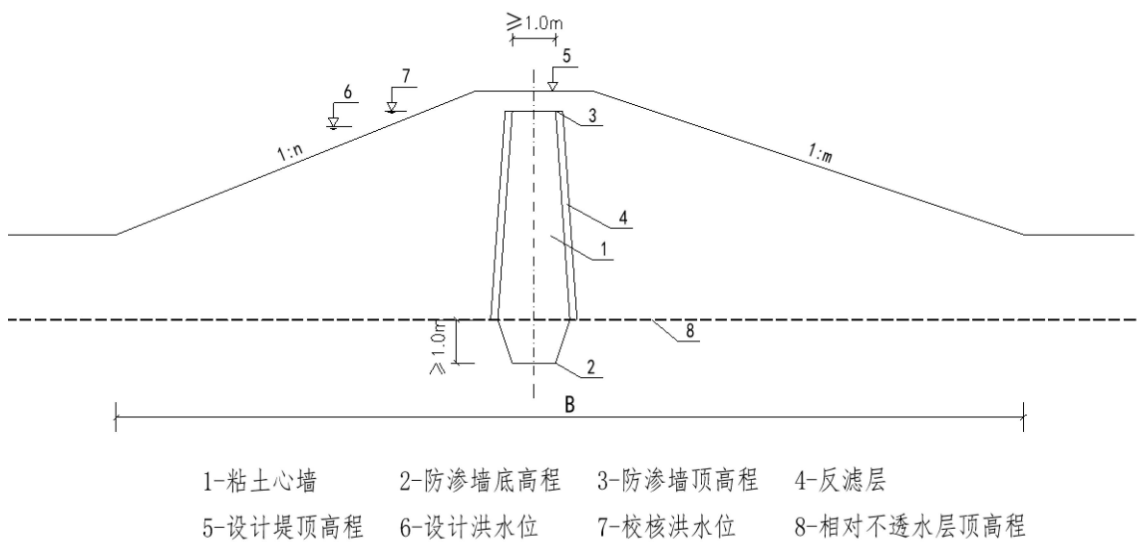
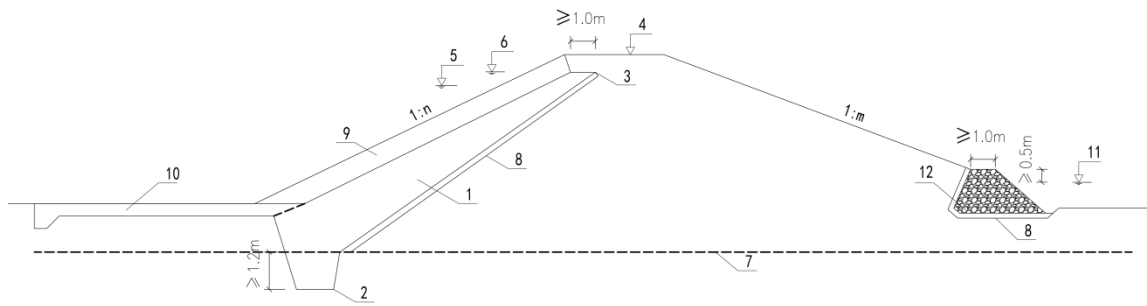
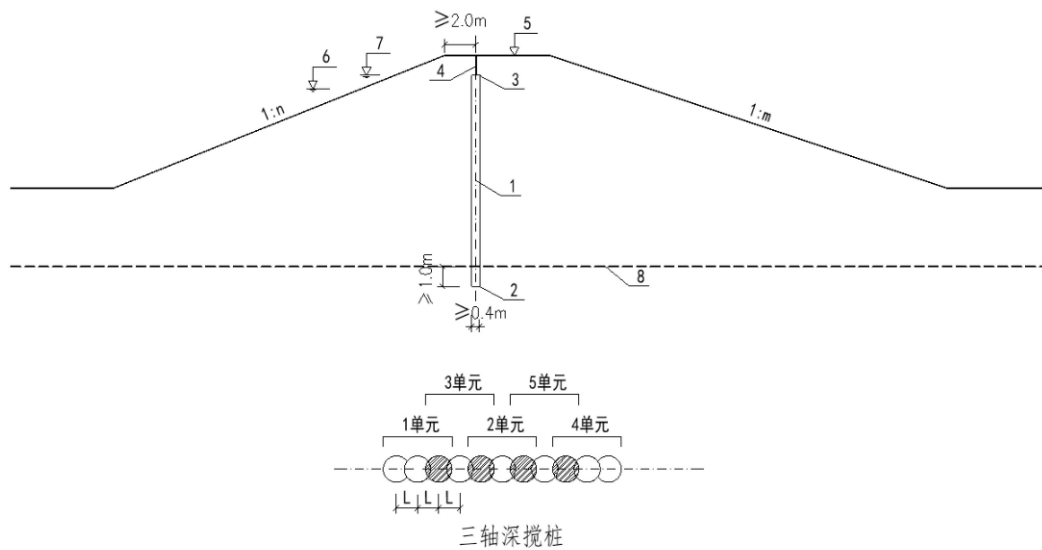


图 C.2 心墙式堤防防渗结构示意图



- 1-粘土斜墙 2-防渗墙底高程 3-防渗墙顶高程 4-设计堤顶高程
 5-设计洪水水位 6-校核洪水水位 7-相对不透水层顶高程 8-反滤层
 9-斜墙保护层 10-防渗铺盖 11-下游常年高水位 12-排水棱体

图 C.3 斜墙式堤防防渗结构示意图



- 1-深搅桩防渗墙 2-防渗墙底高程 3-防渗墙顶高程 4-钻孔水泥浆回填
 5-设计堤顶高程 6-设计洪水水位 7-校核洪水水位 8-相对不透水层顶高程

图 C.4 混凝土搅拌桩防渗墙结构示意图

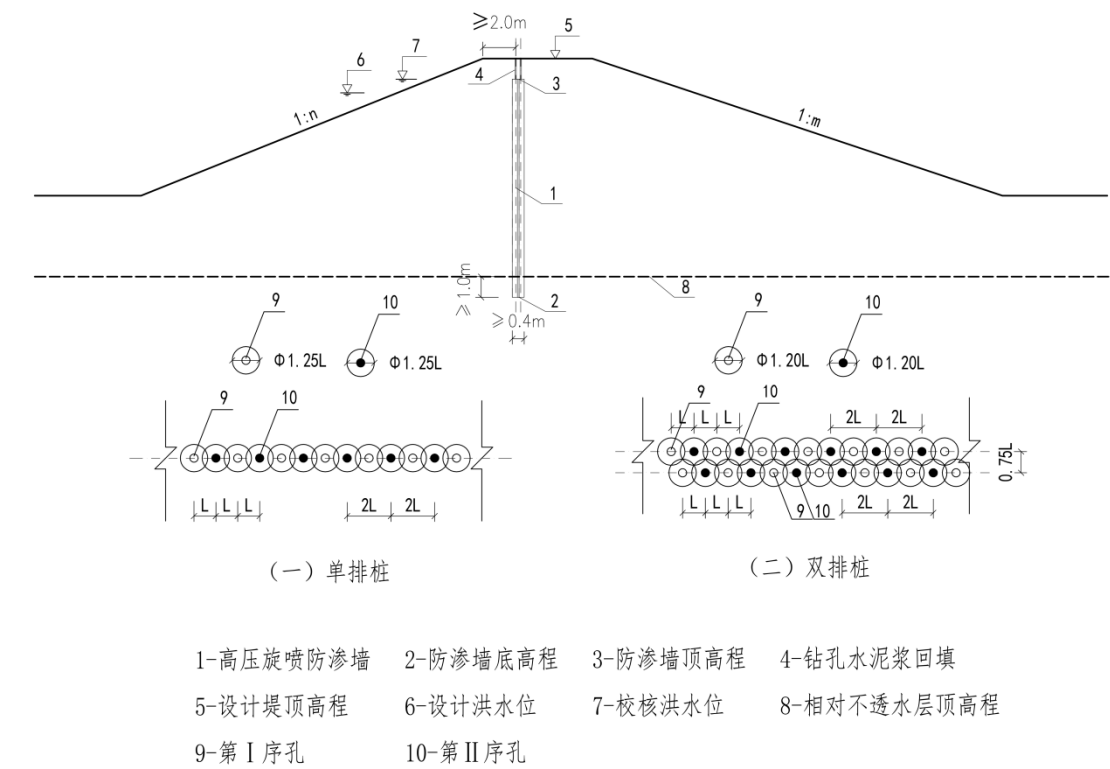


图 C.5 高压喷射防渗墙结构示意图

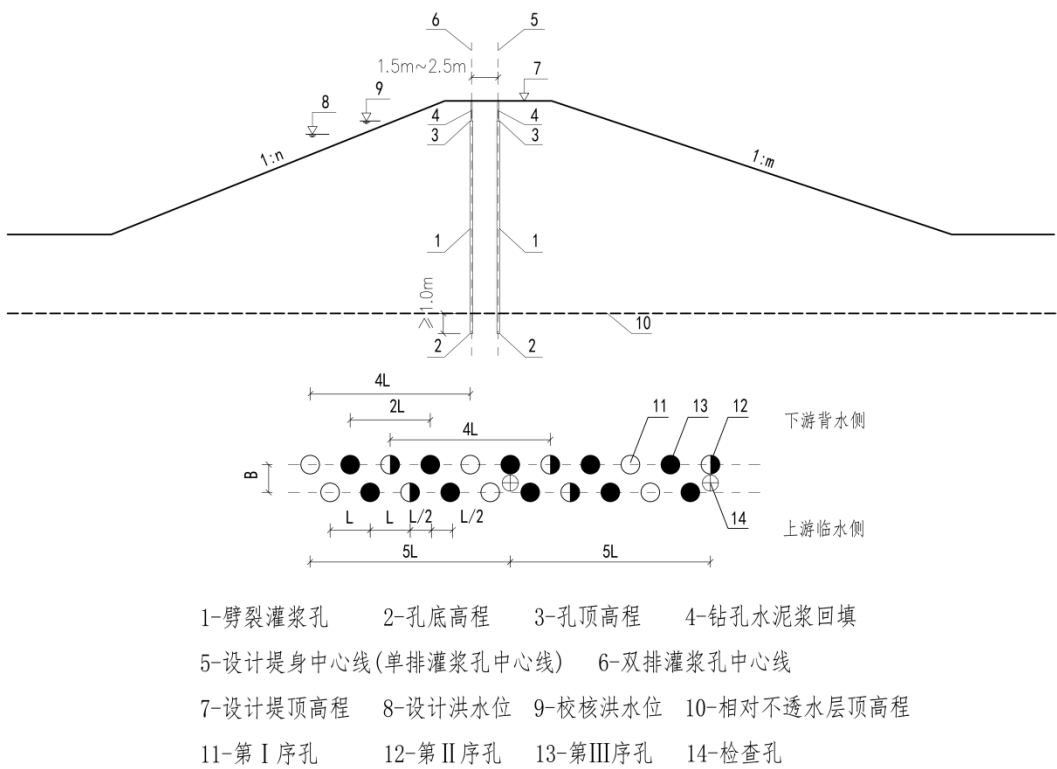


图 C.6 劈裂灌浆结构示意图

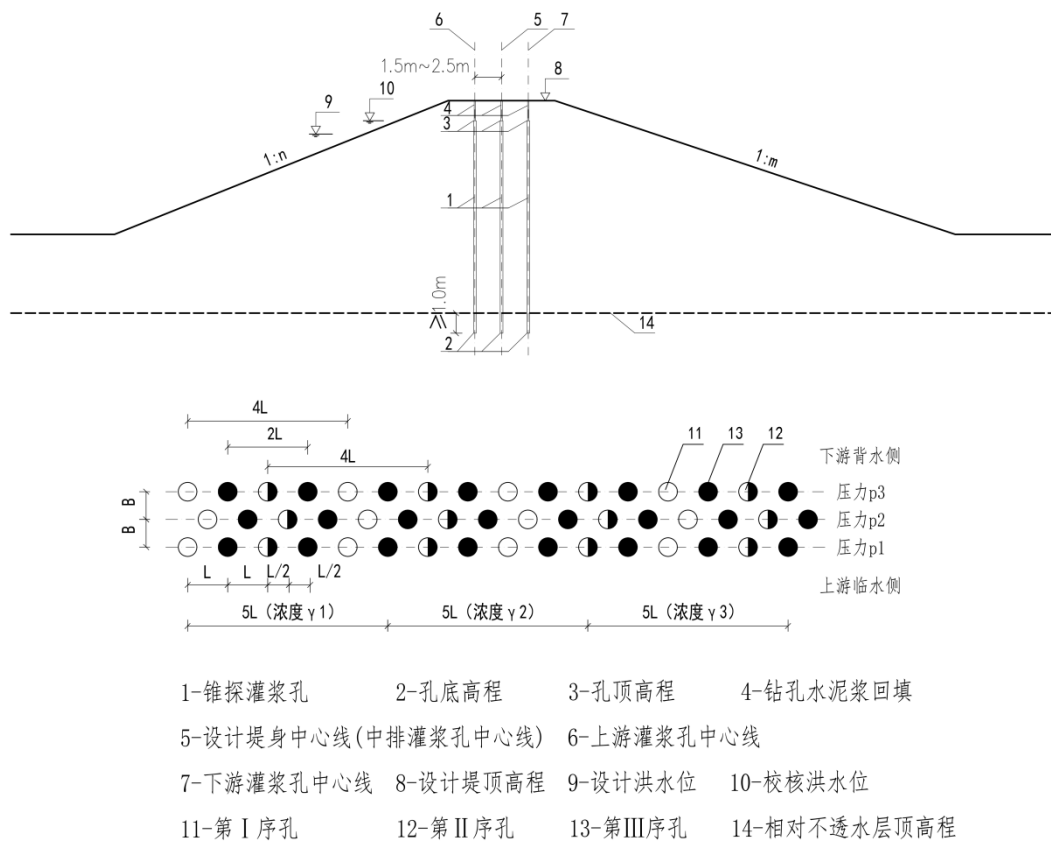


图 C.7 锥探灌浆结构示意图

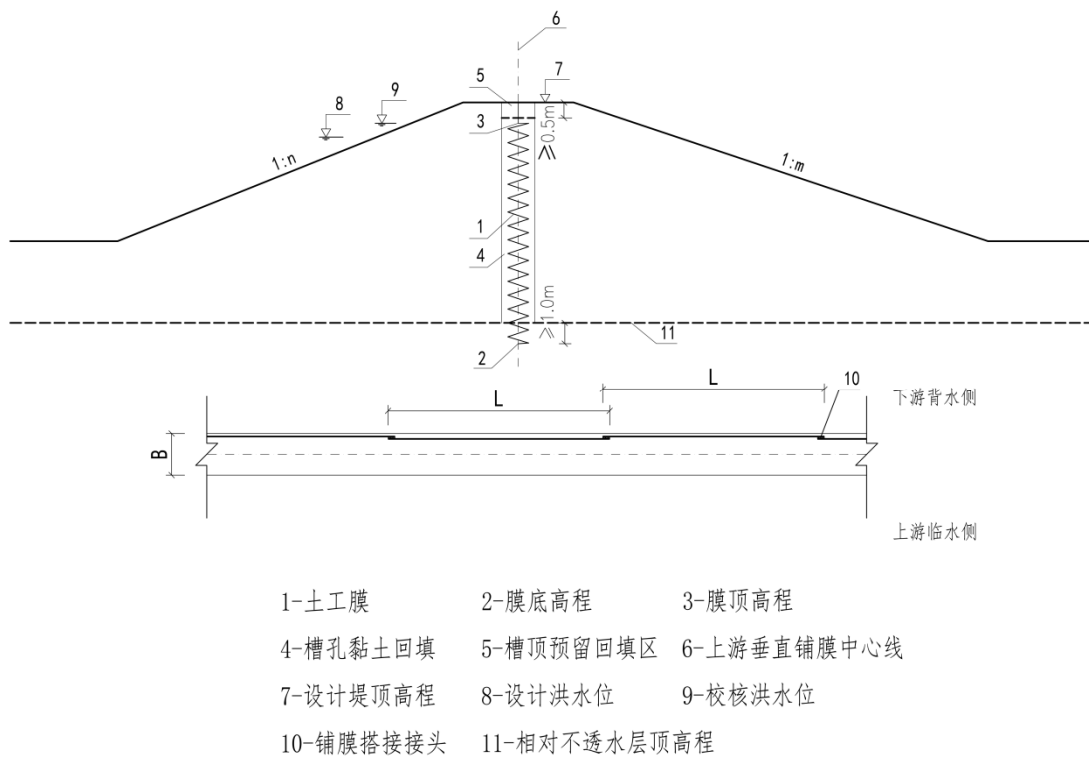
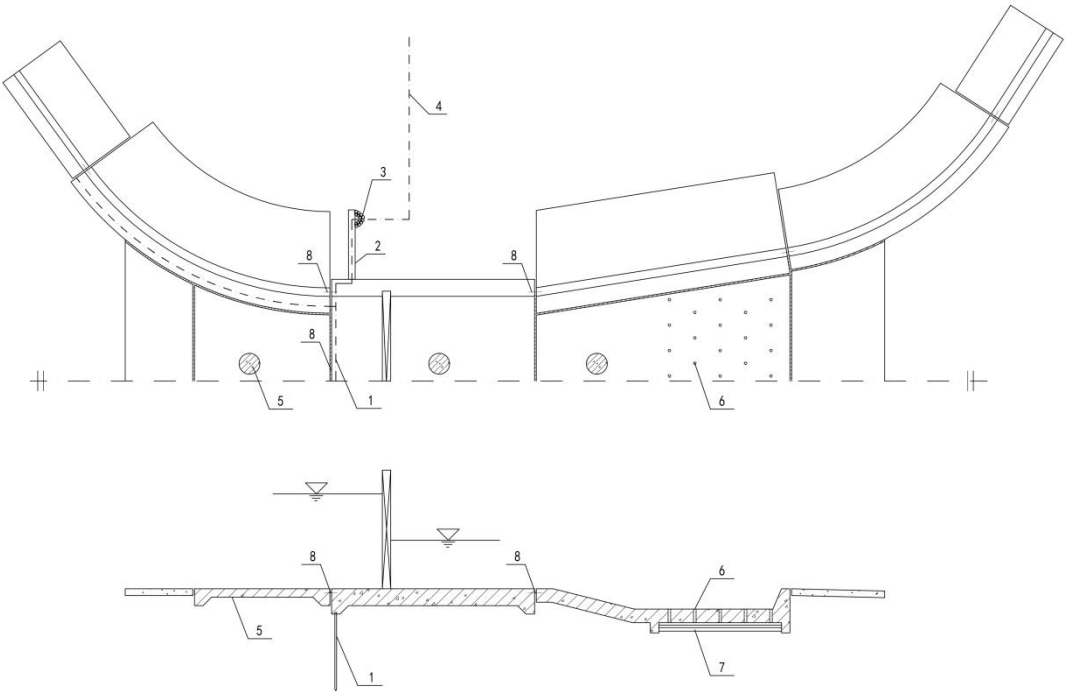


图 C.8 机械垂直铺膜结构示意图



1-垂直防渗体 2-防渗刺墙 3-转角防渗加强体 4-堤防防渗体
5-防渗铺盖 6-下游冒水孔 7-渗流出口反滤层 8-止水

图 C.9 穿堤建筑物（水闸）防渗结构示意图

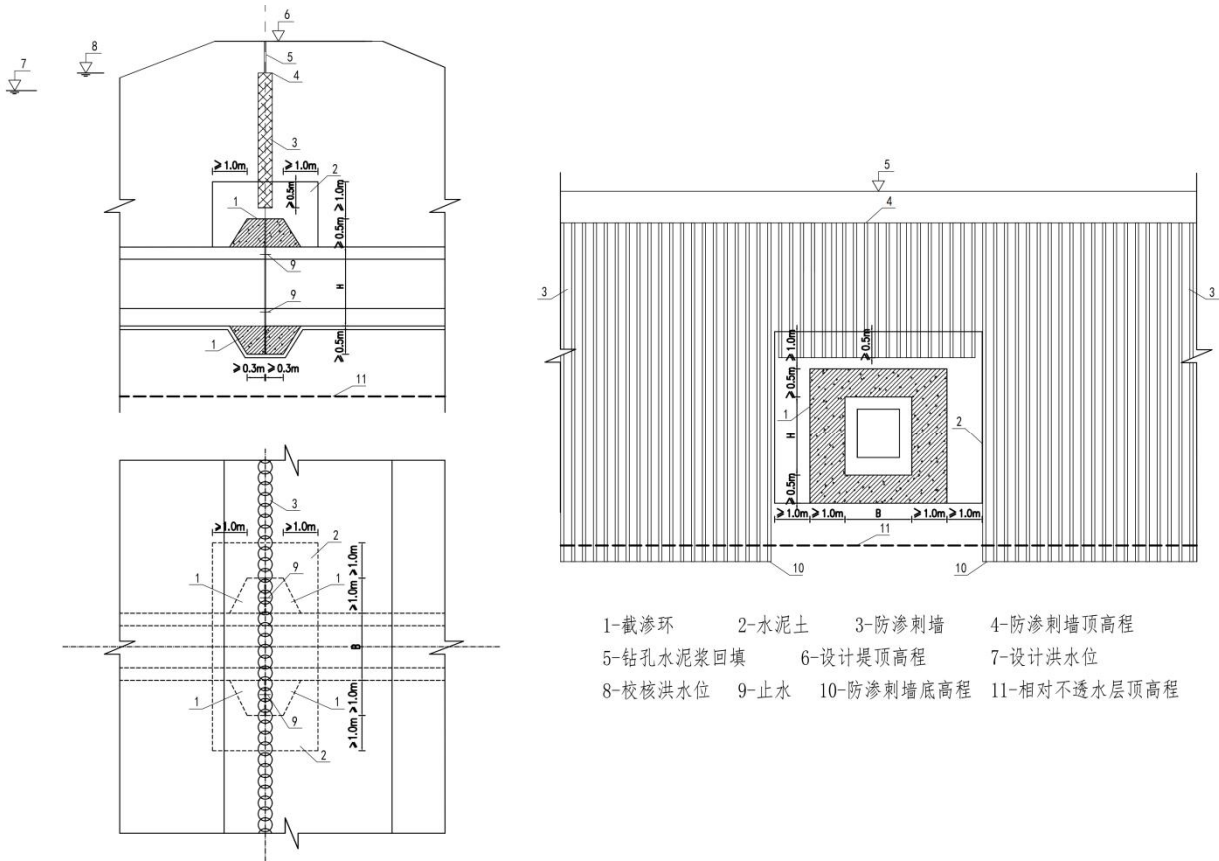


图 C.10 穿堤涵洞与堤身结合部截流环结构示意图（一）

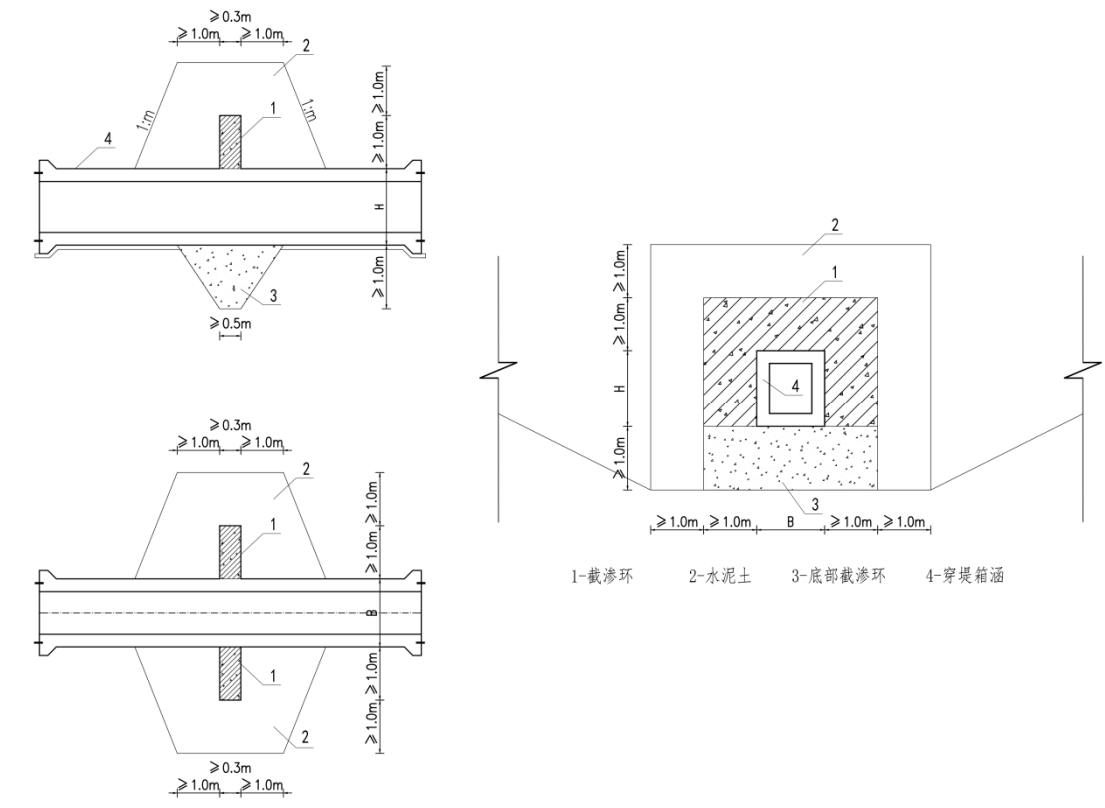


图 C.11 穿堤涵洞与堤身结合部截流环结构示意图（二）

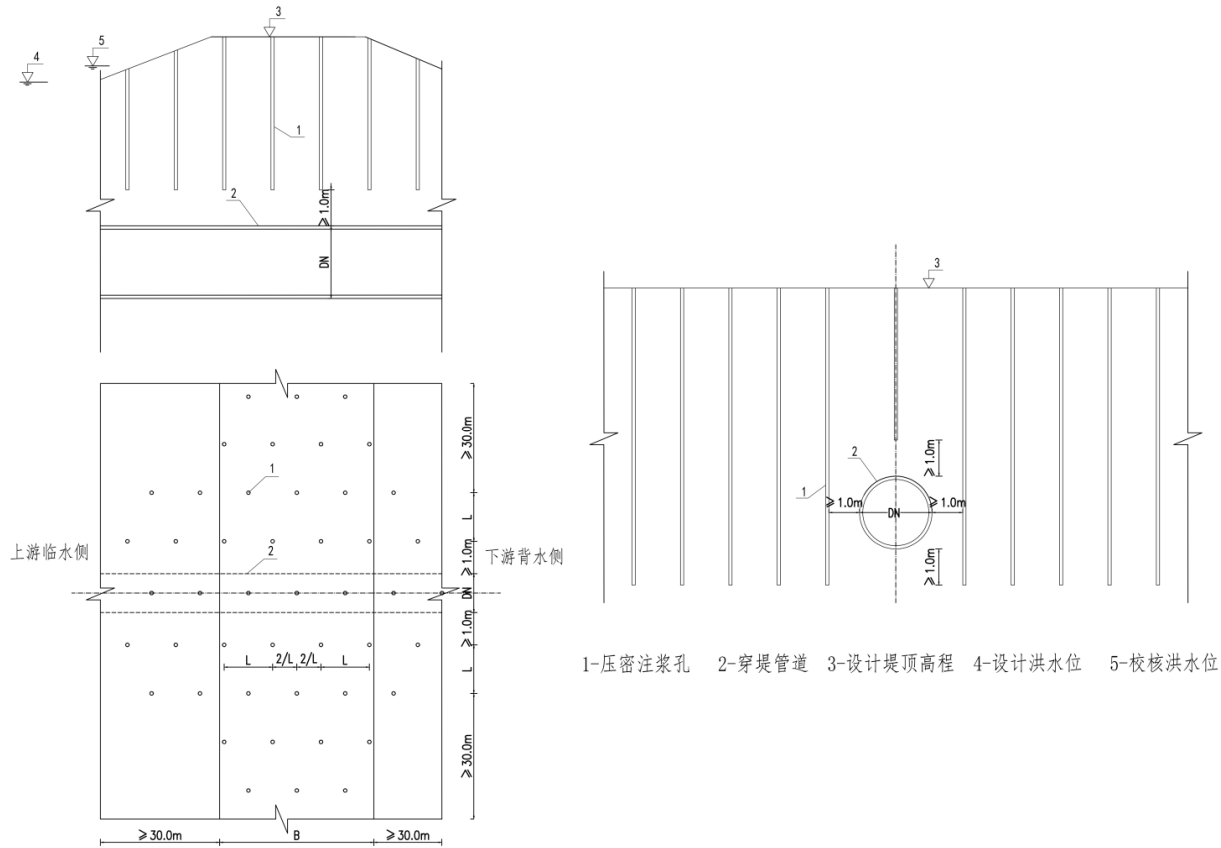


图 C.12 穿堤管道与堤身结合部压密注浆结构示意图

附 录 D

(资料性)

渗流计算常用计算方法及示例

D.1 直线比例法示例

直线比例法是闸基有压恒定渗流的一种经典近似计算方法，适用于水工建筑物地基防渗轮廓的初步设计与渗流安全估算。核心假定：渗流水头损失沿地下渗径长度呈线性均匀分配，总水头损失与渗径长度成正比。

示例：某水闸底板为第 4 层轻粉质砂壤土，液化土层，设置φ60cm 水泥土搅拌桩围封，防渗设计水位组合：内河侧 4.0m，外河侧 6.0m。

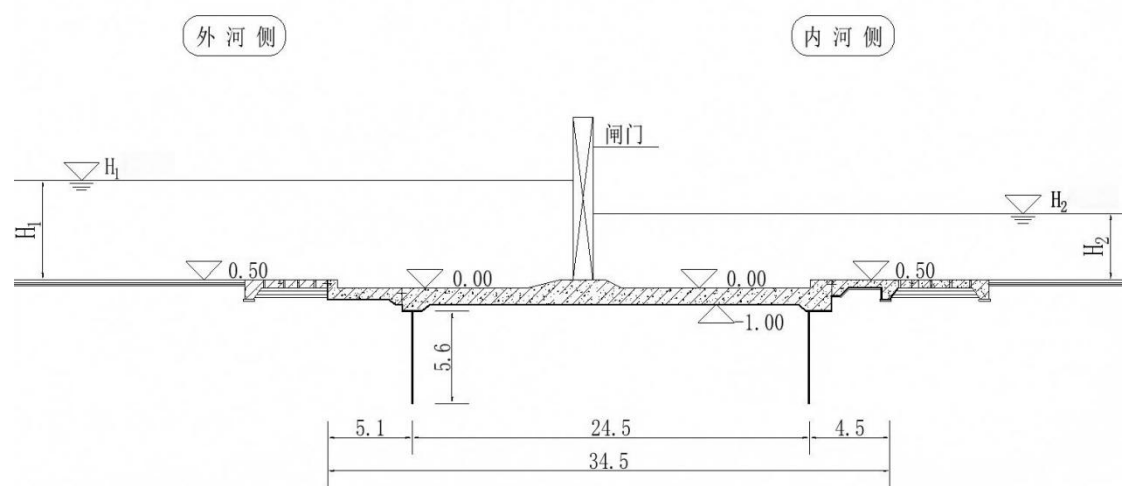


图 D.1 某水闸正向防渗体布置图

直线比例法计算如下：

$\Delta H = 2.0\text{m}$ ，取渗径系数 $C = 11$ ，设计需要防渗长度 $L = 2.0 \times 11 = 22\text{m}$ ，正向设计防渗长度 $= 5.1 + 5.6 + 24.5 + 5.6 + 4.5 = 45.3\text{m} > 22\text{m}$ ，防渗长度满足要求。

D.2 改进阻力系数法示例

改进阻力系数法基于平面有压渗流理论，将建筑物地下轮廓所包围的渗流区域划分为若干典型渗流段，通过各段阻力系数计算水头损失，依次推求地下轮廓各点的渗透水头、扬压力分布及地基出逸比降，用于地基渗透稳定验算。

用 D.1 中的示例。将渗流场划分为进口段、水平段、垂直段、出口段等共计 11 段计算单元，改进阻力系数法复核出口处、水平段渗透比降，详细计算过程见表 D.1。

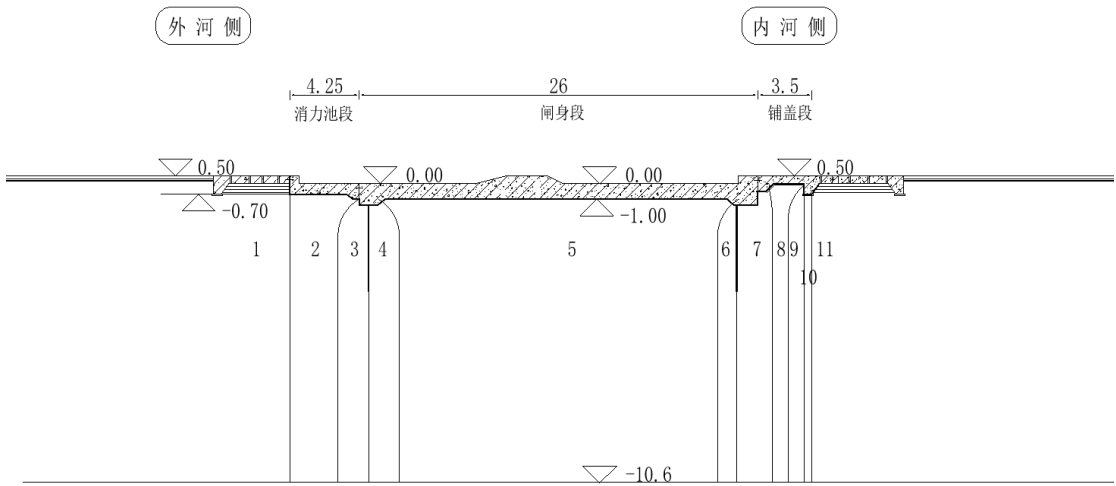


图 D.2 地下轮廓线布置图

表 D.1 改进阻力系数法渗流成果表

段号	段别	Si(m)		T(m)	L(m)	ξ_i	hi	Δh	修正后 hi	J
1	进口段	1.2	0	21.1		0.4613	0.335	-0.145	0.190	0.159
2	内部水平段	0	0	19.9	3.7	0.1859	0.135	+0.135	0.270	0.073
3	内部垂直段	6.3	0	14.8	0	0.4615	0.335	+0.010	0.345	0.055
4	内部垂直段	6	0	15.1	0	0.4260	0.310		0.310	0.052
5	内部水平段	6	6	15.1	12.5	0.2715	0.197		0.197	0.016
6	内部垂直段	6	0	15.1	0	0.4260	0.310		0.310	0.052
7	内部垂直段	7	0	14.1	0	0.5561	0.404		0.404	0.058
8	内部水平段	0.5	0.7	20.6	3.5	0.1291	0.094	+0.068	0.162	0.046
9	内部垂直段	0.7	0	20.4	0	0.0343	0.025	+0.025	0.050	0.071
10	内部水平段	0	0	19.9	0.5	0.0251	0.018	+0.018	0.036	0.073
11	出口段	1.2	0	19.9	0	0.4632	0.337	-0.111	0.225	0.188
	汇总					3.44	2.5		2.5	

经上表计算，渗流出口处坡降 $J_0=0.188$ ，正身底板水平段渗透比降 $J_x=0.073$ ，底板所在土层允许渗透比降渗流出口处坡降 $[J_0]=0.40\sim0.50$ ，水平段坡降 $[J_x]=0.15\sim0.25$ ，满足规范要求。

D.3 手绘流网法示例

流网法是一种通过绘制流线和等势线求解渗流场的图解法，其基本原理：在渗流区域内，流线与等势线正交，相邻等势线间的水头损失相同。该方法直观反映渗流场分布，适用于均质或分层地基的稳态渗流分析。

D.3.1 堤防断面流网手绘方法及示例

堤防断面流网遵循流线与等势线正交的基本原理，需考虑堤身与堤基的渗透性差异。绘制时，先确定堤身和堤基的渗透系数比值，据此调整流线分布密度。

示例：堤防断面为均质土堤，不透水地基，堤身及地基渗透系数均为 $K=1.0\times10^{-6}\text{cm/s}$ 。堤高 6.0m，上游水位 4.5m，下游无水。

绘制步骤：

- ①根据堤身断面形状及上下游水位差，确定渗流区域边界，包括堤顶、上下游坡面及堤基不透水层计算边界；
- ②计算浸润线及下游出逸点位置，第一条流线即为浸润线，上游堤坡面为第一条等势线，下游堤坡及地基为最后一条等势线，根据垂直水头平分，在浸润线上标出位置，然后按正交原则绘制等势线；
- ③根据流线与等势线正交原则，绘制流线，确保每条等势线与流线垂直相交；
- ④反复调整网格形状，使网格近似为曲边正方形，尤其在堤身与堤基交界处需注意流线过渡的平滑性；
- ⑤统计流槽数与等势线降落数，计算单宽渗流量及出逸比降，验证堤防渗流稳定性。

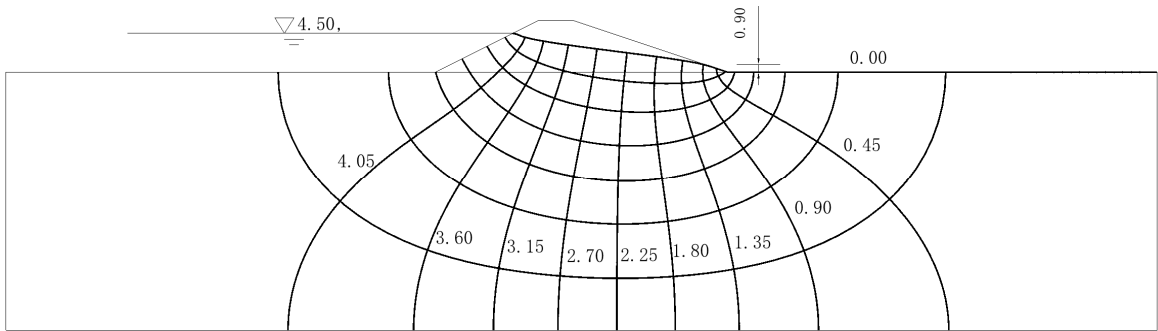


图 D.3 均质土堤正向防渗手绘流网成果图

D.3.2 穿堤建筑物（水闸）正向防渗流网手绘方法及示例

示例：某水闸地基土渗透系数加权平均值 $K_v=1.1\times10^{-4}\text{cm/s}$ 、 $K_h=1.8\times10^{-4}\text{cm/s}$ ，中等透水地基。

绘制步骤：

- ①绘制水闸底板底面、铺盖底面及护坦底面轮廓线；
- ②查明闸基位置的地质，找出闸基下的不透水边界，若无不透水层，找出理论计算流网范围边界，宜取地下防渗体长度的 3~5 倍；

- ③根据计算范围内的垂直土层厚度、防渗长度及计算水位差，初步确定流网的流槽数及等势线数。
- ④依据流线与水头等势线正交原理，初步绘制流网网格，先绘制流线，再绘制等势线，并通过反复修正确保网格近似为曲边正方形。
- ⑤统计流槽数与等势线降落数，结合渗透系数计算单宽渗流量及出逸比降，验证防渗安全性。

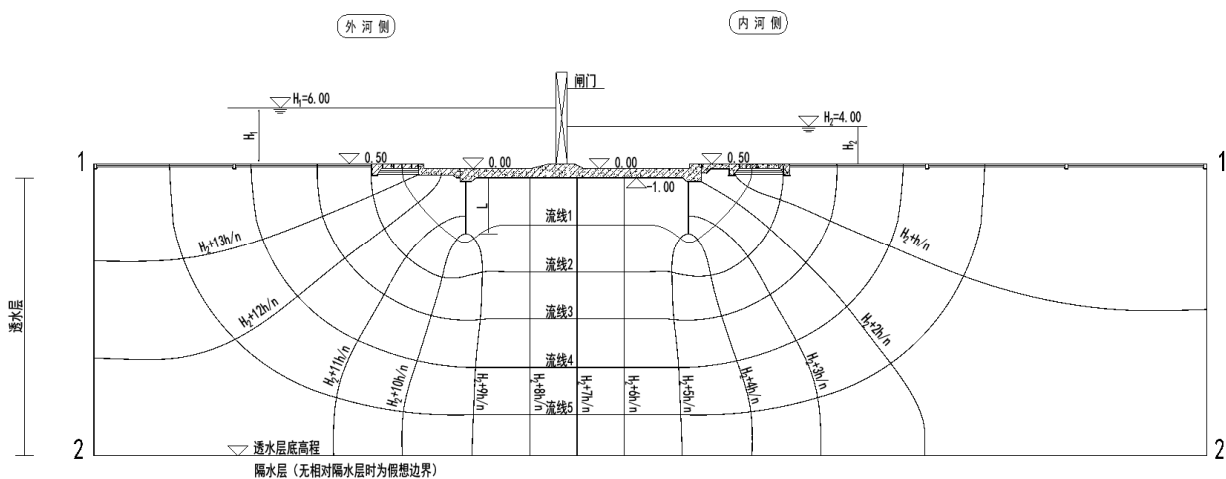


图 D.4 水闸正向防渗手绘流网成果图

D.4 有限元法示例

有限元法是一种通过数值计算求解渗流场的精确方法，其基本原理：将渗流区域离散为有限个单元，通过求解渗流方程组来得到节点的水头值，进而绘制流线和等势线。该方法适用于复杂边界条件和非均质各向异性渗流场分析。

D.4.1 均质堤防断面有限元法绘制流网示例

(1) 堤防断面为均质土堤，不透水地基，堤身及地基渗透系数均为 $K=1.0\times10^{-6}\text{cm/s}$ 。堤高 6.0m，上游水位 4.5m，下游无水。

二维有限元法绘制流网见图 D.5。

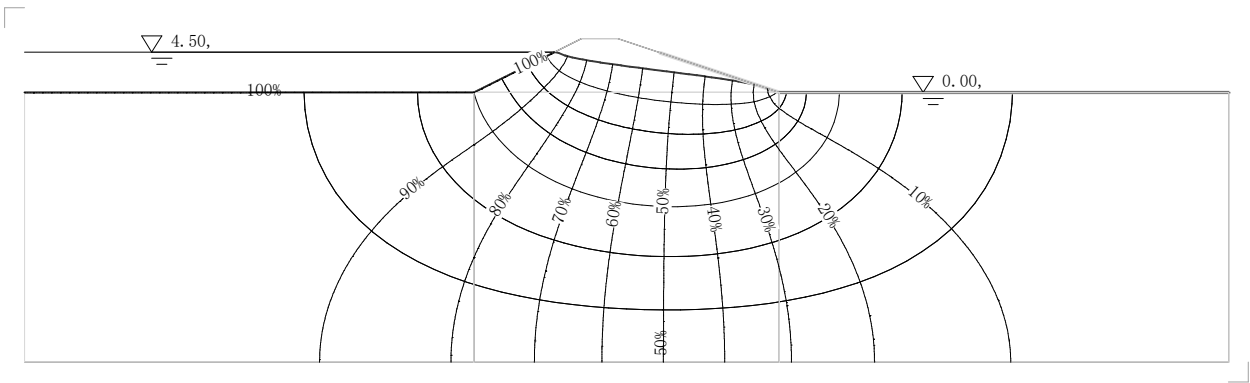


图 D.5 均质土堤有限元计算渗流网成果图一

(2) 堤防断面为均质土堤，不透水地基，堤身渗透系数 $K=1.0\times10^{-4}\text{cm/s}$ ，地基渗透系数 $K=1.0\times10^{-6}\text{cm/s}$ 。堤高 6.0m，上游水位 4.5m，下游无水。

二维有限元法绘制流网见图 D.6。

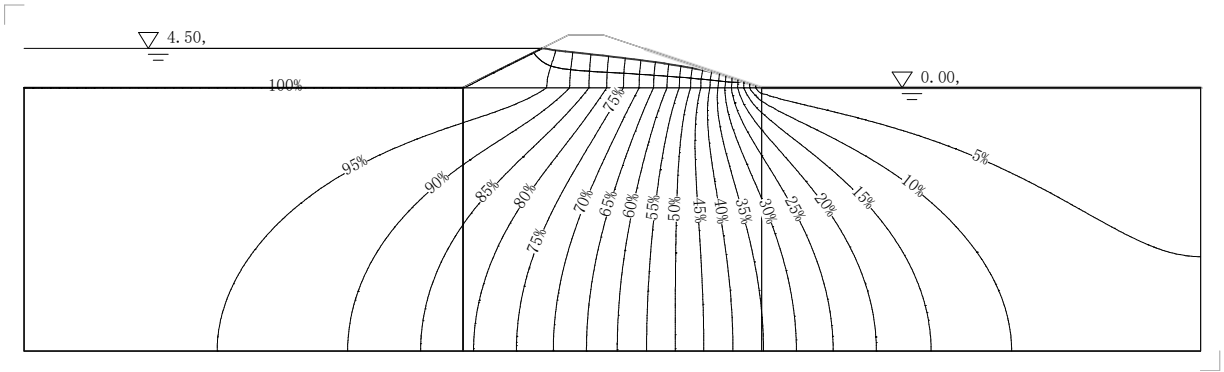


图 D.6 均质土堤有限元计算渗流网成果图二

(3) 堤防断面为均质土堤，透水地基，堤身渗透系数 $K=1.0\times10^{-4}\text{cm/s}$ ，地基渗透系数 $K=1.0\times10^{-2}\text{cm/s}$ 。堤高 6.0m，上游水位 4.5m，下游无水。

二维有限元法绘制流网见图 D.7。

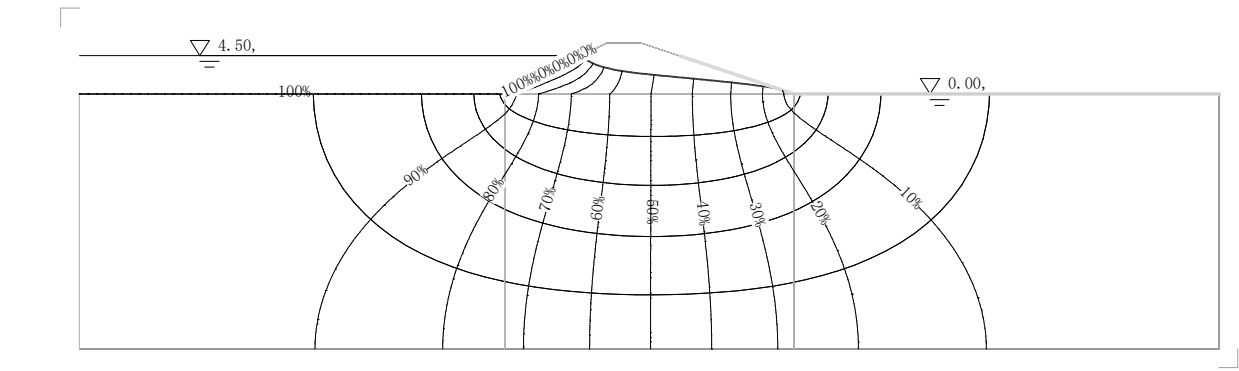


图 D.7 均质土堤有限元计算渗流网成果图三

D.4.2 垂直防渗体堤防断面有限元法绘制流网示例

在堤身或堤基中设置垂直防渗体后，垂直防渗体作为相对不透水屏障，迫使渗流路径延长，水头损失集中在其上下游两侧，渗流场显著改变。绘制流网时，将垂直防渗体视为等势线边界，其上下游侧流线加密、等势线密集，反映出该区域水力梯度显著增大。

堤防断面设垂直防渗墙，堤高 6.0m，上游水位 4.5m，墙深 8.0m，下游无水，堤身及地基渗透系数均为 $K=1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 。

采用有限元法绘制二维流网见图 D.8、图 D.9。

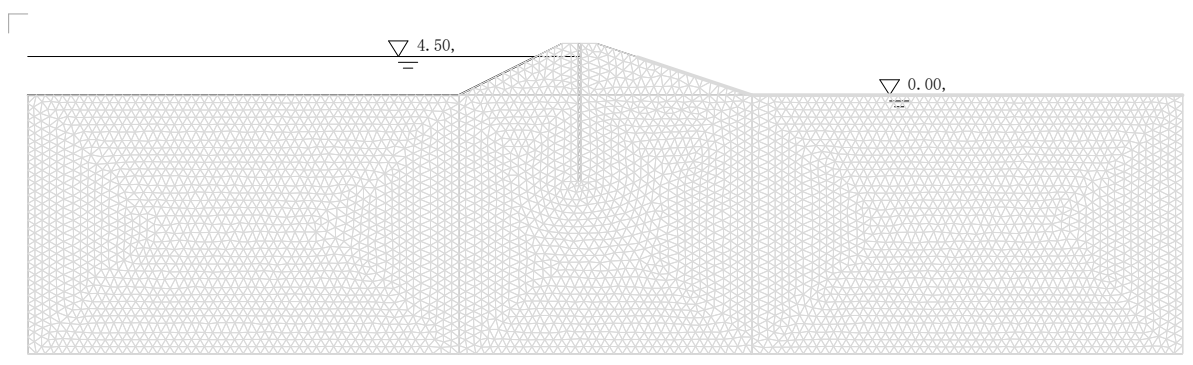


图 D.8 垂直防渗体堤防断面渗流计算有限元模型图

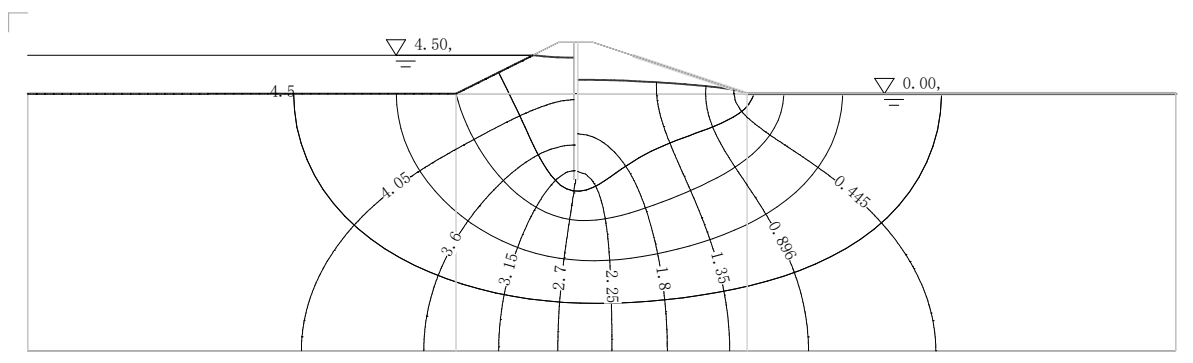


图 D.9 垂直防渗体堤防断面有限元计算渗流网成果图

D.4.3 穿堤建筑物（水闸）正向防渗有限元法绘制流网示例

示例：某水闸地基土渗透系数 $K_v=1.1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、 $K_h=1.8 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，中等透水地基。采用二维有限元法建模进行流网绘制，底边界取防渗体长度 5 倍。

采用有限元法绘制二维流网见图 D.10、图 D.11。

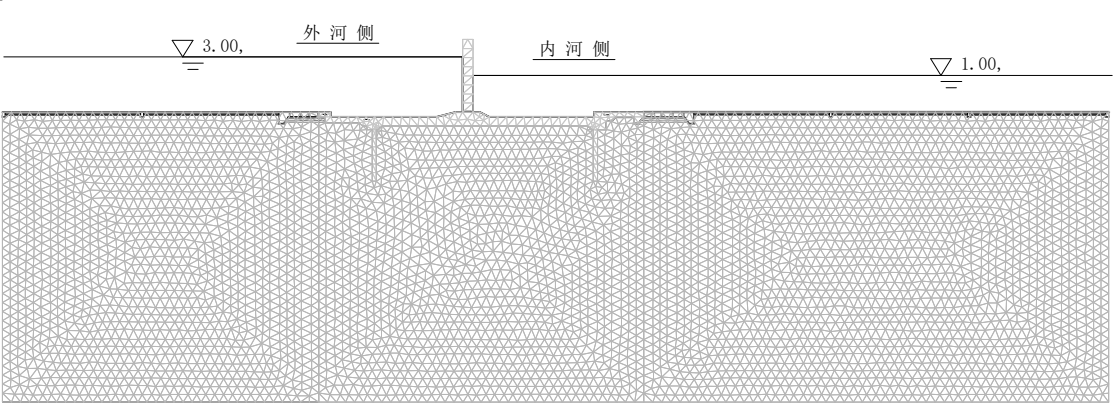


图 D.10 水闸正向防渗计算有限元模型图

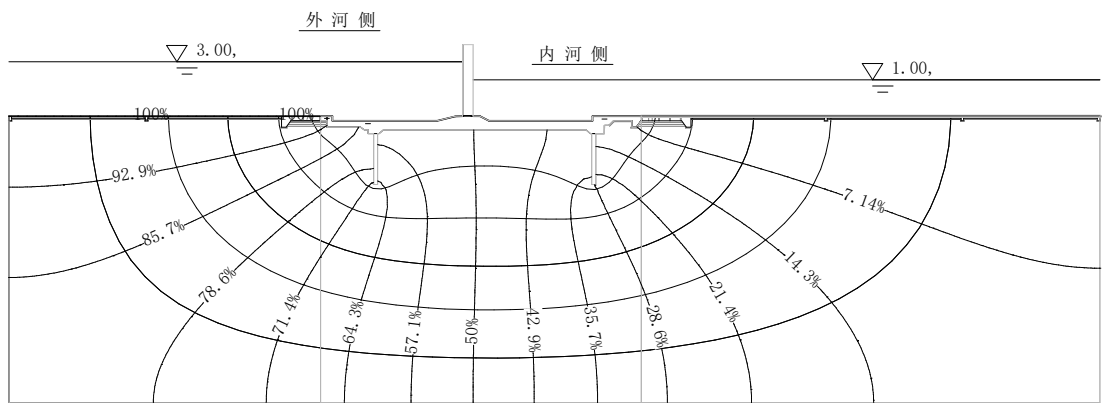


图 D.11 水闸正向防渗有限元计算渗流网成果图

D.4.4 穿堤涵洞侧向防渗有限元法绘制流网示例

示例为某穿堤涵洞两侧设置防渗刺墙，地基为均质透水层， $K_v=1.1\times10^{-4}\text{cm/s}$ 、 $K_h=1.8\times10^{-4}\text{cm/s}$ ，采用三维有限元法建模进行稳态渗流计算，可同时反映正向渗流和侧向绕流。计算模型及流网见图 D.12～图 D.16。

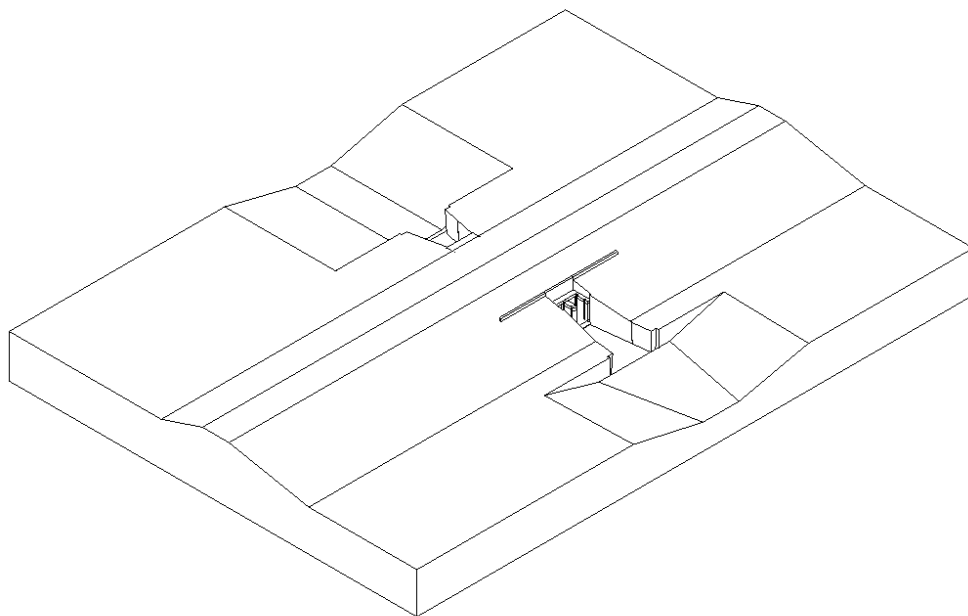


图 D.12 涵洞渗流计算三维简化图

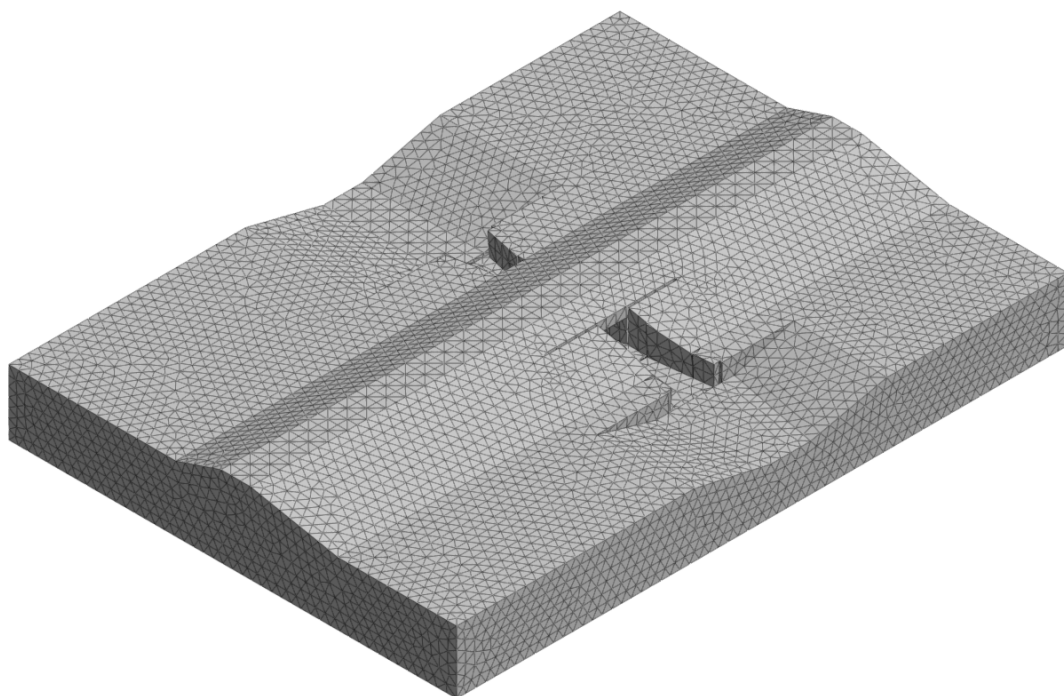


图 D.13 涵洞渗流计算三维有限元网格图

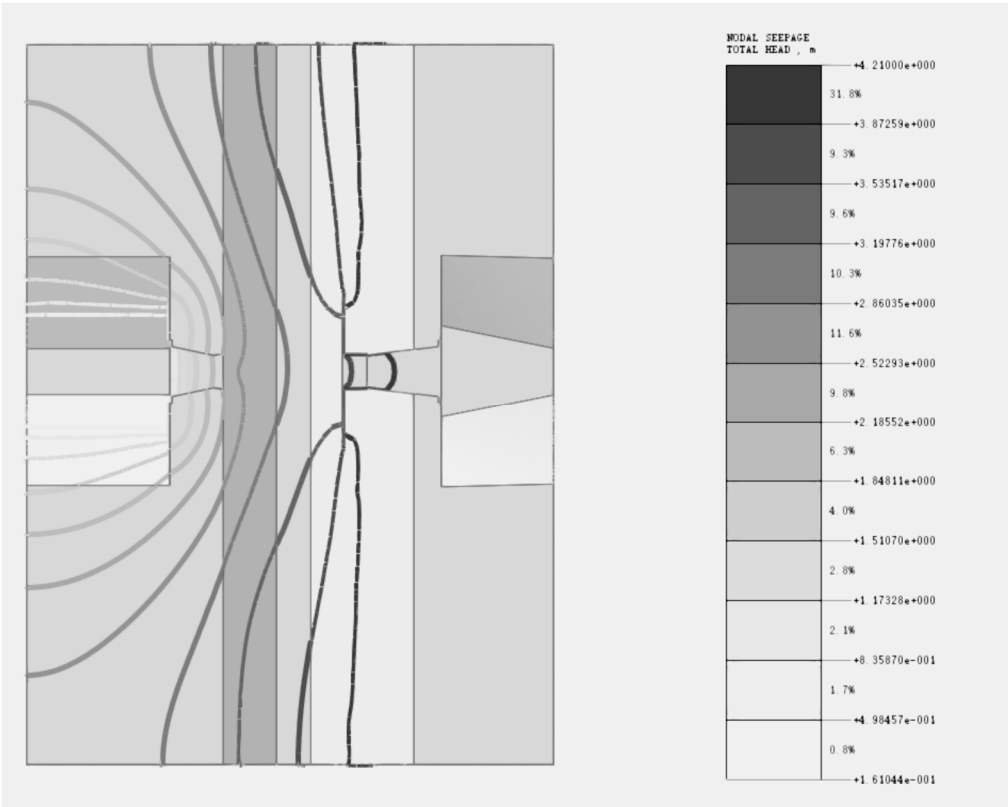


图 D.14 涵洞渗流计算平面等势线图

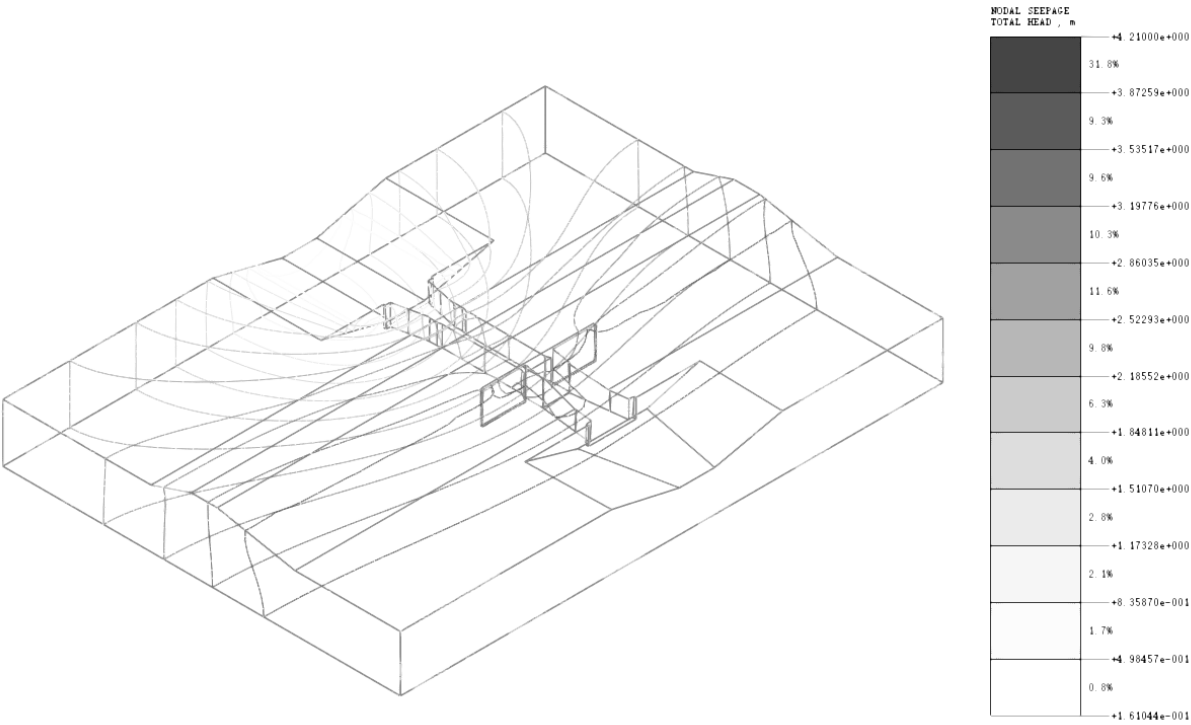


图 D.15 涵洞渗流计算三维等势线图

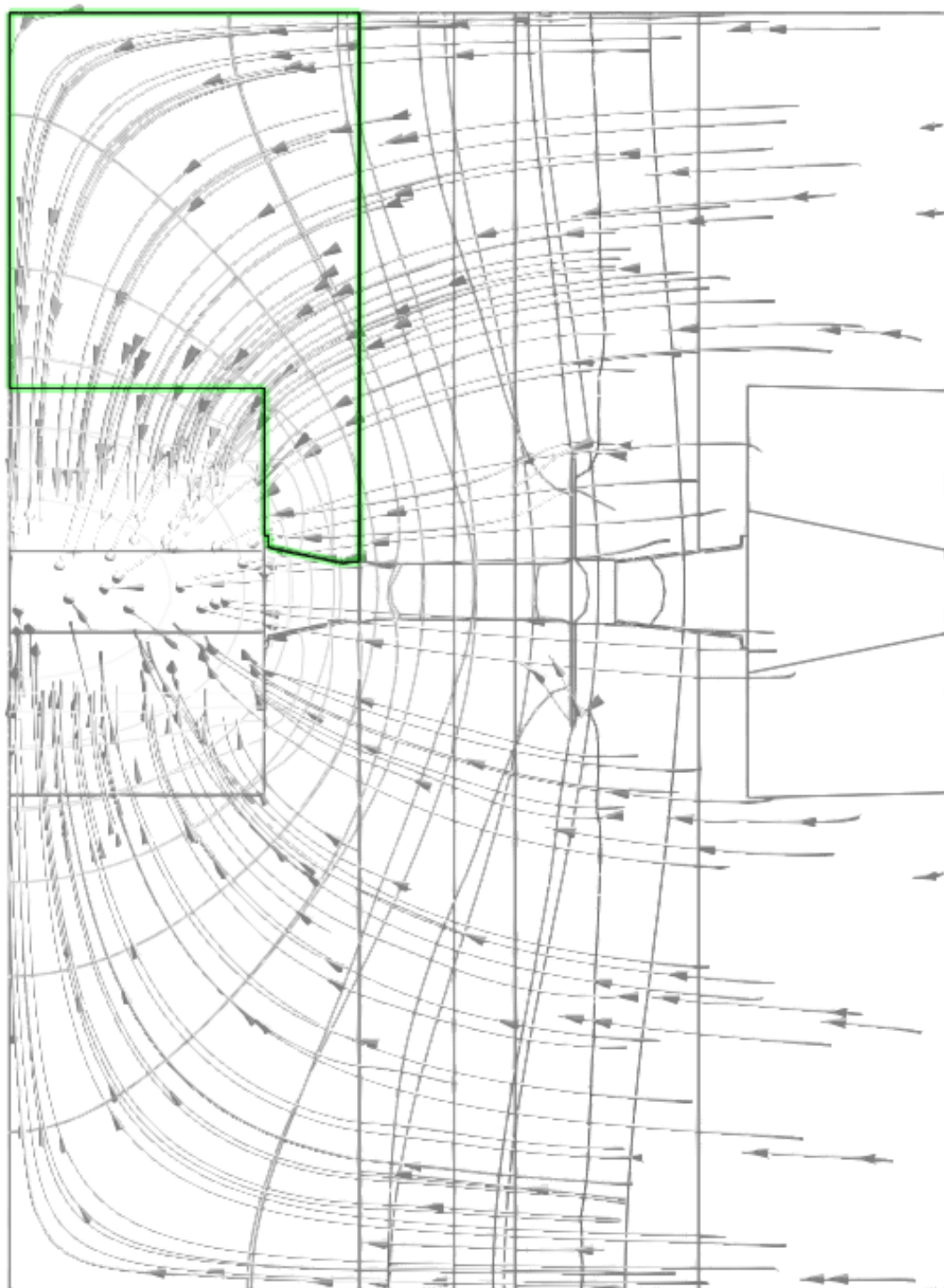


图 D.16 涵洞渗流计算流线图

附 录 E

(资料性)

典型工程防渗监测布置示意图

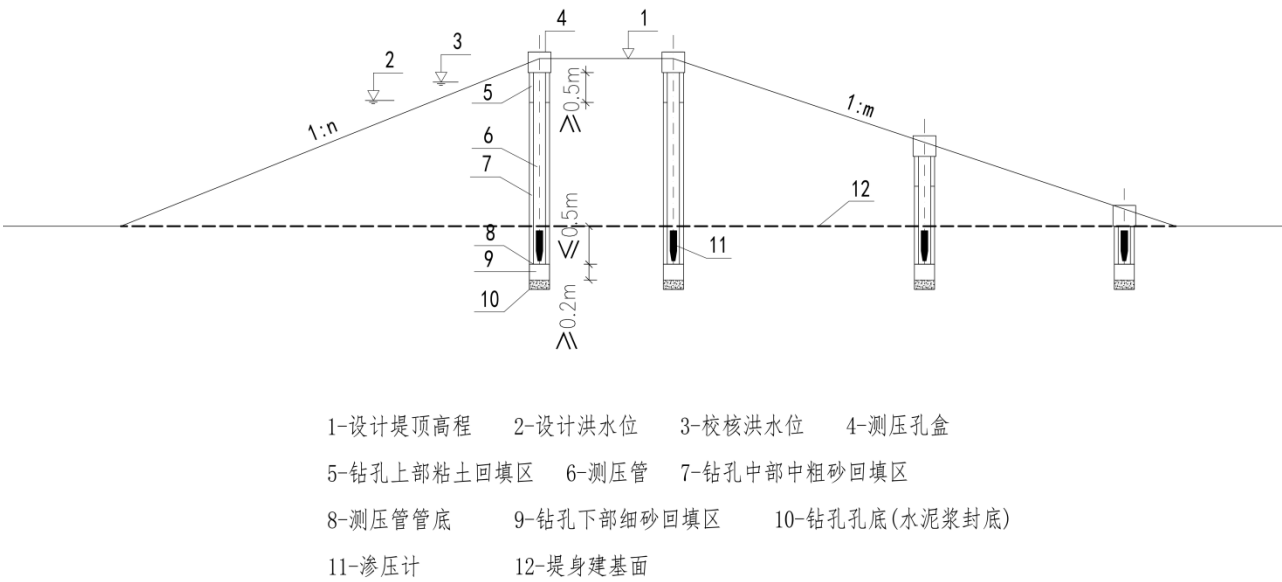


图 E.1 堤身浸润线监测断面布置图

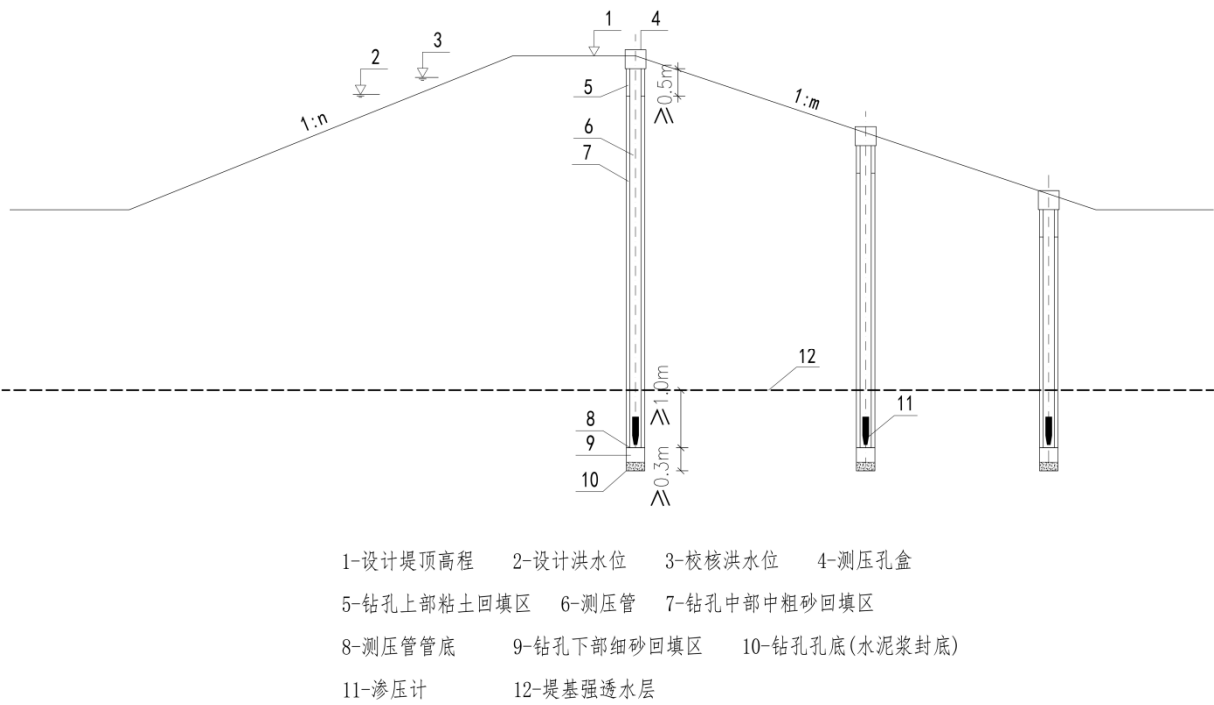


图 E.2 堤基渗透压力监测布置图

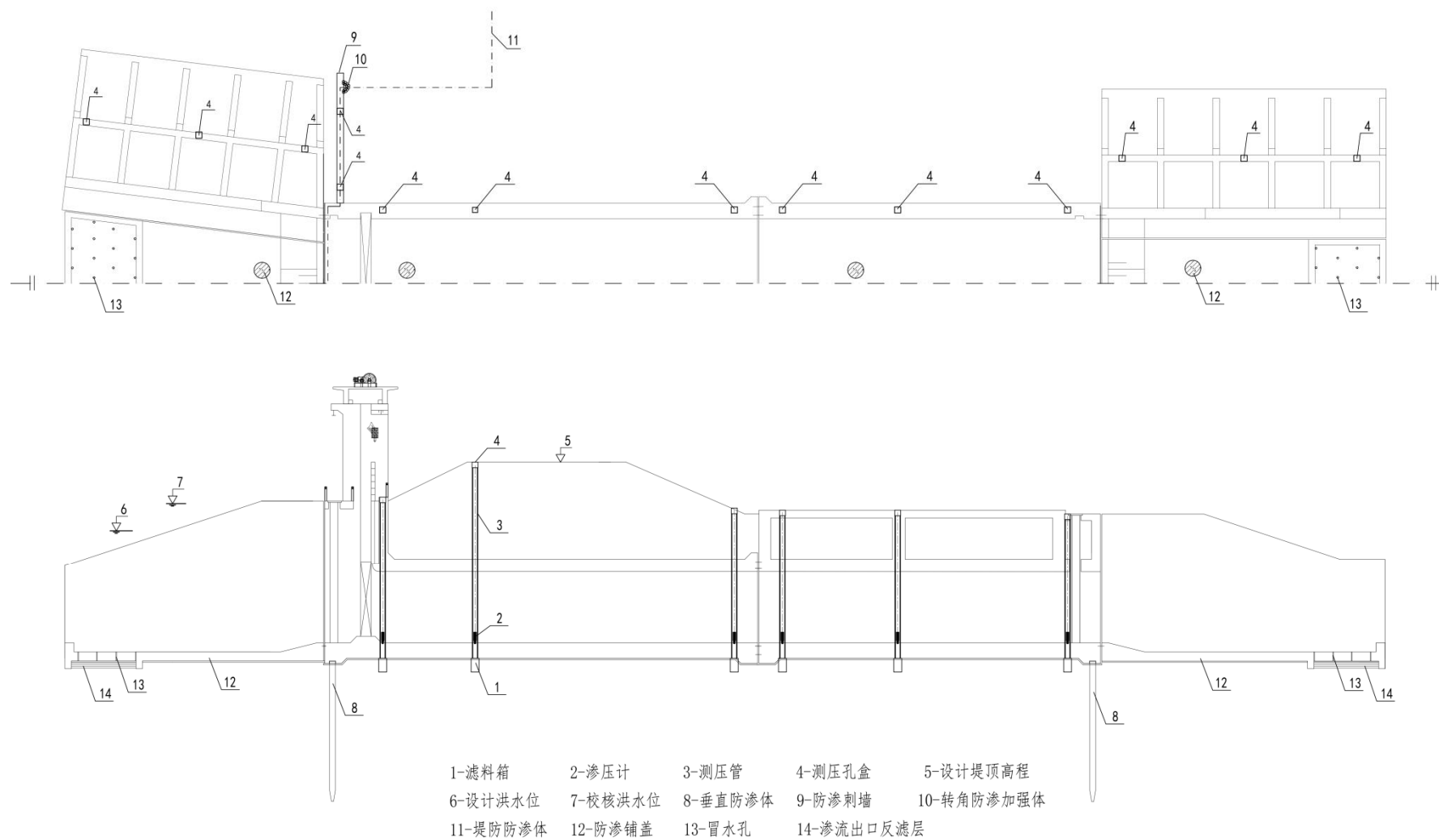


图 E.3 穿堤建筑物监测布置图