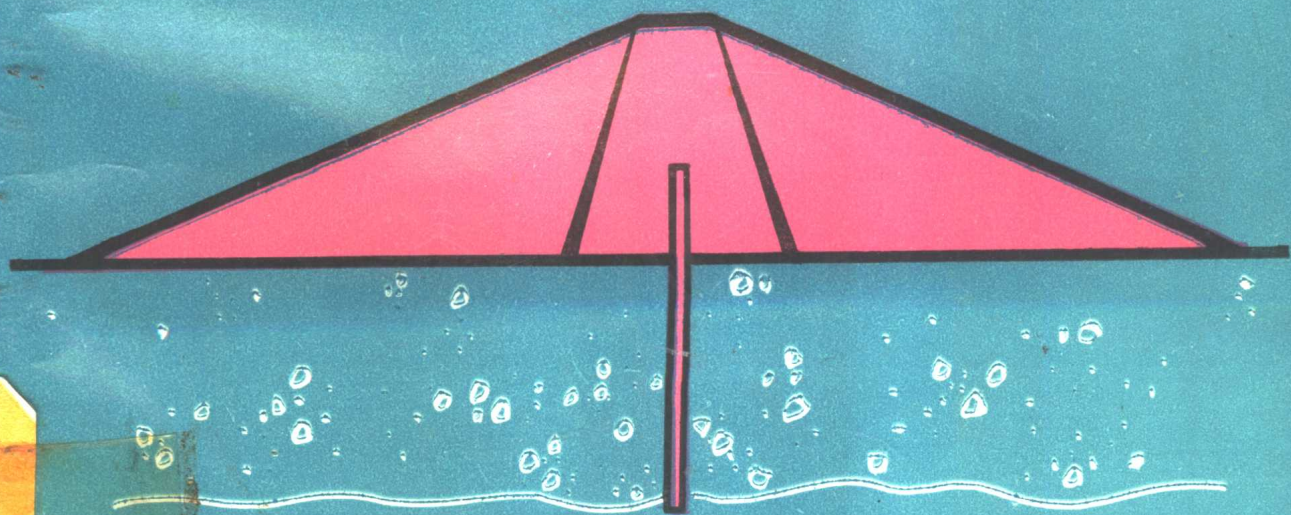


砂砾地基 防渗工程

杨光煦 著



水利电力出版社

972197

TV223.4
4796

砂砾地基防渗工程

杨光照 著

水利电力出版社

1.34

(京)新登字115号

砂砾地基防渗工程

杨光煦 著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市京泰印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 24.5印张 556千字

• 1993年12月第一版 1993年12月北京第一次印刷

印数 0001—1570 册

ISBN 7-120-01724-1/TV·697

定价 22.90 元

内 容 提 要

本书系统介绍砂砾地基防渗工程的设计原则、工程措施及施工参数计算,归纳了作者研究成果、实践经验及国内外的最新防渗设计理论与技术,提出了探讨方向。全书从分析地基土的渗透特性入手,总结各种防渗工程计算原理、防渗材料与防渗构件的工程特性,以及铺盖、截水槽、防渗墙、板桩墙、灌浆帷幕、高压喷射灌浆板墙、板桩灌注墙等主要防渗结构的具体设计计算方法、结构构造及施工措施。同时,书中还简单介绍了防渗工程修复与抢险措施。

本书可供水利水电、交通运输、矿山冶金、民用建筑、海洋开发和国防等部门从事砂砾地基防渗工程、地下工程及水下工程设计、施工和科研的工程技术人员阅读,也可供有关专业院校师生参考。

前 言

砂砾地基防渗是一门牵涉面较广的实用工程技术，历来是工程界所要解决的重要而又困难的问题。有些工程兴建，由于砂砾地基防渗技术不能解决，而只得放弃；否则，就需采用昂贵的基础结构措施。有的工程则在投入使用后，出现渗透破坏，危及工程安全，影响周围环境。因此，合理确定砂砾地基防渗措施，正确进行地基渗透稳定分析，是土木工程师的重要设计内容。

随着我国社会主义建设蓬勃发展，随着新材料、新工艺、新型施工机械不断出现，砂砾地基防渗技术发展也日新月异。

作者写这本书的目的，是希望通过系统总结有关砂砾地基防渗理论研究及设计和施工中的体会，提供一部较全面介绍砂砾地基防渗设计原则、工程措施及其施工参数计算方面的专著。本书出版能有助于三峡水利枢纽、南水北调工程、祖国大西南深厚砂砾地基上的水力资源开发、沿海沿江的港口、码头、桥梁等的建设，将是我最大的欣慰。

本书在定稿过程中，经水利水电科学研究院刘杰高级工程师、杨晓东高级工程师、朱建华工程师审查，提出许多宝贵意见；葛洲坝工程局及水利部长江水利委员会许多领导，以及李念宣高级工程师等同志，对本书给予了热情支持，使本书能与读者见面。在写作过程中还参阅了有关专业书籍和论文，在此一并向有关同志表示感谢。

本书不妥之处，敬请读者批评指正。

杨光煦

一九九三年元月于武汉

目 录

前 言

概述.....	1
第一章 地基土的渗透特性	11
第一节 天然地基土的颗粒组成分析	11
第二节 地基土的成因类型	17
第三节 天然地基土的渗漏条件	20
第四节 地基土的渗透性	22
第五节 地基土的渗透变形	30
第二章 砂砾地基防渗工程计算原理	45
第一节 渗透计算	46
第二节 浆液运动及其在砂砾地基中的填充扩散理论	64
第三节 砂砾地基中的防渗墙体结构应力分析	84
第四节 粘土防渗墙的固结计算	98
第五节 打桩成墙施工参数及结构应力分析	100
第六节 防渗截水墙造孔期槽壁稳定分析	115
第三章 防渗材料与防渗构件	124
第一节 常用防渗材料的基本要求	124
第二节 粘性土类防渗材料	125
第三节 灌浆材料	152
第四节 泥浆中的防渗回填料	175
第五节 板桩	187
第六节 土工聚合物	196
第四章 防渗方案与防渗工程布置	204
第一节 防渗工程设计内容 with 要求	204
第二节 防渗方案选择	205
第三节 防渗工程布置	219
第五章 铺盖防渗	228
第一节 铺盖设计原则	228
第二节 干填铺盖设计与施工	229
第三节 水下抛土铺盖	238
第四节 天然淤积铺盖	244
第六章 截水槽	251
第一节 截水槽断面结构型式	251
第二节 截水槽结构设计	254
第三节 梯形截水槽的抽槽与回填	260
第四节 墙式槽的支撑抽槽与回填	264

第五节	泥浆中回填配合土	268
第七章	防渗墙	270
第一节	防渗墙成墙方式	270
第二节	防渗墙型式选择	271
第三节	防渗墙结构设计	272
第四节	固壁泥浆	280
第五节	防渗墙造孔	284
第六节	防渗料回填	289
第八章	板桩墙	296
第一节	板桩墙结构设计	296
第二节	打桩	300
第三节	塑料板桩施工	307
第九章	灌浆帷幕	309
第一节	结构类型与灌浆方法	309
第二节	灌浆材料选择	310
第三节	灌浆帷幕结构	316
第四节	静压灌浆方法	321
第十章	高压喷射灌浆板墙	336
第一节	高压喷射灌浆特点与方法	336
第二节	喷射浆液及其凝体性质	339
第三节	喷射灌浆防渗板墙结构设计	344
第四节	喷射灌浆施工参数	350
第五节	喷射灌浆施工	354
第十一章	板桩灌注墙	360
第一节	分类及成墙方式	360
第二节	填充浆液	362
第三节	结构设计	365
第四节	施工设备	366
第五节	施工参数计算	369
第六节	施工工艺	370
第十二章	防渗工程修复与抢险	373
第一节	地基渗透安全性判断与检查	373
第二节	防渗工程修复	376
第三节	抢险堵漏措施	378
参考文献		383

概 述

水工建筑物及其它土木工程的地基，依据岩性和颗粒组成的不同，分为岩石地基、砂砾地基和粘性土地基三大类。水工建筑物的天然地基往往是上述三种类型的组合型式，例如，河床部分为砂砾地基，两岸岸坡为岩石地基，且通常呈陡坡地段岩石裸露，缓坡地段又多为粘性土所覆盖。

砂砾地基系由粗粒土组成的松散粗碎屑堆积成的堆积层地基，比岩石地基易于开挖，又比粘性土地基承载力大，雨季施工也不困难，常常作为水工、港口、桥梁、道路等土木工程建筑物的地基。它与岩石地基及粘性土地基的最大不同之处，在于它的透水性。在地下水、地面水、海水、水库水等作用下，沿砂砾地基产生复杂的渗透现象。

人们在砂砾地基上建造土木工程时，往往需要采取各种渗流控制措施，克服地下水、河水及海水等环境水对施工的影响，减少渗漏量、防止地基渗透破坏。

一、砂砾地基防渗处理的重要性

在河流中筑坝挡水后，壅高上游水位，高压水头促使地下水流速加大，可能带走砂砾层中的细粒充填物，进一步加大渗透变形。若不进行防渗处理或处理不当，造成渗流量过大，将影响水库发挥效益；地基产生渗透破坏；下游土地被浸没；对土坝，可使坝体浸润线过高或隆起，影响坝坡稳定；还可能造成湿陷性黄土遇水下陷，膨胀土产生过大的膨胀变形和强度急剧下降，危及坝坡及下游其他建筑物安全。

一些国家的土坝失事统计结果表明，由于渗流遭致失事的占40%左右，其中又有60%是发生在水库蓄水初期或运转第一年内（表0-1）。因此，地基土的渗透变形是水工建筑物遭受破坏的主要原因之一。在砂砾地基上建造挡水、防渗建筑物，必须认真研究砂砾地基的渗流条件，充分估计产生渗透变形的可能性，妥善地拟定砂砾地基渗流控制措施，并加以实施，以达到下述目的：

1) 减少或消除通过地基的渗透水量，使水量渗漏损失减至许可范围以内，以保证水库的正常运行及充分发挥工程效益。

2) 降低地基内各点及下游出逸点的渗透水力梯度，降低渗流流速，减小透水层上部不透水层的超静水压力，避免管涌及流土等渗透变形现象。

3) 降低作用于混凝土建筑物底面上的扬压力。

4) 避免地基内形成集中渗流，消除由此而引起地基土冲刷和破坏的危险。

5) 减少通过地基的渗透水流量及流速，保证地基化学溶解及潜蚀的稳定性。

6) 降低均质土坝坝体浸润线位置，保证下游坡具有更高的稳定性，防止湿陷性黄土遇水下陷。

7) 灌浆帷幕等防渗措施兼起加固地基、提高地基承载力的作用。

表 0-1

水库大坝失事调查分析

资 料 来 源	失事类型 (%)			
	漫坝顶	渗漏管涌	滑坡裂缝	其 他
中国2391座水库垮坝失事分析 (1981年)	51	29	3	17
159座土坝失事原因分析 (Hinderlider, 1933年)	33	26	4	37
美国206座大坝失事原因分析 (Midd Lebrooks, 1953年)	27	39	18	16
214座土石坝破坏原因分析 (Sherard, 1963年)	28	41	11	20
瑞士大坝失事调查分析 (Gruner, 1963年)	23	40	2	35
日本土坝失事调查分析 (Takase, 1967年)	28	44	10	18
大坝失事原因分析 (Babb and Mermal 美国垦务局, 1968年)	36	30	15	19
309座大坝失事原因分析 (Vogel, 维也纳大坝失事数据站, 1982年)	36	34	12	18
大坝失事调查分析 (美国大坝委员会)	38	44	9	9
119座土坝失事原因分析 (Peinus)	30	40	10	20

8) 创造水工建筑物及其他工业和民用建筑物的干地施工条件和运行条件。

研究渗流及防渗控制措施, 主要是确定渗流量、渗流水面线、渗流作用于建筑物的压力和渗流对土壤结构的破坏作用, 防止产生危及地基及建筑物安全的渗透变形。

砂砾地基渗流控制的基本要求是: 减小地基渗流水力梯度, 从而确保砂砾地基不变形, 保证渗透稳定; 控制渗透流量不超过允许值; 防止和减少下游浸没; 降低坝体浸润线; 降低混凝土建筑物基础扬压力; 防止地基土的化学溶蚀等。对砂砾地基上的土坝, 主要是保证渗透稳定和控制渗透流量。

二、砂砾地基防渗处理原则

渗流控制的基本原则是防、排结合, 用反滤层保护渗流出口。防渗工程布置原则是上部建筑、砂砾地基及下埋基岩形成整体防渗系统。防渗措施布置原则是上铺、中截、下排。即在坝上游用水平防渗铺盖延长渗径, 消除部分水头, 减少渗流量; 或在中间用各种型式的垂直防渗帷幕截断渗透水流; 在坝下游用反滤层防止渗透变形, 利用排水设备及排水减压井将水引走, 减小出逸点的水头。

一般说来, 对于深厚的砂砾地基, 建筑物承受水头不大时, 采用上铺, 结合下游排水, 往往比较经济。若采用的铺盖太长或铺盖作用不足以满足要求时, 采用中截。

根据渗流理论分析, 渗流出口处渗流水力梯度比较大, 出口处又是局部土体或土颗粒无约束或约束最小的地方, 无论是渗透力的分布还是渗透破坏过程, 渗流出口都是渗透稳定性最薄弱部位。渗流出口不仅指下游逸出段, 还包括坝体及地基中渗透系数相差百倍以

上、渗透水力梯度骤然减小甚至消失的一切土层结合面。地基中渗流通道多从渗流出口开始，然后向深处发展。因此，渗流出口往往是控制渗透变形的关键。设计渗流控制措施的着眼点，是保证渗流出口具有足够的抗渗稳定性。

渗透水流总是寻找阻力最小的通道、裂隙、夹层以及各种薄弱的结合面流动。这些部位也是容易产生渗透破坏的场所，而这些位于地基中的薄弱部位，往往存在于人们事先无法预料到的某些地方。因此，在进行渗流控制措施设计时，应充分考虑这些偶然因素，一般采取控制地基平均渗流水力梯度方法来防止这类渗透破坏。

一切可能出现渗透变形的部位，在其渗流出口处（内部或外部）都必须设置能让水流自由通过并保持土粒料抗渗稳定的反滤层。上游反滤料应能推移进入防渗体裂缝并将其充满；下游反滤料则应由在饱和状态下不再会产生张开裂缝的材料组成。

排水设备设置在坝的下游部分靠近坝体和地基相连接的地方。沿排水设备所设置的反滤层应能防止渗流将土料骨架颗粒带出。

三、砂砾地基渗流控制措施

地基渗流控制措施按其作用，分为截渗措施（截水槽、防渗墙、着底式灌浆帷幕、冻结帷幕）、减渗措施（上游铺盖、悬挂帷幕）、排渗措施（水平排水褥垫、排水沟管、减压井）、压渗措施（透水盖重层）、反滤措施（反滤层、过渡区）等五种。

其中截渗及减渗措施统称为防渗措施，其作用是延长渗径、减少渗流量或截断水流、降低渗流水力梯度和渗透流速。通常按布置型式不同分为水平防渗措施及垂直防渗措施两大类。

（1）水平防渗措施 主要有全部清除法、铺盖法、衬砌法、淤填法。

（2）垂直防渗措施 主要有开挖回填法（截水槽）、连锁板桩法（板桩墙）、灌注帷幕法（灌浆帷幕）、打桩灌注法（板桩灌注墙）、抽槽灌筑法（防渗墙）、冻结土壤法（冻结帷幕）。

按照防渗深度和范围不同，垂直防渗措施又可分为着底式（完整式、完全式）、悬挂式（不完全式）、箱式三种（图0-1）。

着底式防渗措施底部与不透水层相接，能完全截断砂砾层，因此防渗效果好。悬挂式垂直防渗措施沿其底部产生加密流网现象，防渗效果比着底式差，随着距不透水层距离加大，防渗效果显著降低，并加大防渗体底部水力梯度，从而增加发生内部管涌与接触冲刷的危险。因此，只宜采用承受水力梯度大的板桩及混凝土防渗墙等作为悬挂式帷幕，出口处做好反滤层、盖重，并要核算其底部及下游出口渗透稳定性。箱式帷幕应用于深厚砂砾地基中，沿建筑物基础形成箱式防渗体。由于箱式防渗体要承担巨大的地下水浮托力，只宜用于不壅高水位或低水头建筑物的地基防渗。

排渗减压措施布置在堤坝的下游渗流出逸段内，将水引走，以降低渗透压力，提高允许水力梯度，防止地基产生渗透变形。

反滤措施布置于渗透水流出逸处或水流从细粒土流入较粗的粗粒土的接触面处，以提高允许水力梯度，防止渗流对地基产生的管涌破坏。

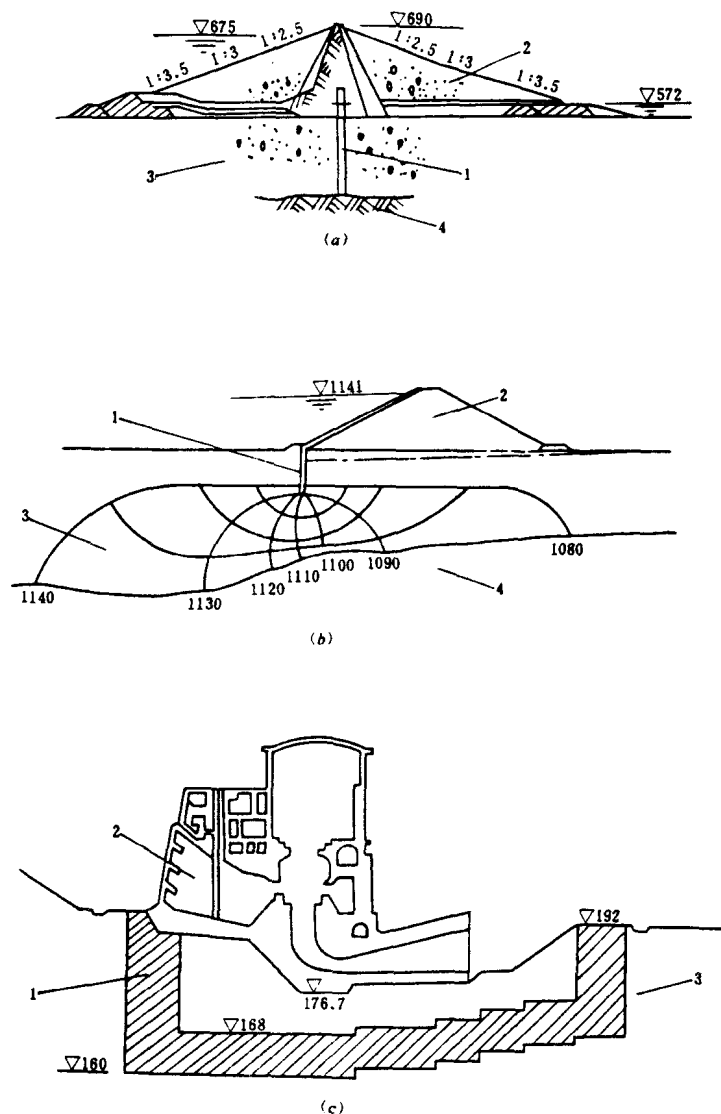


图 0-1 垂直防渗措施按照深度和范围的分类

(单位:m)

(a) 着底式 (马立克3号坝双道混凝土防渗墙); (b) 悬挂式 (佐科罗坝悬挂式混凝土防渗墙及其流网); (c) 箱式 (费森海姆电站箱形灌浆帷幕)

1—防渗体; 2—坝体; 3—砂砾地基; 4—不透水层

压渗措施是指在堤坝下游坡脚附近一定范围内, 设置盖重或养水盆, 抵消部分水压, 防止产生流土破坏。

四、防渗工程及其工作原理

(一) 水平防渗工程

水平防渗工程利用延长渗径、加密地基土及淤填等方法达到防渗目的。常用的方法有:

(1) 铺盖防渗 (图0-2) 当砂砾覆盖层比较深厚或水下清除覆盖层施工困难时,

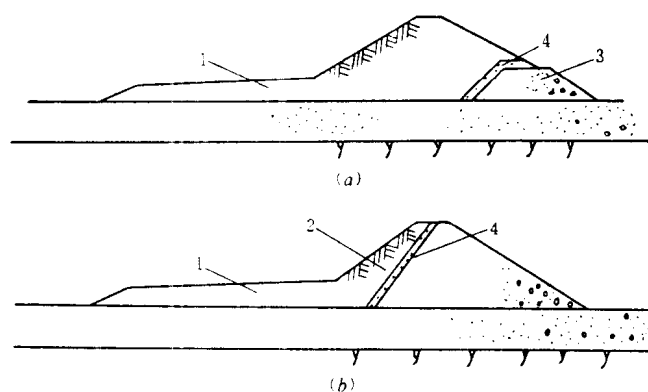


图 0-2 铺盖防渗

(a) 均质土坝；(b) 斜墙土坝

1—粘土铺盖；2—斜墙；3—排水棱体；4—反滤层

依靠铺设在坝体上游砂砾地基上且与坝体防渗体联成整体的不透水或弱透水铺盖，延长渗径，减少渗透流量。

(2) 淤填防渗 利用水中所含天然粘土或人工掺入细小颗粒粘土，在静止或低流速（小于0.2m/s）情况下沉积至砂砾地基上，并利用渗透水流产生的渗透压力淤灌于砂砾孔隙中，减少砂砾孔隙率，从而减少渗漏量。淤填深度一般在10cm以内，主要用于明渠底部防渗。

(3) 防渗衬砌 在水库底部或引水渠道周边采用弱透水或不透水材料衬砌，形成隔水层。

(二) 垂直防渗工程

垂直防渗工程系利用置换、填充、挤密、插入不透水板桩，以及冻结、化学作用达到防渗目的。常用的方法有以下几种：

(1) 截水槽 截水槽是采用最广泛的一种置换防渗方法。先在透水地基上直接开挖梯形槽或垂直断面矩形槽（利用沉井、沉箱、倒挂井、钢木支撑），直达不透水层表面或基岩面，然后在槽内回填不透水或弱透水防渗料（粘性土或混凝土），形成截水槽（图0-3）。

(2) 防渗墙 利用泥浆固壁开挖槽孔，然后灌注防渗料（混凝土、沥青混凝土、自凝灰浆、固化灰浆、粘性土、级配砂砾料）的一种固壁开挖置换防渗措施。

(3) 灌浆帷幕 利用压力经注浆管在地基内灌入各种浆液（水泥粘土浆及各种化学浆液），充填砂砾地基空隙，并与砂砾颗粒胶结形成渗透

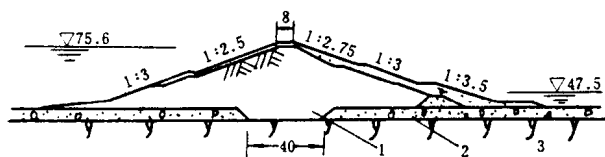


图 0-3 截水槽（徐家河坝）
（单位：m）

1—截水槽；2—砂砾层；3—变质闪长岩

系数较小的防渗帷幕。

(4) 高压喷射灌浆板墙 利用带有特殊喷嘴的注浆管,喷射脉动高压液流,切割并搅拌土体,与浆液形成防渗混凝土板墙,依靠挤密、填充作用达到防渗目的。

(5) 深层搅拌桩墙 通过特制的深层搅拌机械,在地基深处强制搅拌土与固化剂。依靠它们之间产生的一系列物理、化学反应,形成具有一定防渗性能的桩墙。

(6) 插入不透水板桩 在透水砂砾地基中,打入一排连锁板桩(钢板桩、木板桩或钢筋混凝土板桩)形成一道不透水的板桩墙(但锁口处仍有渗漏现象)。

(7) 板桩灌注墙 工字型钢板桩打入地基后,在进行拔桩的同时,灌注浆液充填拔桩形成的空隙及附近砂砾空隙,依靠挤密、填充及置换作用达到防渗目的。

(8) 冻结地层 对含水饱和地层,采用埋管通低温盐水冻结土壤的方法,形成一道不透水的冻结帷幕。

五、砂砾地基防渗工程的结构要求

砂砾地基防渗处理大多属于地下隐蔽工程,出了事故处理困难,又对建筑物安全起重要作用。防渗措施的有效性、施工可能性均与砂砾地基的渗透特征密切相关。砂砾地基的地质条件又往往是复杂、多变的。因此在进行结构设计前必须充分调查研究,掌握比较准确的勘测试验资料。防渗工程结构应满足下述要求:

1) 采用的防渗措施必须运行可靠,保证施工质量,与上部结构有相适应的强度、耐久性及防渗性能。

2) 所采用的砂砾地基防渗措施应与建筑物本身的防渗结构形成完整的防渗系统。

3) 地基防渗措施直接与砂砾地基土相接触。砂砾地基土在承受上部结构及防渗措施传来的各种面力及体力作用下,会产生一定沉降及变位,防渗措施应具有相应的变形协调性。

4) 防渗措施本身应具有足够的渗透稳定性,防渗体的渗透系数应远小于砂砾地基土的渗透系数。

5) 防渗体中的孔洞结构会造成集中渗流,加大渗流流速,恶化附近地基土的渗透稳定条件。因此,防渗措施中的防渗体应尽可能连续完整。无法避免的板桩锁口缝隙中的集中渗流,也应控制在允许水力梯度范围内。

6) 采用水平防渗措施时,一般要配合渗流出逸处设置的反滤、排渗措施,才能起到较好的渗流控制效果。

7) 当采用土料作为防渗体时,必须核算其与附近地基土组成是否符合反滤要求。若不符合,应加设反滤层,或改用具有一定固结强度的防渗料。

8) 重要建筑物宜采用垂直防渗措施,一般以在渗流作用下地基不发生渗透变形(即静稳定条件)进行设计。对于临时建筑物及采用水平防渗措施时,可按在渗流作用下地基不发生渗透破坏(即动稳定条件)进行设计。

9) 防渗工程的地基必须满足结构稳定要求。对承受上部结构物荷重后,产生的位移、沉降量危及防渗工程安全的地基土,应采取加固措施(置换、浸水湿陷、排水固结、强夯、振

冲、灌浆等)。

六、砂砾地基防渗工程的施工特点

1) 由于砂砾地基防渗处理效果关系到工程安全,一般难以全面准确地直接检测,发生质量事故又难以补救,因此对施工质量要求高。在施工过程中要不断搜集、分析有关施工资料,及时解决发现的问题,以确保工程质量,不留隐患。

2) 工程技术复杂,施工难度大。各工程地质条件不尽相同,砂砾地基防渗工程很少有先例可以直接参考套用。因此,在施工前和施工过程中需进行必要的室内或现场试验,逐步取得各项参数和施工经验,以供选择处理方案和解决施工中的技术问题。

3) 工艺要求严格,施工连续性强。砂砾地基防渗工程的施工环节较多,每一作业循环都要求按顺序连续快速进行,稍有延误和疏忽,就可能造成质量事故和重大经济损失。

4) 工期紧、干扰大。防渗工程常受到汛期和工作面的限制,大部分施工先于主体工程或与主体工程施工交错进行,需按照工程施工总进度,统筹制定施工措施和施工网络计划。

5) 对于需进行地基加固的工程,应先对地基土进行加固处理。待位移、沉降量均稳定后,才能进行地基防渗工程施工。

七、砂砾地基渗流控制技术的发展过程与展望

人们在砂砾地基上兴建土木建筑物时,往往需要克服地下水、河水及海水等对干地施工的影响,防止渗透破坏,减少渗漏量。砂砾地基的渗流控制技术也随着兴建工程的需要而发展起来。

19世纪以前,主要采用全面清除砂砾覆盖层,开挖截水槽,回填粘性土及上游进行粘土铺盖作为砂砾地基防渗的主要措施。由于这些方法具有施工简便,不须特殊回填材料,可结合下游设置反滤料控制土体渗透变形,做到防渗可靠,至今仍是人们首先乐于考虑采用的防渗措施。

1802年人们开始利用石灰及粘土灌浆形成灌浆帷幕阻水。1824年英国的 J. 阿 斯 普 丁 (Josepb Aspdin) 发明了波特兰水泥后,进一步促进了灌浆技术发展,进入了水泥灌浆阶段。1864年水泥灌浆法首次应用于阿里因普瑞贝硬煤矿井的一个井筒里。以后又相继在比利时、法国和西德等国家使用。1885年铁琴斯 (Tietjens) 以水泥注浆开凿井筒获得成功,逐渐成为在矿井建设等工程中防渗的重要方法。本世纪40年代以后又逐渐推广应用于水工建筑物砂砾地基防渗。法国的谢尔庞桑坝,高125m,位于厚达115m的深厚砂卵石冲积层上,由于以前没有办法阻止这样厚冲积层的渗漏,致使工程拖延了50年不敢兴建。在1951年深入研究了水泥粘土灌浆技术后,才利用这个方法于1957年建造了面积达4200m²的水泥粘土灌浆防渗帷幕,将坝建成(图0-4)。

19世纪后期,开始采用水玻璃、氯化钙、硫酸铝等无机化学材料,进一步提高灌浆效果。以后随着石油化学工业的发展,有机化学灌浆材料开始有了突飞猛进地发展。50年代后期出现了以丙烯酰胺为主的化学灌浆材料,以后又陆续出现了许多新型的、改性的化学

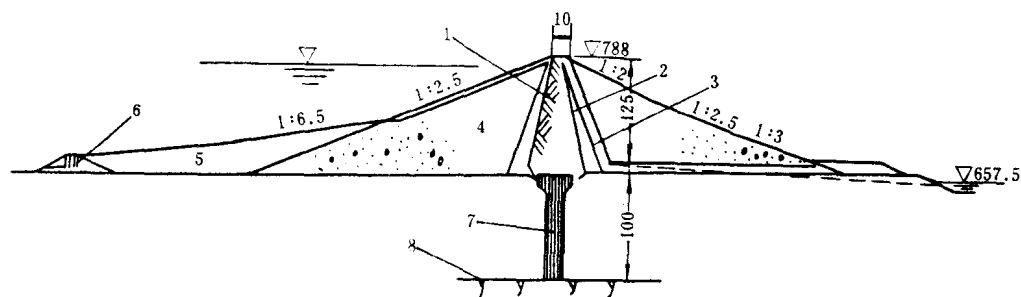


图 0-4 谢尔庞桑坝剖面图 (单位: m)

1—粘土心墙; 2—过渡层; 3—砂反滤层; 4—透水坝壳; 5—上游压重; 6—围堰; 7—灌浆帷幕; 8—岩面

浆材: 脲醛树脂、酚醛树脂、无毒丙凝、铬木素、聚胺脂等。开发了高强度的水玻璃类浆液并消除了碱污染的中性、酸性水玻璃浆液, 研制了非石油来源的多种高分子浆液。

在灌浆机具方面, 开始使用轻小型全液压高速钻机, 注浆设备转向专用化、机组化、系列化趋势; 研制了高速搅拌机和各种新型止浆塞和混合器。

灌浆方法上, 从脉状注浆、渗透注浆发展到应用多种材料的复合注浆法、诱导注浆法、劈裂注浆法。从钻杆法、过滤管法发展到双层过滤管法和多种形式的双层管瞬凝注浆法。

60年代后期日本日产冻结有限公司(ニツサンフソース株式会社)将静压灌浆方法发展成高压喷射灌浆法, 该方法能够比较均匀地加固透水性很小的细粒土, 防止浆液从地下无限地大量流失, 达到了既防渗又能增加地基强度的目的。以后又由单管旋喷法, 发展到二重管旋喷法、三重管旋喷法、定向喷射及摆动定向喷射法。我国于1982年首先在白浪河水库进行高压喷射灌浆试验成功, 并迅速在20个省、市自治区得到推广应用, 造墙面积突破20余万 m^2 。

板桩墙防渗可以追溯到19世纪中叶。最早是用木板桩防渗。由于木板桩强度有限, 只能用于浅层砂质地基防渗。以后发展到应用钢板桩、钢筋混凝土板桩防渗。由于钢板桩使用起来比较方便, 能打入硬质粘土层、砂砾层及风化岩层, 并可以重复使用, 本世纪初开始逐渐取代木板桩及钢筋混凝土板桩, 成为板桩墙的主要防渗材料。

50年代后期, 人们将钢板桩与灌浆帷幕防渗技术结合起来, 创造出板桩灌注墙防渗技术。由于其造价仅为钢板桩的 $1/2 \sim 1/3$, 施工速度快, 防渗效果好, 在能打钢板桩的地质条件下, 均可采用板桩灌注墙防渗。该技术逐步取代钢板桩, 日益广泛地应用于低水头建筑物地基防渗工程中。

混凝土防渗墙防渗技术于50年代初期起源于意大利, 用于巴舍斯围堰工程的砂砾地基防渗。由于混凝土防渗墙防渗可靠, 能适应各种复杂地基条件, 施工技术也不十分复杂, 很快得到迅速发展。

在防渗墙型式上, 由桩柱式发展到槽板式。回填防渗料由混凝土发展到塑性混凝土、沥青混凝土、粘土、自凝灰浆、固化灰浆等。抽槽施工机具不断革新。造孔钻头已有冲击式、回转式、回转冲击式、凿刨式、铣削式。造孔抓斗已有钢索抓斗、液压抓斗、导板抓斗。有的设备还配有自动测斜和纠偏装置, 保证了深墙造孔的垂直精度。

建筑界还采用就地灌注混凝土桩、深层搅拌桩等组成防渗墙。

我国于1958年在山东月子口水库和北京密云水库土坝工程中,采用桩排式素混凝土防渗墙获得成功。1974年我国煤炭部用于地下水位较高的覆盖层中修建竖井(最深达57m)获得成功。目前我国已施工的防渗墙规模和数量,都居世界首位:成墙面积近50万 m^2 、最大墙深74.4m(铜街子)、最大墙厚1.3m(碧口)。

随着地基防渗处理技术的进展,各国在地质条件差的砂砾地基上成功地修建了不少高土石坝。例如加拿大的马立克3号坝,高107m,地基砂砾覆盖层厚131m,采用两道混凝土防渗墙防渗,见图0-1(a);埃及的阿斯旺高坝,高111m,河床覆盖层厚达225m,采用水泥粘土灌浆帷幕,见图0-5;巴基斯坦的塔贝拉坝,高147m,河床覆盖层最厚约200m,采用粘土铺盖和减压井作为控制渗流措施,见图0-6,均获得成功。

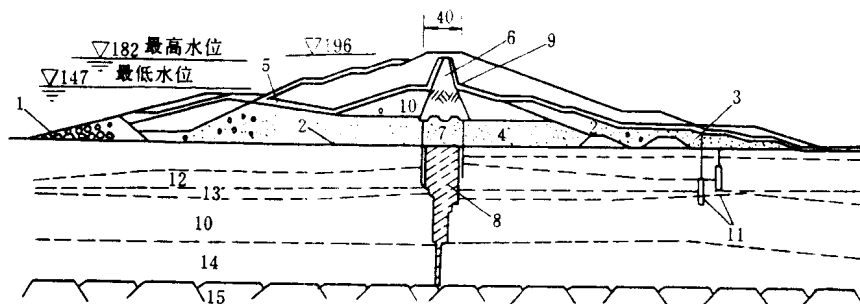


图 0-5 阿斯旺高坝剖面图
(单位: m)

1—堆石体; 2—有砂充填的石料; 3—砂; 4—振动压实的砂; 5—粘土铺盖(厚3m); 6—粘土心墙; 7—筛分的粗砂; 8—灌浆帷幕; 9—三层反滤; 10—粗砂; 11—排水孔(间距15m); 12—中砂和粗砂; 13—含有卵石和漂石的块石材料,并有砂土充填; 14—密实的砂壤土、砂、粘土互层; 15—火成岩

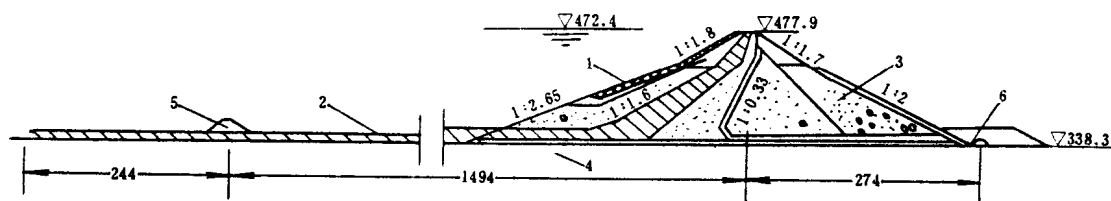


图 0-6 塔贝拉坝剖面图
(单位: m)

1—抛石护坡; 2—铺盖; 3—排水设备; 4—冲积层(孤石、卵石中充填细砂); 5—围堰; 6—排水廊道

50年代以前的砂砾地基渗流控制理论,主要应用几个经典渗透理论。防渗措施设计实际上是半经验性的。

50年代以后,许多数学家致力于渗流研究,防渗措施计算理论开始有了较大发展;70年代以后,对岩石渗流机理、粘性土渗流破坏机理及水力劈裂问题、大颗粒孔隙渗流规律等进行了较多工作。渗流的数值模拟已从适用达西定律的领域扩展到非饱和渗流、多相渗

流，以及与化学成分的扩散和迁移有关的渗流。流变理论、填充理论、散粒体介质力学理论也开始应用于分析砂砾地基防渗措施的防渗机理，提出许多新的设计计算方法。

我国在渗流理论方面有许多开拓性贡献；渗流试验方面已研制成功自动控制的电解质和电阻网模拟试验设备，可以用来解复杂边界条件下的三维非均质渗流场。

随着有限元和大型电子计算机的发展，有可能根据土的特性来建立比较真实的应力-应变-强度关系（本构关系），进行地基及防渗结构的应力与变形计算，研究建筑物与地基的联合作用；并可以根据原型观测成果进行反馈计算，判断防渗措施的可靠性。

特殊复杂地基防渗处理技术尚须进一步发展。为开发我国大西南水力资源，深厚砂砾地基防渗技术、水下直接施工技术，勘探测试手段革新及基础处理施工机具的改进，更需加快发展步伐。在地基渗流理论研究方面，须进一步发展用数学和物理模型方法分析地基土力学参数和三向渗流场。