

土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam

2006年论文集

水利水电土石坝工程信息网
中国水电顾问集团华东勘测设计研究院

组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam

2006年论文集

水利水电土石坝工程信息网
中国水电顾问集团华东勘测设计研究院

组编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

土石坝技术: 2006 年论文集/水利水电土石坝工程信息网, 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院组编. —北京: 中国电力出版社, 2006

ISBN 7 - 5083 - 4885 - 0

I. 土... II. ①水...②中... III. 土石坝 - 文集 IV. TV641 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 125694 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 11 月第一版 2006 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 31.5 印张 716 千字

印数 0001—1300 册 定价 59.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

本书编委会

顾问：潘家铮 曹克明 林 昭 周建平
彭 程 刘志明 关志诚 蒋国澄
赵增凯 殷宗泽 蒋效忠 刘瑛珍
郇能惠

委员（按姓氏拼音排序）：

陈振文 陈绍松 蔡昌光 程展林
樊路琦 费京伟 何定恩 刘斯宏
毛文然 沈益源 汤 旻 翁新雄
王金锋 王君利 吴高见 杨西林
张春生 张宗亮 张顺高 张沁成
湛正刚

土坝砂砾基础的渗流控制	林 昭 (1)
-------------------	---------

一、工 程 设 计

务坪——修建在软基上的高土石坝	陈祖煜 陈立宏 邓 刚 (11)
土石坝设计中的几个问题初探	晋国辉 张文倬 (21)
天荒坪电站上水库沥青混凝土护面裂缝分析和处理	张春生 张克钊 (28)
巴山水电站混凝土面板坝设计	齐立景 陈振文 汤 旻 (35)
峡谷地区洪家渡面板堆石坝设计	杨泽艳 罗光其 罗洪波 (42)
深厚覆盖层上高面板坝防渗体系设计研究	马 耀 卢羽平 (50)
董管水电站砂泥岩筑坝技术研究	蔡大咏 湛正刚 陈 娟 张合作 (60)
瀑布沟水电站砾石土心墙堆石坝设计	何 兰 余学明 金 伟 (65)
水牛家电站碎石土心墙坝设计	金 伟 李国善 (72)
黄河公伯峡水电站混凝土面板堆石坝工程特点	王君利 吴曾谋 (78)
公伯峡面板堆石坝应力应变计算	陆 希 (84)
桐柏下水库坝身溢洪道设计中几个主要问题的处理	姜忠见 郑齐峰 郎玲芳 (91)
泰安抽水蓄能电站上水库土工膜防渗结构设计	徐建军 吴春鸣 (95)
洮河九甸峡水利枢纽工程混凝土面板堆石坝设计	吕生玺 温续余 庞晓岚 (101)
洪家渡水电站一期面板裂缝成因分析	罗光其 ¹ 段伟 ² 何金容 ¹ (106)
长河坝水电站砾石土心墙堆石坝抗震设计	伍小玉 (111)
龙头石水电站沥青混凝土心墙坝	刘 志 (119)
桐柏下水库面板堆石坝坝身溢洪道体型设计与优化	郎玲芳 吴三顶 (125)
混凝土面板堆石坝垫层坡面防护形式的探讨	徐 琮 (130)
桐柏抽水蓄能电站下库面板堆石坝基础处理设计	郑齐峰 (134)
桐柏抽水蓄能电站上水库主坝加固设计	王樱峻 (138)
糯扎渡水电站心墙堆石坝不同分区方案的坝坡稳定分析	刘 强 袁友仁 (141)
黄河沙坡头水利枢纽坝基可溶岩特性及工程处理措施	王廷学 姜冰川 刘 拥 (149)
永定新河闸址工程地质勘察的认识	姜冰川 (153)

二、监 测 技 术

洪家渡安全监测三维仿真及虚拟现实技术应用	肖 毅 (160)
洪家渡面板堆石坝渗漏分区监测设计研究	颜义忠 (165)
大坝除险加固工程安全监测设计探讨	张颖军 (170)
石佛寺水库主坝、泄水闸监测设计实施方案	张新 张峰 徐锋 (174)
高土石坝心墙仪器埋设部位渗水原因分析及工程实践意义	田中涛 于海勇 (178)
浅论病险水库土坝的安全隐患	毛军保 黄禾生 (181)

三、工 程 施 工

桐柏抽水蓄能电站过流面板堆石坝工程施工	沈益源 景建国 (184)
陡岭子水电站混凝土面板坝填筑施工	张永春 (191)
汉坪嘴水电站大坝面板混凝土施工综述	樊 鹏 (199)
水泊渡混凝土面板堆石坝施工	徐培强 李 军 徐 琼 (206)
古城水电站左岸混凝土面板土石坝段帷幕灌浆施工及成果分析	李佳宁 张一国 (212)
公伯峡水电站固板堆石坝工程垫层料加工工艺研究与应用	李益宁 石永伟 张卫军 (219)
公伯峡水电站大坝趾板裂缝处理工艺研究	常永远 (223)
公伯峡水电站混凝土冬季表面保湿施工方法	汪文生 洪 镛 马伊岷 (227)
公伯峡上坝料开采技术	闫海平 李益宁 (231)
公伯峡水电站混凝土面板堆石坝工程坝料质量控制	尹红东 杜七一 李 明 (237)
黄河尼那水电站土坝混凝土防渗墙施工	王虎山 (243)
富水水库主坝防渗墙墙体材料与施工	刘永波 艾立伟 (248)
街子河水库大坝加固塑性混凝土防渗墙施工	袁宗洪 胡 斌 (254)
小浪底水利枢纽坝基帷幕灌浆	赵存厚 (258)
冶勒水电站廊道内混凝土防渗墙施工技术	岳广润 石 峰 (266)
冶勒水电站大坝基础岩石帷幕灌浆试验	陈 军 (278)
冶勒水电站廊道内 84m 深防渗墙施工技术	石 峰 陈 军 (283)
伊朗塔里干水利枢纽主坝防渗墙施工	王碧峰 宋 伟 (289)
汉坪嘴水电站右岸松动体变形分析及处理	樊 鹏 (293)
挤压式混凝土边墙在鱼栏嘴面板堆石坝工程中的应用	杨 耿 罗文广 (299)
水牛家碎石土心墙堆石坝基坑二次排水设计与施工	阙丕林 于海勇 万 兵 罗福勇 (304)
天荒坪抽水蓄能电站上库工程垫层料摊铺和乳化沥青喷洒技术	石晓辉 (310)

土石坝坝坡碾压设备应用	郭益民 (313)
劈裂灌浆施工技术在黑松林水库坝体加固中的应用	王 志 (316)
西藏直孔水电站坝基深厚覆盖层防渗墙施工技术综述	李建军 (320)
新疆下坂地水库坝基防渗墙试验施工	龚木金 刘建发 王廷勇 (327)
桐柏抽水蓄能电站上库水下清淤施工方法	王明亮 (336)
桐柏抽水蓄能电站上库进/出水口围堰设计概要	贾丽莉 (339)
挤压式混凝土边墙技术在龙首二级水电站工程中的推广应用	杜立红 (342)
龙首二级水电站混凝土面板堆石坝施工难点浅析	杜立红 (349)
砌石坝坝体中进行充填灌浆施工工艺浅谈	王海云 (353)
多头小直径水泥搅拌桩在水库除险加固中的应用分析	张亦冰 高宗昌 (358)
碾压混凝土在西流水混凝土面板堆石坝中的应用	郭迎旗 (362)
四川马边河舟坝水电站工程截流设计施工与经验教训	张少卫 侯 敏 (366)

四、试 验 研 究

白鹤滩上坝址心墙堆石坝心墙土料掺砾的初步探讨	于 青 张小兵 曹正俊 (373)
动三轴试验参数在土石坝坝坡稳定分析中的应用	王党在 张 琦 胡小红 (380)
黏土的分散性及分散性黏土改性筑坝研究	袁光国 李小泉 (388)
水工沥青及其技术要求分析与探讨	吴立新 夏荣立 (396)
紫坪铺趾板地基可利用岩体质量标准研究	彭仕雄 (418)
三板溪面板坝周边缝推荐使用的止水结构及其止水原理	王志宏 谭建平 杜敏华 吴启明 吕小龙 (422)
土石坝施工仿真模拟中坝固填筑系统的初步研究	李玉珠 (438)
三板溪水电站高面板坝周边缝 SR 防渗体系止水结构整体模型试验	王志宏 杜敏华 吴启明 谭建平 吕小龙 (442)
试验方法对分析土的分散性影响	姜冰川 方海艳 牛坤 陈书文 (457)
粒子群优化算法及其在土石坝坝坡稳定分析中的应用 ...	李永明 冯业林 薛芝龙 (460)
刘家箐水库拦河坝心墙用料问题初探	王 克 (467)
石佛寺水库坝基液化处理试验及检测分析	钟 亮 佟胤铮 (473)
砾石含量对砾质土工程特性的影响	冯业林 邓建霞 (480)
液化土体侧向变形对桩基影响研究	赵国斌 姜冰川 (484)
地震作用下坝坡稳定的三种判定方法研讨	田景元 (489)

土坝砂砾基础的渗流控制

林 昭

(中水北方勘测设计研究有限责任公司)

在砂砾冲积层上修建土坝国内外已屡见不鲜,出现质量事故的也不乏例,所以,保持坝基渗透稳定,确保大坝安全运行,是具有实际意义的。本文拟根据国内外有关经验和笔者在实践中的体会,对砂砾坝基渗流控制问题进行探讨;对有关概念、结构布置及施工措施和运行管理方面提出粗浅看法,仅供参考。

1 砂砾坝基的渗流控制

天然砂砾坝基的组成十分复杂,对渗流控制方案的选用颇有影响。通常砂砾坝基可分为均质地层、双层地层和多层地层。均质地层比较简单,其级配和透水性都比较均匀一致,一般不会在下游产生承压水;双层地层的表层为弱透水层(如黏土、壤土、细沙等),底层为强透水层(如砂卵石等),蓄水后因下游渗水出口受阻于弱透水层,便在强透水层中产生承压水,如不采取渗流控制措施,则易使弱透水层被承压水顶破,产生流土破坏;多层地层是指弱透水层和强透水层互为夹层,蓄水后可能形成几个承压水层,其稳定条件比双层地层更差。

为了保证砂砾坝基的渗透稳定,以达到安全运行目的,应采取适宜的防渗排渗措施(统称为渗流控制),降低坝体浸润线,减小坝基渗流的水力坡度,确保坝基砂砾不变形,控制渗流量不超过允许值,并防止下游浸没。

1.1 坝基砂砾层的工程地质和水文地质勘探

在拟定渗流控制方案前必须做好地质勘探工作,查明砂砾覆盖层的成因、岩性、厚度及各地层在空间的分布规律;进行分层抽水试验,求得各层渗透系数;取各层有代表性原状样测定其级配组成和天然密度等。提供沿防渗线和排水线以及垂直于坝轴线的各断面的工程地质和水文地质剖面图。若采用水平防渗,因坝基渗流主要发生在砂砾覆盖层内[如图1(a)所示],下面基岩情况对其影响不大;若采用垂直防渗,砂砾覆盖层被切断,其下面基岩将发生集中渗流[如图1(b)所示]。因此,还必须了解基岩的工程地质和水文地质情况,研究是否需要设置帷幕灌浆,使其与覆盖层的垂直防渗连成完整的防渗线。

1.2 防渗工程措施

一般分为水平防渗及垂直防渗两种,前者如水平铺盖,主要为了延长渗流途径;后者如截水槽、混凝土防渗墙和帷幕灌浆等,主要为了完全截断覆盖层。现将各种防渗措施的运用条件、结构布置、施工时需注意的事项,简述如下。

1.2.1 水平铺盖

以黏性土筑成(近来也有用土工膜铺筑),以延长渗流途径,结合下游排水,能保证

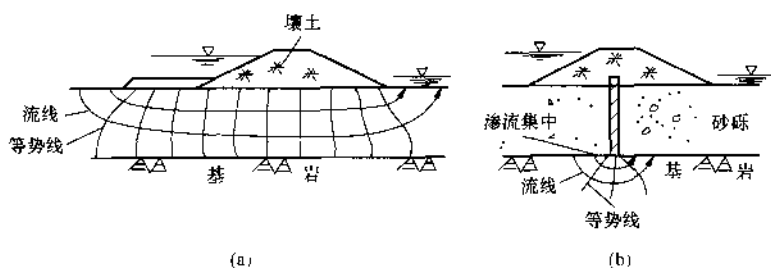


图1 坝基渗流

(a) 渗流发生在覆盖层内; (b) 渗流发生在基岩

坝基渗透稳定,但在减少坝基渗漏量、防止下游浸没方面效果比垂直防渗差。它适用于深厚的均质或双层地基上的中低坝,对多层地层、高坝,或当对控制坝基渗漏量有严格要求时,其适用性就比较差。

土质铺盖的透水性至少比砂砾基础小 100 倍以上,并宜不大于 10^{-5}cm/s ,其上游端厚 0.5~1.0m,与坝防渗体连接处厚度取决于铺盖土料的黏性和允许水力坡度,可采用其上下水头差的 1/5~1/8。铺盖长度一般采用 $(5 \sim 8)H$, H 为上下游水头差(下同)。不宜盲目追求长铺盖,因加长铺盖虽可延长坝基渗径、减少其渗漏量,但同时却使通过铺盖的渗漏量也相应地增加,这个增值有可能部分甚至全部抵消上述坝基渗漏量的减少值。因此,当铺盖长到一定限度后,如再加长,所取得的额外效果大减,甚至无效。故应根据铺盖与砂砾坝基厚度及两者渗透系数,通过计算确定经济合理的铺盖长度。

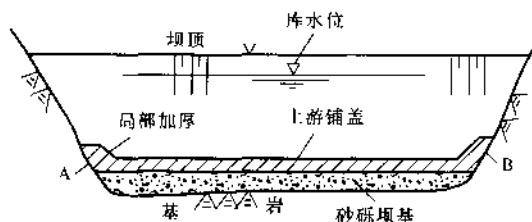


图2 铺盖与岩石接触面之处理

铺盖与砂砾基础间应满足反滤过渡条件,填筑之前应将基础平整压实,不得起伏突变或卵石成堆,否则蓄水后可能压破铺盖。河北省王快水库曾发生过石渣未清而压破铺盖的事故。

如两岸坡缓又有防渗要求,可将铺盖延伸上岸,形成盆形,将岸坡包住,防止绕流。当铺盖在两岸同裂隙发育的

岩石陡坡相接时,则库水可能通过裂隙串到铺盖下面砂砾基础,形成渗透短路,并沿两者接触面使铺盖发生接触冲刷。此时应沿接触面对岩石进行喷浆,或冲洗干净后以水泥砂浆堵岩石缝隙(如图2中A、B所示),并局部增加铺盖厚度,以延长接触渗径,防止接触冲刷。如能沿接触面浇筑混凝土盖板,并用风钻打孔进行岩石灌浆,虽较费工,但可封闭岩石中裂隙,防止库水直接串入砂砾覆盖层。

在施工期,由于上游围堰挡水,要防止由于铺盖影响围堰基础排水,在其下面形成承压水将铺盖顶破,为此应在上游围堰与铺盖间留出足够空隙,以利于排除围堰基础渗水(如图3所示)。如铺盖影响两岸地下水排泄,施工期亦应采取临时排水措施,蓄水前再将其堵闭。

若上游有壤土层,且其厚度和透水性均能满足防渗要求,可用来作人工铺盖。但应将其表层挖掉 30cm,清除植物根和钻地动物洞穴,再用重碾夯实。施工期,在上游一定范围内严禁取土,以免破坏天然铺盖。如果



图3 有上游围堰时铺盖之布置

天然铺盖厚度不够可在其上铺筑人工铺盖补充。在西北、华北黄土地区,多在高含沙量的河道上建坝,蓄水后库内常有淤积物,应设法使其与大坝前水平防渗土体连接,形成天然防渗铺盖。这对斜墙坝和均质坝都易做到,但对心墙坝,则应在上游透水坝壳下面填筑壤土铺盖,与心墙相连,并伸到上游坝面,以便与水库淤积物连接成可靠铺盖(如图4所示)。

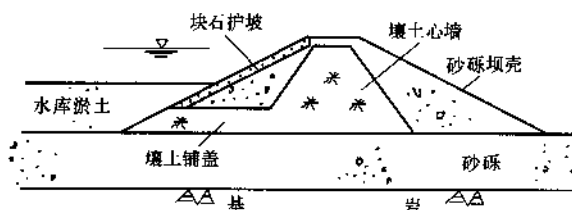


图4 土坝心墙与水库淤积物连接

1.2.2 截水槽

适用于相对隔水层埋藏深度不超过 15~20m 的情况。在砂砾层中挖明槽,其内回填土,以切断砂砾层,防渗效果显著,适用于各种地层组成。当相对隔水层埋深超过 20m,挖槽、排水均较困难时,采用截水槽则不经济。

在透水性均匀的地层中,应采用完整的截水槽将透水层全部切断。若采用部分截水槽,则效果大减。只有当坝基为多层结构,且在经济深度范围内有防渗性能可靠的弱透夹层时,可将槽底置于该层上,毋需穿透整个覆盖层(如图5所示)。但在施工前应搞清在该层下面的透水层中是否存在承压水和补水源;施工期由于开挖截水槽减小了自重,上述承压水有无可能顶破弱透水层而破坏其防渗作用,以及在施工过程中是否要采取临时排水措施等。当水库建成蓄水后,在该弱透水层下面的透水层中必产生承压水,此时,应校核下游坝趾附近坝基的抗流土稳定,即土层自重能否压住承压水不被其顶穿,如不行,需采取排水或加盖重等措施。

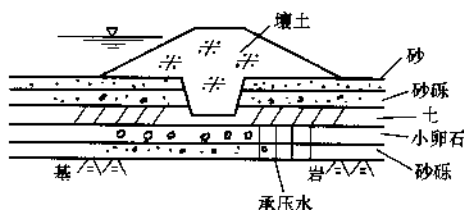


图5 多层结构坝基截水槽设计

截水槽设置的位置,需视工程地质和水文地质条件及坝型而定。截水槽设于坝轴线处,其优点为坝体自重最大,使槽底压力亦最大,有利于同岩石接触面的渗透稳定,与两岸连接的线路最短;缺点为坝体浸润线偏高,截水槽后坝基渗径较短。如截水槽设于上游,优、缺点则与上述相反。必要时也可将截水槽移至上游坝脚附近,利用铺盖同防渗土体连接,但槽后铺盖厚度 d 应满足防渗及抗管涌要求(如图6所示)。这种布置增加了坝外铺盖工程量,与两岸不易连接;优点是截水槽施工与坝体填筑同时进行,可缩短工期,运用期如发现问题,便可放空水库对截水槽采取补救措施。



图6 利用铺盖同防渗体连接

可在廊道中进行基岩灌浆，以缩短工期。在运用期，还可用来对基岩进行补救灌浆。

槽底基岩如裂隙发育，为了防止裂隙与上下游砂砾覆盖层连通而缩短槽底渗径及渗水通过裂隙时冲刷槽底填土，宜沿槽底浇一薄层混凝土，将填土与裂隙隔开（如图7所示）。

如槽内填土与透水基间不能满足过渡要求，应沿其下游坡铺设反滤，同下游坝体水平排水褥垫连接（如图7所示）。

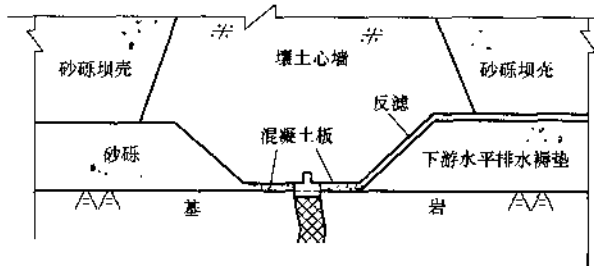


图7 浇薄层混凝土及铺设反滤层

施工期，应搞好截水槽的排水，以排除渗水保证回填土的质量。鉴于截水槽与基岩接触面渗径最短，故更需确保填土质量。对全槽最低处，应用水玻璃或速凝水泥堵塞岩面泉眼，或将集中渗水局部围起，形成聚水坑进行抽水。待填土上升再以砂卵石回填，上部用土覆盖，接上管子继续抽水，待平压后用灌浆封闭。施工期为排除由砂砾层流入截水槽的大面积渗水，可在截水槽上下游侧岩面上，沿全槽长，各筑一道混凝土小挡墙形成集水沟，向外抽水，填土上升时以砂砾回填，盖上土、接上管子抽水，平压后用灌浆封闭（如图8所示）。

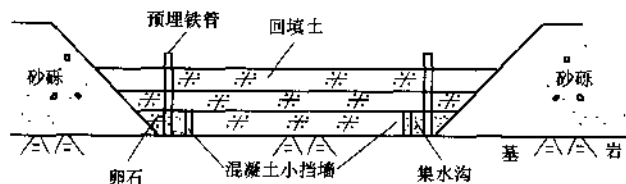


图8 截水槽排水措施

1.2.3 混凝土防渗墙

适用于深厚透水基。具体施工方法是：先用冲击钻或抓斗在砂砾层中造槽孔，以泥浆固壁。再用导管由下向上向槽内回填混凝土，形成连续的混凝土墙，切断砂砾层，直达基岩。该法国内

外均已采用，国内黄河小浪底水库混凝土防渗墙，最大深度达81.9m，加拿大马尼克3号坝，坝高107m，用连续混凝土桩形成防渗墙，深达131m。

防渗墙的结构计算比较复杂，属于弹性地基上大平板。目前按照板与下游砂砾层变形相容条件，对边界条件及土壤弹性抗力系数等作一些不尽符合实际的假定，一些基本数据

如土壤抗力系数等又难期准确,而且缺乏实测资料论证,故这些计算只能作为判断的辅助手段,主要应根据已成的类似工程进行类比,确定结构尺寸。墙厚主要取决于水头及允许水力坡度,按已成工程,允许水力坡度可达60~80,墙厚常用0.6~1.0m,小浪底混凝土防渗墙厚达1.2m,水头较大时亦可采用两道防渗墙。

防渗墙上下接头需认真做好,其下端应嵌入基岩0.5m左右。造孔时泥浆和岩粉可能沉淀于孔底,而基岩表面也可能被冲击钻震裂,遇此情况,均应进行灌浆封闭,以保证墙与岩面很好地连接,并通过墙内灌浆管对墙下基岩进行帷幕灌浆。墙顶应插入防渗土体内,蓄水后该处等势线密集(如图9所示),对渗流稳定不利,如处理不当,可能沿墙发生接触管涌,且不易发现,设计时应慎重对待。该插入部分是用人工浇成,为改善与土的连接,应做成楔形,上狭下宽。墙周填土尽量选用黏性较大的并以人工仔细夯实。插入坝体深度应满足接触渗流要求,根据填土黏性大小采用 $(1/8 \sim 1/10)H$ 。插入心墙过多无益处,因为防渗墙刚性大,墙上与墙周填土沉陷不均,通过压力传递产生土拱效应,可能在墙顶填土中产生超过其自重的高压区,而墙周填土产生低压区,引起水力劈裂,甚至导致内部裂缝(如图10所示)。墙插入坝体过多,将会助长上述现象出现。为了既能满足渗径要求而又不插入坝体过多,笔者认为可以探索在防渗墙上下游侧的坝基上,各浇一块钢筋混凝土厚板,由于板与混凝土防渗墙间不均匀沉降量大,应做好止水沉陷缝,与防渗墙连接(如图11所示)。有些工程在墙顶设置宽高各约4~5m的塑性土区,其黏粒含量高些,填筑含水量略高于最优含水量,干密度略低于两侧填土,具有较好塑性和抗裂性能,以适应墙顶和两侧填土间的不均匀沉降。

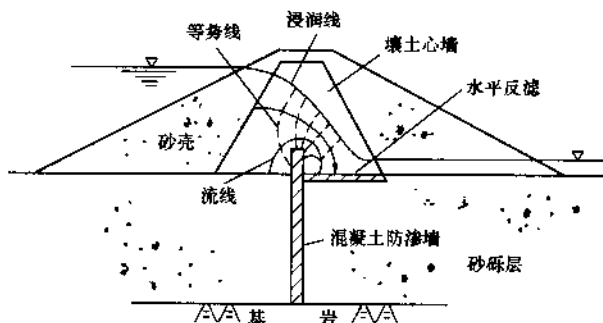


图9 蓄水后防渗墙等势线

在防渗墙下游侧附近,坝基与防渗土体间应严格满足反滤要求,必要时应铺设水平反滤(如图9所示),因沿墙及其附近填土过来的渗水在此逸入坝基,且水力坡度集中,处理不当可能产生管涌。如我国白龙江土坝,坝高101m,砂砾覆盖层厚30m左右,采用混凝土防渗墙防渗,施工时有些地段未对造孔平台进行彻底清理,在防渗墙下游侧部分坝基上留有石渣,直接与防渗土体接触,又因心墙与下游砂砾坝壳间未按设计要求设置反滤,故采取了补强措施:在第一道防渗墙下游,穿过已填筑的心墙补打了第二道防渗墙,通过砂砾覆盖层直达基岩,深约70m。

在国外曾采用一种所谓泥浆槽(Slurry-Trench)作为垂直防渗措施。即以索铲在砂砾层中顺坝轴方向开挖成一个狭槽,切断覆盖层直达基岩,边挖边退,以膨润土调成的泥浆固壁(土与水比例为1:14,泥浆单位重为 $1.04 \sim 1.45 \text{ t/m}^3$),并将所挖的砂砾与料场运来的土壤及泥浆拌和回填槽内,在砂砾层中形成狭土槽。据国外已成的10个工程统计,槽宽约为1.5~3.0m,承受水头由几米至40m(个别达72.4m),深度一般为几米至20m(个

别达 58m)。上述土槽虽然施工较简单,可节省水泥,但笔者认为:根据个别工程检查,槽内回填料形成半固体状似乎缺乏可靠胶结,因此在高水头长期作用下其渗透稳定性能如何,与周围砂砾层间过渡性如何,均有待更多实践检验才能予以回答。

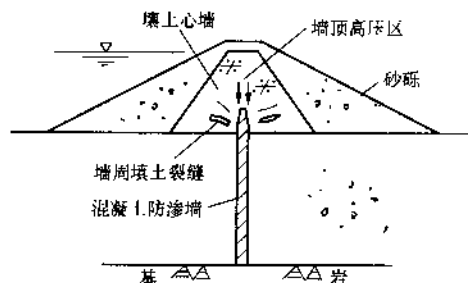


图 10 防渗墙填土后裂缝发育情况

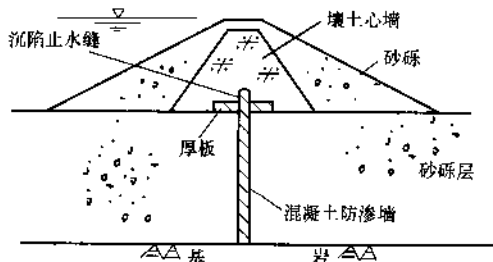


图 11 满足渗径要求采取的工程措施

1.2.4 帷幕灌浆

对砂砾层进行灌浆,形成防渗帷幕直达基岩。适用于深厚透水基,其质量与坝基砂砾的可灌性有密切关系。实践证明,灌浆材料是根据砂砾层可灌比 g ($g = D_{15}/d_{85}$, D_{15} 为砂砾层粒径,小于该粒径含量占其整体重 15%; d_{85} 为灌浆材料粒径,小于该粒径含量占其整体重 85%) 及渗透系数来确定的,若 g 大于 15 可灌水泥浆, g 大于 10 可灌水泥黏土浆,并要求砂砾层中含泥量不超过 5%;当渗透系数 K 大于 60~80m/昼夜时,可灌水泥浆,如小于该数,但大于 40~60m/昼夜,可灌水泥黏土浆。鉴于地层级配及透水性与帷幕灌浆质量关系密切,故与混凝土防渗墙对比,更需对地层情况进行细致了解,并要进行灌浆试验,防止由于存在透水性小的夹层不吃浆,形不成完整帷幕,造成工程被动。如毛家村土坝工程,开始采用帷幕灌浆。但在施工过程中发现有细砂层不吃浆,故改用混凝土防渗墙。

根据国内外已成工程统计,灌浆帷幕允许水力坡度为 2.5~3.5,可据此范围值定出帷幕厚度及排数。孔排距多采用 3~4m,成梅花分布。排数最好不少于 3 排,这样可先用浓浆低压灌上下游边排孔,待砂砾层初步胶结后,再用高压稀浆灌中排孔,增加密实度,以保证帷幕质量。

帷幕的上下接头需处理好。由于灌浆时表层容易发生冒浆和地层抬动,故表层 4~6m 的灌浆质量难以保证,应予挖除,并回填土与防渗土体连接(如图 12 所示)。也可先填一定厚度的防渗土体作为盖重,再通过填土进行砂砾层灌浆。但由于土料渗透性小,其底部几乎承受大部灌浆压力,万一控制不好,将使填土上抬开裂,将给处理带来困难。覆盖层帷幕下部与基岩灌浆帷幕的连接,一般采用两种方法:①与覆盖层上游边排孔结合,如图 13(a)所示,因为边排孔排距较中排孔小,故可与基岩帷幕孔结合,节省钻孔工程量,而且待边排灌浆完成后,在进行覆盖层中排灌浆的同时,可进行边排下面的基岩灌浆,以争取工期;缺点是易向覆盖层跑浆,影响两者结合质量。②与中排孔结合,如图 13(b)所示,其优缺点与上述方法相反,因位于中间,结合部基岩灌浆有保证,连接较好,故多

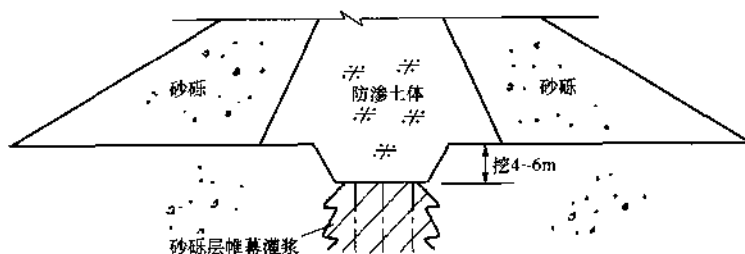


图 12 回填土与防渗体连接

采用此法。

1.3 排渗工程措施

除在坝基上游采取防渗措施外，还应于坝基下游设排渗工程，以降低坝体浸润线，并将全部渗水安全排至坝外。

1.3.1 水平排水褥垫、贴坡排水、排水沟

水平排水褥垫乃连续成片地铺在坝基上，由下游坝趾开始，伸至下游坝体内，以汇集坝体和坝基渗水，可有效地降低坝体浸润线。该排水核心为卵砾石等透水料，外铺设反滤向坝体及坝基过渡。核心部分最好不要设排水暗管，尤其是对密实度差的地基，因位于坝内，如地基沉降变形使管子折断或接头脱开，渗水集中外逸，会危及坝体及坝基安全，这样既难发现又难修补。水平排水褥垫为坝体的一部分，应按坝体的要求进行压实。这种排水适用于透水性差的均质地基、均质土坝以及下游坝体为堆石、石渣之类与坝基有反滤过渡要求等情况。均质土坝坝体填土水平方向的透水性一般大于垂直方向，可将水平褥垫排水的上游端向上翘起，形成竖向排水，可引截坝体水平渗水，以利于降低浸润线，增加下游坝体干燥区范围，有助于提高下游坝坡稳定。

贴坡排水从下游坝趾开始，沿下游坝坡铺设至浸润线出逸点以上，最外层为块石或大卵石，以反滤向坝体过渡，故能保证渗水由坝体向坝坡安全出逸，但不能降低浸润线，难以提高下游坝坡稳定性。其优点为可先填坝体后填贴坡排水，减少施工干扰，运用期便于观测检修。该种排水适用于上游为垂直防渗，下游为砂砾透水坝壳，浸润线低，且与坝基无反滤过渡要求的情况。

如双层地基的表层弱透水层不厚时，可在下游开挖顺坝排水沟，穿透弱透水层，以消灭承压水。在沟与坝基间铺反滤，再回填卵块石，沿坝长方向通过顺河向纵沟排向下游。沟底宽需满足减压排水及方便施工，一般不小于1~2m。沟可位于坝内或下游坝趾外，前者减压靠前一些，有利于下游坝坡稳定，但缩短坝基渗径，且运用期观测维修困难；后者情况相反，其具体位置需通过比较确定。

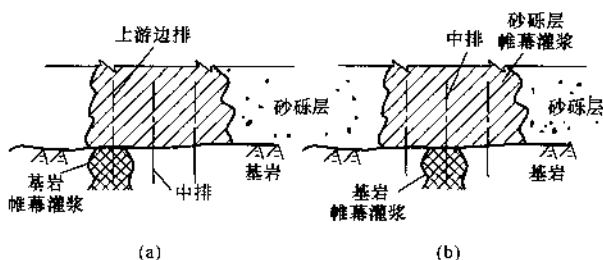


图 13 覆盖层帷幕下部与基岩灌浆帷幕连接方式

(a) 与覆盖层上游边排孔结合；(b) 与中孔结合

1.3.2 减压井

如表层弱透水层比较厚,或属多层地层时,宜在下游坝趾处打减压井,穿过透水层进行排水减压。造井步骤:以冲击钻造孔,用清水固壁(用泥浆固壁可能影响以后排水效果,宜慎用),下井管,填反滤,洗井,进行抽水试验,安装井口井帽。井管由滤管和升管组成:滤管应进入透水层,表面开孔用以进水,开孔面积占表面积的12%~15%;外包玻璃丝网或土工布(包棕皮、芦席虽简单,但使滤管进口损失大,且易堵孔,不宜采用);周围填反滤。滤管以上为升管,用以导引渗水,升管穿过弱透水层地段,在升管与孔壁之间以土料回填封闭,防止透水层中的承压水串上来。

井距、井径和井深通过计算确定,以使井与井之间透水层中的水压力值 $\Delta h + H_m$ (如图14所示)不超过允许值。井距一般采用20~30m,可在井间埋设测压管,运用期如观测到水压力超过设计值,可补打新井,缩小井距。井径以15~30cm为宜,井深至少深入强透水层厚度的50%以上,否则排水效果大减。如地层为多层结构,存在几个强透水层时,可以用一个减压井穿透各透水层排水,比较经济,但如有条件最好在每一断面上设几个减压井,分别伸入各强透水层内,分层单个地排泄承压水,因为如以一个井穿透各个强透水层,可能由于各层承压水的压力不同会造成层与层间串水现象,而且在运用时,如遇异常现象,也难以判断问题发生在哪一层,造成管理不便。

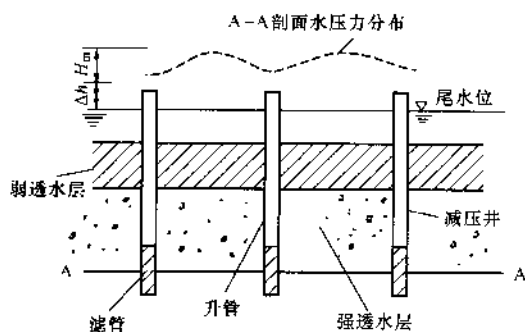


图14 减压井布置

Δh —通过减压井的水头损失; H_m —未计减压

井水头损失 Δh 在内的井间水压力

井口高程应通过经济比较来确定。井口高程越低,减压效果越显著,但使开挖地面泄水沟的工程量增加。井口高程应高于泄水沟中的水位,以防泥水倒灌而淤积减压井。

滤管周围反滤料的规格应针对不同地层来确定,对缺乏中间粒径且不均匀系数大的地层,尤应慎重,需通过试验来选择。回填滤料最好使用导管,因从孔口用铁锹或小车回填,易使滤料产生分离现象。

许多工程的实践证明:减压井容易淤堵,应加强维护,每年汛后需通过抽水试验进行检查,发现淤堵要立即洗井。

1.3.3 反滤层

在坝体分区及下游排水设施中,当细料向粗料过渡时,需设置反滤层,以利于安全排渗,故反滤层为渗流控制的重要措施之一。对反滤层的基本要求为:满足层间粒径的比例不超过允许值,以避免因被保护料流失而影响结构稳定;井应具有足够的透水性,以满足排水的要求。

设计反滤规格有各种公式,均为规定保护料和被保护料的特征粒径 D_x 和 d_x (即小于该粒径的含量占其全重的 $x\%$)及其允许比值。以保护料的特征粒径 D_x 作为表征其孔隙大小的一种尺度,依各种公式不同而异,计有 D_{10} 、 D_{15} 和 D_{50} 等。而被保护料的特征粒径

d_x 则作为防止土粒流失,保证结构稳定的一种标志,只要保护大于 d_x 的颗粒不流失,即可形成稳固骨架,使小于 d_x 的颗粒不至于流失,或稍有流失,也不影响骨架稳定引起变形, d_x 也因不同公式而异,计有 d_{50} 、 d_{85} 等。根据规定的 D_x/d_x 比值,按被保护料的级配范围,即可规定出保护料的允许级配范围,作为选择滤料的根据。

设计砂砾等非黏性土反滤层一般常用太沙基公式,即: $D_{15}/d_{85} \leq 5$ 、 $D_{15}/d_{15} \geq 5$ 。前者保证结构稳定,后者可满足排水要求。此外还要求保护料和被保护料级配曲线最好大致平行。由于该公式采用 d_{85} 作为防止被保护料流失的特征粒径,故适用于不均匀系数 $Cu \left(= \frac{d_{60}}{d_{10}} \right)$ 不大于5~8的砂土上,这样特征粒径虽用 d_{85} ,因土均匀,故小于 d_{85} 部分也能控制住。应尽量利用天然料作反滤,但天然料场常遇不均匀系数 Cu 大于5~8的情况,则应通过试验来确定是否适于作为反滤料。对于不均匀系数大的被保护料,亦可用下述近似办法进行处理后,再引用太沙基公式进行选择:即去掉大于某一粒径(例如2mm)的粗粒部分,形成比原来细而且均匀的新级配曲线(如图15所示)。经上述办法处理后,便可利用已有公式图表选用反滤,且偏于安全,这是由于新级配曲线是被保护料的细粒部分,能将其保护住,即可保证被保护料不会流失。应指出,上述所谓“去掉”一词,不是将其真正筛掉,而是进行反滤料设计时的一种计算措施。

可采用天然料筛分成反滤料,也可采用人工轧制骨料,应尽量减少筛分层次,并设计成连续粒径级,以使各粒径级之间的产量大致平衡,尽量减少在筛分天然料时产生弃料或亏料。有时为了尽量利用当地材料也有采用各层相互搭接的粒径级,如黄河小浪底拦河坝斜心墙下游第一、二层关键性反滤,分别采用0.1~20mm及5~60mm。此外,在可能的情况下,尽量与混凝土骨料粒径级一致,两者结合起来以简化施工。

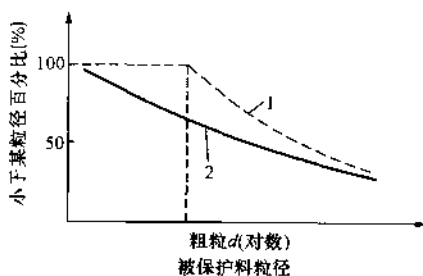


图15 反滤料级配曲线

1—新级配曲线; 2—原级配曲线

反滤料的含泥量不应超过5%,并要求在施工过程中保持干净。含泥量高,不仅会堵塞反滤料影响透水性,而且运用期间含泥可能被渗水带出形成浑水,一时辨不清是反滤含泥被渗水带出还是坝体或坝基产生管涌,给管理上带来不便。例如官厅水库在运用初期,由于心墙下游坡脚处的滤水坝趾反滤料不干净,含泥被渗水带至堆石棱体下游集水井内,浑水时有时无,曾怀疑为心墙管涌,后证明为反滤含泥被带出。

2 坝体及坝基渗流观测

为了检验渗流控制措施的可靠性,保证安全运行,在运用期应做好渗流观测和检查,便于发现和分析问题,并及时进行处理。如无其他原因(如库区产生天然淤积等)而发现在库水位基本不变的情况下,坝基测压管水位下降时,则下游坝基可能被冲刷;如上升,则可能是排水被堵。

渗流观测主要是观测测压管水位及渗流量。测压管应布置在有代表性地段,如地质条

件复杂、靠近两岸坝肩的断面和河床最大坝高处等。测压管分坝体和坝基两种，宜分开布置不应合用。坝体测压管用以观测坝体浸润线，管底应比预计的最低浸润线稍低，不一定伸至坝底。在滤管及升管与孔壁间应全部填砂，距离坝顶 2~3m 时再用土封闭，以防止雨水漏入。如只在下部滤管周围填砂，到升管处立即填土封闭，此时所测的是测点 A 处的坝体孔隙水压力水头 h' ，而不是浸润线高 h ($h' < h$ ，如图 16 所示)。如在测点 A 设渗压计则所测出也是 A 点渗压 h' ，而不是浸润线高 h 。坝基测压管设在防渗设施的下游，以及双层和多层地基的透水层中，并要分开布置观测。其构造及回填方法均与减压井相同，管顶应高出压力水位，避免渗水外泄影响水位观测。坝基测压管至少设置两根以上，以便了解坝基压力线的分布及相应的水力坡度。也可用渗压计进行坝体坝基渗流观测，但测值只代表测点的水头或孔隙水压力。平原地区水库应在坝下游较大范围内有计划地布置测压管网，或利用民井观测地下水动态，以便研究浸没问题。

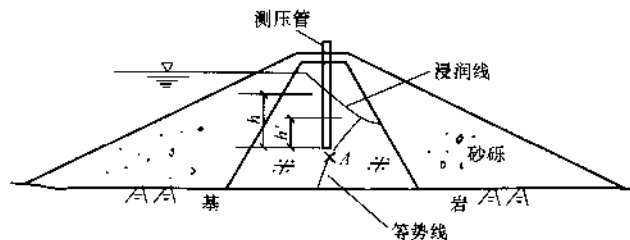


图 16 坝基渗流观测

渗流量观测利用量水堰，需沿坝长分段设堰，观测相应渗流量，再汇入总沟，观测总渗流量。此外，减压井渗流量要单独汇集观测，以了解其效果。

渗流观测应制定观测制度，坚持定期观测，建立完整的技术档案，并要及时整理分析，总结经验，从中发现问题，及时解决。