

# 土石坝地基 混凝土防渗墙 设计与计算

郑秀培

水利电力出版社

# 土石坝地基混凝土防 渗墙设计与计算

郑 秀 培

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍土石坝地基混凝土防渗墙设计中有关问题，共分十章。内容包括：墙型选择与布置、渗透计算、结构分析、细部设计和观测设计等方面。书中还对防渗心墙式坝、防渗墙在其它水工建筑物上的应用以及应用有限单元法分析防渗墙问题，作了扼要的介绍。

本书可供水利水电工程设计与施工技术人员参考，也可供高等院校水工结构专业师生参考。

## 土石坝地基混凝土防渗墙设计与计算

郑 秀 培

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 18 $\frac{1}{4}$ 印张 414千字  
1979年11月第一版 1979年11月北京第一次印刷  
印数 0001—8690册 每册 1.90元  
书号 15143·3519

## 序

五十年代末期，我国建在透水地基上的土石坝，基础处理开始采用混凝土防渗墙。

混凝土防渗墙的施工方法，西欧的意大利、法国等国，已经有过报导。我国通过月子口、密云等工程，也积累了一定的经验。但是我们对混凝土防渗墙的设计与计算的有关经验尚少，诸如渗透计算、结构分析以及不均匀沉陷的影响和防裂措施、细部设计……等等。笔者曾结合一些实际工程设计的需要，探讨过这方面的若干技术问题，先后曾写了“土坝地基粘土混凝土防渗墙的结构计算”、“土坝砂砾地基混凝土防渗墙设计中若干问题”、“通过多层介质地基混凝土防渗墙的结构分析——一次分配法”以及“云南某土坝”、“云南某土坝混凝土防渗墙设计中若干问题”……等文章，并在这个基础上，1966年写了本书的初稿。

从六十年代至今，我国在透水地基上采用混凝土防渗墙的处理方式，已获得广泛的应用和推广，一些设计单位，在作防渗墙的设计时，曾参考本书所述的近似方法。在应用中，还提出了一些改进的意见和建议，诸如地基的变形模量值或地基反力系数值的采用，应考虑侧压力的影响；土压力的计算，按静态规律较合适；防渗墙伸入心墙部位的水压力计算，应考虑水头沿渗径而衰减……等等。有些工程设计单位，也开始采用计算理论比较完善的有限单元法作整体分析，并与近似方法作比较，取得了一定的经验。此外，水电部情报所等单位，还介绍了国外有关防渗墙技术的一些资料……等等。当我在写本书的第二稿时，充分地吸取了这些意见和成果。

当前，全国人民正在以华主席为首的党中央的领导下，为在本世纪内把我国建成一个伟大的社会主义现代化强国而努力奋斗。在这大好形势的鼓舞下，笔者将这本书整理出来，希望借此“抛砖引玉”，引起有关方面的研究和讨论，共同交流经验。由于水平所限，加上时间比较仓促，谬误之处，肯定不少，热诚地希望读者批评指正。

本书在写作过程中，一直得到昆明水电勘测设计院党委的亲切关怀和鼓励，还得到总工程师林元惕、邓才寿的指导和鼓励，彭家振等同志也曾给予一些协助。初稿完成后，又承有关单位专家审稿，提出了很多宝贵意见，谨此一并表示感谢。

郑秀培

1979年7月于昆明

# 目 录

## 序

第一章 绪论 .....	1
第一节 混凝土防渗墙概况 .....	1
第二节 渗流控制方案的选择 .....	2
第三节 混凝土防渗墙设计 .....	6
第四节 勘探工作中应注意的问题 .....	8
第二章 防渗墙型式及厚度初步选择 .....	12
第一节 防渗墙类型 .....	12
第二节 防渗墙布置 .....	21
第三节 防渗墙材料 .....	28
第四节 各类防渗墙的选用 .....	32
第五节 防渗墙厚度初步选择 .....	34
第三章 渗透计算 .....	40
第一节 防渗处理必要性分析 .....	41
第二节 渗透系数和抗渗标号的初步选定 .....	45
第三节 粘土心墙——防渗墙式坝 .....	48
第四节 粘土斜墙——防渗墙式坝 .....	59
第五节 粘土心墙、铺盖——防渗墙式坝 .....	65
第六节 粘土斜墙、铺盖——防渗墙式坝 .....	68
第七节 悬挂式防渗墙式坝 .....	70
第八节 防渗心墙式坝 .....	76
第九节 坝基渗透破坏坡降和允许坡降的确定 .....	78
第四章 防渗墙渗透稳定性的分析 .....	83
第一节 化学溶蚀 .....	83
第二节 使用年限的估算 .....	84
第三节 溶蚀试验与研究 .....	86
第五章 结构分析 .....	91
第一节 综述 .....	91
第二节 荷载分析 .....	95
第三节 匀质地基的结构计算 .....	101
第四节 匀质浅层地基的结构计算 .....	107
第五节 双层介质地基的结构计算 .....	115
第六节 多层介质地基的结构计算 .....	118
第七节 应力计算 .....	129

第八节	考虑塑性变形的计算	132
第九节	地基变形模量和地基反力系数的采用	134
第十节	对防渗墙强度的评价	141
第六章	心墙式坝设计中附加压力问题	145
第一节	附加压力的作用	145
第二节	坝体抗裂稳定性的验算	151
第三节	塑性变形区的估算	155
第四节	临界附加压力的估算	159
第五节	附加压力在设计中的应用及改善不均匀沉陷的措施	161
第七章	防渗心墙式坝设计中的问题	164
第一节	概述	164
第二节	施工期稳定分析	165
第三节	结构分析	171
第四节	运行期稳定分析	176
第八章	细部设计和观测设计	180
第一节	细部设计	180
第二节	观测设计	189
第九章	防渗墙在其它水工建筑物上的应用	194
第一节	透水地基上混凝土闸坝防渗墙	194
第二节	透水地基上拱形座垫式拱坝的防渗墙	196
第三节	拱形基坑支撑防渗墙	200
第四节	水工挡土墙	203
第五节	水工无压隧洞的侧墙	205
第六节	防渗墙在竖井工程中的应用	213
第十章	有限单元法	215
第一节	引言	215
第二节	三角形单元的基本计算公式	216
第三节	线性关系的分析	223
第四节	非线性关系的分析	230
第五节	有限单元法在渗流分析中的应用	237
附录		242
附录 I	设计和计算实例	242
附录 II	文克尔地基梁克雷洛夫函数表	262
附录 III	文克尔地基无限长梁铁木辛柯函数表	269
附录 IV	文克尔地基梁潘家铮函数表	271
附录 V	文克尔地基梁本书新编函数表	273
附录 VI	稳定分析辅助用表	277
参考文献		283

# 第一章 绪 论

## 第一节 混凝土防渗墙概况

混凝土防渗墙于五十年代初期起源于意大利，其后各国相继引入和推广，最初用作土石坝坝基的防渗墙，以后发展用作挡土墙及地下结构的承重墙……等等。近二十年来在水利水电工程、基础工程、地下工程中广为应用。它是发展比较迅速和应用范围十分广泛的一项新技术。

混凝土防渗墙的基本原理是：在地面上用一种特制的机具（如冲击钻或抓斗），沿坝基的防渗线或其它工程的开挖线，开挖一道狭窄而很深的深槽，槽内注入泥浆护壁，当单元槽段开挖完毕后，可在泥浆下浇注混凝土（必要时放置钢筋笼），筑成一道连续墙，起截水防渗、挡土或承重之用。其施工过程是：1）制备泥浆；2）沿开挖线挖导沟、筑导墙；3）铺设轨道组装挖槽设备；4）在完成上述三项准备工作基础上即可将泥浆注入导沟，用挖槽机按划定的单元槽段进行开挖；5）单元槽段开挖完成后于泥浆下放入浇注混凝土的导管（在这之前吊放接头管或钢筋笼）；6）泥浆下浇注混凝土形成单元墙段，按计划依次完成各单元墙段，便形成一道连续的地下墙。这种造墙方式能适应于各种复杂的施工条件，具有施工进度较快，造价低，效果比较显著的优点。在城市里利用混凝土防渗墙的造墙方法建地下工程，还具有无震动，无噪音，对相邻地面、地下建筑物影响较小，以及便于迅速恢复地面交通……等等特点。因此，不仅在水利水电工程应用较广，工业与民用建筑、铁道、交通、煤炭、冶金等部门也均推广使用，其应用种类遍及土石坝坝基防渗，混凝土闸基防渗，码头工程，船闸、船坞工程、挡土墙，地下铁道，地下通道，地下停车场，下水道，房屋基础，桥梁基础，竖井……等方面。

国外关于混凝土防渗墙技术的发展，有下述几方面特点：

1）墙的形式，除由开始的“桩柱式”发展为应用较广的“槽板式”外，对于建在浅基的中低水头水工建筑物，也推广采用了“板桩灌注墙”和“泥浆槽防渗墙”技术。

板桩灌注墙由灌浆材料灌注而成，厚度一般为10~30厘米，容许渗透坡降一般10~30左右，采用这种型式可以做到快速成墙，特别适用于抗洪抢险等紧急加固工程。灌注墙耗用的钢材很少，造价仅为钢板桩连锁墙的1/2~1/3，与槽孔混凝土防渗墙相比，其造价可降低一半以上，而且施工效率高，在一般透水覆盖层中，一台设备每小时可灌注墙10~16平米，一天最多可成墙410平米。泥浆槽防渗墙的特点是墙体不需填筑混凝土，能大量节省水泥，它适用于中、低水头堤坝的坝基处理，覆盖层厚可达30米，墙厚较宽，一般1.5~3.3米左右，据美国有关资料介绍，每平方米墙体造价约为40~50美元，约为槽孔混凝土防渗墙的1/5。与此同时，桩柱式和槽板式防渗墙也向深墙发展，如加拿大麦尼夸根三号坝的桩柱式防渗墙最深已达131米，加拿大大角坝的槽板式防渗墙最大墙深已达67米。

2）防渗墙材料，大体上可分为刚性材料和柔性材料两种，对于高坝、深基的混凝土

防渗墙，仍强调应用较高标号的混凝土或加筋混凝土，对于中、低水头的坝基防渗及坝身补强，近年来发展了很多柔性材料，如塑性混凝土、自凝灰浆、沥青……等等，这些柔性材料虽然本身强度不高，但由于墙身弹性模量大大降低，与砂砾地基相比较已不甚突出，故本身承担内力也大为减少，同样能满足设计要求。此外，随着自凝灰浆墙的成功，也发展了预制的装配式防渗墙。

3) 施工机具不断革新，达到了挖槽设备和机具多样化。由于造孔工序占整个造墙时间最长，国外很注意改革造孔技术，提高工效。目前，造孔方法总的说来仍为钻头式和抓斗式挖槽两大类，但均有很大的发展，型式繁多，如钻头式根据对地层破坏方式不同又分为：冲击式、回转式、回转冲击式、凿刨式和铣削式……等；按钻头数量又可分为单头钻和多头钻……等。抓斗式按抓斗启闭方法不同可分为钢索抓斗和液压抓斗；按抓斗的导向方式不同又可分为：吊索抓斗、导板抓斗、导杆抓斗和长导板抓斗……等。而且很多施工设备从设有防偏斜装置发展为自动测斜和纠偏装置，保证了深墙造孔的垂直深度。根据采用不同的施工设备发展成很多施工方法。除所熟知的意大利依哥斯(Icos)施工法，法国的索勒党许(Soletanche)施工法，西德的“反循环”施工法外，日本近年来还发展了BW施工法、SSS施工法、TM施工法……等等。

4) 在固壁泥浆方面，研究采用高质量的膨润土浆，必要时掺入各种改善泥浆性质的外加剂，完善泥浆的制造和回收设备，其它诸如对于单元槽的接头，研究了接头管、接头箱……等等；对于混凝土的浇筑和钢筋笼的吊放，也研究了提高机械化施工水平，保证质量。

5) 在理论分析方面，目前还不很成熟，正在进一步研究和积累资料中。根据已有的资料，较多采用近似方法计算；也有开始用有限单元法研究防渗墙（或地下墙）的应力分布。近似方法的计算，它是将计算模式引入一些假定，将其分割开来进行计算，由于比较简便，作为初步计算仍保留下来，并进一步改进。今后正在研究建立各种适应复杂地基、材料特性和施工过程的数学模型能力，用有限单元法精确求解，并强调积累大量实测资料，才有坚实的理论基础。

我国混凝土防渗墙自1958年开始采用以来，已在水利水电工程中较普遍的推广，应用范围也不断扩大，诸如：“土石坝坝基的防渗处理”，“混凝土闸坝基础的防渗处理”，“土石围堰堰体和堰基的防渗处理”，“险坝加固的防渗处理”，“水电站的防冲墙、挡土墙以及火电站水泵房、卸煤沟的挡土墙、承重墙”……等等，均取得了很大的进展，槽板式防渗墙最大深度已达64.4米，截水面积最大工程已达30000平米，承担水力坡降最大已达91，墙厚有0.6、0.8、1.0各种厚度，最厚已达1.3米等等。同样，在我国其它部门，如工业与民用建筑，铁道、交通、煤炭、冶金……等也已推广使用防渗墙作挡土墙、地下结构承重墙、竖井工程和船坞工程等等，也取得了很大的进展。

## 第二节 渗流控制方案的选择

在研究土石坝透水坝基的防渗处理方案时，首先需针对工程的具体情况，将各种可能



的方案，作一次技术和经济上比较，这些可能方案为：

- 1) 垂直钢板桩方案 (图1-1 a)；
- 2) 垂直粘土齿槽方案 (图1-1 b)；
- 3) 水平铺盖方案 (图1-1 c)；
- 4) 灌浆帷幕方案 (图1-1 d)；
- 5) 混凝土防渗墙方案 (图1-1 e)。

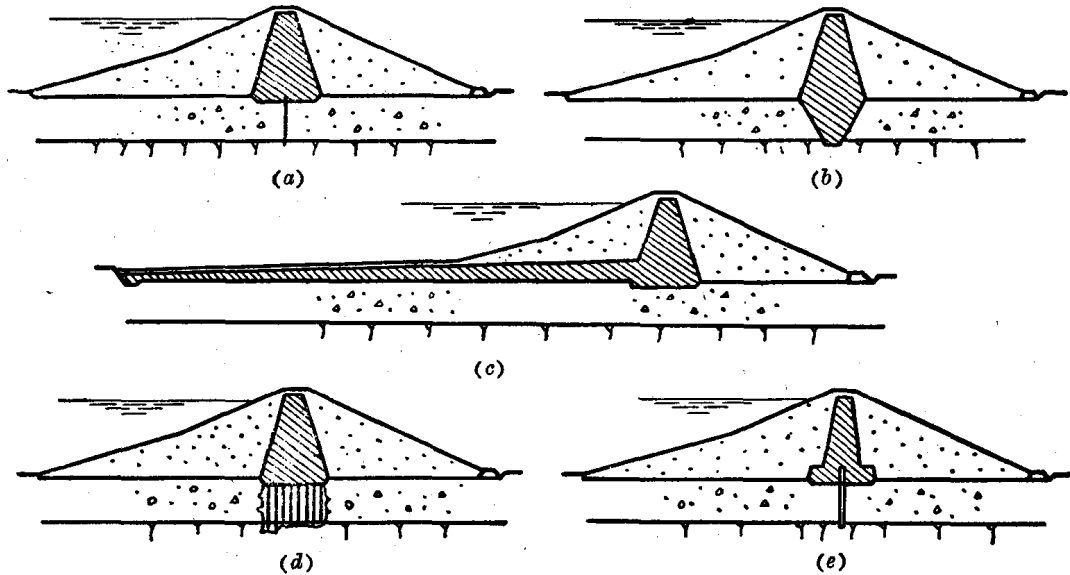


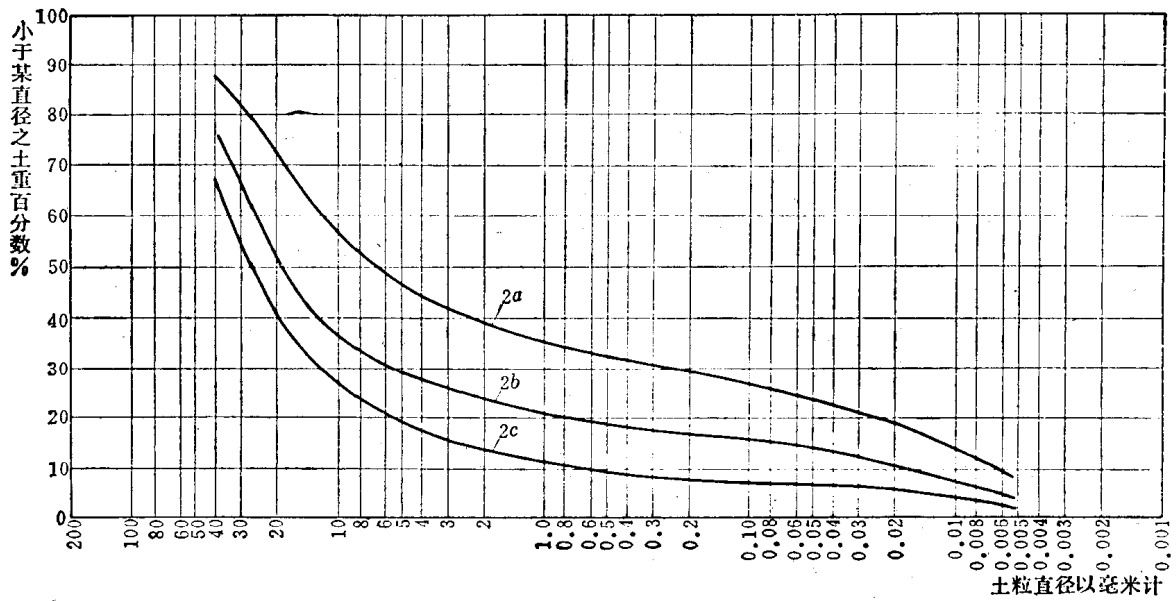
图 1-1 不同渗流控制方案

(a) 钢板桩, (b) 粘土齿槽, (c) 铺盖, (d) 灌浆帷幕, (e) 混凝土防渗墙

水平铺盖方案配合下游适当的反滤排水盖重等措施 (即上铺、下排等措施), 也能有效地控制渗流, 保证渗透稳定, 减少渗漏损失。但这种控制方式, 由于水平铺盖范围大, 地质勘探试验的工作量也较大, 施工时大面积的质量也不易控制, 当两岸遇到冲沟较多时, 铺盖与两岸接头也不易处理, 故对于重要工程, 不及垂直防渗可靠。

垂直防渗措施在透水层深度较浅时 (一般10~15米以下), 采用明挖回填粘土截水槽方案, 这是保证质量的最有效措施, 而且施工也方便。这种灌浆方案的优点是可达地基任何深度, 不受透水层深度的限制, 但所需的工期较长。钢板桩方案不仅耗钢材量大, 造价较贵, 且接头易漏水, 遇到很深的覆盖层以及地层有孤石时, 是困难的。混凝土防渗墙特别适用于较深厚的覆盖层地基, 目前世界上最大深度已达131米, 与灌浆、钢板桩等方案比较, 具有进展较快、造价较低, 防渗效果显著的优点。今以云南某土坝对几种渗流控制方案的选择过程为例子, 说明防渗墙方案的优越性。

云南某土坝坝型采用粘土心墙坝, 坝高80.5米, 坝顶长463.5米, 顶宽8米, 底宽491米, 坝址基岩为厚层玄武岩, 岩层走向北东 $5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ , 倾向上游, 倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ , 属单斜构造。河床冲积层一般厚10~25米, 最厚32米, 以卵砾石为主, 细粒次之, 中间砂粒较少, 不均匀系数 $\eta = 70\sim 1477$ , 渗透系数一般6~60米/日左右, 最大105米/日 (图1-2)。根据室内外试验成果, 临界管涌比降 $J_{\text{管}} = 0.207\sim 0.28$ , 设计采用允许比降 $J_{\text{允}} = 0.1$ 。



编 号	颗 粒 组 成 (%)						限制粒径 $d_{60}$	有效粒径 $d_{10}$	不均匀系数 $d_{60}/d_{10}$
	>40mm	40~20	20~2	2~0.05	0.05~0.005	<0.005			
2a	12	15	34	15	16	8	9.6	0.0065	1477
2b	22	26	28	10	10	4	27.5	0.19	144.7
2c	32	27	27	7	5	2	35	0.5	70

图 1-2 云南某土坝河床冲积层颗分曲线

初设阶段，坝基渗流控制措施，曾比较了钢板桩方案及灌浆方案。钢板桩方案因缺乏材料，以及发现地层有孤石（最大 110 厘米），施工比较困难，且易在钢板桩附近发生集中渗透，局部渗透比降较大等原因而放弃。1958年初工程开工时，也因所需的灌浆器材未齐备，为争取时间拟使用较多的劳动力大面积施工，故改为铺盖方案（图1-3）。

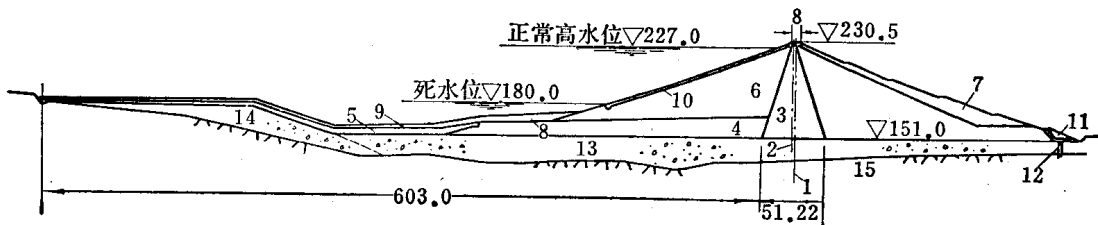


图 1-3 云南某土坝铺盖方案

1—坝轴线；2—心墙轴线；3—心墙（半透水料）；4—铺盖（半透水料）；5—铺盖（粘土料）；6—透水料；7—碎石料；8—上游盖重；9—铺盖保护层；10—上游护坡；11—堆石排水及反滤；12—减压井；13—河床冲积层；14—冲积扇；15—玄武岩

铺盖由心墙接出，为控制坝基允许坡降为0.1，总长定为690米，在坝体以内部分用坡积土（允许比降5，渗透系数 $1 \times 10^{-6}$ 厘米/秒），厚10~20米，坝坡以外部分长402米，采用粘土（允许比降7，渗透系数 $3 \times 10^{-7}$ 厘米/秒），厚1.0~4.5米。整个铺盖总长相当

水头9~12倍，透水性小于地基平均土层透水性二千分之一以上。由渗流计算得出：心墙下游面残余水头  $h=19.6$  米，全坝渗漏量  $Q=0.072$  立米/秒，心墙下游面及下游坝基的水力坡降  $J \leq 0.1$ 。

从理论分析铺盖方案是能够成立的，其尺寸设计主要控制心墙下游面及下游坝基的渗透坡降必须小于允许管涌比降0.1，这就必须限制每米宽铺盖渗入水量要等于和小于  $0.156 \times 10^{-4}$  立米/秒，也就是说，要求施工后整个铺盖的渗透系数必须满足设计原定要求，但经四个余月的大面积施工发现铺盖方案工程量大，达77万立米，由于范围大，质量不易控制，在当时工地碾压设备不足情况下，碾压后渗透系数难于全部满足原设计要求，而且两岸冲沟较多，接头处理十分困难，岸坡实际开挖量需达50万立米，所需劳动力太多，工期不能满足要求，故又重新研究水泥灌浆方案。

灌浆方案所需灌浆设备器材较多，工期长，当灌浆设备齐备的情况下，采用此方案可以节省大量劳动力。这样，上游坝体与基础灌浆工作可同时进行，帷幕设计数据根据当时初步试验成果采用渗透系数  $K=1 \times 10^{-4}$  厘米/秒，临界管涌坡降  $J_{临}=4.6$ ，安全系数为2，故帷幕允许坡降  $J_{允}=2.3$ 。帷幕厚度设计根据以下二原则：1) 灌浆帷幕各点的渗透坡降不超过允许渗透坡降；2) 下游坝基及坝体内各点渗透坡降，不超过坝基允许管涌坡降。据此，定出帷幕厚度为30米，由8排孔（后改为9排）组成，排距3~3.25米，孔距2.5~3.0米，各排均要求嵌入基岩，灌浆方法按逐步加密顺序进行，浆液浓度为1.1~1.4，配比为1:1、1:1.5、1:2、1:3。灌浆压力依排次，孔序孔深而定，最小为4公斤/厘米<sup>2</sup>，最大为35公斤/厘米<sup>2</sup>（图1-4）。

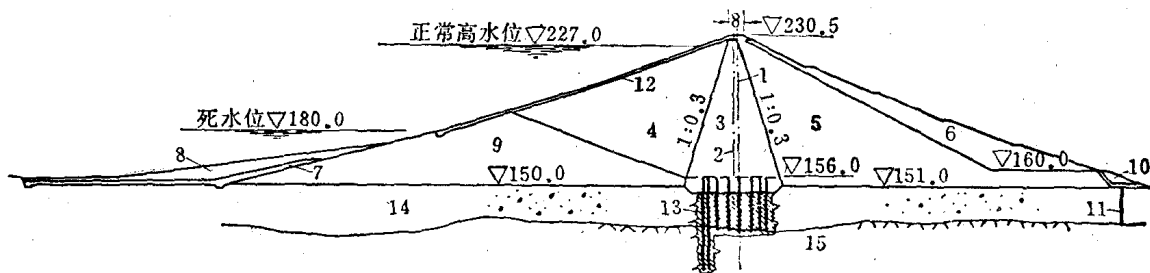


图 1-4 云南某土坝灌浆帷幕方案

- 1—坝轴线；2—心墙轴线；3—心墙（半透水料）；4—半透水料；5—透水料；6—石碴料；7—铺盖；  
8—上游盖重；9—临时坝体（半透水料）；10—堆石排水及反滤；11—减压井；12—上游护坡；13—  
冲积层灌浆帷幕；14—河床冲积层；15—玄武岩

由渗流初步分析得出，灌浆方案也是能够有效的截断渗流，帷幕完成后，全坝总渗流量  $Q=0.0203$  立米/秒，下游坝基的渗透坡降  $J=0.02175 < 0.1$ 。然而，通过两年的施工，仅完成前三排，尽管也存在冒浆、串浆和浆液凝固速度慢等尚待进一步研究的问题，但经检查，渗透系数基本上能满足设计要求，但工期却比预计要长得多。就在此时，我国月子口、密云工程采用混凝土防渗墙技术的方法已经成功，取得了宝贵的经验，设计又重新研究方案及分析防渗墙设计中若干技术问题，决定采用混凝土防渗墙方案代替未完成的灌浆帷幕，构成一道墙幕联合防渗方案，这有利于加快施工进度。

混凝土防渗墙厚度采用0.95~0.85米，全长277米，最大高度44米（图1-5）。从1962

年4月开工至12月竣工，施工历时七个余月。此后，又花了半年时间完成墙下接触带和基岩表层灌浆，大坝竣工后经历蓄水考验，坝体总渗漏量约 $Q=0.03$  立米/秒，下游坝基渗透坡降小于0.1，个别0.122，满足设计要求，实践证明，混凝土防渗墙技术，是一种多快好省的方案。

云南某土坝是五十年代末期我国拟兴建在透水地基上一座较高的土坝。当时，我国基础处理技术正处于蓬勃发展之中，由于该工程覆盖层埋藏较深，采用较彻底可靠大开挖粘

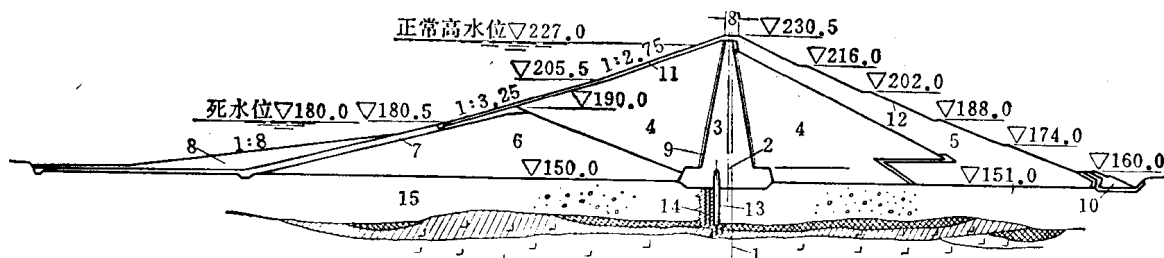


图 1-5 云南某土坝墙幕联合方案

1—坝轴线；2—心墙轴线；3—粘土料；4—半透水料；5—透水料；6—临时坝体(半透水料)；7—粘土斜墙；8—上游盖重；9—过渡料；10—堆石排水及反滤层(三层)；11—上游砌石护坡及垫层；12—下游块石护坡；13—混凝土防渗墙；14—冲积层灌浆帷幕；15—河床冲积层

土截水槽方案困难很大，曾采用过水平铺盖方案和垂直灌浆方案均也不理想，这个工程所经历的基础处理方案的变动直至采用混凝土防渗墙方案成功，突出说明混凝土防渗墙技术处理深厚覆盖层的优越性，是诸多处理方案中具有生命力，值得广泛推广的方案。

### 第三节 混凝土防渗墙设计

混凝土防渗墙设计，应满足下列要求：

- 1) 具有足够的抗渗性和耐久性；
- 2) 满足各项强度要求；
- 3) 与基岩、岸坡及坝体其它防渗设施连接良好。

为满足上述要求，混凝土防渗墙设计步骤和内容如下：

- 1) 根据工程的规模、性质和用途以及地基的实际情况，选择合适的墙型，并与已选定坝型在剖面、平面和纵剖面上进行初步的布置；
- 2) 根据防渗墙承担水头大小，以及获得施工设备情况，参考已建成工程的经验，初步选定防渗墙的厚度和材料；
- 3) 渗流计算与试验，包括两方面内容，一方面计算坝基中的渗流坡降，下游的出逸坡降。另一方面，计算坝体和坝基各部分的渗漏量和总渗漏量；
- 4) 渗透稳定性验算，分析和核算防渗墙产生溶蚀可能性和耐久性，如使用年限……等，并从水泥品种、材料配比等方面研究改善措施；
- 5) 强度计算，分析防渗墙在坝荷和水压荷载作用下，墙沿高度各截面的变形、压应力、拉应力及剪应力的变化情况；

6) 其它方面核算, 如心墙式坝需核算由于不均匀沉陷所产生的附加压力的大小, 核算坝体抗裂稳定性及墙顶塑性变形区的大小, 对于未直达基岩的悬挂式防渗墙, 必要时需核算地基承载力……等等;

7) 材料配比设计, 根据上述3)、4)、5)、6)项的初步成果及施工要求, 因地制宜进行混凝土配比设计和试验;

8) 细部设计, 防渗墙与坝体、岸坡和基岩……等部分相互连接的设计;

9) 观测设计, 根据工程的具体要求, 在防渗墙上布置相应的观测设备, 进行防渗、应力及外荷载等方面的观测;

10) 方案选定落实后, 编写设计说明书, 并提出设计对施工的具体要求。

必须指出: 混凝土防渗墙的主要任务是防渗, 它必须有效的截断坝基渗流, 将坝基的渗流坡降和下游出逸坡降控制在安全范围内, 不致于造成渗流破坏, 同时必须有效控制渗流量, 保证水库有效蓄水, 避免大量漏失。设计时必须抓住这个主要矛盾, 在选择墙型、坝型、材料以及施工机具和方法时, 均必需围绕满足防渗首要任务而设计。与此同时, 防渗墙由于本身具有一定刚度, 在承担防渗任务时, 也承受水压力和土压荷载的作用, 故也需进行强度核算, 满足强度要求, 但其性质和要求与作为挡土墙和承重墙是不同的, 后者本身是直接承荷构件, 结构破坏将引起整体失稳, 故必须严格按混凝土构件和钢筋混凝土构件选择厚度和配筋, 并满足所要求的安全系数。防渗墙本身深夹于砂砾层中, 其后有地基和坝荷作支撑, 只要坝体和坝基本身是稳定的, 不存在防渗墙本身整体破坏问题, 但却存在防渗墙因强度不够发生开裂或严重开裂多处影响防渗效果的问题。因此, 结构分析和强度核算, 必须使所选择的墙厚和材料特性, 能综合满足抗压、抗拉、抗剪等方面强度要求。也就是说, 结构分析和强度核算, 也是围绕着防渗的要求而进行论证的。

防渗墙与各方面连接的细部设计, 常常是防渗体中的薄弱环节, 如处理不当, 也易影响防渗效果, 不能忽视。此外, 观测设计也必须引起重视, 加强研究, 不仅运行时有进行观察监视的意义, 而且也是验证设计的合理性, 积累资料, 以期不断提高设计水平的途径。

根据上述防渗墙的设计内容, 所需的基本资料和数据要求如下:

1) 防渗线上, 坝基冲积层的厚度、面积、深槽位置和深度, 并按设计布置和计算要求, 按一定间距, 提出若干纵横剖面及整体(三向)冲积层厚度分布图;

2) 冲积层的组成, 各组成层的成份和分布情况;

3) 冲积层的孤石分布情况, 一般孤石和最大孤石的尺寸;

4) 坝基基岩的风化情况, 节理发育情况及基岩表层透水性;

5) 河水及地下水水质分析资料;

6) 造孔泥浆的储量、性质和开采条件;

7) 防渗墙骨料(砂卵石、砂)的性质、储量和开采条件;

8) 防渗墙混凝土其它掺合料(如粘土等)的性质、储量和开采条件;

9) 冲积层各组成层, 通过室内及野外试验, 需提供下述资料:

a) 颗分;

- b) 比重、湿容重、干容重、含水量、饱和度;
  - c) 渗透系数;
  - d) 管涌比降;
  - e) 相对密度;
  - f) 干燥与饱和状态下的安息角及内摩擦角;
  - g) 地基的变形模量、孔隙比、压缩系数及其沿深度变化情况;
  - h) 如有细砂夹层, 需提供液化孔隙比或临界孔隙比。
- 10) 基岩表层需提供下述资料:
- a) 容重;
  - b) 抗压强度;
  - c) 渗透系数;
  - d) 变形模量;
  - e) 坚硬不透水的基岩分界线。

#### 第四节 勘探工作中应注意的问题

透水地基砂砾层的性质, 是防渗处理设计的基本依据, 设计要求对冲积层的组成、厚度、透水性及各组成层的物理力学特性作比较详尽的了解, 以便对防渗墙作出比较合理的设计, 根据以往工程的经验, 提出下述几个问题, 在勘测工作中应予充分注意。

##### 1. 冲积层的不均匀性

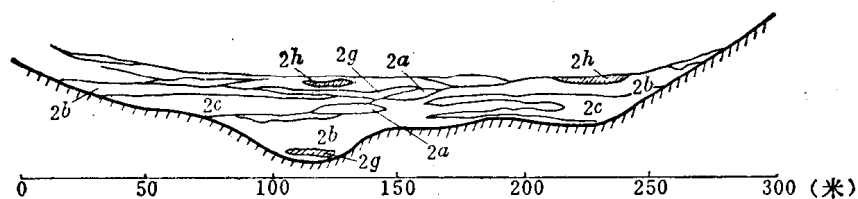
冲积层并非都是均一的, 工程中还常遇到双层结构地基和多层结构地基, 这些地基类型, 对地基的渗透稳定性和结构应力情况, 都有很大的影响。例如, 对于表面有相对不透水层覆盖, 下层为透水性强的砂层或砂砾石层情况, 在不透水层底面, 极易造成较高的承压水头, 可能引起流土现象, 是对渗透稳定不利的一种地基类型, 特别是透水层于下游尖灭的情况尤甚。双层结构和多层结构地基的应力情况, 也与均质地基有别, 不同土层交界处, 常产生较大的负弯矩, 特别是各层的地基模量差异大时为突出。

即使地基是均一的, 由于在沉积过程中受洪水的影响, 机械组成也不均一, 而且可能存在很多透镜体, 不规则的分布在冲积层中, 图1-6示出云南某土坝冲积层的分层图。

从图中看出, 2g、2h为透镜体, 含粘粒较多, 2a、2b、2c为主要层次, 尤以2b分布最广。图1-6仅是一个典型剖面的情况, 由于冲积层具有三向不均匀性, 还必须同时作若干个剖面, 并将其纵横联系起来。对于规模大, 地基情况比较复杂的工程, 要查明冲积层, 钻孔的长度一般是比较大的, 法国蒙特谢尼斯(Montcenis)坝, 左坝肩的岩屑锥和崩积物钻孔达一万米; 奥地利弗莱斯特利茨坝, 坝长2.5公里, 冲积层深100米, 钻孔250个; 云南某土坝, 坝顶长463.5米, 冲积层一般10~25米, 最深32米, 钻孔的总长万余米。

##### 2. 深槽、孤石分布和基岩表层的透水性

冲积层的深浅, 直接影响墙型的选择, 一般说来, 通过一定数量的钻孔, 冲积层的厚度是清楚的。但必须十分注意的是, 不要遗漏掉冲积层下狭窄的深槽, 美国的库加尔坝



代 号	土 壤 的 名 称	砾 粒	小于0.1毫米的颗粒
2a	含多量细粒的砾石	超过50%	>20
2b	含中量细粒的砾石	超过50%	10~20
2c	含少量细粒的砾石	超过50%	<10
2g	含少量细粒的砾石质土	10~50%	>20
2h	砂质粘土	小于10%	

图 1-6 云南某土坝冲积层分层图

(Cougar) 就出现这种情况。西班牙的帕拉达坝 (Prada), 也遗留了一条窄沟, 为了不拖延工期, 此沟只有留待坝体完工后再处理。因此, 为了避免遗漏下来的“天窗”, 钻孔在深槽部位应予适当加密, 必要时, 其间距甚至缩短至 5~10 米。

冲积层是否存在着孤石, 也是选择墙型应考虑的问题, 一般说来, 选用桩柱式、槽板式防渗墙, 孤石对造孔虽带来了一些麻烦, 但通过爆破后再用冲击钻击碎, 问题是可以解决的。我国四川省某电站, 已取得这方面成功的经验。当孤石较大并紧贴基岩时, 处理比较困难, 而且在造孔过程中, 对于底部遇到的是孤石还是基岩, 极易混淆, 这就要求在防渗墙之下, 应有一条较为准确的基岩面线, 此剖面与其它剖面不同, 应作为勘探的重点, 钻孔应予适当的加密。

结合防渗墙轴线的重点勘探, 基岩表层的透水性也应进一步查明。例如云南某土坝, 坝基基岩为玄武岩, 表层 10 米虽仍较坚硬, 但裂隙比较发育, 某些地段单位吸水率  $\omega > 0.05$  升/分, 经表层灌浆后, 平均渗透系数小于  $1 \times 10^{-4}$  厘米/秒, 粘土心墙和防渗墙建成后平均渗透系数达到  $1 \times 10^{-7}$  厘米/秒, 透水性极小, 通过计算和观测, 坝体仍有小部份渗漏量, 估计主要来自墙下基岩表层的绕流。

### 3. 颗粒级配资料

颗粒级配资料, 常常可以对防渗设计提供初步的指标, 在设计初期, 如没有条件通过试验获得较准确的资料, 常可用颗粒级配曲线, 初步推断一些问题。颗分各个粒径级的意义举例如下:

1)  $d_{10}$ ——有效粒径, 一般反映土料孔隙情况, 可提供渗透性的初步指标, 如哈净 (Hazen) 公式:

$$K = Cd_{10}^2 \quad (1-1)$$

式中  $d_{10}$ ——有效粒径, 用厘米表示;

$C$ ——系数, 颗粒均匀的干净砂子  $C = 140$ ;

例:  $d_{10} = 0.7$ 毫米 = 0.07厘米,  $C = 140$ ,

$$\therefore K = 140 \times 0.07^2 = 1 \times 10^{-3} \text{米/秒}.$$

2)  $d_{15}$ ——表示土的孔隙直径, 作为反滤层设计资料, 土的孔隙直径可表示为:

$$D_0 = \frac{1}{4} d_{15}. \quad (1-2)$$

3)  $d_{50}$ ——也常用于估算土的孔隙直径, 用于判别地基管涌的危险性, 也是反滤层设计不可少的资料, 例如, 土的孔隙直径也可表示为:

$$D_0 = 0.214 \eta' d_{50}. \quad (1-3)$$

式中  $\eta'$ ——土的不均匀系数与紧密度有关的参变数;

4)  $d_{60}$ 与 $d_{10}$ 之比, 称为不均匀系数, 常用于判别渗透变形的形式(流土或管涌), 以及采用容许比降值的依据, 也是地基接受灌浆情况的指标。

5)  $d_{70}$ , 用于判别地基管涌危险性的指标, 例如康德拉契夫(В.Н. Кондратьев)认为, 土的孔隙直径 $D_0 > d_{70}$ 者为危险性管涌土,  $D_0 < d_{70}$ 者为非危险性管涌土。

6)  $d_{85}$ , 常作为反滤层设计, 保护地基颗粒不穿越条件的指标。

7) 颗分曲线中的细粒含量(小于0.1毫米), 也是一个用于判别渗透破坏形式、渗透性和密度的指标。

8) 颗粒级配曲线的形状, 也是判别地基土渗透变形形式的指标。例如, 颗粒级配微分曲线上呈双峰的土, 即缺乏某中间粒径的土是管涌土, 颗粒级配微分曲线呈单峰的土为非危险性管涌土……等等。

因此, 如何在地基勘探取样中, 保证细粒不散失, 获得较精确的颗粒级配资料, 有十分重要的意义。

#### 4. 渗透系数、破坏坡降及地基变形模量(或地基反力系数)的测定

渗透系数、破坏坡降及地基变形模量(或反力系数), 系防渗墙设计的重要指标, 关系到防渗处理必要性的分析以及防渗效果、结构应力、不均匀沉陷的分析……等等。

坝基处理采用防渗墙以后, 边界条件较为复杂, 渗透计算常先用水力学的原理作初步的分析, 即按多孔介质中的层流定理, 假定流线为水平的方法计算, 这就需要根据勘探过程中所得出的试验值, 确定一个平均渗透系数, 为了使此平均值具有代表性, 必须作相应的试验, 对于地基情况比较复杂的工程, 试验的工作量也是较大的。如奥地利的弗莱斯特利茨坝, 在250个钻孔中, 做了一千个渗透试验, 由此得出三个平均值: 砾石 $K = 2 \times 10^{-2}$ 米/秒, 老台地 $K = 3 \times 10^{-3}$ 米/秒及砂 $K = 1 \times 10^{-4}$ 米/秒; 巴基斯坦的塔贝拉坝在347个钻孔中做了3539个渗透系数试验, 由此确定三个水平层的平均渗透系数分别为 $K = 2 \times 10^{-4}$ 米/秒,  $K = 4 \times 10^{-4}$ 米/秒和 $K = 1 \times 10^{-4}$ 米/秒; 云南某土坝曾在坝基进行了7个渗透地段, 12次单孔抽水试验, 2次群孔抽水试验以及结合现场清基的实测成果, 最终确定平均渗透系数 $K = 1 \times 10^{-2}$ 厘米/秒。

平均渗透系数值较准确的定出, 还有助于水库在运行时, 推算出渗漏量, 因为当用测压管测出下游坝体和坝基的水力坡降资料后, 再有一个平均渗透系数, 便可推算出渗流量。



在野外测定渗透系数，可在钻孔中作注水或抽水试验，所得成果与实测均有出入，当试验段在地下水位以上时，采用注水方法，孔壁有闭塞趋势，因而所得的渗透系数  $K_{注}$  偏小，当试验段在地下水位以下时，采用抽水试验，由于孔壁中细颗粒有管涌趋势，因而所得的渗透系数  $K_{抽}$  偏大，设计时可用两者的几何平均值，即：

$$K_{平均} = \sqrt{K_{注} \cdot K_{抽}} \quad (1-4)$$

同样，对于成层地基，求出各成层的平均渗透系数  $K_1, K_2, K_3 \dots$  后（图1-7），可分别求出水平向和垂直向渗透系数，根据太沙基公式：

$$K_{水平} = \frac{K_1 T_1 + K_2 T_2 + K_3 T_3}{T_1 + T_2 + T_3} \quad (1-5)$$

$$K_{垂直} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{\frac{T_1}{K_1} + \frac{T_2}{K_2} + \frac{T_3}{K_3}} \quad (1-6)$$

$K_{水平}$  值偏大， $K_{垂直}$  值偏小，坝基实际的渗流情况如图1-8所示，设计时也需采用两者的几何平均值，即：

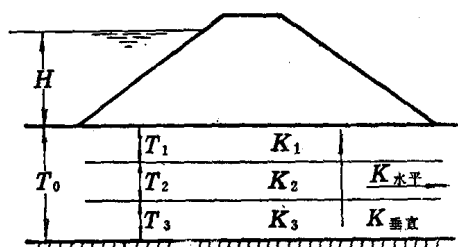


图 1-7 成层地基冲积层

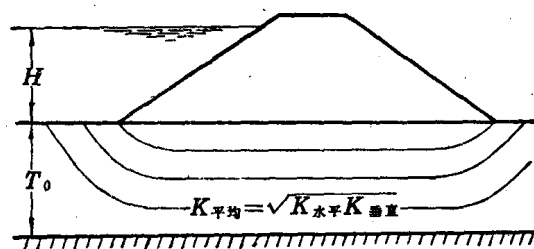


图 1-8 成层地基冲积层的渗流

$$K_{平均} = \sqrt{K_{水平} \cdot K_{垂直}} \quad (1-7)$$

渗透破坏坡降及地基变形模量等的测定和采用，分别于第三章和第五章中专门讨论。