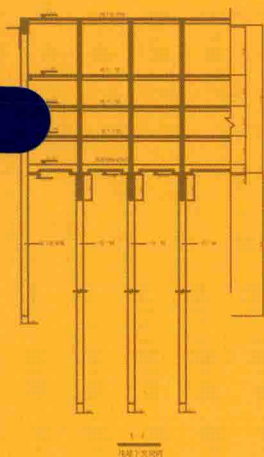


地下连续墙设计施工与案例

王银献 刘 军 主编



中国建筑工业出版社

014057471

TU476
06

北京市属高等学校创新团队建设与教师职业发展规划项目资助
(The Project of Construction of Innovative Teams and Teacher
Career Development for Universities and Colleges Under Beijing
Municipality: IDHT20130512)

地下连续墙设计施工与案例

王银献 刘 军 主编



2013年5月

(中国铁道出版社) 评奖、推出给建筑业工业出版社中
都登载并真数, 为行业提供
编编后全录于京张
编中伊公路局编印, 北京市

ISBN 978-7-112-16789-0
(52287)
定价: 29.00元

U476
06

中国建筑工业出版社



北航 C1742222

014027471

图书在版编目 (CIP) 数据

地下连续墙设计施工与案例 / 王银献, 刘军主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 7
ISBN 978-7-112-16789-0

I. ①地… II. ①王…②刘… III. ①地下连续墙—建筑设计—案例②地下连续墙—建筑工程—工程施工—案例
IV. ①TU476

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 085535 号

本书紧密结合我国当前地下连续墙的发展特点, 参考国内外在地下连续墙方面的有关资料, 收集近年来在地下连续墙领域中设计与施工的大量成功案例, 系统地阐述了地下连续墙用于防渗、支护和地下结构等方面的设计与施工技术。内容包括: 概论、地下连续墙设计、施工技术以及施工经典案例等, 是一本地下连续墙设计与施工方面不可多得的专著。

本书可作为土木、建筑、交通、水利、市政、地铁等行业从事土建工程设计与施工等相关技术人员的参考用书。

* * *

责任编辑: 田启铭 李玲洁
责任设计: 董建平
责任校对: 陈晶晶 刘 钰

地下连续墙设计施工与案例

王银献 刘 军 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京千辰公司制版
北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9½ 字数: 237 千字
2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月第一次印刷

定价: 29.00 元

ISBN 978-7-112-16789-0
(25587)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

3.2.3 施工场地布置 43

3.2.4 概设划分 43

3.2.5 导墙施工 46

3.2.6 泥浆配制与循环系统 48

3.3 地下连续墙施工 53

前 言

自 1958 年我国水利部首次采用桩排式混凝土地下连续墙作为防渗芯墙并获得成功后, 目前地下连续墙已广泛应用到建筑地下基础、深基坑支护结构、地下车库、地铁、地下城、地下电站及水坝防渗墙等工程中, 并随着地下连续墙设计与施工技术的不断发展, 地下连续墙不仅用于传统的临时挡土、挡水支护结构, 而且还用于承受永久荷载, 集支护、结构、承重于一体的, 所谓“二墙合一”、“三墙合一”的结构式地下连续墙等永久性地下结构墙领域中。如位于南京的江苏检察院办案技术楼地下室采用了集挡土挡水、地下室结构外墙、承重墙“三墙合一”的地下连续墙结构; 天津第一高楼——天津津塔地下室采用了集基坑临时支护、结构外墙“二墙合一”的地下连续墙结构, 大大降低了地下连续墙作为临时支护墙体的使用成本, 使得地下连续墙在地下工程应用中更显优越性。

本书紧密结合我国当前地下连续墙的发展特点, 从设计、施工入手, 参考国内外在地下连续墙方面的有关资料, 收集近年来在地下连续墙领域中的大量实践成果, 特别是一些代表当前国内地下连续墙在地下结构墙方面设计与施工的成功案例, 系统地介绍并阐述了地下连续墙用于防渗墙、支护墙和结构墙等方面的设计与施工技术。希望能给同行提供有关地下连续墙设计、施工、推广应用等方面的实用资料, 以资在工程中参考使用。

由于编者水平有限, 书中不当之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月

第四章 地下连续墙施工典型案例 95

4.1 北京德胜门内大街地铁工程 95

4.1.1 工程概况 95

4.1.2 基坑地下水控制设计 96

4.1.3 基坑支护方案设计 96

4.1.4 基坑土体监测设计 99

4.1.5 基坑支护施工 99

4.1.6 基坑施工 100

4.1.7 施工质量控制 101

4.2 江苏省人民检察院办案技术楼地下室 103

4.2.1 工程概况 103

目 录

第一章 地下连续墙概论	1
1.1 地下连续墙的发展概况	1
1.2 地下连续墙的分类与特点	2
1.2.1 地下连续墙的分类	2
1.2.2 地下连续墙的特点	2
第二章 常用地下连续墙的设计	4
2.1 地下连续墙作防渗墙的设计	4
2.1.1 概述	4
2.1.2 防渗墙总体布置	5
2.1.3 防渗墙的结构设计	9
2.1.4 防渗墙厚度选择	10
2.1.5 防渗墙深度设计	12
2.1.6 防渗墙细部结构设计	12
2.1.7 防渗墙的接头	12
2.1.8 防渗墙的墙体材料	13
2.2 地下连续墙作基坑支护结构的设计	14
2.2.1 地下连续墙在基坑工程中的应用	14
2.2.2 地下连续墙作基坑围护结构的设计	15
2.2.3 地下连续墙作地下室结构外墙的设计	25
2.2.4 地下连续墙细部结构设计	32
2.3 地下连续墙接头设计	35
2.3.1 地下连续墙施工接头	36
2.3.2 地下连续墙结构接头	36
第三章 地下连续墙施工技术	38
3.1 地下连续墙常用施工工法与设备	38
3.1.1 地下连续墙常用工法概要	38
3.1.2 抓斗挖槽工法和设备	38
3.2 地下连续墙施工组织与管理	42
3.2.1 施工准备与计划	42
3.2.2 施工资源配置	43

3.2.3	施工场地布置	43
3.2.4	槽段划分	43
3.2.5	导墙施工	46
3.2.6	泥浆配制和循环利用	48
3.3	地下连续墙施工	53
3.3.1	成槽施工流程	53
3.3.2	成槽施工要点	54
3.3.3	钢筋笼制作和吊装	58
3.3.4	槽段接头处理	66
3.3.5	水下混凝土浇筑	68
3.3.6	起拔锁口管	70
3.4	地下连续墙施工质量控制	70
3.4.1	连续墙施工质量保证	70
3.4.2	混凝土灌注质量控制	71
3.4.3	槽段防塌方技术措施	73
3.4.4	泥浆使用及质量控制	75
3.4.5	槽段划分与放样	76
3.4.6	施工接头的缺陷和处理	76
3.4.7	成槽质量控制	77
3.4.8	钢筋笼的制作与吊装安放	79
3.4.9	预埋件定位质量控制	81
3.4.10	地下连续墙施工常见事故与处理	84
3.5	超深厚地下连续墙施工与经济分析	87
3.5.1	用作主体结构的地下连续墙技术特点分析	87
3.5.2	施工中经常出现的问题与对策	88
3.5.3	提高地下连续墙的竖向承载措施	92
3.5.4	地下连续墙用作结构墙的经济性分析	93
第四章 地下连续墙施工经典案例		95
4.1	北京侨福花园广场基坑地下连续墙支护工程	95
4.1.1	工程概况	95
4.1.2	基坑地下水控制设计	96
4.1.3	基坑支护方案设计	97
4.1.4	基坑土方开挖设计	99
4.1.5	施工主要工作量	99
4.1.6	项目施工	100
4.1.7	施工事故处理	101
4.2	江苏省人民检察院办案技术楼基坑工程	103
4.2.1	工程概况	103

4.2.2	施工内容	104
4.2.3	工程特点与现状分析	104
4.2.4	施工安排	104
4.2.5	施工工艺与技术措施	105
4.2.6	施工过程	108
4.2.7	事故处理——E7槽段塌方处理及施工方案	110
4.2.8	施工成果	111
4.3	天津津塔二墙合一地下连续墙结构施工案例	112
4.3.1	工程概况	112
4.3.2	工程地质和水文地质条件	114
4.3.3	工程特点、重点和难点	115
4.3.4	地下连续墙施工设计方案	115
4.3.5	工程重点、难点的解决方案	122
4.3.6	施工流程安排	123
4.3.7	施工组织与安排	126
4.4	武汉长江隧道工程汉口段基坑地下连续墙施工案例	127
4.4.1	工程概况	127
4.4.2	工程地质与水文地质情况	128
4.4.3	施工过程	128
4.5	沈阳地铁二号线工业展览馆站地下连续墙围护结构 施工案例	130
4.5.1	工程概况	130
4.5.2	工程地质条件	131
4.5.3	场地水文地质条件	132
4.5.4	工程施工特点	133
4.5.5	地下连续墙施工	133
4.5.6	施工工艺改进	139
4.5.7	施工成果	140
4.5.8	缺陷与事故处理	140
4.6	天津市金融城津湾广场地下连续墙围护结构施工案例	140
4.6.1	工程概况	140
4.6.2	施工主要内容与工作量	142
4.6.3	施工平面布置	142
4.6.4	地下连续墙施工	143
4.6.5	施工成果	145
参考文献		146

第一章 地下连续墙概论

1.1 地下连续墙的发展概况

地下连续墙施工法起源于欧洲，1920 年德国开始用此方法施工，提出在两侧打入一种圆管，在中间再打入一个鼓形套管，并填充混凝土，然后借助压缩空气拔出套管并振捣混凝土，形成了地下连续墙。这是世界上首次出现的有关地下连续墙的专利。从这以后，美国、法国、意大利等国相继开发应用了地下连续墙，特别是在 1950~1960 年的 10 年间，地下连续墙这项技术随着二战结束后的经济发展而取得惊人发展，挖槽机械、施工工法和膨润土泥浆等在地下连续墙中得到了广泛的应用，其中意大利的依克斯（ICOS）公司把它成功地应用到地下工程的各个领域。1954 年，真正的地下连续墙“槽板式地下连续墙”开发成功，之后地下连续墙在世界各地得到了广泛推广与应用。

进入 20 世纪 60 年代以后，各国大力改进和研究挖槽机械和配套设备，大大提高了地下连续墙的施工效率，并向着更深、更复杂的目标进军。特别是德国、意大利和法国在这个行业中的竞争能力最强、制造技术最先进，目前最先进的挖槽机械液压抓斗和双轮铣均产自德国和意大利（参见图 1-1）。在施工技术方面，由意大利和法国公司于 20 世纪 90 年代初期建成的、位于阿根廷和巴拉圭交界处的雅绥雷塔水电站土坝下防渗墙，面积达 90 万 m²，是目前世界上最长和面积最大的防渗墙，它的墙体材料是无侧限抗压强度仅为 100kPa、渗透系数为 10⁻⁶~10⁻⁵cm/s 的自硬泥浆。而加拿大在水电工程中施工的地下防渗墙深达 131m，是目前世界上最深的地下连续墙。



图 1-1 意大利地下连续墙抓斗

我国水利部在 1958 年首次采用桩排式混凝土地下连续墙作为防渗芯墙并获得成功, 其后在数十项基础工程中推广使用。例如在青岛的月子口水库以及北京、云南、贵州、广东、广西、吉林、江西的多项水利工程中, 使用地下连续墙工法建造了蓄水库大坝的防渗墙, 取得了良好的技术和经济效果。随着地下连续墙技术的不断发展, 该项技术由水利工程的防渗墙逐渐推广到城市建设等领域。20 世纪 70 年代末, 地下连续墙技术在上海、天津、广州、福州、台北等沿海城市地下工程施工中得到应用, 并得到不断发展和完善。近年来, 开挖深度在 10m 以上的深大基坑, 绝大多数都采用地下连续墙作为围护结构的护墙。目前地下连续墙的最大深度可达 136m, 厚度最大约为 2.8m, 墙体体积已达几千万立方米, 施工垂直精度可控制到 1/1000 ~ 1/2000。

1.2 地下连续墙的分类与特点

1.2.1 地下连续墙的分类

虽然地下连续墙已经有了 50 多年的历史, 但是要严格分类, 仍是很难的。

- (1) 按成墙方式可分为: ①桩排式; ②槽板式; ③组合式。
 - (2) 按墙的用途可分为: ①防渗墙; ②临时挡土墙; ③永久结构(承重)墙; ④作为基础用的地下连续墙。
 - (3) 按墙体材料可分为: ①钢筋混凝土墙; ②塑性混凝土墙; ③固化灰浆墙; ④自硬泥浆墙; ⑤预制墙; ⑥泥浆槽墙(回填砾石、黏土和水泥三合土); ⑦后张预应力地下连续墙; ⑧钢制地下连续墙。
 - (4) 按开挖情况可分为: ①地下连续墙(开挖); ②地下防渗墙(不开挖)。
- 本书探讨的是以槽板式用作临时、永久围护结构的混凝土和钢筋混凝土地下连续墙。

1.2.2 地下连续墙的特点

1. 地下连续墙的优点

地下连续墙技术之所以能得到广泛的应用与发展, 是因为它具有如下优点:

- (1) 施工全盘机械化, 速度快、精度高, 并且振动小、噪声低, 适用于城市密集建筑群及夜间施工, 减少工程施工对环境的影响。
- (2) 由于采用钢筋混凝土或素混凝土, 强度可靠, 承压力大, 墙体刚度大、整体性好, 因而结构和地基变形都较小, 既可用于超深支护结构, 也可用于主体结构。
- (3) 对开挖的地层适应性强, 在我国除熔岩地质外, 可适用于各种地质条件, 无论是软弱地层或在重要建筑物附近的工程中, 都能安全施工; 特别是能够紧邻相近的建筑及地下管线施工, 对沉降及变位较易控制。
- (4) 用触变泥浆保护孔壁和止水, 施工安全可靠, 不会引起水位降低而造成周围地基沉降, 保证施工质量。
- (5) 开挖基坑无需放坡, 土方量小, 浇筑混凝土无需支模和养护, 并可在低温下施工, 降低成本, 缩短施工时间。
- (6) 地下连续墙作为整体结构, 加上现浇筑墙厚度一般不少于 60cm, 钢筋保护层又

较大,故耐久性好,抗渗性能亦较好。

(7) 可将地下连续墙与“逆作法”施工结合起来,地下连续墙为基础墙,地下室梁板作支撑,地下部分施工可自上而下地与上部建筑同时施工,将地下连续墙筑成挡土、防水和承重的墙,形成一种深基础、多层地下室施工的有效方法。有利于施工安全,并加快施工进度,降低施工造价。

2. 地下连续墙的缺点

正如以往任何一种新的施工技术或结构形式出现一样,地下连续墙尽管有上述明显的优点,但也有它自身的缺点和尚待完善的方面。归纳起来有以下几个方面:

- (1) 每段连续墙之间的接头质量较难控制,往往容易形成结构的薄弱点。
- (2) 墙面虽可保证垂直度,但比较粗糙,尚需加工处理或做衬壁。
- (3) 施工技术要求高,无论是成槽机械选择、槽体施工、泥浆下浇筑混凝土、接头、泥浆处理等环节,均应处理得当,不容疏漏。
- (4) 制浆及处理系统占地较大,管理不善易造成现场泥泞和污染。弃土及废泥浆的处理问题,除增加工程费用外,如处理不当,还会造成新的环境污染。
- (5) 地质条件和施工的适应性问题。从理论上讲,地下连续墙可适用于各种地层,但最适应的还是软塑、可塑的黏土层。当地质条件复杂时,会增加施工难度和影响工程造价。
- (6) 槽壁坍塌问题。引起槽壁坍塌的原因,主要是地下水位急剧上升,护壁泥浆液面急剧下降,有软弱疏松或砂性夹层,以及泥浆的性质不当或者已经变质,此外还有施工管理等方面的因素。槽壁坍塌轻则引起墙体混凝土超方和结构尺寸超出允许的界限,重则引起相邻地面沉降、坍塌,危害临近建筑和地下管线的安全。

由于地下连续墙优点多,适用范围广,目前广泛应用于建筑物的地下基础、深基坑支护结构、地下车库、地铁、地下城、地下电站及水坝的防渗墙等工程中,而且随着对地下连续墙施工要求的不断提高,目前地下连续墙不仅仅用于临时支护的挡土、挡水,已集支护、结构墙、承重等于一体。如位于南京的江苏检察院办案技术楼地下室采用的地下连续墙集挡土、挡水、地下室结构外墙、承重墙等“三墙合一”的墙体,天津第一高楼——天津津塔地下连续墙集基坑临时支护、结构外墙的“二墙合一”等等,大大降低了地下连续墙作为临时支护墙体的使用成本,使得地下连续墙在地下工程支护结构方面具有很大的优越性。

第二章 常用地下连续墙的设计

2.1 地下连续墙作防渗墙的设计

2.1.1 概述

1. 地下防渗墙简要说明

世界上很多国家,包括地下连续墙技术的发源地意大利及较早使用此项技术的我国,都是首先把这项技术应用于水利水电工程中的防渗工程,而后逐渐推广到城市建设和交通、矿山和港口等建设工程中去的。

地下防渗墙有如下三个特点:①修建在透水地基中,以防渗为主的地下连续墙;②是一种不开挖的地连墙(这是两者最根本的区别);③其墙形和材料变化多端、施工方法各异。

目前,地下防渗墙的墙体材料不仅有混凝土(钢筋混凝土)和黏土混凝土等刚性材料,而且已经开发使用了塑性混凝土、固化砂浆、自硬泥浆和黏土类混合料以及土工合成材料等多种塑性或柔性材料。

2. 防渗墙设计的主要步骤和内容

选择地下防渗墙以及如何选择防渗墙的各种尺寸和技术指标是防渗墙设计的主要内容。目前地下防渗墙的设计理论和计算方法还不是十分成熟,计算结果与实测数值相差较大。对此本书不进行深入讨论。防渗墙设计的主要步骤和内容包括:

(1) 选择合适的墙形,并根据已经选定的坝(闸)形式在平面、纵剖面 and 横截面上进行布置。

(2) 根据已建成的工程经验和本工程实际情况,初步选定防渗墙的厚度和墙体材料。

(3) 渗流稳定验算(坡降和渗漏量)。

(4) 渗流稳定验算(化学溶蚀计算)。

(5) 内力和强度计算。

(6) 其他方面核算,如心墙式坝的抗裂稳定性和墙顶塑性区的计算,大型基坑的边坡稳定性核算等。

(7) 墙体材料配比设计。

(8) 细部设计,防渗墙与周边的基岩、坝体和岸坡等的连接设计。

(9) 观测设计,在防渗墙中设置渗流、应力和载荷等方面的观测仪器和设备。

(10) 编写设计说明书和防渗墙的施工技术要求。

必须强调的是,防渗墙的主要作用是防渗,它必须满足以下两个要求:

1) 有效地截断渗透水流,使地基的渗流比降和逸出比降均控制在安全范围之内,不至于造成渗流破坏。

2) 有效地控制渗流量, 避免大量漏失水量, 或者造成基坑内大量涌水以保证水库(闸)的有效蓄水。

设计时必须抓住防渗这个关键问题, 其他几项设计工作必须围绕这个中心进行。

2.1.2 防渗墙总体布置

1. 防渗墙的布置方式与平面布置

以土坝防渗墙的布置方式为例(见图2-1), 防渗墙的布置方式主要有斜墙-防渗墙、外铺盖-防渗墙、心墙-防渗墙、心墙-内铺盖-防渗墙、心墙-双排防渗墙、斜墙-悬挂式防渗墙、混凝土铺盖-防渗墙、心墙式防渗墙、复合防渗墙等。由于坝形不同, 防渗墙可设置于防渗心墙、斜墙和铺盖下, 或者心墙与铺盖、斜墙, 与铺盖联合防渗体的下面。

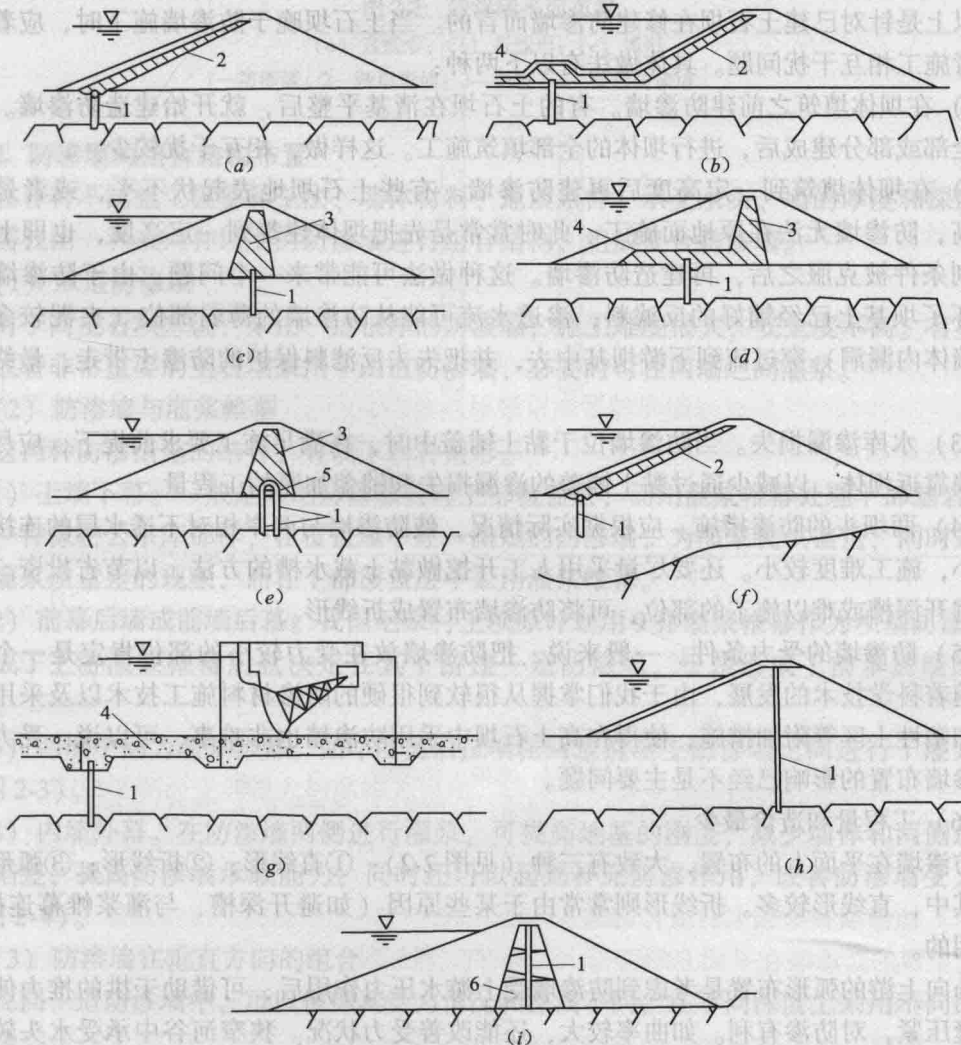


图2-1 防渗墙剖面布置形式

(a) 斜墙-防渗墙; (b) 外铺盖-防渗墙; (c) 心墙-防渗墙; (d) 心墙-内铺盖-防渗墙;

(e) 心墙-双排防渗墙; (f) 斜墙-悬挂式防渗墙; (g) 混凝土铺盖-防渗墙;

(h) 心墙式防渗墙; (i) 复合防渗墙

1—防渗墙; 2—斜墙; 3—心墙; 4—铺盖; 5—廊道; 6—开裂心墙

在选择土石坝防渗墙的平面位置时,应考虑以下几个要求:

(1) 坝地质条件和水文地质条件。当坝基基岩(或作为隔水层的黏性土)岩性或地质构造沿水流方向有变化时,宜将防渗墙放在坚固而不透水的基岩或黏性土层中,尽量避开不利的地质构造(如断层等)。

当坝基覆盖层沿水流方向有很大变化时,也应考虑将防渗墙放在覆盖层较浅并容易施工的部位。

(2) 施工条件。当防渗墙放在已建成水库的上游坝脚的黏土或黏土斜墙或铺盖中时,则在防渗墙与坝脚之间应留出一定距离(其大小依钻机摆放位置而定),以便布置施工道路和设备。当土石坝上游坝脚地面起伏不平,难以施工时,可考虑将防渗墙布置在坝顶或上游坝坡上。

以上是针对已建土石坝在修建防渗墙而言的。当土石坝晚于防渗墙施工时,应着力解决两者施工相互干扰问题。具体做法有以下两种:

1) 在坝体填筑之前建防渗墙。有的土石坝在清基平整后,就开始建造防渗墙。待防渗墙全部或部分建成后,进行坝体的全部填筑施工。这样做,相互干扰较少。

2) 在坝体填筑到一定高度后再建防渗墙。有些土石坝地表起伏不平,或者是地下水太高,防渗墙无法在原地面施工。此时常常是先把坝体建筑到一定高度,也即上述两种不利条件被克服之后,再建造防渗墙。这种做法可能带来一个问题:由于防渗墙施工时破坏了坝基上已经铺好的反滤料,渗透水流可能从防渗墙的薄弱部位(夹泥较多的接缝或墙体内部)穿过流到下游坝基中去,并把失去反滤料保护的防渗土带走,最终酿成事故。

(3) 水库渗漏损失。当防渗墙位于黏土铺盖中时,在满足施工要求前提下,应尽量使防渗墙靠近坝体,以减少通过黏土铺盖的渗漏损失和铺盖加厚的工程量。

(4) 两坝头的防渗措施。应根据实际情况,使防渗墙与两岸相对不透水层的连接工程量最小,施工难度较小。还要尽量采用人工开挖做黏土截水槽的方法,以节省投资。有时为了避开深槽或难以施工的部位,可将防渗墙布置成折线形。

(5) 防渗墙的受力条件。一般来说,把防渗墙放在受力较小的部位肯定是一个好办法。随着科学技术的发展,由于我们掌握从很软到很硬的防渗材料施工技术以及采用灌浆廊道和塑性土区等附加措施,使得在高土石坝中采用防渗墙也非难事,可以说,受力条件对防渗墙布置的影响已经不是主要问题。

(6) 工程量和造价最少。

防渗墙在平面上的布置,大致有三种(见图2-2):①直线形;②折线形;③弧形。

其中,直线形较多。折线形则常常由于某些原因(如避开深槽、与灌浆帷幕连接等)而采用的。

凸向上游的弧形布置是考虑到防渗墙受上游水压力作用后,可借助于拱的推力使各墙体接缝压紧,对防渗有利。如曲率较大,还能改善受力状况。狭窄河谷中承受水头较高的土石坝,采用这种方式布置尤为有利。

上面所说的布置原则,对于平原水闸(坝)、尾矿坝、矿山采场等工程的防渗墙也是适用的。

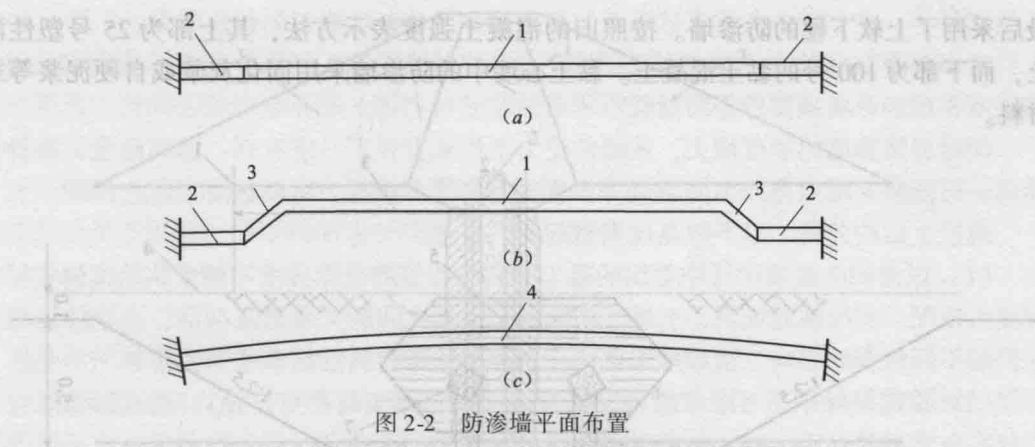


图 2-2 防渗墙平面布置

(a) 直线形; (b) 折线形; (c) 弧形

1—防渗墙; 2—两岸齿墙; 3—斜段; 4—弧形防渗墙

2. 防渗墙的组合结构布置

在各种不同施工设备和工法、墙体材料、地质条件、承受水头、墙的厚度和深度条件下,需找出一种或两种以上的防渗墙进行组合结构,组成复合防渗墙。

(1) 双道防渗墙

对于高土石坝来说,采用一道很厚的防渗墙,施工难度很大,安全度不高。有些水头很高或者非常重要的土石坝采用了两道防渗墙,必要时可在两墙之间灌浆。

(2) 防渗墙与灌浆帷幕

这两种防渗措施的结合,有以下四种情形。

1) 上墙下幕。一般是采用防渗墙处理上部覆盖层,而用灌浆帷幕处理下部基岩渗漏;还有一种像密云水库那样,在覆盖墙中建一座短的防渗墙,为灌浆提供盖重,同时避免了地表灌浆质量差的现象,而在下部覆盖层中采用灌浆帷幕。

2) 前幕后墙或前墙后幕。我国毛家村土坝原计划用 9 排灌浆帷幕作为坝基防渗结构。在完成了上游灌浆帷幕后就决定在其下游建一道防渗墙,于是形成了前幕后墙的组合结构。

3) 两墙中间为灌浆帷幕。如印度奥伯拉坝在两道混凝土防渗墙之间进行了灌浆帷幕(见图 2-3)。

4) 内墙外幕。在防渗墙两侧进行灌浆,可提高地基的刚度,减少墙体和两侧地基之间沉降差,提高防渗墙承载能力;同时还可以起到补充防渗作用,改善防渗墙受力条件(见图 2-4)。

(3) 防渗墙在垂直方向的组合

在同一道防渗墙中,可以根据其受力情况和深浅不同,在不同深度上采用不同的材料来建造。

1) 上硬下软。如智利培恩舍坝防渗墙,上部 15m 为中等硬度的混凝土 ($R_c = 22.5\text{MPa}$),其中顶部 6.5m 内加钢筋;下部为半塑性混凝土 ($R_c = 8\text{MPa}$)。

2) 上软下硬。我国某水库的土坝坝体和覆盖层均有渗透不稳定问题,决定采用穿过坝体和覆盖层直达基岩的防渗墙进行处理。由于坝体心墙抗渗性能尚可,承受水头较小。

最后采用了上软下硬的防渗墙。按照旧的混凝土强度表示方法，其上部为 25 号塑性混凝土，而下部为 100 号的黏土混凝土。黏土心墙中的防渗墙采用固化灰浆或自硬泥浆等柔性材料。

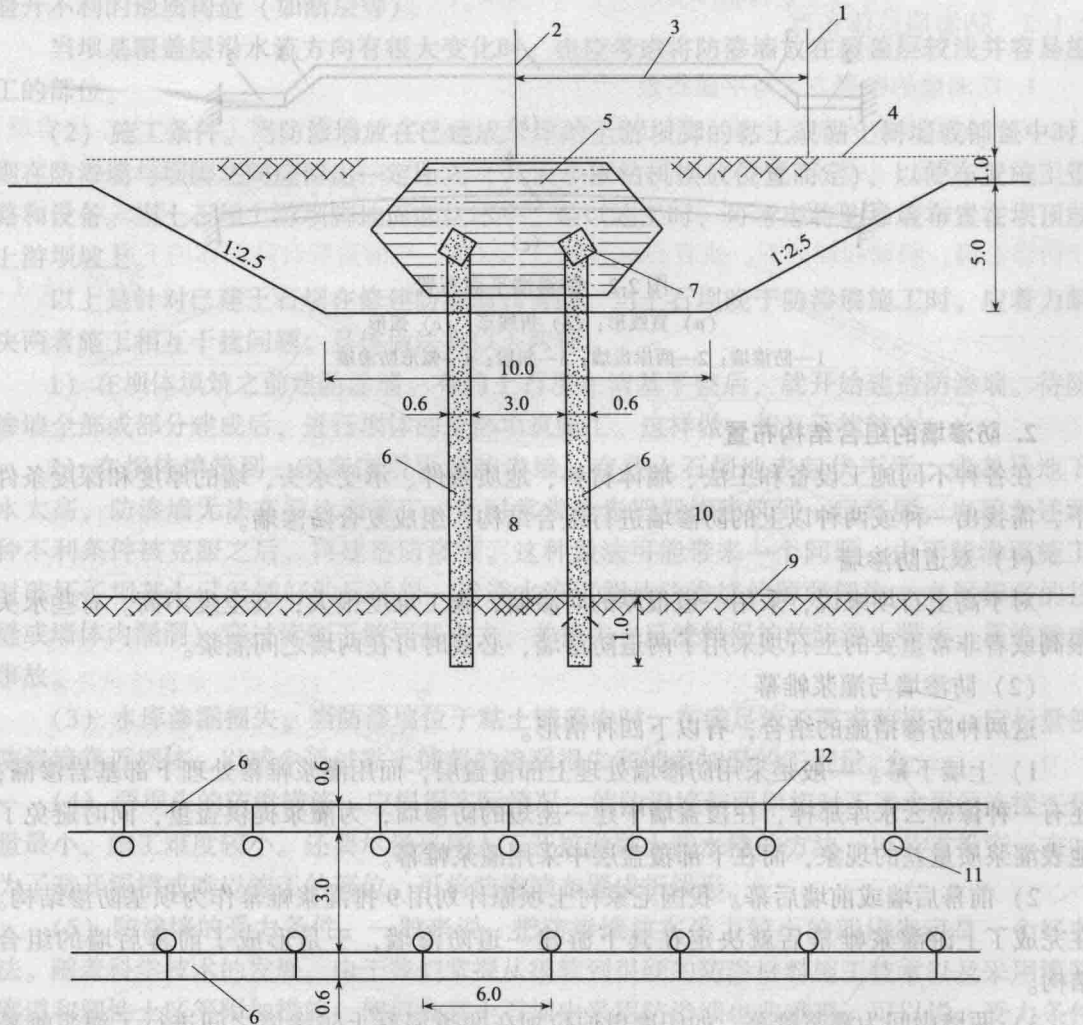


图 2-3 混凝土防渗墙

1—坝轴线；2—截水墙轴线；3—可变距离；4—河床；5—高塑性土；6—混凝土防渗墙加钢筋；7—钢筋混凝土帽；8—砂层灌浆；9—岩石；10—砂层；11—灌浆孔；12—防渗墙接缝

(4) 防渗墙在平面上的组合结构

这里说的防渗墙在平面上的组合，主要有以下几种情况。

1) 河道的横剖面上存在深槽或者 V 形峡谷，则深槽防渗墙适合墙体受力和偏斜方面的要求，墙厚应当适当增加。如美国穆德山坝下防渗墙采用了两个墙厚，即深槽段墙厚 1.0m，而两岸浅槽段墙厚为 0.85m。

另外，当深槽段很深而且含有大飘石时，通常的槽板式防渗墙因造孔和接头困难，防渗墙的结构形式也需加以调整，如在两岸较浅（深度小于 52m）段采用槽式防渗墙，而在中部深槽段则采用桩柱连锁防渗墙。

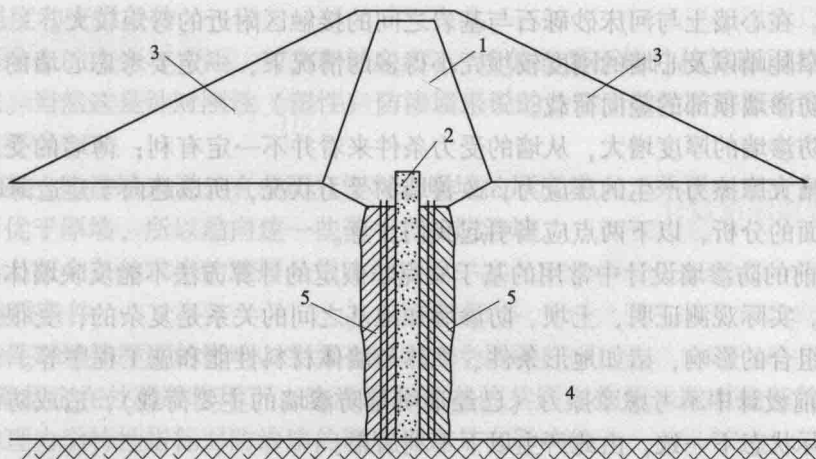


图 2-4 内墙外幕

1—心墙；2—防渗墙；3—坝壳；4—砂砾层；5—灌浆帷幕区

2) 当两岸墙段比中间墙段承受水头较少时,可考虑在两岸段采用高压喷射灌浆防渗墙或者是其他方法施工的薄防渗墙,也可以把墙体材料滤料改为固化灰浆等柔性材料;很浅的墙段则可采用人工开挖做黏土截水槽的方法等。

3) 还有一些土石围堰(如小浪底上游右岸段)的防渗墙,因第一阶段施工位于河漫滩上,工期可以长一些,所以采用了塑性混凝土防渗墙。而第二阶段施工段位于主河槽段,必须在枯水期内快速建成,为此改为高压喷射灌浆防渗墙。

4) 还有采用两岸为泥浆槽防渗墙和中间部位采用混凝土防渗墙的(如加拿大拉格朗德水电站 20 号副坝);也有采用混凝土防渗墙(中间部位)和板桩灌浆防渗墙的。

2.1.3 防渗墙的结构设计

常用的防渗墙主要是混凝土、黏土混凝土防渗墙和塑性混凝土防渗墙,防渗墙的结构与墙体的实际受力状态有关。通过防渗墙的原型观测分析,现已基本了解了防渗墙实际承受的主要荷载。

- (1) 作用在墙顶的竖向压力,其大小与墙顶的结构设计有关。
- (2) 防渗墙侧面受到很大的摩擦力作用,这是防渗墙及其两侧的坝基覆盖层在坝体荷载作用下,产生了很大的差异沉降(沉降差)而造成的。摩擦力的方向取决于两侧土体与墙的相对沉降方向。在墙的中上部,两侧土体比墙的沉陷大,对墙面的摩擦力向下;在墙的下部,由于墙底淤积物的固结压缩,墙比两侧土体沉陷大,对墙的摩擦力向上。按静土压力计算的摩擦系数值与墙和两侧土体之间相对沉陷差有关。
- (3) 防渗墙上游的水压力。
- (4) 侧向土压力。

在以上荷载的共同作用下,防渗墙产生压缩和主要指向下游的水平位移。实际观测也证明墙体本身实际处在受压状态。根据对实际防渗墙的应变观测以及防渗墙钢筋应力观测结果均可看出,几乎没有拉应力,或者说拉应力的数值和区域都是很有限的。墙的水平位移主要发生在土坝施工期,蓄水后相对较小。深墙水平位移主要发生在心墙区,河床砂砾

石层则较小。在心墙土与河床砂砾石与基岩之间的接触区附近的弯矩较大。

对于狭窄陡峭以及心墙的刚度较坝壳小得多的情况下，一定要考虑心墙的拱效应，才能正确得出防渗墙顶部的竖向荷载。

但随着防渗墙的厚度增大，从墙的受力条件来看并不一定有利；薄墙的受力条件优于厚墙，它能增大摩擦力产生的压应力，改善墙的受力状况，所以趋向于建造薄墙。

通过上面的分析，以下两点应当引起我们注意。

(1) 以前的防渗墙设计中常用的基于文克尔假定的计算方法不能反映墙体的实际变位和受力情况。实际观测证明，土坝、防渗墙和地基之间的关系是复杂的，受很多因素以及它们的不同组合的影响，诸如地形条件、坝体与墙体材料性能和施工程序等。

(2) 以前设计中不考虑摩擦力（已经证明是防渗墙的主要荷载），造成防渗墙设计应力状态与实际状态不一致，由此产生以下不利后果：

1) 在高坝深墙情况下，如果不计摩擦力，算出的压应力很小，将会因降低对墙体抗压强度的要求而导致墙体被压碎。

2) 在高坝深墙情况下，如果不考虑摩擦力，势必使墙体承受的弯矩加大，为此可能需要在墙体内布设钢筋以抵抗拉应力。

国外从 20 世纪 60 年代末到 70 年代初，大规模采用了一种低标号混凝土防渗墙，这种低标号混凝土就是塑性混凝土，也就是水泥用量大大减少的黏土混凝土。塑性混凝土的强度只有 0.5~4MPa，变形模量也只有 200~1500MPa，使墙体的柔性大为增加。

塑性混凝土的出现，促使防渗墙设计理论发生了一些变化：

(1) 塑性混凝土防渗墙设计的主导思想就是使墙体和地基具有相同的变形模量。这样就能避免或大大降低两者之间的不均匀沉降，使墙体承担的外荷载大大减少。计算结果表明，墙体和地基的变形模量之比在 1~5 之间时，效果比较理想。

(2) 由于墙体变形模量小、柔性大，在外荷载作用下，墙体内产生的拉应力很少，甚至无拉应力出现。即使出现拉应力超过墙体材料极限而产生裂隙，其自愈能力也远胜于刚性混凝土防渗墙。所以，目前对防渗墙塑性混凝土的抗拉强度要求多是作为一种安全储备来考虑的。

(3) 防渗墙柔性增加后，墙体材料强度必然降低，为保证外荷载作用下的墙体应力不致超载，防渗墙的结构设计也要进行一些改变。例如，必要的时候可在墙顶设置可压缩性黏土（膨润土）或其他柔性垫层。

2.1.4 防渗墙厚度选择

1. 防渗墙设计的基本要求

(1) 墙体材料必须有足够的抗渗性和耐久性。

(2) 能满足各种强度变形的要求。

(3) 与周边基岩、岸坡和坝体之间有可靠的连接措施。

2. 影响防渗墙厚度的因素

防渗墙设计的一个主要内容，就是如何选择好墙的厚度。主要影响因素有以下几个。

(1) 渗透稳定条件

目前采用两种方法来选择和核算防渗墙的厚度，即允许水力梯度（坡降）和抗化学溶蚀法。