

顾志刚 张东成 罗红卫 编著

朱子龙 主审

碾压混凝土坝 施工技术



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

碾压混凝土坝 施工技术

顾志刚 张东成 罗红卫 编著
朱子龙 主审



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

本书主要介绍碾压混凝土坝施工技术,共分八章。内容包括碾压混凝土坝基本知识、碾压混凝土的组成材料、碾压混凝土的主要技术性质、碾压混凝土的配合比设计、碾压混凝土生产与仓面准备、碾压混凝土的运输与入仓、碾压混凝土坝仓面施工、碾压混凝土坝施工温度与施工质量控制等。

本书可作为高等院校水利水电、建筑工程专业的选修课教材,也可作为水电行业施工技术人员的培训教材及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

碾压混凝土坝施工技术/顾志刚,张东成,罗红卫编著. —北京:
中国电力出版社, 2007

ISBN 978-7-5083-4996-1

I. 碾... II. ①顾... ②张... ③罗... III. 碾压土坝; 混凝土坝-施工技术-高等学校-教材 IV. TV642.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 142800 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

*

2007 年 2 月第一版 2007 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 232 千字
印数 0001—3000 册 定价 20.00 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)

前 言

碾压混凝土坝是常态混凝土坝与土石坝激烈竞争中产生出来的一种新坝型。它综合了混凝土坝运行安全和土石坝快速施工的特性,具有快速与经济两大优势。20多年来,我国的碾压混凝土坝无论是在建坝的数量上还是在施工技术等方面,都居世界领先地位。

本书是有关专业课教师在广泛调研的基础上,共同开发完成的一部专业课教材。该教材对碾压混凝土坝的主要施工技术作了较全面的介绍,并力求反映近年来在碾压混凝土坝工程中得到推广应用的新技术、新工艺、新材料、新设备。例如,大坝上游面防渗技术、交替翻升模板施工技术、负压溜槽入仓技术、胎带机与塔(顶)带机入仓技术、斜层平推铺筑法、层间结合施工技术、温控与防裂技术。为达到理论联系实际的目的,教材中涉及的许多施工技术问题都是通过列举典型工程实例进行说明,因此,本书又具有案例式教材的特点。此外,在每一章的后面都编有“实训项目”,作为培养学生动手能力和创新能力的课题。

参加本书编写的有:

三峡电力职业学院顾志刚(第一章、第三章、第六章、第七章);

三峡电力职业学院张东成(第二章、第四章、第五章);

南昌工程学院罗红卫(第五章、第六章、第八章)。

全书由三峡电力职业学院顾志刚统稿,三峡大学朱子龙主审。

由于水平有限,本书难免存在一些错误或不足之处,欢迎批评指正。

编 者

2006年11月

目 录

前言

第一章 碾压混凝土坝基本知识 1

1.1 碾压混凝土坝发展概况	1
1.2 碾压混凝土坝的类型	4
1.3 碾压混凝土坝上游面的防渗结构	8
1.4 碾压混凝土坝的优点及存在的问题	12
工程实例一 龙滩水电站枢纽	14
工程实例二 泰国科隆塔丹水坝工程	15
工程实例三 百色碾压混凝土重力坝	16
工程实例四 三峡三期碾压混凝土围堰	18
实训项目一	21
实训项目二	21

第二章 碾压混凝土的组成材料 22

2.1 水泥	22
2.2 掺合料	23
2.3 骨料	29
2.4 外加剂	32
2.5 拌和用水	33
工程实例一 高掺粉煤灰碾压混凝土在蔺河口双曲拱坝的应用	33
工程实例二 三峡三期碾压混凝土围堰材料选择	35
实训项目一	38
实训项目二	39

第三章 碾压混凝土的主要技术性质 40

3.1 碾压混凝土拌和物的性质	40
3.2 碾压混凝土的主要力学性质	43
3.3 碾压混凝土的物理性能	49
3.4 碾压混凝土的抗渗性及耐久性	51
工程实例一 新疆石门子拱坝高抗冻碾压混凝土研究	52
工程实例二 龙滩工程碾压混凝土层面极限拉伸试验研究	54

实训项目一	56
实训项目二	56
第四章 碾压混凝土的配合比设计	57
4.1 碾压混凝土配合比设计的特点和原则	57
4.2 碾压混凝土配合比的主要类型	61
4.3 碾压混凝土配合比设计的方法	62
工程实例一 三峡工程三期围堰碾压混凝土配合比参数选择	70
工程实例二 招徕河薄拱坝碾压混凝土配合比设计	73
实训项目一	76
实训项目二	76
第五章 碾压混凝土生产与仓面准备	77
5.1 碾压混凝土生产	77
5.2 模板施工	80
5.3 钢筋施工与埋件安装	94
工程实例一 三峡三期围堰碾压混凝土拌和工艺参数试验	94
工程实例二 江垭碾压混凝土坝翻升悬臂模板施工	96
实训项目一	97
实训项目二	97
第六章 碾压混凝土的运输与入仓	98
6.1 碾压混凝土运输与入仓方式	98
6.2 自卸汽车运输入仓	99
6.3 缆机与门机运输入仓	103
6.4 水平胶带机运输入仓	107
6.5 负压溜槽运输入仓	109
6.6 胎带机、塔带机与顶带机运输入仓	110
6.7 斜坡道运输入仓	113
工程实例一 高坝洲二期工程碾压混凝土运输入仓方式	114
工程实例二 大朝山碾压混凝土坝施工	115
工程实例三 塔（顶）带机在三峡三期碾压混凝土围堰施工中的应用	116
实训项目一	118
实训项目二	118
第七章 碾压混凝土坝仓面施工	119
7.1 仓面设计	119

7.2 卸料与摊铺	119
7.3 碾压	121
7.4 层面与缝面处理	124
7.5 造缝施工	125
7.6 异种混凝土结合部位施工	127
7.7 变态混凝土施工	128
7.8 碾压混凝土的养护和防护	130
7.9 碾压混凝土雨季施工	131
工程实例一 高坝洲二期工程大坝碾压混凝土斜层施工	132
工程实例二 高寒地区碾压混凝土坝层面结合施工技术研究	134
工程实例三 棉花滩碾压混凝土坝施工	136
工程实例四 泰国科隆塔丹碾压混凝土坝雨季施工措施	137
实训项目一	138
实训项目二	138

第八章 碾压混凝土坝施工温度与施工质量控制 139

8.1 碾压混凝土坝施工温度控制	139
8.2 碾压混凝土坝施工质量控制	143
工程实例一 高密度聚乙烯冷却水管在新疆石门子碾压混凝土拱坝中的应用	154
工程实例二 沙牌碾压混凝土坝施工	155
工程实例三 三峡二期工程左导墙碾压混凝土施工质量控制	156
实训项目一	159
实训项目二	159

参考文献 160

碾压混凝土坝基本知识

1.1 碾压混凝土坝发展概况

1975年,美国陆军工程团在巴基斯坦的塔贝拉坝泄洪隧洞的修复工程中,首次采用了未经筛洗的砂砾石加少量水泥拌和混凝土,经振动碾压,修复被冲毁的部位。在42d内浇筑了35万 m^3 混凝土,显示了碾压混凝土快速施工的巨大潜力。

1981年3月,日本建成了世界上的第一座碾压混凝土重力坝——高89m的岛地川坝,1982年美国接着建成了世界上第一座全碾压混凝土坝——高52m的柳溪坝,此后碾压混凝土筑坝技术便在世界各国获得广泛应用,发展十分迅速。截至1998年底,世界上已建和在建坝高超过15m的碾压混凝土坝有210多座,其中坝高在100m以上的有24座,约占10%。

我国于1978年开始进行碾压混凝土筑坝技术的研究,1979年的龚嘴水电站第一次进行了碾压混凝土野外实验,1984年采用碾压混凝土建成了铜街子水电站左岸牛石溪沟1号坝,1986年,在福建坑口建成了我国第一座碾压混凝土坝,坝高57m。到2005年底,我国已建、在建的碾压混凝土坝已有近100座,其中坝高超过100m的有23座,均在世界上排名首位。我国在建的广西红水河龙滩大坝是目前世界上最高的碾压混凝土坝,坝高216.5m,碾压混凝土方量达480万 m^3 。已建成的四川沱江沙牌碾压混凝土拱坝的最大坝高为132.0m,是世界上最高的碾压混凝土拱坝。表1-1为我国部分已建、在建碾压混凝土坝(坝高50m以上)统计表。

此外,我国在将碾压混凝土用于临时性工程即围堰工程方面,也取得较大成就。如隔河岩、水口、五强溪、三峡、大朝山、龙滩等大型水利枢纽工程,都采用碾压混凝土围堰进行施工导流,发挥了巨大作用。目前我国已建的碾压混凝土围堰有21座。表1-2为我国部分已建的碾压混凝土围堰统计表。

表 1-1 我国部分已建、在建碾压混凝土坝(坝高 50m 以上)统计表

序 号	坝 名	坝 型	坝高 (m)	地 点	碾压混凝土方量 (万 m^3)	完成年份
01	坑口	重力坝	56.8	福建大田	4.3	1986
02	天生桥二级	重力坝	58.7	广西隆林	14.3	1989
03	龙门滩	重力坝	57.5	福建德化	7.1	1989
04	铜街子	重力坝	82.0	四川沙湾	40.7	1990
05	荣地	重力坝	53.0	广西融水	6.3	1991
06	岩滩	重力坝	110.0	广西大化	62.6	1992
07	万安	重力坝	68.0	江西万安	15.6	1992
08	锦江	重力坝	60.0	广东仁化	18.2	1993

续表

序 号	坝 名	坝 型	坝高 (m)	地 点	碾压混凝土方量 (万 m ³)	完成年份
09	水 口	重力坝	101.0	福建闽清	37.5	1993
10	大广坝	重力坝	57.0	海南昌化	48.5	1993
11	普 定	拱坝	75.0	贵州普定	10.3	1993
12	水 东	重力坝	68.0	福建龙溪	6.5	1994
13	山 仔	重力坝	65.0	福建连江	18.0	1994
14	观音阁	重力坝	82.0	辽宁本溪	124.0	1995
15	溪柄溪一级	拱坝	63.0	福建龙岩	2.5	1996
16	双 溪	重力坝	52.0	广东大博	11.3	1997
17	桃林口	重力坝	82.0	河北青龙	74.1	1998
18	石板水	重力坝	83.0	四川丰都	56.4	1998
19	碗 窑	重力坝	83.0	浙江江山	29.4	1998
20	江 垭	重力坝	131.0	湖南慈利	110.0	1999
21	东西关	重力坝	65.0	四川武胜	10.0	1999
22	汾河二库	重力坝	87.0	山西太原	36.2	1999
23	恩 林	重力坝	84.0	贵州思南	62.1	1999
24	长 顺	重力坝	63.0	湖北利川	17.00	1999
25	高坝洲	重力坝	57.0	湖北枝城	70.2	1999
26	花 滩	重力坝	85.3	四川荣经	24.0	1999
27	涌溪三级	重力坝	86.5	云南昆明	19.6	1999
28	白 石	重力坝	50.3	辽宁北票	17.1	1999
29	红 坡	拱坝	55.2	云南昆明	7.0	2000
30	山口三级	重力坝	57.4	广东始兴	9.8	2000
31	棉花滩	重力坝	111.0	福建永定	47.0	2001
32	大朝山	重力坝	111.0	云南云县	89.0	2001
33	沙 牌	拱坝	132.0	四川汶县	34.8	2001
34	龙 首	拱坝	82.0	甘肃张掖	19.5	2001
35	蔺河口	拱坝	100	陕西安康	22.9	2003
36	通 口	重力坝	75.5	四川北川	33.0	2003
37	百 色	重力坝	130.0	广西百色	210.4	2004
38	周 宁	重力坝	73.0	福建周宁	33.0	2004
39	碗米坡	重力坝	64.5	湖南保靖	17.9	2003
40	石门子	拱坝	109.0	新疆玛纳斯	16.0	2001
41	索风营	重力坝	115.8	贵州遵义	44.7	2005
42	招徕河	拱坝	107.0	湖北长阳	16.0	2005
43	龙 滩	重力坝	216.5	广西天峨	480.0	在建
44	九甸峡	重力坝	180.0	甘肃卓尼	93.0	在建

续表

序 号	坝 名	坝 型	坝高 (m)	地 点	碾压混凝土方量 (万 m ³)	完成年份
45	思 林	重力坝	117	贵州思南	82.0	在建
46	光 照	重力坝	200.5	贵州关岭	82.0	在建
47	金安桥	重力坝	160.0	云南丽江	240.0	在建
48	百 色	重力坝	130.0	广西百色	210.4	在建
49	武都引水	重力坝	130.0	四川	137.7	在建
50	戈兰滩	重力坝	113.0	云南思茅	94.0	在建
51	彭 水	重力坝	116.5	重庆	58.8	在建
52	景 洪	重力坝	108.0	云南景洪	120.0	在建
53	大花水	拱坝	135.0	贵州	25.0	在建
54	白莲崖	拱坝	102.0	安徽霍山	48.5	在建
55	居甫渡	重力坝	95.0	云南思茅	54.6	在建

表 1-2

我国部分已建碾压混凝土围堰统计表

序 号	围 堰 名	型 式	围堰高 (m)	地 点	碾压混凝土方量 (万 m ³)	完成年份
01	岩滩上围堰	拱形重力	54.3	广西巴马	17.8	1988
02	岩滩下围堰	重力	40.2	广西巴马	17.8	1988
03	隔河岩上围堰	拱形重力	37.0	湖北长阳	10.9	1988
04	万安上围堰	重力	23.6	江西万安	47.4	1990
05	水口纵向围堰	重力	48.0	福建闽清	15.0	1990
06	山仔上围堰	重力	23.0	福建连江	1.5	1992
07	五强溪上围堰	重力	40.8	湖南沅陵	7.5	1992
08	水东拱围堰	单曲拱型	21.6	福建龙溪	0.9	1992
09	江垭上围堰	单曲拱型	36.0	湖南慈利	3.0	1995
10	三峡纵向围堰	重力	94.0	湖北宜昌	141.6	1996
11	高坝洲纵向围堰	重力	27.5	湖北枝城	12.4	1997
12	大朝山上围堰	双曲拱型	52.5	云南云县	7.5	1998
13	洪江下围堰	重力	33.6	湖南沅江	3.7	1999
14	龙首下围堰	重力	8.0	甘肃张掖	0.18	2000
15	百色下围堰	重力	26.0	广西百色	8.20	2002
16	三峡横向围堰	重力	115.0	湖北宜昌	152.0	2003
17	龙滩上围堰	重力	82.7	广西天峨县	52.0	2003
18	雷打滩上围堰	重力	35.0	云南	4.1	2003
19	构滩上围堰	重力	73.7	贵州	16.0	2005

我国在建设碾压混凝土坝的过程中,积累了丰富的经验,在碾压混凝土坝的设计、施

工、科研等方面,都取得了丰硕成果,可归纳如下:

1) 已建成碾压混凝土重力坝 52 座,其中坝高超过 100m 的 7 座,在建的龙滩碾压混凝土重力坝,坝高超过 200m,大坝主体工程已基本完成;标志着我国不仅已掌握了 100m 级碾压混凝土坝的筑坝技术,而且在 200m 级碾压混凝土坝筑坝技术方面也取得重大进展。

2) 已建成碾压混凝土拱坝 14 座,其中高 75m 的普定拱坝,为当时世界上最高的拱坝;高 63m 的福建溪柄溪薄拱坝,厚高比仅为 0.19,为当时世界上建成的第一座碾压混凝土薄拱坝。同时在北方寒冷地区修建了温泉堡、龙首、石门子三座拱坝。2001 年建成的四川沙牌拱坝,高 132m,为目前世界上已建成的最高碾压混凝土拱坝。在建的招徕河碾压混凝土薄拱坝,坝高 107m,厚高比仅为 0.17。这些都表明我国在碾压混凝土拱坝的筑坝技术方面已达到世界先进水平。

3) 在碾压混凝土的原材料研究和配合比设计方面,积累了丰富的经验。如高掺粉煤灰及 PT 掺合料(凝灰岩和磷矿渣的混磨料)措施,外加剂使用技术等。

4) 在施工工艺方面进行了富有成效的探索,逐步形成了一套成熟的施工方法。如交替翻升模板施工技术、深槽皮带机入仓技术、负压溜槽入仓技术、胎带机与塔(顶)带机入仓技术、斜层平推铺筑法、层间结合施工技术、造缝技术、温控与防裂技术等。

5) 探索了多种大坝上游面防渗技术,包括常态混凝土、沥青砂浆、钢筋混凝土面板、预制混凝土模板勾缝、PVC 塑料薄膜、二级配碾压混凝土和变态混凝土防渗层等。

6) 在碾压混凝土大仓面、高强度快速施工技术方面成效显著。在龙滩碾压混凝土重力坝的施工中,最大浇筑仓面积为 13400m^2 ,并创造了大坝主体工程单仓单日浇筑强度为 20000m^3 的世界纪录。在三峡三期碾压混凝土横向围堰中,最大浇筑仓面积为 19012m^2 ,创造了最高小时浇筑强度($1278\text{m}^3/\text{h}$)、最高班产($7250\text{m}^3/\text{班}$)、最高日强度($21066\text{m}^3/\text{d}$)、最高月强度($47.5\text{万 m}^3/\text{月}$)、最大月上升高度(27.8m)、最大连续上升高度(57.6m)等六项世界纪录。

1.2 碾压混凝土坝的类型

1.2.1 按坝型分类

碾压混凝土坝按坝型主要分为重力坝和拱坝两种。

1. 碾压混凝土重力坝

碾压混凝土重力坝的工作原理与常规重力坝同,只是在混凝土材料和坝体构造上要适应碾压混凝土的施工方法。

(1) 剖面选择

为适应碾压混凝土施工工艺的特点,坝体剖面一般力求简单,在满足稳定的条件下,最好是上游面垂直,下游面单一边坡。但是对于高度在 100m 以上的重力坝,为了节省混凝土方量,也可采用上游面为折坡或斜坡的剖面型式。如坝高 111m 的棉花滩碾压混凝土重力坝的上游斜坡采用 1:0.0667 的坡度,基本垂直。棉花滩碾压混凝土重力坝的剖面型式如图 1-1 所示。

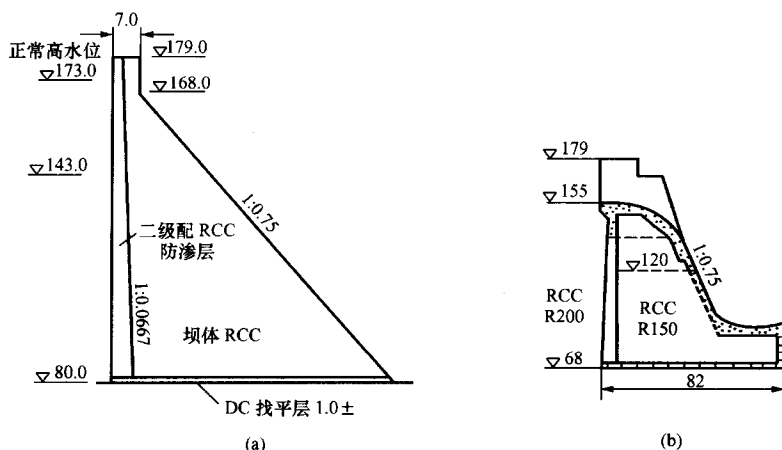


图 1-1 棉花滩碾压混凝土重力坝剖面图 (单位: m)

(a) 挡水坝段; (b) 溢流坝段

为方便施工,减少干扰,坝体内应尽量避免布置水电站引水钢管,所以碾压混凝土重力坝工程一般将水电站厂房布置在地下。坝体内的排水钢管和廊道,除十分必要,也要尽量减少。当有常态混凝土垫层时,也可将廊道布置在常态混凝土内。

(2) 排水系统

在重力坝内设置排水系统,能够大大减少扬压力,从而增加坝体的稳定性。在碾压混凝土重力坝内放置预埋件形成排水体系,是比较理想的。但无论采用填碎石塑料膜保护或者用短管,都不能确保竣工后排水畅通。因为在混凝土碾压施工过程中,上述设施很容易被压碎或错位。最可靠的方法是碾压施工完成后再钻孔形成排水系统。有的工程由于下游水位过高,形成较大的浮托力,则采用设在下游廊道的抽排设施,以保证坝体内的水压力维持在最低水平。

(3) 坝体的分缝分块

碾压混凝土重力坝不设纵缝,是否设横缝及横缝分法与所在地区及施工条件有密切关系。我国碾压混凝土重力坝建设的实践表明,在亚热带地区或冬季寒冷地区,必须设横缝,以利于温度控制。另外,施工条件也起一定的控制作用。例如为了保证层面结合良好,必须在下层混凝土初凝前对上层混凝土进行碾压;而仓面的大小又受混凝土拌和、运输能力的制约,通常以横缝作为仓面的分界线比较合适。横缝的结构有永久横缝(切缝)和诱导缝两种,间距一般为 15~20m。

对于中小型坝,因工期短、施工快,能选择在枯水期低温季节施工,也可以不设横缝。美国的柳溪坝、上静水坝和我国的坑口坝等,均未设横缝。

水平施工缝是碾压混凝土坝的薄弱环节,施工缝所在处的混凝土抗剪强度可能降低,沿缝面可能发生漏水。因此要有良好的防渗措施。

(4) 下游坡处理与溢流坝面消能

我国碾压混凝土重力坝的下游坡大多数都是用混凝土预制块形成阶梯状,各工程根据起重机容量及施工条件情况,所采用的块体不同。最常用的是长方形块体,靠自重稳定来

形成下游坡。

国外常在溢流坝面采用阶梯型消能,其原理是利用坝面的加糙进行沿程消能。我国福建的水东碾压混凝土重力坝,在 1:0.65 的下游坡上采用预制混凝土块,形成宽 0.585m、高 0.9m 的阶梯,下连消力池,实践证明消能效果良好。

2. 碾压混凝土拱坝

(1) 体型选择

碾压混凝土拱坝的平面布置型式与常态混凝土拱坝相似。如普定拱坝采用的是定圆心、变半径、变中心角的等厚、双曲非对称拱坝。而沙牌拱坝的体型则是通过对三心圆单曲拱坝和抛物线双曲拱坝两种代表性方案比较后确定的。两种方案在满足拱坝的稳定和应力条件方面无大的差别,其中双曲拱坝方案的工程量比较少。但从国内外碾压混凝土拱坝施工技术水平和实践经验来看,单曲拱坝体形简单,有利于加快碾压混凝土施工速度及保证施工质量。因此,沙牌拱坝的坝型选用了三心圆单曲拱坝。

(2) 断面选择

碾压混凝土拱坝的断面选择也与常态混凝土拱坝无本质区别。图 1-2 所示为我国 5 座碾压混凝土拱坝的断面型式。

这 5 座拱坝的上游坝坡除溪柄溪坝有 1:0.082 的斜坡外,其余均为垂直。其中 4 座拱坝有溢流设施。有两座拱坝采取了坝体上游面的反坡倒悬结构,有利于改善坝体的应力状态。其中普定坝的最大倒悬为 2.4m。

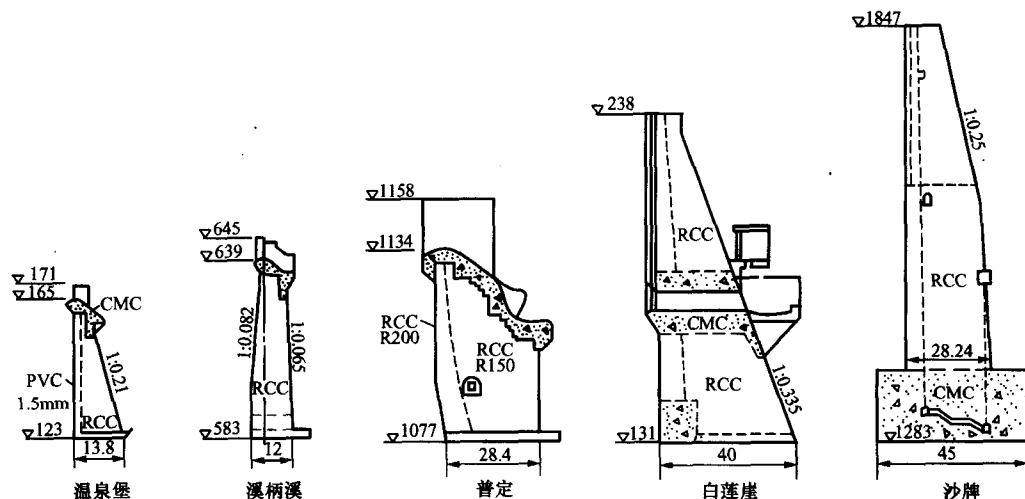


图 1-2 我国的几座碾压混凝土拱坝断面型式 (单位: m)

(3) 分缝型式

碾压混凝土拱坝的分缝除要考虑满足温控防裂等要求外,还应充分考虑碾压混凝土大仓面快速施工的要求。我国的溪柄溪拱坝因河谷较窄又处于温和气候条件,施工时间可选择在寒冷低温的冬季,因此可不必分缝。其他的碾压混凝土拱坝都考虑了分缝问题,缝的型式主要有诱导缝和横缝等。如普定拱坝采取的是坝肩一道正式横缝,坝体两道诱导缝的

分缝型式。诱导缝内设有灌浆管，在缝张开时能够多次灌浆。沙牌拱坝的坝体分缝问题通过对多个分缝方案进行比较，考虑到设诱导缝较简单，并可实现全断面通仓碾压施工，因此确定了采用4条诱导缝的方案。

1.2.2 按坝体材料分区不同分类

国内外建造的碾压混凝土坝根据坝体材料分区不同大体可分为两类：

其一是以日本的岛地川为代表的“金包银”型式的碾压混凝土坝（简称 RCD），如日本的玉川坝、我国的水口坝、观音阁坝和白石坝等。“金包银”型式的碾压混凝土坝的坝体内部采用碾压混凝土填筑，外部用常态混凝土（一般2~3m厚）进行防渗和保护。图1-3为日本岛地川坝剖面图。

其二是以美国的上静水坝为代表的全碾压混凝土坝型式（简称 RCC），如我国的普定坝、江垭坝等。全碾压混凝土坝的坝体全断面采用碾压混凝土，利用碾压混凝土自身防渗或只在上游面设立薄层防渗层。图1-4为江垭碾压混凝土重力坝剖面图。

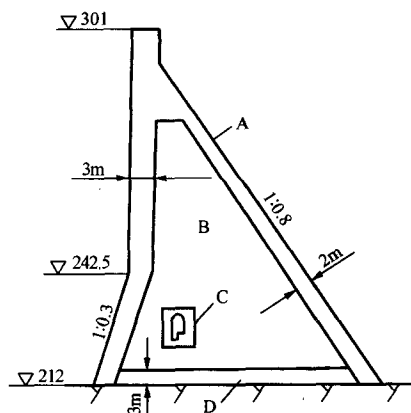


图 1-3 岛地川坝剖面图

A—外部常态混凝土；B—内部碾压混凝土；
C—廊道部位混凝土；D—基础混凝土

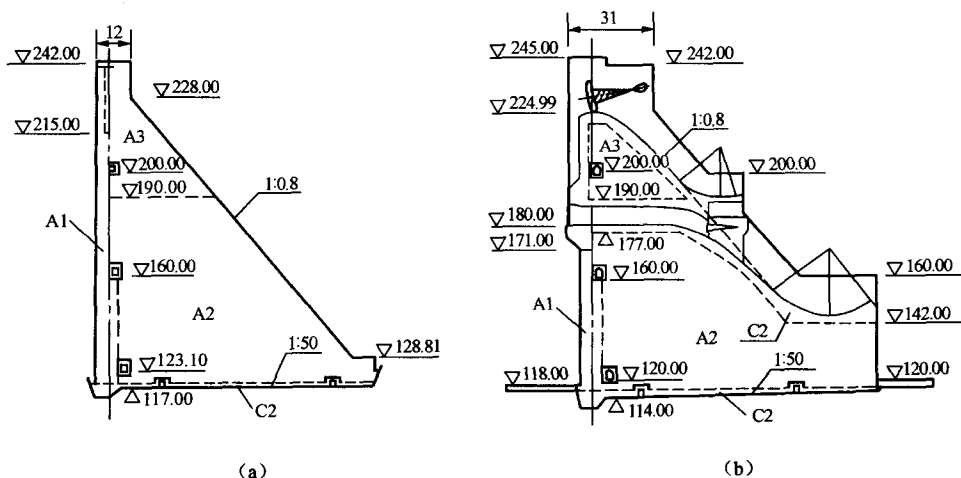


图 1-4 江垭碾压混凝土重力坝剖面图（单位：m）

(a) 挡水坝段；(b) 溢流坝段

A1—上游体二级配碾压混凝土；A2、A3—三级配碾压混凝土；C2—常态混凝土

1.2.3 按胶凝材料用量分类

1. 富浆碾压混凝土坝

这类坝的碾压混凝土中，胶凝材料的用量为 $180 \sim 250 \text{ kg/m}^3$ ，其中混合材料占 60%~75%，水胶比在 0.5~0.7 之间，多采用二级配。碾压混凝土的施工性能和硬化后的性能都好，尤其是层面结合质量好，有利于防渗，既可用作坝体的内部混凝土，也可用作坝体上

游面防渗层。

美国上静水坝是富浆碾压混凝土坝的代表,该坝使用的碾压混凝土中胶凝材料用量为 246kg/m^3 ,其中水泥用量 76kg/m^3 ,粉煤灰掺量达 69%。上静水坝采用富浆混凝土的指导思想是:克服粗骨料分离,改善施工层面结合质量,提高混凝土抗剪性能以缩小坝体剖面。这类碾压混凝土坝存在的主要问题是混凝土的绝热温升较高,坝体温控有一定困难。

2. 中等胶凝材料碾压混凝土坝

这类坝的碾压混凝土中,胶凝材料的用量为 $140\sim 170\text{kg/m}^3$,其中混合材料占 50%~70%。由于胶凝材料用量相对较少,水泥用量较低,碾压混凝土的绝热温升小,有利于温控,一般可用作坝体的内部混凝土,而在坝体上游面另设防渗层。

我国大多数碾压混凝土坝是中等胶凝材料碾压混凝土坝。普定、江垭坝的碾压混凝土中,胶凝材料用量为 150kg/m^3 ,粉煤灰掺量占 40%~60%,骨料为三级配。实践证明,这两座坝的施工性能良好。

3. RCD 坝

这类坝是日本特有的,其碾压混凝土中胶凝材料的用量为 $120\sim 130\text{kg/m}^3$,其中混合材料占 25%~30%,水胶比在 0.7~0.95 之间。由于抗渗性能不高,只用作坝体内部混凝土,在坝体上游面设置 3m 宽的常态混凝土作为防渗层。

4. 贫浆碾压混凝土坝

这类坝的碾压混凝土中,胶凝材料的用量不超过 110kg/m^3 ,其中混合材料不超过 30%,水胶比在 0.95~1.50 之间。这种碾压混凝土的强度较低,抗渗性及耐久性较差。然而作为坝体的内部混凝土,具有较好的低热性能。美国的柳溪坝、盖尔斯威尔坝等采用的是这种碾压混凝土。

1.3 碾压混凝土坝上游面的防渗结构

碾压混凝土坝上游面的防渗问题一直受到工程界的重视,从室内实验及现场提取成型试件的抗渗性能试验资料来看,只要配合比设计合理,施工质量可靠,碾压混凝土本身的抗渗性能都较好,抗渗标号一般都可达到 W4~W6。也就是说,碾压混凝土本身是防渗的。有些碾压混凝土坝没有单独采用防渗结构也取得了较好的防渗效果,这已在多座碾压混凝土坝,包括我国高 53m 的荣地坝工程中得到证实。但在实际工程中,因碾压混凝土是薄层填筑、薄层碾压,分层较多,有时为了充分发挥碾压混凝土施工速度快的优势,层间处理一般较简单,这就难以保证坝体所有水平层面结合的质量。因此,有必要对坝体上游面进行专门的防渗结构设计。

国内外已建碾压混凝土坝设置的防渗结构型式主要有以下四类:

- 1) “金包银”防渗型式;
- 2) 在坝体的迎水面做薄型防渗体型式;
- 3) 在全断面碾压混凝土坝上游面一定范围内采用二级配高标号碾压混凝土自身防渗的型式;

4) 变态混凝土防渗型式。

这些防渗型式各有特色, 下面将分别加以介绍。

1.3.1 “金包银”防渗型式

所谓“金包银”防渗型式, 就是在碾压混凝土坝的上游面(或同时在下stream面), 设置厚度至少为 2~3m 的常态混凝土及可靠的分缝和止水, 而在坝体内部采用碾压混凝土的一种防渗型式, 见图 1-3。

这种型式的防渗结构防渗性能好, 可靠性高, 坝体上游面附近的混凝土强度和耐久性都得到加强; 但常态混凝土水泥用量大, 水泥水化热温升高, 特别是防渗结构的常态混凝土与主体部位碾压混凝土的施工干扰大, 工程进度慢, 使碾压混凝土坝的低造价、施工速度快的优越性不能得到充分发挥。

1.3.2 坝体迎水面做薄型防渗体型式

在碾压混凝土坝工程中, 为了尽可能增加碾压混凝土的方量, 避免两种不同混凝土施工的干扰, 应尽量采用全断面碾压混凝土。这时只将坝体作为稳定结构, 而在迎水面另做一薄型防渗体防渗。这一防渗型式具体又可分为以下几种:

1. 混凝土预制护面板后浇沥青混合料防渗

沥青混合料具有防渗性能好、适应变形能力及裂缝自愈能力强等优点, 而且能抵抗化学侵蚀, 对水质无污染; 因而在土石坝和混凝土坝防渗处理措施中, 越来越受到工程界的重视。

沥青混合料的渗透系数小, 一般为 $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{cm/s}$, 而且随着作用水头时间的增加有减少的趋势。试验证明, 当沥青混合料防渗层的厚度为 4cm 时已能满足设计要求, 继续增大防渗厚度对提高防渗能力无显著效果。我国上犹江水电站大坝沥青砂浆防渗厚度为 4cm, 防渗效果良好。但在实际工程中, 考虑到沥青混合料防渗层的施工条件和施工质量等因素, 防渗层厚度一般采用 6~10cm 为宜, 对于防渗沥青混凝土宜选用上限。

防渗层面板采用钢筋混凝土预制板, 结构形式有实体护面板和空心护面板两种。实体护面板是在碾压混凝土模板拆除后, 通过锚筋将护面板锚固于坝体, 在护面板与坝体之间的空腔内浇沥青混合料防渗层。空心护面板则既是碾压混凝土施工用模板, 又是护面板, 空心部位浇筑沥青混合料防渗层。

由于沥青材料是固定状态, 加之沥青的不亲水性, 故在拌制过程中应把各类混合料进行加热、烘干和脱水, 另外要将坝面及模板用喷灯烘干, 然后涂刷稀释沥青底油, 灌注沥青混合料的基底必须清除干净, 更不能有积水。分层灌注的沥青混合料, 为保证层面黏结的质量, 应保证下层已灌注的层面温度不低于 60°C , 否则要用加热器进行层面加热。每层沥青混合料灌注后以钢钎插捣密实。

1986年建成的福建坑口碾压混凝土坝首次采用沥青砂浆防渗层作全碾压混凝土坝防渗结构, 形成了具有中国特色的碾压混凝土坝防渗技术。该坝高 56.9m, 坝顶长 122.5m, 坝体不设纵、横缝, 上游面垂直, 表面防渗面积为 3100m^2 。沥青砂浆防渗层是在坝体填筑到坝高约 1/2 后, 开始施工, 实际有效工时仅 40 天。通过渗漏观测表明: 沥青砂浆防渗结构的防渗效果良好。图 1-5 为坑口碾压混凝土坝溢流坝段剖面图。

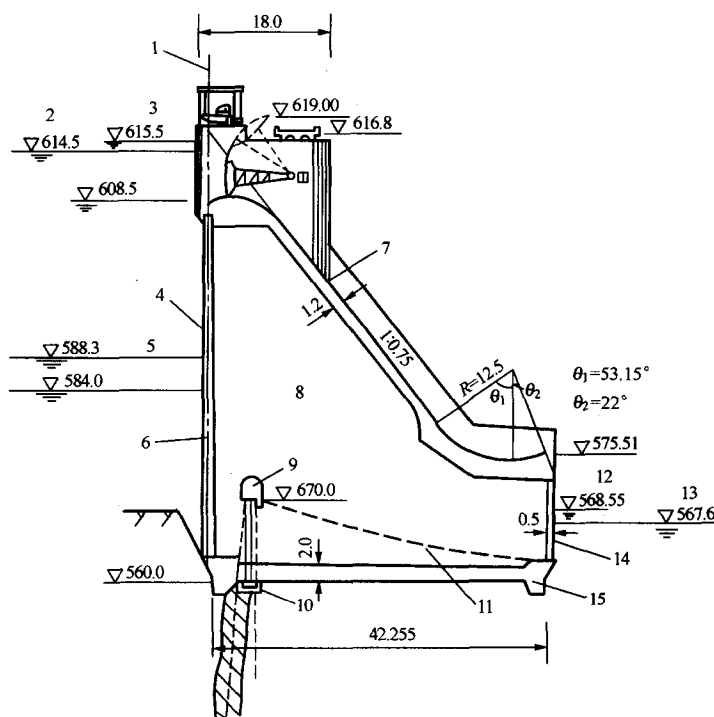


图 1-5 坑口碾压混凝土坝溢流坝段剖面图 (单位: m)

- 1—坝轴线; 2—正常蓄水位; 3—校核洪水位; 4—沥青砂浆防渗层; 5—死水位; 6—钢筋混凝土预制板;
7—钢筋混凝土防冲层; 8—坝内碾压混凝土; 9—灌浆排水廊道; 10—集水井; 11—原地线;
12—下游校核洪水位; 13—下游设计洪水位; 14—混凝土预制板; 15—常态混凝土

2. 混凝土预制模板内贴薄膜防渗

这种防渗型式就是把混凝土预制板作为模板, 碾压混凝土填筑完毕后并不拆除, 而是作为防渗结构的护面板, 在模板内部混凝土填筑前先贴上一层水工防水薄膜, 由混凝土预制板和水工防水薄膜共同形成防渗结构。

采用这种防渗结构型式, 往往容易因贴的薄膜撕裂、破损而发生渗漏。如乌拉圭一工坝的有关渗漏情况的数据表明: PVC 薄膜渗水量高达 440L/min。

3. 坝体迎水面锚固喷涂高分子聚合物防水材料防渗

在坝体迎水面上直接锚固喷涂高分子聚合物防水材料以达到防渗目的。这些防水材料一般包括橡胶、塑料、沥青橡胶、PVC 薄膜、复合土工膜等。

这种防渗型式可单独施工, 和主体混凝土施工无干扰, 材料具有一定的伸缩性, 能适应各种变形等优点, 其主要问题是这些防水材料容易老化。洪都位斯的概念坝采用了这种防渗形式。该坝在坝体上游面铺设了一层 3.2mm 厚的 PVC 薄膜, 薄膜纵向幅宽 4m, 没有水平焊缝, 每一幅薄膜沿大坝表面垂直铺设, 相邻的薄膜用加热法焊接, 并用“U”型金属槽沿缝埋压到混凝土中, 再用不锈钢元件连续锚固到槽钢上。经过这种操作使每幅薄膜往横向拉直以补偿其垂直变形, 并使其黏附于大坝表面。“U”型金属槽也可作为排水通道,