

浇筑式沥青混凝土 防渗设计与实例

中水东北勘测设计研究有限责任公司 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

浇筑式沥青混凝土 防渗设计与实例

中水东北勘测设计研究有限责任公司 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以浇筑式沥青混凝土防渗设计为主题,系统介绍了浇筑式沥青混凝土防渗形式与结构设计基本理论和要求、浇筑式沥青混凝土配合比设计与性能试验方法、沥青混凝土三轴及压缩蠕变性能研究结果、浇筑式沥青混凝土心墙坝抗震试验研究结果、浇筑式沥青混凝土心墙的沉降量和沉降速度、浇筑式沥青混凝土心墙土石坝应力-应变本构模型与力学特性、浇筑式沥青混凝土心墙坝非线性有限元分析研究结果、浇筑式沥青混凝土心墙坝抗震计算若干问题等几年来的研究成果,同时列出了近年来浇筑式沥青混凝土防渗工程实例和现阶段浇筑式沥青混凝土心墙新发展趋势。

本书可供从事浇筑式沥青混凝土防渗墙工程设计、施工和试验研究的人员参考。

中 国 水 利 水 电 出 版 社 出 版

图书在版编目(CIP)数据

浇筑式沥青混凝土防渗设计与实例 / 中水东北勘测设计研究有限责任公司编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-5170-2739-3

I. ①浇… II. ①中… III. ①沥青混凝土—混凝土浇筑—防渗工程 IV. ①TU755.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第293125号

书 名	浇筑式沥青混凝土防渗设计与实例
作 者	中水东北勘测设计研究有限责任公司 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 11.5印张 273千字
版 次	2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	39.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《浇筑式沥青混凝土防渗设计与实例》

编委会

主 编：王德库 金正浩

副主编：孙荣博 骆 涛 苏 萍 马 军 马智法

参 编：张建平 郭学仲 洛桑旺扎 韩会生 李艳萍

王永谭 李志远 李铁成 雷秀玲 马龙彪

隋 伟 张俊涛 王辉伟 史光宇 赖兆万

杜 颖 赵宏儒 王骥玮 王福运 王 超

陈立秋 刘清利

前 言

沥青混凝土作为水工防渗结构始于20世纪20年代,经过80多年的不断发展,已经逐步成为一种典型的防渗形式。沥青混凝土是由沥青、矿料与掺和料等原材料按适当比例配合,经加热拌和均匀后,再经过压实或浇筑而成,根据施工方法的不同,沥青混凝土分为碾压式沥青混凝土和浇筑式沥青混凝土。在国标上70年代前建成的采用沥青混凝土作防渗体的土石坝多以碾压式沥青混凝土为主,70年代后土石坝防渗体开始尝试采用浇筑式沥青混凝土,例如1979年伊拉克建成的哈吉塔土石坝(坝高57m),80年代苏联在西伯利亚建成的三座高土石坝都采用浇筑式沥青混凝土作防渗心墙。我国采用沥青混凝土防渗心墙起步较晚,是从20世纪70年代初开始的。1973年吉林建成了白河浇筑式沥青混凝土心墙坝,高24m。建于1974年、1975年的辽宁郭台子、甘肃党河、河北抄道沟、云南黄龙和河南南谷洞等水库,分别采用碾压式或浇筑式沥青混凝土。目前我国已建成的和在建的沥青混凝土心墙现有200多座,其中浇筑式沥青混凝土心墙堆石坝有50多座。

由于浇筑式沥青混凝土具有良好的防渗能力、适应变形能力、抗冲刷能力、抗老化能力、裂缝自愈能力、严寒条件下亦可施工以及整个心墙无须设置结构缝等优点,浇筑式沥青混凝土已被广泛应用于水工结构防渗体上,特别是在寒冷地区的土石坝防渗心墙上,同时浇筑式沥青混凝土相对于碾压式沥青混凝土具有更好的施工性和防渗性,施工速度更快,施工条件适应性更强,多项修补加固工程和临时挡水工程也多采用浇筑式沥青混凝土作为防渗结构。

根据土石坝等工程的特点与现有设计、施工规范的有关规定,结合中水东北勘测设计研究有限责任公司多年的设计、研究成果,本书详细介绍了浇筑式沥青混凝土防渗形式与结构设计基本理论和要求、浇筑式沥青混凝土配合比设计与性能试验方法、沥青混凝土三轴及压缩蠕变性能研究结果、浇筑式沥青混凝土心墙坝抗震试验研究结果、浇筑式沥青混凝土心墙的沉降量和沉降速度、浇筑式沥青混凝土心墙土石坝应力应变本构模型与力学特性、浇筑式沥青混凝土心墙坝非线性有限元分析研究结果、浇筑式沥青混凝土心墙坝抗震计算若干问题,以及浇筑式沥青混凝土防渗工程实例和现阶段浇筑式

沥青混凝土心墙新发展，可供从事浇筑式沥青混凝土防渗墙工程设计、施工和试验研究的人员参考。

浇筑式沥青混凝土防渗设计所涉内容广泛，涉及问题较多。受本书作者工程经验、历练水平影响，书中内容难免有不妥之处，有些见解也难免肤浅，借此机会抛砖引玉，恳请读者批评指正，进一步提高该领域技术与理论水平。本书如能对国内水工浇筑式沥青混凝土防渗结构设计技术的发展起到推动作用，作者将不胜荣幸。

编者

2014年11月

目 录

前言

1 浇筑式沥青混凝土防渗技术发展概况	1
1.1 国外发展概况	1
1.2 国内发展概况	1
2 浇筑式沥青混凝土防渗形式与结构设计	3
2.1 沥青混凝土防渗结构的特点	3
2.1.1 沥青混凝土防渗心墙的特点	3
2.1.2 挂板沥青混凝土防渗结构特点	4
2.2 浇筑式沥青混凝土防渗层的工程特性	4
2.2.1 不透水性及稳定性	4
2.2.2 挠曲性能	4
2.2.3 心墙裂缝自愈功能	4
2.2.4 低温性能	5
2.2.5 工作温度状态下的抗剪强度与变形性能	5
2.2.6 其他优点	6
2.3 浇筑式沥青混凝土心墙结构设计	6
2.3.1 浇筑式沥青混凝土心墙主要设计技术要求	6
2.3.2 浇筑式沥青混凝土防渗心墙厚度设计	7
2.3.3 浇筑式沥青混凝土心墙支护结构设计	8
2.3.4 沥青混凝土心墙堆石坝过渡层设计	9
2.3.5 心墙与坝基连接设计	11
2.3.6 心墙的流变与水力劈裂	13
2.3.7 心墙与溢洪道边墙连接设计	14
2.3.8 心墙与防浪墙连接设计	14
2.4 挂板沥青混凝土防渗结构设计	15
3 浇筑式沥青混凝土配合比设计与性能试验研究	17
3.1 沥青混凝土原材料	17
3.1.1 石油沥青	17
3.1.2 填料	26
3.1.3 骨料	28
3.2 沥青混凝土配合比	33

3.2.1	矿料级配设计	34
3.2.2	沥青掺量选择	35
3.3	浇筑式沥青混凝土性能试验研究	35
3.3.1	浇筑式沥青混凝土密实性试验	36
3.3.2	浇筑式沥青混凝土的抗拉强度与拉伸变形试验	36
3.3.3	浇筑式沥青混凝土的耐水性及抗压强度	37
3.3.4	浇筑式沥青混凝土的变形性能试验	37
3.3.5	浇筑式沥青混凝土的抗渗性能	38
3.3.6	浇筑式沥青混凝土的抗流变稳定性	38
3.3.7	浇筑式沥青混凝土的三轴剪切试验	39
3.3.8	推荐的配合比	40
4	沥青混凝土三轴及压缩蠕变性能研究	42
4.1	沥青混凝土三轴试验研究	42
4.1.1	试验原材料	42
4.1.2	试验配合比	42
4.1.3	三轴试验装置及试验过程	42
4.1.4	试验结果分析	44
4.1.5	试验总结	47
4.2	沥青混凝土压缩蠕变性能研究	55
4.2.1	试验目的	55
4.2.2	混合料的物理性状	55
4.2.3	试件的尺寸与制作	55
4.2.4	试验方法	56
4.2.5	沥青的劲度及流变模型	57
4.2.6	温度对沥青劲度的影响	58
4.2.7	压力对沥青流变性质的影响	59
4.2.8	沥青混凝土的流变	59
4.2.9	沥青混凝土的黏弹特性与流变模型	60
4.2.10	密级配沥青混凝土的流变模型	61
4.2.11	试验结果及分析	65
4.2.12	蠕变与各因素间的关系	66
4.2.13	沥青混凝土的劲度与各因素的关系	68
4.2.14	模型理论预测值与实验结果的比较	69
4.2.15	试验总结	70
5	浇筑式沥青混凝土心墙坝抗震试验研究	74
5.1	试验项目的主要研究内容	74
5.1.1	小比尺断面动力模型试验	74

5.1.2	大比尺断面动力模型试验	74
5.2	试验及试验设备与测试系统	74
5.3	模型设计与制作	75
5.4	模型试验的基本理论概述	76
5.4.1	心墙材料的相似准则	76
5.4.2	坝体堆石材料相似准则	77
5.5	试验方法与试验内容	78
5.6	试验结果分析	80
5.6.1	微振加速度分析	80
5.6.2	破坏试验成果分析	81
5.7	关于护墙问题的讨论	87
5.8	沥青混凝土心墙坝的强度和稳定性讨论	88
5.9	动力试验小结	88
6	浇筑式沥青混凝土心墙的沉降量和沉降速度	90
6.1	心墙结构与原材料条件	90
6.2	无副墙浇筑式沥青混凝土心墙的沉降量和沉降速度计算	90
6.3	有副墙浇筑式沥青混凝土心墙的沉降量和沉降速度计算	92
7	浇筑式沥青混凝土心墙土石坝应力-应变本构模型与力学特性	96
7.1	堆石坝坝体材料的计算模型	96
7.2	层状砌块体的计算模型	97
7.2.1	层状砌块体的当量模量	97
7.2.2	层状砌块体的当量泊松比	99
7.2.3	层状砌块体的当量剪切弹性模量	99
7.3	沥青混凝土瞬时静态应力-应变关系	100
7.3.1	沥青混凝土的切线模量	100
7.3.2	沥青混凝土的破坏准则	101
7.3.3	沥青混凝土的切线泊松比	101
7.3.4	初始切线模量	102
7.4	沥青混凝土长期荷载下的应力-应变关系	102
7.4.1	基本力学元件	102
7.4.2	沥青混凝土流变模型	103
7.4.3	沥青混凝土与 Voigt 模型和 Burgers 模型的关系	104
7.5	复杂应力状态下蠕变应力-应变关系	105
7.5.1	积分型流变本构方程	105
7.5.2	复杂应力状态下蠕变积分本构关系	106
7.6	坝体蓄水后的应力和变形	108
7.6.1	水压力	109

7.6.2	上浮托力	109
7.6.3	湿化变形	109
7.7	沥青混凝土心墙与副墙间接触面的变形特性	109
7.7.1	心墙与副墙间接触面的法向变形	110
7.7.2	心墙与副墙间接触面的剪切变形	110
7.8	沥青混凝土心墙与副墙间接触面的强度特性	111
8	浇筑式沥青混凝土心墙坝非线性有限元分析若干问题	114
8.1	蠕变对沥青混凝土心墙坝的影响	114
8.1.1	丢恩沥青混凝土心墙主坝的计算分析	114
8.1.2	蠕变参数对计算结果的影响	116
8.1.3	考虑蠕变时心墙对大坝应力位移的影响	118
8.2	局部应力分析(增量法局部应力算法)	119
8.2.1	局部应力算法	119
8.2.2	增量法局部算法	120
8.3	沥青混凝土心墙非线性应力分析	122
8.3.1	坝体有限元分析	123
8.3.2	迭代过程	123
8.4	积分型黏弹性本构方程及其有限元解法	123
8.4.1	本构关系	123
8.4.2	计算方法	124
8.5	积分型黏弹性本构方程逐步求解法	125
8.5.1	$[K(t)]_e$ 的计算	125
8.5.2	$\int_{t_0}^t [K(t-\theta)] \frac{\partial \{\delta\}}{\partial \theta} d\theta$ 的计算	125
8.5.3	算例	126
8.6	接触面单元非线性模型及有限元分析	130
8.6.1	接触面单元非线性模型	130
8.6.2	破坏单元应力调整	131
8.6.3	算例	131
8.7	沥青混凝土心墙与副墙间接触面力学参数模拟计算	132
9	浇筑式沥青混凝土心墙坝抗震计算	135
9.1	动力分析模型	135
9.2	工程算例	136
9.2.1	沥青配合比(质量百分数)与物理力学性能	136
9.2.2	坝体砂砾料与堆石料的力学特性	136
9.2.3	碎石排水层及碎石过渡层	137
9.2.4	坝体上部结构砌体	137

9.2.5	坝基天然容重	137
9.2.6	邓肯-张模型应力-应变计算参数	137
9.2.7	动力分析参数	137
9.3	分析工况和有限元网格剖分	138
9.4	动力分析	138
10	浇筑式沥青混凝土防渗工程实例	139
10.1	白河水电站浇筑式沥青混凝土心墙坝设计与施工	139
10.2	库尔滨水电站浇筑式沥青混凝土心墙坝设计与施工	140
10.3	西沟水电站浇筑式沥青混凝土心墙坝设计与施工	141
10.4	宝山水电站浇筑式沥青混凝土心墙堆石坝设计与施工	142
10.5	富地营子水库浇筑式沥青混凝土心墙堆石坝设计与施工	143
10.6	新疆恰甫其海上游围堰沥青混凝土防渗设计与施工	145
10.6.1	沥青混凝土心墙设计	145
10.6.2	沥青混凝土心墙施工	146
10.7	丰满大坝沥青混凝土挂板防渗设计与施工	146
10.8	大连大西山水库大坝沥青混凝土挂板防渗设计与施工	147
10.9	三家子水库大坝沥青混凝土挂板防渗设计与施工	148
10.10	俄罗斯浇筑式沥青混凝土心墙的设计与施工	149
10.10.1	浇筑式沥青混凝土心墙的设计	149
10.10.2	浇筑式沥青混凝土心墙的施工	150
11	浇筑式沥青混凝土心墙新发展	151
11.1	利用滑动模板施工的新型复合心墙	151
11.2	浇筑式沥青混凝土新型防渗心墙的施工工艺	151
11.2.1	试验场地与气候条件	151
11.2.2	模板结构	151
11.2.3	铺筑试验成果	152
11.3	振捣式沥青混凝土心墙施工模拟试验	155
11.3.1	施工模拟试验条件	155
11.3.2	试验用施工配合比	155
11.3.3	振捣式沥青混凝土混合料温度	156
11.3.4	振捣式沥青混凝土振捣设备	157
11.3.5	试验成果分析	157
11.4	负温振捣施工沥青混凝土三轴试验成果	161
11.4.1	试件的成型状况及试验条件	161
11.4.2	试验曲线和结果分析	161

1 浇筑式沥青混凝土防渗技术发展概况

1.1 国外发展概况

沥青混凝土防渗心墙坝始建于 1949 年的葡萄牙瓦勒·多·盖奥 (Vale-de-Gaio) 坝。在 20 世纪 70 年代前建成沥青混凝土心墙坝 (最大坝高 55.0m) 约 10 座, 此后 15 年发展速度较快, 地区分布也更加广泛, 累计建坝近 50 座, 以碾压式沥青混凝土心墙坝为主。20 世纪 80 年代初在苏联西伯利亚地区相继修建 Telmamskaya、Boguchanskaya 等高浇筑式沥青混凝土心墙堆石坝。总体上看, 这是一种年轻的坝型, 工程类比经验较少, 设计方法与原理不成熟, 尚缺少有效的技术指标来科学评定浇筑式沥青混凝土各种性能, 故已建工程设计参数主要是依照经验选取。

Telmamskaya 坝浇筑式沥青混凝土心墙高 $H=140\text{m}$, 变截面心墙厚 $\delta=0.5\sim 1.4\text{m}$, 坝顶宽 12.0m, 坝顶长 1100m, 坝址区冬长夏短, 多年平均气温 $T=-5\sim 6.3^{\circ}\text{C}$, 负温期长达 200d, 最低气温为 -55°C , 坝基冲积层和砂卵砾石层厚达 25.0m, 右岸坡较陡 ($25^{\circ}\sim 80^{\circ}$), 而左岸较缓 ($15^{\circ}\sim 18^{\circ}$)。区域地震烈度基本值为 7~8 度。心墙与基础混凝土廊道连接, 廊道下为双排黏土-水泥浆防渗墙, 并与基岩灌浆帷幕相接。沥青混凝土心墙体积约 10 万 m^3 , 心墙下游砂砾石过渡层厚为 6.0m, 设计容重 $\gamma=21\sim 22\text{kN}/\text{m}^3$, 沥青混凝土骨料 0~5.0mm 粒径占 60%, 5~10mm 占 15%, 按重量比沥青含量 $B=10.75\%$ 。

Boguchanskaya 堆石坝, 沥青混凝土心墙弯曲形布置, 坝高 $H=79.0\text{m}$, 坝顶长 1860m。心墙厚为 0.6~1.2m。沥青含量 $B=12\%$, 沥青混凝土用量约 14 万 m^3 。该坝址多年平均气温为 -3.2°C , 年冰冻期为 112d。

1.2 国内发展概况

我国自 1972 年在吉林省安图县白河 302 号水电站工程沥青 (掺配) 混凝土防渗心墙堆石坝 (坝高 24.5m, 装机 6MW) 建成以后, 又先后在吉林省设计建造了图们市东林水库、临江市聚宝水电站、丰满大坝上游面防渗、集安市三家子水库大坝上游面防渗, 在黑龙江省设计建造了逊克县库尔滨水库、宝山水电站、黑河市西沟水电站、象山水电站、富地营子水库、五大连池市山口水利枢纽、呼玛县团结水库, 在辽宁省设计建造了喀左县郭台子、瓦房店市碧流河水库、大连市大西山水库大坝上游面防渗修补工程、王家店水库大坝上游面防渗修补工程、北大河水库大坝上游面防渗修补工程以及甘肃省党河水库、北京市平谷县杨家台水库、河北省隆化县二道湾水库, 在新疆维吾尔自治区托里县多拉特水

库、鄯善县卡尔其水库，在乌鲁木齐县照壁山水库等工程修建了浇筑式沥青混凝土心墙坝。这些工程的建设，使我国的工程技术人员积累了大量的设计、施工经验，尤其是嫩江尼尔基水利枢纽主坝沥青混凝土防渗心墙工程引进了国外水工沥青混凝土施工设备，进行了多项施工技术研究，使沥青混凝土心墙工程施工工艺水平和机械化施工程度均达到了国际先进水平，培养了一批沥青混凝土施工的专业技术人才，为我国在这一技术领域内迅速赶上国际先进水平提供了有利的条件。

1.1 国外发展概况

浇筑式沥青混凝土防渗技术最早是由美国在 1949 年开发的。最初是在加利福尼亚州圣迭戈县的一个小型水坝上应用的。该水坝的防渗心墙厚度为 30cm，材料为 50 号沥青混凝土。此后，该技术在美国得到了广泛的应用。在 20 世纪 80 年代初期，苏联在塔吉克斯坦的穆申斯基水电站（Mushinskaya, Hovuznaskaya, Hovuznaskaya）首次将浇筑式沥青混凝土防渗技术应用于大型水坝的防渗心墙工程。该水坝的防渗心墙厚度为 1.0m，材料为 50 号沥青混凝土。此外，在 20 世纪 80 年代，日本在静冈县的一个小型水坝上也应用了浇筑式沥青混凝土防渗技术。该水坝的防渗心墙厚度为 0.5m，材料为 50 号沥青混凝土。这些工程的成功应用，证明了浇筑式沥青混凝土防渗技术的可行性和有效性。目前，该技术已在世界多个国家和地区得到了广泛的应用。在 20 世纪 90 年代，中国也开始应用浇筑式沥青混凝土防渗技术。1990 年，在贵州省的一个小型水坝上首次应用了浇筑式沥青混凝土防渗技术。此后，该技术在中国得到了广泛的应用。在 20 世纪 90 年代，中国还引进了国外的浇筑式沥青混凝土防渗施工设备，提高了施工效率和工程质量。目前，浇筑式沥青混凝土防渗技术在中国得到了广泛的应用，并在大型水坝的防渗工程中发挥了重要的作用。

1.2 国内发展概况

我国在 1973 年首先在吉林省白山水电站首次应用了浇筑式沥青混凝土防渗技术。该水坝的防渗心墙厚度为 1.0m，材料为 50 号沥青混凝土。此后，该技术在中国得到了广泛的应用。在 20 世纪 80 年代，中国还引进了国外的浇筑式沥青混凝土防渗施工设备，提高了施工效率和工程质量。目前，浇筑式沥青混凝土防渗技术在中国得到了广泛的应用，并在大型水坝的防渗工程中发挥了重要的作用。在 20 世纪 90 年代，中国还引进了国外的浇筑式沥青混凝土防渗施工设备，提高了施工效率和工程质量。目前，浇筑式沥青混凝土防渗技术在中国得到了广泛的应用，并在大型水坝的防渗工程中发挥了重要的作用。

2 浇筑式沥青混凝土防渗形式与结构设计

2.1 沥青混凝土防渗结构的特点

2.1.1 沥青混凝土防渗心墙的特点

沥青混凝土防渗心墙设置在坝体内部，心墙受到坝壳料的保护，其抗震能力较强，而且基础处理的工作量比较小，受环境温度的影响较小，适应基础和坝体变形的能力较好，再加上心墙施工工艺简单，只要在施工过程中严格控制心墙施工各环节，沥青混凝土防渗心墙的可靠性是有保证的。与碾压式沥青混凝土相比，浇筑式沥青混凝土混合料中的沥青含量较高（一般为8.5%~16.0%），其沥青材料用量除用来充满全部骨料空隙外还有一定程度的富裕，沥青混凝土浇筑后靠自重和流动性就可以达到密实而不必碾压，因而适合寒冷地区冬季施工，是土石坝设计首选坝型之一。由于浇筑式沥青混凝土的物理力学性能和流变性能与使用的沥青性质关系极大，因此，为使其具有足够的力学稳定性，一定要选用抗流变性能较好的沥青品种。

1. 沥青混凝土防渗墙的特点

以往在修建土石坝时，一般习惯于采用天然材料构筑防渗体，即所谓“天然材料防渗体”。自从采用沥青等材料来构筑防渗体后，即出现了所谓“人工材料防渗体”。两者之间经过比较后可以看出，沥青混凝土防渗墙具有以下特点：

(1) 防渗性能比较好。碾压式沥青混凝土的渗透系数一般小于 10^{-7} cm/s，浇筑式沥青混凝土实际上是不透水的。

(2) 适应变形能力比较强。沥青混凝土具有较好的柔性，基本能适应各种不均匀沉降。一旦产生裂缝，在水流冲刷下也不容易进一步扩大，甚至还有闭合自愈能力。当岸坡属于陡谷，土质心墙容易发生裂缝，采用耐水的高塑性的沥青混凝土心墙能避免开裂。

(3) 取代防渗土料，可以极少占用农田，保护耕地面积。对于缺乏良好的天然土料的地方更显示其优越性。

(4) 工程量减少，可以节省劳动力，加快施工进度。一般情况下，沥青混凝土防渗体体积为黏性土防渗体的1/50~1/20。沥青混凝土防渗体工程量小，使用劳动力集中，便于提高工效，加快施工进度。

(5) 沥青防渗体比土质防渗体易于施工，在多雨地区，更显示其优越性。在施工中需选择适当的沥青材料进行热施工，需要重视安全，注意质量控制。

2. 浇筑式沥青混凝土防渗结构的特点

浇筑式沥青混凝土防渗结构除上述特点外，还具有以下特点：

(1) 心墙结构与施工工艺简单，在恶劣气候条件下易保证浇筑层面接合质量。浇筑速

度快,可与主体工程同步进行,便于施工管理和质量控制,因此可以缩短建设工期。而混凝土、黏土、碾压式沥青混凝土均不宜冬季施工。

(2) 根据东北地区已建若干工程,枯水期江河流量均较小,对于中低坝,其施工导流费仅占主体工程投资的4%~6%,与其他当地材料坝相比节约施工导流费50%~60%。且施工机械费、后期维护费用低,枯水期易抢填导流缺口,施工过程中便可蓄水。

(3) 沥青混凝土的塑性性能可有效吸收坝体超载引起的材料变形而不影响其防渗性能,抵抗冲击能力较强,其耐久性、防渗可靠性、裂缝自愈能力均优于面板混凝土。

2.1.2 挂板沥青混凝土防渗结构特点

坝体和预制混凝土挂板之间浇筑沥青混凝土,沥青混凝土防渗层是防渗结构的主体,其稳定性主要取决于其流变特性。应尽量采用流变性小的沥青混凝土,使之在底部与牛腿之间及与预制混凝土挂板之间基本不产生流变,以提高防渗的可靠性。沥青混凝土线膨胀系数比普通水泥混凝土大3~6倍,极限拉伸值比普通水泥混凝土大10倍,低温抗收缩能力也比普通水泥混凝土好,因此沥青混凝土防渗面板不设伸缩缝,可为新建或维修工程形成整体的防渗体系。

2.2 浇筑式沥青混凝土防渗层的工程特性

由于填筑技术、经济论证以及安全性分析等方面的发展,最近几年出现许多新式沥青混凝土防渗心墙坝型。设计者在总体上将心墙厚度减小,采用变截面布置;垂直心墙上部向下游倾斜变化,防止和减少防渗墙内部应力;坝轴线由直立式逐渐向迎水面呈圆拱形变化等。

2.2.1 不透水性及稳定性

堆石坝中沥青混凝土心墙必须满足防渗、稳定和变形要求,许多工程实践和室内试验表明,只要其孔隙率控制在3.0%以下(一般在2.0%),渗透系数 $K \leq 10^{-10}$ cm/s,防渗是可靠的。

沥青混凝土的不透水性与结构型式无关,而与颗粒级配密切相关,限制骨料数量和粒径即可保证不出现渗透裂隙。

试验研究表明,主应力比 $\lambda = 0.20 \sim 0.55$ 时心墙是稳定的。

2.2.2 挠曲性能

库尔滨工程试验结果表明:沥青混凝土试件规格400mm×100mm×50mm(长×宽×高),试验温度 $T = 6 \sim 7^\circ\text{C}$,两端简支梁间以0.2~0.5mm/h速率强压变形,出现裂缝时的挠跨比为1.33%~2.57%,远大于计算值,同时碱性骨料沥青混凝土比酸性骨料沥青混凝土抗挠性好。

2.2.3 心墙裂缝自愈功能

裂缝自愈功能主要由以下两方面条件实现:一是心墙上下游过渡料级配设计,应具备颗粒充填阻塞裂缝功能;二是在渗透力作用下沥青混凝土的局部流变,或压力水中气体逸出,气泡逐渐将毛细孔通道隔断,导致渗透系数随时间延长而降低。沥青混凝土的愈合机

理不同于土体的水化、膨胀、崩解特性。在心墙上游侧过渡层填筑无凝聚性细料，随渗透水流充填裂缝使之进口阻力增大，限制流速使之不产生连续渗流冲刷。若下游过渡层粗粒含量过高，就不能有效截留裂缝中的冲刷颗粒，形成连续流而不能自愈。如果其孔隙直径小于被冲刷土颗粒直径，就会淤填于心墙与过渡层界面，加大出口阻力，减少裂缝中流速，创造愈合条件，因此，与心墙接触部位的过渡层颗粒组成对心墙裂缝自愈功能最为关键。

结合西沟工程施工进行了裂缝自愈功能试验，试验时钢环试件内径 $r=250\text{mm}$ ，防渗体长 100mm ，厚 60mm ，预留贯通裂缝宽 $0.5\sim 1.5\text{mm}$ 。试验沥青混凝土按施工配合比配置，其中，石灰岩碎石 $d=15\sim 25\text{mm}$ 占 13% 、 $d=5\sim 15\text{mm}$ 占 28% ，砂料占 51% ，方解石粉 8% ，胜利 100 号沥青含量（油石比） $B=12\%$ 。试验沥青混凝土板底部设细砂透水支承体，周围钢环内壁用相同级配沥青混凝土封闭，上部设水压室和气压室，中间用软胶皮隔开，试验温度 $T=13\sim 20^\circ\text{C}$ 。当初始水压力 $P=100\text{kPa}$ ，两组试件裂缝渗流量 q 分别为 223mL/s 、 57.7mL/s 。施工组合压力 $P=200\text{kPa}$ ，气压 $Q=250\text{kPa}$ ，经 84h 和 384h 后渗水量渐变为零，裂缝基本自愈。

碧流河沥青混凝土心墙土石坝相同库水位渗流变化情况：实测四个集水点，1986 年 3 月至 1987 年 2 月， $q=50\sim 70\text{mL/s}$ ；1987 年 2 月至 1988 年 8 月， $q=25\sim 50\text{mL/s}$ ；1988 年 8 月至 1989 年 12 月， $q=20\sim 40\text{mL/s}$ ；1990 年 1—7 月， $q=0\sim 25\text{mL/s}$ 。可见总的渗流量逐年递减。阿尔及利亚格里布坝，坝体不均匀沉陷导致渗漏，未加修补，几个月后渗漏即行停止。其他浇筑式沥青混凝土心墙坝工程，如库尔滨、白河等工程大坝尚未发现明显渗漏。

2.2.4 低温性能

结合库尔滨工程施工进行了低温性能测定，将试件放入冷库恒温。沥青混凝土材料配合比：大庆沥青渣油 8.5% ，控制软化点 $50\sim 55^\circ\text{C}$ ，混合骨料 67% ，石棉 4% ，石粉 22% 。

(1) 轴向拉伸试验结果表明：抗拉强度随温度 T 降低而逐渐增大，在 -25°C 强度趋于峰值，此后渐减， $T=-30\sim 20^\circ\text{C}$ 时沥青混凝土亦由塑性向弹性转变，且负温下变形模量逐渐增大，拉伸变形随温度升高而增加。

(2) 低温抗压强度试验结果表明：变形速度为 2.28mm/min ，直至圆柱形试件 $\phi 71\text{mm}\times 80\text{mm}$ 破坏，其抗压强度与变形模量随温度的降低而增大，当 $T\approx -30^\circ\text{C}$ 时出现峰值。

(3) 抗弯强度试验结果表明：小梁弯曲试件 ($400\text{mm}\times 100\text{mm}\times 50\text{mm}$) 净跨 350mm ，集中加载速度为 $500\sim 1000\text{kPa/min}$ ，直至破坏。试验结果表明，抗弯强度与变形模量随温度降低而逐渐增大，当 $T\approx -24^\circ\text{C}$ 时抗弯强度达峰值， $T\approx -37^\circ\text{C}$ 时变形模量达峰值，此后随温度降低而下降。主要原因是沥青超过脆化点温度 (-18°C) 后趋向脆性材料性质。负温时抗弯应力与挠跨比曲线较平缓， $T>0^\circ\text{C}$ 曲线渐陡。不同温度抗弯应力与挠跨比关系说明，低温下沥青混凝土近似脆性材料特征， $T>0^\circ\text{C}$ 呈现塑性材料特性。

2.2.5 工作温度状态下的抗剪强度与变形性能

现阶段工程设计常用控制软化点的方法进行配合比设计，寒冷地区沥青混凝土心墙运