

HYDRAULIC ENGINEERING  
ASPHALTIC CONCRETE

# 水工沥青混凝土

张怀生 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



TV431  
Z116.1

HYDRAULIC ENGINEERING  
ASPHALTIC CONCRETE

# 水工沥青混凝土

张怀生 主编



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书涵盖了水工沥青混凝土的所有知识,以总结已建工程经验为核心,内容翔实、图文并茂,与工程实际应用紧密结合。全书分6篇共20章,全面系统地介绍了水工沥青混凝土的发展应用、沥青混凝土原材料及加工、水工沥青混凝土综合基础知识、水工沥青混凝土设计、施工、工程实例及沥青混凝土专业术语中英文对照等内容。

本书面向广大的水利工程技术人员及管理人员,可作为水工沥青混凝土设计、施工、试验研究等方面技术人员的参考资料;对道路、石化行业的技术人员,也具有参考借鉴作用。

### 图书在版编目(CIP)数据

水工沥青混凝土/张怀生主编. —北京:中国水利水电出版社, 2004

ISBN 7-5084-2344-5

I. 水... II. 张... III. 水工材料—沥青混凝土  
IV. TV431

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第090382号

书 名	水工沥青混凝土
作 者	张怀生 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 49.5印张 1174千字 1插页
版 次	2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	120.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 编写人员名单

主 编 张怀生

副主编 陈忠保 邢德勇 王 超

参编人员 (以姓氏笔画为序)

王晓军	王翠红	田先忠	孙志恒	安明喆
刘显斌	吴丹雄	陈 迁	余胜祥	汪晓民
张京穗	熊 焰	随海风		

沥青混凝土作为一种建筑材料，具有一些特殊的性能：首先是近乎绝对的不透水性；其次是极大的延展性和耐久性；再则是当温度达到一定范围时，它又近于熔融状态，很便于修补。这些特性，对于许多水工建筑物来说，是十分有利的，因而具有广阔的应用前景。在外国，自20世纪20年代以来，就广泛应用在防渗结构中。但在我国大型水工建筑物中的应用，似要迟缓得多。我也分析过其原因，可能是由于这种材料的性能与钢、混凝土和土石料完全不同，缺乏明确、统一的设计理论、试验方法和施工规范，人们要将它使用到大型永久性水工结构中时，总是感到缺乏经验和有所顾虑，宁愿采用熟悉的常规材料。再则，我国石油工业发展起步较迟，初期国产沥青质量不够稳定，优质沥青以及相应的设备和咨询服务都有赖于引进，也影响了其使用与推广。因此，直到20世纪80年代，我希望能出版一些普及沥青混凝土知识的书籍时，还只能联系介绍德国斯特拉堡公司的豪克先生和舍尼恩先生为我们编写了一本入门著作《水工结构沥青设计与施工》，当时要找一些国内的经验和资料是十分困难的。

但是历史总是要前进的。尤其作为极佳的防渗材料来说，土石坝和抽水蓄能电站的上下库盆是多么需要这种理想材料呀。以土石坝为例，在失事的工程中，绝大多数都是由于防渗处理设计不当或施工缺陷造成的（姑且不谈采用常规防渗材料在取料和施工中产生的一系列困难）。而统计资料表明，截至目前，尚未发现一例采用沥青混凝土防渗而出现事故的情况。对于缺乏粘土料源、多雨地区、

地质条件较差和交通不发达的坝址，沥青混凝土防渗结构尤为适用。特别是抽水蓄能电站上下库盆的防渗处理，若其地质条件很不利，需防护的面积常常很大，沥青混凝土更是首选材料。因此，从改革开放以后，沥青混凝土终于开始在我国大型水坝和库盆工程中得到采用，尤其浙江天荒坪抽水蓄能电站上库沥青混凝土面板和库盆防渗工程以及三峡茅坪溪沥青混凝土心墙土石坝工程在比选方案时，我虽对沥青混凝土所知甚少，但确信是发展方向，都热心地投了赞成票。我高兴地看到，它们成为两座里程碑式的工程。可以预计，今后沥青混凝土在水工建筑物中的应用必将越来越广泛。

本书的作者们参与了104m高的茅坪溪防护坝沥青混凝土心墙工程建设的全过程，他们认真总结了自己的经验，并借鉴国内外大量的工程实例和文献资料，编著了本书，内容丰富翔实，既有理论论述，又有工程实践，可以说较全面地总结了沥青混凝土的应用理论和现代施工技术经验，无疑将对水工沥青混凝土技术的推广应用起重要作用。这本116万字的专著，可以说凝聚了作者们十年来的心血，弥足珍贵，它体现了我国年轻一代知识分子不畏困难、勇于探索的精神面貌。我深信，他们具备迎接各种挑战的能力，他们已经接过老一辈水电建设者手中的接力棒，以更高的速度奋勇前进，必将创造出我国水电建设事业辉煌的明天。

最后还应指出，水工沥青混凝土的性能十分复杂，现在还远未掌握。研究它，需要有专门的设备和技术，它的

本构定律应包括粘弹塑性、蠕变、加载速率、温度等各种因素，其规律远未弄清。它的计算模型更不能套用简单的现成模式。用简单的常规方法去进行分析，比照常规土石坝规范要求判断其安全度，可信度很低。这些重大问题还有待抓紧试验、研究、突破，使水工沥青混凝土的设计和施工建立在牢固的科学基础上，任务还十分艰巨，我们远不能满足于现状。作者邀我为本书写序，我就写了以上几句话，并寄希望于作者的进一步钻研迈进！是为序。

潘家铮

2004年10月

水工沥青混凝土自 20 世纪 20 年代后期,在美国索推里坝和德国阿姆克尔坝开始应用于水工防渗结构以来,在国内外水电工程中得到了较广泛的应用。但在我国内陆地区,水工沥青混凝土应用技术起步较晚,直到 20 世纪 70 年代才将该技术较大规模地应用于坝工建设中,相继建成了辽宁碧流河、浙江牛头山等浇筑式沥青混凝土防渗工程。

随着 20 世纪末浙江天荒坪抽水蓄能电站上库沥青混凝土面板防渗工程,以及 2003 年三峡茅坪溪沥青混凝土心墙土石坝的成功兴建并相继投入运行,标志着我国水工沥青混凝土应用技术已跻身世界先进行列。在以上两个工程建设过程中,我国水利工程建设者在结构设计及计算、试验、施工机械和施工技术等诸多方面都有所创新,为碾压式沥青混凝土工程建设积累了经验,推动了我国水工沥青混凝土防渗技术的发展。目前,四川冶勒、东北尼尔基、河北张河湾、河南宝泉、山西兴龙池等工程,均已经或正准备采用沥青混凝土作为防渗结构的主要建筑材料。可以预见,水工沥青混凝土防渗技术应用前景将越来越广阔。

沥青混凝土具有良好的抗渗性、极佳的柔形变形特征以及自愈闭合的功能,因而,对位于软弱岩层、深厚覆盖层、高寒冻土及高地震烈度等地区的水利水电工程,最适宜作为大坝的防渗体。同时,沥青混凝土防渗体结构简单、工程量较小、施工速度快、有利于缩短工期,因此,在坝工建设中日益得到重视。

20 世纪 20 年代开始,沥青混凝土广泛地应用于水工建筑结构的防渗体,走过了 80 多年的历程,然而,由于



沥青材料和沥青混凝土的组成及物理力学性能的复杂性,时至今日,水工沥青混凝土的施工应用技术仍处于研究发展阶段,还没有形成一个较完善的理论体系,尚缺乏一个较系统反映水工沥青混凝土力学性能的系列标准和试验方法,也很少发表水工沥青混凝土技术的专著。为指导和规范我国水工沥青混凝土技术的推广应用,国家已启动水工沥青混凝土施工规范及试验规程的编制工作,以填补这方面的空白。

三峡茅坪溪沥青混凝土心墙土石坝坝高 104m,是我国自行设计、施工和监理的第一座百米级的沥青混凝土心墙土石坝。2003 年 6 月该坝蓄水后的原型观测成果表明,沥青混凝土心墙和坝体变形、应力和防渗性能指标均满足设计要求,大坝和沥青混凝土心墙工作状态正常,有力地推动了我国水工沥青混凝土技术的发展。

作者在总结三峡茅坪溪沥青混凝土心墙土石坝建设经验的基础上,参考了大量的国内外有关沥青混凝土工程建设的资料,编写了本专著。

本书内容丰富、资料详尽,既有理论高度,又有实践佐证,是目前我国第一部系统介绍水工沥青混凝土的专著,对推动我国沥青混凝土防渗理论和应用技术的发展,将起着积极的作用。

张超然

2004 年 10 月

(中国工程院院士,中国长江三峡工程开发总公司总工程师)

水工沥青混凝土的发展与应用始于20世纪20年代。在我国,20世纪70年代的中后期才开始推广应用,起步较晚,在施工应用技术理论、施工机械设备、沥青混凝土试验设备仪器及试验方法、施工工艺等方面,与德国、挪威等先进国家存在较大的差距。随着我国浙江天荒坪抽水蓄能电站上库沥青混凝土面板工程,特别是由我国自行设计、监理和施工的三峡工程茅坪溪沥青混凝土心墙土石坝的成功建设并相继投入运行,带动如四川冶勒、东北尼尔基、河北张河湾、河南宝泉、山西兴龙池等一大批水电工程,正在或准备采用沥青混凝土作为水工结构的主要防渗材料,使我国水工沥青混凝土施工应用跻身世界先进行列。

沥青混凝土应用于水工结构物防渗体,因其具有极佳的防渗性能和柔性等特征,适应变形的能力很强,对于需要承受不均匀变形的水工防渗结构来讲,这些优点是其他防渗材料难以替代的。

沥青混凝土是一种柔性材料,具有一定的蠕变性能,目前工程应用中都是假定它为理想的非线性弹性材料,使用 $E-\mu$ 模型来进行物理力学计算,这并未充分反映其特有的蠕变性能和应力释放功能,因此在安全计算上经常会存在一些问题,但这并不能肯定结构物就处于不安全状态。这些问题还需要广大的水电建设者和水电战线的科技工作者,进一步深入地研究、探讨沥青混凝土的物理力学特性,寻找适宜的计算模型和计算理论,更好地服务于工程应用。

沥青材料和沥青混凝土的组成及其物理力学性能极其复杂。随着施工应用理论的发展与进步,新型试验仪器设备不断被研制并投入应用,对沥青、沥青混凝土的认识不断深入,旧理论体系中的各种缺陷不断被发现,新的观点、理论及试验方法等不断推出。目前,沥青混凝土应用正处在一个敏感的发展变革期,在欧美等一些发达国家,有近一半的国家已经摒弃了马歇尔试验及其理论体系,在美国被已推出的 SHRP 试验方法、理论体系所替代,另一些国家也正在寻找新的试验方法和理论体系,来替代传统的马歇尔体系。

1995年初,在三峡工程茅坪溪土石坝采用沥青混凝土作为坝体主要防渗结构材料时,参建各方对沥青混凝土缺乏认识,尤其是水工沥青混凝土特别是碾压式沥青混凝土设计、施工及试验方面的资料奇缺。建设者们一方面认真收集国内外沥青混凝土资料,一方面自行摸索,在进行大量试验分析的基础上,克服施工过程中的各种困难并不断地总结完善,成功地完成了茅坪溪土石坝的建设任务。茅坪溪土石坝是我国独立完成设计、施工、试验检验及安全监测的沥青混凝土心墙土石坝,也是世界上已建工程中采用沥青混凝土心墙垂直防渗最高的土石坝。

在进行三峡茅坪溪土石坝的建设之初,由于资料奇缺,我们萌发了纪录、总结工程建设经验,编写一本水工沥青混凝土防渗应用技术方面书籍的设想,并分头收集相关方面的各种技术资料。2001年,在重新编著大型水利水电工程施工组织设计手册时,我们接受了沥青混凝土部

分的编撰任务，并完成了约5万字初稿，由于其他方面的原因，该部分内容最终被置入土石方工程土石坝中，我们的稿件被放弃。我们则充分利用此手册初稿，重新组织了文章结构并对内容进行了扩大和充实，本书就这样诞生了。

本书由张怀生担任主编，陈忠保、邢德勇、王超担任副主编，参与编著的人员及分工如下：

第一篇	张怀生	第三篇	第十章	张怀生 张京穗
		第四篇	第十一章	张怀生 余胜祥
第二篇	张怀生		第五篇	第十二章
		第十三章		孙志恒 张怀生
	第四章	王翠红 陈忠保 随海风	第十四章	张怀生 邢德勇 刘显斌
	第五章	王 超 陈 迁	第十五章	孙志恒 张怀生
	第六章	王 超 张怀生 陈 迁	第十六章	张怀生
	第七章	余胜祥	第六篇	工程实例 张京穗 汪晓民 张怀生
第三篇	第八章	田先忠 张怀生 吴丹雄	附 录	张怀生
	第九章	安明喆 田先忠 王晓军		

由于我们接触沥青混凝土的时间、范围有限，对沥青材料的认识存在较大的局限，开展沥青混凝土试验工作相对较少，只是对工程建设中的一些具体问题进行了一定的研究。本专著对水工沥青混凝土应用知识进行了系统介绍，希望能够起到抛砖引玉的作用，让读者能够看到更多、更好的关于水工沥青混凝土方面的专业著作，以全面推动我国水工沥青混凝土的应用和发展。

本专著在编撰过程中，得到了中国长江三峡总公司各级领导的关心和支持；潘家铮院士和张超然院士在百





# 目 录

序一		
序二		
前言		
<b>第一篇</b>	<b>概 论</b>	
	<b>第一章</b>	<b>沥青混凝土概述</b>
	第一节	沥青混凝土的定义..... 3
	第二节	石油化学工业的发展历程..... 4
	第三节	道路沥青混凝土的发展历程..... 8
	<b>第二章</b>	<b>水工沥青混凝土分类</b>
	第一节	按水工沥青混凝土的结构形式分类 ..... 28
	第二节	按水工沥青混凝土的施工方法分类 ..... 32
	第三节	按沥青含量分类 ..... 34
	第四节	其他分类 ..... 37
	<b>第三章</b>	<b>水工沥青混凝土的发展</b>
	第一节	施工应用 ..... 38
	第二节	试验仪器 ..... 47
	第三节	主要施工设备 ..... 47
	第四节	施工工艺 ..... 69
<b>第二篇</b>	<b>沥 青 混 合 料</b>	
	<b>第四章</b>	<b>沥 青 材 料</b>
	第一节	石油沥青的生产工艺 ..... 77
	第二节	沥青的组成及物理化学性质 ..... 88
	第三节	沥青的流变性 ..... 99
	第四节	沥青的耐久性..... 108

	第五节 沥青的储运·····	112
	第六节 水工沥青·····	115

**第五章**

**骨 料 及 掺 料**

	第一节 骨料·····	125
	第二节 沥青改性材料·····	136
	第三节 矿料开采·····	138
	第四节 骨料加工·····	142
	第五节 加工设备选型·····	151
	第六节 系统布置·····	161

**第六章**

**混 合 料 生 产**

	第一节 沥青混合料制备要求·····	164
	第二节 沥青混合料拌和工艺·····	166
	第三节 沥青混凝土拌和楼·····	167
	第四节 沥青拌和楼附属设备·····	180
	第五节 拌和系统布置·····	196
	第六节 质量检测·····	199
	第七节 沥青混合料储运·····	202

**第三篇**

**沥青混凝土基础**

**第七章**

**沥青混凝土的结构强度原理**

	第一节 沥青混凝土的物理力学性质·····	207
	第二节 沥青混凝土的组成结构及强度理论·····	208
	第三节 沥青混凝土的力学特征·····	212
	第四节 影响沥青混凝土强度的因素·····	221
	第五节 提高沥青混凝土强度和稳定性·····	225
	第六节 沥青混凝土弹性模量数 $K$ 值的影响因素 ···	227

	第七节	填充料级配对沥青混凝土性能的影响·····	231
<b>第八章</b>	<b>沥青混凝土性能</b>		
	第一节	基本特性·····	236
	第二节	温度敏感性·····	243
	第三节	耐久性·····	256
<b>第九章</b>	<b>沥青混凝土试验</b>		
	第一节	沥青混凝土试验室·····	299
	第二节	渗透性能试验·····	310
	第三节	变形性能试验·····	313
	第四节	耐久性试验·····	323
	第五节	力学性能试验·····	329
	第六节	特殊性能试验·····	336
	第七节	其他试验·····	343
<b>第十章</b>	<b>安全监测</b>		
	第一节	土石坝监测内容·····	349
	第二节	心墙沥青混凝土监测设计·····	356
	第三节	面板沥青混凝土监测设计·····	368
	第四节	监测实施·····	375
	第五节	工程监测实例·····	385
<b>第四篇</b>	<b>水工沥青混凝土设计</b>		
<b>第十一章</b>	<b>水工沥青混凝土配合比设计</b>		
	第一节	沥青混合料级配基本概念·····	395
	第二节	沥青混凝土级配类型·····	400
	第三节	沥青混凝土的使用特征·····	408



	<p>第四节 原材料特性····· 410</p> <p>第五节 配合比设计步骤与方法····· 411</p> <p>第六节 配合比的验证····· 424</p>
<b>第十二章</b>	<b>沥青混凝土心墙设计</b>
	<p>第一节 沥青混凝土心墙的应用概述····· 427</p> <p>第二节 沥青混凝土试验····· 436</p> <p>第三节 坝体结构设计····· 440</p> <p>第四节 心墙设计····· 446</p> <p>第五节 安全计算····· 452</p> <p>第六节 沥青混凝土心墙与其他结构的连接····· 457</p> <p>第七节 值得探讨的几个问题····· 477</p>
<b>第十三章</b>	<b>水工沥青混凝土面板设计</b>
	<p>第一节 沥青混凝土面板型式与特点····· 481</p> <p>第二节 坝体结构设计····· 484</p> <p>第三节 面板沥青混凝土设计····· 488</p> <p>第四节 防渗面板设计····· 491</p> <p>第五节 面板结构设计····· 505</p> <p>第六节 面板与周边结构的连接设计····· 509</p> <p>第七节 部分工程应用实例····· 522</p>
<b>第五篇</b>	<b>水工沥青混凝土施工</b>
<b>第十四章</b>	<b>沥青混凝土心墙施工</b>
	<p>第一节 施工准备····· 535</p> <p>第二节 摊铺试验····· 554</p> <p>第三节 心墙施工····· 563</p> <p>第四节 特殊部位施工····· 581</p>