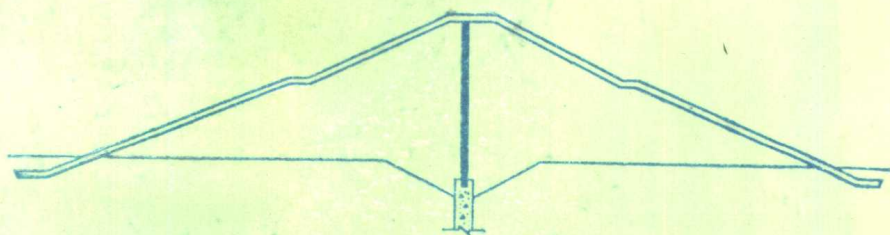




沥青混凝土防渗墙

蒋长元 蒋颂涛等 编著



水利电力出版社



沥青混凝土防渗墙

蒋长元 葛颂涛等 编著



水利部科技专著出版基金资助项目

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书是根据我国近十余年来沥青混凝土防渗工程的实践经验编写的。

全书共分七章。在概论中,介绍了国外和国内的发展状况以及沥青混凝土防渗墙的特点与分类。在其他各章中,分别叙述了沥青混凝土的原材料选择与配合比设计,沥青混凝土防渗墙的设计、施工、质量控制、施工安全以及现场观测等。最后,列举了国内外的十一项工程实例。

沥青混凝土防渗墙

蒋长元 蒋颂涛等 编著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路8号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 13.125印张 291千字 3插页

1992年12月第一版 1992年12月北京第一次印刷

印数0001—4100册

ISBN 7-120-01242-8/TV·421

定价9.90元

序

在人类历史上,远在数千年前,就已经采用天然沥青作为胶结与防渗材料。到19世纪末,随着石油工业的崛起和发展,沥青作为一种副产品,开始得到了广泛应用。最早用它来作为筑坝防渗材料的国家是美国和德国。近60年内,国外修筑了以沥青防渗为主的土石坝,已达数百座。国内,从1973年开始,也已经陆续修建了数十项沥青防渗工程(例如,辽宁省碧流河水库),积累了一定经验。但是,有关论述沥青防渗技术的专门著作,目前却所见甚少。尤其是缺少我们国内在这方面的论著。

本书主要讲述水工建设中的沥青混凝土防渗墙。从它的发展到它的特点、分类,从原材料选择、配合比设计,到工程设计、施工、质量控制、现场观测等。本书均进行了详细的论述与分析,是一本比较全面、比较实际的关于沥青防渗技术的著作。本书作者是我国较早从事这方面开发工作的同志,他们在工作之余,及时总结与编著了这本书,满足了国内的需要,为促进我国的水工建设贡献了力量。

当前,中国正值改革开放时期,我国的水利建设方兴未艾,摆在我们面前的建设任务十分繁重。希望我国水利技术工作者们深入实际,总结经验,因地制宜,大胆地采用新材料和新技术,精心地设计与施工,千方百计地提高工程质量、缩短工期和降低造价,为我国经济建设的腾飞与发展,进一步做出贡献!

楊振懷

1989.12.3.

421115

出 版 说 明

书籍是人类进步的阶梯。科技图书集聚着科学技术研究和发明创造的成果，凝结着人们生产活动、科学实验的实践经验和聪明才智。当今，在振兴中华的“四化”建设中，要把科学技术转化为现实的生产力，科技图书的出版是一个重要的环节。它担负着传播科技信息，扩大科技交流，推广科技成果，普及科技知识，培养科技人才，积累科学文化，提高全民族科技意识和劳动者素质的重任，是科技事业的一个重要组成部分。

改革开放以来，我国的科技出版事业取得了飞速的发展。但在还很不完善的社会主义市场经济中，科技图书出版的合理经营机制尚未形成，“出书难、买书难、卖书难”一直困扰着许多科技人员和出版工作者。特别是一些专业性很强的科学专著，发行范围有限，出版更为困难，影响了科学技术的发展。广大知识分子在不断呼吁，出版界也竭力探索解决这一问题的途径。1985年以来，中央领导同志和中宣部曾多次指示，要求国家和各主管部门筹款，为专家学者撰写学术专著建立出版基金。其后，从中央到地方各类出版基金陆续建立，有力地推动了学术专著的出版。

水利在我国具有悠久的历史，对治国安邦起着重要的作用。新中国建立40多年来，水利建设事业取得了举世瞩目的成就，已成为我国国民经济的基础设施和基础产业，是发展工农业生产的命脉。为了支持水利科技专著的出版，以适应我国水利科研、设计、建设、管理、教学的需要，水利部于

1991年9月5日向全国发布了《水利部科技专著出版基金试行条例》，拨出专款用于资助科技专著的出版，并相应地建立了出版基金评审委员会和办公室。

本出版基金主要用于资助有明显社会效益而印数较少的水利优秀科技著作的出版，包括：学术水平高、内容有创见、在学科上居领先地位的水利基础学科理论专著；反映水利重大科研成果或填补我国水利科技某个空白领域的学术专著；在水利工程技术和经济管理方面有重大科学和实用价值的专著；对我国水利科技发展有重要参考价值的国外水利科技著作的中译本。申请者在已有详细编写提纲和 部分样稿时，即可向本基金办公室提出申请。

本出版基金申请项目的评审，坚持“专家评议，公平竞争，择优支持”的原则，其做法是：对所有申请项目，先由基金办送请三名同行专家评议，然后再提交评审委员会讨论、评选。对被通过的申请项目，即转入水利电力出版社的计划，由基金赞助出版。

我们希望本出版基金的实施对推动水利科技的进步和人才培养，对促进水利建设事业的发展，会起到积极的作用。为此，我们热切地希望水利界的学者、专家，能潜心将自己的创见和经验撰写成专著，踊跃向本出版基金提出申请出版，为繁荣我国的水利科技事业添砖加瓦，奉献自己的才智和力量。

水利部科技专著出版基金委员会

1992年8月

前 言

沥青混凝土防渗墙在技术经济上具有许多优点，是土石坝的一种新型防渗结构。从50年代起，在国外逐步得到了推广应用。我国最早采用沥青混凝土铺筑防渗墙的时间是1973年。随着水利水电工程建设发展的需要，近10多年来，发展较快，已建成的沥青混凝土防渗工程达70余项，积累了一定经验。在此基础上，我们编写了《沥青混凝土防渗墙》一书，供从事这方面设计、施工以及工程管理的同志们参考；也可以作为大专院校师生的辅导学习材料。

参加本书编写工作的有蒋长元、杨全民、丁朴荣、叶淑君、蒋颂涛、刘永浩、侯希明、李德瑞等。蒋长元同志由于积劳成疾，于1986年不幸病逝，我们在此对他表示沉痛哀悼！本书的审稿、统稿及誊写工作，最后由蒋颂涛、刘永浩、李德瑞同志完成。武之璠同志对全稿作了详细的校核与订正，特在此致谢！

由于我们的实践经验和水平有限，本书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

目 录

序

出版说明

前 言

第一章	概论	1
第一节	水工沥青技术的应用与发展	1
第二节	沥青混凝土防渗墙的特点与分类	7
第二章	水工沥青混凝土的原材料选择与配合比设计	12
第一节	沥青材料	12
第二节	矿物材料	60
第三节	掺合料	64
第四节	水工沥青混凝土的技术要求与配合比设计	67
第三章	沥青混凝土防渗墙设计	104
第一节	沥青混凝土斜墙设计	104
第二节	沥青混凝土心墙设计	151
第三节	带挡板的浇注式沥青混凝土防渗墙设计	186
第四章	沥青混凝土防渗墙施工	191
第一节	沥青混凝土制备	191
第二节	沥青混凝土斜墙铺筑	219
第三节	沥青混凝土心墙铺筑	246
第五章	沥青混凝土防渗墙施工质量控制与施工安全	269
第一节	沥青混凝土防渗墙施工质量控制	269
第二节	施工安全	306
第六章	沥青防渗墙现场观测	308
第一节	沥青防渗墙现场观测的目的及内容	308

第二节	沥青防渗斜墙的观测	309
第三节	沥青防渗心墙的观测	324
第四节	沥青防渗墙观测资料的整理	326
第五节	沥青防渗墙观测实例	328
第七章	工程实例	353
第一节	沥青混凝土斜墙	353
第二节	沥青混凝土心墙	375
第三节	带挡板的浇注式沥青混凝土防渗墙	400
参考文献		410

第一章 概 论

第一节 水工沥青技术的应用与发展

一、国外的应用概况与发展动向

在水工建筑物上使用沥青材料的历史十分悠久。大体可分成四个时期。

1. 原始应用阶段 远在5000年以前, 埃及人就在尼罗河护岸砌石工程中使用沥青作为一种胶结材料。公元前3000多年, 在美索不达米亚地区和印度河流域, 人们使用沥青材料进行防渗已比较普遍, 至今留下的著名古迹——底格里斯河 (Tigris) 的1500m堤防, 就是使用沥青和粘土的玛 瑙脂作为砌缝胶结材料, 并使用沥青和河砂的混合料作为护坡修补材料建成的。不过, 古代使用的沥青全都是天然沥青, 因此, 发展很慢。

2. 初期应用阶段 随着交通运输业逐渐兴盛, 在18~19世纪, 英国、法国等国家开始在欧洲使用沥青铺设道路。起初仍是采用天然沥青, 直到19世纪末叶, 由于石油工业发展起来, 提供了石油沥青, 沥青才一跃成为道路工程的主要建筑材料。随着沥青路面铺设技术的发展和 对 沥 青 性能的认识, 沥青在水利工程中逐步得到推广应用, 其研究工作是从20世纪20年代开始的。世界上最早在坝工建设中使用沥青防渗中的国家是美国和德国。1929年在美国建成的索推里坝, 坝高12m, 是全世界第一座采用沥青材料防渗的坝。后来, 德国在1934年建成了阿梅克 (Amecker) 沥青斜墙坝, 这座坝

也是12m高，原设计是用壤土心墙和板桩防渗的，由于漏水愈来愈严重，才在上游坡面上铺设了6cm厚的沥青混凝土防渗墙，取得了良好效果。早期阶段，在较高大的堆石坝上采用沥青混凝土防渗的，应该是1936年在阿尔及利亚建成的格里卜（El.Ghrib）坝，该坝高72m，防渗面积达13000m²，库容为2.8亿m³。该坝建成的当年，在华盛顿召开的第二届国际大坝会议上发表了题为《高坝建筑中沥青材料的利用》的论文，详细介绍了格里卜堆石坝使用沥青混凝土斜墙的经验。格里卜坝的建成，是沥青防渗技术发展史上的一个重要标志，它至今仍闻名于全世界。到1939年，又在瑞士建成了使用沥青混凝土防渗的柴迪菲多蓄水池，其防渗面积为3500m²，蓄水量9万m³。从此，沥青混凝土防渗也开始用于蓄水池建设方面。后来，由于第二次世界大战的影响，采用沥青混凝土作防渗体建成的坝和蓄水池，总数不超过10座。

3.恢复发展阶段 第二次世界大战后，水工沥青技术重新有所发展。联邦德国、美国、阿尔及利亚等国又陆续修建了一批采用沥青混凝土防渗的土石坝和蓄水池。在渠道、海港以及土石坝护坡等方面，水工沥青技术也得到了广泛应用。美国于1947年和1949年在加利福尼亚州建筑了第一批采用沥青隔膜防渗的输水渠道，于1951年建成的鲍德温山（Beldwin Hills）土坝，高达83m，采用了沥青混凝土护坡。荷兰从1945年以来，在海岸和海港工程方面采用沥青材料也比较普遍。由于这个阶段正处在世界大战结束后的恢复时期，加上人们对沥青材料的认识尚浅，因此，发展速度还是比较缓慢的。

4.新的发展阶段 1954年，在格里卜坝运行18年后，曾

由三个当时国际公认的实验机构（阿尔及利亚建筑与劳动管理局实验室、阿尔及利亚电气与煤气实验室、荷兰壳牌石油公司实验室）联合进行了一次国际鉴定，结论如下：

（1）沥青防渗体的稳定性和粘着性，随龄期增长有所改善和提高。

（2）沥青防渗体的不透水性，不受时间的影响。

（3）沥青防渗体的塑性和柔性随龄期增长有所降低。其塑性和柔性变化与是否暴露在空气中有关。当接近坝顶处，由于阳光照射和空气氧化等作用，使沥青表层出现硬化变色现象，在死水位以下，则几乎见不到有变化。其塑性和柔性也与沥青防渗体的空隙率有关。暴露在空气中，空隙率为2%~5%时，沥青软化点提高约5℃左右；当空隙率大于5%时，沥青软化点提高达25℃。

总之，这次鉴定结果认为：沥青防渗体具有良好的可塑性、柔性、不透水性和耐久性。它优于其他形式的防渗体。因此，这次鉴定为沥青混凝土在坝工建设中的应用起到了推动与促进作用。

1955年后，国外建成的采用沥青防渗体的土石坝，数量较多。在筑坝的高度上，已开始突破百米大关。在结构形式方面，除了修建在表面的沥青混凝土斜墙外，修建在坝体内部的沥青心墙也得到了迅速发展。这种坝型目前在联邦德国较多，约占国外已建沥青心墙土石坝一半左右。最早修建沥青混凝土心墙坝的国家是葡萄牙，1949年在葡萄牙建成的瓦勒多盖奥（Valede Gaio）坝，坝高45m。该坝是在上游侧粘土防渗体以外，再铺筑沥青混凝土防渗体，起到附加防渗的作用。1954年，联邦德国修建的汉涅（Henne）坝，采用的是块石沥青混凝土心墙型式，而在其上游侧，还铺筑了沥

青混凝土斜墙，形成双重防渗体。

国外，电力峰荷问题日益突出，因此，70年代以来，修建抽水蓄能电站较多。沥青混凝土在电站工程的蓄水池防渗衬砌中也得到了应用。初步统计，采用沥青混凝土防渗的大型蓄水池多达70余座，为前20年的30倍。其中，以美国的拉丁顿（Ludington）蓄水池最大，沥青混凝土防渗面积达60万 m^2 。

荷兰地势较低，自1953年遭遇洪水灾害后，许多堤坝工程亟待修复和加固。由于当地材料缺乏，块石需要到几百公里外的国家去采运，粘土也很少，因此，在“三角洲”地区及其巨大堤坝的水下工程中，沥青材料得到了广泛应用。

在亚洲，日本是一个工业发达的国家，它在应用水工沥青技术方面起步较晚，但是发展迅速。从1957年起，它在堤防工程上开始试验性采用。1960年修建的锅田围垦堤防工程是第一项正规的沥青防渗工程。接着就在大坝、渠道、港湾等方面积极推广应用。目前，在海岸、海港及治河工程中的沥青防护工程就有100项左右；在土石坝与蓄水池等工程方面采用沥青防渗的达20余项。例如，1971年建成的深山坝（坝高75m，沥青防渗面积4.1万 m^2 ）和1972年建成的沼原调节池（蓄水量430万 m^3 ，沥青防渗面积20.2万 m^2 ），均是当前具有国际水平的水工沥青防渗工程。

近年来，国外水工沥青技术得到了迅速发展。其主要特点是：

（1）各国对此项技术已开始重视起来，应用范围越来越广泛。

（2）采用型式越来越多，结构趋向简单化。

（3）工程规模不断扩大，机械化施工程度越来越高。

(4) 不断采用现代化技术, 使工程成本逐渐降低。

但是, 水工沥青技术仍处于发展时期, 目前在国外它仍是一门发展中的学科, 因此, 有许多技术问题, 还是需要凭实践经验来解决。

二、国内的应用概况与发展

我国在历史上很早就采用沥青作为各种建筑物的填缝止水材料。但是, 较多地应用到水利工程中还是近一二十年的事。建国初期, 甘肃省曾采用沥青材料作渠道衬砌的试验; 新疆维吾尔自治区曾采用沥青砂浆苇席和沥青混凝土衬砌建成了几条引水渠道。此外, 在山东省、河南省、山西省也有类似的一些实践。直到70年代, 我国才较大规模地采用沥青混凝土作为水工建筑材料应用在坝工建设中。1972年, 在我国的东北和西北地区, 同时有两座水库最早采用沥青混凝土作为筑坝防渗材料, 修建沥青防渗心墙坝。这两项工程, 一项是吉林省安图县的白河水电站, 坝高24.5m, 装机6000kW, 以发电为主, 是在东北水利水电科学研究所支持下, 用半年时间在1973年建成的; 另一项是甘肃省敦煌县的党河水库, 坝高58m (第一期工程46m), 库容4500万 m^3 , 它是因粘土运距较远, 在资金和人力均感到困难时, 根据工程技术人员的倡议, 采用了沥青防渗技术, 终于在1974年建成了第一期工程。接着在辽宁省、河北省、云南省、陕西省也相继用沥青作为水工建筑物的防渗材料, 陆续建成了一批沥青防渗工程。辽宁省朝阳县十二台子水库, 坝高24.5m, 库容343万 m^3 , 是国内首次采用沥青防渗斜墙加固已受损害的土斜墙的工程。目前全国最高的一座沥青防渗斜墙坝是陕西省长安县的石砭峪水库, 坝高85m, 库容2600万 m^3 , 于1979年建成。全国库容最大的沥青防渗工程是辽宁省大连市的碧流河

水库，库容9.31亿 m^3 ，其主坝的土坝段和堆石坝段均采用沥青防渗心墙，最大坝高53.5m，于1985年建成。

沥青防渗体在土石坝中的应用，我国与国外相比，虽然晚了20年左右时间。但是，在近10余年内，由于全国各地的重视与协作，水工沥青防渗技术已得到较快发展。初步统计，全国各地已建成的和正在施工的采用沥青防渗的工程已达72项，其中有：

沥青心墙土石坝	10项
沥青斜墙土石坝	26项
沥青防渗面板混凝土坝、砌石坝	7项
沥青防渗的船闸	1项
沥青防渗围堰	5项
沥青衬砌蓄水池	1项
沥青衬砌渠道	18项
沥青补漏的水库库底及库岸工程	2项
沥青补漏的抽水站	2项

此外，还有一些采用沥青材料的其他水利工程23项，这些工程是：

沥青护面的过水土坝	10项
沥青护坡土坝	9项
沥青护岸、护坡	4项

展望未来，随着我国经济建设发展，水工沥青技术水平必将会得到进一步提高，应用范围也将会进一步扩大。例如，当前世界上有许多国家把沥青材料应用到蓄水池衬砌上，以及在海岸和海堤护砌方面采用水下沥青灌注技术，在渠道防渗方面采用沥青席和沥青板技术等。我国也将学习和应用这些先进技术，这不仅是填补一些技术空白，同时应该

发扬我们的智慧与创造性，为沥青防渗技术的发展作出更大的贡献。

第二节 沥青混凝土防渗墙的特点与分类

一、沥青混凝土防渗墙的特点

过去，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”。它们之间经过比较后，可以看出沥青混凝土防渗墙所具有的一些特点：

(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 $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$ ，浇注式沥青混凝土则实际上是不透水的。

(2) 适应变形能力比较强。沥青混凝土具有较好的柔性，比较能适应各种不均匀沉陷。如果一旦发生裂缝后，在水流冲刷下，也不容易再进一步扩大，甚至还有闭合自愈能力。当岸坡属于陡谷，土质心墙容易产生裂缝，采用耐水的高塑性的沥青混凝土心墙能避免开裂。

(3) 由于不用防渗土料，因而可以少占用农田，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) 由于工程量减少，可以节省劳动力，加快施工进度。一般地讲，沥青混凝土防渗体体积约为粘性土防渗体的 $1/20 \sim 1/50$ 。沥青混凝土防渗体由于工程量小，适合工厂化施工，使用劳动力集中，便于提高工效，加快施工进度。由于沥青混凝土防渗体断面小于土质防渗体断面，因而，对要

求减小坝体体积的场合更为适用。

(5) 由于沥青防渗体较薄, 工程量少, 因而投资较少。以辽宁省碧流河水库沥青混凝土心墙为例, 虽然沥青混凝土单价比粘性土高5.3倍, 但是沥青混凝土心墙体积仅是粘性土心墙的 $1/250$, 结果总造价还是降低33%左右。

(6) 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。但是, 在施工中需选择适当的沥青材料, 要采用热施工, 重视安全, 注意质量控制。

二、沥青混凝土防渗墙的分类

(一) 按结构分类

沥青混凝土防渗墙从结构上说, 大体可分为两类: 一是沥青防渗斜墙(包括防渗面板); 另一类是沥青防渗心墙。这两种结构型式, 各有其优缺点, 它们是:

(1) 沥青防渗斜墙(含防渗面板)一般修筑在大坝迎水坡表面, 其防渗体重量以及所承受的水压力, 将由整个坝体来支承, 对稳定性有利。沥青防渗心墙修建在坝体内部, 防渗体所承受的水压力, 只能由下游坝体来支承, 受力条件也较斜墙复杂。

(2) 沥青斜墙坝的整个坝体断面可以用来作稳定分析, 坝体的抗滑动能力比沥青心墙坝要大。

(3) 沥青防渗斜墙直接修筑在上游坡面上, 可以代替护坡, 抵御风浪冲击。沥青防渗心墙必须再修筑护坡, 设置反滤层, 防止坝体颗粒被带走, 保证坝体安全。但沥青混凝土心墙坝的上游面堆石边坡可陡于斜墙坝。

(4) 沥青防渗心墙对坝基和坝体的不均匀沉陷, 比较容易适应, 因此, 对坝基条件要求较低。沥青防渗斜墙必须