


《水利水电施工》
丛书

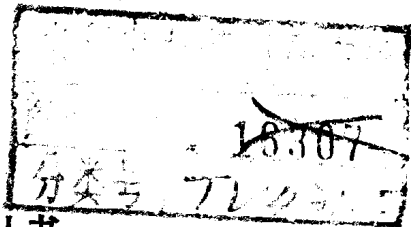


22

水工沥青混凝土 材料选择与配合比设计

丁朴荣 编著





《水利水电施工》丛书

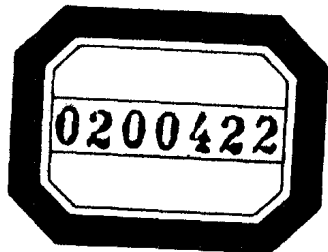
水工沥青混凝土



005983 水利部信息所

材料选择与配合比设计

丁朴荣 编著



水利电力出版社

ZW6/37 10

内 容 提 要

本书主要内容：石油沥青的技术性质、生产工艺及产品规格，国内沥青混凝土防渗墙工程常用的骨料、填料、掺料及其技术要求；水工沥青混凝土的配合比设计方法等。书中对配合比设计方法中存在的问题进行了分析和讨论，介绍了近几年来我国水工沥青混凝土配合比设计所取得的进展，并举例说明。

本书供从事水工沥青混凝土防渗墙工程试验、设计、施工和科研人员参考，也可供有关专业院校师生参考。

《水利水电施工》丛书
**水工沥青混凝土材料选择
与配合比设计**
丁朴荣 编著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6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6.375印张139千字

1990年6月第一版 1990年6月北京第一次印刷

印数0001—3310册

ISBN 7-120-01055-7/TV·331

定价：4.15元

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员 史梦熊

副主任委员 董其林

委 员

(以姓氏笔划为序)

丁联臻	王万治	史梦熊	田 园
李文治	邴凤山	杨启声	张宏全
张林祥	沈埜卿	陈祖安	陈春槐
汪景琦	郑连第	郭之章	赵珂经
茹 智	陶芳轩	谈国良	徐曾衍
蒋元驹	曹述五	曹松润	董其林
颜振元			

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利；开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书，包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

1984年7月

前 言

本世纪20年代开始，国际上已修建了沥青混凝土防渗墙工程。我国自1973年陕西正岔水库兴建以来，沥青混凝土防渗墙工程发展十分迅速，短短几年内建成了数十座沥青混凝土防渗墙工程，在试验、设计和施工等方面，均取得了很大的进展。《土石坝碾压式沥青混凝土防渗墙施工规范》SD 220-87、《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计准则》SLJ01-88现已制订，《水工沥青混凝土试验方法》正在编制，标志着我国水工沥青技术水平的不断提高，也是十几年来我国沥青混凝土防渗墙试验研究成果和工程实践经验的总结。特别是已故的蒋长元同志在我国水工沥青技术发展中做出了贡献，在此深表悼念。

本书根据工程经验并结合规范的有关规定，对水工沥青混凝土原材料的技术要求、试验方法和配合比设计进行了介绍。近几年来，我国水工沥青混凝土配合比设计有了新的进展，如新配比参数的采用、骨料的最优合成、配比平面的应用、施工配比平面的求解方法等，提高了配合比设计的科学性和实用性，对这些问题本书也进行了介绍和讨论。本书可供从事沥青混凝土防渗墙工程试验、设计和施工的技术人员参考。限于本人水平，缺点和错误一定不少，请读者批评指正。

本书承傅元茂高级工程师仔细地审阅，并提出宝贵的修改意见，孙振天教授、杨全民、叶淑君副教授、吴利言高级工程师对本书编写提供了资料和帮助，对此表示衷心感谢。

著者

1989年7月25日

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 沥青混凝土防渗墙在土石坝工程中的应用	1
第二节 沥青混凝土的分类和施工方法	4
第二章 石油沥青	6
第一节 石油沥青的化学组成及结构	6
第二节 石油沥青的技术性质	9
第三节 石油沥青的生产	27
第四节 石油沥青的技术标准	31
第五节 防渗墙工程沥青的选择	39
第三章 矿质材料	44
第一节 概述	44
第二节 骨料	45
第三节 填料	56
第四节 矿料试验方法	61
第四章 掺料	66
第一节 概述	66
第二节 消石灰和水泥	67
第三节 再生橡胶粉	71
第四节 石棉	75
第五章 沥青混凝土防渗墙的技术要求及水工沥青混凝土试验方法	77
第一节 沥青混凝土防渗墙的技术要求	77

第二节	水工沥青混凝土试验方法	93
第六章	水工沥青混凝土配合比设计	117
第一节	配合比设计的任务、步骤和方法	117
第二节	室内配合比试验	121
第三节	现场配合比试验	130
第四节	其它沥青混凝土的配合比试验	132
第五节	水工沥青混凝土配合比设计问题	150
第七章	防渗工程的质量问题	190
第一节	沥青混凝土防渗墙工程的特点	190
第二节	提高防渗效果的措施	192
参考文献		196

第一章 概 述

第一节 沥青混凝土防渗墙在土石坝工程中的应用

土石坝的防渗体，过去多采用粘土、混凝土、钢筋混凝土或钢板等材料建造，但这些材料有时料源受到限制，或是难以适应坝体的沉陷变形，或是造价过高，所以这些材料只有在一定的条件下才能取得较好的技术经济效果。20世纪20年代，沥青混凝土防渗墙才用于土石坝工程。西德的阿姆克尔（Amecker）坝大约是世界上最 早的沥青混凝土斜墙坝，该工程原为粘土心墙，为了补漏，于1934年在1:2的上游坝面铺筑了6 cm厚的沥青混凝土铺盖。早期具有代表性的沥青混凝土斜墙工程是1937年阿尔及利亚建成的格里布（Ghrib）坝，该坝高58m，库容2.8亿 m^3 ，但上游坡度为1:0.7，比现代沥青混凝土斜墙的坡度要陡得多。

沥青混凝土具有很好的抗渗性能，渗透系数可达 $10^{-7} \sim 10^{-10} \text{ cm/s}$ ，质量好的沥青混凝土可以做到密不渗水；沥青混凝土还有较好的塑性和柔性，能适应坝体的沉陷变形，对已产生的裂缝，尚有一定的自愈能力；沥青混凝土防渗墙结构简单、工程量小、施工快速，还易于修补。自1957年格里布坝进行了全面的检查和鉴定后，充分肯定了沥青混凝土斜墙的可靠性和耐久性，由于对沥青混凝土性能的深入研究，使防渗墙的结构更为安全合理，同时研制和开发了沥青混凝土施工机械，使沥青混凝土斜墙实现机械化施工成为可

能。这些客观条件的形成，使沥青混凝土防渗墙的技术经济效益大大提高，因此在50年代后期，以欧洲为中心，出现了兴建沥青防渗墙工程的高潮。日本自1968年建成供发电的大津歧沥青混凝土斜墙坝以来，先后又建成东富士蓄水池、深山坝、津川发电所上池、沼原发电所调节池等大型工程，在理论研究和施工技术等方面，均取得很大的进展。

沥青混凝土斜墙的断面构造，通常由封闭层、防渗面层、排水层、防渗底层及整平胶结层组成，称为复式断面构造，其特点是对斜墙渗水情况可以进行有效地监测，以保证工程的安全运用。早期的工程采用复式断面构造的较多。由于技术的发展，使沥青混凝土斜墙的可靠性进一步提高，不设排水层和防渗底层的简式断面构造在工程上被逐渐采用。由于施工技术水平的限制，为了提高防渗效果，防渗层采用了多层铺筑的方法。如美国1957年建成的蒙哥马利 (Montgomery) 坝、挪威1963年建成的威尼莫 (Venemo) 坝，均为简式断面构造，防渗层分三层铺筑；西德1969年建成的格兰 (Grane) 坝、1970年建成的尼达 (Nidda) 坝，简式断面的防渗层则分两层铺筑。随着施工机械的改进，施工技术水平的提高，无缝铺筑方法的实现，为防渗层一次铺筑创造了条件，如西德累奇 (Lech) 发电厂坝12cm厚防渗层即一次铺筑完成，国外已有数十项工程采用了新的单层铺筑工艺。单层铺筑使施工大为简化，节省了材料，而且还改善了斜墙的稳定性的，是一个值得注意的发展趋向。我国已建成的陕西石砭峪水库沥青混凝土斜墙坝，坝高已达85m。

沥青混凝土防渗墙的另一形式为心墙，最早建成的沥青混凝土心墙坝是1949年葡萄牙的瓦勒·多·盖奥 (Vale de Gaio) 坝。心墙设置在坝体内部，不易检查，如发生

渗漏处理较为困难，因此沥青混凝土心墙的发展比斜墙更为迟缓，目前在数量上也还少于斜墙。但正因为心墙处于坝体内部，受到坝壳的保护，抗震能力提高，受温度的影响小，适应基础和坝体变形的能力较好，通常基础处理的工作量也较小，而且心墙施工工艺比斜墙简单得多，特别是在高土石坝中，采用沥青混凝土心墙往往较为有利。1978年建成的香港高岛水库，沥青混凝土心墙东坝高达105m。从目前技术发展的趋势看，在今后一段时期内，沥青混凝土心墙可能会有较大的发展。

我国在50年代，甘肃玉门和新疆奎屯等地区已将沥青混凝土用于渠道衬砌，上犹江水电站混凝土坝上游面采用了沥青砂浆防渗层，以后在一些混凝土坝的裂缝处理中，相继被采用。但在土石坝工程中，最早采用沥青混凝土的可能是1971年黑龙江三道镇和吉林上河湾等水库采用的渣油混凝土护坡，1973年、1974年又先后在黑龙江白河、甘肃党河等水库修建了沥青混凝土心墙坝，1974、1975年辽宁十二台子、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，对原坝体进行全面或局部的防渗处理，均取得了很好的效果。吉林、安徽等省对沥青混凝土用作过水土坝溢流护面的研究成果，在工程上已实际应用。1976年建成的陕西正岔、北京半城子等水库是我国最早兴建的碾压式沥青混凝土斜墙工程，现在已建工程达数十项。我国水工沥青技术起步较晚，十几年来经历了由社办、县办工程发展到省办工程，由人工、半机械化施工发展到机械化施工的过程，在理论研究和工程实践方面都有了很大的进展，辽宁碧流河水库和湖北车坝一级水库沥青混凝土防渗墙的施工，更有力地促进了我国水工沥青混凝土施工技术水

平的提高和专业化施工队伍的建设。最近建成的浙江牛头山水库、桥墩水库沥青混凝土斜墙工程，施工机械化的程度已达到更高的水平。沥青混凝土防渗墙已逐步用于大型的重要工程^①，大规模的工程实践必将促进我国水工沥青技术进一步的发展，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]。

第二节 沥青混凝土的分类和施工方法

将沥青、矿料与掺料等原材料按适当比例配合比，拌和均匀后成为沥青混合料，再经过压实或浇筑等工艺成型，成为沥青混凝土。沥青混凝土是一种对温度较为敏感的材料，低温下它具有与弹性材料相似的性质，在较高温度下它又表现出明显的粘弹性或塑性的性质。沥青混凝土的性质不仅随温度变化，而且与工作条件有密切的关系，还取决于所用原材料的特性、配合比以及施工质量等因素。因此，在沥青混凝土防渗墙的试验、设计和施工过程中，必须充分考虑到这些特点。

(一) 沥青混凝土的分类

(1) 按所用矿料的最大粒径的不同，分为粗粒沥青混凝土（最大粒径35mm）、中粒沥青混凝土（最大粒径25mm）、细粒沥青混凝土（最大粒径15mm）、砂质沥青混凝土（最大粒径5mm）等。

(2) 按用途不同，分为道路沥青混凝土、水工沥青混凝土等。在水利工程中，沥青混凝土主要用于堤岸护坡、渠

① 蒋长元、杨全民，我国水工沥青工程调查，水工沥青技术，1983年第1期、1984年第1~4期。

道衬砌、水工结构物的防冲护面、填筑坝和蓄水池的防渗衬砌等。

(3) 按孔隙率的大小, 分为密级配沥青混凝土(孔隙率小于5%)、开级配沥青混凝土(孔隙率大于5%)、沥青碎石(孔隙率大于15%)。密级配沥青混凝土中细骨料、填料用量多, 沥青用量也较高, 质地较为均匀密实, 通常用作防渗层材料; 开级配沥青混凝土和沥青碎石, 具有较大的孔隙率, 主要用作整平胶结层和排水层材料。

(4) 按施工工艺不同, 分为碾压式沥青混凝土、浇筑式沥青混凝土等。碾压式沥青混凝土须经摊铺、碾压等工艺成型。浇筑式沥青混凝土的沥青用量大、流动性好, 浇筑后可以自密成型。它们在水利工程中均得到应用。

(二) 沥青混凝土的施工方法

沥青混凝土的施工, 有热法和冷法两种。热法施工是将原材料加热进行拌和, 在沥青混合料具有适当粘度的温度条件下进行摊铺、压实或浇筑。冷法施工是采用乳化沥青配制冷沥青混合料, 在常温条件下进行施工。我国沥青防渗墙工程主要采用的是热法碾压施工方法, 热法浇筑式施工方法也在部分工程上被成功地应用。至于冷法施工, 国外已有采用阳离子乳化沥青来建造防水层, 用于气候适宜的地区, 我国道路工程中也正大力推广应用, 但水利工程中仍处于试验阶段。据初步的试验结果, 防渗层采用冷法施工存在的主要技术问题是冷沥青混凝土内部残余水分蒸发后形成较多的孔隙, 用于防渗工程后, 其渗透系数过大, 达不到规定的要求。如果这个问题能从原材料的配合组成、特殊掺料的应用以及施工工艺改进等方面得到一定程度的解决, 冷法施工将在水利工程中得到应用。

第二章 石油 沥青

沥青材料分为地沥青和焦油沥青两大类。

地沥青按产源分为天然沥青和石油沥青。天然沥青是石油渗入地表经长期暴露和蒸发后的残留物，天然沥青最著名的产地为中美洲的特里尼达沥青（Trinidad）湖，我国新疆虽也有沥青矿，但开采困难，产量很少，工程上很少应用。石油沥青是将精制加工石油所残余的渣油，经适当的工艺处理后得到的产品。根据工艺处理的不同，分为直馏沥青、氧化沥青、裂化沥青、溶剂脱沥青及调合沥青等，现在工程上采用的绝大部分为此类产品。

焦油沥青是煤、木材等有机物干馏加工所得的焦油经再加工后的产品，焦油沥青在水工沥青混凝土中较少应用。

第一节 石油沥青的化学组成及结构^[2]

一、石油沥青的化学组成

石油沥青是复杂的碳氢化合物与其非金属衍生物组成的混合物，是石油中分子量最大、比重最大和结构最复杂的成分。元素分析的结果表明，从石油沥青的化学成分难以找出它与技术性质的直接关系。由于分析技术的限制，要将沥青中各种化合物的单体分别分离出来，目前还难办到。因此，只能利用沥青对不同有机溶剂的选择性溶解和对不同吸附剂的选择性吸附的特性，将一些化学性质和胶体结构相近的化

合物分离出来，称之为“组分”。沥青组分分析的方法很多，如果分离条件不同，所得组分的性质及数量亦随之改变。根据国产沥青的特点，目前我国多将沥青分为以下组分。

(一) 油分

油分为粘性液体，相对密度(比重)小于1，分子量200~700，是沥青中分子量最小的组分。油分含量因沥青种类而异，道路沥青中一般为40%~50%，建筑沥青中含量较少。油分主要起柔软和润滑作用，赋予沥青以流动性，是优质沥青不可缺少的组分。

(二) 胶质

胶质为半固体粘稠物质，相对密度略大于1，分子量500~3000。其性质介于油分与沥青质之间，但更近于沥青质。胶质能溶于各种石油产品，化学稳定性差，在加热、阳光与空气作用下易氧化缩合，部分地转变为沥青质。但不同来源的胶质，氧化生成沥青质的趋势有很大的差别。胶质是沥青中的强极性组分，能提高沥青的粘附性，而且对沥青的粘弹性和胶体溶液的形成具有重要的作用。优质沥青必须有适量的胶质组分。

(三) 沥青质

沥青质为黑色易碎的粉状固体，相对密度大于1，分子量通常大于1000。沥青质没有固定的熔点，加热到300℃以上分解生成气体和焦炭。沥青质含量一般为10%~20%，作为胶体溶液的核心分散在其它组分中。沥青质的含量增多，沥青的软化点提高，感温性改善，使沥青在较高温度下仍具有较大的粘度。沥青质也是优质沥青必备的组分。

(四) 蜡

蜡与油分均为低分子烷烃。含蜡油经稀释、冷冻、结晶、过滤后，固体部分为蜡，液体部分为油分。石油中的蜡按其物理性质又分为石蜡和地蜡。地蜡是微晶蜡，坚韧且有一定的塑性，石蜡则性脆易裂，因此蜡对沥青使用性质的影响极其复杂，至今尚无一致意见。虽然有人认为沥青的质量与含蜡量没有直接关系，但这一论点未被普遍接受。现西欧许多国家对沥青的含蜡量仍有限值的规定，而且是沥青价格的主要参考指标之一。通常认为地蜡对沥青质量影响不大，但石蜡的存在将降低沥青质量，使针入度增大，软化点、延度以及粘附性降低，使沥青在低温下易于开裂。

碳青质是沥青质经加热和氧化后所生成的难溶性物质，其外观与相对密度虽与沥青质相近，但不能在苯中溶解。道路沥青中的碳青质含量一般不超过0.2%，对沥青性质影响较小。

油焦质是高度缩合的、含氢量少的类似焦炭的物质，石油沥青中一般不含油焦质，即使是裂化渣油生产的沥青，其含量也不超过2%，故影响不大。

二、石油沥青的胶体类型

为了对沥青的物理力学性质作出合理的解释，可视它为胶体体系。分散相是以沥青质为核心在其周围吸附胶质所形成的胶团，分散介质为油分。按胶体状态的不同，可将沥青分为三种类型。

(一) 溶胶型

当沥青质含量较少而分子量又与胶质相近时，虽然有胶团形成，但数量少且在油分中高度分散，近于真溶液，故成为溶胶型胶体，它服从牛顿定律，在很小的剪应力作用下即

发生变形。溶胶型沥青对温度很敏感，高温下是粘度很小的液体，低温下流动性的降低不是由于内部形成网状结构，而是由于溶液粘度的增大，故性质较脆，在相同软化点时，其针入度值最小。由芳香基石油炼制的石油沥青多属此类。

（二）凝胶型

当沥青质含量较多而无足够的油分时，分散介质的溶解能力不足，将生成较大的胶团，由于分子的聚集而形成网状结构，成为凝胶型胶体，表现出非牛顿液体的性质。凝胶结构具有结构粘度，当施加较小荷载时，在一定时间内具有弹性变形，并几乎可完全恢复。当荷载增大超过屈服值或延长荷载时间，将出现不能完全恢复的变形和粘性变形。

沥青加热过程，随着温度的升高，油分的溶解能力增大，沥青质的吸附能力降低，胶团核心沥青质吸附的胶质将逐渐消失于油分中，从而转变为真溶液成为牛顿液体。凝胶型沥青的感温性小，其粘度受温度的影响也较小，氧化建筑沥青属此类型。

（三）溶胶-凝胶型

当沥青质含量适宜并有较多的胶质时，沥青中形成的胶团相距较近，胶团之间具有一定的吸引力，要将它们分开需要一定的力，但这些胶团又不足以形成连续的网状结构，这种介于溶胶和凝胶二者之间的结构，称为溶胶-凝胶结构。大多数优质道路沥青属此类型。

第二节 石油沥青的技术性质^[2、3、4]

一、石油沥青的三大技术指标

目前世界各国多以针入度、软化点及延度作为评价沥青