

Wolfgang Haug
Erich Schöniar

[联邦德国] 沃尔弗冈·豪克 埃里克·舍尼恩 著
傅元茂 盛得举 段杰辉 译



水工结构 沥青设计与施工

ASPHALT IN HYDRAULIC
STRUCTURES DESIGN
AND
APPLICATION



水利电力出版社

China Water Resources and
Electric Power Press

Beijing 1989

Hydraulic Model Practice

水工模型试验

第二版

水利水电科学研究院 南京水利科学研究院

水利电力出版社

责任编辑 汤鑫华
封面设计 赵景伟
技术设计 金鸿基

Wolfgang Haug Erich Schönian
ASPHALT IN HYDRAULIC STRUCTURES
DESIGN AND APPLICATION

水工结构沥青设计与施工

〔联邦德国〕沃尔弗冈·豪克 埃里克·舍尼恩 著

傅元茂 盛德举 段杰辉 译

*

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

民族印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 8.5印张 207千字

1989年4月第一版 1989年4月北京第一次印刷

印数 0001—7000册 定价 16.50元

ISBN 7-120-00715-7/TV·232



沃尔弗冈·豪克

特许工程师

斯特拉堡地下工程有限公司经理
斯特拉堡建筑股份有限公司理事会成员

Wolfgang Haug
Dipl.-Ing.

Managing Director of
STRABAG TIEFBAU GMBH



Member of the Executive
Board of **STRABAG BAU-AG**

Siegburger Straße 241 ** 5000 Köln 21 ** Fed. Rep. of Germany

Telephone ++49-221-824-2490 *** Telex 887 105-80 stk d

Telefax ++49-221-824-2628



埃里克·舍尼恩

工学博士

水工沥青应用顾问工程师

Erich Schönlan

Dr.-Ing.

Consulting Engineer

for the Use of Asphalt in Hydraulic Engineering

Hexentwiete 27 ** 2000 Hamburg 56 ** Fed. Rep. of Germany

Telephone ++49-40-814943 or 813433 *** Telex 0505 990-347

Telefax ++49-40-813431

序

《水工结构沥青设计与施工》的中译本即将由水利电力出版社出版问世，对此，我表示热烈的祝贺。

沥青作为一种建筑材料，以其特殊的不透水性、可塑性和耐久性而著称，因此特别适用于水利和道路工程，其应用历史甚至可以追溯到五千年以前。本世纪以来，其应用更得到飞速发展。但是论述沥青材料在水工结构中的应用的专门著作却并不多见，这不能不说是一个缺憾。

这本书是联邦德国斯特拉堡公司的两位著名专家、中国人民的朋友豪克先生和舍尼恩先生特为我国工程技术人员编写的有关沥青材料及其在水工结构上的应用的专著。斯特拉堡公司是国际上著名的沥青工程专业公司，他们在沥青材料的研究和应用方面，做出过很大贡献。他们发表了很多研究报告、发展了专用设备、承建过许多工程；积累了丰富的经验。为了发展与我国的友好合作关系，还派人来我国进行讲课和咨询，现在又专门为我国工程技术人员编写这本具有特色的学术著作，这件事本身就表示了两国科技人员间的友谊，这是首先值得我们庆贺的事。

中国在应用沥青材料方面也有很久历史。建国以来，随着我国石油工业的发展，水工沥青技术不论在科研或应用方面也获得一定的成就，但和国际先进水平相比仍有相当差距。人们在大型永久性水工结构中应用沥青材料仍感到陌生或有顾虑。本书深入浅出地全面介绍了沥青材料及其各种制品的特性与规格，阐述了设计理论与方法，特别是以实例详细介绍了沥青材料在各种水工结构中的应用，包括具体的构造、施工工艺和维护修理技术。可以说，本书集教科书与手册为一体，仔细阅读本书将对沥青技术的现状和已取得的经验有一全面的认识，这无疑对中国的水工技术人员有很好的参考价值。

中国正在进行着空前规模的水利水电建设，我们将修建大量的堤坝、水库、渠道、泵站和电厂。为了提高水平促进友谊，我们欢迎来自所有友好国家的援助和合作。在水工结构设计中，因地制宜、大胆地采用新材料又是优化设计、缩短工期和降低造价的重要措施之一。因此，我们希望本书的出版能够推动沥青材料在中国水工建设中的应用，并为发展两国人民的友谊和合作做出贡献。

能源部水电总工程师
中国科学院学部委员
中国水力发电工程学会副理事长
中国大坝委员会副主席
国务院学位委员会委员

潘家铮

1988年11月 北京

PREFACE

The Chinese version of "Asphalt in Hydraulic Structures Design and Application" is published by China Water Resources and Electric Power Press. Here, I wish to express my warm congratulations on it.

As a sort of construction material, asphalt is especially suitable to be used in hydraulic structures and road constructions with its unusual features of impermeability, plasticity and durability. The application of asphalt in construction field has been developed rapidly in this century. But the history of using asphalt could be traced back to 5000 years ago. However it is still not easy to find a reference book among the many publications, in which the application methods of asphalt in hydraulic structures are introduced.

To meet the needs of Chinese engineers, we have now this book on hand, written by two famous experts Mr. Wolfgang Haug and Mr. Erich Schönlan, in Strabag Bau-AG, West Germany. Both authors are our friends. Strabag Bau-AG is a world-famous company, specialized in asphalt engineering. They have given a great contribution in researching and using of asphalt material, published a lot of research papers, developed special equipments, completed many engineering projects and accumulated valuable experiences. Strabag Bau-AG has sent several experts to China giving seminars and consulting services. And her experts have written this book for Chinese engineers. Such friendly relationship between China and West Germany and the friendship between the engineers of our two countries is worth to be congratulated.

In China, we also have the experiences of using asphalt materials for a long time. Since the founding of new China, along with the development of petroleum industry, asphalt technology has been developed both in research works and in practical usage at hydraulic structure sectors, but our technique is still behind that of the world. Chinese engineers often feel not quite familiar and not so certain while using asphalt materials in large and permanent hydraulic structures. In this book, there are overall descriptions of asphalt materials and its products, their specifications and features, including the introduction of designing theories and methods. In this book, you may also find various useful examples giving the details about how to use asphalt in different hydraulic structures, with detailed structures, construction technique and maintenance technology. This book, I should say, functions not purely as a textbook, but also serves as a handbook. Obviously, it is a very valuable reference book for Chinese engineers to get familiar with the up-to-date asphalt technology and the successful experiences.

At present, China has an ambitious program of water resources and electric power development. We are going to build a number of dams, reservoirs, channels, pumping sta-

tions and hydropower stations. We warmly welcome all kinds of assist and cooperations from any friend country, to improve our technical skills and strengthen friendship. Our main purpose in hydraulic structures design is to make optimal design, shorten construction period and lower total construction cost. One of the important measures is to try to use new materials according to site conditions. I sincerely hope that this reference book will not only promote the application of asphalt materials at hydraulic structure constructions in China, but may also contribute to the continued development of friendship and cooperations between the people of both countries.



Pan Jiazheng

Chief Engineer for Hydropower, Ministry of Energy

Member of Academic Council, Chinese Academy of Sciences

Vice President, Chinese Society of Hydroelectric Engineering

Vice President, Chinese National Committee on Large Dams

Member of Academic Degree Committee, State Council, China

Nov. 1988, Beijing

译 者 的 话

沥青材料作为水工建筑物防渗止水构件材料应用在我国已有很长历史，但是用作大面积防渗衬砌还是近 20 年来随着我国石油工业的崛起而发展起来的一种新兴的工程技术。在这期间我国水工沥青技术有了很大的发展，在理论研究和应用技术方面都取得了一定的成就。据不完全统计，已建成的沥青混凝土斜墙工程有 27 项，心墙工程 10 余项，其他各类水工沥青工程近 70 项，其中包括陕西省石砭峪水库 83m 高的沥青混凝土斜墙坝，目前正在设计的浙江省飞云江上的高达 126m 珊溪工程沥青混凝土心墙坝，也是当前世界上有数的几座 100m 以上的高坝之一。在施工技术方面也日趋机械化，浙江省牛头山沥青斜墙工程，在专用施工机械的研制和配套方面也达到较高水平。但是同目前发达国家相比，由于我国石油工业的发展起步较晚，在石油沥青的应用科学技术方面还存在一定的差距。

联邦德国的沥青应用科学技术在世界上处于领先地位。60 年代初，他们首次对丢坝的沥青混凝土心墙完成了运行工况的观测，使人们进一步了解到沥青心墙在运行状态下的应力应变情况，为进一步改进设计提供了依据。此后联邦德国在国内外相继开始建造更高的沥青心墙坝。该国的斯特拉堡建筑股份有限公司（STRABAG）在沥青防渗衬砌的应用技术理论和施工工艺设备方面进行了大量试验研究工作，取得了一定成就；1950 年以来先后在国内外完成了许多工程，积累了丰富经验。该公司 1985 年曾派人来我国进行讲学和咨询。本书——《水工结构沥青设计与施工》是该公司的两位沥青专家特为我国工程技术人员编写的一本有关沥青材料及其应用的专著，内容全面，论述简练，理论与实践结合紧密，颇有使用价值。本书在翻译、出版过程中深得该公司和两位作者的帮助，在此谨表衷心感谢。

参加本书翻译工作的有段杰辉（一、二、十、十一、十二、十三章）、盛德举（五、六、九章）和傅元茂（三、四、七、八章）等，由傅元茂统一校订。后经参与翻译工作的同志互审，最后又由傅元茂审订完稿。在翻译及编辑加工过程中曾得到金炎、汤鑫华等同志的帮助，在此也一并表示感谢。

由于我们水平所限，谬误之处在所难免，请读者给予指正。

译 者

1989 年 1 月

前 言

古代的文献清楚地记载着，5000 多年以前人们就开始将沥青用于各种各样的用途。在尼罗河与印度河之间，特别是在幼发拉底与底格里斯河段及支流地区，沥青由于其不透水性及粘合性，很早就被收集用于水利工程。

今天，其中的一些应用实例已经被发掘出来，并得到了很好的保护。如著名的通天塔，虽历经了 5000 年，其塔壁上的沥青砂浆依然存在。用作浴室地板、阴沟、地下下水道、水池、河堤、隔层、坝护面和渠道衬砌的也是如此。历经如此漫长的岁月而不失效，沥青的耐久性由此可见一斑。

在上世纪，欧洲的天然沥青开始用作路面材料。这是一种原油中密度最大的石油沥青与矿物质的混合物。其中的矿物质，特立尼达(Trinidad)沥青湖所产的为粉细状的，或为多孔石吸附的。

当加热摊铺时，这些混合物可形成一个平滑、不粘尘的路面；同时，还可防水，耐用性好，因此使得当时的水工技术人员对应用沥青材料的兴趣日益加浓。在欧洲，沥青用于水利工程的第一例子是 1893 年在意大利修建的海拔约 1900m、高 18m 的 Diga di Codelago 填筑坝，它有一层厚 5cm、用置于水泥砂浆上的石块防护的沥青玛蹄脂护面。

自此以后，沥青大量用于水利工程的各个部分。其中肯定有些小的挫折，但总的看来，这种材料使用得很成功，并对水工结构的耐久与安全性发挥了作用。

本书的目的，不是要介绍最近 60 年中水利工程沥青施工的全部历史。这些，W.F. VAN ASBECK 男爵在他的两卷本《水利工程沥青》中早就作了介绍，一些国际组织编辑的小册子和许多专家写的出版物也有论及。

我们要做的是描述沥青技术的现状并展示至今所获得的经验。沥青在土木工程中已经变成了一种很常见的建筑材料，在水利工程中尤为如此。

对沥青的各种拌合物来说，有一点是相同的——可塑性。沥青之所以不同于绝大多数其他建筑材料，也正是在于可塑性这一点。当使用沥青时，它可保证结构有一定柔性。塑性是由粘合剂沥青引起的。沥青的塑性不仅受时间而且受温度的影响，短时荷载可使沥青产生弹性变形，长时荷载则会使之产生粘塑性变形甚至流变。

关于沥青的这一特性，那些在设计中必须考虑结构构件塑性的土木工程师们应时刻注意到并牢记在心。对于刚性材料比如钢材、水泥混凝土的弹性规律，不管这些材料是自成构件还是用于组合构件，土木工程师们是人人皆知的。遵从弹性变形规律，单个的结构构件和整个结构都可获得高度的安全性。

直到现在，各国的设计师有时对在高坝和大型水库中使用沥青作不透水构件也还缺乏必要的信心。其实从今天的岩土力学知识看，沥青是可以使用的。

每一个人，不只是水利工程师，都知道使用其他不透水材料的水工结构失效时会立即产生灾难性后果。但直到今天，水利工程中任何形式的沥青结构从没有发生过根本性失效，因此实在没有理由反对更为广泛地使用沥青。

因此，本书的第二个目的，是要通过最新的沥青使用标准来说明由于其在地下和结构沉陷时所具的独特优点——变形，沥青应是水利工程中一种更受重视的安全建筑材料。

本书第三个也是主要的目的，是要告诉读者：既能使各种规模、型式的水工结构的构件保持良好性能、又能使水利工程获得耐久性的沥青施工及制品的设计方法，现代技术不仅存在，而且应用甚为简便。自然，这并不排除在其应用过程中取得经验后，设计者和施工者对其加以改进的必要性。

为实现上述宏大目标所必须的设备已经问世。这种设备的技术质量、效率和经济性已获多次检验，并不断得到改进。

现在，所有国家都有了沥青道路。没有人能够设想没有沥青如何去对付交通的增长。产油和炼油的国家拥有了沥青这一建筑材料资源，也就具有了在水利工程中使用的先决条件。

如果说沥青已经在道路建设中使用，那么部分必需的机械，如拌合厂和碾压机是很有效的。沥青作为一种建筑材料是当之无愧的，而且具有优异的物理和化学性质，我们尽可以放心大胆地使用它。

沃尔弗冈·蒙克

埃里克·舍尼恩

1988年2月于科隆和汉堡

目 录

序	
译者的话	
前 言	
第一章 术语	1
第一节 沥青及其术语	1
第二节 沥青结构	2
第三节 沥青结构构件	2
第四节 土工结构构件	3
第五节 通用术语	4
参考文献	4
第二章 土工沥青制品	5
第一节 不透水压实材料	5
第二节 透水压实材料	5
第三节 透水非压实材料	6
第四节 砂质沥青玛蹄脂	6
第五节 密实块石沥青	7
第六节 接缝止水混合物	7
参考文献	7
第三章 材料	8
第一节 沥青	8
第二节 矿物骨料	8
第三节 矿物填料	10
第四章 物理性质	11
第一节 沥青	11
第二节 沥青混凝土	14
参考文献	20
第五章 配合比设计及混合物的性能和规格	21
第一节 沥青混凝土	21
第二节 沥青粘结层拌合物	24
第三节 沥青砂浆	24
第四节 砂质沥青玛蹄脂	24
第五节 沥青玛蹄脂密封涂层	24
第六节 密石沥青	24
第七节 贫沥青砂浆	25

第八节 粗石沥青	25
第六章 外部荷载及其作用	26
第一节 力学作用荷载	26
第二节 化学和生物作用	26
第三节 风化作用	27
参考文献	27
第七章 坝——综述	28
第一节 沥青混凝土斜墙和心墙	28
第二节 沥青斜墙	28
第三节 沥青心墙	29
参考文献	35
第八章 沥青斜墙	36
第一节 坝的设计	36
第二节 沥青结构设计	37
第三节 沥青混凝土防渗层的厚度设计	38
第四节 沥青斜墙与水泥混凝土斜墙厚度的比较	39
第五节 混凝土斜墙和沥青斜墙的造价对比	40
第六节 夹层式斜墙	42
第七节 沥青斜墙与其他结构物的联结	43
第八节 铺筑和压实设备	49
第九节 应用技术	55
参考文献	56
第九章 沥青心墙	58
第一节 沥青心墙坝的一般设计原理	58
第二节 坝体中间过渡区	59
第三节 直立心墙和斜心墙	60
第四节 沥青心墙厚度设计	60
第五节 坝壳设计	61
第六节 心墙防渗性检查	61
第七节 坝壳与心墙的量测	64
第八节 沥青心墙的特殊用途	68
第九节 沥青心墙与相邻结构的联结	73
第十节 沥青心墙和沥青斜墙的过渡区	81
第十一节 软心墙和沥青心墙的过渡区	82
第十二节 填筑、压实设备及其应用技术	83
第十三节 沥青心墙的施工量测和控制	86
参考文献	87
第十章 水库及贮液池	90
第一节 综述	90

第二节	抽水蓄能水库	90
第三节	挡水水库	94
第四节	人工湖	96
第五节	污水池和其他废液池、沉淀池	98
第六节	垃圾堆积场边坡和底部的止水	98
	参考文献	99
第十一章	渠道、运河、河道	100
第一节	发电厂渠道	100
第二节	通航运河	104
第三节	灌排渠道	109
第四节	河道堤岸	109
	参考文献	109
第十二章	海岸防护	111
第一节	沥青拌合物组成	111
第二节	沥青结构构件	112
第十三章	管理、维护、破坏形式和修复	114
第一节	维护	114
第二节	危害预防	114
第三节	修复方法	115

List of contents

Foreword by Pan Jiazheng
Introduction by the translators
Preface by the authors

Chapter 1	Glossary of technical terms	1
1.1	The terms bitumen and asphalt	1
1.2	Asphaltic structures	2
1.3	Elements of asphaltic structures	2
1.4	Elements of hydraulic structures	3
1.5	General terms	4
Chapter 2	Asphaltic products used in hydraulic structures	5
2.1	Impermeable compacted elements	5
2.1.1	Asphaltic concrete—hydraulic type	5
2.1.2	Sand asphalt—hydraulic type	5
2.2	Permeable compacted materials	5
2.2.1	Asphalt binder course	5
2.2.2	Drainage asphalt	5
2.3	Permeable not—compacted materials	6
2.3.1	Open stone asphalt	6
2.3.2	Lean bitumen—sand	6
2.4	Sand mastic asphalt	6
2.4.1	Stone layer grout	6
2.4.2	Dense broken stone layer	6
2.4.3	Sand mastic lining	6
2.4.4	Seal coat mastic asphalt	7
2.5	Dense stone asphalt	7
2.6	Joint—sealing compounds	7
Chapter 3	Materials	8
3.1	Bitumen	8
3.2	Mineral aggregate	8
3.3	Mineral filler	10

Chapter 4	Physical properties	11
4.1	Bitumen	11
4.2	Asphaltic concrete	14
4.2.1	Fatigue	14
4.2.2	Deformation	17
Chapter 5	Mix design, mix properties and specifications	21
5.1	Asphaltic concrete	21
5.2	Asphalt binder course mix	24
5.3	Sand asphalt	24
5.4	Sand mastic asphalt	24
5.5	Seal coat mastic asphalt	24
5.6	Dense stone asphalt	24
5.7	Lean bitumen sand	25
5.8	Open stone asphalt	25
Chapter 6	External loads and attacks	26
6.1	Mechanical loads	26
6.2	Chemical and biological attack	26
6.3	Weathering	27
Chapter 7	Dams—general considerations	28
7.1	Asphalt facings and core walls	28
7.2	Asphalt facings	28
7.3	Asphalt core walls	29
Chapter 8	Asphalt facings	36
8.1	Design of the dam	36
8.2	Design of asphaltic structures	37
8.3	Thickness design of the impervious asphaltic concrete course	38
8.4	Comparison of thicknesses of asphalt and cement concrete facings	39
8.5	Comparison of costs for concrete and asphalt facings	40
8.6	Sandwich type facing	42
8.7	Interfaces of asphalt facings with other structures	43
8.7.1	Interface with cutoff wall	43
8.7.2	Interface to vertical concrete walls	46
8.7.3	Interface with dam top	46
8.8	Equipment for laying and compaction	49
8.9	Application technique	55

Chapter 9	Asphalt core walls	58
9.1	General considerations for dam design	58
9.2	Transition or intermediate zones	59
9.3	Vertical or inclined core walls	60
9.4	Thickness design of asphalt core walls	60
9.5	Shoulders	61
9.6	Checking impermeability of the core wall	61
9.7	Measurements in shoulder and core wall	64
9.8	Asphalt core walls for special uses	68
9.8.1	Outer dams	68
9.8.2	Overtopping of dams with asphalt core walls	68
9.8.3	Upstream face sealing of concrete gravity dams	68
9.8.4	Asphalt core wall as a safety measure against mechanical attack of asphalt facing	68
9.8.5	Anti-earthquake core wall combined with asphalt facing	71
9.8.6	Concrete gravity dam combined with asphalt core wall	71
9.8.7	Asphalt core wall in combination with horizontal impervious asphaltic concrete course	72
9.9	Interfaces of asphalt core walls with other structures	73
9.9.1	Interfaces with foundation	73
9.9.2	Interfaces to crossing structures and spillways	79
9.9.3	Interface to cutoff wall with inspection gallery on the valley flanks	79
9.9.4	Upper end of core wall and roadway on dam	80
9.10	Transition between asphalt core wall and asphalt facings	81
9.11	Transition between soft core and asphalt core wall	82
9.12	Equipment for laying and compaction and application technique	83
9.13	Surveying operations for the construction and controlling of asphalt core walls	86
Chapter 10	Reservoirs	90
10.1	General considerations	90
10.2	Pumped-storage reservoirs	90
10.2.1	Design	90
10.2.2	Equipment and placing techniques	92
10.2.3	Polymer-modified bitumens	93
10.3	Retaining reservoirs	94
10.4	Artificial lakes	96
10.5	Sewage and other waste fluid lagoons, settling basins	98
10.6	Slope and bottom sealings for sanitary land fills	98
Chapter 11	Channels, canals and rivers	100
11.1	Power plants canals	100
11.1.1	Design	100
11.1.2	Equipment and application technique	100

11.1.3	Channels executed	101
11.2	Navigation canals	104
11.2.1	Design	104
11.2.2	Structures for application in the dry.....	105
11.2.3	Structures for application under water	106
11.2.4	Equipment and application technique	106
11.2.5	Canals executed	107
11.3	Drainage and irrigation channels	109
11.4	River dikes and banks	109
Chapter 12	Coastal protection	111
12.1	Asphalt mix composition	111
12.1.1	Asphaltic concrete	111
12.1.2	Sand mastic asphalt	112
12.1.3	Open stone asphalt	112
12.1.4	Lean bitumen-sand	112
12.2	Structural asphalt elements	112
12.2.1	Asphaltic concrete revetments	112
12.2.2	Sand mastic asphalt grouting	112
12.2.3	Open stone asphalt revetments	113
12.2.4	Lean bitumen-sand as a filter or bulk material	113
Chapter 13	Management,maintenance,types of damage and repair	114
13.1	Maintenance	114
13.2	Prevention of damage	114
13.3	Methods of repair	115