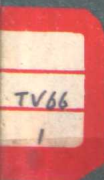


水工建筑物 的 深孔闸门

〔苏〕Г.А.博罗恩斯基

陆望程 罗崇贤译

周兴奎校



水工建筑物的深孔闸门

[苏] Г.А. 博罗恩斯基

陆望程 罗崇贤译

周兴奎校

电力工业出版社

内 容 提 要

本书根据苏联国内外高水头深孔闸门的设计、科研、安装和运行经验,分析了各种型式深孔闸门的特点,阐述了对闸门的基本要求,通过一些工程实例介绍了闸门及其机械设备的各种布置形式及其运行情况,从而对闸门门型的选择提出了建议。本书还就一些新型闸门结构的研制情况,提出了闸门结构的发展趋势。

本书可供从事水工钢闸门设计、制造、安装、运行人员参考,亦可供从事水工布置的设计人员和有关高等院校的师生参考。

Г. А. Полонский

Глубинные затворы гидротехнических сооружений

Издательство «Энергия», 1978, Москва

水工建筑物的深孔闸门

[苏] Г. А. 博罗恩斯基

陆望程 罗崇贤译 周兴奎校

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 5.5印张 120千字

1981年8月第一版 1981年8月北京第一次印刷

印数 0001—2870册 定价 0.90元

书号 15036·4223

译 者 前 言

《水工建筑物的深孔闸门》一书，系苏联《动力》出版社《水工水能丛书》之一，专门论述深孔闸门的选型、布置和结构，基本上反映了苏联七十年代闸门的设计和制造水平，对于我们有一定的借鉴和参考价值。

本书以大量篇幅介绍了苏联六十、七十年代建造的水电站深孔闸门的工程实例，并详细描述了闸门在运用中所出现的问题。把闸门的选型和布置与泄水道的水工布置结合起来加以论述，是本书的一个特点。这样，就明确了深孔闸门设计与泄水道布置之间的关系，突出了泄水道水力条件对深孔闸门的选型和布置的影响。

为了解决高水头闸门的一些特殊问题，苏联着重研制了适应高水头的新型闸门结构、止水装置和滑动支承减摩材料。如跨步式闸门、液压型可变形止水装置及新型减摩材料等，本书均作了介绍。

本书绪言、第一、二、三章由罗崇贤同志翻译，第四、五章和结语由陆望程同志翻译，除结语由罗崇贤同志校核外，其余各章均由周兴奎同志校核。在翻译过程中，得到长江流域规划办公室枢纽设计处及技术情报科的支持，译稿经李毓芬、王既民、赵纯厚同志详加审阅，并提出宝贵意见，在此谨表谢忱。由于译者水平所限，错误在所难免，希望批评指正。

译 者

一九八一年元月

目 录

译者前言

绪 言	1
第一章 深孔闸门运行的水力条件及基本要求	4
第一节 深孔泄水道的分类	4
第二节 深孔闸门的分类	4
第三节 水力条件对深孔闸门运行的影响	5
第四节 对高水头深孔闸门的要求	15
第二章 材料	17
第一节 钢材的主要性能	17
第二节 焊接材料	23
第三节 非金属材料	23
第三章 泄水道深孔闸门的布置及运行经验	27
第一节 布赫塔尔明水电站深孔闸门的布置	27
第二节 布拉茨克水电站深孔闸门的布置	32
第三节 克拉斯诺雅尔斯克水电站深孔闸门的布置	38
第四节 乌斯特-伊里姆水电站深孔闸门的布置	45
第五节 萨彦-舒申斯克水电站深孔闸门的布置	49
第六节 恰尔瓦克水电站深孔闸门的布置	54
第七节 努列克水电站深孔闸门的布置	60
第八节 英古里水电站深孔闸门的布置	70
第九节 苏联北方地区水工建筑物机械设备的布置特点	72
第十节 国外一些水电站的深孔闸门布置	75
第十一节 船闸输水廊道深孔闸门的布置	86
第四章 深孔平面闸门和深孔弧形闸门	93
第一节 概述	93

第二节	滑动闸门	98
第三节	定轮闸门	118
第四节	链轮闸门	123
第五节	弧形闸门	127
第六节	闸门止水装置	137
第五章	圆断面压力管道和泄水道的阀门	149
第一节	概述	149
第二节	蝴蝶阀	149
第三节	球形阀	152
第四节	针形阀	153
第五节	锥形阀	155
第六节	锥形射流针阀	158
第七节	涡轮式泄水阀	159
结 语		162
参考文献		167

绪 言

建设高水头水电站，迫切需要采用能够宣泄大流量的闸门。无论是苏联，还是国外，对于研制这种闸门都是极为重视的。例如，1959年在加拿大召开的第八届国际水力学协会会议上提出的84篇报告中就有30篇是属于研究闸门的；1969年苏联在塔什干召开了第一次全苏高水头深孔闸门会议，会上各设计科研单位、教学机构和制造安装部门提出了38篇论文和报告。

现代的水电站，有些水头高达300米，同时又要宣泄大流量，这就需要采用大断面的泄洪深孔。高水头深孔闸门，无论对建筑物的结构和布置，或是施工期和运行期泄流方式的选择，都有很大影响。

象萨彦-舒申斯克（Саяно-Шушенск）、乌斯特-伊里姆（Усть-Илим）、英古里（Ингурь）、罗贡（Рогун）和其他一些水电站，泄洪孔口用的都是高水头闸门，这些闸门在设计、制造和安装过程中，都曾遇到过一些非常复杂、而又颇为独特的问题。随着水头的增大（100米以上），闸门承受的荷载现已高达100000~150000千牛顿。

为了研制克拉斯诺雅尔斯克（Красноярск）、乌斯特-伊里姆、努列克（Нурек）、恰尔瓦克（Чарвак）和托克托古尔（Токтогуль）等水电站的闸门，曾由特种结构设计局（СКБ）莫斯科水工钢结构设计院（Мосгидросталь）和列宁格勒水工钢结构设计院（Ленгидросталь），全苏水电安装托拉斯查波罗什水工钢结构设计院（Запорожгидросталь），

以及水工建筑物设计院（Гидропроект）和全苏水工科学研究所（ВНИИГ），进行了大量的设计、计算、分析和试验研究工作。通过这些工作，取得了闸门的承载结构在动荷载作用下的设计资料，研制了止水装置、平面闸门的滑动支承和滚动支承、以及弧形闸门的支铰，分析了带有偏心铰的弧形闸门的运动规律，用实验方法确定了各种止水型式的滑动摩阻系数，从而解决了120米以下高水头闸门的设计、制造和安装问题。此外，还为英古里水电站的泄洪深孔研制和安装了一种高水头平面闸门，其运用水头高达180米。

对于比较小的孔口（直径小于3.0米），国外通常是用锥形阀和针形阀作为调节流量的工作闸门；而用蝴蝶阀和球形阀作为事故闸门。对于运用水头小于120米、面积大于20米²的孔口，目前用得最为广泛的工作闸门是大型平面闸门和弧形闸门。

如能研制出适用于200米以上水头的高水头闸门，则不仅能减少工程量和机械设备，而且可以不必采取分层泄流的措施。

但运用水头高了，对于深孔闸门在建筑物中的位置、水力条件、止水装置、结构形式、掺气条件（为了防止空蚀和振动），以及材料、制造工艺、安装精度和运行条件等，也会提出一些特殊的要求。

尤其是为了调节孔口泄量，闸门必须局部开启运用，则提出的要求就更高。为了解决这些复杂的问题，就得对每个枢纽进行全面的综合研究。深孔闸门，根据不同的运行条件，其制造公差均应符合机械制造的现行规定，因而制造厂家应配备有各种先进的现代化设备，以保证提高闸门的加工精度。这些设备是大型退火炉，直径20米的立式车床，行程

12米的刨床，超大型车床和铣床。高压闸门，无论是其结构，还是制造工艺，都应力求可靠、完善。

苏联第十个五年计划已把建设目标转向越来越大型的水利枢纽，这些枢纽的自然条件往往十分复杂，气候严寒。由于水头高、流量大，不论是深孔闸门，还是泄水建筑物的机械设备、金属结构和钢筋混凝土结构，其设计、科研、制造和安装的质量都得相应提高。

本书根据苏联国内外设计、科研、安装和运行经验，分析了高压闸门的各种门型，阐述了闸门的结构要求，并就设备的选择提出了建议，同时也指明了改进闸门的途径。

本书取材于特种结构设计局莫斯科水工钢结构设计院、列宁格勒水工钢结构设计院、全苏水电安装托拉斯、水工建筑物设计院和全苏水工科学研究院等单位有关泄水引水建筑物闸门的设计资料、实验室试验成果和原型观测成果，以及作者本人的经验数据。

本书原稿承Г.С.杜宾斯基（Дубинский）审阅，并提出许多宝贵意见，作者在此表示衷心感谢。

第一章 深孔闸门运行的水力条件

及基本要求

第一节 深孔泄水道的分类

按其承担的任务，可以分为泄洪深孔，向下游供水的放水管，施工导流孔，取水引水管，放空水库的泄水管，船闸闸室充水泄水的输水廊道，以及多用途的泄水道等。

按其所处的位置，可以分为坝内泄水管，通过电站厂房的泄水道，船闸的输水廊道，引水建筑物的输水道，压力前池的输水道，沉沙池的泄水道，节制闸的泄水道，隧洞和输水管等。

按水流流态，可以分为无压泄水道，有压泄水管和混合流态（过渡流态）泄水管等三种。

按其水头，可以分为低于25米的属低水头泄水道，25~50米的为中水头泄水道，50米以上的即属于高水头泄水道。

深孔泄水道一般由进口段、中间段、出口段，以及与下游水流衔接的连接段等四段组成。

第二节 深孔闸门的分类

按其设置的位置，可以分为泄水道的进口闸门，泄水道中部的闸门和泄水道的出口闸门。

按其承受的水头，可以分为小于25米的属低水头闸门，25~50米的属中水头闸门，超过50米的属于高水头闸门。

按其实际作用，可以分为工作闸门，检修闸门，事故检

修闸门和施工闸门。

按其运用方式，可以分为调节流量闸门，运用时，孔口开度不限；非调节流量闸门，运行时，只能全开或全关，仅仅当闸门在动水中启闭时，才允许短暂的局部开启。

按闸门后的过流条件，可以分为闸门后为压力流的闸门，闸门后泄水管内的水流其四周均与管壁接触；闸门后为明流的闸门，此时闸门后泄水管内的水流具有自由水面，自由水面以上的空气压力，可能大于大气压力，也可能小于大气压力。

闸门后为明流的闸门，又可分为淹没式（这时门后的自由水面高于闸门底缘）和非淹没式两种。

按门体的结构特征，可以分为平面闸门，弧形闸门，垂直圆筒闸门，针形阀，锥形阀，蝴蝶阀，圆辊闸门，球形阀，涡轮式闸门和插板门等。

按孔口面积，可以分为小于 8米^2 的属于小型闸门， $8\sim 20\text{米}^2$ 的为中型闸门，大于 20米^2 的属大型闸门。

按操作方式，分为自动操作和非自动操作两种。

按材料种类，又可分为钢闸门和钢筋混凝土闸门两种。

第三节 水力条件对深孔闸门运行的影响

一、水力状态

水工闸门的作用，在于控制水流和改变过水断面面积，以调节流量，因而就导致出现高速水流。

水流通过闸门以后，所有剩余能量实际上都转化为动能，水头愈高，动能愈大。

近代的水电站，有的水头高达300米，泄流量又很大，因而就要采用大断面泄洪深孔。

深孔闸门门底过流流速可达 40 米/秒以上。因而，水流沿程泄水道孔口形状一有突变，就会引起水流压力急剧变化，造成闸门振动，形成涡流，带来很大的负压，并出现空穴。水流绕过障碍或凹槽、流向改变、过水断面缩窄，都会使水流受到扰动，从而引起局部压力下降，当压力低于一定的临界数值，则水流中就会产生空穴。

当水流绕过物体表面的不平整突体时，水流即出现局部分离，空穴也就随之发生。

对空蚀破坏所作的分析说明，平面闸门门槽最易遭受空蚀破坏。门槽一旦损坏，就给平面闸门的调度和运行带来很大困难，甚至无法继续使用。

门槽遭致损坏最常见的原因是泄水道运用不当；采用的门槽形式与具体条件不相适应。

空蚀会使材料破坏，并会损坏闸门构件、埋件和启闭机拉杆之间的连接。因此，在决定闸门及其埋件的结构形式以及闸门的启闭方式时，务必考虑空蚀这一因素。泄水道的空蚀，发展迅速，常常在短时间内就能达到非常严重的程度。因此，目前水工建筑物一般都不允许出现空蚀。

产生空穴的条件，可由称为临界空穴数的指标来估计，譬如，闸门槽附近是否会产生空穴，可根据该形状门槽的临界空穴数来判别。

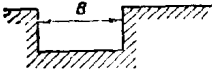
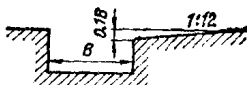
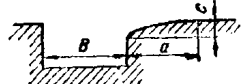
空穴数的大小与平面闸门的门槽形状有关，其数值列于表1-1。闸门局部开启时的临界空穴数列于表1-2。

任一闸门段断面的空穴数，其计算值可参照平面闸门、弧形闸门和闸门段水力计算规程[23]选定，规程[23]中列有详尽的图表和计算公式。

泄水孔和进水口的闸门，运行时的水力学条件是不同

表 1-1

平面闸门门槽的临界空穴数

门槽形状示意图	临界空穴数 K_{KP}	
	下游面	上游面
	2.2	1.0
	0.9	1.0
	0.5	1.0
	0.25	1.0

注 $C = 0.2B$, $a = (3 \sim 5)C$ 。

的，实践证明，泄水孔闸门的运行条件最为复杂。

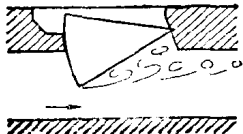
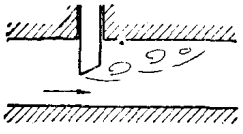
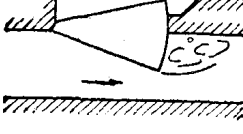
进水口闸门的水力学条件，其特点是下游淹没很深，过流流速较小；而设在泄水道进口和中部的闸门，其特点则表现为下游淹没不大，而且过流情况多数是属于高速自由射流，因此闸门后的压力降低，从而有可能产生空穴。

压力引水管或水轮机压力钢管首部的进水口闸门，运行时通常总是全开的，只是在启闭过程中，闸门才有局部开启状态。而泄洪深孔闸门，在运行时，则大部分时间都处于局部开启状态。

同样，这两类闸门的启闭条件也是不同的。

表 1-2

闸门局部开启时的临界空穴数

闸 门 示 意 图	闸 门 型 式	临界空穴数 K_{KP}
	弧 形 闸 门	1.75
	平 面 闸 门	1.85
	反 向 弧 形 闸 门	1.95

进水口闸门通常都是在平压的条件下进行启闭（水轮机事故闸门在动水中快速关闭的情况除外），而泄洪闸门则总是在动水中操作。

闸门在建筑物中处在什么位置（泄水道进口、中部或出口处），无论对于整个建筑物，还是闸门本身的运行条件，都有很大影响，因为这就决定了泄水道的水力条件。

闸门设于泄水道出口，运行条件最为有利，因为在这种情况下，泄水道总是处在有压状态，而且下游补气充分，这样，闸门启闭时，水力状态就相当稳定。但这样布置是否可能，是否合理，应根据具体情况和当地条件进行论证^[19]。

闸门设在泄水道进口或中部，可能出现过渡性水力状

态，从而引起动水荷载急剧的变化。对于这种情况，必须进行细致的水力学研究，并要增设一些辅助设施，如设置通气管等。

在高水头条件下，泄水道和闸门的过流流速，可达25~40米/秒，甚至更大。布赫塔尔明水电站的运行经验（见第三章第一节）说明，如果对高速水流的影响事先估计不足，建筑物和闸门就都可能遭到破坏^[2]。

凡泄水道边界突变，门槽位置和形状选择不当，或者在衬护和衬砌面上有局部不平整突体，都特别容易引起空蚀。这些部位一经出现空蚀，保护层很快剥蚀，混凝土就会严重破坏。由于水流流态不好，衬护面上会产生一种高频动水压力，使衬护背水面的混凝土受到破坏，并使衬护与混凝土完全脱开。因此，衬护本身必须具有很大的刚度，同时，衬护与混凝土的连接也一定要牢固^[14]。

高水头闸门及泄水道闸门段的运行条件，主要取决于水流流速。高流速会破坏水流的连续性，引起空穴的发展；高流速在流速变化以及水流与固体边界分离的情况下，会产生一股很大的动水压力；高流速还会引起水流的强烈紊动，造成自由水面不稳定，从而使水流的掺气和挟气能力大大增加。

设计高水头深孔闸门之所以特别困难，是因为它有一系列的问题需要解决^[14]：

- 1) 深孔工作闸门局部开启运行问题；
- 2) 闸门全关和局部开启时止水的密封问题；
- 3) 要求闸门不发生振动，闸门及其埋件不得出现空蚀；
- 4) 要保证闸门部件能够进行调整，个别部件(如止水)

便于更换；

5) 闸门的构件、埋件以及各种机械设备必须经久耐用；

6) 泄水孔的钢板衬护在流速高达 40 米/秒，甚至更高的流速下运用，不得出现局部空蚀；

7) 泄水孔的钢板衬护要经久耐用，运行期间要便于检修。

关于平面闸门、弧形闸门和闸门段的结构设计和运行方式，其一般水力计算的内容和方法，已在设计规程^[23]中作了介绍。但对于特别重要的建筑物和闸门结构，则应进行专门的试验研究，以验证设计规程^[23]提出的各项资料和推荐使用的数据，使之更趋准确。

美国对于闸门水力计算，使用的是陆军工程师团和垦务局制订的各项指南和规范^[32]。

西欧一些国家设计闸门，则是依据德意志联邦共和国的国家标准 DIN19704《水工钢结构计算原则》和 DIN19705《水工钢结构设计基本条件》。

闸门水力计算包括下列几个阶段（每个阶段的计算内容取决于所提出问题的具体条件）。

第一阶段：估算闸门段的水流动力特性，校核水流空穴发展的可能性和水流掺气条件，拟订闸门下一步的计算内容，列出所依据的原始资料；

第二阶段：确定计算水头；

第三阶段：确定闸门结构、闸门段衬护、以及其它结构所要承受的平均荷载；

第四阶段：确定各种结构承受的脉动荷载；

第五阶段：选择计算荷载组合和计算荷载特性，进行结

构强度计算。

进行计算所需具备的原始资料有：

1) 管道系统(包括闸门和闸门段)的水力试验或计算成果；各种运用条件的上、下游水位和流量。据此，就能够确定可能出现的各种水力状态，决定闸门段过水断面的最小面积，以保证建筑物能发挥最大的泄流能力；

2) 建坝地区的水文气象资料，尤其是大气压力的计算值，各种情况和各种水头下闸门的连续运行时间；

3) 拟订的管道系统的结构布置，对闸门和衬护的基本要求，以及表面的计算糙率；

4) 对机械设备、结构和建筑物的特殊要求。其中包括闸门后水面以上自由空间的可能余幅，不允许出现空蚀的最大流量和最高水位。

二、通气

深孔工作闸门如果位于管道进口或中部，门后空间就要进行通气，这是消除闸门及其所在管段产生振动、出现高真空、引起空蚀等一类有害现象的有效措施。采取通气措施还能减小动水压力的脉动尺度，保证泄水道出口出流流态的稳定，从而大大改善深孔闸门的运行条件，提高闸门运行的可靠性。

只要门后通气充分，并且通气进口位置正确，就能使闸门后负压大大减小^[4]。

通气孔口的位置，应设在工作闸门后管道顶部靠近闸门下游面的地方。进气管通到这个孔口。在闸门段，若用陡坎使水流局部扩散，陡坎就应沿其全长或局部设置掺气孔和进气管，以保证空气能够进入陡坎后的水流分离区。陡坎结构的形式见图1-1。