

取水输水建筑物丛书

主编 陈德亮

Gates and Hoists

闸门与启闭设备

刘细龙 陈福荣 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要内容包括: 闸门及启闭设备的选型布置; 平面钢闸门的設計方法和实例; 弧形钢闸门的設計方法和实例; 其他类型钢闸门的介绍; 启闭设备类型和特性, 卷扬式和液压式启闭机的构造, 其他类型启闭设备的介绍; 拦污栅及清污设备的布置与选型等。

本书可供水工金属结构专业设计人员在设计中参考使用, 也可作为水利水电专业的学生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

闸门与启闭设备/刘细龙, 陈福荣编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2002

(取水输水建筑物丛书/陈德亮主编)

ISBN 7-5084-1346-6

I. 闸… II. ①刘…②陈… III. ①闸门-基本知识②
闸门启闭机-基本知识 IV. TV66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 099812 号

书 名	取水输水建筑物丛书 闸门与启闭设备
作 者	刘细龙 陈福荣 编著
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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	850×1168 毫米 32 开本 10.375 印张 279 千字
版 次	2003 年 3 月第一版 2003 年 3 月第一次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	26.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序

我国是一个人均水资源紧缺的国家,加之水资源在时间和空间上分布不均,导致水资源供需矛盾更加尖锐。缺水已成为我国经济和社会进步的重要制约因素。努力实现水资源的优化配置,满足经济社会对水资源的需求,以水资源的可持续利用来支撑经济社会的可持续发展,这是建设水利事业的根本目标和基本任务。

1949年新中国成立以来,我国的用水状况发生了很大变化。新中国成立初期,当时水利建设的主要任务是发展农业,解决粮食问题。1949年全国总供用水量仅1000余亿立方米,而当时农业用水就占全部用水量的90%以上,城镇工业用水比重很低。随着经济及社会的发展,特别是改革开放20年来,由于城市化进程的加快,这种用水状况有了很大变化。到1997年,全国总用水量已达5566亿 m^3 ,其中农业用水占70.4%,而城市生活和工业用水已占到总用水量的30%。这一趋势是改革开放以来经济社会发展的必然结果。从今后的发展看,农业虽是用水大户,但农业用水的重点是解决节水灌溉,提高用水效率的问题。据专家分析,如果将农业用水的平均有效利用系数从目前的0.43提高到0.55~0.60,则在不增加农业用水的情况下,完全能保证2030年人口达16亿时的粮食安全。如果再加上农业结构的调整等其他因素,农业用水总量将基本不会有大的改变。中国未来的供水矛盾将集中在城市,供水将主要用于发展城市、发展工业及保护生态与环境。例如,南水北调工程的供水原则就是以城市供水为主,兼顾生态及农业。

实现水资源的优化配置有各种手段,而工程手段就是其中之一。无论是资源性缺水还是工程性(经济性)缺水,其最主要的工

程手段都是在水源处修建取水工程，然后通过输水工程送到用水处。有时，为了把丰水地区的水资源调到缺水地区，还需要实施跨流域的远距离调水，对水资源进行地域上的再配置。在 21 世纪，跨流域调水将是中国水利建设的一大特点。国内外实践经验表明，采用调水工程这一工程手段来改善水资源的不利状况，是促进缺水地区经济发展的重要举措。大的调水工程往往还成为国家发展战略的重要组成部分。我国南水北调工程就是改善国家资源配置、支持经济社会发展的基础性战略工程。此外，为了提高用水效率，实施节约用水，合理计价收费，还需采取量水技术设施这一工程手段。针对上述形势发展的需要，我们特组织有关专家编写了这套《取水输水建筑物丛书》，以更好地为水资源的优化配置服务。

《取水输水建筑物丛书》(以下简称《丛书》)共十一个分册，分别为：介绍从天然水源或人工水源取水的《取水工程》、《泵站》(含输水渠道上的多级提水泵站)、《水闸》(含输水渠道上的节制闸、分水闸、退水闸等)及与之配套的《闸门与启闭设备》；为节约用水、科学用水、计价收费而设置的《量水技术与设施》；以及在输水渠道跨越天然或人工障碍时，在渠道上修建的一系列建筑物《渡槽》、《倒虹吸管》、《隧洞》、《涵洞》、《桥梁与基础》及《跌水与陡坡》等。以南水北调中线工程为例，该工程总干渠全长 1200 多公里，途经三省两市，横跨长江、黄河、淮河、海河四大流域，穿越大小河流 219 条，需修建各类取水及输水建筑物 960 多座，仅大型倒虹吸管就有 95 座，渡槽有 49 座；还有大量的涵洞、节制闸、分水闸、退水闸及与之配套的闸门和启闭设备；还有大批桥梁工程；总干渠上的排水建筑物即达 400 多座。如果加上输水分干渠、支渠上的建筑物，其数量十分可观。此外，在各级输水渠道上还有大量的量水技术设施。以上这些，均是我们这套《丛书》的服务范围。

本《丛书》的服务宗旨是：为水资源优化配置，为提高用水效率，为实现水资源的可持续利用服务。

本《丛书》的编写遵循以下基本原则：

1. 《丛书》的服务对象以大学本科毕业的水利工程技术人员为

主；讨论的工程规模以中型为主，兼顾大型（个别分册例外，如《跌水与陡坡》主要以中小型为主）；写法以“实用”为主。在扼要阐明基本原理的基础上，着重介绍工程的布置、结构形式、构造、计算公式的应用，并介绍一些工程实例，便于广大读者在设计中应用和参考。

2. 《丛书》在重点介绍目前常用的理论方法的同时，注意反映国内外的先进技术，用前瞻眼光预计未来经济社会可持续发展的重大决策走向；注意总结经过实践证明，技术上先进、经济上合理、运用安全可靠的先进经验。使《丛书》既具有现实指导性，又有前瞻性。

3. 为了反映计算机应用技术的发展，《丛书》在有关部分介绍计算机辅助设计或计算的有关内容，但不附源程序。

4. 《丛书》不介绍一般性的施工技术内容，但某些与设计关系密切的施工问题，有特色的施工内容或特殊的施工问题，对读者确有参考价值的，要适当编入。

5. 《丛书》面向全国，尽可能注意照顾地区特点。特别是寒冷地区的冻害及多沙地区的泥沙问题，在建筑物的布置、形式、构造及计算方面加以兼顾。

这套《丛书》在编写过程中得到了各方面的大力支持和真诚帮助，在此一并表示衷心感谢。对书中的缺点、疏漏和不妥，恳请读者批评指正。

陈德亮

2002年8月

前 言

水工金属结构设备是水利水电工程中的重要设备之一。近 20 年来我国兴建了大量的水利水电工程，水工金属结构设备的技术水平已有很大的提高，许多大孔口、高水头的闸门和大容量的门式启闭机、液压启闭机等设备相继制造、安装完毕并投入运行，标志着我国水工金属结构设备的技术参数、规模都上了一个台阶，基本达到了国际同类型设备的水平。

闸门与启闭设备作为主要的水工金属结构设备，广泛应用在各类水利水电工程中，对工程的正常运行和充分发挥效益起着十分重要的作用。在取水输水工程中，闸门与启闭设备大量应用在节制闸、分水闸、退水闸及涵洞的进出口等地方，通过闸门灵活可靠地启闭来发挥它们的功能与效益、维护建筑物的安全。

本书为《取水输水建筑物丛书》的《闸门与启闭设备》分册，主要内容包括：闸门及启闭设备的选型布置；平面钢闸门的设计方法和实例；弧形钢闸门的设计方法和实例；其他类型钢闸门的介绍；启闭设备类型和特性，卷扬式和液压式启闭机的构造，其他类型启闭设备的介绍；拦污栅及清污设备的布置与选型等。

本书由广东省水利电力勘测设计研究院刘细龙、陈福荣编著。全书共六章，其中第二章第六节由王远编写；第三章第四节由肖段龙编写；其余部分由刘细龙编写。全书由刘细龙、陈福荣统稿。

本书在编写过程中得到广东省水利电力勘测设计研究院领导

和机电室领导、本专业同事和技术质量部的有关人员的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，诚恳希望读者对书中错漏之处批评指正。

编者

2002 年 8 月

目 录

序

前言

第一章 概述	1
第一节 闸门的作用、组成和分类	1
第二节 闸门的荷载和材料	7
第三节 设计闸门的主要工作内容和方法	22
第二章 平面钢闸门	32
第一节 平面钢闸门的结构布置	32
第二节 平面钢闸门的结构计算	37
第三节 平面钢闸门的零部件设计	59
第四节 平面钢闸门的门槽与通气孔	86
第五节 平面闸门启闭力的计算	97
第六节 平面钢闸门计算实例	100
第三章 弧形钢闸门	120
第一节 弧形钢闸门的结构布置	120
第二节 弧形钢闸门的结构计算	126
第三节 弧形钢闸门的零部件及启闭力	139
第四节 弧形钢闸门计算实例	153
第四章 其他形式的闸门	178
第一节 人字闸门	178
第二节 液压翻板闸门	204
第三节 升卧式闸门	209
第四节 铸铁闸门	213

第五章 启闭设备	217
第一节 概述	217
第二节 卷扬式启闭机	228
第三节 液压式启闭机	245
第四节 其他启闭设备	260
第六章 拦污栅	270
第一节 拦污栅的布置及清污方式	270
第二节 拦污栅的设计	282
附录 A 型钢规格和截面特性	286
附录 B 闸门止水橡皮定型尺寸及性能	315
附录 C 摩擦系数	318
参考文献	319

第一章 概 述

第一节 闸门的作用、组成和分类

一、闸门的作用

闸门是水工建筑物的重要组成部分之一，它可以根据需要封闭建筑物的孔口，也可全部或局部开启孔口，用于调节上下游水位和流量，从而获得防洪、灌溉、供水、发电、通航、过木过筏等效益，还可用于排除漂浮物、泥沙、冰块等，或者为相关建筑物和设备的检修提供必要条件。闸门通常设置在取水输水建筑物的进、出水口等咽喉要道，通过闸门灵活可靠地启闭来发挥它们的功能与效益及维护建筑物的安全。

例如，在一些取水供水工程的输水管道上一般设置节制闸门，用于根据需要调节控制流量；在泵站进水口和一些隧洞、涵管、倒虹管等的进、出水口一般设置有检修闸门，为检修水工建筑物和泵组设备提供条件；在水库溢流坝或溢洪道上一般设置有泄洪工作闸门，用于控制水库的水位和泄往下游的洪水流量，最大限度地发挥水库的功能效益。

二、闸门的组成

从广义上讲，闸门包括闸门与阀门。闸门一般主要由活动部分、埋设部分、启闭设备三大部分组成。图 1-1 是以平面闸门为例的三大部分的示意图。

活动部分：是封闭孔口而又能根据需要开启孔口的闸门主体，一般称为门叶。

埋设部分：埋设在土建结构中的构件，主要是孔口的门楣、底槛和支承轨道等，通过这些构件将门叶承受的荷载（包括自重等）传递给土建结构，并与门叶一起形成闸门的止水结构及为门叶的活动

提供导向和限位。这部分一般称为门槽埋件。

启闭设备：是控制门叶开启、关闭的操作机械。

闸门的门叶一般由面板、构架、支承行走部件、吊具、止水部件等组成。图 1-2 是以滚轮式平面闸门为例的示意图。

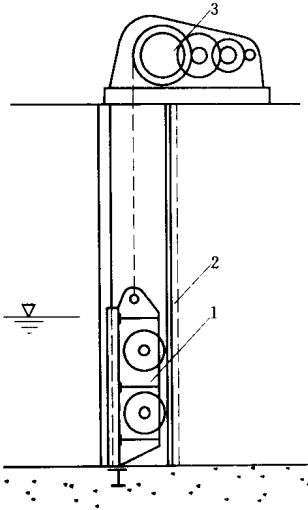


图 1-1 闸门的组成

1—活动部分；2—埋设部分；
3—启闭设备

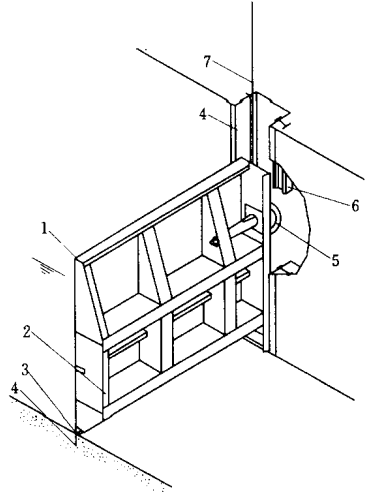


图 1-2 平面闸门的组成

1—面板；2—构架；3—止水部件；
4—止水埋设件；5—支承行走装置；
6—轨道；7—吊具

面板：封闭孔口的挡水部件，直接承受水压力，然后传给构架。

构架：由梁系组成的框架，有足够的强度和刚度，支撑面板，把面板传来的水压力传递到支承部件上。

支承行走部件：把构架传来的力传给土建基础，并保证闸门移动时灵活可靠。

吊具：与启闭设备相连接的部件。

止水部件：用于封闭闸门与埋设部分间隙的部件，使闸门封闭孔口时减少漏水或不漏水。

门槽埋件一般包括支承行走埋设件、止水埋设件、衬砌埋

设件。

启闭设备的形式多种多样，在水利工程中常用的有卷扬式、液压式和螺杆式启闭机等。启闭设备一般包括动力装置、传动装置、制动装置、连接装置、支承行走装置。本书第五章将作详细论述。

三、闸门的分类

闸门的种类繁多，分类方法也很多，一般可按闸门的工作性质、使用材料和制造方法、构造特征、孔口性质及规模来分类。

（一）按闸门的工作性质分类

按闸门的工作性质可分为工作闸门、事故闸门、检修闸门。

工作闸门是指水工建筑物正常运行时需要关闭孔口的闸门。这种闸门一般使用频繁，要求在动水条件下启闭，甚至部分开启以控制流量。但也有在静水条件下操作的工作闸门，如船闸通航孔的工作闸门。

事故闸门是指水工建筑物或有关设备发生事故时使用的闸门。为防止事故扩大，事故闸门一般要求在动水条件下关闭孔口，截断水流；在事故清除后，则可根据具体情况在动水或静水条件下开启。如果有快速关闭的要求，则称快速事故闸门。

检修闸门是指水工建筑物或有关设备检修时使用的闸门。一般在静水条件下操作。

（二）按闸门的使用材料分类

按闸门（主要指门叶结构）使用的材料可分为钢闸门、钢筋混凝土闸门、木闸门等。

1. 钢闸门

钢闸门具有自重轻、承载能力大、性能和质量稳定、施工和维护简单、有一定的抗震性、可减少启闭设备的投资等优点。随着我国的综合国力和制造技术的不断发展，目前的大中型工程中均采用钢闸门。

为了保证安全，延长使用寿命，钢闸门须采取防腐蚀措施，通常采用热喷锌后涂封闭漆的方案，在选用涂料时应注意其化学成

分，尤其是在源水工程中，以避免对水造成污染。

钢闸门按制造方法的不同又可分为焊接闸门、铆接闸门、铸造闸门等。

焊接钢闸门有制造、安装简单，工期短等优点，在工程中使用最广泛。大、中型闸门中的长直焊缝还可以采用自动焊，以减轻劳动强度，加快生产速度，提高产品质量和降低生产成本。受运输尺寸和重量的限制，大、中型闸门制造时通常分解成几块，运到现场后再拼装焊接成整体。有时受安装现场条件限制，如在冬季气温低于 -15°C 的情况下，难以保证安装焊缝的焊接质量，闸门安装接缝可采用螺栓连接。

铆接闸门由于耗钢量大、工艺要求严格、制造费用高等缺点，目前已经很少采用。

铸造闸门用于孔口尺寸较小、结构复杂的情况，如平板闸阀、蝴蝶阀、针形阀等。铸造的劳动强度及加工工作量大，费用一般较高。目前国内已有大量专业制造厂家生产的系列定型产品，可根据需要选用。小型闸门也可用铸铁闸门，有布置简单紧凑、耐腐蚀等优点，现在国内一些企业，特别是环保行业的制造厂已经有一系列的定型产品。

2. 钢筋混凝土闸门与木闸门

钢筋混凝土闸门制造、维护较简单，造价低廉，适用于偏远地区的一些小型工程。但其自重偏大，加大了启闭设备的容量，并且混凝土有透水性，结构抗震性差，一般大、中型工程中不推荐使用。

木闸门适用于孔口和水头都很小的情况。但木材在水中易腐朽，使用寿命有限，需经常更换，故目前很少采用。

随着国民经济的发展，我国钢产量已位居世界前列，机械加工和焊接技术水平也不断提高，电力供应较充足。因此，在工程设计中应优先考虑采用钢闸门。

(三) 按闸门的构造特征分类

按闸门的构造特征可分为：平面闸门、弧形闸门、其他形式闸

门等。

1. 平面闸门

平面闸门是水工建筑物最常用的闸门，它的结构较为简单，操作运行方便可靠，对建筑物的布置也较易配合。简单的平面闸门只是一块平面的整板。比较复杂的则是梁格式的平面闸门，而其面板又可做成平面或曲面的形式。

平面闸门根据其移动方式不同，有直升式、横拉式、转动式、浮箱式等几种。

直升式平面闸门是使用最为广泛的门型，它是一块平板式门叶卡在门槽内而封闭孔口的。一般可按支撑行走部分的构造形式，分为滑动式、滚轮式、链轮式。门叶的结构形式也很多，如板梁形、拱形、壳形等。门叶的块数一般是一块，也有分成两块或多块的。还有一种闸门，升起后平卧在排架上，称为升卧式平面闸门，这类闸门适合用在地震烈度较大、启闭排架不宜太高的地区。

横拉式平面闸门是在平面闸门门叶的底部或顶部安设行走滚轮，可沿轨道横向移动，因它只能在静水条件下操作，故多用于船闸闸首工作门。

转动式平面闸门的形式比较多。横轴转动平面闸门按轴安设在底部、中部或顶部而分为舌瓣门、翻板门和拍门。竖轴转动的平面闸门有一字门和人字门。一字闸门是指绕端部竖轴转动的平面闸门，也称掩门。人字门是由左右两扇绕竖轴转动的闸门组成，在关闭位置时两扇闸门形成三铰拱形式，成“人”字形，故得名。一字门和人字门只能在静水条件下操作，一般用于船闸闸首工作门。

浮箱式平面闸门的门叶形如空箱，在水中可以浮动，而当在箱内充水时又能沉没在水中。它的用法是将空门拖运到门槽位置后，充水使门叶下沉就位。浮箱式平面闸门只能在静水条件下操作，一般用作检修闸门。

2. 弧形闸门

弧形闸门也是应用十分广泛的一种门型，它将一块弧形门叶用

支臂铰支于铰座上，一般铰心就是弧面中心，所以水压力总是通过铰心，运行时阻力矩较小。弧形闸门两侧的支臂一般做成双支臂的形式，对于高度较大的弧形闸门，其支臂也有做成三支臂的形式。根据支臂的布置，则有直支臂和斜支臂之分。弧形闸门的支承铰主要分为铰链和铰座两部分，它承受支臂的推力并传到基础上。但是，弧形闸门的设计、施工和安装一般比较复杂。它需要较长的闸墩和墩内承受集中推力的钢筋。

3. 其他形式的闸门

闸门的形式是多种多样的。例如：用于宽而浅露顶式孔口的有扇形闸门、鼓形闸门和屋顶式闸门等借水力自动启闭的闸门，还有在斜面上升降的圆辊闸门等；用于通航船闸的，除人字闸门、“一”字闸门、横拉闸门外，还有屋顶式闸门、竖轴弧形闸门和三角闸门等在静水中启闭的闸门；用于竖井中的有圆筒闸门等；用于压力管道中的闸门主要是阀门，有圆筒阀、平板闸阀、蝴蝶阀、球形阀、针形阀、锥形阀等，大多数阀门可以选用定型成熟的产品。这些闸门的形式虽然各异，但设计原理和门体构造等却基本类似。

本书主要介绍水工建筑物中用得比较多的平面钢闸门（包括人字门、升卧门等）和弧形钢闸门的设计。其他一些较特殊、运用范围不是很广的闸门，读者如需要可参考有关资料。

（四）按孔口性质分类

按孔口性质可分为：露顶式闸门和潜孔式闸门两类。

露顶式闸门是指当闸门关闭时，闸门门叶顶部高出上游正常高水位的闸门。露顶式闸门关闭时，闸门两侧和底缘与门槽埋件接触，一般设有侧止水 and 底止水装置。

潜孔式闸门在关闭孔口时，闸门门叶顶部低于上游正常高水位，此时闸门的四周与孔口周边接触，可封闭矩形或圆形孔口。这类闸门的止水要复杂一些，尤其是潜孔式弧形闸门的顶止水需慎重处理。

（五）按闸门的规模分类

根据《水工金属结构产品生产许可证实施细则》的规定，闸门

可根据孔口尺寸和挡水高度分为：超大型、大型、中型、小型闸门，具体划分见表 1-1。

表 1-1 平面滑动门、平面定轮门、平面链轮门、
人字门、弧形闸门分档表

规 格	小型	中型	大型	超大型
$FH = \text{门叶面积 (m}^2\text{)} \times \text{水头 (m)}$	≤ 200	200~1000	1000~5000	>5000

第二节 闸门的荷载和材料

一、闸门的荷载

(一) 荷载的种类和组合

作用在闸门上的荷载，按设计条件和校核条件划分为两大类，即设计荷载和校核荷载。

1. 设计荷载

设计荷载是指闸门在正常工作条件下经常作用的荷载，或在运行期间常常不定期重复作用的荷载，包括以下各项：

- (1) 闸门自重（包括加重）。
- (2) 在设计水头下的静水压力。
- (3) 在设计水头下的动水压力。
- (4) 在设计水头下的波浪压力。
- (5) 在设计水头下的地震动水压力。
- (6) 在设计水头下的水锤压力。
- (7) 泥沙压力。
- (8) 风压力。
- (9) 启闭力。

2. 校核荷载

校核荷载是指闸门在校核条件下承受的荷载，包括非运用情况下不经常作用的和偶然作用的荷载。校核荷载包括以下各项：

- (1) 闸门自重 (包括加重)。
- (2) 在校核水头下的静水压力。
- (3) 在校核水头下的动水压力。
- (4) 在校核水头下的波浪压力。
- (5) 在校核水头下的地震动水压力。
- (6) 在校核水头下的水锤压力。
- (7) 泥沙压力。
- (8) 风压力。
- (9) 冰、漂浮物和推移物质的撞击力。
- (10) 温度荷载。
- (11) 启闭力。

闸门有特殊要求时,还应包括其他特殊荷载。如闸门前后有水下爆破时,应专门研究爆破产生的冲击波对闸门的影响等。

设计闸门时应根据闸门不同的应用情况和工作条件选取荷载及各荷载实际上可能同时出现的最不利的组合。

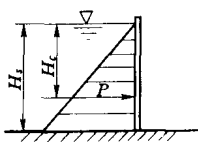
(二) 荷载的计算

1. 静水压力

闸门的主要荷载为静水压力。当闸门处于封闭孔口的位置挡水时,作用在闸门挡水面上任何一点单位面积上的静水压力与该点在水面以下的深度成正比,压力方向则垂直该挡水面。露顶式和潜孔式平面闸门及弧形闸门在不同的上下游水位情况下的静水压力,可按表 1-2 中的公式计算。

表 1-2

静水压力计算

序号	水压力图形	计算公式
1		总水压力: $P = \frac{1}{2} \gamma H_1^2 B_{zs}$ P 力作用点位置: $H_c = \frac{2}{3} H_1$