

519

4633

高等学校教材

————— 专 科 适 用 —————

# 水工金属结构

东北水利水电专科学校 杨兆福 主编

水利电力出版社

178  
版

12  
上

975

年  
1

## 前 言

水工金属结构也称水工钢结构，一般包括各种闸门与阀门、各类闸门启闭机械、拦污栅、拦污栅清污机械、压力钢管、升船机，以及操作闸门与拦污栅的附属设备，如自动或半自动抓梁、吊杆与锁锭等等。由于闸门、拦污栅和它们的启闭机械，在各类水利枢纽中都是一个不可分割的整体，因此上述设备也可总称为水工机械设备。

为完成水工金属结构专业教学计划规定的任务，本专业设置多门专业课程。水工金属结构课程是其主要专业课程之一，主要叙述各类闸门与阀门、拦污栅与压力钢管等。有关各类启闭机械、清污机械与升船机等，由水工起重机械课程讲述。

本书共分九章。通过学习学生应能掌握平面闸门、弧形闸门、船闸人字闸门、拦污栅及压力钢管的结构设计与其计算的基本知识。为不受上述几种门型以及一般设计方法的限制，本书还编写了其他型式的闸门、阀门和闸门优化设计内容，以开阔学生视野、活跃学生思维，从而希望学生能在今后的实际工作中有所创新。

本书概念叙述清楚，内容力求简炼、实用易懂。书中采用的计算基本规定、各种构件与零件的计算方法与构造要求等，主要依据我国通用的设计规范：水利电力部《水利水电工程钢闸门设计规范SDJ13-78（试行）》、交通部《船闸设计规范JTJ264（试行）》以及水利电力部《水电站压力钢管设计规范SD144-85（试行）》。此外还参考了其他有关规范。

参加本书编写的有：东北水利水电专科学校杨兆福（第一、二、三、五、六、七章）、张政（第四章）、水利电力部天津勘测设计院窦国祯（第八章、第九章、第六章第三、六节）。本书由杨兆福担任主编。由水利电力部规划设计院沈德民担任主审。

在编写本书过程中，得到了水利电力系统诸多同志的帮助与支持，顺致谢意。

由于编者水平所限，书中定有不少错误与缺点，欢迎读者批评与指正。

编 者

1988年6月

81537102

# 目 录

## 前 言

第一章 闸门的分类、选型与布置	1
第一节 闸门的主要组成构件	1
第二节 闸门的分类	2
第三节 闸门的布置与选型	6
第二章 闸门的荷载、材料及容许应力	23
第一节 作用于闸门上的荷载种类及其组合	23
第二节 闸门上荷载的计算	24
第三节 闸门的材料	32
第四节 材料的容许应力	35
第三章 平面钢闸门	39
第一节 概述	39
第二节 平面钢闸门的结构组成及其受静水压力的情况	39
第三节 平面钢闸门的结构布置	41
第四节 面板的设计	46
第五节 水平次梁	52
第六节 竖直次梁	57
第七节 竖向联结系	59
第八节 主梁	61
第九节 门背联结系	69
第十节 边梁	71
第十一节 行走支承	74
第十二节 止水装置	91
第十三节 平面闸门启闭力的计算	95
第十四节 门槽型式的选择与埋固构件	100
第十五节 闸门的操作装置	105
第四章 弧形钢闸门	112
第一节 弧形钢闸门的结构及其工作特点	112
第二节 水平主梁的布置与静水荷载计算	116
第三节 弧门自重与启门力在框架上所产生的力	118
第四节 主框架的内力计算	121
第五节 实腹式框架主梁与支臂的设计	126
第六节 支承桁架	129
第七节 弧形闸门的支铰	130
第八节 弧形钢闸门的止水	138
第九节 深孔弧形闸门	140

第五章 船闸人字闸门	144
第一节 船闸闸门的特殊要求与人字闸门的优缺点	144
第二节 人字闸门的结构组成	145
第三节 人字闸门的基本尺寸	146
第四节 人字闸门的荷载及其组合	148
第五节 人字闸门的面板与梁格结构	150
第六节 人字闸门的主梁	154
第七节 人字闸门的背斜杆	157
第八节 人字闸门的斜接柱与门轴柱	159
第九节 人字闸门的支垫与枕垫	161
第十节 人字闸门的顶枢与底枢	164
第十一节 人字闸门的止水、导卡与限位装置	172
第十二节 人字闸门的启闭机械和启闭闸门的牵引力	175
第六章 其他型式的闸门与阀门简介	179
第一节 升卧式平面闸门	179
第二节 拱形闸门	182
第三节 浮箱闸门	187
第四节 跨步式平面闸门与履带闸门	194
第五节 水力自动控制的闸门	196
第六节 阀门	201
第七章 拦污栅	211
第一节 拦污栅的用途及其布置	211
第二节 拦污栅的结构及栅条间距	214
第三节 拦污栅的水头损失与过栅流速	218
第四节 拦污栅的结构计算	221
第五节 拦污栅起吊力的计算	223
第六节 防止拦污栅堵塞的措施	224
第八章 水电站露天式压力钢管	227
第一节 压力钢管的作用与类型	227
第二节 压力钢管的布置	229
第三节 露天钢管的敷设方式、镇墩、支墩和附属设备	231
第四节 露天钢管的荷载	235
第五节 压力钢管的材料与容许应力	238
第六节 焊接钢管管身构造、管径与管壁厚度的确定	239
第七节 露天钢管管身应力分析与强度校核	241
第八节 钢管的稳定	248
第九节 岔管	250
第九章 闸门优化设计	254
第一节 闸门优化设计的基本概念	254
第二节 线性规划、非线性规划和准则理论简介	255
第三节 主梁截面优化公式的导出及应用	257
第四节 一种常用的闸门优化方法——复形法	260

第五节 动态规划和变截面主梁优化实例.....	263
第六节 闸门整体优化设计简介.....	266
附录 型钢规格和截面特性.....	270
主要参考文献.....	287

# 第一章 闸门的分类、选型与布置

闸门是水工金属结构中采用最多的一种设备，它能用来关闭水工建筑物的孔口，并按照需要全部或局部开启孔口，用以放水、调节上下游水位、通过船只及泥沙等。闸门一般设置于水利枢纽的泄水系统、引水发电系统、水通航运系统的咽喉要道，是水工建筑物的重要组成部分。水利枢纽的度上都是通过闸门灵活可靠地启闭来发挥着它们的功能与效益，并维护整个枢纽的安全。

## 第一节 闸门的主要组成构件

如图1-1及图1-2所示，闸门一般由下列几个部分组成：

### 1. 门叶

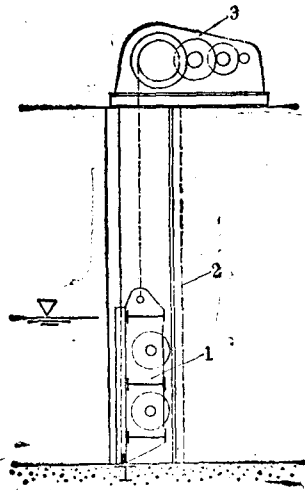


图 1-1 闸门的组成 (一)

1—门叶；2—埋设部分；3—启闭设备

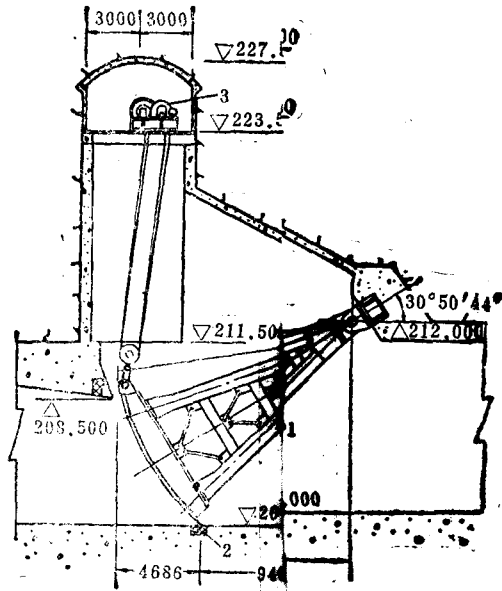


图 1-2 闸门的组成 (二) (高程单位: m)

尺寸单位: m  
1—门叶；2—埋设部分；3—启闭设备

门叶是封闭孔口而又能根据需要开启孔口的闸门主体，也称活动部分，人们往往就将此部分直接称为闸门。

### 2. 埋设部分

埋设部分是埋设在水工建筑物中的构件，主要是孔口的门楣、门框和支承轨道等，通过这些构件将门叶所受的荷载（包括闸门自重）传给水工建筑物。

### 3. 启闭机械

启闭机械用以操作闸门的门叶，使之开启与关闭。

闸门的门叶，大都由下列构件组成（图1-3）；

- （1）挡水面板1；
- （2）构架2；
- （3）行走支承部分5；
- （4）闸门的悬吊装置或门叶与操作机械用其他方式相连接的构件7；
- （5）止水部分3。

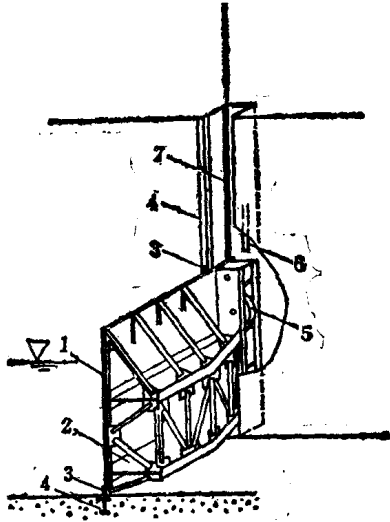


图 1-3 平面闸门门叶的组成

1—面板；2—构架；3—止水部分；4—止水埋设件；5—行走支承装置（滚轮）；6—行走支承装置埋设件；7—悬吊装置

## 第二节 闸门的分类

由于闸门类型多种多样，因而分类方法也甚多，以下只按四个主要特征进行分类。

### 一、按结构特征分类

用于溢流坝及各类水闸上的闸门，其结构型式有：平面闸门（图1-4a、b）、弧形闸门（图1-4c）、拱形闸门（图1-4d）、圆辊闸门（图1-4e）、扇形闸门（图1-4f）、屋顶闸门（图1-4g）及舌瓣闸门（图1-4h）等。

用作深孔闸门的，除平面闸门（图1-5a、b）和弧形闸门（图1-5c）两种型式外，还有圆筒阀（图1-5d）、蝴蝶阀（图1-5e）、球形阀（图1-5f）、针形阀（图1-5g）及锥形阀（图1-5h）等。

在船闸闸门中，最常应用的是双扇人字闸门（图1-6），此外还有三角闸门（图1-7）、横拉式平面闸门（图1-8）以及升降式平面闸门与弧形闸门等多种型式。

### 二、按材料与制造方法分类

从使用材料来看，闸门可分为钢结构闸门、木结构闸门、钢筋混凝土闸门和混合材料闸门等四大类。

在钢结构闸门中，按制造方法的不同，又分为：焊接闸门、铆接闸门、铸造闸门、有螺栓安装接缝的焊接闸门，以及由铸件组成的焊接闸门等数种。

至于混合材料的闸门，是在钢构架上或钢筋混凝土构架上装以木挡水面板或装以其他

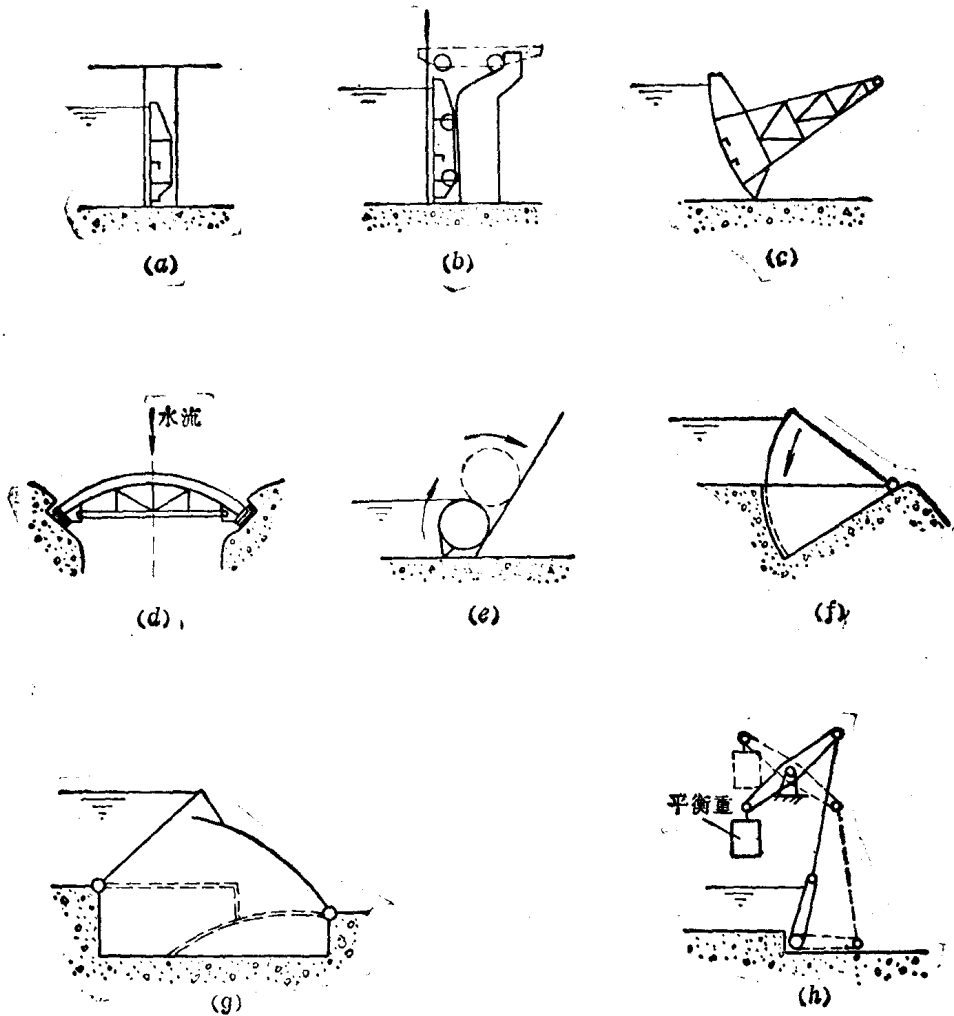


图 1-4 坝上闸门的主要型式

材料的挡水面板而构成。

目前在大中型水利水电工程和船闸上，采用较多的是钢结构闸门，而且主要是焊接结构。铆接闸门，由于其耗钢量大、制造费用高，因而目前已很少采用。

铸造闸门用于孔口尺寸较小、特别是闸门某些部分形状非常复杂时，如蝴蝶阀及针形阀等，一般均采用铸钢制造。小型闸阀也可用铸铁制造。

有螺栓安装接缝的焊接闸门，在冬季气温低于  $-15^{\circ}\text{C}$  的情况下进行设备安装时采用。因为在这样低的温度下进行焊接，其质量是难以保证的。

当孔口水头在  $4 \sim 5 \text{ m}$  以下，跨度不超过  $3 \sim 4 \text{ m}$  时，可采用木结构闸门。但木材在水中易腐朽，使用年限不长，需经常维修与更换，且我国木材紧缺，故目前已不多见。

由于钢筋混凝土闸门自重偏大，并且混凝土有透水性，所以这种闸门在国外已少采用。而我国由于采用了薄壳结构、钢丝网水泥材料和预应力等技术措施，门重已大为降低。由于混凝土取材较易、制造和维护都较简单，造价低廉，所以在我国应用广泛，对节约钢材具有很大意义。



装有木面板的钢构架闸门，与木闸门相同，目前已不采用。而装有塑料面板的闸门，由于制造成本还相当高，它的应用尚受到限制。

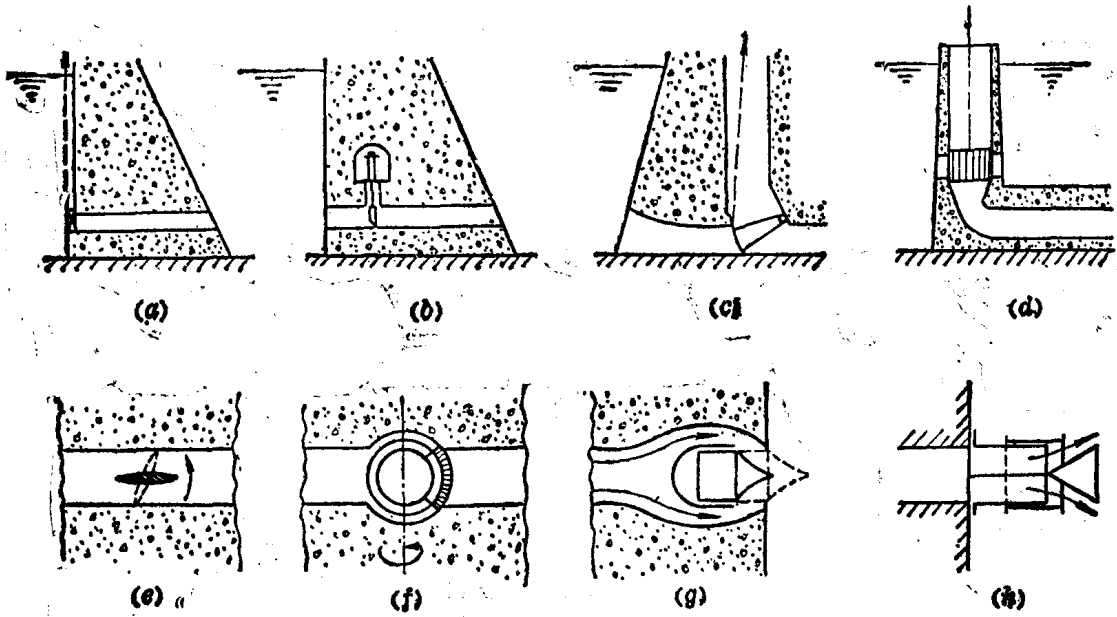


图 1-5 深孔闸门与阀门的主要型式

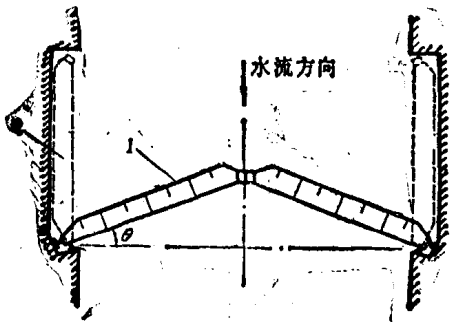


图 1-6 船闸人字闸门  
1—门叶；2—门铰

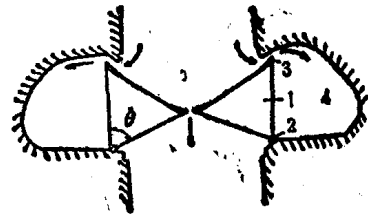


图 1-7 船闸三角闸门  
1—门叶；2—支铰；3—羊角；4—门座

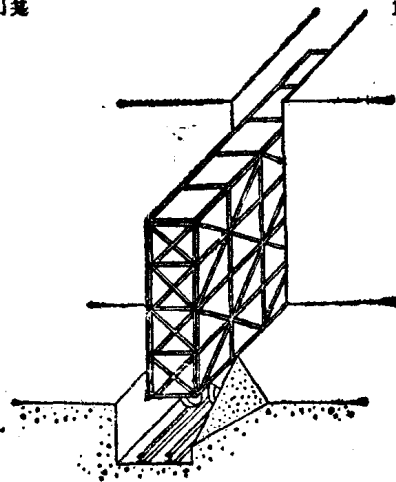


图 1-8 船闸横拉式平面闸门

### 三、按用途分类

闸门按用途分类时，可分为：工作闸门、事故闸门、检修闸门和施工导流闸门。

工作闸门也称为主要闸门，用于水工建筑物正常运行时（图1-9中1及3），一般在动水中启闭，但船闸主航道上的工作门大多例外，只在静水中操作。

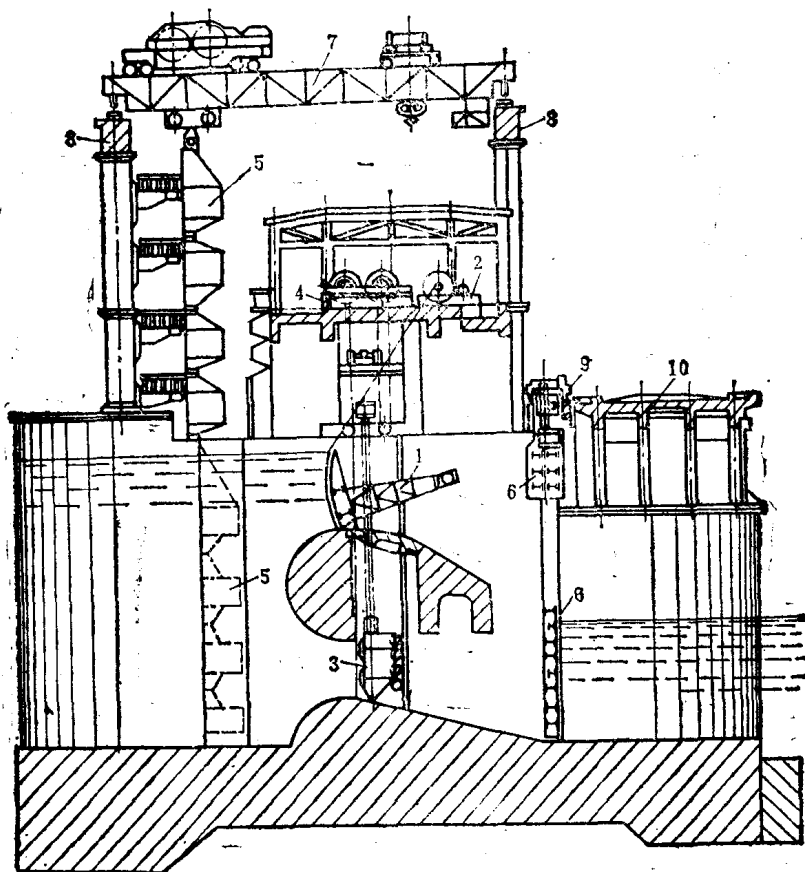


图 1-9 露顶式平面闸门与潜孔式平面闸门

1—露顶式弧形闸门；2、4、7、9—闸门的启闭机械；3—潜孔平面闸门；5—上游检修闸门；6—下游检修闸门；8—钢筋混凝土梁；10—公路桥

事故闸门是在该闸门的下游（或上游）发生事故时，如工作闸门、引水管道、水轮发电机组或其他建筑物与设备发生故障时，用以关闭建筑物孔口的闸门。当需要快速关闭时，也称快速闸门。这类闸门一般在动水中关闭，在静水中开启。

检修闸门是当水工建筑物和机械设备需要检修时，用以关闭孔口的闸门。这种闸门一般在静水中进行操作（图1-9中5及6）。

施工导流闸门是在水工建筑物施工期间，用以在动水中关闭导流孔口的闸门。这类闸门的操作条件，与所采用的施工组织措施有关。

### 四、按与挡水高程相对位置分类

闸门按其于挡水高程的相对位置分类时，可分为露顶闸门和潜孔闸门两类。

当孔口关闭时，闸门门叶的顶部高出上游正常高水位，这类闸门称为露顶闸门。这种闸门所关闭的孔口是开敞式的。在关闭位置时，闸门的三边与闸槽及底槛接触，如图1-9中1，即为露顶式弧形闸门。

潜孔闸门是当孔口关闭时，闸门的门叶顶部低于上游正常挡水位。它所封闭的是矩形（图1-9中3）或圆形的封闭式孔口。闸门的四周与孔口周边相接。

设计人员常按大坝孔口的相对高程，又将闸门区分为高孔（或称表孔）、中孔和深孔（或底孔）闸门。

### 第三节 闸门的布置与选型

#### 一、闸门布置与选型的一般原则

在水利水电工程，特别是大型工程中，闸门、启闭机械、钢管、拦污栅以及其他金属结构与机械设备，其种类与数量甚多，在工程的总投资中占有很大的比重。例如，号称长江第一坝的葛洲坝水利枢纽工程中，约有各种闸门78种514扇，各类其他金属结构52种369套，各类机械设备31种109台，总重量约73000t。又如潘家口电站一期工程，共有闸门12种41扇，拦污栅3种24套，启闭机械9种34台，只此三类金属结构的总重量也达8053t。因此，无论从水工金属结构的作用来看或从其数量与重量来看，都说明它是现代化水利枢纽中重要的组成部分。

在闸门设计中，须首先从闸门的布置与门型选择着手。只有这些主要原则经反复论证拟定之后，才可顺利地进行闸门的结构布置与结构计算。闸门总体布置合宜，不仅会节约大量资金，而且还会取得安全可靠、操作灵活、维修方便等效果。忽视闸门总体布置，其后果将给整个工程带来这样或那样问题，影响工程发挥效益，甚至造成重大事故，给国家带来严重危害。

闸门的布置与选型，主要是确定闸门与启闭机械的设置位置、孔口尺寸、闸门与启闭机械的型式、数量以及运行方式等。

闸门的布置与选型，应从全局出发、统筹兼顾。正确处理闸门设计与水利、水电、航运等水工建筑物的关系，以满足各类工程的运用要求。为此，在闸门设计中，应认真分析与研究工程的基本资料。其中主要有：

- （1）水利、水电、航运等枢纽的任务和各类水工建筑物的型式与布置；
- （2）闸门的运用条件与相关尺寸；
- （3）水文、泥沙、水质、漂浮物和气象方面的资料；
- （4）有关闸门的材料、制造、运输和安装等方面的条件；
- （5）地质、地震和其他特殊要求等。

闸门设计应倡导创新精神，要积极慎重地采用新技术、新门型、新结构、新材料、新工艺，力求闸门设计经济合理、技术先进、安全可靠、运用方便，从而使工程最大限度地发挥经济效益与社会效益。

闸门的型式选择与孔口尺寸的确定，应满足工程的使用要求。例如，泄放总流量与单宽流量的多少，船只与船队的大小以及客、货运量及流向，过木、排冰与排砂要求等等。其次，尚应考虑土建结构的情况以及闸门本身的结构、材料、启闭设备、制造技术等。因而，闸门型式与孔口尺寸的选择，须通过技术经济的综合比较才能确定。孔口尺寸宜按闸门孔口和设计水头系列标准选用，使闸门生产逐步走向标准化，以利于制造、安装、运行和检修。一般说来，如条件许可，采用大尺寸的闸门是比较经济的。水头较高、河床较窄的

工程，多采用宽高比较小的孔口；而水头较低、河床较宽的工程，则多选用宽高比大些的孔口。关于门型，一般说来，在水利水电工程中，平面闸门和弧形闸门应用最多，而在水运工程中，船闸闸门选型时，人字闸门则占有明显的优势。

闸门在水工建筑物中的布置，应特别注意水力学条件，应使水流平顺、流态良好，应避免门前横向流和漩涡的发生，而在门后不应出现淹没出流与回流。

对重要的泄水道深孔闸门或水流条件复杂以及水力操作的闸门，应对运行中可能产生的空蚀、振动、启闭力和磨损等作专门研究，从通气孔的设计、门槽体型、底缘型式、止水型式、胸墙相关尺寸和操作方式等方面采取有效措施，以避免或减轻其不利影响。必要时应通过模型试验加以验证。

启闭机是闸门的主要组成部分之一，其布置与选型在工程中甚为关键。应根据闸门的工作性质、操作方式以及有关水工建筑物等因素，按照标准系列经技术经济比较确定。在选定启闭机的型式与布置时，尚应考虑一机多用的可能性，如在施工期间可用作运输、安装与吊运的设备，而在运行期间可兼作拦污栅的操作、吊运杂物以及检修其他设施的设备。

在总体布置中，尚应考虑闸门的制造工艺应尽可能简单、材料与零部件的种类应尽量减少，尽可能采用标准化定型产品，尽可能采用普通钢材，以便于保证供货，也便于检修与维护。

总体布置时尚应考虑运输条件，闸门应便于划分运输单元，应避免运输时尺寸超限、超重等情况。

闸门在施工与运行期间，应有存放地点以及安装和检修场所。特别是大型工程，闸门数量众多，更不可忽视。

应考虑闸门在安装、检修与运行时期工作人员的安全与便利。应在供水、排水、通风、防潮、走梯栏杆、孔口盖板、交通道路等诸多方面采取相应措施。

在寒冷地区，应有防止闸门被冰冻结的措施，如采用加热、通压缩空气、通压力水或其他方法，以利闸门冬季运行并避免闸门承受冰的静压力。

## 二、引水发电系统闸门的布置与选型

水电站根据布置方式的不同，分为坝后式电站、河床式电站、引水式电站及混合式电站。

各类水电站的水道进口，一般均设有拦污栅、检修闸门和事故闸门，而在尾水管出口则设有尾水检修闸门。

为满足机组、事故闸门与门槽以及门后水道的检修要求，各类电站的进口一般应设置检修闸门。其型式通常采用平面滑动闸门，均在静水中启闭。只有某些特殊情况，如季节性电站，停机时间较长，能满足事故闸门的检修要求时，可考虑不设进口检修闸门，但应对事故闸门的门槽采取加固措施，并保证其安装质量。

当机组台数较多，进口检修闸门采用移动式启闭机操作时，检修闸门可考虑多孔共用。其设置数量应根据孔口数量、工程重要性和事故闸门的使用情况、检修条件等因素综合考虑。一般3~6台机组可设进口检修闸门1套，6台机组以上，每增加4~6台可增设1套。

当机组或钢管要求闸门紧急关闭作事故保护时，坝后式电站的进水口（图1-10及图1-11）及引水式电站压力钢管的进水口（图1-12），应设快速闸门、蝴蝶阀或球阀等，以防机组飞

逸或压力管道事故的扩大。平面快速闸门结构简单、制造方便、造价低、操作可靠，且水流能量损失较少，因而普遍采用。至于蝴蝶阀与球阀，由于其结构复杂，造价昂贵，动水关闭可靠性较差，而且占用较大的厂房面积，故应尽量少用。只有在一些特殊条件下，如数台机组共用一根引水管道，不便设置快速闸门时，方予以考虑。

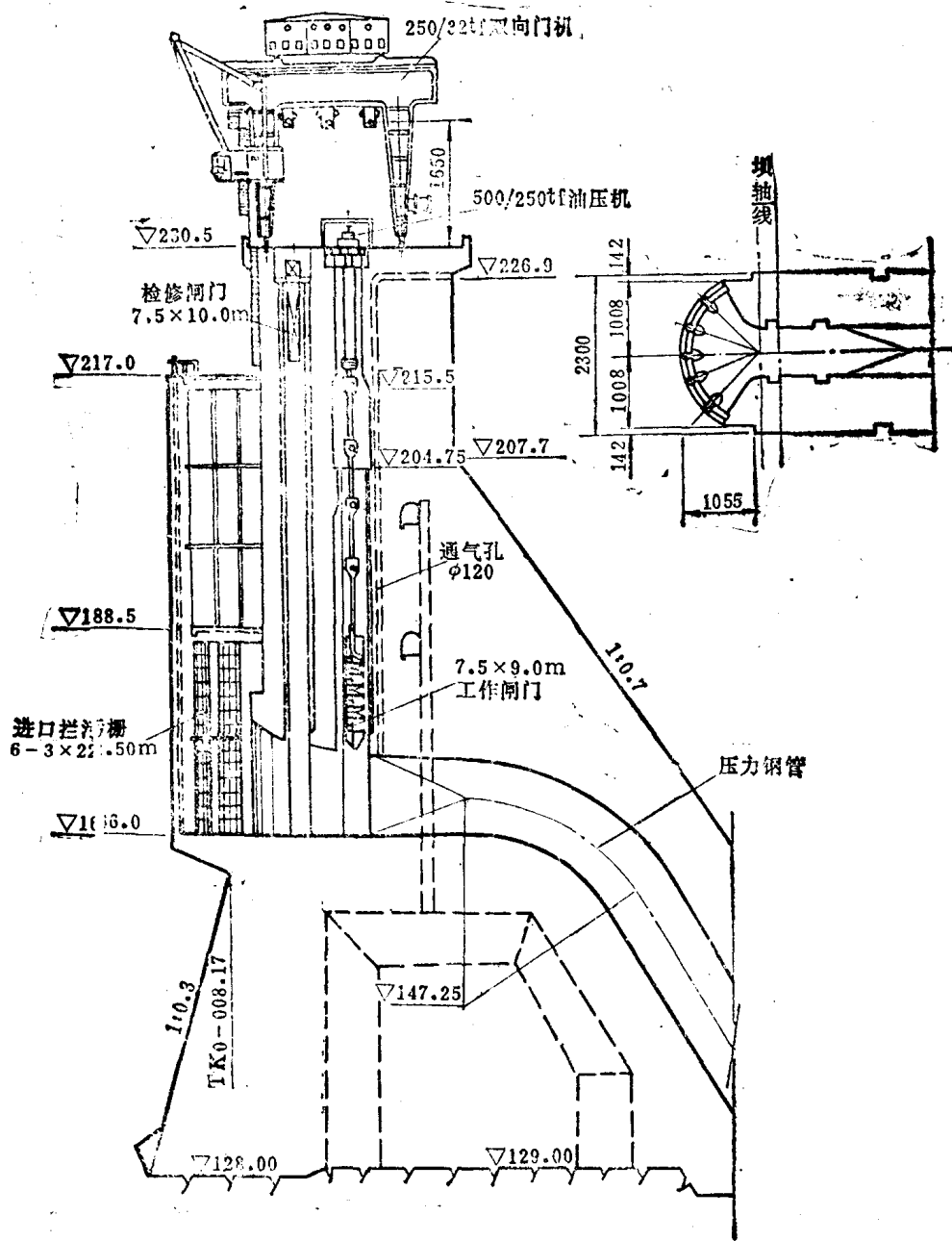


图 1-10 潘家口电站进水口闸门与启闭机布置图 (高程单位: m; 尺寸单位 cm)

当快速闸门或事故闸门停放和下降

时，应考虑调压井内涌浪的不利影响，并采取相应的措施。

快速闸门的关闭时间,应满足防止机组飞逸和对压力钢管保护的要求,一般为2 min,其下降速度在接近底槛时,一般不大于5 m/min。快速闸门的启闭设备,应有就地操作和远方操作的两套系统,并应配有可靠的电源。

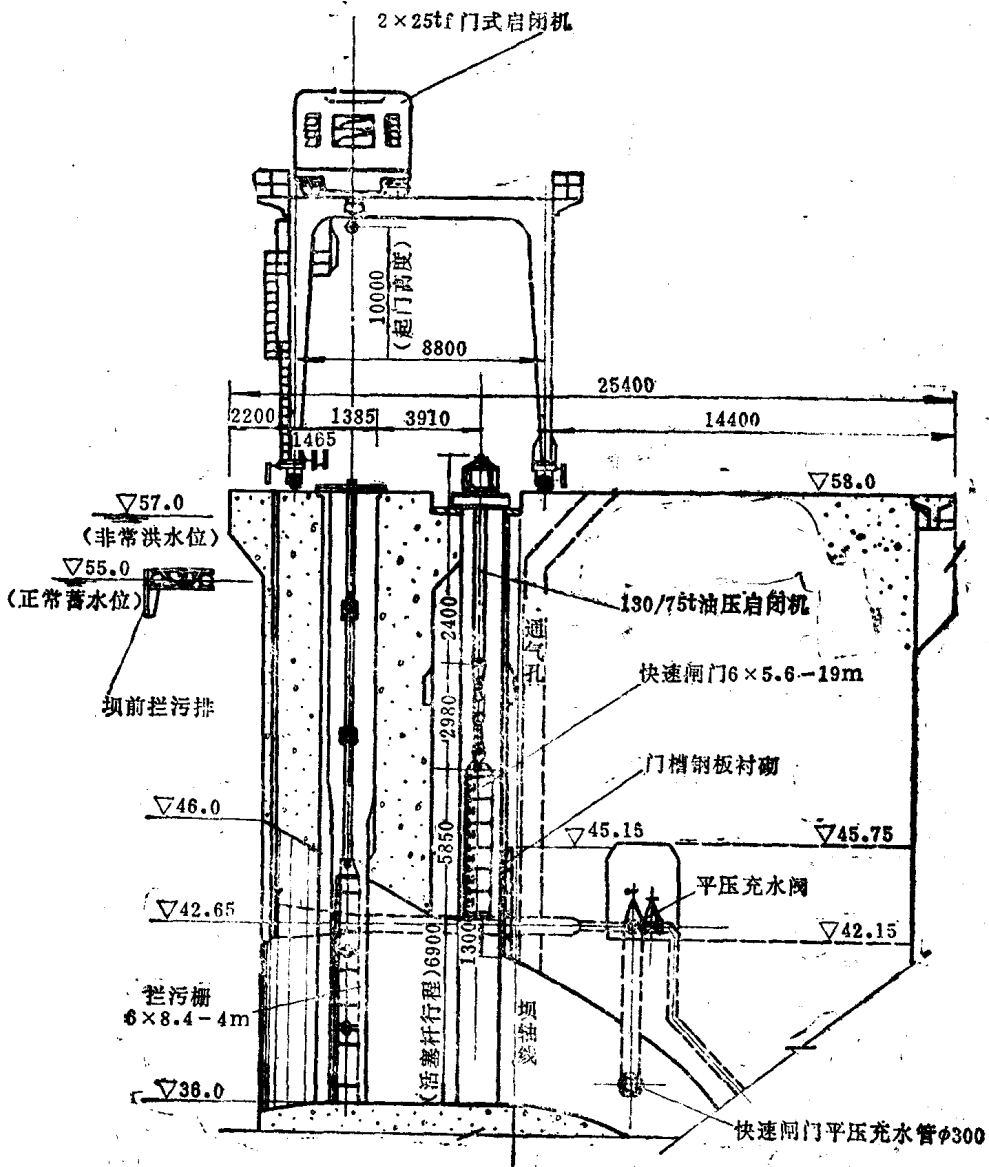


图 1-11 蒲圻电站进水口闸门与启闭机  
布置图(高程单位: m, 尺寸单位: mm)

河床式电站,如浙江的富春江、广西的西津、湖北的葛洲坝、辽宁的太平湾以及苏联列宁伏尔加水电站(图1-13)等,其特点是大流量低水头,一般都采用转桨式机组。这种电站的进水口,一般都采用平面事故闸门代替快速闸门,并且用移动式启闭机操作。甚至也可数台机组共用一套平面事故闸门。由于机组都设有事故配压阀、事故油泵等防飞逸装置,故这种布置方式是安全的。

由于河床式电站单机引用流量较大,为缩减闸门孔口尺寸,进水口常用中墩隔开,分为2~3孔。如葛洲坝二江电站其进水口分为3孔,有不少电站分为2孔。采用这种布置,

可降低闸门用钢量和启闭机的容量。

引水式电站布置形式繁多，闸门的设置也不相同。在引水洞的进口可以只设置检修闸门，或者设置事故闸门。由于引水洞一般都较长，如渔子溪与映秀湾电站，其引水洞长达10多km，而且有的水头也较高，万一洞子出事，不易处理。因此，为保证安全运行，除在调压井内设快速闸门或事故闸门外，在引水洞进水处设事故闸门也属必要，如图1-14所示。

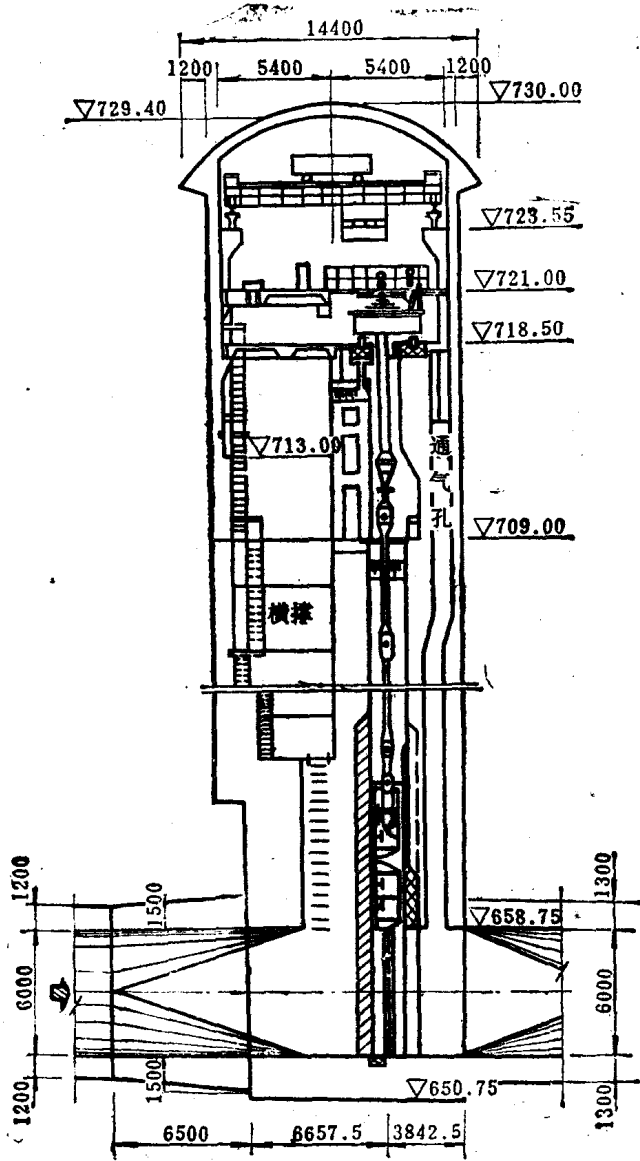


图 1-12 碧口电站调压井快速闸门及启闭机布置图 (高程单位: m, 尺寸单位: mm)

各类电站的尾水管出口处，均设置尾水检修闸门，用以拦阻下游尾水以便进行尾水管及水轮机组的安装与检修。如图1-15所示，尾水检修闸门通常采用平面滑动闸门，也可采用拱形闸门（如刘家峡、龚咀等电站），并用移动式启闭机操作。闸门可多孔共用，其设置数量，一般3~6台机组设置2~3套，6台机组以上，每增加4~6台可再增设1套。

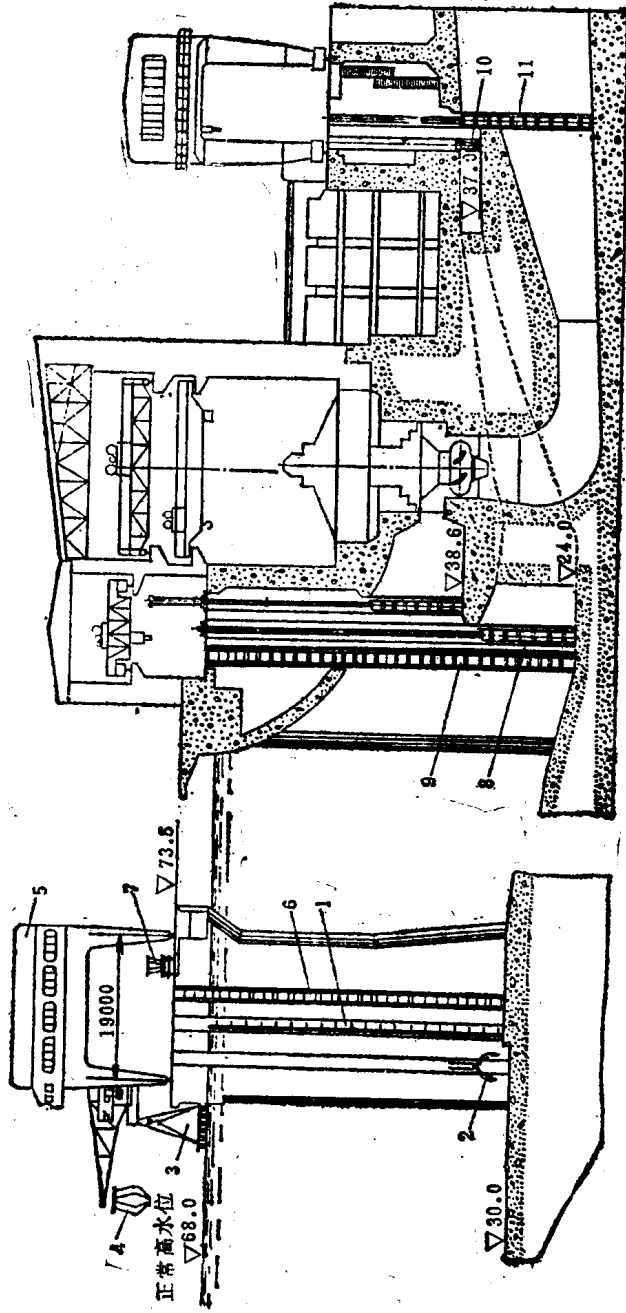


图 1-13 列宁伏尔加水电站的机械设备 (高程单位, m)

- 1—栏门; 2—水底清捞器; 3—“波里布”式抓斗; 4—起重容量为2×1250吨N门式起重机;
- 5—叠梁门; 7—转运污物的小车; 8—底孔清捞器; 9—检修闸门; 10—底孔工作闸门; 11—尾水闸门



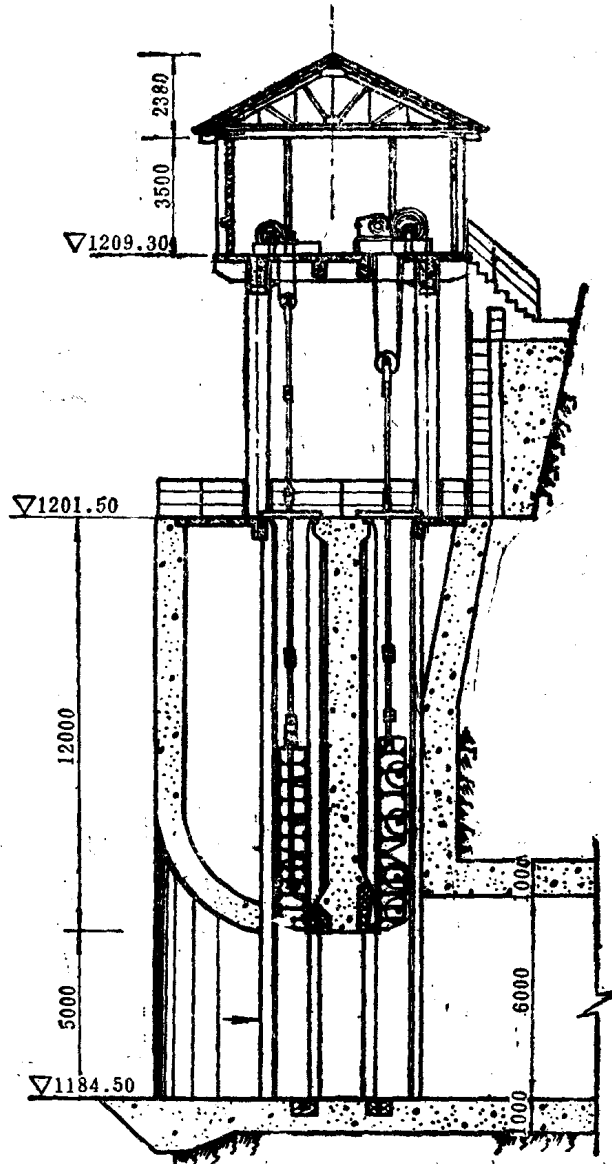


图 1-14 渔子溪一级电站引水洞进口  
闸门及启闭机布置图 (高程单位: m, 尺寸单位: mm)

尾水检修闸门的充水平压,一般应从尾水方向引水。通常可在门上设充水阀或在边墙上设置旁通阀。

当地下厂房尾水隧洞较长时,如白山水电站,可在机组的下游尾水隧洞内加设事故检修闸门一道,以防止尾水倒流抬高机组。

对于抽水蓄能电站,则需在尾水管出口加设一道拦污栅。必要时也可在出口设尾水事故检修闸门。拦污栅尚应考虑水流双向作用和振动的影响。

### 三、表孔溢洪道闸门的布置与选型

表孔溢洪道工作闸门的型式,在我国应用最多的是直升式平面闸门(图1-16)和弧形闸门(图1-17),而目前以采用弧形闸门者略多。