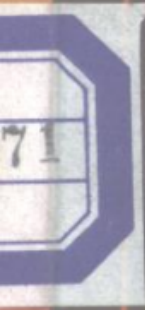


水工钢闸门设计

水工钢闸门设计

安徽省水利局勘测设计院



水利出版社

水工钢闸门设计

安徽省水利局勘测设计院

水利出版社

内 容 提 要

本书对水利水电工程中钢闸门的布置形式、水力计算、结构计算、零部件计算、启闭力计算和启闭机选型等作了全面的介绍。对工程中常用的平面闸门、弧形闸门和人字闸门提供了计算实例，并附有闸门设计中常用的数据和计算公式等。

本书还探讨了闸门按空间结构体系考虑的计算方法，介绍了有限单元法在闸门分析中的具体应用。

本书可作为水利水电工程技术人员和大专院校有关专业师生参考。

2008/21

水工钢闸门设计

安徽省水利局勘测设计院

*

水利出版社出版

(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 16开本 26印张 593千字

1980年11月第一版 1980年11月北京第一次印刷

印数 0001—3970册 定价 3.50元

书号 15047·4084

前 言

本书是在我院1974年编写的《水工闸门》基础上，结合新近颁发的《水利水电工程钢闸门设计规范（试行）》（SDJ13-78），重新组织力量修改补充而成，并改名为《水工钢闸门设计》。

本书第一、二、四、五、六、七各章由夏念凌同志编写，第三章及第七章第二节由水利水电科学研究院金泰来同志编写，第八章由孙为勤同志编写，第九章由朱家瑾同志编写，第十章由赵锡琨同志编写。插图由解世耘、梁玉亭二同志描绘。

书稿曾由水利出版社邀请有关兄弟单位进行了审查，提出了不少宝贵意见，在此一并致谢。

由于我们理论水平和实践经验有限，书中错误之处，请读者批评指正。

安徽省水利局勘测设计院

1979年2月

目 录

前 言	
第一章 概 论	1
1-1 闸门的组成	1
1-2 闸门的分类	2
1-3 设计闸门时所需收集的原始资料	7
1-4 设计步骤	8
第二章 闸门的选型	10
2-1 孔口尺寸的选择	10
2-2 闸门型式的选择	12
第三章 闸门的水力设计与计算	25
3-1 闸门的泄流能力	25
3-2 闸门的水压力计算	33
3-3 闸门的空蚀问题	46
3-4 闸门通气孔的设计	60
第四章 钢结构设计与计算	67
4-1 概述	67
4-2 面板	69
4-3 梁(实腹梁)	75
4-4 桁架	95
4-5 柱	101
4-6 连接计算	107
4-7 几个专题讨论	115
第五章 闸门按空间结构考虑的计算方法	128
5-1 概述	128
5-2 有限单元法在水工闸门结构分析中的应用	133
5-3 计算实例分析	145
5-4 弧形闸门和坐标变换	150
5-5 闸门的自振频率计算	154
5-6 结束语	158
第六章 机械零部件和埋固件设计	159
6-1 概述	159
6-2 强度分析	161
6-3 滑动式支承行走装置	178
6-4 滚动式支承行走装置	183

6-5	铰接支承装置	191
6-6	导引装置	199
6-7	止水装置	202
6-8	吊头	208
6-9	充水阀	211
6-10	零部件设计注意事项	213
第七章	启闭力计算与启闭机械	224
7-1	摩擦系数与摩阻力	224
7-2	启闭力计算	235
7-3	启闭设备概述	246
7-4	平面闸门和弧形闸门的启闭设备	248
7-5	人字闸门的启闭设备	251
7-6	移动式启闭机的辅助设备	253
7-7	闸门的自动控制	258
第八章	平面闸门	263
8-1	概述	263
8-2	门体布置	263
8-3	闸门上的荷载与内力分析	269
8-4	计算例题	270
第九章	弧形闸门	288
9-1	概述	288
9-2	门体布置	289
9-3	闸门上的荷载与内力分析	292
9-4	计算例题	293
第十章	人字闸门	310
10-1	概述	310
10-2	门体布置	311
10-3	闸门上的荷载与内力分析	312
10-4	计算例题	315
附 录	340
附录I	荷载计算	340
附录II	材料性能及容许应力	345
附录III	工程材料规格	356
附录IV	结构计算	377
附录V	部件参考设计	401
附录VI	水利启闭机	405

第一章 概 论

闸门是水工建筑物的重要组成部分之一，它的作用是封闭水工建筑物的孔口，并能够按需要全部或局部开放这些孔口，以调节上下游水位，泄放流量，放运船只、木排、竹筏，排除沉沙、冰块以及其它飘浮物。

随着水利水电事业发展的需要和工业生产水平的日益提高，近年来的闸门已达到相当大的规模，它们的单扇尺寸已经可以闭塞一千平方米左右的孔口面积，承受的总水压力可以达到万吨以上，活动部分的重量可以达到千吨左右。这种发展促使闸门装置逐渐成为一个独立的专业，它与其他工业部门所采用的设备装置既有许多共同点，又有许多不同之处。本书将着重介绍这些独特方面的技术知识。

闸门装置在水工建筑物总造价中所占的比重是很大的，一般约在10~30%左右，在某些工程上甚至可高达50%，因此闸门设计是一项十分重要的工作，必须认真对待，精心设计。

1-1 闸门的组成

一般的闸门总是由下面几个主要部分所组成（图1-1）：

（1）活动部分——闭塞孔口而又能开放孔口的堵水体，一般称为门叶。

（2）埋设部分——埋置在土建结构内的构件，它把门叶所承受的荷载（包括自重）传给土建结构。

（3）启闭设备——控制门叶在孔口中位置的操纵机构。

闸门门叶一般由下列部件所构成（图1-2为滚轮式平面闸门示意图）：

（1）面板——封闭孔口的挡水面，它直接承受水的压力，然后传给构架。

（2）构架——具有足够强度和刚度的结构物，它支承面板，把面板传来的水压力传递到支承部件上去。

（3）支承行走部件——这些部件一方面把构架传来的力传给土建结构，一方面保证门叶移动时灵活可靠。

（4）吊具——与启闭设备相连接的部件。

（5）止水部件——用以堵塞闸门门叶与埋设部件间隙缝的部件，它使闸门在封闭孔口时无漏水现象或使漏水量减到最少。

闸门的埋设部件往往与门叶的型式有关，一般由下列部件所构成：

（1）支承行走埋设件。

（2）止水埋设件。

（3）护砌埋设件。

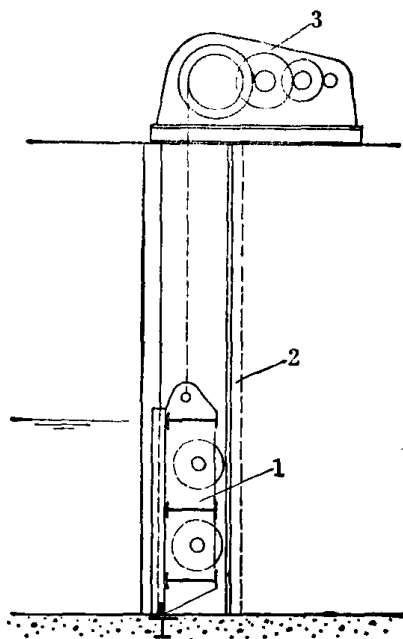


图 1-1 闸门的组成

1—活动部分；2—埋设部分；3—启闭设备

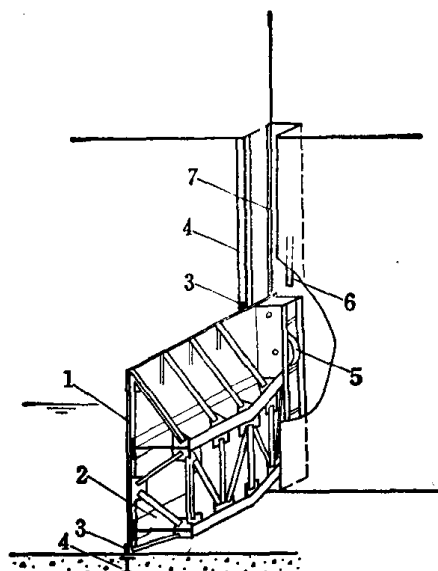


图 1-2 平面闸门门叶的组成

1—面板；2—构架；3—止水部分；4—止水埋设件；5—支承行走装置(滚轮)；6—支承行走装置埋设件；7—吊具

闸门的启闭设备一般由下列部件所组成：

- (1) 动力装置。
- (2) 传动装置。
- (3) 制动装置。
- (4) 连接装置。
- (5) 支承及行走装置。

1-2 闸门的分类

闸门的种类和型式很多，目前尚无通用的、包罗万象的分类表，这是因为表征闸门的特性很多，难于统一处理。本节拟选择一些较重要的特性作简单的分类说明，以增加我们对闸门的认识。

(1) 按闸门的工作性质可分为：工作闸门（也称主闸门、控制闸门），事故闸门，检修闸门等等。

工作闸门是指建筑物正常运行时使用的闸门，一般可以在动水条件下操作。但也有例外，如船闸通航孔的工作闸门大都在静水条件下操作。

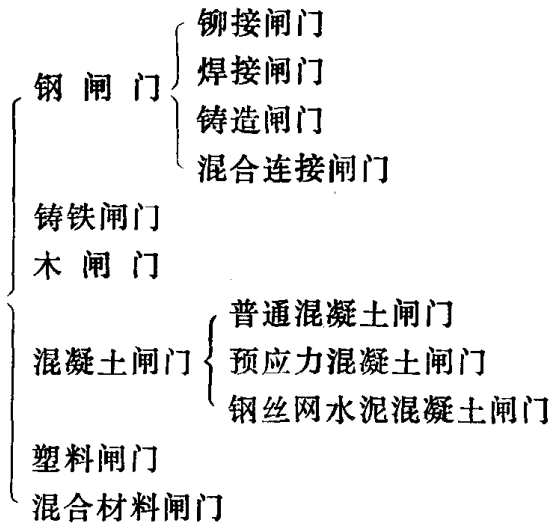
事故闸门，顾名思义，是在发生事故时使用的闸门。如设在水电站发电引水道前面的闸门，要求能在设备（如管道、水轮机组）发生故障时，在动水的条件下关闭孔口，切断水流，以防止事故的进一步扩大，并在事故消除后，门后充水平压，在静水的条件下开放孔口。能作快速关闭的事故闸门有时也叫快速闸门。

检修闸门是专供建筑物或设备检修时使用的闸门，它总是在静水中进行操作的。

(2) 按闸门在孔口中的位置可分为露顶闸门和潜设闸门。

在孔口关闭位置，露顶闸门门叶的上缘高出上游蓄水位，潜设闸门门叶的上缘则低于上游蓄水位。

(3) 按制造闸门的材料和方法可分为：



上面这种分法，严格地说，只是指闸门的门叶而言，因为闸门埋设部分的材料和制造方法一般不和门叶发生联系。

采用什么材料和什么制造方法，主要根据当时当地的技术和经济条件来确定。

铆接钢闸门在过去是很流行的，但它耗钢量多，劳动强度大，制造费用高，因此随着焊接技术的不断提高和普及，已逐渐被淘汰了。

焊接钢闸门在目前是钢闸门的主要形式。过去焊接方法大都为手工电焊，但随着工业技术水平的进展，在有条件的地方都在改为自动电焊，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。

在某些场合中，采用混合连接可能更为有利。例如，若闸门需要在极低温条件下安装，现场缺乏适当的防护措施，焊接质量难以保证，就可采用以螺栓连接安装接缝的焊接钢闸门。又如，对已建成的钢闸门进行加固或改建，考虑到减轻对原有结构的影响，也可采用混合连接方式。

当孔口尺寸较小，或闸门构件外形比较复杂时，可以采用铸造闸门（铸钢或铸铁）。但铸造工艺的劳动强度及加工工作量均较大，费用一般较高，以尽量少用为好。

木闸门只有在孔口尺寸较小、水头较小的情况下才采用，过去还有过钢构架外加木面板的混合结构做法。但木材在水中使用寿命不长，需要经常更换，在我国森林资源并不丰富的情况下，不宜大量采用。

混凝土闸门是适应我国目前经济情况而发展起来的一种闸门。过去虽然在国外也做过一些混凝土闸门，但都因为闸门重量较大，启闭力较大等缺点而放弃作进一步研究，没有得到广泛的应用。在我国则作了多方面的摸索研究，近年来，引用了薄壳结构、钢丝网水泥材料和预应力技术等措施，上述缺点已得到很大程度的改善，闸门重量已大为降低，大

致上和钢闸门相近。由于混凝土取材较易，制造和维护都较简单，造价亦低，故目前正在大力推广使用，对节约钢材具有很大的意义。

塑料闸门在目前来说还只是一项刚露头角的新鲜事物，过去有过钢构架外加塑料面板的做法，但随着高强度塑料（例如被称作玻璃钢的增强塑料）生产工艺的发展，整体采用塑料制造的闸门已指日可待了。

（4）按闸门的构造特征可分为：

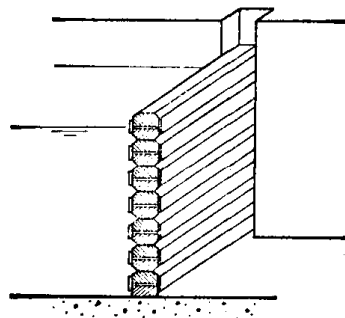
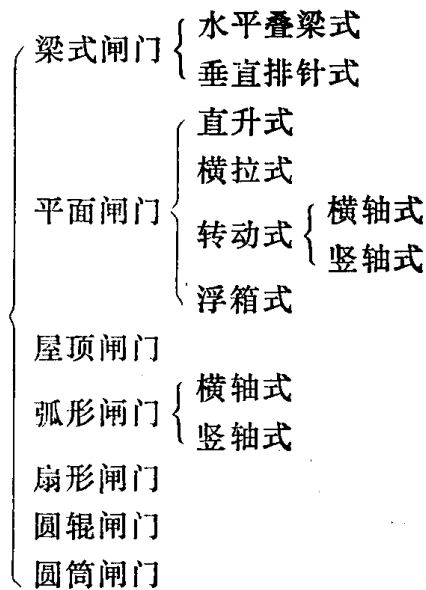


图 1-3 叠梁闸门

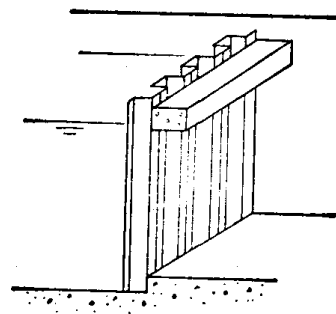


图 1-4 排针闸门

梁式闸门是单独的梁，逐根插入孔口以起堵水作用，横放的叫叠梁门，直接插入门槽（图1-3）。竖放的叫排针门，支持在底坎及顶部支承梁上（图1-4）。梁式闸门是单根操作的，比较费时费力，一般多用在中小型涵闸上作为检修门。

直升式平面闸门是用得最为广泛的门型，它是一块平板形式的门叶插在门槽内而起堵水作用。一般还可按支承行走部分的构造形式，分为滑动门、滚轮门、履带门和串辊门几种，图1-5为滑动式平面闸门。门叶的结构形式很多，如梁板形、拱形、壳形等。门叶的块数一般是一块，但也可以分成数块，形成所谓双扉门或多扉门。由于直升式平面闸门应用很广泛，发展得也很全面，往往因细部构造不同而有许多不同名称，此处不再一一详述。

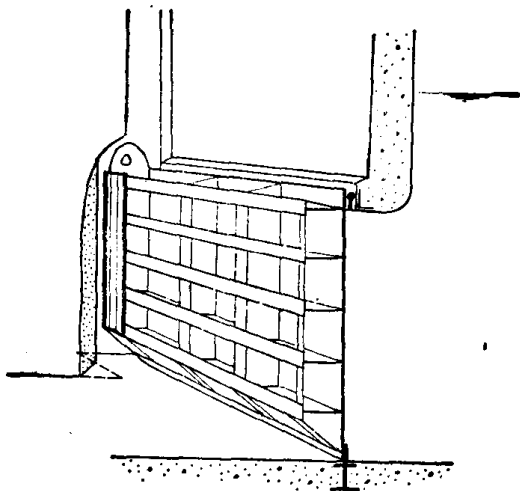


图 1-5 滑动式平面闸门

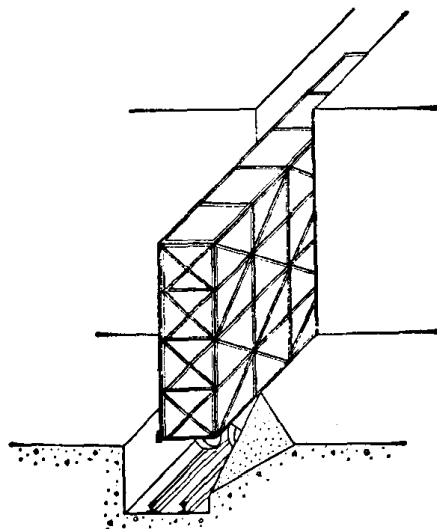


图 1-6 横拉式平面闸门

横拉式平面闸门（图1-6）是在平板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，故多用在船闸或船坞上。

转动式平面闸门也是用得相当广泛的门型。横轴转动平面闸门又可按轴的安设位置在底部、中部或顶部而分为舌瓣闸门（图1-7）、翻板闸门或盖板闸门（有时也称为拍门，图1-8）。竖轴转动平面闸门也可按轴的安设位置在端部或中部而分为一字闸门或旋转闸门。当左右采用两扇一字闸门而对接处保持一定夹角时则称为人字闸门（图1-9）。由于人字闸门在关闭时两扇门叶形成三铰拱形式，故结构比较特殊。人字闸门和一字闸门一般都只能在静水中操作，广泛应用在船闸上。

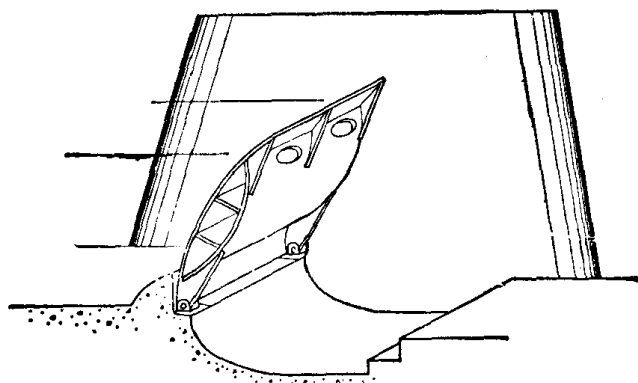


图 1-7 舌瓣闸门

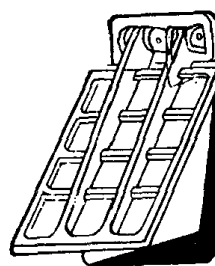


图 1-8 盖板闸门

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使门叶沉没水中。它的用法是将空门叶拖运到门槽位置后，充水使门叶下沉就位。因此，浮箱式平面闸门只能在静水中操作，一般多用作船坞工作门或其他闸门的检修门。

屋顶闸门是由主门叶（下游侧门叶）和两块副门叶（上游侧门叶）铰接而成，主、副门叶都铰支在底板上，泄水期门叶卧倒在底板上，当需要关门蓄水时，则在空腔内充水，促使门叶浮起（图1-10）。主门叶是挡水构件，副门叶是主门叶的支承结构，也是空腔的外壁。我国河南省对它作了许多改进，广泛使用，定名为浮体闸。

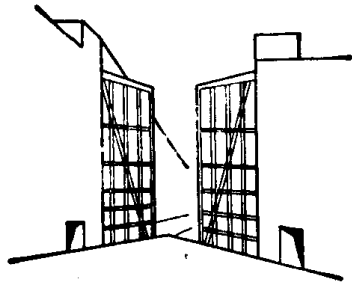


图 1-9 人字闸门

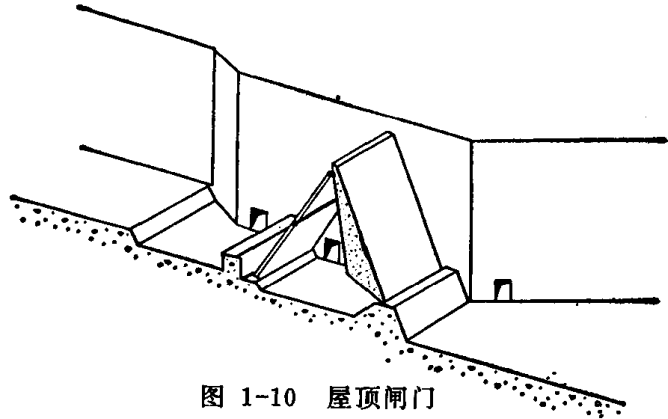


图 1-10 屋顶闸门

弧形闸门也是用得十分广泛的一种门型，它是一块圆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。因铰轴位置不同，弧形闸门有横轴、竖轴之分，图1-11为横轴弧形闸门，图1-12为竖轴弧形闸门。弧形闸门因细部构造不同，还可有许多不同名称，这里不一一介绍。

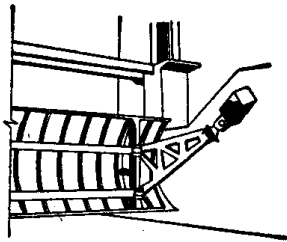


图 1-11 横轴弧形闸门

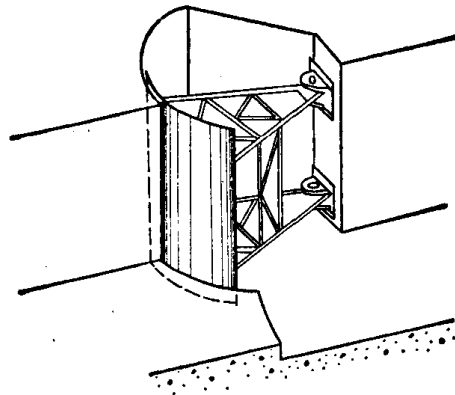


图 1-12 竖轴弧形闸门

扇形闸门在外形上和弧形闸门很相似（图1-13），但它有封闭的外廓，并且铰支于底板上，可以利用空腔内的充水或泄水，使闸门自动上升或下降。当支铰位于上游时称为鼓形闸门，如图1-14。

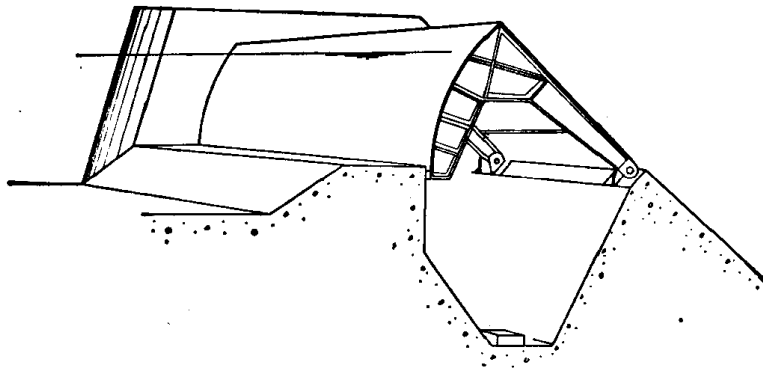


图 1-13 扇形闸门

圆辊闸门的外形如同横卧圆管，拦在闸孔内以封堵孔口，如图1-15。为了改善其水力特性，在圆管顶部和底部往往加设檐板。闸门支承于门槽内，操作时门叶沿圆周滚动，故阻力较小。

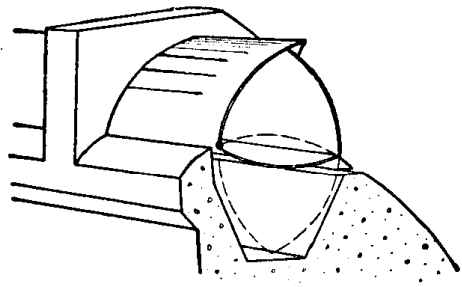


图 1-14 鼓形闸门

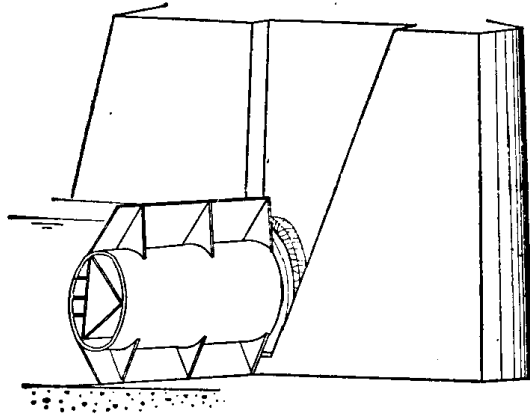


图 1-15 圆辊闸门

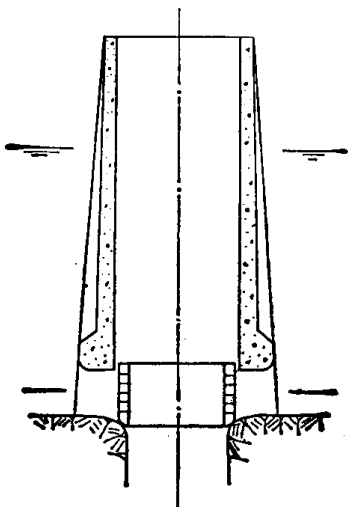


图 1-16 圆筒闸门

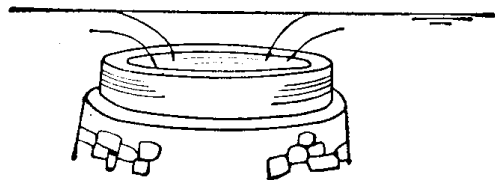


图 1-17 环形闸门

圆筒闸门的外形如同直立的圆管，塞在竖井孔口内以拦堵水流（图1-16）。露顶式的圆筒门也叫环形门（图1-17），由于水压力作用均匀向心，故门叶移动时阻力很小。

1-3 设计闸门时所需收集的原始资料

在设计闸门前一般应了解下列资料：

1. 水工建筑物的情况

闸门是水工建筑物的主要组成部分，因此对水工建筑物的规划设计应有全面的了解，包括它的作用、规模、重要性、运行特性以及具体的构造布置等。特别是土建设计和闸门设计不在同一个单位进行时更应注意，若配合不好，容易造成设计脱离实际的现象，给施工安装及管理运行带来许多麻烦和错误。

2. 闸门孔口的情况

例如孔口的尺寸、孔口数量以及对闸门运行程序的各种要求。

3. 闸门上下游的水位条件

所谓水位条件是指各种可能出现的情况组合。往往有这样的情况，设计人员只注意少数几种极限水位，却忽视了某些初看起来并不重要而在实际运行时可能成为关键的水位条件。例如，在设计潜没式底孔闸门时，最大的上下游水位差固然是一个值得重视的设计条

件，但若下游水位可能淹没闸门后出水管管顶，则即使此时上下游水位差不是最大，同样是一个值得重视的设计条件，因为此时泄流条件恶劣，开门泄水时可能会发生一些问题。

4.有关河道水质的资料

所谓水质，包括水的化学成分、泥沙含量以及水生物的生长情况等。一般河道并不存在特殊问题，但在泥沙含量过高的河道上，泥沙的淤积一方面影响到荷载和启闭力的计算，另一方面牵涉到门型选择、门体布局和零件设计等多方面问题，无疑需要作深入的了解研究。又如对水生物特多或水化学特别复杂的河道，也应进行深入研究，考虑相应的防锈防腐措施。

5.有关冬季情况的资料

我国地处寒、温、热三带，气候条件比较复杂。在长江以北地区，冬季普遍结冰。一般来说，闸门是承受不住冰压力的，因此，严寒地区在闸门附近应考虑设置加热措施或防冰措施。有的河道，如黄河、淮河在冬尽春来时还有凌汛，因此要考虑泄冰问题。流冰的撞击力很大，应尽量避免，或考虑采用大跨度孔口等办法。

6.有关其他漂浮物的资料

除上述浮冰外，对航道孔和筏道孔应深入了解木排、竹筏和船只舰队的种类、型式、尺寸、年运输量以及操作习惯（如民船桅杆的卧倒与否牵涉到净空的要求与门型的选择）等资料。

7.有关气象和地震方面的资料

自然界的风、潮浪、地震等都会产生作用力，直接影响到闸门设计计算，因此在设计前应该到当地气象站或有关记载中去了解这些情况。

8.有关材料供应方面的资料

采用什么材料是很重要的技术经济问题，在方案比较时，应进行全面的综合分析，这样才能完成符合实际的完美设计。

9.有关制造安装运输方面的资料

从设计图纸到做成实体是一个艰辛的劳动过程，设计人员不能光凭主观臆想，而是要根据当时当地所能达到的可能条件来进行设计。

设计前，一定要充分了解生产单位的各项条件，在设计过程中要与制造安装单位多作几次讨论，群策群力，既要有踏实的基础，又要有创新的精神，既要讲自力更生，又要搞协作互助，只有这样，才能使工程做得多快好省。

如果闸门是在工厂内制成的，还应该了解从工厂到安装现场的运输情况、沿途中转站的起吊运输能力等，以便考虑闸门安装件分段的办法及结构强度的核算等等。

1-4 设计步骤

当我们接到一个闸门的设计任务后，首先是收集有关资料，然后对这些资料进行详细的分析研究，根据枢纽布置情况，进行全面的经济比较，以确定闸门和启闭机的型式。在这个过程中除室内工作外，还应该多做一些调查研究工作。对已成工程的实地调查往往特别有益，可以获得不少经验和教训。对大型闸门或新颖闸门还可做一些模型试验甚至实体试验。

门型选定后，应对闸门整体有一个通盘的考虑。如对平面钢闸门来说，打算采用什么样的结构型式，是双主梁还是多主梁，是实腹梁还是桁架梁；打算采用什么样的支承行走型式，是滑道还是滚轮；打算采用什么样的止水型式，什么样的埋件型式等等。在这一过程中，要特别注意闸门与建筑物的协调关系，结构和各零部件的配合关系。一般来说，可以多画一些草图来帮助思考。

闸门布置大体确定后，就可进行结构和零件的计算和设计。若闸门规模较大，这个工作可以由几个人同时进行，但必须注意相互间要保持密切连系，有分有合，协调一致。接下来是门重和启闭力的计算，选定启闭机，制定工艺方案等。最后是把这些设想绘制成图。

从闸门布置到制图这一过程，一般来说并不是一次完成的，而是需要反复多次，对大型或新颖闸门更应如此，以便获得一个较好的设计。

我们不妨把这一设计过程用图1-18的流程框图来表示，更易于理解各步骤间的关系。

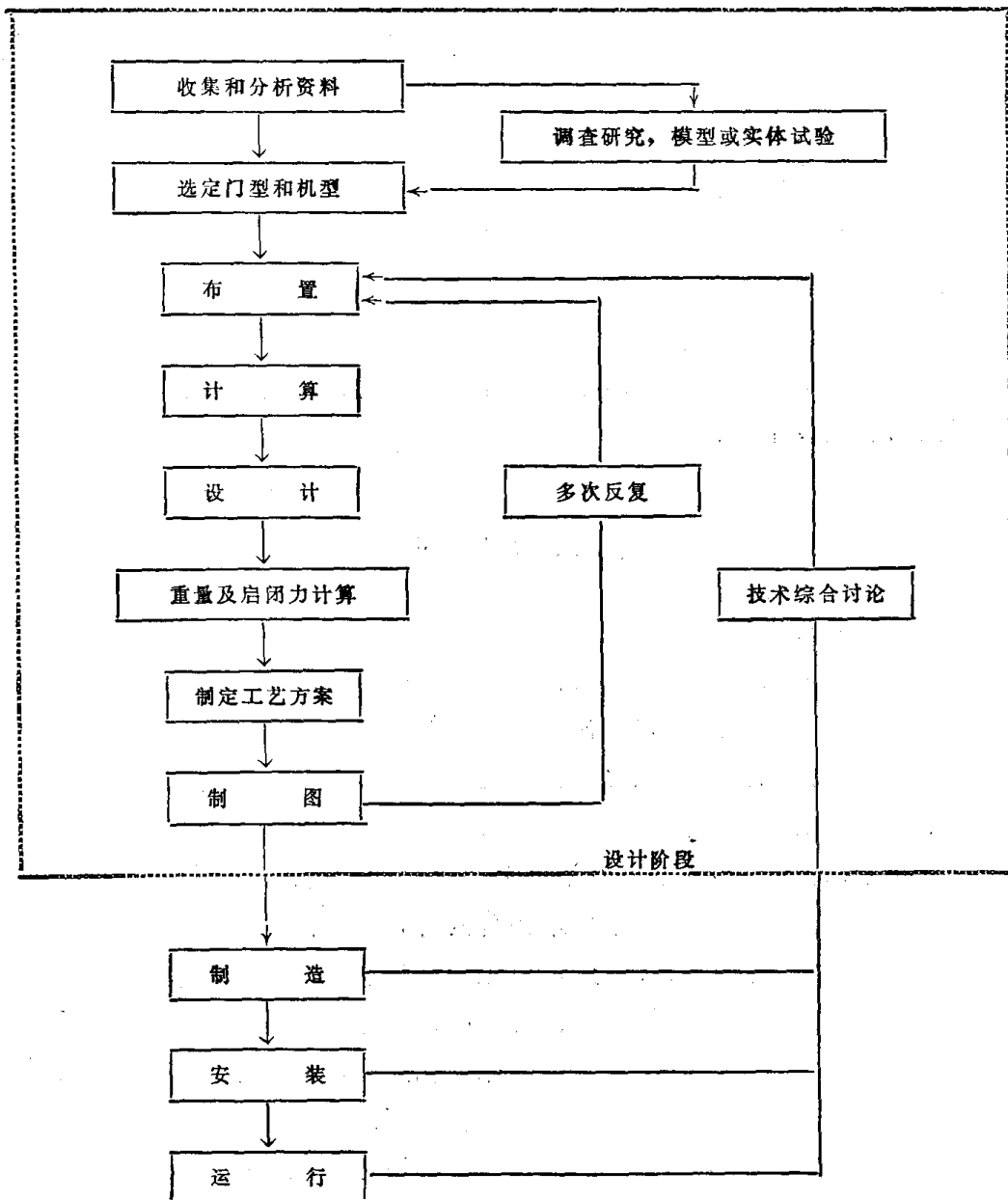


图 1-18 闸门设计流程图

第二章 闸门的选型

闸门的型式很多，它的选择是一件相当细致复杂的工作，牵涉到的因素很多。一般来说，门型的选择首先要满足水工建筑物对闸门提出的各项要求，其次要对材料供应情况、制造安装条件等，作周密的调查，然后再进行技术经济的全面分析比较。

闸门的选型要求综合简述如下：

- (1) 闸门应满足建筑物的各项运行要求；
- (2) 闸门的材料应符合当时当地的供应条件；
- (3) 闸门的水力条件要好，泄流能力要大，无振无蚀；
- (4) 闸门的结构要简单，便于制造安装，并应符合当时当地的施工技术水平和条件；
- (5) 闸门的启闭力要小，操作要简便灵活；
- (6) 闸门要便于检修维护；
- (7) 闸门的止水性能要好，漏水量要小；
- (8) 闸门的重量要轻，造价要低等。

值得注意的是在选择门型时，一定要与整个水工建筑物的方案比较结合起来。

本章拟对孔口尺寸的选择先作一简单的叙述，然后介绍几种常用门型的优缺点、适用范围和工程实例的有关技术数据。

2-1 孔口尺寸的选择

影响闸门孔口尺寸的因素很多，满足使用要求是最主要的因素。例如船闸的口门宽度主要根据过闸船只的尺寸而定，分凌闸的孔宽主要根据排冰要求而定等。其次还要考虑到土建结构的情况，如地质、消能防冲、材料、施工技术；闸门结构的情况，如材料、启闭设备、制造技术等。例如在溢流坝上，孔口高度主要与溢流所允许采用的单宽流量有关，也就是由下游地基的抗冲能力所确定。随着消能措施的效率不断提高，单宽流量的数值越来越大，近年来已高达200立米/秒·米以上，这样就使露顶式闸门的高度达到20米以上。所以，孔口尺寸的选择同样是一个技术经济的综合比较问题。从经济比较来看，孔口有向大尺寸发展的趋势。当然孔口尺寸大，对土建结构和工业生产都有较高的要求，也需要较大的启闭设备。一般来说，当生产条件许可时，采用大尺寸闸门是比较经济的。

在选择孔口时，还应该考虑到工业生产的标准化问题，以利于制造、安装、运行和检修等工作。下面提供目前推荐的标准系列尺寸，在选型时予以优先考虑。

- (1) 露顶式溢洪道（或水闸）闸门的孔口尺寸可按表2-1选用；
- (2) 潜孔式泄水孔（或水闸）闸门的孔口尺寸可按表2-2选用；

表 2-1

露顶式溢洪道(或水闸)闸门的孔口尺寸

孔口高度 (米)	孔 口 宽 度 (米)																	
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
1.0	○	○	○	○														
1.5		○	○	○														
2.0			○	○	○	○	○											
2.5				○	○	○	○											
3.0					○	○	○	○	○	○								
3.5						○	○	○	○	○	○							
4.0							○	○	○	○	○	○	○					
4.5								○	○	○	○	○	○	○				
5.0									○	○	○	○	○	○	○			
6.0										○	○	○	○	○	○	○	○	
7.0											○	○	○	○	○	○	○	○
8.0												○	○	○	○	○	○	○
9.0													○	○	○	○	○	○
10.0														○	○	○	○	○
11.0															○	○	○	○
12.0																○	○	○
13.0																	○	○
14.0																		○
15.0																		○
16.0																		○
18.0																		○
20.0																		○
22.0																		○

注 孔口高度即为闸门高度。

表 2-2

潜孔式泄水孔(或水闸)闸门的孔口尺寸

孔口高度 (米)	孔 口 宽 度 (米)															
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0
1.0	○	○	○	○												
1.5	○	○	○	○												
2.0	○	○	○	○	○	○										
2.5		○	○	○	○	○	○									
3.0			○	○	○	○	○	○	○							
3.5				○	○	○	○	○	○	○						
4.0					○	○	○	○	○	○	○	○				
4.5						○	○	○	○	○	○	○	○			
5.0							○	○	○	○	○	○	○	○		
6.0								○	○	○	○	○	○	○	○	○
7.0									○	○	○	○	○	○	○	○
8.0										○	○	○	○	○	○	○
9.0											○	○	○	○	○	○
10.0												○	○	○	○	○
12.0													○	○	○	○
14.0														○	○	○
16.0															○	○
18.0																○