

# 水工钢结构设计

武汉大学  
范崇仁 主编

## 高等学校教材

高等学校教材  
水工钢结构设计

中国水利水电出版社

V66

8



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

高等学校教材

---

# 水工钢结构设计

武汉水利电力大学 范崇仁 主编

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

本书内容共五章及附录。第一章介绍钢闸门的分类、门型选择以及设计资料等,第二至第四章详述了平面钢闸门、弧形钢闸门、人字钢闸门的设计原理和设计方法,并附有设计例题。最后一章介绍了特种闸门和拦污栅的工作特性和设计要点。

本书是高等学校水利水电类专业选修教材,可供水利水电工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

水工钢结构设计/范崇仁主编. —北京:中国水利水电出版社,1999

高等学校教材

ISBN 7-5084-0124-7

I. 水… II. 范… III. 水利工程-钢闸门-结构设计-高等学校-教材  
IV. TV66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 64503 号

书 作 出	名 者 版	高等学校教材 水工钢结构设计 武汉水利电力大学 范崇仁 主编 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)
发 经	行 售	新华书店北京发行所 全国各地新华书店
排 印 规 版 印 定	版 刷 格 次 数 价	中国水利水电出版社微机排版中心 北京密云红光印刷厂 787×1092毫米 16开本 11.25印张 261千字 2000年5月第一版 2000年5月北京第一次印刷 0001—3000册 11.80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

## 前 言

本书是根据水利部 1996~1997 年高等学校水利电力类专业第四轮教材编审出版规划所编写的一本选修课教材。本书主要取材于原《水工钢结构》一书中的专业结构物设计部分。学习本课程的目的为扩展专业知识面,使所学钢结构的基本构件设计理论与专业更紧密地结合,在学习了钢结构课程的基础上,进一步掌握水工中各类钢闸门的设计原理和设计方法。

本书根据国家标准 GBJ17—88《钢结构设计规范》及 1995 年发布实施的 SL74—95《水利水电工程钢闸门设计规范》、并参照 JTJ261—266—87《船闸设计规范》(试行)而编写。力争全面反映国内外在水工钢闸门方面所积累的成功经验。因此,它还可以供给有关工程技术人员参考和使用。

本书由五章及五个附录组成。参加编写的有范崇仁教授(第一章、第二章及附录)、徐德新教授(第四章)、陈尚建副教授(第三章)、张小兰副教授(第五章)。全书由范崇仁教授主编,河海大学陶碧霞教授主审。

在编写过程中,引用了有关兄弟单位的资料,同时得到长江水利委员会金属结构科的大力协助,在此谨致谢意。

由于编者水平所限,缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

1999 年 1 月

# 目 录

前 言	
第一章 绪论	1
第二章 平面钢闸门	10
第一节 平面钢闸门的组成和结构布置	10
第二节 面板和次梁的设计	15
第三节 主梁设计	20
第四节 横向联结系和纵向联结系	28
第五节 边梁设计	29
第六节 行走支承	30
第七节 轨道及其他埋件	34
第八节 止水、启闭力和吊耳	36
第九节 设计例题——露顶式平面钢闸门设计	40
第三章 弧形钢闸门	54
第一节 概述	54
第二节 弧形钢闸门的结构布置与形式	55
第三节 弧形钢闸门的荷载	58
第四节 主横梁式弧形钢闸门主框架设计	60
第五节 弧形钢闸门的支铰设计	64
第六节 启闭力、启闭机械与吊耳	70
第七节 设计例题——露顶式斜支臂弧形钢闸门设计	72
第四章 人字钢闸门	89
第一节 概述	89
第二节 人字钢闸门的结构组成部分和结构布置	90
第三节 闸门上的荷载及其组合情况	92
第四节 门扇的梁格布置	94
第五节 主梁设计特点	98
第六节 门扇的联结系	100
第七节 斜接柱和门轴柱	103
第八节 支垫座和枕垫座	105
第九节 顶枢和底枢	108
第十节 止水和启闭力	115
第十一节 设计例题——人字钢闸门门体结构设计与应力分析	117
第五章 特种闸门及拦污栅	140

第一节 升卧式平面闸门 .....	140
第二节 水力自动闸门 .....	142
第三节 拦污栅 .....	148
附录一 型钢规格和截面特性.....	153
附录二 轴心受压构件的稳定系数.....	162
附录三 矩形弹性薄板弯矩系数.....	167
附录四 钢闸门自重 ( $G$ ) 估算公式 .....	170
附录五 材料的摩擦系数.....	172
参考文献.....	173

# 第一章 绪 论

水工钢结构包括各种类型的钢闸门、拦污栅、压力钢管、升船机等，而应用最多的是钢闸门。本书主要介绍钢闸门的设计。

闸门是水工建筑物中活动的挡水结构。用它来关闭、开启或局部开启过水孔口，以控制水位、调节流量、过运船只、排放泥沙等。因此，在水利工程兴利除害的诸多作用中，闸门是发挥关键作用的结构物。它的安全和适用，在很大程度上影响着整个水工建筑物的运行效果。

## 一、闸门的组成

闸门一般由三大部分组成：其一是直接用来封堵或开启孔口的活动门叶结构；其二是支承门叶结构的埋固部件及止水部件；其三是操纵门叶结构运动的启闭设备。图 1-1 为葛洲坝水利枢纽二江泄水闸的检修门与工作门。

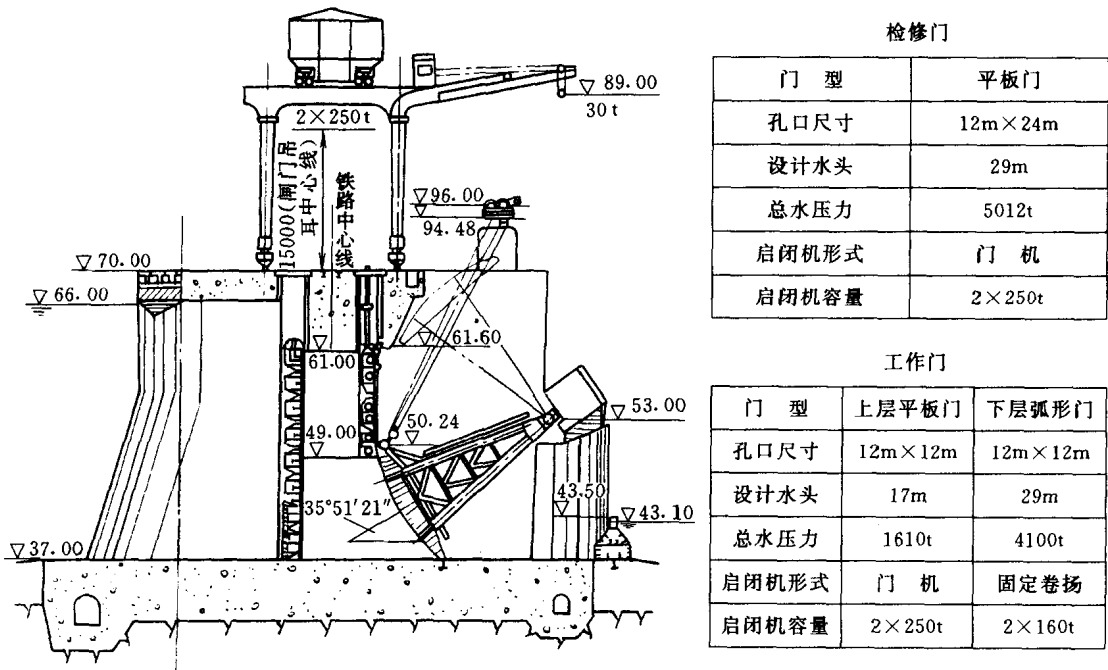


图 1-1 葛洲坝水利枢纽二江泄水闸闸门及启闭机布置图

## 二、闸门的分类

### 1. 按闸门的功能分类

按功能可分为工作闸门、事故闸门、检修闸门和施工闸门等。

(1) 工作闸门 系指为完成过水孔口功能的闸门。如经常用它来调节孔口流量承担主要工作并能在动水中启闭的闸门。

(2) 事故闸门 系指当闸门的下游或上游水道或其设备发生事故时，能在动水中关闭的闸门。当需要快速关闭时，则称为快速事故闸门。快速闸门在关闭时，应满足机组和钢管的保护要求，快速闸门下降速度，在接近门槛时，不宜大于 5m/min。事故闸门宜在静水中开启。

(3) 检修闸门 系指供工作闸门或水工建筑物的某一部位或设备需要检修时用以挡水的闸门。这种闸门宜在静水中启闭。

(4) 施工闸门 系指用来封闭施工导流孔口的闸门。这种闸门是在动水中关闭。

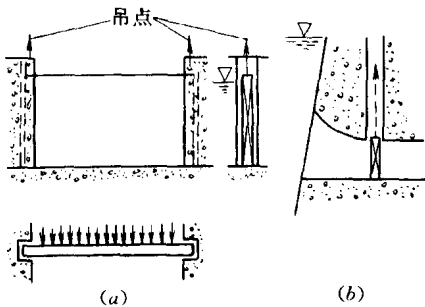


图 1-2 按孔口位置划分平面闸门类型  
(a) 露顶平面闸门；(b) 潜孔平面闸门

## 2. 按闸门孔口的位置分类

包括：露顶闸门和潜孔闸门。

(1) 露顶闸门 门顶是露出水面的如图 1-2 (a) 所示。一般门顶应超出水面 0.3~0.5m。

(2) 潜孔闸门 门顶是潜没于水面以下的如图 1-2 (b) 所示。根据我国目前发展水平，按操作水头又可以划为：低水头闸门（水头小于 25m）；中水头闸门（水头在 25~50m）；高水头闸门（水头在 50~80m）；特高水头闸门（水头超过 80m）。如图 1-1 所示，葛洲坝二江泄水闸的工作闸门和检修闸门均为潜孔闸门。目前我国已

建的水头最高的潜孔闸门是湖南省东江水电站拱坝底孔的弧形钢闸门，孔口尺寸为 6.4m×7.1m（宽×高），水头达 120m，作用在闸门上的总水压力达 53400kN。巴西、巴拉圭的依泰普水利枢纽导流底孔采用定轮深孔平面闸门，其孔口尺寸为 6.7m×22m（宽×高），水头达 140m，作用在闸门上的总水压力达 202250kN。瑞士的莫瓦赞水电站底孔平面闸门的水头高达 200m。

## 3. 按闸门结构形式分类

包括：平面钢闸门、弧形钢闸门（图 1-1）以及船闸上常用的人字形钢闸门等（图 4-1）。这些闸门的特点，详见以后各章。

## 三、设计闸门应具备的资料

1) 闸门在水工建筑中的作用及其所在的部位；  
2) 闸门孔口尺寸和孔口数量以及运行条件；  
3) 闸门上、下游的设计水位和校核水位，风荷载和波浪压力、泥砂情况、温度变化以及地震烈度等；

4) 有关闸门的材料供应、制造、运输和安装条件；

5) 闸门启闭设备的类型；

6) 大气腐蚀情况、水质情况等特殊要求。

## 四、闸门形式及孔口尺寸的选择

### 1. 闸门形式的选择

门型选择应考虑下列因素，综合分析确定：

1) 水利枢纽对闸门运行的要求：例如水电站的进水口所要求的快速事故闸门，应选用平面闸门，如图 1-3 所示。对于控制泄水的水闸宜采用弧形闸门，如图 1-4 所示。有排污、



排冰、过木等要求的水闸，宜采用下沉式闸门或舌瓣闸门等。对于静水或动水启闭、动水关闭而静水开启以及是否需要局部开启等要求，也都是选择门型时必须考虑的因素。

2) 闸门在水工建筑物中的位置、孔口大小及数量、上下游水位和操作水头：例如输水隧洞在出口处设弧形闸门有利，在中部或进口处选用弧形闸门要设较大的闸室是不利的，用平面闸门则可简化布置。当操作水头大于 50m 时，考虑水流条件，宜选弧形闸门。若尾水位较高，由于弧形门的支铰长期浸水，则选平面闸门可能比弧形门有利。孔口尺寸大小和操作水头高低都明显影响门型选择。平面闸门可以提出孔口，若孔口较多，条件许可时，工作闸门可兼作检修闸门。

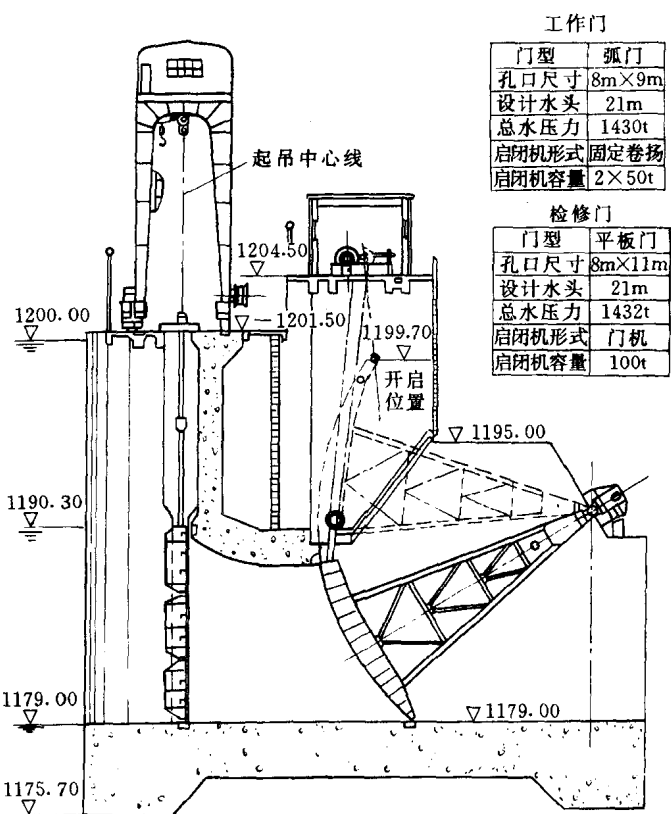


图 1-3 渔子溪一级电站进水口闸门及启闭机布置图

3) 泥沙和漂浮物较多时，宜选用弧形闸门。因为弧形闸门没有门槽的要求，支铰可以设在水面以上。

4) 为避免启闭力过大，可采用弧形闸门而不采用平面闸门。弧形闸门多用固定式启闭机。自动挂脱梁一般多用于平面闸门。

5) 闸门的形式要在满足适用的条件下力求制造简单，运输、安装、维修方便。

6) 闸门的重量要轻，与闸门配套的启闭设备、埋固构件以及闸墩建筑等技术经济综合指标力求最优。

## 2. 孔口尺寸的选择

闸门孔口的尺寸，主要为满足应用的要求，如船闸的口门宽度主要根据过闸船只的尺寸而定。孔口的高度应根据上下游水位而定。其次要考虑到土建结构的情况（如地质、消能防冲、造价等）和闸门结构的情况（如材料、启闭能力，制造技术及其标准化要求等）。当宣泄流量一定时，孔口尺寸愈小，则所需的孔口数目也就愈多，土建数量和启闭设备的数量也就愈多，反之亦然。因此，孔口尺寸的选择同样也是一个技术经济的综合比较问题。从经济比较来看，孔口尺寸有向大尺寸发展的趋势。在溢流坝上，孔口高度主要取决于容许的单宽流量，也就是由下游地基的抗冲刷能力所确定。目前露顶闸门的高度达 20m 以上，如我国水口电站所采用的表孔弧形闸门其跨度为 15m，而门高达 23m。露顶闸门的孔宽已超过 20m。这个宽度为宣泄浮冰已满足要求。

为了工业生产标准化的要求，闸门孔口尺寸和设计水头的选择，应符合 SL 74—95《水利水电工程钢闸门设计规范》附录 A“闸门孔口尺寸和设计水头系列标准”的规定。

### 五、作用在闸门上的荷载

根据设计条件和校核条件划分为设计荷载和校核荷载两类。

#### 1. 设计荷载

##### (1) 闸门自重（包括加重）

初步设计时，闸门结构尚未确定，闸门自重可根据已知的孔口尺寸、水头及门型由附录四所列的统计公式求得，或参考已建同类型闸门的自重。

(2) 静水压力 即设计水头下的静水压力。

(3) 动水压力 设计水头下的动水压力，当闸门在启闭过程或泄水时，作用在闸门上的水压力谓之动水压力。当闸门启闭过程或泄水时门前水压的一部分转化为速度，所以在同等水位下动水压力比静水压力要小些。但是在动水压力下闸门工况复杂，流体与闸门结构的相互作用不够明确，闸门往往产生不同程度的振动。因此规范规定高水头下经常动水操作或经常局部开启的工作闸门，设计时应考虑闸门各部件承受不同程度的动力荷载。动力荷载由闸门上不同部件所承受静荷载分别乘以不同的动力系数来实现。动力系数  $K$  取值范围为 1.0~1.2。在设计中，可根据各种具体条件考虑取值，如深孔弧形门门体刚度大，振动力小，动力系数  $K$  可取小值。露顶式弧形门门体刚度小，振动力大，动力系数  $K$  可取大值。不同构件亦可选用不同的系数，如拉杆、弧门支臂可选用大些，面板部分可选用 1.0，对闸门滚轮、吊耳等部件，因考虑了不均匀或超载系数，可不再考虑动力系数。对于大型工程中水流条件复杂的重要工作闸门，其动力系数应作专门研究。

当进行闸门刚度验算时，不考虑动力系数。

(4) 设计水头下的浪压力 浪压力的大小取决于波高及波长。根据 DL 5077—1997《水工建筑物荷载设计规范》对于丘陵、平原地区水库，当库水较深（门前水深  $>$  半个波长）、计算风速  $v_0 < 26.5\text{m/s}$  及风区长度  $D < 7.5\text{km}$  时，宜按式 (1-1)、式 (1-2) 计算波高及波长：

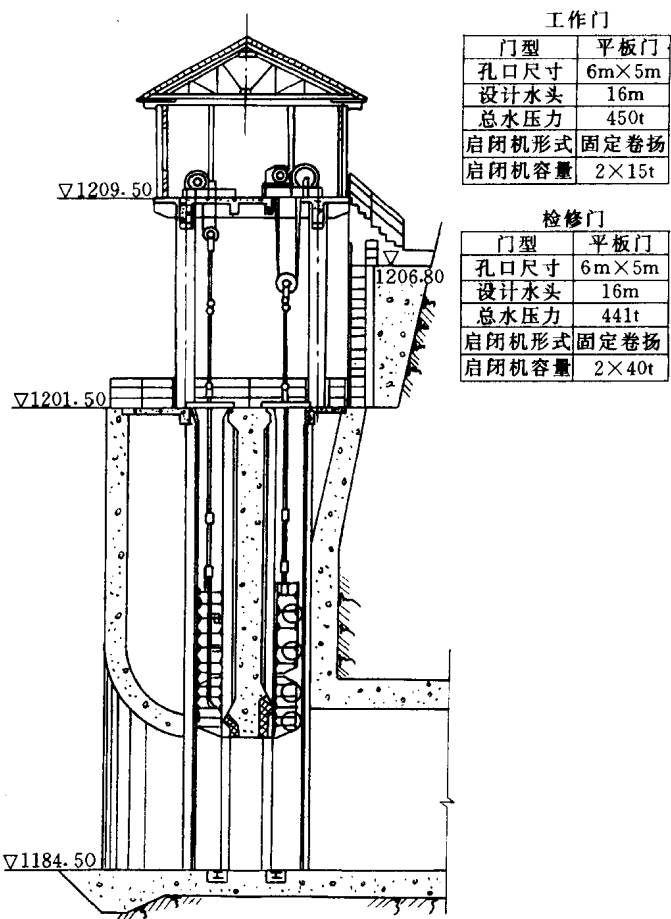


图 1-4 渔子溪一级拦河闸泄洪孔闸门及启闭机布置图

图 1-4 渔子溪一级拦河闸泄洪孔闸门及启闭机布置图

$$\frac{gh_{2\%}}{v_0^2} = 0.00625v_0^{1/8} \left( \frac{gD}{v_0^2} \right)^{1/3} \quad (1-1)$$

$$\frac{gL_m}{v_0^2} = 0.0386 \left( \frac{gD}{v_0^2} \right)^{1/2} \quad (1-2)$$

式中  $h_{2\%}$ ——累积频率为 2% 的波高, m;

$g$ ——重力加速度,  $9.81\text{m/s}^2$ ;

$v_0$ ——计算风速, m/s;

$D$ ——风区长度, m;

$L_m$ ——平均波长, m。

对于内陆峡谷, 当  $v_0 < 20\text{m/s}$  及  $D < 20\text{km}$  时, 宜按式 (1-3)、式 (1-4) 计算波高及波长:

$$\frac{gh}{v_0^2} = 0.0076v_0^{-1/12} \left( \frac{gD}{v_0^2} \right)^{1/3} \quad (1-3)$$

$$\frac{gL_m}{v_0^2} = 0.331v_0^{-1/2.15} \left( \frac{gD}{v_0^2} \right)^{1/3.75} \quad (1-4)$$

式中  $h$ ——当  $gD/v_0^2 = 20 \sim 250$  时, 为累积频率 5% 的波高  $h_{5\%}$ ;

当  $gD/v_0^2 = 250 \sim 1000$  时, 为累积频率 10% 的波高  $h_{10\%}$ 。

通过以上各式, 可以算出波长及累积频率分别为 2%、5% 或 10% 的波高。根据 DL 5077—1997 规定计算浪压力必须采用累积频率为 1% 的波高  $h_{1\%}$ 。为此, 累积频率为  $p\%$  的波高  $h_{p\%}$  与  $h_{1\%}$  之间应采用以下近似关系求得:

$$h_{1\%} = 1.1h_{2\%}; \quad h_{1\%} = 1.2h_{5\%}; \quad h_{1\%} = 1.4h_{10\%}$$

为计算浪压力, 还需要首先知道波浪中心线至计算水位的高度  $h_z$  (m) 及使波浪破碎的临界水深  $H_{cr}$  (m), 它们按式 (1-5)、式 (1-6) 计算:

$$h_z = \frac{\pi h_{1\%}^2}{L_m} \text{cth} \frac{2\pi H}{L_m} \quad (1-5)$$

$$H_{cr} = \frac{L_m}{4\pi} \ln \frac{L_m + 2\pi h_{1\%}}{L_m - 2\pi h_{1\%}} \quad (1-6)$$

式中  $h_{1\%}$ ——累积频率为 1% 的波高, m;

$L_m$ ——平均波长, m;

$H$ ——门前水深, m。

当  $H \geq H_{cr}$ , 但  $H < \frac{L_m}{2}$  时, 浪压力分布如图 1-5 所示, 沿闸门跨度方向单位长度上的浪压力标准值按式 (1-7)、式 (1-8) 计算:

$$P_{wk} = \frac{1}{2} [(h_{1\%} + h_z)(\gamma_w H + p_{1f}) + H p_{1f}] \quad (1-7)$$

$$p_{1f} = \gamma_w h_{1\%} \text{sech} \frac{2\pi H}{L_m} \quad (1-8)$$

式中  $p_{1f}$ ——闸门底面处的剩余浪压力强度 ( $\text{kN/m}^2$ )。

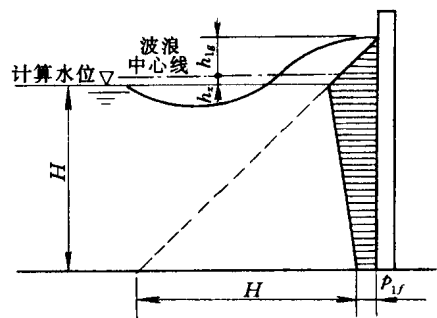


图 1-5 浪压力分布图

(5)设计水头下的地震动水压力 地震力对闸门结构起作用的力称为地震动水压力,对下游无水的浅孔式闸门,水平地震动水压力沿闸门高度近似地按直线分布,距水面为  $y$  处水体所产生的地震动水压力强度为

$$p_z = k_z \gamma_w (0.3H + 0.5y) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (1-9)$$

式中  $H$ ——门前水深, m;

$y$ ——计算点水深, m;

$\gamma_w$ ——水的重度, kN/m<sup>3</sup>;

$k_z$ ——地震系数,按表 1-1 采用。

表 1-1 地震系数  $k_z$

设计烈度	7 度	8 度	9 度
$k_z$	1/40	1/20	1/10

对下游有水且为门高之半时,地震动水压力约为式(1-9)计算出的数值的 150%,且多加于闸门的下半部。

深孔闸门相对于浅孔闸门来说,各设计烈度下的地震动水压力占静水压力的比值要小些。

地震动水压力对露顶式弧形闸门的支臂影响较大,故设计时不容忽视。但 7 级以下地震不必计算地震动水压力。

(6)设计水头下的水锤压力 只有在水工中具有特殊布置和特殊条件下才有水锤压力作用在闸门上。

(7)泥砂压力 若在闸门前沿有沉积泥砂,作用在闸门上的泥砂压强呈上小下大的直线分布,其门底处的压强标准值  $p_{sk}$ 可按式(1-10)计算。

$$p_{sk} = \gamma_{sb} h_s \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_s}{2} \right) \quad (1-10)$$

式中  $\gamma_{sb}$ ——淤砂的浮重度 (kN/m<sup>3</sup>),  $\gamma_{sb} = \gamma_{sd} - (1-n) \gamma_w$ ;

$\gamma_{sd}$ ——淤砂的干重度, kN/m<sup>3</sup>;

$\gamma_w$ ——水的重度, kN/m<sup>3</sup>;

$n$ ——淤砂的孔隙率;

$h_s$ ——门前泥砂淤积厚度, m;

$\varphi_s$ ——淤砂的内摩擦角,°。

(8)风压力 作用在闸门上的风压力  $W$ 可按式计算:

$$W = \mu_s \mu_z W_0 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (1-11)$$

式中  $W_0$ ——基本风压值,可按 GBJ 9-87《工业及民用建筑结构荷载规范》规定采用。即

基本风压值一般按  $W_0 = \frac{V^2}{1600}$  确定,其中  $V$  (m/s) 为当地比较空旷平坦地面上离地 10m 高统计所得的 30 年一遇 10min 平均最大风速;

$\mu_s$ ——风压体型系数,对闸门  $\mu_s = 1.3$ ;

$\mu_z$ ——风压高度变化系数,可按表 1-2 规定采用。

表 1-2 风压高度变化系数  $\mu_z$

离地面高度 (m)	10	15	20	30
$\mu_z$	1.00	1.15	1.25	1.42

(9)启闭力 详见式(2-42)至式(2-44)。

## 2. 校核荷载

校核荷载包括有闸门自重；校核水头下的各种荷载（静水压力、动水压力、波浪压力、地震动水压力、水锤压力、泥沙压力、风压力、冰、漂浮物和推移物的撞击力、温度荷载、启闭力）。这些荷载的计算方法与设计水头下的荷载计算方法基本相同。

## 六、闸门结构的设计方法及材料的容许应力

### 1. 设计方法

根据 SL 74—95《水电工程钢闸门设计规范》，闸门结构设计仍采用容许应力法。今后必须用以概率论为基础的极限状态设计法进行结构设计，这是当前国际上结构设计的先进方法。由于目前水工钢闸门设计还缺少一系列分项系数的确定，待条件成熟（SL 74—95 规范修订后）即可过渡到以概率论为基础的极限状态设计法。

### 2. 容许应力

钢材的容许应力应根据表 1-3<sup>①</sup> 的钢材尺寸分组，按表 1-4 采用。连接材料的容许应力按表 1-5、表 1-6 采用。

表 1-3 钢材的尺寸分组

组别	钢材尺寸 (mm)		
	Q215、Q255		16Mn、16Mnq
	钢材厚度(直径)	型钢和异型钢的厚度	钢材厚度(直径)
第 1 组	≤16	≤15	≤16
第 2 组	>16~40	>15~20	>16~25
第 3 组	>40~60	>20	>25~36
第 4 组	>60~100	—	>36~50
第 5 组	>100~150	—	>50~100 方、圆钢
第 6 组	>150	—	—

注 1. 型钢包括角钢、工字钢和槽钢；  
2. 工字钢和槽钢的厚度系指腹板厚度。

对下列情况，表 1-4 至表 1-6 的数值应乘以调整系数：

1) 大、中型工程的工作闸门及重要的事故闸门的调整系数为 0.9~0.95；

2) 在较高水头下经常局部开启的大型闸门调整系数为 0.85~0.9；

3) 规模巨大且在高水头下操作而工作条件又特别复杂的工作闸门调整系数为 0.8~0.85<sup>②③</sup>。

对于机械零件的容许应力按表 1-7 采用（机械零件系指吊耳、连接、支承部分的零部件

表 1-4 钢材的容许应力 N/mm<sup>2</sup>

钢 材			抗拉、抗压和抗弯	抗剪	局部承压	局部紧接承压
钢 种	钢号	组别	[σ]	[τ]	[σ <sub>cd</sub> ]	[σ <sub>cj</sub> ]
碳素结构钢	Q215	第 1 组	145	90	220	110
		第 2 组	135	80	200	100
		第 3 组	125	70	190	95
		第 4 组	120	65	180	90
		第 5 组	115	60	170	85
		第 6 组	110	55	160	80
	Q235	第 1 组	160	95	240	120
		第 2 组	150	90	230	115
		第 3 组	145	85	220	110
		第 4 组	135	80	210	105
		第 5 组	130	75	200	100
		第 6 组	125	70	190	95
低合金结构钢	16Mn、16Mnq	第 1 组	230	135	350	175
		第 2 组	220	130	330	165
		第 3 组	205	120	310	155
		第 4 组	190	110	290	145
		第 5 组	180	105	270	135

注 1. 局部承压应力不乘调整系数；  
2. 局部承压是指构件腹板的小部分表面受局部荷载的挤压或端面承压（磨平顶紧）等情况；  
3. 局部紧接承压是指可动性小的铰在接触面的投影平面上的压应力。

① 表 1-3 至表 1-12 摘自 SL 74—95。

② 上述调整系数不连乘。

③ 特殊情况，另行考虑。

表 1-5

焊缝的容许应力

N/mm<sup>2</sup>

焊接方法和 焊条型号	构件钢材		对接焊缝				贴角焊缝	
	钢号	组别	抗压 [ $\sigma_c^h$ ]	抗拉 [ $\sigma_l^h$ ]		抗剪 [ $\tau^h$ ]	抗拉、抗压 和抗剪 [ $\tau_l^h$ ]	
				1. 当 用自动焊 时	2. 当用半自动焊或手工焊 时, 焊缝质量的检查为			
		(1) 精确方法	(2) 普通方法					
自动焊、半自动焊和用 E43 ××型焊条的 手工焊	Q215	第1组	145	145	145	125	85	105
		第2组	130	130	130	110	75	95
		第3组	125	125	125	105	70	90
	Q235	第1组	160	160	160	135	95	115
		第2组	150	150	150	120	90	105
		第3组	145	145	145	115	85	100
自动焊、半自动焊和用 E50 ××型焊条的 手工焊	16Mn	第1组	230	230	230	200	135	160
		第2组	220	220	220	190	130	150
	16Mnq	第3组	205	205	205	175	120	140
		第4组	190	190	190	165	110	130

- 注 1. 检查焊缝质量的普通方法系指外观检查、测量尺寸、钻孔检查等方法；精确方法是在普通方法的基础上，用“X”射线、超声波等方法进行补充检查；
2. 仰焊焊缝的容许应力按上表降低 20%；
3. 安装焊缝的容许应力按上表降低 10%。

表 1-6

普通螺栓连接的容许应力

N/mm<sup>2</sup>

螺栓的钢号	构件钢材		精制螺栓			粗制螺栓			锚栓
	钢号	组别	抗拉 [ $\sigma_l^l$ ]	抗剪(I类孔) [ $\tau^l$ ]	承压(I类孔) [ $\sigma_c^l$ ]	抗拉 [ $\sigma_l^l$ ]	抗剪 [ $\tau^l$ ]	承压 [ $\sigma_c^l$ ]	抗压 [ $\sigma_d^l$ ]
Q235			125	130	—	125	85	—	105
16Mn			185	190	—	185	125	—	150
碳素结构钢	Q215	第1组	—	—	265	—	—	175	—
		第2组	—	—	240	—	—	160	—
		第3组	—	—	—	—	—	—	—
	Q235	第1组	—	—	290	—	—	190	—
		第2组	—	—	275	—	—	185	—
		第3组	—	—	—	—	—	—	—
低合金钢	16Mn、 16Mnq	第1组	—	—	420	—	—	280	—
		第2组	—	—	395	—	—	265	—
		第3组	—	—	370	—	—	250	—
		第4组	—	—	345	—	—	235	—

- 注 1. 孔壁质量属于下列情况者为 I 类孔。
- 1) 在装配好的构件上按设计孔径钻成的孔；
  - 2) 在单个零件和构件上按设计孔径分别用钻模钻成的孔；
  - 3) 在单个零件上先钻成或冲成较小的孔径，然后在装配好的构件上扩钻至设计孔径的孔；
2. 当螺栓直径大于 40mm 时，螺栓容许应力应予降低，对于 Q235 降低 4%，对于 16Mn 降低 6%。

表 1-7

机械零件的容许应力

N/mm<sup>2</sup>

应力种类	符号	碳素结构钢		低合金钢	优质碳素结构钢		铸造碳钢				合金铸钢		合金结构钢	
		Q235	Q275	16Mn	35	45	ZG230 -450	ZG270 -500	ZG310 -570	ZG340 -640	ZG50 Mn2	ZG35 CrMo	35Mn2	40Cr
抗拉、抗压和抗弯	$[\sigma]$	100	120	140	130	145	115	120	140	150	190	170 (235)	130 (280)	(320)
抗剪	$[\tau]$	65	75	90	85	95	85	90	105	115	150	130 (180)	85 (190)	(215)
局部承压	$[\sigma_{cd}]$	150	180	210	195	220	170	180	200	220	280	250 (345)	195 (430)	(485)
局部紧接承压	$[\sigma_{cj}]$	80	95	110	105	120	90	95	110	120	155	135 (190)	105 (230)	(265)
孔壁抗拉	$[\sigma_k]$	120	145	180	150	170	130	140	155	170	220	190 (265)	150 (330)	(375)

注 1. 括号内为调质处理后的数值。

2. 孔壁抗拉容许应力系指固定结合的情况；若系活动结合，则应按表值降低 20%。

3. 表列“合金结构钢”的容许应力，适用于钢材厚（径）不大于 25mm 者。如由于厚度影响，屈服点有减少时，各类容许应力，可按屈服点减少比例予以减少。

表 1-8 灰铸铁的容许应力 N/mm<sup>2</sup>

应力种类	符号	灰铸铁牌号		
		HT15-33	HT20-40	HT25-47
轴心抗压和弯曲抗压	$[\sigma_a]$	120	150	200
弯曲抗拉	$[\sigma_w]$	35	45	60
抗剪	$[\tau]$	25	35	45
局部承压	$[\sigma_d]$	170	210	260
局部紧接承压	$[\sigma_{cj}]$	60	75	90

表 1-10 混凝土的容许应力 N/mm<sup>2</sup>

应力种类	符号	混凝土强度等级			
		C15	C20	C25	C30
承压	$[\sigma_h]$	5	7	9	11

1-12 采用。

对于表 1-4~表 1-7 所示的容许应力值：在校核条件下提高 15%；在特殊情况下，除局部应力外，不超过  $0.85\sigma_s$ 。

表 1-11 木材的容许应力 N/mm<sup>2</sup>

应力种类	符号	针叶材		阔叶材	
		东北落叶松	红松	木 [栎木]	桦木
横纹承压	$[\sigma_{ah}]$	1.7	1.3	3	2.2

和铸、锻造主轨等)。

对于灰铁铸件的容许应力按表 1-8 采用。

对于轴套的承压容许应力按表 1-9 采用。

表 1-9 轴套的容许应力 N/mm<sup>2</sup>

轴和轴套的材料	符号	径向承压
钢对 10-1 铸锡磷青铜	$[\sigma_{ag}]$	40
钢对 9-4 铸铝铁青铜		50
钢对钢基铜塑复合材料		40

对于埋设件一、二期混凝土的承压容许应力按表 1-10 采用。

对于木材的横纹承压容许应力按表 1-11 采用。

对于钢材和钢铸件的物理性能按表

表 1-12 钢材和铸钢件的物理性能

材料名称	弹性模量 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	剪切模量 $G$ (N/mm <sup>2</sup> )	线胀系数 $\alpha$ (K <sup>-1</sup> )	质量密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
钢材、铸钢件	$2.06 \times 10^5$	$0.79 \times 10^5$	$1.2 \times 10^{-5}$	7850

## 第二章 平面钢闸门

### 第一节 平面钢闸门的组成和结构布置

#### 一、平面钢闸门的组成

平面钢闸门一般是由可以上下移动的门叶结构、埋固构件和启闭闸门的机械设备三大部分所组成。

##### (一) 门叶结构的组成

门叶结构是用来封闭和开启孔口的活动挡水结构。图 2-1 所示为平面钢闸门门叶结构立体示意图。图 2-2 所示为平面钢闸门的门叶结构总图。由图可见，门叶结构是由面板、梁格、横向和纵向联结系、行走支承（滚轮或滑吊耳块）以及止水等部件所组成。

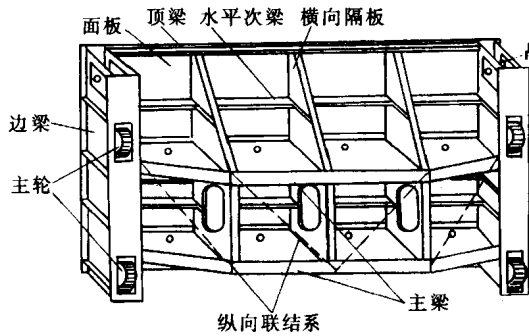


图 2-1 平面钢闸门门叶结构立体示意图

(1) 面板 用来直接挡水，并将承受的水压力传给梁格。面板通常设在闸门上游面，这样可以避免梁格和行走支承浸没于水中而聚积污物，也可以减少因门底过水而产生的振动。仅对静水启闭的闸门或当启闭闸门时门底流速较小的闸门，为了设置止水的方便，面板可设在闸门的下游面。

(2) 梁格 梁格用来支承面板，以减少面

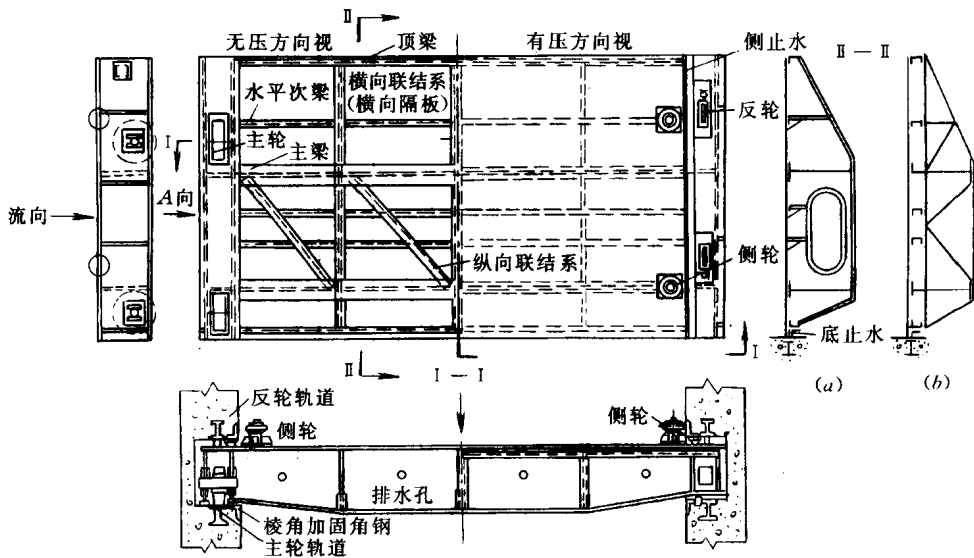


图 2-2 平面钢闸门门叶结构总图

(a) 横向隔板；(b) 横向桁架



板跨度而达到减少面板厚度的目的。由图 2-1 和图 2-2 可见，梁格一般包括主梁、次梁（包括水平次梁、竖直次梁、顶梁和底梁）和边梁。它们共同支承着面板，并将面板传来的水压力依次通过次梁、主梁、边梁而后传给闸门的行走支承。

(3) 空间联结系 由于门叶结构是一个竖放的梁板结构，梁格自重是竖向的，而梁格所承受水压力却是水平的，因此，要使每根梁都能处在它所承担的外力作用的平面内，就必须用联结系来保证整个梁格在闸门空间的相对位置。同时，联结系还起到增强门叶结构在横向竖平面内和纵向竖平面内（图 2-3）刚度的作用。

横向联结系位于闸门横向竖平面内（图 2-3），其形式一般为实腹隔板式 [图 2-2 (a)]，也有桁架式 [图 2-2 (b)]。横向联结系用来支承顶梁、底梁和水平次梁，并将所承受的力传给主梁。同时，横向联结系保证着门叶结构在横向竖平面内的刚度，不使门顶和门底产生过大的变形。

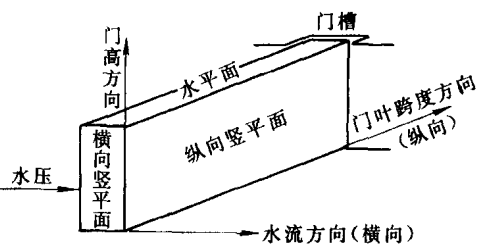


图 2-3 平面闸门的座标示意图

纵向联结系一般采用桁架式或刚架式。桁架式结构的杆件由横向联结系的下弦、主梁的下翼缘和另设的斜杆（图 2-2）所组成。这个桁架支承在边梁上，其主要作用是承受门叶自重及其他可能产生的竖向荷载，并配合横向联结系保证了整个门叶结构在空间的刚度。

(4) 行走支承 为保证门叶结构上下移动的灵活性，需要在边梁上设置滚轮或滑块，这些行走支承还将闸门上所承受的水压力传递到埋设在门槽内的轨道上。

(5) 吊具 用来连接启闭机的牵引构件。

(6) 止水 为了防止闸门漏水，在门叶结构与孔口周围之间的所有缝隙里需要设置止水（也称水封）。最常用的止水是固定在门叶结构上的定型橡皮止水。

## (二) 埋设构件

如图 2-2 所示，门槽的埋设构件主要有：行走支承的轨道、与止水橡皮相接触的型钢、为保护门槽和孔口边棱处的混凝土免遭破坏所设置的加固角钢等。

由上述的结构组成可以知道：在挡水时闸门所承受的水压力是沿着下列途径传递到闸墩上去的，即



了解闸门结构的传力途径，对于掌握各种构件的受力情况和闸门的设计程序是有帮助的。

## (三) 闸门的启闭机械

对于小型闸门，常用螺杆式启闭机，对于大、中型闸门常采用卷扬式启闭机或油压式启闭机。对于如何选用闸门启闭机械的问题，可参考有关资料，本章不予叙述。

## 二、平面闸门的结构布置

平面闸门结构布置的主要内容是：确定闸门上需要的构件，每种构件需要的数目以及