

中等专业学校試用教科书

# 水工金属结构

吉林水利水电学院編



中国工业出版社

中等专业学校試用教科书



# 水 工 金 属 结 构

吉林水利水电学院編



中国工业出版社

本书是水利电力部教育司組織編写的中等专业学校教材之一。

本书前五章系根据苏联专家謝維廖夫 (И. В. Шерехов) 在吉林水利水电学院讲授“水工結構机械設備”課程时(1957年)所編写的讲义經過整理而成。

本书扼要地讲述了水电站中最常見的閘門及閘、压力管道及拦污柵等金屬結構，着重地介紹了平面閘門、弧形閘門及船閘人字門的結構及其选择与計算方法等；而对于压力管道、閘及拦污柵部分只作了一般敘述。考虑到我国目前农村小型水电站的运用情况，还編入了木閘門及木管道部分。

本书供水力动力装置专业学生閱讀，还可作高等院校及設計部門有关专业和工程技术人员参考。

## 水工金屬結構

吉林水利水电学院編

\*

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

\*

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印張12 1/4·字数281,000

1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印数(001—1,033)·定价(9-4) 1.15元

統一书号: 15165·340(水电-51)

# 目 录

<b>第一章 緒論</b> .....	<b>3</b>
§1-1 水工金屬結構課程內容簡介.....	3
§1-2 我國水工閘門發展簡史.....	7
<b>第二章 閘門的一般知識</b> .....	<b>8</b>
§2-1 閘門的主要部件.....	8
§2-2 閘門的分類.....	8
§2-3 作用在閘門上的力及荷重.....	12
§2-4 作用力及荷重的組合與閘門的計算位置.....	18
§2-5 閘門材料.....	19
§2-6 材料的允許應力.....	21
§2-7 閘門設計的原始資料.....	24
<b>第三章 頂單扇平面鋼閘門</b> .....	<b>25</b>
§3-1 一般說明.....	25
§3-2 閘門的構件及其受靜水壓力的情況.....	25
§3-3 閘門的計算方法.....	26
§3-4 鋼面板.....	27
§3-5 梁格結構.....	29
§3-6 水平輔助梁.....	31
§3-7 中間柱與垂直橫向聯結系.....	34
§3-8 主梁.....	39
§3-9 支承端柱.....	46
§3-10 縱向垂直聯結系(起重桁架).....	48
§3-11 支承行走部分.....	50
§3-12 埋固部分.....	71
§3-13 止水裝置.....	76
§3-14 操作閘門的牽引力.....	81
§3-15 閘門的操作裝置.....	82
<b>第四章 其他型式的平面閘門</b> .....	<b>85</b>
§4-1 深孔平面閘門.....	85
§4-2 分段平面閘門.....	94
§4-3 雙層平面閘門與帶舌瓣的平面閘門.....	98
§4-4 平面木閘門.....	100
§4-5 迭梁閘門.....	103
§4-6 平面閘門自重的計算.....	104
§4-7 平面閘門的優缺點及應用範圍.....	106
<b>第五章 弧形閘門</b> .....	<b>107</b>
§5-1 弧形閘門的結構及其工作情況.....	107

§5-2	作用在閘門主梁上的靜水压力的确定	110
§5-3	自重与牽引力在框架上所产生的力	111
§5-4	主框架的計算	114
§5-5	实体框架几何尺寸的选择及框架結構	120
§5-6	腿架(支承桁架)	121
§5-7	支承鉸	123
§5-8	弧形閘門的一些特殊結構	125
§5-9	其他材料的弧形閘門	129
§5-10	深孔弧形閘門	131
§5-11	弧形閘門和平面閘門的比較	131
<b>第六章</b>	<b>船閘人字閘門</b>	<b>133</b>
§6-1	对船閘閘門的要求及其型式	133
§6-2	人字閘門的构造型式	134
§6-3	閘門的基本尺寸	135
§6-4	閘門的作用力	136
§6-5	面板与构架	137
§6-6	支承部分	143
§6-7	导柄与保安支墊	147
§6-8	止水	148
§6-9	木人字門	149
§6-10	閘瓣	151
§6-11	操作閘門的牽引力	152
§6-12	操作机械	153
§6-13	人字門的优缺点	155
<b>第七章</b>	<b>压力管道及閘</b>	<b>156</b>
§7-1	管道的分类	156
§7-2	鋼管	157
§7-3	木质水管	176
§7-4	閘門	181
<b>第八章</b>	<b>拦污柵</b>	<b>186</b>
§8-1	拦污柵的用途及其布置	186
§8-2	拦污柵的結構	188
§8-3	拦污柵的水头損失及容許流速	189
§8-4	柵片間距	191
§8-5	拦污柵的强度計算	191
§8-6	拦污柵的清理及防凍措施	192

# 第一章 緒 論

## §1-1 水工金屬結構課程內容簡介

本課程講述水工閘門及閘、壓力管道及攔污柵等金屬結構，而着重講述閘門部分。考慮到大力節約鋼材及我國當前農村小型水電站的運用情況，除講述鋼閘門及鋼管道之外，還簡單介紹了木閘門及木管道。

閘門是水工金屬結構中採用最多的一種。凡是閉塞水工結構孔口的，用來放水、調節上下游水位、通過船隻及木材、排除浮冰、污物和泥沙等的裝置，統稱為閘門。它在很大的程度上保證了水工建築物的使用成效。

目前閘門的型式很多，這裡只舉幾個例子。

圖 1-1 及圖 1-2 是溢流壩上的平面閘門及弧形閘門；圖 1-3 a 及 b 為水電站深式進水口所用金屬結構的布置全圖，圖中 1 為深孔平面閘門，用於高為 12 米、寬為 7 米的孔口上，其水頭為 27.5 米，用固定式起門機 2 操作；圖 1-4 為正在安裝中的人字形船閘門；圖 1-5 為直徑 4.3 米的電動式蝴蝶閘。

近代化閘門具有很大尺寸，這些閘門封閉幾百平方米的孔口，重量可達 300 噸。操作閘門的起重機械的起重量在目前達到 400~500 噸。

圖 1-6 為水電站壓力鋼管與調壓塔的布置草圖。壓力鋼管是水工結構物中極重要的

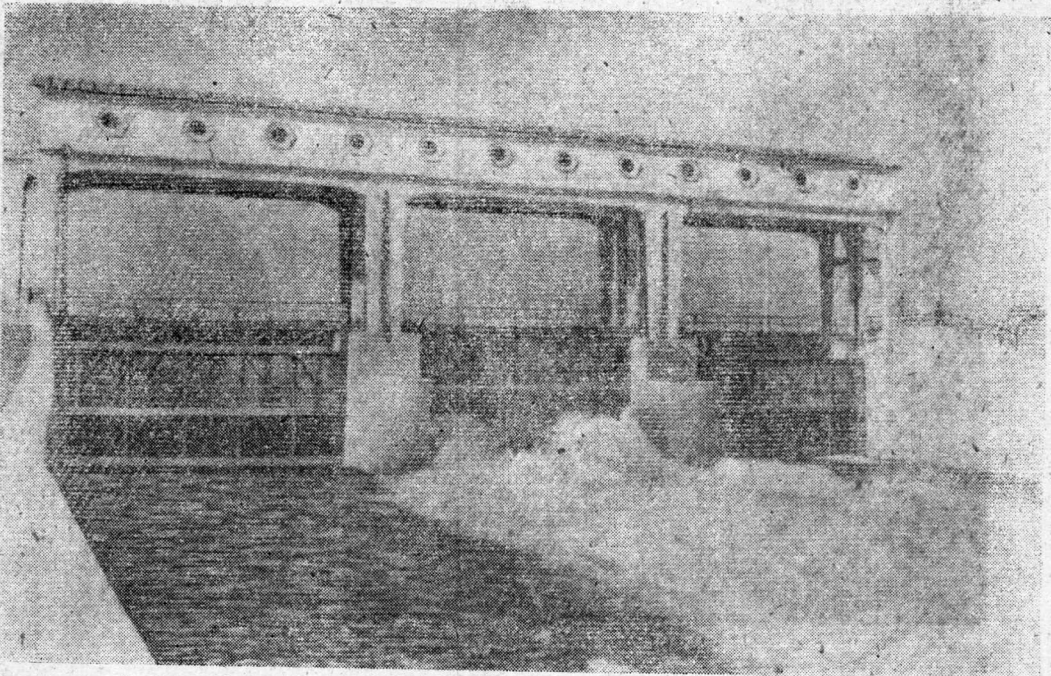


圖 1-1 裝有平面閘門的溢流壩(下游視圖)

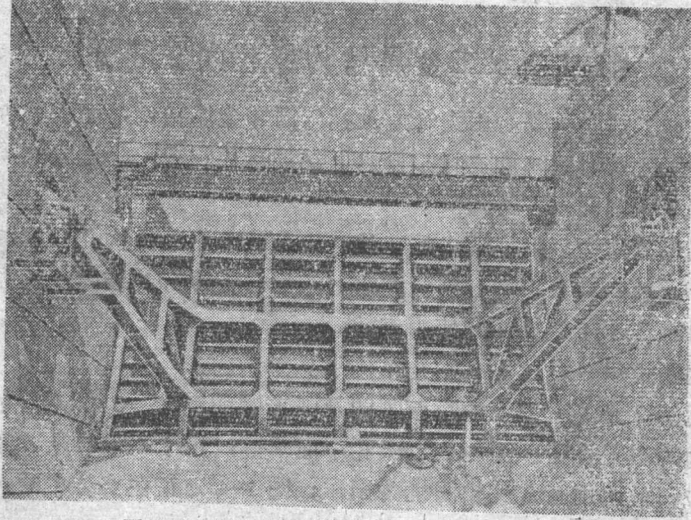


图 1-2 装有弧形闸门的溢流坝(下游视图)

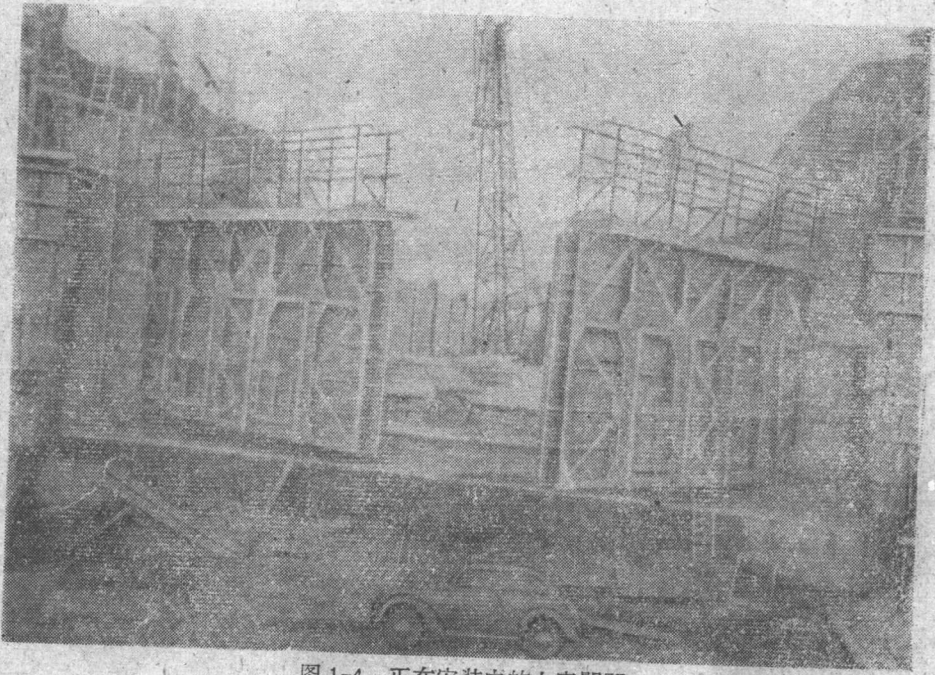


图 1-4 正在安装中的人字闸门

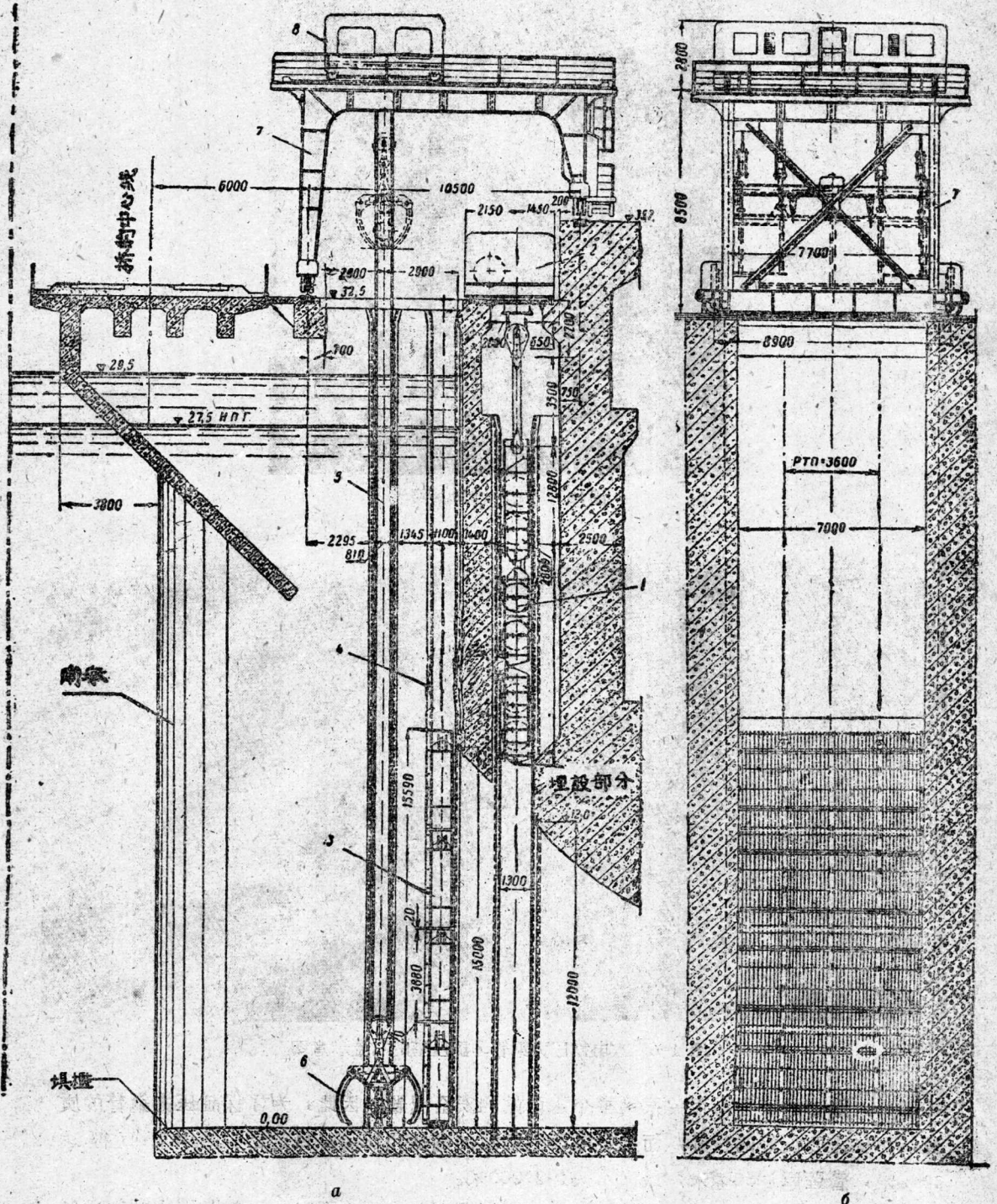


图 1-3 水电站深式进水口金属结构布置全图



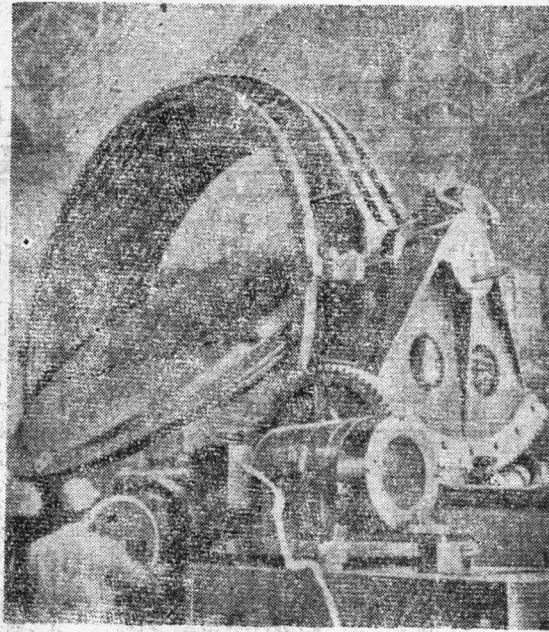


图1-5 4.3米电动蝴蝶阀

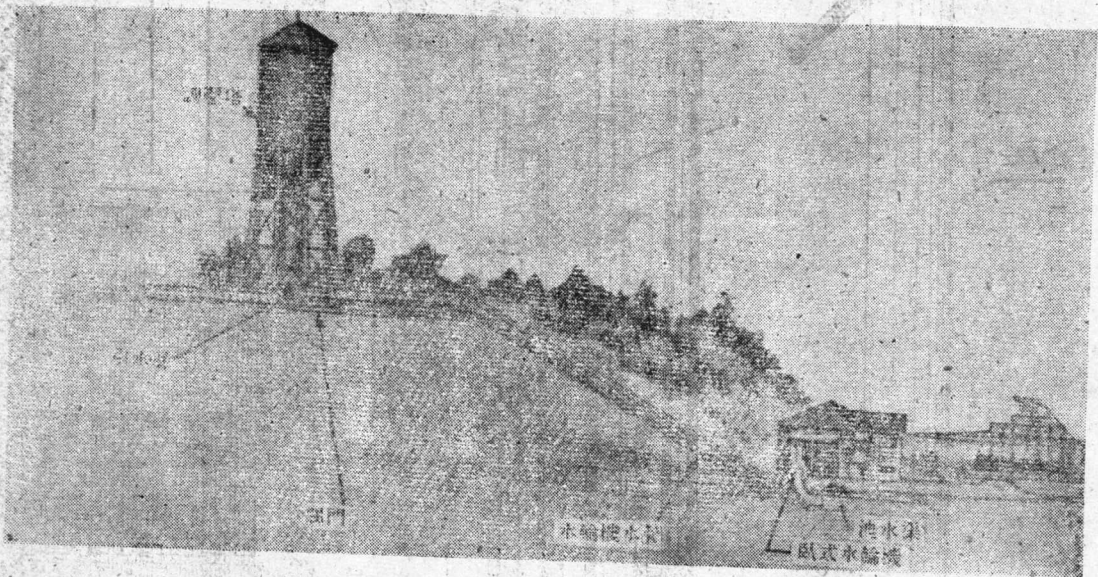


图1-6 水电站压力钢管与调压塔的布置示意图

一部分，钢管的安全与否关系到整个水电站的安全问题。因此，为了保证压力钢管的质量，不仅需要很好的设计，而且也需要极细致的制造和安装。目前已有的钢管直径达7~8米，管壁厚达50毫米，最大水头达2,000米。

拦污栅一般装在水轮机前的孔口上、水压钢管前的进水孔口上、船闸引水廊道进口处和其他一些地方，其功用在于拦阻水中可能有的污物，从而避免造成设备运行条件的

恶化和设备的破坏。图 1-3 中 3 为拦污栅，污物的清理可采用拦污栅清理机械或采用装在桥式或门式起重机上的攫物装置(图 1-3 中 6、7、8 所示)。

就重量来看，在大型河床式水电站中，水工金属结构的总重量达到 73,000 吨；在引水式水电站中，水工金属结构总重量虽然较小，但其种类也非常多，如某水电站金属结构的重量只有 740 吨，但其种类达 54 种。

因此无论从水工金属结构的作用来看或从其重量来看，都说明它是现代化水力枢纽中重要的组成部分。

## §1-2 我国水工闸门发展简史

水工闸门发展的历史是与人类社会生产发展的历史相联系的，特别是与水利部门(如灌溉、航运、给水、水能利用等)所提出的愈来愈多的要求有关。

我国水利事业有着悠久的历史，防洪、灌溉、航运等早在古代就已开始，并且都有很大成就，如众所周知，大禹治水(公元前 2286 年)；黄帝设井灌溉；航运早在在大禹治水时即已开始，到春秋时中原运河通航已相当发达。此后，著名的运河工程，如灵渠(公元前 215 年)，设闸 36 道；开始于公元前 485 年(周朝)，经隋朝(公元 610 年)大力开凿，直到公元 1293 年(元朝)完工的长达 1782 公里的南北大运河上设有数十道闸门；唐代开始应用闸河，用水闸代替埽堰，其时许多河流上设了闸门(即斗门)；宋朝开始应用复闸，如设复闸于邵伯棧。复闸的布置与近代船闸的原理相同，此后开凿的许多运河上普遍应用复闸，元代的惠通河(北京一通县，完工于公元 1293 年)上设有复闸 10 处；清代康熙年间对南北大运河又加大修建，这是闸门的全盛时期。

综合上面所述，由于水利工程的建设，促进了水工闸门的发展，不过那时的生产水平很低，结构很简陋，就其材料来看也都是木料的，至于使用金属闸门特别是钢闸门还是近几十年的事情。

我国最早的钢闸门是 1918 年~1920 年在马厂减河所建的 6 孔闸门；1919 年在天津附近所建的新开河泄水闸 14 孔闸门，孔宽 3 米；1923 年在苏庄建闸两座，一为 39 孔的泄水闸，一为 10 孔的进水闸，孔宽均为 6 米。在国民党的反动统治时期，闸门建造的很少。

解放以后，在党的正确领导下我国水利水电事业有了巨大的发展，并取得了巨大成就。大量的水利水电工程兴建起来，同时也建造了很多各种型式的闸门。特别值得指出的是解放以后所建造的钢闸门都是我国自己设计、制造和安装的，所用钢材几乎全部是国产材料，而且钢闸门在数量上、尺寸上和质量上都大大超过了解放前的水平，在结构上也更加完善，并采用了新的型式。为了节约钢材起见，各种型式的木闸门、钢筋混凝土闸门和混合材料制成的闸门、输水及压力管道，也逐渐得到广泛的应用。对于闸门的各种专门性问题也都进行了大量的研究工作。

## 第二章 閘門的一般知識

### §2-1 閘門的主要部件

閘門一般是由下面几个部分組成的(图2-1及2-2): 1) 活动部分(一个或几个)1; 2) 埋設部分或閘門框架2; 3) 操作装置3。

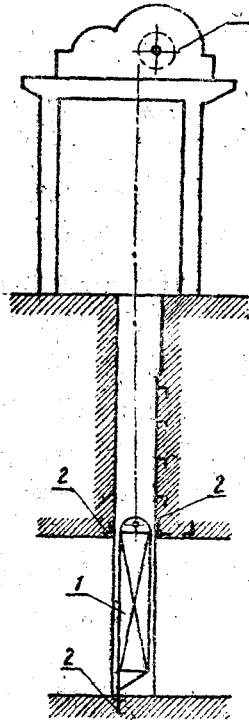


图 2-1 閘門三大部分示意图

需要指明, 我們往往將閘門的活动部分就直接称做閘門。

閘門的活动部分, 大都由下列部件組成(图2-2): 1) 擋水面板4; 2) 构架5; 3) 支承行走部分6; 4) 閘門的悬吊装置7或閘門与操作装置用其他方式連接的零件; 5) 止水8。

閘門埋設部分(或框架)的构造, 在很大程度上与閘門的型式有关, 因此在簡图上沒有完全表示出来。

閘門操作装置的特性可以按下列四方面來說明: 1) 操作装置与閘門的相对位置; 2) 牵引机械; 3) 傳动机械; 4) 电动机的数量与类型。

### §2-2 閘門的分类

閘門的型式很多, 目前有 100 种左右, 有的型式目前很少采用, 有的还在設計中或者只是設計者的建議。

閘門的分类方法很多, 我們只按以下四个特征进行分类。

#### 一、按結構特征分类

現代滾水壩上閘門的主要結構型式有: 平面閘門(图2-3a及b), 弧形閘門(图2-3c), 圓錐閘門(图2-3d), 扇形閘門(图2-3d及e), 屋頂閘門(图2-3x)及舌瓣閘門(图2-3z、u)。

用作深孔閘門的, 除平面閘門(图2-4a, b)和弧形閘門(图2-4c)两种型式外, 还有圓筒閘(图2-4z), 蝴蝶閘(2-4d), 球形閘(图2-4e), 針形閘(图2-4x)及錐形閘(图2-4z)等等。

在船閘閘門中最常应用的是双扇人字閘門(图1-4)。

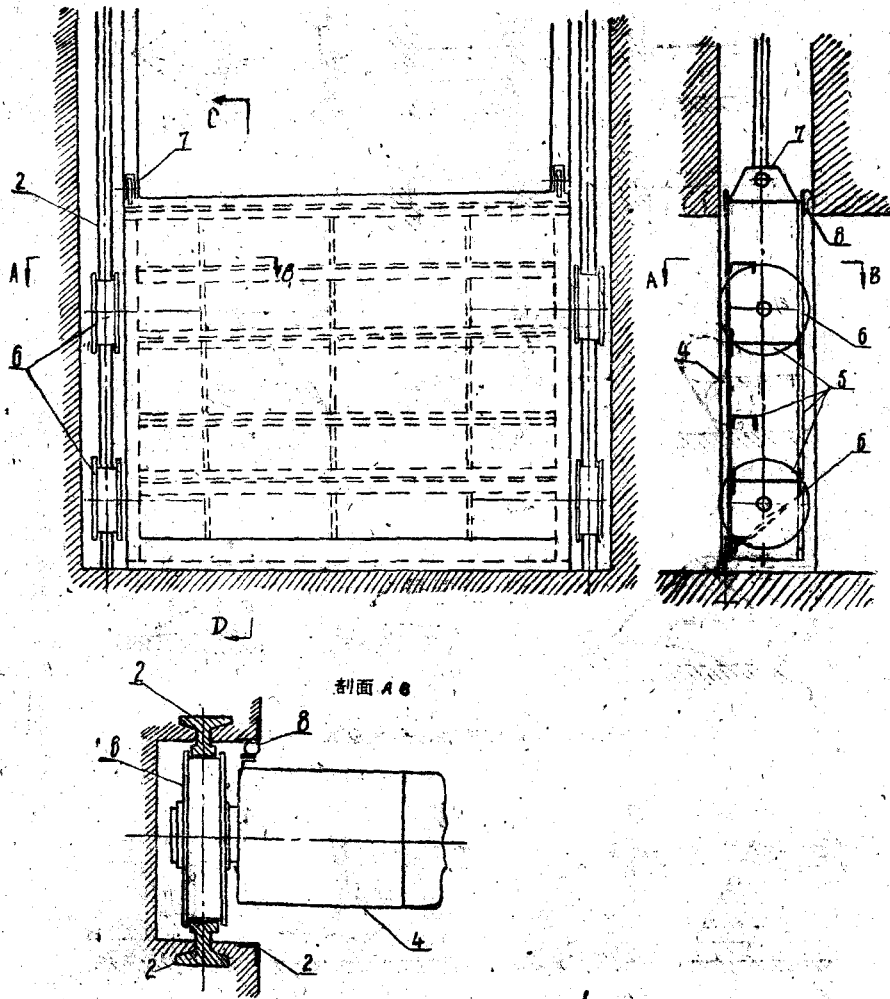


图 2-2 閘門活动部分的部件示意图

## 二、按材料和制造方法分类

从使用的材料来看，閘門可分为鋼結構閘門，木結構閘門，鋼筋混凝土閘門和混合材料閘門等四大类。

在鋼結構閘門中，按制造方法的不同，又分为：焊接閘門，鉚接閘門，鑄造閘門，有鉚接接縫（或螺栓安装接縫）的焊接閘門，由鑄件組成的焊接閘門等数种。

至于混合材料的閘門，是在鋼构架上，装以木擋水面板，或装以压合木擋水面板。

目前在大中型水电站里和船閘上采用的多半是鋼結構閘門，而目前所采用的鋼結構閘門中，主要是焊接結構，这是因为它比鉚接結構的优点多；鉚接閘門目前已很少采用。

鑄造閘門用于当孔口尺寸較小，特别是当閘門某些部分的形状非常复杂时，如：蝴蝶閘、針形閘均采用鑄鋼制造。关于平面閘門采用鑄造方法制造的問題，不仅要根据运

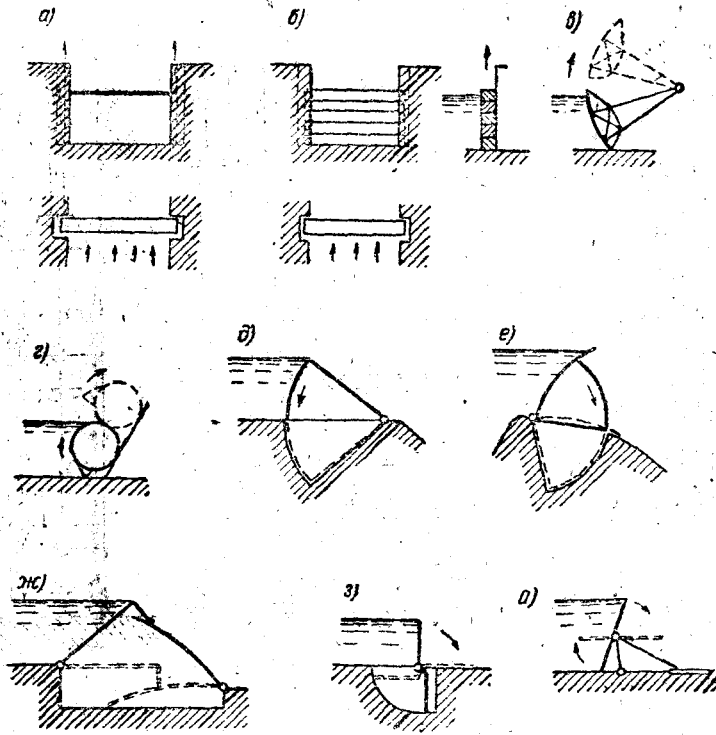


图 2-3 坝上閘門的主要型式

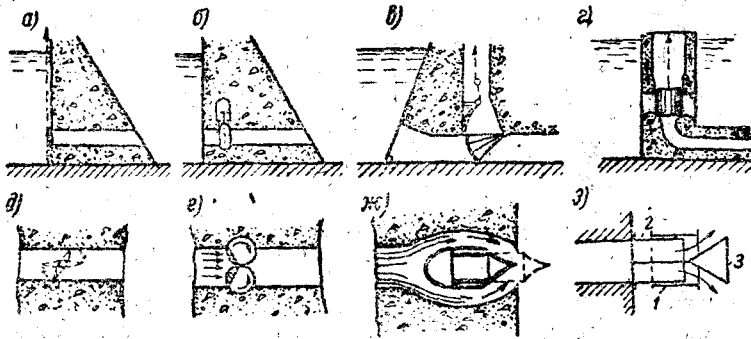


图 2-4 深孔閘門(閘)的主要型式

轉条件，而且也需要根据鑄造与焊接結構的經濟比較及制造的可能性来决定，如：当需要制造很多标准平面閘門时，即使孔口尺寸較大，采用鑄造閘門也可能是有利的。

有鉚接安裝接縫或螺栓安裝接縫的焊接閘門，在冬季当現場气温低于 $-15^{\circ}\text{C}$ 的情況下进行設備安裝时采用。因为在这样低的温度进行焊接，其质量是难以保証的。所以这些安裝接縫用鉚釘或螺栓来連接。

当孔口水头在 $4\sim 5$ 米以下、跨度为 $3\sim 4$ 米(有时可达 $8\sim 10$ 米)时，可采用木結構閘門，目前农村的小型水利水电工程中应用較多。在大型的重要結構物中，木結構閘門不作为永久性設備。木結構閘門的特点是制造与安裝簡單。

由于钢筋混凝土闸门自重很大，并且混凝土有透水性，所以这种闸门的采用在过去受到限制。近年来，由于预应力钢筋混凝土结构及膨胀不透水性混凝土应用的成功，我国及苏联的有关设计单位又重新开始研究钢筋混凝土闸门的应用问题。在我国当前大力节约钢材的情况下，则更有其实用价值。

苏联早在 25 年以前曾广泛采用装有木挡水面板的钢构架闸门，这种闸门能节约钢材，但是运行经验证明，虽然采取各种措施，面板还是要腐烂，因而需要经常更换；此外，这种闸门还必须安设一套辅助连接系，所以在苏联，目前这种闸门几乎完全不采用了。

装有由压合木制成的挡水面板的钢构架闸门，目前，由于压合木的成本还相当高，所以还不能广泛采用。

### 三、按用途分类

闸门按用途分类时，可分为：主要闸门，事故闸门，检修闸门和施工闸门。

主要闸门也叫工作闸门，用于结构物正常运行时(图2-5, 1, 3)。

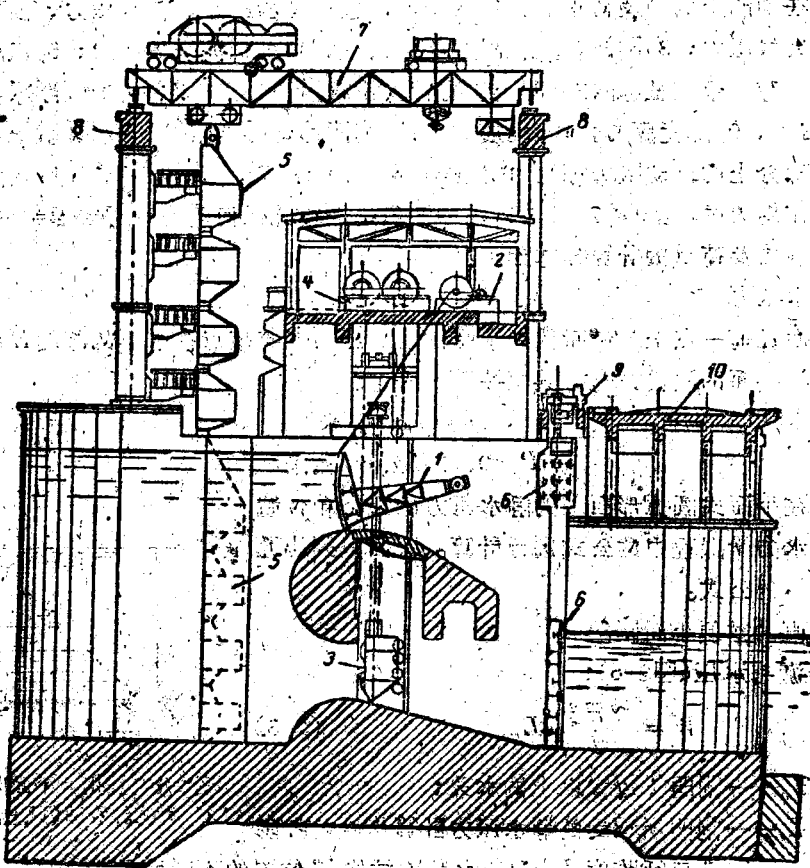


图 2-5 深孔平面闸门和拱形圆顶式闸门

事故闸门是在主要闸门发生事故时，用来关闭结构物的孔口，它能在动水中启闭或者只在动水中关闭孔口。

檢修閘門是當修理主要閘門時，用以關閉結構物孔口。這種閘門總是在閘門兩側水壓相等時的靜水中進行操作(圖2-5, 5、6)。

施工閘門是在結構物施工期間，用來關閉孔口。這種閘門的操作條件與採用的施工組織有關。

#### 四、按與壅水高程相對位置分類

閘門按其與壅水高程的相對位置分類時，可分為露頂閘門和深孔閘門兩類。

露頂閘門是當孔口關閉時，閘門活動部分的上緣高出上游正常高水位。這種閘門所關閉的是敞開式孔口，在關閉位置上，閘門的三邊與閘槽及底檻相接(圖2-5, 1)；

深孔閘門是當孔口關閉時，閘門活動部分的上緣低於上游正常高水位，它所關閉的是矩形(圖2-5, 3)或圓形的封閉孔口，閘門的四周與孔口周邊相接。如壓力管道上的閘門就屬於深孔閘門。

### §2-3 作用在閘門上的力及荷重

作用在閘門上的力及荷重有：1)水壓力，包括靜水壓力、動水壓力、浪壓力和滲透壓力；2)大氣壓力；3)閘門自重和附加物的重量；4)沉積泥沙的壓力；5)風壓力；6)冰的動壓力；7)人羣重量(如在閘門上裝有行人橋時)；8)船隻及漂浮物(浮冰、木材和其它)的撞擊力；9)溫度應力；10)地震力；11)閘門移動時的阻力(止水裝置上的摩擦力、支承行走部分上的移動阻力等)；12)操作裝置的牽引力；13)安裝、檢修及試驗荷重。

上述作用力中，第1、2、3、11、12各項，為設計任何閘門時都要遇到的。

現將各力及荷重的計算分述如下。

#### 1. 靜水壓力

擋水面任何一點上單位面積所承受的靜水壓力 $P$ 與該點在水下的深度 $H$ 成正比，其方向是這一平面的法綫方向。其值按下式決定：

$$P = \gamma H \text{ 吨/米}^2 \quad (2-1)$$

或 
$$P = 0.1\gamma H \text{ 公斤/厘米}^2 \quad (2-2)$$

作用在平面或圓弧形面上的靜水压力的大小和位置可以根据水力学课程中的公式进行计算。下面只列出几个经常使用的公式。

#### 1) 垂直的露顶平面閘門

##### A. 上游有水壓(圖2-6)：

$$W = \frac{\gamma H_0^2}{2} \cdot L_z \quad (2-3)$$

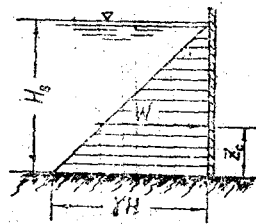


圖2-6 露頂式平面閘門靜水压力的計算圖(只上游有水)

式中  $H_0$ ——閘門下邊緣以上的水頭；

$L_z$ ——閘門所承受的靜水壓力計算跨度，它隨

孔口淨跨度  $L_0$  和止水裝置結構與位置的不同而異。

靜水合力作用點到底檻的距離

$$Z_c = \frac{1}{3} H_0 \quad (2-4)$$

##### B. 上下游均有水壓(圖2-7)：

$$W = \frac{\gamma}{2}(H_0^2 - H_u^2)L, \quad (2-5)$$

$$Z_c = \frac{1}{3}\left(H_0 + \frac{H_u^2}{H_0 + H_u}\right) \quad (2-6)$$

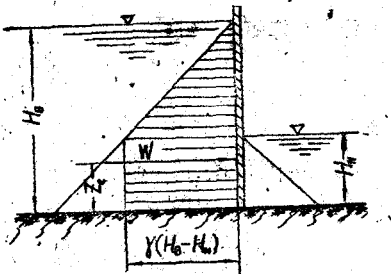


图 2-7 露頂式平面閘門靜水壓力的計算圖(上下游均有水)

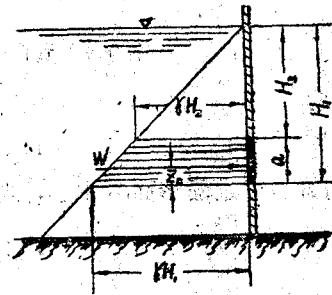


图 2-8 深孔平面閘門靜水壓力計算圖

2) 垂直的深孔平面閘門 (圖 2-8)

$$W = \frac{1}{2}\gamma(H_1 + H_2)aL, \quad (2-7)$$

式中  $H_1$ ——閘門下邊緣以上的水頭；  
 $H_2$ ——閘門上邊緣以上的水頭；  
 $a$ ——閘門的高度。

$$Z_c = \frac{1}{3}a\left(\frac{2H_2 + H_1}{H_2 + H_1}\right) \quad (2-8)$$

為計算方便起見，可將上式簡化，使  $\beta = \frac{H_1}{H_2}$ ，則

$$Z_c = \frac{1}{3} \frac{2 + \beta}{1 + \beta} \cdot a = \alpha \cdot a \quad (2-9)$$

式中  $\alpha$  值可由表(2-1)中查出。

表 2-1 係數  $\alpha$  及  $\beta$  值

$\beta = \frac{H_1}{H_2}$	$\alpha$	$\beta = \frac{H_1}{H_2}$	$\alpha$
1.0 ~ 1.06	0.50	1.74 ~ 1.98	0.45
1.07 ~ 1.19	0.49	1.99 ~ 2.27	0.44
1.20 ~ 1.25	0.48	2.28 ~ 2.63	0.43
1.36 ~ 1.53	0.47	2.64 ~ 3.09	0.42
1.54 ~ 1.73	0.46	3.10 ~ 3.66	0.41

3) 弧形閘門

在計算弧形面上所受的靜水壓合力時(圖 2-9)，水平分力  $W_x$  用前面敘述的公式(2-3)~(2-9) 計算；垂直分力  $W_y$  等於自由水面、弧面和通過弧面上下邊緣的兩垂直面範圍內的水重(即其體積等於面積  $ABCD$  乘弧面的載荷長度  $L_x$ )。



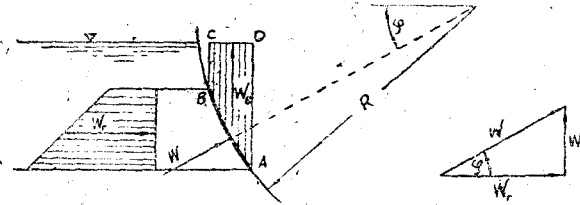


图 2-9 弧形閘門面板上靜水壓力計算圖

总合力

$$W = \sqrt{W_h^2 + W_v^2} \quad (2-10)$$

此力的作用方向通过弧形面的中心，与水平綫夹角  $\varphi$ ，其值可按下式确定：

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{W_v}{W_h} \quad (2-11)$$

在計算靜水压力时，設計水头根据設計任务书中所說明的閘門工作条件和荷重組合进行选择。

## 2. 动水压力及大气压力

当水流通过全开或部分打开的閘門底部时，当水溢过关闭的填頂閘門的上部时，閘門要受到动水压力的作用。

閘門的流体动力学問題，目前都用試驗方法进行研究，即在水工試驗室中进行模型試驗和对現有閘門观测的方法进行研究，这种研究有很重要的意义。

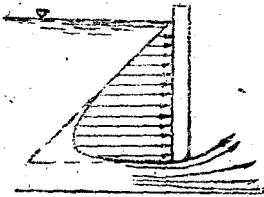


图 2-10 水流从閘門下面流过时閘門面板上所受到的水压力

下面以平面閘門为例說明一下作用在閘門活动部分上的动水压力。

1) 当水流从閘門下面流过时(图 2-10)，作用在閘門上的上游水压力与靜水压力相比减少了一些，因为水流的流速是由于损失了一部分压力而产生的。根据試驗資料，当閘門开启一半时，压力降低不超过 13%，因此在这种情况下，动水压力可按靜水压力进行計算。

2) 当水流从閘門下面流过时(图 2-10)，特别是从承受高水头的深孔閘門下面流过时，若不对閘門下部結構形状采取适当的措施，也不向可能发生真空的地方注入空气，那么在閘門的下面(如閘門装在廊道或管道中，则在閘門的后面)可能会发生真空現象(图 2-11, 2-12)。此时，就出現了作用在閘門上的大气压力，并在相应的地方与靜水压力相加或直接作用在閘門上。試驗告訴我們，真空区的压力不低于 0.4 公斤/厘米<sup>2</sup>，所以，由大气压力而产生的附加荷重的强度一般采用 0.6 公斤/厘米<sup>2</sup>。由于閘門下面有真空而产生垂直向下的荷重，叫吸力，一般认为此力是作用在真空地区附近的結構物上。其值为：

$$P_{np} = 0.6bl \quad (2-12)$$

式中  $l$ ——閘門长度；

$b$ ——見图 2-11。

3) 当水流从閘門下面流过时，还会在閘門底下产生水压和流速的脉动現象，这种現