

第十九篇 水力发电设备

主编 曲述曾

执笔 曲述曾 吴新润

连希德 于昇业

目 录

第88章 概述

- 88.1 我国的水力资源19-3
- 88.2 我国已生产的有代表性的水电机组19-3
- 88.3 我国各水系即将开发的大型水电站19-3

第89章 水轮机

- 89.1 概述19-6
- 89.2 水轮机的通流部分 19-10
- 89.3 反击式水轮机主要参数的选择与计算 19-20
- 89.4 反击式水轮机的结构 19-42
- 89.5 水斗式水轮机 19-49
- 89.6 水轮机的进水阀 19-52

第90章 水轮发电机

- 90.1 总论 19-58
- 90.2 水轮发电机的设计 19-62
- 90.3 水轮发电机的运行 19-85
- 90.4 水轮发电机的辅助系统 19-86
- 90.5 水轮发电机的安装 19-95

第91章 水电机组的控制设备

- 91.1 调速器 19-101
- 91.2 油压装置 19-114
- 91.3 水电机组自动化 19-119
- 91.4 水轮发电机的励磁系统 19-126

第十九篇 水力发电设备

主编 曲述曾

执笔 曲述曾 吴新润

连希德 于昇业

目 录

第88章 概述

- 88.1 我国的水力资源19-3
- 88.2 我国已生产的有代表性的水电机组19-3
- 88.3 我国各水系即将开发的大型水电站19-3

第89章 水轮机

- 89.1 概述19-6
- 89.2 水轮机的通流部分 19-10
- 89.3 反击式水轮机主要参数的选择与计算 19-20
- 89.4 反击式水轮机的结构 19-42
- 89.5 水斗式水轮机 19-49
- 89.6 水轮机的进水阀 19-52

第90章 水轮发电机

- 90.1 总论 19-58
- 90.2 水轮发电机的设计 19-62
- 90.3 水轮发电机的运行 19-85
- 90.4 水轮发电机的辅助系统 19-86
- 90.5 水轮发电机的安装 19-95

第91章 水电机组的控制设备

- 91.1 调速器 19-101
- 91.2 油压装置 19-114
- 91.3 水电机组自动化 19-119
- 91.4 水轮发电机的励磁系统 19-126

第88章 概述

88.1 我国的水力资源

水力资源属于再生能源,不但没有污染,而且用之不竭。优先开发水力资源可以有效地节约非再生性一次能源。所以各先进国家对水力资源的开发比较早也比较快。有的国家水力资源开发达95%以上,有的水电的发电量占总发电量的比重为主要份量。我国的水力资源在世界上居于首位,据统计全国的蕴藏量为6.76亿kW,其中可开发的水力资源为3.78亿kW。到1992年底,全国水电的总装机容量约为47000MW,只占可开发量的12.5%。水电装机占我国总装机容量的25.8%,1993年水电发电量占我国总发电量的20%。

在火力发电、水力发电、核能发电、风力发电、地热发电等各种发电设备中,水力发电是很重要的组成部分。水电与火电、核电关系密切,互为依托取长补短。水电有丰水及枯水问题,当然大容积的水库可以缓解这个矛盾。在缺水时靠火电调节。火电、核电当运行在满负荷时,效率最高,可以节省一次能源。但是在负荷峰谷差很大时,或负荷变化频繁时,一般靠水电调峰或蓄能。所以水电在电网中起着重要的调节作用,同时水电建设还可改善河流的防洪、除涝、灌溉、供水和航运。

现在水电站的建设周期也在不断缩短,过去认为中大型水电站的建设周期一般是7~10年,现在只要3~4年就可建成。贯流式电站的建设周期还要短些。新概念的水电站每千瓦建设投资额基本上可与火电持平,远远低于核电。水电站建成后一般在4~8年内,平均为5年可收回全部投资。

建国40多年来,我国水电设备生产发展迅速,生产了各种型式机组,品种齐全。有的机型已进入世界先进水平,并且培养锻炼了一支勘测、科研、设计、生产、安装及运行维护的技术队伍,为迎接今后的艰巨水电开发任务具备了保证条件,我国的水电前景潜力很大,繁花似锦。本篇将主要为中大型水电工作者提供一些资料参考。

88.2 我国已生产的有代表性的水电机组

中国曾生产的最大机组功率约为746kW。中华人民共和国成立后,从1951年开始生产单机800kW水电机组到目前已生产出单机300、320MW的水电机组。现在正在规划生产单机680~800MW的水电机组,发展速度是很快的。

由于水电机组的原动机为水轮机,所以水电机组的型式决定于水轮机的型式。在40年的时间里我国生产的各种型式的水电机组见表88-1。

从以上表中可以看出,各种型式的水电机组我国都生产过。其中轴流式机组容量和尺寸都是世界水平的。 $\phi 11.3\text{m}$ 的转轮直径居世界首位。混流式机组单机容量及尺寸居中,为我国进一步开发大型水电机组打下基础,其中高速大容量机组已开始生产,蓄能机组及贯流式机组就单机容量而论,还比较小。

88.3 我国各水系即将开发的大型水电站

我国河流很多,俗称12大水系。建国以来已经开发了部分水力资源,有相当大部分水力资源正在开发或已列入开发规划。各水系的水力资源初勘情况见表88-2。

以上水力资源中,将建的水电站所选用的机型基本上都是混流式机组,极少数是轴流式机组。除以上水力资源外,还规划有蓄能电站如:

- (1) 北京十三陵电站(800MW在建);
- (2) 河北省潘家口电站(270MW已建);
- (3) 吉林省五常电站(2000MW);
- (4) 黑龙江荒洪电站(1100MW);
- (5) 广州从化玉田电站(1200MW在建);
- (6) 浙江省天荒坪电站(1800MW);
- (7) 西藏羊卓雍电站(120MW)等。

至于贯流式电站,提到日程上的也很多,由于

表 88-1 我国生产的各种不同型式的水电机组

水轮机型式	电 站	单机容量 (MW)	设计水头 (m)	转轮直径 (m)	转 速 (r/min)	制造厂	投运年份	备 注
混 流 式	新 安 江	72.5	73	4.1	150	哈电厂	1959	全水冷 混流式国内最 大容量 最高水头372.5 m 最大混流式转 轮
	云 峰	100	89	4.1	150	哈电厂	1966	
	刘 家 峡	225	100	5.5	125	哈电厂	1969	
	刘 家 峡	300	100	5.5	125	哈电厂	1973	
	乌 江 渡	210	120	5.5	125	东电厂	1974	
	白山一级	300	112	5.5	125	哈电厂	1984	
	龙 羊 峡	320	120	6.0	125	东电厂	1987	
	鲁 布 革	150	312	3.46	333.3	哈电厂	1988	
	岩 滩	302.5	59.4	8.0	75	哈电厂	1992	
轴 流 转 桨 式	天 生 桥	220.5	189	4.5	200	哈电厂	1992	高速大容量 最高水头78米 转轮直径世界 最大
	大 伙 房	16	25.2	3.3	214.3	哈电厂	1959	
	青 铜 峡	36	18	5.5	107	哈电厂	1970	
	三 门 峡	50	30	6.0	100	哈电厂	1975	
	石 门	12.5	67	1.8	500	哈电厂	1978	
	葛 洲 坝	170	18.6	11.3	54.6	东电厂	1981	
	葛 洲 坝	125	18.6	10.2	62.5	哈电厂	1981	
轴流定桨式	红 石	50	23.3	6.0	107	哈电厂	1985	最大定桨式
冲 击 式	百 丈 瀑	12.5	345	1.46	500	哈电厂	1960	
	磨 房 坪	12.5	458	1.70	500	哈电厂	1969	
	四 方 洞	2.5	830	1.15	1000	哈电厂		
	桂 北	15.5	970	1.7	750	重水厂		
斜 流 式	密 云	11/15	44/52	2.5	250/273	天发厂	1971	蓄能机组
	毛 家 村	8.0	58	1.8	428.6	哈电厂	1971	
贯 流 式	白 垢 居	10	6.2	5.5	78.9	天发厂	1985	最大容量贯流 式 最大容量贯流 式 最大容量贯流 式
	安 居	15	7.7	5.5	88.2	重水厂	1991	
	都 平	15	7.4	5.5	88.2	天发厂	1992	
	马 溜 滩	15	7.5	5.5	93.7		1992	
潮 汐 双向贯流	江 厦	0.5	2.5	2.5	齿轮升速 500	金水厂	1984	
	江 厦	0.7	3.0	2.5	500	富水厂	1984	

注：哈电厂—哈尔滨电机厂；东电厂—东方电机厂；
天发厂—天津发电设备厂；金水厂—金华水轮机厂；
富水厂—富春江水轮机厂；重水厂—重庆水轮机厂。

水头比较低，施工容易，造价低廉，大部分属于地方集资兴建，因而其进度决定于集资情况，要上则

很快，具体电站很多，这里不详细列举。

表 88-2 12大水系的水利资源开发情况

序号	水系名称	总装机规模 (MW)	到1993年底已建成的 电站及总装机容量 (MW)	1993年在建的电站 及总装机容量 (MW)	待开发的电站及装机容量 (MW)
1	长江	28320	葛洲坝(2715)	隔河岩(1200)	石棚(2130) 朱杨溪(1900) 小南海(1000) 三峡(17680)③ 水布垭(1491) 高坝洲(200)
2	黄河上游	14250	刘家峡(1225) 盐锅峡(396) 八盘峡(180) 青铜峡(272) 龙羊峡(1280)	李家峡(1600)	拉西瓦(3000) 公伯峡(1100) 积石峡(1000) 寺峡(250) 小峡(200) 大峡(300) 乌金峡(132) 小观音(1440) 大柳树(1740)
3	黄河下游	5792	天桥(128) 三门峡(200)	小浪底(1560) 万家寨(1020)	龙口(400) 碛石(1500) 军渡(300) 三交(200) 龙门(210) 禹门口(144)
4	金沙江	46230			虎跳峡(6000) 洪门口(3750) 梓里(2080) 皮厂(2700) 观音岩(2800) 乌东德(5600) 白鹤滩(8300) 溪落渡(10000) 向家坝(5000)
5	雅砻江	19400		二滩(3300)	两河口(2000) 牙根(900) 蒙古山(1600) 大空(1000) 杨房坪(200) 卡拉乡(800) 锦屏一级(3000) 锦屏二级 (3000) 官地(1400) 桐子林(400)
6	大渡河	18055	龚咀前期(700)	铜街子(600)	独松(1360) 马奈(300) 季家河坝(1800) 猴子岩(1400) 长河坝(1240) 冷竹关(900) 泸定(60) 硬梁包(1100) 大岗山(1500) 龙头石(500) 老鹰岩(600) 瀑布坪(3300) 深溪坪(360) 枕头坝(440)
7	乌江	8255	乌江渡(630)	普定(75) 东风(510)	引子渡(160) 洪家渡(540) 索风营(420) 构皮滩(2000) 思林(840) 沙沱(800) 彭水(1080) 大溪口(1200)
8	红水河及南盘江	11920	恶滩(60) 大化(400) 天生桥二级(1320) 岩滩(1200) 鲁布革(600)	天生桥一级(1200)	平班(360) 龙滩(4200)① 百龙滩(180)② 恶滩(500) 桥巩(500) 大藤峡(120)
9	澜沧江	19780		漫湾(1250)	滔简江(55) 佳碧(430) 乌弄龙(800) 托巴(1640) 黄登(1500) 铁门坎(1500)* 功果桥(750) 小湾(4200) 大朝山(1260) 糯扎渡(4500)

(续)

序号	水系名称	总装机规模 (MW)	到1993年底已建成的 电站及总装机容量 (MW)	1993年建的电站 及总装机容量 (MW)	待开发的电站及装机容量 (MW)
9	澜沧江	19780			景洪(900) 橄榄坝(100) 南阿河口(400)
10	湘西 资水 沅水 沱水	7951	凤滩(400) 拓溪(447.5) 马迹塘(55) 三江口(625)	五强溪(1200)	凌津滩(200)
11	闽浙赣	14168	新安江(662.5) 紧水滩(300) 富春江(297.2)	水口(1400) 万安(400)	棉花滩(400) 滩坑(800) 珊溪(240) 街面(400)
12	东北	11336	太平湾(190) 云丰(400) 白山一级(900) 红石(200) 老虎哨(390)	白山二级(600)	莲花(440)

① 初期设计蓄水位 375m, 安装 6 台 600MW 机组, 远期正常蓄水位 400m, 再加 2 台 600MW 机组, 总装机容量将达 5400MW。② 1993 年已开始建设。③ 1994 年初竣工工程已开始

第 89 章 水 轮 机

89.1 概 述

水轮机的主要类型及其适用的水头范围、比转

89.1.1 水轮机的型式、适用范围及其型号

速范围见表 89-1 及图 89-1。

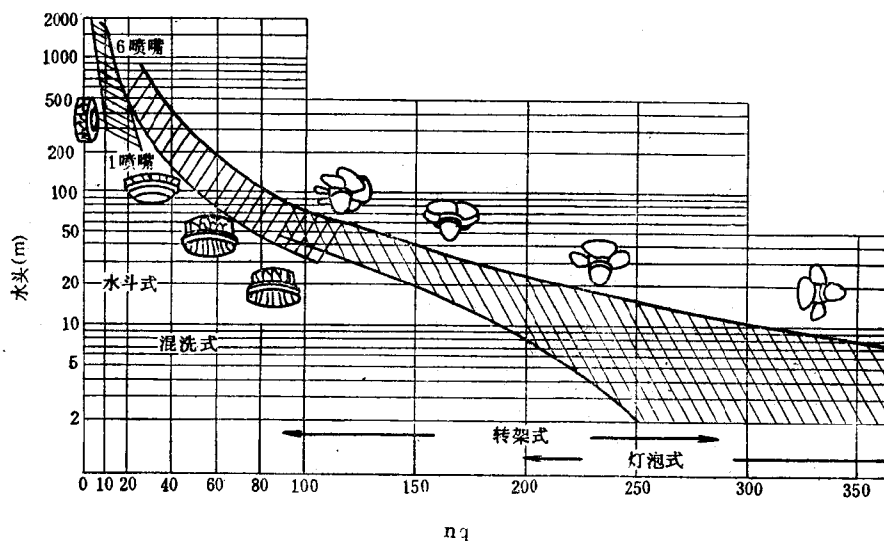


图 89-1 水轮机型式随比转速 nq 及工作水头变化的使用范围

图中横坐标以 $ns (m_0 kw) = 3nq$ 换算

冲击式水轮机的型号用以下方法表示:

表 89-1 水轮机的主要类型
及适用范围

水 轮 机 型 式		适用水头范围 $H(\text{m})$	比转速范围 n_s (1m水头发出1kW时)
按能量转换分	按水流方式分		
反击式	贯流式 (灯泡式、轴伸式)	<25	600~1000
	轴流式 (定桨式、转桨式)	3~80	200~850
	斜流式	40~120	150~350
	混流式	30~700	50~300
冲击式	水斗式	300~1700	10~35 (单喷嘴)
	斜击式	25~300	30~70
	双击式	50~100	30~150

2 C J 20-W-120/2×10

一根轴上装的转轮数 _____

水轮机型式 _____

转轮型号 _____

主轴布置形式 _____

转轮标称直径 (cm) _____

每个转轮上的喷嘴数 _____

设计射流直径 (cm) _____

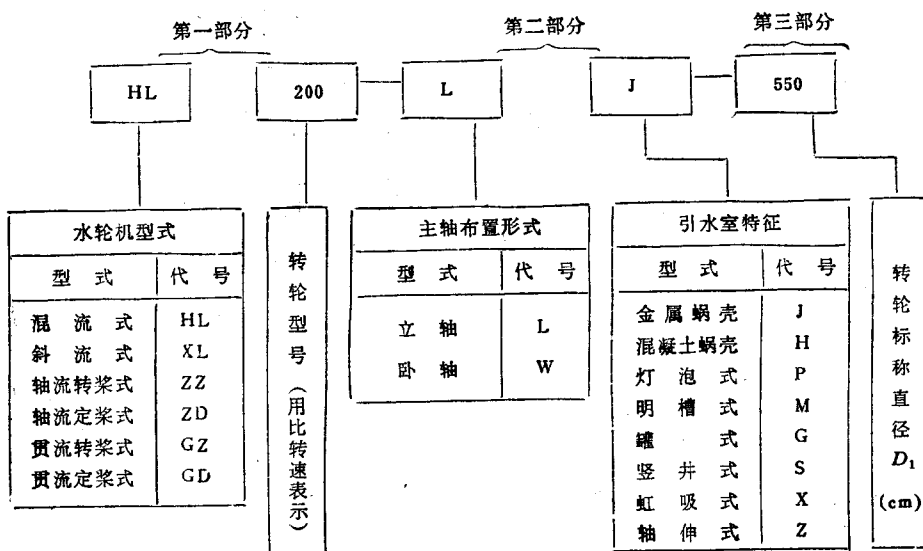
89.1.2 水轮机的基本工作参数

1. 水轮机轴上的有效功率 P

$$P = \rho g H \eta / 1000 \quad (\text{kW}) \quad (89-1)$$

式中 ρ ——水的密度 (kg/m^3);

反击式水轮机型号由三部分组成, 其表示方法如下:



g ——重力加速度 (m/s^2);

Q ——流量 (m^3/s);

H ——净水头 (m);

η ——水轮机效率。

2. 净水头 H 水轮机做功的有效水头, 等于水轮机进口断面和出口断面单位能量差 (m)。不同类型水轮机的净水头可按表89-2计算。

表 89-2 各型水轮机的净水头计算

水轮机型式		计算公式 (m)	参考图号
立轴反击式	具有梯形断面混凝土蜗壳和弯形尾水管	$H = (Z_1 - Z_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$	图89-2
	具有圆形断面蜗壳和弯形尾水管	$H = (Z_1 + a - Z_2) + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$	图89-3
卧轴反击式		$H = (Z_1 + a - Z_2) + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$	图89-4
卧轴水斗式	单喷嘴	$H_1 = (Z_1 + a - Z_2) + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$	图89-5
	双喷嘴	$H_2 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} (Z_1 + a - Z_2) + \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} (Z_1 + a - Z_2) + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$	
灯泡式机组		$H_1 = (Z_1 - Z_2) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$	图89-6

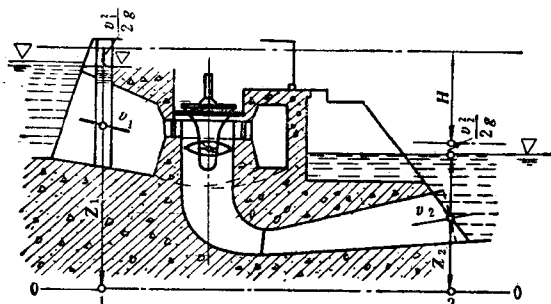
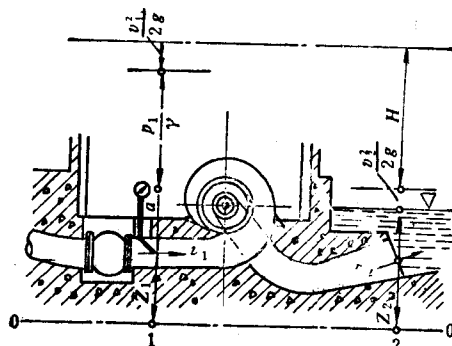
图 89-2 立轴反击式水轮机的净水头
(具有梯形断面混凝土蜗壳和弯形尾水管)

图 89-4 卧轴反击式水轮机的净水头

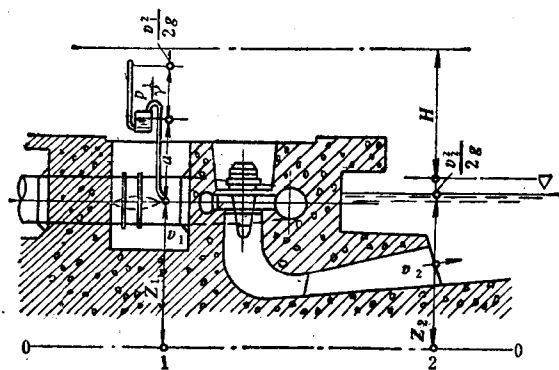
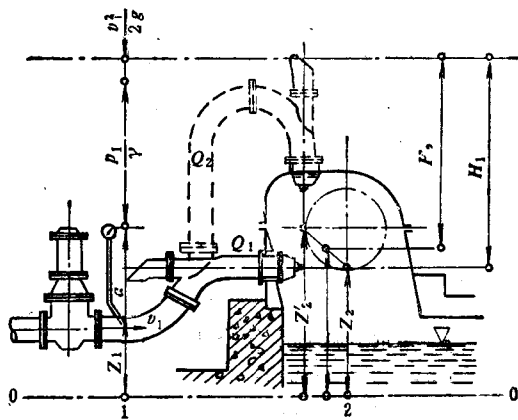
图 89-3 立轴反击式水轮机的净水头
(具有圆形断面蜗壳和弯形尾水管)

图 89-5 卧轴水斗式水轮机的净水头

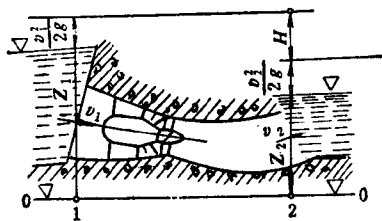


图 89-6 灯泡式机组水轮机的净水头

3. 水轮机转轮标称直径 D_1 (图 89-7) 对于轴流式、贯流式和斜流式指与转轮叶片轴心线相交线的转轮室内径。对于混流式，指转轮下环或底环流道的最小直径，对于水斗式及斜击式，指转轮水斗与射流中心线相切处节圆直径。对于双击式，指转轮外径。

4. 比转速 通常采用的水轮机比转速 n_s 表达式为：

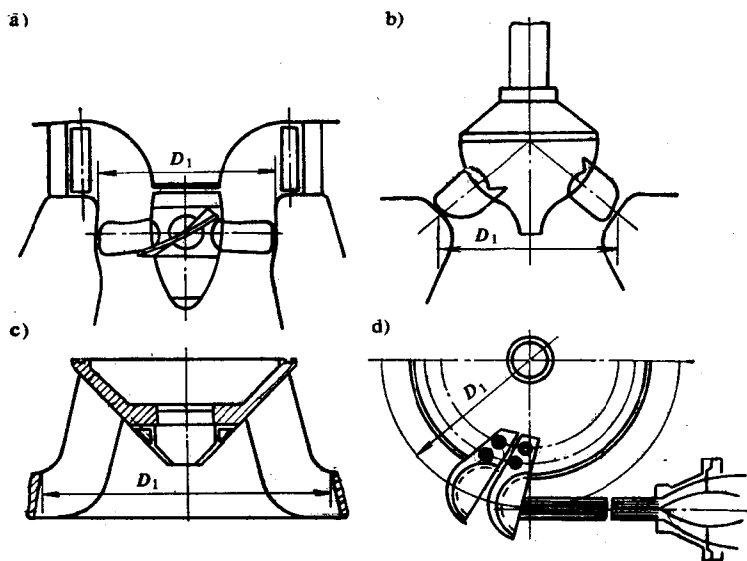


图 89-7 水轮机转轮标称直径示意图

a) 轴流转桨式 b) 斜流式
c) 混流式 d) 水斗式

$$n_s = \frac{n\sqrt{P}}{H^{1.25}} \quad (89-2)$$

式中 n ——水轮机转速 (r/min)；

H ——有效水头 (m)；

P ——水轮机输出功率 (kW)。

数值上， n_s 等于在 1m 水头下发出 1kW 功率时的转速，它是无量纲值。

国际上通常使用的另一种表达方式为

$$n_q = n\sqrt{Q}/H^{0.75} \quad (89-3)$$

两者的近似换算关系为

$$n_s \approx 3n_q \quad (89-4)$$

5 单位参数和系数 几何相似的水轮机，当

满足运动相似和动力相似条件时，可近似按下述单位参数进行换算所谓水轮机的单位参数是在转轮直径为 1m、水头为 1m 时所具有的转速、流量和功率。

$$\text{单位转速 } n_1' = nD_1/\sqrt{H} \quad (\text{r/min}) \quad (89-5)$$

$$\text{单位流量 } Q_1' = Q/D_1^2\sqrt{H} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (89-6)$$

$$\text{单位功率 } P_1' = P/D_1^2H^{1.5} \quad (\text{kW}) \quad (89-7)$$

国际上还经常使用无量纲压力系数 ψ 和流量系数 φ 进行换算，这两种系数定义为：

$$\text{压力系数 } \psi = 2gH / \left(\frac{\pi D n}{60} \right)^2 \quad (89-8)$$

$$\text{流量系数 } \varphi = Q / \left(\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{\pi D n}{60} \right) \quad (89-9)$$

式中 D ——按各自习惯采用的转轮标称直径[⊖]。

两种系数和我国常用的 n_1' 和 Q_1' 值的换算关系为

$$n_1' = \frac{84.7}{\sqrt{\psi}} \quad (\text{r/min}) \quad (89-10)$$

$$Q_1' = 3.48 \frac{\varphi}{\sqrt{\psi}} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (89-11)$$

另一种无量纲参数的表达式为

$$\text{能量系数} \quad E_{ad} = \frac{gH}{(\omega D)^2} \quad (89-12)$$

$$\text{流量系数} \quad Q_{ad} = \frac{Q}{\omega D^3} \quad (89-13)$$

$$\text{比转速} \quad \omega_s = \frac{\sqrt{\theta_{ad}}}{E_{ad}^{3/4}} = \frac{\omega \sqrt{\theta}}{(gH)^{3/4}} \quad (89-14)$$

式中 ω ——转轮的角速度 (rad/s)。

这些参数和我国常用的单位量的换算关系为

$$n_1' = \frac{29.9}{\sqrt{E_{ad}}} \quad (\text{r/min}) \quad (89-15)$$

$$\text{和} \quad \theta_1' = \frac{3.139 \omega_s}{\sqrt{E_{ad}}} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (89-16)$$

$$n_s = 52.9 \omega_s \quad (89-17)$$

比转速 n_s 用单位参数表示时为

$$n_s = 3.13 n_1' \sqrt{\theta_1' \eta} \quad (\text{m} \cdot \text{kW}) \quad (89-18)$$

6. 装置汽蚀系数

$$\sigma_v = \frac{10 - \frac{\nabla}{900} - H_s}{H} \quad (89-19)$$

式中 ∇ ——机组装机高程 (m)；

H_s ——吸出高度 (m)，根据IEC规定， H_s 按图89-8所示确定。

89.2 水轮机的通流部分

89.2.1 蜗壳和座环

1. 蜗壳型式及应用水头 当最高工作水头在40m以下时，一般采用混凝土蜗壳，40m以上时采用金属蜗壳。

2. 混凝土蜗壳 (图89-9、图89-10) 混凝土蜗壳分涡形和非涡形两部分，涡形部分一般为梯形断面。

⊖ 常见的有三种：

- 1) $D = D_1$ ，我国及原苏联的标准采用 D_1 为 D ，见89.1.2节之3。
- 2) $D = D_{喉}$ ，转轮下环处的最小直径称转轮喉管直径，欧洲一些厂家采用此直径为 D 。
- 3) $D = D_{出口}$ ，转轮叶片出水边压力面与下环交点处的直径称转轮出口直径，IEC最新标准采用比直径为 D 。

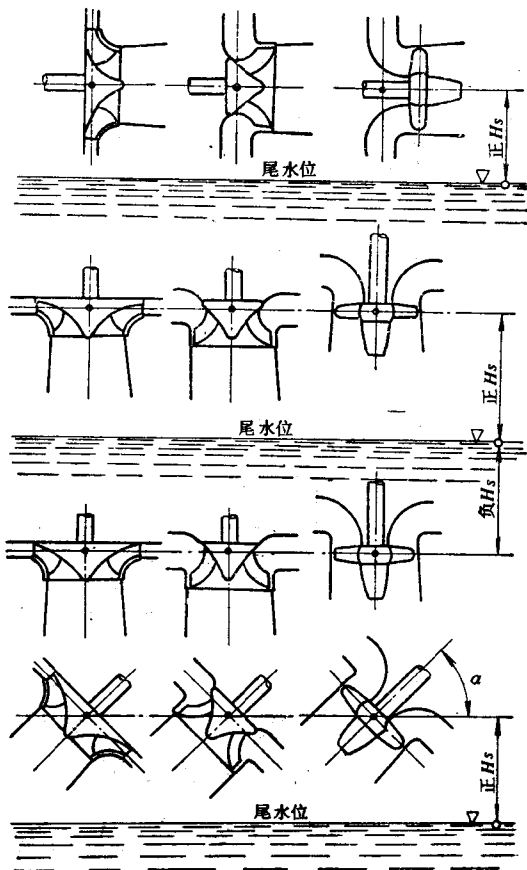


图 89-8 水轮机吸出高程 H_s $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$

- a) 低比转速混流式
- b) 高比转速混流式
- c) 轴流转桨式及轴流定桨式

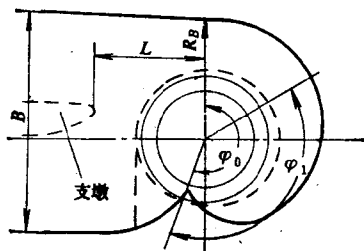


图 89-9 混凝土蜗壳平面图

蜗壳涡形部分的包角 φ_0 一般取 $180^\circ \sim 270^\circ$ 之间。对混流式水轮机的混凝土蜗壳, 一般取 $\varphi_0 = 270^\circ$, 涡形部分的断面形状的设计要使其有较小的

水力损失和平面尺寸, 并便于施工。推荐采用表 89-3 所列尺寸。

3. 金属蜗壳 (图 89-11) 蜗壳包角 φ_0 一般为

表 89-3 梯形断面尺寸

项 目	$m > n$	$n = 0$	$m \leq n$
δ_2	$10^\circ \sim 20^\circ$	$10^\circ \sim 15^\circ$	$20^\circ \sim 35^\circ$
δ_1	$20^\circ \sim 30^\circ$		$20^\circ \sim 30^\circ$
$b-n/a$	$1.2 \sim 1.7$	$1.5 \sim 1.85$	
$b-m/a$			$1.2 \sim 1.7$

当 $\varphi_0 = 180^\circ \sim 210^\circ$ 时, 通常取 $B = 2.5 \sim 2.7 D_1$, R_B 在 $1.6 \sim 1.65 D_1$ 间选取, φ_0 大时, 取较小值, $L \geq 1.35 D_1$ 。

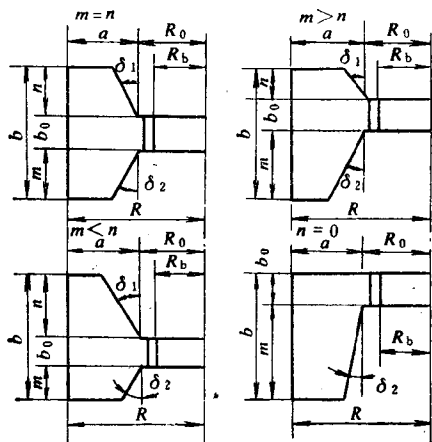


图 89-10 混凝土蜗壳断面形状

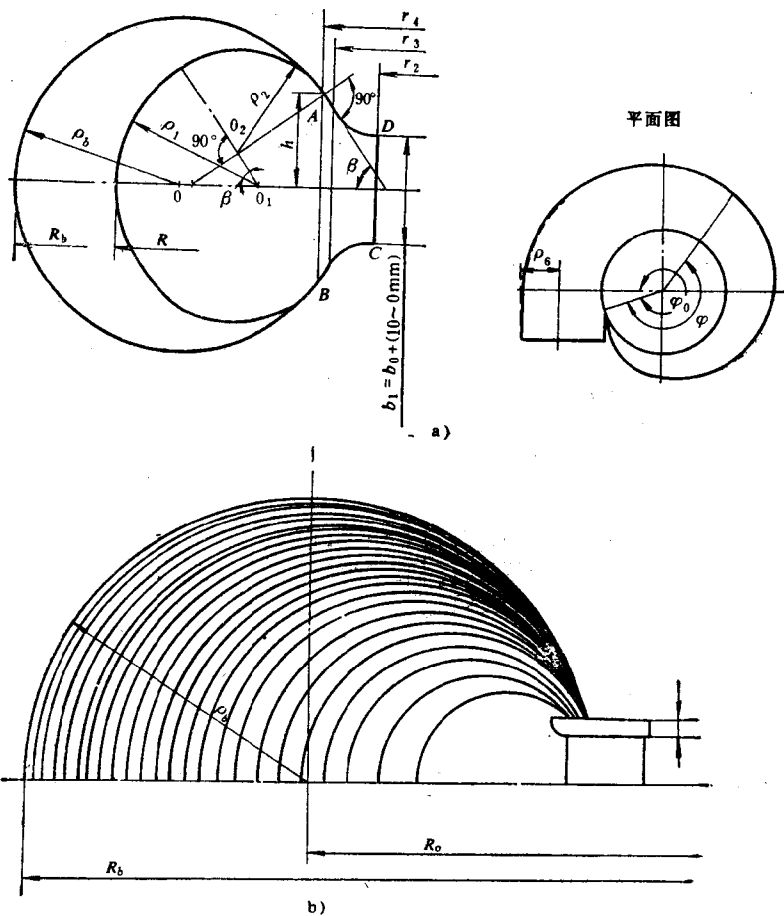


图 89-11 金属蜗壳

a) 尾端为椭圆断面 b) 全圆断面

345°左右,通常为圆形断面,自蜗壳舌板至 $\varphi_0=175^\circ$ 范围内通常为椭圆形断面,其半径为 ρ_1 及 ρ_2 ,半径 ρ_2 的圆弧与座环相切。为了制造上的方便,也可采用全圆断面的蜗壳。

蜗壳断面随 φ 角的变化可按速度矩 $vur \approx$ 常数, $vu =$ 常数或 vu 自进口至尾部略有下降等三种方法设计。根据近年来的试验研究结果,一般情况下推荐采用后两种方法设计的蜗壳。

4. 蜗壳的进口流速 v_0 及流速系数 α 蜗壳进口流速 v_0 及流速系数的选择对水轮机的能量性能、机组布置间距和蜗壳材料消耗有较大影响,要根据技术经济比较作出决定。

$$\text{流速系数 } \alpha = \frac{v_0}{\sqrt{H}} = \frac{\varphi_0}{2\pi} \frac{Q}{F_0 \sqrt{H}} \quad (89-20)$$

式中 v_0 ——蜗壳涡形部分进口截面的平均流速

(m/s);

H ——设计水头 (m);

Q ——设计水头下额定出力时的流量 (m³/s);

φ_0 ——蜗壳包角;

F_0 ——涡形部分进口的截面积 (m²).

通常, v_0 可按图89-12选取。

金属蜗壳尺寸对水轮机能量性能的影响可见图89-13, 图中蜗壳涡形部分进口截面的半径用 ρ_1 表示。

为减少大型蜗壳由于进口截面 ρ_1 过大而引起的制造方面的困难而又不致于对能量性能有显著影响,可在蜗壳进口段的45°范围内采用等圆断面,如图89-11a中虚线所示。

混凝土蜗壳不同包角及流速系数对能量性能的影响可按图89-14估计。

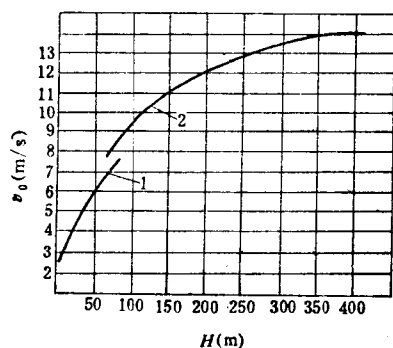


图 89-12 蜗壳进口流速 v_0 随水头 H 变化的关系曲线

1—混凝土蜗壳 2—金属蜗壳

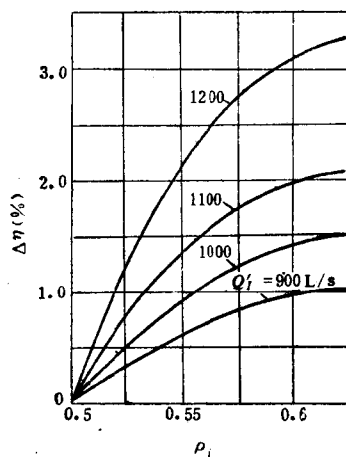


图 89-13 水轮机效率增长与蜗壳进口截面相对半径的关系

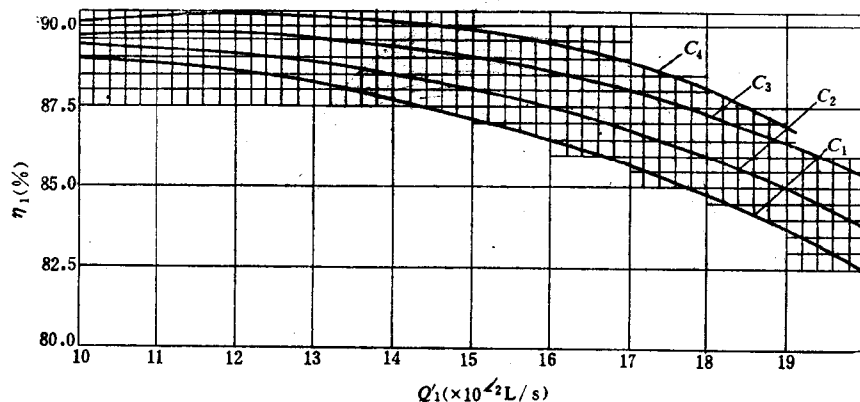


图 89-14 几种混凝土蜗壳能量性能的比较

图中 蜗壳 C_1 — $\varphi_0=130^\circ$, $\alpha=1.08$, 蜗壳 C_2 — $\varphi_0=180^\circ$, $\alpha=1.28$ 蜗壳 C_3 — $\varphi_0=180^\circ$, $\alpha=0.94$, 蜗壳 C_4 — $\varphi_0=180^\circ$, $\alpha=1.10$ α 值对应的流量 $Q'_1=2.2\text{ m}^3/\text{s}$

5. 座环的固定导叶 固定导叶是支承座环、传递轴向载荷的支柱，又是过流表面，所以必须有足够的强度和刚度，同时应有良好的水力性能。

(1) 与金属蜗壳连接的座环固定导叶，通常按蜗壳水出口角作为固定导叶的进口角，固定导叶的出口角取成和活动导叶处于最大和最优开口之间的位置相对应，固定导叶进口端位置按强度条件确定，固定导叶的骨线可按对数螺旋线绘制，见图 89-15。

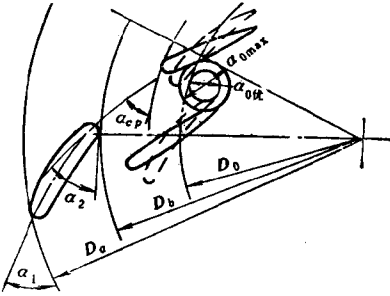


图 89-15 座环固定导叶位置的确定

座环与蜗壳连接处通常采用两种形状，一种为传统的带碟形边结构，另一种为无碟形边结构，无碟形边结构可以是箱形结构和平行板式的，进口端带有导流弧，当导流弧半径增大至一定程度时其水力性能与带碟形边的座环基本相当（图 89-16）。

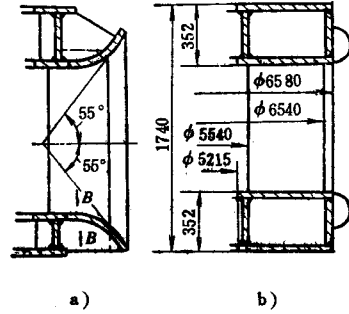


图 89-16 座环与蜗壳连接处的形状
a) 带碟形边 b) 无碟形边

为了便于制作，还经常采用由钢板两端铣出相应坡度的固定导叶（图 89-17）。

固定导叶的数量一般为活动导叶的一半或相

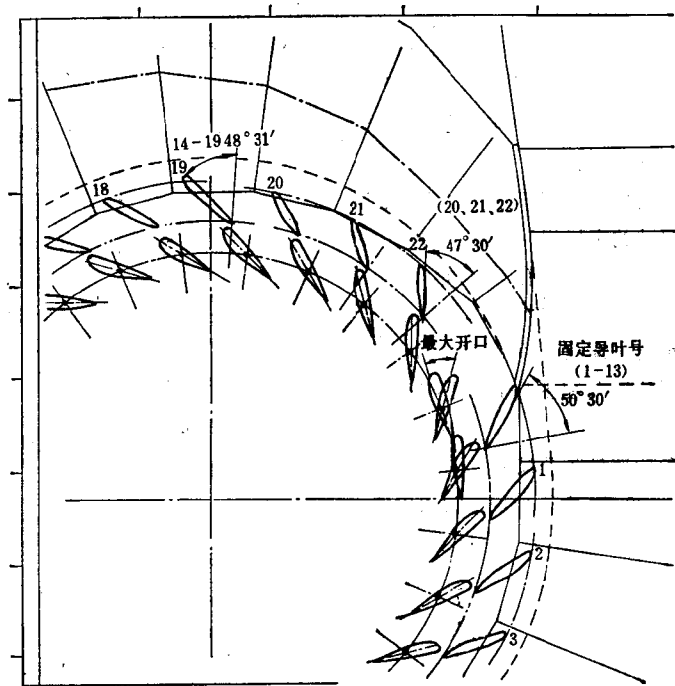


图 89-17 具有不同导叶安放角的固定导叶布置图

等, 并沿圆周均布; 也可按等强度原则在蜗壳进口处增加导叶数, 而在靠近蜗壳尾端处减少一个固定导叶。

蜗壳尾部断面放大后, 由其所形成的来流角度沿圆周方向是变化的, 为适应来流角度, 固定导叶可由具有不同安放角的几组固定导叶组成 (见图 89-17)。

(2) 与混凝土蜗壳连接的座环固定导叶, 蜗壳涡形部分固定导叶的设计与金属蜗壳中的相同, 非涡形部分固定导叶形状随其沿圆周位置的不同而异 (图 89-18), 其安放角度通常由试验确定, 对于 $\varphi_0 = 180^\circ$ 混凝土蜗壳非涡形部分固定导叶的来流角度可按图 89-19 确定。图中 α 表示来流速度与圆周方向的夹角。

89.2.2 导水机构

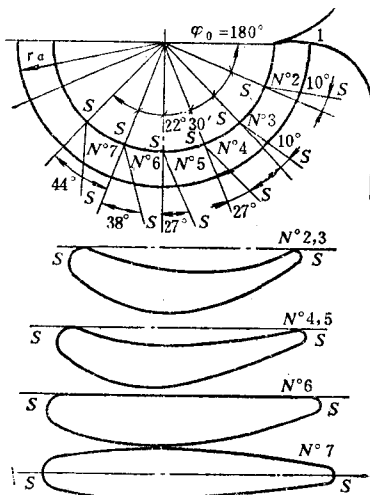


图 89-18 混凝土蜗壳开口部分的固定导叶形状

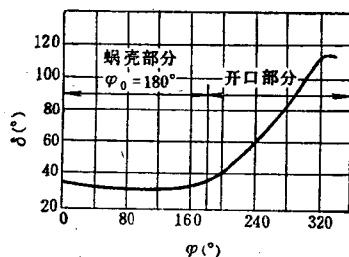


图 89-19 $\varphi_0 = 180^\circ$ 混凝土蜗壳来流角度 α 沿圆周分布情况
 v —来流速度

圆柱形导水机构中, 目前常用的有对称型和非对称型 (正曲率) 导叶两种。

对称形导叶一般使用于具有不完全包角的混凝土蜗壳及具有较大尺寸的金属蜗壳 ($\alpha < 1.0$) 的情况; 正曲率导叶一般使用于具有较小蜗壳尺寸 ($\alpha > 1.0$) 的高比转速混流式水轮机以及希望导叶水力矩主要作用于关闭方向 (自闭效应) 的情况。此外, 导叶的形状还要在主要工况下与蜗壳及座环形状的来流相匹配。

通常采用的两种标准导叶及尺寸见图 89-20 及 89-21。图 89-20 及图 89-21 中所列尺寸为图中所示相应值与导叶布置圆 D_0 的相对值 (导叶数 $Z_0 = 24$ 时), 导叶数改变时, 翼形相应尺寸与 Z_0 成反比。

导叶数目一般按导叶布置圆 D_0 选取, 见表 89-4。

为减少导水机构的制造工作量, 并在提高相对导叶高度的情况下适当提高导叶瓣体的强度, 一些水轮机中还采用了表中括号内所给出的导叶数。

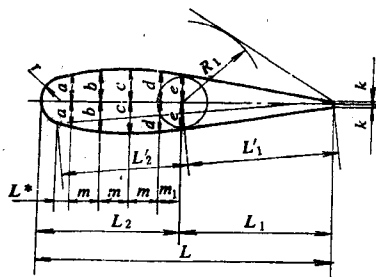


图 89-20 对称形标准导叶的翼型图
图中所示尺寸为:

$\bar{L}$	0.13989	$\bar{b}$	0.01451
$\bar{L}_1$	0.07322	$\bar{c}$	0.01545
$\bar{L}_2$	0.06667	$\bar{d}$	0.01408
$\bar{m}$	0.01399	$\bar{e}$	0.01247
$\bar{m}_1$	0.01071	$\bar{f}$	0.00993
$\bar{h}$	0.00140	$\bar{L}_0$	0.00880
$\bar{R}_1$	0.03914	$\bar{L}_1' + \bar{L}_2'$	0.13015
$\bar{a}$	0.01165		

