

先 进 工 业 国 家 标 准

# 国外<sup>电 机</sup><sub>水 轮 机</sub>标准译丛

(下)

哈 尔 滨 大 电 机 研 究 所  
哈尔滨电站设备成套设计研究所

1 9 8 4

# 编译说明

为便于掌握和使用各先进工业国国家标准和企业标准，提高我国电工行业标准化、系列化和通用化水平，使电工产品打入国际市场，畅销世界。我们编辑和翻译了一套（5册）“电机、水轮机标准丛书”，共计500多万字。不仅可直接供设计、制造、安装、运行和试验研究人员和各级领导使用，而且也可供大专院校师生和标准化与技术管理人员参考。

本书是《国外电机水轮机标准译丛》下册（第5册）。其内容主要包括美、苏、日、德、英、法、瑞典等先进工业国家的水轮机和水泵/水轮机设计规范、模型和现场验收试验规程、尺寸检查、质量鉴定和验收标准、焊接工艺、铸锻件尺寸公差、无损探伤与材料技术条件、钢表面防锈漆涂覆、调速器与电站自动控制、阀门和油压装置等辅助设备的设置标准、订货书规范等52项标准。全部由日、英、俄、德四种文字译出，名词术语力求准确统一（调速器个别术语尚待商榷），对原文个别遗误也作了订正。此外，考虑到有关单位意见和对我国电工行业的实用价值，选用了一、二篇相当于标准的基准书（被誉为水轮机行业科技人员必读的基准书），如美国垦务局“反击式水轮机选择”和美国铸钢协会“成批生产铸件的尺寸公差”等。对标准的前言、引言部份作了些许删节。

总之，全书140多万字，涉及面颇广，编译量过大，时间也很仓促，加之受编译水平所限，错误和不当之处在所难免，望广大读者指正。

本书由哈尔滨大电机研究所裴崇东和哈尔滨电站设备成套设计研究所陈金富负责译、校、编、审工作，经滕杏林、曾长跃审阅。

编者

1984年3月于哈尔滨

# 总 目 录

## 第一部份 水轮机设计规范

|                |     |                   |       |
|----------------|-----|-------------------|-------|
| BOR NO.20—76   | (美) | 反击式水轮机选择          | (3)   |
| JEC —151—75    | (日) | 水 轮 机             | (45)  |
| ГОСТ 10595—80  | (苏) | 立式水轮机技术要求         | (88)  |
| ГОСТ 17202—77  | (苏) | 立轴转桨式水轮机基本参数和尺寸   | (92)  |
| ГОСТ 17208—77  | (苏) | 立轴混流式水轮机基本参数和尺寸   | (94)  |
| JEC—177—75     | (日) | 水泵水轮机             | (96)  |
| AC             | (美) | 贯流式水轮机标准 (节译)     | (147) |
| USAS B.49—1—76 | (美) | 水轮发电机组整锻法兰型主轴联接标准 | (152) |

## 第二部份 水轮机试验规程

|                 |      |                  |       |
|-----------------|------|------------------|-------|
| ASME PTC18—49   | (美)  | 水轮机原动机试验规程       | (161) |
| ASME PTC18—1—79 | (美)  | 水泵水轮机的水泵工况性能试验规程 | (195) |
| JIS B8103—78    | (日)  | 水轮机模型试验方法        | (244) |
| JIS B104—78     | (日)  | 水泵水轮机模型试验方法      | (279) |
| BS 353—62       | (英)  | 水轮机效率试验方法        | (320) |
| SEN 268000      | (瑞典) | 对水轮机国际标准的评定      | (363) |

## 第三部份 水轮机质量检查验收标准

|                |     |                                        |       |
|----------------|-----|----------------------------------------|-------|
| AC SNAP 05—37  | (美) | 转桨和定桨式转轮叶片表面光洁度检查程序<br>和验收标准           | (367) |
| AC SNAP 05—35  | (美) | 转桨和定桨式转轮单个叶片形状、尺寸和厚度检<br>查程序和验收标准      | (370) |
| AC SNAP 05—38  | (美) | 转桨和定桨式转轮叶片表面波浪度检查程序和验<br>收标准           | (375) |
| AC SNAP 05—39  | (美) | 转桨和定桨式转轮叶片边缘修整成形检查程序和<br>验收标准          | (378) |
| AC—P3828—ARF—4 | (美) | 导叶表面流线型                                | (384) |
| 《电气协同研究》27—8   | (日) | 水轮机及水泵水轮机的尺寸检查标准                       | (385) |
| ГОСТ 5.307—69  | (苏) | ПЛ40—B—950型转桨式水轮机产品质量鉴定要求              | (408) |
| ГОСТ 5.1022—71 | (苏) | ПЛ20/548—ГK—550型卧轴灯泡转桨式水轮机产<br>品质量鉴定要求 | (410) |
| ГОСТ 5.310—69  | (苏) | ПЛ15/984—Г—600型卧轴贯流转桨式水轮机产品<br>质量鉴定要求  | (412) |

|                  |                                 |       |
|------------------|---------------------------------|-------|
| ГОСТ5.1023—71    | (苏) PO697—BM—750型混流式水轮机产品质量鉴定要求 | (414) |
| 《电气协同研究》26—7 (日) | 水轮机非破坏检查标准                      | (416) |

#### 第四部份 调速器和水电站自动控制方式有关标准

|                        |                           |       |
|------------------------|---------------------------|-------|
| ANSI/ASME PTC29—80 (美) | 水轮发电机组调速系统试验规程            | (512) |
| IEEE125—77 (美)         | IEEE推荐的编制水轮发电机组调速器技术条件的规范 | (545) |
| VDI/VDE 3510—73 (西德)   | 编制水轮机调速器技术条件的规程           | (561) |
| ГОСТ 8445—74           | (苏) 水轮机液压机械调速器技术要求        | (569) |
| ГОСТ 12405—75          | (苏) 水轮机电液调速器技术要求          | (573) |
| 《电气协同研究》27—9 (日)       | 水电站标准单人控制方式               | (579) |
| HYDRO PMCC—4 (美)       | 水轮机调速器技术条件(woodward调速器厂)  | (630) |

#### 第五部份 水轮机材料标准及铸锻件检查标准

|                     |                            |       |
|---------------------|----------------------------|-------|
| JCFC—MTP—RC—001 (日) | 13Cr—1Ni水轮机转轮铸钢件的制造工艺和检查基准 | (643) |
| CCH—70—1            | (法) 水轮机铸钢件检验规程             | (651) |
| SFSA (标准论文) (美)     | 成批生产铸件的尺寸公差                | (677) |
| SFSA《铸钢手册》第八章 (美)   | 尺寸公差                       | (694) |
| AC 6153—Jx—4        | (美) 碳钢铸件材料技术条件             | (721) |
| AC—SNAP—04.27 (美)   | 碳钢和低合金钢铸件超声波检查验收标准         | (724) |
| AC 6153—JV—4 (美)    | 不锈钢钢锭技术条件 (CA6NM)          | (730) |
| AC 6153—JZ—4 (美)    | 碳钢锻件技术条件                   | (733) |

#### 第六部份 水电站辅助设备及设置标准

|                      |                      |       |
|----------------------|----------------------|-------|
| 《电气协同研究》24—2 (日)     | 水轮机辅助设备设置标准          | (735) |
| ГОСТ8339—74          | (苏) 水轮机油压装置          | (783) |
| 《电气协同研究》27—9 (日)     | 水电站油压装置              | (787) |
| 《电气协同研究》26—1 (日)     | 水电站进水阀门专用油压装置        | (813) |
| ГОСТ22373—77         | (苏) 水轮机蝴蝶阀和球阀技术条件    | (841) |
| ГОСТ19704—74         | (苏) 水轮机蝴蝶阀和球阀型号与基本参数 | (844) |
| ANSI/AWWAC504—80 (美) | 橡胶密封的蝴蝶阀标准           | (846) |

#### 第七部份 其它标准 (焊接、涂覆、定货、汽蚀评定等)

|                        |                               |       |
|------------------------|-------------------------------|-------|
| AC8101, 8106, 8108 (美) | 水轮机焊接工艺规程                     | (861) |
| 《电气协同研究》19—2 (日)       | 关于水电站备品设置                     | (872) |
| 《电气协同研究》20—9 (日)       | 水电站主要设备定货书规范                  | (880) |
| SEN 268010—72          | (瑞典) 水轮机汽蚀损坏评定                | (898) |
| SIS 055900—67          | (瑞典) 钢表面锈蚀度和涂覆防锈漆时对钢表面要求的质量等级 | (901) |

# 反击式水轮机选择

## 形式和适用范围

对于水头变化较大的水轮机, 选择时应考虑水头变化对出力, 放水能力、效率和维护费用的影响。这些因素应作为经济问题摆在设计者面前, 他们首先应关心的是年收入和与发电有关的费用问题。本专著提出的概括方法, 是为快速选择合适的水轮机, 估计其主要尺寸和预计其性能而编制的。它只适用于反击式水轮机。

整个概算由一系列计算步骤组成。它根据给定的基本数据, 按逻辑顺序估算水轮机的尺寸和运行性能。每一步骤都以积累的经验 and 记录为基础进行, 这些经验数据和记录已整理成参数曲线, 便于直观地把所选择的机组或制造厂推荐的机组与具有类似特点的现有电站的机组相比较, 从而可以发现是否与常规机组有所偏离, 并对此作出评价。

这些经验数据主要是从垦务局所属已建成运行的电站积累起来的。整理成的曲线按一定的逻辑顺序编排, 一般不需要反复试算和一再调整, 同时可以考虑对水轮机型式与尺寸选择有影响的各种因素。

利用水流发出动力的水力发动机有多种型式, 主要可分为位移式、重力式、冲击式和反击式。位移式水力发动机示于图1中。最简单的是水力升降机, 比较复杂的是若干年前广泛应用的抽水发动机。它以城市管路中的硬水为动力抽取集水池中的软性雨水供应居民。

重力式水力发动机示为图2, 它依靠叶轮或链带一侧水斗中水的重量所产生的不平衡力使叶轮转动。上冲式水车是这种型式发动机的很好的例子, 几世纪以来, 上冲式水车用于驱动磨粉机。胸冲式水车的效率高一些, 带式或链式水力发动机只不过

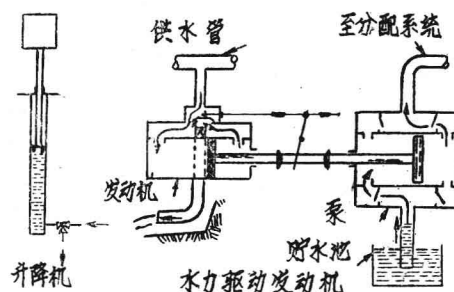


图1 位移式水力发动机

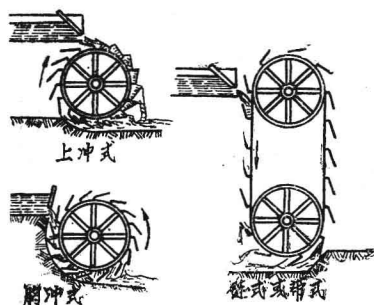


图2 重力式水力发动机

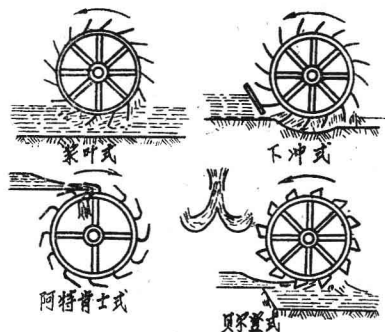


图3 冲击式水力发动机

是胸冲式水车的派生型式, 它适用于落差较大采用单个叶轮显得过于笨重的地方。尽管水车的结构简单, 但其功率和效率都有很大的局限性。

冲击轮或速度轮是古老的水力发动机, 图3示出了其中的若干品种。

图示的下冲式叶轮，是一种比早期的设计有所改进的水车，它比简单的水车具有更高的效率。

虽然阿特肯士式 (Atkins) 水车未曾作为商品生产而得到发展，但其工作原理在水力上是完备的：高速水流流过曲面，只有很小的速度损失；与曲面相连接的是半圆形的水斗，它以相当于射流速度的二分之一的速度运动，水斗的安装位置正好使排流从径向流向轮毂，使排流速度接近于零，从而获得最大的功率。

贝尔登 (Pelton) 式水轮机作为动力设备使用已有许多年，它沿用了 Atkins 水车的工作原理，水斗中设有分水刃，能将射水柱分开，使水流从水斗的边缘排出。

所有上述水车和水轮机，工作时叶轮暴露在空气中，或者只有少量溅流淹没叶轮。与此不同的是，反击式水轮机在工作时，其转轮全部浸泡在水中。这种水力原动机示为图4。

巴科 (Barker) 水磨是Hero引擎在水力上的应用，其中央受水室处于水压之下，利用从臂的末端孔口流出的水流的反作用力使之转动。大家都知道，旋转式草地喷水器就是应用这种原理。

在方尼龙式 (Fourneyron) 水轮机中，水从中心管向外流动并冲在转轮叶片上，使穿过弯管的主轴旋转。由于轮叶的影响作用，径向液流的方向发生改变，产生所需的反作用力使水轮机运转。Fourneyron 水轮机的设计是

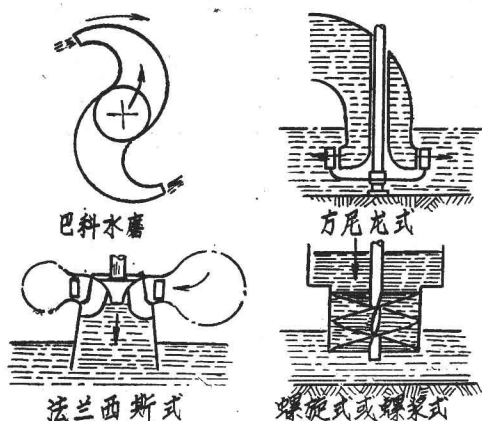


图4 反击式水力发动机

法国一项有奖竞赛的结果，Niagara 瀑布的第一批水轮机便是这种型式的。

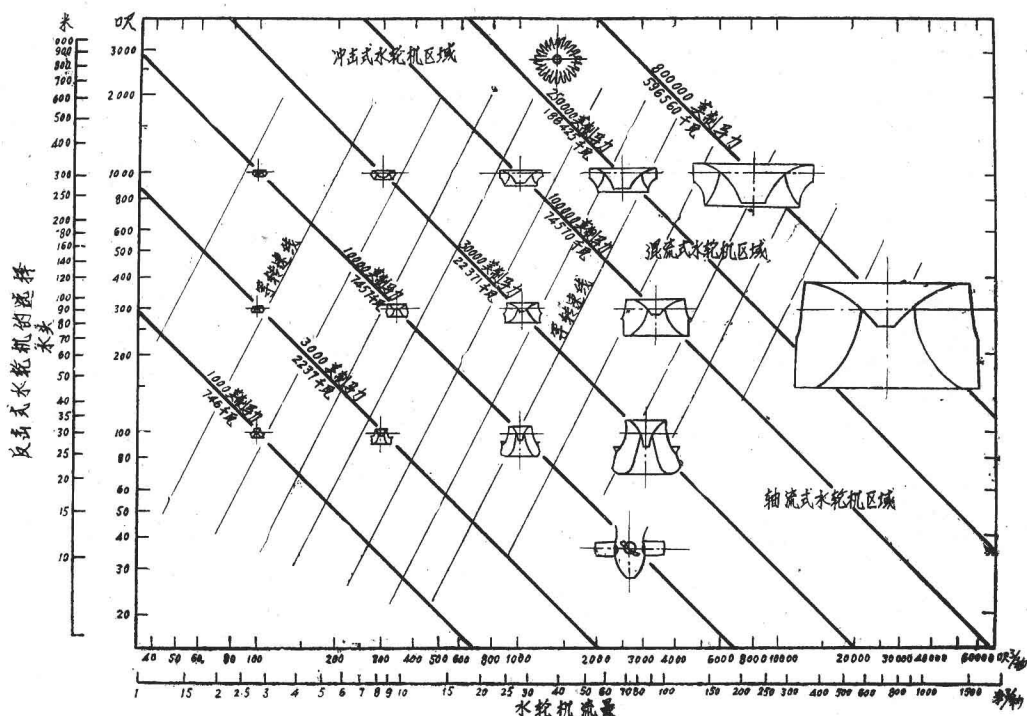


图5 各种型式水轮机的适用范围

## 参数和符号

|           |                                                                                |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $A$       | $\rho$ 在 $0^\circ$ 时的值                                                         |
| $a$       | 半蜗壳的径向断面面积                                                                     |
| $b$       | 从 $D_2$ 至导水机构中心线的距离                                                            |
| $D_1$     | 转轮叶片进水边与导水机构中心线相交点的直径。                                                         |
| $D_2$     | 转轮流道的最小直径                                                                      |
| $D_3$     | 转轮出口直径                                                                         |
| $D_4$     | 尾水管设计直径                                                                        |
| $D_M$     | 转轮最大外径                                                                         |
| $F_h$     | 水推力                                                                            |
| $FY_b$    | 叶片接力器容量                                                                        |
| $FY_M$    | 导叶接力器容量                                                                        |
| $ft$      | 呎                                                                              |
| $g$       | 重力加速度                                                                          |
| $H_a$     | 大气压力                                                                           |
| $H_{a,v}$ | 加权平均水头                                                                         |
| $H_b$     | 大气压力减去汽化压力                                                                     |
| $H_g$     | 毛水头                                                                            |
| $H_{max}$ | 最大水头                                                                           |
| $H_{min}$ | 最小水头                                                                           |
| $H_n$     | 净水头                                                                            |
| $H_s$     | 静吸出高度, 从 $D_2$ 至最低尾水位的距离                                                       |
| $H_v$     | 水的汽化压力                                                                         |
| $H_z$     | 交流电的频率                                                                         |
| $h_{cr}$  | 极限水头                                                                           |
| $h_d$     | 设计水头                                                                           |
| $h_r$     | 额定水头                                                                           |
| $h_p$     | 马力                                                                             |
| $K$       | 常数 = $(A - \rho_\theta) / \theta^2$ ; ( $\rho_\theta$ 为 $\rho$ 在 $\theta$ 处的值) |
| $K$       | 转速上升系数; $K = T_w / T_r$                                                        |
| $KVA$     | 千伏安 (发电机的容量单位)                                                                 |
| $KW$      | 千瓦 (发电机的功率单位)                                                                  |
| $L$       | 压力引水管的长度                                                                       |
| $m$       | 米                                                                              |
| $n$       | 设计转速                                                                           |
| $n'$      | 试算转速                                                                           |
| $n_{max}$ | 最大水头下的飞逸转速                                                                     |
| $n_r$     | 飞逸转速                                                                           |
| $n_s$     | 设计比转速                                                                          |

|                |                                              |
|----------------|----------------------------------------------|
| $n_s$          | 试算比转速                                        |
| PF             | 发电机的功率因数                                     |
| $P_d$          | 设计水头 $h_d$ 下全开口时水轮机的出力                       |
| $P_r$          | 额定水头 $h_r$ 下全开口时水轮机的出力                       |
| $P_{min}$      | 接力器最小额定油压                                    |
| $Q_{cr}$       | 极限水头 $h_{cr}$ 下全开口时水轮机的流量                    |
| $Q_d$          | 设计水头 $h_d$ 下全开口时水轮机的流量                       |
| $Q_{max}$      | 最大水头 $H_{max}$ 下全开口时水轮机的流量                   |
| $Q_r$          | 额定水头 $h_r$ 下全开口时水轮机的流量                       |
| $q$            | 半蜗壳的流量                                       |
| $R$            | 半径                                           |
| $S$            | 秒                                            |
| $r/\text{min}$ | 每分钟的转速                                       |
| $S_R$          | 转速上升率                                        |
| $S_R'$         | 计及水锤效应后的转速上升率                                |
| $T_f$          | 接力器最小关闭时间                                    |
| $T_k$          | 调速器全关时间                                      |
| $T_m$          | 机组加速时间 (机组惯性时间常数)                            |
| $T_w$          | 水流加速时间 (水流惯性时间常数)                            |
| $V$            | 半蜗壳的平均速度                                     |
| $V_c$          | 蜗壳流速                                         |
| $V_r$          | 额定水头 $h_r$ 下全开口时的管道流速                        |
| $V_s$          | 接力器的净容积                                      |
| $WR^2$         | 转动部份重量与回转半径的平方之积                             |
| $Z$            | 总吸出高度, 即导水机构中心线至最低尾水位的距离                     |
| $\gamma$       | 水的比重                                         |
| $\eta_d$       | $= \text{Eta}_d$ 水轮机的设计效率                    |
| $\eta_g$       | $= \text{Eta}_g$ 发电机效率                       |
| $\eta_t$       | $= \text{Eta}_t$ 水轮机效率                       |
| $\theta$       | 转角, 以弧度表示                                    |
| $\pi$          | 3.14159……                                    |
| $\rho$         | 机组中心线至半蜗壳断面基准线的距离                            |
| $\Sigma$       | 各项之和                                         |
| $\sigma$       | 汽蚀系数                                         |
| $\phi_3$       | 速度系数, $\phi_3 = \pi D_3 n / 60 \sqrt{2gH_d}$ |

混流式(Francis)水轮机与Fourneyron式水轮机实属同类,所不同的只是水流从转轮的四周流入,而向心朝下流出。把Fourneyron水轮机作为此改进的是James Bicehns Francis,试验是在Holyoke试验水槽中进行的,在那里他提出了著名的堰测流公式。如图27中Flatiron电站(设计水头1055呎,322米)和图28中Grandcoulee第三电站(水头285呎,87米)所示,混流式水轮机在中高水头的广泛范围内使用具有很高的效率。

叶片可调的螺旋式水轮机最适合于水头变幅大的场合。螺旋式水轮机的转速比混流式高,对于低水头电站,它比混流式水轮机更为适用。

各种型式水轮机的适用范围示于图5中

## 一 般 要 求

现代电站要求水轮机的效率达到很高的水平,水轮机的选择和设计应适应规定的工况范围。水头和功率的组合千变万化,所以,即使受到同期转速的限制,也只有少数机组能在一个以上电站得以套用。因此选择所谓标准化或通用机组并不能减少第一次投资,却往往造成电站效率降低和运行维护费用增加。

在美国,在进一步发展水力发电时,必须考虑:现场条件和以前开发的电站很少有相同之处。事实上,在能源短缺的地方,以前认为不宜开发的电站,只要它能承担峰荷,或在电力系统中作为周期性的基荷机组,它就可能变得适宜于开发。对于这种电站,应认真进行设计,以便充分利用水力资源,特别是正确选择合适的水轮机更是头等重要的事。

为了正确地选择水轮机,必须对迳流、水库运行方式及有关的电站数据和资料进行仔细的研究。电力系统的特性及其对功率的需求,对水轮机型式的选择或电站最终装机容量的确定影响不大,特别是当建坝的目的是灌溉蓄水和防洪先于发电时更是如此。

如果对水库的运行方式和动能研究不够,未能反映水轮机的限制条件,或水轮机选择不适当,则会使岁收减少,影响电站盈利和偿还投资的能力。机型选择不当,还会使运行费用增加,并使机组的运行难于控制。

### 必要的现场资料

通常根据降雨量和迳流记录以及水库运行方式估算可供电站利用的水流功率。水力资源能否有效利用,受到水轮机及有关设备的限制。总体设计不可只顾当前,而要着眼于电站最终规模的经济效益。

确定电站装机容量时,要考虑水头范围和效率损失以及高水头部分开口运行时维护费用的增加。电站设计者对于电站的容量要反复认真地加以研究,使机组的选择能达到预期的经济效益。

确定机组尺寸和装机台数的规划设计工作应包括:

#### 1 水库运行曲线或图表

逐月详细研究。应用有效的迳流记录,计算水库水位、水能、溢洪道和放水量,以及水流的出力。

#### 2 水头和水位

- a 最高、加权平均和最低水位。
- b 溢洪道顶部高程或不溢流的最高水位。
- c 最大溢洪量及相应的水位。

d 对水轮机运行有影响的其他水位。

### 3 尾水位

从0流量至多年平均洪水流量之间的尾水位曲线。每隔半呎左右给出一个值。此曲线应延长至最大洪水流量,但对水轮机来说,最重要的是从0流量至多年平均洪水流量之间的这一段。

### 4 功率

说明功率需求的情况,包括各种限制条件,例如在最低水头时希望多少容量,运行方式或负荷特性。

### 5 总体布置

a 近似估算压力引水管的尺寸,长度和形状所需的资料。

b 在地形图上标出厂房与大坝的相对位置。

## 水 头

水轮机在一定的转速、水头和出力下效率的峰值达90—95%,在其他水头和出力下机组的效率有所下降。

各种水头的定义:

反击式水轮机的运行水头示如图6。

毛水头 ( $H_g$ ) 是指前池水位和尾水位的高程差。

净水头 ( $H_n$ ) 等于毛水头减去除水轮机以外的一切水力损失。净水头是水轮机做功所需的水头,进水口和引水管的损失不包括在净水头中,但蜗壳和尾水管的损失应由水轮机分担,包括在净水头之中。当拦污栅、进水口和弯管的损失近似为总损失的一半时,如引水管的长度小于最大水头的3倍,则总损失通常不超过额定水头的1%。对于更长的引水管,其损失则可能达到额定水头的(3—10)%。引水管中的流速应根据经济比较确定,但不超过30呎/秒(9米/秒)。

最大水头 ( $H_{m,x}$ ) 为不超高前池水位与不溢流且只有1台机空载运行时的下游水位之差所形成的毛水头(水轮机空载时的流量约为额定流量的5%)。在此情况下,水力损失可以忽略不计。

最小水头 ( $H_{min}$ ) 指的是净水头,等于前池最低水位与尾水位的高程差减去全部水轮机在全开口下运行时的损失。

加权平均水头 ( $H_{w,v}$ ) 为净水头,通过水库运行计算确定,在该水头与最大水头之间所发的电量(度)应同该水头与最小水头之间所发的电量相等。

设计水头 ( $h_d$ ) 为净水头,在该水头下达到最高效率。设计水头应尽可能接近加权平均水头,但选择时应使最大水头和最小水头不落到水轮机允许运行的范围以外。这是一个决定水轮机乃至厂房基本尺寸的水头。

额定水头 ( $h_r$ ) 为净水头,在该水头下,水轮机在全开口时发出发电机额定出力(千瓦数)。通常按此水头给定水轮机的铭牌出力。这一水头的选择应该慎重而富有远见。现在看来,图26中所示的shasta电站是一个选择不当的例子。在330呎(101米)的低水头下,机组的额定容量为75000KVA,水轮有很大的潜力,发电机超负荷运行30年,造成线圈过早地损坏。后来,线圈曾按95,000KVA重绕,现在正考虑按125,000KVA重绕线圈,配原来的水轮机。

制造厂予先留有5%的过载能力，大古里第Ⅲ电厂的额定水头定为285呎（87米），在加权平均水头下，发电机发额定出力时，水轮机为最优开口；在全开口时，可发足发电机的过载容量。在322呎（99米）以上水头运行的机会则是很少的，见图28。

极限水头（ $h_{cr}$ ）为净水头，在该水头下，水轮机全开口时，可发出发电机在其功率因数等于1时的允许过载出力（一般为额定千伏安的115%）。在该水头下水轮机的流量可能最大。

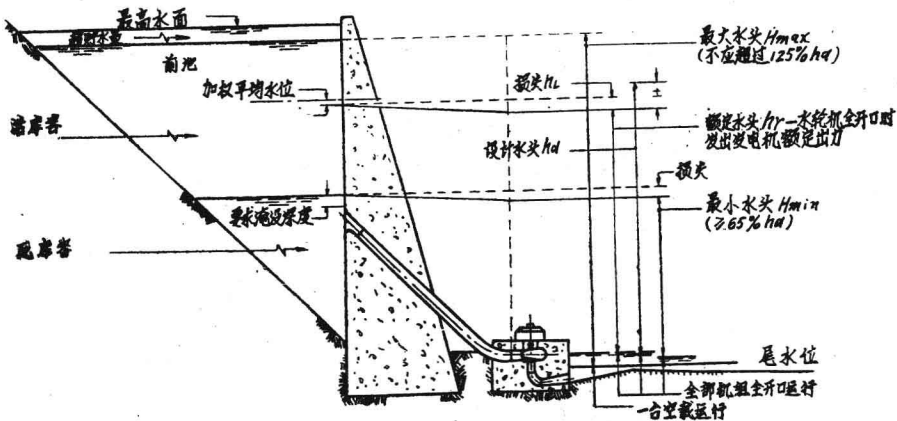


图6 反击式水轮机的运行水头

图注：水轮机的额定出力

|              |        | 美 制                         | 米 制                        |
|--------------|--------|-----------------------------|----------------------------|
|              | $Pr =$ | $0.1134 Q_r h_r \eta_{t,r}$ | $9.804 Q_r h_r \eta_{t,r}$ |
| $Pr$         | 额定出力   | 马 力                         | 千瓦                         |
| $Q_r$        | 额定流量   | 呎 <sup>3</sup> /秒           | 米 <sup>3</sup> /秒          |
| $h_r$        | 额定水头   | 呎                           | 米                          |
| $\eta_{t,r}$ | 额定效率   | %                           | %                          |

允许水头范围：

水轮机转轮叶片进水边的园周速度与来流速度的相对关系影响水轮机的效率与汽蚀性能。在设计水头下其组合关系最优。根据经验，水头偏离设计值的允许范围如下（图7）。

| 水轮机型式 | 最大水头 % | 最小水头 % |
|-------|--------|--------|
| 混 流 式 | 125    | 65     |
| 轴流定桨式 | 110    | 90     |
| 轴流转桨式 | 125    | 65     |

电站额定值

根据水库运行方式决定电站的最终容量和达到该容量的水头，并考虑由于发电机尺寸和

水轮机出力随水头而变化造成的出力限制，从千瓦和千瓦小时两个方面进行校核。水轮机的性能曲线示于图7中，它代表平均水平，适用于水库运行方式的研究。

$$\text{电站千瓦数} = 0.0846 \text{ 额定流量 (呎}^3/\text{秒} \times \text{额定水头 (呎)} \times \text{电站效率} = 9.804 \text{ 额定流量 (米}^3/\text{秒)} \times \text{额定水头 (米)} \times \text{电站效率}$$

注：1兆瓦=1000千瓦 和

千瓦=千伏安×功率因数

1马力（美制）=550呎-磅/秒=0.7457千瓦

1马力（米制）=1.014马力（美制）

某一时期的电站系数等于该时期内电站的平均出力与装机容量之比，其结果说明能量的比值。

$$\text{电站系数} = \frac{\text{电站的平均出力}}{\text{电站装机容量}}$$

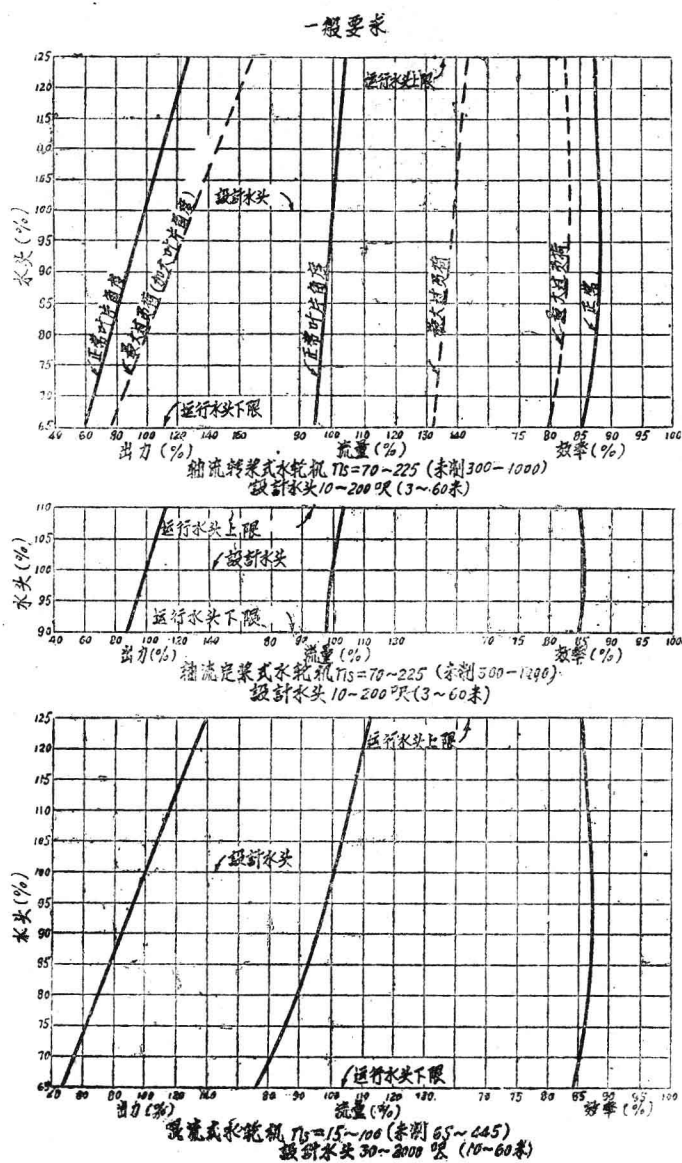


图7 水轮机全开口时的性能曲线——最大水头范围

## 机组台数

容量一定时, 单位千瓦投资一般随机组台数的减少而减少。

多机组电站通过改变机组的运行台数, 可以很好地适应负荷变化, 使机组在高效率范围内运行。然而现代电力系统拥有许多电站, 通常可以在各个电站之间调整负荷分配, 避免任何一个电站在低效率区运行, 甚至能使只有一台机组的电站也高效率地发电。

水轮机的全开口出力随水头的 $3/2$ 次方而变化, 如图7所示。混流式水轮机在65%设计水头下大约发其设计容量的45%。

一般说来, 电站装2—4台机组即足于适应负荷和流量的正常变化, 其一次性投资接近于最小, 维修间和厂房设备, 如吊车、空气压缩机、油处理设备等地也较小, 可以得到充分利用。单台机组的电站因投入运行的机组少, 所以运行维护费用低, 但辅助设备相对较大, 因而更费钱。

最佳机组台数取决于正确衡量上述诸因素, 而不应墨守成规。

## 单机容量

发电机、水轮机、调速器和变压器的单位千瓦价格一般随其尺寸增大而减小, 但这个优点可能被抵消, 因为机组小时其辅助设备较小, 基础的造价也比较便宜。然而, 对于一定的电站, 总的趋势是减少机组台数。

在美国, 铁路运输允许转轮的最大外径为18呎(5.5米), 尺寸再大则需采用分瓣结构, 在现场装配。

在小开口下运行不仅效率低, 还会加速汽蚀损坏, 最好是限制在80%或更高的效率下运行。图8示出了效率曲线的形状随比转速而变化的情形: 效率为80%时, 从 $n_s=35$ (米制156)的机组, 最小出力为25%; 到 $n_s=143$ (米制636)的定桨式机组, 相应的最小出力为75%。

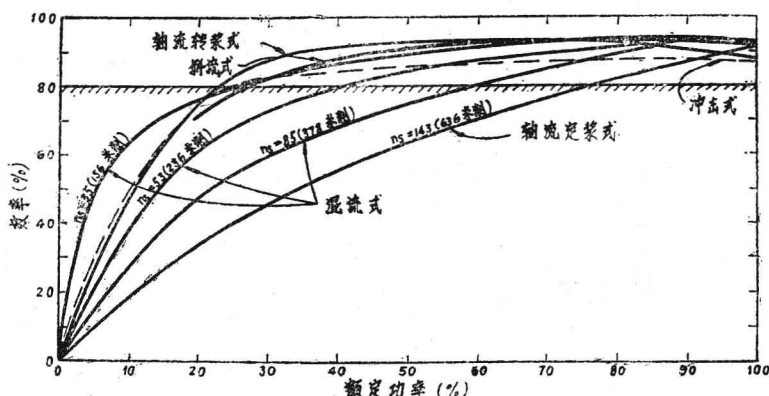


图8 水轮机效率特性曲线

混流式水轮机在恒定的转速下运行时, 其典型的全开度特性如图9所示, 其全开口出力随水头的 $3/2$ 次方变化, 流量随其泵扬程以上的水头的平方根而变化。这里所说的泵扬程, 是指当机组电动回转时由于浸没而在旋转着的转轮上产生的背压, 其值在(25~40)%设计水头范围内。前者对应于较低水头机组, 后者对应于高水头机组。驱动机组在正常转速下旋转所需的功率相当于设计水头下全开口时的功率的(5~15)%, 前者对应于高水头机组, 后

者对应于低水头机组。在允许的水头范围内，即在设计水头的（65~125）%范围内，除非受发电机的限制，否则混流式水轮机的可用功率约相当于设计出力的（45~140）%。

水轮机设计者通常把水轮机全开口出力点选择在略小于某一特定点的位置上（超过该特定点时，继续增大开口出力不再增加或运行开始不稳定），这使得全开口的效率大致为87.5%。最高效率点（水流对转轮来说具有理想的速度和方向）一般出现在小于全开口的某一点上，在图中此点在设计水头下位于全开口的80%处。

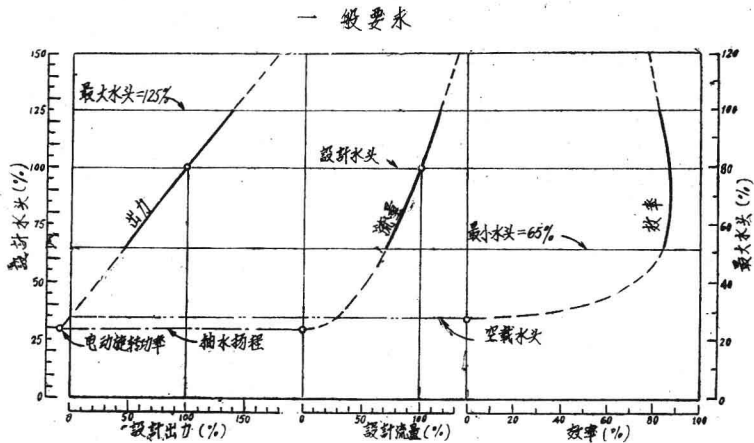


图9 混流式水轮机全开口特性（转速恒定）

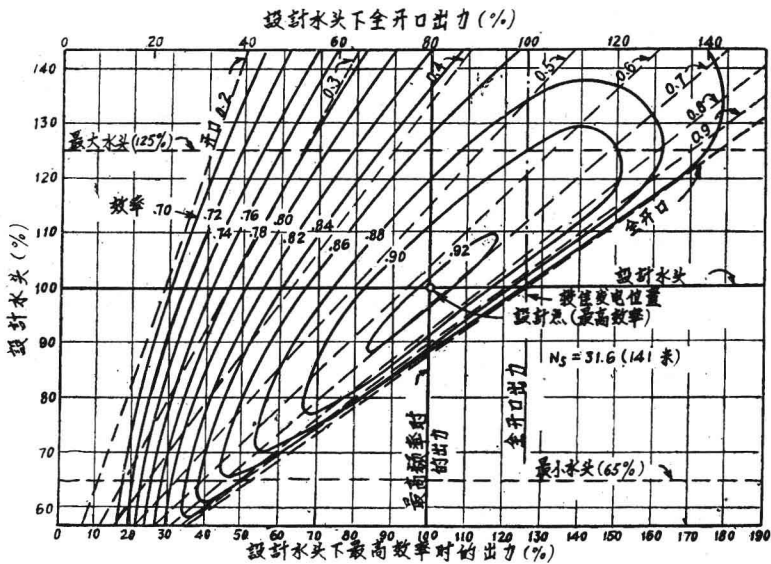


图10 混流式水轮机效率曲线

### 机 组 选 择

垦务局的技术条件要求制造厂对水轮机的机械设计和水力效率负责。垦务局编制设计书和技术条件的目的是为了使水轮机及相应的流道和建筑物的综合经济指标最优。垦务局通过投标竞争来选购设备，不仅满足技术要求，而且价格最便宜。在评价所推荐的水轮机的效率时，不光是根据设计的理论数据，而是根据试验结果。

为了在给定水头下获得给定的功率时，第一次投资尽可能最小，水轮机和发电机的转速应尽可能高。然而转速的提高受到机械强度、汽蚀、振动和最优效率下降等因素的限制，或者因高效率区狭窄而有所损失。此外，高转速水轮机的安装高程相对较低，通常会使开挖量和建筑物的造价增加。增大转速有时还会使水轮机安全运行的水头范围减少。

下节中所述的转速与安装高程选择，是从多数电站常见情况出发，权衡各种因素，并以电能生产的费用最小为条件提出的。

### 转速

水轮机的比转速是尺寸按比例缩小的同类型号水轮机，当全开口时，在1呎水头下发1马力出力时每分钟达到的转数。低比转速适用于高水头；高比转速适用于低水头。对于给定的水头可能有一个很宽的比转速范围。

图11示出了设计水头下比转速的范围。在给定的水头下，如选择高比转速，则水轮机和发电机的尺寸较小，造价也较低，但水轮机要装得低一些，开挖和水工建筑的造价增加可能抵消设备投资的节省，同时效率也可能较低（图8）。所以在选择比转速时，应该对电能价值、电站系数、利率和补偿年限进行综合的分析研究。

### 机组选择

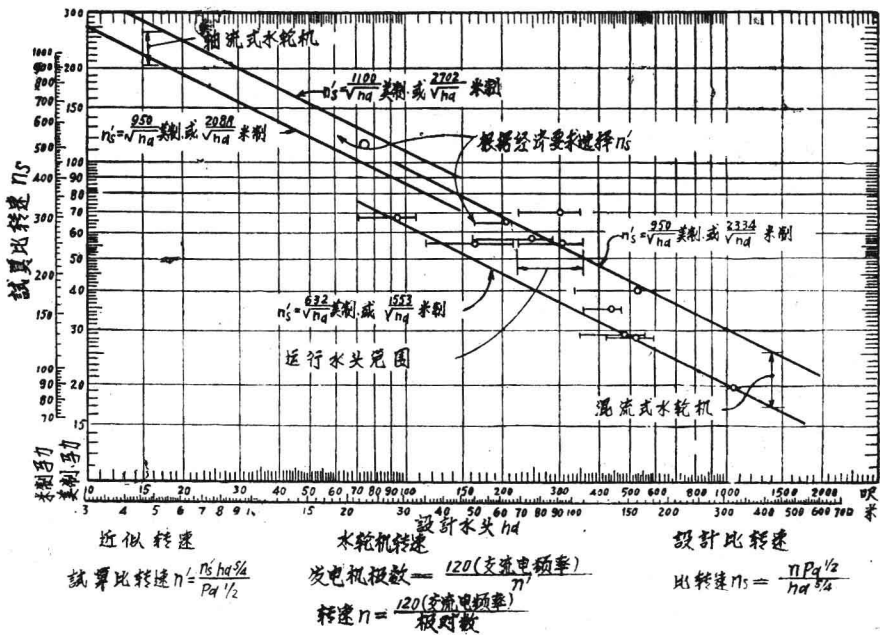


图11 水轮机特性曲线（确定水轮机转速的经验曲线）

#### 1 试算比转速 $n'_s$

可从图11中或通过经济分析进行选择。除非遇到非常情况，垦务局选择的比转速一般接近于  $950/\sqrt{h_d}$  ( $2334/\sqrt{h_d}$ )。

#### 2 试算转速 $n'$

$$b' = \frac{n'_s (h_d)^{5/4}}{(P_d)^{1/2}} \text{ 或 } \frac{n'_s h_d}{\left(\frac{P_d}{h_d^{1/2}}\right)^{1/2}}$$

| 电站名称        | 水轮机额定值 |     |         |         |      | 设计工况           |     |                |           |                |     |       | 数据来源  |  |
|-------------|--------|-----|---------|---------|------|----------------|-----|----------------|-----------|----------------|-----|-------|-------|--|
|             | 水头     |     | 容量      |         | 转速   | 水头             |     | 容量             |           | 比转速            |     | 日期    | 模型试验  |  |
|             | hr     |     | Pr      |         | n    | h <sub>a</sub> |     | P <sub>a</sub> |           | n <sub>s</sub> |     |       |       |  |
|             | 呎      | 米   | 美制      | 米制      | 转/分  | 呎              | 米   | 美制             | 米制        | 美制             | 米制  |       |       |  |
| FLATIRON    | 1055   | 322 | 48,000  | 48,672  | 514  | 1055           | 322 | 52,250         | 52,982    | 19.5           | 87  | 12—51 | “     |  |
| GLEN CANYON | 450    | 137 | 155,000 | 157,677 | 150  | 485            | 148 | 183,200        | 190,835   | 28.6           | 127 | 8—60  | “     |  |
| FONTEMELLE  | 87     | 26  | 14,100  | 14,297  | 150  | 94             | 29  | 17,400         | 17,664    | 67.5           | 300 | 8—63  | “     |  |
| YELLOWTAIL  | 440    | 134 | 87,500  | 88,725  | 225  | 440            | 134 | 96,400         | 97,750    | 34.7           | 154 | 8—63  | “     |  |
| SEMINOE     | 166    | 51  | 20,800  | 21,091  | 225  | 166            | 51  | 21,850         | 22,156    | 55.8           | 248 | 4—64  | “     |  |
| HOOVER1—4   | 480    | 146 | 115,000 | 116,610 | 180  | 520            | 158 | 152,000        | 154,128   | 28.3           | 126 | 8—66  | “     |  |
| 大古里19—21    | 235    | 87  | 820,000 | 831,480 | 72   | 305            | 93  | 976,000        | 989,664   | 55.8           | 248 | 11—69 | “     |  |
| 大古里22—24    | 235    | 87  | 960,000 | 973,000 | 85.7 | 305            | 93  | 1,035,000      | 1,100,000 | 70.0           | 312 | 10—73 | “     |  |
| 1ETON       | 229    | 70  | 13,800  | 13,993  | 450  | 248            | 76  | 15,600         | 15,813    | 57.1           | 254 | 9—72  | “     |  |
| CRYSAL      | 207    | 63  | 39,000  | 39,546  | 257  | 207            | 63  | 39,000         | 39,546    | 64.6           | 288 | 1—75  | “     |  |
| AUBURN      | 467    | 142 | 206,000 | 208,884 | 200  | 531            | 162 | 257,000        | 260,598   | 39.8           | 177 |       | 技术说明书 |  |

符号说明:

$h_a$  设计水头呎 (米),  $P_a$  设计水头下水轮机全开口时容量,

$h_r$  额定水头, 呎 (米),  $P_r$  额定水头下水轮机全开口时容量,

$n'$  试算转速, 转/分  $n$  转速, 转/分

注: 将极数化成偶数, 对于大型机组, 化成4的倍数, 对60周波频率, 避免选用54和108极。

式中:  $n'$  试算转速

$n'$  s 试算比转速

$h_a$  设计水头

$P_a$  设计水头  $h_d$  下水轮机全开口时的出力。

3 转速或设计转速  $n$

根据以下条件选择:

a 发电机的极数最好是4的倍数, 但目前标准发电机的极数也有是2的倍数的。

b 如果水头变化 (偏离设计水头) 小于10%, 则选择相邻较高的同期转速, 如果水头变化大于10%, 则选择相邻较低的同期转速。

$$\text{转速 } n = \frac{120 \times \text{频率}}{\text{极数}}$$

对于60周波

$$n = \frac{7200}{\text{极数}}$$

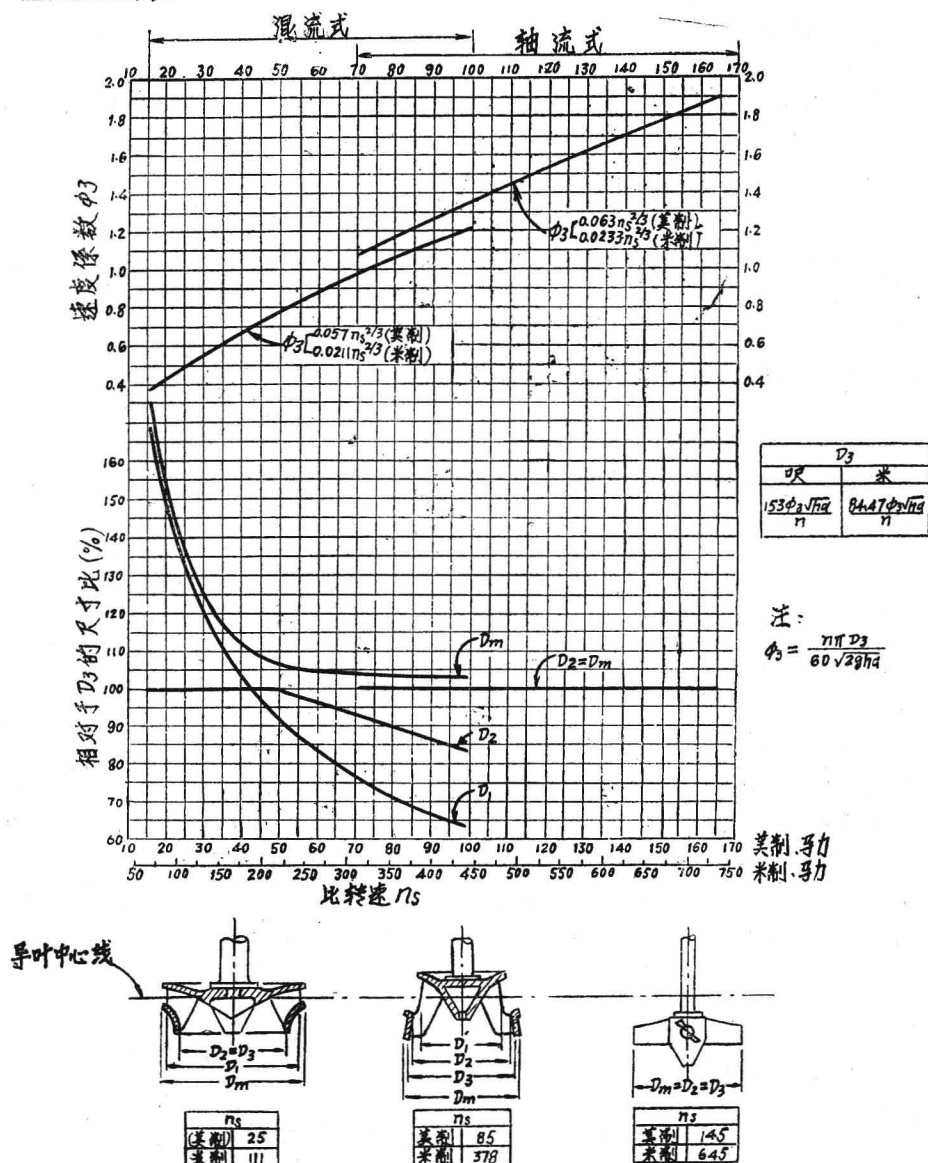
4 设计比转速

$$n_s = \frac{n(P_a)^{1/2}}{(h_a)^{5/4}} \text{ 或 } \frac{n\left(\frac{P_a}{h_a^{1/2}}\right)^{1/2}}{h_a}$$

设计比转速是一个基本参数, 在选型时, 水轮机的其他参数大多是相对于比转速给出的。

## 水轮机转轮尺寸

原型水轮机转轮尺寸由制造厂根据模型试验和有关设计规范确定。出力一定时，甚至在转速相同的情况下，各制造厂提供的水轮机转轮的出口直径仍有些微差别。为了估算和初步布置，如从经验曲线（图12）所确定的那样，转轮直径选择得比已安装机组的平均直径略大一些是适宜的。



图中

图12 水轮机转轮基本尺寸比例

$D_1$  转轮进水边与导水机构中心线相交处的直径

$D_2$  转轮流道的最小直径

$D_3$  出口直径

$n$  设计比转速

$h_a$  设计水头

$n'$  转速