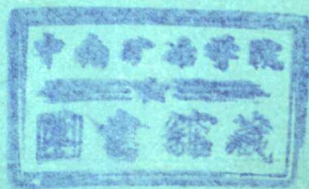


308800

水轮机设计者 手册

哈尔滨大电机研究所译



机 械 工 业 出 版 社



水轮机设计者手册

哈尔滨大电机研究所译

机械工业出版社

手册中叙述了各型水轮机设备总体布置的特点、水轮机的综合特性曲线、通流部分标准尺寸及结构设计资料,系统地介绍了水轮机基本参数的选择方法、水力计算、强度计算、自动化要求、辅机选择及材料选择等。

本手册可供从事水轮机研究、设计、制造和运行的同志参考。

水 轮 机 设 计 者 手 册

哈尔滨大电机研究所译

机械工业出版社出版 (北京东厂门内大街24号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

高水县印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

开本 787×1092 1/16 ·印张 14 3/4 ·字数 345 千字

1976年3月湖北第一版·1976年3月湖北第一次印刷

印数 00,001—13,000 ·定价 1.20 元

统一书号 15394·4294

毛主席语录

凡属我们今天用得着的东西，都应该吸收。但是一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

译 者 的 话

在批林批孔运动的推动下,我国电机制造工业获得了更加蓬勃的发展。各种规模的水力发电站像雨后春笋般地建立起来,我国丰富的水力资源得到了越来越充分的利用。

为了适应我国电机制造工业迅速发展的需要,我们遵照伟大领袖毛主席“古为今用,洋为中用”的教导,译出了《水轮机设计者手册》一书,供从事水轮机设计和制造的同志参考。

翻译时,除删去原序外,对第八章进行了摘译,并以附录形式列在最后;另外对全书一些明显的错误作了订正。

本书的翻译工作是由我所水轮机设计室的同志共同进行的。由于我们水平有限,错误和缺点在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

哈尔滨大电机研究所

目 录

第一章 水轮机的基本参数	1
1. 概述	1
2. 大型反击式水轮机型号	4
3. 综合特性曲线	10
4. 水轮机基本参数的选择	17
5. 水轮机的飞逸转速	20
第二章 水轮机通流部分	22
1. 涡壳	22
2. 尾水管	25
3. 座环	29
4. 转桨式水轮机的转轮室	31
5. 转桨式水轮机的转轮	31
6. 混流式水轮机的转轮	33
第三章 水电机组的装置	35
1. 基本概念及水电机组各种型式装置的特点	35
2. 转桨式水轮发电机组的装置	36
3. 混流式水轮发电机组及属于实验性质的斜流式水轮发电机组	43
4. 冲击式水轮发电机组的装置	49
5. 可逆式水泵水轮机组的装置	49
第四章 水轮机的结构设计	82
1. 概述	82
2. 涡壳	92
3. 座环	92
4. 基础部分	92
5. 水轮机机坑和尾水管里衬	93
6. 导水机构	93
7. 带筋的环形部件	118
8. 导水机构接力器	121
9. 混流式转轮	125
10. 转桨式转轮	126
11. 主轴	135
12. 导轴承	141
13. 受油器	143
14. 空放阀	146
15. 真空破坏阀	148
16. 水轮机某些机构的设计特点	149
17. 水斗式水轮机	151

第五章 水轮发电机组的自动控制和调速系统	154
1. 自动调速的任务	154
2. 对调速器的要求	154
3. 电液调速器的原理图	154
4. 油压设备结构	162
5. 油压设备的选择和计算	163
6. 油压设备的规格尺寸	163
7. 油压设备的自动化	167
8. 油压设备压力油箱的自动补气	168
9. 向混流式水轮机转轮区补气的装置	169
第六章 水电站压力管道上的水力阀门	171
1. 阀门的用途	171
2. 阀门装设的地点	171
3. 阀门的型式	171
4. 阀门的技术要求	173
5. 阀门的全套设备	174
6. 控制蝴蝶阀的液压机械系统图	183
7. 控制球阀的液压系统图	184
第七章 水轮机零件及机构计算	187
1. 金属涡壳的强度计算	187
2. 导叶强度计算	188
3. 导水机构接力器直径的确定	191
4. 转桨式水轮机转轮接力器的直径选择	195
5. 水轮机轴临界转速计算	204
6. 水润滑橡胶轴承的热计算	212
7. 轴向水推力计算	216
8. 对同期调相工况用空气压缩机设备的选择	218
附录 1. 新设计水轮机技术经济指标的估算	220
附录 2. 几种已生产水轮机的技术经济指标	225

第一章 水轮机的基本参数

1. 概 述

水轮机是把水能转换成机械能的一种机器。

大型水轮机的主轴一般直接与发电机大轴连接,因此,水轮机和发电机组成水轮发电机组。

单位时间内水由上游水位经水轮机流至下游水位所作的功,称为水流的功率(出力)。对坝后式水电站上游水位是取紧靠坝前的水面标高;对引水式水电站是取压力前池自由水面标高。

水流的功率按下式计算:

$$N_n = \frac{\gamma Q H_{\sigma p}}{102} = 9.81 Q H_{\sigma p} \text{ 千瓦} \quad (1-1)$$

式中 $\gamma = 1000$ 公斤/米³; 水的重度;

Q ——流量,米³/秒;

$H_{\sigma p}$ ——毛水头(上下游水位差),单位为米。

由于水流经水电站引水建筑物时产生水力损失,水轮机能利用的水头(即工作水头)将小于电站的装置水头(即毛水头)。水轮机的工作水头是指水轮机引水室进口截面和尾水渠的能量差值,即

$$H = \frac{P_e - P_k}{\gamma} + z_e - z_k + \frac{\alpha_e v_e^2 - \alpha_k v_k^2}{2g} \text{ 米} \quad (1-2)$$

式中 P ——计算截面的水流平均压力,公斤/米²;

z ——计算截面中心线标高,米;

v ——计算截面的水流平均流速,米/秒;

α ——截面流速不均匀系数。下角 e 是指引水室进口截面,下角 k 是指具有最高自由水面的尾水渠截面。

水轮机运转时将损失一部分能量,因而传至水轮机轴上的有效功率(水轮机出力)为:

$$N = \frac{\gamma Q H}{102} \eta \text{ 千瓦} \quad (1-3)$$

式中 η ——水轮机的效率。

根据转轮转换水流能量的不同方式,水轮机分为冲击式和反击式两大类。冲击式水轮机主要是将水流的动能 $\frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g}$ 变为机械能,而反击式水轮机则主要是转换水流的压力能和势能 $\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + z_1 - z_2$ 。此外,下角 1 和 2 相应指转轮的进口和出口。在冲击式水轮机中, $z_1 = z_2$, $P_1 = P_2$ 。

现代水轮机的分类列于表 1-1。从表中看出,水轮机还可分为几种型式,目前反击式水轮机采用转桨式、定桨式和混流式;冲击式水轮机,多数情况下,只采用水斗式。

表 1-1 水轮机的分类

类 别	转 浆 式				冲 击 式		
	转 浆 式		定 浆 式	混 流 式	水 斗 式	斜 击 式	双 击 式
	轴 流 式	斜 流 式					
水 头 (米)	2~80	40~120	2~70	30~500(大型) 2~200(小型)	300~1700(大型) 40~250(小型)	30~400	10~60
转轮直径(米)	1~10	1~6.5	0.35~9	0.35~7.5	0.36~5.2		
功 率 (千瓦)	小于 25 万	小于 25 万	小于 15 万	小于 50 万	小于 11 万	10~4000	10~150

按转轮叶片的转轴相对水轮机轴线位置不同, 转浆式水轮机又可分为轴流式和斜流式两种。

每种型式的水轮机有几组系列, 同系列的水轮机, 其通流部分几何相似, 且通道内能量的相对损失相等。不同系列的水轮机用比转速 n_s 来判别。

$$n_s = 1.167 \frac{n \sqrt{N}}{H^{3/4}} \quad (1-4)$$

式中 n ——水轮机转速, 转/分;

N ——水轮机功率, 千瓦;

H ——水轮机工作水头, 米。

比转速是指水头为 1 米、发出功率为 1 马力时水轮机的转速。它的变化范围: 由低比转速 $n_s = 4 \sim 10$ 到高比转速 $n_s = 800 \sim 1100$, 水斗式水轮机为低比转速, 轴流式水轮机为高比转速。当前水轮机制造业的一个发展趋势就是提高水轮机的比转速, 从而在相同的水头和出力下, 可提高转速, 缩小机组尺寸并降低造价。

比转速一般按设计水头和最大功率计算, 或者按水轮机最高效率点的水头和功率计算。

为表示同一系列水轮机的特性, 除比转速外, 还采用下列单位值: 单位转速 n'_1 、单位流量 Q'_1 和单位功率 N'_1 。它们表示转轮直径为 1 米、水头为 1 米时该系列水轮机所具有的转速、流量和功率。

这些单位值可按下列公式近似计算:

$$\left. \begin{aligned} n'_1 &= \frac{nD}{\sqrt{H}} \\ Q'_1 &= \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}} \\ N'_1 &= \frac{N}{D_1^2 H \sqrt{H}} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

上述单位值一般由模型试验求出, 同一系列所有相似水轮机的单位值相同。上述各式还可改写为:

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{n'_1 \sqrt{H}}{D} \quad \text{转/分} \\ Q &= Q'_1 D_1^2 \sqrt{H} \quad \text{米}^3/\text{秒} \\ N &= N'_1 D_1^2 H \sqrt{H} = 9.81 Q'_1 \eta H \sqrt{H} D_1^2 \quad \text{千瓦} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

采用这几个公式来计算水轮机的主要参数是很方便的。

公式(1-5)是假设所有相似水轮机中的相对损失都一样,它们与转轮直径无关。然而,实际上,同一系列水轮机随着直径和功率的增大,效率提高了,这是因为在水轮机总的能量平衡中,水力的、机械的和容积的损失相对地减小的缘故。

如果水轮机效率用 η 、水力效率用 η_h 、容积效率用 η_q 表示,则单位值的准确表达式为:

$$\left. \begin{aligned} n'_I &= \frac{n D_1}{\sqrt{H}} \sqrt{\frac{\eta_h}{\eta_{hM}}} \\ Q'_I &= \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}} \cdot \frac{\eta_{qM}}{\eta_q} \sqrt{\frac{\eta_h}{\eta_{hM}}} \\ N'_I &= \frac{N}{D_1^2 H \sqrt{H}} \cdot \frac{\eta_{qM}}{\eta_{qM} \eta_{hM}} \sqrt{\frac{\eta_h}{\eta_{hM}}} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式中 下角 M 表示模型的效率,无下角的表示真机的效率,

比转速也可用单位值进行计算:

$$n_s = 3.65 n'_I \sqrt{Q'_I \eta}$$

水轮机的基本参数包括: H ——水头; Q ——流量; N ——功率; n_n 、 n_p ——转速和飞逸转速; n_s ——比转速; D_1 ——转轮直径; η ——效率; σ ——汽蚀系数。

水电站运行过程中,上下游水位在不断变化,因此水轮机的工作水头也在不断改变。设计水轮机时一般给定最高水头、最低水头和设计水头。设计水头是水轮机达到额定功率时的最低水头。在个别情况下,设计水轮机时还给出加权平均水头(表示长时间出现的水头)和初期运行水头(水库还未蓄满水时水轮机初期运行的水头)。

水轮机名义直径(即转轮直径)规定为:对轴流式和斜流转桨式或定桨式水轮机,是指转轮叶片转轴与转轮室内表面相交处的圆周直径(图 1-1 的 a 和 b);对混流式水轮机,是指转轮叶片进水边最外缘的直径(图 1-1 的 c);对水斗式水轮机,是指与转轮同心而与喷嘴射流轴线相切的水斗分布圆直径(图 1-1d)。

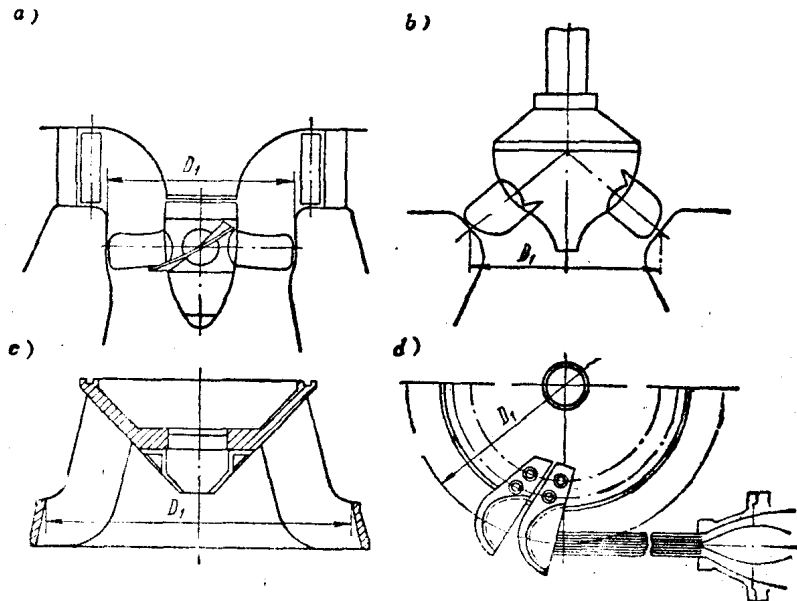


图 1-1 水轮机转轮名义直径示意图

根据苏联国家标准 10596-63 和《大型立轴转桨式和混流式水轮机型谱》，水轮机制造业制订了水轮机直径系列。对混流式水轮机，允许其直径与系列直径有些差别，如果其直径比系列直径小 3% 以内，水轮机铭牌和其余尺寸可以保持不变。

水轮机运行时，在通道的某些区域，水流的绝对压力可能降低至当地温度的汽化压力以下；因此可能产生复杂的物理现象，称为汽蚀。当水流中充满大量蒸汽泡，或充满从水中分离出来的连成片状空穴的空气泡时，水流沿水轮机通道运动，将这些汽泡带到高压区并自行破裂，就会产生汽蚀。汽泡破裂时产生冲击，发生噪音，使机组振动，同时使通流部件材料遭受损害，甚至使水轮机功率和效率下降。

各系列水轮机的汽蚀性能用汽蚀系数 σ 来表示，它与转轮叶片动力真空对水头的比值成比例。

每一系列的水轮机，它的汽蚀系数在试验室由模型试验确定。水轮机发生汽蚀的条件，可以根据下列数值决定：当地的大气压 B 、转轮相对于下游水位的标高（即所谓吸出高度） H_s 和电站装置水头。设计水轮机时采用装置汽蚀系数来确定汽蚀产生的条件，即：

$$\sigma_{ycm} = \frac{B - H_s - H_{an}}{H} \quad (1-8)$$

式中 H_{an} ——当地温度下的汽化压力。

当 $\sigma_{ycm} \geq \sigma$ 时，水轮机中不会发生汽蚀。根据这条件，在已知电站的 H 、 B 和 H_{an} 的条件下，根据水轮机给定的汽蚀系数 σ ，可以求出该系列水轮机必需的吸出高度 H_s 。

如果转轮位于下游水位以上，则吸出高度为正。为了准确地将模型换算到真机，计算吸出高度要从转轮汽蚀最危险点算起。但是在实践中要确定这一点的真实位置是很困难的，而且它随着水轮机工况变化而改变。因此，一般规定，混流式水轮机和斜流式水轮机的吸出高度由导水机构底环上端面（导叶下端面）开始计算，轴流转桨式水轮机由转轮叶片转动轴线位置开始计算。

由于实际运行中，转桨式水轮机的汽蚀最危险点比转轮叶片轴线位置低，混流式水轮机的汽蚀最危险点也比导叶下端面低，采用这种方法计算的真实水轮机允许吸出高度，便有一定的安全裕量。

2. 大型反击式水轮机型谱

概况 为了通用化和标准化，水轮机按尺寸和功率可分为小型、中型和大型三类。

小型水轮机是指低水头时转轮直径小于 1.2 米，高水头时转轮直径小于 0.5 米，功率小于 1000 千瓦的水轮机。

中型水轮机是指低水头时转轮直径小于 2.5 米，高水头时转轮直径小于 1.6 米，功率小于 15000 千瓦的水轮机。

目前，大型转桨式水轮机的转轮直径已超过 10 米，而大型混流式水轮机的转轮直径已达 7.5 米。大型水轮机的功率超过了 50 万千瓦。

编制反击式水轮机系列型谱，是将反击式水轮机的几个标准型号（系列）转轮，按水头（3~500 米）分成几个实用范围。同一型号内的转轮，适用于同样的最高水头，并且有接近的 Q_1 、 n_1 和 σ 值。同一型号内的转轮，其通道不一定几何相似，因此一种型号又可分成几个系列。

型谱包括大型立轴转桨式水轮机,其转轮直径为 250~1050 厘米和大型混流式水轮机,其转轮直径为 180~850 厘米。

型谱上规定: (1) 水轮机牌号; (2) 对应各种水头的转轮型号; (3) 装置型式(轴的布置型式及引水室型式); (4) 水轮机的主要尺寸(转轮直径 D_1 、导叶轴颈布置圆直径 D_0 、导叶高度 b_0 和转轮轮毂比 d_{am} 等等)。

型谱中不仅包括目前已有的各型转轮(其中有些可直接使用,有些是经过改型后可用),还包括一些技术上能达到但尚未制造出来的转轮。这些转轮参数是根据现有的计算和试验数据推算出来的。

型谱不仅确定了现有的水平,而且展示了今后发展高参数转轮的研究方向。

水轮机的牌号 水轮机牌号包括三部分: 转轮型号、装置型式和转轮直径。

转轮型号用两个缩写字母来表示(II.I-转桨式, PO-混流式), 随后写上该系列转轮可以使用的最高水头和转轮的序号或试验号。这个最高水头 H_{max} 没有考虑水锤的升压, 例如 II.I40/07, PO75/01。

型谱中如果仅表示水轮机型式和最高水头, 则可以用标志型号。标志型号是表示一组几何尺寸和水力参数不同, 但可以满足同一最高使用水头的转轮, 例如 II.I40, PO75。

在型谱中一般不指出转轮的试验号, 只是在综合特性曲线和出厂水轮机铭牌上才标注试验号。

装置型式仅用一个缩写字母表示, 它说明水轮机主轴的布置方式, 如立轴水轮机用字母 B 表示, 卧轴水轮机用字母 Γ 表示。

铭牌上的水轮机尺寸是指转轮的直径 D_1 , 以厘米计算。

铭牌示例:

(1) II.I40/07-B-500 表示转桨式水轮机, 转轮型号为 II.I40/07, 立轴, 转轮直径为 $D_1=500$ 厘米;

(2) PO75/01-B-750 表示混流式水轮机, 转轮型号为 PO75/01, 立轴, 转轮直径为 $D_1=750$ 厘米。

水轮机转轮直径系列 型谱中采用的转轮直径系列符合苏联国家标准 8032-56《最优数和最优数系列》。在表 1-2 中有“+”号的是型谱中所采用的转轮系列直径。

导水机构和 D_0, z_0 型谱中推荐采用带活动导叶的径向导水机构。它规定了转轮直径 D_1 和导水机构分布圆直径 D_0 间的关系。

D_0 值列在表 1-2 中。 D_0/D_1 的比值在 1.16~1.2 之间。 有时为了改善水轮机的水力性能, 可以将 D_0 增大到 $(1.2\sim1.22)D_1$ 。

导叶数目 z_0 与直径 D_1 (厘米)的关系如下:

$D_1=180\sim225$	16
$D_1=250\sim850$	24
$D_1=900\sim1050$	32

水轮机的主要水力参数和结构参数 水头在 2 米到 80 米范围内可采用轴流转桨式水轮机。在这个水头范围内, 共有 9 个转轮型号。转桨式转轮的主要水力参数和结构尺寸列在表 1-3。转轮体是采用球形的。

水头在 30 米到 500 米范围内可采用混流式水轮机。在这个水头范围内, 共有 8 个转轮型号。混流式转轮的主要水力参数和结构尺寸列在表 1-4。

表 1-2 反击式水轮机尺寸表

直径系列 D_1 厘米	转 轮 型 号										号			导 水 机 构					
	$\Pi\Pi10$	$\Pi\Pi15$	$\Pi\Pi20$	$\Pi\Pi30$	$\Pi\Pi40$	$\Pi\Pi50$	$\Pi\Pi60$	$\Pi\Pi70$	$\Pi\Pi80$	$\Pi\Pi45$	$\Pi\Pi75$	$\Pi\Pi115$	$\Pi\Pi170$	$\Pi\Pi230$	$\Pi\Pi310$	$\Pi\Pi400$	$\Pi\Pi500$	D_0 厘米	z_0
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	220	16
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	240	16
225	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	275	16
250	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	290	24
280	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	325	24
320	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	375	24
360	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	420	24
400	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	465	24
450	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	525	24
500	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	580	24
550	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	640	24
600	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	700	24
650	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	750	24
700	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	810	24
750	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	875	24
800	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	930	24
850	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	985	24
900	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	1050	32
950	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	1100	32
1000	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	1150	32
1050	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	1200	32

表 1-3 转桨式水轮机转轮的主要水力参数和几何尺寸

名 称	П110	П115	П120	П130	П140	П150	П160	П170	П180
水头范围 $\frac{H_{\min}}{H_{\max}}$ (米)	2/10	5/15	10/20	15/30	20/40	30/50	40/60	45/70	50/80
转轮叶片数 z_1	4	4	4	5	6	7	8	8	8
转轮轮毂比 $\bar{a}_{em} = \frac{d_{em}}{D_1}$	0.33	0.35	0.37	0.41	0.43~0.45	0.47~0.49	0.51~0.54	0.57	0.6
导叶相对高度 $\bar{b}_0 = \frac{b_0}{D_1}$	0.45	0.45	0.4	0.4	0.375	0.375	0.35	0.35	0.35
单位转速 (转/分) n'_{100m} n'_{100m}	165 200	150 180	138 160	125 140	115 130	108 120	100 110	100 110	100 110
单位流量 $Q'_{\max}$ (升/秒)	2250	2130	2040	1940	1830	1810	1690	1600	1520
汽蚀系数 σ_{sp}	1.4~1.14	1.0~0.84	0.835~0.68	0.745~0.505	0.63~0.4	0.505~0.325	0.4~0.27	0.36~0.23	0.325~0.205

表 1-4 混流式水轮机转轮的主要水力参数和几何尺寸

名 称	转 轮 型 号								
	П045	П075	П0115	П0170	П0230	П0310	П0400	П0500	
导叶相对高度 $\bar{b}_0 = \frac{b_0}{D_1}$	0.35	0.3	0.25	0.2	0.16	0.12	0.1	0.08	
水头范围 $\frac{H_{\min}}{H_{\max}}$ (米)	30/45	40/75	70/115	110/170	160/230	220/310	290/400	380/500	
单位流量 $Q'_{\max}$ (升/秒)	1400~1370	1370~1250	1250~1030	1030~650	650~420	420~230	230~200	200~150	
单位转速 (转/分) n'_{100m} n'_{100m}	78 78	73 77	70 74	63 71	65 68	60 65	58 62	58 59.5	
汽蚀系数 σ_{sp}	0.27~0.28	0.243~0.16	0.168~0.097	0.1~0.06	0.065~0.047	0.048~0.04	0.042~0.035	0.036~0.03	

在表 1-3 和表 1-4 中, 各型号转轮的 $Q'_{I\max}$ 和 σ_{kp} 的下限各与其水头的上限相对应。
 σ_{kp} 值是与综合特性曲线上的 σ 值一致的, 根据电站的具体条件, 采用时要加修正值。

大型立轴水轮机应用范围 在图 1-2 中用水头和功率的对数直角坐标, 表示了各种型号(系列)水轮机的应用范围, 还用箭头指明了系列转轮型号的应用区域。每个区域内机组功率界限由转轮直径的最大值 $D_{I\max}$ 和最小值 $D_{I\min}$ 确定, 在图上以两条倾斜线来表示。

每一区域的最高使用水头根据实践中最经济合理的吸出高度 H_s 和转轮强度来确定。各区域的最低水头用虚线表示。

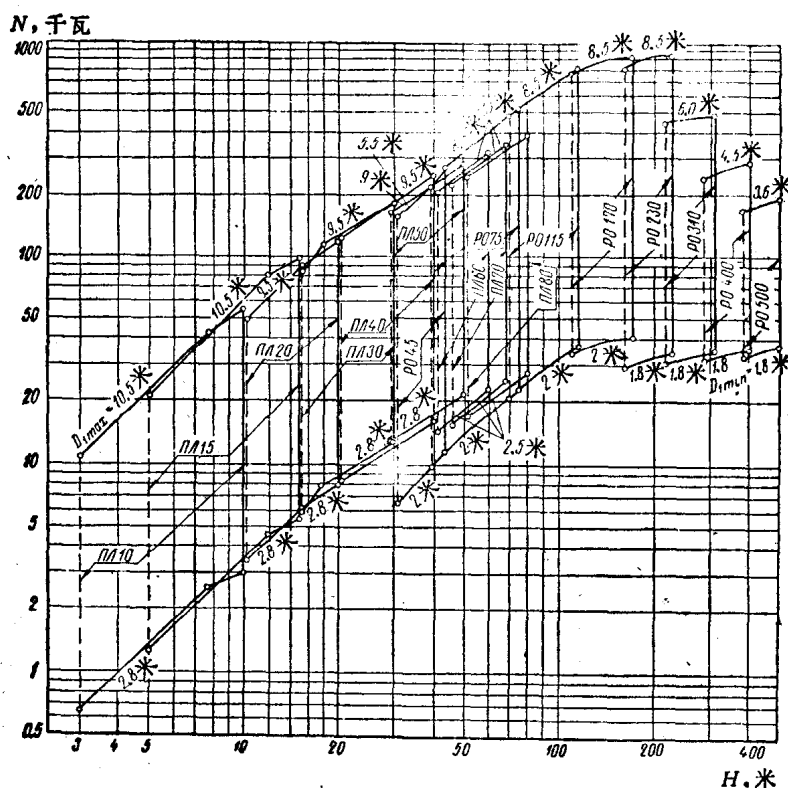


图 1-2 立轴转桨式和混流式水轮机应用范围汇总图

将各型号水轮机的应用范围组合起来, 形成列入型谱的各型转轮应用范围汇总图。每一种型号(系列)的水轮机, 其应用范围也可用与汇总图相似的座标系统来表示。这种图上附有转轮的直径和水轮机的转速。图 1-3 和图 1-4 表示了 PA40 和 PA115 两种水轮机的应用范围。图上对应每一种转轮直径的功率范围都用平行四边形表示。

每个平行四边形的上下斜边是这一直径的水轮机功率的上限和下限。在这个功率界限范围内, 又用铅直线划分成一些小区域, 每个小区域标出与频率为 50 赫的发电机相适应的最优同步转速。

对具体电站按图选好转速后, 必须用电站的加权平均水头进行校核。如果用平均水头算得的单位转速与转轮的最优单位转速差值很大, 则必须重选机组的转速。计算公式如下:

$$\frac{nD_{I\max}}{\sqrt{H_{\text{ср.экснл}}}} = n'_{\text{ном}} \quad (1-9)$$

每张应用范围图均附有计算最大允许吸出高度 H_s 的辅助曲线和公式。

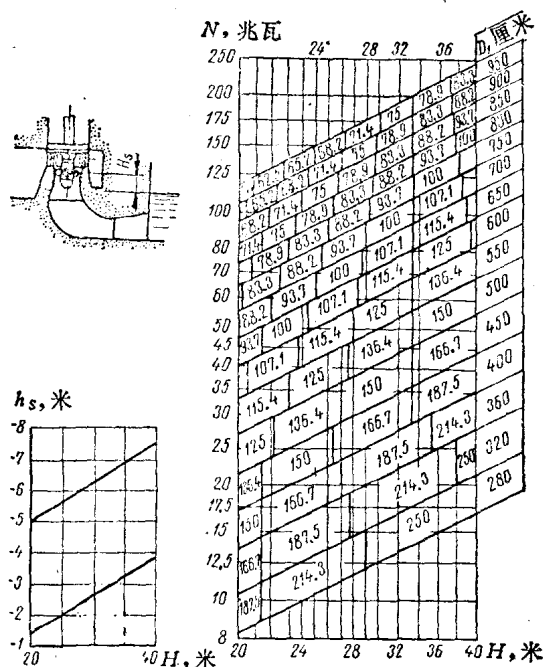


图 1-3 ILJ40 转桨式水轮机的应用范围图

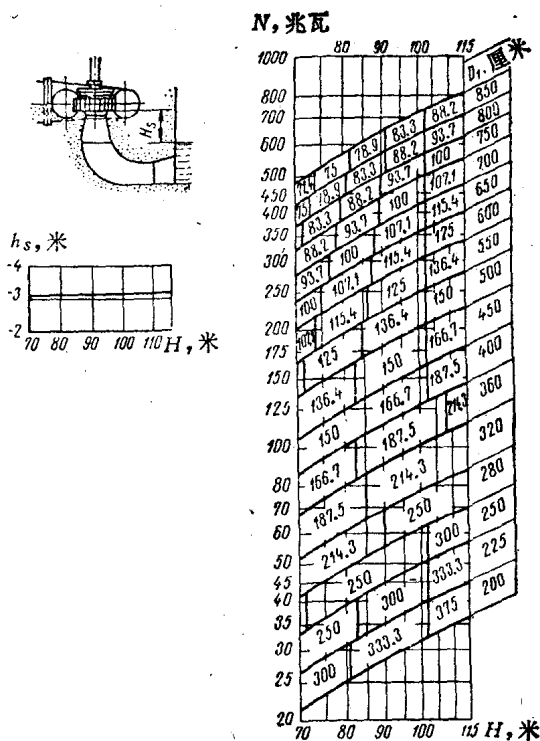


图 1-4 PO115 混流式水轮机的应用范围图

最大允许吸出高度(米)按下式计算:

$$H_s - h_s = \frac{\nabla}{900} \quad (1-10)$$

式中 h_s ——位于海平面的水电站水轮机的允许吸出高度(米)。每张应用范围图均有辅助曲线 $h_s = f(H)$; 转桨式水轮机是根据最大和最小单位流量处的 σ 确定 h_s 的; 混流式水轮机是按最大流量处的 σ 确定 h_s 的;

$\frac{\nabla}{900}$ ——考虑水电站安装高程高于海平面的修正值(米);

∇ ——水轮机的安装高程(米)。

转桨式水轮机的 $h_s = f(H)$ 曲线有两条。 h_s 应取上限还是取下限, 还是取中间值, 取决于所选的水轮机功率点是落在应用范围图中平行四边形的上斜边还是下斜边, 还是在两者的中间。若落在中间, 则将 h_s 间的垂直线按与平行四边形垂直边同样的比例分段, 然后用内插法求 h_s 值。

利用型谱选择水轮机的一般原则 选择水轮机前必须先确定设计水头 H_d 和该水头下的水轮机额定功率 N 。

首先, 根据应用范围汇总图选择水轮机型号, 随后根据该转轮的应用范围图选择转轮直径 D_L 、转速 n (转/分) 和最大允许吸出高度 H_s (米)。

如果在应用范围汇总图上, 对应所确定的水头和功率, 可选用的转轮型号不只一种, 而是几种, 则要进行各个方案的技术经济比较, 然后确定转轮的型号。

为了最后选定水轮机的型号和尺寸, 并评价它在所有给定水头和负荷下的工作性能, 这时就要利用综合特性曲线。

3. 综合特性曲线

水轮机运行时,它的负荷(功率)和水头或多或少地不断在发生变化。水轮机运行工况就是由功率和水头组成。水轮机功率从空载到额定值,水头从最低到最高,就有无数的工况点。

为了保持转速不变,当水轮机工况改变时,定桨式和混流式水轮机的调节系统将不断地改变导叶的开度;转桨式水轮机的调节系统,除改变导叶开度外,还旋转转轮叶片的位置;在水斗式水轮机中则靠改变喷针机构的开度来调节转速的。水轮机工况改变时它的效率也发生着变化。

综合特性曲线对水轮机所有运行工况的水力参数给出了一个比较完整的概念。综合特性曲线是以单位转速 n'_t 和单位流量 Q'_t 为座标画出一组等效率曲线 ($\eta = \text{常数}$)。在综合特性曲线上一般还绘有:

- (1) 导水机构的等开度线 ($a_0 = \text{常数}$, a_0 是模型水轮机的导叶开度,毫米);
- (2) 转桨式水轮机叶片转角的等角度线。 $Q'_t = f(n'_t)$ 线 ($\varphi = \text{常数}$);
- (3) 等汽蚀系数线 ($\sigma = \text{常数}$);
- (4) 5% 功率限制线,即综合特性曲线上的 95% 极限功率线。

水轮机超过极限功率时,功率将急剧下降,因为在这些工况点,随导叶开度的增大,水轮机效率下降得比流量的增大更快。在综合特性曲线上,效率最高点称为最优工况点。这一点的 n'_t 和 Q'_t 称为最优单位转速 $n'_{t\text{onm}}$ 和最优单位流量 $Q'_{t\text{onm}}$ 。

有时在综合特性曲线上还绘出等比转速线。

在水斗式水轮机的综合特性曲线上,用模型装置的喷针机构行程位置线 ($S = \text{常数}$) 来代替等开度线 ($a_0 = \text{常数}$)。

综合特性曲线是根据模型水轮机的能量和汽蚀试验数据绘制的,它是确定某系列水轮机各种水力参数的主要资料。因此在选择水轮机设备、评定运行条件以及对几种型号水轮机在各种水头和负荷下作相对比较时,都应该利用综合特性曲线。

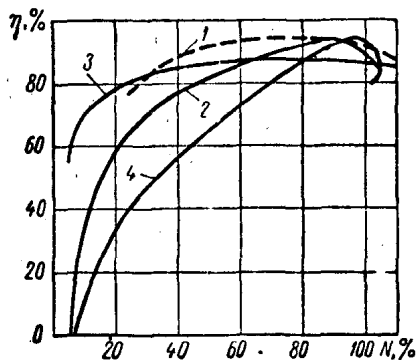


图 1-5 各种不同比转速的现代大型水轮机的工作特性曲线

1—转桨式水轮机, $n_s = 625$; 2—混流式水轮机, $n_s = 300$; 3—水斗式水轮机, $n_s = 20$; 4—定桨式水轮机, $n_s = 570$

在综合特性曲线中,除上述内容外,还标出模型试验的装置型式、转轮直径、模型装置通道单线图和主要参数(转轮叶片数、导叶数、导水机构高度和导叶分布圆直径,涡壳和尾水管的形式与尺寸),同时还标出转轮叶片和导叶的图号,以及模型试验时的试验水头和吸出高度。

有时需要比较在相同水头下各类转轮的效率随负荷变化的情况。这时需绘出等单位转速下 ($n'_t = \text{常数}$) 的 $\eta = f(N)$ 或 $\eta = f(N'_t)$ 曲线。这曲线称为工作特性曲线。各类水轮机的工作特性曲线如图 1-5 所示。由图看出,混流式和定桨式水轮机的高效率区比较窄小,具有陡降的工作特性曲线。而转桨式和水斗式水轮机具有比较平坦的工作特性曲线。从图 1-6 到图 1-23 列出了几种水轮机的综合特性曲线。