

机械技术手册

中

机械工业出版社

机械技术手册

中

〔日〕日本机械学会编



机械工业出版社

这部手册是根据日本机械学会编辑出版的《机械技术手册》1977年修订第6版翻译的。译本分上、中、下三卷出版。第1篇至第7篇为上卷，第8篇至第15篇为中卷，第16篇至第22篇为下卷。

本书为中卷，包括：水力学与流体力学，水力机械与液压传动，空气机械，热与热力学，燃料、燃烧与燃烧炉，蒸汽动力，内燃机，交通运输。内容广泛，可供广大工程技术人员参考使用。

请将书还回

机械工学便覧

日本機械学会 編

日本機械学会改訂第6版昭和50年

* * *

机械技术手册

中

日本機械学会 編

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 70·插页 2·字数 2107千字

1984年12月北京第一版·1984年12月北京第一次印刷

印数 00,001—45,500·定价 12.75元

*

统一书号: 15033·5465

单位换算表

SI、CGS 制和重力制单位对照表

单位制 \ 量	长 度 L	质 量 M	时 间 T	加 速 度	力	应 力	压 力	能	功 率	温 度
SI	m	kg	s	m/s ²	N	Pa或N/m ²	Pa	J	W	K
CGS	cm	g	s	Gal	dyn	dyn/cm ²	dyn/cm ²	erg	erg/s	°C
重力制	m	kgf·s ² /m	s	m/s ²	kgf	kgf/m ²	kgf/m ²	kgf·m	kgf·m/s	°C

基 本 单 位

长 度	米	m	热 力 学 温 度	开 尔 文	K
质 量	千克	kg	物 质 的 量	摩 尔	mol
时 间	秒	s	发 光 强 度	坎 德 拉	cd
电 流	安培	A			

SI 词 头

10 ¹²	(太拉)	T	10 ⁻²	厘	c
10 ⁹	(吉咖)	G	10 ⁻³	毫	m
10 ⁶	兆	M	10 ⁻⁶	微	μ
10 ³	千	K	10 ⁻⁹	(纳诺)	n
10 ²	百	h	10 ⁻¹²	(皮可)	p
10 ¹	十	da	10 ⁻¹⁵	(飞姆托)	f
10 ⁻¹	分	d	10 ⁻¹⁸	(阿托)	a

注：词头带括号者为汉字近似读音——译者注。

对 SI 单 位 的 换 算

量	单 位 名 称	符 号	对 SI 的换算系数	SI 单 位 名 称	符 号
角 度	度 分 秒	° ' "	$\pi/180$ $\pi/1.08 \times 10^4$ $\pi/6.48 \times 10^5$	弧 度	rad
长 度	米 微米 埃 X射线单位 费密	m μ Å X-unit Fermi	1 10 ⁻⁶ 10 ⁻¹⁰ $\approx 1.00208 \times 10^{-13}$ 10 ⁻¹⁵	米	m
面 积	平方米 公顷	m ² a	1 10 ²	平方米	m ²
体 积	立方米 升	m ³ l	1 10 ⁻³	立方米	m ³
质 量	千克 吨 原子质量单位	kg t u	1 10 ³ $\approx 1.66057 \times 10^{-27}$	千克	kg

(续)

量	单位名称	符号	对 SI 的换算系数	SI 单位名称	符号
时 间	秒 分 时 日	s min h d	1 60 3600 86400	秒	s
速 度	米每秒 节	m/s kn	1 1852/3600	米每秒	m/s
频率、振动数	周	s ⁻¹	1	赫 兹	Hz
转 速	转每分	rpm	1/60		
角 速 度	弧度每秒	rad/s	1	弧度每秒	rad/s
加 速 度	米每二次方秒	m/s ² G	1 9.80665	米每二次方秒	m/s ²
力	千克力 吨力 达因	kgf tf dyn	9.80665 9806.65 10 ⁻⁵	牛 顿	N
力 矩	千克力米	kgf·m	9.80665	牛 顿 米	N·m
应 力	千克力每平方米 千克力每平方厘米 千克力每平方毫米	kgf/m ² kgf/cm ² kgf/mm ²	9.80665 9.80665×10 ⁴ 9.80665×10 ⁶	帕斯卡或牛顿每平方米	Pa或N/m ²
压 力	千克力每平方米 米水柱 毫米汞柱 托 标准大气压 巴	kgf/m ² mH ₂ O mmHg Torr atm bar	9.80665 9806.65 101325/760 101325/760 101325 10 ⁵	帕 斯 卡	Pa
能	尔格 卡路里 千克力米 千瓦小时 米制马力小时 电子伏特	erg cal kgf·m kW·h PS·h eV	10 ⁻⁷ 4.18605 9.80665 3.600×10 ³ ≈2.64779×10 ³ ≈1.60219×10 ⁻¹⁹	焦 耳	J
功率、动力	瓦特 米制马力 千卡路里每小时	W PS kcal/h	1 735.5 1.1630	瓦 特	W
粘度、粘性系数	泊 厘泊 千克力秒每平方米	P cP kgf·s/m ²	10 ⁻¹ 10 ⁻³ 9.80665	帕斯卡秒	Pa·s
运动粘度	斯托克斯 厘斯托克斯	St cSt	10 ⁻⁴ 10 ⁻⁶	二次方米每秒	m ² /s
温 度	度	°C	+273.15	开尔文	K
活 度 照 射 量 吸 收 剂 量	居里 伦琴 拉德	Ci R rd	3.7×10 ¹⁰ 2.58×10 ⁻⁴ 10 ⁻²	贝可勒尔 库仑每千克 戈瑞	Bq C/kg Gy
磁 通	麦克斯韦	Mx	10 ⁻⁸	韦伯	Wb
磁通密度	伽马 高斯	γ Gs	10 ⁻⁹ 10 ⁻⁴	特斯拉	T
磁场强度	奥斯特	Oe	10 ³ /4π	安培每米	A/m
电 位	库仑 伏特	C V	1 1	库仑 伏特	C V
电 容	法拉	F	1	法拉	F
电 阻	欧姆	Ω	1	欧 姆	Ω
电 导	西门子	S	1	西 门 子	S
电 感	亨利	H	1	亨 利	H
电 流	安培	A	1	安 培	A

目 录

第1章 水力发电设备	9-1
1.1 江河流流量	9-1
1.2 电站用水量	9-1
1.3 有效水头、总扬程	9-1
1.4 输出功率、输入功率及效率	9-1
1.4.1 发电时	9-1
1.4.2 扬水时	9-1
1.5 负荷	9-2
1.6 蓄水池、调节池、逆调节池	9-2
1.6.1 蓄水池	9-2
1.6.2 调节池	9-2
1.6.3 逆调节池	9-2
1.7 发电方式	9-2
1.7.1 按获得水头的方法分类	9-2
1.7.2 按水能利用的方法分类	9-3
1.8 引水设备	9-3
1.8.1 坝	9-3
1.8.2 闸门	9-3
1.8.3 坝的附属设备	9-3
1.8.4 取水口	9-4
1.8.5 引水道	9-4
1.8.6 沉砂池	9-4
1.8.7 上水槽	9-4
1.8.8 调压塔	9-4
1.8.9 压力水管	9-4
1.8.10 排水道	9-4
1.8.11 排水道调压塔	9-4
1.9 电站的形式	9-4
1.9.1 安装方式	9-4
1.9.2 地上式和地下式	9-5
第2章 水轮机和水泵水轮机	9-5
2.1 水轮机和水泵水轮机概述	9-5
2.1.1 输出功率、输入功率和效率	9-5
2.1.2 转速和比转数	9-6
2.1.3 形式和选择	9-6
2.2 水斗式水轮机	9-7
2.2.1 结构	9-7
2.2.2 水流对转轮的作用	9-8
2.2.3 特性	9-9
2.3 混流式水轮机	9-9
2.3.1 结构	9-9
2.3.2 水流对转轮的作用	9-10
2.3.3 特性	9-10
2.3.4 主要尺寸的确定	9-11
2.4 斜流式水轮机	9-11
2.4.1 结构	9-11
2.4.2 特性	9-12
2.5 轴流式水轮机	9-12
2.5.1 结构	9-12
2.5.2 水流对转轮的作用	9-13
2.5.3 特性	9-14
2.5.4 主要尺寸的确定	9-14
2.6 混流式水泵水轮机	9-15
2.6.1 结构	9-15
2.6.2 水流对转轮的作用	9-16
2.6.3 特性	9-16
2.6.4 主要尺寸的确定	9-17
2.7 斜流式水泵水轮机	9-17
2.7.1 结构	9-17
2.7.2 特性	9-18
2.8 轴流式水泵水轮机	9-18
2.9 水轮机特性	9-18
2.9.1 一般特性	9-18
2.9.2 飞逸转速	9-21
2.10 汽蚀	9-22
2.10.1 汽蚀	9-22
2.10.2 吸出高度	9-22
2.10.3 汽蚀的发生和防止	9-23
2.11 振动	9-23
2.12 过渡过程	9-24
2.12.1 过渡过程	9-24
2.12.2 速度变化率和水压力变化率	9-24
2.13 模型试验	9-25
2.13.1 相似定律	9-25

2.13.2 模型试验	9-25	3.3.7 离心泵的实例	9-55
2.13.3 效率换算公式	9-27	3.4 斜流泵	9-56
2.14 实型水轮机的效率试验	9-27	3.4.1 斜流泵的特点	9-56
2.14.1 效率试验	9-27	3.4.2 斜流泵的设计	9-56
2.14.2 水轮机输出功率和水泵输入 功率的测量	9-27	3.4.3 斜流泵的性能	9-59
2.14.3 有效水头和总扬程的测量	9-27	3.4.4 斜流泵的实例	9-59
2.14.4 流量和扬水量的测量	9-27	3.5 轴流泵	9-60
2.14.5 水轮机效率的热力学测量方法	9-28	3.5.1 轴流泵的特点	9-60
2.15 附件	9-28	3.5.2 轴流泵的设计	9-60
2.15.1 进口阀	9-28	3.5.3 轴流泵的性能	9-61
2.15.2 调速器	9-29	3.5.4 轴流泵的实例	9-62
2.15.3 压力调节器(空放器)	9-31	3.6 往复泵	9-63
第3章 泵	9-32	3.6.1 形式和特点	9-63
3.1 泵的分类	9-32	3.6.2 设计	9-64
3.1.1 泵的分类	9-32	3.6.3 性能	9-68
3.1.2 泵的适用范围	9-32	3.6.4 实例	9-69
3.2 透平式泵概述	9-33	3.7 特殊泵	9-70
3.2.1 泵的总扬程、流量、轴功率及 效率	9-33	3.7.1 旋涡泵(周流式泵)	9-70
3.2.2 液体在叶轮内的流动和理论 扬程	9-34	3.7.2 粘液泵	9-72
3.2.3 液体在导叶(扩压器)内的流动	9-37	3.7.3 射流泵	9-73
3.2.4 液体在蜗壳内的流动	9-38	3.7.4 气举泵(空气扬水泵)	9-75
3.2.5 水力损失和总扬程	9-38	3.7.5 其它类型泵	9-76
3.2.6 离心泵后盖板和前盖板腔内的 流动	9-39	第4章 泵设备	9-76
3.2.7 圆盘摩擦和泄漏	9-40	4.1 泵的选择	9-76
3.2.8 泵的相似定律和比转数	9-41	4.1.1 泵的性能	9-76
3.2.9 泵的性能、特性	9-42	4.1.2 泵形式的选择	9-77
3.2.10 泵汽蚀	9-44	4.1.3 选择泵时应考虑的问题	9-77
3.2.11 抽送液体粘度和固体物质浓 度的影响	9-47	4.2 泵的运转	9-78
3.2.12 材料	9-48	4.2.1 阻力曲线和泵运转点	9-78
3.2.13 密封	9-49	4.2.2 泵的并联及串联运转	9-79
3.3 离心泵	9-50	4.2.3 流量控制	9-79
3.3.1 离心泵的构成	9-50	4.2.4 泵的不稳定特性及喘振	9-80
3.3.2 离心泵的形式	9-50	4.2.5 泵的自动运转	9-80
3.3.3 离心泵的设计	9-51	4.2.6 水锤作用及其防止措施	9-81
3.3.4 离心泵的径向力	9-53	4.3 泵的安装、吸入水槽及管路	9-84
3.3.5 离心泵的轴向力	9-53	4.3.1 泵基础和安装	9-84
3.3.6 离心泵的性能	9-54	4.3.2 吸入水槽	9-85
		4.3.3 管路	9-86
		第5章 液力偶合器和液力变矩器	9-88
		5.1 液力偶合器	9-88
		5.1.1 液力偶合器的结构及作用	9-88
		5.1.2 液力偶合器的特性	9-89

5.1.3 液力耦合器的辅助装置及其作用	9-90	6.4.1 液压缸	9-117
5.2 液力变矩器	9-92	6.4.2 摆动执行器	9-119
5.2.1 液力变矩器的结构及作用	9-92	6.5 液压控制阀	9-119
5.2.2 液力变矩器性能的解析方法	9-93	6.5.1 分类	9-119
5.2.3 液力变矩器的设计要点	9-96	6.5.2 阀元件的特性	9-119
5.2.4 液力变矩器的辅助机械	9-97	6.5.3 阀上的作用力	9-120
5.2.5 反转用液力变矩器	9-99	6.5.4 压力控制阀	9-122
5.3 自动变速器	9-99	6.5.5 流量控制阀	9-123
第6章 液压传动	9-99	6.5.6 方向控制阀	9-123
6.1 液压传动概述及液压油	9-99	6.5.7 电-液伺服阀	9-124
6.1.1 液压传动概述	9-99	6.6 液压辅件	9-124
6.1.2 液压油	9-100	6.6.1 滤油器	9-124
6.2 液压泵	9-102	6.6.2 蓄能器	9-125
6.2.1 分类和特性	9-102	6.6.3 换热器	9-125
6.2.2 齿轮泵和螺杆泵	9-104	6.7 液压传动装置	9-126
6.2.3 叶片泵	9-106	6.7.1 液压传动装置的分类和组成	9-126
6.2.4 柱塞泵	9-108	6.7.2 纯液压传动的性能	9-126
6.3 液压马达	9-111	6.7.3 液压-机械传动	9-128
6.3.1 分类和特性	9-111	6.8 液压基本回路	9-130
6.3.2 齿轮马达	9-112	6.8.1 液压源回路	9-130
6.3.3 叶片马达	9-113	6.8.2 压力控制回路	9-131
6.3.4 柱塞马达	9-113	6.8.3 流量控制回路	9-132
6.3.5 低速大转矩马达	9-114	6.8.4 方向控制回路(换向回路)	9-133
6.4 液压缸及摆动式执行器	9-117	6.8.5 同步回路	9-133
		6.8.6 顺序回路	9-133

第1章 水力发电设备

1.1 江河流流量

日本的江河流流量，一般在化雪期（4～5月）和梅雨期大，夏季和冬季减少。江河流流量在发电技术上可以作如下分类：

- 枯水量** 一年之中有355日不低于该值的流量；
- 低水量** 一年之中有275日不低于该值的流量；
- 平水量** 一年之中有185日不低于该值的流量；
- 丰水量** 一年之中有95日不低于该值的流量。

取横坐标轴表示一年的日数，纵坐标轴表示流量，将每日的江河平均流量从大到小顺次排列，连接所得点的曲线，称为流况曲线（图1）。

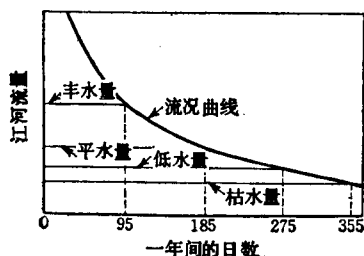


图1 流况曲线

1.2 电站用水量

电站用水量，可作如下分类：

- 最大水量** 该电站发电用的最大水量；
- 经常水量** 一年中355日以上发电使用的水量；
- 经常峰水量** 蓄水池及调节池式电站中，一年中355日以上每日限定一定时间发电可能使用的水量。

1.3 有效水头、总扬程

水轮机运转水头的种类，可区分如下（图2）：

总水头 = [取水口水面标高] - [排水口水面标高]

静水头 = [水轮机停机时上水槽水面标高] - [水轮机停机时吸出管出口水面标高]

有效水头 = [总水头] - [取水口和上水槽间的损失水头] - [上水槽和水轮机进口间的损失水头] - [吸出管出口水位和排水口水位的高差] - [吸出管出口的速度头]

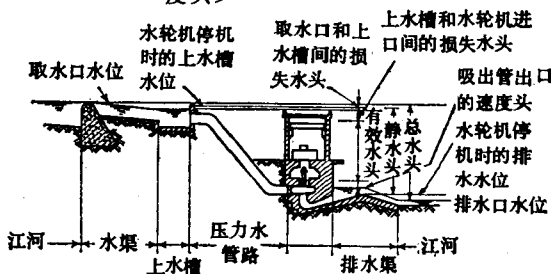


图2 电站水头说明图

有效水头中，最大者称为最高有效水头，最小者称为最低有效水头。

水泵运转时总水头和总扬程的关系如下：

总扬程 = [总水头] + [排水道的损失水头] + 水泵出口和取水口间的损失水头 + [取水口处排出水的速度头]

总扬程中，最大者称为最高总扬程，最小者称为最低总扬程。

1.4 输出功率、输入功率及效率

1.4.1 发电时

设 Q_i ——发电用水量 m^3/s ； H_e ——有效水头 m ； η_i ——水轮机效率； η_g ——发电机效率；则上述参数有以下关系：

理论水力功率 = $9.8 Q_i H_e$ kW

电站输出功率 = [理论水力功率] $\eta_i \eta_g$
= $9.8 Q_i H_e \eta_i \eta_g$ kW

1.4.2 扬水时

设 Q_p ——扬水量 m^3/s ； H_p ——总扬程 m ； η_p ——泵效率； η_m ——电动机效率，则上述参数有

下面关系:

$$\begin{aligned} \text{理论水力功率} &= 9.8 Q_p H_p \text{ kW} \\ \text{电站(扬水)输入功率} &= \frac{\text{理论水力功率}}{\eta_p \eta_m} \\ &= \frac{9.8 Q_p H_p}{\eta_p \eta_m} \text{ kW} \end{aligned}$$

效率 η_t 、 η_p 、 η_g 、 η_m 的值, 随水轮机、水泵、发电机、电动机的容量和形式而异, 但一般情况下, $\eta_t = 0.85 \sim 0.95$, $\eta_p = 0.85 \sim 0.93$, η_g 或 $\eta_m = 0.95 \sim 0.98$ 左右。

1.5 负 荷

表示一日中负荷变化情况的曲线叫日负荷曲线(图3); 表示一年中负荷变化情况的曲线叫年负荷曲线。某一期负荷的最大值称为峰荷。平均负荷和最大负荷之比称为负荷率。日负荷率随星期、季节、地区而有所不同, 大约在75~85%之间。

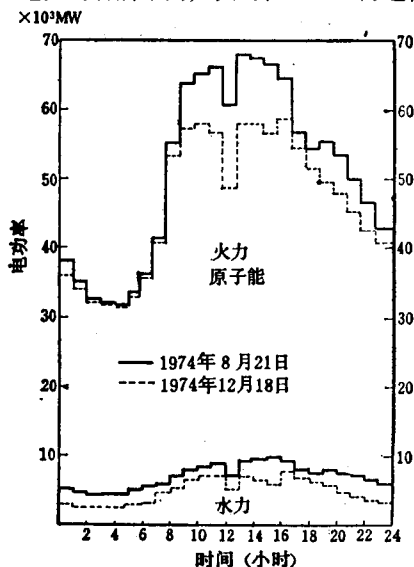


图3 日负荷曲线(全国总计)

1.6 蓄水池、调节池、逆调节池

1.6.1 蓄水池

为了在江河枯水期和必要时期补充供给必要的使用水量, 把在丰水期蓄水的湖或池叫蓄水池。

蓄水池需要的蓄水量, 可按水量累加曲线求得(图4)。设流入蓄水池的水量累加曲线为OABCD E, 使用水量累加曲线为OP, 从流入水量累加曲线的斜度比使用水量累加曲线的斜度小的A点, 引平行OP的直线AC。AC和曲线间的最大纵向距离

FB表示所需要的蓄水量。

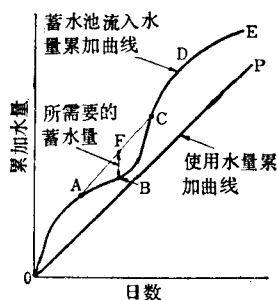


图4 水量累加曲线

1.6.2 调节池

为适应水电站一日或短期间的负荷变化运行的目的, 所设的调节江河流量的池称为调节池。

调节池的容量, 应能在枯水期产生数小时的峰值输出功率, 但因地形或其它条件, 预先确定调节池的容量的场合, 就应当根据其容量确定经常峰值输出功率。

1.6.3 逆调节池

由于上游的调节池电站输出功率调节而引起排水量变化的场合, 为使此流量平稳, 以便发展渔业、用水、安全等所设的池称为逆调节池。

1.7 发电方式

水力发电站的种类, 按其分类方法, 可分为各种各样的型式。但按获得水头的方法和水能的利用方法, 可作如下分类。

1.7.1 按获得水头的方法分类

a. 引水式 将江河的水拦住, 使水经取水口、沉砂池, 沿较长的水道引至电站, 用其间所得到的水头进行发电。日本大部分电站都是这种方式。这种方式的标准的组成如下。

无调节池的场合: 取水坝→取水口→沉砂池→引水道→上水槽→压力水管→电站→排水道→排水口。

有调节池的场合: 取水坝→取水口→引水道→调节池→压力水道→调压塔→压力水管→电站→排水道→排水口。

b. 拦河坝式 这是一种建造截断江河的高坝, 就地蓄水获得水头, 同时进行一年或一月(周)程度的发电调节的方式。其标准的组成如下: 坝→取水口→压力水管→电站→排水道→排水口。

c. **混合式** (坝-引水式) 这是一种用坝及水渠获得水头的引水式和拦河坝式并用的方式。一般的组成如下:

坝→取水口→压力水道→调压塔→压力水管→电站→排水道→排水口。

1.7.2 按水能利用的方法分类

a. **自流式** (流入式) 这是一种利用不加调节的自然江河流量的发电方式, 除特殊情况外, 一般输出功率不进行调节。其缺点是当江河流量大的时期, 除用于发电外的多余的水将白白地流掉; 江河流量减小时, 发电输出功率也相应减小。这是一种不用蓄水池或调节池的引水式电站。

b. **调节池式** 这是一种在坝上游或水渠中间等处设调节池, 相应负荷变化进行月或周程度的调节的方式。

c. **蓄水池式** 这是一种将江河的水贮存于蓄水池, 相应一年间的季节的负荷变化发电的方式。蓄水池可利用拦截天然的湖泊和江河的人造湖等作成。

d. **扬水式** (蓄能式) 这是一种利用深夜等轻负荷时的火力、原子能发电的剩余电力, 从下游水池向上游水池扬水, 把电能变为水的位能储存起来, 在峰荷时, 利用储存的水获得高价电能的方式。因此, 有助于提高各种火力、原子能发电站的效率。

在上游水池和下游水池的流域, 连很小的自然流入量几乎都没有的情况称纯蓄能式, 和非扬水并用者称为混合蓄能式。蓄能式电站从取水到发电以及扬水的路线一般如下:

上游蓄水池⇌取水口⇌压力水道⇌调压塔⇌压力水管⇌电站⇌下游蓄水池 (调节池)。

1.8 引水设备

1.8.1 坝

发电用的坝按使用目的大致分为取水坝和蓄水坝。

为从江河取水所建的低坝称为取水坝, 拦截江河或峡谷以便蓄水所建的坝称为蓄水坝。坝按其构造, 有如图5所示的种类:

a. **重力坝** 这种坝采用混凝土材料作成, 靠坝体重量抵抗外力。这种坝由于理论简单, 施工容易

等原因, 早已广泛采用。

b. **拱坝** 这种坝是混凝土坝的一种, 靠弯拱及悬臂梁作用抵抗水压及其它外力, 因利用弯拱作用, 断面较小较经济。但因坝体传递的应力比较大, 所以需要良好的基础。

c. **空心重力坝** 这种坝是作成空心的普通的混凝土重力坝, 用遮水壁保持不透水。这种坝的主要优点是比重力坝用的混凝土量少, 可减轻隆起压力。

d. **土坝** 土坝按所起的遮水机能的构造分为均质式、区段式及表面遮水壁式三种。

(i) 均质坝 坝体的大部分几乎全用均质材料构成, 用坝体的整个断面发挥遮水机能。

(ii) 区段坝 由遮水区段及透水系数不同的几个区段组成。

(iii) 表面遮水壁坝 坝本体的上游面具有用沥青混凝土、钢筋混凝土及其它人工或天然材料制造的遮水壁。

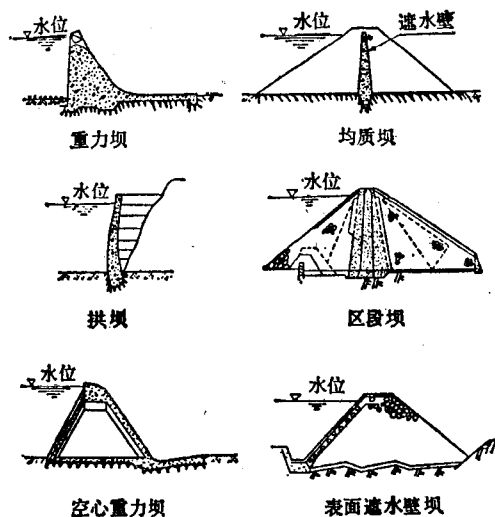


图5 坝的种类 (断面形状)

1.8.2 闸门

闸门是指设在坝溢流部份的溢洪闸, 作为调节取水量的调节闸门、排泥砂的排砂闸门、排水用闸门等。闸门的形式, 大致分为滚轮式、铰链式、滑动式三种。

1.8.3 坝的附属设备

坝的附属设备有以下几种: 用于取水或排水的闸门, 用于排水的排水阀, 用于排泥砂的排砂闸门和鱼道等。

1.8.4 取水口

取水口分两种情况,一种靠取水坝设置,一种设在蓄水池。前者设有防止杂物流入的拦污栅,调节取水量的调节闸门和除掉拦污栅杂物的除污机等。后者,在蓄水池中只设拦污栅的取水口,即使在水位变化的情况下亦能取水。

1.8.5 引水道

在取水口和上水槽(或调压塔)之间,用于引导发电用水的构件称为引水道。引水道通常由隧道、明渠、暗渠组成。在横过溪流、低地等时,使用水路桥、虹吸管等。从蓄水池、调节池引水时,通常都用压力水道,它由压力隧道或压力水管构成。水道内的流速通常为 $2\sim 3\text{ m/s}$,但用压力隧道时流速可超过 3 m/s 。水道的坡度当小流量时大约为 $\frac{1}{600}$,通常大约为 $\frac{1}{1000}\sim\frac{1}{1500}$ 。大流量时有时取为 $\frac{1}{2000}$ 以下。

1.8.6 沉砂池

设置沉砂池是为了防止泥砂流入水道。沉砂池内的流速取为 $0.2\sim 0.3\text{ m/s}$ 左右,以泥砂能充分沉淀为准决定池的长度。池内不应引起旋涡,并且容易排除沉淀的泥砂。

1.8.7 上水槽

在负荷变化的情况下,为了使水位尽可能保持一定,在引水道终端设置适当容量的上水槽。上水槽中设置当水轮机紧急停车时能流过最大使用水量的溢流道和排除上水槽内沉淀泥砂的排砂闸门。

1.8.8 调压塔

在用压力水道的情况下,流入水轮机的流量急剧变化时,会产生很强的水锤作用。为了减小由此引起的压力变化,设置特殊结构的上水槽,即调压塔。

1.8.9 压力水管

为了从上水槽引水至水轮机所设的压力管称为压力水管。支撑压力水管的固定支座,小支座及铺设压力水管的路面总称为压力水管路。压力水管通常用钢板接合而成。按接合方法分为焊接管、铆接管、铆接管、拉制管。最近,因焊接技术的发展,几乎全部采用焊接管。因高强度钢板的实际使用,以至使经济设计成为可能。

1.8.10 排水道

把从水轮机流出的泄流引向江河排水口的排水

道,采用比较宽阔的流道,以使随使用水量大小引起的排水位变化尽量小。

1.8.11 排水道调压塔

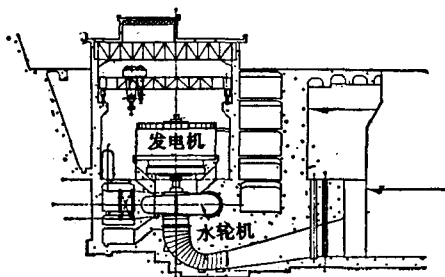
当排水道是压力隧道时,排水口开口于蓄水池或调节池,或者排水口开口处是自然江河,为吸收在洪水时排水道隧道压力增加的情况下对应负荷变化的压力,在排水道设置的装置称为排水道调压塔。

1.9 电站的形式

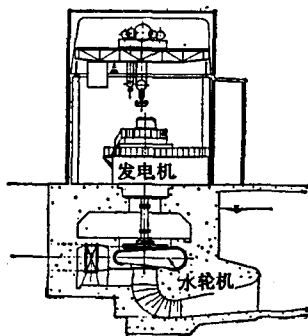
电站的形式,因建站的地势、规模和水轮机的形式等而有所不同,一般从经济方面考虑决定。

1.9.1 安装方式

水轮机-发电机的布置方法大致有立式和卧式两种。立式水轮机-发电机的主轴沿一条垂直直线联接,与此相对应的卧式,是把水轮机-发电机安装在同一基面上,其主轴沿一水平直线联接。如将两者加以比较,卧式的优点是基础挖深较浅,建厂高度亦低,但基座面积大,一般用于小容量机组。立式安装方式有单基座筒式(伞式)和双基座式(悬式)两种(图6)。



(a) 单基座筒式(伞式)



(b) 双基座式(悬式)

图6 安装方式

a. **单基座筒式（伞式）** 发电机设置在筒体上面，其全部重量用筒体支撑，用于大容量机组。其缺点是安装工程周期长，但水轮机室是敞开的，便于机室内各种机械的操作和检修。

b. **双基座式（悬式）** 水轮机和发电机的基座单独设置，因基座强度关系，适用于中小容量机组。其优点是便于水轮机和发电机单独地拆卸和装配。

1.9.2 地上式和地下式

从前电站厂房多建在地上。最近，大容量电站，特别是蓄能电站，因自然条件、环境保护或吸出高度等关系，多设置地下电站，使从水轮机出来

的水通过排水隧洞流出（图7）。也有在坝内设置水轮机-发电机的情况。

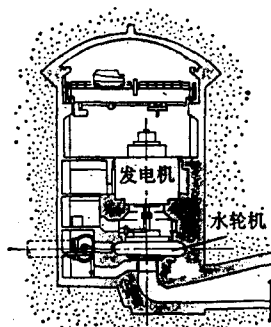


图7 地下电站

第2章 水轮机和水泵水轮机

2.1 水轮机和水泵水轮机概述

2.1.1 输出功率、输入功率和效率

a. **水轮机运转时的输出功率和效率** 设 Q ——每台水轮机、水泵的流量 m^3/s ； H ——有效水头 m ； γ ——单位体积水的重量（水的重度） kgf/m^3 ； η ——水轮机的效率，则

水轮机输入功率（理论输出功率） $= \gamma Q H (\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{s}) = 9.8 Q H (\text{kW})$ 水轮机输出功率为输入功率乘以效率。效率 η 随水轮机的形式、输出功率、结构、大小等而有所不同。通常采用重力加速度值为 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ ； γ 为 $1000 \text{ kgf}/\text{m}^3$ ，但这两个值随水的种类（淡水、海水）以及温度和纬度而变化。

分析水轮机内各种损失，则有：（i）壳体（蜗壳）、导叶的水力损失；（ii）转轮进口的冲击损失及其内部的水力损失；（iii）吸出管内的水力损失及排出损失；（iv）转轮周围的泄漏损失；（v）轴承等的机械摩擦损失等。以上各损失之中，（i）～（iii）称为水力损失。现设水力效率为 η_h ，相当（iv）的容积效率为 η_v ，相当（v）的机械效率为 η_m ，则总效率为 $\eta = \eta_h \eta_v \eta_m$ 另外，对于有吸出管的水轮机，有效水头为

$$H = \frac{p}{\gamma} + h + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}$$

式中 p ——壳体进口压力计的读数 kgf/m^2

v_1 ——相应 p 测压点的平均流速 m/s

h ——压力计和吸出管出口水位的高度差 m ；

v_2 ——吸出管出口的平均流速 m/s （图8）

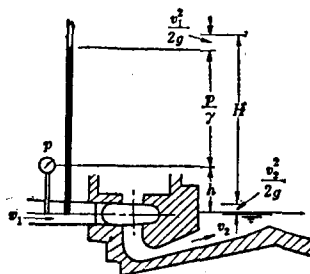


图8 反击式水轮机的有效水头

对于没有吸出管的水斗式（培尔顿式）水轮机，从喷射水对转轮的冲击点到排水道水面的高度，并没有有效地作用于水轮机。

b. **水泵运转时的输入功率和效率** 设： Q ——一台水泵水轮机的扬水量 m^3/s ； H ——总扬程 m ； γ ——水的重度 kgf/m^3 ； η ——水泵的效率，则

水泵水轮机的泵输出功率（理论输入功率） $= \gamma Q H (\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{s}) = 9.8 Q H (\text{kW})$

水泵的输入功率为输出功率除以效率 η 。水泵的效率 η 可分为水力效率 η_h ，容积效率 η_v 、机械效

率 η_m 。

另外，总扬程为

$$H = \frac{p}{\gamma} + h + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g}$$

式中 p —— 作为泵时壳体出口的压力计读数 kgf/m^2

v_1 —— 相应 p 测压点的平均流速 m/s

h —— 压力计和吸出管进口水位的高差 m

v_2 —— 吸出管进口的平均流速 m/s

2.1.2 转速和比转数

在保持水轮机和水泵水轮机形状和运转状态相似的情况下，改变其大小，使之在单位水头（例如有效水头 1 m ）下，产生单位输出功率（ 1 kW ）时，该水轮机、水泵水轮机每分钟应当旋转的转数，称为该水轮机、水泵水轮机的比转数。设： n —— 转速 rpm ； P —— 水轮机输出功率 kW ； H —— 有效水头 m ，则比转数 n_s 为

$$n_s [\text{m} \cdot \text{kW}] = \frac{n \sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (1)$$

对水泵水轮机的场合，以水泵特性为研究对象时，设： Q —— 扬水量 m^3/s ； H —— 总扬程 m ，则比转数 n_s 为

$$n_{s,p} [\text{m} \cdot \text{m}^3/\text{s}] = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (2)$$

另外，式（1）、（2）中的 P 、 Q 在水斗式水轮机中相当于一个喷嘴的值，在其它形式水轮机中认为是一个转轮的值。因为比转数不是无因次数，所以其值随 H 、 Q 及 P 等的单位而改变。

当给定 H 和 Q 时，可根据假定的效率 η 求 P 。如下项所述，根据从前的实践，可知 H 和 n_s 存在着某种关系。据此，对于给定的 H ，可以确定 n_s 、 $n_{s,p}$ ，于是，可按式求转速。

$$n = \frac{n_s H^{5/4}}{\sqrt{P}} \quad (1)'$$

或

$$n = n_{s,p} \frac{H^{3/4}}{\sqrt{Q}} \quad (2)'$$

但是，与水轮机、水泵水轮机直联的交流发电机、发电电动机的同步转速 n_g ，当设频率为 f Hz （一般，关东地区为 50 Hz ，关西地区为 60 Hz ），磁极数为 P 时

$$n_g = \frac{120 f}{P} \quad (3)$$

因此，水轮机、水泵水轮机的转速，应采用把按式（1）'和（2）'求得值，修正到符合 n_g 的表1中的数值。

表1 磁极数、频率和转速（单位 rpm ）

P	50Hz	60Hz	P	50Hz	60Hz
6	1000	1200	28	214	257
8	750	900	32	188	225
10	600	720	36	167	200
12	500	600	40	150	180
14	429	514	48	125	150
16	375	450	56	107	129
18	333	400	64	94	113
20	300	360	72	83	100
24	250	300	80	75	90

2.1.3 形式和选择

确定水轮机、水泵水轮机形式的主要参数为水头或扬程和输出功率或流量。一般说来，增加单机容量，减少站内机组台数的方案更加经济。因此，单机容量不断增加，现在已设计了单机容量为 800 MW 的机组。

水轮机的形式，根据水头和出力（输出功率），其范围大致如图9所示，即水斗式水轮机适于高水头小流量；轴流式水轮机适于低水头大流量；混流式水轮机适于高-中水头和中等流量。

另外，按水流对转轮的作用，称水斗式水轮机为冲击式水轮机，其它形式水轮机为反击式水轮机。当给定 H 及 P 时，应尽量采用高转速即 n 大的

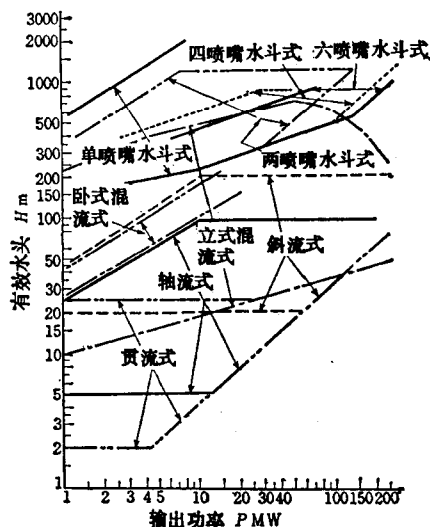


图9 水轮机形式选择图表

水轮机,这样可以减小水轮机和发电机的体积,因而是有利的。但是体积过小会使水轮机的水力性能变坏,水轮机和发电机强度不够,通常,根据经验制定的 n_s 的许用范围为

水斗式水轮机 $n_s = 8 \sim 25$

混流式水轮机 $n_s = 50 \sim 350$

斜流式水轮机 $n_s = 100 \sim 350$

轴流式水轮机 $n_s = 200 \sim 900$

在混流式水轮机、斜流式水轮机和轴流式水轮机共同适用的范围 $n_s = 300$ 的情况下,究竟采用哪种水轮机,应考虑电站的使用方法等详细的条件,进行经济比较来决定。

还有, H 和 n_s 的关系,根据以往一般采用的吸出高度的实践,如图10~12所示。

再者,发生汽蚀与吸出高度有很大的关系,另一方面, n_s 的限度亦受吸出高度的影响。

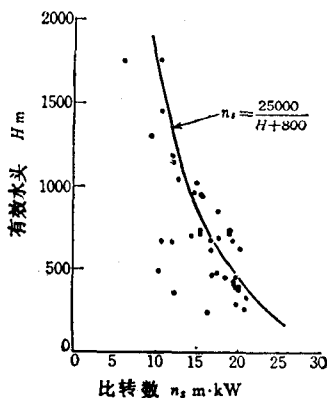


图10 水斗式水轮机的
 $H-n_s$ 曲线

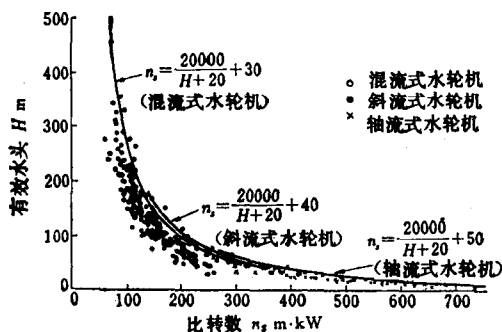


图11 反击式水轮机的
 $H-n_s$ 曲线

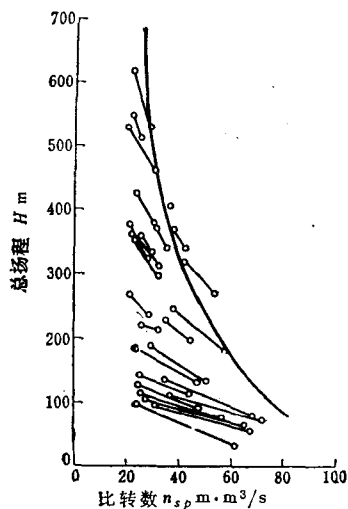


图12 水泵水轮机的
 $H-n_{sp}$ 曲线

2.2 水斗式水轮机

2.2.1 结构

水斗式水轮机是适于在200~1800 m高水头地点使用的冲击式水轮机。按水轮机和发电机的安装情况,大致分立式和卧式两种。中等容量以下的机组采用卧式,大容量机组采用立式。

按转轮和喷嘴数的组合,可作如下分类:卧式中有单轮单喷嘴、单轮双喷嘴、双轮双喷嘴或双轮四喷嘴;立式中有单轮双喷嘴、单轮四喷嘴、单轮五喷嘴、单轮六喷嘴。图13所示是水斗式水轮机的典型图例。立式和卧式相比,其优点不但是建厂面积小,同时随着喷嘴数的增加可采用更高的转速,且能有良好的效率。另外,转轮可从下面拆卸,机架宽,因而转轮、喷针及喷嘴等零件更换和修理容易。

水斗式水轮机的比转数 n_s ,用一个喷嘴的输出功率表示。因此,一台有 i 个喷嘴的水斗式水轮机的总的比转数为 $\sqrt{i} n_s$ 。图14所示是卧式结构图例。用进口弯管引导的压力水,在喷嘴处加速形成高速射流,作用在安装于转轮周围的水斗上,高压水把水动力传给水斗之后,在下部的排水道排出。喷嘴内的喷针,通常在运转时用伺服马达按相应负荷大小进行开闭来调节流量。喷嘴和水斗之间有折向器,当负荷急速减小时,暂时改变喷射方向,在此期间,喷针渐渐关闭,防止由于水管内的水锤作

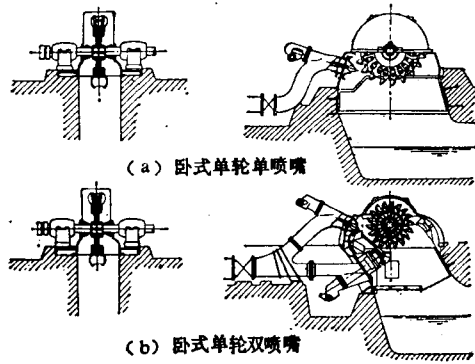


图13 水斗式水轮机的形成

用引起水压上升。转轮有水斗与圆盘分别制造，然后用密配合螺栓或锥度螺栓紧固的组合式和水斗与圆盘铸成一体的整体铸造式两种结构形式。

2.2.2 水流对转轮的作用 (图15)

设： v_0 ——射流速度 m/s ； u ——转轮圆周速度 m/s ；则射流以相对速度 $w_1 = (v_0 - u)$ m/s 注入转轮。流入的水在水斗内的流动过程中有水力损失，流出水斗时的相对速度 w_2 比 w_1 小。该水力

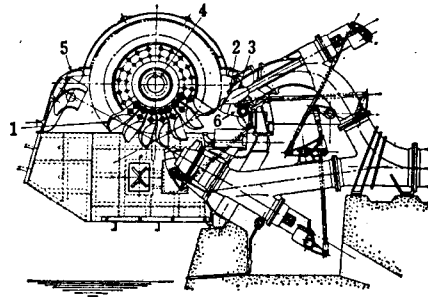


图14 卧式单轮双喷嘴水斗式水轮机的结构
1—转轮 2—喷嘴 3—喷针 4—主轴
5—壳体 6—折向器

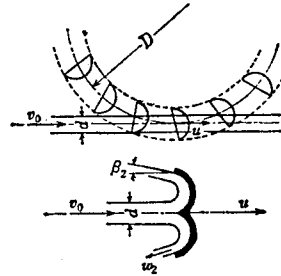


图15 水流对转轮的作用

损失用 $\xi_b \left(\frac{w_2^2}{2g} \right)$ 表示，则

$$\frac{w_1^2}{2g} = \xi_b \frac{w_2^2}{2g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (4)$$

因此

$$w_2 = \frac{w_1}{\sqrt{1 + \xi_b}} = \frac{v_0 - u}{\sqrt{1 + \xi_b}} \quad (5)$$

现设 Q ——流入水斗的流量 m^3/s ； γ ——水的重度 kgf/m^3 ； g ——重力加速度 m/s^2 ，则水斗沿 u 方向受的力为

$$\begin{aligned} F &= \frac{\gamma Q}{g} (w_1 + w_2 \cos \beta_2) \\ &= \frac{\gamma Q}{g} (v_0 - u) \left(1 + \frac{\cos \beta_2}{\sqrt{1 + \xi_b}} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

设水斗的节圆直径为 D_m ，则转矩为 $T = F \frac{D}{2}$ $\text{kgf} \cdot \text{m}$ 。另外，设转轮角速度为 ω (rad/s)，则转轮产生的功率 P ($\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{s}$) 为

$$\begin{aligned} P &= \omega T \\ &= \frac{2u}{D} \frac{D}{2} F \\ &= \frac{\gamma Q}{g} u (v_0 - u) \left(1 + \frac{\cos \beta_2}{\sqrt{1 + \xi_b}} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

当式(7)中 $\xi_b = 0$ 、 $\beta_2 = 0$ 、 $u = \frac{v_0}{2}$ 时, 得到最大功率 P_{max} ($\text{kgf} \cdot \text{m/s}$) 为

$$P_{max} = \frac{\gamma Q v_0^3}{2g}$$

转轮效率可表示为

$$\eta = \frac{P}{P_{max}} = 2u(v_0 - u) \frac{1 + \frac{\cos \beta_2}{\sqrt{1 + \xi_b}}}{v_0^2} \quad (8)$$

2.2.3 特性

水斗式水轮机与混流式水轮机等其它形式水轮机相比具有下列优点:

(a) 部分负荷下效率高。特别是按相应负荷切换喷嘴数进行高效能运转时这一优点更为突出(图16);

(b) 转轮检修更换简便;

(c) 因结构简单, 所以受泥砂等磨损腐蚀的部分更换简便;

(d) 由于采用折向器及射流制动器, 速度和水压上升值小。

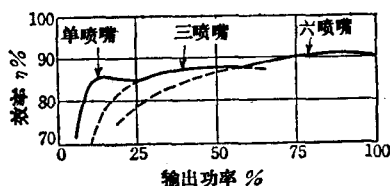


图16 水斗式水轮机高效能运转时的效率

2.3 混流式水轮机

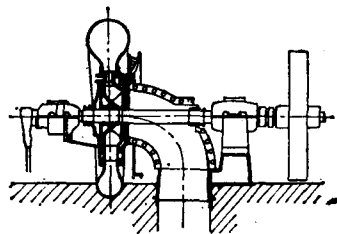
2.3.1 结构

混流式水轮机是反击式水轮机的一种, 在水头大约从 40 m 到 600 m 的广泛的范围内使用。日本的水轮机大约有 80% 是混流式水轮机。

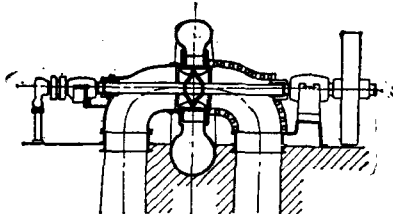
混流式水轮机, 从前制造的形式很多, 现在考虑效率、容量因素加以淘汰后, 制造的有以下几种:

(a) 卧式单轮单流蜗壳式; (b) 卧式双轮单流蜗壳式; (c) 卧式单轮双流蜗壳式; (d) 立式单轮单流蜗壳式(图17)。卧式机组适用于中等容量以下, 中等容量以上的几乎都是立式机组。

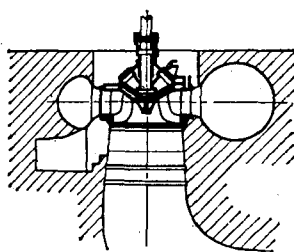
图18所示是立式水轮机结构图例。蜗壳主要用钢板焊接制造, 根据水头和容量可以采用高强度



(a) 卧式单轮单流蜗壳式



(b) 卧式单轮双流蜗壳式



(c) 立式单轮单流蜗壳式

图17 混流式水轮机的形式

钢。考虑运输问题, 大型机组多在现场焊接装配。座环为一坚固构件, 用流线型断面的固定导叶承受一部分水压力, 同时还承受筒体的荷重。导叶布置在转轮的外周, 通过杠杆、连杆、控制环及拉杆随负荷变化用调速器伺服马达进行启闭。

转轮形状随比转数的变化情况如图19所示。高水头用(低比转数)近于径流(辐流)的混流式水轮机, 低水头用(高比转数)近于轴流的混流式水轮机。这种水轮机多用铸钢、不锈钢铸造, 但有的也采用焊接结构。最近, 大容量机组, 考虑运输问题, 多采用分开制造到现场装配的方法。单轮单流式水轮机, 因转轮受有很大的轴向推力, 需要坚固的推力轴承。而单轮双流式、双轮单流式, 理论上没有轴向推力, 所以用简单的推力轴承就足够了。立式结构一般在发电机侧设推力轴承, 有时也把推力轴承设在水轮机顶盖上。

吸出管的作用是有效地利用从转轮出口流出到排水面之间的高度, 即吸出高度, 并且, 管的横断面