



中华人民共和国国家标准

GB/T 15468—2006
代替 GB/T 15468—1995

水轮机基本技术条件

Fundamental technical requirements for hydraulic turbines

2006-03-06 发布

2006-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
引言	Ⅳ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	2
4 技术要求	13
5 性能保证	18
6 供货范围和备品备件	20
7 资料与图纸	21
8 工厂检验及试验	21
9 铭牌、包装、运输及保管	25
10 安装、运行、维护及验收试验	26
附录 A(规范性附录) 反击式水轮机效率修正公式	27
附录 B(规范性附录) 冲击式水轮机效率修正公式	29
附录 C(资料性附录) 水轮机设备的仪表	32
附录 D(规范性附录) 主轴相对振动位移峰-峰值推荐评价区域	33
附录 E(规范性附录) 水轮机备品备件表	34

前 言

本标准代替 GB/T 15468—1995《水轮机基本技术条件》。与 GB/T 15468—1995 版比较有以下一些主要变化：

- 将灯泡贯流式水轮机纳入本标准；
- 对引用文件进行了更新，增加了近年来在招标中经常使用的 IEC 标准和国外先进标准；
- 对术语、定义和符号进行了修订，与国际标准及国内相关标准相适应；
- 对技术要求进行了细化和归类，增加了贯流式水轮机方面的内容和水轮机振动方面的有关规定；
- 对配套仪表、备品备件方面的内容也作了调整。

本标准自实施之日起代替 GB/T 15468—1995。

本标准的附录 A、附录 B、附录 D、附录 E 为规范性附录；附录 C 为资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国水轮机标准化技术委员会(SAC/TC 175)归口。

本标准主要起草单位：哈尔滨电机厂有限责任公司、中国水电昆明勘测设计研究院、东方电机股份有限公司、中国水利水电科学研究院。

本标准主要起草人：宫让勤、曾镇铃、吴新润、陈丁、钟苏、吴培豪、李伟刚。

本标准由全国水轮机标准化技术委员会负责解释。

本标准于 1995 年 01 月 27 日首次发布，本次为第一次修订。

引 言

本标准是根据国家标准化技术委员会《2002 年制修订国家标准项目计划》中计划编号 20021288-T-604 的安排,对 GB/T 15468—1995《水轮机基本技术条件》进行的修订。

GB/T 15468—1995 实施以来,在我国水电机组的招标、订货、设计、制造等工作中起到了很大作用。近年来,我国通过引进技术和装备,水轮机的设计、制造水平有了很大提高,有关标准也发生了变化。为适应水电建设的需要,有必要对原标准进行修订。

本标准是水轮机产品的设计、制造依据,可供水轮机招标、订货使用。当对水轮机产品的性能、结构、运行等方面有其他特定要求时,可在供需双方签订合同的技术文件中商定。

水轮机基本技术条件

1 范围

本标准规定了水轮机产品设计制造方面的性能保证、技术要求、供货范围和检验项目,并提出了其包装、运输、保管和安装运行维护应遵守的规定。

本标准适用于符合下列条件之一的水轮机产品:

- a) 功率为 10 MW 及以上;
- b) 混流式、冲击式水轮机,转轮公称直径 1.0 m 及以上;
- c) 轴流式、贯流式水轮机,转轮公称直径 3.3 m 及以上。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB 150 钢制压力容器

GB/T 191 包装储运图示标志(GB/T 191—2000,eqv ISO 780:1997)

GB/T 2900.45 电工术语 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机

GB/T 3323—1987 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级

GB/T 6075.5—2002 在非旋转部件上测量和评价机器的机械振动 第 5 部分:水力发电厂和泵站机组(idt ISO 10816-5:2000)

GB/T 8564—2003 水轮发电机组安装技术规范

GB/T 9239 刚性转子平衡品质许用不平衡的确定(GB/T 9239—1988,eqv ISO 1940-1:1986)

GB/T 9797—1997 金属覆盖层 镍+铬和铜+镍+铬电沉积层(eqv ISO 1456:1988)

GB/T 10969 水轮机通流部件技术条件(GB/T 10969—1996,neq IEC 60193-1:1977)

GB 11120—1989 L-TSA 汽轮机油(neq ISO 8068:1987)

GB/T 11345—1989 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级

GB/T 11348.5—2002 旋转机械转轴径向振动的测量和评定 第 5 部分:水力发电厂和泵站机组(idt ISO 7919-5:1997)

GB/T 11805—1999 水轮发电机组自动化元件(装置)及其系统基本技术条件

GB/T 12469—1990 焊接质量保证 钢熔化焊接头的要求和缺陷分级(neq DIN 8563 T3:1979)

GB/T 15469 反击式水轮机空蚀评定(GB/T 15469—1995,neq IEC 60609:1978)

GB/T 17189 水力机械振动和脉动现场测试规程(GB/T 17189—1997,neq IEC 60994:1991)

GB/T 19184—2003 水斗式水轮机空蚀评定(IEC 60609-2:1997,MOD)

DL/T 443 水轮发电机组设备出厂检验一般规定

DL/T 507—2002 水轮发电机组启动试验规程

DL/T 710—1999 水轮机运行规程

JB/T 1270 水轮机、水轮发电机大轴锻件技术条件

JB 4730—1992 压力容器无损检测

JB/T 6061—1992 焊缝磁粉检验方法和缺陷磁痕分级

JB/T 6062—1992 焊缝渗透检验方法和缺陷迹痕分级

JB/T 8660—1997 水机组包装、运输和保管规范
IEC 60041 水轮机蓄能泵和水泵水轮机现场验收规程
IEC 60193 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收规程
IEC 60545-1976 水轮机验收、运行和维护说明
CCH-70-3 水力机械铸钢件检验规范

3 术语、定义和符号

GB/T 2900.45 确立的以及下列术语、定义和符号适用于本标准。

3.1 水电站水位

3.1.1

校核洪水位 maximum flood level

$Z_{FL, max}$

水库遇到大坝校核洪水时，坝前达到的最高水位；即水库在非常运行情况下，允许临时达到的最高洪水位。

单位：m

3.1.2

设计洪水位 design flood level

$Z_{FL, d}$

水库遇到大坝设计洪水时，坝前达到的最高水位；即水库在正常运行情况下，允许达到的最高水位。

单位：m

3.1.3

正常蓄水位 normal pool water level

$Z_{PL, n}$

水库在正常运用的情况下，满足兴利要求允许充蓄并能保持的高水位（也称：正常高水位或设计蓄水位）。

单位：m

3.1.4

最低蓄水位 minimum pool water level

$Z_{PL, min}$

在满足兴利要求的条件下，正常运行时，允许水库消落的最低水位（也称：死水位）。

单位：m

3.1.5

最高尾水位 maximum tail water level

$Z_{TL, max}$

在水电站校核洪水流量时，尾水管出口断面处出现的最高水位。

单位：m

3.1.6

设计尾水位 design tail water level

$Z_{TL, d}$

确定水轮机安装高程所用的尾水管出口断面处出现的水位。

单位：m

3.1.7

最低尾水位 minimum tail water level $Z_{\text{FL, min}}$

相应水电站给定最小流量时,水轮机尾水管出口断面处出现的水位。

单位:m

3.2 水电站水头

3.2.1

电站最大水头(毛水头) maximum head of plant (gross head) $H_{\text{g max}}$

水电站上下游水位在一定组合下出现的最大水位高程差。

单位:m

3.2.2

电站最小水头(毛水头) minimum head of plant (gross head) $H_{\text{g min}}$

水电站上下游水位在一定组合下出现的最小水位高程差。

单位:m

3.3 水轮机水头

3.3.1

水轮机水头 head H

水轮机做功用的有效水头,为水轮机进、出口断面的总单位能量差。

单位:m

3.3.2

最大水头 maximum head H_{max}

电站最大水头减去一台机空载运行时引水系统所有水头损失后的水轮机水头。

单位:m

3.3.3

最小水头 minimum head H_{min}

电站最小水头减去水轮机输出允许功率时,引水系统所有水头损失后的水轮机水头。

单位:m

3.3.4

加权平均水头 weighted average head H_{w}

在规定的运行条件下,考虑功率和工作历时的水轮机水头的加权平均值。

单位:m

3.3.5

设计水头 design head H_{d}

水轮机最优效率的水头。

单位:m

3.3.6

额定水头 rated head

H_r

水轮机在额定转速下,输出额定功率时所需的最小水头。

单位:m

3.3.7

水轮机输出最大功率的水头 required minimum head of maximum output

$H_{p\max}$

水轮机输出设计规定的最大功率时所需的最小水头。

单位:m

3.3.8

最高瞬态压力 maximum momentary pressure

$p_{m\max}$

系统中指定点在规定的过渡过程下的最高表计压力。

单位:MPa 或 kPa

3.3.9

最低瞬态压力 minimum momentary pressure

$p_{m\min}$

系统中指定点在规定的过渡过程下的最低表计压力。

单位:MPa 或 kPa

3.4 水轮机流量

3.4.1

单位流量 unit discharge

Q_{11}

在 1 m 水头下,转轮公称直径为 1 m 的水轮机通过的流量。

3.4.2

水轮机流量 turbine discharge

Q

单位时间内流过水轮机水的体积。

单位: m^3/s

3.4.3

额定流量 rated discharge

Q_r

水轮机在额定水头、额定转速下输出额定功率所需的流量。

单位: m^3/s

3.4.4

水轮机输出最大功率时的流量 discharge of generating maximum power

$Q_{p\max}$

水轮机输出设计规定的最大功率时所需的最小水头下的流量。

单位: m^3/s

3.4.5

水轮机空载流量 no-load discharge

Q_0

水轮机在额定转速下空载运行时的流量。

单位: m^3/s

3.5 水轮机转速

3.5.1

单位转速 unit speed

n_{11}

在 1 m 水头下, 转轮公称直径为 1 m 的水轮机的转速。

3.5.2

额定转速 rated speed

n_r

水轮机按电站设计选定的稳态同步转速。

单位: r/min

3.5.3

比转速 specific speed

n_s

指水轮机水头为 1 m、输出功率为 1 kW 时水轮机的转速。

现定义(米千瓦制)的比转速按下式计算:

$$n_s = \frac{n \times \sqrt{P}}{(H)^{\frac{5}{4}}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

n_s ——水轮机比转速;

n ——水轮机转速, 单位为转每分(r/min);

P ——水轮机功率, 单位为千瓦(kW);

H ——水轮机水头, 单位为米(m)。

3.5.4

额定比转速 rated specific speed

n_{sr}

水轮机按额定工况计算得出的比转速。

3.5.5

最优比转速 optimum specific speed

n_{sd}

水轮机按最优工况计算得出的比转速。

3.5.6

飞逸转速 runaway speed

n_{run}

轴端负荷力矩为零时水轮机可能达到的最高稳态转速。

单位: r/min

3.5.7

最高瞬态转速 maximum momentary overspeed

$n_{m \max}$

在过渡过程下达到的最高转速。

单位: r/min

3.6 水轮机功率

3.6.1

单位功率 unit power

P_{11}

在 1 m 水头下,转轮公称直径为 1 m 的水轮机输出的功率。

3.6.2

水轮机输入功率 turbine input power

P_h

通过水轮机的水流所具有的水力功率。

单位: kW

3.6.3

转轮输出功率 runner output power

P_m

转轮与轴连接处传递的机械功率。

单位: kW

3.6.4

水轮机机械功率损失 turbine mechanical power loss

P_{lm}

水轮机的导轴承推力轴承(按推力负荷比例分担的部分)和主轴密封中损失的机械功率。

单位: kW

3.6.5

水轮机功率 turbine power

P

转轮输出功率扣除水轮机机械功率损失(P_{lm})后的功率($P = P_m - P_{lm}$)。

单位: kW

3.6.6

额定功率 rated power

P_r

在额定水头和额定转速下由设计或合同规定的水轮机铭牌功率。

单位: kW

3.6.7

最优工况功率 optimum operating condition power

P_{opt}

在最优工况下运行时的水轮机功率。

单位: kW

3.6.8

水轮机最大功率 maximum turbine power

P_{max}

在规定的运行水头范围内,设计或合同规定的最大水轮机功率。

单位: kW

3.7 水轮机效率

3.7.1

水力效率 hydraulic efficiency

η_h

转轮输出功率与水轮机输入功率之比 $\eta_h = P_m / P_h$

3.7.2

机械效率 mechanical efficiency

η_m

水轮机功率与转轮输出功率之比 $\eta_m = P / P_m$

3.7.3

水轮机效率 turbine efficiency

η

水轮机功率与其输入功率的比值。

$$\eta = (P / P_m) \times (P_m / P_h) = \eta_m \times \eta_h \quad \dots\dots\dots (2)$$

3.7.4

加权平均效率 weighted average efficiency

η_w

计算公式如下：

$$\begin{aligned} \eta_w &= (W_1 \eta_1 + W_2 \eta_2 + W_3 \eta_3 + \dots) / \sum W_i \\ &= (\sum W_i \eta_i) / \sum W_i \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

式中：

η_i ——根据电站具体条件确定的不同水头与不同负荷下水轮机效率；

W_i ——与各 η 相对应的负荷历时或电能加权系数， $\sum W_i = 100$ 。

表 1 W_i 值

H/m	P_r/MW				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
H_1	×	×	×	×	×
H_2	×	×	×	×	×
H_3	×	×	×	×	×
H_4	×	×	×	×	×
H_5	×	×	×	×	×

注： H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 、 H_5 为不同的水轮机水头， X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 为额定功率的百分比。

3.7.5

最优效率 optimum efficiency

η_{opt}

水轮机各工况中效率的最大值。

3.8 流道主要尺寸

3.8.1

混流式转轮公称直径 francis turbine runner nominal diameter

D_1 或 D_2

D_1 指转轮叶片进水边正面和下环相交处的直径(见图 1 所示)。

D_2 指转轮叶片出水边正面和下环相交处的直径(见图 1 所示)。

单位：m

3.8.2

轴流式、斜流式和贯流式转轮公称直径 kaplan, deriaz and bulb turbine runner nominal diameter D_1

轴流转桨式、斜流转桨式和贯流转桨式指转轮叶片轴线外缘处转轮室的内径(见图 1 所示)。

轴流定桨式指水轮机叶片外缘圆柱形转轮室的内径。

斜流定桨式指水轮机叶片出水边外缘对应的转轮室的内径。

单位:m

3.8.3

冲击式转轮公称直径 impulse turbine runner nominal diameter

D_1

指转轮水斗和射流中心线直径相切处的直径(即节圆直径见图 1 所示)。

单位:m

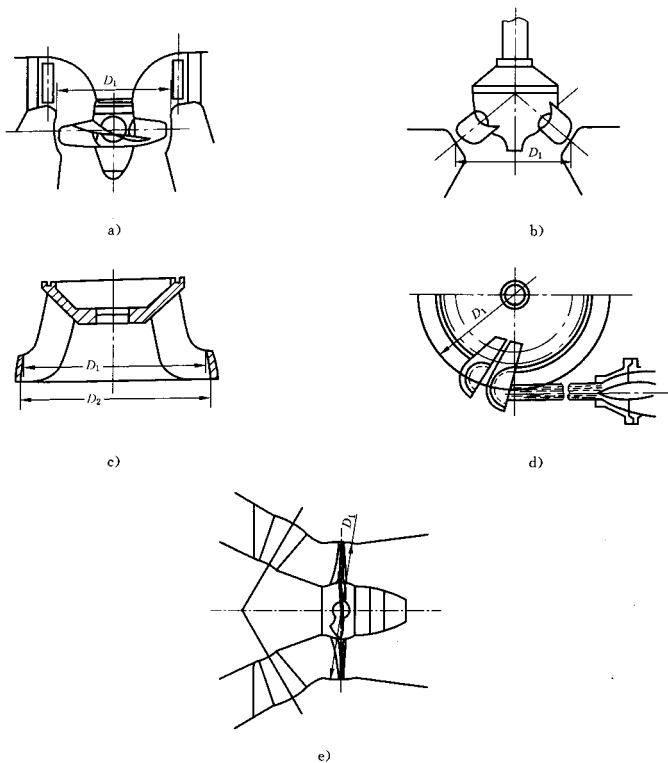


图 1 水轮机公称直径示意

3.8.4

导叶开度 guide vane opening

a_0

相邻导叶中间断面之间的最短距离。

单位: mm

3.8.5

导叶转角 guide vane rotating angle

γ

从导叶全关位置开始, 导叶转动的角度。

单位: ($^{\circ}$)

3.8.6

喷嘴开度 needle stroke

s

距离喷嘴关闭位置的喷嘴行程。

单位: mm

3.8.7

叶片转角 blade angle

Φ

转轮叶片从设计规定的位置开始绕其轴线转动的角度。

单位: ($^{\circ}$)

3.9 空化空蚀磨损

3.9.1

空化 cavitation

在流道中水流局部压力下下降到临界压力(一般接近汽化压力)时, 水中气核发展成长为气泡。空化为气泡的积聚、流动、分裂、溃灭过程的总称。

3.9.2

空蚀 cavitation erosion

由于空化造成的过流表面的材料损坏。

3.9.3

磨损 sand erosion

含沙水流对水轮机通流部件表面所造成的材料损失。

3.9.4

腐蚀 combined cavitation erosion and abrasion

在含沙水流条件下, 水轮机通流部件表面由空蚀和泥沙磨损联合作用所造成的材料损失。

3.9.5

空化基准面 cavitation reference level

工程上确定空化系数所采用的基准面, 对于立轴混流式水轮机为导叶中心线的高程; 对于立轴轴流转桨式水轮机为转轮叶片轴线处的高程; 对于立轴轴流定桨式水轮机为转轮叶片出水边外缘处的高程; 对于立轴斜流转桨式水轮机为转轮叶片轴线与转轮叶片外缘交点处的高程; 对于立轴斜流定桨式水轮机为转轮叶片出水边外缘处的高程; 对于卧轴或斜轴反击式水轮机为转轮叶片最高点处的高程。

3.9.6

水轮机空化系数 cavitation coefficient of hydraulic turbine

σ

表征水轮机空化发生条件和性能的无量纲单位系数。过去称作“气蚀系数”。

3.9.7

临界空化系数 critical cavitation coefficient

σ_c

与规定的能量下降值相联系的空化系数。可以取 $\sigma_1 \leq \sigma_c \leq \sigma_0$ 。其中 σ_1 为效率下降 1% 时的空化系数, σ_0 为效率开始下降时的空化系数。

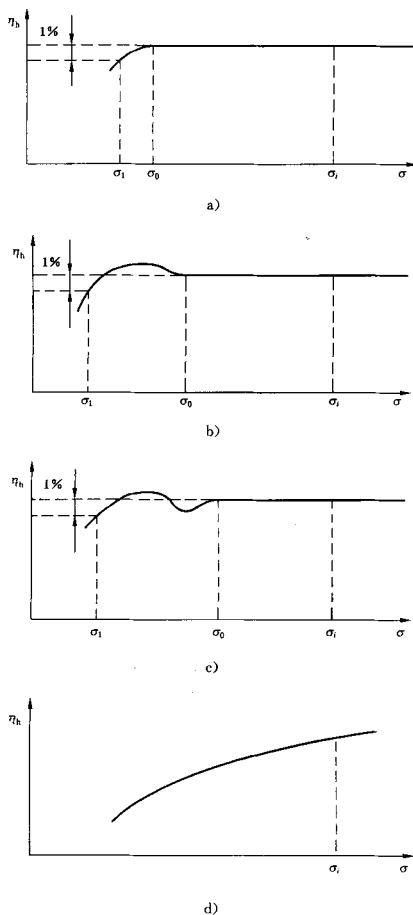


图 2 σ_0 、 σ_1 、 σ_c 的确定

3.9.8

初生空化系数 incipient cavitation coefficient

σ_i

在反击式水轮机模型试验中,由目测观察到转轮三个叶片上同时开始产生气泡时的空化系数。

3.9.9

吸出高度 suction height

H_s

水轮机所规定的空化基准面至尾水位的高程差。

单位:m

3.9.10

电站空化系数 plant cavitation coefficient

σ_p

在电站运行条件下的空化系数。过去称为“装置空化系数” $\sum W_i = 100$ “电站装置空化系数”。

$$\sigma_p = \frac{P_s/\gamma - P_v/\gamma - H_s}{H} \sum W_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

3.9.11

允许吸出高度 permissible suction height

H_{per}

满足反击式水轮机空化和其他性能要求所需的最大吸出高度。

单位:m

3.9.12

排出高度 discharge height

H_{sd}

竖轴冲击式为转轮节圆平面到设计尾水位的高度;横轴冲击式为转轮节圆直径最低点到设计尾水位的高度。

单位:m

3.9.13

安装高程 setting elevation

Z

水轮机安装时作为基准的某一水平面的海拔高程。立式反击式水轮机安装时的基准为导叶中心高程;立式冲击式水轮机安装时的基准为喷嘴中心高程;卧式水轮机安装时的基准为主轴中心高程。

单位:m

3.10 水轮机试验

3.10.1

模型试验 model test

为预测原型水轮机性能而利用模型水轮机进行的试验。

3.10.2

模型验收试验 model acceptance test

由需方见证、为验证水轮机性能是否达到合同保证和有关标准而进行的模型试验。

3.10.3

比尺 scale ratio

原型转轮公称直径与模型转轮公称直径的比值。

3.10.4

综合特性曲线 hill diagram

绘在以单位转速和单位流量为纵横坐标系统内,表示模型水轮机效率等性能的等值曲线。对于特定电站应表示出运行范围。

对于混流式水轮机还应表示出导叶开度、空化系数的等值线。在电站装置空化系数已确定时,还可表示出尾水管的等压力脉动线、叶片进水边正背面初生空化线、叶道涡初生线和叶道涡发展线等。

对于定桨式水轮机还应表示出导叶开度、空化系数的等值线。在电站装置空化系数已确定时,还可表示出尾水管等压力脉动线。

对于导叶和桨叶双调节的水轮机还应表示出协联工况下导叶开度、叶片转角和空化系数的等值线。

对于冲击式水轮机还应表示出喷嘴开度的等值线。

3.10.5

运转特性曲线 performance curve

绘在以水头和输出功率(或流量)为纵横坐标系统内,表示在某一转轮直径和额定转速下,原型水轮机的性能(如效率、吸出高度、压力脉动等)的等值曲线及功率限制线。

3.11 压力脉动

3.11.1

压力脉动 pressure fluctuation

在选定时间间隔 Δt 内液体压力相对于平均值的往复变化。

3.11.2

压力脉动峰-峰值 peak-peak value of pressure fluctuation

ΔH

流道中某特定测点时域压力脉动最大值与最小值的代数差。按 97% 置信度取值。

单位: mWC

3.11.3

压力脉动相对值 relative value of pressure fluctuation

$\Delta H/H$

流道中某特定测点时域压力脉动的峰峰值与该测量水头之比。

3.11.4

压力脉动均方根值 root-mean-square value of pressure fluctuation

$(\Delta H/H)_{rms}$

流道中某特定测点压力脉动峰值平方的平均值的平方根。模型的取值按照 IEC 60193, 原型取值按照 GB/T 17189。

$$\left(\frac{\Delta H}{H}\right)_{rms} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta H_i}{H}\right)^2 \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

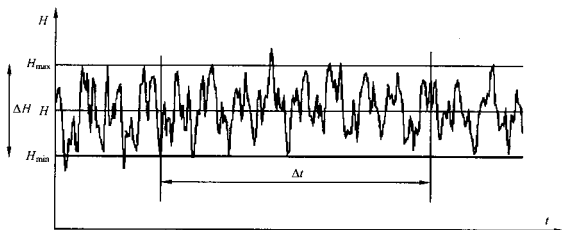


图 3 压力脉动均方根值的确定

3.11.5

叶道涡 channel vortices

发生在混流式水轮机转轮叶片与上冠交接处并从叶片间流出的涡带。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 水轮机的设计、制造应根据水电站的特点和基本参数优选水轮机的型式和主要参数,保证水轮机安全、可靠、稳定运行。

4.1.2 水轮机的设计必须考虑到水电站厂房布置、运行检修、运输条件、制造能力的要求以及与水轮发电机、调速器、进水阀等的相互关系。

4.1.3 水轮机产品的技术要求应包括下列水电站参数:

校核洪水位(m);
设计洪水位(m);
正常蓄水位(m);
死水位(m);
最高尾水位(m);
设计尾水位(m);
最低尾水位(m);
尾水位和流量关系曲线;
电站最大水头(m);
电站最小水头(m);
额定水头(m);
加权平均水头(m);
过机水质(含沙量、粒径级配、矿物成分、水中含气量、pH值、水温等);
气象条件(多年平均气温、极端最高气温、极端最低气温、多年平均相对湿度等);
地震加速度;
运行特点及要求(如调峰、调频、调相以及年平均起停次数等);
引水系统参数;
单机功率和台数;
单机最大功率(若有);
水轮机安装高程(m);
重力加速度(m^2/s)。

4.1.4 水轮机设计应给出其型式、布置方式、型号和以下基本参数:

设计水头(m);
最大水头(m);
最小水头(m);
额定水头(m);
额定转速(r/min);
飞逸转速(r/min);
额定比转速($\text{m} \cdot \text{kW}$);
额定流量(m^3/s);
额定功率(MW);
最优工况时的功率(MW);
最大功率(MW);
加权平均效率(%);
额定点效率(%);

最优效率(%);
 输出最大功率时的最小水头(m)(若有);
 输出最大功率时的最大流量(m^3/s)(若有);
 转轮公称直径 D_1 或 D_2 (mm);
 导叶开度(mm)或转角($^\circ$);
 转轮叶片转角范围($^\circ$)(适用于转桨式、斜流式和贯流式水轮机);
 允许吸出高度(m)(适用于反击式水轮机);
 临界空化系数(适用于反击式水轮机);
 初生空化系数(适用于反击式水轮机);
 电站空化系数(适用于反击式水轮机);
 最高瞬态压力(MPa);
 最低瞬态压力(MPa);
 最高瞬态转速(r/min);
 射流直径(mm)(适用于冲击式水轮机);
 喷嘴开度(mm)(适用于冲击式水轮机);
 每个转轮的喷嘴数(适用于冲击式水轮机);
 排出高度(m)(适用于冲击式水轮机);
 水轮机估算总质量(t)。

4.1.5 水轮机设计还应给出下列技术文件:

水轮机模型综合特性曲线和原型运转特性曲线;
 技术保证值(详见第5章);
 与水轮机配套的调速器、油压装置、自动化系统及进水阀的技术规范和要求(若有);
 水轮机各主要部件的结构和材料说明;
 水轮机各大件的运输、起重限制尺寸和质量;
 其他技术要求。

4.1.6 反击式水轮机的效率修正按附录 A 中的公式进行修正;冲击式水轮机的效率一般不修正,若修正则按照附录 B 进行。

4.2 主要部件的结构和材料

4.2.1 结构设计的一般要求

4.2.1.1 水轮机通流部件应符合 GB/T 10969 的要求。

4.2.1.2 水轮机结构应做到便于拆装、维修,方便易损部件的检查和更换。水轮机必须保证在不拆卸发电机转子、定子和水轮机转轮、主轴等部件的情况下更换下列零部件:

- 水轮机导轴承瓦、冷却器和主轴密封。
- 反击式水轮机导水机构接力器的密封及活塞环、导水机构的传动部件、导叶轴径密封件及保元件。
- 转桨式水轮机应能在不拆卸转轮叶片的情况下更换转轮叶片的密封零件。
- 冲击式水轮机的喷嘴、喷针及折向器等。
- 对于多泥沙的电站,对水轮机拆修有特殊要求时,按供需双方商定的技术协议或技术条款执行。

4.2.1.3 水轮机标准零部件应保证其通用性。采用摩擦传动的转轮,以及喷嘴、喷针应能互换。

4.2.1.4 反击式水轮机宜在通流部分的适当部位,设置用相对效率法测量相对流量和压力脉动的测点,其位置应与模型模拟。

4.2.1.5 水轮机转轮宜采用不锈钢材料制造。水轮机的其他易空蚀部件宜采用抗空蚀材料制造或采

用必要的防护措施。若空蚀部位采用堆焊不锈钢时,加工后的不锈钢层厚度不应小于3 mm。

4.2.1.6 竖轴水轮机转轮公称直径为3.3 m或以上时,水轮机室顶部宜设置起吊设施。

4.2.1.7 转轮应做静平衡试验。静平衡后应符合 GB/T 9239 中的 G6.3 级的要求。

4.2.1.8 立式水轮机轴向间隙应保证在发电机顶转子时转动部分能上抬到所需要的高度。

4.2.1.9 水轮机在各种运行工况时,其稀油润滑的导轴承的轴瓦最高温度不应超过70℃;卧式水轮机的径向推力轴承轴瓦最高温度不超过70℃。油的最高温度不超过65℃。

4.2.1.10 反击式水轮机的导水机构必须设有防止破坏及事故扩大的保护装置,其导叶的水力矩在全开至接近空载开度间应有自关闭趋向。并有全关和全开位置的锁定装置。

4.2.1.11 水轮机应设置必要的防飞逸设施。水轮机允许在最高飞逸转速下持续运行时间应不小于配套发电机允许的飞逸时间,并保证水轮机转动部件不产生有害变形。

4.2.1.12 导叶端部与之相应的抗磨板之间宜有硬度差异。

4.2.1.13 水轮机的顶盖排水设施,应有备用设备。轴流式水轮机必要时应有双重备用,主用和备用设备宜采用不同的驱动方式。排水设备应配备可靠的水位控制和信号装置。

4.2.1.14 蜗壳及尾水管的形状和尺寸应结合水电站厂房布置的需要进行设计,并进行模型试验或技术论证,提供模型试验的水压脉动值和频率值。

4.2.1.15 反击式水轮机蜗壳设计中应考虑需方所提供的周围混凝土可承受的最大允许应力及埋入期间的内部压力。座环设计中应考虑由座环支撑的混凝土重量和其他垂直的负荷。

4.2.1.16 水轮机进水阀后的蜗壳进口段顶部和卧式水轮机的蜗壳顶部应设置自动排气、补气装置。

4.2.1.17 水轮机应设置观察孔和进入门,蜗壳上的进入门不宜小于 $\Phi 600$ mm,尾水管上进入门尺寸不宜小于 $\Phi 600$ mm或 600×600 mm,采用方形进入门时,四角应倒圆,进入门的下侧应设验水阀。在进入门处,应按 GB 150 钢制压力容器的要求进行补强。进入门、观察孔的位置、数量、尺寸由供需双方商定。

4.2.1.18 立式反击式水轮机尾水管内应设置易于拆装的、有足够承载能力的、轻型检修平台。冲击式水轮机机坑内的稳水栅应有足够的强度,以便于水轮机转轮、喷嘴等的拆装和检修。

4.2.1.19 当有调相运行要求时应设置调相压水进排气装置。

4.2.1.20 水轮机及其辅助设备需进行耐压试验的部件除需在工地组焊的部分外,均需按试验压力在厂内进行耐压试验,耐压试验的压力为设计压力(包括升压)的1.5倍。试压时间应持续稳压10 min。受压部件不得产生有害变形和渗漏等异常现象。反击式水轮机的金属蜗壳和冲击式水轮机的配水管可根据合同要求进行水压试验。

4.2.1.21 水轮机设备配备的仪表(见附录C),应安装在专门的盘柜上。

4.2.1.22 水轮机自动化元件及系统应符合 GB/T 11805—1999 中的有关规定。

如水轮机要实现计算机监控并要求监测振动和蠕动时由供需双方商定并提供成组调节的接口。

4.2.1.23 水轮机自动控制系统应能安全可靠地实现以下基本功能:

- a) 正常开机和停机;
- b) 在系统中处于备用状态,随时可以启动投入;
- c) 从发电转调相或由调相转发电运行(当有调相要求时);
- d) 当运行中发生故障能及时发出信号、警报或停机;
- e) 凡由计算机控制的水电站各机组应能实现成组调节。水轮机应能自动保持在给定的负荷范围内稳定高效率运行;冲击式水轮机投入的喷嘴及其数量应能自动切换,并保持在稳定和高效率运行。

4.2.1.24 发生(但不限于)下列情况之一时,水轮机应能自动紧急停机:

- a) 转速超过过速保护值;
- b) 压油罐内油压低于事故低油压;

- c) 导轴承温度超过允许值时；
- d) 水润滑导轴承的润滑水中断时；
- e) 机组突然发生异常振动(当设有振动测量装置时)；
- f) 其他紧急事故停机信号；
- g) 在运行中控制电源消失时。

4.2.2 工作应力和安全系数

4.2.2.1 水轮机结构设计中应进行安全性能分析,对经受交变应力、振动或冲击力的零部件,设计时应留有安全余量。在所有预期的工况下,都应具有足够的刚度和强度。

4.2.2.2 部件的工作应力可采用经典公式解析计算,也可采用有限元法分析计算,对结构复杂的重要部件建议采用有限元法分析计算。

4.2.2.3 水轮机部件的工作应力应按工况分别考核,分为正常运行工况和特殊工况,其中正常运行工况是指机组正常工作状态下所发生的各种载荷工况,特殊工况是指打压试验、飞逸、导叶保护装置破坏等非正常工况。

4.2.2.4 所有部件的工作应力不得超过规定的许用应力。其中正常工况条件下采用经典公式计算的断面应力不大于表2规定的许用应力,特殊工况条件下采用经典公式计算的断面应力不大于材料屈服极限的2/3。

4.2.2.5 对于承受剪切和扭转力矩的零部件,铸铁的最大剪应力不得超过21 MPa,其他黑色金属最大剪应力不得超过许用拉应力的70%,但其中机组主轴和导叶轴的最大剪应力不得超过许用应力的60%。

4.2.2.6 当要求有预应力时,螺栓、螺杆和连杆等零部件均应进行预应力处理,零部件的预应力不得超过材料屈服强度的7/8。螺栓的荷载不应小于连接部分设计荷载的2倍。

表2 部件正常运行工况许用应力

MPa

材料名称	许用应力	
	拉应力	压应力
灰铸铁	U. T. S/10	70
碳素铸钢和合金铸钢	U. T. S/5 或 Y. S/3	U. TS/5 或 Y. S/3
碳钢锻件	Y. S/3	Y. S/3
主要受力部件的碳素钢板	U. T. S/4	U. T. S/4
高应力部件的高强度钢板	Y. S/3	Y. S/3
其他材料	U. T. S/5 或 Y. S/3	U. T. S/5 或 Y. S/3
注1: U. T. S为强度极限。		
注2: Y. S为屈服极限。		

4.2.2.7 由有限元方法得到的应力分析结果,局部应力值可超出上述许用应力值,但需经需方认可。并且在正常工况条件下最大应力不得超过材料屈服强度的2/3,特殊工况条件下最大应力不得超过材料的屈服强度。

4.2.2.8 混流式和转桨式水轮机转轮叶片在预期的最大荷载条件下正常运行时,转轮各部位最大应力不应超过材料屈服极限的1/5;在最高飞逸转速时,最大应力不应超过材料屈服极限的2/5。冲击式转轮在预期的最大荷载条件下正常运行时,转轮各部位最大应力不应超过材料屈服极限的1/18。并应进行疲劳强度核算。

4.2.2.9 主轴最大复合应力 S_{max} 的定义为: $S_{max} = (S^2 + 3T^2)^{1/2}$, 其值不应超过材料屈服极限的1/4。

式中, S 为由于水力、动载荷和静载荷引起的轴向应力和弯曲应力的总和; T 为水轮机最大功率时的扭转切应力。按上式计算出最大复合应力 S_{\max} 并计入应力集中后出现的最大应力不应超过材料屈服极限的 $2/5$ 。且水轮机在最大出力时主轴扭转切应力不应超过 42 MPa。横轴贯流式水轮机主轴应进行疲劳强度核算。

4.2.3 材料和制造要求

4.2.3.1 水轮机主要结构部件的铸锻件应符合 CCH-70-3 及 JB/T 1270 标准或合同规定的相应标准。重要铸锻件应有需方代表参加验收。上述标准中认为是重大缺陷的缺陷处理应征得需方同意。

4.2.3.2 经过考试合格的并持有证书的焊接人员才能担任主要部件的焊接工作。主要部件的主要受力焊缝应进行 100% 的无损探伤。应符合 GB/T 3323—1987、GB/T 11345—1989、GB/T 12469—1990、JB 4730—1992、JB/T 6061—1992、JB/T 6062—1992 标准或合同规定的相应标准。

4.2.3.3 水轮机设备表面应有防锈涂层。并应规定:

- a) 表面处理的要求;
- b) 对漆及其他防护保护方法和其使用说明;
- c) 发运前和在工地时的使用要求;
- d) 涂层数;
- e) 每层膜厚和总厚;
- f) 检查和控制质量规定。

对装饰性电镀层应符合 GB/T 9797—1997 的规定。

4.2.3.4 凡是与水接触的紧固件均应采用防锈或耐腐蚀的材料制造或采取相应措施。

4.2.3.5 采用巴氏合金的轴瓦, 其与瓦基的结合情况应进行 100% 超声波检查, 接触面应不小于 95%, 且单个脱壳面积不大于 1%; 表面用渗透法探伤应无缺陷。

4.3 不同型式水轮机的特定要求

4.3.1 混流式水轮机

4.3.1.1 为保证水电站的安全运行和转轮等过流部件的寿命, 水轮机不宜在保证范围外运行。

4.3.1.2 转轮和固定导叶等主要过流部件的固有频率应与各种水力激振频率错频。

4.3.1.3 中高水头的混流式水轮机可采用从顶盖引取上密封的漏水, 作为机组冷却水。

4.3.1.4 高水头混流式水轮机要有防抬机措施。

4.3.1.5 混流式水轮机应设置减轻振动的自然补气装置, 或采取其他措施。

4.3.1.6 混流式水轮机转轮优先采用铸焊结构, 叶片可为铸件或模压成型。叶片翼型宜采用数控加工。

4.3.2 轴流式水轮机

4.3.2.1 转轮室应具有足够的刚度。转轮室的易空蚀部位宜采用不锈钢制作。

4.3.2.2 应设置可靠的防抬机和止推装置。

4.3.2.3 在转轮叶片上不宜开吊孔。

4.3.2.4 转轮叶片的外缘宜设置裙边。转轮叶片外缘与转轮室之间的单边间隙不宜大于 $0.1\% D_1$ 。

4.3.2.5 转轮叶片的操作机构应动作灵活。协联装置应准确可靠。转轮叶片密封的漏油量应符合表 3 的要求, 不允许水通过转轮密封进入转轮体的供油腔内。

表 3 每小时单个桨叶密封装置漏油量

转轮直径 mm	$3\ 000 \leq D_1 < 6\ 000$	$6\ 000 \leq D_1 < 8\ 000$	$8\ 000 \leq D_1 < 10\ 000$	$D_1 \geq 10\ 000$
漏油限量 mL/h	7	10	12	15

- 4.3.2.6 定桨式水轮机应设置减轻振动的自然补气装置,或采取其他措施。
- 4.3.2.7 轴流式水轮机应设置紧急停机时的自然补气装置。
- 4.3.2.8 转桨式水轮机的受油器及其装配部件应有绝缘材料与发电机所有联接处隔开以防止产生轴电流。
- 4.3.2.9 大型转轮的安装位置要考虑在各种工况下的最大下沉量。
- 4.3.3 贯流式水轮机
 - 4.3.3.1 转轮采用悬臂结构时应考虑主轴挠度的影响。
 - 4.3.3.2 转轮叶片外缘与转轮室之间的单边间隙不宜大于 $0.1\% D_1$ 。
 - 4.3.3.3 转轮室应具有足够的刚度,设计时应考虑转轮的轴向位移。转轮室的易空蚀部位宜采用不锈钢制作。
 - 4.3.3.4 径向导轴承宜设有高压油润滑顶起装置。
 - 4.3.3.5 转轮叶片的操作机构应动作灵活。协联装置应准确可靠。转轮叶片密封的漏油量应符合表4的要求。转轮体内的油压宜高于转轮体外的水压。
 - 4.3.3.6 转轮室与尾水管里衬之间应设有伸缩节。
 - 4.3.3.7 应设置防止飞逸的关闭重锤。
 - 4.3.3.8 内、外配水环的分瓣面应涂密封胶或安装密封条。
- 4.3.4 冲击式水轮机
 - 4.3.4.1 大型冲击式水轮机应优先采用竖轴式。
 - 4.3.4.2 多喷嘴冲击式水轮机调速系统应根据系统负荷,按预定程序自动投入或切除喷嘴的运行数目,保证机组稳定高效率运行。并在喷嘴切换和负荷增减的全过程中水轮机应调节正常,机组振动、摆度在允许范围内。全部喷嘴同时工作时各射流间应无干扰。
 - 4.3.4.3 每个喷嘴应有单独的操作接力器。各喷嘴应有单独的开度指示,折向器应有单独的位置指示。
 - 4.3.4.4 喷嘴的易磨蚀部位和喷针应采用抗蚀耐磨的材料制造。
 - 4.3.4.5 冲击式水轮机的排出高度应能满足水轮机安全稳定运行和效率不受影响。在最高尾水位时,尾水渠水面以上应有足够的通气高度。机壳上应装设必要的补气装置。
 - 4.3.4.6 电站尾水位变幅很大时,冲击式水轮机安装高程允许低于汛期尾水位。但应设有压低转轮室水位的压缩空气系统。
 - 4.3.4.7 转轮应安全可靠,按疲劳强度进行设计,并按 CCH-70-3 标准或合同规定的标准探伤。在运行期间,还必须定期检查水斗裂纹。投运后宜在 500 h 内进行初次检查。
 - 4.3.4.8 机壳上宜采取必要的隔音或消音措施。
 - 4.3.4.9 应能在不拆卸发电机的情况下装拆冲击式水轮机的转轮。

5 性能保证

5.1 保证期

产品的保证期为自水轮机投入商业运行之日起两年,或从最后一批货物交货之日起三年,以先到期为准。

5.2 稳态水力性能

5.2.1 水轮机稳态水力性能保证(即功率、效率和飞逸转速),按模型试验结果验证,或采用现场试验进行验证。模型试验参照 IEC 60193 或 GB/T 15613 进行,现场试验参照 IEC 60041 进行,其中效率修正按附录 A 和附录 B 换算。

5.2.2 水轮机功率保证:

应保证水轮机在额定水头下的额定功率及在最大水头、加权平均水头、最小水头和其他特定水头下的功率。

5.2.3 水轮机效率保证:

应保证水轮机的最优效率、运行水头范围内的加权平均效率和其他特定工况点的效率。

5.2.4 水轮机的最大飞逸转速保证:

5.2.4.1 混流式和定桨式水轮机取最大水头和导叶最大开度下所产生的飞逸转速;在特殊情况下,可经供需双方商定。

5.2.4.2 冲击式水轮机取最大水头和最大喷嘴开度下产生的飞逸转速。

5.2.4.3 转桨式水轮机取水轮机导叶与转轮叶片协联条件下,在运行水头范围内所产生的最大飞逸转速。在特殊情况下,经供需双方商定可按协联关系破坏情况下,在运行水头范围内所产生的最大飞逸转速保证。

5.3 空化、空蚀和磨蚀的保证

5.3.1 应对水轮机的空化系数作出保证。

5.3.2 反击式水轮机在一般水质条件下的空蚀损坏保证应符合 GB/T 15469 的规定。冲击式水轮机在一般水质条件下的空蚀损坏保证应符合 GB/T 19184—2003 的规定。需方应保留保证期内的运行记录,运行记录中至少应有水头、功率、运行时间和相应尾水位的数据。

5.3.3 当水中含沙量较大时,应对水轮机的磨蚀损坏作出保证。其保证值可根据过机流速、泥沙含量、泥沙特性及电站运行条件等,由需方和供方商定。

5.4 水轮机的稳定运行范围

5.4.1 在空载情况下应能稳定地运行。

5.4.2 在 4.1.4 条规定的最大和最小水头范围内,水轮机应在表 4 所列功率范围内稳定运行:

表 4

水轮机型式	相应水头下的机组保证功率范围/%
混流式	(45~100)
定桨式	(75~100)
转桨式	(35~100)
冲击式	(25~100)

对于混流式水轮机,如在保证运行范围内出现强振,应采取相应措施或避振运行。

5.4.3 原型水轮机在 5.4.2 所规定的保证运行范围内,应对混流式水轮机尾水管内的压力脉动的混频峰-峰值或均方根值作出保证。

当以导叶中心平面为基准面,在电站空化系数下测取尾水管压力脉动混频峰-峰值,在最大水头与最小水头之比小于 1.6 时,其保证值应不大于相应运行水头的 3%~11%,低比转速取小值,高比转速取大值;原型水轮机尾水管进口下游侧压力脉动峰-峰值不应大于 10 m 水柱。

5.4.4 应在模型试验中对叶道涡、叶片进水边正背面空化及其他可能影响稳定性的水力现象进行观察和评估。

5.5 振动

5.5.1 在各种运行工况下(包括甩负荷),水轮机各部件不应产生共振和有害变形。

5.5.2 在保证的稳定运行范围内,立式水轮机顶盖以及卧式水轮机轴承座的垂直方向和水平方向的振动值,应不大于表 5 的规定要求。测量方法按 GB/T 6075.5—2002 执行。

表 5

 μm

项 目	额定转速/(r/min)			
	≤ 100	$> 100 \sim 250$	$> 250 \sim 375$	$> 375 \sim 750$
	振动允许值(双振幅)			
立式机组顶盖水平振动	90	70	50	30
立式机组顶盖垂直振动	110	90	60	30
卧式机组水轮机轴承的水平振动	120	100	100	100
卧式机组水轮机轴承的垂直振动	110	90	70	50
注: 振动值系指机组在除过速运行以外的各种运行工况下的双振幅值。				

5.5.3 在正常运行工况下, 主轴相对振动(摆度)应不大于 GB/T 11348.5—2002 图 A.2 中所规定的 B 区上限线(见附录 D), 且不超过轴承间隙的 75%。

5.5.4 水轮发电机组轴系的临界转速应由水轮机和发电机供方分别计算确定, 轴系的第一阶临界转速应不小于最大飞逸转速的 120%。

5.6 最高瞬态转速和最高、最低瞬态压力

机组组全部或部分负荷时, 蜗壳内压力升高值、尾水管内压力降低值和水轮机转速升高值不应超过设计值。

5.7 导叶或喷嘴的漏水量:

5.7.1 在额定水头下, 圆柱式导叶漏水量不应大于水轮机额定流量的 3%。圆锥式导叶漏水量不应大于水轮机额定流量的 4%。

5.7.2 冲击式水轮机新喷嘴在全关时不应漏水。

5.8 噪声

水轮机正常运行时, 在水轮机机坑地板上方 1 m 处所测得的噪声不应大于 90 dB(A), 在距尾水管进入门 1 m 处所测得的噪声不应大于 95 dB(A), 冲击式水轮机机壳上方 1 m 处所测得的噪声不应大于 85 dB(A), 贯流水轮机转轮室周围 1 m 内所测得的噪声不应大于 90 dB(A)。

5.9 水推力

应对水轮机在各种运行工况下的最大正向水推力和最大反向水推力作出保证。

5.10 转轮裂纹保证

供方应在设计制造过程中采取措施, 保证产品质量。在合同规定的保证期和稳定运行范围内保证转轮不产生裂纹。

5.11 可靠性指标

在一般水质条件下, 水轮机应具有以下可靠性指标:

水轮机大修间隔期不少于 5 年。

无故障连续运行时间不少于 20 000 小时。

水轮机平均寿命不少于 40 年。

6 供货范围和备品备件

6.1 供货范围

6.1.1 水轮机: 从与发电机轴连接的法兰盘开始(联接螺栓和保护罩由发电机厂供给)。包括转轮、主轴、轴承、机壳、座环(管形座)、导水机构、金属蜗壳、机坑里衬、尾水管金属里衬、排水装置及其他配套设施等。当冲击式水轮机在安装高程低于汛期尾水位发电时, 应提供低压转轮室水位的压缩空气接口。

6.1.2 压力引水设备: 从电厂引水管末端至水轮机蜗壳进口的连接短管, 凑合节及其法兰和连接螺

栓、伸缩节、伸缩节连接法兰等,由供需双方商定。

6.1.3 水力观测仪表和自动化元件:包括水轮机及其辅助设备在运行中需要监测的各种压力、温度、真空、流量、转速、振动、摆度仪表和有关盘柜。油、气、水管路上为满足自动控制的各种差压信号计,液位信号计,示流信号器或流量变送器,温度信号器,各种液压、气压元件,电器控制元件、保护元件,行程信号器、测速设备和合同规定的各种变送器,以及机坑内各元件与设备的联接电缆,供至机坑端子箱。

6.1.4 管路及其配件:成套设备中各单项设备之间所需的油管、气管、水管、主轴密封滤水器、连接件和支架等。竖轴反击式水轮机的非成套设备供至设备的第一对法兰处或接力器法兰处,并提供成对法兰。贯流式水轮机的非成套设备供至水轮机进入孔外1 m处和接力器法兰处,并提供成对法兰。

6.1.5 竖轴反击式水轮机的尾水管内应成套供给易于装拆的有足够承载能力的轻便检修平台。

6.1.6 安装和检修所需的专用工具、特殊工具。

6.1.7 原型水轮机验收试验所需的仪表和设备由供需双方商定。

6.1.8 调速器、油压装置、漏油装置及进水阀(包括配套设备)等的供货范围另定。

6.2 备品、备件

水轮机备品备件的项目和数量按照附录 E 中表 E1、E2、E3、E4 规定执行,或由供需双方在合同中规定。

7 资料与图纸

7.1 交付时间和数量

供方向需方提交图纸资料,交付时间和数量在合同中规定。一般情况下,其数量为每电站第一台机供6套,以后各台机供4套。另向电站设计单位提供电站设施设计所需的图纸资料5套。并向需方和电站设计单位提供合同中规定的最终图纸资料的电子文件。

7.2 主要项目

7.2.1 水轮机及其辅助设备布置图,调节保证计算结果。

7.2.2 水轮机的总装图,蜗壳、尾水管的单线图,各水轮机部件的组装图和易损部件的加工图,水轮机及其辅助设备的管路布置图、基础图和埋件图等。

7.2.3 水轮机的模型综合特性曲线和运转特性曲线图、导叶开口或转角或喷嘴开度与接力器行程关系图、基础受力资料、水轮机的其他重要计算结果等。

7.2.4 有关水轮机及其辅助设备在工地组装布置和焊接及工艺流程或加工的图纸或资料。

7.2.5 控制及监测:各种盘柜和自动化设备的安装和布置图;水轮机自动化操作和油、气、水的系统图,水轮机测量仪表配置图等。

7.2.6 产品技术条件,产品说明书,安装使用说明书,自动控制设备调试记录,产品检查及试验记录,主要部件的材料合格证明书,交货明细表等。

8 工厂检验及试验

8.1 应对水轮机各主要部件提供出厂合格证明文件、材料化学成分、机械性能报告。并应根据合同规定的检验项目进行检验,并向需方提供有关文件。合同中无明确规定时,按 DL/T 443 执行。

8.2 水轮机预装按合同或技术协议执行。对不能或难于在供方车间内进行预装的水轮机有关部件,经供方和需方协商一致后,可移到现场按 GB/T 8564—2003 并参照供方的有关规定进行,由供方负责技术指导。

8.3 水轮机轴与发电机轴采用铰孔联接结构的轴线检查。水轮机、发电机不在同一厂制造时,轴线检查由发电机厂负责进行,或者合同中另行规定。

8.4 水轮机主要部件在制造过程中的检验和试验项目如表6、表7表8和表9所示,需方参加检查试验的项目按合同规定执行。

表 6 混流式水轮机工厂质量检查、装配和试验项目表

序号	名 称	材料检验				制造过程与最终检验				耐压及 取样试 验	其他检验项目及备注
		机械性能	化学成分	探伤	硬度试验	探伤	外观检查	尺寸检查	动作试验		
1	转轮	√	√	√	√	√	√*	√*			叶型、表面粗糙度检查及静平衡
2	主轴	√	√	√		√	√*	√*		钻孔取样	法兰间平行度、同心度、主轴法兰垂直度*
3	联轴螺栓	√	√	√			√*	√*			
4	导轴承	√				√	√	√			
5	主轴密封	√						√			局部装配*
6	顶盖	√				√*	√*	√*			
7	底环	√				√*	√*	√*			
8	活动导叶	√	√	√	√	√	√*	√*			
9	活动导叶操作机构	√	√			√	√		√*		导水机构预装, 动作试验*
10	导叶保护装置	√					√			破断* 检查	
11	座环	√	√	√		√*	√*	√*			
12	蜗壳	√				√	√	√			
13	尾水管里衬										
14	接力器	√					√*		√*	耐压	
15	补气阀、电磁阀、液位信号器、示流信号器等								√		动作、性能试验检查
注 1: “√”为厂内试验项目。 注 2: “*”为需方到工厂见证和检查的项目。 注 3: 分瓣转轮部分项目的最终检查和静平衡在现场进行。											

表 7 轴流式水轮机工厂质量检查、装配和试验项目表

序号	名 称	材料检验				制造过程与最终检验				耐压及 取样试 验	其他检验项目及备注
		机械性能	化学成分	探伤	硬度试验	探伤	外观检查	尺寸检查	动作试验		
1	桨叶	√	√	√	√	√	√*	√*			叶型及表面粗糙度检查
2	轮毂	√	√	√	√	√	√*	√*			
3	桨叶操作机构	√	√	√			√*	√*			
4	受油器本体	√					√				
5	操作油管	√					√			耐压*	
6	转轮装配							√*	√*	耐压*	静平衡、漏油及桨叶转角

表 7(续)

序号	名 称	材料检验				制造过程与最终检验				耐压及 取样试 验	其他检验项目及备注
		机械性能	化学成分	探伤	硬度试验	探伤	外观检查	尺寸检查	动作试验		
7	主轴	√	√	√		√	√*	√*		钻孔取样	法兰间平行度、同心度、主轴法兰垂直度*
8	联轴螺栓	√	√				√*	√*			
9	导轴承	√		√			√	√			
10	主轴密封	√						√			局部装配*
11	转轮室上环	√					√*	√*			
12	转轮室中、下环	√					√*	√*			
13	顶盖	√				√*	√*	√*			
14	支持盖	√				√*	√*	√*			
15	底环	√				√	√	√			
16	活动导叶	√	√	√	√	√	√*	√*			
17	活动导叶操作机构	√	√			√	√		√*		导水机构预装, 动作试验*
18	导叶保护装置	√					√			破断* 检查	
19	座环	√	√	√		√*	√*	√*			
20	接力器	√					√*		√*	耐压	
21	补气阀、电磁阀、液位 信号器、示流信号 器等								√		动作性能试验检查
注 1: “√”为厂内试验项目。											
注 2: “*”为需方到工厂见证和检查的项目。											

表 8 贯流式水轮机工厂质量检查、装配和试验项目表

序号	名 称	材料检验				制造过程与最终检验				耐压及 取样试 验	其他检验项目及备注
		机械性能	化学成分	探伤	硬度试验	探伤	外观检查	尺寸检查	动作试验		
1	桨叶	√	√	√	√	√	√*	√*			叶型及表面粗糙度检查
2	轮毂	√	√	√	√	√	√*	√*			
3	桨叶操作机构	√	√	√			√*	√*			
4	受油器本体	√					√				
5	操作油管	√					√			耐压*	
6	转轮装配							√*	√*	耐压*	静平衡、漏油及桨叶转角
7	主轴	√	√	√		√	√*	√*		钻孔取样	法兰间平行度、同心度、主轴法兰垂直度*

表 8(续)

序号	名 称	材料检验				制造过程与最终检验				耐压及 取样试 验	其他检验项目及备注
		机械性能	化学成分	探伤	硬度试验	探伤	外观检查	尺寸检查	动作试验		
8	联轴螺栓	√	√				√	√			
9	径向轴承	√		√			√	√			
10	主轴密封	√						√			局部装配
11	转轮室	√					√	√			
12	内配水环	√				√	√	√			
13	外配水环	√				√	√	√			
14	导流锥	√				√	√	√			
15	活动导叶	√	√	√	√	√	√	√			
16	活动导叶操作机构	√	√			√	√		√		导水机构预装,动作试验
17	导叶保护装置	√					√				
18	管形座	√	√	√		√	√	√			
19	接力器	√					√		√	耐压	
20	电磁阀、液位信号器、示流信号器等								√		动作性能试验检查
注 1:“√”为厂内试验项目。											
注 2:“”为需方到工厂见证和检查的项目。											

表 9 冲击式水轮机工厂质量检查、装配和试验项目表

序号	名 称	材料检验				制造过程与最终检验				耐压及 取样试 验	其他检验项目及备注
		机械性能	化学成分	探伤	硬度试验	探伤	外观检查	尺寸检查	动作试验		
1	转轮	√	√	√	√	√	√	√			叶型、表面粗糙度检查及静平衡
2	主轴	√	√	√		√	√	√		钻孔取样	法兰间平行度、同心度、主轴法兰垂直度
3	联轴螺栓	√	√	√		√	√	√			
4	导轴承	√		√			√	√			
5	喷嘴	√	√			√	√	√			
6	喷针装配	√	√			√	√	√		耐压	动作试验
7	折向器	√	√	√		√	√	√			
8	配水环管	√	√	√		√	√	√			
9	机壳						√	√			
10	接力器	√					√		√	耐压	

表 9(续)

序号	名 称	材料检验				制造过程与最终检验				耐压及 取样试 验	其他检验项目及备注
		机械性能	化学成分	探伤	硬度试验	探伤	外观检查	尺寸检查	动作试验		
11	补气阀、电磁阀、液位 信号器、示流信号 器等								√		动作、性能试验检查
注 1: “√”为厂内试验项目。 注 2: “·”为需方到工厂见证和检查的项目。											

9 铭牌、包装、运输及保管

9.1 水轮机铭牌

内容应包括:

- a) 产品名称
- b) 国家名称
- c) 供方名
- d) 本标准编号或技术条件编号
- e) 供方出品编号
- f) 产品型号
- g) 最大水头
- h) 额定水头
- i) 最小水头
- j) 额定功率
- k) 最大功率
- l) 额定流量
- m) 额定转速
- n) 飞逸转速
- o) 出厂日期

9.2 包装及运输

9.2.1 水轮机及其供货范围内的零部件、备件、备品,必须检验合格后才能装箱运输。

9.2.2 水轮机部件的包装尺寸和重量,应满足从工厂到电站的运输条件。

9.2.3 水轮机及其辅助设备的包装运输应符合 GB/T 191 和 JB/T 8660—1997 的规定,并按设备的要求和运输方式采取防雨、防潮、防震、防霉、防冻、防盐雾等措施。

9.2.4 包装箱中应有产品出厂证明书、技术文件及图纸。装箱单开列的名称、数量应与箱内实物和图纸编号相符合。装箱单应装在箱内的防腐盒(袋)内。

9.2.5 供方每次发运的件数、箱数、编号、发运时间、车次等,应在发运的同时通知受货单位。设备运到工地后,开箱检查时,需方和供方的代表应共同参加,如发现有损坏、错发、缺件等问题,由需方代表通知供方查找原因并尽快采取补救措施。

9.3 保管

9.3.1 水轮机的各加工工件须妥善保管,不得随意叠放。

9.3.2 水轮机的各加工件运抵工地拆箱后,必须遮盖,不得日晒雨淋。

9.3.3 橡胶、塑料、尼龙制品应防止直接受日光照射,并不得置于炉子或其他取暖设备附近 1.5m 处的地方,还应防止油类对橡胶的污损。橡胶制品、填料等应存放在干燥通风的仓库内。

9.3.4 电子电器产品、自动化元件(装置)或仪表应存放在温度为 $-5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于 90%、无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体和强电磁场作用、不受灰尘、雨雪侵蚀的库房内。

9.3.5 供方从发货之日起至工地验收止,在正常的储运和吊装条件下应保证一年内不致因包装不善而引起产品的锈蚀、长霉、损坏和降低精度等。

10 安装、运行、维护及验收试验

10.1 安装和试运行

10.1.1 水轮机的安装和试运行必须符合 GB/T 8564—2003 和 DL/T 507—2002 的要求。

10.1.2 电站引水系统第一次充水前必须彻底清除引水系统及水轮机过流部件中的杂物,严防异物对水轮机造成损害。

10.1.3 试运行前应用油对调速系统各管道进行反复循环清洗,然后更换为符合 GB 11120—1989 规定的新油试运行。

10.1.4 一般情况下试运行持续时间为带负荷连续运行 72h。验收合格后由需方签署初步验收证书。

10.2 运行与维护

水轮机运行应符合 DL/T 710—1999 供方提供的产品使用维护说明书的规定。

10.3 验收试验

10.3.1 原型水轮机性能验收试验主要试验项目如下:

- a) 水轮机功率试验(按合同要求进行);
- b) 飞逸转速试验(按合同要求进行);
- c) 水轮机效率试验(按合同要求进行);
- d) 相对效率试验(按合同要求进行)。对转桨式水轮机宜用于修正导叶开口与叶片转角间的协联关系;
- e) 尾水管压力脉动试验(按合同要求进行);
- f) 甩负荷试验;
- g) 空蚀和磨蚀保证验证(反击式水轮机按 GB/T 15469 执行、冲击式水轮机按 GB/T 19184—2003 执行);
- h) 振动试验(按合同要求进行)。

10.3.2 现场验收由需方选择一台或多台机组在设备保证期内进行。

10.3.3 水轮机保证期满、各项技术保证满足合同要求后,由需方签署最终验收证明。

附录 A
(规范性附录)

反击式水轮机效率修正公式

A.1 第一种方法

混流式:

$$\Delta\eta = K \times (1 - \eta_{\max}) \times [1 - (D_m/D_p)^{0.2}] \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

轴流式:

$$\Delta\eta = K \times (1 - \eta_{\max}) \times [0.7 - 0.7(D_m/D_p)^{0.2} \times (H_m/H_p)^{0.1}] \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

式中:

η_{\max} ——模型水轮机的最优效率;

K ——系数, $K=0.5\sim 0.7$ (改造机组取小值, 新机组取大值);

D_m ——模型水轮机转轮公称直径, 单位为米(m);

D_p ——原型水轮机转轮公称直径, 单位为米(m);

H_m ——模型水轮机试验水头, 单位为米(m);

H_p ——原型水轮机水头, 单位为米(m)。

A.2 第二种方法

IEC 60193 推荐的反击式水轮机效率修正计算公式:

$$\Delta\eta_h = \delta_{\text{ref}} \left[\left(\frac{\text{Re}_{\text{uref}}}{\text{Re}_{\text{um}}} \right)^{0.16} - \left(\frac{\text{Re}_{\text{uref}}}{\text{Re}_{\text{up}}} \right)^{0.16} \right] \quad \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

$$\delta_{\text{ref}} = \frac{1 - \eta_{\text{hoptm}}}{\left(\frac{\text{Re}_{\text{uref}}}{\text{Re}_{\text{uoptm}}} \right)^{0.16} + \frac{1 - V_{\text{ref}}}{V_{\text{ref}}}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

式中:

$\Delta\eta_h$ ——模型效率换算为原型效率的修正值;

δ_{ref} ——标称的可换算为原型效率的修正值;

Re_{uref} ——标准的雷诺数;

Re_{um} ——计算点模型雷诺数;

Re_{up} ——计算点原型雷诺数;

Re_{uoptm} ——模型最优效率点雷诺数;

η_{hoptm} ——模型最优效率;

V_{ref} ——标准的损失分布系数(轴流转桨、斜流转桨和贯流转桨式水轮机取 0.8, 混流和轴流定桨、斜流定桨和贯流定桨式水轮机取 0.7)。

A.3 第三种方法

对过去已有的模型试验曲线和注明雷诺数和水温的模型试验资料, 建议按下式计算:

$$\Delta\eta_h = (1 - \eta_{\text{hoptm}}) \times V_m \times \left[1 - \left(\frac{\text{Re}_{\text{um}}}{\text{Re}_{\text{up}}} \right)^{0.16} \right] \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

$$V_m = V_{\text{optm}} = V_{\text{ref}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

$$\text{Re}_{\text{um}} = \text{Re}_{\text{uref}} = 7 \times 10^5 \quad \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

式中：

V_m ——模型的损失分布系数(轴流转桨、斜流转桨和贯流转桨式水轮机取 0.8,混流和轴流定桨、斜流定桨和贯流定桨式水轮机取 0.7)；

V_{optm} ——模型最优效率点的损失分布系数。

附录 B

(规范性附录)

冲击式水轮机效率修正公式

$$\Delta\eta_h = \eta_{hp} - \eta_{hm} = \Delta\eta_{Fr} + \Delta\eta_{we} + \Delta\eta_{Re} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\Delta\eta_h = \eta_{hp} - \eta_{hm}$$

$$= 5.7 \times \Phi_B^2 \times (1 - C_{Fr}^{0.3}) + 1.95 \times 10^{-6} \times \frac{C_{we} - 1}{\Phi_B^2} + 10^{-8} \times \frac{(C_{Re} - 1)^2}{\Phi_B^2} \quad \dots\dots (B.2)$$

其中:

$$\Phi_B = \frac{4Q_p}{Z_0 \times \pi \times (2g_p H_p)^{1/2} \times B_p^2} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

$$C_{Fr} = \frac{Fr_p}{Fr_m} = \left(\frac{g_p \times H_p}{g_m \times H_m} \right)^{1/2} \times \left(\frac{B_m}{B_p} \right)^{1/2} \times \left(\frac{g_m}{g_p} \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

$$C_{we} = \frac{We_p}{We_m} = \left(\frac{g_p \times H_p}{g_m \times H_m} \right)^{1/2} \times \left(\frac{B_p}{B_m} \right)^{1/2} \times \left(\frac{\rho_p}{\rho_m} \right)^{1/2} \times \left(\frac{\sigma_m^*}{\sigma_p^*} \right)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

$$C_{Re} = \frac{Re_p}{Re_m} = \left(\frac{g_p \times H_p}{g_m \times H_m} \right)^{1/2} \times \frac{B_p}{B_m} \times \frac{\gamma_m}{\gamma_p} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

 Φ_B ——流量系数; Q_p ——原型流量,单位为立方米每秒(m^3/s); Z_0 ——喷嘴数; g_p ——电站现场重力加速度; g_m ——实验室重力加速度; H_p ——原型水头,单位为米(m); H_m ——模型试验水头,单位为米(m); B_p ——原型水斗宽度,单位为米(m); B_m ——模型水斗宽度,单位为米(m); ρ_p ——原型运行时水的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3); ρ_m ——实验时水的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3); σ_p^* ——原型运行时水的表面张力,单位为焦耳平方米($J \cdot m^2$); σ_m^* ——实验时水的表面张力,单位为焦耳平方米($J \cdot m^2$); γ_p ——原型运行时水的粘性系数,单位为平方米每秒(m^2/s); γ_m ——实验时水的粘性系数,单位为平方米每秒(m^2/s)。

表 B.1 不同水温下水的表面张力

温度 θ ℃	表面张力 σ^* $J \cdot m^2$
5	0.074 9
10	0.074 2
15	0.073 5
20	0.072 8

表 B.1(续)

温度 θ ℃	表面张力 σ^* J · m ²
25	0.072 0
30	0.071 2
35	0.069 6

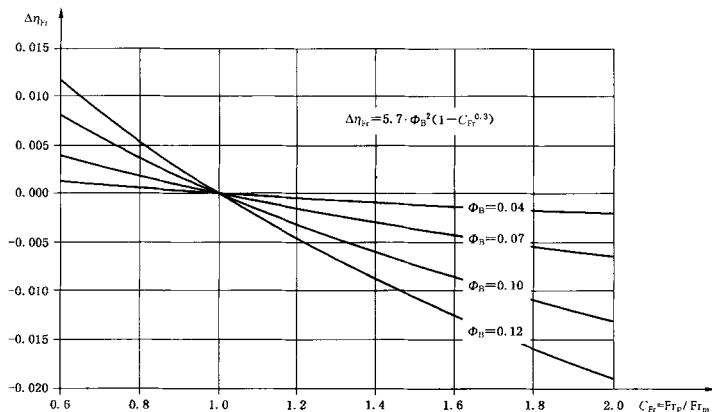


图 B.1 佛汝德数的影响

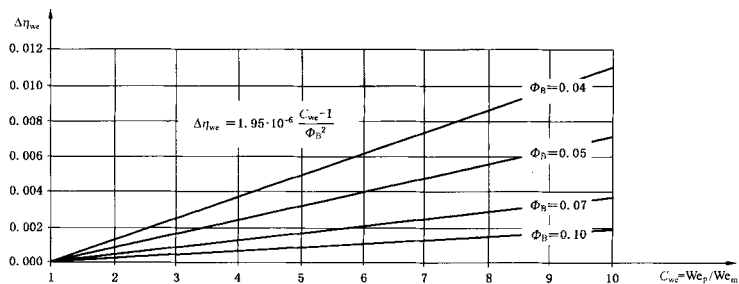


图 B.2 韦伯数的影响

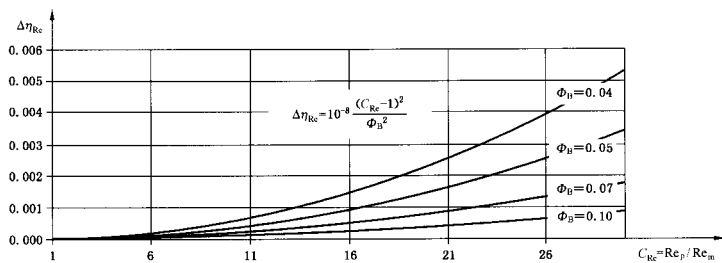


图 B.3 雷诺数的影响

附 录 C
(资料性附录)
水轮机设备的仪表

表 C.1 水轮机设备的仪表

仪 表 名 称	混流式	轴流式	冲击式
水轮机进口压力表(钢管或蜗壳压力)	√	√	√
活动导叶后转轮进口前压力表	√	√	
★上密封环后压力表	√		
★下密封腔压力表	√		
转轮顶部压力表	√	√	
机壳真空压力表			√
尾水管真空压力表	√	√	
★尾水管扩散段末端压力表	√	√	
主轴密封水压力表	√	√	
★水轮机差压流量计	√	√	√
★水轮机振动监测表	√	√	√
★主轴摆度监测表	√	√	√
导轴承温度计	√	√	√
导轴承冷却水或水导轴承润滑水压力表	√	√	√
★抬机数字显示记录表	√	√	√

注：表中带★号项目是否提供由供需双方商定。未列项目也由供需双方另行商定。

附录 D

(规范性附录)

主轴相对振动位移峰-峰值推荐评价区域

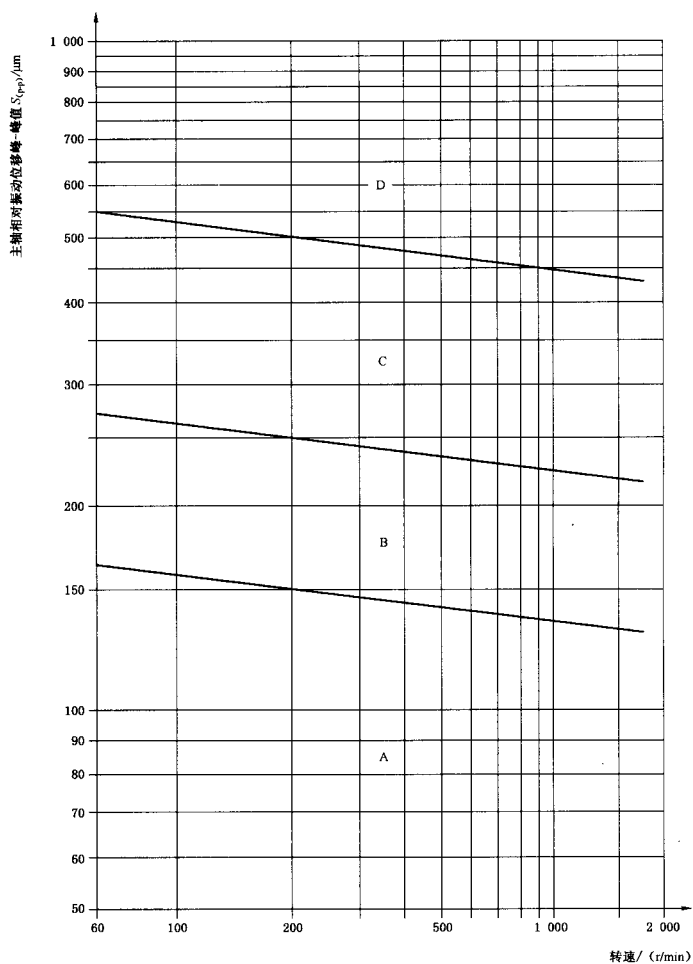


图 D.1 主轴相对振动位移峰-峰值推荐评价区域

附 录 E
(规范性附录)
水轮机备品备件表

表 E.1 混流式水轮机备品、备件

序号	备品、备件名称	单位	数 量			备 注
			1~2 台机	3~4 台机	5 台 以上	
1	导叶上、中、下轴套	套	1/2	1	2	
2	导叶密封圈	套	每台机一套			
3	导叶分半键	套	1/3	1/2	1	
4	导叶剪断销(拉断螺栓)	套	1/2	1	2	
5	导叶连杆轴套	套	1/4	1/2	1	
6	主轴工作密封件	套	每台机一套			
7	主轴检修密封件	套	每台机一套			
8	水导轴瓦	套	1	1	2	
9	接力器活塞环	套	1	1	2	
10	接力器固定密封圈	套	1	1	2	
11	顶盖、底环抗磨板	套	1	1	1	过流面留加工余量
12	弹 簧	套	1	1	2	
13	上下固定止漏环	套	1	2	3	

表 E.2 轴流式水轮机备品、备件

序号	备品、备件名称	单位	数 量			备 注
			1~2 台机	3~4 台机	5 台 以上	
1	导叶上、中、下轴套	套	1/2	1	2	
2	导叶密封圈	套	每台机一套			
3	导叶分半键	套	1/3	1/2	1	
4	导叶剪断销(拉断螺栓)	套	1/2	1	2	
5	导叶连杆轴套	套	1/4	1/2	1	
6	主轴工作密封件	套	每台机一套			
7	主轴检修密封件	套	每台机一套			
8	水导轴瓦	套	1	1	2	
9	水导轴承用油盘	套	1	1	1	
10	接力器活塞环	套	1	1	2	
11	接力器固定密封圈	套	1	1	2	

表 E.2(续)

序号	备品、备件名称	单位	数 量			备 注
			1~2 台机	3~4 台机	5 台 以上	
12	各类弹簧	套	1	1	2	
13	抬机抗磨环	套	1	1	1	
14	转轮叶片密封	套	每台机一套			
15	转轮叶片枢轴密封压板	套	每台机一套			
16	受油器轴套	套	2	2	3	
17	受油器浮动瓦	套	2	2	3	

表 E.3 灯泡贯流式水轮机备品、备件

序号	备品、备件名称	单位	数 量			备 注
			1~2 台机	3~4 台机	5 台 以上	
1	导叶上、下轴套	套	1/2	1	2	
2	导叶密封圈	套	每台机一套			
3	导叶分半键	套	1/3	1/2	1	
4	导叶保护装置	套	1/2	1	2	
5	导叶连杆轴套	套	1/4	1/2	1	
6	主轴工作密封件	套	每台机一套			
7	主轴检修密封件	套	每台机一套			
8	水导径向轴瓦	套	1	1	2	
9	接力器活塞环	套	1	1	2	
10	接力器固定密封圈	套	1	1	2	
11	各类弹簧	套	1	1	2	
12	转轮叶片密封圈	套	每台机一套			
13	转轮叶片枢轴密封压板	套	每台机一套			
14	受油器轴套	套	2	2	3	
15	受油器浮动瓦	套	2	2	3	

表 E.4 冲击式水轮机备品、备件

序号	备品、备件名称	单位	数 量			备 注
			1~2 台机	3~4 台机	5 台 以上	
1	喷嘴口	套	每台一套			
2	喷嘴针头	套	每台一套			
3	喷嘴杆轴套	套	1	2	3	

表 E. 4(续)

序号	备品、备件名称	单位	数 量			备 注
			1~2 台机	3~4 台机	5 台 以上	
4	折向器刀板	套	1	1	2	
5	接力器活塞环	套	每台一套			
6	接力器固定密封圈	套	每台一套			
7	制动喷嘴操作阀	套	1	1	1	
8	导轴瓦	套	1	1	1	
9	转轮	各	1	1	1	

该附录中表 E. 1、E. 2、E. 3、E. 4 为水轮机备品、备件的基本配置表。备品、备件也可由供需双方另行商定。