



# 团 体 标 准

T/ZZB XXXXX—XXXX

## 150MW 及以上立式轴流转浆水轮机

large-capacity vertical Kaplan turbines above 150MW

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(工作组讨论稿)

20230806

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省质量协会

发布

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本要求 .....	1
5 设计与校验 .....	2
6 技术要求 .....	2
7 试验方法 .....	4
8 检验规则 .....	5
9 铭牌、包装、运输及贮存 .....	6
10 质量承诺 .....	7
附录 A（资料性附录） 水轮机的设计和校验 .....	8
附录 B（规范性附录） 备品备件 .....	11
附录 C（规范性附录） 主轴相对振动位移峰-峰值推荐评价区域 .....	12

## 前 言

本文件依据GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由浙江省质量协会提出并归口。

本文件由浙江富春江水电设备有限公司组织制定。

本文件主要起草单位：浙江富春江水电设备有限公司。

本文件参与起草单位：杭州康鹏机械制造有限公司，浙江永誉机械制造有限公司。

本文件主要起草人：张续钟, 沈钊根, 李昀哲, 凌成震, 周庆大, 施旭明, 孙东明, 沈杰。

本文件评审组长：XXX XXX。

本文件由浙江富春江水电设备有限公司负责解释。

# 150MW 及以上立式轴流转浆水轮机

## 1 范围

本文件规定了150MW及以上立式轴流转浆水轮机（以下简称“水轮机”）的基本要求、设计与校验、技术要求、试验方法、检验规则、铭牌、包装、运输及贮存和质量承诺。

本文件适用于功率为150MW及以上且转轮公称直径8m及以上的立式轴流转浆水轮机。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 2900.45 电工术语 水电站水力机械设备
- GB/T 3768 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 采用反射面上方包络测量面的简易法
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 6967 工程结构用中、高强度不锈钢铸件
- GB/T 9239.1-2006 机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求 第1部分：规范与平衡允差的检验
- GB/T 10969-2008 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机通流部件技术条件
- GB/T 11805-2019 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 13683 销 剪切试验方法
- GB/T 15468-2020 水轮机基本技术条件
- GB/T 17189-2017 水力机械（水轮机、蓄能泵和水泵水轮机）振动和脉动现场测试规程
- GB/T 20043-2005 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机水力性能现场验收试验规程
- GB/T 28546 大中型水电机组包装、运输和保管规范
- JB/T 1270-2014 水轮机、水轮发电机大轴锻件 技术条件
- JB/T 6402 大型低合金钢铸件
- JB/T 7349 水轮机不锈钢叶片铸件
- IEC 60041: 1991 水轮机蓄能泵和水泵水轮机现场验收规程(Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines)
- IEC 60193:1999 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机 模型验收试验(Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Model acceptance tests)

## 3 术语和定义

GB/T 15468-2020、GB/T 2900.45规定的术语和定义适用于本文件。

## 4 基本要求

## 4.1 设计研发

- 4.1.1 应采用有限元方法对转轮体、叶片、主轴等重要部件的刚强度进行设计、计算分析，并进行疲劳分析。
- 4.1.2 应具备对整机或部件进行动态响应分析的能力，以防引起共振现象。
- 4.1.3 应具备水轮机 CFD 分析、模型设计、模型机制造、模型试验能力。

## 4.2 原材料与零部件

- 4.2.1 转轮室采用耐腐蚀性能不低于的 04Cr13Ni5Mo 不锈钢制作，其材料性能符合或优于 GB/T 4237 的相关规定和要求。
- 4.2.2 水轮机转轮叶片应采用屈服和拉伸强度不低于 VOD 精炼 04Cr13Ni5Mo 马氏体不锈钢材料制造。
- 4.2.3 凡是与水接触的紧固件应采用防锈或耐腐蚀性能不低于 35CrMo 合金钢制作。
- 4.2.4 水轮机主轴锻件应采用符合或优于 JB/T 1270-2014 中 5.1、5.2 以及 5.3 规定的相关材料和要求。
- 4.2.5 水轮机转轮叶片、导叶等不锈钢铸件应采用符合或优于 GB/T 6967 及 JB/T 7349 规定的相关材料
- 4.2.6 水轮机转轮体等铸件应采用符合或优于 JB/T 6402 规定的相关材料
- 4.2.7 轴瓦应采用巴氏合金材料。轴瓦与瓦基接触面应不小于 95%，且单个脱壳面积不大于 1%；表面采用渗透法探伤应无缺陷。轴瓦与瓦基结合面应进行 100% 超声波检查。

## 4.3 工艺与装备

- 4.3.1 转轮叶片应经抛光处理，并进行无损探伤。
- 4.3.2 转轮体采用自动化堆焊，堆焊层厚度应不小于 3mm。
- 4.3.3 应具备五轴联动加工中心、数控车床、数控铣镗床、数控火焰切割机、卷板机等加工设备。
- 4.3.4 应具备水轮机主轴和发电机主轴的联轴检查能力。

## 4.4 检验检测

- 4.4.1 应具备超声波探伤仪，磁粉探伤仪，液压式万能试验机，水力试验台等检测设备。
- 4.4.2 应具备叶片无损检测、水轮机模型水力模拟等测试的能力。

## 5 设计与校验

水轮机的设计和校验参照附录A的方法进行。

## 6 技术要求

### 6.1 主要零部件

- 6.1.1 水轮机叶片和导叶的尺寸、粗糙度、波浪度应符合 GB/T 10969-2008 中 4.7.1, 4.8.1, 4.8.2 的要求。
- 6.1.2 水轮机转轮室以及尾水管尺寸、粗糙度应符合 GB/T 10969-2008 中 4.7.1, 4.8.1 的要求。

- 6.1.3 转轮静平衡应符合 GB/T 9239.1-2006 中的 G6.3 级的要求。
- 6.1.4 采用摩擦装置和剪断销联合作用的接力器保护装置，剪断销的破断力不应小于 1.5 倍的接力器额定操作力作用于剪断销上的力。
- 6.1.5 水轮机叶片、导叶等易空蚀和磨蚀损坏处表面硬度应不低于 221HBW。
- 6.1.6 转轮叶片外缘与转轮室之间的单边间隙应不大于转轮公称直径的 0.1%，不小于转轮公称直径的 0.05%。
- 6.1.7 水轮机转轮宜优先采用无油润滑转轮。

## 6.2 空化

- 6.2.1 模型机装置空化系数与临界空化系数之比应不低于 1.20。
- 6.2.2 模型机装置空化系数与初生空化系数之比应不低于 1.05。

## 6.3 压力脉动

原型水轮机尾水管进口下游侧压力脉动峰-峰值不应大于相应运行水头的5%。

## 6.4 温升

水轮机在额定工况运行时，其稀油润滑的导轴承的轴瓦最高温度不应超过70℃；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60℃。

## 6.5 功率

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应不低于设计输入的功率要求。

## 6.6 效率

水轮机的最优效率应不低于95%以上。

## 6.7 频率

转轮室、底环、转轮叶片、活动导叶、固定导叶的固有频率应与水力激振频率至少错开 10%。

## 6.8 径向振动

- 6.8.1 在稳定运行范围（35%~100%Pr）内，水轮机顶盖振动值，应不大于表 1 的规定要求。

表1 顶盖振动允许值

项 目	额定转速 (r/min)			
	≤100	>100~250	>250~375	>375~750
	振动允许值（双振幅） (μm)			
水平振动	80	65	45	30
垂直振动	100	85	55	30

- 6.8.2 在稳定运行范围内正常运行时，主轴相对振动（摆度）应不大于附录 B 中所规定的 B 区上限线。

6.8.3 空载工况下，主轴相对振动（摆度）应不大于轴承冷态间隙的 70%。

## 6.9 噪声

水轮机在稳定运行范围内正常运行时，水轮机机坑地板上方1m处所测得的噪声不应大于95dB(A)，在距尾水管进入门1m处所测得的噪声不应大于95dB(A)。

## 6.10 控制系统

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

6.10.2 水轮机自动控制系统应能实现当运行中发生故障能及时发出信号、警报或停机的功能；

6.10.3 发生下列情况之一时，水轮机应能自动事故停机或紧急停机：

- a) 转速超过过速保护值；
- b) 压油罐内油压低于事故低油压或压力罐油位降于事故低油位；
- 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、摆度；
- f) 在运行中控制电源消失时；
- g) 水润滑的接触式主轴密封润滑水中断时。

## 7 试验方法

### 7.1 试验条件

试验应在最大和最小水头范围内，水轮机功率为35%~100%范围内进行。

### 7.2 主要零部件

7.2.1 叶片、导叶的尺寸和叶型采用千分尺、复合式激光三维扫描仪等进行测量，粗糙度采用粗糙度测量仪测量，波浪度采用刀口尺直接测量或平尺与塞尺配合测量。

7.2.2 转轮室、尾水管的尺寸采用千分尺、水平仪和水准仪等进行测量，粗糙度采用粗糙度测量仪测量。

7.2.3 转轮静平衡按照 GB/T 9239.1 的方法进行。

7.2.4 剪断销的破断力按 GB/T 13683 的方法进行。

7.2.5 转轮叶片外缘与转轮室之间的单边间隙采用间接测量法测量。

7.2.6 水轮机叶片、导叶等表面硬度采用硬度计测量。

### 7.3 空化

空化测试按照IEC 60193:1999中2.3.3.3.6的规定。

### 7.4 压力脉动

原型水轮机尾水管进口下游侧压力脉动峰-峰值的测试按照GB/T 17189-2017中7.4的规定进行。

### 7.5 温升

水轮机在额定工况运行时，通过热电阻温度计测量导轴承的轴瓦、径向推力轴承轴瓦最高温度。

## 7.6 功率

水轮机功率按照GB/T 20043-2005中第4篇的规定或IEC 60041:1991中第12节的要求,以间接法求取。也可按照IEC 60193:1999中3.6, 3.7测试模型机力矩和转速,并依据IEC 60193:1999中3.8规定的方法通过模型测试结果换算至真机功率。当结果不一致时,优先采信前者的结果。

## 7.7 效率

水轮机效率试验按照GB/T 20043-2005中第7篇的规定或IEC 60041:1991中第14节的要求,以热力学法求取。也可按照IEC 60193:1999中3.2, 3.3, 3.6, 3.7测试模型机流量、压力、力矩和转速,并依据IEC 60193:1999中3.8规定的方法通过模型测试结果换算至真机效率。当结果不一致时,优先采信前者的结果。

## 7.8 频率

转轮室、底环、转轮叶片、活动导叶、固定导叶的固有频率采用锤击法测试。

## 7.9 振动

水轮机的振动的测量按照GB/T 32584及GB/T 17189-2017中7.2的规定进行。

## 7.10 噪声

噪声声压级的检测应按GB/T 3768执行。

## 7.11 控制系统

水轮机自动控制系统的检测应按照GB/T 11805-2019中7的有关规定进行。

## 8 检验规则

### 8.1 检验分类

水轮机检验分出厂检验和型式试验。

### 8.2 出厂检验

8.2.1 每台水轮机应经检验合格方能出厂。

8.2.2 现场试验应在下列情况之一时进行:

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定;
- b) 正式生产后,如结构、材料、工艺有较大改变,可能影响产品性能时;
- c) 产品长期停产后,恢复生产时;
- d) 出厂检验结果与上次现场试验有较大差异时;
- e) 客户提出时。

### 8.3 检验项目

出厂检验、模型试验和现场试验项目可按照表2的规定进行。

表2 立式轴流转浆水轮机试验项目表



序号	项目	出厂试验	模型试验	现场试验	技术要求	试验方法
1	主要部件	√	/	√	6.1	7.2
2	空化	/	√	/	6.2	7.3
3	压力脉动	/	√	√	6.3	7.4
4	温升	/	/	√	6.4	7.5
5	功率	/	√	√	6.5	7.6
6	效率	/	√	√	6.6	7.7
7	频率	/	/	√	6.7	7.8
8	振动	/	/	√	6.8	7.9
9	噪声	/	/	√	6.9	7.10
10	控制系统	/	/	√	6.10	7.11
注：“√”为检测项目，“/”为非检测项目						

#### 8.4 判定规则

8.4.1 水轮机经出厂检验，所检项目全部合格则判定该产品为合格品，如有不合格项，允许进行修整，调试直到检验合格后方可出厂。

8.4.2 现场试验应从出厂检验合格品中选择1台进行试验，全部项目合格即判定该产品型式试验合格，如有一项不合格则该型式试验判为不合格。

### 9 铭牌、包装、运输及贮存

#### 9.1 水轮机铭牌

内容应至少包括：

- a) 产品名称、型号；
- b) 供方名称；
- c) 执行标准编号或技术条件编号；
- d) 供方出品编号；
- e) 最大水头；
- f) 额定水头；
- g) 最小水头；
- h) 额定功率；
- i) 最大功率；
- j) 额定流量；
- k) 额定转速；
- l) 飞逸转速；
- m) 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 GB/T 28546 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收货单位。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 贮存

- 9.3.1 水轮机的各加工工件不应随意叠放。
- 9.3.2 水轮机的各加工件运抵工地拆箱后，应避免日晒雨淋。
- 9.3.3 橡胶、塑料、尼龙制品应存放在干燥通风的仓库内，防止直接受日光照射，防止油类对橡胶的污损。制品距炉子或其他取暖设备的距离不小于 1.5 m。
- 9.3.4 电子电器产品、自动化元件（装置）或仪表应存放的库房，温度为 $-5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内，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。
- 9.3.5 供方自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 质量承诺

生产厂家应在接到顾客诉求24h内作出响应，48h内提供解决方案。

水轮机自验收后2年内正常工况下运行，如出现质量事故生产厂家应免费维修或更换。10年内应提供备品备件，备品备件清单见附录C。

水轮机平均寿命不少于40年。

附 录 A  
(资料性附录)  
水轮机的设计和校验

## A.1 设计

### A.1.1 设计输入

水轮机的设计研发应根据应用环境，设定下列基本技术参数：

- a) 设计洪水位
- b) 正常蓄水位
- c) 死水位
- d) 校核洪水尾水位
- e) 设计洪水尾水位
- f) 设计尾水位
- g) 最低尾水位
- h) 最大水头
- i) 最小水头
- j) 加权平均水头
- k) 加权因子
- l) 额定水头
- m) 电站总装机容量
- n) 装机台数
- o) 多年平均发电量
- p) 年利用小时
- q) 水位流量关系
- r) 机组中心线高程
- s) 原型水轮机转轮直径限制
- t) 过机水质
- u) 气象条件
- v) 地震设防烈度下相应的地震加速度
- w) 运行特点及要求

### A.1.2 设计输出

设计输出应包含下列项目：

- a) 流道主要尺寸；
- b) 转轮公称直径；
- c) 额定流量；
- d) 额定转速；
- e) 最高飞逸转速（协联/非协联）；
- f) 额定功率；

- g) 最优工况功率；
- h) 最大功率；
- i) 额定效率；
- j) 最优效率；
- k) 加权平均效率；
- l) 比转速；
- m) 初生空化系数；
- n) 临界空化系数；
- o) 装置空化系数；
- p) 模型综合特性曲线；
- q) 运转特性曲线；
- r) 压力脉动；
- s) 压力脉动峰-峰值；
- t) 卡门涡列频率；
- u) 轴系临界转速；
- v) 额定流量；
- w) 导叶开度；
- x) 转轮叶片转角范围；
- y) 转动惯量；
- z) 转轮质量；
- aa) 主轴质量；
- bb) 水轮机总质量；
- cc) 导叶开度与接力器行程关系曲线；
- dd) 空载流量与水头关系曲线、空载流量与接力器行程关系曲线；
- ee) 过渡过程计算报告；
- ff) 水轮机基础荷载；
- gg) 水轮机各主要部件的结构和材料说明及现场安装说明；
- hh) 水轮机主要部件的刚强度计算和疲劳分析报告；
- ii) 水轮机各大件的运输、起重限制尺寸和质量；
- jj) 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；
- kk) 水轮机各大部件运输要求、现场仓储要求；
- ll) 其他技术保证值。

### A. 1.3 结构形式

A. 1.3.1 水轮机结构设计应考虑易损部件的检查、拆装、维修更换的方便性，实现无需拆卸发电机转子、定子和水轮机转轮、主轴等部件的情况下直接更换下列零部件：

- a) 水轮机导轴承瓦、冷却器和主轴密封；
- b) 水轮机导水机构接力器的密封及活塞环（组合密封圈及导向带）、传动部件、导叶中轴径密封件及保护元件；
- c) 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；

A. 1.3.2 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。

A. 1.3.3 水轮机应选用标准零部件提高其通用性和互换性。如采用摩擦传递扭矩的转轮等。

- A. 1.3.4 采用金属蜗壳，蜗壳及座环设计应按单独承受设计压力（蜗壳内的最高瞬态压力）。采用混凝土蜗壳的座环设计应考虑其支撑的混凝土重量和其他垂直负荷。
- A. 1.3.5 转轮叶片的操作机构应动作灵活。协联装置应准确可靠。
- A. 1.3.6 水轮机应设置紧急停机时的自然补气装置。
- A. 1.3.7 转轮叶片上不宜开吊孔，且外缘益设置防气蚀边。
- A. 1.3.8 受油器及其装配部件应有绝缘材料与发电机所有连接处隔开以防止产生轴电流。
- A. 1.3.9 转轮设计安装应考虑各工况下的下沉量。
- A. 1.3.10 应设置可靠的防抬机措施和止推装置。
- A. 1.3.11 进人门设置与尾水管上，尺寸不宜小于  $\phi 600\text{mm}$  或  $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ ，方形进人门四角应倒圆。
- A. 1.3.12 尾水管应设置易于拆装、有足够承载能力的轻型检修平台。
- A. 1.3.13 水轮机室顶部应设置起吊设施。
- A. 1.3.14 顶盖排水设备应一用两备。
- A. 1.3.15 应对整机进行动态响应分析，以防引起共振。
- A. 1.3.16 水轮机的导叶在水力矩全开至空载间宜有自关闭趋势，导水机构的保护装置（如剪断销、摩擦副、限位块等）的设计应按照下列方法进行：
- 限位块的设计应具有足够的刚强度，宜设置缓冲垫；
  - 采用摩擦装置和剪断销联合作用的保护装置，剪断销的破断力不宜小于 1.5 倍的接力器额定操作力作用于剪断销上的力；
  - 在全关位置宜设液压和手动锁定装置，在全开位置宜设手动锁定装置。

#### A. 1.4 工作应力和安全系数

- A. 1.4.1 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，设计时应留有足够的安全余量。
- A. 1.4.2 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宜采用有限元法分析计算。
- A. 1.4.3 水轮机部件的工作应力应按工况分别考核，分为正常工况、过渡工况和特殊工况，其中正常工况是指机组正常工作状态下所发生的各种载荷工况，包括停机、空载、发电等；过渡工况是启动过程、停机过程、甩负荷过程；特殊工况是指飞逸、导叶卡阻、导叶保护装置破坏、地震等。
- A. 1.4.4 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  $21\text{MPa}$ ，其他黑色金属最大剪应力不得超过许用拉应力的  $70\%$ ，但其中机组导叶轴的最大剪应力不得超过许用应力的  $60\%$ 。
- A. 1.4.5 所有部件的工作应力应不超过规定的许用应力。除转轮和主轴外，其余部件正常工况和过渡工况下采用经典公式计算的断面应力应不大于表 A.1 规定的许用应力，特殊工况下采用经典公式计算的断面应力应不大于材料屈服强度的  $2/3$ 。

表A.1 部件正常工况和过渡工况许用应力

单位：MPa

材料名称	许用应力	
	拉应力	压应力
灰铸铁和球墨铸铁	抗拉强度的 $1/10$	70
碳素铸钢和合金铸钢	抗拉强度的 $1/5$ 且屈服强度的 $1/3$	抗拉强度的 $1/5$ 且屈服强度的 $1/3$
碳钢锻件	抗拉强度的 $1/3$	屈服强度的 $1/3$
合金钢锻件	抗拉强度的 $1/5$ 且屈服强度的 $1/3$	抗拉强度的 $1/5$ 且屈服强度的 $1/3$

主要受力部件的碳素钢板	抗拉强度的1/4	抗拉强度的1/4
高强度钢板（抗拉强度 $\geq 440$ MPa）	屈服强度的1/3	屈服强度的1/3
其他材料	抗拉强度的1/5且屈服强度的1/3	抗拉强度的1/5且屈服强度的1/3

A. 1. 4. 6 对于承受剪切和扭转力矩的零部件，铸铁的最大剪应力应不超过21 MPa，其他黑色金属最大剪应力不得超过许用拉应力的70%，但其中导叶轴的最大剪应力不得超过许用应力的60%。

A. 1. 4. 7 当无预应力要求时，在正常工况和过渡工况下，由工作载荷引起的螺栓的应力不大于螺栓材料屈服强度的1/3。

A. 1. 4. 8 除另有规定外，当要求有预应力时，预紧力应不小于正常工况和过渡工况下连接对象的最大工作荷载折算到螺栓轴向荷载的2.0倍，螺栓的工作综合应力在正常工况和过渡工况下不大于螺栓材料屈服强度的2/3，在特殊工况下不大于螺栓材料屈服强度的4/5。螺栓预紧过程中最大综合应力不得超过材料屈服强度的7/8，且各螺栓之间的预紧力测量值偏差不得超过设计值的 $\pm 5\%$ 。对顶盖和座环把合螺栓的预紧力取值，在正常工况和过渡工况下应不小于表A. 2。

表A. 2 顶盖和座环把合螺栓的预紧力取值

机组最大水头（Hmax）	$400\text{m} \leq H_{\text{max}} \leq 500\text{m}$	$500\text{m} \leq H_{\text{max}}$
螺栓预紧力与最大工作载荷的倍数	2.3	2

A. 1. 4. 9 由有限元方法得到的应力分析，应给出应力分布，宜指出局部应力的部位云图，并提取出部件的平均应力和局部应力，在正常工况和过渡工况下非应力集中处的平均应力不大于表2规定的许用应力，局部应力（在考虑过渡圆角情况下有限元的计算结果）不得超过材料屈服强度的2/3，特殊工况下局部最大应力不得超过材料的屈服强度。对承受交变应力的零部件，应进行疲劳强度核算。

A. 1. 4. 10 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1/4；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。

A. 1. 4. 11 主轴最大复合应力 $S_{\text{max}}$ 的定义为： $S_{\text{max}} = (S^2 + 3T^2)^{1/2}$ ，其值不应超过材料屈服强度的1/4。式中，S为由于水力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 $S_{\text{max}}$ 并计入应力集中后出现的最大应力不应超过材料屈服强度的2/5。且水轮机在最大功率时主轴扭转切应力不应超过材料屈服强度的1/6。

### A. 1. 5 校验和计算

A. 1. 5. 1 进行轴系计算时，转轮的质量不平衡量按GB/T 9239.1中的G6.3级计算。

A. 1. 5. 2 主轴联轴螺栓预紧力宜不小于3倍的正常工况下最大工作载荷。

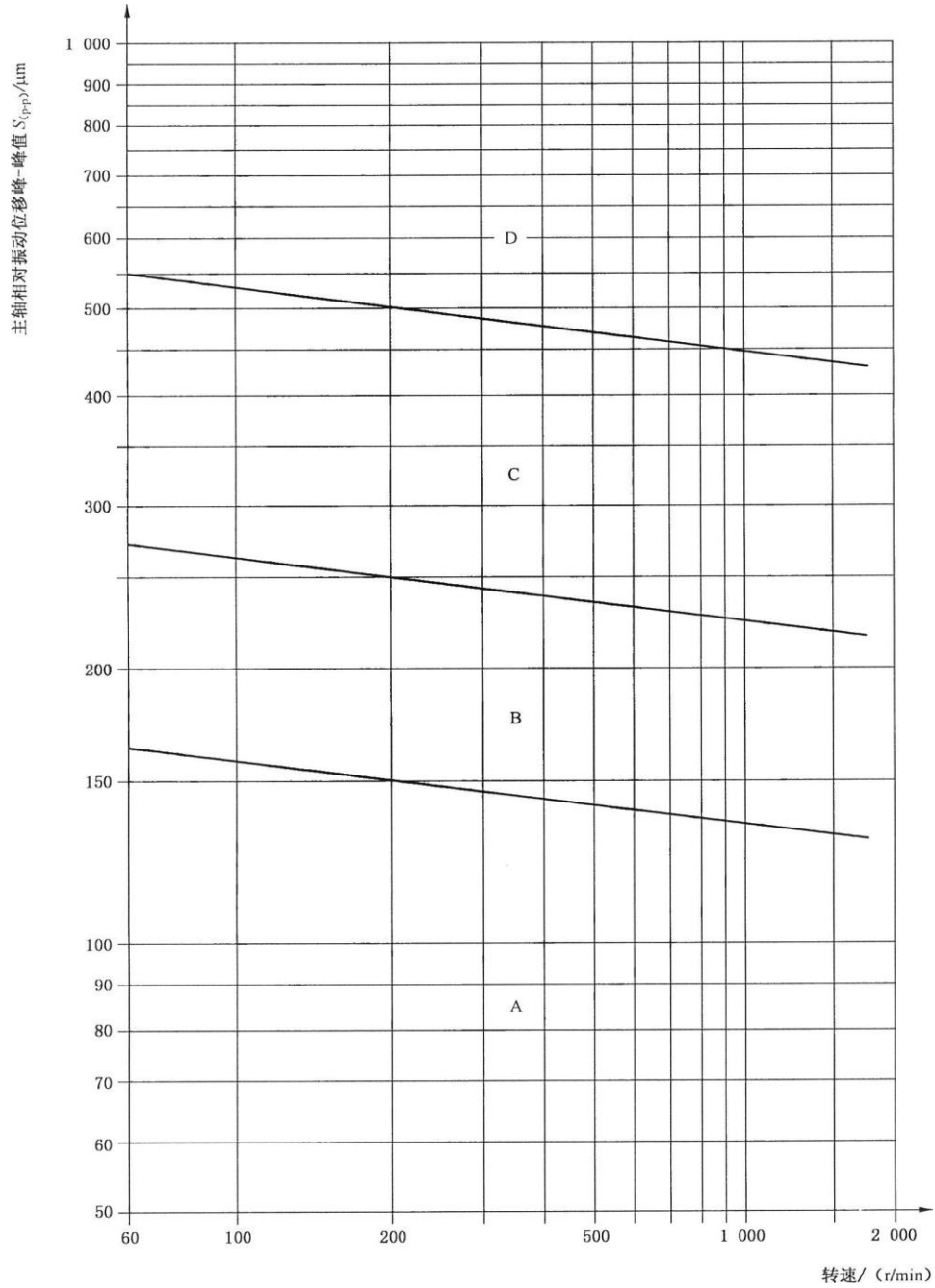
A. 1. 5. 3 计算水轮机轴系的第一阶临界转速，应不小于最高瞬态飞逸转速的120%。

A. 1. 5. 4 经计算在额定水头下，导叶漏水量不应大于水轮机额定流量的0.3%。

A. 1. 5. 5 应对整机进行动态响应分析，以防引起共振。

A. 1. 5. 6 水轮机在最高飞逸转速下允许持续时间应不小于配套发电机允许的飞逸时间，并保证转动部件不产生有害变形和碰撞损坏。

附 录 B  
(规范性附录)  
主轴相对振动位移峰-峰值推荐评价区域



图A.1 主轴相对振动位移峰-峰值推荐评价区域

附 录 C  
(规范性附录)  
备品备件

表B.1 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	导叶销（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	水导轴承甩油盘	套	1	1	2	若有
10	接力器活塞环或组合密封	套	1	1	2	
11	接力器固定密封圈	套	1	1	2	
12	各类弹簧	套	1	1	2	
13	抬机抗磨环					
12	转轮叶片密封	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	

注：该附录中表为轴流式水轮机备品、备件的基本配置表。备品、备件也可由供需双方另行商定。