

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 22581—2024

代替 GB/T 22581—2008

## 混流式水泵水轮机基本技术条件

Fundamental technical requirements for Francis pump-turbines

2024-05-28 发布

2024-12-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 2

    3.1 抽水蓄能电站水库水位 ..... 2

    3.2 电站毛水头/毛扬程 ..... 3

    3.3 水头和扬程 ..... 3

    3.4 流量 ..... 5

    3.5 转速 ..... 6

    3.6 功率和转矩 ..... 7

    3.7 效率 ..... 9

    3.8 转轮公称直径 ..... 10

    3.9 空化、空蚀、磨损 ..... 11

    3.10 水泵水轮机模型试验 ..... 13

    3.11 压力脉动 ..... 14

    3.12 S 区裕度 ..... 15

    3.13 驼峰区裕度 ..... 15

    3.14 水力激振 ..... 16

    3.15 动静干涉 ..... 16

    3.16 相位共振 ..... 16

    3.17 运行工况 ..... 16

4 技术要求 ..... 16

    4.1 一般要求 ..... 16

    4.2 主要部件的结构和材料 ..... 19

5 性能保证 ..... 23

    5.1 频率范围 ..... 23

    5.2 保证期 ..... 23

    5.3 稳态水力性能 ..... 23

    5.4 水泵水轮机运行稳定性 ..... 24

    5.5 机组水力过渡过程 ..... 24

    5.6 导叶漏水量 ..... 24

    5.7 噪声 ..... 24

    5.8 正反向水推力 ..... 25

5.9 可靠性指标 ..... 25

6 供货范围和备品、备件 ..... 25

6.1 供货范围 ..... 25

6.2 备品、备件 ..... 25

7 资料与图纸..... 25

7.1 交付时间和数量 ..... 25

7.2 主要内容 ..... 25

8 工厂检验及试验..... 26

9 铭牌、包装、运输及保管..... 27

9.1 铭牌 ..... 27

9.2 包装及运输 ..... 28

9.3 保管 ..... 28

10 安装、运行、维护及验收试验 ..... 28

10.1 安装和试运行 ..... 28

10.2 运行与维护 ..... 28

10.3 验收试验 ..... 28

附录 A (资料性) 水泵水轮机设备的仪表及自动化元件 ..... 30

附录 B (资料性) 水泵水轮机备品、备件 ..... 32

参考文献 ..... 33



前 言

本文件按照 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。

本文件代替 GB/T 22581—2008《混流式水泵水轮机基本技术条件》，与 GB/T 22581—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 删除了术语“上水库校核洪水位”“下水库校核洪水位”“下水库正常高水位”“加权平均水头”（见 2008 年版的 3.1.1、3.1.6、3.1.9、3.3.4）；
- b) 更改了水头和扬程的相关定义（见 3.3，2008 年版的 3.3）；
- c) 增加了术语“异常低水头”“S 区裕度”“驼峰区裕度”“水力激振”“动静干涉”“相位共振”“正常运行工况”“过渡工况”和“特殊工况”（见 3.3.5、3.12~3.16、3.17.1、3.17.2、3.17.3）；
- d) 更改了效率的相关定义（见 3.7，2008 年版的 3.7）；
- e) 更改了压力脉动的相关定义（见 3.11，2008 年版的 3.11）；
- f) 更改了对螺栓预应力要求的说明（见 4.2.2.6，2008 年版的 4.2.2.6）；
- g) 将“压水供气系统”更改为“压水系统”，并更新了相关内容（见 4.2.4，2008 年版的 4.2.4）；
- h) 增加了在电网标称频率下，水轮机工况 S 区裕度不宜小于  $0.06 \times H_{gmin} + 8$  m（见 5.4.1）；
- i) 增加了关于水力激振、动静干涉、相位共振对运行稳定性影响的要求（见 5.4.5）；
- j) 删除了“振动”的部分条款，将其相关要求并入“水泵水轮机运行稳定性”（见 5.4.6~5.4.9，2008 年版的 5.5）；
- k) 更改了顶盖垂直和水平方向振动值的相关内容（见表 2，2008 年版的表 2）；
- l) 更改了导叶漏水量要求（见 5.6，2008 年版的 5.7）；
- m) 更改了噪声要求（见 5.7，2008 年版的 5.8）；
- n) 更改了供货范围和备品备件、资料与图纸、工厂检验及试验、铭牌、包装、运输及保管、安装、运行、维护及验收试验等内容（见第 6 章~第 10 章，2008 年版的第 6 章~第 10 章）。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国水轮机标准化技术委员会(SAC/TC 175)归口。

本文件起草单位：哈尔滨电机厂有限责任公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、东方电气集团东方电机有限公司、上海福伊特水电设备有限公司、中国水利水电科学研究院、南方电网储能股份有限公司、国网新源控股有限公司抽水蓄能技术经济研究院、中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司、中国水利电力对外有限公司、中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司、国网新源控股有限公司、华电电力科学研究院有限公司、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：戴然、陈顺义、常喜兵、王威、郑应霞、王伦其、林有清、张海平、杨小龙、张飞、伍志军、张鹏、易忠有、孟鹏、王泉龙、胡清娟、张建光、刘霞、刘婷婷、蒋登云、游超、王磊。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2008 年首次发布为 GB/T 22581—2008；
- 本次为第一次修订。

# 混流式水泵水轮机基本技术条件

## 1 范围

本文件规定了单级混流式水泵水轮机的技术要求、性能保证、供货范围和备品备件、资料与图纸、工厂检验及试验的基本技术条件,以及铭牌、包装、运输及保管,安装、运行、维护及验收试验的要求。

本文件适用于单级混流式水泵水轮机的研发、设计、制造、安装、调试、运行及维护。多级水泵水轮机、斜流式水泵水轮机以及变速混流式水泵水轮机参照使用。

## 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 150 压力容器  
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 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分:X和伽玛射线的胶片技术  
GB/T 8564 水轮发电机组安装技术规范  
GB/T 9239.1 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 9797 金属及其他无机覆盖层 镍、镍+铬、铜+镍和铜+镍+铬电镀层  
GB 11120 涡轮机油  
GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定  
GB/T 11805 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 15468 水轮机基本技术条件  
GB/T 15469.2 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机的空蚀评定 第2部分:蓄能泵和水泵水轮机的空蚀评定  
GB/T 15613 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机模型验收试验  
GB/T 17189 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 18482 可逆式抽水蓄能机组启动试运行规程  
GB/T 20043 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  
GB/T 32894 抽水蓄能机组工况转换技术导则  
DL/T 293 抽水蓄能可逆式水泵水轮机运行规程  
JB/T 1270 水轮机、水轮发电机大轴锻件 技术条件  
JB/T 7349 水轮机不锈钢叶片铸件  
JB/T 10264 混流式水轮机焊接转轮上冠、下环铸件  
NB/T 35035 水力发电厂水力机械辅助设备系统设计技术规定  
NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分:射线检测  
NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分:超声检测

NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测  
NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分:渗透检测  
NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第10部分:衍射时差法超声检测  
CCH 70-4 水力机械铸钢件检验规范(Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines)  
IEC 60041 测定水轮机、蓄能泵和水泵水轮机水力性能的现场验收试验(Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines)  
IEC 60193 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)  
IEC 60545 水轮机、水泵水轮机和蓄能泵的调试和运行指南(Guidelines for commissioning and operation of hydraulic turbines, pump-turbines and storage pumps)

3 术语和定义

GB/T 2900.45、GB/T 15468 和 GB/T 15613 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 抽水蓄能电站水库水位

3.1.1

上水库设计洪水位 upper reservoir design flood level

$Z_{upFLd}$

上水库遇到设计标准洪水时在坝前达到的最高水位。

注：单位为米(m)。

3.1.2

上水库正常蓄水位 upper reservoir normal level

$Z_{upLn}$

上水库在正常运用情况下,为满足储能、发电等兴利要求允许蓄到的最高水位。

注：单位为米(m)。

3.1.3

上水库死水位 upper reservoir minimum level

$Z_{upLmin}$

上水库在正常运用情况下,为满足储能、发电等兴利要求允许消落到的最低水位。

注：单位为米(m)。

3.1.4

下水库设计洪水位 lower reservoir design flood level

$Z_{lowFLd}$

下水库遇到设计标准洪水时在坝前达到的最高水位。

注：单位为米(m)。

3.1.5

下水库正常蓄水位 lower reservoir normal level

$Z_{lowLn}$

下水库在正常运用情况下,为满足储能、发电等兴利要求允许蓄到的最高水位。

注：单位为米(m)。



3.1.6

下水库死水位    lower reservoir minimum level

$Z_{lowL,min}$

下水库在正常运用情况下,为满足储能、发电等兴利要求允许消落到的最低水位。

注:单位为米(m)。

3.2  电站毛水头/毛扬程

3.2.1

电站最大毛水头/最高毛扬程    maximum gross head of plant

$H_{gmax}$

上水库正常蓄水位、下水库死水位时,上、下水库进/出水口断面的水位差。

注:单位为米(m)。

3.2.2

电站最小毛水头/最低毛扬程    minimum gross head of plant

$H_{gmin}$

上水库死水位,下水库正常蓄水位时,上、下水库进/出水口断面的水位差。

注:单位为米(m)。

3.3  水头和扬程

3.3.1

水头    turbine head

$H_t$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,其高、低压基准断面的单位水体的能量差。

注:单位为米(m)。

3.3.2

最大水头    turbine maximum head

$H_{tmax}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,电站最大毛水头减去一台机空载运行时水头损失最小的输水系统总水头损失后的水头。

注:单位为米(m)。

3.3.3

最小水头    turbine minimum head

$H_{tmin}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,电站最小毛水头减去同一水力单元内所有水泵水轮机允许最大输出功率时水头损失最大的输水系统总水头损失后的水头。

注:单位为米(m)。

3.3.4

额定水头    turbine rated head

$H_{tr}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,在额定转速下输出额定功率时所需的最小水头。

注:单位为米(m)。

3.3.5

异常低水头    **turbine extremely minimum head**

$H_{\text{temin}}$

采用水泵水轮机对上水库进行放空时,允许运行的极限最低水头。

注:单位为米(m)。

3.3.6

扬程    **pump head**

$H_p$

水泵水轮机作水泵工况运行时,其高、低压基准断面单位水体的能量差。

注:单位为米(m)。

3.3.7

最高扬程    **pump maximum head**

$H_{\text{pmax}}$

水泵水轮机作水泵工况运行时,电站最大毛扬程加上同一水力单元内所有水泵水轮机在额定转速下按照协联关系运行时水头损失最大的输水系统总水力损失后的扬程。

注:单位为米(m)。

3.3.8

最低扬程    **pump minimum head**

$H_{\text{pmin}}$

水泵水轮机作水泵工况运行时,电站最小毛扬程加上水力损失最小的一台水泵水轮机在额定转速下按照协联关系运行时水头损失最小的输水系统总水力损失后的扬程。

注:单位为米(m)。

3.3.9

最优扬程    **pump optimal head**

$H_{\text{popt}}$

水泵工况最优效率点所对应的扬程。

注:单位为米(m)。

3.3.10

零流量扬程    **pump head at zero discharge**

$H_{\text{pzero}}$

水泵水轮机转轮在水泵工况下以额定转速在水中旋转,输出流量为零时的扬程。

注:单位为米(m)。

3.3.11

异常低扬程    **pump extremely minimum head**

$H_{\text{pemin}}$

水泵水轮机向上水库充水时允许运行的极限最低扬程。

注:单位为米(m)。

3.3.12

最高瞬态压力    **maximum momentary pressure**

$P_{\text{mmax}}$

系统中指定部位在过渡过程中的最高压力。

注:通常用相对压力表示,单位为兆帕(MPa)或千帕(kPa)。



3.3.13

最低瞬态压力    minimum momentary pressure

$P_{\text{mmin}}$

系统中指定部位在过渡过程中的最低压力。

注：通常用相对压力表示，单位为兆帕(MPa)或千帕(kPa)。

3.4    流量

3.4.1

单位流量    unit discharge

$Q_{11}$

在 1 m 水头/扬程下，转轮公称直径为 1 m 的水泵水轮机运行时的流量。

注：单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

3.4.2

水轮机工况流量    turbine mode discharge

$Q_{\text{t}}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时，单位时间内通过高压基准断面的水的体积。

注：单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

3.4.3

水轮机工况额定流量    turbine mode rated discharge

$Q_{\text{tr}}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时，水泵水轮机在额定水头、额定转速下输出额定功率时的流量。

注：单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

3.4.4

空载流量    turbine mode no-load discharge

$Q_{10}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时，发电电动机在额定转速下输出有功功率为零时的流量。

注：单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

3.4.5

水泵工况流量    pump mode discharge

$Q_{\text{p}}$

水泵水轮机作水泵工况运行时，单位时间内通过高压基准断面的水的体积。

注：单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

3.4.6

水泵工况最小流量    pump mode minimum discharge

$Q_{\text{pmin}}$

水泵水轮机作水泵工况协联运行时，在额定转速、最高扬程下的流量。

注：单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )。

3.4.7

水泵工况最大流量    pump mode maximum discharge

$Q_{\text{pmax}}$

水泵水轮机作水泵工况协联运行时，在额定转速、最低扬程下的流量。

注：单位为立方米每秒( $\text{m}^3/\text{s}$ )。



3.5 转速

3.5.1

单位转速 unit speed

$n_{11}$

在 1 m 水头/扬程下,转轮公称直径为 1 m 的水泵水轮机运行时的转速。

注:单位为转每分(r/min)。

3.5.2

额定转速 rated speed

$n_r$

水泵水轮机按电站设计选定的同步转速。

注:单位为转每分(r/min)。

3.5.3

水轮机工况比转速 turbine mode specific speed

$n_s$

水泵水轮机在水轮机工况运行时,水头为 1 m、输出功率为 1 kW 时的转速。

注:单位为米千瓦(m·kW),见公式(1)。

$$n_s = \frac{n_r \times (P_t)^{\frac{1}{2}}}{(H_t)^{\frac{5}{4}}}$$

.....( 1 )

3.5.4

水轮机工况额定比转速 turbine mode rated specific speed

$n_{sr}$

水泵水轮机在水轮机工况运行,额定水头、额定转速下输出额定功率时的比转速。

注:单位为米千瓦(m·kW)。

3.5.5

水轮机工况比速系数 turbine mode specific speed coefficient

$K_t$

水轮机工况比转速与水头开方的乘积。

注:见公式(2)。

$$K_t = n_s \times (H_t)^{\frac{1}{2}}$$

.....( 2 )

3.5.6

水泵工况比转速 pump mode specific speed

$n_q$

水泵水轮机在水泵工况运行时,扬程为 1 m、流量为 1 m<sup>3</sup>/s 时的转速。

注:单位为米立方米每秒(m·m<sup>3</sup>/s),见公式(3)。

$$n_q = \frac{n_r \times (Q_p)^{\frac{1}{2}}}{(H_p)^{\frac{3}{4}}}$$

.....( 3 )

3.5.7

水泵工况最优比转速 pump mode optimum specific speed

$n_{qopt}$

水泵工况最优点对应的比转速。

3.5.8

水泵工况比速系数    pump mode specific speed coefficient

$K_p$

水泵工况比转速与扬程 3/4 次方的乘积。

注：见公式(4)。

$$K_p = n_q \times (H_p)^{\frac{3}{4}} = n_r \times (Q_p)^{\frac{1}{2}}$$

.....( 4 )

3.5.9

飞逸转速    runaway speed

$n_{run}$

在规定水力条件和规定导叶开度下,水泵水轮机轴端输出力矩为零时的稳态转速值。

注：单位为转每分(r/min)。

3.5.10

最高飞逸转速    maximum runaway speed

$n_{runmax}$

在规定的运行范围内,飞逸转速的最大值。

注：单位为转每分(r/min)。

3.5.11

最高瞬态转速    maximum momentary overspeed

$n_{mommax}$

在过渡工况运行过程中,机组达到的最高转速。

注：单位为转每分(r/min)。

3.6 功率和转矩

3.6.1

单位功率    unit power

$P_{11}$

转轮公称直径为 1 m 的水泵水轮机在 1 m 水头/扬程下运行时,转轮与轴连接处的输出/输入功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.2

单位转矩    unit torque

$T_{11}$

转轮公称直径为 1 m 的水泵水轮机在 1 m 水头/扬程下运行时,作用于转轮与轴连接处的力矩。

注：单位为牛米(N·m)。

3.6.3

水轮机工况水力功率    turbine mode hydraulic power

$P_{th}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,通过水泵水轮机高压基准断面的水流所具有的水力功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.4

转轮输出功率    runner mechanical output power

$P_{tm}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,转轮与轴连接处传递的机械功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.5

水泵水轮机机械功率损失 pump-turbine mechanical power loss

$P_{lm}$

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

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.6

水轮机工况输出功率 turbine mode output power

$P_t$

水轮机工况水力功率扣除水泵水轮机水力损失( $P_{lh}$ )和机械功率损失( $P_{lm}$ )后的功率。

注：见公式(5)。

$$P_t = P_{th} - P_{lh} - P_{lm}$$

.....( 5 )

3.6.7

额定输出功率 turbine mode rated output power

$P_{tr}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,在额定水头和额定转速下由设计或合同规定的输出功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.8

最大输出功率 turbine mode maximum output power

$P_{tmax}$

在规定的运行水头下,设计或合同规定的水泵水轮机最大输出功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.9

水轮机工况调相输入功率 turbine mode synchronous condenser operation input power in air

$P_{tair}$

转轮在空气中以额定转速在水轮机方向运行时所需的有功功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.10

水泵工况水力功率 pump mode hydraulic power

$P_{ph}$

水泵水轮机作水泵工况运行时,水流通过水泵水轮机时所需的功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.11

转轮输入功率 runner input power

$P_{pm}$

水泵水轮机作水泵工况运行时,轴传递给转轮的机械功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.12

输入功率 pump mode input power

$P_p$

水泵水轮机作水泵工况运行时,水泵水轮机的轴输入功率。

注：单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.13

最大输入功率 pump mode maximum input power

$P_{pmax}$

水泵水轮机作水泵工况运行时,在规定的运行范围内,所需的最大输入功率。

注:单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.14

零流量输入功率 pump mode input power at zero discharge

$P_{pzero}$

水泵水轮机作水泵工况运行时,转轮在水中以额定转速旋转,输出流量为零时所需的输入功率。

注:单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.6.15

水泵工况调相输入功率 pump mode synchronous condenser operation input power in air

$P_{pair}$

转轮在空气中以额定转速在水泵方向运行时所需的输入功率。

注:单位为兆瓦(MW)或千瓦(kW)。

3.7 效率

3.7.1

水轮机工况水力效率 turbine mode hydraulic efficiency

$\eta_{th}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,转轮输出功率与水轮机工况水力功率之比。

$$\eta_{th} = P_{tm} / P_{th}$$

3.7.2

水泵工况水力效率 pump mode hydraulic efficiency

$\eta_{ph}$

水泵水轮机作水泵工况运行时,水泵工况水力功率与转轮输入功率之比。

$$\eta_{ph} = P_{ph} / P_{pm}$$

3.7.3

水轮机工况机械效率 turbine mode mechanical efficiency

$\eta_{tm}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时,输出功率与转轮输出功率之比。

$$\eta_{tm} = P_t / P_{tm}$$

3.7.4

水泵工况机械效率 pump mode mechanical efficiency

$\eta_{pm}$

水泵水轮机作水泵工况运行时,转轮输入功率与输入功率之比。

$$\eta_{pm} = P_{pm} / P_p$$

3.7.5

水轮机工况效率 turbine mode efficiency

$\eta_t$

水轮机工况输出功率与水轮机工况水力功率之比。

$$\eta_t = P_t / P_{th}$$

3.7.6

水泵工况效率    **pump mode efficiency**

$\eta_p$

水泵工况水力功率与输入功率之比。

$$\eta_p = P_{ph} / P_p$$

3.7.7

加权平均效率    **mean weighted efficiency**

$\eta_w$

在规定的运行范围内,效率的加权平均值。

注: 见公式(6)。

$$\begin{aligned} \eta_w &= (W_1 \eta_1 + W_2 \eta_2 + W_3 \eta_3 + \cdots + W_i \eta_i) / (W_1 + W_2 + W_3 + \cdots + W_i) \\ &= (\sum W_i \eta_i) / \sum W_i \end{aligned} \quad \text{..... ( 6 )}$$

式中:

$\eta_i$  ——在规定的运行范围内,水轮机工况不同水头与不同输出功率的效率或水泵工况不同扬程下的效率, $i$  为正整数;

$W_i$  ——根据电站运行特点确定的水泵水轮机不同水头或扬程、不同输出或输入功率运行历时的权重系数。通常  $\sum W_i = 100$ 。

3.7.8

水轮机工况最优效率    **turbine mode peak efficiency**

$\eta_{topt}$

水泵水轮机作水轮机工况运行时效率的最大值。

3.7.9

水泵工况最优效率    **pump mode peak efficiency**

$\eta_{popt}$

水泵水轮机作水泵工况运行时效率的最大值。

3.7.10

原型水轮机最高效率    **prototype turbine mode peak efficiency**

$\eta_{tmax}$

水轮机工况运行时,原型水泵水轮机在规定的运行范围内能达到的效率最大值。

3.7.11

原型水泵最高效率    **prototype pump mode peak efficiency**

$\eta_{pmax}$

水泵工况运行时,原型水泵水轮机在规定的运行范围内能达到的效率最大值。

3.8 转轮公称直径

3.8.1

转轮公称直径    **nominal diameter of Francis pump-turbine runner**

转轮叶片高压边与下环相交处的直径。

$D_1$

转轮叶片低压边与下环相交处的直径。

$D_2$

注: 单位为米(m),推荐使用  $D_1$ 。

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降到临界压力(一般接近汽化压力)时,水中气核发展成长为空泡,空泡的积聚、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

含沙水流对水泵水轮机过流表面所造成的材料损失。

3.9.4

磨蚀 combined erosion by sand and cavitation

在含沙水流条件下,水泵水轮机过流表面受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。

注:对于立轴混流式水泵水轮机为导叶水平中心线确定的平面。

3.9.6

水泵水轮机空化系数 cavitation coefficient of pump-turbine

$\sigma$

表征水泵水轮机空化发生条件和性能的无量纲系数。

3.9.7

临界空化系数 critical cavitation coefficient

$\sigma_c$

与规定的效率下降值相联系的空化系数。

注: $\sigma_0$ 为效率开始下降时的空化系数, $\sigma_{0.5}$ 为效率下降0.5%时的空化系数。混流式水泵水轮机临界空化系数宜取效率下降0.5%时的空化系数。见图1。

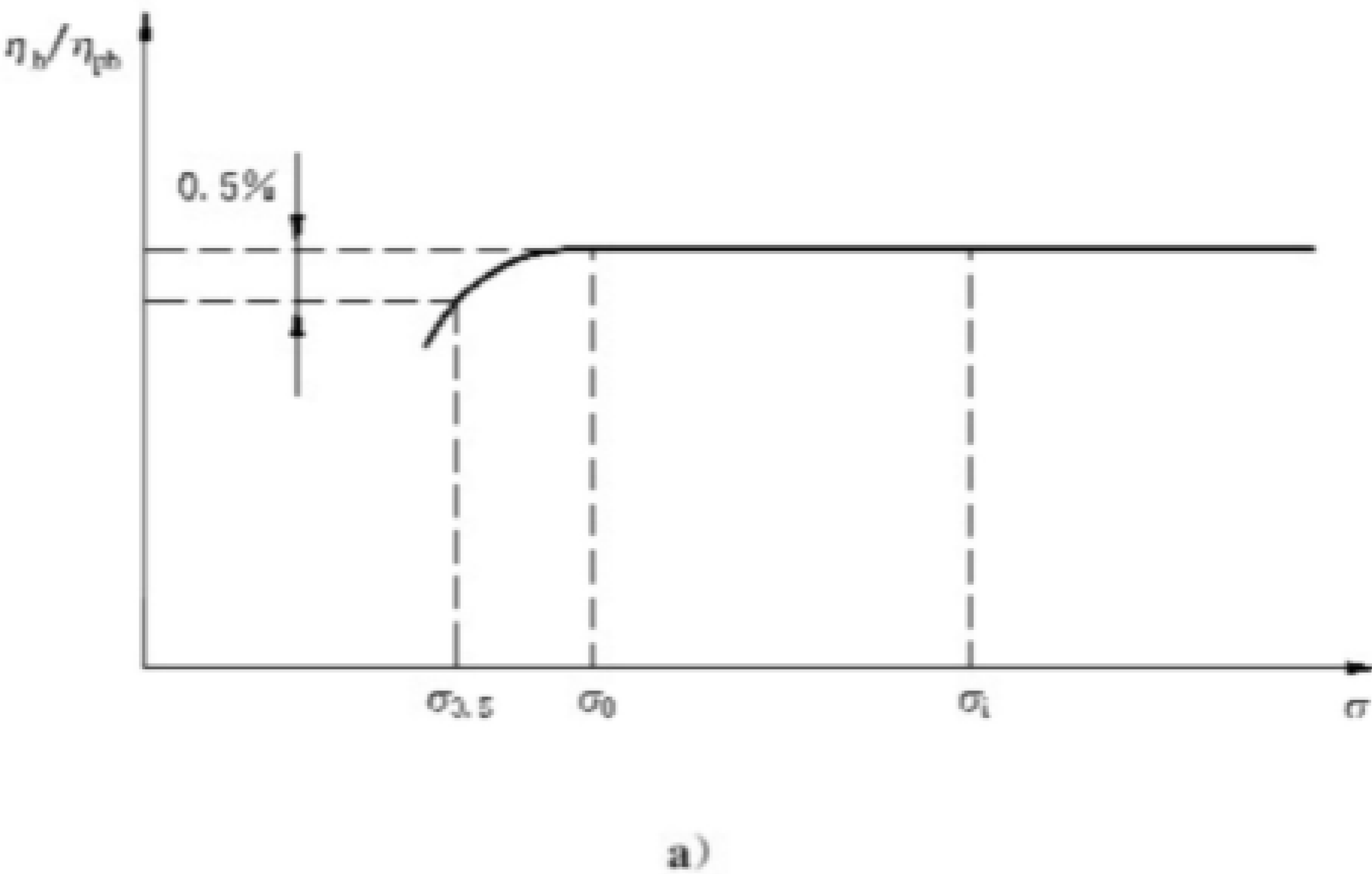


图 1  $\sigma_0$ 、 $\sigma_{0.5}$ 、 $\sigma_i$  的确定

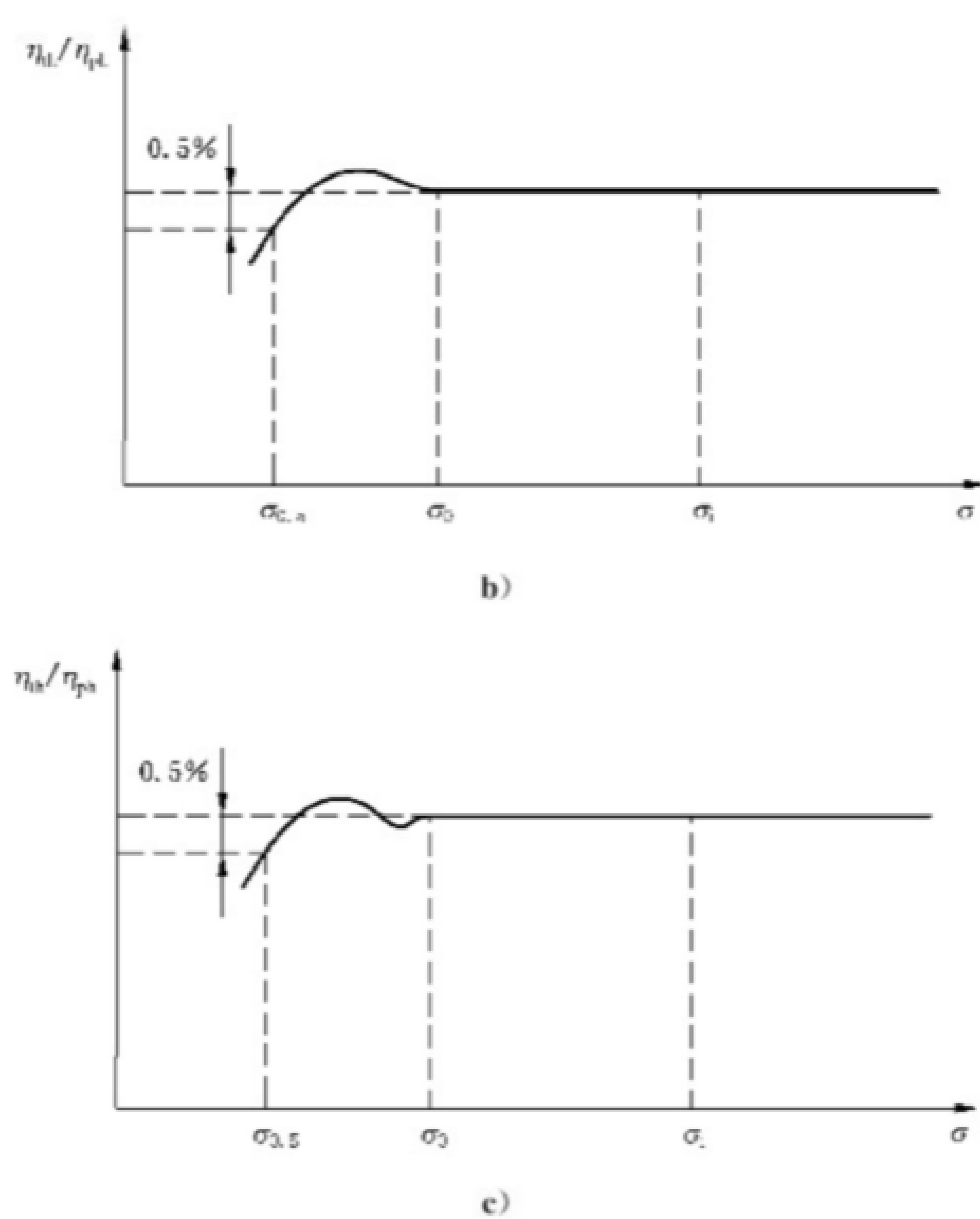


图 1  $\sigma_0$ 、 $\sigma_{0.5}$ 、 $\sigma_i$  的确定 (续)

3.9.8

初生空化系数 incipient cavitation coefficient

$\sigma_i$

转轮可见空化开始时的空化系数；在水泵水轮机模型试验中，观察到转轮三个叶片上同时开始产生稳定附着的气泡时的空化系数。

注：可见空化通常由观察确定。

3.9.9

吸出高度 suction height

$H_s$

水泵水轮机空化基准面至尾水位的高程差。

注：单位为米(m)。

3.9.10

电站空化系数 plant cavitation coefficient

$\sigma_p$

在电站运行条件下的空化系数。

注：见公式(7)。

$$\sigma_p = \frac{\frac{P_{abs}}{\rho g} - \frac{P_v}{\rho g} - H_s \pm h_{LS}}{H}$$

.....( 7 )

式中：

$P_{abs}$ ——电站所在地的大气压，单位为帕(Pa)；

$P_v$ ——流道水温下的汽化压力，单位为帕(Pa)；

- $\rho$  ——通过水泵水轮机的水的密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );
- $g$  ——重力加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m}/\text{s}^2$ );
- $h_{1s}$  ——从低压基准断面到下水库进/出水口断面的水头损失,单位为(m),水轮机工况取+,水泵工况取-;
- $H$  ——水头  $H_1$ /扬程  $H_p$ ,单位为米(m)。

3.9.11

允许吸出高度 **permissible suction height**

$H_{\text{spcr}}$

满足水泵水轮机空化和其他性能要求所需的最大吸出高度。

注:单位为米(m)。

3.9.12

安装高程 **setting elevation**

$Z$

水泵水轮机安装时作为基准的某一水平面的海拔高程。

注:单位为米(m)。立式水泵水轮机安装高程为导叶水平中心线平面高程。

3.10 水泵水轮机模型试验

3.10.1

模型试验 **model test**

为预测原型水泵水轮机水力性能而对其模型进行各种特性测试的试验。

3.10.2

模型验收试验 **model acceptance test**

由需方见证、为验证水泵水轮机水力性能是否达到合同保证值和有关文件规定而进行的模型试验。

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

水轮机工况模型综合特性曲线 **turbine mode model hill chart**

分别以单位转速和单位流量为纵、横坐标,表示模型水泵水轮机的水轮机工况水力效率等性能的等值曲线。

注:对于特定电站一般表示出运行范围。在曲线中表示出导叶开度、空化系数的等值线。在电站空化系数已确定时,还应表示出蜗壳进口、转轮与活动导叶之间和尾水锥管的等压力脉动线。

3.10.5

水轮机工况运转特性曲线 **turbine mode performance curves**

在额定转速下,分别以水头和输出功率或流量为纵、横坐标,表示原型水泵水轮机效率、输出功率、吸出高度、压力脉动等性能的等值曲线及功率限制线。

3.10.6

水泵工况特性曲线 **pump mode characteristic curves**

在给定转速下,以流量为横坐标,表示水泵工况不同导叶开度下的扬程、效率和输入功率的性能曲线以及协联曲线上不同工况点的临界空化系数或初生空化系数性能曲线。

3.10.7

水泵工况运转特性曲线 **pump mode performance curves**

在频率正常变化范围内的不同转速下,以流量为横坐标,表示原型水泵水轮机的水泵工况协联关系的不同扬程、效率和输入功率的性能曲线以及协联曲线上不同工况点的临界吸出高度或临界空化系数、初生吸出高度或初生空化系数和电站吸出高度变化范围的空化性能曲线。

3.10.8

四象限特性曲线 four quadrant curves

以单位流量、单位力矩为纵坐标,以单位转速为横坐标,表示水泵水轮机正转、反转,正向流动、反向流动和正向制动、反向制动组合成的全部特性的曲线。

3.10.9

水泵工况协联曲线 pump mode on-cam curve

水泵工况运行时,在规定的频率下,按稳定高效运行原则确定的扬程与导叶开度的关系曲线。

3.11 压力脉动

3.11.1

压力脉动 pressure pulsation

在选定时间间隔( $\Delta t$ )内液体压力相对于平均值  $\bar{X}$  的往复变化。

注:单位为千帕(kPa)。

3.11.2

压力脉动峰峰值 peak-peak value of pressure pulsation

$\Delta H$

利用给定概率值的概率分布函数确定压力脉动信号的最大值  $X_{\max}$  和最小值  $X_{\min}$  之间的差值。

注:水泵水轮机压力脉动峰峰值一般采用 97% 概率值。单位为千帕(kPa)。见公式(8),见图 2。

$$\Delta H = X_{\max} - X_{\min} \dots\dots\dots (8)$$

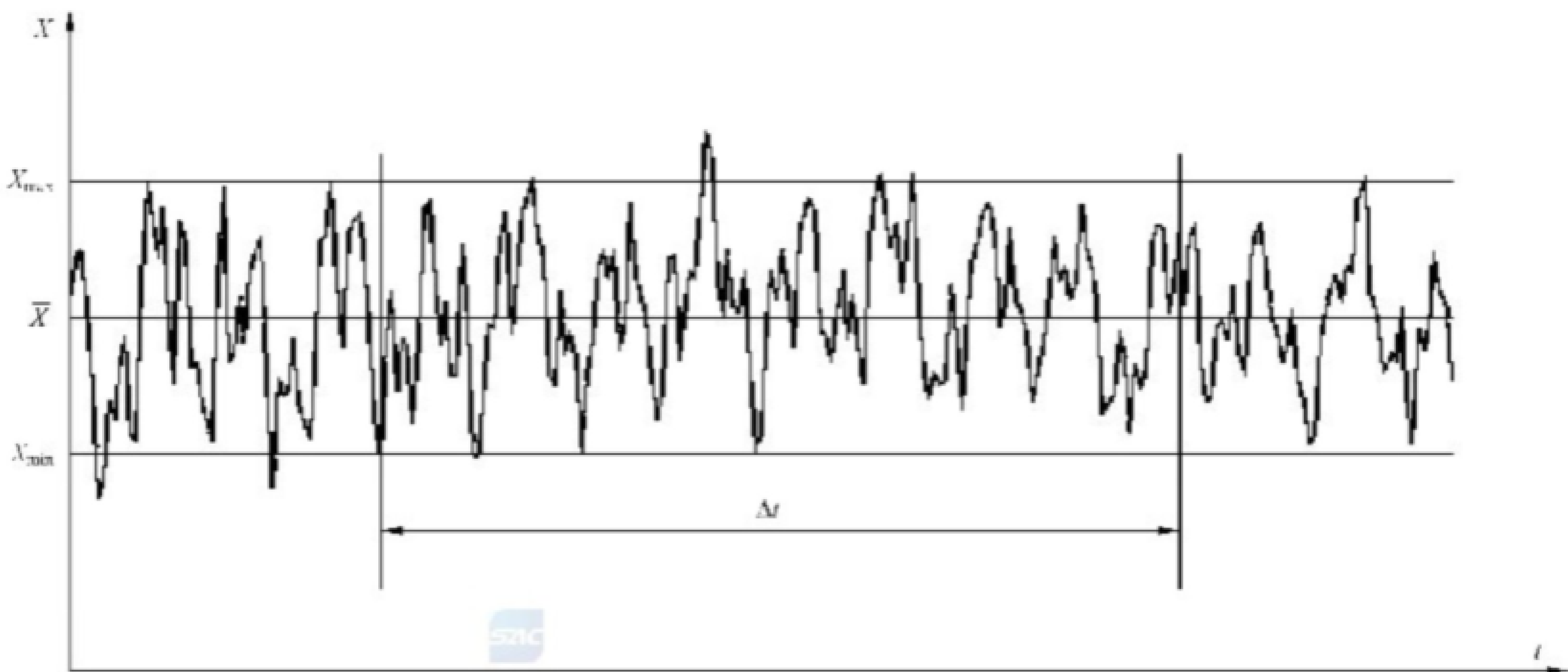


图 2 压力脉动峰峰值的确定

3.11.3

压力脉动相对值 relative value of pressure pulsation

$\Delta H/H$

流道中某特定测点时域的压力脉动峰峰值与该测量水头/扬程之比。

3.11.4

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

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

流道中某特定测点压力脉动相对值平方的平均值的平方根。

注:模型取值按照 GB/T 15613 或 IEC 60193,原型取值按照 GB/T 17189。见公式(9)。

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

.....( 9 )

3.12 S 区裕度

3.12.1

S 区裕度 S-zone margin

$\Delta H_{\text{szm}}$

在  $T_{11}$ - $n_{11}$  四象限特性曲线上,等导叶开度线与  $n_{11}$  坐标轴( $T_{11}=0$ )的交点处,其切线与  $n_{11}$  的夹角  $\alpha$  等于  $90^\circ$  时即为进入 S 特性不稳定区的临界点,该处  $n_{11}$  对应的水头  $H_{\text{szm}}$  与最小水头  $H_{\text{tmin}}$  的差值。

注:单位为米(m)。见公式(10),见图 3。

$$\Delta H_{\text{szm}} = H_{\text{szm}} - H_{\text{tmin}}$$

.....( 10 )

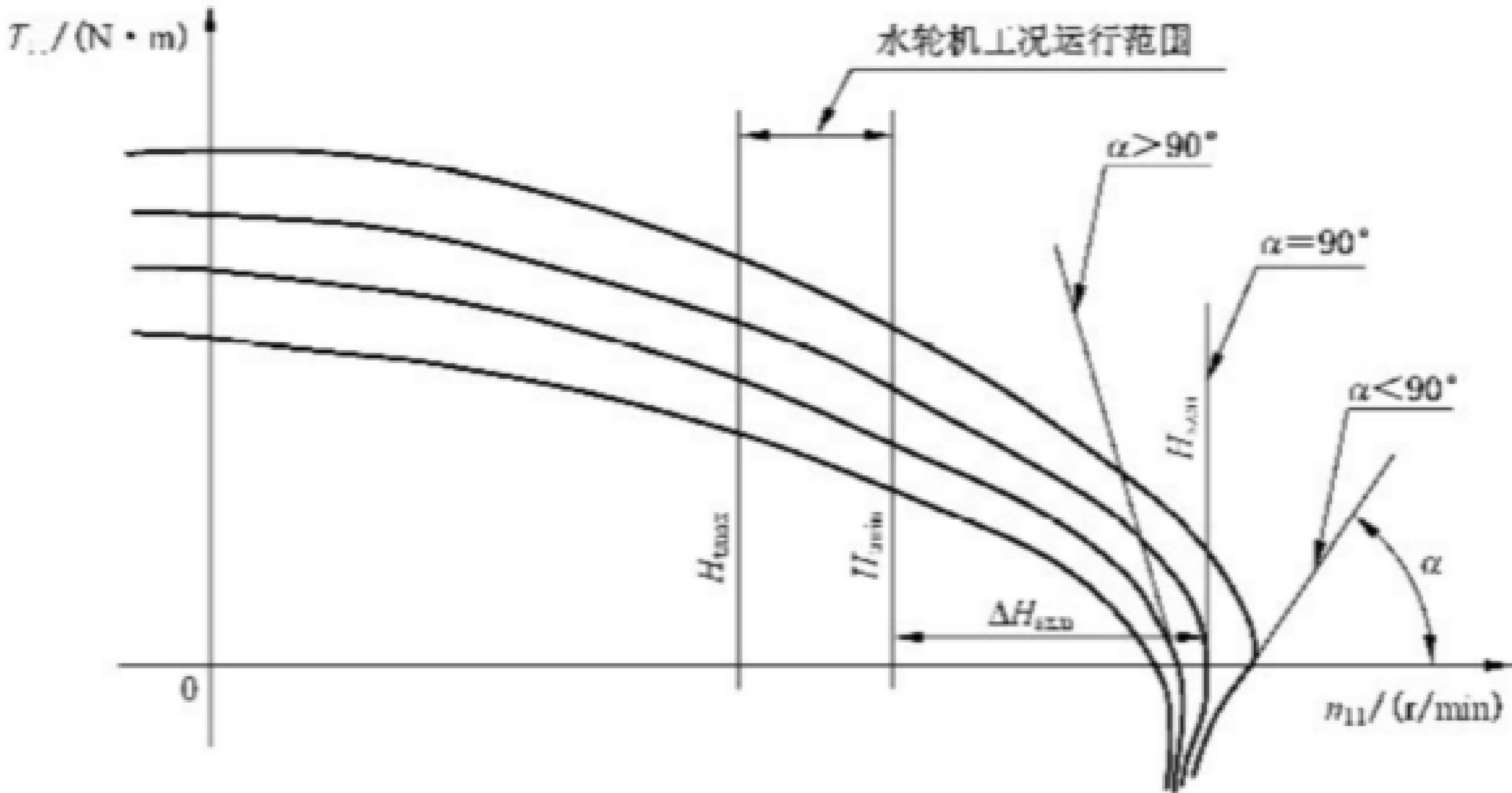


图 3 S 区裕度

3.13 驼峰区裕度

3.13.1

驼峰区裕度 hump zone margin

$\Delta H_{\text{hzm}}/H_{\text{pmax}}$

在最高扬程协联导叶开度下的扬程-流量曲线上,在流量减小方向上以正斜率区下端最低点作为驼峰工况点,其对应的原型水泵扬程  $H_{\text{h}}$  减去最高扬程  $H_{\text{pmax}}$  后的差值与最高扬程的百分比。

注:见公式(11),见图 4。如果出现多个正斜率区,取最大流量对应的驼峰工况点。

$$\Delta H_{\text{hzm}}/H_{\text{pmax}} = (H_{\text{h}} - H_{\text{pmax}})/H_{\text{pmax}} \times 100\%$$

.....( 11 )

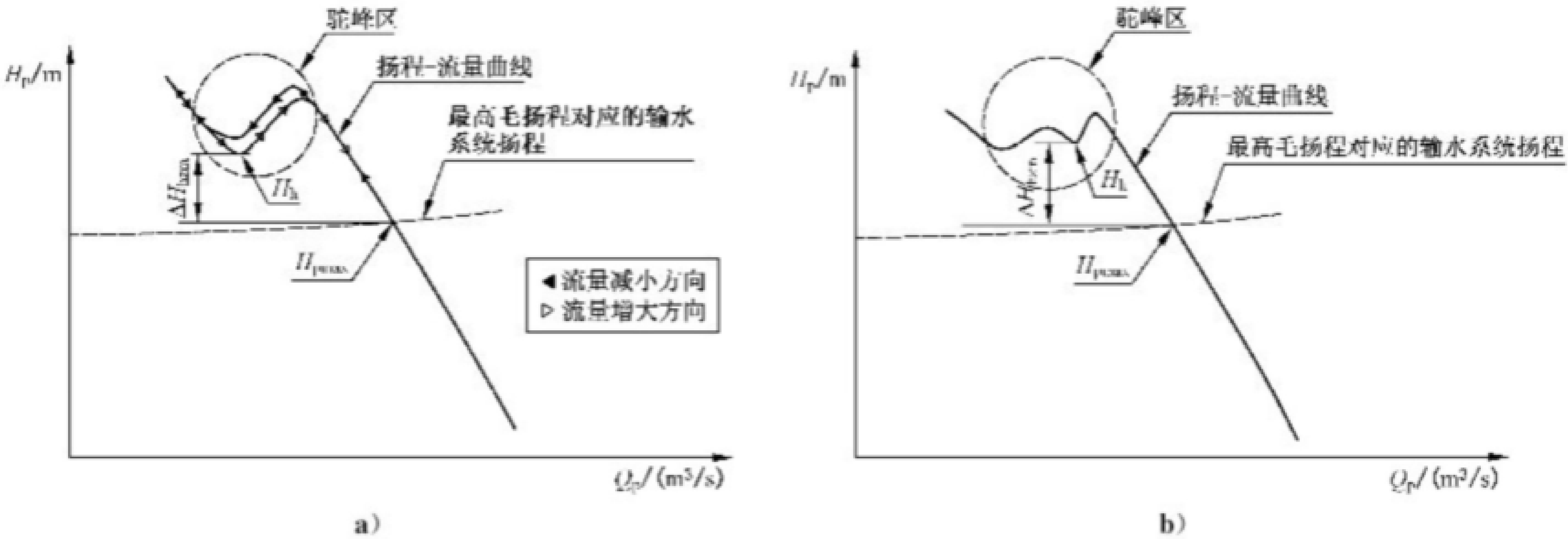


图 4 驼峰区裕度

3.14 水力激振

3.14.1

水力激振 **hydraulic excitation**

输水发电系统中由于系统自身或外界扰动引起的水力振荡现象。

注：包括自激振荡和受迫振荡。

3.15 动静干涉

3.15.1

动静干涉 **rotor-stator interaction**

水泵水轮机转轮与活动导叶之间水流相互作用所引起的周期性水力激振现象。

3.16 相位共振

3.16.1

相位共振 **phase resonance**

动静干涉引发的压力波在流道中传播时由于干涉、反射而叠加导致的共振现象。

3.17 运行工况

3.17.1

正常运行工况 **normal operation mode**

机组正常工作状态下所发生的各种工作载荷工况。

注：包括停机、空载、发电、抽水、调相、水泵工况零流量等。

3.17.2

过渡工况 **transient operation mode**

启动过程、停机过程、水轮机工况甩负荷过程、水泵工况断电过程等过渡过程所发生的各种工作载荷工况。

3.17.3

特殊工况 **extreme operation mode**

打压试验、飞逸、导叶保护装置破坏、地震等非正常工况下的各种工作载荷工况。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 混流式水泵水轮机的设计应根据抽水蓄能电站的特点和基本参数优选水泵水轮机的型式和主要参数，保证水泵水轮机安全、可靠、稳定、高效运行。

4.1.2 混流式水泵水轮机的设计应兼顾到抽水蓄能电站所在地区电网需求、厂房布置、运行检修、运输条件、制造能力以及与发电电动机、调速器、进水阀等设备的相互关系。

4.1.3 水泵水轮机产品设计宜包括以下基本技术条件：

- a) 上水库设计洪水位(m)；
- b) 上水库正常蓄水位(m)；
- c) 上水库死水位(m)；
- d) 下水库设计洪水位(m)；
- e) 下水库正常蓄水位(m)；
- f) 下水库死水位(m)；
- g) 电站最大毛水头/最高毛扬程(m)；
- h) 电站最小毛水头/最低毛扬程(m)；

- i) 额定水头(m);
  - j) 水头/扬程损失计算方法;
  - k) 水轮机工况/水泵工况计算加权平均效率的加权因子;
  - l) 过机水质,包括过机含沙量、泥沙粒径级配、泥沙颗粒形状、矿物成分、pH 值、水温等;
  - m) 气象条件,包括多年平均气温、极端最高气温、极端最低气温、多年平均相对湿度等;
  - n) 地震基本烈度及设防条件;
  - o) 运行特点及要求;
  - p) 运行工况转换方式及转换时间;
  - q) 输水系统参数;
  - r) 水泵水轮机安装高程(m);
  - s) 重力加速度( $\text{m/s}^2$ );
  - t) 冷却水的条件;
  - u) 交通运输条件;
  - v) 厂房控制尺寸、机组拆装方式和起吊条件;
  - w) 运行台数和容量与上、下游水库水位的关系;
  - x) 电网频率和变化范围;
  - y) 额定值和运行限制值;
  - z) 基本性能要求和性能保证。
- 4.1.4 水泵水轮机设计宜明确以下基本技术参数。
- a) 水轮机工况能量特性:
    - 最大水头(m);
    - 最小水头(m);
    - 额定水头(m);
    - 额定转速( $\text{r/min}$ );
    - 最高飞逸转速( $\text{r/min}$ );
    - 水轮机工况额定比转速( $\text{m} \cdot \text{kW}$ );
    - 水轮机工况比速系数;
    - 额定流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );
    - 额定输出功率(MW);
    - 最大输出功率(MW)(若有);
    - 加权平均效率;
    - 额定点效率;
    - 水轮机工况原型最高效率;
    - 水轮机工况调相输入功率(MW)。
  - b) 水泵工况能量特性:
    - 最高扬程(m);
    - 最低扬程(m);
    - 零流量扬程(m);
    - 最大输入功率(MW);
    - 零流量输入功率(MW);
    - 水泵工况调相输入功率(MW)
    - 水泵工况最大流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );
    - 水泵工况最小流量( $\text{m}^3/\text{s}$ );

- 水泵工况比转速( $m \cdot m^3/s$ )；
- 水泵工况比速系数；
- 水泵工况原型最高效率；
- 加权平均效率。

c) 空化特性：

- 允许吸出高度(m)；
- 临界空化系数；
- 初生空化系数；
- 电站空化系数；
- 空蚀失重量(kg)。

d) 稳定性指标：

- 压力脉动幅值和频率；
- 振动( $\mu m$  或  $mm/s$ )；
- 噪声(dBA)；
- 驼峰区裕度；
- S区裕度(m)。

e) 过渡过程特性：

- 最高瞬态压力(MPa)；
- 最低瞬态压力(MPa)；
- 最高瞬态转速(r/min)。

f) 主要部件特征数据：

- 转轮公称直径  $D_1$  和  $D_2$ (mm)；
- 导叶高度、导叶分布圆直径、导叶最大开度(mm)或转角( $^\circ$ )；
- 叶片数、活动导叶数及固定导叶数；
- 流道控制尺寸(m)；
- 尾水管压水深度(m)；
- 水泵水轮机压水最大容积( $m^3$ )；
- 轴向水推力(kN)；
- 水泵水轮机流道容积( $m^3$ )；
- 水泵水轮机转动惯量( $t \cdot m^2$ )；
- 水泵水轮机总质量(t)。

4.1.5 水泵水轮机设计宜包含以下技术文件和资料：

- a) 水轮机工况模型综合特性曲线和水轮机工况运转特性曲线；
- b) 水泵工况特性曲线、水泵工况运转特性曲线和水泵工况协联曲线；
- c) 四象限特性曲线；
- d) 水泵水轮机布置图；
- e) 水轮机工况水头、空载流量和导叶开度关系曲线；
- f) 蜗壳压差/尾水管压差参数；
- g) 活动导叶布置图,包括导叶开度与接力器行程关系表；
- h) 工况转换方式、流程和时间；
- i) 性能保证值,详见第5章；
- j) 异常低扬程对应的导叶开度、空化系数、压力脉动、输入功率；
- k) 异常低水头对应的导叶开度、压力脉动；

- l) 水泵水轮机基础荷载;
- m) 水力过渡过程计算书;
- n) 轴系稳定性计算书;
- o) 与水泵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);
- p) 水泵水轮机各主要部件的结构和材料说明;
- q) 主要部件的刚强度、疲劳和动态特性分析计算书;
- r) 油、水、气、电用量和要求;
- s) 水力、振动和温度监测点布置;
- t) 水泵水轮机装拆程序;
- u) 水泵水轮机各大部件的运输、起重限制尺寸和质量;
- v) 其他技术要求。

4.1.6 水泵水轮机的真机效率换算应按 GB/T 15613 中的公式进行修正。

4.1.7 当上水库无水且采用水泵水轮机对上水库进行充水时,水泵工况启动的最低扬程不应低于异常低扬程。

4.1.8 当采用水泵水轮机对上水库进行放空时,可在水轮机工况异常低水头带负荷或空载运行,以及在更低水头下空转监视运行。

## 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 水泵水轮机通流部件应符合 GB/T 15613 的要求。

4.2.1.2 水泵水轮机允许在最高飞逸转速下持续运行时间不小于配套发电电动机允许的飞逸时间,且不少于 5 min,并保证水泵水轮机不产生有害变形。

4.2.1.3 水泵水轮机结构应便于拆装、维修,方便易损部件的检查和更换。水泵水轮机应保证在不拆卸发电电动机转子、定子和水泵水轮机转轮、主轴等部件的情况下更换下列零部件:

- a) 水泵水轮机导轴承瓦、冷却器和主轴密封;
- b) 导水机构接力器的密封及活塞环、导水机构的传动部件、导叶轴颈密封件及保护元件。

4.2.1.4 水泵水轮机标准零部件应保证通用性。

4.2.1.5 在过流部件的适当部位,设置用相对效率法测量相对流量和压力脉动的测点,其位置应与模型相似。

4.2.1.6 立式水泵水轮机轴向间隙应保证在发电电动机顶转子时转动部分能上抬到所需要的高度。水泵水轮机轴法兰应能完全与发电电动机脱开。

4.2.1.7 水泵水轮机转轮宜采用不锈钢材料制造。水泵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,若采用堆焊不锈钢作为空蚀防护措施时,加工后的不锈钢层厚度不应小于 5 mm。

4.2.1.8 转轮、顶盖、底环、导叶和固定导叶等主要过流部件运行状态下的固有频率应与相关水力激振频率、发电电动机极频等错开,错开裕量不应小于 10%。应控制转轮与顶盖、转轮与底环之间的压力脉动,不对结构部件产生有害振动。

4.2.1.9 转轮的转动止漏环与固定止漏环宜有硬度差异。

4.2.1.10 转轮应做静平衡试验。试验结果不应低于 GB/T 9239.1 中的 G2.5 级要求。

4.2.1.11 水泵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 °C;油的最高温度不超过 60 °C。一般情况下宜采用 GB 11120 规定的 L-TSA 汽轮机油。

4.2.1.12 导水机构应设有防止破坏及事故扩大的保护装置,导叶在任何情况下均不应与转轮相碰

撞,并应有全关和全开位置的限位装置。

4.2.1.13 应至少在一个导叶接力器开、关腔设置压力测量接口。

4.2.1.14 导叶端部和与之相对应的抗磨板之间宜有硬度差。

4.2.1.15 水泵水轮机的顶盖应设置主、备用排水设备。排水设备应配备可靠的水位控制和信号装置。

4.2.1.16 蜗壳可选择直埋、保压或弹性层浇筑混凝土方式。蜗壳宜按照 GB/T 150 或 ASME BPVC Ⅷ的要求设计,应能独立承受各种工况下可能发生的最大水压力与试验压力。座环设计需考虑由座环支撑的混凝土质量和其他垂直的负荷。

4.2.1.17 进水阀后的蜗壳进口段顶部应设置排气、补气装置。

4.2.1.18 水泵水轮机流道应设置进人门,蜗壳上的进人门尺寸不宜小于  $\phi 600$  mm,尾水管的进人门尺寸不宜小于  $\phi 600$  mm 或  $600\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ 。采用矩形进人门时,四角应倒圆。进人门及管壁开孔处应按照 GB/T 150 的规定进行补强。应在尾水管进人门的下方设置验水阀,对于高水头水泵水轮机,蜗壳进人门处不宜设验水阀。

4.2.1.19 尾水管设计应能承受机组各种工况下产生的内外压差。尾水管应能承受正常运行工况、过渡工况和特殊工况下的最大、最小内水压力,以及最大外水压力而不发生结构性破坏。

4.2.1.20 水泵水轮机机坑内宜设置起吊设施。

4.2.1.21 水泵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,耐压试验的压力应不小于设计压力(包括升压)的 1.3 倍。试压时间应持续稳压 30 min。受压部件不应产生有害变形和渗漏等异常现象。金属蜗壳根据合同要求进行水压试验。

4.2.1.22 水泵水轮机设备配备的自动化元件和仪表见附录 A,规定范围以外的由供需双方协商确定。仪表应安装在专门的盘柜上,一般技术要求应符合 GB/T 11805 的有关规定。水泵水轮机应能实现计算机监控,供方应提供成组调节的运行曲线和/或数据。

4.2.1.23 水泵水轮机应能实现 GB/T 32894 所要求的全部工况转换。

4.2.1.24 水泵工况运行时应按扬程与导叶开度协联关系运行。

4.2.1.25 机组发生下列情况时,机组自动化元件(装置)及其系统能按要求发出事故停机信号及报警信号,并实现事故停机:

- a) 水导轴承轴瓦或油温过热;
- b) 主轴密封主、备用水均中断或降到一定值并且超过规定时限;
- c) 机组调相运行时失去电源,与电网解列,机组转速下降至规定值;
- d) 电气事故保护动作;
- e) 机组火警;
- f) 机组振动过大;
- g) 按动事故停机按钮;
- h) 输水系统安装有事故闸门的机组,在事故闸门下滑到事故位置时。

4.2.1.26 机组发生下列情况时,机组自动化元件(装置)及其系统能按要求发出紧急事故停机信号及报警信号,同时关闭进水阀并启动紧急事故停机流程:

- a) 机组甩负荷时,机组转速上升到  $110\% \sim 115\%$  额定转速,又遇调速器主配压阀拒动,再经过延时;
- b) 机组过速到电气过速保护的二级限值,电气转速信号器动作;
- c) 机组过速到设定的机械过速值时,机械过速保护装置或机械过速开关动作;
- d) 油压装置紧急事故低油压或压力罐油位降低到事故低油位;
- e) 事故停机时剪断销剪断;
- f) 按动紧急事故停机按钮;
- g) 水淹厂房信号动作。

4.2.1.27 水泵工况正常停机时,水泵水轮机应设计成可通过关闭导叶将输入功率降低到不大于 33% 最大输入功率后,再跳开发电电动机出口断路器。

4.2.1.28 水泵水轮机的设计、安装应适应各种工况下的下沉量。

4.2.2 工作应力和安全系数

4.2.2.1 水泵水轮机结构设计中应进行安全性能分析,对承受交变应力、振动或冲击力的零部件,在所有预期的工况下,设计时应进行刚强度和疲劳强度分析计算,对刚强度和/或疲劳强度应留有足够安全裕量。

4.2.2.2 部件的工作应力和变形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。

4.2.2.3 水泵水轮机部件的工作应力分析需考虑水轮机模式和水泵模式的工作状况,按正常运行工况、过渡工况和特殊工况分别考核。

4.2.2.4 所有部件的工作应力不应超过规定的许用应力。除转轮和主轴以及另有规定外,其余部件正常运行工况和过渡工况下采用经典公式计算的断面应力不大于表 1 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,铸铁材质的最大剪应力不应超过 21 MPa,其他黑色金属材质最大剪应力不应超过许用拉应力的 70%,但其中导叶轴的最大剪应力不应超过许用应力的 60%。

4.2.2.6 在任何工况下,由工作载荷引起的螺栓应力不大于螺栓材料屈服强度的 1/3。对有预应力要求的螺栓具体规定如下。

- a) 预应力螺栓预紧过程中最大综合应力不应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应超过设计值的±5%。
- b) 除另有规定外,预应力螺栓装配完成后,在未加工作荷载的情况下,螺栓的剩余预紧力不应小于任何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。在任何工况下,螺栓的最大综合应力不应大于螺栓材料屈服强度的 2/3。
- c) 对于顶盖、座环位置的连接螺栓,在装配完成后,其剩余预紧力未加载时不应小于正常运行工况和过渡工况下顶盖最大工作荷载折算到螺栓轴向荷载的 2.0 倍,或在加载时不小于任何工况下连接对象的最大工作荷载折算到螺栓轴向荷载的 0.6 倍。连接螺栓的最大综合应力,在正常运行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。

表 1 部件正常运行工况和过渡工况许用应力

单位为兆帕


 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 与屈服强度的 1/3 的小值	抗拉强度的 1/5 与屈服强度的 1/3 的小值
碳钢锻件	屈服强度的 1/3	屈服强度的 1/3
合金钢锻件	抗拉强度的 1/5 与屈服强度的 1/3 的小值	抗拉强度的 1/5 与屈服强度的 1/3 的小值
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

表 1 部件正常运行工况和过渡工况许用应力（续）

单位为兆帕

材料名称	许用应力	
	拉应力	压应力
高强度钢板(抗拉强度≥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 与屈服强度的 1/3 的小值	抗拉强度的 1/5 与屈服强度的 1/3 的小值

4.2.2.7 采用有限元法分析计算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。并且在正常运行工况和过渡工况下最大应力不应超过材料屈服强度的 2/3,特殊工况条件下最大应力不应超过材料的屈服强度。

4.2.2.8 转轮叶片在正常工况和过渡工况预期的最大荷载条件下运行时,转轮各部位最大静应力不应超过材料屈服极限的 1/5;在最高瞬态转速时,最大静应力不应超过材料屈服极限的 2/5。并应进行疲劳强度核算。

4.2.2.9 主轴最大复合应力  $S_{\max}$  见公式(9)。

$$S_{\max} = (S^2 + 3T^2)^{1/2}$$

.....( 9 )

式中:

$S$  ——由水力、动载荷和静载荷引起的轴向应力和弯曲应力的总和;

$T$  ——水泵水轮机最大功率(输入功率)时的扭转切应力。

主轴最大复合应力不应超过材料屈服极限的 1/4,按公式(9)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,且水泵水轮机在最大功率(输入功率)时主轴扭转切应力不应超过材料屈服极限的 1/6。

4.2.3 制造一般要求

4.2.3.1 水泵水轮机主要结构部件的铸锻件应符合 CCH 70-4、JB/T 1270、JB/T 7349 和 JB/T 10264 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。按上述标准确认为重大缺陷的缺陷处理应征得需方同意。

4.2.3.2 担任蜗壳、座环、顶盖、底环和转轮等主要部件焊接工作的焊接人员需经过考试合格并持有证书。主要部件的主要受力焊缝应进行 100%无损探伤,焊缝检查应符合 GB/T 3323.1、GB/T 11345、NB/T 47013.2、NB/T 47013.3、NB/T 47013.4、NB/T 47013.5、NB/T 47013.10 及合同的规定。

4.2.3.3 水泵水轮机设备表面应有防锈涂层,对装饰性电镀层应符合 GB/T 9797 的规定。并应规定:

- a) 表面处理的要求;
- b) 漆和其他防护保护方法及其使用说明;
- 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) 质量检查和控制规定。

4.2.3.4 凡是与水接触的紧固件应采用耐腐蚀的材料制造或采取相应的防锈措施。

4.2.3.5 转轮宜采用铸焊结构。叶片可为铸件、模压成型或与上冠/下环铸成一体的叶盘式结构。叶片、上冠和下环过流面应采用数控加工。

4.2.3.6 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,接触面不应小于

95%，且单个脱壳面积不大于1%；表面用渗透法探伤应无缺陷。

4.2.3.7 用于主轴径向振动测量的主轴表面应为精加工面。

#### 4.2.4 压水系统

4.2.4.1 水泵水轮机应设有调相、水泵工况启动的全套压水、回水系统。在尾水管进口、顶盖等适当部位分别设有相应的压水充气和回水排气接口。

4.2.4.2 水泵水轮机压水供气系统应符合 NB/T 35035 的规定。

4.2.4.3 压水充气管的数量和直径宜满足 20 s 内将转轮室内的水体压到设定的最低水位处。压水充气管宜设置用于补充转轮室漏气的补气旁路及附属设施。压水充气的管道及附件，包括补气管道上的设备设施，应选用耐低温的材料制造。压水供气系统应设置避免管路压气过量的措施，包括设置节流孔板或时间控制措施等。

4.2.4.4 回水排气管的数量和直径应满足机组工况转换时间要求，且排气时间不宜大于 60 s。

4.2.4.5 水泵水轮机应设置止漏环冷却水系统及水环排水系统。

### 5 性能保证

#### 5.1 频率范围

电网标称频率为 50 Hz。水泵水轮机性能保证的电网频率范围，水轮机工况为 49.5 Hz～50.2 Hz，水泵工况为 49.8 Hz～50.5 Hz。电网对频率波动范围有更宽要求时，另行商定。

#### 5.2 保证期

产品的保证期为自水泵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，以先到期者为准。

#### 5.3 稳态水力性能

5.3.1 水泵水轮机功率、效率、流量、空化、飞逸转速等稳态水力性能保证按模型试验结果验证，或采用现场试验进行验证。模型验收试验应符合 IEC 60193 或 GB/T 15613 的规定，现场试验应符合 IEC 60041 或 GB/T 20043 的规定。

5.3.2 水泵水轮机应保证在额定水头下的额定输出功率及在最大水头、最小水头和其他特定水头下的输出功率。

5.3.3 水泵水轮机应保证水泵最大输入功率，计算时应计入制造误差、电网正常频率波动和可能的流量偏差。

5.3.4 水泵水轮机应保证运行范围内的加权平均效率，并给出最优效率和其他特征工况点的效率。

5.3.5 水泵水轮机应保证最高飞逸转速满足设计要求，并给出最大、额定、最小水头等特征水头下的飞逸曲线。

5.3.6 在电网标称频率下，水泵水轮机应保证水泵工况最高扬程与最低扬程下的流量的算术平均值。

5.3.7 空化、空蚀和磨蚀的保证如下。

- a) 水泵水轮机的空化系数应予保证。
- b) 在一般水质条件下的空蚀损坏保证应符合 GB/T 15469.2 的规定。空蚀保证应在运行保证期内进行检查验证，验证依据为需方应保留的保证期运行记录，运行记录中至少应有水头/扬程、输出功率/输入功率、运行时间和相应尾水位的数据。
- c) 水中含沙量超过一般水质条件时，应对水泵水轮机的磨蚀损坏做出保证。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确定。

5.4 水泵水轮机运行稳定性

- 5.4.1 在电网标称频率下,水轮机工况 S 区裕度不宜小于  $0.06 \times H_{\text{gmin}} + 8 \text{ m}$ 。
- 5.4.2 在 4.1.4 规定的最大和最小水头范围内,在水轮机工况下运行时,应在 50%~100% 相应水头下的最大保证功率范围内稳定运行。
- 5.4.3 在 4.1.4 规定的最高和最低扬程范围内,水泵工况应按导叶开度与扬程的协联关系稳定运行。在电网标称频率下,驼峰区裕度不小于 2%。在正常频率变化范围内,驼峰区裕度需保证机组稳定运行。
- 5.4.4 原型水泵水轮机在 4.1.4 规定的保证运行范围内,应对水泵水轮机蜗壳进口断面、尾水锥管和转轮与活动导叶之间的压力脉动相对值或压力脉动均方根值做出保证。
- 5.4.5 应对水泵水轮机流道系统水力激振、动静干涉、相位共振以及其他可能引起机组结构、厂房结构和输水发电系统振动或共振的可能性进行分析,并在研发和设计中采取预防措施予以避免或降低。
- 5.4.6 在各种运行工况下(包括水轮机工况甩负荷、水泵工况压水启动和水泵工况断电等过渡工况),水泵水轮机各部件不应产生共振和有害变形。
- 5.4.7 在保证的稳定运行范围内,水泵水轮机顶盖的垂直方向和水平方向的振动值,不应大于表 2 的规定。若采用振动速度均方根值(mm/s)测量,顶盖振动值不宜大于 3 mm/s。测量方法按 GB/T 17189 执行。

表 2 顶盖垂直和水平方向振动值

项 目	额定转速 $n_r/(r/min)$				
	$n_r < 100$	$100 \leq n_r < 250$	$250 \leq n_r < 375$	$375 \leq n_r < 500$	$500 \leq n_r < 750$
	振动允许值(峰峰值)/ $\mu\text{m}$				
立式机组顶盖水平振动	90	70	50	40	30
立式机组顶盖垂直振动	110	90	60	50	30
注: 振动值指机组在 5.4.2 和 5.4.3 规定的运行工况范围的峰峰值。					

- 5.4.8 在保证的稳定运行范围内,主轴径向振动位移峰峰值不应大于  $170 \mu\text{m}$ ,且不超过轴承冷态总间隙的 70%。
- 5.4.9 水泵水轮机与发电电动机连接在一起时,主轴的一阶临界转速不小于最高飞逸转速的 120%,同时应计算轴系的扭转固有频率,使其避开 50 Hz、100 Hz 和导叶过流频率。

5.5 机组水力过渡过程

机组水力过渡过程仿真分析以及现场甩部分、全部负荷和水泵工况断电试验时,输水发电系统中的最高压力、最低压力及机组的最高转速不应超过调节保证设计值。

5.6 导叶漏水量

在额定水头下,当导水机构设有端面密封时,导叶漏水量不应大于水泵水轮机额定流量的 3%;当导水机构不设端面密封时,导叶漏水量不宜大于水泵水轮机额定流量的 12%。

5.7 噪声

水泵水轮机在合同规定的运行范围内正常运行时,在机坑地板上方 1 m 处所测得的噪声不应大于 98 dB(A),在距尾水管进入门 1 m 处所测得的噪声不应大于 100 dB(A)。

5.8 正反向水推力

水泵水轮机各种运行工况下的最大正/反向水推力应做出保证。

5.9 可靠性指标

在一般水质条件下,水泵水轮机应具有以下可靠性指标:

- a) 水泵水轮机 A 级检修间隔期不少于 8 年;
- b) 无故障连续运行时间不少于 20 000 h;
- c) 水泵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 水泵水轮机:从与发电电动机轴连接的法兰盘开始(连接螺栓和保护罩由水泵水轮机供方提供),包括转轮、主轴、主轴密封、水导轴承、导水机构、接力器、座环、蜗壳及蜗壳延伸段(如有)、机坑里衬、尾水管里衬、机坑照明装置、排水装置及其他配套设备等。

6.1.2 压水系统:压水供气、回水排气及水环排水的设备、阀门、控制装置及其他必要的附件等。

6.1.3 水泵水轮机运行监测、控制装置和自动化元件:水泵水轮机及其辅助设备在运行中需要监测的各种压力、温度、流量、转速、振动等仪表和有关盘柜。油、气、水管路上为满足自动控制的各种压力信号计、差压信号计、液位信号计、示流信号器或流量变送器、行程信号器、温度信号器,以及各种液压元件、气压元件、电气控制元件、保护元件,测速设备和合同规定的各种监测设备,包括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、连接件和支架等。非成套设备供至设备的第一对法兰处或接力器法兰处,并提供成对法兰及其连接件。

6.1.5 水泵水轮机机坑内的起吊设施。

6.1.6 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。

6.1.7 安装和检修所需的专用工具。

6.1.8 原型水泵水轮机验收试验所需的仪表和设备由供需双方商定。

6.2 备品、备件

水泵水轮机备品、备件的项目和数量清单见附录 B,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

7.1.1 供方应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,其数量为每电站各台机供 6 套。

7.1.2 供方宜向电站设计单位提供图纸资料 3 套。

7.1.3 供方宜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 主要内容

7.2.1 水泵水轮机及其辅助设备布置图、水力过渡过程计算书或报告、刚强度分析计算报告、疲劳分析

- 报告、动态特性分析报告、表面防腐技术要求及运输、储存、起重限制和说明文件等。
- 7.2.2 水泵水轮机的总装图、蜗壳单线图、尾水管单线图、各水泵水轮机部件的组装图和易损部件的加工图、水泵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 水轮机工况模型综合特性曲线和水轮机工况运转特性曲线、水泵工况特性曲线和水泵工况运转特性曲线、水泵工况协联曲线、成组调节运行资料、导叶开度与接力器行程关系图、基础受力资料、水泵水轮机的其他重要计算结果等。
- 7.2.4 有关水泵水轮机及其辅助设备在工地布置、组装、焊接或加工的工艺流程及图纸或资料。
- 7.2.5 控制及监测：油、气、水系统图，水泵水轮机测量仪表配置清单，自动化元件的动作或报警整定值，监控点表图，各种盘柜和自动化设备的安装和布置图等。
- 7.2.6 产品技术条件，产品说明书，安装、运行和维护说明书，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 水泵水轮机各主要部件出厂时应同时提供合格证明文件、材料化学成分、机械性能报告，且应根据合同和本文件规定的检验、试验项目进行检验和试验，并向需方提供检验和试验文件。合同中无明确要求时宜符合 DL/T 1760 的规定。
- 8.2 需要在工厂预装以保证安装精度和协调性的水泵水轮机部/套件，宜在工厂进行预组装检查合格后发货。对不能或难于在供方车间内进行预装的水泵水轮机部件，经供方和需方协商一致后，可移到现场按供方提供的技术要求并按照 GB/T 8564 的规定进行安装，由供方负责技术指导。
- 8.3 水泵水轮机轴与发电电动机轴采用铰孔连接结构时，如水泵水轮机、发电电动机供方不同，轴线检查宜由发电电动机供方负责进行，或者按合同要求执行。
- 8.4 水泵水轮机主要部件在制造过程中的检验和试验项目见表 3，需方参加检查和试验的项目按合同和本文件规定执行。

表 3 水泵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	V	V	V	V	V*	V*	V*			叶型、表面粗糙度检查及静平衡*
2	主轴	V	V	V		V*	V*	V*		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	V	V	V		V	V*	V*			
4	导轴承	V				V	V	V			
5	主轴密封	V					V	V			局部装配
6	顶盖	V	V	V		V*	V*	V*			装配检查*
7	底环	V	V	V		V*	V*	V*			装配检查*
8	抗磨板		V		V			V			

表 3 水泵水轮机工厂质量检查、装配和试验项目表（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		
9	活动导叶	V	V	V	V	V	V <sup>*</sup>	V <sup>*</sup>			
10	活动导叶操作机构	V	V			V	V		V <sup>*</sup>		导水机构预装,动作 试验 <sup>*</sup>
11	导叶保护装置	V					V			破断检查	
12	座环	V	V	V		V <sup>*</sup>	V <sup>*</sup>	V <sup>*</sup>			组装检查
13	蜗壳	V	V	V		V	V	V			组装检查
14	尾水管里衬	V	V	V		V	V	V			组装检查
15	接力器	V				V	V <sup>*</sup>		V <sup>*</sup>	耐压	
16	补气阀、电磁阀、 液位信号器、示流 信号器等								V		动作、性能试验检查
注：“V”为工厂内试验项目，“ <sup>*</sup> ”为需方到工厂见证试验和检查的项目。											

9 铭牌、包装、运输及保管

9.1 铭牌

内容宜包括：

- a) 产品名称；
- b) 供方名；
- c) 执行标准编号；
- d) 供方出品编号；
- e) 产品型号；
- f) 最大水头(m)；
- g) 额定水头(m)；
- h) 最小水头(m)；
- i) 额定输出功率(MW)；
- j) 最大输出功率(MW)(若有)；
- k) 水轮机工况额定流量(m<sup>3</sup>/s)；
- l) 最高扬程(m)；
- m) 最低扬程(m)；
- n) 最大输入功率(MW)；
- o) 水泵工况最大流量(m<sup>3</sup>/s)；
- p) 额定转速(r/min)；
- q) 最高飞逸转速(r/min)；

- r) 旋转方向；
- s) 出厂日期。

9.2 包装及运输

- 9.2.1 水泵水轮机及其供货范围内的零部件、备件、备品，应检验合格后才能装箱运输。
- 9.2.2 水泵水轮机部件的包装尺寸和质量，应满足从工厂到电站的运输条件。
- 9.2.3 水泵水轮机及其辅助设备的包装运输及标志应符合 GB/T 28546 和 GB/T 191 的规定，并按设备的不同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。装箱单开具的名称、数量应与箱内实物和图纸编号相符。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需方。设备交付需方开箱检查时，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 水泵水轮机的各加工工件应妥善保管，不应随意叠放。
- 9.3.2 水泵水轮机的各加工件运抵工地拆箱后，应采取防潮、防风、防晒、防腐蚀等措施。
- 9.3.3 橡胶、塑料、尼龙制品应防止直接受日光照射，并不应置于炉子或其他取暖设备附近 1.5 m 处，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  $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，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 水泵水轮机的安装应符合 GB/T 8564 的规定，调试及试运行应符合 GB/T 18482 的规定。
- 10.1.2 水泵水轮机第一次充水前，应清除掉输水发电系统流道的杂物，包括上/下水库进/出水口、调压室、闸门井、尾水闸门槽等附属水工建筑物及水泵水轮机过流部件。
- 10.1.3 调试运行前，调速系统管路、水导轴承油循环系统等应用油进行反复循环清洗，然后更换为符合 GB 11120 规定的新油后开始调试和试运行。
- 10.1.4 一般情况下考核试运行时间为 15 d。验收合格后由需方签署初步验收证书，同时开始计算设备保证期。

10.2 运行与维护

水泵水轮机运行与维护应符合 DL/T 293、IEC 60545 及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 原型水泵水轮机性能验收试验主要试验项目如下：

- a) 输出功率试验(按合同要求进行)；
- b) 振动试验(按合同要求进行)；
- c) 效率试验(按合同要求进行)；

- d) 水泵流量试验；
  - e) 输入功率试验；
  - f) 压力脉动试验(按合同要求进行)；
  - g) 甩负荷试验；
  - h) 断电试验；
  - i) 飞逸转速试验(如需试验,各有关方应对试验的风险进行评估,并事先达成专门协议)；
  - j) 空蚀和磨蚀保证验证(按 GB/T 15469.2 的规定执行)。
- 10.3.2 水泵水轮机现场验收应在设备保证期内进行。
- 10.3.3 水泵水轮机保证期满,各项技术保证满足合同要求后,由需方签署最终验收证书。

附录 A  
(资料性)

水泵水轮机设备的仪表及自动化元件

水泵水轮机设备的仪表及自动化元件见表 A.1。

表 A.1 水泵水轮机设备的仪表及自动化元件

仪表/自动化元件	单位	数量
蜗壳进口压力表(钢管或蜗壳压力)	只	1
蜗壳进口压力变送器	只	1
蜗壳进口压力脉动变送器	只	2
蜗壳进口与尾水管出口之间差压变送器	只	1
蜗壳末端压力表	只	1
水轮机工况测流量差压变送器	只	1
水泵工况测流量差压变送器	只	1
尾水管进口真空压力表	只	1
尾水管进口压力脉动变送器	只	2
尾水管出口压力表	只	1
尾水管出口压力变送器	只	1
活动导叶后转轮前压力表	只	1
活动导叶后转轮前压力变送器	只	2
活动导叶后转轮前压力脉动变送器	只	1
顶盖上止漏环前压力表	只	1
顶盖上止漏环后压力表	只	1
转轮与基础环之间压力表	只	1
主轴密封水压力表	只	1
主轴密封水示流信号器	只	1
主轴密封磨损位移信号器	只	1
水导轴承油位信号器	只	1
水导轴承油混水信号器	只	1
水导瓦温度检测装置	套	1
水导轴承油温度检测装置	套	1
水导轴承冷却水压力表	只	1
水导轴承冷却水温度检测装置	套	1
导轴承示冷却水流信号器	只	1
上止漏环冷却水压力表	只	1
下止漏环冷却水压力表	只	1

表 A.1 水泵水轮机设备的仪表及自动化元件（续）

仪表/自动化元件	单位	数量
上止漏环冷却水示流信号器	只	1
下止漏环冷却水示流信号器	只	1
上固定止漏环温度信号器	只	1
下固定止漏环温度信号器(若有)	只	1
水泵水轮机振动监测表	套	1
主轴振动(摆度)监测表	套	1
机械转速信号装置	套	1
电气转速信号装置	套	1
导叶位置变送器	套	1
剪断销信号装置(若有)	套	1
顶盖水位信号器	套	1
尾水管水位信号器	套	1

附录 B  
(资料性)  
水泵水轮机备品、备件

水泵水轮机备品、备件见表 B.1。

表 B.1 水泵水轮机备品、备件

序号	备品、备件名称	单位	数 量			备 注
			1 台~2 台	3 台~4 台	5 台及以上	
1	导叶上、中、下轴套	台套	1/2	1	2	
2	导叶密封圈	台套	每台机 1 套			
3	导叶分半键	台套	1/4	1/2	1	
4	导叶剪断销(拉断螺栓)	台套	1/2	1	2	
5	导叶连杆轴套	台套	1/4	1/2	1	
6	导叶摩擦片(环)	台套	1/4	1/4	1/4	
7	主轴工作密封件	台套	每台机 1 套			
8	主轴检修密封件(若有)	台套	全厂 1 套			
9	水导轴瓦	台套	1	1	1	
10	主轴与转轮法兰连接螺栓和螺母	台套	1	1	1	
11	接力器活塞环	台套	1	1	2	
12	接力器密封圈	台套	1	1	1	
13	上下固定止漏环	套	1	1	1	
注：本表为水泵水轮机备品、备件的基本配置表。备品、备件及其数量也可由供需双方另行商定。						



参 考 文 献

[1] DL/T 1760 可逆式水轮发电机组及其附属设备出厂检验导则

[2] ASME BPVC VIII ASME Boiler and Pressure Vessel Code VIII Rules for Construction of Pressure Vessels

---



[www.bzxz.net](http://www.bzxz.net)

免费标准下载网