

JCS 27.140
K 55



中华人民共和国国家标准

GB/T 32745—2016

小型水轮机磨蚀防护导则

Guidelines on protection against sand abrasion and cavitation
for small hydraulic turbines

2016-06-14 发布

2017-01-01 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



http://www.sljxx.com
水利造价信息网

目 次

| | |
|----------------------------------|----|
| 前言 | I |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语、定义和符号 | 1 |
| 4 一般规定 | 3 |
| 4.1 电站泥沙资料调查与分析 | 3 |
| 4.2 水轮机磨蚀的观测 | 4 |
| 5 磨蚀程度的初步判别 | 4 |
| 6 材料防护 | 5 |
| 6.1 材料防护的选择 | 5 |
| 6.2 材料防护措施的实施 | 5 |
| 6.3 防护涂层的检查与维护 | 7 |
| 7 综合防护措施 | 7 |
| 7.1 水电站设计与水轮机设计 | 7 |
| 7.2 水轮机制造与安装 | 9 |
| 7.3 水轮机运行、维护与检修 | 9 |
| 附录 A (资料性附录) 不同型式水轮机主要磨蚀部位 | 10 |
| 附录 B (资料性附录) 水轮机破坏性质的外貌特征 | 12 |
| 附录 C (资料性附录) 水轮机常用基材及使用范围 | 13 |
| 附录 D (资料性附录) 材料防护措施及适用范围 | 14 |

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国水利部提出并归口。

本标准负责起草单位：中国水利水电科学研究院。

本标准参加起草单位：水利部产品质量标准研究所、中水北方勘测设计研究有限责任公司。

本标准主要起草人：余江成、隋力、姚光、刘娟、程文韬、陈锐、张旭、唐拥军、王开、刘娟。

<https://www.sizjxx.com>
水利造价信息网

小型水轮机磨蚀防护导则

1 范围

本标准规定了小型水轮机磨蚀防护所需采用的防护措施(包括材料防护措施与综合防护措施)及有关技术要求。

本标准适用于机组功率为 500 kW~15 MW 的水轮机磨蚀防护,包括新建、扩建、改建或已投产电站水轮机磨蚀防护。电站装机容量小于 500 kW 的水轮机磨蚀防护,可参照本标准执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.45 电工术语 水电站水力机械设备

GB/T 8564 水轮发电机组安装技术规范

GB/T 11373 热喷涂金属件表面预处理通则

GB/T 15469.1 水轮机、蓄能泵和水泵水轮机空蚀评定 第1部分:反击式水轮机的空蚀评定

GB/T 21718 小型水轮机基本技术条件

GB/T 29403 反击式水轮机泥沙磨损技术导则

DL/T 838 发电企业设备检修导则

SL 42 河流泥沙颗粒分析规程

3 术语、定义和符号

GB/T 2900.45、GB/T 21718 和 GB/T 15469.1 界定的以及下列术语、定义和符号适用于本文件。

3.1

磨蚀 sediment abrasion

含沙水流对过流部件表面造成的材料损坏。

3.2

磨蚀量 amount of abrasion

由于磨蚀造成的过流部件表面的材料损坏量。

注:磨蚀量可用磨蚀深度 ΔH 、磨蚀面积 A 、质量损失 G 或体积损失 V 等表示,其单位分别用 mm、cm²、kg 或 cm³ 表示。

3.3

含沙量 sediment content

S

单位体积水沙混合物中的泥沙含量。

注:含沙量的单位用 kg/m³ 表示。

3.4

多年平均含沙量 mean annual sediment content

S_p

河流历年实测资料中年平均含沙量的平均值。

注:多年平均含沙量的单位用 kg/m³ 表示。

3.5

实测最大含沙量 maximum measured sediment content

S_{\max}

河流历年实测资料中的最大含沙量。

注：实测最大含沙量的单位用 kg/m^3 表示。

3.6

过机含沙量 sediment content passing through hydraulic turbines

S_e

通过水轮机单位体积水沙混合物中所携带的泥沙含量。

注：过机含沙量的单位用 kg/m^3 表示。

3.7

悬移质 suspended load

悬浮于水中随水流移动的泥沙颗粒。

3.8

粒径 grain size

d

泥沙颗粒的大小。

注：粒径的单位用 mm 表示。

3.9

粒径级配曲线 grain size distribution curve

表征泥沙颗粒大小分布特征的曲线。

注：粒径级配曲线是根据筛分试验结果绘制的曲线，采用对数坐标表示，横坐标为粒径，纵坐标为小于某粒径的泥沙占总重量（累计百分）的含量。

3.10

中值粒径 median grain size

d_{50}

泥沙颗粒组成中的代表性粒径，小于及等于该粒径的泥沙占总重量的 50%。

注：中值粒径的单位用 mm 表示。

3.11

空化 cavitation

在流道中的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气泡，气泡的积聚、流动、分裂和溃灭的过程的总称。

3.12

水轮机空化系数 cavitation coefficient of hydraulic turbines

σ

表征水轮机流道发生空化的条件和性能的无量纲系数。

3.13

水轮机初生空化系数 incipient cavitation coefficient of hydraulic turbines

σ_i

在水轮机流道中开始发生空泡时的空化系数。

3.14

电站空化系数 power station cavitation coefficient

σ_n

相应于电站某个规定的下游水位时的水轮机空化系数。

3.15

吸出高度 suction head

H_s

水轮机规定的空化基准面与尾水位的高程差。

注：吸出高度的单位用 m 表示。

3.16

空蚀 cavitation erosion

由于空化造成的过流部件表面的材料损坏。

3.17

磨蚀 abrasion by sediment and cavitations

由于泥沙磨损与空化联合作用造成的过流部件表面的材料损坏。

3.18

腐蚀 corrosion

金属材料过流部件表面与水中介质发生化学或电化学反应造成的材料损坏。

3.19

水轮机大修 overhaul of hydraulic turbines

为保持、恢复或提高设备性能,对水轮发电机组进行整体的、或针对机组存在问题的部分设备进行解体的检查和修理。

注：相当于 DL/T 1066 中规定的 A 级或 B 级检修。

3.20

水轮机大修周期 overhaul cycle of hydraulic turbines

从机组上一次大修后投运时至下一次大修开始时的时间间隔。

3.21

结合强度 bonding strength

涂层(或焊层)和基体材料之间结合的坚固程度。

注：结合强度的单位用 MPa 表示。

3.22

HVOF 涂层 high velocity oxygen fuel coating

高速火焰喷涂涂层

在高能热源下通过氧-燃料气体火焰(一般温度为 3 000 ℃左右)将粉末溶解,并利用喷枪形成的火焰流,以超音速喷向工件基材表面,形成涂层。

3.23

综合防护措施 comprehensive protection measures

从水电站的规划设计起,到水轮机设计、制造、安装、运行、维护及检修等各个阶段提出针对性的减轻泥沙磨损与空蚀的技术措施。

3.24

材料防护措施 material protection measures

通过选材或进行表面防护处理以实现过流部件保护的技术方案。

4 一般规定

4.1 电站泥沙资料调查与分析

4.1.1 多泥沙河流上新建、扩建或改建的电站,应对电站的水文、泥沙资料进行全面调查、核实与分析。

并根据电站设计要求,提出坝址处下列全部或部分悬移质泥沙资料:

- a) 多年平均输沙量;
- b) 多年平均含沙量、多年汛期平均含沙量及实测最大含沙量;
- c) 泥沙粒径级配及中值粒径、最大粒径;
- d) 泥沙矿物组成、颗粒形貌及硬度;
- e) 多年汛期平均含沙量与泥沙矿物组成宜按不同粒径组给出。有关河流泥沙颗粒分析应按 SL 42 的要求执行。

4.1.2 当河流的水文、泥沙资料缺乏或不够齐全时,可以借鉴该河流所在流域或周边流域内河流的泥沙资料,或者可在汛期从坝址处附近的河水中取悬移质水样,对汛期河流泥沙特征值进行估算与分析。

4.1.3 应对电站建成后的河流泥沙变化以及过机泥沙资料进行预测与分析,包括汛期和非汛期含沙量、泥沙粒径级配、泥沙矿物组成等的变化。

4.2 水轮机磨蚀的观测

4.2.1 水轮机磨蚀的观测包括磨蚀外观(特别是主要磨蚀部位)检查与磨蚀量测量。磨蚀量可用质量、体积及深度进行测量。有关磨蚀的观测方法应按照 GB/T 29403 中的有关要求执行。

4.2.2 在磨蚀外观检查时应特别注意主要空蚀部位(参见附录 A)的破坏形貌。当空蚀强度不大时,空蚀破坏的形貌特征可能不明显或难以分辨,应将破坏的表面特征与状况描绘记录,以作为进一步分析研究的依据。

4.2.3 为掌握水轮机的磨蚀情况,应建立有关磨蚀的基础资料库,记录与保存电站和水轮机设计、制造、安装及运行检修等方面的资料。建立磨蚀基础资料库应按照 GB/T 29403 中的有关要求执行。

5 磨蚀程度的初步判别

5.1 磨蚀程度可分为轻度、中等和严重三类。

5.2 磨蚀程度的初步判别可根据磨蚀程度判别曲线(见图 1)进行判别,或根据预估的水轮机大修周期进行判别。

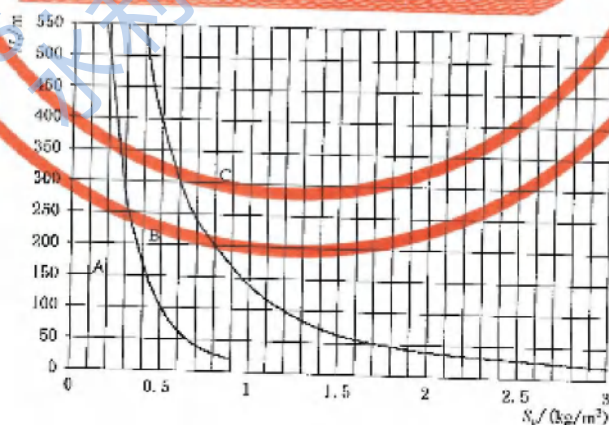


图 1 磨蚀程度判别曲线

5.3 磨蚀程度判别曲线的横、纵坐标分别为河流多年平均含沙量 S_p 与水轮机额定水头 H_1 。初步判别方法为:两条曲线将坐标系分为 3 个区域,即图 1 中的 A、B、C 区,它们分别对应为磨蚀轻度区、磨蚀中等区、磨蚀严重区。

5.4 新建、扩建或改建电站的水轮机,可参照已有水轮机的经验,结合水轮机的机型、参数与泥沙资料,

以及水轮机运行条件(过机泥沙、水质、负荷、空化条件等),对水轮机大修周期进行预估。预估分析方法可采用经验对比法或试验预测法。

5.5 已运行电站的水轮机,可根据电站条件、泥沙资料、运行资料、已遭受破坏部位外貌的观测及已运行时间确定水轮机大修周期。

5.6 在以上预估或确定的水轮机大修周期基础上,可根据水轮机大修周期的年限长短将磨蚀程度分为轻度、中等和严重三类。

6 材料防护

6.1 材料防护的选择

6.1.1 材料防护包括基材和材料防护措施的选择。基材和材料防护措施应符合以下要求:

- a) 基材应具有良好的力学性能,即应有足够的强度、韧性和耐疲劳性能,以及良好的铸造、焊接、热处理和加工性能;
- b) 材料防护措施应具有实施工艺简单、操作方便及适合于现场施工等特点;
- c) 材料防护措施应具有良好的抗磨蚀性、可修复性。

6.1.2 新建、扩建或改建电站的水轮机,应根据水轮机磨蚀程度的初步判别结果和对水轮机各个部件磨蚀破坏特点的分析,确定需要防护的部件或部位以及所采用的材料防护措施。不同型式水轮机主要磨损、空蚀与磨蚀部位参见附录 A。

6.1.3 已运行电站的水轮机,应根据机组运行资料和破坏部位及其程度的观测结果,分析与确定破坏的性质,选用合适的材料防护措施。水轮机各类破坏性质的外貌特征参见附录 B。

6.1.4 预期磨蚀程度轻度的水轮机,宜通过合理选用基材,以延长大修周期和使用寿命;磨蚀程度为中等的,对可能发生磨蚀的主要部位宜采用材料防护措施;磨蚀程度为严重的,应采用材料防护措施。水轮机常用基材及使用范围参见附录 C。

6.1.5 材料防护措施宜选用经过工程实践证明效果良好的材料防护措施。材料防护措施包括金属防护材料和非金属防护材料。材料防护措施的工艺特点、性能及适用范围参见附录 D。

6.2 材料防护措施的实施

6.2.1 在材料防护措施选定后,应制定详细的材料防护措施实施方案。方案实施时应严格按照工艺要求及有关操作流程进行。

6.2.2 材料防护措施实施方案应包括以下内容:

- a) 确定防护部件、区域及相应技术要求;
- b) 防护区域的预处理(包括消缺、清洗与喷砂等);
- c) 防护层的厚度;
- d) 主要设备、操作流程与工艺;
- e) 防护层的后处理;
- f) 防护层的质量检验;
- g) 施工安全措施。

6.2.3 喷涂或涂刷作业宜在通风良好的室内进行,如在现场施工,应在清洁的环境中进行,避免施工过程中涂层被灰尘污染。

6.2.4 施工场地应备有足够的安全及消防器具,严禁烟火。施工人员应戴防毒口罩、手套,穿工作服。

6.2.5 实施堆焊或喷焊(喷涂)的人员应具有实施相关作业的资格。

6.2.6 在防护材料(措施)实施之前应对需防护的工件表面进行严格的预处理。工件表面的预处理状况,决定着防护层与基体的结合性能。预处理包括消缺、清洗与喷砂等工序。预处理的技术要求包括:

- a) 在预处理过程中,工件应保持干燥,在不利的天气条件下应采取必要的保护措施;
- b) 消缺:首先采用机械方法去除工件表面上的锈、氧化皮、残留积碳、旧涂层等附着物。然后对坑穴、沟槽等缺陷进行补焊、打磨,找平后再实施防护。对于非金属材料防护,可用环氧砂浆填补的方式对坑穴、沟槽等缺陷找平。补焊前应除尘除污除脂,补焊时应采取适当的工艺措施,以免基材发生变形与裂纹,表面层焊接宜采用氩弧焊;
- c) 清洗:采用有机溶剂或碱性液去除油垢与污物;
- d) 喷砂:采用石英砂或金刚砂进行喷砂及喷砂粗化,喷砂后宜用压缩空气将黏附在工件表面的碎砂粒吹净。

工件表面预处理方法应按照 GB/T 11373 的要求执行。

6.2.7 表面粗化或喷涂(或涂刷)前需对某些有特殊要求的区域采取遮蔽措施。如喷涂时采用薄钢板或高温防护胶布进行遮蔽。

6.2.8 喷涂或涂刷前应对工件表面预处理的质量进行检查,合格后方可进行喷涂或涂刷;表面预处理与喷涂或涂刷的间隔时间应尽可能缩短,宜在喷砂后 4 h 内进行喷涂或涂刷。

6.2.9 堆焊工艺的技术要求包括:

- a) 堆焊焊条应易脱渣,电弧稳定,少烟雾且无毒性,堆焊层性能稳定,不难打磨。焊条材料宜选用奥氏体组织或奥氏体加碳化物组织的铁基合金材料;
- b) 堆焊应在室温及以上温度下进行。有条件时应将工件进行整体或局部预热。现场预热困难时,应将环境温度提高至 20℃~30℃,以利施焊、缓冷与保温。不宜在 20℃ 以下堆焊;
- c) 堆焊时在保证焊透的情况下宜采用小电流,避免因电流过大,基材熔化深,导致热影响区扩大。堆焊时运条速度应一致,电弧燃烧应稳定,在保证电弧连续、不灭弧的情况下宜采用短电弧;
- d) 当堆焊量大时应考虑采取相应的工艺措施防止与减少变形;
- e) 堆焊层外观应均匀一致,无夹杂、气孔、裂纹等缺陷;
- f) 堆焊完成后应对堆焊层进行打磨处理,主要防护部位的表面粗糙度宜不低于 3.2 μm;
- g) 主要防护部位应进行无损探伤检查。

6.2.10 喷焊工艺的技术要求包括:

- a) 喷焊工艺应包括:工件表面预处理→预热→喷涂自溶性合金粉末→重熔处理→冷却→后处理→质量检验;
- b) 喷焊工艺推荐采用氧乙炔焰喷焊,喷焊粉末宜选用镍基的自溶性合金粉末。粉末熔点不宜超过 1 050℃,粉末颗粒以球形和细颗粒为宜;
- c) 喷焊工艺的预热温度可根据工件的大小与材质而定。一般碳钢为 250℃~300℃,不锈钢为 350℃~400℃。预热宜采用整体预热或局部对称预热;
- d) 喷焊工艺应包含对工件变形的控制措施,按对称预热与喷焊,或正背面预热与喷焊的原则进行;
- e) 喷焊层应均匀致密,外观应均匀一致,少孔隙,无鼓包与裂纹等缺陷;
- f) 喷焊完成后应对喷焊层进行打磨处理,主要防护部位的表面粗糙度宜不低于 3.2 μm;
- g) 主要防护部位应进行无损探伤检查。

6.2.11 HVOF 喷涂工艺的技术要求包括:

- a) 喷涂粉末宜选用专用碳化钨粉末(钎钎基),喷涂设备宜采用水冷式 HVOF 喷枪,条件允许时宜采用自动化机器人喷涂,喷砂材料宜选用棕刚玉或白刚玉;
- b) 成型后的涂层厚度宜为 0.25 mm~0.4 mm;
- c) 喷涂时应对基材预热,预热温度宜控制在 80℃~95℃,预热时环境湿度宜小于 10%,喷涂过程中基材温度应控制在低于 120℃;
- d) 涂层与基材的结合强度应不低于 70 MPa,结合强度的测定可参照 GB/T 8642 的规定进行;

- e) 涂层外观应平整光滑、少孔隙,无裂纹等缺陷。孔隙率的测定应按 JB/T 7505 的要求执行;
- f) 喷涂完成后,宜采用专用材料(如环氧类树脂、有机硅树脂等材料)对涂层进行渗透保护;
- g) 应对涂层进行抛光处理,主要防护部位的表面粗糙度宜为 $0.8\ \mu\text{m}\sim 3.2\ \mu\text{m}$ (喷嘴、喷嘴部件表面为 $0.8\ \mu\text{m}\sim 1.6\ \mu\text{m}$,其他为 $3.2\ \mu\text{m}$);
- h) 主要防护部位应进行无损探伤检查。

6.2.12 环氧金刚砂涂层与聚氨酯涂层的技术要求包括:

- a) 涂层应由底层、中间层和面层组成。底层涂刷 2~3 道,底层应具备与基材良好粘接性能。面层应具有良好的抗磨性和耐水性。涂层的粘接强度应不低于 30 MPa;
- b) 环氧金刚砂涂层选用的环氧树脂应具有粘接强度高、工艺性好(易与固化物、增韧剂、填充剂等混合)、收缩性小、稳定性高、耐水性及抗渗性好等特性;填充剂使用时应保持干燥、清洁,不应有油污。环氧砂浆配方材料应无毒;
- c) 聚氨酯涂层的厚度宜控制在 1 mm 左右;
- d) 在涂抹前宜将工件进行预热。一般预热温度 45℃ 左右,底层、中间层和面层的涂刷温度宜控制在 50℃ 左右,固化温度宜控制在 60℃ 左右;
- e) 施涂过程中工件表面应干燥;
- f) 涂层外观应平整光滑、少孔隙。

6.2.13 超高分子量聚乙烯抗磨板的技术要求包括:

- a) 制作抗磨板的工艺包括:材料粉末的选择→抗磨板模压→半成品加工→车间或现场装配→外观检查等;
- b) 模压后的板材应均匀致密、无孔隙;
- c) 板材的吸水率小于 0.01%,抗拉强度应不低于 30 MPa;
- d) 抗磨板装配的拼缝径向间隙宜小于 0.1 mm;
- e) 抗磨板的厚度一般为 25 mm~30 mm,其有效抗磨厚度(螺钉上方丝堵的厚度)宜不小于 6 mm;
- f) 抗磨板保存时应平放,防止变形和高温,抗磨板在运输及施工时应防止焊渣粘附和钢丝绳擦划,导叶安装调试时不应与抗磨板干摩擦。

6.2.14 已完成喷涂或涂刷的工件在运输、吊装及安装过程中应防止损伤涂层,如有损伤应及时处理。

6.2.15 如采用其他的材料防护措施,应按照该材料防护措施的工艺要求严格执行。

6.3 防护涂层的检查与维护

6.3.1 防护涂层的检查事项包括:

- a) 实施了防护涂层的水轮机在投运后应定期检查,如每年在汛期后应停机检查一次;
- b) 运行中如果发现异常或参数(负荷)有较大变化时,应分析是否与涂层破坏有关,必要时宜停机检查涂层有无破坏。

6.3.2 防护涂层的维护

发现涂层破坏后,应查明原因,并采取措施,及时修补。

7 综合防护措施

7.1 水电站设计与水轮机设计

7.1.1 水电站枢纽布置与水工建筑物设计的技术要求包括:

- a) 根据河流泥沙条件、河流地势情况和防沙要求进行周密设计,设计应有利于减少泥沙,特别是

阻止推移质或粗颗粒泥沙进入机组引水系统；

- b) 应合理布置泄洪排沙建筑物与进水口的位置,泄洪排沙建筑物宜保持天然河势,进水口宜设置在凹岸,形成“正向泄洪、排沙、冲沙,侧向取水”的布置格局；
- c) 进水口防沙应按枢纽防沙要求,在进水口设置必要的拦沙、导沙、沉沙、冲沙和排沙等设施。排沙(或冲沙)设施应能满足运用灵活的要求。

7.1.2 当预期磨损程度为中等或严重时,引水系统应设置沉沙或排沙设施。

7.1.3 水轮机机型与参数选择的技术要求包括：

- a) 水轮机机型选择应根据水电站的运行水头范围、运行特点、保证出力和过机泥沙特性,从经济指标、设计制造经验、运行可靠性、抗泥沙磨损特性和维护检修等方面,进行技术经济分析论证后选定；
- b) 在两种机型同时可选的情况下,应选择比转速偏低的机型；
- c) 与清水条件下运行的水轮机相比,水轮机的吸出高度应有更大的安全裕度；
- d) 水轮机比转速的选择宜较清水条件下适当降低。

7.1.4 水轮机水力设计的技术要求包括：

- a) 在水轮机规定的运行范围内,应保证水轮机在清水条件下不发生空化,电站空化系数与初生空化系数的比值宜不小于 1.1；
- b) 流道内的流速不宜过高,避免由于流态的不均匀分布出现局部过高的流速；在水轮机规定的运行范围内,流道内应避免产生旋涡与脱流等情况；
- c) 混流式水轮机转轮宜选择较小的出口直径,以降低转轮出口处的圆周速度,转轮叶片出水边的相对流速不宜大于 34 m/s。对于预期磨损严重的水轮机还宜适当降低转轮叶片出水边的流速；
- d) 高水头混流式水轮机的导叶分布圆直径宜适当增大,降低导叶区的流速及改善转轮前的流态。导叶叶型应选择有利于减小两侧压差的叶型,以减轻导叶端面与抗磨板间的磨损。导叶的轴颈不宜局部凸出。转轮叶片数宜适当增加。叶片的曲率变化宜较小。

7.1.5 水轮机结构设计的技术要求包括：

- a) 在易磨损部位不宜出现过多的焊缝。焊缝应选择有良好耐磨性的焊接材料焊接,焊接后应打磨平整；
- b) 易磨损部件的结构强度应有足够的裕度,应易于拆装,并具有良好的互换性。易磨损部件应有足够的备件；
- c) 在不影响其他性能的条件下,转轮叶片出水边与抗磨板的厚度应取较大值；
- d) 对于预期磨损严重的水电站,转轮的拆卸方式可根据水电站和水轮机的特点,宜采用下拆方案；
- e) 混流式水轮机止漏环的结构应便于拆卸与更换；水轮机下止漏环宜采用压盖式结构,止漏环的间隙宜取较小值,对于直缝式与台阶式止漏环,间隙应有足够的长度；梳齿密封根部厚度不宜过薄,头部尖角应当修圆；
- f) 混流式水轮机,特别是高水头混流式水轮机顶盖与底环应有足够的刚度,避免水轮机充水后因水压作用导致变形,造成导叶端面间隙增大。顶盖内腔设计不应采用易于造成泥沙淤积的结构。水轮机顶盖与底环应设有可更换的抗磨板,宜采用堆焊不锈钢板或带极堆焊不锈钢,其表面应平整,不宜采用螺钉联接,拼缝应严密平整；
- g) 导叶立面宜采用硬止水方式,导叶端面不宜采用弹性止水密封结构。导叶端面间隙宜取较小值。导叶轴颈密封应采用无含沙水进入的结构。混流式水轮机的导叶限位块应设置在顶盖上；
- h) 轴流式水轮机叶片外缘与转轮室间的间隙双边之和不应大于转轮名义直径 D_1 的 0.25%。间

隙值应尽可能保持均匀(包括转桨式转轮在调整桨角时)。轴流式或贯流式水轮机转轮叶片外缘宜加裙边保护;叶片应取消叶片上的吊装孔,改用与主轴、轴承、支撑盖整体起吊的安装方式或其他可行的安装方式;

- i) 各种接触式主轴密封,应选择清洁水源。主轴密封的结构应能够快速更换。

7.2 水轮机制造与安装

7.2.1 水轮机制造加工的技术要求包括:

- a) 水轮机转轮叶片宜采用数控加工;
- b) 水轮机过流部件应具有较小的表面粗糙度,易磨蚀部位的表面粗糙度应不低于 $1.6 \mu\text{m}$;其他磨蚀部位应不低于 $3.2 \mu\text{m}$;
- c) 铸件加工前应进行无损探伤检查,铸造加工后的表面不应有肉眼可见的铸造缩孔、气孔和夹杂等铸造缺陷;
- d) 转轮密封间隙与导叶端面间隙应尽量按间隙的下限加工;
- e) 对预期磨蚀严重的水轮机,应提供更多的转轮进出口型线样板;
- f) 水轮机流道应平整光滑,应避免流道内特别是在流速较高的部位出现各种接缝、凸起、凹陷、台阶等不平整现象。

7.2.2 水轮机安装应符合下列要求:

- a) 水轮机安装应按 GB/T 8584 的规定执行,涉及水轮机过流部件的安装质量应从严控制;
- b) 混流式水轮机(特别是高水头混流式水轮机)安装时应严格控制转轮各部位(包括上冠与下环外缘、上梳齿止漏环与下止漏环等)间隙与导叶端面间隙。轴流式水轮机安装时应严格控制转轮室与叶片外缘间的间隙大小与均匀性。

7.3 水轮机运行、维护与检修

7.3.1 水轮机运行、维护及检修的技术要求包括:

- a) 应合理调度,使水轮机在最佳运行区域内运行,应限制在恶劣工况下运行,特别是在泥沙较多的汛期,为避开较大的沙峰,可考虑短期停机;
- b) 必要时可采用修型、补气、加裙边等措施;
- c) 汛期不宜以空载备用方式运行。

7.3.2 高水头水轮机停机时应关闭进水阀。

7.3.3 宜进行定期排沙。

7.3.4 汛期运行时应注意观察顶盖漏水量与压力的变化,以判断止漏环或止漏密封的磨损情况。

7.3.5 水轮机检修应按照 DL/T 838 的规定执行。如发现问题应及时停机处理。

7.3.6 水轮机检修时应对各部件的破坏情况进行检查和记录(包括拍照),并将检查结果与上一次记录的结果进行对比,分析其原因并进行处理。

附录 A
(资料性附录)
不同型式水轮机主要磨蚀部位

A.1 水斗式水轮机

A.1.1 主要空蚀部位

主要空蚀部位包括水斗内表面及外侧、喷针头部。水斗发生空蚀部位可参见 GB/T 19184。

A.1.2 主要磨损部位

主要磨损部位包括喷针(中部和尾部)、喷嘴出口边和水斗。

A.1.3 主要磨蚀部位

主要磨蚀部位包括喷针、喷嘴以及水斗。喷针与喷嘴磨损后因局部不平整可以诱发空蚀形成磨蚀,水斗空蚀后可以加剧局部磨损和磨蚀。

A.2 混流式水轮机

A.2.1 主要空蚀部位

主要空蚀部位包括转轮叶片背面、上冠叶道间、活动导叶立面及轴颈鼓包处后方(常因鼓包鼓出较多造成水流脱流而发生空蚀)、上冠泄水锥口和尾水管锥管进口等。

A.2.2 主要磨损部位

主要磨损部位包括转轮、导水机构和止漏环等。转轮主要是叶片与下环,特别是叶片出水边与下环交接处附近;导水机构主要是活动导叶端面与立面、顶端与底环抗磨板(卧式机组为前后盖板,下同)。高水头混流式水轮机导水机构的磨损破坏重于转轮。

A.2.3 主要磨蚀部位

主要磨蚀部位包括转轮叶片背面、下环面、止漏环、尾水管锥管进口段,以及上述主要磨损部位因磨损后可以诱发空化与空蚀而形成磨蚀等。

A.3 轴流式水轮机

A.3.1 主要空蚀部位

主要空蚀部位包括轮毂、转轮叶片背面(头部进水边后,外缘,出水边)和转轮室中环。对于转桨式,空蚀部位主要发生在转轮空叶片轴线以下位置处;对于定桨式,空蚀部位有时还可能发生在中环上部靠叶片进口边处,同时可在叶片头部进口边处发生空蚀。

A.3.2 主要磨损部位

主要磨损部位包括叶片正面和转轮室中环。叶片正面的磨损呈现从内缘到外缘区域、从头部到出

水边逐渐加重的趋势,严重时出水边可磨穿甚至小块脱落,背面磨损规律相似,但磨损相对较轻。

A.3.3 主要磨蚀部位

主要磨蚀部位包括叶片背面、叶片外缘及端面和转轮室中环。

A.4 贯流式水轮机

A.4.1 主要空蚀部位

主要空蚀部位包括转轮叶片外缘端面 and 转轮室中环。

A.4.2 主要磨损部位

主要磨损部位包括叶片正背面外缘部分、外缘端面和转轮室中环。

A.4.3 主要磨蚀部位

主要磨蚀部位包括叶片背面外缘部分、外缘端面 and 转轮室中环。



附录 B
(资料性附录)
水轮机破坏性质的外貌特征

B.1 水轮机破坏性质的分类

水轮机破坏的性质可分为磨损、空蚀与磨蚀。

B.2 泥沙磨损的外貌特征

泥沙磨损初期过流部件表面表现为表面发亮,保留原有的光泽,严重时出现大面积的波纹、鱼鳞状痕迹、沟槽等。在水流发生急剧变化或流道不平整部位,如凸起、缝隙等处,常可能出现受冲刷而形成的局部较深的坑穴与深沟。

B.3 空蚀的外貌特征

空蚀初期表现为金属材料表面失去原有光泽,变得灰暗、毛糙,出现细小针孔。严重时表面呈麻面、蜂窝、海绵状。空蚀破坏常表现为孤立的小片,局限在小块面积上,一般发生在流道压力较低的部位,如叶片背面。

B.4 磨蚀的外貌特征

磨蚀兼有泥沙磨损与空蚀两者的外貌特征。在现场大部分表现为泥沙磨损的外貌特征更明显一些,仅在某些强空蚀区,才能看到明显的空蚀外貌特征。

附录 C
(资料性附录)
水轮机常用基材及使用范围

C.1 碳钢

碳钢加工性好,易修补,价格便宜,但抗磨蚀性较差,可用于非主要磨蚀部位。目前在一些小尺寸、小容量和低水头水轮机中应用较多。

C.2 低合金钢

以 20SiMn 为代表的低合金钢加工性好,价格较便宜,抗磨蚀性稍强于碳钢,可用于非主要磨蚀部位,如上冠。目前在一些尺寸较小的水轮机中应用较多。

C.3 0Cr13Ni5Mo 或 0Cr13Ni4Mo 不锈钢

0Cr13Ni5Mo 或 0Cr13Ni4Mo 为低碳马氏体不锈钢,具有高强度、高耐疲劳性、高韧性等特性,抗磨蚀性好,是目前普遍采用的材料,可用于主要磨蚀部位,如轴流式水轮机叶片、转轮室,混流式水轮机导叶、转轮、抗磨板、转轮止漏环等。但在磨蚀强度大的场合,宜采用防护材料。

C.4 0Cr16Ni5Mo 不锈钢

0Cr16Ni5Mo 为超低碳马氏体不锈钢。其组织性能基本上与低碳马氏体不锈钢相当,但韧性较好,硬度和强度较低碳马氏体不锈钢高,并且抗疲劳与焊接性较好,多用于磨蚀强度较大的高水头混流式水轮机的转轮、导叶、抗磨板等部位。但在磨蚀强度大的场合,宜采用防护材料。

C.5 1Cr18Ni9Ti 不锈钢

1Cr18Ni9Ti 为奥氏体不锈钢,其强度、硬度及抗磨性比 0Cr13Ni4Mo 不锈钢低,但具有较高的韧性与良好的焊接性等性能,抗空蚀性较好。目前多用于抗空蚀的覆盖层及尾水管里衬上段或固定止漏环等部位。

附录 D

(资料性附录)

材料防护措施及适用范围

各种材料防护措施及适用范围见表 D.1。

表 D.1 各种材料防护措施及适用范围

| 材料防护措施 | 工艺特点及性能 | 适用范围 | 备注 |
|---------|--|---|---|
| 堆焊层 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 工艺简单,易修复; 2) 焊层与基材为冶金结合; 3) 施焊温度高,易产生裂纹与变形; 4) 硬度较高,抗磨蚀性强; 5) 价格较低 | 适用于局部防护,如空蚀、腐蚀严重部位的修复 | 推荐采用 18-8 型奥氏体不锈钢焊条,如 A102、A132 等。在某些局部强磨蚀部位亦可采用 GBI 或 G19 焊条 |
| 喷焊层 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 焊层与基材为冶金结合; 2) 预热及施焊温度较高,易产生裂纹与变形; 3) 硬度高,抗磨蚀性强; 4) 价格适中 | 适用于小尺寸部件防护,如较严重磨蚀部位和较强空蚀、磨蚀部位 | |
| HVOF 涂层 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 预热及喷涂温度较低,无变形; 2) 涂层与基材为机械结合,结合强度可达 70 MPa; 3) 涂层均匀致密、少孔隙、低残余应力; 4) 硬度高,抗磨性强; 5) 价格较高 | 适用于严重磨蚀部位,如混流式水轮机(包括高水头)止漏环、导叶、抗磨板、转轮叶片、轴流式水轮机转轮叶片、转轮室、水斗式水轮机的喷针、喷嘴及水斗等 | 推荐采用 HVOF 工艺以钴铬为基体的碳化钨喷涂 (Co-CrWC) |
| 聚氨酯涂层 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 工艺较简单,易修复; 2) 预热及涂敷温度低,无变形; 3) 涂层与基材为机械结合,结合强度可达 30 MPa; 4) 抗磨性较好,抗空蚀性较差; 5) 价格适中 | 适用于低水头水轮机(50 m 以下)中等磨蚀程度的部位防护(局部修补),如蜗壳、固定导叶及叶片正面等,不适用空蚀部位,如叶片背面 | 抗空蚀能力略高于环氧金刚砂涂层 |
| 环氧金刚砂涂层 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 工艺较简单,易修复; 2) 预热及涂敷温度低,无变形; 3) 涂层与基材为机械结合,结合强度略低于聚氨酯涂层; 4) 抗磨性较好,抗空蚀性差; 5) 价格较低 | 适用于低水头水轮机(50 m 以下)与中等磨蚀程度的部位防护(局部修补),如蜗壳、固定导叶及叶片正面等,不适用空蚀部位,如叶片背面 | |

表 D.1 (续)

| 材料防护措施 | 工艺特点及性能 | 适用范围 | 备注 |
|------------|---|--------------------------------|----|
| 超高分子量聚乙烯材料 | 1) 硬外面材,非涂层; 2) 抗磨性强,抗空蚀性强; 3) 价格适中 | 适用于中低水头水轮机严重磨损程度的部位防护,特别适用于抗磨板 | |

<https://www.sizjxx.com>
 水利造价信息网

http://www.sizjxx.com
水利造价信息网

中华人民共和国
国家标准
小型水轮机磨蚀防护导则
GB/T 32745—2016

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51786238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 32 千字
2016年7月第一版 2016年7月第一次印刷

*

书号: 155066·1 52071 定价 21.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 32745-2016