

中华人民共和国水利行业标准

SL/T 815—2021

水泵磨蚀防护技术规范

Technical specifications for protection pumps from
abrasion and cavitation

2021-11-18 发布

2022-02-18 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水土保持信息管理
技术规程》等 11 项
水利行业标准的公告

2021 年第 12 号

中华人民共和国水利部批准《水土保持信息管理技术规程》（SL/T 341—2021）等 11 项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标 准 名 称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水土保持信息管理技术规程	SL/T 341—2021	SL 341—2006	2021. 11. 18	2022. 2. 18
2	河道采砂规划编制与实施监督管理技术规范	SL/T 423—2021	SL 423—2008	2021. 11. 18	2022. 2. 18
3	水资源监测数据传输规约	SL/T 427—2021	SL 427—2008	2021. 11. 18	2022. 2. 18
4	堰塞湖风险等级划分与应急处置技术规范	SL/T 450—2021	SL 450—2009 SL 451—2009	2021. 11. 18	2022. 2. 18
5	建设项目水资源论证导则 第 5 部分：化工行业建设项目	SL/T 525.5—2021		2021. 11. 18	2022. 2. 18
6	建设项目水资源论证导则 第 6 部分：造纸行业建设项目	SL/T 525.6—2021		2021. 11. 18	2022. 2. 18
7	水利通信工程质量评定与验收规程	SL/T 694—2021	SL 439—2009 SL 694—2015	2021. 11. 18	2022. 2. 18
8	水轮机过流部件磨损试验方法	SL/T 814—2021		2021. 11. 18	2022. 2. 18
9	水泵磨蚀防护技术规范	SL/T 815—2021		2021. 11. 18	2022. 2. 18
10	电子证照 取水许可证	SL/T 816—2021		2021. 11. 18	2022. 2. 18
11	抗旱效益评估技术导则	SL/T 817—2021		2021. 11. 18	2022. 2. 18

水利部

2021 年 11 月 18 日

目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 磨蚀防护基本原则	2
5 运行维护措施	3
6 磨蚀防护工艺	3
6.1 一般要求	3
6.2 涂装	4
6.3 热喷涂	4
6.4 激光熔覆	6
6.5 堆焊	7
6.6 喷焊	8
6.7 其他工艺	8
7 磨蚀防护材料的性能检测与评价	8
7.1 磨蚀防护性能检测	8
7.2 磨蚀防护性能评价	9
附录 A (资料性) 水泵过流部件常用基材及磨蚀防护用材	10
附录 B (规范性) 磨蚀防护施工前处理要求	12
附录 C (资料性) 材料抗磨蚀性能检测方法	13

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，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》的要求，制定本标准。

本标准共7章和3个附录，主要技术内容有：

- 磨蚀防护基本原则；
- 运行维护措施；
- 磨蚀防护工艺；
- 磨蚀防护材料的性能检测与评价。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部农村水利水电司

本标准解释单位：水利部农村水利水电司

本标准主编单位：水利部产品质量标准研究所

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：吴燕明 陈小明 赵 坚 毛鹏展 刘 伟 方 勇 伏 利

本标准审查会议技术负责人：刘 健 余江成

本标准体例格式审查人：徐海峰

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

水泵磨蚀防护技术规范

1 范围

本标准规定了水泵磨蚀防护基本原则、综合防护措施、磨蚀防护工艺及性能检测与评价的有关技术要求。

本标准适用于水泵的磨蚀防护。

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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法（A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺）

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 6383 振动空蚀试验方法

GB/T 8642 热喷涂抗拉结合强度的测定

GB/T 8923.1 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 15254 硫化橡胶与金属粘接 180°剥离试验

GB/T 17850.7 涂装涂料前钢材表面处理 喷射清理用非金属磨料的技术要求 第7部分：熔融氧化铝

GB/T 18838.2 涂装涂料前钢材表面处理 喷射清理用金属磨料的技术要求 第2部分：冷硬铸铁砂

HB 7751 爆炸喷涂涂层结合强度试验方法

NB/T 35081 水电工程金属结构涂层强度拉开法测试规程

ISO TR 26946 热喷涂涂层孔隙率测定方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

过泵含沙量 sediment content passing through pump

通过水泵单位体积水沙混合物中所携带的泥沙含量。

3.2

金属陶瓷 ceramet

陶瓷硬质相与金属或合金粘结相组成的复合材料。

3.3

涂装 coating

将有机或无机材料涂覆到工件表面形成保护涂层的工艺方法。

3.4

超音速火焰喷涂 high velocity oxygen-fuel spraying (HVOF)

采用氧-燃料燃烧形成超音速焰流喷涂制备防磨蚀涂层的工艺方法。

3.5

大气超音速火焰喷涂 high velocity air - fuel spraying (HVOF)

采用大气-燃料燃烧形成超音速焰流喷涂制备防磨蚀涂层的工艺方法。

3.6

激光熔覆 laser cladding

通过高能密度激光束辐照使熔覆材料和基材表面薄层一起熔化并快速凝固，形成稀释度极低并与基体材料成冶金结合的防磨蚀涂层的工艺方法。

3.7

封闭材料 sealing material

用以渗入、填充金属层孔隙并起到封闭作用的材料。

3.8

空蚀量 cavitation erosion quantity

水泵运行时，经过一定时间的空化作用，材料的损坏量；测试分析时，在一定条件下经过一定时间的空化作用，材料的损坏量。

注：损坏量可用空蚀深度 ΔH 、空蚀面积 ΔS 、质量损失 ΔG 、体积损失 ΔV 等表示。

3.9

磨蚀量 abrasion quantity by sediment and cavitation

水泵运行时，经过一定时间的泥沙磨损及空化联合作用，材料的损坏量；测试分析时，在一定条件下经过一定时间的泥沙磨损及空化联合作用，材料的损坏量。

注：损坏量可用磨蚀深度 ΔH 、磨蚀面积 ΔS 、质量损失 ΔG 、体积损失 ΔV 等表示。

3.10

抗空蚀倍数 relative anti - cavitation multiples

在相同条件的空化作用下，基材或基准材料与空蚀防护用材的损坏比例的比值。

注：损坏比例为在一定条件下经过一定时间的空蚀作用下，体积损失 ΔV 与原试件体积 V 或质量损失 ΔG 与原试件质量 G 的比值。

3.11

抗磨蚀倍数 relative anti - abrasion multiples

在相同条件的泥沙磨损及空化联合作用下，基材或基准材料与磨蚀防护用材的损坏比例的比值。

注：损坏比例为在一定条件下经过一定时间的磨蚀作用下，体积损失 ΔV 与原试件体积 V 或质量损失 ΔG 与原试件质量 G 的比值。

3.12

沙粒特性 characteristics of sand grain

泥沙颗粒的几何、物理等特性，如沙粒形状、沙粒尺寸、沙粒的矿物组成成分、沙粒硬度和沙粒相对密度等。

3.13

试件 test - specimen

为了避免对工件造成破坏，在磨蚀防护施工前以及施工过程中采用相同基材、相同施工工艺制作的样件，用于涂层的性能检测。

3.14

试样 test - sample

按金相、硬度及结合强度等检测要求，从试件中取出并经过加工制成可供相应检测分析的样品。

4 磨蚀防护基本原则

4.1 对于存在磨蚀的泵站工程设计应包括磨蚀防护设计。磨蚀防护措施的选择应从水泵的使用寿命、

维修难易程度、河流实测最大含沙量、沙粒特性、水质情况、投资金额等因素综合考虑。磨蚀防护措施应合理、可靠、经济。

4.2 新建泵站水泵，应根据类似工程磨蚀情况、实验数据及以往工程经验等选择合适的防护材料，并确定需要防护的部件或部位及所采用的防护措施。

4.3 改建泵站水泵，应根据水泵实际磨蚀情况选择合适的防护材料，并确定需要防护的部件或部位以及所采用的防护措施。

4.4 采用抗磨蚀基材直接作为磨蚀防护材料时，宜选用附录 A.1 中的材料。

4.5 采用抗磨蚀防护层作为磨蚀防护材料时，防护层材料应具有足够的致密性、结合强度、表面硬度、韧性等有利于抗磨蚀的性能，宜选用附录 A.2 中的材料。

5 运行维护措施

5.1 水泵在投运后应定期进行磨蚀情况的检查。

5.2 运行中如果发现异常或运行参数有较大变化时，应分析是否与磨蚀破坏有关，必要时宜停机检查。

5.3 发现水泵磨蚀破坏后，应进行磨蚀面积和深度的检测并记录，分析磨蚀原因。对于磨蚀破坏严重的部位，应进行表面清理、修补、打磨，恢复至原有的型线，并应采用相应的磨蚀防护工艺进行处理。

5.4 水质的变化会影响水的空化压力，从而影响水泵的空蚀，在运行过程中应定期检测水质的变化情况。

5.5 在使用寿命期内水泵的磨蚀量指标应符合下列要求：

- a) 水泵各类止漏装置被磨蚀后的间隙不应超过设计间隙的 2 倍；
- b) 对采用磨蚀防护涂层的部件，涂层破坏的面积不应超过全部涂层面积的 10%。涂层脱落或破坏处的基材不应发生严重的磨蚀。

6 磨蚀防护工艺

6.1 一般要求

6.1.1 施工前应制定详细的技术实施方案及施工工艺。

6.1.2 施工前应对施工所用材料的名称、型号、质量合格证书、说明书等进行检查确认，并应符合设计规定。各施工工艺所用材料应纯净、无杂质，宜选用附录 A.2 中的材料。

6.1.3 施工前应明确需施工的部件及部位，对需施工部件的材质成分、表面硬度、结构尺寸等进行原始记录。

6.1.4 施工前应对非施工区域进行遮蔽。施工区与非施工区之间应做好过渡处理，无明显台阶。

6.1.5 施工前基材的表面粗糙度不应大于 $Ra\ 6.3\mu m$ ，基材表面预处理应按照附录 B 的要求进行，并应对基材表面预处理的质量进行检测。

6.1.6 应对施工全过程的技术方案、工艺参数、检测数据等进行详细的记录、整理及归档。

6.1.7 施工人员经过技术培训合格后方可上岗。检测人员应熟练掌握涂层性能指标检测方法，无损检测人员应具有中级及以上检测资格，理化检测人员经过技术培训合格后方可上岗。

6.1.8 施工人员在施工过程中应做好防护措施，如佩戴专用口罩、耳塞、手套、护目镜，穿专用防护服等。

6.1.9 施工现场应做好安全防护、通风除尘等措施，保证施工在安全、清洁的环境中进行，避免施工过程中涂层表面被杂质污染。

6.1.10 施工环境湿度不宜大于 85%，环境温度应高于 5℃ 且基材表面温度应高于大气露点 3℃。

6.1.11 需要对磨蚀防护层进行金相、显微维氏硬度、结合强度等检测时，应在正式施工前以及施工过程中采用相同的基材、相同的施工工艺制作检测试件，并按照检测要求从试件上分别取出金相试样、硬度试样、结合强度试样等检测试样，每一项检测的试样数量不应少于5块。需要直接在施工部件上进行检测时，应选择非重要部位，检测后应尽快修补。

6.2 涂装

6.2.1 工艺条件

6.2.1.1 涂装施工可采用涂覆、刷涂、喷涂、浇筑等方法，宜根据涂装材料的性能、施工条件和被涂工件的形状进行选择。

6.2.1.2 涂装施工的工具应保持干燥、清洁，涂装作业应在清洁环境中进行。

6.2.2 施工及要求

6.2.2.1 基材表面预处理后，应及时进行涂装。在潮湿或工业大气等环境条件下，应在表面预处理后2h内涂装完毕；在湿度不大于85%的条件下，最长不应超过4h。

6.2.2.2 涂装层应由底层、中间层和面层组成；底层应具备与基材良好的粘接性能，面层应具有良好的抗磨蚀性和耐水性。

6.2.2.3 涂装层在干燥过程中，应保持周围环境清洁，防止被灰尘、雨、水等物污染。

6.2.3 质量检测及要求

6.2.3.1 外观及缺陷检测

涂装层的底层、中间层和面层应无咬底、裂纹、针孔、分层剥落、漏涂和返锈等缺陷。

6.2.3.2 厚度检测

6.2.3.2.1 涂装层的底层、中间层和面层的层数应符合设计规定，当总厚度不够时，可增加面层层数。

6.2.3.2.2 涂装层的设计厚度宜为1~3mm。

6.2.3.2.3 涂装层干燥后宜用无损涂层测厚仪进行干膜厚度的测量，85%以上的测点应达到设计要求，其最小厚度不应低于设计厚度的85%。对有最大干膜厚度要求的涂层，应满足相关要求。

6.2.3.3 结合强度检测

6.2.3.3.1 宜按照NB/T 35081的规定检测涂装层结合强度，聚氨酯类涂装层的结合强度不应低于12MPa，环氧砂浆类涂装层的结合强度不应低于20MPa。

6.2.3.3.2 聚氨酯类涂层的结合强度检测也可按照GB/T 15254的规定进行，采用剥离强度表示结合强度，其剥离强度不应低于55kN/m。

6.2.3.4 其他要求

水泵零部件涂装后应满足其装配要求。

6.3 热喷涂

6.3.1 工艺条件

6.3.1.1 宜采用氧气-煤油超音速火焰喷涂、氧气-丙烷超音速火焰喷涂或大气超音速火焰喷涂等喷

涂设备，以及机械手与回转台等实现曲面喷涂。喷涂用的气体应清洁、干燥。主设备及其辅助设备应具有参数稳定、调节灵活、安全可靠等性能要求。

6.3.1.2 喷涂前应对使用的喷涂粉末进行烘干。烘干温度应为 $60\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，恒温时间不应小于 1h，确保粉末干燥。

6.3.2 施工及要求

6.3.2.1 喷涂施工与表面预处理的间隔时间应尽可能缩短。在潮湿或工业大气等环境条件下，表面预处理后应在 2h 内喷涂完毕，在湿度不大于 85% 的条件下，最长不应超过 4h。

6.3.2.2 喷涂过程中喷枪宜尽可能与基体表面垂直，喷涂射流与基体表面的夹角宜不小于 60° 。

6.3.2.3 喷涂施工首先应对基体进行预热。预热方法宜选用在不送粉的情况下利用焰流对基体进行预热等方法，预热温度宜控制在 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。

6.3.2.4 喷涂施工过程中，每行涂层边缘的搭接宽度应保持一致，搭接范围应为每行涂层宽度的 $1/4\sim 1/3$ 。

6.3.2.5 喷涂的送粉量、喷涂距离及喷涂线速度等应控制在合理的范围，每一遍的厚度应在要求的范围并且涂层厚度均匀，同时不应漏喷和误喷。

6.3.2.6 喷涂过程中注意控制工件整体的温度，工件表面的实测温度不应高于 150°C 。

6.3.2.7 涂层检查合格后，采用树脂类封闭材料对涂层进行封闭处理，宜采用刷涂或高压无气喷涂的方式施工。

6.3.3 质量检测及要求

6.3.3.1 外观检测

涂层表面应均匀一致，无气孔或基体裸露的斑点，没有附着不牢的金属熔融颗粒和影响涂层使用寿命及应用的缺陷。

6.3.3.2 表面粗糙度检测

涂层表面粗糙度不应高于 $Ra\ 6.3\mu\text{m}$ 。有表面粗糙度等级要求的部件，应按照设计要求进行抛光处理。

6.3.3.3 涂层厚度检测

6.3.3.3.1 涂层的总厚度宜控制在 $100\sim 400\mu\text{m}$ ，单遍喷涂的涂层厚度应控制在 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。

6.3.3.3.2 宜采用电子测厚仪对涂层进行无损测厚。宜按照每平方米不少于 8 个点进行测量，测点数量不应少于 5 个点，测试点应 100% 达到设计要求。

6.3.3.4 金相检测

宜按照标准 ISO TR 26946 的规定检测涂层孔隙率。在每个试样上应测试不少于 5 点数据。涂层的平均孔隙率应低于 1%。涂层的金相显微组织应致密，无分层和微裂纹等缺陷。

6.3.3.5 硬度检测

宜按照 GB/T 4340.1 的规定检测涂层硬度。在每个试样上应测试不少于 5 点数据。涂层的最低测试维氏硬度值不应低于 $1000\text{HV}_{0.2}$ ，平均硬度值不应低于 $1100\text{HV}_{0.2}$ 。

6.3.3.6 结合强度检测

宜按照 GB/T 8642 或 HB 7751 检测涂层结合强度，涂层的结合强度不应低于 70MPa 。

6.3.3.7 其他要求

水泵零部件喷涂后应满足其装配要求。

6.4 激光熔覆

6.4.1 工艺条件

6.4.1.1 宜采用半导体或光纤激光加工技术，同步送粉工艺，以及机械手与回转台等实现曲面加工。主设备及其辅助设备应具有参数稳定、调节灵活、安全可靠等性能要求。

6.4.1.2 熔覆前应对使用的粉末进行烘干。烘干温度应为 60~100℃，恒温时间不应小于 1h，确保粉末干燥。

6.4.1.3 观察激光熔覆过程时应佩戴专门的护目镜，距离应大于 1.5m。

6.4.2 施工及要求

6.4.2.1 熔覆前宜对工件进行预热，预热温度宜为 250~550℃，可根据基材的材质及厚度等确定。预热过程中应防止温度过高而导致工件表面产生氧化层以及变形、温度过低而导致熔覆层开裂。

6.4.2.2 应正确调整激光功率、激光与送粉焦距、熔覆角度、送粉量、喷枪与工件的相对移动速度、搭接率，确保熔覆层性能均匀、稳定。

6.4.2.3 熔覆施工过程中，每行涂层边缘的搭接宽度应保持一致，搭接范围应为每行宽度的 1/3~1/2。应合理控制施工之间的间隔时间，防止温度过高导致工件变形，在间隔时间内应及时检查熔覆层质量。

6.4.2.4 激光熔覆完成后，应按照部件原有的表面型线进行加工。

6.4.3 质量检测及要求

6.4.3.1 外观及缺陷检测

6.4.3.1.1 目测或放大镜检查熔覆层外观质量，其表面应平整、无气孔、裂纹、塌陷及夹渣等缺陷。

6.4.3.1.2 激光熔覆过程中如果发现气孔，应及时进行局部修补。如果发现裂纹，应及时进行打磨，直到无裂纹为止，并及时进行局部修补。

6.4.3.2 厚度检测

熔覆层每层厚度宜控制在 0.5~1mm，总厚度按照实际要求，宜采用无损测厚仪检测其厚度。应按照每平方米不少于 8 个点进行测量，测点数量不应少于 5 个点，100% 的测试点应达到设计要求。

6.4.3.3 金相检测

熔覆层的金相显微组织应致密，无气孔、微裂纹等缺陷。

6.4.3.4 硬度检测

宜按照 GB/T 230.1 的规定检测熔覆层硬度，每块试样应测试不少于 5 点数据，最低测试硬度值不应低于 60HRC，平均硬度值不应低于 65HRC。

6.4.3.5 其他要求

水泵零部件激光熔覆后应满足其装配要求。

6.5 堆焊

6.5.1 工艺条件

6.5.1.1 堆焊方法包括焊条电弧焊、埋弧自动焊、药芯焊丝自保护明弧自动焊。

6.5.1.2 对于水泵叶片等曲面部件，宜采用自动焊的方法，其他无法实现自动焊的表面也可采用焊条电弧焊。堆焊及其辅助设备应具有良好的工作状态和安全性，并应满足如下要求：

- a) 焊接电源应能保证长时间连续稳定工作。
- b) 操作机应能实现自动焊枪的上下左右方向移动。
- c) 变位机应能实现水平方向的旋转和垂直方向的翻转。
- d) 除尘系统应能对堆焊时释放的焊接烟尘进行净化。

6.5.1.3 堆焊前应对水泵基体的化学成分和力学性能进行核查，根据水泵基体的材质成分、工件结构、工况条件等选用焊条、焊丝、焊剂等焊接材料。

6.5.1.4 埋弧自动堆焊时，应保证焊剂与焊丝的配套使用。

6.5.1.5 堆焊前应对使用的焊材进行保温，温度宜在 80~100℃，恒温时间不应小于 1h，确保焊材干燥。

6.5.2 施工及要求

6.5.2.1 焊前预热要求如下：

- a) 自动焊时，当环境温度低于 5℃时，应考虑采取预热措施。
- b) 焊条电弧焊时，如果需要预热，预热温度应根据堆焊耐磨件的材质成分确定，宜为 80~120℃。

6.5.2.2 焊条电弧堆焊时，宜采用多层多道、分段堆焊的方法。

6.5.2.3 自动堆焊工艺参数根据药芯焊丝的规格确定，宜采用直径为 $\phi 2.4 \sim 3.2\text{mm}$ 的焊丝。

6.5.2.4 堆焊完成后，应按照部件原有的表面型线进行加工或打磨。

6.5.3 质量检测及要求

6.5.3.1 外观检测

6.5.3.1.1 工件堆焊后表面应无熔渣、焊瘤和飞溅物等，并平滑过渡到基材。

6.5.3.1.2 焊条电弧焊时应符合原部件的尺寸要求。自动焊时，应测量堆焊后水泵叶片的外形尺寸，对照原产品的图纸要求，其周向尺寸允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$ ，径向尺寸允许偏差应为 $\pm 1.5\text{mm}$ ，堆焊层表面的鳞片状突起不平度不应大于 3mm。

6.5.3.2 缺陷检测

应对堆焊区和周围基材进行磁粉探伤或渗透探伤检测。堆焊层可存在分布均匀致密的龟裂纹，但不应有贯穿性裂纹和密集型气孔等缺陷。

6.5.3.3 金相检测

宜按照 GB/T 13298 的规定检测堆焊层的金相组织。堆焊层的金相组织应符合设计要求。

6.5.3.4 硬度检测

宜按照 GB/T 230.1 的规定检测堆焊层硬度，应测试不少于 5 个点，堆焊层平均硬度值不应低于 58HRC。

6.5.3.5 其他要求

水泵零部件堆焊后应满足其装配要求。

6.6 喷焊

6.6.1 技术条件

6.6.1.1 喷焊方法宜选用氧乙炔喷焊、等离子喷焊等。喷焊及其辅助设备应具有良好的工作状态和安全性，并满足喷焊规范的需要。

6.6.1.2 应对使用的喷焊粉末进行烘干。烘干温度应为 100~150℃，恒温不应小于 1h，确保干燥。

6.6.2 施工及要求

6.6.2.1 喷焊时应对工件进行预热，预热温度宜为 200~400℃，可根据基材材质及厚度等确定。

6.6.2.2 正确调整火焰状态、喷焊距离、喷焊角度、送粉量及喷枪与工件的相对移动速度。

6.6.2.3 喷焊完成后，利用靠模按照部件原有的表面型线进行打磨抛光。

6.6.3 质量检测及要求

6.6.3.1 外观检测

目测或放大镜检查焊层外观质量，其表面应平整、光滑、无气孔、裂纹和塌陷等缺陷。

6.6.3.2 厚度检测

焊层的厚度应为 0.3~0.6mm，采用无损测厚仪检测其厚度。按照每平方米不少于 8 个点进行测量，测点数量不应少于 5 个点，100%的测试点的最低厚度应达到设计要求。

6.6.3.3 硬度检测

宜按照 GB/T 230.1 的规定检测堆焊层硬度，应测试不少于 5 个点，喷焊层平均硬度值不应低于 58HRC。

6.6.3.4 其他要求

水泵零部件喷焊后应满足其装配要求。

6.7 其他工艺

还可采用镶焊、金属内衬等工艺进行水泵的磨蚀防护。

7 磨蚀防护材料的性能检测与评价

7.1 磨蚀防护性能检测

7.1.1 在水泵投入使用前宜对抗磨蚀材料进行磨蚀防护性能检测，检测方法可参见附录 C。

7.1.2 直接采用抗磨蚀基材作为防护措施时，应在制造过程中采用与抗磨蚀基材相同的材料制作检测试样。

7.1.3 采用磨蚀防护层作为防护措施时，应在正式施工前以及施工过程中采用相同基材、相同施工工艺制作检测试样。

7.2 磨蚀防护性能评价

7.2.1 宜采用对比试验对材料的磨蚀防护性能进行评价，可将磨蚀防护用材与基材进行对比，也可将磨蚀防护用材与基准材料进行对比，基准材料宜选用常用的水泵过流部件材料，如 12Cr18Ni9、0Cr17Ni12Mo2、0Cr13Ni4Mo 等。不同材料的相对抗空蚀倍数或相对抗磨蚀倍数可按公式（1）计算。倍数大于 1，表明该材料的抗空蚀或抗磨蚀性能优于基材或基准材料。反之，表明该材料的抗空蚀或抗磨蚀性能低于基材或基准材料。

$$\varepsilon = \Delta V_P V_T / \Delta V_T V_P = \Delta G_P G_T / \Delta G_T G_P \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- ε ——相对抗空蚀倍数或相对抗磨蚀倍数；
- V_T ——磨蚀防护用材试样的原体积， mm^3 ；
- ΔV_T ——磨蚀防护用材试样的体积损失， mm^3 ；
- V_P ——相应基材或基准材料试样的原体积， mm^3 ；
- ΔV_P ——相应基材或基准材料试样的体积损失， mm^3 ；
- G_T ——磨蚀防护用材试样的原质量， mg ；
- ΔG_T ——磨蚀防护用材试样的质量损失， mg ；
- G_P ——相应基材或基准材料试样的原质量， mg ；
- ΔG_P ——相应基材或基准材料试样的质量损失， mg 。

7.2.2 根据检测所得的抗磨蚀倍数，可评价不同材料抗磨蚀性能的优劣。

7.2.3 磨蚀是在一定条件下产生的结果，当试验方法或试验条件与实际工况有差异时，材料的磨蚀防护性能不宜简单的类比，应根据具体情况进行具体分析及评价。

附录 A

(资料性)

水泵过流部件常用基材及磨蚀防护用材

A.1 水泵过流部件常用及可用作抗磨蚀的基材

水泵过流部件常用及可用作抗磨蚀的基材选择见表 A.1。

表 A.1 水泵过流部件常用及可用作抗磨蚀的基材选择

部位	常用基材	可用作抗磨蚀的基材	选用原则
泵体	ZG0Cr17Mo2CuR、ZGCr5Mo、ZGCr17Mn9Ni4Mo2CuNi、ZG1Cr13Ni、ZG230-450	ZG1Cr13Ni	1) 铸铁、碳钢及合金钢：具有良好的加工性能，但抗磨蚀性能较差，可作为基材用于磨蚀程度较轻水泵的非主要磨蚀部位。 2) 高铬铸铁、耐磨不锈钢：具有一定的抗磨蚀性能。在水泵磨蚀程度较轻时，可直接用于易磨蚀部件作为磨蚀防护材料；在水泵磨蚀程度严重时，可用作易磨蚀部件的基材
泵盖	QT600-3、ZG270-500、ZG1Cr13Ni、ZGCr5Mo、QT600-3、QT400-18、QT450-10、QT500-7、QT600-3	ZG1Cr13Ni	
叶轮、叶轮室	ZG230-450、QT450-10、CuSn11、12Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、ZGCr5Mo、ZG1Cr13Ni、0Cr19Ni10、0Cr17Ni12Mo2、2205L、2520L、KMTBCr26、KMTB-Cr28、KMTBCr18、Cr13、1Cr13、26Cr-6Ni、19Cr-9Ni	Cr26、Cr28、0Cr13Ni4Mo	
泵轴	40Cr、35、45、0Cr18Ni9Ti、1Cr17Ni2、KMTB-Cr18、40CrV、ZG270-350	0Cr18Ni9Ti	
口环	304L、306、316L、1Cr18Ni9Ti、KMTBCr2Ni、KMTBCrMn2、KMTBCr1、KMTBCr9Ni5Si2、26Cr-6Ni、19Cr-9Ni	1Cr18Ni9Ti	
轴套	ZG2Cr13、QT600-3、45、KMTBCr26、KMTB-Cr28、KMTBCr18	Cr26、Cr28	

A.2 磨蚀防护层施工工艺及材料

磨蚀防护层施工工艺及材料选择见表 A.2。

表 A.2 磨蚀防护层施工工艺及材料选择

磨蚀防护层施工工艺	防护层材料	工艺特点	适用范围
涂装	环氧金刚砂、复合尼龙、MT-4 尼龙、聚氨酯橡胶	1) 工艺较简单，易施工； 2) 涂层与基材的结合强度为：聚氨酯类不低于 12MPa，其他涂层材料 20~30MPa； 3) 抗空蚀性能较好，但抗冲击磨损性能较差，使用寿命较短	适用于泵体、泵盖等非主要磨蚀部位

表 A.2 磨蚀防护层施工工艺及材料选择 (续)

磨蚀防护层 施工工艺	防护层材料	工艺特点	适用范围
热喷涂	微纳米改性钴铬-碳化钨、微米钴铬-碳化钨、微纳米改性镍铬-碳化铬、微米镍铬-碳化铬	1) 工艺稳定、一般采用 6 轴机械手进行施工, 防护层性能均匀; 2) 涂层与基材的结合强度较高, 可达 70MPa 以上; 3) 涂层均匀致密、孔隙率低、低残余应力; 4) 预热及喷涂温度低, 无变形; 5) 抗磨蚀性能高, 使用寿命较长	适用于叶轮、泵轴、口环等主要磨蚀部位及磨蚀严重部位
激光熔覆	Fe 基合金+金属陶瓷、Co 基合金+金属陶瓷	1) 涂层与基材为冶金结合; 2) 涂层表面粗糙度较高, 需要打磨、抛光等后处理; 3) 熔覆温度高, 放热时间短, 会产生轻微变形; 4) 硬度较高, 抗磨蚀性能较高	适用于叶轮、泵轴、口环等主要磨蚀部位及磨蚀严重部位。可进行磨蚀防护以及磨蚀修复
堆焊	YD165、HS - 367M、0Cr13Ni5MoNe、GB1、GB2	1) 涂层与基材为冶金结合; 2) 涂层表面粗糙度较高, 需要打磨、抛光等后处理; 3) 熔覆温度高, 会产生较大变形; 4) 硬度略高于耐磨不锈钢基材, 具有一定的抗磨蚀性能	适用于水泵的磨蚀修复, 以及非主要磨蚀部位的磨蚀防护
喷焊	Ni60、Ni25B	1) 涂层与基材为冶金结合; 2) 涂层表面粗糙度较高, 需要打磨、抛光等后处理; 3) 熔覆温度高, 会产生变形; 4) 硬度略高于耐磨不锈钢基材, 具有一定的抗磨蚀性能	适用于水泵的磨蚀修复, 以及非主要磨蚀部位的磨蚀防护

附录 B

(规范性)

磨蚀防护施工前处理要求

B.1 基材表面清洗除油

磨蚀防护施工前,宜采用以下方法去除基材表面油脂或其他污物等:

- a) 溶剂法:采用汽油、丙酮、乙醇等溶剂对工件表面进行擦洗。
- b) 碱性清洗法:采用氢氧化钠、磷酸钠、碳酸钠和钠的硅酸盐等溶液对工件表面进行擦洗或喷射清洗,清洗后用洁净的淡水充分洗去碱性清洗剂。
- c) 乳液清洗法:乳化清洗液通常由混有强乳酸液和湿润剂的有机溶液配制而成,采用混有强乳化液和湿润剂的有机溶液配制成的乳化清洗液对工件表面进行清洗,清洗后再用洁净淡水洗去乳液。
- d) 燃烧清洗法:采用火焰燃烧的方式对工件表面进行清理。

B.2 基材表面清理及粗化

采用涂装、热喷涂及喷焊工艺进行施工时,应采用喷(抛)射的方法对水泵需要防磨蚀的基材表面进行喷砂预处理,去除表面氧化皮、锈、污垢等附着物,并实现表面粗化。处理工艺应满足如下要求:

- a) 工作环境的湿度宜小于 85%,工作环境的大气温度应高于气温 5℃且基体的温度应高于大气露点 3℃。
- b) 喷砂所用的磨料应清洁、干燥,不应使用被氧化皮或油脂等污染了的磨料。应根据水泵表面的原始锈蚀程度、锈蚀方法和涂层所要求的表面粗糙度选择磨料种类和粒度。
- c) 金属磨料的技术要求应符合 GB/T 18838.2 的规定。宜使用冷硬铸铁砂,棱角形冷硬铸铁磨料有较高的使用寿命,可使用到棱角磨钝才进行更换。
- d) 非金属磨料的技术要求应符合 GB/T 17850.7 的规定。宜使用熔融刚玉(棕刚玉、白刚玉等)和碳化硅等。
- e) 喷砂使用的压缩空气必须干燥、无油。
- f) 压力式喷砂机喷口处压力宜为 0.3~0.6MPa,射吸式喷砂机压力宜为 0.4~0.7MPa,但对壁厚小于 4mm 的薄板件,压力略低于下限。
- g) 磨料的喷射方向与基体法线方向的夹角宜在 15°~30°。喷砂枪口到工件距离为 100~300mm。
- h) 基材表面的喷射清理等级不应低于 GB/T 8923.1 中规定的 Sa 3 级,并不应破坏部件的型线;
- i) 喷砂处理后的表面粗糙度应为 Ra 6.3~Ra 12.5μm。

B.3 基材表面清理

采用激光熔覆、堆焊及喷焊工艺进行施工时,应采用铲刀、手工活动力钢丝刷、动力砂轮或砂纸等工具对水泵需要防磨蚀的基材表面进行预处理,去除表面氧化皮、锈、污垢等附着物。处理工艺应满足下列要求:

- a) 工作环境的湿度宜小于 85%,工作环境的大气温度应高于气温 5℃且基体的温度应高于大气露点 3℃。
- b) 基材表面的手工和动力工具清理等级不应低于 GB/T 8923.1 中规定的 St 3 级,并不应破坏部件的型线。

附录 C
(资料性)

材料抗磨蚀性能检测方法

C.1 材料空蚀性能检测方法

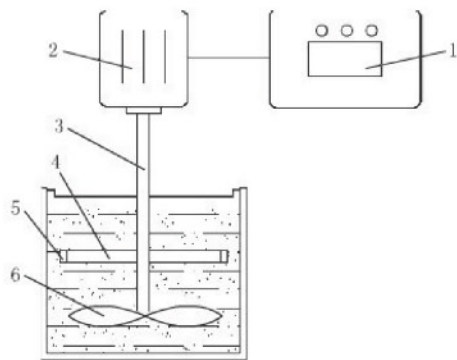
材料空蚀性能检测方法应满足下列要求：

- a) 宜采用 GB/T 6383 规定的试验装置及试验方法，将待测材料制作成相同尺寸的试样。
- b) 应在相同的条件下进行检测，试样的数量应在 5 块以上，测试时间宜不低于 6h。
- c) 应在相同条件下对试样进行清洗、烘干、称重或测量体积等，称重设备宜采用精度不低于 0.1mg 的电子天平。

C.2 材料磨蚀性能检测方法

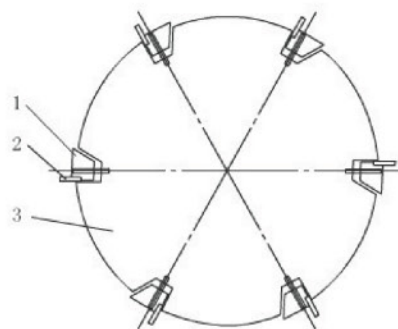
材料磨蚀性能检测方法应满足下列要求：

- a) 材料磨蚀情况与水质、泥沙含量、沙粒特性、泥沙流速、泥沙冲角等都有直接的关系，可根据实际的工况选择合适的磨蚀试验参数。
- b) 可采用如图 1 所示试验装置进行材料磨蚀性能测试分析，试验参数如下：
 - 1) 为了加快试验速度，可提高含沙量、硬质砂的比例及粒径，如：含沙量可选择为 200～400kg/m³，砂粒全部选择石英砂，粒径选择为 0.25～0.85mm；
 - 2) 试样尺寸宜为 20mm×20mm 的方形片；
 - 3) 试验过程中混合介质的温度不应高于 40℃；
 - 4) 试样角度可根据具体情况进行调整确定；
 - 5) 试验时间宜为 6～12h，每 6h 换一次砂；
 - 6) 调节电机转速，使试样的圆周线速度不低于实际运行时的线速度。



1—控制装置；2—电机；3—电机轴；4—试件夹持装置；
5—试件；6—搅拌叶片

a) 磨蚀试验装置系统图



1—压块；2—试件；3—装夹盘

b) 磨蚀试件夹持装置示意图

图 1 试验装置示意图

- c) 应在相同的条件下进行检测，试样的数量应在 5 块以上。
- d) 应在相同条件下对试样进行清洗、烘干、称重或测量体积等，称重设备宜采用精度不低于 0.1mg 的电子天平。