

ICS 23.080

J 30

# DB64

## 宁夏回族自治区地方标准

DB 64/T 1528—2017

### 扬黄水泵抗磨蚀修复及防护技术导则

Technical guideline for anti abrasion and cavitation erosion

repair and protection of lifting yellow water pump

2017 - 11 - 29 发布

2018 - 02 - 28 实施

宁夏回族自治区质量技术监督局

发布



## 1.1.1 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 总则.....	3
5 磨蚀程度的初步判别和采用的修复与防护方法.....	4
6 磨蚀修复方法及其工艺、要求.....	4
7 修复后的监测与运行维护.....	10
8 抗磨蚀性能指标与评价.....	11
附录 A（资料性附录） 基材表面喷涂前的处理方法.....	13
附录 B（资料性附录） 抗汽（空）蚀性能检测方法.....	14
附录 C（资料性附录） 磨损检测方法.....	16

## 前 言

本标准的编写格式符合GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求。

本标准由宁夏回族自治区水利厅提出并归口。

本标准主要起草单位：宁夏回族自治区固海扬水管理处。

本标准参加起草单位：宁夏回族自治区红寺堡扬水管理处。

本标准主要起草人：王效军、温鸿浦、道华、刘大千、张印、李彦迪、刘建伟、贺明杰、杨辉、朱文军、高登军、宋金宏、刘锐、叶志明、李国谊、许军、周鸣辉、蔡莉、李帅、高云、廖万虎。

# 扬黄水泵抗磨蚀修复及防护技术导则

## 2 范围

本标准规定了扬黄水泵抗磨蚀修复及防护的常见方法、材料、工艺及抗磨蚀性能的评价和有关技术要求。

本标准适用于宁夏扬黄泵站离心泵、混流泵、轴流泵主要过流部件的磨蚀修复及防护工作。

## 3 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，仅所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。

ISO TR 26946 热喷涂层孔隙率测定标准方法

GB/T 4340.2-2012 金属材料 维氏硬度试验 第2部分：硬度计的检验与校准

GB/T 8642-2002 热喷涂抗拉接合强度的测定

GB/T 8923.1-2011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 9443-2007 铸钢件渗透检测

GB/T 9444-2007 铸钢件磁粉检测

GB/T 16825.1-2008 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和（或）压力试验机测力系统的检验与校准

GB/T 17850.3-1999 涂覆涂料前钢材表面处理喷射清理用非金属磨料的技术要求铜精炼渣

GB/T 17854-1999 埋弧焊用不锈钢焊丝和焊剂

GB/T 18838.3-2008 涂覆涂料前钢材表面处理喷射清理用金属磨料的技术要求 第3部分 高碳铸钢丸和砂

GB 28662-2012 钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准

JB/T 3223-1996 焊接材料质量管理规程

SL317-2015 泵站设备安装及验收规范

## 4 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 4.1

**磨损** sand abrasion

含沙水流对过流部件表面造成的材料损坏。

### 4.2

**磨蚀** synergism 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材料的损坏。

#### 4.3

**结合强度 combine strength**

涂层（或焊层）和基体材料之间结合的坚固程度。

#### 4.4

**堆焊 overlay welding**

用电焊或气焊法把金属熔化，堆在工具或机器零件上的焊接法。通常用来修复磨损和崩裂部分。

#### 4.5

**汽蚀 Cavitation erosion**

当流道中的液体局部压力下降至临界压力(一般接近汽化压力)时，液体中气核成长为汽泡，汽蚀就是汽泡的聚积、流动、分裂、溃灭过程对过流部件的损坏。

#### 4.6

**基材 matrix**

由两种或两种以上不同物质制成的材料或物品中，作为主体部分的物质叫做基材。

#### 4.7

**分段退焊 backstep welding backstep**

就是从正常的焊缝尾部开始，用分段焊接方法，逐步向正常焊缝的头部方向焊接。

#### 4.8

**无损检验 Nondestructive inspection**

是指在不损坏试件的前提下，以物理或化学的方法为手段，借助先进的技术和设备，对试件的内部及表面的结构、性质、状态进行检查和测试的方法。

#### 4.9

**金相检验 metallographic examination**

是应用金相学方法检查金属材料的宏观和显微组织的工作。

#### 4.10

**焊瘤 overlap**

由于金属物在焊接过程中，通过电流造成金属焊点局部高温熔化，液体金属凝固时，在自重作用下金属流淌形成的微小疙瘩。

#### 4.11

**莱氏体 Ledeburite**

是钢铁材料基本组织结构中的一种，常温下为珠光体、渗碳体和共晶渗碳体的混合物。由液态铁碳合金发生共晶转变形成的奥氏体和渗碳体所组成，其含碳量为 $\omega_c=4.3\%$ 。

#### 4.12

##### 共晶碳化物 eutectic carbides

白口铸铁发生共晶转变得到的共晶莱氏体组织中的碳化物，也就是渗碳体。

#### 4.13

##### 二次碳化物 proeutectoid carbides

是指高于共析成分的奥氏体，在高温冷却之际，发生共析转变之前析出的碳化物。

#### 4.14

##### 固化 Cure

化学上是指物质从低分子转变为高分子的过程。

#### 4.15

##### 露点 Dew point

是指在固定气压之下，空气中所含的气态水达到饱和而凝结成液态水所需要降至的温度。

#### 4.16

##### 熔融 Fusion

是指温度升高时，分子的热运动的动能增大，导致结晶破坏，物质由晶相变为液相的过程。

#### 4.17

##### 维氏硬度 Vickers-hardness

表示材料硬度的一种标准。

#### 4.18

##### 孔隙率 Porosity

是指块状材料中孔隙体积与材料在自然状态下总体积的百分比。

### 5 总则

5.1 扬黄泵站水泵的抗磨蚀修复技术应根据水泵的磨蚀程度、修复后的使用寿命要求、实施的难易程度、水源含沙量、投资金额等因素综合考虑，其修复方法及工艺措施应合理、先进、经济。常用的抗磨蚀修复与防护方法有堆焊法、金属涂层法和非金属涂层法三大类。

5.2 修复部位有配合要求时，应根据涂层材料的性能，严格按照设计规范和检修规程控制配合方式、配合尺寸及公差。

5.3 水泵修复后的性能指标：修复后水泵的流量等主要性能指标应满足运行工况的要求。

5.4 本标准所述水泵抗磨蚀技术亦适用于新装水泵。

## 6 磨蚀程度的初步判别和采用的修复与防护方法

6.1 水泵磨蚀程度可分为轻度、中度和重度三类见表 1。磨蚀程度以过流部件易磨蚀部位的最大磨蚀剥落深度（用“H”表示，单位为mm）、磨蚀剥落面积占总过流面积的百分比（用“A”表示，单位为%）、最大磨蚀深度占叶轮口缘直径百分比（用“B”表示，单位为%）、磨蚀部位最薄处厚度占新叶片厚度的百分比（用“C”表示，单位为%）为评定标准。满足以上四项任何之一，即为符合该标准下的磨蚀程度。

表 1 水泵过流部件磨蚀程度分类和和评定

水泵过流部件名称	评定标准	轻度磨蚀的 H或A值	中度磨蚀的 H或A值	重度磨蚀的 H或A值
泵壳	1) 泵壳过流表面最大磨蚀剥落深度H; 2) 泵壳高压过流表面磨蚀剥落带面积占总高压过流面积的百分比A。	$H \leq 3\text{mm}$ 或 $A \leq 30\%$	$H \leq 8\text{mm}$ 或 $A \leq 70\%$	$H > 8\text{mm}$ 或 A大于70%
叶轮	1) 进水叶片部位最大磨蚀深度H; 2) 进水叶片最薄处厚度占新叶片厚度的百分比C; 3) 出水叶片及盖板部位最大磨蚀剥落深度H; 4) 出水叶片最薄处（出口车削部位除外）厚度占新叶片厚度的百分比C; 5) 叶轮口缘部位最大磨蚀剥落深度占叶轮口缘直径的百分比B。	$H \leq 3\text{mm}$ 或 $C \geq 70\%$ 或 $B \leq 3\%$	$H \leq 6\text{mm}$ 或 $C \geq 50\%$ 或 $B \leq 6\%$	$H > 6\text{mm}$ 或 $C < 50\%$ 或 $B > 6\%$
密封环	1) 密封环内孔密封面最大磨蚀剥落深度占叶轮口缘直径的百分比B; 2) 密封环的轴向密封端面，最大磨蚀剥落深度H。	$H \leq 3\text{mm}$ 或 $B \leq 3\%$	$H \leq 6\text{mm}$ 或 $B \leq 6\%$	$H > 6\text{mm}$ 或 $B > 6\%$

6.2 根据水泵的磨蚀部位、磨蚀程度和材质，应采用不同的修复方法见表 2。表 2 中除泵壳采用铸铁或钢制外，其它部件材质均为钢制。

表 2 水泵主要部件磨蚀修复方法

磨蚀程度	水泵过流部件名称	修复部位	修复方法
轻度	泵壳	过流表面	非金属涂层修复
	叶轮	进出水叶片、盖板、口缘	堆焊修复或金属涂层修复
	密封环	密封面	金属涂层修复或非金属涂层修复
中度	泵壳	过流表面	非金属涂层修复
	叶轮	进出水叶片、盖板、口缘	堆焊修复或堆焊修复与金属涂层修复相结合
	密封环	密封面	非金属涂层修复
重度	泵壳	过流表面	堆焊修复与非金属涂层修复相结合
	叶轮	进出水叶片、盖板、口缘	堆焊修复或堆焊修复与金属涂层修复相结合
	密封环	密封面	非金属涂层修复

## 7 磨蚀修复方法及其工艺、要求

## 7.1 堆焊修复

### 7.1.1 一般要求

#### 7.1.1.1 堆焊焊接方法

对于圆形部位, 优先选用自动焊的方法(包括埋弧堆焊和明弧堆焊等), 无法实现自动焊的采用手工电弧焊。

#### 7.1.1.2 作业人员要求

堆焊修复施工对焊接作业人员的要求如下:

- a) 焊接工作人员应包括焊接技术人员、焊工和焊接检验人员;
- b) 焊接技术人员应具有一定的专业技术水平和较丰富的实践经验, 熟悉并认真执行本规程, 能够结合实际情况编制堆焊工艺方案, 并负责检查、记录、整理相关技术资料等;
- c) 焊工应掌握堆焊设备的工作原理、性能、使用方法及水泵的结构、待修复部件的基材、堆焊材料的材质和性能等, 并通过模拟堆焊后, 严格按照编制的堆焊工艺和焊接技术措施施焊。焊工应持有国家规定或认可的作业资格证;
- d) 焊接检验人员包括无损检验和理化检验人员。国家有持证上岗要求的, 应取得相关作业资格证后方可上岗。

#### 7.1.1.3 材料要求

堆焊修复施工对堆焊材料的要求如下:

- a) 具备检测条件的, 堆焊前应按规定对待修部件基体的化学成分和力学性能进行核查;
- b) 根据水泵说明书中或检测得出的基体材质及工件结构、施焊条件等选用焊条、焊丝、焊剂等, 焊接材料应有制造厂的质量合格证书, 其质量管理应符合 JB/T 3223-1996 的规定。  
——自动堆焊时, 宜使用以钢带内包敷合金粉末轧制和拉拔而成的药芯焊丝, 焊丝的药粉应填充均匀, 填充率的变化每米不大于 5%;  
——埋弧自动堆焊时, 应保证焊剂与焊丝的配套使用, 焊剂的质量应符合 GB/T 17854-1999 的要求。

#### 7.1.1.4 设备要求

堆焊及其辅助设备应具有参数稳定、调节灵活、安全可靠等特点, 并满足堆焊规范的需要。采用自动堆焊时, 堆焊及其辅助设备应满足如下要求:

- 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) 除尘系统应能对焊接烟尘进行净化。

#### 7.1.1.5 安全要求和环境条件

堆焊工作的环境温度不应低于 5℃, 否则应采取相应措施; 堆焊工作应遵守安全、防护、防火等有关规定。

### 7.1.2 施工前准备事项

堆焊修复施工前的准备事项如下:

- a) 待修复部位堆焊前应有材质成分、表面硬度、原始结构尺寸及磨损型线等记录;

- b) 堆焊前应对过流部件表面的油污、锈等进行清理，表面除锈等级不低于 GB/T 8923.1-2011 中规定的 Sa2.5 级。表面清理不得破坏部件的线形；
- c) 焊前预热根据自动焊和手工电弧焊分别要求如下：
  - 自动焊时，一般不需要进行焊前预热。当环境温度低于 5℃ 时，应考虑采取预热措施，预热温度以 100℃ 以下为宜；
  - 手工电弧焊时，如果需要预热，预热温度宜在 100℃~150℃ 之间。氧-乙炔焰只适于局部预热，加热范围应大于被焊区四周约 100mm，火焰焰心距离工件宜在 10mm 以上，均匀加热。

### 7.1.3 堆焊工艺及要求

#### 7.1.3.1 堆焊工艺措施编制

堆焊前应编制堆焊工艺措施，堆焊工艺措施应包括以下内容：

- a) 堆焊方法；
- b) 堆焊操作人员要求；
- c) 堆焊使用的设备及工装要求；
- d) 堆焊材料的牌号、生产厂家、材料成分等；
- e) 堆焊顺序及工艺参数；
- f) 试验性焊接的要求；
- g) 堆焊部位的形状、尺寸要求；
- h) 焊后检验要求。

#### 7.1.3.2 堆焊工艺流程

堆焊施工作业应参照以下工艺流程施工：

- a) 手工电弧焊堆焊时，宜采用多层多道、分段退焊的方法；
- b) 自动堆焊工艺参数根据药芯焊丝的规格确定，一般采用直径为 3.2mm 的焊丝，焊接电流 400A~600A，焊接速度(变位机旋转线速度)800mm/min~1000mm/min，焊丝干伸长度 30mm~35mm；
- c) 合适的焊道形状是宽约 9.5mm、高约 3.2mm 的窄焊道，同一焊层的后一焊道覆盖前一焊道的 40% 左右，下一焊层的焊道依次排列在上一焊层的两个焊道中间；
- d) 堆焊过程中，保证耐磨件的层间温度不超过 200℃；
- e) 堆焊过程中应使用专用量具测量，随时调整堆焊层的外形尺寸。

#### 7.1.4 质量检验及要求

堆焊修复作业结束后，应对涂层质量进行检验，检验项目及 requirements 如下：

- a) 外观检查；  
外观检查应满足如下要求：
  - 堆焊后表面应无熔渣、焊瘤和飞溅物等，并平滑过渡到母材；
  - 堆焊后应使用专用量具测量堆焊部位的外形尺寸，对照原产品的图纸要求进行修正，满足形状和尺寸偏差要求。堆焊层表面的鳞片状突起不平度小于 3mm。
- b) 无损检验；  
无损检验应满足如下要求：
  - 如果要求堆焊层不允许存在裂纹，则应对堆焊区和周围母材进行磁粉探伤或渗透探伤检验，并符合 GB/T 9443-2007 和 GB/T 9444-2007 的要求；
  - 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。

## c) 金相检验;

使用一批焊接材料进行堆焊时,应在首件修复件上进行腹膜金相检验,金相测点两点以上。自动堆焊时,修复件的金相组织类型应为莱氏体基体上分布着各向同性的共晶碳化物和二次碳化物,碳化物的面积含量应达到60%以上。

## d) 硬度检验;

每一部件堆焊层的硬度测点应不少于三处,每处测量三次取平均值。硬度检测应按照GB/T 230.1-2009进行。

## e) 其它要求。

水泵零部件堆焊修复后应满足其装配要求。

## 7.2 非金属涂层修复

### 7.2.1 一般要求

7.2.1.1 本标准仅说明了复合树脂砂浆涂层修复和聚氨酯弹性体涂层修复两种非金属涂层修复法。

7.2.1.2 涂覆前应制定详细的技术实施方案,施工人员应经过技术培训后方可上岗。

7.2.1.3 涂覆前应对涂料的名称、型号、说明书、合格证等进行检查,确定是否符合设计规定。

7.2.1.4 涂覆前,应对不涂覆或暂不涂覆的部分进行遮蔽。

### 7.2.2 复合树脂砂浆涂覆防磨蚀工艺流程

复合树脂砂浆涂覆参照以下工艺流程进行施工:

a) 表面净化处理。按照附录 A 中的要求进行;

b) 加温。采用履带式加热片、电热管、热风和火焰等方式进行加热。要求表面温度在 25℃~50℃ 范围;

c) 表面二次清理。采用高压风枪将表面清理干净;

d) 涂刷复合树脂底胶。要求环境温度在 20℃~30℃ 范围,将底胶搅拌均匀,容器边不挂泪。涂刷时要选用口齐、根硬、头软、不掉毛的扁形毛刷,新刷使用时应先将不牢固的刷毛揉搓掉,以免影响涂刷质量。底胶应随用随拌,如已凝胶,应废弃不再使用,以保证施工质量。刷胶应先由上向下纵向涂刷一遍,再左右横向涂刷,然后对角线交叉涂刷,最后再收面和修整边角,做到薄而均匀,无流挂、无露底;

e) 涂抹复合树脂砂浆。工艺流程如下:

——配制复合树脂砂浆。严格按照配方进行配置,砂浆必须现配现用,复合树脂搅拌均匀后,再与金刚砂进行混合,并混合均匀;

——涂抹复合树脂砂浆。采用加热的抹刀将复合树脂砂浆均匀的涂抹到工件表面,必须用抹子反复来回压紧,并压平;

——涂抹复合树脂砂浆的水泵过流部件,在 20℃~25℃ 环境温度下静置 24 h 以上,保证复合树脂砂浆涂层固化充分;

f) 涂刷复合树脂胶。工艺流程如下:

——配制复合树脂胶。严格按照配方进行配置,涂料必须现配现用;

——涂抹复合树脂。在固化后的复合树脂砂浆涂层表面涂刷复合树脂胶涂层,刷涂时,避免胶挂泪;

g) 涂层修整。待复合树脂胶涂层完全固化后,清理浮沙或杂物,并修平,对挂泪部分进行平整、抛光处理。

### 7.2.3 聚氨酯弹性体涂覆防磨蚀工艺流程

聚氨酯弹性体涂覆应参照以下工艺流程进行施工：

- a) 表面净化处理。按照附录 A 中的要求进行；
- b) 制作不锈钢板网。根据水泵过流部件被修复部位的原始形状，选择合适厚度的不锈钢钢板裁制成型，并冲压圆孔，制成不锈钢板网；
- c) 焊接。使用交流电焊机，采用点焊或弧焊方式，将不锈钢板网焊接到待修复部位，然后磨平焊接部位；
- d) 喷砂。对焊接后的表面进行喷砂（金刚砂）或打磨处理，表面除锈等级不低于 GB/T 8923.1-2011 中规定的 Sa2.5 级。之后用高压风枪将表面清理干净；
- e) 涂刷粘结剂。用毛刷将粘接剂涂刷到待修复部位和不锈钢板网的表面。在 20℃~25℃ 环境温度下静置 4h 以上进行干燥；
- f) 涂层模具制作安装。根据涂层面积，制作并安装模具，磨具与待修复部位的原始形状、尺寸须基本吻合。模具安装后与待修复部件密封良好，防止泄漏；
- g) 采用注胶机，在待修复部件与模具之间浇注改性高弹性聚氨酯。浇注涂层厚度在 4mm~6mm 范围；
- h) 加热固化。将浇注改性高弹性聚氨酯的部件与模具整体放入烘房，温度调节至 80℃~120℃，对涂层进行固化，固化加热时间为 6 h；
- i) 脱模。将固化完成后的被修复件从烘房中取出，自然冷却后，使用专用工具将模具进行脱模。在该项操作中，要注意边角处的处理，保护好聚氨酯弹性体不受损伤；
- j) 涂层打磨。使用百叶片磨片打磨聚氨酯弹性体涂层；
- k) 抹边。配制复合树脂砂浆涂料，对聚氨酯弹性体与水泵过流部件结合处进行抹边过渡，要求磨边处要顺滑；
- l) 二次固化。将抹边处理后的水泵过流部件，在 20℃~25℃ 环境温度下静置 24 h 以上，保证复合树脂砂浆过渡涂层固化充分。

#### 7.2.4 质量检验及要求

非金属涂层修复结束后，应对涂层质量进行检验，检验项目及要求如下：

##### a) 外观检验；

外观检验应满足如下要求：

- 涂层表面均匀一致，无气孔或基体裸露的斑点；
- 涂层表面整洁、平整、光滑，无毛刺和凸起杂物；

##### b) 厚度检验；

涂层厚度检验应满足如下要求：

- 采用电子测厚仪对涂层进行无损测厚，按照每个区域至少测 20 次，数据异常点不超过 10%；
- 涂层厚度要求：
  - 高压腔涂层平均厚度 4mm~6mm；
  - 出水口涂层平均厚度 2mm~4mm；
  - 其它部位涂层平均厚度 2mm~3mm；

##### c) 结合强度检验；

- 水泵抗磨蚀金属涂层的结合强度测试可按照 GB/T 8642 进行，符合 GB/T 16825.1 要求，并能满足静态加载条件下，准确度不低于±1%的任何型号的拉力试验机；
- 材料力学性能要求：抗压强度≥70MPa，抗拉强度≥10MPa，抗折强度≥10MPa，粘接强度≥30MPa，抗冲磨强度≥10h/(g/cm<sup>2</sup>)；

##### d) 检测试样要求。

——涂层需提供 3~5 个原材试样，用于有损测试；

——选择 3~4 台泵作为观察对象，对修复件关键部位涂层的抗磨蚀效果进行检测、测试，并长期跟踪观测。

### 7.3 金属涂层修复

#### 7.3.1 一般要求

7.3.1.1 金属涂层修复常采用热喷涂法。热喷涂主要有电弧喷涂、火焰喷涂、等离子喷涂等。

#### 7.3.1.2 作业人员要求

金属涂层喷涂施工对作业人员的要求如下：

- a) 喷涂工作人员包括喷涂技术人员、喷涂工和喷涂检验人员；
- b) 喷涂技术人员应具有有一定专业技术水平和较丰富实践经验，熟悉并认真执行本标准，结合实际情况编制喷涂工艺方案，并负责检查、记录、整理相关技术资料等；
- c) 喷涂工应掌握喷涂设备的工作原理、性能、使用方法、水泵的结构、待修复部件的基材、基材材料成分和喷涂材料性能等，并通过模拟喷涂后，严格按照编制的喷涂工艺和喷涂技术措施喷涂；
- d) 喷涂检验人员应熟练掌握喷涂涂层性能指标的检测方法。

#### 7.3.1.3 材料和设备

金属涂层喷涂施工对喷涂材料和设备的要求如下：

- a) 金属抗磨蚀涂层宜选用如下材料：纳米稀土改性碳化钨、钴铬-碳化钨、镍铬-碳化铬等。喷涂材料应纯净、无杂质，且具有质量合格证书；
- b) 喷涂及其辅助设备应具有参数稳定、调节灵活、安全可靠等性能，并满足喷涂规范的需要。喷涂用的气体应清洁、干燥。

#### 7.3.1.4 环境条件和安全要求

金属涂层喷涂施工对环境条件和安全的要求如下：

- a) 喷涂工作应遵守安全、防护、防火等规程的有关规定；
- b) 施工现场应有通风除尘设备，排放的颗粒物不得超过 GB 28662-2012 规定的 50mg/m<sup>3</sup> 标准；
- c) 施工环境温度应在 10℃~30℃ 范围，环境湿度不大于 60%，基体的温度应高于大气露点 3℃ 以上。

#### 7.3.2 施工前准备事项

金属涂层喷涂施工前的准备事项如下：

- a) 待修复部位喷涂前应有材质成分、表面硬度、原始结构尺寸及磨损型线等记录；
- b) 应检验待修复部位预处理后的基体表面质量，验收合格后方可进行喷涂；
- c) 应对水泵过流部件预处理部位的油污、锈等进行清理，表面除锈等级不低于 GB/T 8923.1-2011 中规定的 Sa2.5 级。表面清理不得破坏部件的线形；
- d) 对非喷涂部分进行遮蔽。

#### 7.3.3 金属喷涂抗磨蚀工艺流程

金属喷涂施工应参照以下工艺流程施工：

- a) 表面净化处理。基材表面的预处理应按照附录 A 中的要求进行；
- b) 预热。预热不能污染净化后的基体表面，预热温度宜控制在 60℃~100℃ 范围；
- c) 喷涂；

喷涂时注意事项如下：

- 喷涂时火焰流与基体表面的夹角应在 60°~90° 范围；
  - 对非旋转部件按行进行喷涂时，每行涂层边缘的搭接宽度应保持一致，搭接宽度为每行喷涂层幅度的 1/4~1/3；
  - 喷涂涂层厚度要均匀，不应漏喷和误喷，单遍喷涂的涂层厚度控制在 0.01mm~0.015mm；
  - 尽可能缩短喷涂施工与表面预处理的时间间隔。在潮湿或工业大气等环境条件下，应在 1h 内喷涂完毕。在湿度小于 60% 的条件下，喷涂时间不超过 4h。
- d) 涂层封闭。对喷涂完毕的涂层检查后，过流表面应采用刷涂或高压无气喷涂的方法，使用树脂类封闭涂料对涂层进行封闭处理。

#### 7.3.4 质量检验及要求

金属涂层修复结束后，应对涂层质量进行检验，检验项目及如下要求：

- a) 外观检验；

外观检验应满足如下要求：

- 涂层表面均匀一致，无气孔或基体裸露的斑点；
- 涂层表面没有收缩裂纹；
- 涂层表面没有附着不牢的金属熔融颗粒。

- b) 厚度检验；

涂层厚度检验应满足如下要求：

- 采用电子测厚仪对涂层进行无损测厚，按照每平方米不少于 8 个点进行测量；
- 单遍的涂层厚度及涂层的总厚度应符合设计要求，误差控制在 ±10% 以内。

- c) 金相检验；

金相检验应满足如下要求：

- 正式喷涂施工前应喷涂若干测试试样，并采用线切割、磨抛、镶嵌等方法按要求制成金相试样进行显微测试分析；
- 涂层的显微组织应致密，无分层和裂纹现象；
- 按照标准 ISO TR 26946 中规定的方法进行孔隙率测试分析，涂层的孔隙率应小于 1%。

- d) 硬度检验；

硬度检验应满足如下要求：

- 正式喷涂前喷涂的测试试件应进行硬度测试；
- 为得到可靠的试验结果，喷涂后应将测试试样磨抛到镜片后进行硬度测试，至少测试 10 点数据；
- 金属涂层的硬度超过洛氏硬度测试的上限，应按照 GB/T 4340.2-2012 测量涂层的维氏硬度。

- e) 结合强度检测。

水泵抗磨蚀金属涂层的结合强度测试可按照 GB/T 8642-2002 进行，符合 GB/T 16825.1-2008 要求，并能满足静态加载条件下，准确度不低于 ±1% 的任何型号的拉力试验机。

## 8 修复后的监测与运行维护

- 8.1 已实施抗磨蚀修复或防护的水泵，应按照 SL317-2015 规范要求及水泵技术文件安装和验收。

- 8.2 已实施抗磨蚀修复或防护的水泵，应按照管理单位水泵运行维护及检修的相关规定运行和检修。
- 8.3 水泵部件修复投入运行后，应在每年的非运行期（或结合水泵大小修工作）进行不少于两次的全面检查，发现涂层脱落、损坏后应及时修补，或根据已修复部位的磨蚀程度采取必要的修补措施。
- 8.4 运行中如果发现水泵有异常现象或负荷等参数有较大变化时，应分析是否与抗磨蚀修复涂层部位受到破坏有关，必要时停机检查。

## 9 抗磨蚀性能指标与评价

### 9.1 抗磨蚀性能指标

9.1.1 水泵抗磨蚀修复材料宜采用硬度高于 HRC40 的耐磨材料。

#### 9.1.2 非金属抗磨蚀涂层性能指标

非金属抗磨蚀涂层应达到如下性能指标：

- a) 非金属涂层的厚度允许误差应控制在±15%以内，85%以上的测试点厚度应达到设计要求；涂层厚度应满足以下要求：
- 高压腔涂层平均厚度 4mm~6mm；
  - 出水口涂层平均厚度 2mm~4mm；
  - 其它部位涂层平均厚度 2mm~3mm。
- b) 涂料层与基材的结合强度 $\geq$ 30MPa。

#### 9.1.3 金属抗磨蚀涂层性能指标

金属抗磨蚀涂层应达到如下性能指标：

- a) 过流部位金属涂层的设计厚度应为 0.2mm~0.4mm，允许误差控制在±10%以内，100%的测试点厚度应达到设计要求；
- b) 金属涂层的最低测试维氏硬度值不低于 1000HV0.2，平均维氏硬度值不低于 1100HV0.2；
- c) 金属涂层的测试孔隙率应低于 1%；
- d) 金属喷焊涂层与基体的结合强度不低于 70MPa。

### 9.2 抗磨蚀性能的评价

#### 9.2.1 抗汽蚀性能的评价

9.2.1.1 水泵抗汽蚀性能可按照附录 B 进行测试评价。

9.2.1.2 以耐磨不锈钢作为标准样，修复件涂层由于汽蚀造成的失重量应不高于标准样的 1/2。

#### 9.2.2 抗磨损性能的评价

9.2.2.1 水泵抗汽蚀性能可按照附录 C 进行测试评价。

9.2.2.2 以耐磨不锈钢作为标准样，修复件涂层由于磨损造成的失重量应不高于标准样的 1/15。

### 9.3 水泵磨蚀件修复后的使用寿命

9.3.1 在多泥沙条件运行下，水泵抗磨蚀修复件的使用寿命应不低水泵的大修周期。

9.3.2 水泵修复后运行一个大修周期时，运行工况应符合下列要求：

- a) 在水泵的大修周期内，因磨蚀导致的水泵效率降低不宜超过 2%；
- b) 在水泵的大修周期内，因磨蚀导致的水泵出力降低不超过 2%。

9.3.3 水泵修复后运行一个大修周期时，磨损量应符合下列要求：

- a) 堆焊修复部位普遍磨蚀深度不宜超过 4mm，局部最大磨蚀深度不宜超过 8mm。各个过流部件允许的磨蚀深度应不危及水泵的安全运行；
- b) 各类止漏部件的间隙的增加量不应超过设计间隙的 1.5 倍以上；
- c) 对采用抗磨蚀涂层修复的过流部件，涂层脱落、破坏的面积不应超过全部涂覆面积的 10%。涂层脱落或破坏处的母材不应发生严重的侵害。

附 录 A  
(资料性附录)  
基材表面喷涂前的处理方法

### A.1 表面清洗除油

去除水泵表面油脂或其它污物等，宜采用以下方法对表面进行脱脂净化：

- a) 溶剂法：采用汽油、丙酮、乙醇等溶剂对工件表面进行擦洗，可有效去除油脂；
- 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：浮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，采用乳化清洗液对表面进行清洗，再用洁净淡水洗去乳液。

### A.2 表面清理粗化

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) 非金属涂覆时，施工环境湿度不大于 85%，工作环境温度应高于气温 5℃或基体的温度高于大气露点 3℃。金属热喷涂时，施工环境温度为 10℃～30℃，环境湿度不大于 60%；
- b) 喷（抛）射所用的磨料应清洁、干燥，不能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) 金属磨料应符合 GB/T 18838.3-2008 的规定。宜使用冷硬铸铁。棱角形冷硬铸铁磨料有较高的使用寿命，可使用到棱角磨钝再更换；
- d) 非金属磨料应符合 GB/T 17850.3-1999 的规定。宜使用熔融刚玉（棕刚玉、白刚玉等）和碳化硅；
- 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一般为 0.3MPa～0.6MPa，射吸式喷砂机压力一般为 0.4MPa～0.7MPa，但对壁厚小于 4mm 的薄板件，压力应略低于下限；
- g) 磨料的喷射方向与基体法线方向的夹角一般为 15°～30°。喷砂枪口到工件距离一般为 100mm～300mm；
- h) 非金属涂覆时，对于水泵涂层防护区面进行喷（抛）射除锈，表面除锈等级不低于 GB/T 8923.1-2011 中规定的 Sa2.5 级。金属热喷涂时，对于水泵涂层防护曲面进行喷（抛）射除锈，表面除锈等级应不低于 GB/T 8923.1-2011 中规定的 Sa3 级。但不应破坏部件的线形；
- i) 粗化后的表面粗糙度应为 Ra6.3 μm～13.2 μm。

**附录 B**  
(资料性附录)  
**抗汽(空)蚀性能检测方法**

B.1 采用超声波振动汽蚀测试装置来检测涂层的汽(空)蚀防护性能,振动汽蚀装置示意图见图B.1。

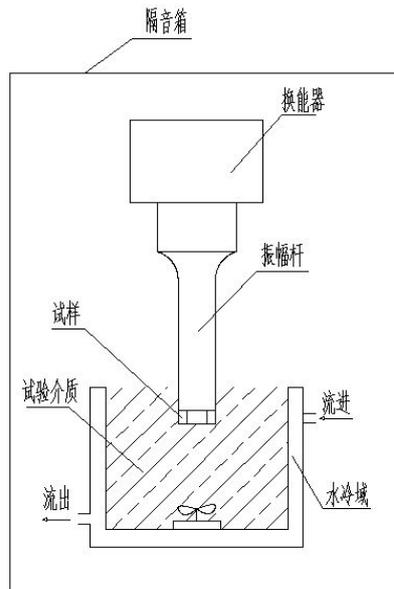


图 B.1 振动汽蚀装置示意图

B.2 试的样品的直径为  $15.9 \pm 0.05$  mm。样品测试表面应平整,其面跳动度为 0.050mm,安装后与振幅杆轴垂直度为 0.025mm,在样品测试面上或者周围不允许有环状边缘,扣状样品的圆边应光滑,倒角或圆角尺寸不应超过 0.15mm,样品扣状的厚度不小于 4mm,并且不大于 10mm。测试不同材质样品时应使不同材料样品在B.2中限制的尺寸范围内质量大约相同。测试样品的制备工艺应具有一致性,样品的尺寸公差见表B.1及图B.2。

表 B.1 样品尺寸公差

样品尺寸代号	样品尺寸 (mm)	样品尺寸 (inch)
D	$15.9 \pm 0.05$	$0.624 \pm 0.002$
E	0.15	0.006
F	$(W+2.2) \pm 0.25$	$(W+0.09) \pm 0.01$
H	试样底部高度	
L	$10.0 \pm 0.5$	$0.394 \pm 0.02$
R	$0.8 \pm 0.15$	$0.031 \pm 0.006$
T	试样螺纹	

表 B.1 (续)

样品尺寸代号	样品尺寸 (mm)	样品尺寸 (inch)
U	$2.0 \pm 0.5$	$0.08 \pm 0.02$
W	试样螺纹内径	
Z	$0.8 \pm 0.15$	$0.031 \pm 0.006$
r*	0.050	0.002
s*	0.025	0.001

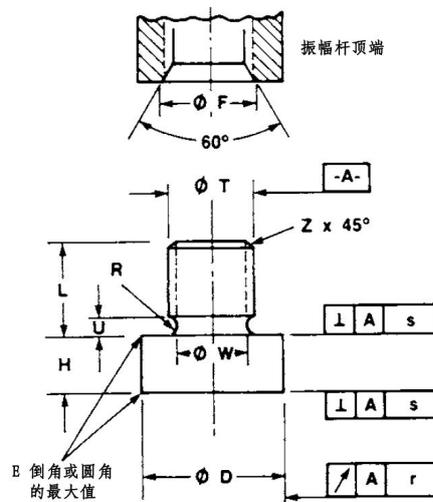


图 B.2 样品尺寸及公差

B.3 本测试方法采用超声波振动汽蚀试验装置，振动频率为 20KHZ，样品振动时，应浸入测试液中（通常为蒸馏水），测试液的温度保持在规定的范围之内。样品振动的振幅和频率应精确控制和检测。

附 录 C  
(资料性附录)  
磨损检测方法

### C.1 圆盘式绕流磨损试验方法

#### C.1.1 方法简述

圆盘式绕流磨损试验装置为圆盘在有含沙水与设有阻流栅的圆盘室中旋转,形成圆盘盘面与水流的相对流动,使盘面(或试件)磨损。圆盘盘面上的试件有两种布置方式,一种为6或8块扇形试件拼成圆盘;另一种为6或8块圆形试件镶嵌在圆盘上。

试验后,试验材料的磨损量采用测量磨损深度的方法确定。即:在选定的圆盘半径及测量点测量磨损深度,由于沿圆盘半径方向不同半径各点的圆周速度不同,因而对应各半径点的磨损量也不同,通过试验可得到试验材料的磨损率(或单位磨损率 $E_s$ )与圆周速度 $U$ 的关系曲线。该结果中的圆周速度可以修正换算成相对流速,可用于平面绕流磨损的预估。

如试验材料为3种(分别用材料A、材料B和材料C表示),则得到3条关系曲线,见图C.1。磨损率小的曲线位于图形的下方(如图中的材料C),其抗磨性好,越靠上的曲线其抗磨损性越差(如图中的材料A)。从图C.1可直接看出不同材料的抗磨性能的强弱。通过换算也可以用抗磨倍数表示各种材料的抗磨性。

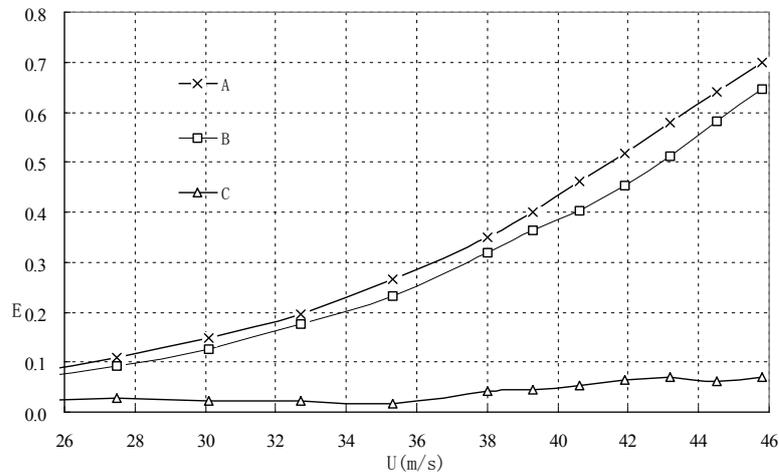


图 C.1 单位磨损率与圆周速度的关系曲线

#### C.1.2 主要参数

圆盘式绕流磨损试验的主要参数包括:

- 圆盘直径 360mm 左右;
- 圆盘与阻流栅的间隙 8 mm ~10mm;
- 圆盘旋转速度 2500 r/min~3000r/min;
- 圆盘室内压力 0.05MPa~0.1MPa;
- 试验时圆盘室内水温 15℃~40℃。

### C.1.2.1 主要特点

圆盘式绕流磨损试验方法的主要特点如下：

- 本方法的磨损属于小角度平顺绕流磨损，材料破坏机理与叶片流道等的磨损较为相近；
- 磨损量采用磨损深度或失重测量，可得到磨损量（或单位磨损率ES）与圆周速度（可换算成相对速度）的对应关系；
- 试验较为方便，并可得到多种材料抗磨性的相对比较。

## C.2 旋转喷射磨损试验方法

### C.2.1 方法简述

旋转喷射磨损试验装置的旋转圆盘由若干块梯形试件沿分布圆（图中为 $\Phi 300\text{mm}$ ）拼接组成圆环面，含沙水流从对称的4个喷嘴射向试件，造成试件表面磨损破坏。作用在试件上的水流相对速度 $\vec{W}$ 为作用点处的圆周速度 $\vec{U}$ 与喷嘴射流速度 $\vec{V}$ 之矢量和。若改变圆盘转速、喷嘴射流速度的大小或方向，可改变 $\vec{W}$ 的大小及冲角。通过测量各个试件磨损量（失重或破坏深度），可得到不同试件（试验材料）磨损破坏情况的结论。

为比较不同材料的相对抗磨性，可取某种材料为基准材料（如0Cr13Ni5不锈钢），则按下式可得到不同材料的抗磨倍数：

$$\varepsilon_i = G_1/G_i \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- $\varepsilon_i$ ——材料的抗磨倍数；
- $G_1$ ——基材磨损量；
- $G_i$ ——其它材料的磨损量；

即基准材料的抗磨倍数为1，若其它材料的抗磨倍数大于1，表明该材料抗磨性优于基准材料。反之，表明该材料抗磨性差于基准材料。

### C.2.2 主要参数

旋转喷射磨损试验的主要参数包括：

- 喷嘴对圆盘上试件的作用点分布直径 300mm 左右；
- 圆盘旋转速度 2500r/min~3000r/min。

### C.2.3 主要特点

旋转喷射磨损试验方法的主要特点如下：

- 磨损的属性为冲击式磨损；
- 磨损量采用失重法、破坏深度或破坏面积测量，试验速度为单一值，可用于定性分析；
- 试验较为方便，并可得到更多种材料的抗磨性的相对比较。