

ZJSEE

浙江省电力学会标准

T/ZJSEE XXXX-YYYY

电力钢结构超音速低压冷喷涂修复 技术导则

Technical Standards for the Repair of Power Transmission and Transformation Steel
Structures by Supersonic Low-Pressure Cold Spray

(与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

浙江省电力学会 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 |
| 3.1 冷喷涂 | 1 |
| 3.2 激光除锈 | 1 |
| 4 工艺流程 | 1 |
| 4.1 工艺要求 | 1 |
| 4.2 喷涂前准备 | 2 |
| 4.3 钢结构喷涂预处理 | 2 |
| 4.4 过喷防护 | 2 |
| 4.5 预热 | 3 |
| 4.6 喷涂 | 3 |
| 5 涂层检测 | 4 |
| 5.1 目视检测 | 4 |
| 5.2 厚度检测 | 4 |
| 6 安全与环保要求 | 4 |
| 6.1 人员安全防护 | 4 |
| 6.2 作业环境安全 | 4 |
| 6.3 环保要求 | 5 |
| 7 技术资料 | 5 |
| 附录 A (资料性) 超音速低压冷喷涂原理 | 6 |
| 附录 B (资料性) 冷喷涂设备 | 7 |
| 附录 C (规范性) 超音速低压冷喷涂材料 | 9 |
| 附录 D 索引 | 10 |

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。

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。

本文件由浙江省电力学会提出。

本文件由浙江省电力学会材料专业委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：浙江华电器材检测研究院有限公司、国网浙江省电力有限公司台州供电公司、武汉大学、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、浙江盛达铁塔有限公司

本文件主要起草人（按对标准的贡献大小排列）：

本文件首次发布）。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至浙江省电力学会标准工作委员会（地址：浙江省杭州市南复路1号，邮编：310008，网址：<http://www.zjsee.org/>，邮箱：zjseeorg_bz@163.com）。

电力钢结构超音速低压冷喷涂修复技术导则

1 范围

本文件规定了输变电钢结构镀锌层超音速低压冷喷涂现场修复的喷涂前处理技术、冷喷涂工艺、涂层检测和安全与环保要求等。

本文件适用于输变电钢结构的超音速低压冷喷涂修复技术的过程和质量控制。

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 4956《磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法》

GB/T 4957《非磁性基体金属上非导电覆盖层 覆盖层厚度测量 涡流法》

GB/T 6462《金属和氧化物覆盖层 厚度测量显微镜法》

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 11378《金属覆盖层 覆盖层厚度测量 轮廓仪法》

GB/T 12334《金属和其他非有机覆盖层 关于厚度测量的定义和一般规则》

GB/T 20018《金属与非金属覆盖层 覆盖层厚度测量 β 射线背散射法》

GB/T 31563《金属覆盖层 厚度测量 扫描电镜法》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 冷喷涂 Low pressure cold spray

采用气源将固态粒子加速至极高的速度撞击基板形成致密涂层的技术。

3.2 激光除锈 Laser derusting

利用高能量密度的激光束照射在生锈的表面，使锈层瞬间受热膨胀、汽化，并脱离基材表面的表面处理技术。

4 超音速低压冷喷涂修复工艺

4.1 工艺要求

超音速低压冷喷涂工艺应包括喷涂前准备、表面预处理、清洗、过喷防护、预热、喷涂。原理如附录A所示。

4.1.1 参数要求

- a) 气体预热温度应不低于 50℃。
- b) 气体压力应为 0.5MPa~1.0MPa。
- c) 喷涂距离宜为 5~30mm。
- d) 喷涂角度宜为 80°~90°。
- e) 移动速度宜为 3mm/s~10mm/s。

4.2 喷涂前准备

4.2.1 设备准备

4.2.1.1 对超音速低压冷喷涂设备的电源和气源系统状态进行确认，冷喷涂设备见附录 B，保证设备状态符合冷喷涂要求。

4.2.1.2 粉末添加前应将超音速低压冷喷涂设备内的粉末清理干净，避免不同牌号或批次的粉末混合造成污染。

4.2.2 钢结构评估

喷涂前，应按表 1 要求进行评估。

表 1 钢结构评估

| 评估项目 | 宜使用量具 | 评估内容 |
|---------|-------------|--------------------------|
| 外观状态 | 目测观察 | 观察基体表面锈蚀程度、表面划伤、破损等外观状态。 |
| 待喷涂区域尺寸 | 直尺、卷尺、深度千分尺 | 测量基体待喷区域面积、厚度。 |

4.2.3 粉末准备

4.2.3.1 使用前应核对粉末质量证明文件，并记录粉末牌号和批次等信息。

4.2.3.2 应根据耐腐蚀、耐摩擦和耐高温等具体防护功能要求，选择合适的粉末成分及比例，详见附录 C。

4.2.3.3 应确保粉末充分混合并处于干燥状态，粉末内无大颗粒团聚，无明显氧化色及可见夹杂物。必要时应根据粉末的特性对粉末进行干燥和筛分处理。

4.3 钢结构喷涂预处理

4.3.1 预处理技术

超音速低压冷喷涂修复前，应对待修复钢结构进行预处理，预处理技术宜采用下列两种：

- a) 转角等复杂钢结构处宜采用激光清洗的方式进行预处理；
- b) 平面等简单钢结构处宜采用机械打磨的方式进行预处理；

4.3.2 表面清洗

a) 应使用工业清洗剂（如：酒精、碱性水基清洗剂等）彻底清洗待喷涂表面及周边区域，确保基体表面无油污、油脂、灰尘或其他污染物。清洗过程不应损伤待喷涂部位。

b) 抓取或碰触清洗后的待喷涂区域应使用清洁、干燥的无绒布手套或工具，以避免污染待喷涂区域。

c) 基体清洗后应进行干燥，以清除缝隙中残留的清洗剂。

d) 干燥温度应根据基体材质选择清洗与喷涂的间隔时间应不超过 4 小时，否则应重新清洗。

4.3.3 预处理验收

钢构件表面处理应达到 GB/T 8923.1 规定中的 Sa2.5 级；不易喷射除锈的部位，用手工和动力工具除锈至 GB/T 8923.1 规定中的 St3 级。

注：

Sa2.5 级:是非常彻底的喷射或抛射除锈。钢材表面应无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。

St3 级:是非常彻底的手工或动力工具除锈。钢材表面应无可见的油脂和污垢，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物，底材显露部分的表面应具有金属光泽。

4.4 过喷防护

应采用适当的方法对钢结构待喷涂区域相邻位置进行遮蔽,以免过喷。一般采用金属板、隔热胶带橡胶制品等进行遮蔽。

4.5 预热

4.5.1 应使用不送粉喷涂等方法预热待喷涂区域。

4.5.2 预热过程中，应控制和监测基体的温度以避免基体过热，防止沉积体或基体发生变色、氧化和变形。

4.6 喷涂

4.6.1 喷涂操作

a) 持枪姿势：操作人员应保持正确的持枪姿势，确保喷枪与基体表面垂直，且喷涂过程中保持稳定，以保证涂层厚度均匀一致。

b) 喷涂路径：喷涂过程中，相邻喷涂区域应保持适当的重叠，以保证涂层的连续性和完整性。宜根据基体形状和尺寸规划合理的喷涂路径，一般采用往复式喷涂或螺旋式喷涂，确保涂层覆盖全面，无遗漏区域。

4.6.2 实时监测

a) 基体监测宜采用红外热成像仪、红外测温相机等设备。最高不超过 300°C，基体或沉积体温度过高时（超过 300°C），应用间歇式喷涂或洁净的压缩空气对基体进行冷却，喷涂时不应有冷却气流。

b) 在喷涂过程中，应实时监测工艺参数的变化，如气压、温度、送粉速率等，确保其稳定在设定范围内。同时，观察涂层的形成情况，如涂层的外观、厚度、均匀性等，如有异常应及时调整工艺参数或停止喷涂进行检查。

4.6.3 喷后处理

a) 应让基体自然冷却至室温，避免急冷导致涂层产生裂纹或脱落等缺陷。

b) 应去除各类遮蔽材料，清理基体和沉积体表面的粉尘和浮灰。操作时不应针对基体和沉积体造成损

伤。

5 涂层检测

5.1 目视检测

喷涂后应对涂层表面进行现场目视检测，涂层表面不应有明显不平整、鼓包、松动、裂纹和密集气孔。

- a) 应从不同角度（如正面、侧面、斜向等）依次查看涂层表面的各个部位，记录观察到的任何异常现象。
- b) 对于形状复杂、有隐蔽部位的工件，应适当调整观察角度或借助反光镜等辅助工具，确保能够全面观察到涂层表面的所有区域，不留检测死角。

5.2 厚度检测

涂层的厚度测量应符合 GB/T 12334、GB/T 4956、GB/T 4957、GB/T 6462、GB/T 11378、GB/T 20018、GB/T 31563 规定。

- a) 户外现场作业应采用直尺、游标卡尺、测厚规、千分尺等进行厚度测量。
- b) 实验室内推荐采用涡流测厚仪、轮廓仪和显微镜测厚等技术进行厚度测量。
- c) 涂层厚度的测量点应不少于 3 个，取测量值的算数平均值。

6 安全与环保要求

6.1 人员安全防护

6.1.1 呼吸系统防护

操作人员在低压冷喷涂作业全程应正确佩戴防尘口罩，应优先选用过滤效率不低于 95%（如 N95 及以上级别）的防尘口罩，以有效阻隔喷涂过程中产生的粉末颗粒吸入。

6.1.2 眼部防护

操作人员应配备专业的防护眼镜，防护眼镜应满足防冲击、防飞溅等性能要求，应能可靠阻挡在喷涂操作时可能出现的粉末反弹、喷枪意外喷溅等情况导致的颗粒物进入眼睛，且应定期进行清洁、检查，如发现镜片有磨损、刮花、镜框变形等影响防护效果的情况，应及时更换。

6.1.3 身体防护

操作人员应穿着耐磨、易清洁、防粉尘附着、防静电等要求的工作服。

6.2 作业环境安全

6.2.1 防火防爆

低压冷喷涂作业场所应明确划定为禁火区，在区域显著位置设置明显的“禁止烟火”警示标识，并严格禁止一切明火行为，包括但不限于吸烟、动火焊接、使用明火加热设备等。

6.2.2 通风换气

室内进行喷涂工作时，应在通风良好的环境中进行。针对长时间处于高粉尘浓度环境（如在相对密

闭空间进行大规模喷涂作业等情况)下作业的人员,应配备并使用正压式呼吸器。

6.3 环保要求

6.3.1 粉尘排放控制

喷涂过程中产生的粉尘应通过有效的遮蔽、收集和处理措施,如配备专业的粉尘收集装置(如集尘罩、布袋除尘器等),确保能够高效收集喷涂产生的粉尘,减少粉尘在作业环境中的扩散。

6.3.2 固体废弃物管理

作业过程中产生的固体废弃物(如废弃的粉末材料、损坏的喷枪部件等)应按照其性质进行分类收集、存放,存放地点应设置相应的标识,便于识别和管理。对于可回收利用的固体废弃物(如部分未受污染的粉末材料等),应进行回收处理,实现资源的循环利用。

7 技术资料

提交的技术资料至少包含以下内容:

- a) 试验人员;
- b) 试验日期和地点;
- c) 试验现场条件;
- d) 试验仪器;
- e) 钢结构技术参数;
- f) 喷涂效果及涂层质量等。

附录 A
(资料性)
超音速低压冷喷涂原理

A 超音速低压冷喷涂原理

超音速低压冷喷涂原理是利用气体控制系统将气源加热、加压，形成高速气流并进入喷枪系统。工艺原理图见图 A.1，其中送粉系统将粉末送入喷枪系统的前端或后端，高速气流带动粉末加速撞击基体表面并牢固附着，形成沉积体。

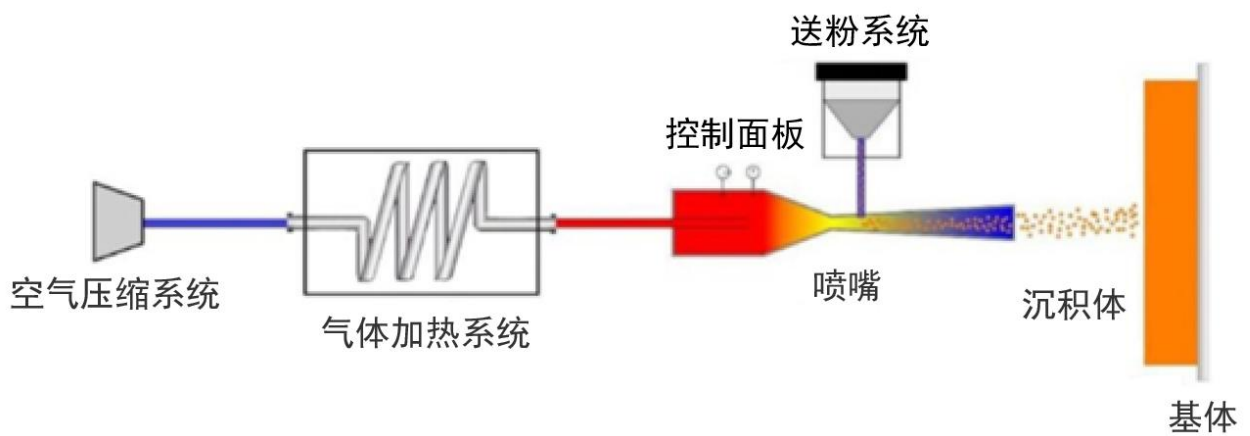


图 A.1 超音速低压冷喷涂工艺原理

附录 B
(资料性)
冷喷涂设备

B.1 冷喷涂设备组成

超音速低压冷喷涂设备应包含喷涂枪、送粉器、气体加热装置、气体参数控制装置、载物台、持枪机械手及其他辅助设备。

B.1.1 喷涂枪

喷涂枪内管应采用拉瓦尔喷管，图 B.1 为拉瓦尔喷管示意图，其内径先收缩后扩张。

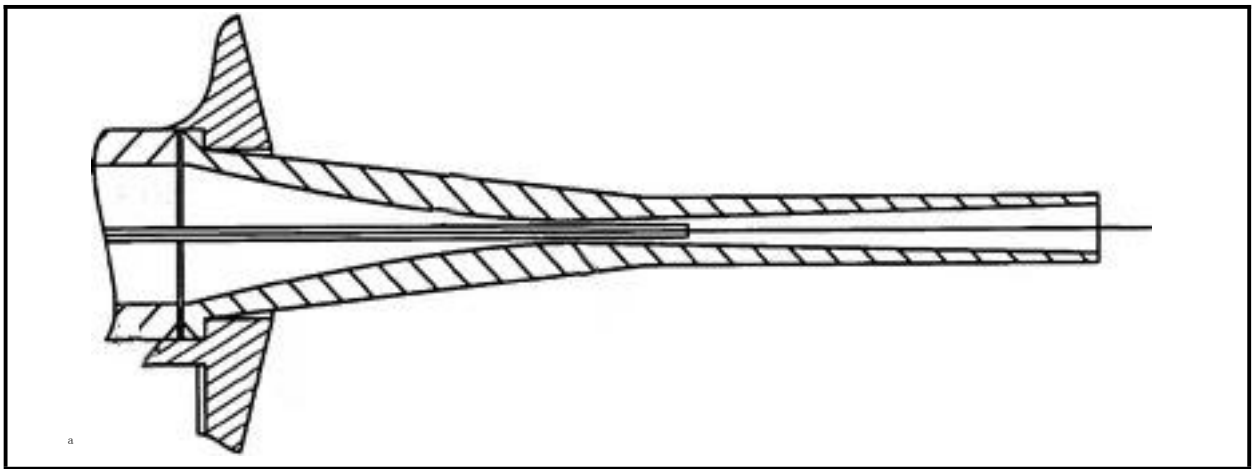


图 B.1 拉瓦尔喷管

B.1.2 送粉器

送粉器应满足下列规定：

- 送粉器应包含粉箱、锥形槽、喷孔、出粉螺栓、高压导管；
- 送粉器应能耐 1.0Mpa 压力；
- 送粉器应能连续、定量、稳定地送粉；
- 送粉器应结构简单，便于换粉；
- 送粉器应与其他零部件结合紧密；
- 送粉器宜采用不锈钢制造。

B.1.3 气体加热装置

气体加热装置应做成螺旋状并外包保温层，气体加热管宜由镍铬合金或不锈钢管制成。

B.2 超音速低压冷喷涂设备技术要求

B 2.1 超音速低压冷喷涂设备技术要求应符合下列规定：

——输入最大消耗功率应小于 3.5kW；

——压缩空气工作压力应为 0.5Mpa~1.0Mpa；

——送粉量应为 30g/min ~50g/min。

B 2.2 低压冷喷涂设备实测工作功率见图 B.2。

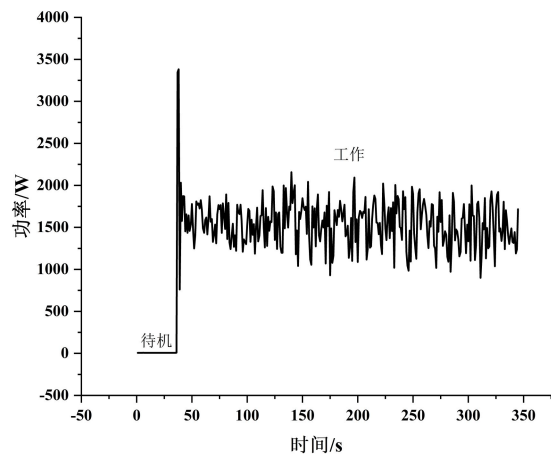


图 B.2 低压冷喷涂设备工作功率

附 录 C
(规范性附录)
超音速低压冷喷涂材料

C.1 材料

C.1.1 材料成分

材料基体成分应为锌 (Zn)、铝 (Al)、铜 (Cu) 或镍 (Ni) 中的至少一种。

C.1.2 超音速低压冷喷涂材料形貌粒径

材料形状宜为球形或近球形，尺寸应为 5~45 μm 。

C.1.3 超音速低压冷喷涂材料储存与运输

应在干燥通风环境中储存，环境温度宜为 0~40℃。超音速低压冷喷涂材料运输途中应防止日晒、雨淋，不应与水、酸、碱等易挥发有腐蚀性的物质一起运输。

附 录 D
索 引

XX
XX。
XX
XX。
XX
XX。

