

# 《水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范》

## 编制说明

团标起草组

二〇二六年三月

## 一、工作简况

### (一) 任务来源

本团体标准的制定任务源于固滴水电站 1 号机组水轮机转轮防护升级的实际工程需求，针对多泥沙流域水轮机转轮磨蚀失效的共性问题提出。

固滴水电站是水洛河干流“一库十一级”水电规划的第六梯级电站，位于四川省凉山州木里县境内，坝址控制流域面积 7249km<sup>2</sup>，多年平均流量 107m<sup>3</sup>/s，电站采用引水式开发模式，装有 3 台 46MW 混流式水轮机发电机组，引水系统为“一洞一井一管三机”布置。作为径流式电站，该机组汛期需长时间满负荷运行，而汛期含沙水流对水轮机转轮的叶片、轮毂等关键过流部位造成严重磨蚀，导致机组出力不足、水车室漏水等故障频发，每年需开展大修作业，检修成本居高不下，严重制约电站安全稳定运行与经济效益提升。

为解决上述问题，电站计划对技改后新制的 1 号机组水轮机转轮采用激光熔覆技术进行表面强化处理，通过制备高硬度、高结合强度的熔覆层，提升转轮抗泥沙磨蚀与抗汽蚀综合性能，延长其运行寿命。然而，当前国内未有针对水轮机转轮的复杂曲面结构、工况特性及磨蚀防护需求制定专项工艺流程与操作规范，导致施工过程中存在工艺参数不匹配、熔覆层质量不稳定、易产生裂纹或结合不良等隐患，难以保障防护效果。

为规范水轮机转轮激光熔覆的施工流程、操作要点与质量控制要求，确保熔覆层性能满足电站运行需求，填补行业专项标准空白，特提出本团体标准的制定任务，为同类水轮机转轮的激光熔覆施工提供统一技术依据，推动激光熔覆技术在水电行业关键部件防护中的标准化应用。

## （二）制定背景及目的

水轮机转轮作为水电站的核心动力部件，其运行状态直接决定机组的发电效率与安全稳定性。在多泥沙流域环境中，转轮面临着泥沙磨损与汽蚀的协同破坏——高速含沙水流中的泥沙颗粒对叶片表面产生冲击切削作用，同时水流压力波动引发的汽蚀现象会产生高频高压冲击波，导致材料表面疲劳剥落，二者相互促进，显著缩短转轮使用寿命。传统修复方式（如补焊、打磨、修型）存在施工周期长、工作量大、易导致转轮变形、难以保证叶型精度等缺陷，且修复后部件的抗磨蚀性能提升有限，已无法满足现代化水电站高效运维的需求。

激光熔覆技术凭借其熔覆层与基体冶金结合、硬度高、耐磨性强、变形小等优势，成为水轮机转轮表面强化的优选技术。该技术通过高能激光束将合金粉末与基体表面快速熔化并凝固，形成性能优异的强化层，可同时满足转轮对“抗泥沙磨损的高硬度”与“抗汽蚀的韧性”双重要求。然而，水轮机转轮结构复杂（叶片曲面曲率变化大、空间角度多样），对激光熔覆的施工参数（如激光功率、扫描速度、粉末进给量）、路径规划、装夹定位等要求极高。目前，国内缺乏针对水轮机转轮激光熔覆的专项操作规范，施工单位多依据通用标准或经验进行施工，导致不同单位的施工质量差异较大，常见熔覆层厚度不均、孔隙率超标、裂纹产生、结合强度不足等质量问题，严重影响防护效果与转轮运行安全。

本标准的制定旨在实现以下核心目标：

（1）规范施工流程与操作要点：明确水轮机转轮激光熔覆的全流程要求，包括施工前准备、施工过程控制、后处理工艺等关键环节，为施工单位提供标准化操作指南。

（2）保障熔覆层质量与防护效果：通过明确施工过程中的关键

参数控制要求与质量检验节点，确保激光熔覆层具备均匀的厚度、优异的结合强度、合理的硬度分布及低孔隙率、无裂纹等特性，有效提升水轮机转轮的抗泥沙磨蚀与抗汽蚀性能，延长转轮运行寿命，减少机组大修频次与运维成本。

（3）填补专项标准空白：针对水轮机转轮的复杂结构与工况需求，弥补现有通用标准在专项施工规范上的不足，完善水电行业关键部件表面强化技术的标准体系，为激光熔覆技术在水轮机转轮防护中的规模化应用提供技术支撑。

（4）提升施工安全性与效率：明确施工过程中的安全操作要求（如激光防护、粉尘处理、高温防护）与流程优化要点，降低施工安全风险，提高施工效率，确保工程质量与进度同步达标。

（5）推动行业技术进步：通过标准的制定与实施，引导施工单位加强技术研发与工艺优化，规范施工管理，提升水电行业关键部件表面强化的整体技术水平，增强我国水电站设备的核心竞争力与运行可靠性。

### （三）制定过程

#### 1、项目立项阶段

目前无水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范相关标准，因此需要制定团体标准。为规范水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作，四川凉山水洛河电力开发有限公司提交了《水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范》团体标准的制订申请，并于2026年3月13日正式立项。

#### 2、理论研究阶段

标准起草组成立初始就水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范进行了深入的调查研究，同时广泛搜集相关标准和国外技术资料，

进行了大量的研究分析、资料查证工作，确定了标准的制定原则，结合现有实际应用经验，为标准的起草奠定了基础。

标准起草组进一步研究了水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范特点和技术指标，明确了要求和指标，为标准的具体起草指明方向。

### 3、标准起草阶段

在理论研究基础上，起草组在标准编制过程中充分借鉴已有的理论研究和实践成果，经过数次修改，形成了《水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范》标准草案稿。

### 4、标准征求意见阶段

于2026年3月24日，标准由四川省标准化协会通过全国团体标准信息平台面向全社会进行公开征求意见。同时由标准编制小组进行定向征求意见。最终形成送审稿。

### 5、专家审核阶段

拟定于2026年5月，由四川睿创精标标准技术服务有限公司组织召开线上标准评审会，对标准进行审查。

### 6、报批

起草组根据专家意见，结合标准制定的实际情况，对标准文本进行调整与修改，形成标准报批稿，拟定于2026年5月，交由四川省标准化协会审查。

## （四）主要起草单位及起草人所做的工作

主要起草单位：四川凉山水洛河电力开发有限公司、四川华电木里河水电开发有限公司、中国华电集团有限公司四川分公司、西华大学、沈阳格泰水电设备有限公司、西南交通大学、哈尔滨能创数字科技有限公司、德阳丰实材料技术研究有限公司等多家单位的专家成立

了规范起草小组，开展标准的编制工作。

经工作组的不懈努力，在 2026 年 3 月，完成了标准征求意见稿的编写工作。

## 2、广泛收集相关资料。

在广泛调研、查阅和研究国际标准、国家标准、行业标准的基础之上，形成本标准送审稿。本标准的制定引用的标准如下：

GB 2626 呼吸防护 自吸过滤式防颗粒物呼吸器

GB/T 10320 激光设备和设施的电气安全

GB 15577 粉尘防爆安全规程

GB 17914 易燃易爆性商品储存养护技术条件

GB/T 18490.1 机械安全 激光加工机 第 1 部分：通用安全要求

GB/T 29795 激光修复技术 术语和定义

GB 30863 个体防护装备 眼面部防护 激光防护镜

GB/T 41643 高功率激光制造设备安全和使用指南

DL/T 2793 汽轮机叶片表面激光熔覆强化技术导则

## 二、标准编制原则和主要内容

### （一）标准制定原则

本标准依据相关行业标准，标准编制遵循“前瞻性、实用性、统一性、规范性”的原则，注重标准的可操作性，严格按照 GB/T 1.1 最新版本的要求进行编写。

### （二）标准主要技术内容

本标准送审包括 8 个章节，主要内容如下：

#### 1、范围

介绍本文件的主要内容以及本文件所适用的领域。

#### 2、规范性引用文件

列出了本文件引用的标准文件。

### 3、术语和定义

给出了相关的术语和定义。

### 4、总体要求

规定了水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范的总体要求。

### 5、材料要求

规定了水轮机转轮激光熔覆工艺的材料要求。

### 6、工艺流程及操作规范

规定了水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范。

### 7、技术文件

规定了激光熔覆技术文件应及时编制、整理和保存。

### 8、包装运输

规定了激光熔覆产品的包装运输要求。

## **(三) 主要试验（或验证）情况分析**

结合国内外的行业测试和企业内部管控项目进行试验验证。

## **(四) 标准中涉及专利的情况**

不涉及。

## **(五) 预期达到的效益（经济、生态等），对产业发展的作用的情况**

保障水轮机转轮激光熔覆工艺流程及操作规范，提高产品质量。

## **(六) 在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性**

符合现行相关法律、法规、规章及相关标准，与强制性标准协调一致。

## **(七) 重大分歧意见的处理结果和依据**

无。

**(八) 标准性质的建议说明**

本标准团体标准，供社会各界自愿使用。

**(九) 贯彻标准的要求和措施建议**

无。

**(十) 废止现行相关标准的建议**

本标准首次发布。

**(十一) 其他应予说明的事项**

无。

标准起草组

2026年3月