

《水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层  
质量检验标准》

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 号机组过流部件防护技术升级的实际工程需求，结合我国多泥沙流域水电站水轮机运行维护的共性技术痛点提出。

固滴水电站作为水洛河干流“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，电站装有 3 台 46MW 混流式水轮机发电机组，采用“一洞一井一管三机”的引水系统布置形式。该电站为径流式电站，汛期长时间满负荷运行期间，含沙水流对水轮机过流部件造成严重磨蚀破坏，导致机组出现出力不足、水车室漏水等异常情况，需年年开展大修作业，检修成本居高不下，严重影响电站的安全稳定运行与经济效益。

### （二）制定背景及目的

水轮机过流部件的磨蚀破坏是多泥沙流域水电站面临的共性技术难题。根据行业研究与工程实践表明，水轮机过流部件的失效主要源于汽蚀与泥沙磨损的联合作用，二者相互促进、加速破坏进程——泥沙颗粒的冲击切削破坏部件表面，同时气蚀产生的高频高压冲击波导致材料疲劳剥落，形成“磨损 - 气蚀”协同破坏效应。传统修复方式（如补焊、打磨、修型）存在工作量大、检修周期长、易导致部件变形、难以保证叶型精度与过流面光洁度等局限，已无法满足现代化水电站高效运维的需求。

激光熔覆与超音速火焰喷涂复合涂层技术，凭借其涂层硬度高、结合强度好、耐磨损与抗汽蚀性能优异等特点，成为解决水轮机过流部件磨蚀问题的有效技术路径。该技术通过激光熔覆形成与基体冶金

结合的底层，再经超音速火焰喷涂制备高硬度工作层，可同时满足材料“抗泥沙磨损的高硬度”与“抗汽蚀的韧性”双重要求。然而，由于缺乏专项的质量检验标准，复合涂层的施工质量控制与效果评估缺乏统一依据，存在涂层厚度不均、结合强度不足、孔隙率超标等质量隐患，可能导致防护失效、部件提前损坏等问题。

本标准的制定旨在实现以下核心目标：

（1）规范质量检验要求：明确水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂复合涂层的检验项目、技术指标、检测方法与判定规则，涵盖涂层外观、厚度、结合强度、硬度、孔隙率、抗磨蚀性能等关键指标，为涂层质量管控提供统一依据。

（2）保障防护技术效果：通过标准化的质量检验流程，确保复合涂层满足水轮机过流部件在含沙水流环境下的抗磨蚀要求，有效提升部件运行寿命，减少机组大修频次与运维成本，解决固滴水电站及同类电站的工程痛点。

（3）填补标准技术空白：针对“激光熔覆 + 超音速火焰喷涂”复合工艺的特殊性，弥补现有行业标准在专项检验要求上的不足，完善水轮机过流部件表面强化防护技术的标准体系。

（4）指导工程实践应用：为水电站、施工单位、检测机构提供清晰的操作指南，规范检验流程，提高检验结果的准确性与可比性，推动复合涂层技术在水利水电行业的规范化、规模化应用。

### （三）制定过程

#### 1、项目立项阶段

目前无水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层质量检验规范相关标准，因此需要制定团体标准。为规范水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层质量检验指标和检验方法，四川凉山水

洛河电力开发有限公司提交了《水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层质量检验规范》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过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层相关产品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过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层质量检验的特点和技术指标，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《水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层质量检验规范》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/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分：试验方法

GB/T 6383 空蚀试验方法

GB/T 7220 产品几何量技术规范(GPS)表面结构 轮廓法 表面粗糙度 术语 参数测量

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 12444 金属材料 磨损试验方法 试环-试块滑动磨损试验

GB/T 29795 激光修复技术 术语和定义

GB/T 40737 再制造 激光熔覆层性能试验方法

GB/T 44990 激光熔覆修复层界面结合强度试验方法

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 7 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、一般规定**

规定了水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层的总体要求。

### **5、基本要求**

规定了水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层检测的环境和人员要求。

### **6、质量检验**

规定了水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层的外观和基本性能要求。

### **7、流程要求**

规定了水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层的检验流程。

## **（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**

保障水轮机过流部件激光熔覆与超音速火焰喷涂涂层质量检验，提高产品品质。

**(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**

本标准为团体标准，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**

本标准为首次发布。

**(十一) 其他应予说明的事项**

无。

标准起草组

2026年3月