

提灌站水泵叶轮耐磨蚀涂层应用研究

马天兵 侯应黎

(洛阳朗力表面技术有限公司, 河南洛阳; 471003)

摘要: 黄河流域提灌站水泵及水工设备长期遭受黄河泥沙磨蚀, 造成泵壳、叶轮和口环三大过流部件损坏严重, 直接影响水泵使用性能, 导致泵站可靠性差、运行效率低下、耗能高, 无法满足水利灌溉的使用要求。通过现代热喷涂技术 (HVOF) 在部件表面制备 CoCrWC 耐磨蚀涂层, 可以有效的增加使用寿命, 节约使用成本, 提高运行效率及可靠性。

关键词: 提灌站水泵 泵壳 叶轮 口环 磨蚀 热喷涂技术 耐磨蚀涂层 使用寿命

1 引言

黄河流域目前已经建成大型灌溉泵站 46 处 877 座, 装机总台数 4076 台, 总功率 181.895wkw, 设计流量 $1211.84\text{m}^3/\text{s}$ ^[1]。由于黄河水的泥沙含量大、运行工况恶劣^[2-4], 泵站叶轮、泵壳、口环三大过流部件磨蚀非常严重, 直接影响水泵运行, 导致泵站老化严重、可靠性差、运行效率低、能耗高等问题, 无法满足黄河流域灌溉等使用要求。现代热喷涂技术已成功应用于航空航天、冶金、能源、国防、石油化工、机械制造、交通运输轻工机械等国民经济各个领域^[5-7]。利用热喷涂技术在泵叶轮及其组件的表面制备涂层, 可以有效的降低运行成本、增加使用寿命^[8-9]。因此, 热喷涂技术的应用对于节约泵站运行成本、降低能耗、提高运行效率及可靠性具有非常重要的意义。

2 提灌站水泵叶轮及其组件的失效分析

水力机械大多具有类似的使用工况环境, 泥沙磨蚀破坏是造成水力机械损坏的主要原因, 提灌站水泵及其组件也不例外, 而影响磨蚀的因素很多, 主要包括:

1、磨粒的特性: (1) 粒径 磨蚀与磨粒粒径成正比, 但当磨粒大到一定程度时, 磨蚀减缓, 甚至不再增大。(2) 矿物成分 泥沙颗粒的硬度大于基体材料的硬度时, 磨蚀极具增大。故泥沙组成中的石英和长石 (摩氏硬度 >5) 等硬质颗粒的数量愈多, 破坏愈严重。(3) 颗粒的形状 通常尖颗粒的磨蚀作用比圆颗粒大。

2、磨粒打击到材料表面时的条件: (1) 速度 磨蚀与速度近似成三次方的关系。(2) 冲击角度 韧性材料磨蚀随冲击角的增大而增大, 约在 $30-40^\circ$ 时达到最大值, 之后有所减小; 高硬度脆性材料则大角度冲击破坏大于小角度的; 柔性材料则小角度的磨蚀往往最大。

3、被冲击材料的特性: (1) 基体材料硬度 大量数据表明, 材料的硬度越高, 耐磨蚀性能越好。(2) 表面光洁度 实验表明, 表面光洁度越高, 磨蚀发生的时间越晚、破坏越轻^[10]。

黄河流域的泥沙磨蚀问题比较突出，影响磨蚀的因素也很多，各因素之间的关系可以简化成如下公式：

$$E = K \cdot V^n \cdot S^m$$

其中： E 为磨蚀率，单位可取 mm/h 或 mm/kh。 V 为流速，计算部位的绕流速度或冲击速度。 S 为含沙浓度，一般取 kg/m^3 。 K 为综合系数，它与材质的抗磨性能、磨粒级配、硬度、含沙水流对材质表面冲击角度等有关。 n 为速度指数，它与材质的抗磨性能、磨粒级配、硬度、含沙水流对材质表面冲击角度等有关。 m 为含沙浓度指数，实验表明其变化范围约在 0.97-1.04 之间^[1]。

3 耐磨蚀涂层应用实例

3.1 涂层材料及工艺

王者昌等人^[2]通过长时间的实验及数据收集已经验证：超音速火焰喷涂 (HVOF) CoCrWC 在水力机械抗磨蚀损坏上已经成功应用，当水流速度达到 40m/s 以上时，其抗磨能力达到 Cr13Ni4 不锈钢的 60 倍以上。超音速火焰喷涂 (HVOF) CoCrWC 的涂层结合强度达到 60~70MPa，涂层的孔隙率 < 0.5%，表面光洁度可达到 Ra3.2~6.4，硬度达到 HRC70~75，可以达到优良的耐磨蚀性能，因此该涂层技术是解决水力机械磨蚀的重要途径^[13-15]。

3.2 应用实例

某黄河流域提灌站泵叶轮运行 1 年后已经磨蚀严重、效率下降 8-10%，不仅能耗加剧，而且出力已严重不足，不能满足使用要求，只能停机检修、更换叶轮，这样不但增加了检修、运行成本，而且影响了正常使用，给泵站安全经济运行带来了很大的困难。图 1 是离心水泵运行 1 年后的形貌照片，基体材质为铸铁。



图 1 离心水泵运行 1 年后的磨蚀形貌



图 2 HVOF 超音速火焰喷涂制备 CoCrWC 涂层

从图 1 损坏形貌来看，泵叶轮的入水口边缘损坏最为严重，整个叶片已经磨透；叶片正面上布满了“犁沟状”的长条形坑，深度可达 20-30mm，这是磨粒对基体产生的微切削作用造

成的，而叶片背面具有“蜂窝状”的麻坑，深度可达 5-15mm，这是叶片背面遭受空蚀造成的。

由于旧叶轮已经没有修复价值，泵站决定在新叶轮的局部制备 CoCrWC 涂层，主要部位包括叶轮入水口叶片的正反面、出水口叶片的正反面、上下口环部位。为了保证涂层质量，我们利用进口超音速喷涂设备、机器人与工装配合完成全喷涂作业过程，确保涂层的均匀覆盖一致性、产品质量可追溯、涂层性能一致无缺陷、表面光洁度高，如图 2 所示为叶轮 HVOF 超音速火焰喷涂制备 CoCrWC 涂层的生产照片。经检测喷涂完成后的各项性能数据如表 1 所示：

表 1 涂层性能数据

名称	结合强度/Mpa	孔隙率/%	硬度/HRC	表面光洁度/Ra
HVOF 超音速火焰喷涂 CoCrWC 涂层	70	0.5	72	3.2~6.4

3.3 用户反馈与分析

据泵站客户反馈：带涂层的新叶轮装机运行二年后，基本没有出现磨蚀；运行三年后，入水口叶片背面局部出现涂层减薄，泵的使用效率并没有受太大影响；目前已经运行四年，泵的使用效率仍然正常，涂层损失率不足 10%，预估涂层使用寿命可以至少达到 5~7 年。

通过对比发现：

1、未做涂层的叶轮运行时间为 1~2 年，制备涂层的叶轮运行时间至少 5~7 年，使用寿命提高约 3~4 倍；

2、未做涂层的叶轮约 1~2 年需要更换一次新叶轮，制备涂层的叶轮 5~7 年后，如若基体保护较好，还能继续制备涂层后投入使用；

3、按单台水泵运行周期为 5 年计算：未做涂层的叶轮需要更换 3 次新叶轮，制备涂层的叶轮最多更换 1 次，而制备涂层的费用相当于新叶轮的 1/3~1/2。单从叶轮更换计算，制备涂层后叶轮的运行费用至少节省 1.5 个叶轮的费用和中间换叶轮的人工费用及停机造成的经济损失；

4、未做涂层的叶轮运行后期效率已经下降比较明显，能耗至少增加 10%以上，而制备涂层后的叶轮在运行期间一直保持良好的运行效率。

所以，无论从经济运行角度还是从安全高效运行角度考虑，制备涂层后的叶轮都有很大的优势。

4 结论

1、黄河流域提灌站水泵叶轮受泥沙磨蚀严重，HVOF 超音速火焰喷涂 CoCrWC 涂层技术可以有效的解决水泵叶轮磨蚀严重、更换频繁、运行成本高、效率低下等突出问题，该涂层

技术的优越性能也已经在泵站实际运行应用中得到了很好的验证。

2、据实际应用案例分析：制备 CoCrWC 涂层的水泵叶轮使用寿命提高了约 3~4 倍，运行期间泵站可以节约数十万甚至上百万元，给其安全经济高效运行带来了很大的帮助。相信会有越来越多的用户体会到涂层新技术给企业运行带来的经济价值和高效。

参考文献

- [1] 王福军. 我国大型灌溉泵站的技术现状与发展趋势[J]. 中国水利, 2009.
- [2] 王兆印. 黄河流域泥沙矿物成分与分布规律[J]. 泥沙研究, 2007.
- [3] 穆兴民, 王万忠, 高鹏, 等. 黄河泥沙变化研究现状与问题[J]. 人民黄河, 2014, 36(12).
- [4] 邹继国. 立式混流双级泵的技术改造[J]. 水泵技术, 2016(3).
- [5] 吴子健. 热喷涂技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [6] 李君. 热喷涂技术应用与发展调研分析[D]. 吉林大学, 2015.
- [7] 大漠. 访热喷涂技术专家, 西安交通大学教授李长久[J]. 航空制造技术, 2016, 510(15).
- [8] Pawlowski L. 热喷涂科学与工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [9] 黄小鸥, 卢乐松, 付海宇, 等. 中国热喷涂年鉴(2015年版)[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2016.2.
- [10] 张国赏. 水轮机用钢冲蚀机理研究及抗冲蚀新材料研制[D]. 西安交通大学硕士学位论文, 2001.
- [11] 顾四行, 杨天生, 闵京声. 水机磨蚀[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [12] 王者昌. 水轮机抗空蚀磨损金属覆层方法、材料和应用[J]. 焊接, 2009(2).
- [13] 张平. 热喷涂材料[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [14] 李学伟, 孟银, 王鹏, 等. 热喷涂 WC-10Co4Cr 涂层的研究现状[J]. 中国钨业, 2014(2).
- [15] 陈小明, 周夏凉, 吴燕明, 等. 超音速火焰喷涂微、纳米结构 WC-10Co4Cr 涂层及其性能[J]. 金属热处理, 2016, 41(5).