

某电站变压器风机扇叶开裂原因分析及更换方案研究

韩彬 王跃明 王京茹 梁杰 孙德库

保定新胜冷却设备有限公司，河北 保定 071000

摘要：随着电力系统的发展和电力需求的增长，大型变压器的正常安全运行变得愈加重要。在变压器运行过程中，大量电能转换引发的热量影响其性能稳定性，还可能导致设备损坏甚至故障，因此变压器散热技术尤为关键，风冷散热是变压器中常见的散热方式，风机性能及可靠性影响整个变压器。本文对某电站主变风冷却器所用风机扇叶开裂原因进行分析，提出更换方案，对金属扇叶在尺寸配合、性能和强度三个方面进行可靠性验证。经研究，金属扇叶可替代原扇叶。该案例可对其他电厂同类缺陷的分析和处理提供借鉴。

关键词：轴流风机；扇叶开裂；解决方案；有限元分析

引言

电力变压器冷却系统作为变压器至关重要的组成部分，在变压器的稳定运行中扮演着无可替代的关键角色。在变压器持续运行的过程中，绕组和铁心由于电流通过以及磁滞等效应，不可避免地会产生损耗，而这些损耗会迅速转换为热量。倘若这些热量不能及时有效地散发出去，变压器内部温度将急剧攀升，严重威胁其正常运行，甚至可能导致设备故障，影响整个电力系统的稳定性。而冷却散热系统的存在，恰恰是解决这一问题的核心所在。在众多冷却方式中，强迫风冷凭借其高效的散热能力得到了广泛应用。它通过风机或风扇产生强大的动力，强制将外部的冷却空气源源不断地吹入变压器内部的散热器或散热片中。在这个过程中，空气与散热器或散热片充分接触，利用强制对流的原理，快速地带走变压器产生的热量，进而有效地降低变压器的温度，保障其在适宜的温度范围内稳定运行。

对于风冷却器而言，风机性能的优劣直接决定了其冷却效果的好坏。在风机叶轮的诸多组成零件里，叶片堪称最为关键的部分。它不仅是主要的承受载荷部件，在风机运行过程中，

持续承受着高速旋转带来的离心力以及气流冲击产生的各种复杂作用力。可以说，叶片的结构设计和强度大小，对风机的可靠性起着决定性的作用。一旦叶片发生断裂，其影响将是极为严重的。一方面，需要耗费大量的备品部件来进行更换，这些备品部件的采购不仅需要花费高昂的成本，还可能面临供货周期长等问题。另一方面，修复叶片断裂问题往往需要较长的时间，在这段时间内，整个机组的安全运行将受到严重威胁，甚至可能导致电力供应中断，给生产生活带来诸多不便。

鉴于此，对风机性能和可靠性进行精准评估显得尤为必要。本文聚焦于某电站主变风冷却器所用风机扇叶开裂这一实际问题，深入分析其开裂原因，并提出切实可行的更换方案。同时，从尺寸配合、性能和强度三个关键方面，对金属扇叶展开全面的可靠性验证，旨在为通风机叶片强度计算与优化设计提供极具价值的参考，助力提升风机乃至整个电力变压器冷却系统的运行稳定性与可靠性^[1-3]。

1 设备概况及原因分析

1.1 设备概况

某电站主变风冷却器，流量

19600*3=58800m³/h，压损 161Pa，噪声 75dB。

所用风机为 TLBF-8.5Q6 高分子扇叶，运行四年后发现扇叶根部开裂。具体情况如图 1。



图 1 叶片开裂情况

1.2 原因分析

通过对实物的仔细检查，并广泛查阅相关专业文献^[4-6]，深入剖析某电站变压器风机扇叶开裂的根源，最终归纳出以下几个关键方面的影响因素。

首先是材料疲劳因素。在电站长期运行过程中，风机扇叶处于持续的高速旋转状态，不断承受着周期性变化的载荷。随着运行时间的累积，扇叶材料内部微观结构逐渐发生变化，晶体内部产生位错运动，这些位错在材料内部不断堆积、交互作用，进而形成微裂纹。当微裂纹逐渐扩展并相互连接，最终导致材料的疲劳损伤，使扇叶出现开裂现象。例如，一些老旧电站的风机，由于运行年限已久，虽日常有维护，但扇叶材料疲劳问题仍难以避免，其开裂风险显著增加。

其次是环境变化因素。电站环境温度波动幅度往往较大，这对风机扇叶材料产生了热胀冷缩的影响。当温度快速升高时，扇叶材料膨胀，而当温度骤降时，材料收缩。这种频繁的热胀冷缩循环，使得扇叶内部产生应力集中，尤其是在材料的薄弱部位，如焊缝处或形状突变处。同时，高湿度环境对于金属材料制成的扇叶来说也是一大威胁。在潮湿环境中，金属材料容易发生电化学腐蚀，金属原子与空气中

的水分、氧气等发生化学反应，逐渐形成氧化物，导致材料的有效截面积减小，强度降低。例如，沿海地区的电站，由于空气湿度大，风机扇叶遭受腐蚀的情况更为常见，开裂风险也相应提高。

再者是机械振动因素。风机扇叶若在安装过程中未能保证均匀安装，或者扇叶本身存在质量偏差，那么在风机运行时，就会产生不平衡力矩。这种不平衡力矩会使风机产生剧烈的机械振动，扇叶在振动过程中不断受到交变应力的作用。长期处于这种振动环境下，扇叶材料的疲劳寿命会大幅缩短，极易引发开裂。以某电站曾出现的一次风机故障为例，经检查发现是由于扇叶安装工人操作失误，导致扇叶安装不均匀，运行一段时间后，风机振动异常，最终扇叶开裂。

最后是制造缺陷因素。在扇叶的生产制造过程中，若工艺控制不当，可能会在材料内部产生气孔、夹杂等缺陷。这些缺陷相当于材料内部的“薄弱点”，在扇叶承受载荷时，缺陷处会形成应力集中，大大降低材料的实际强度。此外，扇叶的形状或厚度设计如果不合理，也会导致局部应力过大。比如某些扇叶为追求特殊的空气动力学性能，设计的形状过于复杂，在一些曲率变化较大的部位，就容易出现应力

集中现象，长期运行后便可能引发开裂。

综上所述，某电站变压器风机扇叶开裂是多种因素共同作用的结果，在后续处理及预防类似问题时，需综合考虑这些因素，采取针对性措施。

2 更换方案及可靠性验证

2.1 更换方案

在确认可靠的情况下，将 TLBF-8.5Q6 高

分子扇叶更换为同型号金属扇叶。

2.2 可靠性验证

2.2.1 尺寸配合

两种扇叶外径均为 850mm，轴套尺寸为 $\Phi 32\text{mm}$ ，金属扇叶能与原电机进行配合使用。

2.2.2 性能验证

在同等条件下，通过风洞试验得到两种风机的噪声和静压曲线如图 2。

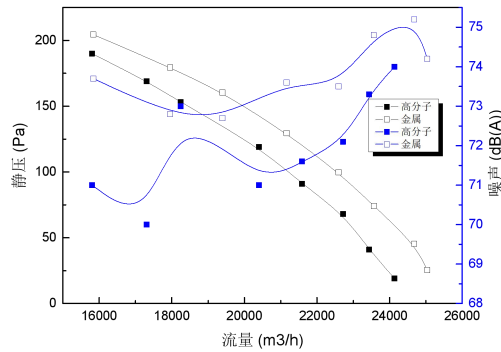


图 2 风扇性能曲线

由曲线可得，在要求工况点下，静压可以克服冷却器侧空气压损，噪声略高于原扇叶，但满足冷却器噪声要求。

2.2.3 强度验证

采用模拟仿真软件对两种叶轮进行静应

力分析，其中扇叶和轮毂连接方式为接合，在叶轮轴处，分别对轴向、周向和径向施加固定约束，不考虑风压和轴孔间的预应力，只考虑叶轮旋转的离心力，得到应力云图如图 3-4。

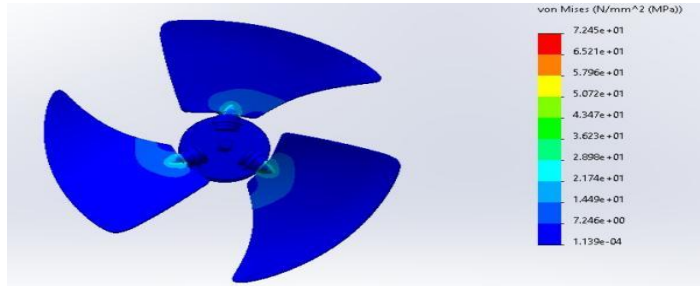


图 3 高分子叶轮应力云图

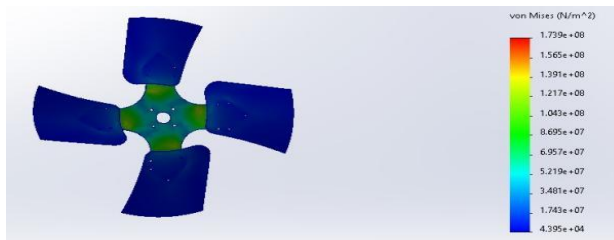


图 4 金属叶轮应力云图

图 3 最大应力发生在扇叶根部，最小安全系数为 1.7。图 4 最大应力发生在四叶轮轂的

分叉处，最小安全系数为 1.9，满足设计要求。

3 结论

在尺寸配合方面，对金属扇叶进行了全面且细致的测量与调试。通过高精度的测量仪器，确保扇叶的各个关键尺寸与风机叶轮的安装部位精准匹配，误差控制在极小范围内。这种精确的尺寸配合，不仅保障了扇叶在安装时的便捷性，更使得扇叶在高速旋转过程中，能与叶轮紧密协同，避免因尺寸偏差导致的异常振动与磨损，从而为风机稳定运行奠定坚实基础。

从性能角度来看，金属扇叶经过严苛的性能测试。在模拟的各种复杂工况下，如不同的风速、风压环境，扇叶均展现出卓越的空气动力学性能。其能够高效地引导冷却空气，增强空气与散热器的对流换热效果，显著提升了风

冷却器的散热效率，满足甚至超越了电站主变风冷却系统的性能要求。

强度层面，对金属扇叶的材料特性进行深入研究，并通过先进的力学分析手段，确保其在承受高速旋转离心力以及气流冲击等复杂载荷时，具备足够的强度与韧性。经过多轮疲劳测试，扇叶未出现任何强度失效迹象，充分证明其强度可靠。

这一成功案例为其他电厂处理同类缺陷提供了宝贵借鉴。在分析阶段，可参考对扇叶从尺寸、性能、强度多维度排查的思路；处理时，借鉴精准测量、模拟测试等方法，确保更换或修复后的扇叶在各方面可靠，从而有效提升电厂电力变压器冷却系统的稳定性与可靠性。

参考文献

- [1] 谢毓城. 电力变压器手册[M]. 机械工业出版社, 2014.
- [2] 杨忠原, 张杰, 饶兴宁, 等. 大型变压器散热技术发展现状及展望[J]. 能源研究与管理, 2024, 16(3): 41-48.
- [3] 商景泰. 通风机实用技术手册[M]. 机械工业出版社, 2011.
- [4] 张精干, 乐林紫, 刘斌, 等. 发电机风扇叶片断裂原因分析及处理[J]. 电工技术, 2023(19): 202-205.
- [5] 王朝晖, 潘双华. 轴流风机叶片断裂的原因分析及系统对风机性能影响的探讨[J]. 流体机械, 2005, 33(4): 4.
- [6] 史俊亮. 矿用轴流通风机叶片断裂问题探讨[J]. 机械管理开发, 2024, 39(01): 229-231.