

水轮机转轮不平衡故障的诊断与检修流程优化

杨合

贵州金元集团安顺水力发电厂，贵州 安顺 561000

摘 要： 水轮机转轮不平衡故障是水电站运行中常见的机械故障之一，直接影响水轮机的运行效率和安全性。本文通过分析水轮机转轮不平衡的原因，探讨故障诊断方法和检修流程的优化策略，旨在提高水轮机运行的可靠性和稳定性。通过分析，结合动平衡试验和振动分析技术，提出了一套系统化的故障诊断和检修流程，为水电站维护人员提供了参考。

关 键 词： 水轮机；转轮不平衡；故障诊断；检修流程优化；动平衡试验；振动分析

Optimization of the diagnosis and maintenance process of the turbine runner unbalanced fault

Yang He

Anshun Hydropower Plant of Guizhou Jinyuan Group, Anshun, Guizhou 561000

Abstract： The turbine runner imbalance fault is one of the common mechanical faults in the operation of the hydropower station, which directly affects the operation efficiency and safety of the turbine. By analyzing the causes of the turbine runner imbalance and discussing the optimization strategy of fault diagnosis method and maintenance process, it aims to improve the reliability and stability of the turbine operation. Through analysis, combined with dynamic balance test and vibration analysis technology, a set of systematic fault diagnosis and maintenance process is proposed, which provides a reference for the maintenance personnel of hydropower station.

Keywords： water turbine; wheel imbalance; fault diagnosis; maintenance process optimization; dynamic balance test; vibration analysis

水轮机作为水电站的核心设备，其运行状态直接关系到水电站的安全和效率。转轮不平衡是常见的故障之一，会导致振动、噪声增大，甚至引发更严重的机械故障，影响机组的整体性能和使用寿命。因此，对水轮机转轮不平衡故障进行及时准确的诊断和检修显得尤为重要。

一、水轮机转轮不平衡的原因分析

（一）转轮结构问题

水轮机转轮不平衡的原因分析中，转轮结构问题是一个不可忽视的重要因素。这一问题的根源往往在于叶片的数量或角度存在不一致性。在水轮机的设计和制造过程中，每个叶片的数量、形状和角度都是经过精密计算和严格控制的，以确保转轮在旋转时能够达到最佳的平衡状态。然而，在实际操作中，由于制造误差、材料差异或长期运行后的磨损，叶片的数量或角度可能会发生变化，导致转轮整体的不平衡。具体来说，如果叶片数量不一致，那么在旋转过程中，转轮所受到的力和力矩将不再均匀分布，从而产生不平衡现象。同样，叶片角度的不一致也会导致类似的问题。此外，叶片的磨损不均匀也是一个重要的原因。由于水流对叶片的冲击和磨损作用，不同叶片的磨损程度可能会有所不同，这同样会破坏转轮的平衡状态。材质差异也是导致转轮不

平衡的一个重要因素。在制造过程中，如果使用了不同材质或不同批次的材料，那么叶片的密度、硬度和弹性等物理特性可能会有所不同，从而影响转轮的平衡^[1]。

（二）制造质量问题

水轮机转轮不平衡的深层次原因之一，在于制造过程中存在的质量问题。制造工艺的严谨性对于确保转轮各部件的精确度和一致性至关重要。然而，在实际操作中，一些制造厂家可能由于技术限制、成本控制或管理疏忽，导致制造工艺不够严谨，进而影响了转轮的平衡性。制造工艺的不严谨可能体现在多个方面，如加工精度不足、组装过程不细致等。这些都会使得转轮的各个部件在尺寸、形状和重量分布上存在差异，从而在旋转时产生不平衡的力和力矩。这种不平衡不仅会导致振动和噪音的增加，还可能对转轮本身和整个水轮机系统造成损害。此外，金属疲劳也是制造质量问题中不容忽视的一点。在制造过程中，如果使用了质量不合格的金属材料，或者对材料的处理不当，如热处理不充

作者简介：杨合（1985.04-），男，苗族，贵州省安顺市人，本科，助理工程师，研究方向：水轮发电机组检修。

分或应力消除不彻底，都可能导致金属疲劳的发生。金属疲劳会降低材料的强度和韧性，使得转轮在长时间运行后容易发生变形和损坏，进而引发不平衡问题。

（三）装配失误

水轮机转轮不平衡的又一关键原因，在于装配过程中的失误。装配是水轮机制造与安装的最后一道关键工序，其质量直接决定了转轮乃至整个水轮机系统的运行稳定性和可靠性。在安装方向上，如果转轮或其关键部件的安装方向出现偏差，如叶片的安装角度不正确，将会导致转轮在旋转时受力不均，从而产生不平衡^[9]。这种不平衡不仅会增加转轮的振动和噪音，还可能加速部件的磨损，缩短设备的使用寿命。紧固力是装配过程中另一个需要严格控制的因素。如果紧固力不足，转轮的各个部件可能无法紧密配合，导致在旋转过程中产生松动和位移。这不仅会影响转轮的平衡性，还可能引发更严重的安全问题。此外，配合面的失配也是装配失误中常见的问题。转轮与其他部件的配合面如果存在间隙过大、形状不匹配等问题，将会导致转轮在旋转时产生额外的摩擦和阻力，进而影响其平衡性和效率。

（四）水力不平衡

水轮机转轮不平衡的另一个重要因素，是水力不平衡。水力不平衡主要源于水轮机内部流道的几何形状和流动状态的不均匀性。涡壳作为水轮机的重要部件，其形状的正确性对于引导水流均匀进入转轮至关重要。如果涡壳的形状设计不合理或制造过程中存在误差，将会导致水流在进入转轮前产生不均匀的流速和压力分布。这种不均匀性会直接影响转轮的受力情况，使其在运行过程中产生不平衡。导叶作为控制水流方向和流量的关键部件，其开口的均匀性同样对转轮的平衡性有着重要影响^[9]。如果导叶的开口不均，将会导致水流在进入转轮时产生偏流，使得转轮受到不均匀的水力冲击。这种冲击不仅会增加转轮的振动和噪音，还可能加速转轮和导叶的磨损。此外，转轮止漏环的偏心也是导致水力不平衡的一个重要原因。止漏环的主要作用是防止水流从转轮与固定部件之间的间隙泄漏，如果止漏环偏心，将会导致水流在通过该间隙时产生不均匀的流动状态，从而影响转轮的平衡性。

二、水轮机转轮不平衡故障诊断方法

（一）振动分析

水轮机转轮不平衡故障诊断的一种有效方法，是振动分析。这种方法通过测量水轮机机组不同部位的振动幅值和频率，来深入分析其振动特性，从而准确判断转轮不平衡的位置和程度。在实际操作中，振动传感器被安装在机组的各个关键部位，如轴承座、机架和转轮上。这些传感器能够实时捕捉并记录机组在运行过程中的振动数据。通过对这些数据的分析，技术人员可以了解机组在不同工况下的振动情况，包括振动的幅值、频率和相位等关键参数。振动分析的核心在于识别振动特性与转轮不平衡之间的关联^[4]。当转轮存在不平衡时，其旋转过程中会产生周期性的离心力，导致机组产生特定的振动模式。通过对比和分析这些振动模式与已知的不平衡故障特征，技术人员可以准确判断转轮不

平衡的位置和程度，为后续的维修和更换工作提供有力支持。

（二）动平衡试验

水轮机转轮不平衡故障诊断的另一关键手段，是动平衡试验。这一方法旨在直接识别并定位转子上的不平衡位置及其质量大小。在进行动平衡试验时，通常会先将水轮机转轮安装在专用的动平衡机上，并使其在一定的转速下旋转。通过高精度的传感器，可以精确测量转轮在旋转过程中产生的振动和离心力。这些数据随后被输入到有限元动力分析等先进的软件中，进行深入的解析和处理。这些软件能够基于复杂的数学模型和算法，准确计算出转轮上不平衡质量的具体位置和大小^[9]。一旦确定了不平衡位置和质量，就可以进行配重调整。技术人员会根据分析结果，在转轮的适当位置添加或移除一定数量的配重块，以抵消原有的不平衡力。通过反复试验和调整，可以逐步减小转轮的振动幅值，直至达到规定的平衡标准。

（三）综合诊断

水轮机转轮不平衡故障诊断中，综合诊断方法是一种全面而有效的手段。这种方法不仅考虑了机械方面的因素，如转轮的制造质量、装配精度和磨损情况等，还结合了电气和水力等多方面的因素进行综合分析。在电气方面，技术人员会检查水轮机的电气系统，包括电机、电缆和控制系统等，以确保它们正常运行且不会对转轮的平衡性产生负面影响。例如，电机的不平衡或振动问题可能会传递到转轮，加剧其不平衡状态。水力因素也是综合诊断中不可忽视的一环。技术人员会分析水流通过水轮机时的流动状态，包括涡壳、导叶和转轮等部件的流道形状和尺寸，以及水流的速度和压力分布等。这些因素都可能影响转轮的受力情况，从而导致不平衡^[6]。通过综合电气、机械和水力等多方面的因素，技术人员可以更加准确地诊断出水轮机转轮不平衡的原因和程度。

三、水轮机转轮不平衡故障检修流程优化

（一）前期准备

在水轮机转轮不平衡故障的检修流程优化中，前期准备是至关重要的第一步。这一步骤要求对机组进行全面的检查，以准确识别不平衡故障的具体表现。技术人员需要仔细查看机组的运行记录，了解故障发生前后的状态变化，并现场观察机组的运行状态，包括振动、噪音和温度等指标。在确定了不平衡故障的具体表现后，技术人员需要制定详细的检修计划，并准备必要的检修工具和材料。这些工具和材料可能包括振动传感器、测量仪器、专用扳手、螺丝刀以及配重块等。确保所有工具和材料的准备充分，可以有效避免在检修过程中出现中断或延误，从而保证检修过程的顺利进行^[7]。此外，前期准备还包括对检修人员的培训和分工。技术人员需要熟悉检修流程、掌握相关技能和操作规范，以确保在检修过程中能够准确判断故障、迅速采取措施并保障个人和机组的安全。

（二）拆卸与检查

在水轮机转轮不平衡故障检修流程中，拆卸与检查环节是至

关重要的一步。这一步骤要求技术人员严格按照操作规程，小心谨慎地拆卸水轮机转轮，以避免对机组造成不必要的损伤。在拆卸过程中，技术人员需要特别关注转轮叶片、轴瓦、轴承等关键部件的状态。这些部件不仅直接关系到转轮的平衡性，还是机组稳定运行的重要保障。因此，在拆卸后，技术人员需要对这些部件进行详细检查，以了解它们的磨损、变形或损坏情况。对于转轮叶片，技术人员需要仔细检查其表面是否光滑、边缘是否完整，并记录叶片的磨损程度和位置。这些信息对于后续的诊断和修复工作至关重要，可以帮助技术人员更准确地判断不平衡故障的原因和程度，从而制定更有效的修复方案。在拆卸与检查环节，技术人员还需要保持高度的责任心和耐心，确保每一步操作都符合规范，避免因疏忽或不当操作而导致的安全隐患^[8]。

（三）动平衡调整

与此同时，动平衡调整也是至关重要的一环。这一步骤基于前期的振动分析和动平衡试验结果，旨在通过精确的配重调整，确保转子质量分布均匀，从而消除不平衡故障。技术人员会根据振动分析和动平衡试验所得的数据，准确确定配重的位置和所需重量。这一过程中，他们需要考虑转轮的结构特点、运行工况以及不平衡故障的具体表现，以确保配重方案的合理性和有效性。在进行配重调整时，技术人员会采用专用的配重块或调整装置，按照预定的位置和重量进行精确添加或移除。他们还会使用高精度的测量仪器，实时监测转轮的振动情况，以确保配重调整后的转子质量分布达到最佳状态^[9]。动平衡调整不仅要求技术人员具备丰富的经验和专业知识，还需要他们保持高度的责任心和

耐心。

（四）回装与测试

除此之外，在水轮机转轮不平衡故障的检修流程中，回装与测试环节是确保检修成果得以验证和实现的关键步骤。完成配重调整后，技术人员需要按照严格的规程，将水轮机转轮重新回装到机组中。在回装过程中，他们要确保所有部件的安装位置正确、紧固力矩适当，以避免因安装不当而引入新的不平衡因素。回装完成后，机组需要进行全面的振动测试和运行测试。振动测试可以实时监测机组在启动和运行过程中的振动情况，确保振动幅值和频率都在规定的范围内。运行测试则主要关注机组的输出功率、效率和稳定性等指标，以确保机组能够平稳、高效地运行。测试过程中，技术人员需要密切关注机组的运行状态，及时发现并处理任何异常情况^[10]。如果测试结果显示机组仍存在不平衡问题，他们需要根据测试结果进一步调整配重方案，直至机组达到理想的平衡状态。

四、结论

水轮机转轮不平衡故障的诊断与检修流程优化是提高水轮机运行可靠性和稳定性的重要措施。通过振动分析、动平衡试验和综合诊断，可以准确判断不平衡故障的原因和位置。通过优化检修流程，确保检修过程高效、有序进行，可以有效提高水轮机的运行效率和安全性。建议水电站维护人员加强对水轮机转轮不平衡故障的诊断和检修工作，确保机组长期稳定运行。

参考文献

- [1]樊玉林,祝宝山,胡赞熬,等.可逆式水泵水轮机多目标优化设计及流动研究[J].水电能源科学.2019,(10).
- [2]杨满林.立式水斗式水轮机转轮简易安装方法[J].云南水力发电.2015,(3):76-77.
- [3]徐文化,张敏,何华庭,等.一种基于高压水射流的混凝土表面处理设备研究[J].流体机械.2022,50(7).
- [4]李英鸿.水轮机转轮汽蚀在线监测系统研究与运用[J].中国高科技,2024,(18):58-60.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2024.18.17.
- [5]党莹,邓鑫,凡家异,等.水泵水轮机转轮止漏环结构优化研究[J].东方电气评论,2024,38(05):67-70.DOI:10.13661/j.cnki.issn1001-9006.2024.05.008.
- [6]高锐,王俊康,黄华平,等.混流式水轮机转轮高程偏低问题的分析与处理[J].水电与新能源,2024,38(08):6-9.DOI:10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2024.08.003.
- [7]杜芝鹏,吴建杰,刘念,等.应力棒法计算转轮不平衡力矩的修正[J].水力发电学报,2022,41(02):72-78.
- [8]罗禄堂.190MW水轮机转轮水力不平衡引起主轴摆动的分析及处理[J].科技风,2018,(36):210.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201836190.
- [9]郭浩.葛洲坝轴流转浆水轮机转轮的工艺研究[J].电站系统工程,2012,28(04):71-72.
- [10]于德荣,肖凤岐.水轮机转轮制造新技术[J].长春工程学院学报(自然科学版),2005,(04):38-40.