

水轮发电机组稳定性试验与分析

张志安

云南电力技术有限责任公司 云南 昆明 650217

摘要: 水轮发电机组稳定性试验是评估机组振动和故障的重要手段。试验项目包括变转速试验、变励磁试验和变负荷试验, 分别在不同转速、励磁电压和负荷下检验机组稳定性。通过对试验数据的分析, 可以判断机组是否存在机械或电磁不平衡, 为故障排查和处理提供依据。实际应用中, 水轮发电机组稳定性试验有助于提高机组的运行效率和安全性, 对于水电站的经济效益和电网的稳定运行具有重要意义。

关键词: 水轮发电机组; 稳定性; 试验

引言: 水轮发电机组作为水电站的核心设备, 其稳定性直接关系到整个水电系统的安全运行和发电效率。随着水电技术的不断发展, 对机组稳定性的要求也越来越高。稳定性试验作为评估机组性能、发现潜在问题的重要手段, 对于确保机组长期、安全、高效地运行具有重要意义。本文旨在通过水轮发电机组稳定性试验的实例分析, 深入探讨机组稳定性的影响因素及改进措施, 为水电站的运行管理和维护提供科学依据和技术支持, 进一步提高水电站的运行效率和安全性。

1 水轮发电机组稳定性试验概述

1.1 稳定性试验的意义

(1) 检测机组在运行中的稳定性指标是否满足国家标准。稳定性是衡量水轮发电机组运行质量的重要指标之一, 它直接关系到机组能否长期、安全、高效地运行。通过稳定性试验, 可以精确测量机组在不同工况下的摆度、振动等关键参数, 并与国家及行业标准进行对比, 确保机组运行参数的合规性。这一过程对于及时发现并解决稳定性不达标的问题, 避免潜在的安全隐患具有重要意义。(2) 分析机组振动和故障的重要手段。水轮发电机组在运行过程中, 由于水流冲击、机械磨损、电磁力作用等多种因素的综合影响, 会产生不同程度的振动和摆度。这些振动和摆度不仅影响机组的稳定运行, 还可能加速部件磨损, 缩短机组使用寿命。稳定性试验通过系统地收集和分析机组在各种工况下的振动和摆度数据, 可以揭示机组振动和摆度的根源, 为故障诊断和维修策略的制定提供关键信息。

1.2 试验项目与方法

(1) 变转速试验。变转速试验是评估水轮发电机组稳定性的基础试验之一。该试验通过手动调节机组转速, 观察并记录不同转速下机组的摆度和振动幅值变化。在试验过程中, 应确保机组处于空载或轻载状态,

以减少外部负载对试验结果的影响。通过对比不同转速下的数据, 可以分析机组在不同转速下的动态响应特性, 揭示转速变化对机组稳定性的影响规律。(2) 变励磁试验。励磁系统是水轮发电机组的重要组成部分, 其性能直接影响机组的输出电压和电流质量。变励磁试验通过手动调节励磁电压, 观察并记录不同电压下机组的摆度和振动幅值变化。该试验有助于分析励磁电压变化对机组电磁力的影响, 以及由此产生的机械振动和摆度。通过对比不同励磁电压下的数据, 可以评估励磁系统对机组稳定性的贡献程度, 并指导励磁参数的优化调整。(3) 变负荷试验。变负荷试验是模拟机组实际运行工况的综合性试验。该试验通过调节机组并网后的有功负荷, 观察并记录不同负荷下机组的摆度和振动幅值变化。在试验过程中, 应充分考虑机械、电磁和水力等多种因素的综合作用, 以全面评估机组在不同负荷下的稳定性表现。通过对比不同负荷下的数据, 可以揭示负荷变化对机组稳定性的影响机制, 为优化机组运行策略、提高能源利用效率提供科学依据^[1]。

2 水轮发电机组稳定性试验实例分析

2.1 试验对象与背景

2.1.1 以大化水电厂#2机组为例

大化水电厂作为一座重要的水力发电厂, 其#2机组在运行过程中出现了多次集电环处碳刷弹簧裂纹的问题。这不仅影响了机组的正常运行, 还对电厂的安全生产构成了潜在威胁。为了解决这一问题, 选择了大化水电厂#2机组作为试验对象, 希望通过稳定性试验找到裂纹产生的根本原因, 并提出有效的改进措施。

2.1.2 机组集电环处碳刷弹簧多次出现裂纹的问题

自2021年以来, 大化水电厂#2机组集电环处的碳刷弹簧多次出现裂纹, 尽管经过多次更换新弹簧, 但问题依然存在。这不仅导致了机组运行的不稳定, 还增加了

维修成本和维护难度。因此,对大化水电厂#2机组进行稳定性试验,找出碳刷弹簧裂纹的原因并采取措施进行解决,对于提高机组的稳定性和运行效率具有重要意义。

2.2 试验过程

(1) 2022年度机组检修期前后的稳定性试验。在2022年度的机组检修期前后,对大化水电厂#2机组进行了全面的稳定性试验。试验包括变转速试验、变励磁试验和变负荷试验,旨在通过不同的工况条件,观察机组的摆度和振动变化,从而分析机组的稳定性。(2) 记录并分析试验数据。在试验过程中,详细记录了机组在不同转速、励磁电压和负荷下的摆度和振动数据。同时,还利用先进的监测设备对机组的关键部位进行了实时监测,以确保数据的准确性和可靠性。试验数据将用于后续的分析判断,为找出问题所在提供有力支持。

2.3 试验结果与分析

2.3.1 变转速试验数据分析

在变转速试验中,将机组转速由25Hz (50%Nr)逐步升到50Hz (100%Nr),并记录了不同转速下的摆度和振动数据。试验结果表明,当机组转速达到35Hz (70%Nr)时,各部位的摆度开始随转速升高而增大。其中,最大摆度出现在45Hz (约90%转速)处,随后开始逐步降低至50Hz (100%Nr)。在转速升高过程中,除顶盖及下机架垂直振动外,机组各部位的径向振动通频峰值并未出现明显的增大趋势。然而,顶盖X向及下机架X向的垂直振动绝对值虽在标准范围内,但随着集电环摆度的增大,其振动值已有成倍的增加。这表明随着转速的增加,机组转动部分的轴向振动也在增大。

2.3.2 变励磁试验数据分析

在变励磁试验中,逐步增加励磁电压,从10%U_e到90%U_e,并记录了不同励磁电压下的摆度和振动数据。试验结果表明,随着励磁电压的增大,机组集电环摆度、发导摆度、上机架切向振动、下机架径、切向振动以及定子基座的径向振动通频峰值值都有明显增大的趋势。特别是集电环摆度和上机架切向振动更是成倍增大。从机组各摆度、振动随着励磁电压增加的变化趋势来看,机组运行时存在较大的电磁不平衡力。如果发电机转子本身不存在缺陷,则此不平衡电磁力多来自发电机气隙不均。因此,集电环摆度、发导摆度及上机架切向振动受到此不平衡电磁力的较大影响。

2.3.3 变负荷试验数据分析

在变负荷试验中,调节了机组并网后的有功负荷,并记录了不同负荷下的摆度和振动数据。试验结果表明,在不同负荷下,机组的摆度和振动水平有所不同。

但总体来说,随着负荷的增加,机组的摆度和振动呈现出一定的增大趋势。这可能是由于负荷变化对机组的水力、机械和电磁因素产生了影响。

2.4 问题识别

(1) 电磁不平衡力和机械不平衡力的影响。通过分析试验数据,发现机组在运行过程中存在较大的电磁不平衡力和机械不平衡力。其中,电磁不平衡力主要来自于发电机气隙不均,而机械不平衡力则可能由机组内部某些部件的制造、安装或调整不当引起。这两种不平衡力都可能导致机组的摆度和振动增大,从而影响机组的稳定性。(2) 集电环与发电机轴线的垂直度问题。在试验过程中,还发现集电环与发电机轴线的垂直度存在问题。这可能是由于集电环在安装或调整过程中未能完全与发电机轴线保持垂直,导致在运行过程中产生额外的振动和摆度。这种垂直度问题不仅会影响机组的稳定性,还可能导致碳刷弹簧受到额外的交变力作用而发生疲劳损坏。(3) 轴瓦间隙增大的原因。另外,试验数据还表明轴瓦间隙有所增大。这可能是由于不平衡电磁力的影响使得轴瓦受力增加,当轴瓦经常性受到较大径向力时,轴瓦间隙就会增大。轴瓦间隙的增大不仅会影响机组的稳定性和运行效率,还可能导致轴瓦和轴承的磨损加剧,缩短其使用寿命。

3 改进措施与建议

3.1 针对电磁不平衡力的改进措施

电磁不平衡力是水轮发电机组稳定性问题的重要来源之一,主要由发电机气隙不均、转子磁极不平衡等因素引起。为了有效减小电磁不平衡力,提高机组稳定性,提出以下改进措施:(1) 调整机组轴线及发电机气隙。机组轴线的偏差和发电机气隙的不均匀是导致电磁不平衡力的主要原因之一。因此,需要对机组轴线进行精确调整,确保其与发电机定子中心线保持高度一致。同时,通过调整发电机气隙,使其在各磁极间均匀分布,以减小电磁不平衡力。在实际操作中,可以采用激光对中仪等高精度测量设备,对机组轴线进行精确测量和调整。同时,利用气隙测量仪对发电机气隙进行逐一测量,并根据测量结果对发电机定子或转子进行必要的调整,以确保气隙的均匀性^[2]。(2) 检查并调整发导瓦、水导瓦间隙。发导瓦和水导瓦是机组的重要支撑部件,其间隙的大小直接影响机组的稳定性和运行效率。当发导瓦或水导瓦间隙过大时,会导致机组在运行时产生较大的径向和轴向振动,从而加剧电磁不平衡力的影响。因此,需要定期对发导瓦和水导瓦进行检查和测量,确保其间隙在合理范围内。对于间隙过大的瓦片,

应及时进行调整或更换,以减小机组在运行时的振动和摆度,提高稳定性。在具体操作中,可以采用塞尺、游标卡尺等测量工具对瓦片间隙进行测量,并根据测量结果制定相应的调整方案。同时,在调整过程中,需要注意保持瓦片的均匀性和一致性,以确保机组在运行时能够平稳运行。

3.2 针对机械不平衡力的改进措施

机械不平衡力主要由机组内部某些部件的制造、安装或调整不当引起。为了减小机械不平衡力的影响,提出以下改进措施:(1)对易损弹簧进行检查,加固连接方式。碳刷弹簧作为机组集电环的重要部件,其状态的好坏直接影响机组的稳定性和运行效率。当碳刷弹簧出现裂纹或松动时,会导致集电环与碳刷之间的接触不良,从而产生较大的机械不平衡力。因此,需要定期对碳刷弹簧进行检查和测量,确保其处于良好状态。对于出现裂纹或松动的弹簧,应及时进行更换或加固连接方式,以提高其稳定性和耐久性^[3]。在具体操作中,可以采用目视检查、磁粉探伤等检测方法对弹簧进行检查,并根据检查结果制定相应的更换或加固方案。同时,在更换或加固过程中,需要注意保持弹簧的均匀性和一致性,以确保机组在运行时能够平稳运行。(2)检查碳刷结构及工作时电流是否存在异常。碳刷的结构和工作状态对机组的稳定性也有重要影响。当碳刷结构不合理或工作时电流异常时,会导致碳刷与集电环之间的摩擦增大,从而产生较大的机械不平衡力。因此,需要定期对碳刷的结构和工作状态进行检查和测量。对于结构不合理的碳刷,应及时进行更换或调整;对于工作时电流异常的碳刷,应查明原因并采取相应的处理措施。在具体操作中,可以采用电阻测量仪、电流测量仪等测量工具对碳刷进行检查和测量,并根据测量结果制定相应的处理方案。同时,在更换或调整碳刷时,需要注意保持其结构的合理性和工作状态的稳定性。

3.3 其他建议

除了针对电磁不平衡力和机械不平衡力的改进措施外,还提出以下其他建议,以提高水轮发电机组的整体稳定性和运行效率:(1)定期检查机组,确保各部件

状态良好。定期检查是确保机组稳定运行的关键措施。需要制定详细的检查计划和流程,定期对机组的各个部件进行检查和维护。这包括但不限于:检查轴承、密封件、冷却系统等关键部件的磨损和损坏情况;检查电气连接和绝缘性能是否良好;检查机组内部的清洁度和润滑情况。通过定期检查,可以及时发现并处理机组潜在的问题,防止其进一步发展成严重的故障。同时,这也有助于延长机组的使用寿命,提高整体经济效益^[4]。

(2)加强运行维护,及时处理异常情况。运行维护是确保机组稳定运行的另一个关键环节。需要加强机组的运行监测和记录工作,及时发现并处理异常情况。例如,通过安装振动和摆度监测传感器,实时监测机组在运行过程中的振动和摆度变化;通过定期检查机组的电气和机械性能参数,及时发现性能下降或异常变化的情况。当发现机组存在异常情况时,需要迅速采取措施进行处理。这可能包括调整机组的工作参数、更换损坏的部件、清洗和润滑关键部位等。通过及时处理异常情况,可以避免机组因故障而停机或损坏,确保机组的稳定运行。

结束语

通过对水轮发电机组稳定性试验的全面分析和深入探讨,我们不仅对机组稳定性的重要性有了更深刻的认识,还掌握了通过试验数据判断机组状态、排查故障的有效方法。未来,随着技术的不断进步和试验手段的完善,我们将能够更准确地评估机组性能,及时发现并处理潜在问题,进一步提高机组的稳定性和运行效率。同时,也期待更多的专业人士加入到这一领域的研究中来,共同推动水轮发电机组技术的进步和发展。

参考文献

- [1]蒙辉.水轮发电机组稳定性试验与分析[J].电力系统及自动化,2019,(12):117-118.
- [2]穆恩良,李金伟.水轮发电机组稳定性现场试验关键事项[J].水电站机电技术,2021,(09):82-83.
- [3]郭茂雄,吴长胜.水轮发电机组现场效率试验数据处理软件[J].武汉大学学报(工学版),2022,(03):36-37.
- [4]卢进玉,任继顺,程建.水轮发电机组现场试验与分析技术[J].中国水利水电,2021,(13):131-132.