

# 水轮发电机组动不平衡产生的原因及影响分析

王 谦

(四川中鼎科技有限公司, 四川 成都 610046)

**摘要:**探讨了水轮发电机组产生动不平衡的原因及其带来的影响;概述了水轮发电机组的基本工作原理及其关键组成部分;分析了造成动不平衡现象产生的多种原因,包括机械不平衡力、电磁不平衡力和水力不平衡等;详细阐述了动不平衡对机组振动、稳定性和运行效率造成的影响及其对设备寿命和安全性具有的潜在威胁。通过对动不平衡故障诊断与排除方法的介绍,为水轮发电机组的维护和故障处理提供了有价值的参考内容。

**关键词:**水轮发电机组;动不平衡;机械不平衡力;电磁不平衡力;水力不平衡

**中图分类号:**[TV734.2+1];TV7;TV737

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2024)增 2-0121-03

## Analysis of the Causes and Impacts of Dynamic Imbalance in Hydroelectric Generator Units

WANG Qian

(Sichuan Zhongding Technology Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610046)

**Abstract:** This paper explores the causes and impacts of dynamic imbalance in hydroelectric generator units; summarizes the basic working principle and key components of hydroelectric generator units; analyzed the various causes of dynamic imbalance, including mechanical imbalance, electromagnetic imbalance, and hydraulic imbalance; and elaborates on the impact of dynamic imbalance on unit vibration, stability, and operation efficiency, as well as potential threats to equipment lives and safety. This paper provides valuable reference content for the maintenance and fault handling of hydroelectric generator units by introducing the methods for diagnosis and troubleshooting methods for dynamic imbalance faults.

**Key words:** Hydroelectric generator unit; Dynamic imbalance; Mechanical imbalance; Electromagnetic imbalance; Hydraulic imbalance

### 1 概 述

水轮发电机组作为水电站的核心设备,其稳定运行对于整个电力系统的安全和效率发挥至关重要。然而,在水轮发电机组实际运行过程中,其常常会出现动不平衡问题,不仅会导致机组振动加剧、稳定性下降,还会影响到机组的运行效率和设备寿命。因此,对水轮发电机组产生动不平衡的原因进行深入分析、探讨其带来的影响,对于提高水轮发电机组的运行稳定和可靠性具有重要意义。

水轮发电机组是水电站中负责将水能转换为电能的关键设备,其基本构成包括水轮机、发电机、调速器、励磁系统、冷却系统和电站控制设备等<sup>[1]</sup>。水轮发电机组的工作原理为:当水流流经水轮机时,其水流能量转换为水轮机的机械能、进

而驱动发电机转子旋转;发电机转子在其旋转过程中通过电磁感应产生电能、经过一系列变换和调节后输出到电网中。

而动平衡是指转子在旋转时各质量的分布相对于旋转轴线对称从而保持稳定的旋转状态。动平衡的目的是消除或减少转子在旋转过程中产生的振动和噪声以提高设备的运行稳定性和可靠性<sup>[2]</sup>。在水轮发电机组中,实现动平衡意味着消除或减小因质量分布不均造成的额外振动和应力,确保机组运行平稳。

### 2 水轮发电机组产生动不平衡的原因

#### 2.1 机械不平衡力

机械不平衡力是水轮发电机组产生动不平衡的主要原因之一。主要是因为机组中的各个部件在制造、安装或运行过程中,由于质量分布不均或

收稿日期:2024-05-23

轴线不正等因素而导致机组在旋转时产生不平衡的力。具体而言为:(1)水轮机质量失衡。水轮机在其制造或安装过程中,如果各部件的质量分布不均,或某些部件的材质不均匀都可能导致水轮机在运行时产生不平衡的力。(2)发电机质量失衡。发电机转子在其制造过程中,如果磁极铁片的重量分布不均,或转子磁极在安装时没有进行均衡配置,都可能会导致发电机在运行时产生不平衡的力。(3)机组镜板调整差。机组的镜板如果水平调整不准确亦会导致机组在运行时产生不平衡的力,进而影响到机组的稳定运行。(4)大轴轴线不正。鉴于大轴是机组的旋转主轴,如果大轴的轴线不正(即存在弯曲或挠度),则在机组运行时就会产生不平衡的力。(5)三导轴承不同心。三导轴承是水轮发电机组的重要支撑部件,如果三导轴承的安装位置不同心(即存在偏差),也会导致机组在运行时产生不平衡的力。

## 2.2 电磁不平衡力

电磁不平衡力是另一个导致水轮发电机组产生动不平衡的重要因素。其主要是由于发电机电气部分的电磁力不平衡引起的。具体来说为:(1)转子绕组短路。发电机转子绕组发生短路时会导致磁动势减小,进而产生一个不平衡的磁拉力而使转子发生振动。(2)空气间隙不均匀。发电机的转子和定子之间需要保持一定的空气间隙,如果该间隙不均匀就会导致电磁力分布不均,进而产生电磁不平衡力<sup>[3]</sup>。电磁不平衡力的出现通常伴随着发电机效率的下降和发电机温升。

## 2.3 水力不平衡

水力不平衡也是导致水轮发电机组产生动不平衡的一个原因。其主要是由于水流在通过蜗壳、导水叶等部件因流道形状或尺寸偏差较大而导致作用于转轮的水流不再呈轴对称形式,进而产生出一个不平衡的横向力,这种不平衡力会随着水流的变化而变化,进而导致转轮受到不规则的冲击、引发转轮的振动。特别是在空载或低负荷运行时,这种振动会更加明显。水力不平衡是水轮机特有的问题,需要通过精确设计和管理进行控制。

## 3 动不平衡对水轮发电机组的影响

(1)机组振动。动不平衡是导致水轮发电机组振动加剧的主要原因之一。当机组存在动不平衡时,转子在旋转过程中会受到一个周期性、方向不断变化的离心力作用,这个离心力会激起机组的振动。振动不仅会降低机组的运行稳定性,还会对机组的各个部件产生交变应力,导致部件疲劳、损坏甚至断裂。(2)稳定性下降。机组的稳定性系指机组在受到外界干扰时能够保持正常运行状态的能力。动不平衡会严重降低机组的稳定性。当机组存在动不平衡时,微小的外界干扰都可能导致机组运行状态的改变,甚至引发机组的故障或停机。(3)运行效率降低。动不平衡还会影响到水轮发电机组的运行效率。由于振动和不稳定性的增加,机组在运行过程中需要消耗更多的能量克服不平衡力,进而导致机组的能量转换效率降低。同时,振动还可能导致机组各部件之间的摩擦增加,进一步降低机组的运行效率。(4)设备寿命缩短。动不平衡对设备寿命的影响主要体现在两个方面。首先,振动和交变应力会加速机组各部件的疲劳和磨损,导致部件寿命缩短;其次,振动还可能导致机组内部的连接件松动、脱落甚至断裂,进而进一步缩短机组的使用寿命。(5)安全性威胁。动不平衡会对水轮发电机组的安全性构成威胁。首先,振动可能会导致机组内部的紧固件松动、脱落甚至断裂,从而引发机组故障或停机;其次,振动还可能与其他机组产生共振,进而导致整个发电厂房的安全受到威胁<sup>[4]</sup>。此外,长时间的振动还可能使焊缝开裂、零部件疲劳、断裂飞出,进而严重威胁到机组的运行安全。

## 4 动不平衡故障的诊断与排除

### 4.1 动不平衡故障的诊断方法

(1)振动分析。通过测量机组各部位的振动信号,分析振动的频率、振幅和相位等参数,可以初步判断机组是否存在动不平衡故障。常用的振动测量仪器包括振动传感器、加速度计等。(2)频谱分析。对振动信号进行频谱分析,可以进一步确定动不平衡故障产生的具体位置和原因。频谱分析可以显示振动信号的频率分布和能量分布,从而找出引起振动的主要频率成分和对应的故障源。(3)相位分析。通过测量不同测点之间振动

信号的相位差,可以判断动不平衡故障的类型和严重程度。例如,如果两个测点之间的相位差接近 180°,则其可能是因转子质量分布不均引起的动不平衡故障。

4.2 动不平衡故障的排除措施

(1)调整机组参数。根据诊断结果,可以对机组的参数进行调整以消除或减轻动不平衡故障造成的影响。例如,可以通过调整转子的质量分布或改变机组负荷等方法进行故障排除。(2)更换损坏部件。如果动不平衡故障是由于某个部件损坏引起的,则需要及时更换该部件。例如,如果转子绕组短路导致电磁不平衡力增大,此时即需要更换新的转子绕组。(3)平衡校正。对于机械不平衡力引起的动不平衡故障,可以采用平衡校正的方法消除不平衡力。常用的平衡校正方法包括静平衡校正和动平衡校正<sup>[5]</sup>。静平衡校正主要适用于转速较低的机组,而动平衡校正则适用于转速较高的机组。(4)加强维护和保养。定期对机组进行维护和保养也是预防动不平衡故障的重要措施之一。例如,定期清理机组内部的杂物和污垢,检查并紧固各部件的连接件等均可以减少机组运行过程中产生的不平衡力。

5 结 语

综上所述,水轮发电机组作为水电站的核心,

(上接第 89 页)

容。中下层支护采用分段循环进行,先清除塌方体,然后接续拱架进行锁脚锚杆和连接筋的施工。完成后,当拱架两侧边墙的坍塌厚度小于 50 cm 时,直接喷射 C20 混凝土进行回填;若厚度大于 50 cm,则采用 C25 混凝土进行回填。

4 结 语

西藏旁多水利枢纽泄洪洞中下层开挖过程中其上半洞已初支完成,在中层开挖至桩号 0+221 时已完成初支的上半洞发生塌方,其与上半洞开挖过程中的塌方相比,洞室塌方的规模更大,上部空腔更高,该塌方体由大量的块石堆积而成,块石之间的空腔大,上部钢支撑亦混杂在塌方体中,故不适用常规的小导管注浆、管棚等支护手段。项目部通过采取分段处置、加强支护、先清后填、确保安全施工的方式,逐段处理并进行支护,顺利地

其稳定运行对电力供应至关重要。动不平衡通常源于机械、电磁和水力不平衡力,如转子质量不均、电气部件故障和水流条件变化等。该故障不仅加剧了机组振动,加速了部件磨损,降低了机组稳定性,还将影响机组运行效率和设备寿命,增加运维成本。因此,为了确保水轮发电机组的稳定运行,必需严格控制机组质量,定期维护检查并引入先进的故障诊断技术。只有深入了解动不平衡成因并采取相应的措施进行处理,才能保障机组的长期稳定运行,为电力供应保驾护航。

参考文献:

[1] 朱辉辉,张永刚.绝对相位法在高转速逆时针旋转的水轮发电机动不平衡问题分析[J].云南电力技术,2023,51(2):49-51.  
[2] 尹永珍,万鹏,王建兰,等.大型水轮发电机组动不平衡诊断与实践[J].水电与新能源,2015,22(11):16-20.  
[3] 范春生.现代水轮发电机组动平衡故障诊断与实践[J].人民长江,2011,42(21):85-89.  
[4] 祝庭达.浅析水轮发电机组动不平衡的原因及危害[J].中国新通信,2020,22(2):235.  
[5] 王超杰,翟建平.配重技术用于处理水轮发电机组动不平衡实践[J].水电与新能源,2016,23(6):26-28.

作者简介:

王 谦(1985-),男,重庆丰都人,工程师,从事水电站机组试验工作。

(编辑:李燕辉)

完成了塌方段的处理,为类似工程积累了经验。

参考文献:

[1] 周春清,周志东,金连军.西藏旁多水电站泄洪洞塌方处理施工技术[J].四川水力发电,2015,34(4):12-14.  
[2] 胡勇,帅莉群,任志民.梨园水电站 4 号引水道下弯及斜井段塌方处理[J].云南水力发电,2013,29(6):142-145.  
[3] 魏永华.复杂地质条件下特大断面隧洞开挖施工技术探讨[J].贵州水力发电,2008,23(1):40-43.  
[4] 徐同良.山岭隧道穿越既有洞室小角度交叉口施工技术[J].水利建设与管理,2021,41(11):41-46.  
[5] 陈敏,刘振峰.高海拔严寒地区长大隧道断层破碎带塌方处理[J].建筑技术开发,2022,49(8):101-103.  
[6] 刘畅,蔡斌,张罗彬.大岗山水电站地下厂房特大塌方及加固处理[J].云南水力发电,2012,28(增刊 1):26-30,33.

作者简介:

黄 欧(1987-),男,四川温江人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(编辑:李燕辉)