

# 抽水蓄能机组常见机械制动系统故障分析及应对措施

张文涛

陕西镇安抽水蓄能有限公司 陕西 西安 710000

**摘要:** 抽水蓄能机组机械制动系统的稳定运行对机组安全运行至关重要。常见故障包括制动闸故障,如闸皮磨损、卡滞等;制动管路故障,像泄漏、堵塞等;制动气系统故障,如供气压力不足、阀门故障等;控制系统故障,如线路问题、软件错误。针对这些故障,可采取相应应对措施,如修复或更换制动闸部件、排查并处理管路问题、检查维护制动气系统设备、检测修复控制系统软硬件,以保障机械制动系统可靠运行,提升抽水蓄能机组安全性。

**关键词:** 抽水蓄能机组;机械制动系统;故障分析;应对措施

**引言:** 随着经济的快速发展和电力行业体制改革的不断深化,抽水蓄能在电力系统中的作用日益凸显。抽水蓄能机组作为实现电能与水能相互转换的关键设备,承担着调频、调峰、填谷等重要任务,其运行的可靠性和稳定性至关重要。机械制动系统作为抽水蓄能机组的重要辅助部分,在机组启动、停机、工况转换及蠕动监测控制过程中发挥着关键作用,能够有效减少机组的惰性运行时间,保护机组推力轴承瓦,缩短停机时间。因此,对抽水蓄能机组机械制动系统进行深入研究具有重要意义。

## 1 抽水蓄能机组机械制动系统概述

抽水蓄能机组在电力系统中扮演着重要角色,其机械制动系统是保障机组安全稳定运行的关键部分。机械制动系统主要由风闸、制动环及相关管路构成,一般抽水蓄能电站每台机组会设置8套机械制动装置。风闸与制动环之间的摩擦力是实现制动停车的关键原理。制动风闸用气取自低压制动气系统,气体压力通常维持在5-8bar,其投入与撤出操作既可以通过电磁阀进行自动控制,也能通过手动操作气路阀门进行控制。当机组处于正常停机或事故停机且投入电气制动时,转速小于5%额定转速,机械制动会自动投入;若转速小于25%额定转速且推力轴承高压油油压未达到设定值或者电气制动在设定时间内未收到转速小于5%额定转速,机械制动自动投入,直至机组转速为零。在停机备用时,若检测到机组有蠕动信号,机械制动也会自动投入。而电气制动则通过电气制动开关与励磁系统配合来实现<sup>[1]</sup>。手动投退时,投入机械制动需检查机组出口断路器已分开、机组导叶和球阀已全关、机械制动柜气源气压指示正常、机组转速为零或降至允许投机械制动的转速,然后按相应流程操作,并检查气压指示和信号灯状态。

## 2 抽水蓄能机组常见机械制动系统故障分析

### 2.1 制动闸故障

#### 2.1.1 制动闸磨损

制动闸磨损是抽水蓄能机组机械制动系统中较为突出的故障。抽水蓄能机组运行时频繁的启停操作,使得制动闸与制动盘之间产生高频次的摩擦,这是导致磨损的直接原因。同时,制动压力若分布不均匀,部分区域承受的压力远高于其他部位,会使该区域磨损速度加快。随着磨损加剧,制动闸表面逐渐失去平整度,制动力也随之减弱,严重影响机组的停机速度。若磨损情况未得到及时关注和处理,还可能引发安全隐患,危及机组整体运行安全。

#### 2.1.2 制动闸卡滞

制动闸卡滞故障通常由多种因素导致。机组运行的复杂环境中,灰尘、砂粒等异物容易侵入制动闸与闸架的间隙。这些异物就像“绊脚石”,阻碍制动闸的顺畅移动。另外,长时间运行会使闸体发生变形,或者导向部件出现磨损,进一步破坏制动闸的正常运动状态,加剧卡滞现象。制动闸一旦卡滞,便无法按照指令灵活动作,在机组需要紧急制动时,可能无法及时响应,极大地威胁到机组运行的安全性与稳定性,可能导致严重的事故后果。

#### 2.1.3 制动闸偏磨

制动闸偏磨问题主要归因于安装环节的精度欠缺。在制动闸安装过程中,哪怕位置仅有微小偏差,在制动过程中就会致使制动闸受力不均,进而造成一侧磨损更为严重。而且,制动盘本身若存在平面度误差,也会促使偏磨现象的产生。制动闸偏磨不仅会大幅缩短其自身的使用寿命,增加更换成本,更关键的是,偏磨所造成的制动力不平衡,会影响机组停机时的平稳性,导致机组振动加剧,长期如此还可能对机组的其他部件造成损害,降低机组运行的可靠性。

### 2.2 制动管路故障

制动管路作为机械制动系统的重要组成部分，其故障会严重影响制动效果与机组安全运行，常见故障如下：（1）管路泄漏：管路长期处于复杂的运行环境中，受振动、温度变化以及介质腐蚀等因素影响，管路接口处的密封件易老化、损坏，管壁也可能因腐蚀出现穿孔，从而导致气体泄漏。泄漏使制动气压降低，无法为制动闸提供足够压力，致使制动力不足，威胁机组停机安全。（2）管路堵塞：空气中的灰尘、杂质，以及制动系统内部产生的铁锈、油污等，会在管路内逐渐积聚，造成堵塞。此外，在寒冷环境下，管路中的水分结冰也会导致堵塞。一旦管路堵塞，制动气流无法正常通过，制动闸不能及时动作，影响机组制动的及时性与有效性。（3）管路振动：机组运行时产生的振动会传递至制动管路，长期振动可能使管路的固定部件松动，加剧管路的晃动。同时，流体在管路内的流动也可能引发振动。过度振动不仅会加速管路磨损，还可能导致管路连接处松动，进而引发泄漏，甚至造成管路破裂等严重故障。（4）管路腐蚀：制动管路内部的压缩空气若含有水分、酸性物质等，会对管路内壁产生腐蚀。另外，外部环境中的湿气、化学物质等也可能侵蚀管路外壁。腐蚀会削弱管路的强度，使其变薄、变脆，增加泄漏和破裂的风险，严重影响制动管路的使用寿命与可靠性。（5）管路变形：安装过程中的不当操作，如过度弯曲、拉伸管路，可能使其内部结构受损，埋下变形隐患。此外，机组运行时的外力挤压，或者相邻部件的位移，也可能导致管路变形。管路变形会改变内部气流通道，影响气流顺畅性，降低制动效率，甚至导致局部压力过高，引发管路故障。

### 2.3 制动气系统故障

制动气系统为抽水蓄能机组机械制动系统提供必要动力，一旦出现故障，将严重影响制动效果。空压机故障较为常见，长时间运行使空压机的部件磨损，如活塞环磨损导致排气量不足，无法提供足够压力的压缩空气，制动闸难以正常动作。同时，空压机的气阀若出现故障，会影响气体的吸入与排出，导致压力不稳定。电机故障也不容忽视，电机绕组短路、过载等问题，会使空压机无法启动或运行异常。储气罐同样可能出现故障，由于长期承受压力，储气罐内壁可能发生腐蚀，降低罐体强度，严重时甚至引发泄漏。储气罐上的安全阀若失效，压力过高时无法及时泄压，可能导致罐体破裂，带来严重安全隐患。此外，连接储气罐的阀门、管路若出现堵塞或泄漏，也会影响压缩空气的正常供应，进而影响制动系统的可靠性。

### 2.4 控制系统故障

控制系统是抽水蓄能机组机械制动系统的“大脑”，其故障会严重干扰制动系统的正常运作。传感器故障频发，例如压力传感器若出现故障，无法准确反馈制动气罐气压，致使控制系统不能依据实际压力调控制动气压，可能造成制动力度过大或过小。位置传感器故障则会使系统对制动闸位置判断失误，影响制动闸的精确控制。控制逻辑混乱也较为棘手，这可能源于程序编写错误、电磁干扰等<sup>[2]</sup>。一旦控制逻辑出错，制动系统的动作顺序可能错乱，如在机组未满足制动条件时错误触发制动，或该制动时却无动作，严重威胁机组运行安全。同时，通信故障会阻碍控制系统各部件间的信息传递，导致控制指令无法及时、准确传达，使制动系统反应迟缓甚至失效，极大地降低了制动系统的可靠性与稳定性。

## 3 抽水蓄能机组机械制动系统故障应对措施

### 3.1 制动闸故障应对

#### 3.1.1 应对制动闸磨损

针对制动闸磨损，需建立严格的定期检查制度。每次检查时，精确测量制动闸的厚度、表面平整度等关键参数，依据磨损程度制定科学的更换计划。同时，优化制动压力分配机制，确保制动闸受力均匀，减少局部过度磨损。在材料选择上，积极采用新型耐磨材料制作制动闸，从根本上提升其耐磨性能，有效延长使用寿命，保障机组制动的稳定性与可靠性。

#### 3.1.2 解决制动闸卡滞

为解决制动闸卡滞问题，要加强制动闸及周边区域的清洁工作，定期使用专业工具清除异物。安装高效的过滤装置，防止灰尘、碎屑等杂质进入制动闸与闸架间隙。对于因变形或磨损导致卡滞的部件，及时进行修复或更换。定期对制动闸的导向部件进行润滑保养，确保其运动顺畅，从而使制动闸能够灵活响应制动指令，保障机组安全运行。

#### 3.1.3 处理制动闸偏磨

处理制动闸偏磨，安装时务必严格把控精度，使用高精度仪器进行校准，确保制动闸与制动盘精准对位，避免因安装偏差造成偏磨。同时，定期检测制动盘的平面度，若发现问题及时修复或更换。一旦出现制动闸偏磨，可通过调整制动闸位置、优化制动压力分布等方式进行纠正，保证制动力均匀，减少部件损耗，提升机组制动的平稳性。

### 3.2 制动管路故障处理

针对制动管路故障，需采取全面且针对性的处理措

施。对于管路泄漏,要定期开展细致的巡检,借助专业检测工具,如超声波检漏仪,精准定位泄漏点。针对不同泄漏原因,若因密封件老化,及时更换密封件;若是管壁腐蚀穿孔,则修补或更换受损管路。同时,加强管路材质选择与防护,提升其抗腐蚀能力。处理管路堵塞,在管路入口安装精细滤网,阻拦杂质进入。定期对管路进行吹扫,利用高压气体清除内部积聚的灰尘、铁锈等。对于因结冰导致的堵塞,采取保温伴热措施,防止水分凝结。针对管路振动,优化管路固定方式,增加减振装置,降低振动传递。对因振动导致的松动部件及时紧固,避免振动加剧引发泄漏或破裂。通过这些措施,确保制动管路稳定运行,保障制动系统可靠工作。

### 3.3 制动气系统故障解决

制动气系统故障会对抽水蓄能机组机械制动系统的正常运行造成严重影响,需采取有效措施加以解决。

(1) 针对供气压力不足问题,要对空气压缩机进行全面检查,查看是否存在机械故障、电机故障等,及时维修或更换损坏部件;仔细排查管道是否有泄漏点,对泄漏处进行修复或更换管道;合理调节调压阀,确保输出压力稳定在规定范围内。(2) 对于管道堵塞情况,定期清理供风管道,去除杂质和水分;安装过滤器,防止杂质进入管道;在管道设计上优化布局,减少弯道和死角,降低堵塞风险。(3) 若阀门出现故障,对电磁阀、气动阀等进行检测,判断是电气故障还是机械故障,及时修复或更换故障阀门。(4) 建立完善的制动气系统维护制度,定期进行保养和检修,包括对设备的清洁、润滑、紧固等工作。(5) 加强对制动气系统运行参数的监测,实时掌握压力、气机运行时间等数据,一旦发现异常及时处理,保障机械制动系统可靠运行。

### 3.4 控制系统故障修复

抽水蓄能机组机械制动系统的控制系统故障会严重影响机组的安全稳定运行,需及时进行修复。传感器故障方面,定期对各类传感器,如压力、位置传感器等,进行校准与检测。利用高精度校准设备,确保传感器

输出信号的准确性。一旦发现传感器出现信号偏差或故障,及时予以更换。同时,加强对传感器线路的检查与维护,防止线路老化、短路等问题影响信号传输。对于控制逻辑混乱,全面审查控制程序代码,运用专业的代码审查工具,排查逻辑错误。针对电磁干扰导致的逻辑异常,对控制系统采取电磁屏蔽措施,如使用屏蔽电缆、安装滤波器等,减少外界电磁干扰对控制逻辑的影响<sup>[3]</sup>。此外,建立控制逻辑备份与恢复机制,以便在出现问题时能够快速恢复到正常状态。通信故障处理上,检查通信线路连接是否牢固,确保各部件之间通信链路的畅通。对于通信协议错误,仔细核对通信协议设置,确保各设备之间的通信协议一致且正确。若存在通信设备老化或损坏,及时进行更换,保障控制系统各部件间信息的及时、准确传递,使制动系统能够稳定、可靠运行。

### 结语

在未来,为保障电力系统稳定运行与经济发展,需高度重视抽水蓄能机组机械制动系统。持续加强对其监测与维护,建立常态化巡检机制,及时发现潜在隐患。不断提升技术和管理能力,培养专业技术人才,优化管理流程。积极引入先进技术和设备,如智能传感器、自动化控制装置等,提高系统自动化和智能化程度,实现实时监测、精准控制。如此,方能使机械制动系统更好适应电力系统日益增长的需求,发挥更大作用。

### 参考文献

- [1]卢国强,杨艳平,张家瑞.抽水蓄能机组机械制动系统的故障分析与优化[J].成组技术与生产现代化,2024,41(1):26-30.
- [2]田霖.抽水蓄能电站机械制动系统部分故障分析及应对措施[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2023(5):24-27.
- [3]曹扬,王荣,彭辉,吴建标.抽水蓄能电站机械制动系统部分故障分析及应对措施[J].水电与抽水蓄能,2019,5(1):113-116+70.