

# 抽蓄电站机组机械制动控制系统设计

裴震宇 李德伟

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450003

**摘要:** 抽蓄电站机组机械制动系统采用气动式制动闸,通过控制进出制动闸上下腔的压缩空气实现制动。本系统由控制气路和控制电路组成,具备手动和电动两种控制方式。设计重点包括电磁换向阀的选用与控制、制动闸的投入与退出逻辑、以及信号闭锁功能等。系统集成先进的硬件和软件资源,实现了全自动控制,具有高可靠性和稳定性。本设计有效降低了机组惰性运行时间,保护了机组设备,提高了电站的运行效率和安全性。

**关键词:** 抽蓄电站; 机组机械制动; 控制系统设计

引言: 抽水蓄能电站作为电力系统中的重要组成部分,其机组机械制动控制系统的设计对于保障电站的安全、稳定运行具有重要意义。本文旨在深入探讨抽蓄电站机组机械制动控制系统的设计原理与实现方法,通过分析制动系统的功能、组成及工作原理,结合实际应用案例,提出优化设计方案。通过本研究,期望能为抽蓄电站机械制动系统的设计与改进提供有价值的参考,推动我国抽水蓄能电站技术的持续发展。

## 1 抽蓄电站机组机械制动系统概述

### 1.1 抽蓄电站机组的基本工作原理

抽水蓄能机组是抽蓄电站的核心设备,它结合了水泵和水轮机的功能,能够在电力需求低时作为水泵运行,将下水库的水抽至上水库储存,而在电力需求高时则转换为水轮机模式,释放储存的水能发电。这种可逆式水泵水轮机具有抽水、发电、调相和启动水泵等多种工况,通过改变导叶和水泵叶片的角度来实现工况转换。抽水蓄能机组不仅能够有效调节电网负荷,提高电网的稳定性和经济性,还能在紧急情况下作为黑启动电源,为电网恢复供电提供关键支持。

### 1.2 机械制动系统的功能和作用

(1) 在机组启动、停机、工况转换过程中,机械制动系统能够提供必要的制动力矩,确保机组平稳过渡。特别是在机组停机过程中,当机组转速降至一定程度时,机械制动系统及时投入,迅速降低机组转速至零,防止机组因惯性继续旋转,从而保护机组免受损坏。同时,在工况转换时,制动系统能够确保机组在切换过程中保持稳定,避免产生过大的冲击负荷。(2) 机械制动系统在保护机组推力轴承瓦方面发挥着重要作用。在机组运行过程中,推力轴承瓦承受着巨大的轴向负荷。当机组停机时,如果没有及时投入制动系统,机组将继续低速旋转,导致推力轴承瓦因长时间摩擦而过热损坏。

机械制动系统的及时投入能够有效减少推力轴承瓦的摩擦时间,从而保护其免受损坏<sup>[1]</sup>。(3) 机械制动系统还能显著缩短停机时间。在电力系统中,机组的快速启停能力对于提高电网的稳定性和灵活性至关重要。机械制动系统的快速响应和精确控制能够确保机组在短时间内安全停机,为电网的调度和运行提供有力支持。

### 1.3 机械制动系统的分类和组成

机械制动系统根据制动方式的不同,可以分为盘式制动、鼓式制动等多种类型。盘式制动系统以其结构简单、制动效果好、维护方便等优点在抽水蓄能机组中得到广泛应用。机械制动系统主要由制动器、制动控制单元、压力传感器、电磁阀等关键部件组成。制动器是执行制动动作的核心部件,通过摩擦片与制动盘的摩擦产生制动力矩。制动控制单元负责接收机组状态信号,并根据预设逻辑判断发出制动指令。压力传感器和电磁阀则用于监测和控制制动系统的压力状态,确保制动过程的平稳和安全。

## 2 抽蓄电站机组机械制动控制系统设计

### 2.1 控制气路设计

#### 2.1.1 主要组成部分

(1) 电磁换向阀: 作为控制气路的核心元件,电磁换向阀负责根据控制电路的信号切换气路,从而实现制动闸的投入与退出控制。电磁换向阀具有响应速度快、控制精度高的特点,是机械制动系统实现自动化的关键。(2) 过滤器: 过滤器用于清除压缩空气中的尘埃、水分及油雾等杂质,确保进入制动系统的气体清洁、干燥。这有助于延长制动闸及相关元件的使用寿命,提高制动系统的整体性能。(3) 消声器: 消声器安装在气路的排气端,用于降低压缩空气排放时产生的噪音,保护操作人员的听力,同时减少对环境的影响。(4) 管路与阀块: 管路与阀块将上述元件连接起来,形

成完整的控制气路。管路负责传输压缩空气，而阀块则用于安装和固定电磁换向阀等元件，确保气路的布局紧凑、合理。

### 2.1.2 工作原理和逻辑

控制气路的工作原理基于电磁换向阀的开关动作。当机组需要制动时，控制电路发出信号，使电磁换向阀的线圈得电，阀芯移动，从而改变气路的通断状态。压缩空气通过特定的通道进入制动闸，推动活塞动作，实现对机组的制动。当机组不需要制动时，控制电路发出相反的信号，电磁换向阀的线圈失电，阀芯复位，切断进入制动闸的压缩空气，制动闸退出工作。

## 2.2 控制电路设计

### 2.2.1 主要功能和设计要求

控制电路的主要功能是接收机组运行状态信号，根据预设的逻辑判断发出控制指令，实现对电磁换向阀的控制。设计要求包括高可靠性、抗干扰能力强、逻辑清晰且易于维护。控制电路应采用冗余设计，确保在一路回路故障时，另一路回路仍能正常工作，提高系统的整体可靠性。

### 2.2.2 切换阀位气路

控制电路通过控制电磁换向阀的线圈动作来切换阀位气路。具体来说，当机组需要制动时，控制电路发出制动指令，使电磁换向阀的线圈得电，阀芯移动至制动位置，压缩空气进入制动闸。当机组不需要制动时，控制电路发出复位指令，电磁换向阀的线圈失电，阀芯复位至初始位置，切断进入制动闸的压缩空气<sup>[2]</sup>。

### 2.2.3 信号闭锁功能

为了提高机械制动系统的安全性，控制电路应具有信号闭锁功能。这意味着在机组处于不允许制动的状态下（如机组正在高速运行、制动闸故障等），控制电路应能够识别这些状态并锁定制动指令。这通过监测机组转速、制动闸状态等信号来实现，当这些信号表明机组不适合制动时，控制电路将切断制动指令的输出，防止误投机械制动造成设备损坏或人员伤亡。

## 2.3 气动式制动闸设计

### 2.3.1 结构和工作原理

气动式制动闸主要由制动盘、制动钳、活塞、摩擦片及复位弹簧等组成。制动盘与机组转子固定连接，制动钳则安装在机组的外壳上。当压缩空气进入制动钳内的活塞腔时，活塞推动摩擦片紧贴制动盘，产生摩擦力矩，实现对机组的制动。复位弹簧用于在制动完成后将活塞和摩擦片复位至初始位置。

### 2.3.2 投入和退出过程及其对机组制动效果的影响

制动闸的投入过程是指压缩空气进入制动钳，推动活塞和摩擦片紧贴制动盘的过程。这一过程应迅速、平稳，以确保机组在短时间内受到足够的制动力矩，从而迅速降低转速。制动闸的退出过程则是指活塞和摩擦片在复位弹簧的作用下复位至初始位置的过程。这一过程同样应平稳、迅速，以避免对机组产生不必要的冲击或磨损。制动闸的投入和退出过程对机组制动效果有着至关重要的影响。投入时，若压缩空气的压力、流量及制动钳的响应速度不足，将导致制动闸无法迅速、有效地紧贴制动盘，从而延长制动时间和制动距离，甚至可能导致机组超速等安全隐患。退出时，若复位弹簧的弹力不足或制动钳的响应速度过慢，将导致摩擦片与制动盘长时间接触，产生不必要的磨损和热量，降低制动闸的使用寿命，同时可能对机组造成额外的负荷和振动<sup>[3]</sup>。因此，在设计气动式制动闸时，需要充分考虑制动钳的结构、材料、制造工艺以及压缩空气的压力、流量等参数，以确保制动闸的投入和退出过程平稳、迅速且可靠。同时，还需要对制动闸进行定期的维护和检查，及时发现并处理潜在的故障和磨损，确保制动系统的整体性能和安全性。

## 2.4 系统安全性与可靠性设计

### 2.4.1 提高机械制动系统安全性和可靠性的措施

(1) 冗余设计：在控制电路中采用冗余设计，如双路控制回路、备用电源等，以确保在单一故障发生时，系统仍能正常工作。(2) 防误投机械制动的安全闭锁措施：在控制电路中增加防误投逻辑，如监测机组转速、制动闸状态等信号，当这些信号表明机组不适合制动时，自动锁定制动指令的输出。(3) 实时监测与故障诊断：在系统中增加压力传感器、温度传感器等监测元件，实时监测制动系统的运行状态。当检测到异常或故障时，自动发出报警信号，并采取相应的保护措施。(4) 定期维护与检查：定期对制动系统进行检查和维护，包括清洁过滤器、更换磨损的摩擦片、检查电磁换向阀和复位弹簧的性能等，以确保系统的整体性能和安全性。

### 2.4.2 确保制动系统可靠投入的条件

(1) 压缩空气供应稳定：确保压缩空气的供应稳定且压力足够，以满足制动闸投入时的需求。(2) 制动闸状态良好：检查制动闸的摩擦片、活塞及复位弹簧等元件的性能，确保其处于良好状态。(3) 测速装置准确可靠：确保测速装置能够准确、可靠地监测机组的转速，以便在需要时及时发出制动指令。(4) 控制电路正常工作：检查控制电路中的元件和线路，确保其处于正常工

作状态，能够准确接收和处理机组运行状态信号，并发出正确的控制指令。

### 3 抽蓄电站机组机械制动控制系统实现与应用

#### 3.1 系统实现方法与技术

##### 3.1.1 机械制动控制系统的具体实现方法和技术路线

抽蓄电站机组机械制动控制系统的实现方法和技术路线主要遵循以下几点：（1）系统需集成先进的硬件和软件资源。硬件方面，包括制动器、压力传感器、电磁阀等关键组件，它们共同协作以实现制动的精确控制。软件方面，则采用高可靠性的编程语言和算法，以确保控制逻辑的准确性和稳定性。（2）在技术路线上，系统采用分布式控制架构，将控制逻辑分散到各个控制节点，以提高系统的响应速度和可靠性。同时，利用现场总线技术实现设备间的数据通信，确保信息的实时性和准确性。（3）为实现机械制动的精确控制，系统还采用了先进的传感器技术和信号处理算法。通过实时监测机组转速、制动器状态等关键参数，系统能够准确判断制动时机和制动强度，从而确保机组的安全停机。

#### 3.1.2 硬件和软件资源的集成设计，实现完善的控制逻辑和全自动控制

（1）在硬件和软件资源的集成设计上，抽蓄电站机组机械制动控制系统采用了高度集成的方案。硬件组件通过标准化的接口和通信协议进行连接，实现了设备间的无缝协作。软件方面，则通过模块化设计，将控制逻辑划分为多个独立的模块，每个模块负责特定的功能，以提高系统的可维护性和可扩展性。（2）为实现全自动控制，系统采用了先进的控制算法和人工智能技术。通过实时监测和分析机组运行状态，系统能够自动调整制动参数和控制策略，以适应不同的运行工况和故障情况。同时，系统还具备自我诊断和故障预警功能，能够及时发现并处理潜在的故障隐患，确保机组的稳定运行<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 应用案例分析

##### 3.2.1 典型的抽蓄电站机组机械制动系统应用案例

以某大型抽蓄电站为例，该电站采用了先进的机械制动控制系统。该系统通过集成先进的硬件和软件资

源，实现了机组启动、停机、工况转换过程中的精确制动控制。在实际运行中，该系统成功降低了机组的惰性运行时间，有效保护了机组推力轴承瓦，并显著缩短了停机时间。

##### 3.2.2 系统的应用效果、存在的问题和改进措施

（1）在应用效果方面，该系统显著提高了机组的可靠性和稳定性，降低了运维成本。同时，通过精确制动控制，该系统还有效延长了机组的使用寿命。（2）在实际运行中，该系统也存在一些问题。例如，在某些极端工况下，制动器的响应速度可能不够快，导致制动效果不佳。此外，系统在某些复杂故障情况下的自我诊断和预警能力也有待提高。（3）针对这些问题，可以采取以下改进措施：一是优化制动器的设计和制造工艺，提高其响应速度和制动性能；二是加强系统的自我诊断和预警功能，提高故障发现和处理的效率；三是加强对运维人员的培训和技术支持，提高他们的操作和维护水平。

#### 结束语

综上所述，抽蓄电站机组机械制动控制系统的设计是一个综合性的技术挑战，它不仅要求精确的控制逻辑和高度的自动化水平，还需要考虑系统的安全性、可靠性和经济性。通过本文的研究，我们提出了一套完整的设计方案，实现了制动系统的全自动控制，有效提高了电站的运行效率和稳定性。未来，我们将继续探索新技术、新方法，不断优化和完善机械制动控制系统，为抽水蓄能电站的安全、高效运行贡献更多力量。

#### 参考文献

- [1]张鑫,郭玉春.机械液压制动刹车系统在抽蓄电站的分析研究[J].产业经济,2020,(10):98-99.
- [2]林国庆,黄镇炜.抽水蓄能机组制动系统控制逻辑及优化[J].福建水力发电,2021,(04):43-44.
- [3]冯宇鹏.变速抽水蓄能机组启动与制动策略研究[J].电气传动,2020,(02):26-27.
- [4]张永会.抽水蓄能机组静止变频起动系统控制策略研究[J].自动化技术与应用,2021,(03):16-17.