

# 可逆式水轮发电机组发电电动机选型设计要点

胡卫娟

(中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司 湖南长沙 410014)

**摘要:**可逆式水轮发电机组是一种特殊设计的水轮机,它能够在水力发电和电动机两种模式下高效运行。这种机组的工作原理基于水轮机的基本原理,通过改变水流方向,实现能量的双向转换。技术要求包括性能参数的精确确定和结构设计的坚固性,以确保机组在不同模式下都能稳定运行。选型准则涉及水轮机特性与电动机类型的匹配,以及电动机性能的适应性。电气设计要点着重于绝缘与冷却系统的优化,以及控制系统的智能化,包括启动、制动控制和保护装置的设置,以保障机组安全、可靠地运行。

**关键词:**可逆式水轮发电机组;水轮机;电动机

## 引言

随着能源需求的多样化和环境保护的要求,可逆式水轮发电机组因其在能源转换中的高效性和灵活性而受到重视。这种机组不仅能够在水力发电模式下运行,还能在电动机模式下提供动力,适用于多种应用场景。本文将详细探讨这些关键要素,为可逆式水轮发电机组的设计和应用提供参考。

### 1. 可逆式水轮发电机组的定义与工作原理

可逆式水轮发电机组是一种独特的水力发电设备,它结合了水轮机和发电机功能,能够在水力发电和电动机驱动两种模式下转换能量。这类机组是建立在水轮机基本运行原理之上,是利用水流动能驱动水轮转动,再由水轮机和发电机直接耦合把机械能变成电能。发电模式中,水流由高而低,驱动水轮转动,水轮驱动发电机旋转并发电。并且在电动机模式中,该机组可充当电动机,这时外部电源带动水轮发电机组发电,水轮机把电能转化为机械能带动水轮转动,再利用水流动能。这一可逆性决定了可逆式水轮发电机组对水力发电站具有特别重要的意义,既可在用电需求高峰期供电,又可在用电低谷时段用电网用电带动水轮发电,以维持系统灵活稳定运行。

### 2. 可逆式水轮发电机组的技术要求

#### 2.1 性能参数的确定

在设计和选择可逆式水轮发电机组时,确立其性能参数显得尤为关键,因为这会直接决定发电机组的工作效率和运营成本。需要准确地计算设计的流量和落差,这两项数据是评估发电能力和选择合适的水轮机种类的关键。鉴于可逆式机组可同时发电与抽水,有必要对这2种工作方式效率评价,以保证发电过程中高效率与抽水过程中耗能最小。出力参数应根据电网需求及水源变化幅度而定,确保发电机组在各种工况下都能够平稳运行。启停速度是一个重要性能参数,这些性能参数决定着机组对电网要求反应的灵活性。为保证发电机组长期可靠地工作,还要精确地计算出最大、最小运行水头,以免超过水轮机设计范围而损坏设备。

#### 2.2 结构设计要求

可逆式水轮发电机组结构设计要求,是保证机组长期工作稳定可靠的关键。机组整体结构设计须能承受正常发电与抽水模式之全部机械负荷与震动,确保设备结

构完整与运行安全。对此,在设计时应该充分考虑各个组件间的相互配合,例如水轮机和发电机间的连接方式等,以保证变换时的平稳性。在选材上,需要选择长时间浸水运行还能够保持较好性能,并具有较高抗腐蚀磨损能力,以提高设备使用寿命的物料。冷却系统设计中,鉴于可逆式机组工作模式的特殊性,需要设计出高效冷却系统以保证机组高负荷运行过程中温度能够控制在安全区间之内。机组在安装设计时应充分考虑日后维护及检修工作的便捷性,合理设计检修通道及更换空间,从而降低维护成本,提高运行效率。

### 3. 可逆式水轮发电电动机的选型准则

#### 3.1 性能参数的确定

在设计和选择可逆式水轮发电机组时,确立其性能参数显得尤为关键,因为这会直接决定发电机组的工作效率和运营成本。首先,需要准确地计算设计的流量和落差,这两项数据是评估发电能力和选择合适的水轮机种类的关键。然后,可逆式机组可同时发电与抽水,有必要对这2种工作方式效率评价,以保证发电过程中高效率与抽水过程中耗能最小。另外,出力参数应根据电网需求及水源变化幅度而定,确保发电机组在各种工况下都能够平稳运行。启停速度是一个重要性能参数,这些性能参数决定着机组对电网要求反应的灵活性。最后,为保证发电机组长期可靠地工作,还要精确地计算出最大、最小运行水头,以免超过水轮机设计范围而损坏设备。

#### 3.2 结构设计要求

可逆式水轮发电机组结构设计要求,是保证机组长期工作稳定可靠的关键。机组整体结构设计须能承受正常发电与抽水模式之全部机械负荷与震动,以确保设备结构完整与运行安全。对此,在设计时应该充分考虑各个组件间的相互配合,例如水轮机和发电机间的连接方式等,以保证变换时的平稳性。另外,在选材上,需要选择长时间浸水运行还能够保持较好性能,同时具有较高抗腐蚀磨损能力,以提高设备使用寿命的物料。冷却系统设计中,鉴于可逆式机组工作模式的特殊性,需要设计出高效冷却系统以保证机组高负荷运行过程中温度能够控制在安全区间之内。最后在机组安装设计中应充分考虑日后维护与检修工作的便捷性,合理设计检修通道及更换空间,从而降低维护成本,提升运行效率。

#### 4. 可逆式水轮发电电动机的电气设计要点

##### 4.1 绝缘与冷却系统设计

###### 4.1.1 绝缘级别的选择

在设计可逆式水轮发电电动机时，选择合适的绝缘级别是确保电动机能够长时间稳定工作的核心要素之一。绝缘级别的高低直接影响电动机在运行时是否能承受电压应力及环境条件的影响，进而决定电动机运行的可靠性及寿命。绝缘材料须能在期望的温度下，维持良好的电气性能及充分抵抗化学腐蚀，潮湿及机械应力等。在选择绝缘等级时，首要的考量因素是电动机所能承受的最高工作温度，这包括周围环境的温度以及电流所产生的热量。绝缘系统通常按照国际电工委员会（IEC）的标准被分为 A、E、B、F、H 等级，其中 F 级和 H 级因其较高的耐温性能（分别可达 155° C 和 180° C）而被广泛应用于高性能电动机中。为了保证电动机在各种情况下安全工作，设计者需根据最恶劣的工作环境选择适当的绝缘级别和考虑留足安全裕度等，这样就避免了过热引起的绝缘老化，损坏乃至短路事故的发生。选用绝缘材料还要考虑其机械强度，化学稳定性和制造成本等因素，以保证其不仅符合技术要求，而且有经济效益。

###### 4.1.2 冷却方式（风冷、水冷等）

电动机在运行过程中会产生大量热量，若不及时有效地散热，会导致内部温度升高，影响绝缘材料的性能，甚至损坏电机。根据冷却介质的不同，电动机的冷却方式主要分为风冷和水冷两种。风冷是通过内置风扇或外置冷却装置强制空气流通过电机内部，将热量带走，适用于大多数低至中功率需求的电动机。这种方式简单高效，但在高功率或环境温度较高的情况下，其冷却能力可能受限。水冷系统通过流经电动机内部或紧贴电机外壁的冷却水管来实现热交换，相比风冷，水冷系统的冷却效率更高，能有效控制电机的工作温度，尤其适合于高功率、高负载连续运行的电动机。然而，水冷系统的设计和更为复杂和成本较高，需要考虑防漏、防腐蚀等因素。在选择冷却方式时，设计师需要综合考虑电动机的功率、运行环境、安装空间以及成本等因素，确保冷却系统既能满足散热需求，又能保持整个系统的经济性和可靠性。对于大型可逆式水轮发电机组，考虑到其在高负荷下的连续运行特性，通常采用水冷或其他高效的冷却方案。

##### 4.2 控制系统的设计

###### 4.2.1 启动与制动控制

在设计可逆式水轮发电电动机时，启动和制动控制系统成为确保机组安全稳定运行的核心组件。适当的启动程序可降低对电网的影响及对机械部件磨损，有效的制动控制保证了应急情况下快速、安全停车。在设计启动控制系统时，考虑电动机的类型和规模，不同类型的电动机（例如同步电机或者异步电机）对启动方式有不同的要求。如大型同步电动机在启动过程中可能要求使用软启动器或者变频器以降低电流冲击及机械应力。另外，在启动系统中还应综合考虑电网容量、水轮发电机

组特性等因素来选择最适宜的启动序列及参数。对制动控制而言，一般要设计各种制动方案，主要有机械制动，电气制动和紧急停机措施等。机械制动通常用于最终停机，而电气制动（例如逆变制动，再生制动等）可以更快速地减少机组的运行速度，同时回收部分能量。设计制动系统时一定要保证机组在各种条件下快速安全停车，避免由于停机不成功而导致设备损坏或者安全事故发生。机组的整体控制系统应当整合启动和制动控制系统，利用如 PLC（可编程逻辑控制器）或 DCS（分布式控制系统）这样的智能控制手段，达到精准的控制和监控，确保操作过程既高效又安全。

###### 4.2.2 保护装置（过流、过热等）

设计一个全面的保护装置系统对于保障可逆式水轮发电电动机的长期稳定运行至关重要。这一系统需要能够实时监控电动机的运行状态，并在出现过流、过热、过载或其他异常情况时自动采取保护措施。过流保护是防止电动机由于超过其名义电流造成损害的基本功能，通常通过安装过流继电器或断路器实现，它们能在电流超过设定值时迅速切断电源，从而保护电动机和电路。过热保护则是防止电动机因温度过高而损坏，这通常通过温度传感器（如热电阻或热敏电阻）来监测电动机各部位的温度，一旦检测到超出安全范围的温度，保护系统会立即采取措施，如减少负载、关闭电动机或启动冷却系统。此外，电动机保护装置还应包括过压、欠压、相序保护和短路保护等功能，以应对各种可能的异常情况。在设计保护装置时，不仅要考虑各种保护功能的完整性和及时性，还要确保保护措施的合理性和可靠性，避免因误动作造成不必要的停机或损失。

##### 结束语

可逆式水轮发电机组作为一种高效、环保的能源转换设备，在现代能源系统中扮演着重要角色。通过对其工作原理、技术要求、选型准则以及电气设计要点的深入分析，我们可以更好地理解其运行机制和优化方向。随着技术的不断进步，可逆式水轮发电机组将在能源领域展现出更大的潜力和价值，为可持续发展贡献力量。

##### 参考文献：

[1]张衡, 李江涛, 卢宝江. 可逆式水轮发电机组镜板形貌视觉测量方法研究[J]. 微型电脑应用, 2022, 38(08): 39-42.

[2]潘春强, 刘伟, 许旭辉, 许红义. 十三陵电厂可逆式水轮发电机组镜板三维视觉检测系统总体设计方案研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(07): 66-67+70.

[3]李江涛, 刘超, 许准. 可逆式水轮发电机组镜板形貌视觉测量系统设计方案[J]. 中国新通信, 2021, 23(04): 176-177.

作者简介：姓名：胡卫娟 性别：女 籍贯：河南安阳 民族：汉 出生年月：1986.12.30 学位：硕士 职称：高级工程师 研究方向：抽水蓄能机电设计