

关于燃气蒸汽联合热电厂发电气耗的浅析

蔡魏赟

丹阳中鑫华海清洁能源有限公司 江苏 镇江 212311

摘要: 燃气蒸汽联合循环发电机组因其高效、环保的发电技术,在现代电力生产行业中的地位日渐提高。发电气耗作为评估机组运行效率和经济性的重要指标,其影响因素及优化措施的研究具有重要意义。本文将从燃气蒸汽联合热电厂发电气耗的定义、影响因素、计算模型及降低发电气耗的措施等方面展开详细探讨。

关键词: 燃气蒸汽联合; 热电厂; 发电气耗

引言

燃气蒸汽联合循环(Combined Cycle Power Plant, CCPP)发电技术通过燃气轮机和蒸汽轮机的联合循环,实现了能源的高效利用。发电气耗作为评估机组运行效率和经济性的重要指标,直接反映了能源利用率。因此,深入研究发电气耗的影响因素及其优化措施,对于提高机组运行效率、降低发电成本具有重要意义。

1 燃气蒸汽联合热电厂发电气耗的定义及计算模型

1.1 发电气耗的定义

发电气耗,作为评估燃气蒸汽联合热电厂运行效率和经济性的核心指标,其定义为单位发电量所消耗的天然气的量。这一指标直接反映了热电厂在发电过程中的能源利用效率和成本效益。具体来说,发电气耗的计算公式为:发电气耗=(天然气耗气量-供热气耗量)/总发电量。从该公式可以看出,发电气耗的大小不仅受到天然气耗气量的直接影响,还与发电量及供热量密切相关。天然气耗气量增加、发电量减少或供热量增加,都会导致发电气耗的上升,反之则下降。

1.2 发电气耗的计算模型

为了更准确地计算发电气耗,需要建立一个包含多个影响因素的数学模型。该模型可以等效为:发电气耗= $(f_1(\text{燃机负荷})-f_2(\text{供热量}))/(\text{燃机负荷}+f_3(\text{燃机负荷})-f_4(\text{供热量}))$ 。在这个模型中, f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 分别代表不同的函数关系,它们描述了燃机负荷、供热量与发电气耗之间的复杂联系。通过求解这四个函数关系,可以更准确地计算出在给定燃机负荷和供热量条件下的发电气耗。这种计算模型有助于热电厂优化运行策略、提高能源利用效率并降低发电成本。同时,它也为热电厂的能效评估和节能减排工作提供了有力的支持。

2 燃气蒸汽联合热电厂发电气耗的影响因素

2.1 燃机负荷

燃机负荷作为燃气蒸汽联合热电厂运行中的关键参

数,对天然气的耗气量具有直接影响,进而影响到发电气耗。燃机负荷的变化与多个因素密切相关,包括进气量、燃料量、进气温度以及压气机效率等。这些参数之间相互作用,共同决定了燃机负荷的大小。(1) 进气量与燃料量:进气量的增加通常意味着需要更多的燃料来维持燃烧过程,从而导致天然气耗气量的增加。同样,燃料量的增加也会直接导致天然气耗气量的上升^[1]。(2) 进气温度与压气机效率:进气温度的高低和压气机效率的好坏都会影响到燃机的运行效率和天然气耗气量。较高的进气温度可能会降低燃机的效率,而压气机效率的下降则会导致更多的天然气被消耗以维持相同的负荷。尽管燃机负荷与上述多个参数均有关系,且理论上无法与单一参数建立直接的函数关系,但在实际运行中,燃机负荷与天然气的耗气量之间通常呈现出一种基本的线性关系。这意味着,随着燃机负荷的增加,天然气的耗气量也会相应地增加,从而导致发电气耗的上升。

2.2 供热量

供热量是另一个影响发电气耗的重要因素。在燃气蒸汽联合热电厂中,部分蒸汽可能会被用于供热而非发电,这就会导致发电气耗的上升。具体来说,当热电厂进行抽汽供热时,原本用于发电的蒸汽被分流出来用于供热,从而使得发电量减少,而天然气的耗气量并未相应减少(在供热初期甚至可能因需要更多的蒸汽而增加天然气耗气量以保持蒸汽压力),因此发电气耗会相应增加。为了更准确地评估供热量对发电气耗的影响,可以通过计算供热气耗量来得出。供热气耗量的计算公式为:供热气耗量(Nm^3)=供热气耗(Nm^3/GJ) \times 供热量(GJ)。其中,供热气耗表示每单位供热量所消耗的天然气的量,而供热量则表示实际供出的热量值。通过这个公式,我们可以计算出在给定供热量条件下的供热气耗量,进而更准确地评估其对发电气耗的影响。

3 降低发电气耗的措施

3.1 优化燃机运行效率

3.1.1 采用高效燃气轮机

高效燃气轮机作为燃气发电的主流技术，其效率已经显著提升，部分先进机型的效率甚至可以达到50%以上。与传统燃煤发电相比，高效燃气轮机在效率上具有明显优势，通常高出20%左右。因此，选择高效燃气轮机作为发电设备，可以直接降低单位发电量所消耗的天然气的量，即降低发电气耗。此外，高效燃气轮机还具有启动迅速、调节灵活等优点，有助于更好地适应电网负荷变化，进一步提高能源利用效率。

3.1.2 定期清洗压气机

压气机是燃气轮机的重要组成部分，其叶片在运行过程中容易积垢。这些积垢会显著降低压气机的运行效率，导致燃机整体性能下降，进而增加发电气耗。因此，应定期对压气机进行离线水洗操作，以清除叶片表面的积垢。通过保持压气机叶片的清洁，可以提高压气机的进气效率和压比，从而提升燃机的整体运行效率，降低发电气耗。

3.1.3 采用压气机空气冷却技术

在夏季等高温季节，压气机入口空气温度较高，这会导致燃机性能下降，增加发电气耗。为了降低压气机入口空气温度，可以采用蒸发冷却或电制冷机等方式进行空气冷却。蒸发冷却可以利用水的蒸发作用来降低空气温度，而电制冷机则可以通过制冷循环来降低空气温度。通过降低压气机入口空气温度，可以提高压气机的进气密度和效率，从而提升燃机的性能和降低发电气耗^[2]。此外，采用空气冷却技术还可以减少燃机在高温环境下的热应力，延长设备的使用寿命。

3.2 合理安排机组调峰

3.2.1 优化调峰策略

一是减少频繁启停：频繁启停机组不仅会增加设备的磨损和故障率，还会导致大量的能量损失和额外的天然气耗气量。因此，在调峰过程中，应尽量避免机组的频繁启停，通过合理安排机组的运行时间和负荷，使机组能够在稳定的状态下运行，从而降低发电气耗。二是避免大幅度调整负荷：在调整机组负荷时，应尽量避免大幅度、快速的负荷变化。因为大幅度的负荷调整会导致机组运行状态的剧烈变化，从而增加能耗和机械应力。因此，应通过精细的负荷预测和调度，使机组能够在较小的负荷波动范围内稳定运行，以降低发电气耗。三是利用机组特性：不同机组的运行特性各不相同，有的机组适合在低负荷下运行，有的则适合在高负荷下运

行。因此，在制定调峰策略时，应充分考虑机组的运行特性，合理安排机组的负荷分配，使各机组都能够在其最佳运行状态下工作，从而降低整体发电气耗。

3.2.2 采用智能调度系统

为了提高调峰效率和降低发电气耗，可以引入智能调度系统。智能调度系统能够实时监测电网负荷和机组运行状态等信息，为调度人员提供准确、及时的数据支持。这有助于调度人员更好地了解电网和机组的实际情况，从而制定更加合理的调峰策略。智能调度系统能够根据实时监测到的数据，自动优化机组调峰计划。通过先进的算法和模型，系统能够快速计算出最优的机组负荷分配和启停计划，从而降低发电气耗和提高能源利用效率。智能调度系统还具有预警和报警功能^[3]。当机组出现异常状态或电网负荷发生突变时，系统能够及时发出预警或报警信号，提醒调度人员采取相应的措施。这有助于防止事故的发生和扩大，保障热电厂的安全稳定运行。

3.3 优化供热抽汽量

3.3.1 精确计算供热需求

精确计算供热需求是优化供热抽汽量的基础。热电厂应对热用户的用热方式、用热量、用汽参数等进行全面统计和分析，以了解热用户的实际供热需求。这包括对不同季节、不同时间段、不同工艺流程下的供热需求进行细致梳理，确保数据的准确性和完整性。通过精确计算供热需求，热电厂可以制定出更加合理的供热计划，避免供热抽汽量过大或过小导致的能量浪费或供热不足问题。同时，这也有助于热电厂与热用户之间建立更加紧密的合作关系，提高供热服务的满意度和可靠性。

3.3.2 采用可变抽汽技术

在抽汽供热系统中引入可变抽汽技术是优化供热抽汽量的有效手段。可变抽汽技术能够根据实际供热需求自动调整抽汽量，使供热系统更加灵活、高效。具体来说，可变抽汽技术通过安装调节装置或采用先进的控制系统，实现对抽汽量的精确控制。当热需求增加时，系统可以自动增加抽汽量以满足需求；当热需求减少时，系统则相应减少抽汽量，避免不必要的能量浪费。采用可变抽汽技术不仅可以提高供热效率，降低发电气耗，还可以减少对环境的污染和资源的浪费。同时，这也有助于提高热电厂的自动化水平和智能化程度，为未来的智能化、绿色化发展奠定基础。

3.4 提高余热利用效率

3.4.1 加强余热回收

在燃气蒸汽联合热电厂中，燃气发电过程中会产生高温烟气，而蒸汽发生过程中也会产生大量的蒸汽和热

水。这些废热资源具有巨大的利用潜力。为了加强余热回收,可以采取以下措施:(1)安装蒸汽发生器:通过蒸汽发生器,可以将高温烟气中的热量转化为蒸汽,用于供热或发电。这不仅可以降低烟气温度,减少热损失,还可以提高能源利用效率。(2)利用热交换器:热交换器是一种有效的余热回收设备,它可以将废热与冷水或冷空气进行热交换,从而产生热水或热风,用于供热或通风。通过合理设置热交换器,可以最大限度地回收废热,降低能源消耗。(3)优化余热回收系统:为了提高余热回收效率,需要对余热回收系统进行优化设计。这包括选择合适的余热回收设备、优化设备布置和管道连接、提高系统自动化水平等。通过优化设计,可以确保余热回收系统的高效运行,降低发电气耗。

3.4.2 采用高效余热利用技术

除了加强余热回收外,还可以引入高效余热利用技术,将废热转化为更多形式的能源输出。这些技术包括:一是余热发电:通过余热发电技术,可以将废热转化为电能,进一步提高能源利用效率。这通常涉及到利用余热锅炉产生蒸汽,然后推动汽轮机发电。余热发电技术已经得到了广泛应用,并取得了显著的经济效益和环境效益^[4]。二是余热制冷:在某些情况下,废热可以用于制冷。通过吸收式制冷机或热泵等设备,可以将废热转化为制冷能量,用于空调或工业冷却。这不仅可以降低能源消耗,还可以减少对传统制冷设备的依赖。除了余热发电和余热制冷外,还有许多其他高效余热利用技术可供选择。例如,可以利用废热进行干燥、蒸发、脱盐等工艺过程;或者将废热用于温泉、游泳池等娱乐场所的加热。这些技术的应用可以进一步拓宽余热的利用范围,提高能源利用效率。

3.5 优化运行参数和控制策略

在燃气蒸汽联合热电厂中,燃气轮机、蒸汽轮机等

关键设备的运行参数对机组效率有着重要影响。为了最大化机组在不同负荷下的运行效率,需要适时调整这些设备的运行参数,包括负荷、转速、温度等。(1)负荷调整:根据电网负荷需求和热用户供热需求的变化,及时调整机组的负荷。通过合理的负荷分配,可以确保机组在高效区间内运行,避免低负荷运行导致的效率下降和能源浪费。(2)转速调整:燃气轮机和蒸汽轮机的转速是影响机组效率的重要因素。通过调整转速,可以优化机组的进气量和排气量,从而提高机组的运行效率。同时,转速调整还可以帮助机组更好地适应电网频率的变化,提高机组的稳定性和可靠性。(3)温度调整:在机组运行过程中,合理控制燃气轮机和蒸汽轮机的进口和出口温度,可以确保机组在最佳工作温度下运行,避免过热或过冷导致的效率下降和设备损坏。

结语

燃气蒸汽联合热电厂发电气耗的研究对于提高机组运行效率、降低发电成本具有重要意义。通过优化燃机运行效率、合理安排机组调峰、优化供热抽汽量等措施,可以有效降低发电气耗,提高能源利用率。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,燃气蒸汽联合循环热电机组将在电力生产行业中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]顾振华.关于燃气蒸汽联合热电厂发电气耗的浅析[J].科技视界,2020,(24):75-76.
- [2]王帆.燃气-蒸汽联合循环热电厂水泵节能技术的优化[J].化学工程与装备,2021,(07):176-177.
- [3]孙天祥,刘松涛,曹悦,等.燃气-蒸汽联合循环的碳排放绩效计算及影响分析[J].热力发电,2024,53(10):114-121.
- [4]张逸君,徐哲飞.燃气-蒸汽联合循环发电机组节能降耗措施分析[J].上海节能,2024,(04):696-701.