

综合能源系统高效梯级利用技术研究

雷 玲 重庆渝润能源服务有限公司

【摘要】实现“碳达峰、碳中和”关系到中国的可持续发展，也关系到人类命运共同体的建设。党的二十大报告明确提出，积极稳妥推进“碳达峰、碳中和”。我们要根据自己的能源资源条件，按照“先立后破”的原则，有规划地逐步开展“零排放”的减排行动。加强对我国能源消费的总量与密度的管理，以矿物能源为主要目标，逐渐向“双控”转变。提升能源综合利用率是实现“双控”目标的关键，而目前我国的能源资源利用率与发达国家相比仍有一定的距离，主要是由于能源不能够被高效地开发和利用。经过对该领域关键科学问题的系统集成和归纳，以“温度匹配”为基础的“梯级利用”思想，对于推动我国能源发电技术的发展和推广，有着重大的理论价值和现实价值。

【关键词】综合能源系统；高效梯级利用技术；策略

【DOI】10.12316/j.issn.1674-0831.2024.07.034

引言

在全球能源需求持续增长和环境保护日益受到重视的背景下，传统的能源系统面临着诸多挑战，包括能源效率低下、环境污染严重以及能源供应安全问题等。因此，开发和利用综合能源系统成为解决上述问题的有效途径之一。综合能源系统通过集成多种能源资源，实现能源的高效利用和环境影响的最小化，对促进能源的可持续发展具有重要意义。高效梯级利用技术作为综合能源系统的核心，其目标是最大限度地提升能源利用效率，减少能源损耗。这包括对能源进行适当的分配和使用，确保能源在各个环节中的高效流动和转换。例如，通过余热回收技术，可以将工业过程中的废热转换为有用的能源，如电力或热能，从而实现能源的二次利用。多能互补技术则通过合理配置和优化不同能源形式的使用，提高系统的整体能源效率。此外，能量存储技术在综合能源系统中也扮演着重要角色，它能够平衡能源供需，提高系统的稳定性和灵活性。

一、城市燃气在综合能源系统中的地位和作用

尽管综合能源系统的高效梯级利用技术具有巨大的潜力，但在实际应用中仍面临许多挑战。例如，技术的经济性和可行性需要进一步提高，系统集成和管理的复杂性需要解决，相关的政策和法规也需要进一步完善。因此，未来的研究需要集中在提高技术的经济性和实用性、优化系统设计和开发新型能源技术等方面。城市燃气作为一种清洁、高效的能源形式，在综合能源系统中扮演着重要的角色。随着城市化进程的加速和能源需求的不断增长，传统能源资源已经难以满足城市居民生活和工业生产的要求。因此，城市燃气作为一

种清洁能源，被越来越多的城市纳入综合能源系统中。城市燃气在综合能源系统中的地位得到了极大的提升。由于城市燃气具有高效、环保的特点，可以减少二氧化碳的排放和空气污染物的产生，因此被广泛应用于家庭供暖、工业生产、交通运输等领域。同时，城市燃气作为一种可靠的能源来源，有助于提高城市的能源安全性，减少能源供应的风险。因此，城市燃气在综合能源系统中扮演着不可或缺的角色，其地位显得尤为重要。城市燃气在综合能源系统中发挥着多种作用。首先，城市燃气可作为传统能源的替代品，可以满足城市居民的用气需求。在家庭供暖方面，城市燃气可以替代煤炭和重油等传统能源，减少温室气体的排放量，降低空气污染。其次，城市燃气还可以作为工业生产的重要能源来源，广泛应用于钢铁、化工、建材等行业。

二、综合能源系统的分类及特点

综合能源系统是指将多种能源进行集成和协调利用的一种能源系统。根据其能源形式和特点的不同，可以将综合能源系统分为多种类型。

热电联供系统。它是通过综合利用电能和热能来满足建筑物的热水、供暖和电力需求。这种系统可以通过热能回收和储存技术，高效利用废热，并将其转化为电能提供给建筑物使用。同时，通过与电网互联，热电联供系统还可以实现电力的供给和接入外部能源来源。

能源互补系统。它是通过将不同的可再生能源相互补充利用，实现能源供应的多样化和稳定性的增强。例如，太阳能光伏和风能发电可以相互补充，太阳能光伏可以在白天提供电能，而风能发电则可以在夜间或无太阳能时提供电能。通过互补利用，能源互补系统可以提

高能源的利用效率，并减少对传统能源的依赖。

多能互补系统。多能互补系统的核心思想是通过将不同种类的能源形式（如太阳能、风能、生物质能、热能等）进行有效整合，利用不同能源之间的互补性，优化能源的配置和使用。这种系统能够有效应对单一能源依赖所带来的风险和不确定性，提高能源供应的可靠性和系统的能源效率。例如，太阳能和风能的互补特性，可以在太阳能发电效率低下的时候，通过风能发电来补充能源供应，从而实现更加平稳和高效的能源供应。多能互补系统的设计和实现需要考虑能源的供需匹配、能源转换和存储技术、系统的经济性和环境影响等多方面因素。高效的能源转换设备和技术、先进的能源存储系统、智能化的能源管理和调度策略等，都是实现多能互补系统高效运行的关键。

能耗管理系统。能耗管理系统则侧重于通过信息技术和智能化手段，对能源消耗进行实时监测、分析和管理的，从而实现能源的节约和高效使用。这种系统通常包括能源监测设备、数据采集和传输设备、能耗分析和管理软件等，能够为用户提供详细的能耗数据和分析报告，帮助用户发现能源使用中的不合理之处，提出改进措施。能耗管理系统的应用不仅可以提高能源使用的透明度和管理水平，还可以通过优化能源使用模式、提高能源使用效率等方式，显著降低能源成本，提升能源使用的经济性和环境友好性。此外，结合大数据分析、人工智能等技术，能耗管理系统还可以实现更加智能化和精细化的能源管理策略，进一步提高能源使用的效率和可持续性。

三、综合能源系统准稳态建模分析

1. 分布式能源设备的准稳态模型构建

本项目针对新一代新能源发电装备的新能源需求，结合新能源发电系统的特性，建立新能源装备准静态数学模型。拟定数学模型可用于描述燃气涡轮、燃气锅炉、吸收式制冷机、家用空调、冰蓄冷和电力/热能存储装置等装置中的能流状况。建立了基于准静态的能量平衡约束、冷热功率约束的数学模型。该方法能够使整个装置在工作状态下达到均衡的能源流量，同时使整个装置的冷热功率满足一定的限制，使整个装置的稳定可靠。同时，拟定常平衡模式也将为能量资源的匹配与分级开发提供了新的思路。“品位匹配”是将各种类型的能量（品质）相匹配，以达到有效的能量流转换。在此基础上，建立基于准稳定状态的数学模型，对各装置所需要的能耗等级进行最优的转换，进而达到提升系统能

效的目的。同时，拟定常压下的数学模型也能够对能源进行分级开发。分级综合是将各类能量串联使用，将高等级能量产生的热量或余热提供给低级能量，以提升总体能量使用效率。通过建立准稳定状态下各装置间的能流联系，使高品质能源产生的热向其他装置提供电能，达到资源的高效梯级利用。

2. 基于多能互补的系统协调调度模型构建

目前，集热、电、气为一体的集成能量体系，造成了能量的大量使用与浪费。要实现能量的有效利用，就必须强化多能系统间的能量协调与互补。针对该问题，本项目拟建立多能协同发电的多能协同优化调度模型。该方法由目标函数、最优变量和最优限制三部分组成。在此基础上，研究各能源体系间的相互影响和相互补充，寻找优化的方案。采用了多种智能优化设计的思想，使之成为可能。基于人工智能的多能源协同优化方法，建立了多个能量耦合的数学模型，并对其进行了仿真，得到了优化方案。利用该理论，提出了一种新的能量管理模式，并利用该模式对能量管理进行了研究。通过强化多能互补的研究，采用智能优化与数理规划相结合的方式，能够有效地缓解现有多能系统能量的损耗与浪费，提升能量的综合利用效率。这是保证我国能源资源可持续利用的关键。

3. 基于能量梯级利用的系统协调调度模型构建

能量集成是指能够在不同类型的能量之间进行协调、相互补充的一种系统。在构建集成能量体系时，应注意多层次能量的耦合、转化与梯级开发。能源等级的高低反映了能源品质与性能的差异，如热能，电力，机械能等。多层次电能的高效转化与分级开发，是提升电能使用效能、最大限度地发挥其作用的有效途径。为更好地实现多能互补协调，本项目拟建立多能互补的多能协同优化调度模式。该方法能够依据电力市场中各种能源的供求关系，对电力市场进行最优配置，从而达到最大限度地发挥电力市场的作用。在充分考虑各种能量来源特点及限制因素的基础上，对其进行建模，保证其安全稳定地工作。在能量集成系统中，降低不可逆损耗是一项非常重要的工作。不可逆损耗是能源转化与使用中必然发生的损耗。通过对电能的分级开发与转化，能够最大限度地降低这种不可逆损耗，进而提升整个系统的能效。通过合理地分配能量，减小不可逆损耗，可以改善整个系统的整体性能。这就使得该体系能够更有效的实现对能量的利用，从而达到节约能耗、减轻对环境的冲击的目的。提高其整体效能，对构建可持续的能源

体系具有重要意义。

4. 上下级电网互动系统综合需求响应模型构建

在人类对资源和生态环境要求越来越高的情况下,建设智能能量体系已是迫在眉睫的重大课题。在此基础上,提出一种基于能量网络的多能量智能化管理方法。通过对不同类型的能量进行综合利用,实现能量分布的最优化,为客户提供更加稳定、更加持久的能量供给。以往,供电的对象大多是常规用电,例如家用和工业用电。现在,由于科学技术的进步,以及社会的不断变化使得用电负荷的传统方式已经不能适应日益增长的需求。这就要求把常规的用电需求反应转化为用电的集成用电,以适应各种用电的要求。这就要求我们必须改变原来的能量要求,使之与新的能源供给模式相匹配。在供给侧调控的同时,也要充分发掘供给侧的潜能,使能流、信息流、价值流相互交融、交融,基于能量管理理论的电力消费决策模型应用十分有效。利用智能管理体系与科技方法,使客户用电与供电之间能够更好地衔接,降低能耗。要达到集成的要求,就必须建立产能的最优模式。该模型同时包含了电力市场在非削峰期内的电力需求限制以及在削峰期内需要满足的最大电力需求。在此基础上,提出了一种基于能量管理理论的电力系统优化设计方法,即在减少能源消耗的同时,有效地提高电力系统的能效。这样既能保证供电的可靠性,又能减少用户的能耗。

四、以燃气内燃机为原动机的分布式综合能源系统余热高效利用技术

基于天然气发动机的分散能量集成技术,其产生的废热包括:高温烟气余热(350~600℃)。一种为高温80~95℃的气缸套热水废热。在常规方式下,采用的是将高温烟气中的热量送入溴化锂吸收式热泵系统进行降温或供热,其排烟温度约为120℃。由于气缸套的低温废热,在许多项目中都会被废弃。采用单效吸收式制冷方式的热泵机组COP仅为0.7,也就是1分热、0.7分冷,能耗显著“缩水”,且整体能效约为60%,存在较多的废热没有得到充分的开发和应用。

此外,在常规方式中,供冷与供热并非同步运行,调节的柔性不够。按照冷却温度的不同,发动机机体的各换热器可划分为高温热水体系和低温体系。低温热水处理装置由两段中间冷却器和两段润滑油冷却器组成。在内燃机各种废热中,低温水体系具有温度低、放热量少等特点,通过换热设备可获得35~45℃的低温热水,高温水温度约95℃,属于中低品位余热,其出口温度为

360℃,属于中等品位余热。在图1中可以看到发动机的废热特征。

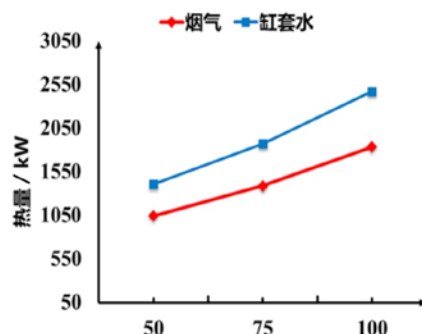


图1 不同负荷率下烟气和缸套水热量变化曲线

五、结论

基于天然气的分布式集成供能系统是我国能源低碳化发展的一种有效途径,其高效的多能互补是提高其整体效能的关键。本项目拟以燃气涡轮/内燃机为主要动力的天然气分布式集成能源系统为研究对象,通过研究其实现过程中的热量的有效分配及有效的循环再利用,从而有效地解决该地区的能源资源的分级开发与利用问题,实现更好地节能减排,对于天然气分布式集成能源的提质增效有着重大的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 彭克, 张聪, 徐丙垠, 等. 多能协同综合能源系统示范工程现状与展望[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(06): 3-10.
- [2] 付学谦, 孙宏斌, 郭庆来, 等. 能源互联网供能质量综合评估[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(10): 1-7.
- [3] 张勇军, 陈泽兴, 蔡泽祥, 等. 新一代信息能源系统: 能源互联网[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(09): 1-7+16.
- [4] 周喜超, 李晓霞, 李振, 等. 基于太阳能储/供热综合能源系统的运行策略[J]. 可再生能源, 2024, 42(01): 71-78.
- [5] 梁波, 朱红满, 杨娟香. 面向“碳中和”的综合能源系统全过程服务实践[J]. 安装, 2024(01): 76-78+84.
- [6] 杨佳霖, 赵鹏翔, 窦真兰, 等. 计及经济性与可靠性的综合能源系统优化调度[J]. 供用电, 2024, 41(01): 90-99.
- [7] 范建斌, 孟昭军, 单沫文, 等. 综合能源系统关键技术与国际标准化综述[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(12): 1-9.

作者简介: 雷玲(1991—), 女, 汉族, 重庆人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 城镇燃气输配、综合能源市场开发。