

# 研究热电发电高效能变换技术

王凯<sup>1</sup> 姜召星<sup>2</sup> 王伟<sup>3</sup> 李峰<sup>4</sup> 蒋传明<sup>5</sup>

1. 身份证号码: 370902198410230039
2. 身份证号码: 370124197906246018
3. 身份证号码: 372526198009050024
4. 身份证号码: 371321197912264258
5. 身份证号码: 370829199010065950

**摘要:** 热电技术在科技动力、绿色能源、自然能源积累和工业能源利用等方面具有显著优势。近年来, 热电材料的 ZT 价值屡创新高, 为使用热电器件奠定了坚实的技术基础。然而, 最近的热电应用技术远远落后于热电材料的发展。尤其是热电技术的广泛应用仍面临种种困难。随着社会对电力的需求不断增加, 热电电子 (TEG) 技术引起了广泛关注。研究适用于热电发电系统的电子变换技术非常重要, 因为变换技术可以成功地提高热电变换效率和电能质量。本研究论文主要研究用于热电发电系统和分布式热电发电系统和高压变流器的配置和控制。

**关键词:** 高效能; 热电发电; 变换技术

## Research on the high-efficiency conversion technology of thermoelectric power generation

Kai Wang<sup>1</sup>, Zhaoxing Jiang<sup>2</sup>, Wei Wang<sup>3</sup>, Feng Li<sup>4</sup>, Chuanming Jiang<sup>5</sup>

1. ID Number: 370902198410230039
2. ID Number: 370124197906246018
3. ID Number: 372526198009050024
4. ID Number: 371321197912264258
5. ID Number: 370829199010065950

**Abstract:** Thermoelectric technology has significant advantages in scientific and technological power, green energy, natural energy accumulation, and industrial energy utilization. In recent years, the ZT value of thermoelectric materials has repeatedly reached new highs, laying a solid technical foundation for the use of thermoelectric devices. However, recent thermoelectric applications fall far behind the development of thermoelectric materials. In particular, the extensive application of thermoelectric technology still faces various difficulties. With the increasing social demand for electricity, thermoelectric electronics (TEG) technology has attracted wide attention. It is important to study electronic conversion technologies suitable for thermoelectric power generation systems because they can successfully improve thermoelectric conversion efficiency and power quality. This paper mainly studies the configuration and control of thermoelectric power systems and distributes thermoelectric power systems and high voltage converters.

**Keywords:** high efficiency, thermoelectric power generation, transformation technology

### 1 概念

所谓热电变换, 它是使用珀尔帖效应的热电冷却和塞贝克系数热电发电的常用术语。热电发电具有将热能直接转化为电能的特点, 而热电制冷具有将电能直接转

化为热能的特性。当从外部施加热量时, 会出现电能分布不均的现象, 电能产生的形式称为热电发电。反之, 当对一个元件的开路电极施加电压时, 另一个电极会产生或吸收热量, 这称为热电冷却。由于电流的流动而产生

生的热量和释放的热量是可逆的。

## 2 热电发电技术的历史概况

1821年,德国科学家塞贝克发现,用两根金属丝组成的封闭区域可以在不同温度下在封闭区域周围产生磁场。1834年,法国科学家珀尔帖发现,当两个物体的金属棒连接形成一个封闭截面时,该区域发生的事情是相连的,两个接头上就会产生温差。1838年,天文学家伦茨发现了这种现象,据说轨道过程决定了热量是被吸收还是产生,热量(冷量)取决于它的大小。1855年,W. Thomson使用他开发的热力学理论探索了上述原理,他建立了塞贝克系数和珀尔帖系数之间的关联。所以,他预测了汤姆逊效应:当电力流经不同温度的导体时,导体不仅会散发出恒定的焦耳温度,另一种热,称为汤姆逊热,会重新进入或释放。而是金属棒两端的温度不同,金属棒的两端就有可能存在差异,这有力地促进了热化学和热力学的发展。

然而,由于其模糊性,热电材料的研究主要集中在金属和合金上。塞贝克钢架差异小,产量很低,所以当时没有使用热电现象。直到1930年代,前苏联物理学家Joffe提出使用半导体器件生产热电发电,并率先提出固体可溶性金属,它为有思想的专业人士使用热电技术奠定了基础。在此基础上,前苏联的一些科学家在热电发电的生产上取得了长足的进步。1953年,以冰箱为例,我们利用多种制冷技术开发了家用冰箱,制冷效率在20%左右;在热电发电领域,我们开发了一种可以处理热量或余热的小型电源,可以为家庭供暖。在1950年代后期,半导体器件的发展导致热电厂的快速发展。

热电发电机温度范围广、稳定性高、安装方便,一些发达国家已将热电发电技术作为长期的电力系统。美国尤其喜欢在军事、航空航天和先进技术中使用电力。日本正在积极探索热技术,而欧盟则专注于通过纳米技术进行低能效、敏感性和化学开发。根据温度源和各种功能,热电发电机可分为同位素热电发电机、余热半导体热电发电机和碳氢燃料半导体热电发电机。

## 3 热电发电中电子电力技术的研发质量

### 3.1 热电发电中电力变换器的研究成果

在传统的TEG研究中,主要问题是快速转型,而改变电力供应的主要途径是获取热点材料。现在,设备科学家正在使用具有先进技术的纳米技术来制造模块(温差为500℃时)已经实现了15%左右的最大热电发电变换效率。近年来,逐渐明显的是,TEG系统的变化不依赖于新热电设备的使用,还依赖于智能热电系统、集成

电路设计和电子电力变压器的旋转。如果能够正确设计热电发电的电气部件,即使是热电行业中最常见的模块,电气改造也可以得到显著改变。

#### 3.1.1 监控最大功率点的控制

先前对TG系统效率方面的电力电子系统的研究已经确定,最大电力电子变换技术只是最大功率点监视器(MPPT)。各国学者参考光伏发电系统中的MPPT控制系统,根据TEG的特点设置适合TEG的MPPT控制器。日本科学家H.W. Nagayoshi使用基于电压缓冲拓扑的MPPT控制器来检测控制器与系统内阻之间的差异。韩国学者Jihang Shenglay开发了基于小信号的电路模型,详细分析了影响数字MPPT动态性能的主要参数,包括采样配置、采样时间等,并提供了电路测量的设计流程。因此,它提供了无缝切换技术,可以在MPPT控制模式和固定电压充电模式之间平滑无缝地为电池充电。为了进一步降低成本和提高效率,Shiho Kim提供了模拟MPPT控制模式。该控制方法很好地利用了TEG系统的输出电压和功率特性,通过测量TEG开路输出电压值,可以在高功率电平下准确计算出合适的电压值,并可以使用闭路稳压器。在最大功率点,之前MPPT控制的摆动完全消除了伤害。因此,科学家们开发了一系列适用于TEG系统的MPPT控制策略。

#### 3.1.2 电力电子变流器研究

随着热电的利用和技术的不断进步,热电发电技术已在各个领域得到应用。为了满足各种应用的需求并提高效率,有必要更好地了解TEG系统与电动机变换技术之间的连接,并通过优化功率开关的设计来提高热电源的功率输出。近年来,科学家们逐渐意识到电气工程在TEG机器中的重要性,并对TEG装置中的电气变压器进行了研究。

### 3.2 热电发电中电力电子技术的发展趋势

#### 3.2.1 高压DC-DC变换

对于单个TEG系统,为中小功率应用提供高效率和高冗余的DC-DC变换技术的运行已成为需要解决的重要挑战。传统的高压变压器通常使用隔离变压器来实现高压调节,但应变电感会给电路带来高压调节产生等问题。未分压的DC-DC变换技术因其高效率和低输入阻抗而广受欢迎。目前,国内外科学家都在研究用于光伏系统的远程高压高性能系统,大致可分为:(1)组合式感应变流器;(2)开关电容式;(3)级联增强器变换技术。

#### 3.2.2 分布式热电发电机

光伏能源是一种被广泛研究的新能源形式。热电发

电与光伏发电有很多相似之处，有很多研究成果可以作为描述。根据其发展历程，并网发电机可分为集中式、串联式、多串联式和交流模块式四种并网逆变器。

集中式系统结构简单，但热电模块之间存在结构不平衡。连接到直流母线上的开关器件使用不同的DC-DC开关串联连接不同的TEM组的结果。该系统转换效率高，易于扩展。但是，该系列中的各个元素仍然存在能量不平衡的问题；并且难以保证所有TEMM都将在最大功率点运行。

在分布式系统中，每个模块都有一个DC-DC变换器，作为集成模块（MIC）开关使用，对应模块由MPPT控制。分布式系统可连续连接多路MIC输出，以获得高电压提升要求。因此，MIC本身不需要高压升压能力，一个降压/升压变换器就足够了。单个传声器具有电路简单、成本低、效率高等优点。但在一个整体的分体系统中，由于旋转和控制，每个MIC都有自己的损耗，因此MIC波动迅速减小，小功率发电机在集中式或串联式系统下运行。

直流模块化发电系统为每个发电配置MIC，MIC只需配置中小型功率模块，每个功率模块提供最大输出功率。与分布式事件结构不同，每个模块都可以单独运行，控制也比分布式事件结构简单得多。由于其设计，该系统易于开发和理解“即插即用”是新型发电系统的发展趋势。然而，由于每个TEM中的低电压输出，需要高压升电容MIC将TEM的低电压直流电变换成满足直流输出侧电压需求的高压直流电。

#### 4 热电器件的制备

单个热电发电机通常由电极、电气元件、p型和n型热电元件组成。器件材料的热电图像优值ZT决定了器件的最大想象空间，但器件的设计（几何形状、尺寸、耦合电流流动和最佳温度等）、器件内部设备（电极和电子器件、电极和阻塞组件之间的外观）极大地影响设备的最终配置，并且各种操作区域也对设备的可靠性产生重大影响。同时，许多科研院所仍致力于开发新的热电改性装置以提高热电性能。作为热电变换的主要应用，该设备的技术远远落后于新电子设备的开发。本节简要介绍了由热电和异质材料器件集成两个组件制造该器件的过程。

##### 4.1 热电发电成型

制造热电器件的主要方法有三种。一种是焊接法，主要用于制备碲化铋热电设备。该装置通常使用铜作为电极，使用耐热性好的陶瓷板作为小型电气元件。先用

铜系元素直接放置将铜片以一定的方式键合到基板上，然后通过技术焊接将p型和n型半导体热电偶固定在铜片上，热电偶臂的另一侧焊接一小块铜片，设备采用夹层设计，保证相邻的 $\pi$ 型单元可以相互连接。通常，为了保证电铠和焊料是湿的，电铠的两面都会先装上镀镍。该工艺简单且价格低廉，但由于焊接的热量，其使用相对容易，并且难以抵抗机械振动。二是喷涂电弧，解决了高压装置末端的电极连接问题，能够保证电连接臂与电极之间热连接的稳定性。电弧喷涂又称n型和p型电镀膜，置于耐高温陶瓷框架系统中，电极材料由熔化的合金丝制成，喷涂在电镀臂上，然后研磨转化为电极。这种方法不使用焊料，所以器件的耐高温性好，器件的现代臂稳定并集成到框架和电极中，具有广泛的设计强度和良好的机械阻力。但是，开关层或中间层必须在电气设备和电极之间预先编程，以改善形式的连接。三是SPS一法，由压制和烧结P.n热电器件、电极和换层设备同时组成。与传统组的设计相比，这种集成方式确保了电气元件、柔性元件和电极的强集成，避免了后续的焊接，并降低了界面热阻。

##### 4.2 连接各种热电器件形状的技术

电极和热电器件之间的连接，尤其是在高温下，是电子器件设计和集成中最重要的技术之一。电子设备和技术选择不当会降低整个设备的功率，电极和热电材料之间的腐蚀，界面之间的接触电阻和接触热电阻的前照灯会对整个器件的电变换效率产生不利影响。根据热电材料的不同，热电的选择也不同。电极的选择也不同，这里使用的方钴矿中的电子通常是MoCu合金。电极和热电材料采用放电等离子烧结技术组装而成，可以保证热系数相近的电极和热电材料放大，避免集中和热应力，整个烧结工艺可以形成尽可能小的电子材料和热电材料的界面电阻和接触热阻，同时具有机械强度结合非常高，强大的热电变换能够确保设备尽可能高。

#### 5 未来展望

近年来，热电设备的设计与集成呈现快速增长态势，但与热电材料科学的快速发展和社会愿望相比，热电设备的开发和应用技术仍处于较低水平。材料系统技术链条长、后端技术难度大，是新型热电产业重蹈覆辙的主要原因。它正确地影响了器件的输出特性，例如拓扑、能量密度。热电变换技术应用的差异表明了对设备建设的不同要求。考虑到分散发电技术、就地能量收集和高精度温度控制等主要应用需求，热电装置的设计与集成与多种关键技术是热电技术的首要功能。

在技术比较中, 热电发电的优缺点是显而易见的, 具有分散、灵活性和长期有效性, 是降低成本、提高技术竞争力实现热电转移技术广泛应用的关键。热电设备的成本主要取决于材料和制造工艺。目前, 商用热电器件主要是铋伸缩、铅酸铅和硅锗合金系统, 使得昂贵的T和G难以降低。寻找和开发资源丰富、成分廉价的优质热电设备系统是热电设备研究的长期发展方向。目前, 硅基热电材料、方钴矿材料和半哈斯勒化合物有望成为材料制备技术相对先进、材料性能稳定、热电性能优异的首选替代材料。

尽管现代设备具有强大的功能和坚固性, 但提高性能和可靠性仍然是组合武器的一项重要技能。热电器件的生产和稳定性不容忽视。此外, 热电和柔性设备可以成为一个新的竞争环境, 以满足使用柔性和独特设备的需求。基于模型的设备和专业知识的结合要满足低功耗和高稳定性的要求, 因此, 建立设计理论和建模方法以及对工作进行全面优化是很重要的。对热电材料的全链条和寿命的监控体系和技术监控尚未建立, 特别是作为高温工作环境的一部分, 热电器件的运行稳定性和可靠性仍然是技术实例。因此, 建立热电器件故障监测体系,

确立器件的理论和可靠性, 监测使用寿命具有重要意义。

## 6 结束语

热电变换技术是一种新的电子技术, 在该领域具有无可比拟的优势。进入21世纪后, 随着新的热电材料控制热电输运理论不断发展, 热电特性ZT也不断壮大, 热电变换技术也备受关注。然而, 热电变换在工业层面的应用却被推迟, 主要是因为集成技术, 如核心和更多地使用柔性热电技术的障碍, 是新热电器件开发的重大挫折。热电开关设备组合和大型热电开关设备中的设备组合具有研发链条长、集成工艺复杂、成本高等特点。因此, 热电变换技术的应用不仅要改进ZT热电材料, 更要注重设备与热电系统的集成、技术创新和量产; 并确定热电技术从“实验室”到“规模工业化”的变化。

## 参考文献:

[1] 马湘蓉, 胡骛渊. 热电发电系统升压型DC-DC变换器的设计优化与仿真[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(04): 115-119.

[2] 潘仙林, 张江涛, 石照民, 宋莹, 贾正森, 王嵘瑜, 丁香. 基于二进制电抗分流器实现热电变换器共地测量[J]. 计量学报, 2020, 41(03): 317-321.