

任祯, renzhen@coldchain.panasonic.cn

## 热电制冷器制冷性能的影响因素及改善措施

### **Influence factors and improvement measures of refrigeration performance of thermoelectric refrigerator**

徐昊 任祯

XU Hao REN Zhen

松下冷链（大连）有限公司，大连，116600

Panasonic Appliances Cold Chain (Dalian) Co.Ltd. Dalian 116600

#### **摘要**

热电制冷器是应用较为广泛的制冷方式，其制冷性能对热电制冷器的推广应用造成了不利影响。基于此，本文对热电制冷器制冷性能的影响因素进行了分析，主要包括附加传热温差、焊缝电阻、杂散热交换以及元器件性能，然后根据这四种影响因素，阐述了改善制冷性能的措施，技术人员需要降低电绝缘导热层的厚度、注重元器件电阻的检测、提升夹具的质量，并进一步优化焊接工艺，这样才能够促进热电制冷器的广泛应用。

#### **关键词**

热电制冷器；热电堆；焊缝电阻

#### **Abstract**

Thermoelectric cooler is a widely used cooling method. The refrigeration performance would have a negative influence on the popularization and application of the thermoelectric cooler. Based on this, the influence factors of refrigeration performance of thermoelectric cooler were analyzed, which included additional heat transfer temperature difference, weld resistance, stray heat exchange and component performance. According to these four factors, the improvement measures of refrigeration performance were clarified: The technicians need to reduce the thickness of the electrically insulating and heat-conducting layer, pay attention to the detection of the resistance of the components, improve the quality of the jig, and further optimize the welding process, so as to promote the wide application of the thermoelectric cooler.

#### **Keywords**

Thermoelectric cooler; Thermopile; Weld resistance

## 1 前言

和其他制冷方式相比，热电制冷主要通过热电效应实现制冷，不需要使用制冷剂，也就不会对环境造成污染。而且热电制冷器只需要风扇这一运动部件，结构相对简单，具备噪声小、使用寿命长等优势，在航空航天、军事以及医疗等行业有十分广泛的应用。但是在实际的热电制冷器运行过程中，其制冷性能会受到多种因素的影响，导致其制冷效果不是很理想。

## 2 热电制冷器制冷性能的影响因素

热电制冷器主要包括热电堆、热端换热器以及冷端换热器这三个部分，其制冷性能主要由热电堆负责。在电偶组成电堆的过程中很容易出现传热温差、焊缝电阻以及杂散热交换等现象，使得电堆的性能与理论值存在较大的差距，影响其制冷性能。具体而言，影响其制冷性能的因素包括以下四种：

第一，附加传热温差，电堆中的导电金属片、钎料层以及电绝缘导热层都存在热阻，再加上焊接电阻的存在，很容易使电堆的冷端温度达不到电偶冷结点温度，而热端温度会高于热结点温度，从而降低电堆的制冷量、制冷系数以及可获得最大温差，对制冷性能造成负面影响。大部分电堆中，电绝缘导热层的材料大都为陶瓷或者塑料，这两种材料的导热系数相对较低，而且厚度都比较大，在很大程度上增加了传热温差，从而影响热电制冷器的制冷性能。

第二，焊缝电阻，在制冷元件制作的过程中，共有四个部位需要进行焊接处理，使得电堆存在四个焊缝电阻。焊缝电阻的增加会加大焦耳热，降低优值系数，影响电堆的制冷性能。焊缝电阻分为接触电阻和钎料自身具备的电阻，接触电阻的大小和焊接工艺以及电偶元件的尺寸参数相关；钎料自身具备的电阻和钎料的厚度呈正相关关系，所以焊缝电阻的控制可以从焊接工艺、元件的尺寸参数及钎料的厚度等方面入手。

第三，杂散热交换，电堆内部普遍存在杂散热交换现象，导致漏冷问题的出现，使电堆的真实制冷量低于所有电偶的制冷量之和，制冷系数相对较低，从而影响电堆的制冷性能。漏冷问题分为辐射漏冷和对流漏冷这两种，两者均会受到电堆的结构影响。

第四，元器件性能，对于热电制冷器而言，影响元器件性能的因素主要有机械损伤、渗铜以及热冲击这三种，机械损伤主要是在切割过程中对元器件造成损坏，包括裂纹以及压缩变形等现象；渗铜主要是指铜制导电金属片和元器件通过焊接连接在一起之后，铜原子渗透于元器件中，影响其热电性能；热冲击主要是指元器件焊接过程中由于瞬间加热和瞬间冷却引起的热冲击，这种热冲击会对元器件的局部结晶方向造成影响，降低其热电性能<sup>[1]</sup>。

## 3 热电制冷器制冷性能的改善措施

为了改善热电制冷器的制冷性能，国外的研究学者对电堆制造工艺进行了优化，通过导流片表面镀金以及表明金属化搪瓷电绝缘导热层等方式，在很大程度上实现了电堆制造工艺的优化。随着科学技术的发展，电堆呈现出显著的小型化发展趋势，元件材料以及制造工艺仍旧会影响电堆性能，从而对热电制冷器的制冷性能造成影响。因此，制冷性能的改善需要从元件材料及制造工艺两方面入手，具体涉及到以下几方面：

#### （一）降低电绝缘导热层的厚度

电绝缘导热层的厚度与传热温差有直接的关系，导热层的厚度越小，传热温差也就越小。比如，12704型热电堆，如果将氧化铝陶瓷作为制造材料，将其导热层的厚度从0.8mm降低到0.5mm，可以降低37%的热阻，最多能够降低0.8℃的冷端传热温差，降低4℃的热端传热温差。与此同时，导热层厚度的降低可以避免导热层出现冷却变形现象，可以降低焊缝电阻，有助于制冷性能的改善。但是从整体角度来看，导热层厚度的降低会对电堆的机械强度有一定的影响，很容易引起机械冲击导致电堆被损坏。因此，为了保障电堆的机械强度，工作人员可以减小基板的尺寸，确保电堆的机械强度满足标准要求即可。

#### （二）注重元器件电阻的检测

热电制冷器元器件如果存在端面倾斜现象，会出现较大的接触电阻。再加上元器件的内部缺陷，很容易导致元件的电阻值出现较大的变化，影响制冷器的制冷效果。因此，技术人员需要使用接触电极板在焊接之前，测量元器件的电阻，将电阻值异常的元器件剔除掉，从而降低接触电阻，提高元器件的性能，以此实现电堆的优化，改善其制冷性能。在实际的电阻值测量过程中，技术人员应用的接触电极板需要和基板有同样的形状，在钎焊时的压力参数下，通过通直流电测压降的方法完成电阻的测量工作，如果元器件的偏差超过3%，就处于异常元件，需要将其剔除掉。

#### （三）提升夹具的质量

通过上述分析可知，焊缝电阻的降低可以通过减小元件尺寸的偏差来实现。与此同时，技术人员还需要保障夹具的质量，确保其各项参数满足标准要求。要求夹具夹紧面的关联偏差控制在0.05mm以内；平面度偏差控制在0.03mm以内；平行度偏差控制在0.04mm以内。具体而言，技术人员可以通过如下措施实现夹具性能的控制：在进行钎焊的过程中，夹具压紧方式由传统的弹簧压紧转变为压紧簧片压紧，并将两片簧片增加到四片，将四个压紧点增加到八个，提升夹具的夹紧力，降低焊缝电阻。

#### （四）进一步优化焊接工艺

在进行电堆焊接的过程中，技术人员需要保障温度场始终处于均匀状态。在符合焊接要求的基础上，尽最大努力降低钎料熔化的时间，避免温度场对元器件

造成较大的热冲击；技术人员需要合理选择降温曲线，并对其进行优化，避免元器件因为冷缩出现温度应力；技术人员需要减少钎料的用量，将焊接完成之后元器件附近钎料凸起控制在 0.2mm 以内；技术人员可以使用导流片镀铅锡钎料，避免钎料层受到渗铜的负面影响，并使用镀铋锡钎料完成钎接工作<sup>[2]</sup>。

## 4 结论

综上所述，热电制冷器的制冷效率低下对其推广应用造成了负面影响，要求技术人员明确影响制冷性能的因素，拓宽其应用范围。通过本文的分析可知，热电制冷器的制冷性能主要有两方面的影响因素，分别是电堆的制造工艺及元器件的物理性质，技术人员需要从这两方面入手，对热电制冷器进行改进，提高其制冷性能，实现热电制冷器的可持续发展。希望本文的分析可以为相关探究提供参考。

## 参考文献

- [1]赵亮,张丰华,杨明明,吴波.热电制冷器散热性能实验研究[J].机械研究与应用, 2016,29(03):123-124+126.
- [2]王炯,王普超,雒福生.热电制冷的发展与应用[J].河南科技, 2015(13):47-49.