

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F28D 13/00 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710048829.9

[43] 公开日 2008 年 10 月 15 日

[11] 公开号 CN 101285657A

[22] 申请日 2007.4.9

[21] 申请号 200710048829.9

[71] 申请人 李建民

地址 610041 四川省成都市高新区高朋大道 5
号 B402 - 1

[72] 发明人 李建民



权利要求书 3 页 说明书 19 页

[54] 发明名称

超临界流体的流态化强化传热方法及其传热
工作介质和应用

[57] 摘要

本发明公布了一种流态化强化传热方法及流态化多相传热介质，通过在超临界流体中加入颗粒物来强化传热过程。该种技术可以广泛的应用于制冷空调、热泵、热管、供暖、内燃机的冷却、电子器件、电力器件的冷却，可以提高系统的整体的能源利用效率，改善系统的热控制及热管理的能力。

1、一种超临界流体的流态化强化传热方法，其特征在于：至少含有一种基础超临界流体，在基础超临界流体中加入颗粒度大于0.01nm的颗粒物质，使颗粒物质与超临界流体一起传热，颗粒物的颗粒度及加入量应保证传热过程中不使堵塞，超临界流体保持超临界状态顺利传热。

2、如权利要求1所述的超临界流体的流态化强化传热方法，其特征在于：所加入的颗粒物质为至少下列一种：

A、固体颗粒类物质，在基础流态化物质进入亚临界或临界状态后，固体颗粒保持其固体的形态，分布在基础超临界流体内，与超临界流体传热，所述的颗粒物质为金属颗粒物和/或非金属颗粒；

B、液体物质，在基础流态化物质进入亚临界或临界状态后，液体物质成为一种雾状的颗粒类物质，分布在超临界流体内，与超临界流体一起共同进行传热。

3、如权利要求1所述的超临界流体的流态化强化传热方法，其特征在于：在基础超临界流体中还加入辅助相变物质，该辅助相变物质的相变温度处于超临界流体的工作温度区间内，在超临界流体传热的工作温度区间内辅助基础超临界流体进行相变传热。

4、如权利要求3所述的超临界流体的流态化强化传热方法，其特征在于：所述的辅助相变物质为固固相变物质或固液相变物质、液气相变物质或其中两种或两种以上的混合物。

5、一种超临界流体的流态化强化传热介质，包括超临界流体，

其特征在于：在超临界流体中含有能够与超临界流体一起进行传热且不会堵塞的颗粒物质，颗粒物的颗粒度大于 0.01nm。

6、如权利要求 5 所述的超临界流体的流态化强化传热介质，其特征在于：超临界流体选择自下列一种或多种：氮、氢、氦、氨、氧、氟利昂（卤代烃）、碳氢化合物（烃类）、甲醇、二氧化碳、二氧化氮、戊烷、己烷、庚烷、丁烷、乙烷、辛烷、环戊烷、环己烷、十氢化萘、四氯化碳、对二甲苯、甲苯、间二甲苯、乙苯、苯乙烯、邻二甲苯、二硫化碳、 α -萜烯、四氢化萘、碳酸二乙酯、丁酸、二丁醚、丙酸、三氯乙烯、二丙醚、二异丙醚、丁酸丁酯、丁酸丁酯、乙醚、丁酸丙酯、丙酸丁酯、乙酸戊酯、氯仿、乙酸异戊酯、甲酸异戊酯、乙酸丁酯、丁酸乙酯、丙酸丙酯、氯苯、甲酸戊酯、丙酸乙酯、丁酸甲酯、乙酸丙酯、丙酸甲酯、乙酸、乙酸乙酯、乙酸甲酯、四氢呋喃、2-辛醇、甲酸甲酯、甲酸甲酯、2-甲基吡啶、1-辛醇、二氯乙烷、1-庚醇、甲基环己酮、3-戊醇、乳酸乙酯、甲基环己醇、吡啶、吡啶、苯甲醇、1-己醇、2-戊醇、1-戊醇、环己酮、2-丁醇、环己醇、1-丁醇、糠醇、丁酮、丙醇、丙酮、乙醇、硝基乙烷、1,2-丙二醇、1,3-丙二醇、硝基苯、硝基甲烷、喹啉、甜菜碱、乙二醇、甘油、糠醛、甲酸、水、甲酰胺、二甲基甲酰胺、萘、导热油、联苯、导热姆、甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟碳化物、六氟化硫。

优选的工作介质为：二氧化碳，水、氨、二氧化氮，氟利昂（卤代烃），碳氢化合物（烃类）。

优选温室气体为超临界的传热介质为：二氧化碳，甲烷，氧化亚

氮，氢氟碳化物，全氟碳化物，六氟化硫。

7、如权利要求 5 所述的超临界流体的流态化强化传热介质，其特征在于：所述的超临界流体中还进一步含有辅助相变物质，该辅助相变物质的相变温度处于超临界流体传热过程中温度变化区间内。

8、如权利要求 5 所述的超临界流体的流态化强化传热介质，其特征在于：所述的颗粒物质为固体颗粒类物质和/或液体颗粒物质，固体颗粒物质由金属颗粒物和/或非金属颗粒组成，液体颗粒物质在基础超临界物质进入亚临界和或/和超临界状态后成为雾状的颗粒类物质。

9、如权利要求 8 所述的超临界流体的流态化强化传热介质，其特征在于：超临界流体与加入的每一种颗粒物的重量比为 100:0.001-8000，超临界流体与加入的每一种相变类物质的重量比为 100:0.001-5000。

10、如权利要求 8 所述的超临界流体的流态化强化传热介质，其特征在于：所述的金属颗粒物为金属或金属氧化物或盐；所述的非金属颗粒物为塑料颗粒、玻璃颗粒、陶瓷颗粒、沙石颗粒中的一种或多种物质；所述的辅助相变物质为固固相变物质或固液相变物质、液气相变物质或其中两种或两种以上的混合物。

11、一种超临界流体的流态化强化传热介质应用，包括超临界流体，其特征：至少下列一种应用：

A、作为一种超临界传热流体进行应用；

B、放置在一个封闭的腔体内进行应用。

超临界流体的流态化强化传热方法及其传热工作介质和应用

技术领域

本发明涉及利用超临界流体的传热以及强化传热，对超临界流体，采用流态化的方法进行强化传热，以及一种超临界流体的流态化强化传热工作介质，通过改善超临界传热介质的流动状态达到强化传热的效果。

背景技术

流体作为传热工作介质被广泛的应用于热传递过程中，通过传热介质的流动使其从一处吸收热量后在另一处将热量放出，达到流态化传热的目的。

在传热工作介质传热过程中，一种主要方式是利用传热工作介质相变传热。例如在制冷的空调、制热的热泵中采用氟里昂或水、氨、烷烃等作为传热工作介质，这种介质在工作的过程中发生相变，由液态蒸发汽化成气态时吸收热量，由气态冷凝成为液态时则释放出热量，这类设备中通过压缩机及膨胀阀来控制系统的温度和压力，完成整个的循环；同样，在热管中，将工作介质封闭在一个密闭的容器内，热管内的传热工作介质也是发生液气相变的物质，在高温区的蒸发端传热工作介质由液体吸收热量而成为气体，在冷凝端气体放出热量而成为液体，从而实现热管的高效传热。

另一种主要方式是传热工作介质在工作过程中无相变发生，这种传热方式通常用在建筑供暖领域或化工取热或冷却过程中，以及发动机水冷系统中。水是最常用的传热工作介质，通过传热工作介质在供暖管道或换热管道及换热设备（例如暖气或换热器）内的流动，从高温处吸收热量使温度升高，在放热设备内放出热量温度降低，利用传热工作介质温度变化的显热进行传热。除水外，空气也常被作为传热介质使用。

在电子器件冷却系统，也常采用液体循环方式，将热量通过液体或气体或混合物将热量传递出外部实现散热和温度控制，这种传热工作介质可以是液体、气体或沸腾状态，也可以是气液混合物。

研究表明，在液体中加入纳米级的铜颗粒，利用纳米材料的纳米特性可以明显的改变液体的传热能力。但由于利用纳米特性来强化传热，要求铜颗粒必须加工成小于 100nm 的纳米材料，且因为纳米特性使得需要加入适当的分散剂才能分散于流体中，所以这种技术不但纳米颗粒的制造成本高，并且在制造过程中需要复杂的制造方法将纳米级颗粒混合到液体颗粒中，这种方法的高成本及制造过程的复杂障碍了技术的利用。

在航天和军事产品中，有比普通工业产品更高的传热性能要求，特别是对热控制的精度有更高的要求，所涉及的产品的应用的领域虽然不同，但其整体的热控制热管理的要求更高。

上述的所有传热的工作介质称为传热流体，为提高传热过程的传热效率以及传热介质的传热能力，通常是通过改善传热流体的流动状

态或传热壁面，例如提高流速使超临界流体其达到湍流状态，或将换热设备的传热壁面加工上具有扰流作用的结构，来降低边界层的厚度。但这样会使传热设备的加工制造变得更加复杂，而且使流体的流动阻力显著增大，所以使得传热介质的传热能力的提高受到了限制。

超临界流体(SCF)指热力学状态处于“临界点”以上的流体；即在临界温度和临界压力以上的流体，超临界流体兼有液体和气体的双重特性,密度大、扩散系数大、粘度小、渗透性好；在临界点附近流体的物理化学性质随温度在临界点附近流体的物理化学性质随温度和压力的变化极其敏感，在不改变化学组和压力的变化极其敏感，在不改变化学组成的条件下，即可通过压力调节流体性质。超临界流体技术自上世纪超临界流体技术自上世纪 70 年代开始崭露头角，以其环保、高效等显著优势轻松超头角，以其环保、高效等显著优势轻松超越传统技术，迅速渗透到传统技术，渗透到萃取分离、石油萃取分离、石油化工、化学工程、材料科学、生物技术化工、化学工程、材料科学、生物技术与医药、环境工程、纳米技术等诸多领域，并成为这些领域发展的主导之一。然而，超临界流体的传热性能的研究，仅限于将其作为一种流体进行研究，如作为一种流体，采用外界的特殊泵提供动力，来实现的流体传热；

1985 年 10 月，Nitsche 和 Straub 在航天飞机内一次实验中意外发现，在一个封闭的腔体内，流体的主流温度随壁温改变很快，系统趋于热平衡所用时间远低于原先估计所需的时间，注意此时的传热过程，导热非常微弱，对流受到抑制，辐射可以忽略，但热能仍较快地

从壁面传给主流，所以这里面蕴涵着一种新的传热机理，此后，一些实验先后证实了这一奇异的传热现象，该传热现象被称为活塞效应，Zappoli 指出“活塞效应实质上是一种热声效应”，是导热、对流和辐射以外的第四种传热机理。

超临界流体在超临界点内具有更高的传热性能，在一个封闭的腔体内部，可以出现“活塞效应”，使其具备“第四种传热”，将超临界流体的特殊传热原理应用于不同领域的传热应用之中，就可以极大地提高传热方法的传热效能，增加更多的方法实现高效的传热。

发明内容

本发明的目的在于提供一种通过将超临界流体流态化的方法达到利用超临界流体进行强化传热的目的，使普通的超临界流体的传热性能得到提高以及实现对系统的热控制及热管理。

本发明同时提供了该种传热介质以及其应用，在超临界流体中，加入颗粒类物质，构成超临界流态化强化传热介质。同时，将该种工作介质应用于封闭、本封闭、密闭的腔体中，利用外界动力或依靠外界热驱动实现热流体的流动传热或依靠在密闭腔体内的超临界流体的热波传热。

本发明采用如下技术方案：

一种流态化强化传热方法，至少含有一种基础超临界流体，在基础超临界流体中加入颗粒度大于 0.01nm 的颗粒物质，使颗粒物质与

超临界流体一起传热，颗粒物的颗粒度及加入量应保证传热过程中不使堵塞，超临界流体保持超临界状态顺利传热。

传热过程包括换热、集热、散热、蓄热的热量的传递、交换、收集、储存、应用、控制、管理的所有过程，在本发明中，传热的概念包括以上所述的所有的过程。

通过在基础的超临界流体中加入颗粒类物质称为将对超临界流体流态化。

所加入的颗粒物质为至少下列一种：

A、固体颗粒类物质，在基础流态化物质进入亚临界或临界状态后，固体颗粒保持其固体的形态，分布在基础超临界流体内，与超临界流体传热，所述的颗粒物质为金属颗粒物和/或非金属颗粒；

B、液体物质，在基础流态化物质进入亚临界或临界状态后，液体物质成为一种雾状的颗粒类物质，分布在超临界流体内，与超临界流体一起共同进行传热。

为进一步强化传热效果，在基础超临界流体中还加入辅助相变物质，该辅助相变物质的相变温度处于超临界流体的工作温度区间内，在超临界流体传热的工作温度区间内辅助基础超临界流体进行相变传热。

在基础超临界流体中加入辅助相变物质，称为将超临界流体多相化。多相化后的基础超临界流体仍称为基础超临界流体。

超临界流体与加入的每一种颗粒物的重量比为 100: 0.001-8000，超临界流体与加入的每一种相变类物质的重量比为 100: 0.001-5000。

所述的辅助相变物质为固固相变物质或固液相变物质、液气相变物质或其中两种或两种以上的混合物。

本发明还提供了一种流态化多相传热介质，包括超临界流体，其特征在于：使颗粒物质与超临界流体一起传热，颗粒物的颗粒度及加入量应保证传热过程中不使堵塞，超临界流体保持超临界状态顺利传热，颗粒物的颗粒度 0.01nm。

氮、氢、氮、氨、氧、氟利昂（卤代烃）、碳氢化合物（烃类）、甲醇、二氧化碳、二氧化氮、戊烷、己烷、庚烷、丁烷、乙烷、辛烷、环戊烷、环己烷、十氢化萘、四氯化碳、对二甲苯、甲苯、间二甲苯、乙苯、苯乙烯、邻二甲苯、二硫化碳、 α -萜烯、四氢化萘、碳酸二乙酯、丁酸、二丁醚、丙酸、三氯乙烯、二丙醚、二异丙醚、丁酸丁酯、丁酸丁酯、乙醚、丁酸丙酯、丙酸丁酯、乙酸戊酯、氯仿、乙酸异戊酯、甲酸异戊酯、乙酸丁酯、丁酸乙酯、丙酸丙酯、氯苯、甲酸戊酯、丙酸乙酯、丁酸甲酯、乙酸丙酯、丙酸甲酯、乙酸、乙酸乙酯、乙酸甲酯、四氢呋喃、2-辛醇、甲酸甲酯、甲酸甲酯、2-甲基吡啶、1-辛醇、二氯乙烷、1-庚醇、甲基环己酮、3-戊醇、乳酸乙酯、甲基环己醇、吡啶、吡啶、苯甲醇、1-己醇、2-戊醇、1-戊醇、环己酮、2-丁醇、环己醇、1-丁醇、糠醇、丁酮、丙醇、丙酮、乙醇、硝基乙烷、1,2-丙二醇、1,3-丙二醇、硝基苯、硝基甲烷、喹啉、甜菜碱、乙二醇、甘油、糠醛、甲酸、水、甲酰胺、二甲基甲酰胺、萘、导热油、联苯、导热姆、甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟碳化物、六氟化硫。

优选的工作介质为：二氧化碳，水、氨、二氧化氮，氟利昂、碳氢化合物。

优选温室气体为超临界的传热介质为：二氧化碳，甲烷，氧化亚氮，氢氟碳化物，全氟碳化物，六氟化硫。

所述的超临界流体中还进一步含有辅助相变物质，该辅助相变物质的相变温度处于超临界流体传热过程中温度变化区间内。

所述的颗粒物质可以为金属颗粒物和/或非金属颗粒，金属颗粒物质可以为金属，例如为铜、铁、铝、锌、钢、金、银、锡颗粒中的一种或多种，其中以铜、铝的传热系统较高所以其强化传热效果较好；金属颗粒物质还可以为金属氧化物，例如为四氧化三锰、氧化钴、氧化钽、四氧化三铁、三氧化锆、氧化钇、氧化铍、氧化镱、氧化镨、氧化硼、氧化硅、氧化铝颗粒中的一种或多种；金属颗粒物质还可以为盐类颗粒，例如硼酸钨镉、钛酸钾、碳化硼、铬酸锶、偏铝酸锂、重铬酸盐（重铬酸钾、重铬酸钠）中的一种或多种。

非金属颗粒物质可以为塑料颗粒、玻璃颗粒、陶瓷颗粒、沙石颗粒；其中沙石颗粒可选用 SiO_2 或绿柱石。

所述的辅助相变物质可以为固固相变物质或固液相变物质、液气相变物质或其中两种或两种以上的混合物。

所述的液气相变物质可以为钠、萘、钾、铯、导热油、水、汞、联苯、导热姆、丙酮、氨、甲醇、乙醇、乙烷、氮、CFC、HCFC、HFC、CFCs、HFCFs、HFCs、氨、碳氢化合物、二氧化碳中的一种或多种，但具体选用时不能与所用的基础传热物质相同。

所述的固固相变物质可以为多元醇、PE（季戊四醇）、PG（2，2—二羟甲基丙醇）、NPG（新戊二醇）、TMP（三甲基丙烷）、TAM、无机盐、层状钙钛矿、硫氰化铵（ NH_4SCN ）、高分子聚合物、高分子交联树脂、接枝共聚物、聚乙烯中的一种或一种以上的物质。

所述的固液相变物质可以为无机水合盐、石蜡、脂肪酸、碱金属及碱土金属的卤化物、高温融化盐、混合盐、金属、合金、高级脂肪烃、醇、多烃基化合物中的一种或一种以上的物质。

所述的无机水合盐可以为硫酸盐、磷酸盐、碳酸盐、醋酸盐中的一种或多种。

所述的高温融化盐可以为氟化盐、氯化物、硝酸盐、碳酸盐、硫酸盐中的一种或多种。

所述的多烃基化合物可以为多元醇、季戊四醇、新戊二醇中的一种或多种。

在超临界流体中，加入了颗粒类物质以及相变类物质，由于超临界物质的体积与气体和液体相似，其有一个比较大的体积，因而在其中加入的强化传热物质通常为固体和液体，因而可以根据需要加入更多的强化传热物质，但是所加入的量，应该能够保证超临界物质具备较好的传热性能，而且保证其顺利传热。

超临界流体与加入的每一种颗粒物的重量比为 100: 0.001-8000，超临界流体与加入的每一种相变类物质的重量比为 100: 0.001-5000。

本发明中通过在超临界流体中加入颗粒度大于 0.01nm 的颗粒

物，使颗粒物质与超临界流体一起传热，颗粒物的颗粒度及加入量应保证传热过程中不使堵塞，超临界流体保持超临界状态顺利传热，颗粒物随超临界流体传热时起到搅拌的作用，使超临界流体达到湍流状态，并且颗粒物不断冲击边界层使边界层得到破坏，降低边界层热阻，提高的传热效率，并且，颗粒物不断与传热设备的传热壁碰撞时也进行固固接触传热，特别是对于增加了金属的颗粒类物质，由于金属的传热性能大于非金属的传热性能，其传热效率高于传热壁与超临界流体的传热效率，此时颗粒物也成为一种传热介质起到所述的超临界流体，试验表明，加入颗粒物后其传热效率明显得到提高。对于超临界流体在工作过程中发生相变传热的情况下，由于增加了辅助相变物质，使得传热工作介质的工作温度范围更广，利用辅助相变物质的传热及蓄热作用，改善了系统对温度的控制能力，特别适合于电子器件、电力器件的冷却。

因为相变传热的传热效率高于无相变的传热，在超临界流体中增加辅助相变物质后，对于超临界流体在传热过程中由于辅助相变物质的存在，辅助相变物质在吸热端通过相变吸收更多的热量，根据设计的要求在冷凝端适当的温度区间或温度点完成热量的释放，从而从根本上改进了传统的超临界传热工作介质的传热性能，特别对于有温度控制的传热如空调、热泵、电力、电子设备的发热器件的温度控制及动力设备如内燃机的温度控制，采用多相的超临界工作介质可以将热源的高峰工作时的热量储存在辅助相变物质中（即辅助相变物质吸收热量后存在于系统中），经多次的循环或在热源的低峰工作时发热量

减少时再将热量释放，同时，由于提高了整个系统的传热能力，也可以减少冷凝端的换热器的换热面积，平衡工作介质在不同的工作区间的工作温度，从而可以实现对传热的整体的热控制与热管理。

本发明的超临界流体的流态化强化传热方法及其传热介质，利用在超临界流体中加入颗粒物质来强化传热过程，从而使得传统的传热介质的性能得到极大的提高，并改善了传统的超临界传热介质的传热能力；流态化的超临界传热介质可以在传热管道内更好的传热并增加了工作介质整体的传热能力，通过增加颗粒物质可使传热系数提高 5%-800%。同采用纳米铜或铝颗粒相比，不但本发明的颗粒物质由于颗粒度大使得扰流、搅拌作用强，而且无需加入分散剂形成悬浮液，而是以两相或三相流形式工作，不但材料成本低，同时也使得颗粒物的加工成本大大低于纳米材料，具有更广阔的应用前景。

具体实施方式

下面结合具体实施例对本发明的超临界流态化传热的强化传热方法及流态化多相传热工作介质及其应用作进一步说明，以助于理解本发明的内容。

实施例 1

应用领域：建筑供暖、发动机冷却、电子器件液冷、机械和医疗设备温度控制、航天、军事。

实施例 1.1

各组分构成：

超临界工作介质：二氧化碳，5000 克；，临界温度 31.3℃，临界压力 7.29MPa，工作温度区间：30—120℃，工作压力区间：8—15 MPa。

加入的颗粒物为：颗粒度为 0.001mm 的铜 5 克、颗粒度为 0.01mm 的氧化铜 50 克、颗粒度为 0.3mm 的铝 100 克。

流态化强化传热方法是在超临界流体二氧化碳加入颗粒度为颗粒度为 0.001mm 的铜 10 克、颗粒度为 0.01mm 的氧化铜 30 克、颗粒度为 0.3mm 的铝 100 克。使二氧化碳携带颗粒物质一起传热，颗粒物强化了超临界流体的传热及流动状态。

实施例 1.2

超临界工作介质：二氧化碳，500 克；，临界温度 31.3℃，临界压力 7.29MPa，工作温度区间：30—120℃，工作压力区间：8—15 MPa。

加入的颗粒物为：颗粒度为 1 mm 的塑料颗粒 100 克、颗粒度为 2—5 mm 的沙石颗粒 40 克。

实施例 1.3

超临界工作介质：二氧化碳，500 克；，临界温度 31.3℃，临界压力 7.29MPa，工作温度区间：30—120℃，工作压力区间：8—15 MPa。

辅助相变物质为：甲醇 30 克（汽化温度为 64.7℃）、乙醇 40 克（汽化温度为：78.3℃）

加入的颗粒物质为：颗粒度为 0.01mm 的铜 30 克以及颗粒度为 0.001mm 的玻璃颗粒 20 克。

流态化强化传热方法是在换热系统中的基础传热二氧化碳中按加入颗粒度为 0.01mm 的铜 30 克、颗粒度为 0.001mm 的玻璃颗粒 20

克，以及液气辅助相变传热物质甲醇和乙醇，使二氧化碳携带颗粒物一起流动，颗粒物强化了超临界流体的传热及流动状态，同时在加热端，随着温度的升高，甲醇首先汽化，然后乙醇汽化，进入到冷凝端时为汽液两相传热介质，在温度低于 78.3℃时乙醇冷却释放潜热，到温度 64.7℃时甲醇释放潜热，这样实现了超临界物与相变传热共同传热，提高了工作介质的传热能力。

实施例 1.4

超临界工作介质：二氧化碳，500 克；，临界温度 31.3℃，临界压力 7.29MPa，工作温度区间：30—120℃，工作压力区间：8—15 MPa。

辅助相变传热物质为：2，2—二羟甲基丙醇（PG）100 克，其相变温度为 81.76℃，转变焓：172.458 J/G；

加入的颗粒物包括：颗粒度为 0.01mm 的玻璃颗粒 20 克、以及颗粒度为 0.1mm 的铝 600 克。

流态化强化传热方法是在换热系统中的基础传热二氧化碳中按加入颗粒度为 0.01mm 的玻璃颗粒 20 克、颗粒度为 0.1mm 的铝颗粒 600 克，以及固固相变辅助相变传热物质 PG，颗粒物强化了超临界流体的传热及流动状态，同时在加热端，随着温度的升高，PG 发生转化吸收热量，温度低于 81.76℃时 PG 发生转化释放热量，使传热介质的传热性能得到提高以及实现对系统的热控制及热管理。

实施例 1.5

超临界工作介质：二氧化碳，500 克；，临界温度 31.3℃，临界压力 7.29MPa，工作温度区间：30—120℃，工作压力区间：8—15 MPa

辅助相变物质为：

AL (NO₃)₃ ·9H₂O 共 800 克，其相变温度 90℃，熔解热 135.9J/G

三羟甲基乙烷 1000 克，其相变温度 80℃，熔解热 309J/G

加入的颗粒物质为：

颗粒度为 0.01mm 的玻璃颗粒 12 克

颗粒度为 0.1mm 的铝 1330 克

颗粒度为 1mm 的四氧化三铁 110 克。

实施例 2

应用领域：发动机冷却，太阳能中高利用、工业余热回收、发动机尾气回收，机械、医疗设备热控制；

基础超临界流体	重量 (克)	临界温度 °C	临界压力 bar
R13	500	28.8	39.0
R134a	600	101.1	4.067
Methano	500	240.5	78.9
总重	1600		

工作温度，30—400℃，压力，5—100 bar，

在本例中以下的实施例中都是在此超临界传热介质中加入其它的强化传热的物质。

实施例 2.1

加入的颗粒物为颗粒度为 0.01mm 的铜 1 克及颗粒度为 0.1mm 的氧化铜 1000 克、颗粒度为 0.03mm 的铝 10 克。

实施例 2.2

加入的颗粒类物质为：颗粒度为 0.001mm 的玻璃颗粒 300 克、颗

粒度为 0.01mm 的沙石颗粒 20 克构成的颗粒物,还含有下列辅助传热物质: 粒度为 101nm 的线性低密度聚乙烯 (LLDPE) 120 克, 其相变温度 126℃, 相变焓 157J/G ; 以及粒度为 110nm 的高密度聚乙烯 (HDPE) 105 克, 相变温度 133℃, 相变焓 212J/G。

实施例 2.3

加入的辅助相变传热物质为 LiNO_3 (体积比 42%)+ KNO_3 (体积比 58%)共 103 克, 相变温度 120℃, 相变焓 151J/G;

加入的颗粒类物质为粒度为 0.01mm 的铜 888 克和粒度为 0.01mm 的沙石颗粒 57 克。

实施例 3

应用领域: 冶金、钢铁、化工行业余热回收, 发动机余热回收, 电子机械设备温度控制, 建筑供暖, 医疗设备温度控制, 航天、军事;

基础超临界传热介质:

水, 5000 克

工作温度: 374-600℃, 工作压力: 22-50 MPa,

在本例中以下的案例都是在此超临界传热介质中加入其它的强化传热的物质。

实施例 3.1

加入的颗粒类物质为: 1-10mm 颗粒度的铜 512 克、粒度为 1-100mm 的铝 1200 克。

在冶金和化工行业, 其管道的直径和流量都很大, 根据管道的直径和基础工作介质的流量, 选择加入的金属颗粒的直径, 以可以使其

超临界的流体并不使管道堵塞为标准选择适当的颗粒直径。这种强化传热方法是通过在超临界水中加入颗粒物铜和铝，利用颗粒度较大的铜和铝颗粒和扰流作用破坏边界层，同时利用铜与铝碰撞转换壁面的接触传热来提高传热效率，达到使传热性能得到提高以及实现对系统的热控制及热管理的目的。

实施例 3.2

加入颗粒度为 0.1-10mm 的沙石颗粒 1000 克。

实施例 3.3

辅助相变传热物质为：纯聚乙二醇（PEG）170 克，相变温度：328℃，相变焓 185J/G；和高密度聚乙烯（HDPE）580 克，相变温度：133℃，相变焓 212J/G。

加入的颗粒类物质为颗粒度 0.1-10mm 的沙石颗粒 180 克和颗粒度为 1-10mm 的铜 590 克。

实施例 3.4

辅助相变传热物质为：LiCl-KCl 共 133 克，其相变温度为 352℃，熔解热 117.8J/G；以及 NaCl-NaNO₃ 共 3022 克，相变温度为 290℃，熔解热 247J/G。

颗粒物质采用颗粒度为 0.1-10mm 的玻璃颗粒 554 克及颗粒度为 1-10mm 的铜 1522 克。

实施例 4

应用领域：制冷空调、热泵

超临界流体	重量（克）	临界温度 °C	临界压力 bar
CO ₂	500	31.3	72.9

NH3	300	132.3	111.3
-----	-----	-------	-------

工作温度，40-180℃。工作压力：7.29-35 MPa

在本例中以下的实施例中都是在此超临界传热介质中加入其它的强化传热的物质。

实施例 4.1

颗粒度为 0.001-1mm 的铜 100 克，颗粒度为 0.01-1mm 的铝 4 克。

实施例 4.2

颗粒度为 0.001-1mm 的沙石颗粒 1000 克。

实施例 4.3

液气相变辅助相变传热物质为 F11 有 180 克及 F22 有 100 克；

加入的颗粒类物质为颗粒度为 0.001-1mm 的铜 120 克、颗粒度为 0.001-1mm 的蓄热陶瓷 121 克。

实施例 4.4

固液（液固）辅助相变传热物质为 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 共 104 克，其相变温度为 58℃，潜热值为 250 KJ/KG，还有 $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ （加入适量氧化钠）201 克，其相变温度为 17-27℃，潜热值：246 KJ/KG；

加入的颗粒类物质为颗粒度为 0.001-1mm 的蓄热陶瓷 512 克及颗粒度为 0.01-1mm 的铝 422 克。

实施例 4.5

固固相变辅助相变传热物质为 PG30%+NPG70%共 250 克，相变温度 31-81℃，相变焓 73-42KJ/KG；

加入的颗粒类物质为

颗粒度 0.001-1mm 的蓄热陶瓷 430 克及颗粒度 0.001-1mm 的铝 402 克。

实施例 5

应用领域：热管、封闭腔体的传热元件，

包括：热管散热器、热管换热器、热管集热器、热管蓄热器，脉冲热管、循环热管、曲面热管、复杂热管，航天，军事

基础传热介质：二氧化碳，1000 克

工作温度，31-300℃，工作压力：7-20 MPa，

在本例中以下的实施例中都是在此超临界传热介质中加入其它的强化传热的物质。

实施例 5.1

加入的颗粒物为颗粒度 0.0001-10mm 的铜 300 克、颗粒度 0.001-10mm 的铝 6122 克。

实施例 5.2

加入的颗粒物为颗粒度 0.001-10mm 的沙石颗粒 400 克以及颗粒度 0.0001-10mm 的玻璃颗粒 600 克。

实施例 5.3

加入的辅助传热工作介质为液气相变物质为：丙酮 350 克及乙醇 404 克，丙酮的正常沸点 56℃，乙醇的正常沸点 78℃；加入的颗粒物为颗粒度 0.0001-10mm 的铜 500 克及颗粒度：0.001-10mm 的铝 300、颗粒度 0.0001-10mm 的玻璃颗粒 400 克、颗粒度 0.0001-10mm

的陶瓷蓄热材料 600 克。

在工作过程中，首先当二氧化碳处于超临界状态后，丙酮开始汽化相变传热，在其所有的工作介质完全汽化后温度升高，乙醇开始汽化相变传热，通过调整不同的重量比可以使用于不同的温度点的需要，从而保证了系统在不同的工作区间的最高效能的传热，实现了对系统的热控制及热管理。

实施例 5.4

加入的辅助传热工作介质为 AMP250 克，转变温度 56.96℃，转变焓 114KJ/KG，同时还加入有 PG30%+NPG70%（二元体系结构）550 克，转变温度为 40-81℃，转变焓 27-85KJ/KG。加入的颗粒类物质为颗粒度为 0.0001-10mm 的铜 455 克、颗粒度为 0.001-10mm 的铝 453 克、颗粒度为 0.0001-10mm 的玻璃颗粒 230 克、颗粒度 0.0001-10mm 的陶瓷蓄热材料 340 克。

其主要辅助相变物质为 PG30%+NPG70%（二元体系结构），其具有较宽的相变温度区间，但在其特殊的温度点，根据系统的热控制的目标选择不高于 60℃，因而采用 AMP 使系统的温度达到接近 60 度时可以将热量大量的吸收，使得系统的热控制的目标可以实现。

实施例 5.5

加入的液气及固固相变物质以及颗粒物，加入的液气相变物质为乙醇 1020 克，正常沸点 78℃，以及丙酮 1330 克，正常沸点 56℃；固固相变物质为 $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 计为 1250 克，相变温度为 32℃，熔解潜热为 250KJ/KG，以及十八酸（饱和一元脂肪酸）30 克，相变温度

为 69.9℃，熔解潜热为 63KJ/MOL。加入的颗粒类物质为颗粒度 0.00001-10mm 的铜 3 克和颗粒度 0.00001-10mm 的铝 5 克、颗粒度 0.0001-10mm 的玻璃颗粒 1-10 克、颗粒度 0.0001-10mm 陶瓷蓄热材料为 20 克。

本例特别适合于电子器件的散热器的热控制(散热器)产品中，采用基础超临界物质为二氧化碳，同时采用两种液气相变和固固相变物质为辅助相变物质，其灌装时内部真空度为 0.001 帕，在基本的相变温度点 30-50℃区间内以乙醇，丙酮， $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 为主要的工作介质，随着热源的温度的增加及工作时间的增加，热量开始由丙酮汽化相变传热，同时 $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 采用固固相变传热，如果热源的热量逐渐增加或突然增加，此时系统的温度也同时增加，当温度达到 69℃时，十八酸（饱和一元脂肪酸）开始发生相变蓄热，使得系统被控制在 70℃以下的温度区间工作，保证电子器件在大功率使用（如计算机 CPU 超频）时，仍使系统符合热控制的要求，从而高效的保证系统的热管理目标的实现。特别对于计算机、笔记本电脑等对空间和重量有要求的产品，可以采用此技术方法在符合要求的体积重量下仍可以完美的实现系统的热管理热控制的要求。

