



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 219829147 U

(45) 授权公告日 2023. 10. 13

(21) 申请号 202320417167.2

(22) 申请日 2023.02.28

(73) 专利权人 中国科学院理化技术研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村东路29号

(72) 发明人 卫铃佼 王国鹏 郑茂文 全加

雷祎琳 陈厚磊 赵密广 梁惊涛

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

专利代理师 霍秋红

(51) Int.Cl.

F25B 15/10 (2006.01)

F25B 41/20 (2021.01)

F25B 41/42 (2021.01)

F25D 17/02 (2006.01)

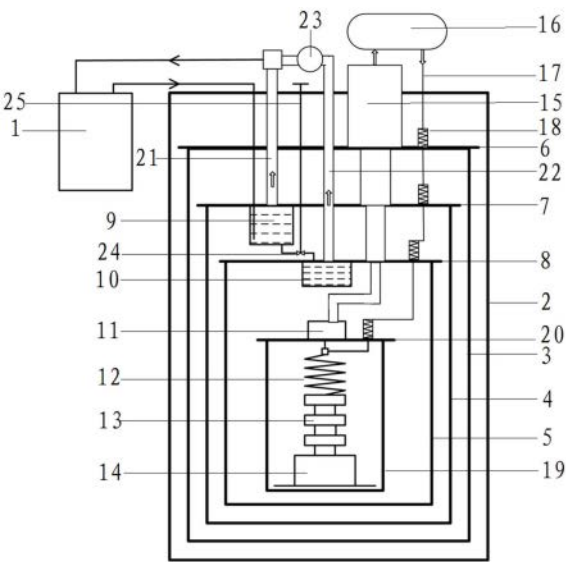
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 实用新型名称

液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统

(57) 摘要

本实用新型提供一种液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,包括预冷模块和稀释制冷模块:预冷模块包括氦液化器、恒温器和氦气回收机构,恒温器内设有一级冷屏,一级冷屏内设有一级冷屏,二级冷屏内设有一级冷屏,各级冷屏的开口分别设有各级冷板;二级冷板和三级冷板之间设有液氦池,三级冷板下方设有超流液氦池;稀释制冷模块包括蒸馏室、套管式换热器、阶梯式换热器、混合室、出气管、稀释制冷外部循环系统、进气管和换热热沉;还包括四级冷屏,四级冷屏设置在三级冷屏内,四级冷屏的开口上设有四级冷板。通过液氦闭式循环为大冷量稀释制冷模块提供充分的预冷条件,从而可以通过提高³He工质流量来提高稀释制冷机的制冷能力。



1. 一种液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,其特征在于,包括预冷模块和稀释制冷模块:

所述预冷模块包括氮液化器、恒温器和氮气回收机构,所述恒温器内设有一级冷屏,所述一级冷屏内设有二级冷屏,所述二级冷屏内设有三级冷屏,所述一级冷屏上设有一级冷板,所述二级冷屏上设有二级冷板,所述三级冷屏上设有三级冷板;所述二级冷板和所述三级冷板之间设有液氮池,所述三级冷板下方设有超流液氮池;所述氮液化器与所述液氮池通过管路连接,所述液氮池和所述超流液氮池通过管路连接,所述氮气回收机构用于将所述液氮池和所述超流液氮池蒸发的氮气回收至所述氮液化器中;

所述稀释制冷模块包括蒸馏室、套管式换热器、阶梯式换热器、混合室、出气管、稀释制冷外部循环系统和进气管,所述蒸馏室、所述套管式换热器、所述阶梯式换热器和所述混合室依次连接,所述出气管、所述稀释制冷外部循环系统、所述进气管依次连接,所述进气管的一端与所述套管式换热器的入口连接,所述出气管的一端与所述蒸馏室连接,还包括分别设置在所述一级冷板、所述二级冷板、所述三级冷板和四级冷板上的换热热沉,所有的所述换热热沉可与所述进气管换热;

还包括四级冷屏,所述四级冷屏设置在所述三级冷屏内,所述四级冷屏的开口上设有四级冷板,所述蒸馏室设置在所述四级冷板上,所述套管式换热器、所述阶梯式换热器和所述混合室均设置在所述四级冷屏内。

2. 根据权利要求1所述的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,其特征在于,所述氮气回收机构包括第一回收支管和第二回收支管,所述第一回收支管位于所述液氮池内,所述第二回收支管位于所述超流液氮池内。

3. 根据权利要求2所述的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,其特征在于,所述第二回收支管上设有真空泵。

4. 根据权利要求1所述的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,其特征在于,所述进气管绕设在每个所述换热热沉上。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,其特征在于,所述液氮池和所述超流液氮池连接的管路上设有用于调节液氮流量的阀门。

6. 根据权利要求5所述的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,其特征在于,还包括用于调节所述阀门的调节杆,所述调节杆的端部设置在所述恒温器外。

7. 根据权利要求1-4任一项所述的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,其特征在于,所述液氮池设置在所述二级冷板下表面上,所述超流液氮池设置在所述三级冷板的下表面上。

8. 根据权利要求1-4任一项所述的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,其特征在于,还包括用于对所述恒温器内抽真空的抽真空装置。

液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统

技术领域

[0001] 本实用新型涉及极低温制冷技术领域,尤其涉及一种液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统。

背景技术

[0002] 随着量子计算的快速发展,量子比特数不断增加,需要更大冷量的稀释制冷机来满足量子计算的冷量需求。提高稀释制冷机的冷量需要增大稀释制冷前级预冷系统的预冷能力。

[0003] 目前,小冷量的稀释制冷机采用GM制冷机等干式制冷机提供4K以上温区的预冷。随着稀释制冷机的冷量提高,预冷冷量也需增加,采用多个GM制冷机并联结构会造成系统体积大、振动干扰、高耗能等缺点。且目前的干式稀释制冷机采用GM制冷机作为前级预冷系统,这种结构冷量无法大幅度提高,扩展性较差。

[0004] 因此,亟需一种能够解决上述问题的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统。

实用新型内容

[0005] 本实用新型提供一种液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,通过液氦闭式循环为大冷量稀释制冷模块提供充分的预冷条件,从而可以通过提高 ^3He 工质流量来提高稀释制冷机的制冷能力,并且具有结构紧凑、可扩展的优点。

[0006] 本实用新型提供一种液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,包括预冷模块和稀释制冷模块:

[0007] 所述预冷模块包括氦液化器、恒温器和氦气回收机构,所述恒温器内设有一级冷屏,所述一级冷屏内设有一级冷屏,所述二级冷屏内设有一级冷屏,所述一级冷屏上设有一级冷板,所述二级冷屏上设有二级冷板,所述三级冷屏上设有三级冷板;所述二级冷板和所述三级冷板之间设有液氦池,所述三级冷板下方设有超流液氦池;所述氦液化器与所述液氦池通过管路连接,所述液氦池和所述超流液氦池通过管路连接,所述氦气回收机构用于将所述液氦池和所述超流液氦池蒸发的氦气回收至所述氦液化器中;

[0008] 所述稀释制冷模块包括蒸馏室、套管式换热器、阶梯式换热器、混合室、出气管、稀释制冷外部循环系统和进气管,所述蒸馏室、所述套管式换热器、所述阶梯式换热器和所述混合室依次连接,所述出气管、所述稀释制冷外部循环系统、所述进气管依次连接,所述进气管的一端与所述套管式换热器的入口连接,所述出气管的一端与所述蒸馏室连接,还包括分别设置在所述一级冷板、所述二级冷板、所述三级冷板和所述四级冷板上的换热热沉,所有的所述换热热沉可与所述进气管换热;

[0009] 还包括四级冷屏,所述四级冷屏设置在所述三级冷屏内,所述四级冷屏的开口上设有四级冷板,所述蒸馏室设置在所述四级冷板上,所述套管式换热器、所述阶梯式换热器和所述混合室均设置在所述四级冷屏内。

[0010] 根据本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,所述氦气回收

机构包括第一回收支管和第二回收支管,所述第一回收支管位于所述液氦池内,所述第二回收支管位于所述超流液氦池内。

[0011] 根据本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,所述第二回收支管上设有真空泵。

[0012] 根据本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,所述进气管绕设在每个所述换热热沉上。

[0013] 根据本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,所述液氦池和所述超流液氦池连接的管路上设有用于调节液氦流量的阀门。

[0014] 根据本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,还包括用于调节所述阀门的调节杆,所述调节杆的端部设置在所述恒温器外。

[0015] 根据本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,所述液氦池设置在所述二级冷板下表面上,所述超流液氦池设置在所述三级冷板的下表面上。

[0016] 根据本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,还包括用于对所述恒温器内抽真空的抽真空装置。

[0017] 本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,包括预冷模块和稀释制冷模块,通过预冷模块中的三级冷却能够为稀释制冷模块提供充分的预冷条件,一级冷板采用 ^4He 蒸汽的冷能预冷,二级冷板采用液氦池中 ^4He 的蒸发潜热预冷,三级冷板采用超流液氦池中 ^4He 的蒸发潜热预冷;稀释制冷模块再将温度降低至设定值,且氦气回收机构能够将蒸发的氦气回收至氦液化器中重复通入液氦池中,形成液氦闭式循环结构,从而提高液氦循环流量即可提高预冷冷量,能实现不同制冷性能的大冷量稀释制冷系统。此外,将体积较大的氦液化器放置在恒温器外,还具有制冷集中、能耗低、振动干扰小等优点。

附图说明

[0018] 为了更清楚地说明本实用新型或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本实用新型的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0019] 图1是本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统实施例的示意图。

[0020] 附图标记:

[0021] 1、氦液化器;2、恒温器;3、一级冷屏;4、二级冷屏;5、三级冷屏;6、一级冷板;7、二级冷板;8、三级冷板;9、液氦池;10、超流液氦池;11、蒸馏室;12、套管式换热器;13、阶梯式换热器;14、混合室;15、出气管;16、稀释制冷外部循环系统;17、进气管;18、换热热沉;19、四级冷屏;20、四级冷板;21、第一回收支管;22、第二回收支管;23、真空泵;24、阀门;25、调节杆。

具体实施方式

[0022] 为使本实用新型的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本实用新型中的附图,对本实用新型中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本实用新型

新型一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本实用新型中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本实用新型保护的范围。

[0023] 在本实用新型实施例的描述中,需要说明的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本实用新型实施例和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本实用新型实施例的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0024] 在本实用新型实施例的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本实用新型实施例中的具体含义。

[0025] 在本实用新型实施例中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0026] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本实用新型实施例的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0027] 下面结合图1描述本实用新型的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统。

[0028] 如图1所示,为本实用新型提供的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统实施例的示意图。本实施例的液氮闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统包括预冷模块和稀释制冷模块:

[0029] 预冷模块包括氮液化器1、恒温器2和氮气回收机构,恒温器2内设有一级冷屏3,一级冷屏3内设有一级冷板6,二级冷屏4内设有一级冷屏5,一级冷屏5上设有一级冷板7,二级冷屏4上设有二级冷板8;二级冷板7和三级冷板8之间设有液氮池9,三级冷板8下方设有超流液氮池10;氮液化器1与液氮池9通过管路连接,液氮池9和超流液氮池10通过管路连接,氮气回收机构用于将液氮池9和超流液氮池10蒸发的氮气回收至氮液化器1中;

[0030] 稀释制冷模块包括蒸馏室11、套管式换热器12、阶梯式换热器13、混合室14、出气管15、稀释制冷外部循环系统16和进气管17,蒸馏室11、套管式换热器12、阶梯式换热器13

和混合室14依次连接,出气管15、稀释制冷外部循环系统16、进气管17依次连接,进气管17的一端与套管式换热器12的入口连接,出气管15的一端与蒸馏室11连接,还包括分别设置在一级冷板6、二级冷板7、三级冷板8和四级冷板20上的换热热沉18,所有的换热热沉18可与进气管17换热;

[0031] 还包括四级冷屏19,四级冷屏19设置在三级冷屏5内,四级冷屏19的开口上设有四级冷板20,蒸馏室11设置在四级冷板20上,套管式换热器12、阶梯式换热器13和混合室14均设置在四级冷屏19内。

[0032] 具体的,位于一级冷板6、二级冷板7、三级冷板8和四级冷板20上的各个换热热沉18与对应的冷板换热,换热热沉18再与出气管15换热,并由于蒸馏室11与出气管15连通,蒸馏室11内的介质可以间接与一级冷板6、二级冷板7、三级冷板8和四级冷板20之间进行换热。需要说明的是,在本实用新型实施例中,换热热沉18采用导热性质优秀的铜柱制成,各个换热热沉18对应安装在一级冷板6、二级冷板7、三级冷板8和四级冷板20上,本实施例中换热热沉18的安装方式不做限定,具体实施时可以采用焊接、螺纹连接或铆接等方式。套管式换热器12和阶梯式换热器13用于浓相 ^3He 和稀相 $^3\text{He}-^4\text{He}$ 进行换热。

[0033] 本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,通过预冷模块中的三级冷却能够为稀释制冷模块提供充分的预冷条件,一级冷板6采用 ^4He 蒸汽的冷能预冷,二级冷板7采用液氦池9中 ^4He 的蒸发潜热预冷,三级冷板8采用超流液氦池10中 ^4He 的蒸发潜热预冷;稀释制冷模块再将温度降低至设定值,且氦气回收机构能够将蒸发的氦气回收至氦液化器1中重复通入液氦池9中,形成液氦闭式循环结构,从而通过提高液氦循环流量即可提高预冷冷量,能实现不同制冷性能的大冷量稀释制冷系统。各级冷屏采用逐级嵌套方式进行设置,系统结构紧凑,可拓展性强。此外,将体积较大的氦液化器1放置在恒温器2外,还具有制冷集中、能耗低、振动干扰小等优点。

[0034] 在本实用新型实施例中,氦气回收机构包括第一回收支管21和第二回收支管22,第一回收支管21位于液氦池9内,第二回收支管22位于超流液氦池10内。具体地,第一回收支管21和第二回收支管22的入口端分别位于液氦池9和超流液氦池10的上部,便于分别对于液氦池9和超流液氦池10上部的氦气进行回收。

[0035] 在本实用新型实施例中,第二回收支管22上设有真空泵23。真空泵23可以对超流液氦池10进行抽真空处理,从而使超流液氦池10处于低压状态。

[0036] 在本实用新型实施例中,出气管15绕设在每个换热热沉18上。能够有效增大出气管15与换热热沉18之间的接触面积,出气管15与换热热沉18的接触面可以用焊接方式进行固定。

[0037] 在本实用新型实施例中,液氦池9和超流液氦池10连接的管路上设有用于调节液氦流量的阀门24。通过设置阀门24,能够控制液氦池9与超流液氦池10之间管路的连通与关闭,还能够调节液氦的流量,通过调节阀门24并维持稳定的液氦流入超流液氦池10,可与超流氦的蒸发速率达到平衡状态。本实施例中,阀门24可以采用针阀。

[0038] 在本实用新型实施例中,还包括用于调节阀门24的调节杆25,调节杆25的端部设置在恒温器2外。便于在恒温器2外直接控制阀门24,操作简便。

[0039] 在本实用新型实施例中,液氦池9设置在二级冷板7下表面上,超流液氦池10设置在三级冷板8的下表面上。具体的,本实施例中,通过螺栓/钉液氦池9和超流液氦池10分别

固定安装在二级冷板7下表面和三级冷板8的下表面上,液氦池9和超流液氦池10的开口端正对二级冷板7的下表面和三级冷板8的下表面,便于利用液氦对二级冷板7和三级冷板8进行降温。

[0040] 在本实用新型实施例中,液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统还包括用于对恒温器2内抽真空的抽真空装置。制冷时,可以通过抽真空装置使恒温器2内维持高真空环境。本实施例中,抽真空装置以真空泵机组作为示例说明。

[0041] 本实用新型的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统,利用抽真空装置使恒温器2内维持高真空环境; ^3He 进入恒温器2内后,经过一级冷板6、二级冷板7和三级冷板8逐级冷却后再进入稀释制冷模块进行稀释制冷。二级冷板7的下表面上设置液氦池9,三级冷板8的下表面上设置超流液氦池10,液氦池9和超流液氦池10内的工质都为 ^4He ,液氦池9为常压状态,其中的液态 ^4He 自然蒸发,超流液氦池9为通过第二回收支管22上设置的真空泵23维持池内低压状态。一级冷板6通过回收 ^4He 蒸汽的冷能维持低温状态,液氦池9和超流液氦池10蒸发的 ^4He 蒸汽分别通过第一回收支管21和第二回收支管22在恒温器2外汇集到同一根管路并重新输送到氦液化器1中。 ^4He 蒸汽在氦液化器1内重新被液化后通过管路输送回液氦池9内。液氦池9与超流液氦池10通过一根管路连接,管路上设置有针阀,用于调节液氦池9与超流液氦池10之间液氦的流量及控制管路的通断。 ^3He 气体被预冷模块冷却至1.5K后,进入稀释制冷模块,在稀释制冷模块发生稀释制冷过程,实现毫开温区制冷。

[0042] 其中,稀释制冷模块的制冷原理如下: ^3He 、 ^4He 的混合液在0.86K以上时,液 ^3He 可以以何比例解在液 ^4He 中,但当混合溶液的温度降到0.86K以下时,混合液则分离成两相,其中含 ^3He 多的相称为浓缩相,而含 ^3He 少的相称为稀释相。在低于0.86K的任一温度都对应于一定的 ^3He 含量的稀释相和浓缩相,并达到相平衡。当从稀释相中取走 ^3He 原子时,为了保持两相的平衡,则由浓缩相中的 ^3He 通过相界面进入稀释相以补充被移去的 ^3He 原子。可以计算得 ^3He 在稀释相中的焓和熵比在浓缩相中要大得多。所以这种稀释过程需要吸热。

[0043] 从本实用新型提供的液氦闭式循环预冷的大冷量稀释制冷系统的示意图来看,包含相界面的室称做混合室14, ^3He 原子从浓缩相经过相界面进入稀释相要吸热而制冷,使温度降低。包含稀释相的自由表面的室称为蒸馏室11,温度维持在0.6~0.8K。此时 ^3He 的饱和蒸气压远高于 ^4He 的饱和蒸气压,可以用抽气机抽走,这时浓缩相中的 ^3He 原子就不断地通过相界面进入稀释相,抽走的 ^3He 经过冷凝再补充到浓缩相中形成循环,从而使稀释制冷模块不断地运行。

[0044] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本实用新型的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本实用新型进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本实用新型各实施例技术方案的精神和范围。

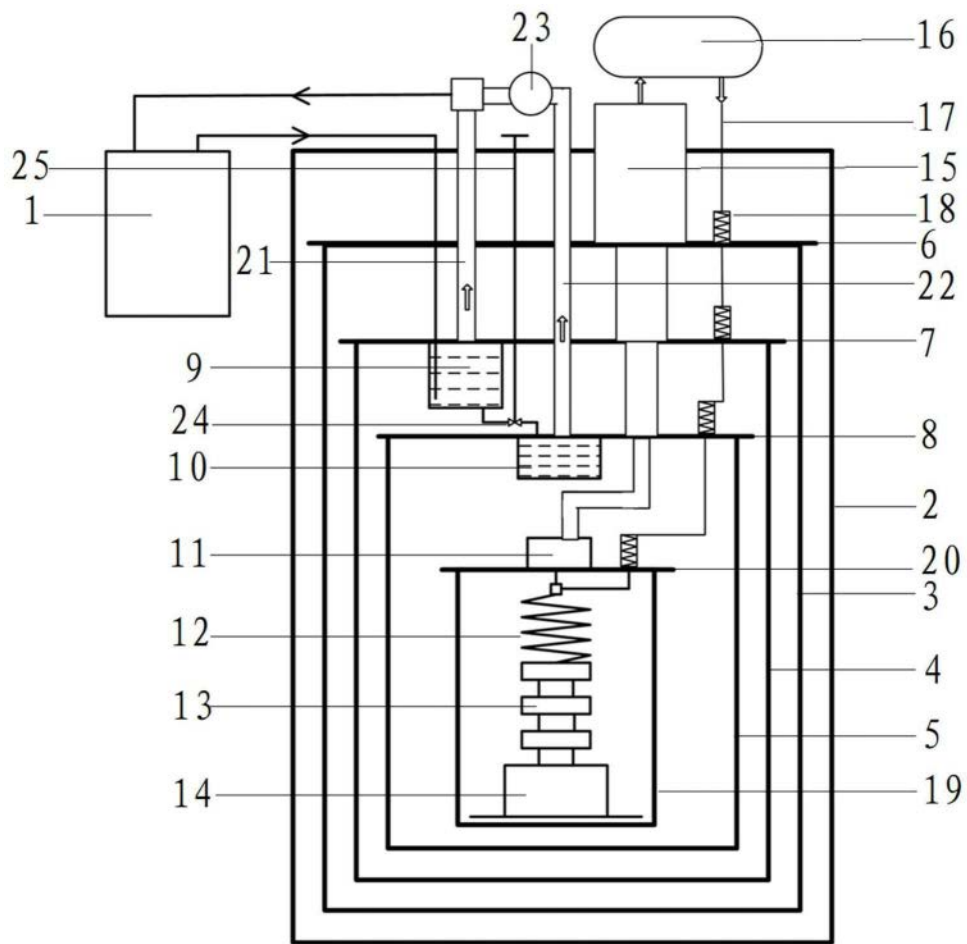


图1