(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 205064004 U
(45)授权公告日 2016.03.02

(21)申请号 201520692140.X

(22)申请日 2015.09.07

(73)专利权人 沈阳航空航天大学
地址 110136 辽宁省沈阳市沈北新区道义南大街37号

(72)发明人 张魏 李广超 寇志海 蔡震 朱怡平 张永玉

(74)专利代理机构 沈阳维特专利商标事务所（普通合伙） 21229
代理人 李绪岩

(51)Int.Cl.
F01D 9/02(2006.01)
F01D 25/12(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

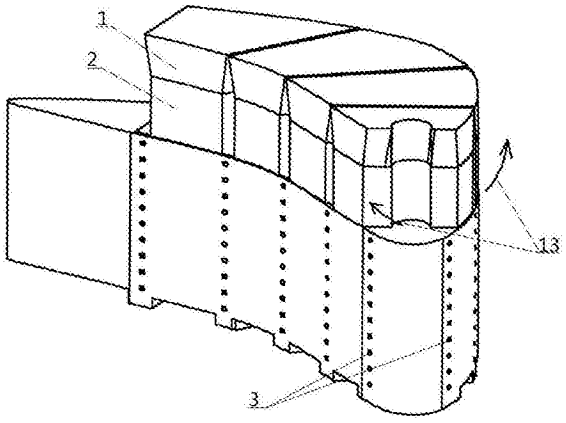
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)实用新型名称

热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构

(57)摘要

热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，在除了叶片前缘前端和叶片尾缘的叶片内部上设置热管毛细芯，热管毛细芯内设有液态工质，热管毛细芯向外延伸到发动机的外涵道内，并利用叶片的外壁和外涵道冷凝段外壁构成封闭腔。在叶片前缘处设有前缘冲击孔供气通道，前缘冲击孔供气通道通过前缘冲击孔与叶片前缘相通。在叶片内部设有狭窄冷气通道。叶片壁面在叶片前缘的前端和狭窄冷气通道处设有气膜通孔。本实用新型与单独采用气冷方式相比，该冷却结构对应的叶片温度至少降低5度；与单独采用气冷方式相比，最大温差减小至少3度；达到相同的冷却效果下，冷气消耗量减少2%。



CN 205064004 U

1. 热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，其特征在于：在除了叶片前缘前端和叶片尾缘的叶片内部上设置热管毛细芯，热管毛细芯内设有液态工质，热管毛细芯向外延伸到发动机的外涵道内，并利用叶片的外壁和外涵道冷凝段外壁构成封闭腔；在叶片前缘处设有前缘冲击孔供气通道，前缘冲击孔供气通道通过前缘冲击孔与叶片前缘相通，在叶片内部设有狭窄冷气通道，叶片壁面在叶片前缘的前端和狭窄冷气通道处设有气膜通孔。

2. 如权利要求 1 所述的热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，其特征在于：所述的狭窄冷气通道宽度为气膜通孔直径的 3-6 倍。

3. 如权利要求 1 所述的热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，其特征在于：所述的液态工质为金属钠或者钾。

4. 如权利要求 1 所述的热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，其特征在于：所述的气膜通孔直径为 0.2-2mm，孔间距为 0.4-6mm。

5. 如权利要求 1 所述的热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，其特征在于：所述的狭窄冷气通道和热管毛细芯交错分布。

热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种航空发动机涡轮导向叶片的冷却结构，尤其是热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，属于航空发动机技术领域。

背景技术

[0002] 目前航空发动机涡轮导向叶片主要采用气冷方式，即从压气机末级抽取高压冷气输运到叶片内部通道进行对流冷却，其中一部分冷气通过离散式气膜通孔喷出到叶片外部进行气膜冷却。评估气冷方式冷却效果优劣的指标主要有叶片平均温度以及叶片表面最大温差。气膜冷却效率沿着叶片高度方向和主流方向都会发生变化，导致叶片外壁温具有一定的不均匀性，产生热应力。已有研究表明，叶片温度评估差 10 度，叶片寿命会缩短一半。所以，在保证叶片最高温度不超过材料的容许温度时，缩小叶片壁面温差对于延长叶片寿命非常重要。冷气的消耗意味着进入燃烧室燃烧后用于做功的空气流量减少，发动机性能下降。所以减少冷却空气用量也是航空发动机设计者必须考虑的问题之一。热管冷却具有自控能力，即在一定的传热能力内，热源温度越高，热管传热能力越强，传热量越多；局部温度越高，局部传热量越多。在降低叶片温度尤其是改善叶片壁面温度分布均匀性方面具有非常强的优势。将气冷方式和热管冷却组合在一起不仅具有很高的冷却能力，而且会减少冷却空气用量，使叶片壁温更加均匀。

实用新型内容

[0003] 针对上述现有技术不足，本实用新型提供了一种使涡轮导向叶片冷却能力强，冷气消耗量少，叶片壁面温度均匀的气冷和热管传热共同作用的涡轮导向叶片冷却结构。

[0004] 为实现上述目的，本实用新型采用的技术方案是：热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，在除了叶片前缘前端和叶片尾缘的叶片内部上设置热管毛细芯，热管毛细芯内设有液态工质。热管毛细芯向外延伸到发动机的外涵道内，并利用叶片的外壁和外涵道冷凝段外壁构成封闭腔。在叶片前缘处设有前缘冲击孔供气通道，前缘冲击孔供气通道通过前缘冲击孔与叶片前缘相通。在叶片内部设有狭窄冷气通道。叶片壁面在叶片前缘的前端和狭窄冷气通道处设有气膜通孔。

[0005] 优选的，所述的狭窄冷气通道宽度为气膜通孔直径的 3-6 倍。

[0006] 优选的，所述的液态工质为金属钠或者钾。

[0007] 优选的，所述的气膜通孔直径为 0.2-2mm，孔间距为 0.4-6mm。

[0008] 优选的，所述的狭窄冷气通道和热管毛细芯交错分布。

[0009] 本实用新型的优点是：

[0010] (1) 与单独采用气冷方式相比，该冷却结构对应的叶片温度至少降低 5 度。

[0011] (2) 与单独采用气冷方式相比，最大温差减小至少 3 度。

[0012] (3) 达到相同的冷却效果下，冷气消耗量减少 2%。

附图说明

[0013] 图 1 是本实用新型的三维结构图。

[0014] 图 2 是本实用新型的二维平面图。

[0015] 图 3 是图 2 的 A-A 视图。

[0016] 图中 :1- 位于外涵道中的热管冷凝段 ;2- 热管绝热段 ;3- 气膜通孔 ;4- 前缘冲击孔供气通道 ;5- 前缘冲击孔 ;6- 热管毛细芯 ;7- 叶片壁面 ;8- 叶片前缘 ;9- 叶片尾缘 ;10- 狭窄冷气通道 ;11- 用于冷却叶片的冷气流 ;12- 燃气流 ;13- 外涵道内冷气流 ;14- 气态工质流动 ;15- 液态工质 ;16- 燃气传给热管的热量 ;17- 热管传给外涵道内冷气流的热量。

具体实施方式

[0017] 下面将结合本实用新型实施例中的附图，对本实用新型实施例中的技术方案进行清晰、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本实用新型一部分实施例，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做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。

[0018] 如图 1- 图 3 所示 :热管辅助传热作用下的涡轮导向叶片结构，在除了叶片前缘 8 前端和叶片尾缘 9 的叶片内部上设置热管毛细芯 6，热管毛细芯 6 内设有液态工质。在叶片前缘 8 处设有前缘冲击孔供气通道 4，前缘冲击孔供气通道 4 通过前缘冲击孔 5 与叶片前缘 8 相通。在叶片内部设有狭窄冷气通道 10。叶片壁面 7 在叶片前缘 8 的前端和狭窄冷气通道处设有气膜通孔。

[0019] 本实用新型将叶片气冷结构（包括内部冲击冷却、内部对流换热、外部气膜冷却）和热管结构（由部分叶片壁面、毛细芯组成的封闭结构）共同作用在涡轮导向叶片上。热管和气冷结构的共同作用方式如下，前缘冲击孔供气通道 4 提供的用于冷却叶片的冷气流 11 通过前缘冲击孔 5 冲击叶片前缘 8 内壁后，再从气膜通孔 3 流出，在燃气流 12 的挤压作用下贴附在冷却叶片壁面 7 上。沿着燃气流 12 的流动方向，热管结构内的毛细芯 6 位于气膜通孔 3 下游，主要用于进一步降低气膜通孔下游叶片壁面温度并改善气膜通孔下游壁面温度分布均匀性。从叶片前缘 8 到叶片尾缘 9，气冷结构和热管结构依次排布，除前缘冷气通道外，其余的冷气通道要尽可能的狭窄，其宽度为气膜通孔 3 直径的 3-6 倍。气冷结构和热管结构数量根据叶片大小而不同。热管结构的特征在于叶片壁面 7 作为热管蒸发段外壁面，并将外壁面延长到外涵道内，形成封闭结构，热管毛细芯 66 位于叶片壁面 7 的内部，冷气通道的另外两个壁面没有毛细芯结构，其原因是热量从外壁面传给热管内部，而冷气通道壁面温度很低。

[0020] 叶片内壁安装有毛细芯的部分作为热管蒸发段（吸热段），将叶片壁面 7 向外涵道延长，使热管的冷凝段（放热段）位于外涵道内，当热管工作时，高温燃气流 12 传给叶片的热量 16 使热管毛细芯内的液态工质（金属钠或者钾）气化并吸收相应的热量，气化后的热管工质 14 在封闭腔内向着热管的冷凝段流动，并在温度较低的冷凝段凝结放出热量 17，凝结后的热管液态工质 15 在毛细芯的吸附作用下流回热管的蒸发段，通过热管内工质的蒸发段气化 - 封闭腔内流动 - 冷凝段液化 - 毛细芯内的回流这样一个过程，将高温燃气传给叶片的热量传到了温度很低的外涵道气流 13。利用热管传热一方面提高气膜冷却薄弱部位的冷却能力，改善气膜冷却导致的叶片温度分布不均匀性 ;另一方面，在不消耗任何冷气的

条件下，利用热管传热进一步降低叶片平均温度。

[0021] 热管工作的设计条件是在蒸发段有足够高的温度使热管内的工质气化，在冷凝段有足够低的温度使工质液化，并利用相变将传给叶片的热量传到外涵道内的低温空气中。涡轮叶栅通道内的燃气恰好可以作为热源使热管内的工质气化，外涵道内的冷气恰好可以作为冷源使热管内的工质冷凝。

[0022] 叶片弦长为50mm-180mm，叶片高度40mm-200mm。气膜通孔的直径尺寸为0.2-2mm，孔间距为0.4-6mm，气膜通孔轴线与叶片壁面夹角为20度到90度。冲击孔直径0.5-3mm，孔间距2-10mm，冲击距离3-10mm。除前缘冷气通道外，其余冷气通道宽度为3-8mm。叶片厚度0.5-1.5mm，热管毛细芯厚度0.5-1.5mm。热管对应的叶片弧长5mm-15mm，热管的冷凝段高度50mm-100mm。

[0023] 本实用新型的气动工况要求是，燃气温度小于2000K，用于冷却的气体温度700K-850K，外涵道内气体温度300K-400K。气膜孔喷气速度与当地燃气速度比值在0.5-2之间。叶片外壁温控制在1200K以下，内壁温控制在900K以下。

[0024] 该控制涡轮叶片温度分布的方法在于，利用了内部冲击冷却以及气膜冷却等冷却能力强的传统冷却方式；同时增加了具有传热自控能力又不消耗冷气的热管传热冷却方式。不仅可以达到更好的冷却效果，又能实现更加均匀的叶片温度分布。

[0025] 本实用新型的整体思路是：利用冲击冷却+气膜冷却对叶片前缘进行冷却，在叶片中部和尾部采用内部对流换热+气膜冷却，叶片内部冷气通道设计的要窄一些，这样可以在每排气膜通孔下游采用热管传热进一步降低叶片平均温度并改善叶片温度分布均匀性。燃气传到叶片的热量，热管通过内部工质钠或者锂的相变传给外涵道内温度非常低的空气，这有效利用了外涵道内气流温度低、换热面积大的优势。热管结构包括蒸发段、绝热段和冷凝段。蒸发段即为叶片高度段，冷凝段位于航空发动机外涵道内。在蒸发段和冷凝段之间穿过发动机内机匣的一段为绝热段。热管结构的毛细芯在蒸发段位于叶片型面的内壁上，在冷凝段位于冷凝段的内壁上。由蒸发段到冷凝段的毛细芯是连续的。由于叶片环向分布，相邻叶片内的热管结构延伸到航空发动机外涵道内时具有更大的直径，所以经冷凝段设计成向外扩张型，这可以有效地增加冷凝段与外涵道内冷气换热面积。

[0026] 当燃气将热量传给热管外壁面时，位于毛细芯中的热管工质受热气化吸收热量，同时热管内部蒸发段的压力升高，气态工质流向温度相对较低的冷凝段，凝结放热，并最终将热量传给外涵道内的温度较低的空气。

[0027] 实施例1：本实用新型为某型发动机的涡轮导向叶片气膜冷却和热管传热共同作用的叶片冷却结构，叶片弦长为50mm，叶片高度40mm。在叶片的前缘采用冲击冷却和气膜冷却共同作用方式，冲击孔直径0.5mm，孔间距2mm，冲击距离3mm。在前缘气膜孔下游布置热管结构，热管工质采用钠。热管对应的叶片弧长5mm。紧邻热管结构是冷气通道，即采用内部对流换热和外部气膜冷却，通道宽度3mm，通道的叶片型面壁上开有气膜孔，气膜孔的直径尺寸为0.2mm，孔间距为0.4mm，气膜孔轴线与叶片壁面夹角为20。在气膜孔下游继续布置热管结构，热管对应的叶片弧长5mm。接下来，依次是气冷结构和热管结构。热管的冷凝段位于外涵道内，高度50mm。

[0028] 本实用新型的气动工况要求是，燃气温度1980K，用于冷却的气体温度700K，外涵道内气体温度300K。气膜孔喷气速度与当地燃气速度比值为0.5。叶片外壁温控制在

1200K，内壁温控制在 880K。

[0029] 实施例 2：本实用新型为某型发动机的涡轮导向叶片气膜冷却和热管传热共同作用的叶片冷却结构，叶片弦长为 180mm，叶片高度 200mm。在叶片的前缘采用冲击冷却和气膜冷却共同作用方式，冲击孔直径 3mm，孔间距 10mm，冲击距离 10mm。在前缘气膜孔下游布置热管结构，热管工质采用钠。热管对应的叶片弧长 15mm。紧邻热管结构是冷气通道，即采用内部对流换热和外部气膜冷却，通道宽度 10mm，通道的叶片型面壁上开有气膜孔，气膜孔直径尺寸为 2mm，孔间距为 6mm，气膜孔轴线与叶片壁面夹角为 90 度。在气膜孔下游继续布置热管结构，热管对应的叶片弧长 15mm。接下来，依次是气冷结构和热管结构。热管的冷凝段位于外涵道内，高度 100mm。

[0030] 本实用新型的气动工况要求是，燃气温度 1800K，用于冷却的气体温度 850K，外涵道内气体温度 400K。气膜孔喷气速度与当地燃气速度比值为 2。叶片外壁温控制在 1100K，内壁温控制在 850K。

[0031] 实施例 3：本实用新型为某型发动机的涡轮导向叶片气膜冷却和热管传热共同作用的叶片冷却结构，叶片弦长为 120mm，叶片高度 80mm。在叶片的前缘采用冲击冷却和气膜冷却共同作用方式，冲击孔直径 2mm，孔间距 6mm，冲击距离 5mm。在前缘气膜孔下游布置热管结构，热管工质采用钾。热管对应的叶片弧长 10mm。紧邻热管结构是冷气通道，即采用内部对流换热和外部气膜冷却，通道宽度 7mm，通道的叶片型面壁上开有气膜孔，气膜孔的直径尺寸为 1mm，孔间距为 3mm，气膜孔轴线与叶片壁面夹角为 30 度。在气膜孔下游继续布置热管结构，热管对应的叶片弧长 10mm。接下来，依次是气冷结构和热管结构。热管的冷凝段位于外涵道内，高度 80mm。

[0032] 本实用新型的气动工况要求是，燃气温度 1920K，用于冷却的气体温度 800K，外涵道内气体温度 350K。气膜孔喷气速度与当地燃气速度比值为 1。叶片外壁温控制在 1130K，内壁温控制在 890K。

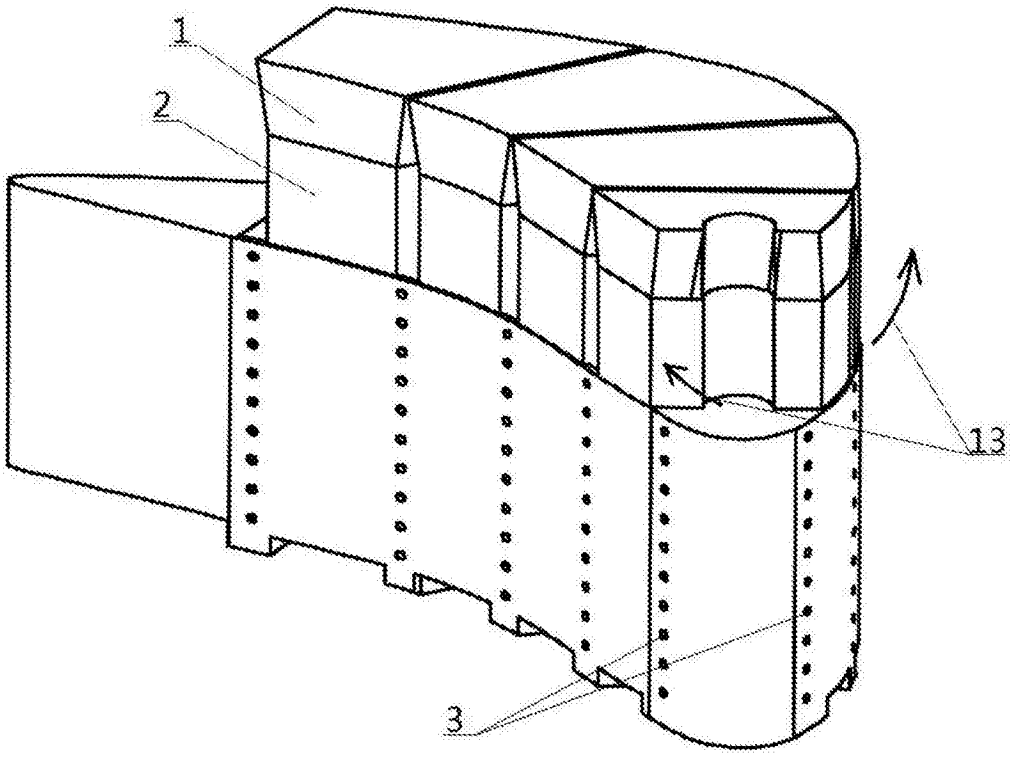


图 1

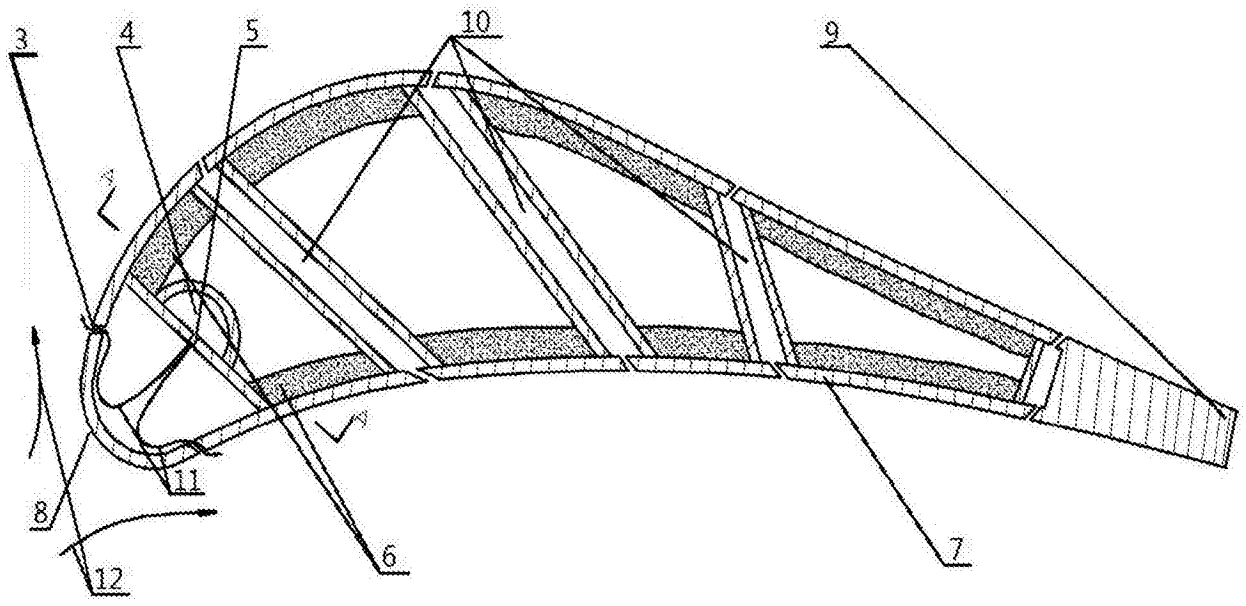


图 2

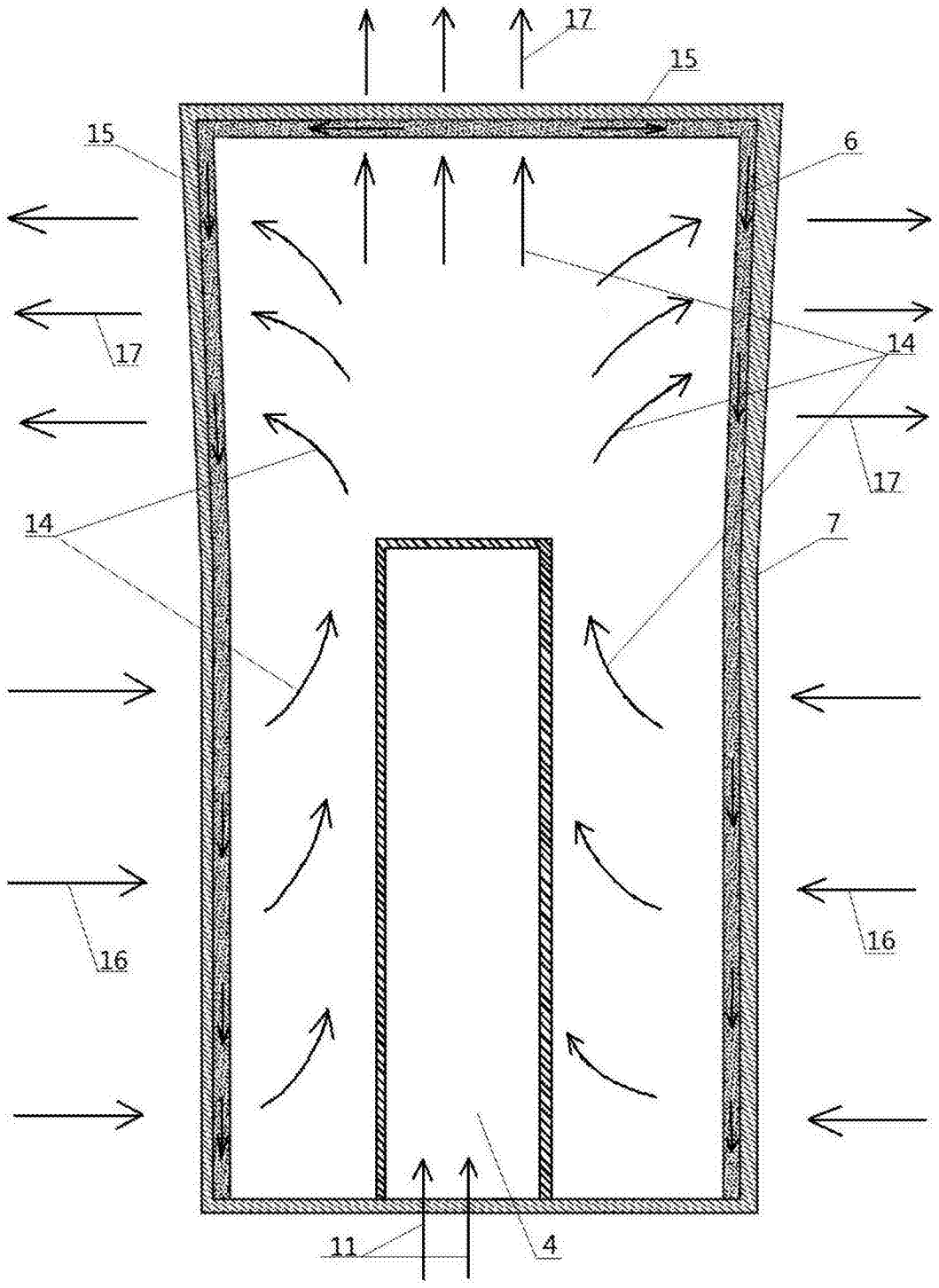


图 3