



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116294243 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202310208899.5

(22) 申请日 2023.03.07

(71) 申请人 河北工业大学

地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8号河北工业大学东院

(72) 发明人 王坤 张振东 王宝磊 闵春华 饶中浩

(74) 专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务所(普通合伙) 12210

专利代理师 王瑞

(51) Int. Cl.

F24S 20/20 (2018.01)

F24S 10/75 (2018.01)

F24S 70/60 (2018.01)

F24S 80/30 (2018.01)

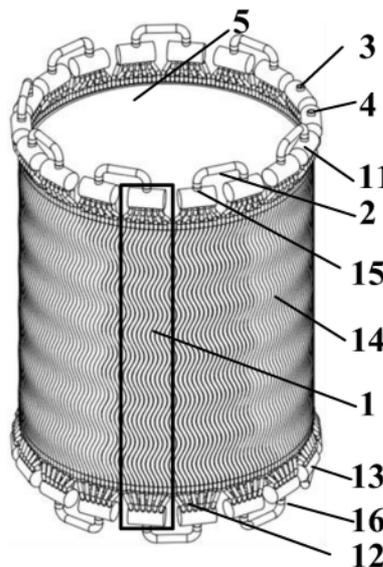
权利要求书1页 说明书4页 附图6页

(54) 发明名称

一种圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器

(57) 摘要

本发明公开了一种圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,由若干个流动回路以并联方式组成;单个流动回路呈圆弧状,将若干个流动回路沿周向拼接成圆柱状吸热器;每个流动回路均包括N个吸热管排和N-1个连接管道;吸热管排之间通过连接管道依次首尾相接,形成串联式连通结构;每个流动回路的第一个吸热管排的始端为流动回路入口,最后一个吸热管排的末端为流动回路出口;每个吸热管排均包括上端集箱、歧管、下端集箱、蛇形管、上端汇管和下端汇管。本发明利用蛇形管的曲率作用在流体内产生离心力,强化流体扰动,流体内部会产生二次流,使得换热得到显著强化。



1. 一种圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,该吸热器由若干个流动回路以并联方式组成;单个流动回路呈圆弧状,将若干个流动回路沿周向拼接成圆柱状吸热器;

每个流动回路均包括N个吸热管排和N-1个连接管道;吸热管排之间通过连接管道依次首尾相接,形成串联式连通结构;每个流动回路的第一个吸热管排的始端为流动回路入口,最后一个吸热管排的末端为流动回路出口;

每个吸热管排均包括上端集箱、歧管、下端集箱、蛇形管、上端汇管和下端汇管;

上端集箱的一端设置有上端汇管,另一端通过K条歧管与K条蛇形管的一端连接;K条蛇形管的另一端通过K条歧管与下端集箱的一端连接;下端集箱的另一端设置有下端汇管;上端汇管和下端汇管均与连接管道连通;蛇形管沿吸热器的周向均布于上端集箱和下端集箱之间,形成圆弧;每个蛇形管的波峰和波谷均指向吸热器的周向。

2. 根据权利要求1所述的圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,吸热管排的数量N根据传热流体出口温度的设计需要确定,流动回路出口处的温度为400~800℃。

3. 根据权利要求1所述的圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,相邻歧管交错排列在上端集箱或下端集箱的两侧,便于减少相邻歧管之间的间距,使歧管在上端集箱和下端集箱上的布置更加紧凑。

4. 根据权利要求1所述的圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,每个吸热管排均分别沿各自的水平中垂面和竖直中垂面对称设计。

5. 根据权利要求1所述的圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,优选地,两个流动回路之间,两个流动回路入口相邻,两个流动回路出口相邻。

6. 根据权利要求1所述的圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,蛇形管的中心线的曲线函数为正弦曲线,正弦曲线周期为T;每根蛇形管两端之间的直线距离为正弦曲线周期T的偶数倍。

7. 根据权利要求1所述的圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,沿蛇形管的中心线上任意一点的切线方向做截面均得到内圆直径为D、外圆直径为R的完全相同的圆环。

8. 根据权利要求1所述的圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,在吸热器的内侧添加保温隔热层。

9. 根据权利要求1所述的圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,在运行过程中,为了避免蛇形管吸热膨胀后相互接触,蛇形管之间保留有间距,间距之间填充耐高温导热材料。

一种圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器

技术领域

[0001] 本发明属于太阳能热发电技术领域,具体是一种圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器。

背景技术

[0002] 作为光热转换的关键部件,塔式太阳能吸热器安全高效运行对于整个太阳能系统的可靠性和经济性是至关重要的,也是整个塔式太阳能热发电系统必不可少的。其位于光热转换的中间环节,光线在吸热器外壁面转换成可被吸热器吸收的热能,热能经吸热器传递给吸热器内部循环流动的吸热介质,自此完成了光热转换过程。

[0003] 传统管式太阳能吸热器以直圆管作为基本换热单元,其在吸热过程中面临着高密度、非均匀的复杂能流环境。这要求吸热工质能够及时将热量带走,避免因热量堆积造成吸热器应力失效问题的发生。然而,直圆管对流体扰动有限,难以使吸热工质获得较强的换热能力,导致吸热管内部存在较大的温度峰值。加之吸热管外侧的复杂太阳能流环境,吸热器内存在较大的因热量集中造成的热应力,当应力峰值超过极限值时即造成了应力失效。

[0004] 基于以上问题,诸多学者提出了强化吸热器换热的改进方案,例如:在管道内添加翅片、轧制槽道及改变流道形状等。其中,添加内部翅片和轧制槽道的方式可以使管道内部形成突出特征,当流体传热工质在管内流动时可以产生扰动,进而破坏流动边界层,使热边界层温度梯度迅速增大,快速达到充分发展,强化对流换热。但是内部翅片或轧制槽道会增大管道的制造难度,且不利于清洗。文献《Jaramillo O A, Borunda M and Velazquez-Lucho K M. Parabolic trough solar collector for low enthalpy processes: An analysis of the efficiency enhancement by using twisted tape inserts. Renewable energy, 2016, 93: 125-141》针对吸热管换热较差问题提出采用管内插入螺旋扭片的方式来改进吸热管的换热性能,换热性能虽然得到了提升,但过多的引入了管内流体的阻力损失,同时增加了吸热器的成本。因此,为了解决以上问题,需要设计一种结构简单且高效换热的新型塔式太阳能管式吸热器。

发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明拟解决的技术问题是,提供一种圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器。

[0006] 本发明解决所述技术问题的技术方案是,提供一种圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器,其特征在于,该吸热器由若干个流动回路以并联方式组成;单个流动回路呈圆弧状,将若干个流动回路沿周向拼接成圆柱状吸热器;

[0007] 每个流动回路均包括N个吸热管排和N-1个连接管道;吸热管排之间通过连接管道依次首尾相接,形成串联式连通结构;每个流动回路的第一个吸热管排的始端为流动回路入口,最后一个吸热管排的末端为流动回路出口;

[0008] 每个吸热管排均包括上端集箱、歧管、下端集箱、蛇形管、上端汇管和下端汇管;

[0009] 上端集箱的一端设置有上端汇管,另一端通过K条歧管与K条蛇形管的一端连接;K条蛇形管的另一端通过K条歧管与下端集箱的一端连接;下端集箱的另一端设置有下端汇管;上端汇管和下端汇管均与连接管道连通;蛇形管沿吸热器的周向均布于上端集箱和下端集箱之间,形成圆弧;每个蛇形管的波峰和波谷均指向吸热器的周向。

[0010] 与现有技术相比,本发明有益效果在于:

[0011] (1) 本发明在保证吸热器结构复杂程度不显著提高的前提下提高了吸热器的换热能力。本发明设计了一种全新的圆周阵列布置的沿吸热器周向弯曲的正弦蛇形吸热管(简称蛇形管)作为基本换热单元的塔式太阳能吸热器。蛇形管中心线是正弦曲线,与传统直圆管相比,利用蛇形管的曲率作用在流体内产生离心力,强化流体扰动,流体内部会产生二次流,使得换热得到显著强化。同时,与传统添加扰流件强化换热相比,管内并未加入其他扰流部件,因此管内压降不会显著提高。

[0012] (2) 本发明提高了吸热器的安全性和可靠性。传统直圆管换热性能差,造成吸热管内部热量堆积,造成吸热管内存在较高的温度和较大的热应力。蛇形管强化了内部流体的换热性能,使得吸热管内部热量及时带走。因此,吸热管内的温度峰值和温度梯度会显著降低,即由吸热管内部温度引起的热应力得到了缓解,这使得以蛇形管设计的吸热器的安全性得到了提高。

[0013] (3) 本发明提高了吸热器的运行效率。传统吸热器换热差,造成吸热器热量堆积,存在较高的温度,故对外界存在较大的热损。蛇形管温度降低使得吸热器对外界的辐射热损失和对流热损失得到降低,提高了对太阳能的吸收利用,提高了吸热器的运行效率,提高了整个太阳能系统的经济性。

[0014] (4) 本发明结构简单,易于实现且建造成本低。本发明将蛇形管取代传统的直管,方法简单且易于实现。由于管内不需添加扰流件来强化换热,故而相对成本较低。

[0015] (5) 本发明适应性强,应用性高。吸热器内蛇形管结构可以根据实际工程工况合理选择结构参数,使得在不显著增加压降的前提下提升换热性能,且易于加工成形,更换维修便利。

附图说明

[0016] 图1为本发明的吸热器的整体结构立体示意图;

[0017] 图2为本发明的吸热管排的立体示意图;

[0018] 图3为本发明的蛇形管的结构示意图;

[0019] 图4为本发明实施例1的蛇形管内流体二次流流场结构图;

[0020] 图5为本发明实施例1的蛇形管与直管的换热性能对比图;

[0021] 图6为本发明实施例2的蛇形管吸热器与直管吸热器的热效率和吸热器最高温度的对比图。

[0022] 图中,吸热管排1、连接管道2、流动回路入口3、流动回路出口4、保温隔热层5;上端集箱11、歧管12、下端集箱13、蛇形管14、上端汇管15、下端汇管16。

具体实施方式

[0023] 下面给出本发明的具体实施例。具体实施例仅用于进一步详细说明本发明,不限

制本发明权利要求的保护范围。

[0024] 本发明提供了一种圆周阵列式周向弯曲蛇形管太阳能吸热器(简称吸热器),其特征在于,该吸热器由若干个流动回路以并联方式组成;单个流动回路呈圆弧状,将若干个流动回路沿周向拼接成圆柱状,形成吸热器;工作时,以吸热器的旋转轴为中心轴进行旋转;

[0025] 每个流动回路均包括N个吸热管排1和N-1个连接管道2;吸热管排1之间通过连接管道2依次首尾相接,形成串联式连通结构;每个流动回路的第一个吸热管排1的始端为流动回路入口3,最后一个吸热管排1的末端为流动回路出口4;吸热管排1的数量N根据传热流体出口温度的设计需要确定,本实施例中传热流体的出口温度(即流动回路出口4处的温度)为400~800℃;

[0026] 每个吸热管排1均包括上端集箱11、歧管12、下端集箱13、蛇形管14、上端汇管15和下端汇管16;

[0027] 上端集箱11的一端设置有上端汇管15,另一端通过K条歧管12与K条蛇形管14的一端连接;K条蛇形管14的另一端通过K条歧管12与下端集箱13的一端连接;下端集箱13的另一端设置有下端汇管16;上端汇管15和下端汇管16均与连接管道2连通,作为传热工质在吸热管排1的出入口;蛇形管14沿吸热器的周向均布于上端集箱11和下端集箱13之间,形成圆弧;每个蛇形管14的波峰和波谷均指向吸热器的周向(即吸热器的旋转轴与蛇形管14的中心线所在平面呈线面平行)。

[0028] 优选地,每个流动回路的出口温度、吸热管表面最高温度、吸热器最大热应力、蠕变疲劳特性均满足电厂或吸热器的设计工况。

[0029] 优选地,每个吸热管排1所包含的蛇形管14的数量相同。

[0030] 优选地,上端集箱11和下端集箱13用于汇总和分配吸热管排1中的传热工质,即混合同一吸热管排1中的各个蛇形管14汇入的传热工质以及向吸热管排1的各个蛇形管14中分配混合后的传热工质。

[0031] 优选地,歧管12为弯曲圆管,相邻歧管12交错排列在上端集箱11或下端集箱13的两侧,便于减少相邻歧管12之间的间距,使歧管12在上端集箱11和下端集箱13上的布置更加紧凑。为了防止蛇形管14在受热膨胀时对上端集箱11和下端集箱13的约束过于集中,使用歧管12作为缓冲段用来缓解蛇形管内的应力。

[0032] 优选地,每个吸热管排1均分别沿各自的水平中垂面和竖直中垂面对称设计,对称结构便于研究一部分进而计算出整体的性能,保证吸热管排中管道的参数便于研究和实际控制,并且所有吸热管排1的外形均相同,不需要区分不同位置的吸热管排,降低吸热器的组装难度。

[0033] 优选地,两个流动回路之间,两个流动回路入口3相邻(即流动回路入口3与流动回路入口3相邻),两个流动回路出口4相邻(即流动回路出口4与流动回路出口4相邻)。

[0034] 优选地,沿蛇形管14的中心线上任意一点的切线方向做截面(即法向截面)均得到内圆直径为D、外圆直径为R($R=D+2t$)的完全相同的圆环。蛇形管是圆环形截面管道且处处的截面均相同。

[0035] 优选地,蛇形管14的中心线的曲线函数为正弦曲线,正弦曲线周期为T;每根蛇形管14两端之间的直线距离为正弦曲线周期T的偶数倍,便于吸热器加工制造和安装。

[0036] 优选地,为了保证吸热管排1间的合理衔接,吸热管排1内的蛇形管14的数量为偶

数。

[0037] 优选地,传热工质采用超临界CO₂。

[0038] 优选地,为了减小吸热器内部的热损失,需要在吸热器的内侧添加有保温隔热层5。

[0039] 优选地,在运行过程中,为了避免蛇形管14吸热膨胀后相互接触,蛇形管14之间保留有间距,间距之间填充耐高温导热材料。

[0040] 本发明的工作原理和 workflow 是:

[0041] 经过初步处理的传热工质超临界CO₂以一定的速度从流动回路入口3进入吸热器,通过流动回路始端的吸热管排1中的上端集箱11和下端集箱13中的一个进行分流,再进入每个蛇形管14;太阳能以热辐射形式在蛇形管14的表面转化为热能,并通过热传导传递给管内壁面处的超临界CO₂;超临界CO₂流动至蛇形管14的末端,经由歧管12进入此吸热管排1的上端集箱11和下端集箱13中的另一个进行充分混合,再经由连接管道2进入下一吸热管排1再次吸热,直到从流动回路出口4流出;蛇形管14的结构会使超临界CO₂在流动过程中湍流程度增强,热边界被破坏,从而达到更好的换热效果,增强吸热器整体的集热效率。

[0042] 实施例1

[0043] 在管径、壁厚、材质、长度及运行工况等其他条件相同的情况下,对比研究了单根直圆管和单根蛇形管的流动换热特性。运行工况为:入口温度773.15K、操作压力20MPa、入口速度0.3m/s、最高热流100kW/m²,传热工质采用超临界CO₂。

[0044] 使用2.5m长度的直圆管和蛇形管进行研究,具体参数如表1。

[0045] 表1

吸热管	内径D/mm	壁厚t/mm	周期长度L/mm	周期振幅d/mm
蛇形管	18.6	1.2	500	50
直管	18.6	1.2	--	--

[0047] 分别对0.5m处流体流场进行读取,如图4所示。由图4可以看出,蛇形管内离心力的作用使得流体产生了明显的二次流。由于直管无离心力作用,故管内流体无二次流产生。

[0048] 二次流的产生使得流体换热得到了显著的强化,如图5所示,蛇形管内流体的Nu(努塞尔数)要远高于直管的Nu。因此,本发明的蛇形管使得换热性能得到了显著的强化。

[0049] 实施例2

[0050] 实施例1为研究基础,对蛇形管吸热器与直管吸热器进行整体性能对比研究。以Solar Two电站为研究背景。工况选取:热流选取Solar Two运行时9月30日12点的热流分布;入口温度选取574.15K;运行压力20MPa;传热工质采用超临界CO₂。

[0051] 由图6可以看出,蛇形管吸热器整体性能有了明显的提升。较传统直管吸热器,热效率增加了2.27%,最高温度降低了102.7K。提高吸热器效率,可以有效降低发电成本,提高太阳能的使用效率。降低吸热器的最高温度,可以有效缓解吸热器内由于温度梯度引起的应力集中,降低应力失效的风险。

[0052] 本发明未述及之处适用于现有技术。

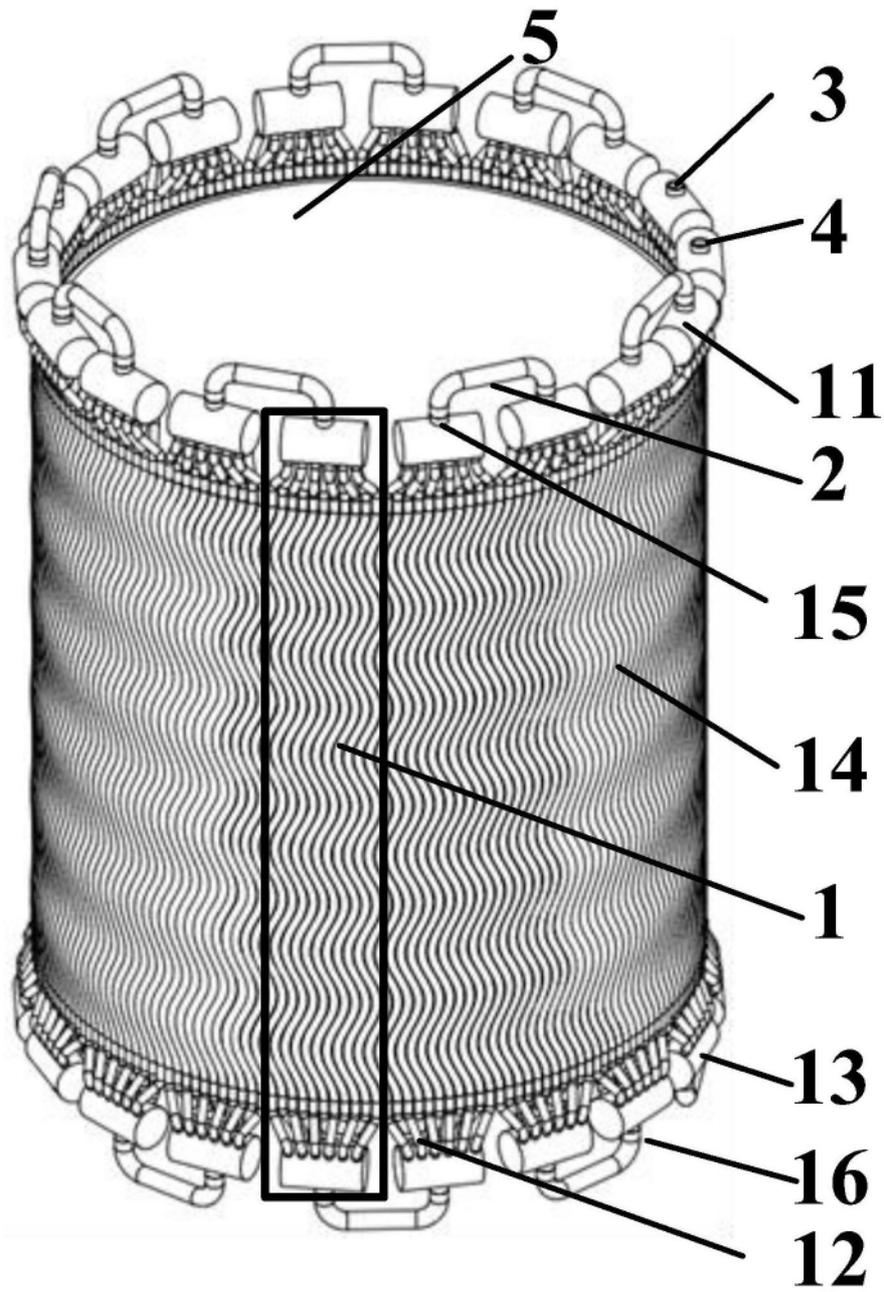


图1

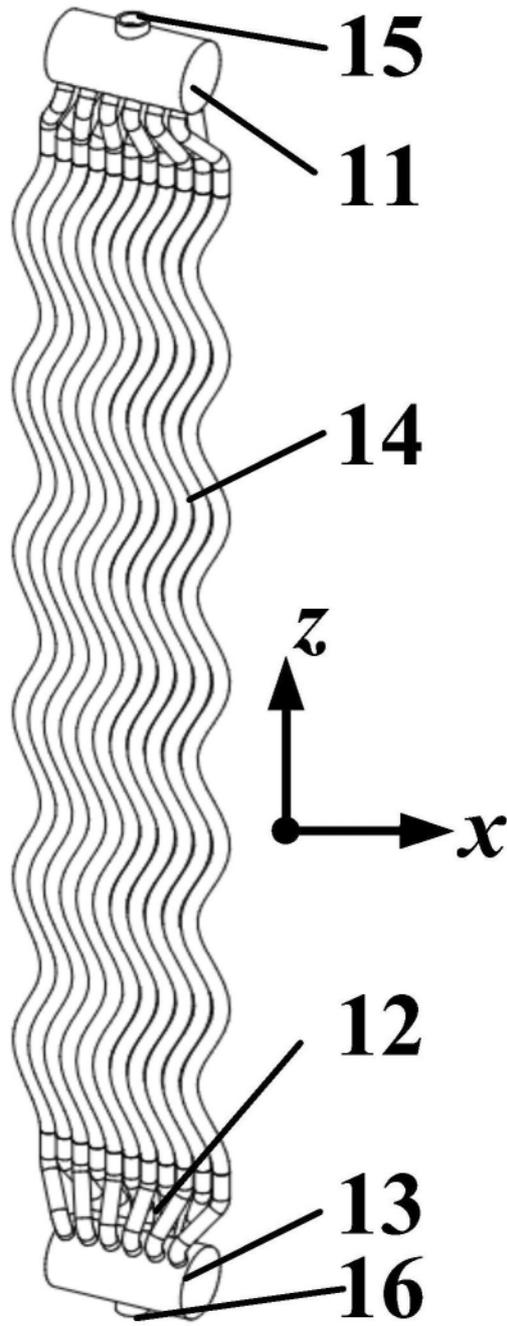


图2

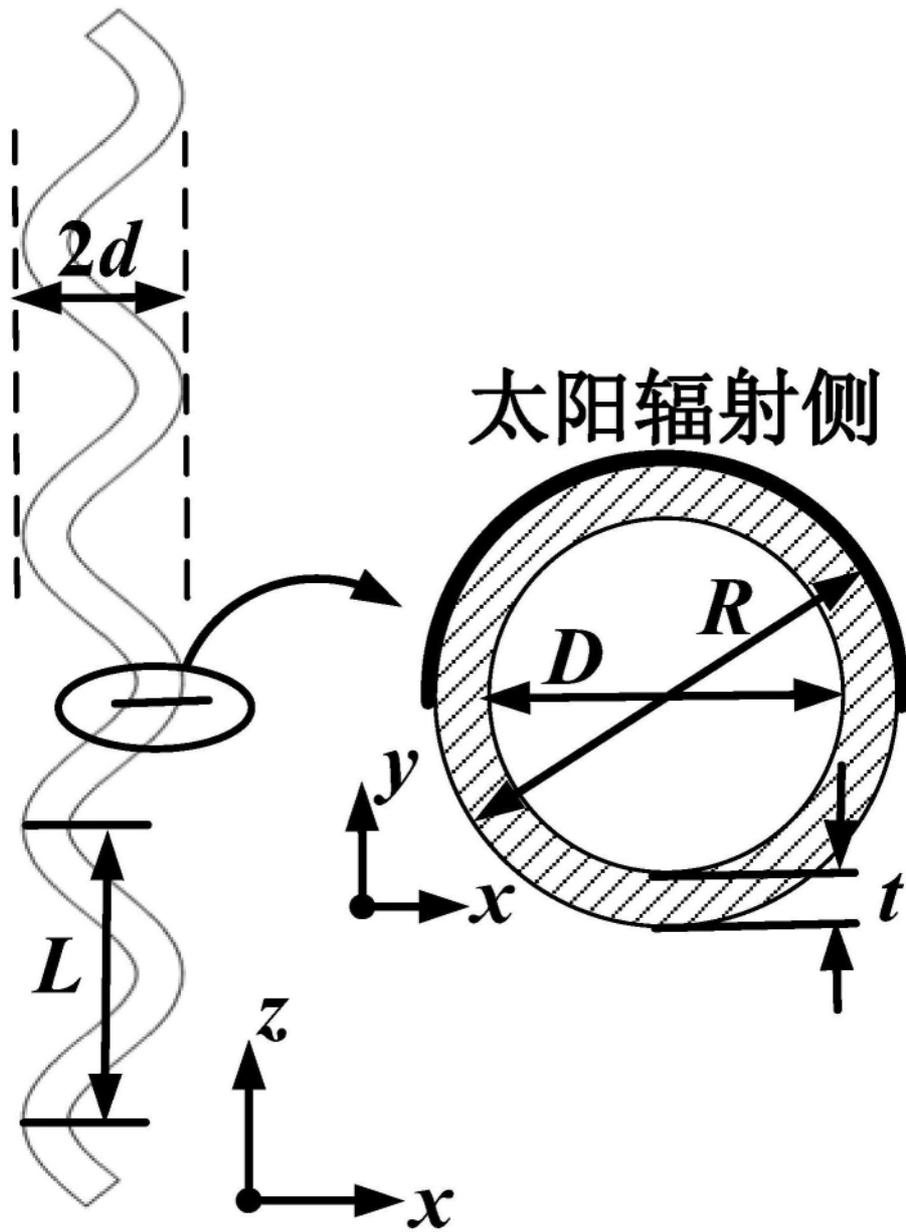


图3

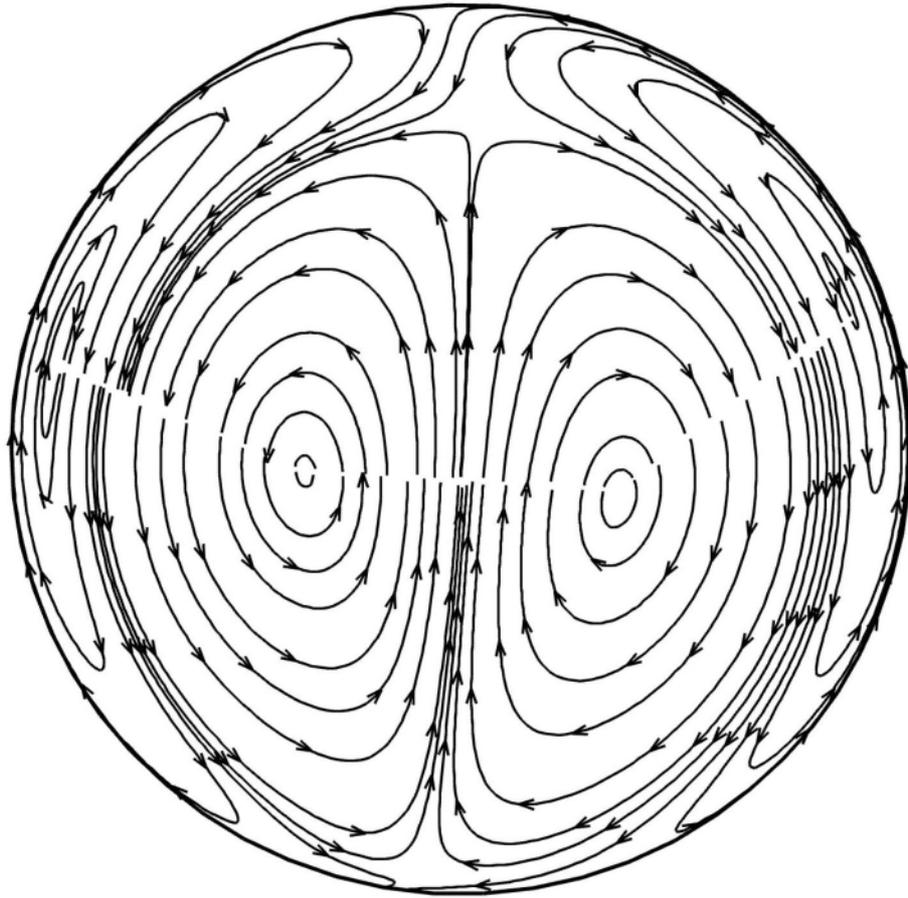


图4

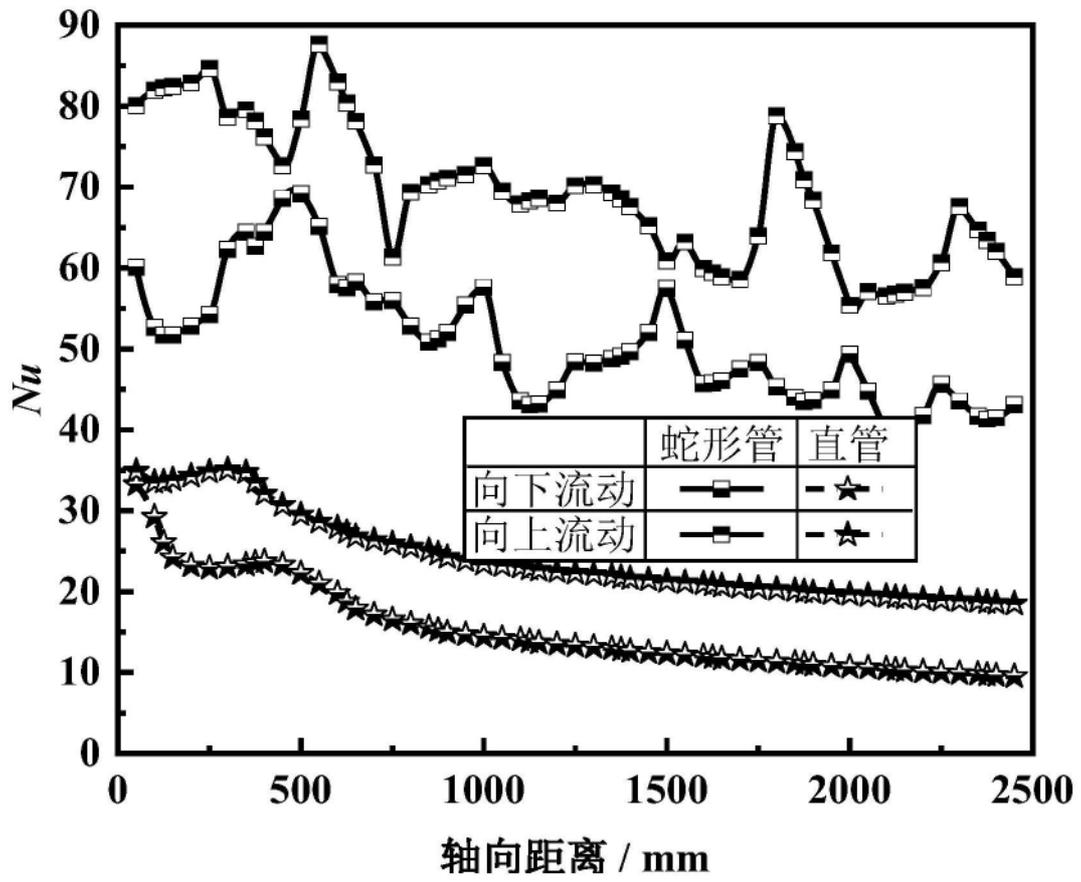


图5

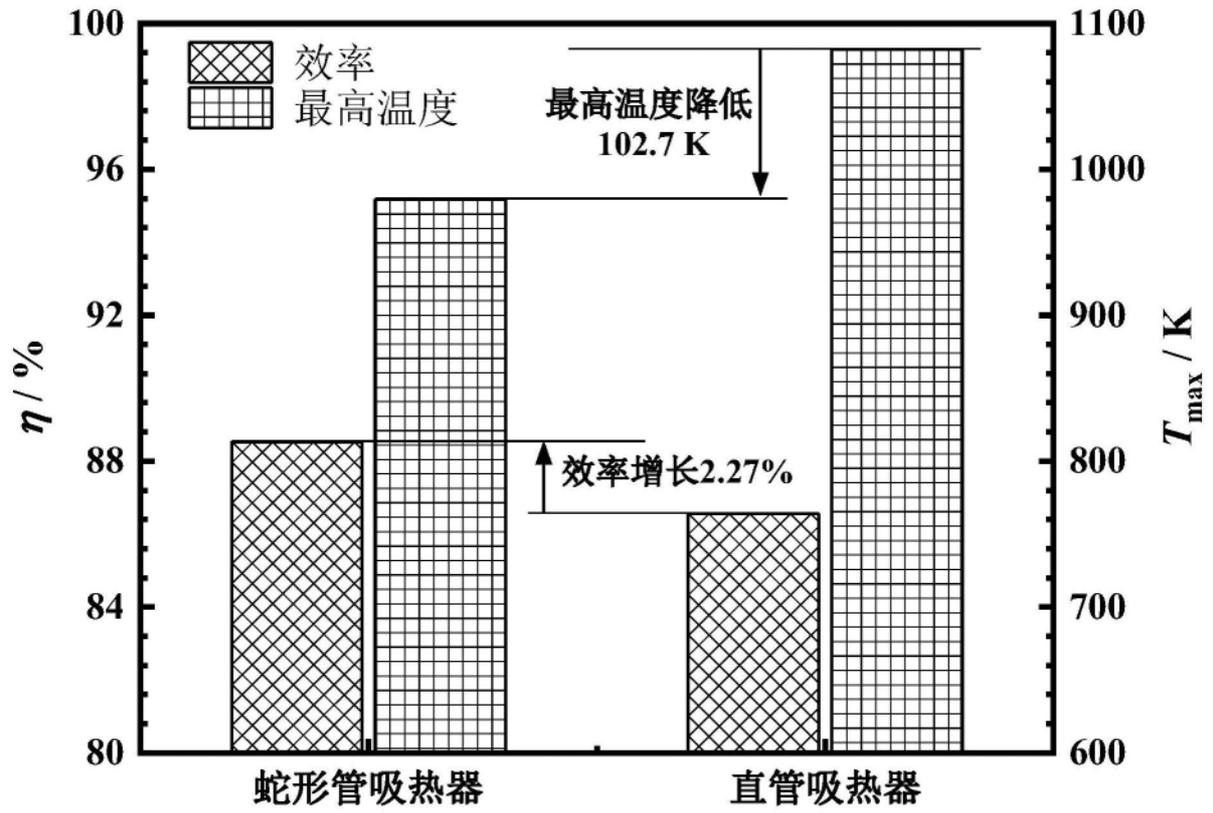


图6