



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105098670 B

(45)授权公告日 2018.07.27

(21)申请号 201510406531.5

H02G 3/32(2006.01)

(22)申请日 2015.07.10

F03D 80/80(2016.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105098670 A

(56)对比文件

CN 103184773 A, 2013.07.03,

王志超. 220kV浦建站大截面电缆敷设的特点.《上海电力》.2008,(第4期),

王志超. 220kV浦建站大截面电缆敷设的特点.《上海电力》.2008,(第4期),

(43)申请公布日 2015.11.25

(73)专利权人 新疆金风科技股份有限公司  
地址 830026 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市经济技术开发区上海路107号

审查员 刘姝佩

(72)发明人 马盛骏 马万顺

(74)专利代理机构 北京天健君律专利代理事务所(普通合伙) 11461

代理人 罗延红 杨艳云

(51)Int.Cl.

H02G 3/00(2006.01)

H02G 3/03(2006.01)

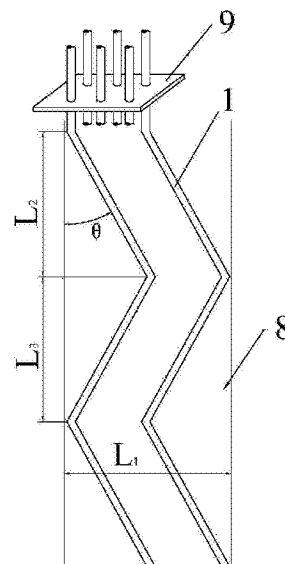
权利要求书2页 说明书19页 附图11页

## (54)发明名称

基于围护结构的传热散热系统和风力发电机组

## (57)摘要

本发明涉及一种基于围护结构的传热散热系统和风力发电机组,该传热散热系统包括围护结构和沿所述围护结构内壁垂直方向敷设的电力传输电缆,所述电力传输电缆敷设在所述围护结构的背阴面区域中。本发明有效降低了围护结构内电力传输电缆的表面温度,延长了其使用寿命,保证电力传输的运行安全。“绿色”、“零能耗”地辅助解决了高温自然地理环境中风力发电机组塔筒内电力传输电缆的过温问题,提高电力传输的系统安全性。



1. 一种基于围护结构的传热散热系统,包括围护结构和电力传输电缆,其特征在于,所述电力传输电缆沿竖直方向敷设成折弯形;所述电力传输电缆敷设在靠近所述围护结构的背阴面内壁的区域中。

2. 根据权利要求1所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,所述电力传输电缆布置成向下以预定转折角往复弯折的锯齿形。

3. 根据权利要求1所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,所述电力传输电缆包括在竖直方向从上至下布置的多个扭曲段,每个所述扭曲段包括至少两个倾斜子段和在所述至少两个倾斜子段之间的过渡子段,所述倾斜子段与竖直方向之间的夹角为预定转折角。

4. 根据权利要求3所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,所述过渡子段包括竖直过渡子段和弧形过渡子段。

5. 根据权利要求4所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,在所述倾斜子段与所述过渡子段的结合部设置有夹持所述电力传输电缆的夹板。

6. 根据权利要求3所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,所述围护结构具有在水平截面中为弧形的内壁,所述电力传输电缆的所述倾斜子段相应于所述弧形的内壁弯折地延伸。

7. 根据权利要求2所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,所述围护结构具有在水平截面中为弧形的内壁,布置成锯齿形的所述电力传输电缆相应于所述弧形的内壁扭曲地延伸。

8. 根据权利要求7所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,在所述电力传输电缆的各转折点处设有夹持所述电力传输电缆的夹板。

9. 根据权利要求8所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,在所述电力传输电缆的每两个转折点之间设有至少一个另外的夹持所述电力传输电缆的夹板,其中,相邻两个所述夹板之间的电力传输电缆为直线形。

10. 根据权利要求2-9中任一项所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,所述预定转折角大于或等于 $5^{\circ}$ ,并小于或等于 $10^{\circ}$ 。

11. 根据权利要求1所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,在所述围护结构的背阴面内壁上至少在与所述电力传输电缆相对的区域中施加热辐射吸收涂层(3)。

12. 根据权利要求1所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,在所述围护结构本体(5)的至少阳面侧外壁上施加第一隔热层(6)。

13. 根据权利要求12所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,所述第一隔热层(6)为热反射隔热涂层,对太阳辐射和地面辐射实施反射。

14. 根据权利要求12所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,在所述围护结构的阳面侧内壁上敷设第二隔热层(4)。

15. 根据权利要求14所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,所述第二隔热层(4)为热辐射隔热涂层。

16. 根据权利要求1所述的基于围护结构的传热散热系统,其特征在于,在所述围护结构的背阴面外壁上施加热辐射散热涂层(7)。

17. 一种风力发电机组,其特征在于,包括根据权利要求1-16任一项所述的基于围护结

构的传热散热系统,其中,所述围护结构为塔筒,所述塔筒内设置有马鞍支架,位于所述马鞍支架以下的所述电力传输电缆沿竖直方向敷设成折弯形。

## 基于围护结构的传热散热系统和风力发电机组

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力传输技术领域,尤其涉及一种基于围护结构的传热散热系统和风力发电机组。

### 背景技术

[0002] 一、风力发电机组塔筒电力传输电缆应用的物理概况

[0003] 近年来,随着风力发电机组容量的不断增大,风力发电机组塔筒电力传输电缆传输的电流等级越来越大,电力传输电缆的直径和重量也不断增大,设计中电流负荷估算、实际运行中电流导致的发热情况以及铜价上涨所造成的成本压力等因素,都是整机设计厂家非常关心的问题。

[0004] 1. 电力传输电缆设计的一般要求

[0005] 电力传输电缆的设计、制造要充分考虑风力发电机组的安装、运行特点(如风的不可控性、随机性,有时瞬时变化可达10m/s以上,随风速变化风机负载波动幅度大)。应考虑频繁的投入和切出以及振动的影响,考虑风机运行中所受的各类载荷(稳定、周期、随机、瞬态、谐振载荷),以满足现场使用要求。

[0006] 2. 电力传输电缆的工作环境

[0007] 电力传输电缆敷设在塔筒内,竖直悬空放置,承受自垂重力作用,工作中需要经常偏航对风(电力传输电缆扭转)。电力传输电缆导体长期允许工作温度 $80^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ 或更高。电力传输电缆工作环境的温度范围会处于 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度高达95%,海拔高度超出2000m以上。电力传输电缆有低温抗扭转性能、低温柔软性能、抗紫外线性能、耐磨性能、耐油性能、防化学腐蚀性能、阻燃、耐臭氧性能耐海水腐蚀性能等。

[0008] 3. 电力传输电缆的优点

[0009] 塔筒电力传输电缆是为安装在风力发电机组塔筒内而设计的,用于额定电压0.6/1kV(690V)系统,作为电力传输电缆使用。电力传输电缆的使用历史较长,技术成熟,归纳起来有以下几个优点:

[0010] (1) 电力传输电缆有专业的绝缘及防护外层,绝缘性能好,外层一般具有阻燃性,绝缘不助燃。

[0011] (2) 电力传输电缆柔韧性好,运输方便,不易损坏;电力传输电缆长度自由度大,任意长度连接方便。

[0012] (3) 电力传输电缆的外层易于做到高防护等级,不用另外再加防护。

[0013] (4) 电力传输电缆按电压等级分有额定电压450/750V、0.6/1kV、1.8/3kV、3.6/6kV、8.7/10kV及26/35kV等。

[0014] 单芯规格从 $1.5\text{mm}^2\sim 400\text{mm}^2$ 不等,多芯规格从 $1.5\text{mm}^2\sim 300\text{mm}^2$ 不等,选择余地较大。

[0015] (5) 电力传输电缆对于矿物油、合成齿轮油以及液压油具有卓越的耐受性,更适合于高湿度、高盐雾环境条件。

#### [0016] 4. 电力传输电缆的缺点

[0017] 风力发电机组塔筒电力传输电缆,由几十米长(一般60~110m不等或更高)从机舱到塔筒底部的整个电流传输长度的若干电力传输电缆组成,电力传输电缆的敷设有分段敷设和整体敷设两种方式。一般分段安装是将电力传输电缆分为几段(一般按每节塔筒一段来分),在塔筒的连接处将电力传输电缆连接;整体敷设的电力传输电缆一般是塔筒吊装完毕后从机舱向塔筒下部敷设。风力发电机组电力传输电缆一般为铜芯电力传输电缆,随着风力发电机组容量不断增大,兆瓦级低压风力发电机组(额定电压为1000V以下)的塔筒内电力传输电缆敷设有以下几个缺点:

[0018] (1) 由于塔筒不断增高,整根电力传输电缆敷设时自重增大,尤其固定不方便。

[0019] (2) 电力传输电缆的载流量增大,其截面积也会相应增大;载流量受电力传输电缆直径限制,直径太大造成安装的困难;所以,对大容量发电机组的动力要求,由于电力传输电缆直径太大,也造成了安装困难。

[0020] (3) 塔筒内电力传输电缆整根敷设难度大、现场敷设周期长;分段敷设时,电力传输电缆接头处压接制作工艺要求高,后期存在故障检测、修复困难等。

[0021] (4) 电力传输电缆机械强度低,电力传输电缆在机舱与塔筒中敷设时需要安装相应的电力传输电缆桥架等配套设施,无形中增加了机组成本。

[0022] (5) 有些标准电力传输电缆中含有卤族元素或PVC,不环保,阻燃电力传输电缆的绝缘和护套在火焰下虽然不助燃,但也会燃烧。

[0023] (6) 电力传输电缆受到线芯和绝缘材料的限制,其单根载流量通常只有几百安培,所以在大容量输电时,只能多根并联,这样又会大大增加塔筒与机架的承重能力,并且占用过多操作空间,使得本来就窄小的操作窄间变的更加拥挤。

[0024] (7) 使用标准电力传输电缆电磁干扰较大,布线时要注意电力传输电缆与控制电力传输电缆以及需要模拟信号传输的电气元件保持一定距离,否则电力传输电缆会对其产生较大影响。

[0025] (8) 在变速恒频双馈风力发电系统中,长线电力传输电缆传输使脉宽调制(PWM)变频器的输出信号在电机转子侧产生过电压经电力传输电缆到达发电机的电压可达2250V左右,严重时会导致绕组和转子集电环过早地损坏。

[0026] (9) 电力传输电缆的检修、维护和故障判断无法分段检测,遇故障需更换时必须更换整根电力传输电缆,成本高,工程量大。

[0027] (10) 电力传输电缆的绝缘层时间长了有老化的问题。使用寿命一般为15-20年左右,后期投入大。

[0028] (11) 从成本考虑,全球铜价逐年上涨,铜价波动较大,直接影响电力传输电缆成本也随之频繁的波动,增加整机厂的成本控制。有些风力发电机组生产厂在生产大容量(3MW以上)的机组时,为了减少低压电力传输电缆用量而采用中高压电力传输电缆作为动力传输介质,如会选用3000V,6000V及35kV电力传输电缆传输,这样在传输功率不变的条件下升高了额定电压,相应地减小了传输电力传输电缆的载流量,电力传输电缆的截面积与数量也会减少。这种选用中高压电力传输电缆传输的机组一般会分为两种方式将额定电压升高。一种是选用中压或高压发电机,即发电机出口所发出功率的电压是3000V或6000V,这样可选用电力传输电缆导体截面积较小的电力传输电缆,但这种方式缺点是:可以与高压发

电机匹配的变流器很少或者造价很贵,虽然电力传输电缆的成本节省了一些,但是发电机和变流器的成本却大幅提高,得不偿失,这种高压传输的方式选用的较少。第二种方式是将原来在塔筒外面放置的箱变安放到机舱内部,将所发出的低压功率直接转化成高压功率(多为35kV),再经导体截面积较小的高压电力传输电缆传输到电网中,这种方法也会有有效的减小原有的电力传输电缆线径过大,电力传输电缆数量过多的问题。但这种方法的缺点是:

[0029] ①变压器和变流器需要放置到机舱中,这样会使整个机组重量变大,机舱内的空间与机架的体积也要随之增大,加大了机架、塔筒的承重载荷,机架与塔筒要设计的更重,空间更大才能安放并承受机架上的零部件,这样无形中就增加机架与塔筒的成本,也加大了机组现场吊装的难度。

[0030] ②生产35kV风力发电机组用耐扭转的电力传输电缆的生产商较少,由于生产工艺要求较复杂,国内电力传输电缆生产厂家较少,多以国外生产商为主,造价比1000V以下的风机用电力传输电缆高3~5倍不等,电力传输电缆的节省的成本有限。这种升压传输方式多用于海上机组。

[0031] 二、塔筒电力传输电缆传统敷设方案的简要说明

[0032] 通常,机舱内发电机开关柜电力传输电缆沿着机舱底座下部电力传输电缆槽至塔筒上部入口,并用“电力传输电缆掉网”将每根电力传输电缆网挂在机舱底部,从机舱内悬挂点至马鞍面部分电力传输电缆按照如图1和图2方式安装,至马鞍面10的电力传输电缆1同时还需满足扭转性能,电力传输电缆1安装于空心电力传输电缆护圈内,经由马鞍面10过渡至塔筒壁预制的夹具电力传输电缆夹板内的凹槽中。此段电力传输电缆会受到机舱偏航影响会经常扭转。沿着马鞍面至塔底的电力传输电缆采用电力传输电缆夹板固定。在电力传输电缆夹板穿孔固定的圆柱形电力传输电缆线束之间的间距为线径的2.5倍以上。如图2所示,电力传输电缆1沿着塔筒内壁“一个固定的圆周方位”向下敷设、分段固定在塔筒壁附近。

[0033] 三、塔筒电力传输电缆传统敷设方案存在电力传输电缆过热的问题

[0034] 在塔筒电力传输电缆传统敷设方案中,电力传输电缆借助电力传输电缆夹板在塔筒内壁一个固定方位成组下落敷设,单纯考虑与固定在塔筒内部的梯子靠近,便于安装。但是,没有专门考虑将塔筒作为建筑行业的围护结构来对待,也没有专门考虑系统化散热。现有技术中,尤其是在夏季容易出现电力传输电缆过热的问题,影响风力发电机组的正常运行,降低了对风能的可利用率,缩短了电力传输电缆的使用寿命。

[0035] 四、电力传输电缆过热的原因分析

[0036] 1.塔筒电力传输电缆传统敷设方案在散热方面存在缺点,主要表现在以下方面:

[0037] (1)经由马鞍面过渡至塔筒壁预制的夹具电力传输电缆夹板内的凹槽中,之后电力传输电缆以传统方式平行于塔筒内表向下竖直敷设。电力传输电缆自下向上(塔顶)延伸过程中,没有明确有利于电力传输电缆散热的定向固定方位;下段电力传输电缆表面被加热的气流在受浮升力作用上升过程中对电力传输电缆的上段冷气流介入电力传输电缆表面进行冷却所起的干扰阻挠作用很大,来自下段、上升的气热流对上段电力传输电缆有加剧“围绕包裹电力传输电缆”的作用。

[0038] (2)多跟电力传输电缆并行竖直排布所占据的塔筒内壁附近的周向弧长(或横向

宽度)也有限,电力传输电缆自身产热后表面附近的热空气受到浮升力作用后向上运动,上升的热空气运动过程可以带动、掺混的塔筒壁面附近的空气所占据的周向弧长也较小,传统敷设布置没有发挥背阴面塔筒壁及其附近温度较低的空气构成的这个“冷源”的作用。“冷源”是相对于“热源”来讲的,“热源”在这里指电力传输电缆以及工作的电气设备,“冷源”指背阴侧塔筒壁和内侧空气及其背阴侧塔筒壁外部空间环境,包括塔筒外空气、自然环境。这个“冷源”在此具有吸收更多热量的潜力,并且相比于电力传输电缆表面,塔筒内壁作为低温受热面具有水平径向传递热量的能力(借助其中的背阴面塔筒壁构成的温差热流传递系统,这个“系统”是在“热源”电力传输电缆与“冷源”之间局部自然存在的热量传递系统),对此,现有技术中也还没有相关的高效开发利用。以往建筑环境设备与能源工程专业领域(对此风电环节)也还没有引起人们的重点关注,这方面存在可挖掘的节能潜力极大。

[0039] 2. 夏季存在塔筒内温度过热的问题

[0040] 现有技术中,尤其是在夏季存在塔筒内温度过热的问题,主要是塔筒外气候因素的影响,热量主要来源为:

[0041] (1) 太阳辐射投入到塔筒围护结构表面,辐射能转化被吸收,并以热传导方式传入塔筒内壁的热量,也包括机舱围护结构表面、发电机外表面传入的热量。

[0042] (2) 地面、路面对塔筒围护结构的反射辐射及长波辐射。

[0043] (3) 塔筒内电力传输电缆等电气设备工作产生的热量。

[0044] 3. 我国炎热地区的范围与热气候特征分析

[0045] 我国炎热地区指常年最热月份平均气温高于或等于 $25^{\circ}\text{C}$ 的地区。其范围主要包括长江流域的江苏、浙江、安徽、江西、湖南、湖北和四川盆地;东南沿海的福建、广东、海南和台湾及广西、云南、贵州。这些地区因受东南季风和海洋暖气团北上的影响,以及强烈的太阳辐射和下垫面共同作用,使得气候炎热,夏季时间长,如不采取防热措施,势必造成风力机塔筒内过热,严重影响影响机组的正常运行,甚至导致风力发电机组在额定风速下降功率运行。

[0046] 炎热地区的热气候特征主要有:

[0047] (1) 热气候有干热和湿热之分。温度高、湿度大的热气候称湿热气候;温度高而湿度低的热气候称干热气候。

[0048] (2) 气温高且持续时间长。日平均气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数,每年约有100~200天。

[0049] (3) 太阳辐射照度大,辐射强度最高约为 $930\sim 1045\text{W}/\text{m}^2$ 。

[0050] (4) 季风旺盛。

[0051] (5) 干热区气候干燥、气温高、温度日差较大,晴朗少云,吹热风并带沙尘。如一昼夜室外气温波动在 $45^{\circ}\text{C}\sim 18^{\circ}\text{C}$ 之间。

## 发明内容

[0052] 本发明的实施例提供一种基于围护结构的传热散热系统和风力发电机组,以降低围护结构(如塔筒)内电力传输电缆的表面温度,延长使用寿命,“绿色”、“零能耗”地辅助解决高温自然地理环境中(如沙漠、干旱等地域)风力发电机组塔筒内电力传输电缆的过温问题,提高电力传输的系统安全性。

[0053] 为达到上述目的,本发明的实施例采用如下技术方案:

[0054] 一种基于围护结构的传热散热系统,包括围护结构和电力传输电缆,所述电力传输电缆沿竖直方向敷设成折弯形。

[0055] 进一步地,所述电力传输电缆敷设在靠近所述围护结构的背阴面内壁的区域中。

[0056] 进一步地,所述电力传输电缆布置成向下以预定转折角往复弯折的锯齿形。

[0057] 进一步地,所述电力传输电缆包括在竖直方向从上至下布置的多个扭曲段,每个所述扭曲段包括至少两个倾斜子段和在所述至少两个倾斜子段之间的过渡子段,所述倾斜子段与竖直方向之间的夹角为预定转折角。

[0058] 进一步地,所述过渡子段包括竖直过渡子段和弧形过渡子段。

[0059] 进一步地,在所述倾斜子段与所述过渡子段的结合部设置有夹持所述电力传输电缆的夹板。

[0060] 进一步地,所述围护结构具有在水平截面中为弧形的内壁,所述电力传输电缆的所述倾斜子段相应于所述弧形的内壁弯折地延伸。

[0061] 进一步地,所述围护结构具有在水平截面中为弧形的内壁,布置成锯齿形的所述电力传输电缆相应于所述弧形的内壁扭曲地延伸。

[0062] 进一步地,在所述电力传输电缆的各转折点处设有夹持所述电力传输电缆的夹板。

[0063] 进一步地,在所述电力传输电缆的每两个转折点之间设有至少一个另外的夹持所述电力传输电缆的夹板,其中,相邻两个所述夹板之间的电力传输电缆为直线形。

[0064] 进一步地,所述预定转折角大于或等于 $5^{\circ}$ ,并小于或等于 $10^{\circ}$ 。

[0065] 进一步地,在所述围护结构的背阴面内壁上至少在与所述电力传输电缆相对的区域中施加热辐射吸收涂层。

[0066] 进一步地,在所述围护结构本体的至少阳面侧外壁上施加第一隔热层。

[0067] 进一步地,所述第一隔热层为热反射隔热涂层,对太阳辐射和地面辐射实施反射。

[0068] 进一步地,在所述围护结构的阳面侧内壁上敷设第二隔热层。

[0069] 进一步地,所述第二隔热层为热辐射隔热涂层。

[0070] 进一步地,在所述围护结构的背阴面外壁上施加热辐射散热涂层。

[0071] 一种风力发电机组,包括上述的基于围护结构的传热散热系统,其中,所述围护结构为塔筒。

[0072] 本发明实施例提供的基于围护结构的传热散热系统和风力发电机组,是在热力学第二定律(热力学第二定律的实质便是论述热力过程的方向性及能质退化或贬值的客观规律。所谓过程的方向性,除指明自发过程进行的方向外,还包括对实现非自发过程所需要的条件,以及过程进行的最大限度。热力学第二定律告诫我们:自然界的物质和能量只能沿着一个方向转换,即从可利用到不可利用。该定律揭示了能量在转换与传递过程中,具有方向性及能质不守恒的客观规律,所有热力过程都必须同时遵守热力学第一定律和热力学第二定律)的指导下,借助塔筒这样的围护结构,挖掘其“背阴面内壁面”及其附近空气温度较低的这个“冷源”,水平径向构建温度降落的热流传递系统,有效降低了围护结构(如塔筒)内电力传输用电力传输电缆的表面温度,延长了其使用寿命,保证电力传输的运行安全。“绿色”、“零能耗”地辅助解决了高温自然地理环境中(如沙漠干旱等地域)风力发电机组塔筒内电力传输电缆的过温问题,提高电力传输的系统安全性。



## 附图说明

- [0073] 图1和图2表示风力机塔筒内电力传输电缆现有技术典型敷设方案；
- [0074] 图3示出作为围护结构的塔筒在夏季各朝向太阳辐射及出现高温和暴雨方向的范围；
- [0075] 图4示出作为围护结构的塔筒外部夏季综合温度的组成；
- [0076] 图5为作为围护结构的塔筒外围不同朝向的综合温度曲线图；
- [0077] 图6为本发明实施例的传热散热系统的横截面示意图；
- [0078] 图7和图8示意性表示塔筒内电力传输电缆根据本发明实施例的敷设方案；
- [0079] 图9示意性表示本发明实施例一的传热散热系统中电力传输电缆的敷设方案；
- [0080] 图10和图11为本发明实施例的传热散热系统强化传热原理分析用图，其中，图10以侧视图表示电力传输电缆和塔筒壁，图11以沿径向的正视图表示电力传输电缆和塔筒壁；
- [0081] 图12表示本发明实施例的传热散热系统中电力传输电缆与塔筒壁之间的两种边界层相互作用强化换热；
- [0082] 图13表示本发明实施例的传热散热系统中围护结构背阴面内壁涂层与电力传输电缆表面之间辐射换热简化后的净热量传递示意；
- [0083] 图14为本发明实施例的传热散热系统中围护结构背阴面内壁涂层径向获取、传递热流示意图；
- [0084] 图15为本发明实施例的传热散热系统一塔筒壁内表面对径向热流实施阻断来配合背阴面传热冷却的原理分析用图；
- [0085] 图16为本发明实施例的传热散热系统一塔筒壁内表面涂层热源等效单元网络图；
- [0086] 图17示意性表示本发明实施例二的传热散热系统中电力传输电缆的敷设方案；
- [0087] 图18示意性表示本发明实施例三的传热散热系统中电力传输电缆的敷设方案。
- [0088] 附图标记汇总：电力传输电缆1、电气设备2、热辐射吸收涂层3、第二隔热层4、塔筒5、第一隔热层6、热辐射散热涂层7、三角形空挡区域8、夹板9、马鞍面10、第一倾斜子段11、第二倾斜子段12、过渡子段13。

## 具体实施方式

- [0089] 首先对发明人经研究后做出的本发明应用环境分析及发明核心思想进行说明。
- [0090] 1、塔筒等围护结构的热环境分析
- [0091] 发明人对目前风力发电机组中电力传输电缆在马鞍形支架以下传统敷设方式在塔筒壁内没有专门挖掘圆周方向“定向方位”利于热源散热冷却的现有技术状况，在行业率先提出在当地建设风电场之前，获取气象数据并且实测安装地点区域夏季的日辐射量，即东、南、西、北各个朝向（方位）以及正上方的日辐射量数值，绘出如图3所示的哑铃形状的曲线，其向心径向大小代表风机塔筒所在地各个朝向的太阳辐射量。
- [0092] 图3为以北半球的我国境内某地风电场地理环境气象数据为依据，测量绘制出的直立风力发电机组的塔筒外部环周夏季日辐射量日变化情况代表性示意图。日辐射量变化如图中虚线所示，沿着不同方位的径向幅值大小（长短）代表相应塔筒方向时段太阳即时投

射到塔筒壁的辐射强度。

[0093] 从图3可以看出:由南向西顺时针方向 $60^{\circ}$ 左右是开始出现高温的方位,一直持续到正西侧,之后才开始降低辐射强度(即:日常所说的“西晒”)。该地理位置处的正北侧不会直接得到太阳辐射,只有当地地表面辐射和大气辐射,即环境辐射,表现幅值非常弱小,值得搭桥利用,向该方向由内向外搭桥传递热流,也正是本发明的技术发明点之一。

[0094] 同时,图3也给出该地理环境在夏季的暴风雨方向,来自这个方向的暴风雨冲刷这个方向的塔筒壁,极弱的太阳辐射连同定向的暴风雨(规律)致使塔筒壁北侧及其偏右区域外侧温度较低。

[0095] 依据物质迁移规律,通量(热流量) = 物质迁移过程的推动力(温压)/阻力(热阻),这是产生本发明的核心指导思想。在塔筒内,尤其是底部设置有机组变流器及其电抗器、变压器(包括给机组供给厂用电的变压器和连接电网输出电能的变压器),还有电力传输电缆,它们都是热源,外表温度都会远远高于塔筒壁面北侧温度。因此,以上热源与塔筒外壁径向存在温差,通过布置热源、并搭建热流径向传递通道,将背阴侧塔筒壁内侧更宽周向弧长范围内的空气被构建的新结构带入到参与从电力传输电缆吸热,再向更宽周向弧长的塔筒内壁面放热,即自然对流换热中吸收热源热量的冷源大幅度增加了(见图11中 $L_1$ 的宽度至少是过去传统技术宽度或弧长的2倍)。按照牛顿冷却定律,换热面积增加,提高了换热速率。强化热源散热,形成本发明的技术发明点之二。

[0096] 发明人率先在风力发电机组中引用《建筑工程建筑面积计算规范》GB/T50353-2005“围护结构(envelop enclosure)”这个专业词汇,将“塔筒”视为风力发电机组的围护结构的一部分。在《建筑工程建筑面积计算规范》GB/T50353-2005中规定:围护结构(envelop enclosure)是指围合建筑空间四周的墙体、门、窗等,构成建筑空间抵御环境不利影响的构件(也包括某些配件)。围护结构分透明和不透明两部分:不透明围护结构有墙、屋顶和楼板等;透明围护结构有窗户、天窗和阳台门等。根据在建筑物中的位置,围护结构分为外围护结构和内围护结构。内围护结构如隔墙、楼板和内门窗等,起分隔室内空间作用,应具有隔声、隔视线以及某些特殊要求的性能。

[0097] 围护结构通常是指外墙和屋顶等外围护结构。外围护结构包括外墙、屋顶、侧窗、外门等,用以抵御风雨、温度变化、太阳辐射等,应具有保温、隔热、隔声、防水、防潮、耐火、耐久等性能。外围护结构的材料有砖、石、土、混凝土、纤维水泥板、钢板、铝合金板、玻璃、玻璃钢和塑料等。外围护结构按构造可分为单层的和多层复合的两类。单层构造如各种厚度的砖墙、混凝土墙、金属压型板墙、石棉水泥板墙和玻璃板墙等。多层复合构造围护结构可根据不同要求和结合材料特性分层设置。通常外层为防护层,中间为保温或隔热层(必要时还可设隔蒸汽层),内层为内表面层。各层或以骨架作为支承结构,或以增强的内防护层作为支承结构。

[0098] 在此,发明人率先意识到并在风力发电机组节能降耗技术探索中引用“围护结构(envelop enclosure)”这个专业词汇,并将“塔筒”视为风力发电机组的围护结构的一部分是必要的、准确、恰当的。

[0099] 风力发电机组节能降耗技术探索中引用“围护结构(envelop enclosure)”专业词汇具有如下的用途:

[0100] 针对塔筒“围护结构(envelop enclosure)”所在地各个朝向的太阳辐射的日辐射

量测试图开创性地率先用来确定塔筒内主电力传输电缆在塔筒壁内向下敷设的“定向方位”，作为确定“定向方位”布置的主要物理依据。将电力传输电缆敷设布置的区域划定在直立塔筒周向弧度的正北及偏东的一个区域，这个区域就是指在建筑行业术语的塔筒壁“背阴面”的内壁附近。

[0101] 在本发明中，建筑“阳面(侧)”主要指向阳的南面(北半球)，其次是指有日照条件的东西面，“背阴面”主要是指无日照条件的北面(北半球)。

[0102] 在风力机塔筒壁本体径向传热过程中，辐射换热是重要的一个传热方式，它包括太阳辐射在塔筒表面的传递和在塔筒内表面间的热辐射交换。它虽然也直接影响着围护结构内外温度高低，却不像空气温度那样容易被人觉察。

[0103] 太阳辐射以直射、散射两种方式到达塔筒本体外表面。在表面发生能量性质的转化：辐射能转化成热能，在经热传导方式传递到塔筒内壁防腐涂层。如果温度高于塔筒内空气温度，表面就会将热量释放到空气里。更重要的是：塔筒内有各种电力设备，如电力传输电缆、变压器、交流器以及电力补偿设备等各种产热热源。塔筒内封闭围护结构具备蓄热能力，在夏季，塔筒内壁会对其内空气沿着上升高度方向以自然对流换热方式持续加热。没有外界驱动力但仍然存在运动的情况，称之为自然对流或自由流动。引起流体这种运动的内在力量是温度差或者(组分的)浓度差。后者属于传质问题。在夏季，塔筒内部空气接受塔筒内壁持续加热、或接受内热源加热，将在塔筒内部造成空气温度差。引起自然对流的浮升力实际上来自流体的密度梯度以及与该密度梯度成正比的体积力的联合作用。在地球引力场范围内，最普遍存在的体积力是重力。在塔筒内不存在旋转运动导致的离心力，造成空气密度梯度的原因就是温度差。

[0104] 太阳辐射热量在下午两、三点钟达到全天的最高值(见图4、图5所示)，此后气温又随太阳辐射热的减小而下降，到下一个凌晨四、五点又达最低值(见图4、图5所示)。显然，在一段时间内，可以认为气温的热变化是以24小时为周期的周期性波动。塔筒在中午时段持续接受太阳辐射加热，同时空气温度较高，空气与塔筒外壁通过对流换热散失的热量较小，塔筒外壁有效吸收的热能较大。

[0105] 图4以北半球的我国境内某地直立风力发电机组处自然环境气象数据为背景，测量绘制出塔筒外环境夏季代表性日温度变化情况，曲线c1表示塔筒外综合温度，曲线c2表示塔筒外空气温度，曲线c3表示太阳辐射当量温度。在夏季建筑热工计算的室外气候条件中，最主要的是太阳辐射和塔筒外空气温度，尽管它们与塔筒外表涂层之间换热方式不同，但效果都是使塔筒、机舱的外表涂层温度增加。为了简化计算，对太阳辐射热作用折算(太阳辐射当量温度)，用一个假想的“塔筒、机舱外综合温度” $t_{sa}$ 来代替太阳辐射和塔筒外空气温度两者的共同作用效果，也即曲线c2和c3叠加成曲线c1。

[0106] 图5以直立风力发电机组处自然环境气象数据为背景，测量绘制出塔筒、机舱围护结构不同朝向夏季代表性日温度变化情况，曲线c4、c5和c6分别表示水平面、东向垂直面和西向垂直面的综合温度。

[0107] 从图5可以看出：①机舱顶部综合温度自8点至14点持续高于塔筒、机舱外围护结构的东向垂直面、西向垂直面，以12点为对称点，机舱顶部外表环境持续处于高的综合温度环境之中。

[0108] ②塔筒、机舱外围护结构的西向垂直面温度在推迟8个小时后高于东向垂直面温

度。

[0109] ③西向垂直面在16点达到最高温度值后,考虑温度波传递到塔筒、机舱内壁会推迟大约半个小时到一小时,推迟的时间长短与塔筒、机舱材质及涂层材料的蓄热系数有关,蓄热系数大小对应围护结构内高温推迟的时间长短。在新疆天山南坡哈密地区某风电场夏季,地理位置决定18点以后时常起风,致使风力发电机组持续满功率发电至第二天凌晨以后。这意味着风力发电机组内部热源产热持续“走高”,外部环境温度的降低并不会立刻影响机组内部环境温度。必须依靠塔筒壁北侧内壁功能涂层“搭桥”,吸收电力传输电缆、电气设备产热,径向传热。

[0110] 总之,塔筒壁正午、正午后时段向阳面持续接受太阳高辐射加热,经过塔筒传递到内壁,造成内壁温度升高,内壁与塔筒内空气之间热交换,塔筒内壁温度越高,内部受热源加热后的空气温度会越高。塔筒内的电气设备温升会超过上限,电器安全运行受到威胁。

[0111] 2、本发明的核心思想

[0112] 马鞍支架下电力传输电缆在塔筒壁内“定向(方位)”向下敷设确定后,下一步实施方法的核心思想有以下两点:

[0113] (1) 并行下落的多跟电力传输电缆所占据的塔筒壁内壁附近周向弧长或周向宽度很有限,面对塔筒壁对应的周向弧长或周向宽度一样很有限,成组并行下落电力传输电缆与塔筒壁两者之间夹杂的空间所占据的空气数量同样较少,电力传输电缆自身产热后表面附近的热空气受到浮升力作用后向上运动,移动过程可以带动、掺混的塔筒壁面附近周向弧长的凉空气面积也较小,没有全面发挥背阴面塔筒壁及其内表面温度相对较低(比阳面低5-10℃)以及附近表面温度较低的空气这个大“容性”“冷源”的作用。这里,“容性”是指具有容纳和装载热量的本领,“冷源”一词也是物理学中热学领域专业名词术语,电力传输电缆和电气设备是“热源”,“热源”向“冷源”能够自发的传递热量,但需要在它们之间搭建一个较高传热速率的传热路径,这个传热路径涉及传热阻力的大小。

[0114] 本发明的核心是借助电力传输电缆新型敷设路径与背阴面塔筒壁及其内表面构建了一个热阻小于传统现有技术的新型结构。具体地,将塔筒背阴面内壁上更多的(即更大周向弧长或周向宽度)的温度相对较低的空气带动起来参与同电力传输电缆之间的“自然对流换热”(传热学术语),也即:将整个塔筒壁背阴面及其内表面更为宽广的范围利用起来,因为这个“冷源”具有吸收更多热量的能力或潜力,并且具有水平径向传递热量的能力,也需要开发利用。对此以往没有引起技术人员的关注。

[0115] (2) 如何将电力传输电缆1向上(塔顶)延伸过程中,下段电力传输电缆表面被加热的气流在上升过程中对电力传输电缆上端冷气流介入电力传输电缆表面进行冷却所起的干扰作用大幅度降低。经由马鞍面过渡至塔筒壁预制的夹板内的凹槽中,之后电力传输电缆1以传统方式平行于塔筒内表面向下竖直敷设。电力传输电缆自下向上(塔顶)延伸过程中,下段电力传输电缆表面被加热的气流在上升过程中对电力传输电缆上段冷气流介入电力传输电缆表面进行冷却所起的干扰作用很大,有“围绕包裹”电力传输电缆加剧的作用。即:如何降低下段电力传输电缆对上段电力传输电缆的自然对流换热负面影响是发明人提出解决方案的核心思想。

[0116] 下面结合附图对本发明实施例的基于围护结构的传热散热系统进行详细描述。

[0117] 实施例一

[0118] 如图6至图9所示,本实施例基于围护结构的传热散热系统包括围护结构和沿围护结构内壁敷设的电力传输电缆1,电力传输电缆1沿竖直方向敷设成折弯形,电力传输电缆1优选地敷设在围护结构的靠近背阴面内壁的区域中。

[0119] 本发明实施例中,“折弯形”应当理解为电力传输电缆1不同于现有技术中自上而下基本上直线形地延伸,而是以折线形、曲线形或者以折线与曲线相结合的方式,自上而下地在周向上往复折回地延伸。

[0120] 本实施例中围护结构水平方向截面为圆形的塔筒5,在其它实施例中,围护结构可以是各种其它形状的建造物。

[0121] 电力传输电缆1用于传输电流,会发热,电流越大,发热量越大,电力传输电缆1产生的热量需要及时散去,以保证其工作在正常的温度范围内。

[0122] 通过电力传输电缆1折弯形地敷设,将塔筒5内壁上更多的(即更大周向弧长或周向宽度)的温度相对较低的空气带动起来参与同电力传输电缆1之间的“自然对流换热”,提高电力传输电缆1的散热速率,降低电力传输电缆1的温度。

[0123] 如上文分析及实测的那样,在太阳辐射下,塔筒5内部背阴面区域的温度比阳面区域要低 $5-10^{\circ}$ ,本实施例中将电力传输电缆1敷设在塔筒5的背阴面区域中,使得电力传输电缆1与其周围空气及塔筒5内壁之间温差增大,结合电力传输电缆1的折弯形布置,能显著提高电力传输电缆1向背阴面塔筒5的壁之间的散热速率,降低电力传输电缆1的温度。

[0124] 具体地,如图7-11所示,电力传输电缆1布置成向下以预定转折角 $\theta$ 往复弯折的锯齿形。“锯齿形”轨迹从上至下,左右两边均会出现“峰点”或“转折点”,不论左侧或是右侧的“转折点”或“峰点”,同一侧的上下两个转折点之间出现了一个三角形空挡区域8,所谓“三角形”是指同一侧的两个转折点与这两个转折点高度之间的同一侧转折点,即“三点”构成了一个三角形。这个“三角形空挡区域8”对于并行下落敷设的多跟电力传输电缆1在最左侧(如:MBS区域)和最右侧(如:DEG区域)均会周期性交替出现。在各转折点处电力传输电缆1借助夹板9固定,优选地在每两个转折点之间还设有至少一个另外的夹持电力传输电缆1的夹板9,其中,相邻两个夹板9之间的电力传输电缆1为直线形。夹板固定方式是现有技术,但本实施例中,电力传输电缆1是锯齿形弯折地延伸的,所以与现有技术相比有以下不同之处:

[0125] (1) 上下相邻的两个夹板9在塔筒5壁周向不同的方位(即已经不同于传统方式、上下不在一条竖直线上了)。

[0126] (2) 两个相邻转折点处的夹板9也已经不在塔筒5壁周向同一圆周位了。

[0127] (3) 上下两个相邻转折点处的夹板之间的电力传输电缆1可以再被多个夹板9分成多段折线固定,从而两个相邻转折点之间的电力传输电缆1由多个“折线段”构成,也不是一条直线了,而是围绕塔筒5圆弧形内壁下落的近似弦线段。

[0128] (4) 同一侧上下相邻转折点之间出现了一个“三角形空挡区域8”,这个区域被发明人根据塔筒5壁表面和边界的空气物理状况定义称为“冷区”,“冷区”发挥特殊的作用,来自下方经下方电力传输电缆1(图11中字母MP右侧临近电力传输电缆1,或字母DE左侧下方临近电力传输电缆1)加热后受浮升力作用后上升的热空气在其上方的“冷区”(字母AP或DFH水平高度上下、前后附近)与这里的“冷空气”参混,这里原先的“冷空气”下沉,两者混合过程的同时,伴随着上浮的热空气与冷的塔筒5内壁进行“自然对流换热”,温度得到降低后,

起初来自下方电力传输电缆1—图11中字母MP右侧临近电力传输电缆1,或字母DE左侧下方临近电力传输电缆1的那股热空气的浮升力也就被降低,总体上不再“干扰”上层的电力传输电缆1与同一水平高度前后的掺混换热的凉空气之间的自然对流换热的强度。这里,“干扰”上层的电力传输电缆1是指:上升的热空气包裹其上方的电力传输电缆1,不利于电力传输电缆1周边的冷空气下降并“替换”表面热空气去进行“自然对流换热”,如图11中字母SP之间四个弯曲的箭头,先向下、后向右转向的四个弯曲的箭头代表电力传输电缆1周围的空气来填补热气流上升后形成的空缺、持续接触电力传输电缆1、通过自然对流换热方式去冷却电力传输电缆1表面,字母DI区域代表的电力传输电缆1表面也会进行如此物理过程。

[0129] 这里需要指出的是,上下两个相邻转折点处的夹板9对电力传输电缆1弯曲的弧度遵守行业弯曲半径的要求,满足热胀伸缩的要求,这里不再做分析。

[0130] 如图10所示:塔筒5内壁面温度较低,存在“冷面边界层”,在这个边界层内包含空气,在该侧视图中,电力传输电缆1的投影与塔筒5壁之间是基本上平行的,便于观察电力传输电缆1与塔筒5壁之间及其表面边界层空气运动状况,这里的“边界层”是流体力学和传热学(对流换热专业)术语。电力传输电缆1右侧的自然对流边界层沿着高度方向逐渐增厚,自然其中的受热空气也是上升的;塔筒5壁面边界层(称为“冷面边界层”)向上是逐渐变薄的,也即向下是逐渐变厚的,空气密度较大,自然也是向下沉的;“上升的”与“下沉的”在其间(指电力传输电缆1外表面与塔筒壁之间)整体做顺时针旋转,局部做顺时针旋转。与传统布置方式不同的是(发明特征-冷却物理结构特征):上面交汇的“边界层”向上延伸,进入“冷区”,也同样得到“冷区”塔筒5壁面的“自然对流换热”方式的冷却,即:冷的塔筒5的内壁面再次被得到利用。被下方电力传输电缆1加热后的热空气被控制在相应的直线段落内(字母AP和字母DFH代表的相应区域水平高度附近的冷热混合空气),即上下相邻两个转折点(字母MS代表的区域)之间。

[0131] 本实施例中,由于塔筒5是圆筒壁形的,因此电力传输电缆1的“折线形”轨迹是三维立体的,呈往复弯折扭曲的锯齿形,具备扭转的结构,折线的结构,上下不重叠的结构,“冷区”(在 $L_1$ 宽度、马鞍支架以下几十米的区域中,上下)周期性左右交错出现的新结构,“冷区”面积大小可控的结构特点。“往复弯折扭曲的锯齿形”中,“往复”指在塔筒5壁背阴面内壁弧面上左右周期性弯折;“扭曲”指成组多根电力传输电缆1由于左右弯折,不处于塔筒5壁圆周方向同一个弧面上,致使相邻两个夹板9不在上下一条线上,也即:两个夹板9周向方位有变化(或左、或右边),出现扭曲。

[0132] 如图11和图12所示,转折点换热效果具有周期性,如同在“P”和“D”处换热较弱,“M”和“T”处换热较强,向下延伸过程转折点(转弯处)换热强度周期变化。沿塔筒5高度方向,塔筒5内径在逐渐变小,造成“MDGB”区域与“BGIP”区域竖直方向不在同一个平面,即:高度方向俯视图不重叠,空气受浮升力作用上升的“迹线”(流体力学基本术语)也不重合(发明特征-冷却物理结构特征),这样,效果上,下层电力传输电缆1上升气流对上层电力传输电缆1冲刷的重叠度较小,影响也就会减弱。

[0133] 从图11和图12所示效果上还反映出另外一个角度,即电力传输电缆1由于非竖直延伸,“相邻局部段落”上下存在扭曲,向上塔筒壁内径缩小,致使下层电力传输电缆1产生的热气流会向上直接冲刷塔筒5壁。目前“折线扭曲轨迹”在塔筒5壁周向展开后,获得与大幅度宽的冷壁面接触的机会,这个接触面积扩大两倍以上(发明特征-冷却物理结构特征),

扩大的多少受控于电力传输电缆1的预定转折角 $\theta$ 。

[0134] 本实施例中,预定转折角 $\theta$ 优选大于或等于 $5^\circ$ ,并小于或等于 $10^\circ$ 。

[0135] 表1表示与现有技术中竖直直线形电力传输电缆1相比,不同预定转折角 $\theta$ 的电力传输电缆1长度增加百分比。如图9所示,局部实际电力传输电缆1长度近似等于 $L_2/\cos\theta$ ,从表1可以看出,即使到 $10^\circ$ ,总长也只会增加约1.6%,不会过多,显然不必考虑电力传输电缆1增长的费用。

[0136] 表1

[0137]

$\theta$	$5^\circ$	$6^\circ$	$7^\circ$	$8^\circ$	$9^\circ$	$10^\circ$
$\cos\theta$	0.996	0.994	0.992	0.990	0.987	0.984

[0138] 表2表示不同预定转折角 $\theta$ 时电力传输电缆1冷区周向弧长( $L_2 \cdot \text{tg}\theta$ )增加倍数及由此带来的自然对流换热面积的增加倍数(以上下转折处相距 $L_2=5000\text{mm}$ ;电力传输电缆1组原始周向弧长 $L=600\text{mm}$ 为例)。

[0139] 表2

[0140]

$\theta$	$5^\circ$	$6^\circ$	$7^\circ$	$8^\circ$	$9^\circ$	$10^\circ$
$\text{tg}\theta$	0.087	0.105	0.123	0.140	0.158	0.176
$L_2 \cdot \text{tg}\theta$	$8.7\% \cdot L_2$	$10.5\% \cdot L_2$	$12.3\% \cdot L_2$	$14\% \cdot L_2$	$15.8\% \cdot L_2$	$17.6\% \cdot L_2$
$5000\text{tg}\theta$ (mm)	435	525	615	700	790	880
冷壁面接触 弧长(mm)	1035	1125	1215	1300	1390	1480
冷壁面接触 周向弧长增 加倍数	1.72	1.875	2.025	2.167	2.317	2.467

[0141] 从表2可以看出,预定转折角 $\theta$ 到 $10^\circ$ 时,电力传输电缆1冷区周向弧长将增加2.467倍。

[0142] 主电力传输电缆1冷区周向弧长增加,发挥的作用是:让整个2.467倍弧长的塔筒5壁面边界层的冷空气受到扰动,被带动起来参与换热的冷空气大幅度增加了,原先现有技术竖直布置电力传输电缆1组,其与对面的塔筒5壁之间的空气接受电力传输电缆1加热的同时,这些热空气又同时被塔筒5壁冷却,并且逐渐上升,影响的范围(周向弧长)也有限,大约只有本发明的2.4分之一,而背阴面塔筒壁“储存的冷量”较大,现有技术没有对其利用起来。另一方面,大面积冷空气被带动运动起来与电缆进行对流换热,同时向背阴面塔筒壁内壁面放热,这些被带动起来的大量的空气在较大的面积区域与背阴面塔筒5壁进行自然对流换热,根据牛顿冷却公式: $\phi_c = hA(t_f - t_w)$ (本发明的理论依据),间接借助大面积(A增大两倍以上)冷空气吸收电力传输电缆1的热量,以自然对流换热形式传给大面积塔筒5的壁,面积大换热速率得到提高,从而有效降低电力传输电缆1的温度,其中, $\phi_c$ 为对流换热速率, $t_f$ 为空气平均温度, $t_w$ 为塔筒5内壁温度,A为对流换热接触面积,h为空气与塔筒5壁面接触时的表面热量传递系数。

[0143] 如图6所示,该实施例中,在塔筒5的背阴面内壁上施加热辐射吸收涂层3,热辐射

吸收涂层3的宽度或周向弧长优选地不小于电力传输电缆1占据的宽度或周向弧长 $L_1$ 。

[0144] 图6中电力传输电缆1仅仅显示6根,并且“一”子排开,只是示意图,具体排列方式根据机组容量的大小,电力传输电缆1根数多少会变化,电力传输电缆1之间的间距也会做相应调整,不一定是“一”子排开布局,可以是与塔筒5内壁等间距的弧形“ $\cap$ ”,也可以是曲线波浪形“ $\sim$ ”。

[0145] 在塔筒5的背阴面区域中除了电力传输电缆1,还可以设置其它电气设备2例如变流器,电力传输电缆1与电气设备2的位置关系也只是示意,也不排除两者就该视图来讲,进行左右交换,包括将电气设备2就视图来讲沿着顺时针方向向东调整,远离电力传输电缆1。

[0146] 热辐射吸收涂层3根据材料及制备工艺的不同,主要有以下四类,不同类型的涂层可以单独地,也可以组合地用在本发明实施例中。

[0147] (1) 涂料涂层

[0148] 涂料涂层制备方法一般采用压缩空气喷涂法。常用的涂料涂层有:

[0149]  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 涂层,以 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 和 $\text{MnO}_2$ 为颜料,有机硅改性丙烯酸树脂为粘结剂,涂层的吸收发射比可达3.26;

[0150]  $\text{PbS}$ (林蔓状晶体)涂层,以 $0.1\mu\text{m}$ 林蔓状晶体 $\text{PbS}$ 为颜料,乙丙橡胶或氟树脂为粘结剂,吸收率为0.85~0.91,发射率为0.23~0.40;

[0151] 硅溶胶吸热涂层,以硅溶胶作粘结剂, $\text{Fe}$ 粉作发色体,涂层成本低、耐候性和防水性好,吸收率为0.94,发射率为0.41。

[0152] 酞菁绿涂层,颜料成分为 $\text{Fe}_3\text{CuO}_5$ ,其具有良好的装饰性和高的吸收发射比;

[0153] 采用粉末火焰喷涂法制备的黑铬选择性吸收涂层,工艺简单、成本低、性能稳定、光谱选择性好,其热辐射吸收率为0.91,发射率为0.15。

[0154] (2) 真空镀膜涂层

[0155] 真空镀膜涂层利用真空蒸发和磁控溅射技术制取。如利用直接蒸发制取的 $\text{PbS}/\text{Al}/\text{Al}$ 涂层。利用磁控溅射制取的有不锈钢-碳/铜涂层、 $\text{AlCN}$ 涂层、 $\text{AlN}_x\text{O}_y$ 涂层和 $\text{Ni-Cr}$ 涂层,多层渐变铝氮铝( $\text{Al-N}/\text{Al}$ )涂层。还有采用射频溅射制备的金属陶瓷复合涂层,主要应用中高温领域,它是近年来新开发的工艺,如 $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3$ 涂层; $\text{Wu-AlN}_x$ 涂层,是将钨、铬等金属粒子掺入氮化铝介质,得到金属陶瓷复合涂层; $\text{Ni}:\text{SiO}_2$ 金属陶瓷吸收层, $\text{Ni}$ 在涂层表面的体积比为10%,到底部逐渐变化为90%,涂层厚度为100~170nm,吸收率为0.96,发射率为0.03~0.14;掺钼的三氧化二铝( $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$ )金属陶瓷涂层, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 作减反射层,双层 $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$ 金属陶瓷层作吸收层, $\text{Mo}$ 或 $\text{Cu}$ 作减反射层,该涂层在 $350^\circ\text{C}$ 下性能稳定,吸收率为0.96,发射率为0.11。

[0156] (3) 电化学转化涂层

[0157] 常用的电化学涂层有铝阳极氧化涂层、 $\text{CuO}$ 转化涂层和钢的阳极氧化涂层等。这类涂层一般吸收率为0.88~0.95,发射率为0.15~0.32。铝阳极氧化涂层光谱选择性、耐腐蚀、耐光照性能良好; $\text{CuO}$ 转化镀涂层有一层黑色绒面,保护不好容易导致性能下降;钢的阳极氧化涂层抗紫外线和抗潮湿性能好;还有 $\text{Mo}$ 黑化学转化涂层,吸收率最大能达到0.87,发射率为0.13~0.17。

[0158] (4) 电镀涂层

[0159] 常用的电镀涂层主要有黑镍涂层、黑铬涂层、黑钴涂层等,均具有良好的光学性



能。以黑铬和黑镍的效果最好,吸收发射比 $((\alpha/\epsilon))$ 接近6~13。但电镀黑铬生产成本低,同时镀液中的Cr<sup>6+</sup>对环境有污染。电镀黑镍耗能少、成本低,镀液中不存在有毒物质。但黑镍涂层薄、热稳定性、耐蚀性较差。黑镍镀层吸收率能达到0.93,耐久性、热稳定性、抗腐蚀能力较强。研制的黑色镍—锡合金镀层,由于其中不含硫,所以能克服黑镍镀层所具有的缺点。

[0160] 进一步地,还在塔筒5的背阴面外壁上施加热辐射散热涂层7。热辐射散热涂层7因具有高的红外发射率,能够促使热量从塔筒5以热辐射方式高效地释放到周围环境中,降低塔筒5的温度

[0161] 由图4和图5可知,太阳辐射具有方向性和时间性,主要集中在水平面(顶面)、东向和西向垂直面,经太阳辐射之后,在正午之后塔筒5的顶面、自东至西的阳面侧温度会大大高于北向的背阴面。

[0162] 本实施例中通过在塔筒5的背阴面内壁设置热辐射吸收涂层3,外壁上施加热辐射散热涂层7,进一步利用北向背阴面温度低的特点,增强对电力传输电缆1热辐射的吸收,开通北侧的散热通道,强化了散热效果。

[0163] 热辐射散热涂层7例如用太阳热反射隔热涂料制成,例如现有的RLHY-A05型热反射隔热涂料,也施加在背阴面外壁上。太阳热反射隔热涂料是由空心玻璃微珠和红外发射分体为主要隔热填料,结合优质无机改性树脂乳液而成的高环保型的反射隔热填料,在基体表面形成一层致密的真空层,具有高效、薄层、装饰、防水、防火、防腐、绝缘等多种优点,涂料集反射、辐射与空心微珠隔热等功能于一体,能对400~2500nm范围的太阳红外线和紫外线进行高反射,不让太阳的热量进行累积升温,又能在阴天和夜晚下进行热量辐射散热降温,降低物体的表面温度,同时在涂料中放入导热系数极低的空心微珠隔绝热能的传递,即使在大气温度很高时也能隔住外部热量向物体内部传导,三大功效保证了涂刷涂料的物体降温,确保了物体内部空间能保持恒温的状态。

[0164] 图13和图14表示本实施例中电力传输电缆1借助热辐射吸收涂层3沿径向向背阴面的传热散热。由于运行时电力传输电缆1外表面温度会高于附近北侧塔筒5壁内侧表面温度,如果电力传输电缆1、电气设备2都不在此处、或都不工作,塔筒5壁北侧外壁一直没有接受太阳辐射直接加热,只有环境辐射和地表辐射,因此塔筒5壁内侧温度较低。根据黑体辐射的四次方定律(斯蒂芬-玻尔兹曼定律,是本发明的理论依据之二),发射辐射的热源之间温度差越大,越有利于高温热源向低温冷源传递热量,其间辐射热传递速率正比于电力传输电缆1表面温度的四次方与背阴侧塔筒5内壁面温度的四次方的差额。

[0165] 图13中给出电力传输电缆1与塔筒5壁北侧内壁涂层之间的局部环节辐射网络图(为了突出主要矛盾,作了简化处理,阳面塔筒5壁内侧已做低发射率涂层处理,忽略了它对此处涂层的作用),其中, $q_{1,3}$ 表示电力传输电缆1与塔筒5内壁辐射热交换的速率, $q_{rN}$ 表示塔筒5背阴面外壁辐射换热速率, $q_{conv}$ 表示塔筒5背阴面外壁与塔筒外自然环境中的空气对流换热速率, $q_{上升气流}$ 表示电力传输电缆1周围空气获得的热流速率。

[0166] 为了更进一步利于电力传输电缆1散热,还可以再在电力传输电缆1表面涂红外高发射率涂层(即增大发射率 $\epsilon$ )。

[0167] 为降低两侧热源辐射表面热阻,可适当将电力传输电缆1间距拉大、或交错布置,降低两者之间的空间辐射热阻,也就增大电力传输电缆1向涂层释放的净辐射热流速率。

[0168] 相比于电力传输电缆1没有布置在塔筒5壁北侧,而是布置在其它方位,电力传输电缆1与塔筒5壁之间的温差减小了,夹在其间的空气温度会更高。北侧塔筒5壁面空气温度偏低,利于对电力传输电缆1表面周围的热空气进行驱替,实现自然对流换热。

[0169] 本发明实施例采取将电力传输电缆1置于塔筒5壁北侧附近区域,电力传输电缆1与北侧塔筒5壁之间的温度较低的冷空气被加热,其中, $q_{\uparrow\text{气流}}$ 代表上升气流从电力传输电缆1表面获取的热量,由于北侧塔筒5内壁径向热流传输通道传输能力被利用,相比其它方位,借助塔筒5径向传输的热流增加了,即 $q_{1,3\uparrow}$ 上涨,其中 $q_{\uparrow\text{气流}\downarrow}$ 代表其间热空气携带热量上移部分的权重在下降,向上移动的气流速率下降,携带热量的数量在下降,而水平方向在上涨,实现了热流水平径向传递速率、数量的提高,这是本发明创新处之一。同样,塔筒5壁背阴面表面与塔筒5外壁周围环境以对流换热 $q_{\text{conv}}$ 和辐射换热 $q_{\text{rN}}$ 释放、交换的热量也同时增大了。

[0170] 如图15所示,在阳面塔筒5壁中取一“微元体”,“微元体”径向两侧分别是塔筒5隔热涂层,借助“微元体”中的箭头来表达塔筒5壁外侧获得太阳辐射能转化成热流后在其中的传递方向,金属的热扩散率很高,热扩散率 $\alpha = \lambda / \rho C$ , ( $\lambda$ -导热系数、 $\rho$ -密度、 $C$ -比热容)。表3给出了几种隔热、轻质材料的热扩散率,其中,金属钢0.5%C的热扩散率是其它材料的几十倍、甚至上百倍。对此发明人提出:在塔筒5外表面阻止吸收太阳辐射的同时,在相应塔筒5壁内表面再次实施隔热措施,阻止其向塔筒5内部空间发射热射线;阻止其向塔筒5内电力传输电缆1、电气设备2发射热射线。

[0171] 表3几种隔热、轻质材料的热扩散率

[0172]

材料名称	钢0.5%C	岩棉板	水泥珍珠岩制品	珍珠岩粉料	玻璃棉	聚苯乙烯塑料
热扩散率 $\alpha \times 10^7$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	148.26	3.82	2.48	2.31	7.73	0.71-1.1

[0173] 因此,本实施例中,在塔筒5的阳面侧外壁上施加第一隔热层6,在塔筒5的阳面侧内壁上设置第二隔热层4。优选地,第一隔热层6为热反射隔热涂层。通过热反射隔热涂层阻止塔筒5对太阳及周围环境的热辐射的吸收,抑制太阳及周围环境以热辐射方式将热量传递至塔筒5内部。

[0174] 如图15所示,塔筒5吸收的太阳辐射热在到达第二隔热层4后,因第二隔热层4的热隔离作用阻断了径向向内传递的路径,而只能沿塔筒5的周向和竖直高度方向传递,从而避免太阳辐射引起塔筒5内部温度升高,有利于敷设在塔筒5内的电力传输电缆1等产热设备的散热。

[0175] 优选地,第二隔热层4为涂覆在塔筒5上的红外低发射率的热辐射隔热涂层。该热辐射隔热涂层由包含粘结剂和低发射率功能颜料的热红外低发射率涂料制成,所述粘结剂包含氯化聚乙烯树脂,所述低发射率功能颜料包含Al粉、Zn粉、Cu粉、Ni粉或单晶Si等。通过塔筒5内表面的红外低发射率涂层“阻断”(意指大幅降低)热流沿着径向向内以热辐射方式传递的通道。

[0176] 第二隔热层4还可以选择以下几种方案:

[0177] (1) 覆盖在内壁上的辐射屏蔽遮热板,例如具有红外低发射率、高反射率的铝箔等。

[0178] (2) 使用新型纳米智能保温涂料,该种涂料隔热保温成分是Hydro-NM-Oxide,具有超低导热系数。

[0179] (3) 用隔热、耐火材料制作的热绝缘层,表4列出几种隔热、耐火材料的热导率,它们的热导率处于很低的范围内,能有效阻止热量以热传导的方式传递到围护结构内部。

[0180] 表4几种隔热、耐火材料的热导率

[0181]

材料名称	超细玻璃棉毡	水泥珍珠岩制品	微孔硅酸钙	矿渣棉
热导率 $\lambda$ (w/m·k)	0.033	0.0651	0.044	0.0674

[0182] 图16表示内表面第二隔热层4热源等效单元网络及表面辐射热阻,图中 $A_1$ 为塔筒5外壁涂层面积, $T_1$ 为塔筒5外壁涂层温度, $\epsilon_1$ 为塔筒5外壁涂层发射率, $\rho_1$ 为塔筒5外壁涂层反射率, $\alpha_1$ 为塔筒5外壁涂层吸收率, $q_r$ 为塔筒5内壁涂层辐射热流, $A_4$ 为塔筒5内壁涂层面积, $T_4$ 为塔筒5内壁涂层温度, $\epsilon_4$ 为塔筒5内壁涂层发射率, $\rho_4$ 为塔筒5内壁涂层反射率, $\alpha_4$ 为塔筒5内壁涂层吸收率。图16中, $E_b$ 表示内壁涂层的发射力,对应于内壁涂层的温度,公式 $\frac{1-\epsilon_4}{\epsilon_4 A_4}$ 表

示该内壁涂层的表面辐射热阻,从该公式可以看出,作为围护结构本体5内壁涂层的第二隔热层4的发射率 $\epsilon_4$ 越小,其表面辐射热阻越大,隔热效果越好。借助选用低发射率 $\epsilon_4$ 材料,例如发射率 $\epsilon_4$ 由0.8降至0.1,表面热阻增加为原来的36倍,降低了涂层表面有效辐射强度。

[0183] 下面对实施为热反射隔热涂层的第一隔热层6的隔热机理和常用材料组成进行详细说明。

[0184] 1,热反射隔热涂层隔热机理

[0185] 太阳光热辐射按照波长不同可划分为3个部分。各部分在总能量中所占的比例是不同的,见表5。太阳光能量主要集中在400-2500nm的可见光和近红外光区,在波长500nm时,太阳光热辐射最强。从表5可以看出,可见光和近红外光占太阳总辐射能量的95%,所以隔绝了太阳光和近红外光就可以使得太阳辐射下的塔筒5、机舱等围护结构的表面温度降低,降低塔筒5、机舱内环境为降低空气温度投入的设备费用。

[0186] 表5 太阳光不同波段所占太阳总能量的比例

[0187]

光区	波长 (nm)	占总能量的比例%
紫外光	200-400	5
可见光	400-720	45
近红外光	720-2500	50

[0188] 在不影响外观的情况下,通过使近红外光反射比最大化可明显降低太阳辐射下塔筒5壁、机舱壁的温度。近红外占太阳辐射总能量的50%,所以,抑制了近红外热辐射,就可以隔绝大部分热辐射能量。太阳热反射隔热涂层是一种对近红外辐射具有显著反射作用的

功能型涂层,这种涂层一般是将对近红外辐射具有反射功能作用的粒子涂覆到基质上,将太阳辐射中的近红外反射、散射到外部空间中去,降低热辐射下物体表面及内部环境温度。

[0189] 2,热反射隔热涂层的基本材料组成

[0190] 热反射隔热涂层通常包括树脂和功能填料。树脂一般包括有机硅-丙烯酸树脂、有机硅-醇酸树脂、丙烯酸树脂、环氧树脂或聚氨酯树脂。

[0191] 对于硬质基(金属、墙体等),一般是直接将热反射隔热涂料涂覆在基材表面上而起隔热作用的,影响涂层隔热性能的主要因素有树脂和功能填料的种类、粒径分布、用量及涂层厚度。树脂是热反射隔热材料中必不可少的组份,它起着将功能粒子与基质连接起来的作用。树脂对于功能粒子来说起到一个载体的作用。不同的树脂对涂料的太阳热反射隔热效果没有太大的影响。但在实际应用过程中,选择树脂时应当考虑选用结构中少含C-O-C、C=O、O-H等吸热基团的树脂。表6给出以TiO<sub>2</sub>为填料,几种不同树脂涂层对太阳光的吸收率。

[0192] 表6 几种不同树脂涂层的热吸收率

[0193]

涂层	吸收率 $\alpha$
有机硅-丙烯酸树脂	0.19
有机硅-醇酸树脂	0.22
丙烯酸树脂	0.24
环氧树脂	0.25
聚氨酯树脂	0.26

[0194] 功能填料是太阳热反射隔热涂层中最主要的组份。常用功能填料有TiO<sub>2</sub>、ZnO、BaSO<sub>4</sub>、CaCO<sub>3</sub>、ZnO<sub>3</sub>、滑石粉、高岭土或空心玻璃微珠等,它的主要作用是反射太阳辐射中的近红外辐射,降低物体表面的热量吸收率。太阳热反射隔热涂层所选择的功能填料的要求是:对太阳辐射具有高反射率、低吸收率的性质。禁带宽度 $E_g=0.5\sim 1.8\text{eV}$ 的物质吸收近红外辐射,禁带宽度 $E_g=1.8\sim 3.1\text{eV}$ 的物质吸收可见光辐射。因此,要避免物体对可见光和近红外光的吸收,选用的功能填料的禁带宽度 $E_g$ 应大于3.1eV,或者小于0.5eV。表7给出几种填料的折光指数(也称为折射率或折光率)和禁带宽度 $E_g$ 。表8给出了几种白色粉末填料对近红外辐射的反射率(反射比)。

[0195] 表7若干典型填料的折光指数和禁带宽度 $E_g$

[0196]

填料	TiO <sub>2</sub> (金红石型)	TiO <sub>2</sub> (锐钛矿型)	ZnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
折光指数	2.76	2.52	2.20	1.76	1.46	2.30
$E_g/\text{eV}$	3.05	3.05	3.40	8.30	8.80	3.10

[0197] 在其他实施方式中,第一隔热层6也可以像第二隔热层4那样设计为其它形式的隔热层。

[0198] 表8几种白色粉末填料对近红外辐射的反射率(反射比)

[0199]

材 料	TiO <sub>2</sub> (金 红 石 型)	TiO <sub>2</sub> (锐 钛 矿 型)	ZnO	BaSO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	ZnO <sub>3</sub>	滑 石 粉	高 岭 土	空 心 玻 璃 微 珠
反 射 率 %	80	79	45	32	48	59	45	46	44-48

[0200] 本发明实施例通过将电力传输电缆1沿竖直方向敷设成折弯形,电力传输电缆1敷设在围护结构的背阴面区域中,并通过设置热辐射吸收涂层3和隔热层,给电力传输电缆1创造一个低速率热量蓄积的低温环境,并构建一个在对流换热、辐射换热和导热换热三个方面散热速率都提高的散热通道,从而显著提高电力传输电缆1的散热速率,将其运行中产生的热量及时散去,保证其长期运行在较低的正常温度下,保证电力传输的可靠性,延长电力传输电缆1使用寿命。

[0201] 实施例二

[0202] 本实施例的传热散热系统,其发明构思、基本实现方式、作用原理及有益效果与实施例一相同,为简要起见,这里仅说明与实施例一的不同之处,相同之处请参见对实施例一的描述。

[0203] 本实施例与实施例一的不同之处在于,电力传输电缆1沿竖直方向折弯形布置的具体形状不一样。

[0204] 如图17所示,本实施例中,电力传输电缆1包括在竖直方向从上至下布置的多个扭曲段,每个所述扭曲段包括两个倾斜子段(即第一倾斜子段11和第二倾斜子段12)和在两个倾斜子段之间的过渡子段13,第一倾斜子段11和第二倾斜子段12与竖直方向之间的夹角为预定转折角 $\theta$ 。第一倾斜子段11与竖直方向之间的夹角,以及第二倾斜子段12与竖直方向之间的夹角既可以相同,也可以不同,但都优选地在大于或等于 $5^\circ$ 并小于或等于 $10^\circ$ 的范围内。

[0205] 本实施例中,过渡子段13为竖直过渡子段,在第一倾斜子段11和第二倾斜子段12与过渡子段13的结合部敷设有夹持电力传输电缆1的夹板9。

[0206] 第一倾斜子段11、第二倾斜子段12和过渡子段13的长度比例可根据具体情况任意调整,对此本发明不做限制。

[0207] 实施例三

[0208] 本实施例的传热散热系统,其发明构思、基本实现方式、作用原理及有益效果与实施例一相同,为简要起见,这里仅说明与实施例一的不同之处,相同之处请参见对实施例一

的描述。

[0209] 本实施例与实施例一的不同之处在于,电力传输电缆1沿垂直方向折弯形布置的具体形状不一样。

[0210] 如图18所示,本实施例中,电力传输电缆1也包括在垂直方向从上至下布置的多个扭曲段,每个所述扭曲段包括两个倾斜子段(即第一倾斜子段11和第二倾斜子段12)和在两个倾斜子段之间的过渡子段13,第一倾斜子段11和第二倾斜子段12与垂直方向之间的夹角为预定转折角 $\theta$ 。

[0211] 与实施例二相比,本实施例中的区别在于将过渡子段13设计为“弧形段”,这种结构不但具有前述实施例的有益效果,还具有利于热胀伸缩的效果。

[0212] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

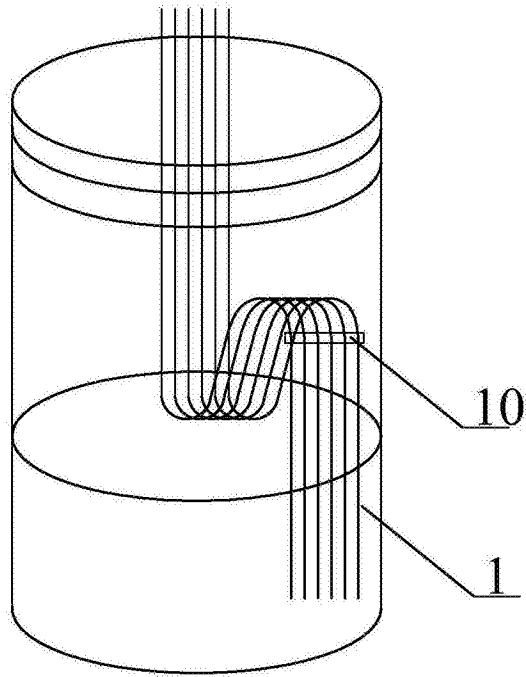


图1

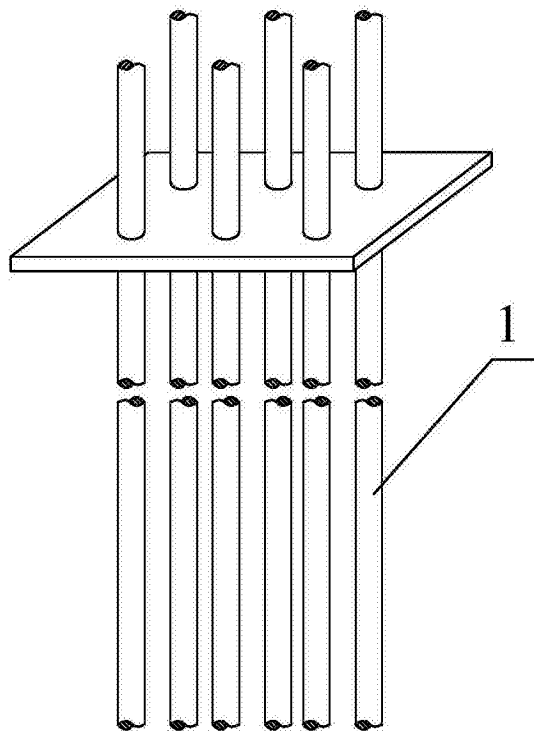


图2

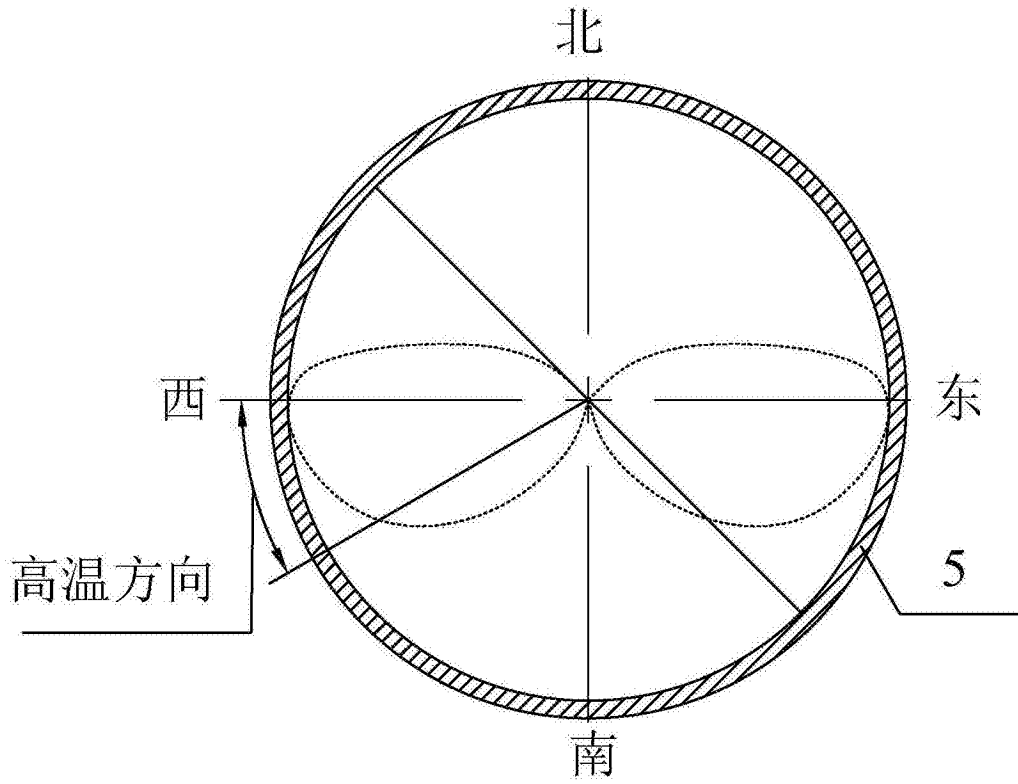


图3

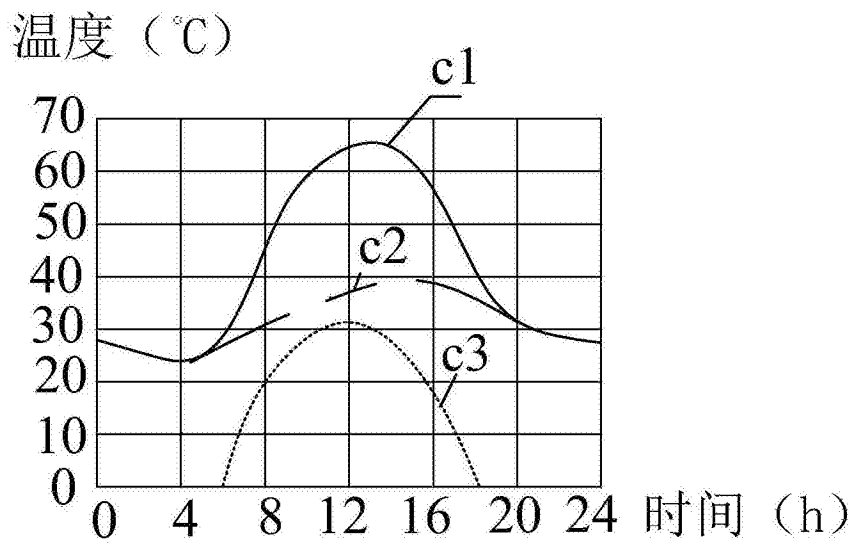


图4



温度 (°C)

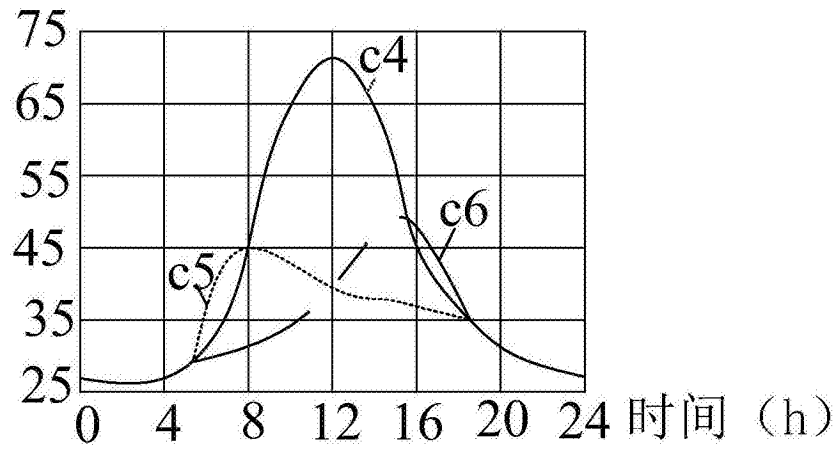


图5

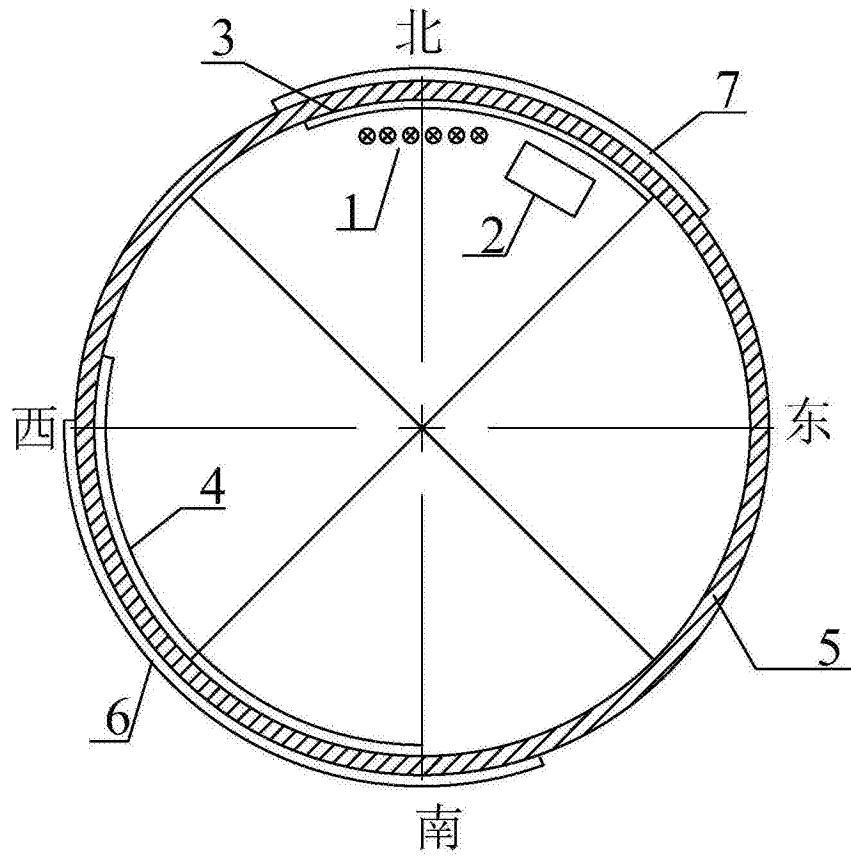


图6

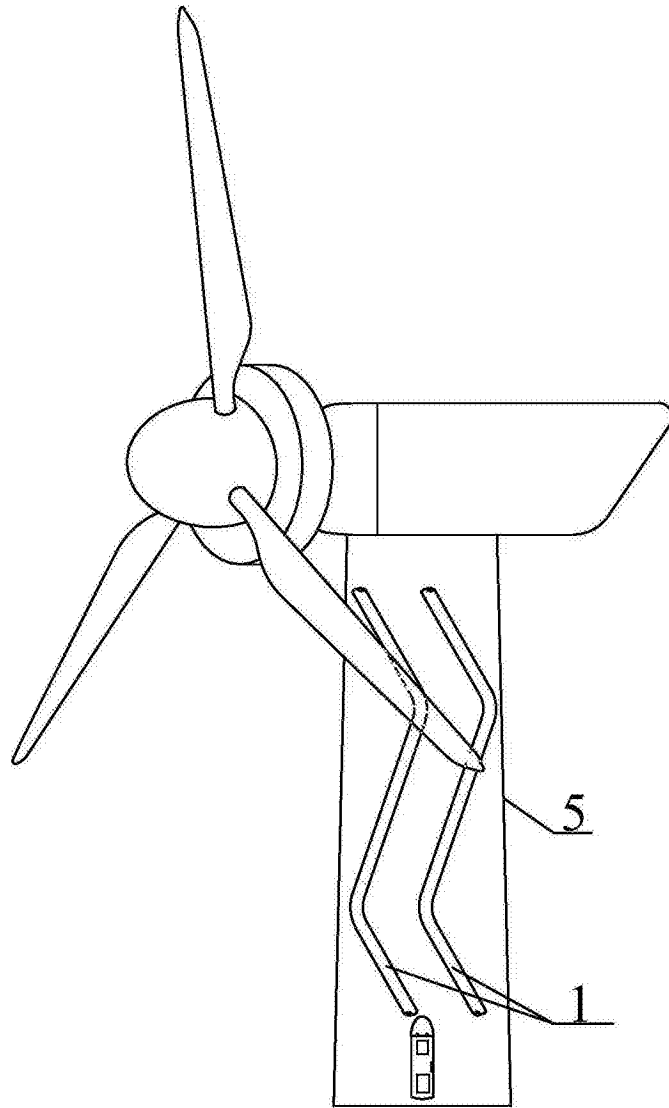


图7

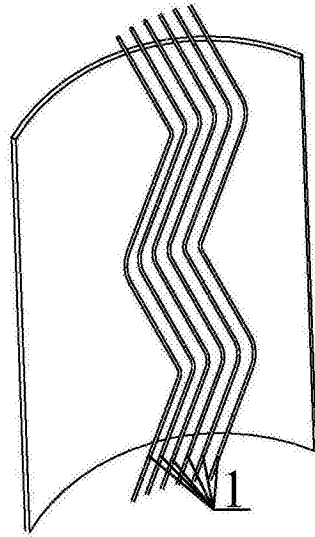


图8

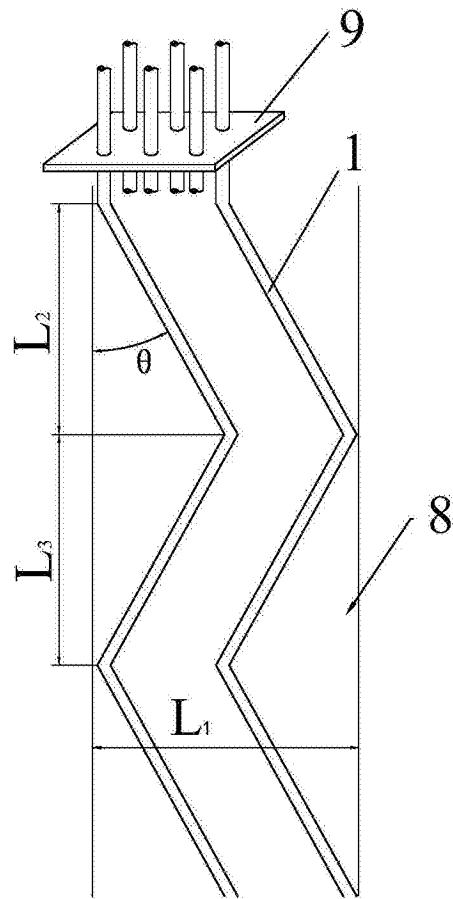


图9

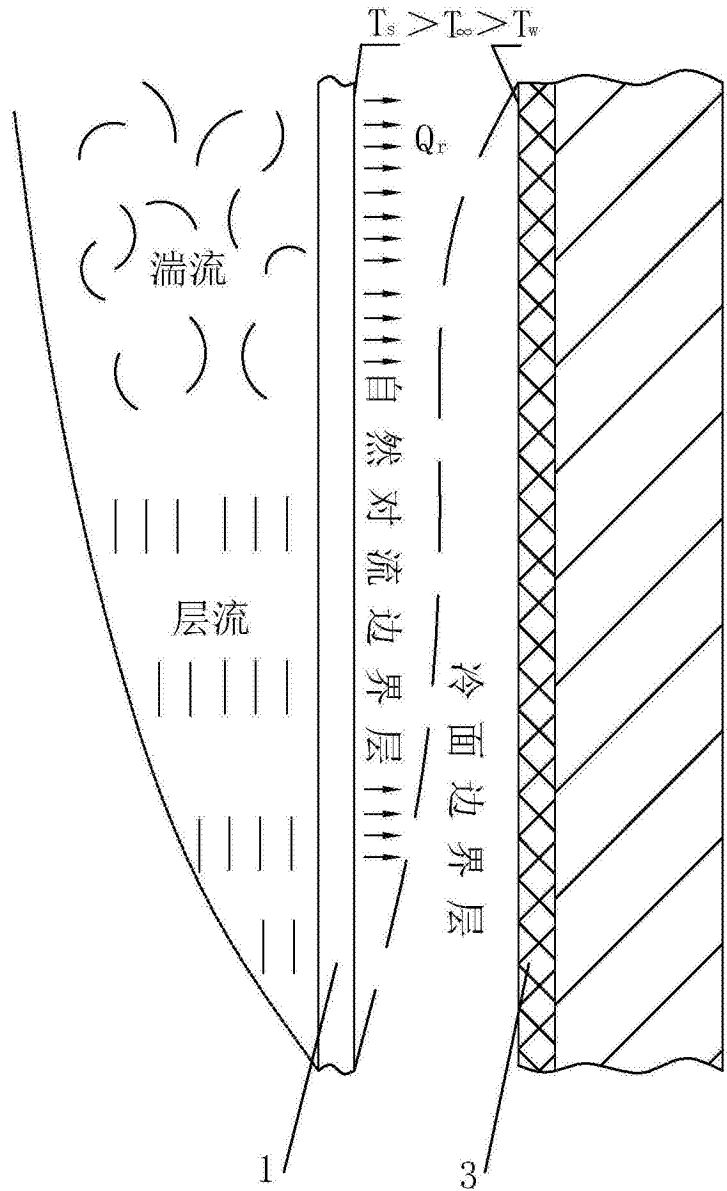


图10

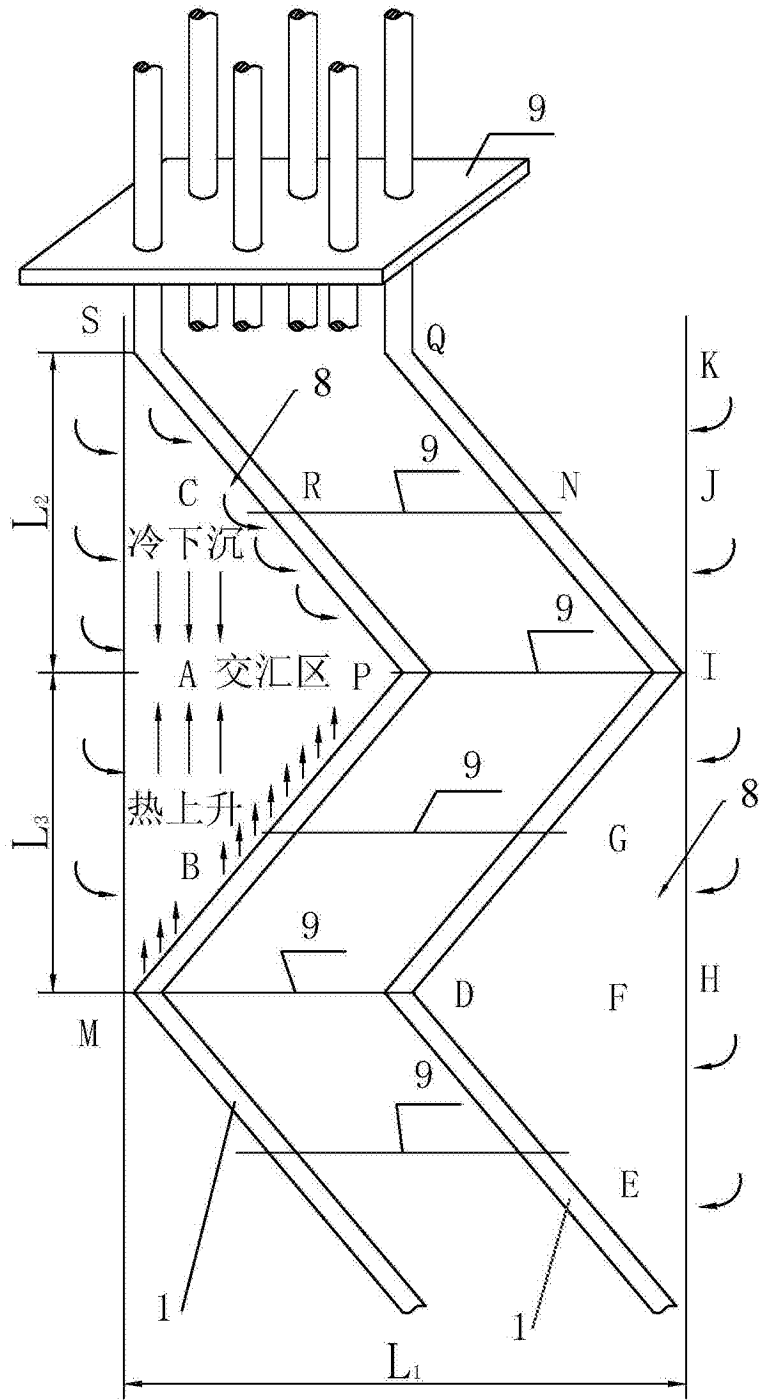


图11

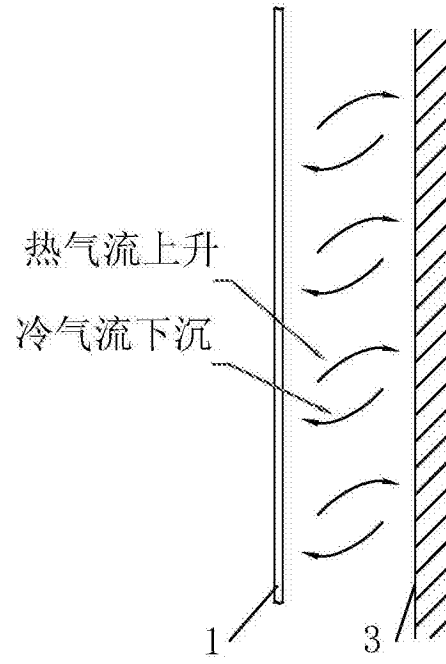


图12

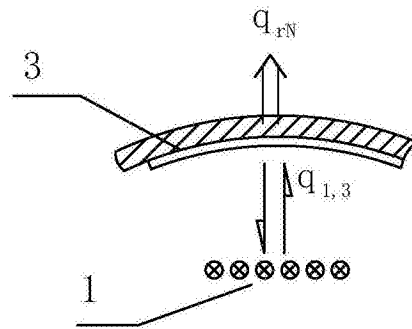


图13

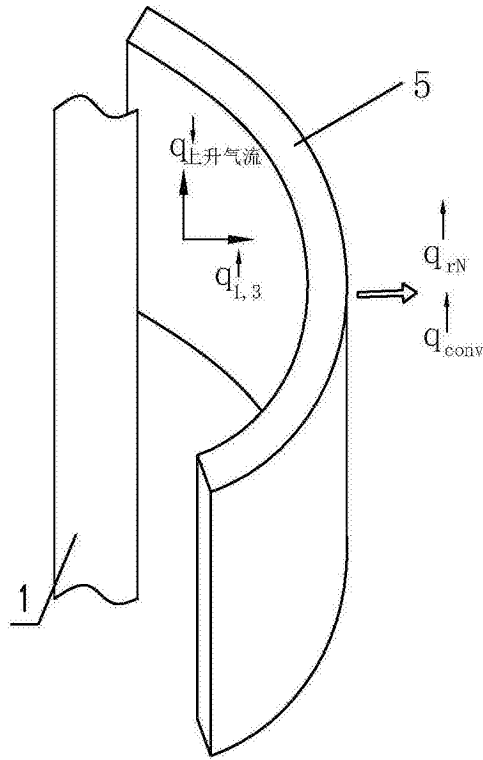


图14

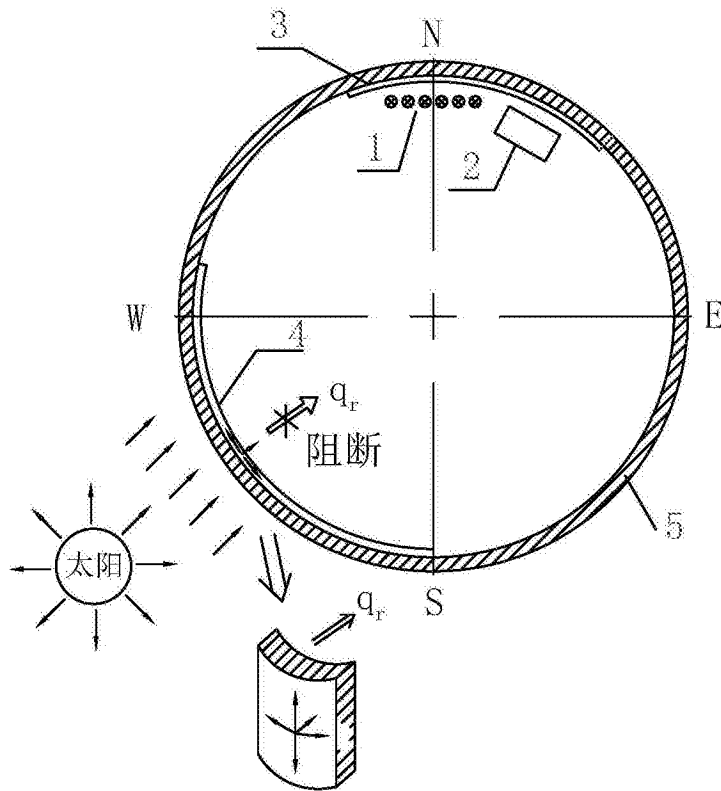


图15

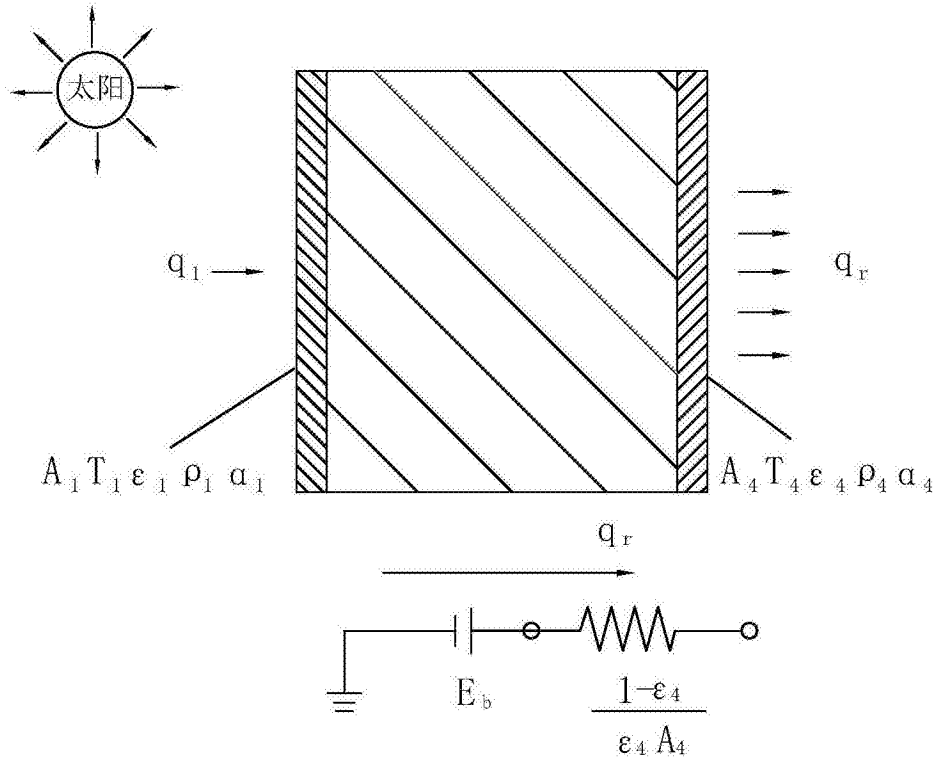


图16

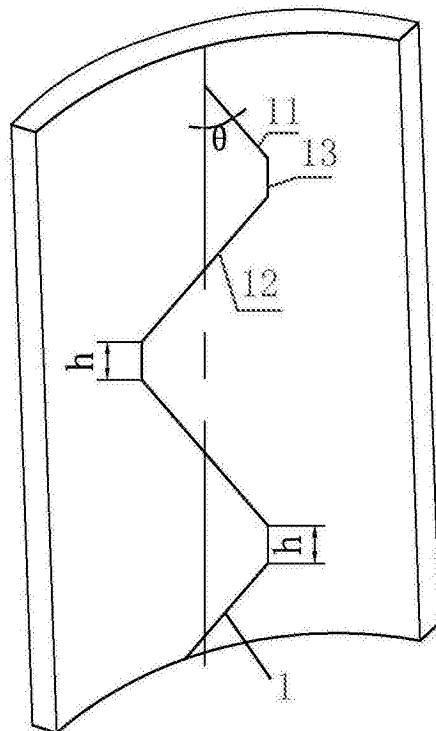


图17



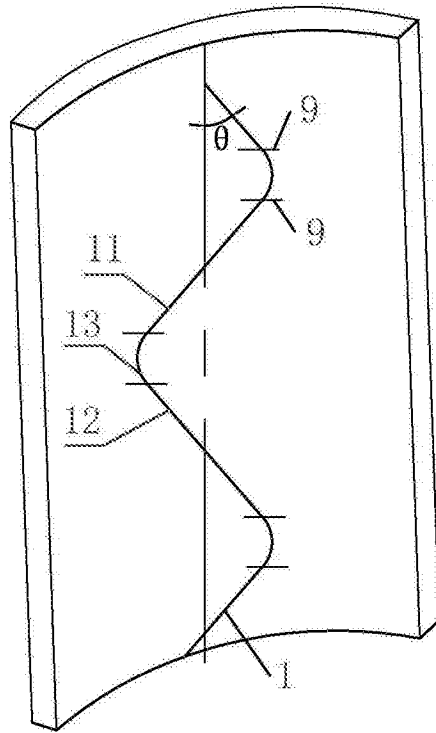


图18