

辐射制冷功能涂料及其应用

相关申请

[001] 本申请要求 2019 年 7 月 5 日申请的，申请号为 201910607455.2，名称为“选择性辐射制冷涂料及其复合材料和应用方法”的中国专利申请的优先权，在此将其全文引入作为参考。

技术领域

[002] 本发明涉及材料科学技术领域，具体涉及一种选择性反射和发射的辐射制冷功能涂料及其应用。

背景技术

[003] 太阳是个巨大的辐射源，太阳光照射到地球上，部分能量被大气吸收，部分被反射回宇宙，由于地球表面吸热，地球上的物体表面温度要比表面上方空气的温度高出许多，而对物体的降温增加了能源的消耗，造成了更多的温室效应气体排放问题。太阳光每分钟辐射能量图谱中，紫外、可见、近红外部分占据的能量分别是 6.6%、44.7%、48.7%，如图 1 所示。

[004] 辐射制冷是将宇宙空间作为冷源、地面上物体作为热源建立辐射热传递通道，通过“大气窗口”在不消耗能源的情况下，将热量以特定波段的电磁波辐射方式把地面物体的热量通过地球大气窗口直接传递到宇宙空间，从而达到制冷的目的。

[005] 请参考图 2，大气窗口是指电磁波通过大气层时较少地被反射、吸收和散射，而那些透射率高的波段，常用的大气窗口有 $0.3\mu\text{m}\sim 1.155\mu\text{m}$ 、 $1.4\mu\text{m}\sim 1.9\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ 、 $3.5\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 、 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 等，这些大气窗口具有较高的透射率。地球表面物体的中红外线可以通过该波段将热量传递给外宇宙空间。

[006] 一个理想用于辐射制冷的材料，其光学特性是在大气窗口波段取得很高的发射率，而在窗口之外，具有很低的发射率（即低吸收率）。自然材料一般难以取得这种光学特性。而对于通过材料工程技术进行处理得到的材料，则可能取得选择性的针对大气窗口的光学特性，从而取得在大气窗口波段的高发射率和窗口之外的低吸收率，来有效的进行对物体的辐射降温。

[007] 一般节能涂料主要通过在其中加入填料，通过对可见光和近红外波段的太阳光反射率来达到降温目的。存在降温效果有限，机械强度低，耐候性能差，无太大的实用价值等问题。

发明内容

[008] 本发明的目的是提供一种辐射制冷功能涂料，基于该涂料得到的涂层在整个太阳发射能量谱具有高反射率，在大气窗口波长（ $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ ）范围具有高发射率。本发明还提供基于该涂料的相应的应用方法，以及基于该涂层的相应的复合材料。

[009] 本发明第一方面，提供一种辐射制冷功能涂料，所述辐射制冷功能涂料用于制备辐射制冷功能层，所述辐射制冷功能层用于反射太阳光中的紫外光和/或可见光和/或近红外光，并以红外辐射方式通过大气窗口发射热量，所述辐射制冷功能涂料包括颗粒填料和辐射制冷功能树脂，所述颗粒填料分布于所述辐射制冷功能树脂中。

[010] 一种可能的实现方式中，所述颗粒填料的形状为棒状、球状或椭球状中的一种，棒状和椭球状的长径比均为 1:1~10:1。本发明所说的长径比指的是经过颗粒内部的最长径，和与它相垂直的最长径之比。

[011] 一种可能的实现方式中，所述颗粒填料在辐射制冷功能树脂中为有序排列，所述有序排列包括颗粒填料均匀分布在辐射制冷功能树脂中，并且颗粒填料在辐射制冷功能树脂中为定向排列。

[012] 一种可能的实现方式中，所述颗粒填料包括第一颗粒填料和/或第二颗粒填料，所述第一颗粒填料的粒径为 $0.5\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ ，包括第一颗粒填料的辐射制冷功能层具有反射可见光和近红外光的作用，和以红外辐射方式通过大气窗口发射热量的作用；

[013] 所述第二颗粒填料的粒径为 $0.01\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ ，包括第二颗粒填料的辐射制冷功能层具有反射紫外光和可见光的作用，和以红外辐射方式通过大气窗口发射热量的作用。本发明所说的颗粒填料的粒径指的是体积平均粒径。

[014] 一种可能的实现方式中，所述第一颗粒填料和所述第二颗粒填料独立地采用硅酸铝、珠光粉、二氧化硅、重钙粉、氧化铝、氧化锌、氧化锆、氧化铈、氧化镧、氧化铈、硫酸钡、滑石粉、钛白粉、硫化

锌、陶瓷粉、氧化镁、陶瓷珠、玻璃珠中的一种或几种。

[015] 一种可能的实现方式中，所述第一颗粒填料采用硅酸铝、珠光粉、二氧化硅、重钙粉、硫酸钡、滑石粉、钛白粉、硫化锌、陶瓷粉、陶瓷珠、玻璃珠中的一种或几种。

[016] 一种可能的实现方式中，所述第二颗粒填料采用氧化铝、氧化锌、氧化锆、氧化铈、氧化镧、氧化铈、氧化镁中的一种或几种。

[017] 一种可能的实现方式中，所述辐射制冷功能树脂选用环氧树脂、聚酯、聚氨酯、丙烯酸树脂、有机硅树脂中的一种或几种。

[018] 一种可能的实现方式中，所述辐射制冷功能涂料中还包括用于控制所述颗粒填料取向的定向剂。

[019] 一种可能的实现方式中，所述定向剂采用水性醋酸-丁基纤维素、乙烯-醋酸乙烯共聚物蜡乳液、聚乙烯蜡和聚酰胺蜡中的一种或几种。

[020] 一种可能的实现方式中，所述辐射制冷功能涂料中还包括颜料。

[021] 一种可能的实现方式中，所述颜料为荧光染料。

[022] 本发明第二方面，提供一种如本发明第一方法所述辐射制冷功能涂料的应用方法，包括：将所述辐射制冷功能涂料涂刷在基材或主体表面，得到辐射制冷功能层，由所述辐射制冷功能层向外反射和/或发射热量。

[023] 一种可能的实现方式中，所述基材为金属、塑料、橡胶、混凝土、水泥、沥青、纸张、纺织品、木材、瓷砖、玻璃或有机合成材料中的一种。

[024] 一种可能的实现方式中，所述主体为建筑、光伏组件及系统、汽车、户外用品、农牧水产业设备、航空航天设备、冷链运输设备、室外箱柜罐、纺织行业设备、室外通讯设备、工业设备、公用设施、冷却水系统、能源系统或节能设备中的一种。

[025] 本发明第三方面，提供一种选择性辐射制冷涂层，包括由本发明第一方面所述辐射制冷功能涂料制备得到的辐射制冷功能层。

[026] 一种可能的实现方式中，所述辐射制冷功能层包括第一辐射制冷功能层和第二辐射制冷功能层，所述第一辐射制冷功能层包括辐射制冷功能树脂与分布其中的第一颗粒填料，所述第二辐射制冷功能层包括辐射制冷功能树脂与分布其中的第二颗粒填料。

[027] 一种可能的实现方式中，所述第一辐射制冷功能层的厚度为 $30\mu\text{m}$ ~ $300\mu\text{m}$ ，所述第二辐射制冷功能层的厚度为 $10\mu\text{m}$ ~ $60\mu\text{m}$ 。

[028] 一种可能的实现方式中，所述辐射制冷功能层包括第一表面及与所述第一表面背离的第二表面，所述选择性辐射制冷涂层还包括设置于所述辐射制冷功能层的第一表面的耐候性树脂层；和/或，设置于所述辐射制冷功能层的第二表面的底漆树脂层。

[029] 一种可能的实现方式中，所述耐候树脂层的透射率 $\geq 80\%$ ，所述耐候树脂层的材料包括含氟树脂、环氧树脂、聚酯、聚氨酯、丙烯酸树脂、有机硅树脂中的一种或几种；

[030] 所述底漆树脂层的材料包括环氧树脂和/或丙烯酸树脂。

[031] 一种可能的实现方式中，所述耐候性树脂层的厚度为 $10\mu\text{m}$ ~ $50\mu\text{m}$ ，所述底漆树脂层的厚度为 $10\mu\text{m}$ ~ $50\mu\text{m}$ 。

[032] 一种可能的实现方式中，所述颗粒填料与所述辐射制冷功能层的颜基比为 1:10~6:1。

[033] 一种可能的实现方式中，所述辐射制冷功能层对太阳光谱能量的反射率大于等于 80%，大气窗口发射率大于等于 80%，在常温下能提供 $100\text{W}/\text{m}^2$ 以上的辐射制冷功率。

[034] 本发明第四方面，提供一种包含如本发明第三方面所述选择性辐射制冷涂层的复合材料，包括基材和涂刷在基材上的所述选择性辐射制冷涂层。

[035] 一种可能的实现方式中，所述基材可为金属、塑料、橡胶、混凝土、水泥、沥青、纸张、纺织品、木材、瓷砖、玻璃或有机合成材料中的一种。

[036] 从以上技术方案可以看出，本发明实施例具有以下优点：

[037] (1) 本发明的涂层对太阳光谱能量 (300nm ~ 2500nm) 的反射率大于等于 80%， $7\mu\text{m}$ ~ $14\mu\text{m}$ 发射率大于等于 80%，在常温下能提供 $100\text{W}/\text{m}^2$ 以上的辐射制冷功率。

[038] (2) 本发明的涂层，机械强度高，耐候性能好，具有非常大的实用价值。

附图说明

[039] 图 1 是太阳辐射能量谱图；太阳光每分钟辐射能量图谱中，紫外、可见、近红外部分占据的能量分别是 6.6%、44.7%、48.7%。

[040] 图 2 是大气透射率谱图；大气窗口是指电磁波通过大气层时较少地被反射、吸收和散射，而那些透射率高的波段。

[041] 图 3a 是本发明实施例中第一种棒状结构颗粒填料的微观放大图；棒状颗粒填料的长径比为 5: 1，体积平均粒径为 9.8 μm 。

[042] 图 3b 是本发明实施例中第二种棒状结构颗粒填料的微观放大图；棒状颗粒填料的长径比为 4: 1，体积平均粒径为 4.6 μm 。

[043] 图 3c 是本发明实施例中第三种棒状结构颗粒填料的微观放大图；棒状颗粒填料的长径比为 3: 1，体积平均粒径为 1.6 μm 。

[044] 图 4a 是本发明实施例中第一种选择性辐射制冷涂料的结构示意图；从下到上包括四层，分别为底漆树脂层 1、第一辐射制冷功能层 2、第二辐射制冷功能层 3、耐候性树脂层 4，其中第一颗粒填料 21 和第二颗粒填料 31 均为有序排列。

[045] 图 4b 是本发明实施例中第二种选择性辐射制冷涂料的结构示意图；从下到上包括四层，与图 4a 所示结构不同的是，第一辐射制冷功能层 2 和第二辐射制冷功能层 3 的位置关系进行了调换。

[046] 图 4c 是本发明实施例中第三种选择性辐射制冷涂料的结构示意图；从下到上包括三层，与 4a 所示结构不同的是，第一辐射制冷功能层 2 和第二辐射制冷功能层 3 合并为一层。

[047] 图 4d 是本发明实施例中第四种选择性辐射制冷涂料的结构示意图；从下到上包括三层，与图 4a 所示结构不同的是，少了一层耐候性树脂层 4。

[048] 图 4e 是本发明实施例中第五种选择性辐射制冷涂料的结构示意图；从下到上包括两层，与图 4a 所示结构不同的是，少了一层耐候性树脂层 4 和一层底漆树脂层 1。

[049] 图 5a 是第一辐射制冷功能层 2 的厚度与 400~760nm，760~2500nm 反射率的关系图；第一辐射制冷功能层 2 的反射率与其厚度有关，厚度越厚，反射率越高，当厚度大于等于 130 μm 时，反射率增加的较平缓，基本达到饱和。

[050] 图 5b 是第二辐射制冷功能层 3 的厚度与 300~400nm，400~760nm 反射率的关系图；第二辐射制冷功能层 3 的反射率与其厚度有关，厚度越厚，反射率越高，当厚度大于等于 30 μm 时，反射率增加的较平缓，基本达到饱和。

[051] 图 6a 是第一辐射制冷功能层的厚度与 1 μm ~25 μm 的发射率与波长关系的图谱；第一辐射制冷功能层 2 在 7 μm ~14 μm 的发射率与第一辐射制冷功能层 2 的厚度有关，厚度越厚，发射率越高，当厚度大于等于 100 μm 时，发射率增加的较平缓，基本达到饱和。

[052] 图 6b 是第二辐射制冷功能层的厚度与 1 μm ~25 μm 的发射率与波长关系的图谱；第二辐射制冷功能层 3 在 7 μm ~14 μm 的发射率与第二辐射制冷功能层 3 的厚度有关，厚度越厚，发射率越高，当厚度大于等于 15 μm 时，发射率增加的较平缓，基本达到饱和。

[053] 图 7a 是内部长宽高分别为 5m*4m*3m 展示屋 A 和 B 的测温点图。

[054] 图 7b 是户外环境及展示屋 A 表面不同位置的测温点曲线图。

[055] 图 7c 是展示屋 A 纵向不同位置的测温点曲线图。

[056] 图 7d 是室外环境及展示屋 B 表面不同位置的测温点曲线图。

[057] 图 7e 是展示屋 B 纵向不同位置的测温点曲线图。

[058] 图 8a 是内部长宽高分别为 800mm*800mm*80mm 水箱 C 和 D 内部测温点的示意图。

[059] 图 8b 是水箱 C 和 D 内部测温点的温度曲线图。

[060] 图 9a 是帐篷 E 和 F 内测温点示意图。

[061] 图 9b 是帐篷 E 和 F 内测温点温差曲线图。

[062] 图 10a 是头盔 G 和 H 内顶部测温点示意图。

[063] 图 10b 是头盔 G 和 H 内顶部测温点的温度曲线图。

[064] 图 11 是防水卷材 I 和 J 正面和背面测温点的温度曲线图。

具体实施方式

[065] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，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，都应当属于本发明保护的范围。

[066] 本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”等是用于区别不同的对象，而不是用于描述特定顺序。此外，术语“包括”和“具有”以及它们任何变形，意图在于覆盖不排他的包含。

[067] 本发明实施例提供一种辐射制冷功能涂料，用于制备辐射制冷功能层，辐射制冷功能层用于反射紫外光和/或可见光和/或近红外光，并以红外辐射方式通过大气窗口发射热量，所述辐射制冷功能涂料包括颗粒填料和辐射制冷功能树脂，所述颗粒填料分布于辐射制冷功能树脂中。

[068] 其中，颗粒填料的形状可为棒状、长方体、正方体、球状、椭球状、多面体、杆状、板状或不规则形状。进一步的，颗粒填料具有可选择的形状，使得所述颗粒填料在大气窗口波长范围内具有共振增强的表面等离子体吸收，为了进一步提高辐射制冷功能层对太阳光（ $0.3\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ ）的反射率和在大气窗口（ $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ ）的发射率，颗粒填料的形状优选为棒状、球状、椭球状，当颗粒填料的形状为棒状、椭球状时，其长径比均为 1:1~10:1。

[069] 本发明实施例中，棒状的颗粒填料在大气窗口波长范围（ $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ ）内具有更好共振增强的表面等离子体吸收，并且可以对太阳光进行多次的反射、散射，所以包括棒状颗粒填料的辐射制冷功能层对太阳光（ $0.3\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ ）的反射率更高，且包括棒状颗粒填料的辐射制冷功能层可以有效的将热量转化为 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的红外线发射出去，其 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的红外发射率更高，所以，颗粒填料的形状优选为如图 3a~3c 所示的棒状。

[070] 图 3a~图 3c 分别示出了 3 种不同长径比和体积平均粒径的棒状颗粒填料，其中，图 3a 中的棒状颗粒填料的长径比为 5:1，体积平均粒径为 $9.8\mu\text{m}$ ，图 3b 中的棒状颗粒填料的长径比为 4:1，体积平均粒径为 $4.6\mu\text{m}$ ，图 3c 中的棒状颗粒填料的长径比为 3:1，体积平均粒径为 $1.6\mu\text{m}$ 。在图 3a~图 3c 所示出的 3 种棒状颗粒填料中，其对太阳光的反射和辐射效果均会随着长径比和体积平均粒径的变化而变化。

[071] 考虑到辐射制冷功能涂料制成辐射制冷功能层时，厚度会受棒状的颗粒填料的粒径影响，且棒状的颗粒填料的长径比存在较优的选择，可使所述颗粒填料在大气窗口波长范围（ $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ ）内具有更好的表面等离子体吸收的共振增强。所以，棒状的颗粒填料的长径比优选为 3:1~8:1，更优选为 4:1~6:1。

[072] 其中，所述颗粒填料可采用硅酸铝、二氧化硅、氧化铝、氧化锌、氧化锆、氧化铈、氧化镧、氧化铈、硫酸钡、硫化锌、氧化镁中的一种或几种，也可采用珠光粉、重钙粉、滑石粉、钛白粉、陶瓷粉、陶瓷珠、玻璃珠中的一种或几种。

[073] 可选的，所述颗粒填料可包括第一颗粒填料和/或第二颗粒填料。即，当所述辐射制冷功能涂料包括辐射制冷功能树脂和分布于其中的第一颗粒填料时，可作为第一辐射制冷功能涂料；当所述辐射制冷功能涂料包括辐射制冷功能树脂和分布于其中的第二颗粒填料时，可作为第二辐射制冷功能涂料。第一辐射制冷功能涂料和第二辐射制冷功能涂料可同时使用，在使用时，第一辐射制冷功能涂料和第二辐射制冷功能涂料中辐射制冷功能树脂的具体选择可相同，也可不同。

[074] 可选的，第一颗粒填料可选择对可见光反射率、近红外反射率高（ $\geq 80\%$ ），同时大气窗口（ $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ ）红外发射率大于 80% 的材料，包括但不限于硅酸铝、珠光粉、二氧化硅、重钙粉、硫酸钡、滑石粉、钛白粉、硫化锌、陶瓷粉、陶瓷珠、玻璃珠等中的一种或几种，且粒径为 $0.5\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ ，优选的，粒径为 $1\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ ，更优选的，粒径为 $2\mu\text{m}\sim 6\mu\text{m}$ 。

[075] 第二颗粒填料可选择对紫外光、可见光反射率高（ $\geq 80\%$ ），同时大气窗口（ $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ ）红外发射率大于 80% 的材料，包括但不限于氧化铝、氧化锌、氧化锆、氧化铈、氧化镧、氧化铈、氧化铈、氧化镁等中的一种或几种，且粒径为 $0.01\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ ，优选的，粒径为 $0.1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ ，更优选的，粒径为 $0.6\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 。

[076] 可选的，当辐射制冷功能涂料中的颗粒填料包括第一填料和第二填料时，或者，第一辐射制冷功

能涂料和第二辐射制冷功能涂料同时使用时，第一颗粒填料的粒径大于第二颗粒填料的粒径，且第一颗粒填料的长径比大于第二颗粒填料的长径比。不同粒径和不同长径比的颗粒填料所实现的功能不同，大粒径且长径比大的颗粒填料反射可见光和近红外光的效果更好，小粒径且长径比小的颗粒填料反射紫外光和可见光的效果更好，并且大粒径且长径比大的颗粒填料提供发射 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 红外线的作用，而小粒径且长径比小的颗粒填料可以进一步增强辐射制冷功能层对 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 红外线的发射。

[077] 可以理解，当辐射制冷功能涂料中的颗粒填料仅为一种但具有不同的粒径和长径比时，根据上述大粒径和小粒径的颗粒填料的作用可知，大粒径的颗粒填料起到更多第一填料的作用，小粒径的颗粒填料起到更多第二填料的作用。

[078] 可选的，所述颗粒填料在辐射制冷功能树脂中为有序排列，所述有序排列包括颗粒填料均匀分布在辐射制冷功能树脂中，并且颗粒填料在辐射制冷功能树脂中为定向排列，制成辐射制冷功能层后排列方式优选不变。其中，定向排列时颗粒填料内部的最长径与辐射制冷功能层平面的夹角为 $0\sim 45^\circ$ ，更优选为 $0\sim 30^\circ$ 。颗粒填料的有序排列使得颗粒填料在辐射制冷功能树脂中均匀分布，所述辐射制冷功能层在大气窗口波长范围 ($7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$) 内具有共振增强的表面等离子体吸收，且对太阳光的反射控制在一定的角度，进而可提高辐射制冷功能层对紫外光、可见光及近红外光的反射率和对 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 红外线的发射率。

[079] 颗粒填料取向的控制可以通过在辐射制冷功能涂料中加入定向剂一类的助剂实现，如水性醋酸-丁基纤维素 (CMCAB)、乙烯-醋酸乙烯共聚物 (EVA) 腊乳液、聚乙烯蜡和聚酰胺蜡等。所述定向剂可以通过调节挥发速率或对颗粒填料的锚固作用达到使颗粒填料定向排列的效果。

[080] 辐射制冷功能树脂可选用环氧树脂、聚酯、聚氨酯树脂、丙烯酸树脂、有机硅树脂等中的一种或几种的混合，上述的辐射制冷功能树脂具有较低的太阳能吸收率和较高的选择性发射率。辐射制冷功能树脂配合其中分布的颗粒填料，提供反射太阳光 ($300\text{nm}\sim 2500\text{nm}$) 和发射大气窗口红外线 ($7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$) 的功能。另外，辐射制冷功能树脂还有助于提高辐射制冷功能层的机械强度，改善其耐候性能。

[081] 可选的，本发明的辐射制冷功能涂料的形式为液体型，包括水性或油性。

[082] 一些实施例中，本发明的辐射制冷功能涂料还包括颜料，用来对涂料的颜色进行调整，该颜料可以为普通色浆、红外反射颜料、荧光染料中的一种或多种。

[083] 优选实施例中，采用荧光染料作为颜料添加到辐射制冷功能涂料中。荧光染料基本不会影响到辐射制冷功能涂料的反射性能，具有较好的效果。

[084] 通过加入相应色彩的颜料，辐射制冷功能涂料的颜色可以有红、橙、黄、绿、青、蓝、紫、灰、棕等。制备不同颜色的辐射制冷功能涂料的作用在于：满足不同应用场所的颜色需求。

[085] 本发明实施例还提供一种如上所述辐射制冷功能涂料的应用方法，包括：将所述辐射制冷功能涂料涂刷在基材或主体表面，得到辐射制冷功能层，由所述辐射制冷功能层向外反射和/或发射热量。

[086] 其中，所述基材为金属、塑料、橡胶、混凝土、水泥、沥青、纸张、纺织品、木材、瓷砖、玻璃或有机合成材料中的一种。所述主体为建筑、光伏组件及系统、汽车、户外用品、农牧水产业设备、航空航天设备、冷链运输设备、室外箱柜罐、纺织行业设备、室外通讯设备、工业设备、公用设施、冷却水系统、能源系统（如：空调/制冷/供暖系统结合）或节能设备中的一种。

[087] 进一步的，所述建筑包括工业建筑、商业建筑、居民住宅建筑和公共建筑等。

[088] 进一步的，所述工业设备包括户外配电柜等。

[089] 进一步的，所述公用设施包括路灯及其散热器件、厕所屋顶墙面、场馆的路面等。

[090] 可选的，本发明的辐射制冷功能涂料涂刷方式可包括刷涂、辊涂、喷涂等。当辐射制冷功能涂料包括第一辐射制冷功能涂料和第二辐射制冷功能涂料时，可待一层干燥后再涂刷下一层。

[091] 可选的，涂料的制备工艺可包括：准备好树脂、颗粒填料和助剂和/或溶剂等原材料，先高速预分散，再研磨分散，然后搅拌均匀，然后过滤检验，然后包装，制得涂料。

[092] 本发明实施例还提供一种选择性辐射制冷涂层，包括由如上所述辐射制冷功能涂料制备得到的辐射制冷功能层。

[093] 可选的，辐射制冷功能层中，所述颗粒填料与所述辐射制冷功能层的颜基比为 $1:10\sim 6:1$ 。颜基比就是涂层中颗粒填料与树脂固体部分的质量比，降低它可以增加树脂的含量，增加涂层的机械强度和耐候性能，但考虑到反射率、发射率的提升空间和成本，所述颗粒填料与所述辐射制冷功能层的颜基比优选为

1:5~3:1, 更优选为 1:3~3:1。

[094] 一些实施例中, 所述辐射制冷功能层可分为两层或多层。例如可包括由第一辐射制冷功能涂料制得的第一辐射制冷功能层和第二辐射制冷功能涂料制得的第二辐射制冷功能层。其中, 第一辐射制冷功能层具有反射可见光和近红外光的作用, 以及, 以红外辐射方式通过大气窗口发射热量的作用; 第二辐射制冷功能层具有反射紫外光和可见光的作用, 以及, 以红外辐射方式通过大气窗口发射热量的作用。

[095] 可选的, 第一辐射制冷功能层的可见光和近红外反射率大于等于 80%, 7 μm ~14 μm 波段的发射率大于等于 80%, 第二辐射制冷功能层的可见光和紫外反射率大于等于 80%, 7 μm ~14 μm 波段的发射率大于等于 80%。进一步的, 第一辐射制冷功能层的可见光和近红外反射率大于等于 90%, 7 μm ~14 μm 波段的发射率大于等于 90%, 第二辐射制冷功能层的可见光和紫外反射率大于等于 90%, 7 μm ~14 μm 波段的发射率大于等于 90%。

[096] 另一些实施例中, 所述辐射制冷功能层也可以不分层, 辐射制冷功能层包括第一颗粒填料和第二颗粒填料。也就是说, 可以将第一辐射制冷功能层和第二辐射制冷功能层合为一层。

[097] 可选的, 辐射制冷功能层的红外发射率(7 μm ~14 μm 波段)大于等于 80%, 热反射率(300nm~2500nm 波段)大于等于 80%。进一步的, 辐射制冷功能层的红外发射率(7 μm ~14 μm 波段)大于等于 90%, 热反射率(300nm~2500nm 波段)大于等于 90%。

[098] 其它一些实施例中, 该涂层还可以耐候性树脂层和/或底漆树脂层, 所述辐射制冷功能层包括第一表面及与所述第一表面背离的第二表面, 所述耐候性树脂层设置于所述辐射制冷功能层的第一表面, 用于保护所述辐射制冷功能层, 所述底漆树脂层设置于所述辐射制冷功能层的第二表面, 用于与基体或主体接触, 将选择性辐射制冷涂层固定于基体和主体表面。

[099] 其中, 为获得良好的耐候和耐沾污性能, 耐候性树脂层的材料可使用含氟树脂, 不限于氟碳树脂(FEVE)、聚偏氟乙烯(PVDF)树脂、乙烯-四氟乙烯共聚物(ETFE)树脂、氟化乙烯丙烯共聚物(FEP)树脂、含氟丙烯酸树脂、含氟聚酯、含氟环氧树脂、含氟聚氨酯、含氟有机硅树脂等, 或其他耐候性好的常用树脂, 如环氧树脂、聚酯、聚氨酯树脂、丙烯酸树脂、有机硅树脂等。另外, 耐候性树脂层 4 在 300nm~2500nm 的透射率 $\geq 80\%$, 透射率的要求是为了不影响辐射制冷功能层对太阳光的反射率。

[0100] 底漆树脂层具有增加附着力和防腐功能, 材料可根据基材类型选择, 一般可采用但不限于环氧树脂、丙烯酸树脂中的一种或几种。

[0101] 可选的, 辐射制冷功能层的厚度为 10 μm ~360 μm 或 30 μm ~300 μm 或 100 μm ~300 μm 或 100 μm ~150 μm , 第一辐射制冷功能层的厚度为 30 μm ~300 μm 或 100 μm ~300 μm 或 100 μm ~150 μm , 第二辐射制冷功能层的厚度为 10 μm ~60 μm 或 15 μm ~60 μm 或 15 μm ~30 μm , 耐候性树脂层的厚度为 10 μm ~50 μm , 底漆树脂层的厚度为 10 μm ~50 μm 。

[0102] 请参考图 4a 至图 4c, 示出了选择性辐射制冷涂层的多种可能的结构, 该选择性辐射制冷涂层从下至上可分别包括以下各层中的全部或部分:

[0103] 下面, 结合图 4a 至图 4c, 对本发明的选择性辐射制冷涂层的几种可能的结构进一步详细说明, 以棒状结构的颗粒填料为例, 棒状结构颗粒填料的微观放大图见图 3。

[0104] 第一种: 如图 4a 所示, 一些实施例中, 选择性辐射制冷涂层从下层至上层可依次包括: 底漆树脂层 1、第一辐射制冷功能层 2、第二辐射制冷功能层 3、耐候性树脂层 4; 第一辐射制冷功能层 2 包括第一辐射制冷功能树脂层 22 和分布其中的第一颗粒填料 21, 第二辐射制冷功能层 3 包括第二辐射制冷功能树脂层 32 和分布其中的第二颗粒填料 31。其中, 第一颗粒填料 21 和第二颗粒填料 31 在第一辐射制冷功能树脂层 22 和第二辐射制冷功能树脂层 32 中均为有序排列。

[0105] 图中, 100 表示红外线的辐射; 200 表示太阳能; 210 表示可见光及近红外光的反射; 220 表示紫外光及可见光的反射。

[0106] 第二种: 如图 4b 所示, 一些实施例中, 选择性辐射制冷涂料从下层至上层可依次包括: 底漆树脂层 1、第二辐射制冷功能层 3、第一辐射制冷功能层 2、耐候性树脂层 4。

[0107] 与图 4a 所示结构不同的是, 第一辐射制冷功能层 2 和第二辐射制冷功能层 3 的顺序调换。

[0108] 第三种: 如图 4c 所示, 一些实施例中, 选择性辐射制冷涂料从下层至上层可依次包括: 底漆树脂层 1、辐射制冷功能层 5、耐候性树脂层 4; 辐射制冷功能层 5 包括辐射制冷功能树脂层 52 和分布其中

的第一颗粒填料 21 与第二颗粒填料 31。

[0109] 与图 4a 所示结构不同的是，第一辐射制冷功能层和第二辐射制冷功能层合并为一层。

[0110] 第四种：如图 4d 所示，一些实施例中，选择性辐射制冷涂料从下层至上层可依次包括：底漆树脂层 1、第一辐射制冷功能层 2、第二辐射制冷功能层 3。

[0111] 与图 4a 所示结构不同的是，去除了耐候性树脂层 4。

[0112] 第五种：如图 4e 所示，一些实施例中，选择性辐射制冷涂料从下层至上层可依次包括：第一辐射制冷功能层 2、第二辐射制冷功能层 3。

[0113] 与图 4a 所示结构不同的是，去除了耐候性树脂层 4，且去除了底漆树脂层 1。

[0114] 另外，第一颗粒填料 21 和第二颗粒填料 31 可以在辐射制冷功能树脂中随机取向排列，但是随机取向排列，会影响到辐射制冷功能层对紫外光和/或可见光和/或近红外光的反射率及对 $7\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 波段的发射率。

[0115] 值得说明的是：如图 4a 至图 4e 所示的选择性辐射制冷涂层仅为本发明的部分示例，其中，结构中的耐候性树脂层和底漆树脂层可以省略，也可以选择性的保留，还可以将第一辐射制冷功能层和第二辐射制冷功能层合并为一层，也可以将第一辐射制冷功能层和第二辐射制冷功能层的顺序调换。其中，辐射制冷功能层的层数不限于采用一层或两层，也可以分为 3 层、4 层、5 层等更多层。辐射制冷功能层中的颗粒填料种类与颗粒填料比例、辐射制冷功能层中的树脂种类与比例，辐射制冷功能层的厚度，及其它层的材料种类和厚度等，可根据需要选择。该涂层通过材料和结构优化，可提高热反射率和发射率，尤其在 $7\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 波段的发射率，实现极强的降温效果

[0116] 本发明的选择性辐射制冷涂层，对太阳光谱能量的反射率大于等于 80%，大气窗口发射率大于等于 80%，在常温下能提供 $100\text{W}/\text{m}^2$ 以上的辐射制冷功率；并且，机械强度高，耐候性能好，具有非常大的实用价值。其中，辐射制冷功率的测试参照 2017 年《Science》期刊的文章《Supplementary Material for Scalable-manufactured randomized glass-polymer hybrid metamaterial for daytime radiative cooling》，将其中的 Silver-coated silicon wafer 和 Hybrid metamaterial 替换成本发明的辐射制冷涂料即可。

[0117] 本发明的选择性辐射制冷涂层，具有以下特点：

[0118] 1、采用层状结构，各层分别具备不同的功能，便于制备和应用；

[0119] 2、当辐射制冷功能层包括第一辐射制冷功能层和第二辐射制冷功能层时，各自同时具有选择性反射和发射作用，便于分别制备和选择性使用；

[0120] 3、颗粒填料的形状以棒状为主，并对棒状和的长径比进行限定，所述的颗粒填料在辐射制冷功能层树脂中进行有序排列，使其具备更好的性能；

[0121] 4、设置底漆树脂层，可用于增加辐射制冷功能层与基材的附着力。

[0122] 本发明实施例还提供一种包含如上所述选择性辐射制冷涂层的复合材料，包括基材和涂刷在基材上的所述选择性辐射制冷涂层。

[0123] 其中，所述基材为金属、塑料、橡胶、混凝土、水泥、沥青、纸张、纺织品、木材、瓷砖、玻璃或有机合成材料中的一种。

[0124] 以上，对本发明实施例提供的辐射制冷功能涂料及其应用进行了说明。下面，还提供相应的实验数据和工程应用案例，用来进一步描述该涂料的性能及其降温效果。

[0125] 【实验数据】

[0126] （一）反射率测试：

[0127] 将样品放进光度计，例如 Perkin Elmer, Lambda 950 型 UV/Vis/NIR Spectrometer（紫外/可见/近红外分光光度计）中，测量波长范围为 $300\text{nm} \sim 2500\text{nm}$ ， $300\text{nm} \sim 400\text{nm}$ ， $400\text{nm} \sim 760\text{nm}$ ， $760\text{nm} \sim 2500\text{nm}$ 波段中样品的反射率，测量波长间隔为 5nm 。将 $300\text{nm} \sim 2500\text{nm}$ ， $300\text{nm} \sim 400\text{nm}$ ， $400\text{nm} \sim 760\text{nm}$ ， $760\text{nm} \sim 2500\text{nm}$ 波段中样品的反射率的平均值分别作为样品在太阳光波段、紫外、可见及近红外波段的反射率 R、R1、R2、R3。

[0128] （二）发射率测试：

[0129] 使用反射计，例如 SOC-100 Hemispherical Directional Reflectometer (SOC-100 半球形定向反射计)，测试 $7 \sim 14\mu\text{m}$ 波长的红外发射率。

[0130] 厚度方面：图 5a 表示第一辐射制冷功能层的厚度与 400nm~760nm, 760nm~2500nm 反射率的关系；图 5b 表示第二辐射制冷功能层的厚度与 300nm~400nm, 400nm~760nm 反射率的关系；图 6a 是第一辐射制冷功能层的厚度与 1 μ m~25 μ m 的发射率与波长关系的图谱；图 6b 是第二辐射制冷功能层的厚度与 1 μ m~25 μ m 的发射率与波长关系的图谱。结论如下：

[0131] 将配方为 X 的第一辐射制冷功能涂料（配方为 X 是指：第一辐射制冷功能涂料包括 80%质量比的丙烯酸树脂，19%质量比的二氧化硅和重钙粉（二氧化硅和重钙粉的质量比为 1:1，二氧化硅和重钙粉的形状均为棒状，粒径均为 6 μ m，长径比均为 5:1），1%定向剂（乙烯-醋酸乙烯共聚物腊乳液），二氧化硅和重钙粉内部的最长径与第一辐射制冷功能层平面的夹角为 0°~30°，）涂在镀锌板上，涂布的厚度分别为 70 μ m、100 μ m、130 μ m、180 μ m、260 μ m，烘干后得到不同厚度的样品，根据图 5a，得到结论：第一辐射制冷功能层的在 400nm~2500nm 的平均反射率与其厚度有关，厚度越厚，反射率越高，当厚度大于等于 130 μ m 时，反射率增加的较平缓，基本达到饱和。根据图 6a，得到结论：第一辐射制冷功能层在 7 μ m~14 μ m 的平均发射率与第一辐射制冷功能层的厚度有关，厚度越厚，发射率越高，当厚度大于等于 100 μ m 时，发射率增加的较平缓，基本达到饱和。

[0132] 将配方为 Y 的第二辐射制冷功能涂料（配方为 Y 是指：第二辐射制冷功能涂料包括 75%质量比的聚氨酯树脂，23%质量比的氧化铝和氧化镁（氧化铝和氧化镁的质量比为 1:1，氧化铝和氧化镁的形状均为棒状，粒径均为 3 μ m，长径比均为 6:1），2%定向剂（聚酰胺腊），氧化铝和氧化镁内部的最长径与第二辐射制冷功能层平面的夹角为 0°~30°）涂在涂布了 150 μ m 厚度第一辐射制冷功能层（配方为 X）的镀锌板上，第二辐射制冷功能层涂布的厚度分别为 0 μ m、15 μ m、30 μ m、45 μ m，烘干后得到不同厚度的样品，根据图 5b，得到结论：第二辐射制冷功能层的反射率与其厚度有关，厚度越厚，反射率越高，当厚度大于等于 30 μ m 时，反射率增加的较平缓，基本达到饱和。根据图 6b，得到结论：第二辐射制冷功能层在 7 μ m~14 μ m 的发射率与第二辐射制冷功能层的厚度有关，厚度越厚，发射率越高，当厚度大于等于 15 μ m 时，发射率增加的较平缓，基本达到饱和。

[0133] 颗粒填料的形状方面：与配方 X 不同的是，颗粒填料的形状分别为棒状、椭球状、球状、长方体、正方体，涂布的厚度均为 80 μ m，烘干后测试样品在 400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率，得到结论：第一辐射制冷功能层在 400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率都与其颗粒填料的形状有关，第一辐射制冷功能层在 400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率按大到小的排列顺序为：棒状>椭球状、球状>长方体、正方体。

[0134] 与配方 Y 不同的是，颗粒填料的形状分别为棒状、椭球状、球状、长方体、正方体，涂在涂布了 150 μ m 厚度第一辐射制冷功能层（配方为 X）的镀锌板上，涂布的厚度均为 30 μ m，烘干后测试样品在 300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率，得到结论：第二辐射制冷功能层在 300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率都与其颗粒填料的形状有关，第二辐射制冷功能层在 300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率按大到小的排列顺序为：棒状>椭球状、球状>长方体、正方体。

[0135] 颗粒填料的长径比方面：与配方 X 不同的是，颗粒填料的长径比分别为 3:1、4:1、6:1、8:1、9:1，涂布的厚度均为 100 μ m，烘干后测试样品在 400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率，得到结论：第二辐射制冷功能层在 400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率都与其颗粒填料的长径比有关，第二辐射制冷功能层在 400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率按大到小的排列顺序为：4:1、6:1>8:1、3:1>9:1。

[0136] 与配方 Y 不同的是，颗粒填料的长径比分别为 3:1、4:1、6:1、8:1、9:1，涂在涂布了 150 μ m 厚度第一辐射制冷功能层（配方为 X）的镀锌板上，涂布的厚度均为 30 μ m，烘干后测试样品在 300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率，得到结论：第二辐射制冷功能层在 300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率都与其颗粒填料的长径比有关，300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率按大到小的排列顺序为：4:1、6:1>8:1、3:1>9:1。

[0137] 颗粒填料的体积平均粒径方面：与配方 X 不同的是，颗粒填料的体积平均粒径不同，粒径分别为 0.5 μ m、1 μ m、2 μ m、6 μ m、20 μ m、40 μ m、43 μ m，涂布的厚度均为 120 μ m，烘干后测试样品在 400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率，得到结论：第一辐射制冷功能层在 400nm~2500nm 的平均反射

率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率都与其颗粒填料的平均粒径有关, 第一辐射制冷功能层在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率按大到小的排列顺序为: $2\mu\text{m}$ 、 $6\mu\text{m}>1\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}>0.5\mu\text{m}$ 、 $40\mu\text{m}>43\mu\text{m}$ 。

[0138] 与配方 Y 不同的是, 颗粒填料的体积平均粒径不同, 粒径分别为 $0.5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $6\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ 、 $40\mu\text{m}$ 、 $43\mu\text{m}$, 涂在涂布了 $150\mu\text{m}$ 厚度第一辐射制冷功能层(配方为 X)的镀锌板上, 涂布的厚度均为 $30\mu\text{m}$, 烘干后测试样品在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率, 得到结论: 第二辐射制冷功能层在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率都与其颗粒填料的平均粒径有关, 第二辐射制冷功能层在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率按大到小的排列顺序为: $2\mu\text{m}$ 、 $6\mu\text{m}>1\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}>0.5\mu\text{m}$ 、 $40\mu\text{m}>43\mu\text{m}$ 。

[0139] 颗粒填料的定向排列方面: 与配方 X 不同的是, 二氧化硅和重钙粉内部的最长径与第一辐射制冷功能层平面的夹角为 $0^\circ\sim 45^\circ$ 、 $0^\circ\sim 30^\circ$ 、无序排列, 涂布的厚度为 $120\mu\text{m}$, 烘干后测试样品在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率, 得到结论: 第一辐射制冷功能层在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率与其颗粒填料的定向排列有关, 第一辐射制冷功能层在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率按大到小的排列顺序为: $0^\circ\sim 30^\circ>0^\circ\sim 45^\circ>$ 无序排列。

[0140] 与配方 Y 不同的是, 二氧化硅和重钙粉内部的最长径与第一辐射制冷功能层平面的夹角为 $0^\circ\sim 30^\circ$ 、 $0^\circ\sim 45^\circ$ 、无序排列, 涂在涂布了 $150\mu\text{m}$ 厚度第一辐射制冷功能层(配方为 X)的镀锌板上, 涂布的厚度为 $30\mu\text{m}$, 烘干后测试样品在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率, 得到结论: 第二辐射制冷功能层在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率都与其颗粒填料的定向排列有关, 第二辐射制冷功能层在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率按大到小的排列顺序为: $0^\circ\sim 30^\circ>0^\circ\sim 45^\circ>$ 无序排列。

[0141] 颗粒填料的选择方面: 与配方 X 不同的是, 颗粒填料的种类不同, 颗粒填料的种类分别为珠光粉、二氧化硅、氧化铝、氧化镁, 涂布的厚度均为 $80\mu\text{m}$, 烘干后测试样品在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率, 得到结论: 第一辐射制冷功能层在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率都与其颗粒填料的种类有关, 第一辐射制冷功能层在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率按大到小的排列顺序为: 珠光粉、二氧化硅>氧化铝、氧化镁。

[0142] 与配方 Y 不同的是, 颗粒填料的种类不同, 颗粒填料的种类分别为质量比为 1:1 的二氧化硅和重钙粉、氧化镁、氧化铝, 涂在涂布了 $150\mu\text{m}$ 厚度第一辐射制冷功能层(配方为 X)的镀锌板上, 涂布的厚度均为 $40\mu\text{m}$, 烘干后测试样品在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率, 得到结论: 第二辐射制冷功能层在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率都与其颗粒填料的种类有关, 第二辐射制冷功能层在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率按大到小的排列顺序为: 氧化镁、氧化铝>1:1 的二氧化硅和重钙粉。

[0143] 树脂的选择方面: 与配方 X 不同的是, 树脂种类不同, 树脂的种类分别为环氧树脂、聚酯、聚氨酯树脂、丙烯酸树脂、有机硅树脂、含氟树脂, 涂布的厚度均为 $80\mu\text{m}$, 烘干后测试样品在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率, 得到结论: 第一辐射制冷功能层在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率都与其树脂的种类有关, 第一辐射制冷功能层在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率按大到小的排列顺序为: 环氧树脂、聚酯、聚氨酯树脂、丙烯酸树脂、有机硅树脂>含氟树脂。

[0144] 与配方 Y 不同的是, 树脂种类不同, 树脂的种类分别为环氧树脂、聚酯、聚氨酯树脂、丙烯酸树脂、有机硅树脂、含氟树脂, 涂在涂布了 $150\mu\text{m}$ 厚度第一辐射制冷功能层(配方为 X)的镀锌板上, 涂布的厚度均为 $40\mu\text{m}$, 烘干后测试样品在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率, 得到结论: 第二辐射制冷功能层在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率都与其树脂的种类有关, 第二辐射制冷功能层在 $300\text{nm}\sim 760\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率按大到小的排列顺序为: 环氧树脂、聚酯、聚氨酯树脂、丙烯酸树脂、有机硅树脂>含氟树脂。

[0145] 颗粒填料与树脂的用量比方面: 与配方 X 不同的是, 颗粒填料与树脂的用量比不同, 颗粒填料与树脂的用量比分别为 10: 89、25: 74、50: 49、60: 39, 涂布的厚度均为 $100\mu\text{m}$, 烘干后测试样品在 $400\text{nm}\sim 2500\text{nm}$ 的平均反射率和 $7\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 的平均发射率, 得到结论: 第一辐射制冷功能层在

400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率都与其颗粒填料与树脂的用量比有关,第一辐射制冷功能层在 400nm~2500nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率按大到小的排列顺序为: 25:74>10:89>50:49>60:39。

[0146] 与配方 Y 不同的是,颗粒填料与树脂的用量比不同,颗粒填料与树脂的用量比分别为 10: 89、25: 74、50: 49、60: 39,涂在涂布了 150 μ m 厚度第一辐射制冷功能层(配方为 X)的镀锌板上,涂布的厚度均为 40 μ m,烘干后测试样品在 300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率,得出结论:第二辐射制冷功能层在 300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率都与其颗粒填料与树脂的用量比有关,第二辐射制冷功能层在 300nm~760nm 的平均反射率和 7 μ m~14 μ m 的平均发射率按大到小的排列顺序为: 25:74>10:89>50:49>60:39。

[0147] (三)耐候性测试

[0148] (1) 氙灯测试样品制备:在 150mm*70mm*4mm 的无石棉纤维水泥板上涂刷形成选择性辐射制冷涂层,从下层至上层依次包括:底漆树脂层(丙烯酸树脂)、第一辐射制冷功能层(配方为 X)、第二辐射制冷功能层(配方为 Y)、耐候性树脂层,样品的底漆树脂层、第一辐射制冷功能层、第二辐射制冷功能层均相同,将样品的耐候性树脂层分别设置为氟碳树脂(FEVE)、聚偏氟乙烯(PVDF)树脂、乙烯-四氟乙烯共聚物(ETFE)树脂、含氟有机硅树脂。用 120 μ m 和 80 μ m 的线棒各涂 1 道,养护 168h,制得所需的样品 1、样品 2、样品 3、样品 4。

[0149] 测试设备:氙灯测试仪

[0150] 测试条件:黑板 55 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C,湿度 70%RH,降雨 18min/2h,功率 550W/m²,放置 1000h。观察老化前后的外观、粉化、变色现象,测试老化前后的平均反射率(300nm~2500nm)变化 Δ R(老化前的反射率减去老化后的反射率)、平均发射率(7 μ m~14 μ m)变化 Δ E(老化前的发射率减去老化后的发射率)。

[0151] 氙灯测试结果:样品 1、样品 2、样品 3、样品 4 老化前后无明显的外观、粉化及变色现象,且反射率的变化 Δ R 均在 2%以下,发射率的变化 Δ E 均在 2%以下。

[0152] (2)耐温变性能测试

[0153] 样品制备:将第一辐射制冷功能涂料(包括 79%丙烯酸树脂,20%硅酸铝,1%聚乙烯蜡定向剂,硅酸铝的形状为棒状、长径比为 4:1、粒径为 2 μ m)涂在 150mm*70mm*4mm 的无石棉纤维水泥板上,用 120 μ m 和 80 μ m 的线棒各涂 1 道,养护 168h,制得所需的样品 5。

[0154] 将第二辐射制冷功能涂料(包括 70%有机硅树脂,27%氧化铝,3%水性醋酸-丁基纤维素定向剂,氧化铝的形状为棒状、长径比为 6:1、粒径为 0.6 μ m)涂在 150mm*70mm*4mm 的无石棉纤维水泥板上,用 120 μ m 和 80 μ m 的线棒各涂 1 道,养护 168h,制得所需的样品 6。

[0155] 将耐候性树脂(氟化乙烯丙烯共聚物(FEP)树脂)涂在 150mm*70mm*4mm 的无石棉纤维水泥板上,用 120 μ m 和 80 μ m 的线棒各涂 1 道,养护 168h,制得所需的样品 7。

[0156] 测试步骤:将样品放入水中浸泡 18h 后拿出,表面水渍擦干后放入冰箱中在-20 $^{\circ}$ C下放置 3h 后拿出,放入烘箱中在 50 $^{\circ}$ C下放置 3h 后拿出,循环 5 个周期,观察样品表面的变化,每个样品的 3 块样板中至少应有 2 块未出现粉化、开裂、起泡、剥落、明显变色等涂膜病态现象,可评定为“无异常”。

[0157] 耐温变性能测试结果:样品 5、样品 6、样品 7 表面均无异常,即均无粉化、开裂、起泡、剥落、明显变色等涂膜病态现象。

[0158] (3)耐水性测试

[0159] 测试样品 5、样品 6、样品 7 的耐水性。

[0160] 样品。测试步骤:将样品封边后浸泡在水中放置 96h 后观察表面涂层是否起泡、掉粉、明显变色等异常。

[0161] 耐水性能测试结果:样品 5、样品 6、样品 7 的表面涂层均无起泡、掉粉、明显变色等异常。

[0162] (四)耐沾污性测试:测试样品 1、样品 2、样品 3、样品 4 的耐沾污性。

[0163] 测试设备:涂层耐沾污测试仪

[0164] 污染源配置:使用标准灰与水配置质量比 1:1 的悬浊液

[0165] 测试步骤:先在上、中、下三个位置测试样品的反射率,取其平均值,记为 P,在每块样品上刷 0.7 $\pm$ 0.1g 的污染源,于 60 $^{\circ}$ C烘箱中干燥 30min,取出放置 2h。使用涂层耐沾污测试仪冲洗 1min 后放置到

24h, 重复上述过程后, 在上、中、下三个位置测试样品涂层的反射率, 取其平均值, 记为 Q。

[0166] 涂层耐沾污性用涂料涂层反射系数下降率 (X) 计算如下: $X = (P - Q) / P * 100\%$, 结果取三块样品的算术平均值, 保留两位有效数值, 三块样品的平均测定相对误差应不大于 15%。

[0167] 耐沾污性测试结果: 样品 1、样品 2、样品 3、样品 4 的反射系数下降率 (X) 均为 3% 以下。

[0168] (五) 机械性能:

[0169] (1) 附着力测试

[0170] 测试样品 5、样品 6、样品 7 的附着力。

[0171] 附着力的测试: 按 GB/T 9286-1998 的规定进行, 用单刃刀具沿样板长边的平行和垂直方向各平行切割 3 道, 每道间隔为 3mm, 网格数为 4 格, 进行胶带撕离试验。

[0172] 结果表示: 结果用 0、1、2、3、4、5 六个等级进行评价。0 级表示切割边缘完全平滑无一格脱落; 1 级表示在切口交叉处有少许涂层脱落但交叉切割面积受影响不能明显大于 5%; 2 级表示在切口交叉处和/或沿切口边缘有涂层脱落受影响的交叉切割面积明显大于 5%, 但不能明显大于 15%; 3 级表示涂层沿切割边缘部分或全部以大碎片脱落和/或在格子不同部位上部分或全部剥落受影响的交叉切割面积明显大于 15%, 但不能明显大于 35%; 4 级表示涂层沿切割边缘大碎片剥落和/或一些方格部分或全部出现脱落受影响的交叉切割面积明显大于 35%, 但不能明显大于 65%; 5 级表示剥落的程度超过 4 级。

[0173] 附着力测试结果: 样品 5、样品 6、样品 7 的表面涂层的脱落等级均小于 2。

[0174] (2) 耐弯曲性测试

[0175] 测试设备: 圆柱弯曲试验仪

[0176] 样品制备: 将第一辐射制冷功能涂料 (包括 75% 的丙烯酸树脂, 25% 的硅酸铝, 硅酸铝的形状为棒状、长径比为 4: 1、粒径为 6 μ m) 涂在 150mm*70mm*0.25mm 的马口铁版上, 用 80 μ m 的线棒涂 1 道, 养护 168h, 制得所需的样品 8。将第二辐射制冷功能涂料 (包括含有氧化铝的有机硅树脂, 氧化铝的形状为棒状、长径比为 6: 1、粒径为 5 μ m) 涂在 150mm*70mm*0.25mm 的马口铁版上, 用 80 μ m 的线棒涂 1 道, 养护 168h, 制得所需的样品 9。

[0177] 将耐候性树脂 (氟化乙烯丙烯共聚物 (FEP) 树脂) 涂在 150mm*70mm*0.25mm 的马口铁版上, 用 80 μ m 的线棒涂 1 道, 养护 168h, 制得所需的样品 10。

[0178] 测试步骤: 使用圆柱弯曲试验仪测试样品的柔韧性, 样品表面的涂层没有可见的隆起和开裂。小于 2mm 为合格。

[0179] 测试样品 8、样品 9、样品 10 的耐弯曲性。

[0180] 耐弯曲性测试结果: 样品 8、样品 9、样品 10 的表面涂层无可见的隆起和开裂。

[0181] (3) 耐洗刷性测试

[0182] 测试设备: 耐洗刷测试仪

[0183] 样品制备: 将第一辐射制冷功能涂料 (包括 90% 丙烯酸树脂、10% 硅酸铝, 硅酸铝的形状为棒状、长径比为 4: 1、粒径为 4 μ m) 涂在 432mm*165mm*0.25mm 的 PVC 材质的塑料片上, 用 200 μ m 的间隙式湿膜制备器刮涂 1 道, 养护 7d, 制得所需的样品 11。将第二辐射制冷功能涂料 (包括 85% 有机硅树脂, 15% 氧化铝, 氧化铝的形状为棒状、长径比为 6: 1、粒径为 3 μ m) 涂在 432mm*165mm*0.25mm 的 PVC 材质的塑料片上, 用 200 μ m 的间隙式湿膜制备器刮涂 1 道, 养护 7d, 制得所需的样品 12。

[0184] 将耐候性树脂 (氟化乙烯丙烯共聚物 (FEP) 树脂) 涂在 432mm*165mm*0.25mm 的 PVC 材质的塑料片上, 用 200 μ m 的间隙式湿膜制备器刮涂 1 道, 养护 7d, 制得所需的样品 13。

[0185] 测试步骤: 使用 2.5g/L 的正十二烷基苯磺酸钠的水溶液进行洗刷, 刷子的运动频率为每分钟往复 (37 $\pm$ 2) 次循环, 一个往复行程的距离为 300mm*2, 在中间 100mm 的区域大致为匀速运动, 当刷子的往复次数为 10000 次后, 取出样品, 观察样品的涂层是否有破损。

[0186] 测试样品 11、样品 12、样品 13 的耐洗刷性。

[0187] 耐洗刷性测试结果: 样品 11、样品 12、样品 13 的表面涂层无破损现象。

[0188] 【工程应用案例】

[0189] 本发明的选择性辐射制冷涂层可应用在多种不同的领域, 下面以应用在建筑物、储备装置、纺织品、头盔、防水卷材为例进行说明。

[0190] 示例 1: 展示屋

[0191] 为了说明选择性辐射制冷涂层的降温制冷效果,下面以所述选择性辐射制冷涂层应用于建筑为例进行说明。

[0192] 将不锈钢材质,内部长宽高分别为 5m、4m、3m 的展示屋,在屋顶和四面墙的外面都形成选择性辐射制冷涂层,选择性辐射制冷涂层从下至上包括厚度为 20 μm 的底漆树脂层(丙烯酸树脂)、厚度为 100 μm 的第一辐射制冷功能层(配方为 X)、厚度为 15 μm 的第二辐射制冷功能层(配方为 Y)、厚度为 20 μm 的耐候性树脂层(聚偏氟乙烯树脂),选择性辐射制冷涂层在 0.3 μm ~2.5 μm 的反射率为 91%,在 7 μm ~14 μm 的发射率为 94%。这里将具有选择性辐射制冷涂层的室外展示屋定义为展示屋 A,于 2019 年 8 月 22 日在宁波市奉化区东峰路 88 号的草坪上用带有数据记录仪的热电偶测量和记录展示屋 A 表面和内部共 9 个测试点 24 个小时内的温度变化。

[0193] 将同样大小、材质、结构和形状的展示屋,放置在与展示屋 A 环境一致的地方,但屋顶和四面墙的外面都没有选择性辐射制冷涂层,这里将不具有选择性辐射制冷涂层的展示屋定义为展示屋 B,用带有数据记录仪的热电偶测量和记录展示屋 B 表面和内部共 9 个测试点在与展示屋 A 同一天同一时间段内的温度变化。展示屋 A 和展示屋 B 测试点的分布相同,如图 7a 所示。

[0194] 图 7a 中 A1、A6、A7、A8、A9 分别为展示屋 A 的屋顶外表面正中间位置处、东侧墙外表面正中间位置处、西侧墙外表面正中间位置处、南侧墙外表面正中间位置处、北侧墙外表面正中间位置处温度的测试点,A2、A3、A4、A5 为展示屋 A 内与地面垂直的同一竖直线上,离地面不同高度地方空气温度的测试点。同时还测试了户外的环境温度。

[0195] 图 7a 中 B1、B6、B7、B8、B9 分别为展示屋 B 的屋顶外表面正中间位置处、东侧墙外表面正中间位置处、西侧墙外表面正中间位置处、南侧墙外表面正中间位置处、北侧墙外表面正中间位置处温度的测试点,B2、B3、B4、B5 为展示屋 B 内与地面垂直的同一竖直线上,离地面不同高度地方空气温度的测试点。

[0196] 请参考图 7b,户外环境及展示屋 A 表面不同位置的测温点曲线图。由图 7b 可知,在展示屋 A 外表面上形成选择性辐射制冷涂层,展示屋 A 外表面(包括屋顶和东南西北四个方向)的温度均比户外环境温度低,温度最高下降了 6.1 $^{\circ}\text{C}$ 左右。

[0197] 由图 7c 可知,具有选择性辐射制冷涂层的展示屋 A,全天 24h 其室内纵向上不同点的温度均低于环境温度,与户外相比温度最高下降了 5.5 $^{\circ}\text{C}$ 左右;且随着日照时间增加,逐步出现距离屋顶越近温度越低的现象,说明选择性辐射制冷涂层具有明显的被动式辐射制冷效果。

[0198] 由图 7d 可知,不具有选择性辐射制冷涂层的展示屋 B 外表面(包括屋顶和东南西北四个方向)的温度比户外环境温度最高高 21 $^{\circ}\text{C}$ 左右。由图 7b 和图 7d 可知,具有选择性辐射制冷涂层的展示屋 A 不具有选择性辐射制冷涂层的展示屋 B 表面温度最高低 24 $^{\circ}\text{C}$ 左右。

[0199] 由图 7e 可知,不具有选择性辐射制冷涂层的展示屋 B,其纵向上不同点的温度差较大,随着太阳辐射强度的增加越接近展示屋的屋顶,则其温度越高,温度分层较明显。

[0200] 示例 2: 水箱

[0201] 为了说明选择性辐射制冷涂层的降温制冷效果,下面以所述选择性辐射制冷涂层应用于储备装置为例进行说明。

[0202] 实施例 1

[0203] 将塑料材质,内部长宽高分别为 800mm、800mm、80mm 的水箱,在水箱的上表面设置选择性辐射制冷涂层,选择性辐射制冷涂层从下至上包括厚度为 30 μm 的底漆树脂层(环氧树脂)、厚度为 120 μm 的第一辐射制冷功能层(配方为 X)、厚度为 20 μm 的第二辐射制冷功能层(配方为 Y)、厚度为 30 μm 的耐候性树脂层(氟碳树脂),选择性辐射制冷涂层在 0.3 μm ~2.5 μm 的反射率为 91%,在 7 μm ~14 μm 的发射率为 96%,设置有选择性辐射制冷涂层的水箱记为 C,在水箱 C 内部水的正中心位置设置 1 个测温点 C1。

[0204] 对比例 1

[0205] 现有同样材质、大小的水箱,在水箱的上表面不做任何处理,上表面不做任何处理的水箱记为 D,在水箱 D 内部水的正中心位置设置一个与水箱 C 中同样位置的测温点 D1,如图 8a 表示水箱 C 和 D 内部水的正中心位置测温点 C1 和 D1 的示意图。于 2019 年 8 月 20 日至 8 月 21 日在宁波市奉化区东峰路 88

号的草坪上测试 24h 内水箱内部测温点 C1 和 D1 的温度变化, 测试结果如图 8b。

[0206] 由图 8b 可知, (1) 设置选择性辐射制冷涂层的水箱 C 内部水温测点 C1 的温度, 全天 24h 均低于户外环境温度, 与户外环境温度相比最高下降了 5.3℃ 左右, 说明选择性辐射制冷涂层具有明显的被动式辐射制冷效果; (2) 设置选择性辐射制冷涂层的水箱 C 内部水温测点 C1 的温度全天 24h 比未设置选择性辐射制冷涂层的水箱 D 内部水温测点 D1 的温度低, 设置选择性辐射制冷涂层的水箱 C 内部水温测点 C1 的温度与未设置选择性辐射制冷涂层的水箱 D 内部水温测点 D1 的温度相比, 最高下降了 14.4℃ 左右, 说明选择性辐射制冷涂层具有明显的被动式辐射制冷效果。

[0207] 示例 3: 帐篷

[0208] 为了说明选择性辐射制冷涂层的降温制冷效果, 下面以所述选择性辐射制冷涂层应用于纺织品为例进行说明。

[0209] 在帐篷 E 外账的表面形成选择性辐射制冷涂层, 选择性辐射制冷涂层从下至上包括厚度为 40μm 的底漆树脂层 (包括质量比为 1: 1 的丙烯酸树脂和环氧树脂)、厚度为 130μm 的第一辐射制冷功能层 (配方为 X)、厚度为 30μm 的第二辐射制冷功能层 (配方为 Y)、厚度为 40μm 的耐候性树脂层 (乙烯-四氟乙烯共聚物树脂), 选择性辐射制冷涂层在 0.3μm~2.5μm 的反射率为 92%, 在 7μm~14μm 的发射率为 97%。

[0210] 对比例 1

[0211] 现有与帐篷 E 同样大小、材质和款式的帐篷 F, 在帐篷 F 的表面不做任何处理, 于 2019 年 4 月 26 日在宁波市奉化区东峰路 88 号的草坪上测试帐篷 E 和帐篷 F 内部不同位置的温度变化, 同时测量户外环境温度的变化情况。如图 9a 所示, 是帐篷 E 和帐篷 F 内测温点示意图。

[0212] 其中, E1/F1、E2/F2、E3/F3 为 E 和 F 帐篷中心位置与地面垂直线上的 3 个测温点, E1/F1 为 E/F 帐篷内账的表面的测温点, E2/F2 为 E/F 帐篷内部距离顶部 2cm 处的测温点, E3/F3 为 E/F 帐篷内部中心位置的测温点。

[0213] 图 9b 是帐篷 E 和 F 内测温点温差曲线图。

[0214] 由图 9b 可知, ①具有选择性辐射制冷涂层的帐篷 E 内比不具有选择性辐射制冷涂层的帐篷 F 内温度大约低 10-17℃; ②选择性辐射制冷涂层在帐篷外账上具有明显的被动式降温效果, 能降低帐篷内部温度, 提高帐篷舒适度。

[0215] 示例 4: 头盔

[0216] 将选择性辐射制冷涂层应用于帽子/头盔领域时, 可以大幅降低帽子/头盔内部的温度, 在太阳暴晒下能增加了帽子/头盔内部的舒适度。

[0217] 为了说明选择性辐射制冷涂层的效果, 下面举例说明。

[0218] 实施例 1

[0219] 在头盔的外表面设置选择性辐射制冷涂层, 选择性辐射制冷涂层从下至上包括厚度为 50μm 的底漆树脂层 (包括质量比为 2: 1 的丙烯酸树脂和环氧树脂)、厚度为 150μm 的第一辐射制冷功能层 (配方为 X)、厚度为 50μm 的第二辐射制冷功能层 (配方为 Y)、厚度为 50μm 的耐候性树脂层 (氟化乙烯丙烯共聚物树脂), 选择性辐射制冷涂层在 0.3μm~2.5μm 的反射率为 92%, 在 7μm~14μm 的发射率为 97%, 设置有选择性辐射制冷涂层的头盔记为 G, 在帽子内顶部位置设置 1 个测温点 G1。

[0220] 对比例 1

[0221] 现有与实施例 1 同样型号的头盔, 在头盔的外表面不做任何处理, 外表面不做任何处理的头盔记为 H, 在头盔 H 内顶部位置设置一个与头盔 G 中同样位置的测温点 H1, 如图 10a 表示头盔 H 和 G 内顶部测温点 H1 和 G1 的示意图。于 2019 年 4 月 16 日至 2019 年 4 月 18 日在宁波市奉化区东峰路 88 号楼顶上测试连续 48h 内头盔内顶部测温点 H1 和 G1 的温度变化, 测试结果如图 10b。

[0222] 由图 10b 可知: ①测试普通安全帽和降温安全帽的温差, 测点为安全帽内顶部位置, 中午 11 点最大温差可达到 13.5℃; ②降温效果与太阳辐照强度成正比关系, 辐照强度越高, 降温效果越好; ③选择性辐射制冷涂层在头盔表面具有明显的被动式降温效果, 能降低头盔内部温度, 提高头盔舒适度。

[0223] 示例 5: 防水卷材

[0224] 将选择性辐射制冷涂层应用于防水卷材领域, 可以解决平顶或斜顶屋面温度过高的问题, 在保障防水的同时降低屋顶楼层的温度, 降低制冷能耗, 节能环保。

[0225] 为了说明选择性辐射制冷涂层的降温效果，下面举例说明。

[0226] 实施例 1

[0227] 将选择性辐射制冷涂层设置在防水卷材直接面向空气一侧的外表面，选择性辐射制冷涂层从下至上包括厚度为 50 μm 的底漆树脂层（包括丙烯酸树脂）、厚度为 200 μm 的第一辐射制冷功能层（配方为 X）、厚度为 60 μm 的第二辐射制冷功能层（配方为 Y）、厚度为 10 μm 的耐候性树脂层（乙烯-四氟乙烯共聚物树脂），选择性辐射制冷涂层在 0.3 μm ~2.5 μm 的反射率为 92%，在 7 μm ~14 μm 的发射率为 97%，将设置选择性辐射制冷涂层的防水卷材记为 I，其中在防水卷材的正面设置测温点 I1，在防水卷材背面设置测温点 I2。

[0228] 对比例 1

[0229] 在同样的防水卷材（相同批次产品）外表面不做任何处理，将不做任何处理的防水卷材记为 J，其中在防水卷材的正面设置测温点 J1，在防水卷材背面设置测温点 J2。

[0230] 于 2019 年 5 月 23 日在宁波市奉化区东峰路 88 号楼顶上测试 24h 内防水卷材 I 和 J 正面和背面测温点的温度。防水卷材 I 和 J 正面和背面测温点的温度曲线图如图 11 所示。

[0231] 由图 11 可知，①正面设置了选择性辐射制冷涂层的防水卷材 I 正面和背面的温度比没有设置选择性辐射制冷涂层的防水卷材 J 正面和背面的温度明显更低，最大温差达到 40℃；②防水卷材 I 的温度与防水卷材 J 的温度差值在中午时达到最大，说明选择性辐射制冷涂层在中午时的辐射制冷效果最好；③防水卷材 I 和 J 的下表面温差要比上表面温差更大，原因是上表面测点受到大气对流换热影响；④通过选择性辐射制冷涂层可长久有效地降低防水卷材的表面温度，从而降低顶层屋面整体温度。

[0232] 在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中未详细描述的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

[0233] 上述实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对上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发明各实施例技术方案的精神和范围。