



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114217022 B

(45) 授权公告日 2023. 01. 06

(21) 申请号 202111534241.0

H02S 40/10 (2014.01)

(22) 申请日 2021.12.15

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 112213240 A, 2021.01.12

申请公布号 CN 114217022 A

CN 110346252 A, 2019.10.18

CN 108786938 A, 2018.11.13

(43) 申请公布日 2022.03.22

CN 214131692 U, 2021.09.07

(73) 专利权人 大连理工大学

CN 207786211 U, 2018.08.31

地址 116024 辽宁省大连市甘井子区凌工  
路2号

CN 108786938 A, 2018.11.13

孙旗霞等. 驻波电帘除尘效率的实验研究.  
《航天器工程》. 2012, 第21卷(第03期), 72-79.

(72) 发明人 东明 王玮琅 张涵 张一恒

孟明辉等. 三相行波电帘除尘的抗风干扰实  
验研究.《机电工程》. 2016, 第33卷(第04期),  
453-457.

(74) 专利代理机构 北京方圆嘉禾知识产权代理  
有限公司 11385

专利代理师 程华

审查员 张煜

(51) Int. Cl.

G01N 33/00 (2006.01)

G01D 21/02 (2006.01)

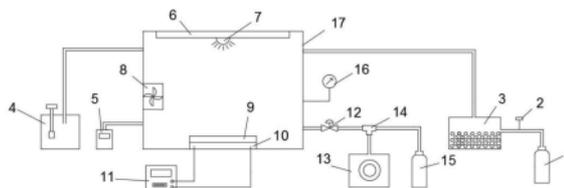
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统  
及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统及方法,该系统包括:第一气瓶、气体流速计、储灰仓、加湿器、空气湿度计、滑轨、光源、风扇、电帘板、太阳能电池板、输出检测器以及密封箱。所述第一气瓶、所述储灰仓和所述密封箱依次连接;所述第一气瓶和所述储灰仓所连接的管路上连接有气体流速计。所述第一气瓶中的气体进入所述储灰仓,并携带所述储灰仓中的灰尘颗粒进入所述密封箱顶部。其利用加湿器和空气湿度计控制密封箱内的湿度,利用光源在滑轨内移动来模拟光照角度变换,利用风扇模拟风力变化,从而充分考虑了在真实环境条件下的所有可能影响除尘效率的因素,真实模拟了不同环境条件下的电帘除尘。



1. 一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统,其特征在于,包括:第一气瓶、气体流速计、储灰仓、加湿器、空气湿度计、滑轨、光源、风扇、电帘板、太阳能电池板、输出检测器以及密封箱;

所述第一气瓶、所述储灰仓和所述密封箱依次连接;所述气体流速计设置于所述第一气瓶和所述储灰仓之间的管路上;所述第一气瓶中的气体进入所述储灰仓,并携带所述储灰仓中的灰尘颗粒进入所述密封箱顶部;

所述第一气瓶阀门的开度可控;通过控制所述第一气瓶阀门的开度,结合所述气体流速计的数值改变气体流速大小,从而控制灰尘颗粒沉积的程度;

所述加湿器和所述空气湿度计用于控制所述密封箱内的湿度;

所述滑轨设置于所述密封箱内顶部,所述光源在所述滑轨内移动用以模拟光照角度变换;

所述风扇用于模拟风力变化;

所述电帘板和所述太阳能电池板设置于所述密封箱内底部;

所述输出检测器与所述太阳能电池板连接;

所述输出检测器内部包括:电流表、电压表和控制显示单元;

所述电流表用于获取所述太阳能电池板的输出电流,所述电压表用于获取所述太阳能电池板的输出电压,所述控制显示单元用于处理所述电流表和所述电压表获取的数据并进行显示;

所述密封箱还连接有真空压力表;

所述密封箱还连接有依次连接的真空阀、真空泵和第二气瓶;

所述真空压力表、所述真空阀、所述真空泵和所述第二气瓶用于模拟不同空气环境。

2. 根据权利要求1所述的模拟真实条件下的电帘除尘实验系统,其特征在于,

所述电帘板置于所述太阳能电池板上;

所述电帘板和所述太阳能电池板尺寸一致。

3. 根据权利要求1所述的模拟真实条件下的电帘除尘实验系统,其特征在于,

所述风扇为可调档风扇;所述可调档风扇对准所述电帘板。

4. 一种模拟真实条件下的电帘除尘实验方法,其特征在于,所述方法应用于权利要求1所述的模拟真实条件下的电帘除尘实验系统,所述方法包括:

控制第一气瓶中的气体通过储灰仓进入密封箱顶部;

利用光源和滑轨模拟光照角度和光照强度的变化,利用风扇模拟风力变化;

利用加湿器和空气湿度计模拟不同的空气湿度条件;

利用所述电帘板进行自清洁;

利用输出检测器观察所述太阳能电池板清洁前后的输出变化;

所述控制第一气瓶中的气体通过储灰仓进入密封箱顶部,还包括:

结合气体流速计的数值,控制第一气瓶阀门的开度以改变气体流速大小,从而控制灰尘颗粒沉积的程度;

所述模拟真实条件下的电帘除尘实验方法,还包括:

利用电压表获取所述太阳能电池板的输出电压;

利用控制显示单元处理电流表和电压表获取的数据并进行显示;

利用真空压力表、真空阀、真空泵和第二气瓶模拟不同空气环境。

5. 根据权利要求4所述的模拟真实条件下的电帘除尘实验方法,其特征在於,在所述利用输出检测器观察所述太阳能电池板清洁前后的输出变化之后,还包括:

根据不同条件下太阳能电池板清洁前后的输出变化,确定不同条件下电帘除尘的效率。

## 一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电帘除尘领域,特别是涉及一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统及方法。

### 背景技术

[0002] 随着“碳达峰、碳中和”节能战略的提出,新能源发电将承担更多的市场份额,而太阳能发电因其不受地域限制、发电成本低和清洁无污染等优势有着更好的发展前景。目前灰尘堆积已经成为制约大规模光伏电站运行的主要因素之一,根据实验结果显示,每平方米100mg灰尘就可导致功率下降近1%。除此之外,太阳能电池板在空间领域应用中也受到表面灰尘堆积的严重影响,美国“洞察号”火星车多次因积灰过厚导致车体断电,因此研发出切实可行的太阳能板表面除尘设备不仅有助于节能减排战略的实施,对我国空间领域探索也十分重要。

[0003] 目前国内外光伏电站采取的太阳能板除尘手段主要以洒水清洁和机械擦拭为主,然而前者受水源因素影响,违背节能初衷,后者易损伤太阳能板表面,而基于行波输运机理的电帘除尘系统是目前较为良好的解决方案,能够以较低成本实现太阳能板的无水自清洁。对于电帘除尘效率来说,影响因素主要有电帘板设计引发的电场变化和外界自然环境变化对颗粒粘附力等的影响,目前国内外相关研究集中于前者,较少对真实环境下的电帘工作情况进行研究,且未充分考虑其可能存在的实验变量。

[0004] 因此,本领域亟需一种模拟真实条件下电帘除尘的技术方案。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统及方法,以电帘除尘技术为基础,充分考虑其在真实环境条件下的所有可能影响除尘效率的因素,真实模拟了不同环境条件下的电帘除尘。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0007] 一方面,本发明提供了一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统,包括:第一气瓶、气体流速计、储灰仓、加湿器、空气湿度计、滑轨、光源、风扇、电帘板、太阳能电池板、输出检测器以及密封箱;

[0008] 所述第一气瓶、所述储灰仓和所述密封箱依次连接;所述气体流速计设置于所述第一气瓶和所述储灰仓之间的管路上;所述第一气瓶中的气体进入所述储灰仓,并携带所述储灰仓中的灰尘颗粒进入所述密封箱顶部;

[0009] 所述加湿器和所述空气湿度计用于控制所述密封箱内的湿度;

[0010] 所述滑轨设置于所述密封箱内顶部,所述光源在所述滑轨内移动用以模拟光照角度变换;

[0011] 所述风扇用于模拟风力变化;

[0012] 所述电帘板和所述太阳能电池板设置于所述密封箱内底部;

- [0013] 所述输出检测器与所述太阳能电池板连接。
- [0014] 在一些实施例中，
- [0015] 所述电帘板置于所述太阳能电池板上；
- [0016] 所述电帘板和所述太阳能电池板尺寸一致。
- [0017] 在一些实施例中，
- [0018] 所述输出检测器内部包括：电流表、电压表和控制显示单元；
- [0019] 所述电流表用于获取所述太阳能电池板的输出电流，所述电压表用于获取所述太阳能电池板的输出电压，所述控制显示单元用于处理所述电流表和所述电压表获取的数据并进行显示。
- [0020] 在一些实施例中，
- [0021] 所述密闭箱还连接有真空压力表；
- [0022] 所述密闭箱还连接有依次连接的真空阀、真空泵和第二气瓶；
- [0023] 所述真空压力表、真空阀、真空泵和第二气瓶用于模拟不同空气环境。
- [0024] 在一些实施例中，
- [0025] 所述风扇为可调挡风扇；所述可调挡风扇对准所述电帘板。
- [0026] 在一些实施例中，
- [0027] 所述第一气瓶阀门的开度可控；通过控制所述第一气瓶阀门的开度，结合所述气体流速计的数值改变气体流速大小，从而控制灰尘颗粒沉积的程度。
- [0028] 另一方面，本发明还提供了一种模拟真实条件下的电帘除尘实验方法，所述方法应用于前面所述的模拟真实条件下的电帘除尘实验系统，所述方法包括：
- [0029] 控制第一气瓶中的气体通过储灰仓进入密封箱顶部；
- [0030] 利用光源和滑轨模拟光照角度和光照强度的变化，利用风扇模拟风力变化；
- [0031] 利用加湿器和空气湿度计模拟不同的空气湿度条件；
- [0032] 利用所述电帘板进行自清洁；
- [0033] 利用输出检测器观察所述太阳能电池板清洁前后的输出变化。
- [0034] 在一些实施例中，所述控制第一气瓶中的气体通过储灰仓进入密封箱顶部，还包括：
- [0035] 结合气体流速计的数值，控制第一气瓶阀门的开度以改变气体流速大小，从而控制灰尘颗粒沉积的程度。
- [0036] 在一些实施例中，在所述利用输出检测器观察所述太阳能电池板清洁前后的输出变化之后，还包括：
- [0037] 根据不同条件下太阳能电池板清洁前后的输出变化，确定不同条件下电帘除尘的效率。
- [0038] 根据本发明提供的具体实施例，本发明公开了以下技术效果：
- [0039] 本发明提供的模拟真实条件下的电帘除尘实验系统及方法，包括：第一气瓶、气体流速计、储灰仓、加湿器、空气湿度计、滑轨、光源、风扇、电帘板、太阳能电池板、输出检测器以及密封箱。所述第一气瓶、所述储灰仓和所述密封箱依次连接；所述第一气瓶和所述储灰仓所连接的管路上连接有气体流速计。所述第一气瓶中的气体进入所述储灰仓，并携带所述储灰仓中的灰尘颗粒进入所述密封箱顶部。其利用加湿器和空气湿度计控制密封箱内的

湿度,利用光源在滑轨内移动来模拟光照角度变换,利用风扇模拟风力变化,从而充分考虑了在真实环境条件下的所有可能影响除尘效率的因素,真实模拟了不同环境条件下的电帘除尘。

### 附图说明

[0040] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,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。

[0041] 图1为本发明实施例一提供的模拟真实条件下的电帘除尘实验系统。

[0042] 图2为本发明实施例二提供的模拟真实条件下的电帘除尘实验方法流程图。

[0043] 符号说明:1-第一气瓶,2-气体流速计,3-储灰仓,4-加湿器,5-空气湿度计,6-滑轨,7-光源,8-风扇,9-电帘板,10-太阳能电池板,11-输出检测器,12-真空阀,13-真空泵,14-三通阀,15-第二气瓶,16-真空压力表,17-密闭箱。

### 具体实施方式

[0044] 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,都属于本发明保护的范围。

[0045] 本发明的目的是提供一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统及方法,以电帘除尘技术为基础,充分考虑其在真实环境条件下的所有可能影响除尘效率的因素,真实模拟了不同环境条件下的电帘除尘。

[0046] 本发明以电帘除尘技术为基础,充分考虑其在真实环境条件下的所有可能影响除尘效率的因素,如:风力、湿度、光照、空气条件等,而且改变现有实验中通过振动筛沉积颗粒和通过测量工作前后灰尘质量的实验手段,其中前者会因颗粒碰撞使其摩擦荷电,改变自然环境下灰尘的初始荷电量,后者会因部分较细灰尘漂浮空气中难以收集而影响实验结果。本实验系统通过颗粒沉积装置模拟颗粒自然沉积,通过太阳能板输出功率变化衡量除尘效率,有效避免以上误差。电帘除尘在空间应用中与地球环境有较大差异,相关实验研究较少,所以在封闭实验系统内研究电帘除尘系统,可实现真空环境和火星大气条件的模拟,进而开展空间电源相关研究。

[0047] 本发明通过LED光源模拟光照强度,滑轨搭载光源模拟光照角度变化,湿度计和加湿器模拟湿度变化,风扇模拟风力变化等,将与电帘除尘影响因素有关的环境条件均集中于实验系统中,完全模拟实际环境;

[0048] 通过气瓶、气体流速计和储灰仓构成的颗粒沉积装置代替振动筛模拟灰尘颗粒自然沉积;

[0049] 通过太阳能电池板功率输出检测器代替天平称重来观测电帘除尘系统效率;

[0050] 将电帘除尘系统置于密闭空间内,通过真空压力表、真空阀、气瓶和真空泵模拟真空环境和不同大气条件,实现电帘除尘技术在空间电源应用方面的研究;

[0051] 应用领域:电帘板应用于商业光伏电站太阳能板除尘时,通过该实验系统可对光伏电站所在地的实际环境条件进行模拟,根据实验结果得到适宜其所在地的电帘板各项参数,如:电极间距、厚度,表面覆盖电介质层厚度、材料等,同时也可应用于不同区域现有电帘板的设计优化。

[0052] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0053] 实施例一:

[0054] 请参阅图1,本实施例提供了一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统,包括:第一气瓶1、气体流速计2、储灰仓3、加湿器4、空气湿度计5、滑轨6、光源7、风扇8、电帘板9、太阳能电池板10、输出检测器11以及密封箱17。

[0055] 第一气瓶1、储灰仓3和密封箱17依次连接;第一气瓶1和储灰仓3所连接的管路上连接有气体流速计2。第一气瓶1中的气体进入储灰仓3,并携带储灰仓3中的灰尘颗粒进入密封箱17顶部。其中,第一气瓶1阀门的开度可控;通过控制第一气瓶1阀门的开度,结合气体流速计2的数值改变气体流速大小,从而控制灰尘颗粒沉积的程度。

[0056] 加湿器4和空气湿度计5用于控制密封箱17内的湿度。本实施例中加湿器4和空气湿度计5与密闭箱17连接,置于箱外,控制和观察湿度变化。

[0057] 密封箱17内顶部设置有滑轨6,光源7在滑轨内移动用以模拟光照角度变换。本实施例中光源7选择LED光源,LED光源可在滑轨6内横向自由移动,从而模拟光照角变化,同时,还可以调节LED光源的亮度模拟光照强度的变化。

[0058] 风扇8用于模拟风力变化。本实施例中风扇8为可调挡风扇,可调挡风扇固定于密闭箱17侧壁,对准电帘板9,模拟风力变化。本实施例中可调挡风扇对准行波电帘下颗粒运动方向,即垂直于电极线方向,这样可使颗粒运动时风力影响与其他力在同一维度内,有助于后续分析时减少受力角度变化的影响。

[0059] 密封箱17内底部设置有电帘板9和太阳能电池板10。本实施例中电帘板9置于太阳能电池板10上;电帘板9和太阳能电池板10尺寸一致。

[0060] 所述太阳能电池板10连接有输出检测器11。本实施例中太阳能电池板10输出端通过导线,与密闭箱17外部的输出检测器11相连接。

[0061] 作为一些可选的实施例,输出检测器11内部包括:电流表、电压表和控制显示单元。

[0062] 其中,电流表用于获取太阳能电池板10的输出电流,电压表用于获取太阳能电池板10的输出电压,控制显示单元用于处理电流表和电压表获取的数据并进行显示。

[0063] 此外,在密闭箱17还连接有真空压力表16以及依次连接的真空阀12、真空泵13和第二气瓶15。其中,真空泵13通过三通阀14连接于真空阀12和第二气瓶15的连接管路上。真空压力表16、真空阀12、真空泵13和第二气瓶15用于模拟不同空气环境的影响。不同空气环境包括真空环境以及非真空环境下不同的大气条件,从而实现各种空间电源的研究。本实施例中主要用它们模拟两种环境,一个是模拟地球上不同地区的空气环境,还有一个是模拟火星、月球等真空大气环境。

[0064] 与现有技术相比,本实施例主要有以下三点优势。

[0065] 其一:本实施例充分考虑所有可能影响除尘效果的因素,更加符合实际应用效果。

[0066] 原因:电帘除尘现有相关环境影响因素研究一般单独改变某一条件,观测其对除尘效率的影响,未实际考虑各因素叠加之后的实际效果,如湿度较大情况时其他外界条件影响甚微,而通过灯源、风扇和加湿器等设备的适当布置可实现所有影响因素集中于密闭箱内,既可观测单一变量影响,也可根据实际环境综合调整。

[0067] 其二:模拟颗粒沉积过程更加科学,不会改变颗粒荷电条件。

[0068] 原因:由气瓶、气体流量计和储灰仓构成的颗粒沉积装置,采用气体裹挟灰尘颗粒的新型颗粒沉积方法,替代现有的振动筛沉积颗粒和手工沉积颗粒等手段,使颗粒较为真实自然的沉积在电帘板表面,更符合自然界实际情况,振动筛模拟颗粒沉积会影响颗粒初始荷电量,而手工沉积会使颗粒沉积不均匀,影响实验效果;

[0069] 其三:除尘效率的观测更加直观、准确,减少实验过程中存在的系统误差。

[0070] 原因:由太阳能电池板功率输出检测器来实现除尘效率的检测,替代原有的实验前后通过高精度电子天平测量灰尘质量的实验方法,天平称量方法在灰尘处理上存在难度,部分灰尘在电场内荷电后粘附力增大,常规机械手段难以完全除尽,此外在电帘板工作中颗粒呈现跳跃运动方式,由于颗粒直径过小(50-200 $\mu\text{m}$ )易在高压电场作用下扩散至空气中,存在部分可除去灰尘无法收集的问题,因而新实验手段可有效减少在除尘效率观测中存在的系统误差。

[0071] 实施例二:

[0072] 如图2所示,本实施例提供了一种根据实施例一所述的模拟真实条件下的电帘除尘实验系统的电帘除尘实验方法,其具体步骤包括:

[0073] S1、控制第一气瓶1中的气体通过储灰仓3进入密封箱17顶部。控制第一气瓶1阀门的开度,结合气体流速计2的数值改变气体流速大小,从而控制灰尘颗粒沉积的程度。

[0074] 检查确认实验系统内各部分设备工作正常,设备连接准确无误后,将选用的灰尘颗粒倒入储灰仓3内部均匀铺开,打开第一气瓶1的通气阀门,通过气体流速计2确定第一气瓶1阀门的适当开度和通气时间,使粉尘颗粒随高速气流通入密闭箱17内。运输颗粒的动力来自于气瓶中的压缩气体,高速气流通过储灰仓3携带粉尘颗粒形成颗粒流,最终进入密闭箱17内,通过气体流速计2可观测气流速度大小,并通过第一气瓶1阀门开度实现运输速度的改变及沉积颗粒量的改变[沉积量=时间(恒定) $\times$ 单位时间内进入密闭舱内颗粒量(速度变化)]。

[0075] S2、利用光源7和滑轨6模拟光照角度变换,利用风扇8模拟风力变化;利用加湿器4和空气湿度计5模拟不同的空气湿度条件。

[0076] 粉尘颗粒随高速气流通入密闭箱17内之后,静置适当时间,使颗粒在重力作用下自然沉降到电帘板9表面,观测电帘板9启动前太阳能电池板10的输出功率,确定除尘实验开始前的颗粒负载程度。

[0077] 然后根据不同实验要求更改外部条件设定,通过加湿器4、LED光源等模拟预期实验环境条件,如光照强度、光照角、湿度等。

[0078] S3、利用所述电帘板9进行自清洁。接通电帘板高压电源,工作一段时间,待电帘板9表面无明显颗粒跳动现象或太阳能电池板输出功率趋于稳定时,切断高压电源。

[0079] S4、利用输出检测器11观察所述太阳能电池板10清洁前后的输出变化。然后改变实验环境条件,并根据不同条件下太阳能电池板10清洁前后的输出变化,确定不同条件下

电帘除尘的效率。

[0080] 实施例三：

[0081] 本实施例提供了一种模拟真实条件下的电帘除尘实验系统。

[0082] 该系统的功能实现由四个模块组成，分别是电帘除尘模块、颗粒沉积模块、条件控制模块和效率检测模块。

[0083] 电帘除尘模块包括：电帘板9、太阳能电池板10。该模块为实验系统主要工作区域，在电帘板9表面低频高压电场作用下，通过行波电帘下颗粒输运机理可实现太阳能电池板自清洁，其中不同条件下除尘效率的变化即本实验系统主要研究内容；

[0084] 颗粒沉积模块包括：第一气瓶1、气体流速计2和储灰仓3。高速气流通过储灰仓3，携带灰尘颗粒通入密闭箱17顶部，同自然环境条件颗粒在重力作用下缓慢沉积在电帘板9表面，通过第一气瓶1阀门的开度和气体流速计2的数值，改变气流流速大小以控制颗粒沉积的程度；

[0085] 条件控制模块包括：滑轨6、LED灯源、可调挡风扇、加湿器4、空气湿度计5和真空阀12。通过上述装置可对影响电帘除尘效率的相关因素进行模拟，其中LED灯源可模拟光照强度的影响，滑轨6搭载LED灯源可模拟太阳光照角度变化的影响，可调挡风扇可模拟风力的影响，加湿器4和空气湿度计5可模拟湿度和空气条件的影响，真空阀12外接真空压力表16、第二气瓶15和真空泵13可模拟真空环境和不同大气条件的影响。

[0086] 效率检测模块包括：太阳能电池板功率检测器。通过不同灰尘沉积程度下太阳能电池板输出功率的变化，可绘制出灰尘沉积量与太阳能电池板输出功率的变化曲线，沉积量的变化即反映除尘效果的好坏，所以可通过太阳能板输出功率的变化来衡量电帘除尘系统的实际效果。

[0087] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0088] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

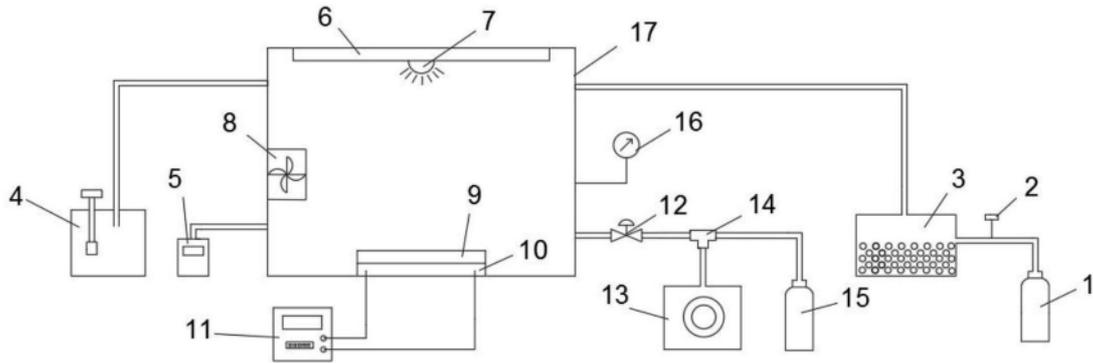


图1

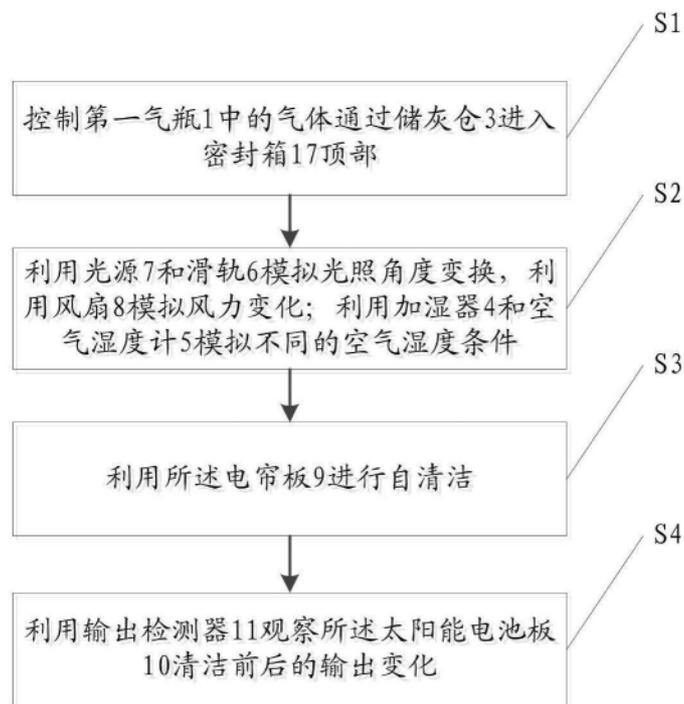


图2