



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108627545 A

(43)申请公布日 2018.10.09

(21)申请号 201810207867.2

(22)申请日 2018.03.14

(30)优先权数据

15/464,204 2017.03.20 US

(71)申请人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 S·可斯拉法尼

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 张全信 赵蓉民

(51)Int.Cl.

G01N 27/02(2006.01)

G01N 27/00(2006.01)

权利要求书2页 说明书12页 附图5页

(54)发明名称

用于无损检验的方法和系统

(57)摘要

本发明涉及用于无损检验的方法和系统。无损检验系统包括检验制品接口和对照制品接口。检验制品接口包括连结至待检验制品(AUT)的金属组件的连接器和连结至AUT的碳纤维复合材料组件的连接器。对照制品接口包括连结至对照制品(REF)的金属组件的连接器和连结至REF的碳纤维复合材料组件的连接器。系统也包括传感器以基于在检验制品接口和对照制品接口之间热感应电压和电流产生信号,其中电流和电压基于AUT和REF之间的温度差。系统也包括处理器以基于信号产生指示AUT是否预期通过雷击检验的输出。

1. 一种无损检验系统,其包括:
检验制品接口(120),其包括:
第一电连接器(121),其配置为连结至待检验制品(101)的金属组件(112);和
第二电连接器(122),其配置为连结至所述待检验制品的碳纤维复合材料组件(114);
对照制品接口(130),其包括:
第三电连接器(131),其配置为连结至对照制品(111)的金属组件;和
第四电连接器(132),其配置为连结至所述对照制品的碳纤维复合材料组件;
至少一个传感器(123、133),其电连接至所述检验制品接口(120)并且电连接至所述对照制品接口并且配置为产生至少一个信号,所述至少一个信号基于所述检验制品接口和所述对照制品接口之间的电压并且基于所述检验制品接口和所述对照制品接口之间的电流,所述电流和所述电压基于所述待检验制品和所述对照制品之间的温度差;和
处理器(146),其配置为基于来自所述至少一个传感器的所述至少一个信号产生指示所述待检验制品是否预期通过雷击检验的输出。
2. 根据权利要求1所述的无损检验系统,进一步包括温度控制系统(150),其配置为控制所述待检验制品和所述对照制品之间的所述温度差。
3. 根据权利要求2所述的无损检验系统,其中所述温度控制系统包括:
温度控制器(152);
第一温度传感器(123),其被连结至所述检验制品接口并且被连结至所述温度控制器;
第二温度传感器(133),其被连结至所述对照制品接口并且被连结至所述温度控制器;
和
至少一个传热元件(124、134),其被连结至所述温度控制器,
其中所述温度控制器配置为从所述第一温度传感器接收第一温度指示(154),从所述第二温度传感器接收第二温度指示(156),并且提供控制信号(158、160)至所述至少一个传热元件以控制所述待检验制品和所述对照制品之间的所述温度差,所述控制信号基于所述第一温度指示和所述第二温度指示。
4. 根据权利要求3所述的无损检验系统,其中所述至少一个传热元件包括连结至所述检验制品接口的至少一个加热装置和连结至所述对照制品接口的至少一个冷却装置。
5. 根据权利要求3所述的无损检验系统,其中所述至少一个传热元件包括连结至所述检验制品接口的至少一个冷却装置和连结至所述对照制品接口的至少一个加热装置。
6. 根据权利要求1至5任一项所述的无损检验系统,其中所述处理器进一步配置为确定所述待检验制品的有效电阻并且将所述有效电阻与经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据进行比较,并且其中指示所述待检验制品是否预期通过所述破坏性雷击检验的所述输出基于该比较。
7. 根据权利要求1至6任一项所述的无损检验系统,其中所述待检验制品的所述碳纤维复合材料组件和所述对照制品的所述碳纤维复合材料组件由相同类型的复合材料形成,并且其中所述待检验制品的所述金属组件和所述对照制品的所述金属组件是相同类型的连接器。
8. 根据权利要求7所述的无损检验系统,其中所述对照制品进一步包括在所述对照制品的所述金属组件和所述对照制品的所述碳纤维复合材料组件之间的填料材料(113),所

述填料材料配置为相对于所述待检验制品的有效电阻减小所述对照制品的有效电阻。

9. 根据权利要求1至8任一项所述的无损检验系统,其中所述处理器进一步配置为确定所述待检验制品的接触面积(117)并且将所述接触面积与经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据(172)进行比较,并且其中指示所述待检验制品是否预期通过所述破坏性雷击检验的所述输出基于该比较。

10. 根据权利要求1至9任一项所述的无损检验系统,其中所述电压和所述电流由所述待检验制品和所述对照制品的所述温度差和材料的热电性质感应。

11. 根据权利要求1至10任一项所述的无损检验系统,其中所述检验制品接口和所述对照制品接口电相互连接以形成电路,所述电路电连接所述待检验制品的第一部分和所述对照制品的第二部分并且将所述至少一个传感器电连接至所述待检验制品的第三部分并且电连接至所述对照制品的第四部分。

12. 一种方法,其包括:

在无损检验系统处,确定(302)待检验制品和对照制品之间的温度差是否满足温度标准,所述待检验制品包括碳纤维复合材料组件和金属组件;

基于所述温度差满足所述温度标准的确定;

通过所述无损检验系统感测(304)所述待检验制品和所述对照制品之间的热电感应电压;和

通过所述无损检验系统感测(306)所述待检验制品和所述对照制品之间的热电感应电流;和

基于所述热电感应电压和所述热电感应电流,通过所述无损检验系统产生(308)指示所述待检验制品是否预期通过雷击检验的输出。

13. 根据权利要求12所述的方法,进一步包括,基于所述温度差未能满足所述温度标准的确定,通过所述无损检验系统调节(406)所述待检验制品的温度、所述对照制品的温度、或二者。

14. 根据权利要求12至13任一项所述的方法,进一步包括:

访问经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据;和

将基于所述热电感应电压和所述热电感应电流确定的值与所述雷电检验数据进行比较;并且

其中基于所述比较确定指示所述待检验制品是否预期通过所述破坏性雷击检验的所述输出。

15. 根据权利要求12至14任一项所述的方法。其中所述待检验制品的所述碳纤维复合材料组件由特定的复合材料形成并且所述对照制品包括由所述特定的复合材料形成的碳纤维复合材料组件,其中所述待检验制品的所述金属组件对应于特定类型的连接器并且所述对照制品包括对应于所述特定类型的连接器的金属组件,并且其中所述对照制品进一步包括在所述对照制品的所述金属组件和所述对照制品的所述碳纤维复合材料组件之间的填料材料,所述填料材料配置为相对于所述待检验制品的有效电阻减小所述对照制品的有效电阻。

用于无损检验的方法和系统

技术领域

[0001] 本公开内容一般地涉及无损检验。

背景技术

[0002] 恶劣天气条件的影响可能显著地影响对于暴露于环境的结构或系统的设计决策。例如,可以基于结构或系统可能暴露于其的环境条件选择组件的特定材料或特定布置。进一步地,组件的特定材料或特定布置可经历检验以确认设计决策。

[0003] 在具体的环境条件下操作的检验的一个具体实例是直接雷电效应(direct lightning effect)检验。直接雷电效应检验使系统或组件经受高电流脉冲以了解这种高电流脉冲对系统或组件的材料的影响。例如,在航空器操作被政府机构诸如美国联邦航空管理局(U.S.Federal Aviation Administration)认证之前,航空器可能需要通过直接雷电效应检验标准。其他系统也可以经历直接雷电效应检验,诸如风力涡轮机、建筑部件等。

[0004] 进行直接雷电效应检验可能是相当耗费资源的。例如,通常使用大的电容器组和复杂的转换和控制系统产生短持续时间、高电流脉冲。而且,直接雷电效应检验是破坏性的检验,因为经历直接雷电效应检验的零件通常不能直接再使用。例如,零件可能以在使用之前需要检查和维修的方式被损坏。

发明内容

[0005] 在具体实例中,无损检验系统包括检验制品接口和对照制品接口。检验制品接口包括配置为连结至待检验制品的金属组件的第一电连接器和配置为连结至待检验制品的碳纤维复合材料组件的第二电连接器。对照制品接口包括配置为连结至对照制品的金属组件的第三电连接器和配置为连结至对照制品的碳纤维复合材料组件的第四电连接器。无损检验系统也包括电连接至检验制品接口和电连接至对照制品接口的至少一个传感器。至少一个传感器配置为基于检验制品接口和对照制品接口之间的电压并且基于检验制品接口和对照制品接口之间的电流产生至少一个信号,其中电流和电压基于待检验制品和对照制品之间的温度差。无损检验系统进一步包括处理器,其配置为基于来自至少一个传感器的至少一个信号产生指示待检验制品是否预期满足雷电检验标准的输出。

[0006] 在另一个具体实例中,方法包括在无损检验系统中确定待检验制品和对照制品之间的温度差是否满足温度标准,其中待检验制品包括碳纤维复合材料组件和金属组件。方法也包括,基于温度差满足温度标准的确定,通过无损检验系统感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电压,并且通过无损检验系统感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电流。方法进一步包括基于热电感应电压和热电感应电流通过无损检验系统产生指示待检验制品是否预期满足雷电检验标准的输出。

[0007] 在另一个具体实例中,计算机可读存储装置存储当被无损检验系统的处理器执行时引起无损检验系统的处理器进行操作的指令。操作包括确定待检验制品和对照制品之间的温度差是否满足温度标准。操作也包括,基于温度差满足温度标准的确定,基于待检验制

品和对照制品之间的热电感应电压并且基于待检验制品和对照制品之间的热电感应电流确定待检验制品的有效电阻。操作进一步包括产生指示待检验制品是否预期满足雷电检验标准的输出。

[0008] 所描述的特征、功能和优势可以在各种实施方式中独立地实现或者可以在又其他的实施方式中组合,参考以下描述和附图可理解其进一步的细节。

附图说明

[0009] 图1是无损检验系统的特定实施方式的框图;

[0010] 图2是描绘图1的无损检验系统的具体实例的图表;

[0011] 图3是图解无损检验的方法的具体实例的流程图;

[0012] 图4是图解无损检验的方法的另一个具体实例的流程图;以及

[0013] 图5是配置为支持根据本公开内容的无损检验的计算环境的具体实例的框图。

具体实施方式

[0014] 本公开内容描述了用于无损检验的系统和方法。组件的无损检验以与随后在相同组件上进行直接雷电效应检验兼容的方式进行。例如,无损检验是热力学可逆的,并且不使组件经受将潜在地改变直接雷电效应检验的结果的任何外部影响(诸如外部电流或电压)。因而,待检验制品(例如,检验试样)可以经受无损检验和可以随后用于证明符合直接雷电效应检验标准。进一步地,无损检验可以用于预测待检验制品是否可能通过直接雷电效应检验(例如,符合直接雷电效应检验要求或满足直接雷电效应检验相关标准)。因而,如果待检验制品在无损检验上表现胜任,那么待检验制品可以经受更昂贵且耗费资源的直接雷电效应检验。然而,如果待检验制品在无损检验上表现不胜任,那么可以避免使待检验制品经受直接雷电效应检验的时间和费用,因为待检验制品预期不能通过直接雷电效应检验。

[0015] 本文公开的无损检验可以用于检验由两种或更多种不同的材料形成的制品,诸如包括复合材料和金属之间的接口的制品。由于例如塞贝克效应(Seebeck effect),具有不同的热电性质的金属材料 and 半金属材料之间的接口可以产生电动势。因而,如果复合材料包括金属组件和半金属组件诸如碳纤维,金属组件和半金属组件之间的接口和金属部分可以热电地感应电流、电压、或二者。

[0016] 通过测量热电感应电流和热电感应电压,可以确定包括待检验制品的电路的有效电阻。有效电阻提供待检验制品是否可能通过直接雷电效应检验的指示。例如,有效电阻(或基于该有效电阻确定的另一种值)可以与已经经受直接雷电效应检验的制品的雷电检验数据比较,以确定待检验制品是否可能通过直接雷电效应检验。作为另一个实例,通过直接雷电效应检验的制品的有效电阻和未通过直接雷电效应检验的制品的有效电阻可以用于确定阈值有效电阻从而模拟直接雷电效应检验结果(例如,使用支持向量机器模型或另一种非线性分类器)。在该实例中,包括待检验制品的电路的有效电阻可以与直接雷电效应检验结果的模型比较以基于无损检验预测待检验制品是否预期通过直接雷电效应检验。

[0017] 大的复杂系统,诸如航空器和风力涡轮机,可以具有可以被直接雷电效应检验不同地影响的许多材料接口。使用本文描述的无损检验可以使设计者或制造者能够将直接雷电效应检验的使用限于具有通过直接雷电效应检验标准的高可能性的系统或组件。

[0018] 进一步地,设计改变或制造工艺改变可能值得重新检验特定的组件。例如,组件的有效电阻可能是许多因素的函数,诸如所使用的材料类型、所使用的不同材料(例如,金属和复合材料)之间的接触面积、和所使用的不同的各向异性材料的取向。作为具体的实例,改变连结至碳纤维复合材料的金属连接器的尺寸、形状或取向可能改变碳纤维复合材料和金属连接器之间的接口的有效电阻,其可能改变直接雷电效应检验的结果。其他改变也可能改变有效电阻。为了说明,改变用于在碳纤维复合材料中制备孔以接收金属连接器的制造技术可以改变金属连接器和碳纤维复合材料之间的接触面积。作为另一个说明性的实例,金属连接器和碳纤维复合材料之间的接触面积可以通过在碳纤维复合材料和金属连接器之间添加另一种材料诸如润滑剂或粘合剂改变。如果遇到许多这种设计改变或制造工艺改变,与使用本文所述的无损检验作为“预检验”以确定是否使制品经受直接雷电效应检验相关联的节省可能是有意义的。

[0019] 本文所公开的无损检验使用待检验制品和对照制品之间的热电感应电压和热电感应电流的测量以确定包括待检验制品的电路的有效电阻。待检验制品可具有使用具体制造工艺形成的材料的具体配置,该具体制造工艺将被检验与直接雷电效应检验的符合性。对照制品基本上是待检验制品(例如,包括使用具体制造工艺形成的材料的具体配置)的复制品;然而,对照制品包括通过增大对照制品的材料之间的有效接触面积减小对照制品的有效电阻的填料材料。

[0020] 为了进行无损检验,待检验制品和对照制品被电连接至彼此并且被电连接至一个或多个传感器。待检验制品的温度、对照制品的温度、或二者被控制以在待检验制品和对照制品之间建立特定的温度差。所涉及的材料的温度差和热电性质在待检验制品和对照制品之间感应(例如,通过塞贝克效应)电流、电压、或二者。因为待检验制品不经受将潜在地更改直接雷电效应检验的结果的外力或外部影响,待检验制品在进行无损检验之后可以经受直接雷电效应检验。进一步地,因为无损检验可以用于预测待检验制品是否可能通过直接雷电效应检验标准,如果无损检验指示待检验制品不太可能通过直接雷电效应检验标准,则待检验制品可以不经受直接雷电效应检验。

[0021] 图1是无损检验系统的特定实施方式的框图。无损检验系统100包括检验制品接口120和对照制品接口130。虽然检验制品接口120和对照制品接口130各自由代表性方框在图1中图解,但是检验制品接口120和对照制品接口130可以对应于或包括多个离散的和物理上不接触的组件,如图2中所图解。

[0022] 检验制品接口120包括配置为连结至待检验制品101的金属组件102的第一电连接器121和配置为连结至待检验制品101的碳纤维复合材料组件104的第二电连接器122。第一电连接器121连结至待检验制品101的金属组件102的一部分并且第二电连接器122连结至待检验制品101的碳纤维复合材料组件104的一部分,使得电流路径提供在第一电连接器121和第二电连接器122之间。例如,待检验制品101的金属组件102接触待检验制品101的碳纤维复合材料组件104的一个或多个碳纤维。电流路径允许电流从第一电连接器121流动至待检验制品101的金属组件102,从待检验制品101的金属组件102流动至待检验制品101的碳纤维复合材料组件104的一个或多个碳纤维,并且从待检验制品101的碳纤维复合材料组件104的一个或多个碳纤维流动至第二电连接器122。

[0023] 对照制品接口130包括配置为连结至对照制品111的金属组件112的第三电连接器

131和配置为连结至对照制品111的碳纤维复合材料组件114的第四电连接器132。第三电连接器131连结至对照制品111的金属组件112的一部分并且第四电连接器132连结至对照制品111的碳纤维复合材料组件114的一部分,使得电流路径提供在第三电连接器131和第四电连接器132之间。例如,对照制品111的金属组件112接触填料材料113、对照制品111的碳纤维复合材料组件114的一个或多个碳纤维、或二者。电流路径允许电流从第三电连接器131流动至对照制品111的金属组件112,从对照制品111的金属组件112流动至对照制品111的碳纤维复合材料组件114的一个或多个碳纤维(直接地或经由填料材料113),并且从对照制品111的碳纤维复合材料组件114的一个或多个碳纤维流动至第四电连接器132。

[0024] 对照制品111基本上是待检验制品的复制品(除了对照制品111的填料材料113之外)。例如,待检验制品101的碳纤维复合材料组件104和对照制品111的碳纤维复合材料组件114由相同类型的复合材料形成。同样地,待检验制品101的金属组件102和对照制品111的金属组件112是相同类型的连接器。

[0025] 对照制品111的金属组件112和对照制品111的碳纤维复合材料组件114之间的填料材料113配置为相对于待检验制品101的有效电阻105减小对照制品111的有效电阻115。待检验制品101的有效电阻105指示待检验制品101的碳纤维复合材料组件104和待检验制品101的金属组件102之间的接触面积107。填料材料113相对于待检验制品101的接触面积107增大了对照制品111的碳纤维复合材料组件114和对照制品111的金属组件112之间的接触面积117。对照制品111的增大的接触面积117相对于待检验制品101减小了对照制品111的有效电阻。

[0026] 例如,在特定配置中,待检验制品101和对照制品111是检验样本,其各自包括延伸通过碳纤维复合材料检验试样中的孔的金属紧固件。在该实例中,当孔在碳纤维复合材料检验试样中形成时,碳纤维复合材料的一些碳纤维可以被切割并且暴露在孔内或在孔的边缘处。当金属紧固件插入到孔中时,金属紧固件至少与暴露的碳纤维的一个子集相交(例如,电接触)。接触暴露的碳纤维的金属紧固件的部分限定检验样本的接触面积。例如,待检验制品101的接触面积107基于多少金属组件102与碳纤维复合材料组件104的碳纤维接触。同样地,对照制品111的接触面积117基于多少金属组件112与碳纤维复合材料组件114的碳纤维接触。填料材料113提供在金属组件112和与金属组件112不直接物理接触的碳纤维复合材料组件114的所暴露的碳纤维之间的电传导路径。因而,对照制品111的接触面积117比待检验制品101的接触面积107更大。

[0027] 无损检验系统100也包括至少一个传感器,例如,传感器(一个或多个)142,其电连接至检验制品接口120并且电连接至对照制品接口130。传感器(一个或多个)142配置为产生一个或多个信号,例如,信号(一个或多个)144,基于检验制品接口120和对照制品接口130之间的电压(例如,指示其的测量),基于检验制品接口120和对照制品接口130之间的电流(例如,指示其的测量)的信号,或基于电流和电压(例如,指示其的测量)。

[0028] 电流和电压基于待检验制品101和对照制品111之间的温度差。例如,作为塞贝克效应的结果,通过待检验制品101和对照制品111的材料的温度差和热电性质106、116可以感应电压和电流。

[0029] 无损检验系统100可以包括温度控制系统150,其配置为控制待检验制品101和对照制品111之间的温度差。在具体实例中,温度控制系统150包括温度控制器152,其连结至

多个温度传感器,诸如连结至检验制品接口120的第一温度传感器123和连结至对照制品接口130的第二温度传感器133。温度控制系统150连结至至少一个传热元件124、134。例如,至少一个传热元件124、134可以包括连结至检验制品接口120的至少一个加热装置和连结至对照制品接口130的至少一个冷却装置。作为另一个实例,至少一个传热元件124、134可以包括连结至检验制品接口120的至少一个冷却装置和连结至对照制品接口130的至少一个加热装置。在仍其他实例中,至少一个传热元件124、134包括连结至检验制品接口120和对照制品接口130的加热装置和冷却装置的其他组合。

[0030] 温度控制器152配置为从第一温度传感器123接收第一温度指示154、从第二温度传感器133接收第二温指示156,并且提供控制信号158、160至至少一个传热元件124、134以控制待检验制品101和对照制品111之间的温度差。控制信号158、160基于第一温度指示154和第二温度指示156。

[0031] 无损检验系统100也包括处理器146,其配置为基于来自传感器(一个或多个)142的信号(一个或多个)144产生输出182。输出182包括表示待检验制品101的有效电阻105的数据。例如,输出182可以指示有效电阻105的值。作为另一个实例,输出182可以指示包括待检验制品101的电路140的总电阻的值。作为又一个实例,输出182可以指示有效电阻105(或电路140的总电阻)是否满足标准,诸如有效电阻105(或电路140的总电阻)是否大于或小于特定的阈值,诸如与通过直接雷电效应检验标准相关联的有效电阻(或总电阻)。

[0032] 在操作期间,检验制品接口120和对照制品接口130电相互连接以形成电路140。电路140电连接待检验制品101的第一部分和对照制品111的第二部分并且将至少一个传感器142电连接至待检验制品101的第三部分并且电连接至对照制品111的第四部分。例如,如图2中所图解,待检验制品101的金属组件102可以被电连接至对照制品111的金属组件112,并且待检验制品101的碳纤维复合材料组件104可以被电连接(经由传感器(一个或多个)142)至对照制品111的碳纤维复合材料组件114。

[0033] 当温度控制系统150指示温度差未能满足温度标准时,温度控制器152发送控制信号158、160至传热元件(一个或多个)124、134以调节待检验制品101的温度、对照制品111的温度、或二者。例如,基于该温度差,温度控制器152发送控制信号(一个或多个)158、160以加热待检验制品101,以冷却待检验制品101(即,从其移除热),以加热对照制品111,以冷却对照制品111,或其组合。

[0034] 当温度控制系统150确定温度差满足温度标准时,温度控制系统150可以发送信号至处理器146。处理器146基于温度差满足温度标准的指示产生待检验制品101的(或电路140的)有效电阻105的估算。基于待检验制品101和对照制品111之间的热电感应电压和待检验制品101和对照制品111之间的热电感应电流计算(例如,使用欧姆定律)电路140的有效电阻。通过从电路140的有效电阻减去对照制品111的有效电阻115可以计算(或估算)待检验制品101的有效电阻105。因为对照制品111将不用于直接雷电效应检验,对照制品111的有效电阻115可以通过其他检验确定,诸如从外部电源施加已知电压至对照制品111并且测量所得的电流。

[0035] 在确定待检验制品101或电路140的有效电阻之后,处理器146将该有效电阻与经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据172进行比较以产生指示待检验制品101是否预期通过破坏性雷击检验的输出184。在一些实施中,处理器146将不同的值与雷电检验数据

172比较。例如,处理器146可以确定待检验制品101的接触面积107(如以下所进一步描述)并且将该接触面积107与雷电检验数据172比较以产生指示待检验制品101是否预期通过破坏性雷击检验的输出184。为了说明,雷电检验数据172可以被评估以确定与通过破坏性雷击检验相关联的(特定材料或材料的特定布置的)阈值接触面积,并且待检验制品101的接触面积107可以与阈值接触面积比较以确定待检验制品101是否可能通过破坏性雷击检验。因而,无损检验系统100使得能够进行待检验制品101的无损检验以估算或预测待检验制品101是否可能通过破坏性雷击检验,诸如直接雷电效应检验。

[0036] 图2是描绘图1的无损检验系统100的具体实例的图表。图2的图表图解了待检验制品101、对照制品111、检验制品接口120、对照制品接口130、和图1的传感器(一个或多个)142的物理布置的一个具体实例。图2的图表也图解了碳纤维复合材料组件104的透视截面图200。

[0037] 在图2中,待检验制品101的碳纤维复合材料组件104通过金属组件102连结至层202。同样地,对照制品111的碳纤维复合材料组件114通过金属组件112连结至层204。在图2中,金属组件102、112包括紧固件,诸如螺栓、铆钉、螺钉、柱销、柱螺栓、U形钉、或由金属形成或包括金属的其他紧固件。在其他实例中,金属组件102、112对应于层202、204。为了说明,层202可以由金属形成或包括金属(例如,金属面板),其以允许层202和碳纤维复合材料组件104的碳纤维之间电接触的方式连结至碳纤维复合材料组件104。在其他实例中,层202、204被从待检验制品101和对照制品111省略。

[0038] 如在透视截面图200中所显示,碳纤维复合材料组件104包括(例如,限定)开口214以接收金属组件102。开口214在碳纤维复合材料组件104和金属组件102之间限定有效接触面积。例如,在图2中,开口214是圆形的并且具有直径(d)和高度(h)。因而,碳纤维复合材料组件104和金属组件102之间的总有效接触面积对应于开口214的侧壁212的表面积,在图2中其等于 $\pi*d*h$ 。在其他实例中,开口214可以具有不同的尺寸或形状,并且因此不同的侧壁212表面积。因而,圆形开口214的实例仅是一种可能性。

[0039] 由于侧壁212中的不规则性,金属组件102中的不规则性,或者碳纤维复合材料组件104和金属组件102的其他特性,金属组件102仅可以接触侧壁212的一部分。在图2中,被金属组件102接触的侧壁212的该部分对应于碳纤维复合材料组件104和金属组件102的接触面积107。

[0040] 对照制品111包括填料材料113,其填充在碳纤维复合材料组件114和金属组件112之间的间隙中。因而,对照制品111的碳纤维复合材料组件114和金属组件112的接触面积117基本上等于在碳纤维复合材料组件114和金属组件112之间的总有效接触面积(例如, $\pi*d*h$) (例如,在其制造公差内)。因而,对照制品111的接触面积117可以大于待检验制品101的接触面积107。因为每个制品101、111的有效电阻105、115与各自制品101、111的接触面积107、117相关,待检验制品101的有效电阻105可以大于对照制品111的有效电阻115。因此,有效电阻105的值可以用于估算接触面积107。如以上所解释,待检验制品101的有效电阻105可以基于对照制品的有效电阻115和电路140的有效电阻确定。电路140的有效电阻(R_{eff})可以使用方程1计算:

[0041]
$$R_{eff} = \frac{R_0}{I}$$

方程 1

[0042] 其中 V_0 是通过电压传感器206测量的开路电压,并且 I 是通过电流传感器208测量的短路电流。有效电阻105随着接触面积107增大而减小(例如,有效电阻105与接触面积107成反比)。进一步地,为了该分析目的,除了对照制品111的接触面积117被最大化并且对照制品111的有效电阻115被最小化之外,对照制品111与待检验制品101基本上相同。即,接触面积117被认为等于开口214的总表面积(S_T),并且对照制品111的有效电阻115是与金属组件112和碳纤维复合材料组件114之间的完全接触相关联的最小电阻(R_{min}) (例如,基于对照制品111的检验)。因而,待检验制品的接触面积107(S_{eff})可以使用方程2估算:

$$S_{eff} = \frac{R_{min} \cdot S_T}{R_{eff}} \quad \text{方程 2}$$

[0044] 图2也图解了转换器210以使得能够在传感器(一个或多个)142的多个传感器之间转换。例如,在第一位置中,转换器210将电压传感器206电连接至电路140以测量待检验制品101和对照制品111之间的电压(例如,开路电压)。在第二位置中,转换器210将电流传感器208电连接至电路140以测量待检验制品101和对照制品111之间的电流(例如,闭环电流)。传感器206、208提供信号至处理器146以确定电路140(包括待检验制品101、对照制品111、和其间相关联的电连接)的有效电阻值。

[0045] 如以上所解释,处理器146配置为基于由传感器206、208提供的信号产生输出。例如,在图2中,输出包括在显示装置处的显示。在图2中,显示包括表示待检验制品101的有效电阻105的数据并且包括待检验制品101是否可能通过破坏性雷击检验的指示(例如,“雷电检验投影=通过”)。在其他实例中,替代表示待检验制品101的有效电阻105、待检验制品101是否可能通过破坏性雷击检验的指示、或二者的数据,或者除其之外,输出还可以包括表示待检验制品101的接触面积107的数据。

[0046] 基于待检验制品101的有效电阻105或基于待检验制品101的接触面积107,并且基于与先前检验的制品相关联的数据(例如,雷电检验(LT)数据172)可以确定待检验制品101是否可能通过破坏性雷击检验的指示。在图2中,显示也包括表示与待检验制品101是否可能通过破坏性雷击检验的指示相关联的置信度评分的数据(例如,“90%的置信度”)。基于待检验制品101的有效电阻105(或待检验制品101的接触面积107)和与先前检验的制品相关联的数据(例如,LT数据172)的统计学比较可以计算置信度评分。

[0047] 图3是图解无损检验的方法300的具体实例的流程图。通过图1或图2的无损检验系统100可以进行方法300。例如,方法300使得能够进行待检验制品的无损检验以预测待检验制品将是否可能通过破坏性雷击检验,诸如直接雷电效应检验。为了进行方法300,待检验制品被连结至对照制品。待检验制品包括碳纤维复合材料组件和金属组件。类似地,对照制品包括碳纤维复合材料组件和金属组件。待检验制品的碳纤维复合材料组件由特定的复合材料形成,并且对照制品的碳纤维复合材料组件由特定的复合材料形成。同样地,待检验制品的金属组件对应于特定类型的连接器,并且对照制品的金属组件对应于特定类型的连接器。如以上所描述,对照制品包括在对照制品的金属组件和对照制品的碳纤维复合材料组件之间的填料材料。填料材料配置为相对于待检验制品的有效电阻减小对照制品的有效电阻。待检验制品的有效电阻指示待检验制品的碳纤维复合材料组件和待检验制品的金属组件之间的接触面积。

[0048] 方法300包括,在302处,确定待检验制品和对照制品之间的温度差是否满足温度

标准。例如,温度控制器152可以基于来自温度传感器123、133的温度指示154、156确定温度差是否满足温度标准。

[0049] 方法300也包括,在304处,基于温度差满足温度标准的确定,感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电压。方法300也包括,在306处,基于温度差满足温度标准的确定,感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电流。例如,图1的传感器142可以感测热电感应电压和热电感应电流。

[0050] 热电感应电流和电压倾向于非常小(例如,分别在微伏和微安范围内),并且与温度差相关。选择温度标准使得预期的热电感应电流和电压对于可靠的测量具有足够的量级。在一些实施中,可以在温度差范围内确定多个电流和电压读数。温度差范围内进行多个测量可以减小与电压和电流测量相关联的误差。

[0051] 方法300也包括,在308处,基于热电感应电压和热电感应电流产生指示待检验制品是否可能通过破坏性雷击检验(例如,是否预期满足雷电检验标准)的输出。输出也可以,或者可选地,包括待检验制品的有效电阻、待检验制品的接触面积、或二者的指示。作为另一个实例,输出可以指示待检验制品的有效电阻或待检验制品的接触面积是否满足标准,诸如指示待检验制品是否预期通过破坏性雷击检验的标准。

[0052] 图4是图解无损检验的方法的更详细的实例的流程图。通过图1或图2的无损检验系统100可以进行方法400。方法400使得能够进行待检验制品的无损检验以预测待检验制品是否将可能通过破坏性雷击检验,诸如直接雷电效应检验。

[0053] 为了进行方法400,待检验制品被连结至对照制品。待检验制品包括碳纤维复合材料组件和金属组件。类似地,对照制品包括碳纤维复合材料组件和金属组件。待检验制品的碳纤维复合材料组件由特定的复合材料形成,并且对照制品的碳纤维复合材料组件由特定的复合材料形成。同样地,待检验制品的金属组件对应于特定类型的连接器,并且对照制品的金属组件对应于特定类型的连接器。如以上所描述,对照制品包括在对照制品的金属组件和对照制品的碳纤维复合材料组件之间的填料材料。填料材料配置为相对于待检验制品的有效电阻减小对照制品的有效电阻。待检验制品的有效电阻指示在待检验制品的碳纤维复合材料组件和待检验制品的金属组件之间的接触面积。

[0054] 方法400包括,在402处,将待检验制品和对照制品之间的温度差与温度标准比较。例如,温度控制器152可以基于来自温度传感器123、133的温度指示154、156确定温度差是否满足温度标准。

[0055] 方法400包括,在404处,确定温度差是否满足温度标准。基于在404处温度差未能满足温度标准的确定,方法400包括,在406处,调节待检验制品的温度、对照制品的温度、或二者。例如,基于温度差未能满足温度标准的确定,方法400可以包括使用无损检验系统100的加热装置施加热至待检验制品或至对照制品。作为另一个实例,基于温度差未能满足温度标准的确定,方法400可以包括使用无损检验系统100的冷却装置从待检验制品或从对照制品移除热。

[0056] 基于在404处温度差满足温度标准的确定,方法400包括,在408处,感测在待检验制品和对照制品之间的热电感应电压,和在410处,感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电流。例如,传感器(一个或多个)142可以提供信号(一个或多个)144至处理器146。信号144可以包括或表示指示热电感应电压的值和热电感应电流的值的的数据。

[0057] 方法400也可以包括,在412处,基于热电感应电压和热电感应电流,通过无损检验系统产生指示待检验制品的有效电阻的输出。例如,处理器146可以提供输出182至输出装置180。

[0058] 方法400也包括,在414处,访问经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据。例如,处理器146可以访问存储器170以访问雷电检验数据172。雷电检验数据172可以指示或被处理器146使用以确定检验的制品(或制品的接触表面)的有效电阻和制品是否通过雷击检验之间的关系。

[0059] 方法400也包括,在416处,将基于热电感应电压和热电感应电流确定的值与雷电检验数据进行比较。例如,电路140或待检验制品101的有效电阻可以与经受破坏性雷击检验的制品的有效电阻数据比较。作为另一个实例,待检验制品101的接触面积107可以与经受破坏性雷击检验的制品的接触面积比较。方法400也包括,在418处,基于该比较产生指示待检验制品是否预期通过破坏性雷击检验(例如,以满足雷电检验标准)的输出。

[0060] 图5是计算环境500的框图的图解,该计算环境500包括配置为支持根据本公开内容的计算机实施的方法和计算机可执行的程序指令(或代码)的实施方式的通用计算装置510。例如,计算装置510,或其部分,可以执行指令以进行无损检验系统100的功能或无损检验系统100的一部分诸如处理器146或温度控制器152的功能。控制无损检验系统100(或无损检验系统100的一部分,诸如处理器146或温度控制器152)的指令可以包括确定待检验制品和对照制品之间的温度差是否满足温度标准的指令。控制无损检验系统100(或无损检验系统100的部分)的指令也可以包括基于温度差满足温度标准的确定感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电压的指令。控制无损检验系统100(或无损检验系统100的部分)的指令可以进一步包括基于温度差满足温度标准的确定感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电流的指令。控制无损检验系统100(或无损检验系统100的部分)的指令也可以包括基于热电感应电压和热电感应电流产生指示待检验制品是否预期通过破坏性雷击检验的输出的指令。计算装置510,或其部分,可以进一步执行根据本文描述的方法诸如图3的方法300或图4的方法400的指令。

[0061] 计算装置510可以包括处理器520。处理器520可以与系统存储器530、一个或多个存储装置540、一个或多个输入/输出接口550、一个或多个通信接口560、或其组合通信。在特定的实施方式中,处理器520包括或对应于处理器146或温度控制器152。系统存储器530可以包括易失性存储器装置(例如,随机存取存储器(RAM)装置)、非易失性存储器装置(例如,只读存储器(ROM)装置、可编程只读存储器、和闪存)、或二者。系统存储器530可以包括操作系统532,其可以包括用于启动计算装置510的基本/输入输出系统以及使得计算装置510能够与用户、其他程序、和其他装置交互的完整操作系统。系统存储器530可以包括可以被处理器520执行的一个或多个应用程序534。例如,一个或多个应用程序534可以包括可以被处理器520执行的指令以控制无损检验系统100,从而产生指示待检验制品101的有效电阻的输出182,从而产生指示待检验制品101是否可能通过破坏性雷击检验诸如雷电直接效应检验的输出184,或二者。

[0062] 处理器520也可以与一个或多个存储装置540诸如图1和2的存储器170通信。例如,一个或多个存储装置540可以包括非易失性存储装置,诸如磁盘、光盘、或闪存装置。存储装置540可以包括可移除的和不可移除的存储器装置二者。存储装置540可以配置为存储操作

系统、操作系统的图像、应用程序、和程序数据。存储装置540也可以存储雷电检验(LT)数据172。在特定的实施方式中,存储器530、存储装置540、或二者包括有形的计算机可读介质。

[0063] 处理器520可以与一个或多个输入/输出接口550通信,该一个或多个输入/输出接口550使得计算装置510能够与一个或多个输入/输出装置570(诸如图1和2的输出装置180)通信以促进用户交互。输入/输出接口550可以包括串行接口(例如,通用串行总线(USB)接口或美国电气和电子工程师协会(IEEE)1394接口)、并行接口、显示适配器、音频适配器、和其他接口。输入/输出装置570可以包括键盘、指点装置、显示器、扬声器、麦克风、触摸屏、和其他装置。处理器520可以基于经由输入/输出接口550接收的用户输入检测交互事件。此外,处理器520可以经由输入/输出接口550发送显示至显示装置(例如,输出装置180)。

[0064] 处理器520可以经由一个或多个通信接口560与传感器(一个或多个)142、温度控制器152、一个或多个装置580、或其组合通信。一个或多个通信接口560可以包括有线以太网接口、IEEE 802无线接口、其他无线通信接口、或其他网络接口。一个或多个装置580可以包括主计算机、服务器、工作站、和其他计算装置。

[0065] 本文描述的实施方式的图解旨在提供各种实施方式的结构的一般理解。图解不旨在用作利用本文描述的结构或方法的设备和系统的所有要素和特征的完整描述。在阅读本公开内容之后,许多其他实施方式对本领域技术人员可以是显而易见的。其他实施方式可以被利用并且衍生自本公开内容,使得可以做出结构和逻辑替换和改变而不脱离本公开内容的范围。例如,可以与附图中所显示的不同顺序进行方法步骤或者可以省略一个或多个方法步骤。因此,本公开内容和附图应视为说明性的而不是限制性的。

[0066] 而且,虽然已经在本文中图解并描述了具体实施方式,但应当领会的是,被设计为实现相同或相似结果的任何随后的布置可以替换所显示的具体实施方式。本公开内容旨在覆盖各种实施方式的任何和所有随后的修改或变化。在阅读说明书之后,以上实施方式的组合、和未在本文中具体描述的其他实施方式对本领域技术人员将是显而易见的。

[0067] 进一步地,本公开内容包括根据以下条款的实施方式:

[0068] 条款1.一种无损检验系统,其包括:

[0069] 检验制品接口,其包括:

[0070] 第一电连接器,其配置为连结至待检验制品的金属组件;和

[0071] 第二电连接器,其配置为连结至待检验制品的碳纤维复合材料组件;

[0072] 对照制品接口,其包括:

[0073] 第三电连接器,其配置为连结至对照制品的金属组件;和

[0074] 第四电连接器,其配置为连结至对照制品的碳纤维复合材料组件;

[0075] 至少一个传感器,其电连接至检验制品接口和电连接至对照制品接口并且配置为产生至少一个信号,该至少一个信号基于检验制品接口和对照制品接口之间的电压并且基于检验制品接口和对照制品接口之间的电流,该电流和电压基于待检验制品和对照制品之间的温度差;和

[0076] 处理器,其配置为基于来自至少一个传感器的至少一个信号产生指示待检验制品是否预期通过雷击检验的输出。

[0077] 条款2.条款1的无损检验系统,进一步包括温度控制系统,其配置为控制待检验制品和对照制品之间的温度差。

- [0078] 条款3.条款2的无损检验系统,其中温度控制系统包括:
- [0079] 温度控制器;
- [0080] 第一温度传感器,其被连结至检验制品接口并且被连结至温度控制器;
- [0081] 第二温度传感器,其被连结至对照制品接口并且被连结至温度控制器;和
- [0082] 至少一个传热元件,其被连结至温度控制器,
- [0083] 其中温度控制器配置为从第一温度传感器接收第一温度指示,从第二温度传感器接收第二温度指示,并且提供控制信号至至少一个传热元件以控制待检验制品和对照制品之间的温度差,控制信号基于第一温度指示和第二温度指示。
- [0084] 条款4.条款3的无损检验系统,其中至少一个传热元件包括连结至检验制品接口的至少一个加热装置和连结至对照制品接口的至少一个冷却装置。
- [0085] 条款5.条款3的无损检验系统,其中至少一个传热元件包括连结至检验制品接口的至少一个冷却装置和连结至对照制品接口的至少一个加热装置。
- [0086] 条款6.条款1的无损检验系统,其中处理器进一步配置为确定待检验制品的有效电阻并且将该有效电阻与经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据进行比较,并且其中指示待检验制品是否预期通过破坏性雷击检验的输出基于该比较。
- [0087] 条款7.条款1的无损检验系统,其中待检验制品的碳纤维复合材料组件和对照制品的碳纤维复合材料组件由相同类型的复合材料形成,并且其中待检验制品的金属组件和对照制品的金属组件是相同类型的连接器。
- [0088] 条款8.条款7的无损检验系统,其中对照制品进一步包括在对照制品的金属组件和对照制品的碳纤维复合材料组件之间的填料材料,该填料材料配置为相对于待检验制品的有效电阻减小对照制品的有效电阻。
- [0089] 条款9.条款1的无损检验系统,其中处理器进一步配置为确定待检验制品的接触面积并且将该接触面积与经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据进行比较,并且其中指示待检验制品是否预期通过破坏性雷击检验的输出基于该比较。
- [0090] 条款10.条款1的无损检验系统,其中电压和电流由待检验制品和对照制品的温度差和材料的热电性质感应。
- [0091] 条款11.条款1的无损检验系统,其中检验制品接口和对照制品接口电相互连接以形成电路,该电路电连接待检验制品的第一部分和对照制品的第二部分并且将至少一个传感器电连接至待检验制品的第三部分并且电连接至对照制品的第四部分。
- [0092] 条款12.一种方法,其包括:
- [0093] 在无损检验系统处,确定待检验制品和对照制品之间的温度差是否满足温度标准,该待检验制品包括碳纤维复合材料组件和金属组件;
- [0094] 基于温度差满足温度标准的确定:
- [0095] 通过无损检验系统感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电压;和
- [0096] 通过无损检验系统感测待检验制品和对照制品之间的热电感应电流;和
- [0097] 基于热电感应电压和热电感应电流通过无损检验系统产生指示待检验制品是否预期通过雷击检验的输出。
- [0098] 条款13.条款12的方法,进一步包括,基于温度差未能满足温度标准的确定,通过无损检验系统调节待检验制品的温度、对照制品的温度、或二者。

[0099] 条款14. 条款12的方法,进一步包括,基于温度差未能满足温度标准的确定,使用无损检验系统的加热装置施加热至待检验制品或至对照制品。

[0100] 条款15. 条款12的方法,进一步包括,基于温度差未能满足温度标准的确定,使用无损检验系统的冷却装置从待检验制品或从对照制品移除热。

[0101] 条款16. 条款12的方法,进一步包括:

[0102] 访问经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据;和

[0103] 将基于热电感应电压和热电感应电流确定的值与雷电检验数据进行比较;并且

[0104] 其中基于该比较确定指示待检验制品是否预期通过破坏性雷击检验的输出。

[0105] 条款17. 条款16的方法,其中该值包括待检验制品的有效电阻、包括待检验制品的电路的有效电阻、待检验制品的碳纤维复合材料组件和待检验制品的金属组件之间的接触面积、或其组合。

[0106] 条款18. 条款12的方法,其中待检验制品的碳纤维复合材料组件由特定的复合材料形成并且对照制品包括由该特定的复合材料形成的碳纤维复合材料组件,其中待检验制品的金属组件对应于特定类型的连接器并且对照制品包括对应于该特定类型的连接器的金属组件,并且其中对照制品进一步包括在对照制品的金属组件和对照制品的碳纤维复合材料组件之间的填料材料,该填料材料配置为相对于待检验制品的有效电阻减小对照制品的有效电阻。

[0107] 条款19. 一种计算机可读存储装置,其存储当被无损检验系统的处理器执行时引起无损检验系统的处理器进行以下操作的指令,所述操作包括:

[0108] 确定待检验制品和对照制品之间的温度差是否满足温度标准;

[0109] 基于温度差满足温度标准的确定,基于待检验制品和对照制品之间的热电感应电压并且基于待检验制品和对照制品之间的热电感应电流确定待检验制品的有效电阻;和

[0110] 产生指示待检验制品是否预期通过雷击检验的输出。

[0111] 条款20. 条款19的计算机可读存储装置,其中所述操作进一步包括:

[0112] 将基于热电感应电压和热电感应电流确定的值与经受破坏性雷击检验的制品的雷电检验数据进行比较,

[0113] 其中基于该比较确定所述输出。

[0114] 以理解它将不被用于解释或限制权利要求的范围或含义的方式提交本公开内容的摘要。此外,在前述的具体实施方式中,为了简化本公开内容的目的,许多特征可以被组合在一起或者在单个实施方式中描述。本公开内容不被解释为反映要求保护的实施方式比在每个权利要求中明确阐述的需要更多特征的意图。相反,如所附权利要求反映,要求保护的主体可以涉及少于任何公开的实施方式的所有特征。

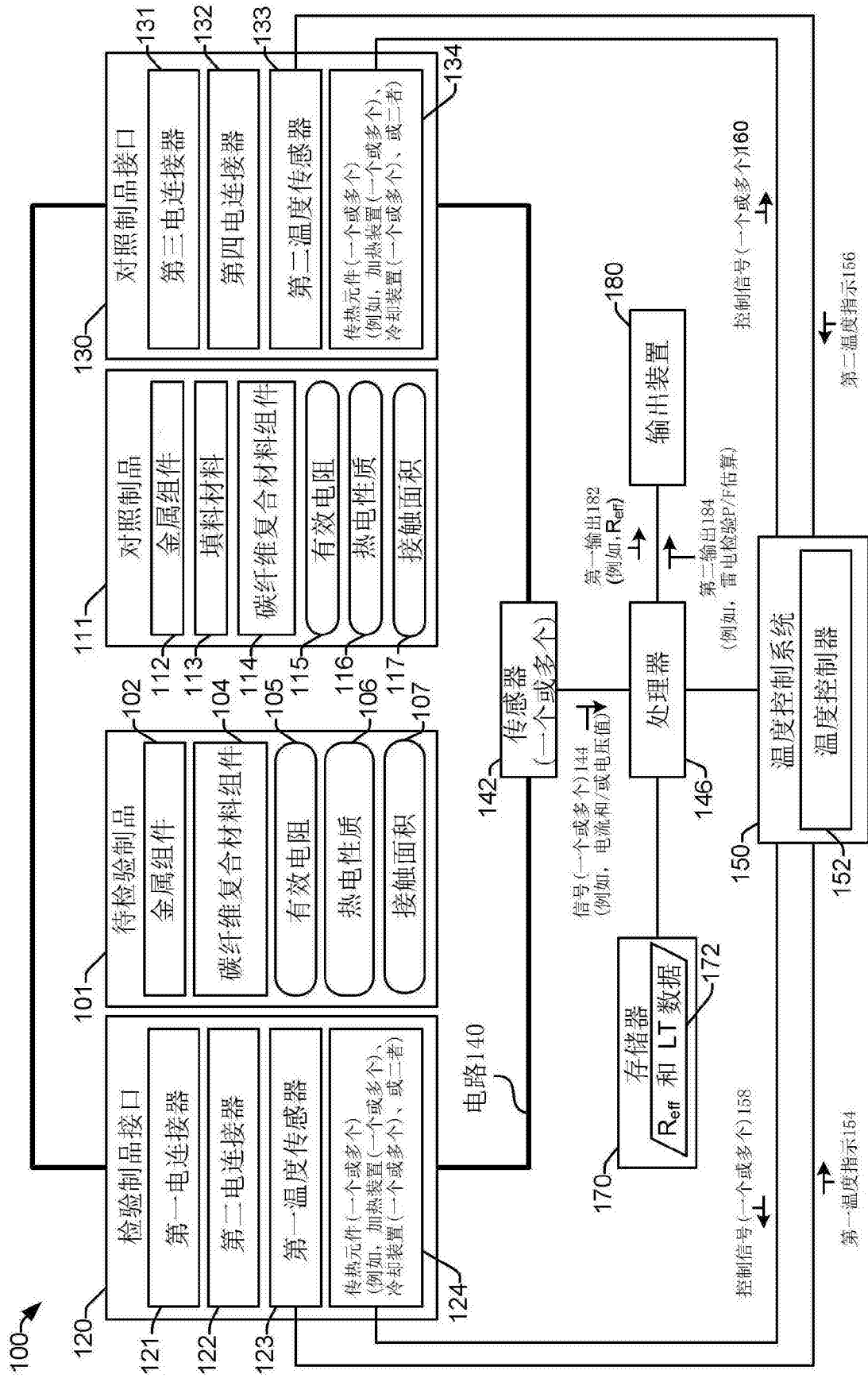


图1

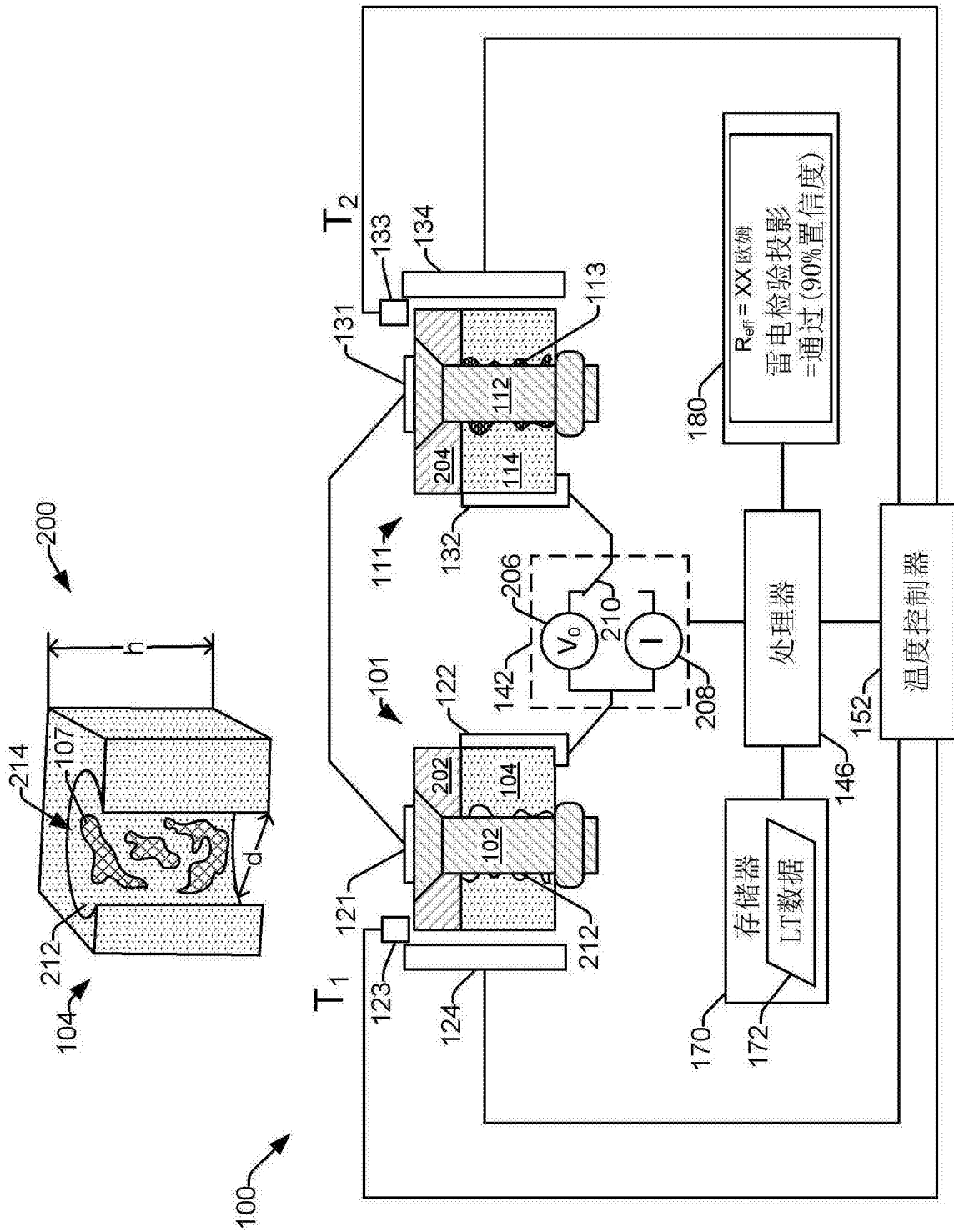


图2

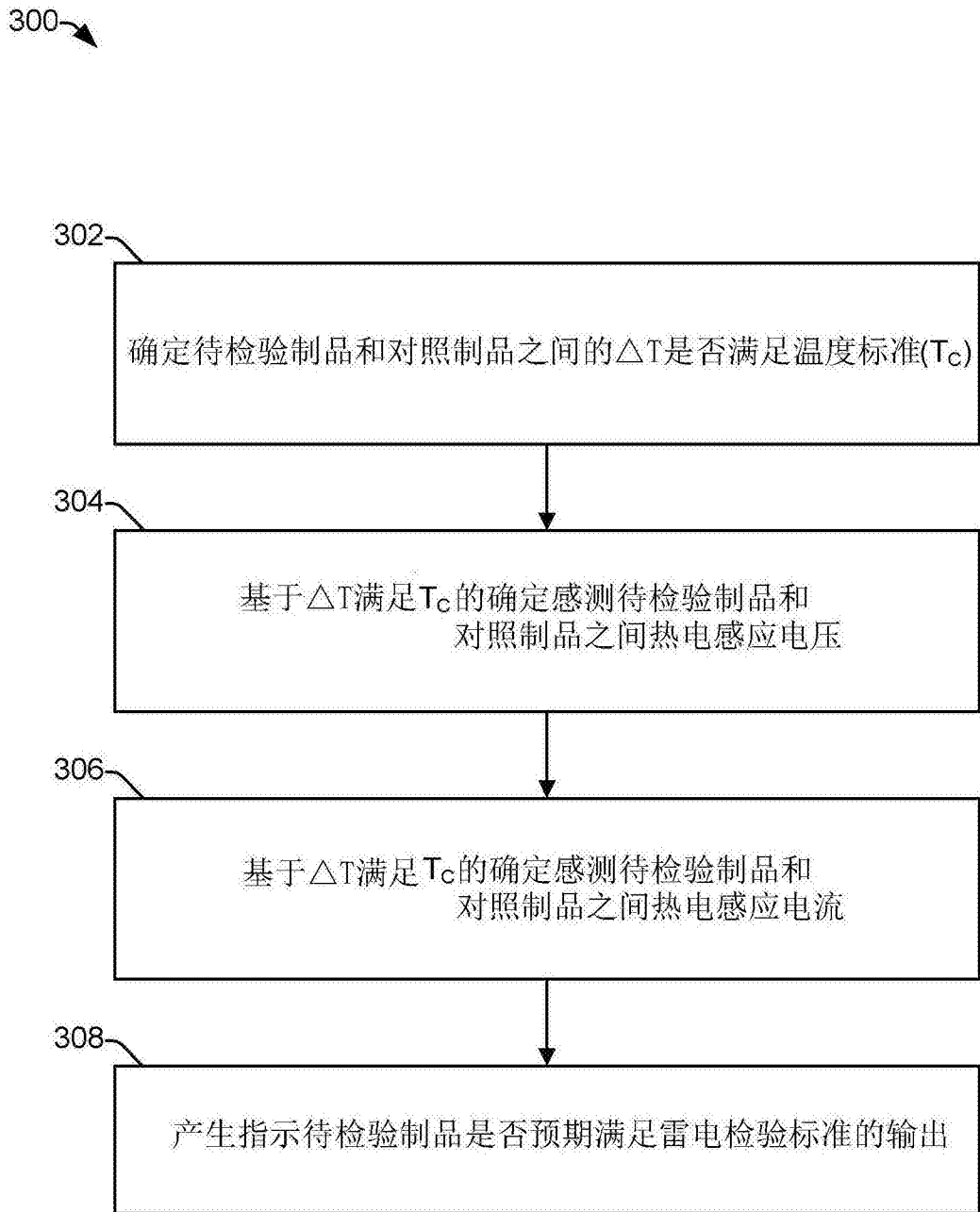


图3

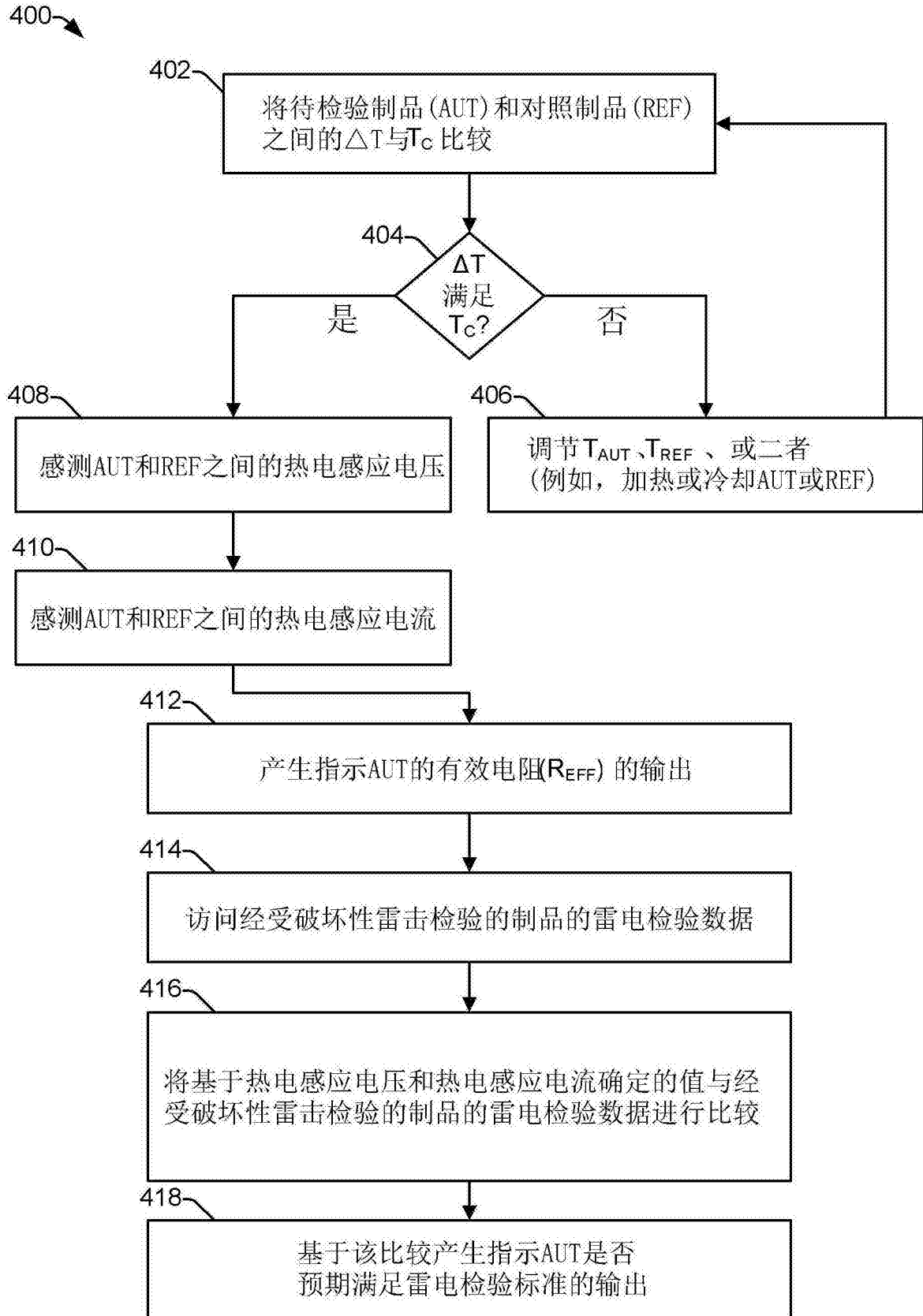


图4

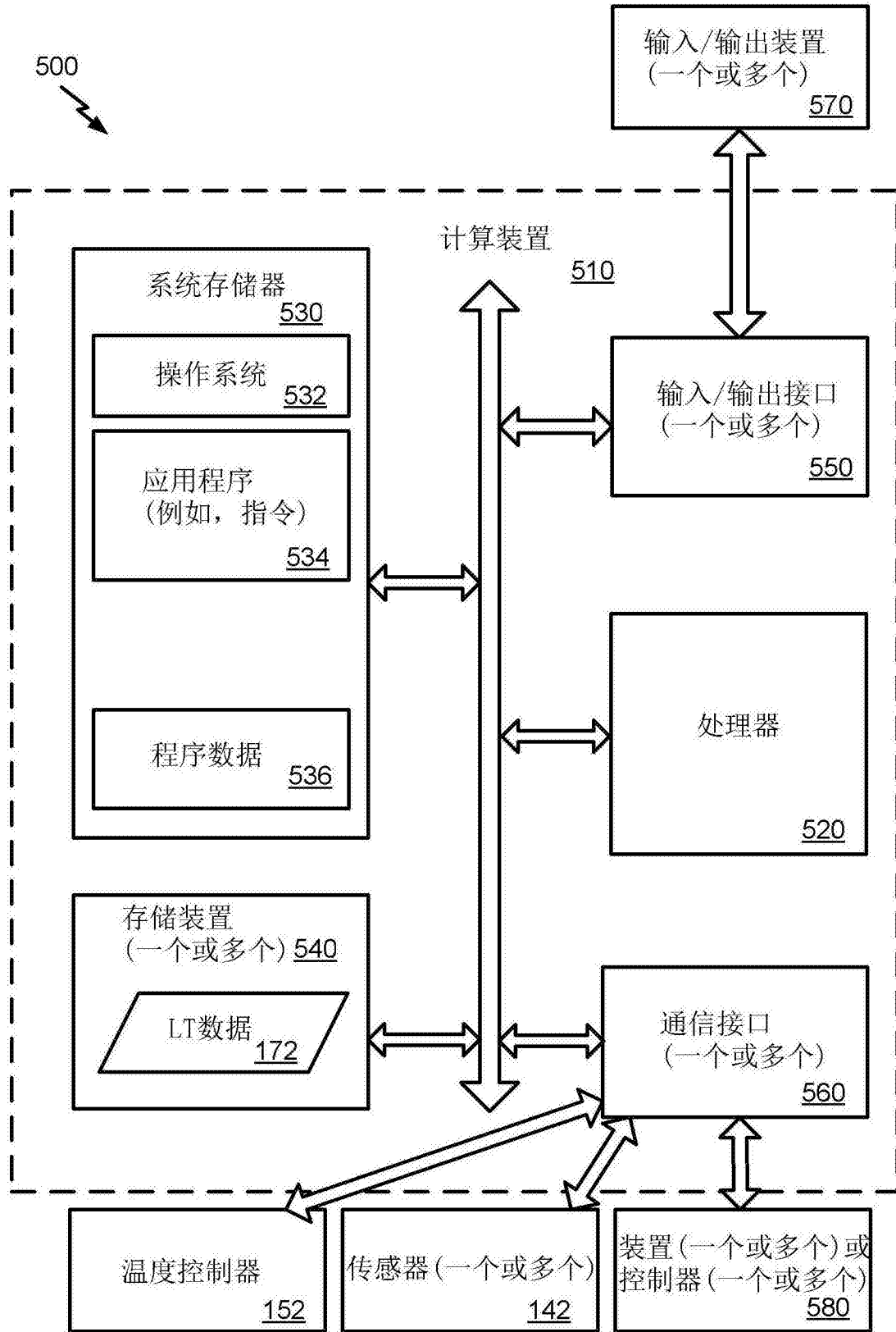


图5