



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105636734 B

(45)授权公告日 2017.06.30

(21)申请号 201480056382.8

(22)申请日 2014.07.09

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105636734 A

(43)申请公布日 2016.06.01

(30)优先权数据  
14/067,432 2013.10.30 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2016.04.13

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2014/045872 2014.07.09

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02015/065542 EN 2015.05.07

(73)专利权人 伊利诺斯工具制品有限公司  
地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 理查德·马丁·哈奇森

(74)专利代理机构 上海脱颖律师事务所 31259  
代理人 脱颖

(51)Int.Cl.  
B23K 9/09(2006.01)  
B23K 9/095(2006.01)  
B23K 9/10(2006.01)  
B23K 9/12(2006.01)  
B23K 9/173(2006.01)

(56)对比文件  
CN 1496774 A,2004.05.19,全文。  
CN 1593828 A,2005.03.16,全文。  
CN 1836818 A,2006.09.27,全文。  
CN 101376191 A,2009.03.04,全文。  
US 6248976 B1,2001.06.19,全文。  
US 6624388 B1,2003.09.23,全文。  
JP 特開平7-204848 A,1995.08.08,全文。  
SU 872102 A1,1981.10.15,全文。

审查员 刘丹

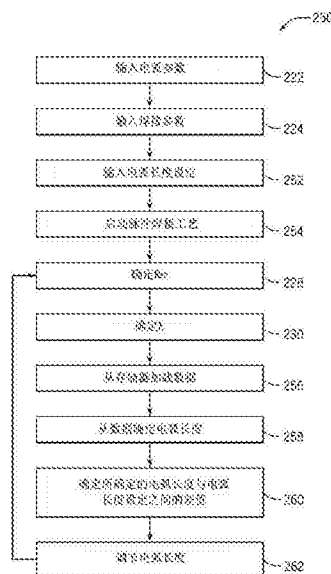
权利要求书4页 说明书13页 附图8页

(54)发明名称

从电压和电流反馈提取电弧长度的系统和  
方法

(57)摘要

一种控制焊接系统的方法包括:以一电流斜  
变率控制供应到电极的焊接电流;并且至少部分  
地基于所述控制的焊接电流和变化的焊接电压  
确定电弧长度。所述电弧长度包括所述电极与工  
件之间的距离,并且所述电弧电压包括所述电极  
与所述工件之间的电压。



1. 一种控制焊接系统的方法,包括:

在一段时间内,通过所述焊接系统的控制电路以一电流斜变率控制供应到电极的焊接电流;以及

在所述一段时间期间,至少部分地基于所述受控制的焊接电流和变化的电弧电压通过所述控制电路确定电弧长度,其中所述电弧长度包括所述电极与工件之间的距离,所述电弧电压包括所述电极与所述工件之间的电压,并且出于测量目的在不改变所述焊接电流的情况下确定所述电弧长度。

2. 根据权利要求1所述的方法,包括:

在所述一段时间期间,通过连接到所述控制电路的一个或多个传感器感测所述受控制的焊接电流以及所述变化的电弧电压;以及

至少部分地基于所述确定的电弧长度控制所述焊接系统的一个或多个焊接参数。

3. 根据权利要求2所述的方法,包括:

在第一脉冲的斜升期间,通过所述一个或多个传感器感测所述受控制的焊接电流以及所述变化的电弧电压;以及

在继所述第一脉冲之后的第二脉冲期间,通过所述控制电路控制所述一个或多个焊接参数,其中所述一个或多个焊接参数包括所述电弧长度、送丝速度或电极伸出长度或它们的任意组合。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中确定所述电弧长度包括:

在所述一段时间期间,至少部分地基于所述受控制的焊接电流和所述变化的电弧电压通过所述控制电路确定所述电极的电阻;

至少部分地基于焊接电压、所述电阻和降落电压通过所述控制电路确定所述电弧电压;以及

至少部分地基于所述电弧长度与所述电弧电压之间的函数关系通过所述控制电路确定所述电弧长度。

5. 根据权利要求4所述的方法,包括:

通过操作员界面接收电极参数输入和保护气体输入;

至少部分地基于所述电极参数输入和所述保护气体输入从存储器加载所述函数关系。

6. 根据权利要求2所述的方法,其中控制所述一个或多个焊接参数包括在第一脉冲期间将所述电弧长度维持在所需的电弧长度的阈值长度内。

7. 根据权利要求1所述的方法,包括:

在所述一段时间期间,至少部分地基于所述受控制的焊接电流和所述变化的电弧电压通过所述控制电路确定所述电极的电阻;

至少部分地基于所述电阻与所述电极伸出长度之间的函数关系通过所述控制电路确定电极伸出长度。

8. 一种控制焊接系统的方法,包括:

通过一个或多个传感器感测脉冲焊接波形的变化的焊接电流和变化的电压,其中所述变化的焊接电流和所述变化的电压发生在所述脉冲焊接波形的脉冲的斜升部分或斜降部分期间;

至少部分地基于在所述斜升部分期间所述变化的焊接电流和所述变化的电压的向上

的斜率、在所述斜降部分期间所述变化的焊接电流和所述变化的电压的向下的斜率、在所述斜升部分期间所述变化的焊接电流和所述变化的电压的向上的回归模型或在所述斜降部分期间所述变化的焊接电流和所述变化的电压的向下的回归模型,通过连接到所述一个或多个传感器的控制电路确定电极的电阻;

至少部分地基于焊接电压、所述电阻和降落电压通过所述控制电路确定电弧电压;并且

至少部分地基于所述电弧长度与所述电弧电压之间的函数关系通过所述控制电路控制所述脉冲焊接波形期间的电弧长度,其中所述电弧长度包括所述电极与工件之间的距离。

9. 根据权利要求8所述的方法,包括:

接收阈值长度;以及

在所述脉冲焊接波形期间将所述电弧长度维持在所需的电弧长度的阈值长度内。

10. 根据权利要求8所述的方法,其中所述函数关系是至少部分地基于由焊炬提供的所述电极的材料和保护气体的。

11. 一种控制焊接系统的方法,包括:

以一电流斜变率控制供应到电极的焊接电流;

至少部分地基于所述受控制的焊接电流和变化的电弧电压确定电弧长度,其中所述电弧长度包括所述电极与工件之间的距离,并且所述电弧电压包括所述电极与所述工件之间的电压。

12. 根据权利要求11所述的方法,包括:

感测所述受控制的焊接电流以及所述变化的电弧电压;以及

至少部分地基于所述确定的电弧长度控制所述焊接系统的一个或多个焊接参数。

13. 根据权利要求12所述的方法,包括:

在第一脉冲的斜升期间感测所述受控制的焊接电流以及所述变化的电弧电压;以及

在继所述第一脉冲之后的第二脉冲期间控制所述一个或多个焊接参数,其中所述一个或多个焊接参数包括所述电弧长度、送丝速度或电极伸出长度或它们的任意组合。

14. 根据权利要求12所述的方法,其中控制所述一个或多个焊接参数包括至少部分地基于所述确定的电弧长度利用闭环控制。

15. 根据权利要求11所述的方法,其中确定所述电弧长度包括:

至少部分地基于所述受控制的焊接电流和所述变化的电弧电压确定所述电极的电阻;

至少部分地基于焊接电压、所述电阻和降落电压确定所述电弧电压;以及至少部分地基于所述电弧长度与所述电弧电压之间的函数关系确定所述电弧长度。

16. 根据权利要求15所述的方法,包括:

接收电极参数输入和保护气体输入;

至少部分地基于所述电极参数输入和所述保护气体输入从存储器加载所述函数关系。

17. 根据权利要求12所述的方法,其中控制所述一个或多个焊接参数包括在整个第一脉冲期间将所述电弧长度维持在所需的电弧长度的阈值长度内。

18. 根据权利要求11所述的方法,包括:

至少部分地基于所述受控制的焊接电流和所述变化的电弧电压确定所述电极的电阻;

至少部分地基于所述电阻与所述电极伸出长度之间的函数关系确定电极伸出长度。

19. 一种焊接系统,包括:

功率转换电路,所述功率转换电路被配置成提供脉冲焊接波形到焊炬,其中所述脉冲焊接波形包括峰值部分,并且所述峰值部分包括斜升部分或斜降部分;

一个或多个传感器,所述传感器被配置成感测施加在所述焊炬内的电极上的所述脉冲焊接波形的焊接电压和所述脉冲焊接波形的焊接电流;以及

处理电路,所述处理电路与所述一个或多个传感器连接,其中所述处理电路被配置成至少部分地基于在所述斜升部分或所述斜降部分期间所述焊接电流的变化以及所述焊接电压的变化确定电弧长度,其中所述电弧长度包括所述电极与工件之间的距离。

20. 根据权利要求19所述的焊接系统,其中所述处理电路被配置成至少部分地基于在所述斜升部分期间所述焊接电流和所述焊接电压的向上的斜率、在所述斜降部分期间所述焊接电流和所述焊接电压的向下的斜率、在所述斜升部分期间所述焊接电流和所述焊接电压的向上的回归模型或在所述斜降部分期间所述焊接电流和所述焊接电压的向下的回归模型确定电弧长度。

21. 根据权利要求19所述的焊接系统,其中所述处理电路被配置成至少部分地基于所述电弧长度控制所述脉冲焊接波形的所述峰值部分。

22. 根据权利要求19所述的焊接系统,其中所述处理电路包括存储器,并且所述处理电路被配置成至少部分地基于电弧电压与所述电弧长度之间的函数关系确定所述电弧长度,其中所述函数关系存储在所述存储器中,并且所述电弧电压包括所述电极与所述工件之间的电压。

23. 根据权利要求19所述的焊接系统,其中所述处理电路被配置成控制所述功率转换电路以在整个所述脉冲焊接波形期间将所述电弧长度维持在所需的电弧长度的阈值长度内。

24. 根据权利要求23所述的焊接系统,包括与所述处理电路连接的操作员指示器,其中所述处理电路被配置成如果所述确定的电弧长度大于所述阈值长度则发送报警信号到所述操作员指示器。

25. 根据权利要求19所述的焊接系统,其中所述处理电路被配置成至少部分地基于所述电极与所述工件之间的降落电压和电弧电压控制所述电弧长度。

26. 根据权利要求25所述的焊接系统,其中所述降落电压至少部分地基于所述电极的材料、提供到所述焊炬的保护气体或它们的任意组合。

27. 根据权利要求19所述的焊接系统,其中所述处理电路被配置成至少部分地基于所述确定的电弧长度控制一个或多个焊接参数,其中所述焊接参数包括送丝速度、电极伸出长度或它们的任意组合。

28. 根据权利要求20所述的焊接系统,其中所述处理电路被配置成至少部分地基于所述向上的斜率、所述向下的斜率、所述向上的回归模型或所述向下的回归模型确定电极电阻,并且所述处理电路被配置成至少部分地基于所述电极电阻确定所述电弧长度。

29. 一种控制焊接系统的方法,包括:

感测脉冲焊接波形的变化的焊接电流和变化的电压;

至少部分地基于所述变化的焊接电流和所述变化的电压确定电极的电阻;

至少部分地基于焊接电压、所述电阻和降落电压确定电弧电压；并且

至少部分地基于所述电弧长度与所述电弧电压之间的函数关系控制所述脉冲焊接波形期间的电弧长度，其中所述电弧长度包括所述电极与工件之间的距离。

30. 根据权利要求29所述的方法，包括：

接收阈值长度；以及

在整个所述脉冲焊接波形期间将所述电弧长度维持在所需的电弧长度的阈值长度内。

31. 根据权利要求29所述的方法，其中所述函数关系至少部分地基于由焊炬提供的所述电极的材料和保护气体。

## 从电压和电流反馈提取电弧长度的系统和方法

### 背景技术

[0001] 本发明总体上涉及焊接系统,并且更具体地讲,涉及控制气体保护金属极弧焊(GMAW)的焊接系统,也称为,金属极惰性气体保护(MIG)焊接系统。

[0002] 电弧焊接系统通常包括电源,电源将电流施加到电极上以使电弧穿过电极与工件之间,从而加热电极和工件以建立焊点。在许多系统中,例如,气体保护金属极弧焊系统(GMAW)中,电极由通过焊炬进给的焊丝构成。由于通过电弧加热电极,电极熔化并结合在工件的熔化金属上以形成焊点。

[0003] 先进形式的MIG焊接基于在焊接电源中脉冲功率的产生,这可以称为脉冲气体保护金属极弧焊(GMAW-P)。也就是说,可以实现各种脉冲体系,其中通过由电源控制电路命令电流脉冲和/或电压脉冲以调节来自焊丝的金属熔滴的形成和沉积、维持熔池所需的加热和冷却分布以及控制焊丝与熔池之间的短路等。

[0004] 通过控制将电压和电流供应到电极,GMAW系统可以控制通过电弧熔化并沉积电极的方式。控制电极与工件之间的电弧长度可以影响施加的能量和/或如何通过电弧沉积电极。一些GMAW系统可以尝试通过控制供应到焊炬的焊接电压来维持恒定的电弧长度。然而,跨电弧长度的电弧电压可能仅仅是焊炬与工件之间的焊接电压的一部分。

### 发明内容

[0005] 以下概述了与最初要求保护的发明的范围相同的某些实施例。这些实施例并非旨在限制要求保护的发明的范围,而是这些实施例仅仅旨在提供本发明的可能形式的简要概述。实际上,本发明可以包含类似于或不同于以下阐述的实施例的各种形式。

[0006] 在第一实施例中,一种控制焊接系统的方法包括:以一电流斜变率控制供应到电极的焊接电流;并且至少部分地基于受控制的焊接电流和变化的焊接电压确定电弧长度。所述电弧长度包括所述电极与工件之间的距离,并且所述电弧电压包括所述电极与所述工件之间的电压。

[0007] 在另一个实施例中,一种焊接系统包括:功率转换电路,其被配置成提供脉冲焊接波形到焊炬;一个或多个传感器;以及与所述一个或多个传感器连接的处理电路。所述脉冲焊接波形包括峰值部分,所述峰值部分包括斜升部分或斜降部分。所述一个或多个传感器被配置成感测施加在所述焊炬内的电极上的脉冲焊接波形的焊接电压和所述脉冲焊接波形的焊接电流。所述处理电路被配置成至少部分地基于在所述斜升部分或所述斜降部分期间所述焊接电流的变化以及焊接电压的变化确定电弧长度。所述电弧长度包括所述电极与工件之间的距离。

[0008] 在另一个实施例中,一种控制焊接系统的方法包括:感测脉冲焊接波形的变化的焊接电流和变化的电压;至少部分地基于所述变化的电流和所述变化的电压确定电极的电阻;至少部分地基于焊接电压、所述电阻和降电落压确定电弧电压;并且至少部分地基于所述电弧长度与所述电弧电压之间的函数关系在所述脉冲焊接波形期间控制电弧长度。所述电弧长度包括所述电极与工件之间的距离。

## 附图说明

[0009] 当结合附图阅读以下详细说明时,会明白本发明的这些和其他特征、方面和优点,附图中相似的附图标记代表在整个附图中相似的部件,其中:

[0010] 图1是图示了根据本技术的一些方面用于执行焊接操作的与送丝机连接的电源的GMAW系统的实施例;

[0011] 图2是图1所示类型的焊接电源的控制电路部件的实施例;

[0012] 图3是沿着图1的GMAW系统的线3-3截取的电极与工件之间的焊接电弧的实施例;

[0013] 图4是GMAW系统的电压和电流波形的实施例;

[0014] 图5是GMAW系统的脉冲波形的变化部分的采样的电压和电流的图示;

[0015] 图6是根据实施例的电弧长度与 $\lambda$ 之间的关系的图示;

[0016] 图7是图示了根据实施例的用于获得与电弧长度和 $\lambda$ 有关的数据组的方法的流程图;以及

[0017] 图8是用于确定并控制脉冲波形的电弧长度的方法的流程图。

## 具体实施方式

[0018] 以下将描述本发明的一个或多个具体实施例。为了提供这些实施例的精确描述,本说明书中不会描述实际实施方式的所有特征。应当理解,在研发任何这种实际实施方式时,例如在任何工程或设计项目中,必须作出众多专门针对实施方式的决定来达到开发者的具体目的,例如,遵循系统相关的和商业相关的约束条件,这可能因实施方式的不同而改变。此外,应当理解,这种研发努力可能很复杂且费时,但是对于从本公开受益的普通技术人员而言,这可能是设计、制造和生产的例行任务。

[0019] 在介绍本发明的各种实施例的时,冠词“一个”、“一种”、“该”和“所述”旨在表示有一个或多个要素的意思。术语“包括”、“包含”和“具有”旨在是包括性的,并且表示还可以具有除列举的要素以外的附加要素。

[0020] 本文所述的GMAW系统的实施例可以至少部分地基于供应到电极的焊接电流和焊接电压中的感测到的变化来控制电极与工件之间的电弧长度。GMAW系统(例如,脉冲GMAW系统)的控制电路可以在变化到脉冲峰值或从脉冲峰值变化期间从感测到的电压和电流确定电弧长度。供应到电极的焊接电压具有多个分量,例如,跨电极的电压、降落电压和跨电弧长度的电弧电压。电弧电压可以与电弧长度直接相关。控制电路利用观测到的焊接电流和焊接电压随着各种电弧参数对应的测试数据的变化(例如,在脉冲的斜升或斜降期间)以通过从焊接电压减去其他分量的影响来确定电弧电压。控制电路可以从脉冲的斜升或斜降部分期间感测到的电压和电流确定电极电阻以确定跨电极的电压。使用控制数据以及观测到的焊接电流和焊接电压,控制电路可以确定降落电压、电弧电压和电弧长度。控制电路可以将确定的电弧长度与电弧长度设定进行比较,并且控制电源和/或送丝机以至少部分地基于确定的电弧长度与电弧长度设定之间的差值来调节影响电弧长度的电弧参数。因此,控制电路可以确定电弧长度并且在闭环控制中控制电弧长度。

[0021] 现在转到附图,并且首先参见图1,焊接系统被图示为包括通过导体或导管14彼此连接的电源10和送丝机12。在图示的实施例中,电源10与送丝机12分开,使得送丝机12可以

在焊接位置附近位于距电源10的一定距离处。然而,应当理解的是,在一些实施方式中,可以与电源10一体化。在这些情况下,导管14将在系统内部。在送丝机12与电源10分开的实施例中,端子通常可以设置在电源10和送丝机12上以允许导体或导管14与系统连接以允许电力和气体从电源10被提供到送丝机12,并且允许在两个设备之间交换数据。

[0022] 系统被设计成提供焊丝、电力和保护气体到焊炬16。如本领域技术人员将理解的那样,焊炬可以具有许多不同的类型,并且通常允许供给焊丝和气体到将要形成焊点以接合两个或更多个金属件的紧邻工件18的位置。第二导体(例如,夹具58)通常延伸到焊接工件18以便补足电源10与工件18之间的电气回路。

[0023] 系统被设计成允许操作员,特别是通过设置在电源10上的操作界面20,来选择数据设定(例如,焊接参数、电弧长度)。操作界面20通常纳入到电源10的前面板中,并且可以允许选择设定。焊接参数可以包括以下讨论的电弧参数和系统参数。系统参数可以包括背景和峰值电流及电压、脉冲频率、脉冲周期等。电弧参数可以包括电极尺寸、类型和材料、送丝速度、保护气体成分等。具体地,焊接系统被设计成允许使用通过焊炬16开槽的各种钢焊丝、铝焊丝或其他焊丝的MIG焊接。这些焊接参数被传递至电源10内的控制电路22。系统可以特别地被适配成实施被设计成用于某些电极类型(例如,实心电极和/或药芯电极)的焊接体系。

[0024] 控制电路22,以下更详细地描述,运行以控制从电源10输出的焊接电力的产生,该焊接电力施加在用于执行所需的焊接操作的焊丝上。在某些当前设想的实施例中,例如,控制电路22可以被适配成调节GMAW-P体系,该GMAW-P制度在焊丝的尖端与工件18之间维持基本上恒定的电弧长度。例如,控制电路22可以将电弧长度维持在电弧长度设定的阈值长度内。阈值长度可以在电弧长度设定的大约1%、5%或10%内。控制电路22可以确定在提供到焊炬16的脉冲波形期间的电弧长度,并且通过闭环控制系统控制在同一脉冲波形或后续脉冲波形期间的电弧长度。控制电路22出于测量目的可以在不改变(例如,诱发扰动)脉冲波形的情况下从感测到的脉冲波形的电压和电流确定电弧长度,如本文描述的那样。此外,在一些实施例中,控制电路22可以在斜升期间以及在控制脉冲波形到达峰值之前确定电弧长度。控制电路22可以感测焊炬16与工件18之间的电压,并且至少部分地基于跨焊丝的电压变化、阴极降落电压和阳极降落电压中的一种或多种确定电弧电压和电弧长度。在一些实施例中,控制电路22可以指导电源10提供脉冲波形以在脉冲波形的峰值部分期间维持基本上恒定的电弧长度的同时促进熔化金属到前进的熔池的短路转移。

[0025] 在“短路”模式中,熔化的材料的熔滴在焊接电弧的加热的影响下形成在焊丝上,并且这些熔滴通过焊丝和熔滴及熔池之间的接触或短路周期性地转移到熔池。“脉冲焊接”或“脉冲MIG焊接”指产生脉冲功率波形以控制金属液滴沉积到前进的焊接熔池的技术。如本文所述,由功率转换电路24产生的并且由控制电路22控制的脉冲波形可以用于各种GMAW转移模式,包括,但不限于,短路转移(例如,受调节的金属沉积(RMD))、熔滴转移、喷溅转移和脉冲转移或它们的任意组合。

[0026] 控制电路22因此与功率转换电路24连接。该功率转换电路24被适配成产生输出功率,例如,最终将施加在焊炬16处的焊丝上的脉冲波形。在功率转换电路24中可以利用各种功率转换部件,包括但不限于,斩波器、升压电路、降压电路、逆变器、转换器、变压器等。这种功率转换电路24的配置可以具有通常在本领域及其本身已知的类型。功率转换电路24与



电功率源连接,如箭头26所示。施加在功率转换电路24上的功率可以源自电网,尽管也可以使用其他功率源,例如,由发动机驱动的发电机、蓄电池、燃料电池或其他替代源产生的功率。最后,图1所示的电源10包括接口电路28,该接口电路被设计成允许控制电路22与送丝机12交换信号。

[0027] 送丝机12包括与接口电路28连接的互补接口电路30。在一些实施例中,多引脚接口可以设置在部件28、30两者上,并且多导体电缆可以在各自的接口电路之间延伸以允许在电源10、送丝机12或两者上设定诸如送丝速度、工艺、选择的电流、电压、电弧长度或功率水平等信息。

[0028] 送丝机12还包括与接口电路30连接的控制电路32。如以下更详细地所述,控制电路32允许根据操作员的选择控制送丝速度,并且允许这些设定通过接口电路30反馈到电源10。控制电路32与送丝机12上的操作界面34连接,该操作界面允许选择一个或多个焊接参数,特别是送丝速度。操作界面34还可以允许选择如工艺、利用的焊丝类型、电流、电压、电弧长度或功率设定等焊接参数。控制电路32还与气体控制阀36连接,该气体控制阀调节到焊炬16的保护气体的流量。一般来讲,在焊接时提供这种气体,并且这种气体可以在送丝前的瞬间和/或焊接后的短时间内开启。供应到气体控制阀36的气体通常以加压瓶的形式提供,如附图标记38所示。

[0029] 送丝机12包括用于在控制电路36的控制下将焊丝进给到焊炬16并且由此进给到焊接应用的部件。例如,焊丝的一个或多个线轴40容纳在送丝机12中。焊丝42从线轴40退绕并且逐渐进给到焊炬16。线轴40可以与离合器44相联,该离合器在焊丝42将要进给到焊炬16时脱开线轴40。离合器44也可以被调节成维持最小摩擦水平以避免线轴40的自由旋转。设置了进给电动机46,该进给电动机与进给辊48接合以将焊丝42从送丝机12朝着焊炬16推动。在实践中,辊48中的一个与进给电动机46机械地连接,并且通过进给电动机46转动以驱动来自送丝机12的焊丝42,同时匹配辊48朝着焊丝42偏压以维持两个辊48与焊丝42之间的良好接触。一些系统可以包括多个这种类型的辊48。最后,可以设置转速计50,该转速计用于检测电动机46、辊48或任何其他相关部件的速度以便提供实际送丝速度的指示。来自转速计50的信号被反馈到控制电路36,例如,用于校准。

[0030] 应该指出的是,也可以实施其他系统配置和输入方案。例如,可以从送丝机12外的大容量存储容器(例如,筒)或一个或多个线轴40进给焊丝42。类似地,可以从线轴40安装在其上或在焊炬16附近的“线轴枪”进给焊丝42。如本文所述,可以通过送丝机12上的操作员输入34或电源10的操作界面20或两者输入送丝速度设定。在焊炬16上具有送丝速度调节的系统中,这可以是用于设定的输入。

[0031] 来自电源10的功率通常以常规方式通过焊接电缆52施加在焊丝42上。类似地,保护气体通过送丝机12和焊接电缆52进给。在焊接操作期间,焊丝42朝着焊炬16通过焊接电缆包套前进。在焊炬16内,额外的牵引电动机54可以设置有相关联的驱动辊,特别是用于铝合金焊丝。焊炬16上的触发开关56提供反馈到送丝机12并且从送丝机返回到电源10以允许由操作员开始和停止焊接过程的信号。也就是说,在压下触发开关56时,气体流动开始,焊丝42前进,功率施加在焊接电缆52上并且通过焊炬16施加在前进的焊丝上。以下也更加详细地描述这些过程。最后,工件电缆和夹具58允许通过焊炬、电极(焊丝)和工件闭合来自电源的电路以在操作期间维持焊接电弧。

[0032] 图2图示了被设计成在图1图示的类型的系统中起作用的控制电路22的示例性实施例。控制电路22包括以上讨论的操作界面20以及接口电路28,该接口电路用于将参数传递到下游元件并且传递来自下游元件的参数,下游元件例如是送丝机12、焊炬16和各种传感器和/或致动器。控制电路22包括处理电路62,该处理电路自身可以包括一个或多个专用或通用处理器,这些处理器被设计成执行焊接体系,对焊接体系中实施的波形进行计算等等。处理电路62与驱动电路64相关联,该驱动电路将来自处理的控制信号转换成施加在功率转换电路24的功率电子开关上的驱动信号。一般来讲,驱动电路64对来自处理电路62的这些控制信号作出反应以允许功率转换电路24产生用于本公开中所述类型的焊接体系的受控波形。处理电路62也将与存储电路66相关联,该存储电路可以包括一种或多种类型的永久和临时数据存储,例如,用于提供实施的焊接体系、存储焊接参数、存储焊接设定、存储错误日志等等。

[0033] 图3是沿着图1的GMAW系统的线3-3截取的电极80与工件18之间的焊接电弧78的实施例。曲线图82图示了焊炬16中的接触点84与工件18之间的电压。应当理解,电极80是焊丝42从焊炬16延伸的一端,该焊炬携带来自电源10的脉冲波形。焊炬16在接触点84提供脉冲波形到电极80。在一些实施例中,接触点84包括与控制电路22连接以提供电流和/或电压反馈的传感器。脉冲波形具有电压分量和电流分量,并且一种或两种分量可以由功率转换电路24通过控制电路22进行控制。在接触点84,将相对于工件18具有焊接电压( $V_{\text{焊接}}$ )的脉冲波形施加到电极80上。例如,在脉冲波形的峰值部分, $V_{\text{焊接}}$ 大约可以是通过操作界面20设置的峰值电压。在脉冲波形的背景部分期间, $V_{\text{焊接}}$ 大约可以是通过操作界面20设置的背景电压。跨电极的电压( $V_{\text{EE}}$ )至少部分地基于电极80的电阻、电极80的接触点84与尖端94之间的电极80长度86(例如,电极伸出长度)或电极80的温度或它们的任意组合朝着工件18沿着电极80变化。在一些实施例中, $V_{\text{EE}}$ 随着长度86大致呈线性关系变化。在一些实施例中,如图3所示, $V_{\text{EE}}$ 在接近端部88的第一部分90比在接近接触点84的第二部分92下降更快。例如,电极80的第一部分90可以比第二部分92更热并且具有更高的电阻。

[0034] 在焊接工艺期间,端部88的尖端94在本文中表征为阳极。在一些实施例中,尖端94小于大约5微米、10微米、20微米或50微米。阳极电压( $V_{\text{阳极}}$ )可以至少部分地基于电极80的类型(例如,实心、药芯)、电极材料、电极80的直径、电极进给速率或保护气体或它们的任意组合。在一些实施例中, $V_{\text{阳极}}$ 相对于通过尖端94的焊接电流可以是基本上独立的。电弧78跨过尖端94与工件18的表面区98之间的电弧长度96(例如, $I_{\text{电弧}}$ )延伸。表面区98在本文中表征为阴极。在一些实施例中,表面区98小于大约5微米、10微米、20微米或50微米。阴极电压( $V_{\text{阴极}}$ )可以至少部分地基于工件18的材料、接头类型、电极进给速率或保护气体或它们的任意组合。在一些实施例中, $V_{\text{阴极}}$ 相对于通过表面区98的焊接电流可以是基本上独立的。 $V_{\text{阳极}}$ 和 $V_{\text{阴极}}$ 一起可以称为本文中的降落电压( $V_{\text{降}}$ ),并且均可以相对于焊接电流是基本上独立的。

[0035] 如图3所示,焊接电压 $V_{\text{焊接}}$ 包括等式(1)所示的多个分量:

$$[0036] \quad V_{\text{焊接}} = V_{\text{EE}} + V_{\text{阳极}} + V_{\text{电弧}} + V_{\text{阴极}} \quad \text{等式(1)}$$

[0037] 在一些实施例中, $V_{\text{电弧}}$ 小于 $V_{\text{焊接}}$ 的大约10%、15%、20%或25%。例如,在峰值脉冲期间0.045英寸低碳钢电极以400英寸每分钟进给、90-10氩气-CO<sub>2</sub>保护气体混合物、0.75英寸电极伸出长度以及0.2英寸电弧长度的实施例中, $V_{\text{焊接}} = 32\text{V}$ ,  $V_{\text{EE}} = 9\text{V}$ ,  $V_{\text{降}} = 18\text{V}$ , 并且 $V_{\text{电弧}} =$

5V。电弧长度96 ( $I_{\text{电弧}}$ ) 可以直接关联于跨  $I_{\text{电弧}}$ 96 上电弧电压 ( $V_{\text{电弧}}$ )。控制电路22的当前想到的实施例可以确定脉冲波形期间的  $V_{\text{电弧}}$ ，并且利用确定的  $V_{\text{电弧}}$  控制  $V_{\text{焊接}}$  并且通过对脉冲波形的调节来调节  $I_{\text{电弧}}$ 96。在一些实施例中，控制电路22在脉冲焊接操作期间动态地确定  $V_{\text{电弧}}$ ，以控制当前的和/或后续的脉冲波形的电弧长度96 ( $I_{\text{电弧}}$ )。

[0038] 图4图示了由电源10的控制电路22实施的具有电压轴112的示例性的电压波形110和具有电流轴116的电流波形114，这两个轴均跨过时间轴118。控制电路22控制功率转换电路24以在接触点84处供应电压和电流波形110、114到电极80。电压波形110可以包括恒压区段，而电流波形114可以包括允许焊接电流在对应的恒压区段期间变化的区段以及按照功率转换电路24控制的基本上恒定的速率使电流斜升或斜降的区段。脉冲波形可以以周期120的预定或设置的频率重复。

[0039] 参见电压波形110，第一恒压区段122代表背景电压水平124保持恒定期间的第一背景阶段。在电流波形114上，允许第一背景阶段期间对应的焊接电流变化以便维持背景电压水平124。在示例性的电压波形110中，背景电压水平124足够低使得在第一恒压区段122期间不发生短路，并且足够高以预热电极80的端部88以在后续脉冲的电压升高之前形成电极材料的熔化球。因此，在各种实施例中，背景电压水平124在大约17V至20V的范围内变化，但是根据变量，例如，频率、送丝速度(WFS)、峰值电压水平126、电极80的选择等，背景电压124可以更高或更低。

[0040] 紧接第一恒压区段122之后，第一背景阶段结束并且峰值阶段136开始。功率转换电路24使焊接电流以峰值电流斜升速率128增大到峰值电流水平130。一旦焊接电流达到峰值电流水平130，功率转换电路24使电压增大以在区段132期间达到峰值电压水平126，从而以电压斜升速率134升高。电压斜升速率134可能无法通过命令控制，而是由电流波形114的命令峰值电流斜升速率128和电极80的电阻造成的。电压可以保持在峰值电压水平126，直到峰值阶段136结束。在区段132期间，焊接电流114可能波动，而电压110维持恒定直到峰值阶段136到期。峰值电压水平126、峰值阶段136、峰值电流斜升速率128和初始峰值电流水平130可以被选择以便在基本上开始使熔化的电极材料朝着熔池转移的同时控制  $I_{\text{电弧}}$ 96 和  $V_{\text{电弧}}$ 。

[0041] 在峰值阶段136期满之后立即开始第二背景阶段。焊接电流114以电流斜降速率138下降，从而导致电压波形110以电压斜降速率140减小，直到达到背景焊接电流水平142。为了使电压和焊接电流脉冲的精度最高，电流斜降速率138可以比峰值电流斜升速率128明显更快。在一个实施例中，电流斜降速率138为2000A/ms，是1000A/ms的峰值电流斜升速率128的两倍。正如在第一背景阶段期间，电压则维持在背景电压水平124，而焊接电流在第二背景阶段期间变化。

[0042] 熔化的电极材料可以在仍然附着到电极80的尖端时到达熔池，从而引起短路并且暂时地熄灭电弧78。在电压降144越过阈值电压146的点可以检测到短路，从而触发第二背景阶段结束以及再点火阶段148开始。在再点火阶段148期间，电流可以大致在再点火电流水平150临时保持恒定以允许消除短路。再点火电流水平150可以足够高以保持熔化的电极材料在其转移到熔池时基本上为流体。应该注意的是，随着熔化的电极材料从电极80的端部88分离并且短路开始消除，自然发生电压升高152；大致在电压越过阈值电压146并且控制电路22检测到已经消除短路的点发生电弧再点火154。控制电路22可以控制焊接电流114

至大致背景电流水平142,并且可以控制电压110至大致背景电压水平124直至周期120结束。

[0043] 控制电路22至少部分地基于来自脉冲波形(例如,电压波形110和焊接电流波形114)测量值的计算来控制如图4所示的脉冲波形期间的电弧长度96 ( $I_{\text{电弧}}$ )。对于脉冲波形期间的的时间 $t$ ,可以从等式(2)确定焊接电压( $V_{\text{焊接}}$ ):

$$[0044] \quad V_{\text{焊接}}(I(t)) = R_{\text{EE}} * I(t) + (V_{\text{阳极}} + V_{\text{电弧}} + V_{\text{阴极}}) \quad \text{等式(2)}$$

[0045] 其中 $R_{\text{EE}}$ 是电极80的电阻。 $V_{\text{焊接}}(I(t))$ 和 $I(t)$ 可以通过来自传感器的直接测量值和/或功率转换电路24的控制对控制电路22而言已知的值。

[0046] 如上所述, $V_{\text{电弧}}$ 可以直接关联于(例如,因变于)电弧长度96(例如, $V_{\text{电弧}} = V_{\text{电弧}}(I_{\text{电弧}})$ )。因此,等式2可以重写成等式(3):

$$[0047] \quad V_{\text{焊接}}(I(t)) = R_{\text{EE}} * I(t) + \lambda \quad \text{等式(3)}$$

[0048] 其中 $\lambda$ 由等式(4)限定:

$$[0049] \quad \lambda = V_{\text{降}} + V_{\text{电弧}}(I_{\text{电弧}}) \quad \text{等式(4)}$$

[0050] 在峰值阶段136的斜升或从峰值阶段136的斜降期间的焊接电压和焊接电流可以用于确定电极电阻 $R_{\text{EE}}$ 。如图5所示,当脉冲波形发生变化时(例如,在斜升到峰值阶段136或从峰值阶段136斜降期间),控制电路22可以对焊接电流182和对应的焊接电压180采样。在其他实施例中,控制电路22可以仅采样电流180和对应的电压182的两个点184。利用点斜率公式,控制电路22可以从等式(5)确定 $R_{\text{EE}}$ :

$$[0051] \quad R_{\text{EE}} = (V_2 - V_1) / (I_2 - I_1) \quad \text{等式(5)}$$

[0052] 其中 $I_1$ 和 $V_1$ 是在斜升到峰值电流和电压水平(例如,分别为水平130和126)期间的焊接电压和对应的电压的第一值,并且 $I_2$ 和 $V_2$ 是在斜升到峰值电流和电压水平期间的焊接电流和对应的电压的第二值。在一些实施例中, $I_1$ 和 $V_1$ 是在从峰值电流和电压水平斜降期间的电流和对应的电压的第一值;并且 $I_2$ 和 $V_2$ 是在从峰值电流和电压水平斜降期间的焊接电流和对应的电压的第二值。在一些实施例中,第一值和第二值可以是采样点184或采样点184之间的插值。

[0053] 在一些实施例中,控制电路22可以对电流180和对应的电压182的三个或更多个点184采样,如图5所示。控制电路22可以确定回归线186或提供多个采样的焊接电流值与对应的电压值之间的函数关系的其他近似。控制电路22可以利用该函数关系来确定 $R_{\text{EE}}$ 。例如,图5图示了在0.045英寸低碳钢电极以300英寸以每分钟进给并且接触端工作距离(CTWD)为0.8英寸的实施例中在峰值阶段的斜升期间的焊接电流180和电压182。在此实例中,对应的回归线186可以由等式(6)限定:

$$[0054] \quad V_{\text{焊接}} = 18.27V + 0.03521 * I_{\text{焊接}} \quad \text{等式(6)}$$

[0055] 其中 $R_{\text{EE}}$ 被确定为 $0.03521 \Omega$ 。利用等式(3)以及从等式(5)或函数关系(例如,等式(6))确定的 $R_{\text{EE}}$ ,控制电路22可以确定 $\lambda$ 的值,如等式(7)所示:

$$[0056] \quad \lambda = V_1 - R_{\text{EE}} * I_1 \quad \text{等式(7)}$$

[0057] 控制电路22至少部分地基于从存储电路66加载的数据从 $\lambda$ 确定电弧长度( $I_{\text{电弧}}$ )。存储电路66可以包括数据库,该数据库具有由一次或多次测试和调整得到的数据,这些测试和调整提供对于电弧参数的各种组合的 $\lambda$ 与 $I_{\text{电弧}}$ 之间的对应关系。如本文所述,电弧参数可以包括,但是不限于,电极类型、电极材料、电极大小、电极伸出长度、送丝速率、保护气体成

分、焊炬类型、CTWD、脉冲频率等。图6的图表200图示了与电弧参数的各种组合的 $\lambda$ 值204对应的电弧长度( $l_{\text{电弧}}$ )202。对于每个图表或数据点206的组,电弧参数可以分为对于数据组基本上维持恒定的控制电弧参数以及针对数据组调整的可变电弧参数。例如,图6的图表200图示了来自样品组的数据点206,其中控制电弧参数是电极类型、电极材料、电极大小和保护气体,并且可变电弧参数包括电极伸出长度和送丝速度中的一种或两者。在一些实施例中,在调节可变电弧参数的测试或校准焊接期间,通过电弧长度202的视觉测量(例如,通过视频)获得数据点206。可以理解的是,电弧长度202的视觉测量值与 $\lambda$ 值204对应,并且可以如上所述地用图5和等式(3)至(7)确定 $\lambda$ 值204。

[0058] 用于一组电弧参数(例如,控制电弧参数、可变电弧参数)的电弧长度( $l_{\text{电弧}}$ )202和 $\lambda$ 204的值可以具有函数关系。在一些实施例中,函数关系可以是分段关系,其中数据点206的第一部分可以用第一函数建模,并且数据点206的第二部分可以用不同的第二函数建模。例如,与大于大约0.1英寸的电弧长度( $l_{\text{电弧}}$ )202对应的数据点206可以用第一回归模型208建模,而与小于大约0.1英寸的电弧长度( $l_{\text{电弧}}$ )202对应的数据点206可以用第二回归模型210建模。可利用两个或更多个函数关系对一组数据点206的关系建模。此外,可以理解的是,每个分段关系的模型可以包括,但是不限于,线性模型、多项式模型、对数模型和指数模型。在一些实施例中,一个组的所有数据点206的函数关系可以用多项式模型212(例如,三阶、四阶、或五阶或更高阶)建模或通过列表数据点之间的插值来建模。

[0059] 图表200可以用于确定这组控制电弧参数的 $\lambda$ 204的分量(例如, $V_{\text{降}}$ 和 $V_{\text{电弧}}$ )。 $V_{\text{电弧}}$ 直接关联于 $l_{\text{电弧}}$ 使得当 $l_{\text{电弧}}$ 大约等于零英寸时, $V_{\text{电弧}}$ 大约等于零伏特。因此,利用等式(4)和图表200和/或函数关系, $V_{\text{降}}$ 可以约等于在 $l_{\text{电弧}}$ 值202大约等于零时的电压值204(例如, $l_{\text{电弧}}$ 和电压值204截距)。 $V_{\text{降}}$ 可以在具有维持的控制电弧参数和调节的可变电弧参数的这组数据点206上基本上恒定,从而允许确定 $V_{\text{电弧}}$ ,并且因此确定这组电弧参数的 $l_{\text{电弧}}$ 。

[0060] 存储电路66可以包括用于多个数据组以及电弧参数的组合的多个图表200的数据。在一些实施例中,控制电路22可以利用一个或多个数据组(例如,通过插值)估算 $V_{\text{降}}$ 、 $V_{\text{电弧}}$ 和 $l_{\text{电弧}}$ 。例如,与具有一电极大小(例如,0.045英寸直径)、保护气体成分(例如,90%氩气、15%CO<sub>2</sub>)的控制电弧参数对应的数据组可以用于估算具有不同大小的电极(例如,0.05英寸直径)和/或不同的保护气体成分(例如,85%氩气、15%CO<sub>2</sub>)的控制电弧参数的 $V_{\text{降}}$ 、 $V_{\text{电弧}}$ 和 $l_{\text{电弧}}$ 。用于确定 $V_{\text{降}}$ 、 $V_{\text{电弧}}$ 和 $l_{\text{电弧}}$ 的测试或校准数据可以(例如,通过操作界面20)手动输入到存储电路66中,或者通过输入/输出设备(例如,网络、外部存储器)加载。

[0061] 图7图示了描述用于获得数据组或图表200的数据点206以存储在存储电路66中的方法220的流程图。在方法220开始时,操作员输入(方框222)电弧参数到操作界面中。在一些实施例中,可以在电源或与电源连接的单独的测试控制器(例如,测试终端)接收输入。电弧参数可以包括在数据组期间基本上维持的电弧参数以及针对数据组的各种焊接调节的可变电弧参数。例如,控制电弧参数可以包括,但是不限于,电极类型(例如,实心、药芯、空心)、电极材料(例如,钢、铝)、电极几何形状(例如,直径)、保护气体成分(例如,氩气、CO<sub>2</sub>、氢气、氧气)和工件参数(例如,工件材料、接头类型)。可变电弧参数可以包括,但是不限于,送丝速率、电极伸出长度、CTWD和保护气体供给速率。操作员输入(方框224)与供应的脉冲波形有关的系统参数到操作界面中,例如,通过电源操作界面。系统参数可以包括,但是不限于,背景和峰值电流和电压、脉冲频率、峰值脉冲持续时间等。

[0062] 在输入数据组的电弧和系统参数之后,操作员可以执行(方框226)测试焊接。测试焊接可以包括将一个或多个熔滴沉积到熔池的一个或多个脉冲波形。在测试焊接期间,控制电路在焊接电流和焊接电压变化(例如,斜升、斜降)时监测焊接电流和焊接电压。控制电路至少部分地基于观测的焊接电流和焊接电压的回归模型或具有观测的焊接电流和焊接电压的点斜率公式确定(方框228)  $R_{EE}$ ,如上所述。 $R_{EE}$ 可以从观测的增大或减小的焊接电流和焊接电压值来确定。利用 $R_{EE}$ 、观测的焊接电流和焊接电压以及等式(3),控制电路确定(方框230)  $V_{降}$ 和 $V_{电弧}$ 之和作为 $\lambda$ 的值。测量(方框232)测试焊接的电弧长度( $I_{电弧}$ ),例如,通过高速视频。在一些实施例中,测试焊接的视频随后与观测的焊接电流和焊接电压一起处理,并且在完成测试焊接之后测量电弧长度。一旦测量电弧长度, $I_{电弧}$ 和对应的 $\lambda$ 作为数据点206被记录(方框234)数据组中。在一些实施例中,操作员在返回到方框226之前调节(方框236)可变电弧参数中的一个或多个以执行下一个测试焊接。另外,或者在替代方案中,与电源连接的控制电路或测试控制器(例如,计算机)可以至少部分地基于一组指令来调节可变电弧参数以在不停止测试焊接的情况下获得针对不同 $\lambda$ 值的电弧长度的所需的数据组。换句话说,控制电路可以执行数据组获取指令以自动调节可变电弧参数以构成数据组。可以理解的是,方框228、230、232和234中的步骤可以通过电源的控制电路和/或测试控制器执行。在一些实施例中,可以针对电弧参数的多种组合执行方法220以构成可以在工作地点使用之前加载到存储电路66中的数据库。

[0063] 图8图示了利用数据确定并控制GMAW工艺(例如,短路、熔滴、飞溅、脉冲)期间的电弧长度的方法250。操作员输入(方框222)电弧参数并且输入(方框224)系统参数到电源和/或送丝机的操作界面。操作员还输入(方框252)电弧长度设定到操作界面。可以理解的是,电弧长度可以与输入到电极和工件的热量以及电极到工件的焊接质量和转移相关联。操作员可以启动(方框254)供应脉冲波形到焊炬的焊接工艺。

[0064] 类似于如上所述的方法220,控制电路针对在焊接工艺期间供应的功率的变化(例如,增大或减小)监测焊接电流和焊接电压。控制电路至少部分地基于在变化(例如,斜升或斜降)期间观测的焊接电流和焊接电压的回归模型或具有观测的焊接电流和焊接电压的点斜率公式确定(方框228)  $R_{EE}$ 。利用 $R_{EE}$ 、在变化期间观测的焊接电流和焊接电压以及等式(3),控制电路确定(方框230)  $V_{降}$ 和 $V_{电弧}$ 之和作为 $\lambda$ 的值。控制电路从存储电路加载(方框256)关联于输入电弧参数和输入系统参数的数据。在一些实施例中,控制电路在发起(方框254)焊接工艺之前从存储电路加载(方框256)数据。可以理解的是,可以通过图7的方法220产生从存储电路加载的数据。

[0065] 利用从存储电路加载的一个或多个数据组,控制电路从 $\lambda$ 与 $I_{电弧}$ 之间的函数关系确定(方框258)电弧长度。在一些实施方式中, $\lambda$ 与 $I_{电弧}$ 之间的函数关系是基于 $\lambda$ 值具有不同函数的分段函数。在一些实施例中, $\lambda$ 和 $I_{电弧}$ 之间的函数关系是多项式函数(例如,三阶)。在从 $\lambda$ 确定电弧长度时,控制电路确定(方框260)从方框258确定的电弧长度与从方框252确定的电弧长度设定之间的差值。控制电路在闭环控制中控制(方框262)电源和/或送丝机以至少部分地基于电弧长度差值调节电弧长度。例如,控制电路可以控制功率转换电路和/或送丝机以调节电流波形(例如,背景电流、峰值电流、峰值持续时间、斜升速率、斜降速率)、电压波形(例如,背景电压、峰值电压、峰值持续时间、斜升速率、斜降速率)、脉冲频率、脉冲周期、电极伸出长度和送丝速率中的一个或多个,从而调节当前的脉冲波形或后续脉冲波形

的电弧长度。

[0066] 控制电路在闭环控制系统中确定并控制电弧长度。在一些实施例中，控制电路可以在脉冲周期内执行步骤228、230、256、258、260和262，从而允许控制电路控制供应到焊炬的每个脉冲波形的电弧长度。例如，控制电路可以监测一系列脉冲波形中的第一脉冲波形的焊接电流和焊接电压，确定在第一脉冲波形的峰值阶段开始时的电弧长度，并且在第一脉冲波形结束之前控制第一脉冲波形的电弧长度。在一些实施例中，控制电路可以利用来自第一脉冲波形（例如，波形n）的电弧长度来控制后续脉冲波形（例如，波形n+1、n+2、n+3、n+...等）的长度。

[0067] 在一些实施例中，如上所述的控制电路允许独立于电极伸出长度地控制电弧长度。独立于电极伸出长度地控制电弧长度可以允许操作员在相对深的接头中形成具有所需电弧长度的焊接。在一些实施例中，控制电路可以至少部分地基于电弧长度的变化确定焊炬的接触点上的磨损。例如，将脉冲波形传递到电极的磨损的接触点可以部分地熔合至电极上并且停止或减缓电极朝着工件的进给。这种部分熔合可以通过从第一脉冲波形到第二脉冲波形的一个或多个液滴直径（例如，阈值差）来改变电弧长度。因此，确定电弧长度的这种变化可以指示焊炬的磨损的接触点。控制电路可以通过操作界面通知操作员（例如，通过警报信号）磨损的接触点。

[0068] 在一些实施例中，控制电路可以至少部分地基于如上所述在等式(5)中确定的电极的电阻确定电极伸出长度和/或CTWD。例如，控制电路可以通过电极伸出长度与电极电阻之间的函数关系（例如，对于已知的电极直径， $\Omega/\text{mm}$ ）确定电极伸出长度。通过将第一脉冲波形期间确定的电阻与后续脉冲波形比较，控制电路可以确定焊炬的接触点的磨损程度和/或类型。控制电路可以利用统计分析以比较多个脉冲波形的确定的电阻，并且确定电极伸出长度、CTWD或接触尖端磨损或它们的任意组合。在一些实施例中，控制电路可以至少部分地基于确定的电阻、电极伸出长度或CTWD确定电极或熔池透过工件的渗透。例如，在维持基本恒定的CTWD时增大的电阻可以表示电极伸出长度正在增大并且熔池正渗透入工件中。因此，控制电路可以监测该电阻作为渗透的指标。

[0069] 概括地说，控制电路针对电流和/或电压变化（例如，增大或减小）监测脉冲波形，该电流和/或电压变化可以表示峰值阶段开始、峰值阶段结束或其他变化。在观测到电流和/或电压变化时，控制电路可以利用来自变化的采样的电流和电压值从回归模型或点斜率公式确定 $R_{EE}$ 。一旦确定 $R_{EE}$ ，控制电路利用等式(3)以及采样的电压和采样的电流值确定 $\lambda$ 值。在一些实施例中，控制电路可以控制脉冲波形以单独基于 $\lambda$ 调节电弧长度。单独基于 $\lambda$ 的调节允许控制电路在调节 $V_{降}$ 和 $V_{电弧}$ 时补偿 $V_{EE}$ 的变化（例如，由于电极伸出长度）。另外，或在替代方案中，控制电路可以从 $\lambda$ 以及从存储电路加载的一个或多个数据组确定 $I_{电弧}$ ，所述一个或多个数据组至少部分地关联于当前的焊接的电弧参数。在至少部分地基于 $I_{电弧}$ 的确定的闭环控制中，控制电路可以控制电源和/或电力馈线以调节当前脉冲波形和/或当前焊接的后续脉冲波形的 $V_{电弧}$ 和对应的 $I_{电弧}$ 。

[0070] 尽管本文中已经图示并描述了本发明的仅仅某些特征，但是本领域的技术人员将做出许多修改和变化。因此，应当理解的是，所附权利要求旨在涵盖落入本发明的真正精神范围内的所有这种修改和变化。

[0071] 元件列表

|        |    |          |
|--------|----|----------|
| [0072] | 10 | 电源       |
| [0073] | 12 | 送丝机      |
| [0074] | 14 | 导管       |
| [0075] | 16 | 焊炬       |
| [0076] | 18 | 工件       |
| [0077] | 20 | 操作界面     |
| [0078] | 22 | 控制电路     |
| [0079] | 24 | 功率转换电路   |
| [0080] | 26 | 箭头       |
| [0081] | 28 | 接口电路     |
| [0082] | 30 | 互补接口电路   |
| [0083] | 32 | 控制电路     |
| [0084] | 34 | 操作界面     |
| [0085] | 36 | 气体控制阀    |
| [0086] | 38 | 附图标记     |
| [0087] | 40 | 线轴       |
| [0088] | 42 | 焊丝       |
| [0089] | 44 | 离合器      |
| [0090] | 46 | 进给电动机    |
| [0091] | 48 | 进给辊      |
| [0092] | 50 | 转速计      |
| [0093] | 52 | 焊接电缆     |
| [0094] | 54 | 额外的牵引电动机 |
| [0095] | 56 | 触发开关     |
| [0096] | 58 | 夹具       |
| [0097] | 62 | 处理电路     |
| [0098] | 64 | 驱动电路     |
| [0099] | 66 | 存储电路     |
| [0100] | 78 | 焊接电弧     |
| [0101] | 80 | 电极       |
| [0102] | 82 | 曲线图      |
| [0103] | 84 | 接触点      |
| [0104] | 86 | 长度       |
| [0105] | 88 | 端部       |
| [0106] | 90 | 第一部分     |
| [0107] | 92 | 第二部分     |
| [0108] | 94 | 尖端       |
| [0109] | 96 | 电弧长度     |
| [0110] | 98 | 表面区      |



|        |     |            |
|--------|-----|------------|
| [0111] | 110 | 电压波形       |
| [0112] | 112 | 电压轴        |
| [0113] | 114 | 电流波形       |
| [0114] | 116 | 电流轴        |
| [0115] | 118 | 均跨过时间轴     |
| [0116] | 120 | 周期         |
| [0117] | 122 | 第一恒电压区段    |
| [0118] | 124 | 背景电压水平     |
| [0119] | 126 | 峰值电压水平     |
| [0120] | 128 | 峰值电流斜变率    |
| [0121] | 130 | 峰值电流水平     |
| [0122] | 132 | 区段         |
| [0123] | 134 | 速率         |
| [0124] | 136 | 峰值阶段时间     |
| [0125] | 138 | 背景电流斜变率    |
| [0126] | 140 | 附图标号       |
| [0127] | 142 | 背景电流水平     |
| [0128] | 144 | 电压降        |
| [0129] | 146 | 阈值电压       |
| [0130] | 148 | 再点火阶段      |
| [0131] | 150 | 再点火电流水平    |
| [0132] | 152 | 电压增大       |
| [0133] | 154 | 电弧再点火      |
| [0134] | 180 | 电流         |
| [0135] | 182 | 对应的电压      |
| [0136] | 184 | 点          |
| [0137] | 186 | 回归线        |
| [0138] | 200 | 图表         |
| [0139] | 204 | $\gamma$ 值 |
| [0140] | 206 | 数据点        |
| [0141] | 202 | 电弧长度       |
| [0142] | 208 | 第一回归模型     |
| [0143] | 210 | 第二回归模型     |
| [0144] | 212 | 多项式模型      |
| [0145] | 220 | 方法         |
| [0146] | 222 | 方框         |
| [0147] | 224 | 方框         |
| [0148] | 226 | 方框         |
| [0149] | 228 | 方框         |

---

|        |     |    |
|--------|-----|----|
| [0150] | 230 | 方框 |
| [0151] | 232 | 方框 |
| [0152] | 234 | 方框 |
| [0153] | 236 | 方框 |
| [0154] | 250 | 方法 |
| [0155] | 252 | 方框 |
| [0156] | 254 | 方框 |
| [0157] | 256 | 方框 |
| [0158] | 258 | 方框 |
| [0159] | 260 | 方框 |
| [0160] | 262 | 方框 |

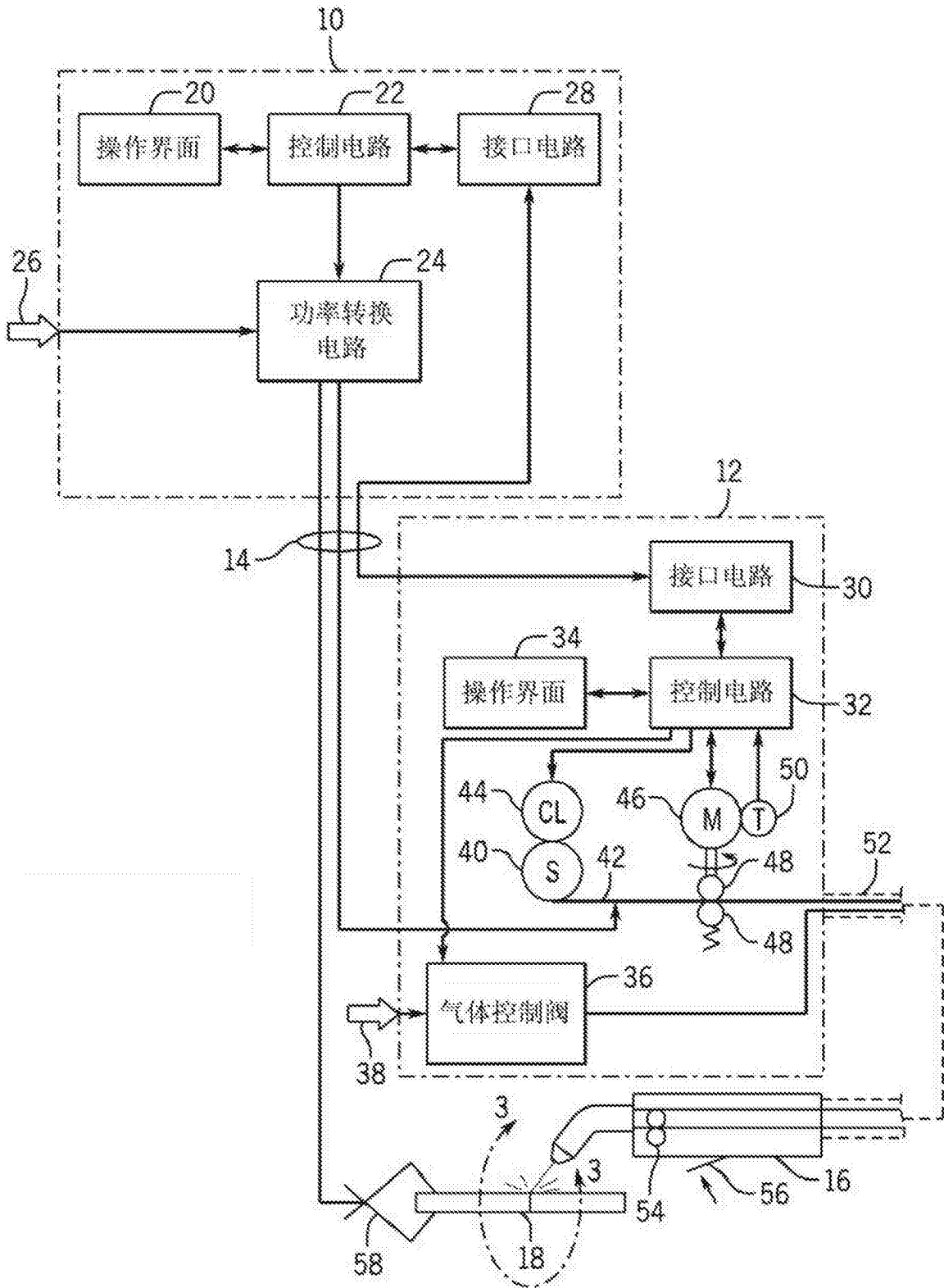


图1

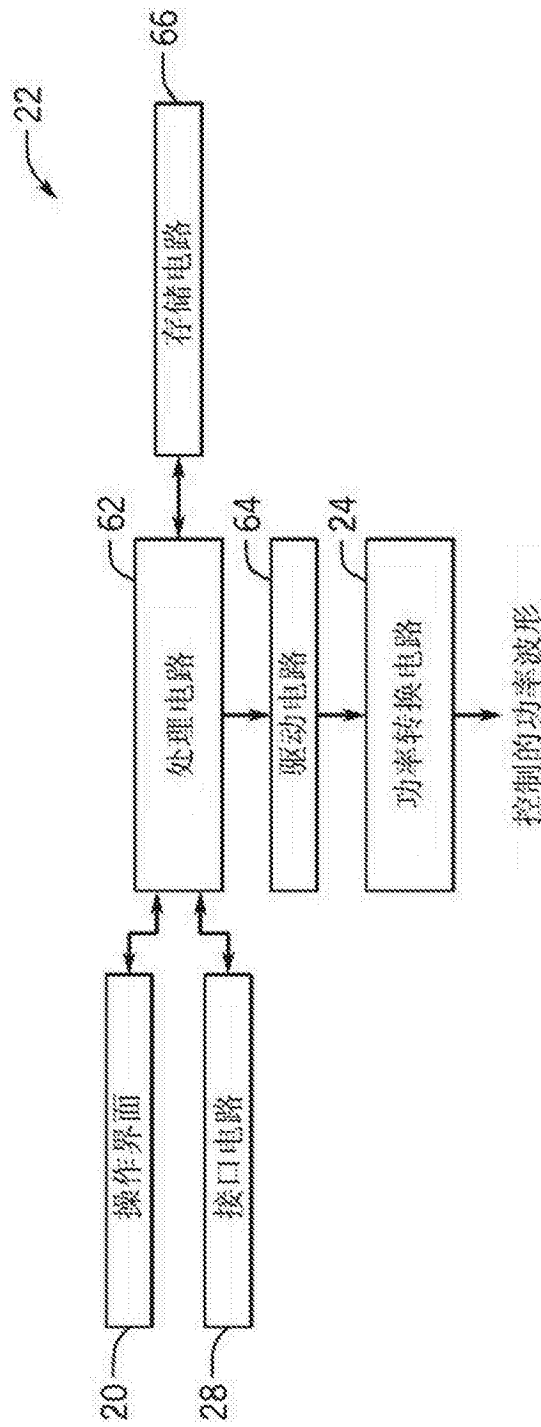


图2

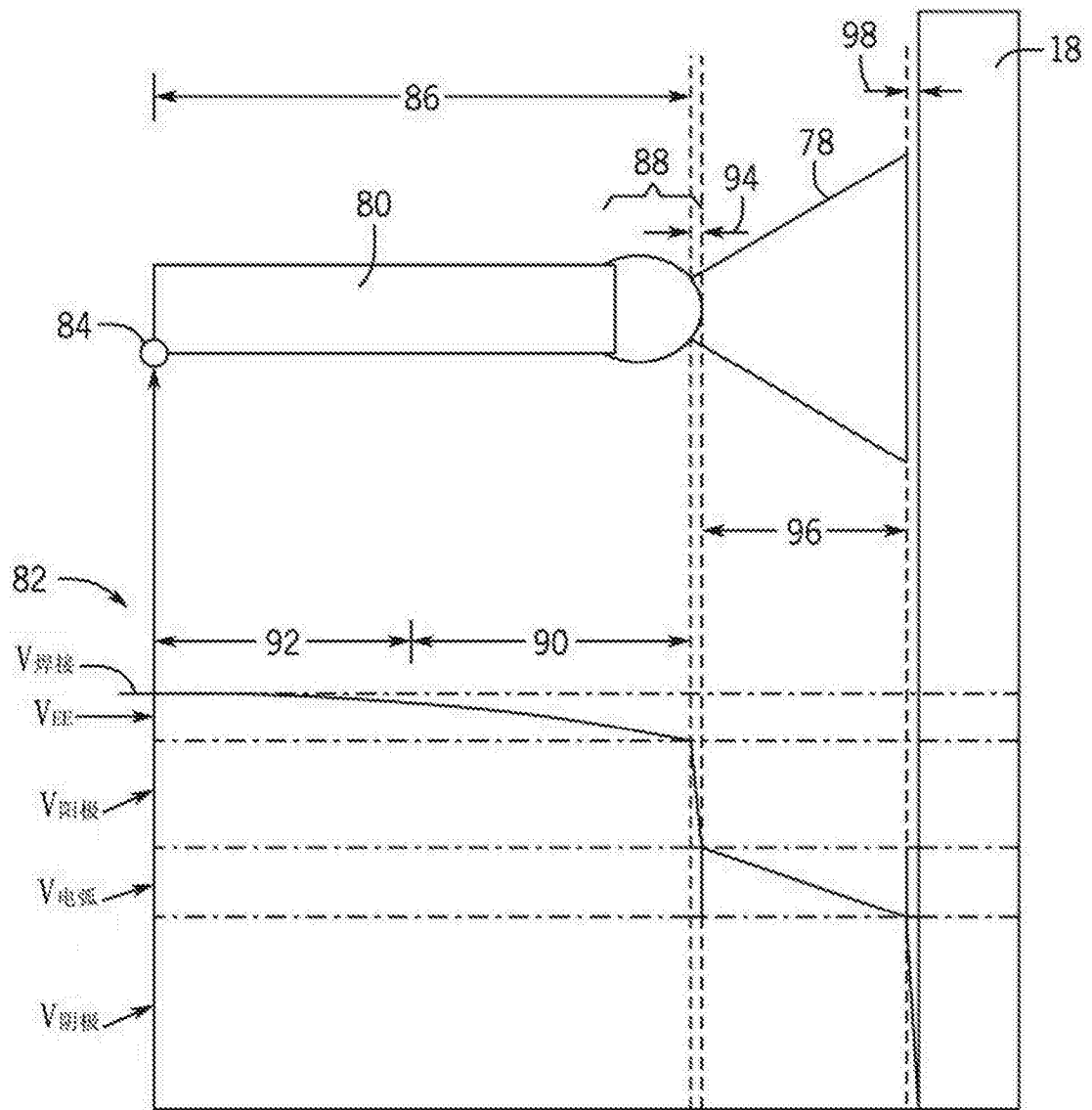


图3

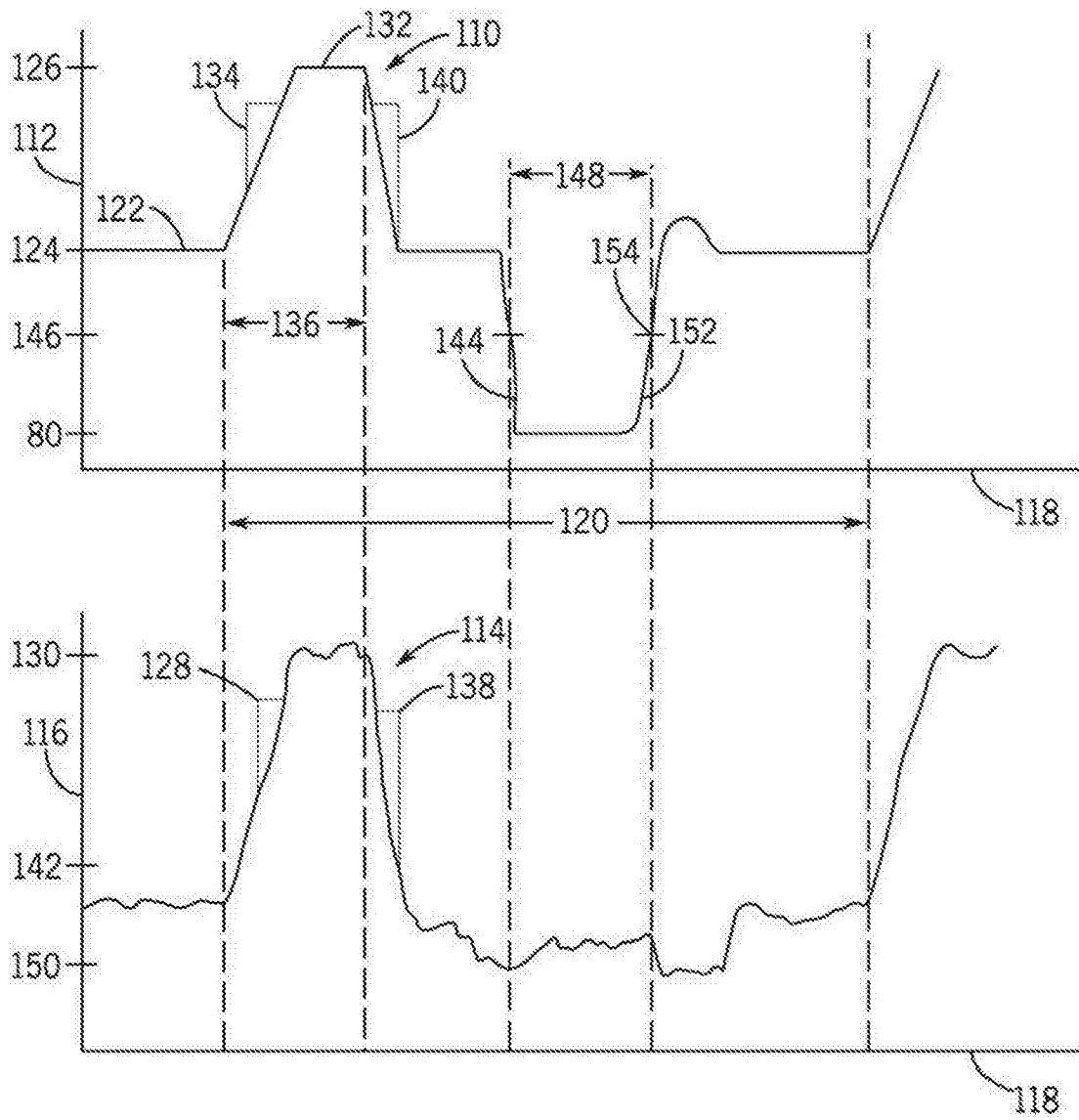


图4

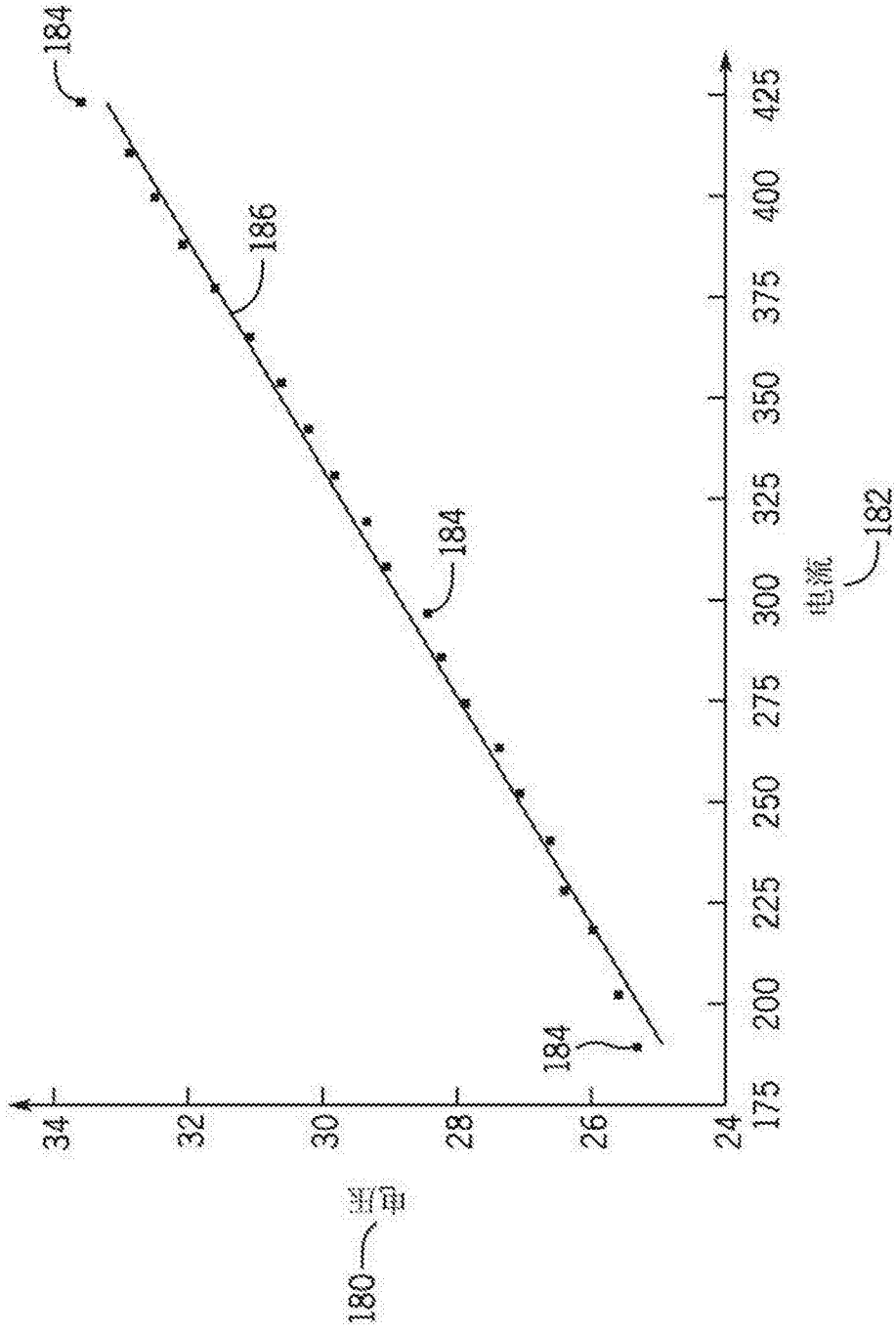


图5

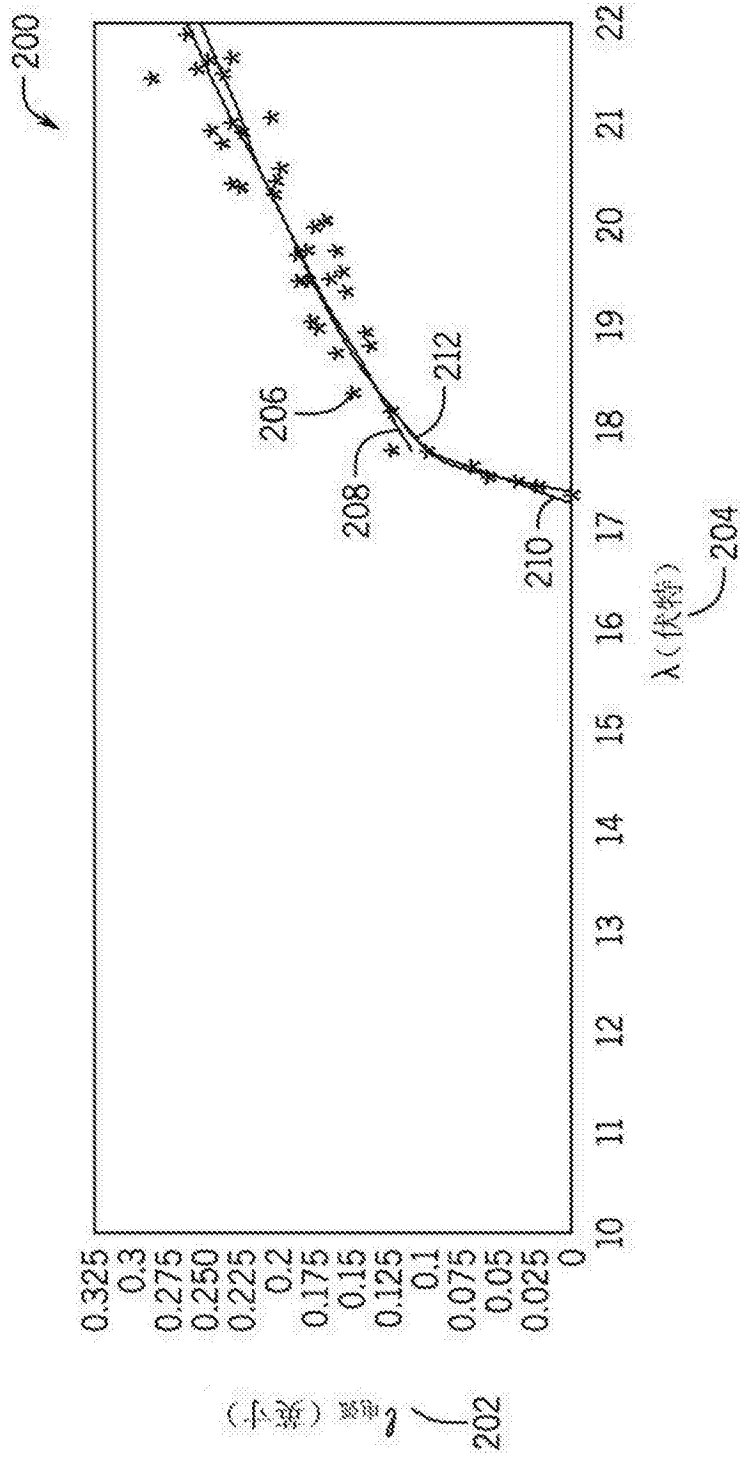


图6



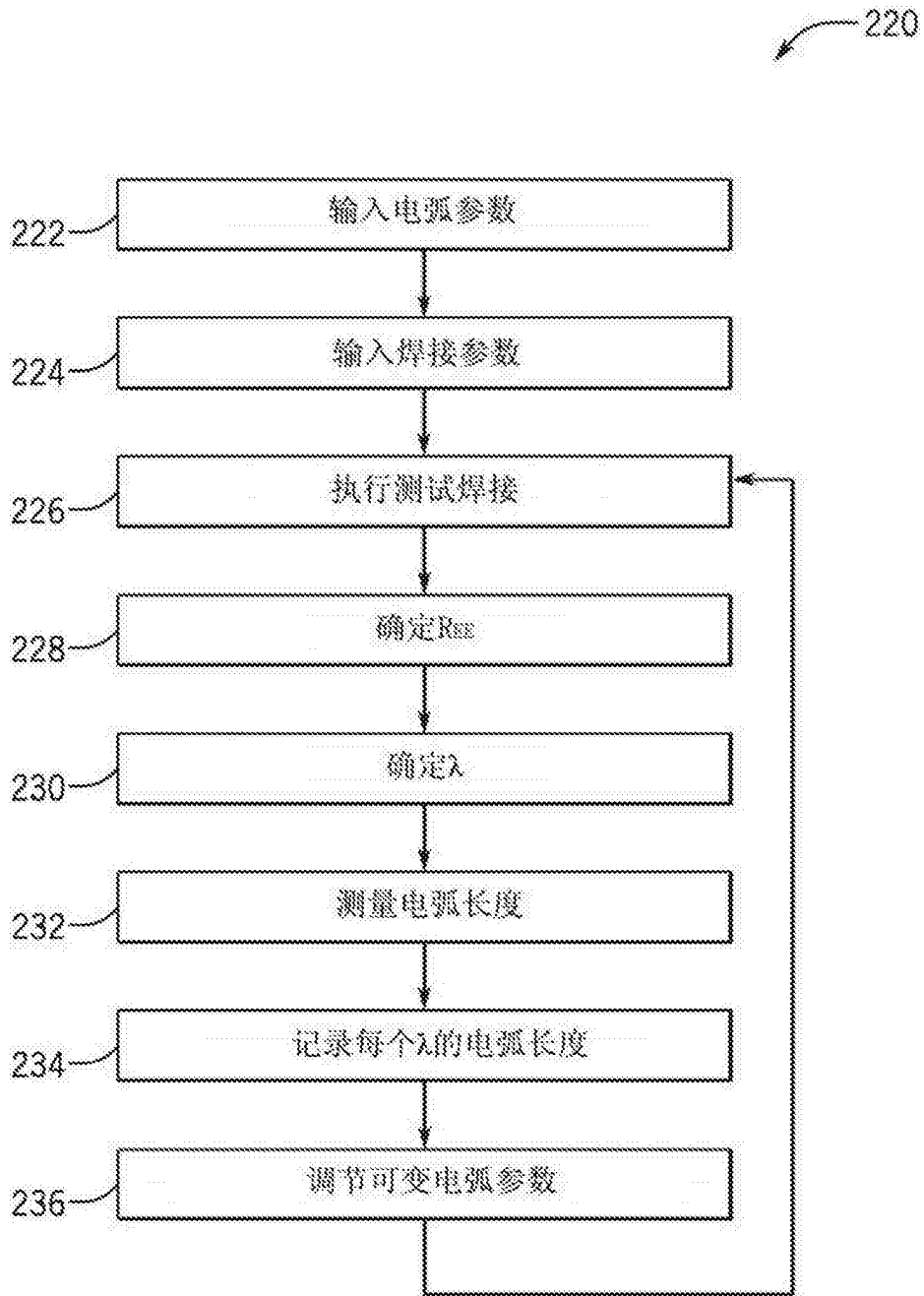


图7

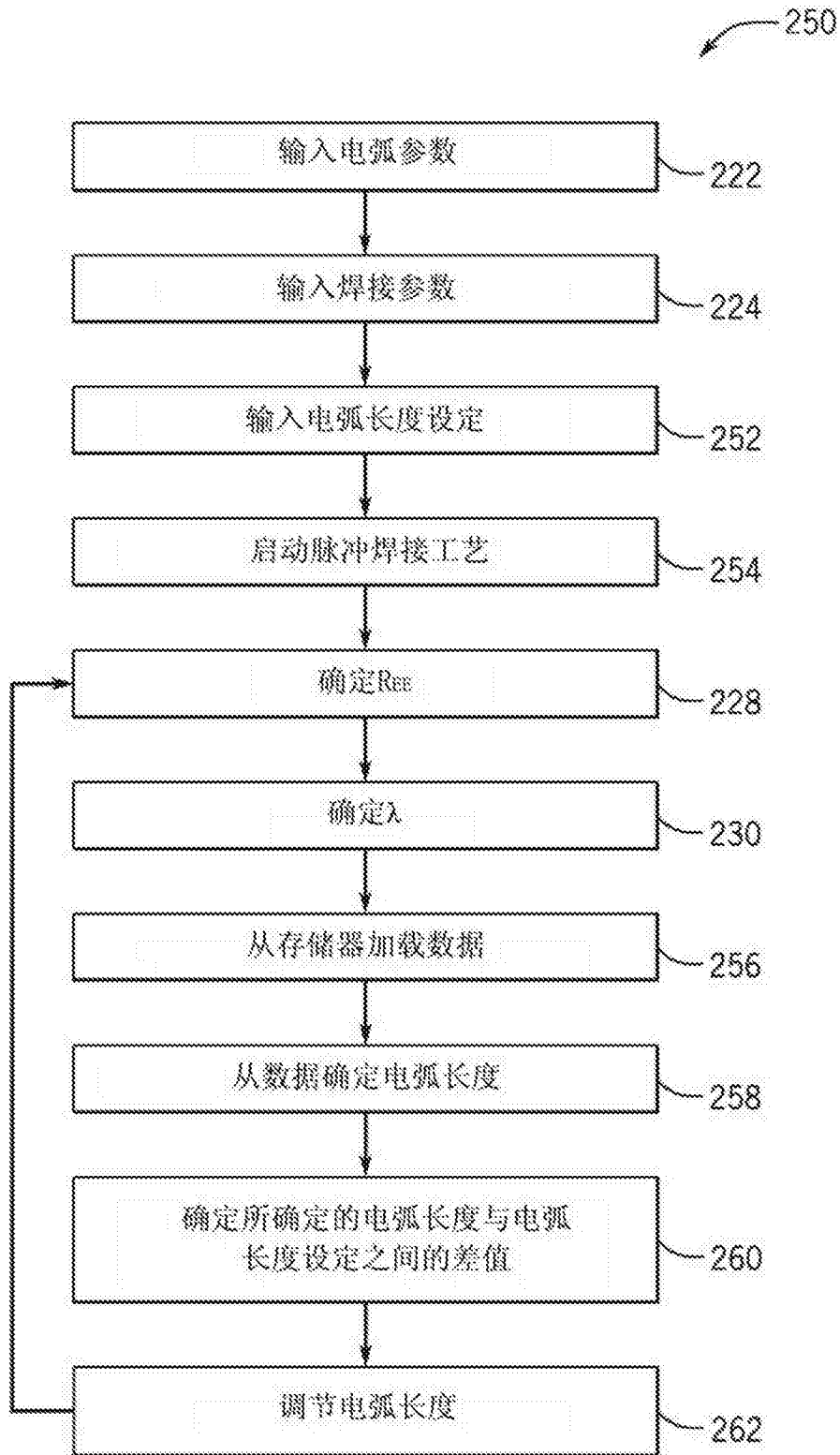


图8