



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113290222 B

(45) 授权公告日 2022.04.15

(21) 申请号 202110604069.5

(22) 申请日 2021.05.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113290222 A

(43) 申请公布日 2021.08.24

(73) 专利权人 江西理工大学
地址 341000 江西省赣州市章贡区红旗大道86号

专利权人 江西先进铜产业研究院

(72) 发明人 杨斌 黄晓东 黄学雨 宋小军
陈金水 彭勇

(51) Int. Cl.
B22D 11/22 (2006.01)
B22D 11/055 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 110666126 A, 2020.01.10

CN 103192048 A, 2013.07.10

CN 101984348 A, 2011.03.09

CN 101983800 A, 2011.03.09

CN 102059333 A, 2011.05.18

JP 2006328431 A, 2006.12.07

审查员 李星星

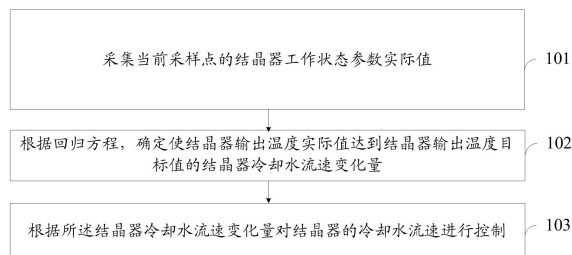
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法及系统

(57) 摘要

本发明涉及了一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法及系统,所述控制方法包括如下步骤:采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值;所述结晶器工作状态参数包括结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速和结晶器末端温度;根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量;根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。本发明根据结晶器工作状态参数实际值并采用回归方程实现了结晶器末端温度的自动精确的控制。



1. 一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,其特征在于,所述控制方法包括如下步骤:

采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值;所述结晶器工作状态参数包括结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速和结晶器末端温度;

根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量;

所述回归方程为:

$$T=aX_1+bX_2-cX_3+d$$

其中, T 表示结晶器末端温度, X_1 、 X_2 和 X_3 分别表示结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度和结晶器冷却水流速, a 、 b 和 c 分别表示结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度和结晶器冷却水流速的回归系数, d 表示常数项;

所述根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量,具体包括:

根据回归方程,利用公式 $\Delta X_3=(T^*-T)\div c$,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量;

其中, ΔX_3 表示结晶器冷却水流速变化量, c 表示结晶器冷却水流速的回归系数, T^* 表示结晶器末端温度目标值, T 表示结晶器末端温度实际值;

根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。

2. 根据权利要求1所述的真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,其特征在于,所述根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制,之后还包括:

判断下一个采样点是否到达,获得第一判断结果;

若所述第一判断结果表示是,则将下一个采样点作为当前采样点,返回步骤“采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值”。

3. 根据权利要求1所述的真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,其特征在于,所述根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制,之后还包括:

判断是否满足回归方程更新条件,获得第二判断结果;

若所述第二判断结果表示是,则根据回归方程更新时间点前的预设时间段内的多采样点的结晶器工作状态参数,重新确定回归方程。

4. 根据权利要求3所述的真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,其特征在于,所述回归方程更新条件包括到达回归方程更新时间点和/或结晶器末端温度实际值与利用回归方程计算得到的结晶器末端温度计算值的差值的绝对值大于偏差阈值。

5. 根据权利要求1所述的真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,其特征在于,采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值,具体包括:

通过设置在结晶器前端金属液导流槽内的第一温度传感器,获得结晶器入口金属液温度实际值;

通过设置在结晶器末端金属杆出口的第二温度传感器,获得结晶器末端温度实际值;

通过设置在结晶器进水口的第三温度传感器,获得结晶器进水口冷却水温度实际值;

通过设置在结晶器进水口的流速传感器,获得结晶器冷却水流速实际值。

6. 一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制系统,其特征在于,所述控制系统应用于权利要求1-5任一项所述的控制方法,所述控制系统包括:第一温度传感器、第二温度传感器、第三温度传感器、流速传感器和PLC控制器;

所述第一温度传感器设置在结晶器前端金属液导流槽内,所述第二温度传感器设置在结晶器末端金属杆出口,所述第三温度传感器和所述流速传感器均设置在结晶器进水口;

所述第一温度传感器、所述第二温度传感器、所述第三温度传感器和所述流速传感器分别与所述PLC控制器连接;

所述PLC控制器与设置结晶器进水口的电控节流阀的控制端连接;

所述PLC控制器用于根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量;根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。

7. 根据权利要求6所述的真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制系统,其特征在于,所述控制系统还包括边缘计算服务器;

所述边缘计算服务器与所述PLC控制器通过数据网关连接;

所述PLC控制器用于将结晶器工作状态参数实际值实时上传给所述边缘计算服务器;

所述边缘计算服务器用于对所述结晶器工作状态参数实际值进行存储,及当满足回归方程更新条件时,则根据回归方程更新时间点前的预设时间段内的多采样点的结晶器工作状态参数,重新确定回归方程,并将重新确定的回归方向发送给所述PLC控制器,对PLC控制器内使用的回归方程进行替换。

8. 根据权利要求7所述的真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制系统,其特征在于,所述回归方程更新条件包括到达回归方程更新时间点和/或结晶器末端温度实际值与利用回归方程计算得到的结晶器末端温度计算值的差值的绝对值大于偏差阈值。

一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及自动控制技术领域,特别是涉及一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法及系统。

背景技术

[0002] 真空水平连续铸造设备核心部件结晶器内腔材质为石墨,外部包裹铜质冷却水套,在水平连续铸造生产过程中,结晶器末端温度是与所铸造金属坯产品质量高度相关,如何实现结晶器末端温度的自动精确的控制成为一个亟待解决的技术问题。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法及系统,以实现结晶器末端温度的自动精确的控制。

[0004] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0005] 本发明提供一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,所述控制方法包括如下步骤:

[0006] 采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值;所述结晶器工作状态参数包括结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速和结晶器末端温度;

[0007] 根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量;

[0008] 根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。

[0009] 可选的,所述根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制,之后还包括:

[0010] 判断下一个采样点是否到达,获得第一判断结果;

[0011] 若所述第一判断结果表示是,则将下一个采样点作为当前采样点,返回步骤“采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值”。

[0012] 可选的,所述根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制,之后还包括:

[0013] 判断是否满足回归方程更新条件,获得第二判断结果;

[0014] 若所述第二判断结果表示是,则根据回归方程更新时间点前的预设时间段内的多采样点的结晶器工作状态参数,重新确定回归方程。

[0015] 可选的,所述回归方程更新条件包括到达回归方程更新时间点和/或结晶器末端温度实际值与利用回归方程计算得到的结晶器末端温度计算值的差值的绝对值大于偏差阈值。

[0016] 可选的,采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值,具体包括:

[0017] 通过设置在结晶器前端金属液导流槽内的第一温度传感器,获得结晶器入口金属

液温度实际值；

[0018] 通过设置在结晶器末端金属杆出口的第二温度传感器,获得结晶器末端温度实际值；

[0019] 通过设置在结晶器进水口的第三温度传感器,获得结晶器进水口冷却水温度实际值；

[0020] 通过设置在结晶器进水口的流速传感器,获得结晶器冷却水流速实际值。

[0021] 可选的,所述回归方程为：

[0022] $T = aX_1 + bX_2 - cX_3 + d$

[0023] 其中,T表示结晶器末端温度,X1、X2和X3分别表示结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度和结晶器冷却水流速,a、b和c分别表示结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度和结晶器冷却水流速的回归系数,d表示常数项。

[0024] 可选的,所述根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量,具体包括：

[0025] 根据回归方程,利用公式 $\Delta X_3 = (T^* - T) \div c$,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量；

[0026] 其中, ΔX_3 表示结晶器冷却水流速变化量,c表示结晶器冷却水流速的回归系数,T*表示结晶器末端温度目标值,T表示结晶器末端温度实际值。

[0027] 一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制系统,所述控制系统应用于上述控制方法,所述控制系统包括:所述控制系统包括:第一温度传感器、第二温度传感器、第三温度传感器、流速传感器和PLC控制器；

[0028] 所述第一温度传感器设置在结晶器前端金属液导流槽内,所述第二温度传感器设置在设置在结晶器末端金属杆出口,所述第三温度传感器和所述流速传感器均设置在结晶器进水口；

[0029] 所述第一温度传感器、所述第二温度传感器、所述第三温度传感器和所述流速传感器分别与所述PLC控制器连接；

[0030] 所述PLC控制器与设置结晶器进水口的电控节流阀的控制端连接；

[0031] 所述PLC控制器用于根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量；根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。

[0032] 可选的,所述控制系统还包括边缘计算服务器；

[0033] 所述边缘计算服务器与所述PLC控制器通过数据网关连接；

[0034] 所述PLC控制器用于将结晶器工作状态参数实际值实时上传给所述边缘计算服务器；

[0035] 所述边缘计算服务器用于对所述结晶器工作状态参数实际值进行存储,及当满足回归方程更新条件时,则根据回归方程更新时间点前的预设时间段内的多采样点的结晶器工作状态参数,重新确定回归方程,并将重新确定的回归方向发送给所述PLC控制器,对PLC控制器内使用的回归方程进行替换。

[0036] 可选的,所述回归方程更新条件包括到达回归方程更新时间点和/或结晶器末端温度实际值与利用回归方程计算得到的结晶器末端温度计算值的差值的绝对值大于偏差阈值。

[0037] 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:

[0038] 本发明公开了一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,所述控制方法包括如下步骤:采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值;所述结晶器工作状态参数包括结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速和结晶器末端温度;根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量;根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。本发明根据结晶器工作状态参数实际值并采用回归方程实现了结晶器末端温度的自动精确的控制。

[0039] 本发明还在满足回归方程更新条件时,重新根据历史采集数据确定回归方程,以进一步保证回归方程的精确性,进一步保证了自动控制过程中的精度。

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性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0041] 图1为本发明提供的一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法的流程图;

[0042] 图2为本发明提供的一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制系统的结构图。

具体实施方式

[0043] 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。

[0044] 本发明的目的是提供一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法及系统,以实现结晶器末端温度的自动精确的控制。

[0045] 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。

[0046] 如图1所示,本发明提供一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,所述控制方法包括如下步骤:

[0047] 步骤101,采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值;所述结晶器工作状态参数包括结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速和结晶器末端温度。

[0048] 步骤102,根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶

器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量。

[0049] 所述回归方程为：

$$[0050] \quad T = aX_1 + bX_2 - cX_3 + d$$

[0051] 其中，T表示结晶器末端温度， X_1 、 X_2 和 X_3 分别表示结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度和结晶器冷却水流速，a、b和c分别表示结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度和结晶器冷却水流速的回归系数，d表示常数项。

[0052] 步骤103，根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。

[0053] 步骤103所述根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程，确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量，具体包括：根据回归方程，利用公式 $\Delta X_3 = (T^* - T) \div c$ ，确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量；其中， ΔX_3 表示结晶器冷却水流速变化量，c表示结晶器冷却水流速的回归系数， T^* 表示结晶器末端温度目标值，T表示结晶器末端温度实际值。

[0054] 步骤103所述根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制，之后还包括：判断下一个采样点是否到达，获得第一判断结果；若所述第一判断结果表示是，则将下一个采样点作为当前采样点，返回步骤“采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值”。

[0055] 实际生产过程中，因结晶器磨损、更换新结晶器、结晶器冷却水套管路老化、内管壁结垢等工况变化，导致包含冷却水套在内的结晶器热传导条件发生变化，此时原有的回归方程将不再适用。因此，需要根据新的生产过程数据重新分析，得到新的回归方程，具体的：

[0056] 步骤103所述根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制，之后还包括：判断是否满足回归方程更新条件，获得第二判断结果；若所述第二判断结果表示是，则根据回归方程更新时间点前的预设时间段内的多采样点的结晶器工作状态参数，重新确定回归方程。所述回归方程更新条件包括到达回归方程更新时间点和/或结晶器末端温度实际值与利用回归方程计算得到的结晶器末端温度计算值的差值的绝对值大于偏差阈值。作为一种优选的实施方式但是不限于该实施方式，每晚11:50启动对单日所采集数据进行回归分析，得到回归方程，用此回归方程对原回归方程进行替换更新。

[0057] 其中，确定回归方程的步骤的具体实施例如下：

[0058] 在结晶器前端金属液导流槽加装温度传感器，以实时获取金属液进入结晶器前的温度。

[0059] 在结晶器末端金属杆引出口加装温度传感器，以实时获取刚刚引出结晶器金属杆的温度。

[0060] 调节不同流速，采集结晶器冷却水进水温度、冷却水流速实时数据。

[0061] 根据数据采集时间对各时点上述四个数据进行匹配，构成如表1所示的数据集。

[0062] 表1数据集

[0063]	结晶器入口金属液温度	结晶器冷却水进水温度	结晶器冷却水流速	结晶器出口金属杆温度
[0064]	1097	35	4.5	231
	1095	34	4.6	229
	1098	36	4.7	230

[0065] 采用机器学习方法对数据集进行相关性分析,得到结晶器末端温度(金属杆出口温度)与结晶器入口金属液温度、冷却水温度及冷却水流速的回归方程为:

$$[0066] \quad T=0.225X_1+1.067X_2-12.235X_3+4.236$$

[0067] 其中,T为结晶器末端温度, X_1 为结晶器入口金属液温度, X_2 为结晶器冷却水进水温度, X_3 为结晶器冷却水流速。

[0068] 采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值,具体包括:通过设置在结晶器前端金属液导流槽内的第一温度传感器,获得结晶器入口金属液温度实际值;通过设置在结晶器末端金属杆出口的第二温度传感器,获得结晶器末端温度实际值;通过设置在结晶器进水口的第三温度传感器,获得结晶器进水口冷却水温度实际值;通过设置在结晶器进水口的流速传感器,获得结晶器冷却水流速实际值。

[0069] 如图2所示,本发明还提供一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制系统,所述控制系统应用于上述控制方法,所述控制系统包括:所述控制系统包括:第一温度传感器、第二温度传感器、第三温度传感器、流速传感器和PLC控制器;所述第一温度传感器设置在结晶器前端金属液导流槽内,所述第二温度传感器设置在设置在结晶器末端金属杆出口,所述第三温度传感器和所述流速传感器均设置在结晶器进水口;所述第一温度传感器、所述第二温度传感器、所述第三温度传感器和所述流速传感器分别与所述PLC控制器连接;所述PLC控制器与设置结晶器进水口的电控节流阀的控制端连接;所述PLC控制器用于根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量;根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。

[0070] 生产过程中,采用数字采样控制器(PLC控制器)对结晶器末端温度进行自动控制。即通过采集实际出口金属杆温度及所设定出口金属杆温度,采用公式 $\Delta X_3 = (T^* - T) \div c$ 确定控制量,使用电控节流阀作为冷却水流速的控制执行元件,对结晶器冷却水流速进行调整,从而实现结晶器末端温度自动控制。

[0071] 实际生产过程中,因结晶器磨损、更换新结晶器、结晶器冷却水套管路老化、内管壁结垢等工况变化,导致包含冷却水套在内的结晶器热传导条件发生变化,此时原有的回归方程将不再适用。因此,需要根据新的生产过程数据重新分析,得到新的回归方程。

[0072] 本发明设置一台边缘计算服务器,通过数据网关连接PLC控制器,PLC控制器将采集到数据存储到边缘计算服务器的数据库当中,机器学习回归分析程序部署到边缘计算服

务器中,每晚11:50启动对单日所采集数据进行回归分析,得到回归方程,用此回归方程对原回归方程进行替换更新,具体的:

[0073] 所述控制系统还包括边缘计算服务器;所述边缘计算服务器与所述PLC控制器通过数据网关连接;所述PLC控制器用于将结晶器工作状态参数实际值实时上传给所述边缘计算服务器;所述边缘计算服务器用于对所述结晶器工作状态参数实际值进行存储,及当满足回归方程更新条件时,则根据回归方程更新时间点前的预设时间段内的多采样点的结晶器工作状态参数,重新确定回归方程,并将重新确定的回归方向发送给所述PLC控制器,对PLC控制器内使用的回归方程进行替换。所述回归方程更新条件包括到达回归方程更新时间点和/或结晶器末端温度实际值与利用回归方程计算得到的结晶器末端温度计算值的差值的绝对值大于偏差阈值。

[0074] 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:

[0075] 本发明公开了一种真空水平连铸结晶器内腔温度自动控制方法,所述控制方法包括如下步骤:采集当前采样点的结晶器工作状态参数实际值;所述结晶器工作状态参数包括结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速和结晶器末端温度;根据表征结晶器末端温度与结晶器入口金属液温度、结晶器进水口冷却水温度、结晶器冷却水流速之间关系的回归方程,确定使结晶器末端温度实际值达到结晶器末端温度目标值的结晶器冷却水流速变化量;根据所述结晶器冷却水流速变化量对结晶器的冷却水流速进行控制。本发明根据结晶器工作状态参数实际值并采用回归方程实现了结晶器末端温度的自动精确的控制。

[0076] 本发明还在满足回归方程更新条件时,重新根据历史采集数据确定回归方程,以进一步保证回归方程的精确性,进一步保证了自动控制过程中的精度。

[0077] 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。

[0078] 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。

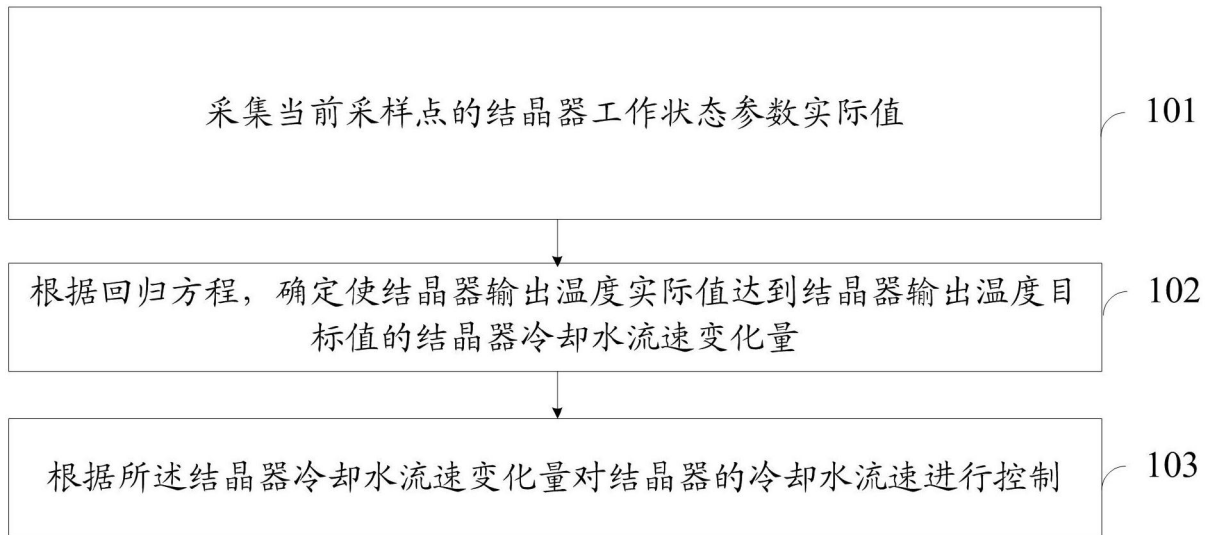


图1

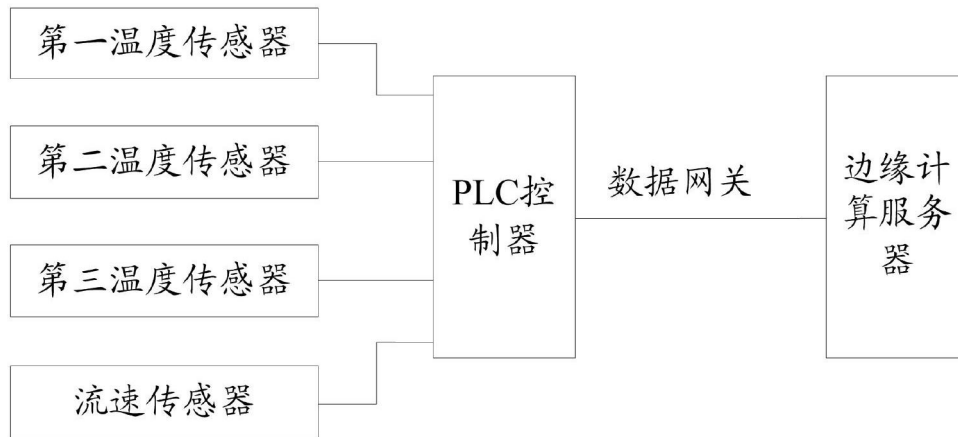


图2