

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 3 月 14 日 (14.03.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/050985 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01D 21/00 (2006.01) **G01K 13/00** (2021.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2022/134508
- (22) 国际申请日: 2022 年 11 月 25 日 (25.11.2022)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211077371.0 2022年9月5日 (05.09.2022) CN
- (71) 申请人: 中车长春轨道客车股份有限公司 (CRRC CHANGCHUN RAILWAY VEHICLES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国吉林省长春市长客路2001, Jilin 130000 (CN)。

- (72) 发明人: 谭富星 (TAN, Fuxing); 中国吉林省长春市长客路2001, Jilin 130000 (CN)。赵峻 (ZHAO, Jun); 中国吉林省长春市长客路2001, Jilin 130000 (CN)。邵晴 (SHAO, Qing); 中国吉林省长春市长客路2001, Jilin 130000 (CN)。刘洪涛 (LIU, Hongtao); 中国吉林省长春市长客路2001, Jilin 130000 (CN)。
- (74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司 (UNITALEN ATTORNEYS AT LAW CO., LTD.); 中国北京市朝阳区建国门外大街22号赛特广场7层, Beijing 100004 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING WORKING STATE OF CRYOSTAT MODEL

(54) 发明名称: 一种低温恒温模型工作状态的确定方法及装置

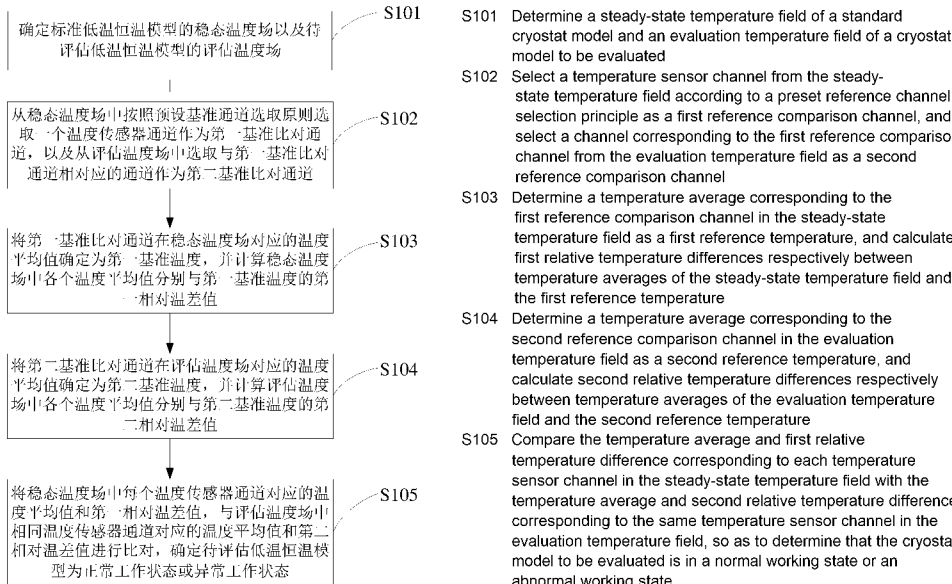


图 2

(57) Abstract: A method for determining the working state of a cryostat model, comprising: determining a steady-state temperature field of a standard cryostat model and an evaluation temperature field of a cryostat model to be evaluated (S101); determining the temperature average of a first reference comparison channel of the steady-state temperature field as a first reference temperature, and calculating first relative temperature differences respectively between temperature averages of the steady-state temperature field and the first reference temperature (S103); determining the temperature average of a second reference comparison channel of the evaluation

GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

temperature field as a second reference temperature, and calculating second relative temperature differences respectively between temperature averages of the evaluation temperature field and the second reference temperature (S104); and comparing temperature data corresponding to the same temperature sensor channels in the steady-state temperature field and the evaluation temperature field, so as to determine the working state of the cryostat model to be evaluated (S105). The working state of a cryostat model having a complex structure is identified on the basis of temperature field comparison in a spatial discrete form, and the method is suitable for temperature field analysis of vehicle-mounted cryostat models of superconducting maglev trains. Also disclosed is a device for determining the working state of a cryostat model.

(57) 摘要: 一种低温恒温模型工作状态的确定方法, 确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场 (S101), 将稳态温度场的第一基准比对通道的温度平均值确定为第一基准温度, 计算稳态温度场各个温度平均值分别与第一基准温度的第一相对温差值 (S103), 将评估温度场的第二基准比对通道的温度平均值确定为第二基准温度, 计算评估温度场各个温度平均值分别与第二基准温度的第二相对温差值 (S104), 将稳态温度场和评估温度场相同温度传感器通道对应的各温度数据进行比对, 以确定待评估低温恒温模型的工作状态 (S105)。基于空间离散形式的温度场对比来辨别复杂结构低温恒温模型的工作状态, 适用超导磁浮列车的车载低温恒温模型的温度场分析。还公开了低温恒温模型工作状态的确定装置。

一种低温恒温模型工作状态的确定方法及装置

本申请要求于 2022 年 09 月 05 日提交中国专利局、申请号为 202211077371.0、发明名称为“一种低温恒温模型工作状态的确定方法及装置”的国内申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5

技术领域

本发明涉及低温恒温模型技术领域，更具体的说，涉及一种低温恒温模型工作状态的确定方法及装置。

10 背景技术

低温恒温模型是一种通过输入低温流体介质或连接低温制冷机以建立低温恒温条件并与外界热绝缘的精密容器，可持续为车载超导线圈提供高真空、超深冷、强磁场的工作环境，是高温超导磁体系统的核心组成部件。

15 目前，高温超导磁浮列车所使用的车载低温恒温模型零部件数量多、内部构型复杂，涵盖高真空、超深冷、强磁场工作环境，对其结构、功能材料等方面均提出了极高要求。由于组成低温恒温模型的某些材料在承载超低温工作环境时容易发生机械脆转变或元件密封、绝缘等功能性失效现象，如包覆在线圈腔外表面多层绝热层的热稳定性衰减，或者柔性导冷
20 衔接件与导冷板之间的连接失效造成冷量传导性能欠佳等，最终导致超导线圈局部失超或额外磁场损失风险。因此，低温恒温模型的任何部位出现细微问题都会对车载高温超导磁体的整体可靠性和综合服役性能形成巨大挑战。

现阶段，针对低温恒温模型的温度场分析主要采用以下两种方式：①
25 基于虚拟样机的数值仿真计算法，即借助工程软件建立三维可视化模型，并利用有限元分析、边界条件限定或目标参数逼近等技术手段，通过后台数值计算与图像处理等多种方式，最终有效判断低温恒温模型热物理场的变化规律或趋势。②基于连续型温度场的数据采集测量法，即事先将多个温度传感器密集布置在低温恒温模型的连续位置，并借助数据采集系统形成的温度曲线来实时掌握其内部热力学情况的一种研究方法。

然而，高温超导磁浮列车车载低温恒温模型正常运行时，受电磁力、结构作用力和热流效应的共同影响，其内部约束载荷、所受应力应变情况复杂，不确定性因素多，因此，利用第①种数值仿真算法无法模拟出与实际服役工况完全一致的理想状态，计算结果存在偏差或误差。并且，对低温恒温模型边界条件的处理、软件求解器选择与容错率设定、计算机硬件线程将直接影响温度场的分析精度。由于车载低温恒温模型受导冷路径错综复杂、内部空间限制等因素影响，因此不宜采用第②种连续温度场测量法的热电阻传感器布置方案。另外，第②种方法不能准确评估低温恒温模型内部温度分布均匀性问题，存在技术可行性弊端和方法完整性缺陷。

5 综上所述，传统方案中的数值仿真算法和连续温度场测量法均不适用于面向超导磁浮车辆的低温恒温模型温度场分析，进而无法有效确定车载低温恒温模型的工作状态。

发明内容

15 有鉴于此，本发明公开一种低温恒温模型工作状态的确定方法及装置，以实现超导磁浮列车车载低温恒温模型的温度场分析，进而确定低温恒温模型的工作状态。

一种低温恒温模型工作状态的确定方法，包括：

20 确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场，其中，所述标准低温恒温模型和所述待评估低温恒温模型的结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同；

从所述稳态温度场中按照预设基准通道选取原则选取一个温度传感器通道作为第一基准比对通道，以及从所述评估温度场中选取与所述第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道；

25 将所述第一基准比对通道在所述稳态温度场对应的温度平均值确定为第一基准温度，并计算所述稳态温度场中各个温度平均值分别与所述第一基准温度的第一相对温差值；

将所述第二基准比对通道在所述评估温度场对应的温度平均值确定为第二基准温度，并计算所述评估温度场中各个温度平均值分别与所述第二

基准温度的第二相对温差值;

将所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值,与所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值进行比对,确定所述待评估低温恒温模型为正常
5 工作状态或异常工作状态。

可选的,所述预设基准通道选取原则为:在所述预设时间段内采集的温度数据的波动幅度小于幅度下限值,各个所述温度数据形成的时域-温度曲线不存在奇异点,且各个所述温度数据的平均值接近冷头转接装置或导冷衔接件处的温度。

10 可选的,所述标准低温恒温模型为:通过内部各个温度传感器通道在所述预设时间内获取的各个温度数据无跳跃式温升和曲线斜率突变现象,且在考虑离散空间基础上,各位置的温度分布梯度符合热力学基本规律的低温恒温模型。

可选的,所述确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒
15 温模型的评估温度场,包括:

将所述标准低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值,得到各自温度平均值,并将所述标准低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集,确定为所述稳态温度场;

20 将所述待评估低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值,得到各自温度平均值,并将所述待评估低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集,确定为所述评估温度场。

可选的,所述将所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平
25 均值和所述第一相对温差值,与所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值进行比对,确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态,包括:

以导冷传递路径主线为划分原则,绘制所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值的第一横向柱状图,其
30 中,每组所述第一横向柱状图表示所述标准低温恒温模型中的一条导冷路

径主线的温度对比情况，所述第一横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述标准低温恒温模型中的各个温度传感器通道；

绘制所述评估温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值的第二横向柱状图，其中，每组所述第二横向柱状图表示
5 所述待评估低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第二横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述待评估低温恒温模型中的各个温度传感器通道；

将所述稳态温度场中的各个所述第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的所述第二横向柱状图进行比对，确定所述待评
10 估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

可选的，所述将所述稳态温度场中的各个所述第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的所述第二横向柱状图进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态，包括：

若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势相近，则从离散
15 空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态；

若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势明显不同或不符合热力学基本规律，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒
20 温模型为异常工作状态。

一种低温恒温模型工作状态的确定装置，包括：

温度场确定单元，用于确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场，其中，所述标准低温恒温模型和所述待评估低温恒温模型的结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置
25 完全相同；

基准通道选取单元，用于从所述稳态温度场中按照预设基准通道选取原则选取一个温度传感器通道作为第一基准比对通道，以及从所述评估温度场中选取与所述第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道；

30 第一基准温度选取单元，用于将所述第一基准比对通道在所述稳态温

度场对应的温度平均值确定为第一基准温度，并计算所述稳态温度场中各个温度平均值分别与所述第一基准温度的第一相对温差值；

- 第二基准温度选取单元，用于将所述第二基准比对通道在所述评估温度场对应的温度平均值确定为第二基准温度，并计算所述评估温度场中各个温度平均值分别与所述第二基准温度的第二相对温差值；

工作状态确定单元，用于将所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值，与所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

- 10 可选的，所述温度场确定单元包括：

稳态温度场确定子单元，用于将所述标准低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述标准低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述稳态温度场；

- 15 评估温度场确定子单元，用于将所述待评估低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述待评估低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述评估温度场。

可选的，所述工作状态确定单元包括：

- 20 第一柱状图绘制子单元，用于以导冷传递路径主线为划分原则，绘制所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值的第一横向柱状图，其中，每组所述第一横向柱状图表示所述标准低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第一横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述标准低温恒温模型中的各个
- 25 温度传感器通道；

- 第二柱状图绘制子单元，用于绘制所述评估温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值的第二横向柱状图，其中，每组所述第二横向柱状图表示所述待评估低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第二横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述待评估低温恒温模型中的各个温度传感器通道；
- 30

比对于单元，用于将所述稳态温度场中的各个所述第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的所述第二横向柱状图进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

可选的，所述比对于单元具体用于：

- 5 若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势相近，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态；

- 10 若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势明显不同或不符合热力学基本规律，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为异常工作状态。

- 从上述的技术方案可知，本发明公开了一种低温恒温模型工作状态的确定方法及装置，确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场，标准低温恒温模型和待评估低温恒温模型的结构、
- 15 制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同，从稳态温度场中按照预设基准通道选取原则选取一个温度传感器通道作为第一基准比对通道，以及从评估温度场中选取与第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道，将第一基准比对通道在稳态温度场对应的温度平均值确定为第一基准温度，并计算稳态温度场中各个温度平均值分别与第一基准
- 20 温度的第一相对温差值，将第二基准比对通道在评估温度场对应的温度平均值确定为第二基准温度，并计算评估温度场中各个温度平均值分别与第二基准温度的第二相对温差值，将稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和第一相对温差值与评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和第二相对温差值进行比对，确定待评估低温恒温模型为正常
- 25 工作状态或异常工作状态。本发明在确定待评估低温恒温模型的工作状态时，选取了一个与其结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同的标准低温恒温模型，针对标准低温恒温模型的稳态温度场和待评估低温恒温模型的评估温度场，采用基于空间离散形式的温度场对比来辨别结构复杂的低温恒温模型的工作状态，无需利用理论公式解析或

多场耦合仿真计算，即可适用于针对超导磁浮列车的车载低温恒温模型的
温度场分析，进而能够有效确定其工作状态。

附图说明

5 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
实施例或现有技术描述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，还可以根据公开的附图获得其他的附图。

10 图1为本发明实施例公开的一种超导磁浮列车使用的低温恒温模型关
键部件组成示意图；

图2为本发明实施例公开的一种低温恒温模型工作状态的确定方法流
程图；

图3（a）为本发明实施例公开的一种导冷板及其周边区域温度采集点
（部分）的布置示意图；

15 图3（b）为本发明实施例公开的一种导冷板及其周边区域结构平视示
意图；

图4为本发明实施例公开的一种相关温度传感器通道归纳分类流程框
图；

图5（a）为本发明实施例公开的一种稳态温度场的柱状图；

20 图5（b）为本发明实施例公开的一种待评估温度场的柱状图；

图6为本发明实施例公开的一种低温恒温模型工作状态的确定装置的
结构示意图。

具体实施方式

25 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。

为便于理解,参见图1,本发明公开了一种超导磁浮列车使用的车载低温恒温模型关键部件组成示意图,低温恒温模型主要包括:外腔体真空腔1、内腔体线圈腔2、主支撑装置3、悬浮架连接座4、导冷结构5、制冷装置6、励磁装置7、热沉装置8和高温超导线圈9。其中,内腔体线圈腔2、导冷结构5、热沉装置8和高温超导线圈9完全放置在外腔体真空腔1的内部;制冷装置6、励磁装置7和主支撑装置3介于外腔体真空腔1与外部环境之间;悬浮架连接座4完全处在外部环境下。励磁装置7先经过热沉装置8再连接至高温超导线圈9;制冷装置6先经过导冷结构5再连接至内腔体线圈腔2。内腔体线圈腔2与高温超导线圈9是直接接触的,但与外腔体真空腔1不形成直接接触关系。

图1所示的低温恒温模型中,设有两套高温超导线圈9(分别为1号和2号),采用串联连接方式,合理匹配安装在内腔体线圈腔2的内部,用于提供悬浮、驱动和导向所需的磁场。

内腔体线圈腔2为低温腔体,外表面包覆多层绝热层,用来尽可能降低辐射换热热流对线圈的不利影响。外腔体真空腔1为常温腔体,与内腔体线圈腔2之间留有适度间隙。两者形成杜瓦结构,通过削弱对流换热作用,为创造高真空绝热环境奠定有利条件。

主支撑装置3用于承载线圈所受的洛伦兹力并将其传递至车体,是机械部分的重要结构件。装置一端连接在处于约35K冷态的超导线圈内部,另一端连接在处于常温的悬浮架侧梁上,形成巨大的漏热热桥,是线圈腔2漏热的主要来源。

两套高温超导线圈9共用一套导冷结构。导冷结构5是可双向传递(冷量为正向,热流为反向)或交换高温超导线圈9区域与制冷装置6之间能量的复杂连接媒介,工作温度极限值可在20K以下。

励磁装置7用于给两套高温超导线圈9进行充电,产生满足目标磁场的磁动势;热沉装置8利用冷态介质控制电流引线的焦耳产热和传导漏热,避免内腔体线圈腔2偏离超导态工作温区。

所有为该低温恒温模型导冷或传热服务的、能够保证低温恒温模型发挥固有功能的诸多部件,例如附着在高温超导线圈9周围的无氧高纯铜块等,根据功能属性或设计要求,在所有可能造成低温恒温模型导冷(或传

热)异常或阻碍其无法保持真空、低温环境的位置采用可靠的低温螺栓连接或低温密封结构、材料,保证低温恒温模型拥有足够的强度和良好的使用性能。

- 5 首先需要说明的是,在对低温恒温模型工作状态进行确定之前,需要明确低温恒温模型内部设计结构,详见图 1。确定低温恒温模型整体装配工艺流程,以及容易出现漏热和故障的具体位置。

本实施例在确定低温恒温模型工作状态时,是在合拢低温恒温模型腔体后执行的。其中,在合拢低温恒温模型腔体之前,需要充分考虑低温恒温模型内部各机构所在位置及其发挥的功能作用。根据预估的冷量传输路
10 径,将 PT100 热电阻温度传感器布置在低温恒温模型重要且合理的位置。

在实际应用中,布置在每个位置的温度传感器均各自形成独立的采集通道,互相之间无干涉影响。具体操作方法为:先将双组分胶黏剂平摊涂在预布置温度传感器区域;利用速干胶将温度传感器与导热性良好的铝片
15 粘牢,以增大与待测表面的接触面积,并压制在双组分胶黏剂表面;待试剂完全凝固后,温度传感器通道即安装完毕。

以低温恒温模型内部各结构属性和不同热传导形式为基准思路,确定导冷传递路径的几大主线,并将布置的各个温度传感器通道分类划别。同时以冷量在空间域内传输的先后时间顺序为依据,定义每条主线内部各温
20 度传感器通道的排布序列。

合拢低温恒温模型腔体后,利用软硬件相结合方式来实现对温度传感器所采集温度数据的实时测量。具体做法为:将温度传感器外部引线逐条连接至数据采集系统硬件层面中采集板卡的集线器上,并利用多量程万能表检测传感器端与集线器端的线路连接可靠性。采集板卡负责将每个温度
25 传感器通道的数据汇总并以总线形式传输至数据采集软件中,采集软件后台则通过插值处理与电信号转换等多种技术手段,能够监控并使布置在低温恒温模型内部各离散空间的温度传感器的变化数据分别以单条时域曲线形式实时输出,最终集成在人机交互界面中显示。

本发明实施例公开了一种低温恒温模型工作状态的确定方法及装置,
30 在确定待评估低温恒温模型的工作状态时,选取了一个与其结构、制造工

艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同的标准低温恒温模型，针对标准低温恒温模型的稳态温度场和待评估低温恒温模型的评估温度场，采用基于空间离散形式的温度场对比来辨别结构复杂的低温恒温模型的工作状态，无需利用理论公式解析或多场耦合仿真计算，即可适用于针对超导磁浮列车的车载低温恒温模型的温度场分析，进而能够有效确定其工作状态。

参见图2，本发明实施例公开的一种低温恒温模型工作状态的确定方法流程图，该方法包括：

步骤S101、确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场；

其中，标准低温恒温模型和待评估低温恒温模型的结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同。

在实际应用中，标准低温恒温模型和待评估低温恒温模型各自对应一个数据采集设备来采集温度数据。

需要说明的是，稳态温度场指的是在一定时间范围内，各通道温度对时间的偏导数接近零或温度动态曲线斜率浮动较微弱时所形成的温度场，又称标准温度场。

本实施例中，稳态温度场包括：标准低温恒温模型中每个温度传感器通道在预设时间段内采集的所有温度数据的平均计算值。同样，评估温度场包括：待评估低温恒温模型中每个温度传感器通道在预设时间段内采集的所有温度数据的平均计算值，预设时间段的取值依据实际需要而定，比如72小时，本发明在此不做限定。

本实施例中的标准低温恒温模型为：通过内部各个温度传感器通道在所述预设时间内获取的各个温度数据无跳跃式温升和曲线斜率突变现象，且在考虑离散空间基础上，各位置的温度分布梯度符合热力学基本规律的低温恒温模型。

在实际应用中，结合采集系统界面显示的各传感器动态温度曲线，并依据结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同的两个低温恒温模型在长期跟踪测试过程中所形成的响应特性。针对其中一个低温恒温模型，若其内部通过传感器获得的各个温度数据在预设时间段内

无跳跃式温升和曲线斜率突变现象，且在考虑离散空间基础上，各位置的
温度分布梯度符合热力学基本规律，则将该低温恒温模型确定为标准低温
恒温模型，并将另一个低温恒温模型确定为待评估低温恒温模型。

步骤 S102、从所述稳态温度场中按照预设基准通道选取原则选取一个
5 温度传感器通道作为第一基准比对通道，以及从所述评估温度场中选取与
所述第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道；

其中，预设基准通道选取原则为：在预设时间段内采集的温度数据的
波动幅度小于幅度下限值，各个所述温度数据形成的时域-温度曲线不存在
奇异点，且各个所述温度数据的平均值接近冷头转接装置或导冷衔接件处
10 的温度。

幅度下限值可以选取一个接近于 0 的数，使选取的第一基准比对通道
在预设时间段内采集的温度数据的波动幅度极小，基本可以忽略不计。

步骤 S103、将所述第一基准比对通道在所述稳态温度场对应的温度平
均值确定为第一基准温度，并计算所述稳态温度场中各个温度平均值分别
15 与所述第一基准温度的第一相对温差值；

本发明将第一基准温度作为稳态温度场中的标杆数据，用于体现标准
低温恒温模型中第一基准温度与除第一基准比对通道以外的温度传感器通
道的温度平均值的相对温差或温度梯度变化趋势。

步骤 S104、将所述第二基准比对通道在所述评估温度场对应的温度平
20 均值确定为第二基准温度，并计算所述评估温度场中各个温度平均值分别
与所述第二基准温度的第二相对温差值；

本发明将第二基准温度作为评估温度场中的标杆数据，用于体现待评
估低温恒温模型中第二基准温度与除第二基准比对通道以外的温度传感器
通道的温度平均值的相对温差或温度梯度变化趋势。

25 步骤 S105、将所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均
值和所述第一相对温差值，与所述评估温度场中相同温度传感器通道对应
的温度平均值和所述第二相对温差值进行比对，确定所述待评估低温恒温
模型为正常工作状态或异常工作状态。

在实际应用中，当稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均
30 值和第一相对温差值，与评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平

均值和第二相对温差值的变化趋势相近时，则确定待评估低温恒温模型为正常工作状态，反之，则确定待评估低温恒温模型为异常工作状态。

当待评估低温恒温模型为异常工作状态时，表明待评估低温恒温模型的局部或整体出现了问题（一般为内部交界面接触不良或结构功能性失效问题），可结合图 1 判定出现故障的具体区域或空间位置，并制订针对性维修维护方案。

5 综上所述可知，本发明公开了一种低温恒温模型工作状态的确定方法，确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场，标准低温恒温模型和待评估低温恒温模型的结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同，从稳态温度场中按照预设基准通道选取原则选取一个温度传感器通道作为第一基准比对通道，以及从评估温度场中选取与第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道，将第一基准比对通道在稳态温度场对应的温度平均值确定为第一基准温度，并计算稳态温度场中各个温度平均值分别与第一基准温度的第一相对温差值，将第二基准比对通道在评估温度场对应的温度平均值确定为第二基准温度，并计算评估温度场中各个温度平均值分别与第二基准温度的第二相对温差值，将稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和第一相对温差值与评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和第二相对温差值进行比对，确定待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。本发明在确定待评估低温恒温模型的工作状态时，选取了一个与其结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同的标准低温恒温模型，针对标准低温恒温模型的稳态温度场和待评估低温恒温模型的评估温度场，采用基于空间离散形式的温度场对比来辨别结构复杂的低温恒温模型的工作状态，无需利用理论公式解析或多场耦合仿真计算，即可适用于针对超导磁浮列车的车载低温恒温模型的温度场分析，进而能够有效确定其工作状态。

为进一步优化上述实施例，步骤 S101 具体可以包括：

30 将所述标准低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述标准低

温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述稳态温度场；

- 将所述待评估低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述待评估低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述评估温度场。

其中，预设时间段的取值依据实际需要而定，比如 72 小时，本发明在此不做限定。

- 10 为进一步优化上述实施例，步骤 S105 具体可以包括：

以导冷传递路径主线为划分原则，绘制所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值的第一横向柱状图；

绘制所述评估温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值的第二横向柱状图；

- 15 将所述稳态温度场中的各个所述第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的所述第二横向柱状图进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

- 本实施例中，每组所述第一横向柱状图表示所述标准低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第一横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述标准低温恒温模型中的各个温度传感器通道，每个温度传感器通道由上下两个长条图组成，上长条表示该温度传感器通道的阶段性温度平均值，下长条表示该温度传感器通道与第一基准比对通道温度平均值的第一相对温差值。

- 25 每组所述第二横向柱状图表示所述待评估低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第二横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述待评估低温恒温模型中的各个温度传感器通道，每个温度传感器通道由上下两个长条图组成，上长条表示该温度传感器通道的阶段性温度平均值，下长条表示该温度传感器通道与第二基准比对通道温度平均值的第二相对温差值。

- 30 在实际应用中，以导冷传递路径主线为划分原则，利用数字化工具绘

制稳态温度场的多组第一横向柱状图以及评估温度场的多组第二横向柱状图。

其中，将稳态温度场中的各个第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的第二横向柱状图进行比对，确定待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态，具体包括：

若评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势相近，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态；

10 若评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势明显不同或不符合热力学基本规律，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为异常工作状态。

15 在实际应用中，将稳态温度场的每组第一横向柱状图与评估温度场的第二横向柱状图逐个进行对比分析，即每次只比较同一组内稳态温度场和评估温度场中各个传感器通道的数据规律。

若评估温度场中各传感器通道的温度平均值以及第二基准温度变化规律与稳态温度场中对应通道的变化趋势相近，则从离散空间温度场分析角度可以说明，待评估低温恒温模型处于正常工作状态。

20 若评估温度场中某个或多个传感器通道的温度平均值与第二基准温度的温差呈现出与稳态温度场中明显不同或不符合热力学规律的变化趋势，则说明待评估低温恒温模型的局部或整体出现了问题（一般为内部交界面接触不良或结构功能性失效问题），此时需要结合图1确定其问题形成的具体区域或空间位置，并制订针对性维修维护方案。

25 综上所述，本发明公开的低温恒温模型工作状态的确定方法，所形成的温度场均为空间离散形式，适用于诸如高温超导磁浮列车使用的结构复杂的大型低温恒温模型评估分析。通过逆向思维，无需利用理论公式解析或多场耦合仿真计算，即可直观、准确、便捷的找到造成超导磁体故障或异常响应的各类可能原因，实用性高。也可利用该方法研究不同时段温度场的规律特性，实现探索超导磁浮列车车载低温恒温模型内部复杂热力学

30

机理的技术目标。

现以某超导磁浮工程试验样车用低温恒温模型为研究对象，利用本发明提出的低温恒温模型离散温度场分析方法，对服役状态下的低温恒温模型导冷板及其周边区域故障发生点的探寻过程进行分析。

本实施例中，所涉及的两台车载低温恒温实体模型完全相同，以保证温度场评估的准确性和可靠性。

图3a为导冷板及其周边区域温度采集点（部分）的布置示意图，数量共有9个，采集通道编号依次为#1-#9。以内腔体线圈腔中导冷铜条背侧（#0号通道，图中未标出）所采集数据作为比对基准。

图3b所示的导冷板及其周边区域下盖板侧，分为冷头转接装置表面（#1）、柔性导冷衔接件附近位置（#2）、近冷头端导冷板底部区域（#3）、导冷板中心区域（#4）、远冷头端导冷板顶部区域（#5），共布置5处。

图3b所示的导冷板及其周边区域上盖板侧，分为1号超导线圈与2号超导线圈内直线边位置（#6、#8）、1号超导线圈与2号超导线圈圆弧过渡段位置（#7、#9），共布置4处。

图4将所涉及温度传感器进行了归纳分类。高温超导磁浮列车车载低温恒温模型导冷板及其周边区域热电阻温度传感器的布置位置包括：冷头转接装置表面（#1）、柔性导冷衔接件附近（#2）、导冷板区域以及超导线圈区域。其中，导冷板区域又可扩展为近冷头端导冷板底部区域（#3）、导冷板中心区域（#4）、远冷头端导冷板顶部区域（#5）；超导线圈区域由1号线圈和2号线圈组成，1号超导线圈包括：线圈内直线边位置（#6）和线圈圆弧过渡段位置（#7），2号超导线圈包括：线圈内直线边位置（#8）和线圈圆弧过渡段位置（#9）。

25

正常状态下，若超导线圈有从常温降温至超深冷环境的需求，低温制冷机工作后，冷头转接装置的温度应最先开始降低。相比于2号超导线圈，冷头与1号超导线圈所在位置的空间距离更近，当冷量经柔性导冷衔接件传递至导冷板时，导冷板各区域会随着与冷头距离的改变而形成温度梯度，但在持续制冷条件下不会相差太大。超导线圈安装在线圈腔内部，因而导

30

冷板的作用在于维系线圈区域的冷态、吸走线圈腔内的多余热量，避免储冷物质发生相态转变，造成超导线圈升温退出超导态。根据热力学第一定律，导冷板各位置会比两个超导线圈所在位置的温稍低，图5（a）所示的稳态温度场即符合上述规律。并且，各采集点与#0号通道的温差均保持在很小范围内。

但结合图5（b）所示的待评估温度场的柱状图，可以发现：导冷板中心区域（#4）的平均温度十分反常，与其余采集位置形成了明显的温度梯度。此时可从不同维度来分析该现象的形成原因，从热力学角度出发，应判断是否因低温恒温模型内气压的异常波动造成了腔体温度分布呈现不均匀状态；从工艺装配角度出发，应考虑腔体合拢过程中的操作技术问题，或因柔性导冷衔接件至导冷板侧向接触面的焊锡量不足，或因涂抹在线圈腔腔体与导冷板之间的润滑脂未能很好发挥密封贴合效果等。

通过以上对稳态温度场和待评估温度场的对比分析，针对高温超导磁浮列车的车载低温恒温模型出现的反常现象，可快速、有针对性地追溯到造成该故障的各个项点，对后续解决问题、保障超导磁体系统的正常服役状态提供实质性帮助。

与上述方法实施例相对应，本发明还公开了一种低温恒温模型工作状态的确定装置。

参见图6，本发明实施例公开的一种低温恒温模型工作状态的确定装置的结构示意图，该装置包括：

温度场确定单元 201，用于确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场，其中，所述标准低温恒温模型和所述待评估低温恒温模型的结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同；

本实施例中，稳态温度场包括：标准低温恒温模型中每个温度传感器通道在预设时间段内采集的所有温度数据的平均计算值。同样，评估温度场包括：待评估低温恒温模型中每个温度传感器通道在预设时间段内采集的所有温度数据的平均计算值，预设时间段的取值依据实际需要而定，比如 72 小时，本发明在此不做限定。

基准通道选取单元 202, 用于从所述稳态温度场中按照预设基准通道选取原则选取一个温度传感器通道作为第一基准比对通道, 以及从所述评估温度场中选取与所述第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道;

- 5 其中, 预设基准通道选取原则为: 在预设时间段内采集的温度数据的波动幅度小于幅度下限值, 各个所述温度数据形成的时域-温度曲线不存在奇异点, 且各个所述温度数据的平均值接近冷头转接装置或导冷衔接件处的温度。

10 第一基准温度选取单元 203, 用于将所述第一基准比对通道在所述稳态温度场对应的温度平均值确定为第一基准温度, 并计算所述稳态温度场中各个温度平均值分别与所述第一基准温度的第一相对温差值;

第二基准温度选取单元 204, 用于将所述第二基准比对通道在所述评估温度场对应的温度平均值确定为第二基准温度, 并计算所述评估温度场中各个温度平均值分别与所述第二基准温度的第二相对温差值;

15 工作状态确定单元 205, 用于将所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值, 与所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值进行比对, 确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

20 在实际应用中, 当稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和第一相对温差值, 与评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和第二相对温差值的变化趋势相近时, 则确定待评估低温恒温模型为正常工作状态, 反之, 则确定待评估低温恒温模型为异常工作状态。

25 当待评估低温恒温模型为异常工作状态时, 表明待评估低温恒温模型的局部或整体出现了问题(一般为内部交界面接触不良或结构功能性失效问题), 可结合图 1 判定出现故障的具体区域或空间位置, 并制订针对性维修维护方案。

30 综上所述, 本发明公开了一种低温恒温模型工作状态的确定装置, 确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场, 标准低温恒温模型和待评估低温恒温模型的结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同, 从稳态温度场中按照预设基准通

道选取原则选取一个温度传感器通道作为第一基准比对通道，以及从评估温度场中选取与第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道，将第一基准比对通道在稳态温度场对应的温度平均值确定为第一基准温度，并计算稳态温度场中各个温度平均值分别与第一基准温度的第一相对温差值，将第二基准比对通道在评估温度场对应的温度平均值确定为第二基准温度，并计算评估温度场中各个温度平均值分别与第二基准温度的第二相对温差值，将稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和第一相对温差值与评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和第二相对温差值进行比对，确定待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。本发明在确定待评估低温恒温模型的工作状态时，选取了一个与其结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同的标准低温恒温模型，针对标准低温恒温模型的稳态温度场和待评估低温恒温模型的评估温度场，采用基于空间离散形式的温度场对比来辨别结构复杂的低温恒温模型的工作状态，无需利用理论公式解析或多场耦合仿真计算，即可适用于针对超导磁浮列车的车载低温恒温模型的温度场分析，进而能够有效确定其工作状态。

为进一步优化上述实施例，温度场确定单元 201 可以包括：

稳态温度场确定子单元，用于将所述标准低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述标准低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述稳态温度场；

评估温度场确定子单元，用于将所述待评估低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述待评估低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述评估温度场。

为进一步优化上述实施例，工作状态确定单元 205 可以包括：

第一柱状图绘制子单元，用于以导冷传递路径主线为划分原则，绘制所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对

温差值的第一横向柱状图，其中，每组所述第一横向柱状图表示所述标准低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第一横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述标准低温恒温模型中的各个温度传感器通道；

5 第二柱状图绘制子单元，用于绘制所述评估温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值的第二横向柱状图，其中，每组所述第二横向柱状图表示所述待评估低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第二横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述待评估低温恒温模型中的各个温度传感器通道；

10 比对子单元，用于将所述稳态温度场中的各个所述第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的所述第二横向柱状图进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

其中，比对子单元具体可以用于：

15 若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势相近，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态；

 若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势明显不同或不符合热力学基本规律，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为异常工作状态。

20

需要说明的是，装置实施例中各组成部分的具体工作原理，请参见方法实施例对应部分，此处不再赘述。

25

最后，还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，

30

而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

- 5 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。

- 10 对所公开的实施例的上述说明，使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求

1、一种低温恒温模型工作状态的确定方法，其特征在于，包括：

确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场，其中，所述标准低温恒温模型和所述待评估低温恒温模型的结构、
5 制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同；

从所述稳态温度场中按照预设基准通道选取原则选取一个温度传感器通道作为第一基准比对通道，以及从所述评估温度场中选取与所述第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道；

10 将所述第一基准比对通道在所述稳态温度场对应的温度平均值确定为第一基准温度，并计算所述稳态温度场中各个温度平均值分别与所述第一基准温度的第一相对温差值；

将所述第二基准比对通道在所述评估温度场对应的温度平均值确定为第二基准温度，并计算所述评估温度场中各个温度平均值分别与所述第二基准温度的第二相对温差值；

15 将所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值，与所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

20 2、根据权利要求1所述的确定方法，其特征在于，所述预设基准通道选取原则为：在所述预设时间段内采集的温度数据的波动幅度小于幅度下限值，各个所述温度数据形成的时域-温度曲线不存在奇异点，且各个所述温度数据的平均值接近冷头转接装置或导冷衔接件处的温度。

25 3、根据权利要求1所述的确定方法，其特征在于，所述标准低温恒温模型为：通过内部各个温度传感器通道在所述预设时间内获取的各个温度数据无跳跃式温升和曲线斜率突变现象，且在考虑离散空间基础上，各位置的温度分布梯度符合热力学基本规律的低温恒温模型。

4、根据权利要求1所述的确定方法，其特征在于，所述确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场，包括：

将所述标准低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内

采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述标准低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述稳态温度场；

5 将所述待评估低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述待评估低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述评估温度场。

5、根据权利要求1所述的确定方法，其特征在于，所述将所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值，与
10 所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态，包括：

15 以导冷传递路径主线为划分原则，绘制所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值的第一横向柱状图，其中，每组所述第一横向柱状图表示所述标准低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第一横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述标准低温恒温模型中的各个温度传感器通道；

20 绘制所述评估温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值的第二横向柱状图，其中，每组所述第二横向柱状图表示所述待评估低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第二横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述待评估低温恒温模型中的各个温度传感器通道；

25 将所述稳态温度场中的各个所述第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的所述第二横向柱状图进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

6、根据权利要求5所述的确定方法，其特征在于，所述将所述稳态温度场中的各个所述第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的所述第二横向柱状图进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态，包括：

30 若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相

应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势相近，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态；

- 5 若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势明显不同或不符合热力学基本规律，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为异常工作状态。

7、一种低温恒温模型工作状态的确定装置，其特征在于，包括：

- 10 温度场确定单元，用于确定标准低温恒温模型的稳态温度场以及待评估低温恒温模型的评估温度场，其中，所述标准低温恒温模型和所述待评估低温恒温模型的结构、制造工艺流程及各自内部温度传感器的布置位置完全相同；

- 15 基准通道选取单元，用于从所述稳态温度场中按照预设基准通道选取原则选取一个温度传感器通道作为第一基准比对通道，以及从所述评估温度场中选取与所述第一基准比对通道相对应的通道作为第二基准比对通道；

第一基准温度选取单元，用于将所述第一基准比对通道在所述稳态温度场对应的温度平均值确定为第一基准温度，并计算所述稳态温度场中各个温度平均值分别与所述第一基准温度的第一相对温差值；

- 20 第二基准温度选取单元，用于将所述第二基准比对通道在所述评估温度场对应的温度平均值确定为第二基准温度，并计算所述评估温度场中各个温度平均值分别与所述第二基准温度的第二相对温差值；

- 25 工作状态确定单元，用于将所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值，与所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值进行比对，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

8、根据权利要求7所述的确定装置，其特征在于，所述温度场确定单元包括：

- 30 稳态温度场确定子单元，用于将所述标准低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述标准低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的

温度平均值集合形成的数据集，确定为所述稳态温度场；

评估温度场确定子单元，用于将所述待评估低温恒温模型中每个温度传感器通道在所述预设时间段内采集的所有温度数据计算平均值，得到各自温度平均值，并将所述待评估低温恒温模型中所有的温度传感器通道对应的温度平均值集合形成的数据集，确定为所述评估温度场。

9、根据权利要求7所述的确定装置，其特征在于，所述工作状态确定单元包括：

第一柱状图绘制子单元，用于以导冷传递路径主线为划分原则，绘制所述稳态温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第一相对温差值的第一横向柱状图，其中，每组所述第一横向柱状图表示所述标准低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第一横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述标准低温恒温模型中的各个温度传感器通道；

第二柱状图绘制子单元，用于绘制所述评估温度场中每个温度传感器通道对应的温度平均值和所述第二相对温差值的第二横向柱状图，其中，每组所述第二横向柱状图表示所述待评估低温恒温模型中的一条导冷路径主线的温度对比情况，所述第二横向柱状图的横坐标表示温度，纵坐标表示布置在所述待评估低温恒温模型中的各个温度传感器通道；

比对子单元，用于将所述稳态温度场中的各个所述第一横向柱状图和所述评估温度场中相同温度传感器通道对应的所述第二横向柱状图进行对比，确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态或异常工作状态。

10、根据权利要求9所述的确定装置，其特征在于，所述比对子单元具体用于：

若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势相近，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒温模型为正常工作状态；

若所述评估温度场中各个所述第二横向柱状图与所述稳态温度场中相应温度传感器通道对应的所述第一横向柱状图的变化趋势明显不同或不符合热力学基本规律，则从离散空间温度场分析角度确定所述待评估低温恒

温模型为异常工作状态。

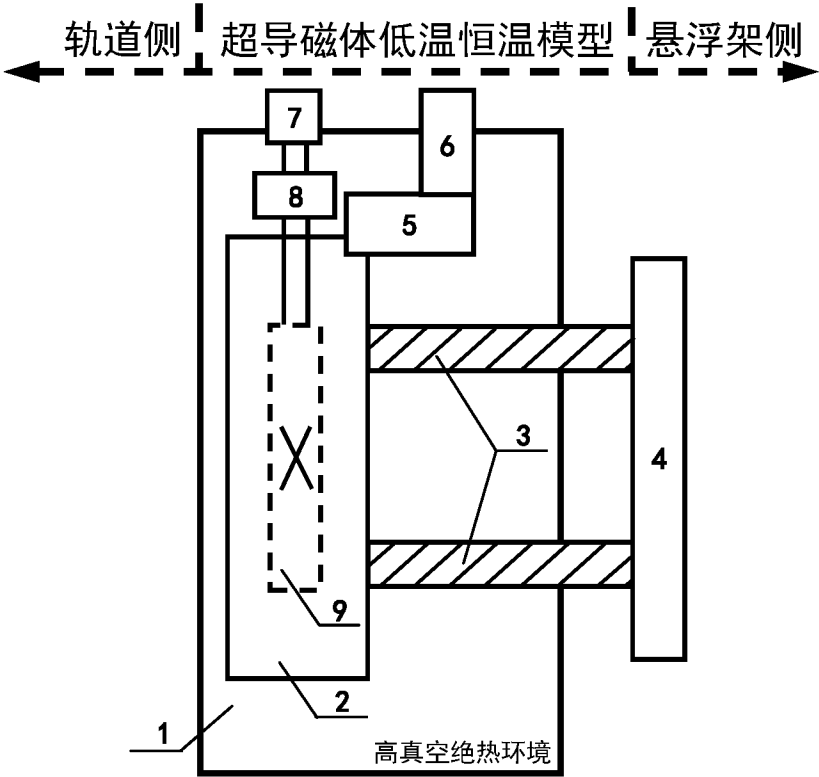


图 1

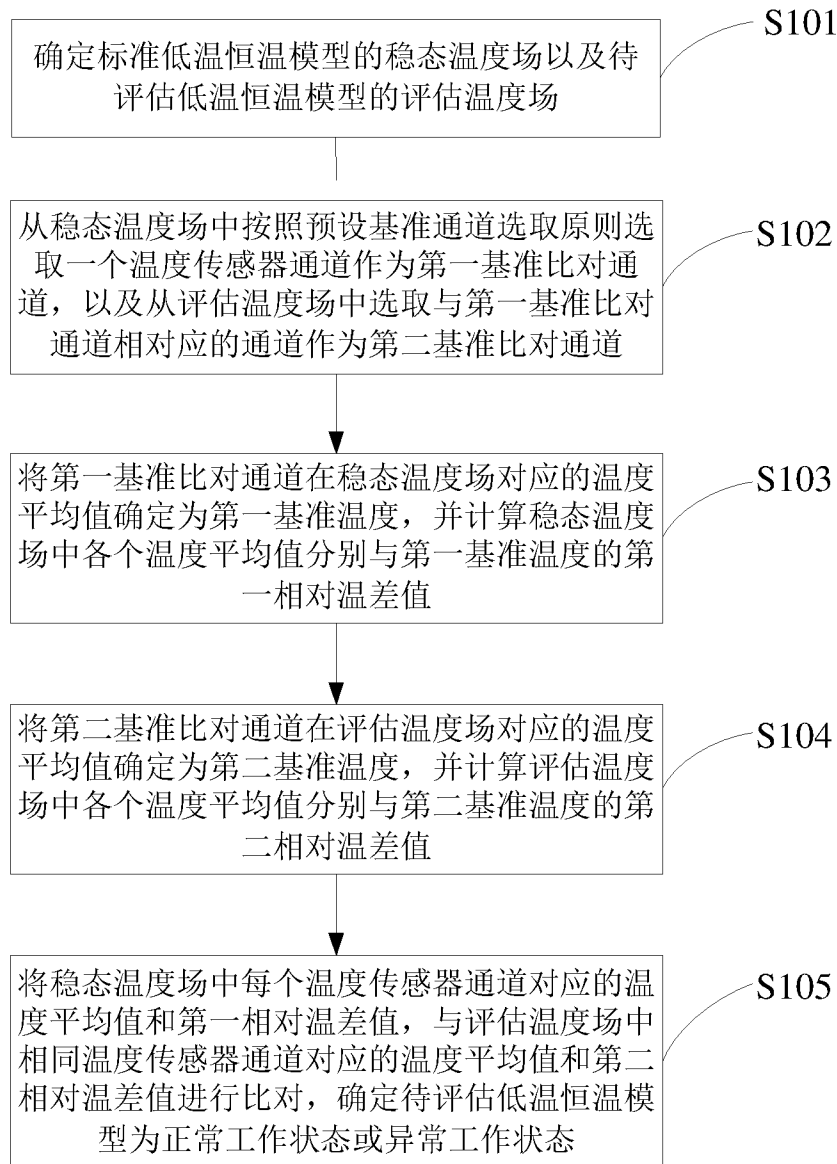


图 2

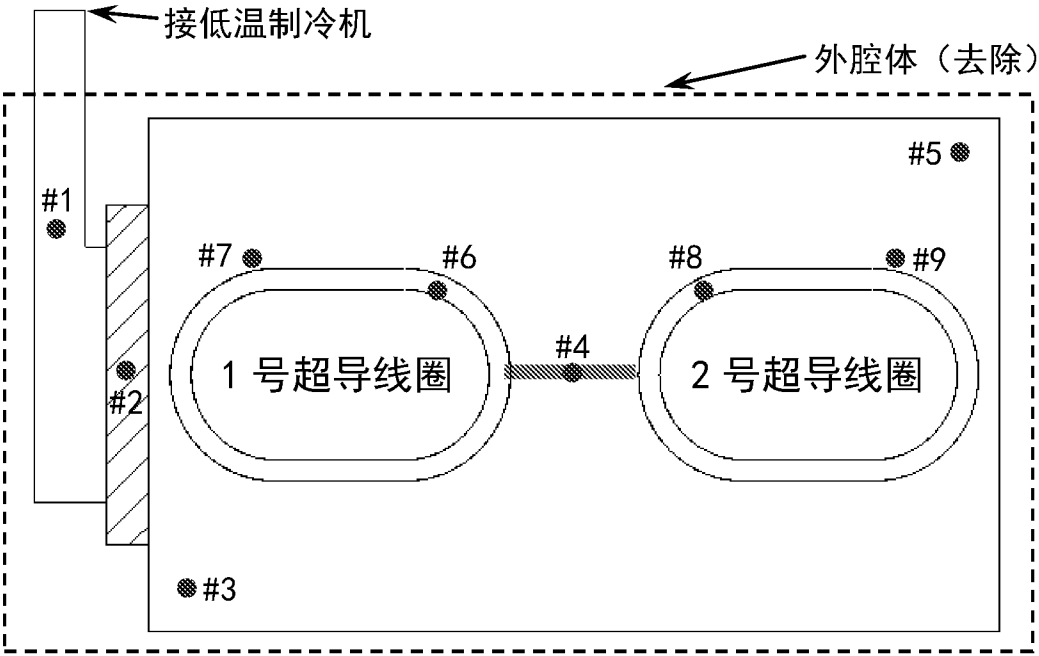


图 3 (a)

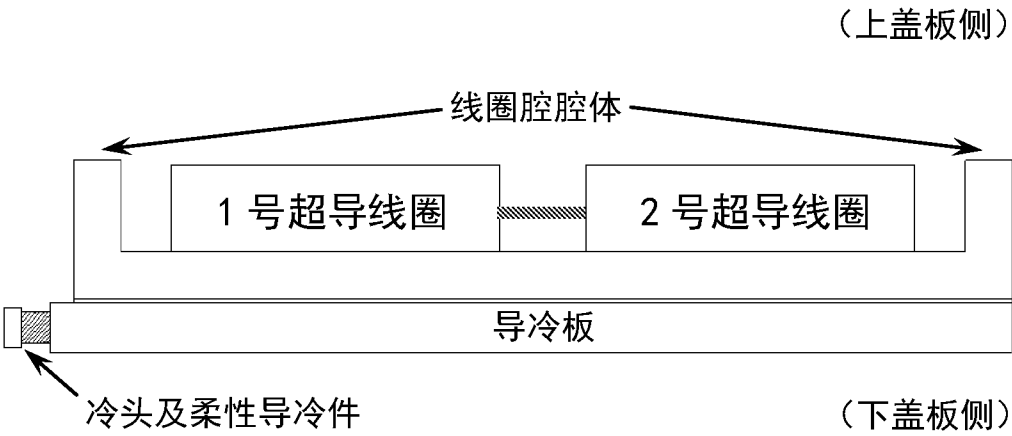


图 3 (b)

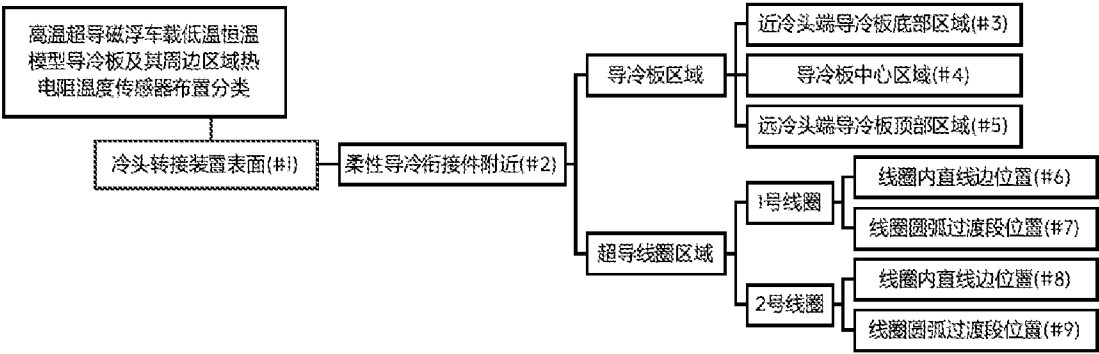


图 4

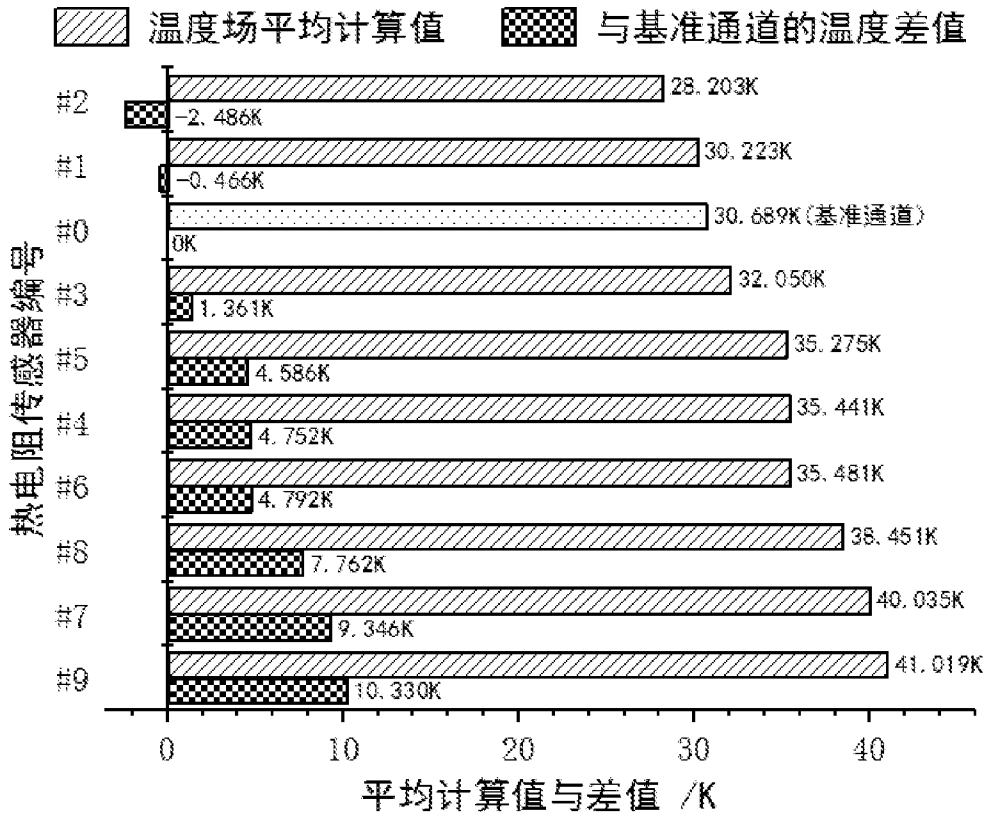


图 5 (a)

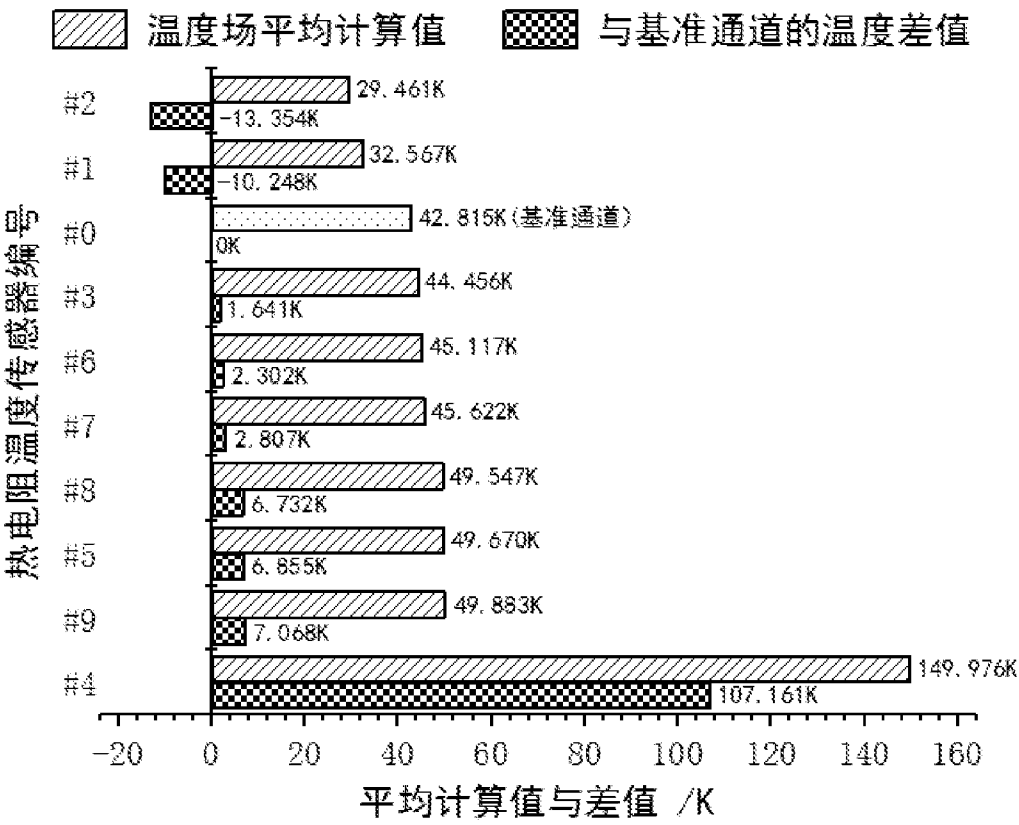


图 5 (b)

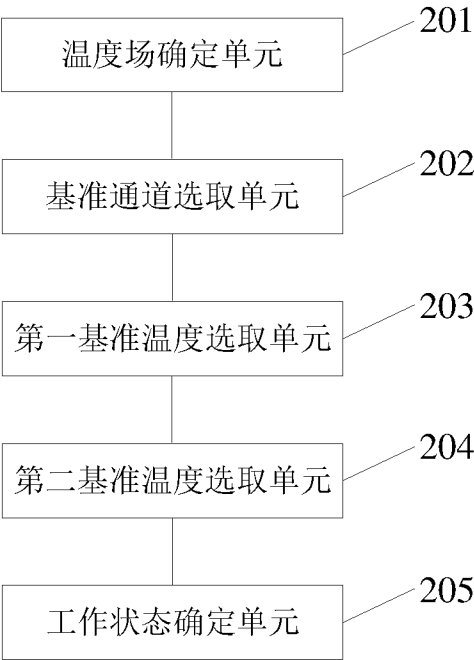


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/134508

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01D 21/00(2006.01)i; G01K 13/00(2021.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:G01K, G01D, G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, DWPI, ENTXT, ENTXTC, WPABSC, CNKI: 低温, 恒温, 标准, 基准, 待, 评估, 模型, 平均值, 通道, 温差, 温度, 温度场, 温度传感器, 稳态, 状态, average, difference, field, model+, sensor, temperature, evaluat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 115265633 A (CRRC CHANGCHUN RAILWAY VEHICLES CO., LTD.) 01 November 2022 (2022-11-01) claims 1-10	1-10
A	CN 106644163 A (HEBEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 10 May 2017 (2017-05-10) description, paragraphs 5-14, and figures 1-6	1-10
A	CN 101206515 A (IBM CORP.) 25 June 2008 (2008-06-25) entire document	1-10
A	CN 108133111 A (CHINA RAILWAY 12TH BUREAU GR et al.) 08 June 2018 (2018-06-08) entire document	1-10
A	CN 109211431 A (QINGDAO YKD HEAT ENERGY EQUIPMENT CO., LTD.) 15 January 2019 (2019-01-15) entire document	1-10
A	CN 113176054 A (GUANGXI TRANSP SCIENCE AND TECHNOLOGY GROUP CO., LTD. et al.) 27 July 2021 (2021-07-27) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 May 2023

Date of mailing of the international search report

29 May 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/134508**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 114200986 A (JIANGSU UNIVERSITY) 18 March 2022 (2022-03-18) entire document	1-10
A	US 2018242850 A1 (THALMAN HEALTH LTD.) 30 August 2018 (2018-08-30) entire document	1-10
A	US 2021237708 A1 (GOODRICH CORP.) 05 August 2021 (2021-08-05) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/134508

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	115265633	A	01 November 2022	None			
CN	106644163	A	10 May 2017	None			
CN	101206515	A	25 June 2008	US	2008147363	A1	19 June 2008
				US	7421368	B2	02 September 2008
				US	2009138228	A1	28 May 2009
				US	8032331	B2	04 October 2011
CN	108133111	A	08 June 2018	None			
CN	109211431	A	15 January 2019	None			
CN	113176054	A	27 July 2021	None			
CN	114200986	A	18 March 2022	None			
US	2018242850	A1	30 August 2018	US	11224344	B2	18 January 2022
				WO	2018033799	A1	22 February 2018
US	2021237708	A1	05 August 2021	US	11613240	B2	28 March 2023
				EP	3862737	A1	11 August 2021

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/134508

A. 主题的分类

G01D 21/00(2006.01)i; G01K 13/00(2021.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:G01K, G01D, G06F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTXT, DWPI, ENTXT, ENTXTC, WPABSC, CNKI:低温, 恒温, 标准, 基准, 待, 评估, 模型, 平均值, 通道, 温差, 温度, 温度场, 温度传感器, 稳态, 状态, average, difference, field, model+, sensor, temperature, evaluat+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 115265633 A (中车长春轨道客车股份有限公司) 2022年11月1日 (2022 - 11 - 01) 权利要求1-10	1-10
A	CN 106644163 A (河北工业大学) 2017年5月10日 (2017 - 05 - 10) 说明书第5-14段, 附图1-6	1-10
A	CN 101206515 A (国际商业机器公司) 2008年6月25日 (2008 - 06 - 25) 全文	1-10
A	CN 108133111 A (中铁十二局集团有限公司等) 2018年6月8日 (2018 - 06 - 08) 全文	1-10
A	CN 109211431 A (青岛益堃达热能设备有限公司) 2019年1月15日 (2019 - 01 - 15) 全文	1-10
A	CN 113176054 A (广西交科集团有限公司等) 2021年7月27日 (2021 - 07 - 27) 全文	1-10
A	CN 114200986 A (江苏大学) 2022年3月18日 (2022 - 03 - 18) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2023年5月29日

国际检索报告邮寄日期

2023年5月29日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

王蕾

电话号码 (+86) 010-62085734

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2018242850 A1 (THALMAN HEALTH LTD) 2018年8月30日 (2018 - 08 - 30) 全文	1-10
A	US 2021237708 A1 (GOODRICH CORP) 2021年8月5日 (2021 - 08 - 05) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/134508

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	115265633	A	2022年11月1日	无			
CN	106644163	A	2017年5月10日	无			
CN	101206515	A	2008年6月25日	US	2008147363	A1	2008年6月19日
				US	7421368	B2	2008年9月2日
				US	2009138228	A1	2009年5月28日
				US	8032331	B2	2011年10月4日
CN	108133111	A	2018年6月8日	无			
CN	109211431	A	2019年1月15日	无			
CN	113176054	A	2021年7月27日	无			
CN	114200986	A	2022年3月18日	无			
US	2018242850	A1	2018年8月30日	US	11224344	B2	2022年1月18日
				WO	2018033799	A1	2018年2月22日
US	2021237708	A1	2021年8月5日	US	11613240	B2	2023年3月28日
				EP	3862737	A1	2021年8月11日