(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
2025 年 1 月 9 日 (09.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2025/007417 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 30/23 (2020.01) *G06F 119/14* (2020.01)
G06F 119/08 (2020.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/117904

(22) 国际申请日: 2023 年 9 月 11 日 (11.09.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310823455.2 2023年7月6日 (06.07.2023) 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:李凯(**LI, Kai**); 中国吉林省长春市长客路2001, Jilin 130000 (CN)。 胡浩(**HU, Hao**); 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号赛特广场七层, 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, 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,

(54) **Title:** LOADING INTENSITY DESIGN METHOD FOR VARIABLE-TEMPERATURE COMPONENT AND RELATED PRODUCT

(54) 发明名称: 一种变温部件的加载强度设计方法及相关产品

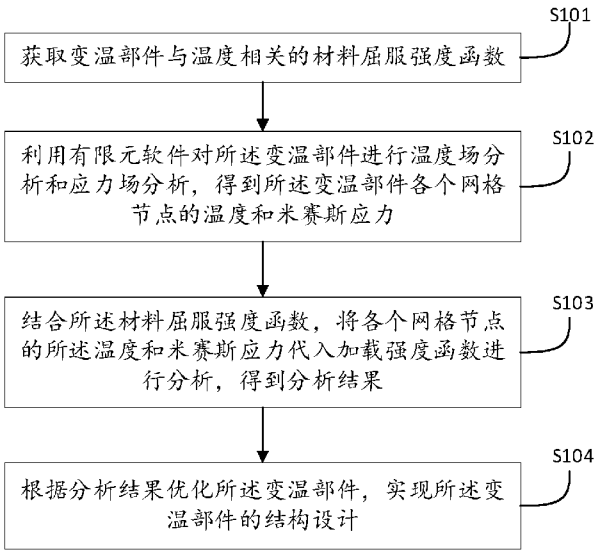


图 1

S101 Acquire a temperature-dependent material yield strength function of a variable-temperature component

S102 Use finite element software to perform temperature field analysis and stress field analysis on the variable-temperature component to obtain the temperature and the von Mises stress of each grid node of the variable-temperature component

S103 On the basis of the material yield strength function, substitute the temperature and the von Mises stress of each grid node into a loading intensity function for analysis to obtain an analysis result

S104 On the basis of the analysis result, optimize the variable-temperature component to implement structural design of the variable-temperature component

(57) **Abstract:** The present application discloses a loading intensity design method for a variable-temperature component and a related product, which can be applied to the technical field of superconducting magnets. The method comprises: acquiring a temperature-dependent material yield strength function of a variable-temperature component; using finite element software to perform temperature field analysis and stress field analysis on the variable-temperature component to obtain the temperature and the von Mises stress of each grid node of the variable-temperature component; on the basis of the material yield strength function, substituting the temperature and the von Mises stress of each grid node into a loading intensity function for analysis to obtain an analysis result; and on the basis of the analysis result, optimizing the variable-temperature component to implement structural design of the variable-temperature component. In this way, temperature field analysis and stress field analysis are performed on the variable-temperature component, and on

WO 2025/007417 A1

[见续页]

MU, 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))。

the basis of the material yield strength function, the loading intensity function is used for analysis, so as to optimize the structure of the variable-temperature component, so that the variable-temperature component has an optimal structural size, thereby improving the lightweight level which reducing heat leakage.

(57) 摘要: 本申请公开了一种变温部件的加载强度设计方法及相关产品，可应用于超导磁体技术领域，该方法包括：获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数；利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力；结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果；根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计。由此，对变温部件进行温度场和应力场分析，结合材料屈服强度函数，利用加载强度函数进行分析，进而优化变温部件的结构，使变温部件实现最优的结构尺寸，在保证减少漏热的前提下提高了轻量化水平。

一种变温部件的加载强度设计方法及相关产品

本发明要求于 2023 年 07 月 06 日提交中华人民共和国国家知识产权局、申请号为202310823455.2、申请名称为“一种变温部件的加载强度设计方法及相关产品”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本发明中。

技术领域

本申请涉及超导磁体技术领域，特别是涉及一种变温部件的加载强度设计方法及相关产品。

背景技术

超导磁体是电动悬浮列车的关键核心子系统，主要由超导磁极及低温恒温器构成，对于车载超导磁体低温恒温器的设计有别于传统静态应用的低温恒温器结构，要求具备较强的承载能力、更低的传导漏热功率以及较好的轻量化设计。

现有的设计方法无法同时兼顾承载能力、传导漏热功率以及轻量化设计，为了保证低温恒温器的承载能力以及传导漏热功率往往会忽视低温恒温器的轻量化设计，从而出现设计的低温恒温器过重的问题。

因此，如何在保证低温恒温器减少漏热的前提下提高轻量化水平，是本领域技术人员急需解决的问题。

发明内容

基于上述问题，本申请提供了一种变温部件的加载强度设计方法及相关产品，通过对变温部件进行温度场和应力场分析，结合材料屈服强度函数，利用加载强度函数进行分析，进而优化变温部件的结构，使变温部件实现最优的结构尺寸，从而解决了现有技术无法同时兼顾承载能力、传导漏热功率以及轻量化设计的问题。

第一方面，本申请提供了一种变温部件的加载强度设计方法，包括：

获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数；

利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力；

结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果；

根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计。

可选的，所述利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得

到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力之前，还包括：

对所述变温部件进行简化处理，得到所述变温部件的简化几何建模模型；

根据所述简化几何建模模型获取所述变温部件的有限元模型。

可选的，所述对所述变温部件进行简化处理，得到所述变温部件的简化几何建模模型，包括：

获取所述变温部件的三维结构模型；

利用建模软件对所述三维结构模型进行拆分，去除各个拆分结构部件的目标特征，得到所述变温部件的简化几何建模模型；

所述目标特征包括：螺栓孔。

可选的，所述根据所述简化几何建模模型获取所述变温部件的有限元模型，包括：

将所述简化几何建模模型导入有限元软件；

将所述各个拆分结构部件的材料参数输入有限元软件，得到所述变温部件的有限元模型；

所述各个拆分结构部件以网格单元的形式离散化，网格单元之间采用共节点连接。

可选的，所述利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力，包括：

结合所述变温部件运行时的实际状况，在有限元软件中对所述变温部件的各个网格节点进行参数设置；

结合所述参数设置，对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，确定各个网格节点的温度和米赛斯应力。

可选的，所述结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果，包括：

结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到加载强度符合第一预设阈值或不符合第一预设阈值的分析结果；

所述第一预设阈值的范围为大于等于 0.8 至小于等于 1。

可选的，所述根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计，包括：

确定不符合第一预设阈值的网格节点的具体加载强度；

当所述网格节点的加载强度小于 0.8 时，对所述网格节点沿传导热流方向进行减薄

处理；

当所述网格单元的加载强度大于 1 时，对所述网格节点沿力线方向进行加厚处理。

第二方面，本申请提供了一种变温部件的加载强度设计装置，包括：

获取模块，用于获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数；

第一分析模块，用于利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力；

第二分析模块，用于结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果；

优化模块，用于根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计。

第三方面，本申请提供了一种变温部件的加载强度设计设备，其特征在于，包括：

存储器，用于存储计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序时实现如上述任一项所述变温部件的加载强度设计方法的步骤。

第四方面，本申请提供了一种可读存储介质，所述可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如上述任一项所述变温部件的加载强度设计方法的步骤。

从以上技术方案可以看出，相较于现有技术，本申请具有以下优点：

本申请首先获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数，并利用有限元软件对变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力。然后结合材料屈服强度函数，将各个网格节点的温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果。最后根据分析结果优化变温部件，实现变温部件的结构设计。由此，对变温部件进行温度场和应力场分析，结合材料屈服强度函数，利用加载强度函数进行分析，进而优化变温部件的结构，使变温部件实现最优的结构尺寸，在保证减少漏热的前提下提高了轻量化水平。

附图说明

图 1 为本申请提供的一种变温部件的加载强度设计方法的流程图；

图 2 为本申请提供的一种变温部件的加载强度设计装置的结构示意图。

具体实施方式

正如前文所述，现有的设计方法无法同时兼顾承载能力、传导漏热功率以及轻量化设计。具体来说，现有的变温部件的设计方法不考虑低温下材料机械性能改变的有利条件，为了保证低温恒温器的承载能力以及传导漏热功率往往会忽视低温恒温器的轻量化设计，从而出现设计的低温恒温器过重的问题。

为了解决上述问题，本申请提供了一种变温部件的加载强度设计方法，包括：首先获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数，并利用有限元软件对变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力。然后结合材料屈服强度函数，将各个网格节点的温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果。最后根据分析结果优化变温部件，实现变温部件的结构设计。

如此，对变温部件进行温度场和应力场分析，结合材料屈服强度函数，利用加载强度函数进行分析，进而优化变温部件的结构，使变温部件实现最优的结构尺寸，在保证减少漏热的前提下提高了轻量化水平。

需要说明的是，本申请提供的一种变温部件的加载强度设计方法及相关产品可应用于超导磁体技术领域。上述仅为示例，并不对本申请提供的一种变温部件的加载强度设计方法及相关产品的应用领域进行限定。

为了使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整的描述，显然，所描述的实施例仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，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，都属于本申请保护的范围。

图 1 为本申请提供的一种变温部件的加载强度设计方法的流程图。结合图 1 所示，本申请提供的一种变温部件的加载强度设计方法，可以包括：

S101：获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数。

在实际应用中，超导磁体是电动悬浮列车的关键核心子系统，主要由超导磁极及低温恒温器构成，其中低温恒温器结构中有一些部件是介于低温环境与外部常温环境之间的，被称为变温部件，这些部件起到承载内部低温区全部动静载荷。同时由于其传导热流作用，持续影响内部低温区。结合变温部件的组成材料，通过材料低温性能测试，得到材料随温度变化的强度曲线，即获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数，记为$\sigma_s(T)$。

S102：利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力。

在实际应用中，有限元软件可作为主要的分析软件。具体的，将变温部件按照承载部件进行结构设计的分析模型输入有限元软件中，定义设计域以及各个网格节点的参数，开展温度场分析和应力场分析，得到变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力。

另外，由于得到变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力的方式不尽相同，因此本申请可以就可能的得到方式进行说明。

在一种情况下，针对如何得到各个网格节点的温度和米赛斯应力。相应的，S102：利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力，包括：

结合所述变温部件运行时的实际状况，在有限元软件中对所述变温部件的各个网格节点进行参数设置；

结合所述参数设置，对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，确定各个网格节点的温度和米赛斯应力。

在实际应用中，利用有限元软件对变温部件进行分析时应添加对应的应用条件。具体的，将有限元软件中分析场景设置为服役条件，并将服役条件下各个网格节点对应的参数录入，如此分析便可确定服役条件下变温部件全部网格节点的温度和应力分布，对应第 i 个网格节点的温度记为 Ti，米赛斯应力记为σ_i。

另外，由于变温部件的处理方式不尽相同，因此本申请可以就一种可能的处理方式进行说明。

在一种情况下，针对如何对变温部件进行处理。相应的，所述利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力之前，还包括：

对所述变温部件进行简化处理，得到所述变温部件的简化几何建模模型；

根据所述简化几何建模模型获取所述变温部件的有限元模型。

在实际应用中，需要用到有限元软件进行温度场和应力场的分析，但为了分析效率，可以对变温部件进行预处理。具体的，可以先对变温部件进行简化处理，得到变温部件的简化几何建模模型，然后将得到的简化几何建模模型代入有限元软件，从而获取变温部件的有限元模型。

另外，由于对变温部件进行简化的方式不尽相同，因此本申请可以就可能的简化方式进行说明。

在一种情况下，针对如何对变温部件进行简化处理。相应的，所述对所述变温部件进行简化处理，得到所述变温部件的简化几何建模模型，包括：

获取所述变温部件的三维结构模型；

利用建模软件对所述三维结构模型进行拆分，去除各个拆分结构部件的目标特征，得到所述变温部件的简化几何建模模型；

所述目标特征包括：螺栓孔。

在实际应用中，实现变温部件的结构简化需要先获取变温部件的三维结构模型，可以利用三维建模软件实现。例如，技术人员可以根据变温部件的结构图纸，利用三维建模软件进行变温部件的三维结构模型的构建，然后发送给变温部件的加载强度设计装置。当获取到变温部件的三维结构模型后，利用三维建模软件对该三维结构模型进行拆分，去除各个拆分结构部件的目标特征，只保留关键结构单元，从而得到变温部件的简化几何建模模型。需要注意的是，目标特征包括螺栓孔、螺栓等细小部件。

另外，由于获取有限元模型的方式不尽相同，因此本申请可以就可能的获取方式进行说明。

在一种情况下，针对如何获取有限元模型。相应的，所述根据所述简化几何建模模型获取所述变温部件的有限元模型，包括：

将所述简化几何建模模型导入有限元软件；

将所述各个拆分结构部件的材料参数输入有限元软件，得到所述变温部件的有限元模型；

所述各个拆分结构部件以网格单元的形式离散化，网格单元之间采用共节点连接。

在实际应用中，在得到简化几何建模模型后可以直接将其导入有限元模型中，然后对已拆分的各个结构部件进行材料参数的定义，从而得到变温部件的有限元模型。需要注意的是，材料参数包括但不限于密度、弹性模量和泊松比。另外，各个拆分结构部件均以网格单元的形式离散化，且网格单元之间采用共节点连接。

S103：结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果。

在实际应用中，结合上述而言，经过分析得到第 i 个网格节点的温度记为 Ti，米赛斯应力记为σ_i。建立加载强度函数：F(i)= $k\sigma_i/\sigma_s(T_i)$并写入有限元后处理程序，其

中 k 为安全系数一般取 1.5，当有限元软件分析得到第 i 个网格节点的温度和米赛斯应力后，代入加载强度函数并结合上述材料屈服强度函数：$\sigma_s(T)$，即可确定出第 i 个网格节点的加载强度。

另外，由于分析方式不尽相同，因此本申请可以就一种可能的分析方式进行说明。

在一种情况下，针对如何对各个网格节点的加载强度进行分析。相应的，S103：结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果，具体包括：

结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到加载强度符合第一预设阈值或不符合第一预设阈值的分析结果；

所述第一预设阈值的范围为大于等于 0.8 至小于等于 1。

在实际应用中，通过设置第一预设阈值从而确定优化区间。相应的，经过分析得到第 i 个网格节点的温度记为 Ti，米赛斯应力记为σ_i。然后代入加载强度函数：F(i)=$k\sigma_i/\sigma_s(T_i)$并结合上述材料屈服强度函数：$\sigma_s(T)$，确定出第 i 个网格节点的加载强度的值，然后与第一预设阈值进行比较，确定是否需要进行优化。具体的，本申请设置第一阈值的范围为大于等于 0.8 至小于等于 1。若分析得到的加载强度的值落入该区间，则表明第 i 个网格节点的加载强度符合要求，不用进行优化，从而得到加载强度符合第一预设阈值的分析结果。若分析得到的加载强度的值未落入该区间，则表明第 i 个网格节点的加载强度不符合要求，需要进行优化，从而得到加载强度不符合第一预设阈值的分析结果。

S104：根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计。

在实际应用中，变温部件具有承载功能，设计时一般考虑最大应力满足许用应力要求，而应力的大小取决于部件的截面积，即最小截面积受到限制。但对于低温系统的支撑部件，需要工作在低温和常温之间，其内部热阻状态决定了单位时间内传导热流大小，一般要求单位时间的最大热流小于制冷系统的冷功，而热阻与截面积成反比，即承载部件的截面积具有限制条件。因此，根据具体的分析结果，对变温部件进行对应的优化，实现所述变温部件的结构设计。

另外，由于变温部件的优化方式不尽相同，因此本申请可以就可能的优化方式进行说明。

在一种情况下，针对如何对变温部件进行优化。相应的，S104：根据分析结果优

化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计，具体包括：

确定不符合第一预设阈值的网格节点的具体加载强度；

当所述网格节点的加载强度小于 0.8 时，对所述网格节点沿传导热流方向进行减薄处理；

当所述网格单元的加载强度大于 1 时，对所述网格节点沿力线方向进行加厚处理。

在实际应用中，如上所述，通过加载强度函数：F(i)= $k\sigma_i/\sigma_s(T_i)$可以确定第 i 个网格节点的加载强度。另外第一预设阈值的范围为大于等于 0.8 至小于等于 1。确定所有网格节点中加载强度高于 1 的位置以及小于 0.8 的位置，将其作为后续的优化对象。对加载强度高于 1 的位置沿力线方向进行加厚处理，对加载强度小于 0.8 的位置沿传导热流方向进行减薄处理。直至所有的网格节点的加载强度均符合第一预设阈值时，视为完成变温部件的结构设计。

综上所述，本申请首先获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数，并利用有限元软件对变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力。然后结合材料屈服强度函数，将各个网格节点的温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果。最后根据分析结果优化变温部件，实现变温部件的结构设计。由此，对变温部件进行温度场和应力场分析，结合材料屈服强度函数，利用加载强度函数进行分析，进而优化变温部件的结构，使变温部件实现最优的结构尺寸，在保证减少漏热的前提下提高了轻量化水平。

基于上述实施例提供的一种变温部件的加载强度设计方法，本申请还提供了一种变温部件的加载强度设计装置。下面分别结合实施例和附图，对该变温部件的加载强度设计装置进行描述。

图 2 为本申请实施例提供的一种变温部件的加载强度设计装置的结构示意图。结合图 2 所示，本申请实施例提供的变温部件的加载强度设计装置 200，包括：

获取模块 201，用于获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数；

第一分析模块 202，用于利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力；

第二分析模块 203，用于结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果；

优化模块 204，用于根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设

计。

作为一种实施方式，针对如何利用有限元软件对变温部件进行分析，上述第一分析模块 202 具体用于：

结合所述变温部件运行时的实际状况，在有限元软件中对所述变温部件的各个网格节点进行参数设置；

结合所述参数设置，对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，确定各个网格节点的温度和米赛斯应力。

作为一种实施方式，针对如何结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果，上述第二分析模块 203 具体用于：

结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到加载强度符合第一预设阈值或不符合第一预设阈值的分析结果；

所述第一预设阈值的范围为大于等于 0.8 至小于等于 1。

作为一种实施方式，针对如何确定如何优化变温部件，上述优化模块 204 具体用于：

确定不符合第一预设阈值的网格节点的具体加载强度；

当所述网格节点的加载强度小于 0.8 时，对所述网格节点沿传导热流方向进行减薄处理；

当所述网格单元的加载强度大于 1 时，对所述网格节点沿力线方向进行加厚处理。

作为一种实施方式，针对如何高效优化变温部件，上述变温部件的加载强度设计装置 200 还包括：简化模块和获取子模块；

简化模块，用于对所述变温部件进行简化处理，得到所述变温部件的简化几何建模模型；

获取子模块，用于根据所述简化几何建模模型获取所述变温部件的有限元模型。

作为一种实施方式，针对如何高效优化变温部件，上述简化模块具体用于：

获取所述变温部件的三维结构模型；

利用建模软件对所述三维结构模型进行拆分，去除各个拆分结构部件的目标特征，得到所述变温部件的简化几何建模模型；

所述目标特征包括：螺栓孔。

作为一种实施方式，针对如何高效优化变温部件，上述获取子模块具体用于：

将所述简化几何建模模型导入有限元软件；

将所述各个拆分结构部件的材料参数输入有限元软件，得到所述变温部件的有限元模型；

所述各个拆分结构部件以网格单元的形式离散化，网格单元之间采用共节点连接。

综上所述，本申请首先获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数，并利用有限元软件对变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力。然后结合材料屈服强度函数，将各个网格节点的温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果。最后根据分析结果优化变温部件，实现变温部件的结构设计。由此，对变温部件进行温度场和应力场分析，结合材料屈服强度函数，利用加载强度函数进行分析，进而优化变温部件的结构，使变温部件实现最优的结构尺寸，在保证减少漏热的前提下提高了轻量化水平。

另外，本申请还提供了一种变温部件的加载强度设计设备，包括：存储器，用于存储计算机程序；处理器，用于执行所述计算机程序时实现如上述任一项所述变温部件的加载强度设计方法的步骤。

另外，本申请还提供了一种可读存储介质，所述可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如上述任一项所述变温部件的加载强度设计方法的步骤。

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申请。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申请的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本申请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、一种变温部件的加载强度设计方法，其特征在于，所述方法包括：

获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数；

利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力；

结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果；

根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力之前，还包括：

对所述变温部件进行简化处理，得到所述变温部件的简化几何建模模型；

根据所述简化几何建模模型获取所述变温部件的有限元模型。

3、根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述对所述变温部件进行简化处理，得到所述变温部件的简化几何建模模型，包括：

获取所述变温部件的三维结构模型；

利用建模软件对所述三维结构模型进行拆分，去除各个拆分结构部件的目标特征，得到所述变温部件的简化几何建模模型；

所述目标特征包括：螺栓孔。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述根据所述简化几何建模模型获取所述变温部件的有限元模型，包括：

将所述简化几何建模模型导入有限元软件；

将所述各个拆分结构部件的材料参数输入有限元软件，得到所述变温部件的有限元模型；

所述各个拆分结构部件以网格单元的形式离散化，网格单元之间采用共节点连接。

5、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力，包括：

结合所述变温部件运行时的实际状况，在有限元软件中对所述变温部件的各个网格节点进行参数设置；

结合所述参数设置，对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，确定各个网格节点的温度和米赛斯应力。

6、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果，包括：

结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到加载强度符合第一预设阈值或不符合第一预设阈值的分析结果；

所述第一预设阈值的范围为大于等于0.8至小于等于1。

7、根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计，包括：

确定不符合第一预设阈值的网格节点的具体加载强度；

当所述网格节点的加载强度小于0.8时，对所述网格节点沿传导热流方向进行减薄处理；

当所述网格单元的加载强度大于1时，对所述网格节点沿力线方向进行加厚处理。

8、一种变温部件的加载强度设计装置，其特征在于，包括：

获取模块，用于获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数；

第一分析模块，用于利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力；

第二分析模块，用于结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果；

优化模块，用于根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计。

9、一种变温部件的加载强度设计设备，其特征在于，包括：

存储器，用于存储计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序时实现如权利要求1至7任一项所述变温部件的加载强度设计方法的步骤。

10、一种可读存储介质，其特征在于，所述可读存储介质上存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至7任一项所述变温部件的加载强度设计方法的步骤。

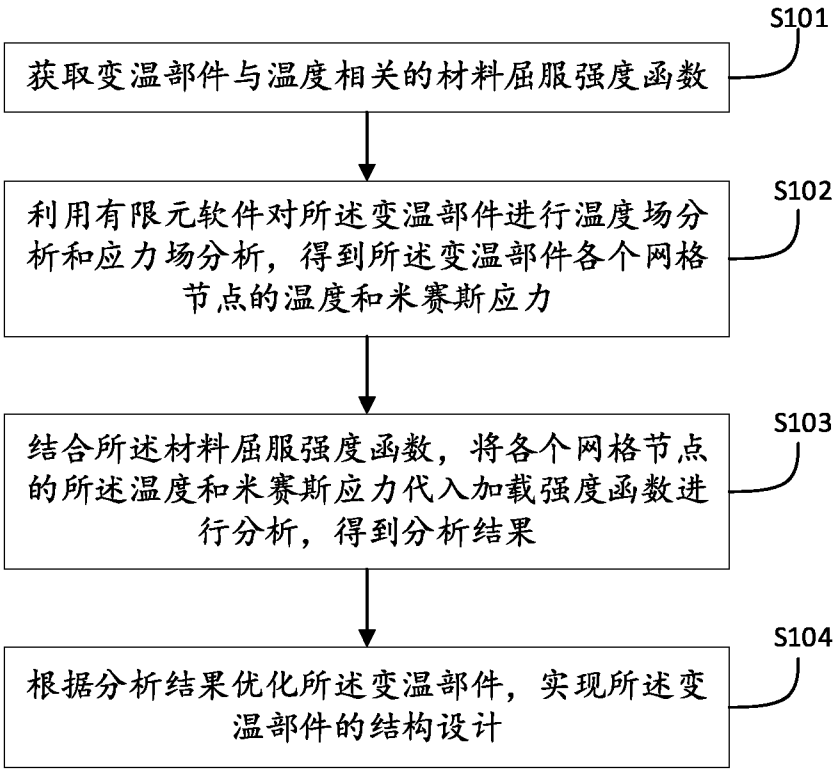

S101
获取变温部件与温度相关的材料屈服强度函数
S102
利用有限元软件对所述变温部件进行温度场分析和应力场分析，得到所述变温部件各个网格节点的温度和米赛斯应力
S103
结合所述材料屈服强度函数，将各个网格节点的所述温度和米赛斯应力代入加载强度函数进行分析，得到分析结果
S104
根据分析结果优化所述变温部件，实现所述变温部件的结构设计

图 1

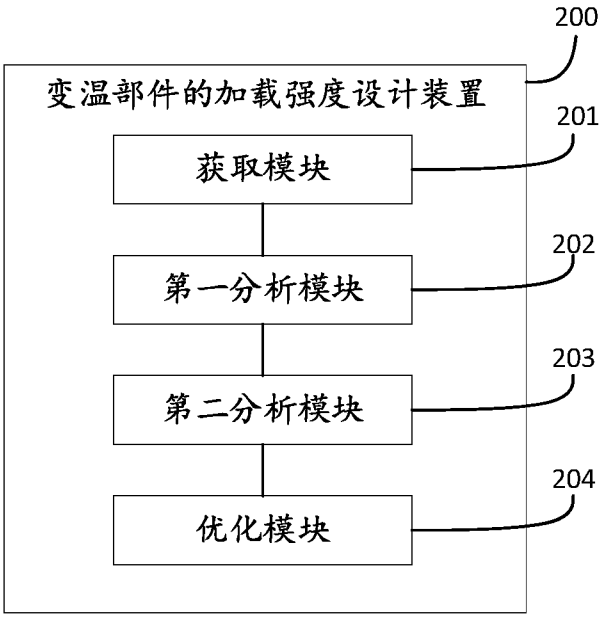

200
变温部件的加载强度设计装置
201
获取模块
202
第一分析模块
203
第二分析模块
204
优化模块

图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/117904

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 30/23(2020.01)i; G06F 119/08(2020.01)i; G06F 119/14 (2020.01)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: 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)

VEN, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 超导, 绝热, 低温恒温, 结构, 设计, 优化, 屈服强度, 温度, 有限元, Superconducting, Adiabatic, Cryostatic, Structural, Design, Optimization, Yield Strength, Temperature, Finite Element

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	朱柯宇 等 (ZHU, Keyu et al.). "Spoke型超导腔非稳态降温过程模拟与热应力分析 (Unsteady Simulation and Thermal Stress Analysis of Spoke Superconducting Cavity in Cool-down Process)" *低温工程 (Cryogenics)*, 28 February 2021 (2021-02-28), pages 16-22	1-10
Y	CN 115577596 A (NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY et al.) 06 January 2023 (2023-01-06) description, paragraphs [0077]-[0167]	1-10
A	CN 112446112 A (BEIJING INSTITUTE OF ASTRONAUTICAL SYSTEMS ENGINEERING) 05 March 2021 (2021-03-05) entire document	1-10
A	CN 115982796 A (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY et al.) 18 April 2023 (2023-04-18) 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	Date of mailing of the international search report
05 March 2024	**08 March 2024**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/117904

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2021118530 A1 (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 22 April 2021 (2021-04-22) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/117904

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 115577596 A	06 January 2023	None	
CN 112446112 A	05 March 2021	None	
CN 115982796 A	18 April 2023	None	
US 2021118530 A1	22 April 2021	WO 2020237977 A1	03 December 2020
		US 11798658 B2	24 October 2023
		CN 110210103 A	06 September 2019

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/117904

A. 主题的分类

G06F 30/23(2020.01)i；G06F 119/08(2020.01)i；G06F 119/14 (2020.01)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：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））

VEN，CNTXT，WOTXT，EPTXT，USTXT，CNKI，IEEE：超导，绝热，低温恒温，结构，设计，优化，屈服强度，温度，有限元，Superconducting, Adiabatic, Cryostatic, Structural, Design, Optimization, Yield Strength, Temperature, Finite Element

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
Y	朱柯宇 等. "Spoke型超导腔非稳态降温过程模拟与热应力分析" 低温工程, 2021年2月28日 (2021 - 02 - 28)， 第16-22页	1-10
Y	CN 115577596 A (西北工业大学 等) 2023年1月6日 (2023 - 01 - 06) 说明书第[0077]-[0167]段	1-10
A	CN 112446112 A (北京宇航系统工程研究所) 2021年3月5日 (2021 - 03 - 05) 全文	1-10
A	CN 115982796 A (上海交通大学 等) 2023年4月18日 (2023 - 04 - 18) 全文	1-10
A	US 2021118530 A1 (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 2021年4月22日 (2021 - 04 - 22) 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	国际检索报告邮寄日期
2024年3月5日	2024年3月8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	受权官员 解欣 电话号码 (+86) 010-53961366

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/117904

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	115577596	A	2023年1月6日	无			
CN	112446112	A	2021年3月5日	无			
CN	115982796	A	2023年4月18日	无			
US	2021118530	A1	2021年4月22日	WO	2020237977	A1	2020年12月3日
				US	11798658	B2	2023年10月24日
				CN	110210103	A	2019年9月6日