

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1680

QJ 20678.3—2018

空间环境模拟器研制要求 第3部分：外热流模拟系统

Development requirements for space environment simulator—
Part 3: Environmental heat flow simulation system

2018—01—18 发布

2018—05—01 实施

国家国防科技工业局 发布

前 言

QJ 20678《空间环境模拟器研制要求》分为六个部分：

- 第 1 部分：真空系统；
- 第 2 部分：低温系统；
- 第 3 部分：外热流模拟系统；
- 第 4 部分：太阳模拟器；
- 第 5 部分：控制与监测系统；
- 第 6 部分：系统联试。

本部分为 QJ 20678 的第 3 部分。

本部分由中国航天科技集团有限公司提出。

本部分由中国航天标准化研究所归口。

本部分起草单位：中国航天科技集团有限公司第五研究院总装与环境工程部、中国航天标准化研究所。

本部分主要起草人：龚 洁、刘 然、童 华、李 娜、宁 娟、单巍巍、杨林华、王学章、泉浩芳。

空间环境模拟器研制要求 第3部分：外热流模拟系统

1 范围

本部分规定了空间环境模拟器外热流模拟系统的系统组成、研制目标、研制流程、研制原则、方案选用原则、技术要求、设计要求、制作工艺要求、参数测量及验收要求。

本部分适用于空间环境模拟器外热流模拟系统的研制。

本部分不适用于太阳模拟器的研制。

2 规范引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB/T 34515—2017 航天器热平衡试验方法

GB/T 34522—2017 航天器热真空试验方法

QJ 1955A—2011 航天器空间环境术语

3 术语和定义

GB/T 34522—2017、GB/T 34515—2017 和 QJ 1955A—2011 确立的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

红外加热器 **infrared heater**

一种通过通电时产生的红外辐射来模拟外热流的外热流模拟设备，包括红外加热笼、红外灯阵、热控板。

3.2

红外加热笼 **infrared heating cage**

一种由电加热带组成的与试验件同形的笼状红外加热器。

3.3

红外灯阵 **array of infrared lights**

一种由红外灯及灯架组成的红外加热器，一般在试验件四周组成灯阵对航天器进行辐射加热。

3.4

热控板 **heater panel**

一种由温度可控的加热板组成的红外加热器，一般由电阻丝或电阻片对加热板加热。

3.5

表面接触式电加热器 **surface contact electrical heater**

一种由直接粘贴在试验件表面的多组薄膜电阻加热片组成的电加热器，通电后使其产生的焦耳热模拟外热流。

4 外热流模拟系统组成及研制目标

4.1 系统组成

外热流模拟系统由外热流模拟器、电源和控制分系统组成，见图1。

外热流模拟器是用于模拟太阳辐射和其他辐射热效应的装置，分为太阳模拟器、红外加热器和表面接触式电加热器。其中红外加热器包括红外加热笼、红外灯阵、热控板。

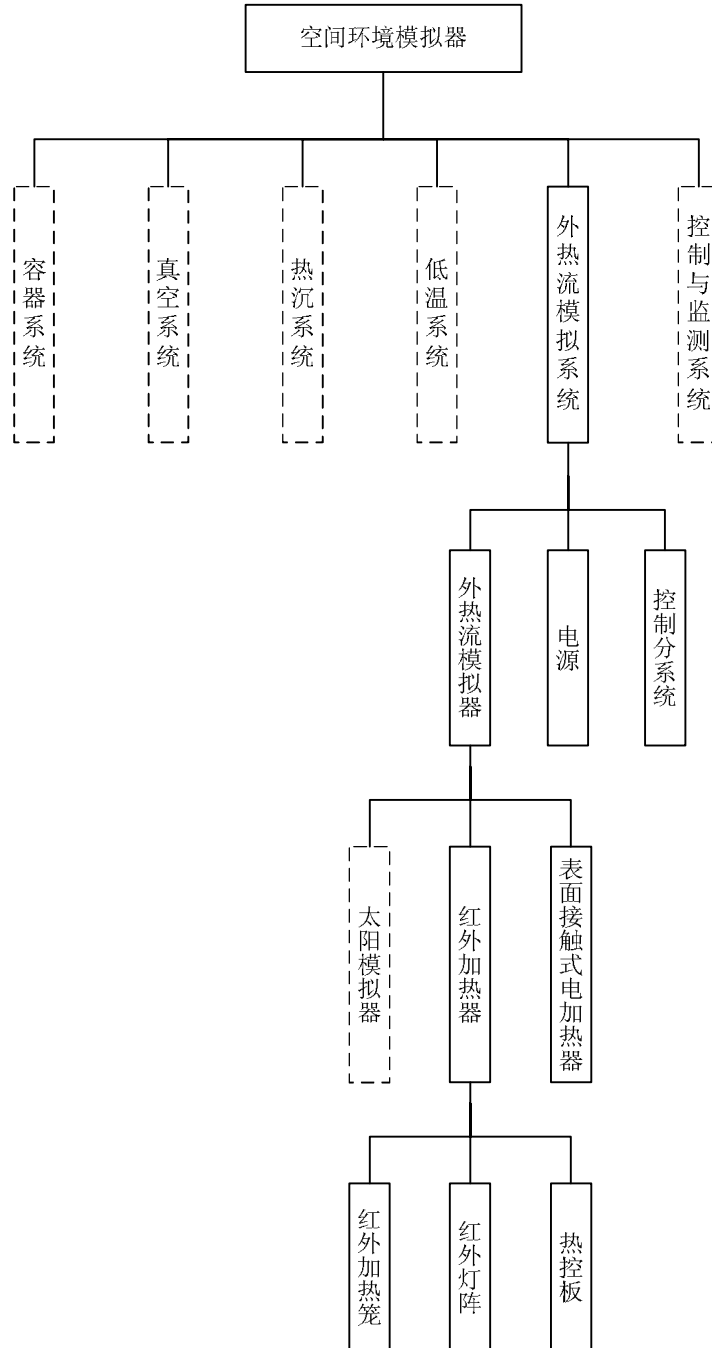


图1 外热流模拟系统组成框图

4.2 研制目标

外热流模拟系统应用于航天器热平衡试验外热流模拟，或者用于给航天器热真空试验提供加热手段。研制目标如下：

- a) 在热平衡试验中，模拟外热流应满足热平衡试验工况要求；
- b) 在热真空试验中，加热功率应满足热真空试验中试验件温度控制区的温度控制要求；
- c) 热流或温度的均匀度与控制精度应满足试验要求；
- d) 保证试验可靠性及安全性。

5 研制流程

外热流模拟系统一般应按图 2 所示流程进行研制。

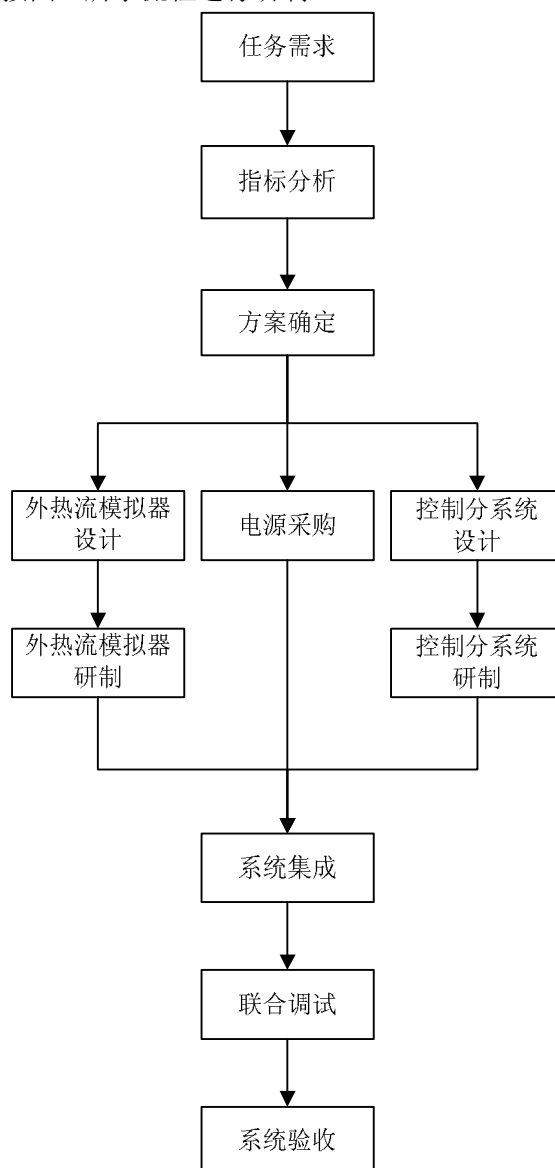


图 2 外热流模拟系统研制流程

6 研制原则

外热流模拟系统研制应遵循以下原则：

- a) 研制应充分继承成熟的技术；
- b) 研制应满足试验各项指标要求；

- c) 研制应满足可靠性和安全性;
- d) 研制应具有可维修性, 便于设备维修;
- e) 研制应具有经济性。

7 方案选用原则

根据航天器的试验类型、试验件的状况及其试验要求选用一种或多种外热流模拟器, 选用原则应符合 GB/T 34515—2017, GB/T 34522—2017 的规定, 并符合下列选用原则:

- a) 航天器正样阶段热试验一般不选用表面接触式电加热器;
- b) 航天器表面具有涂层的情况下一般不选用表面接触式电加热器;
- c) 瞬态热流模拟一般选用红外灯阵或表面接触式电加热器;
- d) 试验件表面为平面或其他较为复杂的形状, 如圆柱、圆台及其组合体的情况下, 宜选用红外加热笼;
- e) 空间环境模拟设备与试验件外表面之间距离较小的情况下, 宜选用红外加热笼;
- f) 航天器表面涂层适宜分区模拟外热流的情况下, 宜选用红外加热笼;
- g) 航天器表面为平面, 且该平面上以散热面为主, 多层隔热组件为辅的热控措施的情况下, 宜选用红外灯阵;
- h) 太阳能电池板热真空试验一般选用红外灯阵;
- i) 在同一次试验中对不同的航天器表面特性及试验要求, 允许同时选用多种外热流模拟器。

8 技术要求

8.1 红外加热笼

红外加热笼技术要求如下:

- a) 红外加热笼热流密度、几何形状及分区应满足试验件试验工况要求;
- b) 各加热区的热流可独立调节;
- c) 系统级热试验中吸收热流密度大于 80 W/m^2 , 热流密度平均值与设定值的偏差不超过 $\pm 5\%$;
- d) 除较小或不规则形状的加热区外, 热流密度不均匀度不超过 $\pm 5\%$;
- e) 红外加热笼最大加热功率一般不超过电源额定功率的 80% ;
- f) 加热带面积一般占本区面积的 $20\% \sim 50\%$, 在满足加热功率要求的前提下, 遮挡系数应取最小值;
- g) 加热带与支持结构之间的绝缘电阻不小于 $200 \text{ M}\Omega$ (250 V 交流电压下测量);
- h) 根据需要, 红外加热笼应留有试验件上电缆、电连接器的引出线或能避开试验件表面的凸出物;
- i) 红外加热笼加热回路的引出线应采用耐受温度范围为 $-196 \text{ }^\circ\text{C} \sim 250 \text{ }^\circ\text{C}$ 的聚四氟乙烯包覆导线。

8.2 红外灯阵

红外灯阵技术要求如下:

- a) 红外灯阵热流密度、几何形状及分区应满足试验件试验工况要求;
- b) 各加热区的热流可独立调节;
- c) 吸收热流密度大于 80 W/m^2 , 热流密度平均值与设定值的偏差不超过 $\pm 10\%$;
- d) 热流密度不均匀度不超过 $\pm 10\%$;

- e) 尽量减少红外灯阵对热沉的遮挡, 遮挡系数一般不大于 12%;
- f) 红外灯的最大加热功率一般不超过电源额定功率的 80%;
- g) 红外灯与支持结构之间的绝缘电阻不小于 200 M Ω (250 V 交流电压下测量);
- h) 根据需要, 红外灯阵应留有试验件上电缆、电连接器的引出线或能避开试验件表面的凸出物;
- i) 红外灯阵加热回路的引出线应采用耐受温度范围为-196 $^{\circ}\text{C}$ ~250 $^{\circ}\text{C}$ 的聚四氟乙烯包覆导线。

8.3 热控板

热控板温度范围、几何形状及安装要求根据试件外热流模拟要求确定。

8.4 表面接触式电加热器

表面接触式电加热器技术要求如下:

- a) 表面接触式电加热器热流密度应满足试验件表面相应部位吸收的最大和最小热流;
- b) 组成电加热器的薄膜电阻加热片每片阻值密度应不大于 400 Ω/dm^2 ;
- c) 同一区域的电加热器可由多片薄膜电阻加热片组成, 并应保证每片加热片的热流密度具有一致性;
- d) 各加热区的热流可独立调节;
- e) 一般情况下, 每个加热区的加热器所覆盖的面积不小于被加热区面积的 90%;
- f) 各加热区的实际加热功率与设计值的偏差一般不超过 $\pm 2\%$;
- g) 加热回路相对试验件的绝缘电阻值, 一般不小于 100 M Ω (250 V 交流电压下测量);
- h) 电加热器的阻值测量误差不超过 $\pm 0.01 \Omega$ 或回路阻值的 0.1%;
- i) 电加热器并联回路应考虑子电源额定的最大工作电流, 串联回路应考虑子电源额定的最大工作电压;
- j) 电加热器实施时应考虑不改变试验件表面实际热物性状态;
- k) 薄膜电阻加热片的试验温度不能超过其最高工作温度。

8.5 电源

红外加热器和表面接触式电加热器的电源装置一般采用程控直流电源, 技术要求如下:

- a) 输出电压在 0 V~150 V 范围内连续可调, 输出电流一般为 0 A~5 A;
- b) 具有编程功能, 电压分层一般不大于 50 mV, 电流分层值一般不大于 10 mA;
- c) 直流输出纹波电压一般小于 10mV;
- d) 输出电压随时间变化的量值不大于 120 mV/h 或在 24 h 内的变化量不大于 0.1 V;
- e) 电压调整率和负载调整率不超过 $\pm 0.1\%$;
- f) 有过流、过压、短路和断路保护及报警功能;
- g) 应经过国家二级以上计量部门检定合格, 并在有效期内使用;
- h) 在正常环境下使用安全、工作可靠, 满足航天器热试验工况要求。

8.6 控制分系统

控制分系统用来对程控电源的输出进行控制, 技术要求如下:

- a) 控制方式可以选择开环控制或闭环控制;
- b) 每个加热分区应可以进行独立控制;
- c) 应可以根据试验需求对热流值、温度值等进行控制;

- d) 在正常环境下使用安全、工作可靠，满足航天器热试验工况要求。

9 设计要求

9.1 一般要求

开展空间环境模拟器外热流模拟系统设计的一般要求如下：

- a) 应以真空热试验外热流计算报告和试验大纲等作为设计输入；
- b) 应依据选用原则选择适用的外热流模拟器进行设计；
- c) 应根据设计输入，设计与容器、试验件、安装现场等接口。

9.2 红外加热笼设计

红外加热笼设计要素包括：

- a) 根据试件的结构外形技术状态以及加热分区的名称、形位尺寸和分区方式，确定红外加热笼的基本外形要求，开孔要求，等；
- b) 计算加热带的布置方向和到试件表面的距离；
- c) 红外加热笼热设计，包括各个分区的加热带覆盖系数、设计电流以及加热回路数量等；
- d) 红外加热笼结构设计，包括加热带布局及骨架设计；
- e) 电装设计，包括确定过渡电缆网设计，电缆敷设方式等。

9.3 红外灯阵设计

红外灯阵设计要素一般包括下列内容：

- a) 红外灯选型，一般选用卤素钨丝石英灯；
- b) 红外灯阵热设计，确定灯的数量，排列等参数，红外灯阵距试件表面的距离；
- c) 红外灯阵结构设计，包括灯架，灯阵框架、反射板及吊装结构的设计；
- d) 电装设计，包括定义红外灯编号，编写红外灯对应关系表、接线接点表，电缆网设计等。

9.4 热控板设计

热控板设计要素一般包括下列内容：

- a) 根据试验要求，确定热控板几何形状；
- b) 热控板热设计，包括加热功率计算，热控板的温度分布以及热控板距离试件距离。

9.5 表面接触式电加热器设计

表面接触式电加热器设计要素一般包括下列内容：

- a) 根据试验要求，确定表面接触式电热器的加热片类型，布局和尺寸；
- b) 根据电源能力，确定加热片的串并联关系；
- c) 加热片的形状、大小和所需电阻等。

9.6 电源设计

程控电源设计要素一般包括下列内容：

- a) 根据红外加热器的加热功率，确认所选择的电源输出功率；
- b) 根据加热通道数量配备相应数量的电源，且备份电源数量不少于总数量的10%；
- c) 根据加热分区的分布，确认各分区所对应的电源。

9.7 控制分系统设计

控制分系统设计要素一般包括下列内容：

- a) 确认控制系统软件架构、功能及流程；
- b) 根据系统布局，确认控制电缆的铺设路径；
- c) 确认控制系统软件接口；
- d) 根据程控电源数量，确认控制电缆的数量；
- e) 确认控制系统软件测试方法。

10 制作工艺要求

10.1 一般要求

外热流模拟系统的制作工艺要求如下：

- a) 外热流模拟系统应按照相关设计图样及相关技术文件制作；
- b) 制作加工环境现场要求通风、照度、安全消防条件良好；
- c) 操作人员应经过上岗培训；
- d) 相关工艺装备应安全可靠，加工设备、工具应在检验有效期内使用；
- e) 测试用仪表应具有合格证，定期检定，并在检定有效期内使用。

10.2 红外加热器

红外加热器制作工艺要求包括下列内容：

- a) 应按照设计图样对红外加热笼进行加工及组装；
- b) 电缆布线应做好标识，所有引出线需要捆扎固定；
- c) 制作完成后，测量各加热回路阻值，确保满足产品性能指标和设计要求。

10.3 表面接触式电加热器

表面接触式电加热器制作工艺要求包括下列内容：

- a) 表面接触式电加热器应按照设计图样要求制作；
- b) 加热器不允许重复粘贴；
- c) 电缆布线应做好标识，所有引出线需要捆扎固定；
- d) 不允许从加热器件表面走线，一般不允许引线交叉；
- e) 制作完成后，测量各加热回路阻值，确保满足产品性能指标和设计要求。

10.4 电源

电源制作工艺应按电子电气产品安装相关标准及有关工艺细则的规定执行，确保同批电源工艺的一致性。

10.5 控制分系统

控制分系统制作工艺要求一般包括下列内容：

- a) 焊接工艺应符合电子电气产品手工焊接相关标准的要求；
- b) 压接工艺应符合坑压式压接连接相关标准的要求；
- c) 控制电缆电装后应进行检测，保证对应关系准确无误；
- d) 控制电缆两端的表面应有电缆标识、长度和加工日期，电连接器上的端盖用线绳固定在插头上。

11 安装要求

11.1 红外加热器

红外加热器安装要求如下：

- a) 安装前加热装置应进行清洁处理；
- b) 在真空室内加热装置可以利用悬挂或支撑装置进行安装，安装应牢固可靠；
- c) 悬挂或支撑装置与真空室一般应采取隔热措施；
- d) 加热装置各加热回路与悬挂或支撑装置应绝缘；
- e) 加热装置安装有特殊要求时，应符合试验技术文件要求。

11.2 表面接触式电加热器

表面接触式电加热器安装一般用胶贴在组件和相关件的蒙皮外表面或内表面上，加热器向外的面应涂上与组件内、外表面相同或辐射性能相近的涂层。加热器与组件和相关件要有良好的电绝缘。

11.3 电源

电源的安装要求如下：

- a) 程控电源一般安装在标准机柜内；
- b) 安装时要考虑程控电源的散热；
- c) 程控电源在使用中如果出现故障，需要更换备份电源，安装时需要考虑程控电源更换的方便性。

11.4 控制分系统

控制分系统的安装要求如下：

- a) 应考虑控制电缆的散热问题，控制电缆铺设时电缆间距不小于 10 mm，不可叠放；
- b) 控制系统软件一般至少安装在 2 台电脑上；
- c) 控制系统软件安装完成后需要进行调试，确认运行正常后，方可正式运行。

12 参数测量

12.1 概述

外热流模拟系统需要测量的参数主要有温度及辐射热流。

12.2 温度测量

温度测量设备选择原则如下：

- a) 温度测点数目、温度测点位置满足试验要求；
- b) 温度测量误差优于 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 温度测量范围 $-200\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 测温传感器类型可以选用热电偶、热敏电阻、铂电阻，一般用铜-康铜热电偶；
- e) 温度采集周期不大于 60 s；
- f) 温度测量应单点接地，接地电阻不大于 $1\ \Omega$ ；
- g) 航天器温度测试用传感器均应经二级以上计量部门进行标定，且在有效使用期内。

12.3 热流密度测量

12.3.1 红外加热器

红外加热器热流密度测量方式如下：

- a) 选择敏感片涂黑漆的绝热型热流计；

- b) 根据热流区面积选择 1 个~3 个热流测点;
- c) 测量位置选择如下:
 - 1) 选择 1 个热流测点时, 应选在热流密度相对偏差的绝对值尽量小的位置上;
 - 2) 选择 2 个热流测点时, 应选在热流密度相对偏差的绝对值尽量相近的, 而符号相反的位置上;
 - 3) 选择 3 个热流测点时, 其中一个测点选择 (1) 位置, 另外两个测点选择 (2) 位置;
 - 4) 被测件与加热体间的距离: 200 mm~250 mm。
- d) 测量步骤如下:
 - 1) 调节红外加热笼加热功率, 使试件表面热流密度满足设计要求;
 - 2) 当热流计敏感片达到热稳定, 测量敏感片的温度。

12.3.2 表面接触式电加热器

表面接触式电加热器热流测量要求按 GB/T 34515—2017 的规定。

12.4 电源

电源的实际输出电流和电压一般由控制分系统远程测量。

12.5 控制分系统

控制分系统软件主要远程测量红外加热器、程控电源的各测量参数。

13 验收要求

13.1 红外加热器

红外加热器的验收应满足如下要求:

- a) 根据设计文件中技术要求进行验收;
- b) 产品尺寸应符合设计图样要求, 外观无损伤, 表面无污染;
- c) 对各加热回路进行回路阻值和绝缘阻值测量, 回路阻值应符合设计值;
- d) 必要时可进行红外加热器与其他试验设备的联合调试试验, 验证各项参数符合技术指标要求。

13.2 表面接触式电加热器

表面接触式电加热器的验收应满足如下要求:

- a) 根据设计文件中相关要求进行验收;
- b) 产品尺寸应符合设计图样要求, 外观无破损, 平整无褶皱, 无明显压痕、无气泡, 层间不脱粘, 层间透明;
- c) 对各加热回路进行回路阻值和绝缘阻值测量, 回路阻值应符合设计值。

13.3 电源

电源的验收应满足如下要求:

- a) 包装完整, 外观无损坏;
- b) 应经过国家二级以上计量部门检定合格;
- c) 远程通讯正常;
- d) 完成一次系统联合调试。

13.4 控制分系统

QJ 20678.3—2018

控制分系统的验收应满足如下要求：

- a) 控制电缆焊接对应关系正确；
 - b) 控制电缆导通、绝缘测试正常；
 - c) 控制软件经过单机测试，能完成所有功能，软件运行正常；
 - d) 完成一次系统联合调试。
-

中华人民共和国航天行业标准
空间环境模拟器研制要求
第 3 部分：外热流模拟系统

QJ 20678.3—2018

*

中国航天标准化研究所出版
北京市丰台区小屯路 89 号
邮政编码：100071
中国航天标准化研究所
印务发行部印刷、发行

版权专有 不得翻印

*

2018 年 5 月出版
定价：26 元