



中华人民共和国国家标准

GB/T 47970—2026

空间环境 航天材料空间环境效应 仿真要求

Space environment—Requirements of simulation for space environmental
effects on space materials

2026-07-30 发布

2027-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义、缩略语..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 2

4 总体要求 3

5 多尺度模拟方法 3

 5.1 尺度分类 3

 5.2 不同尺度模拟的特征 3

 5.3 不同尺度的常用模拟方法 3

6 航天材料空间环境效应仿真要求 4

 6.1 航天材料真空环境效应仿真要求 4

 6.2 航天材料热效应仿真要求 5

 6.3 航天材料粒子辐射效应仿真要求 6

 6.4 航天材料带电效应仿真要求 7

 6.5 航天材料高能光子辐射效应仿真要求 8

 6.6 航天材料原子氧侵蚀效应仿真要求 9

 6.7 空间碎片与流星体撞击效应仿真要求 10

7 多尺度模拟策略..... 11

 7.1 概述 11

 7.2 分层模拟方法 11

 7.3 并发模拟方法 11

附录 A（资料性） 多尺度模拟方法 12

 A.1 概述 12

 A.2 常见多尺度模拟方法介绍 12

附录 B（资料性） 不同空间和时间尺度的常用模拟软件 14

 B.1 概述 14

 B.2 量子尺度模拟软件 14

 B.3 微观尺度模拟软件 15

 B.4 多尺度模拟软件 16

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)归口。

本文件起草单位：北京卫星环境工程研究所、深圳星地孪生科技有限公司、西北核技术研究院、南京航空航天大学、中国科学院国家空间科学中心、西安交通大学、中国科学院上海光学精密机械研究所、湘潭大学、中国空间技术研究院、江苏海洋大学、扬州大学。

本文件主要起草人：沈自才、季启政、欧阳晓平、蔡明辉、焦子龙、王思展、陈玉、崔乃元、汤晓斌、郑毅帆、王婧、曹荣幸、宋宏甲、方美华、邵宇川、钟向丽、乔佳、乔世英、王金斌、李昌宏、王世金、薛玉雄、刘薇。

引 言

航天器在轨运行过程中,将受到真空、温度、粒子辐射、高能光子、等离子体、原子氧、空间碎片及流星体等空间环境的作用,进而引起其材料、元件、器件甚至组件的功能下降甚至失效。究其原因,还是在材料层面上,根据材料成分及其尺寸大小,从量子尺度、微观尺度、介观尺度和宏观尺度发生了空间环境与航天材料的相互作用。

从材料层级的最小尺度(纳米及以下)的作用到较大尺寸(毫米及以上)的作用,跨越了多个尺度,从空间环境与材料的大小、基本单元、作用时间均发生了较大的变化,其模拟方法也实现了分子动力学、经典力学、流体力学、有限元的跨越。为此,需要采用多尺度模拟方法。

通过开展不同尺度下热环境、能量粒子、等离子体、原子氧、紫外辐射、空间碎片及流星体等空间环境要素对航天材料作用的仿真模拟,揭示空间环境对航天材料的作用机制,进而可用于航天材料的开发,分析空间环境对航天材料性能或功能的影响。

本文件将从空间环境与航天材料的作用微观机理和机制出发,以航天材料的不同空间环境效应为主线,分别给出量子尺度、微观尺度、介观尺度和宏观尺度的模拟要求,并在附录中给出了常见的模拟方法和常用的模拟软件。

空间环境 航天材料空间环境效应 仿真要求

1 范围

本文件规定了航天材料空间环境效应仿真要求,包括总体要求、多尺度模拟方法、不同的航天材料空间环境效应仿真要求以及多尺度模拟策略。

本文件适用于航天材料(含电子材料)真空效应、热效应、粒子辐射效应、带电效应、高能光子辐射效应、原子氧侵蚀效应以及空间碎片与流星体撞击效应的计算模拟,也适用于航天材料在轨服役性能(宏观性能)的预示。

本文件不适用于航天器用元件、器件、组件的空间环境效应的仿真分析。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 32452 航天术语 空间环境
- GB/T 41543 空间环境 航天材料空间环境效应模拟试验通用规范
- GB/T 42846 空间环境 非金属材料空间辐射效应地面模拟方法
- GB/T 44776—2024 航天器空间环境及其效应仿真分析通用要求

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 32452、GB/T 41543、GB/T 42846、GB/T 44776—2024 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

多尺度模拟 multiscale simulation

从量子尺度、微观尺度、介观尺度、宏观尺度等不同尺度开展的模拟。

3.1.2

量子尺度 quantum scale

物质的运动与相互作用由量子力学规律主导的尺度,对应普朗克长度(约 1.616×10^{-35} m)至原子大小(约 10^{-9} m)的范围。

注 1: 量子尺度是物质世界中最基本的尺度层级,该尺度下的研究对象包括原子、电子及更小粒子(如夸克)。

注 2: 量子尺度核心特征包括量子叠加(粒子同时处于多个状态的叠加态,如薛定谔猫的“既死又活”状态)、量子纠缠(多个粒子形成关联整体,某一粒子的状态变化会瞬间影响另一粒子,无论距离远近)、波粒二象性(粒子既表现出粒子的局域性,又表现出波的弥散性,如电子通过双缝时形成干涉条纹)。