



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 41270.4—2026/IEC 62396-4:2013

航空电子过程管理 大气辐射影响 第 4 部分：控制潜在单粒子效应的飞机 高压设备设计

Process management for avionics—Atmospheric radiation effects—
Part 4: Design of high voltage aircraft electronics managing potential single
event effects

(IEC 62396-4:2013, IDT)

2026-09-24 发布

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、定义和缩略语	1
4 高压器件的潜在单粒子效应	1
5 航空电子设备中高压器件的 SEB 量化分析	2
6 SEB 相关数据及其在航空电子中的应用	3
6.1 基于重离子测试的 SEB 数据	3
6.2 基于高能中子和质子测试的 SEB 数据	4
6.3 不同飞行高度下的 SEB 发生概率计算	5
6.4 高压器件辐射特性测量:EPICS 测试	6
6.5 热中子引起的 SEB	8
6.6 硅的替代半导体材料	8
7 结论	9
参考文献	10

前 言

本文件为规范类指导性技术文件。

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。

本文件是 GB/T(Z) 41270 的第4部分。GB/T 41270 已经发布了以下部分：

- 大气辐射影响 航空电子设备单粒子效应防护设计指南(GB/T 34956—2017)；
- 大气辐射影响 航空电子系统单粒子效应试验指南(GB/T 34955—2017)；
- 航空电子过程管理 大气辐射影响 第3部分：考虑大气辐射单粒子效应(SEE)的系统设计优化(GB/T 41270.3—2025)；
- 航空电子过程管理 大气辐射影响 第4部分：控制潜在单粒子效应的飞机高压设备设计(GB/Z 41270.4—2026)；
- 航空电子过程管理 大气辐射影响 第5部分：航空电子系统中热中子注量率及其单粒子效应影响评估(GB/Z 41270.5—2026)；
- 航空电子过程管理 大气辐射影响 第6部分：极端空间天气对航空电子设备环境和电子设备的潜在影响(GB/Z 41270.6—2026)；
- 航空电子过程管理 大气辐射影响 第7部分：航空电子产品设计中单粒子效应分析过程管理(GB/T 41270.7—2022)；
- 航空电子过程管理 大气辐射影响 第8部分：对航空电子产品中质子、电子、 π 介子、 μ 子、 α 射线注量率导致单粒子效应的考虑(GB/Z 41270.8—2026)；
- 航空电子过程管理 大气辐射影响 第9部分：航空电子设备单粒子效应故障率计算程序与方法(GB/T 41270.9—2022)。

本文件等同采用 IEC 62396-4:2013《航空电子设备的过程管理 大气辐射影响 第4部分：控制潜在单粒子效应的飞机高压设备设计》。文件类型由 IEC 的标准调整为我国的国家标准化指导性技术文件。

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。

本文件由全国航空电子过程管理标准化技术委员会(SAC/TC 427)提出并归口。

本文件起草单位：太原航空仪表有限公司、中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所、中国航空综合技术研究所、中国科学院高能物理研究所、工业和信息化部电子第五研究所、中航通飞研究院有限公司、中航西安飞机工业集团股份有限公司。

本文件主要起草人：杜文杰、刘芸、任海涛、胡志良、雷志锋、李威翰、赵晨、陈威升、张娟、李林珍、周治国、冯小玉、莫莉华。

引言

GB/T(Z) 41270《航空电子过程管理 大气辐射影响》规定了航空电子过程管理领域大气辐射对航空电子产品影响的管理要求与技术要求,拟由 9 个部分构成。

- 第 1 部分:航空电子设备单粒子效应防护设计指南。目的在于为 18.3 km 以下飞行的飞机中航空电子设备大气辐射效应防护设计提供指导。
- 第 2 部分:航空电子系统单粒子效应试验指南。目的在于给出微电子器件测量大气中子单粒子效应敏感特性的试验方法指南。
- 第 3 部分:考虑大气辐射单粒子效应(SEE)的系统设计优化。目的在于规定航空电子产品在大气辐射诱发单粒子效应(SEE)影响下的技术要求,用于指导航空电子产品的设计。
- 第 4 部分:控制潜在单粒子效应的飞机高压设备设计。目的在于规定高电压(标称高于 200 V)航空电子设备的大气辐射影响及其管理的指南。
- 第 5 部分:航空电子系统中热中子注量率及其单粒子效应影响评估。目的在于描述热中子对航空电子产品构成的影响。
- 第 6 部分:极端空间天气对航空电子设备环境和电子设备的潜在影响。目的在于给出对极端空间天气事件理解的信息,描述由于太阳表面活动的大量增加而产生“极端空间天气”的机制和条件,并根据极端空间天气的记录讨论其潜在的辐射环境。
- 第 7 部分:航空电子产品设计中单粒子效应分析过程管理。目的在于规定航空电子产品设计中电子元器件单粒子效应分析的方法和程序。
- 第 8 部分:对航空电子产品中质子、电子、 π 介子、 μ 子、 α 射线注量率导致单粒子效应的考虑。目的在于规定小粒子(质子、电子、 π 介子和 μ 子通量)和单粒子效应对在 18.3 km(60 000 英尺)高度飞行的飞机上使用的航空电子设备的影响的认识和指导。
- 第 9 部分:航空电子设备单粒子效应故障率计算程序与方法。目的在于规定航空电子设备单粒子效应故障率通用计算方法、总故障率计算方法、软故障率计算方法、硬故障率计算方法与计算程序。

本文件为设计高压航空电子设备和航空电子系统提供了指南和要求。它旨在为航空电子系统设计人员、电子设备制造商、元器件制造商及其客户提供应对由大气辐射在高压(标称电压高于 200 V)运行的半导体器件中产生的单粒子效应的管理方法。本文件扩展了 GB/T 34956—2017 中提供的信息和指导内容。

在高压运行的半导体器件中,其内部元件将承受高电压应力。入射辐射会在器件内部产生电离电荷,而高压应力可能导致该电荷显著增加(雪崩效应),从而造成破坏性影响。本文件重点考虑了两种效应:单粒子烧毁(SEB)和单粒子栅穿(SEGR)。

航空电子过程管理 大气辐射影响

第4部分:控制潜在单粒子效应的飞机 高压设备设计

1 范围

本文件为飞行高度不超过 18.3 km(60 000 英尺)的飞机提供了高电压(标称电压高于 200 V)航空电子设备的大气辐射影响及其管理的指南。本文件定义了该环境对高压电子设备的影响,并提出了在航空电子系统中应对这些影响的设计考虑。

本文件为航空航天设备制造商和设计者提供了技术数据和方法论。通过提供指导,帮助其对高压航空电子设备的单粒子效应形成标准化的应对方法。

本文件详细介绍了与高压航空电子设备运行相关的单粒子效应类型、量化其效应的方法,以及适当的设计和方法论,以证明电子设备在特定应用中的适用性。

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 34956—2017 大气辐射影响 航空电子设备单粒子效应防护设计指南(IEC 62396-1:2016,IDT)

注:GB/T 34956—2017被引用的内容与IEC 62396-1:2012被引用的内容没有技术上的差异。

3 术语、定义和缩略语

GB/T 34956—2017 界定的术语和定义适用于本文件。

4 高压器件的潜在单粒子效应

N 沟道功率 MOSFET 可能因单个高能粒子引起的电荷沉积而产生两种不同类型的破坏性效应:单粒子烧毁(SEB)和单粒子栅穿(SEGR)。对多个器件进行的测试表明,在 P 沟道 MOSFET 中难以引发 SEB^[1,2]。除了这种类型的功率 MOSFET 之外,其他功率器件,如绝缘栅双极晶体管(IGBTs)、双极型功率晶体管、二极管等,在承受较大外加电压偏置和具有高内部电场时,也容易发生 SEB。

在 SEB 中,电荷沉积穿透源极-体区-漏极区域,可使源极下方的薄体区处于正向偏置状态。如果偏置施加到漏极且超过寄生双极元件的局部击穿电压时,单粒子事件引发的脉冲会在漏极耗尽区引发雪崩效应,最终导致破坏性 SEB。SEB 可由重离子、高能质子^[3]和高能中子^[4]诱发。

SEGR 适用于 N 沟道和 P 沟道 MOSFET。其机制是当高能粒子穿透薄栅氧化层区域时,沿能量沉积径迹会形成瞬态等离子体丝。这种瞬态径迹等离子体丝会导致氧化层电场局部增强,可能引发氧化层击穿,最终从栅极泄漏发展为栅极击穿。SEGR 的失效机制已通过重离子测试被广泛研究,并在不同设备上识别出其效应,且敏感性水平各异^[2]。目前,试验还表明,由重离子引发的 SEGR 对空间系