

中华人民共和国国家标准

GB/T 43927—2024

航天器用锂离子蓄电池组安全 设计与控制要求

Safety design and control requirements for spacecraft Li-ion batteries

2024-04-25 发布

2024-08-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语..... 1

 3.1 术语和定义 1

 3.2 缩略语 2

4 安全性设计总体要求 2

5 安全性设计和控制一般要求 3

 5.1 故障容限设计 3

 5.2 最小风险设计 3

 5.3 鉴定和安全性检验验证 3

 5.4 验收检验验证 3

6 安全性设计与控制详细要求 3

 6.1 单体蓄电池安全性设计和控制 3

 6.2 元器件安全性设计和控制 4

 6.3 绝缘安全性设计和控制 4

 6.4 安全间距设计和控制 4

 6.5 接地安全性设计和控制 4

 6.6 机械装配安全性设计和控制 4

 6.7 电气装配安全性设计和控制 5

 6.8 防开路安全设计和控制 5

 6.9 结构安全性设计和控制 5

 6.10 热设计控制 6

 6.11 抗辐照安全设计和控制 6

 6.12 防静电安全设计和控制 6

 6.13 单体蓄电池匹配性设计 6

 6.14 蓄电池组监测参数设计 6

 6.15 蓄电池组充电安全性设计和控制 6

 6.16 蓄电池组均衡设计和控制 7

 6.17 蓄电池组放电安全管理 7

 6.18 蓄电池组工作温度安全管理 7

 6.19 蓄电池组使用安全管理 7

 6.20 蓄电池组储存安全措施 8

6.21 蓄电池组运输安全措施 8

7 蓄电池组安全性验证要求 8

参考文献..... 9

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。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：上海空间电源研究所、上海交通大学。

本文件主要起草人：王虎平、张周翀、胡珍珍、郭向飞、瞿轶、李林森、李娟娟、向瑞琪、顾轶敏。

航天器用锂离子蓄电池组安全 设计与控制要求

1 范围

本文件规定了航天器用锂离子蓄电池组的安全性设计总体要求、安全性设计与控制一般要求、安全性设计与控制详细要求及安全性验证要求。

本文件适用于卫星、空间站等航天器用锂离子蓄电池组(以下简称“蓄电池组”)。

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 2894 安全标志及其使用导则

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

安全性 safety

产品具有的不导致人员伤亡、装备损坏、财产损失或不危及人员健康和环境的能力。

3.1.2

危险 hazard

可能导致事故状态。

3.1.3

风险 risk

某一危险的危险可能性和危险严重性的综合度量。

3.1.4

电气间隙 clearance

两个导电部件之间在空气中的最短距离。

[来源:GB/T 4943.1—2022,3.3.12.1]

3.1.5

电气间距 electrical distance

两个有绝缘涂覆层的带电导体涂覆层之间测得的最短空间距离。

3.1.6

并联块 cellpackage

蓄电池组中通过并联获得合适容量的两个或两个以上的单体蓄电池组成结构体。

3.1.7

双重绝缘 double insulation

由基本绝缘和附加绝缘构成的绝缘。

[来源:GB 4943.1—2022,3.3.5.2]

3.1.8

降额 derating

元器件使用中承受的应力低于其额定值。

3.1.9

过充电 overcharge

完全充电的蓄电池或电池组的继续充电。

注:超过制造商规定的某一极限的充电行为亦为过充电。

[来源:GB/T 2900.41—2008,482-05-44]

3.1.10

过放电 overdischarge

当蓄电池或电池组完全放电后强制进行的放电过程。

3.1.11

短路 short circuit

蓄电池两极短接的现象。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

FME(C)A:故障模式与影响(危害性)分析(Failure Modes and Effects and Criticality Analysis)。

AIT:总装、集成与测试(Assembly, Integration and Testing)。

4 安全性设计总体要求

安全性设计总体要求主要包括以下内容。

- a) 应通过设计消除已知的危险或将风险降低到可接受程度。
- b) 应采用安全设计措施,如冗余、故障-安全设计、系统防护、防护装置等,使不能消除的危险所导致的风险降低到可接受的水平。
- c) 从设计上应对有害物质、危险作业等采取隔离措施。
- d) 从设计上应采取措施避免工作人员受到危险化学品药品、电击、高低温及有毒气体的伤害。
- e) 应采取能消除由恶劣环境条件(如温度、压力、噪声、冲击、过载、振动、静电和有害射线等)所导致的危险,或将其风险降低到可接受水平的设计,而且应根据诱导环境、自然环境和特性的最坏情况的联合发生,留有设计余量;对使用和维护过程中人为差错可能导致的危险,在设计时予以充分考虑,并采取消除措施。
- f) 在装配、使用、维护和修理说明书中应给出警告和注意事项,并符合 GB 2894 的有关规定。
- g) 采用新的设计方法、新材料、新工艺和试验技术时,应寻求最小风险。

5 安全性设计和控制一般要求

5.1 故障容限设计

产品设计应允许一定数量的故障和(或)人为操作差错的出现,防止因系统功能或操作差错而导致灾难或严重危险。

5.2 最小风险设计

在设计上应消除危险,若不能消除已知危险,应通过设计方案的选择和设计优化将有关风险降低到可接受程度,具体要求如下:

- a) 关系到最小风险设计领域的风险(如结构、材料相容性、易燃性等)应受到安全设计特性的控制;
- b) 应依据断裂控制原理对结构失效具有灾难性或严重性后果的结构、紧固件、机械负载通道进行设计;
- c) 结构安全系数应按极限负载确定,并能适应于极限负载;
- d) 安全裕度的确定应根据环境条件最坏组合情况;
- e) 选择材料时应保证消除或控制与材料特性(如:毒性、耐腐蚀性、抗辐射性等)有关的各种危险,若不能实现,产品设计应提供必要的措施控制与材料特性有关的危险事件;
- f) 蓄电池组设计应开展 FME(C)A 分析,当不同风险水平与应用需要抉择时,应选择在满足任务性能需求的同时呈现最小风险。

5.3 鉴定和安全性检验验证

应用于航天器上的蓄电池组应事先经鉴定试验、安全性试验和寿命试验,验证其能够满足任务要求。

5.4 验收检验验证

应用于航天器上的蓄电池组应通过验收级试验。

6 安全性设计与控制详细要求

6.1 单体蓄电池安全性设计和控制

单体蓄电池安全性设计和控制满足以下要求:

- a) 单体蓄电池应选用热稳定好、安全性高的正负极材料、电解液和隔膜;
- b) 单体蓄电池应采用全密封结构设计,漏率不大于 $(1.0 \times 10^{-7}) \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$;
- c) 单体蓄电池应采用正极限量设计,负极容量过量设计;
- d) 单体蓄电池隔膜应完全包覆负极片、负极片完全包络正极片;
- e) 单体蓄电池壳体、泄压阀和密封结构应采用耐电解液腐蚀的材料,并有一定的耐压力安全系数,保证其在整个寿命周期内不发生破裂和泄漏;
- f) 单体蓄电池应具备故障容限设计,任何故障模式不应产生危险情况;
- g) 单体蓄电池生产线应有严格的多余物、温度、湿度控制措施及缺陷检测;
- h) 单体蓄电池应放置在可控的温度和湿度环境中,防止性能退化和(或)表面腐蚀。

6.2 元器件安全性设计和控制

元器件安全性设计和控制满足以下要求：

- a) 应从合格供应商目录和合格产品目录中选用元器件,并优先选用有宇航应用经历的元器件,没有宇航应用经历的元器件应经过充分的考核评价和有效的应用验证后使用,不应选用禁用元器件；
- b) 蓄电池组电连接器、导线等元器件应进行降额设计,满足Ⅰ级降额要求；
- c) 导线的截面尺寸、韧度和挠性应能提供安全的电流负载能力和强度,不应选用过细导线；
- d) 蓄电池组电连接器应采用防差错设计；
- e) 蓄电池组功率输出正端和功率输出负端使用同一电连接器的,应采用孔式电连接器,功率输出正端和功率输出负端应留有足够的安全间隔；
- f) 在设计和操作上应有相应的措施,防止电连接器带电插拔时发生意外短路、打火等事故。

6.3 绝缘安全性设计和控制

绝缘安全性设计和控制满足以下要求。

- a) 应选取经过验证的成熟度等级高的绝缘安全设计方法,并应具有良好的工艺实施性。
- b) 绝缘材料选用应根据产品寿命周期按最坏工况设计,应有绝缘性能及耐压能力,其绝缘寿命、抗电强度、耐热强度、机械强度的选择应符合产品使用环境要求。
- c) 单体蓄电池壳体和蓄电池组结构间、单体蓄电池壳体与热敏电阻间、导线束固定部位、导线束与金属结构件等接触部位应进行双重绝缘设计。
- d) 在常温常压下用不低于 100 V 兆欧表检测时(当蓄电池组最高工作电压大于 100 V,选用兆欧表电压应大于蓄电池组最高工作电压),单体蓄电池壳体与蓄电池组结构、电加热器、温度传感器间绝缘电阻应不小于 100 MΩ;蓄电池组结构与电连接器各接点、电加热器、温度传感器间绝缘电阻应不小于 20 MΩ。
- e) 蓄电池组表面带电部分应采取绝缘保护措施,不应出现裸露的带电部位。
- f) 对于电压超过 60 V 的蓄电池组,对操作人员和使用人员可触及的绝缘应有机械强度和电气强度或采用安全防护隔离等措施,以减少与危险电压接触的可能性。

6.4 安全间距设计和控制

蓄电池组内带电导体之间、带电导体与金属结构之间应设计足够的电气间隙和电气间距,电气间隙和电气间距应满足有关的国家标准和行业标准。

6.5 接地安全性设计和控制

蓄电池组应进行绝缘和导热安装,蓄电池组结构应采用 20 kΩ~100 kΩ 电阻与航天器结构地连接。

6.6 机械装配安全性设计和控制

机械装配安全性设计和控制满足以下要求。

- a) 装配前应对单体蓄电池、零部件进行检查,确保外观完好、无损伤、无多余物。
- b) 应对单体蓄电池采取安全防范措施,防止单体蓄电池损伤、打火和短路。
- c) 单体蓄电池的装配或固封不应影响泄气阀或爆破片。
- d) 螺纹连接紧固后,螺纹尾端外露长度应为 1.5 倍螺距,最大不超过 1.5 倍螺距的 3.2 mm。

- e) 螺纹紧固应进行力矩量化,并进行防松处理;对相邻零部件接触面有接触电阻要求的螺纹紧固安装不应采取螺纹敷涂胶的防松动方式。
- f) 有接触电阻要求的接触面不应涂导热硅脂。
- g) 零部件和紧固件应无可见的毛刺或磨损的边缘。
- h) 蓄电池组组装时,应采取防范措施控制多余物进入蓄电池组内。

6.7 电气装配安全性设计和控制

电气装配安全性设计和控制满足以下要求:

- a) 在装配过程中应确保蓄电池组中的单体蓄电池无反接或短路;
- b) 蓄电池组内部电连接应采用低阻抗连接方式,固定应牢固可靠,并满足飞行环境的要求;
- c) 采用连接片焊接进行单体蓄电池串并联的蓄电池组,连接片应使用低热量输入的焊接方式(如超声波焊、电阻焊、激光焊)将蓄电池焊牢,防止虚焊、脱落;
- d) 带电焊点或金属附件不应有毛刺、尖端和锐角,表面圆滑光洁;
- e) 用紧固件压紧的电气连接应按力矩要求进行紧固,并进行防松处理;
- f) 除接地装置外,紧固件不应做电气连接导通使用;
- g) 电连接器压接或者焊接导线时不应对接触件造成损伤,安装时应防止机械损伤,不应损伤电连接器镀层或造成机械结构变形;
- h) 电连接器上焊接的导线应保留一定的弯曲半径,防止焊点根部有过应力;
- i) 对于压接连接式电连接器,安装压接件至绝缘体时应确认导线绝缘层插入到绝缘体安装孔内一定深度,以防止温度变化导致绝缘层收缩出现导线线芯裸露;
- j) 设计时应留有走线位置,采用机械固定或环氧胶粘固等,导线束的固定应有应力释放措施;
- k) 电缆线束应平行绑扎,不应有直角弯折的走线设计,电缆(导线)的弯曲最小半径应不小于电缆(导线)直径的 5 倍;
- l) 不应将导线(束)布设、粘固在元器件上,对于粗线束应设置固定支架、固定孔、固定夹等用于绑扎固定;
- m) 导线需穿过结构或金属零件时,穿孔应采用倒角设计,穿孔部分导线应使用套管、薄膜等绝缘材料进行包覆,并点胶固定;
- n) 功率、信号等线束不应布设在焊点尖端和金属尖端上,不应与金属零件等直接接触,接触部位应进行双重绝缘处理;
- o) 导线或线束不应靠近发热元器件,不应作为机械支撑使用;
- p) 应采取措施防止元器件在装配、包装、运输过程中受到损伤、污染或受潮。

6.8 防开路安全设计和控制

蓄电池组应采取多个单体蓄电池串并联设计,采用多个单体蓄电池并联的蓄电池组应根据任务要求决定是否采用 by-pass 装置防开路设计措施。

6.9 结构安全性设计和控制

结构安全性设计和控制满足以下要求:

- a) 产品设计时应采取措施减小应力集中,应选择韧性好、对应力集中不敏感的材料;
- b) 产品设计时应选用目录内或经过试验验证和飞行考核的材料,不应选用禁用材料;
- c) 蓄电池组部件应有足够的强度和刚度,能经受环境试验考核,应具有规定的安全裕度;
- d) 对振动敏感电子元器件和零部件应采取单独局部隔振措施,振动源应采取单独的隔振,以防发生共振;

- e) 结构件棱角应进行倒角处理,不应有毛刺、尖端和锐角;
- f) 蓄电池组结构应满足任务或应用的所有环境条件,包括:发射/着陆、运输、操作环境,产品的固有频率应满足航天器设计建造规范要求;
- g) 结构设计应经过结构力学分析和试验验证,证明结构设计满足力学环境条件和接口要求。

6.10 热设计控制

热设计控制满足以下要求:

- a) 蓄电池组热设计应使得在期望的环境条件下,单体蓄电池维持在最佳的温度范围且保持较好的温度一致性;
- b) 蓄电池组温度监测点应优先设置在单体蓄电池的典型表面,温度监测点位置和数量应满足在正常条件下温度监测要求以及异常条件下安全保护需求;
- c) 蓄电池组应进行热仿真分析、热试验,用以评估和验证蓄电池组热设计的有效性。

6.11 抗辐照安全设计和控制

应按照航天器抗辐射设计要求,针对选用元器件、单体蓄电池和原材料等进行适应性分析、设计,必要时进行辐照剂量测试,耐辐照剂量不应低于任务环境的剂量要求。

6.12 防静电安全设计和控制

应选用低静电敏感的元器件,对于自身带有电子控制或均衡设备的蓄电池组应进行静电防护与控制。蓄电池组结构间、元器件外壳与蓄电池组结构间搭接应具有最小电阻设计,搭接电阻应满足航天器设计建造规范要求。

6.13 单体蓄电池匹配性设计

同一蓄电池组应采用相同材料、相同生产工艺并经过相同测试条件筛选后的同批次单体蓄电池,单体蓄电池性能参数的匹配应以保证蓄电池组性能、循环寿命和安全等为原则,包括单体蓄电池(并联块)容量、荷电保持率、内阻等。

6.14 蓄电池组监测参数设计

在地面与在轨运行过程中应对蓄电池组电压、温度、充电电流、放电电流、单体蓄电池(并联块)电压等参数进行监测,监测电路设计应防止因监测电路之间的电流差异造成不同单体蓄电池(并联块)间荷电态不平衡,也应防止监测电路电流过大造成蓄电池组能量的过度损耗。

6.15 蓄电池组充电安全性设计和控制

蓄电池组充电安全性设计和控制满足以下要求:

- a) 蓄电池组采用恒流转恒压的充电控制方式时,恒流转恒压充电转换点应根据蓄电池特点及制造商使用要求进行合理选择,防止出现充电转换点选择过高影响蓄电池寿命或充电转换点选择过低不能完成充电等情况;
- b) 充电时蓄电池组内单体蓄电池(并联块)电压不应超过制造商的设计范围;
- c) 蓄电池组最大充电电流与蓄电池温度紧密相关,充电电流大小应依据蓄电池组工作温度的高低进行设计,充电电流不应超出当前蓄电池温度下的最大允许充电电流;
- d) 应采取冗余充电控制措施防止蓄电池过充电,采用硬件和软件过压充电保护措施,当单体蓄电池(并联块)电压或蓄电池组电压超过设定值时,断开蓄电池组充电;
- e) 在轨运行期间,应依据蓄电池组在轨性能变化趋势,以航天器能量平衡和蓄电池组安全为前

提,实时调整蓄电池组充放电控制参数;

- f) 应为中高轨道或太阳同步晨昏轨道蓄电池组设计专门的充电管理程序,在长光照期建议以 50%~70%荷电态在 0℃~10℃温度范围内贮存,不应应对蓄电池组长期浮充电;
- g) 用于充电控制的设备,电路设计和控制策略等应经评定和(或)试验验证,使其安全性和可靠性满足任务要求。

6.16 蓄电池组均衡设计和控制

蓄电池组应采取均衡管理措施,采用硬件和(或)软件均衡控制技术或均衡装置,通过连续或断续的均衡调节,使蓄电池组内各串联单体蓄电池(并联块)的电压差异小于设定值,设定值的选取应以蓄电池组试验数据为依据。均衡电路和均衡装置安全性和可靠性应经评定和试验验证,不应应对单体蓄电池(并联块)造成短路等危害。

6.17 蓄电池组放电安全管理

蓄电池组放电安全管理满足以下要求:

- a) 蓄电池组应严格限制过电压或过电流放电,应进行过放保护设计(如采用欠压或过流保护措施等),当单体蓄电池(并联块)电压或蓄电池组电压低于预定阈值时,应进行报警或断开放电开关停止蓄电池组放电,当放电电流超过预定阈值时,应进行过流报警或保护;
- b) 用于放电控制的设备,电路设计和控制策略等应经评定和(或)试验验证,使其安全性和可靠性满足任务要求;
- c) 应采取防短路保护措施,防止因外部短路而造成电池组形成放电短路回路。

6.18 蓄电池组工作温度安全管理

蓄电池组工作温度安全管理满足以下要求:

- a) 蓄电池组工作温度应控制在制造商规定的范围内,防止温度过高导致蓄电池组寿命降低或爆炸起火;
- b) 应通过温度报警、过温保护设计等手段,防止蓄电池组在超过上限充电温度条件下充电和超过上限放电温度条件下放电;
- c) 应通过合理设计或采用合适的安全装置防止蓄电池温度超过临界值及温度异常上升;
- d) 蓄电池组工作时,同一模块内单体蓄电池之间温差应不大于 3℃,同组蓄电池的不同模块之间温差应不大于 5℃。

6.19 蓄电池组使用安全管理

蓄电池组使用安全管理满足以下要求。

- a) 蓄电池组应维持在可控的温度、湿度和洁净度环境中,并防止水凝结及进入多余物。
- b) 航天器 AIT 测试过程中,应监测蓄电池组和单体蓄电池(并联块)电压、电流和蓄电池组温度,以检测单体蓄电池(并联块)的任何异常。
- c) 航天器 AIT 测试过程中,应监视蓄电池组荷电态,动态计算蓄电池组容量是否满足下一阶段测试功率需求,防止在测试中造成蓄电池组过放电。
- d) 应防止蓄电池组长期处于高温环境和高荷电状态;当蓄电池组使用间隙较长时,荷电态应保持在标称电量的 50%~70%,温度在 -5℃~30℃,且应断开蓄电池组与其他设备连接。
- e) 当蓄电池组连接其他设备时,应定期对单体蓄电池(并联块)电压进行监测,当单体蓄电池(并联块)之间电压差异大于设定值时,应进行均衡处理;当单体蓄电池(并联块)电压低于设定值时,应进行充电。

- f) 蓄电池组操作和使用风险应在使用说明书中说明,并提供给用户,或在蓄电池组箱体上通过醒目的标志或标签直接警示。蓄电池组操作和使用方法应最大程度地降低对人员和航天器的危害。

6.20 蓄电池组储存安全措施

蓄电池组储存安全措施满足以下要求。

- a) 当蓄电池组不使用时,应放置在低温环境中,并保持合适的荷电态,不应在高温和高荷电态储存。蓄电池组应保持在标称容量的 50%~70%或其他专用技术文件规定的荷电态下贮存,短期储存时(如不超过 90 d),储存温度应在-5℃~30℃,长期储存时(如超过 90 d),储存温度应在-10℃~10℃。
- b) 应定期对单体蓄电池(并联块)电压监测,当单体蓄电池(并联块)电压低于设定值时,应进行补充电。
- c) 应定期对蓄电池组进行维护,以降低储存过程中的性能衰减。
- d) 蓄电池组储存期间产品不应靠近热源,不应日晒、雨淋。
- e) 储存场所相对湿度应为 20%~80%,不应有腐蚀气体。
- f) 应采取防护措施,防止蓄电池组发生短路和受到损伤。

6.21 蓄电池组运输安全措施

蓄电池组可单独运输和安装在航天器上随航天器运输,蓄电池组运输安全措施满足以下要求:

- a) 单独运输时,应放置在专用包装箱内,包装箱内应采取良好的支撑、绝缘、防震、防潮、防静电等措施;
- b) 随航天器运输时,应根据蓄电池组的荷电态及其所连接设备的漏电流,明确蓄电池组随航天器运输时间,防止蓄电池组发生过放电;
- c) 运输时应采取安全保护措施,防止蓄电池组发生短路;
- d) 运输时蓄电池组的环境温度应保持在-5℃~30℃;
- e) 运输时,蓄电池组应在 50%~70%荷电态或相关详细规范规定的荷电态下运输;
- f) 运输时应不受机械撞击和雨(雪)淋,周围不应有酸、碱及其他腐蚀性的气体。

7 蓄电池组安全性验证要求

蓄电池组安全性验证满足以下要求。

- a) 单体蓄电池应进行安全性评价试验,试验项目和方法应符合专用规范或技术文件规定要求,包括过放电、短路、过充电、排气与爆裂压力测定等项目。
- b) 如果单体蓄电池附带安全保护装置[如电流切断装置(CIDs),正温度系数热敏电阻(PTC)等],应对安全保护装置功能进行验证。
- c) 如果单体蓄电池安全性特征不能完全代表蓄电池组安全性,应对蓄电池组进行安全性考核;安全性测试项目和条件应能覆盖在轨实际状态。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.41—2008 电工术语 原电池和蓄电池
 - [2] GB 4943.1—2022 音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分：安全要求
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
航天器用锂离子蓄电池组安全
设计与控制要求
GB/T 43927—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.net.cn

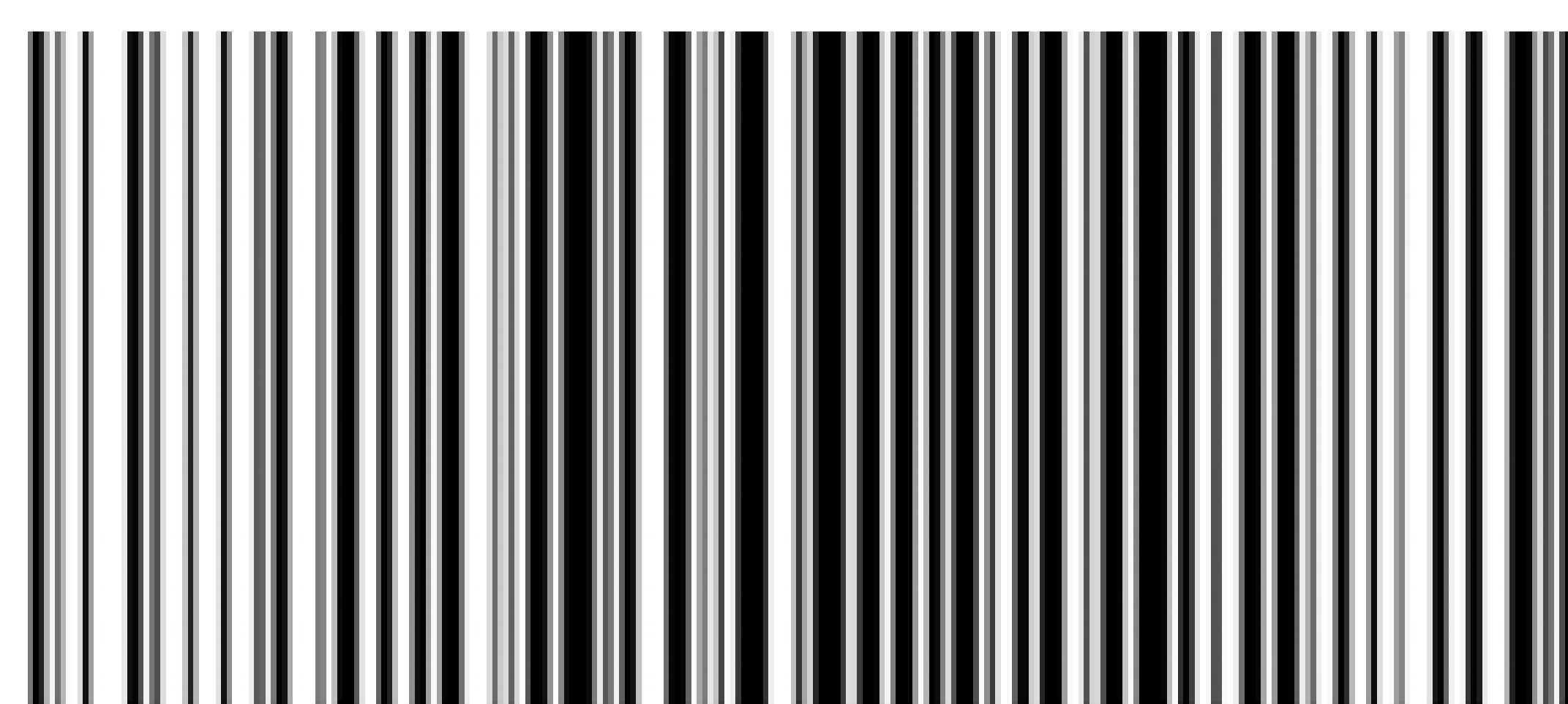
服务热线:400-168-0010

2024年4月第一版

*

书号:155066·1-75557

版权专有 侵权必究



GB/T 43927-2024