



中华人民共和国国家标准

GB/T 36355—XXXX
代替 GB/T 36355—2018

信息技术 固态硬盘测试方法

Information technology—Test method of solid state disk

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 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 术语和定义 1

4 缩略语 3

5 测试环境 3

 5.1 物理环境 3

 5.2 硬件环境 3

 5.3 软件环境 3

6 功能测试 4

 6.1 可用容量 4

 6.2 格式化 5

 6.3 掉电数据保护 5

 6.4 块擦除 7

 6.5 热插拔 7

 6.6 读干扰 8

7 性能测试 9

 7.1 IOPS 9

 7.2 响应时间 10

 7.3 读写带宽 11

 7.4 性能稳定性 12

 7.5 QoS 13

8 可靠性测试 14

 8.1 数据一致性 14

 8.2 数据保存时效 14

 8.3 不可修复位率 15

 8.4 耐久性 16

 8.5 平均故障间隔时间 16

9 兼容性 17

 9.1 硬件兼容性 17

 9.2 信号质量兼容性 18

 9.3 接口兼容性 19

 9.4 固件兼容性 19

 9.5 操作系统兼容性 20

10 信息安全..... 21

 10.1 数据加密功能..... 21

 10.2 数据擦除..... 22

11 维护性..... 23

 11.1 S. M. A. R. T. 23

 11.2 固件更新..... 23

 11.3 维护接口..... 24

12 功耗测试..... 25

 12.1 空载功耗..... 25

 12.2 最大功耗..... 26

 12.3 能效测试..... 26

13 环境适应性..... 27

 13.1 气候环境适应性..... 27

 13.2 机械环境适应性..... 31

 13.3 电气环境适应性..... 34

 13.4 电磁兼容性..... 36

 13.5 特殊环境适应性..... 39

附 录 A （资料性） 可靠性试验中温度加速因子的计算方法..... 41

参 考 文 献..... 42

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。

本文件代替GB/T 36355—2018《信息技术 固态硬盘测试方法》，与GB/T 36355—2018相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 删除了“读写速率”（见2018年版的2.1.4）；
- b) 更改了术语“数据传输率”（见3.4，2018年版的2.1.5）；
- c) 增加了术语“加密功能”“数据擦除”“服务质量”（见3.11、3.12和3.13），以提高条款的易读性，便于本文件的应用；
- d) 增加了缩略语“AES”“BIOS”“BMC”“CPU”“EOL”“MTBF”“NVMe”“QoS”“SAS”“SATA”和“UBER”（见第4章）；
- e) 更改了测试软件环境条件（见5.3，2018年版的3.3）；
- f) 增加了“格式化”“块擦除”“热插拔”“读干扰”的测试方法（见6.2、6.4、6.5、6.6）；
- g) 删除了“数据传输率”的测试方法（见2018年版的5.3）；
- h) 更改了“掉电数据保护”“响应时间”“性能稳定性”的测试方法（见6.3、7.2、7.3，2018年版的4.3、5.2、5.4）；
- i) 增加了“IOPS”“Qos”的测试方法（见7.1、7.5）；
- j) 更改了“数据一致性”和“数据保存时效”的测试方法（见8.1和8.2，2018年版的第6章和第7章）；
- k) 增加了“不可修复位率”“耐久性”“平均故障间隔时间”的测试方法（见8.3、8.4和8.5）；
- l) 增加了第9章“兼容性”，增加了“硬件兼容性”“信号质量兼容性”“固件兼容性”的测试方法（见9.1、9.2和9.4），同时更改了“接口协议”和“操作系统兼容性”的测试方法（见9.3和9.5，2018年版的4.1和4.4）；
- m) 增加了第10章“信息安全”（见第10章）；
- n) 增加了第11章“维护性”、第12章“功耗测试”、第13章“环境适应性”（见第11章、第12章、第13章）。

本文件由全国信息技术标准化技术委员会（SAC/TC28）提出并归口。

本文件起草单位：中国电子技术标准化研究院、浪潮电子信息产业股份有限公司、中国电子科技集团公司第五十二研究所、浙江科正电子信息产品检验有限公司、合肥大唐存储科技有限公司、长江存储科技有限责任公司、杭州宏杉科技股份有限公司、北京忆恒创源科技股份有限公司、深圳忆联信息系统有限公司、北京中科芯创信息技术有限公司、华为技术有限公司、深圳大普微电子股份有限公司、华中科技大学、中电科尊冠（北京）检测认证有限公司、中移动信息技术有限公司、鸿秦（北京）科技有限公司、深圳中柏科技有限公司、平头哥（上海）半导体技术有限公司、浪潮计算机科技有限公司、芯盛智能科技（湖南）有限公司、杭州海康存储科技有限公司、杭州华澜微电子股份有限公司、济南迈威智能科技有限公司、深圳市领德创科技有限公司、郑州大学国家超级计算郑州中心、深圳市酷米实业有限公司、深圳市江波龙电子股份有限公司。

本文件主要起草人：陈海、方芳、欧阳小珊、高利娟、张展新、徐静、李凯、孙汉林、刘晓蕾、白欣璐、郁华真、薛轶、黄吉琼、杨雪婷、吴非、霍宗亮、崔晨、成晓雄、路梦龙、刘怡、杨亚飞、蒋智军、栾玉雪、周游、邱全伟、宁万里、刘洁、王颜尊、张艺伯、许泗强、高敏、潘玉茜、曾昭贵、朱细平、于哲、朱春红、易小洪。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2018年首次发布为GB/T 36355—2018；

——本次为第1次修订。

信息技术 固态硬盘测试方法

1 范围

本文件规定了固态硬盘功能、性能、可靠性、兼容性、信息安全、维护性、功耗和环境适应性的测试方法。

本文件适用于以闪存为存储单元的固态硬盘的测试。

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 9254.1—2021 信息技术设备、多媒体设备和接收机 电磁兼容 第1部分：发射要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

固态硬盘 solid state disk

以电子存储器或存储模块作为主要记录媒体进行数据读写的存储设备。

注：固态硬盘的英文缩写SSD在国际上常被作为Solid State Drive的简写，Solid State Drive与本文件所指的固态硬盘一致；固态硬盘通常也叫电子存储盘，是一种以闪存为存储单元的数据存储设备，有别于传统的机械硬盘，固态硬盘没有机械部分，主要由控制器和存储单元构成。

3.2

标称容量 nominal capacity

被测固态硬盘的相关说明上注明的明示容量。

注：用PB、TB、GB、MB、kB或PiB、TiB、GiB、MiB、KiB表示，其中：

- a) 1 kB = 1000 (10^3) 字节；
- b) 1 MB = 1000000 (10^6) 字节；
- c) 1 GB = 1000000000 (10^9) 字节；
- d) 1 TB = 1000000000000 (10^{12}) 字节；
- e) 1 PB = 1000000000000000 (10^{15}) 字节；
- f) 1 KiB = 1024 (2^{10}) 字节；
- g) 1 MiB = 1048576 (2^{20}) 字节；
- h) 1 GiB = 1073741824 (2^{30}) 字节；
- i) 1 TiB = 1099511627776 (2^{40}) 字节；
- j) 1 PiB = 1125899906842624 (2^{50}) 字节。

3.3

可用容量 usable capacity

实际可访问的存储容量。单位换算按照二进制计算。

注：不同场合常见的换算方法有：

- a) 操作系统中常用二进制换算，换算关系为1 TiB = 1024 GiB、1 GiB = 1024 MiB、1 MiB = 1024 KiB；
- b) SSD生产厂家商用十进制换算，换算关系为1 TB = 1000 GB、1 GB = 1000 MB、1 MB = 1000 kB。因此在固件/BIOS中、在格式化硬盘时或在文件管理系统中看到的显示容量会比生产厂家的标称容量显小。

3.4

读写带宽 read/write bandwidth

单位时间内读取或写入的数据字节数。单位换算按照二进制计算。

注：读写带宽单位用 MiBps、GiBps 或 TiBps 等表示，其中 MiBps = 2^{20} byte/s、GiBps = 2^{30} byte/s、TiBps = 2^{40} byte/s，以此类推。

3.5

逻辑块地址 logic block address

在逻辑上将固态盘的可用容量划分成大小相等的逻辑块，并从零开始依次编号，逻辑块所对应的块编号。

3.6

初始态 initial state

固态硬盘在经过初始化后并在投入使用前的状态。

3.7

稳态 steady state

固态硬盘的性能变化幅度较小或性能趋于稳定时所对应的状态。

3.8

清空 purge

将固态硬盘中写入的数据全部擦除，使固态硬盘的状态近似于初始态的过程。

3.9

原生命令队列 native command queuing

当用户向固态硬盘发送多条命令时，通过对内部命令队列中的命令进行重新排序以优化固态硬盘性能的技术。

3.10

（固态硬盘）接口 (solid state disk) interface

固态硬盘与其他设备实现物理互联，同时支持对应的通信规则的协议。

3.11

加密功能 encryption function

固态硬盘通过硬件或软件方式对存储数据进行加密处理，防止未经授权访问的功能。

3.12

数据擦除 data erasure

使用数据覆写、块擦除、逻辑隔离、加密擦除等方式，清除存储媒体上部分或全部数据的操作。

3.13

服务质量 quality of service

在规定时间内特定百分比阈值下I/O命令的最大响应时间。

注：百分数阈值取值通常为99、99.9、99.99、99.999或99.9999。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AES: 高级加密标准 (Advanced Encryption Standard)

BIOS: 基本输入输出系统 (Basic Input/Output System)

BMC: 基板管理控制器 (Baseboard Management Controller)

BS: 块大小 (Block Size)

CPU: 中央处理器 (Central Processing Unit)

EOL: 使用寿命末期 (End Of Life)

FFR: 功能失效 (Function Failure)

IO: 输入输出 (Input and Output)

IOPS: 每秒输入/输出次数 (Input/Output Operations Per Second)

LBA: 逻辑块地址 (Logic Block Address)

LT: 响应时间 (Latency)

MTBF: 平均故障间隔时间 (Mean Time Between Failures)

NCQ: 原生命令队列 (Native Command Queuing)

NVMe: 非易失性内存主机控制器接口 (Non-Volatile Memory express)

PCIe: 高速外围组件互连总线 (Peripheral Component Interconnect-express)

P/E: 编程/擦除 (Program/Erase)

QoS: 服务质量 (Quality of Service)

SAS: 串行连接小型计算机系统接口 (Serial Attached SCSI)

SATA: 串行高级技术附件 (Serial Advanced Technology Attachment)

S.M.A.R.T.: 自动监测分析及报告技术 (Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology)

SSD: 固态硬盘 (Solid State Disk)

UBER: 不可纠正比特误码率 (Uncorrectable Bit Error Rate)

UNC: 不可修复代码 (Uncorrectable Code)

5 测试环境

5.1 物理环境

本文件要求的所有测试在未加特殊说明时, 均在下述试验用标准大气条件下进行:

- a) 温度: 15℃~35℃;
- b) 相对湿度: 25%~75%;
- c) 大气压: 86 kPa~106 kPa。

5.2 硬件环境

本文件要求的所有测试在未加特殊说明时, 测试系统提供的硬件接口应与被测SSD接口相同, 或能完全兼容被测SSD接口。

5.3 软件环境

本文件要求的所有测试在未加特殊说明时, 均应在下述软件环境下进行。

- a) 软件环境至少包括操作系统和软件测试工具及驱动程序。

- b) 操作系统应符合被测SSD的使用要求，支持对应接口协议。
- c) 所用的软件测试工具应符合以下条件：
 - 1) 能够生成指定的测试负载，同时能够记录测试过程中的结果数据；
 - 2) 既能发送随机的IO请求，也能发送顺序的IO请求；
 - 3) 能够指定测试过程中所访问的LBA范围；
 - 4) 能够设置IO传输的BS；
 - 5) 能够设置IO的读写比例；
 - 6) 能够设置IO的随机比例；
 - 7) 能够设置队列深度；
 - 8) 能够针对不同的测试指标提供相应的输出信息；
 - 9) 保证所有测试步骤连续，防止测试间歇对被测SSD的状态产生不可预期的影响或变化；
 - 10) 用于对文件或数据执行校验的读写工具，支持文件和数据一致性校验。

6 功能测试

6.1 可用容量

6.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求：

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求。
- c) 软件环境：
 - 1) 操作系统符合5.3的要求；
 - 2) 已安装必要的驱动程序（如PCIe接口的SSD驱动）；
 - 3) 安装好用于对比文件内容是否一致的软件。

6.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 被测SSD与测试系统连接，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 使用块设备读写软件进行测试。
- b) 测试步骤：
 - 1) 查看SSD的标称容量；
 - 2) 擦除被测SSD中的已有数据；
 - 3) 向被测SSD可访问到的LBA地址空间写入随机数据，直至写满；
 - 4) 正常关闭系统，并重启测试系统；
 - 5) 将数据全部读出，并用软件测试工具与原始数据进行对比；
 - 6) 若对比结果一致，则按照公式“可访问到的LBA地址空间×单个扇区容量”计算可用容量，同时继续执行后续测试步骤，否则为不通过，判定数据读写异常，结束本项测试；

- 7) 对于有标称容量的产品，将步骤6) 计算得到的可用容量的单位转化成被测SSD标称容量的单位和容量，若可用容量大于等于标称容量，则测试通过，否则为不通过，结束本项测试；

注：对于没有标称容量的产品，跳过步骤7)，执行步骤8)。

- 8) 对于没有标称容量的产品，仅记录和报告上述测试结果，对测试结果不做通过与否的判断，结束本项测试。

6.2 格式化

6.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求。
- c) 软件环境：
 - 1) 操作系统符合5.3的要求；
 - 2) 已安装必要的驱动程序（如PCIe接口的SSD驱动）；
 - 3) 安装好用于对比文件内容是否一致的软件。

6.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
被测SSD与测试系统连接，确认被测SSD能正常工作。
- b) 测试步骤：
 - 1) 启动测试系统，使用测试工具或命令，查看记录被测SSD的S.M.A.R.T. 信息；
 - 2) 使用测试工具或命令进行全盘顺序写入，直至写满数据；
 - 3) 对SSD执行格式化命令；
注：对于格式化命令执行失败的产品，判定为测试不通过，结束本项测试。
 - 4) 使用测试工具或者命令进行全盘读取，查看被测SSD格式化后数据是否为全“0”或全“1”；
 - 5) 测试完成后再次检查对比SSD的S.M.A.R.T. 信息；
 - 6) 若硬盘格式化后读取数据为全“0”或全“1”，且硬盘无报错或错误日志，则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

6.3 掉电数据保护

6.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，同时为保障测试操作便捷性与结果准确性，应使用专用测试设备或仪器。
- c) 软件环境：

- 1) 操作系统符合5.3的要求;
- 2) 已安装必要的驱动程序(如PCIe接口的SSD驱动)
- 3) 文件系统软件测试工具和数据校验工具。

6.3.2 测试方法

6.3.2.1 无负载掉电数据保护

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件:

- 1) 被测SSD以从盘的形式与测试系统连接,确认被测SSD能正常工作;
- 2) 预先创建测试用随机数据文件,文件大小分别对应可用容量的25%、50%、75%、100%。

b) 测试步骤:

- 1) 给测试系统加电;
- 2) 对被测SSD进行格式化,查询并记录原始坏块信息;
- 3) 用软件测试工具写入预先准备的文件,文件大小为可用容量的25%,对被测SSD进行循环写操作;
- 4) 写入完成并等待所有数据不在缓存中后(使用缓存冲刷的命令字),使用测试设备或仪器对测试系统断电,并保持断电状态3s以上;
- 5) 使用测试设备或仪器对测试系统加电,并启动测试系统,检查被测SSD是否能被正常识别;
- 6) 若被测SSD无法被正常识别,则测试不通过,结束本项测试;若被测SSD能被正常识别,则使用文件系统软件测试工具进行错误检查,检查是否存在数据错误或数据不一致问题,若未发现文件系统错误或数据不一致,则执行步骤7);若发现错误,对被测SSD重新格式化,查询并记录坏块信息,发现新增坏块,则测试不通过,结束本项测试;
- 7) 文件大小依次替换为可用容量的50%、75%和100%的文件,重复步骤3)~步骤6);若测试均未发现文件系统错误或数据不一致,则测试通过,否则为不通过,结束本项测试。

6.3.2.2 有负载掉电数据保护

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件:

- 1) 被测SSD(带备电电容)以从盘的形式与测试系统连接,确认被测SSD能正常工作;
- 2) 对SSD进行顺序写满一次。

b) 测试步骤:

- 1) 给测试系统加电;
- 2) 查询并记录原始坏块信息;
- 3) 使用预先准备的测试工具对被测SSD执行2 min的写入操作,写入IO大小随机,覆盖协议支持的IO规格,并将生成校验数据存储在主机(存储日志文件);
- 4) 在数据写入过程中,使用测试设备或仪器对测试系统断电,并保持断电状态3s以上;
- 5) 使用测试设备或仪器对测试系统加电,并启动测试系统,检查被测SSD是否能被正常识别;
- 6) 若被测SSD无法被正常识别,测试不通过;若被测SSD能被正常识别,则使用存储的校验数据对写入的数据进行校验,检查是否存在数据错误或数据不一致问题,若发现错误或数据不一致,则测试不通过;结束本项测试;

- 7) 测试次数加1，若测试次数达到3000次，则结束本测试；否则，返回步骤3)，进行下一轮测试；若测试均未发现错误或数据不一致问题，则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

6.4 块擦除

6.4.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求，且测试区域需配备数据擦除过程监控设备（如摄像头），确保擦除过程可追溯。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，且测试系统需配备数据擦除专用设备，以及配备数据验证工具和数据恢复工具。
- c) 软件环境：
符合5.3的要求。

6.4.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 读取并记录SSD初始S.M.A.R.T.信息、LBA地址范围，生成初始状态报告；
 - 2) 生成覆盖SSD全部可用容量的随机测试数据，并对所有测试数据计算MD5/SHA-256哈希值，保存为“原始数据哈希表”；
 - 3) 启动擦除工具和数据验证工具，确认工具能正常识别被测SSD，且可发送擦除命令和读取LBA数据。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过块设备读写软件，将测试数据写入被测SSD全部可用LBA地址空间；
 - 2) 写入完成后，逐块读取SSD数据，重新计算哈希值并与“原始数据哈希表”比对，确认数据写入完整（无哈希值不一致），若不一致则重新写入，直至数据完整；
 - 3) 对于支持SATA接口和NVMe接口命令的被测SSD，分别执行SATA接口和NVMe接口命令进行数据擦除；若被测SSD不支持SATA接口和NVMe接口，采用硬盘数据擦除机方式擦除；
 - 4) 通过块设备工具逐块读取SSD全部LBA数据，生成“擦除后数据哈希表”；对比“擦除后数据哈希表”与“原始数据哈希表”，确认无任何原始数据哈希值匹配，验证数据擦除有效性，则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

6.5 热插拔

6.5.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求。
- c) 软件环境：

- 1) 操作系统符合5.3的要求;
- 2) 已安装必要的驱动程序(如PCIe接口的SSD驱动)。

6.5.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件:

- 1) 被测SSD支持热插拔功能;
- 2) 被测SSD与测试服务器连接;
- 3) 用于测试的服务器中操作系统被正确安装;
- 4) 系统上电, 被测SSD能正常工作。

b) 非命令通知热插拔测试步骤:

- 1) 被测SSD中写入随机生成的数据文件, 文件总容量不低于SSD标称容量的50%;
- 2) 直接拔出被测SSD;
- 3) 记录系统对被测SSD的监测情况, 是否出现错误提示、是否能够正常卸载;
- 4) 30s后重新将被测SSD插入到系统插槽中;
- 5) 观察系统能否识别被测SSD, SSD能否正常启动;
- 6) 通过测试工具校验热插拔前后的数据一致性;
- 7) 重复49次步骤2)~步骤6);
- 8) 通过测试工具对被测SSD进行数据读写操作, 观察能否正常发送IO请求并产生相应的结果; 观察热插拔前后被测SSD的性能指标(包括带宽和IOPS)相差率不超过10%;
- 9) 上述步骤操作均正常, 无报错信息和错误日志且数据一致, 则测试通过; 否则为不通过, 结束本项测试。

c) 命令通知热插拔测试步骤:

- 1) 被测SSD中写入随机生成的数据文件, 文件总容量不低于SSD标称容量的50%;
- 2) 通过命令通知系统, 从系统中删除被测SSD;
- 3) 等待5s, 物理拔出被测SSD;
- 4) 记录系统对被测SSD的监测情况, 是否出现错误提示、是否能够正常卸载;
- 5) 30s后重新将被测SSD插入到系统插槽中;
- 6) 观察系统能否识别被测SSD, SSD能否正常启动;
- 7) 通过测试工具校验热插拔前后的数据一致性;
- 8) 重复49次步骤2)~步骤7);
- 9) 通过测试工具对被测SSD进行数据读写操作, 观察能否正常发送IO请求并产生相应的结果; 观察热插拔前后被测SSD的性能指标(包括带宽和IOPS)相差率不超过10%;
- 10) 上述步骤操作均正常, 无报错信息和错误日志且数据一致, 则本项测试通过; 否则为不通过, 结束本项测试。

6.6 读干扰

6.6.1 测试环境

测试环境应满足以下要求。

a) 物理环境:

符合5.1的要求。

b) 硬件环境:

符合 5.2 的要求。

c) 软件环境：

符合 5.3 的要求。

6.6.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

被测SSD与测试系统连接，确认被测SSD能正常工作。

b) 测试步骤：

- 1) 全盘顺序写入一次后，挑选全盘前一半的LBA地址范围进行4 KiB随机写；
- 2) 步骤1) 的随机写IO下发过程中，对剩余一半的LBA范围中，随机选取一个4 KiB数据块，反复读取10000次以上，读取完成后，如检查IO无报错，S.M.A.R.T. 信息中无新增UNC，则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

7 性能测试

7.1 IOPS

7.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

a) 物理环境：

符合5.1的要求。

b) 硬件环境：

符合5.2的要求。

c) 软件环境：

符合5.3的要求，并同时符合：

- 1) 能够指定测试过程中IO传输的数据总量；
- 2) 能够指定测试时间；
- 3) 能够提供与IOPS相关的输出信息。

7.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

- 1) 连接被测SSD与测试系统，确认被测SSD能正常工作；
- 2) 启动测试工具，确认测试工具能够向被测SSD正常发送IO请求并产生相应的结果；
- 3) 根据被测SSD的特性设置队列深度以及进程/线程数；
- 4) 设置生成的测试负载中的数据为不可压缩的数据；
- 5) 测试过程中CPU不处于节能模式。

b) 测试步骤：

- 1) 清空被测SSD，如果被测SSD不支持此操作，则略过此步骤；
- 2) 对被测SSD的全部存储空间执行BS为128 KiB或256 KiB等的顺序写操作，此操作重复执行两次；

- 3) 设置写入数据量为被测SSD可用容量的100%，然后执行BS为A（A的取值可为4 KiB，8 KiB，16 KiB或32 KiB等）的随机写操作，此操作执行一次；
- 4) 设置测试负载的IO块大小(BS)为A；
- 5) 设置测试负载的读写比例为B（B的取值0/100，70/30，50/50，30/70或100/0等），业务模型为随机IO；
- 6) 对被测SSD的全部存储空间执行BS为A、读写比例为B的随机读/写操作，单次测试时间为60s，将每次测试计为一个测试轮次，记录测试到的IOPS值；
- 7) 重复执行步骤6)，并自第5个测试轮次起，以最近5个连续测试轮次构成测量窗口，进行稳态判定。如果在测试过程中，被测SSD达到了稳态，则取稳态下连续5次测试结果的平均值作为此测试负载所对应的IOPS值；如未达到稳态，且在第25个测试轮次时仍未满足稳态条件，则停止本负载下的测试，取最后5次测试结果的平均值作为此测试负载所对应的IOPS值，同时对测试结果不做通过与否的判定，结束本项测试。

注1：稳态判定条件是连续5个测试轮次，每个测试轮次取一个IOPS均值，IOPS的波动系数计算方式为：

（步骤7)记录的5个测试轮次中的最大IOPS值-步骤7)记录的5个测试轮次中的最小IOPS值）/步骤7)记录的5个测试轮次中IOPS的平均值。当IOPS波动系数小于10%时，则判定为已进入稳态条件；

注2：对于步骤2)和3)，仅适用于稳态IOPS的测试；

注3：对被测SSD产品规范中有性能值要求的测试，可根据本项的测试结果与被测SSD产品规范中的性能值进行比对，然后做出本项测试通过与否的判定。

7.2 响应时间

7.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求。
- c) 软件环境：
符合5.3的要求，并同时符合：
 - 1) 能指定测试过程中IO传输的数据总量；
 - 2) 能指定测试时间；
 - 3) 能提供与响应时间（LT）相关的输出信息。

7.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 连接被测SSD与测试系统，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 启动测试工具，确认测试工具能够向被测SSD正常发送IO请求并产生相应的结果；
 - 3) 设置IO请求的队列深度为1；
 - 4) 根据被测SSD的特性设置进程/线程数；
 - 5) 设置生成的测试负载中的数据为不可压缩的数据；
 - 6) 测试过程中CPU不处于节能模式；
 - 7) 数据访问方式为不经过系统缓存。

b) 测试步骤:

- 1) 清空被测SSD, 如果被测SSD不支持此操作, 则略过此步骤;
- 2) 对被测SSD的全部存储空间执行BS为128 KiB的顺序写操作, 此操作重复执行两次;
- 3) 设置写入数据量为被测SSD可用容量的100%, 然后执行BS为A (A的取值可为4 KiB, 8 KiB, 16 KiB或32 KiB等)的随机写操作, 此操作执行一次;
- 4) 设置测试负载的IO块大小(BS)为A;
- 5) 设置测试负载的读写比例为B (B的取值0/100, 70/30, 50/50, 30/70或100/0等), 业务模型为随机IO;
- 6) 对被测SSD的全部存储空间执行BS为A、读写比例为B的随机读/写操作, 单次测试时间为60s, 将每次测试计为一个测试轮次, 记录测试到的LT值;
- 7) 重复执行步骤6), 并自第5个测试轮次起, 以最近5个连续测试轮次构成测量窗口, 进行稳态判定。如果在测试过程中, 被测SSD达到了稳态, 则取稳态下连续5次测试结果的平均值作为此测试负载所对应的LT值; 如未达到稳态, 且在第25个测试轮次时仍未满足稳态条件, 则停止本负载下的测试, 取最后5次测试结果的平均值作为此测试负载所对应的LT值, 同时对测试结果不做通过与否的判定, 结束本项测试。

注1: 稳态判定条件是连续5个测试轮次, 每个测试轮次取一个LT均值, LT的波动系数计算方式为:

$$(\text{步骤7)记录的5个测试轮次中的最大LT值} - \text{步骤7)记录的5个测试轮次中的最小LT值}) / \text{步骤7)记录的5个测试轮次中LT的平均值}$$
 当LT波动系数小于10%时, 则判定为已进入稳态条件;

注2: 对于步骤2)和3), 仅适用于稳态LT的测试;

注3: 对被测SSD产品规范中有性能值要求的测试, 可根据本项的测试结果与被测SSD产品规范中的性能值进行比对, 做出本项测试通过与否的判定。

7.3 读写带宽

7.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境:
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境:
符合5.2的要求。
- c) 软件环境:
符合5.3的要求, 并同时符合:
 - 1) 能指定测试过程中IO传输的数据总量;
 - 2) 能指定测试时间;
 - 3) 能提供与读写带宽相关的输出信息。

7.3.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件:
 - 1) 连接被测SSD与测试系统, 确认被测SSD能正常工作;
 - 2) 启动测试工具, 确认测试工具能够向被测SSD正常发送IO请求并产生相应的结果;
 - 3) 根据被测SSD的特性设置队列深度以及进程/线程数;
 - 4) 设置生成的测试负载中的数据为不可压缩的数据;

5) 测试过程中CPU不处于节能模式。

b) 测试步骤:

- 1) 设置测试负载的读写比例为100/0或0/100, 业务模型为顺序IO;
- 2) 设置测试负载的IO块大小(BS)为A (A的取值可为128 KiB等);
- 3) 清空被测SSD, 如果被测SSD不支持此操作, 则略过此步骤;
- 4) 对被测SSD的全部存储空间执行BS为128 KiB或256 KiB等的顺序写操作, 此操作重复执行两次;
- 5) 利用测试工具生成测试负载, 对被测SSD的全部存储空间执行BS为A的顺序读/写操作, 单次测试时间为60s, 将每次测试计为一个测试轮次, 记录测试到的读写带宽;
- 6) 重复执行步骤4), 并自第5个测试轮次起, 以最近5个连续测试轮次构成测量窗口, 进行稳态判定。如果在测试过程中, 被测SSD达到了稳态, 则取稳态下连续5次测试结果的平均值作为此测试负载所对应的读写带宽; 如未达到稳态, 且在第25个测试轮次时仍未满足稳态条件, 则停止本负载下的测试, 取最后5次测试结果的平均值作为此测试负载所对应的读写带宽; 同时对测试结果不做通过与否的判定, 结束本项测试。

注1: 稳态判定条件是连续5个测试轮次, 每个测试轮次取一个读写带宽均值, 读写带宽的波动系数计算方式为: (步骤6)记录的5个测试轮次中的最大读写带宽值-步骤6)记录的5个测试轮次中的最小读写带宽值)/步骤6)记录的5个测试轮次中读写带宽的平均值。当读写带宽波动系数小于10%时, 则判定为已进入稳态条件;

注2: 对于步骤2)和3), 仅适用于稳态读写带宽的测试;

注3: 对被测SSD产品规范中有性能值要求的测试, 可以根据本项的测试结果与被测SSD产品规范中的性能值进行比对, 然后做出本项测试通过与否的判定。

7.4 性能稳定性

7.4.1 测试环境

测试环境应符合以下要求:

- a) 物理环境:
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境:
符合5.2的要求。
- c) 软件环境:
符合5.3的要求, 并同时符合:
 - 1) 能指定测试过程中IO传输的数据总量;
 - 2) 能指定测试时间;
 - 3) 能提供与IOPS相关的输出信息。

7.4.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件:
 - 1) 连接被测SSD与测试系统, 确认被测SSD能正常工作;
 - 2) 启动软件测试工具, 确认软件测试工具能够向被测SSD正常发送IO请求并产生相应的结果;
 - 3) 根据被测SSD的特性设置队列深度以及进程/线程数;
 - 4) 设置生成的测试负载中的数据为不可压缩的数据;

- 5) 本测试在完成7.1、7.2或7.3中的任意一项或多项后再进行测试。
- b) 测试步骤：
 - 1) 记录被测SSD完成7.1、7.2或7.3的任一项的性能值（如IOPS、LT或读写带宽）；
 - 2) 基于当前已完成测试项的测试负载，延长测试时间24 h，每隔1s进行性能采样，并记录测试数据，同时观察测试过程中被测SSD有无异常；
 - 3) 绘制性能曲线波动图，比对每次测试采样点的结果与数据平均值的偏离情况：各点均不超过或不低于平均值的10%，则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

7.5 QoS

7.5.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：

符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：

符合5.2的要求。
- c) 软件环境：

软件测试工具除符合5.3的要求外，并同时符合：

 - 1) 能指定测试过程中IO传输的数据总量；
 - 2) 能提供时延分布的输出信息，如时延分布。

7.5.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 连接被测SSD与测试系统，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 启动测试工具，确认测试工具能够向被测SSD正常发送IO请求并产生相应的结果；
 - 3) 设置被测SSD的队列深度为1，进程/线程数为1；
 - 4) 设置生成的测试负载中的数据为不可压缩的数据；
 - 5) 测试过程中CPU不处于节能模式。
- b) 测试步骤：
 - 1) 清空被测SSD，如果被测SSD不支持此操作，则略过此步骤；
 - 2) 设置测试负载的IO块大小(BS)为A（A的取值可为4 KiB，8 KiB，16 KiB或32 KiB等）；
 - 3) 设置测试负载的读写比例为B（B的取值0/100，70/30，50/50，30/70或100/0等），业务模型为顺序/随机；
 - 4) 对被测SSD的全部存储空间执行BS为128 KiB或256 KiB等的顺序写操作，此操作重复执行两次；
 - 5) 若业务模型设置为随机，则设置写入数据量为被测SSD可用容量的100%，然后执行BS为A的随机写操作，此操作执行一次；若业务模型设置为顺序，则跳过此步骤；
 - 6) 对被测SSD的全部存储空间执行BS为A、读写比例为B、业务模型为随机/顺序的读/写操作，测试时间满足IO采样数大于置信度要求，测试期间生成的IO至少是数据置信度的1.5倍，测试过程中记录测试过程中的IOPS及时延分布。对测试结果不做通过与否的判定，结束本项测试。

注1：对被测SSD产品规范中有性能值要求的测试，可根据本项的测试结果与被测SSD产品规范中的性能值进行比对，然后做出本项测试通过与否的判定。

注2：1.5倍为：统计4个9的QoS，则至少需要跑 $10000 \times 1.5 = 15000$ 个IO。

8 可靠性测试

8.1 数据一致性

8.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求。
- c) 软件环境：
 - 1) 操作系统符合5.3的要求；
 - 2) 已安装必要的驱动程序（如PCIe接口的SSD驱动）；
 - 3) 用于对文件或数据生成唯一标识码的软件工具。

8.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 被测SSD与测试系统连接，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 准备测试用的文件：单个文件大于200 MiB，对于可用容量不足200 MiB的被测SSD，使用可用容量大小的文件进行测试。
- b) 测试步骤：
 - 1) 给测试系统加电，对被测SSD进行格式化并创建文件系统；
 - 2) 用软件工具对预先准备的文件生成唯一标识码；
 - 3) 用软件工具将上述文件写入被测SSD；
 - 4) 写入完成后，断电3s以上，再给测试系统加电；
 - 5) 读取SSD内全部待测文件，重新生成唯一标识码；
 - 6) 对比步骤2)和步骤5)中的唯一标识码，并检查读取过程是否有卡顿、丢包、报错等问题；若唯一标识码一致，且读取无异常告警、文件完整无损坏，则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

8.2 数据保存时效

8.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
 - 1) 测试设备：符合能同时支持8.2.2a)中测试样本数量的被测SSD，能安装软件测试工具；

- 2) 恒温箱：符合放置上述测试要求的测试设备（测试设备置于恒温箱中进行测试）；
 - 3) 准备测试用的文件：单个文件大于200 MiB，对于可用容量不足200 MiB的被测SSD，使用可用容量大小的文件进行测试。
- c) 软件环境：
- 1) 符合5.3的要求，并同时符合以下要求：
 - 2) 具备负载生成软件；
 - 3) 具备能收集被测SSD的UNC和读写数据量的软件测试工具。

8.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
- 选取X块SSD状态是磨损到EOL状态的测试样本，其中相同颗粒类型的测试样本数不少于32块。
- b) 测试步骤：
- 1) 记录所有被测SSD的S. M. A. R. T. 信息；
 - 2) 常温下将被测SSD使用测试工具顺序全盘写入数据A；
 - 3) 将被测SSD放置常温下保持3个月或将被测SSD放置恒温箱保持85℃恒温B小时（B为根据NAND Ea参数在40℃条件下等效3个月的时间），达到放置时间后记录被测SSD的S. M. A. R. T. 信息；
 - 4) 将所有被测SSD全盘顺序读取一次，检查读取数据与写入数据A的一致性和S. M. A. R. T. 信息，若读取数据一致，且S. M. A. R. T. 信息中无UNC增加，则本项测试通过；否则为不通过，结束本项测试。

8.3 不可修复位率

8.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
- 符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
- 符合5.2的要求。
- c) 软件环境：
- 符合5.3的要求。

8.3.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
- 1) 被测SSD与测试系统稳定连接，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 启动测试工具，确认测试工具能够向被测SSD正常发送IO请求并产生相应的结果；
 - 3) 根据被测SSD的特性设置队列深度以及进程/线程数；
 - 4) 盘片能记录不可修复错误计数。
- b) 测试步骤：
- 1) 清空被测SSD，如果被测SSD不支持此操作，则略过此步骤；
 - 2) 通过负载生成软件运行JEDEC219码流对被测SSD进行数据写入，并记录写入数据量；

- 3) 持续步骤2)，直到满足被测SSD标称UBER规格（不可纠正错误比特数/总读取比特数），若满足标称UBER规格则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

8.4 耐久性

8.4.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
 - b) 硬件环境：
符合5.2的要求。
 - c) 软件环境：
安装好支持连续高负载IO生成的软件。
- 注：高负载为块大小2 MB，线程数为64，读比例60%，随机比例100%。

8.4.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行：

- a) 预置条件：
 - 1) 被测SSD与测试系统连接，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 设置生成的测试负载中的数据为不可压缩的数据。
- b) 测试步骤：
 - 1) 对被测SSD进行格式化；
 - 2) 用软件测试工具写入数据，对被测SSD全盘128 KiB顺序写入一次；
 - 3) 用软件测试工具写入数据，对被测SSD运行JEDEC219码流对盘持续写入；
 - 4) 在步骤5)的过程中每1s查询盘片剩余寿命，当寿命每减少1%时记录一次当前累计写入的数据量 $A(n)$ ；根据连续两次的累计数据量计算每1%的寿命变化写入的数据量： $A(n) - A(n-1)$ ；当连续两次的变化量误差不超过5%时： $95\% < (A(n) - A(n-1)) / (A(n-1) - A(n-2)) < 105\%$ ，停止步骤3)的IO并跳到步骤5)；
 - 5) 按照计算公式 $(A(n) - A(n-1)) \times 100$ 计算寿命可写入量，并与被测SSD标称规格进行对比，若计算得到的被测SSD总写入数据量高于标称规格，则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

8.5 平均故障间隔时间

8.5.1 测试环境

测试环境应符合以下要求：

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并同时具备：
 - 1) 测试设备：符合能同时支持测试至少30块被测SSD，每块SSD独立供电，独立控制读写；
 - 2) 故障监测设备：能够实时监测被测SSD故障和记录故障发送时间点的设备；
 - 3) 存储设备：能够用于数据备份的数据存储设备；
 - 4) 环境监控设备：能够自动采集温度湿度等环节参数的环境监控设备。

- c) 软件环境：
符合5.3的要求，并同时具备：
- 1) 负载生成软件；
 - 2) 故障统计软件；
 - 3) 健康状态监控软件；
 - 4) 数据一致性校验软件；
 - 5) 日志管理软件。

8.5.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
- 1) 确认所有被测SSD初始状态无故障；
 - 2) 记录每块SSD的序列号、固件版本、标称容量、可用容量、S. M. A. R. T. 信息；
 - 3) 设置生成的测试负载中的数据为不可压缩的数据；
 - 4) 测试环境温度调整保证被测盘的平均温度在F摄氏度，根据公式（1）计算本次测试时间为T小时：

$$MTBF = \frac{2N (AF) T}{\chi^2_{(1-c, 2r+2)}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T ——测试时间；

N ——被测SSD盘的数量；

AF ——温度加速因子，加速因子的计算方法见附录A；

$\chi^2_{(1-c, 2r+2)}$ ——卡方分布分位数， $1-c$ 为置信度水平， r 为失效样本数。

- b) 测试步骤：
- 1) 对被测SSD满盘顺序写入一次；
 - 2) 设置测试负载的IO块大小(BS)为A（A的取值可为4 KiB，8 KiB，16 KiB或32 KiB等）；
 - 3) 设置测试负载的读写比例为B（B的取值0/100，70/30，50/50，30/70或100/0等），业务模型为随机IO；
 - 4) 对被测SSD的全部存储空间执行BS为A、读写比例为B的随机读/写操作，执行时间为3 h；
 - 5) 设置测试负载带校验JEDEC219码流读写，执行时间为6 h；
 - 6) 执行下电和上电操作，上电后检查S. M. A. R. T. 信息中有无新增UNC，若有新增UNC则为不通过，结束本项测试；
 - 7) 重复步骤2)至步骤6)，执行T小时；
 - 8) 将所有盘顺序写入一次后再顺序读取一次，检查S. M. A. R. T. 信息中有无新增UNC；若无新增UNC则本项测试通过；否则为不通过，结束本项测试。

9 兼容性

9.1 硬件兼容性

9.1.1 测试环境

测试环境应满足以下要求。

- a) 物理环境：
满足5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并同时满足产品规范中支持的CPU架构平台、RAID卡。
- c) 软件环境：
符合5.3中a)和b)的要求。

9.1.2 测试方法

本测试项目按照以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
被测SSD与测试系统连接。
- b) 测试步骤：
 - 1) 被测SSD与测试系统连接，且与硬件适配；
 - 2) 将被测SSD分别插入支持的装有操作系统的CPU架构平台或RAID卡；
 - 3) 通过管理工具，检查是否存在被测SSD的错误信息；
 - 4) 通过软件工具或命令行查看SSD信息（型号、容量、固件版本、序列号）是否和产品规范保持一致；
 - 5) 下发IO业务0.5 h，观察被测SSD能否正常进行IO读写操作，IO有无报错；若无报错信息和错误日志，则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

9.2 信号质量兼容性

9.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求。

9.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 测试设备正常运行；
 - 2) 获取服务器的硬盘兼容列表。
- b) 测试步骤：
 - 1) 插拔被测SSD，在盘片板间电源输入端测试上下电波形，确认电源波形是否单调；
 - 2) 插拔服务器电源，在盘片板间电源输入端测试上下电波形，确认电源波形是否单调；
 - 3) 电源测试分别覆盖满配盘片和单配盘片两种场景；
 - 4) 分别测试读、写时I2C/I3C信号质量，确认是否满足产品规范要求；
注：当盘上I2C/I3C总线挂了多个器件时，则需覆盖板间总线上下挂所有芯片；当盘上I2C/I3C有电平转换芯片设计时，则需要增加在电平转换芯片输入端的测试读写。

- 5) 测试盘片板间100 MHz的PCIe时钟，记录时钟的频率、摆幅、上升时间、下降时间、占空比，确认是否满足产品规范要求，结束本项测试。

9.3 接口兼容性

9.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，同时被测SSD的待测接口没有连接任何接口转换装置。
- c) 软件环境：
符合5.3c)中1)、2)、3)的要求。

9.3.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 被测SSD与测试系统连接，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 测试主机BIOS/固件应配置为支持相应接口工作模式；
 - 3) 操作系统应正确安装并加载相应驱动程序。
- b) 测试步骤：
 - 1) 连接被测SSD的待测接口；
 - 2) 需要时，安装被测SSD的驱动程序，并确认驱动程序正常工作；
 - 3) 通过操作系统或其他常用的测试工具检查接口类型和接口协议的版本；
 - 4) 与被测SSD产品规范的接口类型和接口协议的版本进行比较；
 - 5) 记录和报告接口类型和接口协议的相关信息，并说明其是否符合被测SSD的相关说明要求，符合则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

9.4 固件兼容性

9.4.1 测试环境

测试环境应满足以下要求。

- a) 物理环境：
满足5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并同时具备产品规范中支持的CPU架构平台、RAID卡。
- c) 软件环境：
符合5.3中a)和b)的要求。

9.4.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
被测SSD与测试系统正常连接，确认被测SSD能正常工作。
- b) 测试步骤：

- 1) 给测试系统上电，查看所有被测SSD是否均可识别且正常工作；
- 2) 通过操作系统自带的IO工具对被测SSD进行读写（如JEDEC219码流）操作12 h，并检查测试结果和日志；
- 3) 将测试机BIOS升级到最新版本，并进入BIOS界面查看被测SSD信息显示是否正确；
- 4) 如果测试机支持BMC带外管理，将测试机BMC升级到最新版本，并进入BMC界面查看被测SSD信息显示是否正确；
- 5) 查看记录被测SSD固件版本；
- 6) 通过操作系统自带的IO工具对被测SSD进行读写操作，并在此过程中进行固件升级，若固件升级失败，则本项测试不通过，结束本项测试；
- 7) 若固件升级过程未报错，检查升级后被测SSD固件版本及升级日志是否有异常及报错；
- 8) 步骤6) 固件升级成功后，通过操作系统自带的IO工具对被测SSD进行读写（如JEDEC219码流）操作一段时间，并检查测试结果和日志；
- 9) 上述步骤操作均正常，无报错信息和错误日志，则本测试项通过，否则为不通过，结束本项测试。

9.5 操作系统兼容性

9.5.1 测试环境

测试环境应满足以下要求。

- a) 物理环境：
满足5.1的要求。
- b) 硬件环境：
满足5.2的要求。
- c) 软件环境：
 - 1) 操作系统符合5.3的要求，同时还应具备满足产品规范标注支持的操作系统；
 - 2) 已安装必要驱动程序。

9.5.2 测试方法

本测试项目按照以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 被测SSD与测试系统连接，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 预先准备测试所需的操作系统安装文件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 将被测SSD当作系统盘与测试平台连接；
 - 2) 使用预先准备的操作系统安装文件正确完成系统安装，若安装失败则本项测试不通过，安装成功则进入下一步；
 - 3) 重启平台，登录操作系统，打开设备管理器，查看SSD是否正确识别，通过操作系统自带的软件工具或命令检查SSD信息（厂商、容量、固件版本、S.M.A.R.T.信息等）是否正确；
 - 4) 创建多个磁盘分区/文件系统，执行创建、拷贝、对比、压缩、解压和删除文件等操作或操作1000个大小不同的文件。若文件操作成功，则执行步骤5)，若文件操作不成功，则本项测试不通过；

- 5) 重复重启操作系统至少300次，过程中检查是否能正常进入系统，同时检查是否存在黑屏、卡死、BIOS告警等异常现象；
- 6) 使用对应的测试工具进行12 h的持续读写校验测试；
- 7) 上述步骤完成后，若无异常现象则本项测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

10 信息安全

10.1 数据加密功能

10.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求，且测试区域应具备物理安全防护措施，防止测试过程中数据泄露。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，还应具备：
 - 1) 加密算法验证硬件模块，支持AES-128、AES-256、TCG Opal等常见加密算法的验证；
 - 2) 配备密钥管理设备，支持安全生成、存储和注入加密密钥，密钥传输过程采用加密通道；
 - 3) 数据捕获设备，支持捕获SSD接口的通信数据，用于验证加密后数据的安全性。
- c) 软件环境：
符合5.3的要求，且支持加密驱动和加密管理软件运行。

10.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 被测SSD与测试系统连接，确认被测SSD能正常工作，且通过产品规范或厂商确认支持加密功能；
 - 2) 准备测试数据，包括敏感数据和普通数据，数据总量不低于被测SSD可用容量的50 %；
 - 3) 生成测试用加密密钥，包括用户密钥和管理密钥，密钥符合SSD加密功能的密钥格式要求；
 - 4) 启动加密功能测试专用软件和加密算法验证软件，完成软件初始化和参数配置。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过加密功能测试专用软件检测被测SSD支持的加密算法类型，记录算法版本和支持的密钥长度；
 - 2) 按照软件提示开启SSD加密功能，输入用户密钥和管理密钥，设置密钥验证方式，记录加密开启过程是否正常，有无报错；
 - 3) 在系统启动或访问SSD时，是否提示输入密钥，输入正确密钥后能否正常访问SSD，连续3次输入错误密钥后是否锁定SSD；
 - 4) 将预先准备的测试数据写入加密后的SSD，写入过程中使用数据捕获设备捕获接口通信数据，记录数据格式和内容；
 - 5) 写入完成后，读取加密后的SSD数据，使用加密算法验证软件对读取的数据进行算法合规性检测，验证数据是否采用指定的加密算法进行加密，加密格式是否符合标准；
 - 6) 尝试使用数据恢复工具直接读取SSD的原始数据（不通过密钥验证），检查是否能解析出有效测试数据，若无法解析，则加密数据安全性验证通过；

- 7) 通过加密软件修改用户密钥，修改后重启系统，验证新密钥能否正常解锁SSD，旧密钥是否失效；
- 8) 故意输入错误用户密钥导致SSD锁定，使用预先设置的管理密钥进行密钥恢复或解锁操作，验证管理密钥的有效性，记录恢复过程和时间；
- 9) 将密钥备份到外部存储设备，然后删除SSD上的密钥，通过备份密钥进行恢复，验证恢复后能否正常访问数据；
- 10) 通过加密软件关闭SSD加密功能，根据提示输入管理密钥，记录关闭过程是否正常；
- 11) 关闭加密后，写入新的测试数据，读取并验证数据是否以明文形式存储（通过数据捕获设备和数据恢复工具验证），确保加密功能关闭后数据不再加密；
- 12) 若上述所有测试步骤均正常，加密算法合规、密钥管理有效、加密数据无法被未经授权恢复，则本项测试通过；否则本项测试不通过，记录失败环节和具体表现；结束本项测试，生成加密功能测试报告，包括加密算法支持情况、密钥管理测试结果、加密安全性评估。

10.2 数据擦除

10.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求，且测试区域需配备数据擦除过程监控设备（如摄像头），确保擦除过程可追溯。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，且测试系统需配备数据擦除专用设备，以及需配备数据验证工具和数据恢复工具。
- c) 软件环境：
符合5.3的要求。

10.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 被测SSD与测试系统稳定连接，确认被测SSD能正常工作；
 - 2) 读取并记录SSD初始S.M.A.R.T. 信息、LBA地址范围，生成初始状态报告；
 - 3) 启动擦除工具、数据验证工具，确认工具能正常识别被测SSD，且可发送擦除命令、读取LBA数据。
- b) 测试步骤：
 - 1) 被测SSD进行数据擦除，数据擦除方式采用覆写法或块擦除方法：
 - 当采用覆写法时，在所有存储地址中写入全“0”、全“F”或其他固定数值，执行至少两次覆写。
 - 当采用块擦除方法时，对于支持ATA Secure Erase、NVMe Sanitize或NVMe Format命令的被测SSD，分别执行相应命令进行数据擦除。
 - 2) 对数据擦除结果进行检测，对所有存储单元进行读出检测：
 - 当采用覆写法时，验证读出数据是否为全“0”、全“F”或其他固定数值，如是，则本测试通过，否则为不通过，本项测试结束；
 - 当采用块擦除方法时，验证块擦除的所有读取单元的内容均为“0”，如是，则本测

试通过，否则为不通过，结束本项测试。

11 维护性

11.1 S. M. A. R. T.

11.1.1 测试环境

测试环境应满足以下要求。

- a) 物理环境：
符合 5.1 的要求。
- b) 硬件环境：
符合 5.2 的要求。
- c) 软件环境：
符合 5.3 的要求，并同时：
 - 1) 具备用于收集 S. M. A. R. T. 信息的软件工具；
 - 2) 能指定测试过程中 IO 传输的数据总量；
 - 3) 能指定测试时间。

11.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
被测 SSD 应已通过接口协议测试、可用容量测试、基本功能测试，无影响本测试的严重缺陷。
- b) 测试步骤：
 - 1) 读取当前 S. M. A. R. T. 数据并且记录保存通电时间、上电次数、接口写入数据量、接口读取数据量、序列号、产品型号、厂商信息；
 - 2) 对被测 SSD 进行指定数据量的写入，并记录数据写入量；
 - 3) 对被测 SSD 进行指定数据量的读取，并记录数据读取量；
 - 4) 对被测 SSD 进行指定次数的安全断电上电操作，并记录次数；
 - 5) 对被测 SSD 进行指定次数的异常断电上电操作，并记录次数；
 - 6) 读取当前 S. M. A. R. T. 数据并且记录保存通电时间、上电次数、接口写入数据量、接口读取数据量；
 - 7) 结合步骤 1) 和步骤 6) 计算出 S. M. A. R. T. 信息中通电时间、上电次数、接口写入数据量、接口读取数据量；
 - 8) 步骤 7) 中计算得到的通电时间、上电次数、异常断电次数、主机写入数据量、主机读取数据量与步骤 2)～步骤 5) 记录的数据做对比，如不一致，则不通过，结束本项测试；
 - 9) 将 S. M. A. R. T. 信息中序列号、产品型号、厂商信息，与 SSD 铭牌中信息对比，若一致则通过，否则为不通过，结束本项测试。

11.2 固件更新

11.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：

符合 5.1 的要求。

b) 硬件环境：

符合 5.2 的要求。

c) 软件环境：

- 1) 操作系统符合 5.3 的要求；
- 2) 已安装必要的驱动程序（如 PCIe 接口的 SSD 驱动）；
- 3) 已安装必要的 SSD 固件操作工具；
- 4) 准备需要更新的固件版本。

11.2.2 测试方法

固件更新分为离线更新和在线更新两种方式，本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

需要至少有两版已经签名的发布固件镜像（当前版本与更新目标版本，版本号需不同）。

b) 离线更新测试步骤：

- 1) 通过维护命令读取当前固件版本；
- 2) 在无 IO 负载下执行固件更新命令；
- 3) 更新完成后冷重启设备，查看版本号已经更新至目标固件版本、设备可正常识别与读写，则通过本项测试。

c) 在线更新测试步骤：

- 1) 通过维护命令读取当前固件版本；
- 2) 在一定混合 IO 负载下执行固件更新命令；
- 3) 更新完成后，查看版本号，若已经更新至目标固件版本号、设备可正常识别与读写则通过本项测试，否则为不通过，结束本项测试。

11.3 维护接口

11.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

a) 物理环境：

符合 5.1 的要求。

b) 硬件环境：

符合 5.2 的要求。

测试系统提供的硬件接口应包含 SATA、mSATA、M.2、PCI、U.2、SAS 等。

c) 软件环境：

- 1) 操作系统符合 5.3 的要求；
- 2) 已安装必要的驱动程序（如 PCIe 接口的 SSD 驱动）；
- 3) 已安装 SSD 维护工具。

11.3.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

被测 SSD 与测试系统连接，确认被测 SSD 能正常工作。

b) 测试步骤：

- 1) 根据 SSD 不同接口类型（如 SATA、mSATA、M.2、PCI、U.2、SAS）连接至相同接口的测试服务器；
- 2) 需要时，安装被测 SSD 的驱动程序，并确认驱动程序正常工作；
- 3) 通过 SSD 维护工具读取或设置 SSD 信息（如健康状态信息、固件版本信息等），检查 SSD 信息是否正常读取，配置是否正常设置；
- 4) 采用带外获取方式（如通过 I2C、PCI 等协议接口）或 SSD 预留或设置的 Type-C 等接口，读取被测 SSD 的盘状态信息、故障日志、底层日志，检查 SSD 信息是否正常读取；
- 5) 上述步骤操作均正常，则本测试通过，否则不通过，结束本项测试。

12 功耗测试

12.1 空载功耗

12.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并同时符合：
 - 1) 具备功耗分析仪（也称能耗分析仪），应具有在不大于 10 W 的有功功率测量时分辨力为 0.01 W，在大于 10 W 小于 100 W 的有功功率测量时分辨力为 0.1 W，在大于或等于 100 W 的有功功率测量时，分辨力为 1 W，采集频率在 1 kHz 以上；
 - 2) 搭建数据采集端及负载控制端；
 - 3) 安全独立的供电线路。
- c) 软件环境：
符合5.3的要求，并同时符合：
 - 1) 通过控制负载工具的数据吞吐率对被测 SSD 加载负载；
 - 2) 具备功耗分析仪数据采集软件。

12.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 按照测试环境中的连接方式将功耗测试设备与被测 SSD 相连；
 - 2) 同步数据采集端，负载控制端及负载生成服务器三者的时间，以便性能数据及功耗数据的对比分析。
- b) 测试步骤：
 - 1) 启动负载生成服务器；
 - 2) 5 min 后，确保负载生成服务器没有对被测 SSD 的 I/O 请求；
 - 3) 采集被测 SSD 的电流、电压共 10 次，采集间隔时间 3s 以上；
 - 4) 计算功耗平均值，即为被测 SSD 的空载功耗；
 - 5) 对采集到的功耗数据及性能数据进行分析，同时对测试结果不做通过与否的判定，结束本项测试。

12.2 最大功耗

12.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并同时符合：
 - 1) 具备功耗分析仪（也称能耗分析仪），应具有在不大于 10 W 的有功功率测量时分辨力为 0.01 W，在大于 10 W 小于 100 W 的有功功率测量时分辨力为 0.1 W，在大于或等于 100 W 的有功功率测量时，分辨力为 1 W，采集频率在 1 kHz 以上；
 - 2) 搭建数据采集端及负载控制端；
 - 3) 安全独立的供电线路。
- c) 软件环境：
符合5.3的要求，并同时符合：
 - 1) 通过控制负载工具的数据吞吐率对被测 SSD 加载负载；
 - 2) 具备功耗分析仪数据采集软件。

12.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 按照测试环境中的连接方式将功耗测试设备与被测 SSD 相连；
 - 2) 同步数据采集端，负载控制端及负载生成服务器三者的时间，以便性能数据及功耗数据的对比分析。
- b) 测试步骤：
 - 1) 启动负载生成服务器，根据被测 SSD 标称的最大性能指标，持续对被测 SSD 施加最大 I/O 负载测试，满载条件可根据产品型号和读写特征自行调整，选择不同负载参数（顺序读取的功耗、顺序写入的功耗、随机读取的功耗、随机写入的功耗（稳态））进行测试，取最大值；
 - 2) 通过 I/O 监控工具观察 SSD 的 I/O 状态，确保落盘 I/O 与负载工具的压力一致或接近，在对 SSD 施加典型工作负载条件下，稳定 10 min 后，测试 SSD 的工作电压 U 和工作电流 I 或功耗 P ，时间不少于 5 min，采样间隔 1s；
 - 3) 计算功耗平均值，即为被测 SSD 的最大功耗；
 - 4) 对采集到的功耗数据及性能数据进行分析，同时对测试结果不做通过与否的判定，结束本项测试。

12.3 能效测试

12.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求：

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：

符合5.2的要求，并同时符合：

- 1) 具备功耗分析仪（也称能耗分析仪），应具有在不大于10 W的有功功率测量时分辨力为0.01 W，在大于10 W小于100 W的有功功率测量时分辨力为0.1 W，在大于或等于100 W的有功功率测量时，分辨率为1 W，采集频率在1 kHz以上；
 - 2) 搭建数据采集端及负载控制端；
 - 3) 安全独立的供电线路。
- c) 软件环境：
- 符合5.3的要求，并同时符合：
- 1) 通过控制负载工具的数据吞吐率对被测SSD加载负载；
 - 2) 具备功耗分析仪数据采集软件。

12.3.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 按照测试环境中的连接方式将功耗测试设备与被测SSD相连；
 - 2) 同步数据采集端，负载控制端及负载生成服务器三者的时间，以便性能数据及功耗数据的对比分析。
- b) 测试步骤：
 - 1) 启动负载发生装置，按照第7章规定的块大小、队列数和队列深度对被测SSD依次施加以下工作负载：顺序读取、顺序写入、随机读取、随机写入（稳态）；
 - 2) 在每种工作负载条件下，被测SSD稳定运行10 min后，记录其工作电压U和工作电流I，或直接测量功耗P。测量时间不应少于10 min，采样间隔为1s；
 - 3) 在各工作负载条件下，测量并记录被测SSD的性能测试结果；
 - 4) 计算各工作负载条件下的平均功耗；
 - 5) 被测SSD各工作负载条件下的能效按性能测试结果与平均功耗的比值计算，同时对测试结果不做通过与否的判定，结束本项测试。

注：顺序读写工作负载的能效单位为 MB/s 每瓦，随机读写工作负载的能效单位为 IOPS 每瓦。

13 环境适应性

13.1 气候环境适应性

13.1.1 工作温度

13.1.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：

被测SSD产品规范规定的工作下限温度和工作上限温度。
- b) 硬件环境：

符合5.2的要求，并配备：

 - 1) 满足测试要求的高低温试验箱（精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。
- c) 软件环境：

符合5.3要求的测试软件。

13.1.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

- 1) 将被测SSD放入高低温试验箱，连接好SSD测试工装，上电，确保测试系统能正常工作；
- 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。

b) 测试步骤：

- 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件；
- 2) 分别将高低温试验箱温度调节至产品规范规定的工作下限温度和工作上限温度，温度稳定后保持2 h，期间使用中负载进行持续数据读写测试；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
- 3) 测试期间每30 min记录读写速度及产品运行状态；
- 4) 每个温度点测试完成后，自然恢复至室温（23℃±2℃）；
- 5) 通过测试软件验证步骤1)中写入的文件是否完整，功能是否正常。验证结束后，下电；
- 6) 若测试过程中产品无死机、无掉盘，数据完整，测试后产品外观无损伤，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.1.2 贮存温度

13.1.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

a) 物理环境：

被测SSD产品规范规定的工作下限温度和工作上限温度。

b) 硬件环境：

符合5.2的要求，并配备：

- 1) 满足测试要求的高低温试验箱（精度±1℃）；
- 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。

c) 软件环境：

符合5.3要求的测试软件。

13.1.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

- 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电；
- 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件，对被测SSD写入测试数据，并确保数据写入成功，下电。

b) 测试步骤：

- 1) 将写有测试数据的被测SSD放入高低温试验箱；
- 2) 分别将试验箱温度调节至被测SSD产品规范中规定的贮存下限温度和贮存上限温度，温度稳定后保持48 h（特殊场景可按其要求调整温度及保持时间）；
- 3) 每个温度点测试完成后，自然恢复至室温（23℃±2℃）；
- 4) 检查产品外观有无变形和损坏。若无损坏，则将被测SSD接入SSD测试工装，上电，通过测试软件验证测试前写入的数据是否完整，功能是否正常。验证结束后，下电；

- 5) 若测试后产品无变形、无损坏，数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.1.3 工作湿度

13.1.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
被测SSD产品规范规定的工作下限湿度和工作上限湿度。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 湿热试验箱（湿度精度 $\pm 2\%$ RH，温度精度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.1.3.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD放入湿热试验箱，连接好SSD测试工装，上电，确保测试系统能正常工作；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1MB的文件；
 - 2) 分别将湿热试验箱湿度调节至产品规范规定的工作下限湿度和工作上限湿度（无凝露），每个湿度点稳定后保持2 h，期间使用中负载进行持续数据读写测试；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
 - 3) 测试期间每30 min记录读写速度及产品运行状态；
 - 4) 每个湿度点测试完成后，自然恢复至室温（ $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）；
 - 5) 通过测试软件验证步骤1)中写入的文件是否完整，功能是否正常。验证结束后，下电；
 - 6) 若测试过程中产品无死机、无掉盘，测试后产品无变形、无损坏，数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则测试不通过，结束本项测试。

13.1.4 贮存湿度

13.1.4.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
被测SSD产品规范规定的贮存下限湿度和贮存上限湿度。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 湿热试验箱（湿度精度 $\pm 2\%$ RH，温度精度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.1.4.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

- 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电；
- 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件，对被测SSD写入测试数据，并确保数据写入成功，下电。

b) 测试步骤：

- 1) 将写有测试数据的被测SSD放入湿热试验箱；
- 2) 将湿热试验箱温度调节至被测SSD产品规范中规定的温度和贮存下限湿度和贮存上限湿度（无凝露），每个湿度点稳定后保持48h；
- 3) 每个湿度点测试完成后，自然恢复至室温（ $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）；
- 4) 检查产品外观有无变形和损坏。若无损坏，则将被测SSD接入SSD测试工装，上电，通过测试软件验证测试前写入的数据是否完整，功能是否正常。验证结束后，下电；
- 5) 若测试后产品无变形、无损坏，数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.1.5 工作温度循环

13.1.5.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

a) 物理环境：

被测SSD产品规范规定的工作下限温度和工作上限温度。

b) 硬件环境：

符合5.2的要求，并配备：

- 1) 满足测试要求的高低温试验箱（精度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）；
- 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。

c) 软件环境：

符合5.3要求的测试软件。

13.1.5.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

- 1) 将被测SSD放入高低温试验箱，连接好SSD测试工装，上电，确保测试系统能正常工作；
- 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。

b) 测试步骤：

- 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件，并设置测试软件对被测SSD使用中负载进行持续IO操作；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
- 2) 设置高低温试验箱参数，按“低温（产品工作下限温度）保持1 h，升温（速率 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ），高温（产品工作上限温度）保持1h，降温（速率 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ）”为1个循环，共进行10个循环；
- 3) 期间在各温度稳定阶段记录测试软件的IOPS；
- 4) 通过测试软件验证步骤1)中写入的文件是否完整，功能是否正常。验证结束后，下电；

- 5) 若测试过程中产品无死机、无掉盘，数据完整，测试后产品外观无损伤，功能正常（I/O操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.1.6 非工作温度冲击

13.1.6.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
被测SSD产品规范规定的非工作下限温度和非工作上限温度。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 满足测试要求的温度冲击试验箱；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.1.6.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件，对被测SSD写入1个1 MB的文件（测试数据），并确保数据写入成功，下电。
- b) 测试步骤：
 - 1) 将写有测试数据的被测SSD放入温度冲击试验箱；
 - 2) 分别将温度冲击试验箱温度调节至被测SSD产品规范中规定的非工作上限温度和非工作下限温度，各保持30 min，高低温切换时间不超过5 min，共进行10次；
 - 3) 每个温度点测试完成后，自然恢复至室温（23℃±2℃）；
 - 4) 检查产品外观有无变形和损坏。若无损坏，则将被测SSD接入SSD测试工装，上电，通过测试软件验证测试前写入的数据是否完整，功能是否正常。验证结束后，下电；
 - 5) 若测试后产品无变形、无损坏，数据完整，功能正常（I/O操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.2 机械环境适应性

13.2.1 正弦振动

13.2.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 振动试验台；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。

- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.2.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD固定在振动试验台，并连接好SSD测试工装，上电，确保系统工作正常；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件，并设置测试软件对被测SSD使用中负载进行持续IO操作；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
 - 2) 设定振动台频率范围5 Hz～200 Hz加速度5 m/s²，扫频速度≤1 oct/min，扫共振点，如无共振点，在10 Hz、50 Hz、100 Hz、200 Hz四个频率点各进行定频耐久试验5 min；期间记录产品运行状态；
 - 3) 测试结束后，检测产品外观，并通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能，下电；
 - 4) 若测试过程中产品无松动、无死机；测试后产品无变形、无损坏，数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.2.2 随机振动

13.2.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 振动试验台；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.2.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD固定在振动试验台，并连接好SSD测试工装，上电，确保系统工作正常；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件，并设置测试软件对被测SSD使用中负载进行持续IO操作；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
 - 2) 模拟运输、车载工况，设定振动5～100Hz，0.012 g²/Hz，100～300 Hz，0.0001 g²/Hz，方向：X、Y、Z轴，时间：30 min/轴，总均方根值：1.2 Grms；

- 3) 测试结束后，检测产品外观，并通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能，下电；
- 4) 若测试过程中产品无松动、无死机；测试后产品无变形、无损坏，数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.2.3 冲击测试

13.2.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 冲击试验台（半正弦波）；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.2.3.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD固定在冲击试验台，并连接好SSD测试工装，上电，确保系统工作正常；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1MB的文件，并设置测试软件对被测SSD使用中负载进行持续IO操作；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
 - 2) 设定峰值加速度 300 m/s^2 ，脉冲持续时间11 ms，分别在X、Y、Z（正负）方向各冲击3次；冲击过程中记录产品状态；
 - 3) 测试结束后，检测产品外观，并通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能，下电；
 - 4) 若测试过程中产品无松动、无死机；测试后产品无变形、无损坏，数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.2.4 裸机自由跌落

13.2.4.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 跌落试验台；
 - 2) 海绵缓冲底面（硬度50D）；
 - 3) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。
- c) 软件环境：

符合5.3要求的测试软件。

13.2.4.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

- 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电，确保系统工作正常；
- 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件，通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件，下电。

b) 测试步骤：

- 1) 将被测SSD裸机（无包装）从750 mm高度自由跌落；
- 2) 分别从产品的每个面各跌落1次；
- 3) 跌落完成后，检测产品外观，并通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能；
- 4) 若测试后产品无破损、接口无变形，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.2.5 包装件自由跌落

13.2.5.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

a) 物理环境：

符合5.1的要求。

b) 硬件环境：

符合5.2的要求，并配备：

- 1) 跌落试验台；
- 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。

c) 软件环境：

符合5.3要求的测试软件。

13.2.5.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件：

- 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电，确保系统工作正常；
- 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件，通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件，下电。

b) 测试步骤：

- 1) 将被测SSD按出厂包装方式包装，根据包装件质量确定跌落高度（质量 ≤ 1 kg，跌落高度1000 mm；质量1 kg \sim 5 kg，跌落高度750 mm）；
- 2) 分别从产品的每个面各跌落1次；
- 3) 测试完成后，拆开产品包装，检测产品状态，并通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能；
- 4) 若测试后产品无破损、接口无变形，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.3 电气环境适应性

13.3.1 工作电压

13.3.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 直流稳压电源（精度 $\pm 0.1\text{ V}$ ）；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等，还需满足给SSD供电的线缆能连接直流稳压电源）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.3.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电，确保测试系统能正常工作；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件，将被测SSD连接直流稳压电源，使用测试软件对被测SSD使用中负载进行持续数据读写测试；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
 - 2) 分别调节直流稳压电源电压至标称电压的95%、100%、105%，每个电压点稳定后保持1 h，宽压产品按标注的电压区间，取最小值、中间值、最大值分别测试；
 - 3) 通过测试软件验证步骤1)中写入的文件是否完整，功能是否正常。验证结束后，下电；
 - 4) 若测试过程中被测SSD无异常发热、无死机、无掉盘，数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.3.2 异常电压防护

13.3.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 直流稳压电源（精度 $\pm 0.1\text{ V}$ ）；
 - 2) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等，还需满足给SSD供电的线缆能连接直流稳压电源）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.3.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件:

- 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装, 上电, 确保测试系统能正常工作;
- 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。

b) 测试步骤:

- 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件, 将被测SSD连接直流稳压电源, 使用测试软件对被测SSD使用中负载进行持续数据读写测试;
注: 中负载为块大小1 MB, 线程数为32, 读比例60 %, 随机比例100 %。
- 2) 分别调节直流稳压电源电压至标称电压的上下限 (如 $\pm 10\%$, 则电压为110 % (过压)、90 % (欠压)), 各保持30 min, 测试结束后恢复正常电压;
- 3) 通过SSD测试工装和测试软件检测步骤1) 中写入的数据是否完整及产品功能是否正常;
- 4) 将电源正负极反接至SSD接口, 保持5s后断开;
- 5) 重新正确连接电源, 通过SSD测试工装和测试软件检测第1) 写入的数据是否完整及产品功能是否正常;
- 6) 若在异常电压条件下被测SSD无永久性损坏, 恢复正常电压后, 数据完整, 功能正常 (IO操作无报错), 则测试通过, 否则为不通过, 结束本项测试。

13.4 电磁兼容性

13.4.1 静电放电抗扰度

13.4.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

a) 物理环境:

符合5.1的要求。

b) 硬件环境:

符合5.2的要求, 并配备:

3) 静电放电发生器;

- 4) SSD测试工装 (通常需含显示端、测试主机、连接线缆等, 还需满足给SSD供电的线缆能连接直流稳压电源)。

c) 软件环境:

符合5.3要求的测试软件。

13.4.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

a) 预置条件:

- 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装, 上电, 确保测试系统能正常工作;
- 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。

b) 测试步骤:

- 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件, 将被测SSD连接静电放电发生器, 使用测试软件对被测SSD使用中负载进行持续数据读写测试;
注: 中负载为块大小1 MB, 线程数为32, 读比例60 %, 随机比例100 %。
- 2) 接触放电: 设定产品规范规定的接触放电电压, 在被测SSD外壳、接口引脚等关键部位各放电10次 (每次放电间隔1s), 测试过程中记录产品状态;

- 3) 空气放电：设定产品规范规定的空气放电电压，在被测SSD周围5 mm处进行空气放电，每个方向放电10次，测试过程中记录产品状态；
- 4) 测试结束后，通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能，下电；
- 5) 若测试过程中被测SSD无死机、无重启，测试后数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.4.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度

13.4.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 电快速瞬变脉冲群发生器；
 - 2) 耦合/去耦网络；
 - 3) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等，还需满足给SSD供电的线缆能通过耦合/去耦网络连接脉冲群发生器）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.4.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电，确保测试系统能正常工作；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件，将被测SSD通过耦合/去耦网络连接脉冲群发生器，使用测试软件对被测SSD使用中负载进行持续数据读写测试；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
 - 2) 设定脉冲电压（ ± 2 kV）、频率（5 kHz），持续测试10 min；
 - 3) 测试结束后，通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能，下电；
 - 4) 若测试过程中被测SSD无死机、无重启，测试后数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.4.3 浪涌（冲击）抗扰度

13.4.3.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 浪涌发生器；

- 2) 耦合/去耦网络;
- 3) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等，还需满足给SSD供电的线缆能通过耦合/去耦网络连接浪涌发生器）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.4.3.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电，确保测试系统能正常工作；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件；
 - 2) 将被测SSD通过耦合/去耦网络连接浪涌发生器，使用测试软件对被测SSD使用中负载进行持续数据读写测试；
注：中负载为块大小1 MB，线程数为32，读比例60%，随机比例100%。
 - 3) 分别对电源回路、接口回路施加浪涌冲击（ ± 1 kV，半正弦波，脉冲持续时间20 μ s），每个回路测试5次；
 - 4) 测试结束后，通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能，下电；
 - 5) 若测试过程中被测SSD无死机、无重启，测试后数据完整，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

13.4.4 无线电磁骚扰

13.4.4.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
符合5.1的要求。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 电波暗室；
 - 2) 辐射骚扰接收机；
 - 3) 传导骚扰接收机；
 - 4) 人工电源网络；
 - 5) SSD测试工装（通常需含显示端、测试主机、连接线缆等）。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.4.4.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
 - 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装，上电，确保测试系统能正常工作；
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。

b) 测试步骤:

- 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件;
- 2) 将被测SSD通过耦合/去耦网络连接浪涌发生器, 使用测试软件对被测SSD使用中负载进行持续数据读写测试;
注: 中负载为块大小1 MB, 线程数为32, 读比例60 %, 随机比例100 %。
- 3) 进行辐射骚扰测试: 将被测SSD接入SSD测试工装并正常工作, 放置在电波暗室指定位置, 测试30 MHz~1 GHz频段的辐射骚扰值;
- 4) 进行传导骚扰测试: 将被测SSD通过人工电源网络连接电源, 测试150 kHz~30 MHz频段的传导骚扰值;
- 5) 测试结束后, 通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能, 下电;
- 6) 若测试过程中被测SSD的测试辐射骚扰、传导骚扰值均符合GB/T 9254.1的限值要求, 测试后数据完整, 功能正常 (IO操作无报错), 则测试通过, 否则为不通过, 结束本项测试。

13.5 特殊环境适应性

13.5.1 最低工作气压

13.5.1.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境:
被测SSD产品规范规定的工作下限气压。
- b) 硬件环境:
符合5.2的要求, 并配备:
 - 1) 低气压试验箱 (精度 ± 1 kPa);
 - 2) SSD测试工装 (通常需含显示端、测试主机、连接线缆等)。
- c) 软件环境:
符合5.3要求的测试软件。

13.5.1.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件:
 - 1) 将被测SSD连接好SSD测试工装, 上电, 确保测试系统能正常工作;
 - 2) 在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤:
 - 1) 通过测试软件向被测SSD写入1个1 MB的文件;
 - 2) 将被测SSD放入低气压试验箱, 使用测试软件对被测SSD使用中负载进行持续数据读写测试;
注: 中负载为块大小1 MB, 线程数为32, 读比例60 %, 随机比例100 %。
 - 3) 调节气压至被测SSD产品规范规定的工作下限气压 (模拟高海拔场景), 气压稳定后保持2 h;
 - 4) 测试结束后, 检测产品外观, 并通过SSD测试工装和测试软件检测产品功能, 下电;
 - 5) 若测试过程中被测SSD无鼓包、无漏气, 测试后数据完整, 功能正常 (IO操作无报错), 则测试通过, 否则为不通过, 结束本项测试。

13.5.2 盐雾

13.5.2.1 测试环境

测试环境应符合以下要求。

- a) 物理环境：
被测SSD产品规范规定的工作下限湿度和工作上限湿度。
- b) 硬件环境：
符合5.2的要求，并配备：
 - 1) 盐雾试验箱；
 - 2) SSD测试工装。
- c) 软件环境：
符合5.3要求的测试软件。

13.5.2.2 测试方法

本测试项目按以下预置条件和测试步骤执行。

- a) 预置条件：
在SSD测试工装上安装好测试软件。
- b) 测试步骤：
 - 1) 将被测SSD放入盐雾试验箱；
 - 2) 采用中性盐雾（浓度5 %NaCl，pH值6.5~7.2）进行试验，温度设置为35℃，持续喷雾48h；
 - 3) 测试完成后，用清水冲洗被测SSD表面并晾干；
 - 4) 检查被测SSD外观，用SSD测试工装和测试软件检测产品功能；
 - 5) 若测试完成后产品外壳、引脚及焊点无明显腐蚀，无损坏，功能正常（IO操作无报错），则测试通过，否则为不通过，结束本项测试。

附录 A

(资料性)

可靠性试验中温度加速因子的计算方法

可靠性试验时，如果试验条件比本文件中规定的试验条件高，按照下面的温度加速因子 AF 计算方式进行计算。

$$AF = \exp \left[\frac{E_a}{k} \times \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right) \right] \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

AF ——温度加速因子；

E_a ——析出故障的耗费能量（耗费能量=0.3eV~1.2eV，通常取0.70eV）；

k ——玻耳兹曼（Boltzmann）常数， $k = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ ；

T_0 ——正常使用条件下的SSD盘温度值（K）；

T_1 ——加速试验条件下的试验温度值（K）。

参 考 文 献

- [1] JESD218A 固态硬盘（SSD）要求和耐久性测试方法
 - [2] JESD219A 固态硬盘耐久性工作负载
 - [3] JESD219 固态硬盘耐久力负载（Solid State Drive (SSD) Endurance Workloads）
-