

ICS 11.040.20
CCS C31



中国医疗器械行业协会
China Association for Medical Devices Industry

团 体 标 准

T/CAMDI 134.1—2025

医疗器械用高分子材料和包装材料 老化试验指南 第 1 部分：老化试验方案设计

Aging test guidance on polymer materials and packaging materials for medical
devices—Part 1: Design of aging test plan

2025 - 12 - 22 发布

2025 - 12 - 22 实施

中国医疗器械行业协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 老化试验类型	2
6 老化试验方案要素	2
7 老化试验设计	3
7.1 试验目的	3
7.2 明确试验条件	3
7.3 确定老化试验时间及观察时间点	3
7.4 明确测试项目及接受准则	4
7.5 准备试验仪器及设备	4
7.6 准备试验样品及确定样本量	5
7.7 实施老化试验	5
7.8 记录试验数据	5
7.9 老化结果评价	5
7.10 迭代加速老化模型	6
附录 A（资料性）加速老化因子	7
附录 B（资料性）基于风险计算样本量的一种方法	8
附录 C（资料性）老化试验示例	10
附录 D（资料性）迭代加速老化因子示例	13
参考文献	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。

本文件为 T/CAMDI 134《医疗器械用高分子材料和包装材料老化试验指南》的第1部分。T/CAMDI 134 已发布以下部分：

- 第1部分：老化试验方案设计；
- 第3部分：加速老化试验方法适用性及 Q_{10} 选择；
- 第4部分：加速老化温度选择方法。

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。

本文件由中国医疗器械行业协会医用高分子制品专业分会提出。

本文件由中国医疗器械行业协会医用高分子制品专业分会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：南微医学科技股份有限公司、安徽和美瑞医用包装材料有限公司、谱尼测试集团股份有限公司、厦门当盛新材料有限公司、上海建中医疗器械包装股份有限公司、杜邦（中国）研发管理有限公司、河南驼人医疗器械集团有限公司、山东威高集团医用高分子制品股份有限公司、成都市新津事丰医疗器械有限公司、安徽天康医疗科技股份有限公司、山东中保康医疗器具有限公司、上海正邦医疗科技有限公司、宁波汉科医疗器械有限公司、深圳市保安医疗用品有限公司、南京双威生物医学科技有限公司、上海新上化高分子材料有限公司、威海德生技术检测有限公司、斯迪迈（苏州）医疗科技有限公司、四川省药品检验研究院（四川省医疗器械检测中心、四川养麝研究所）、江西省医疗器械检测中心、上海市医疗器械化妆品审评核查中心、黑龙江省药品检验研究院、甘肃省医疗器械检验检测所、湖北省医疗器械质量监督检验研究院、湖南省药品检验检测研究院、天津市医疗器械审评查验中心、福州绿帆包装材料有限公司、中石化（北京）化工研究院有限公司、斯坦德科创医药科技（青岛）有限公司、宁波韦科医疗科技有限公司、威海洁瑞医用制品有限公司、浙江润强医疗器械股份有限公司、通标标准技术服务（上海）有限公司。

本文件主要起草人：李宁、闫宁、朱小毛、徐宏剑、黄凤娇、宋翌勤、张云霞、刘艳红、夏明凤、凌霞、张海东、巩家富、方建新、金幼蓉、桂文娟、潘维超、钟伟勤、李涛、顾靖、周成、杨婧、张莺莺、李建平、朱波、申彦峰、郭强、颜敏、何佳俊、黄正渊、唐毓婧、莫志超、刘聪、陈寿松、史海忠、宋晓敏。

引 言

T/CAMDI 134《医疗器械用高分子材料和包装材料老化试验指南》提供了医疗器械用高分子材料和包装材料老化试验方案的设计、实时老化条件的确定、加速老化试验方法的适用性及老化因子 Q_{10} 的选择、加速老化温度的选择方法、加速老化湿度的选择方法，拟由五个部分组成。

- 第1部分：老化试验方案设计。目的在于为医疗器械用高分子材料和包装材料提供老化试验方案设计的指南。
- 第2部分：实时老化条件确定。目的在于为医疗器械用高分子材料和包装材料确定实时老化的试验条件。
- 第3部分：加速老化试验方法适用性及 Q_{10} 选择。目的在于为医疗器械用高分子材料和包装材料的老化提供选择 Q_{10} 的方法。
- 第4部分：加速老化温度选择方法。目的在于为医疗器械用高分子材料和包装材料提供加速老化温度选择的方法。
- 第5部分：加速老化湿度选择方法。目的在于为医疗器械用高分子材料和包装材料提供加速老化湿度选择的方法。

本文件是 T/CAMDI 134 的第 1 部分。本系列标准中的老化试验包括实时老化试验和加速老化试验。实时老化试验是在实际环境条件下或模拟实际环境条件下进行的老化试验。加速老化试验是在某一较高的温度环境条件下进行的老化试验，以缩短老化时间。在进行加速老化试验设计时，加速老化时间由加速老化温度、预设的实际贮存温度、 Q_{10} 、预期使用期限等确定。在设定加速老化环境条件时，除了老化温度外，分析材料的实际使用环境要求也很重要，考虑影响加速老化结果的环境因素，在加速老化时设置合适的试验条件。采用加速老化试验时，还要进行实时老化试验，以确认材料的有效期。

医疗器械用高分子材料和包装材料老化试验指南

第 1 部分：老化试验方案设计

1 范围

本文件提供了医疗器械用高分子材料和包装材料老化试验方案的设计指南。

本文件适用于医疗器械用高分子材料和包装材料。

注：由高分子材料构成的医疗器械可参照本文件。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

加速老化 **accelerated aging**

将样品贮存在某一较高的温度，以缩短时间来模拟实时老化。

[来源：YY/T 0681.1—2018，3.1]

3.2

加速老化因子 **accelerated aging factor**

一个估计的或计算出的与实时条件贮存的材料性能达到同等水平的物理性能变化的时间比率。

[来源：YY/T 0681.1—2018，3.2，有修改]

3.3

加速老化温度 **accelerated aging temperature**

进入老化研究的某一较高温度，它是基于估计的贮存温度，估计的使用温度，或两者来推算出的。

[来源：YY/T 0681.1—2018，3.3]

3.4

加速老化时间 **accelerated aging time**

进行加速老化试验的时长。

[来源：YY/T 0681.1—2018，3.4]

3.5

迭代加速老化因子 **Iterative accelerated aging factor**

加速老化试验后，使用完整的加速老化数据和已获得的实时老化数据计算加速老化因子，以对设定的加速老化因子进行评估和修正。在实时老化数据有更新时重新评估和修正加速老化因子，直至实时老化结束。

注：本文件的迭代加速老化因子方法可用于材料或产品升级时高分子材料种类相同、化学组分未发生改变且工艺无实质性变化的情况。

3.6

包装材料 packaging material

用于制造或密封包装系统的材料。

[来源：GB/T 19633.1—2015，3.9，有修改]

3.7

实时老化 real-time aging

将样品贮存在环境条件下的老化过程。

[来源：YY/T 0681.1—2018，3.7，有修改]

3.8

实时等同 real-time equivalent

对给定的加速老化条件估计的与实时老化等同的时长。

[来源：YY/T 0681.1—2018，3.8]

3.9

零时刻 zero time

老化研究的开始时间。

[来源：YY/T 0681.1—2018，3.9]

4 总则

医疗器械用高分子材料和包装材料的老化试验宜基于材料全生命周期所经历的条件进行设计。

材料的全生命周期包括但不限于：生产、运输、贮存、使用过程。所经历的条件包括但不限于：温度、湿度、光照、空气、压力、辐射、堆码、振动、冲击。

5 老化试验类型

医疗器械用高分子材料和包装材料的老化试验通常宜有两种类型：

- a) 在实际环境条件或模拟实际环境条件下进行的实时老化试验；
- b) 为了缩短试验时间，在加严条件下进行的加速老化试验。

如果进行加速老化，除非有其他理由，宜在实时老化的三个月内开始，且加速老化在商业化之前完成。

实时老化试验是材料有效期确认的直接证据，当加速老化试验与实时老化试验结果不一致时，宜以实时老化试验结果为准。

6 老化试验方案要素

6.1 老化试验方案宜考虑以下几个方面：

- a) 试验目的：明确老化试验的目的，例如评估材料的耐久性、稳定性；
- b) 试验条件：确定老化试验的条件，例如温度、湿度等；
- c) 试验观察点：确定试验过程中的观察点，包含观察点数量和时间间隔；
- d) 试验时间：综合考虑材料的预期使用期限、 Q_{10} 值、加速老化温度和预设的实际贮存温度等因素，合理确定老化试验时间；
- e) 测试项目及接受准则：明确测试项目，设定试验的接受准则；
- f) 试验样品：确定老化试验样品的型号和数量，样本量宜足够进行有效的统计分析；
- g) 试验仪器和设备：配备可模拟实际环境条件或加严试验条件的仪器或设备；
- h) 实施老化试验：在设定的试验环境条件下按计划对试验样品进行老化；
- i) 数据记录：记录老化过程中监测的参数及测试的数据，例如温度、湿度、性能参数等；

j) 结果评价：制定数据分析方法，进行数据分析，以评估老化试验结果。

6.2 如需要，可迭代加速老化因子。通过比较实时老化和加速老化数据，将加速老化因子估计值迭代至更接近真实值。

注：有足够的加速老化和实时老化数据的材料或产品，适用时，可使用本文件中的迭代加速老化因子的方法重新确定加速老化因子。其他情况下加速老化因子确定的方法见 T/CAMDI 134.3。

7 老化试验设计

7.1 试验目的

试验前宜明确老化试验目的。试验目的是具体的、可衡量和评估的、科学合理的。

7.2 明确试验条件

7.2.1 实时老化试验条件

实时老化试验可以在实际的自然环境条件下进行，也可以在人工模拟实际环境条件下进行。当材料的实际使用环境条件和实际的自然贮存环境条件有差异，且实际使用环境条件更有利于材料老化时，宜采用人工模拟实际环境条件进行试验。这可能包括两种情况，一种是模拟实际自然环境试验条件，另一种是模拟特定的使用环境试验条件。

人工模拟实际环境条件宜考虑以下几个方面：

- 温度和湿度：根据材料的贮存和使用环境，设置适当的温度和湿度范围。例如，如果材料在高温或潮湿的环境中使用，老化试验宜包括相应的温度和湿度条件；
- 光照：如果材料会受到阳光或其他光源的照射，宜考虑设置适当的光照强度和光谱分布；
- 振动和冲击：如果材料在使用过程中会受到振动或冲击，宜设计相应的振动和冲击试验条件；
- 空气质量：考虑材料所处环境中的空气质量因素，例如腐蚀性气体、灰尘等，适当引入相应的试验条件；
- 使用频率和时间：根据材料的实际使用情况，确定老化试验的循环次数和时间间隔，以模拟长期使用的影响；
- 渐变条件：如材料在使用过程中可能会经历逐渐变化的环境条件，例如温度的逐渐升高或降低。在老化试验中，可以设计渐变的条件来模拟这种情况；
- 多因素综合：实际使用环境往往是多种因素的综合作用，因此可以考虑设计多因素老化试验，同时施加多种条件。

更多确定实时老化试验条件的相关信息见 T/CAMDI 134.2。

7.2.2 加速老化试验条件

加速老化试验条件宜根据材料的实际使用和贮存环境、实际使用情况及相关标准规范的要求设定，有条件时，也可参考以往的经验 and 类似的测试数据。

选定加速老化温度宜先了解材料的表征情况，分析可能影响加速老化试验结果的材料特性。当材料表征表明提高老化温度不可行时，只能选择实时老化。加速老化温度不能高于材料的热转化温度。有关加速老化温度更详细的选择方法见 T/CAMDI 134.4。

湿度是环境条件之一，材料长期贮存及使用可能会受其影响，在加速老化试验中宜考虑其对材料的影响。加速老化过程中控制湿度的目的是平衡因升温导致的低相对湿度，这对加速老化试验是至关重要的，可避免高温试验下材料（主要是聚合物）因干燥而低于长期贮存使用条件下的典型湿度水平。在加速老化过程控制湿度时，除非有使用其他湿度条件的特定要求（基于材料知识，或国家和地区的要求），相对湿度宜控制在 45% RH ~ 55% RH 范围内，设定的湿度可接受的变化范围为 ±5%，如果使用其他条件，宜记录说明理由。选择加速老化湿度更详细的信息见 T/CAMDI 134.5。

本文件 7.2.1 中列出的其他宜考虑的实际环境条件，如适用，宜在加速老化试验条件中予以明确。

7.3 确定老化试验时间及观察时间点

7.3.1 实时老化试验时间

实时老化试验时间取决于材料的预期使用期限。必要时，如需观察材料的实际老化现象，宜设定足够长的试验时间。

7.3.2 加速老化试验时间

加速老化试验时间取决于多个因素，包括材料的特性、预期使用期限、实际贮存或使用的环境温度等。

加速老化时间一般是基于温度的升高，宜根据阿列纽斯化学反应速率函数建立的加速老化公式计算获得。

$$AAT = RT/Q_{10}^{\frac{T_{AA}-T_{RT}}{10}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- AAT ——加速老化时间，单位为天；
- RT ——期望或要求的实际时间，单位为天；
- Q_{10} ——阿列纽斯化学反应速度方程系数；
- T_{AA} ——加速老化温度，单位为摄氏度（℃）；
- T_{RT} ——预设的实际贮存温度，单位为摄氏度（℃）。

如果没有其他经确认的合适数据，一般宜将 Q_{10} 设定为 2 或 1.8，其中设定为 1.8 是更为保守的选择。如需在老化试验中设定 Q_{10} 大于 2，提供详细的相关研究资料是非常有必要的。关于 Q_{10} 选择的更详细信息见 T/CAMDI 134.3.7.10 给出了一种根据老化试验历史数据迭代加速老化因子获得更契合实际 Q_{10} 值的方法。

注：使用 $Q_{10}=2$ 或 1.8 固定加速老化因子获得的是一个固定的加速老化模型。通常情况下，材料在给定温度的加速老化时间内，确认有效期的老化时间可能是会缩短或延长，在收集到足够实时老化和加速老化数据后，基于对数据的分析可将加速老化因子估计值迭代到更接近真实值，使加速老化模型更接近实时老化。关于加速老化因子更详细的信息见附录 A。

加速老化温度的设定见 7.2.2。

加速老化试验预设的实际贮存温度一般宜选择材料实际贮存或使用温度范围的上限值，选择该上限温度是被普遍认同的较保守的温度参数。实际贮存或使用是室温环境条件时，一般情况下其温度范围为 20℃～25℃，通常选择上限温度 25℃ 作为其预设的实际贮存温度。对于标记了特定长期贮存温湿度范围的材料，同样宜将该温度范围的上限值作为预设的实际贮存温度。

必要时，如需观察到材料老化现象的发生，加速老化试验时间宜要足够长，或见 T/CAMDI 134.3。

7.3.3 试验观察时间点

有效期试验终点是一个必须的老化试验观察时间点，但只使用一个观察时间点可能无法从前面的观察点得到警告，导致试验失败的风险；其次，趋势分析通常有助于表征老化对材料的影响。因此，老化试验过程中宜设定不同的观察时间点，一般宜至少包含三个观察时间点，即零时刻点、中间点和有效期试验终点。

因实时老化时间较长，可根据样品特性考虑增加适当的观察时间点，可能不是全性能测试，而是针对某些特定项目进行测试。

注：有效期试验终点宜设定为比预期使用期限时间长，例如将预期使用期限时间基础上增加 3 个月的时间作为有效期试验终点。

7.4 明确测试项目及接受准则

宜根据预期用途、材料特性及风险评价设定测试项目。用于评价的测试项目宜至少能对材料最关键的功能或最易因老化而失效的功能进行挑战。

确定各个观察点的测试项目，及其测试方法和判定标准。判定标准宜参照相关标准、行业经验或材料供应商的建议。

注：当没有判定标准时，可采用零时刻点性能数据作为老化试验测试项目的参照指标。

在老化试验前制定接受准则，宜使用以下几种不同的评价方法：

- a) 用零时刻性能数据与有效期试验终点最终性能数据对比；
- b) 分析所有评价时段的数据走势；
- c) 评估最后时段性能试验结果。

宜定期审查和更新接受准则，以适应新的材料和使用要求的变化。

7.5 准备试验仪器及设备

老化试验使用模拟环境条件时，宜配备可模拟实际环境条件或加严环境条件的仪器和设备。试验使用的仪器和设备定期检查和维修，保证其可靠性，确保其性能和校准符合试验要求。常用的仪器及要求宜包括但不限于：

- a) 房间（或箱）：其大小可以使样品独立地暴露于选定的温度和相对湿度的循环空气中；
- b) 控制仪器：能使房间（或箱）在极限偏差内保持所需大气条件；
- c) 湿度计：用于指示相对湿度的设备，其相对湿度精度宜为 $\pm 2\%$ ；
注：干湿球温度计既可直接测量相对湿度，也可用其核查湿度计。
- d) 温度计：可使用任何精度为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的能记录和显示温度的测量装置。
注：干湿球温度计的干球温度计可直接测量温度，也可用其核查温度显示装置。

7.6 准备试验样品及确定样本量

7.6.1 准备试验样品

宜根据相关标准，或者遵从材料生产商的推荐及有关各方的约定制备试验样品。如适用，宜选择最具挑战性的规格作为试验样品。在某些情况下，可能有多个最坏情况，此时采用如“四角法”或“括号法”的方式选择试验样品可能是合适的。

注：“四角法”是指有两个规格变量（例如长度和直径）因素时，选取各因素的最大规格和最小规格组合试样的方法；“括号法”是指有一个规格变量（例如长度）因素时，选取该因素的最大规格和最小规格试样的方法。

试验样品宜全面考虑其在有效期内所处的不同状态，且所有这些状态均被验证。例如，对于需要用户在使用前进行灭菌的材料或产品，分别针对灭菌前和灭菌后的试验样品展开考量；若存在不同的灭菌方式，每种灭菌方式的试验样品都单独进行考量。

试验样品为模拟运输后的样品。

7.6.2 确定样本量

试验或测试项目对试验样品数量有明确标准规定的，宜参照相应标准确定样本量。若无相关标准，宜基于风险确定每个测试项目的样本量，且样本量要有统计学意义。一种基于风险确定样本量的方法见附录 B。

7.7 实施老化试验

宜在设定的试验环境条件下实施老化试验。宜控制和定期监测试验环境条件，确保其稳定性和一致性。并在各观察点按计划对试验样品进行测试。

如老化试验过程中出现偏差，宜立即停止试验，制定纠正措施，评审通过后方能继续试验，所有记录宜保存至试验报告中。

7.8 记录试验数据

试验数据记录要求宜包括：

- a) 记录试验环境参数；
- b) 记录老化试验各观察点的时间；
- c) 记录试验过程测试数据；
- d) 记录试验过程中的任何变化；
- e) 记录的试验数据准确、完整。

7.9 老化结果评价

7.9.1 加速老化结果评价

宜制定数据分析方法，对加速老化后测试的数据进行统计分析，以评估测试结果是否满足要求。

如果加速老化结果满足可接受准则，代表产品的有效期被有条件确认，但仍需要用实时老化研究的结果进行最终确认。

如果加速老化结果不满足可接受准则，要么对材料生产过程进行调查后改进，要么尝试确认较短的有效期，或是等待实时老化确认结果。如果实时老化确认结果可以接受，则产品的有效期被确认。如果出现这种情况，是由于加速老化程序比实时老化程序严苛所致，也可参照 7.10 迭代加速老化模型，使其更接近实时老化。

7.9.2 实时老化结果评价

宜制定数据分析方法，对实时老化后测试的数据进行统计分析，以评估测试结果是否满足要求。

如果实时老化结果满足可接受准则，代表产品的有效期得到确认。

如果实时老化结果不满足可接受准则，产品有效期宜减少到实时老化试验获得成功的最长的有效期，或是对材料进行改进后重新试验。如果产品已经根据加速老化结果投放到市场，宜进行认真评审，形成文件，并采取相应措施。

注：详细的老化试验示例见附录 C。

7.10 迭代加速老化模型

通过迭代加速老化因子的方法，可获得更接近实时老化的加速老化模型。采用这种方法时，宜收集实时老化和加速老化试验后的数据，且这些数据是计量型数据，能够反映材料性能随老化时间退化的关系。

注1：在加速老化试验结果不符合预期的情况下，可考虑采用迭代加速老化因子的方法重新计算加速老化因子，且用于迭代加速老化因子分析的初期实时老化数据，能观察到材料性能随时间的显著变化是非常有必要的。

注2：具有完整实时老化和加速老化数据时，可考虑使用这些数据重新计算加速老化因子。

迭代加速老化因子的一般步骤宜包括：

- a) 明确适用于迭代加速老化因子分析的性能，并在加速老化试验后收集加速老化和实时老化下的性能测试数据，至少各收集三个观察点的测试数据；
- b) 比较实时老化和实时等同老化数据下材料性能退化的快慢。如果实时等同老化数据下，材料性能的退化比实时老化数据下的材料性能退化快，说明加速老化程序比实时老化程序严苛，宜增大加速老化因子。反之，宜减小加速老化因子；

注 1：实时等同老化，即为对给定的加速老化条件估计的与实时老化等同时长的老化。

注 2：若材料性能和老化时间存在线性相关关系，确认性能变化曲线的回归方程是有意义的。

- c) 重新选择 Q_{10} 值，计算加速老化因子，获得迭代后的加速老化模型。迭代后，实时等同老化数据下，材料性能退化速率宜接近但不低于实时老化下材料性能退化速率；
- d) 如需要，按照迭代后的加速老化模型再次在给定温度下进行加速老化试验。评价迭代后的加速老化结果；
- e) 实时老化持续进行。当实时老化数据有更新时，可考虑重新计算加速老化因子，直至实时老化结束。

注：迭代加速老化因子示例见附录 D。

附录 A (资料性) 加速老化因子

在医疗器械的整个有效期内，确认其性能安全有效的最可靠方法是在有效期内实时老化并测试其功能。但该方法的时间周期长，可能会阻碍救生技术快速推向市场。对于大多数高分子材料，存在安全且可靠的替代方案，比如基于温度的加速老化方法。

在医疗器械加速老化中，温度是最常用的老化条件，为确保基于温度的加速老化模型应用得当，宜对医疗器械材料进行充分表征。在接近器械材料熔点的温度下老化器械会导致严重变形，这种情况不可取。除非有明确必要性，宜避免极端升高温度进行老化。若缺乏支持更高温度的资料，老化温度宜保持在 60 °C 以下。

在基于温度的加速老化方法应用中，关键的一点是确定加速老化因子，用于关联货架寿命条件下与高温条件下的老化速率。其中， $Q_{10}=2$ 时的加速老化因子常见且保守，这个加速老化因子定义了高于货架寿命条件 10 °C 的温度下，老化速率是货架寿命条件下的两倍。可表述如下：

$$AAT = \frac{RT}{AAF_0} = \frac{RT}{2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

AAT ——加速老化时间；

RT ——期望或要求的实际时间；

AAF₀ ——原始加速老化因子（在本例中，AAF₀ = $Q_{10}=2$ ）。

除了上述特定温度差下的加速老化情况，对于其他不同的老化温度，加速老化因子 AAF 的计算公式如下：

$$AAF = Q_{10}^{\frac{T_{AA}-T_{RT}}{10}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

AAF ——加速老化因子；

T_{AA} ——加速老化温度；

T_{RT} ——预设的实际贮存温度。

假设器械在高于货架寿命温度条件 20 °C 下老化（例如： $T_{RT}=25$ °C 和 $T_{AA}=45$ °C），仍使用 $Q_{10}=2$ ，根据公式 (A.2)，计算 AAF = 4。

根据公式 (A.1)：

$$AAT = \frac{RT}{4}$$

因此，45 °C 高温下老化所需时间是实时老化时间的四分之一。

若使用文献中比 $Q_{10}=2$ 时更激进的加速老化因子，宜对材料进行表征，同时要了解器械材料与文献中报道材料在化学成分、分子量、添加剂含量和加工过程方面的异同，以判断文献信息是否适用。并且，和所有加速老化程序一样，基于温度的加速老化模型宜用实时老化数据来确认，制造商宜证实器械在实时老化和加速老化后功能正常。

使用 $Q_{10}=2$ 固定加速老化因子的方法通常较为保守，材料老化或许可以更激进，通过选择更高的 Q_{10} 值来缩短加速老化时间，确认更激进的加速老化因子是制造商的责任。迭代加速老化因子方法宜同时收集实时老化数据和加速老化数据，对其进行相关性分析以获取老化的速率。若 $Q_{10}=2$ 过于保守，可利用该方法将加速老化因子估计值迭代到更接近真实值。

制造商若投入更多资源，可采用多个高温条件下器械老化试验的方法，该方法能获取更可靠且更激进的加速老化因子，从而有助于器械加速上市、延长有效期，或同时实现这两个目标。

若材料的老化过程还与紫外线、臭氧或其他气体等环境因素相关，可利用这些环境因素来验证材料的有效期。在存在多重影响因素的老化过程时，老化速度可能会加快。因此，在制定针对多重影响因素的老化过程确认方案时，宜仔细界定加速老化的综合效应。例如，当老化过程对臭氧浓度的敏感度为一级时，若臭氧浓度增加一倍且温度升高 10 °C，组合加速老化因子可达到 4。

附录 B
(资料性)
基于风险计算样本量的一种方法

B.1 概述

测试的目的是验证风险是否已被降低至可接受水平，因此在测试时宜选择具有统计学意义的样本量，以确保测试结果能够真实反映风险水平。本附录描述了一种基于风险计算样本量的方法。

B.2 风险和样本量

根据性能失效导致的伤害评估其风险等级。有关如何评估风险等级的更多信息见 GB/T 42062。

根据风险等级确定置信度和可靠度水平。通常情况下，与设计输入要求失效相关的风险等级越高，所需的置信度和可靠度水平就越高。制造商宜根据材料应用的风险，设定风险等级与置信度和可靠度水平的关系。

在确定的置信度和可靠度水平下计算样本量。

B.3 计算样本量**B.3.1 计数型数据**

对于计数型数据，选择样本量以证明在所需的置信度和可靠度水平下通过了设定的标准。计数型数据抽样计划的验收标准包括样本量 (n) 和允许的不合格次数 (a)。当 $a=0$ 时，测试所需的样本量可使用公式 (B.1) 计算：

$$n = \frac{\ln(1-C)}{\ln R} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- n ——样本量；
- C ——置信度水平；
- R ——可靠度水平。

B.3.2 计量型数据

B.3.2.1 使用容忍限和假设正态性评估计量型数据时，使用以下公式确定样本量。

a) 单侧规格限：

$$UTL = Avg + k_1 \cdot s \leq USL \dots\dots\dots (B.2)$$

或

$$LTL = Avg - k_1 \cdot s \geq LSL \dots\dots\dots (B.3)$$

b) 双侧规格限：

$$UTL = Avg + k_2 \cdot s \leq USL \text{ 和 } LTL = Avg - k_2 \cdot s \geq LSL \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

- Avg ——样本均值；
- s ——标准偏差；
- USL 和 LSL ——上规格限和下规格限；
- UTL 和 LTL ——上容忍限和下容忍限；
- k_1 ——单侧统计容忍限系数；
- k_2 ——双侧统计容忍限系数。

B.3.2.2 如果有历史测试数据，根据历史测试数据计算样本量，历史测试数据宜选择大于等于 30 个。历史数据为单侧规格限时，依据公式 (B.2) 或 (B.3) 计算单侧统计容忍限系数值。历史数据为双侧规格限时，依据公式 (B.4) 计算双侧统计容忍限系数值。根据确定的置信度和可靠度水平，以及容忍限系数值，通过查询统计容忍限系数表，选取合适的样本量。一般统计容忍限系数值越大，需要的样本量越少。因此，查表时选取的样本量所对应的统计容忍限系数值要小于等于计算的统计容忍限系数值。

注：统计容忍限系数表见 GB/T 3359—2009 附录 B~附录 E。当总体标准偏差未知，通过样本数据估算时，查询方

差未知的统计容忍限系数表。

B.3.2.3 如果没有历史测试数据，可选取一定样本量（例如，30）测试，计算 UTL 和/或 LTL。如果 $UTL \leq USL$ 和/或 $LTL \geq LSL$ ，可判定选取的样本量是足够的。反之，说明选取的样本量是不够的，需要补充样本量。如果选取测试的样本量大于等于 30，可将获得的测试数据作为历史数据，按照 B.3.2.2 计算并选取合适的样本量。

注：如果数据不符合正态分布，选择使用传统的转换工具（例如 Box-Cox 或 Johnson 转换）对数据进行归一化处理。然后使用归一化数据计算容忍限值，并与使用相同归一化函数转换后的规格限值进行比较。

CAMDI

附录 C
(资料性)
老化试验示例

C.1 试验目的

评估一种含有涂层材料的器械在 3 年预期使用期限内，材料的涂层完整性不低于 85%。

C.2 明确试验条件

实时老化试验环境条件：

- a) 贮存环境温度：20 °C ~ 25 °C；
- b) 贮存环境相对湿度：≤ 80% RH。

加速老化试验环境条件：

- a) 加速老化温度：58 °C ± 2 °C；
- b) 加速老化相对湿度：48% RH ~ 52% RH。

C.3 确定老化试验时间及观察点

C.3.1 实时老化试验时间及观察点

实时老化试验时间和观察点见表 C.1。

表 C.1 实时老化试验时间和观察点

试验观察点	实时老化时间	测试编码
零时刻点	0 年	RT ₀
中间点	1.5 年 (548 天)	RT ₁
有效期试验终点	3.25 年 (1 187 天)	RT ₂

C.3.2 加速老化试验时间及观察点

根据阿列纽斯等式分别计算实时老化时间 1.5 年和 3.25 年等效的加速老化时间。

$AAT_1 = RT_1 / Q_{10}^{(T_{AA} - T_{RT})/10} = 548 / 2^{[(58-25)/10]} = 55.6$ ，将其取整后为 56 天，相当于实际时间 1.5 年。

$AAT_2 = RT_2 / Q_{10}^{(T_{AA} - T_{RT})/10} = 1\ 187 / 2^{[(58-25)/10]} = 120.5$ ，将其取整后为 121 天，相当于实际时间 3.25 年。

注：实时老化时间和加速老化时间之间的换算以实时老化时间为基准，换算后的加速老化时间在取整时不小于实时老化时间。时间单位在天和年之间换算时，以年为基准，换算后以天为单位的时间取整时不小于以年为单位的时间。

加速老化试验时间和观察点见表 C.2。

表 C.2 加速老化试验时间和观察点

试验观察点	期望或要求的实际时间 (相当于实际时间)	加速老化时间	测试编码
零时刻点	0 年	0 年	AT ₀
中间点	1.5 年 (548 天)	56 天	AT ₁
有效期试验终点	3.25 年 (1 187 天)	121 天	AT ₂

C.4 明确测试项目及接受准则

本次老化试验通过的接受准则为试验过程中各观察点的所有测试项目均合格。测试项目见表 C.3。

表 C.3 测试项目

测试项目	测试顺序	测试方法	可接受准则	适用情况
外观	1-1	目视	表面涂层无起泡、脱落等现象	实时老化: RT ₀ , RT ₁ , RT ₂ 加速老化: AT ₀ , AT ₁ , AT ₂
涂层完整性	2-1	方法 A	涂层完整性不低于 85%	实时老化: RT ₀ , RT ₁ , RT ₂ 加速老化: AT ₀ , AT ₁ , AT ₂

C.5 准备试验仪器

恒温老化箱。

湿度计，精度要求：±2%。

温度计，精度要求：±0.1℃。

C.6 准备试验样品及确定样本量

C.6.1 准备试验样品

待评估的含涂层材料器械仅有一种规格，选择该规格作为试验样品。

按确认过的生产过程准备试验样品。

C.6.2 确定样本量

C.6.2.1 风险分析

通过风险分析，确定材料外观和涂层完整性都属于低风险等级。根据低风险等级确定置信度水平为 95%，可靠度水平为 90%。

C.6.2.2 计算外观测试样本量

外观测试数据为计数型数据，依据公式 (B.1) 计算样本量。 $n = \frac{\ln(1-C)}{\ln R} = \frac{\ln(1-0.95)}{\ln 0.9} = 28.4$ ，取整为 29。

C.6.2.3 计算涂层完整性测试样本量

涂层完整性测试数据为单侧规格限量型数据，该性能指标下规格限 LSL = 85%，可根据历史测试数据计算样本量。样本平均值 Avg = 99.5%，样本标准偏差 s = 0.035，依据公式 (B.3) 计算样本量。

$LTL = Avg - k_1 \cdot s \geq LSL$ ，计算可得 $k_1 \leq 5.571$ ，总体标准偏差未知，查方差未知时单侧统计容忍限系数表，样本量取 4。

C.6.2.4 样本量说明

外观测试每个观察点样本量为 29，涂层完整性测试每个观察点样本量为 4。

外观测试后的试验样品用于涂层完整性测试。

C.7 实施老化试验

按照 C.2 的要求设置试验环境温度和湿度。在设定的环境条件下开始实时老化和加速老化试验。

控制并定期监测试验过程中的实际环境温度和湿度。

如老化试验过程中产生了偏差，需立即停止测试，制定好纠正措施，通过评审后方能继续试验，所有记录需保存在试验报告中。

C.8 记录试验数据

记录试验环境的温度和湿度值，以及老化试验开始时间和各观察点结束的时间。

在各观察点对试验样品进行测试，并记录测试结果。

所有记录的数据需准确，完整。试验过程中任何变化也需被记录。

C.9 老化结果评价

C.9.1 加速老化结果评价

加速老化后，材料外观和涂层完整性测试结果见表 C. 4。

表 C. 4 加速老化测试结果

加速老化时间	期望或要求的实际时间	测试项目	测试结果	判定
0 年	0 年	外观	符合要求	合格
		涂层完整性	99.4%、99.6%、99.6%、99.5%	合格
0.153 年（56 天）	1.5 年（548 天）	外观	符合要求	合格
		涂层完整性	93.2%、93.4%、93.1%、93.6%	合格
0.331 年（121 天）	3.25 年（1 187 天）	外观	符合要求	合格
		涂层完整性	86.7%、85.8%、86.6%、86.4%	合格

加速老化各观察点的测试结果都合格，表明含有涂层材料的器械具有 3 年有效期被有条件确认。

C. 9.2 实时老化结果评价

实时老化后，材料外观和涂层完整性测试结果见表 C. 5。

表 C. 5 实时老化测试结果

实时老化时间	测试项目	测试结果	判定
0 年	外观	符合要求	合格
	涂层完整性	99.4%、99.6%、99.6%、99.5%	合格
1.5 年（548 天）	外观	符合要求	合格
	涂层完整性	95.6%、95.9%、95.8%、96.1%	合格
3.25 年（1 187 天）	外观	符合要求	合格
	涂层完整性	90.6%、90.2%、90.3%、90.7%	合格

实时老化各观察点的测试结果都合格，表明涂层材料在 3 年内性能都满足要求，含有涂层材料的器械具有 3 年有效期被确认。

附录 D (资料性) 迭代加速老化因子示例

医疗器械制造商一般使用相对低的固定加速老化因子(AAF)方法来确认产品老化后的性能,使产品上市。这个固定的加速老化因子(AAF)是使用保守且可靠的 $Q_{10}=2$ 来计算的。

一种含有涂层材料的器械,使用老化温度(T_{AA})为 $58\text{ }^{\circ}\text{C}$,室温(T_{RT})为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$,以及由此获得的加速老化因子 $AAF=9.85$ 确认3年有效期(老化试验时有效期试验终点时间设定为3.25年,制造商将器械老化121天,以获得3.25年有效期),实时老化同步进行。经确认,器械中的材料涂层性能在其有效期内是安全有效的。

为满足患者需求,一种新涂层材料将应用于该器械。按照要求,在器械的有效期内,涂层完整性宜保持在85%以上。新涂层材料的器械在 $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境条件下进行了121天老化后的性能测试结果未能通过。依据先前涂层材料器械有效期的测试结果,制造商判定,用于评估该新涂层的模拟实验具备临床相关性,且各项测试指标的设定是合理的。

鉴于加速老化测试结果未通过,制造商可选择以下应对策略:缩短有效期;降低加速老化温度(T_{AA}),从而延长加速老化(AA)研究所需的时间;重新设计涂层;或者延迟新涂层的引入,直至获取新涂层实时老化数据。

然而,制造商不仅获取了新涂层在 $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下的加速老化数据,还得到了新涂层初始阶段的实时老化数据(三个观察点的测试数据)。基于加速老化数据与实时老化数据,分别绘制了涂层性能随时间变化的曲线图。观察结果显示,涂层完整性的实时老化退化速率比加速老化(AA)模型所预测的更为缓慢。为此,制造商决定确定涂层实际的加速老化因子(AAF),具体方式为采用迭代加速老化因子(AAF)方法对“ $Q_{10}=2$ ”这一假设进行挑战。

首先对涂层性能在室温下的退化速率与 $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加速老化(AA)温度下的退化速率进行比较,绘制了室温和 $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加速老化(AA)条件下新涂层性能随实际时间变化的曲线对比图(见图D.1)。

接下来,对固定加速老化因子(AAF)的方法(基于 $Q_{10}=2$ 的假设)进行评估。图D.2显示了室温下新涂层性能随实际时间变化曲线与 $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加速老化(AA)条件下新涂层性能随实时等同老化时间($AAF=9.85$)变化曲线的对比情况。数据显示:基于 $Q_{10}=2$ 假设的固定加速老化因子(AAF)模型较实时老化数据呈现出更保守的预测趋势。这一结果表明,采用迭代加速老化因子(AAF)方法重新计算加速老化因子(AAF)是可行的。鉴于实时老化数据最能反映临床实际情况,通过实时老化数据对老化模型进行修正是适宜的。

下一步是选择一个契合实时老化数据的加速老化因子(AAF)。对实时老化和加速老化数据下的回归曲线不确定度进行统计分析,评估回归曲线的可靠性,以确保可以在合理的置信区间获得 Q_{10} 估计值,如果回归曲线不确定度太大,宜降低加速老化因子(AAF)估计值,或收集更多的实时老化数据继续迭代加速老化因子(AAF)。迭代加速老化因子(AAF)后的结果如图D.3所示, Q_{10} 值为2.3的加速老化模型似乎更契合实时老化。

最后,使用迭代后的加速老化因子(AAF)重新计算了新涂层完整性退化的实时等同老化时间(RTE)。再次使用 $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的老化温度(T_{AA})和 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的室温(T_{RT}),得出的加速老化因子(AAF)是15.62(即76天的加速老化时间等同于3.25年)。在 $58\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下加速老化76天的新涂层退化测试数据仍然满足规格限值要求(涂层完整性 $\geq 85\%$)。因此,结论是新涂层初步被确认能符合3年的有效期。新涂层的实时老化试验持续进行,实际加速老化因子(AAF)的估计将继续确认和更新。

迭代加速老化因子的具体过程如下:

- a) 完成加速老化后,收集加速老化各观察点和初期的三个实时老化观察点(实时老化还在进行中)的新涂层完整性测试数据,数据见表D.1和表D.2,进行相关性分析,比较两者涂层完整性随时间的退化速率。图D.1是实时老化和加速老化数据下材料新涂层完整性随实际时间变化的曲线图。

表 D.1 加速老化测试结果

加速老化时间	期望或要求的实际时间	测试项目	测试结果	判定
0 年	0 年	外观	符合要求	合格
		涂层完整性	99.4%、99.6%、99.6%、99.5%	合格
0.153 年 (56 天)	1.5 年 (548 天)	外观	符合要求	合格
		涂层完整性	92.6%、91.8%、92.3%、92.0%	合格
0.331 年 (121 天)	3.25 年 (1 187 天)	外观	符合要求	合格
		涂层完整性	84.1%、85.1%、84.6%、84.2%	不合格

表 D.2 初期实时老化测试结果

实时老化时间	测试项目	测试结果	判定
0 年	外观	符合要求	合格
	涂层完整性	99.4%、99.6%、99.6%、99.5%	合格
0.153 年 (56 天)	外观	符合要求	合格
	涂层完整性	99.0%、99.1%、99.1%、98.9%	合格
0.331 年 (121 天)	外观	符合要求	合格
	涂层完整性	98.6%、98.7%、98.6%、98.5%	合格

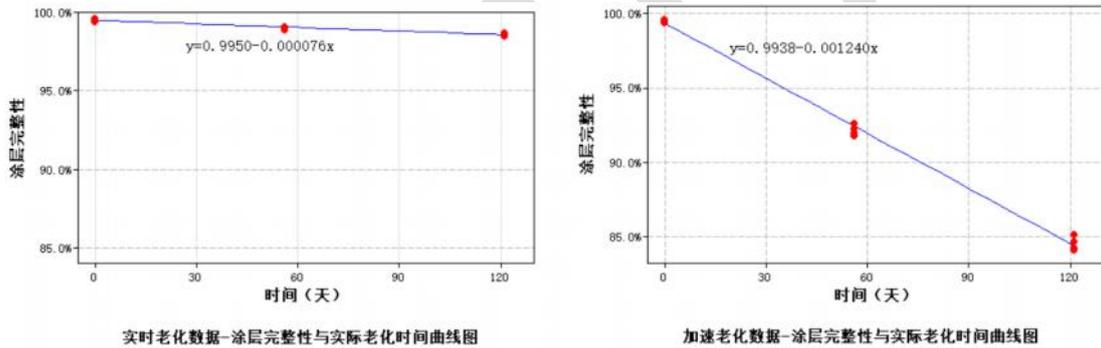


图 D.1 实时老化和加速老化数据下涂层完整性退化曲线图

- b) 在固定加速老化因子 $AAF = 9.85$ (基于 $Q_{10} = 2$) 条件下, 比较实时老化和实时等同老化数据下材料涂层完整性退化速率, 从图 D.2 可看出, 实时等同老化数据下的材料涂层完整性退化曲线要比实时老化数据下的曲线陡, 说明涂层完整性退化速率在实时等同老化数据下要比实时老化数据下快, 加速老化过程比实时老化过程要严苛, 可增大加速老化因子。

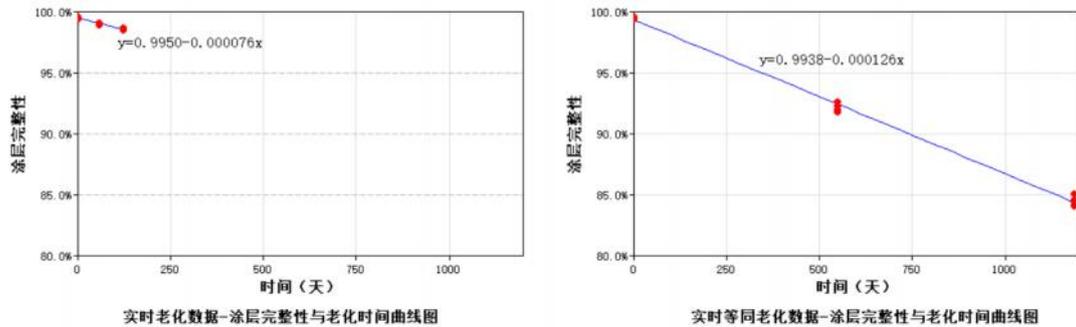


图 D.2 实时老化和实时等同老化 ($Q_{10} = 2$) 数据下涂层完整性退化曲线图

- c) 根据实时老化数据拟合曲线回归方程 (即 $y = 0.995 - 0.000076x$) 和实时等同老化数据拟合曲线回归方程 (即 $y = 0.9938 - 0.000126x$), 计算实时等同老化曲线斜率迭代到实时老化曲线斜率时的 Q_{10} 为 2.326, 取 $Q_{10} = 2.3$, 计算迭代加速老化因子为 15.62, 比固定加速老化因子 (AAF

= 9.85) 大, 迭代后加速老化模型缩短了加速老化时间。迭代后实时等同老化数据下的材料涂层完整性退化曲线见图 D. 3, 曲线斜率为-0.00079, 其绝对值接近且略大于实时老化数据下材料涂层完整性曲线斜率(-0.00076)的绝对值, 说明迭代后的加速老化模型已经很接近实时老化。

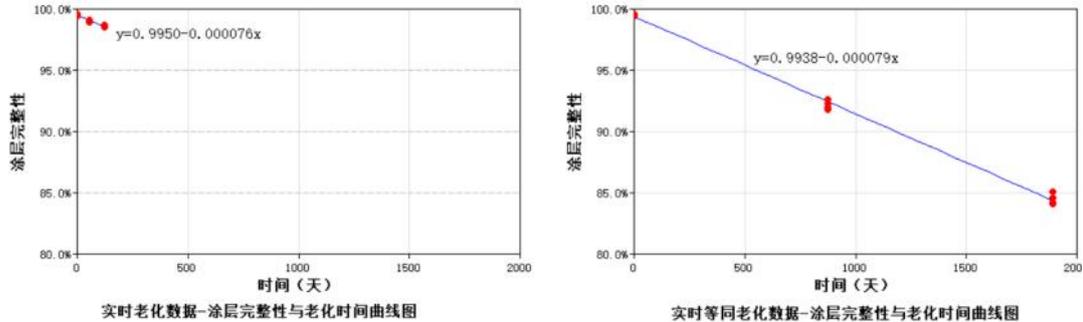


图 D. 3 实时老化和实时等同老化 ($Q_{10}=2.3$) 数据下涂层完整性退化曲线图

- d) 根据迭代后的加速老化因子 $AAF = 15.62$ ($Q_{10}=2.3$ 时), 重新计算加速老化时间, 加速老化时间和期望或要求的实际时间关系见表 D. 3。不改变加速老化试验环境条件, 迭代后加速老化模型的加速老化时间 76 天等同于期望或要求的有效期试验终点时间 3.25 年 (1 187 天), 在该时间点根据迭代后的回归曲线计算的新涂层完整性为 90%, 满足规格限值要求 (涂层完整性 $\geq 85\%$), 说明在期望或要求的实际时间 3.25 年内, 材料涂层完整性是符合要求的。

注: 由于加速老化试验结果中性能合格的最长老化时间为 56 天, 尚无试验数据直接支持 76 天加速老化试验的合格性, 因此宜按照迭代后的加速老化模型再次在同等试验环境条件下进行加速老化试验, 评价迭代后加速老化的结果。

表 D. 3 $Q_{10}=2.3$ 时加速老化时间和期望或要求的实际时间关系

期望或要求的实际时间	加速老化时间
0 年	0 天
1.5 年 (548 天)	36 天
2.394 年 (874 天)	56 天
3.25 年 (1 187 天)	76 天
5.178 年 (1 890 天)	121 天

参 考 文 献

- [1] GB/T 3359—2009 数据的统计处理和解释 统计容忍区间的确定
 - [2] GB/T 19633.1—2024 最终灭菌医疗器械包装 第1部分：材料、无菌屏障系统和包装系统的要求
 - [3] GB/T 42062—2022 医疗器械 风险管理对医疗器械的应用
 - [4] YY/T 0681.1—2018 无菌医疗器械包装试验方法 第1部分：加速老化试验指南
 - [5] T/CAMDI 134.3 医疗器械用高分子材料和包装材料老化试验指南 第3部分：加速老化试验方法适用性及 Q_{10} 选择
 - [6] T/CAMDI 134.4 医疗器械用高分子材料和包装材料老化试验指南 第4部分：加速老化温度选择方法
 - [7] ASTM F1980—21 Standard Guide for Accelerated Aging of Sterile Barrier Systems and Medical Devices
 - [8] ASTM F3172—15(2021) Standard Guide for Design Verification Device Size and Sample Size Selection for Endovascular Devices
 - [9] AMMI TIR17:2017/(R)2023 Compatibility of materials subject to sterilization
 - [10] 无源植入性医疗器械稳定性研究指导原则（2022年修订版）
-