

## 制造业可靠性系统工程标准

STANDARD OF RELIABILITY SYSTEMS ENGINEERING FOR MANUFACTURING ENTERPRISES

RSE-STD-1392 2022

---

### 性能参数退化分析

Performance Parameter Degradation Analysis

(征求意见稿)

© 本标准属于深圳市为民可靠性系统工程研究院所有，享有著作权及其他法律规定的任何权益，受法律和国际条约保护。

2022-11-16 发布

---



深圳市为民可靠性系统工程研究院



# 目 次

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 前言                         | II |
| 1 范围                       | 1  |
| 2 引用文件                     | 1  |
| 3 术语和定义                    | 1  |
| 4 通用要求                     | 1  |
| 4.1 分析流程                   | 1  |
| 4.2 工作要点                   | 1  |
| 4.3 PPDA 报告                | 2  |
| 5 详细要求                     | 2  |
| 5.1 信息收集与整理                | 2  |
| 5.2 性能退化原因与机理分析            | 2  |
| 5.3 退化性能参数分析               | 3  |
| 5.4 性能退化影响因素分析             | 4  |
| 5.5 性能退化建模方法选择分析           | 5  |
| 附录 A 常见性能退化机理及判别方法表        | 6  |
| 附录 B 某型激光器种子控制模块性能参数退化分析示例 | 11 |

## 前 言

本标准由深圳市为民可靠性系统工程研究院提出并发起编制。

本标准起草单位：北京航空航天大学、深圳为民可靠性系统工程研究院、北京航空航天大学云南创新研究院、北京蓝威技术有限公司、台州学院、深圳市杰普特光电股份有限公司。

本标准主要起草人：张清源、李晓阳、陈颖、王泽、陈文彬、伍湘平、王浩伟、翟秀梅、阮进喜、金毅、熊钊颀、吴纪鹏。

# 性能参数退化分析

## 1 范围

本标准规定了性能参数退化分析（Performance Parameter Degradation Analysis, PPDA）的程序和方法。PPDA 是一种用于分析产品主要退化机理和退化原因，确定存在退化的性能参数，定性地分析性能参数退化的影响因素，并明确退化方程构建方式的形式化方法，是开展可靠性建模、可靠性实验、可靠性正向设计、可靠性评估等工作的基础。

本规范适用于深圳市为民可靠性系统工程研究院理事单位，也可供其他企业参照使用。

## 2 引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

RSE-STD-451 2022 确信可靠性术语与定义

RSE-STD-1391 2022 功能性能及裕量分析

## 3 术语与定义

RSE-STD-451 2022 以及 RSE-STD-1391 2022 界定的术语与定义适用于本文件。

## 4 通用要求

### 4.1 分析流程

性能参数退化分析的基本流程如图 1 所示。PPDA 主要包含五个步骤：信息收集与整理、性能退化原因与机理分析、退化性能参数分析、性能退化影响因素分析、性能退化建模方法选择分析。

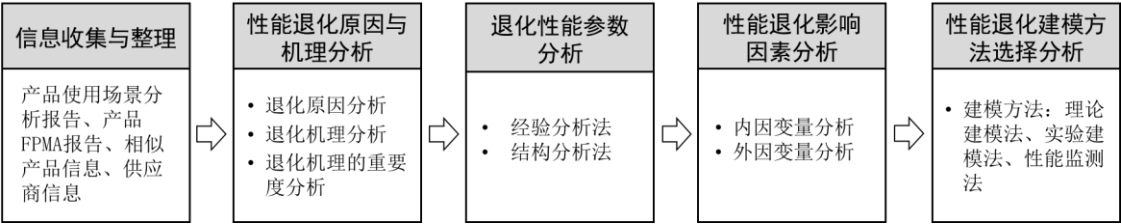


图 1 性能参数退化分析的基本流程

### 4.2 工作要点

- a) PPDA 工作应由产品设计人员主要完成，即“谁设计、谁分析”。可靠性专业人员应协助设计人员完成相关分析工作，提供实施 PPDA 的程序、方法，尤其要配合完成性能退化原因分析和性能退化建模方法分析。
- b) PPDA 应在 FPMA 后开展，主要分析对象为 FPMA 得到的关键性能参数。
- c) PPDA 应始于产品方案阶段，并贯穿于产品全寿命周期各阶段，应随着产品所处

阶段的变化及时收集和完善性能退化相关的信息、数据，不断更新和完善 PPDA 的分析结果，。

- d) 产品各阶段开展 PPDA 的侧重点略有不同：
- 方案阶段主要分析确定可能存在退化的性能参数，辅助设计方案的制订；
  - 研制阶段主要分析造成性能退化的原因，确定性能退化的影响因素，为开展可靠性正向设计提供依据；
  - 制造阶段主要分析工艺要素对性能退化的影响，为制定工艺规范奠定基础；
  - 使用阶段主要根据产品实际应用场景不断更新相关分析结果，为产品的设计改进提供依据。

4.3 PPDA 报告

PPDA 报告应包含以下内容：

- a) 概述——实施 PPDA 的目的、产品所处的阶段、已经完成的分析工作、前期准备收集与整理的主要信息、其他有关解释和说明等；
- b) 性能退化原因与机理分析结果——可能存在的退化原因与退化机理、影响的最低层级关键性能参数、关键重要的退化机理；
- c) 退化性能参数确定结果——可能发生性能退化的性能参数、分析依据等；
- d) 性能退化影响因素分析结果——影响性能退化的内外因变量等；
- e) 性能退化建模方法选择分析结果——各关键性能参数退化模型构建方法；
- f) 结论与建议——阐述主要结论，针对分析结果制定下一步工作计划。

5 详细要求

5.1 信息收集与整理

信息收集与整理是 PPDA 的前期准备工作，分析人员应该收集与整理的主要信息及内容见表 1。

表 1 PPDA 所需的主要信息

| 序号 | 信息来源       | 内容                            |
|----|------------|-------------------------------|
| 1  | 产品使用场景分析报告 | 产品使用场景，包括工作模式、环境应力、工作载荷等      |
| 2  | 产品 FPMA 报告 | 产品功能原理、关键性能参数、关联内外因变量等        |
| 3  | 相似产品信息     | 相似产品的 FPMA 报告、PPDA 报告、性能退化模型等 |
| 4  | 供应商信息      | 外购件进行的性能退化分析、性能退化实验等          |

5.2 性能退化原因与机理分析

性能退化原因与机理分析的目的是面向产品最低层次结构分析确定可能导致性能发生退化的使用场景、环境应力和工作载荷，分析可能存在的退化机理及影响的关键性能参数，并通过对各退化机理的危害性和可能性进行评分，评估性能退化机理的重要程度，从而为后续的退化建模奠定基础。性能退化原因与机理分析表如表 2 所示，分析的主要步骤如下：

- a) 梳理使用场景中会长期连续或长期间隔作用的环境应力和工作载荷类型，明确相应的产品工作模式。
- b) 根据这些应力或载荷的作用方式，结合产品功能原理，分析这些应力和载荷的长期作用对产品结构可能造成的影响。
- c) 基于上述分析，确定可能导致性能参数发生退化的原因，填写性能退化原因与机理分析表中“性能退化原因”部分。
- d) 分析描述可能存在的性能退化过程，并基于相应的退化原因判别性能退化机理，填写性能退化原因与机理分析表中“性能退化机理”部分。
- e) 基于性能退化过程描述和机理分析结果，结合 FPMA 分析得到的产品功能原理和关联内外因变量，分析确定各退化机理可能影响的最低层级关键性能参数，填写性能退化原因与机理分析表中“影响的关键性能参数”部分。
- f) 针对各退化机理对关键性能参数的危害性和可能性进行评分，并将危害性评分和可能性评分相乘得到重要度得分，填写性能退化原因与机理分析表中“重要度”部分。

表 2 性能退化原因与机理分析表示例

| 产品结构                | 性能退化原因                                   | 性能退化机理      |              | 影响的关键性能参数        | 重要度              |                  |               |
|---------------------|------------------------------------------|-------------|--------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
|                     |                                          | 性能退化过程描述    | 机理名称         |                  | 危害性评分            | 可能性评分            | 重要度得分         |
| 列出可能发生退化效应的产品最低层级结构 | 阐述造成性能退化的原因，即可能使得性能参数发生退化的使用场景、环境应力和工作载荷 | 定性地阐述性能退化过程 | 根据退化原因确定退化机理 | 填写各退化机理影响的关键性能参数 | 对各退化机理的影响危害性进行评分 | 对各退化机理发生的可能新进行评分 | 计算各退化机理的重要度得分 |

开展性能退化原因与机理分析的要求与说明如下：

- a) 性能退化原因的分析应密切联系产品的使用场景，并结合设计人员和可靠性分析人员的经验综合确定；
- b) 性能退化过程的描述应使用如下形式：在产品某个使用场景中的某个应力/载荷作用下，产品结构发生了何种变化，或直接使得某个最低层级性能参数发生退化。
  - 示例 1：分析飞机襟翼液压伺服作动器的性能退化时，可写为“飞机起飞与降落时，滑阀阀芯与阀套多次往复运动，在摩擦力作用下，两者内壁均发生磨损，阀芯与阀套间隙变大”。
  - 示例 2：分析某滤波电路的性能退化时，可写为“在电路所有使用场景中，外界温度应力和电路自身发热产生的热应力使得电阻阻值与电容容值发生漂移退化”。
- c) 性能退化机理的分析应从退化原因着手，根据性能退化过程的描述确定机理类型，常见的性能退化机理及相应的判别标准见附录 A。
- d) 性能退化机理的危害性评分准则如表 3 和表 4 所示。

表 3 性能退化机理的危害性评分准则

| 危害性描述 |                                               | 分数   |
|-------|-----------------------------------------------|------|
| 轻度危害  | 对产品相关关键性能几乎没有影响，或影响轻微                         | 1~3  |
| 中等危害  | 使产品相关关键性能发生一定程度退化，可能导致功能降级、任务延误、非计划性维修等中等程度影响 | 4~6  |
| 严重危害  | 使产品相关关键性能发生显著退化，可能导致功能丧失、任务失败、产品损坏等严重影响       | 7~8  |
| 重大危害  | 使产品相关关键性能发生显著且迅速退化，可能导致产品毁坏、人员伤亡等重大影响         | 9~10 |

表 4 性能退化机理的可能性评分准则

| 可能性评分准则                              |                       | 分数 |
|--------------------------------------|-----------------------|----|
| 该机理对应的性能退化原因涉及的使用场景占全部使用场景的比例 $p$ 满足 | $0 < p \leq 10\%$     | 1  |
|                                      | $10\% < p \leq 20\%$  | 2  |
|                                      | $20\% < p \leq 30\%$  | 3  |
|                                      | $30\% < p \leq 40\%$  | 4  |
|                                      | $40\% < p \leq 50\%$  | 5  |
|                                      | $50\% < p \leq 60\%$  | 6  |
|                                      | $60\% < p \leq 70\%$  | 7  |
|                                      | $70\% < p \leq 80\%$  | 8  |
|                                      | $80\% < p \leq 90\%$  | 9  |
|                                      | $90\% < p \leq 100\%$ | 10 |

### 5.3 退化性能参数分析

退化性能参数分析的目的是分析判定关键性能参数中一级关键性能参数是否存在退化。确定退化性能参数的方法主要有两个：

- 经验分析法，即设计人员和领域专家基于工程经验和相似产品直接确定存在退化的关键性能参数；
- 结构分析法，即分析人员基于产品结构层次，结合性能参数退化原因与机理分析结果，逐层分析下一级性能退化是否导致上一级性能退化，并最终确定存在退化的一级关键性能参数。

若采用经验分析法确定存在退化的关键性能参数，直接在 PPDA 报告中说明即可。本标准主要规定结构分析法的步骤和要求。结构分析法应参照表 5 所示的分析表开展分析。表中，判定关键性能参数是否存在退化通常有以下几种依据：

- 判定为“是”
  - 对于最低层级性能，存在性能退化机理，且重要度得分在 25 以上；
  - 对于其他层级性能，更低层级的性能会发生退化，并相应地造成该性能发生退化；
- 判定为“否”
  - 对于最低层级性能，不存在性能退化机理或退化机理重要度得分在 25 以下；
  - 对于其他层级性能，更低层级的性能会发生退化，但对该性能几乎没有影响，

- 可以忽略；
- c) 判定为“不确定”
- 在现有认识下不确定该关键性能参数是否退化。

表 5 退化性能参数分析表示例

| 一级性能                | 对应结构 | 是否退化   | 二级性能                | 对应结构 | 是否退化   | ... | 最低层级性能                | 对应结构 | 是否退化   |
|---------------------|------|--------|---------------------|------|--------|-----|-----------------------|------|--------|
| 列出所有一级性能参数及其对应的产品结构 |      | 判定是否退化 | 列出所有二级性能参数及其对应的产品结构 |      | 判定是否退化 | ... | 列出所有最低层级性能参数及其对应的产品结构 |      | 判定是否退化 |

5.4 性能退化影响因素分析

性能退化影响因素分析的目的是分析确定影响性能退化过程的内因变量和外因变量。性能退化影响因素分析主要针对最低层级性能参数开展，更高层级性能的退化影响因素由下一层级的性能参数决定。对于采用经验分析法确定的退化性能参数，只针对一级性能进行分析即可。

性能退化影响因素分析应填写如表 6 所示的分析表，主要步骤和要求如下。

(1) 内因变量分析

通过定性分析关键性能参数的关联内因变量发生变化（变大或变小）后如何影响对应结构特性及工作过程，并结合功能原理和相关的性能参数综合判定。典型的判定依据如下：

- a) 内因变量的变化将改变相应结构的动作速率或工作频率，从而改变性能退化速率；
- b) 内因变量的变化将改变相应结构自身性质，使产品某些变化（如物质流失、形变、应力释放等）的速率发生变化，从而改变性能退化速率；
- c) 结合相似产品或专家经验判定。

(2) 外因变量分析

一般而言，在性能退化原因分析中分析确定的性能退化原因（环境应力和工作载荷）就是影响性能退化的外因变量。在这一步的分析中，应更明确地确定具体的影响方式。典型的判定依据如下：

- a) 外因变量的变化将改变相应结构性质或内因变量（如材料参数、形变）发生变化的速率，从而改变性能退化的速率；
- b) 外因变量的长期作用直接引起相关性能参数的不可逆漂移；
- c) 结合相似产品或专家经验判定。

表 6 性能退化影响因素分析表示例

| 存在退化的关键性能参数                 |      |     |        | 影响因素        |                   |             |                   |
|-----------------------------|------|-----|--------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
|                             |      |     |        | 内因变量        |                   | 外因变量        |                   |
| 一级性能                        | 二级性能 | ... | 最低层级性能 | 名称          | 影响方式              | 名称          | 影响方式              |
| 按层级关系列出退化性能参数分析中确定的所有关键性能参数 |      |     |        | 列出影响退化的内因变量 | 分别说明各内因变量对退化的影响方式 | 列出影响退化的外因变量 | 分别说明各外因变量对退化的影响方式 |

5.5 性能退化建模方法选择分析

性能退化建模方法选择分析的目的是分析选择各性能参数退化方程构建的方法，为确  
信可靠性建模提供信息与依据。性能退化建模方法分析应填写退化建模方法分析表，示例  
如表 7 所示。对于采用经验分析法确定的退化性能参数，只针对一级性能确定建模方法即  
可。

表 7 性能退化建模方法分析表

| 一级性能                | 建模方法       | 二级性能                | 建模方法       | ... | 最低层级性能                | 建模方法       |
|---------------------|------------|---------------------|------------|-----|-----------------------|------------|
| 列出所有存在退化<br>的一级性能参数 | 选择建模<br>方法 | 列出所有存在退化<br>的二级性能参数 | 选择建模<br>方法 | ... | 列出所有存在退化的<br>最低层级性能参数 | 选择建模<br>方法 |

性能退化建模方法主要包括三类：

- a) 理论建模法。对于最低层级性能，基于退化机理和性能退化影响因素分析结果构  
建性能退化理论模型；对于更高层级性能，在产品学科交叉方程的基础上，通过  
引入下一层级退化模型并向上推演，形成性能退化的理论模型。
- b) 实验建模法。针对难以构建最低层级性能退化理论模型的情况，通过设计实验，  
控制性能退化的影响因素，收集数据并构建回归模型。
- c) 性能监测法。针对因成本、周期、知识等因素限制无法构建模型的情况，采用实  
时性能监测的方式掌握性能退化情况，采用这一方法需要在设计中进行可测性设  
计，预留监测通道。

完整的性能参数退化分析案例可参照附录 B 和附录 C。

## 附录 A (资料性附录)

### 常见的性能退化机理及判别方法

表 A.1 常见性能退化机理及判别方法表

| 机理名称                  | 判别方法                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物质流失/生长<br>(如磨损、晶枝生长) | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用场景: 存在物质间(机械界面/导电粒子)的相对运动</li> <li>环境应力/工作载荷: 包含机械摩擦力或电应力</li> <li>退化过程: 发生尺寸的减少/增加和材料的流失/生长, 导致相关性能参数发生退化</li> </ul>                                     |
| 疲劳                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用场景: 存在周期性应力/载荷的场景</li> <li>环境应力/工作载荷: 包含周期性变化的交变环境应力或工作载荷, 如交变的温度应力、交变的剪切应力等</li> <li>退化过程: 产生裂纹导致结构内部聚力或应力分布变化, 如交变温度应力使得焊点产生微小裂纹导致电路板与器件连接变弱</li> </ul> |
| 腐蚀                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用场景: 产品在具有腐蚀性的气体、液体的环境中工作</li> <li>环境应力/工作载荷: 腐蚀性气体、液体或混合环境应力, 如盐雾气氛、腐蚀性冷却液、人体汗液等</li> <li>退化过程: 产品物理、化学或生物性质的变化, 如点蚀脱落、锈蚀甚至内部物质的泄露</li> </ul>             |
| 老化                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用场景: 受长时间连续应力/载荷作用的场景</li> <li>环境应力/工作载荷: 往往为温度应力、电应力等</li> <li>退化过程: 材料参数发生变化, 如强度降低、粘性变差、热阻降低等, 导致相关性能参数发生退化</li> </ul>                                  |
| 应力松弛                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用场景: 有力或加速度作用于连接结构、弹簧等结构的场景</li> <li>环境应力/工作载荷: 往往为温度和振动</li> <li>退化过程: 结构内部力减小, 导致相关性能参数发生退化</li> </ul>                                                   |
| 蠕变                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用场景: 有力或加速度作用于具有粘弹性材料的结构的场景</li> <li>环境应力/工作载荷: 往往为机械应力和温度</li> <li>退化过程: 产品某一结构尺寸缓慢增加, 导致相关性能参数发生退化</li> </ul>                                            |
| 偏移/漂移                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>使用场景: 有温度应力或电应力等长期作用于电子产品的场景</li> <li>环境应力/工作载荷: 往往为温度应力、电应力等</li> <li>退化过程: 产品固有物理属性偏移名义值, 或直接导致相关性能参数逐步偏移名义值</li> </ul>                                   |

附录 B  
(资料性附录)

某型激光器种子控制模块性能参数退化分析示例

B.1 信息收集与整理

为了开展激光器种子控制模块(电子组件)的 PPDA 分析,分析人员根据需求,从 FPMA 报告中收集了使用场景、结构组成、功能原理、关键性能参数、关联内外因变量等信息。主要内容如图 B.1 和表 B.1 所示。

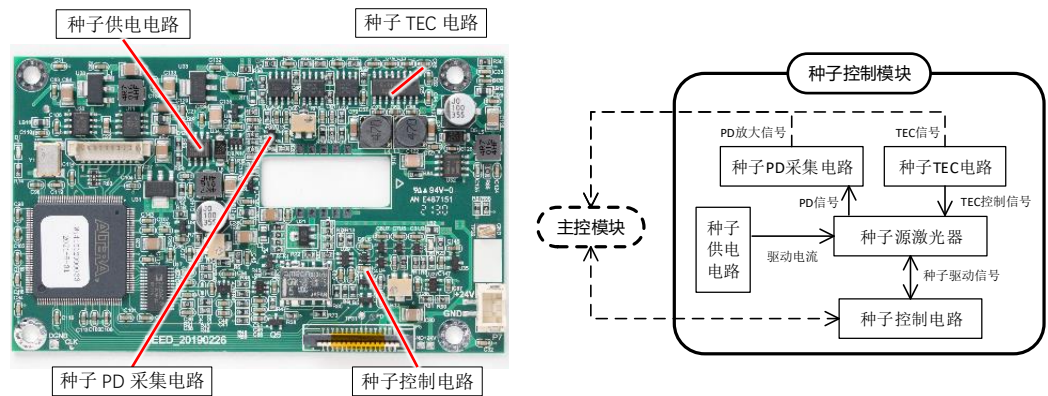


图 B.1 种子控制模块结构组成及功能框图

表 B.1 种子控制模块关键性能参数及关联内外因变量

| 功能        | 关键性能参数 |           | 对应结构                     | 关联内因                        | 关联外因 |
|-----------|--------|-----------|--------------------------|-----------------------------|------|
|           | 一级性能   | 二级性能      |                          |                             |      |
| 种子输出供电与控制 | 种子控制信号 | 脉冲频率的控制电压 | 控制芯片及其控制回路               | 信号源内阻、电阻反馈网络                | 温度   |
|           | 种子源供电  | 输出驱动电流    | 发光二极管、MOS 管及其放大反馈、恒流控制回路 | 运放 IC 失调电压和失调电流、放大反馈电阻、采样电阻 | 温度   |
|           |        | 输出驱动电压    |                          | 发光二极管、MOS 管、电源压降及内阻         | 温度   |

B.2 性能退化原因与机理分析

基于种子控制模块(电子组件)的使用场景、结构组成、功能原理等分析了可能引起退化的原因与机理,并分析了各机理对关键性能参数的影响,如表 B.2 所示。

表 B.2 种子控制模块性能退化原因与机理分析表

| 产品结构   |       | 性能退化原因       | 性能退化机理                     |      | 影响的关键性能参数 | 重要度   |       |       |
|--------|-------|--------------|----------------------------|------|-----------|-------|-------|-------|
|        |       |              | 性能退化过程描述                   | 机理名称 |           | 危害性评分 | 可能性评分 | 重要度得分 |
| 运放反馈回路 | 运算放大器 | 使用场景:锂电池极耳加工 | 在进行极耳加工时,多个运放芯片的失调电压和失调电流受 | 偏移   | 输出驱动      | 8     | 4     | 32    |

|               |        |                        |                                                                               |    |        |   |   |    |
|---------------|--------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|--------|---|---|----|
| 及采样电阻         | 芯片     | 工作载荷：脉冲电压信号<br>环境应力：温度 | 温度影响发生较大偏移，导致传递到采样电阻的电压发生偏移与退化。                                               |    | 电流     |   |   |    |
|               | 采样电阻   |                        | 在进行极耳加工时，采样电阻将会承受 2A 的峰值电流，可能造成电阻退化，同时该电阻只有 0.125 $\Omega$ ，阻值的退化可能很显著。       | 老化 |        | 8 | 2 | 16 |
| 发光二极管及其恒流输出支路 | 发光二极管  | 使用场景：锂电池极耳加工           | 在进行极耳加工时，由于二极管的半导体特性，在温度发生变化时期伏安特性及承载电压均可能发生较大变化，导致偏移退化发生。                    | 偏移 | 输出驱动电压 | 5 | 7 | 35 |
|               | MOS 开关 | 工作载荷：脉冲电压信号<br>环境应力：温度 | 在进行极耳加工时，MOS 管将承受绝大部分电源电压（8V），同时电流峰值可达 2A，在长期电应力作用下，MOS 开关的导通特性发生老化，影响输出驱动电压。 | 老化 |        | 9 | 6 | 48 |

### B.3 退化性能参数分析

依据关键性能参数的层级关系，确定存在退化的性能参数，结果如表 B.3 所示。

表 B.3 种子控制模块退化性能参数分析表

| 一级性能   | 对应结构                | 是否退化 | 二级性能      | 对应结构          | 是否退化 |
|--------|---------------------|------|-----------|---------------|------|
| 种子控制信号 | 控制芯片及其控制回路          | 否    | 脉冲频率的控制电压 | 控制芯片及等效 RC 回路 | 否    |
| 种子源供电  | 发光二极管、MOS 管及其恒流控制回路 | 是    | 输出驱动电流    | 运放反馈回路及采样电阻   | 是    |
|        |                     |      | 输出驱动电压    | 发光二极管及其恒流输出支路 | 是    |

### B.4 性能退化影响因素分析

基于种子控制模块的性能退化原因，结合设计人员和可靠性分析人员的知识和经验，对各性能参数的退化影响因素进行了分析。结果如表 B.4 所示。

表 B. 4 种子控制模块性能退化影响因素分析表

| 存在退化的关键性能参数 |        | 退化影响因素        |                                            |         |                                 |
|-------------|--------|---------------|--------------------------------------------|---------|---------------------------------|
| 一级性能        | 二级性能   | 内因变量          |                                            | 外因变量    |                                 |
|             |        | 名称            | 影响方式                                       | 名称      | 影响方式                            |
| 种子源供电       | 输出驱动电流 | 运放失调电压、失调电流   | 控制电压信号较小，运放失调电压电流的退化会结合反馈电阻对输出驱动电流产生影响     | 温度      | 根据以往经验，温度对运放内部半导体器件的伏安特性及退化影响较大 |
|             | 输出驱动电压 | 发光二极管、MOS 管开关 | 在输出驱动电流和温度发生变化时，器件分压及功耗会发生较大变化，直接影响器件的退化速率 | 温度、电源电压 | 根据以往经验，温度对半导体器件的伏安特性及退化影响较大     |

## B. 5 性能退化建模方法选择分析

根据上述分析结果，进一步确定各性能参数退化的建模方法，为确信可靠性建模过程提供参考。结果如表 B. 5 所示。

表 B. 5 种子控制模块性能退化建模方法选择分析表

| 一级性能  | 建模方法           | 二级性能   | 建模方法  |
|-------|----------------|--------|-------|
| 种子源供电 | 直接通过二级性能退化模型体现 | 输出驱动电流 | 实验建模法 |
|       |                | 输出驱动电压 | 理论建模法 |