

关于称重传感器产品的可靠性设计与制造

——电子衡器产品的可靠性问题浅议

罗伏隆 余姚市通用仪表有限公司

[摘要] 产品质量，由产品的技术性能、可靠性和经济性决定，可靠性是产品的重要质量指标。称重传感器是电子衡器的“心脏”，是关键元器件（部件）。称重传感器的质量可靠性，直接影响电子衡器系统的可靠性程度。产品的可靠性是设计、生产制造和管理出来的。产品制造企业要重点做好产品的可靠性设计，可靠性制造，可靠性制造工艺和可靠性管理工作。称重传感器的可靠性管理，主要是要做好产品设计符合产品标准的控制和产品生产工艺的控制，最大限度地排除各种不可靠因素，提高产品的可靠性。

[关键词] 电子衡器，产品，设计制造，质量，可靠性，工程，工艺，管理

一、前言

人们对产品特别关心的，是产品的“经久耐用”、“不出故障”的可靠性程度。可靠性问题，实际上是产品质量问题。

称重传感器和由称重传感器组成的电子衡器产品，随着使用时间或使用次数的延续，产品会出现性能波动，不能完成规定功能，并最终失效（或不稳定）。这是电子衡器产品“可靠性”问题的表现形式。

可靠性设计与制造，对提高称重传感器和由称重传感器组成的电子衡器称重系统的可靠性至关重要。

产品的可靠性指标，已成为称重传感器、电子衡器的重要质量指标，是产品市场竞争的主要标志。制造企业要高度重视“可靠性”工作。

二、什么是可靠性

（一）可靠性的定义

国际标准化组织（ISO）对于可靠性的定义：“单元在给定的环境及运行条件下和在给定的时间

内，完成规定功能的能力”。这里的“单元”，可指是“元件”，“整机”或“系统”。

根据国家标准 GB-6583 的规定，可靠性是指：产品在规定的条件下、在规定的时间内完成规定的功能的能力。

例如，称重传感器和由称重传感器组成的电子衡器产品的可靠性，就是在规定的条件下无故障的持续工作时间。

(二) 可靠性是产品质量问题

1. 产品质量构成

产品质量由技术性能、可靠性和经济性三个方面决定的。如图 1 所示。

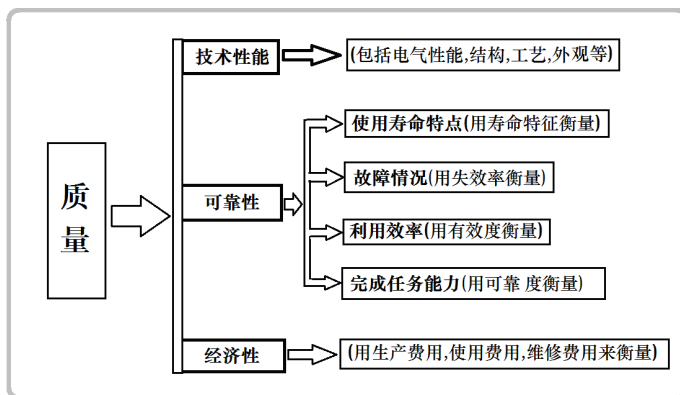


图 1 可靠性是产品质量构成部分

由上可看出，可靠性问题实际上是一个产品质量问题，可靠性指标是衡量电子产品质量的重要标志之一。

2. 产品技术性能与可靠性的关系

如果产品质量不可靠，其技术性能再好，也得不到发挥，甚至失去使用价值。反过来，没有产品的基本技术性能，产品的可靠性也就无从谈起。

因此，具有良好的技术性能，又具有经久耐用、充分可靠的产品，才能算是好产品。

3. 可靠性三大要素

耐久性，产品使用无故障或使用寿命长。

可维修性，当产品发生故障后，能够很快很容易的通过维护或维修排除故障。

设计可靠性，这是决定产品质量的关键。设计时充分考虑产品的易使用性和易操作性。产品越容易操作，发生人为失误或其他问题造成的故障和安全问题的可能性就越小。

(三) 产品的工作可靠性

产品实际使用的可靠性叫工作可靠性。

产品在使用工作中的可靠性是一个与诸多因素有关的综合性质量指标。它既有与设计、生产有关的“固有可靠性”，也有与使用环境、使用维护人员技术水平有关的“使用可靠性”。工作可靠性的概述表示，如图 2。

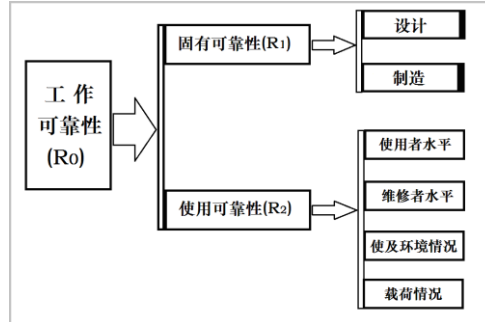


图 2 产品的工作可靠性关系图

1.固有可靠性是产品设计制造者必须确立的可靠性，即按照可靠性规划，从原材料和零部件的选用，经过设计、制造、试验，直到产品出产的各个阶段所确立的可靠性。

2.使用可靠性是指已生产的产品，经过包装、运输、储存、安装、使用、维修等因素影响的可靠性。

(四) 产品可靠性的重要意义

1. “可靠性”的发展

“可靠性”的发展史，可以说是一部“不可靠”的教训史。可靠性的定量分析，起始于二次世界大战中；可靠性的系统研究，开始于五十年代，主要应用于军工电子设备的设计研究。

2.可靠性技术发展的必然性

(1) 产品的复杂程度在不断增加。

产品系统越来越复杂，所用元器件数量越来越多，致使系统可靠性降低。电子设备的元件越多，其可靠性问题越严重，而电子产品的可靠性决定于所用元器件的可靠性，对元器件可靠性的要求越来越高与苛刻。

(2) 产品的使用环境日益严酷。

设备所使用的环境条件越来越复杂、严酷。经受着不同的环境条件，导致产品失效的可能性增大。设备须要进行环境适应性研究设计。

(3) 产品的装置密度不断增加。

产品朝小型化、微型化方向发展，其结果导致装置密度的不断增加，从而使内部温升增高，散

热条件恶化。而电子元器件将随环境温度的增高，降低其可靠性，因而元器件的可靠性引起人们的极大重视。

(4) 产品应用越来越广泛。在现代条件下各行各业都离不开电子设备。产品的可靠性被普遍重视。

3. 高可靠性产品才有高的竞争能力

高可靠性产品才能满足现代技术和生产的需要，只有产品可靠性提高才能提高产品的信誉，增强日益激烈的市场竞争能力。

(五) 可靠性工作内容

产品可靠性工作是产品制造企业系统性的工作。被誉为“可靠性工程”。可靠性工作的内容主要有如下方面的工作：

可靠性理论基础、可靠性设计、可靠性制造，可靠性试验、可靠性使用维修、可靠性制造工艺、可靠性情报、可靠性标准、可靠性管理、可靠性元件（对整机系统而言，如电子称重系统中，称重传感器则是元件），还有可靠性教育等。

在“可靠性工程”中，产品的可靠性设计、可靠性制造，制造工艺可靠性、可靠性元件最为重要。由于称重传感器是电子衡器的“心脏”，是系统中的关键元器件（部件）。称重传感器的质量可靠性，直接影响电子衡器系统的可靠性程度。电子衡器产品的可靠性设计与制造中，要重点关注称重传感器的可靠性设计、可靠性制造，制造工艺可靠性和可靠性管理。

三、可靠性设计

(一) 可靠性与经济性之间的关系 --- 可靠性设计的要则

为了提高产品的可靠性，就要在材料、工艺、设备和管理等到各方面采取相应措施，这就会导致生产费用增加，但使用和维修费用却会随着产品可靠性的提高而降低。

在进行可靠性设计时，应对产品成本、可靠性、可维修性及可生产性等各种要素进行全面评估权衡，作为可靠性设计的要则。

比如可用产品寿命周期费用（LCC）来衡量。

$$LCC = \frac{\text{产品价格} + (\text{产品维修费}/\text{年}) \times \text{年数}}{\text{年数}}$$

示例：产品价格 = 10000 元，产品维修费 = 1000 元 / 年，产品使用 10 年，则：

$$LCC = \frac{10000 + 1000 \times 10}{10} = 2000 \text{元/年}$$

如果为提高产品可靠性，使生产费用增加，因而产品价格可提高为 15000 元，而年维修费用降低为 100 元，则：

$$LCC = \frac{15000 + 100 \times 10}{10} = 1600 \text{元/年}$$

这样，便使实际上的总经济收益得到提高，使用年数越多越明显。

(二) 可靠性设计的重要性与设计内容

1. 可靠性设计涉及的主要内容项目有：

- ☆裕度、冗余与兼容设计；
- ☆环境适应性、减振与热设计；
- ☆抗磨损、刚度应变与耐疲劳设计；
- ☆统一化、标准化、互换性设计；
- ☆人机配合与可使用性设计；
- ☆体积、重量、性能与经济性设计；
- ☆系统成套优化与成熟技术采用设计；
- ☆元器件应用、电路简化与结构压缩设计；

2. 可靠性设计的重要性

可靠性设计，在可靠性工程实施中，占有相当重要的地位。在《电子设备可靠性工程基础》一书中收集的有关实验与统计分析显示，整机出现故障的原因中，设计原因占总故障的百分比例，如表 1 所示。

表 1—故障原因分类

故障原因	占总失效率的 (%)
1-设计	40
2-元器件质量	30
3-操作与维护	20
4-制造工艺	10

另外，对某电子产品经一年的全面可靠性试验考察，对其所产生的故障进行统计分析，整机出的故障原因分类中，元器件质量占 34.5%，设计占 25.9%，生产调试占 24.2%，使用维修占有 3.7%，自然老化占 1.7%。如图 3 所示。

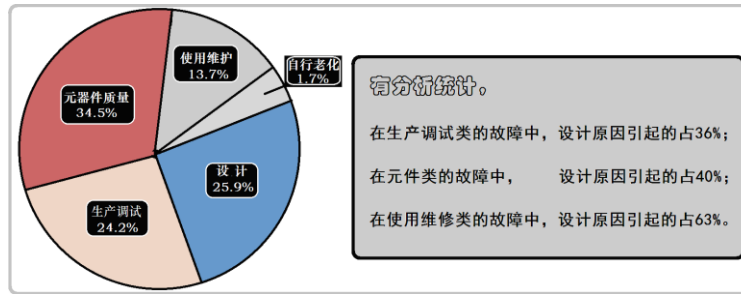


图 3 不同因素引起故障的百分比

有分析统计，在生产调试类的故障中，设计原因引起的占 36%；在元件类的故障中，设计原因引起的占 40%；在使用维修类故障中，设计原因引起的占 63%。

由上述可知：设计奠定产品可靠性，制造保证产品可靠性，使用保持产品可靠性。

因此，可靠性设计在可靠性工程实施中，占有相当重要的地位，产品制造企业应认真研究采取有效的可靠性设计措施。

电子衡器称重系统产品，主要由称重传感器、承载器与称重仪表等几大部分构成。电子衡器制企业应分别对其各部分进行可靠性设计制造和选用。

(三) 称重传感器的可靠性设计

称重传感器的质量可靠性，直接影响电子衡器系统的可靠性程度。称重传感器的可靠性设计十分重要。

1. 电子产品的失效规律

大多数电子产品的失效规律遵循浴盆曲线，曲线特征是两头高，中间低。如图 4。

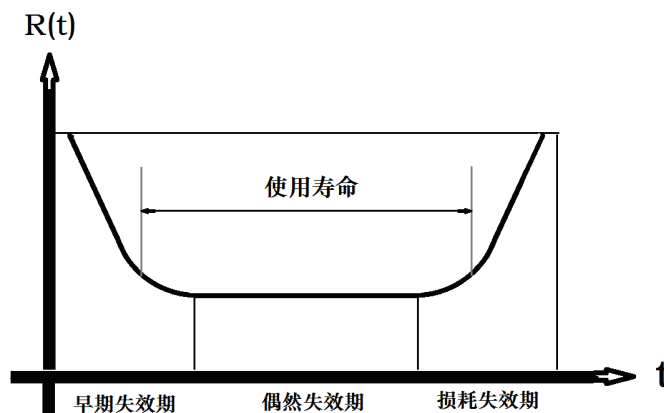


图 4 产品失效率曲线

电子衡器称重系统与称重传感器的稳定性和可靠性也符合这一规律。

图中，产品的早期失效，是产品因在设计和制造工艺的缺陷等因素而导致失效。如材料缺陷，制造工艺措施不当，质量控制不严等。

称重传感器的可靠性设计，主要是弹性体元件与电阻应变元件的可靠性设计与制造工艺。

2. 弹性体的可靠性设计

弹性元件的结构是称重传感器的基础，是称重传感器稳定性和可靠性的重要因素。

(1) 弹性元件的结构

保证称重传感器受载后在结构上不产生性能波动，或性能波动很小。

A 弹性元件结构设计应实现：应变区受力单一，应力分布均匀；

B 弹性元件的结构：应做到零部件少，集成化程度高，结构一体化（整体）。

(2) 材料与热处理工艺

弹性元件材料与热处理工艺，是称重传感器可靠性设计的关键问题。

A 材料，应采用锻造、机械加工和热处理工艺性能好、残余应力小的金属材料。

B 热处理工艺，应开展工艺实验，选择能满足称重传感器综合性能和可靠性要求的热处理时效工艺制度。

3. 电阻应变计选用设计

电阻应变计，是称重传感器的核心部件，其稳定性和可靠性，在很大程度上决定称重传感器的稳定性和可靠性，是可靠性控制的重要环节。

(1) 电阻应变计结构，应能满足称重传感器综合性能指标和可靠性要求。

(2) 应变计筛选

A 为了提高称重传感器的长期稳定性和工作可靠性，对电阻应变计须进行严格的检查与筛选。

B 主要检查与筛选项目：几何形状与表面质量，机械与电学性能，电阻值分散度等。

4. 电路补偿与调整原材料、元器件的选用

(1) 为提高称重传感器的可靠性，须认真选择原材料、元器件并进行严格的环境适应力筛选。

(2) 对原材料、元器件进行综合评价，主要是可靠性、可用性、适应性、经济性和生产一致性五项指标，以保证称重传感器各项电路补偿与调整指标的稳定性和可靠性。

5. 电桥及补偿电路的简化设计

电路简化设计，减少补偿电阻、焊线端子、焊线接线板等元器件的数量，优化制造工艺，避免

或减少重复焊接。

6. 耐环境设计

产品使用环境条件，分为客观环境和感应环境两种类型。前者为自然环境，后者是人为环境。

(1) 耐环境条件设计，主要为防潮湿（含防水）、防尘、防气雾、防霉菌的“四防”设计。

(2) “高温”环境称重，需要专用设计制造“耐高温称重传感器”产品。

四、制造中的可靠性保证

产品可靠性制造要素内容，如图 5。

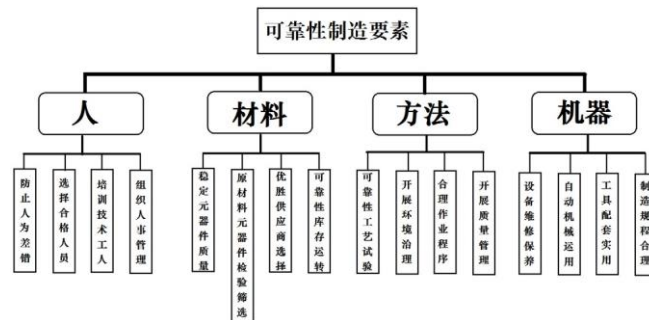


图 5 可靠性制造要素框图

(一) 制造中的可靠性保证的意义

在保证设备可靠性的三个重要环节（设计、制造、使用）中，除设计为主要环节外，制造是一个不可忽视的重要环节。

1. 产品故障原因分类

在《电子设备可靠性工程基础》一书中收集的有关电子设备产品出厂故障分类统计显示，其设计、制造工艺、元器件质量、调试原因分类占比情况，如图 6 所示。

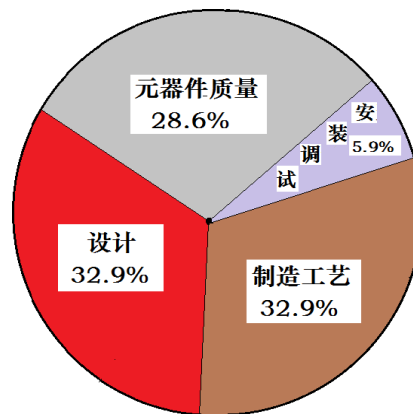


图 6 产品故障原因分类占比

由制造工艺原因造成产品故障的比例是比较高的。由此可见，在可靠性工程实施中，如果忽视了制造过程中的可靠性保证，就会容易导致设备固有可靠性水平降低。

而制造过程中导致设备固有可靠性水平降低的因素是多方面的。诸如与制造人员的技术水平、工作责任心、组织管理、制造工艺水平、制造工艺流程、制造材料选用、质量控制、制造设备配套、维修保养、自动化程度、制造环境控制、可靠性检验控制等因素有关。

2. 产品制造中不可靠因素的因果分析

在制造中引起不可靠因素的因果图，如图 7。

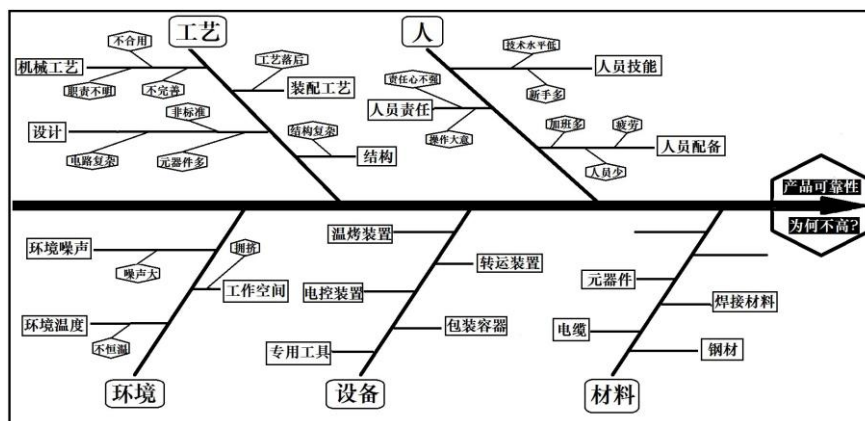


图 7 影响产品可靠性因果图

不同产品、不同制造单位，影响产品可靠性的制造因素是不同的，因此，必须根据具体情况，采取相应的可靠性保证措施。

(二) 产品制造过程中的可靠性保证措施

产品制造过程中带有普遍意义的可靠性保证措施有：

制造人员的选用和教育培训、制造环境的控制、元器件、原材料的贮存条件与方法、制造设备的配套与维护保养、制造质量的检验与筛选、制造过程的质量管理。

(三) 称重传感器生产过程的可靠性控制

生产过程的可靠性控制，就是产品设计符合标准的控制和产品生产工艺的控制，最大限度的排除各种不可靠因素。

1. 产品设计符合产品标准的控制

称重传感器生产的全过程，采取质量控制措施，使产品符合 GB/T7551—2008《称重传感器》国家标准和 JJG669—2003《称重传感器》国家计量检定规程要求。主要控制环节有：

(1) 工艺规程与质量控制文件符合称重传感器国家标准和国家计量检定规程样机试验的技术要

求。

(2) 称重传感器弹性元件的金属材料选定后，不允许代料。

(3) 称重传感器选用的应变计元件，电路补偿所用的原材料、器件，须经过筛选、复检、测试，确保符合设计要求。

(4) 生产工艺装备和检测设施配套完整，工艺装备和检测仪器仪表定期检定，保持合格率100%。

(5) 产品的工序检验，出厂测试方法，符合设计的准确度和可靠性的要求。

(6) 生产工序的生产、测试岗位人员，须经培训考核上岗，工艺操作符合工艺和设计要求。

(7) 生产环境符合要求，特别是“粘贴”工序要在温度、湿度、洁净度和照明度都符合要求的净化间内进行。

(8) 结构与工艺设计应同步进行，称重传感器结构设计的同时就进行工艺设计和工艺准备。

(9) 在生产过程中，设计与工艺配合，实行技术状态控制。产品生产要有严格的内控技术指标。

2. 制造工艺的可靠性控制

工艺可靠性控制，是实施设计可靠性控制的保证环节。如果工艺方法不当或工艺缺陷，会引入可靠性下降因素，埋下故障隐患，降低产品的可靠性水平。

称重传感器产品的使用故障，很大一部分是工艺原因引起的，消除或减少工艺缺陷，实质就是提高产品的可靠性。工艺可靠性控制的主要途径有：

(1) 通过试验研究，优选科学、合理的制造工艺方法。

(2) 工艺方法和工艺流程选定，就应维持工艺的稳定性，不得随意简化或更改。

(3) 严格工艺管理和工艺纪律，杜绝违反工艺规程，杜绝违反操作规程。

(4) 生产全过程的各道工序，提高自检率。关键工序设置检验控制点，减少降低不合格率。

五、可靠性管理

(一) 什么是可靠性管理

对产品可靠性有影响的诸因素和从设计、制造到使用的全过程每一个工作环节进行控制和监督，使产品达到稳定可靠，这就是可靠性管理。

1. 可靠性监控过程

产品的研制计划、科研、设计、制造、试用、情报反馈等环节，只有对这些环节实行有力的可靠性监控才能达到预计的可靠性指标。如果其中一个环节失控或控制不力，则产品的可靠性就得不

到保证。如图 8。

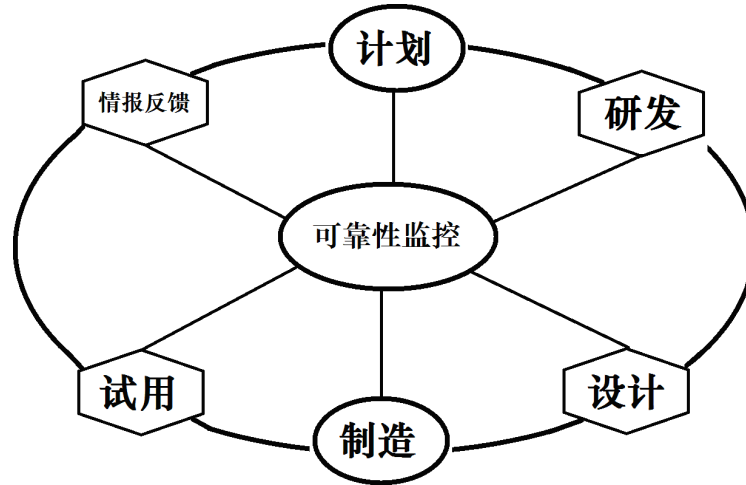


图 8 产品可靠性监控过程

2. 可靠性活动，包括两个方面的内容，即可靠性技术活动与可靠性管理活动。前者是在设计制造阶段中提高产品的固有可靠性和在使用阶段中提高使用可靠性的工作；后者是为了使这些技术活动能够有目的地（有的放矢）解决产品的可靠性薄弱环节。为此就须加强技术上的可靠性管理。

（二）可靠性管理的基本原则与条件保证

1. 可靠性管理的基本原则

(1)产品质量由技术性能、可靠性和经济性三个方面决定。

基本原则之一，可靠性设计中，“可靠性第一，性能第二”。

(2)基本原则之二，实行三级管理：机构管理、生产线管理与群众自我管理。

(3)基本原则之三，可靠性管理活动贯穿于计划、设计制造及使用的全过程。

(4)基本原则之四，可靠性管理活动，生产者与使用者都有关，两者须密切协作。

(5)基本原则之五，可靠性计划管理是可靠性管理的支柱。

(6)基本原则之六，可靠性产品，实现“四专”管理：专人、专线、专设备、专供应。

2. 可靠性管理的基本条件保证

(1)普及可靠性知识，培养可靠性技术人员。

(2)可靠性的技术投入。提高可靠性产品，须付出经济代价；

(3)可靠性的数据收集、认证、公布；

(4)可靠性的试验设备与方法；

(5)可靠性的规范、标准；

(6)可靠性的组织保证。

(三) 称重传感器产品的可靠性管理

产品的可靠性是设计出来的，生产出来的，管理出来的。可以从做好基础设计、开展工艺研究、重视工艺装备、完善检测设施、严格工艺纪律、全面质量控制、用户协调配合等方面提高称重传感器的可靠性。

1. 做好基础设计。引入可靠性概念和可靠性设计方法，明确可靠性要求。可靠性设计主要包括：

- ◆弹性元件及附件的设计； ◆弹性体材料、加工与热处理工艺选择；
- ◆电阻应变计与元器件筛选； ◆耐环境条件设计。

2. 开展工艺研究。称重传感器制造涉及的工艺比较多：有基础工艺，核心工艺，还有特殊性工艺；

3. 重视工艺装备与检测设施。

(1) 生产过程中的关键工艺装备，不能简化或缺少。

(2) 工艺装备自动化、智能化水平提高，从工艺装备上减少人为因素对产品可靠性的影响。

4. 严格工艺纪律。遵守试验与测试规定，执行工艺流程。减少工艺因素对产品可靠性的影响。

5. 全面质量控制。生产过程中，全员参与，管控工艺流程，实现“三全管理”：即全员、全过程、全方位的质量管理。

6. 用户协调配合。生产制造与用户使用协调配合，增加信息传递，开展可靠性验证试验。

六、结束语

人们希望产品经久耐用，不出故障，可靠性程度高。可靠性问题，实际上是产品质量问题。

产品的可靠性是设计、生产制造和管理出来的。产品制造企业要重点做好产品的可靠性设计，可靠性制造，可靠性制造工艺和可靠性管理工作。

企业对产品进行可靠性管理。在称重传感器的设计制造中，引入可靠性概念和设计方法，做好可靠性的基础设计，开展工艺装备配套与工艺方法研究，严格工艺纪律与工艺执行。

称重传感器的可靠性设计，主要是要做好弹性元件与电阻应变元件的可靠性设计与制造工艺。生产过程的可靠性控制，主要是产品设计符合标准的控制和产品生产工艺的控制，最大限度地排除各种不可靠因素，提高称重传感器的可靠性。

[参考文献]

1. 《电子设备可靠性工程基础》电子工业部出版（内部）
2. 《可靠性技术入门》广东科技出版社出版 书号：1518218
3. 《机械强度可靠性设计》机械工业出版社出版 书号：150335467
4. 中国衡器协会专业技术培训教材《电阻应变式称重传感器》“应变式称重传感器的可靠性设计、控制与管理” 刘九卿
5. 《电子设备结构与工艺》（教材）天津科学技术出版社出版 书号：1521283