

空间科学装置元器件替代关系与数字化表征研究

李自豪^{1,3}, 党炜³, 汪洋⁴, 王振肖^{2,3}

(1. 中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049;

2. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京 100049;

3. 中国科学院空间应用工程与技术中心, 北京 100094;

4. 国科赛思(北京)科技有限公司, 北京 100080)

摘要: 空间科学装置选用元器件因其质量等级要求高、技术性能参数先进等特点, 元器件替代关系更为复杂。本文给出了空间科学装置选用元器件替代关系的定义和替代关系所需满足的五种基本性质。给出了综合考虑元器件功能性能、使用环境和可靠性因素的空间科学装置元器件常见的替代关系类型, 并介绍了不同替代关系类型的数学表征方式以及替代指标体系。最后给出了空间科学装置选用元器件的各类替代关系应用案例。

关键词: 空间科学装置元器件; 元器件替代关系; 替代关系数学表征; 替代定义及性质;

中图分类号: TB472 文献标识码: A 文章编号:

Research on Space Science Device Components Substitution Relation and Characterization

LI Zihao^{1,3}, DANG Wei³, WANG Yang⁴, WANG Zhenxiao^{2,3}

(1. School of Engineering Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10049, China; 3. Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Science, Beijing, 100094, China; 4. CISSDATA Technology (Beijing) Co., Ltd., Beijing, 100080, China)

Abstract: Due to the high-quality requirements and advanced technical performance of the components used in space science equipment, the component substitution relationship is more complicated. The definition of substitution relation of the components used in space science devices and the five basic properties of substitution relation was proposed. Considered the functional performance, use environment, and reliability of the components, the standard substitution relation types of components were given. Besides, the mathematical representation methods of different substitution relation and the substitution index system were also developed. Finally, the cases of various substitution relations of space science equipment components were introduced.

Keywords: space science equipment component; component substitution relations; mathematical characterization of substitution relation; substitution definition and properties;

1 引言

空间科学装置使用元器件相较于普通元器件,具有种类丰富、质量等级覆盖全面、功能性能先进性高等特点。此外,空间科学装置元器件采购成本高、周期长、功能性能和可靠性要求高,因此研究空间科学装置元器件替代关系对于降低高端元器件采购成本、缩短任务周期;压缩元器件选用清单,优化空间科学装置元器件库存管理;同时提高关键核心元器件自主可控能力,保障空间科学任务正常开展均具有重要的意义。在国际形势日益复杂严峻的今天,元器件替代尤其是空间科学装置元器件的国产化替代工作对于保障我国航天事业的发展、创新,空间科学技术的自主可控有着重要的研究意义和紧迫的现实需求。朱小英^[1]等人指出元器件国产化替代对于我国航空航天电子设备的发展和保障具有重要的价值,同时质量控制和可靠性保证相关工作是国产替代工作的关键环节。毕锦栋^[2]等人从元器件基本功能、关键性能参数、封装及外形尺寸、质量可靠性与环境适应性等维度出发介绍国际主要的元器件替代类型,并给出相关元器件国产化替代的实践建议。许少尉、李夏^[3]则重点分析元器件原位替代的相关要求,从功能、性能及工艺性验证3方面介绍原位替代验证的经验和方法,并结合工程实践给出元器件原位替代的典型示例。郑丽香^[4]、张鹏南^[5]、周文杰^[6]等人则具体介绍通过仿真技术验证元器件国产化替代的相关工作。胡子阳^[7]结合实际案例说明信号分析技术可以有效避免元器件国产替代中故障问题的发生。李永梅^[8]等人则具体分析了元器件替代的相关案例,同时指出国产替代应注意的关键问题。

然而上述工作主要集中分析元器件国产替代的概念、重要性、保障措施及实施建议等,没有涉及空间科学装置元器件质量可靠性因素对替代关系的影响方向的研究,未给出元器件不同类型替代关系的具体定义以及数学表征和建模方法。

针对以上问题,本文给出考虑可靠性因素的替代关系定义、替代关系类型、替代关系性质等基本概念,并给出了各替代关系数学表征方式及替代所需考虑的指标体系,最后给出典型应用场景空间科学装置元器件替代分析案例。

2 元器件替代关系定义及替代类型

2.1 元器件替代关系定义

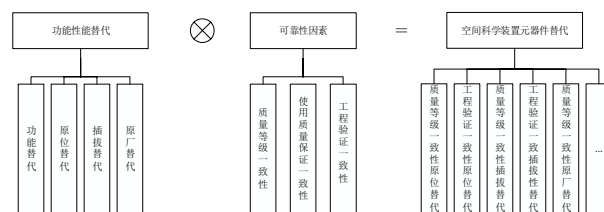
同一型号的元器件,在不同使用环境下的替代要求可能不同,即使是在相同使用环境中,由于使用要求和执行任务要求不同,替代要求也可能不同。而空间科学装置使用元器件对使用环境要求、质量可靠性要求更高,替代要求也相对更加严格。因此,元器件间是否存在替代关系本质由元器件固有功能、性能,实际使用环境以及特定型号任务对元器件功能、性能和可靠性要求这三方面决定。因此本文定义空间科学装置使用元器件替代关系如下:

在规定的条件下,在规定时间内,元器件 A 能够取代元器件 B 实现其功能,且性能、可靠性可满足元器件 B 的任务要求,则称元器件 A 可单向替代元器件 B。同时,若元器件 B 也可替代元器件 A,则称元器件 A、B 存在替代关系。

由该定义可知,替代关系存在单向替代和双向替代两种关系,基于上述定义并结合实际需求可以判断两元器件间是否存在替代关系。

2.2 替代关系类型设计

由元器件替代关系定义可知,替代关系确定需结合元器件固有功能性能,使用环境,以及空间科学任务对元器件可靠性要求这三点判断。其中,功能性能主要关注元器件固有的性能参数、封装尺寸等。可靠性要求则具体可分为元器件固有可靠性(质量等级)以及与使用环境和任务要求相关联的使用可靠性(使用质量保证,工程验证)。基于此,本文以元器件功能性能替代类型为基础,综合考虑可靠性因素,形成面向空间科学装置使用元器件的替代关系类型,如图1所示:



附注：“ \otimes ”表示元器件功能性能替代（基本替代）组合可靠性因素以形成空间科学装置元器件替代类型，如功能替代组合质量等级一致性即为质量等级一致性功能替代

图1 替代类型描述框架

Fig. 1 Description framework of substitution relation

如图1所示,元器件功能性能替代或基本替代关系类型包括,功能替代、原位替代、插拔替代和

原厂替代这四种关系。而对于可靠性因素, 这里主要考虑质量等级一致性、使用质量保证一致性和工程验证一致性这三个等级。通过对元器件功能性能替代类型和可靠性因素进行组合, 可以获得空间科学装置等高可靠领域中常见的替代关系, 如使用质量保证一致性的插拔替代等。

2.2.1 功能性能替代关系类型

功能性能替代对比元器件主要功能、性能参数, 封装, 管脚定义, 外形尺寸, 厂商和批次等方面的差异。具体可分为: 功能替代、原位替代、插拔替代和原厂替代。各类型替代关系定义如下:

(1) 功能替代: 要求替代元器件间主要功能完全相同, 主要功能性能参数相同或相似, 封装或引脚排列可以不完全兼容或等效。其中, 主要功能性能参数是指直接决定和影响元器件功能的参数, 该参数一般为元器件的主要设计指标。如对于运算放大器, 通道数量、工作电压、输出能力、增益带宽积、压摆率等可认为是关键功能性能参数, 其决定运放增益、输出响应性能。

(2) 原位替代: 要求替代元器件管脚兼容, 功能和封装类型相同, 主要功能性能参数相同或相似(即允许存在小范围的偏差, 对元器件主要功能性能无较大影响), 外形尺寸接近(不用更改原印制板上焊盘的设计就可进行焊接或安装)。

(3) 插拔替代: 插拔替代要求元器件管脚完全兼容, 主要功能性能参数值完全相同, 且封装类型、外形尺寸一致, 即替代元器件在功能、性能参数值以及封装引脚排列方面可以实现直接替代。

(4) 原厂替代: 替代元器件除需满足插拔替代所有要求外, 其生产厂商还需保持一致, 但替代元器件的型号或生产批次可以有所差异。由于型号及批次的差异, 替代元器件间使用原材料、工艺参数等也将有所不同, 可靠性也将有所差异。

在实际工程应用中原位替代和插拔替代的定义或概念容易混淆, 本文定义原位替代元器件功能性能参数值及外形尺寸允许存在小范围偏差而不影响实际功能性能或安装, 而插拔替代则要求替代器件外形尺寸和功能性能参数值完全相同。此外, 在某些研究院所或集团内, 插拔替代被称为直接替代, 原位替代被称为调整替代。

2.2.2 可靠性因素

空间科学装置、武器装备等高可靠领域对元器件可靠性要求严格, 因此对于此类领域的元器件替代本文考虑元器件的可靠性要求, 即将元器件可靠性要求分解为元器件固有可靠性和使用可靠性^[9]这两个维度。其中元器件固有可靠性是指元器件制造完成时所具有的可靠性, 主要由元器件的设计、工艺和原材料性能决定, 是通过设计和制造等工作赋予元器件的一种“先天”特性。而元器件使用可靠性则是指元器件应用于具体电路时所具有的可靠性, 它不仅与元器件的固有可靠性有关, 而且与元器件从出厂至失效所经历的工作与非工作条件有关。对于空间科学装置使用元器件, 使用可靠性可由使用质量保证一致性以及工程验证一致性体现。

(1) 质量一致性: 质量一致性主要反映元器件的固有可靠性, 可通过质量等级衡量。考虑到不同厂商或标准间质量等级体系的差异, 这里仅要求两元器件的质量等级等价一致^[10], 如对于微电路元器件 GJB 597 B1 级、MIL-M-38535 M 级、Q/W128 B 级和“加严七专”可认为这些质量等级等价一致。

(2) 使用质量保证一致性: 考虑实际情况中由于不同任务及使用环境(如温度、空间辐射等)对元器件功能性能要求不同。故元器件的使用可靠性也将有所差异, 为满足可靠性要求, 一般需要按用户规定对元器件进行使用质量保证检验^[11]。因此, 本文定义若替代元器件经使用质量保证检验评估后相关使用质量保证结论或指标符合用户要求, 则替代元器件满足使用质量保证一致性。

(3) 工程验证一致性: 除满足使用质量保证一致性要求外, 对于新品替代元器件其还应进行并通过相关的工程应用验证^[12], 对于成熟元器件其应具备相同或相似的使用经历。在具体使用环境和任务要求下工程验证一致性保证替代元器件间使用可靠性一致, 能全面满足任务要求。

2.2.3 空间科学装置元器件替代关系类型

空间科学装置等高可靠领域, 替代关系类型应由功能性能替代和可靠性因素组合而得, 如使用质量保证一致性原位替代, 应用验证一致性原位替代、使用质量保证一致性插拔替代、应用验证一致性插拔替代、应用验证一致性原厂替代等。

(1) 使用质量保证一致性原位替代, 即替代

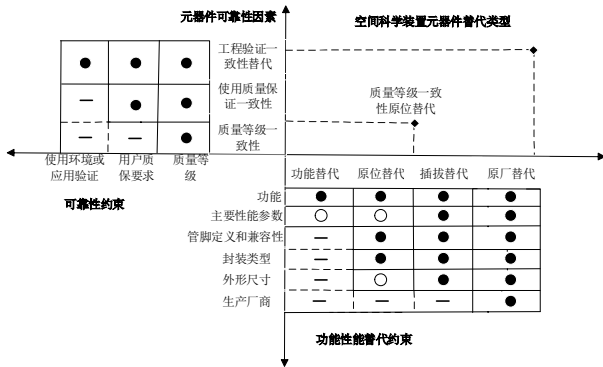
元器件满足原位替代要求同时还应通过使用质量保证检验。

(2) 应用验证一致性原位替代, 即替代元器件满足原位替代要求同时还应通过应用验证检验或拥有实际工程使用经历。

(3) 应用验证一致性原厂替代, 即替代元器件厂商一致, 且通过应用验证检验。

(4) 其它空间科学装置元器件替代类型。根据不同的功能性能替代关系类型和可靠性因素可以组合出其它常见的空间科装置元器件替代类型, 这里不再赘述。

综上, 替代关系类型及各类型替代要求如图 2 所示:



附注: “—”表示无强制要求, 可一致或不一致;

“●”表示相同, 对于质量等级和使用剖面和应用验证其表示等价一致;

“○”表示相似关系;

图 2 替代关系类型及其约束条件

Fig. 2 Type of substitution and constraints

由图 2 可以看出不同功能性能替代关系和可靠性因素考虑的替代约束不同, 随着替代约束的层层加严, 元器件的替代关系类型的等级也逐渐上升。其中, 功能性能替代的最低等级为功能替代, 最高等级为原厂替代, 且高等级替代必然包含低等级替代, 如元器件间存在原厂替代关系也必然存在功能替代关系。功能性能替代组合可靠性因素, 可构成空间应用科学等高可靠领域元器件替代类型, 图 2 仅展示两种空间科学装置元器件替代类型。

上述设计的“层层递进”式元器件替代关系类型可覆盖空间科学装置研制的不同阶段和不同部门。如原理样机的制备阶段考虑使用低等级元器件以减小研制成本, 而正样阶段为保证设备的可靠性,

一般考虑使用高可靠高性能元器件, 故正样与初样选用元器件为原位替代关系。元器件采购阶段由于某些外部因素如停产断档或禁运导致选用元器件采购困难, 此时可考虑插拔替代。故障分析或“归零”阶段进行故障诊断和复现时所选元器件要求具备原厂替代关系。调拨其它空间相关任务相关元器件, 由于使用环境和任务要求发生变化, 需对调拨替代元器件进行使用质量保证检验以满足任务要求, 则调拨元器件与原始元器件即为使用质量保证一致性替代关系。

3 替代关系数学表征及性质

3.1 替代关系数学表征

本文定义被替代元器件 A 和替代元器件 B 间替代关系判别函数及性能、可靠性差值函数分别为 $S(B \rightarrow A)$ 和 $d_{A,B}(P_{A,B}(f, p, i, k, s, m), R_{A,B}(q, a, v))$ 。其中 $P_{A,B}(f, p, i, k, s, m)$ 为元器件功能性能差值函数, 由 6 元组 (f, p, i, k, s, m) 表示, 即元器件功能 f 、功能性能参数 p 、管脚定义 i 、封装 k 、外形尺寸 s 及生产厂商 m 。 $R_{A,B}(q, a, v)$ 表示元器件可靠性差值函数, 其由 3 元组 (q, a, v) 表示, 分别为元器件质量等级 q 、使用质量保证要求 a 及应用验证 v 。判断元器件 B 是否可替代元器件 A 由下式确定:

$$\left\{ \begin{array}{ll} S(B \rightarrow A) = \frac{d_{A,B}(P_{A,B}(f, p, i, k, s, m), R_{A,B}(q, a, v))}{\theta_{E,T}(P_A(f, p, i, k, s, m), R_A(q, a, v))} \leq 1, & \text{B可替代A} \\ \text{others,} & \text{B不可替代A} \end{array} \right. \quad (1)$$

上式中 $\theta_{E,T}(f, p, i, k, s, m), R_A(q, a, v)$ 表示在特定环境 E 和任务要求 T 下替代元器件 A 允许其功能性能和使用可靠性存在一定偏差的裕度。因此, 若元器件 A, B 间功能性能及使用可靠性偏差在被替代元器件 A 所要求的偏差裕度内, 则元器件 B 可以替代元器件 A 。反之, 若替代元器件间功能性能或可靠性差值不在阈值允许的范围, 则元器件 B 不能满足替代要求, 此时可进行可靠性设计以缩小可靠性差值, 使其满足替代要求。

由图 2 所示, 对于不同替代关系类型考虑不同的约束, 可确定各类替代关系判别函数如表 1 所示:

表 1 不同替代关系类型考虑约束及判别函数

Table 1 Constraints and discriminate function for different substitution relations

替代类型	考虑替代约束	替代关系判别函数
功能性能替代类型		
功能替代 $S_f(B \rightarrow A)$	(f, p)	$S_f(B \rightarrow A) = \frac{d_{A,B}(P_{A,B}(f, p))}{\theta_{E,T}(P_A(f, p))}$
原位替代 $S_i(B \rightarrow A)$	(f, p, i, k, s)	$S_f(B \rightarrow A) = \frac{d_{A,B}(P_{A,B}(f, p, i, k, s))}{\theta_{E,T}(P_A(f, p, i, k, s))}$
插拔替代 $S_l(B \rightarrow A)$	(f, p, i, k, s)	$S_l(B \rightarrow A) = \frac{d_{A,B}(P_{A,B}(f, p, i, k, s))}{\theta_{E,T}(P_A(f, p, i, k, s))}$
原厂替代 $S_m(B \rightarrow A)$	(f, p, i, k, s, m)	$S_m(B \rightarrow A) = \frac{d_{A,B}(P_{A,B}(f, p, i, k, s, m))}{\theta_{E,T}(P_A(f, p, i, k, s, m))}$
考虑可靠性指标的空间科学装置元器件替代类型		
质量等级一致性功能替代 $S_{f,q}(B \rightarrow A)$	$((f, p), (q))$	$S_{f,q}(B \rightarrow A) = \frac{d_{A,B}(P_{A,B}(f, p), R_{A,B}(q))}{\theta_{E,T}(P_A(f, p), R_A(q))}$
使用质量保证一致性插拔替代 $S_{l,a}(B \rightarrow A)$	$((f, p, i, k, s), (q, a))$	$S_{l,a}(B \rightarrow A) = \frac{d_{A,B}(P_{A,B}(f, p, i, k, s), R_{A,B}(q, a))}{\theta_{E,T}(P_A(f, p, i, k, s), R_A(q, a))}$
工程验证一致性原厂替代 $S_{m,v}(B \rightarrow A)$	$((f, p, i, k, s, m), (q, a, v))$	$S_{m,v}(B \rightarrow A) = \frac{d_{A,B}(P_{A,B}(f, p, i, k, s, m), R_{A,B}(q, a, v))}{\theta_{E,T}(P_A(f, p, i, k, s, m), R_A(q, a, v))}$

表 1 中仅列出部分考虑可靠性指标的空间科学装置元器件替代关系类型, 对于其它替代关系如使用质量保证一致性原厂替代 $S_{m,a}(B \rightarrow A)$ 等, 这里不再赘述。

3.2 替代关系指标体系

由表 1 知, 替代关系类型一般由约束决定, 其主要包括元器件功能、性能关键参数、管脚定义和兼容性、封装类型和外形尺寸、质量等级等指标。这里考虑建立替代关系相关指标体系, 如表 2 所示:

表 2 替代关系考虑指标
Table 2 Index for types of substitution relation

替代关系考虑约束	指标分解
功能 (f)	元器件类别 功能描述 元器件原理框图
主要功能性能 (p)	元器件关键功能性能指标 元器件功能性能描述及相关测试指标
管脚定义和兼容性 (i)	管脚数目 管脚排列 管脚尺寸 管脚定义与功能
封装 (k)	封装类型 封装工艺 封装材料 引出端结构
外形尺寸 (s)	封装尺寸 (长宽高) 重量
生产厂商 (m)	厂商名称及注册编码
质量等级 (q)	标准化后质量等级
使用质量保证要求 (a)	生产过程要素评价 (工艺、材料稳定一致性等) 结构分析 (材料、强度、热、密封性等) 各类应用验证和环境适应性试验结论

专家评价、建议
使用剖面或应用验证 (v)
空间环境要素 (温湿度、冲击、真空、辐射等)
应力大小
输入信号及带载
输出信号及性能指标
工作周期、时间
飞行经历

表 2 仅对替代关系考虑指标进行简单分解, 而对于复杂指标如使用质量保证要求, 使用剖面或应用验证则需要建模分析, 本文不详细展开。

3.3 替代关系类型性质

记存在双向替代关系的元器件替代关系指示函数为 $f(\bullet)$:

$$g(A, B) = \begin{cases} 1, & \text{A, B间存在双向替代关系} \\ 0, & \text{A, B间不存在替代关系} \end{cases} \quad (2)$$

则有:

a. 自反性: $g(A, A) = 1$, 即元器件可与其本身发生替代;

b. 对称性: $g(A, B) = g(B, A)$, 即元器件 A 、 B 间的替代关系与元器件 B 、 A 间的替代关系相同;

c. 传递性: $g(A, B) = g(B, C) \rightarrow g(A, C) = g(A, B) = g(B, C)$, 若元器件 A 、 B 、 B 、 C 间的替换关系相同, 则元器件 A 、 C 间的替换关系也相同;

由于原位替代仅要元器件主要功能性能参数和外形尺寸仅相似, 因此原位替代不存在严格的传递性;

同时定义元器件间替代关系为 T , 替代等级判别函数为 $O(T)$, 且定义随替代约束增加其替代等级也随之增加, 故功能性能替代为 1 级替代, 即

$O(T_1)=1$ ，原厂替代为 4 级替代， $O(T_4)=4$ ，则有：

d. 吸收性： $T_i, T_j \in T$ ， $O(T_i) \leq O(T_j)$ ， $g(A, B) = T_j \rightarrow g(A, B) = T_i$ ，即高等级替代包含低等级替代关系，如元器件 A, B 为原厂替代，则必为插拔替代；

基于吸收性和传递性可以获得不同等级替代关系的规范性：

e. 规范性： $g(A, B) = T_i, g(B, C) = T_j, O(T_i) < O(T_j) \rightarrow g(A, C) = T_i$ ，即元器件 A 、 B 为功能替代，元器件 B 、 C 为插拔替代，则元器件 A 、 C 只能为功能替代；

证明：

$\because g(B, C) = T_j, O(T_i) < O(T_j)$ ，依据吸收性知， $g(B, C) = T_i$ ；

又由传递性知 $g(A, B) = g(B, C) \rightarrow g(A, C) = g(A, B) = g(B, C)$ ，且 $g(B, C) = g(A, B) = T_i$ ，

$\therefore g(A, C) = g(A, B) = T_i$ ，证毕。

本文定义的各元器件替代关系类型满足上述五点基本性质，以实现元器件替代关系的标准化和规范化。

4 替代案例分析

本文以国科赛思科（北京）技公司元器件数据库 CISSData^[15]为基础，分析 AM27C4096-150DC 型号存储器替代案例。选择 AT27LV4096-20LC、AM27C4096-150DCB、AM27C4096-120DI 这三款器件比较其功能性能参数、封装类型、管脚定义等，判断其满足的替代关系类型。其中 AM27C4096-150DC、AM27C4096-150DCB、AT27LV4096-20LC、AM27C4096-120DI 的相关属性参数等信息如表 3 所示：

表 3 元器件关键属性信息
Table 3 Determinant attributes of components

元器件型号	AM27C4096-150DC	AM27C4096-150DCB	AM27C4096-120DI	AT27LV4096-20LC
元器件类型	EPROM	EPROM	EPROM	EPROM
生产厂商	Cypress Semiconductor	Cypress Semiconductor	Cypress Semiconductor	Microchip Technology
封装族名称	DIP	DIP	DIP	LCC
厂商封装	CDIP	CDIP	CDIP	LCC
引脚数量	40	40	40	44
组织方式	256Kx16	256Kx16	256Kx16	256Kx16
接口类型	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel
最小工作温度	0	0	-40	0
最大工作温度	70	70	85	70
系统可编程性	In System External	In System External	In System External	In System External
容量	4M	4M	4M	4M
典型工作电源电压	5	5	5	3.3 5
最大工作电源电压	5.5	5.5	5.5	5.5
最小工作电源电压	4.5	4.5	4.5	3
编程电压	4.5 to 5.5 12.5 to 13	4.5 to 5.5 12.5 to 13	4.5 to 5.5 12.5 to 13	12.75 to 13.25
最大工作电流	50	50	50	30
最大访问时长	150	150	120	200
重编程技术	UV	UV	UV	UV
质量等级	商业级	商业级	工业级	商业级

（1）功能替代关系判断

功能替代关系需比较元器件间功能相似性以及关键功能性能参数相似性。对于替代元器件功能相似性可以依据元器件具体类别进行判断。其中存储器主要包括 PROM、EPROM、EEPROM、SRAM、DRAM、FLASH 这几大类。上述四款元器件均为 EPROM 存储器，因此该可以认为其功能相似。

对于主要功能性能属性这里比较元器件组织方式、接口类型、最小工作温度、最大工作温度、系统可编程性、容量、典型工作电源电压、编程电

压、最大工作电流、最大访问时长、重编程技术作。如表 3 所示，上述四款元器件功能性能属性参数值差别不大，因此认为其均能满足功能替代要求，存在功能替代关系。

（2）原位替代关系判断

原位替代要求元器件封装类型和管脚定义相同、外形尺寸相似。其中元器件管脚定义与兼容性的判断需查阅元器件说明文档中管脚定义顶视图，同时比较管脚的数目，各管脚的定义确定。AM27C4096-150DC 存储器管脚定义顶视图如图 3

所示:

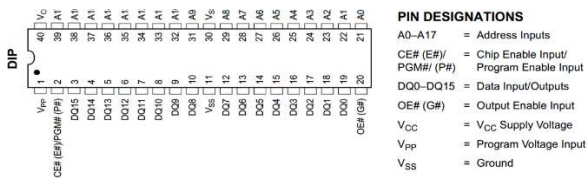


图 3 AM27C4096-150DC 存储器管脚定义顶视图

Fig. 3 AM27C4096-150DC memory pin definition top view

如图 3, AM27C4096-150DC 存储器管共有 40 个管脚, 包括地址输入、数据输入及输出、接地电压、供电电压、编程输入电压等。

元器件外形尺寸的相似性判断需比较长、宽、高、重量、引脚长度、间隙等。不同元器件生产厂商生产的元器件无法保证外形尺寸完全一致, 因此这里仅要求替代元器件外形尺寸应满足无需更改原印制板上焊盘设计即可安装的原则, 允许外形尺寸存在一定的偏差。AM27C4096-150DC 存储器外形尺寸如图 4 所示:

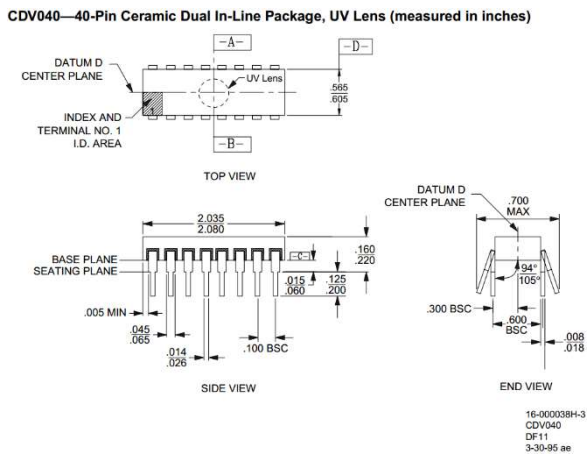


图 4 AM27C4096-150DC 存储器物理尺寸示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the physical size of the memory AM27C4096-150DC

查阅相关手册知, 这四款器件的封装类型、管脚定义及外形尺寸除 AT27LV4096-20LC 器件不满足要求外, AM27C4096-150DC、AM27C4096-150DCB、AM27C4096-120DI 这三款器件均为陶瓷双列直插封装, 物理尺寸保持一致且管脚定义均相同。故该三款器件间满足原位替代要求。

(3) 插拔替代关系与原厂替代关系判断

插拔替代要求替代器件间关键功能性能和外形尺寸完全相同, 原厂替代还要求生产厂商保持一致。因此仅 AM27C4096-150DC 和 AM27C4096-150DCB 存储器满足插拔替代和原厂替代关系。其

型号代码中“DC”表示元器件标准化处理, 而“DCB”表示“老化”测试。

(4) 质量等级一致性替代关系判断

空间科学装置元器件替代关系需考虑质量等级、用户使用质量保证和工程验证这三个可靠性因素。AM27C4096-150DC 和 AM27C4096-150DCB 存储器质量等级均为商业级。故其满足质量等级一致性原厂替代要求。而 AM27C4096-120DI 存储器质量等级为工业级, 因此该元器件在质量等级指标上发生升级。

5 未来研究方向

由于元器件固有性能、可靠性以及环境和任务要求的约束, 实际情况中要求替代元器件各类指标均与被替代元器件保持一致较为困难。因此更常见的是考虑对替代元器件中部分约束, 如主要功能性能参数、外形尺寸等进行一定的松弛处理, 以优化或丰富元器件的替代关系类型和结果, 实现元器件升级替代、降级替代。

对于替代关系类型判别表达式中涉及功能性能和可靠性等维度的变量, 由于该部分内容主要为文本数据, 因此在后续的研究中将主要对文本数据进行建模研究, 如通过话题模型、词袋模型和句向量比较元器件可靠性信息、应用经历等文本信息间的相似度。

此外, 替代除考虑功能性能和可靠性这两个维度外未来工作还将关注元器件选用和采购过程中元器件的供货风险和自主可控能力, 以提高关键核心元器件的自主保障程度, 同时推荐价格和货期更优的替代元器件。

6 结论

1) 本文定义了空间科学装置元器件替代关系: 在规定的件下, 在规定时间范围内, 元器件 A 能够取代元器件 B 实现其功能, 且性能、可靠性可满足元器件 B 的任务要求, 则称元器件 A 可单向替代元器件 B。同时, 若元器件 B 也可替代元器件 A, 则称元器件 A、B 存在替代关系;

2) 对于高可靠任务使用元器件如空间科学装置元器件, 其替代关系类型由元器件功能性能替代组合可靠性因素形成;

3) 各类替代关系涉及空间科学装置研制的不同阶段、不同部门, 且这些替代关系应满足自反性、

对称性、传递性、吸收性和规范性这五点性质；

4) 以 AM27C4096-150DC 存储器为例分析了各类功能性能替代案例；

5) 空间科学装置元器件具有一定的先进性，该替代定义和替代关系类型可推广至其它高可靠领域。

[参考文献]

- [1] 朱小英,夏克强,沈鸿.航空航天装备电子元器件国产化替代质量控制探讨[J].质量与可靠性,2016(04):28-30.
Zu Xiaoying, Xia Keqiang, Shen Hong. Discussion on quality control of domestic substitution of electronic components for aerospace equipment[J]. Quality and Reliability, 2016(04):28-30.
- [2] 毕锦栋,郑丽香,周军连,林长苓,苏瑜,刘志斯.电子元器件国产化替代工作探讨[J].质量与可靠性,2015(03):35-40.
Bi Jindong, Zheng Lixiang, Lin Changcen, Su, Liu Zhishi. Discussion on the domestic substitution of electronic components[J]. Quality and Reliability, 2015(03):35-40.
- [3] 许少尉,李夏.元器件原位替代验证方法探讨[J].航空计算技术,2018,48(05):150-153.
Xu Shaowei, Li Xia. Discussion on experience and method of in-situ replacement validation for component[J]. Aeronautical Computing Technique, 2018,48(05):150-153.
- [4] 郑丽香,史典阳,翟芳,余昭杰,梁仕章.基于互连失效的元器件国产化替代验证仿真分析[J].航空标准化与质量,2015(04):43-45.
Zheng Lixiang, Shi Diangyang, Yu Zhaojie, Liang Shijie. Simulation analysis of substitution verification of components based on interconnection failure[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2015(04):43-45.
- [5] 张鹏南,任艳,于迪,余昭杰,戴泽林.基于仿真技术的集成电路国产化替代验证[J].国外电子测量技术,2018,37(06):140-145.
Zhang Pengnan, Ren Yan, Yu Di, Yu Zhaojie, Dai Zelin. Localization substitution of integrated circuit based on stimulation of performance and reliability[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2018,37(06):140-145.
- [6] 周文杰,徐喆,余昭杰,高滢.基于多学科融合仿真的集成电路国产化替代验证[J].电子产品可靠性与环境试验,2018,36(S1):60-62.
Zhou Wenjie, Xu Zhe, Yu Zhaojie, Gao Ying. Localization substitution verification of integrated circuit based on multidisciplinary fusion simulation[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2018,36(S1):60-62.
- [7] 胡子阳.信号分析在集成电路国产化替代中的应用[J].微处理机,2017,38(01):19-22.
Hu Ziyang. Application of Signal-Analysis in IC Localization Replacement[J]. Microprocessors, 2017,38(01):19-22.
- [8] 李永梅,李先亚,周传祥.军用进口电子元器件的国产化替代验证典型案例[J].质量与可靠性,2017(05):30-33.
Li Yongmei, Li Xianya, Zhou Chuanxiang. Typical case analysis of domestic substitution verification of imported military electronic components[J]. Quality and Reliability, 2017(05):30-33.
- [9] 祝贞凤,孙江河.电子产品研制过程中电子元器件的可靠性管理[J].电子元器件应用,2010,12(10):90-92+96.
Zhu Zhenfeng, Shun Jianghe. Reliability management of electronic components during the development of electronic products[J]. Electronic Component & Device Applications, 2010,12(10):90-92+96.
- [10] 祝军生,沙群.国产和进口电子元器件质量保证等级研究[J].电子质量,2017(10):46-50.
Zhu Junsheng, Sha Qun. Study on quality guarantee grade of domestic and imported electronic components[J]. Electronics Quality, 2017(10):46-50.
- [11] 朱文冰.航天产品电子元器件的可靠性控制[J].电子工程师,2006(03):11-13.
Zu Wenbing. Reliability Control of Electronic Components of Aerospace Product[J]. Electronic Engineer, 2006(03):11-13.
- [12] Babuska I, Oden J T. Verification and validation in computational engineering and science: basic concepts[J]. Computer methods in applied mechanics and engineering, 2004, 193(36): 4057-4066.
- [13] Pearson J N, Ellram L M. Supplier selection and evaluation in small versus large electronics firms[J]. Journal of Small Business Management, 1995, 33(4): 53.
- [14] 陈佳琳.北斗卫星导航系统自主可控能力评价[D].哈尔滨工程大学,2018.
Chen Jialin. Evaluation of Autonomous and Controllable Capability of Beidou Satellite Navigation System[D]. Harbin Engineering University, 2018.
- [15] 国科赛思(北京)科技有限公司.电子元器件专业云采购平台[EB/OL].2020. <https://www.cisscloud.com/>.
CISSDATA Technology (Beijing) Co., Ltd. The professional procurement platform for electronic components.[EB/OL]. 2020. <https://www.cisscloud.com/>.