

TM53-62(712)

373

1:

美国国家航空  
和航天管理局

MIL-HDBK-978NASA

# 元件应用手册

## 第五章

# 电容器

3-6

FSC 56GP

美国军用手册  
MIL-HDBK-978(NASA)  
元件应用手册

第五章  
电容器

\*

电子工业部标准化研究所 出版  
电子工业部标准化研究所 发行  
河北省蔚县印刷厂 印刷

\*

787×1092 1/16印张6 1/2 字数150 千字  
印数1000 册 定价3.50元  
MIL 译文号 0428

# 目 录

|           |                     |           |
|-----------|---------------------|-----------|
| 5.0       | 电容器概述 .....         | ( 1 )     |
| 5.0.1     | 前言 .....            | ( 1 )     |
| 5.0.1.1   | 电容器类型 .....         | ( 1 )     |
| 5.0.1.2   | 适用的军用规范 .....       | ( 1 )     |
| 5.0.2     | 一般定义 .....          | ( 1~2 )   |
| 5.0.3     | 美国宇航局标准元件 .....     | ( 2~3 )   |
| 5.0.4     | 一般的元件特性 .....       | ( 3 )     |
| 5.0.5     | 一般的参数资料 .....       | ( 3 )     |
| 5.0.5.1   | 选择 .....            | ( 3~6 )   |
| 5.0.5.2   | 经济考虑 .....          | ( 6 )     |
| 5.0.5.3   | 电学考虑 .....          | ( 6~12 )  |
| 5.0.5.4   | 机械考虑 .....          | ( 12 )    |
| 5.0.5.5   | 环境考虑 .....          | ( 13 )    |
| 5.0.5.5.1 | 环境温度 .....          | ( 13 )    |
| 5.0.5.5.2 | 湿度 .....            | ( 13~14 ) |
| 5.0.5.5.3 | 振动、冲击和加速度 .....     | ( 14 )    |
| 5.0.5.5.4 | 大气压 .....           | ( 14 )    |
| 5.0.6     | 一般的导则和图表 .....      | ( 14 )    |
| 5.0.6.1   | 电容器的计算公式 .....      | ( 14~16 ) |
| 5.0.7     | 一般的可靠性考虑 .....      | ( 16 )    |
| 5.0.7.1   | 有可靠性指标的元件 .....     | ( 16 )    |
| 5.0.7.2   | 电容器的失效模型 .....      | ( 16 )    |
| 5.0.7.3   | 失效机理 .....          | ( 16~17 ) |
| 5.0.7.4   | 可靠性减额关系 .....       | ( 17~18 ) |
| 5.0.7.5   | 电容器的失效率模型 .....     | ( 18 )    |
| 5.0.7.6   | 辐射效应 .....          | ( 19~21 ) |
| 5.1       | 瓷介电容器 .....         | ( 22 )    |
| 5.1.1     | 前言 .....            | ( 22 )    |
| 5.1.1.1   | 分类 .....            | ( 22 )    |
| 5.1.2     | 普遍应用 .....          | ( 22 )    |
| 5.1.2.1   | 通用型 ( I 类 ) .....   | ( 22 )    |
| 5.1.2.2   | 温度补偿型 ( I 类 ) ..... | ( 22 )    |
| 5.1.3     | 物理结构 .....          | ( 22~23 ) |
| 5.1.3.1   | 圆片型式 .....          | ( 23 )    |
| 5.1.3.2   | 穿心或支座型式 .....       | ( 23 )    |
| 5.1.3.3   | 独石结构 .....          | ( 24 )    |

|          |                 |           |
|----------|-----------------|-----------|
| 5.1.3.4  | 管型式 .....       | ( 24 )    |
| 5.1.4    | 军用识别 .....      | ( 24 )    |
| 5.1.4.1  | 适用的军用规范 .....   | ( 24 )    |
| 5.1.4.2  | 元件识别 .....      | ( 24~25 ) |
| 5.1.5    | 电学特性 .....      | ( 25 )    |
| 5.1.5.1  | 额定电压 .....      | ( 25~26 ) |
| 5.1.5.2  | 起始电容量 .....     | ( 26 )    |
| 5.1.5.3  | 测量条件 .....      | ( 26 )    |
| 5.1.5.4  | 损耗因数或 Q 值 ..... | ( 26~27 ) |
| 5.1.5.5  | 直流电压系数 .....    | ( 27 )    |
| 5.1.5.6  | 交流电压系数 .....    | ( 27~28 ) |
| 5.1.5.7  | 温度特性 .....      | ( 28~29 ) |
| 5.1.5.8  | 频率效应 .....      | ( 29 )    |
| 5.1.5.9  | 老化 .....        | ( 29 )    |
| 5.1.5.10 | 二次老化 .....      | ( 29 )    |
| 5.1.5.11 | 寿命 .....        | ( 29~30 ) |
| 5.1.6    | 环境考虑 .....      | ( 30 )    |
| 5.1.7    | 可靠性考虑 .....     | ( 30 )    |
| 5.1.7.1  | 失效模型 .....      | ( 30 )    |
| 5.1.7.2  | 失效机理 .....      | ( 30 )    |
| 5.1.7.3  | 筛选 .....        | ( 31 )    |
| 5.1.7.4  | 可靠性减额关系 .....   | ( 31 )    |
| 5.1.7.5  | 失效率确定 .....     | ( 31 )    |
| 5.2      | 云母和玻璃电容器 .....  | ( 32 )    |
| 5.2.1    | 前言 .....        | ( 32 )    |
| 5.2.1.1  | 云母 .....        | ( 32 )    |
| 5.2.1.2  | 玻璃 .....        | ( 32 )    |
| 5.2.2    | 普通应用 .....      | ( 32 )    |
| 5.2.3    | 物理结构 .....      | ( 32 )    |
| 5.2.3.1  | 穿心和支座式结构 .....  | ( 32~33 ) |
| 5.2.4    | 军用识别 .....      | ( 33 )    |
| 5.2.4.1  | 适用的军用文件 .....   | ( 33 )    |
| 5.2.4.2  | 元件识别 .....      | ( 33~35 ) |
| 5.2.5    | 电学考虑 .....      | ( 35 )    |
| 5.2.5.1  | 额定电压 .....      | ( 35 )    |
| 5.2.5.2  | 电容量及其允许偏差 ..... | ( 35 )    |
| 5.2.5.3  | 损耗因数或 Q 值 ..... | ( 35 )    |
| 5.2.5.4  | 额定交流电压 .....    | ( 35~36 ) |
| 5.2.5.5  | 频率效应 .....      | ( 36~39 ) |

|         |                |           |
|---------|----------------|-----------|
| 5.2.5.6 | 温度影响 .....     | ( 39 )    |
| 5.2.6   | 环境考虑 .....     | ( 39 )    |
| 5.2.7   | 可靠性考虑 .....    | ( 39~40 ) |
| 5.2.7.1 | 失效模型和机理 .....  | ( 40 )    |
| 5.2.7.2 | 筛选 .....       | ( 40~41 ) |
| 5.2.7.3 | 减额 .....       | ( 42 )    |
| 5.2.7.4 | 失效率 .....      | ( 42~43 ) |
| 5.3     | 纸和塑料电容器 .....  | ( 43 )    |
| 5.3.1   | 前言 .....       | ( 43 )    |
| 5.3.2   | 普通应用 .....     | ( 43 )    |
| 5.3.3   | 物理结构 .....     | ( 43~44 ) |
| 5.3.3.1 | 卷绕箔式结构 .....   | ( 44 )    |
| 5.3.3.2 | 金属化薄膜结构 .....  | ( 44~45 ) |
| 5.3.4   | 军用识别 .....     | ( 45 )    |
| 5.3.4.1 | 适用的军用规范 .....  | ( 45 )    |
| 5.3.4.2 | 元件识别 .....     | ( 45 )    |
| 5.3.5   | 电学特性 .....     | ( 45 )    |
| 5.3.5.1 | 电容量和额定电压 ..... | ( 45 )    |
| 5.3.5.2 | 电容量允许偏差 .....  | ( 45~46 ) |
| 5.3.5.3 | 损耗因数 .....     | ( 46 )    |
| 5.3.5.4 | 绝缘电阻 .....     | ( 46 )    |
| 5.3.5.5 | 交流工作 .....     | ( 46~49 ) |
| 5.3.5.6 | 频率效应 .....     | ( 49 )    |
| 5.3.5.7 | 温度影响 .....     | ( 49 )    |
| 5.3.5.8 | 介质吸收 .....     | ( 49 )    |
| 5.3.6   | 环境考虑 .....     | ( 49~50 ) |
| 5.3.6.1 | 振动 .....       | ( 50 )    |
| 5.3.7   | 可靠性考虑 .....    | ( 50 )    |
| 5.3.7.1 | 失效模型和机理 .....  | ( 50~51 ) |
| 5.3.7.2 | 筛选 .....       | ( 52 )    |
| 5.3.7.3 | 可靠性减额关系 .....  | ( 52 )    |
| 5.3.7.4 | 失效率确定 .....    | ( 52~53 ) |
| 5.4     | 箔式铝电解电容器 ..... | ( 53 )    |
| 5.4.1   | 前言 .....       | ( 53 )    |
| 5.4.2   | 普通应用 .....     | ( 53 )    |
| 5.4.2.1 | 极性型式 .....     | ( 53 )    |
| 5.4.2.2 | 无极性型式 .....    | ( 53 )    |
| 5.4.3   | 物理结构 .....     | ( 53 )    |
| 5.4.3.1 | 腐蚀 .....       | ( 53~54 ) |

|         |                       |           |
|---------|-----------------------|-----------|
| 5.4.3.2 | 安装 .....              | ( 54 )    |
| 5.4.4   | 军用识别 .....            | ( 54 )    |
| 5.4.4.1 | 适用的军用规范 .....         | ( 54~55 ) |
| 5.4.4.2 | 军用类型识别 .....          | ( 55~57 ) |
| 5.4.5   | 电学考虑 .....            | ( 57 )    |
| 5.4.5.1 | 额定电压 .....            | ( 57 )    |
| 5.4.5.2 | 工作温度范围 .....          | ( 57 )    |
| 5.4.5.3 | 减额 .....              | ( 57 )    |
| 5.4.5.4 | 反向电压 .....            | ( 57 )    |
| 5.4.5.5 | 纹波电压 .....            | ( 57~59 ) |
| 5.4.5.6 | 直流漏电流 .....           | ( 59~60 ) |
| 5.4.5.7 | 频率效应 .....            | ( 60 )    |
| 5.4.5.8 | 电路阻抗 .....            | ( 60 )    |
| 5.4.5.9 | 串联和并联应用 .....         | ( 60~61 ) |
| 5.4.6   | 环境考虑 .....            | ( 61 )    |
| 5.4.6.1 | 稳定性和寿命 .....          | ( 61 )    |
| 5.4.6.2 | 温度影响 .....            | ( 61~62 ) |
| 5.4.7   | 可靠性考虑 .....           | ( 62 )    |
| 5.4.7.1 | 失效模型和机理 .....         | ( 62 )    |
| 5.4.7.2 | 筛选 .....              | ( 62 )    |
| 5.4.7.3 | 减额 .....              | ( 62~63 ) |
| 5.4.7.4 | 失效率水平确定 .....         | ( 63~64 ) |
| 5.5     | 固体铝电解电容器 .....        | ( 64 )    |
| 5.5.1   | 前言 .....              | ( 64 )    |
| 5.5.2   | 普通应用 .....            | ( 64 )    |
| 5.5.3   | 物理结构 .....            | ( 64 )    |
| 5.5.3.1 | 机械考虑 .....            | ( 64~65 ) |
| 5.5.4   | 军用识别 .....            | ( 66 )    |
| 5.5.4.1 | 适用的军用规范 .....         | ( 66 )    |
| 5.5.4.2 | 军用类型识别 .....          | ( 66~67 ) |
| 5.5.5   | 电气特性 .....            | ( 67~68 ) |
| 5.5.5.1 | 电压减额 .....            | ( 68 )    |
| 5.5.5.2 | 反向电压 .....            | ( 68 )    |
| 5.5.5.3 | 纹波电压 .....            | ( 68~69 ) |
| 5.5.5.4 | 串联网络 .....            | ( 69 )    |
| 5.5.5.5 | 并联网络 .....            | ( 69 )    |
| 5.5.5.6 | 介质吸收 .....            | ( 69~70 ) |
| 5.5.5.7 | 当作一个电路元件的固体铝电容器 ..... | ( 70 )    |
| 5.5.5.8 | 直流漏电流 .....           | ( 70~71 ) |

|         |                      |           |
|---------|----------------------|-----------|
| 5.5.5.9 | 频率影响 .....           | ( 71~72 ) |
| 5.5.6   | 环境考虑 .....           | ( 72 )    |
| 5.5.6.1 | 温度影响 .....           | ( 72~73 ) |
| 5.5.6.2 | 工作温度范围 .....         | ( 73 )    |
| 5.5.6.3 | 减额温度 .....           | ( 73~75 ) |
| 5.5.7   | 可靠性考虑 .....          | ( 75 )    |
| 5.5.7.1 | 失效模型 .....           | ( 75 )    |
| 5.5.7.2 | 失效机理 .....           | ( 75 )    |
| 5.5.7.3 | 筛选 .....             | ( 75~76 ) |
| 5.5.7.4 | 可靠性减额 .....          | ( 76 )    |
| 5.5.7.5 | 失效率确定 .....          | ( 76~78 ) |
| 5.6     | 湿式 (液体) 钽电解电容器 ..... | ( 78 )    |
| 5.6.1   | 前言 .....             | ( 78 )    |
| 5.6.2   | 普通应用 .....           | ( 78 )    |
| 5.6.3   | 物理结构 .....           | ( 78~80 ) |
| 5.6.4   | 军用识别 .....           | ( 80 )    |
| 5.6.5   | 电气特性 .....           | ( 80 )    |
| 5.6.5.1 | 额定值 .....            | ( 80~81 ) |
| 5.6.5.2 | 反向电压 .....           | ( 81 )    |
| 5.6.5.3 | 纹波电压 .....           | ( 81 )    |
| 5.6.5.4 | 直流漏电流 .....          | ( 81 )    |
| 5.6.5.5 | 功率因数和等效串联电阻 .....    | ( 81 )    |
| 5.6.5.6 | 频率效应 .....           | ( 81 )    |
| 5.6.5.7 | 电路阻抗 .....           | ( 81~82 ) |
| 5.6.6   | 环境考虑 .....           | ( 82 )    |
| 5.6.6.1 | 温度影响 .....           | ( 82~83 ) |
| 5.6.6.2 | 温度循环 .....           | ( 83~84 ) |
| 5.6.6.3 | 冲击和振动 .....          | ( 84 )    |
| 5.6.7   | 可靠性考虑 .....          | ( 84 )    |
| 5.6.7.1 | 失效模型和机理 .....        | ( 84~85 ) |
| 5.6.7.2 | 筛选 .....             | ( 85 )    |
| 5.6.7.3 | 减额 .....             | ( 85 )    |
| 5.6.7.4 | 失效率 .....            | ( 85~86 ) |
| 5.7     | 铝电容器 .....           | ( 86 )    |
| 5.7.1   | 前言 .....             | ( 86 )    |
| 5.7.2   | 普通应用 .....           | ( 86 )    |
| 5.7.3   | 物理结构 .....           | ( 86 )    |
| 5.7.3.1 | 安装 .....             | ( 86~87 ) |
| 5.7.4   | 军用识别 .....           | ( 87 )    |

|         |                                |           |   |
|---------|--------------------------------|-----------|---|
| 5.7.5   | 电学考虑 .....                     | ( 87 )    | 》 |
| 5.7.5.1 | 工作温度范围 .....                   | ( 87 )    | 》 |
| 5.7.5.2 | 减额 .....                       | ( 87 )    | 》 |
| 5.7.5.3 | 反向电压 .....                     | ( 87~88 ) | 》 |
| 5.7.5.4 | 纹波电压 .....                     | ( 88~89 ) | 》 |
| 5.7.5.5 | 直流漏电流 .....                    | ( 89 )    | 》 |
| 5.7.5.6 | 额定直流电压 .....                   | ( 89 )    | 》 |
| 5.7.5.7 | 频率效应 .....                     | ( 89~91 ) | 》 |
| 5.7.5.8 | 电路阻抗 .....                     | ( 91 )    | 》 |
| 5.7.5.9 | 串联和并联工作 .....                  | ( 91 )    | 》 |
| 5.7.6   | 环境考虑 .....                     | ( 91 )    | 》 |
| 5.7.6.1 | 温度影响 .....                     | ( 91 )    | 》 |
| 5.7.7   | 可靠性考虑 .....                    | ( 91 )    | 》 |
| 5.7.7.1 | 失效模型和机理 .....                  | ( 91~92 ) | 》 |
| 5.7.7.2 | 筛选 .....                       | ( 92 )    | 》 |
| 5.7.7.3 | 失效率确定 .....                    | ( 92 )    | 》 |
| 5.8     | 可变电容器 .....                    | ( 93 )    | 》 |
| 5.8.1   | 前言 .....                       | ( 93 )    | 》 |
| 5.8.2   | 普通应用 .....                     | ( 93 )    | 》 |
| 5.8.3   | 物理结构 .....                     | ( 93 )    | 》 |
| 5.8.3.1 | 活塞式, 管形微调电容器 .....             | ( 93 )    | 》 |
| 5.8.3.2 | 转动活塞 .....                     | ( 93 )    | 》 |
| 5.8.3.3 | 固定活塞 .....                     | ( 93 )    | 》 |
| 5.8.3.4 | 陶瓷介质微调电容器 .....                | ( 93~94 ) | 》 |
| 5.8.3.5 | 空气介质微调电容器 .....                | ( 94 )    | 》 |
| 5.8.3.6 | 安装 .....                       | ( 94 )    | 》 |
| 5.8.4   | 军用识别 .....                     | ( 94 )    | 》 |
| 5.8.4.1 | MIL-C-81 (陶瓷介质可变电容器) .....     | ( 94~95 ) | 》 |
| 5.8.4.2 | MIL-C-92 (空气介质可变电容器) .....     | ( 95 )    | 》 |
| 5.8.4.3 | MIL-C-14409 (活塞式管形可变电容器) ..... | ( 95 )    | 》 |
| 5.8.5   | 电气特性 .....                     | ( 95 )    | 》 |
| 5.8.5.1 | 额定电压 .....                     | ( 95 )    | 》 |
| 5.8.5.2 | 有效电容量 .....                    | ( 95~96 ) | 》 |
| 5.8.5.3 | Q 值与频率的关系 .....                | ( 96 )    | 》 |
| 5.8.6   | 可靠性考虑 .....                    | ( 96 )    | 》 |
| 5.8.6.1 | 失效模型和机理 .....                  | ( 96 )    | 》 |
| 5.8.6.2 | 筛选 .....                       | ( 96 )    | 》 |
| 5.8.6.3 | 减额 .....                       | ( 96 )    | 》 |
| 5.8.6.4 | 失效率确定 .....                    | ( 96 )    | 》 |

## 5.0 电容器概述

### 5.0.1 前言

本节旨在帮助设计工程师选择合适的电容器来满足某一特殊的需要。为了选择适合工作需要的电容器,设计师不仅需要对其规格范围的说明,而且需要了解一些关于元件对给定用途的优缺点、结构特点、机械的或环境的限制条件、可靠性、失效模型或机理的情况。

#### 5.0.1.1 电容器类型

电容器是由多种介质和导体组成的,但最广泛地应用在军用设备中的类型有四个基本的类别:

- (a) 铝电解电容器
- (b) 纸和塑料电容器
- (c) 陶瓷电容器
- (d) 玻璃和云母电容器

某些场合也使用铝电解、空气和真空介质类型。可变电容器可以是玻璃、空气或陶瓷介质结构。

#### 5.0.1.2 适用的军用规范

适用的军用规范在后面适当的条款中给出。

**5.0.2 一般定义** General definitions 电容器在额定值和设计应用方面的普通术语分述如下:

**环境温度** Ambient Temperature 物体周围介质(空气、气体、液体等)的平均的或中间的温度。

**阳极** Anode 电容器的正电极。

**电容量** Capacitance 在某一给定的外加电压下决定电容器贮存电能能力的特征参数。量度单位为法拉,微法拉或微微法拉。

**电容量允许偏差** Capacitance Tolerance 元件制造厂保证在标准(或规定)环境条件下对所规定的标称值的最大偏差(用百分比表示)。

**容抗** Capacitance Reactance 电容对交流或脉动电流呈现的阻力。量度单位为欧姆。

**电容器** Capacitor 本质上是由绝缘(介质)材料隔离的两个导电表面来组成的电子元件。电容器贮存电能,阻止直流电流而允许交流或脉动电流通过,通过的程度取决于电容量的大小和频率的高低。

**充液电容器** Capacitor liquid-Filled 充液电容器是一种其电容器芯子及其连接件不要求浸液其整个外壳容积内充满浸液的电容器(由于温度变化时液体膨胀,可以允许有容隙)。

**浸液电容器** Capacitor, liquid-Impregnated 浸液电容器是一种在箔和纸绕包内浸渍浸液,但未充满整个外壳容积的电容器。

**温度补偿电容器** Capacitor, Temperature-Compensating 温度补偿电容器是一种电容量随温度以已知的和可以预测的方式而变化的电容器。

**阴极** Cathode 电容器的负电极。

**介质 Dielectric** 电容器极板间的绝缘材料（如：空气、纸、云母、油等）。

**介质吸收 Dielectric Absorption** 由电场引起的介质体内的所有电荷不能全部回到电场去的现象叫做介质吸收，它是非理想介质的一种特性。

**介电常数 Dielectric constance** 一种介质材料的特性。该特性决定了在外加单位电压下材料每单位体积能贮存的静电能量。（即电容器以某一介质间隔于两电极间的电容量与同一电容器以真空介质代替该介质时的电容量之比。）

**介电强度 Dielectric shength** 介质单位厚度所能承受的最高电场强度。（介电强度数值的获得取决于材料的厚度和试验方法以及试验条件。）

**损耗因数 (DF) Dissipation Factor (DF)** 电阻与电抗之比，量度单位用百分比表示。

**电解质 Electrolyte** 电容器的两个电极或极板之间的导电溶解质（液体或固体），其中至少有一个电极或极板被介质薄膜覆盖。

**等效串联电阻 (ESR) Equivalent Series Resistance (ESR)** 在电容器的等效串联电路中与该电容器相串联的代替损耗的等效电阻。

**浸渍剂的燃点 Flashpoint of Impregnant** 为了产生足够的蒸气以形成可燃的混合气而必须对浸渍剂（液体或固体）加热的温度。

**阻抗 (Z) Impedance (Z)** 对交流或脉动电流流动时呈现的总阻力。量度单位为欧姆。（阻抗是电阻和容抗的矢量和，即：电压与电流的多数比。）

**浸渍料 Impregnant** 用来浸渍纸介质并填满纤维间空气隙的物质，通常为液体。（浸渍能提高复合电容器的介电强度和介电常数。）

**绝缘电阻 (IR) Insulation Resistance (IR)** 由绝缘材料隔开的两电极间的直流电阻。

**直流漏电流 (DCL) Leakage, D-C (DCL)** 对电容器施加直流电压时流过电容器数值很小的杂散直流电流。

**功率因数 (PF) Power Factor (PF)** 电阻与阻抗之比，用百分比来量度。

**品质因数 (Q) Quality Factor (Q)** 电抗与电阻之比。

**无线电干扰 Radio Interference** 不希望有的包括瞬变的会干扰电子或电子通信设备或其它电子设备工作的传导的或辐射的电干扰。

**纹波电压（或电流）Ripple Voltage (or Current)** 直流电压（或电流）的交流成分（交流成分与直流成分相比是很小的）。

**稳定性 Stability** 表征元件承受各种外界条件作用后，耐特性值或特性值参数变化的能力。

**浪涌电压（或电流）Surge Voltage (or Current)** 电路某一点上电压或电流的瞬间变化；由于电路间断瞬间引起的高电压（或大电流）。

**温度系数 (TC) Temperature Coefficient (TC)** 温度每变化 $1^{\circ}\text{C}$ 电容器电容量的相对变化量。它可以是正值、负值或零，通常用每度百万分之几来表示（ $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ ）。

### 5.0.3 美国宇航局标准元件

注：通常，电容器要接受两次绝缘电阻试验，一次试验是测定引出端与引出端之间的绝缘电阻，而另一次为测定一个或多个引出端与外壳或绝缘套管间的绝缘电阻。

对美国宇航局 (NASA) 标准元件计划的完整描述见 1.1 节概述。除了本手册以外, 该计划的主要元件还包括 MIL-STD-975 (NASA) 和 MIL-HDBK-979 (NASA)。

MIL-STD-975 (NASA) 是 NASA 设备的标准元件一览表, 其第 1 节含有标准电容器的提要。MIL-HDBK-979 (NASA) 提供优选 MIL-STD-975 (NASA) 中所列元件的有用数据的分立数据表。

这些元件根据元件类型使用两种不同的基础军用序号标记。如 CYR15 使用带有 斯拉希 (Slash) 表的基础军用规范, 元件编号为 M23269102—7011, 它表示一个在 MIL-C-23269102 中规定的具有额定电压为 100 伏、标称电容量为  $300\text{pF} \pm 2\%$ 、失效率为 S 级 ( $0.001\%/1000$  小时) 的有可靠性指标的烧结型玻璃介质电容器。而 CCR08 使用的元件编号为 CCR08CG153JP, 它表示一个具有额定电压为 100 伏、电容量为  $1500\text{pF} \pm 5\%$ 、失效率为  $0.001\%/1000$  小时的有可靠性指标的温度补偿型固定瓷介电容器。

以上仅作为例子给出, 对于实际的元件选择, 应查阅 MIL-STD-975。

#### **5.0.4 一般的元件特性**

最通用的电容器类型的一些基本特性在表 1 中描述。

#### **5.0.5 一般的参数资料**

##### **5.0.5.1 选择**

不管用途如何, 在选择满足规定要求的电容器类型之前, 设计师必须考虑各种因素, 因为电容器类型和结构种类很多, 这往往不是一项简单的任务, 特别是把标准化也作为主要内容来考虑的时候。下面列出了一些需要考虑的因素, 本节在一定基础上扼要地讨论了每种考虑, 对各类电容器的更详细的讨论分别在有关的条款中。

##### **a) 电学考虑**

电容量

允许偏差

额定电压

交流载流容量

绝缘电阻或漏电流

损耗因数或等效串联电阻

频率效应

电容量随温度的变化

电压系数

介质吸收

##### **b) 机械考虑**

尺寸大小

引出端形式

安装方式

##### **c) 环境考虑**

工作温度范围

抗潮湿性

冲击和振动

表 1 各 类 电 容 器

| 介 质               | 适用的范围                           | 电 容 量                        |                              |                                 | 直流工作电压                                                     |
|-------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                   |                                 | 范 围                          | 允许偏差                         | 2000小时寿命<br>试验后的稳定性             |                                                            |
| 玻璃                |                                 |                              |                              |                                 |                                                            |
| 固定 (CY, CYR)      | MIL-C-11272<br>MIL-C-23269 (ER) | 0.5—10000pF<br>0.5—10000pF   | 0.25PF—5%<br>0.25PF—5%       | ≤1%或0.5pF, 取较大者0.5%或0.5pF, 取较大者 | 300, 500<br>300, 500                                       |
| 可变 (PC)           | MIL-C-14409                     | 0.6—1.8pF<br>穿心1—120pF       | ...<br>...                   | 转动后的电容量变化: ≤10%                 | 750, 1250                                                  |
| 云母                |                                 |                              |                              |                                 |                                                            |
| 钮扣式 (CB)          | MIL-C-10950                     | 5—2400pF                     | ±2, ±5或±10%                  | ≤1%或0.5pF取较大者                   | 500                                                        |
| 一般用途 (CM, CMR)    | MIL-C-5<br>MIL-C-39001 (ER)     | 5—5600pF<br>5—5600pF         | ±2, ±5或±10%<br>±2, ±5或±10%   | ≤5%或1pF取较大者<br>≤1%或1pF取较大者      | 300, 500, 600<br>1200, 2500<br>300, 500, 600<br>1200, 2500 |
| 电解                |                                 |                              |                              |                                 |                                                            |
| 钽 (非固体) (CL, CLR) | MIL-C-3965<br>MIL-C-39006 (ER)  | 1.5—3500μF<br>1.5—3500μF     | ±10—15, +75%<br>±10—15, +75% | ≤25%<br>≤15%                    | 3—300<br>3—300                                             |
| 钽 (固体) (CSR)      | MIL-C-39003 (ER)                | 0.0047—330μF                 | ±10, ±20—10, +30             | ≤2%                             | 6—100                                                      |
| 氧化铝 (CU)          | MIL-C-39018                     | 0.68—12000μF                 | +50, +75                     | ≤15%                            | 7—250                                                      |
| 纸                 |                                 |                              |                              |                                 |                                                            |
| 蜡浸渍 (CPV)         | MIL-C-14157 (ER)                | 0.001—1μF                    | ±5, ±10                      | ≤5%                             | 250和500ac<br>200—600                                       |
| 金属化 (CH, CHR)     | MIL-C-18312<br>MIL-C-39022 (ER) | 0.022—50μF<br>0.022—50μF     | ±5, ±10<br>±5或±10            | ≤10%<br>≤10%                    | 50—600<br>50—400                                           |
| 纸-塑料 (CQ, CPV)    |                                 |                              |                              |                                 |                                                            |
|                   | MIL-C-19978                     | 0.1—15μF                     | ±10                          | ≤6%                             | 400—12500                                                  |
|                   | MIL-C-14157 (ER)                | 1.001—1μF                    | ±5, ±10                      | ≤5%                             | 200—600                                                    |
| 塑料                |                                 |                              |                              |                                 |                                                            |
| 聚苯乙烯 (Q, CPV)     | MIL-C-19978<br>MIL-C-14157 (ER) | 0.001—0.47μF<br>0.001—0.47μF | ±1, ±5<br>±1, ±5             | ≤6%<br>≤1%                      | 200, 400, 600<br>200, 400, 600                             |
| 聚乙稀对苯二甲酸 (CQ)     | MIL-C-19978                     | 0.001—10μF                   | ±2, ±5                       | ≤6%                             | 30—1000                                                    |
| 陶瓷                |                                 |                              |                              |                                 |                                                            |
| 固定一般用途 (CK, CKR)  | MIL-C-11015<br>MIL-C-39014 (ER) | 2.2—15000pF<br>10—100000pF   | ±10, ±20<br>±10, ±20         | ≤20%<br>≤20%                    | 50—1600<br>50—1600                                         |
| 温度补偿 (CC)         | MIL-C-20                        | 0.5—470pF                    | 0.25pF ±1                    | ≤3%或0.5pF取较大者                   | 500                                                        |
| 可变 (CV)           | MIL-C-81                        | 0.5—7pF穿心<br>7—45pF          | ±2, ±10<br>...               | ≤5%或0.5pF, 取较大者                 | 500                                                        |
| 空气                |                                 |                              |                              |                                 |                                                            |
| 可变 (CT)           | MIL-C-92                        | 1.3—6pF, 穿心<br>9.3—143pF     | ...                          | 无变化                             | 50—700                                                     |

注: 上面所列的每种元件仅供参考, 不作

# 的基本特性

| 温 度                            |                                         | 等量的<br>电容电<br>压额定<br>值的相<br>对成本 | 相对尺寸               |                        | 损耗因基 (%) |                                                         |        |
|--------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------|----------|---------------------------------------------------------|--------|
| 工作温度                           | 温度系数<br>(%或ppm/°C)                      |                                 | 变化时                | 等量的<br>电容电<br>压额定<br>值 | 60Hz     | 1000Hz                                                  | 1MHz   |
| -55°C—+125°C                   | 140±25或105±25                           | 中                               | CV <sup>2</sup>    | 大                      | ...      | <.001                                                   | ...    |
| -55°C—+125°C                   | 140±25或105±25                           | 中                               | CV <sup>2</sup>    | 大                      | ...      | <.001                                                   | ...    |
| -55°C—+125°C<br>或+150°C        | ±100, ±50, 和+50, -0                     | 中高                              | C                  | 大                      | ...      | ...                                                     | ...    |
| -55°C—+85°C或<br>+150°C         | ±100和不规定                                | 中高                              | CV <sup>2</sup>    | 大                      | ...      | <0.008                                                  | <0.036 |
| -55°C—+150°C                   | 0—+70, -20—+100,<br>±100, ±200和不规定      | 中低                              | CV <sup>2</sup>    | 大                      | ...      | <0.1                                                    | <1.000 |
| -55°C—+150°C                   | 0—+70, -20—+100,<br>±100, ±200和不规定      | 中低                              | CV <sup>2</sup>    | 大                      | ...      | <0.1                                                    | <1.000 |
| -55°C—+85°C或<br>+125°C         | -55°C时, 电容量降低<br>12%—50%                | 高                               | CV                 | 很小                     | ...      | 120Hz时随C和V<br>变化, 10%—32%,<br>120Hz时随C和V<br>变化, 10%—32% | ...    |
| -55°C—+125°C                   | -55°C时, 电容量降低<br>12%—50%                | 高                               | CV                 | 很小                     | ...      | 120Hz时随V变化,<br>3%—8%<br>120Hz时随C和V变<br>化, 10%—35%       | ...    |
| -55°C—+85°C                    | -55°C时, 电容量最大降<br>低10%                  | 中                               | CV                 | 很小                     | ...      | ...                                                     | ...    |
| -40°C—+85°C<br>或减额—+125°C      | ...                                     | 中                               | CV                 | 很小                     | ...      | ...                                                     | ...    |
| -65°C—+125°C                   | -55°C时电容量变化<br><+2%, -10%               | 中                               | CV <sup>2</sup>    | 小                      | ...      | <0.6                                                    | 较大     |
| -55°C—+85°C                    | -55°C时电容量下降<15%                         | 中                               | CV <sup>2</sup>    | 小小                     | ...      | <1.25                                                   | 较大     |
| -65°C—+85°C<br>或+125°C         | -55°C时电容量下降<10%                         | 中                               | CV <sup>2</sup>    | 小小                     | ...      | <1                                                      | 较大     |
| -85°C—+85°C<br>或+125°C         | -55°C时电容量下降<10%                         | 高                               | CV <sup>2</sup>    | 大                      | <0.1     | <0.1                                                    | 较大     |
| -65°C—+125°C                   | -55°C时电容量变化<br><+2%, -10%               | 中                               | CV <sup>2</sup>    | 小                      | ...      | <0.6                                                    | ...    |
| -65°C—+85°C                    | -120±50                                 | 高                               | CV <sup>2</sup>    | 中大                     | <0.1     | <0.1                                                    | ...    |
| -65°C—+65°C                    | -55°C时电容量变化<br><+2%, -10%               | 高                               | CV <sup>2</sup>    | 中大                     | ...      | <0.1                                                    | ...    |
| -65°C—+85°C                    | -120±50                                 | 高                               | CV <sup>2</sup>    | 小                      | <0.6     | <0.6                                                    | ...    |
| -55°C—+85°C<br>+125°C, +150°C  | -55°C时电容量变化<br><+30%, -80%              | 很低                              | CV <sup>2</sup> +K | 小                      | ...      | <2.5                                                    | <2.5   |
| -55°C—+85°C,<br>+125°C, +150°C | -55°C时电容量变化<br><+30%, -80%+100—<br>-750 | 很低                              | CV <sup>2</sup> +K | 小                      | ...      | <2.5                                                    | <2.5   |
| -55°C—+150°C                   | -55°C时电容量变化<br><-4.5%, +2%              | 很低                              | CV <sup>2</sup> +K | 小                      | ...      | ...                                                     | <0.2   |
| -55°C—+85°C                    | ...                                     | 中低                              | CV <sup>2</sup> +K | 大                      | ...      | ...                                                     | ...    |
| -55—+85°C                      | -55°C时电容量变化<1%                          | 中                               | CV                 | 大                      | ...      | ...                                                     | ...    |

为选择元件的依据。选择元件请使用MIL-STD-975。

高度

辐射

d) **可靠性考虑**

失效率

失效模型

稳定性

寿命

e) **经济考虑**

元件成本

非标准元件的合理性成本

样本费用

试验费用

同用户谈判的费用

上面所列顺序不一定作为各组重要性的优先顺序,对于保证与技术规范或与性能参数相一致来说,它们每一项都是重要的。

**5.0.5.2 经济考虑**

假若有大量的电容器可供选用,通常应该首先选用标准元件,这在某种意义上说可以节约开支,但这并不是说一点也不选用价格合理的非标准元件。

表1是电容器的近似价格表,仅可用来比较不同型式电容器的价格。

**5.0.5.3 电学考虑**

**电容量及其允许偏差** 在选择电容器时,通常要求提供电容量的起始额定值。玻璃、云母和陶瓷型式的电容量低(约达5000pF),纸、塑料和某些陶瓷型式的电容量居中(大约0.005到1.0 $\mu$ F),通常电解电容器的电容量大(大于等于1.0 $\mu$ F)。这是一般的分组法,实际上相当一部分电容器的电容量是相衔接的。

从广义的范围来说,电容量允许偏差百分比直接与绝对电容量成正比。玻璃和云母电容器容易做到小于 $\pm 1\%$ 或更小的允许偏差;管型纸或塑料电容器通常在 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 范围内,而电解电容器根据类型通常在 $\pm 10\%$ 以上的范围。

图1指出了常用电容器类型的大概范围。

**额定电压** 图2表示了对不同介质有用的直流额定电压的典型范围。由于考虑到可靠性减额以及在使用中可能发生浪涌或瞬变电压的因素,选择足够高的额定电压的电容器是必要的。

选择高压电容器(1000伏以上)必须特别小心,并必须考虑电晕的影响。电晕除了产生可以损坏设备性能的寄生信号以外,电晕击穿还会导致电容器介质损坏和引起最后的击穿。电晕是由于在介质/电极层中存在空隙而发生的,因此,要考虑由于局部过热所引起的介质损坏;根据介质的类型和产生的电晕情况,整个的介质击穿可以在几秒钟之内或在工作几千小时以后发生。在交流或脉动条件下,电晕特别容易发生。

**交流额定值** 电容器在交流条件下工作要考虑三个重要因素:

(a) 元件的额定直流电压

(b) 由于 $I^2R$ 损耗而产生的内部温升

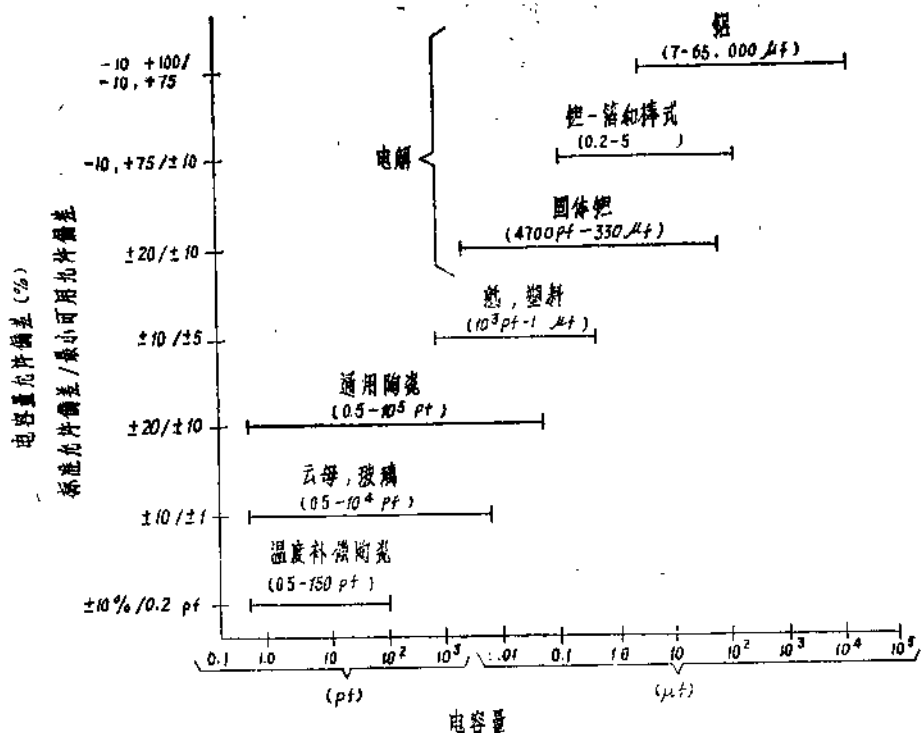


图 1 电容量及其允许偏差与介质的关系

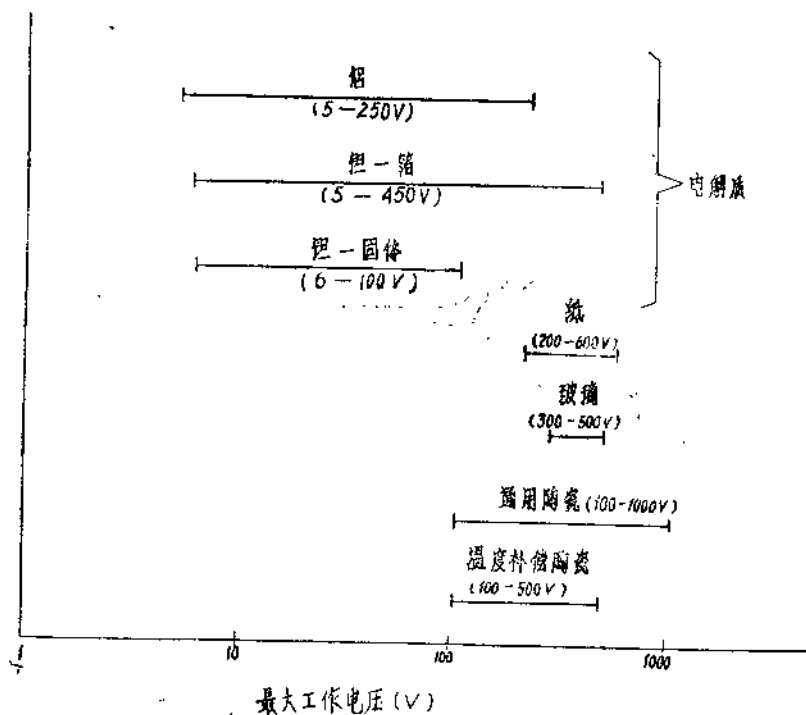


图 2 最大工作电压与介质的关系

### (c) 电晕起始电平

除非特别规定将所考虑的电容器用于交流，否则应调查元件的交流极限。在任何情况下，外加电压的峰值应不超过元件的额定直流电压值。此外，元件内部热损失的温升而引起的全部温升(环境温度加热点温度)应不超过元件的最大额定温度。由于结构和损耗因数不同，不同类型电容器的载流能力变化很宽，但许多制造厂使用的经验要求将外壳温升限制在 $10^{\circ}\text{C}$ 内。

电晕能在相当低的交流电平下产生，如对非浸渍型聚酯薄膜电容器的试验表明，电晕的起始峰值电压为250伏。

**绝缘电阻** 对普通介质的电容器，绝缘电阻(IR)用兆欧姆或兆欧姆—微法拉表示，而对电解电容器通常以微安级的漏电流来表示。在定时和耦合应用中，或者在分压动作发生的地方该参数的影响是主要的。漏电流随温度增加，图3表示不同介质材料的典型比较值。

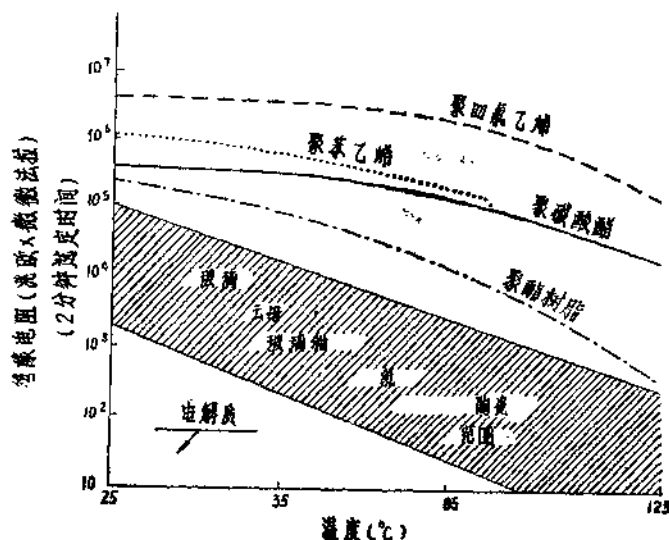


图 3 绝缘电阻与温度的典型关系

**损耗因数 (DF) 或等效串联电阻 (ESR)** 损耗因数是电容量、等效串联电阻和频率的函数。除非另有规定，损耗因数应在下列频率下测量：

容量小于 $1000\text{pF}$ — $1\text{mHz}$

容量等于 $1000\text{pF}$ 但小于 $1.0\mu\text{F}$ — $1\text{kHz}$

容量等于和大于 $1.0\mu\text{F}$ （不是电解）— $60\text{Hz}$

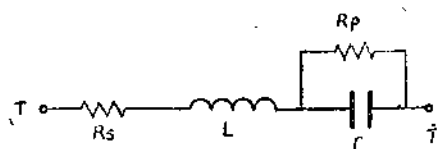
电解电容器— $120\text{Hz}$

损耗因数 (DF) 随温度的变化较大，特别是陶瓷电容器和电解电容器。

**频率效应** 实际上所有电容器的基本参数的计算公式都含有频率一项。电容器的大多数特性都在某种程度上受频率的影响，所有电容器都有一些与它们的电极相联系电感，因此，在某些频率下电容器将会出现谐振。

电容器的简化等效电路如图4所示，图中，所有的分布参数均表示为“集中”值。

在直流或低频条件下， $R_s$ 和 $L$ 与 $C$ 和 $R_p$ 相比可以忽略。随着频率的增加，尤其是到兆



$R_s$  = 等效串联电阻 ( $\Omega$ )       $L$  = 电感 (H)       $C$  = 电容量 (F)

$R_p$  = 并联(绝缘)电阻 ( $\Omega$ )

图4 电容器的等效电路

赫芝范围,  $R_s$ 和 $L$ 两者都随之增加。 $R_s$ 的增加是由于在高频条件下(电流企图仅以金属导体的外表面)通过的“集肤效应”引起的,其结果就表现为导体的阻值增加。 $L$ 的增加是由于交流电流在引线、电极和引出端中流动,从而在其周围产生与频率成正比的磁场引起的。

由于大多数材料的介电常数随频率变化,电容量也要受频率的影响。

对阻抗公式的进一步分析表明:当频率增加时, $X_c$ 的值减小而 $X_L$ 的值则增加,显然,这表明  $(X_c - X_L)^2$ 项将随频率增加而减小直到在某个频率时,  $(X_c - X_L)^2$ 项等于零并消失为止,那时,  $Z = R_s$ , 电容器将出现谐振,这就是电容器对电路呈现纯电阻时的谐振点。

由此得出,如果电容器在高于它的谐振频率下工作,它对电路已不再是一个电容器而成为一个电感器了。

由于频率影响到如此多的变量,因此无法在这里提出比较值,作为对不同类型电容器的频率应用一般范围的指南,图5作为基本的近似使用。对要最后确定任何特殊应用,则应进

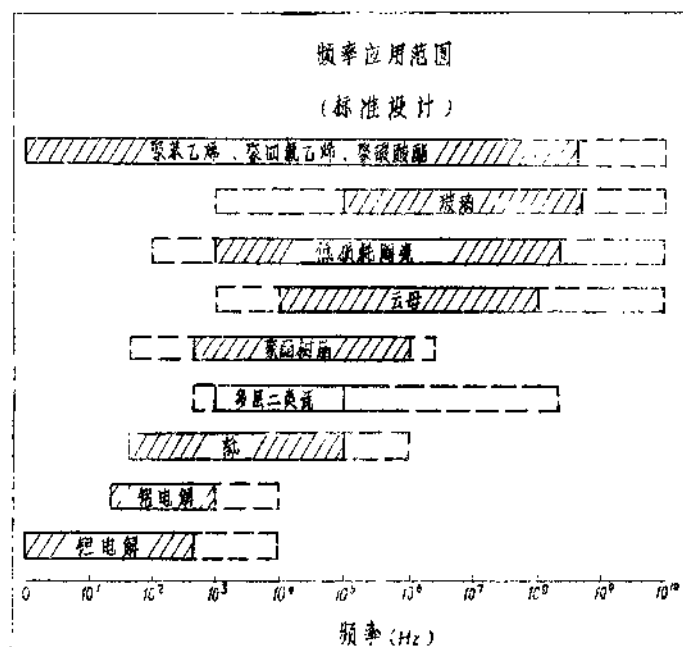


图5 频率应用范围 (标准设计)