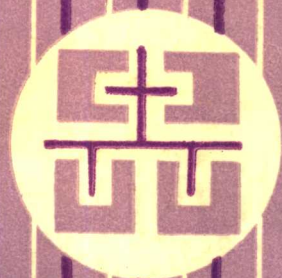


计算机辅助测试

郑叔芳
编著



航空工业出版社

计 算 机 辅 助 测 试

郑叔芳 编著

航空工业出版社

1992

(京)新登字 161 号

内 容 简 介

本书提出计算机辅助测试 (CAT) 系统的三种基本模型, 系统论述 CAT 系统的三个基本组成部分: 硬件、软件、数学模型, 深入论述 CAT 的三项基本理论: 可测试性理论、测试确定性理论、测试可靠性理论。本书注重理论与实践的结合, 结合作者多项科研实践, 从具体实例抽象一般理论, 再阐述理论在实践中的应用。本书适用于从事计算机应用的高年级大学生、研究生以及同等水平的科技人员。

计 算 机 辅 助 测 试

郑叔芳 编著

航空工业出版社出版发行
(北京市安定门外小关东里 14 号)

— 邮政编码: 100029 —

全国各地新华书店经售
南京航空学院印刷厂印刷

1992 年 4 月第 1 版 1992 年 4 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14

印数: 1—3000 字数: 349 千字

ISBN 7-80046-391-5/TP·026

定价: 4.10 元

前 言

质量问题是我国经济建设中一项主要问题。作者从 50 年代末开始从事飞机制造质量的科研与生产实践。70 年代初微计算机诞生, 作者认识到计算机辅助测试是提高生产质量的有效而现实的手段, 70 年代中期以来主要从事 CAT 的科研工作, 迄今取得二十余项成果, 其中绝大部分用于生产。在这过程中作者阅读了大量的国内外有关文献。本书是对这些间接经验和作者本人直接经验的理论抽象与提高。其内容曾多次用于研究生、高年级本科生教学及工程技术人员讲座, 三次印成讲义, 逐步形成本书的理论体系。

本书内容按实践—理论—实践的体系进行组织安排。

在第一章中从三个典型 CAT 系统 (§ 1. 2) 抽象出 CAT 系统典型框图和基本模型 (§ 1. 3), 提出 CAT 的主要理论技术问题 (§ 1. 3)。

第二、三、四章系统论述 CAT 系统的三个基本组成部分:

1. 硬件, 体系结构, 数字式传感器, 数据采集与变换, 接口;
2. 软件, 测试程序语言, 测试数据结构和压缩, 测试程序库;
3. 数学模型, 测试量的静态和动态的、确定和随机的模型以及模糊模型。

第五、六、七章深入论述 CAT 的三项基本理论:

1. 可测试性理论, 概念及指标, 数字系统、模拟系统和模糊系统的测试集设计;
2. 测试确定性理论, 测试数据的检验, 测试误差的处理与综合, 判决理论, 静态和动态估值理论;
3. 测试可靠性理论, 概念和指标, 可靠性计算, 降额与筛选, 容错测试, 自检技术, 抗干扰技术。

本书承王厚枢教授、冯国华副教授审阅全文并提出宝贵意见, 范玉莲同志为书稿付出大量劳动, 作者谨向他们、向作者科研实践中近百位合作者、向对作者的科研实践和本书的出版给予指导、支持、关怀并付出辛劳的领导和同志们致以深切的谢意。

作 者

符 号

A_i ——第 i 位地址码；尺寸链中第 i 个组成环的传递系数。

$A(f)$ ——幅频特性， f 为频率。

$A(\omega)$ ——幅频特性， ω 为角频率。

$\tilde{A}$ ——以 A 为名的模糊集。

ASCII——*American Standard Code for Information Interchange* 美国信息交换标准码的缩写。

ASYNCR——*Asynchronous* 异步的缩写。

BCD——*Binary Coded Decimal* 二进制编码的十进制数的缩写。

$Cov(x, y)$ ——随机变量 x 和 y 的协方差。

$$Cov(x, y) = E\{[x - E(x)][y - E(y)]\}$$

$d(\tilde{A}, \tilde{B})$ ——模糊集 $\tilde{A}$ 与 $\tilde{B}$ 的海明距离。

D_i ——第 i 位数据码。

$D[x]$ 、 D_x ——随机变量 x 的方差。

$E[x]$ 、 $Exp[x]$ ——随机变量 x 的数学期望或均值。

f ——频率，单位 Hz 赫兹，即次/秒。

f_c ——截止频率。

$\mathcal{F}[\]$ —— $[\]$ 中函数的傅里哀变换式。

$\mathcal{F}^{-1}[\]$ —— $[\]$ 中傅里哀变换式的反变换。

$h(t)$ ——连续系统的冲激响应。

$h(n)$ ——离散系统的冲激响应， n 为 nT 的简写，令 $T=1$ 。

$H(s)$ ——系统的传递函数。

$H(f)$ 、 $H(\omega)$ 、 $H(j\omega)$ ——系统的频率特性。

$H(z)$ ——系统的冲激传递函数。

k ——随机误差的相对分布系数， $k=3\sigma/\omega$

$\mathcal{L}[\]$ —— $[\]$ 中函数的拉普拉斯变换式。

$\mathcal{L}^{-1}[\]$ —— $[\]$ 中拉普拉斯变换式的反变换。

$\mathcal{L}_i[\]$ —— $[\]$ 中函数的滑动单边拉普拉斯

变换(*Running Leftside Laplace Transform*)，简称 RLL 变换。

MTBF——*Mean Time Between Failure* 平均故障间隔时间。

MTTF——*Mean Time To Failure* 平均无故障时间。

MTTR——*Mean Time To Repair* 平均修理时间。

NID(a, b)——均值为 a 、均方差为 b 的正态分布。

p ——算子 $\frac{d}{dt}$ 。

$p(x)$ ——随机变量的概率密度函数。

$p(x, t)$ ——动态随机变量即随机过程的概率密度函数。

$P[\]$ —— $[\]$ 中事件的概率。

Q ——故障率。

R ——可靠率。

$\tilde{R}$ ——模糊矩阵。

R^c ——集合 R 的余集。

R^{-1} ——矩阵 R 的逆矩阵。

R^T ——矩阵 R 的转置矩阵。

s ——复变量， $s=\sigma+j\omega$

SGN($\)$ —— $(\)$ 中表达式的符号值。

SYNC——*Synchronous* 同步的缩写。

$u(t)$ ——连续系统的输入信号。

$u(n)$ ——离散系统的输入信号；时间序列 $\{u(n), -\infty < n < \infty\}$ 的简写。

$U(s)$ ——输入信号的拉普拉斯变换式。

$U(z)$ ——输入信号的 Z 变换式。

$U(f)$ 、 $U(\omega)$ ——输入信号的傅里哀变换式。

$W(t)$ ——连续窗口函数。

$W(n)$ ——离散窗口函数。

$\bar{x}$ ——随机变量 x 的均值。

$y(t)$ ——连续系统的输出信号。

$y(n)$ —— 离散系统的输出信号。
 $Y(s)$ —— 输出信号的拉普拉斯变换式。
 $Y(z)$ —— 输出信号的 z 变换式。
 $Y(f)$ 、 $Y(\omega)$ —— 输出信号的傅里哀变换式。
 z —— 算子, $z = e^s$ 。
 $Z[\]$ —— 式中函数的 Z 变换式。
 α —— 显著度; 随机误差的相对不对称系数,
 $\alpha = (\bar{\Delta} - \Delta_0) / \omega$
 Δ_i —— 第 i 个组成环的误差。
 Δ_s —— 闭环的误差。
 $\bar{\Delta}$ —— 误差 Δ 的均值。
 Δ_0 —— 误差 Δ 的分布带中点。
 $\delta(t)$ —— 连续系统的单位冲激函数。
 $\delta(n)$ —— 离散系统的单位冲激函数。
 ϵ_t —— 白噪声。
 λ —— 失效率。
 μ —— 数学期望或均值。
 $\mu_A(x)$ —— x 对模糊子集 A 的隶属度。
 $\rho_{x,y}$ —— 随机变量 x 与 y 的相关系数,

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sqrt{D(x)} \sqrt{D(y)}}$$
 $\sigma(x)$, σ_x —— 随机变量 x 的均方差。
 $\phi(f)$, $\phi(\omega)$ —— 相频特性。
 ϕ_{xx} —— 随机过程 $x(t)$ 的自相关函数。

$$\phi_{xx} = E[x(t)x(t+\tau)]$$

ϕ_{xy} —— 随机过程 $x(t)$ 与 $y(t)$ 的互相关函数,

$$\phi_{xy} = E[x(t)y(t+\tau)]$$
 Φ_{xx} —— 随机过程 $x(t)$ 的自功率谱密度函数,

$$\Phi_{xx} = \mathcal{F}[\phi_{xx}]$$
 Φ_{xy} —— 随机过程 $x(t)$ 与 $y(t)$ 的互功率谱密度函数,

$$\Phi_{xy} = \mathcal{F}[\phi_{xy}]$$
 ω —— 角频率, 单位弧度/秒;

$$\omega = 2\pi f$$
 随机误差分布带之半。
 ω_c —— 截止频率。
 ω_s —— 阻带始点频率。
 $\frac{dF}{du_i}$ —— 布尔函数 F 对布尔变量 u_i 的一阶布尔差分。
 $\frac{d^2F}{du_i du_j}$ —— 布尔函数 F 对布尔变量 u_i 、 u_j 的二阶布尔差分。
 $A \cup B$ —— 子集 A 与 B 的并集。
 $A \cap B$ —— 子集 A 与 B 的交集。
 $A \supseteq B$ —— A 包含 B 。
 $\vee$ 、 $+$ —— 逻辑或。
 $\wedge$ 、 $\cdot$ —— 逻辑与。
 ∇ 、 $\oplus$ —— 逻辑异或。

目 录

第一章 概论	(1)
§ 1. 1 意义与应用	(1)
§ 1. 2 典型 CAT 系统	(2)
一、 航空电缆微机自动检测系统	(2)
二、 三坐标测量机	(7)
三、 动态试验微机控制和数据处理系统	(10)
§ 1. 3 CAT 系统的组成和模型	(13)
一、 CAT 系统典型框图	(13)
二、 CAT 基本模型	(14)
§ 1. 4 CAT 技术理论体系	(15)
一、 主要技术指标	(15)
二、 CAT 技术与理论	(16)
三、 学科特点和学习方法	(17)
第二章 硬件	(18)
§ 2. 1 CAT 系统体系结构	(18)
一、 第一代 CAT 体系结构	(18)
二、 第二代 CAT 体系结构	(18)
三、 分布式体系结构	(19)
四、 内含式体系结构	(21)
五、 微型化体系结构	(22)
§ 2. 2 数字式传感器	(22)
一、 码盘式转角—数字转换器	(22)
二、 光栅传感器	(24)
三、 磁栅传感器	(26)
四、 感应同步器	(28)
五、 细分技术	(29)
§ 2. 3 数据采集与变换	(33)
一、 数据采集原理	(33)
二、 滤波	(37)
§ 2. 4 接口	(50)
一、 接口的功能	(50)
二、 数据传输方式	(51)
三、 CAMAC 接口	(54)

四、 IEEE—488 并行接口	(58)
五、 RS—232C 串行接口	(63)
第三章 软件	(66)
§ 3. 1 CAT 程序语言	(66)
§ 3. 2 数据结构和数据库	(70)
一、 数据结构	(70)
二、 数据库	(77)
§ 3. 3 数据压缩技术	(82)
一、 概述	(82)
二、 数据压缩方法	(84)
§ 3. 4 CAT 程序库	(90)
第四章 数学模型	(92)
§ 4. 1 概述	(92)
§ 4. 2 静态确定性模型	(92)
§ 4. 3 动态确定性模型	(93)
一、 单变量连续系统	(93)
二、 单变量离散系统	(95)
三、 多变量连续系统	(96)
四、 多变量离散系统	(97)
§ 4. 4 静态随机模型	(97)
§ 4. 5 动态随机模型	(99)
§ 4. 6 模糊集模型	(101)
第五章 可测试性与测试集	(104)
§ 5. 1 基本概念	(104)
§ 5. 2 数字系统的测试模型	(105)
一、 通路敏化法	(105)
二、 布尔差分法	(106)
三、 D 算法	(109)
§ 5. 3 模拟系统的测试模型	(112)
一、 静态模拟系统测试模型	(112)
二、 动态模拟系统测试模型	(119)
§ 5. 4 模糊系统测试模型	(124)
一、 隶属函数的确定	(124)
二、 故障诊断	(128)
第六章 测试确定性	(133)
§ 6. 1 概述	(133)

§ 6. 2	测试数据的检验	(134)
一、	测试数据的正态性检验	(134)
二、	测试数据的独立性检验	(135)
三、	测试数据的周期性检验	(135)
§ 6. 3	粗大误差处理	(136)
一、	3σ 准则	(136)
二、	肖维勒准则	(137)
三、	格罗布斯准则	(138)
四、	狄克松准则	(140)
五、	排队剔除	(141)
§ 6. 4	系统误差处理	(142)
一、	系统误差的规律	(142)
二、	系统误差的发现	(142)
三、	系统误差的消除	(145)
§ 6. 5	随机误差处理	(147)
§ 6. 6	测量误差的综合	(149)
一、	参数法	(150)
二、	分布法 (卷积法)	(152)
§ 6. 7	判决理论	(154)
一、	基本概念	(154)
二、	最大概率判决准则	(156)
三、	平均代价最小准则 (贝叶斯准则)	(157)
§ 6. 8	估值理论	(160)
一、	基本概念	(160)
二、	贝叶斯估值准则	(160)
§ 6. 9	动态估值理论	(162)
一、	概述	(162)
二、	时间序列模型的估计	(162)
三、	维纳滤波	(166)
四、	卡尔曼滤波	(167)

第七章 测试可靠性 (169)

§ 7. 1	基本概念	(169)
§ 7. 2	系统可靠性的计算	(172)
§ 7. 3	元件的降额和筛选	(175)
一、	元件的降额设计	(175)
二、	元器件的筛选	(176)
§ 7. 4	容错技术	(178)
一、	概述	(178)
二、	硬件冗余	(179)

三、 信息冗余	(181)
四、 时间冗余	(185)
§ 7. 5 自检技术	(186)
一、 自检的目的	(186)
二、 自检的技术指标	(187)
三、 自检的方法	(187)
四、 内含式自检 (BIT)	(189)
§ 7. 6 软件可靠性	(189)
§ 7. 7 抗干扰技术	(190)
一、 概念	(190)
二、 干扰的来源和种类	(190)
三、 干扰的方式	(192)
四、 抗干扰措施	(193)
五、 数字电路的噪声抑制	(195)
第八章 典型 CAT 系统设计与分析	(196)
§ 8. 1 延时熔丝管自动测试仪	(196)
一、 主要技术要求	(196)
二、 体系结构	(196)
三、 软件	(197)
§ 8. 2 动态试验微机控制和数据处理系统	(199)
一、 主要技术要求	(199)
二、 体系结构	(200)
三、 控制模型	(200)
四、 软件	(202)
实践性教学内容	(203)
参考文献	(209)

第一章 概 论

§ 1.1 意义和应用

质量是产品的生命!

测试是质量的基础!

计算机是提高测试水平的有效手段!

质量是产品的生命

产品的使用价值和交换价值首先取决于产品的质量。没有质量的产品,相当于没有生命的躯体。

因此,质量是人们生产活动最主要的技术经济指标。没有质量,生产活动的其他数量指标如产量、生产率、成本等便从根本上失去其意义。

测试是质量的基础

产品质量表现为一定的数量界限。如航空电器的绝缘电阻要求 ≥ 20 兆欧。要判断产品质量,要确定产品的质量参数是否在允许的数量界限之内,必须通过测试。

在生产过程中,有四个影响产品质量的主要环节。在这些环节中,测试起着决定性的作用:

1. 原材料、元器件的验收、筛选;
2. 工艺过程参数的监控;
3. 完成产品的检验、试验;
4. 新开发产品的试验、试用。

科学技术是不断提高产品性能和质量的决定性因素。科学技术的根本任务是认识和利用客观事物的运动规律。科学发现的两个来源都离不开测试:

1. 来源于测量、试验。如十八世纪初英国天文学家在测量太阳光的热效应时,将热探测器移到红色光以外黑暗区时,发现热效应依然存在。这一发现开拓了红外科学和紫外科学的研究领域。

2. 基于已有认识的理性推导,取得新的理性认识。但这种新的认识只有通过测试验证,才能被真正确认。爱因斯坦通过理论推导提出相对论,动摇了权威的牛顿力学。开始时有不少学者持怀疑态度。只有通过天文测量验证了相对论,才得到普遍的确认。

测试和生产、科学技术的发展是相辅相成的。测试水平的提高促进了生产和科学技术的发展。而生产又为测试技术的发展提供必需的材料、工具、设备。新的科学发现又往往是新的测试手段的根据。

计算机是提高测试水平的有效手段

随着生产和科学技术的发展,测试技术经历四个主要发展阶段:

1. 人类发展的早期阶段,完全依靠人本身器官进行测量。如用步数丈量距离、用合抱人数确定树径等。这种最原始的方法目前在生产中依旧有其应用的场合。如用人眼比较滤纸上杂质的大小和数量以判断航空液压油的清洁等级,用人耳察听翻转飞机部件中的声音以检查部件中有无异物。

2. 人工测试,由人和量具、量仪完成测试工作。量具、量仪代替人的感觉器官,获取测试信息。但人的感觉器官依旧参与测试过程。如用万能工具显微镜测量几何量,瞄准、读数是由人眼完成的。由于人的主观能动性,人工测试有较高的灵活性和适应性,设备投资小。但也是由于人的生理限制和主观影响,使测试的质量和经济性受到限制,尤其不适应高速、高精度、大数据量、恶劣环境的测试工作。

3. 自动测试,人的感觉器官和动作器官为自动测试装置所取代。在自动调节装置或程序控制装置的控制下,由传感器将被测量转换为电量,并自动显示和记录。自动测试排除人的生理限制和主观影响,提高了测试准确性、可靠性和效率。但设备投资大、通用性差、运算能力有限,主要用于大量重复性的测试任务。

4. 计算机辅助测试(*Computer Aided Test*,简称 CAT),计算机及其外部设备不仅取代人的感觉和动作功能,还取代人的思维功能。计算机在测试过程中的作用包括:

- 1) 控制测试过程;
- 2) 产生可编程激励信号,加在被测件上;
- 3) 采集响应信号,并进行预处理、变换、存储;
- 4) 数据处理,对响应信号进行各种数学逻辑运算,作出判决和估值;
- 5) 以各种方式输出测试结果;
- 6) 监控报警,对测试对象和测试系统本身进行监控,必要时可作出报警等反应;
- 7) 测试管理,建立测试档案。

CAT 系统的上述功能是由其硬件和软件共同完成的。CAT 的突出优点表现在其软件功能上:

- 1) 用软件资源提高测试准确性、可靠性、经济性,投资小,收效大,性能价格比好。
- 2) 具有柔性。在硬件不变情况下,通过改变软件可使测试系统具有不同的测试功能,用于不同的测试对象,使测试系统具有通用性,特别适用于多品种、小批量的生产。

由于 CAT 的多种功能和突出优势,在生产和科研中的应用日益广泛。目前,在我国生产中仍是有重点地应用,尚未达到普及的程度。其主要限制在于设备投资和人员素质。

CAT 的应用是多方面的,下一节介绍三种典型的应用实例。通过这些实例具体体现 CAT 的功能和优点,并由这些特殊的实例抽象出普遍性的 CAT 理论技术内容,在以后各章节中进行论述。

§ 1.2 典型 CAT 系统

一、航空电缆微机自动检测系统

航空电缆检测是航空产品总装配的关键技术之一。

检测内容主要有两个方面:

1. 导通状态检测,发现短路、断路、混线、搭壳等故障,并确定其部位;
 2. 绝缘电阻检测,要求在直流电压 500 伏下,绝缘电阻 ≥ 20 兆欧。
- 要求误检率 $<10^{-5}$ 。

航空电缆检测的传统方法是人工检测,用电灯、电铃或三用表指示两点间是否导通。这种方法存在原理性漏检。因为它只能发现“该通而不通”的故障,不能发现“不该通而通”的故障。再加上多次重复简单操作,存在一定误检率。误检率约 10^{-3} 。电缆故障严重影响航空产品的质量和安全,有时导致重大事故,对经济效益影响也很大。另外,人工检测效率很低,工人心理负担较重。

以后改进用程控、数控方法,以硬逻辑实现自动检测,解决了人工检测的漏检、误检问题。但出现新的矛盾,即电缆的多样性多变性和硬逻辑专用性之间的矛盾。一旦电缆图纸变动,硬逻辑也要变动,很不方便。且一种电缆需一套设备,投资太大。

采用 CAT 是克服上述问题的有效方案。

以图 1.1 所示电缆为例说明导通状态检测的原理。该电缆由 8 个接点 4 条导线组成。

先在 1 点加 TTL 高电平,则 8 个点上的电平响应可用 1×8 矩阵表示:

$$[1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]$$

其中列序号为点号,1 代表高电平,0 代表低电平。

当 1 点和 6 点的连线断路时,电平响应为

$$[1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

当 5 点和 6 点之间短路时,电平响应为

$$[1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]$$

当 1、2、5、6 诸点连线连接错误,发生混线故障,如图中虚线所示时,电平响应为

$$[1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

可见,比较电平响应,即可判断有无故障,并确定故障的性质和部位。

在 1 点加高电平并比较电平响应后,再依次在 2, 3, ..., 8 点上加高电平比较电平响应,可实现对整根电缆的导通状态检测。

在各点上所加高电平称为激励信号。上述电缆的激励信号可以用下列激励矩阵表示:

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = I \quad (1.1)$$

矩阵的行号为检测次数,列号为点号。可见,电缆检测的激励矩阵为一单位矩阵。

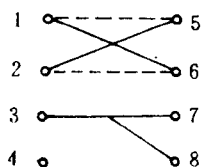


图 1.1 电缆

电缆的导通状态可以用下列矩阵表示：

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

矩阵的行号表示点号，列号表示该点所连的点号，1 代表相连，0 代表不连。此矩阵称为电缆的状态矩阵。

将激励矩阵加在被测电缆上，所得响应信号可用矩阵 Y 表示，而

$$Y = UX$$

矩阵 Y 称为响应矩阵，其行号表示检测次数，列号表示点号，1 代表高电平，0 代表低电平。

当电缆导通状态正确时，其响应矩阵为

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

当 1 点和 6 点断路时，响应矩阵应为

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

当 5 点和 6 点间短路时，响应矩阵为

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

当 1、2、5、6 诸点混线如图 1.1 中虚线所示时,响应矩阵为

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

可见,将实际响应矩阵与标准响应矩阵比较,即可判断有无故障、故障的性质和部位。

实现上述检测原理的硬件系统框图如图 1.2 所示。微计算机通过接口 1、译码,确定在哪个点上加激励高电平,经检测电路、转接器加在被测电缆上。

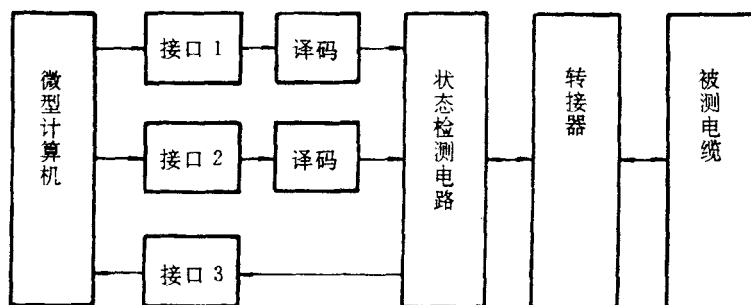


图 1.2 导通状态检测系统框图

通过接口 2、译码器确定响应信号的组号。因为微计算机一次只能取回一定位数的响应信号。位数取决于微计算机的位数 n 。当电缆点数超过此位数时(飞机电缆可多达 2000 点以上),响应信号需分组取回,每组 n 位。接口 2 输出的是响应组号,经译码后加在状态检测线路上。该组的响应电平经接口 3 输入微计算机,由程序判断故障情况。

导通状态检测程序流程图如图 1.3 所示。

启动系统后,打印机先打印出检测报告的表首,包括日期、电缆图号等,它可由用户自行设计。对首点加激励高电平,逐组取回响应电平,并与标准状态比较。如不相同,判断故障性质和部位后,将故障打印出来。如相同,表示无故障,转入下一组。对所有点加激励高电平并比较判故后,检查有无打印故障,如未打印过任何故障,表示电缆合格,即打印出“合格”标记和表尾,检测结束。

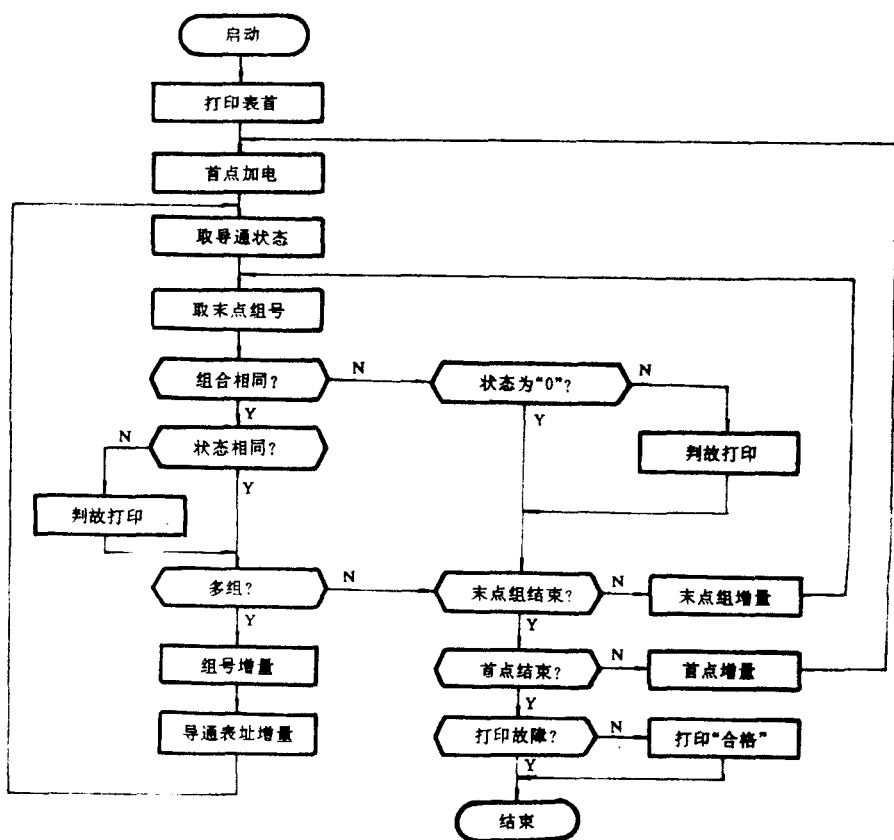


图 1.3 导通状态检测程序流程图

绝缘电阻测量原理如图 1.4 所示。吸合被测点的继电器，其动点与常开点接通，如图中 01H 点继电器的虚线。此时 500 伏电压经 01H 点继电器的动点、常开点加在 01H 点上，再经 01H 点与其他各点之间的绝缘电阻 R 、限流电阻 R_1 、取样电阻 R_2 ，通到地。显见，在 R_2 上的电压降为

$$V = \frac{500R_2}{R + R_1 + R_2}$$

故

$$R = \frac{500R_2}{V} - R_1 - R_2 \quad (1.7)$$

即可由电压 V 求得绝缘电阻 R 。

绝缘电阻检测系统框图如图 1.5 所示。微型计算机在程序控制下，通过接口和选点逻辑选中被测试点，使该点继电器工作，该点与测试电压 500 伏接通，如图 1.4 所示。 R_2 上的电压 V 经 A/D 转换后由接口送入微机，由程序进行计算处理，判断是否 ≥ 20 兆欧。

绝缘电阻检测程序流程图如图 1.6 所示。取点号后，先判断是单点还是双点。双点是指互相短接的两个点。测双点的绝缘电阻时，应将此两点同时选中，再取 R_2 上的电压。否则，绝缘电阻将为零。采样得电压 V 后，判断是否 ≥ 20 兆欧。如否，则打印故障。如未打印过故障，则在

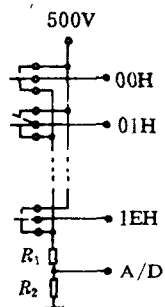


图 1.4 绝缘电阻测量原理

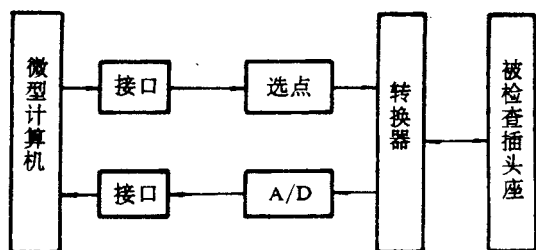


图 1.5 绝缘电阻检测系统框图

最后打印合格。

导通状态测试的主要关键是可靠性,以保证低的误检率。主要措施是自检和容错。自检的目的是确保系统本身无故障。容错的目的是在系统发生错误或外界干扰情况下保证检测结果正确无误。采取这些措施后,达到了 10^{-5} 的误检率指标。一套运行四年的系统已检测 10^6 次,尚未发生误检。

绝缘电阻检测的主要关键是抗干扰和测量精度问题。

干扰表现为选点时,不该选中的点被选中。

干扰的来源有:

- 1) 供电电网中较大负荷的接通和断开;
- 2) 系统电源的开关;
- 3) 继电器的吸合和释放。

绝缘电阻测量公差为 $\pm 2M\Omega$,但由于电缆绝缘电阻与 CAT 系统本身的绝缘电阻互相并联,实际测量精度要求更高。如系统绝缘电阻为 $10M\Omega$ 时,测量公差应为 $\pm 0.24M\Omega$ 。

影响测量精度的因素及其措施是:

1. 系统绝缘电阻的影响

检测所得电阻值为系统绝缘电阻与电缆绝缘电阻的并联值,而系统绝缘电阻又随大气条件而变化。

在采用计算机的情况下,可对系统绝缘电阻进行自检,然后自动补偿。

2. 采样精度

测试电压加在被测电阻上后,由于电路不是由纯电阻组成,取样电阻 R_2 上的电压随时间而变。试验表明,此电压为一非平稳随机过程。应用数理统计方法进行数据处理,保证了测量精度。具体方法有多种。

3. 参数优化

为了提高测量精度,希望 $\left(\frac{dV}{dR}\right)_{R=20M}$ 为最大值。根据此条件确定 R_1 和 R_2 的最优值。

二、三坐标测量机

三坐标测量机(图 1.7)是一种先进的几何量测量设备,可在一定空间范围内对多种三维

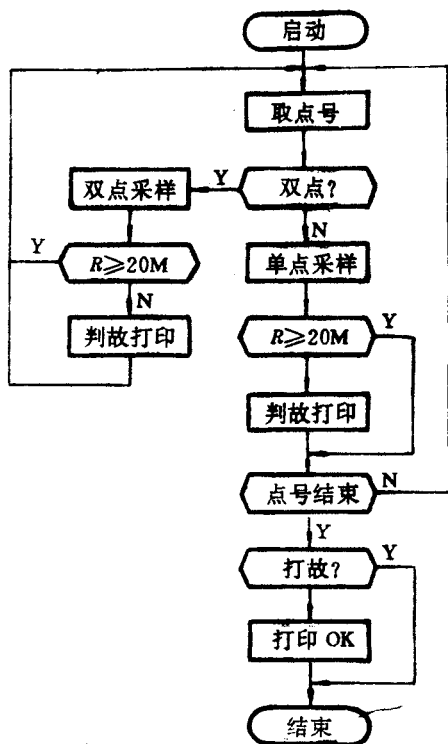


图 1.6 绝缘电阻检测程序流程图