

电子计算机应用系列教材

计算机辅助测试

原理与发展

郑叔芳 编著

科学出版社

1993

(京) 新登字 092 号

内 容 简 介

本书是电子计算机应用系列教材之一,重点介绍计算机辅助测试(CAT)的基本理论和CAT系统的三个基本组成部分(硬件、软件和数学模型),以及CAT的发展情况.本书从概论开始,逐章介绍计算机辅助测试专用的硬件和软件,CAT数学模型,系统的可测性、确定性和可靠性,典型CAT系统的设计与分析,最后介绍CAT的发展情况.

本书取材新颖,内容编排合理,结构完整,不仅有基础理论的阐述,而且将多种学科的知识,如FFT、数字信号处理、现代控制理论、失效率与可靠性等有机地结合在一起.

本书不仅可作研究生、高等院校高年级学生的教材,也可供从事计算机应用的科技人员阅读.

电子计算机应用系列教材

计算机辅助测试

原理与发展

郑叔芳 编著

责任编辑 唐正必

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

北京市怀柔县黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1993年2月第一版 开本: 787×1092 1/16

1993年2月第一次印刷 印张: 13

印数: 1—3400 字数: 290 000

ISBN 7-03-001613-0/TP·118

定价: 10.60 元

前 言

计算机辅助测试 (Computer Aided Test, 简称 CAT) 是一门新兴的综合性学科, 它所涉及的范围, 除了微型计算机和测试技术外, 还有数字信号处理、可靠性及现代控制理论等. 我国对 CAT 理论的研究已有很大的发展, 而且在科研、生产中的应用十分广泛. 但目前尚未确立公认的理论体系, 也未发现系统地论述 CAT 理论和技术的著作. 作者在十余年从事 CAT 科研与教学工作的基础上编著了本书, 书中对 CAT 的理论和技术的进行了系统的论述. 希望本书有助于 CAT 技术的进一步发展, 有利于 CAT 理论体系的建立.

本书采用特殊—普遍—特殊的论述方法. 首先介绍三种特殊的 CAT 系统, 并论述系统的基本组成和基本理论. 接着论述 CAT 系统三个基本组成部分——硬件、软件和数学模型; 较深入地论述 CAT 的三个基本理论问题——可测试性、测试确定性和测试可靠性, 以及两种特殊 CAT 系统的设计和调试, 最后介绍 CAT 的发展情况.

本书可供从事计算机应用的科技人员阅读, 也可作研究生和高等院校高年级学生的教材.

阅读本书的主要选修课有概率论及随机过程, 经典和现代控制理论, 测试技术, 计算机原理及算法语言等.

武汉大学陈莘萌教授、武汉水运工程学院刘国靖教授、湖北省经委林茂荃高级工程师审阅了本书的编写提纲, 南京航空学院王厚枢教授审阅了全稿, 他们对本书的撰写均给予热情支持, 并提出了宝贵意见, 作者谨向他们致以深切的谢意.

序

当代新技术革命的蓬勃发展,带来社会生产力新的飞跃,引起整个社会的巨大变革.电子计算机技术是新技术革命中最活跃的核心技术,在工农业生产、流通领域、国防建设和科学研究方面得到越来越广泛的应用.

党的十一届三中全会以来,我国计算机应用事业的发展是相当迅速的.到目前为止,全国装机量已突破三十万台,十六位以下微型计算机开始形成产业和市场规模,全国从事计算机科研、开发、生产、应用、经营、服务和教学的科技人员已达十多万人,与1980年相比,增长了近八倍.他们在工业、农业、商业、城建、金融、科技、文教、卫生、公安等广阔的领域中积极开发应用计算机技术,取得了优异的成绩,创造了显著的经济效益和社会效益,为开拓计算机应用的新局面作出了重要贡献.实践证明,人才是计算机开发应用的中心环节.我们必须把计算机应用人才的开发与培养放在计算机应用事业的首位,要坚持不懈地抓住人才培养这个关键.

从目前来看,我国计算机应用人才队伍虽然有了很大的发展,但是这支队伍的数量和质量还远不适应计算机应用事业发展的客观需要,复合型人才的培养与教育还没有走上规范化、制度化轨道,教材建设仍显薄弱,培训质量不高.因此,在国务院电子信息系统推广应用办公室领导、支持下,全国三十五个省、市、自治区、计划单列市计算机应用主管部门共同组织 118 所大学和科研单位的 400 多位专家、教授编写了全国第一部《电子计算机应用人才培训大纲》以及与之配套使用的电子计算机应用系列教材,在人才培训和开发方面做了一件很有意义的工作,对实现培训工作规范化、制度化将起到很好的推动作用.

《电子计算机应用人才培训大纲》和电子计算机应用系列教材贯穿了从应用出发、为应用服务,大力培养高质量、多层次、复合型应用人才这样一条主线.大纲总结了近几年各地计算机技术培训正反两方面的经验,提出了计算机应用人才的层次结构、不同层次人才的素质要求和培养途径,制定了一套必须遵循的层次化培训办学规范,编制了适应办学规范的“课程教学大纲”.这部大纲为各地方、各部门、各单位制定人才培养规划和工作计划提供了原则依据,为科技人员、管理人员以及其他人员学习计算机技术指出了努力方向和步骤,为社会提供了考核计算机应用人才的客观尺度.“电子计算机应用系列教材”是培训大纲在教学内容上的展开与体现,是我国目前规模最大的一套计算机应用教材.教材的体系为树型结构,模块化与系统性、连贯性、完整性相兼容,教学内容注重实用性、工程性、科学性,并具有简明清晰、通俗易懂、方便教学、易于自学等特点,是一套很好的系列教材.

这部大纲和系列教材的诞生是各方面团结合作、群策群力的结果、它的公开出版和发行,对计算机应用人才的培训工作将起到积极的推动作用.希望全国各地区、各部门、各单位广泛运用这套系列教材,发挥它应有的作用,并在实践中检验、修改、补充和完善它.

通过培训教材的建设，把培训工作与贯彻国家既定的成人教育、函授教育、电视教育和科技人员继续工程教育等制度相结合，逐步把计算机应用人才的培训工作引向规范化、制度化轨道，为培养和造就大批高素质、多层次、复合型计算机应用人才而努力奋斗，更好地推动计算机应用事业向深度和广度发展。

李祥林

1988年10月17日

目 录

第一章 概论	1
1.1 测试和计算机辅助测试	1
1.2 典型 CAT 系统	2
1.2.1 航空电缆微型计算机自动检测系统	2
1.2.2 点焊机质量实时检测控制系统	7
1.2.3 动态试验微型计算机控制和数据处理系统	9
1.3 CAT 技术理论体系	12
1.3.1 CAT 系统的典型组成	12
1.3.2 CAT 基本模型	13
1.3.3 主要技术指标和主要技术理论问题	11
1.4 CAT 学科的特点和学习方法	15
习题	16
第二章 硬件	17
2.1 CAT 系统体系结构	17
2.1.1 分布式体系结构	17
2.1.2 内含式 CAT 体系结构	21
2.1.3 小型化体系结构	22
2.2 数字式传感器	22
2.2.1 码盘式转角 数字转换器	22
2.2.2 光栅传感器	24
2.2.3 磁栅传感器	26
2.2.4 感应同步器	28
2.2.5 细分技术	29
2.3 数据采集与变换	33
2.3.1 数据采集原理	33
2.3.2 信号变换和预处理	37
2.4 接口	41
2.4.1 接口的功能	44
2.4.2 数据传送方式	45
2.4.3 CAMAC 接口	48
2.4.4 IEEE-488 并行接口	52
2.4.5 RS-232C 串行接口	57
习题	59
第三章 软件	60
3.1 CAT 程序语言	60
3.2 数据结构和数据库	64
3.2.1 数据结构	64

3.2.2 数据库	70
3.3 数据压缩技术	74
3.3.1 概述	74
3.3.2 数据压缩方法	77
3.4 测试程序库	83
习题	84
第四章 数学模型	85
4.1 CAT 数学模型和量	85
4.2 静态确定性模型	86
4.3 动态确定性模型	87
4.3.1 单变量连续系统	87
4.3.2 单变量离散系统	88
4.3.3 多变量连续系统	90
4.3.4 多变量离散系统	90
4.4 静态随机模型	91
4.5 动态随机模型	93
4.6 模糊集模型	94
习题	96
第五章 可测试性与测试集	97
5.1 基本概念	97
5.2 数字系统的测试模型	98
5.2.1 通路敏化法	98
5.2.2 布尔差分法	99
5.2.3 D 算法	102
5.3 模拟系统测试模型	105
5.3.1 静态模拟系统测试模型	105
5.3.2 动态模拟系统测试模型	111
5.4 模糊系统测试模型	115
5.4.1 隶属函数的确定	115
5.4.2 故障诊断	119
习题	123
第六章 测试确定性	124
6.1 概述	124
6.2 粗大误差处理	125
6.2.1 3σ 准则[也称莱以特 (Paŭta) 准则]	125
6.2.2 查维内特 (Chauvenet) 准则	125
6.2.3 格拉布斯 (Grubbs) 准则	127
6.2.4 狄克逊 (Dixon) 准则	128
6.2.5 排队剔除	130
6.3 系统误差处理	131
6.3.1 系统误差的规律	131
6.3.2 系统误差的发现	131
6.3.3 系统误差的消除	133

6.4	随机误差处理	136
6.4.1	平均值法	136
6.4.2	排除剔除法	138
6.4.3	数字滤波法	138
6.5	测量误差的综合	138
6.5.1	误差分析的分类	139
6.5.2	误差方程的求解方法	140
6.6	判决理论	142
6.6.1	基本概念	142
6.6.2	最大概率判决准则	144
6.6.3	平均代价最小准则 (贝叶斯准则)	145
6.7	估值理论	148
6.7.1	基本概念	148
6.7.2	贝叶斯估值准则	149
6.7.3	动态估值	151
	习题	151
第七章	测试可靠性	152
7.1	基本概念	152
7.1.1	可靠性和失效	152
7.1.2	可靠率	152
7.1.3	失效率	152
7.1.4	平均无故障运行时间	153
7.1.5	可靠性与经济性	151
7.2	系统可靠性的计算	154
7.3	容错技术	157
7.3.1	概述	157
7.3.2	硬件冗余	158
7.3.3	信息冗余	160
7.3.4	时间冗余	165
7.4	自检技术	166
7.4.1	自检的目的	166
7.4.2	自检的技术指标	166
7.4.3	自检方法	167
7.4.4	错误的性质和处理	167
7.5	抗干扰技术	168
7.5.1	概念	168
7.5.2	干扰的来源和种类	168
7.5.3	干扰的方式	170
7.5.4	抗干扰措施	171
	习题	173
第八章	典型 CAT 系统设计与分析	175
8.1	延时熔丝管自动测试仪	175
8.1.1	主要技术要求	175

8.1.2	体系结构	175
8.1.3	软件	176
8.2	分布式动态试验微型计算机控制和数据处理系统	178
8.2.1	主要技术要求	178
8.2.2	体系结构	179
8.2.3	控制模型	179
8.2.4	软件	180
习题		181
第九章	CAT 的发展	182
9.1	模糊测试	182
9.1.1	模糊推理的故障诊断系统	182
9.1.2	随机模糊推理的故障诊断系统	185
9.1.3	模糊测试的确定性	186
9.2	自适应测试	189
9.2.1	自适应采样测试系统	190
9.2.2	自适应数据处理测试系统	191
9.2.3	自适应结构测试系统	191
9.2.4	自适应测试系统的性能	192
9.3	CAT/CAD/CAM 的信息集成	192
9.3.1	集成的 CAT 信息	192
9.3.2	计算机集成信息系统	193

第一章 概 论

1.1 测试和计算机辅助测试

测试是测量、检测、试验等的总称。

测量是将客观事物的量转换为人可以接受或可以利用的信息的过程。测量的基本方法是将被测量与标准量进行比较，确定被测量对标准量的倍数，此即测量过程所获得的信息。这个信息可以人能接受的图形、数字、声响等形式显示出来，也可由人加以利用，用于控制、选择、报警等。

测量的基本步骤是：

- (1) 比较——获得标准量倍数信息；
- (2) 处理——对比较所取得的信息进行变换、放大、计算等，目的是提高信息的确定性和可靠性，便于传递和显示；
- (3) 传递——根据需要，将测量信息由一处传送至另一处；
- (4) 显示。

试验是指将试验对象置于一定的环境和状态下，进行测量，处理测量信息，了解试验对象客观性能的过程。试验的基本步骤与测量相同，实质上也相同。从广义的角度看，试验也是一种测量。

测试是测量和试验的统称。

测试是人类认识自然的基本方法。人类要改造自然，首先要认识自然。改造的深度和广度，取决于认识的深度和广度。

测试是生产实践和科学实验的基础。生产实践和科学实验的水平，很大程度上取决于测试的水平。

质量是产品的生命，是生产活动的最主要的技术经济指标。没有产品质量，产品的数量便失去意义。

生产过程中，影响产品质量的环节主要有四个，其中测试起着决定性的作用。这四个环节是：

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

科学实验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) 来源于测试。如 18 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。这一发现打开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, 取得新的认识。但这种新认识只有通过测试验证, 才能真正成立。科学史上, 通过测试而否定已有科学发现的例子屡见不鲜, 如通过天文测量验证了相对论理论, 发现了牛顿力学的局限性。

测试与生产实践、科学实验是相辅相成的。测试水平的提高促进了生产和科学的发展。而测试技术的发展有赖于生产活动为其提供大量的材料、工具、设备。新的科学理论又往往是新的测试手段的根据。

随着生产和科学的发展, 测试技术经历了三个主要发展阶段:

(1) 人工测试, 由人用测量工具、测量仪器所完成的测试。人的动作器官、感觉器官、思维器官参与了测试过程。由于人的主观能动性, 因此, 人工测试具有良好的灵活性和适应性, 且物质投资小。但由于人的生理限制的主观影响, 使测试质量和经济性受到了一定限制, 尤其不适于高速度、高精度、高数量的测试要求。

(2) 自动测试, 即人的动作器官和感觉器官被测量装置所取代而进行的测试。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, 并进行自动显示和记录。自动测试提高了测试的准确性、可靠性和效率。自动测试装置中的硬逻辑只能作较简单的运算, 通用性也较差, 适用于大量重复性的测试工作。

(3) 计算机辅助测试(CAT), 即用计算机及其外部设备取代人的动作、感觉功能和人的思维功能所进行的测试。计算机在测试过程中的作用包括:

- 1) 控制测试过程;
- 2) 激励、产生可编程激励信号;
- 3) 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;
- 4) 输出测试结果;
- 5) 管理;
- 6) 监控报警。

计算机辅助测试的突出优点是具有软功能:

(1) 用软资源提高了测试的准确性、可靠性、经济性, 而且投资小、收效大, 性能价格比好。

(2) 系统总逻辑由软逻辑和硬逻辑组成, 具有柔性, 特别适用于小批量、多品种产品的测试。

目前我国推广应用 CAT 技术的主要问题是设备投资经费不足和人员素质不能满足要求。

CAT 的应用是多方面的, 下节将介绍二种典型的应用实例。

1.2 典型 CAT 系统

1.2.1 航空电缆微型计算机自动检测系统

航空电缆检测的传统方法是人工检测, 即用电灯、电铃或三用表指示两点间是否导通。这种方法存在原理性的漏检, 因为它只能发现“该通不通”的故障, 不能发现“不该通但通”的故障。再加上多次重复简单的操作, 所以存在一定的误检率。误检率约

10^{-3} 。故障带到下道工序，排除则很困难，有时会造成事故。另外，人工检测效率很低，工人心理负担也较重。

后来改进为用程控、数控方法，以硬逻辑实现了自动检测，从而解决了人工检测的漏检、误检问题。但出现了一个主要矛盾，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，硬逻辑也必须变动。而且一种电缆需要一套设备，投资太大，使用很不方便。

采用 CAT 是解决上述问题的有效措施。

航空电缆检测是航空产品总装配的主要技术之一。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，在直流电压 500V 下，要求绝缘电阻 $\geq 20M\Omega$ 。

航空电缆检测要求误检率 $< 10^{-5}$ 。

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。

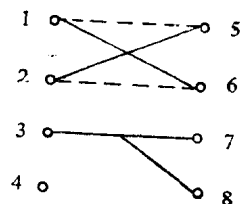


图 1.1 电缆示意图

先在接点 1 加 TTL 高电平，则 8 个点上的电平响应为

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

其中列为点号，1 代表高电平，0 代表低电平。

当接点 1 和 6 的连线断路时，电平响应为

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

当接点 5 和 6 之间短路时，电平响应为

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

当 1、2、5、6 诸点间连线发生连接错误，出现混线故障，如图中虚线所示时，则电平响应为

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

可见，比较电平响应即可判断有无故障，并可确定故障的性质和部位。

在接点 1 加高电平并比较电平响应后，再依次在接点 2, 3, ..., 8 上加高电平并比较电平响应，可实现对全电缆导通状态的检测。

各点上所加的高电平称为激励信号。上述电缆的激励信号可以下列激励矩阵表示：

$$U = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = I$$

矩阵的行为检测次数，列为点号。电缆检测的激励矩阵为一单位矩阵。

电缆的导通状态可以下列矩阵表示:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

矩阵的行表示点号, 列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, 其行表示检测次数, 列表示点号, 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

$$Y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

当接点 1 和 6 断路时, 响应矩阵应为

$$Y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

当接点 5 和 6 间短路时, 响应矩阵为

$$Y = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

当 1, 2, 5, 6 诸接点发生混线, 如图 1.1 中虚线所示时, 响应矩阵为

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

由上可见, 将实际响应矩阵与标准响应矩阵比较, 即可判断电缆有无故障、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。微型计算机 (以下简称微型机) 通过接口 1、译码器, 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。

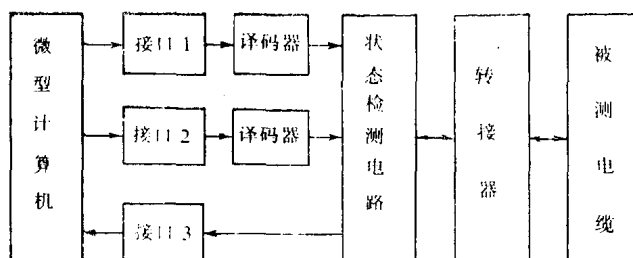


图 1.2 电缆导通状态检测系统框图

通过接口 2、译码器确定响应信号的组号。因为微型机一次只能取回一定位数的响应信号, 位数取决于微型机的

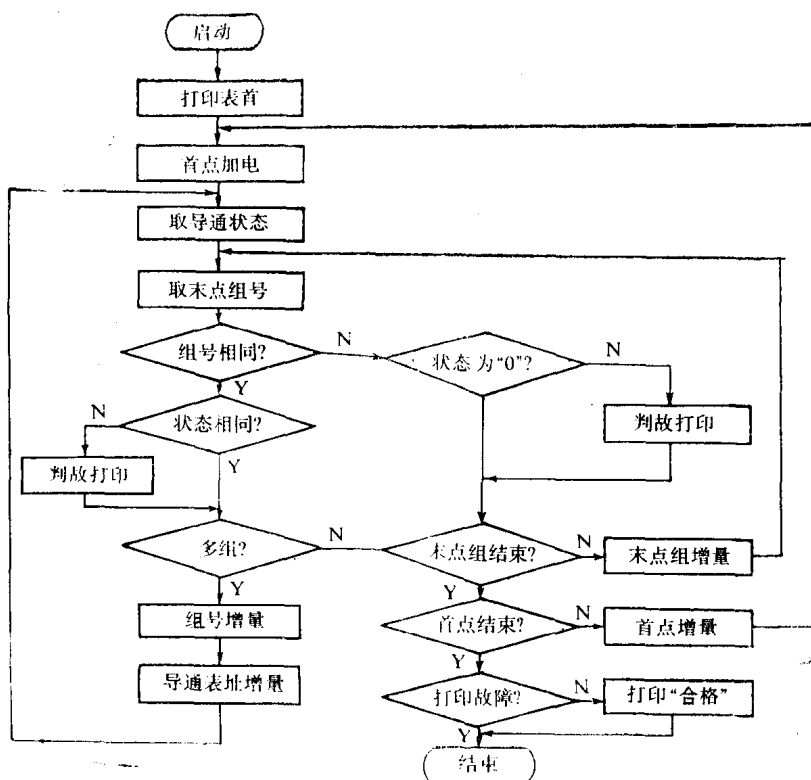


图 1.3 导通状态检测程序流程图

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 输入微型机，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。系统启动后，打印机先打印出检测报告的表首，包括日期、电缆图等，这可由用户自行设计。对首点加激励高电平，逐组取回

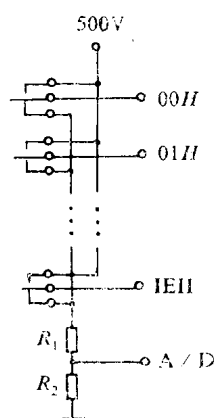


图 1.4 绝缘电阻测量原理

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，则转入下一组。对所有点加激励高电平并比较判断后，检查有无打印故障，如未任何故障，表示电缆合格，即打印出“合格”标记和表尾，检测结束。

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 500V 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 通至地。显而易见，在 R_2 上的电压降为

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

故

$$R = \frac{500R_2}{V} - R_1 - R_2 \quad (1.1)$$

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 500V 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型机，由程序进行计算处理，判断绝缘电阻是否 $\geq 20 \pm 2M\Omega$ 。

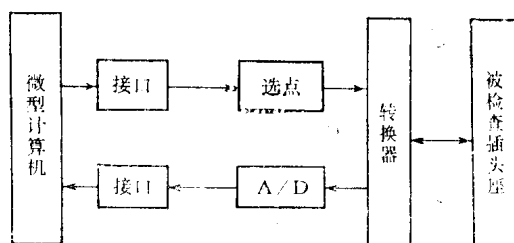


图 1.5 绝缘电阻检测系统框图

绝缘电阻检测程序流程图如图 1.6 所示。取点号后，先要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。采样得到电压 V 后，判断绝缘电阻是否 $\geq 20 \pm 2M\Omega$ 。如否，则打印故障。如未打印过故障，则在最后打印合格。

导通状态测试的关键是可靠性，即保证低的误检率。采取的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有外界干扰的情况下，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。如一套运行四年的系统已检测 10^8 次，尚未发生误检。

绝缘电阻检测的关键是抗干扰和测量精度问题。

干扰表现为在选点时不该选中的点被选中了。干扰的来源有：

- 1) 供电电网中有较大的负荷接通或断开；
- 2) 系统电源的开、关动作；
- 3) 继电器的吸合和释放。

绝缘电阻测量公差为 $\pm 2\text{M}\Omega$ ，但由于电缆绝缘电阻和 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 $10\text{M}\Omega$ 时，测量精度应为 $10\text{M}\Omega \pm 0.21$ 。

影响测量精度的因素及防止措施是：

(1) 系统绝缘电阻的影响。检测所得的电阻值是系统绝缘电阻与电缆绝缘电阻的并联值，其中系统绝缘电阻随大气条件而变化。

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的，取样电阻 R_2 上的电压将随时间而变。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 $\left(\frac{dV}{dR}\right)_{R=20}$ 为最大值。根据此条件确定 R_1 和 R_2 的最优值。

1.2.2 点焊机质量实时检测控制系统

点焊机根据焦耳定理进行工作：

$$Q = \sigma \cdot 24I^2 R t$$

传统的点焊机对工艺参数(电流、时间、压力)进行自动控制。但由于 R 受焊件表面电阻、电极磨损等不稳定因素的影响，使实际焊接电流不稳定，严重影响点焊质量。因此，要求根据 R 的变化，对实际焊接电流进行实时检测，在此基础上进行自适应控制。微计算机便是实现这一方案的理想手段。

点焊机工作原理如图 1.7 所示。双向可控硅串接在焊接变压器的初级电路中，当电

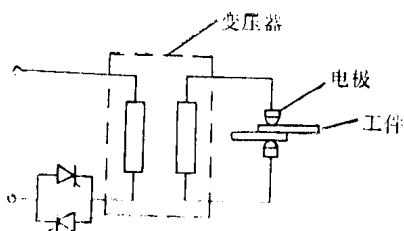


图1.7 点焊机工作原理

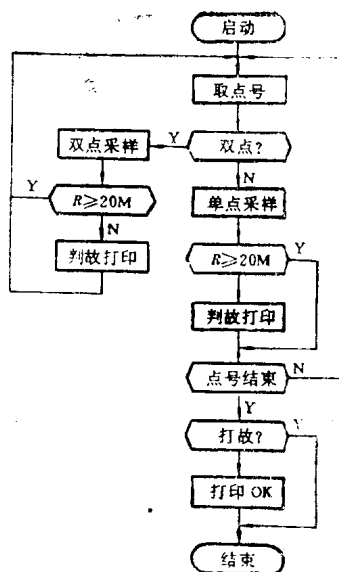


图1.6 绝缘电阻检测程序流程图

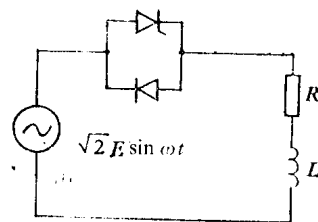


图 1.8 点焊机模型

源电压一定时, 通过改变可控硅的控制角 α 来控制焊接电流.

由点焊机的电等效模型 (图 1.8) 可知:

$$\begin{aligned} v(t) &= \sqrt{2} E \sin(\omega t + \alpha) \\ &= L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) \end{aligned} \quad (1.2)$$

式中 $\sqrt{2} E \sin \omega t$ 为电源电压, $i(t)$ 为瞬时焊接电流.

通过对式 (1.2) 进行拉普拉斯变换, 可得

$$i(t) = \frac{\sqrt{2} E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} [\sin(\omega t + \alpha - \varphi) - e^{-\frac{R}{L}t} \sin(\alpha - \varphi)] \quad (1.3)$$

式中 $\varphi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$ 为负载阻抗角.

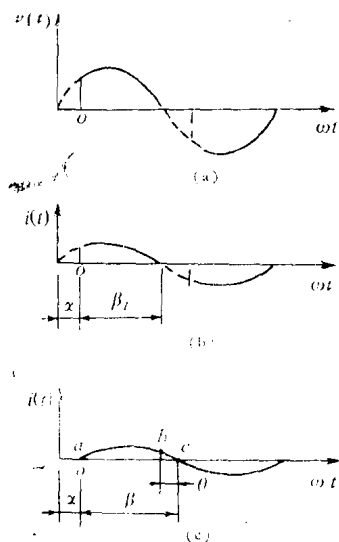


图 1.9 焊接电流波形

式 (1.3) 可进一步由图 1.9 说明. 图 1.9(a) 为电源电压波形. (b) 为纯电阻负载时的电流波形, 此时导通角 $\beta_1 = \pi - \alpha$. (c) 为电阻和电感负载时的电流波形, 当 $\omega t = \pi$ 时, $v(t) = 0$, 但由于电感放电, 使电流仍能维持一段时间, 导通角 β_1 延长为 β . 令 $\omega t = \beta$, 代入式 (1.3), 得

$$\sin(\alpha + \beta - \varphi) - e^{-\frac{R\beta}{\omega L}} \sin(\alpha - \varphi) = 0 \quad (1.4)$$

上式建立了 α , β 和 φ 的关系.

根据上述原理确定的检测控制方案为:

(1) 以一定的控制角 α_1 , 产生一个小的测试电流. 这个电流目的不是焊接, 而是测得导通角 β , 进而通过式 (1.4) 求得阻抗角 φ .

(2) 根据规定的焊接电流 I 和实测的阻抗角 φ , 由式 (1.3) 求得控制角 α .

(3) 根据所求得的控制角来控制可控硅, 再测量导通角, 检查焊接电流是否与所要求的一致. 如不一致, 再修正控制角.

上述过程需在一个焊接电流周期, 即 20ms 内完成. 为了加速计算, 式 (1.2), (1.3) 都预先计算好, 作成图表形式, 存放在内存贮器 (以下简称内存) 中. 公式的计算便变成按内存地址取数.

实现上述检测控制方案的硬件框图如 1.10 所示. 控制 α 的 D/A 转换器为 10 位, 分辨率为 $1/1024$. 6K PROM 中存放各种检测控制子程序和公式数据. 2K RAM 中存放实测数据. 非挥发性 RAM 中存放各种焊件的焊接电流数据、时间参数, 这是一些常用而又不固定的数据, 可进行读写, 而且在掉电时不会丢失.

用微型机对点焊电流进行实时检测和适应性控制, 可使点焊电流精度达 $\pm 3-5\%$, 满足点焊质量要求