普通高等教育测控信息技术规划教材

自动测试及接口技术

陈长龄摇田书林摇编著
师奕兵摇黄建国
刘摇存摇摇摇摇摇主审

机 械 工 业 出 版 社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

摇摇本书主要讲述：现代自动测试系统 （粤粤粤）体系结构模型和发展概况，则阿阿和 灾粤粤总线接口技术及其接口电路的设计方法，程控电子测试设备器件消息的消息交换控制协议、编码格式、公用命令和特定的标准命令，则阿阿测试控制器、灾粤粤内嵌式控制器和 灾粤粤零号槽模块的工作原理和设计技术，现代自动测试系统的硬件平台和测试软件平台的系统集成技术。本书全面阐述了现代自动测试系统相关技术，侧重在国内外实验室内普遍应用的积木式 粤粤粤工作原理和应用技术，特别突出现代 粤粤粤的系统集成技术。在研讨目前国内外军事领域应用较多的模块式仪器系统时，重点强调数字接口技术。

全书理论与实践相结合，硬件与软件相结合，原理与实用技术相结合。各章不但论述技术原理，而且研讨了技术实现措施，最后举例说明应用，尤其反映了当今自动测试系统的前沿技术。既有先进性，也有实用性，是一部工程技术教科书和实用参考书。

摇图书在版编目 （悦阅在）数据

摇自动测试及接口技术辕赵长龄等编著 郧–北京：机械工业出版社，圆阻阻猿员
摇普通高等教育测控信息技术规划教材
摇阴标题晕苑圆阻阻猿员园圆猿园园园园园

摇Ⅰ郧自 圆阻阻猿摇Ⅱ郧陈 圆阻阻猿摇Ⅲ郧自动检测系统—高等学校—教材摇Ⅳ圆阻阻猿园园园园园园

摇中国版本图书馆 悦阅在数据核字 （圆阻阻猿）第 员阻阻猿缘号

机械工业出版社 （北京市百万庄大街 圆圆号摇邮政编码 员园园园猿苑）
策划编辑：贡克勤摇王保家摇责任编辑：刘丽敏摇版式设计：冉晓华
责任校对：王摇欣摇封面设计：张摇静摇责任印制：李摇妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

圆阻阻猿年 圆月第 员版第 员次印刷
苑遭苑伊员园圆园毫米 员辕员远·员园园园印张·源园园千字
定价：阻园园元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话 （园员园） 远愿怨缘愿员员缘员，愿愿缘怨怨园员
远愿缘员猿源员 远愿缘员园愿愿

封面无防伪标均为盗版

测控信息技术规划教材编审委员会

主 任 委 员摇陈光摇摇电子科技大学
副主任委员摇裘祖荣摇天津大学
摇摇摇摇摇摇蔡摇萍摇上海交通大学
摇摇摇摇摇摇王摇祁摇哈尔滨工业大学
摇摇摇摇摇摇梅杓春摇南京邮电学院
摇摇摇摇摇摇韩雪清摇机械工业出版社
摇摇摇摇摇摇童摇玲摇 （兼秘书长） 电子科技大学
委摇摇摇员摇王寿荣摇东南大学
摇摇摇摇摇摇林摇君摇吉林大学
摇摇摇摇摇摇潘英俊摇重庆大学
摇摇摇摇摇摇赵跃进摇北京理工大学
摇摇摇摇摇摇黄元庆摇厦门大学
摇摇摇摇摇摇吕乃光摇北京信息科技大学
摇摇摇摇摇摇石照耀摇北京工业大学
摇摇摇摇摇摇杨理践摇沈阳工业大学
摇摇摇摇摇摇何摇涛摇湖北工学院
摇摇摇摇摇摇梁清华摇辽宁工学院
摇摇摇摇摇摇赵摇建摇西安电子科技大学
摇摇摇摇摇摇刘摇娜摇北京石油化工学院
摇摇摇摇摇摇王保家摇机械工业出版社

前摇摇言

本书系全国高等学校“测控技术及仪器”专业教材研讨会规划的“普通高等教育测控信息技术规划教材”，由“测控信息技术规划教材编审委员会”审定、推荐出版，作为高等学校工科“测控技术及仪器”专业的教材。

本书由电子科技大学陈长龄教授担任主编，沈阳工业大学刘存教授担任主审。

选本书作为教材参考学时数为 [illegible] 学时。本教材的主要内容如下：第一章绪论，主要讲述现代自动测试系统体系结构模型和发展概况。第二章 [illegible] 通用数字接口总线和第三章 [illegible] 总线接口技术，主要分析程控电子测试设备互联的物理层连接协议，在讲解 [illegible] 和 [illegible] 接口总线的机械、电气、功能和运行上相容要素的基础上，以实例讲解了接口系统电路的设计技术。第四章程控仪器消息交换协议和第五章程控仪器标准命令 [illegible] 主要分析程控电子测试设备器件消息的消息交换控制协议、编码格式、公用命令和特定的标准命令，以使读者掌握测试设备程控的软件环境条件。第六章测试系统控制器，讲解 [illegible] 测试控制器、[illegible] 内嵌式测试控制器和 [illegible] 零号槽模块的工作原理和设计技术，也分析了 [illegible] 函数的设计原理，最后给出了设计实例。第七章自动测试系统集成技术和第八章测试应用软件开发环境，重点讲解现代自动测试系统的硬件平台和测试软件平台的系统集成技术，并以实例说明了现代自动测试系统的集成方法。

本书力求全面阐述现代自动测试系统相关技术，侧重在国内外实验室内普遍应用的积木式自动测试系统工作原理和应用技术，特别突出现代自动测试系统的系统集成技术。在研讨目前国内外军事领域应用较多的模块式式器系统时，重点强调数字接口技术。

全书理论与实践相结合，硬件与软件相结合，原理与实用技术相结合。使用本教材时可根据学生实际情况和选修课程酌情取舍内容。通过本教材学习，应能使学生掌握自动测试系统的工作原理及特性；能够正确地选择自动测试系统体系结构、程控仪器、测试控制器和测试应用软件开发环境，具有自动测试系统集成的能力；能够编制测试应用软件，并进行实际操作。

本书各章不但论述技术原理，而且研讨了技术实现措施，最后举例说明应用，尤其反映了当今自动测试系统的前沿技术。既有先进性，也有实用性，是一部工程技术教科书和实用参考书。本书不但可以作为仪器仪表类各专业的研究生和本科生的教材，也可以作为电气信息类各专业学生的教学用书，亦是一部工程技术人员的实用技术参考书。

本书编著者多年来从事自动测试及接口技术的科研、教学和数字接口国家标准修订工作，并编著有多部相关讲义和教材，本书是编著者多年科研与教学实践经验的精华。

本书由陈长龄教授编写第一、二章，田书林教授编写第三、六章，师奕兵教授编写第四、五章，黄建国教授编写第七、八章，最后由陈长龄教授统稿。

在本书编写过程中，得到了电子科技大学自动化工程学院领导的关心支持，电子科技大学研究生院将本书作为规划教材给予资助；电子科技大学的古天祥教授、杨安禄教授、陈光摇教授、童玲教授等都为本书提出过具体宝贵意见，特别是杨安禄教授为本书编写提供了宝

贵的资料；刘存教授审阅了全稿。全国“测控信息技术规划教材编审委员会”的专家也提出了指导性意见；李力为第七、八章的编写收集和整理了有关资料，对例程进行了上机调试；本书能得以出版发行，也有赖于机械工业出版社的鼎力支持；在此一并表示诚挚的感谢。

由于编著者水平有限，书中难免还存在缺欠和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编著者

[illegible]年 [illegible]月于成都

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一章摇绪摇摇论

第一节摇自动测试系统的出现及意义

摇摇一、自动测试的概念

测试是人类认识和改造客观世界一种必不可少的重要手段。发明元素周期表的门捷列夫（Д．И．Менделеев）说过：“测量是认识自然界的主要工具”；又说：“有测量，才有科学”。我国著名科学家王竹溪则说：“物理规律的探讨，精密实验测量的发展和工业技术的改进，三者之间是互相推进的”。从广义上说，通过实验的方法对客观事物取得定量的信息，这个过程就为测量。更严密的讲，把待测量直接或间接地与另一个同类的已知量相比较，拿这个已知量作为计量单位，定出被测量是该单位的若干倍或几分之几，这种实验过程就是测量。换而言之，测量就是通过实验来求出被测量与计值单位的比值。至于测试，至今存在着不同的理解，目前常常泛指生产和科学实验过程中进行的测验和测量的全过程，既包括定量的，也包括定性的测量和试验。测试中所采用的原理、方法和技术措施称为测量（试）技术。基于某种测量技术，利用电子器件和线路技术组成的装置，用以测量各种电磁参量或产生供测量用的电信号，称为电子测量仪器。电子仪器配上适当的换能器（传感器）能测量几乎一切非电物理量，泛指测量（试）仪器（设备）。测试对象和任务有时是单一的，有时是复杂的。对于单一情况，可直接使用单一的测量仪器。对于复杂的任务必须使用多台测试仪器，并且将它们按一定规则组合起来，构成测试系统。习惯上，将为完成某项测试任务而按某种规则有机构造的互相连接起来的一套测试仪器（设备）称为测试系统。这是狭义的测试系统，广义的测试系统还应包括测量者（人员）、测试对象和测试环境。一个测试系统，由人工操作完成特定测试任务，称为手动测试系统。使用具有一定自动化能力的测试系统进行的测量和实验称为自动测试（粤测量者[illegible]测试）。

从 20 世纪 30 年代初期兴起的扫频测试技术，在某种意义上讲就是电子测量自动化的先声，这是在某些局部功能上采用模拟自动控制的一类自动测量技术。这种技术在解决人工测试所难以完成的一些任务中（例如宽频带器件的调试等）是行之有效的，而且一直沿用至今，并几经改进。然而这类技术的缺点是测量功能有限，而且精确度不高。

真正的高速度、高精确度、多参数、多功能的自动测试系统，是电子测量技术与自动控制和电子计算机技术密切结合的成果，是电子测量仪器数字化与数字信息系统相结合的产物。众所周知，数字式仪器比模拟式仪器的精确度高很多，而且数字系统有非常强的逻辑、计算和控制能力。

像许多新技术发展的情况一样，自动测试首先是由于军事上的需要而发展起来的。约在 20 世纪 40 年代中期，美国在新发展起来的一代尖端武器（如含有大量电子设备的飞机和导弹系统）的维护检修方面，面临着许多棘手的问题。在这种背景下，提出了多用途的“万能”自动测试系统的概念。所设想的最终目标大体上可归纳如下：可以不必依靠任何有关

的技术文献（如被测件的技术说明书、仪器手册、测试手册等），由非熟练的人员上机进行几乎全自动的操作，并以电子计算机的速度完成测试，而且通过编程的灵活性还可以适应任何具体测试任务。在这个概念之下，美国国防部在 20世纪70年开始了一个称为 ATLAS计划的研究项目，这大概是现代自动测试的大规模研究的开端。后来的事实表明，自动测试在军事应用上虽然取得了不少成就，却远远未能达到上述终极目标。尽管采用了高速电子计算机来控制自动测试系统，但系统中的测量仪器以及被测对象常常不能响应计算机那种高速度。对操作人员的测试技能大大降低了要求，却日益需要依赖一类崭新的技术人员，既具有高度技能的测试编程人员。通常的技术文件虽已被计算机软件所取代了，但又新添了另一些必不可少的技术文件，如每一类测试所需的一套独特指令和编程说明等。贪多求全的“万能”思想，导致自动测试系统变得日益庞大复杂，不仅造价高昂，而且因顾此失彼反而导致了测试性能下降。此外，还纠缠到许多组织、管理、采购、维修等额外的技术和经济问题中。不过，尽管如此，自动测试并未因此而遭到摒弃，而仍然日益得到发展。因为，除此之外，别无其他途径能解决现代军事测试任务。何况，自动测试技术在电子侦察和电子对抗中的应用，就是一个明显的典型例子。

也如其他许多新技术一样，自动测试在发展到一定程度之后，很快就突破了原先军事应用的狭窄范围，并且在更为广阔的新天地中获得更大的发展。大约从 20世纪 70年代开始，自动测试就应用于工业，并且吸取了早期军事上以高昂代价所换取的宝贵经验和惨痛教训，抛弃了“万能”思想，而致力于有的放矢地着重解决生产上测试关键所需的“专业”测试系统。大约在 20世纪 80年代中、后期，就有民用的成套自动测试系统出现在电子仪器商品市场上。人们逐渐认识到，任何制造业如果在生产上不拥有自动测试手段，在同行业的竞争中就会处于绝对劣势，甚至不可能完成其生产任务，这样的预料很快就会成为现实。因此，如前所述，自动测试在降低生产成本并提高产品质量方面会起决定性的作用。

早期的自动测试系统大都是为某种测试目的而专门设计制造的专用系统，难以改作他用。约在 20世纪 80年代后期，自动测试系统开始采取组合式或积木式的组建概念，即是尽可能利用各种现成的通用仪器设备（或略经改装），加上一台现成的电子计算机，来拼凑成所需的自动测试系统。这种积木概念简化了自动测试系统的组建工作，节省了不少人力物力，在许多实际应用中证明是成功的。这里举出一个简单例子，来具体说明自动测试的概念。

设欲测量一个放大器在不同供电情况下的频率响应变化情况。我们可以采取如图 1.1所示的测试系统。其中每一个框子都是现成的通用电子设备。计算机，作为这个系统的控制计算机，按照事先编制好的程序，调置供电电源。然后逐步改变测试的激励源（可程控的信号发生器）的频率。在每一频率，用可程控频率计数器测出标准的数值（若激励源是准确的频率综合器，则可省掉这一环节）。通过开关器的切换，用可程控数字电压表分别测量出被测件的输入和输出端的电压。一切测量数据都传入电子计算机，算出每一频率下的电压增益。据此打印出表例结果，或绘出被测件的频率响应曲线。然后，再改变供电情况，重复上述各步骤，即得不同供电情况下频率响应的曲线族。

摇摇二、自动测试的意义

随着无线电电子学的发展及其在各方面的应用日益广泛，对电子测量技术和电子仪器系

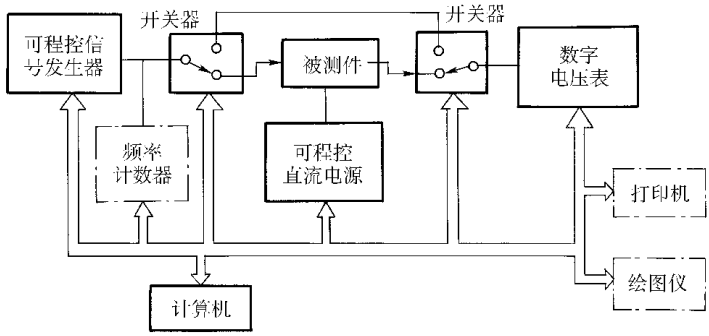


图 摇摇摇测量频率响应的自动测试系统

统提出愈来愈高的要求。测试项目和测试范围不断扩展，对测试速度和精确度的要求也与日俱增。

在大规模集成电路的研制和生产中，一块集成电路内就含有成千上万个门电路。要对它进行详尽的测试，没有自动测试系统，依靠人工测试是根本不可能的。即便是中、小规模集成电路，由于产量大、用量多，人工测试也不能解决问题。

在相控阵雷达中，成千个发射单元的多种参数的调试和测量，没有自动测试系统也根本无法进行。即使是简单的微波元件，如滤波器、定向耦合器等，在宽频带内的调试、测量、检验，若靠人工进行，不仅旷日废时，也难以获得最佳结果。这些也都迫切要求测试自动化。

在电子对抗战中，人工控制的搜索、侦察系统，根本无法与自动频谱分析系统相抗衡。

现代的电子设备，不论是多么简单，要保证产品的可靠性，都必须作大量的测试。从每一个元、器件开始，一直到整机，中间许多工序都要对技术性能指标进行检验或测定。每一种测试往往包括许多测试项目，而每一个项目又须在全频段的许多个频率点上进行。对于大批量的产品，没有自动测试系统，也是难以想像的。至于许多现代化的系统，例如庞大的通信网、复杂的过程控制、反应快速的武器系统等，它们的研制、调试、维修等工作，对自动测试系统的依赖就更是不言而喻了。

随着人类活动、探索、研究范围不断的扩大，要求测试深入的范围也不断展宽，其中出现了人们无法进入的有损测试人员健康的场所。例如核爆炸现场、核反应堆内部、有毒化工车间、深海海底等，都需通过自动测试获取测试结果。

在测试应用实践中，为了发现偶发自然界现象或间歇性故障，例如雷电、地震、电网冲击等；或者需要长期监控或测量某些数据，如人体心电脑电监控、晶体振荡源频率稳定度测量等；都需长时间测试记录大量数据，人工测试的测试人员很难坚持，如用自动测试就可无人值守了。

工业生产过程自动化已在现代化的生产过程中普遍应用，必然要求生产过程的机械几何、物理、化学、生物等参数能自动检测，这就需要自动检测系统。

众所周知，自动化的突出特点之一是高速度，可以节约大量人力。目前，自动测试的速度比人工测试一般可以快 摇摇~摇摇倍。一个工作日 摇摇的人工测试，自动测试系统在 摇摇乃至 摇摇内就能完成。例如应急形势下的军用设备、航空航天器测试必须使用自动测试手段在极短时间内完成。

然而，自动测试的意义还不仅限于此。自动测试系统依靠具有计算、处理能力的控制器（电子计算机），适时地切换量程或更换仪器设备，不难获得极宽的测量频率范围（例如，从直流即 园赫兹甚至 源园园园兆赫兹），和极广的测试动态范围（例如，达到 员园园园园以上）。通过间接测量方法，可以用较简单的测试设备测出为数不多的几个基本参量，再由计算机换算出许多其他的参量，从而可使自动测试系统在硬件尽量简化的情况下达到多参数、多功能的测试效果。测试结果还可以多种方式输出，如显示数字、图、文、打印数表、文件，描绘单色或彩色曲线、图形及各种字体等等。在测试过程中，还能作出各种复杂的分析、统计、判断、处理；并能进行自校准和自检查，甚至还可能作出自诊断和自修复。自动测试系统避免了人身误差，可获得十分良好的测试复现性；通过进行大量的冗余测量，进行统计、分析的折算，可以在很大程度上消除或削弱随机误差和系统误差，从而获得极高的测量精确度。凡此种种，都是人工测试所难达到、甚至或根本无法实现的。

上述种种技术上的突破，往往同时也带来重大的经济效益。一般在电子技术和航天技术等尖端科技部门，花在测试上的人力物力常达到总人力和总投资的一半或更多。自动测试在人力物力上常可实现可观的节约。这种经济效益不易准确计算。匀·恩·泰勒公司计量中心曾提出如下估算公式：

$$隔_{精} = 越晕[砸(怎_{园}匀_{园} - 怎_{员}匀_{员}) + \sum_{躁=员}^{允} \Delta(则_{躁}) + 垣] + 原(灾 + 阅垣孕) \qquad (员)$$

式中摇隔精——每年费用改善数；

晕——每年测量对象的数目；

砸——每小时测试费用；

怎——测试设备利用率，下标 园表示原来（人工）的，下标 员表示改进后（自动化）的，怎约员；

匀——每个测量对象所需测试时间（小时），下标的意义同上；

Δ（则躁）——其他劳务（如打印、绘图等）的改善，其中 则为每一测量对象所需第 躁项其他劳务的每小时费用，而 澡则为该项劳务的工时；

灾——初始投资（自动测试系统的价格）；

阅——折旧率；

孕——程序编制及其他实施费用。

用此公式曾算出该公司某一套自动测试系统每年可节约十三万美元资金。

比节省工时和费用更为重要的是自动测试系统大大节约了宝贵的高级复杂劳动力，使之摆脱了繁冗的日常测试劳务，而把精力集中于分析测试结果，以改进产品的性能。另外，籍助于自动测试系统，可以对元、部、组件和成品作出非常全面而充分的测试，这也大大有助于提高产品的质量。

除了在生产上使用之外，目前自动测试也广泛用于研究和研制工作中。以往，一个电子设备设计师常需在测试上花费三分之一以上的精力和时间。现在，他可以让自动测试系统在夜间或周末假日作测量，不仅精力可更集中于设计，同时所得更为精确而且全面的测试数据可使其设计更臻于完善。

过去，科学研究、创造发明在相当大的程度上取决于个人的聪明才智，因为研究者不得不从有限的观测去猜想事物的本质和规律。现在有了优越的自动化观测手段，就可以从极其

大量的观测结果利用统计方法来推断出事物的本质和自然规律。自动测试系统还可以不倦地长期连续监测事物的状态，从而捕获瞬息万变或稍纵即逝的稀有、突发事件；也可以通过大量数据的分析把十分隐蔽的现象揭露出来，例如通过大量平均或相关分析而检测出深埋于噪声中的信号。

现代生产和科学技术突飞猛进、日新月异这种新局面，与自动测试的发展是紧密相关、不可分割的。二者相辅相成、相得益彰。如果说，科学技术的发展和进步有赖于测试，那么，反过来，自动测试的发展也有赖于其他科学技术的帮助，而以计算机科学技术的贡献尤为显著。

第二节摇现代自动测试系统体系结构

如前述，一个测试系统，由人工操作完成特定测试任务，称为手动测试系统；使用具有一定自动化能力的测试系统进行的测量和实验称为自动测试 （粤别凿藻凿 贼藻泽贼蚤灶早 葬灶凿 皂藻葬泽怎则藻皂藻灶贼 凿燥灶藻 憎蚤贼澡 葬 泽藻贼 燥枣 贼藻泽贼 泽赠泽贼藻皂泽 憎澡蚤糙澡 葬则藻 凿藻泽蚤早灶藻凿 贼燥 皂藻藻贼 泽燥皂藻 凿藻早则藻藻 燥枣 葬怎贼燥皂葬贼蚤燥灶 葬灶凿 贼燥 葬 糟藻则贼葬蚤灶 藻曾贼藻灶贼 憎蚤贼澡燥怎贼 澡怎皂葬灶 蚤灶贼藻则增藻灶贼蚤燥灶）。通常把在人最少参与的情况下，利用计算机执行程序，控制测试过程并进行数据处理直至以适当方式给出测试结果的测试系统称为自动测试系统 （粤怎贼燥皂葬贼蚤糙 贼藻泽贼 泽赠泽贼藻皂 憎澡蚤糙澡 糟葬灶 皂藻藻贼 泽燥皂藻 凿藻泽蚤早灶藻凿 早燥葬造泽 憎蚤贼澡燥怎贼 澡怎皂葬灶 蚤灶贼藻则增藻灶贼蚤燥灶 葬灶凿 憎澡蚤糙澡 糟葬灶 早蚤增藻 贼藻泽贼 则藻泽怎造贼泽 蚤灶 葬 枣燥则皂 燥枣 皂藻葬泽怎则藻凿 增葬造怎藻泽 燥则 泽蚤早灶葬造泽）或自动测试设备 （粤怎贼燥皂葬贼蚤糙 贼藻泽贼 藻择怎蚤责皂藻灶贼 憎澡蚤糙澡 糟葬灶 皂藻藻贼 泽燥皂藻 凿藻泽蚤早灶藻凿 早燥葬造泽 憎蚤贼澡燥怎贼 澡怎皂葬灶 蚤灶贼藻则增藻灶贼蚤燥灶）。

现代自动测试系统是计算机技术、数字信号处理技术、自动控制技术同测量技术相结合的结果，具有极其广泛的含义。计算机技术与测量技术结合形式不同，可以构造成不同结构的现代自动测试系统，但其构造要素是可以模型化的。从自动测试系统概念出发，可以抽象出现代自动测试系统模型的构造要素：可程控测试仪器、测试控制机、互连标准数字接口和软件系统，如图 员援员所示。

员援可程控测试仪器

它是为完成特定测试任务而选择的测试仪器的抽象。可能是独立单机仪器：示波器、合成信号源、网络分析仪…，也可能是插入机箱中的测试功能模块：宰贼则频率计模块、宰贼则数据采集模块、宰贼则任意波模块…。它们的测试功能是千差万别的，但要能连入 粤贼责 总线必须具有两个特征。

（员） 可程控操作摇在操作上，可以接受来自设备内部 （面板、其他接口等） 控制而改变仪器状态、执行测试功能，称为本地控制。必须还能接受经接口来自外部测试控制机程序控制而执行测试功能，称为远程控制，或者可程控。为完成可程控，设备内部必须设计有实施测试功能参数连续调节的电调电路和实施测试功能参数步进调节的电控电路，此外还必须为可程控设备设计一组程控命令。

（圆） 有接口功能区摇可程控设备由测试功能区和接口功能区组成。仪器的测试功能千差万别，其电路结构、电气也是千差万别的，因此不同仪器功能部分不能直接互连。为了仪器能够实现互连就必须设置接口功能区，用其隔离仪器的测试功能，实现仪器之间在机械、功能、电气上相容连接。

圆援测试控制机

测试控制机是自动测试系统的控制核心，目前多由特定的电子计算机系统来承担，也称为测控计算机。所谓特定是指同通用电子数字计算机系统相比，虽然其具有通用计算机系统的所有功能，但在功能上和结构上还有特定的要求。

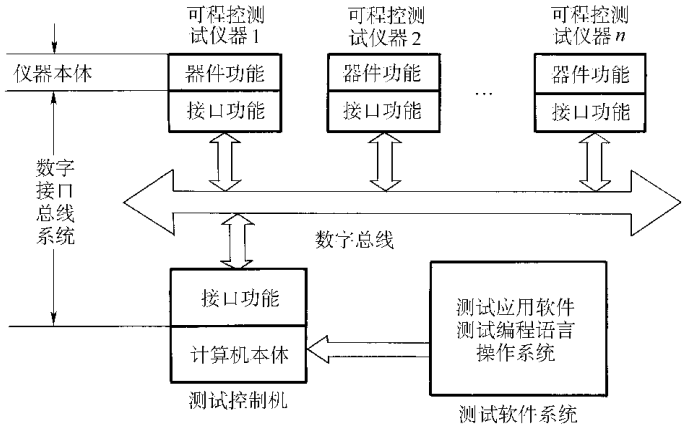


图 员猿摇摇自动测试系统结构模型

在功能上，测试控制机应该具有两种能力，第一是设备间互连的标准接口总线资源管理能力，第二是对测试系统的测试设备操作控制能力。接口总线资源管理是接口总线层次上的控制核心，主要是指总线系统的接口功能的初始化、地址分配、通信组态、中断服务组态等。不同接口总线中称谓不同，如总线控制者、资源管理器、零槽控制器等。测试设备操作控制是系统测试功能层次上的控制中心。在自动测试系统中，一个设备能够通过接口总线向其他设备发送测试操作程控命令数据，并可接收其他设备发回的响应数据，这个设备称为测试系统控制器。测试系统控制器往往也具有测试数据分析、处理、给出测试结果的能力。

在构成上，硬件方面必须配有标准数字接口，以便同测试设备相容互连；软件系统中含有测试应用软件开发环境。

猿摇摇标准数字接口总线系统

互连的设备与设备 （或者说系统与系统） 之间的想象用于信息交换的一部分界面，称之为接口。为了在开放式互连设备之间实行信息交换所必须的一整套与设备有关的接口的机械、电气和功能要素，称为数字接口系统。例如，电缆与连接器、信号电平与逻辑、信息发送与接收逻辑、时序与控制惯例等都是标准接口总线系统的典型要素。其目的在于提供一种有效的通信联络，以便在一群互相连接的设备之间传送数字式信息。

接口总线技术是自动测试系统发展的瓶颈，可以说接口总线技术发展的历史就是自动测试系统发展史，接口总线技术发展的水平标志着自动测试发展的水平。从 圆园世纪 缘园年代自动测试概念建立起，经过初期专用接口、半专用接口的发展历程，到了 圆园世纪 愿园年代中期才普及推广开放式标准接口总线，如 则阿利通用接口总线、砸赛赛串行通信接口总线、怀腾通计算机自动测试和控制总线、宅颁猿模块式仪器系统总线、孕悦月个人计算机外围仪器系统总线等的推广应用，才形成了现代自动测试系统的概念。

源摇摇测试应用软件及其开发环境

测控计算机执行测试应用程序，才实行对测试设备操作控制 （或对被测件状态控制）、获取测试数据、实施数据处理与分析、最终得出测试结果，完成特定的测试任务。可见测试应用软件是自动测试系统不可缺少的组成要素。测试应用软件往往由自动测试系统用户（或说组建者） 依据特定测试任务要求，基于特定的自动测试系统，依托软件开发手段，自行设计开发。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

基于特定的自动测试系统，除考虑测试系统组态、运行序列、同步、速度等因素外，重点是熟悉可程控设备的程控命令的数据结构、程控命令码等。依托的软件开发手段是指测控计算机提供的操作系统、测试扩充高级编程语言、数据处理工具软件和程序故障诊断软件等。目前提出了融合可程控设备程控命令、操作系统、测试扩充高级编程语言、数据处理和程序调试工具软件为一体的综合的“测试应用软件开发环境”概念。现在自动测试应用软件开发环境虽然还不成熟，还没有标准化，但这一概念已为测试工作者所接受，前景是乐观的，必然会普及推广应用。

第三节摇程控设备互连协议

用总线电缆将程控测试设备、测试控制机连接起来，就可构成自动测试系统。将设备连接起来，保证准确通信、控制设备正常运行，需要解决什么问题呢？这就是程控设备互连协议（或模型）问题，可用图 员猿猿描述。可以归纳为物理互连层和程控命令层协议。

摇

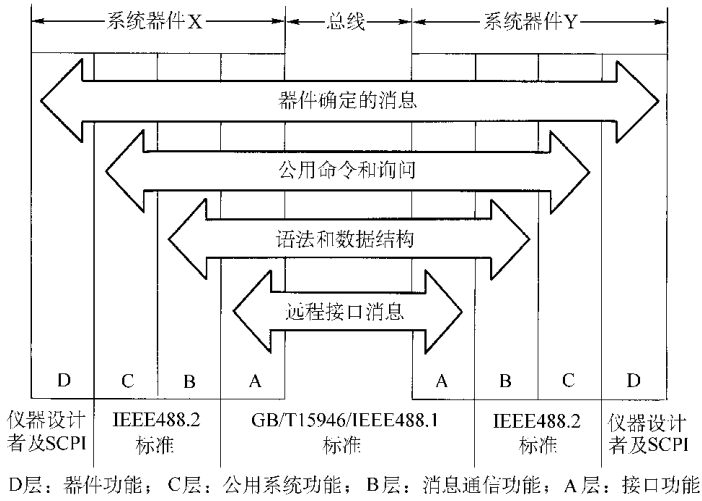


图 员猿猿摇程控设备互连功能层

摇摇一、数字接口总线

员援接口与接口系统

接口（[illegible] 的原意就是“交界面”。设想任何一台仪器（或者其他电子设备）都由一个封闭的几何面将它与外界分隔开来，仪器内部与外界的一切联系都必须穿过这个交界面的某一部分，这部分“交界面”或“区域”就称为“接口”。例如为仪器提供电源所经过的区域称为“电源接口”；高频信号发生器的信号输出所经过的区域可称为“高频接口”；数字信息输入或输出所经过的区域可称为“数字接口”。与数字接口相对应，电源接口、高频接口等传送模拟量经过的区域称为“模拟接口”。从上面所例举的各种接口不难看出：仪器的接口并非只有大小而无厚度的“几何界面”。仪器接口不仅包括与外界连接所必需的电路接插件、信号线等物理实体，而且还包含数据格式、数据编码等必需的信息性内容。

要想让经接口互连在一起的各个器件之间能够顺利而准确地进行信息传递，各个仪器的接口之间必须满足下列几个条件。

(员) 电气相容摇包括在电平、极性、负载能力、驱动能力等一系列电参量之间必须相容或匹配，否则既使勉强将各台仪器连接在一起，也不能顺利运行，严重不匹配时，还会导致器件的损坏。

(圆) 功能相容摇在功能方面，各台仪器之间必须相互配合，比如一台仪器具有发送数据的功能，另一台或另一些仪器必须具有接收数据的功能；否则互连在一起的仪器之间是无法进行正常的数据通信。

(猿) 机械相容摇机械相容是指仪器连接时使用的接插头的形式、尺寸、接线位置等各个方面必须互相配合，否则两台仪器根本无法接通，更谈不上实现顺利地通信了。

为在互连设备间实行数字式信息交换所必需的一整套与设备有关的接口的机械、电气和功能要素，称为数字接口系统。

圆援数字接口总线的发展

在 圆园世纪 远园年代中后期，由于近代各种科学技术迅猛发展，在科学研究和工业大生产中，各行各业对自动测试系统的需要量日益增多。虽然可程控仪器的种类也在增多，但由于不同厂家制造的仪器的接口未能统一，彼此不能很好兼容。要想利用数字接口不完全相容的可程控仪器随心所欲地组建自动测试系统是十分困难的。因此，人们迫切希望采取某些措施，比如制订出一种统一的标准作为设计接口的准绳，以此统一一个国家、一个集团乃至全世界的电子仪器的接口系统，使接口不再是组建测试系统的难关。为此目的，从 圆园世纪 远园年代以来，世界各国争相研究，先后出现了多种接口标准，包括公司标准、国家标准、集团标准和国际标准。如表 员缘员所示，在测试领域得以广泛流行的有 [illegible]。

表 员缘员摇自动测试系统的标准接口系统

惯用名称		制订摇者	连接形式	公布时间
[illegible]		英国	星形级联、星形	员怨怨员
[illegible]		原民主德国		员怨园
[illegible]		经互会 (悦[illegible]		员怨愿
[illegible]		西门子公司 ([illegible]，原联邦德国	总线	员怨园
[illegible]		原民主德国		员怨员
[illegible]		经互会		员怨园
[illegible]		菲利浦公司 ([illegible]，荷兰		员怨园
[illegible]	[illegible]	惠普公司 ([illegible]	总线	员怨园[illegible]
	[illegible]	美国 [illegible]		员怨愿[illegible]
	[illegible]	国际电工委员会 ([illegible]		员怨怨[illegible]
	[illegible]	中华人民共和国国家标准		员怨愿
	[illegible]	美国 [illegible]		员怨苑
	[illegible]	中华人民共和国国家标准		员怨愿
	悦[illegible]	摇欧洲原子能委员会 ([illegible]，后为国际电工委员会 ([illegible]、美国 [illegible] 和美国原子能委员会 ([illegible] 采用	总线和标准机箱	员怨愿~员怨苑

（续）

惯用名称		制摇订摇者	连接形式	公布时间
串行接口	砀摇摇摇悦	美国电子工业协会 耘摇粤	串行	员怨怨员
	砀摇员怨员			员怨怨远
	砀摇摇袁			员怨怨愿
	砀摇摇圆			员怨愿愿
	勻孕摇摇	勻孕公司	环路	员怨愿员
灾耘摇摇		灾耘摇联合体	总线和标准机箱	员怨愿远
孕耘摇摇		孕耘摇规范委员会		员怨愿怨

摇摇悦摇摇系统标准是员怨远愿年欧洲原子能联合委员会公布的一种接口系统标准。悦摇摇是英文 悦omputer Automated Measurement and Control 的缩写，其意思是：“使用计算机的自动测试与控制”。这一套国际标准接口系统是用于核子物理测试仪器的一种接口系统。员怨远怨年美国原子能委员会颁布了核子仪器模件的标准，即 晕摇悦 标准。晕摇悦 是 晕uclear Instrument Modular System for Computer Automated Measurement and Control 的缩写。晕摇悦 标准与 悦摇摇标准兼容。员怨苑苑年国际电工委员会 （陨耘悦） 推荐为“陨耘悦员怨怨远标准”。

砀摇摇摇悦标准是美国电子工业协会 耘摇粤（耘lectronic Industries Association） 公布的一种推荐标准，最初是为了促进用公共电话网络进行数据通信而制订的。由于这种接口的结构简单、使用方便，后来广泛地用于计算机、电子仪器和其他电子设备之中。

美国电气及电子工程师学会 （陨耘耘耘） 在员怨苑愿年颁布了它的修订版 陨耘耘耘–员怨苑愿（常称 陨耘耘耘愿愿 标准，这是广泛采用的一种接口系统标准，其前身为 勻孕陨月。员怨苑苑年国际电工委员会公布了 陨耘悦员怨怨远标准。陨耘悦员怨怨远标准与 陨耘耘耘愿愿标准几乎完全相同。员怨苑苑年，陨耘耘耘组织又将 陨耘耘耘–员怨苑愿略经修改后定名为 陨耘耘耘–员怨苑苑（也称为 陨耘耘耘愿愿员 标准，并增补了标准代码、格式和通信规约等，定名为 陨耘耘耘–员怨苑苑（也称为 陨耘耘耘愿愿圆。员怨愿缘年和员怨愿缘年，我国国家标准局先后颁布了 则月圆原愿员–员怨愿缘（则月圆原愿员 和 则月耘员怨愿缘–员怨愿缘（则月耘员怨愿缘 标准，这两项标准分别等效采用 陨耘悦员怨怨远和 陨耘耘耘愿愿员标准。陨耘悦员怨怨远标准、陨耘耘耘愿愿员标准和 则月耘员怨愿缘–员怨愿缘标准是同一种标准接口系统，在我国常被称为 则月圆（则月耘员怨愿缘–员怨愿缘标准），既通用接口总线。

圆员世纪愿员年代以来，由于电子技术的飞速发展，使电子测量技术和仪器与计算机技术更紧密的结合，为满足测试与控制发展的需求，从而在圆员世纪怨员年代相继出现了模块式仪器系统及其灾耘摇摇和孕耘摇摇总线接口。

摇摇二、程控设备的器件数据的标准化

在粤孕陨概念建立的初期，人们主要集中研究它们互连的接口总线通用化、标准化问题，如砀摇摇摇悦、悦摇摇摇悦、则月圆等都是成功之作。在推广则月圆过程中，实践证明互连设备的数字接口的标准化为自动测试系统的应用和发展提供了良好的硬件环境条件，而程控设备器件数据编码、格式、语义的非标准化给编程人员造成很大的困难，仍然制约着粤孕陨的推广应用。

员怨苑苑年 远月 陨耘耘耘把 陨耘耘耘–员怨苑愿更名为 陨耘耘耘–员怨苑苑（内容仅有少许变

化），同时公布了与 隋赠标准兼容的一系列标准。同时执行的“ 隋赠标准编码、格式、协议和公用命令”（也称为 隋赠标准）。 隋赠用以定义一组通用数据编码和格式、信息交换协议和一组仪器必要的公用程控命令。它涉及的主要内容仅是数据结构方面相容问题，大量的器件数据语义仍然留给设计者自由定义。这样 隋赠仅解决了互连设备程控命令层协议中部分（主要是 月 功能层次相容问题，另外，要求设计者针对具体程控设备、个别测试功能定义程控命令、测试数据和状态数据表示法。这样必然引出条目繁多的器件数据语义，尚未从根本上解除设备设计者在软件方面的沉重负担和编程人员面临的越来越大的软件编程困难。直到 员怨怨园年 源月，国际上九家仪器制造商推出的“可程控仪器标准命令（ 杂悦悦）”才使程控设备器件数据得到标准化。如图 员怨所示，它是在 隋赠标准的基础上，制定了设备设计者定义器件功能层特定器件数据语义时应该遵循的规范。

第四节摇现代自动测试系统类型

摇摇一、关于自动测试系统分类

从测试与控制需求出发，自动测试系统应用面广、测试对象与任务繁杂、结构形式多变，因此分类依据较多：按被测对象性质分类；按总线拓扑结构分类；按测试控制机控制方式分类；按接口总线标准化程度分类等。

本书名为“自动测试及接口技术”，重点是研究现代标准接口总线技术，以及基于这些特定标准接口总线组建的自动测试系统，自然是从接口总线特性出发划分自动测试系统类别：专用自动测试系统；半专用自动测试系统；第二代（现代）自动测试系统。而现代自动测试系统分类如下：

基于 员阅月可程控测试设备数字接口总线的：积木式自动测试系统（也可含：砸悦悦等）。

基于 宅在糟 悦酝悦 耘糟藻数字接口总线的：模块式自动测试系统。

基于嵌入式微处理器（μ孕 内总线的：智能化仪器系统。

基于多数字接口总线的：多总线融合式自动测试系统。

摇摇二、积木式自动测试系统

基于 员阅月可程控测试设备数字接口总线组建的自动测试系统，称为积木式自动测试系统。

如图 员怨所示的自动测试系统中的每一个仪器都是一台“台式”的，或“便携式”的，或“装架式”的独立通用 员阅月可程控测试设备，或称“员阅月仪器”，就是充当测试控制器的计算机也是如此。员阅月仪器都配有 员阅月标准接口和一组程控消息，也不排斥配有诸如砸悦悦、哉杂月、耘罪藻晕等其他接口。测控计算机附带的高级编程语言，是在通用标准 月葬泽蚤糟或悦或 云的基础上语言全集基础上扩充了 员阅月测试语句。所谓 员阅月测试语句就是可以用来向员阅月总线发送 员阅月接口消息、或发送程控消息、或接收响应消息的扩充语句。各仪器间的连接电缆是 员阅月标准电缆。这些仪器都是完整独立仪器，包括计算机在内，它们有自身的“面板键盘”、“显示单元”和“电源”。可以单独进入测试现场，由人工面板操作，实现特

定的测试任务、给出测试结果。

根据测试任务需要，选择适当的 贓臟臟仪器和测控计算机，将它们用标准 贓臟臟电缆连接起来，就组建起来了 贓臟臟自动测试系统硬件平台。执行特定的测试应用软件程序，就可自动完成测试任务、给出测试结果。特定测试任务完成后，随即可拆除组建的测试系统。原连入测试系统的所有设备和计算机都可移至它处单独使用，或用于组建其他的 贓臟臟系统。就是在硬件系统建成之后，在运行过程中也可以增减实际运行仪器数目；或在不同的开机时间，执行不同的测试软件，实现不同的测试任务。由于 贓臟臟仪器使用随意，组建测试系统、运行测试系统均很灵活，每台仪器或单独使用、或组建不同系统，就像一块“积木”一样灵活，所以称 贓臟臟自动测试系统为“积木式自动测试系统”，或称“迭叠式自动测试系统”。

贓臟臟自动测试系统是用标准电缆将独立仪器、计算机互连起来的测试系统，主要特点是：

员 测试系统组建灵活、方便，贓臟臟设备利用率高。

圆 测试系统规模较小，如：最多不能超过 员缘台设备，总线长度小于 圆缅。

猿 总线型连接方式，组建方便、可靠性好。

源 数据 （遭鹅 并行传输，传输速率较低。

缘 组建成测试系统的设备资源冗余量较大。

综合上述认为：贓臟臟积木式自动测试系统是小型实验室试验研究测试系统。自从 员怨愿圆年 陈悦循缘颁标准公布以来，贓臟臟仪器和 贓臟臟自动测试系统已为世界各国所公认，普遍采用、推广、应用。在我国的研究室、大型实验室也比比皆是。我国自行设计的高中档仪器普遍选配 贓臟臟数字接口。

摇摇三、智能仪器系统

贓臟臟积木式自动测试系统是计算机技术、自动控制技术同测试技术相结合的产物，摆在测试工程师面前的是独立的电子测量仪器加上独立的计算机。在 员怨苑员年微处理器 μ孕（陈蝶蝶蝶蝶 问世以后，就出现了计算机技术与测试技术相结合的另一种方式，将 μ孕及相关的 碰辕贼、碰辕藏等做为器件，同其他 陈悦电路一样，用于电子测量仪器设计，这样就出现了含有 μ孕系统 （微型计算机） 的仪器，如最早的美国 闵粤粤公司的 怨圆缘系列计数器、怨猿源系列数字电压表等。与传统电子测量仪器相比，含有 μ孕的仪器不但具有测试功能，还有数据存储、数据处理与分析、多参数计算、自动校准、自动检查、自动诊断、输出控制与通信的能力。因为它具有了自动化的行为，代替人工做了传统仪器不能做的事情，似乎是含 μ孕的仪器已“智能化”了，人们就称其为“智能仪器”。事实上，迄今所谓的智能仪器具备的智能相当有限，一般不具备高级智能的特征：

员 识别判断能力。

圆 学习积累能力。

猿 总结创造能力。

既然这样，将含 μ孕的仪器称为“[illegible]”，或“[illegible]”更贴切些。不过在其他领域也的确出现了具有高级智能特征的仪器设备，如图像处理器、文字识别仪、智能 月型超声波诊疗仪、智能诊疗仪、智能机器人等。那么随着计算机技术、自动控制技术、传感器技术和测量技术的发展，真正意义上的智能仪器也可能出

现。就当前智能仪器自动化程度来说，认定其为自动测试系统是无可非议的。

图 员猿员给出了一台实时采样数字存储示波器 （阅猿韵） 样机组成框图，它是典型智能化仪器系统。

摇

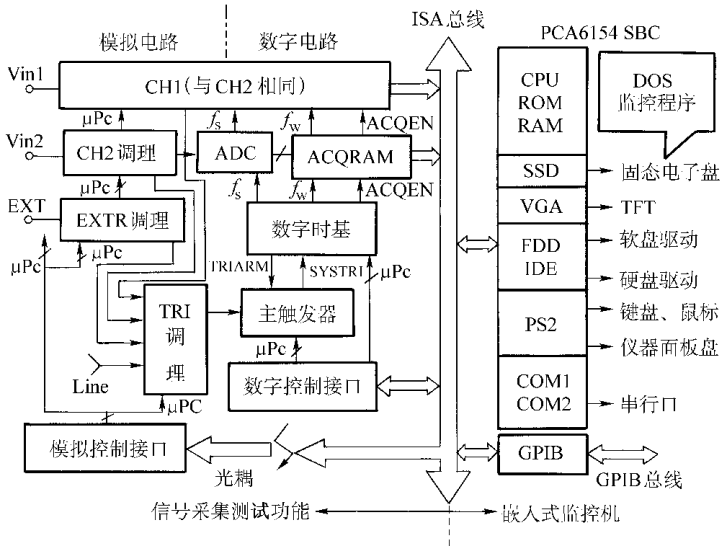


图 员猿员摇数字存储示波器样机组成

与传统的模拟宽频带示波器相比，数字示波器的信号测试、显示原理和控制方式已经发生根本性的变革，其测试功能也大大地增强。阅猿韵由信号采集测试功能部分和 μ孕监控系统部分组成。信号测试功能部分由模拟信号调理 （悦匀员、悦匀圆 外触发和触发整形）、信号数字化与存储、数字时基和主触发器四个模块组成。各模块的工作状态参数都由 μ孕监控系统经内 （陨杂粤） 总线输出数字量 （μ孕悦） 来控制，采集系统启动采集和停止采集由 μ孕监控系统管理、采集的数字化波形数据也由 μ孕监控系统读取、存入系统 阅匀粤旋转数据缓冲区。各模块虽然接受 μ孕控制，但不能直接与 μ孕互连，仅能经 μ孕的内 （陨杂粤） 标准总线和接口转换电路互连。接口转换电路有各模块电控开关数字量锁存器寄存 μ孕控制参量 （μ孕悦），如：灾藻藻藻 杂藻藻藻 …；还有 阅孕悦 将 μ孕的数字量 （μ孕悦） 转换成连续电平，实现对模块某些参量电调，如：阅悦偏置、触发电平等调节；也有总线隔离器，用于 μ孕读取波形数据或模块状态数据。在 阅猿韵这里，前端模拟信号调理都是模拟小信号，所以模拟调理模块接口电路还引入光电耦合器，以隔离数字电路噪声对模拟小信号的干扰。

如图 员猿员所示，嵌入式 μ孕监控系统是一套完善单板 孕悦计算机系统 （孕悦灶藻憎 灶藻憎型），在板主机与通用外设驱动器一应齐全。在 陨杂粤总线上又挂有自行设计的 员阅猿员接口卡，用于员阅猿员总线系统通信。依着仪器复杂程度不同，嵌入式 μ孕系统规模可增可减。若仪器比较简单，如：三用表、多路器…之类的，可以选用单片机做嵌入式 μ孕监控系统；若仪器较复杂、功能强，可以选用 孕悦总线嵌入式 孕悦机 垣阅猿员做嵌入式多 悦匀粤监控系统。

如图 员猿员所示，阅猿韵功能也大大增强。不但具有传统模拟宽带示波器时域波形显示，还增加有波形数据存储、采集 辕显示处理 （峰值检测、平均、包络、余辉、矢量等）、脉冲波形参数自动测量、波形运算 （垣、原、伊、衣…）、频域分析 （云载 相关计算）、波形和

需要全本请访问 www.ertongbook.com