

# 航空自动测试设备系统级校准方法探讨

付军立

(北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

**摘要:** 为了解决航空自动测试设备 (ATE) 校准问题, 从系统级校准方法角度, 提出了分级校准法、外内结合校准法和外部综合校准法, 通过对比上述校准方法的优势与不足, 给出了不同校准方法的适用范围; 分级校准法适用于测试资源配置较丰富的 ATE; 外内结合校准法和外部综合校准法适用于所有类型航空 ATE 的校准, 针对目前国产航空 ATE 的研制水平, 宜采用外内结合校准法; 随着 ATE 研制水平的提高, 外部综合校准法必将成为未来航空 ATE 系统的主流校准方案。

**关键词:** ATE 校准; 系统校准法; 分级校准法; 外内结合校准法; 外部综合校准法

## Discussion on the System—Level Calibration Method of Aerial Automatic Test Equipment

Fu Junli

(Beijing Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

**Abstract:** In order to solve the calibration problem of Automatic Test Equipment (ATE), three system—level calibration methods are proposed in this paper, including grading calibration method, internal with external combinative calibration method and external comprehensive calibration method. Through comparison of advantages and disadvantages between the above—mentioned calibration methods, the applicable using range of them are proposed. The grading calibration method is applicable to testing the ATE of rich resources; Internal with external combinative calibration method and external comprehensive calibration method are applicable to all types of ATE for aviation. Considering the level of domestic development of ATE for aviation, the internal with external combinative calibration method will be used; Along with the level of the ATE development raising, external comprehensive calibration method will be the mainstream of ATE system for aviation in the future.

**Keywords:** ATE calibration; system—level calibration method; grading calibration method; internal with external combinative calibration method; external comprehensive calibration method

## 0 引言

随着航空电子设备的日益复杂化, 综合自动测试系统 (automatic test system, ATS) 成为航空电子设备产品测试和维护检修过程中不可缺少的重要测试手段, 并广泛应用于机载装备的研制、生产、验收及使用维护等各个阶段。为确保其量值的准确可靠, 应对系统进行周期校准, 证明其能够满足被测设备的使用要求<sup>[1-3]</sup>。

航空 ATS 以测控计算机 (test control computer, TCC) 为核心, 由自动测试设备 (automatic test equipment, ATE)、测试程序集 (test program summary, TPS) 和 TPS 软件开发工具 3 部分组成。校准是针对其硬件平台 ATE 进行的。

## 1 航空 ATE 校准方法概述

航空 ATE 校准方法大致可分为两类:

1) 离位式单台仪器校准法: 即校准时把系统拆开对单台仪器进行计量, 是在 ATE 系统技术资料不完善或综合参数测试系统校准技术水平较低情况下的基于标准实验室溯源的计量保障模式。此方法存在诸多缺陷, 如单台仪器计量合格未必能保证其联合工作性能也符合要求、校准环境与使用环境不一致、仪器信号接口的安装条件对测试结果的影响及 ATE 配置的信号切换系统没有进行评价等, 随着 ATE 系统计量要求及

综合参数测试系统校准技术水平的提高逐步淘汰。

2) 系统校准法: 系统级校准属综合校准, 与个体校准及单参数校准相对应, 通常针对多参数测试系统而言, 解决的是系统整体校准问题。即在校准过程中保持系统的完整性, 把测试系统作为整体的单个校准对象, 其校准思想与校准一个具有多种功能的测试仪器是一致的。

系统校准法是未来航空武器装备测试系统的主要溯源形式。

## 2 航空 ATE 系统级校准的特点

1) 系统级校准: 即在校准过程中保持系统的完整性。系统级校准属综合校准, 与个体校准、单参数校准相对应, 通常是针对复杂测试系统而言, 要解决的是系统整体校准问题, 即把复杂测试系统作为整体的单个校准对象, 解决其测量结果的可靠性、准确性及溯源性。

2) 按照实际测试需求的校准: ATE 校准的功能项目和性能参数由测试系统的实际使用需求确定, 不是以组成系统的各测试仪器的固有功能和设计指标为准, 即由机载设备对 ATE 的要求反推其计量过程中的功能和性能指标。

3) 现场校准: 现场校准与传统的实验室校准相对应, 传统的实验室校准是无干扰计量, 不符合 ATE 的使用要求。鉴于航空 ATE 的体积、重量及不方便拆卸等原因, 及考虑实际使用环境的影响, 现场校准是未来武器装备测试系统溯源的主要形式。

4) 自动化校准: ATE 系统庞大, 通常包括各类信号发生/测量/调理、功率源、负载、开关切换系统等设备; 参数众多, 涵盖了包括电压、电阻、电流、频率、电平/幅度、脉冲

收稿日期: 2014-05-13; 修回日期: 2014-06-10。

作者简介: 付军立 (1975-), 男, 黑龙江人, 硕士, 高级工程师, 主要从事航空电子计量方向的研究。

宽度、衰减、噪声等在内的电磁和无线电参数,及角运动量参数、视频参数,甚至有的 ATE 还包括压力参数;频率范围宽,覆盖了直流至微波(18 GHz)范围。对这样一个综合系统采用手动方式校准显然是不现实的,必须采用自动化校准方式。

### 3 航空 ATE 系统级校准方法

航空 ATE 的校准根据测试系统的组成规模及功能不同可以采用不同的系统级校准方案,但基本可归结为分级校准法、内外结合校准法和外部综合校准法。

#### 3.1 分级校准法

分级校准法类似校准一个具有很强自校准能力的多功能程控测试仪器,校准原理如图 1 所示。

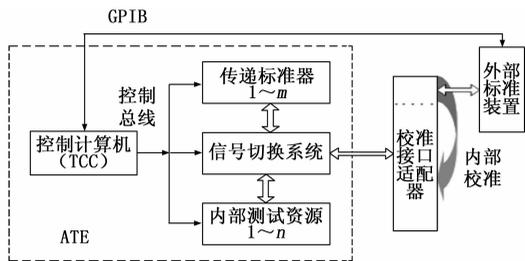


图 1 分级校准法原理图

校准过程充分利用 ATE 内部的自校准能力,利用有限的外部标准器,结合测试系统内部被选定为传递标准的测试资源,把校准系统和测试系统组合成一个有机整体。校准过程分两步进行:第一步,对被选为内部传递标准的测试资源进行校准;第二步,利用内部传递标准校准系统中的其它测试资源。内部传递标准不仅承担测试任务,而且起到类似二级计量标准的作用,既承担向上级溯源同时又向内部测试资源做量值传递的作用。

分级校准法的外部标准装置由标准测量或信号发生设备采用集合方式搭建,便于向上溯源,由于充分利用了 ATE 系统内的测试资源作为传递标准,使外部标准装置的组成规模远小于本文所述的另外两种校准方法;校准计算机与 ATE 的控制计算机共用,校准软件不具备通用性和可移植性;校准接口适配器独立于 ATE 的测试用接口适配器,信号切换系统采用 ATE 系统本身配置的测试资源,与承担机载设备测试任务时的使用方式相同,校准结果包含了适配器和信号切换系统的影响,有利于系统的综合评价。

#### 3.2 内外结合校准法

内外结合校准法类似校准一个具有多种功能的程控测试仪器,校准原理如图 2 所示。

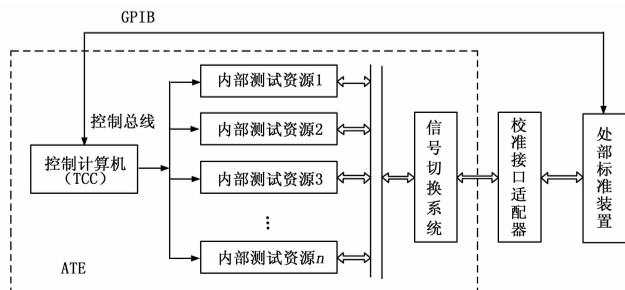


图 2 内外结合校准法原理图

在这种方案中,ATE 的所有参数直接溯源至外部标准装置,并通过组成外部标准装置的设备向上溯源至国家基标准。

内外结合校准法与分级校准法的外部标准装置相似,便于向上溯源,由于承担了 ATE 系统内所有测试资源作的量值传递任务,组成规模较大,硬件平台通过改装即可满足不同类型 ATE 的校准需求、通用性较强;校准计算机可以与 ATE 的控制计算机共用,也可以采用外置控制计算机,校准软件具有较强的通用性和可移植性;校准接口适配器独立于 ATE 的测试用接口适配器,信号切换系统采用 ATE 系统本身配置的测试资源,校准结果包含了适配器和信号切换系统的影响。

#### 3.3 外部综合校准法

校准原理如图 3 所示。

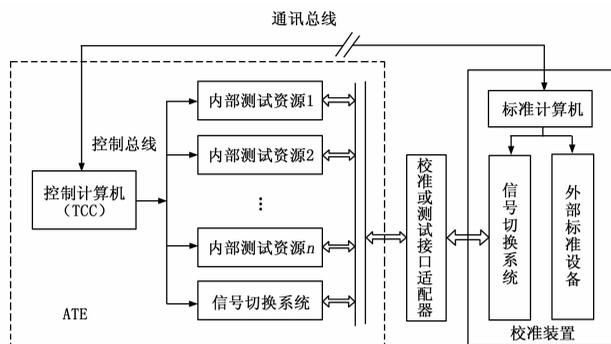


图 3 外部综合校准法原理图

外部综合校准法中,ATE 被当作一个黑匣子来对待,校准时只要掌握它的对外联接方式与通讯方式即可,不涉及其内部结构,ATE 的所有参数直接溯源至外部校准装置。

外部综合校准法的校准装置独立成为系统,包括校准计算机、标准设备和独立的信号切换系统,校准装置的通用性很强,通过简单的改装或校准软件的开发,即可满足不同类型 ATE 的校准需求;校准软件具有很强的通用性和可移植性;校准接口适配器可以单独配备,也可以采用 ATE 的测试用接口适配器,能够对 ATE 测试机载设备所有测试功能进行校准,计量目的明确、针对性强。

## 4 各系统级校准方法的优势与不足

#### 4.1 分级校准法

分级校准法的优势体现在两个方面:1) 外部标准装置简约化;2) 有大量的校准工作是在测试系统内部自动进行的,因而可以在每次进行产品测试时先进行内部自校准,使得长周期的校准工作变成日常测试工作的一部分,极大地提高了 ATE 测试结果的可靠性和准确性。

其不足为校准系统和被校准对象互相关联,对 ATE 的硬件依赖性强,一旦作为内部传递标准的测试资源出现问题,无法完成整个计量过程。

#### 4.2 内外结合校准法

内外结合校准法的优势有两个方面:1) 外部标准装置和 ATE 系统的硬件关联性小,具有较强的通用性;2) 校准计算机可以单独配置,减少了对 ATE 测控系统的影响,简化了软件工作量,提高了系统可靠性。

其不足主要是外部标准装置规模较大,装置便携性不理想。

#### 4.3 外部综合校准法

外部综合校准法的优势:1) 这种校准方案技术较为先进,校准系统和 ATE 相互独立,不仅硬件无关联,而且软件也各

自独立；2) 校准系统可靠性好，维护和软件升级都很方便，具有很强的通用性。

不足之处表现为外部标准装置为独立的综合系统，导致其本身必须作为系统进行溯源，否则无法有效评价校准系统的技术指标，增加了溯源工作量。

通过以上比较，分级校准法的外部标准装置组成规模最简约，但对 ATE 本身测试资源的配置情况要求较高；外部综合校准法的外部标准装置为独立的综合系统，也应按照系统方式进行溯源，且组成规模最大，不便于 ATE 现场校准工作的开展，但其通用性最好；外内结合校准法的外部标准装置介于上述两种方案之间，与分级校准法相比通用性更强但便携性略差，与外部综合校准法相比溯源性更强但通用性略差。

此外，外部综合校准法无论是对 ATE 生产商还是对校准系统研制单位的要求都很高。对于 ATE，要求遵循一系列设计、生产规范，尤其是对测试资源的选购、研制、配置、输入输出控制等方面，要求极为严格。为了使系统易于使用和维护，对 ATE 测试软件要求很高，不仅要可靠和安全，而且要有严格的层次，尤其是用户应用层程序必须实现与硬件的无关联性。目前国内 ATE 的研制现状，在结构设计和校准接口规范方面的标准很不完备，加之对 ATE 校准的认知和理解程度参差不齐、做法多样，因而校准系统和测试系统 (ATE)

难以完全独立，同时考虑降低研发成本等因素，分级校准法和外内结合校准法更符合当前国产 ATE 的实际发展状况，也能够满足其计量需求。

### 5 结语

综上所述，分级校准法适用于测试资源配置较丰富的 ATE，即可用于 ATE 的首次校准和周期校准，也能够用于校准周期内的不定期或使用前的技术状态确认，避免由于 ATE 系统工作不正常或数据不准确，造成对机载电子设备的误判，导致飞机维护成本的提高；外内结合校准法和外部综合校准法适用于所有类型的航空 ATE 的首次校准和周期校准，目前外内结合校准法更加适用，随着 ATE 研制水平的提高，外部综合校准法必将成为未来航空 ATE 系统校准的主流方案。

#### 参考文献:

- [1] GJB5109—2004, 装备计量保障通用要求 检测和校准 [S]. 中国人民解放军总装备部, 2004, 3: 10.
- [2] 季进健, 孟晨. 等. 通用 ATS 自动计量技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (6): 1290-1293.
- [3] 纪明霞, 杨春英. 机载设备 ATE 通用自动计量系统的设计与开发 [J]. 计算机测量与控制, 2005, 13 (12): 1348-1350.

(上接第 2401 页)

表 4 简化后的动态速度曲线生成错误的条件概率表

节点变量	概率值	节点变量	概率值
$P(n1=0)$	0.10	$P(p1=1, p2=0, n2=1)$	0.92
$P(n1=1)$	0.90	$P(p1=1, p2=1, n2=0)$	0.06
$P(p1=0)$	0.06	$P(p1=1, p2=1, n2=1)$	0.94
$P(p1=1)$	0.94	$P(n1=0, n2=0, h1=0)$	0.14
$P(p2=0)$	0.05	$P(n1=0, n2=0, h1=1)$	0.86
$P(p2=1)$	0.95	$P(n1=0, n2=1, h1=0)$	0.12
$P(p1=0, p2=0, n2=0)$	0.10	$P(n1=0, n2=1, h1=1)$	0.04
$P(p1=0, p2=0, n2=1)$	0.90	$P(n1=1, n2=0, h1=0)$	0.10
$P(p1=0, p2=1, n2=0)$	0.08	$P(n1=1, n2=0, h1=1)$	0.90
$P(p1=1, p2=1, n2=1)$	0.92	$P(n1=1, n2=1, h1=0)$	0.08
$P(p1=1, p2=0, n2=0)$	0.08	$P(n1=1, n2=0, h1=1)$	0.92

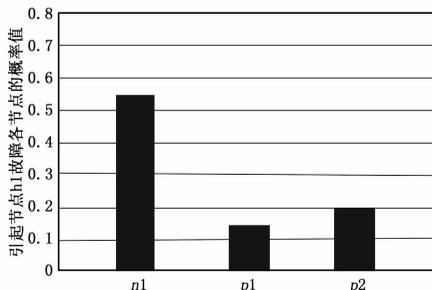


图 6 节点 h1 发生时各节点的概率值

由分析可知，节点 h1 动态速度曲线生成错误故障发生最有可能是由节点 n1 限制行车终点错误引起的。因此在实际的运营生产工作中应尽量避免这种故障的发生。

### 3 结束语

高速铁路快速发展使得列控系统设备运营数量不断增加，

运用环境也日益严峻。作为新技术的列控系统非常复杂，高铁的相关维护和维修现场没有形成经验，设备故障后大多需要厂家来解决。故障排查过程繁琐，消耗时间大。贝叶斯网络故障推理能为路局现场技术人员查找并排除故障提供帮助，提高其工作效率。相应的因果推理和诊断推理分析，直观地图示出了各种故障原因和故障现象之间的因果关系和层次关系，体现了贝叶斯网络信息融合的能力。再者从系统中得到变化的基本故障概率值能够反映出子系统或器部件的故障趋势，发现设计的薄弱环节，以便改进设计，增强了监测的功能。

#### 参考文献:

- [1] 李海军, 马登武, 刘宵, 等. 贝叶斯网络理论在装备故障诊断中的应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [2] 樊宁. 贝叶斯网络推理算法在故障诊断中的应用 [J]. 信息技术, 2011, (4): 158-161.
- [3] Gran B A. Assessment of programmable systems using Bayesian belief nets [J]. Safety Science, 2002, 40 (9): 797-812.
- [4] 牛振宇. 基于改进贝叶斯网络的复杂系统故障诊断模型研究 [D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [5] 付双. 基于贝叶斯网络的 CBTC 故障诊断 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [6] Bennacer L, Ciavaglia L, Chibani A, et al. Optimization of fault diagnosis based on the combination of Bayesian Networks and Case-Based Reasoning [A]. Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE [C]. IEEE, 2012: 619-622.
- [7] Huang H, Abdel-Aty M. Multilevel data and Bayesian analysis in traffic safety [J]. Accident Analysis & Prevention, 2010, 42 (6): 1556-1565.
- [8] 董昱. 区间信号与列车运行控制系统 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.