

# 基于数字化仿真技术的模块化装配单元应用

## Application of Modular Assembly Unit Based on Digital Simulation Technology

庆安集团有限公司 唐 竞

**[摘要]** 传统航空机电产品尤其是液压产品的装配工艺复杂,总装工艺流程长,生产过程控制困难,装配质量难以保证。利用数字化仿真技术实现模块化部件装配单元规划,有利于提升装配专业化水平,缩短总装周期,实现产品的快速产出。

**关键词:** 模块化 成组技术 装配单元 仿真

**[ABSTRACT]** The assembly process of traditional aviation electromechanical product is complicated and long, it is difficult to control process and quality. Planning modular parts assembly unit with the digital simulation technology has significant functions to promote the professional ability of assembly, to reduce the cycle of the assembly and to achieve rapid production.

**Keywords:** Modularization Group technology Assembly unit Simulation

航空机电产品是飞机的重要组成部分,具有产品分布广、复杂程度高、产品种类多和生产批量小的特点,沿着传统的固定式装配模式,生产组织困难、生产效率较低、生产质量不稳定,成为整个飞机制造过程中的瓶颈环节,经常造成飞机无法准时交付。如何提升装配生产能力和产品质量,成为航空机电产品制造企业当前面对的首要问题。

### 1 传统装配技术和生产的特点

航空机电产品的生产是典型的小批多种生产模式,国内航空机电产品装配技术水平和生产模式普遍比较落后,其特点是:

(1) 工艺技术方面,普遍采用基于二维数字模型的装配工艺设计模式,设计平台以 AutoCAD 等二维设计平台为主,设计效率低,企业知识复用能力差;基于经验的工艺设计方法,缺乏有效的校验手段,设计中难以发现工艺方案的错误,工艺规程可用性差,大周期的工艺迭代严重影响了装配生产;装配工艺没有明确的阶段划分,所有的组件装配都在总装配过程中进行,工艺流程漫长,工艺过程不易受控。

(2) 生产模式方面,大多采用基于手工的传统固定

式装配生产方式,在固定的装配工位上,由一组特定的操作工完成所有零件的装配工作,需要独占厂房、设备和人员等生产资源,资源利用率低;产品以年产量纲为单位成批投入,生产灵活性不足,难以响应生产任务的变化;装配过程没有工位划分,没有技术分工,所有工人均参加所有工序装配工作,对工人的技术水平要求比较高,装配质量受人为因素的影响比较大,质量稳定性数差。

### 2 数字化仿真技术与模块化装配含义

随着计算机图形学和运动仿真学的飞速发展,以数字化仿真技术为基础的“数字工厂”在机械制造领域得到了广泛的应用。在产品装配工艺设计领域,可利用数字化仿真技术,从工艺设计到制造形成一套完整的数字化制造流程,完成装配工艺规划、装配工艺详细设计、装配过程仿真与验证、装配生产线设计和仿真分析等工作。

模块化装配是将模块化技术用于产品装配生产,实现企业装配生产实现快速响应的生产组织方式。模块化装配方式下,独立的功能模块是装配生产的基本单元,由零件、部件的组合和连接,装配成各种功能模块;再选取所需的功能模块,对其进行组合和连接,最终形成满足功能需求的产品<sup>[1-2]</sup>。在具有小批量多品种生产特点的机械制造领域,模块化是化解产品总装流程复杂问题的有效方式。例如在某航空液压产品的总装生产中,为保证产品性能,设计了“装配-分解-再装配”的特殊工艺流程,造成装配过程复杂,不可控因素增加,质量稳定性差等问题,可通过采用模块化生产,将复杂的系统拆分成若干子系统,可达到降低整体复杂程度的效果。

### 3 模块化装配单元设计

#### 3.1 总装配与部件装配

为降低总装生产复杂程度,将装配生产流程划分为总装配和部件装配 2 个部分。如图 1 所示,在总装配阶段建立移动式装配生产线,而部件装配则采用模块化的单元生产方式组织生产。通过分析产品的装配工艺方

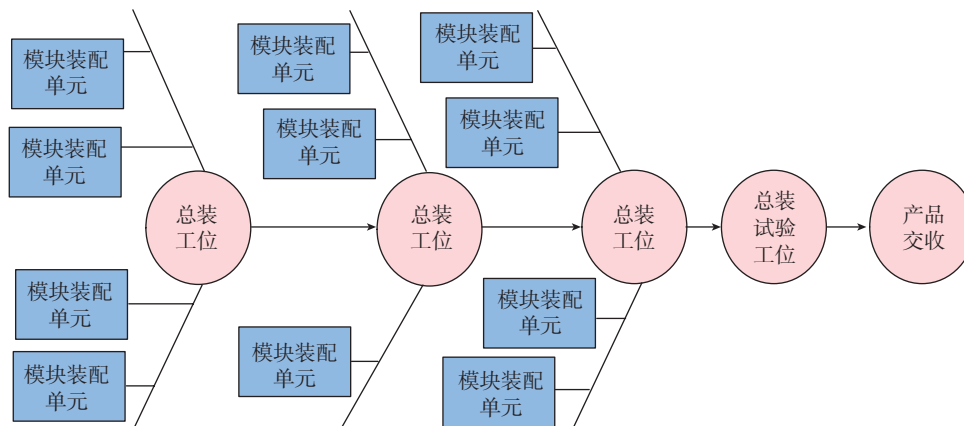


图1 总装配生产线与部件装配单元的关系

Fig.1 Relationship of total assembly line and parts assembly unit

法和流程,将产品划分为若干个功能模块,组织基于成组的装配单元,实现专业化的部件装配生产,为总装配提供性能合格的“成件”,保障总装生产线的高效率运行。

### 3.2 功能模块划分

模块化生产以模块为基本单位,模块的宽度、深度决定了生产线的柔性,进而影响产品装配的效率,因此根据企业产品特点划分各功能模块,是设置模块化部件装配单元的关键环节<sup>[3]</sup>,而产品功能模块的划分为实现模块化装配的核心内容。

对产品进行模块化划分的原则是:

(1)“功能模块”是实现某一功能的最小配置,要保证该组合体能“继承”产品的某一功能,与其他模块互不相关,但具备与产品的接口。

(2)“功能模块”的划分不拘泥于产品设计结构。由于产品设计暂未实现模块化,产品的组件设置不一定能满足模块化划分的需求,因此应依据功能的需求进行划分。

(3)“功能模块”具有特定的性能指标,要将产品的性能指标进行分解,形成功能模块的性能指标要求,以满足模块装配过程的性能试验需求。

(4)“功能模块”可作为独立单元管理,装配完毕可作为独立组件交付。

(5)“功能模块”应包括装配完毕后不可拆卸的零件,以避免造成零件的损坏。

依据以上原则,对企业的液压产品进行功能模块划分,可形成若干个典型的独立的功能模块,如图2所示。

### 3.3 规划成组工艺

根据功能模块的划分原则将产品划分成若干个模块族,在分析模块族的装配工艺方法、流程和设备的基础上,通过复合工艺路线法编制该模块族的工艺,最终形成基于流程的成组工艺。根据模块族的成组工艺要

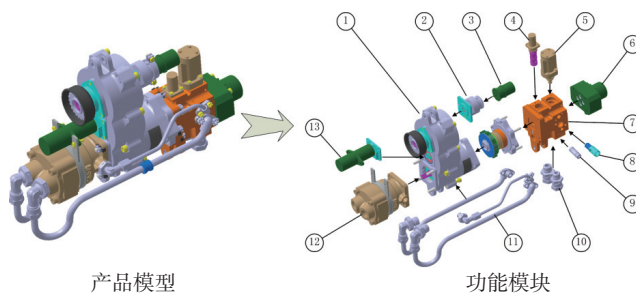


图2 某产品的模块划分

Fig.2 Process of modular division of a product

求,采取通用化、系列化、标准化的设计方法,设置成组工艺装备。

运用规划成组工艺,不仅能够通过专业化的生产缩短装配周期,稳定装配质量,还能够将总装配流程上的复杂的控制要求,分解并转移到模块装配阶段,解决传统总装配流程复杂的问题。比如某液压产品装配中的“装配-分解-再装配”工艺流程造成产品装配过程复杂的问题,可以通过将需分解的相关零件组合成“功能模块”,在该模块的装配过程中完成原来需要在产品上完成的磨合、试验要求,可以减少需分解的零件数量,从而缩短装配周期,降低总装过程的复杂程度,加快产出速度。

### 3.4 产品性能指标转换

传统的装配流程,产品的各项功能指标统一在总装试验中进行测试,一旦发现性能指标不合格,需要经过多次“拆卸-调整-安装”的故障排查流程,才能排除故障,拖延了产品的总装配周期。

“功能模块”带有功能指标要求,可通过分解产品的性能指标,分配到相应的“功能模块”装配过程中进行考核,交付时考核相关性能指标,总装时将功能模块作为性能合格的成件直接使用,不再重复考核相应的指标,可有效提升部件装配的一致性,保障部件质量,同时

也减少了总装期间的试验周期。

产品性能指标的转换,需要产品设计人员的参与,通过理论计算和工艺试验,获得合理的模块性能指标。某液压产品的性能指标与模块性能指标对比如表 1 所示。

表1 产品性能指标与模块性能指标对比

序号	产品性能指标	模块性能指标
1	产品保护开启压力	检查安全阀模块开启压力
2	通压时碟簧压缩正常	检查制动器模块中碟簧组件的压缩量
3	产品运动时测量速度范围	检查测速模块可测量速度范围
4	产品传动比	检查齿轮箱模块传动比
5	额定压力下额定扭矩	检查齿轮箱模块额定输出扭矩

求布置在工作台的工具架上,方便操作工人拿取和使用。

## 4 数字化仿真技术的应用

目前,国内航空机电产品制造企业普遍实现了产品设计数字化,为工艺设计的数字化创造了先决条件。运用产品的三维数字模型,在工艺设计阶段完成装配工艺方案规划、装配工艺详细设计与仿真验证、装配生产线规划与仿真,为制造阶段提供基于数字化仿真的现场可视化工艺资料,从而打通产品设计、工艺设计和制造的全程数字化流程,实现“数字工厂”。

### 4.1 装配工艺设计、仿真与校验工作

应用数字化装配仿真技术,在虚拟现实环境下完成模块装配过程的详细设计工作(图 4),并运用虚拟仿真与校验替代传统的实物验证方式,提升装配工艺的可行

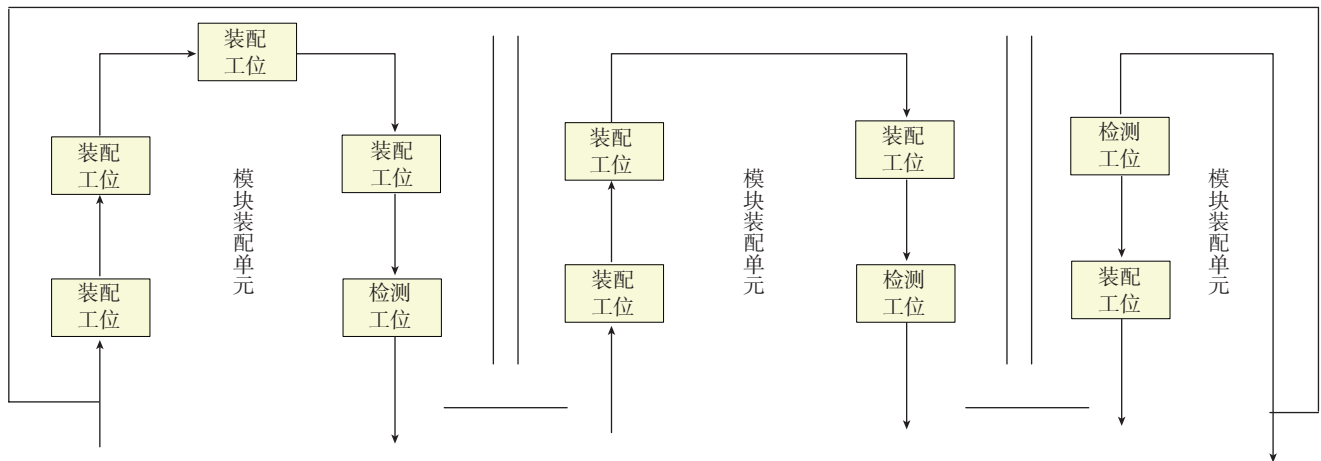


图3 模块装配单元示意图

Fig.3 Diagram of modular assembly unit

### 3.5 生产单元布局

采用基于流程的生产布局,按照精益生产的要求,设置模块化装配生产单元,如图 3 所示。

根据工艺特点选择装配工位布局方式。以缩短装配过程的物流路线、减少时间浪费为目标,根据单元的工艺特点,分别选取直线型或 U 型的工位布置方式,设计生产单元。

根据装配流程设计装配工位。装配工位的设置根据模块的装配流程长度确定。如果装配工作仅需单人,经较短的流程即可完成,则采用固定式的装配模式;如果装配流程较长,需要多人分工完成,则可按需布置移动式的装配单元,由多人经过流水的方式完成装配作业,目标是提升装配效率。

以便于使用为目标,合理布置装配过程中所需的工装和设备。摒弃基于能力的传统工装设备布局方式,设置通用的工作台,将试验设备和工装、工具根据流程的需

性,能缩短工艺迭代周期或避免工艺迭代,进而缩短产品装配生产周期。

在某产品的装配工艺设计过程中,通过装配过程仿真与验证,发现测速模块与卡箍零件发生干涉。经分析,问题原因是外购测速电机上的孔位公差过大,从而造成测速电机与卡箍零件的干涉,可通过修改卡箍零件的特征解决干涉问题,如图 5 所示。

### 4.2 完成装配生产单元的设计与仿真工作

在详细工艺设计方案的基础上,导入人、工装、设备和厂房的数字模型,完成装配生产单元布局规划和生产线运行仿真工作,并进行人机工程分析以优化生产线设计方案,提升生产单元设计方案的可行性,如图 6 所示。

在装配仿真软件中进行人机工程分析,查看工人分别处于坐姿和站姿状态时最舒适的操作范围,将所需的工具根据使用的频率分别布置到合理的区域,如图 7 所

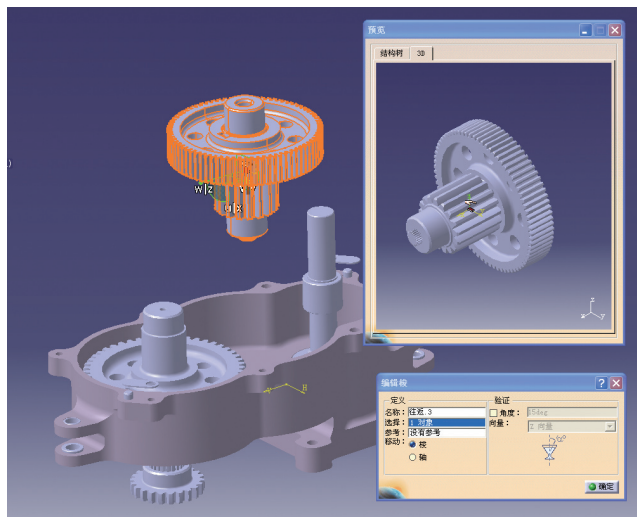


图4 模块装配工艺详细设计

Fig.4 Design in detail of modular assembly process

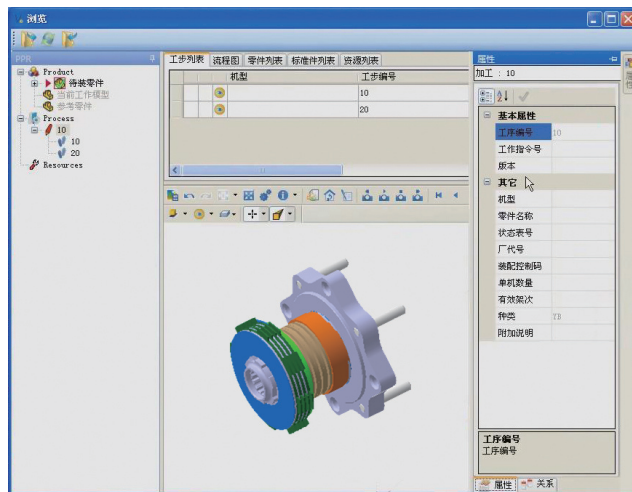
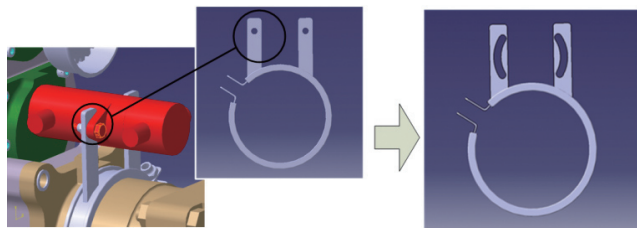


图8 生产现场交互式工艺规程

Fig.8 Interactive procedure in workshop



(1)发生干涉 (2)查找原因 (3)修改零件,解决故障

图5 装配仿真验证与干涉问题解决

Fig.5 Problem solving process of interference with simulation and verification of assembly

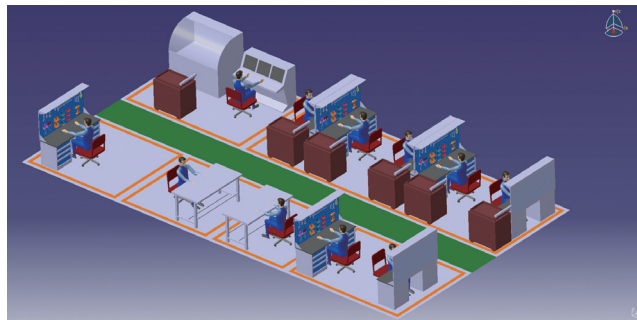


图6 模块化装配生产单元设计与仿真

Fig.6 Design and simulation of modular assembly production unit

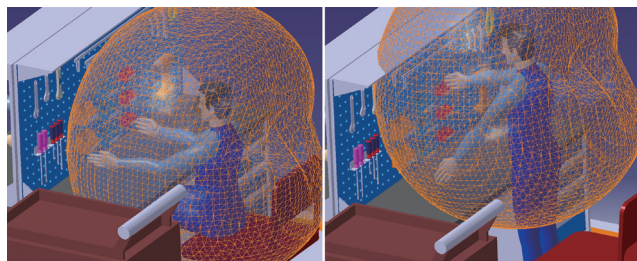


图7 根据人机工程分析结果设置工具的摆放方案

Fig.7 Put tools with result of man-machine engineering analysis

示。

### 4.3 基于数字化技术的成组工艺设计

建立模块装配生产单元典型产品的工艺、方法、流程和设备的数字模型,运用成组的方法对模型进行标准化的定义,形成单元装配的通用工艺方法、流程和设备需求,从而形成生装配单元的成组工艺,并由企业产品数据管理系统 PDM 进行统一管理,提供装配工艺设计与管理软件使用,用于产品装配工艺的快速设计。

### 4.4 装配现场可视化

将三维装配工艺输出为交互式的工艺指导文件(图 8),在生产现场的可视化终端调取使用,便于指导操作工人进行装配操作,实现生产现场的无纸化。

## 5 基于仿真技术的模块化装配单元的优势

采用模块化的部件装配生产模式,可有效缩短产品总装装配生产线的长度,降低总装生产线上零件数量,降低管理的复杂性;模块化单元生产可提高企业装配工艺标准化程度,有利于工艺装备通用化,降低产品研制成本;模块化的部件装配单元,既可以与移动式的总装生产线形成并行生产,缩短生产周期,也便于实现产品的单件生产,具有较高的灵活性;模块化装配单元生产有利于提高专业化水平,提升质量保障能力<sup>[4-5]</sup>。

基于数字化技术的模块化部件装配单元规划和成组工艺设计,运用知识工程实现装配工艺的快速设计,有利于缩短装配工艺准备时间;数字化仿真技术的运用,对装配工艺设计方案进行校验,查找并消除由于装配方案错误所造成的返工,能有效缩短装配周期,实现产品的快速产出;在仿真环境下设计模块化装配单元,可校验设计方案可行性,并能通过人机分析优化设计方案。

(下转第 98 页)

间有 3 个 TB 基准点和 4 个 ERS 点为公共基准参考点,符合转站公共点要求。装配测量框缘外形和平垂尾交点时 2 台跟踪仪分别放在工装前侧和后侧,如图 3(c)所示。置于工装前侧激光跟踪仪与后侧跟踪仪相对,在工装中轴线上,距工装下导轨前端面 1.5m,光源高度 3.4m,测量时前后 2 台激光跟踪仪共用了 8 个公共基准点符合要求。通过运用激光跟踪仪构建的大尺寸高精度测量场技术,实现了某型号飞机后机身的精准装配。

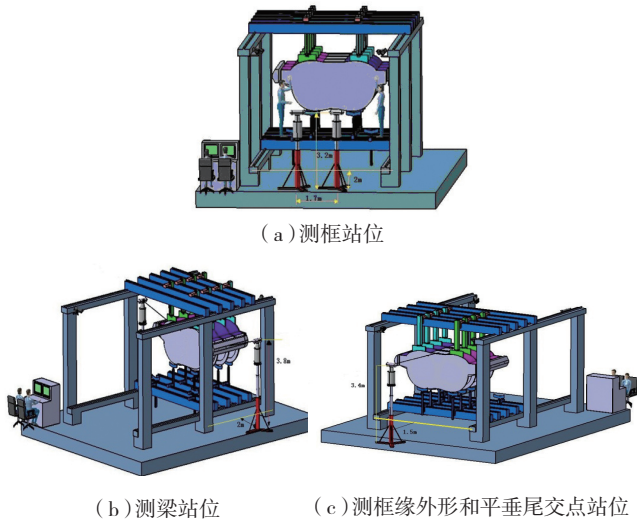


图3 质量控制测量场激光跟踪仪站位布置

Fig.3 Arrangement of laser tracker in quality control measurement field

### 3 结束语

在某型飞机研制过程中,利用激光跟踪仪分别在后机身部件总装工位、大部件预总装工位和部件质量检测工位构建了空间测量系统。利用上述测量系统,实现了部件装配平台运动闭环控制,完成了飞机大部件预总装动态调姿引导,并可对飞机部件装配质量进行定量监控,在新一代飞机研制过程中取得了显著效益,受到各界的一致好评。有理由相信,方便、快捷、精度高的激光跟踪仪随着我国飞机装备制造业的飞速发展,其应用也将更加广泛。

#### 参考文献

[1] 许国康. 大型飞机自动化装配技术. 航空学报, 2008(3): 737-738.

[2] 范平, 范玉青. 突破技术趋同波音再现竞争优势—对大型飞机研制技术的战略性分析. 航空学报, 2008, 29(3): 707-712.

[3] 邹冀华, 许国康. 大型飞机装配中的数字化测量系统分析和研究. 航空制造技术, 2010(3): 49-53.

[4] 王彦喜, 闵俊, 刘刚. 激光跟踪仪在飞机机型架装配中的应用. 航空制造技术, 2010(19): 92-94.

(责编 小城)

(上接第 81 页)

### 6 结论

采用基于仿真技术的模块化装配生产单元,能提高装配技术水平,降低总装生产的复杂性,缩短装配生产周期,是航空机电制造企业提升快速响应能力,打造核心竞争力的重要途径。

#### 参考文献

[1] 杨军伟. 模块化装配生产在汽车总装生产工艺中的运用. 硅谷, 2013(17):11-13.

[2] 郑德权, 赵福全, 回金楷, 等. 总装工艺模块化装配设计. 汽车工艺与材料, 2010(10):40-43.

[3] 刘会芬. 模块化生产方式的形成演化及其实现. 商业时代, 2009(20):43-45.

[4] 范玉青, 梅中义, 陶剑. 大型飞机数字化制造工程(第 1 版). 北京: 航空工业出版社, 2011:545-557.

[5] 于贰珍. 汽车装配工艺模块化设计研究. 科技视界, 2014(2):82-84.

(责编 深蓝)

(上接第 95 页)

理;

(4) 对应于各子系统群组进行分布式的网络化系统参数设置。包括: 测试电压、电流标准值、阈值、误差范围、延时等;

(5) 支持被测线缆分组表可将一个产品中的多套线缆分组编辑成一个测试文件, 一次完成所有单元测试, 便于分类查找、判断、分析、提高测试效率;

(6) 根据网络化信息的采集, 显示每一导线的起点、终点、测试参数、导线阻值及网络关系;

(7) 支持系统的分布式网络化模拟运行。

多线程信息服务的软件设计与嵌入式系统的应用相结合, 以及对现场设备技术状况的正确采集和处理, 形成了分布式线缆自动检测系统的主体。分布式网络化系统最终是否能够有效和稳定地发挥作用, 很大程度上都决定于这一工作能否正确地完成。

总之, 分布式线缆自动检测系统不仅涉及到众多的信息接口和信传协议等软问题, 而且还涉及到各种链路方式与不同信传媒介混合配置等硬问题。因而在信息集成系统的底层, 需借助嵌入式系统的多方介入, 以建立类似通用性网络系统的信息化平台。并根据检测过程的要求, 对之进行信息融合与网络化管控。使整个系统在具备实时响应的运行基础上, 实现分布式的宏观集成。

(责编 亿霖)