

GUANGJIDIAN YITIHUA
YIQI ROUXING JICHENG
GUANJIAN JISHU YANJIU

光机电一体化仪器柔性集成

关键技术研究

吴国新 著



中央民族大学出版社

Y I Q I R C

I T I H U A

H E N G

GUANJIAN JISHU YANJIU

光机电一体化仪器柔性集成

关 键 技 术 研 究

吴国新 著

常州大学图书馆
藏书章



中央民族大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

光机电一体化仪器柔性集成关键技术研究/吴国新著. —北京:
中央民族大学出版社,2017.6 (2017.6重印)

ISBN 978 - 7 - 5660 - 1349 - 1

I. ①光… II. ①吴… III. ①光电仪器—柔性制造系统
IV. ①TH89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 110214 号

光机电一体化仪器柔性集成关键技术研究

作 者 吴国新

责任编辑 李苏幸

封面设计 舒刚卫

出 版 者 中央民族大学出版社

北京市海淀区中关村南大街 27 号 邮编:100081

电话:68472815(发行部) 传真:68932751(发行部)

68932218(总编室) 68932447(办公室)

发 行 者 全国各地新华书店

印 刷 厂 北京盛华达印刷有限公司

开 本 787 × 1092(毫米) 1/16 印张: 13.5

字 数 240 千字

版 次 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5660 - 1349 - 1

定 价 48.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

仪器发展水平是国家经济发展和现代制造业水平的重要标志，我国仪器产业技术水平与国外先进水平比较，尚存在较大差距。针对仪器的研发方式相对单一滞后，对市场动态响应速度慢，产品技术高附加值低，竞争能力差等主要问题，本书提出了一种面向光机电一体化仪器的柔性集成开发方法，运用柔性集成技术提高研发水平并加快研发速度，在复杂多变的市场环境中，探求一种能及时满足顾客需求的仪器产品集成开发新模式，结合光机电一体化仪器产品高技术、多品种、小批量等特点，主要进行以下几方面研究工作的分析与阐述：

(1) 柔性化集成研发光机电一体化仪器产品的思路与途径。分析并提出了仪器柔性集成系统理念与内涵，针对构建仪器柔性集成系统的具体实践过程，建立了系统集成与柔性化集成的机制途径。将仪器研发设计、系统集成与优化、实验调试等环节作为一个体系进行柔性集成研究，实现了各个研发环节的信息柔性互联与共享，达到解决仪器共性与非共性技术的柔性集成研发的目的。

(2) 面向光机电一体化仪器的柔性集成方法。提出一种基于网络化协同设计的仪器结构设计方法以及实现光机电一体化仪器的二次集成优化设计方法。对光机电一体化仪器的柔性集成方法关键技术具体实践研究，通过提供硬件集成机制及环境，建立网络化协同设计结构，提出面向网络化协同设计的多目标优化算法，建立基于 TRIZ 理论体系的优化设计方法，解决仪器产品柔性集成过程中的设计问题；建立光机电一体化仪器测控系统的柔性可重构研发系统，通过对现有结构、模块以及子系统的重新组合，来达到快速构建仪器测控系统的要求；面向精密温控仪器提出多级递阶智能集成控制方法，柔性集成仪器随机误差处理方法，系统非线性校正误差处理方法以及基于小波变换阈值的信号滤波处理方法等典型关键技术。

(3) 柔性集成智能控件化的虚拟仪器系统。通过具体研发机电一体化仪器系统实践过程，阐述建立柔性化可重构虚拟控件模型的方式方法，将虚拟控件模

型与仪器开发建立融合统一的模型，柔性化可重构地建立虚拟控件与仪器功能的互联互通，并通过实验研究实践验证了系列柔性可重构虚拟控件的柔性集成效果。

(4) 建立面向仪器柔性集成开发的多属性综合评价模型。提出基于小波网络的综合评价方法，从功能评价角度建立综合评价体系，给出由评价指标属性值到输出综合评价值的非线性映射关系的多属性综合评价过程，通过反馈实现对仪器功能设计环节的重构集成与优化；研究柔性集成仪器理论误差、工艺误差、动态误差、温度误差和随时间变化误差的处理方法，给出最大误差法、概率计算法和综合计算法，实现了对仪器精度误差的柔性集成化评判分析。

(5) 具体构建仪器柔性集成开发的实践验证系统。基于该实践验证系统，提供了为光机电一体化仪器的集成开发所需的资源共享、柔性环境、信息互联、综合评价等关键技术支撑，以实践应用方式研究了典型光机电一体化仪器的柔性集成开发过程，实验验证了柔性集成机制、柔性互联方法以及集成资源的应用效果，该方法与途径是快速柔性化集成研发不同仪器系统的有效途径。

本书所阐述的内容有利于扩展光机电一体化仪器柔性集成研发的模式定位，有利于提高仪器产品柔性化、集成化、智能化、网络化、最优化、系统化等开发特点，能够适应协同设计、智能设计、虚拟设计、创新设计、资源节约设计、全生命周期设计等现代仪器产品开发的发展方向。

本书在写作过程中参考或引用了许多学者的资料，作者已尽可能在文末的参考文献中列出，在此，谨对他们表示衷心的感谢。若某些引用资料由于作者疏忽等原因没有标注其出处，在此表示歉意。

本书得到了北京市教育委员会科技发展计划重点资助项目“光机电一体化测量分析仪器系列产品的数字化智能化技术研究”；国家外国专家局国际科研合作项目“面向光机电一体化测控系统的人工智能技术”；北京市教育委员会学术创新团队计划项目“面向光机电一体化的现代测控技术研究及应用开发平台建设”及北京市属高等学校青年拔尖人才培养计划项目（CIT&TCD201404120）、北京市优秀人才培养资助项目（2013D005007000009）、现代测控技术教育部重点实验室、机电系统测控北京市重点实验室等项目的资助，在此一并表示感谢。

由于光机电一体化技术还在不断地发展，作者热诚欢迎各位专家学者对本书提出宝贵建议，希望能通过与各位的交流提高相关领域的研究水平。

作者
2016年12月

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 仪器集成开发的发展概况	(1)
1.2 光机电一体化仪器的发展过程综述	(2)
1.3 光机电一体化仪器的研发过程综述	(5)
1.4 光机电一体化仪器柔性集成的关键技术综述	(10)
1.5 仪器柔性集成对传统产品测控系统的技术提升途径	(11)
第2章 光机电一体化仪器柔性集成机理	(13)
2.1 仪器柔性集成系统理念	(13)
2.1.1 仪器柔性研发的技术特征	(13)
2.1.2 仪器柔性集成系统的内涵	(15)
2.1.3 仪器柔性集成系统主要机制	(15)
2.2 仪器柔性集成系统运行原理	(23)
2.2.1 仪器柔性集成系统结构特征	(23)
2.2.2 仪器柔性集成系统的柔性体系结构特征	(23)
2.2.3 柔性体系结构与开发资源的柔性互联方法	(25)
2.2.4 多重闭环柔性集成系统的运行方法	(27)
2.3 仪器柔性集成系统的创建	(29)
2.4 本章小结	(31)
第3章 光机电一体化仪器柔性集成的方法及应用	(33)
3.1 网络化协同设计方法的提出	(33)
3.1.1 网络化协同设计原理	(34)
3.1.2 网络化协同设计集成环境	(35)
3.1.3 网络协同优化设计方法	(36)

3.2	网络化协同多目标优化设计方法	(39)
3.3	网络化协同测控系统的柔性集成	(42)
3.3.1	仪器测控系统柔性集成方法	(43)
3.3.2	仪器测控系统柔性集成体系框架	(45)
3.3.3	仪器测控系统的柔性集成运行方法	(47)
3.4	柔性集成网络化协同设计的应用	(50)
3.4.1	典型仪器结构的初步设计	(50)
3.4.2	典型仪器柔性集成仿真设计	(54)
3.4.3	仪器柔性集成的优化设计	(59)
3.5	可重构虚拟控件的柔性集成设计方法	(64)
3.5.1	虚拟控件的提出	(64)
3.5.2	可重构虚拟控件的集成设计方法	(64)
3.5.3	虚拟控件与功能互联的方法	(69)
3.6	本章小结	(72)
第4章	光机电一体化仪器柔性集成的典型信号处理及应用	(74)
4.1	面向温控仪器的多级递阶智能控制的柔性集成	(74)
4.1.1	柔性集成精确温度控制方法	(74)
4.1.2	柔性集成精确温控方法的应用	(76)
4.2	面向太阳方位自跟踪控制的柔性集成	(77)
4.2.1	双轴太阳方位跟踪模型的构建	(78)
4.2.2	万向节式双轴太阳跟踪方法及装置的研究	(81)
4.2.3	全天候太阳方位自跟踪控制方法	(86)
4.2.4	太阳方位自跟踪控制集成方法验证	(90)
4.3	面向光伏发电仪器发电量的预测方法集成	(92)
4.3.1	基于自适应变异粒子群的神经网络算法	(92)
4.3.2	影响光伏自跟踪发电仪器发电量的因素分析	(97)
4.3.3	面向光伏发电仪器的发电量预测方法的应用	(99)
4.4	仪器测量误差信号分析的柔性集成	(102)
4.4.1	仪器测量误差信号分析柔性集成的提出	(102)

4.4.2	柔性集成克服仪器随机误差的滤波方法	(103)
4.4.3	柔性集成克服仪器随机误差的应用	(108)
4.4.4	柔性集成非线性误差的校正方法	(108)
4.4.5	柔性集成仪器非线性误差的应用	(114)
4.4.6	柔性集成小波变换阈值的信号噪声处理方法	(115)
4.4.7	柔性集成小波变换阈值的应用	(116)
4.5	本章小结	(119)
第5章	仪器柔性集成系统的多属性综合评价方法及应用	(120)
5.1	仪器柔性集成系统的综合评价概念	(120)
5.2	仪器柔性集成系统的综合评价方法	(122)
5.2.1	仪器柔性集成系统的综合评价内容	(122)
5.2.2	仪器柔性集成系统的小波网络综合评价方法	(125)
5.2.3	仪器柔性集成系统小波网络综合评价的应用	(130)
5.2.4	仪器柔性集成系统的仪器精度评价方法	(134)
5.2.5	仪器柔性集成系统的仪器精度评价应用	(140)
5.3	本章小结	(148)
第6章	仪器柔性集成系统的典型实验研究	(149)
6.1	典型虚拟仪器系统的柔性集成实验	(149)
6.1.1	典型虚拟仪器实验系统设计	(149)
6.1.2	典型虚拟仪器实验系统集成	(150)
6.2	典型测色仪器系统的柔性集成实验	(155)
6.2.1	典型测色仪器实验系统设计	(156)
6.2.2	典型测色仪器光电实验系统集成	(157)
6.2.3	典型测色仪器软件实验系统集成	(160)
6.2.4	典型测色仪器实验系统技术评价	(163)
6.3	典型光电仪器系统的柔性集成实验	(166)
6.3.1	典型光电仪器实验系统设计	(166)
6.3.2	典型光电仪器硬件实验系统集成	(168)
6.3.3	典型光电仪器软件实验系统集成	(169)

6.3.4	典型光电仪器实验系统技术评价	(171)
6.4	典型光机电一体化仪器系统的柔性集成实验	(174)
6.4.1	自跟踪发电测控系统的系统体系分析	(175)
6.4.2	自跟踪发电测控系统的嵌入式软件构件库的研究	(179)
6.4.3	自跟踪发电测控系统的柔性可重构元模型的研究	(180)
6.4.4	自跟踪发电测控系统的柔性可重构集成框架的构建	(182)
6.4.5	自跟踪发电测控的柔性集成研发系统开发	(183)
6.4.6	典型光机电一体化仪器系统柔性集成评价验证	(186)
6.5	本章小结	(190)
参考文献		(191)

第 1 章 绪 论

1.1 仪器集成开发的发展概况

仪器整体发展水平是国家综合国力的重要标志之一，现代仪器发展水平是国家经济发展和现代制造业水平指向标，在国家经济建设中有举足轻重的作用。仪器与测试技术已是当代促进生产的一个主流环节，在工业生产中，仪器仪表是“倍增器”。现代化大生产，如发电、炼油、化工、冶金、飞机和汽车制造，离开了只占企业固定资产大约 10% 的各种测量与控制装置就不能正常安全生产，更难以创造巨额的产值和利润。根据美国商业部（NBS）评估：美国仪器仪表产业对国民经济总产值（GNP）的影响力达到 75%；在国家中长期（2006—2020 年）科学和技术发展规划纲要中，仪器仪表也被列入重点领域的优先主题；在国家仪器技术发展有关报告中强调了其重要战略地位和研发工作的迫切性。

欧美日等发达国家地区已将“发展一流科学仪器，支撑一流科研工作”作为国家战略，对科学仪器的装备和创新给予了重点扶持。美国联邦政府利用产业政策扶助，通过多个部门合作、合同、直接拨款等方式，促进新技术研发及仪器仪表产业的发展；日本于 2002 年就制定了高精密科学仪器振兴计划，岛津公司的田中耕一因在仪器方面的杰出贡献而获得诺贝尔奖后，日本文部科学省更是斥巨资（100 亿日元）开发世界尖端的分析计算测量仪器，以催生更多诺贝尔奖级的科研成果；欧盟在“第六框架计划”（2002—2006）中将“操纵和控制设备和仪器的开发”列为纳米技术和纳米科学领域的重点内容，在“第七框架计划”（2007—2013 年）中，斥资 41 亿欧元主要用于辐射源、望远镜和数据库等新型研究基础设施建设；加拿大自然科学与工程研究理事会制定了“研究工具、仪器和设施计划”等。

然而，当前我国在作为科技发展基础的科学仪器与装备方面与科技发达国家的差距较大，对科技发达国家的依赖性较大，应对可能出现遏制的抗衡能力较脆弱。我国每年形成固定资产的上万亿元投资中，60%以上用于进口设备及相关仪器，且关键的高端精密仪器主要依赖进口，其中重要瓶颈问题之一就是研发技术及研发装备的滞后。要想建立起开发高端精密仪器产品的基础条件，就应该提高仪器研发装备（本体也为仪器系统）的关键技术水平；要想产品能适应快速多变的市场需求，就应该不断解决仪器产品开发涉及共性关键技术问题；要想产品具有柔性化集成化的特点，就应该加强仪器研发模式的柔性化、集成化程度。

目前，研究人员对柔性机制、集成技术等进行了相关研究，但针对仪器柔性集成系统，还有一些问题需要解决。由于具体的仪器有非共性及不可移植性特点，仍然需要在仪器柔性集成系统理念和集成开发的关键技术等方面进行深入进行理论与实验研究。因此，提出一种面向光机电一体化仪器研发的柔性集成技术，进行柔性机制与集成技术的理论与实验研究，已经成为相关领域中的重要研究课题之一。

1.2 光机电一体化仪器的发展过程综述

光机电一体化仪器的发展经历了很长时间，大致可以划分为三代。第一代是指针式（或模拟式）仪器，如指针式万用表、功率表等。第二代为数字式仪器，如数字电压表、数字功率计、数字频率计等。第三代为智能式仪器。随着微电子技术的发展，20世纪70年代初，出现了第一个微处理器芯片。作为微型计算机渗透到仪器科学与技术领域并得到充分应用的结果，在该领域出现了完全突破传统概念的新一代仪器——智能仪器。从智能仪器发展的状况来看，其结构有两种基本类型，即微机内嵌式及微机扩展式。将单片或多片微处理器与仪器有机地结合在一起形成单机的方式为微机内嵌式。微处理器在其中起控制及数据处理作用，其特点主要是：专用或多功能；采用小型化、便携或手持式结构；干电池供电；易于密封，适应恶劣环境，成本较低。目前微机内嵌式智能仪器在工业控制、科学研究、军工企业、家用电器等方面广为应用，其基本结构如图1.1所示。

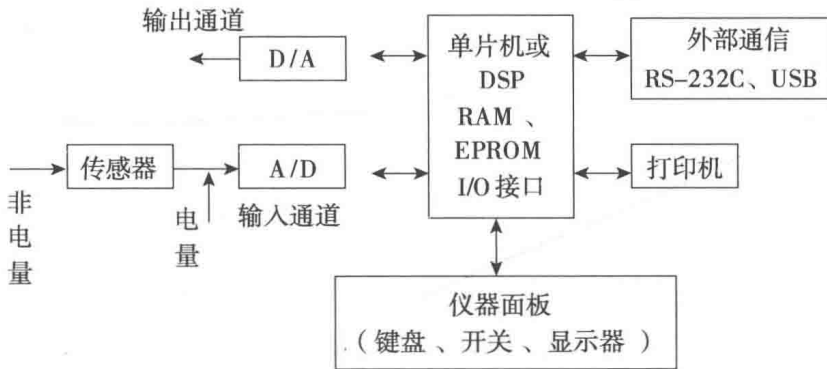


图 1.1 微机内嵌式智能仪器的基本结构

20 世纪 80 年代以来，出现了基于个人计算机总线的插卡式仪器并得到快速发展，这种仪器称为微机扩展式智能仪器，亦称 PC 卡式仪器（Personal Computer Card Instrument, PCCI，也称 PCI）。PCI 充分利用 PC 的软硬件资源，使仪器设计灵活快捷，仪器的软硬件随着 PC 的发展而快速发展。PCI 的结构如图 1.2 所示。

1987 年出现了 VXI 卡式仪器（VME Bus Xtension for Instrumentation, VXI），这种仪器具有性能稳定可靠、标准开发、结构紧凑、数据吞吐能力强等优点，成了大型高精度测试系统的发展主流。1997 年，出现了基于 PXI 总线（PCI eXtensions for Instrumentation, PXI）标准的测控仪器；1999 年，出现了基于通用串行总线接口（Universal Serial Bus, USB）标准的虚拟仪器，实现即插即用，方便灵活的应用。随着硬件的完善，标准化插件的不断增多，组成 PCI 的硬件工作量越来越少。

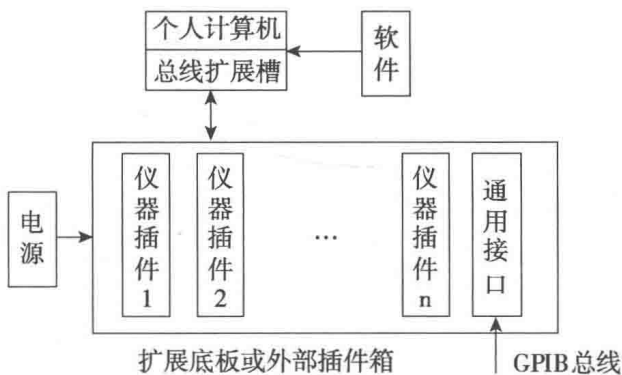


图 1.2 PCI 结构图

数字化、智能化和集成化是当代仪器系统的发展趋势，智能传感器技术的发展也导致开发光机电一体化仪器产品时采用了众多新型敏感材料。网络通信技术的逐步成熟发展也为仪器产品提供了各种高可靠、低功耗、低成本、微体积的网络接口芯片。此外，A/D等新器件的发展与单片机及DSP的广泛应用也显著增强仪器的功能与测量范围，同时大大简化了仪器的结构。片上系统（System on Chip, SoC）的发展更是为光机电一体化仪器的开发及性能提高开辟了更加广阔的前景。虚拟仪器的出现是对传统硬件仪器观念的一次变革，是21世纪测控仪器的重要发展方向。从虚拟仪器的角度来看，不同仪器的区别仅是应用软件的不同。结合高速发展的网络技术和计算机总线技术，再加上测控任务的复杂化以及远程监测任务等迫切需求，促进了测控仪器向网络化的方向快速发展。随着无线通信技术的发展，基于手机的无线通信网络化仪器以及基于无线Internet的网络化仪器等新兴的网络化测试仪器也必将改变人类的生活。

由此可见，科学技术的飞速发展，促进了光机电一体化仪器的新技术、新成果的层出不穷。目前，已远远超出“光机电一体化”这个概念，除了加入计算机技术，还大量引进日新月异的高新技术，总体来讲，光机电一体化仪器发展的技术特点涵盖了以下特点：

（1）研究领域进一步扩大，研究的尺度进一步向极端发展，大至宇宙、太空，小至介观和微观，发展超快时间分辨和超高空间分辨技术已成为仪器发展的追求目标。

（2）仪器的研究开发趋向智能化、微型化、集成化、芯片化及系统工程化方向发展。

（3）仪器正由单台智能化逐步走向通用模块化并实现即插即用、灵活方便地组成针对不同对象的自动测试系统；难于实现网络化的大型科学仪器，向更高的测量精度、可靠性和环境适应性方向发展，并普遍具有自补偿、自诊断、故障处理等智能化功能。

（4）注重系统集成技术，不仅着眼于单机，更注重系统、产品的软化设计。

如何有效地解决上述光机电一体化仪器发展的技术特点，实现仪器产品的智能化、集成化发展；如何确定仪器产品的开发模式与研制方式；在复杂、多变和高度不确定性的市场环境中，如何迅捷组织和实施新产品的开发，并能够及时满足快速多变的市场需求，是探求光机电一体化仪器产品开发新途径的核心与难点。

1.3 光机电一体化仪器的研发过程综述

光机电一体化仪器产品的研发不仅涉及许多的共性技术（如：典型光机电机构、多类测控子系统、接口等），还涉及许多非共性技术（如：多品种、小批量、用户需求等）。此外，仪器产品智能化、集成化的快速发展，也要求研发过程需要适应系统更新升级快、可重构和易维护等特点。仪器集成开发环境可以说是混沌性的环境，要想实现新产品的柔性化集成开发更加复杂，更加困难。据文献资料显示，新产品开发中消费品开发成功率为40%，工业产品开发成功率仅为20%，服务类产品为18%，而对国外700个工业企业的调查结果显示，新产品开发综合成功率也仅为65%。

目前，企业在仪器产品的开发上一般采用顺序工程方法。该方法在设计过程中很难及早考虑制造过程、质量保证等问题，使得开发的产品难以满足需求，这必然要求修改设计，使产品开发过程变成设计、加工、试验、修改设计的大循环，而且可能多次地重复设计过程，从而造成设计改动大、产品开发周期长、开发成本高等问题，难以满足多变及高度不确定的市场需求。

Pahl G. 和 Beitz W. 等将产品开发过程进行了规划，将其划分为明确任务、概念设计、技术设计和施工设计四个阶段，新产品开发过程就是实现产品功能到作用原理，再到结构载体域映射的推理过程。该研发方法给出了特定地集成化开发仪器产品的模式，能够有效提高仪器产品集成开发的速度，并且开发过程具有可重构易维护的特点。F. Pezzella, G. 提出了一种柔性作业车间调度问题 (Flexible Job-shop Scheduling Problem, FJSP) 遗传算法，结合生成初始种群不同的策略，将更多的策略通过柔性集成得到更加的解决方法。Pareto 最优方法的模糊逻辑和进化算法的融合也被用来求解柔性作业车间调度问题，实现调度过程的多目标优化。但是，这些柔性集成的产品开发对其开发对象的适应面具有局限性，往往开发对象的改变会影响到整个结构载体域映射推理的过程，该技术方法的柔性化程度需要进一步提高。

专家系统也被广泛运用到光机电一体化仪器产品的开发中来，可以利用专家系统的知识表示方法，如：实例、产生式规则、本体、多智能主体、框架、人工神经网络等方法，为仪器产品的开发构建专家系统，从而实现集成化快速开发新产品。Andrei D. 就如何柔性调度具有大型数据分布其不同粒度的组播系

统建立 WDM 专家系统,以智能化、动态生成树木网络状态的方式,实现了柔性调度仪器系统的集成与开发。以上研究表明,构建一种类型的专家系统往往能够有效解决光机电一体化仪器产品研发过程的共性技术,但很难适应仪器产品多品种、小批量的非共性技术的开发。

另外,在创新设计学中,TRIZ 理论体系(TRIZ 是俄文“发明问题解决理论”的读音首字母缩写)占据最显著的地位。TRIZ 认为,是新的作用原理的采用才使得产品向更高层次进化。进化是通过解决矛盾冲突来推动的,TRIZ 是面向人的方法,引导设计者描述当前设计存在的矛盾冲突,根据冲突双方的种类在四十种发明原理中推荐多个发明原理,让设计者根据所推荐的发明原理进行思考,促进设计者找到新的适用的作用原理实现创新。TRIZ 理论体系指出:矛盾冲突分析是新产品产品设计与开发最具创造性的步骤。如何有效地将该理论体系融合到光机电一体化仪器产品的柔性化集成研发过程中,提高研发的集成化、柔性化、快速化程度是需研究的关键问题之一。

并行工程(Concurrent Engineering, CE)是集成地、并行地设计开发产品及其相关的各种过程(包括制造过程和支撑过程)的系统方法。这种方法也越来越得到仪器产品开发人员的重视,它要求产品开发人员一开始就要从产品整个生命周期考虑,从概念形成到产品报废的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求,都要在产品的开发中得到兼顾与体现。根据这一定义,并行工程是跨学科开发团队在一起并行协同工作的方式,对产品设计、工艺、制造等上下游各方面进行同时考虑和并行交叉设计开发,及时地交流信息,使各种问题尽早暴露,共同加以解决。并行工程是制造研发新产品的组织形式,是仪器柔性集成系统柔性机制与集成技术的重要理论基础之一。

如今,计算机信息技术与网络通信技术的快速发展,导致计算机支撑的协同工作(Computer Support Cooperative Work, CSCW)技术发展迅速,得到人们越来越多的关注,成为一个研究热点。利用计算机与通信技术进行产品协同开发的方式形成了一种新的产品开发模式——产品协同开发模式。基于该模式可大大提高开发效率,降低开发成本,增强新产品的模块化、柔性化特点。网络组织新产品协调设计是一种新兴的产品设计方式,目的是使分布在不同地点的产品设计人员以及其他相关人员通过网络采用各种各样的计算机辅助工具协同地进行产品设计活动,实现产品信息的共享和交换、设计方案的讨论、设计结果的检查与修改,CSCW 平台是构成仪器柔性集成系统的基本开发模式之一。

在仪器制造与开发过程中,如何实现整个过程的柔性化综合协调与管理,达到合理分配开发资源、快速实现市场响应,也是目前仪器开发过程中值得关注并急需探讨的一种发展趋势。综合分析柔性管理是过程管理领域的重要研究内容和应用热点。经过国内外学者和软件开发人员的不懈努力,柔性过程管理已经成为一个专门的研究和应用领域。综合分析柔性管理在实际工程应用与产品开发中,能够灵活说明开发过程的活动节点和其路径结构,能够对正在进行的开发过程按照一定的控制策略进行动态性改变。

在光机电一体化仪器制造柔性集成系统的柔性化、集成化开发研究中,可以利用综合分析柔性管理技术和方法对仪器柔性集成系统的开发能力、兼容性、自适应性进行柔性化协调管理。研究综合分析柔性管理的理论和方法体系,针对仪器开发固有特征建立相应的柔性内涵、基本定义、柔性策略等,促进系统柔性开发与实际需求相结合,充分运用各种信息技术的更新与发展,为不同行业不同领域的仪器应用研究开发不同系列产品。

如何评价仪器柔性集成系统的适应性及柔性,成为评判柔性集成系统实现快速产品集成开发效果的必要手段之一。目前,对柔性具体内涵的定义和说明,其标准的界定还没有得到统一的认识。不同文献提出了与柔性相似的词语,如自适应性、动态性、灵活性、变更、异常处理等,这些词语描述了柔性的不同方面。规范柔性评价标准是进行柔性理论与方法研究、系统柔性化评价的重要依据,因此,对柔性的定义及其评价标准的确定是评价仪器柔性集成系统的适应性、柔性化价值的前提。

光机电一体化仪器柔性集成研发的模式定位往往也是主要的技术难点之一。新产品开发模式经历了分阶段产品开发模式(Phased Product Development, PPD)到集成产品开发模式(Integrated Product Development, IPD),然后到柔性产品开发模式(Flexible Product Development, FPD)的变化,最后发展到动态产品开发模式(Dynamic Product Development, DPD)。PPD模式注重新产品开发各阶段的分工和效率的提高;IPD模式注重新产品开发过程、开发资源整合及开发过程系统管理,以追求整个开发过程的最优化;FPD模式注重新产品开发过程运作的弹性和柔性化管理,注重通过实现开发人员同顾客之间的充分沟通使新产品开发准确、及时、灵活地反映市场需求的变动;基于时间的竞争要求缩短研究开发和生产时间的形势下,DPD模式注重最大限度地压缩企业新产品研究开发活动,以获得产品和时间上的双重竞争优势。同时指出产品开发过程的动态性表

现为产品开发目标和任务组成的动态调整。

综上所述的产品设计及产品开发方法，对仪器开发具有广泛的推动与促进作用，而如何考虑仪器柔性集成系统的协同性、系统性、动态性，实现柔性化、集成化开发产品还缺乏深入研究。从仪器产品的设计与开发趋势来看，协同设计、智能设计、虚拟设计、创新设计、资源节约设计、全生命周期设计等方法代表了现代仪器产品开发模式的发展方向。其主要特点体现在：柔性化、集成化、智能化、网络化、最优化、系统化等。

根据现有仪器开发的研究特点与发展趋势，在仪器产品的柔性化、集成化开发装备和研发技术上，可以围绕以下几个关键技术问题，对光机电一体化仪器的柔性集成开展研究工作：

1. 仪器柔性集成系统的运行机制与结构构成

在仪器柔性集成系统有限的集成资源与柔性条件下，如何采用面向对象、构建等集成化关键技术，实现产品的模块化、功能化快速集成开发，是体现柔性集成系统运行机制有效性的关键所在。

此外，用户的隐性需求得不到满足。如果一个产品根据用户的较为明确、完整地加以表述的显性需求，成功开发而推向市场后，用户的一些较为含糊、不能明确表达的隐性需求才会暴露出来。这时，新产品系统需要不断地修改，如果没有一个柔性化适用化开发系统就会很难得到迅速修改。即使是同一种仪器产品，其功能、成本、适用面、个性化等多样性的特征也是导致开发系统适用性下降，柔性化程度降低的重要因素。

2. 柔性化、集成化的产品开发资源的合理调度与利用

针对开发系统中存在的大量不同种类的产品开发资源与装备，需要提供一种柔性化机制，将这些开发资源与装备与具体的开发对象之间建立起有效的衔接与集成关系，在此方面还没有明确的阐述与理论指导。柔性化、集成化的产品开发是不可中断的，从分析问题的提出，开发资源的利用，再到柔性研发系统的合理运行，都提出应该建立一种动态资源互联的调度分配策略，以提高研发效率，而有效地避免死锁或过程的中断。比如：在产品设计时，单单设计工具就可能涉及计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）、面向制造与装配的设计（Design For Manufacture & Assembly, DFMA）、虚拟样机系统等。

3. 面向仪器创新开发的网络化协同集成设计

不同产品需要大量知识资源，不但需要获取适用的知识，还需要进行知识