

第1卷第7辑 2015年8月 Volume1 Issue8 August, 2015

1
2015

Case and Research on Scientific and Technological Innovation

科技创新案例与研究

技术整合：同方威视集装箱检测系统的创新实践

产业技术公共服务平台组织模式选择

——以南京可扩展基本输入输出系统公共服务平台和江苏苏州软件技术公共服务平台为例

技术联盟内知识产权的管理——基于TD-SCDMA技术联盟的案例分析

新兴产业技术联盟发展模式研究——以新能源汽车产业为例

协同创新模式下企业自主创新能力提升的机制研究——以华为公司为例

顾客参与影响企业自主创新能力的实证研究

顾客参与驱动新产品开发绩效的机制研究：自主创新能力视角

ISBN 978-7-5096-3905-4



9 054 >

图书在版编目 (CIP) 数据

科技创新案例与研究/徐南平主编. —北京: 经济管理出版社, 2015.8
ISBN 978-7-5096-3905-4

I. ①科… II. ①徐… III. ①企业创新—案例—中国 IV. ①F279.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 204058 号

组稿编辑: 张 艳
责任编辑: 张 艳 丁慧敏
责任印制: 黄章平
责任校对: 张 青

出版发行: 经济管理出版社
(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 三河市延风印装有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 880mm×1230mm/16

印 张: 5.25

字 数: 152 千字

版 次: 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5096-3905-4

定 价: 58.00 元

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

《科技创新案例与研究》学术委员会

主 任:

李 扬 全国人大财经委员会委员, 中国社会科学院学部委员、研究员

学术委员 (按姓氏笔画排序):

马廷和 中国科学院微生物所研究员

王 元 国家科学技术部中国科学技术发展战略研究院常务副院长、研究员

朱克江 江苏省盐城市市委书记

朱 宇 江苏省科技创新协会会长

刘 东 国家科学技术部中国科学技术发展战略研究院研究员

仲伟俊 东南大学教授

李 平 中国社会科学院数量与技术经济研究所所长、研究员

沈志渔 中国社会科学院工业经济研究所研究员

金 碚 中国社会科学院工业经济研究所原所长, 中国社会科学院学部委员、研究员

欧阳平凯 南京工业大学教授, 中国工程院院士

洪银兴 南京大学教授

胥和平 国家科学技术部调研室主任、研究员

赵伟建 中国科学院化学所研究员, 江苏省化学化工协会执行副会长、教授

徐南平 中国工程院院士, 江苏省副省长

袁振宏 中国科学院广州能源研究所, 中国工程院院士、教授

黄 维 南京工业大学校长, 中国科学院院士、教授

黄速建 中国社会科学院工业经济研究所副所长、研究员

梅永红 山东省济南市委副书记、市长, 原国家科技部政策法规司司长

韩璞庚 江苏省社会科学院教授

穆荣平 中国科学院战略研究院院长、研究员

《科技创新案例与研究》编辑委员会

主 编:

徐南平 中国工程院院士, 江苏省副省长

副主编:

朱 宇 江苏省科技创新协会会长

赵顺龙 南京工业大学经济与管理学院院长、教授, 江苏省科技创新协会秘书长

杨世伟 经济管理出版社总编、教授

王 钦 中国社会科学院工业经济所企业管理研究室主任、研究员

夏太寿 江苏省科学技术情报所所长

来尧静 南京工业大学 MBA 中心主任、教授

编委会成员:

张杰军 国家科学技术部中国科学技术发展战略研究院政策法规司研究员

郭 戎 国家科学技术部中国科学技术发展战略研究院科技投资研究所副所长

王伟光 辽宁大学教授

周小虎 南京理工大学教授

陈同扬 南京工业大学教授

编辑部主任:

吴 琨 南京工业大学教授

编辑部成员:

陈 力 经济管理出版社

张 艳 经济管理出版社

王晓梅 江苏省科学技术情报所

王京安 南京工业大学

费钟琳 南京工业大学

姚山季 南京工业大学

刘新艳 南京工业大学

许 景 南京工业大学

杨 青 南京工业大学

马 硕 南京工业大学

秦政强 南京工业大学

杜 芸 南京工业大学

主管单位

中国社会科学院工业经济研究所

江苏省科学技术厅

主办单位

江苏省科技创新协会

目 录

技术整合：同方威视集装箱检测系统的创新实践

..... 雷家骕，杨建昆，陈怀壁（1）

Technology Integration: Innovative Practice of NUCTECH Co., Ltd's Container Inspection System Lei Jiasu, Yang Jiankun, Chen Huaibi (13)

产业技术公共服务平台组织模式选择

——以南京可扩展基本输入输出系统公共服务平台和江苏苏州软件技术公共服务平台为例

..... 万 淼，王 兮（14）

The Choice of Organizational Mode of Industrial Technology Public Service Platform

——Cases of Nanjing BIOS Public Service Platform and Suzhou Software Public Service Platform

..... Wan Miao, Wang Xi (21)

技术联盟内知识产权的管理——基于 TD-SCDMA 技术联盟的案例分

析 张一弛，马 硕（22）

Intellectual Property Management in Technology Alliance

——A Case Study Based on TD-SCDMA Technology Alliance Zhang Yichi, Ma Shuo (29)

新兴产业技术联盟发展模式研究——以新能源汽车产业为例 杨 青，熊成扬（30）

Research on Development Pattern of Emerging Industry Technology Alliance

——Taking New Energy Auto Industry as an Example Yang Qing, Xiong Chengyang (38)

协同创新模式下企业自主创新能力提升的机制研究——以华为公司为例

..... 杜 芸, 段 珍 (39)

Research on Mechanism of Enhancing Enterprise Independent Innovation Ability under the Cooperative Innovation Mode ——Take HUAWEI as an Example

..... Du Yun, Duan Zhen (48)

顾客参与影响企业自主创新能力的实证研究 宋秀林, 刘新艳 (49)

The Empirical Research of Customer Participation on Enterprise Independent Innovation Competence Song Xiulin, Liu Xinyan (58)

顾客参与驱动新产品开发绩效的机制研究：自主创新能力视角

..... 刘德文, 姚山季 (59)

Research on the Mechanism of Driving of Customer Participation on New Product Development Performance: The Perspective of Capabilities of Independent Innovation

..... Liu Dewen, Yao Shanji (71)

技术整合：同方威视集装箱检测系统的创新实践

雷家骥^{*}，杨建昆，陈怀壁

(清华大学，北京 100084)

摘 要：技术整合是企业技术创新的重要方法，在国外已有较多成功案例。本文探讨了有着清华背景的同方威视公司在集装箱检测系统研制和制造技术整合方面的实践。该案例的主要启示是：在集装箱检测系统研制过程中，面向研制的技术整合是十分重要的；从样机到商业化制造，还需要实施面向商业化制造的技术整合。这是值得称赞的，也是很值得借鉴的大学科技成果转化经验。

关键词：集装箱检测系统；研制和制造；技术整合

0 引言：技术整合是什么

0.1 基本概念界定

哈佛大学商学院的 Marco Iansiti (马可·伊恩斯蒂) 教授 20 世纪 90 年代初提出了技术整合的概念。他认为，技术整合是企业有效选择和提炼新产品研制方案和制造流程设计方案的系统方法，是企业有效应对市场竞争的最佳途径。之后，Gary P. Pisano 和 Steven C. Wheelwright 等 (1995) 通过对医药行业十多年的研究发现，技术整合已成为高技术公司获得竞争优势的主要来源。

值得注意的是，前述学者关于技术整合的认识，Marco Iansiti 强调的是新产品研制中的技术整合；Gary P. Pisano 和 Steven C. Wheelwright 等强调的是面向制造的技术整合。由此可见，根据技术整合目的物的不同，可将企业的技术整合分为两类：一类是面向新产品研制的技术整合；另一类是面向新产品制造的技术整合。当然，在企业创新实践中，不排除两类技术整合也有可能是交叉在一起的。

如对两类技术整合给出统一的概念界定，本文认为，技术整合即企业用以选择、提炼产品设计与制造技术，进而将相关技术整合成为合理的产品设计方案与制造流程方案的系统化方法。企业创新中的技术整合，常常始于新产品研制，而终于新产品进入商业化制造阶段。

0.2 两类技术整合

0.2.1 面向新产品研制的技术整合

马可·伊恩斯蒂认为，企业研制新产品需要两类知识：一类是通用性知识；另一类是专门性知

^{*} 雷家骥，清华大学经管学院教授、博士生导师，清华大学中国企业成长与经济安全研究中心主任，清华大学技术创新研究中心副主任。

识。通用性知识指独立于特定应用领域的科技知识,是产品设计与开发的基础性知识,具体的产品创新常常以多种通用性知识为基础;专门性知识是特定通用性知识在特定环境(包括生产工艺、生产系统建构等)中的应用。通用性知识和专门性知识的匹配,是企业产品创新成功的前提。

面向新产品研制的技术整合,就是要解决通用性知识和专门性知识在企业特定产品研发中的匹配问题,进而解决“如何从研究开发开始,到科技成果的产品实现”的问题。

0.2.2 面向新产品商业化制造的技术整合

在 Fleck、Gary P. Pisano、Rogers、Hardaker、Steven C. Wheelwright 等国外学者看来,面向新产品商业化制造的技术整合至少需要关注以下问题:

(1) 技术选择。即为了最终形成可以用于制造的产品设计方案、制造流程、制造系统、管理系统等,需要对多种技术路线、措施及方案等进行比较选择,特别是需要就技术的功能性、可行性、经济性和风险性等方面进行权衡。

(2) 技术导入。在面向新产品商业化制造的技术整合中,企业所整合的技术可以来自于企业内部研发,也可以来自于企业外部,甚至来源于两者的交互作用。完整的技术导入模式架构,不仅包括市场机制作用下的技术购买,而且可能包括准内部化的技术联盟以及完全内部化的以导入技术为取向的技术并购。

(3) 技术内化。技术内化是指将所导入的技术完全应用于企业特定的生产制造活动,最终使其成为企业制造能力的一部分。技术内化的关键环节是技术学习,技术学习指企业利用内部和外部相关条件,理解并掌握新技术的行为。技术学习是企业提高自身技术能力的根本途径。

面向新产品商业化制造的技术整合,最终要解决“怎样将多门类知识(技术知识、商业知识、管理知识)、多门类技术(产品设计技术、工艺技术、材料技术、设备技术、标准化技术、信息化技术、质量管理及控制技术等),以及可行的商业理念整合在一起,进而形成有效的产品设计方案、制造方案、制造流程、制造系统、制造管理方案、商业模式,最终进行批量化产销”的问题。

0.3 国外技术整合的一般启示

20 世纪 90 年代以来,不少业界和学界人士感叹于美国电子行业的快速复苏,感叹于一些高技术行业出现了“投资的边际效益递减的临界点后移”的现象。马可·伊恩斯蒂、乔纳森·韦斯特等的研究发现,关键就在于这些行业的企业实施了“高效率的技术整合”。由此,不少美国学者认为,技术整合是提高企业研发效率、生产效率,进而推出市场欢迎的新产品的关键。一些学者甚至认为,如果一个企业选择了不能协调发挥作用的技术体系,不能有效地整合所选择的技术,那他就可能因为进入市场太慢而达不到预期的创新目标。

马可·伊恩斯蒂、乔纳森·韦斯特等对于全球计算机行业的研究发现,20 世纪 90 年代以来,市场优势常常属于那些擅长产品创新、选择技术、整合技术的企业,而并非是开发这些技术的企业,技术整合正变得日益重要。特别是随着可供企业挑选的技术越来越多,产品设计和制造的技术宽度大大增加,产品生命周期大大缩短,这就迫使企业将技术整合放在十分重要的地位,借助技术整合以更快的速度实现新技术的商品化。

0.4 本文分析的基本框架

技术整合作为企业技术创新中十分有效的方法,在美国已得到广泛使用,在中国已有成功的范例。本文分析的清华同方威视集装箱检测系统的研制和制造,即是这方面的典例。本文将就这一案例展开分析,以期对业界有所启示。本文分析的基本框架是:

(1) 同方威视集装箱检测系统及其应用。

(2) 同方威视集装箱检测系统研制的技术整合。就此而言,产品创新思路的提出、产品系统

研制的组织、具体技术方案的产生和选择、整机系统的可行性验证，都是很值得关注的问题。

(3) 同方威视集装箱检测系统商业化制造的技术整合。就此而言，两个阶段技术整合的有效衔接，样机商业化制造的资金获取、建立面向制造的组织体系、培育商业化制造的互补性资产，都是很值得关注的问题。

(4) 同方威视技术整合的主要启示。

1 同方威视集装箱检测系统及其应用

1.1 同方威视集装箱检测系统

以清华大学为背景的同方威视科技股份有限公司简称“同方威视”。1998 年 11 月，首套同方威视集装箱检测系统在天津东港海关开始建造，1999 年 12 月投入试运行。此前世界上只有英国宇航公司、德国海曼公司、法国施仑贝谢公司能够生产这种产品。

集装箱检测系统的研制是清华大学有史以来商业化最成功、规模最大的科技成果转化项目。集装箱检测系统是能对大型货运集装箱及其运载车辆进行快速不开箱扫描透视检查的复杂产品，适用于海港、空港和内陆港的监管现场。

集装箱运输货物是现代运输业的重要方式，主要用于港口进出口货物运输。业界甚至认为，历史上集装箱的创新挽救了本已衰落的海运业。我国改革开放以来，随着对外贸易日益增长，越来越多的进出口货物采用了集装箱运输。集装箱运输为我国物流产业甚至整个经济发展都做出了巨大贡献。但也带来了新的问题，即国内外利用集装箱走私越来越活跃，而集装箱体积庞大（标准集装箱长 20 米、高 4 米），装载货物多，使得海关的检查工作越来越力不从心。在没有集装箱检测系统前，传统人工检查抽检率只达 3%，如此低的抽检率不可能有效防范利用集装箱走私和禁运品偷运的违法行为。

清华大学的集装箱检测系统就是“八五”期间为解决这类问题而研制的。它的研制成功，大幅度提高了海关的抽检率和检查速度（海关安装这种系统后，抽检率从 3% 提高到 50%，每两分钟就可以检查一辆长 20 米、高 4 米的集装箱运输车，给出箱内货物的透视图像），对利用集装箱进行走私、偷运的犯罪分子形成巨大威慑，同时解决了海关传统人工开箱检查方式复杂费时、工作强度大、容易造成货物破损等问题，还加速了货流周转。表 1 是对传统人工开箱检查和利用集装箱检测系统进行检查的比较。

表 1 传统人工开箱检查和利用集装箱检测系统检查的优劣

	人工开箱检查	集装箱检测系统
每天检查的集装箱数	1~2 个/天	480 个/16 小时
检查一个集装箱需要的时间	> 120 分钟	2 分钟
对集装箱内装货物的影响	经常损坏	没有影响
检测人员劳动强度	高	低

资料来源：“中国海关检查的现代化和革新”，中国海关总署，2000。

集装箱检测系统的工作原理是基于物质对 X 射线的吸收规律，利用辐射成像技术，实现实时不开箱检查箱内物品。1991 年世界上第一台集装箱检测系统在法国戴高乐机场投入使用，集装箱内小如香烟盒的物体在高压 X 射线透视扫描下也能清晰可辨，机场检查效率提高百倍。它不仅适用于航空货检，也适用于比标准海运集装箱小得多的箱体。清华大学研制的大型集装箱检测系统（商标为“同方威视”）是一个高技术复杂系统，如图 1 所示。

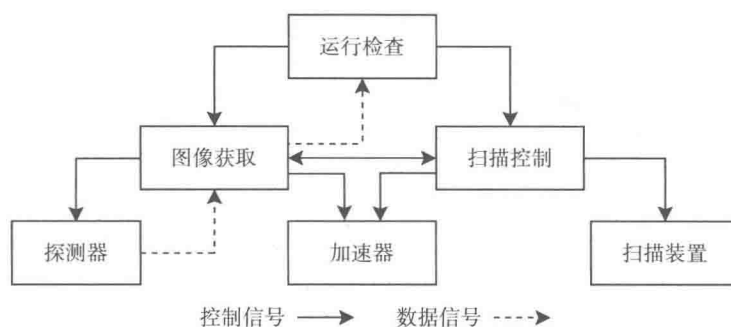


图1 集装箱检测系统基本构成

同方威视集装箱检测系统由三个关键部分（即加速器子系统、探测器子系统、图像处理子系统）和重要辅助装置（即集装箱智能传送装置）组成（见图2）。其研制过程涉及多学科领域和研究方向，包括加速器、材料科学、粒子物理学、粒子技术、核电子学与探测技术、生物医学、电子技术与信息技术、计算机技术、网络、控制、辐射防护、机械等。

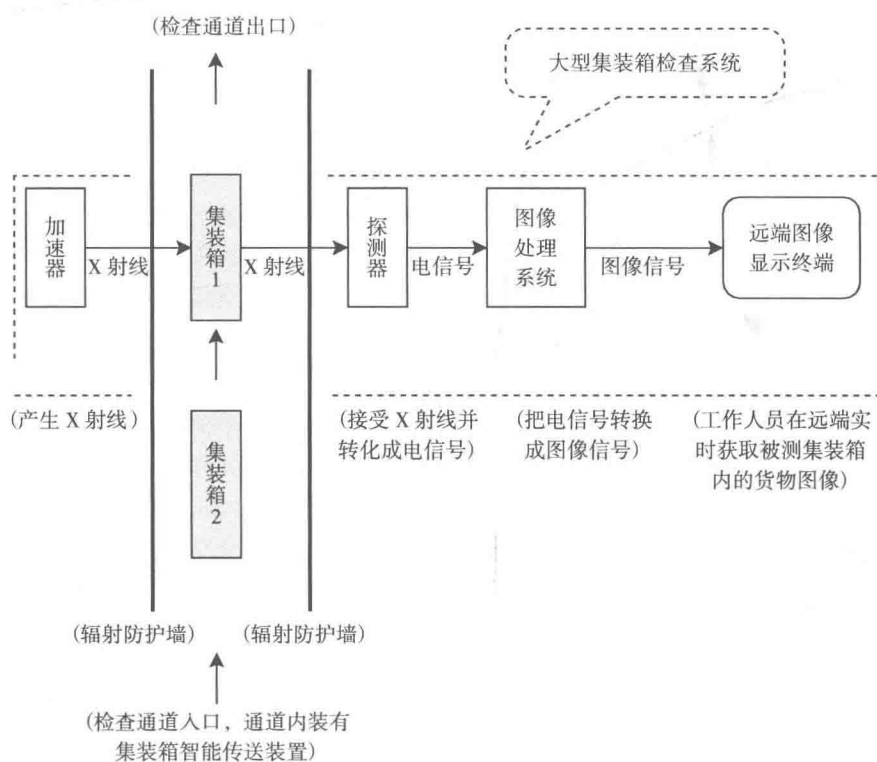


图2 集装箱检测系统原理

各部分的工作原理如下：

（1）加速器子系统。它是实现成像的前提，即利用微波功率，在加速管中激励起加速电场，将从电子枪注入的电子束，直线加速到系统要求的能量，被加速的电子束轰击重金属靶，产生穿透力很强的X射线。

（2）探测器子系统。负责接收透过被检物体的脉冲X射线（辐射信息），并将其转化成电信号。

（3）图像处理子系统。功能是实现在强干扰环境下的大规模阵列探测器信号的高精度变换处

理；与辐射脉冲同步的高速投影数据获取、处理及实时成像；满足用户检查集装箱要求的图像处理 and 整体协同运行软件。

(4) 集装箱传送装置。通过智能控制，把被检集装箱及运载车辆传送到检查通道接受检查（由于检查通道内充满了高剂量的 X 射线，司机不能驾车进入）。

1.2 同方威视集装箱检测系统的广泛使用

同方威视集装箱检测系统采用 9MeV 加速器、三车循环传送装置，扫描速度快，通过率高，图像处理软件功能强大，采用了周密的辐射防护及安全措施。海关使用后的评价是，“价格不到国外产品一半，且总体性能优于国外同类产品，图像质量超过进口系统”。

同方威视的集装箱检测系统有三大类，即固定式集装箱检测系统、车载移动式集装箱检测系统、组合移动式集装箱检测系统，三类产品的原理和组成完全相同。不同的是，固定式集装箱检测系统配有固定建筑、安装在海关口岸，具有良好的人员工作环境和配套生活设施，但造价高，建设周期长，适用于吞吐量大的口岸。车载移动式集装箱检测系统以专门车辆为载体，系统不同部分分别安装在扫描车和控制车上，既可以在标准公路上行驶，又可以通过铁路、水路运输转场，对检查场地限制少、场地转移机动灵活。到达检查地后经过几十分钟的准备即可工作。运行人员在控制车中通过遥控扫描车对集装箱拖车进行扫描。相应地，车载移动式集装箱检测系统不需要固定的场地，可作为突击检查手段，也适用于吞吐量小和分散的口岸。组合移动式集装箱检测系统的所有设备均采用可拆装式结构，用户可根据需要，将该系统从一个检查现场拆卸后运往另一个场地重新组装，整个搬迁过程需四周左右，安装后系统即可投入运行。该类系统集中了固定式集装箱检测系统和车载式集装箱检测系统的优点，不需要永久场地和建筑，检查通过率适中，可搬迁，便于管理，适用于各种口岸。

在今天竞争激烈的集装箱检测系统的全球市场，同方威视集装箱检测系统装备了国内所有海关。大连、青岛、福州、上海、天津、深圳、厦门等境内 20 多个沿海城市的 40 个海运、陆运、铁路口岸安装了同方威视集装箱检测系统。在国际市场上，同方威视集装箱检测系统与德国、法国、美国的同行公司形成了“三分天下，略占优势”的局面，澳大利亚、土耳其、伊朗、韩国、阿联酋等国的海关，都采购了同方威视集装箱检测系统，“同方威视”品牌在世界范围内得到了认可。相关国家海关安装这些系统后，提高了查验效率，降低了海关人员的工作强度，降低了货主费用，增加了国家关税收入。

这里值得关注的是，同方威视集装箱检测系统的成功研制和商业化制造，在技术创新方法上，相当程度得益于有效的技术整合。

2 同方威视集装箱检测系统研制中的技术整合

2.1 集装箱检测系统研制中创新思路的提出

面向产品研制的技术整合的理论框架是 Marco Iansiti 教授提出的“技术研究—技术整合—实物开发”三阶段模型（或称为“柔性产品开发模型”）。他认为，“技术研究、技术整合、实物开发”三个阶段在时间上是可以部分重叠的，在过程上是可以互动的。在技术研究阶段，任务是对现有技术进行探索和评估，以及对企业已有技术进行挖掘性研究，进而形成“产品概念”。在实物开发阶段，任务是对产品技术性概念进行修改、完善，最后形成产品原型。此处的技术整合是作为技术研究和实物开发之间的“连接”而存在的。

提出“产品创新思路”是创新的第一步，即用什么样的新技术或技术方案进行何种创新。

Mowery 和 Rosenberg (1979) 认为,“技术供给推动”的作用不可轻视,且潜在的、进化的科技知识和市场需求在创新中相互作用。同方威视集装箱监测系统的产品创新,显然是对 Mowery 和 Rosenberg (1979) 观点的佐证。

20 世纪 80 年代末,清华大学等单位的核技术专家到国外考察,了解到国外已开始研制集装箱检测系统。1989 年,迫于境内外一些企业利用集装箱进行货物走私,同时逃税、骗税活动的激增,中国海关开始与英国宇航公司和德国海曼公司洽谈购置两套固定式大型集装箱检测系统,准备分别安装在走私活动最严重的深圳皇岗、文锦渡两个海关监管现场。^①在洽谈过程中,海关请清华大学工程物理系专家作为技术顾问参加。这位专家意外地发现,国外公司向海关提供的集装箱检测系统所包含的三类主要技术(即加速器、探测器、辐射成像技术)都是清华大学已有的技术成果,即利用清华已有的技术成果,国内也可能研制集装箱检测系统,这给清华专家留下了深刻印象。

清华大学四位教授(分别是加速器、探测器和辐射成像技术领域的专家,含前文所言的那位)同时从国外报道中获悉相关情况。他们聚会讨论清华大学是否可以开展集装箱检测系统的研制工作,得出的初步结论是:①随着中国对外贸易增多,走私活动会越来越严重,开发集装箱检测系统符合国家利益,故会有很好的市场前景。②清华大学有研制集装箱检测系统需要的所有关键技术。尽管拖动集装箱车辆的传动装置不是清华大学的强项,但清华机械系可以研制,故清华大学完全有可能开发出整个系统。③研制集装箱检测系统还有学术价值,如能利用加速器、探测器、图像处理三种技术开发出新的技术系统,也将是一种学术探索。④国外产品价格昂贵,维护费用高。中国有几十个陆路口岸和海运口岸,清华大学如能研制出该系统产品,无疑有助于解决国家燃眉之急。进而,四位教授一致认为,清华大学应当迅速研制集装箱检测系统。

基于此,他们立即致信清华大学领导,建议学校尽快启动集装箱检测系统的研制,这一建议得到了校领导的支持。恰逢国家“八五”科技攻关计划项目申报,学校立即向原国家科委(现科技部)提出了“大型集装箱检测系统”的项目申请。经组织专家遴选,科技部于 1991 年底将该项目列入国家“八五”科技攻关计划。清华大学获得了国家“八五”科技攻关项目经费资助。1992 年 3 月,集装箱检测系统研制工作正式启动。

由前文不难看到,集装箱检测系统研制的创新思路主要来自三个方面:一是国际同行创新动态的激发(英国宇航公司和德国海曼公司研制了大型集装箱检测系统);二是清华大学相关院系已经积累了研制集装箱检测系统所需的关键技术(加速器、探测器、图像处理三种技术);三是国家利益和国内市场需求(中国有几十个陆路口岸和海运口岸,清华大学如能研发该产品,无疑有助于解决国家的燃眉之急)。这充分体现了“他国相关领域发展、自身技术积累、国家利益和国内市场需求驱动”,三者协力激发了清华大学集装箱检测系统创新团队的创新思路。

2.2 威视系统研制的“1351”组织结构

大学的科技成果产业化,往往受制于同一产品研制所需的技术成果分散在不同院系。故在获得国家“八五”科技攻关计划立项后,清华大学学校层面即组织集装箱检测系统相关技术研制的三个院系承担相应工作。为协调相关研制工作,学校总体上采取了“1351”的团队组织结构。

2.2.1 一个校长牵头管理

这个“1”,即在学校层面由一位校长牵头。学校成立了以主管副校长为主任的项目管理委员会,科技处副处长任委员会秘书,处理日常事务。相应要求两单位领导必须全力支持本单位参

^① 中国海关于 1991 年正式购置了英国宇航公司、德国海曼公司的两套固定式大型集装箱检查系统,于 1992 年 9 月在深圳皇岗和文锦渡两个海关动工,分别在 1994 年 6 月和 8 月投入运行,投入使用后取得了显著的经济效益和社会效益。

与人员的工作，研制人员直接向学校负责，不需向本单位汇报。由此保证了研制人员工作上的投入和整个团队的协调一致。

2.2.2 三个单位协同研制

这个“3”指工物系、核研院、机械系三个院系。其中：加速器和辐射源是辐射成像的基础。工程物理系（简称工物系）在集装箱检测系统研制中负责辐射成像技术相关工作。该系多年来研究利用粒子辐射进行物理成像的理论、方法和技术，先后成功研制了电子感应加速器、高压加速器、电子回旋加速器、电子静电加速器、医用电子直线加速器、辐照用电子直线加速器及不同能量系列驻波加速管。

在集装箱检测系统研制中，核能技术研究院（简称核研院）负责核探测技术和核辐射探测器。该院长期从事核探测技术、核辐射探测器研究，还有一个气体探测器与半导体探测器研制基地，主要研究高压充气电离室、正比室及半导体探测器等核辐射探测器。其中，粒子探测技术用于获取辐射粒子信息，研究方向注重于提高探测粒子信息的效率及辨识能力如能量分辨率、空间分辨率和时间分辨率的各种理论方法与技术手段。

在集装箱检测系统研制中，机械系的任务是设计并实现集装箱的机械智能传送装置。

2.2.3 五个小组各负其责

“5”指五个研究小组，即根据需要，研究工作被分解成五个部分，相应组织了五个研究小组：①物理组，主要任务是设计和确定整个系统的物理参数，即总体设计，如图像清晰到什么程度，检测速度达到多少，对研制出的系统进行性能测试。②探测器和前端电路组，主要任务是研制探测器，将探测到的辐射信号转变成电信号。③信号与图像处理组，承担核电子、辐射成像、数据采集、图像处理、核辐射防护等研究任务，实现电信号数字化，利用计算机变成图像信号，并进行图像处理。④加速器组，任务是为系统研制新的加速器，该小组通过与校外单位合作完成了任务。⑤机械与拖动控制组，任务是设计并实现集装箱的机械智能传送装置。

2.2.4 核心小组统揽协调

再一个“1”，即由五个小组负责人组成的核心组，每周召开例会，交流各小组进展，切磋研究中遇到的问题。各小组内部或之间出现问题，都要提交核心组讨论。有了问题及时协调，保证各小组对不断变化的情况迅速做出反应。

2.3 具体技术方案的产生和选择

核心组是集装箱检测系统总体技术选择的决策者。各小组提出自己负责的子系统的技术方案后，必须交核心组讨论和决策。

2.3.1 加速器子系统技术方案的选择

加速器可选择的方案有静电加速器（1991年法国戴高乐国际机场使用的集装箱检测系统就是静电加速器）和直线加速器。直线加速器按照被加速的对象不同，又可分为质子或电子直线加速器；按照用于加速的场的不同，还可分为驻波或行波直线加速器。20世纪70年代起，工程物理系加速器研究室一直做的是电子直线加速器研究，有电子直线加速器的知识和技术储备，电子直线加速器同时还是国际上公认的最佳方案。由此，核心组根据“性能可靠与确保研制速度”的原则，采纳了加速器小组的建议，选择了电子直线加速器方案。

电子直线加速器又分行波和驻波两种。其中，行波的优点是可靠性更高、寿命更长、更耐用，且就国内加速器核心部件生产技术而言，采用行波相对更稳妥；尽管其缺点是体积庞大，但它的剂量容量大，更能保证系统的整体性能。最终，核心组根据“性能可靠和经济性”的原则，选择了行波电子直线加速器。

2.3.2 关于图像处理子系统的技术选择

信号与图像处理子系统的技术方案选择，焦点是处理图像的计算机是专用机更好些，还是通用机更好些。一种观点认为，应该研制系统专用的图像处理机，理由是当时的通用计算机图像处理速度有可能达不到检测系统要求，有的国外产品也正是因为这点而采用了专用计算机。图像处理研制小组则持相反观点，认为研制专用图像处理机成本高、时间长、风险大；且根据有关单位对计算机技术发展的预测，认为通用计算机的数据、图像处理速度很快会大大提高，故利用通用计算机平台开发兼容的图像处理硬软件，应该可以达到系统的整体要求。这不但可以降低研制成本，还可以用最好的计算机，做最通用的、与国际标准接轨的产品。最终，核心组根据“性能可靠、确保研制速度”的原则，确定了通用计算机方案。

选择确定采用通用计算机后，图像处理子系统的下一个技术选择是，使用工作站还是微型计算机？一种观点认为，工作站技术先进，速度快，发展余地大；即使工作站成本高于微型计算机，但与一套系统的成本相比仍不算贵。另一种观点则认为，微型计算机成本低，基本能满足系统整体可靠性的要求，故没有必要用工作站。最终，核心组根据“性能优先、确保可靠”的原则，选择了工作站方案。

2.3.3 关于探测器子系统的技术选择

关于探测器子系统的技术选择也有两种意见。一部分人主张研制固体探测器，因为它体积小，探测效率高，可靠性高。但探测器小组认为，探测器实验室在固体探测器研究方面的知识和技术储备不够，继续研究需要较多经费；而探测器实验室对气体探测器已有较多研究，且气体探测器成本低，性能稳定，寿命长；至于气体探测器体积大、对微小物体探测灵敏度低的缺陷，投入少量经费做些补充研究，即可解决。最终，核心组根据“确保性能、经费节约”的原则，选择了气体探测器方案。

2.3.4 关于技术选择的事后讨论

由前文不难看到，子系统研制的技术方案选择过程中，决策者（核心组）所把握的选择原则如表 2 所示。如将表 2 中的技术方案选择原则进行归纳，可以发现决策者（核心组）所把握的技术选择原则其实仅有三个：一是性能可靠；二是经济节约；三是确保研制速度。所谓性能可靠，即相应的技术方案要能够确保既定技术指标的可靠实现；经济节约，即花尽可能少的研制经费；确保研制速度，即选择有助于尽快完成研制任务的技术方案。其中，尽量使用研制单位既有技术储备是个关键，特别是采用研制单位既有的、经过检验的技术储备，既可以确保性能可靠，又可以节约后续研制经费，更有助于加快研制进度。当然，这也会产生其他问题，例如，技术选择对已有知识和技术储备的路径依赖，研制人员对此前所持有技术的非理性偏好等，都可能以“确保研制速度”的名义而影响技术选择的理性程度。

表 2 集装箱检测系统各子系统技术方案选择的具体原则

待选技术方案		选择原则	选择结果
加速器子系统的技术选择	使用静电加速器还是直线加速器	性能可靠、确保研制速度	使用电子直线加速器
	使用行波还是驻波电子直线加速器	性能可靠、经济性	使用行波电子直线加速器
图像处理子系统的技术选择	使用专用机还是通用机	性能可靠、确保研制速度	使用通用计算机
	使用工作站还是微型计算机	性能优先、确保可靠	使用工作站
探测器子系统的技术选择	使用固体探测器还是气体探测器	确保性能、经费节约	使用气体探测器

2.4 子系统技术选择的验证及整机系统的集成

恰当地选择子系统的技术方案，是同方威视集装箱检测系统研制的第一步。但实际的技术选

择是否恰当，还需要借助相关实验的检验，特别是需要通过整机系统功能实现程度的检验，才能确认相关技术选择和研制努力是否有效。

2.4.1 技术选择的实验验证

1993 年，同方威视集装箱检测系统的实验室研制取得了重要突破，做出了 1/4 的小型样机。这是清华大学团队首次把三类关键技术整合在一起所形成的产品。小型样机的研制成功，特别是样机的探测器和图像处理子系统是新研制的，皆从实验上验证了前一阶段技术选择的合理性。

1995 年 8 月，各子系统研制结束，五个子系统研制小组整合在一起，开始建造 1:1 的大型实验样机。该样机由四部分组成：一是 X 射线辐射源，要求能量达到 9MeV，剂量率达 4000 拉德/分钟的行波电子直线加速器。二是 6 米高、1024 个检测通道的高能 X 射线阵列探测器和前端电路。三是 16bit 模数变换系统、多层流水线传输系统和图像处理工作站。四是可检测 4 米高、3 米宽的集装箱车，具有 20 米长的防辐射检测通道。很快，大型样机研制成功，且单独测试加速器、探测器和图像处理三个子系统时，各项指标都达到了预期要求。

2.4.2 大型样机的综合测试

1:1 大型实验样机研制成功后，核心组对该样机进行综合测试。但此时发现了诸多问题。例如，系统整机联调时，接通系统总开关后，加速器并没有发射 X 射线，导致图像处理部分检测不到图像。进一步检测后发现，原来是所用的开关与加速器研制及单独测试时所用的开关原理不同，两者不能互换，故系统总开关对加速器不起作用。查明原因后，研制者对加速器稍加改进即解决了这一问题。另外，开始调试时，系统样机综合指标并不如预期的那么好。后经过 2 个月的反复测试和改进，1995 年 10 月，1:1 样机终于达到了预期指标。1996 年 1 月，1:1 样机最终通过了国家鉴定。

2.4.3 若干启示

大型样机的综合调试，给了研制者不少启示：首先是要解决好子系统的功能实现和经济节约问题，这是大系统整体功能得以实现和经济节约的基础。其次是要解决好子系统之间的协调问题，这是大系统整体功能最终得以实现的保障。前一个目标可以通过既有的技术积累和后续研发实现；后一个目标只能通过所有子系统研制成功后的系统集成来实现，且相关知识也只能通过实际系统的集成过程来获得。

3 同方威视集装箱检测系统面向制造的技术整合

3.1 两阶段技术整合的衔接

样机到商业化制造中间有个衔接问题，即需要由面向研制的技术整合，有效地走向面向商业化制造的技术整合。集装箱检测系统的商业化制造也不例外。这其中，尤其需要通过构建相应的体制和机制，来实现新产品研制阶段所形成的技术成果的“带土移植”。

相应地，清华大学学校层面面对与集装箱检测系统商业化制造相关的人才聘用体制进行了调整，鼓励相关科研人员投入到该系统的商业化制造之中。在此政策背景下，博士生导师康克军、程建平等带领更多科研骨干加入到了集装箱检测系统的商业化制造。1997 年 7 月同方核技术公司成立后，学校又鼓励相关院系更多科研人员以兼职身份进入该公司。基于此，实现了集装箱检测系统研制阶段所形成的技术成果的“带土（人员）移植”。

特别是，在此后该公司组织体系的调整中（见 3.3 部分），此前进入该公司或在该公司兼职的科研人员，分别进入了该公司的“产品体系群”、“行政体系群”和“工程体系群”，进一步提升了集装箱检测系统研制阶段所形成的技术成果的“带土（人员）移植”程度。

3.2 样机商品化的资金来源

大学的科技成果商业化转化往往受制于资金短缺。同方威视集装箱检测系统的研制也是如此,且到了商业化制造阶段,资金问题更为凸显。1996年1月,样机研制完成后,尽快商业化制造以抢占市场,即成为集装箱检测系统全体研制人员的共识。但由样机到商业化制造,是比实验室研制更艰难的过程。研制人员发现,除了生产制造方面的技术问题需要解决之外,更困难的是后续资金的获取,因为大学没有这笔资金来源。

1996年1月样机研制完成时,从国家科技攻关计划获得的经费全部用完。此时,要想真正实现商业化制造,就必须寻找投资人。但直到1996年底,仍没有企业愿意投资,特别是所有可能的投资人都希望看到海关订货意向后再投资;而海关希望看到符合自身要求的可商业化制造的改进机型后再订货。

基于集装箱检测系统对于提高商品进关效率和打击走私的重要性,在继续积极寻找投资人的同时,研制者积极与海关总署协商,努力寻求政府支持。1996年底,“资金死结”出现了转机。主管国家教育、科技和海关工作的李岚清同志对集装箱检测系统的商业化制造给予了极大关注,多次指示“要把这项工作进行到底”。他先后10多次做出批示,4次到清华大学研制现场、系统生产基地、安装系统样机的海关视察,多次要求海关总署与学校研制单位“密切合作”。

1996年11月,海关总署就集装箱检测系统的商业化制造问题,与学校达成共识,海关总署同意以“预付款方式”向学校投入200万元工程化商业化费用。停滞近一年的商品化制造再次启动起来。同时,清华大学要求校办企业同方公司承担全部制造经费,并于1997年7月成立了专门制造该系统的同方核技术公司。1997年7月到1999年,同方公司陆续向核技术公司注入资金3000万元。

在研制团队的努力下,1998年1月,固定式集装箱检测系统通过了国家产品化审定。海关认为,“清华大学系统产品的总体性能优于国外同类产品,特别是图像质量超过了进口产品,而价格不到国外产品的一半”。随着1998年海关打击走私的力度史无前例,陆续在众多重要港口安装了同方威视的集装箱检测系统。1998年5月,海关又提出了研制移动式检测系统的需求。1998年6月,海关总署启动了批量装备同方威视集装箱检测系统的“H986工程”,首批订购10套固定式产品,并预付同方1000万元,支持同方威视研制移动式检测系统。1998年12月,海关总署又与同方核技术公司签署“H986工程”二期合同,再次订购10套系统。

由前文不难看到,同方威视集装箱检测系统商业化制造伊始资金困局的化解,得益于该系统满足了国家的海关管理需求,获得了政府高层的重视,得到了海关作为用户的积极配合以及学校的重视和组织协调,特别是既有校办企业的及时介入,为该系统的商业化制造搭建了商业平台。

3.3 建立面向制造的组织体系

资金问题解决之后,同方威视集装箱检测系统的商业化制造,需要建立面向制造的组织体系,包括相应的技术组织体系、生产组织体系、市场营销体系等,这些是“面向制造的技术整合”不可或缺的内容。

客观地看,1997年7月同方威视成立的核技术公司是在搭建面向制造组织体系的商业平台。为确保集装箱检测系统商业化制造的顺利展开,该公司设立了工程市场部、生产部、财务部、质保部、加速器部、探测器部、控制系统部七个部门。1998年又成立了开发部,主要负责车载移动式系统的开发,后来又将开发部分解为开发一部和开发二部,并成立技术办公室。

1999年7月,同方核技术公司又将“技术组织体系”与“生产组织体系”整合为“产品体系群”,由总工程师(公司副总经理兼)负责。同时建立了“行政体系群”,包括财务、行政等部门;

建立了“工程体系群”，包括市场、工程等部门。

“产品体系群”在总工程师下设有技术总监和生产总监。其中，技术总监全面负责技术组织体系，包括加速器技术部、探测器部、核电子学部、软件部、辐射防护部、控制部等，这些部门基本对应于工物系核技术研究所的各个研究室，这就使得核技术公司能够得到工物系持续的技术支持。另外，还设有机械部，该部以产品外形及结构设计改进为主，主要承担产品的结构设计、加工等。生产总监全面负责生产组织体系，相应成立了加速器车间、电子学车间、总装车间、外协制造部和生产办公室。

2001 年底，为使产品的设计更加完整，核技术公司又将以结构设计为主的机械部与以电控设计为主的控制部合二为一，成立了设计中心。到 2003 年底，同方核技术公司改组为同方威视技术股份有限公司（简称同方威视），并将设计中心拆分为两部分，即总体部和设计部。同时将技术组织体系分解为技术体系和联合研究所，技术体系包括软件部、总体部、设计部、辐射防护部和技术办公室，联合研究所包括加速器部、探测器部、核电子学部，同时增设了数理部和新产品部。联合研究所由同方威视与工物系共同建设，主要负责新产品的研制和技术发展的规划。

3.4 培育商业化制造的互补性资产

从样机到商业化制造，还需要培育相应的互补性资产，集装箱检测系统的商业化制造也不例外。所谓互补性资产，即商品生产、营销和售后服务能力。而要拥有这些互补性资产，同样需要在“面向制造的技术整合”中建立和培育。

(1) 要建立集装箱检测系统商业化制造所需的生产能力。1998 年拿到订单后，由于该产品在国内还没有国家和行业标准，同方威视自己制定了企业标准，并参考 ISO9000 制定了质量保障体系，所有零部件、配套件采购及整机生产、验收都按照该体系执行。借助 OEM 方式，同方威视公司先后选择国内外 100 多家零部件供应商和配套商，委托生产有关零部件、配套件，如拖车、机架、外壳等，并按照前述质量体系要求选择并管理供应商。同时，加快建设生产基地。先是买了 1.7 万平方米的生产厂房，建立系统总装所需的生产设施。到 1999 年 1 月，同方威视集装箱检测系统的集成制造能力即达到 20 套/年。到 2000 年，制造能力达到固定式监测系统 18 套/年，车载式监测系统达 24 套/年，组合移动式监测系统 40 套/年。到 2002 年，即实现每年可推出 2~4 种新型产品，同时可按用户要求进行定制；标准产品 6~9 个月即可交付，定制产品 12~15 个月即可交付，全新产品 15~18 个月即可交付。

(2) 在培育生产能力的同时，同方威视也开始培训海关操作人员，建立检测系统使用维护等方面的售后服务能力。1998 年，同方威视即派工作人员前往准备安装该系统的海关进行现场咨询，培训海关操作人员。1999 年 1 月，公司成立了“技术支持部”，负责用户培训、派驻现场工程师、提供备品备件等。根据安装检测系统的海关分布情况，1999 年 5 月在上海和深圳分别建立了“华东维护服务中心”和“华南维护服务中心”，为华东、华南两区域的集装箱检测系统用户提供维护服务。其后，逐步形成了三级售后服务体系：第一层级是同方威视总部对地域中心提供技术指导、备品备件支持、培训和紧急救援；第二层级是在华北、华东和华南地域中心建立了备品备件库，向各维修站提供备品备件和技术支持；第三层级是在检测系统运行现场建立维修站，配备了安装调试和运行维护经验丰富的现场工程师。另外，同方威视还在海外建立了多个维修中心，负责海外在役设备的运行维护。所有这些努力，皆得到了用户的认同。