

食品与农产品品质 无损检测新技术

陈 斌 黄星奕 编著

化学工业出版社

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

食品与农产品品质无损检测新技术/陈斌, 黄星奕编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 2

ISBN 7-5025-5175-1

I. 食… II. ①陈…②黄… III. ①食品检验: 无损检验②农产品-无损检验 IV. ①TS207②F762.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 006077 号

食品与农产品品质无损检测新技术

陈斌 黄星奕 编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 刘志茹

责任校对: 李林

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 274 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5175-1/TS·152

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

民以食为天，食品与农产品加工业是国民经济的基础和支柱产业，经过近几十年的发展，已从传统作坊式的加工制作，向着现代化、自动化和智能化方向转变。由于食品与农产品在生长过程中受到诸如种子、地域、气候、土壤、营养、病虫害等因素的制约，使得不管是在外观形状、表面色泽，还是内在营养成分的分布、物理缺陷以及病虫害造成的伤害等方面均产生了各种差异，给其商品价值的定位带来了不利的影响，同时给后期的继续加工造成困难，因此需要及时对食品与农产品品质进行检测。为了实现全数、实时在线检测就必须要有快速无损的检测技术作为保证。无损检测的概念由来已久，但在食品与农产品加工业中还是在 20 世纪 80 年代以后出现的，近年来该技术得到快速的发展，已形成了食品与农产品加工业最具有活力的一个研究方向，特别是食品与农产品安全问题对该技术提出了更高的要求。正是在这种情况下，我们决定编写本书。

由于食品与农产品品质无损快速检测技术是一个全新的概念，因此在编写过程中可以参考的同类专著很少，主要根据自己的研究经验和收集国内外同行的最新研究成果文献，因此在章节编排、理论叙述以及应用实例列举等方面一定有不完善和不完善之处，希望同行们给予及时地指正和提出宝贵的建议，以便我们在以后修订时充实和完善，共同为我国食品与农产品品质无损快速检测技术的发展，为赶超国际领先技术做出贡献。

全书共七章，由江苏大学食品科学与工程系的陈斌和黄星奕两位博士完成编写工作，其中第一～第四、第七章由陈斌编写，第

五、第六章由黄星奕编写。在编写过程中得到了上海理工大学食品科学与工程系李保国博士的鼎力支持，提供了许多很有价值的参考资料；江苏大学食品科学与工程系的方如明教授对全书进行了认真的审阅和仔细的修改，提出了许多诚恳且具有建设性的建议，为本书的最终完成起了非常重要的作用，在此特向两位表示真诚的谢意！

任何一个编著者都有编好书的强烈愿望，同样本书的两位编著者也希望给从事食品与农产品品质无损快速检测技术研究和应用的广大科技工作者提供一部有价值的参考书，但因水平所限，书中错误与不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2003年12月

目 录

| | | |
|-----|------------------------|-----|
| 第一章 | 绪论 | 1 |
| 第二章 | 利用力学（机械）特性的检测技术 | 14 |
| 第一节 | 食品与农产品品质检测中常用的力学（机械）特性 | 14 |
| 第二节 | 力学特性的检测技术 | 16 |
| 第三节 | 声学特性的检测技术 | 32 |
| 第四节 | 利用超声波的检测技术 | 40 |
| 第五节 | 力学特性检测的常用仪器与设备 | 48 |
| 第六节 | 应用实例 | 53 |
| 第三章 | 利用电学特性的检测技术 | 56 |
| 第一节 | 电特性的主要参数 | 56 |
| 第二节 | 静电特性的检测技术 | 65 |
| 第三节 | 交流电特性的检测技术 | 77 |
| 第四节 | 电特性检测的常用仪器与方法 | 90 |
| 第五节 | 电特性检测的应用 | 93 |
| 第四章 | 利用光学特性的检测技术 | 101 |
| 第一节 | 物理光学基础 | 101 |
| 第二节 | 可见光的检测技术 | 119 |
| 第三节 | 紫外光的检测技术 | 140 |
| 第四节 | 近红外光的检测技术 | 148 |
| 第五节 | 光学特性检测的常用仪器与设备 | 158 |
| 第六节 | 应用实例 | 182 |
| 第五章 | 利用计算机图像处理的快速检测技术 | 186 |
| 第一节 | 图像处理简介 | 186 |
| 第二节 | 数字图像处理基础 | 189 |
| 第三节 | 图像增强 | 194 |
| 第四节 | 彩色图像处理 | 204 |
| 第五节 | 小波变换 | 207 |

| | | |
|--------|-----------------------|-----|
| 第六节 | 数字形态学 | 211 |
| 第七节 | 图像分割 | 216 |
| 第八节 | 表示和描述 | 225 |
| 第九节 | 目标识别 | 235 |
| 第十节 | 常用图像处理仪器与设备 | 239 |
| 第十一节 | 数字图像处理应用实例 | 242 |
| 第六章 | 其他快速检测新技术 | 248 |
| 第一节 | 气味(电子鼻)传感器的检测技术 | 248 |
| 第二节 | 生物传感器检测技术 | 256 |
| 第七章 | 化学计量学在快速检测中的应用 | 272 |
| 第一节 | 化学计量学简介 | 272 |
| 第二节 | 化学计量学解决的问题 | 274 |
| 第三节 | 化学计量学的常用数学方法 | 280 |
| 第四节 | 化学计量学的发展 | 309 |
| 主要参考文献 | | 312 |

第一章

绪 论

一、我国食品与农产品工业现状

食品工业是以农产品为主要原料，通过各种手段及技术措施将植物业、养殖业、采集业所得到的原料，如粮、油、果、蔬、肉、蛋、奶、水产品等加工成人们生活中所必需的成品。实际上，食品工业是农业生产的继续、深化和发展。随着我国国民经济的迅速发展和人民生活水平的不断提高，我国食品工业得到了飞速发展，已成为我国国民经济的支柱产业。

1952年我国食品工业的总产值仅为82.80亿元；1980年的食品工业总产值为568.00亿元；到1990年食品工业总产值达到1359.99亿元；1995年食品工业总产值已上升为全国各行业之首，高出排名第二的冶金行业1.5%；而到2000年食品工业总产值已超过了6734.47亿元，成为名副其实的国民经济的支柱产业。表1-1中列出了我国历年食品工业总产值和占全国工业总产值的比例；表1-2列出了我国20世纪各年代食品工业平均增长率。

表 1-1 我国历年食品工业总产值和占全国工业总产值的比例

| | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 年 份 | 1952 | 1957 | 1962 | 1965 | 1970 |
| 总产值/亿元(人民币) | 82.80 | 153.60 | 126.90 | 175.50 | 197.90 |
| 占工业总产值的比例/% | 24.10 | 19.60 | 14.90 | 12.60 | 8.20 |
| 年 份 | 1976 | 1980 | 1985 | 1990 | 1994 |
| 总产值/亿元(人民币) | 388.60 | 568.00 | 940.60 | 1359.99 | 4039.86 |
| 占工业总产值的比例/% | 11.90 | 11.30 | 11.30 | 10.40 | 9.90 |
| 年 份 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
| 总产值/亿元(人民币) | 5146.51 | 5842.08 | 55.1733 | 6020.30 | 6734.47 |
| 占工业总产值的比例/% | 10.10 | 10.30 | 9.60 | 9.30 | 8.98 |

表 1-2 我国 20 世纪各年代食品工业平均增长率

| 年 代 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|-------|------|------|------|-------|------|
| 增长率/% | 17.0 | 12.8 | 12.7 | 10.12 | 12.6 |

食品工业的利税总额有较大的增长。1998 年实现利税总额 1158.3 亿元；1999 年实现利税总额 1272.65 亿元，增长 9.87%；2000 年实现利税总额 1430.3 亿元，增长 12.39%。2000 年出口创汇达 132.31 亿美元。

据国家统计局对我国全部国有企业以及年销售额 500 万元以上规模的非国有食品企业产量统计，2000 年小麦粉 2764 万吨、大米 2108 万吨、食用油 835.3 万吨、食糖 699.88 万吨、罐头 178.2 万吨、乳制品 82.92 万吨、软饮料 1490.83 万吨、鲜冻畜肉 380 万吨、方便主食品 260.9 万吨、啤酒 2231.31 万吨。其中，增幅较大的啤酒 2000 年比 1995 年增长 42.3%，乳制品增长 60%，软饮料增长 52.2%。表 1-3 列出了历年来我国主要食品种类的年生产量统计。

表 1-3 我国食品工业主要产品和产量/万吨

| 年 份 | 1957 | 1965 | 1975 | 1985 | 1990 | 1995 | 1999 | 2000 |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 原盐 | 828.00 | 1147.00 | 1481.00 | 1479.00 | 2023.00 | 2977.72 | 2471.04 | 3128.00 |
| 糖 | 86.00 | 146.00 | 174.00 | 451.27 | 582.00 | 558.64 | 831.98 | 699.88 |
| 罐头 | 6.18 | 12.18 | 35.09 | 142.50 | 157.10 | 310.57 | 160.15 | 178.20 |
| 饮料 | 66.90 | 89.05 | 211.55 | 851.37 | 1385.53 | 2607.26 | | |
| 白酒 | 41.50 | 58.42 | 127.10 | 337.97 | 513.90 | 841.74 | 470.98 | 476.11 |
| 啤酒 | 4.50 | 9.00 | 27.48 | 310.40 | 692.21 | 1568.82 | 2065.27 | 2231.32 |
| 葡萄酒 | | 1.15 | | 23.25 | 25.60 | 22.91 | | 20.19 |
| 黄酒 | 10.50 | 15.89 | | 65.72 | 25.43 | 147.26 | | |
| 软饮料 | | | | 100.00 | 330.33 | 1120.69 | 1277.36 | 1490.83 |
| 矿泉水饮料 | | | | | | 169.71 | 407.72 | 553.61 |
| 乳制品 | 1.27 | 2.12 | 3.66 | 16.36 | 31.37 | 52.57 | 66.30 | 82.92 |
| 奶粉 | | | | 11.93 | 24.15 | 35.22 | | |
| 食用植物油 | | | | 400.52 | 544.10 | 1144.50 | 692.63 | 835.30 |
| 卷烟/万箱 | 446.00 | 478.00 | 989.00 | 2370.00 | 3298.00 | 3485.02 | 3267.63 | 3323.44 |

1992 年全国营养调查结果表明，中国人均每日摄入量

9740.35 kJ, 蛋白质 68g, 脂肪 58g。1997 年根据全国部分地区典型监测, 全国人均日摄入热量 9987.21kJ, 蛋白质 70.5g。居民膳食结构向着更加合理的方向调整。“九五”期间实现了国务院提出的营养改善行动计划目标。

主副食品、方便食品产量也有较大的增长, 品种呈现多样化。2000 年主食方便食品已达 260.9 万吨。而水果、蔬菜、肉类、速冻食品、早餐食品、外餐食品、各种保鲜包装配制食品、净菜等半成品, 正在加快进入居民的一日三餐。面粉、食用油脂精制品及专用食品品种和产量有较大的增加。精炼油产量已占油脂总产量的 30% 左右, 特二级以上精度的小麦粉占面粉总产量的 70%, 精米占大米总产量的 85% 左右。肉类制品、乳制品、软饮料、水产加工品等产品品种丰富, 档次明显提高。酒类产品结构调整成效显著, 白酒生产进入以降度酒、低度酒为主体的新格局, 啤酒已成为酒类生产的主体, 品种已能适应不同人群的需要, 葡萄酒与国际接轨, 质量和包装进入新的档次。名牌优质产品质量稳定、产量不断增加、产品市场覆盖面扩大。

目前中国食品工业结构不合理的表现有: ①基础原料加工比重过大, 食品制造业不到 20%; ②食品制成品占居民食物消费支出不到 40%, 而发达国家则高达 80% 以上; ③企业规模小、效益差、技术设备水平低。

从食品工业对农产品加工程度看, 可分为对农产品的粗加工、深加工以及食品工业的社会化三个阶段。工业发达国家大部分已进入第二阶段, 少数国家已进入第三阶段。中国和其他发展中国家基本上处于第一阶段。从工业投资构成看, 美国、日本及欧洲的发达国家对食品工业的投资所占比重很大, 居第二或第三位, 占工业投资的 6%~9% (中国不到 3%)。因此食品工业的产值在国民经济总产值中所占地位也是很显赫的。例如美、日、法等国食品工业产值均居各制造业之首。从食品工业产值和农业产值的比例看, 美国为 160%, 日本为 232%, 中国为 20.7%。

发达国家食品工业的高度发展是因为具有了高度发展的食品机

械工业。21 世纪食品工业的特点是：高度机械化、自动化，食品加工机械单机高度的机、电、光、液一体化，加工生产线高度的自动化；高新技术（超临界气体提取技术、膜分离技术、食品辐射技术、挤压膨化技术、微胶囊技术、速冻加工技术、超声波技术、光电检测技术以及电子技术等）广泛应用；高效节能产品（干燥、蒸煮、蒸发、油炸、杀菌以及烘烤等）多；高保鲜贮藏技术（气调保鲜技术、辐射保鲜技术、涂膜保鲜技术、预冷保鲜技术、化学保鲜技术、速冻保鲜技术和无菌包装技术等）日趋成熟；高度重视食品资源综合利用和环境保护；食品种类发展趋于更营养、卫生、方便，保鲜食品、微波食品、速冻食品、功能食品、方便食品、儿童食品、休闲食品和微生物食品等应运而生。

品质是反映某一物体的某些性质的一个模糊概念。通常食品与农产品的品质有三个方面的内容：一是反映物体外表特征的外表品质；二是反映物体基本物理性质的品质；三是反映物体内部特征的内部品质。

食品与农产品的外表品质主要有表面颜色、表面光泽、表面平整度、物体的外表形状以及尺寸大小等内容；物体基本物理性质的品质主要有物体的质量、密度、弹性、硬度和黏度等内容；食品与农产品的内部品质主要有安全性、成熟度、新鲜度、营养成分的组成、味觉、口感、病虫害的检测等内容。在三个类型的品质中，随着人们对食品与农产品的需求从数量到质量的转变，反映食品与农产品内部特征的内部品质指标越来越被人们重视。内部品质的各项指标与人们身体健康息息相关，要实现快速无损检测也较困难，各种先进的无损检测技术和方法有待人们不断开发。

二、常用的快速检测新技术

无损检测即非破坏性检测，这一名词在食品与农产品加工工业领域是比较新的名词。但在一般工业领域作为产品的品质特性的测定手段，自古以来就有各种技术和方法。

所谓无损检测，就是在不破坏待测物原来的状态、化学性质等

前提下，为了获取与待测物的品质有关的内容、性质或成分等物理、化学情报所采用的检查方法。无损检测技术在食品与农产品加工领域，如材料的选购、加工过程品质的变化、流通环节的质量变化等过程中，不仅起到保证食品与农产品的质量和安全的监督作用，还在节约能源和原材料资源、降低生产成本、提高成品率和劳动生产率方面起到积极的促进作用。

随着无损检测技术的发展，随着各种新学科、新方法的诞生和出现，无损检测技术的应用领域不断向各行各业延伸。除传统的机械行业外，在航空与航天、石油加工、有机与无机化工、农业生产、食品与农产品加工、制药工程、环境检测等行业也得到了迅速推广。随着电子工业的飞跃发展，以及各种高精度的传感器、探测器和高性能的计算机在食品与农产品加工行业愈来愈多的应用，对食品与农产品品质进行快速检测已从需要变成可能。生产的高度自动化、高效率化也要求在各个环节尽量实现用全数检测的形式取代以往的抽样检查品质的管理统计方法，无损检测技术为上述要求提供了充分的技术支持。

无损检测技术作为一项工业技术，从应用的角度来说，主要有三种应用形式。一是在生产过程质量控制中的无损检测，即应用于产品的质量。它可以剔除每道生产工序中的不合格产品，并把检测结果反馈到生产工艺中去，指导和改进生产，监督产品的质量。二是用于成品的质量控制，即用于出厂前的成品检验和消费者（包括中间流通者）的验收检验。它主要是检验产品是否符合国家或行业的质量标准，保证食品与农产品的安全性。三是在产品流通和贮藏过程中的品质监测，特别是在规定的保质期、保存期中的品质监控，同时也为及时发现伪劣产品，打击制假和不合格产品提供科学的依据。

三、无损检测的特征

无损检测技术有如下特征。

① 与现行的理化分析法不同，无损检测的方法无需大量的试

剂、溶剂等化学药品。所以不仅可减少经费，而且无环境污染之虞。

② 无损检测的方法不需要分析的前处理工作，试样制作简单，可迅速分析，且分析精度高。测试技术简单，不需要特别熟练的技术。

③ 无损检测的方法因能即时检测，适用于在线检测（即在流水线上检测）。检测的在线化，不仅可对产品全数检查，使品质管理更加合理化，而且为生产过程的自动化创造了条件。

④ 同一样品可反复使用。当需对样品进行跟踪连续测定时，例如在食品贮藏过程中品质变化规律的试验，该方法可消除样品之间存在的个体差异，对同一样品连续多次测定。

⑤ 无损检测的方法检测时无需特别的称重过程，所以，即使在室外等环境中，也同样能完成检测过程。

⑥ 无损检测的方法可以在单元操作下获得多个信息。因而，能够检测食品与农产品的综合信息，如多个反映品质的特性等。

四、无损检测原理及方法

无损检测技术一般是从外部给待测物一个激励能量，待测物受激励能量影响时，从输入和输出的关系可获得待测物的物理化学特性（如图 1-1 所示）。也有少数利用待测物自身发出能量的方法，例如利用物体本身的红外辐射，非接触式测定待测物的温度及化学发光等。

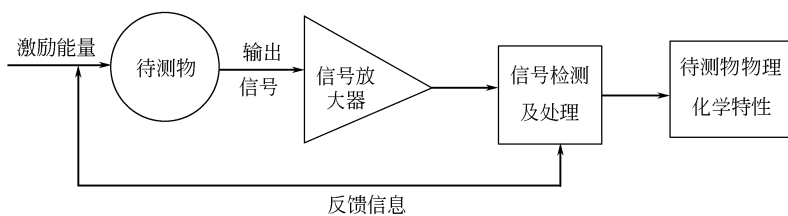


图 1-1 无损检测方法原理

随着现代物理学、材料科学、微电子学和计算机技术的发展，

无损检测技术也随之迅猛发展起来。各种无损检测方法的基本原理几乎涉及现代物理的各个分支。人们按照不同的原理和不同的探测及信息处理方法，详细地统计了已经应用和正在研究的各种无损检测方法，总共达 70 余种。主要包括射线检测（X 射线法、 γ 射线法，高能 X 射线法、中子射线法、质子和电子射线法等）、声和超声检测（声撞击法、超声脉冲反射法、超声透射法、超声共振法、超声成像法、超声频谱法、声发射和电磁超声法等）、电学和电磁检测（电阻法、电位法、涡流法、录磁与漏磁法、磁粉法、核磁共振法、微波法、外激电子发射法等）、力学和光学检测（目视法和内窥镜法、荧光法、着色法、脆性涂层法、光弹性覆膜法、激光全息摄影干涉法、泄漏检定法、应力测试法等）、热力学方法（热电动势法、液晶法、红外线热量法等）和化学分析方法（电解检测法、激光检测法、离子散射检测法、俄歇电子分析法等）。现代无损检测技术还应包括计算机数据和图像处理、图像的识别与合成以及自动化检测技术等。

在食品与农产品加工行业最常使用的无损检测技术主要有力学方法、电磁学方法、光学方法、放射线法、计算机图像处理技术和电子气味检测法（电子鼻）等。

（1）力学方法 力学方法是利用食品与农产品的力学特性（如振动频率、振动的吸收、硬度、弹性等特性）进行检测的方法。利用声波和振动可测出食品的品质指标（硬度、黏度等）和检查待测物内部的组织状态。例如利用声波透射法测定牛乳中脂肪含量及大豆的水分；用超声波在物体中密度有差异处的反射波测定法，检查家禽的肉质、脂肪层厚度、里脊肉断面等；利用激振法或打击反响音法测定苹果、西瓜等的成熟度和内部缺陷，以及测定蛋和罐头食品的新鲜度等。

（2）电磁学方法 电磁法分为主动特性法和被动特性法两种。主动特性法是利用待测物自身所具有的某种电磁特性（如生物电等）的测量方法；被动特性法是将待测物置于电磁场内，利用其受电磁影响后反过来对外部环境施加影响的特性的测量方法，例如核

磁共振 (NMR) 和电子自旋共振 (ESR) 等。利用食品含水率与其本身电阻、介电常数的相关性, 已开发了多种快速水分测定装置, 如交流电阻式、直流电阻式、高频电阻式、高频电容式水分测定装置等。NMR 对于在液体中能溶解的物质, 具有较高的灵敏度; 对于固体和糊状物在液态存在的情况下, 也能获得较高的灵敏度; 对于水果的食味成分等测定具有应用前景。ESR 对于测定自由基和自由金属离子是较方便的, 宜于测定油脂的自动氧化初期生成的含有过氧化物的反应中间物质。

(3) 光学方法 光学方法是利用紫外光、可见光、红外光等光线和物体的相互作用而产生的透射、反射和吸收等现象进行检测的方法。光和待测物相互作用过程中, 从紫外光到可见光范围内的光线能使组成食品与农产品物质的电子产生激励; 近红外和中红外区域的光线能使物质的分子间的振动能和回转能产生激励。总之, 物质受光的作用后, 其能量状态向高能状态变化, 其现象是光被吸收了。反之, 物质的电子从高能级向低能级状态变化, 可以看到光的辐射 (反射、漫射)。而吸收的辐射光的频率与物质的原子和分子的种类及性质的关系是具有高度选择性的。因此, 根据物料的吸收和反射光谱可以鉴定物质的性质。例如利用紫外光作激励光源照射食品与农产品表面获得荧光辐射, 根据荧光的强度可以判别食品与农产品上附着的微生物的代谢物 (主要是霉菌), 如花生类干果上附着的微生物及其代谢物 (如黄曲霉素会发出荧光)。用可见光作激励光源, 加上代替人眼的色彩传感器, 测定待测物的反射光或透射光, 可用于果品成熟度的判定和谷类种子、稻米、水果的分选等作业领域。利用待测物的延时发光 (DLE) 特性, 可以对水果和蔬菜的叶绿素作定量判定、识别新茶和陈茶、进行黄瓜的低温损害的测定等。近红外线 (波长 $0.8 \sim 2.5 \mu\text{m}$) 法是利用红外光谱分析技术测定食品与农产品的成分含量, 可在 40s 内实时测定水分、碳水化合物、蛋白质、脂肪等 9 种食品的主要成分。如日本生产的稻米食味计就是近红外分光分析仪装置和计算机系统结合的研究成果。利用红外照射, 能获得与温度有关的信息, 国外已有用红外线识别

有精和无精禽蛋、判定甜瓜成熟度等的报道。

(4) 放射线法 X射线、 β 射线和可见光一样具有透射、反射和漫射等性质。X射线主要用于测定物体的密度差、判别内部缺陷和异物检出。例如判定球形瓜果类食品中的空洞（例如西瓜的空洞）、判定生菜的结球度、测定已损伤苹果及柑橘类水果的内部品质、测定罐头装填量等。 β 射线在美国用于火鸡育种中的卵壳厚度的测定，从而高精度判别卵壳强度及壳中钙的含量等。用 γ 射线的透过性测定肉糜中脂肪含量，其测定精度与例行的化学分析法比较，其标准偏差在1%以内，而测定时间仅为5~10s。

(5) 化学发光方法及其他方法 由于食品的氧化等反应过程中会产生光电子，新鲜果品发出的光电子与其活性之间具有较大的相关性，所以，用光电子计数器直接统计光电子数，可以测定食品的氧化过程以及果品的新鲜度。

其他如气相色谱法、液体色谱分离法用于测定、分析食品成分已较为普遍了。现在也有人从事利用生物传感器判定果品新鲜度和成熟度的研究。

计算机图像处理技术和电子鼻检测技术的原理将在相应章中介绍。

五、无损检测的一般步骤

常用的食品与农产品的无损检测方法都是建立在以物理仪器为基础上的间接检测法。而使用物理仪器检测到的只是物理参数（如光强度信号、电压信号、机械振动信号等），要使用这些物理信号表征食品与农产品的品质指标，就必须建立物理信号和食品与农产品品质指标的相互关联，以达到用物理信号表征食品与农产品品质指标的目的。

建立两者之间相互关联的一般步骤如下。

① 选择合理的检测系统和检测系统的参数设定。

② 收集包括可能出现的所有状态的样本，一般需要量在50~80个左右，其中一部分用作定标方程的建立，另一部分用作对定

标方程的检验。

③ 按统一的检测方法对全部样本进行物理信息的测定。

④ 按国家标准或行业标准用法定的化学方法测量全部样本的待测成分的含量。

⑤ 运用化学计量学方法建立定标样本化学测量值与物理检测数据之间的定标方程。

⑥ 将预测样本的物理检测数据代入定标方程计算出待测成分的理论计算值。

⑦ 进行预测样本的预测计算值与化学测量值之间的误差计算与分析，若误差不能达到预定的要求，则需要改变定标方程的建立方法，返回到第⑤步重新建立定标方程。

图 1-2 可更直观地表示物理检测参数与物料的待测成分之间建立关联的步骤和联系。

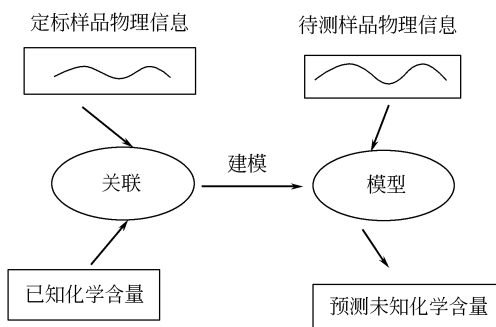


图 1-2 建立无损检测预测模型的步骤

六、过程检测的五个发展阶段

曾经有人讨论了实际生产过程中的过程分析化学的有关问题，将过程分析化学的发展过程分为五个阶段，即离线检测（off-line）、现场检测（at-line）、侧线在线检测（on-line）、定位实时在线检测（in-line）和非接触性检测（noninvasive）。

(1) 离线检测 离线检测是指由人工从确定的采样点取样，然

后将样品送回中心实验室按确定的方法进行检测的过程。目前这种检测过程在工厂原料、中间产品及成品检测中仍占绝大多数。离线检测的优点是检测分析过程严格按有关检测标准执行，针对特定样品，数据可靠性高，有问题可以直接找有关专家或通过其他方法对照验证。但离线检测过程存在以下几个方面的问题。一是报告结果不及时，报告结果时间与取样时间间隔较长，有时严重滞后于生产过程，当生产过程中有变化时，产品的信息得不到及时反馈，缺乏对生产过程的指导性。二是对一些稳定性差的样品检测分析结果可能不准确。由于生产现场和实验室有一定的距离，运送样品需要一定的时间，这期间样品可能发生变异，不能完全、真实地反映生产工艺过程的实际情况。三是在许多情况下，人工采样是不允许或不可能的，因为采样地点危险或采样可能导致流程的改变或产品的破坏。

(2) 现场检测 现场检测与离线检测的差别是将分析仪器安装在生产线附近，由人工从生产线上取下样品后立即测定。现场分析仪器与实验室中使用的仪器相比，抗环境干扰的能力必须大大增强，现场检测可以缩短从取样到检测的时间，提高了对生产过程的指导性。现场分析仪器大多为一些专项指标所设计，相对比较简单，操作也比较容易。

(3) 侧线在线检测 侧线在线检测方式是从反应装置或管线通过侧线将样品引出，再通过自动取样系统将样品引入仪器进行测量的过程。侧线在线检测有两种类型：一种是间歇取样，如色谱类和流动注射检测等仪器；另一种是连续取样，即样品连续地通过仪器，这种仪器多数为光谱仪器。在线分析消除了人工取样的过程，这对一些恶劣、危险环境中无法人工取样的生产过程是非常重要的。与离线检测和现场检测相比，在线检测进一步提高了分析数据的反馈速度，解决了生产装置闭路控制中的样品分析问题，同时也避免了样品脱离反应器或装置可能导致的样品变异问题。这类在线检测的缺点是需要将样品由取样部位通过侧线引出，并使样品的温度、压力适应分析仪器的需要。