当今背景下的检测问题？！

鄢国强

大致内容

1 背景

2 现状

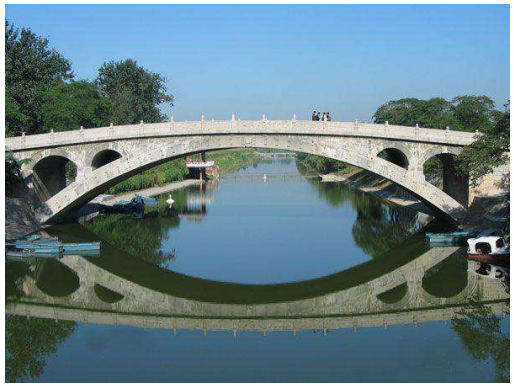
3 战略

4 战术

5 致谢

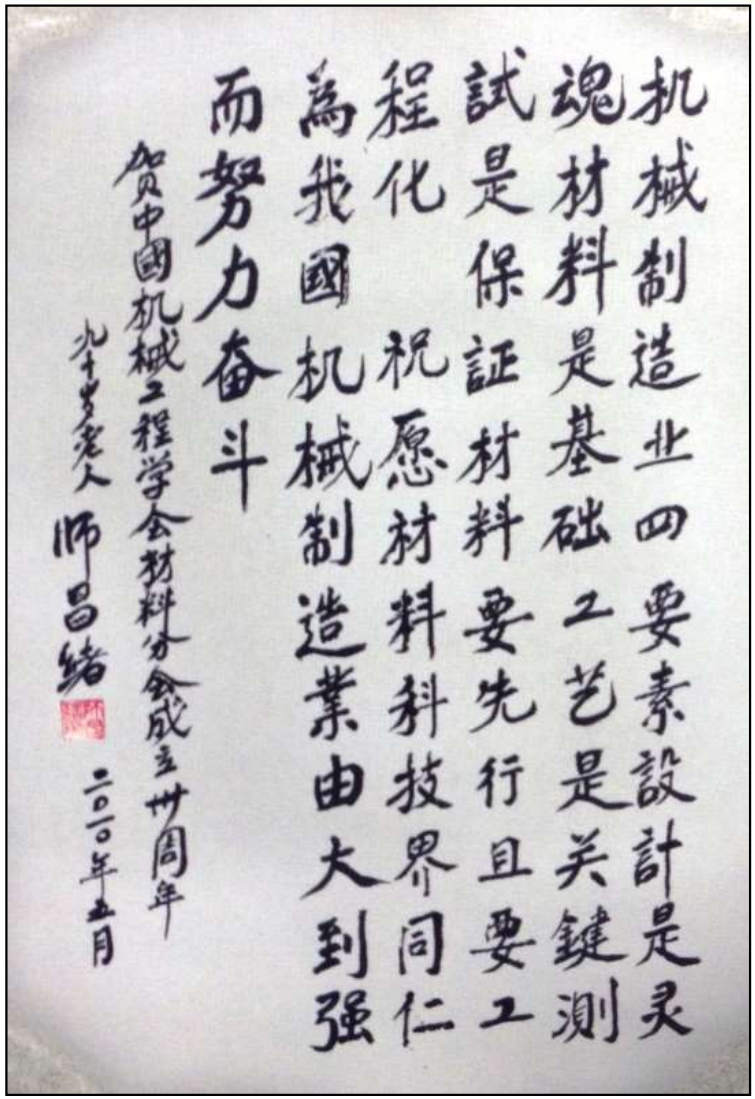
新的背景

- 大变局
- 数字化
- 不确定性
- 疫情影响



没有测量，就没有科学。 --门捷列夫

测量是人类认识世界、改造世界的手段和工具，并已经深入日常生活的方方面面。所有科技创新活动均依托于测量的支持，80%以上的经济贸易活动都依赖于测量结果的支撑。在工业化进程中，四次工业革命都与计量测试技术的突破息息相关，体现了量值定义世界。


机械制造业四要素設計是灵魂材料是基础工艺是关鍵測試是保証材料要先行且要工程化 祝愿材料科技界同仁為我國机械制造業由大到强而努力奋斗

贺中国机械工程学会材料分会成立廿周年

九十岁老人 师昌绪

二〇一〇年十月

量值定义世界

工业1.0 –机械化	工业2.0 –电气化	工业3.0 –信息化	工业4.0 –智能化
第一次工业革命	第二次工业革命	第三次工业革命	第四次工业革命
1784年出现第一台机械织布机，用蒸汽动力代替人力	1870年出现传送带，流水线模式，零部件生产与产品装配分工	1960年美国发明晶体管，推出PLC和PC，机器代替了人的体力和脑力	2013年汉诺威工业博览会推出，利用信息化技术促进产业变革
蒸汽时代，手工业-工业	电气时代，大规模生产时代	信息时代，产能过剩时代	智能化时代，物联信息化（Cyber-Physical System）

- 在所有的测量活动中，化学测量的数量已经超过了所有测量活动的50%，是工矿企业、食品安全、环境保护、医疗卫生等行业必不可少的依据。
- 通过开展检测质量控制活动在于提高测量的质量，确保测量结果准确、可靠、可比和一致，真正实现“一次测量，全球通行”。

化学检测----无处不在的测量

- 工业
  - 燃料，玻璃，陶瓷，塑料，矿石，
  - 职业卫生和身体检查
- 食品
  - 成分
  - 肉，鱼，奶制品，蔬菜
- 金属
  - 纯金属及合金
- 环境
  - 有机物，无机物，标记的同位素
  - 水、土壤，植物，沉淀物

我国认证认可检验检测发展概况

2021年6月9日第十四个“世界认可日”市场监管总局认可检测司发布了2020年度全国认可与检验检测服务业行业统计数据。

1. 检验检测发展方面，截至2020年底，共有检验检测机构48919家，从业人员141.19万人，实现营业收入3585.92亿元，分别比上年增长11.16%、9.90%和11.19%，是全球增长最快、最具潜力的检验检测市场之一；

2. 检验检测共拥有各类试验仪器设备808.01万台套，仪器设备资产原值4118.91亿元；2020年共出具各类检验检测报告约5.67亿份，分别比上年增长13.67%、 11.89%和7.64%；

3. 在市场主体结构方面，我国事业单位制检验检测机构比重进一步下降，企业制单位占比首次突破七成，我国事业单位制检验检测机构的比重分别为2014年的40.60%、38.10%、34.54%、31.30%、27.68%、25.16%和2020年的22.81%，呈现明显的逐年下降趋势。民营检验检测机构继续快速发展，全国民营检验检测机构数量从2019年的22958家增长至2020年的27302家，增长了18.92%，占全行业比重的55.81%；全年取得营收1391.94亿元，同比去年增长18.44%，高于全国检验检测行业年增长率7.25个百分点；

4. 检验检测行业继续保持集约化发展势头。规模以上机构6,414家，占全行业的13.11%，比2019年度增长10.68%，营业收入2,774.13亿元，占全行业的77.36%，比2019年度增长11.91%；规模以上检验检测机构数量稳步增长，2020年营业5亿元以上机构42家，比2019年多1家、营收1亿元以上机构481家，比2019年多58家、营收5000万元以上机构1197家，比2019年多138家。

近年来我国检验检测行业发展迅速，结构持续优化，综合实力不断增强，但“小、散、弱”（就业人数在100人以下的检验检测机构数量占比达到96.43%）以及市场化发展不足的问题仍然客观存在。

检验检测产业链

- 上游——主要为检测设备、测量仪器、化学试剂及其他耗材等。代表企业如苏试试验、明德生物、易瑞生物。
- 中游——检测机构，可划分为三类机构：

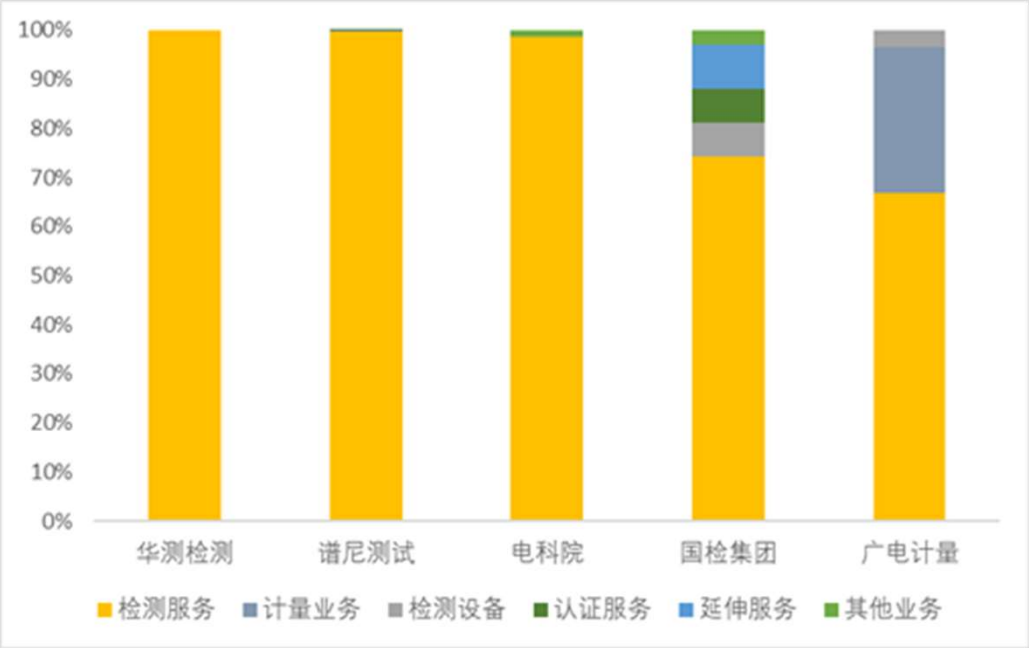
第一类：供给方的实验室，检测自己生产的产品，目的是提高和控制自己生产的产品质量。代表企业有华为、高通、台积电等。

第二类：需求方的实验室，检测供给方的产品，从而向客户提供给产品的质量证明。这类机构主要以市场监督管理局、海关、工业信息化、生态环境等机关部门为主。

第三类：第三方检测机构。从代表企业来看，国内企业，有综合型机构（华测检测、谱尼测试、广电计量、信测标准等）、细分型机构（国检集团、电科院、安车检测、钢研纳克、中国电研、开普检测等）。国际企业，均为综合型：法国国际检验局（Bureau Veritas，BV）、瑞士通用公证行（SGS）、英国天祥集团（Intertek、ITS）。我国第三方检测机构的出现，是由于世贸组织的要求。2001年我国加入世贸组织（WTO）后，WTO要求检测机构需要根据国际惯例必须成为具有法人资格的机构，即中立的第三方中介机构。

- 下游——终端客户包括工业品和消费品的生产制造商，如蒙牛、京东、华为、海康威视等企业、以及市场监督管理局、环境监测总站等政企部门。检测报告的使用者有政府、消费者或生产制造商的下游厂商。

本土TOP5检测机构收入结构

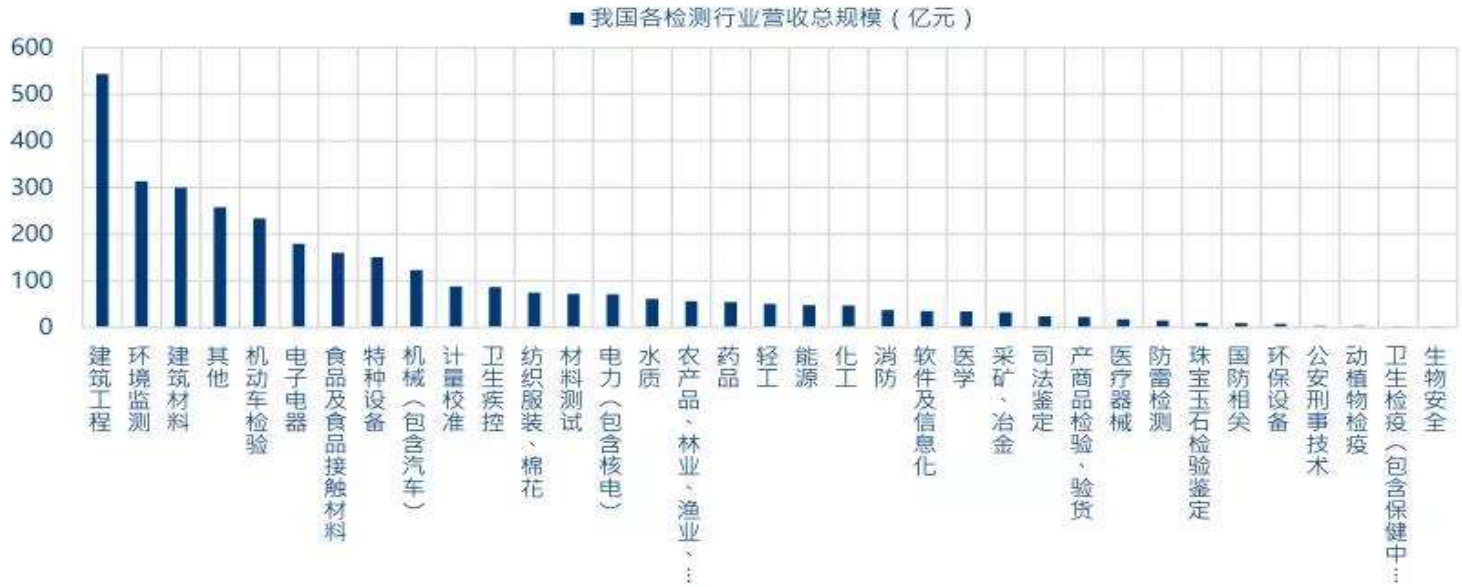


从整体收入体量来看，以2019年为例，华测检测（31.83亿元）＞广电计量（15.88亿元）＞谱尼测试（12.87亿元）＞国检集团（11.07亿元）＞电科院（8.06亿元）。从单纯的检测业务收入体量来看，以2019年为例，华测检测（31.83亿元）＞谱尼测试（12.83亿元）＞广电计量（11.18亿元）＞国检集团（11.07亿元）＞电科院（8.06亿元）。

华测检测—收入为31.83亿元，营业收入100%来自检测业务。其中，生命科学占比55.37%，工业测试占比17.66%，消费品测试占比13.34%，贸易保障占比13.6%。其下游客户分散在食品、医药、汽车、建筑、消费品等领域。谱尼测试—收入为12.87亿元，检测业务约99.85%。其中食品检测42.04%、环保检测41.10%，具体检测内容包括食品中的添加剂、农药残留、有毒有害物质等以及水质和环境监测；其次是消费品9.86%，电子及安规3.28%、安全保障3.56%。广电计量—收入为15.88亿元，其中66.87%来自检测业务，29.56%来自计量业务。检测业务中41%来自特种装备（军工、船舶、电子设备）可靠性检验以及环境试验、电磁兼容检测、9%来自环保检测、8%来自食品检测以及7%的化学分析。下游客户来自汽车、航空航天、电子电器、环保、食品等领域。国检集团—收入为11.07亿元，检测业务占比约74.24%，主要涵盖建筑材料（占比约20%）、建设工程质量（占比约56%），前五大客户分别为中国建材集团、雄安万创检测有限公司、市场监督管理总局、科顺防水、恒大等。电科院—收入为8.06亿元，检测业务占比98.52%，聚焦在电器检测行业，其中高压电器检测占比78.17 %，低压占比16.73%，另外还有5%来自环境检测业务。下游主要客户为国家电网和南方电网。综上，几家公司主要业务均为检测服务，但下游领域其实较为不同：华测检测和谱尼测试业务覆盖面较广，属于综合性检测机构。国检集团以建筑建材检测为主；广电计量擅长领域为计量业务，其检测业务以可靠性与环境试验、电磁兼容检测为主，客户主要来自特种装备行业；电科院以电力设备为主；严格来说，这几家属于细分专业型检测机构，未来增长驱动力受各自所在的细分行业影响较大。

检测行业收入规模及占比

图表 4 我国各检测领域营收总规模



资料来源：国家市场监管总局认可检测司《2019 年中国检验检测行业发展数据解读》，华创证券

各行业的检测需求与下游行业自身的周期性息息相关，其增长动力各不相同。检测服务下游涉及行业众多，整体较为分散，根据认证委《2018年全国检验检测服务统计简报》，从占比来看，依次为建筑工程（16.7%）＞环境与环保（12%）＞建筑材料（9.9%）＞机动车检验（7.8%）＞食品与食品接触材料（5.9%）＞电子电器（5%）＞特种设备（4.9%）。

CNAS认可的机构统计信息

截至2022年07月31日

专项认可制度	数量
校准实验室	1680
检测实验室	10788
能力验证提供者	101
标准物质/标准样品生产者	28
司法鉴定机构	436
医学参考测量实验室	23
实验动物机构	13
科研实验室	4
生物样本库	4
医学实验室	590

ILAC国际互认

The ILAC Mutual Recognition Arrangement (ILAC MRA) provides significant technical underpinning to the calibration, testing, medical testing and inspection results, provision of proficiency testing programs and production of the reference materials of the accredited conformity assessment bodies that in turn delivers confidence in the acceptance of services and results.

- 实验室认可区域性和国际性组织的产生和发展，促进了实验室认可工作在各国的发展和国际间的双边与多边相互承认。
- 截止2022年07月04日，已有来自115个经济体的107认可机构成为ILAC协议的签署方。
- 一个签署方认可的实验室出具的数据得到所有其他签署方的承认。
- 推动使用由承认的认可机构认可的实验室。
- 保证出口方的检测、校准和检查报告为进口方所承认，以避免重复性检测、检查，避免产品不为进口方接受，从而起到真正消除贸易中的技术壁垒的作用（WTO认为重新检测是重要的贸易壁垒之一）。

新背景下检测机构怎么办？

2016年的时候，华为发展进入了一个关键期但这同时也遇到瓶颈期，企业做大之后，原来的企业精神和管理模式已经力不从心，阻碍和拖慢企业发展速度。

- 以西方式的制度建设为经，以东方式的人性设计为纬，以简单、一元、开放的价值观为灵魂，以言行一致的领导者为榜样，以顾客为唯一的上帝，以奋斗者为本。
- 通过企业与员工实现价值共生，同呼吸共命运，企业发财，则员工也跟着发财，企业要是效益下降了，员工也收入下降，并且关联的幅度要巨大，大到可以把企业和员工紧紧合成一体。
- 在组织建设中要非常注重内生力的培养，不能过度提倡弯道超车式的跨越式增长，不要盲目寻找“风口期”。
- 要建立在以尊重和理解人性为前提，将员工对组织的奉献建立在责任和契约的基础上，而非“忠诚或感恩”之上。
- 组织的发展方向必须倾向在顾客一端，而不在企业内部；不应该是顾客成为公司或其产品的粉丝，华为人应该去粉“顾客”。只有跟随消费者的期望，超过这个期望值，才能成为人们所喜欢的产品。
- 管理者要放权。经营权，管理权，财务权，研发权都要放，让专人做专事。比如任正非任总，就只能有思想权——“胡思乱想的权利”；和高级人事权，发现诸“诸葛亮”。
- 发展要有超前意识。不要因为怕投入就不搞，相反应该大力投入，因为老技术吃完的时候，就是超前技术大放异彩的时候。

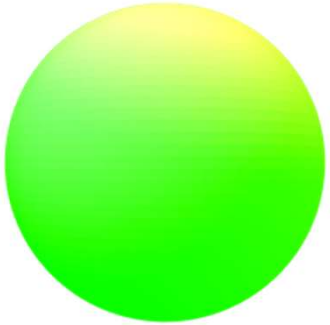
检测需自强

- 技术线
- 质量线
- 行政线
- 资本线

内核

运营

系统

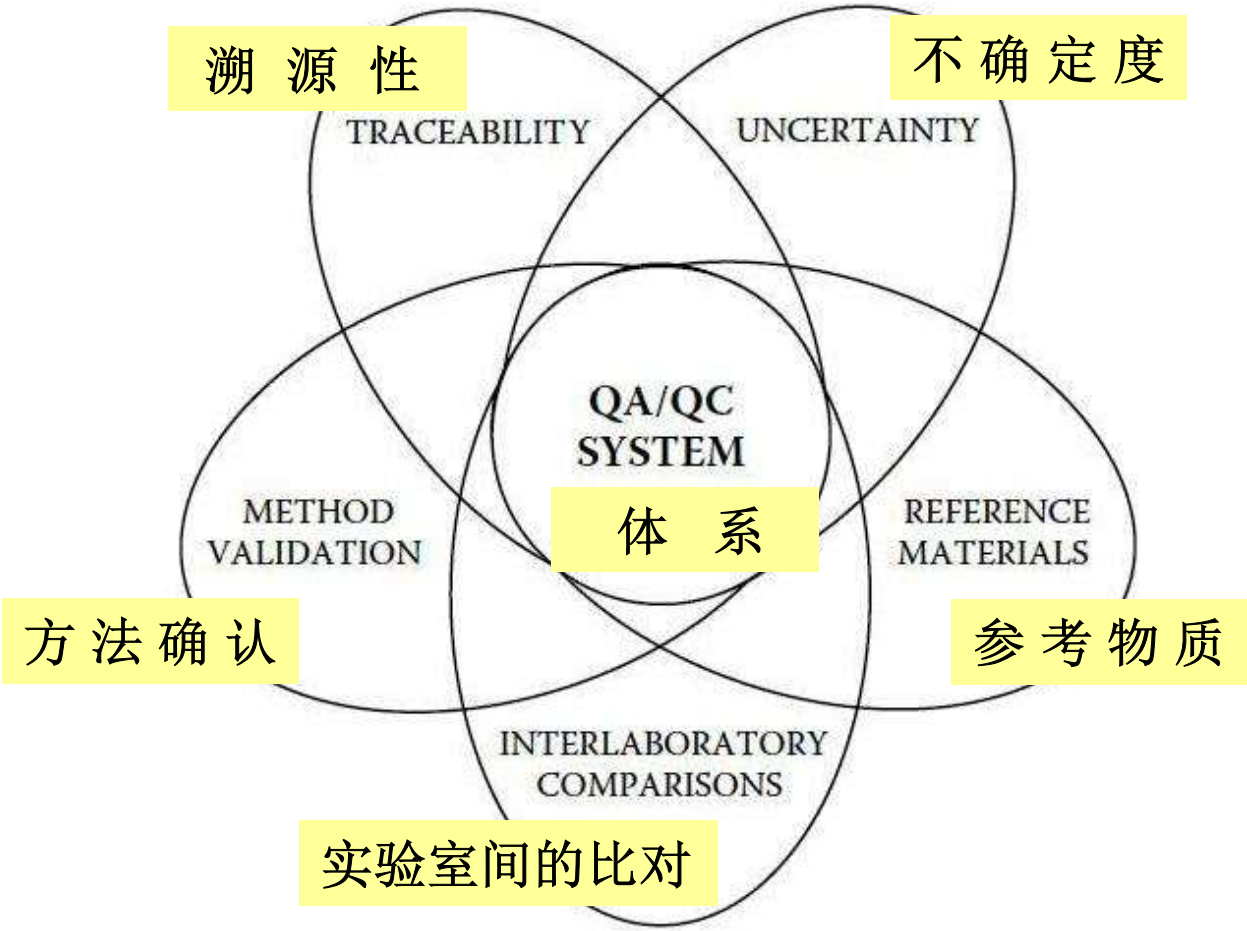


SGS

Exponent®

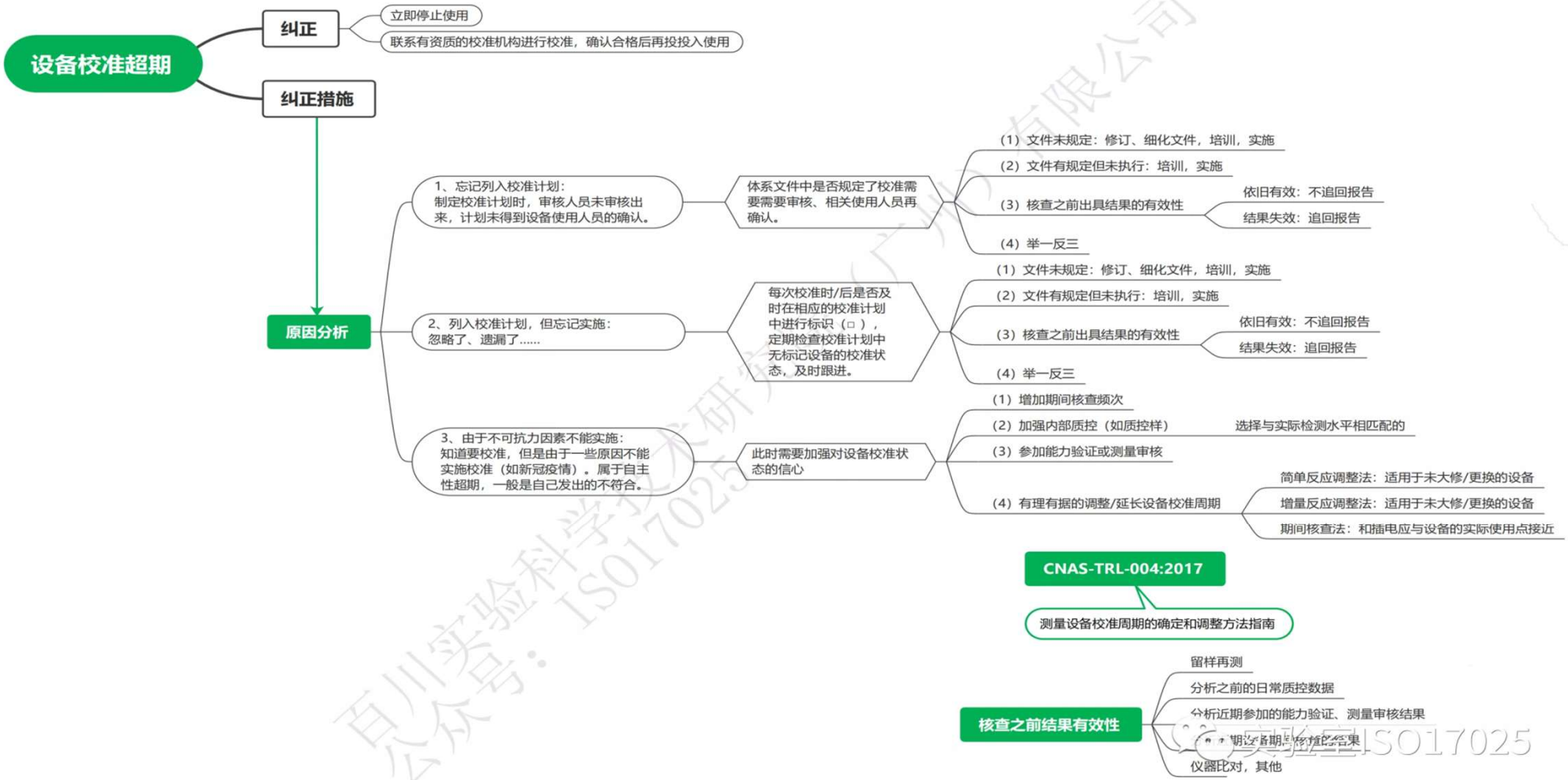
CTI CENTRE TESTING INTERNATIONAL

检测质量要素关联图



5个环节相互关联，密不可分。只有全面的运行起这**5**个方面的要素，一个实验室的检测质量才能得到保证和控制。

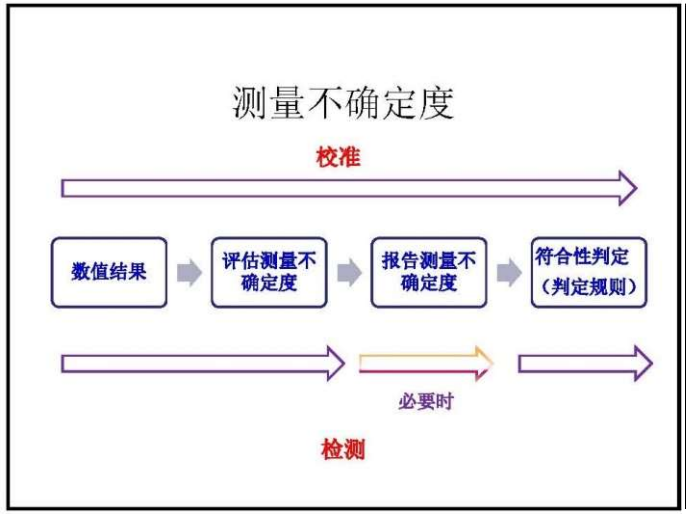
质量管理精细化


设备校准超期
纠正
立即停止使用
联系有资质的校准机构进行校准，确认合格后再投投入使用
纠正措施
原因分析
1、忘记列入校准计划：
制定校准计划时，审核人员未审核出来，计划未得到设备使用人员的确认。
体系文件中是否规定了校准需要需要审核、相关使用人员再确认。
（1）文件未规定：修订、细化文件，培训，实施
（2）文件有规定但未执行：培训，实施
（3）核查之前出具结果的有效性
依旧有效：不追回报告
结果失效：追回报告
（4）举一反三
2、列入校准计划，但忘记实施：
忽略了、遗漏了……
每次校准时/后是否及时在相应的校准计划中进行标识（□），定期检查校准计划中无标记设备的校准状态，及时跟进。
（1）文件未规定：修订、细化文件，培训，实施
（2）文件有规定但未执行：培训，实施
（3）核查之前出具结果的有效性
依旧有效：不追回报告
结果失效：追回报告
（4）举一反三
3、由于不可抗力因素不能实施：
知道要校准，但是由于一些原因不能实施校准（如新冠疫情）。属于自主性超期，一般是自己发出的不符合。
此时需要加强对设备校准状态的信心
（1）增加期间核查频次
（2）加强内部质控（如质控样）
选择与实际检测水平相匹配的
（3）参加能力验证或测量审核
（4）有理有据的调整/延长设备校准周期
简单反应调整法：适用于未大修/更换的设备
增量反应调整法：适用于未大修/更换的设备
期间核查法：和插电应与设备的实际使用点接近
CNAS-TRL-004:2017
测量设备校准周期的确定和调整方法指南
核查之前结果有效性
留样再测
分析之前的日常质控数据
分析近期参加的能力验证、测量审核结果
期间核查结果
仪器比对，其他

检测技术精湛化

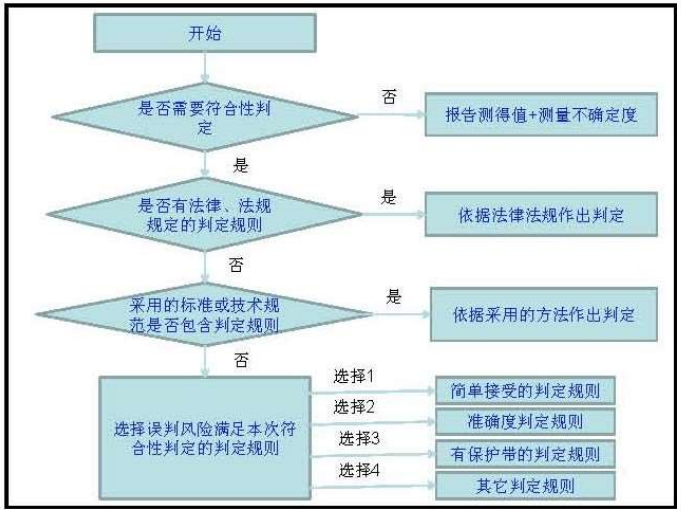
- 测量不确定度
- 制定判定规则
- 确保结果的有效性

CNAS技术报告CNAS-TRL-010:2019
测量不确定度在符合性判定中的应用



选择判定规则的一般流程

- 当客户要求针对测量结果做出符合性声明时，应在合同评审时选择合适的判定规则并征得客户同意。
- 没有一种判定规则适用于所有的符合性判定活动，应综合考虑被测属性的特点、所用的标准或技术规范要求、测量结果、双方风险等多方面的因素，制定或选择合理的判定规则。



有保护带的判定规则

- 根据出现误判后果的严重程度，在容许区间的基础上设置保护带，确定接受区间，减小其中一方的误判风险。

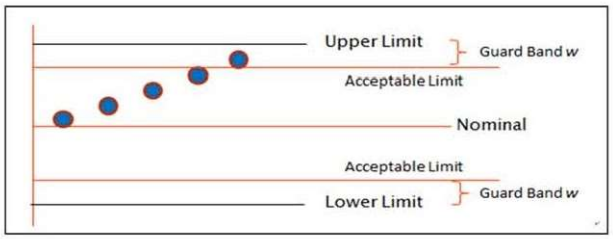


Figure 2 Graphical representation of a Guard Band

确保结果有效性

- 内部监控应包括但不限于以下方式：

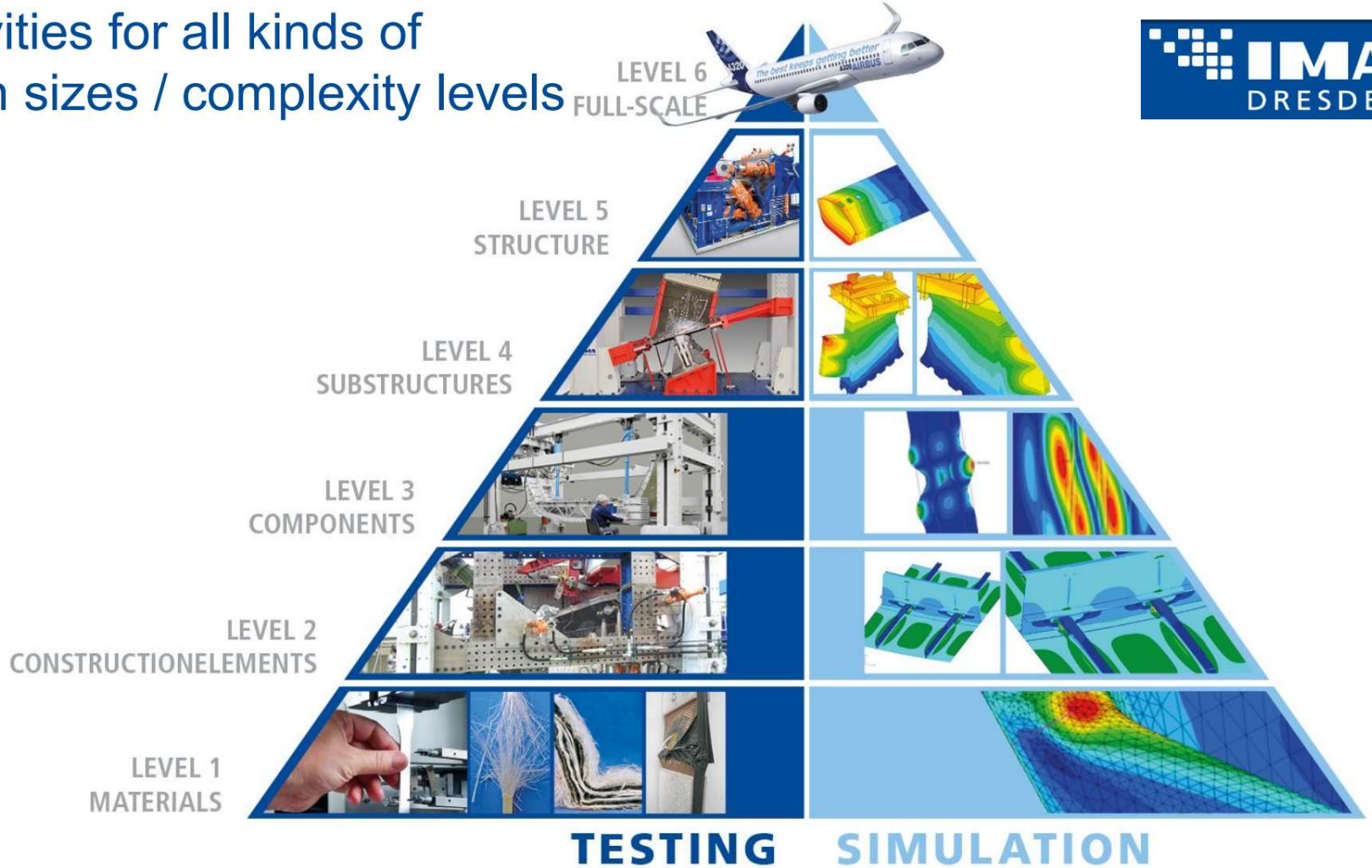
a) 使用标准物质或质量控制物质；
b) 使用其他已校准能够提供可溯源结果的仪器；
c) 测量和检测设备的功能核查；
d) 适用时，使用核查或工作标准，并制作控制图；
e) 测量设备的期间核查；
f) 使用相同或不同方法重复检测或校准；
g) 留存样品的重复检测或重复校准；
h) 物品不同特性结果之间的相关性；
i) 审查报告的结果；
j) 实验室内比对；
k) 盲样测试。

- 外部监控包括但不限于以下一种或两种措施：

a) 参加能力验证；
b) 参加除能力验证之外的实验室间比对。

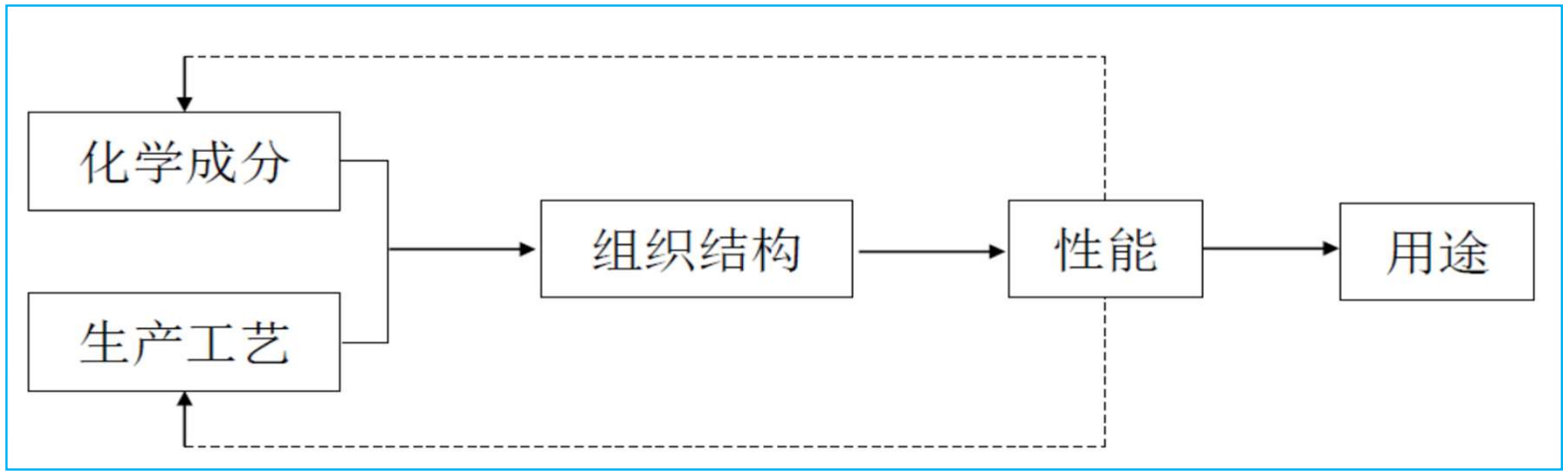
从材料到全尺寸检测—检测金字塔

Test activities for all kinds of specimen sizes / complexity levels



要把对材料检测转到对材料性能控制

材料各因素间的关系



在高端关键材料的质量和技术攻关方面，通过对材料成分配方设计、冶金（合成）轧制、热处理（表面处理）等控制材料的成分、组织、性能，提高材料综合服役性能；通过过程控制提高产品质量稳定性，这其中材料检测扮演着十分重要的角色。

加强材料服役性能的检测

- 在实际服役状态或模拟服役条件下对材料性能的检测。其结果对产品设计、失效分析和寿命评估等至关重要，我国许多重大产业的技术概念、设计源头、主要图纸和标准、重大问题的解决依赖于发达国家，原因之一是对材料服役性能的测试和研究明显不足。常见装备制造工业材料的服役性能测试至少要考虑以下方面：

  1. 服役环境条件下的测试：周围温度、压力、介质、电化学特性等参数。如核电在高温高压水中、海洋钢结构在海水/海洋气氛中；

  2. 服役力学条件：考虑实际承受的应力，包括残余应力、交变载荷、裂纹等缺陷的存在；

  3. 针对全寿命的长时间试验和加速试验：考虑实际构件在全寿命服役期的损害过程，进行长时间试验并考虑加速试验，并对加速效应做评价。

全尺寸检测

- 通过开展实物检测，积累大量长时寿命的数据，为重大工程提供前瞻性服务。

韩国针对风力发电机叶片和飞机机翼进行全尺寸性能试验的现场

关注检测过程的微细环节

- 借助高速摄影观测子弹高速击中物体的过程

- 借助高倍扫描电子显微镜或透射电子显微镜观测材料变形的微观细节，如位错运动、裂纹萌生扩展及其与宏观性能的关系。

失效分析

零件或部件处于下列三种状态之一，就被认为是失效：

（1）完全不能工作时；

（2）仍然可以工作，但已不能令人满意地实现预期的功能时；

（3）受到严重损伤不能可靠而安全地继续使用，必须立即从产品或装备拆下来进行修理或更换时。

-- 产品完全丧失功能、功能衰退、失去可靠性与安全性称为失效

为研究失效的原因，确定失效的模式或机理，并采取补救或预防措施以防失效再度发生而进行的技术活动和管理活动。

- 失效分析的结果，不仅是要指出失效的模式、机理，以及导致失效的主要原因，更要求能提出避免同类事故重复发生的措施或对策。
- 失效分析不光是技术活动，同时（或者某种意义上更重要的）也是一种管理活动，特别是对复杂系统。

轨道交通构件失效模式及其原因

构件名称	失效现象	失效模式	主要失效原因	预防措施
车轮	异常磨损	磨损	踏面未进行表面淬火（回火）	增加表面淬火（回火）
闸瓦	异常磨损	磨损	组分选择不当	避免采用金属丝（屑）
减震弹簧	断裂	疲劳断裂	表层防护油漆脱落，产生点腐蚀坑，引发疲劳开裂	定期检查表面防护层
车钩	缺陷显示	原材料缺陷	铸造缺陷（焊补）	提高铸造质量
车钩梁	开裂	应力腐蚀	表层防护油漆脱落，焊接残余应力过大	定期检查表面防护层，降低焊接残余应力
车架	开裂	疲劳断裂	焊接缺陷，结构不合理	改善结构，提高焊接质量
电机轴承 轴箱轴承 齿箱轴承	滚道表面剥落	接触疲劳	润滑不良	改善润滑
链条销	断裂	韧性断裂	过载	加强管理，避免失误
中心销轴	断裂	疲劳断裂	结构不合理	改进结构
螺栓	断裂	疲劳断裂	预紧力不足，出现松动	规范装配，定期检查
叶片铆钉	断裂	疲劳断裂	加工缺陷	提高加工质量
电缆	断裂	应力腐蚀	制造缺陷，应力集中	提高制造质量
橡胶弹簧	开裂	疲劳开裂	橡胶老化	定期检查，改进材料
关节轴承	断裂	疲劳断裂	加工缺陷	提高加工质量
联轴器	环状凹坑	缝隙腐蚀	夹杂物级别高	改善材料纯净度
传动齿轮	斑痕	电蚀	电绝缘不良	保证电绝缘良好
车轴	磁痕显示	原材料缺陷	异金属夹渣	控制冶炼方式

打造智能实验室

- 无人化
- 智能化
- 信息化
- 云端化

构建知识库，保障永续发展

- 材料数据 (标准) vs. 公司标准
- 材料，零件，生产及测试数据
- 由模拟和计算所得到的数据
- 质量控制相关数据
- 经验数据
- 内部通讯产生的数据
- 与外部（客户）沟通所产生的数据

WIAM unfreezing knowledge

Datamanagement with WIAM® ICE

Materials Database

Industry 4.0 - Solutions

Engineering Tools

在企业的生产和运作过程中会产生大量数据，从质量控制的角度来看，这些数据都是流程的一部分，缺乏管理和控制的流程会导致不良质量成本损失（COPQ）。利用数据管理软件更有效的管理数据，可以帮助企业显著降低不良成本损失，从而降低资源成本，增加企业收入。

理想的检测方法

- 简单；
- 迅速；
- 有特效；
- 易于理解；
- 稳定；
- 经济；
- 能给出客户需要的完整正确结果。

材料成分分析

除了传统的化学分析技术外，还包括质谱、紫外、可见光、红外光谱分析，ICP发射光谱，直读光谱，辉光光谱，X射线荧光光谱，气、液相色谱，核磁共振，电子自旋共振，俄歇与X射线光电子谱、二次离子质谱，电子探针、原子探针（与场离子显微镜联用）、激光探针等 。

光谱分析方法对比

分析方法	样品	基本分析项目与应用	应用特点
原子发射光谱（AES）	固体或液体分析时蒸发为气体	元素定性分析、半定量分析与定量分析（可测C、S、P等及金属元素70-80种，以及无机物等）	灵敏度高，准确度较高；样品用量少（mg），分析速度快（1-2min可测20多种元素），可全元素分析
原子吸收光谱（AAS）	液体分析时蒸发为气体	元素定量分析（可测B、Si、Se、Te等及金属元素约70种）	灵敏度很高（特别适用超微量分析），准确度较高；分析速度快，设备简单、操作方便，不能作定性分析及单元素测定
原子荧光光谱（SEM）	分析时蒸发为气体	元素定量分析（可测元素近40种）	灵敏度高，能同时进行多元素测定；痕量分析新方法；不如前2种方法应用广泛。
X射线荧光光谱（XFS）	固体	元素定性分析、半定量分析与定量分析（适用于原子序数Z≥5的元素）	无损检测，可实现过程自动化与分析程序化。灵敏度不够高。
紫外、可见吸收光谱（Uv、VIS）	液体	结构定性分析；组分定量分析；有机化合物构型和构相测定；化学和物理数据测定	主要用于有机化合物微量和常量、组分定量分析，对定性鉴定和结构分析有一定局限性。
红外吸收光谱（IR）	气、液、固体	未知物定性分析；未知物结构分析；定量分析；反应机理研究	适用于分子（基团）有机化合物分析；不适于微量组分定量分析
分子荧光光谱（FS）	溶液	荧光物质定量分析；芳香族有机化合物分子结构分析	灵敏度高（比分子吸收光谱高几个数量级），取样量少；适于具有荧光性质的物质分析
核磁共振波谱（NMR）	液体	定性分析（有机化合物结构鉴定）；定量分析；相对分子质量测定；化学键性质研究	结构分析的重要手段，可用于研究反应过程与机理。样品用量少，检测不破坏样品。仪器价格高，相对灵敏度较差，定量分析应用尚不广泛。
激光拉曼光谱（LRS）	气、液、固体	定性分析（有机化合物结构鉴定）；分子结构分析；高聚物研究	适用于没有偶极矩变化的有机化合物分析，与IR配合成为判断有机物的重要手段。还可应用于无机化合物、液晶物相变化分析等。

材料结构分析

在材料的结构测定中，X射线衍射分析仍是最主要的方法。包括德拜粉末照相相分析，高温、常温、低温衍射仪，背反射和透射劳厄照相，测定单晶结构的四联衍射仪，织构的极图测定等。

与X射线衍射分析相比，选区电子衍射可实现晶体样品的形貌特征和微区晶体结构相对应，并且能进行样品内组成相的位向关系及晶体缺陷的分析。而以能量为10-1000eV的电子束照射样品表面的低能电子衍射，能给出样品表面1-5个原子层的结构信息，成为分析晶体表面结构的重要方法。

此外，还有中子衍射和热分析技术等 。

X射线与电子衍射分析方法对比

分析方法	样品	基本分析项目与应用
X射线衍射（衍射仪法）（XRD）	固体、粉末	物相定性分析、定量分析；点阵常数测定；应力测定；晶粒度测定；织构测定；单晶测定；取向关系分析；非晶态结构分析
高能电子衍射（HEED）	薄膜	微区晶体结构分析与物相鉴定；晶体取向分析；晶体缺陷分析
低能电子衍射（LEED）	固体	表面结构分析（1-5个原子层）；表面吸附现象分析；表面缺陷分析

材料组织形貌观察

材料的组织形貌观察，主要是依靠显微镜技术，扫描电子显微镜与透射电子显微镜则把观察的尺度推进到亚微米和微米以下的层次。

高分辨电子透镜的分辨率可以达到0.2nm甚至更高，点阵像直接显示材料中原子（或原子集团）的排列状况。

另外，场离子显微镜、扫描隧道显微镜、原子力显微镜等也显出重要作用。

电子显微分析方法对比

分析方法	分析原理	检测信息	样品	基本应用
透射电镜（TEM）	透射、衍射	透射电子、衍射电子	薄膜与复型	1.形貌分析；2.晶体结构分析；3.成分分析
高压透射电镜（HTEM）	透射、衍射	透射电子、衍射电子	薄膜与复型	1.形貌分析（结构像、原子像）；2.晶体结构分析；3.成分分析与电子结构分析
扫描电镜（SEM）	电子激发	二次电子、背散射电子、吸收电子	固体	1.形貌分析；2. 成分分析；3.晶体结构分析；4.断裂动态分析
扫描透射电镜（STEM）	透射、衍射	透射电子、衍射电子	薄膜与复型	1.形貌分析；2.晶体结构分析；3.成分分析与电子结构分析
电子探针（EPMA）	特征X射线	X光子	固体	1.成分（元素）分析；2.表面结构和表面化学分析
俄歇电子能谱（AES）	电子激发俄歇效应	俄歇电子	固体	1.成分（元素）分析；2.表面结构和表面化学分析（几个原子层）
场发射显微镜（FEM）	场致电子发射	场发射电子	针尖状（电极）	1.晶面结构分析；2.晶面吸附、扩散和脱附分析
场离子显微镜（FIM）	场电离	正离子	针尖状（电极）	1.形貌分析（原子排列组态、结构像）；2.表面缺陷、表面重构、扩散等分析
原子探针-场离子显微镜（AP-FIM）	场蒸发	正离子	针尖状（电极）	1. FIM的用途；2.确定单个原子种类；3.元素分布研究
扫描隧道显微镜（STM）	隧道效应	隧道电流	固体（有一定导电性）	1.表面形貌与结构分析；2.表面力学行为、表面物理与表面化学研究
原子力显微镜（AFM）	隧道效应，原子间作用力	隧道电流	固体（绝缘体、半导体、导体）	1.表面形貌与结构分析；2.表面原子间力与表面力学性质测定
扫描电子声学显微镜（SEAM）	热弹性效应	声波	固体	1.材料力学性能与马氏体相变；2.集成电路性能与缺陷分析

gqyan.com

材料表面结构分析

由于在材料科学研究中，材料的表面和界面的作用越来越重要。以X射线光电子能谱、俄歇电子能谱、低能离子散射谱仪为代表的分析系统的材料的表面分析仪器。以扫描隧道显微镜、原子力显微镜、低能电子显微镜、高分辨率电子损耗光谱仪、场离子显微镜和原子探针、二次离子质谱、红外光谱的衰减全反射等都可获得材料中原子（或原子集团）的排列状况。

表面成分及结构分析方法对比

分析方法	俄歇电子能谱(AES)	X射线光电子能谱(XPS)	紫外光电子能谱(UPS)
元素定性分析	除H、He以外的所有元素	除H、He以外的所有元素	不适于元素定性分析
元素定量分析	一般用于Z＜33的元素；与XPS相比，准确度较差，相对灵敏度相近，分析速度快	适于重元素； 相对灵敏度不高，绝对灵敏度高（痕量分析）	难以准确定量
固体表面分析	1．表面成分分析（微区、点、线、面分析和深度剖析）； 2．表面结构定性分析与表面化学研究	1．表面成分分析（可作深度剖析）； 2．表面能带结构分析； 3．表面结构定性分析与表面化学研究	1．表面能带结构分析； 2．表面结构定性分析与表面化学研究

创新思维

管理创新：

大胆探索，小心求证，
不断迭代，务实执行。

技术创新：

问题—思想—人才—项目（群）

从问题转化为解决问题的思想是技术创新的关键。高流动性是保持创新活力的源泉，思想来自于人才，首先，不断流入新鲜血液，带来新思想、新碰撞成为创新的源泉；其次，高流动率打破创新的天敌-思维惯性和惰性-因而无人可以持续创新，通过人员的轮换才能不断带来新思想。

特别致谢： 本报告中参考了其他专家的报告以及大量的网络文献资料内容；本报告中的数据来源于网络，未经证实，仅供参考。

多谢垂听！

Tel: 021-51370560; 18117303859

E-mail: gqyan@vip.sina.com

Http://www.gqyan.com