



检测技术 在装备制造业中的作用

鄢国强

2013年10月12日

国际经济环境的新特点

- ✿ 全球信息化
- ✿ 世界经济一体化
- ✿ 知识经济在世界范围内崛起
- ✿ 跨国公司之间的兼并、联合形成高潮
- ✿ 国际产业结构调整，发达国家升级并转移

七大战略性新兴产业

七大战略性新兴产业确定（国发[2010]32号文）

(一)节能环保产业

(二)新一代信息技术产业

(三)生物产业

(四)高端装备制造产业。包括高速铁路、大型飞机、导航卫星、海洋工程设备等。重点发展以干支线飞机和通用飞机为主的航空装备，做大做强航空产业。积极推进空间基础设施建设，促进卫星及其应用产业发展。依托客运专线和城市轨道交通等重点工程建设，大力发展轨道交通装备。面向海洋资源开发，大力发展海洋工程装备。强化基础配套能力，积极发展以数字化、柔性化及系统集成技术为核心的智能制造装备。

(五)新能源产业

(六)新材料产业。大力发展稀土功能材料、高性能膜材料、特种玻璃、功能陶瓷、半导体照明材料等新型功能材料。积极发展高品质特殊钢、新型合金材料、工程塑料等先进结构材料。提升碳纤维、芳纶、超高分子量聚乙烯纤维等高性能纤维及其复合材料发展水平。开展纳米、超导、智能等共性基础材料研究。

(七)新能源汽车产业

高端装备制造业“十二五”规划

2012年05月07日工信部、发改委和财政部联合印发了《高端装备制造业“十二五”规划》（工信部联规〔2012〕145号）

到2015年我国高端装备制造业销售收入超过6万亿元，在装备制造业中的占比提高到15%，工业增加值率达到28%，国际市场份额大幅度增加。

到2015年，我国初步形成产学研用相结合的高端装备技术创新体系。力争通过10年的努力，形成完整的高端装备制造产业体系，基本掌握高端装备制造业的关键核心技术，产业竞争力进入世界先进行列。

航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、海洋工程装备和智能制造装备将成为“十二五”期间的发展重点。

多处涉及质量检测、试验验证及共性技术研究等内容。

质量发展纲要

2012年02月06日国务院发布《质量发展纲要（2011-2020年）》。我国当前和今后一个时期质量工作的纲领性文件。

七、夯实质量发展基础

（五）加快检验检测技术保障体系建设。推进技术机构资源整合，优化检验检测资源配置，建设检测资源共享平台，完善食品、农产品质量快速检验检测手段，提高检验检测能力。加强政府实验室和检测机构建设，对涉及国计民生的产品质量安全实施有效监督。建立健全科学、公正、权威的第三方检验检测体系，鼓励不同所有制形式的技术机构平等参与市场竞争。对技术机构进行分类指导和监管，规范检验检测行为，促进技术机构完善内部管理和激励机制，提高检验检测质量和服务水平，提升社会公信力。支持技术机构实施“走出去”战略，创建国际一流技术机构。

工业质量品牌建设年

2012年04月06日成都会议

- 工业和信息化部正式启动“工业质量品牌建设年”活动
- 首批“工业产品质量控制和技术评价实验室”授牌

检测技术在装备制造业的作用

**机械制造业四要素
设计是灵魂、材料是基础、
工艺是关键、测试是保证。
材料要先行且要工程化。**

—— 师昌绪院士

中国机械工程学会材料分会三十周年纪念贺词

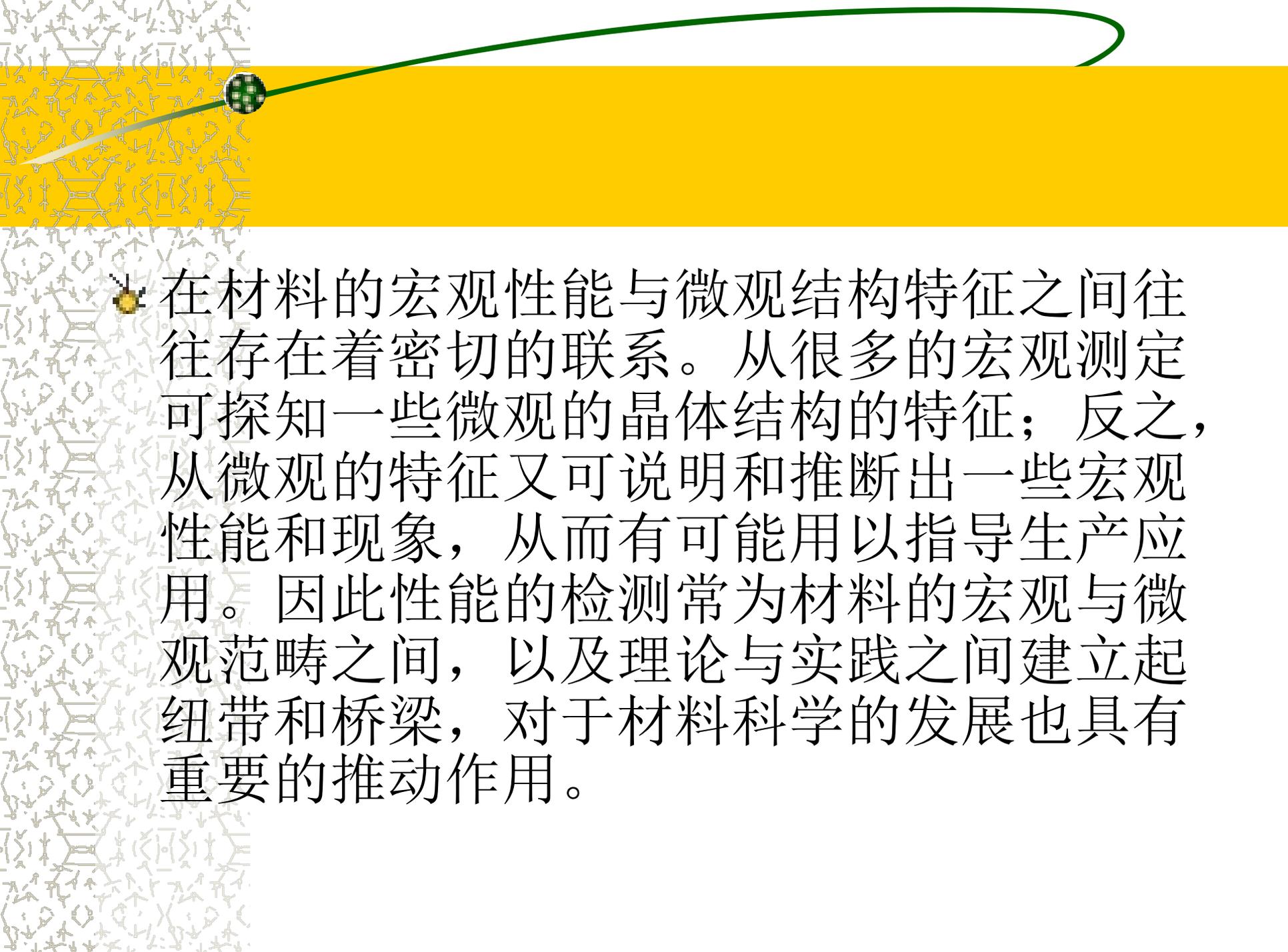
装备制造业的技术创新体系构成：
基础研究→共性技术研究→产品开发→产业化

作用表现

- ✦ 在工业生产中，对投产的原材料的质量必须进行检査，以了解其是否符合规格，以保证产品的质量。
- ✦ 在生产的过程中，有必要对各工序前后的材料、半成品和成品的性能进行监控，以明确每一工序的实施过程是否稳定和正常。
- ✦ 在设计新装备或构件时，必须选用合适的材料以满足设计要求，需要提供材料的有关性能数据，尤其是提供接近装备或构件在实际服役条件下的性能，以作为新设计的依据。
- ✦ 在合成和制备新材料或制定新工艺（包括提纯、精练、改性、冷热加工等）时，对材料性能进行比较是筛选和确定最佳方案的重要依据之一。

- 对装备和构件进行服役条件下的安全和可靠性评估，以确保在服役期间能有效的工作。
- 对装备和构件发生故障和失效时，要分析装备和构件及所用材料在使用条件下的性能变化，并探讨故障和失效的发生原因，从而寻找解决和改进的途径以及预防对策。
- 在对某些材料进行大量试验研究的基础上，以及根据这些材料制成的装备或构件在具体使用中出现的问題，抽象出材料的性能指标，从而对材料性能和加工工艺制订出标准文件和技术规范，用于控制材料和部件的生产。

材料研究新纪元(李依依院士在2013年全国失效分析学术会议上的大会报告)
即从关注材料的使用性能转变到对性能的控制



在材料的宏观性能与微观结构特征之间往往存在着密切的联系。从很多的宏观测定可探知一些微观的晶体结构的特征；反之，从微观的特征又可说明和推断出一些宏观性能和现象，从而有可能用以指导生产应用。因此性能的检测常为材料的宏观与微观范畴之间，以及理论与实践之间建立起纽带和桥梁，对于材料科学的发展也具有重要的推动作用。

引进消化吸收案例

- 我国产品质量与国际先进国家的差距，主要表现在微量材料成分和工艺上。

剖析某国离合器中18种零件有17种用碳钢，
其中微量元素起关键作用

部件名称	C%	Mn%	Si%	Ni%	Cr%	Cu%	Al%
支承环	0.64	0.71	0.26	0.08	0.11	0.11	0.001
限位销钉	0.06	0.32	<0.02	0.03	0.02	0.02	0.001
减震大弹簧	0.66	0.81	0.21	0.03	0.04	<0.02	0.003
减震小弹簧	0.68	0.61	0.26	0.02	0.03	0.03	0.009
传动带	0.72	0.41	0.18	0.08	0.24	0.09	0.003
传动带铆钉	0.04	0.32	<0.02	0.05	<0.02	0.04	0.002
波形片铆钉	0.03	0.39	<0.02	0.02	<0.02	0.02	0.001

先进工艺发挥关键作用

变速箱	法国汽车的变速箱零件，轴与齿轮均经过碳氮共渗，渗入量各个不同，输入轴用含碳0.26%的铬钢，经热处理后，表层（0.1mm深）含碳0.84%，氮0.027%；头档齿轮及被动齿轮表面含碳0.65%，而含氮0.067%及0.080%。
雨刮器	汽车雨刮器要求极佳的防锈性能，国外采用的工艺：镀锌—磷化—钝化—涂漆，防锈性最好的工艺是阴极电泳。
轴瓦	美国的汽油机与柴油机轴瓦用三层复合材料，钢背为低碳钢，中间层是铜铅锡合金，表层是铅87%、锡10%、铜3%的合金，在中间层与表层之间镀了一层约0.2微米的镍，称为镍栅，其作用是防止使用过程中表层因摩擦融化，扩散到中间层，导致化学组分改变而失效。

国外金属材料发展动向

金属工程材料 是以力学性能为基础，用以制造受力构件所用材料。
(简称金属材料)

- 特征**
- 量大面广，产业投入大，国民经济所急需
 - 与装备制造业联系极紧密
 - 技术标准和规范制定的原理清晰
 - 材料稳定性安全性要求高

新材料的内涵

新材料：一是新出现的具有优异性能和特殊功能的材料

二是传统材料成分、工艺改进后性能明显提高或具有优异功能材料

主要包括高性能结构材料与新型功能材料

新材料内涵随着经济发展、科技进步、产业升级将不断发生变化。

— 摘自工信部调研报告

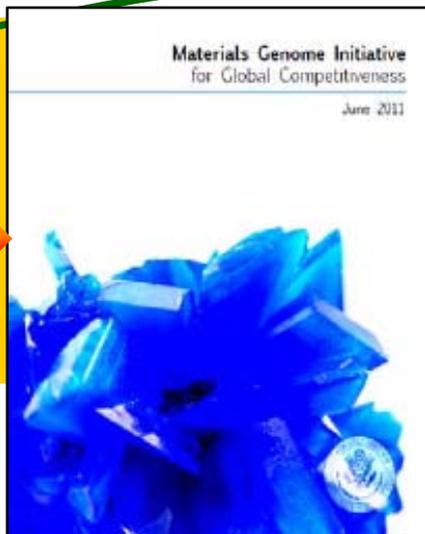
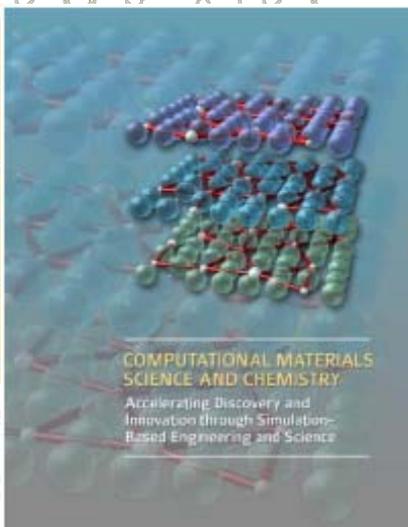
国际材料发展动向

材料设计—材料基因组—美国制造

Joint BES-ASCR
Workshop, July 2010

National Science and Technology Council,
Office of Science and Technology Policy

A Renaissance in American Manufacturing,
President Obama Speech on June 24, 2011



我们正处在一个新时代的门槛，**建模**将提高我们设计新材料和化学过程的能力

Materials Genome Initiative
材料基因组计划将**创建一个材料创新的新时代**，将作为加强国内产业基础

Advanced Manufacturing Partnership (AMP)
政府、工业和大学之间合作，投资尖端技术，创造新的就业机会，带来**美国制造业的复兴**

➤ 材料基因组计划



*To help businesses discover, develop, and deploy new materials twice as fast, we're launching what we call **the Materials Genome Initiative**. The invention of silicon circuits and lithium ion batteries made computers and iPods and iPads possible, but it took years to get those technologies from the drawing board to the market place. We can do it faster.*

-President Obama

Carnegie Mellon University, June 2011

... 2X faster & 2X cheaper

《材料基因组计划》为帮助企业发现、发展和配置新材料过程快二倍，我们启动叫做材料基因组计划

（各个材料研制阶段比作基因）。硅电路和锂离子电池发明使计算机和 iPods/iPads 成为可能，但是从设计到市场得到这些技术用了很多年。我们可以做的更快些。

.....快二倍和便宜一半。

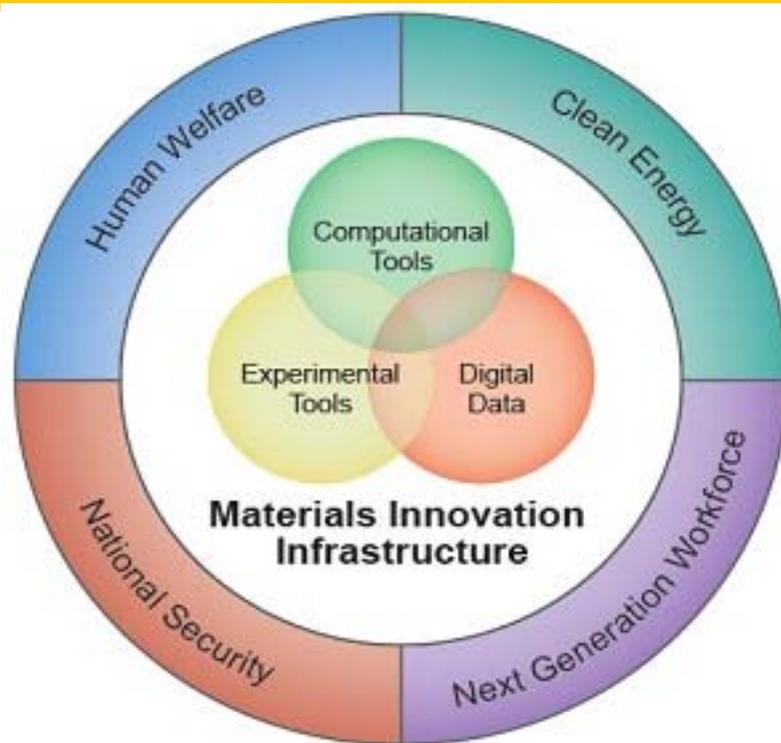
--Obama2011-6于卡内基-美隆大学讲话

美国《材料基因组计划》目标和具体内容

目标：是把新材料研发周期减半，成本降低一半，以期加速美国在清洁能源、国家安全、人类健康与福祉以及下一代劳动力培养等方面的进步，加强美国的国际竞争力。

材料发明的基础设施

- 材料计算手段
- 实验手段
- 数字化数据库建立



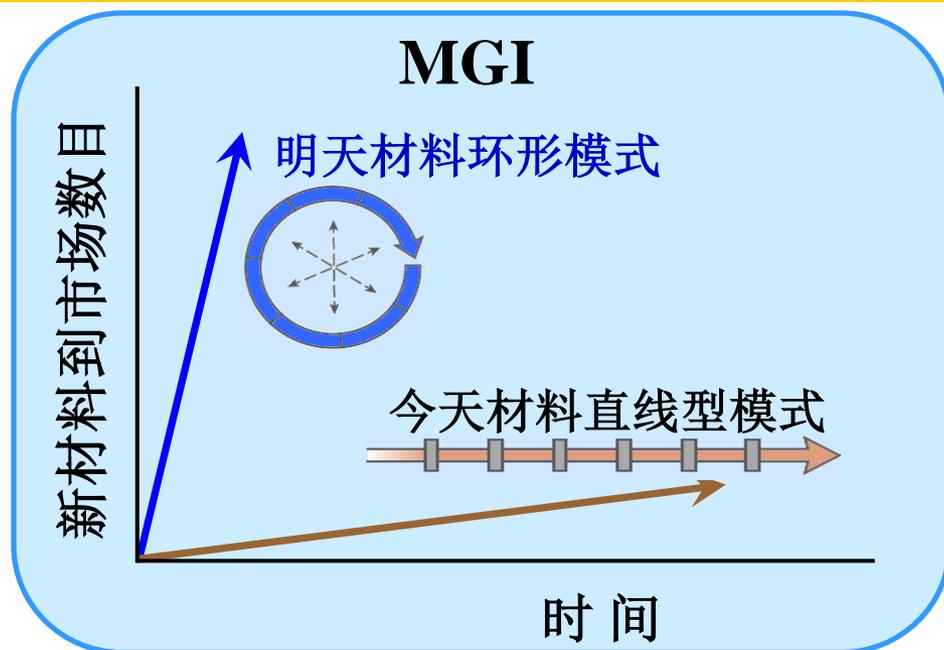
《材料基因组计划》目标和基础设施

材料基因组方式研究新材料

材料基因组计划(MGI) 直接面向最终的应用市场需求，从研制到生产销售比现在所用时间快2倍，成本是现在的二分之一

关键问题：

- 计算技术
- 更有效地利用标准
- 增强数据管理



材料领域当前“**直线型**”的发展模式，转变为从开始到最后进行新材料研究各个阶段都在一起“**圆环形**”：设计、计算、研究、开发、中试、生产、测试认证、生产销售和回收利用等步骤，达到加速材料研发到市场的周期的目的

MaRIE计划



MaRIE:
(**M**atter-**R**adiation **I**nteractions in **E**xtrêmes)

美国洛斯阿拉莫斯国家实验室(LANL)牵头集中7个国家80个研究所225位科学家作出的MaRIE计划

极端条件下物质与辐照的交互作用

M4

Material

Modeling

Making

Measuring

An Experimental Facility Concept Revolutionizing Materials in Extrêmes

利用实验装备的概念实现极端条件下材料的革命性创新

材料研究新纪元

即从关注材料的使用性能转变到对性能的控制

新实验能力要具备以下的四点：

- 原位、动态测量：同时测得散射和图像信息
- 正确的控制和表述材料：先进的合成和描述
- 极端条件：动态载荷（压缩材料）、辐照、腐蚀、微重力
- 与预测模型及模拟材料设计和发现新材料等等耦合

**“Nothing in life is to be feared
It is only to be understood”**

**“生活中没有什么可怕的东西。
只有应去了解的东西。”**

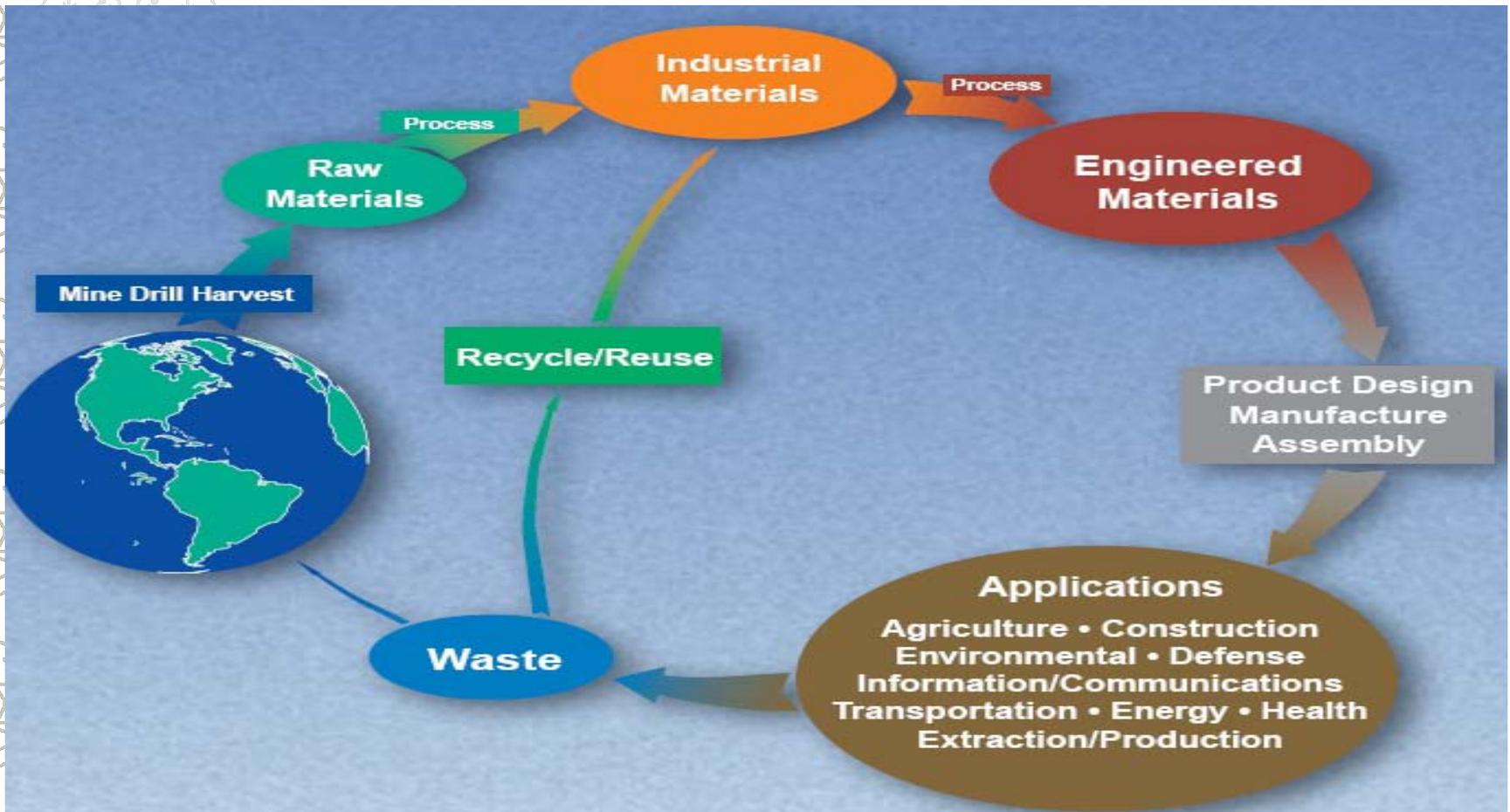
– Marie Curie



Matter-Radiation Interactions in Extremes

欧洲提出的可持续发展

指标: 降低材料全寿命循环成本**30%**；降低能源消耗指标**50%**；提高材料可靠性的成本降低**25%**



我国金属材料的现状、问题与分析

重点结构材料产业化现状

金属材料	特征	共148项 所占比例	
第一类： 完全成熟产业化材料	工艺稳定，性能可靠 数据齐全	43项	29%
第二类： 可以生产但尚不成熟不能保障供给的材料	主要技术已了解，关键技术尚未掌握，产品质量、稳定性、可靠性不足	68项	46%
第三类： 国内完全空白的材料	关键技术问题未了解，还完全不具备产业化条件	37项	25%

存在问题

1. 重点工程急需的材料

国内尚不能生产占25%；或不能保障供给占46%；总共达到71%

可稳定供应的材料仅占29%

2. 许多重点产品不能自主研发

例如：核电用焊接材料；超超临界汽轮机转子、内缸材料；高性能轴承材料；先进复合材料等。

3. 关键材料保障能力不足材料质量不稳定，制约了新材料的推广应用

如：核电用钢、高性能管材、船用钢板、铝合金厚板等

4. 可持续发展问题

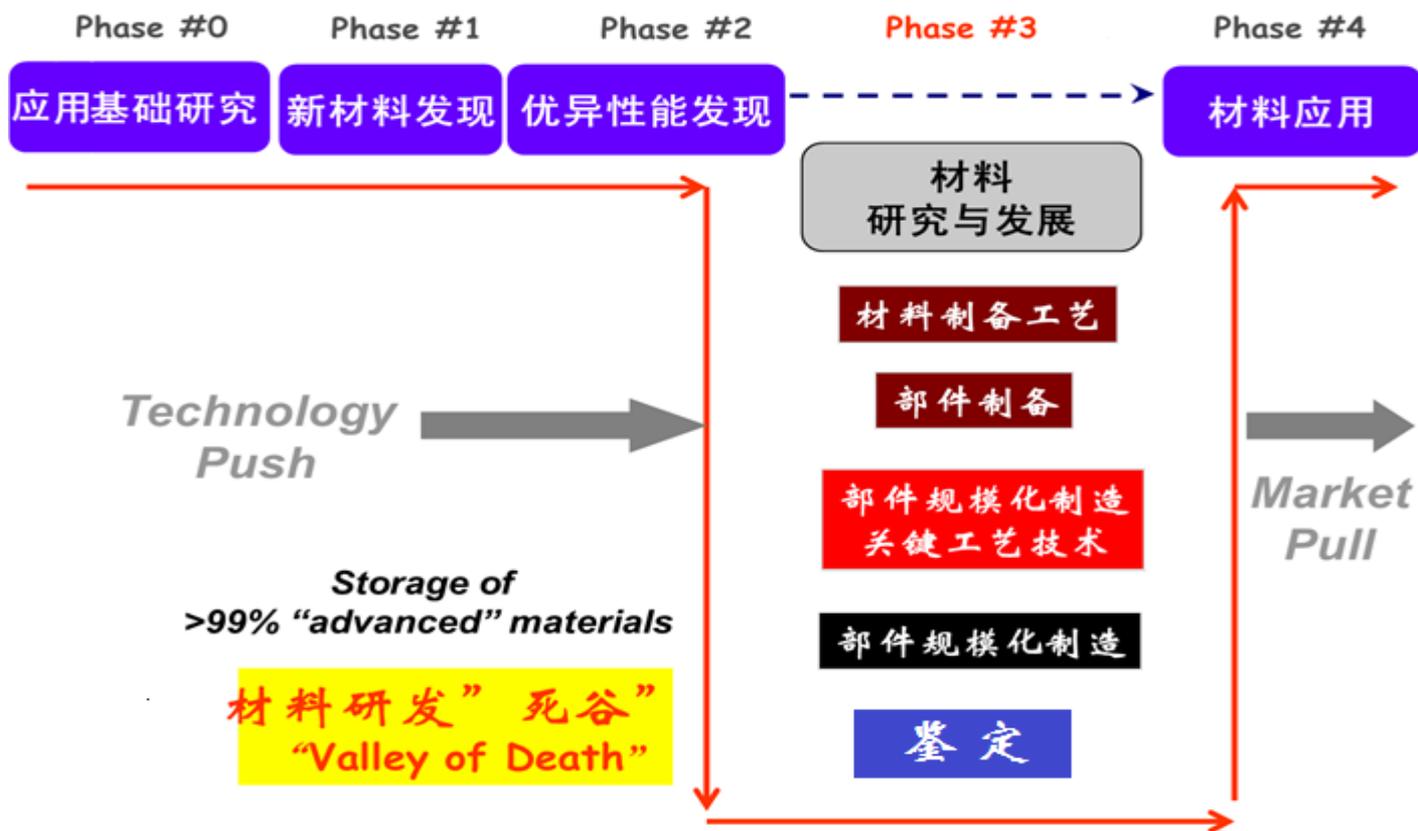
材料资源利用率低，能耗高，环境污染严重，周期长。

特别是二氧化碳的控制和节能问题尚没有引起全民的重视。可持续发展和循环经济问题在生产企业中只有很少企业能实施，如太钢。

我国材料发展问题的原因分析

1. 国家层面缺乏对新材料从研发到产业化整体布局

- 材料从研究发现到成熟应用往往需要一个漫长的材料链。
- 我国缺少统筹管理材料的整体布局，材料链中存在“死谷”，原因是科研体系各管一段、重复混乱不能像三峡工作从研究一直抓到产业化。



此图由卢柯的改写

2. 科技对重大工程需求金属材料产业的支持不够强

- 科技力量的部署和资源投入更多地转向前沿新材料探索。
- 对投资大见效慢的金属材料特别是国民经济相关重大装备用材料研究的关注不够，认为传统产业不用支持，造成大量进口

3. 产学研用的体系尚没有形成（引自工信部）

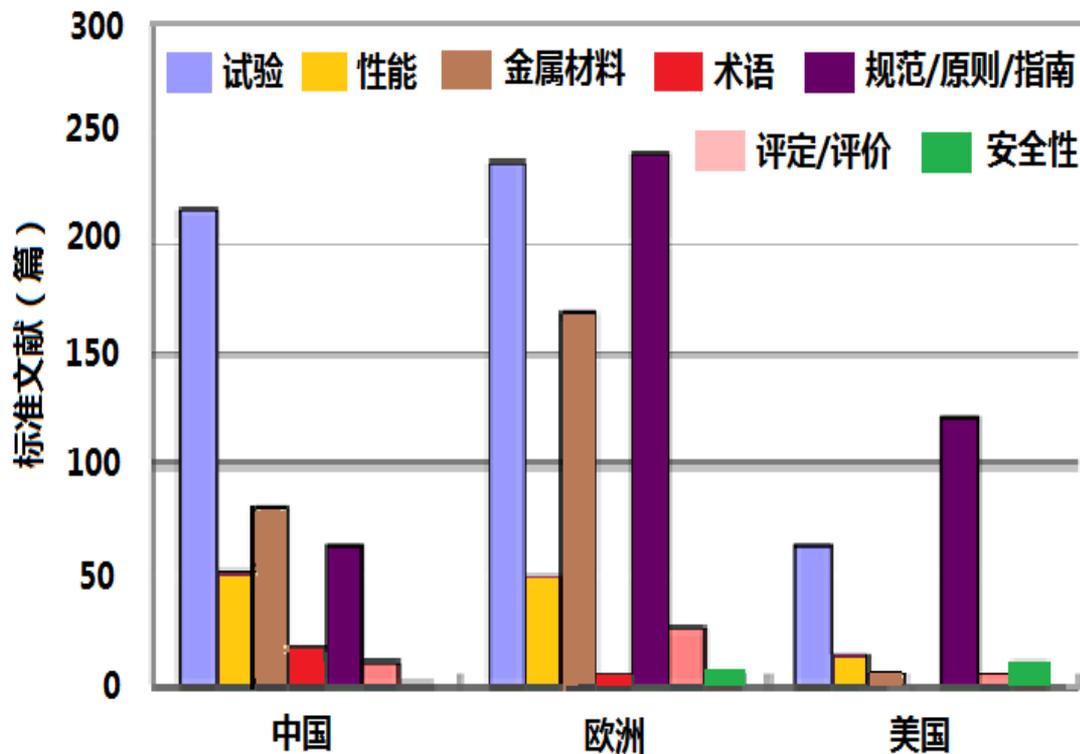
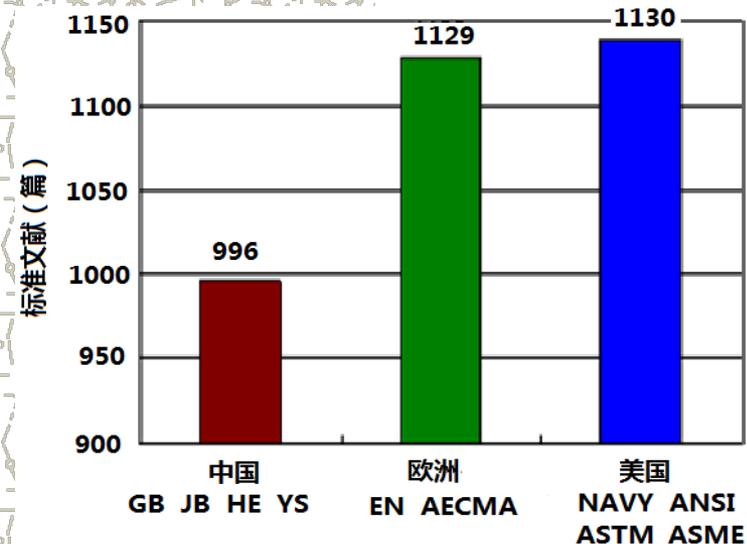
- **科研单位的自主创新能力不强**：科技发展长期处于跟踪状态，核心基础理论与实际生产的关键技术迟迟得不到突破，原因是缺乏创新和攻克难关的勇气和毅力，缺乏踏实系统、全面的工程化技术研究，缺乏新技术实施宽容政策和资金的支持，一些单位浮夸欺骗和垄断市场不让强于他们的先进技术进入。

- 企业认为已是科技开发的主体，但是关键技术创新能力还较差，需要从研究所获得支撑和引领，不能很好的尊重科技人才创新自主权，有的企业甚至只要把一项新技术到他们企业去转化，知识产权就要全变成他的。研究所在与企业合作中解决的关键技术，只有少数企业实事求是的表述新技术是从什么研究所或大学获得的，在多数企业中得不到体现，这也是使产学研用的体系难以长期维系重要原因。

4. 对材料标准问题认识与重视没有提到应有的高度

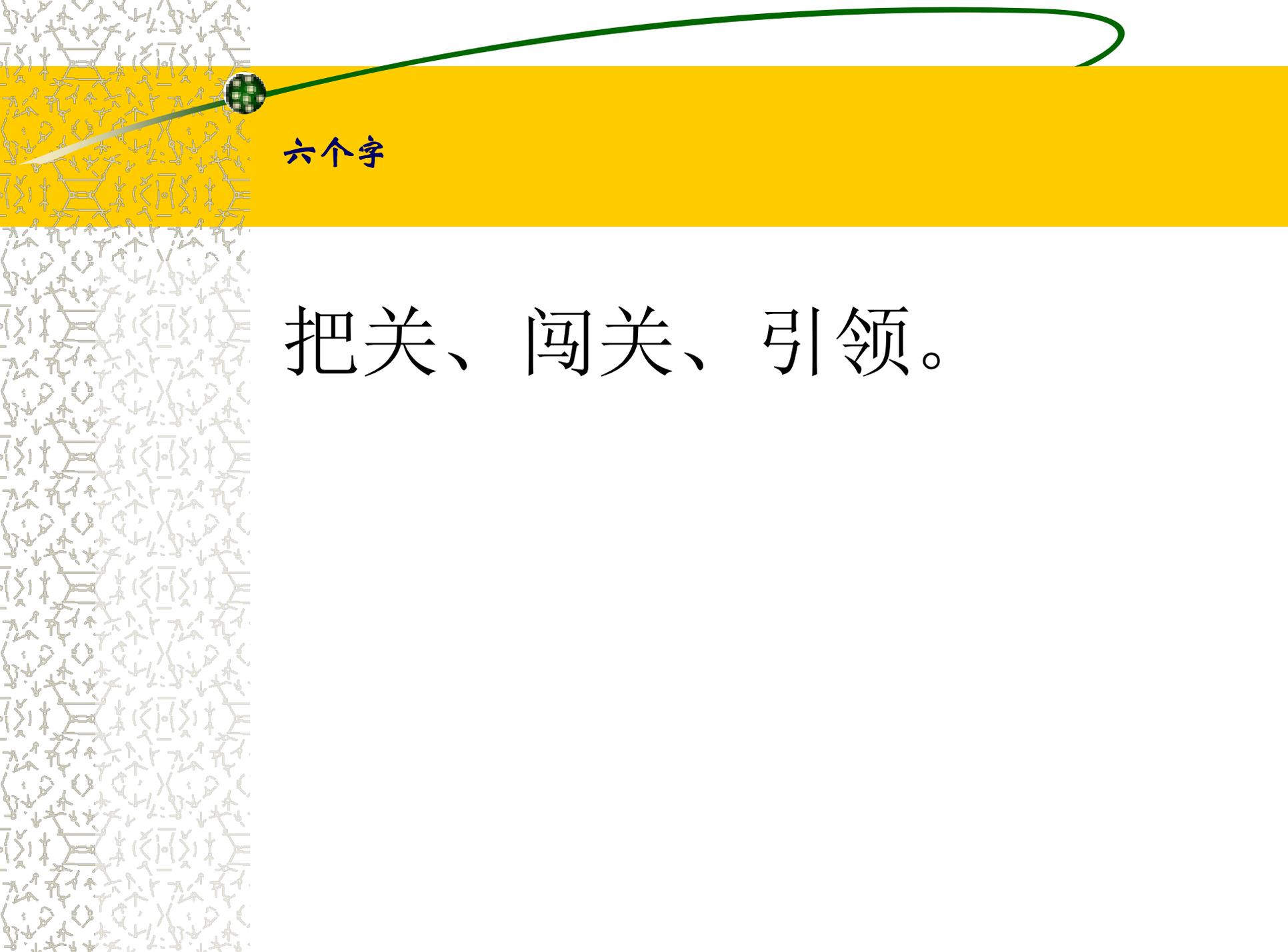
- **标准**是科技水平和产业成熟的体现，是材料体系完善的主要标志
- 材料产业缺乏自主的完整的材料规范，原因是缺乏对材料工艺中核心关键技术的研究和掌握，难以制定出我国自主材料标准的主要原因
- 对于进口的材料标准只是套用和转化成国内标准，没有弄清楚国外标准为什么要那样制订，依样画葫芦是不能指导生产，造成性能不稳定。加上各引进单位存在所谓“保密问题”，造成重复引进

我国材料标准与欧美比较



我国是材料生产和消费第一大国，材料标准却少于美国和欧洲，且大多数是引进和照搬的标准，缺乏消化吸收后转化或自主建立的标准

我国的材料标准中有关安全性等需要长期工作的几乎没有



六个字

把关、闯关、引领。

中国检测市场宏观情况

- ✦ 24100家质量检验检测机构
- ✦ 近5年平均增幅20%
- ✦ 2012年市场规模超过800亿元；预计2013年市场规模超过1000亿元
- ✦ 业务规模：国有60%；外资30%；民营10%

检验检测加快发展

- 2011年12月12日国务院办公厅印发了《关于加快发展高技术服务业的指导意见》（国办发〔2011〕58号），明确将“检验检测服务”列为国家重点发展的八项高新技术服务业之一。
- 推进检验检测机构市场化运营，提升专业化服务水平。
- 发展面向设计开发、生产制造、售后服务全过程的分析、测试、检验、计量等服务，培育第三方的质量和安全检验、检测、检疫、计量、认证技术服务。

检测经济初露端倪

- CTI华测检测（英文：Centre Testing International）是一家总部位于深圳市的第三方检测验证公司，成立于2003年，2009年10月，成功在深交所挂牌上市，成为中国检测行业首家上市公司，股票代码：300012。
- 上海SGS从事检测的人员2700人，2011年实现检测收入约11亿元人民币。
- 上海SCT从事检测人员约70人，2011年实现检测收入约4200万人民币。
- 在转制院所检测部门基本上成为其利润贡献的主要来源。

抓住机遇、乘势而为

- ✿ 国际制造业及跨国集团向我国产业转移
- ✿ 社会质量意识的不断提高
- ✿ 合格评定制度的不断完善
- ✿ 政府职能的转变
- ✿ 国际交流、接轨机会的增加
- ✿ 2005年起，检测市场开放，国外机构参与竞争
- ✿ 国内检测市场主体成分多元化
- ✿ 检测机构风险加大

社会对检测结果的期望

- 符合目的（结果要提供必要的数据和信息）
- 可以依据其作出决定
- 以适当的形式提供（检测报告和技术报告）
- 准确
- 精确
- 定性的/定量的
- 一致的
- 供给准时
- 最小成本和消耗下取得
- 可获取的/可溯源的
- 有效的
- 可重复的
- 可再现的

构建质量保证之路

- ✦ 实验室的机构设置、责任和权力委派
- ✦ 领导能力、激励和监督
- ✦ 创立有活力的团队
- ✦ 给出时间表和阶段性任务指标
- ✦ 程序、作业指导书和表格的文件化
- ✦ 测试方法的选择、制定和批准生效
- ✦ 设备的选择、管理和校准
- ✦ 设施和环境控制
- ✦ 消耗品和参考标准的控制
- ✦ 内部和外部质量控制
- ✦ 样品的接受、标识、处理和存储
- ✦ 审核和管理评审以及随后的改进
- ✦ 请求并持续获得认可

有效检测六原则

检测结果对企业来说至关重要，不仅关系到成本，而且还对增加产量、有效利用资产和提高声誉有很大影响。有效检测的原则如下：

检测应满足一致的要求；

检测应采用满足使用目的的方法和仪器来进行；

检测人员既要有资格又要有能力承担检测任务；

对实验室的技术能力应进行定期的评估；

无论在何处进行检测结果都要一致（可再现）；

实验室应有非常明确的QC和QA程序。

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。其结果对产品的设计、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

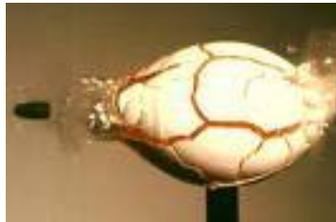
通过开展实物检测，积累大量长时寿命的数据，为重大工程提供前瞻性服务。



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。

科技创新需要勇气、底气、人气

- **勇气**：面向国家战略需求，敢于迎接国际前沿挑战，了解并承接来自企业生产一线的重大技术难题；
- **底气**：善于理论联系实际，利用深入、系统的知识积累，解决现场难题，实现关键核心技术创新，并应用于企业生产，替代进口；
- **人气**：团结协作，刻苦攻关，与企业真诚合作，平等相待，互相学习，明确职责，尊重科技人才创新自主权，形成具有凝聚力的优秀团队。

努力圆梦

中国制造 中国创造

30年改革开放的历史见证：

中国销售—中国制造—中国设计—中国创造

注：本报告中引用了李依依院士在2013年全国失效分析学术会议上所作大会报告中的部分内容，特致谢忱！

谢谢！

Tel: 13701816859

Web: www.gqyan.com

E-mail: gqyan@live.com

<http://gqyan.vip.blog.163.com>