

材料检测技术与应用

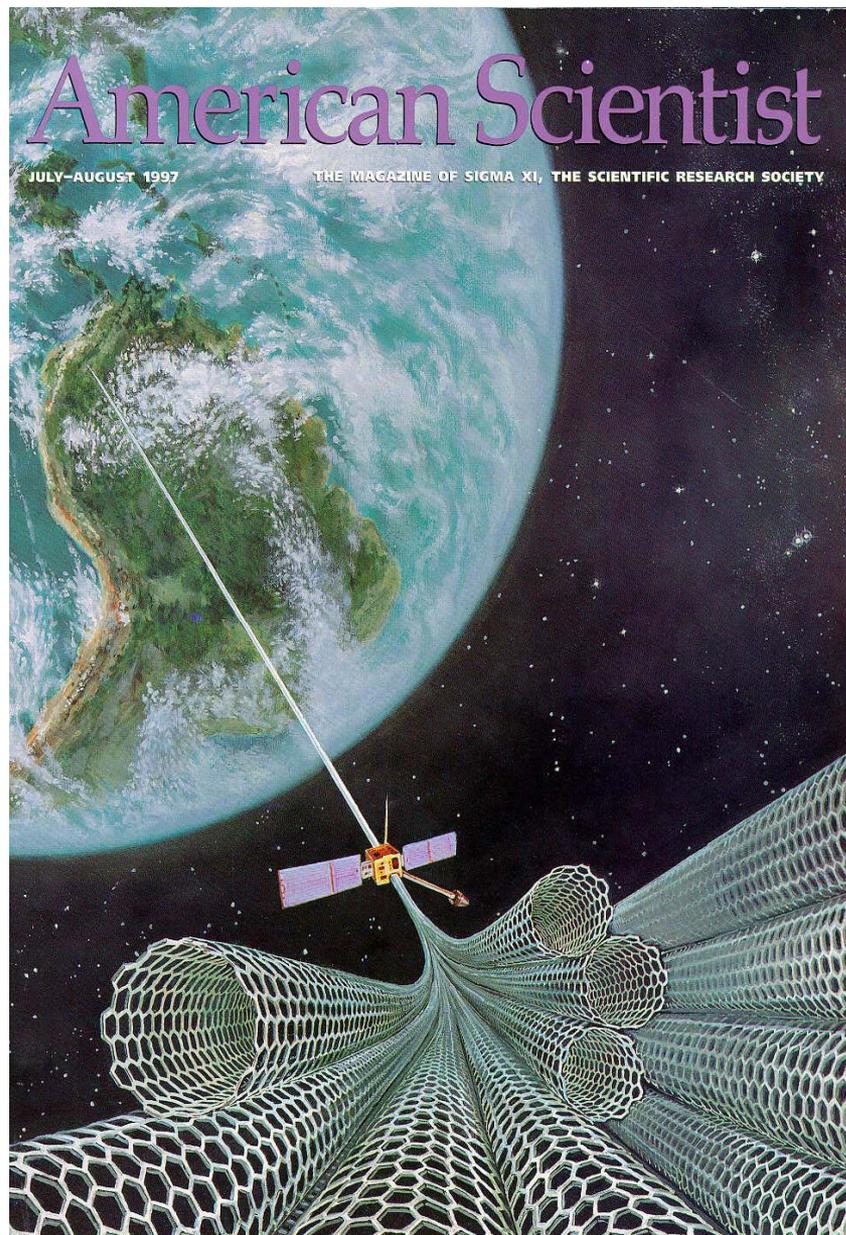
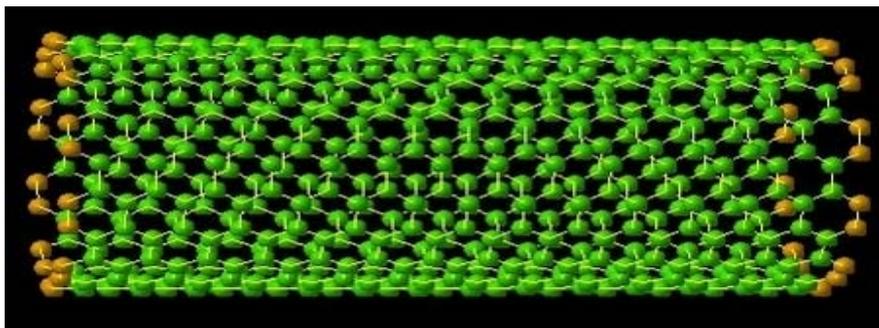
鄢国强

上海材料研究所

如果要架设一架天梯到月球上！材料？

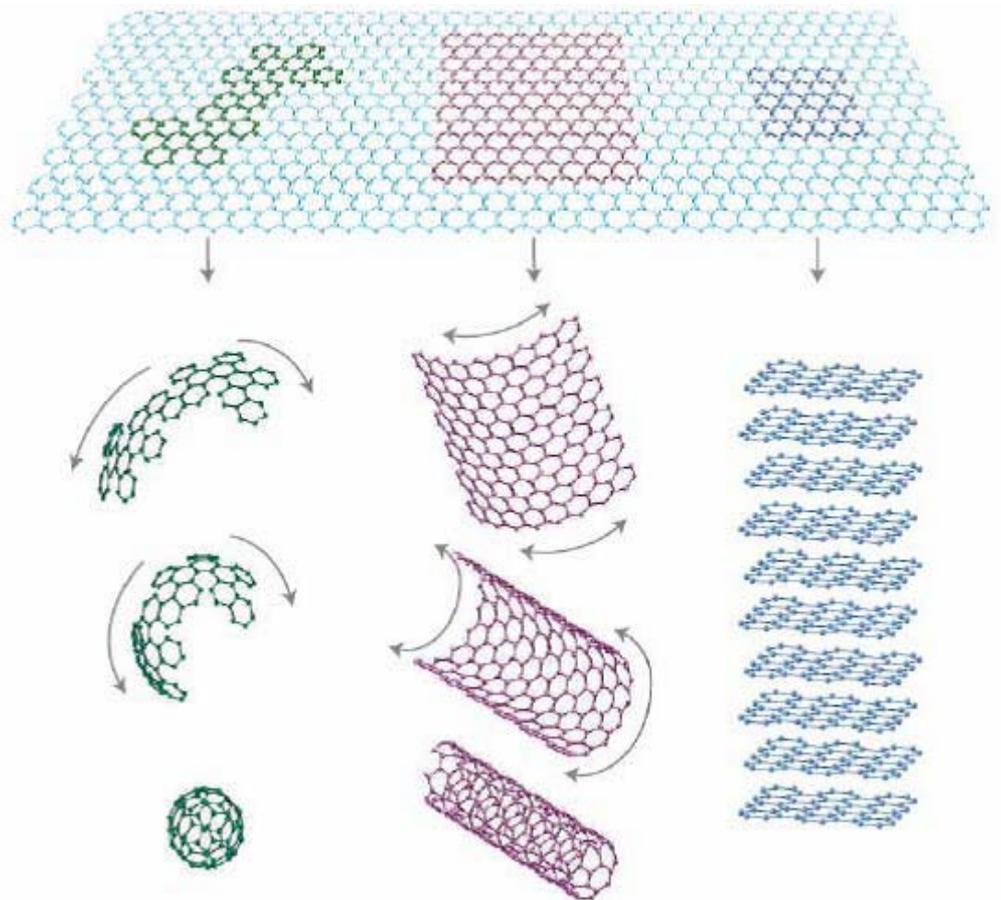
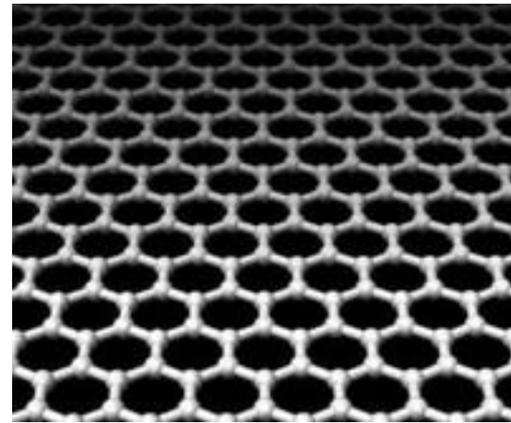
碳纳米管：

很轻，但很结实。它的密度只有钢的六分之一，但是强度却是钢的一百倍。如果用它来做绳索，是唯一可以从月球挂到地球表面，而不被自身重量拉断的绳索。



石墨烯 (Graphene)

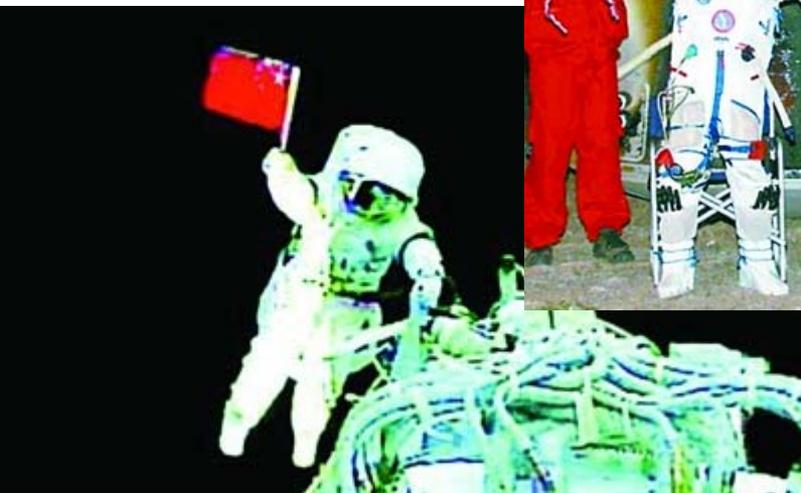
石墨烯目前是世上最薄却也是最坚硬的纳米材料，它几乎是完全透明的，只吸收2.3%的光；导热系数高达5300 W/m·K，高于碳纳米管和金刚石，常温下其电子迁移率超过5000cm²/V·s，又比纳米碳管或硅晶体高，而电阻率只约10⁻⁶ Ω·cm，比铜或银更低，为目前世上电阻率最小的材料。因为它的电阻率极低，电子跑的速度极快，因此被期待可用来发展出更薄、导电速度更快的新一代电子元件或晶体管。





神七及宇航服



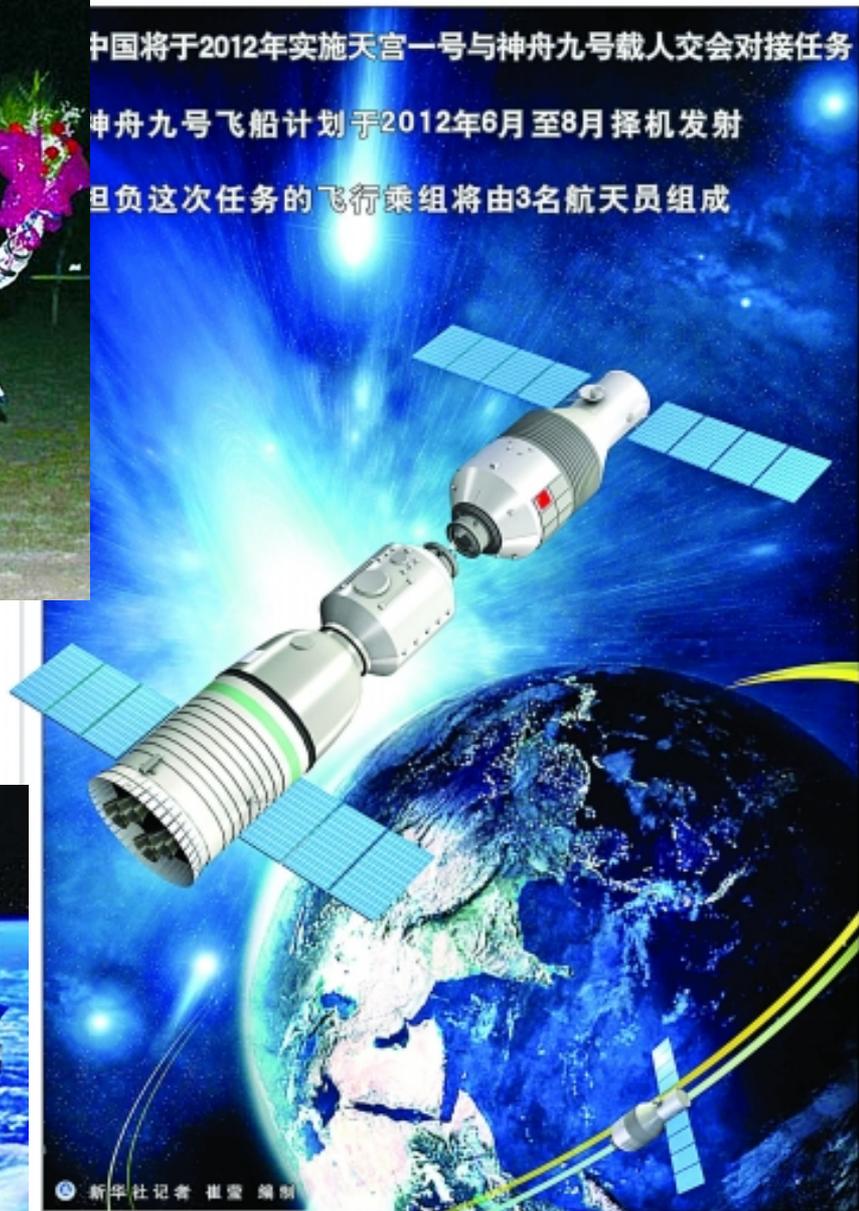


神舟九号飞船计划于 2012年6月至8月择机发射

中国将于2012年实施天宫一号与神舟九号载人交会对接任务

神舟九号飞船计划于2012年6月至8月择机发射

担负这次任务的飞行乘组将由3名航天员组成



材料、材料性能与材料检测

材料----人类用于制造物品、器件、构件、机器或其他产品的那些物质。材料是物质，但不是所有物质都可以称为材料。如燃料和化学原料、工业化学品、食物和药物，一般都不算是材料。

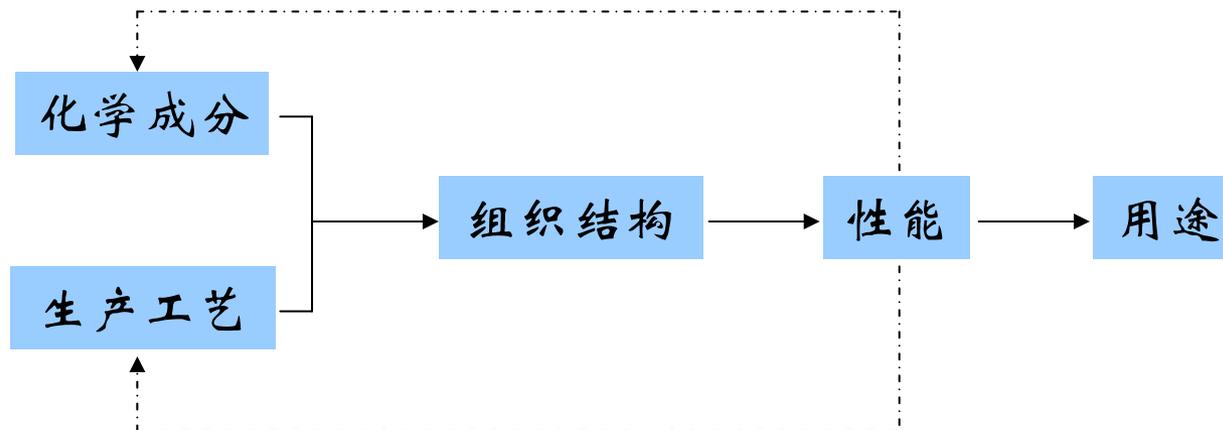
材料为何有用？ 因为材料具有各种各样的性能。

不同材料具有各种不同的性能。

同种材料因制备、加工、处理方式而具有不同的性能。

材料的性能取决于材料的成分和组织结构。

材料的性能、成分和组织结构需要材料的检测和分析。



材料检测的作用

材料的设计、研制、制备加工、使用、质量控制、寿命预测、可靠性和安全以及避免失效都离不开材料的检测和分析。

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。

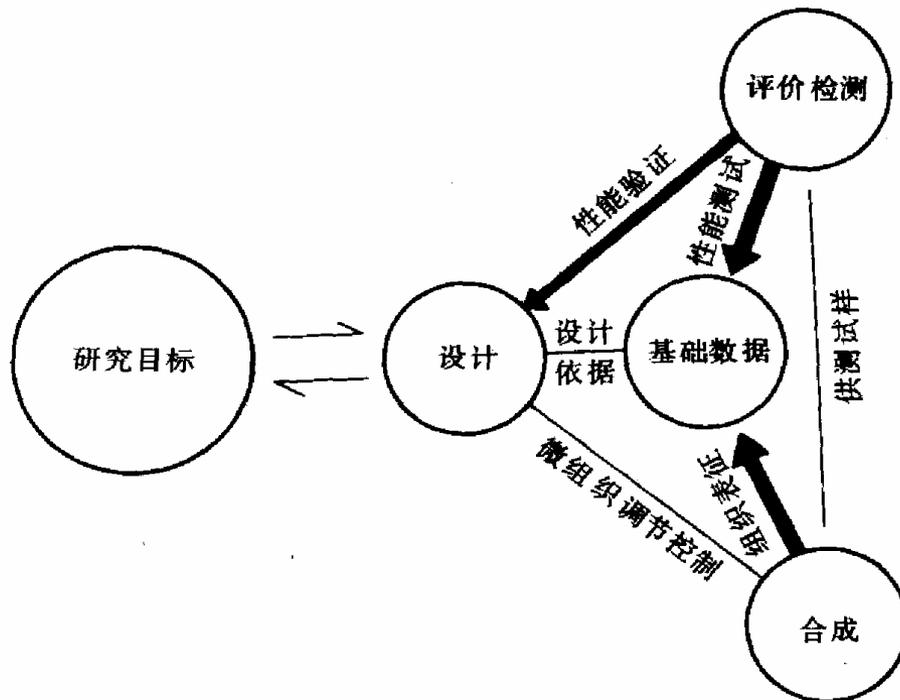
—— 师昌绪院士

材料科学—研究材料的成分、组成结构、制备工艺与材料性能及应用之间相互关系的科学。

20世纪70年代人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。
80年代以高技术群为代表的新技术革命，又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。
国发[2010]32号文七大战略性新兴产业确定。

材料检测的地位

现代材料科学在很大程度上依赖于对材料性能与其成分及显微组织关系的理解。对材料性能的各种测试技术、对材料组织从宏观到微观不同层次的表征技术构成了材料科学与工程的一个不可或缺的重要组成部分，占有重要的地位。



同时，它也是联系材料设计与制造工艺直到获得具有满意使用性能的材料之间的桥梁。

材料检测的需求

材料表征和检测技术的发展来自于几个方面应用需求：

- 选材要求
- 研制新材料要求
- 产品质量要求
- 加工工艺要求
- 生产控制要求
- 安全运行要求
- 失效预防要求
- 标准规范要求

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发射光谱仪，直读光谱仪，辉光光谱仪，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 $Z \geq 5$ 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。

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、原子力显微镜等已经越显出重要作用。

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

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射线光电电子能谱 (XPS)	紫外光电电子能谱 (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	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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 	<ol style="list-style-type: none"> 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

无损检测技术

- 无损检测NDT (Nondestructive Testing) 是在不损伤被检测对象的条件下, 利用材料内部结构异常或缺陷存在所引起的对热、声、光、电、磁等物理量的变化, 来探测各种工程材料、零部件、结构件等内部和表面缺陷。
- 用于无损检测的方法很多。除了5种常规(射线、超声、磁粉、渗透和涡流)方法外, 还有红外、激光、声发射、微波、工业CT等。
- 无损检测技术从产品的设计、加工制造、成品检验到在役检查各阶段都可以发挥作用。合理的使用各种无损检测方法, 从原材料开始到成品验收一直到使用过程中不断的进行质量检验和监测, 可以确保产品的质量和使用中的安全。
- 无损检测的最大特点是在不损伤材料、工件和机器结构物的前提下来进行检测的。但是无损检测不能代替破坏性检测。也就是说, 对一个工件、材料、机器设备的评价, 必须把无损检测的结果与破坏性检测的结果互相对比和配合, 才能作出准确的评定。
- 任何一种无损检测方法都不是万能的, 每种无损检测方法都有它自己的优点和缺点。

中国材料 工程大典

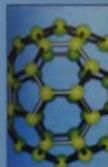
中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

第**26**卷 材料表征与检测技术

徐祖耀 黄本立 鄢国强 主编



材料质量检测 与分析技术

鄢国强 主编

 中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



产品质量的差距

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

□ 先进工艺显神威

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。

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。

方法的选择

应考虑:

- 客户的意愿和需求;
- 法规或标准的要求;
- 工业上可接受;
- 抽样和样品制备;
- 环境和设施要求;
- 设备要求;
- 员工能力要求;
- 重复性、复现性和不确定度;
- 回收和基体效应;
- 安全;
- 成本和时间。

判定有效检测的原则

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。判定有效检测的原则如下：

检测方法应满足给定的目标；

采用正确的方法和设备；

检测人员既要有资格又要有能力承担检测任务；

实验室的技术水平应进行定期的评估；

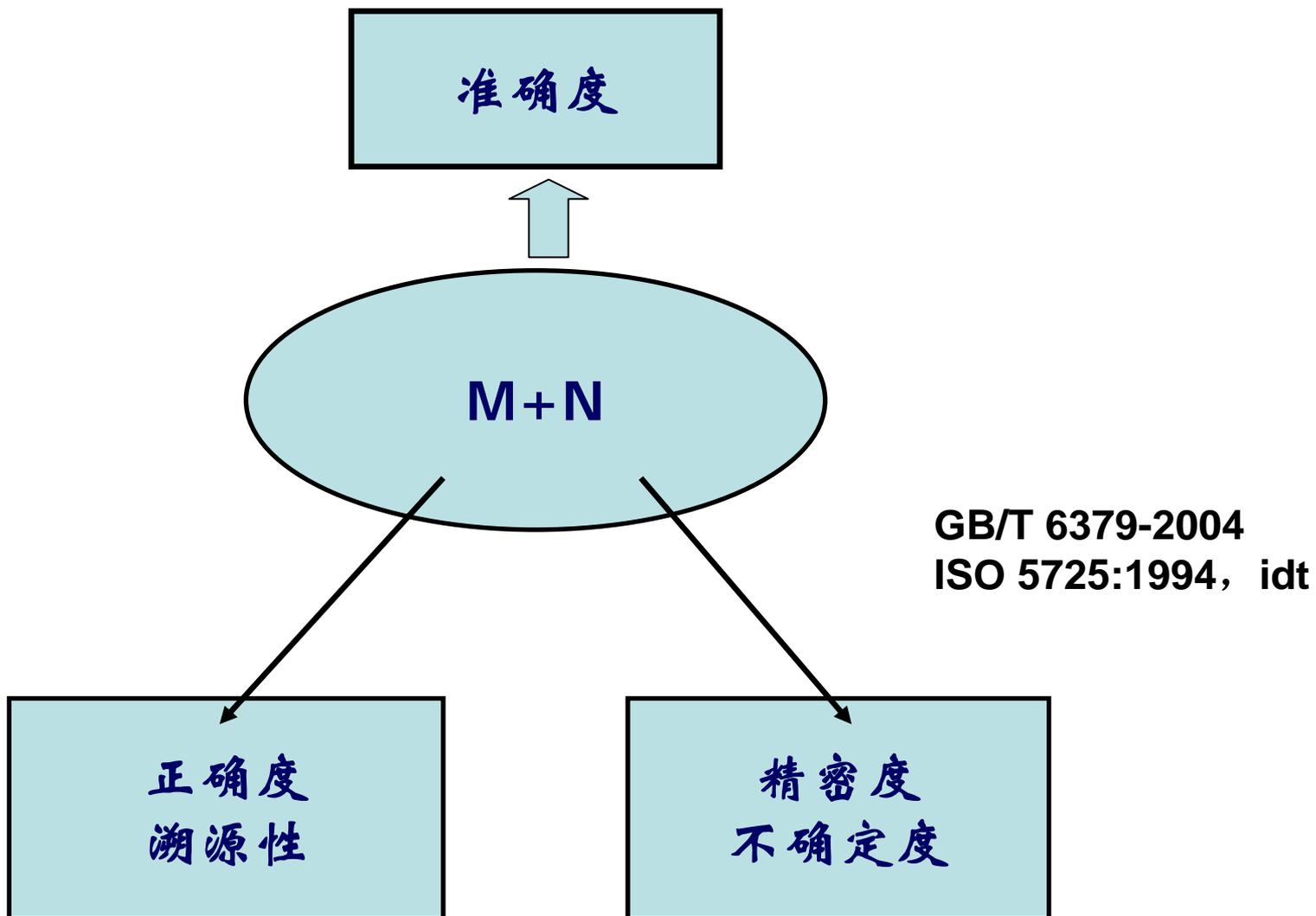
无论在何处进行检测结果都要一致（可再现）；

应有QC和QA程序。

建立质量保证之路

- 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

检测结果表述



如何评价实验室的技术能力

- 工作人员的技术能力
- 检测方法的有效性和适当性
- 测量和校准溯源到国家标准
- 检测设备的适宜性、校准和维护
- 检测环境
- 检测物品的抽样、处置和运输
- 检测和校准数据质量的保证

**CNAS认可，ISO/IEC 17025：2005
能力验证计划**

关注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。常见机械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。

关注全尺寸检测

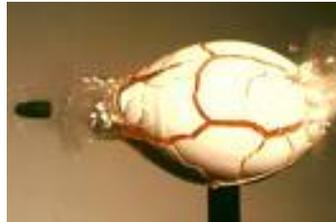
- 通过开展实物检测，积累大量实验数据，为重大工程提供前瞻性服务。



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。

发展变化

- 室内检测-----现场检测
- 样品检测-----实物检测
- 离线检测-----在线检测

材料检测与环境保护的责任

- 空气中的排放物
- 水中的排放物
- 固态的废物
- 技术方面的挑战
 - 空气/水/固体中的低浓度
 - 样品采集的时间
 - 及时响应要求的高灵敏度的技术
 - 含污染物的样品

坚持可持续发展，倡导绿色检测

失效分析

—材料检测的综合应用

失效

零件或部件处于下列三种状态之一，就被认为是失效。

1. 当它完全不能工作时；
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。

-- 产品丧失规定的功能称为失效

摘自美国《金属手册》

失效的分类

1. 功能失效：导电、导热、导磁等功能下降
2. 过量变形失效：（1）变形超限（2）蠕变（3）蠕变压弯
3. 表面损伤失效
 - （1）卡死（2）过载压痕（3）擦伤（4）剥落
 - （5）
 - 1）粘着磨损 2）磨粒磨损 3）接触疲劳磨损
 - 4）腐蚀磨损 5）冲击磨损 6）冲蚀磨损
 - （6）
 - 1）整体腐蚀 2）电化学腐蚀 3）缝隙腐蚀 4）点蚀
 - 5）晶间腐蚀 6）选择腐蚀 7）生物腐蚀 8）浸蚀
 - 9）气蚀 10）氢损伤 11）液态金属腐蚀
4. 断裂失效
 - （1）冲击断裂
 - （2）疲劳断裂
 - 1）高温疲劳 2）高频疲劳 3）低频疲劳
 - 4）热疲劳 5）冲击疲劳 6）腐蚀疲劳
 - （3）蠕变-疲劳组合断裂
 - （4）热振（5）低温脆断（6）室温静载脆断
 - （7）持久断裂（8）应力腐蚀断裂
5. 裂纹失效
 - （1）使用裂纹
 - 1）冲击裂纹 2）氢脆裂纹 3）应力腐蚀裂纹
 - 4）疲劳裂纹 5）热龟裂纹
 - （2）铸造裂纹：
 - 1）铸造热裂纹 2）铸造冷裂纹 3）铸造机械裂纹
 - （3）锻造裂纹
 - 1）毛细裂纹 2）端部裂纹 3）加热裂纹
 - 4）龟裂裂纹 5）加热不透裂纹 6）十字裂纹
 - 7）分模面裂纹 8）冷却裂纹
 - （4）焊接裂纹
 - 1）热裂纹 2）冷裂纹 3）延迟裂纹
 - 4）再热裂纹 5）应变硬化裂纹
 - （5）热处理裂纹
 - 1）淬火冷却裂纹 2）淬火加热裂纹
 - 3）未及时回火裂纹
 - （6）机加工裂纹：
 - 1）磨削裂纹 2）振动裂纹

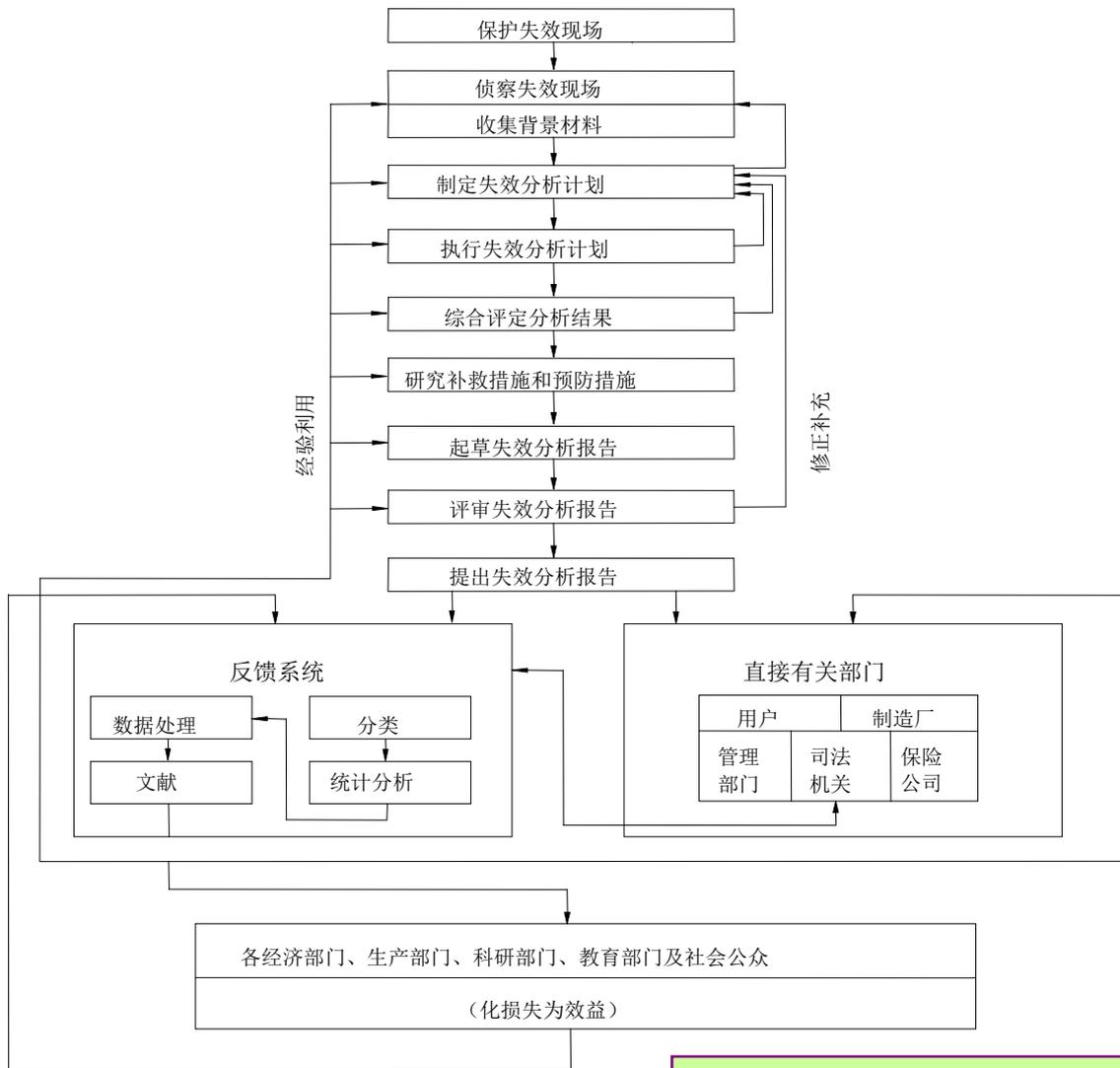
摘自《材料质量检测与分析技术》

失效分析

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。

失效分析工作流程图



摘自《材料质量检测与分析技术》

失效分析在社会经济中的作用

- 通过失效分析，可以提高产品质量，防止失效的重复发生，避免造成进一步的经济损失。
- 通过大量的失效经验教训，为机械产品的设计、加工、选材、制造、修复提供依据。同时也可以作为修订或制定技术规范，规程，标准，法规的重要依据。
- 通过失效分析，提出许多针对性很强的预防措施，消除事故隐患，避免重大事故的发生。同时也可以为出现重大事故时应该采取什么样的应急措施提供依据。
- 仲裁性失效分析，可以为裁决事故责任，开展技术保险业务，为人民法院有关案件的判决，及侦破刑事案件提供可靠的科学依据。
- 失效分析可为各级领导进行宏观经济和技术决策提供重要的科学的信息。

从事失效分析应遵循的原则

- 实事求是的工作态度，保持公正立场，不受外界影响
- 有的放矢，根据需要确定分析的深度和范围，从而采取相应的技术路线和分析程序
- 看问题要全面，避免技术上的局限性
- 亲临现场调查，掌握第一手资料
- 制定正确的取样方案
- 认真制定分析研究程序，善于利用一切检测手段，捕捉失效的信息和证据
- 做到：分析数据可靠，判断论据充分，报告结论慎重，制定措施可行
- 集成协作，依靠不同学科背景和不同经验的科技人员共同努力

磁悬浮连接件失效分析

一、试制阶段的失效分析案例



某电站涡壳多次补焊组织的检测

--生产阶段的失效分析案例

- 发电机组涡壳，用高强度调质钢现场焊接拼装
- 部分焊缝区因存在缺陷经多次气刨--补焊修复
- 多次焊接热循环对材料的组织及性能的影响？
焊接交叉点是否有异常组织？
- 为安全评估工作提供可靠的试验数据



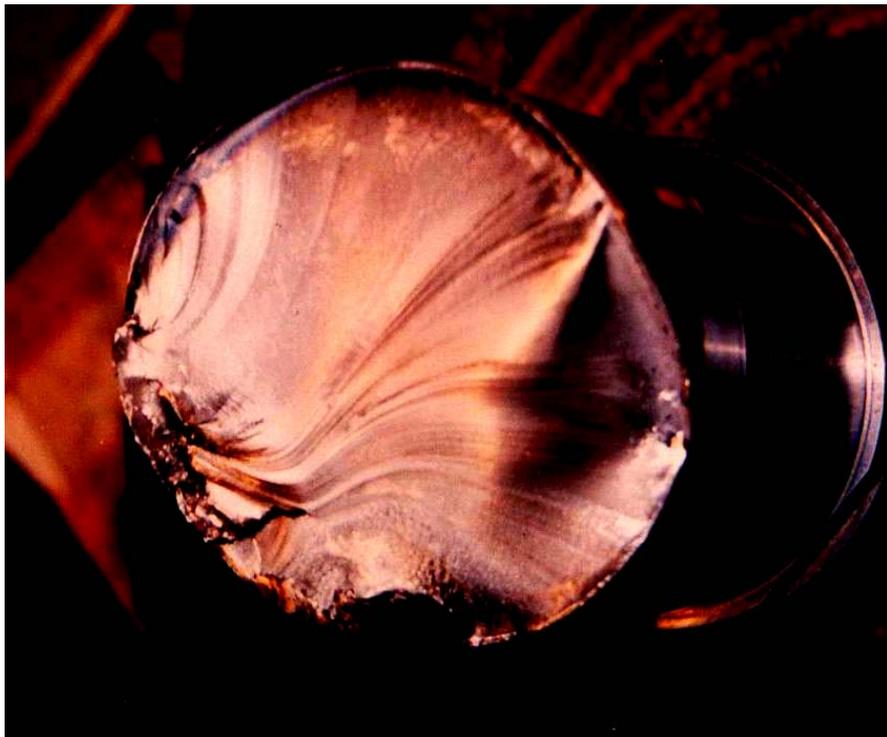


船用柴油机主机涡轮增压器轴断裂分析

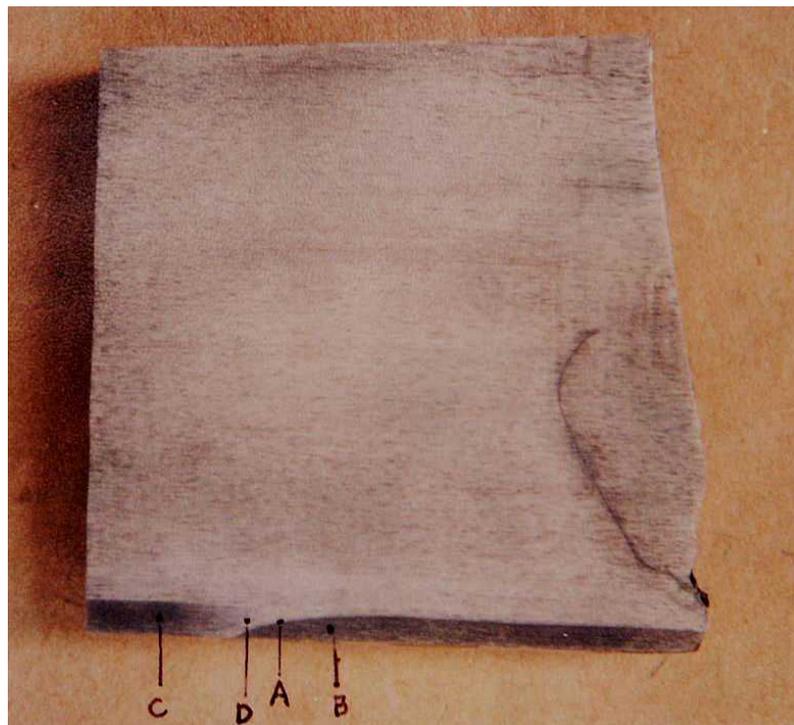
--定型产品的失效分析案例

- 船用柴油机的燃气增压器的转子轴
 - *材料26NiCrMoV145
 - *锻造成形，整体调质处理
 - *轴颈段感应淬火低温回火
 - *淬硬层厚2~3mm，表面硬度50~54HRC
- 使用约1.7万小时后于轴颈段发生早期断裂
- 宏观断口显示断裂具有低应力旋转弯曲疲劳断裂特征

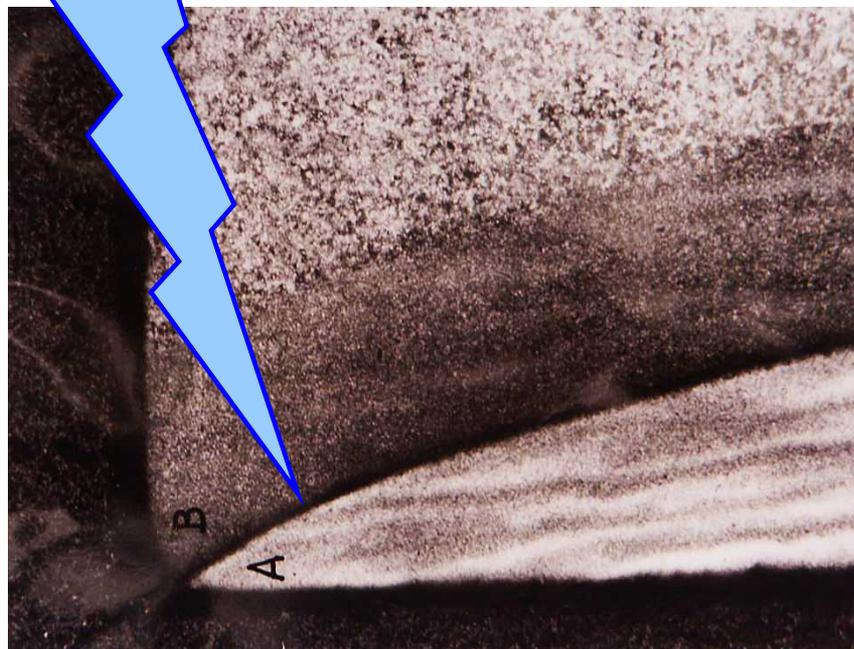
转子轴断口宏观照片



转子轴表层的不连续感应硬化层



属于感应热处理缺陷组织



不连续感应硬化层中的屈氏体组织

船用柴油机主机涡轮增压器轴断裂分析

--定型产品的失效分析案例

- 化学成分、拉伸性能、冲击功等正常
- 材料心部的显微组织正常
- 断口裂源处发现轴颈的表面感应淬火层不连续，局部表面有屈氏体等组织，属于

感应热处理缺陷组织

* 产品制造缺陷 *

- 表面感应处理
 - *提高耐磨性 *提高疲劳裂纹萌生抗力
- 不连续的表面感应层为疲劳裂纹萌生提供条件，导致了转子轴的早期疲劳断裂

思考题

1. 通过查阅材料手册，试论述如何开展一个材料不同特性结果的相关性的分析？

思考题

2. 在获得诺贝尔奖的科学家中有很多建立现代仪器分析方法有关，如：

1901年 Rontgen W C（德国）发现X射线而获得物理学奖；

1930年 Raman C V（印度）发现Raman效应而获得物理学奖；

1986年 Binnig G（德国）及Roher H（瑞士）发明隧道扫描显微镜而获得物理学奖；

1991年 Ernst R R（瑞士）对高分辨核磁共振分析的发展而获得化学奖；

2002年 Wuthrich K（瑞士）、Fenn J B（美国）及Tanaka K（日本）在核磁共振、质谱生物大分子分析研究领域的重大突破而获得化学奖。

请同学们从你感兴趣的科学家的生平、研究经历中去感悟、寻找启迪。

多谢垂听

*Thank You for
Your Attention
and Patience*

Tel: 13701816859

Web: www.gqyan.com

E-mail: gqyan@live.com

