



中国科学院院士王崇愚

# 微观寻理 铸材铸魂

## ——缅怀我国计算材料物理领域奠基人与开拓者之一王崇愚

□刘年凯

中国科学院院士、计算材料物理专家、清华大学物理系教授王崇愚，3月3日在北京逝世，享年93岁。王崇愚院士是我国计算材料物理领域的奠基人与开拓者之一，他长期致力于材料缺陷电子理论的基础性研究，为我国材料科学发展作出了重大贡献。

从破解合金中氧的谜题，到创立自统一理论，再到擘画“材料基因组”蓝图，王崇愚院士的一生，是从工程实践中洞察科学真谛，以基础理论破解国家重大需求的典范。

### 锁定异常不放， 为“东风”系列锻造“甲冑”

1950年，18岁的王崇愚考入北京大学（现天津大学）。后来，由于全国高等院校调整，王崇愚转入清华大学，后又进入北京钢铁工业学院（现北京科技大学）学习金属学专业。

1954年，王崇愚被分配至重工业部钢铁工业试验所（中国钢研前身）工作。4年后，他又转到第二研究室，开始了军工材料攻关，担负起研制达到或超过国际先进水平材料的重任。

攻关之路充满艰辛。在无数

次实验与分析中，一个看似不起眼甚至“不受欢迎”的元素——氧，反复出现在数据中。按照传统认知，氧是合金中的有害杂质，是工程师极力想要剔除的对象。然而，王崇愚却从纷繁的数据中洞察到了一个颠覆性的规律：正是这万分之一的氧含量，像一只无形的手，控制着材料的导电性能。

王崇愚没有放过这个“异常”，反而决定潜入这微观世界的迷雾中去探个究竟。为了加深数学基础，在繁忙的科研之余，已过而立之年的他重新背起了书包。从1961年开始，王崇愚花费5年时间，系统读完了北京电视大学数学专业的课程。这段扎实的数理训练，为他装备了探索材料微观世界的锐利武器。

“氧”这一曾被忽视的“杂质”，在王崇愚手中，变成了一把打开高性能材料宝库的“金钥匙”。他的研究成果最终被应用于国产“东风”系列导弹，为大国重器锻造出坚实的“甲冑”。

### 46岁重返大学， 开辟材料学微观新赛道

“氧”的成功应用，引发了王崇

愚对材料微观世界更深刻的思考。他认为，材料科学必须超越传统的经验性“尝试法”，走向基于物理本质的理性设计。他将研究重心转向材料缺陷电子结构的基础性研究，致力于探索微量元素与结构缺陷相互作用的量子力学机制。

王崇愚带领团队开始了漫长而孤独的计算探索。没有现成路径，他就自己开辟。1978年，王崇愚已过不惑之年，但为了研究更进

一步，他前往北京大学和中国科学院研究生院补修理论与物理与固体量子理论的课程。同事总能看到他背着黄挎包匆匆往来的身影，称他为踏踏实实的“读书人”。

之后，王崇愚创造性地融合量子力学、固体物理与材料工程学，发展出独具特色的自统一理论研究体系。该体系聚焦于材料中微合金化元素与结构缺陷所形成的复合体，系统阐明其原子与电子结

构如何影响材料的宏观性能。他提出的“杂质氧-层错复合体”模型，在微观层面揭示了此类缺陷影响材料性能的物理机制。

此外，王崇愚定义并建立了有关掺杂能带结构与电荷重分布的解析表达式，从第一性原理出发，深入研究了硼等轻杂质在过渡金属中的电子效应，从量子力学本质上阐释了它们提升合金性能的深层原因。

这些工作，为在原子和电子层面理解并预测材料性能奠定了坚实的理论基础，使王崇愚成为我国该领域当之无愧的奠基人之一。

### 以战略家的远见， 推动“材料基因组计划”

2011年，大洋彼岸，美国政府正式启动“材料基因组计划”，旨在通过高通量计算、实验与数据共享，将新材料研发周期缩短一半。这一信息震动了中国材料科学界。

已近耄耋之年的王崇愚，立刻意识到这是一场关乎未来高端制造业全球竞争力的范式革命。在当年的“材料基因组计划”两院院士及专家座谈会上，王崇愚介绍了“材料基因组工程”概况。在同年



王崇愚(右)在机房工作

“水车旋转自轮回，倒雪翻银九曲隈。始信青莲诗句巧，黄河之水天上来。”清代诗人叶礼在金城所作的诗句，贴切地描绘了黄河大水车翻腾河水的壮阔之景。黄河大水车又名“天车”“神车”，是一种古老的提灌设施，这种以木质结构为主、利用水力驱动的提灌工具，曾是西北干旱地区农业发展的“生命之轮”，也是中国农耕文化中极具地域特色的技术典范。它以粗犷的造型、精巧的结构和深厚的文化内涵，成为黄河流域兰州段的标志性符号。2006年，兰州黄河大水车制作技艺经国务院批准列入第一批国家级非物质文化遗产代表性项目名录。

### 金城兰州 水车之都

兰州，这座镶嵌在黄土高原与青藏高原过渡带的城市，是一座有着两千多年历史的文化古城，也是古代“丝绸之路”上的交通要道，因黄河穿城而过被称为

方各地，他根据南方筒车的原理，用兰州当地所产榆木、槐木、柳木替代竹子，加大水车的直径，加密辐条，创造出适合黄河激流的巨大车轮式“兰州水车”。以前黄河穿兰州城而过，由于河岸与河面落差较大，两岸居民吃水只能靠肩挑驴驮，更没办法用水车灌溉农田。“续里居时，创翻车，倒挽河流，以灌田，致有巧思。船河农民皆仿效焉。”（张国常《重修皋兰县志》）从此，水车如星辰般点缀在黄河两岸，让“靠天吃饭”的黄土高原变成了“水润粮丰”的塞上江南。

### 古老技艺 匠心传承

仰望山光，俯饮河声。黄河水车悠悠旋转，像老黄牛一样默默为庄稼丰收做贡献。这种智慧，让干旱的黄土高原有了“水往高处流”的奇迹；这些水车，在黄河的怀抱中浅唱低吟，将古老的农耕文明谱写成悦耳的旋律。

水车主轴被固定在水巷石坝上，河水涌入水巷，形成急流，水流的冲击力驱动木制齿轮徐徐转动，固定在辐条上的水斗依次舀满水，随轮子缓缓上升，斗口缓缓向下倾斜，在到达顶点时水斗“倒挽河水”，流入入集水槽，再被引入水渠。这一过程无需人力或畜力，仅凭水流冲击即可实现连续提灌。讲到这里，段祖宏难掩笑意：“这种通过水车转动自动提水灌溉农田的水利设施，就是古代的‘自来水工程’。”

“主轮轴是水车的核心，稍有偏差，整个水车就会‘心梗’。”在水车博览园里摆放着一根老水车轮轴，其上均匀分布着用来连接辐条的轴心钻孔，老木头泛着古朴而深沉的光泽，纹理细腻又富有层次，仿佛由岁月用无形的刻刀精心雕琢而成，其上所书“天籁之作”四个字，正是对这根水车轴精雕细琢工艺的赞美。段祖宏说，这是水车上最关键的一个部件，

不息，绝胜人力。”（王祯《王祯农书》）兰州水车在无数匠人的精心雕琢与不断改进下日臻完善，逐渐演变成兰州独一无二的文化名片。然而，随着电力提灌的普及，水车逐年减少，20世纪50年代后，黄河边安装了大批抽水机，水车成了过时的灌溉工具，短短几年间，屹立在黄河流域兰州段的水车就被拆除了。

“是我的父亲意识到了祖辈流传的老手艺正在消失。”段祖宏跟着父亲研习水车技艺已有十余年时间，说起恢复这门古老的技艺，他十分感慨。从段祖宏的祖父那代开始，水车制作技艺逐渐式微。20世纪80年代，段祖宏的父亲段怡村开始萌生了恢复水车制作技艺的念头。他全身心投入到搜集、挖掘、整理资料中，走街串巷，请教当地老工匠，实地考察西固区下川村保留的清乾隆年间建造的老水车，致力于挽救濒临失传的技艺，一干就是数十年。

### 文化符号 智慧密码

“如今，对于走向商品市场的黄河水车来说，其观赏功能已经逐渐取代原有的灌溉功能。”段祖宏说。为此，他设计出了“礼品水车”“室内景观水车”“露天景观水车”“江河实用水车”等一系列水车产品，有20多种规格。他目前正在制作的是一架室内微缩景观水车，虽然个头小，但工序一样不少，而且比制作大型水车要求更高。“大型水车主要看功能，木头的表皮都可以不用去掉，而小型水车需要做得更加精致。”他说。在段祖宏眼中，兰州水车的建造是一门集力学、材料学、美学于一体的综合技艺，选木、凿眼、拉卯、做榫楔、架辐条……每个环节都蕴含着朴素的智慧。

“水车是有生命的，转动的木轮是它的核心，规整的辐条是它的骨骼，连刮板的弧度都要顺应黄河的脾气。”段祖宏说。黄河水车有四个特点，就是在斜面上再加斜面，没有正卯。段祖宏指着正在做的辐条榫卯说：“你看这个位置，每个接口都是斜的。”这种“斜榫卯”工艺是黄河大水车独有的，要把它做得严丝合缝，非常不容易，没有高超的技艺是不行的。一架水车，光轮子上就有500多个零件，全靠榫卯连接，就连制作楔子的角度和切面也有十分严格的要求。虽然工序多，但段祖宏每个细节都精雕细琢，“这样做出的水车，能用三四十一年，只要木头没有朽坏，绝对不会散架，不会东倒西歪。”

黄河奔流不息，水车轮转百年。兰州黄河大水车制作技艺，是黄河畔的匠心传承，更是农耕文明的活态遗存。如今在保护与创新中，老手艺重焕生机，匠人坚守、文脉赋能，让这一非遗瑰宝走出历史，融入时代。愿水车古韵长伴黄河，成为兰州永不褪色的文化印记。



黄河大水车制作技艺传承人段祖宏

非遗传承

## 水车悠悠润金城

□胡永胜

“黄河明珠”。奔腾的黄河水不仅滋养了这座城市，更孕育出独特的智慧结晶——兰州水车。紧邻中山桥与“黄河母亲”雕像的兰州水车博览园，是以历史上的“水车园”旧址为基础复原建设的，其内陈列着不同形制的水车——脚踏水车、手摇水车、水挂子等，可以让游客亲身体验古人引水的艰辛。其中最具有代表性的是明代创制的“兰州式”水车，沿黄河岸排列有十几架之多，其轮叶如凤凰展翅，巨大的木轮缓缓转动，带起的水珠在半空划出晶莹的弧线，似银河倾泻，又似珠帘摇曳，奏响悠扬的岁月之歌。

水车广场中央，明代兰州水车发明人段续的雕像静立，他执卷沉思，卷轴上的水车图谱若隐若现。巧的是，我在这里遇到了兰州黄河大水车制作技艺传承人段祖宏，他既是水车工匠，也是段续的二十一世孙，家族代代传承这项非遗技艺。说起先祖的历史功绩，段祖宏十分自豪。段续系兰州段家滩人，明嘉靖二年（1523年）中进士后，曾宦游南

自段续发明兰州水车以来，其家族成为水车建造的“行首”，技艺代代相传。段祖宏与父亲段怡村也是其中重要的一环，段祖宏家里至今仍保存着祖辈传下来的水车图纸。至清代，段氏家族对水车建造技艺的钻研已达炉火纯青之境，一套完整且严谨的建造体系应运而生。从对地形地貌的精准勘测，到对木材优劣的细致甄别；从构件加工时对尺寸精度的毫厘把控，到组装调试时对整体性能的反复校验，整个建造流程涵盖12道工序，环环相扣，严谨有序。

兰州水车是黄河沿岸最古老、最传统的提灌工具，酷似古战车的车轮，辐条大的在20米左右，小的也在10米以上，可提水15米—18米。段祖宏看着眼前直径16米的水车，逐一讲解每个部件。兰州水车由主轴、辐条、刮板、水斗等部件组成，从车轴的中心向周围辐射出一根根辐条，每根辐条末端都装有刮水板，刮水板等端部挂榫卯结构的长方形水斗，还凌空架设了用于引水的木槽。其工作原理看似简单，却蕴含力学智慧：

民间也称“千转木”。轴心钻孔，需用特制的“螺旋钻”一点点凿出，误差不得超过几毫米。水车的木料以耐腐蚀的榆木、柳木为主，质地坚硬、韧性十足，能够承受水车巨大的重量和长时间转动带来的磨损。水车轴对于整个水车来说，就是一个精准的指挥家，协调水车的每一个部件有条不紊地运转。

“水激轮转，众涌兜水，次第下倾于岸上……以溉稻田，日夜



手摇水车

## 科技大观

在黑龙江哈尔滨新区的科技创新城，有一片“洁白”分量颇重。此处占地近50个足球场的白色建筑群，是我国航天领域国家重大科技基础设施——空间环境地面模拟装置，它还有一个别称：“地面空间站”。

该装置由哈尔滨工业大学与中国航天科技集团联合建设，历时近20年攻关，2024年通过国家验收。它可将真空、辐照、弱磁、等离子体等九大类宇宙极端环境“搬”来地球，为国家多项重大航天任务工程提供不可或缺的地面验证。

### 装置

尽可能模拟真实宇宙空间

“国际上通用的地面模拟装置大都基于单一因素，然而外太空的真实环境往往是各种因素的耦合。”走进装置内部，哈尔滨工业大学空间环境与物质科学研究院院长李立毅介绍，“‘地面空间站’的建设目的，就是尽可能模拟宇宙空间的真实环境。”

装置建设的关键突破，在于实现“多因素耦合”这一科学设想。它不再是多个单一环境实验室的简单集合，而是能在同一物理空间内，复现辐射与超低温、多种辐射之间等复杂耦合的真实宇宙空间。

往里走，有一座高约15米、形似“套娃”的建筑，这就是空间磁环境科学装置。

地球磁场无处不在，而外太空的磁场强度仅为地球的约百万分之一。为了模拟这种极端环境，科研团队用7层特种电磁屏蔽材料层层包裹，建造了一个“磁屏蔽泡泡”。这里的静态磁场被稳定抑制在极低水平，实现了接近绝对零磁的空间环境。

除空间磁环境科学装置之外，综合环境模拟分系统、离子加速器分系统都是其中的重要组成部分。

综合环境模拟分系统设置有系统级综合辐照试验舱、月尘舱、火星尘舱、高速粉尘舱等巨型金属装置，可模拟真空、高低温、带电粒子辐射、电磁辐照、空间中性能气体、固体颗粒物等六大类太阳典型空间综合或极端环境与效应。离子加速器分系统可提供宽能量范围的电子、质子和重离子束流，该分系统建设有多条实验束线，可开展辐射场模拟、元素分析、辐照育种、器件辐照效应、细胞辐照效应、核物理、核探测器校准等研究。微观机理分析、空间生命科学、数值仿真与中央监控……“地面空间站”能够开展不同类别的科学研究。

从论证到验收，团队突破了多源辐照等效模拟、粉尘极端环境模拟等15项关键技术，让装置成为多学科交叉创新的平台，已推动2000余家航天元器件研制，支撑10余个重大航天型号的考核鉴定工作。

### 应用

服务重大战略任务与前沿探索

装置的价值在于应用。自投入运行以来，“地面空间站”凭借强大的模拟能力，吸引了众多国内外科学家，服务科技前沿探索。

2025年3月，中国科学技术大学陆全明教授团队与哈尔滨工业大学合作，首次在实验室实现了地球磁层顶位形磁场重联过程的地面模拟和确认。“在可控实验室里能‘再造’太空中的能量爆发节点，让我们观察到前所未有的细

12月的香山科学会议上，他作了题为《高温高强合金与物性多尺度预测》的报告，将他数十年的研究成果与这一国家战略紧密对接。

在王崇愚的全力推动与参与下，中国科学院迅速启动了以他和南策文院士为核心的“材料基因组”咨询研究项目。2014年，一份凝聚20位院士、近百位专家智慧的《材料基因组计划与高端制造业先进材料咨询建议报告》正式提交，其核心思想被国家层面采纳，直接催生了中国的“材料基因组计划”。

从此，北京、上海、广东、云南……一批与“材料基因工程”相关的科研机构与平台如雨后春笋般建立。中国在计算材料学与智能化材料研发的赛道上，拥有了与世界并行甚至领跑的国家力量。王崇愚以其战略家的远见与担当，为整个中国材料科学绘制了面向未来的宏伟蓝图。

1999年，王崇愚从钢铁研究总院（中国钢研前身）转入清华大学物理系。他曾坦言自己的课题组存在“断层”，“除了我六十多岁，就是二十多岁的人”，因此他对培育青年一代始终抱有强烈的紧迫感。王崇愚以身作则，将热忱的关怀倾注于每一位学生的成长，为国家培养了一大批计算材料物理领域的中坚力量。在他看来，培育后继人才，是远比任何奖项都更具分量的成就。

先生已去，风范长存。王崇愚用一生诠释了何谓“顶天立地”的科研：顶天，是探索物质世界最基础的量子规律；立地，是让最精深的理论，服务于国家最坚实的需要。

（文图据《科普时报》2026年3月13日第8版，有删节）

# 把空间站“搬”来地球

探访我国航天领域国家重大科技基础设施



系统级综合辐照试验舱

节。这些是传统的小型实验装置、单一的卫星观测难以完整揭示的新现象。”陆全明说。

华中科技大学王顺教授团队利用“地面空间站”零磁环境，对“天琴计划”关键部件进行了高精度磁性测量，实现了对极弱磁信号的直接观测，使得我国在极弱磁测量技术上取得重要进展。

自验收以来，围绕载人航天、商业航天、深空探测、医疗健康、农业育种、新材料、新能源等重大战略任务与前沿科学探索，“地面空间站”累计服务中国航天科技集团等200余家用户单位、400余个用户团队，对外服务超6万小时。

### 升级

成为人类探秘宇宙的前哨

在技术性能的精进化升级方面，“地面空间站”立足国家重大科技需求和战略考量，聚焦航天、芯片、新材料等领域的需求，持续突破更高精度的环境控制精度，提升设备运行的稳定性和试验数据的准确性，为解决“卡脖子”技术问题提供支撑。

在服务领域的广度拓展方面，“地面空间站”针对月球、火星等深空环境的模拟需求，开发专属试验模块；结合医疗领域的辐照治疗研究，拓展生物辐照模拟功能。装置将重点向深空探测、量子科技、新能源等战略性新兴产业和未来产业延伸，持续扩大服务半径。

未来，这座连接大地与星空的桥梁，将继续为载人登月、火星采样、太阳系际探测等提供坚实的支撑。这座“地面空间站”，不仅是中国的国之重器，也是人类探秘宇宙的前哨。

（文图据《人民日报》2026年3月9日第14版，有删节）