

●它是一种无需色素的色彩表达方式 ●它具有饱和度高、永不褪色、颜色可控等神奇特性 ●它在军事伪装、军事隐身等方面具有广阔应用前景

国防科技大学文理学院教授杨俊波为您讲述——

# 结构色：无需色素的神奇呈现

■本报记者 王握文 通讯员 毛元昊 胡益鸣

## 科技大讲堂

不用墨水和颜料，也能描绘出一幅色彩丰富、形象逼真的图画来！这是天方夜谭，还是神笔马良再世？

都不是。它是一种称为“结构色”的色彩呈现技术。其神奇之处，就在于不用任何色素，即可表达出五彩缤纷的色彩来，而且亮度更高、层次感更强、色彩更丰富。

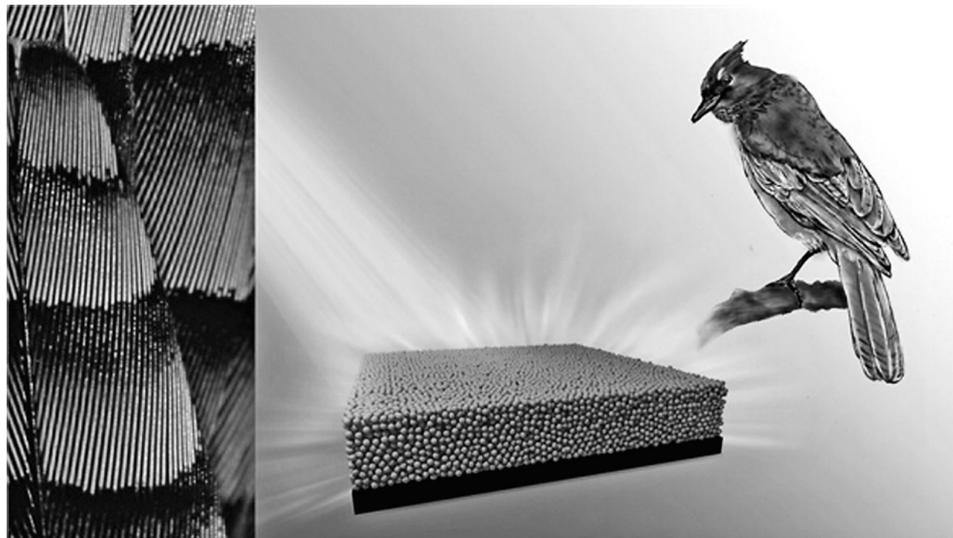
结构色与普通颜色有何不同，其中隐藏着怎样的科学奥秘？现在，就让我们揭开它神秘的面纱。

### 藏于自然 源于发现

大千世界，五彩缤纷。人类自诞生以来，就对色彩充满了喜爱。早在公元前4万多年，祖先们就开始用加热黄土、研磨有色矿石或植物等原始方法，制成五颜六色的颜料绘制壁画。但在此后几万年的发展进程中，人们对颜色并没有清晰而深刻的认识。

17世纪中叶的某一天，一束阳光透过窗户照进了物理学家牛顿的实验室，当这束光透射进牛顿手里拿着的小三棱镜时，一个重要发现产生——自然界的斑斓色彩其实是人眼对不同波长光的响应，原来色彩是与光联系在一起。显微镜诞生后，牛顿和胡克两位物理学家通过观察到孔雀羽毛颜色与光的关系，发现在孔雀美丽的羽毛中，除了拥有类似传统颜料中的色素外，更有大量可反射光的分支，而反射的颜色又与这些分支的排列和厚度密切相关。19世纪末，英国动物学家弗兰克首次完整地解释了自然界中不同动物的成色奥秘：动物的颜色要么是皮肤中存在明确的色素，要么是由光线的散射、衍射或不均匀折射引起的光学效应——前者被称为色素色，后者被称为结构色。

色素色是单一物质对光的吸收或反射后直观呈现出的颜色，而结构色则是一种大量有序结构对不同波长的光散射、衍射或干涉后产生的各种颜色。它像色素色一样，原本就存在于大自然中，只不过由于隐藏得比较深而发现得比较晚。也是在19世纪末，法国物理学



家加布里埃尔·李普曼运用结构色原理，发明了彩色照相干涉法，即无需染料就可呈现在黑白照片上高度还原物体原始颜色，其“利用干涉现象的天然彩色摄影技术”，于1908年获得诺贝尔物理学奖。

### 神奇特性 颠覆传统

科学在于发现。结构色的发现让人们了解到，自然界缤纷的色彩，既有通过色素对光的吸收或反射而获得的色素色，还有一种通过对光的散射、衍射和干涉共同作用而获得的结构色。

相比于传统颜料，结构色是一种无需色素的色彩表达方式，它基于物理光学原理，将材料在微米尺度上加工成周期性结构。由于微纳结构的谐振特性，其谐振波长受结构的尺寸大小以及周期等影响，在白光的照射下可在材料表面散射出特定颜色的光。近日，日本一家研究机构通过改变绘图“纸面”（一种

可人工合成的聚合物）结构，不用墨水和染料就能描绘出一张高清图画，其图案分辨率是传统喷墨打印分辨率的3倍。

与传统色素色相比，结构色独特的成色原理，使它具有与众不同的神奇特性，主要体现在以下3个方面：

色彩鲜艳，饱和度高。结构色具有很强的波长选择性，因此可通过控制材料表面结构实现对特定色彩的显示。传统绘图或屏幕显示一般基于三原色混合方案，即通过适当的搭配，构造出其他各种颜色，但这种成色方式实质上是一类“假彩色”。因为在成色表面，并没有真正散射出所视色彩对应波长的光。结构色却与之不同，它可以根据需要，散射出任意高纯度色彩，实现真正的“全彩色”，从而使呈现效果更加鲜艳饱满。

清洁环保，永不褪色。结构色的生产基于对原材料在微观尺度上的加工，常见的制造技术包括：电子束光刻法、磁控溅射射法、真空纳米蒸镀法、溶液涂布法及物理沉积法等。这些加工方法，完全摒弃了利用染缸或涂料的传统上色方式，并且通过改良原材料的性质，可使结构色更加持久地对强光辐射、酸碱腐蚀等恶劣环境。因此，利用结构色加工的表面，不仅可长时间保持

原有光泽，且其生产过程更能极大降低化学染料对环境与人体的危害。

颜色可控，偏振可调。不同于化学染料“上色即定型”的特点，结构色利用材料表面微小结构对光束的影响，可实现不同颜色的呈现。因为，结构色中的微小单元可通过外力形变、机电控制等手段，让材料表面所散射的光波得以灵活调控。特别是成周期排列的微小结构单元，还可实现对光场的偏振调控，类似于让散射的光子“手拉手”，一起朝规定的方向振动，形成材料独有的“光学指纹”。结构色的这一神奇特性，将为光学防伪、三维成像等技术开辟新的途径。

### 军事应用 潜力巨大

作为一种颠覆性的色彩呈现技术，结构色所具有的独特性，使其在印刷、显示、喷涂、防伪等领域必将迎来广阔的应用前景，在国防和军事领域，它的应用更是潜力巨大。

利用独特成色原理，推动隐身、伪装等军事技术变革。结构色是一种可以对光波（即电磁波）精细控制的色彩表达方式，可通过对电磁波频率（波

长）、振幅、偏振、自旋和轨道角动量等性质的调控，使它在隐身、伪装、三维成像、头盔式显示、人工智能、虚拟增强和虚拟现实、光信息处理等方面展现出重要军事价值。国外一家研究机构通过改变染料中纳米颗粒间距，让其只吸收或散射特定颜色的光，在雷达甚至红外侦测时能达到隐身的效果。这一被称为“光子染料”的新型技术，若广泛应用于军事装备喷涂，将带来军事隐身、伪装等技术变革，从而极大提高军事装备的自身防护能力和军事行动的隐蔽性。

通过对结构的精细设计，研制战场可穿戴智能装备。结构色通常属于多层微孔结构，通过精细设计，这种特殊结构可让液体或气体流入，并让其实现内部循环，从而使贴身装备在不同温度、湿度条件下，仍具有优良的保温和透气性能。同时，可在军服、伪装材料表面引入周期性疏水或疏油颗粒，制造出兼具伪装能力和防水防油能力的功能性服饰。目前，一种称为“纳米生色”的技术已得到成功运用，其产品具有独特的渐变色、角度色、双面色、金属色等色彩，同时具有防水、抗菌、防晒、抗氧化、耐酸碱和导电屏蔽功能。此外，还可将这一特性运用在医用可穿戴检测设备制造领域，实现对战场人员生理状态的实时监控等。

运用高亮度、高饱和度和偏振可控特点，研发全息防伪技术，提高证件防伪性能，保护身份信息安全。据报道，新加坡一个研究团队利用结构色原理，通过在材料表面设计不同高度的纳米杆，实现了在白光下的彩色图像显示。与传统油墨印刷相比，这种全息彩印防伪技术，不仅具备超高分辨率、永不褪色等优点，更令人惊讶的是，当这种印刷材料在激光的照射下，可在远处的屏幕上投射出3幅设定好的图像。该技术在身份信息保护、涉密证件防伪等军事安全领域，有着广阔的应用前景。

专家小传：杨俊波，国防科技大学文理学院教授、研究生导师，中国宇航学会光电技术专业委员会常务委员，中国微米纳米技术学会会员。主持国家和军队重点科研项目20余项，发表论文120余篇，研究成果入选中国光学重要成果。

上图：鸟类翅膀上的结构色。

## 科技云

科技连着你我他

■本期观察：周鹏搏 黄超 龚磊

两个月前，四川省宜宾市长宁县发生6.0级地震。让人们欣慰的是，在地震发生时，宜宾市提前10秒、成都市提前61秒收到预警，四川省多地电视、广播、手机同步发出预警，提醒民众及时避险，有效减少了人员伤亡。这一事件也让地震预警系统走进公众视线。下面，就让我们一起来了解一下世界上几种主要的地震预警系统。

### 中国ICL地震预警系统



ICL预警系统，由中国成都高新减灾研究所研发，是目前世界上规模最大的地震预警系统。

该系统的主要运行原理是，地震发生时产生的无破坏性地震波，传播速度相对比破坏性地震波要快，而电磁波也要比地震波传播速度快很多。深入地下的地震探测仪器检测到地震信号后，触发地震参数快速判测系统，模拟出相关区域地面运动的强烈程度，抢在地震波到达地面之前，为人们及时提供报警，从而实现预警信息的秒级响应发布。

据悉，ICL地震预警系统覆盖面积已达上百万平方公里，应用于十几个省市。不仅如此，该系统也已在人员密集场所、核反应堆、地铁、化工、高铁等重大生命线工程的地震预警中发挥实际作用。

### 日本紧急地震速报系统



日本是地震多发国家，也是全球首个研发出地震预警系统的国家。紧急地震速报系统的检测方法有两种：一种是利用地震观测网中离地震中心最近的几个监测台，快速确定地震的时间、地点和震级，然后通过现代通信方式，为人们争取时间采取应对措施。另一种是单点地震预警，即利用地震纵波和横波的传播特点进行预警，当某一点的地震仪检测到很强的纵波时，立即发出预警信号。日本紧急地震速报系统将两种检测方式结合起来，有效减少了检测盲区，增大了预警范围。

当某区域发生地震后，该系统预警机制能在第一时间自动启动，并把警报信息发送到全国各地，各地有关部门接到预警后，系统内的专用预警机制会发出警报，通知居民做出防灾避难的准备，从而尽可能地在地震损失降到最低。

### 墨西哥地震报警系统



墨西哥处于环太平洋地震带，防震预警研究一直是该国科研领域的重点，也是全球仅有的3个具备地震预警服务的国家之一。

墨西哥地震报警系统有两套：一套是SAS系统，主要由地震探测单元、无线电通信单元、中央控制单元和无线电报警单元组成，当分布在海岸线的近海加速计检测到地震波后，SAS系统估算出震级并向公众发布。但该系统使用期间，错报率、误报率居高不下，对地震的探测算法还有待加强。

另一套地震报警系统，可在地震波抵达前200秒通过手机向人们发送预警信号。当地震强度超过里氏5.0级时，系统自动激活，住在墨西哥城的手用户即可获得预警信息。通过近几年对墨西哥南部太平洋沿海地震活动的跟踪，该系统预警成功率已达90%以上。

# 重视科研评价的诚信

■军事科学院 赵存如

## 论 见

实施科技强军战略是加强军队质量建设的必由之路。以创新为本质的军事科研决定了军事科研成果及其产出过程必须经过评价，才能进入决策，才能成为核心战斗力，才能服务于建设世界一流军队。

科研评价涉及对科研成果、科研计划、科研机构、科技人才等的评价，其核心是对科研成果的检验、评定和认可。科研活动的重要规范之一，就是任何一项科研成果及其产出过程，都要受到同行专家的严格审核。特别是军事科研，其每一个试验、每一个数据、每一个结论都事关流血牺牲、甚至事关战争成败，必须对其成果质量、学术水平、实际应用等进行更加严格的评价。

同行评议是军事科研评价体系的重中之重，目前已经从科研成果及其产出过程评价，延伸到研究经费申请、职位晋升和奖励等领域。同行评议以及同行评议为重要组成部分的军队科研评价制度，可有效保证科研质量和水平，减少失误、偏见及不实。与此同时，虽然同行评议是科研评价中最普遍、最有效的手段，却也是分歧最多的手段之一。可以说，科研评价分歧一直与科研评价相伴相生。

军事科研评价出于专业性、权威性和保密性考虑，外界、外行无法对其科研活动进行检验和评价，只有经过挑选的科技界同行才能成为评价者。

虽然军事科研难以接受更为广泛的评价，同样也会出现评价分歧现象，甚至更容易出现评价分歧。因而，我们只能追求诚信的科研评价。爱因斯坦曾说：“大多数人都以为是才智成就了科学家，他们错了，是品格。”军事科研评价对诚信的标准更高，要求我们做到：不凭个人喜好与第一印象，去除“跟着感觉走”，抛开个人与小团体利益；经过理性思考，在尽可能全面调查了解的基础上，运用自己拥有的专业知识，对被评科研成果的学术价值与水平、对军队及国家的贡献、取得的成绩及存在的问题等，提出有价值的意见和建议。

科研评价是一项政策性和技术性很强的工作，直接关系到军队科研发展方向和科研人员积极性。如果科研评价中存在不端行为，将使我们在确保军事科研质量和水平方面失去一个重要手段，将会阻碍军队科技事业的发展，影响我军科研成果的公信力，浪费宝贵的资源，削弱军队人才培养质量，腐蚀军队科研队伍。

信者，人之道也，所谓人言为信；诚者，天之道也，所谓人言必成。科学是求真的学问，科研是务实的劳动，科研评价更要插上诚信的“翅膀”。应抓紧制定和完善相关政策制度，进一步加强监督、检查和处理力度，营造良好的科研评价氛围，形成以诚信为本的科研评价体系，为我军的军事科研事业的腾飞提供源源不断的新动能。



# 高速飞行列车将呼啸而来？

■徐彬 仲崇岭 倪长启

## 新 看 点

目前，中国是世界上高速铁路发展最快、规模最大的国家。中国高铁最高时速可达400公里，是体现中国发展、中国成就、中国价值的亮丽“名片”。在此基础上，中国科技工作者继续大步向前，尝试新的跨越，一种正在研发的交通工具，速度将是现有高铁的10倍，最高时速可达4000公里。它就是高速飞行列车。

“每小时4000公里”是啥概念？现在的民航客机时速一般为900公里/小时，也就是说，它比客机还快好几倍。乘坐高速飞行列车，从北京到天津只需3分钟，从北京到上海不到20分钟，从北京到广州也仅用时30分钟。

高速飞行列车定位于下一代交通工具，有更快、更安全、更环保、更舒适以及更好的天气适应性等特征，其利用磁悬浮技术，与地面脱离接触消除摩擦阻力，利用近真空管道线路大幅减小空气阻力，并以强大的加速能力和高速巡航能力实现超高速运行。列车将实现无接触稳定行驶和全程精准加减速，运行控制系统实现全线路安全可控，并为乘客提供安全舒适的乘坐空间。未来长途旅行，可以不用再坐飞机，不用提前几个小时去候机室。

为什么高速飞行列车能跑这么快呢？据公开资料显示，这种列车不同于普通高铁，它有点像动漫里的胶囊列车，每一个胶囊被放置于低真空管道中，并通过超光速外形全面减少空气阻力。这种列车的空气阻力将降低到传统高铁的3%，再加上磁悬浮技术，全速开动的列车整车悬浮在空中，是名副其实的“高速飞行”。

当然，这个项目也受到一些质疑，大家最关心的莫过于“速度这么快，安全吗？对人体有伤害吗？”“安全，不存在对人体伤害这一

说！”中国航天科工集团有限公司高速飞行列车项目技术负责人毛凯解释，高速飞行列车加速的时候，是按照人体能承受的加速度慢慢加的，到一定的速度之后，就开始巡航。减速的时候，也是按照人体能承受的加速度慢慢减，所以不用担心身体适应性问题。

目前，西南交通大学已经搭建起全球首个真空管道超高速磁悬浮列车环形实验线平台。这条实验线路总长45米，设计载重300公斤，最大载重可达1吨，悬浮净高大于20毫米。有媒体直接将其称为“高速飞行列车的雏形”。

不久之后，我们或许将过上这样的生活：在北京吃了早饭，出门去高铁站，坐上高速飞行列车，花30分钟时间到广州。在那里处理完事务坐返程车返回，一点儿不耽误在北京吃午餐。对此，有的网友评论：“这叫列车？这应该叫传送门！”“这么快，能不能给飞机留点面子？”时代在发展，科技在进步。作为拥有全新理念和技术的下一代交通系统，高速飞行列车值得人们期待！

上图：高速飞行列车概念图。