

零距离

体育比赛背后的风洞研究 奥运夺金 迎风而行

第一作者

中青报 中青网记者 邱晨辉

纳米芬

家提出

来了

癌细胞

世间万物皆有规律，哪怕是小到一
个细胞，也有规律可循。

一个细胞变为两个细胞，两个细胞
变为4个细胞 人体内所有细胞都是
经过这样的分裂过程产生的。在正常情
况下，人体能够精准控制体内的细胞分
裂过程 哪些细胞应该分裂，分裂什
么时候开始，什么时候结束，分裂进行
几次，这些都需要遵循严格的秩序。

然而，当癌症发生时，少数细胞
摆脱了这些规则的约束，开始无休止地
分裂，最终在本不该发生细胞增殖的
部位，产生大量细胞聚集，即表现为
肿瘤。细胞分裂失控，是肿瘤不断
增殖的重要原因，因此减缓甚至抑制
细胞分裂，被认为是肿瘤治疗的最有效
策略之一。

前不久，中国科学院深圳先进院
的研究团队发现，一种名为黑磷纳米的
材料，可以影响细胞分裂的进行，进而
为肿瘤纳米药物的研发，提供了新思路。

8月5日，中国科学院深圳先进院
李红昌团队、喻学锋团队和李洋团队等
合作完成的这项研究成果，发表于国际
学术期刊《自然·纳米技术》。李红昌
课题组副研究员邵喜明和研究助理丁智
昊和李洋副3位研究员为论文共同通讯
作者，中国科学院深圳先进技术研究院
为第一作者单位和通讯作者单位。

李红昌说，在过去几十年，基于纳
米技术的药物研发已经被广泛开展。在
抗肿瘤领域，纳米药物可以提供更好的
靶向性和优异的药学性质，因此备受厚
望。但是，目前已有的纳米药物，大都
属于纳米载体药物，这种药物只是对
传统药物的改良，纳米材料在其中仅仅
充当了药物载体的功能。

如果把纳米药物整体比作一个胶
囊，纳米材料其实只发挥了“壳”的作
用。纳米材料能否上升到“核心药物
的地位，关键在于能否发现具备详细生
物机制和明确成药机理的纳米材料。
李红昌说。

在此次研究中，研究团队选取黑磷
纳米材料为研究对象，通过精细的细胞
生物学和分子生物学研究，发现纳米材
料在细胞内能够精准靶向特定生物分
子，并获得独特的生物效应，借此提出
了以分子细胞生物学机制为依托的纳米
精准分子靶向药物概念，为纳米药物研
发开辟新路径。

邵喜明介绍，作为一种由单一磷元
素构成的新型纳米材料，黑磷具有独特
的分子结构和界面特性，在多个领域具
有应用潜力。此前，研究团队已经发现
黑磷具有较高的生物活性和生物降解特
性，在肿瘤治疗等生物医学领域具备
良好的应用潜力。

然而，黑磷作为一种无机纳米材
料，能否在分子细胞层面与生命系统产
生相互作用尚不得知。在此次研究中，
研究团队发现，黑磷纳米材料就像“纳
米导弹”一样，可以影响细胞分裂的进
行，并以此为机制抑制肿瘤细胞增殖。

基于这项发现，团队提出了肿瘤精
准靶向“纳米磷”的新概念，为未来
基于黑磷开发新型肿瘤治疗药物，奠定
了科学基础。

邵喜明说，研究团队首先使用低浓
度黑磷纳米材料处理细胞，发现黑磷导
致细胞周期停滞在有丝分裂期。随后，
团队对这一现象背后的机理进行了深入
挖掘，发现黑磷破坏了细胞有丝分裂核
心机器“纺锤体”的组装。这一机制被
最终确定为黑磷导致细胞分裂停滞的直
接原因。

同生物体内其他生命过程一样，
细胞分裂需要众多生物分子的参与，其
中PLK1激酶是非常关键的分子开关，
其主要功能是控制纺锤体的组装和运
行。李红昌说。

据他介绍，黑磷进入细胞后，通过
伪装成PLK1的作用底物，吸引了大量
PLK1蛋白与之结合，并使这些PLK1活
性丧失，进一步造成纺锤体错误组装，
最终阻断了细胞分裂的正常进行。

邵喜明说，基于这一机制，黑磷纳
米材料被赋予了基本的抗肿瘤药物性
质。在随后的动物实验中，研究团队利
用小鼠荷瘤模型，进一步证实了黑磷具
备抗肿瘤效果。

磷是自然界中普遍存在的一种非金
属元素，也是地球上所有生命形式的重要
组成成分。研究磷和生命系统之间的
相互作用对理解生命规律以及生命进化
都有重要意义，但是相关研究工作的开

展需要横跨材料学和生物学两个
一级学科，因此对研究团队的学科背景
提出了很高要求。

在此次研究过程中，研究团队发挥
了学科交叉的特色，自发组成了一支材
料学与生物学交叉研究队伍，成功让“
材料与生物”发生深度融合。

比如，研究团队中的喻学锋课题组，
对黑磷纳米材料进行了6年的系统研究，
已经建立了完整的黑磷纳米材料的制备
和应用体系，在研究过程中主要负责纳
米黑磷的制备和性能研究；李红昌课题
组则精通细胞分裂机制和抗肿瘤药物研
发，在研究中主导纳米黑磷的生物机制
研究；李洋课题组具有丰富的纳米生物
学研究经验，在研究过程中，提供符合
研究方向和适用于交叉研究团队的新思
路，起着“润滑剂”的作用。

在实际研究过程中，单个课题组很
难做到“既懂材料，又通生物”，因此
对类似横跨多个学科的课题，往往难以
持续深入地进行，大多研究只能是“浅
尝辄止”。李红昌说。

他告诉记者，通过“材料人”和“
生物人”之间不停地“思想碰撞”和
持续地“互通有无”，项目组最终发现
了无机单质纳米磷材料影响细胞分裂的
重要现象，并深入解析了背后的分子机
制，这也是中科院深圳先进院坚持“学
科交叉”理念和秉承“面向世界科技前
沿”导向而产生的又一个代表性科研成
果。

中国科学院深圳先进院供图



学生模拟运动员在北京交通大学风洞实验室进行风阻测试。

叶雨婷/摄

中青报 中青网记者 叶雨婷

一段时间以来，东京奥运毫无疑问成
为了网络热点，为国争光的奥运健儿在
奥运会上书写的历史，也成为了人们谈
论最多的话题之一。众所周知，随着体
育事业的不断发展，运动员们提高成绩
越来越离不开科技的助力。训练场所的
设计、运动员服饰的材料、现代化的数
据分析系统 科技手段正在为运动员
更快更强的目标贡献力量。

而在这其中，很少有人知道，如今我
国已有专门的团队利用风洞技术来研究
风对运动员比赛成绩的影响，围绕“
风”开展科技助力。

不久前，在北京2022年冬奥会“
冲刺”攻坚阶段的关键时刻，国家体育总局
举行冰雪项目2020-2021赛季表彰大会暨
中国冰雪科学顾问等证书颁发仪式，北
京交通大学被授予“中国冰雪科技联合攻
关单位”，北京交通大学土木建筑学院李
波教授被授予“中国冰雪科学家”荣誉称
号。

据悉，李波率领团队研发了我国第一
套冰雪项目风洞辅助训练系统，协助建
设了我国第一座冰雪专业风洞，开展了
10余支国家集训队的风洞测试，这其中
就包括中国游泳队张雨菲、杨浚瑄等
著名运动员。对此，中青报 中青网记
者采访了李波教授，试图揭开运动员们
赛场夺金背后，有关“风”的故事。

科技助力，借风提高比赛成绩

风也能影响奥运健儿的成绩吗？答案
是肯定的。

以竞速类冰雪运动项目为例，竞赛成
绩与运动员姿态、装备及服装的气动性
能密切相关。利用风洞进行针对性训练，
已经被英国、瑞典、德国、美国、加拿
大等欧美冰雪运动强国广泛采用，成
为提高运动员竞技成绩的重要科技手段
之一。

我国是一个体育大国，但在借助风
洞进行冰雪项目辅助训练方面还处于空
白。北京交通大学风洞实验室率先在此
领域开展了探索。据了解，北京交通大
学是我国第一个将风洞技术与竞技体育
紧密结合的专业研究机构，如今，在北
京2022年冬奥会备战中，北京交通大
学和国家体育总局冬季运动管理中心联
合，承担冬季项目风洞技术研究与应用
的科技攻关任务。

现代竞技体育实际上是一个非常复杂
的“人-机-环”系统工程，跟运动员
的训练、装备、赛场环境都密切相关。
而在这其中，都离不开风洞技术的身
影。李波说。

根据相对运动原理，可以用风洞里的
风速来模拟运动速度，风洞为运动员
开展专项训练提供了一个很好的模拟环
境。并且，为了减小风的不利影响，合
理利用风，还需要利用风洞对运动员的
姿态、队列进行优化、研发低风阻高性
能运动装备、服装、器材，评估比赛场
地赛场环境。

2018年，李波跟随国家体育总局局
长苟仲文一行赴英国考察，英国空气动
力学专家、功勋教练、传奇运动员介绍
了风洞技术对自行车运动成绩提升的重
要性，使他们在2008年奥运会上一鸣
惊人，一举拿到8枚金牌。作为一个一
直从事建筑

物抗风设计，从来没有涉足过体育行业
的大学老师来说，这趟旅程改变了他之
后的研究方向。

李波介绍，在一些发达国家，风洞辅
助训练已经不是什么新鲜事。例如，在
温哥华奥运会时，加拿大就有了“站上
领奖台”计划，这个计划的核心就是利
用风洞对10多个冬奥项目进行系统化
的风洞测试。当时的成果显而易见，加
拿大在那届冬奥会上拿到了14枚金牌。
日本速度滑冰队追逐女队也是通过风
洞测试，专门对运动员的队列进行优
化，她们在平昌冬奥会上取得金牌，并
打破世界纪录。

于是，在调研国外先进技术的基础
上，李波和团队开始积极研发具有我国
自主知识产权的风洞实验辅助训练系
统。

我国正在建设风洞集群

建立这样一个风洞实验辅助训练系
统并非易事。

这不仅需要一个风洞的平台，还
需要这个平台里有各种测量设备和仪
器。因此，我们首先要进行核心硬件的
研发，将运动员所承受的风阻力精确测
量出来。李波说。

然而，对于运动员风阻力测量和团
队以前测量的建筑风荷载不同。运动
员加上装备在竖向有一个很大的重量，
而风阻力是水平向，并且对精度的要
求特别高，比如，有些装备减阻率可
能只有1%，如果精度不高，系统误差
就将这个差别给掩盖住了。并且，运
动员加上装备，底面积很大，传统测
量仪器是单点支撑，在调整过程中附
加载荷很容易超量程，测试效率就会
很低。

因此，团队专门设计了多模块天平，
通过减小量程来提高识别精度，将单
点支撑改为四点支撑，该项技术已经
在国家体

育总局二七厂科训基地体育综合风洞
得到了推广应用。

在核心仪器研发的同时，在国家体
育总局冬季运动管理中心、北京交通
大学土木建筑学院的支持下，李波教
授团队通过改造和系统集成，在北京
交通大学风洞实验室BJ-1号风洞建
立了我国第一个冰雪项目风洞辅助训
练系统，该系统能够将风速、风阻力、
姿态、重心位置、测试指令通过投
影仪实时反馈给测试运动员，通过定
量化的数据，进行运动姿态、队列优
化。为了协助高性能运动装备研发，
该系统还专门开发了运动装备风阻性
能评测模块。

据了解，该系统已经开展了国家自
行车集训队（包括取得东京奥运会金
牌的钟天使、鲍珊菊）、国家钢架雪
车集训队的风洞测试，并协助开展了
高性能服装、头盔等装备的研发工作。

不久前，中国游泳队开展的风洞测
试已经引起轰动。李波介绍，游泳项
目的风洞测试先后组织过两批，第一
批为训练营青年运动员，第二批为国
家游泳集训队张雨菲、杨浚瑄、徐嘉
余、闫子贝、余依婷、刘湘等人。测
试从策划到实施历经3个月，测试方
案经过多轮优化，测试装置设计了两
套。

2020年10月25日，国内首座体
育综合风洞在二七厂科训基地正式启
用。李波和团队全程参与了包括这座
风洞在内的国家体育总局体育风洞集
群的规划和建设。据介绍，目前国家
体育总局已经建设的风洞集群包括：
二七厂科训基地体育综合风洞、涿
源跳台滑雪专业风洞、小型便捷式风
洞、垂直风洞等。

目前，李波教授团队正在承担中
二七国家冰雪运动科训基地体育综合
风洞的风洞测试任务，并针对冰雪项
目特点，设计了冰上项目、雪上项目、
车橇项目风洞测试全套辅助装置。

体育竞赛，风的身影无处不在

风在体育运动中无处不在。除了运
动员训练需要依靠风洞模拟环境以外，
体育比赛的场馆设计、赛道设计等也
都需要考虑风带来的影响。

北京2022年冬奥会延庆赛区位于
小海坨山，包括国家高山滑雪中心、
国家雪车雪橇中心。该赛区地形复杂、
大风凛冽，抗风是该赛区基础设施、
赛时临时设施建设的关键。李波说。

为了研究延庆赛区基础设施、赛时
临时设施建设的抗风能力，李波带领
北京交通大学风洞实验室研究团队的
成员们，采用实测与地形试验相结合
的方法，对延庆赛区复杂山区基础设
施的形体及结构特征，提出了选取
节段模型进行风洞试验等方法，助力
延庆赛区基础设施、赛时临时设施建
设。

从土建到体育，谈到自己多年来的
跨界经历，李波也表示很奇妙。

实际上，我原来的专业是建筑工程
学，我们本来都是学建筑结构的，例
如桥梁、大楼的抗风性能等等。2008
年奥运会的时候，我参与了鸟巢和国
家网球馆的抗风性能研究，但这些年
工作主要还是结构抗风的领域，没想
到现在从事冰雪运动项目研究了。李
波说。

李波的团队已经有20多人，团队
成员多为学校的研究生。这些年轻人
很拼，也很能干。在北京冬奥会越来
越近的日子里，他们经常连夜安装、
调试测试装置，做风洞测试，晚上熬
夜出测试报告。

如今，距离北京冬奥会开幕只有半
年的时间，李波和团队正在紧张地进
行训练。李波表示，团队已经完成了
冬奥会项目10余支国家集训队的风
洞测试，希望可以为奥运健儿为国
争光助一臂之力。

科学闪光者

李殿中：死磕材料核心技术

定着大国重器的成功。

李殿中发现，一些大型钢锭不合格
的主要问题，在于其内部成分不均匀。
为了弄清楚这一问题是如何发生的，
李殿中决定把钢锭剖开，看看钢锭里
到底发生了什么。

这一大胆想法，一经抛出便遭到很
多人的质疑。解剖钢锭不仅成本高，
而且周期很长。

可李殿中却坚信，要解决问题，必
须做好基础研究。源头工作，知其然，
还要知其所以然。

没有项目资助，他就四处筹集资金。
最终，直径2.4米、高3.5米、重100
多吨的大钢锭被一剖为二。

从剖开的横断面上看，成分分布不
均匀，内部存在很多孔洞和裂纹，这
是导致钢锭易报废的主要原因。

李殿中认为，这些问题的形成，是
氧在钢中起到了关键作用，以氧化物
为核心的轻质夹杂物，与凝固界面的
交互作用，诱发了钢锭的成分不均
匀性，因此，通过控制钢水中的氧含
量，就能显著减少夹杂物的数量和尺
寸，实现钢的均质化。

2014年，他根据实验结果撰写的
论文，在国际学术期刊《自然·通讯》
发表，该论文引发学界较大反响。此
后，控氧可有效控制偏析机理成为行
业共识。

稀土被称为“工业维生素”，我国科
研人员很早就开始稀土钢的研发，但
在钢中加入稀土后，其性能时好时坏，
生产过程中也容易堵塞浇口，多年未
能突破技术瓶颈。

2007年，李殿中在一次考察中发

现，国外利用中国稀土制作钢锭，钢
的品质非常好，为什么他们用稀土能
用得这么好，我们就不能呢？

带着不解与不服输，李殿中带领团
队进行了反复实验，但加入了稀土的
钢性能总是不稳定。问题到底出在哪
里？

他亲自跑到稀土生产现场，观察稀
土厂家的冶炼过程。

原来，稀土厂家做出来的稀土和他
所需要的稀土，在概念上存在偏差。
厂家为了提纯稀土，将其中的一些铁、
碳等元素都分离了出去。而李殿中经
过前期的实验分析认为，稀土中的铁、
碳，对于炼钢来说是不可缺少的成分，
反倒是影响纯度的氧等杂质元素，应
予去除。

李殿中将稀土带回中科院金属所亲
自治炼，之后将低氧纯净稀土直接接
用于炼钢中。

不出所料，炼出来的钢不仅性能稳
定，且有着耐磨、耐热、耐蚀的优点。
1吨钢，只需加入100克左右的微量
稀土，即可起到细化变质夹杂、深度
净化钢液和强烈微合金化作用，成本
只增加了10多元，但疲劳性能却可以
提升一个数量级。李殿中说。

在这场稀土钢的技术攻坚战中，李
殿中带领团队“点石成金”，将稀土
应用于高端轴承钢、齿轮钢和模具钢
制造中，为高端基础零部件研制提供
了有力支撑。稀土钢技术突破了，李
殿中又迎来了新的挑战。

在能源电力、海洋工程中的核心部
件，大锻件，对材料的均质性有极高
要求，如何提升其冶金品质成为世界
性难题。造成这一问题的根本原因，
在于大锻

件制备一直采取“以大制大”手段，
即先冶炼大钢锭，再制造大锻件，由
于金属凝固过程存在尺寸效应，规
格越大的钢锭冷却越快，导致其性
能上的缺陷。

在钢厂中，工人师傅经常要放一挂
鞭炮，来祝愿大型钢锭的浇铸成功。
大钢锭浇铸需要准备多包钢水，生
产组织难度大。李殿中下定决心要解
决这个问题。

偶然中，一张万里长城的照片给了
李殿中启发。

恢弘壮美的万里长城并不是一块铸
造出来的，而是一块一块砖叠加起来
的，那么，为什么不能采用“以小制
大”的方式把一块块的小型钢板砌起
来形成大锻件？

实验中，在李依依院士的支持下，
李殿中带领孙明月、徐斌等工作人员，
发明了金属构筑成形工艺，即将多块
钢板采用高温冶金连接工艺，充分
愈合界面，实现界面与基体完全一致
的无缝连接。

有时，他要坐10多个小时的车才
能到达钢厂，顾不上休息，白天跟企
业管理人员、工程师和工人讨论技术
和流程，晚上进行生产实验。

最终，生产实践证明，通过这种方
式构筑成形的大锻件，其性能稳定性
明显优于传统锻件。该研究成果入选
“2020年度中国专利金奖”。

创新从来都是九死一生，对李殿中
来说，虽是如此，胸中却仍常怀“亦
余之心”的善念，虽九死其犹未悔
的豪情。在他看来，只有实现原始创
新，才能真正实现核心技术的突破。



李殿中 中科院金属所供图

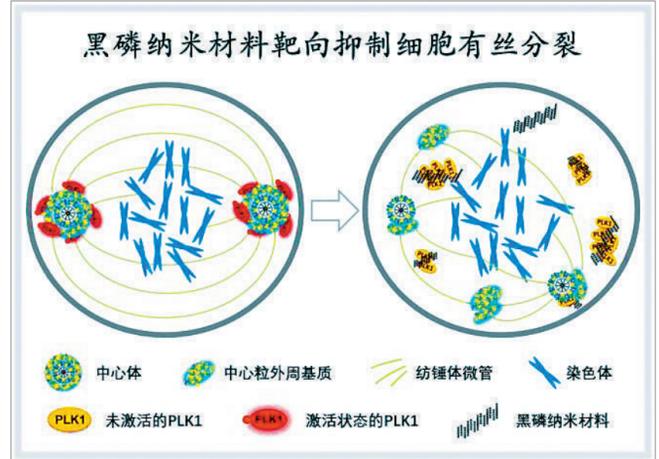
中青报 中青网记者 邱晨辉

在材料领域，中科院金属所研究员李
殿中和核心技术“死磕”的劲头，是出
了名的。

前不久，全球在建规模最大、单机容
量最大、技术难度最高的水电工程“
金沙江白鹤滩水电站首批两台机组发
电”。该水电站100万千瓦发电机组最
核心的部件“水轮机转轮”，采用的正
是李殿中团队研发的高温合金相控制
技术。这项具有自主知识产权的关键技
术，成功解决了相关部件依赖进口的
难题。

1998年，李殿中来到中科院金属
研究所工作，组成十多人科研团队，
攻克相关核心技术难题。

在工业生产中，大国重器所需的大
锻件，如核电压力容器、大型船用曲
轴等，都是先做出大钢锭，再由钢锭
加工成形。这意味着，钢锭的质量，
在很大程度上决



黑磷纳米材料阻断细胞有丝分裂的分子机制。

中国科学院深圳先进院供图