

我国研究团队首次得到水合离子的原子级分辨图像——

当盐遇见水

经济日报·中国经济网记者 沈慧

热点追踪

“

当盐遇见水，水溶解了盐，于是有了盐水。在科学界，盐和水结合有个专属名字——水合离子。数百年来，无数科学家潜心研究，其微观结构及动力学一直未有定论。

日前，我国科学家利用自主研发的高精度显微镜，首次揭开这一神秘物质的“终极面纱”；继2014年获得世界首张亚分子级分辨的水分子图像后，研究团队再次宣布，将分辨率推向了原子极限，首次得到了水合离子的原子级分辨图像，并进一步揭示了其“运动习性”



北京大学教授江颖在做实验。

本报记者 沈慧摄

日前，我国科学家在全球首次得到了水合离子的原子级分辨图像。“这可能就是原子水平观测的极限了。”该课题组负责人、中国科学院院士王恩哥说。据介绍，这一研究成果已于近日发表在国际顶级学术期刊《自然》上。成果由北京大学量子材料科学中心江颖课题组、徐莉梅课题组、北京大学化学与分子工程学院高毅勤课题组与中国科学院王恩哥课题组合作完成。

熟悉的“陌生人”

由于水分子结构无法直接套用较为简单的经典粒子模型来研究，加之与其他物质的相互作用非常复杂，因此其成为人类最不了解的一种物质

水是自然界中最丰富、人们最为熟悉，同时也是最不了解的一种物质。《科学》杂志创刊125周年之际，曾公布了本世纪125个最具挑战性的科学问题，其中就包括：水的结构如何？2015年，《德国应用化学》也将水的相关问题列入未来24个关键化学问题。

明明寻常可见，缘何如此神秘？这与水的组成有关。水的分子结构很简单：H₂O，其中的H（氢）是元素周期表中最轻的原子。一般来说，如果原子核较重，我们可以近似地把它处理为经典粒子，但H这一近似电子重量的原子，却无法直接套用较为简单的经典粒子模型来研究。

不仅如此，水与其他物质的相互作用同样非常复杂。“由于水是强极性分子，作为溶剂，它能使很多盐发生溶解，并与溶解后的离子结合在一起形成团簇，这一过程称为离子水合，形成的离子水合团簇则称为离子水合物，俗称水合离子。”北京大学物理学院量子材料科学中心教授江颖说，离子水合几乎无处不在，在众多物理、化学、生物过程中，扮演着重要角色。比如，盐的溶解、电化学反应、生命体内的离子转移、大气污染、海水淡化、腐蚀等。

重要性不言而喻，但离子水合的微观结构和动力学一直是学术界争论的焦点。早在19世纪末，人们就意识到离子水合的

存在，并开始了系统的研究。其中，最早的实验研究可以追溯到1900年德国著名物理化学家沃尔特·能斯特的迁移实验。

然而，经过100多年的努力，离子的水合壳层数、各个水合层中水分子的数目和构型、水合离子对水氢键结构的影响、决定水合离子输运性质的微观因素等诸多问题，至今仍没有定论。究其原因，关键在于缺乏单原子、单分子尺度的表征和调控手段，以及精准可靠的计算模拟方法。

“100多年前，科学家就知道了水合离子的存在，但一直没有直接的实验证据。现在，我们第一次直接‘看到’了水合离子的原子级图像，这几乎是到了成像的极限。”江颖教授说。

奇妙的“幻数效应”

包含有特定数目水分子的水合离子在氯化钠晶体表面运动时，具有异常高的扩散能力，研究人员将这种特性称为动力学的“幻数效应”

看清水合离子的微观结构并非易事。如何在实验上获得单个水合离子，这是科学家们面临的第一项挑战。

江颖说，制作水合离子非常容易——把盐倒入水中即可，但是这些离子水合物相互聚集、相互影响，水合结构也在不断变化，不利于高分辨成像。因此，要得到适合拍“原子照”的水合离子，是件非常困难的事。

为解决这一难题，研究人员经过不断尝试和摸索，基于扫描隧道显微镜发展了一套独特的离子操控技术，用以制备单个水合离子，研发了基于一氧化碳针尖修饰的非侵入式原子力显微镜成像技术，可以依靠极其微弱的高阶静电力来扫描成像，并在此基础上，首次获得了原子级分辨率的水合离子图像。

“图像中，不仅可以精确确定水分子和离子的吸附位置，就连水分子取向的微小变化都可以直接识别。这是水合离子概念提出100多年来，国际上首次在实空间‘看到’水合离子的原子层次图像。”江颖表示。

时光不负情深。在研究中，研究团队还发现了一种有趣的现象：包含有特定数目水分子的水合离子在氯化钠晶体表面运动时，似乎患上了“多动症”——具有异常高的扩散能力，运动速度比其他的水合物要高10倍至100倍。研究人员将这种特性称为动力学的“幻数效应”。

为何会出现这种奇特现象？结合第一性原理计算和经典分子动力学模拟，他们发现这种幻数效应来源于水合离子与表面晶格的对称性匹配程度。具体来说，包含1、2、4、5个水分子的水合离子总能通过调整找到与氯化钠衬底的四方对称性晶格匹配的结构，因此与衬底束缚很紧，不容易运动；而含有3个水分子的水合离子，却很难与四方对称性的氯化钠衬底匹配，因此会在表面形成很多亚稳态结构；再加上水分子很容易围绕钠离子集体旋转，这使得水合离子的扩散势垒大大降低，迁移率显著提高。分子动力学模拟结果表明，这一幻数效应可以在很大一个温度范围内存在（包括室温）。

“这一工作首次建立了水合离子的微观结构和输运性质之间的直接关联，刷新了人们对于受限体系中离子输运的传统认识。”王恩哥表示。

可期的应用前景

这一工作发展的实验技术未来有望应用到更多更广泛的水合物体系，还为防腐蚀、海水淡化等前沿领域研究开辟了一条新途径

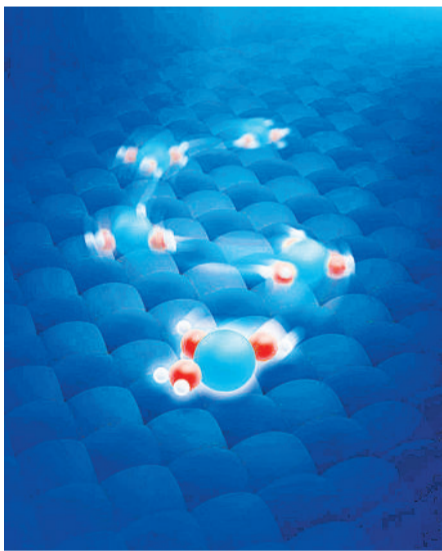
这一研究结果有何意义？江颖举了个例子。比如，在生物离子通道中的研究。“我们知道，人类的嗅觉、味觉、触觉等是依靠生物离子通道来实现的。离子在这些通道中的输运速度非常高，而且在离子的筛选上具有很强的特定性，从来不会乱套。过去，我们认为这种高速度和特定性主要是由离子通道的大小决定的。但是，我们的研究结果对这个认知提出了挑战——生物离子通道的内壁结构具有很多微观细节，或许是因为细节的不同，导致了不同的

幻数效应，才出现了离子运输的选择性和高效性。”

“这一工作发展的实验技术首次将水合相互作用的研究精度推向了原子层次，未来有望应用到更多更广泛的水合物体系，开辟全新的研究领域。”在王恩哥看来，这项研究的结果意味着，我们可以通过改变材料表面的对称性和周期性，来实现选择性增强或减弱某种离子输运能力的目的，这对于很多相关应用领域都具有重要潜在意义。

比如，可以研发出新型的离子电池。“目前，我们所使用的锂离子电池，它的电解液一般由大分子聚合物组成。然而，基于这项最新研究，我们将有可能开发出一种基于水合锂离子的新型电池。”根据江颖的说法，这种电池将大大提高离子的传输速率，从而缩短充电时间和增大电池功率，同时会更加环保，成本也将大幅降低。

不仅如此，这项研究成果还为防腐蚀、电化学反应、海水淡化等前沿领域的研究开辟了一条新的途径。“这一工作会上引起理论和应用表面科学领域的广泛兴趣”“为在纳米尺度控制表面上的水合离子输运提供了新的途径，并可以拓展到其他水合物体系”——《自然》杂志3个不同领域的审稿人如是评价。



水合离子输运幻数效应的效果图。

「拥抱郁金香」 认知帕金森

本报记者 陈頔

2005年，国际组织将红色郁金香选为帕金森病的象征。如今，这种郁金香被指定为每年4月11日“国际帕金森病日”的标志物，并为国际帕金森病组织广泛运用。

据统计，全球有帕金森病患者1000万人，其中有近300万患者在中国，并以每年超过10万病友的速度增长，近年来，还呈现出年轻化的发病趋势。

2017年发布的帕金森病大众调研显示，90%的大众不了解帕金森病，甚至有近六成的非神经外科领域医务工作者对帕金森病不了解，四成患者曾被误诊。

“我接诊的最小年龄帕金森病患者仅有11岁。”解放军总医院老年神经科主任王振福教授在接受经济日报记者采访时表示，帕金森病仍处于就诊不及时、延误诊断率高、治疗率低的状态。“帕金森病是由于大脑黑质多巴胺神经元病变而导致，多见于中老年人，年龄越大，患病风险越高。”他进一步解释说，“由于帕金森病早期会有颤抖、走路不稳、少言寡语等症状，往往被误认为是老年人正常衰退现象，且在临床表现上与许多疾病极为相似，导致疾病漏诊、误诊率非常高。”

那么，帕金森病能治好吗？首都医科大学宣武医院功能神经外科副主任胡永生教授开出“药方”：“一旦确诊，应该早期开展药物治疗，帮助患者延缓症状进展，进而基本过上趋于正常人的生活。而在疾病中晚期，就需进行脑起搏器手术治疗，帮助患者提高生活质量。”

胡永生教授介绍，DBS（脑深部电刺激）俗称脑起搏器，是帕金森病外科治疗领域里程碑式的技术。它通过植入大脑中的细微电极，发射电脉冲刺激脑内核团来控制患者症状，是国际上最先进的神经调控技术之一。这种技术在欧美各国已经相当成熟，大多数患者手术后的活动能力显著提高，许多研究报告证明其疗效显著。近10年来，该技术在我国也逐渐发展成熟，目前已成为帕金森病治疗的首选外科疗法。

胡永生教授强调，脑起搏器可以明显改善帕金森病患者所产生的动作迟缓、肌肉僵直等症状，也可明显降低服用药物所产生的副作用。目前，该技术已在临床使用超过30年，在全球造福了15万多名病患。

2017年，中华医学会神经病学分会帕金森病及运动障碍学组、中国医师协会神经内科医师分会帕金森及运动功能障碍学组、联合美国美敦力公司发起为期5年的“拥抱郁金香”项目，在专业医生培训、患者疾病科普教育、大众疾病知识科普传播等领域持续投入。

据中华医学会神经病学分会常委、中华医学会神经病学分会帕金森病及运动障碍学组组长陈海波教授介绍，经过一年的耕耘，“拥抱郁金香”行动在全国17个城市开展了20余场专业医生培训，进一步规范提高了3000多名专业医师在帕金森病领域方面的诊疗水平；同时，在30个省市举办的帕金森病患者关爱行动已帮助1.5万余名患者重新认知，并为他们提供了科学规范的长程疾病管理方案。

外卖订单泄露用户信息怎么办——

外卖平台将开启“号码保护”功能

本报记者 吉蕾蕾

近年来，外卖逐渐成为国人就餐的一种选择方式。由于外卖下单需要提供用户电话号码，如何保护用户隐私成为行业与公众的关注点。为进一步加强对外卖用户个人信息的保护，美团外卖近日宣布，将于今年6月份在全国范围默认开启“号码保护”功能。

经济日报记者了解到，“号码保护”是美团外卖于2017年推出的功能，用户开启后将对商家和骑手隐藏用户真实电话号码，保护个人隐私。今年以来，在解决了运营商大规模接入技术不成熟等难题后，美团外卖将投资1亿元持续推广“号码保护”功能，预计今年6月份，将覆盖全国绝大多数商家。同时，此功能将在用户端全部默认开启，最大范围保护用户个人信息。

美团外卖相关负责人表示，除了“号码保护”功能，他们还在技术上建立了多方面的纵深防御体系，通过数据加密、数据脱敏等多种隐私保护技术，为用户信息安全提供全方位保障。

同时，饿了么也宣布，最快从6月份起，将对每笔订单的买家姓名、手机号等信息自动屏蔽处理。

据悉，用户进入订单页面后，在订单详情下方可以看到号码保护相关功能，骑手、商家均无法获知用户的真实电话号码，相当于为用户构建了一道“安全隔离墙”。今后，骑手和商家将只能通过虚拟电话号码和APP内置聊天工具联系用户。并且订单完成后，虚拟号码和聊天页面将永久失效，骑手和商家端保存的用户地址信息也将被隐藏。届时，预计每天有近2000万用户的隐私安全得到全面保障，有望杜绝恶意来电骚扰和信息泄露等风险。

本版编辑 郎冰

联系邮箱 jirbxzh@163.com

我国核电“神经中枢”实现首台套应用

本报记者 杨阳腾

中国造，使得我国在该领域不再受制于人。

北京广利核公司总经理江国进表示，作为核电站的关键成套装备之一，核级DCS的核心技术必须原始创新。为确保系统安全，“和睦系统”采用自主设计的操作系统和通信网络，攻克了核级操作系统研发及其软件代码生成技术等世界性难题。

由于所有软件代码、操作系统、通信网络完全自主化，所有硬件产品自主采购，关键技术自主生产……“和睦系统”能有效防范来自互联网的外围攻击，并保证控制系统完全掌握在自己手中，从根本上保障了核电站数字化仪控系统的安全可靠。

此外，广利核公司还花费大量时间和资金完成了各种复杂、苛刻的硬件鉴定试验和软件验证与确认工作，以确保自主产品首台套工程应用的成功。

“和睦系统”运行稳定

2013年9月份，广利核公司和华中核工程公司签署了阳江核电站5号机组全厂DCS采购合同。2016年11月份，广利核向阳江核电完成核级DCS设备交付。

作为首台套项目，广利核公司耗时两年、斥资近亿元搭建样机，并选择最严苛的

条件进行各种鉴定试验，以验证工程设计方案的正确性、平台功能的完整性，以及产品性能的可靠性。

据阳江核电公司总经理蒋达进介绍，自2016年11月份交付阳江5号机组后，基于“和睦系统”的核级DCS设备已经参与了现场一年多的调试工作，一直保持稳定运行。目前，“和睦系统”已顺利通过冷试、热试、装料等多个阶段的重大考验，为机组多个重大工程节点的达成，提供了重要保障。江国进表示，广利核后续将配合阳江核电站做好5号机组临界后的各项试验，全力为机组今年的商运目标保驾护航。到那时，我国自主核级DCS的产业化应用目标才算真正实现，阳江5号机组也将作为我国首个采用完全自主DCS装备的百万千瓦级核电机组被载入历史。

江国进介绍，除阳江核电站5、6号机组外，“和睦系统”已成功参与到国内多个在役机组仪控系统的改造中，并将在石岛湾高温气冷堆、红沿河、防城港核电站等新建核电项目中，陆续得到应用，累计可为我国核电项目建设节省近30亿元的投资。

DCS历来是核电工程建设的关键路径，一台百万千瓦级核电机组如果晚发电

一天，损失将高达近千万元。江国进表示，广利核承担的核电DCS项目从未发生过工期延误事件，并已具备为我国核电站提供全生命周期运维保障服务的能力。“和睦系统”实现应用之后，通过工期和运维保障为业主带来的间接经济效益亦非常可观。

携手“华龙一号”走向世界

除支持国内的核电站运营和建设，广利核公司也积极推动“走出去”战略布局。今年，他们基于“和睦系统”完成了阿尔及利亚某研究堆核级仪控的改造，目前设备已成功进入现场调试阶段。

此外，我国自主三代核电技术“华龙一号”正在接受英国通用设计审查(GDA)，广利核公司正积极配合英国核能监管办公室开展GDA，目标是将“和睦系统”应用到中广核所投资的英国核电项目，最终与“华龙一号”自主核电技术携手走向世界。

乘着我国核电发展的东风，广利核公司凭借技术创新走出了一条核电装备制造自主自强的道路，将“和睦系统”打造成我国装备制造的一张新名片。江国进表示，今后，“和睦系统”将瞄准更多国内外核电项目和其他具备高可靠性要求的应用领域。



因为中国广核集团阳江核电站数字化仪控系统控制室。本报记者 杨阳腾摄

近日，我国核电站自主“神经中枢”——“和睦系统”百万千瓦级核电工程首台套应用揭牌仪式，在中国广核集团阳江核电站举行。据悉，阳江核电5号机组是我国首个使用自主制造“神经中枢”的百万千瓦级核电项目，这是我国核电重大技术装备制造领域的标志性事件。

核电站“神经中枢”中国造

核电站数字化仪控系统，简称“DCS”，是核电站的“神经中枢”，对于保证核电站的安全、稳定运行发挥着重要作用。其中，完成核电站反应堆安全停堆和事故缓解功能的核级DCS，其技术长期以来仅掌握在少数发达国家手中，我国一直依赖进口。

大国重器必须掌握在自己手中。在国家大力支持下，2010年10月份，中广核所属北京广利核公司成功研制出我国首个具有自主知识产权的核级DCS通用平台——和睦系统，实现了核电站“神经中枢”