主编 / 李芸 编辑 / 温新红、韩扬眉 校对 / 何工劳、唐晓华 Tel:(010)62580723 E-mail:yli@stimes.cn

“夹缝”中的太赫兹波，到底有多“宝藏”？

■本报记者 杨晨 通讯员 罗莎

无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和伽马射线……这些都是我们平时熟知的电磁波。而在电磁波光域中的红外频段和微波域中的毫米波频段之间，还有一种频谱范围在 0.1~10 太赫兹（THz）、波长在 0.03~3 毫米之间的电磁波，名为太赫兹波。

曾经，它在电磁波家族里并不起眼儿，“左邻右里”分别是微波和红外线，相当于处于电子学和光子学的交叉领域。在“夹缝”中生存的太赫兹波，有一点“尴尬”。

尤其当“邻居们”都在医学治疗、遥控、通信等领域“大展拳脚”之时，太赫兹波段更显“落寞”。直到本世纪初，随着相关技术的进步，太赫兹波终于获得研究者的青睐，逐步在军事、生物医药、新型材料、通信方面“小试牛刀”。

近些年，出于对文物保护和文化传承的目的，原位、无损检测技术在文物考古领域越发被推崇和重视。继 X 射线、超声波、红外等电磁波技术后，太赫兹应用的主要关键技术——太赫兹成像和成谱技术，在给文物无损做“体检”，包括内部探测和材料成分分析上展现出的优势，受到了越来越多的关注。

胡旻团队和三星堆修复研究室同行讨论交流。 受访者供图

通过特殊“指纹”，分辨不同物质成分

“与紫外、红外光相比，太赫兹辐射对很多介电材料和非极性的物质具有一定的穿透性，如陶瓷、木材、泥土、纸板等，而且对金属物体具有强烈的反射性。”电子科技大学太赫兹研究中心（以下简称研究中心）负责人胡旻表示，太赫兹辐射的光子能量只有 X 射线的百万分之一，对人体无害，更不会引起电离反应，破坏被检测的物体。

相较于 X 射线，太赫兹对物体分层较为敏感。太赫兹脉冲辐射拥有皮秒级脉宽，能有效地进行时间分辨研究。无须切开所要探测的物体，研究者便可根据不同物质层次间反射回的信号，获得内部层位信息实现层析成像。

每个人的指纹都是独一无二的，对于太赫兹波来说，物体也有专属的“指纹”，且能被它“识别”。

太赫兹波频段覆盖了大量物质分子的转动能级与振动能级，不同的物质分子在太赫兹光谱上所呈现的吸收特征也不一样，具有指纹般的唯一性，所以被研究者称为“指纹谱”。

“我们可以利用这一成谱技术鉴定和区分壁画上的脂类涂层，或者绘画作品上的颜料成分。”胡旻告诉《中国科学报》。

与拉曼和红外波谱类似，很多染料或颜料成分在太赫兹波段都会“原形毕露”，因为各自分子结构于太赫兹波段有不同的反应，且振动频率不同，呈现在光谱上的共振吸收峰亦不同。

除了成谱技术，在文物考古界，太赫兹成像技术的应用早已不是新鲜事。

2013 年，西班牙巴塞罗那的科学家利用 Mini-Z 太赫兹时域光谱仪器对西班牙画家戈雅的作品《献祭维斯塔》进行扫描成像分析后，在画作表层下发现了一处痕迹。

经对比，其与戈雅以往的签名一致。研究者推断，这是画家用铅笔留下的，后被颜料、涂层和时间覆盖。相较于其他电磁波探测技术，太赫兹对物质分子组成较为敏感，所以铅笔字和周围画布以及颜料的结构，在反射成像中分别有了不同的“表达”，在画作完成的 240 年之后，被世人辨认了出来。

“这是太赫兹技术应用的一个典型例子。在国外，特别是法国、意大利，将太赫兹技术用于古代画作检测较为常见。”同时胡旻认为，在国内，这项技术潜在的应用场景更为丰富，漆器、壁画、泥塑……中国古代文化博大精深，表现形式多样，太赫兹技术定能大显身手。

借一双“透视眼”，看穿文物的秘密

2019 年，胡旻团队与浙江大学、四川省文物考古研究院、三星堆博物馆展开交流，后续就考古研究、文物保护和文化传承达成合作。其中一项合作内容就是对青铜器锈层的无损检测。

青铜器由于埋藏环境影响，表面会覆盖复杂的锈蚀层。锈层多厚、成分如何、分层结构怎样，都可以利用太赫兹时域光谱仪器进行测定。

在研究中心实验室，《中国科学报》见到了发射太赫兹脉冲的终端——控制着检测探头的机械臂，其内部程序由研究中心自主开发完成。

系统启动后，机械臂会根据算法规划路径，沿着下方文物样品的法线，进行非接触式逐点扫描。“为了精准测定锈层厚度，或分层信息，机械臂会一直保持‘发射端－接收头’与样品表面的垂直。”胡旻介绍。

“锈层厚度测量和激光测距的原理类似。”胡旻解释，不同点在于太赫兹波有穿透性，同一束波在样品内部不同界面都有相应的反射信号，并在时域太赫兹光谱上体现出不同的峰值。“采集两个峰值之间的延迟时间，结合光速、锈层折射率等信息，即可计算出锈层的厚度。”

在三星堆 3 号坑中，研究者发现青铜器的锈蚀层上出现了罕见的嫩黄色，经化验确定其成分为罕见的铅锡黄。根据已知信息，14 世纪初才出现人工制备的铅锡黄作为颜料用于珐琅器和油画。

但铅锡黄的制备工艺复杂，对温度要求极高。研究人员不禁好奇，距今大约 5000 至 3100 年前的三星堆青铜器上，这抹黄从何而来？为此，研究中心对样品上铅锡黄的厚度进行了测定。

结果显示，黄色锈层分布很均匀。“但谜底仍未揭晓。我们只能初步判断这抹黄的形成，可能是人为干预。”胡旻说，但其到底是作为颜料而制备的，还是在自然腐蚀中产生，都有待考古专家、历史学者进一步的讨论和研判。

对青铜器锈层成分的检测，是研究中心承担的另一项重要工作。铜锈层中氯化铜的成分对文物有腐蚀性，而氧化铜则会形成“保护膜”，延缓青铜器的腐蚀。因此，测定锈层性质，对文物保护有着重要意义。

“当机械臂将一束束肉眼无法观察到的光波打到锈层后，我们通过返回信号得到分子结构的指纹谱信息，就能反推其是无害锈还是有害锈。”研究中心成员、博士后张晓秋艳表示，研究中心目前也在收集和采买各种标准化的化合物样品，一一检测后逐步创建物质成分太赫兹指纹谱数据库，为鉴别工作提供参考。

应用场景丰富，太赫兹技术未来可期

除了对三星堆文物锈层进行无损检测外，研究中心还计划针对绘画类文物颜料成分老化进行监测研究。但要观察到颜料微观结构的变化，看透微纳米的世界，必须提高设备的分辨率。

传统的太赫兹时域光谱成像技术受波长的衍射极限影响，成像分辨率只有几百微米，意味着太赫兹波在应用中只能“看清”300 微米尺寸的物体，连头发丝都很难识别，更别说细如尘埃的颜料颗粒。

基于长期的太赫兹技术理论和器件研究，2021 年，胡旻和团队研制出国内首套基于真空器件大功率辐射源的太赫兹散射式扫描近场显微系统，将太赫兹系统与原子力显微镜结合，利用原子力纳米级针尖将样品表面太赫兹近场散射出来，从而实现样品的太赫兹近场成像，分辨率可以达到纳米级别。

在新技术的加持下，研究者不仅轻松“拿捏”颜料颗粒物，还能“捕捉”单个蛋白质、单细胞、细菌，为生物学领域提供了一种全新的细菌辨识方法，也为临床诊治提供了新思路。

张晓秋艳介绍，当医生怀疑患者被细菌感染时，一般会根据经验开药，但为了保证抗生素用药的准确性，还会采集疑似感染部分的标本，如血液、体液等进行细菌培养。当长出致病菌后，再对菌株进行药敏试验，以便对患者进行准确有效的用药。

“但这项检测工作耗时久，因为细菌培养需要过程。”目前，张晓秋艳和团队成员针对这一问题，正在进行单细菌成像及识别，提高临床检测效率。

另外，在口腔疾病诊断上，胡旻团队利用太赫兹技术也取得了一些突破。目前他们与四川大学华西口腔医院合作，正在研制太赫兹口腔早期龋齿检测仪器。

“现在对龋齿患者的诊疗，可以由器械辅助，凭经验对牙齿表面的改变进行初步判断，或者利用 X 射线影像学手段进行查看，但对于早期轻度的、刚出现的早期龋变，X 线片可能就不会显影。”胡旻说，在可以预见的未来，通过太赫兹无损检测技术，就能一窥患者龋齿早期状态，以及牙齿龋坏的深度，让患者免受拔牙之苦。

除了上述的细菌成像、口腔医学外，胡旻认为还有很多未开发的太赫兹技术应用场景，目前自己和团队，乃至整个研究领域对这一方面的探究都还处于起步阶段。“我们正在从科学研究向产业化迈进，技术应用的挑战性和复杂程度远超我们想象，而对于未来人类的生产生活而言，太赫兹波所创造的可能性是不可预估的。”

与量子力学、相对论同一时期介绍到中国——

生机论为中国新文化带来哪些新气象

■刁珊

中国的生物学成为一门独立学科的机缘是什么？对“科玄论战”，生物学家秉志和费鸿年为何会“审慎地思考”？这都与一个人和他的学说有关，他就是德国生物学家、哲学家杜里舒（1867—1941）及其生机主义学说。

不仅如此，除了生物学家外，那一时期的哲学家、教育学家分别从各自专业角度对生机论进行了诠释，强调各自学科的独特性，并将生机主义理念应用在研究实践中。生物学家宣告生物学独立，哲学家提倡“生之形而上学”，教育学家则推行了道尔顿制、游戏教学法等教育实践。

100 多年前，1922 年 9 月 9 日，应蔡元培、梁启超等人发起的讲学社邀请，杜里舒与其夫人于法国马赛港登上前往东方的客船，他将在中国进行为期一年的讲学活动。这是新文化运动的重要举措之一，他们还邀请了包括杜威、罗素在内的各国学者来华演讲，以期把握各国思想界动态，博采众长。

杜里舒将为中国的新文化带来哪些新气象？这里先从他的生机论说起。杜里舒是 19 世纪末兴起的生机论的代表人物。当时的生物界中，以德国动物学家和哲学家海克尔为代表的唯物机械论可谓是权威，这一派学者将生物视为一部复杂精密的机械，各种生命活动都依照物理、化学定律获得解释。

杜里舒根据其实验观察，发现并非所有的生命活动都可以通过理化原理得以解释，例如复生现象，又如将早期的胚胎细胞分离，它们却能分别发育成完整个体。因而，他推测生命活动有特殊的动因和法则，以及明显的全体性和目的性。

他借用亚里士多德的 Entelechy（隐德来希，意思是自身即目的）来指称这一生命特质，从机械论的生命学说转向了生机论，并且宣称生物学是一门独立于物理和化学的学科。

由于隐德来希是一种非物质非能量的因素，是杜里舒基于同时代科学不能解释的现象而进行的逻辑上的推论，不能通过实验证明或证伪，他便进入哲学领域寻找进一步的解释。他认为，生命现象在科学范围内无法得到彻底的解释，需借助哲学与形而上学才能探究更本质、更终极的真理。

杜里舒的生机哲学，在中国引发了广泛关注。它不仅为张君劢、梁启超等人的新文化方案提供了理论支持，启发了现代新儒家，生物学家和心理学家也对其表现出浓厚兴趣，并对科学和人生的问题提出了自己的思考。

杜里舒访华期间，中国学界正进行“科玄论战”，国内学者对于生机主义的译介，为我们提供了以往研究中没有注意到的关于科学、哲学和人生的思考。简要来说，各位学者分别从认识论、价值维度以及教育理念等三个角度对生机论进行了介绍。生机论是和量子力学、相对论在同一时期介绍到中国的，这些都刷新了学者们对于科学的认识。

费鸿年认为，生机论的最大贡献在于，用实验的方法证明了生命的自主律。他认为，生物体遵循特有的“统一因果律”。在受到外界各种刺激时，生物体始终向着整全性发展。这暗示出生命科学与无机科学在认识论上的区别，动摇了以还原论为基础的科学大厦。

当时的中国生物学科仍处于发展早期，所以这种认识论上的不同引申出对生物学科独立性的提倡。秉志作为当时的学科带头人，更是直言：“生机哲学于将来生物学之革旧谋新，必生最大影响。”他认为，倘若只采用理化方法，生物学恐怕只能是理化的“附庸”，而不能成为“纯粹独立之科学”。

在张君劢、瞿世英等哲学家看来，生命现象和物理现象的相互独立性证明了区分精神科学和物质科学的必要。张君劢认为，隐德来希是精神性在生物界的具体表现，所以很难在经验界内部求出其法则。

此外，哲学家更关注生命自主律的价值维度。对他们而言，哲学的效用就是为人生观寻一个合理的依据，养成适当的人生态度。他们反对机械论的原因在于，在机械论的人生观下，人的活动受到物质规律的制约，仿佛一件可以任意受外力驱使的器具，这样的人生很难有什么意义可言。

生机哲学强调人格的完整性，承认先验界的存在。人的精神生活得以保障，人才能够浩然立于天地之间，享受与天地参的自由。

对于人性的思考也体现在教育理念中。心理学家及教育家高觉敷指出，几乎所有的教育理念都基于对“人是什么”这一问题的答案而定，机械主义和生机主义分别代表两种最基本的答案。机械主义的教育观注重对人后天的培养和塑造，而生机主义的教育观则认为教育的目的在于激发每个人天生的个性。

这两种教育理念的目的也不相同。机械主义的教育能更好地为社会发展服务，使得人人成为对社会有用的人。生机主义的教育则以人为本，目的在于使人的个性张扬，社会应该提供开放包容的环境。

高觉敷表示，两种教育理念应该结合，以发展个性为目的，以后天的引导、训练为手段。教育家舒新城在吴淞中学推行的道尔顿制教育，亦基于生机主义的理念，注重激发学生自由、自动、合作的潜力。

由此可见，杜里舒学说的系统性为各领域学者提供了共同的平台，打破了学科壁垒，促进了跨领域交流。当时，无论是科学家还是哲学家，很多人对于生命问题的反思都兼具科学和人文的关怀。

学者们不仅关注生机主义的学术意义，也重视其道德意涵和社会影响。他们强调科学和社会的互动关系，认为科学理论也具有道德意涵，科学进步应兼顾社会影响。生机论正是对机械论造成的伦理物质主义的一种挑战。

杜里舒的译介和“科玄论战”是在同一时期发生的，生物学家虽然没有直接参与“科玄论战”，但对科学和哲学关系进行了深入思考。

费鸿年以杜里舒的生机论为基础，发展出了自己的理论，并于 1924 年出版了《新生命论》一书。他坦言，科学有其界限，科学和哲学互相补充。

秉志也认为生命问题并非全由科学方法解决，有时仍需哲学推理，这可以促进科学的进步。当胡适、陈独秀、丁文江等新文化运动健将大力宣传“科学方法万能论”时，秉志作为科学家，反而拥抱了哲学方法。

秉志和费鸿年的态度让我们看到，科学家专注科学，并非将科学信仰化或意识形态化。在当时的学界中，科学与哲学的关系可能并非如“科玄论战”中呈现的那么剑拔弩张。

在喧嚣的“战火”背后，仍有不少审慎地思考。学者们以超越自身专业的眼光、敬畏的态度探索生命的本质。在这一探索过程中，科学和人文不再二元对立，而是形成一股合力，一起走向未知世界。

速读

论文题目：
李政道的首次美国之行及国籍变迁
作者：朱安远
出处：《科学文化评论》，2024，第 21 卷

上世纪 40 年代，原子弹的巨大威力不仅震惊了全球，也让当时的国民政府有所行动。考虑到中国科技和工业基础薄弱，研制原子弹首先要从数理化基础研究和培养原子科技人才做起。于是，国民政府委派几位科学家遴选优秀青年赴美研习，称为“种子计划”。

1946 年 9 月 2 日，由华罗庚率领“种子计划”成员一行赴美，包括孙本旺、朱光亚、李政道、唐敖庆、王瑞骁6人，其中年龄最小的李政道不足 20 周岁，是其中唯一一位在读本科生。经过 13 天的海上航行，他们于当地时间 9 月 14 日在旧金山湾登陆。

在美考察期间，吴大猷、华罗庚、曾昭抡 3 位教授了解到，到美国研习原子弹制造技术绝无可能。最后决定，大家就地解散，“种子计划”的学子则自寻出路，分散到美国各大学研究生院深造。

受社会动荡等因素影响，李政道从未取得过正式的小学、初中、高中和大学本科毕业文凭。1945 年春，他由当时的北京大学教授吴大猷保荐，借读插班到西南联合大学理学院物理学系，后来通过考试才正式注册成为二年级学生。

因此，吴大猷安排李政道进入美国大学研究生院深造时遇到了不少障碍。李政道最终辗转来到不对大学本科文凭做硬性要求的芝加哥大学研究生院。面对招生办公室工作人员的询问，他机智巧妙作答、应付自如，获得了免试旁听试读生资格。后又经物理学系系主任争取，两个月后转为正式博士研究生。

李政道天资极高，聪慧好学，学习能力强，仅一个多学期便以优异成绩脱颖而出。1947 年春，李政道赢得了芝加哥大学新设立的具有很高荣誉的“全校级奖学金”，获得免除学费和连续 3 年每年资助 1500 美元的奖励。

其时李政道还有来自当时国民政府的奖学金，双重资助让他经济上很宽裕。因生活条件改善，当时的李政道还有“小胖子”的绰号。值得一提的是，李政道唯一拥有的学位就是芝加哥大学的博士毕业文凭。

李政道入读芝加哥大学后不久便与先期到达的杨振宁和凌宁相识相知，3 人很快就熟络起来并结成密友。李政道手头比较宽裕，1947 年他花 800 美元购买了一辆二手小轿车。李政道乐于助人，常用汽车接送同学。同年夏秋之交，这 3 位中国年轻学子自驾车漫游了美国西海岸，历时 38 天，总行程约 9000 公里。

1950 年 6 月 3 日，李政道和秦惠箕在芝加哥登记结婚。1956 年 7 月 26 日，李政道夫妇在纽约市获得美国永久居留权（即美国绿卡）。1962 年 11 月 5 日，他们在新泽西州首府特伦顿申请入籍美国。为夫妇俩入籍担保的有两人：一位是李政道的密友、美国籍荷兰裔理论物理学家和科学史学家派斯，另一位是美国物理学家特莱曼——李政道的博士同门师弟兼密友。1963 年 1 月 21 日，李政道夫妇获批正式成为美国公民。

2001 年，李政道在接受媒体采访时说：“我和杨振宁得奖的时候是中国籍，我 1962 年（系口误——编者注）加入美国籍。”也就是说，1957 年李政道和杨振宁荣膺诺贝尔奖时都是中国公民，系最早赢得诺贝尔奖的中国人。

论文题目：
诱惑与控制：1947—1948 年国民政府与美国原子能合作的秘密交涉
作者：张振明
出处：《中国科技史杂志》2024，45（02）

二战之后，鉴于原子弹的巨大威力，不少国家着手原子能研究，处于核垄断地位的美国则推行原子能管制政策。

1947 年至 1948 年底，国民政府与美国就原子能合作事宜多次秘密交涉。该论文通过梳理、对照中美相关外交档案还原了这一过程。

在秘密交涉中，国民政府希望利用发现的铀、钍等放射性矿产诱惑美国提供原子能技术；美国则利用交涉打时间差，使国民政府失去与其他第三国合作的机会。

抗战胜利后，国民政府接收日寇开采的铀矿，此事很快引起美国人的注意。美国政府迫切希望掌握中国铀矿储存情况，同时希望控制国民政府的铀矿开采及核技术发展进度。后者则以发现的铀矿为筹码，寻求与其他国家的技术合作。

1946 年 9 月，科学家顾毓琇访问瑞士。次年 6 月，瑞士公使与资源委员会委员长翁文灏商谈合作事宜，并计划派科学家来华考察。

这一举动引起美国警觉，为切断中瑞合作，美国决定派人与国民政府会谈。1947 年 9 月 29 日，翁文灏通知美国驻华使馆，称瑞士驻华大使非正式地表达了合作意愿。7 天后，美派遣相关人员以探访为借口来华秘密交涉，并与翁文灏见面，得知了中瑞合作情况。

这时，美方提出资助人、财、物，为期两年，但中国不得与第三国合作勘探铀矿。国民政府提出，第一，美国提供所需仪器及相关操作技术说明；第二，合作勘察团团长由中方人员担任。

最终，双方签订了合作草案。内容涉及国民政府的要求包括美国帮助中国培训专家、在美国本土接受培训、在华建立实验室、提供仪器与技术说明等。

草案确定后，美国务院迟迟没有答复。为表现诚意，1947 年 12 月，中央地质调查所向美国驻华使馆提供了在广西地区发现独居石矿产情况的报告，并将 20 公斤独居石矿石标本送给美国。

又过了两个月，美国政府依然没有任何答复。翁文灏通知美国驻华使馆，中国已通知瑞士“美国与中国已经达成协议”。他还向美国《纽约时报》记者介绍了铀矿探明情况，期望能借助舆论，促使美国政府批准合作草案。

1948 年，国民政府颁布《铀钍矿产管理办法》，强调除经行政院特准外，铀、钍及其他含原子能矿产禁止出口。此举实质上是为与美合作预留空间。

但自始至终，美国政府对草案未有任何实质性回复，既不拒绝也不同意。而后，双方进行了交涉，美拒绝了此前草案的部分内容。

谈判历时一年半，看似无果而终，但对国民政府和美国来说却有极大区别。美国无任何实质性付出却达到了一定的战略目的，基本掌握了中国放射性矿产的勘察、开采情况，同时长时间谈判使得国民政府无法与其他国家接触，顺利实现了其原子能国际控制政策。国民政府在谈判中则损失较大。 （尹一）

社址：北京市海淀区中关村南一条乙 3 号 邮政编码：100190 新闻热线：010－62580699 广告发行：010－62580707 传真：010－62580899 广告经营许可证：京海工商广登字 20170236 号 零售价：1.00 元 年价：218 元 工人日报社印刷厂印刷 印厂地址：北京市东城区安德路甲 61号