

碳酸盐激光剥蚀铀铅定年技术填补古生物研究领域空白——

## 破解青龙山恐龙蛋化石年龄之谜

本报记者刘炜 段吉雄 张雅华

## 激光黑科技如何测算恐龙蛋“年龄”？

你有没有想过，几千万年前的恐龙蛋，也能像我们一样拥有“出生证明”？9月11日国际SCI期刊《Frontiers in Earth Science》(《地球科学前沿》)刊发的最新论文——科研团队借助创新技术，首次精准测定郧阳区青龙山恐龙蛋化石群地质年龄为距今 $85.91 \pm 1.74$ 百万年，对应晚白垩世康尼亚克期—桑顿期，彻底破解了该化石群多年“年龄成谜”难题。

到底是什么技术这么神奇？9月9日，记者专门采访了中国郧阳恐龙蛋研究中心专家、湖北省地质科学院高级工程师赵璧，听他拆解这项“给石头算年龄”的本领——碳酸盐激光剥蚀铀铅定年技术。

“要给石头算年龄，第一步得拿到它身上能‘说话’的证据——含铀和铅的碳酸盐矿物。比如恐龙蛋壳化石(由方解石构成)，恐龙蛋内部充填的方解石晶簇，岩溶洞穴里慢慢形成的钟乳石、钙板，这

些矿物藏着能推算年代的‘密码’。”赵璧告诉记者，用微米级激光束“敲”击恐龙蛋壳组方解石，使其气化为气溶胶，然后通过特殊的管道进入参数校准后的专用质谱仪，用以检测矿物微组分含量并测算矿物结晶年龄。

样品送到实验室后，要接受质谱仪“体检”。这台仪器看着像个大柜子，却是个超级精密的“同位素天平”，能分清铀和铅的不同“家族成员”。仪器会把样品加热变成带电的“离子”。接着，这些离子会进入一个磁场区域，就像跑步比赛进入了不同跑道，最后会落在不同的接收器上。接收器会统计每种离子的数量，算出铀离子和铅离子的比例。

这个比例为啥这么关键？因为铀有一种特性：它会慢慢变成铅，而且这个“变身”速度是固定的，就像沙漏里的沙子，流速永远不变。只要知道现在铀和铅的比例，就能倒推回去，算出铀开始变铅的时间，这就是石头形成的年代。

## 为什么要测算恐龙蛋的“年龄”？

郧阳区青龙山恐龙蛋化石群是我国重要的古生物遗迹，这里藏着成百上千枚恐龙蛋化石。可多年来，科学家一直没法精准确定这些恐龙蛋具体形成于哪个年代。

“没有准确年龄，就像给古人写传记却不知道他出生年份。”赵璧解释，此次创新采用碳酸盐激光剥蚀铀铅定年技术，知道了恐龙蛋的准确“出生年月”，就能还原当时的气候环境、恐龙生存习性，甚至搞清楚恐龙灭绝前的生态变化，为研究地球演化提供关键线索。

一是能填补古生物研究的“时间空白”，验证演化理论。过去对恐龙蛋的年代推断多依赖“地层反推”，往往只能得出大范围区间年龄，导致恐龙蛋的演化研究始终缺少精确时间数据。本次通过蛋壳矿物测年得出的约“8600万年”，直接为青龙山“过渡型”的特殊恐龙蛋提供了精准地质时间坐标。

二是重构地层年代框架，突破传统研究局限。传统古生物研究依赖通过地层年代确定化石生物生活时间，但地层时代往往跨度较大，不够精确，难以反映远古生物的复杂演化过程。而恐龙蛋测年实现了“从化石定地层”的思维逆转，一旦通过恐龙蛋测年得出数据，就

能确定某一地层的精确年代，并可结合全球同时期地层数据开展环境、生物事件的对比和讨论。

三是为古环境与生物行为研究提供基础坐标。通过不同层位恐龙蛋的测年，还能判断某一区域恐龙的产蛋时间跨度。例如青龙山不同层位的恐龙蛋若年代不同，可说明恐龙曾在此长期活动，为研究恐龙的栖息地选择、繁殖周期提供依据。

四是推动技术创新与跨学科应用，拓展研究边界。过去古生物研究多依赖形态学、地层学，而本次研究证明“原子钟”(如测定铀、铅含量反推年龄)可直接从化石中提取，这为其他古生物(如含碳酸盐矿物的古脊椎动物化石)的测年提供了可复制的技术模板；同时，该技术还可推广到矿产勘探、古气候研究、搭建古生物学、矿床学、地球化学、古环境学等学科的“桥梁”。

综上，本项研究成果通过创新应用恐龙蛋化石碳酸盐激光剥蚀铀铅定年技术，成功获得“精准时间”数据，将推动古生物演化、地层框架构建、古环境反演等研究从“模糊推测”走向“精准验证”，同时促进技术创新与跨学科合作，为后续全球恐龙蛋遗址研究、甚至整个白垩纪地质与生物史的重构奠定基础。



联合科研团队科研人员于东祥检查恐龙蛋化石表面风化情况。



赵璧修理结晶恐龙蛋化石。



赵璧利用显微镜观察恐龙蛋化石标本。



赵璧用放大镜观察恐龙蛋化石细节。

## 令人着迷的恐龙蛋科学研究

“我们采用碳酸盐激光剥蚀铀铅定年技术，对3枚结晶恐龙蛋化石之一采集了部分含蛋壳以及内部方解石晶簇的样品并开展测年实验，从而得到测年结果……”采访中，赵璧披露了结晶恐龙蛋化石形成过程和原因。

## 三枚结晶恐龙蛋化石惊艳露头

2023年12月，湖北青龙山恐龙蛋化石群国家级自然保护区科研团队在遗址一号馆开展恐龙蛋化石露头修复治理工作时，偶然从一个含31枚恐龙蛋化石的蛋壳中，发掘出3枚罕见的结晶恐龙蛋化石。这是湖北地区首次发现结晶恐龙蛋化石，一经公布便引发古生物研究领域广泛关注。

此次发现的3枚结晶恐龙蛋化石，均呈扁圆形，长轴14~15厘米，短轴约12厘米，蛋壳厚度1.31~2.4厘米，且保持原地埋藏状态。完好的晶体晶面，让其内部呈现出闪闪发亮的视觉效果。

从保存状况来看，3枚结晶恐龙蛋化石完整性较高，蛋壳和内部结晶矿物大多完好留存，仅在表面小范围破口处能看到其与周边恐龙蛋化石截然不同的内部矿物结晶情况。科研专家研究发现，从最具代表性的编号J2恐龙蛋化石破口观察，其内部结晶矿物类型单一，为粒径0.2~0.4厘米的方解石。进一步矿物鉴别显示，靠近蛋壳部位结晶致密，越往蛋部中央，晶体矿物越粗大且呈单晶状，这一特征表明结晶过程是从外向内进行的。

## 结晶恐龙蛋化石的形成之谜

结晶恐龙蛋化石在全球范围内都较为罕见，核心原因在于其形成环境和条件比普通恐龙蛋化石更为严苛——不仅需要及时掩埋以保护蛋壳，还需“恰如其分”的成岩物理化学条件，才能最终形成。

赵璧介绍，这3枚结晶恐龙蛋化石属于未孵化或恐龙未破壳的蛋。其内部的方解石矿物，推测是在恐龙蛋埋藏和成岩过程中，大量碳酸钙过饱和溶液通过蛋壳气孔渗入蛋内，经过充填、结晶后形成的。

“从结晶恐龙蛋化石所在蛋壳观察，整个蛋壳以蛋壳表面有破口、

内部充填泥沙的恐龙蛋为主，这说明当时这一批蛋中，恐龙破壳的占大多数。”赵璧进一步解释，3枚结晶恐龙蛋化石集中在蛋壳同一侧，这一分布特征可能暗示，蛋壳这一侧的微环境存在特殊性。结合蛋壳整体情况推测，若这些恐龙蛋靠近水道，它们在产下后不久，或许就因水位上涨被淹没，为后续结晶创造了特殊条件。

## 激光扫描为恐龙蛋化石“定位”

郧阳区青龙山恐龙蛋化石群自1995年被发现以来，便成为迄今为止世界上原址保存恐龙蛋化石最集中、数量最多、最完整、规模最大的化石群。

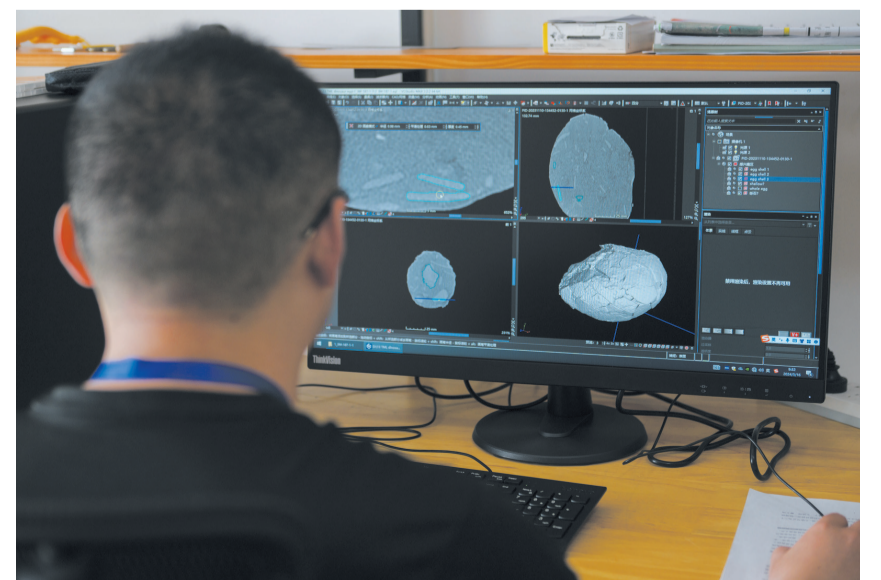
今年以来，由中国科学院古脊椎动物与古人类研究所、湖北省地质科学院科研人员组成的联合科研团队与有关测绘公司合作，创新使用激光雷达扫描仪，对遗址馆内地形物进行数据密集采集。这是首次尝试通过三维激光扫描技术，为该遗址进行高精度定位和点云空间数据矩阵构建。

“恐龙蛋化石质地脆弱，传统人工测绘容易对其造成不可逆的损伤。”赵璧表示，三维激光扫描技术通过非接触式采集，能在零干预状态下获取海量数据，未来还有可能进一步结合AI算法，实现恐龙蛋化石类型与埋藏层位特征的自动识别。

初步研究还发现了一项重要特征，“青龙山恐龙蛋化石普遍表现出特殊排列规律，与已知的大多数恐龙蛋在蛋壳中的排列方式不一样。”赵璧指出，这种特殊排列现象在多个不同的含恐龙蛋化石层位中均能看到，说明这种“蛋”排列规律在不同时间的恐龙蛋巢中普遍存在，可能反映了青龙山恐龙产蛋繁殖的独特行为。

目前，联合科研团队已完成数据测量工作，正使用专业软件对点云数据进行降噪处理和地形物识别，形成准确的点云数据集。后续将配合现场恐龙蛋化石分布调查结果，进一步开展实地验证，完成原址恐龙蛋化石编号、信息登录和点云数据标注，最终以毫米级精度形成遗址馆馆内高精度地形线及恐龙蛋位置分布“数字地图”。

(本版图片由新华社记者伍志尊提供)



于东祥处理恐龙蛋化石断层CT扫描数据。



鸟瞰湖北青龙山恐龙蛋遗址博物馆。