

# “金钉子”，“钉”住地球记忆

## 院士讲科普

网友：前不久，我们一家去贵州省旅游，在剑河县八郎村，听当地导游给我们介绍“金钉子”。为啥要往岩石里钉进去一颗“金钉子”？背后有啥玄机？

编辑：贵州省黔东南苗族侗族自治州剑河县革东镇八郎村的“金钉子”，是全球第六十九颗、我国第十一颗“金钉子”。有人说，“金钉子”是一把尺子，能衡量地球的地质年代；有人说，“金钉子”是一枚书签，标注地球演变的历史。本期“院士讲科普”，我们请中国科学院院士、南京大学教授沈树忠谈谈如何通过“金钉子”读懂“大地之书”。

“金钉子”是定义和区别全球不同年代所形成的地层的“锚点”，用来划分全球地质年代界线。“金钉子”的确立是为重建地球历史搭建了一个国际标准时间框架，为研究地质历史时期所发生的各种地质、生物演化事件以及预测圈定各种自然矿产资源的时空分布奠定了基础。

### 如何确立一颗“金钉子”

要了解什么是“金钉子”，首先要了解地质时间。

地球已经走过了约46亿年的漫长岁月，留下了丰富的地质记录。要读懂地球的故事，离不开地质语言。

地质学家一直在探索地球演变的真相，为的就是通过地球数十亿年里发生过的事，判断地球的现状与预测未来。然而，板块运动、火山喷发、海陆变迁……地球在不断变化，导致地质记录碎片化。因此，“读懂”地表岩石记录，来了解地球历史的时间轴，成为地球科学领域的重要课题。

我们用手表等计时工具，标注当下各种事件发生的时刻。但对于远古时代的地球，没有人类，更没有文字，如何划分数十亿年的漫长时光？

为了解决这一难题，国际地质科学联合会成立国际地层委员会，其主要任务就是建立国际统一的地质年代划分框架。

“金钉子”这一名字的起源，可以追溯到19世纪一条横贯北美大陆的铁路贯通。一枚18K金打造的铁路道钉，在数千人的见证下，铆入横穿铁轨的最后一根枕木中。国际地层委员会引用“金钉子”这一典故，来代表国际地质年代的黄金分界点，用于记录地球历史中具有重要演化意义的时间节点。

但是，确立一颗“金钉子”并非易事，需要满足多方面的条件——地层记录完整，不存在明显的后期改造，有丰富的、可进行区域和洲际对比的化石或其他具有等时性对比价值的标志。目前最常见的是以某种标志化石的首次出现作为国际对比的标准，例如我国贵州剑河的乌溜阶底界“金钉子”以三叶虫化石“印度摇头虫”的出现为标志。

近年来，“金钉子”的确立标志趋于多样化，包括同位素地球化学的异常变化、地球磁场的倒转时间、利用先进的同位素定年技术确定的火山灰年龄等。

要解决这一难题，国际地质科学联合会成立国际地层委员会，其主要任务就是建立国际统一的地质年代划分框架。

“金钉子”这一名字的起源，可以追溯到19世纪一条横贯北美大陆的铁路贯通。一枚18K金打造的铁路道钉，在数千人的见证下，铆入横穿铁轨的最后一根枕木中。国际地层委员会引用“金钉子”这一典故，来代表国际地质年代的黄金分界点，用于记录地球历史中具有重要演化意义的时间节点。

但是，确立一颗“金钉子”并非易事，需要满足多方面的条件——地层记录完整，不存在明显的后期改造，有丰富的、可进行区域和洲际对比的化石或其他具有等时性对比价值的标志。目前最常见的是以某种标志化石的首次出现作为国际对比的标准，例如我国贵州剑河的乌溜阶底界“金钉子”以三叶虫化石“印度摇头虫”的出现为标志。

近年来，“金钉子”的确立标志趋于多样化，包括同位素地球化学的异常变化、地球磁场的倒转时间、利用先进的同位素定年技术确定的火山灰年龄等。

### 地球历史的精确坐标，指示地质时期的重大事件

一颗“金钉子”，就是一个特定地质时间节点的“金坐标”。确立“金钉子”的地区要对全球开放，便于各国学者和公众研究、参观。

作为地球历史的精确坐标，“金钉子”能帮助我们解读地质时期的重大事件。

比如“雪球事件”，指的是地球在距今约

### 我国11颗“金钉子”分布情况

批准时间	所在地点	界线
●2018年	贵州剑河县	寒武系苗岭统及乌溜阶底界
●2011年	浙江江山市	寒武系江山阶底界
●2008年	湖北宜昌市	奥陶系中奥陶统及大坪阶底界
●2008年	湖南古丈县	寒武系古丈阶底界
●2008年	广西柳州市	石炭系维宪阶底界
●2006年	湖北宜昌市	奥陶系赫南特阶底界
●2005年（2023年重新定义并获得批准）	广西来宾市	二叠系乐平统及吴家坪阶底界
●2005年	浙江长兴县	二叠系长兴阶底界
●2003年	湖南花垣县	寒武系芙蓉统及排碧阶底界
●2001年	浙江长兴县	二叠系/三叠系界线及印度阶底界
●1997年	浙江常山县	奥陶系达瑞威尔阶底界

资料来源：国际地层委员会

7亿—6.35亿年间曾多次被冰雪封盖。“雪球事件”结束后，全球范围内发生了广泛的白云岩沉积，这套盖帽白云岩在南澳大利亚弗林德斯山脉的出现，被用来定义“埃迪卡拉纪”的开始，标志着“雪球事件”的结束。

再如，在大约2.52亿年前，由于全球快速升温、海洋酸化、陆地干旱化等，当时全球80%以上海陆生物在较短时间内快速灭绝。我国古生物学家殷鸿福院士、金玉珏院士领衔的国际团队，在浙江长兴煤山剖面分别确立了二叠系与三叠系界线和长兴阶底界的“金钉子”，这两颗“金钉子”精确锚定历史上最大规模的生物灭绝事件发生在2.52亿年前，历时不超过6万年。

此外，“金钉子”还能暴露宇宙来客的痕迹。大约6600万年前，标志恐龙灭绝的中生代与新生代的界线，就是以地层中有一层铈元素高度富集的黏土层为标志，说明当时有一颗彗星撞击地球，一定程度上解释了为何一度占领陆海空的恐龙王国在瞬间灭亡。

### 中国已确立11颗“金钉子”，数量位居世界前列

目前，“国际年代地层表”中有100多颗“金钉子”，经过全球科学家几十年的探索，已经有80多颗“金钉子”被国际地质科学联合会正式批准。“金钉子”被称为国际地层学领域的“奥林匹克金牌”，其确立有一整套程序，需要建立国际工作组，选择地层沉积系列完整、研究程度最高的剖面作为标准。

## 我国新一代载人运载火箭长征十号完成第二次系留点火试验

# 载人登月“进度条”持续刷新

本报记者 刘诗瑶

近日，我国在文昌航天发射场成功组织实施长征十号系列运载火箭第二次系留点火试验，按计划完成了全部预定系留点火试验。所谓“系留试验”就是将试验箭体牢牢固定在试验平台上点火试车，拴住它不要让它飞走。

试验当天，随着指挥中心下达点火指令，火箭一级级试验产品七台发动机同时点火，按预定程序完成多项试验流程，试验总时长320秒，重点考核了火箭一级级七台并联发动机机低工况工作和二次点火启动工作能力，获取了完整的试验数据，试验取得圆满成功。

目前，我国载人月球探测工程登月阶段任务已启动实施，计划在2030年前实现中国人首次登陆月球。长征十号系列运载火箭是我国面向载人月球探测任务研制的新一代载人运载火箭，包括长征十号和长征十号甲两种构型。长征十号将在载人登月任务中承担梦舟Y载人飞船和

揽月月面着陆器发射任务。长征十号甲将在空间站应用与发展工程中承担梦舟载人飞船和天舟货运飞船发射任务。

为什么要进行系留点火试验？

中国航天科技集团专家介绍，系留点火就是短时的动力系统试车，这是火箭研制过程中必不可少的一环。

长征十号系列运载火箭系留点火试验，按照循序渐进、逐步验证的思路，围绕一级七机并联发动机动力系统性能验证、回收及重复使用验证两个目标分步推进实施，目的是获取一级七机并联工作状态下的真实载荷环境特性，并对回收段工作程序进行验证，是释放首飞风险的重要手段。

8月15日下午，我国在文昌航天发射场成功组织实施长征十号系列运载火箭首次系留点火试验。

两次系留点火有何不同？

专家介绍，第一次系留点火试验主要

是考验两型火箭共用的起飞段的工作状态。模拟近1000吨推力的作用下，各个系统工作的协调性和匹配性；第二次试验重点对火箭在返回段和着陆段期间进行考验，主要是对动力减速、气动减速等发动机不同工作时序进行全面模拟和考核。

截至目前，长征十号系列运载火箭计划进行的两次系留点火试验已全部完成，全面检验了火箭一级七机动力系统性能和回收段工作程序设计的正确性和可靠性，标志着长征十号系列运载火箭初样研制工作取得阶段性突破。

专家表示，后续，长征十号系列运载火箭将全面应用于载人航天工程任务中，与梦舟载人飞船一起，实现我国载人天地往返运输系统的更新换代。

右图：长征十号系列运载火箭第二次系留点火试验。

张馨方摄

投票选出的剖面提交国际地层委员会，同样要进行两三个月的讨论，讨论过后，再由国际地层委员会所有选举委员进行投票，通过后，剖面就被提交国际地质科学联合会进行正式批准。批准以后，“金钉子”剖面所在地必须实施保护，并对外开放。提案必须正式发表。

网友问：怎样钉进“金钉子”？“金钉子”上包含哪些直接信息？

答：有的“金钉子”是用大锤直接钉入界线点，也有的“金钉子”是用强力胶粘上去的。“金钉子”上一般有国际地层委员会名称、“金钉子”名称、“金钉子”界线位置、确立年份等内容。

下图为贵州剑河县“金钉子”。



▲图为位于浙江长兴县的“金钉子”。沈树忠供图



▲图为钉入贵州剑河县的“金钉子”。杨家孟摄（影像中国）

## 国唠『科』

著名科幻作家刘慈欣在小说《诗云》中曾描写过“微型白洞”，让很多人浮想联翩。想象一下，宇宙中有这样的天体，像一座永不枯竭的“喷泉”，不断向外喷射光和物质，任何物体一旦接近它，就会被猛烈“推开”。

这就是理论中的白洞。

要认识白洞，还得从它的“孪生兄弟”黑洞讲起。

20世纪初，物理学家卡尔·史瓦西解出了爱因斯坦广义相对论的一个精确解，这个数学结果预言：如果一个天体的质量被压缩到某个临界半径（后来称为“史瓦西半径”）内，它周围的时空将变得极度弯曲，形成一个连光也无法逃逸的区域。这个区域就是黑洞。

然而，黑洞的存在曾一度饱受质疑，就连爱因斯坦也认为它只是数学上的假想产物，并非真实存在。

直到1971年，天文观测显示，天鹅座X—1双星系统中伴随蓝超巨星的不可见天体极有可能是一个黑洞。之后越来越多的观测证据显示，黑洞广泛存在于星系中心和大量恒星残骸中。2019年，M87星系中心超大质量黑洞的照片发布，我们得以“看见”黑洞。最近，这个黑洞又有了新照片。

如果把黑洞比作宇宙中的“无底洞”，任何靠近它的物质都会被吞没，连光也无法逃脱，那么白洞恰恰相反：它不允许任何东西进入，只负责向外“吐”出物质和能量。

有趣的是，白洞和黑洞在数学上是同一个“解”——它们的质量、角动量、电荷都相同，唯一的区别是时间反了过来。

黑洞不断吞噬物质，是有进无出的“宇宙深渊”；而如果把时间倒放，它就变成了不断喷发物质的白洞。更令人惊奇的是，有些理论认为，黑洞和白洞之间可能由一种叫“虫洞”的时空隧道相连。假如一个粒子从黑洞掉进去，穿过虫洞，就有可能从白洞喷出来——实现真正意义上的“星际穿越”。

理论成立，但现实中白洞真的存在吗？

迄今为止，还没有任何观测证据表明白洞真实存在。部分科学家认为，白洞缺乏合理的形成机制——黑洞由大质量恒星坍缩形成，即使时间倒流，也只会回到坍缩前的恒星，而非形成白洞。

但部分科学家认为，白洞理论可以用来解释宇宙中某些现象。比如类星体惊人的能量输出，甚至我们宇宙的诞生本身，也可能源于一个原始白洞的喷发。但是，这些猜想都缺乏天文观测的支持。

尽管白洞尚未被证实存在，但一些科学家提出了新的猜测。

广义相对论预言黑洞中心有一个密度无限大的“奇点”，这与量子力学矛盾，意味着广义相对论在奇点附近不再适用。意大利物理学家卡洛·罗威利在研究圈量子引力时提出：当物质被黑洞压缩到极限时，可能会产生剧烈的量子反弹，把物质重新喷发出来——这时，黑洞就转变成了白洞。如果这个理论成立，那么我们宇宙中的每一个黑洞，未来都可能变成一个白洞。

也许在不远的某一天，我们真能发现白洞，并通过白洞，打开一扇通往宇宙深处的星际之门。

（作者为西南大学物理科学与技术学院副教授，本报记者王欣悦采访整理）

20世纪初，物理学家卡尔·史瓦西解出了爱因斯坦广义相对论的一个精确解，这个数学结果预言：如果一个天体的质量被压缩到某个临界半径（后来称为“史瓦西半径”）内，它周围的时空将变得极度弯曲，形成一个连光也无法逃逸的区域。这个区域就是黑洞。

然而，黑洞的存在曾一度饱受质疑，就连爱因斯坦也认为它只是数学上的假想产物，并非真实存在。

直到1971年，天文观测显示，天鹅座X—1双星系统中伴随蓝超巨星的不可见天体极有可能是一个黑洞。之后越来越多的观测证据显示，黑洞广泛存在于星系中心和大量恒星残骸中。2019年，M87星系中心超大质量黑洞的照片发布，我们得以“看见”黑洞。最近，这个黑洞又有了新照片。

如果把黑洞比作宇宙中的“无底洞”，任何靠近它的物质都会被吞没，连光也无法逃脱，那么白洞恰恰相反：它不允许任何东西进入，只负责向外“吐”出物质和能量。

有趣的是，白洞和黑洞在数学上是同一个“解”——它们的质量、角动量、电荷都相同，唯一的区别是时间反了过来。

黑洞不断吞噬物质，是有进无出的“宇宙深渊”；而如果把时间倒放，它就变成了不断喷发物质的白洞。更令人惊奇的是，有些理论认为，黑洞和白洞之间可能由一种叫“虫洞”的时空隧道相连。假如一个粒子从黑洞掉进去，穿过虫洞，就有可能从白洞喷出来——实现真正意义上的“星际穿越”。

理论成立，但现实中白洞真的存在吗？

迄今为止，还没有任何观测证据表明白洞真实存在。部分科学家认为，白洞缺乏合理的形成机制——黑洞由大质量恒星坍缩形成，即使时间倒流，也只会回到坍缩前的恒星，而非形成白洞。

但部分科学家认为，白洞理论可以用来解释宇宙中某些现象。比如类星体惊人的能量输出，甚至我们宇宙的诞生本身，也可能源于一个原始白洞的喷发。但是，这些猜想都缺乏天文观测的支持。

尽管白洞尚未被证实存在，但一些科学家提出了新的猜测。

广义相对论预言黑洞中心有一个密度无限大的“奇点”，这与量子力学矛盾，意味着广义相对论在奇点附近不再适用。意大利物理学家卡洛·罗威利在研究圈量子引力时提出：当物质被黑洞压缩到极限时，可能会产生剧烈的量子反弹，把物质重新喷发出来——这时，黑洞就转变成了白洞。如果这个理论成立，那么我们宇宙中的每一个黑洞，未来都可能变成一个白洞。

也许在不远的某一天，我们真能发现白洞，并通过白洞，打开一扇通往宇宙深处的星际之门。

（作者为西南大学物理科学与技术学院副教授，本报记者王欣悦采访整理）

## 我国超重力场大科学装置核心设备正式启用

本报杭州电（记者江南、襄瀚洋）日前，位于浙江杭州的国家重大科技基础设施——超重力离心模拟与实验装置的核心设备正式启用。这套由我国完全自主研发的超重力大科学装置能够营造超过地球重力千百倍的“超重力场”。该装置可以在实验室中以很小的尺寸、极短的时间再现真实世界的变迁，为推演验证千米尺度灾变、万年历时污染迁移等提供关键支撑。

该装置由浙江大学牵头建设，是将超重力场与极端环境叠加一体的大型复杂科学实验设施。本次启用的首台离心机容量为1300g·t（重力加速度·吨），是目前世界上容量最大的离心机。此外，容量为1500g·t和1900g·t的两台离心机正在加紧安装建设中。所有设备预计于2026年底完成建设。

未来，从深海能源开发到抗震建筑设计，从核废料处理到新材料研发，超重力离心模拟与实验装置将成为多学科研究的强大助推器。

## 科学家揭示北极海洋在5600万年前全球变暖中的作用

本报广州电（记者姜晓丹）近日，中国科学院广州地球化学研究所与国际合作团队在国际学术期刊《自然·地球科学》发表论文指出，海洋硫酸盐浓度的变化能够改变甲烷的消耗方式。这一成果揭示了5600万年前的超级变暖事件（古新世—始新世极热事件，PETM）中极端全球变暖和海洋酸化背后的碳循环机制。

现代海洋中，约90%的甲烷会被沉积物中的微生物在无氧条件下利用，产生碱性物质，缓解海洋酸化。但是，PETM时期北极海水硫酸盐浓度不到现代的1/3。“因为硫酸盐严重不足，一类喜欢氧气的细菌开始‘快速燃烧’甲烷——它们直接消耗氧气，快速释放二氧化碳。”项目负责人、研究员张一歌说。

基于海洋浮游植物分子痕迹重建的二氧化碳浓度显示，PETM恢复期北极海洋的二氧化碳浓度水平比全球平均值高200—700ppm，这说明北极海洋从原本吸收二氧化碳变成了排放二氧化碳。“因为海水变淡、硫酸盐减少，甲烷只能通过‘快速燃烧’的方式分解，直接制造了大量二氧化碳。”论文合作作者、研究员沈佳恒说，“这从根本上改变了北极在全球碳循环中的角色，变成温室气体排放源。”

本版责编：智春丽 陈圆圆 陈世涵  
版式设计：张丹峰

宇宙中有黑洞，还有白洞吗？

杨科