

西伯利亚亚马尔半岛的巨洞之谜

在北极圈的一个偏远半岛上,永久冻土层出现了一些巨大的伤口,某种让科学家担心的事情似乎正在地下爆发。

在一场突然的爆炸之后,地面上留下了一个不规则的凹坑。在凹坑的边缘,是破碎的地面,灰色的冰混杂着永久冻土。植物的根暴露在坑洞边缘,显示出烧焦的痕迹。这一切让我们知道,这个位于西伯利亚北极区中部的坑洞在形成时经历了多么剧烈的过程。

从空中俯瞰,新鲜暴露的泥土在绿色苔原和周围黑色湖泊的映衬下,显得格外醒目。进一步观察可以发现,圆柱形坑洞内部的土层和岩石几乎是黑色的。当科学家来到洞口的时候,其底部已经形成了一个水池。

叶夫根尼·丘维林(Evgeny Chuvilin)便是最早来到这里的地质学家之一,他在俄罗斯莫斯科的斯科尔科沃科学技术研究所工作。在一个困扰他长达六年的谜团中,这个深约50米的坑洞可能最关键的部分之一。自第一个神秘坑洞在亚马尔半岛另一地点被发现以来,这个谜团就一直萦绕在他脑海里。

当时那个坑洞宽约20米,深约52米,是在2014年由直升机飞行员在其上空发现的,距离亚马尔半岛的博瓦年科沃(Bovanenkovo)气田约42公里。参观过该巨洞的科学家——包括研究西伯利亚永久冻土层已有40多年的地球冰冻圈研究所首席科学家马里亚娜·莱布曼(Mariana Leibman)——把它描述为永久冻土层的一个全新特征。后来对卫星图像的分析显示,这个坑洞(现在被称为GEC-1)形成于2013年10月9日至11月1日之间的某个时间。

2020年8月,一个电视摄制组在飞行拍摄时发现了这个最新的巨洞,当时他们正与俄罗斯科学院的一组科学家,以及亚马尔当地政府人员一起进行考察。这一发现使得在亚马尔半岛与邻近的格达半岛上已经发现的巨洞总数达到17个。

但是,究竟是什么原因导致永久冻土上出现这些巨洞,这些巨洞又是如何突然形成的,在很大程度上仍然是一个谜。它们对于北极的未来意味着什么,又将如何影响当地人的生活和工作,这些都是悬而未决的问题。

在许多研究北极的科学家看来,巨洞的出现是一个令人不安的迹象,表明地球北部这片寒冷且人烟稀少的土地正在发生一些根本性的变化。

巨洞如何形成?不过,最近的研究开始为这一现象提供了一些线索。可以确定的是,这些洞的形成并不是永久冻土在地表下融化和移动,从而逐渐下沉的结果;它们的形成来源于爆炸。

“当爆炸发生时,大块的土壤和冰块会被抛离爆炸中心数百米,”叶夫根尼·丘维林说,“我们所看到的是一种巨大的力量,来自于极高的压力。地下的压力为什么会这么高,这仍然是一个谜。”

叶夫根尼·丘维林所在的俄罗斯科学家团队正在与世界各地的同行合作,他们一直在探索这些巨洞,采集样本并测量数据,希望更深入地了解苔原下方的情况。

一些科学家将这些巨洞与冰火山进行了比较。冰火山存在于太阳系的冥王星、土星的卫星土卫六和矮行星谷神星等遥远天体上,不会喷发熔岩,而是喷发由水、氨、甲烷等挥发物组成的冰岩浆。然而,随着越来越多处于不同演变阶段的北极巨洞得到研究,这些巨洞又被称为“气体排放天坑”(gas emission crater)。从这一名称中,我们可以得到一些有关它们如何形成的线索。

叶夫根尼·丘维林说:“基于卫星图像的分析表明,在一个原本是冰阜(Pingo)或土堆的地方发生了一场爆炸,形成了一个巨大的坑洞。”冰阜即冻胀丘,又称冰堆丘,是一类圆顶状的小丘。当一层冻结的地面被下方的流水推挤成堆,而后水流开始冻结,土堆就会膨胀形成冻胀丘。在俄罗斯,这种地貌也被称为“bulgunnyakhs”,源自当地的雅库特语。它们会随着季节的变化而消长。在加拿大发现的一些冻胀丘已经有1200年的历史了。然而,在北极的大部分地区,这些土堆最终往往会崩塌而不是爆炸。

很明显,西伯利亚西北部的这些土堆很不一样。叶夫根尼·丘维林解释说,它们膨胀得“非常快,能推升到数米高”,然后突然爆炸。而且,它们的推升并不是因为正在冻结的水,而似乎是由地下气体的

堆积造成的。

“冻胀丘需要几十年的时间来形成,并且能持续很长一段时间,”研究永久冻土的北极生态学家、美国伍德威尔气候研究中心的北极项目主管苏·娜塔莉(Sue Natali)说,“而这些充满气体的土堆则是几年间形成的。”

在2014年发现的第一个巨洞中,科学家从爆炸的残余物中发现了灌木柳树的年轮。一项针对这些年轮的研究表明,这些植物自20世纪40年代以来就一直在承受压力。研究人员表示,这些压力可能来自于地面的变形。

然而,有证据表明,气体排放天坑的生命周期可以非常短。从3到5年不等,“俄罗斯莫斯科国立罗蒙诺索夫大学的冰川学家亚历山大·基兹亚科夫(Alexander Kizyakov)说道。有卫星图像显示,2017年初夏形成的一个名为“SeYkhGEC”的巨洞早在2015年就开始使地面变形。

会爆炸的土堆在距离亚马尔半岛不远的喀拉海海底,也发现了类似的与气穴排放有关的凹坑和土丘,在巴伦支海也发现了类似的痕迹。但苏·娜塔莉表示,到目前为止,在北极其他陆地上还没有发现类似的地貌。

亚马尔半岛和格达半岛的永久冻土很容易形成会爆炸的土堆。“那里的景观有一些独特的特征,”苏·娜塔莉说,“这个区域具有一层很厚的冰,称为平顶冰(tabular ice),相当于在永久冻土层上方形成一个覆盖层。这个地方也具有很多被称为湿寒土(cryopeg)的地貌,即未冻结土地被永冻层包围的区域,相当于永冻层夹层。第三个特征是沉积得非常深的天然气和石油储藏。”

埃尔库塔巨洞(Erkuta crater)是叶夫根尼·丘维林最近发现的一个坑洞,宽约20米,得名于其所在的河漫滩。这个坑洞似乎是在一个干涸的牛轭湖上形成的。湖泊消失后,其下方留下了一片未冻结的土地,称为居间不冻层(talik),气体便在这里积聚起来。但叶夫根尼·丘维林也指出,确切的天然气来源在很大程度上仍不清楚。“坑洞研究的关键问题是确定在永久冻土表面下所积聚气体的来源,”他说,“在坑洞出现之后,气体早就消失了。”



追溯这些土堆的演变以及气体如何到达那里,是目前研究的重点。苏·娜塔莉说:“有趣的是,可能有一种我们从未想象过,或以前未知的新型地球化学过程正在发生。”

研究人员勇敢地下降到坑洞内部,发现洞底部聚集的水中具有较高的甲烷含量,这表明甲烷可能正从下面冒出来。一个主流理论认为,这些埋藏在永久冻土层下方深处的甲烷气体找到了某种途径,从冰帽下方未冻结的凹坑中涌起。另一个观点是,在这些未冻结的凹坑中,随着水开始冻结,剩余的水就无法再留住溶解的高浓度二氧化碳,这些气体便开始以气泡冒出。

叶夫根尼·丘维林表示,甲烷和二氧化碳的另一个来源可能是在未冻结土地中蓬勃生长的微生物,它们会分解有机物并释放气体。在一个特别引人注目的坑洞中,研究人员进行了甲烷的同位素分析,结果似乎证实了这一点。但在最近形成的坑洞底部的湖泊中,产甲烷微生物的活性特别低——即使在发现它们的寒冷环境中也是如此。

不过,甲烷也可能从冰体中泄漏出来。气体会被困在永久冻土的水晶体中,形成一种奇怪的冻结物质,称为气体水合物。当气体水合物融化时,气体就被释放出来。

“我们认为可能存在不同的形成机制,这很难用单一模型来描述,”叶夫根尼·丘维林说,“这在很大程度上取决于环境和景观。”他指出,至少有一个坑洞是在河床上发现的。

不管气体来源是什么,研究人员基本认为,气体会积聚在未冻结的地面凹坑中,将坚实扁平的冰帽向上推5到6米,直到它像疝子一样破裂。一些科学家发现,他们已经被亚马尔巨洞所吸引。“与这些坑洞相关的未知和风险让我着迷,”娜塔莉承认道。

当这些土堆最终爆炸时,景象看起来的确很壮观。充气凹坑上方的泥土和冰,连同未冻结部分的大部分物质,被抛向300米之外。这种力量是如此之大,以至于1米宽的土块都会被抛到外面,留下一个带有凸起边缘的大坑,其洞口宽大,下方是较窄的圆柱形巨洞——应该就是未冻结的凹坑。当地的驯鹿牧人报告称,2017年6月,Myudriyakh河岸边的一个坑洞发生爆炸后,他们看到了火焰和烟雾。在坑洞以南约33公里的Seyakha村,村民称气体持续燃烧了大约90分钟,火焰高达4到5米。

在这个人口稀少的地区,一场发生在如此接近定居点的爆炸引起了人们的关注。该地区还布满了石油和天然气基础设施的管道,试图获取埋藏在永冻土下的化石燃料。“我们还不知道这些事件是否会对北极地区的人们构成威胁,”苏·娜塔莉说道。她和同事们一直试图在高分辨率的卫星图像中寻找其他坑洞的迹象,以回答这个特殊的问题。

“一旦我们发现类似坑洞的东西,我们就会使用非常高分辨率的时间序列图像(不同时间在同一地点拍摄的卫星图片)来尝试弄清楚它们是何时形成的,”苏·娜塔莉说。他们的工作似乎表明,坑洞的数量要比之前认为的更多。“到目前为止,我们已经确定并证实了两个新的坑洞位置,还有几个位置我们仍在确认过程中。在我们的‘非常有可能’类别中,有二十几个候选即将退出。考虑到2013年我们对它们还一无所知,看来很可能还存在更多的坑洞。”

最终,苏·娜塔莉和她的团队希望能够收集到足够的证据,以实现搜索过程的自动化。他们的最终目标是创建一种算法,通过在卫星图像中寻找可能的排气土丘,在坑洞形成之前对其进行预测。

地球最初的生命如何应对它最大的威胁——水?

据国外媒体报道,生命依赖于水,但水也能分解DNA和其他关键分子。那么,最早的细胞如何解决这一悖论?

2021年2月18日,美国国家航空航天局(NASA)将有一艘飞船进入火星的大气层,它将启动着陆系统和空中吊装机动结构,将名为“毅力号”的六轮漫游车降落到火星表面。如果一切顺利,这台火星车将着陆在耶泽罗撞击坑,这是一个靠近火星赤道、宽45公里的陨石坑,可能曾经是一个液态水湖泊。

英国剑桥大学的研究者约翰·萨瑟兰特别关注毅力号的进展。他是该校MRC分子生物学实验室的生物化学家,也是游说NASA探访耶泽罗撞击坑的科学家之一。他之所以对这个陨石坑感兴趣,是因为它很契合他关于(火星和地球上)生命起源的观点。

在生命起源问题上,关于少数分子经历了哪些化学步骤才转化为最早生物细胞,研究者的观点已经发生了变化。着陆点的选择正是反映了这种变化。尽管长期以来,许多科学家都推测这些“先驱”细胞来自海洋,但最近的研究表明,生命的关键分子及其核心转变过程,只能发生在像耶泽罗撞击坑这样的地方,即一个由溪流构成的相对较浅的水体。

若干研究表明,生命的基础化学物质需要太阳光的紫外线辐射

才能形成,其所处的水环境有时必须高度浓缩,甚至完全干燥。在室内实验中,萨瑟兰和其他科学家通过温和加热简单的碳基化学物质,使它们经受紫外线辐射并时不时加以干燥,制造出了DNA、蛋白质和细胞的其他关键成分。化学家还从未在模拟海水的条件下合成如此多样的生物分子。

新出现的证据使许多研究人员放弃了生命出现于海洋的观点,转而关注陆地环境,主要是那些干湿交替的地方。当然,并不是所有科学家都改变了看法,但是支持陆地起源观点的科学家表示,该观点为一个长期以来的悖论——尽管水是生命的必要条件,但它也会破坏生命的核心组成部分——提供了解决方案。

美国华盛顿大学的行星科学家大卫·卡特林表示,陆地表面的湖泊和水塘很有可能是生命的诞生地,“在过去的15年里,已经有大量的工作支持了这个方向。”

原始汤 尽管目前对于生命还没有一个标准化的定义,但大多数研究人员认为,生命必须包含几个组成部分,如携带信息的分子——DNA、RNA或其他分子。一定存在某种复制这些分子指令的方法,尽管复制过程不够完美,会出现错误,但这正是演化的基础。此外,最早的生命必须能够养活并维持自身存

在,也许是利用蛋白质酶。最后,某些物质会将这些不同的部分连接起来,使其独立于周围环境。

对生命起源的实验室研究正式开始于20世纪50年代,当时许多研究人员认为生命起源于海洋,海水中存在着一种富含碳基化学物质的混合物,称为“原始汤”。早在20世纪20年代,苏联生物化学家亚历山大·伊万诺维奇·奥巴林和英国遗传学家约翰·伯顿·桑德森·霍尔丹就各自提出了这一概念。他们都将早期地球想象成一个巨大的化工厂,大量的碳基化学物质溶解在早期海水中。奥巴林解释说,越来越复杂的颗粒不断形成,最终生成了碳水化合物和蛋白质——他称之为“生命的基础”。

1953年,美国芝加哥大学一位名叫斯坦利·米勒的年轻研究者进行了一次著名的实验。许多人认为,该实验的结果证实了上述观点。他用一个盛着水的玻璃瓶来模拟海洋,用另一个装着甲烷、氨和氢的玻璃瓶来模拟早期地球大气,两个瓶子之间用管子相连。米勒用电极模拟闪电,通过几天的加热和电击,瓶子里的物质和水反应生成了甘氨酸,这是最简单的氨基酸,也是蛋白质的重要组成部分。许多研究者据此认为,生命起源于海洋表面附近。

然而,今天的许多科学家指

出,这种观点存在一个根本问题:生命的基础分子会在水中分解。这是因为,蛋白质和核酸(如DNA和RNA)在连结处十分脆弱。蛋白质是由氨基酸链组成的,而核酸由核苷酸链组成。如果把这些分子放到水中,连结链就会断裂。已故的生物化学家罗伯特·夏皮罗在他1986年的代表作《起源》中批评了海洋原始汤的假说,他写道,在碳化学中,“水是一个敌人,必须尽可能地排除在外”。

这就是水的悖论。美国明尼苏达大学的合成生物学家凯特·阿达拉表示,今天的生物细胞通过限制水在内部的自由流动来解决这一问题。出于这个原因,常见的细胞质示意图常常是错误的。“我们被教导细胞质就像一个袋子,可以装下所有东西,而这一切都在游动,”她补充道,“事实并非如此。一切都是细胞内搭建起来的,而且是在一团凝胶当中,而不是一个水袋。”

许多研究者认为,如果生命能控制水分,那么其中的含义显而易见:生命可能是在陆地上形成的,因为水在陆地上只能间歇性地存在。

源于陆地 支持这种观点的关键证据出现在2009年,当时萨瑟兰宣布,他的团队已经成功制造出组成RNA的4种核苷酸中的两种。他们从磷

酸盐和4种简单的碳基化学物质开始,包括一种名为“氨基氢”的氰化物盐。这些化学物质全部溶解在水中,但浓度很高,而且关键步骤需要紫外线辐射。萨瑟兰表示,这样的反应不能在海水发生,而只能发生在暴露于阳光下的小水塘或小溪流中,那里可以使化学物质浓度升高。

萨瑟兰的团队已经证明,利用同样的起始物质,即使处理方法稍有不同,也能产生蛋白质和脂质的前体。研究人员认为,如果含有氰化物盐的水体被太阳晒干,留下一层与氰化物有关的干燥化学物质,然后被地热活动加热,就可能发生这些反应。在过去的一年里,他的团队利用太阳能和相同的高浓度化学物质制造出了DNA的构建单元,这在以前被认为是不可可能的。

美国NSF-NASA化学演化中心的生物化学家莫兰·弗伦克尔-品特和同事扩展了这一成果。去年,他们发现,氨基酸在干燥后,会自发地连接起来,形成类蛋白质链。与其他氨基酸相比,组成今天蛋白质的20种氨基酸更可能发生这种反应。这就意味着,间歇性的干燥有助于解释为什么生命在数百种可能的情况下只使用这些氨基酸。“我们看到了对如今氨基酸的选择,”弗伦克尔-品特说。