

物换星移

——2 亿年前的青藏高原

□文 / 王 东 占王忠 高竹军

＞白水鉴心 庄大立 / 摄

第一作者简介 王东，高级工程师，长期从事西藏地区羌塘盆地油气地质调查和科研工作。

青藏高原是一个美丽而神秘的地方，它是全球最大、海拔最高的高原，被称为“世界屋脊”“第三极”。这里有世界之巅珠穆朗玛峰，这里有宗

教神山冈仁波齐峰，也有荒无人烟的羌塘和可可西里无人区，还有美丽而稀有的藏羚羊；这里既令人心向往之，也令人望而却步。当前的青藏高原高寒缺氧，气候恶劣，大多数地方不适宜人类居住。但是，贫瘠的深山里蕴藏着富饶的自然资源，广袤的草原孕育了健壮的牦牛，寒冷的冰川更是长江、黄河和澜沧江等大江大河发源之地，这里有太多未知的秘密等待人

们去探索 and 发现。而在地质学家的眼里，青藏高原并不简单，它是在一个长期而又复杂的地质构造演化之后形成的结果。

板块学说认为，青藏高原是印度洋板块与欧亚板块持续汇聚的结果，它的形成可以追溯到数亿年前。大约在 1 亿年前，冈瓦纳大陆裂解为不同块体，其中非洲板块和印度陆块向北移动、挤压，使得介于亚洲陆块与印度陆块之间的部分海洋逐渐消失，并

次第隆升成为陆地，随着印度板块和欧亚板块最终拼贴在一起，高原地貌格局才基本成型。但青藏高原抬升过程不是均匀的，也不是一次性猛然抬高，而是经历了几个不同的上升阶段。距今1万年前，高原抬升速率更快，以平均每年7厘米速度上升，使之成为当今地球上的“世界屋脊”。

那么，作为从事地球科学研究的人员，为什么要去研究青藏高原呢？因为通过深入研究青藏高原的形成和演化过程，能够进一步深入认识地质历史时期全球古地理、古环境和古气候特征及其演变过程，这有助于去探索高原中的矿产、油气，以及地热等自然资源的形成，有助于认识现今全球气候变化过程及机理。

青藏高原中部的格拉丹东雪山，早已享誉盛名，拥有壮丽的冰川，漂亮的冰塔林，河流纵横，湖泊星罗。格拉丹东雪山及其周边区域是我国长江、黄河发源地，亚洲第六长河澜沧江源头，因此，这一区域又被称为“三江源”，更是国家的“生

命之源”。“三江源”生态作用极为重要，具有区域性涵养水源的重要功能，对江河源头乃至整个领域生态环境都有重要影响。既然“三江源”地区如此重要，而其地质历史时期是什么样子呢？

2 亿年前的远古海洋

首先，我们需要认识一下“羌塘盆地”。羌塘盆地位于青藏高原腹地，面积约18万平方千米，它曾是青藏高原形成前的古海洋——特提斯洋一部分，也被赋予了古希腊神话河海之神妻子的神秘形象，换言之，特提斯洋是一个消失了的古大洋，而羌塘盆地只是这个古大洋消失之后残留的一小部分。也许，在一般人眼里，很难想象得到海拔这么高的青藏高原曾经怎么会是一个海洋呢？当然，地质学家主要是通过记录在岩石里面的信息，去判断一个地区在远古时代是陆地还是海洋，抑或是河流还是湖泊。



＞高原乐土 庄大立 / 摄



＞ 高原之湖 王东/摄

按照最新国际地层时代划分标准,在距今约2.37亿~2.01亿年前的晚三叠世时期,羌塘盆地整体以海洋环境为主,就像现在的东南亚地区,那时的青藏高原还是烟波浩淼的海洋,有数不尽的海岛,阳光下尽是碧海蓝天、沙滩浪花。这一时期的海洋动物主要是多门类的脊椎动物、无脊椎动物,以菊石类动物最为繁荣。但是,受到强烈板块构造运动影响,古地理环境变化频繁,不同地区在不同时间均发生过隆起抬升成为陆地,在短短的0.36亿年时间里,一些地方从海洋变成陆地,另一区域又从陆地变为海洋,可谓沧海桑田,变幻莫测。

近年来,中国地质调查局成都地质调查中心工作项目组在该地区开展野外地质调查工作时,发现了一些能够反映2亿年前远古海洋特征的一些化石证据,进一步揭开了该地区在晚三叠世时期古地貌的神秘面纱。

神奇的古网迹化石

幸运的是,在开展野外地质调查时,首次在羌塘盆地东部格拉丹东地区发现一种特殊化石。通过查阅资料 and 对比发现,这种叫 *Paleodictyon* (古网迹) 的遗迹化石,被发现于该地区上三叠统巴贡组砂岩底部凸起之上,表现为规则整齐的六边形网孔,网孔直径约为5~6毫米,大多呈规则的正六边形,其管状潜穴直径约为1毫米,管内主要充填物为粉砂质沉积物,水平管相互之间形成规则整齐的六边形网孔边界,相互连通,呈蜂窝状紧密展布。在奥地利维也纳地区始新世复理石地层中也曾发现过这种遗迹化石。仔细观察这些网格状的构造,是不是颇似化学书中的分子链,或者仿佛被现代人类工业文明印上去的。

研究表明,古网迹属于一种叫作砂蚕(*Nereites*)的小型生物的遗迹化石,常见于深海复理石相浊流

沉积最远或末端的沉积岩石之中。通常情况下，该类生物遗迹具有整齐均一的六边形网孔，无规则的垂直竖管，整体亦呈六边形轮廓。Paleodictyon（古网迹）属于动物遗迹中的耕作迹，这是动物在居住和进食活动过程中留下的遗迹，就像一头在田间辛勤耕作的水牛，最早沿平整的海底面耕作，形成蛇曲形遗迹，然后在外部边缘不断耕作，反复以前的蛇曲遗迹，最后形成网孔状的遗迹。

小化石 大作用

你或许会想，这些遗迹化石能说明什么问题呢？在《中国遗迹化石》一书中，1953年，古生物

学家 Seilacher 率先识别出 5 类遗迹化石：爬行迹、停息迹、居住迹、觅食迹和牧食迹。后来，其他学者在此基础上，又识别出逃逸迹和耕作迹两种类型的遗迹化石。通过对遗迹化石研究，可以恢复遗迹化石的沉积环境、揭示同沉积作用特征。

耕作迹遗迹化石最早在寒武纪的海洋环境里发现，之后从奥陶纪到第四纪的深海环境中屡有发现，因其颇有规律的网格状形态，成为深海复理石建造中最常见的代表性遗迹化石。

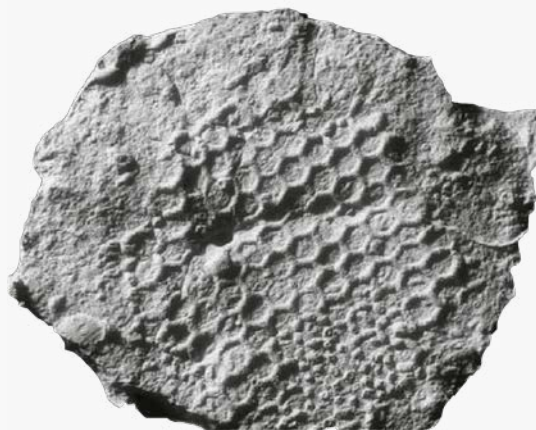
海边沙滩上经常可以看到许多生物钻孔和生物爬行痕迹，这些痕迹通常都没有规律，而且汹涌澎湃的海浪会把这些生物遗迹破坏掉，因此，更不可能在海边沙滩环境下形成规则的遗迹。只



＞发现化石的地层剖面 占王忠 / 摄



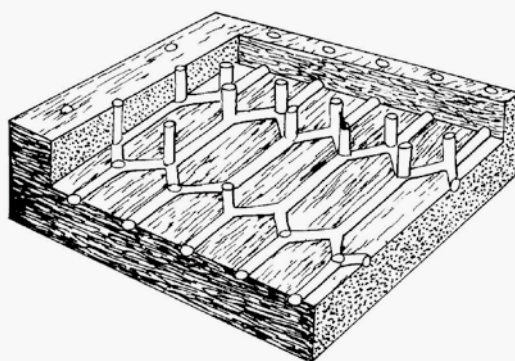
> 格拉丹东地区古网迹化石



> 奥地利始新世古网迹化石



> 遗迹化石的习性分类举例



> 古网迹素描图

有在半深海—深海环境中，水体十分平稳，这些小型海底底栖类生物缺少天敌的侵袭，也没有动荡的海水影响，日复一日地进行着耕作觅食，才有可能形成这样特殊的遗迹。由此，我们就可以通过这样的遗迹化石来反演当时的环境。

通常情况下，海洋生物群落的分布和发育受诸多因素影响，对于大洋底栖生物而言，影响因素包括海水深度、盐度、含氧量、沉积速度和突发事件的扰动、有机质和食物的供给，等等。这些因素是互相联系的，对生物群落的主要影响表现在属种分异度的大小、生物个体的大小和内生生物的活动量等，它们的变化则是通过造迹生物反映到遗迹化石和遗迹组构方面。

大量资料显示，海洋底栖生物的耕作迹一般不

会产于浅海环境，在水深超过 1 500 米的现代沉积物中才开始有 *Paleodictyon*（古网迹）化石的出现，它也是反映深海环境中的典型代表。同时，深海造迹生物随水深增加，遗迹的多样性也迅速增大，特别是在 2 000 米左右的半深海斜坡环境，多样化程度达到最高值，在大于 2 000 米的深海区多样性又会快速下降。格拉丹东地区的古网迹化石多样化程度较低，丰度较高，潜穴管普遍较细，仅为 1 毫米，也说明该地区在当时水体较深。通过岩性组合及其他沉积构造分析，形成古网迹化石的岩石属于远离陆源碎屑的浊积岩，在岩石中也发现了深水浊流沉积的重荷模等构造特征，沉积构造和古生物遗迹特征都证实了该地区当时属于海水较深的半深海—深海环境。

通过分析遗迹化石的潜穴管特征、多样性等特征，还可以进一步揭示当时生物生活的海水水体的含氧饱和度、盐度等信息，这反映了遗迹化石研究的重要性。

梦回三叠纪

古网迹化石的发现能够表明该地区当时属于一个深海环境，而这也不能认为整个格拉丹东地区均为深海环境。通过地质钻井和地质剖面的研究揭示，同样是在晚三叠世时期，格拉丹东北部地区属于浅海环境，格拉丹东部雁石坪地区属于三角洲环境，如同现今的恒河三角洲平原，沱沱河地区则属于三角洲—浅海的过渡型环境。由此可见，在晚三叠世时期格拉丹东地区并非简单的一望无际的大洋，而是一个“多岛海”的古地理环境格局，类似于现今的东南亚菲律宾至印度尼西亚一带，既有宽阔的海洋，也有延绵无尽的海岛。

不难想象，在这个2亿年前的远古三叠纪（晚期），特提斯洋正在经历着前所未有的剧变，南半球的陆地板块不停地向北漂移，格拉丹东地区也在随波逐流，一路向北。此时，板块构造运动使得陆地和海洋都出现了不同规模的火山喷发，在宽广的海面上，波涛汹涌，大型海生爬行类动物常出没于浅海附近，作为食物链的顶端，不停地追逐着它们的猎

物。随着海水变深，海洋变得逐渐安静下来，阳光难以穿透深深的海水，没有珊瑚礁石，也没有大型的海洋生物，氧气稀少，仅有一些菊石等海洋浮游生物自在地游弋。在海底深处，一些微小的潜穴生物在海洋淤泥表层耕作觅食，留下了迷宫一样的遗迹。伴随着海底沉积物的不断沉积加厚，这些遗迹逐渐被埋藏到深处，并保存到了岩石之中。

“曾经沧海难为水，除却巫山不是云”，元稹用诗句怀念亡妻，而特提斯海的消失，就像是古希腊的河海之神失去了他的妻子，这些记录在岩石上的信息仿佛是写给他妻子的诗句。在现今的地层剖面露头上，局部的沉积构造和遗迹化石都只是揭露了地质历史时期某一个短暂时期的古环境，还需要更深入的调查工作去揭示更全面、更准确的古环境信息。

在当今科技高速发展的年代，人类已经可以通过计算机模拟还原侏罗纪恐龙时代，也可以描绘未来的高科技时代，而时光穿梭仍然只停留在科幻小说和电影之中。如果在不远的将来，时间旅行成为现实，你是想回到古老而神秘的远古时代，还是想探索充满希望的未来世界呢？

本文由中国地质调查局成都地质调查中心“西南地区自然资源动态监测与风险评估（编号：DD20211392）”项目资助。

第一作者单位 / 中国地质调查局成都地质调查中心

（本文编辑：张佳楠）



＞ 格拉丹东雪山的冰川 王东 / 摄