科学通报
第41卷 第19期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1996年10月

雕画迹的拓扑结构及其形态功能分析*

龚一鸣 黄定华
(中国地质大学地球科学学院,武汉 430074))

关键词 雕画迹 拓扑结构 拓扑形态功能分析

一个树网电路结构,经过两种不同的部分拓扑等价变化,其电流或电压效应也随之发生变化,对应于拓扑同构部分的电流、电压效应则无变化(图1). 在对我国华南、新疆泥盆纪雕画迹的研究过程中,我们也发现了同样的规律.

雕画迹是一类具有装饰特征和复杂图案由高度组织行为形成的生物遗迹,通常发育于复理石相、深水或缺氧环境中. Seilacher 等曾对雕画迹的分类、形态功能、行为习性和环境意义等方面进行过研究[1]. 这些研究均是以欧氏几何学为基础的,难以认清不同雕画迹之间的形态谱系、行为习性关系和生态环境意义.

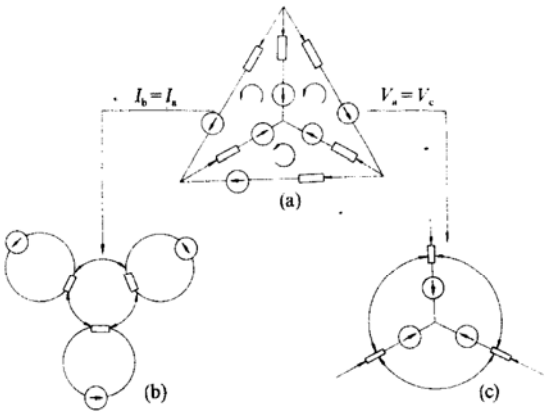


图1 电路的拓扑结构与电流、电压效应的关系
I_a——树网电路的电流效应,I_b——网电路的电流效应,
V_a——树网电路的电压效应,V_c——树电路的电压效应

1 雕画迹的拓扑结构及其功能分析

在文献[2,3]基础上,参照有关成果[4],对几种有代表性的雕画迹进行了拓扑遗迹分析1),发现庞大的雕画迹家族可归并为3种拓扑结构,它们分别同胚2)于线、树、网(图2),其拓扑参量分别为2个非分点3),点的指数4)大于或等于3. 其他雕画迹可归于3类中的某一类或它们的复合类型,如 *Cochlichnus*,可归类于线形雕画迹.

同胚于线的雕画迹有一个起点和一个终端,遗迹路径不交切、重合、断间,反映造迹者具高度的趋避性(*phobotaxis*)、趋触性(*thigmotaxis*)和趋转性(*streptotaxis*),是寻觅式运动觅食习

1995-10-18 收稿,1996-03-08 收修改稿
* 国家自然科学基金、高等学校博士学科点专项科研基金联合资助项目

1) 拓扑学是指研究几何图形经过连续形变(在弹性范围内)后仍能保持不变的性质的数学分枝学科,这种不变的性质即为拓扑性或拓扑参量. 运用拓扑学理论、方法研究生物遗迹的形态特征及其科学意义,称之为拓扑遗迹分析

2) 设 X 与 Y 都是度量空间,如果对应 $f: X\to Y$ 是从 X 到 Y 的、……的、连续的满映射,而且逆对应 $f^{-1}: Y\to X$ 也是连续的,则 f 叫作拓扑映射或同胚. 如果存在拓扑映射 f,则空间 X 与 Y 叫作同胚的. 简言之,拓扑学中的同胚等效于欧氏几何学中的全等

3),4) 二者均为拓扑参量或拓扑不变量. 粗略地讲,分点是可以将图形分为两个以上互不连通部分的点,非分点则不具备这种性质,前者如"8"字的交叉点,后者如线段的端点;设图形 A 是由有限个弧组成的,x 是图形 A 上的点,集中在点 x 周围的图形 A 的弧的数目称为点 x 的指数

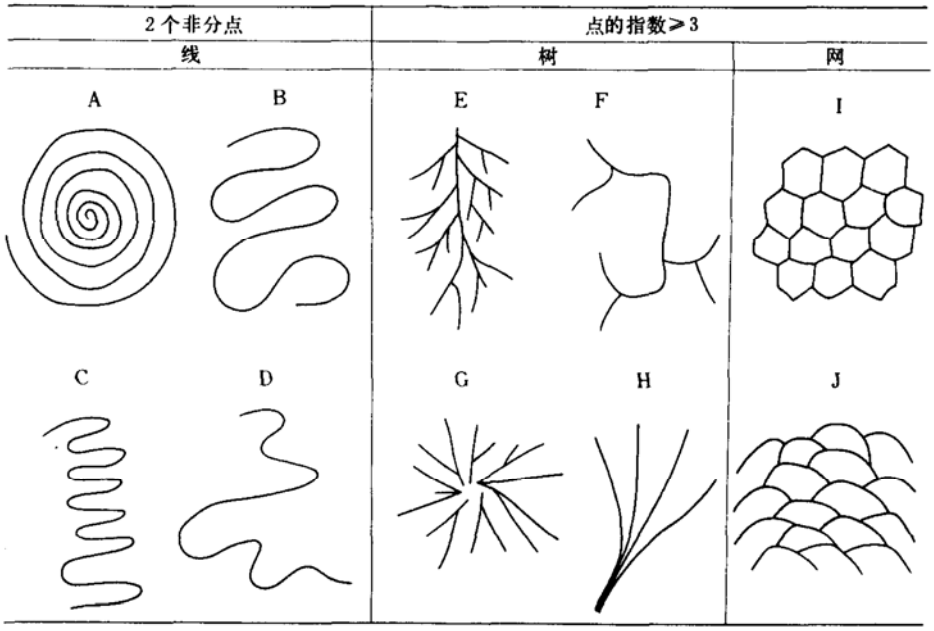


图 2　中国泥盆纪雕画迹的拓扑类型划分

A——*Spirorhaphe*, B——*Cosmorhaphe*, C——*Helminthoida*, D——*Helminthopsis*, E——*Chondrites*, F——*Megagrapton*, G——*Glockeria*, H——*Phycodes*, I——*Paleodictyon*, J——*Squamodictyon*

性的体现.

线形雕画迹中的 *Spirorhaphe* 见于广西南宁邕江上泥盆统榴江组紫红色泥质硅质岩(D_3^1)中; *Cosmorhaphe* 见于东准噶尔纸房剖面上泥盆统克安库都克组灰绿色火山碎屑浊积岩 E 段(D_3^2); *Helminthoida* 和 *Helminthopsis* 见于西南天山独库公路查汉沙拉桥黑色板岩($S_3 \sim D_1$)中;它们的产出环境均具深水、缺氧、滞流的特征.

同胚于树的雕画迹具有一个起点和多个终端,在遗迹的分叉处,点的指数大于或等于 3,遗迹路径也不相互交切、重合,反映造迹者在造迹过程中小心翼翼、步步为营、重复搜巡、探索式运动觅食的行为习性. 通过对树形雕画迹的拓扑结构的功能分析发现,遗迹在分叉处具有的点的指数(n)与造迹者在该处重复采掘、探索式运动的重复次数(N)存在如下线性关系: $N = 2n - 2$. 如 *Chondrites*, $n = 3$, $N = 4$; *Phycodes*, $n = 5$, $N = 8$. 这表明,雕画迹的拓扑结构与其行为习性、生态功能密切相关.

树形雕画迹中的 *Chondrites*, *Megagrapton*, *Glockeria* 和 *Phycodes* 见于西准噶尔黑山头塔尔巴哈台组灰～灰绿色火山碎屑浊积岩($D_3^2 \sim C_1$)中,从与之共生的其他相标志(颜色、自生矿物、实体化石,沉积构造和岩性)看,树形雕画迹反映的产出环境的缺氧程度较线形雕画迹弱.

同胚于网的雕画迹具构筑讲究的网孔构造,网孔呈六边形、多边形或不规则形,在网孔的顶点处,点的指数为 4,遗迹的欧拉示性数[1)]小于零. 这种拓扑结构可能代表造迹生物具有捕食功能的构筑、居住行为.

1)从结晶学我们知道,任一凸多面体的顶点数(a_0)、棱数(a_1)、面数(a_2)满足 $a_0 - a_1 + a_2 = 2$,此式就是著名的欧拉定理,公式的等号左边即为欧拉示性数

网形雕画迹中的 Paleodictyon, Squamodictyon 见于东准噶尔巴里坤下石炭统和西准噶尔黑山头下石炭统周期性火山浊流事件频繁的浊积岩层段中，其产出环境具深水、贫氧的特点.

对比同胚于线、树、网雕画迹的产出环境，我们发现，在图 2 中，随拓扑结构由线→树→网的变化，雕画迹的生态功能分别对应寻觅式运动觅食→探索式运动觅食→构筑式居住捕食，其产出环境的缺氧程度减弱，底层水的流动性增强. 这表明雕画迹拓扑结构的谱系演变与造迹生物的行为习性、生态功能和环境因子的系列变化密切相关.

2 结论

(1)对我国泥盆纪有代表性雕画迹的拓扑结构分析表明：庞大的雕画迹家族可归并为线、树、网 3 种基本拓扑类型，它们分别对应缺氧、少氧、贫氧[1)]深水环境中寻觅式、探索式运动觅食和构筑式居住捕食行为.

(2)在古生态学和古生物学中，形态功能分析的基础是实体和遗迹化石的形态，但这种形态不应仅限于欧氏几何形态特征，而应包括欧氏、拓扑、分形等多类形态特征. 就同胚于线、树、网的 3 种拓扑雕画迹而言，基于拓扑特征的拓扑形态功能分析能从新的角度，从质的差异上反映遗迹化石蕴含的造迹生物的行为习性及其生态功能.

(3)拓扑形态功能分析有 2 个优点：(a)由于压实、成岩和变形作用大都在拓扑(连续)变形范围内，故运用拓扑学方法能从方法本身排除原生生物遗迹(或遗体)在埋藏、保存过程中压实、成岩和变形作用对其原生形态特征的干扰；(b)能从全新的角度简化欧氏几何学对遗迹化石的分类、命名体系，丰富和发展古生物学、古生态学中形态功能分析的理论、方法，使实体和遗迹化石的形态功能分析和行为习性分析朝更全面、更健康的方向发展.

参 考 文 献

1 杨式溥. 古遗迹学. 北京：地质出版社，1990

2 龚一鸣. 新疆北部泥盆系遗迹化石的拓扑遗迹学研究. 古生物学报，1994，33(4)：472～498

3 龚一鸣，司远兰. 遗迹化石与拓扑. 科学通报，1991，36(23)：1 803～1 806

4 Crimes T P, Fedonkin M A. Evolution and dispersal of deepsea traces. Palaios, 1994, 9:74～83

1)根据底层水中含氧量(ml/L)的不同，通常将沉积环境的地球化学相划分为 4 个等级(*Tyson and Pearson*, 1991)：富氧(*oxic*)相：860～2.0；贫氧(*dysoxic*)相：2.0～0.2；少氧(*suboxic*)相：0.2～0.0；缺氧(*anoxic*)相：0.0(有硫铁矿存在)