



对地球生物学、生物地质学和地球生物相的一些探讨

殷鸿福^{①*}, 谢树成^②, 秦建中^③, 颜佳新^①, 罗根明^①

① 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 武汉 430074;

② 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉 430074;

③ 中国石油化工石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 无锡 214151

* E-mail: hfyin@cug.edu.cn

收稿日期: 2008-07-15; 接受日期: 2008-08-05

国家自然科学基金创新研究群体科学基金(批准号: 40621002)、中国石油化工项目(编号: G0800-06-ZS-319)和“111”计划(编号: B08030)资助

摘要 在简要介绍国内近年来地球生物学研究概况之后, 探讨了地球生物学和生物地质学的定义以及这两者之间的区别。地球生物学是由生命科学和地球科学交叉融合而形成的一级学科, 而生物地质学则是由生物学和地质学交叉而形成的二级学科, 因此, 地球生物学所研究的领域包含了生物地质学的研究范围。列举了这两门学科的分支学科。地球生物相是指包含了生物与环境相互作用的全过程的一个地质体的相。讨论了地球生物相、生物相和有机相之间的区别。生境型、生物组成和生产力、古氧相以及埋藏效率是确定一个地球生物相的主要参数。对上述参数作了详细探讨, 并据此提出了地球生物相的半定量评估方案。推荐地球生物相的二维命名法, 每一维分别代表地球生物学全过程中的生物方面和环境方面的特征。

关键词

地球生物学
生物地质学
地球生物相

地球系统科学的发展, 大大促进了国内对由生命科学和地球科学交叉形成的地球生物学的研究。21 世纪初已向国内介绍了美国、英国和德国地球生物学的研究计划^[1~3]。在国家自然科学基金委支持下, 邀请了国外专家进行短期讲课(如 D. Briggs 教授, 2004), 于 2005~2006 年间举办了 3 期关于生命与环境协调演化的“双清论坛”。同济大学和中国地质大学(武汉)分别于 2003 和 2007 年在上海和武汉举办了关于地球生物学的培训班。近些年来, 中国地质大学(武汉)出版了一批关于地球生物学的文章和书籍^[4~7], 并且主持了一个利用地球生物学的研究来寻找和评估烃源岩的重大项目^[8,9]。

同时, 中国科学院南京地质古生物研究所和中国科学院古脊椎动物与古人类研究所承担了两个国

家重点基础研究发展计划, 研究地质历史时期生物多样性的变化, 特别是华南地区显生宙以来生物的起源、辐射、灭绝和复苏^[10~12]。他们的工作已经由基础古生物研究上升到演化古生物学研究。中国和美国自然科学基金委成立了一个关于该主题的国际合作项目, 这两个计划的许多成员以及国内其他学者都参与了该项目。

本文主要对国内近年来地球生物学研究中的问题作一些探讨。

1 地球生物学和生物地质学

地球生物学(Geobiology)比生物地质学(Biogeology)被引用的范围更广^[13,14], 在开始阶段这两者的应用比较含混, 但现在其含义的区分已渐趋明显。

然而, 关于这两者的区别还仍然没有达成共识^[15,16]. 从学科分类角度来看, “geo”是一个前缀, 表示它是地球科学领域与其他学科领域(如物理学、化学)所形成的一级交叉学科, 如地球物理学(Geophysics)和地球化学(Geochemistry). 另一方面, 如果“geology”是词的主体, 则表示其是领域内一级学科“地质学”和其他领域内一级学科之间的二级交叉学科. 所以前者的“geo”前缀意味着其覆盖范围比后者更宽. 比如, 地球物理学研究包括了固体地球圈层、水圈、大气圈和太阳-地球空间, 而Physical geology 仅仅研究地质现象和过程^[17]. 地球生物学一般指生命科学和地球科学交叉所形成的学科, 而生物地质学是指由生物学和地质学交叉所形成的学科. 和地球科学中的其他交叉学科一样, 地球生物学比生物地质学涵盖了更多的内容. 它包括了生物圈和所有地球圈层之间相互作用. 从 2003 年起由Blackwell出版的*Geobiology*杂志, 列举了其 9 大领域, 分别为: 1, 生命起源和演化; 2, 大气圈、水圈和生物圈的演化; 3, 沉积记录和地球生物学的关键阶段; 4, 古生物学和演化生态学; 5, 环境微生物学; 6, 生物地球化学和全球元素循环; 7, 微生物和矿物之间的相互作用; 8, 生物标志化合物; 9, 分子生态学和系统发生学. *JGR-Biogeosciences* (JGR, Journal of Geophysical Research)杂志所涵盖的范围则包括生物地球化学、生物地球物理、陆-气和生态系统相互作用, 生物成矿、极端条件下的生命、太空生物学、微生物过程、地质微生物学和演化地球生物学. 地球生物学的大部分内容, 如 5, 6, 8 和 9 项, 都超越了生物地质学的范畴. *Glossary of Geology*(地质学术语)对地球生物学的解释是^[15]: 研究生物圈, 特别是地质历史时期生物圈的学科. 这一解释现在应予以扩大, 因为地球生物学研究的领域不仅仅是地质历史时期的生物圈. 在*Glossary of Geology*中, “Biogeosciences”是指研究生物圈与岩石圈、水圈和大气圈相互作用的学科^[18,19], 或者是指研究生命科学与地球科学相结合的学科, 这与*JGR-Biogeosciences*杂志引言描述的一致, 与地球生物学有相同的意思.

地球生物学亦可定义为是过去、现在及将来地球与生活其上的生命之间的协调演化或耦合系统^[1~3]. 生命科学中的协同演化是指两种(或两组)生物相互影

响的演化, 一种生物(或一组生物)的基因组成由于另一种生物(或一组生物)基因组成的变化而变化. 为了避免引起生物学家的误会, 我国学者过去并没有用协调演化来表达生物圈与地球系统之间的相互作用^[6]. 然而, 生物圈与地球系统之间的协调演化这一概念在国外很早以前就广泛应用^[20~22]. 用协调演化来表达生物圈与地球系统之间的相互作用这一概念既合适又准确.

生物地质学是指地质学的生物学方面的特性^[15], 或者像加州大学Santa Barbara分校那样, 是指生物圈与岩石圈之间的相互作用. 也有认为生物地质学是指由地球科学和生物学交叉所形成的学科, 如Utrecht大学. 然而, 该校生物地质学纲要中, 强调用过去来预测未来的生物和气候变化, 这些仍可包括在生物学和地质学(不是地球科学)的交叉研究中. 地球生物学包括由生物学与地球化学和地球物理学交叉而形成的生物地球化学和生物地球物理学. 而生物地质学是生物学和地质学的交叉学科, 并不包括后两者. 即使这三门学科局部地方有重叠, 但这是地球生物学之下三门平行且独立的二级学科. 作为独立于演化生物学的生物地球化学, 周忠和等^[23]列举了其 4 个主要的研究方向. 很明显, 他们所引用的如: 亲生物元素的生物-环境界面动力学、污染物的环境生物地球化学过程、生态危机的评估和环境污染的生物修复等方面, 都不包括在生物地质学研究的范畴之内.

表 1 说明了地球生物学在地球科学中的位置. 数学、物理、化学、地球科学和生命科学等为学科领域, 地球科学和其他学科领域(物理学、化学、生物学或生命科学)的交叉学科为一级学科, 并可据其物质运动形式给以命名. 物理运动、化学运动和生物运动是地球系统中的三大基本运动形式, 对应的三个一级学科分别为地球物理学、地球化学和地球生物学. 从这个角度说, 地球生物学是一门研究生命系统与地球系统相互作用的学科, 是一门内涵明确而深厚的学科, 包括许多二级学科. 地球生物学的主要二级分支学科列举在表 2 中^[7,24], 这些分支学科在文献^[7]中已经详细地阐述过, 这里就不再重复.

生物地质学是学科领域(生命科学)和一级学科(地质学)的交叉学科, 是地球生物学中的二级学科,

表 1 地球生物学在地球科学中的位置^{a)}

学科领域		二级学科
地球科学	研究目的	地质学(固体地球)
		海洋科学(液体地球)
		大气科学(气体地球)
		地理学(地表与人类)
	物质运动形式	地球物理学(物理运动)
		地球化学(化学运动)
		地球生物学(生物运动)

a) 据文献[7], 略有修改

其研究的范围是固体地球系统与生物圈的相互作用. 生物圈与地史时期水圈和大气圈之间的相互作用也是生物地质学研究的范畴, 因为地史时期水圈和大气圈研究也是地质学的一部分. 它也包括现在进行

中的生物地质作用, 如生物成岩和生物成矿作用. 生物地质学的分支学科包括两大类. 第一类研究地质历史时期岩石圈、水圈和大气圈对生物圈的影响, 以及生物圈对这些圈层的反馈(如古生物地理学对板块活动的反馈). 这方面的三级学科如生物地层学、生态地层学、古生物地理学和古生物-气候学等. 另一类是研究过去和现在生物圈对岩石圈的作用和效应, 它包括生物成岩作用、生物成矿作用和生物矿化作用等. 生物地球化学是生物学(一级学科)和地球化学(一级学科)的二级交叉学科, 因此没有包括在生物地质学里面. 图 1 展示的是生物地质学在地球科学中的位置以及其所包括的分支学科^[4,5].

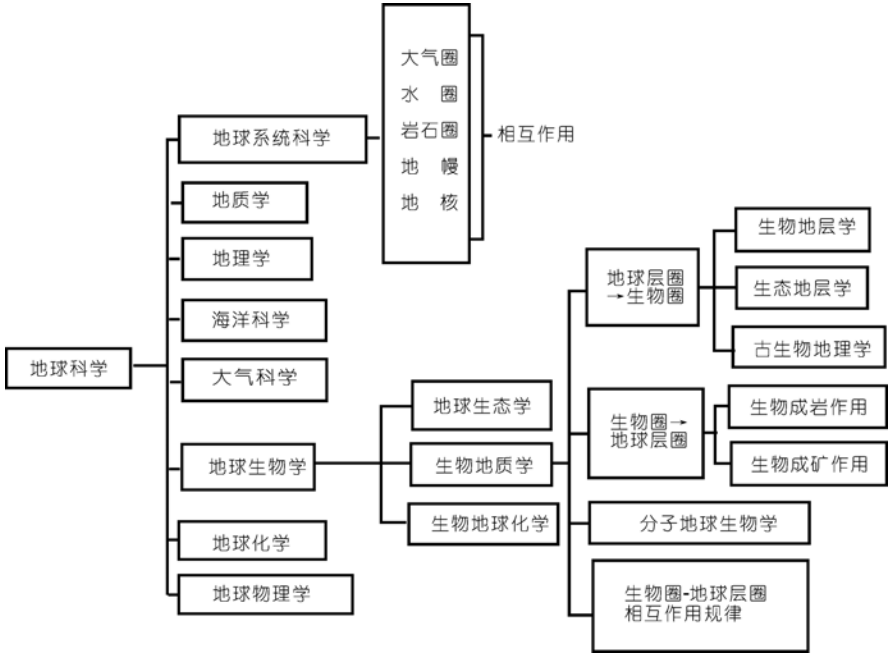


图 1 生物地质学的位置及其所包括的分支学科^[5]

表 2 建议的地球生物学分支学科^[24]

建议的分支学科(二级学科)或者地球生物学的组成	二级分支学科的进一步划分	对应的生命科学分支学科
分子地球生物学	分子古生物学、分子地层学、分子生态学、分子考古学、分子有机地球化学	分子生物学
地微生物学		微生物学
古生物学	微体古生物学、古动物学、古植物学、演化生物学	生物学
地球生态学	古生态学、生态地质学、生态动力学、古生物地理学	生态学
地球生理学		生理学
生物地球化学	古生物化学、石油地球化学、有机地球化学	生物化学
生物地质学	生物地层学、生态地层学、生物成岩作用、生物成矿作用、生物矿化作用	
生物地球物理学	生物磁学	生物物理学
应用地球生物学	环境地球生物学、环境地微生物学、生物找矿、生物冶金、石油微生物学	应用生物学

2 地球生物相

2.1 地球生物相定义的讨论

因为地球生物学比古生物学的研究范围远为扩大, 因此传统的生物相不足以表达地球生物学的特征. 黑色页岩不同于生屑灰岩的地球生物学特征不仅仅表现在其生物组成的不同, 也表现为微生物与周围沉积物的相互作用不同. 即使在黑色页岩相中, 我国华南下寒武统的富多金属黑色页岩, 白垩纪大洋缺氧事件所形成的含油黑色页岩和江苏南部污染严重的太湖黑色淤泥在生物组成、死后成岩和最终形成沉积体等方面都有不同的地球生物学特征. 就像地球化学中有地球化学相、沉积学中有沉积相, 地球生物学也需要一个包含其研究内容的术语, 因此, 地球生物相这个术语是非常必要的.

地球生物相是一个地质体的特征或相, 它包含了生物与环境相互作用的全过程. 作为一个地质体的相, 它能够在空间和时间上区别于其他地球生物相, 且能够用于地质调查和填图.

黑色页岩和生屑灰岩地球生物相的不同表现在 3 个阶段或过程. 在生物相阶段或生命过程, 前者主要是微生物组成, 而后者是由底栖宏体生物组成; 在

埋藏相阶段或死亡-埋藏过程, 前者是停滞的、贫氧或缺氧的环境, 而后者是在富氧或者是常氧的条件下搬运和沉积的; 在有机相阶段或早期成岩过程, 前者是以硫酸盐还原或者甲烷生成过程为主, 而后者是以有氧分解或者硝酸盐还原过程为主^[25]. 我们定义的地球生物相(狭义), 其终点是早期成岩的结束, 一般认为是 $R_0 \leq 0.5$, 温度 $\leq 60^\circ\text{C}$, 因为在这一过程仍存在微生物的地球生物学作用. 这三个过程都包括在生物圈与地圈的相互作用范围内. 超过了这一界限, 如在晚期成岩过程中, 微生物的活动非常少, 在地热和其他过程占主导作用下, 残余有机质转换成有机流体和干酪根. 通常在晚期成岩过程中地球生物学作用不明显(图 2). 如果我们将这一过程予以广义化, 扩展到有机物与环境相互作用的结束, 则将与其他学科, 如有机化学, 重叠过多. 因此在当前, 我们使用地球生物学过程(狭义), 并没有包括晚期成岩作用. 当然, 这还是一个值得进一步探讨的问题.

地质学中的生物相通常定义为一个地质体(如地层单元)的相, 它含有能反映特定环境的特征化石组合, 从而能与其他生物相区别^[15]. 它包含了生活时的生物组成, 主要是宏体生物, 以及当时的环境条件, 而并没有考虑到生物死亡后的埋藏条件和成岩过程

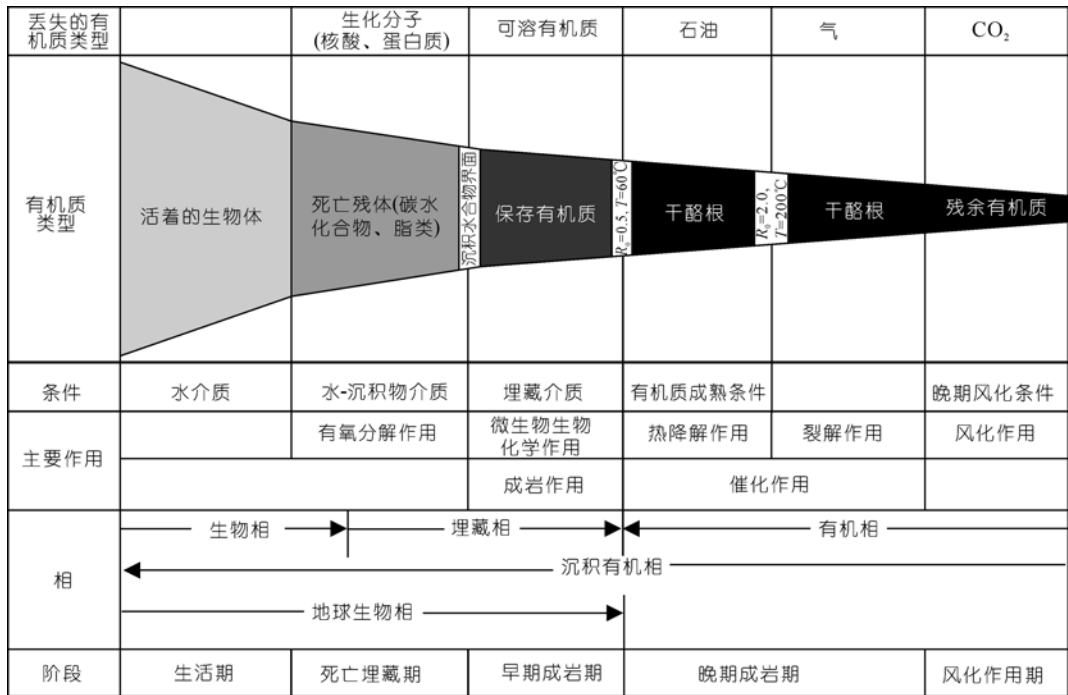


图 2 地球生物学过程和地球生物相

的变化. 地球生物相与生物相有两个主要的区别. 第一点是地球生物相包含了生物与环境相互作用的全过程, 即生存环境中的生物组成、生物死亡后的残体、埋藏条件和早期成岩过程中微生物对有机质的改造. 因此, 它不仅包含了生物生存过程, 还包含了在微生物改造下的埋藏和生物地球化学过程. 因此这两者之间的第二点区别是地球生物相不仅反映了生物相(组成、分异度、丰度), 也反映了埋藏和早期成岩相(搬运与埋藏, 氧化还原条件等), 所以不能像生物相一样根据一个生物组合来定名.

有机相是烃源岩研究中广泛应用的一个术语^[26]. 在许多研究中, 有机相主要是根据有机地球化学指标来定义的^[26,27]. 也有学者强调沉积有机相, 主要是为了利用沉积环境、生物组成、氧化还原条件、成岩环境等, 结合有机地球化学指标来判断潜在烃源岩^[28~33]. 如有的文献利用藻质体、孢质体、疑源类、放射虫和藻席微结构建立了 5 个岩石(沉积)有机相^[30]. 又如另一文献根据原始生物组成、沉积相、干酪根类型、生物标志化合物指标、生烃潜力和组成建立了 4 类有机相^[33]. 在文献^[33]中, 表 2~6 所列的建立 4 类有机相的参数与我们的地球生物相的参数类似.

然而, 在建立方法 and 应用方面, 有机相均不同于地球生物相. 建立有机相的大部分标准是各种各样的有机地球化学指标, 如可溶有机质和不溶有机质的分析, 和有机岩石学的微观组成等. 这主要由有机地球化学和有机岩石学方法获得, 虽然沉积相和生物相也会在其考虑之内. 建立有机相使用的是反演法, 得到的 4 类有机相对应于 4 种干酪根类型. 它适合当前的烃源岩评价体系, 特别是在能够利用各种有机地球化学指标来判断不同地质背景的环境下, 但这在高成熟和过成熟石油地区就不能应用了. 相反, 地球生物相是通过正演法——地球生物学过程来建立的. 前已提及, 该过程包含 3 个主要阶段: 生物与其生存环境的相互作用; 生物死亡后的埋藏作用和残存有机体在微生物地球化学作用下的早期成岩作用. 这种正演法能够计算出初始的总烃量, 即有机体在经历地热、构造和变质改造前的资源量. 对现行的烃源岩评价体系, 地球生物学过程可以作为一个有用的补充工具, 其优点是不受晚期成岩改造的影响, 以及高成熟或者过成熟的影响.

2.2 地球生物相参数

确定一个地球生物相的主要参数包括两个生物学参数, 即生境型、生物组成和生产力; 两个地质学参数, 即古氧相和埋藏效率.

(i) 生境型. 在有关专著^[34]中已介绍了 7 个主要生境型和 25 个亚生境型. 从潮上带到深海, 根据水深、距海岸线的距离或者在陆架-斜坡-盆地体系中所处的位置划分出 7 个沉积相, 各有特征的生境, 因此分出 7 个主要生境型. 亚生境型的划分主要是根据底质的组成(泥质、碳酸盐质), 氧化还原条件和水循环条件. 该专著亦介绍了生境型 I~IV 的生物学特征, 其含义与文献^[35]中概括的 1~6 底栖生物组合很相似. 这种分类可能略显简单, 而不能充分反映生境型的复杂性, 比如, 内陆架和外陆架的划分是依据距离海岸线的距离不同, 但不一定与上部浅海和下部浅海等与深度相关的划分相对应. 潮汐成因的划分(潮上带、潮间带、潮下带)与波浪成因的划分(正常浪基面、风暴浪基面)在同一个分类里面亦可能不易统一. 然而, 这一分类可根据生物组合的时间和空间分布来进行细分, 从而可以使评价体系, 如潜在烃源岩的评估等, 变得容易. 烃源岩最适合的生境型是 III₂ 至 V₁^[34].

(ii) 生物组成和初级生产力. 适用于传统生态学研究的宏体生物, 其群落参数包括群落的名称、分异度、丰度、尸积群和埋藏群(原地和异地埋藏群)^[34]. 这些参数(除了异地埋藏的生物)反应了次级生产力的的大小和组成, 因此对初级生产力的评估有参考价值. 从北极地区到热带地区, 从深海到陆架以及河流入海口, 初级生产力可从 $1 \text{ g C m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 增长到 $1000 \text{ g C m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. 在热带陆表海和内陆架的初级生产力通常为高或极高, 而北极和深海地区则非常低, 两者之间可相差几百倍. 因此, 初级生产力主要与生境型有关.

传统古生态学的一些有用参数在微生物群落中可能无法应用, 但其总初级生产力却易于估算. 应用分子古生物学的方法, 已能够识别 12 大类的低等生物(主要是微生物), 分别为: 蓝细菌、绿硫细菌、真菌、甲烷菌、革兰氏阴性菌、古菌、颗石藻、硅藻、沟鞭藻、红藻、绿藻和褐藻^[36].

(iii) 古氧相. 古氧相是根据水体中溶解氧的含量来划分的(单位为 mL/L). 不同方案依据的溶氧量

界线值不尽相同^[37,38], 但所用名称基本相同. 这几种方案的分类各有优缺点, 均有待于在以后的研究中加以补充和修订. 在应用地球生物相的开始阶段, 应用较简单的生态学的标准比较合适, 本文采用生态学的标准, 将古氧相分为常氧相、贫氧相、准厌氧相和厌氧相^[39], 如表 3 所示.

表 3 古氧相^[39]

溶解氧含量/mL · L ⁻¹	古氧相
8.0~2.0	常氧
2.0~0.2	贫氧
0.2~0.0	准厌氧
0.0	厌氧

(iv) 埋藏效率(burial efficiency). 只有不到初级生产力的 10%的有机碳能够沉降到水体-沉积物界面(SWI)并被埋藏下来, 本文称这部分有机质为沉积有机质(OC_{sed}). 只有很小一部分的沉积有机质能够在经受早期成岩作用之后被保存下来. 这部分最终保存下来的有机质(本文称为埋藏有机质, OC_{burial})与初级生产力的总有机质的比值叫做埋藏效率. 沉积有机质等于初级生产力的有机质减去沉积过程中氧化和在食物链过程中损失的那部分有机质. 沉积损失的有机质的量取决于从死亡位置到水体-沉积物界面的距离(水深)、埋藏速度(沉积速度)和海水的氧化还原条件. 埋藏有机质取决于早期成岩($R_0 \leq 0.5$, 温度 $\leq 60^\circ\text{C}$)过程中丢失的有机质的量(OC_{loss}), 所以 $\text{OC}_{\text{burial}} = \text{OC}_{\text{sed}} - \text{OC}_{\text{loss}}$. 由于水深和沉积速度均与生境型有关, 因此在考虑地球生物相时, 沉积速度这一重要的参数可以有条件地隐藏在生境型参数中. 由于沉积有机质主要受水体、水体-沉积物界面附近的古氧相和早期成岩作用的影响, 所以埋藏效率也与古氧相正相关, 如表 5 所示. 然而, 由于水深和沉积速率与沉积有机质(OC_{sed})有关, 这两者可能使情况变得复杂化(比较表 5 的 4 和 3). 因此我们将埋藏效率进一步细分为 5 类(表 5), 其主要依据是早期成岩所经历的阶段.

早期成岩作用可以划分为 4~5 个相继的受细菌调节的阶段: 有氧化带(a), 硝酸盐还原带(n), 铁(锰)还原带(i, 此带有时与n带合并), 硫酸盐还原带(s)和甲烷生成带(m)^[25,40]. 理论上, 在有氧、贫氧和准厌氧的环境中, 沉积物不会停留在一个阶段, 而会经历所有这几个阶段直至氧化剂全部耗尽. 然而需要

说明的是, 早期成岩过程中有机质并不是按顺序一次经历这些阶段, 由于生物扰动和水循环改变了孔隙水的氧化还原条件, a~s这几个阶段可能会重复出现. 在有氧条件下, 这种阶段的重复可能会发生几百次, 在贫氧和准厌氧条件下, 这种重复会大大减少, 直至在溶解氧为零时进入到m阶段后, 才不会重复^[41]. 重复得越多, 早期成岩过程中丢失的有机质就越多, 因此, 早期成岩 4~5 个阶段与水体古氧相密切相关.

识别早期成岩阶段的方法, 一是对结核进行研究. 上述的每一个阶段都会产生特征的结核, 从锰结核、硅质结核、黄铁矿结核到碳酸盐结核^[42,43], 由于这些阶段的重复性发生, 不能过于简单地将特征结核与早期成岩阶段直接对应, 因此需要借助对结核和围岩的碳、硫同位素研究以便更好地识别这些阶段^[44]. 二是, 伴随着孔隙水饱和度和氧化还原条件的变化, 沉积物中的生物碎屑经历了从磨蚀到胶结、硫酸化到脱硫酸化等过程或反过程. 这些变化需要借助于沉积学的微相研究, 这也可以作为识别早期成岩阶段的另一个方法. 此外, Mo和Mo同位素是一个很好的埋藏有机碳的指标, 可以直接计算出OC_{burial}^[40].

2.3 地球生物相的半定量评估

在油气地质研究领域, 地球生物相可以应用于烃源岩的半定量评估. 假如我们有 5 类源岩(表 4~6 中的 1~5), 以及每一类的 4 个地球生物相参数, 我们就可以分别根据他们的生物学和地质学特征在表 4 和 5 中投点. 生物学参数又可根据表 4 中的初级生产力从差到极好划分为 4 等. 类似的, 地质学参数也可根据表 5 进行划分. 因此, 根据预先设计好的划分方案, 可以将每一类源岩的生物学和地质学参数投到表 6 中. 这就可以作为基于地球生物相的烃源岩评估方案, 且可以和基于有机相(TOC)的传统烃源岩评估方案进行对比. 这种地球生物相评价的原理也可应

表 4 地球生物相的生物学参数的半定量评估

初级生产力	生境型						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
极高			[3]				
高		[2]					
中等	[1]				[4]		
较低							
低							[5]

表 5 地球生物学的地质学参数的半定量评估

古氧相	埋藏效率				
	低	较低	中等	高	极高
常氧相	[1]				
贫氧相		[2]			
准厌氧相			[4]	[3]	
厌氧相					[5]

表 6 烃源岩的地球生物相半定量评估^{a)}

生物学参数	地质学参数			
	差	中等	好	极好
差				5
中等	1			
好		2	4	
极好				3

a) 白色(1): 非烃源岩; 浅灰色(5): 是否潜在烃源岩不明; 灰色(2): 潜在烃源岩; 深灰色(4): 烃源岩; 黑色(3): 优质烃源岩

用于其他的评估。

2.4 地球生物相命名

也许有人会怀疑地球生物相是否有必要, 即使有必要, 它能否在地球科学中广泛应用, 而不至于太专业而仅局限于一个很小的学术圈内。应当指出, 虽然物理运动、化学运动和生命运动是自然界三大基本的运动形式, 相比其他两类来讲, 生命运动的过程和产物的相关术语还远远没有建立起来。比如就岩石学名词来说, 大部分是根据其地球物理过程(如碎屑岩)和地球化学过程(如碳酸盐岩)来命名的, 而实际上许多这类岩石是通过地球生物学(生物化学)过程产生的。地球生物学产物还包括所有生物成因的矿产、微生物岩、各种土壤等。所以, 地球生物相应有一

个广泛的应用范围。现在建立一套完整的地球生物相术语体系还为时过早, 因为任何成功的专业术语都经历了形成、修订和实际工作中的成功应用等过程。然而, 本文推荐一个二维的名称来确定一个地球生物相, 每一维分别代表了生物生活-死亡-成岩全过程中的生物方面和环境方面的特征。例如, 放射虫硅质岩相和叠层石灰岩相是很好的地球生物相名称, 因为它们准确地包含了生物(放射虫、蓝细菌)与环境(深海硅质环境、浅海碳酸盐环境)的相互作用。

3 结论

地球生物学是生命科学与地球科学交叉所形成的一门学科, 是地球科学领域中的一级学科; 而生物地质学是生物学和地质学的交叉学科, 它是一个二级学科, 也是地球生物学的一个分支学科。在本文中展示了地球生物学和生物地质学的分支学科。

通过对生物相和有机相的讨论, 本文认为地球生物相是一个用于反映地球生物学过程的独立术语。它是一个包含生物与环境相互作用的全过程的地质体的相。作为一个地质体, 它能够在空间和时间上与其他地球生物相相区别, 也能够用于地质调查和填图。

地球生物相的主要参数包括生境型、生物组成和生产力、古氧相和埋藏效率, 这些参数在本文中都已详细地予以讨论。地球生物相可以在烃源岩的半定量评估和其他方面予以应用。本文推荐用反映生物生活-死亡-成岩过程中生物作用与环境作用的二维指标, 来为地球生物相命名。

致谢 本稿最初思想来源于数次创新团队和中国石油化工项目的学术讨论。童金南教授、解习农教授、杜远生教授、冯庆来教授、杨香华教授以及其他人员在讨论和本文的整理过程中给予了很大的启发和帮助, 审稿人提出了建设性的意见, 在此表示感谢。

参考文献

1 江源, 赵生才, 孙成权. 地球-生命耦合系统: 生物圈动力学和全球环境控制. 地球科学进展, 2001, 16(6): 877—884
2 赵生才. 地球-生命耦合系统: 理解环境变化与生命起源的一把钥匙. 中国基础科学, 2001, (9): 52—57
3 刘羽. 美国国家科学基金会 2000~2010 年古生物发展战略及其启示及我国古生物学发展的若干思考. 中国科学基金, 2006, (6): 347—351
4 殷鸿福. 生物地质学. 地球科学进展, 1994, 9(6): 79—82
5 殷鸿福, 杨逢清, 谢树成, 等. 生物地质学. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2004. 263
6 徐桂荣, 王永标, 龚淑云, 等. 生物与环境的协调演化. 武汉: 中国地质大学出版社, 2005. 293

- 7 谢树成, 龚一鸣, 童金南, 等. 从古生物学到地球科学的跨越. 科学通报, 2006, 51(19): 2327—2336
- 8 谢树成, 主编. 地球生物学与海相烃源岩专辑. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(6): 727—788
- 9 Xie S C. Special issue: geobiology and hydrocarbon source rocks. Front Earth Sci China, 2007, 1(4): 389—513^[DOI]
- 10 戎嘉余, 方宗杰, 主编. 生物大灭绝与复苏: 来自华南古生代和三叠纪的证据. 合肥: 中国科技大学出版社, 2004. 1—1087
- 11 Rong J Y, Somerville I D. Origins and radiations in the biota of China, Part I. Geol J, 2006, 41(3-4): 255—464^[DOI]
- 12 Rong J Y, Somerville I D. Origins and radiations in the biota of China, Part II. Geol J, 2007, 42(3-4): 225—454^[DOI]
- 13 Olszewski T. Geobiology: a golden opportunity and a call to action. Palaios, 2001, 16(6): 1—2
- 14 Noffke N. Geobiology—a holistic scientific discipline. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2005, 219: 1—3^[DOI]
- 15 Neuendorf K K, Nehl J P, Jackson J A. Glossary of Geology. 5th ed. Alexandria: American Geological Institute, 2005. 779
- 16 Goodwin D. Geobiology, biogeology, and the colleague across the Hall. Palaios, 2006, 21(1): 1—2^[DOI]
- 17 Strahler A N. Physical Geology. New York: Harper & Row, 1981. 612
- 18 Banfield J F, Marshall C R. Genomics and the geosciences. Science, 2000, 287: 605—606^[DOI]
- 19 Neff J, Hedin L. Building a home for the biogeosciences: challenges for understanding terrestrial ecosystems. EOS, 2002, 83: 15^[DOI]
- 20 Bruce S L. Geobiology and paleobiogeography: tracking the coevolution of the Earth and its biota. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2005, 219: 23—33^[DOI]
- 21 Croizat L. Space, Time and Form, the Biological Synthesis. Caracas: Croizat L, 1964. 881
- 22 Lovelock J E. Gaia, A new Look at Life on Earth. London: Oxford University Press, 1979. 178
- 23 周忠和, 骆永明, 董云社, 等. 浅谈我国地球环境与生命过程研究中的一些科学问题. 科学通报, 2005, 50(2): 195—200
- 24 Xie S C, Yin H F, Xie X N, et al. On the geobiological evaluation of hydrocarbon source rocks. Front Earth Sci China, 2007, 1(4): 389—398^[DOI]
- 25 Froelich P N, Klinkhammer G P, Bender M L, et al. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. Geochim Cosmochim Acta, 1979, 43: 1075—1090^[DOI]
- 26 Jones R W. Organic facies. In: Jim B, ed. Advances in Petroleum Geochemistry. London: Academic Press, 1987. 1—90
- 27 Altunsoy M, Özçelik O. Organic facies characteristics of the Sivas Tertiary Basin (Turkey). J Petrol Sci Engineer, 1998, 20(1): 73—85^[DOI]
- 28 郭迪孝, 胡民. 陆相盆地的沉积有机相分析, 石油与天然气地质文集(2). 北京: 地质出版社, 1989. 191—199
- 29 Creaney S, Passey Q R. Recurring patterns of total organic carbon and source rock quality within a sequence stratigraphic framework. AAPG Bull, 1993, 77: 386—401
- 30 Tyson R V. Sequence stratigraphy in interpretation of facies variations in marine siliciclastic system: general principles and application to the onshore Kimmeridge Clay formation, UK. Geol Soc London, Spec Pub, 1996, 108: 75—96^[DOI]
- 31 朱创业. 海相碳酸盐岩沉积有机相研究及其在油气资源评价中的应用. 成都理工学院学报(自然科学版), 2000, 19(1): 1—6
- 32 李君文, 陈洪德, 田景春, 等. 沉积有机相的研究现状. 沉积与古特提斯地质, 2004, 2: 18—25
- 33 秦建中. 中国烃源岩. 北京: 科学出版社, 2005. 1—618
- 34 殷鸿福, 丁梅华, 张克信, 等. 扬子区及其周缘东吴-印支期生态地层学. 北京: 科学出版社, 1995. 338
- 35 Boucot A J. Principles of Benthic Marine Palaeoecology. New York: Academic Press, 1981. 463
- 36 谢树成, 赖旭龙, 黄咸雨, 等. 分子地层学原理、方法及应用实例. 地层学杂志, 2007, 31(3): 209—221
- 37 Breck W G. Redox levels in the sea. In: Goldberg E D, ed. The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas. Volume 5, Marine Chemistry. New York: Wiley, 1974. 153—179
- 38 Davis J C. Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. J Fish Res Board Canada, 1975, 32: 2295—2332
- 39 Tyson R V, Pearson T H. Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. In: Tyson R V, Pearson T H, eds. Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia. Geol Soc Spec Pub, 1991, 58: 1—24
- 40 Meyers S R, Sageman B B, Lyons T W. Organic carbon burial rate and the molybdenum proxy: theoretical framework and application to Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event 2. Paleoceanography, 2005, 20: 2002—2020^[DOI]
- 41 Sanders D. Syndepositional dissolution of calcium carbonate in neritic carbonate environments: geological recognition, processes, potential significance. J African Earth Sci, 2003, 36: 99—134^[DOI]
- 42 Mozley P S, Burns S J. Oxygen and carbon isotopic composition of marine carbonate concretions: an overview. J Sediment Petrol, 1993, 61(3): 73—83
- 43 Huggett J M, Gale A S, Evans S. Carbonate concretions from the London Clay (Ypresian, Eocene) of Southern England and the exceptional preservation of wood-boring communities. J Geol Soc London, 2000, 157: 187—200^[DOI]
- 44 Kump L R, Arthur M A. Interpreting carbon isotope excursions: carbonates and organic matter. Chem Geol, 1999, 161: 181—198