

评我国沉积矿床研究的重大突破性成果 ——《生物有机质成矿作用和成矿背景》

刘长龄

(天津地质研究院, 天津 300061)

摘要: 文章从研究项目的特点、专著主要内容、成果展望三方面简要介绍了我国沉积矿床研究取得重大突破性成果的《生物有机质成矿作用和成矿背景》一书, 并有评议。

关键词: 沉积矿床; 生物有机质; 成矿作用; 成矿背景; 中国

中图分类号: P611.22; P593 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2001)03-0210-05

《生物有机质成矿作用和成矿背景》(海洋出版社, 1998年)一书为叶连俊院士等根据承担的国家自然科学基金重点项目的研究成果所撰写的学术专著(在此之前还发表过百余篇论文及3本专集)。研究成果经国家自然科学基金委员会与中国科学院共同组织的专家评审, 被评为“取得了突破性进展”成果。这是中国沉积学界首部大型专著。不久前, 作为沉积学界一名老兵的笔者有幸读到该书作者之一的陈其英教授赠书, 深感受宠若惊、喜出望外, 遂如饥似渴地细读一遍, 诚觉茅塞顿开、受益匪浅。现将个人的初步学习心得和体会简述于后, 以就教于同行专家。

1 研究项目的特点

1.1 重要的选题

生物有机质成矿作用越来越受到人们的重视, 近几年来已成为国际沉积地质学界的一项热门课题。但是过去人们对于三大沉积地质作用多偏重于化学作用与物理作用的研究, 而生物作用研究得很不够, 可能由于生物作用特别是其成矿作用往往不易被察觉而多与前二者在交织作用下所掩盖, 且其研究手段较复杂、费用较多、难度也较大。在我国由于叶连俊院士等著名沉积学家的累次倡导和建议,

引起我们国家有关部门与同行专家的高度重视。十年前, 可以列为国家级重大项目的研究条件已经成熟^①, 由国家自然科学基金委员会与中科院联合召开“生物成矿研讨会”, 与会者计8位院士及近百名专家教授, 真是群贤毕至, 少长咸集。会上各抒己见, 畅所欲言, 进行了广泛深入而细致的论证, 一致建议《生物成矿作用和成矿背景研究》作为重大项目予以立项。又经过一年多的各方面详细准备后, 才被正式确定而批准予以实施。

1.2 组成国家队及总领队

国家自然科学基金会、中科院以及整个地质学界的高度重视, 列为我国科学基金的鼓励研究领域, 沉积学界将其作为重要的前沿领域研究课题。通过系统研究欲使我国沉积矿床学研究水平推上一个崭新的台阶, 而且还要在国际竞争中争取达到世界先进水平以至领先水平。项目成立后, 最重要的是高水平人员组成问题, 也就是组成实际上的“国家队和总领队”。特别是一位总领队即项目主持人为叶连俊院士, 这是众望所归, 群心所向。因他数十年如一日, 对我国沉积矿床地质学研究全力以赴而执牛耳, 长期担任我国沉积学会理事长及《沉积学报》主编, 是我国沉积矿床地质学界一德高望重的学术权威。一个高水平的国家级生物有机质成矿作用和成矿背景研究队组成,

收稿日期: 2001-02-08

作者简介: 刘长龄(1926-), 男, 湖南华容人, 教授级高级工程师, 英国皇家联盟科学院荣誉院士, 1952年毕业于北京大学地质系, 长期从事粘土、铝土矿沉积地质等方面研究。

^①现代科学研究已经是一项复杂的实践活动, 需要有配备先进的仪器设备, 有足够的运行经费, 集中优秀人才的研究基地。(周光召: 科学技术是第一生产力、是建设精神文明的强大力量。《99天津首届科技论坛集萃》, 1999年)。

它是多学科联合攻关的研究集体。具体由中科院地质研究所、南京地质古生物研究所、广州地球化学研究所、微生物研究所以及中国地质大学、南京大学、成都理工学院等单位的有关分支学科带头人或专家教授共计 60 多人组成 4 个二级课题组及若干滚动的三级课题小组,分工合作协同作战。

1.3 研究方法先进合理

在研究中深入细微重证据,理论与实践统一。采用了野外厘米地质,室内测试、分析鉴定、综合研究,典型解剖以及代表性的模拟试验等现代化的各种手段和方法,务必惟实求真,客观公正。发挥各专业的作用,互相接力,互相补充,互为印证,相互促进,共同创新,最终成为一个统一整体。该研究经过 5 年艰苦工作后,达到预期的目的,取得了大量的新成果、新认识、新理论。

早在建国初期,中科院地质研究所叶连俊院士等在研究湘潭锰矿时就开始有生物成矿作用的思考和初步认识,以至 50 年代后期研究磷矿及宣龙式铁矿,60 年代后研究更多的矿种如 Al, U, Au, Ni-Mo, V, Ba, Cu, Pb-Zn 等过程中,进一步深化了对生物成矿作用的认识。可得知于先后发表的论著《外生矿床陆源汲取成矿论》(1963)、《沉积矿床成矿时代的地史意义》(1977)、《工业磷块岩物理富集成矿说》(1986)、《中国磷块岩》(1989)、《沉积矿床多因素、多阶段成矿论》(1989)。我们深知这一重要的正确思路已有近半个世纪的历程,不是偶然的。其中涉及的“资源”与“环境”以至“生命起源”研究的许多重要方面则是当代地质科学的新增长点,是具有创造性的系统研究成果。该项目能够组织沉积学有关各分支学科和古生物学、微生物学、地球化学、有机地球化学、同位素地质学、实验地质学、矿物岩石学以及相关各种分析测试等方面的专家教授们共同工作,并对其各种成果应用自如,诚非易事。

2 专著主要内容

《生物有机质成矿作用和成矿背景》全书 70 多万字,共二十章。各章重点内容如下:

第一章。生物有机质成矿。为叶连俊院士亲自执笔。重点概述了生物有机质成矿的标志、过程、环境和背景、事件性规律及成矿预测问题等,这是该专著重中之重,带有概述导论性的论述。虽说全书各章属于不同专业不同作者的论说,但其总目标和科学规

律的结论与观点仍是完全一致的,此章已把它们融为统一的整体。

第二章。生物与有机质成矿作用的生物标志物和同位素地质标志。生物标志物是指沉积物中生物成因的有机化合物。其生物类型为古细菌、原核生物、真核藻类、原生动物和高等植物。由于有机和无机成因的矿物同位素组成不同,故可提供相关的同位素地质依据。

第三章。生物有机质成矿作用的实验研究。藻类是地质体有机质的主要来源,它是水体有机物的主要创造者。有机质对金属元素的络合与整合、溶解、迁移(搬运)和再富集的关系极大。

第四章。冀西北宣龙地区中元古界铁质叠层石及其微生物化石。认为宣龙地区铁质质点的聚集成矿主要是因细菌类微生物(很低级的蓝藻)作用所致。

第五章。上扬子及邻区震旦纪、早寒武世的微生物群。经对比研究其微生物化石可分为菌藻微生物、海洋微体浮游植物(疑源类)及其他微体生物等。

第六章。上扬子及邻区震旦纪和寒武纪的含磷岩系。陈其英认为把含磷沉积相内相素序列或岩性序列规律称为含磷岩系。由于含磷岩系的类型、相带以及成矿阶段的不同,参与成矿作用的生物类型和作用方式也有所不同。

第七章。扬子区震旦纪—寒武纪古地理环境与生物成矿作用。认为该地层是探讨古地理环境和生物成矿作用的良好对象。事实证明其中生物的繁盛与矿产的形成相一致,是研究生物成矿作用最有利的条件。并主张生物成矿模式具有多样性。

第八章。扬子地台及邻区的含矿建造(层)及生物成矿作用。认为该区的磷、锰、铁、钒含矿建造(层)具有明显的时空定位特点。再如富含有机质磷、泥岩是在特殊的宏观地质背景下形成独特的建造层。生物有机质作用成为成矿的核心因素。

第九章。磷块岩矿床的生物有机质成矿作用。认为生物有机质在富集磷元素中是有重要作用的。并主张藻细胞聚磷是生物成磷作用中一种非常重要的形式。最高含磷量达 9.1%。由于藻类生命活动可使水介质的 pH 值升高, Eh 值降低,以促使磷酸盐沉淀。反之,当人工加入胡敏酸后,磷酸盐的沉淀作用强度减弱(即固相磷沉积减少)。生物有机质作用贯穿磷块岩形成过程的始终。而细菌对有机质的分解则是不可缺少的一个重要因素。

第十章。黑色页岩系型碳酸锰矿床微生物成矿

作用。认为在与黑色岩系或其代表的缺氧环境有成因关系的一系列矿床(锰矿床等)中,微生物在锰的蕴集、沉积和成岩再富集阶段中均起着积极作用。为研究生物成矿作用而建立了“矿石组构-微生物遗体-稳定同位素-有机质”综合指标体系方法。

第十一章. 赤铁矿矿床形成中的生物作用。认为宣龙式铁矿石中发现了保存良好的微生物化石。从它们与叠层石的关系和造叠层石的能力来看,显然是具有光合作用能力的自养性微生物和最原始最低级底栖藻类。铁的沉淀和富集作用与微生物生命活动息息相关,是菌藻类微生物在生长发育过程中吸收大量的铁而富集成矿的。

第十二章. 有机质在铅锌矿形成中的作用。认为沉积岩中的铅锌矿床受有机质的成矿作用明显(中外学者更强调腐殖酸起了重要作用)。但在 Sedex 矿床中有机质高含量分布均匀,对金属元素的吸附富集作用,以及对硫酸盐的细菌还原作用,是参与成矿的主要方式。在 MVT 矿床中有机质含量低而不均匀,与金属元素呈络合物状态迁移。

第十三章. 微细粒浸染型金矿形成中的生物有机质作用。认为有机质和黄铁矿是金在岩石中的重要载体,且两载体在沉积岩中的成因又是密不可分的。还原条件下,金可呈超微粒包金、晶隙金或胶体吸附金的形式存在于有机质等组分中,有机质对金的吸附量最大,至少高于纯粘土矿物的 6~7 倍。金可呈多种形式络合物或胶体形式冷浸活化迁移形成含矿溶液或成矿流体,并具有强还原和高盐度性质。而金的还原沉淀(富集)与有机配体的破坏-裂解及 CO₂ 和 CH₄ 等还原剂的释放有着明显的关系。

第十四章. 重晶石、毒重石沉积的生物有机质作用及古海洋环境。认为生物有机质对钡的富集非常重要,因为表层海水高生物有机质使钡初步富集,然后海底缺氧、微生物的分解、硫酸盐细菌的还原作用使钡再次活化、浓集后,与 SO₄²⁻ 水体混合于氧化还原界面变化区而形成重晶石,重晶石沉积于残留大洋的大陆边缘。毒重石和钡解石系有机成因,硫酸盐还原细菌参与了有机质的分解,那是一种更为闭塞的还原条件。

第十五章. 近代天然碱矿床的生物成矿作用。蔡克勤认为近代天然碱矿床的生物成矿作用明显,这类矿床多为上更新世以来的干旱气候带内边缘部分的碱湖沉积。因含大量富有机质的淤泥层,碱质的富

集成矿过程中硫酸盐的还原和主要为绿藻一类藻席有机质的细菌分解是 CO₂ 的重要来源。

第十六章. 藻类对成矿元素富集条件的实验研究。认为基于两点认识:①地质体中有机质主要来源于藻类;②细菌在分解藻类形成有机质和改变氧化环境为还原环境中起一定的作用,但它决不是有机质的来源,所谓生物成矿主要是藻类生物及其有机质在成矿中起主要作用。通过利用藻类作材料对 P, Fe, Cu, Mn 等的模拟实验,予以一一证实。

第十七章. 现代盐田人工藻席发育特征及其成盐意义。认为藻席的上层为蓝绿色氧化层,下层为黑色还原层。说明藻类及其有机质可形成密实的矿物有机物复叠层。藻类成矿作用主要是通过吸收作用、改变微环境、络合作用、吸附作用等进行的。刘志礼还指出历史上和文献中强调细菌和真菌的成矿作用,实际上并没有多少依据。

第十八章. 有机质对铅锌元素迁移富集条件的实验研究。认为经过实验证明胡啡酸和胡敏酸对 Pb²⁺, Zn²⁺ 具有强烈的富集能力。在表生环境中腐殖酸占沉积有机碳的 60%~80%,因此腐殖酸在表生条件下对多金属元素行为起着重要的制约作用。以硫代硫酸盐的有机质还原作用是最合理的矿物沉淀机制。

第十九章. 微生物对金富集作用的实验研究。认为微生物参与金的地球化学循环,包括金的溶解、迁移和富集作用。经实验证明硫杆菌能氧化载金硫化物,产生的硫酸流失后使金残留富集成矿。利用黑曲霉菌对金的吸附作用实验,证明其菌体普遍吸附金离子,且吸附速度快,是金富集成矿的重要微生物^②。

第二十章. 总结,由叶连俊院士执笔撰写。该章解剖了 P, Mn, Fe, Pb-Zn, Ba, Au, Al 以及 Ni-Mo, V, 天然碱等有代表性的不同类型的重点矿床。在野外按“厘米地质”反复观察与对比;探讨了其时空展布规律;在室内尤其是对含矿岩系较详细地进行了岩矿及 SEM 观察和 X 射线鉴定;进行了古生物化石特别是微体古生物菌藻化石的生态及结构的详细鉴定分析;进行了沉积学分析;对岩矿组分进行了多种测试鉴定,包括无机和有机地化分析,同位素测定,成矿元素及伴生微量元素分析(含稀土元素的分析研究),以及成岩新生矿物形成顺序判定等。还进行了一些重要矿种模拟试验或长期观测,所取得的大量实际资料经过分析整理和综合研究。使人们深入

^②天津地质研究院与乌克兰专家在数年前合作的微生物有机酸选冶黄金的实验,是有与之相类似之处。

了解到生物成矿的许多具体事实,并且贯穿到整个沉积成矿过程的各个阶段。其主要成果概括有:①生物有机质成矿的标志共 10 条。②矿层定位于含矿岩系的底部或下部。③矿层是事件性沉积。④生物有机质成矿的空间定位、展布规律及顺序与构造动力沉积分异相、域和生物生态组合分异相、域之间密切谐合相关。⑤根据所测定的矿床的时空定位、展布的规律所提出的 10 项标志及 10 项制约因素所引发的成矿作用的沉积环境及背景条件的标志,对成矿的预测工作是可以操作的。⑥成矿模拟试验的结果明确指出,生物对成矿元素的浓集作用,不仅是吸附或吸着,而且还有孢内的吸收,占总量的 40% 以上。⑦富有机质沉积在成岩过程中的不同阶段都将改变介质孔隙水的地球化学性质和环境,同时也改变着以无机状态存在的成矿物质的解离、溶蚀、活化、迁移和溶积,为层型、层控矿床的形成提供了必要的物质条件。⑧生物有机质成矿研究不仅是现代沉积学的一个新的领域和生长点,而且必定涉及到古环境和生命起源等问题。

3 成果展望

《生物有机质成矿作用和成矿背景》的正式出版,是我国沉积矿床研究取得重大突破性成果的直接展示。其不仅阐明了许多金属及非金属沉积矿床的生物有机质成矿作用和成矿背景,也包括了其他金属及非金属沉积矿床(为铝土矿及球粘土等的形成)的生物有机质成矿作用和成矿背景,因为这一理论已经多方面证实,且其成矿特征与时空定位是有明显的规律性的,其成矿是完全可以预测的。深信这一成矿理论将对我国今后寻找沉积矿床产生深远的影响。

笔者长期从事我国铝土矿及耐火粘土的研究,曾经(1958~1992 年)多次提到我国古生代铝土矿及硬质粘土的胶体沉积及有机质的重要成矿作用。造成的酸性及强酸性环境(pH 值为 6~4 以下)而形成胶体溶液在有机质的护胶作用下作短程的搬运而沉积,同时还不同程度地与残余的碎屑形成混合沉积,

一般不会是均匀划一的。后来又补充了“内胶体”成因新概念。以此不同于苏联学者阿尔汉格尔斯基的长距离搬运的胶体化学沉积;也不同于布申斯基的“机械碎屑沉积”(而碎屑结构是多种成因的,曾提出“成因矿石结构构造学”新概念)^③。至于有机质是由哪种生物衍生而来的并不清楚,只知其然而不知其所以然。现从《生物有机质成矿作用和成矿背景》中得知,从前震旦纪到三叠纪的成矿生物化石“多半属于原始菌藻类生物,特别是蓝绿藻为主”。在该重大成果的影响下,笔者等又通过反复研究和思考,最近发表了《论中国岩溶铝土矿的成因与生物和有机质的成矿作用》一文(载《地质找矿论丛》1999 年第 4 期)。近些年来,笔者发现我国大量的球粘土矿床中的无序高岭石单晶在透射电镜中呈自形的假六方片状(0.5~0.05 μm),说明它是在沼泽盆地中因有机酸的作用形成的自生矿物。球粘土常呈黑色是因含有机质的缘故并与褐煤伴生,由于细粒无序高岭石晶体表面露出的 Al 离子等通过水分子桥作用与腐殖酸相结合或吸附而发生有机-粘土聚合体的沉积。腐殖酸中的富里酸等还能明显增大球粘土的可塑性和粘结性,主要是通过水分子桥的“桥联”作用而产生的。再如铝土矿粘土特别是华北石炭二叠纪的所谓“G 层”铝土矿粘土沉积非常明显的受沉积间断控制,因常定位于含矿岩系的底部或下部,也就是叶连俊院士概括的“成矿的事件性规律”。任何沉积矿床只要认真通过生物有机质成矿的物质基础标志、环境和背景标志、事件性规律等的研究和了解,其成矿预测的目标是可稳操胜券的。

该专著还提到由于生物成矿研究仍处于方兴未艾阶段,百尺杆头更上一层楼还是需要的,是时代的需要。这既是谦虚,也是符合唯物辩证法的。因为时间、人员和经费有限,其中铝土矿及粘土矿等等矿床还缺少专门的章节研究论述。印刷过程中的错、漏字不难找到,虽说出版社申明过“海洋版图书印、装错误可随时退换”。而我们过于苛求也是不符合实际情况的。

由于笔者的水平和经验所限,同时由于篇幅有限,挂一漏万在所难免,可能还有错误之处,敬请予以谅解!

^③笔者等与前苏联著名矿床地质学家阿尔汉格尔斯基及布申斯基在铝土矿成因上认识的主要分歧,实质上是着重生物有机质的成矿作用及其效果、成矿背景的不同或者在程度上的显著不同。

A GREAT ACHIEVEMENT BREAKTHROUGH ON SEDIMENTARY DEPOSIT RESEARCH IN CHINA—《MICROBIAL-ORGANIC MINERALLIZATION AND THE BACKGROUND》

LIU Chang-ling

(Tianjin Geological Academy, Tianjin 300061, China)

Abstract: The paper recommends the book 《MICROBIAL-ORGANIC MINERALLIZATION AND THE BACKGROUND》 to readers and makes comments on the content of the book.

Key words: Sedimentary deposit; breakthrough; microbial-organic; mineralization; background; China

2002年订阅

ISSN0495-5331
CN11-2043/P



地质与勘探



双月刊

全年 48 元

中文核心期刊 邮发代号 82-804

《地质与勘探》现由中国冶金地质勘查工程总局、国家有色局地质勘查总局和中国地质学会联合主办。1957年创刊，1992年荣获全国优秀科技期刊评比二等奖，是地质勘查类综合性技术期刊。

《地质与勘探》以刊载矿产地质、商业地质经济、成矿规律与成矿预测、矿产资源评价、找矿勘探方法、地球物理和地球化学勘查、岩石矿物研究、同位素地质、教学地质与遥感地质、钻探技术、工业矿物开发与利用、工程勘察与岩土工程施工等专业科研成果为主要内容，面向地质矿产勘查行业的生产、科研和教学人员。

编辑部地址：北京安贞里二区 11 楼 1 层 邮编：100029
电话：64433594 E-mail: geo-pro@263.net

欢迎刊登广告
欢迎投稿订阅