

单因素分析综合作图法 ——岩相古地理学方法论

冯增昭

(石油大学, 北京)

提要 古地理学及岩相古地理学的研究及编图方法较多, 本文以鄂尔多斯地区天然气的主要产层中奥陶统马家沟群的岩相古地理研究及编图为例, 阐述笔者倡导的岩相古地理学的方法论, 即单因素分析综合作图法

关键词 单因素 鄂尔多斯 马家沟群 岩相古地理 坪

作者简介 冯增昭 男 65 岁 教授 沉积学及岩相古地理学

一、概 述

我国的古地理学及岩相古地理学有相当长的历史, 有许多丰硕的成果 (刘鸿允, 1955; 关士聪, 1984; 冯增昭等, 1988)。

总观我国古地理学的历史和现状, 可以把我国的古地理学大体分为三个类型或学派。第一个学派, 以古生物地层学的理论为指导, 其图件可称之为古生物地层学的古地理图, 刘鸿允教授的《中国古地理图》可作为这一学派的代表。第二个学派, 以大地构造学的理论为指导, 其图件可称之为大地构造学的古地理图, 王鸿祯教授等的《中国古地理图集》可作为这一学派的代表。第三个学派, 以沉积学的理论为指导, 其图件可称之为沉积学的古地理图, 或沉积相古地理图, 即岩相古地理图。这一学派现在正方兴未艾。这一学派又可以分两个发展阶段。在 70 年代以前, 基本上以旧的沉积岩石学的理论为指导, 其图件也大都是小比例尺的、定性的或示意性的。在 70 年代以后, 开始以新的沉积学理论为指导, 出现了新型的中比例尺的定量化的岩相古地理图; 与此同时, 古地理学及岩相古地理学的方法论, 也大有改进和发展。这是一个重大的进展。标志着我国的古地理学和岩相古地理学已开始进入了定量化的阶段。

不以规矩不能成方圆。没有新的岩相古地理方法论, 就难以作出新的岩相古地理图, 就难以使岩相古地理学获得新的长足的发展。近十几年来, 我和我的志同道合者以及我的学生们, 以沉积学的理论为指导, 以自己探索和倡导的“单因素分析综合作图法”为方法论, 以自己实测的基础剖面各种定量及定性资料尤其是各种定量资料为立脚点, 以定量化的图件为主, 以中比例尺的图件为主, 开展岩相古地理研究及编图, 已取得一些成果 (冯增昭等, 1988, 1990, 1991a, 1991b)。

下面简要阐述单因素分析综合作图法这一岩相古地理方法论。

二、单因素分析综合作图法

单因素是能独立地反映沉积环境的某些特征的因素, 恰似数学函数中的变数, 如 x 、 y 、 z 等, 单因素的有无或多少均可独立地定量地反映沉积环境这一函数的某些侧面的特征。特定的岩性特征、古生物特征以及其它特征, 如厚度、颗粒、特定的岩石、特定的矿物、特定的化石和颜色等, 均可作为单因素。

单因素分析综合作图法可分三个步骤。首先, 是对各单剖面 (尤其是基于剖面) 进行认真的岩石学和岩相学研究, 取得齐全可靠的各种第一性定量及定性资料, 尤其是各种定量资料, 弄清各单剖面各层段的沉积环境特征。第二, 在这些定量资料中, 选择出那些能独立地反映沉积环境某些特征的因素 (即单因素), 并按要求的作图单位层段, 把全区各单剖面各作图单位层段各种单因素的百分含量都统计出来, 作出相应的各种单因素基础图件, 主要是等值线图, 也可以是分区图或点图。这些单因素基础图件可以从不同侧面定量地反映该地区该层段的沉积环境特征, 这就是单因素分析。第三, 把各单因素基础图件综合起来, 并结合其它定量和定性资料以及其它区域地质资料, 去粗取精, 去伪存真, 全面分析, 综合判断, 即可编制出该地区该作图单位层段的岩相古地理图, 这就是“综合作图”。

这一方法的核心是定量化, 即以定量的资料为基础, 从定量的单因素基础图件分析入手, 再通过全面的综合分析判断, 最后作出定量化的岩相古地理图。在这种岩相古地理图中, 各古地理单元的确定都有确切的定量资料为依据。这样的岩相古地理图就不再是“示意性”的了, 使岩相古地理图发展到了定量化的阶段。

这一方法的实质是先从不同的侧面对复杂的事物进行剖析, 先单个分析和认识事物的一些侧面, 能反映其本质的一些侧面; 然后, 再综合这些侧面的认识, 全面分析判断, 从而从总体上认识事物的本质。

本文采用的单因素有厚度、陆源物质、浅水颗粒、准同生白云岩、石膏、颜色等。

地层厚度主要反映该地区该层段沉积时期的古大地构造格局, 主要是相对隆起和相对凹陷的格局。沉积厚度与水体深度并无必然的关系, 水体深浅的确定需要其它单因素标志。当然, 厚度为零的地方也不一定就是陆地或岛屿, 这要看这个“零”是“沉积零”还是“剥蚀零”, 还要看是否有陆地边缘相带存在。因此, 对厚度等值线图这一重要的单因素基础图件的解释应十分慎重。

陆源物质又可分为粗陆源物质和细陆源物质。粗陆源物质可反映陆源的方位, 也可作为古陆边缘相的标志; 细陆源物质只能大致地反映陆源区的方位。暂且把陆源泥含量大于 50%、陆源砂及准同生白云岩含量均小于 10%, 且以浅水潮坪沉积为主的地区, 称为泥坪; 把陆源泥含量大于 50%, 陆源砂含量 50-10%, 且以浅水潮坪沉积为主的地区, 称作砂泥坪; 把陆源砂含量大于 50%, 陆源泥含量 50-10%, 且以浅水潮坪沉积为主的地区, 称作泥砂坪或砂坪。陆源砂含量更高, 不具有潮坪沉积特征的地区, 就是沙滩或砂坝了。

本文所指的颗粒是砂级以上的、经过磨蚀的、亮晶胶结为主的盆内颗粒 (如砾屑、砂屑、鲕粒、生屑等)。颗粒含量高, 说明沉积环境的水动力强。暂且把颗粒含量大于 30% 的地区定为滩; 颗粒含量 30-20% 的地区定为准滩; 颗粒含量 20-10% 的地区定为雏滩。滩为水下隆起或高地, 位于浪基面上, 平均低潮面之下, 水体能量高。准滩, 亦为水下隆起, 一般位于浪基面之上, 其水体能量稍次于滩。雏滩, 即滩的雏形, 是滩形成的初始状态, 其水体能量比准滩更低。

准同生白云岩主要形成于潮上及潮间环境或泻湖环境中。暂且把准同生白云岩含量大于

50%的地区,称作云坪;把准同生白云岩含量 50—30%而具潮坪特征的石灰岩含量大于 50%的地区,称作云灰坪;把准同生白云岩含量 50—30%而具潮坪特征的细碎屑岩(粉砂岩和粘土岩)含量大于 50%的地区,称作云泥坪。

石膏主要形成于潮上云坪环境及咸化泻湖环境中。暂且把石膏含量大于 50%的地区定为膏泻湖,把石膏含量 50—20%的地区定为含膏泻湖。

岩石的颜色在一定程度上反映沉积环境的氧化还原程度。暂规定:在还原色中,黑色为-100%、深灰色为-75%、灰色为-50%、浅灰色为-25%、白色为 0%;在氧化色中,红色为+100%、褐色为+75%、棕色为+50%、黄色为+25%、白色为 0%。其他颜色可根据其具体情况插入上述相近的颜色色值。最后,把该作图单位层段的所有岩层的颜色色值,按氧化色和还原色分别累计起来,除以该层段的地层厚度,即可得该层段的氧化色(色值)含量(%)和还原色(色值)含量(%)。颜色的正值越大,说明水体氧化程度越强;负值越大,说明水体还原程度越强。

下面以鄂尔多斯地区中奥陶统马家沟群的岩相古地理研究及编图为例,阐述单因素分析综合作图法这一岩相古地理学的方法论。

三、鄂尔多斯地区中奥陶统马家沟群岩相古地理研究及编图

1. 概述

鄂尔多斯地区位于华北地台的西部,西至贺兰山西麓,南至秦岭,东至吕梁山,北至阴山,包括甘肃东部,陕西中部和北部,宁夏大部,内蒙古西南部以及山西西部,面积约 32 万平方公里。

中奥陶统马家沟群在鄂尔多斯地区甚为发育,是该地区天然气的主要产层。

马家沟群包括马家沟一组、马家沟二组、马家沟三组、马家沟四组、马家沟五组及马家沟六组,简称马一组、马二组、马三组、马四组、马五组、及马六组;马一组及马二组相当于通常所说的“下马家沟组”,马三组及马四组相当于通常所说的“上马家沟组”,马五组及马六组相当于通常所说的“峰峰组”(冯增昭等,1990,1991a)。

2. 马一组单因素基础图件

(1) 厚度 (m) 等值线图

根据 22 个地面剖面和 14 个井下剖面的厚度资料,勾绘出了鄂尔多斯地区中奥陶统马家沟一组厚度 (m) 等值线图(图略)。从中可看出:本组在中央和北部无沉积,主要分布在东部、西部和南部;由外向内厚度逐渐减小;在米脂地区出现一北北东向的相对凹陷,最厚达 88m 以上(榆 9 井);在临汾地区有一个较浅的相对凹陷;在铜川—韩城一带也有一个由外向内延伸的凹陷。

(2) 陆源物质含量 (%) 等值线图

根据 16 个地面剖面和 3 个井下剖面的陆源物质含量资料,勾绘出了鄂尔多斯地区中奥陶统马家沟一组陆源物质含量 (%) 等值线图(图略)。从中可看出:本组陆源物质较发育,主要分布在西部、南部和东部;且由外向里含量逐渐增高,最高达 47.15% (岐山)。西部陆源砂较发育,含量可达 20% 以上。东部和南部陆源砂不发育,主要为陆源泥。

(3) 准同生白云岩含量 (%) 等值线图

根据 15 个地面剖面和 4 个井下剖面的准同生白云岩含量资料,勾绘出鄂尔多斯地区中奥陶

统马家沟一组准同生白云含量 (%) 等值线图 (图略)。从中可看出：本组准同生白云岩很发育，在西部、南部和东部都有，且由外向里含量逐渐增高，最高达 95% (泾阳)。

(4) 氧化色含量 (%) 等值线图

根据 15 个地面剖面的氧化色含量资料，勾绘出了鄂尔多斯地区中奥陶统马家沟一期氧化色含量 (%) 等值线图 (图略)。从中可看出：本组氧化色比较发育，主要分布在西部、南部和东部，含量最高达 79.99% (陇县)。

此外，在贺兰山剖面，颗粒也比较发育，含量达 12%，主要为砂屑。在临汾剖面，本组含膏岩层厚 17.23m，占本组 46.89%。在榆 9 井 (图略)，膏岩和盐岩层分别为 13m 和 12m，二者占本组 28%。在耀参 1 井，膏岩厚 7.79m，占本组厚 26.96%。在东部地区，本组普遍看有垮塌角砾构造，说明原来应有石膏或石盐，后来被溶解了。

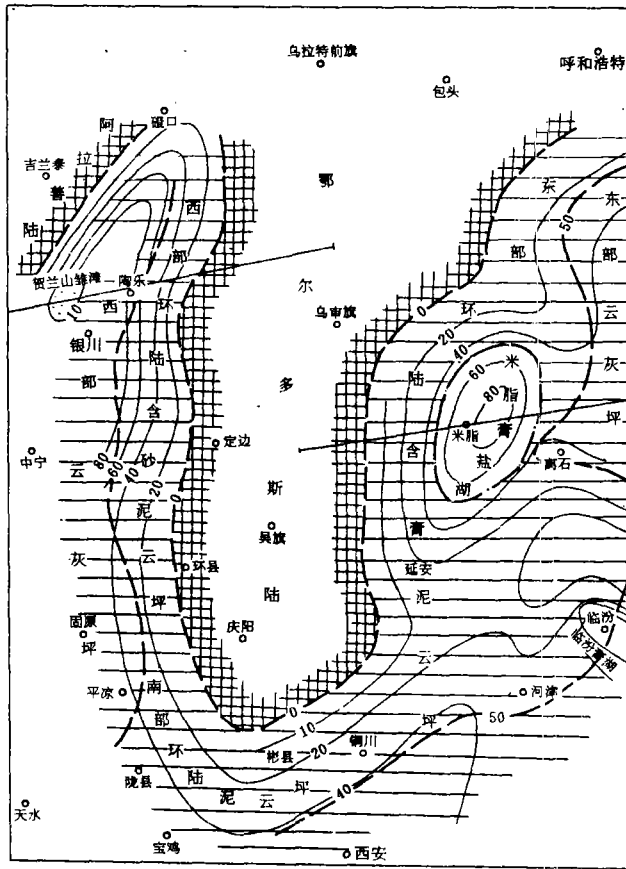


图 1 鄂尔多斯地区中奥陶世马家沟一期岩相古地理图

Fig. 1 Palaeogeographic map of middle Ordovician Majiagou stage 1 in Ordos region

3. 马一期岩相古地理图

综合上述各单因素基础图件，再结合其它地质资料和测井物探资料，勾绘出了鄂尔多斯地区中奥陶世马家沟一期岩相古地理图。参见图 1。从此图可看出：本区中央大面积为陆，仅西缘、南缘和东缘为海，海域呈“U”型；在海域中有含砂泥云坪、含膏泥云坪、泥云坪、云灰坪、膏盐

湖、膏湖和雏滩等次一级古地理单元。

(1) 陆

有两个陆地，即鄂尔多斯陆和阿拉善陆。鄂尔多斯陆分布在北部的伊盟到中南部的庆阳一带。与早奥陶世相比，统一的鄂尔多斯陆又解体了，即一分为二了，陆地的面积也大为缩小了；这是马家沟期海侵造成的。

(2) 含砂泥云坪

即西部环陆含砂泥云坪，分布在鄂尔多斯陆的西侧。准同生白云岩含量大于50%，其次为泥质白云岩和砂质白云岩，陆源砂含量达20%以上，也有陆源泥。代表性剖面有青龙山、任3井、天深1井和刘庆7井等。为近岸潮坪环境。

(3) 含膏泥云坪

即东部环陆含膏泥云坪，分布在鄂尔多斯陆的东侧和东南侧。其准同生白云岩含量大于50%，陆源泥和石膏也比较发育。代表性剖面有兴县、河津、韩城、泾阳、耀参1井和永参1井等。泥质白云岩发育；陆源泥多；井下见有石膏，野外剖面有垮塌角砾状构造，说明也曾有石膏；水平纹理发育。为近岸含膏云坪环境，即典型的萨布哈环境。

(4) 泥云坪

即南部环陆泥云坪，分布在鄂尔多斯陆的南侧。其准同生白云岩含量大于50%，陆源泥也比较发育。代表性剖面有陇县和歧山。泥质白云岩和页岩发育，泥质多，颜色为紫红色。为近岸泥云坪环境。

(5) 云灰坪

有两个云灰坪，即东部云灰坪和西部云灰坪，其准同生白云岩含量均大于30%。东部云灰坪分布在东部环陆含膏泥云坪的东侧，代表性剖面有偏关、柳林和永济等；西部云灰坪分布在西部环陆含砂泥云坪的西侧，代表性剖面有桌子山和平凉。除准同生白云岩发育外，泥晶石灰岩、准同生后白云岩和竹叶白云岩也较发育，含有头足类化石。为潮间上部环境。

(6) 膏盐湖

即米脂膏盐湖，分布在米脂凹陷带，代表性的井是榆9井。膏岩和盐岩发育，厚度分别为13m和12m，泥质白云岩和泥晶石灰岩也发育，颜色为深灰色。其西侧是近陆的含膏云坪，东侧是云灰坪，即其四周均为浅水的潮坪环境；这一岩相古地理背景说明它是一个在潮坪环境的局部凹陷中形成的浅水膏盐湖。

(7) 膏湖

即临汾膏湖，位于临汾相对凹陷中，代表性的剖面是临汾。石膏发育，厚达7.79m；泥质白云岩和泥岩也较发育；颜色为褐灰色、灰黄色。亦为一个位于潮坪环境的凹陷中的浅水膏湖。

(8) 雏滩

即贺兰山雏滩。颗粒石灰岩和含生屑石灰岩发育，深灰色，厚层至块状；颗粒含量达12%。为潮下有一定水动力条件的雏滩环境。

总之，在马家沟一期，新的海侵开始，本区中央和北部为陆地，仅西缘、南缘和东缘为海，水体较浅，潮坪环境极为发育。东部潮坪含陆源砂少，含石膏多；西部潮坪含陆源砂多，含石膏少。在米脂和临汾相对凹陷带中分别出现浅水膏盐湖和浅水膏湖。在贺兰山地区有雏滩。西缘和南缘为开阔海，分别与祁连海槽和秦岭海槽相连。总之，鄂尔多斯地区马家沟一期的岩相古地理格局，可用“陆外为坪、坪中有湖（膏盐湖和膏湖）、坪外有滩、滩外为海（开阔海）、海外为槽（深水海槽）”来概括。

4. 马二、三、四、五、六期岩相古地理特征

用同样的方法, 勾绘出了鄂尔多斯地区中奥陶世马家沟二期、三期、四期、五期及六期的岩相古地理图。图件从略。

马二期, 海侵进一步扩大, 马一期的鄂尔多斯陆一分为二, 分裂成伊盟陆和庆阳陆。因此, 马二期有三个小型的陆地, 即阿拉善陆、伊盟陆和庆阳陆。除此三个分散的小陆地外, 全区都为开阔海, 其中星散着几个雏滩和准滩。本期无坪, 这就与马一期的各种坪广泛发育的古地理特征成了鲜明的对比。

马三期, 海退了, 云坪发育, 其岩相古地理面貌与马一期相似。

马四期, 又一次海进, 云坪面积大为减小, 开阔海面积大为增加, 其古地理面貌与马二期近似。

马五期, 又海退了, 其古地理面貌与马一期和马三期近似。

马六期, 又海进了, 又是一个开阔海广布的时期, 其古地理面貌与马二期和马四期近似。这次海进比马二期和马四期还要强烈, 达马家沟期的最高潮, 除北部的两个小陆地(伊盟陆和阿拉善陆)外, 全区均为开阔海, 其中仅星散地分布着几个准滩和雏滩。

到马六期末, 海水几乎全部退出鄂尔多斯地区和整个华北地台。

总之, 从马家沟一期到马家沟六期, 共有三次海进(马一、二期海进、马四期海进及马六期海进)和三次海退(马三期海退、马五期海退及马六期末海退), 海进一次比一次大, 海退也一次比一次大; 三次大起大落, 形成了鄂尔多斯地区中奥陶世马家沟期一套完整的三重组合的海进海退旋回和三个相似的相反相成的岩相古地理的对偶组合。这是一个独立的完整的体系, 这就是为什么笔者起用“马家沟群”和使用马家沟一组、二组、……六组这一系统的地层组名的原因(冯增昭等, 1990, 1991a)。

在这一个完整的岩相古地理对偶组合中, 尤其是在马五组的云坪中, 蕴藏着十分丰富的天然气。“坪中有膏, 坪中有盐, 坪中有油, 坪中有气”。诚宝坪也! 这一宝坪(瓶)的阀门刚刚打开, 前程无量。希更进一步深入全面的开展这一宝坪的研究, 更进一步了解和掌握其生成和演化的规律, 使其更好地为我们伟大祖国的社会主义建设作出贡献。

参 考 文 献

- (1) 刘鸿允, 1955, 中国古地理图, 科学出版社。
- (2) 王鸿祯等, 1985, 中国古地理图集, 地图出版社。
- (3) 关士聪等, 1984, 中国海陆变迁海域沉积相与油气, 科学出版社。
- (4) 冯增昭等, 1988, 下扬子地区中下三叠统青龙群岩相古地理研究, 云南科技出版社。
- (5) 冯增昭等, 1990, 华北地台早古生代岩相古地理, 地质出版社。
- (6) 冯增昭等, 1991a, 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理, 地质出版社。
- (7) 冯增昭等, 1991b, 中下扬子地区二叠纪岩相古地理, 地质出版社。

Single Factor Analysis and Comprehensive Mapping Method ——Methodology of Lithofacies Paleogeography

Feng Zengzhao

(University of Petroleum, Beijing)

Abstract

There are many methods of studying and mapping of lithofacies paleogeography. This paper will describe the methodology of lithofacies paleogeography that was advocated by the present author, "Single factor analysis and comprehensive mapping method", with the example from the lithofacies paleogeographic study and mapping of Majiagou Group of Middle Ordovician of Ordos Region.

By "single factor", meant is the factors which can independently reflect certain aspects of the sedimentary environments.

Single Factor Analysis and Comprehensive Mapping Method includes three steps. First, earnest petrological and petrographical study of each section should be made in order to obtain various firsthand complete and reliable quantitative and qualitative data, especially quantitative data, and to understand the characteristics of sedimentary environments of each stratigraphical interval in the section. Second, select those factors which can independently reflect some aspects of sedimentary environments (i.e. single factors) from these quantitative data. And then the percentage content of each single factor in each section of the whole area, followed the requisite mapping unit, should be calculated to draw out various corresponding fundamental single factor maps. They are mainly various isoline maps. These fundamental single factor maps can quantitatively reflect different characteristics of sedimentary environments of the stratigraphical interval of the area. This is Single Factor Analysis. Third, Having synthesized these fundamental single factor maps and combined with other quantitative and qualitative data and other regional geology data, through all-sided analysis and comprehensive judgement, with the dross discarded and the essential selected, the false eliminated and the true retained, the lithofacies paleogeographical maps of the mapping unit of the area can be compiled finally. This is Comprehensive Mapping.

The core of this method is quantification. That is, on the basis of quantitative data, starting with analysis of quantitative fundamental single factor maps, then through comprehensive analysis and judgement, finally the quantitative lithofacies paleogeographical maps can be compiled. In these lithofacies paleogeographical maps, the determination of each paleogeographical unit is based on definite quantitative data. This type of lithofacies paleogeographical maps is therefore no longer sketchy. This makes lithofacies paleogeographical maps developed into a quantitative stage.

The following single factors are used in this paper: thickness, terrigenous materials, shallow-water grains, penecontemporaneous dolostones, gypsum, colors and so on.

On the basis of various fundamental single factor maps of each formation of Majiagou Group of Ordos Region, combined with other quantitative and qualitative data, through all-sided analysis and judgement, the lithofacies paleogeographical maps of Majiagou Age I to VI of Middle Ordovician of Ordos Region were drawn out.

The lithofacies paleogeography of Majiagou Age I may be generalized by following: Outside the lands were flats (dolomite flats, etc); Inside the flats were lakes (gypsum salty lakes and gypsum lakes); Outside the flats were banks (embryonic banks); Outside the banks were seas (open seas) and outside the seas were troughs (deep-water troughs). In Majiagou Age II, the transgression was enlarged so that the whole area was open sea except three small lands. In the open sea there were some embryonic banks and penobanks scattered. The lithofacies paleogeography of Majiagou Age III and V were similar to that of Majiagou Age I. The lithofacies paleogeography of Majiagou Age II and IV were similar to that of Majiagou Age I.

Generally speaking, from Majiagou Age I to VI, three transgressions and three regressions appeared alternatively. They constructed a series of complete cycle of transgression and regression of triple assemblage and three similar, opposite and complementary, antithetical assemblages of lithofacies paleogeography in Majiagou Age of Middle Ordovician of Ordos Region. There is quite abundant natural gas contained in it, especially in the dolomite flats of Majiagou Formation V. "In the flats, there are gypsum, salt, oil and gas". They are really treasury flats.