

文章编号: 1001-1986(2010)01-0001-06

空间数据库技术在定量单因素作图法中的应用

——以鄂尔多斯盆地奥陶系 SQ17 岩相古地理研究为例

李 斌¹, 史晓颖², 程长青², 郭彦如³

- (1. 中国石油大学资源与信息学院, 北京 102249;
2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;
3. 中国石油勘探与开发技术研究院鄂尔多斯分院, 北京 100083)

摘要: 对野外剖面记录、测井和录井资料等海量空间数据的对比分析是层序岩相古地理研究的根本途径。应用空间数据库技术与单因素分析作图法相结合, 将鄂尔多斯奥陶系基础地质数据以自然层为单位, 按照统一标准量化处理, 并利用空间数据库技术系统管理。然后, 以层序为单位计算、统计和分析, 进而提取厚度、含量(如白云岩和陆源物等含量)、平均颜色值和准层序个数等反映沉积环境和特征的单因素; 定量绘制出各单因素等值线图; 在区域地质背景下, 通过单因素叠加、多因素综合分析等方法绘制古地理图。以鄂尔多斯盆地奥陶系马五组底部 SQ17 层序为例, 有效地识别出其古地理单元, 提高了研究的精度与可靠性。实践证明, 空间数据库技术与单因素作图法相结合, 是岩相古地理研究的一种有效技术途径, 并可推广使用。

关键词: 空间数据库; 单因素分析; 鄂尔多斯盆地; 奥陶系; 层序地层; 岩相古地理

中图分类号: P628.4

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.01.001

Application of spatial database and single-factor analysis in litho-palaeogeographic reconstruction of the Ordos basin

LI Bin¹, SHI Xiaoying², CHENG Changqing², GUO Yanru³

- (1. Faculty of Natural Resource and Information Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
2. The State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Beijing 100083, China; 3. The Institute of Petroleum Exploration and Development Technology of China, Beijing 100083, China)

Abstract: In the study of sequence stratigraphy and litho-palaeogeography, quantitative analysis, precise calculation and detailed comparison of tremendous geological data, such as field profiles, logging records and artificial seismic curves from different areas, are the basic requirements. In order to obtain more reliable and precise result, we have developed a method, by combining the spatial database analysis and the single-factor mapping technology, to establish sequence stratigraphical succession and to map the Ordovician litho-paleogeography of the Ordos basin- one of the largest oil-gas bearing basin in North China Platform. By using the method, all of the related basic geological data can be quantitatively analyzed and scientifically managed. Various attributes of the basic stratigraphic units and their characters, such as the overall color, sequence and parasequence thickness, pene-contemporaneous dolostone content, shallow water plaster content, terrigenous material content, carbonate grain ratio, parasequence number, and the relative thickness of the lower and upper units in a parasequence, can be fully utilized statistically in facie analysis and in mapping. Based on this analysis, we have exerted single-factor isopachous mapping quantitatively for each of the Ordovician sequences in the basin, and finally synthesized multiple factors to construct the litho-palaeogeographical maps for each of the sequence intervals. The study shows that the proposed method is quite effective and has much higher resolution in recognizing litho-paleogeographic units than traditional ways. For example, in one of the Middle Ordovician sequence interval (the SQ17 in Lower Majiagou Formation) of the Ordos basin, we have successfully mapped the precise distribution of various facie units.

Key words: spatial database; single factor; the Ordos basin; Ordovician; sequence stratigraphy; litho-palaeogeography

收稿日期: 2009-04-15

基金项目: 国家自然科学基金创新群体项目(40621002); 中石化海相油气勘探前瞻性项目(G0800-06-ZS-319)

作者简介: 李 斌(1970—), 男, 内蒙古化德人, 博士后, 从事古生物与地层学研究。

鄂尔多斯盆是我国第二大沉积盆地, 富集了石油、煤、天然气等矿产资源^[1-3]。尤其是奥陶系碳酸盐岩为主的层位发现了丰富的天然气资源, 具有广阔的勘探开发前景^[3]。近年来, 该层位引起地质学者的高度重视, 并在层序地层、沉积学方面取得一系列研究成果^[1-3], 积累了大量的基础地质资料。但如何充分共享、交流、利用基础数据, 仍然是长期悬而未决的难题。随着地质数据的急剧增多, 如何有效地管理、分析、提取地质数据, 已成为国内外地质工作者关注的重要问题^[4]。

作者曾在盆地西、南、东缘进行了广泛的野外地质调查, 并收集了丰富的地质资料。开展层序地层综合研究及编制层序岩相古地理图时, 迫切需要一种科学的管理方法, 来组织、分析这些海量数据。

空间数据库技术是基于关系型数据库(RDBMS)来进行空间数据的存储和管理, 目前已在很多领域中推广使用^[4-8]。在地学领域, 国内外也在广泛应用, 并取得显著成效, 积累了宝贵经验^[9-11], 但主要集中在数字地质成图与矿产资源评价^[12-17]。然而, 有关空间数据库技术在岩相古地理中的应用, 国内还处于初步研究阶段^[18]。因此, 将空间数据库技术应用于岩相古地理研究, 势必是一种研究方法的突破, 能够从根本上提高工作效率。

目前, 国内在古地理编图中通用的方法是单因素分析多因素综合作图法^[19-20]。该方法在碎屑岩储层研究中已形成固定的模式, 在沉积相研究中发挥了重要作用^[21-25]。所谓多因素综合分析的形式就是若干个单因素等值线图的叠加分析。

一般的空间数据库软件均有定量数据管理与等值线图绘制的基本功能。本文拟以马五组底部的一个三级层序(简称 SQ17)的岩相古地理图为例, 讨论空间数据库设计和单因素分析等关键性技术方法。

1 空间数据库设计与信息提取

1.1 地质基础数据的信息处理

现阶段由于国内地质研究技术手段的滞后, 野外地质工作一般多以现象观察及定性描述记录为主。由于定性记录缺乏统一的模式, 常常具有人为性和部门性, 使地质记录格式各自为政, 难于共享, 从而难以避免重复性劳动及资金浪费。随着信息技术的发展, 地质数据的共享成为了可能, 但必须具备数据标准化的格式。为了实现剖面间的对比研究, 本文以自然分层为基本单位进行量化、标准化处理。在同一自然层中, 将地质记录按照颜色、岩性、结构、层状、粒度、沉积构造、生物化石、特殊矿物、层面标志、取样记录和照相记录为基本单位, 重

新组织地质数据, 使之成为相对独立的元素, 以备数据库组织管理。特别提出的是, 岩性、颜色等属性数据的命名必须以国家质量技术监督局发布的《沉积岩岩石分类和命名方案》为标准, 绝对避免习惯性的人为描述。

1.2 地质数据库的设计

1.2.1 空间数据表设计

创建一个数据表以记录各种剖面所在的空间位置, 如剖面编号、精度、纬度、地层总厚度、剖面地理位置、剖面图编号等。有了空间数据表后, 其他属性表就可通过数据表的链接和空间数据表建立关系, 以便空间查询、分析。

1.2.2 关系型属性数据表设计

按照图 1 的逻辑关系建立属性数据表, 并录入每个数据表中的属性数据。

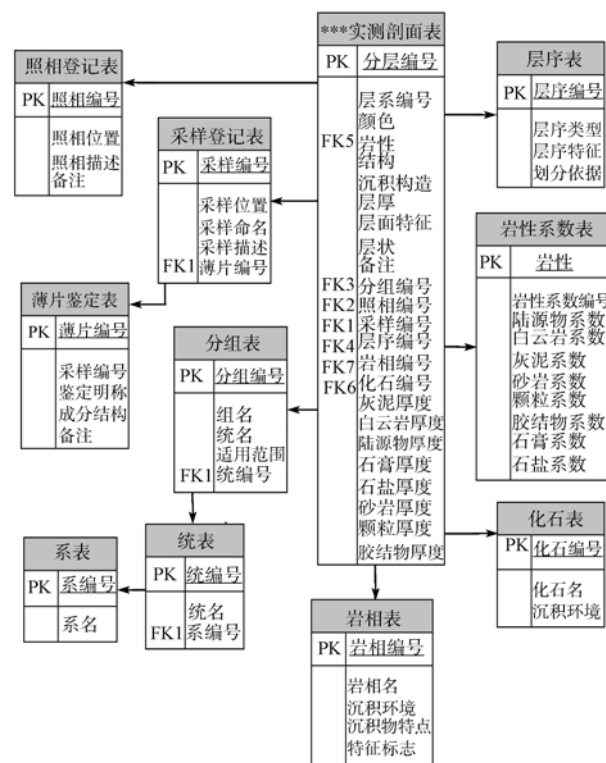


图 1 单条剖面相关属性表之间的逻辑关系

Fig. 1 Logic relations among property tables related to single field profile

1.2.3 空间数据表与属性数据表关系的建立

空间数据库与普通关系型数据库最大的区别是数据的空间位置性。本文采用空间数据表中的剖面名称字段与每个实测剖面表或测井、录井剖面表的表名建立一一对应关系, 其他属性表即可通过实测剖面表或测井、录井剖面表的链接关系与空间数据表关联, 剖面的所有属性可在空间上查询、显示。

1.3 二次信息的获取

以三级层序为基本统计单位, 统计层序厚度、平

均岩性值、平均颜色值、陆源碎屑含量、准同生白云岩含量、灰泥含量、碳酸岩颗粒含量、石膏含量、石盐含量、准层序平均个数、准层序下、上单元的厚度比等。

在二次信息获取中，岩性值与颜色值的确定较为复杂。首先，要统计所有剖面中的岩性和颜色定名。

岩性依据区域地质背景，按照沉积环境由深到浅的顺序，以泥页岩—泥晶灰岩—白云岩—膏盐的次序给每种岩性赋值，本文使用的岩性值暂按表 1 所示顺序排列；颜色则按照强还原—强氧化的顺序给每种颜色赋值。然后，以层序为单位统计平均岩性值与颜色值。

表 1 本文使用的岩性值表
Table 1 Color values suggested in this paper

岩性	泥页岩	泥质灰岩	含泥灰岩	泥晶灰岩	含云灰岩	白云质灰岩	灰质白云岩	含膏白云岩	膏岩	盐岩	陆地
岩性值	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0

镜下薄片鉴定后，校正野外命名，并设置每种岩性的成分系数，组成一个岩性系数表。例如，某剖面 010 层的岩性描述为含泥灰质白云岩，则设定其岩性系数为：陆源碎屑系数为 10%，灰泥系数为 25%，白云岩系数为 65%。再如，某剖面 020 层的岩性为含泥白云岩与灰质白云岩互层，则岩性系数设定为：先按互层设定每种岩性各占 50%，再算单层的成分—含泥白云岩中陆源碎屑 10%，白云岩 90%，灰质白云岩中灰泥 25%，白云岩 75%，最后陆源碎屑的系数为 $0.1 \times 0.5 = 0.05$ ，灰泥的系数为 $0.5 \times 0.25 = 0.125$ ，而白云岩系数 $1 - 0.125 - 0.05 = 0.87$ 。之后，以层序为单位依据岩性数据表与实测剖面表(或测井剖面表)之间的对应关系，统计各剖面中每种单因素的含量(如灰泥和白云岩含量)。

在每个剖面中识别出基本的准层序，以层序为单位统计出准层序平均个数及准层序的下、上单元的厚度比例等。

最后，将层序中各种单因素综合为一个层序单因素表。

2 空间数据库的应用

2.1 数据的空间显示

很多 GIS 软件都提供了空间定位功能，如 MapInfo、ArcGis 等^[26]，可按照经度和纬度两个属性，为剖面位置投点，并改变投点的图标。剖面的属性表可按照剖面名称在空间数据地图上编码，以实现属性数据的空间化。

2.2 空间数据的统计计算

数据的统计、计算，是关系型数据库管理系统的基本功能^[27]。

例如，马五组中发育 3 个层序，分别为 SQ1、SQ2、SQ3，各层序界限可由层序界限表中的厚度设定来确定。如有一个总剖面表和一个层序界限表，就可通过 Sql 语句统计出各剖面每个层序的膏岩或白云岩的厚度，其语句如下：

SELECT 总剖面. 剖面名称, sum(IIF(底深<=层

序界限. sb1 And 底深>层序界限. sb2, 厚度, 0)) AS SQ1 厚度, sum(IIF(底深<=层序界限. sb2 And 底深>层序界限. sb3, 厚度, 0)) AS SQ2 厚度, sum(IIF(底深<=层序界限. sb3 And 底深>层序界限. sb4, 厚度, 0)) AS SQ3 厚度 INTO 层序厚度 FROM 层序界限 INNER JOIN 总剖面 ON trim(层序界限.剖面名称)=trim(总剖面.剖面名称)

WHERE (instr(ZHMS,'膏岩') Or instr(ZHMS, '白云岩'))

GROUP BY 层序.剖面名称

运行层序，得到一个“层序厚度”新表，即为各剖面 3 个层序的膏岩或白云岩的厚度。这种方法尤其用于若干条剖面的海量数据计算(如碎屑岩储层的砂岩百分含量计算)，将会大大提高工作效率。

2.3 单因素等值线的绘制

使用 GIS 软件绘制 SQ17 单因素等值线图(图 2—图 5)，可以从单因素等值线图上初步认识各种成分在空间上的分布规律。

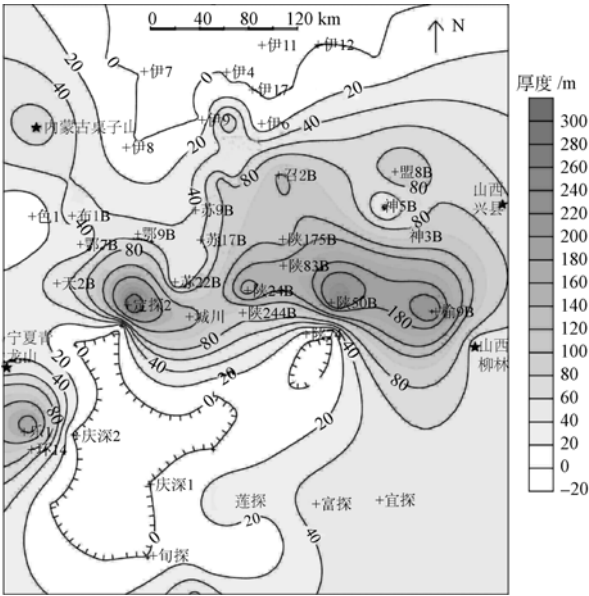


图 2 SQ17 厚度等值线图

Fig. 2 The isoline map of thickness of the SQ17

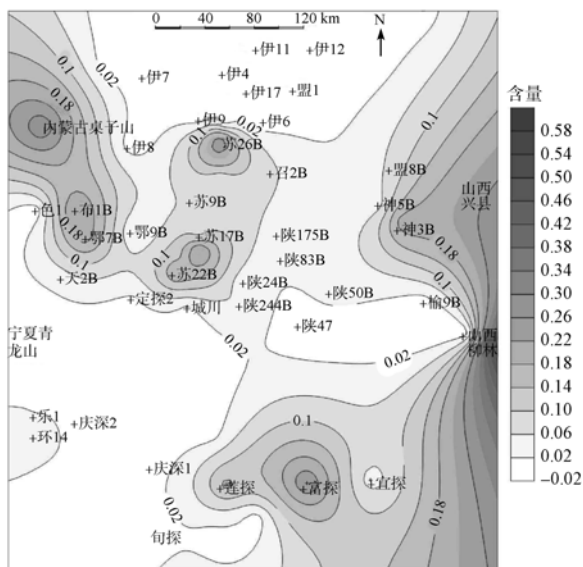


图 3 SQ17 陆源物含量等值线图

Fig. 3 The contour map of SQ17's land-based sources content

2.4 单因素分析

2.4.1 层序厚度分析

沉积物的厚度主要受控于可容纳空间的大小及沉积物的供给速度。在特定的地质背景下,厚度是反映当时构造古地理格局最直接的因素^[20-21]。

层序 SQ17 是中奥陶统马家沟五组底部的一个层序,在研究区发育良好,主要岩性为白云岩、膏岩、盐岩、泥晶灰岩、生屑灰岩、泥页岩等,表明这个时期研究区基本属典型的潮上带—泻湖沉积环境^[1,18]。

根据前人研究资料,研究区在马四期曾发生过一次大规模的海进,海水几乎淹没了整个鄂尔多斯地区,全区均可进行对比^[28],马五期是海进高峰后的海退,但该期未有隆升、剥蚀的记录,在 SQ17 中厚度为零的庆阳古陆和东胜古陆周边也未见粗陆源碎屑物或其他陆相沉积物。从远离这两块高地的辐射方向看,地层厚度均在增加,所以其沉积厚度基本代表了当时的地形。沉积厚度较大的区域集中在陕北地区,一般为 100~180 m,中间局部地区可达 300 余 m。另外在内蒙古桌子山地区和环 14 井周围,也存在一个厚度较大的区域,为 40~120 m。从层序厚度上分析,SQ17 时期该区域可以分出 2 块古陆:庆阳古陆和东胜古陆,3 个洼陷:陕北洼陷、桌子山洼陷、环 14 洼陷,1 个缓坡:东南部缓坡(图 2)。

2.4.2 浅水陆源碎屑含量分析

浅水陆源碎屑可以作为判断物源来源方向、物源区的距离及水体深度的重要依据^[22-25]。

经分析,SQ17 中陆源碎屑物均为浅水细陆源碎屑物,而且临近庆阳古陆和东胜古陆的两侧,一般缺乏陆源物沉积(图 3),表明当时的海水还未完全退

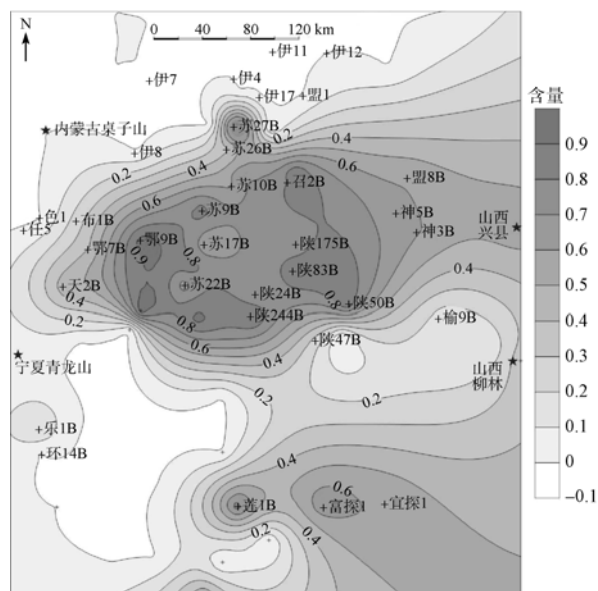


图 4 SQ17 准同生白云岩含量等值线图

Fig. 4 The isoline map of penecontemporaneous dolomite content of SQ17

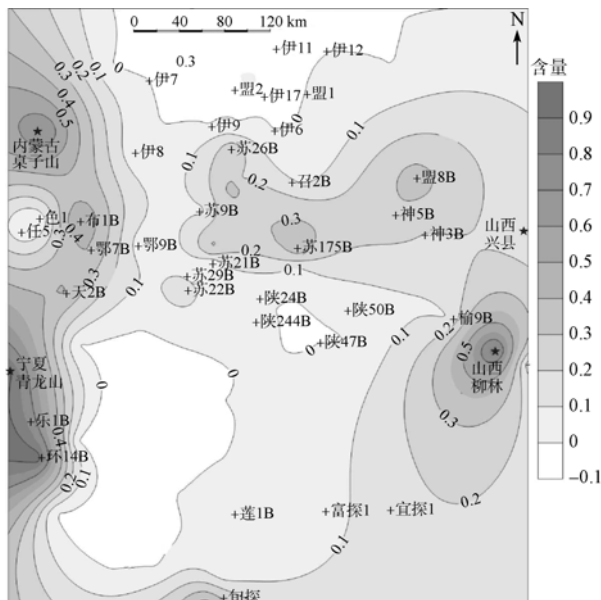


图 5 SQ17 灰泥含量等值线图

Fig. 5 The contour map of shallow water plaster content of SQ17

出两大古陆,古陆的表面接近海平面,风化剥蚀量较小。陆源物沉积厚度最大的区域位于山西兴县—山西柳林一带以东地区,陆源物占 20%~45%,其次为桌子山凹陷和东南缓坡,为 10%~30%。在陕北及环县一带,虽然存在较深的凹陷,但由于与广海连通较差,且远离古陆,陆源碎屑沉积仅占 2%~5%。这些特征表明,当时东西部海侵方向有明显差别,西部桌子山凹陷的陆源物来自东胜古陆,而东部山西兴县—柳林地区则来自庆阳古陆。

2.4.3 准同生白云岩含量分析

准同生白云岩是划分潮上带泻湖相沉积环境的重

要指标,在老年性古陆的海域,其含量可以作为区分泥坪、云泥坪、泥云坪、云坪等古地理单元的指标^[20-23]。

SQ17 中的陆源碎屑缺少粗碎屑岩,表明当时的古陆地形可能已接近准平原化,属于老年性古陆,其白云岩发育区总体为近岸潮坪区。

从图 4 中看出,中部陕北凹陷和东部山西兴县一带、以及东南缓坡的富探附近,白云岩比例较高,约为 55%~85%,陕北中间地区达 85% 以上,表明当时陕北凹陷较深,并与广海相对隔绝而形成潮上带泻湖。其他地区白云岩含量较低,尤其西部地区,小于 10%,可能为开阔碳酸盐台地环境。

2.4.4 浅水灰泥含量分析

灰泥含量也可作为沉积环境一项重要参考指标。从图 5 可以看出,在盆地西部内蒙古桌子山洼陷和宁夏青龙山洼陷,灰泥可高达 40%~90%,其次为山西柳林地区,为 30%~75%。西北部内蒙古桌子山与宁夏青龙山地区地形相对平坦,与西部广海流通较好,沉积了大量的泥晶灰岩、颗粒灰岩、生屑灰岩等,所以其灰泥含量较高,白云岩含量很少,陆源物含量较少,进一步可以确定其为开阔碳酸盐岩台地。在内蒙古桌子山及布 1 井周围,陆源碎屑含量较西部其他地区偏高,可能为台中盆地。

2.4.5 石膏和盐岩含量分析

石膏和盐岩是蒸发环境的沉积产物,主要形成于咸化泻湖及云坪环境中。在鄂尔多斯盆地中东部地区的马一组、马三组合马五组中,普遍发育石膏岩和盐岩^[28-9],尤其陕北凹陷马五组中的石膏岩是油气聚集带中良好的盖层^[30]。SQ17 中石膏集中在陕 47 井周围 25 km 区域,石膏可达 55%,本文称其为膏湖,其周围地区为含膏湖。石盐主要集中在绥德榆 9 井一带,达 15%~45%;在榆 9 井 14 km 范围内,石盐占 50%,称为盐湖,而其周围为含盐湖。

2.4.6 浅水碳酸盐岩颗粒厚度分析

浅水碳酸盐岩颗粒主要集中在西部内蒙古桌子山与环 14 井之间,约占 12%~21%。另外发育大量生物化石,可见清晰的三叶虫、角石、腕足等完整的个体,说明当时水体较浅,光照充裕,易于生物生长,为典型的碳酸盐岩台地沉积环境。

2.4.7 平均岩性值与颜色值分析

岩性值与颜色值可以间接地反映水体深度以及氧化还原条件。岩性值最小的区域为陕北洼陷及山西兴县地区,其次为东南缓坡,西部桌子山—青龙山地区岩性值最大。颜色值最大的区域分布在盆地中部陕北凹陷、山西兴县一带,表明其为还原环境,可能由于凹陷较深或水体滞流缺氧所致。在西部地区,颜色值很小,表明这一带水体很浅,属于氧化环境,再次可以推断这一带为开阔碳酸盐台地环境。在东南部缓坡宜探井附近,颜色值也较大,且白云

岩和陆源物含量较高,灰泥含量较低,故将其定义为含泥灰云坪。

2.4.8 准层序个数分析

根据层序中准层序的发育个数及区域发育特征,可以预测研究区的地形。准层序最发育的区域为陕北凹陷中间区域,向四周逐渐减少,这可能因为陕北凹陷是相对较深的陆上凹陷,与广海隔绝,并形成潮上带泻湖。当海平面上升时,新的海水将广海中悬浮的细陆源碎屑注入其中,且随着海水的沟通,其盐度降低,从而阻碍了膏盐、盐岩及准同生白云岩的生成;当海平面下降后,陆源物质供应减少,其含盐度增加,便蒸发出石膏、石盐及准同生白云岩。这种频繁的海平面升降使盆地内部沉积了多个准层序,这进一步证实了中间陕北凹陷主要属于潮上带云坪环境。

3 古地理图的绘制

3.1 单因素叠加分析

综合分析各单因素的分析结果,并参考区域地质背景和相关资料,在鄂尔多斯 SQ17 中划分出古陆、云坪、含泥灰云坪、含泥云灰坪、开阔台地、膏湖、含膏湖、盐湖和含盐湖等古地理单元。

3.2 古地理图绘制

绘制 SQ17 岩相古地理图,得到图 6 所示结果。

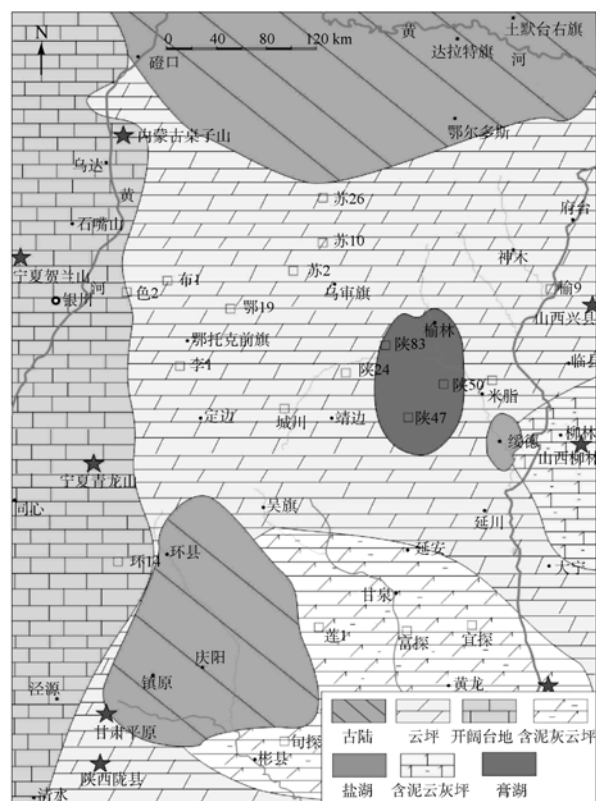


图 6 鄂尔多斯盆地中奥陶世 SQ17 层序时期岩相古地理图

Fig. 6 Litho-palaeogeographical map of the Middle Ordovician SQ17 sequence interval of the Ordos Basin.

3.2 沉积模式

经综合研究,可推测鄂尔多斯 SQ17 沉积相模式如图 7 所示。

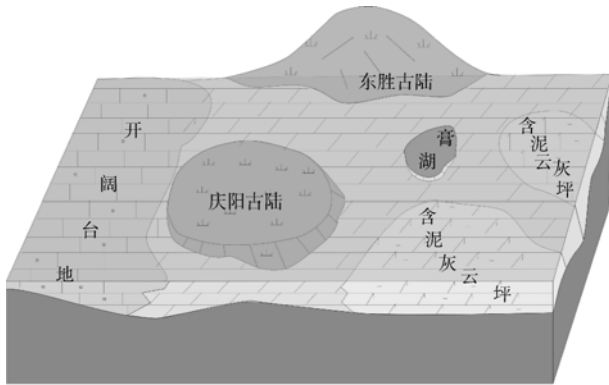


图 7 鄂尔多斯盆地中奥陶世 SQ17 层序时期沉积模式图

Fig. 7 Sedimentation model map of the Middle Ordovician SQ17 sequence interval of the Ordos Basin.

4 结论与展望

a. 本文设计了地质空间数据库,提出地质数据的空间数据库管理方法,实现了海量地质数据的科学管理,进而计算、提取出多种用于恢复古地理环境的二次信息,辅助用于岩相古地理的定量化研究。空间数据库技术是地质信息的科学管理工具,可以广泛推广使用。

b. 在前人“单因素”编图研究基础上,本文进一步增加了“颜色值”、“岩性值”、“浅水灰泥含量”、“准层序个数”等单因素,这些属性的增加对于古地理分析提供了更多的证据和信息。

c. 随着研究的不断深入,空间数据库技术最终可实现计算机自动成图,从根本上改进古地理研究的成图方法,彻底实现古地理定量化研究。

参考文献

- [1] 冯增昭,鲍志东,张永生,等. 鄂尔多斯奥陶纪地层岩石岩相古地理[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [2] 贾振远,蔡忠贤,秦玉娟,等. 鄂尔多斯地区南缘奥陶纪层序地层及海平面变化[J]. 地球科学,1997,22(5):492-453.
- [3] 史基安,邵毅,张顺存,等. 鄂尔多斯盆地东部地区奥陶系马家沟组沉积环境与岩相古地理研究[J]. 天然气地球科学,2009,20(3):316-324.
- [4] 李永兵,陈旭瑞,胡俊峰,等. 基于 GIS 的地质数据库系统—研究现状与发展趋势[J]. 地球物理学进展,2002,17(3):532-535.
- [5] 陈述彭,鲁学军,周成虎,等. 地理信息系统导论[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [6] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2006.

- [7] 王占全,赵斯思,徐慧. 地理信息系统开发工程案例精选[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.
- [8] 刘光,刘小东. 地理信息系统二次开发实例教程[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [9] 蒋景瞳. 国家基础地理信息系统全国 1:25 万数据库设计和应用研究[J]. 理论研究,1996,56(05):14-18.
- [10] 郑贵州. 地理信息系统(GIS)在地质学中的应用[J]. 地球科学,1998,23(4):421-422.
- [11] 王庆龙,黄毅,牛桂芝,等. 地质勘探数据库的开发与应用[J]. 化工矿产地质,1996,18(3):252-258.
- [12] 李春霞. GIS 在地质勘查找矿应用中的关键问题探讨[J]. 矿产与地质,2000,14(18):362-264.
- [13] 于城,王振华,崔亚茹,等. 地质工作程度 GIS 方法研究探讨[J]. 吉林地质,2008,27(1):86-88.
- [14] 赵永军,傅晓宁,杨雯雯. 地理信息系统在地质领域中的应用[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2008,30(3):68-70.
- [15] 徐士琪,周可法,张晓帆,等. GIS 空间分析在成矿预测中的应用[J]. 新疆地质,2008,26(1):26-30.
- [16] 陈建平,陈永,王全明. 基于 GIS 的多元信息成矿预测研究——以赤峰地区为例[J]. 地学前缘,2008,15(4):18-26.
- [17] 罗云启,罗毅. 数字化地理信息系统 MapInfo 应用大全[M]. 北京:希望电子出版社,2001.
- [18] 李少华,陈玉琨. GIS 辅助下的岩相古地理重建[J]. 地理空间信息,2008,6(5):25-27.
- [19] 冯增昭. 单因素分析多因素综合作图法—定量岩相古地理重建[J]. 古地理学报,2004,6(1):3-18.
- [20] 冯增昭. 单因素分析综合作图法—岩相古地理学方法论[J]. 沉积学报,1992,8(3):1-18.
- [21] 冯增昭,彭勇民,金振奎,等. 中国晚奥陶世岩相古地理[J]. 古地理学报,2004,69(2):126-138.
- [22] 冯增昭,彭勇民,金振奎,等. 中国晚寒武世岩相古地理[J]. 古地理学报,2002,4(3):1-10.
- [23] 冯增昭,彭勇民,金振奎,等. 中国寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [24] 冯增昭,鲍志东. 鄂尔多斯奥陶纪马家沟期岩相古地理[J]. 沉积学报,1999,17(1):1-8.
- [25] 冯增昭,鲍志东,吴茂炳,等. 塔里木地区寒武纪和奥陶纪岩相古地理[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [26] 吴信才,白玉旗,郭玲玲,等. 地理信息系统(GIS)发展现状与展望[J]. 计算机工程与应用,2000,4(2):8-38.
- [27] 付立平,青巴图,郎彦. 数据库原理与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [28] 王玉新,冯增昭,韩征. 鄂尔多斯地区奥陶系马家沟群层序地层学研究[J]. 石油大学学报(自然科学版),1995,19(增):31-37.
- [29] 付金华,郑聪斌. 鄂尔多斯盆地奥陶纪北海和祁连海演变及岩相古地理特征[J]. 古地理学报,2001,3(4):25-33.
- [30] 侯方浩,方少仙. 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境与岩相发育特征[J]. 沉积学报,2003,21(1):107-112.