

结构分析理论在地球化学空间场 不均匀性分析中的应用

裴 韬¹, 周成虎¹, 郝永萍¹, 鲍征宇²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 论述了应用结构分析理论对地球化学空间场进行不均匀性分析的理论依据、研究步骤和方法. 以塔北某工区作为实验区, 着重对研究区地学时空场的连续性、各向异性和区域不均匀性进行了研究, 并结合研究区的地质背景和指标的浓度等值线分布进行了系统分析.

关键词: 结构分析; 地球化学空间场; 区域不均匀性.

中图分类号: P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)05-0486-05

作者简介: 裴韬(1972-), 男, 1998年毕业于中国地质大学(武汉), 获博士学位, 现为中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室副研究员, 主要从事空间数据挖掘及软件编制、地理信息系统应用等方面的研究工作.

地学变量在空间的分布形成了地学空间场, 不同地学变量所形成的地学空间场其性质也不相同, 而不同性质的地学场控制着地学变量在空间中的分布. 因此研究地学空间场的性质有助于了解地学变量在场中的行为, 并可为地学理论研究和勘探实践提供依据.

地球化学场作为一种特殊的地学场, 由于地球化学元素在分散、迁移、富集的过程中受到化学动力学规律的控制, 因而其分布存在一定的结构性, 但在该过程中由于受到的影响因素较多, 因此, 其分布具有较强的随机性, 地球化学场也就成为一种集结构性和随机性于一体的地学空间场. 与地球物理场相比, 其结构性弱, 而随机性强, 故对其进行正反演就存在相当的难度.

为了适应对地球化学场的研究, 寻求一种融合结构性和随机性的分析工具也就成为地球化学场性质研究的关键. 本文以塔北某工区的油气勘探研究为例, 利用结构分析理论从地球化学空间场的连续性、各向异性以及区域性差异等方面对研究区内典型的地球化学场性质进行剖析, 旨在总结出一套对

地学空间场性质进行分析的步骤和规律.

1 结构分析理论简介

我们通常将地学场看成是一个三维的随机场, 而把空间点 x 的随机场函数 $Z(x) = f(x_1, x_2, x_3)$ (x_1, x_2, x_3 为 x 的直角坐标) 称为区域化变量^[1,2].

区域化变量是地学空间场研究的基本元素, 并且具有看似矛盾的二重性: 即, 随机性和结构性. 这种二重性主要体现在: 一方面, 当空间一点 x 固定后, $Z(x)$ 就是一个随机变量, 不同现实之间的 $Z(x)$ 是随机的; 另一方面, 在空间点 x 处的值 $Z(x)$ 同与其相距为 h 的 $x+h$ 处的值 $Z(x+h)$ 具有某种程度的自相关性, 这种相关性反映了地质过程的某种连续性和关联性, 也就体现了其结构性的一面. 对区域化变量的二重性进行分析的思路通常被称为结构分析理论.

在地质统计学理论中利用变差函数来反映区域化变量的二重性. 变差函数的定义为:

$$\gamma(x, h) = \frac{1}{2} E[z(x) - z(x+h)].$$

变差函数可以用分段函数来表示, 一般采用的是球状模型:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right), & 0 \leq h \leq a; \\ C_0 + C_1, & h > a. \end{cases}$$

其中: a 为变程/ km , C_0 为块金常数, C_1 为拱高, $C_0 + C_1$ 称为基台值。

通常 $\gamma(h)$ 从原点处最小值开始,随着 h 的增大而增大,但当 h 超过某一距离($a > 0$)后 $\gamma(h)$ 就不再增大,而是稳定在一个常数($C_0 + C_1$)附近。这时代表空间的两点 $Z(x), Z(x+h)$ 的距离超过了变程 a , 它们之间就不存在空间相关性了。因而,变程 a 较好地反映了变量的空间相关性。 C_0 表示空间两点在距离为 0 时 $\gamma(h)$ 的大小,因此它反映的是数据本体所含噪声的强度,从而也就能直接反映数据的粗糙程度。 C_1 等于空间两点其距离在超过变程与为 0 时变差函数之差,它也是反映数据连续性强弱程度的标志之一。由此可见,变差函数可以作为结构分析的主要工具。

2 地球化学空间场的不均匀性分析

雅克拉—轮台研究区位于塔里木盆地的北侧,雅克拉和轮台之间,形状类似一把菜刀,面积 2 700 km^2 (图 1),是塔北地区重要的油气富集区^[3~8]。有资料表明,雅克拉—轮台地区的北部存在着以东西向大范围展布的雅哈构造带^[6~8]。笔者于 1998 年有幸参与了其中的工作,对研究区内的多种油气指标,如:甲烷、乙烷、重烃、荧光和紫外等进行了分析测试,并取得了相应的数据。本文选择甲烷和乙烷作为空间场研究的实验指标。

2.1 变差函数的计算结果

笔者对雅克拉—轮台工区的甲烷和乙烷进行了

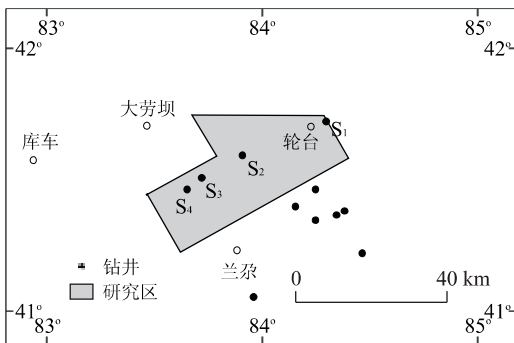


图 1 雅克拉—轮台研究区位置

Fig. 1 Location of Yakela-Luntai research region

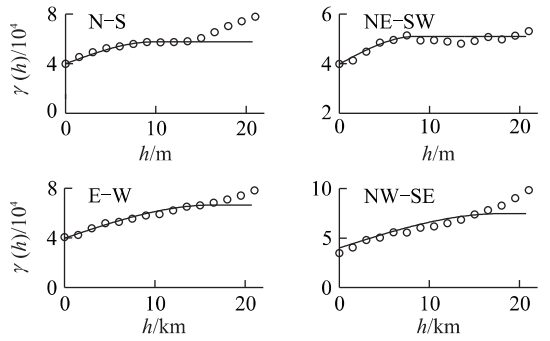


图 2 雅克拉—轮台地区土壤甲烷各方向变差函数拟合
Fig. 2 Simivariogram fitting graphs of methane in different directions in Yakela-Luntai region

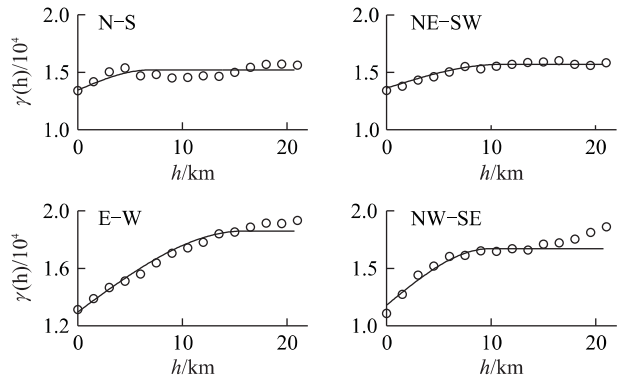


图 3 雅克拉—轮台地区土壤乙烷各方向变差函数拟合
Fig. 3 Simivariogram fitting graphs of ethane in different directions in Yakela-Luntai region

表 1 雅克拉—轮台地区土壤甲烷、乙烷不同方向变差函数拟合参数对比

Table 1 Comparison of simivariogram fitting parameters of methane and ethane in different directions in Yakela-Luntai region

方向	甲烷			乙烷		
	C_0	a/km	C_1	C_0	a/km	C_1
N-S	39 500	10	18 000	134	7	18
NE-SW	39 500	10.3	11 500	136	10	21
E-W	39 500	16.5	27 000	129	16	57
NW-SE	39 500	18	35 000	117	10	50

4 个方向的变差函数拟合,并根据结构分析的结果绘制了甲烷和乙烷的浓度等值线分布图,结果如图 2、3、4、5 和表 1。在此基础上,对甲烷和乙烷在空间场中所表现出的连续性、各向异性和区域性差异等特征进行了研究。

2.2 空间场连续性分析

场的连续性包含两方面的含义:一是数据空间相关性的尺度,这也是变程所代表的含义;二是数据

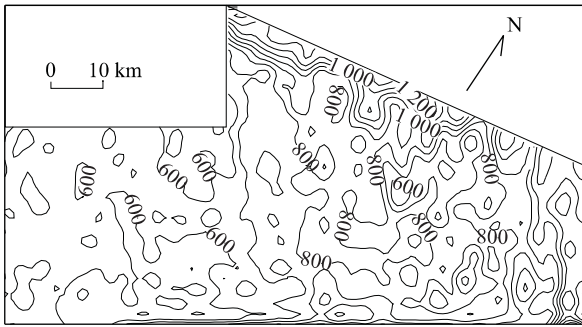


图 4 雅克拉—轮台地区甲烷浓度等值线分布(单位: $\mu\text{L}/\text{kg}$)

Fig. 4 Distribution of methane concentration contour in Yakela-Luntai region

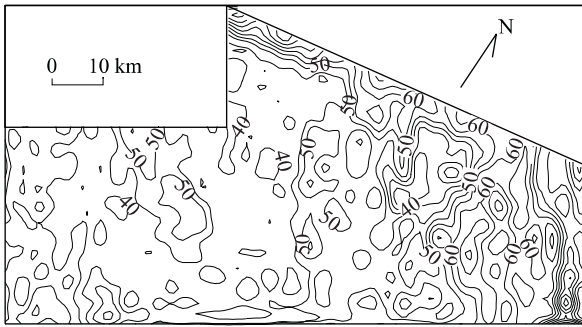


图 5 雅克拉—轮台地区乙烷浓度等值线分布(单位: $\mu\text{L}/\text{kg}$)

Fig. 5 Distribution of ethane concentration contour in Yakela-Luntai region

的光滑程度. 因而空间场连续性的大小从某种意义上说, 就是场的可知程度的大小. 如果一个场的连续性很好甚至可以用初等函数进行拟合, 那么我们认为这个场是简单的, 并且可以较容易地研究它的性质并且去预测变量在其中的行为. 设想一个场的连续性很糟, 与白噪声差不多, 并无什么规律可循, 那么对于其性质的研究也就无法下手, 更不用说去预测了. 因此, 场的连续性研究是对场的可知程度的一种估量.

将以上的分析和变差函数的意义相结合可以看出, 变差函数是衡量空间场连续性的良好工具. 在控制变差函数曲线的 3 个参数中, 变程的大小是空间场连续性强弱的直接反映, 并可籍此进一步分析指标在场中的浓集趋势及分布走向.

笔者认为只用变程的大小来衡量空间场的连续性有很大的片面性. 如果数据的光滑性很差, 那么也就不能说场的连续性好. 综合以上的分析结果, 本文

认为用变程(a)、拱高比块金常数(C_1/C_0)这两个参数作为衡量数据连续性强弱的标准较好.

由图 2~4 和表 1 中可以发现: (1) 乙烷 4 个方向上的变程均小于甲烷. (2) 甲烷变差函数的块金常数和拱高在 4 个方向上都大于乙烷. (3) 从 C_1/C_0 的结果来看, 甲烷也均在 4 个方向上超过乙烷.

以上规律说明, 首先, 甲烷的分子量较乙烷小, 所以甲烷的活动性就较乙烷强, 在空间场中就表现为有较大的弥散性, 因而甲烷在较大的空间尺度上具有相关性; 其次, 也正是因为甲烷的活动性比较大, 所以甲烷数据的跳跃性也相应较大, 表现在参数上, 就是甲烷的 C_1 、 C_0 都大于乙烷, 但根据综合判定, 尤其是根据 C_1/C_0 的值, 可以认为雅克拉—轮台工区中甲烷数据的连续性比乙烷好. 一般情况下, 甲烷较乙烷连续性好是由甲烷的分子结构及其物理化学性质所决定的.

2.3 空间场各向异性分析

各向异性是指空间场在不同方向上有着不同的性质. 这可能是由于岩石、土壤等介质本身存在各向异性或构造发育的方向性等因素所造成的. 因此, 对空间场各向异性的分析有助于弄清由于地质背景的各向异性而引起的地学异常在不同方向上展布的原因, 这对于确定异常区的范围及探讨其成因是大有裨益的.

以雅克拉—轮台工区 4 个方向的参数为例, 在甲烷的各方向变程中, NW—SE 和 E—W 方向的变程较长, NE—SW 和 N—S 方向上的变程较短. 这是因为雅克拉—轮台地区北部的雅哈构造带以东西向大范围展布(近期研究认为雅轮工区北部的雅哈构造带是重要的油气富集带, 而等值线结构所反映出的异常以东西向展布与下部构造的伸展方向有关^{①、②}), 轮台南部的烃类浓集区带则按 NW—SE 向伸展, 导致在这两个方向上油气地球化学场有较好的延展性, 变程较大; 而与之垂直的另两个方向为横切烃类浓集区带, 油气地球化学场顺着这两个方向变化剧烈, 变程较小(图 3).

再对比乙烷的参数, 4 个方向的参数与甲烷具有相似之处, 这是因为甲烷和乙烷的相关性较好, 所以空间场的分布也较为类似(图 4).

① 鲍征宇, 苏江玉, 李金耀, 等. 新疆塔里木盆地北部雅克拉—轮台地区油气化探数据处理与解释. 中国地质大学(武汉)地球化学研究所, 中国新星石油公司西北石油局第一物探大队, 1997.

② 苏江玉, 赵书钧, 李金耀, 等. 新疆塔里木盆地东北地区油气化探资料解释. 地质矿产部西北石油地质局第一物探大队, 1994.

总之,通过对地球化学场不同方向上的变差函数分析,可以认为,地学空间场或强或弱地存在各向异性,变差函数的变程能有效地反映出地学空间场的各向异性,因而在研究中应结合地学变量实际的空间分布判定地学异常的成因,而据此所作的地学空间场各向异性的分析对异常区的分布特征及其成因探讨均有一定的参考价值。

2.4 空间场区域性差异分析

参照上文对各向异性的分析,我们可以推断各向异性的状况不可能在研究区的各个地方都是相同的.由于地质条件的极为复杂,必定造成空间场的区域性差异。

本文在充分考虑区域复杂性的同时,提出了局域变差函数分析.其主要思路是:在粗略分析场的不均匀性的同时,将整个工区分为不同的局部区域来分别进行结构分析。

在分析过程中,笔者采用了将大区域剖分成性质相对单一的小区域(简称为局域)的做法.然而这种剖分不是任意的划分,需要满足以下几个条件:(1)所分割的局域中,必须有足够的样品点来进行结构分析.(2)分割后的局域性质应较为单一,或者满足二阶平稳假设,或者是有明显的一次或二次漂移存在.(3)能够消除某些点由于处于局域边界的两边而分别采用不同的模型所造成的“边界效应”。

对于条件(1),在划分时,不应将网格划分的过细,以保证有足够的样品参加结构分析.一般情况下,要求结构分析中每个距离组中至少含有20个点对。

为了力求局域的性质较为单一,笔者采用了各局域均值比标准差 \bar{x}/s 的均值作为衡量局域性质是否单一的标准.划分时,在满足局域包含充分样品数的情况下,力求全区平均局域均值比标准差比 (\bar{x}/s) 尽量小,这就需要不断地调整局域范围和局域中心。

在进行结构分析的同时,将周围局域的部分样品也纳入本局域的结构分析之中,这样可以在一定程度上消除“边界效应”。

对该研究区的做法是:根据上述的步骤对整个区域进行划分,形成 8×4 个局域,这样每个局域的大小为 $11.1 \text{ km} \times 11.4 \text{ km}$.然后以每个局域的中心为圆心,以 10 km 为半径,凡落在该圆内的点都参与该局域的变差函数拟合,这样就得到32个局域变差函数模型,分别反映工区不同部分场的差异性.本文选择了靠近工区中部的一行局域,将这8个局域

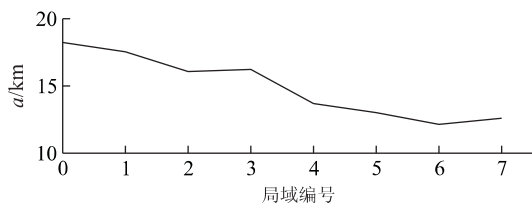


图6 雅克拉—轮台地区土壤甲烷局域变程自西向东变化趋势

Fig. 6 Trend of regional range of methane from west to east in Yakela-Luntai region

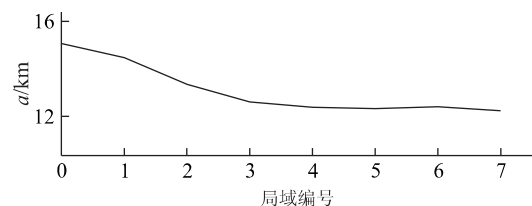


图7 雅克拉—轮台地区土壤乙烷局域变程自西向东变化趋势

Fig. 7 Trend of regional range of ethane from west to east in Yakela-Luntai region

的变程自西向东进行了比较(图6,7)。

从甲烷变程分布图来看,总体上呈现出西高东低的趋势,这与工区总体表现为东部由于烃类局部浓集导致油气地球化学场结构复杂而西部烃类含量变化相对平缓的现象是吻合的.特别是在烃类浓集最为显著的东南部,变程出现了最小值,而在烃类普遍低值的西南部出现了最高值(图6)。

从乙烷变程的分布图看,其变化趋势与甲烷大体一致,同样表现出工区东部的局部浓集(图7).综合甲烷和乙烷变程的变化趋势及构造资料后,从地学空间场的角度可以看出,工区东部由于烃类在该区表现为强烈的浓集,因而应结合地球物理的资料进一步研究是否存在油气富集区。

3 结论

对地学空间场的研究往往仍停留在定性研究的水平上,无法找到合适的剖析工具成为阻碍定量刻画地学空间场性质的重要因素.结构分析理论集结构性和随机性于一体,是描述地学空间场性质的有力工具.应用结构分析理论于地学空间场的研究,有助于定量揭示地学场的各种性质,并在此基础上进一步研究各种性质的地学成因,从而最终为理论研

究和地质勘探实践提供分析工具和参考信息。

参考文献:

- [1] Journel A G , Huijbregts C. Mining geostatistics[M]. London: Academic Press, 1978. 1—690.
- [2] 王仁铎,胡光道. 线性地质统计学. 武汉:中国地质大学出版社,1984. 1—252.
- [3] 周永昌,贾润胥. 论塔里木盆地北部形成大油气田的地质条件[A]. 见:贾润胥. 中国塔里木盆地北部油气地质研究(二)[C]. 武汉:中国地质大学出版社,1991. 1—11.
- [4] 贾润胥,翟晓先,张志国,等. 塔里木盆地东北地区地质构造基本特征[A]. 见:贾润胥. 中国塔里木盆地北部油气地质研究(一)[C]. 北京:中国地质大学出版社,1991. 9—29.
- [5] 张大权,李明,张先树. 塔里木盆地北部地区构造区划及油气远景[A]. 见:贾润胥. 中国塔里木盆地北部油气地质研究(二)[C]. 武汉:中国地质大学出版社,1991. 17—29.
- [6] 康玉柱. 塔里木盆地是我国油气资源战略接替区[A]. 见:贾润胥. 中国塔里木盆地北部油气地质研究(二)[C]. 武汉:中国地质大学出版社,1991. 11—17.
- [7] 康玉柱. 塔里木盆地油气勘查文集[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社;香港:香港文化教育出版社,1994. 1—297.
- [8] 孙宝珊,张志国,周军. 塔东北沙雅隆起构造体系、构造型式及与油气分布的关系[A]. 见:贾润胥. 中国塔里木盆地北部油气地质研究(二)[C]. 武汉:中国地质大学出版社,1991. 142—150.

STRUCTURE ANALYSIS THEORY AND ITS APPLICATION TO ASYMMETRIC ANALYSIS OF GEOCHEMICAL SPATIAL FIELD

Pei Tao¹, Zhou Chenghu¹, Hao Yongping¹, Bao Zhengyu²

(1. *State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*; 2. *Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*)

Abstract: This paper illustrates the theory foundation, research steps and method of processing asymmetric analysis on geochemical spatial field with the structure analysis theory as a tool. Taking a part of North Tarim basin as a testing area, the research laid emphasis upon the continuity, anisotropy and regional asymmetry of the geoscientific field. Combined with the geological background and distribution of indices concentration contour, systemic analysis is performed.

Key words: structure analysis; geochemical spatial field; regional asymmetry.