

文章编号: 1006-6616 (2000) 02-0017-6

高邮凹陷北斜坡辉绿岩与油气成藏

李亚辉

(江苏石油勘探局, 江苏 江都 225261)

摘要: 苏北盆地高邮凹陷北斜坡辉绿岩普遍发育, 辉绿岩侵入到含油气盆地可以改变油气的成藏环境。该文探讨了辉绿岩的侵入与油气生成、运移和聚集的关系, 指出辉绿岩的侵入有利于烃源岩的成熟, 有利于油气的运移, 有利于圈闭的形成。文中还探讨了高邮凹陷北斜坡复杂断块油藏的形成机制。

关键词: 高邮凹陷; 辉绿岩; 油气

中图分类号: P618.130.2⁺4

文献标识码: A

国内外许多含油气盆地的生油或储油地层中, 都先后发现了侵入岩或喷发岩。如我国东部的渤海湾盆地、苏北盆地和三水盆地等。岩浆具有较高的热源, 岩浆活动常伴随强烈的构造运动, 故发育在含油气盆地中的岩浆岩与油气的生成、运移、聚集和保存必然有着某种联系。高邮凹陷覆盖区为新生代盆地, 其北斜坡的北部与临泽凹陷和柘垛低凸起相连, 南侧与高邮凹陷的深凹带相接, 西为菱塘桥低凸起, 东为吴堡低凸起, 面积 1284 km² (图 1)。该区自下而上分别发育古新统阜宁组 (E_1f)、始新统戴南组 (E_2d)、始新统三垛组 (E_3s)、上新统至中新统盐城组 (N_y) 以及第四系东台组 (Q_d)。阜宁组自下而上又划分为阜一段 (E_{1f_1})、阜二段 (E_{1f_2})、阜三

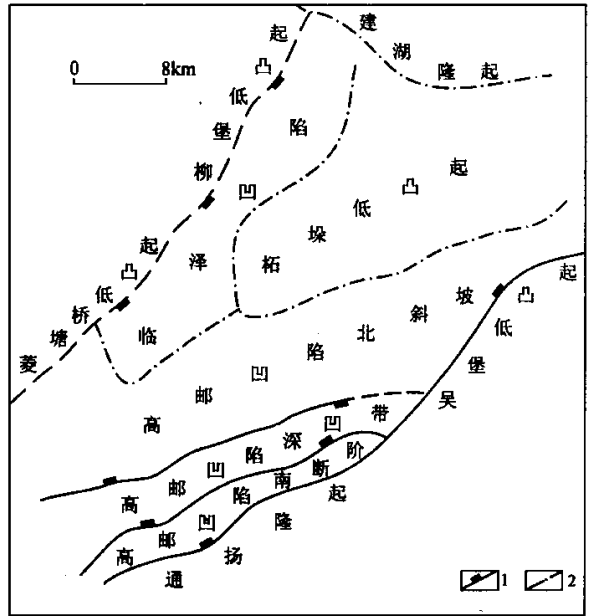


图 1 高邮凹陷新生代构造单元划分图

Fig. 1 Cenozoic structural units of the Gaoyou sag

段 (E_1f_3) 和阜四段 (E_1f_4); 戴南组划分为戴一段 (E_2d_1) 和戴二段 (E_2d_2); 三垛组划分为垛一段 (E_2s_1) 和垛二段 (E_2s_2)。阜一段 (E_1f_1) 至垛二段 (E_2s_2) 不同层位内广泛发育基性辉绿岩体及变质带 (该次工作未对辉绿岩进行年龄测试, 但据井孔、地震剖面以及区域构造分析, 该区不同层位内所发育的辉绿岩皆为盐城组沉积初期岩浆侵入所致), 使本已被断层切割得极为破碎的复杂断块油田的石油地质条件变得更为复杂。因此, 要揭示高邮凹陷北斜坡复杂断块油田的油气富集规律和形成机制, 必须研究辉绿岩与油气成藏的关系。

辉绿岩对油气成藏有利, 同时也有破坏作用。限于篇幅, 该文仅从有机质的成熟、圈闭的形成以及油气的运移 3 个方面探讨辉绿岩与油气的关系。

1 辉绿岩的侵入过程加速有机质的成熟

岩浆活动常产生高温热流, 并可持续较长时间, 必然会使围岩——烃源岩的古地温升高, 从而使生油层的门限深度变浅, 岩浆岩周围的烃源岩进入高成熟或过成熟阶段, 并使其中的残余有机质丰度降低。

各类岩浆岩形成时的温度因受多种因素的制约, 具有很宽的变化范围。一般说来, 基性岩比酸性岩温度高, 喷发岩比侵入岩高。玄武岩一般为 $1000\text{C}\sim 1255\text{C}$; 安山岩 $900\text{C}\sim 1000\text{C}$; 辉长岩 $900\text{C}\sim 1150\text{C}$; 闪长岩 $770\text{C}\sim 850\text{C}$; 花岗闪长岩 $700\text{C}\sim 800\text{C}$; 花岗岩约 700C 左右。石英脉为热液产物, 高、中、低温热液均可产生, 温度变化也较大, 可在 $120\text{C}\sim 1255\text{C}$ 之间。变质作用的温度范围一般在 $200\text{C}\sim 900\text{C}$, 围岩遭受到的最高温度及其持续时间直接决定了围岩的变质程度。围岩最高温度所能持续的时间与侵入体厚度的平方成正比, 如 30m 厚的侵入体保持最高温度的时间为 9a , 厚 100m 者则为 100a ^[1]。关于侵入体的冷却速度已被多人研究过, 虽然由于影响因素较多, 研究结果较粗略, 但总的显示出岩浆冷却是较快的 (表 1)^[2~4], 而且不同人所得的结果也都比较接近。

上述表明, 各类岩浆岩侵入时的高温影响范围是有限的, 而高温所能持续的时间也不太长。例如: 北京周口店直径 7.5km 的花岗闪长岩体、美国缅因州面积达 70km^2 的花岗闪长岩体等, 接触变质带的宽度也都不过 1km 左右, 但对温度比较敏感的有机质的变质而言, 显然影响范围要比其它岩石的变质宽度要大得多。

表 1 岩浆侵入时冷却到原始温度的 10% 时所需时间/a

Table 1 The times of magma cooling to original temperature'10% when magma invading

岩浆岩体	岩体半径/R, 厚度/H	Lovering	Rikitake	Mundry
深成岩体 (球状)	$R=1\text{ km}$	26000	25000	30000
	$R=2\text{ km}$	105000	100000	105000
圆柱形火山颈 岩 株	$R=1\text{ km}$			100000
	$R=2\text{ km}$			500000
岩脉 (板状) 岩 床	$H=10\text{ m}$	16		15
	$H=200\text{ m}$	1600		2000
	$H=200\text{ m}$	6500		6000

注: Lovering, Rikitake, Mundry 为国外研究者。

辉绿岩侵入引起的围岩热蚀变的程度常用镜质体反射率 (R_0) 表示。镜质体是烃源岩中一组富氧的显微组分 (或煤素质), 由同泥炭成因有关的腐殖质组成, 具镜煤特征, 对光有反射作用。镜质体反射率是表示有机质成熟度的定量指标, 在显微镜下可以鉴定其大小。热变质作用越强, R_0 值越大; 当 $R_0 > 0.65$ 时, 烃源岩达到成熟。对于辉绿岩侵入引起的围岩热蚀变的程度及影响范围, Dow (1977) 和 Simoneit (1978) 已分别作过讨论^[5,6]。Dow 根据得克萨斯州特拉华盆地钻井的 $H-R_0$ 关系图认为: “接触作用对围岩成熟度的影响, …最大范围相当于侵入体厚度的两倍左右, 而且经常上部比下部轻得多, …其实际影响取决于侵入体的温度和岩体的冷却速度”^[5]。Simoneit 等对大西洋深海钻探计划 (DSDP) 41-368 钻孔中辉绿岩侵入体上下黑色页岩岩心的系统地球化学研究表明: 该侵入体的时代为中新世 (K-Ar 法年龄为 19Ma), 侵入体最高温度 $< 900\text{ }^\circ\text{C}$, 侵入体上、下方围岩的影响范围为 10~15 m, 仅相当于侵入体厚度的 1~2/3; 侵入体下方烃源岩的热蚀变程度较大 (最高的 $R_0 = 3.33\%$), 但热蚀变的影响范围较窄 ($R_0 = 3.33\% \sim 2.0\%$ 区间只有 2 m), 而侵入体上方烃源岩的热蚀变程度稍低 (R_0 最高为 2.65%), 但热蚀变的影响范围较宽 (R_0 值在 2.65%~2% 区间的宽度为 4 m)^[6]。陈荣书等通过对冀中葛渔城—文安地区苏 401 井辉绿岩床 (厚 45 m) 的研究表明, 辉绿岩床上、下 15~20 m 范围内遭受了强烈的热变质作用 (R_0 值达 4%~3.5%, 最大可达 4.53%), 上方有机质热蚀变范围可达 122.5 m, 下方为 93.5 m, 上下方的影响范围均超过岩床厚度的两倍, 上方达 2.72 倍^[7]。

由于岩浆岩对围岩热蚀变的影响程度及范围受岩浆岩的性质、规模和埋深等多种因素的影响, 故上述学者对岩浆岩与围岩热蚀变的影响所作的研究差异较大, 但都肯定了岩浆岩在加速有机质成熟方面的作用。

高邮凹陷北斜坡覆盖区发育的辉绿岩, 分布广、层数多、厚度大。钻井所揭示的辉绿岩厚度最大为 252 m (苏 82 井), 影响烃源岩的范围理应更大。前人研究表明, 古新统阜二段 (E_1f_2) 烃源岩的门限深度为 2300 m ($R_0 = 0.65\%$), 古新统阜四段 (E_1f_4) 烃源岩的门限深度为 2700 m ($R_0 = 0.65\%$)。上述门限深度是正常情况下确定的, 由于辉绿岩的侵入, 情况发生了变化。据统计, 本区受辉绿岩烘烤的上下围岩变质厚度较大。一般来说, 随着辉绿岩厚度的增大, 其围岩变质厚度亦增加, 但相关性比较差, 可能并不是简单的线性关系。总体上变质围岩的厚度不超过 50 m, 也不具备其它学者所说的“上变质围岩受侵入体影响的强度小、范围宽, 而下变质围岩受侵入体影响的强度大、范围窄”的特点 (这可能与其它学者对各自研究区所掌握的资料较少有关)。例如苏 143 井古新统阜二段 (E_1f_2) 泥岩中侵入体厚 85 m, 上部变质岩厚度为 23.5 m, 下部变质岩厚度为 33 m; 沙 4 井古新统阜二段 (E_1f_2) 泥岩中侵入体厚度为 76 m, 上部变质岩厚度为 31.5 m, 下部变质岩厚度为 12 m; 沙 7 井古新统阜二段 (E_1f_2) 泥岩中侵入体厚度为 131 m, 上部变质岩厚度为 44 m, 下部变质岩厚度为 48 m。在变质的泥岩中, R_0 均大于 2.0%, 不论钻井深度多大, 受辉绿岩影响的样点的 R_0 值都远远脱离正常的 $H-R_0$ 轨迹 (图 2, 图 3)。由于有机质对温度比较敏感, 变质岩以外未变质泥岩中的有机质同样会受到辉绿岩的影响。工区内甲 1 井 2197.47~2200.62 m 井段古新统阜四段 (E_1f_4) 未变质泥岩距变质带 3 m, 其可溶有机质 (氯仿沥青“A”) 达 0.7145%, 饱和烃占 57.09%, 产烃率为 26.2%; 沙 3 井 2202.96~2206.49 m 井段处古新统阜四段 (E_1f_4) 泥岩距下伏 84 m 的辉绿岩床超过 300 m, 氯仿沥青“A”达 1.042%, 饱和烃占 66.39%, 产烃率为 29.9%; 苏 68 井 2367 m 深处 (距上覆辉绿岩 332 m) 的岩心分析表明, R_0 已达 1.85%, 有机质处于成熟或过成熟阶段, 而正常温度下古新统阜四段 (E_1f_4) 烃源岩的门限深

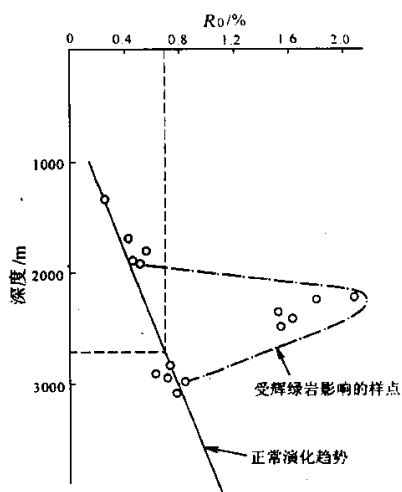


图2 始新统阜二段 (E_1f_2) 烃源岩深度 (H) 与镜质体反射率 (R_0) 关系曲线

Fig. 2 The relation curves between depth (H) and vitrinite reflectance (R_0) of oil source rocks in the second member of Palaeocene Funing formation (E_1f_2)

图中“○”为样点

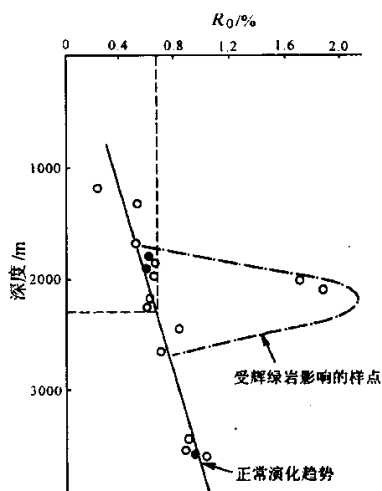


图3 始新统阜四段 (E_1f_4) 烃源岩深度 (H) 与镜质体反射率 (R_0) 关系曲线

Fig. 3 The relation curves between depth (H) and vitrinite reflectance (R_0) of oil source rocks in the fourth member of Palaeocene Funing formation (E_1f_4)

图中“○”为样点

度为 2700 m。由此可见,北斜坡烃源岩的成熟度是受正常地温和火成岩双重因素控制的。本区辉绿岩侵入体对围岩中的有机质的热演化影响在纵向上大约为侵入体厚度的 4 倍以内,横向上因缺乏资料而未作研究。说明辉绿岩对烃源岩影响的范围和程度都非常大,必然会加速有机质向烃类的转化。辉绿岩对有机质热蚀变形成的烃类,是二次成烃作用的组成部分,油岩对比分析表明,苏 122 井始新统戴一段 (E_2d_1) 原油是古新统阜四段 (E_1f_4) 和古新统阜二段 (E_1f_2) 烃源岩的混源产物,而该处古新统阜四段 (E_1f_4) 烃源岩未达门限深度,说明辉绿岩侵入造成古新统阜四段 (E_1f_4) 中的有机质成熟并向圈闭内聚集成藏。

2 辉绿岩与油气运移

高邮凹陷北斜坡的油气主要来源于斜坡南部的深凹部位。一般来说,断层、不整合面以及砂岩疏导层是油气运移的主要通道。辉绿岩及其泥岩变质带常发育裂缝,可以成为高邮凹陷北斜坡油气运移的重要通道。工区内自南部深凹带至高邮凹陷北斜坡的永安、沙埕、卸甲庄、三垛地区,辉绿岩分布连续,埋深自 3600 m~1400 m,分布层位自古新统阜一段 (E_1f_1) 到始新统三垛组 (E_2s)。因此,辉绿岩及变质带(实测孔隙度平均值为 24%)必将对北斜坡油气的运聚产生深远的影响。首先它侵入到本区的主要油源层,同时,由于其高温烘烤作用,使泥岩中出现了渗透层,增加了储集空间及其它疏导层的连通性,尤其是在局部地段因穿过汉留断层,使深凹带的油气穿过汉留断层与斜坡带连通,有利于油气向斜坡带内的

圈闭构造进行初次或二次运移。北斜坡北部距油源较远处有辉绿岩的地方常有油气显示，而未见辉绿岩的地方则不具备油气聚集的条件。如北斜坡北部三垛地区辉绿岩消失之处也是油气显示的分界线。据钻井和地震反射资料作出的辉绿岩与油气的分布关系图说明了这一点，即三垛地区以南油气显示普遍，而该线以北基本无油气显示（图 4）。因此，辉绿岩的侵入扩大了油气运移范围，有利于油气的成藏。

3 辉绿岩有利于圈闭的形成

辉绿岩上侵以后在泥岩层中常常呈现出顶厚而向两翼减薄的岩床形态，当其冷却后，导致上覆岩层形成背斜构造，有利于圈闭的形成。码头庄构造是由一系列被断层切割的断鼻或断块组成的，现今构造面貌呈背斜构造背景。该区的构造发育史（图略）表明，戴南组地层沉积前，由于基底上拱作用，使地层发生微弱隆起，同时由于张应力作用，形成一系列地堑式断块；到了盐城组沉积初期，构造活动加强，伴随有火山岩浆侵入，切割早期断层，形成一个顶厚翼薄的岩床，最厚可达 300 m，使上覆地层隆起幅度增大，形成一背斜构造。盐一段沉积后，构造形态基本保持稳定，为后期油气的聚集奠定了基础。油气富集的庄 2 断块就是该背斜构造背景中南翼的一个断鼻构造。由此可见，一定背景下的火山岩侵入将导致局部圈闭的形成，从而富集油气。

4 结 论

通过本文的分析，初步得出以下几点认识：

(1) 辉绿岩的侵入对高邮凹陷北斜坡的成藏环境产生了重大影响，使断层发育的高邮凹陷北斜坡复杂断块油田的石油地质条件变得更为复杂。

(2) 辉绿岩的侵入使高邮凹陷北斜坡烃源岩的古地温升高，门限深度变浅，有利于油气的生成。

(3) 辉绿岩侵入对高邮凹陷北斜坡油气的运移和圈闭的形成较为有利，并最终导致油气在圈闭内的聚集。

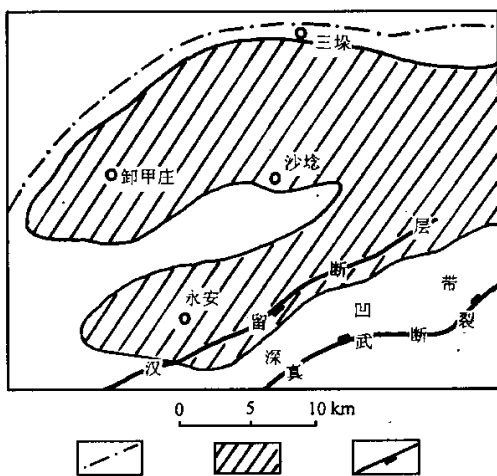


图 4 辉绿岩与油气分布

Fig. 4 The relationship between diabase and oil-gas distribution

1. 油气显示分界线；2. 辉绿岩分布范围；3. 断层

参 考 文 献

- [1] 王仁民, 游振东, 富公勤, 等. 变质岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [2] Lovering T S. Theory of heat conduction applied to geological problems [J]. GSA, 1935, 46 (1): 69~93.
- [3] Rikitake T. Studies of the thermal state of the earth, Part 2—heat flow associated with magma intrusion [J]. Bull. Earth. Inst. Tokyo, 1959, 37 (2): 1584~1596.
- [4] 格雷纳 P E (张厚福等译). 地热学在油气勘探中的应用 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1988.
- [5] Dow W G. Kerogen studies and Geological interpretation [J]. J. Geochem. Explor., 1977, 7 (2): 79~89.
- [6] Simoneit B R T, Brenner S, Peters K E. Thermal alteration of cretaceous black shale by basaltic intrusions in the eastern Atlantic [J]. Nature, 1978, 273 (5663): 501~504.
- [7] 陈荣书, 何生, 王青玲, 等. 岩浆活动对有机质成熟作用的影响初探 [J]. 石油勘探与开发, 1989, 16 (1): 29~37.

DIABASE AND HYDROCARBON RESERVOIR FORMATION ON THE NORTHERN SLOPE OF GAOYOU SAG

LI Ya-hui

(*Jiangsu Petroleum Exploration Bureau, Jiangdu Jiangsu 225261, China*)

Abstract: Diabase is widespread on the northern slope of the Gaoyou sag. The intrusion of diabase into the oil-and-gas-bearing basin may change the environment of oil and gas formation. This article discusses the relationship between diabase invasion and oil generation, migration and accumulation. It is suggested that diabase invasion may be favourable for the generation, migration and trapping of oil and gas. The mechanism for the formation of the complex fault block reservoir is also discussed.

Key words: Gaoyou sag; diabase; oil and gas