

北大巴地区早古生代的缺氧环境和油源岩 与水下火山活动之间关系的探讨

高长林 秦德余 吉让寿 殷勇

(地质矿产部石油地质中心实验室)

早古生代拉张断陷的形成和演化,伴有海底水下火山活动,及含有机质较高的泥质岩、硅质岩等沉积。油源岩主要在该阶段发育,其有机质的含量高,氟和黄铁矿中 $\delta^{34}\text{S}$ 值表明该区的油源岩与水下火山活动相关。

火山作用过程中,能喷出大量的 H_2S 、 SO_2 、 SO_3 、 CO_2 及 CH_4 等气体,除 CH_4 气外,均能溶于水,且和水中氧和水起化学反应,致使海水缺氧和发生重力分异而使海水分层。缺氧海水分布于下部,为有机质的保存提供了一个良好的还原环境。 CH_4 气大部份进入大气圈,发生氧化燃烧反应,生成大量的 H_2O 和 CO_2 且放出大量的热,这种作用能促进生物的大量繁荣,为油气的形成提供更多的物质基础。

我国著名石油地质学家朱夏教授(1986)指出:“一个找油者不应该满足于已知事物的经验积累和归纳,更不能不防止找油思想的因袭和束缚。他的责任永远是面向未来,探索途径。”

粗略看来,水下火山活动与油源岩系的发育似乎是两个水火不相容的地质事件,但详细分析一下北大巴地区的若干地质地球化学资料,不难发现该区发育的下古生界油源岩系是在缺氧的海相条件下形成的,此类缺氧环境主要是由水下火山活动所造成的,因此,可认为此类水下火山活动对油源岩系的形成作出了贡献。

一、应重视火山作用与油气之间关系的研究

火山岩与油气之间的关系的研究,近年来已有不少进展,如日本新潟的许多第三纪油气田即以火山岩油捕为特征。W. Zimmerle用欧洲、美国和巴西的许多实例说明从古生代到第三纪都有一些油源岩是含火山灰的,或夹火山岩层。周中毅¹⁾、闵育顺²⁾(1986)在准噶尔盆地发现上二叠统中厚达300m的层凝灰岩是准噶尔盆地的重要油源层之一,这种生油岩有机碳含量为1%左右,沥青“A”含量高达1000ppm以上,属I型或II型干酪根。认为该区在晚古生代可能因莫霍面上升而形成了具裂谷性质的断陷盆地,相继发生基性火山喷发。盆地的地热背景值较高,使其表层水有机物产率高,深

1)周中毅,1986,层凝灰岩——一种新型的良好生油岩,第三届有机地化会议论文摘要汇编

2)闵育顺,1986,我国一种新油源岩类型的形成特征,第三届有机地化会议论文摘要汇编

层水为较强的还原环境。火山爆发使水中生物突然死亡并被火山沉降物快速携带,掩埋于深层还原性水底,使之免遭氧化。据Walter E. Dean和George E. Claypool (1984)资料,深海钻探计划(DSDP)62航次,在北太平洋中部的中太平洋山脉翼部和赫斯海隆南部,通过连续取芯,得到了完整的富含有机碳的白垩纪地层记录。在早阿普第期,中太平洋山脉西部沉积了一套富含有机碳的纹层状硅质灰岩,赫斯海隆南部的富含有机碳纹层状灰岩覆盖在火山岩基底之上,赫斯海隆上火山成分与富含有机碳的地层共生集合是明显的,表明太平洋在中白垩世时,板块内火山活动和中深水区有机质的生成和聚集是同时发生的……太平洋中白垩世的富含有机碳的岩石与火山物质伴生,这很可能直接与同沉积时的火山活动有关。陈颐亨¹⁾认为东海第三纪的几次沉降、沉积高峰期都有火山活动相伴……今后应该不仅从综合有机地化分析方面研究烃源岩,还要从其它方面对烃源岩进行更彻底的研究。我国东部中生代裂谷型含油气盆地,在其发育过程中,均伴有火山作用,如渤海裂谷盆地,据陈昌明资料(1980),在厚达6000—7000m的第三系巨厚沉积中有多层火山岩的存在。

从上述资料可以看出,无论是中生代或古生代的裂谷型含油气盆地以及大洋盆地或海盆中,均见富含有机质的沉积岩与火山岩密切伴生,因此,对其相互关系,有必要进行深入的研究,这种研究不仅具有极为重要的理论意义,而且必将有助于油气资源的勘探。

二、北大巴地区水下岩浆活动与油源岩的时空关系

笔者等(1988)在研究大巴地区的构造演化和油气远景时业已述及,该区在寒武、奥陶、志留系地层中发育有良好的生油岩系,存在有泥质岩和碳酸盐岩生油岩,其有机质的丰度较高,有机碳含量一般大于0.4%,高者达3.02%,油源岩的厚度巨大,最厚处达千米以上。本区内油源岩的饱和烃/芳烃,比值在1.30到5.27之间,油源岩中干酪根扫描电镜资料表明以絮状无定形为主,因此,认为该区油源岩的干酪根类型为腐泥型,为较好的油源岩(高长林,1988)。但必须指出的是,上述地层和油源岩系中见大量凝灰岩、熔凝灰岩、凝灰角砾岩,呈夹层产出,主要为碱基性和碱中性的晶屑凝灰岩和玻屑凝灰岩。此外,北大巴地区见有大量的次火山岩,主要为正长斑岩、闪长玢岩、辉绿岩等,呈岩脉、岩墙状顺层产出,为同沉积岩浆活动之产物(图1)。

概括地说,在北大巴地区,震旦纪开始为陆上火山喷发,形成流纹岩、英安流纹岩、安山岩、玄武安山岩等火山岩系岩石,然后,随着秦岭-大巴拗拉槽的发育(秦德余,1987),被拉张的盆地伴随有海底水下火山活动,伴随火山岩形成的有含有机质较高的泥质岩、硅质岩。到寒武、奥陶及早志留纪,拗拉槽进一步扩大发展,岩浆活动沿断裂发育,所形成的火山岩类为碱基性火山碎屑岩、粗安岩等;另外,有大量的正长斑岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等次火山岩类岩石形成,为同沉积期岩浆活动之产物,油源岩主要在该期发育。可见,该区内的上述油源岩系与火山岩、次火山岩系有密切相关的时空分布关系。

1)陈颐亨,1987,火山作用对找油气影响之新说,海洋地质信息通报,第3期。

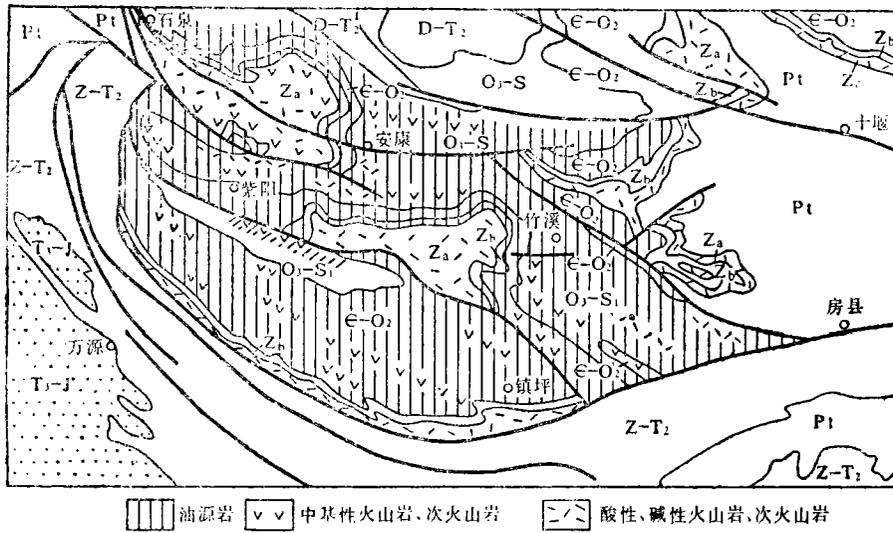


图1 北大巴地区早古生代油源岩和火山岩分布略图

三、水下火山活动对缺氧环境和油源岩形成的化学机理

在火山喷发过程中，能喷出大量的气体，这是人皆熟知的事实，据Gudmundur E. Sigaldason (1974) 资料，正在喷发的火山口或液态熔岩湖中火山气体成分如表1；又据A·N·克拉夫佐夫资料，堪察加比伊巴裂口喷出的气体成份如表2。由表1、2资料，可见在火山喷发过程中能喷出大量的HCl、H₂S、CO₂、SO₃和CH₄等气体，如果火山喷发过程是在陆上进行的，则这些气体都喷到空中，如在1975年7月6日到1976年12月10日，苏联堪察加的托尔巴奇克火山喷发，喷出20—30亿吨的物质，其岩浆气体和微小火山灰环游全球（陈洪洲，1986）。据A·N·克拉夫佐夫资料，堪察半岛的火山活动，在8300万年以来，喷出的H₂：9.0×10¹⁰t，CO：2.7×10¹¹t，CO₂：9.0×10¹⁴t，CH₄：2.7×10¹¹t。如果喷发过程是在水下发生的，则会出现一部分气体喷出进入大气圈，还有一部分溶于水，如果火山喷发作用不猛烈，则溶于水中的气体会更多些。根据上述气体的物理性质（章梅芳等，1983），则会出现两类情况，即有些气体能溶于水，如HCl、CO₂、H₂S、SO₃等，而另一些气体不溶于水，如CH₄。

氯化氢和硫化氢易溶于水（章梅芳等，1983），如在室温条件下，1体积水中能溶解3体积的硫化氢；CO₂也能溶于水，在20℃时，1体积水中能溶解二氧化碳0.878体积，溶于水的CO₂，大部分以水合物CO₂·XH₂O存在，小部分为碳酸；SO₂和SO₃也能溶于水，且同时放热。

上述这些气体被溶于水后，便和水中的自由氧及水进行一系列的反应，如：

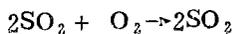
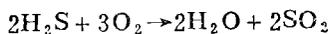


表 1 正在喷发的火山口或液态熔岩湖中火山气体成分表

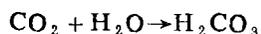
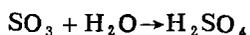
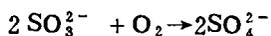
	样品号	CO ₂	CO	H ₂	N ₂	A	SO ₂	S ₂	SO ₃	Cl ₂	H ₂ O
		夏威夷	J3	6.63	0.22	0.15	2.37	0.56	3.23	0.00	5.51
	J4	6.79	0.14	0.17	2.33	0.00	1.38	0.15	3.43	0.62	84.98
	J8	47.68	1.46	0.48	2.41	0.14	11.15	0.04	0.42	0.04	36.18
	J14	14.81	0.47	0.17	2.91	0.00	3.65	0.10	1.03	0.00	76.84
	J17	11.61	0.37	0.58	1.29	0.04	6.48	0.24	0.00	0.05	79.31
	S8	15.27	0.45	0.70	0.87	0.14	6.98	0.49	/	0.00	75.08
	S10	1.54	0.43	0.37	2.44	0.39	0.00	3.56	/	1.34	89.93
苏特塞		CO ₂	CO	H ₂	N ₂ +A	SO ₂	Smg/g冷凝			HCl	H ₂ O
	12	9.18	0.68	4.56	0.18	5.40	1.6			0.80	79.20
	13	9.64	0.70	4.88	0.76	4.02	/			0.80	79.20
	17	4.97	0.38	4.74	0.07	3.28	/			0.40	86.16
	22	6.47	0.36	4.70	0.07	1.84	18.3			0.40	86.16
	24	5.54	0.39	4.58	0.07	2.86	12.2			0.43	86.13
	25	3.14	0.09	1.59	2.08	14.60	/			0.40	78.10
	29	3.29	0.11	2.67	1.07	2.46	8.0			1.15	89.25
尼劳贡戈		CO ₂	CO	H ₂	N ₂ +A	SO ₂	O ₂				H ₂ O
	6	40.90	2.45	0.75	8.30	4.40					43.20
	13	25.70	1.50	/	22.90	2.90	4.50				42.50

引自 Gudmundur E. Sigvaldason

表 2 堪察加比伊巴裂口喷出的气体成份表

喷气	HF	HCl	SO ₂	SO ₃	H ₂ S	NH ₄	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄ +TY
1	0.12	2.48	0.00	2.23	29.83	2.23	25.88	0.00	14.9	22.36
2	0.00	46.94	0.00	2.32	0.00	0.02	11.70	0.60	0.00	39.03
3	0.38	5.69	0.00	0.01	0.00	0.00	37.54	0.00	0.00	56.38

据 A·N·克拉夫佐夫 转引自黄瑞华



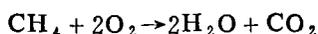
由于火山作用过程中喷出的气体数量很大，如果火山作用是在一个闭塞的海中进行相当长的时期，则必将大量消耗海水中的自由氧，又由于上述反应，这时的海水已变成含上述物质的溶液了，而溶液的浓度与密度之间存在着密切的相关关系，如表3。

表3 HF、NaCl、Na₂CO₃、Na₂SO₄的浓度与密度关系表 (20°C)

HF		NaCl		Na ₂ CO ₃		Na ₂ SO ₄	
密度	浓度	密度	浓度	密度	浓度	密度	浓度
克/升	%重量	克/升	%重量	克/毫升	%重量	克/升	%重量
1005	2	1005.3	1	1.000	0.19	1016.4	2
1012	4	1012.5	2	1.005	0.67	1034.8	4
1021	6	1026.8	4	1.010	1.14	1053.5	6
1028	8	1041.3	6	1.015	1.62	1072.4	8
1036	10	1055.9	8	1.020	2.10	1091.5	10

由表3资料, 明显可见随溶液浓度的增加, 溶液的密度也呈明显的增加, 因此, 可认为受火山作用后的海水密度比其在受火山作用前的密度要大, 这样便使原来的海水发生重力分异而分层, 即这种受火山作用后的缺氧海水的密度变大。因此, 其分布于海水的下部, 如这种作用发生于一个闭塞的海盆中, 则海底便在一个相当长的地质时期内为一个缺氧环境。这种缺氧环境的形成为有机质的保存提供了一个良好的条件。

前已述及, CH₄能溶于非极性的溶剂, 如四氯化碳, 不溶于极性溶剂, 如水。因此, 火山喷发出的大量CH₄气便大量溢出水面而进入大气圈, 在适当的物理化学条件下, 发生氧化燃烧反应:



上述反应所生成的水仍进入水圈, CO₂有部分溶于水, 但仍有很大部分存在于大气圈中, 使水圈和大气圈中CO₂的量增加, 再之, 上述反应为放热反应, 且放出的热量很大, 则必将使火山喷发口附近的大气层和水中的温度大大升高, 因此, 这种作用也将大大促进上述地区的水生生物和陆上生物的大量繁荣, 为生油母质的形成提供更多的物质基础。此外, 尚有一部分CH₄气在运移过程中, 如能有适当的储存条件, 则可形成气田。

由此可见, 水下火山活动过程中, 能喷出大量的气体, 如果这种作用发生于一个闭塞的海盆中, 则能提供缺氧环境形成的条件, 也能为生油母质的形成提供更多的物质基础。

北大巴地区的几组油源岩系中普遍含高含量的硫、氯、氟等元素, 一走进该区便见长期生活在当地的居民中, 年幼者牙黄, 年长者牙黑, 形成斑釉齿, 该区是地方性氟病区, 该区几类岩石中F、Cl含量见表4。

据黎彤(1976)地壳元素丰度资料(南京大学地质系, 1979), F的丰度为450 ppm, Cl的丰度为280 ppm, 本区内炭质千枚岩、炭质板岩、炭质灰岩等F的丰度在750 ppm到1200 ppm之间, 明显高于地壳元素丰度。当地居民患斑釉齿皆因该区内炭质岩石中氟高导致区内水系中氟高之故(刘东生, 1980)。

由表4资料, 明显可见分布于原海盆地边部的岩石中氟含量低于原分布于海盆中的岩石中的氟含量。

表4 北大巴地区几类岩石中F、Cl含量表 (单位: ppm)

岩石类型	凝灰岩	炭质板岩	晶屑凝灰岩	薄层灰岩	正长斑岩	炭质千枚岩	正长斑岩	炭质板岩	闪长玢岩	黑色板岩	炭质灰岩	凝灰岩	
样品数	3	2	3	3	1	2	3	13	1	1	5	5	
元素	F	500	370	140	520	190	750	1030	770	1200	950	700	250
	Cl	120	170	120	90	180	160	200	170	100	170	170	150
层位	耀岭河群			洞河群						毛坝关组	耀岭河		
	北			盆 内						南			
	盆边									盆边			

地矿部岩矿测试技术研究所聂竹兰分析, 1987.3

北大巴地区炭质岩石中普遍见有黄铁矿呈星点状分布。经研究后认为(南大地质系, 1979)海洋中沉积的硫化物, 硫同位素成份变化幅度较大, 但一般有以下规律: 伴随火山活动的层状硫化物沉积的 $\delta^{34}\text{S}$ 值最大(17.5‰); 其它的沉积硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 较小(11.7‰); 生物成因的硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 为较大的负值, 且较分散; 岩浆成因的热液硫化物之 $\delta^{34}\text{S}$ 变化幅度较小, 一般不超过5‰。北大巴地区炭质岩中黄铁矿硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 测定结果如表5。

表5 黄铁矿中 $\delta^{34}\text{S}$ 值表

层 位	样品号	样品数	岩 石 类 型	$\delta^{34}\text{S}$	平均 $\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}$
耀岭河群 (Z)	H-107	2	炭质板岩	6.76	8.25	↓ 增大
	H-113		厚层炭质板岩	9.74		
洞河群 (←O)	H-135	5	炭质灰岩	13.65	12.03	
	H-166		石煤	11.07		
	H-167		石煤	12.56		
	H-169		炭质千枚岩	15.23		
	H-170		炭质千枚岩	7.65		
毛坝关组 (±Zm)	H-227	2	炭质板岩	15.70	14.97	
	H-265		炭质板岩	14.24		
大贵坪组 S1	S1d-1	1	炭质板岩	17.49	17.49	
洞河群中	H-155	1	正长斑岩边部	19.09		

北京铀矿地质研究所四室测, 86.9

由表5资料, 明显可见黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为正值, 不同于生物成因的黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值, 且 $\delta^{34}\text{S}$ 变化幅度大, $\delta^{34}\text{S}$ 最大达17.49‰, 与伴随火山活动的层状硫化物沉积的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相似, 产于洞河群中的正长斑岩中黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为19.09‰, 因此, 可以推断北大巴地区

炭质岩中的黄铁矿的硫是伴随火山活动的产物。大巴地区黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值具明显的变化规律，即耀岭河群中的较小（8.25‰），洞河群中的较高（12.03‰），毛坝关组中的更高（14.97‰），大贵坪组中的最高（17.49‰）。由此可见，黄铁矿中 $\delta^{34}\text{S}$ 值的分布规律是：海盆边部较低，海盆中较高，且由海盆边部向海盆中心逐步升高，这和Cl具相似的分布变化规律，从Cl和 $\delta^{34}\text{S}$ 的分布规律，可知缺氧海水的分层，而这种分层明显与火山活动过程中所喷出的气体有关。上述资料也明显表明该区的油源岩与火山活动密切相关。

结 语

综上所述，北大巴地区早古生代的水下火山活动与油源岩系的发育具密切相关的时空关系。油源岩系中夹有大量的凝灰岩、熔凝灰岩等火山岩及大量的正长斑岩、闪长玢岩、辉绿岩等脉岩群，它们为同沉积期岩浆活动的产物。而与之相伴而形成的油源岩的有机质的含量高，干酪根类型好，油源岩中氟、硫等元素含量也高，沉积黄铁矿中 $\delta^{34}\text{S}$ 值也表明该区的油源岩与火山活动密切相关。

火山作用过程中，能喷出大量的 H_2S 、 SO_2 、 SO_3 、 CO_2 和 CH_4 等气体，上述所喷出的气体，除 CH_4 气外，均能溶于水，且和水中的氧及水起化学反应，致使海水中缺氧，再之，使海水变为含上述物质及其反应物的溶液，上述溶液的密度随其浓度的增大而增大。因此，致使部分海水密度增大，海水发生重力分异而分层，使密度较高的缺氧海水分布于海水的下部，如果这种作用发生于一个闭塞的海盆中，则海底便长期为缺氧环境，为有机质的堆积保存提供了一个良好的场所。火山作用过程中所喷出的 CH_4 气，一部分可能形成气田，大部分进入大气圈，发生氧化燃烧反应，生成大量的 H_2O 和 CO_2 ，且放出大量的热，这种作用能促进生物的大量繁荣，为生油母质的形成提供更多的物质基础。

参 考 文 献

- [1] 朱夏，1986，论中国含油气盆地构造，石油工业出版社。
- [2] Walter E. Dean, George E. Claypool, 1984, Accumulation of organic matter in cretaceous oxygen-deficient depositional environment in the central pacific Ocean, *Org. Geochem*, Vol. 7, No. 1, p. 39—51.
- [3] 陈昌明等，1980，渤海裂谷系的沉积-构造演化及其有关的油气聚集，中国科学，第10期。
- [4] 高长林，1988，试论大巴地区的油气远景，石油实验地质，第10卷，第3期。
- [5] 秦德余，吉让寿等，1987，秦岭-大巴拗拉槽，石油实验地质，第9卷，第2期。
- [6] Gudmundur E. Sigvaldason, 1974, *Physial Volcanology*, chapter 9, Chemical composition of volcanic gases, p. 215—238.
- [7] 黄瑞华，1981，石油无机成因说的新进展，石油实验地质，第3卷，第1期。
- [8] 陈洪洲，1986，香烟与火山，地球，第2期。
- [9] 章梅芳，孙辰龄编，1983，无机化学，下册，高等教育出版社。
- [10] 南京大学地质系编，1979，地球化学，科学出版社。
- [11] 刘东生，1933，我国地方性氟病的地球化学问题，地球化学，第1期。

APPROACH ON THE RELATION AMONG
ANOXIC ENVIRONMENT, SOURCE ROCKS
AND SUBAQUEOUS VOLCANIC ACTIVITY OF
LOWER PALEOZOIC IN NORTH DABA AREA

Gao Changlin

Qin Deyu

Ji Rangshou

Yin Yong

(Central Laboratory of Petroleum Geology, Ministry of
Geology and Mineral Resources)

Abstract

Lower Paleozoic of North Daba area consists of volcanic rocks, organic-rich argillaceous rocks and siliceous rocks. Its kerogen type is sapropelic with high content of organics. The source rocks are rich in fluorine and sulfur, and bear a direct relation to subaqueous volcanic activity as indicated by fluorine and $\delta^{34}\text{S}$ of pyrite. Large quantity of H_2S , SO_2 , SO_3 , and CO_2 were extruded in the process of subaqueous volcanism, which caused chemical action with oxygen and water, and gravity differentiation of sea water, and provided good conditions for organic preservation. As CH_4 entered atmosphere, combustion took place with heat release, growth was promoted, which would provide material basis for oil and gas generation.