

doi: 10.6046/gtzyyg.2012.02.15

# 南海北部临震前海表增温异常 与油气藏区分布的关系

王洁<sup>1,2</sup>, 张登荣<sup>1,2</sup>, 徐瑞松<sup>3</sup>

(1. 杭州师范大学遥感与地球科学研究院 杭州 311121; 2. 浙江省城市湿地与区域变化重点实验室, 杭州 311121; 3. 中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

**摘要:** 以南海北部为研究区, 利用 MODIS SST (sea surface temperature) 数据探讨了海水表面增温异常与海域油气藏和天然气藏区分布的关系。研究发现, 已勘探的油气区域在临震前有 64% 的增温概率, 可以将临震前海面温度的增温异常作为一种指示深部油气藏赋存的重要标志; 结合地质构造与断裂活动特征, 认为南海珠江口盆地深水区、台西南盆地、西沙海槽以及笔架南盆地等是油气或天然气水合物可能的赋存地带。

**关键词:** 南海; 海表温度; 油气藏

**中图分类号:** TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2012)02-0079-06

## 0 引言

20 世纪 90 年代初, 强祖基等<sup>[1]</sup>曾报道中国大陆上一些地区在震前的卫星热红外遥感图像上显示大面积的增温异常。这种现象通常发生在地震前约 7~9 d, 增温的面积通常达几万至上百万 km<sup>2</sup>, 累积增温幅度为 2~10℃, 并认为这是地球排气作用的结果<sup>[2-4]</sup>。在此基础上, 他们结合地质理论多次成功地进行过地震预报<sup>[5-6]</sup>, 并将卫星热红外遥感技术应用到中国陆上油气田的勘探中<sup>[7]</sup>。黄福林等<sup>[8]</sup>将此方法应用到海上一些油气田的勘查中, 发现临震前已知油气区低空大气中存在着甲烷及其同系物等的高浓度异常现象, 并发现在同步的卫星热红外遥感图像上出现 1~6℃ 的增温, 认为临震前卫星热红外遥感图像上的增温异常可作为深海油气藏存在的一个重要标志。另外, 大量的调查结果显示, 在中强度地震前后 10 d 左右, 在震中附近区域海面或上空会出现温度上升现象, 异常幅度可达 3~4℃, 这种现象将一直持续至地震发生几天后, 而且, 温度异常有一定的区域分布, 在多数情况下, 与已知的含油气盆地、天然气水合物赋存区相一致<sup>[9-12]</sup>。

南海海域具备形成大中型油气田的基本地质条件, 油气资源潜力巨大, 勘探前景良好, 但勘探程度较低。多年来, 勘探开发活动主要集中于近海大陆架的浅水海域, 对于广阔的陆坡深水区的油气勘探

与研究不多。最新一轮油气资源评价认为, 仅我国南海深水区的石油资源量可达  $76 \times 10^8$  t, 天然气资源量可达  $4.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup><sup>[13]</sup>。然而, 与浅水和陆上油气勘探相比, 深水油气勘探技术要求高、资金风险高、作业难度大, 如果能利用遥感技术先初步确定出与油气藏相关的有利远景地带, 将可大大减小调查工作量, 节省调查费用。为此, 本文对近几年南海临震前卫星热红外图像上的增温现象进行了观测研究, 分析了海表面温度异常与海域油气藏和天然气藏区分布的关系, 探讨利用临震前海表面温度异常信息作为寻找油(气)藏等的间接找矿标志的可能性。

## 1 研究区概况

南海是我国四大海域中面积最大的大型边缘海, 构造位置处于欧亚板块、印澳板块和太平洋板块的交汇地带, 具有宽阔的大陆坡、巨厚的沉积物、丰富的有机质, 是油气形成和聚积的理想场所。其北部发育有一系列新生代盆地(个别地区有中生代残留盆地), 海域水深在 50~3 000 m 之间。按巴西等国家采用的以 300 m 水深作为浅水区和深水区分界限的标准, 将这些盆地分为 3 类: ①全部发育在浅水区的盆地(包括北部湾盆地和莺歌海盆地); ②跨越浅水区和深水区的盆地(包括台西南盆地、珠江口盆地和琼东南盆地); ③完全处于深水区的盆地(包括中建南盆地、中沙西南盆地和笔架南盆地等)(图 1)。

收稿日期: 2012-03-12; 修订日期: 2012-03-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41001269)和南海北部珠江口盆地形成演化及油气资源潜力项目(973 计划, 编号: 2007CB41170501)共同资助。

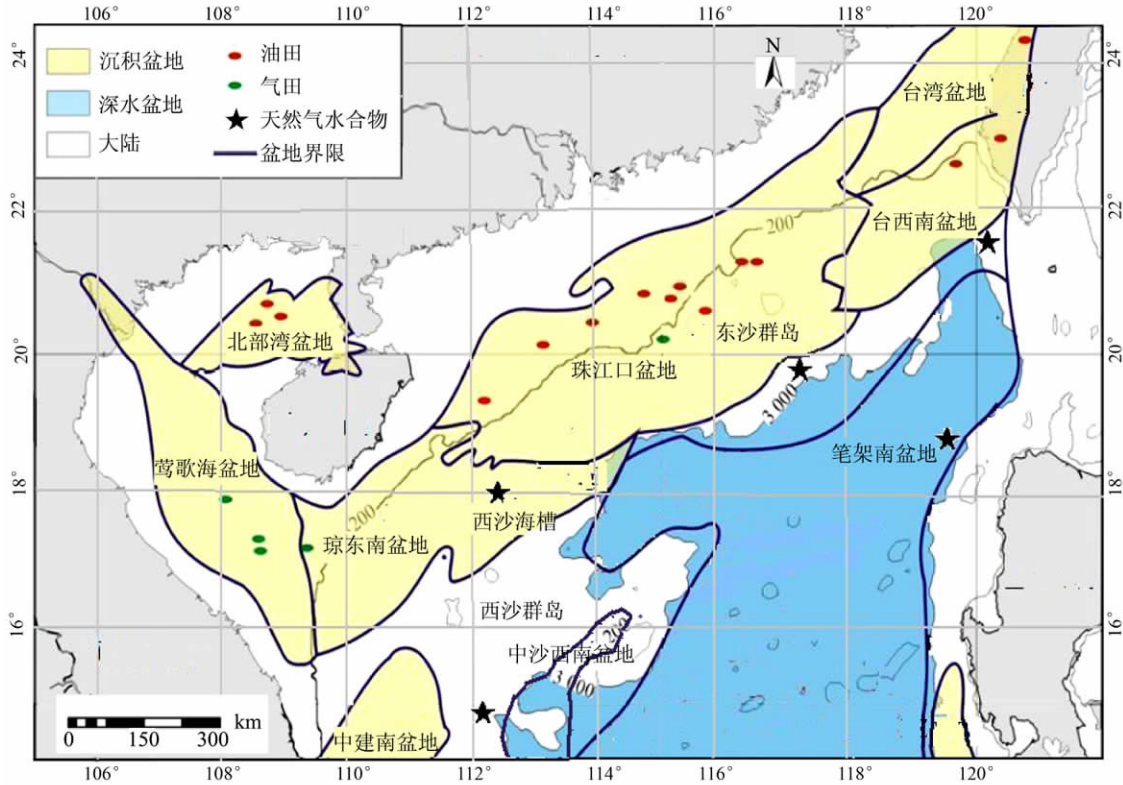


图1 南海北部大陆边缘沉积盆地分布

Fig. 1 Distribution of sedimentation basins in the north margin of the South China Sea

油气勘探表明,南海北部边缘盆地具有巨大的油气资源潜力及勘探前景。虽然我国相关部门早在20世纪80年代就开展了南海陆坡深水部分海域油气地质与地球物理调查研究,第3次全国油气资源评价和2002年国土资源部组织的“油气资源战略选区评价项目”亦较系统地开展了相关研究,但其涉及的油气勘探领域及研究范围较窄,油气调查与研究的深度及程度均非常有限。到目前为止,对该区整体勘探程度仍然较低,对陆坡深水油气勘探及研究程度则更低,基本属勘探空白区或研究薄弱区。

## 2 临震前南海北部增温异常特征

### 2.1 数据源

南海附近在近几年内发生的较大地震有2001年6月14日10:35:24(UTC)台湾苏澳以东海域(震中位置为E122.1°,N24.4°)发生的6.4级地震和2006年12月26日20:26:19台湾南部南海海域(震中位置为E120.6°,N21.9°)发生的7.2级地震。为了观察中、强地震临震前南海海表温度的分布情况,本文采用的MODIS SST(sea surface temperature)数据包括2001年6月10—17日的平均SST数据、2006年12月11—18日的平均SST数据以及2006年12月19—26日的平均SST数据。

### 2.2 数据处理

MODIS SST数据对应着2个文件(SST数据文件和数据质量文件)。本文采用ENVI软件中的IDL语言进行数据处理。在处理数据文件时,若数据质量文件中中点值不为零,则对应的SST数据点必须剔除掉。

首先,利用IDL中的相关函数直接读取HDF数据信息;然后,从string函数矩阵截取中国南海海区范围(E106°~122°,N15°~24°),并对数据做拉伸增加显示度等处理;将无效数据部分赋为白色,陆地部分赋为灰色(用户可以采用IDL自带色板,也可以根据需要自定义色板);最后,显示图像,为图像加上陆地、配置色板和文字标注,整饰输出。

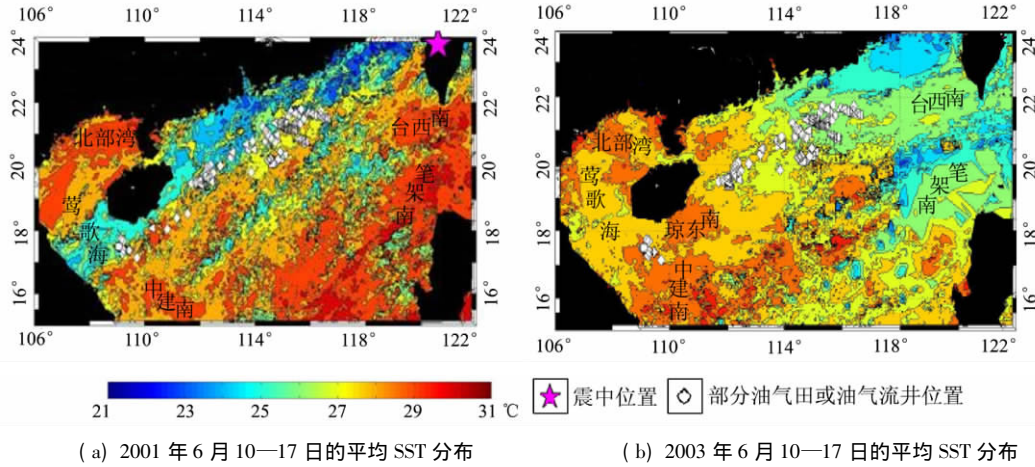
### 2.3 实例分析

#### 2.3.1 实例一

在2001年6月10—17日期间,台湾多次发生地震并放气。据SST图像显示,南海北部的高温异常现象几乎遍布整个海域(图2(a))。主要分布在北部湾盆地、中建南盆地北部、笔架南盆地、台西南盆地和莺歌海盆地西北部,珠江口盆地的海表温度相对较低,但值得注意的是,已经勘探出来的珠江口盆地和琼东南盆地的油气井和油气田都分布在与周围相比温度较高的区域。图2(b)是2003年同时期南海北部的SST的分布,比较两个年份同时期的SST影像特征发现,北部湾盆地、中建南盆地北部、

笔架南盆地、台西南盆地、莺歌海盆地西北部以及珠江口盆地的海表面温度在 2001 年地震时期比 2003 年同时期的高出 1 ~ 2℃, 呈现出大范围的温

度异常特征。对比不同年份同时期海表面温度的分布情况发现, 增温现象发生在地震发生的年份, 这很可能是由于这些区域油气微渗漏导致的。



(a) 2001 年 6 月 10—17 日的平均 SST 分布 (b) 2003 年 6 月 10—17 日的平均 SST 分布

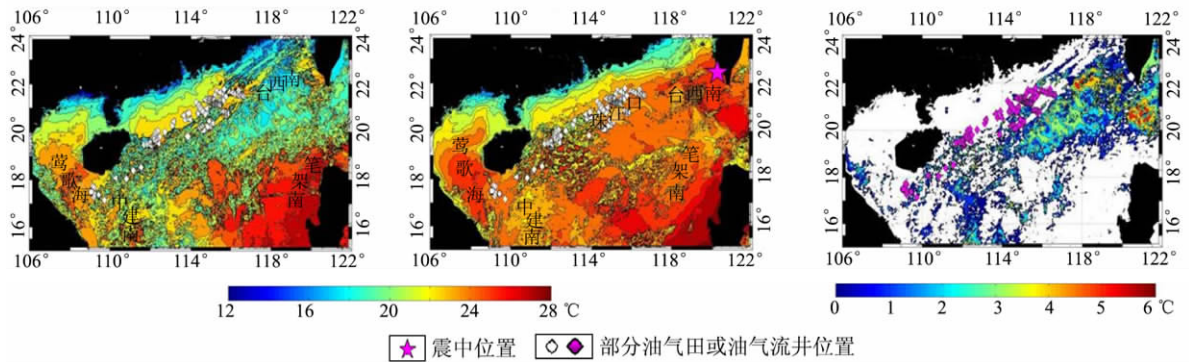
图 2 南海北部海面温度分布

Fig. 2 Temperature distribution of sea water in northern South China Sea

2.3.2 实例二

在 2006 年 12 月 11—26 日期间, 南海 SST 图像亮温变化非常明显, 先是局部增温异常, 然后是大面积增温异常。在 2006 年 12 月 11—18 日所记录的 8 d 平均 SST 图像上(图 3(a)) 除了莺歌海盆地、中建南盆地和吕宋西盆地等出现局部的亮温异常外, 其他地区表现为不同水团的真实温度; 在 2006 年

12 月 19—26 日期间(图 3(b)), 南海 SST 图像出现大面积增温异常, 特别是在莺歌海盆地—琼东南盆地—西沙海槽—东沙群岛—台西南盆地一带、北吕宋海槽一带、笔架南盆地—中央海盆北缘一带等尤为明显。以 2006 年因地震造成的海水增温为例, 计算图 3(b) 与图 3(a) 的 SST 温度差, 便可以得到因地震引起的海面增温图像(图 3(c))。



(a) 2006 年 12 月 11—18 日的平均 SST 分布 (b) 2006 年 12 月 19—26 日的平均 SST 分布 (c) 2006 地震前后增温分布

图 3 2006 年地震前后南海北部 SST 分布

Fig. 3 Temperature distribution of sea water in northern South China Sea in 2006

图 3(c) 显示, 地震时期珠江口盆地、东沙群岛、台西南盆地和笔架南盆地北部大面积增温; 琼东南盆地、莺歌海盆地、西沙海槽和中建南盆地小面积增温。珠江口盆地与台西南盆地的交界处增温幅度最高, 达到 6℃, 莺歌海盆地的大面积增温位于莺东斜坡, 在中央凹陷区域有一些小面积的增温图斑, 其增温最大幅度达 2.5℃; 台西南盆地和笔架南盆地大面积增温, 增温最大幅度分别为 6℃和 4℃。

经过对上述实例的分析与研究, 认为海表面温度异常总体上具有以下特征:

1) 一部分 SST 增温异常与油气盆地分布相一致, 如珠江口盆地、琼东南盆地、莺歌海盆地和台西南盆地等; 另一部分增温异常一直延伸到深水陆坡区, 如东沙群岛、笔架南盆地、吕宋海槽、西沙海槽和中建南盆地等。

2) 南海北部 SST 温度异常可分为 4 个区: 莺歌海—琼东南—西沙海槽—珠江口—东沙群岛—台西南盆地一带、中建南盆地一带、吕宋海槽盆地一带、中沙群岛—笔架南盆地一带。在构造上, 分别与南海北部陆架与陆坡区断裂带、西部陆缘断裂带、马尼拉海沟断

裂带及中沙群岛—笔架海山沟构造带相对应。

3) 海盆扩张中心区很少出现增温异常,基本上没有明显的异常。

### 3 讨论

#### 3.1 增温异常与海底油气、天然气水合物的关系

分析发现,地震期间,琼东南盆地、笔架南盆地(尤其是南部地区)、西沙海槽盆地、莺歌海盆地和台西南盆地、珠江口盆地恩平西江凹陷、惠州陆丰凹陷、白云凹陷以及珠江口盆地西部地区温度较高。即使在非地震时期,有些区域海表温度也相对于周围环境的高一些,温度比较异常的是莺歌海盆地的中央凹陷、珠江口盆地的西江恩平凹陷和惠州陆丰凹陷等(图 2(b) 3(a))。

2001 年与 2006 年地震时期,南海北部海表温度出现增温异常的区域也有一定的差异:除了珠江口盆地、中建南盆地、笔架南盆地、台西南盆地和莺歌海盆地于两次地震时期均出现海表增温异常之外,琼东南盆地、东沙群岛与西沙海槽仅在 2006 年地震时期出现了大范围的海表增温异常。这可能是由于两次地震的震中位置与地震的强度不同所致。因为 2001 年地震发生在台湾苏澳以东的海域,震中离南海油气区的距离较远,2006 年地震的震中位置是台湾南部的南海海域,地震的强度高了一级,震中的位置和地震强度的差异必然对海表增温区域的分布有一定影响。迄今为止,在北部湾盆地、莺歌海盆

地、琼东南盆地及珠江口盆地勘探中,已发现一批大中型油气田及含油气构造,具备相当规模的油气储量及产能,其油气产量约占中海油总油气产量的 60% 以上<sup>[14]</sup>。这些油气田的分布大体上与南海北部临震前卫星图像上海面温度增温异常分布相一致。

南海北部深水区沉积物巨厚,有机碳丰富,既有像 Cascadia 近海那样的主动大陆边缘,也有像 Blake 海底高原那样的被动大陆边缘<sup>[15]</sup>,其温压、有机质供给和地质构造均为天然气水合物的赋存创造了条件。有研究发现<sup>[16-17]</sup>,一些区域存在指示天然气水合物赋存的地震地球物理标志——似海底反射层(bottom simulating reflector,BSR)。如,广州海洋地质调查局发现东沙群岛和西沙海槽区存在有 BSR<sup>[16]</sup>;台湾学者<sup>[17]</sup>在台西南盆地东缘也发现有 BSR。这些潜在的天然气水合物分布区也基本与南海临震前海面温度增温异常的分布相一致。

把珠江口盆地与琼东南盆地已经探明的油田、气田、油气流井、气流井以及油气显示井的位置在增温图(图 3c)上标注出来,便可通过计算得到油气藏区在地震期间增温的概率(表 1)。其中,油气流井、气流井以及油气显示井是否增温是以前所在的中心坐标位置的海表面温度是否增加为依据;油田和气田是否增温是以整个油田、气田分布区域高于一半面积区域的海表温度是否增加为依据。也就是说,在油气田分布区域内,统计的海表增温面积大于油气田面积的一半时,就视为发生了增温现象。

表 1 琼东南与珠江口盆地油气探明区域与地震增温的关系

Tab. 1 The relationship between oil and gas occurrence and temperature increasing before earthquake in Qiongdongnan basin and Zhujiangkou basin

油气田类型	数量/个	地震时最大增温/℃	多增温区间增温区/个			增温油气区/个	增温概率/%	增温总概率/%
			0~1℃	1~3℃	>3℃			
油田	36	3.47	4	12	8	24	67	
气田	5	2.78	1	2	0	3	60	
油气流井	46	3.47	5	10	15	30	65	64
气流井	18	0.97	11	0	0	11	61	
油气显示井	55	3.64	7	10	18	35	63	

从表 1 可以看出,地震时油气藏区最高增温能达到 3.64℃,有多达 67% 的油田都因为地震的发生而出现海表水温增加现象;60% 的气田区域海表也有相应的增温;已经钻探的油气流井有 65% 出现海表温度增加现象;气流井和油气显示井增温的概率分别为 61% 和 65%。整个油气藏区域在地震时海表温度升高的概率是 64%。经过统计发现,103 个发生增温的油气区域有 75 个油气区发生增温异常的幅度大于 1℃;有 41 个油气区发生增温异常的幅度大于 3℃。这些统计资料表明,在地震时海底油气藏区域的海表增温概率很大,而且绝大部分的增温幅

度都大于 1℃。地震时的增温现象能很好地指示油气藏的存在,临震前海面温度的增温异常可作为一种指示深部油气藏赋存的重要标志。

#### 3.2 南海北部油气和天然气水合物资源勘探潜力

南海北部临震前增温异常的区域主要分布在珠江口盆地深水区、台西南盆地、笔架南盆地以及西沙海槽,这些区域很有可能蕴藏着丰富的油气资源。

从地质构造的角度来看,南海北部边缘盆地处于欧亚板块、印澳板块和太平洋板块的交汇作用点,具有北部拉张裂隙、南部挤压变形、西部走滑伸展、东部俯冲消减等被动大陆边缘盆地属性

(图 4)<sup>[18]</sup>。强烈的泥底辟、热流体活动和异常高温高压地层系统主要发育于南海北部边缘盆地西区的莺歌海盆地和琼东南盆地西南部,油气运聚成藏及其分布规律主要与泥底辟发育演化及热流体上侵活动密切相关。火山岩浆活动则主要发生在南海北部边缘盆地东北区(即琼东南盆地东部和珠江口盆地及台西南盆地),与油气生成及运聚成藏等均存在一定的成因联系<sup>[19]</sup>。台西南盆地的构造发育既经历了早期的拉张,也经历了后期的挤压,断裂活动非常活跃,纵向上切割层位多,一般可延伸至浅层,对该区油气运聚具有重要的疏导作用<sup>[20]</sup>。笔架南盆地南端为马尼拉海沟俯冲带,西南部为中央海盆,构造位置比较特殊,划分为 3 个次级构造单元,即深海平原、海沟拗陷和逆冲增生带。深海平原位于盆地西侧,海底比较平

坦,断裂相对较少,主要以张性断裂为主;海沟拗陷是马尼拉海沟北延的一部分,断裂比较发育,断裂走向受俯冲挤压的影响,以 NE 和 NNE 向为主;逆冲增生带位于盆地东部,由于受洋壳俯冲的影响,以逆冲断裂为主<sup>[21]</sup>。西沙海槽处在南海北部被动大陆边缘受近东西向断裂控制的裂谷带,自晚渐新世形成以来,曾多次发生构造运动,一直到第四纪仍然有构造活动的痕迹。在地震剖面上,可以看到断裂一直切到第四系,甚至到海底,具有形成油气源的良好通道,并且区内浅表层的深海、半深海相高孔渗软泥沉积有利于油气资源的发育、聚集与保存<sup>[22]</sup>。总之,南海北部珠江口盆地、台西南盆地、笔架南盆地以及西沙海槽的断裂构造及火山活动频繁,这些都为南海北部边缘盆地油气资源的形成与分布奠定了良好的物质基础。

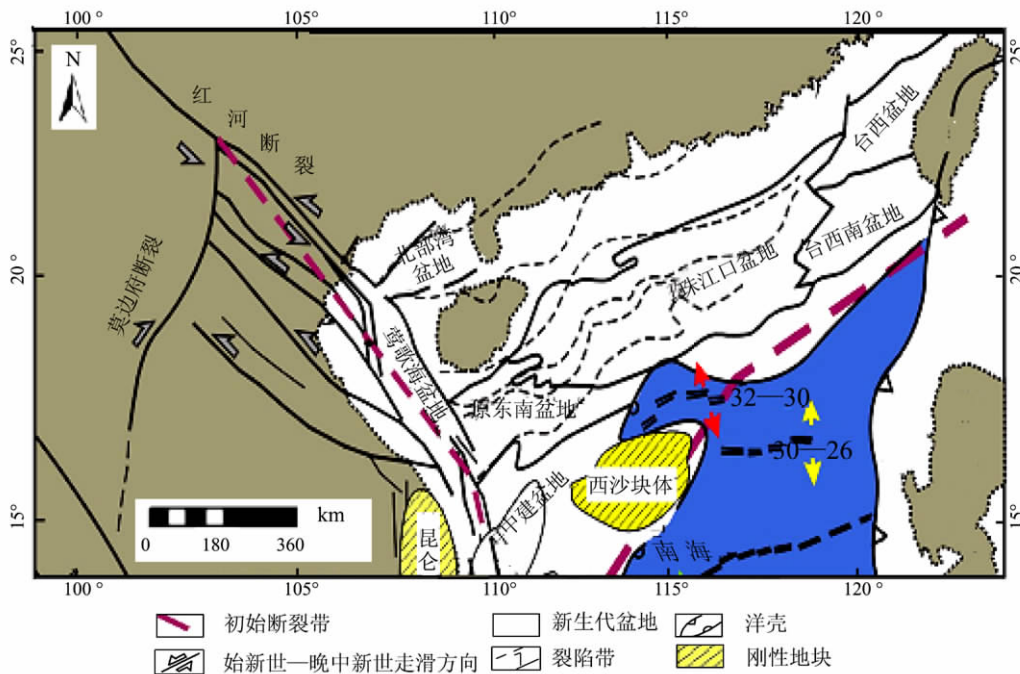


图 4 南海北部主要断裂构造<sup>[18]</sup>

Fig. 4 The major structure of northern South China Sea

从地球化学特征来看,珠江口盆地深水区沉积物样品中的烃类元素及碳的同位素等出现异常。

从地球物理特征来看,台西南盆地、笔架南盆地以及西沙海槽均有指示天然气水合物存在的 BSR<sup>[23]</sup> 标志。

### 4 结论

1) 采用遥感技术提取临震前南海北部 SST 图像增温异常信息时发现,增温区域与已知油气藏的

分布区域有很好的吻合性,已勘探开采的油气区域在临震前增温概率为 64%,因此,遥感技术可以作为快速圈定海洋油气靶区的一种间接找矿方法。

2) 综合临震前增温异常的分布范围、地质构造特征以及地球物理、地球化学等资料,认为南海北部陆坡深水区具有巨大的油气资源潜力及勘探前景,尤其是珠江口盆地深水区、台西南盆地、笔架南盆地、西沙海槽等海域。随着陆架浅水区油气勘探进程的加快和陆坡深水区油气勘探的实施,这些区域必将成为南海北部油气资源接替的最佳选区。

## 参考文献:

- [1] 强祖基, 徐秀登, 侯常恭. 卫星热红外异常——临震前兆[J]. 科学通报, 1990, 35(17): 1324-1327.
- [2] 强祖基, 孔令昌, 王弋平, 等. 地球放气、热红外异常与地震活动[J]. 科学通报, 1992, 37(24): 2259-2262.
- [3] 强祖基, 孔令昌, 郭满红, 等. 卫星热红外增温机制的实验研究[J]. 地震学报, 1997, 19(2): 197-201.
- [4] Sugisaki R, Ito I, Nagamine K, et al. Gas Geochemical Changes at Mineral Springs Associated with the 1995 Southern Hyogo Earthquake (M = 7.2), Japan [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1996, 139(1-2): 239-249.
- [5] 强祖基, 侯常恭, 李玲芝, 等. 卫星热红外图像亮温异常——短临震兆[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(6): 564-573.
- [6] 强祖基, 侯常恭, 赵勇, 等. 瞬时地壳运动与地震短临预报[J]. 地学前缘, 1995, 2(1-2): 213-225.
- [7] 强祖基, 侯常恭, 黄福林, 等. 寻找油气富集带的遥感找矿新方法——卫星热红外探测技术[J]. 科学通报, 1994, 39(18): 1725-1726.
- [8] 黄福林, 张训华, 夏响华, 等. 中国东部和海域低层大气甲烷及其同系物分布[J]. 科学通报, 1998, 43(16): 1767-1771.
- [9] Tronin A A, Biagi P F, Molchanov O A, et al. Temperature Variations Related to Earthquakes from Simultaneous Observation at the Ground Stations and by Satellites in Kamchatka area [J]. Physics and Chemistry of the Earth 2004, 29(4-9): 501-506.
- [10] Tronin A A, Hayakawa M, Molchanov O A. Thermal IR Satellite Data Application for Earthquake Research in Japan and China [J]. Journal of Geodynamics 2002, 33(4-5): 519-534.
- [11] Tramutoli V, Bello G D, Pergola N, et al. Robust Satellite Techniques for Remote Sensing of Seismically Active areas [J]. Annali di Geofisica 2001, 44(2): 295-312.
- [12] Kozak L V, Dzubenko M I, Ivchenko V M. Temperature and Thermosphere Dynamics Behavior Analysis over Earthquake Epicenters from Satellite Measurements [J]. Physics and Chemistry of the Earth 2004, 29(4-9): 507-515.
- [13] 吕福亮, 贺训云, 武金云, 等. 世界深水油气勘探现状、发展趋势及对我国深水勘探的启示[J]. 石油地质, 2007(6): 28-31.
- [14] 何家雄, 施小斌, 夏斌, 等. 南海北部边缘盆地油气勘探现状与深水油气资源前景[J]. 地球科学进展, 2007, 22(3): 261-270.
- [15] 许东禹, 刘锡清, 张训华, 等. 中国近海地质[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 56-258.
- [16] 姚伯初. 南海北部陆缘天然气水合物初探[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(4): 11-18.
- [17] Chi W C, Donald L R, Liu C S, et al. Distribution of the Bottom Simulating Reflector in the Offshore Taiwan Collision Zone [J]. TAO, 1998, 9(4): 779-794.
- [18] 何家辉, 陈胜红, 刘海龄, 等. 南海北部边缘区域地质与油气运聚成藏规律[J]. 西南石油大学学报, 2008, 30(5): 46-52.
- [19] 何家雄, 施小斌, 阎贫, 等. 南海北部边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(2): 129-135.
- [20] 何家雄, 夏斌, 王志欣, 等. 南海北部大陆架东区台西南盆地石油地质特征与勘探前景分析[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 345-350.
- [21] 高红芳, 白志琳. 南海笔架南盆地沉积和构造研究[J]. 中国海上油气(地质), 2002, 16(4): 245-249.
- [22] 王宏语, 孙春岩, 张洪波, 等. 西沙海槽潜在天然气水合物成因及形成地质模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(4): 85-91.
- [23] 卢振权. 南海天然气水合物非常规物化探方法找矿的初步研究[D]. 北京: 中国地质科学院研究生部, 2000.

## The Relationship Between the Increasing Anomaly of Sea Surface Temperature Before Earthquake and the Distribution of Oil and Gas Reserves in Northern South China Sea

WANG Jie<sup>1,2</sup>, ZHANG Deng-rong<sup>1,2</sup>, XU Rui-song<sup>3</sup>

(1. Institute of Remote Sensing and Earth Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China;

2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Urban Wetlands and Regional Change, Hangzhou 311121, China;

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** This paper aims at interpreting the formation of the temperature anomaly of the South China Sea before earthquake. The relationship between the high temperature and the occurrence of oil and gas reserves and gas hydrates is also discussed according to the mechanism of high temperature shown in images. It is found that the temperature increasing probability comes to 64% before earthquake in areas where the oil and gas reserves have been found. It is an indirect method for the exploration of oil and gas resources based on temperature increasing caused by methane emitted from leakage of oil and gas before earthquake. The areas of high temperature shown in the images are mainly distributed in the abyssal zone of Zhujiang River mouth basin, Taixinan (southwest Taiwan) basin, Xisha Islands trough, Bijianan (south Eijia Mountain) basin of the South China Sea, showing probable potentials of oil and gas reserves and gas hydrates.

**Key words:** South China Sea; sea surface temperature; oil and gas reserves

第一作者简介: 王洁(1981-),女,讲师,博士,从事遥感地学的研究。E-mail: wangjie1022@163.com。

(责任编辑: 刁淑娟)