

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

利用卫星热红外遥感探测南海天然气水合物

卢振权¹⁾ 强祖基²⁾ 吴必豪¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037

2) 中国地震局地质研究所,北京,100029

内容提要 天然气水合物被誉为21世纪“化石燃料”的清洁替代能源,其意义十分重大。本文首次将卫星热红外遥应用于南海天然气水合物的勘查中,实践证明效果较好。作者分析了卫星热红外增温异常的机制,探讨了卫星热红外增温异常与海底天然气水合物的关系,指出了南海西沙海槽区、东沙群岛岛坡区、笔架南盆地、北吕宋海槽区、南沙海槽一带等是天然气水合物可能的赋存地带。

关键词 卫星热红外遥感 南海 天然气水合物

卫星热红外遥感方法在环境与灾害监测、资源勘查中的应用,是国际上近些年来正在努力发展的一项新领域。90年代初,强祖基等(1995,1997)多次利用卫星热红外技术探测到地震发生前约7~9天,在震中附近存在着大面积的增温异常,并利用这一遥感新技术结合地质理论已多次成功地进行了地震短临预报。黄福林等(1998)还将此种方法应用到海上一些油气田的勘查中。

美国宇航局自1995年以来也一直致力于热红外遥感甲烷成像技术的研究,包括卫星平台型和航空平台型两种新技术(Vincent,1995)。参加该计划的美国科学家 Vincent 在得知强祖基用于地震预报成功后,提出了合作研究的计划,建议用卫星定量探测甲烷气体并应用于油气、水合物勘查和环境监测等领域。可以说,自90年代以来,尤其是自1995年在德国召开太空会议以来,越来越多的科学家开始对热红外遥感技术的广阔应用给予高度评价。

近三年来,作者进一步研究了临震前海面增温的机制,并积极将这一新技术应用于海底甲烷水合物和深水油气田的勘查,现已初步取得了一些可喜的成果。迄今,这是世界上首次将卫星热红外遥感新技术应用于海底甲烷水合物勘查的新尝试。

1 卫星热红外遥感的基本原理

卫星热红外遥感是利用卫星热红外传感器对地

球表面的遥感,将地物的红外辐射率以图象的形式记录下来,即红外成像的一种遥感技术。

所有高于0 K(-273.16℃)以上的物体都能发射红外波段电磁波,且其红外辐射能与其表面温度 T 的4次方及辐射率 ϵ 成正比($\omega = \epsilon\sigma T^4$,式中 σ 为斯特潘-玻尔兹曼常数)。吸收太阳辐射能超过0 K的所有物体,具有升高和重新发射能量的趋势。随着物体温度的升高,辐射将增强,波长将变短。所以,一种物体发射的红外光谱曲线能反映它们的温度特征和物体本身的性质(不同的材料具有不同的辐射率)。在相同的介质环境中,如出现不同的温度,可能是因其它物质的混入,使其辐射出更强的热射线。故而基于地物的红外波谱发射程度的不同,就构成了卫星热红外遥感的应用基础(林敏基,1991)。当卫星热红外传感器从空中透过大气层对地物的热红外辐射进行探测扫描时,便可形成卫星热红外遥感图象的记录。虽然图象记录的是地物热辐射能的相对强度,但也是一种极近似的温度分布图。图上不同的颜色和浓淡变化可用于表征不同组成部分温度的差异。

2 临震前卫星热红外图像增温异常的机制

2.1 地球排气与增温效应

研究表明(强祖基等,1990):在 $M_s \geq 3$ 地震前2

注:本文是“863”海洋领域前沿探索课题(820-探-5)的成果。

收稿日期:2000-12-27;改回日期:2001-07-03;责任编辑:章雨旭。

作者简介:卢振权,男,1972年生。1995年于中国地质大学(武汉)获矿产普查专业学士学位,1997年于中国地质大学(北京)获矿床专业硕士学位,2000年于中国地质科学院获地球化学专业博士学位。现在中国地质科学院矿产资源研究所从事天然气水合物等海底资源的勘探与开发研究工作。通讯地址:100037,北京市西城区百万庄路26号;电话:010-68320440;Email:bj-hydrate@263.net。

天至 20 多天里,孕震区及其周围地区可出现几万至 100 多万平方千米、累积增温达 2°C ~十几度摄氏的卫星热红外持续增温异常。这种异常一是时间上具有持续性,往往在连续增温后进入一段平静期,然后再开始发震,二是它们常常沿着断裂构造带向四周成带状、片状展布,在不同断裂构造带的交会部位,这些异常显著增强。与此同时,地表也常出现一些实测的温度异常(徐秀登等,1991)。有意思的是,这种临震前的卫星热红外增温异常与临震前的地表增温异常不仅在出现时间上具有一致性,而且在分布空间上具有相似性。因此,徐秀登等(1991)认为临震前卫星热红外增温异常是地表增温异常的“真实”录照,是临震前地表增温实时地反映于卫星热红外图像上的结果。

另外,大量观测资料和事实表明,临震前地球排气作用、气体异常释放是一种普遍现象(强祖基等,1990)。表 1 列出了一些地震前甲烷气体的异常情况。车用太(1999)在 1998 年 1 月 10 日张北—尚义 6.2 级地震临震前,也监测到地壳不断逸出 CO_2 、 H_2 、 Hg 和 He 等气体。在前苏联、日本等,也见有临震前气体异常或地壳放气现象的报道(强祖基,1998; Sugisaki 等,1996)。

在这些实例中,甲烷、二氧化碳等气体是临震前异常气体的主要成份,而且,在伴随着临震前出现气

体异常的同时,还常出现有卫星热红外增温异常,以及实测的地面增温异常,它们出现的时间往往相互一致(强祖基等,1992)。

徐秀登(1995)、强祖基(1997)研究发现,震前低空大气的大面积增温异常主要是由于临震大地电场异常诱导气体极化,为太阳辐射激发气体增温起促进、催化作用;由于大气中温室气体含量增加而导致因太阳辐射而增温是大气增温异常的原因之一。

应当指出,气体的激发极化效应对临震前的卫星热红外增温贡献最大,如在强震之前可观察到地光现象(强祖基等,1997),地光现象是气体在瞬变地电场作用下激发跃迁而发出的能量;同时,由于岩石的压电效应,在地震前也易观测到低空大气地电场的突变(强祖基等,1992);况且,在许多地震临震前,夜间曾观察到卫星热红外大幅度增温异常,这只能是自然地电场的瞬间变化导致气体激发极化增温。气体的温室效应也应是引起卫星热红外增温的重要因素,且气体在激发极化效应和温室效应的综合作用下,其增温效应会更明显,如气体在太阳辐射下,加之在一定的电场作用下,其增温效果非常明显,增温幅度达 $4.4\sim 6.6^{\circ}\text{C}$ (徐秀登等,1995)。气体的辐照效应可忽略不计,若地震发生在海底,隔着一层厚厚的水体,则这种效应对卫星热红外增温的贡献就更小。

因此,卫星热红外图像增温的异常机制可以这样解释:在临震前,由于受到地壳应力的作用,地球会向外排出气体,并在大地电场或太阳辐照的作用下,这些排出的 CH_4 、 CO_2 等气体受到激发极化效应或温室效应的影响导致地球表面低空大气增温,并印证在卫星热红外图像上呈现亮温异常。

2.2 地球排气与海底油气、天然气水合物的关系

临震前,引起卫星热红外增温,必须有气体异常的出现,这是一个共识。但是,气体究竟来源于地壳何处呢?前苏联于 80 年代在科拉半岛实施的 SG-3 超深钻探揭露,在地下 $0\sim 6\text{km}$ 范围内富含 CH_4 、 H_2 和 He 气体, $6\sim 9\text{km}$ 深度范围内富含 CO_2 、 H_2 和 He 气体,德国于 90 年代在巴拉维亚实施的 KTB 超深钻探揭露,地下 $400\sim 9101\text{m}$ 深度上也富含 CH_4 、 H_2 、 Ar 、 CO_2 等气体(车用太等,1999)。杜乐天(1993)^①还将地球看作是一个“气球”,由地表至地核可划分出五大圈层,其中与地壳有关的有 3 个

表 1 临震前北京地区地面大气甲烷含量($\times 10^{-6}$)
Table 1 The CH_4 contents($\times 10^{-6}$) in the air in Beijing area before earthquake

地震	日期	甲烷含量
1991 年 5 月 30 日唐山地震 $M=5.1$, $\Delta=180\text{km}$	5 月 21 日	2.92
	5 月 29 日	2.36
1991 年 7 月 27 日滦县地震 $M=4.6$, $\Delta=200\text{km}$	7 月 11 日	3.1
	7 月 16 日	9.3
	7 月 19 日	4.5
	7 月 23 日	5.6
1991 年 8 月 10 日河间地震 $M=3.8$, $\Delta=158\text{km}$	7 月 26 日	2.6
	7 月 28 日	4.5
	8 月 2 日	4.43
	8 月 4 日	3.2
1991 年 9 月 2 日渤海地震 $M=4.6$, $\Delta=400\text{km}$	8 月 6 日	3.7
	8 月 8 日	3.9
	8 月 13 日	3.6
	8 月 21 日	3.2
	8 月 31 日	3.65

注:数据源于强祖基等,1992; M 表示震级, Δ 表示震中离北京测站的距离;北京地区平时大气中 CH_4 含量约为 1.7×10^{-6} 。

① 杜乐天. 1993. 地球的五气圈与宏伟的中地壳天然气开发. 见: 中国地质矿产信息研究院主编. 天然气开发新方向. 1~20.

层圈:气圈 I 为大气层;气圈 II 为地表至 6~7km 深度的上地壳层,主要成分为 CO_2 、 N_2 、 H_2S 、 CH_4 、 O_2 、 CO 、烃类、水蒸气、惰性气体(如 He)、Hg 等;气圈 III 为地下 8~10km 以下的中地壳层,主要成分为 CH_4 、 CO_2 、 CO 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 等。在气圈 II 和气圈 III 中,不仅分布着丰富的各式气藏,如油(气)藏、 CO_2 气藏、He 气藏等,而且还分布着巨量的深部来源的气体聚集体。在海底沉积物中,气圈 II 中还有着巨大的天然气水合物藏。

在临震前,各种应力作用(如构造活动)可使得这些圈层气体集中的地方,如油(气)藏、海底天然气水合物藏、地球深部气体聚集体等,很容易受到影响或分解,气体发生漏渗,沿着断裂急剧上升、集中,出现大面积、高浓度的气体异常,以致于在瞬变电场、太阳辐射等作用下,低空大气出现增温,而表现在卫星热红外扫描图像上。

在实践中,强祖基等(1994)通过研究,发现临震前卫星热红外增温异常与陆上油气聚集带有较好的对应关系。

黄福林等(1998)在中国东部和近海区定点、长期、同步对低空大气进行观测,发现在中强地震临震前距震中约 250km 范围内,在已知油气区低空大气中 CH_4 高出平均值 2 倍多的异常及乙烷—丁烷等高浓度的异常,同时伴有 CO_2 异常(高出平均值 2.6 倍),其异常值见表 2。这些异常很可能与深部油

表 2 中国东部海域低层大气中
甲烷等烃类浓度特征

Table 2 The contents of CH_4 and other hydrocarbon
in lower bed of the air upon the surface
of the sea eastern of China

地区	甲烷 平均值	乙烷 平均值	丙烷 平均值	异 丁 烷 最大 值	正 丁 烷 最大 值	正 戊 烷 最大 值	CO_2 平均 值
	($\times 10^{-6}$)						
小麦岛海滨	1.92	0.05	0.04	0.06	0.01		0.080
绥中油田	1.94	0.10	0.10	0.48	0.03		0.557
青岛市南	2.12	0.12	0.027	0.59	0.04		0.261
渤海远景区	2.41	0.05	0.07	0.76	0.20		0.056
东营油田	3.05	0.17	0.09	0.10	0.39	0.15	0.557
浙东浅成气	3.99	0.04	0.03	0.15	0.15		0.373
黄桥 CO_2 气田	4.25	0.08	0.025	0.01			0.567
东海平湖气区	4.52	0.05	0.04	0.01			0.293

注:数据源于黄福林等,1998。

(气)藏的微渗漏有关,从而导致低空大气中甲烷等烃类气体的浓度增高,并在卫星热红外图像上同步出现增温幅度为 1~6℃ 的增温异常。

近三年来,作者在对美国、日本气象卫星所扫描的西太平洋和我国近邻海域热红外图像资料进行长期观察、接收与分析过程中,多次看到:在临震或瞬时构造运动前,沿着琼东南、东沙群岛到台西南一带及东海陆架与陆坡区、冲绳海槽到南海海槽一带常出现亮温异常,增温幅度高达 5~6℃(图版 I-1、2、3)。在多数情况下,该带与已知的含油气盆地、热水盆地、天然气水合物赋存区相一致,如琼东南含油气区、珠江口油气盆地、台西南含油气盆地、东海常规油气赋存区、冲绳海槽热水区、南海海槽天然气水合物富集区等。

因此,利用临震前卫星热红外增温异常,或许就可作为寻找海底常规油(气)藏、天然气水合物藏等的一种重要找矿标志。显然,在茫茫大海中如南海,若能利用临震前卫星热红外增温异常初步确定出与油气或天然气水合物藏相关的有利远景地带是非常有意义的,从而可大大缩小调查的工作量,节省调查的费用。

3 南海的增温异常

在上述思想的指引下,作者重点对南海海域的卫星热红外图像资料进行了长期的观测与研究,多次发现南海在临震前(地震期间或其后,但主要在临震前)出现有大面积的卫星热红外图像亮温异常。现举例如下:

实例一:在 1998 年 12 月 17 日至 28 日期间,南海的卫星热红外图像温度变化非常明显,先是从正常值到局部增温,再从局部增温到大面积的亮温异常。在 12 月 17 日 20 点 55 分(GMT,格林尼治标准时间)到 12 月 18 日 18 点 55 分(GMT)间,南海处于平静期,其卫星热红外图像显示其低空大气温度为正常值,表现为不同水团的真实温度。此间,菲律宾外海出现局部的卫星热红外亮温异常,可能为该处地震诱导所致。

在 12 月 20 日 12 点 56 分(GMT)到 12 月 20 日 18 点 55 分(GMT)期间,卫星热红外图像显示南海局部增温异常,如在南沙海槽—西北巴拉望盆地—东北巴拉望盆地—礼乐滩盆地一带。此间,台湾花莲发生地震,在菲律宾外海出现大面积的卫星热红外亮温异常。

在 12 月 25 日 05 点 55 分(GMT)到 12 月 28 日 05 点 55 分(GMT)期间,南海出现大面积的卫星热红外图像增温异常,特别在莺歌海盆地—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。此间,台湾花莲多次发生地震并放气,在台湾外海和菲律宾外海均出现大面积的卫星热红外图像增温异常。

实例二:在 1999 年 2 月 25 日至 26 日期间,卫星热红外图像显示,南海存在着大面积的增温异常,几乎遍布整个海域。它们主要分布在笔架南盆地、北吕宋海槽盆地、南海中央海盆周缘等。此外,这些卫星热红外亮温异常还广布于台湾外海、菲律宾外海等。

实例三:在 1999 年 9 月 19 日至 10 月 10 日期间,南海的卫星热红外图像温度对比变化明显,先是显示正常的海水温度,后来出现大面积的增温异常。在 1999 年 9 月 19 日 09 点 56 分(GMT)所记录的照片中,除了北部湾盆地、珠江口盆地等出现局部的卫星热红外亮温异常外,南海大部分海域均未出现此种增温异常,倒是日本外海、东海陆架与陆坡区、冲绳海槽等地出现了大面积的卫星热红外亮温异常,可能为局部海底地震诱导所致。在 1999 年 10 月 10 日 05 点 55 分(GMT)所记录的照片中,整个南海几乎都处于卫星热红外亮温异常之中,特别在北吕宋海槽等地方;此外,日本外海、台湾外海、菲律宾外海等也都处于卫星热红外亮温异常之中。

实例四:在 2000 年 1 月 1 日至 1 月 8 日期间,南海的卫星热红外图像温度刚开始时为局部增温异常,如东沙群岛附近的海区、台西南盆地、西吕宋海槽盆地等;后来,南海出现了大面积的卫星热红外增温异常,如除了台西南盆地、西吕宋海槽盆地外,还有西沙海槽盆地、北吕宋海槽盆地、中建盆地等。

经长期观察,这些卫星热红外图像亮温异常总体上具如下特征:

(1)一部分卫星热红外亮温异常常与油气盆地分布相一致,如莺歌海盆地、琼东南盆地、珠江口盆地、台西南盆地、巴拉望盆地等;另一部分卫星热红外亮温异常一直延伸到深水陆坡区,如东沙群岛岛坡区、笔架南盆地、吕宋海槽、西沙海槽、南沙海槽等。

(2)南海卫星热红外亮温异常可分为五个区带(图版 I-1、2、4、5):莺歌海—琼东南—西沙海槽—珠江口—东沙群岛—台西南盆地一带、中沙群岛—笔架南盆地一带、北吕宋海槽—西吕宋海槽盆地一带、南沙海槽—巴拉望盆地一带、中建南盆地一带。在构造上,它们分别与南海北部陆架与陆坡区断裂带(琼粤滨海断裂和北部陆坡南缘断裂)、中沙群岛

—笔架海山构造带、马尼拉海沟断裂带、南沙海槽断裂带、西部陆缘断裂带相对应。其中,莺歌海—琼东南—西沙海槽—珠江口—东沙群岛—台西南盆地一带的卫星热红外增温异常又可细分为两个亚带:莺歌海—琼东南—珠江口—台西南盆地一带和西沙海槽—东沙群岛一带,但两个亚带常交织在一起。

(3)南海海盆扩张中心区很少发现卫星热红外亮温异常,至少没有明显的异常。

4 讨论

天然气水合物是由 CH_4 等直径较小的气体分子和 H_2O 在低温高压下形成的一种固态结晶物质。因能量密度高、分布广、储量丰富,天然气水合物被誉为 21 世纪“化石燃料”的清洁替代能源(吴必豪等,1997;卢振权,1999)。由于其处于一种亚稳状态,当受到地震等构造活动的影响,特别是遇到断裂构造活动或热体活动时,海底沉积物中的天然气水合物在压力降低或温度升高时会发生分解,分解出的 CH_4 等气体沿着断裂构造带向上渗逸至低空大气中,从而使气体中甲烷等浓度异常升高。另一方面,常规油气发生渗漏更是早已被证明了的一种普遍现象。因此,赋存于海底含油气盆地中的碳氢气体或陆坡区的天然气水合物因断裂减压或受热分解的烃类气体沿着构造裂隙不断逸出、上升至海面受到激发,可造成卫星热红外图像上出现增温异常。

在南海浅水区如莺歌海—琼东南—珠江口—台西南盆地一带,卫星热红外增温异常常与常规油气田的分布一致,应是该油气田受到地震的诱发,烃类气体逸出并受激发增温所致。

南海深水陆坡区卫星热红外增温异常则很可能与海底天然气水合物的分解有关。该区域沉积物巨厚,有机碳丰富,既具有像 Cascadia 近海那样的主动大陆边缘,也具有像 Blake 海底高原那样的被动大陆边缘(许东禹等,1997),无论从温压条件、有机质供给来讲,还是从构造因素来考虑,是天然气水合物赋存的有利地带。

事实上,该区域已发现有被认为是指示天然气水合物存在最好标志的模拟海底反射层(Bottom Simulating Reflector—BSR),如广州海洋地质调查局在对以往地球物理资料的复查及在新的地质调查中发现南海北部陆坡西段的南北斜坡区、东沙群岛附近的海域、西沙海槽区等存在有 BSR(张光学等,2000)。在南沙海槽区,德国科学家(Berner 等,1992)也曾发现过 BSR。在东沙附近岛坡,姚伯初

(1998)也认为存在着BSR。Chi等(1998)在台西南盆地东缘也发现有BSR。

作者曾在西沙海槽和东沙群岛附近的海域取得一些浅表层沉积物样品,经酸解烃测试和放射性热释光测量,其高值点均落在卫星热红外增温异常的区带内^①。此外,在1999年2月16日到4月12日在南海实施的ODP184航次钻探中,船上科学家对一些钻孔沉积物进行了顶空气和孔隙水氯离子含量的测量中发现了一些异常现象^②,也显示了此海域可能存在着天然气水合物。

这些深水区的卫星热红外亮温异常与天然气水合物的BSR标志、地球化学异常、放射性异常等分布的一致性表明,引起卫星热红外亮温异常的气体在深水区应是由天然气水合物受到地震的诱发而分解,CH₄气体沿着断裂上升受激发所致。

南海海盆扩张中心被认为现在仍在活动中,这里热流值很高。在地震期间,该扩张中心理应更脆弱,更易活动,以致于深部气体逸出至海面而引起卫星热红外增温异常。而实际上,卫星热红外亮温异常在此处并未出现,表明南海卫星热红外亮温异常可能与深部逸出气体的关系不大,至少关系不明显。

应当指出,这些卫星热红外图像亮温异常都是在地震期间(大部分在临震前)观测到的,如此明显的大面积卫星热红外亮温异常常常发生在夜间,且在隔着一厚层海水的情况下出现,也说明此种卫星热红外亮温异常非水文气象因素所致,应是地震期间地球排气作用(如油气的渗逸、水合物的分解)排出的气体激发增温所致。

5 结论

(1)南海临震前的卫星热红外亮温异常主要是地震等构造活动导致油气渗逸或水合物分解的烃类等气体激发增温所致;在深水区主要为天然气水合物分解所致;在浅水区主要为油气渗漏所致;这种异常与地壳深部逸出的气体关系不大。

(2)水合物的BSR标志、地球化学异常、放射性异常均较好地落在卫星热红外增温异常的区域,表明利用卫星热红外遥感探测天然气水合物的方法是可行的。

(3)西沙海槽区、东沙群岛岛坡区、笔架南盆地、北吕宋海槽区、南沙海槽一带等是天然气水合物赋存的有利地带。

参 考 文 献

车用太,鱼金子,刘五洲. 1999. 地壳放气动态监测与张北—尚义Ms

6.2级地震预报. 地质论评, 45(1):59~65.

黄福林,张训华,夏响华,强祖基,侯常恭,张英凯. 1998. 中国东部和海域低层大气甲烷及其同系物分布. 科学通报, 43(16):1767~1771.

林敏基. 1991. 海洋与海岸带遥感应用. 北京:海洋出版社,1~99.

卢振权. 1999. 天然气水合物开发利用前景浅析. 地球学报, 20(增刊):599~605.

强祖基,徐秀登,侯常恭. 1990. 卫星热红外异常——临震前兆. 科学通报, 35(17):1324~1327.

强祖基,孔令昌,王弋平,李秋珍. 1992. 地球放气、热红外异常与地震活动. 科学通报, 37(24):2259~2262.

强祖基,侯常恭,黄福林,赵勇. 1994. 寻找油气富集带的遥感找矿新方法——卫星热红外探测技术. 科学通报, 39(18):1725~1726.

强祖基,侯常恭,赵勇,郭满红. 1995. 瞬时地壳运动与地震短临预报. 地学前缘, 2(1~2):213~224.

强祖基,孔令昌,郭满红,王弋平,郑兰哲,侯常恭,赵勇. 1997. 卫星热红外增温机制的实验研究. 地震学报, 19(2):197~201.

强祖基,侯常恭,李玲芝,徐昊,戈凤沙,赵勇,郭满红. 1998. 卫星热红外图像亮温异常——短临震兆. 中国科学(D辑), 28(6):564~573.

吴必豪,刘玉山,马开义. 1997. 气体水合物——21世纪的新型能源矿产. 见:中国地质科学院矿床地质研究所刊. 北京:原子能出版社,138~142.

徐秀登,强祖基,侯常恭. 1991. 临震卫星热红外异常与地面增温异常. 科学通报, 36(4):291~294.

徐秀登,徐向民,马升灯,骆高远. 1995. 临震大气增温异常成因的初步认识. 地震学报, 17(1):123~127.

许东禹,刘锡清,张训华,等. 1997. 中国近海地质. 北京:地质出版社, 56~258.

姚伯初. 1998. 南海北部陆缘天然气水合物初探. 海洋地质与第四纪地质, 18(4):11~18.

张光学,文鹏飞. 2000. 南海甲烷水合物的地震特征研究. 见:首届广东青年科学家论坛论文集. 北京:中国科学技术出版社.

References

Berner U, Faber E. 1992. Hydrocarbon gases in surface sediments of the South China Sea. In: Jin X H, Kudrass R, Pautot G. eds. Marine geology and geophysics of the South China Sea. Beijing: Ocean Press, 199~211.

Che Yongtai, Yu Jinzi, Liu Wuzhou. 1999. Dynamic monitoring of degassing of the crust and prediction of the Zhangbei-Shangyi earthquake of magnitude 6.2. Geological Review, 45(1): 59~65 (in Chinese with English abstract).

Chi W C, Donald L R, Liu C S. 1998. Distribution of the bottom-simulating reflector in the offshore Taiwan collision zone, TAO. 9 (4): 779~794.

Huang Fulin, Zhang Xunhua, Xia Xianghua, Qiang Zuji, Dian Chang-gong, Zhang Yinkai. 1998. Distribution of methane and its series at the lower atmosphere in the east of China and in the coastal seas. Chinese Science Bulletin, 43 (16): 1767 ~ 1771 (in

① 卢振权. 博士学位论文:南海天然气水合物非常规物化探方法找矿的初步研究,中国地质科学院研究生部,2000.

② 吴必豪等.“海底气体水合物资源探查的关键技术”项目报告,中国地质科学院矿产资源研究所,2000.

- Chinese).
- Lin Minji. 1991. Application of the remote sensing in the oceanic and coastal zones. Beijing: Ocean Press, 1~99(in Chinese).
- Lu Zhenquan. 1999. Analysis on the perspective of the application and development of gas hydrate. ACTA Geoscientia Sinica, 20(Sup.):599~605(in Chinese with English abstract).
- Qiang Zuji, Xu Xiudeng, Dian Changgong. 1990. Satellite thermal infrared anomaly—earthquake cursor in advance and in short-term. Chinese Science Bulletin, 35(17):1324~1327(in Chinese).
- Qiang Zuji, Dian Changgong, Huang Fulin, Zhao Yong. 1994. New remote sensing method on prospecting for oil(gas) accumulation zone—satellite thermal infrared sensing technology. Chinese Science Bulletin, 39(18):1725~1726(in Chinese).
- Qiang Zuji, Dian Changgong, Zhao Yong, Guo Manhong. 1995. Instantaneous crust movement and earthquake prediction in advance and in short-term. Earth Science Frontiers(China University of Geosciences, Beijing), 2(1~2):213~224(in Chinese with English abstract).
- Qiang Zuji, Kong Lingchang, Wang Yiping, Li Qiuzhen. 1992. Degassing of the Earth, thermal infrared anomaly and earthquake activity. Chinese Science Bulletin, 37(24):2259~2262(in Chinese).
- Qiang Zuji, Kong Lingchang, Guo Manhong, Wang Yiping, Zheng Lanzhe, Dian Changgong, Zhao Yong. 1997. Experimental research on mechanism of the increased temperature of satellite thermal infrared anomaly. ACTA Seismologica Sinica, 19(2):197~201(in Chinese with English abstract).
- Qiang Zuji, Dian Changgong, Li Lingzhi, Xu Hao, Ge Fengsha, Zhao Yong, Guo Manhong. 1998. Satellite thermal infrared anomaly—earthquake prediction in advance and in short-term. Science in China(Series D), 28(6):564~573(in Chinese).
- Sugisaki R, Ito T, Nagamine K, Kawabe I. 1996. Gas geochemical changes at mineral springs associated with the 1995 southern Hyogo earthquake ($M = 7.2$), Japan. Earth and Planetary Science Letters, 139:239~249.
- Vincent R K. 1995. Flying Falcon: Multispectral Thermal IR Geological Imaging Experiment, Remote Sensing for Oil Exploration and Environment. In: Proceedings of the Space Congress, European Space Report, Germany, 139~146.
- Wu Bihao, Liu Yushan, Ma Kaiyi. 1997. Gas hydrate—21st new energy resources. In: Bulletin of the Institute of Mineral Deposits. Beijing: Atomic Energy Publishing House, 138~142.
- Xu Xiudeng, Qiang Zuji, Dian Changgong. 1991. Satellite thermal infrared anomaly in short-term and increased temperature on the ground. Chinese Science Bulletin, 36(4):291~294(in Chinese).
- Xu Xiudeng, Xu Xiangmin, Ma Shengdeng, Luo Gaoyuan. 1995. Preliminary knowledge on origin of the increased temperature anomaly before earthquake. ACTA Seismologica Sinica, 17(1):123~127(in Chinese with English abstract).
- Xu Dongyu, Liu Xiqing, Zhang Xunhua et al. 1997. Geology Offshore China. Beijing: Geological Publishing House, 56~258(in Chinese).
- Yao Bochu. 1998. Preliminary exploration of gas hydrate in the north margin of the South China Sea. Marine Geology and Quaternary Geology, 18(4):11~18(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guangxue, Wen Pengfei. 2000. Research on the seismic characteristics of gas hydrate in the South China Sea. In: Collections of First Guangdong Youthful Scientists' Forum, Beijing: China Science & Technology Publishing House(in Chinese).

图 版 说 明

不同的颜色代表着不同的温度色标:紫红色为 25℃,黑褐色(深褐色)为 21℃,红褐色为 17~18℃,浅褐色为 14℃,蓝色为 11℃,绿色为 0℃。

1. 摄于 1999 年 12 月 25 日 5 时 54 分(GMT)。该卫星热红外亮温异常呈带状展布于莺歌海、珠江口至台西南油气盆地一带。
2. 摄于 2000 年 1 月 1 日 12 时 57 分(GMT)。该卫星热红外亮温异常孤立分布于台西南盆地一带、吕宋海槽一带等。
3. 摄于 1992 年 4 月 16 日 14 时 12 分(GMT)。该卫星热红外亮温异常从台湾西南部经台湾海峡,一直延布于东海陆坡与冲绳海槽区,与台西南油气盆地、冲绳海槽热水区等的分布相一致。
4. 摄于 2000 年 1 月 8 日 2 时 55 分(GMT)。该卫星热红外亮温异常呈片状分布于西沙海槽至西部陆坡(架)区等。
5. 摄于 1999 年 9 月 19 日 9 时 56 分(GMT)。该卫星热红外亮温异常主要分布于南沙海域至礼乐盆地一带等。

Exploring Gas Hydrates by Satellite-based Thermal Infrared Remote Sensing in the South China Sea

LU Zhenquan¹⁾, QIANG Zuji²⁾, WU Bihao¹⁾

1) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

2) Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing, 100029

Abstract

The gas hydrate is considered a clean optional energy for "fossil fuels" in the 21 Century, which is of great importance for humans on the Earth. The South China Sea is the potential area for the occurrence of gas hydrates. This study applies satellite-based thermal infrared remote sensing (STIRS) to prospecting for gas hydrates in the South China Sea for the first time, which proves to be effective.

This paper analyses the mechanism of high temperature shown in STIRS images. The relationship between

the high temperature and the occurrence of conventional oil (gas) reserves and gas hydrates is also discussed. It is pointed out that the high temperature is caused by the seepage of gases such as CH_4 and CO_2 from conventional oil gas fields in shallow water and by that from marine gas hydrates in deep water, but is almost not related to gases from the deep crust. The areas of high temperature shown in the STIRS images are mainly distributed in the Xisha trough, Dongsha Island slopes, Bijianan basin and Nanaha trough of the South China Sea, showing potentials for gas hydrates to grow. In these areas, there exist some other known indicators, such as BSR and geochemical and radioactive anomalies, for gas hydrates to occur. Therefore, in the South China Sea, the high temperature shown in the STIRS images before earthquakes can give an indirect evidence for the existence of marine gas hydrates in deep water.

Key words: satellite-based thermal infrared remote sensing; the South China Sea; gas hydrates

~~~~~

