

卫星遥感与船测黄海和渤海海面 温度场的比较*

彭承基 R. L. Bernstein

(山东海洋学院, 青岛) (斯克里普斯海洋研究所, 美国)

提要 本文将通过将1979, 1980两年3—5月份由TIROS-N及NOAA-6所获得的黄海和渤海表面温度图与同时期的船测温度图比较, 不仅阐明了卫星红外遥感海面温度模式的可靠性, 而且论证了船测等温线图的局限性, 并提出由卫星-浮标(或船)联合, 同时进行了大面积测量浅海地区海面温度场的方法。

常规的海洋温度测量是由船进行的。船测温度的精度较高, 但由于船速的限制, 完成一个海域的测量需数日至十数日。各测站的测值显然不是同时的。由这些非同时的测量值所绘制成的等温线分布, 是否能代表海域的真实情况? 特别是对那些水温变化比较复杂的海域, 问题就显得更为突出。

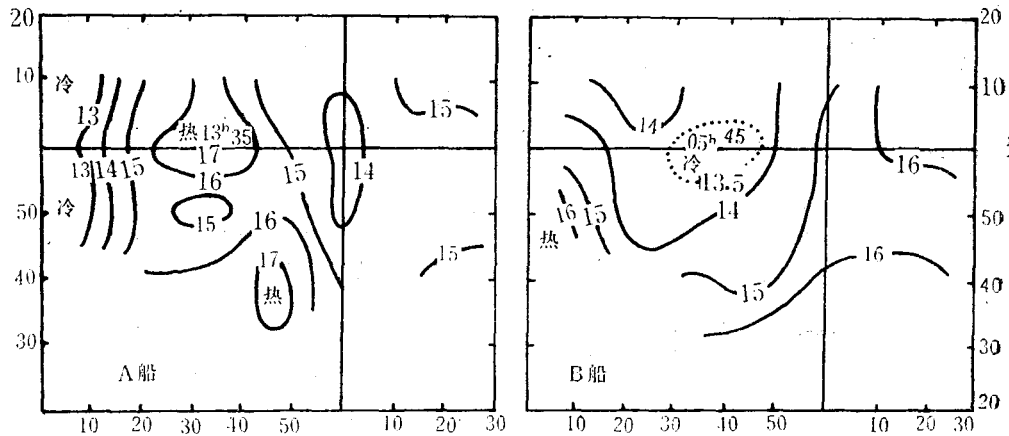


图1 两船对照表层水温分布图(引自参考文献[1])

黄海和渤海地处太平洋西部边缘, 三面环陆, 为典型的陆架浅海, 又多人海径流, 其水温强烈地受大陆气候与陆地水文特征的影响, 变化复杂。特别是表层水温, 除有较大的逐日变化及周日变化外, 还有一些临时因素(如风暴)引起的变化。一日中表层水温的最大变差可达 11.9°C ^[1]。在这样的海区, 由少量船只逐站测量而绘制成的表层等温线, 其代表

* 本文工作得到美国斯克里普斯海洋研究所所长 Dr. W. A. Nierenberg 的支持, 在收集船测资料时得到水产科学研究院黄海水产研究所邱道立、高言昌、周诗贵等同志的帮助, 在此表示感谢。

收稿日期: 1984年3月3日。

性是值得怀疑的。正如有名的“双船”实验^[1]所显示的。图1中A与B是由两条船在同一海区,同时沿相反航线测得的两张面目全非的海面温度图。

虽然船测等温线可能受到不同程度的畸变,困难的是,如果不能在大面积范围内真正“同时”地进行测量,实际上就不可能得到无畸变的温度模式,因而也就无法判定船测等温线是否有所畸变。

卫星遥感技术有可能“同时”或“准同时”(即在整個测量阶段,测量对象的变化可以忽略不计)地测量大面积海区的海面温度。这里所说的海面温度,实际上是海表面约几十微米厚的“皮层”辐射温度。它与通常所说的船测海面温度虽然不是一回事,但两者的差别不会很大,从现有的文献来看大约在 0.5°C 以内^[3]。而由于遥感测量的同步性好,它可能会给我们提供更接近于真实的整个海域的海面温度模式。本文将TIROS-N及NOAA-6卫星的海面温度(SST)图象与同时期的船测等温线比较,不仅阐明了卫星红外遥感探测结果的可靠性,也论证了船测等温线图的局限性。最后提出一种卫星-浮标(或船)结合的办法,以解决浅海海面温度图的日常测量问题。

船测资料

我们选择3—5月这个季风由北转南,水温由稳定到急剧上升的期间进行研究。

船测资料来源于南起 35°N ,东至 124.5°E 共90个测站。图2与图3分别为1979年、1980年船测海面温度图。我们还分别于黄海北部、中部及南部选定3个测站(A, B, C)。根据这3个测站的资料,以求对黄海和渤海水温变化的一般特点有一个概括的了解。

从图4可看出3个测站温度随深度的变化。3,4月份上、下水层温度基本均匀,5月份表层水温显著升高,而且越往北(水越浅),表层与深层温差越大。

从(图5)3个测站水温的年变化可以看出:2,3月份水温比较稳定;4月份开始较快上升;6,7月份上升最快;8,9月份又趋稳定。这与大连-成山角1928—1937年平均表层水温的年变化曲线相符^[1]。

赫崇本等认为升温期间表层水温的周日变化也大^[1]。由此可见,从3月到5月,表层水温的逐日变化与周日变化都逐渐增大。这可以说是整个黄海和渤海区表层水温变化的

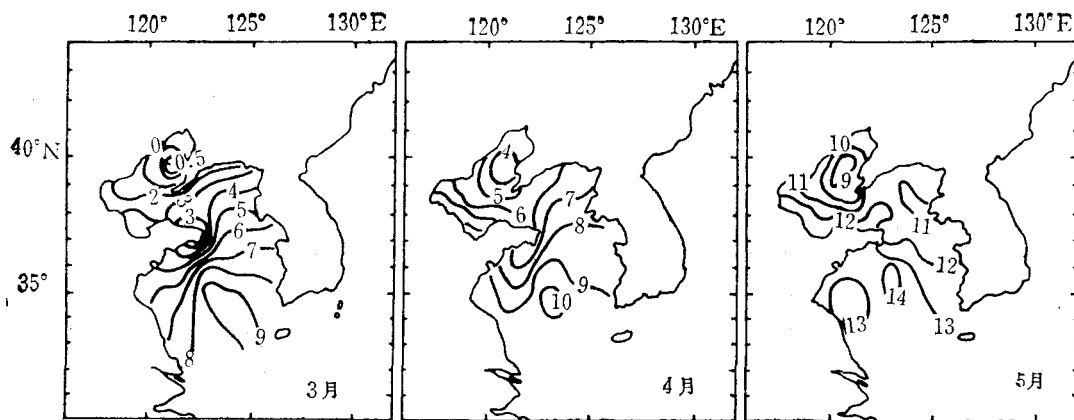


图2 1979年船测海面等温线图

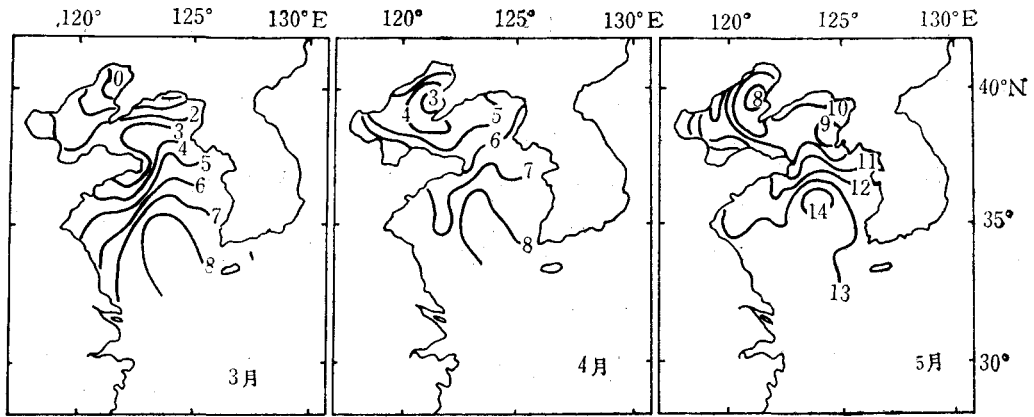


图3 1980年船测海面等温线图

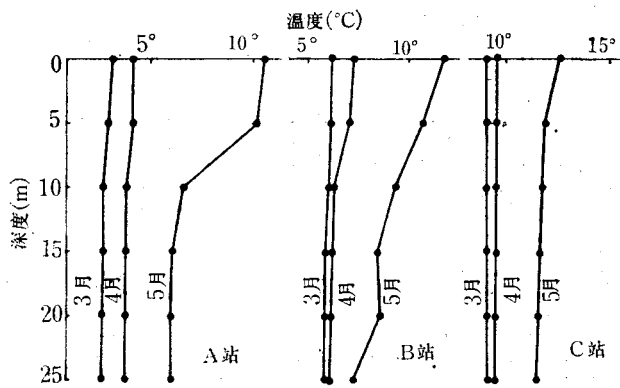


图4 3个测站温度随深度的变化

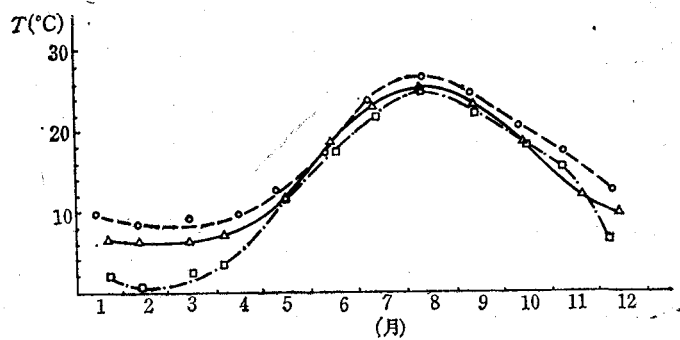


图5 3个测站表层温度的年变化

共同特点。因而从3月到5月,船测海表面等温线图的畸变也是逐渐增大的。

船测每月进行一次,每次需时1—2周不等。为减少水温逐日变化的影响,在绘制等温线时,将所测资料用线性插值法统一换算到当月船测资料最多的一天。等温线是由计算机绘制的,最后通过图象处理叠合到 AVHRR 的温度图象上进行比较。

AVHRR¹⁾ 遥感资料

本文使用的 AVHRR 数字图象资料分别来自 TIROS-N (1979 年) 和 NOAA-6 (1980 年) 太阳同步近极地轨道卫星。TIROS-N 每次飞过黄海上空均在北京时间 1 点及 13 点左右, NOAA-6 则在 7 点及 19 点左右。轨道高度约 800 km。详见文献[8]。

AVHRR 是一组 4 谱段(从 NOAA-7 开始,为 5 谱段)的扫描成像辐射计,其空间分辨率为 1.1×1.1 km (星下点)。各谱段的波长范围如下(单位: μm):

	TIROS-N	NOAA-6
谱段 1	0.55—0.9	0.58—0.68
谱段 2	0.725—1.1	0.725—1.1
谱段 3	3.55—3.93	3.55—3.93
谱段 4	10.5—11.5	10.5—11.5

谱段 1, 2 位于可见光及近红外波段,用以测量太阳光反照率,以百分率表示,精度约为 0.1%。传感器的定标是在仪器升空前由试验确定的。反射最强的云顶的反照率可达 40% 以上。而无云的海面其反照率只有 1—2% 左右。故谱段 1, 2 的测量结果可用来识别“云”(只限于白昼)。谱段 3, 4 位于热红外波段,均在大气窗口附近。

若干研究人员的工作说明^{2-4,6,7)},如果将谱段 3 与谱段 4 联合起来使用,利用在这两谱段上水汽的透射率的不同,可以相当好地消除大气中水汽的影响,更精确地确定海表面温度。

谱段 3, 4 传感器的校正定标是在星体上实时进行的:每次对地面扫描之前,传感器先对准黑暗的太空(辐射温度为绝对零度)取样,以确定传感器零点。而在每次对地面扫描结束时,传感器又扫过星体上保持恒温 (288°K) 的绝对黑体靶,从而确定传感器的标度⁵⁾。据此即可将对地面扫描结果(辐射能量)转换成辐射温度(海面的发射率在波长 $10-12 \mu\text{m}$ 处约为 0.99 左右,可作为绝对黑体看待)。所有 4 个谱段的测量结果(包括温度定标数据)均被数字化为 10 bit (1024 级)的记录,通过 HRPT⁶⁾²⁾ 传送到地面接收站。本文使用的资料均系美国 National Climatic Center, World Weather Building, Washington D. C. 提供的 GAC 数字图象磁带。图象的地理位置校正是根据每天由 U. S. Naval Space Surveillance System 提供的卫星轨道参数进行的。校正精度约数千米。

利用 3, 4 谱段测量海面温度时,传感器本身的等效噪声偏差温度为 0.12°K ⁵⁾。测量海面温度时的主要误差,一是由于大气中不同的水汽含量造成的,二是由于那些面积小于一个象素的云(因而难以识别)造成的。前者可以利用 3, 4 谱段联合处理部分地加以消除,对于后者,目前尚无好的办法。至于有云覆盖的海面,由于海面信息完全被淹没,只有将其舍弃。

我们研究了 TIROS-N 1979 年 3—5 月及 NOAA-6 1980 年 3—5 月中 AVHRR 在黄海和渤海海域的全部图象。除了根据原始图象中的定标参数分别将原始图象转换成太阳光反照率(1, 2 谱段)和海面温度(3, 4 谱段)图象并进行地理位置几何校正外,主要还

1) Advanced Very High Resolution Radiometer.

2) High Resolution Picture Transmission, 中心频率 1698.0 MHz.

进行了以下的处理:

利用云具有高反照率、低辐射温度的特点,将 2 谱段和 4 谱段图象联合进行判别分类,区别有云与无云覆盖的海面,只有在无云覆盖的海面,遥感结果才可能是正确的;利用海岸线的已知经纬度对图象作进一步的几何校正,同时将图上的陆地、岛屿勾划出来,以单独对无云海面进行处理,扩展其动态范围;对无云海区进行图象增强及假彩色变换,最后得到用不同颜色表示不同温度的海面温度图象,两种颜色交界即为等温度线;将根据船测资料绘成的等温线图利用图象处理技术,叠合在 AVHRR 海面温度图上进行比较,同时标绘出经纬度线。

需要说明的是,由于所用 GAC 图象中 3 谱段图象有很强的噪声干扰(可能是在卫星上贮存和发送过程中产生的),因而无法采用 3,4 谱段联合处理以消去大气影响。即我们这里显示的图象都是未经任何大气校正的,可以说是 AVHRR 的原始图象(对温度测量而言)。这也可免去由于对图象作过任何人为的“加工”而招致对结果的任何怀疑。

结果分析与讨论

图版 I 的 A, B 分别是 1979 年 3 月 16 日 TIROS-N 和 1980 年 3 月 17 日 NOAA-6 的 AVHRR 4 谱段温度彩色图片。海面温度可由图中的颜色按图下方的彩色阶标读出。两种不同颜色的分界线就是海面等温线。图中黑色曲线为同年 3 月中旬船测等温线,从线上的数字表示的温度值($^{\circ}\text{C}$)可以看出, AVHRR 的海面温度图与船测等温线的符合是很好的(靠近朝鲜半岛处除外,因为船测资料只覆盖到 124.5°E)。特别是图版 I: A, AVHRR 的温度值与船测值相差大约在 0.5°C 左右;这可能是卫星遥测海面温度的最好结果了^[1]。

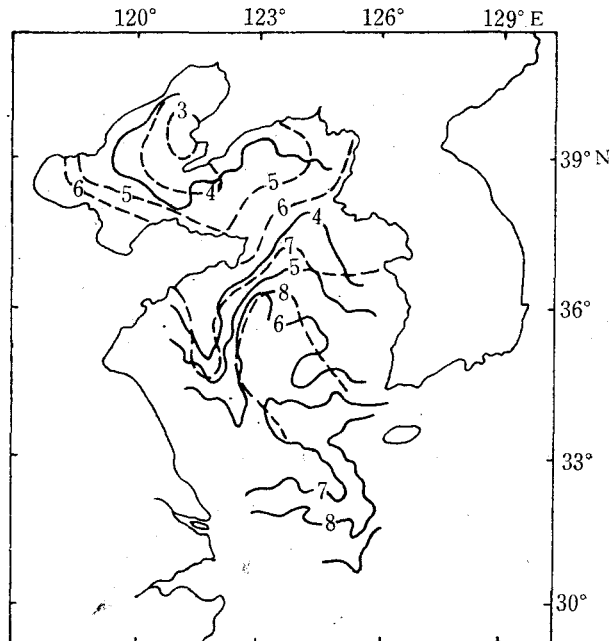


图 6 根据 1980 年 4 月 16 日 AVHRR 温度图象画出的等温线(实线)与船测等温线(虚线)的比较

图版 I:B 同样显示了 AVHRR 等温线与船测等温线在形状上极好地符合。但在温度数值上两者有较大差异, 大约在 1.5°C 左右。这是因为 NOAA-6 与 TIROS-N 不同, 是在北京时间清晨 7 点左右飞过黄海上空, 而此时海面上可能有雾 (其温度约低于水温 1°C 左右) 的缘故。仔细检查谱段 1 与 2 的图象, 发现海面上反照率普遍略有提高, 这可能是存在着弥漫全海区的薄雾的反映。

1979, 1980 连续两年 3 月份 AVHRR 温度图与船测结果很好地符合, 不是偶然的巧合。这说明两者都正确地反映了海面温度场的真实情况。注意到黄海和渤海区 3 月份水温上下均匀、稳定, 因而逐日变化、周日变化及由于风浪搅动而引起表层水温的临时性变化均为最小。上述结果一方面说明了这一时期中船测等温线是完全可以信赖的, 另一方面也证明了 AVHRR 的海面温度图象是正确的。

4, 5 月份情况就不同了。图 6 是根据 1980 年 4 月 16 日的 AVHRR 温度图象画出的等温线与 4 月中旬船测等温线 (以虚线表示) 的比较。图 7 是根据 1979 年 5 月 22 日 AVHRR 温度图象画出的等温线与 5 月中旬船测等温线 (虚线) 的比较。

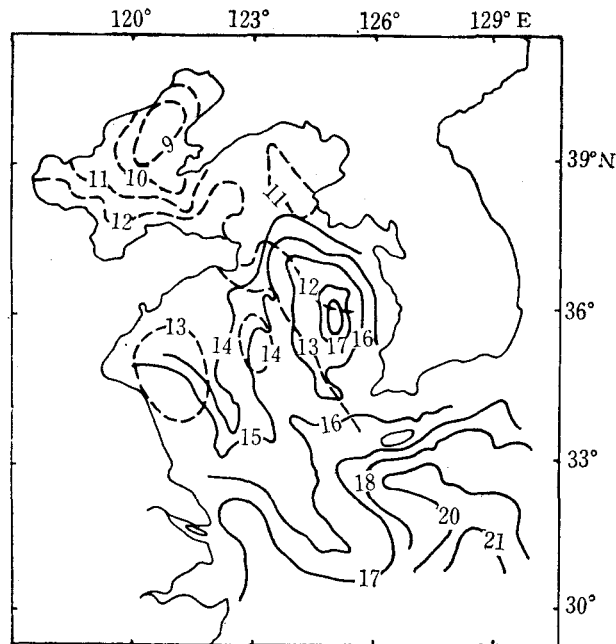


图 7 根据 1979 年 5 月 22 日 AVHRR 温度图象画出的等温线 (实线) 与船测等温线 (虚线) 的比较

由图 6 可以看出, 两组等温线虽有较大差别, 但基本特点是相同的。而图 7 则显示出两者完全不同。对于卫星遥感, 4, 5 月与 3 月并无原则差别。而船测情况就不同了, 从 4 月开始, 船测等温线受到越来越大的畸变, 到 5 月份, 船测等温线已完全不能反映实际的温度场模式了。

上述结果表明, 除了在 2, 3 月份 (大概 8, 9 月份也同样) 表层水温相对稳定时期, 船测海表面等温线是可信赖的外, 在一年的其他时期, 船测海表面等温线均会受到程度不同的畸变, 严重时完全失去了参考价值。这就提出了一个问题: 在浅海区如何准确测定海

面温度场? 单纯依靠卫星遥感也有一定困难。除了非常好的天气外, 大气校正是必须的。为了更好地进行校正, 一种可行的方法是将卫星遥感技术与定点实测相结合。在我们感兴趣的海域布置若干定点浮标, 也可使用少量船只进行测量, 利用这些实测值进行大气校正, 进而由卫星遥感结果求出该海域的海面温度分布。

以上讨论只限于海表面温度场, 至于海面以下的温度, 也存在类似的问题, 但目前遥感对于海面以下温度的测量还无能为力, 尚有待进一步研究和探讨。

参 考 文 献

- [1] 赫崇本、任允武, 1959. 浅海水文调查的一些问题。海洋与湖沼 2 (1): 1—10。
- [2] Anding, D. and R. Kauth, 1970. Estimation of sea surface temperature from space. *Remote Sens. Environ.* 1: 217—220.
- [3] Bernstein, R. L., 1982. Sea surface temperature estimation using the NOAA-6 satellite Advanced Very High Resolution Radiometer. *J. Geophys. Res.* 87(C12): 9455—9465.
- [4] Deschamps, P. Y. and T. Phulphim, 1980. Atmospheric correction of infrared measurements of sea surface temperature using channels at 3.7, 11, and 12 μm . *Boundary Layer Meteorol.* 18: 131—143.
- [5] Lauritson, L. and G. J. Nelson, 1979. Data Extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA radiometers, NOAA Tech. Memo. NESS 107, U. S. Dep. of Commerce, Washington, D. C., pp. 40—46.
- [6] McClain, E. P., 1981. Multiple atmospheric-window techniques for satellite sea surface temperature. *In Oceanography From Space* (edited by J. L. R. Gower Plenum), New York, pp. 73—85.
- [7] Prabhakara, C., G. Dalu and V. G. Kundu, 1974. Estimation of sea surface temperature from remote sensing in the 11—13 μm window. *J. Geophys. Res.* 79: 5039—5044.
- [8] Schwalb, A., 1978. The TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series. NOAA Tech. Memo. NESS 95, U. S. Dep. of Commerce, Washington, D. C., pp. 1—20.

A STUDY ON COMPARING SEA SURFACE TEMPERATURE PATTERNS FROM SATELLITE WITH THAT FROM SHIP DATA IN THE HUANGHAI AND BOHAI SEAS

Peng Chengji

and

R. L. Bernstein

(Shandong College of Oceanology, Qingdao)

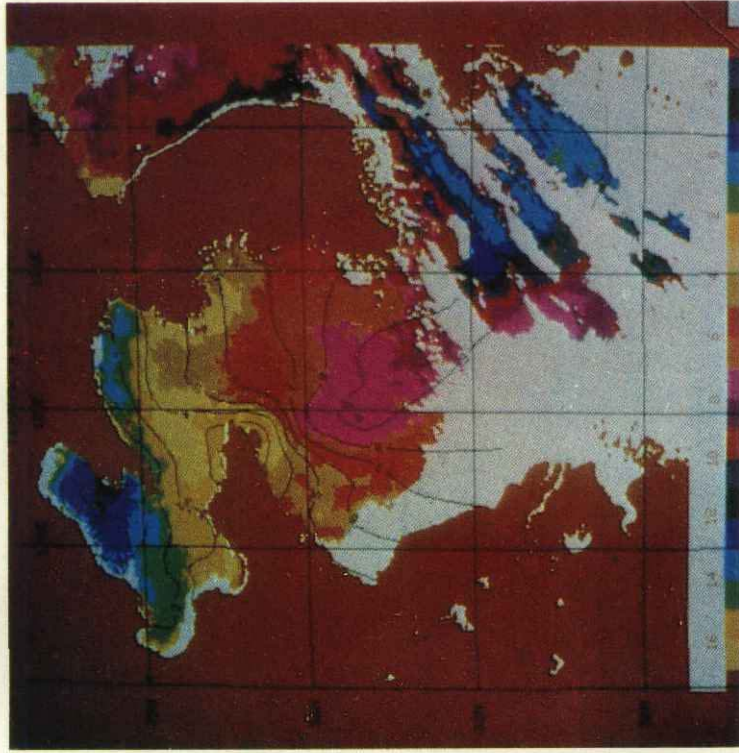
(Scripps Institution of Oceanography, U. S. A.)

ABSTRACT

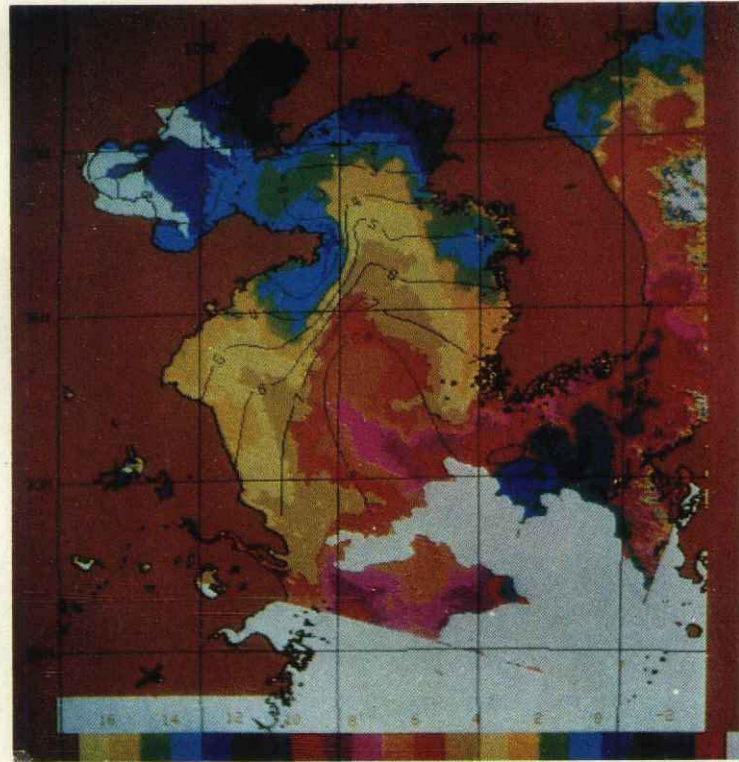
The Huanghai Sea (Yellow Sea) and the Bohai Sea are very shallow waters and partly enclosed by continent. In this area variations in waters temperature, especially surface temperature, are so complicated that the isotherms of surface temperature from ship data are not synoptic.

In this paper the SST patterns from AVHRR are compared with that from ship data, and it is found that generally in the periods of rather stable surface temperature, like in February and March, possibly in August and September too, the isotherms from ship data are reliable practically, otherwise will be distorted, especially when surface temperature rises up or falls down rapidly.

A feasible method of combining satellite with buoy or ship is proposed to obtain real synoptic SST patterns.



a



b

- a. 1979年3月16日 AVHRR 海表面温度与同年3月中旬船测等等温线的比较;
- b. 1980年3月17日 AVHRR 海表面温度与同年3月中旬船测等等温线的比较。