

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01J 5/00 (2006.01)
G01C 21/24 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910050312.2

[43] 公开日 2009年10月7日

[11] 公开号 CN 101551275A

[22] 申请日 2009.4.30
[21] 申请号 200910050312.2
[71] 申请人 上海航遥信息技术有限公司
地址 200083 上海市玉田路500号1号楼207-209室
共同申请人 中国科学院上海技术物理研究所
[72] 发明人 舒 嵘 杨 军 谢 锋 王 伟

[74] 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司
代理人 郭 英

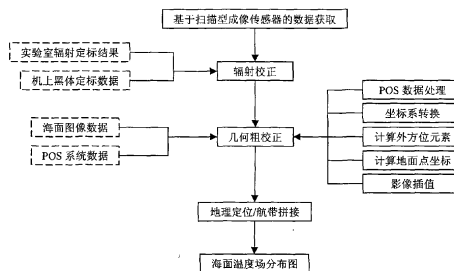
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

[54] 发明名称

机载多光谱扫描仪用于工业温排水监测的技术方法

[57] 摘要

本发明公开了一种机载多光谱扫描仪用于工业温排水监测的技术方法，它是利用扫描型机载遥感影像数据和同步测量 DGPS/IMU (又称为 POS 系统) 组合导航数据量化监测沿海工业基地温排水的方法。本发明集成应用 POS 系统数据、实验室辐射定标数据、机上高低温黑体数据，海面遥感影像数据，完成辐射校正、几何校正、航带拼接和制图，有效发挥了航空遥感技术的高分辨率和高精度潜力，能够监测温排水根据潮汐变化的扩散规律。本发明的技术应用对于核电等电力企业及沿海工业基地的规划和发展具有重要意义。



1、一种机载多光谱扫描仪用于工业温排水监测的技术方法，其特征在于它包括下列步骤：

(1) 获取扫描型机载传感器影像和 DGPS/IMU 组合导航数据；

(2) 结合实验室辐射定标结果利用高低温黑体辐射源测量数据进行辐射校正；

(3) 提取与影像数据行对应的位置和姿态数据，根据由 POS 系统的导航角，计算像空间坐标系到地面坐标系的旋转矩阵 $MIMatrix$ ：

$$MIMatrix = MEMatrix \times EGMatrix \times GIMatrix \times ICMatrix \times CIMatrix.$$

其中， $CIMatrix$ 为像空间坐标系旋转到传感器坐标系的旋转矩阵， $ICMatrix$ 为传感器坐标系旋转到 IMU 坐标系的旋转矩阵， $GIMatrix$ 为 IMU 坐标系旋转到局部地理坐标系的旋转矩阵， $EGMatrix$ 为局部地理坐标系旋转到地心坐标系的旋转矩阵， $MEMatrix$ 为地心坐标系旋转到地面坐标系的旋转矩阵；

(4) 根据扫描型传感器影像中心的共线方程进行几何粗纠正，得到地面点坐标，共线方程式为：

$$\begin{pmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{pmatrix} = \lambda \times M \times \begin{pmatrix} f \times \sin \theta \\ 0 \\ -f \times \cos \theta \end{pmatrix}$$

其中， (X_s, Y_s, Z_s) 是投影中心在地面坐标系中的坐标， λ 为摄影比例尺， θ 为主光轴方向与像点摄影方向的夹角， $f \sin \theta, 0, -f \cos \theta$ 是像点的像空间坐标， M 为像空间坐标系到地面坐标系的旋转矩阵，对于扫描型传感器 $y=0$ ， (X, Y, Z) 是像点对应的地面点坐标；

(5) 采用直接插值法进行灰度重采样，得到粗纠正后的影像；

(6) 基于地面点坐标的影像拼接；

(7) 用海面实测温度对校正后数据进行标定, 以外围均匀海温为本底, 根据随潮汐变化的规律, 以温度升高 0.5 度为区间制作温度场分布图。

机载多光谱扫描仪用于工业温排水监测的技术方法

技术领域

本发明涉及热电厂、核电站等沿海工业基地运行过程中排放冷却水的空间分布信息的自动获取与分析技术领域，特别是基于实现航空图像、实验室辐射定标结果、机上黑体定标数据、POS 系统数据等多元数据集成的高分辨率遥感技术进行温排水量化监测方法，并应用于工程方案的选址及环境保护措施的制定。

背景技术

我国能源消费量居世界第二位，能源问题更加严峻。核动力也将再次成为化石燃料强有力的替代能源，未来 3 年内中国将开建 9 个核电站，16 台核机组，装机容量在 1000 万千瓦以上，这意味着未来 3 年的核电建设总量将超过过去 23 年的总和。电力企业运行需要大量的冷却水，同时也要排放大量的温排水，势必对工业基地附近海域温度场造成影响，不同季节、不同潮汐状况下影响情况不同。这种变化反过来也可能影响电力企业的运行。这些都需要客观真实的海面温度场数据来说明。

当前，卫星遥感技术在我国水环境监测中发挥极其重要的作用，但是受空间分辨率和重访周期的制约对于电力企业温排水的定量化监测分析难以有效进行。而航空遥感技术要满足这种应用需求，还需要解决成图质量和测量精度、稳定性方面的问题，而且要尽可能提高作业效率。因此，需要研究针对温排水监测的扫描型遥感成像数据处理方法。

发明内容

本发明的目的是，针对现有的温排水监测技术和方法中存在的缺陷或不足，提供一种新的高分辨率的温排水遥感定量化监测技术方法，并用于取排水口工程方案的选址及环保措施的制定。该发明能实现温排水的识别、信息提取与量化分析，对温排水给附近海域造成的影响程度、范围以及是否降低电力企业冷却水循环效率等进行评估。

为了实现上述任务，本发明采用以下技术措施：

一种工业温排水的高分辨率遥感量化监测技术方法。其特征在于：通过实验室试验测试标定传感器黑体源，基于机上高低温黑体进行遥感数据的辐射校正，利用 POS 系统数据，构建扫描型遥感成像的几何粗校正模型，进行图像几何畸变纠正、定位和航带拼接，以现场实测水温标定校正后的影像，根据能够反映潮汐变化规律温度升高 0.5 度为区间，从而实现一种工业温排水高分辨率遥感监测方法。

本技术方法包含下列步骤：

- 1) 制定飞行计划，获取监测区的遥感数据。
- 2) 热红外通道传感器的机上定标，采用内部温度参考源法，热传感器附有内部温度参考源，采用在旋转扫描镜角视场的两侧放置两个黑体辐射源的形式，这两个黑体辐射源的温度被精确控制，并设置为地面监测目标的“最冷”与“最热”，对于每一条扫描线，扫描器先记录冷参考源的辐射温度，然后扫描地面，最后记录热参考源的辐射温度，所有的信号均记录下来，两个温度源也随图像数据记录，用来推算整幅热图像的辐射温度，也可由一个绝对辐射值作参考与其他热扫描仪输出值比对。转换公式基于这样一个假设，即普朗克函数在一定温度范围内近似为线性的。通过实验室辐射定标确定机上定标黑体的辐射亮度与亮温的转换关系。

3) 相对卫星平台, 航空平台受到气流影响较大, 姿态(侧滚角, 俯仰角和偏转角)变化剧烈; 此外, 飞机自身状态(如飞行速度变化、航高变化、航偏)以及摆扫式的工作模式等影响, 导致机载多光谱影像几何畸变严重。DGPS/IMU 组合导航与定位系统能以较高的精度和频率提供传感器的位置和姿态, 可直接测定影像的外方位元素, 进行扫描型机载多光谱扫描仪影像的几何校正。

4) 测量获取 GPS 天线相位中心、IMU 及机载传感器之间空间关系, 直接对 POS 系统获取的 GPS 天线相位中心的坐标 (X, Y, Z) 及 IMU 系统获取的侧滚角、俯仰角、航迹角进行数据处理, 获取航空影像像元成像瞬间的扫描行中心点三维空间坐标 (X_s, Y_s, Z_s) 及其三个姿态角, 实现无地面控制点辅助条件下直接恢复扫描型复航空遥感的成像过程。计算插值影像的四个角点坐标, 然后基于地面点坐标作影像的拼接。

5) 根据完成辐射校正、几何校正、航带拼接的航空遥感数据, 以外围均匀海水表面水温为本底, 以温升 0.5 度为区间, 制作温度场分布图。

本发明与现有技术相比, 具有以下优点:

第一, 采用结合 POS 系统数据的方法, 可以实现一种基于摆扫成像的高分辨率遥感方法手段, 能够查清工业温排水的扩散规律。

第二, 采用实验室定标和机上定标结合的方法, 提供了一种定量化数据分析的手段, 解决多时相观测比较的难题。

第三, 采用本发明的技术方法, 实现航空红外传感器的数据获取和处理流程, 有利于进行依据潮汐规律的遥感探测分析。

第四, 采用本发明的技术方法, 实现扫描型航空红外传感器的数据获取和处理流程, 即实现高分辨率要求又兼顾了大视场扫描, 从而提高

效率。

附图说明

图 1 扫描型航空传感器的成像方式

图 2 对地面和高低温黑体的扫描成像示意

图 3 为本发明的技术流程

图 4 为扫描型传感器的原始影像（左）和经过几何校正后影像（右）

图 5 为利用本发明输出的海面温度场分布图

具体实施方式

下面结合附图，对本发明作进一步详细描述：

第一步，遥感影像和参数测量数据获取。

在执行一组飞行任务前，对遥感器进行实验室辐射定标，获得定标数据。制定飞行计划，获取监测区遥感数据和同步 POS 系统数据，其中遥感数据中包含高低温黑体测量数据。

第二步，热红外遥感影像辐射校正。

首先通过实验室辐射定标过程，确定高低温黑体的辐射亮度与亮温的关系。机载热红外测量数据的辐射定标，通过传感器内的高低温黑体来完成，采用下面的转换公式：

$$L(i, j) = [(L_H(i) - L_L(i)) \times DN(i, j) - L_H(i) \times DN_L + L_L(i) \times DN_H(i)] / [DN_H(i) - DN_L(i)]$$

其中： L 为辐亮度值， (i, j) 代表第 i 行第 j 列的像元， DN 为图像测量值，下标 H 和 L 分别代表对应高温黑体和低温黑体的测量值。

第三步，POS 系统同步测量数据处理。

利用 POSpac 软件，对获取的原始 DGPS/IMU 数据进行预处理。处理 POS 数据文件要解决两个问题，一是时间匹配问题和延迟处理；二是坐标系转换。

根据触发文件 (EVENT), 采用一次线性内插算法, 提取 POS 数据中的传感器姿态信息。首先对 EVENT 进行分割, 判断若相邻触发事件时间间隔大于 10 倍的单位时间间隔, 则认为这是一条航带的结尾, 若相邻 EVENT 事件间隔大于 1.5 倍的单位时间间隔, 则认为这里存在漏行, 需要填补。由于 EVENT 触发的滞后性, 需要判断外方位元素 (EO) 的偏移行数。

若传感器与 POS 之间没有触发信息, 则使用扫描影像记录的世界协调时间 (UTC) 与 POS 记录的 GPS 时间进行对比, 根据影像记录的起始和中止时间, 内插出每条扫描线的记录时间, 然后从 POS 数据中提取相应的传感器姿态信息, 其中需要考虑 GPS 时间与 UTC 时间之间的误差。

第四步, 计算像空间到地面坐标系的旋转矩阵。

像空间坐标系旋转到地面坐标系可分解为以下步骤: 像空间坐标系旋转到传感器坐标系 (旋转矩阵 $CIMatrix$); 传感器坐标系旋转到 IMU 坐标系 (旋转矩阵 $ICMatrix$); IMU 坐标系旋转到局部地理坐标系 (旋转矩阵 $GIMatrix$); 局部地理坐标系旋转到地心坐标系 (旋转矩阵 $EGMatrix$); 地心坐标系旋转到地面坐标系 (旋转矩阵 $MEMatrix$)。

则像空间坐标系旋转到地面坐标系的旋转矩阵:

$$MIMatrix = MEMatrix \times EGMatrix \times GIMatrix \times ICMatrix \times CIMatrix$$

第五步, 计算扫描行的外方位元素。

线元素: 设瞬时摄影中心在 WGS84 下的坐标 (X, Y, Z) , 转为大地经纬度 (B, L, H) , 再转为地面坐标系坐标 (x, y) , 以飞行区域的中心 (B_0, L_0) 为地面坐标系原点。

角元素: 建立以 X 轴为主轴的 $\varphi-\omega-\kappa$ 系统, ω 为旁向倾角, φ 为航向倾角, κ 为像片旋角, 旋转矩阵的表示形式为:

$$MIMatrix = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & -\cos \varphi \sin \kappa & -\sin \varphi \\ \cos \omega \sin \kappa - \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa + \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \kappa + \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa - \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa & \cos \omega \cos \varphi \end{pmatrix}$$

则角元素 $(\varphi, \omega, \kappa)$ 为:

$$\begin{cases} \kappa = \arctan\left(-\frac{MIMatrix[1,2]}{MIMatrix[1,1]}\right) \\ \varphi = \arctan\left(-\frac{MIMatrix[1,3]}{MIMatrix[1,1]}\right) \\ \omega = \arctan\left(-\frac{MIMatrix[2,3]}{MIMatrix[3,3]}\right) \end{cases}$$

第六步, 计算像点的地面点坐标。

对于线阵摆扫式成像方式, 根据成像特点可采用共线方程:

$$\begin{pmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{pmatrix} = \lambda \times M \times \begin{pmatrix} f \times \sin \theta \\ 0 \\ -f \times \cos \theta \end{pmatrix}$$

令:

$$N = M \times \begin{pmatrix} f \times \sin \theta \\ 0 \\ -f \times \cos \theta \end{pmatrix},$$

则对应地面点坐标为:

$$\begin{cases} X = X_s + (Z - Z_s) \times \frac{N[0]}{N[2]} \\ Y = Y_s + (Z - Z_s) \times \frac{N[1]}{N[2]} \end{cases},$$

其中 (X_s, Y_s, Z_s) 是投影中心在地面坐标系中的坐标, λ 为摄影比例尺, θ 为主光轴方向与像点摄影方向的夹角, $(f \sin \theta, 0, -f \cos \theta)$ 是像点的像空间坐标, M 为像空间坐标系到地面坐标系的旋转矩阵, 对于扫描型传感器 $y=0$, (X, Y, Z) 是像点对应的地面点坐标。

第七步, 影像插值。

对原始影像采用直接插值法, 利用计算的地面点坐标, 构建纠正影像的范

围，遍历原图像每一个像素点 (i, j) ，其地面坐标为 (x, y) ，对应纠正影像的位置 $(x - x_{min}, y - y_{min})$ ，令 $m = x - x_{min}, n = y - y_{min}$ ($m_0 \leq m \leq m_0 + 1, n_0 \leq n \leq n_0 + 1$)，将各点灰度值按权分配给周围四个像素点，权值取距离的倒数。则

$$\begin{aligned} \sum DN(m_0, n_0) &= \sum DN(m_0, n_0) + (m_0 - m + 1) \times (n_0 - n + 1) \times DN(i, j) \\ \sum P(m_0, n_0) &= \sum P(m_0, n_0) + (m_0 - m + 1) \times (n_0 - n + 1), \\ \sum DN(m_0, n_0 + 1) &= \sum DN(m_0, n_0 + 1) + (n - n_0) \times (m_0 - m + 1) \times DN(i, j) \\ \sum P(m_0, n_0 + 1) &= \sum P(m_0, n_0 + 1) + (n - n_0) \times (m_0 - m + 1), \\ \sum DN(m_0 + 1, n_0) &= \sum DN(m_0 + 1, n_0) + (m - m_0) \times (n_0 - n + 1) \times DN(i, j) \\ \sum P(m_0 + 1, n_0) &= \sum P(m_0 + 1, n_0) + (m - m_0) \times (n_0 - n + 1), \\ \sum DN(m_0 + 1, n_0 + 1) &= \sum DN(m_0 + 1, n_0 + 1) + (m - m_0) \times (n - n_0) \times DN(i, j) \\ \sum P(m_0 + 1, n_0 + 1) &= \sum P(m_0 + 1, n_0 + 1) + (m - m_0) \times (n - n_0) \end{aligned}$$

判断新图像每一个像素，若 $P(i, j) \neq 0$ ，则该点像素值 $DN'(i, j) = \sum DN(i, j) / \sum P(i, j)$ 。

第八步，基于地面点坐标的影像拼接。

根据影像插值的范围，计算插值影像的四个角点坐标，然后基于地面点坐标作影像的拼接；还需在影像的重叠部分引入少量同名点，对拼接的影像做局部的调整。

第九步，海面温度场制图

根据完成辐射校正、几何校正、航带拼接的航空遥感数据，用海面实测温度进行标定。以最外围均匀海温为本底，以能反映潮汐变化规律为标准，以温度升高 0.5 度为区间制作温度场分布图。

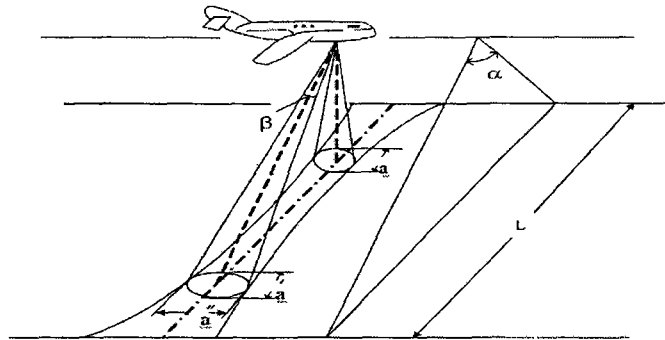


图 1

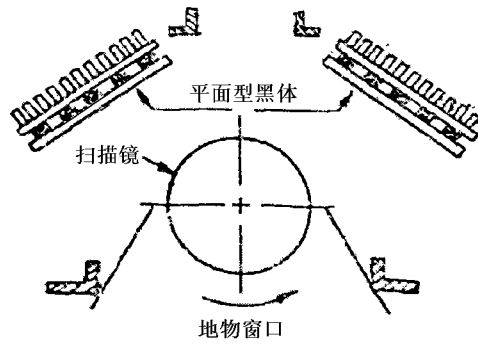


图 2

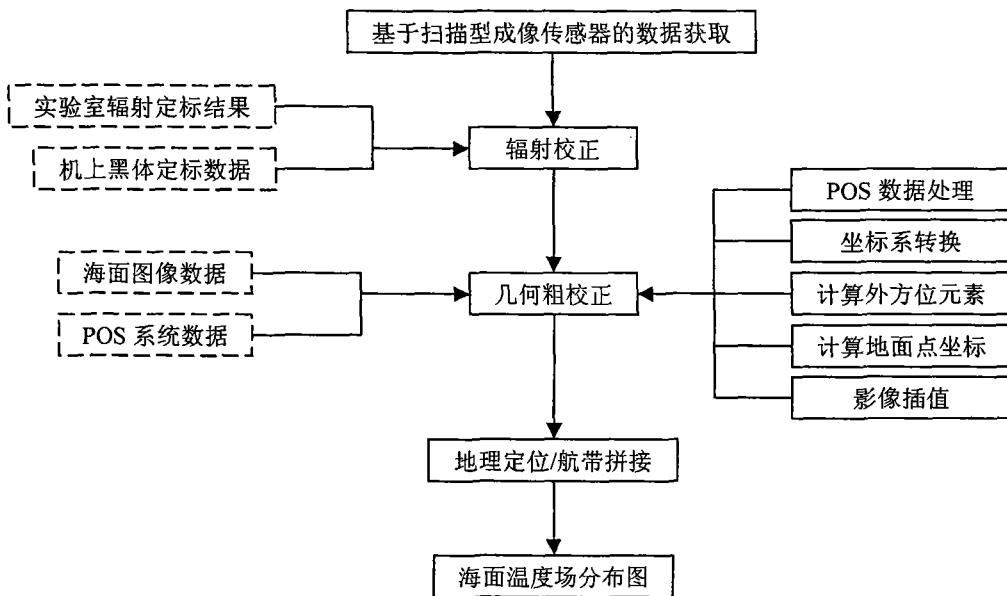


图 3

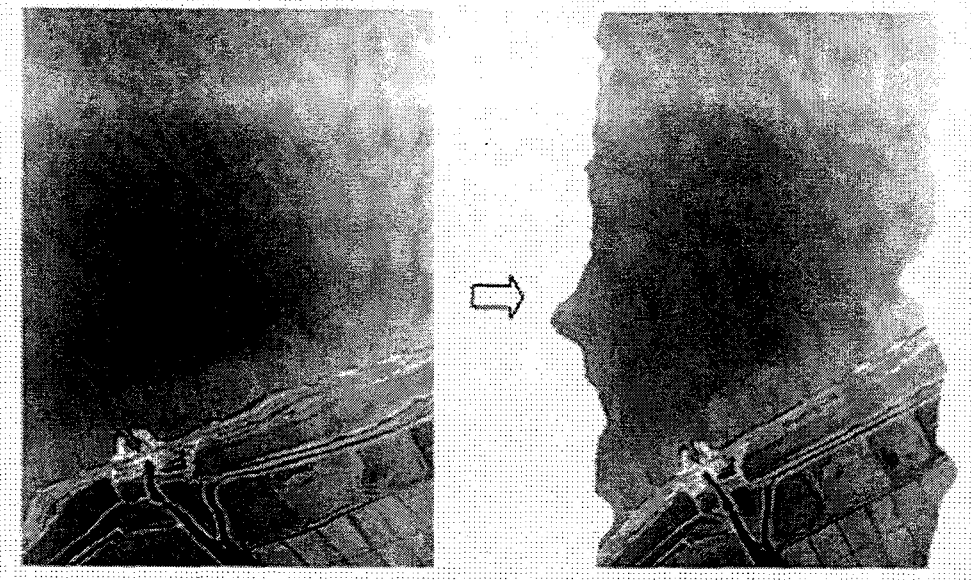


图 4

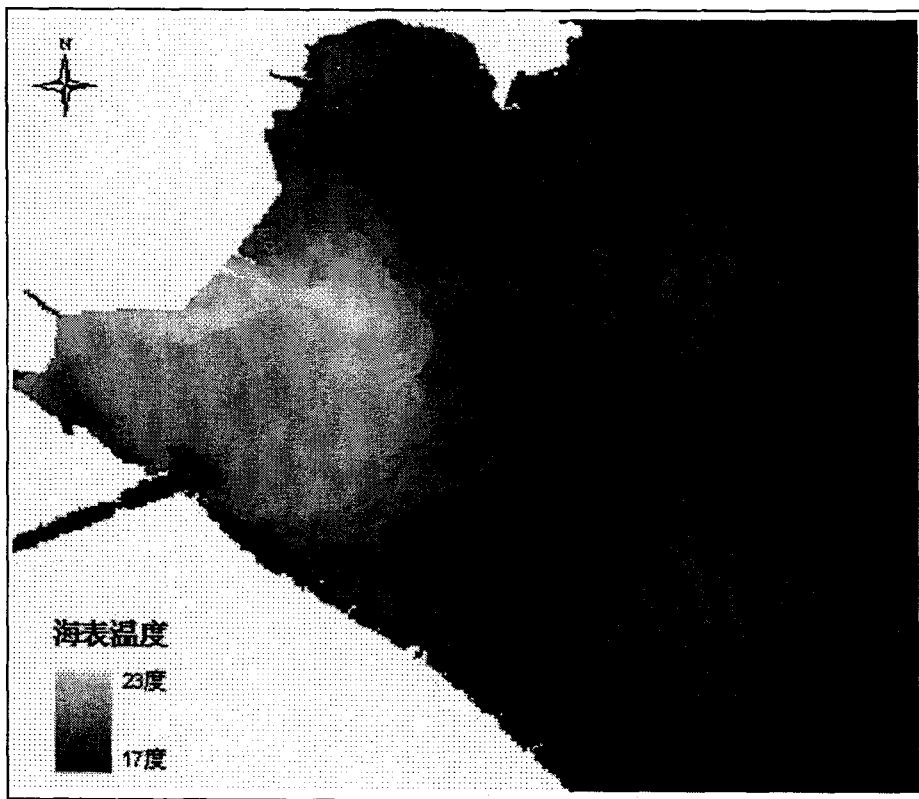


图 5