

# 用 MODIS 影像反演环渤海地区的大气水汽含量

毛克彪<sup>①,②,③</sup>, 章志豪<sup>②,③</sup>

(①中国科学院遥感所, 北京 100101; ② 农业部资源遥感与数字农业重点实验室, 北京 100081;

③南京大学国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 主要介绍通过遥感影像来反演大气水汽的算法, 两通道比值法和三通道比值法。并用环渤海地区的 MODIS 影像对该地区的水汽进行了反演。

**关键词:** MODIS; 辐射传输; 透过率; MODTRAN 模型

**中图分类号:** P237.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2004)76-0047-03

## 1 引言

水汽是天气变化的主要动力因素之一, 因此对水汽的监测是大气遥感的一个主要目的。同时大气中的水汽含量也是影响遥感应用的一个主要因素之一, 特别是在地表温度反演, 遥感影像的大气校正中水汽的影响不可忽略。通常的做法是通过 MODTRAN, 6S 和 LOWTRAN 等大气模型软件进行模拟代替。因为实时的大气剖面资料非常有限, 所以这种模拟的结果精度也是有限的。直接从遥感影像上反演大气的水汽含量, 再进一步计算大气透过率, 从而大大提高了各种反演参数的精度。

MODIS 是美国国家航空航天局、日本国际贸易与工业厅和加拿大空间局、多伦多大学共同合作发射的卫星 TERRA 上的一个中分辨率传感器。它包含 36 波段, 分别针对陆地、海洋、水汽、气溶胶等来设计的。MODIS 的通道设计综合考虑了各种因素, 使得从遥感影像上反演水汽含量, 气溶胶, 大气廓线精度大大提高, 并在卫星发射前作了很多实验和开发了许多反演算法。本文主要介绍大气水汽含量算法思想进行介绍并对计算过程进行了推导, 并对环渤海地区上空大气水汽含量做了反演。

## 2. 反演大气水汽含量算法介绍

反演水汽含量的算法主要有两个, 一是两通道比值法; 二是三通道比值法。反演水汽算法是根据辐射传输方程来推导的, 辐射传输方程简化如下:

$$L_s = L_{gnd} \rho T(PW) + L_{atm}(PW) \quad (1)$$

式中  $L_s$  是传感器接收到的辐射率,  $L_{gnd}$  是地面直接反射和散射的辐射率,  $L_{atm}$  是大气辐射率,  $\rho$  是地面反射率,  $T$  是大气透过率。其中大气透过率和大气辐射率与大气中的水汽有关, 可以看成是水汽含量和气溶胶等大气参数的函

数。相对于水汽, 其他气体的影响很小, 因此可以忽略其他气体的影响。将等式两边同时除以  $L_{gnd} \rho$  得:

$$T(PW) = L_s / (L_{gnd} \rho) - L_{atm}(PW) / (L_{gnd} \rho) \quad (2)$$

在天气晴朗的情况下, 上式的右边  $L_{atm}(PW) / (L_{gnd} \rho)$  相对于第一项  $L_s / (L_{gnd} \rho)$  非常的小, 可以忽略。当然也可以采用迭代法来求最优值, 本文对此项忽略。

因此(2)式可以简化为:

$$T(PW) \approx L_s / (L_{gnd} \rho) \quad (3)$$

从而大气水汽的含量主要是大气水汽透过率的函数, 对(3)式中  $L_{gnd} \rho$  中  $\rho$  对于不同的波长, 地面的反射率是不一样的。Gao 和 Kaufman 在[1]中对  $0.85\mu\text{m}$  和  $1.25\mu\text{m}$  之间的各种地物反射率基本上满足线性关系。从而可以利用大气窗口波段对  $L_{gnd} \rho$  进行近似计算。图 1 为用 MODTRAN 对中纬度地区水汽透过率图。

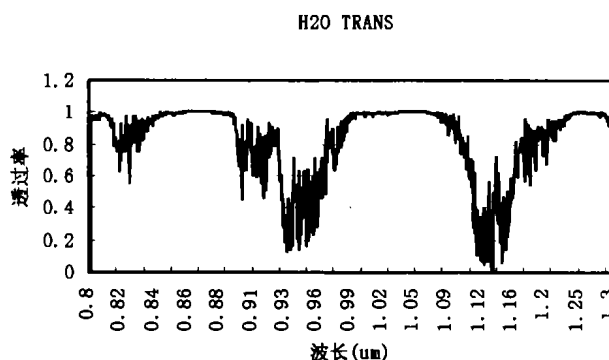


图 1 MODTRAN 模拟水汽透过率图

从图 1 中可以看出, 在  $0.84 \sim 0.88\mu\text{m}$ ,  $0.99 \sim 1.07\mu\text{m}$  和  $1.22 \sim 1.26\mu\text{m}$  波段区间透过率几乎为 1,  $0.88 \sim 0.99\mu\text{m}$  是大气吸收波段。Kaufman 和 Bo - Cai Gao, Christoph C. Borel, Daniel Schoapfer, 和 klaus J. Ittn 等作了大量的实验之后, 发现利用比值法来求大气水汽含量是可行的。具体详见[1~6]。根据大量的实验, MODIS 传感器上设计了 5 个通

收稿日期: 2004-04-02 修订日期: 2004-06-25

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB309404)

作者简介: 毛克彪(1977.8~), 男, 湖南沅江人, 博士生, 主要从事热红外, 微波遥感, 空间数据挖掘及 GIS 应用等方面的研究

道,其中17、18、19为大气吸收通道,2、5为大气窗口通道。因为不同的波段根据(3)式可以推导出两通道比值法,和三通道比值法,公式如下:

$$T_{obs}(0.936\mu\text{m}) = \rho(0.936\mu\text{m})/\rho(0.865\mu\text{m}) \quad (4)$$

$$T_{obs}(0.936\mu\text{m}) = \rho(0.936\mu\text{m})/[C1 \cdot \rho(0.865\mu\text{m}) + C2 \cdot \rho(1.24\mu\text{m})] \quad (5)$$

其中C1等于0.8,C2等0.2。

这两种方法的思想基本是一样的,都是利用大气水汽吸收波段与大气窗口波段的比值与大气水汽含量的关系来求解水汽含量。对于透过率与水汽含量的关系可以通过MODTRAN,LOWTRAN来模拟求水汽含量与透过率的关系表达式。图2是Kaufman和Bo-Cai Gao利用LOWTRAN模拟两波段比值与水汽含量的关系图。

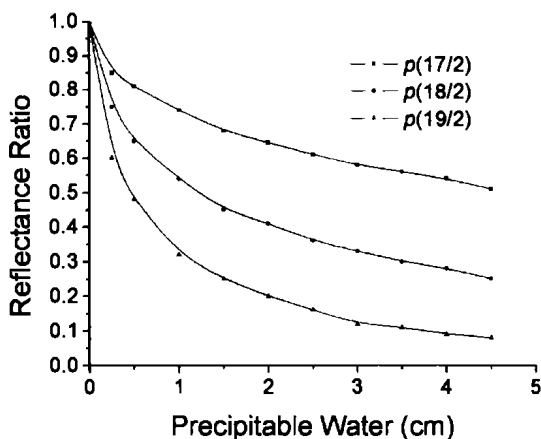


图2 透过率与大气水汽含量关系图<sup>[8]</sup>

Kaufman和Gao在[8]中给出了上图的关系表达式。

$$T_w = (940/864) = \exp(\alpha - \beta\sqrt{w}) \quad R^2 = 0.999 \quad (6)$$

对于复合性地表,上式中 $\alpha = 0.02$ , $\beta = 0.651$ ,其他情形的参数选取具体请参见[8]。

(6)式左边可以从影像算出,解方程得水汽表达式:

$$w = \left[ \frac{\alpha - \ln T_w}{\beta} \right]^2 \quad (7)$$

#### 参考文献

- 1 Bo-Cai Gao, Yoram J. Kaufman, The MODIS Near-IR water Vapor Algorithm, ID: MOD05 - Total Precipitable Water... <http://www.gsfc.nasa.gov/MODIS-Atmosphere/-docs/atbd-mod03.pdf>.
- 2 Christoph C. Borel, Daniel Schlapfer, Atmospheric Pre-corrected Differential Absorption Techniques to Retrieve Columnar Water Vapor: Theory and Simulations.
- 3 Bruegge C.J., CONEL J.E., MARGOLIS J.S., GREEN R.O., et al. In-situ Atmospheric Water-vapor Retrieval in Support of AVIRIS Validation[J]. SPIE Imaging Spectroscopy of the Terrestrial Environment, 1990(1298):150~163.
- 4 Carrere V. and CONEL J.E. Recovery of Atmospheric Water Vapor Total Column Abundance from imaging Spectrometer Data Around 940nm - Sensitivity Analysis and Application to Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer (AVIRS) Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1993(44): 179~204.
- 5 Gao B.C., Goetz A.F.H. Column Atmospheric Water Vapor and Vegetation Liquid Water Retrievals From Airborne Imaging Spectrometer Data [J]. Journal of Geophysical Research, 1990(95):3549~3564.
- 6 Kaufman Y.J., Gao B.C. Remote Sensing of Water Vapor in the Near IR from EOS/MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(5):871~884.

### 3 MODIS 影像水汽反演应用

本文把上面的讨论方法用环渤海地区上空大气中的水汽含量进行反演,渤海是我国最大超浅型内海,海岸线从辽东半岛南端延伸至山东北端,东界为老铁山海峡,跨三省一市,平面呈“C”型。环渤海是中国北方的黄金海岸,是北方内陆地区通向亚太地区 and 走向世界的出海口。沿岸资源丰富,经济比较发达,周围有下辽河、大港、胜利和华北油田。

本文用到的MODIS影像是摄取于8月中旬,对环渤海地区而言,这是个炎热的季节,正是夏季植被生长最繁茂之时。分别利用上述方法对2通道和19通道进行大气水汽含量的反演,反演的结果如封3图1所示。

图中右下角为坏条带,另外山东半岛和辽东半岛之间有一块云特别明显,在原始影像中可以看到。除掉这两个地方,整个水汽含量图的趋势很明显,且符合规律的。对于水汽的具体含量分布可以从图3中看出来,每个像元的水汽含量是有明显差异的,

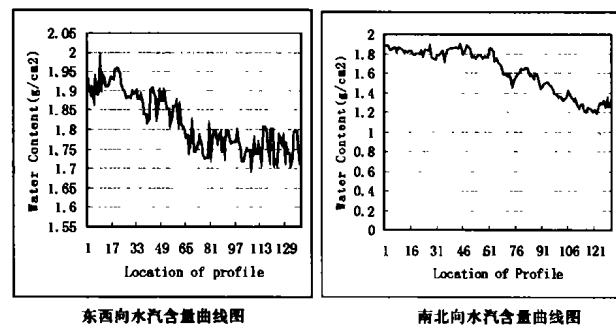


图3 反演水汽含量分布剖面图

### 4 结束语

本文对从影像上反演大气水汽含量的算法过程进行了推导和分析。并用环渤海地区的MODIS影像对该地区的大气水分含量进行了反演,反演结果表明,该方法是可行的,并指出运用此方法对影像作大气校正,将提高大气校正的实时性,从而提高地表温度,大气剖面温度反演的精度。

- 7 Michael D. King, W. Paul Menzel, Yoram J. Kaufman, etc. Cloud and Aerosol Properties, Precipitable Water, and Profiles of Temperature and Water Vapor from MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(2):442~458.
- 8 Yoram J. Kaufman, Bo-Cai. Gao, Remote Sensing of Water Vapor in the Near IR from EOS/MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 5(30):871~884.

## Retrieval of Water Content of Atmosphere in Bohai Region by MODIS Image

MAO Ke-biao<sup>①,②,③</sup>, QIN Zhi-hao<sup>①,③</sup>, XU bin<sup>②</sup>

(① The key Laboratory of Remote Sensing, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Science, Beijing, 100101, China; ② The key Laboratory of Remote Sensing and Digital Agriculture, China Ministry and the Agriculture Remote Sensing Laboratory, Beijing 100081, China; ③ International Institute for Earth System, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** This paper introduces the algorithm of retrieving water content of atmosphere and the process of retrieving. At the same time, this method for retrieving water content of atmosphere in Bohai region by MODIS is used and the retrieving result is analyzed.

**Key words:** MODIS; radiance transfer; transmittance; MODTRAN model

## HP 创新性的 Double Swath Technology 技术将大幅面打印提升到一个新的水平

新型 HP Designjet 4000 打印机系列在实现前所未有的打印速度提升、色彩和打印管理方面取得的成功将引导大幅面打印进入一个新的水平。HP 亚太及日本区大幅面打印产品经理 Nobuo Kanzaki 先生说：“建筑、工程施工和地理信息系统(GIS)公司对于打印技术要求日益苛刻，为了实现高质量的大幅面打印输出、复杂的技术性设计图、地图及影像，这些专业性的需求需要高标准的线条精度、出色的图像质量、打印速度以及打印控制。应用了创新性的 Double Swath Technology 技术的 HP Designjet 4000 打印机系列能够满足这些要求，并以此为消费者提供最具竞争性的优势。”

**双倍速度后的新型技术:** HP Double Swath Technology 技术通过交叉排列使喷头喷嘴增加了一倍。这一具有创新性的改革扩展了打印机实际的打印轨迹，带来了更快速的打印输出，从而实现了那些为时间期限而苦恼的消费者的打印理想。新型打印机快速打印 A1/D 大小只需要 25 秒，不仅如此，它还可以完成在 1 小时内打印 100 份 A1/D 大小的任务。

**高品质图像:** 由于使用了 HP 增强打印系统和 HP 专业色彩技术，HP Designjet 4000 打印机系列具有可预期色彩的高品质的打印输出。HP Designjet 4000 打印机系列的高品质输出可达到 2400 x 1200dpi 最佳分辨率和 +/- 0.1% 的线条精确度。对于那些需要精确设计、计划和线条构图的消费者来说简直是堪称完美。

为了达到卓越的色彩一致性以及屏幕效果与打印效果的匹配，HP Designjet 4000 打印机系列提供一整套 HP 专业色彩技术，这其中包括闭环色彩校准系统(CLC)，Pantone 校准，仿真印刷，HP CMYK Plus，K 点补偿，sRGB，

AdobeRGB。

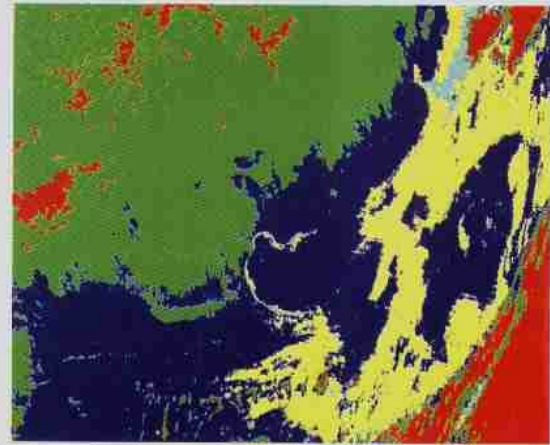
**出色的打印机管理:** HP Designjet 4000 打印机系列可以实现远程监控打印机、墨水和介质使用情况，对打印过程处理以及打印成本提供了良好的控制。为基于网络远程管理提供了一个快捷协调的多平台环境。对于那些有时间压力的消费者来说，HP Designjet 4000 打印机系列将使他们从远程打印任务预览、打印机情况监控及报警系统中受益，它可以及时通告耗材使用情况和无人职守打印的相应信息。

**新型 HP No. 90 墨水:** HP 新型 No. 90 墨水墨盒被设计指定用于 HP Designjet 4000 系列打印机。HP No. 90 墨盒有三种不同的彩色及黑色墨水，每种都有两种不同尺寸。可选择超值和多种包装，从而为消费者提供更好的成本控制。

**改进办公流程，获得真正的商业利益:** 作为世界上最大的建筑公司之一的 Aedas Pte 公司拥有 14 个分支机构和 1000 多名专业设计人员，他们在新加坡的设计室使用 HP Designjet 4000ps 打印机来完成繁忙的设计工作的情景令人印象深刻。HP Designjet 4000 打印机系列的表现很多领域都超出了 Aedas 的预料，这包括：打印速度、可靠性、图像质量和与办公室工作流程的紧密契合。Aedas 的合伙人 Gruffudd ab Owain 说：“我最喜欢这台机器的原因就是它使我们在被限定的项目期限里拥有更多的工作时间，我们在项目过程中使用 HP Designjet 4000ps 打印机提出我们的设想和意图。在与客户交流设计理念时它令人印象深刻，经常能让客户叫绝。它是与客户进行设计概念交流的一个非常有效的工具。”Aedas 的客户对急需情况下高品质的输出留下深刻的印象，同时又为公司赢得了更多的业务。



原始水汽含量分布反演图



不同水汽含量显示图

图1反演大气水汽含量图

详见《用MODIS影像反演环渤海地区的大气水汽含量》一文

详见《基于小波变换的MODIS与ETM数据融合研究》一文



图2 融合前MODIS 1、2、3波段合成图

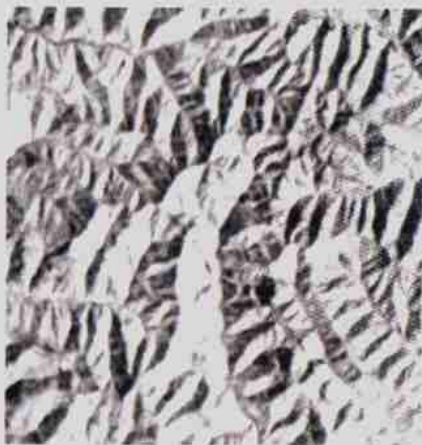


图3 地形校正之前ETM 7、4、2波段主成分变换后之第一主成分

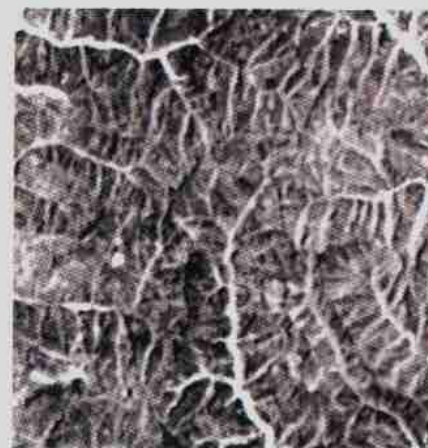


图4 地形校正之后ETM 7、4、2波段主成分变换后之第一主成分



图5 与未经地形校正ETM影像融合后MODIS 1、2、3波段合成图



图6 与经地形校正ETM影像融合后MODIS 1、2、3波段合成图