

文章编号: 1672-8785(2016)02-0029-07

基于 GMS-5 卫星资料的云检测方法研究

文 韬¹ 何明元¹ 赵增亮² 姚志刚² 韩志刚² 匡帅帅³

(1. 解放军理工大学气象海洋学院, 江苏 南京 211101;

2. 北京应用气象研究所, 北京 100029;

3. 73676 部队, 江苏 无锡 214000)

摘 要: 由于云对地球气候变化起着重要作用, 对云进行监测是研究全球气候变化的重要环节。目前, 各国的气象专家和爱好者们都十分关注对云的监测研究, 因此云检测已经成为了当前的热点话题。利用日本的 GMS-5 气象卫星资料进行了云检测研究。采用红外亮温法对云进行粗检测, 然后利用相似离度法、空间一致性检测以及可见光反射率进行晴空检测。最终结果表明, 通过结合使用这三种方法进行云检测, 能够很好地判断是晴空辐射还是含云辐射。

关键词: GMS-5; 云检测方法; 可见光

中图分类号: P405 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.02.005

Research on Cloud Detection Method Based on GMS-5 Satellite Data

WEN Tao¹, HE Ming-yuan¹, ZHAO Zeng-liang², YAO Zhi-gang², HAN Zhi-gang², KUANG Shuai-shuai³

(1. Institute of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology,

Nanjing 211101, China; 2. Beijing Institute of Applied Meteorology, Beijing

100029, China; 3. Army 73676, Wuxi 214000, China)

Abstract: Because cloud plays an important role in earth climate change, cloud monitoring is an important part in the research on global climate change. At present, the meteorological experts and amateurs pay more attention to the research on cloud monitoring. Therefore, cloud detection has become a topical issue at present. The data from the Japanese meteorological satellite GMS-5 are used for cloud detection research. Firstly, the infrared bright temperature method is used for coarse detection of cloud. Then, the methods of similar degree of consistency, space detection and visible light reflectivity are used to detect in clear sky. The final results show that the combination of these three methods in cloud detection can judge whether it is the clear sky radiation or the radiation from cloud well.

Key words: GMS-5; cloud detection method; visible light

0 引言

随着科学技术的不断进步, 各种多功能、高分辨率的卫星被送到太空中, 为资源探测、天气

监测、天气分析预报、大气科学研究以及导航定位等领域作出了巨大贡献。在静止气象卫星对地球进行监测的过程中, 获取高质量卫星资料的最大障碍就是云。此外, 云也是遥感图像处理

收稿日期: 2016-01-06

作者简介: 文韬 (1993-), 男, 四川绵阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为大气辐射与遥感。

E-mail: 13881161116@189.com

与分析的一大难点。云的影响不仅表现在卫星遥感图像的质量上,而且也是飓风和降水等气象现象形成的重要因子。可以说,云对全球气候变化起着决定性作用。因此,利用卫星资料对云进行分析和监测具有十分重要的意义。随着卫星遥感技术的不断发展,卫星资料在实际应用中有两个问题需要解决:一是数据处理与实时检测不同步;二是遥感图像处理无法满足实际的使用要求^[1-2]。

在云检测问题上,气象学者们开展了大量研究。目前用于云检测技术的主要有阈值法、聚类分析法和神经网络法三种^[3]。作为一种相对容易实现的方法,阈值法将待测像元不同通道的亮温、亮温差、反射率与提前设定的阈值作比较,以判断和识别该像元是否为云。例如,ISCCP 法利用的阈值是观测辐射与晴空辐射之间的差值。由此可见,阈值法的关键是确定合适的阈值。2002 年, Vittorio A V 等人^[3]提出了动态阈值法(DTCM 法)。作为一种自动化的云检测方法,DTCM 法将某一通道像元直方图曲线中斜率最大变率的所在位置作为云和晴空像元的阈值。刘健^[4]在对单个区域提取的动态云检测阈值的基础上,采用滑动窗和嵌套窗方法改进了云检测动态阈值提取方法,并通过多年的平均气候数据对所提取的云检测阈值进行了合理性检验。根据基础理论和研究思路的不同,可以将云检测方法大体分为物理方法、综合优化方法、模式识别方法以及基于云纹理和空间特

性的方法等四类^[6]。其中,物理方法包括固定阈值、动态阈值以及结合新型遥感器的方法;综合优化方法包括物理方法+模式识别、物理方法+纹理空间特征法、预处理+云检测;模式识别方法包括人工神经网络、聚类、统计学习理论 SVM;基于云纹理和空间特性的方法包括空间变化检测法和纹理特征法。

1 资料说明

静止轨道气象卫星(GMS)计划由日本气象厅(JMA)提出,其开发工作由国家空间发展局(NASDA)于1973年7月开始进行,卫星由日本电气公司(NEC)和美国休斯敦飞机公司联合制造。在美国宇航局的协助下,日本于1977年7月14日在美国佛罗里达州的卡纳维拉尔角试验场发射了GMS-1卫星,也称向日葵1号(Himawari-1)。该卫星主要用于对东亚太平洋和澳大利亚地区的大气和海洋进行观测^[7]。此后,日本相继发射了GMS-2(Himawari-2)卫星、GMS-3(Himawari-3)卫星、GMS-4(Himawari-4)卫星和GMS-5(Himawari-5)卫星,用来持续获取该地区的气象要素资料。表1为日本历代静止轨道气象卫星的运行时期表。

MTSAT 系列卫星是由日本运输省和日本气象厅共同投资的多功能卫星。该卫星不仅为日本民航局执行航空运输控制和导航任务,而且还为日本气象厅执行气象观测任务。1999 年 11

表 1 日本历代静止轨道气象卫星的运行时期表

卫星	发射时间	观测周期	星下点
GMS-1	1977.07	1978 ~ 1981	140°E
GMS-2	1981.08	1981 ~ 1984	140°E
GMS-3	1984.08	1984 ~ 1989	140°E
GMS-4	1989.09	1989 ~ 1995	140°E
GMS-5	1995.03	1995 ~ 2003	140°E
MTSAT-1R	2005.02	2005 ~ 2010	140°E
MTSAT-2	2006.02	2010 ~ 2015	140°E
Himawari-8	2014.10	2015 ~ 2022	140°E
Himawari-9	2016	2022 ~ 2029	140°E

月, 用于接替 GMS-5 卫星的 MTSAT-1 卫星在发射过程中由于火箭故障而彻底毁坏, 使得 GMS-5 卫星不得不超期服役 3 年, 一直运行到 2003 年 5 月。此后, 西太平洋和澳大利亚地区的气象观测任务则由美国的 GEOS-9 地球静止业务环境卫星来执行^[8]。直到 2005 年 2 月, MTSAT-1R (Himawari-6) 卫星发射并正常运行。作为 MTSAT-1R 卫星的在轨备份卫星, MTSAT-2 (Himawari-7) 卫星于 2006 年 2 月发射升空, 并从 2010 年开始投入气象观测业务运行。

与 GMS 卫星的自旋稳定结构相比, MTSAT 卫星的三轴稳定结构具有成像时间短, 图像信噪比、灵敏度和精度高, 探测时间灵活可控以及数据传输速率大等优点^[9]。MTSAT 卫星载扫描成像仪具有 5 个通道, 其中包括 1 个可见光通道, 其波长为 $1.55 \sim 0.90 \mu\text{m}$, 分辨率为 1 km ; 另外还有 4 个红外通道, 其波长分别为 $3.5 \sim 4.0 \mu\text{m}$ 、 $6.5 \sim 7.0 \mu\text{m}$ 、 $10.3 \sim 11.3 \mu\text{m}$ 和 $11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$, 分辨率均为 4 km 。与 GMS-5 卫星相比, MTSAT 卫星获得的图像质量更好。该卫星对北

半球的观测缩至 30 min 一次, 其图像被传送到西太平洋、东南亚和大洋洲等地的 26 个国家和地区。MTSAT 卫星能够更好地追踪气象要素的变化, 提高天气预报的准确率^[10]。

本文利用日本 GMS-5 卫星资料进行云检测研究。GMS-5 卫星上搭载了一台用于对地球进行扫描成像的可见光和红外自旋扫描辐射计 (S-VISSR)^[11]。该辐射计具有 4 个通道, 其中包括 1 个可见光通道, 其波长为 $0.55 \sim 0.90 \mu\text{m}$, 星下点的水平分辨率为 1.25 km 。另外还有 3 个红外通道, 其中红外一和红外二通道是两个窗区通道, 其波长分别为 $10.5 \sim 11.5 \mu\text{m}$ 和 $11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$, 星下点的水平分辨率均为 5 km ; 红外三通道是个水汽通道, 其波长为 $6.5 \sim 7.0 \mu\text{m}$, 星下点的水平分辨率为 5 km 。

2 方法与实现

2.1 云检测流程

如图 1 所示, 本文将天数足够多的红外云

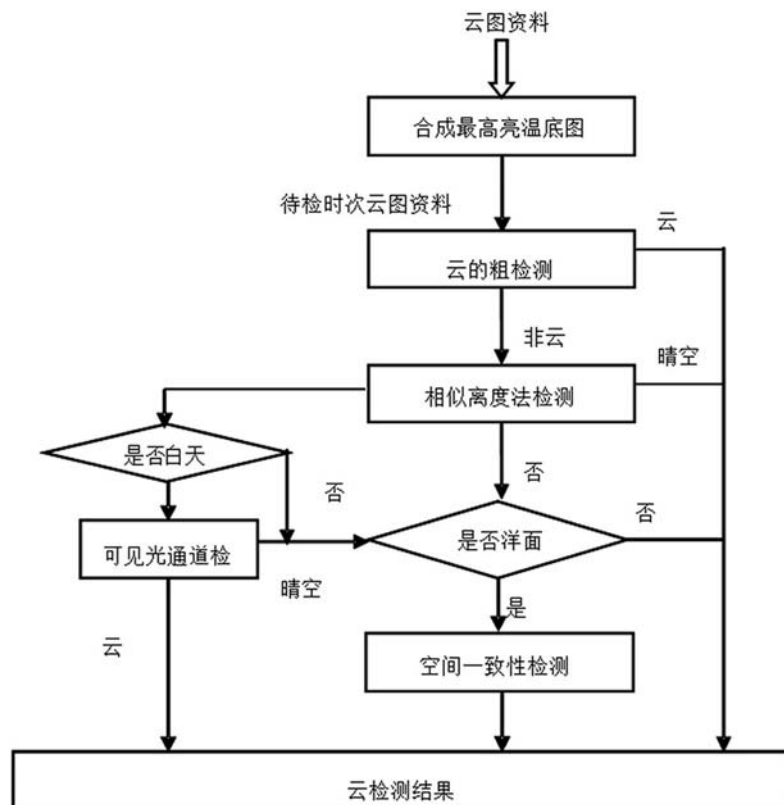


图 1 云检测流程

图合成为代表性强、效果好的最高红外亮温底图^[12-13], 然后依次进行云的粗检测、相似离度化检测、可见光检测以及在洋面上的空间一致性检测。

2.2 云的粗检测

随着太阳的升落, 地表辐射在白天和夜晚均有一定的变化。因此, 在云图中, 即使是同一地区的地表或海表亮温在一天中的变化也很明显。通常, 地表或海表亮温在 14:00 左右达到最大值, 白天的晴空区亮温高于夜间的晴空区亮温。而云的红外辐射的昼夜变化却不是很明显, 云的亮温也不会有很大变化, 导致夜间低云与晴空区之间的亮温差值减小。因此, 需要根据昼夜的亮温变化对所选取的检测阈值进行适当调整。

通过分析历史云图可以发现, 晴空区的红外辐射主要受太阳辐射的影响。中午 14:00 在一天中的红外辐射最强, 此后地表或海表辐射开始减小, 地表或海表开始降温; 直至早上 2:00 左右才开始升温, 地表或海表的红外辐射才开始增强。

基于以上分析, 以中午 14:00 的亮温底图为基准, 确定出了某段时间、不同纬度段内底图的基准阈值。根据地表或海表辐射特性, 一天中其他时次的地表或海表亮温均要小于中午 14:00 的地表或海表亮温, 则上述基准阈值 b_0 是一天内云与晴空区差值的最大者, 其他时次云与晴空区的亮温差值都比该基准阈值 b_0 小。

将中午 14:00 的亮温底图与待减时次底图逐像素相减, 就可得到这两个时次每个扫描点的亮温补充差值 Δb 。该值可以反映出不同地表的红外辐射随时间的变化情况。在进行检测时, 将基准阈值 b_0 与补充差值 Δb 相减, 得到最终的检测阈值 b 。然后使用 b 对云图进行最高亮温检测。凡是亮温差值高于该阈值的, 均可判断为晴空区; 反之, 则可认为是有云区。

图 2 所示为采用红外亮温法对云进行粗检测的流程。

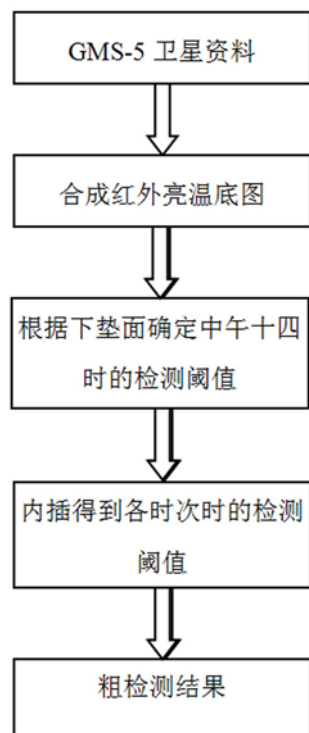


图 2 最高红外亮温法的示意图

2.3 利用相似离度法进行晴空检测

最高红外亮温底图法在通常情况下具有较好的检测效果。但在冬季, 由于冷空气大规模南下, 我国北方部分地区会出现大幅降温现象, 导致最高红外亮温底图法产生误判。此时, 冷高控制下的晴空区亮温很低, 红外亮温法所设定的阈值可能会偏大 (保证初步云检测的准确性), 因而可能会出现部分云漏检情况。这时, 可以采用相似离度法作进一步检测。

相似离度是一个用于衡量两个样本 i 与 j 之间相似程度的有量纲量, 其定义为

$$C_{ij} = (\alpha R_{ij} + \beta D_{ij}) / (\alpha + \beta) \quad (1)$$

式中

$$R_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |H_{ij}(k) - E_{ij}| \quad (2)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |H_{ij}(k)| \quad (3)$$

$$H_{ij}(k) = H_i(k) - H_j(k) \quad (4)$$

$$E_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m H_{ij}(k) \quad (5)$$

式中, m 为所计算相似场的格点数; k 为格点序号; i 和 j 为两个不同的样本; $H_{i(k)}$ 为第 i 个样本场的第 k 个因子; $H_{j(k)}$ 为第 j 个样本场的第 k 个因子。可以看出, $H_{ij(k)}$ 表示第 i 个样本与第 j 个样本所对应的逐个格点值之间的差值, 则 $E_{i(k)}$ 表示第 i 个样本场对第 j 个样本场所有因子之间的总平均差值。另外, $|H_{ij(k)}|$ 为 i 、 j 两个样本场逐个格点值的绝对距离。所以 $D_{(i,j)}$ 表示两样本间的平均距离, 它可反映两样本格点值之间在总平均数值上的差异程度, 即靠近程度。因此, $D_{(i,j)}$ 被称为值相似。如果两样本间的差值相等, 则根据式 (5), 有^[17]

$$E_{(ij)} = H_{ij(1)} = H_{ij(2)} = \cdots = H_{ij(m)} \quad (6)$$

由式 (2) 可知, 若 $R_{ij}=0$, 则 i 、 j 两个样本的形状完全相似; 反之, 若 $X_{ij(1)}$ 、 $X_{ij(2)}$ 、 $\cdots$ 、 $X_{ij(m)}$ 之间差异很大, 则两个样本的形状就不相似。形状差别越大, $R_{(ij)}$ 就越大。所以 $R_{(ij)}$ 可反映两样本中对其每个因子场各自平均值离散程度的差异, 即两样本的形相似程度, 称为形相似^[14]。 α 和 β 分别为其总相似程度的贡献系数。相似离度 C_{ij} 由形相似 $R_{(ij)}$ 和值相似 $D_{(i,j)}$ 共同决定。 C_{ij} 越小, 两个样本越相似; C_{ij} 越大, 两个样本越不相似。

相似离度法的基础是, 最高红外亮温底图包含了海表和陆表的纹理特征信息, 而在晴空状态下, 海表和陆表的纹理特征信息相似。在一般情况下, 陆表和海表的纹理特征在短期内变化不大。因此, 底图中的这些信息可被用于短期内的晴空区检测。

如果某一区域是晴空, 那么即使地表或海表降温造成亮温变化, 其纹理特征与亮温底图对应区域的纹理特征应该是相似的, 而云与底图晴空之间的纹理差别很大。利用相似离度法可以得到当前时次云图与相关底图对应区域的形相似程度。这样便可以使用相似离度法判断两个对应区域的相似程度。如果相似离度较小, 说明云图某区域与底图对应区域相似, 则认为这一区域为晴空区。如果相似离度较大, 说明云图

区域与底图不相似, 则认为该区域有云干扰, 即可判断该地区为云。

图 3 所示为采用相似离度法进行云检测的流程。

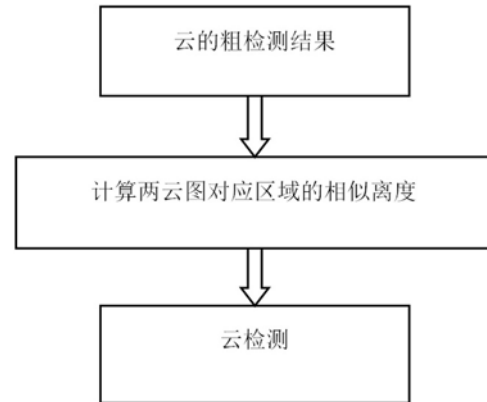


图 3 采用相似离度法进行云检测的示意图

2.4 基于可见光通道反射率的云检测

在可见光通道的云图上, 物象的色调取决于反射太阳辐射的强度以及目标物的反照率。目标物的反射率越大, 云图色调越白; 目标物的反射率越小, 云图色调越暗。因此, 可以利用可见光云图的反射率进行云检测。

通过分析不同通道的云图特征可以发现, 部分低云由于云顶温度较高, 在红外云图上的色调较暗, 致使其很难与地表区分开来, 从而造成晴空误检。而可见光云图仅与目标物的反射率以及目标物的太阳高度角有关。即使对于云顶温度较高的低云, 其反射率也高于地表或海表。所以利用可见光通道的反射率可以很方便地对云与晴空进行识别。

一般说来, 当反射率大于 30% 时, 基本可以将其判断为云。但是在沙漠区、积雪区和沙地, 其反射率也是大于 30% 的, 所以利用可见光通道进行云检测时会受到沙漠和积雪的影响。

图 4 所示为基于可见光通道反射率进行云检测的流程。

2.5 空间一致性检测

在海上, 下垫面纹理的空间一致性非常好(海表的均一性很好), 而云纹理的空间一致性极差。利用这点可以对云图纹理进行空间一致性检测。

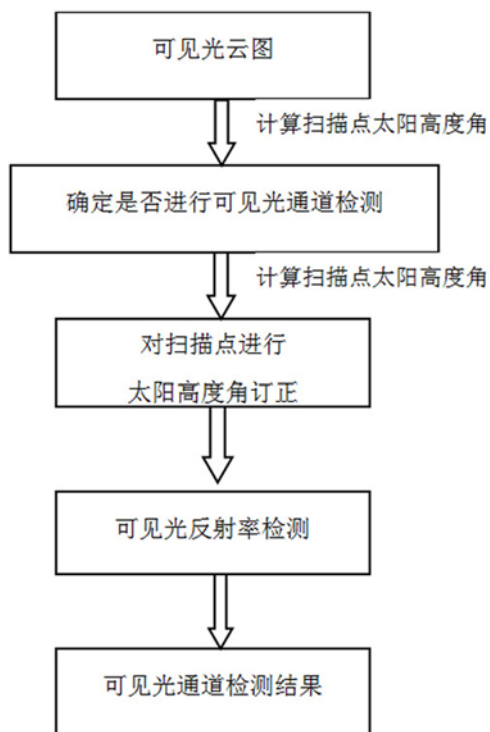


图 4 基于可见光通道反射率进行云检测的示意图

海洋系统(如海洋锋面、海洋中尺度涡等)可能会对海面温度和海面高度等要素的分布产生影响,而且在系统的边缘往往会存在要素值的不连续性。在进行空间一致性检验时,为了避免对这些区域要素的误判,拟采用四方位水平空间一致性检查的方法。

首先,在要素场网格化的基础上,选择 5×5 格点,并将其均匀划分为东、南、西、北四个方位。其次,进行综合分析。只要一个方位以上的资料与被检点资料满足空间一致性,即可认为被检点资料可信。如果四个方位的资料与被检点资料均不满足空间一致性,则认为此被检点是异值点。

下面介绍一下空间一致性的判别方法。采用双权重法求取每个方位内要素值的平均值、标准差和距平,然后根据历史资料确定控制条件,并判别被检验点的可靠性。其中,平均值为

$$\bar{x}_{bi} = M + \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (x_i - M)(1 - u_i^2)^2 \right] / \sum_{i=1}^n (1 - u_i^2)^2 \right\} \quad (7)$$

标准差为

$$\sigma_{bi} = \sqrt{n \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2 (1 - u_i^2)^4} \div \left| \sum_{i=1}^n (1 - u_i^2)(1 - nu_i^2) \right| \quad (8)$$

距平为

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}_{bi} \quad (9)$$

式中, u_i 为权重因子, $u_i = (x_i - M)/(c \cdot M_{AD})$; 当 $|u_i| > 1$ 时, 令 $u_i = 1$; M 为 $\{x_i\}$ 的中值; M_{AD} 为 $\{|x_i - M|\}$ 的中值; c 为权重调整参数。

3 实验结果及分析

实验中选取的是 GMS-5 卫星在 1997 年 6 月获得的遥感数据,其图像范围为 $E90^\circ 00' 00'' \sim E140^\circ 00' 00''$, $N10^\circ 00' 00'' \sim N50^\circ 00' 00''$ 。该区域包括中国东部地区、日本、朝鲜及附近海域。图 5 ~ 图 8 分别为可见光、红外一、红外二通道图以及云检测结果图。这四幅图均是在同一时间、同一地区获得的。图 8 中,白色表示云,黑色表示晴空区。

4 讨论及结论

本文通过实验验证和比较分析发现,可见光阈值法的阈值会随太阳高度角和季节发生相应变化,这会给云检测工作带来诸多问题^[15]。本文采用红外亮温法对云进行了粗检测。通过结合相似离度法即可应用于任何太阳高度角的情况。此外,在晴空海洋的上空中进行了空间一致性检测,也得到了良好的检测结果。该方法的检测效果显著,不仅可以减小地理位置的变化对云检测造成的影响,而且还可以减弱太阳高度角的影响。检测结果与同时刻的可见光图像基本吻合,检测效果良好。

在综合利用红外亮温法、相似离度法、空间一致性检测以及可见光反射率进行云检测时,检测效果显著。该方法具有阈值少、检测速度快、操作性强以及能够实现批量处理等优点,因此具有较好的实用价值。

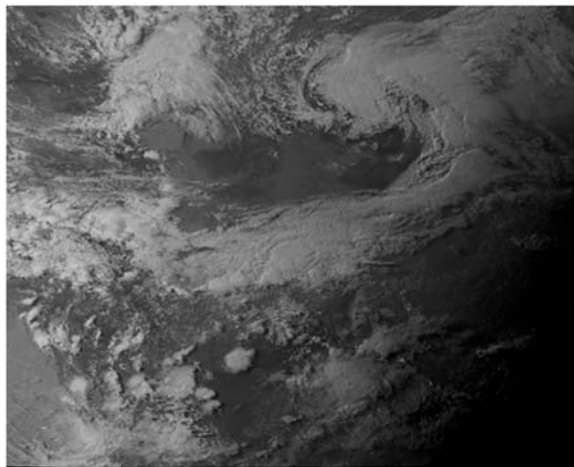


图 5 可见光通道图 (19970601/17:02)

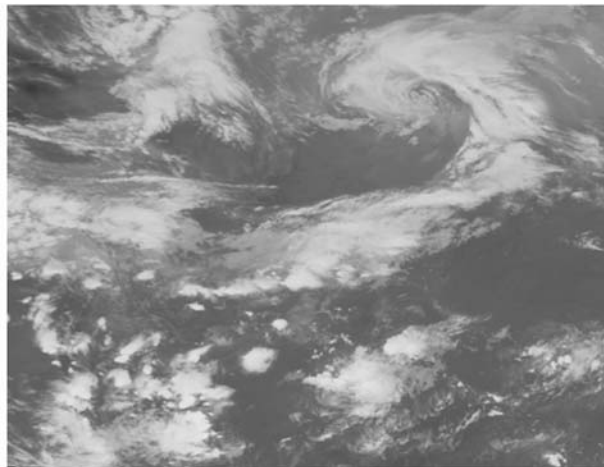


图 6 红外一通道图 (19970601/17:02)

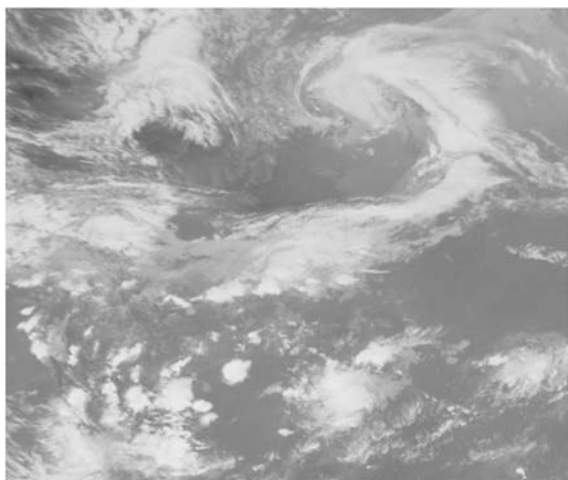


图 7 红外二通道图 (19970601/17:02)

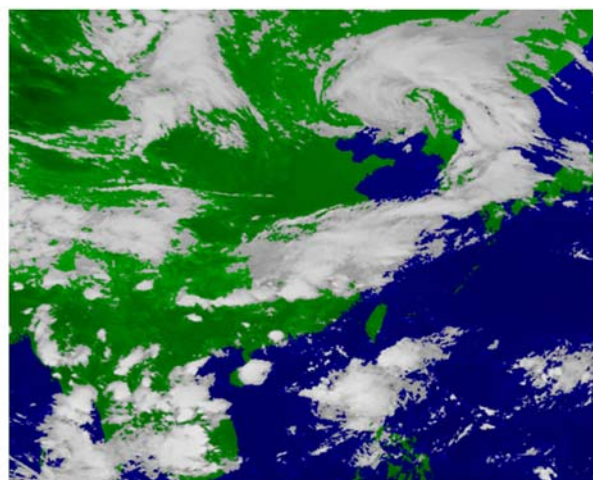


图 8 云检测结果图

参考文献

- [1] 梅新安, 彭望碌, 秦其明, 等. 遥感导论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [2] 赵英时, 陈冬梅, 李小文, 等. 遥感应用分析原理和方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] Vittorio A V, Eery W J. An Automated, Dynamic Threshold Cloud-masking Algorithm for Daytime AVHRR Images Over Land [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8): 1682-1694.
- [4] 刘健. FY-2 云检测中动态阈值提取技术改进方法研究 [J]. *红外与毫米微波学报*, 2010, 29(4): 288-292.
- [5] 侯舒维, 孙文方, 郑小松. 遥感图像云检测方法综述 [J]. *空间电子技术*, 2014, 22(3): 68-86.
- [6] 张蕴梅. 日本的静地轨道气象卫星——向日葵 [J]. *世界导弹与航天*, 1988, 1: 20-20.
- [7] 夏光. 日本的“多用途运输卫星”计划 [J]. *国际太空*, 2005, 25(2): 10-13.
- [8] 徐建平. 日本 MTSAT 多功能卫星 [J]. *气象科技*, 2005, 33(1): 96-96.
- [9] 张鹏锐, 王荣华. 日本新一代多功能卫星 MTSAT [J]. *中国航天*, 2005, 20(4): 10-11.
- [10] 张水平. 卫星资料定量化分析研究 [D]. 南京: 中国人民解放军理工大学, 2001.
- [11] 石汉青, 何明元. 对气象卫星亮温的一种云、地分离方法 [J]. *气象科学*, 2003, 23(1): 110-115.
- [12] 温少妍, 屈春燕, 闫丽莉, 等. 区域红外亮温背景场建立方法及初步应用 [J]. *地震*, 2011, 31(2): 59-67.
- [13] 王遂缠, 王锡稳, 李栋梁, 等. 相似离度在甘肃省冬春季强沙尘暴天气入型判别和预报中的应用研究 [J]. *中国沙漠*, 2004, 24(6): 724-728.
- [14] 崔晶. 威海暴雪的气候背景分析 [D]. 南京: 南京大学, 2006.
- [15] 马芳, 张强, 郭妮, 等. 多通道卫星云图云检测方法的研究 [J]. *大气科学*, 2007, 31(1): 120-128.