

监测大气水汽、云特性业务平台的构建^①

卢士庆¹ 李成才² 达布希拉图¹ 苏立娟¹ 包松林¹

(1. 内蒙古气象科学研究所, 呼和浩特 010051; 2. 北京大学物理学院大气科学系)

提 要

为科学的评估、合理的利用内蒙古的空中水资源, 为人工影响天气作业决策提供依据, 移植威斯康星大学 MODIS 遥感大气、云特性的源程序和北京大学物理学院大气科学系的图像显示、处理源程序, 搭建起对 DVBS 下发的 MODIS 资料及时进行处理, 每天至少两次对内蒙古上空的大气水汽、云特性进行自动监测的业务平台, 并将监测结果以图片形式发布到网上共享。反演结果显示, 反演产品显示的云区丰水区与 MM5 预报产品指示的丰水区相一致; 反演得到的云中液水含量结果与 31.65GHz 机载微波辐射计反演得到的结果有相同的量级。

关键词: 空中水资源 人工影响天气 MODIS 大气水汽 云特性

引 言

MODIS(中分辨率成像光谱仪)是 TERRA 和 AQUA 卫星上都装载有的重要传感器, 是 EOS 计划中用于观测全球生物和物理过程的仪器^[1]。MODIS 可为地学应用提供 0.4~14.5 μm 之间的 36 个离散波段的图像, 星下点空间分辨率可为 250m、500m 或 1000m, 视场宽度为 2330km。MODIS 每两天可连续提供地球上任何地方白天反射辐射和昼夜的发射辐射数据, 包括对地球陆地、海洋和大气观测的可见光和红外波谱数据。MODIS 将会帮助科学家了解整个地球系统, 由此可以提高人类预报天气变化的能力, 也能提高区分人类活动和自然变化对环境的影响的能力。MODIS 的目标是构造全球动力模型, 包括大气、海洋和陆地三个方面, 并预报它们的变化; MODIS 数据能帮助世界上的决策者基于环境和资源的保护和管理来进行全面、英明的决策^[2]。

MODIS 是一个真正多学科综合的仪

器, 可以对高优先级的大气(云及其相关性质)、海洋(洋面温度和叶绿素)及地表特征(土地覆盖变化、地表温度、植被特性)进行全面、一致的同步观测。其中的红外和近红外波段资料可以用于对大气水汽和云特性的监测^[3]。

美国 NASA 下属的 DAAC 已经利用其掌握的卫星资料和相关的反演技术, 以 Internet 为平台, 向全球提供卫星遥感的产品, 由 MODIS 资料反演得到的相关产品也在其列。但是得到 DAAC 的产品首先要有畅通快捷的网络通信; 其次 DAAC 的产品要有至少 3 小时的延迟, 这个延迟时间对业务化的监测而言是不利的; 再次, 每种产品的反演算法要使用本地化的参数, 显然 DAAC 的产品难以使用本地化的参数。上述三条使在业务中直接使用 DAAC 的产品变得不现实。

内蒙古自治区已经拥有三部 DVBS 接收机, 可以接收到 MODIS 原始资料, 并且应用华云公司的配套软件, 已经开始对全区的

① 资助项目: 内蒙古科技厅项目“内蒙古中部地区空中水资源开发利用研究”

土地覆盖变化、地表温度、植被特性、火情等进行监测。然而,人工影响天气和空中水资源监测中比较感兴趣的大气水汽和云特性产品的监测没有业务化。

内蒙古大部分地区为干旱、半干旱地区,水资源严重匮乏,除了水利部门的引水工程、打井及农业部门的节水灌溉等技术外,充分开发利用空中水资源则成为当前又一项抗旱减灾的有效手段之一。因此科学地评估内蒙古的空中水资源储量和分布状况,以此来得出全区空中水资源的开发利用潜力,通过对人工催化云系的合理选择、对作业区域的合理部署、对人工增雨作业时机的准确把握以及利用现有的科学技术手段更为有效地进行人工影响天气作业,将能有效地提高云水资源转化率,使全区天然降水量开发利用率进一步得到提高,这对改善内蒙古的生态环境现状、促进地区经济建设和经济发展将起到重要的作用。2005年下半年到2006年3月

份,在北京大学物理学院大气科学系的帮助下,内蒙古气象科学研究所移植美国威斯康星大学 MODIS 遥感大气、云特性的源程序和北京大学物理学院大气科学系的图像显示、处理源程序,利用内蒙古遥感中心 DVBS 资料中的 MODIS 原始资料,将反演人工影响天气中所关心的大气水汽和云特性产品的过程自动化、业务化,搭建起利用 MODIS 资料监测内蒙古地区大气水汽、云特性的业务平台(以下简称“平台”)。

1 平台的组成及构建

平台主要由两部分组成,一部分为资料反演绘图部分,另一部分为结果上传显示部分。

平台的工作流程(见图 1)仿照 DAAC 的思路,由反演程序后台运算,预先选定感兴趣的产品类型和地理范围,由 grads 作图,以网页的形式发布产品。

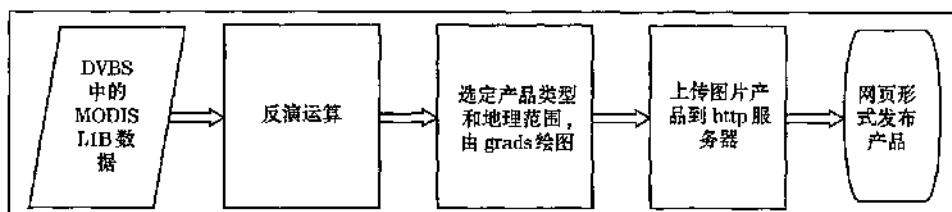


图 1 平台工作流程图

反演绘图工作由一台安装 linux 操作系统的微机完成,反演过程采用威斯康星大学提供的大气水汽和云特性参数的反演源程序结合北京大学物理学院大气科学系的相关资料处理程序,每天定时对由 DVBS 接收后传送到本机的 MODIS 最新的 L1B 资料进行反演运算。反演运算结果再经由 grads 处理,得到图片格式的产品。显示部分的工作由一个 http 服务器^[4]来完成,将反演绘图部分得到的图片上传到已经搭建好的“内蒙古人工影响天气中心人影指导产品”http 服务其

中,通过网页的形式将 MODIS 大气水汽、云特性产品向全区气象部门相关单位发布。

2 平台的主要功能

2.1 产品显示

如表 1 所示,平台可以每天至少两次向内蒙古自治区气象部门相关单位发布 10 种人工影响天气和空中水资源监测中比较感兴趣的内蒙古上空大气水汽、云特性参数分布情况图。其中,中国大陆上空和内蒙古上空多通道合成云图选用 MODIS 第一、三、四通道的原始辐射观测值,按红绿蓝三原色赋值、

合成真色彩图片,反映了每天卫星过境中国大陆上空的时刻,中国大陆和内蒙古上空的卫星遥感监测实况图像。内蒙古上空水汽含量分布反映内蒙古自治区范围内晴空及云顶向上大气水汽含量。内蒙古上空晴空水汽及

臭氧含量分布,针对晴空有效,反映内蒙古上空晴空的大气水汽和臭氧含量。第6到第10个产品针对云区有效,反映内蒙古上空的云特性。

表1 平台发布的内蒙古地区大气水汽、云参数产品列表

序号	产品名称	层次	空间分辨率	格式	发布方式
1	中国大陆上空多通道合成云图	整层大气	1km	图片	网页
2	内蒙古上空多通道合成云图	整层大气	1km	图片	网页
3	内蒙古上空水汽含量分布	整层大气	1km	图片	网页
4	内蒙古上空晴空水汽含量分布	整层大气	5km	图片	网页
5	内蒙古上空晴空臭氧含量分布	整层大气	5km	图片	网页
6	内蒙古上空云水含量分布	整层大气	5km	图片	网页
7	内蒙古上空云顶相态分布	单层	5km	图片	网页
8	内蒙古上空云顶气压分布	单层	5km	图片	网页
9	内蒙古上空云顶温度分布	单层	5km	图片	网页
10	内蒙古上空云区对流层顶高度分布	单层	5km	图片	网页

2.2 历史产品查询

平台提供了一个历史产品查询页面^[4],通过选择卫星名称、过境年月日等关键词,可以查找平台业务运行以来,已经经过计算得到的内蒙古地区大气水汽、云特性参数分布情况图。

2.3 资料实时处理、产品上传

linux 良好的分时功能,使得运算时多任务的同步进行变得得心应手。反演运算中使用 linux 系统下的 crontab 定时任务命令功能,实时检测每天由 DVBS 传来的 MODIS 最新 L1B 原始资料,检测到最新文件后开始进行反演运算,并及时用 ftp 上传产品。

2.4 产品种类、地理范围可选择、可扩充

威斯康星大学免费提供全套 MODIS 反演源程序,平台所用只是其中三个和大气水汽、云特性有关的源程序包,并且所发布的产品仅仅是人工影响天气决策指挥和空中水资源监测中比较感兴趣的 10 个。将来如果业务需要,可以直接添加、编译源程序即可。由于源程序的开放性,反演运算中参数的本地化成为可能,反演结果会更加接近本地实际。

另外,北京大学物理学院大气科学系多年来从事卫星资料的反演工作,编制了大量相关的图像、资料处理程序,这对进一步扩展平台的资料处理功能提供了极大的帮助。

3 平台解决的关键技术问题

3.1 实现了实时利用 MODIS 资料对内蒙古大气水汽、云特性进行监测

卫星遥感在大范围环境和气象参数监测过程中有着很大的优势,但是监测时能否做到实时是制约监测效果的因素之一。MODIS 有着良好的空间分辨率,在内蒙古已经广泛用于农业生态、火情监测,本平台移植威斯康星和北京大学的相关反演技术和源程序,实现了实时反演大气水汽和云特性,为人工影响天气决策指挥和实时监测内蒙古空中水资源构建起平台。

3.2 为人工影响天气决策指挥提供探测依据构建了基础的平台

人工影响天气作业决策指挥时,需要汇总大量的实时探测信息^[5,6],卫星遥感资料是其中较重要的实时探测信息。威斯康星大学向全球提供的 MODIS 反演源程序,为业

务使用 MODIS 资料提供了技术支持,搭建起的平台已经实现了 MODIS 资料的业务处理、发布。DVBS 下发有多种卫星多种探测仪器的资料,以 NOAA 系列卫星为例,目前 DVBS 下发的资料基本上可以在每天白天任意时刻覆盖内蒙古自治区,现有工作为将来可以针对更多的卫星资料进行处理,获得更好时空分辨率的卫星遥感探测产品奠定了坚实的基础。

4 实例分析

4.1 定性分析实例

平台已于 2006 年 7 月份正式投入业务运行,用 MODIS 反演的云水含量和在内蒙古人工影响天气中心已经业务运行的 MM5 嵌套微物理模式的模拟结果定性比较

来看,二者还是有较好的一致性的。

图 2 中(a)为 MM5 微物理嵌套模式于 2006 年 8 月 3 日预报的 8 月 4 日 05 时至 06 时(图中为世界时)的大气可降水分布图(图中颜色由黑到灰表示水汽含量由 0.5cm 到 6.0cm 变化,空白区域表示无效结果或水汽含量小于 0.5cm);(b)为 2006 年 8 月 4 日 05 时由 MODIS 资料反演得到的云水含量(为清晰起见图中仅保留云水含量大于 $0.18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的丰水区数据,由黑色表示)。由图 3 定性的看,模式结果显示的丰水区主要集中在蒙古国境内;MODIS 资料反演的云水含量产品图表明实时监测到的云水丰富区也集中在蒙古国境内,丰水区的地理分布和范围走向在空间位置上对应得很好。

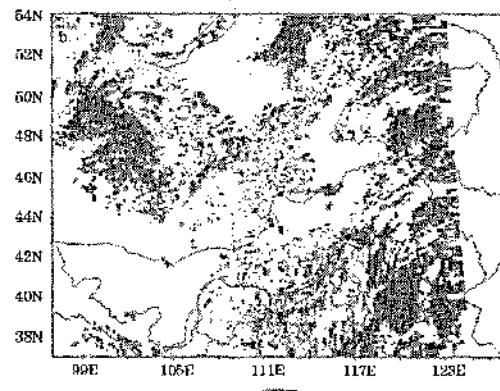
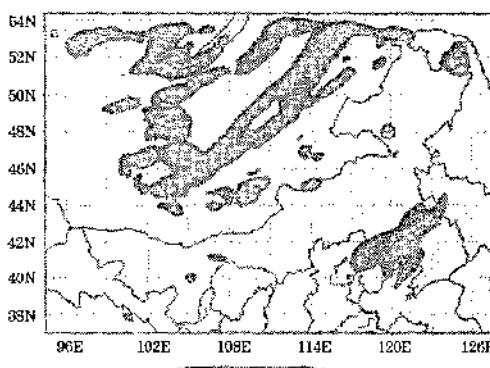


图 2 MODIS 反演结果(a)与 MM5 微物理嵌套模式输出结果(b)的比较

4.2 定量分析实例

2006 年 8 月 28 日,内蒙古气象科学研究所进行了一次飞机人工增雨作业,作业过程中,云状全部是高层云,飞行过程发现云层是单层的,对 MODIS 反演云液水含量有利,同时飞机降落过程中的滑行时间(11 时 14 分到 16 分)恰好和搭载 MODIS 的一颗卫星 AQUA 过境呼和浩特市的时间(11 时 33 分)较接近,由机载 31.65GHz 微波辐射计(中科院长春地理所研制,反演算法由中科院

大气物理研究所提供^[7,8])反演的云液水含量资料可以用来与由 MODIS 资料反演出云液水含量资料进行比较(比较结果如图 3 所示)。

图 3 中灰色覆盖区是由 MODIS 反演得到的云液水含量值在 $0.18 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 至 $0.19 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的云区,为方便起见其他等值线未画出,由机载 31.65GHz 微波辐射计测值反演得到的云液水含量值为 $0.12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。两种结果相比较,量级是一致的,但是 MODIS 反演结果偏大,原因有如下几个:第一,MODIS

观测与微波辐射计观测的时间并不完全匹配,二者相差15分钟,这个时间天气系统有所变化;其次,MODIS观测的是云顶亮温,再由经验关系得到云的液水含量,经验关系的使用必然会产生较大误差,反演算法有待优化、提高;再次,机载微波辐射计安装后的定标次数不多(从2006年4月份安装到8月份仅定标2次)和反演算法自身的不成熟,同样影响了微波辐射计对云液水含量观测的准确性。

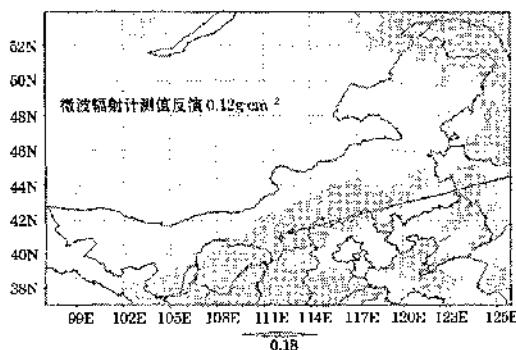


图3 MODIS反演结果与机载微波辐射计反演值的定量比较

5 结论

搭建利用MODIS资料监测内蒙古上空大气水汽、云特性的业务平台,主要目的在于监测内蒙古空中水资源状况和人工影响天气决策指挥。此平台利用DVBS中的MODIS资料,移植威斯康星MODIS产品反演源程序,实现了对内蒙古地区大气水汽和云特性的实时监测,并对进一步开发使用MODIS其他产品和使用其他卫星遥感资料奠定了重要的工作基础,在理论和实践上均具有重要

意义;得到的产品通过和模式运算结果、机载微波辐射计反演结果对比,可以看到在定性分析时二者有较好的一致性,定量分析时,两者尽管存在一定误差,但是两种结果有相同的量级。随着反演算法的发展,使用的卫星资料种类的增多,反演结果的精度必然会大幅度提高,该平台在人影决策指挥过程中将发挥更大的作用。

致谢:感谢内蒙古气象科学研究所和内蒙古自治区气象局遥感中心的同仁们在平台搭建过程中提供的大力支持!感谢中科院长春地理所的赵凯老师和中科院大气物理研究所的肖恒池老师、魏重老师、沈志来老师和周璇同学在机载微波辐射计定标和云水含量反演方面给予的帮助!

参考文献

- [1] 陈渭民.卫星气象学(第二版)[M].北京:气象出版社,2003.
- [2] 李成才,毛节泰,刘启汉.用MODIS遥感资料分析四川盆地气溶胶光学厚度时空分布特征[J].应用气象学报,2003,14(1):1-7.
- [3] 刘玉杰,杨忠东.MODIS遥感信息处理原理与算法[M].北京:科学出版社,2001.
- [4] 杨正华.网页制作特效与实例[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [5] 陈怀亮,邹春辉,周毓荃.人影决策指挥地理信息平台的建立和应用[J].南京气象学院学报,2002,25(2):265-270.
- [6] 王以琳,边道相,刘文,等.山东飞机人工增雨作业决策系统[J].应用气象学报,2001,12(增刊):185-193.
- [7] 肖恒池,魏重,沈志来,等.机载微波辐射计测云中液态水含量(I):仪器和标定[J].高原气象,2003,22(6):551-557.
- [8] 江芳,魏重,肖恒池,等.机载微波辐射计测云中液态水含量(II):反演方法[J].高原气象,2004,23(1):33-39.