



风云二号气象卫星图像定位和卫星风精度的改善中解决问题的途径



作者简介:许健民(1944—),男,中国工程院院士.1965年毕业于南京气象学院,主要从事气象卫星数据处理和应用的研究和业务工作.在担任国家卫星气象中心主任(1986—1996年)期间,气象卫星资料在自然灾害监测、农作物长势监测以及生态环境监测等方面发挥了重要作用.1998—2010年担任风云二号静止气象卫星地面系统总师,所领导的研究组全面实现了风云二号气象卫星图像的实时、全自动、像元级高精度定位,在大气运动矢量产品的开发中,提出了快速算法和在云高度指定中区分薄卷云和低云的新算法.

E-mail: xujm@cma.cn

摘要

本文以改善风云二号气象卫星图像定位和卫星遥感风精度的工作为例,简述工程技术任务中解决问题的途径.

关键词

气象卫星;图像定位;大气运动矢量

中图分类号 P228;P405

文献标志码 A

0 引言

1969年2月,周恩来总理提出要搞中国自己的气象卫星.1974年12月,钱学森向当时的中央气象局领导指示:“把气象卫星星体、运载工具造出来,完成发射、测量、轨道定点控制等工作,由航天部门归口.关于气象卫星如何发展、走什么途径、采用什么体制,以及气象卫星资料的接收、传输、处理、台站建设等工作,要从气象上去研究,由中央气象局承担”.这个指示明确了中央气象局在气象卫星系统工程中的责任.为此,经国务院批准,中央气象局于1978年成立一个下属单位——国家卫星气象中心,专门承担这两大任务.

一个型号的卫星,从规划到实现,须要经历6~8年的时间.规划工作既要有远见,在型号实现时不落后,又要保证依靠自己的技术力量能按期完成任务.数据处理工作要把星上传递下来逐个像元的观测资料拼接成图像,定标、定位准确,推导出能代表地物和大气物理状态的产品,检验它们的精度.这些工作有很大的体量和难度,由许多科技人员组成的团队共同完成.在气象卫星发展的初期,由于我们当时知识水平、经验、技能的不足,遇到过很多困难.曾经有一段时间做不对,或者做不准.本文第1节及第2节,以笔者参与过的一小部分工作:风云二号气象卫星图像的定位和卫星遥感风的推导为例,介绍气象卫星数据处理工作中遇到的困难和解决问题的过程;第3节总结笔者的工作经验.希望本文有助于相关专业的学生在走上工作岗位之后,较快地适应可能面临的工作局面.

风云气象卫星至今已经发射了17颗.关于这些卫星的性能、数据、产品、服务,已经有许多发表的文章可以参阅.读者可以从文献[1-

收稿日期 2019-06-18

基金项目 国家自然科学基金(40275007,41275036)

1 国家卫星气象中心,北京,100081

5]中找到有关的内容.

1 风云二号气象卫星图像定位精度的提高

风云二号是中国第一代静止气象卫星.静止气象卫星的高度,距离地面大约 36 000 km,相当于地球半径的 6 倍,极地轨道卫星高度的 40 倍.在静止轨道高度上实现气象卫星观测,遇到了比极地轨道卫星更复杂的工程技术问题,必须要通过星地协同工作的方式来实现.

卫星的姿态必须可控,做到精准、稳定、可度量.三轴稳定是最合理的姿态控制方式.目前的风云四号 A 星就是采用了三轴稳定姿态控制方式.在三轴稳定姿态控制体制下,卫星的姿态在 x - y - z 三个空间维度上都受控,在任何时间都面向地球上的观测目标物,更容易提高观测质量和观测频次.虽然三轴稳定姿态控制方式优点很多,但是对卫星平台的姿态控制能力要求极高.在风云二号规划的时候,航天部门还难以做到.

自旋稳定体制把卫星做成一个圆柱体,使卫星围绕圆柱体旋转.扫描仪借助卫星的自旋实现东西向扫描.自旋过程中,扫描镜面向地球时,开机观测采集资料.在下一个旋转周期,扫描镜在南北方向挪动一步,观测另一个条带.通过这样的方式,实现对地球的两维扫描成像.风云二号卫星获取一幅完整的地球圆盘图像,耗时约 25 min.图像上的每一个像元,观测时间都不一样,但是逐个像元都准确已知,不影响数据的定量应用.云图十分逼真,好像从卫星上俯视地球拍摄的照片一样.自旋稳定的缺点是,在卫星自旋一周的 360° 方位中,只有 18° 面向地球,其余 342° 在空转.受卫星自旋约束,扫描镜在观测目标物上驻留的时间不可能延长,影响观测信噪比的提高;卫星的观域,只在南北方向可调,在东西方向不可调,影响观测范围调整的灵活性和观测频次的提高.虽然自旋稳定观测体制存在这些缺点,但是它也有明显的优点,即不需要对卫星进行频繁的姿态控制,从而容易做到稳定可靠.在我国航天事业发展早期事故比较多发的年代,天然稳定可靠的体制,是非常重要的选择因素.而且采用自旋稳定体制的东方红二号甲通信卫星,当时已经成功.所以风云二号卫星选择了自旋稳定观测体制.

在风云二号卫星获取一幅云图的时段里,卫星、地球、太阳都在运动,准确地把逐个像元的观测数据拼接成图像,需要知道每个瞬间卫星的位置和姿态,

以及太阳、地球等参照物的位置.还要在数学模型中将卫星、地球、太阳的位置参数正确地联系起来.

三点测距系统被用来测量卫星的位置.在地面上设三个测距站.通过无线电波在卫星和测站之间的传输时间,推出它们之间的距离,从而确定测距瞬间卫星的位置.再根据卫星轨道方程,推出任意瞬间卫星的位置.

控制好扫描辐射仪的开机时间,确保其在扫过地球的范围内存像,是地面系统的工作.卫星每自旋一圈,都会看见一次太阳,因此可以用太阳作为参照物,使得扫描仪在面向地球的时间开机,并将逐条扫描线精确配准.卫星从扫过太阳到扫过地球之间的夹角,是一个天文几何关系,只要知道卫星的位置和自旋轴的指向,就可以精确算出.

卫星的姿态根据地面上已知地点的地标影像,或地球中心在图像上的位置,反推求出.将一系列图像组成时间序列,放在一起观察,可以看到地球圆盘在卫星云图上呈周期式的摆动和旋转.整个地球圆盘在南北方向摆动,同时它自身还在旋转.摆动和旋转的周期,恰好等于卫星围绕地球公转一周所需的时间.这样的图像表现,一定是受到某种规律支配的结果.画出卫星对地观测的三度空间示意图,可以解释观察到的现象.在理解图像表现的基础上,列出卫星对地观测的数学表达式,建立闭合的方程组.对于自旋式静止气象卫星,描写卫星和地球之间关系的图像定位方程组,由 13 个参数组成,用到 13 个坐标系.个别参数可能在特定的坐标系中具有清晰的几何和物理意义,但是在另外的坐标系中才保持守恒.对这些参数和坐标系的深刻理解和准确表达,是建立风云二号气象卫星图像定位数学模型的基础.

为了验证定位数学模型的正确性,进行了相关参数的精度分析,建立了仿真系统,通过数值模拟,检验了公式和坐标转换的正确性和程序的有效性.通过广泛调研,还学习了有关的天文知识,采用了当时国际上最先进的坐标体系.

通过这项工作,国家卫星气象中心创新地提出,在地球圆盘图像的时间序列中,存在卫星姿态和扫描仪失配的信息.根据这个原理,自主设计了基于地球圆盘图像时间序列的图像定位算法.这种算法用地球圆盘图像的时间序列作为已知量,自动解算出全套图像定位参数,还设计了容错措施,使定位系统能容忍某些条件下太阳或月亮光对观测图像的干扰,可以正常工作.系统不依赖图像上的地标,也不

需要操作人员进行手工作业^[6]。

风云二号气象卫星图像定位的研究工作,是利用FY2B出现故障以后,带病运行获得的数据进行的。FY2B的数据质量并不好,但是对FY2B数据的观察和分析,为理解风云二号卫星的行为和工作原理,提供了宝贵的资料。图像定位问题解决以后,对风云二号卫星的工作机理和系统中参数的含义有了更深刻的理解。在此基础上,对地面系统中的软件进行检查。对曾经发生过的问题,找到根源,改正错误,使地面系统的坚固性大大提高,为地面系统的稳定运行夯实了基础。

2006年10月,美国国家航空航天局(NASA)局长Griffin访问国家卫星气象中心。卫星气象中心向他展示了风云二号卫星实时收图的情况:先把预报地理网格显示在屏幕上,然后接收云图。结果显示,实时接收卫星图像上的海陆边界,与事先显示的地理网格完全一致。Griffin回美国后,在NASA网站的主页上写道:“We have seen some very nice things. We saw a very nice algorithm by which Chinese weather satellite developers correct for the apparent motion of the Earth as a result of minor shifts in the orbit of geostationary spacecraft.”^[7]

2 卫星遥感风精度的改善

1998年10月,国家卫星气象中心用日本GMS卫星的数据推导风^[8]。算法完全自行设计,在两个方面与国际上流行的算法不同:计算方案和风所在高度的估计。关于计算方案,提出了简便算法,在结果等价的前提下,计算工作量节减到原来的1/8左右,只需一台计算机就可以实现。这种算法在1996年第24届国际气象卫星协调组织会议上被记录为重要特征(Report of the 24 CGMS)^[9]。关于风所在高度的估计,国家卫星气象中心提出,在估计卫星风的高度之前,应比较追踪区域内红外、水汽两个通道测值的分布,以区分薄卷云和低云^[8]。对薄卷云需要进行高度订正,而对低云则不需要进行高度订正,这就充分利用了原来认为高度不容易做准确的薄卷云,卫星风的分布大大改进。这种高度估计方法在1998年第四届国际卫星风会议上,被记录为重要进展^[10]。后来欧洲气象卫星组织邀请国家卫星气象中心专家在他们的系统中实现了国家卫星气象中心的算法^[11]。日本气象厅Kumabe^[12]表示,中国提出的方法是有效、可用的,并在日本的系统中采用该方法。

卫星风矢量的精度与追踪目标物(通常是云)的高度确定关系极大。静止气象卫星在36 000 km的高度观测地球,而云的高度最多只有16 km,用几何方法很难确定云的高度,因此云高的确定,一般采用物理的方法^[13-15]。在物理方法中,对于密实不透明的云,可以用窗区红外通道的亮度温度,直接确定其高度。但是地球上存在大量的半透明卷云,由于从半透明的卷云向上的辐射中,含有来自云下背景的辐射,窗区红外通道测得的亮度温度,高于半透明卷云本身的实际温度,因此如果只使用一个窗区红外通道,将低估云的高度。

Szejwach^[16]提出了一种用透明通道(红外)和半透明通道(水汽)共同指定云高的算法。他指出,半透明云像元的卫星辐射测值中,不仅包含半透明云自身辐射的贡献,也包含来自半透明云下面背景辐射的贡献。假定云的半透明程度,在窗区和吸收区差别不大,那么半透明云窗区和吸收区的卫星观测值,应该呈线性相关关系。根据这种线性相关关系,可以同时估计出卷云的半透明程度和卷云所在地方的环境温度,从而比较准确地算出半透明云的高度。实现Szejwach算法的关键,是要把来自半透明云自身的辐射,以及来自云下的背景的辐射,都估计正确。

以往的卫星风算法中,其高度指定计算,和示踪物轨迹计算一样,都把示踪图像块作为整体进行处理^[17-18]。将示踪图像块作为一个整体进行处理的卫星风推导算法,没有考虑以下问题:图像块中哪些像元在运动,这些像元是否是半透明云,如果是,那么来自这些像元的卫星测值中,有多少辐射贡献来自半透明云本身,多少来自云下的背景,这些问题以前并没有深入研究。

2006年,Büche等^[19]指出,相对于作为一个整体的示踪图像块,对运动做出较大贡献的像元,更加能够代表运动中的云。选择它们参与卫星风所在高度的估计,可以比用示踪图像块作为整体的算法,做得更加准确。Borde等^[20-21]后来又对这种算法进行过改进和细化。

在Büche等^[19]和Borde等^[21]工作的基础上,2017年张晓虎等^[22-23]对风云二号卫星风矢量的算法进行了全面回顾,总结出当时风云二号卫星风矢量高度指定算法中的不足。为了提高风矢量高度指定的精度,对来自半透明云自身,以及来自云下背景的两部分辐射,都进行了精算。

在没有使用代表运动的像元以前,图像块中全

部像元都参与聚类分析,得到来自半透明云自身的辐射.这种做法不够精细,应该从图像块中,把代表随风飘荡半透明云的像元挑选出来,进行聚类,估计来自半透明云的辐射.根据像元对运动所做的贡献,可以将追踪图像块中的像元分为三部分:1)小贡献像元;2)暖区段大贡献像元;3)冷区段大贡献像元.重点考察暖、冷两个区段里大贡献像元的表现和统计特征,归纳出以下两种情况:第一种情况是,追踪图像块部分被云覆盖.在这种情况下,散点图上的暖、冷两个区段比较对称,像元的数目和个别像元的贡献,差别都不大,追踪图像块里看见了地面,暖区段的图像像元处于地面温度的典型值范围里.第二种情况是,追踪图像块全部被云覆盖.在这种情况下,散点图上的暖、冷两个区段在散点图上明显地不对称,暖区段里的大贡献像元,数目比冷区段小,贡献却比冷区段大,但是它们位于云与云之间的缝隙之中.因此无论追踪图像块部分被云覆盖,还是全部被云覆盖,都应该选择冷区段的大贡献像元,估计“来自半透明云体的辐射”.这个结论,与 Borde 等^[21]的认识不同. Borde 等^[21]认为,在某些情况下可以用暖区段大贡献像元代表云的高度.而实际上,暖区段大贡献像元往往处在云与云之间的缝隙里,云缝里的像元,其测值不能代表云的高度.

在实施半透明云高度估计的算法时,还需要使用来自半透明云下面的背景辐射.卫星并没有观测到来自半透明云下面的背景辐射.因此来自半透明云下面的背景辐射,只能用半透明云区周边无云区里的卫星测值来代表.这里也存在以下两种情况:第一种情况是,在卫星示踪云追踪区内包含有无云区.这种情况下追踪区里的红外最高亮度温度,可以代表云下地面辐射,水汽通道则不能.应该在红外亮度温度较高的某个区段里,选择水汽亮度温度相对较低的测值,估计自下而上水汽通道的背景辐射,这是因为红外亮度温度高值区段里,具有相对较低水汽亮度温度的观测像元,离云区更近.这些地方比远离云区的地方更加湿,更能代表云下的大气层结条件.由于水汽吸收的再发射作用,这些更加湿的地方,水汽通道的亮度温度相对略低.第二种情况是,追踪区正好位于云区的内部,追踪区里只看到云,没有看到云下的地面.这种情况下应该扩大搜索范围,找到附近的无云区,用附近无云区的测值,估计来自半透明云下面的背景辐射.

风云二号卫星风的高度指定,曾经有一段时间

误差较大.在做了以上改进后,算法于 2011 年改版.据欧洲中期预报中心的检验(<http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/monitoring/satellite/amv/windspeed/>),FY2E 卫星风的误差比欧洲 Meteosat7 卫星更小,达到了国际同类产品的水平^[24].

3 工程技术任务中解决问题的途径

天气预报是一个系统工程.无论做数值天气预报模式的开发,还是做卫星观测资料的处理,都需要利用尽可能完整、正确的专业知识,按时高质量完成任务.工程技术与科学研究,它们的工作重心有很大的不同.研究工作要关注创新,关注别人没有发现过的自然现象,还要指出新发现的自然现象为什么能够存在的机理;而工程则更加关注是否能成功,要求把任务做对、做准、做可靠.工程工作对参与工程的科技人员提出了非常高的要求.下面是笔者的工作经验,写在这里供大家参考.

1) 工程科技人员面对的专业领域容不得自己选择,需要解决哪方面的问题,就要把这方面的基础知识从头学起来,逐一弄懂弄通,成为内行和专家.

2) 工程工作要经受实践的检验:与实际资料做比较,对不对是硬道理.这就是“实践是检验真理的唯一标准”.气象现代化工程体量大,涉及的专业面广,以“做正确”为考核标准,对工作精度有极高的要求,而且要求系统在能适应各种恶劣的环境条件可靠地工作.其中有许多是工艺性的工作.因此要认真看图、分析资料.这要耗费大量的时间.在这方面花时间和学习基础知识、读论文一样重要,要舍得花.

3) 看资料要有灵感.要灵敏地察觉,问题可能出在哪里.这样的灵感,来自扎实的基础知识、大量资料的阅读和对问题的反复思考.

4) 对工程人员的要求,更侧重于解决问题.解决问题要从对存在问题的精准定义入手.对存在问题的科学、精准定义,是妥善解决问题的基础.如果对存在的问题看不清,没有找到切入点,只进行一般的号召,不会有什么效果.切入点找准了,就已经站在解决问题的半路上了.切入点来自对情况的深入调查和对形势的正确判断.了解情况和认清形势,要做到“见树见林”.“见林”,是指对事情的全貌,要有总体的理解;“见树”,是指对事情的细节,要有透彻的洞察.既在宏观上看到事情的全貌,又从微观上理解它的细节,才能科学地提出问题、解决问题.

5) 做任何工作,都是先有目标,后有行动,目标

必须可度量、可考核、可检查。如果当前的目标存在偏差,可以在实践中改正。只要坚持实践,不断总结经验教训,一定可以找到正确的道路。只怕没有可度量、可考核、可检查的工作目标。

6)有了目标,还要做好工作,实现目标。遇到困难是必然的。那些困扰着我们的热点问题和不理想的状态之所以存在,就是因为其艰巨性和复杂性。其中一定有错综复杂的因素和矛盾,它们相互之间盘根错节,交织在一起。对于要解决的问题,需要努力去克服困难。在解决问题的过程中,有时会陷入困境,必须要一步一个脚印,确认每一步都对,还需要有坚持不懈、锲而不舍的精神,不轻易放弃目标。半途而废等于不做。克服困难的体会,只有在走出困境以后,才能领悟。置身于困难之中,犹如在热带雨林里,荆棘丛生,找不到出路;问题解决以后,回顾过去的经历,又好像登高远望,一览无余。

7)在问题没有解决以前,人们对存在问题的理解必然是不全面、不深刻的。因此在解决问题的过程中,还要不断地去观察、体验、感知、认识、分析,领悟其中的脉络,调整思路,找到解决问题的办法。

8)要简明扼要地把事情表达清楚。把事情讲清楚,才能获得领导的支持、公众的共鸣、团队的响应。

9)要组织好团队。现在单枪匹马能解决好的问题不是很多。做事情都要依靠组织。组织要有明确的组织目标、敬业的参事人员和扎实的基础知识,还需要有互补的专业技能、团结合作的工作精神、相互认同的行为规范、互相体谅的工作环境以及详细的档案纪录。其中项目负责人特别重要。项目负责人要特别关注上面所述的第4及第6条,带领队伍克服困难。团队成员则要发挥各自的专长和优势,为组织目标做出贡献。形势的改观和局面的突破,是通过一系列优秀工作的实现达到的,绝非来自空洞的一般号召,必须用高质量的工作推动事业进步。所以,具有专业门类比较齐全的科技人员,以及他们的有效组织,是成功之本。

关注以上几个方面,对于高质量完成工程工作是非常重要的。按照这样的思路去工作,国家卫星气象中心已经完成了17颗国产卫星的数据处理任务。重要的是不怕失败,不断地实践,成功的经验和挫折的教训,都帮助我们锻炼队伍,增长才干。

参考文献

References

[1] Yang J, Zhang Z Q, Wei C Y, et al. Introducing the new

generation of Chinese geostationary weather satellites, Fengyun-4: Fengyun-4 is the new generation of Chinese geostationary meteorological satellites with greatly enhanced capabilities for high-impact weather event monitoring, warning, and forecasting [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2017, 98 (8): 1637-1658

[2] Dong C H, Yang J, Zhang W J, et al. An overview of a new Chinese weather satellite FY-3A [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2009, 90 (10): 1531-1544

[3] 许健民. 中国气象卫星的发展及应用 [J]. *中国科学院院刊*, 2013(增刊1): 50-58
XU Jianmin. Development and applications of Chinese meteorological satellites [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2013(sup1): 50-58

[4] 杨军, 许健民, 董超华, 等. 风云气象卫星40年: 国际背景下的发展足迹 [J]. *气象科技进展*, 2011, 1(1): 6-13, 24
YANG Jun, XU Jianmin, DONG Chaohua, et al. 40th anniversary of Fengyun meteorological satellites: evolution in view of the international development [J]. *Advances in Meteorological Science and Technology*, 2011, 1(1): 6-13, 24

[5] 许健民, 杨军, 张志清, 等. 我国气象卫星的发展与应用 [J]. *气象*, 2010, 36(7): 94-100
XU Jianmin, YANG Jun, ZHANG Zhiqing, et al. Chinese meteorological satellites, achievements and applications [J]. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(7): 94-100

[6] Lu F, Zhang X H, Xu J M. Image navigation for the FY2 geosynchronous meteorological satellite [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2008, 25 (7): 1149-1165

[7] NASA News. NASA administrator departs china after "rewarding" first visit [EB/OL]. (2006-09-28) [2019-05-18]. https://www.nasa.gov/about/highlights/griffin_china.html

[8] Xu J M, Zhang Q S, Fang X, et al. Cloud motion winds from FY-2 and GMS-5 meteorological satellites [C] // *Proceedings of the 4th International Winds Workshop*, Saanenmöser, Switzerland; EUMETSAT Publication, 1998: 41-48

[9] CGMS Secretariat. Report of the twenty-fourth meeting of the co-ordination group for meteorological satellites [R]. Lauenen, Switzerland, 1996: 38

[10] Schmetz J, Hinsman D, Menzel W P. Summary of the fourth international winds workshop [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1999, 80(5): 893-900

[11] Xu J M, Holmlund K, Zhang Q S, et al. A comparison of two atmospheric motion vectors derivation schemes: the EUMETSAT MSG prototyping and the NSMC schemes [C] // *Proceedings of the 5th International Winds Workshop*, Lorne Australia, 2000: 57-64

[12] Kumabe R. Renewal of operational AMV extraction system in JMA [C] // *Seventh International Wind Workshop*, Helsinki, 2004: 71-76

[13] Menzel W P, Smith W L, Stewart T R. Improved cloud motion wind vector and altitude assignment using VAS

- [J].Journal of Climate and Applied Meteorology, 1983, 22(3):377-384
- [14] Nieman S J, Schmetz J, Menzel W P. A comparison of several techniques to assign heights to cloud tracers[J]. Journal of Applied Meteorology, 1993, 32(9): 1559-1568
- [15] 许健民,张其松,方翔.用红外和水汽两个通道的卫星测值指定云迹风的高度[J].气象学报, 1997, 55(4): 408-417
XU Jianmin, ZHANG Qisong, FANG Xiang. Height assignment of cloud motion winds with infrared and water vapour channels[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1997, 55(4):408-417
- [16] Szejwach G. Determination of semi-transparent cirrus cloud temperature from infrared radiances; application to METEOSAT[J]. Journal of Applied Meteorology, 1982, 21(3): 384-393
- [17] Menzel W P. Cloud tracking with satellite imagery: from the pioneering work of Ted Fujita to the present[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, 82(1):33-47
- [18] Xu J M, Holmlund K, Zhang Q S, et al. Comparison of two schemes for derivation of atmospheric motion vectors[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107(D14), DOI: 10.1029/2001JD000744
- [19] Büche G, Karbstein H, Kummer A, et al. Water vapor structure displacements from cloud-free Meteosat scenes and their interpretation for the wind field[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2006, 45(4): 556-575
- [20] Borde R, Dubuisson P. Sensitivity of atmospheric motion vectors height assignment methods to semitransparent cloud properties using simulated Meteosat-8 radiances [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2010, 49(6):1205-1218
- [21] Borde R, Oyamma R. A direct link between feature tracking and height assignment of operational atmospheric motion vectors[C]// 9th International Winds Workshop, Annapolis, Maryland, USA, 2008: 14-18
- [22] 张晓虎,张其松,许健民,等.半透明云风矢量高度算法中代表运动像元的使用[J].应用气象学报, 2017, 28(3):270-282
ZHANG Xiaohu, ZHANG Qisong, XU Jianmin, et al. Use of representative pixels of motion for wind vector height assignment of semi-transparent clouds[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2017, 28(3):270-282
- [23] 张晓虎,张其松,许健民,等.半透明云风矢量高度算法中云下背景辐射的估计[J].应用气象学报, 2017, 28(3):283-291
ZHANG Xiaohu, ZHANG Qisong, XU Jianmin, et al. Estimation of background radiation underneath clouds for wind vector height assignment of semi-transparent clouds [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2017, 28(3):283-291
- [24] Salonen K, Bormann N. Atmospheric motion vector observations in the ECMWF system: fourth year report [R]. EUMETSAT/ECMWF Fellowship Programme Research Report No. 36, 2015. <http://www.ecmwf.int/en/research/publications>

Pathways on solving problems at algorithm improvements for FY-2 meteorological satellite at image navigation and wind vector derivation

XU Jianmin¹

¹ National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract This paper describes algorithm improvements for FY-2 meteorological satellite at image navigation and wind vector derivation. From which, the pathways on solving problems at mission implementation are summarized.

Key words meteorological satellites; image navigation; atmospheric motion vectors