

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2018. 04. 01

引用格式: 王琳,李迅,包云轩,等. 遥感技术在交通气象灾害监测中的应用进展[J]. 国土资源遥感,2018,30(4):1-7. (Wang L,Li X,Bao Y X,et al. Research progress of remote sensing application on transportation meteorological disasters[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2018,30(4):1-7.)

遥感技术在交通气象灾害监测中的应用进展

王琳¹, 李迅², 包云轩¹, 邵艺¹

(1. 南京信息工程大学应用气象学院,南京 210044; 2. 北京市气象局,北京 100089)

摘要: 灾害性天气严重威胁着交通运输的安全。传统的地面监测难以满足交通运输要求。遥感技术可以有效弥补地面数据的不足,在交通气象领域中拥有广阔的应用前景和强大的生命力。由于灾害性天气会引起遥感影像上的几何或光谱特征产生显著改变,故重点介绍了遥感技术在公路运输网络、灾害性天气监测与预报、次生灾害监测和交通流监测等方面的应用。研究表明,遥感数据在交通气象灾害领域的应用有良好的理论基础和实践背景,初步获得了显著效果,是未来交通气象研究领域的重要发展趋势和研究热点。随着遥感定量化水平的提高,遥感技术在交通气象灾害的应用将取得更大的进步,从而为实施道路的实时监测和预警提供支撑。

关键词: 遥感技术; 道路交通; 气象灾害; 交通流; 次生灾害

中图法分类号: P 49 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2018)04-0001-07

0 引言

近几十 a 来,我国的交通运输业快速发展,高速公路发展势头尤为迅猛。2016 年,全国高速公路总里程已达到 13 万 km。交通运输的发展为国家社会经济提供了有效保障。但同时,它也受到了气象条件的强烈影响与制约。灾害性天气成为导致道路交通事故发生的关键因子^[1]。2001—2007 年间,我国高速公路每年约 30% 的交通事故与不良气象条件直接相关,不良天气条件下交通事故的伤亡人数约占总伤亡人数的 20%^[2]。影响最大的不良天气包括大雾、薄冰、积雪、暴雨、大风等。以京津塘高速公路为例,相对湿度、降水量和水平能见度等气象因素与万辆车流的交通事故数量密切相关^[3]。在美国每年约 28% 的高速公路交通事故和 19% 的人员死亡是由恶劣天气引起的,造成的经济损失高达 420 亿美元^[1]。未来,随着汽车保有量的增加和交通运输系统效率的提高,气象灾害对道路交通安全的影响也将越加显著。

如何预防灾害性天气对交通运输的影响,成为亟待解决的问题。实时交通气象信息的获取成为解决问题的关键环节。传统的气象观测站可以为交通

气象提供背景资料,但其站点分布稀疏,气象要素又具有高度异质性,这样的数据难以直接应用到道路管理上。目前我国正大力发展交通沿线的气象监测,在主要道路沿线布设了自动气象监测站。然而,这样的监测设备依然太少,且分布极不均匀,大部分省份,尤其西部地区覆盖很少。如果道路周边自然环境比较复杂多变,那么这种定点监测数据就很难用于交通气象的准确预报。

遥感数据是一种重要的数据源。它具有监测范围广、更新时间快、成本低等特点,能够有效弥补地面监测的不足。遥感技术不仅有助于实时全面了解灾害发生过程,也有助于灾害预警和预报,对灾后救援和恢复重建也能发挥很好的作用,目前已广泛应用于生态环境调查、大范围灾害监测预报以及风险评估等研究中,能够大大提高灾害调查的客观性和准确性。

伴随着遥感技术的发展,以及交通运输业对大时空覆盖数据的迫切需求,发展面向交通应用的遥感技术具有重大意义和巨大潜力。美国交通气象信息国家需求评估报告指出^[1],交通气象信息系统应该在传统的天气预报模式基础上,加入新型的遥感技术。随着我国经济的快速发展,遥感技术在交通中的应用也有待深入研究。

收稿日期: 2017-06-13; 修订日期: 2017-11-03

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项项目“高速公路交通气象灾害风险评价技术研究”(编号: GYHY201406029)资助。

第一作者: 王琳(1977-),女,博士,副教授,主要从事应用气象、环境遥感等方面的研究。Email: linwangnuist@hotmail.com。

通信作者: 包云轩(1963-),男,博士,教授,主要从事交通气象领域的研究。Email: baoyx@nuist.edu.cn。

1 遥感技术在交通气象监测中的应用

遥感技术在气象监测与预报、道路交通监测的应用中都已经获得了阶段性成果。下面就其主要应用领域及进展情况进行综述。

1.1 公路运输网络的遥感监测

在遥感影像上,公路交通运输网络具有独特的特征。公路一般形状规则,具有一定的宽度,且在较大范围内宽度变化不大。公路还具有连通性,往往呈网状分布。公路的光谱特征在一定范围内也具有连续性,完好的公路路面灰度比较均匀。而且公路两侧常常分布行道树,边缘比较明显。

交通气象灾害发生后,公路的几何和光谱特征会发生显著改变。由于路基、路面遭到破坏或被积水、堆积物和冰雪等覆盖,受灾公路原先在影像上的规则几何形态会发生改变甚至消失。道路的空间连续性也会改变,形成孤立、无法相互连接的路段。道路结构的破坏和路面的堆积物会导致道路宽度变窄,受灾路段的边线可能改变或消失。同时,路基、路面物理结构的变化还会导致路面反射特性(如道路灰度和纹理均一性等)产生变化。不仅正常路段与受灾路段存在明显的光谱差异,不同形式、不同受灾程度的路段,也会表现出不同的光谱特征变化规律^[4]。

1.2 灾害性天气的遥感监测

1.2.1 浓雾和云监测

雾和云在顶部结构和纹理特征方面都具有显著差异。例如在低太阳高度角情况下,在可见光波段,雾比云具有更强的方向性反射特点。当卫星处于太阳镜面反射方向时,雾在可见光波段的反射率更高,而在其他情况下雾的反射率都低于云,同时高于下垫面。而在红外波段,雾区的亮温通常显著高于云区,这些都为雾的识别提供了依据^[5]。白天浓雾的遥感监测主要利用可见光波段反射率和红外波段亮温,而夜间浓雾监测常用的方法是热红外和中红外波段亮温差值法。近年来新出现的分形维数纹理分析方法对雾的监测也取得了良好的效果。

利用遥感技术监测雾的研究始于 20 世纪 70 年代。Gurka^[6]运用 SMS-1 卫星的遥感资料观测了辐射雾的消散过程; Eyre 等^[7]和 Turner 等^[8]利用 NOAA/AVHRR 数据进行夜间雾和低层云的检测工作; Bendix 等^[9]基于 EOS/MODIS 数据进行白天陆地雾的监测; 居为民等^[10]应用 NOAA/AVHRR 和 GMS-5 的可见光和红外遥感资料,分析了大雾的物理和图纹特征,监测了沪宁高速公路的大雾发生范围和消长规律; 李亚春等^[11]利用 GMS-5 气象卫

星资料,分析了白天雾和低层云的遥感监测和识别方法; 周红妹等^[12]利用多源多时相遥感资料,探索了雾区自动识别和云雾分离的技术。

1.2.2 暴雨监测

降水天气是影响交通最频繁的气象因素,它引起的低能见度和路面湿滑会导致交通事故的增加。尤其是暴雨,主要受中小尺度天气系统影响,在时间和空间上变化率大,是目前最难观测的大气变量之一。遥感技术为这种尺度天气系统的分析提供了重要手段,能监测从单个对流云团到整个天气系统的发生、发展和演变^[13]。降水的遥感监测研究受到了国内外科学家及有关部门的高度重视。世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)于 2007 年倡导并组织实施了高空间分辨率卫星反演降水产品评估计划(Program for Evaluation High-Resolution Precipitation Products, PEHRPP)^[14]。

遥感降水反演的传感器包括可见光、红外、被动微波和主动微波传感器等^[15-16]。基于可见光/红外遥感的降水反演算法,是最早提出的也是最简单的方法。可见光波段的反射信号能够反映云层光学厚度,红外波段的亮温可以反映云顶温度,这些参数与降水概率及降水强度存在较强相关性,可以用于地表降水的估算^[14,16]。与可见光和红外波段相比,微波遥感能够更清晰地反映降水粒子特征和降水云团的垂直结构,能够在恶劣天气下进行全天候工作。其中雷达遥感已成为短时降水预报的主要工具。1997 年发射的 TRMM 卫星搭载了世界上第一台星载降水雷达,大大推动了星载雷达的降水反演算法研究^[14]。

1.2.3 沙尘天气监测

沙尘粒子含有大量的矿物质,对太阳短波辐射具有很强的后向散射,改变了长波红外辐射,严重影响大气能见度,表现出与云、下垫面显著不同的光谱特征。在卫星影像上,沙尘区的可见光反射率一般介于晴空和云之间,而沙尘粒子的发射特性又与粒子构成及粒子密度密切相关,可以通过红外波段的亮温及不同波段间的亮温差值进一步区分沙尘与云^[17]。激光雷达能够监测激光束与气溶胶粒子相互作用产生的回波信号,获得不同高度的气溶胶消光系数和后向散射系数等参数,对沙尘天气的垂直空间分布研究有独特优势。

遥感技术已经用于沙尘源区、运移路径、背景天气和下垫面状况等的动态监测,能够反演出沙尘天气下的气溶胶光学厚度、粒子有效半径和垂直气柱沙尘总量等,实现了沙尘参数的定量分析^[18]。从 20 世纪 70 年代,国外就开始了利用卫星遥感技术

监测沙尘暴的研究。我国的相关研究大致从 20 世纪 80 年代末开始明显增加。目前随着遥感技术的发展,适合于沙尘暴监测的传感器种类在增加,性能在提高。例如 GMS/ VISSR, SeaWiFS, NOAA/ AVHRR, EOS/MODIS 和 FY 系列等遥感数据监测范围广、时间分辨率高,在沙尘监测中得到广泛应用。CALIPSO/CALIOP 是世界上首个应用型星载云和气溶胶激光雷达,能够提供全球范围多年连续的沙尘监测数据。

1.2.4 低温与积雪监测

地表温度是交通气象的关键参数之一,能够表示地表能量平衡状态,为路面冰冻提供信息。遥感反演地表温度的研究始于 20 世纪 50 年代。King^[19]最早提出了利用卫星观测热红外波段的发射辐射率来反演大气温度廓线; Smith 等^[20]对卫星反演大气温湿度廓线的发展历史进行了全面详细的总结。20 世纪 60 年代 TIROS - II 卫星发射成功后,热红外遥感反演地表温度逐渐被科学界重视^[21]。20 世纪 70 年代末开始,NOAA 系列卫星、Landsat 系列卫星、EOS 系列卫星、FY 系列气象卫星、中巴资源卫星和环境卫星等搭载的遥感仪器也源源不断地提供可用于地表温度反演的遥感数据。

积雪具有特殊的光谱特征。在可见光和近红外波段积雪的反射率明显高于裸地低于云体,而在热红外波段的亮温要低于裸地高于云体。而且云是运动的,积雪相对稳定。与周边地物相比,积雪的光谱特征较为复杂,会随着积雪厚度、结构以及液态水含量的变化而变化^[22]。微波遥感能够穿透雪层,有效弥补光学遥感的不足,是大范围、全天候监测雪深、雪水当量等参数的重要手段^[23]。范一大等^[24]针对 2008 年发生在我国南方地区的“低温雨雪冰冻灾害”,利用微波和光学遥感数据,开展积雪、交通拥堵状况和雪水当量的监测以及地表温度反演等研究。

1.3 次生灾害遥感监测

灾害性天气引发的次生灾害影响也不容低估。例如强降水造成的山洪暴发,不仅会直接淹没或冲毁路基、桥梁、涵洞,还会引发泥石流、滑坡等次生地质灾害。在公路沿线,由极端天气引发的次生地质灾害也可以被遥感影像捕获。这些地质灾害的遥感监测技术都比较成熟,监测准确率较高^[4,25-26]。洪灾是公路损毁的重要因素之一,利用遥感技术监测洪水灾害主要是通过传感器接收水体反射或发射的电磁波信号,根据水体的波谱特征,识别与提取洪水水体。利用洪水发生前后的遥感影像获得洪水的规模、淹没范围等信息。不仅如此,遥感技术还能预测可能产生的危害,如公路毁坏、车辆阻塞等,提前进

行预测预警,防控灾情的蔓延。

地质灾害的遥感识别依据,一方面是来自影像的空间结构信息,包括形状、大小和纹理等,另一方面是影像的光谱信息,如灰度的变化等。地质灾害通常在影像上与周围背景形成鲜明对比,特征独特,容易建立解译标志。例如,滑坡体通常呈规则和不规则的圈椅状,亮度与周围岩层的亮度有明显区别^[25]。崩塌普遍发生在公路两侧陡崖或陡坎处,在坡脚可见倒石堆^[26]。崩塌在遥感影像上常具有弧形、三角形和新月形等形态。由滑坡、崩塌形成的路面堆积往往表现出与周围滑坡体相近的光谱特征。这些都是地质灾害判别的显著标志。雷达遥感在道路地质灾害监测研究中也有广泛应用。例如合成孔径雷达(synthetic aperture Radar, SAR)的干涉测量技术能够有效提取地表三维信息,监测地面沉降、地表形变等地质灾害。

从 20 世纪中期,美国、加拿大和日本等国家先后应用遥感技术进行地质灾害的监测评估。在技术手段和方法上,逐渐实现定量化、模型化、现代化,经历了从传统实地航片调查,到利用多源化、多波段、高空间分辨率卫星影像以及雷达遥感与野外调查相结合的过程。我国利用遥感技术开展地质灾害调查起步较晚,但进展较快。在短短几十 a 的时间里,国内学者展开了大量采用遥感技术进行道路工程沿线地质灾害的调查分析,在地质灾害监测、危险性评价、地质灾害预测和道路损毁评价等方面做了卓越贡献^[4,27]。

1.4 交通流遥感监测

灾害发生后,车辆通行能力减弱,交通流会发生明显改变。遥感技术已经开始应用于交通流参数的提取,它能够观测整个道路网络的交通状况,将基于“点”的交通信息延伸到“面”的二维交通信息监测。与传统交通监测方法相比,它对地面不具有破坏性,不影响地面交通,覆盖面积大,获取信息丰富,可大大节省人力、物力、财力和时间。

基于遥感影像提取交通流参数的实质,是通过数据处理,完成对影像中车辆对象、车流密度、交通流量和拥堵状况等信息的提取。目前应用于交通流遥感监测的数据一般是高空间分辨率的星载光学遥感,如 IKONOS, QuickBird 和 WorldView - 2 等。但这些数据获取周期较长,难以满足动态交通信息的采集要求。航空光学遥感,特别是无人机遥感,使得高空间分辨率、高时效遥感影像获取成为可能。红外遥感和雷达遥感技术受极端天气影响小,在交通领域也取得了较好的成果,近年来其应用有明显增长趋势^[28-29]。

自 20 世纪 80 年代以来,美国、德国和日本等发达国家开始大力发展遥感技术在交通领域的应用研

究。1999 年,美国交通部联合国家航空航天局成立了美国国家交通遥感协会(National Consortium on Remote Sensing in Transportation, NCRST),重点是融合遥感数据和地面交通监测数据,对交通流、交通灾害和道路交通环境等方面开展研究。2006 年,《国际摄影测量与遥感》杂志(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS)出版了“航空和航天遥感监测地面交通”主题专刊,讨论了遥感影像车辆探测和交通参数提取等方面的研究成果。德国航空航天中心遥感技术研究所研发出一种低成本遥感飞行器(3K-camera),能够实现快速获取车流密度、速度、拥堵路段起止点和拥堵路段长度等交通信息,对车辆实现大范围的监控。国内研究起步虽然较晚,但正在加速发展。如中国科学院遥感与数字地球研究所、中国交通运输部科学研究院的交通遥感应用技术实验室,以及国内很多高校都正在开展利用遥感技术进行交通信息采集、交通事件监测等方面的研究。

2 存在问题与解决途径

相较于其他行业领域,遥感在交通运输业的应用是个新兴研究方向。虽然已经取得了一定的成功经验,但大部分只是示范性试验,距离实际应用及产业化还存在很大差距,未来还面临不少难题和挑战。

2.1 遥感数据质量和分析精度问题

遥感数据的时空分辨率与交通实际应用的精度要求还存在一定差距。光学遥感发展最早,技术最成熟,但只有在晴朗的白天才能获取有效数据,在灾害性天气条件下难以发挥作用。微波遥感虽然能够在夜间和不良天气条件下运行,但空间分辨率较低,技术方法体系尚未发展成熟。在交通灾害易发的山区,山间往往水汽聚集,能见度低,公路受复杂地形的阻挡,加上车辆目标相对较小,利用遥感影像难以充分识别出车辆信号。而且无论气象还是交通流参数,遥感反演过程中的许多物理机制还存在未解决的问题。这些都给遥感技术的应用带来了困难,限制了其在交通气象领域的应用。

这就需要不断提高遥感数据的质量。可以通过加强全天候、全天时的遥感数据获取,加强高光谱、多角度、多时相、多传感器的结合,开展高、中、低空间分辨率协同观测的能力,促进遥感机理与反演方法的深入研究^[21,30]。将来遥感的高精度定量分析将是该领域的主要努力方向。无人机具有机动灵活的数据采集能力、飞行成本低等特点,正在成为遥感产业化发展的重要驱动力之一^[31]。

2.2 多源数据融合

不同传感器获取的遥感数据具有不同的性能。不仅如此,遥感数据还需要同传统的地面监测数据以及模型有机结合起来。要实现这些多源数据的综合应用,就要进行数据融合。数据同化(data assimilation)是实现数据融合的有效途径。数据同化的参数估算方法不仅能够整合不同特性(比如多光谱、多角度、多时相)的遥感数据,而且能够整合各种测量数据和先验知识,能够把不同来源、不同时空分辨率、直接和间接的观测数据与模型模拟结果进行集成,生成具有时间一致性、空间一致性和物理一致性的各种地表状态的数据集^[32]。

2.3 尺度效应

不同时空分辨率的遥感影像之间,遥感数据的像元尺度与地面观测的站点尺度之间,都存在着尺度匹配问题。如果对尺度效应了解不够深入,就难以进行不同尺度间信息的转换。这是导致海量遥感数据无法有效利用、定量遥感研究缺乏普适性的根本原因之一^[33]。因此,如何完成不同尺度数据间的转换成为一个关键的科学问题。

解决定量遥感尺度效应问题的实质是构建反演量在不同尺度间的转换关系,即尺度转换^[34]。尺度转换的方法包括利用统计方法建立不同尺度间的统计关系,基于尺度效应的生物物理机制,以及采用分形技术等建立尺度校正的机理模型。当前国际上也已经开展了一系列多尺度观测试验研究。但总的来说关于尺度问题还缺乏成熟的理论指导。未来应该发展普适性的尺度转换方法,构建不同变量间在最佳尺度下的最佳相关关系,同时从数据和方法论 2 方面促进尺度效应和尺度转换研究^[33]。

2.4 海量数据与自动信息提取问题

遥感数据在为人类提供大量丰富信息的同时,也为从众多信息中提取特定目标提出了挑战。研究区域越大,数据量就越大,再加上交通领域实时监测的需要,数据量会更大,而且计算方法复杂。这就需要解决海量数据实时处理和实时发布的问题^[35]。目前遥感云存储是一种新兴的高效安全的网络存储技术,但还未得到普及应用。基于计算机技术的遥感信息自动识别和智能解译可以大大提高信息的提取效率,有利于实现动态监测和分析,以满足业务应用的实际需要,是未来发展的重要趋势。但是遥感的自动信息提取依然是一个科学难题,是限制遥感业务化应用的瓶颈因素之一。

3 结论

从公路运输网络监测、灾害性天气、次生灾害和

交通流监测 4 个角度阐述了遥感技术的应用现状,重点分析了浓雾、暴雨、沙尘、低温与积雪等灾害性天气的遥感监测和预报工作,并对当前存在问题及解决办法进行了探讨。主要结论如下:

1) 遥感技术正逐步成为交通气象灾害监测不可缺少的手段。它能够有效弥补地面监测的不足,而且已具备良好的理论基础,可以应用于交通气象灾害的监测。

2) 基于遥感数据开展的次生灾害监测和评价技术发展较为成熟,并已经获得了较好的应用实效。

3) 基于遥感影像监测交通流信息的研究取得了初步进展,并已经开始应用于实践中。

4) 由于受到定量遥感理论与技术发展水平的限制,遥感监测和评估交通气象灾害的研究尚未发展成熟,还存在诸多不足。

随着遥感定量化水平的不断提高,未来遥感技术在交通气象领域的应用将取得更大的进步。它将推动交通气象灾害机理研究的深入开展,为道路交通的实时监测与预警预报提供支撑。

参考文献 (References):

[1] OFCM (Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research). Weather Information for Surface Transportation; National Needs Assessment Report [R]. Washington, DC; U. S. Department of Commerce, 2002.

[2] 刘东,马社强,牛学军. 我国高速公路交通事故特点分析[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版), 2008, 14(4): 65-68.

Liu D, Ma S Q, Niu X J. Feature analyses of traffic accidents on Chinese highways[J]. Journal of Chinese People's Public Security University (Science and Technology), 2008, 14(4): 65-68.

[3] 丁德平,李迅,张德山,等. G2 京津塘高速公路万辆车流的交通事故灾害与气象综合指数的关系[J]. 灾害学, 2012, 27(3): 107-110.

Ding D P, Li X, Zhang D S, et al. The traffic accidents of Huabei freeway and its relation to the meteorological composite index[J]. Journal of Catastrophology, 2012, 27(3): 107-110.

[4] 刘玲,孟庆昕,刘晓东. 高分卫星遥感技术在公路地质灾害损毁评估中的应用[J]. 公路, 2014, (4): 159-165.

Liu L, Meng Q X, Liu X D. Application of high-resolution remote sensing technology on road geological disasters [J]. Highway, 2014, (4): 159-165.

[5] 孙涵,孙照渤,李亚春. 雾的气象卫星遥感光谱特征[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(3): 289-301.

Sun H, Sun Z B, Li Y C. Meteorological satellite remote-sensing spectral characteristics of fog [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004, 27(3): 289-301.

[6] Gurka J J. Using satellite data for forecasting fog and stratus dissipation [C]//Preprint 5th Conference on Weather Forecasting and Analysis. 1974: 54-57.

[7] Eyre J R, Brownscombe J L, Allam R J. Detection of fog at night using advanced very high resolution radiometer (AVHRR) imagery

[J]. Meteorological Magazine, 1984, 113: 266-271.

[8] Turner J, Allam R J, Maine D R. A case study of the detection of fog at night using channels 3 and 4 on the advanced very high resolution radiometer (AVHRR) [J]. Meteorological Magazine, 1986, 115: 285-290.

[9] Bendix J, Thies B, Nauss T, et al. A feasibility study of daytime fog and low stratus detection with Terra/Aqua MODIS over land [J]. Meteorological Applications. 2006, 13(2): 111-125.

[10] 居为民,孙涵,张忠义,等. 卫星遥感资料在沪宁高速公路大雾监测中的初步应用[J]. 遥感信息, 1997, (3): 25-27.

Ju W M, Sun H, Zhang Z Y, et al. Preliminary application of satellite remote sensing data on heavy fog monitoring of Huning Highway [J]. Remote Sensing Information, 1997, (3): 25-27.

[11] 李亚春,孙涵,李湘阁,等. 用 GMS-5 气象卫星资料遥感监测白天雾的研究[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(3): 343-349.

Li Y C, Sun H, Li X G, et al. Study on detection of daytime fog using GMS-5 weather satellite data [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2001, 24(3): 343-349.

[12] 周红妹,汤绪,葛伟强,等. 城市和沿海大雾遥感自动检测和云、雾分离技术研究[J]. 高原气象, 2011, 30(3): 675-682.

Zhou H M, Tang X, Ge W Q, et al. Automatic detection of heavy fog and cloud-fog separation technology in city and coastal area of eastern China based on meteorological satellite remote sensing image [J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(3): 675-682.

[13] 刘文,龚佃利,赵玉金,等. GMS 气象卫星在暴雨灾害遥感监测中的应用[J]. 国土资源遥感, 2002, 14(4): 14-16. doi: 10.6046/gtzyyg. 2002. 04. 03.

Liu W, Gong D L, Zhao Y J, et al. The application of GMS satellite to the remote sensing monitoring of rainstorm disaster [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2002, 14(4): 14-16. doi: 10.6046/gtzyyg. 2002. 04. 03.

[14] 刘元波,傅巧妮,宋平,等. 卫星遥感反演降水研究综述[J]. 地球科学进展, 2011, 26(11): 1162-1172.

Liu Y B, Fu Q N, Song P, et al. Satellite retrieval of precipitation: An overview [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(11): 1162-1172.

[15] Huffman G J, Adler R F, Morrissey M M, et al. Global precipitation at one-degree daily resolution from multi-satellite observations [J]. Journal of Hydrometeorology, 2001, 2(1): 36-50.

[16] 刘健,张文建,朱元竞,等. 中尺度强暴雨云团云特征的多种卫星资料综合分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(2): 158-164.

Liu J, Zhang W J, Zhu Y J, et al. Case study on cloud properties of heavy rainfall based upon satellite data [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(2): 158-164.

[17] 方宗义,张运刚,郑新江,等. 用气象卫星遥感监测沙尘暴的方法和初步结果[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 48-55.

Fang Z Y, Zhang Y G, Zheng X J, et al. The method for monitoring dust devil using satellite and preliminary results [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(1): 48-55.

[18] 敖艳红,裴浩,杨丽萍,等. 应用气象卫星遥感技术监测沙尘暴的研究[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(4): 99-104.

Ao Y H, Pei H, Yang L P, et al. Research on monitoring sand-dust storm using satellite remote sensing technique [J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13(4): 99-104.

[19] King J I F. The radiative heat transfer of planet earth [M]//James

- A V A. Scientific Users of Earth Satellites. Second Edition. Michigan: University of Michigan Press, 1958: 133 – 136.
- [20] Smith W L, Woolf H M, Revercomb H E. Linear simultaneous solution for temperature and absorbing constituent profiles from radiance spectra[J]. Applied Optics, 1991, 30(9): 1117 – 1123.
- [21] 祝善友, 张桂欣, 尹 球, 等. 地表温度热红外遥感反演的研究现状及其发展趋势[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(5): 420 – 425.
- Zhu S Y, Zhang G X, Yin Q, et al. Actualities and development trends of the study on land surface temperature retrieving from thermal infrared remote sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(5): 420 – 425.
- [22] 黄晓东, 梁天刚. 牧区雪灾遥感监测方法的研究[J]. 草业科学, 2005, 22(12): 10 – 16.
- Huang X D, Liang T G. Study on the remotely sensed monitoring method of snow disaster in pastoral area[J]. Pratacultural Science, 2005, 22(12): 10 – 16.
- [23] 孙知文, 于鹏珊, 夏 浪, 等. 被动微波遥感积雪参数反演方法进展[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(1): 9 – 15. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 01. 02.
- Sun Z W, Yu P S, Xia L, et al. Progress in study of snow parameter inversion by passive microwave remote sensing[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(1): 9 – 15. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 01. 02.
- [24] 范一大, 王 磊, 聂 娟, 等. 我国低温雨雪冰冻灾害遥感监测评估技术——研究与应用[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 21 – 25.
- Fan Y D, Wang L, Nie J, et al. Remote sensing monitoring and assessment technology for cryogenic freezing rain and snow disasters in China: Research and application[J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(6): 21 – 25.
- [25] 鲁安新, 史正涛, 保翰璋, 等. 川藏公路通麦至拉月茶场段遥感地质调查[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(2): 81 – 85.
- Lu A X, Shi Z T, Bao H Z, et al. The investigation of geology using remote sensing on Pailong – layue chachang of Chuanzang Road [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2001, 16(2): 81 – 85.
- [26] 李志中, 赵长英. 川藏公路中段地质灾害现象的航空遥感研究[J]. 国土资源遥感, 1998, 10(3): 14 – 18. doi: 10. 6046/gtzyyg. 1998. 03. 04.
- Li Z Z, Zhao C Y. The aerial photo study of geological hazards in the middle part of Chuanzang Highway [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 1998, 10(3): 14 – 18. doi: 10. 6046/gtzyyg. 1998. 03. 04.
- [27] 赵春川, 李永树, 张帅毅. 基于高分影像的道路损毁评估方法探讨[J]. 测绘, 2016, 39(1): 3 – 6.
- Zhao C C, Li Y S, Zhang S Y. Study on approach to road damage assessment based on high – resolution image [J]. Surveying and Mapping, 2016, 39(1): 3 – 6.
- [28] 刘亚岚, 谭衢霖, 孙国庆, 等. 交通遥感方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- Liu Y L, Tan Q L, Sun G Q, et al. Methods and Application of Traffic Remote Sensing [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [29] Suchandt S, Runge H, Breit H, et al. Automatic extraction of traffic flows using TerraSAR – X along – track interferometry [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2010, 48(2): 807 – 819.
- [30] 邱金恒, 陈洪滨, 王普才, 等. 大气遥感研究展望[J]. 大气科学, 2005, 29(1): 131 – 136.
- Qiu J H, Chen H B, Wang P C, et al. A prospect on future atmospheric remote sensing [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(1): 131 – 136.
- [31] 徐冠华, 柳钦火, 陈良富, 等. 遥感与中国可持续发展: 机遇和挑战[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 679 – 688.
- Xu G H, Liu Q H, Chen L F, et al. Remote sensing for China's sustainable development: Opportunities and challenges [J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 679 – 688.
- [32] 李 新, 黄春林. 数据同化——一种集成多源地理空间数据的新思想[J]. 科技导报, 2004, (12): 13 – 16.
- Li X, Huang C L. Data assimilation: A new means for multi – source geospatial data integration [J]. Science and Technology Review, 2004, (12): 13 – 16.
- [33] 李小文, 王祎婷. 定量遥感尺度效应刍议[J]. 地理学报, 2013, 68(9): 1163 – 1169.
- Li X W, Wang Y T. Prospects on future developments of quantitative remote sensing [J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(9): 1163 – 1169.
- [34] 栾海军, 田庆久, 余 涛, 等. 定量遥感升尺度转换研究综述 [J]. 地球科学进展, 2013, 28(6): 657 – 664.
- Luan H J, Tian Q J, Yu T, et al. Review of up – scaling of quantitative remote sensing [J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(6): 657 – 664.
- [35] 艾叶青, 王中平. 基于遥感技术的交通流检测[J]. 公路与汽运, 2014, (163): 53 – 56.
- Ai Y Q, Wang Z P. Traffic flow detection based on remote sensing technology [J]. Highways and Automotive Applications, 2014, (4): 53 – 56.

Research progress of remote sensing application on transportation meteorological disasters

WANG Lin¹, LI Xun², BAO Yunxuan¹, SHAO Yi¹

(1. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Beijing Meteorological Service, Beijing 100089, China)

Abstract: Disastrous weather is the main factor which threatens the transportation security. It is difficult for

traditional ground observation stations to monitor and forecast weather condition along roads to meet the transportation needs. Remote sensing (RS) technology can overcome this shortage, and shows great potentiality in transport weather research. Disastrous weather conditions will cause significant changes of geometrical or spectral features in RS images. Based on the research results obtained by domestic and foreign scientists, this paper mainly introduced the application of RS to transportation networks, weather disasters monitoring and forecasting, traffic flow, secondary disasters and loss assessment. Researches on application of RS to several typical weather conditions, such as heavy fog, rain storm, dust storm, low temperature, ice and snow coverage, were emphasized. There are good theoretical basis and practical background for RS to be applied to transportation meteorological disasters. Notable effects have been primarily manifested. Such researches will become the trend and the hot spot in transportation meteorology. With the development of RS quantification level, this application will acquire more progress and will provide the basis for disaster mechanism analysis, roads dynamical monitoring and forecasting.

Keywords: remote sensing; road transportation; meteorological disaster; traffic flow; secondary disaster
(责任编辑: 李 瑜)

=====

下期要目

- 高 晨 基于 GF-1 与实测光谱数据的鄱阳湖丰水期总悬浮物浓度反演
- 范小晶 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的新疆 1992—2013 年能源消费研究
- 汪 东 基于 InSAR 技术的天山乌吐劲河谷同震形变遥感研究
- 张 珂 月球哥白尼纪次级坑的形态特征和空间分布
- 白毛伟 龙门山断裂带北东段活动断裂的遥感影像解译及构造活动性
- 张晓婧 京津高铁沿线地面沉降特征(北京段)
- 张 伟 多源国产高分卫星联合区域网平差精度研究
- 张 竞 基于遥感的潮白河中游冲积平原宏观沉积特征
- 李军军 多方向小波变换高分影像边缘提取
- 李佳俊 实景模型在传统村落数字博物馆中的应用
- 孙桂芬 典型光谱指数识别火烧迹地潜力分析
- 李 静 基于多时相热红外遥感的钢铁企业生产状态辅助监测研究
- 冯 娟 基于雷达数据的区域土壤盐渍化监测研究
- 薛 理 遥感影像阴影自动扩充提取算法
- 张学利 基于消息调度机制地质服务体系构建及应用实践
- 陈 玲 高分遥感在国土资源调查中的应用综述
- 黄 巍 基于 Canny 边缘检测思想的改进遥感影像道路提取方法
- 姜 文 基于 GIS 的路网应急疏散脆弱性研究
- 杜 磊 机载激光雷达技术在滑坡调查中的应用研究
- 张永梅 一种改进的基于超像素的多光谱图像分割方法
- 刘义志 多特征混合核 SVM 模型的遥感影像变化检测
- 王永敏 土壤有机质地面高光谱估测模型对比分析
- 刘建宇 改进的基于 ASTER 数据的金矿蚀变信息提取研究