

# 基于云计算的人工影响天气业务应用的研究

王山海,马鑫鑫,刘 谦

(河南省人工影响天气中心,河南 郑州 450000)

**摘要:**在人工影响天气业务中,对作业时效性和准确性的要求逐渐提高。高效及时的人影作业离不开对作业潜力区的精准分析,传统方法是使用PC机、物理机服务器对大量的观测数据进行分析 and 复杂的模式计算。这种方法投资较大而且计算效率较低,无法适应智慧人影的发展需要。云计算通过虚拟化、云端存储和分布计算等技术,将分布的数据以及分散的计算资源集中起来,允许用户按需申请服务。云计算作为一种高效的低成本计算模式,具有广阔的应用前景。分析了云计算的基本原理、关键技术和人影作业的科学依据、研究方法。利用气象内网,提出将云计算模式引入到人工影响天气业务中,利用气象信息中心物理服务器,构造了云存储平台,将海量的基础观测数据上云统一管理。克服人影业务研究的瓶颈问题,提高人影业务的效益,使得人影业务发挥更大的作用。

**关键词:**云计算;人工影响天气;时效性;准确性

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)01-0211-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.01.038

## Research of Weather Modification Application Based on Cloud Computing

WANG Shan-hai, MA Xin-xin, LIU Qian

(Weather Modification Center of Henan Province, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:**The requirement of timeliness and accuracy of the weather modification is gradually increased. Efficient and timely of the weather modification cannot be separated from the precise analysis of the potential area of the cloud. The traditional method is to use PC and physical servers to analyze a large number of observation data and calculate complex models. This method has large investment and low computational efficiency, which cannot meet the needs of the development of intelligent weather modification. Cloud computing allows users to apply for services on demand by centralizing distributed data and distributed computing resources through virtualization, cloud storage and distributed computing technologies. Cloud computing, as an efficient and low-cost computing model, has broad application prospects. The basic principles and key technologies of cloud computing and the scientific basis and research methods of weather modification are analyzed. By using meteorological Intranet, it is proposed that introducing cloud computing model into weather modification business will overcome the bottleneck of weather modification business research. A cloud storage platform is constructed by using the physical servers of the meteorological information center, which unifies the cloud management of massive basic observation data. So it can improve the efficiency of weather modification business, and make it play a greater role.

**Key words:**cloud computing; weather modification; timeliness; accuracy

## 0 引言

云计算(cloud computing)是分布式计算、并行计算和网格计算的发展,是一种新型的计算模式。目前云计算技术得到了迅猛的发展,在商业界也到了广泛的应用。亚马逊、微软、Google、阿里、华为等各大公司都提出了各自云计划,准备在这一新兴的领域占领制高点,打造新的盈利模式。另外学术界对该研究也从

来没有停止过,各种新理论新方法层出不穷。云计算的普及势必将为各行各业带来重大变革,气象行业同样将受到重大而深远的影响<sup>[1]</sup>。云计算最大的特点是分布式(distributed)和虚拟化(virtualization),它可以将分布的数据以及分散的计算资源集中起来,允许用户按需申请服务<sup>[2]</sup>。与物理设备相比,云计算模式既可以满足计算需求,也能大大降低成本。

收稿日期:2019-02-25

修回日期:2019-06-25

网络出版时间:2019-09-25

基金项目:中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2014M33);河南省气象局科研项目(Z201508)

作者简介:王山海(1982-),男,工程师,研究方向为信号与信息处理。

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190925.1523.052.html>

人工影响天气(简称“人影”),指在适当条件下,人们通过科技手段对局部大气的过程进行影响,使某些局地天气朝着有利于人类的方向转化,从而避免或者减轻气象灾害,合理利用气候资源,实现增雨(雪)、防雷、消雨等目的<sup>[3]</sup>。目前实施人影作业主要有地面高炮(火箭架)和飞机两种方式。地面作业通常利用高炮或者火箭架向目标云发射炮弹、火箭弹,将催化剂播撒在云中,从而影响云微物理过程。飞机人工影响天气作业则是在空中飞行,将催化剂直接播撒,影响云物理过程。

在进行人影作业时,对作业潜力区的分析是必不可少的步骤。只有将催化剂播撒到潜力区内,才能取得良好的作业效果,实现人影作业目的。目前对作业潜力区的分析主要是使用 PC 机,对大量的数据进行研究,得出合理的结果。随着对人影作业科学性、时效性要求的提高,传统 PC 机的计算瓶颈逐渐显现,它无法满足科学作业,发展智慧人影的需求。基于这种现状,如果能将云计算模式引入到人影领域,必将充分发挥云计算作用,大大促进人影作业效果的提升。

## 1 云计算及其关键技术

近年来,随着数据的爆炸式增长,快速处理海量的大数据成为必然,这对计算能力的需求提出新的挑战。客观上要求一种不同于传统方式的计算框架。在这种情况下,“云计算”的概念被提了出来。云计算综合了分布式计算、并行处理和网格计算,能够向各种应用提供基于硬件、基础架构、平台、软件以及存储服务<sup>[4]</sup>。云计算的核心目的是实现对计算资源、网络资源、存储资源的管理。

### 1.1 云计算的定义

云计算目前已经在学术界和产业界受到了广泛的关注和应用,但还没有关于云计算的统一定义。关于云计算的定义主要有如下几种。

(1)云计算是一种能够以灵活的方式提供计算资源的服务,满足用户按需所求,避免资源浪费<sup>[5]</sup>。

(2)云计算是一种并行的、分布式系统,可以按照约定的服务等级提供服务<sup>[6]</sup>。

(3)云计算属于一种虚拟化的计算资源,调用者使用时按需付费<sup>[7]</sup>。

从上述定义中可以发现,几种定义都将云计算看作服务。但是,这些定义都不完善。通过上述分析可以看出云计算架构具有较好的性能。它将资本投入变成可变投入,减少了投资构建数据中心和服务器的盲目性,按需付费,降低了成本。还可以从大型规模经济中获益,使用云计算,远比自己投资硬件性价比高。同

时无需考虑所需硬件设备容量,避免过高的资源配置造成浪费,也避免了过低的资源配置无法满足应用需求。在云计算环境中,网络配置灵活性大大增加,IT 资源配置快速。

### 1.2 云计算的分类

根据云计算架构及服务目的,主要可以分为以下几类:

(1) SaaS(软件即服务, software as a service)。

这种类型的云计算模式在互联网上一般通过浏览器对应用程序进行交付。通常, SaaS 应用可提供广泛的配置选项和开发环境,客户能够方便地对自己的代码进行修改和添加。

(2) IaaS(基础设施即服务, infrastructure as a service)。

IaaS 公有云供应商主要提供计算和存储服务。这种服务具有高可伸缩数据库、虚拟专用网络、大数据分析、机器学习等等。

(3) PaaS(平台即服务, platform as a service)。

PaaS 所提供的服务和工作流主要专门针对开发人员,这种服务可以方便开发人员快速开发、测试、部署应用程序。

### 1.3 云计算的关键技术

云计算是一种新型的计算架构,它以数据为中心,在数据存储、数据计算、云通信等多方面具有自身独特的技术<sup>[8]</sup>。

(1)为保证可用性、可靠性以及经济性,云计算存储采用分布式存储的方式。同时,云计算需要提供并行服务,从而保证大量用户的并发访问服务。需要具有高吞吐率和高传输率的特点。云计算常用的存储技术主要有谷歌的 GFS(Google file system)和 Hadoop 开发的 GFS 的开源实现 HDFS(Hadoop distributed file system)。大多公司应用的都是 HDFS 的数据存储技术。

(2)云计算系统对大数据集进行处理分析后向用户提供高效的服务。因此,数据管理技术必须满足能够高效地管理大数据集的要求。其次,如何在规模巨大的数据中找到特定的数据,也是云计算数据管理技术所必须解决的问题。云计算的特点是对海量的数据存储、读取后进行大量的分析,数据的读操作频率远大于数据的更新频率,云中的数据管理是一种读优化的数据管理。因此,云系统的数据管理往往采用数据库领域中列存储的数据管理模式。将表按列划分后存储。云计算的数据管理技术中最著名的是谷歌提出的 BigTable 数据管理技术<sup>[9]</sup>。

(3)为了使用户能便利地享受云计算带来的服

务,让用户能利用该编程模型编写简单的程序来实现特定的目的,云计算上的编程模型必须十分简单,必须保证后台复杂的并行执行和任务调度向用户透明。云计算大部分采用 Map-Reduce 的编程模式。目前主流 IT 厂商提出的“云”计划中采用的编程模型,都是基于 Map-Reduce 的思想开发的编程工具。Map-Reduce

不仅仅是一种编程模型,同时还是一种高效的任务调度模型。Map-Reduce 这种编程模型并不仅仅适用于云计算,在多核和多处理器、Cpu processor 以及异构机群上同样有良好的性能<sup>[10]</sup>。

云计算层次关系如图 1 所示。

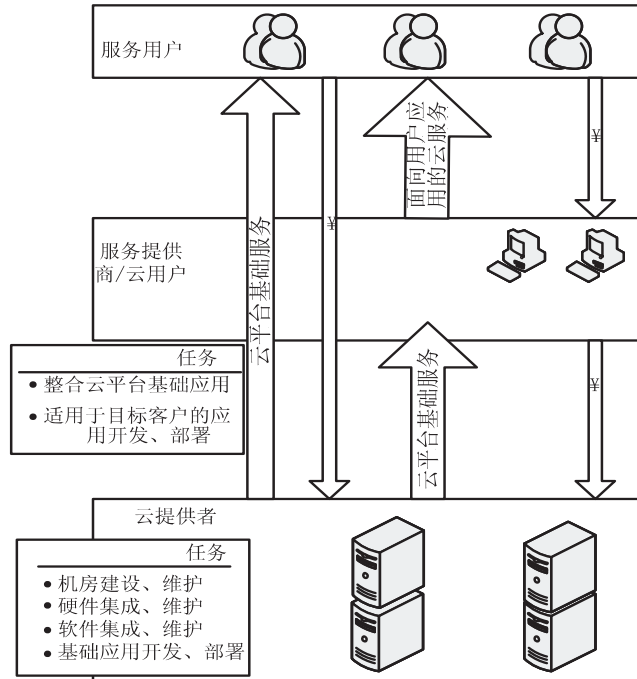


图 1 云计算层次关系

## 2 人影业务的科学依据和关键技术

### 2.1 云雾降水的基本机制

由大气中的水汽凝结(凝华)形成水滴、冰雪晶或

它们的混合物组成的可见悬浮体形成云雾<sup>[11]</sup>,构成降水的必要条件。云粒子在空中继续吸附水汽,体积与重量逐渐增长,获得较大的下落速度,并且在下落过程中没有被蒸发掉,才能形成降水(见图 2)。

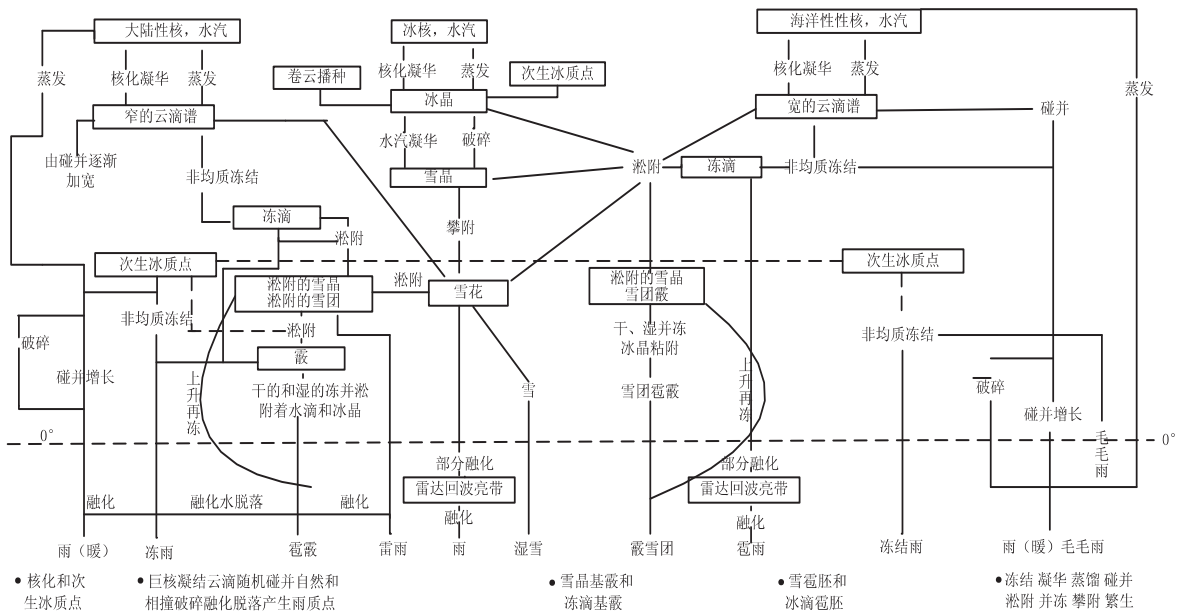


图 2 云雾降水微物理机制

自然界中的云具有不同的外形和空间尺度,可以

存在于不同的高度,其组成也有固态或液态之分。通

过分析云的分布情况和演变过程,可以研究当时的天气形势和水汽状况,还可以预测未来天气的变化。人工影响天气作业的开展,正是基于对云进行充分的宏、微观研究,掌握云雾降水机制,开发空中水资源,增加降水。但长期以来,由于云雾、降水和可降水量有很大的不确定性,尤其是对云的了解还很不透彻,人工影响天气作业中存有很大的盲目性<sup>[12]</sup>。这样导致了作业资源浪费,贻误作业时机,不能充分发挥人影作业效益。

## 2.2 人影业务的关键技术

中国的人工影响天气始于 20 世纪 50 年代,通过 50 多年的发展,目前人工影响天气无论从作业规模还是作业经费投入都处于世界前列。同时,国家大力支持建设东北、西北、中部区域人工影响工程。21 世纪初,出于抗旱防灾、减灾和改善生态环境的需要,中国人工影响天气呈现快速发展势头,国家也增大了对人工影响天气研究的支持力度,同时学术界对人工影响天气的理论和探测研究也得到了快速发展。为了更好地开展人工影响天气业务,切实提高人影作业效益,全国气象部门以及相关高校科研院所对人影业务的关键技术的研究不断深入和加强。

针对每一次天气过程,为了实现不同的需求,取得作业实效,应当在适当的时机,对适当的云体,播撒适当剂量的催化剂,即做到三适当<sup>[13]</sup>。而对作业潜力区的准确分析是做到三适当的前提。对人影作业潜力区的研究主要从天气形势、高空探测、数值模式等云降水微观特征方面展开,选取适宜人工增雨作业的云系。目前已有大量的科技文献从播云温度窗、过冷水含量与冰晶浓度、云的宏观特征以及多普勒雷达等方面论述了作业潜力区的选取。

无论采用哪种关键技术,原始观测资料是必不可少的内容。结合河南人影中心的实际业务,常用的观测资料包含以下内容,如表 1 所示。从表中可以看出,人影特种观测资料数据量较大,种类较多,如果使用传统的 PC 机或者服务器来进行数据处理,将无法满足人影业务的需求。因此,在人影领域引入云计算模式是一个不错的选择。

卫星云图是通过气象卫星观测到的地球上的云层覆盖地表特征的图像。目前接收的云图主要有红外云图、可见光云图及水汽图等。在天气分析中可以利用卫星云图识别天气系统,估计其强度和发展趋势,为研究天气提供依据。目前在学术界已有大量基于卫星云图应用展开的研究。文献[14]以 FY2 号气象卫星云图为研究对象,利用图像分割技术,去掉非台风云系,定位台风中心;文献[15]选取了 1995-1998 年的冰雹

卫星云图,分析了产生冰雹卫星云图的特征,为冰雹预报提供了技术方法;文献[16]针对中尺度强对流云团的卫星云图识别,设计了短时临近预报系统;文献[17]利用卫星云图及其他资料分析了 2002 年 7 月 17 日在华北地区上空出现的中尺度涡旋成因,对于提升对流性天气预报质量有很好的帮助作用。这些文献的研究内容都是基于卫星云图展开的,虽然卫星云图在人影研究中具有重要作用,但是卫星云图数据量较大,特别是卫星反演数据的获得,对计算机硬件要求较高。

表 1 人影特种观测资料

序号	资料	数据量级(天)	处理频次
1	风云 2(hdf)	2.5 G	半小时
2	风云 2 反演产品	200 M	半小时
3	雷达基数据	1.5 G	6 分钟
4	国家站小时雨量	10 M	1 小时
5	区域站小时雨量	10 M	1 小时
6	L 波段探空	300 M	12 小时
7	tlogp 探空	100 M	12 小时
8	自动站观测	300 M	半小时
9	WRF 模式产品	10 G	12 小时
10	Grapes 模式产品	2 G	12 小时
11	地面场	200 M	1 小时
12	高空场	200 M	1 小时

雷达在人工影响天气领域的应用也已开展了大量的试验研究工作。青海省气象局、中国科学院大气物理研究所利用 711 雷达回波、地面和高空加密观测等资料在黄河上游的玛曲地区开展人工增雨试验,研究表明天气雷达在这一工作中发挥了重要作用<sup>[18]</sup>。2002 年秋季和 2003 年春季,分别在青海省、河南省开展的云和降水的雷达观测,为人工影响天气研究工作提供了参考数据<sup>[19]</sup>。文献[20]研究表明,多普勒天气雷达风场资料可为天气系统的中尺度结构分析和人影作业潜力区的划定提供更多判定依据,它在开展人影作业指挥、作业效果评估、云和降水动力机制研究等领域具有较大的应用潜力。

云降水数值模式是人工影响天气研究中的一个关键组成部分。云降水模式是将云的三维动力学方程和云微物理方程联立,结合观测和实验结果求解。通过方程的求解,可以模拟云降水的发展演变过程。数值模式的作用体现在它能够在相同的云况下比较人影作业前后云的异同,从而可以明确人影作业的效果。同时,它也可用这些过程来重建过去的试验条件,计算其

应有的播云效果。这些程序也可用来模拟播云物质的扩散效果,提供外场试验和作业所需的实时预报,在作业区外检验播云后的潜在效应,从而有助于人影试验的统计分析。随着云降水微物理过程认识的不断深入以及计算能力的提高,可以降低人工影响天气工作的很多不确定性,提升业务能力和科技水平<sup>[21-22]</sup>。目前河南省人影中心使用的模式是 GRAPES-CAMS 模式和 WRF 模式,由于模式运算对计算机性能要求较高,地方人影机构无法满足硬件要求,因此这两种模式都是国家局人影中心计算出来后面面向全国下发。如果能够使用云计算方式,结合河南本地特征元素,在河南本地进行模式优化计算,对指导开展人影业务将会有更强的针对性。

利用上文提到的卫星、雷达、模式等资料和数据对 2004-2013 年 10 年间中部区域春、秋季降水过程进行统计分析,归纳出典型降水类型的天气系统和降水特点,总结出人影增雨潜力区相关指标,如表 2 所示。如

表 2 中部人影增雨潜力区指标

多尺度结构	特征和指标	模式识别途径
天气结构	低槽和冷锋相距 5 个经距内;地面东路和北路冷空气路径;低层 700、850 hPa 西南水汽输送	水平方向:500 hPa 位势高度、700 hPa 风场、850 hPa 风场、850 hPa 相对湿度场、海平面气压 垂直方向:风场、温度场
中尺度动力热力结构	低空 2.5 km 以下大尺度冷垫;中空 2.5-3.5 km 位势不稳定区;高空 $e-E_1 \geq 0$ 下伸区;准饱和区 $t-t_d < 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;地面-较高层 $f \geq 85\%$ 区;上升运动区 $w > 0.04 \text{ m/s}$ ;整层积分水汽 $> 30 \text{ mm}$	垂直运动场 温度露点差场 冰面过饱和场 相对湿度场
云宏观结构	云系移动偏东方向 50 km/h 云底高度 $< 2 \text{ km}$ 云顶高度 $> 4 \sim 6 \text{ km}$ 云体厚度 $\geq 2.0 \text{ km}$ 云顶温度 $-10 \sim -30 \text{ }^\circ\text{C}$ 回波强度 20 ~ 40 dBz 云带总含水量 $> 0.5 \text{ mm}$	云顶(底)温度场 云顶(底)高度场 0 $^\circ\text{C}$ 层高度 过冷层厚度 雷达回波
云微物理结构	云中过冷水 $> 0.01 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 平均冰晶浓度 $< 20 \text{ 个/L}$ 液水垂直累积量 $L \geq 0.4 \text{ mm}$ 液水区水平尺度 $\geq 10 \text{ km}$	各水成物水平和垂直分布场 过冷水场 冰晶浓度场 垂直累积液态水场

目前河南省人影中心针对云计算这种先进的 IT 架构,仅仅利用了云存储模式。基于云计算平台,利用 Hadoop 工具,充分发挥云计算性能,将其应用到人影业务中,具有更大价值。人影业务每天使用的天气预报产品以及各种观测数据,需要大量的科学计算才能给出,特别是对于模式数据,需要小型机来处理,这对于一般的省级和地市级人影部门是不现实的。而云计

果云系满足这些指标,则认为具备增雨潜力,可以进行人工增雨作业<sup>[23]</sup>。

### 2.3 云计算在人影业务中的应用

河南省气象局信息中心为了给各业务单位提供高效的计算、存储、通信服务,减轻各业务单位的运维压力和投资成本,利用气象局内网,统一部署了云计算平台。省人影中心根据日常业务需要,向信息中心申请了云存储服务,将传统的海量观测资料统一上云。

在人影日常工作中,为了做好人影业务分析工作,提高人影作业的准确性和针对性,所用到的气象数据成倍增长,每天的自动站、雷达、雨量、卫星等数据高达 17 G 左右,需不断投资购买昂贵的硬件设备,维护成本也居高不下。而云计算存储可以将数据储存在云端,集中维护,通过网络方便地为用户提供实用的存储服务。云存储对用户端的设备要求较低。具体到气象行业,科研人员只要用终端设备连接到云,就可以下载到需要的数据。

算能够给人影工作带来性能强大、配置灵活和成本低廉的协作与创新平台,提高效率。

另外,气象是一个数据资源丰富的行业,国家对气象部门建设的投入力度不断加大。虽然各单位都积累了大量的信息资源,但存在信息孤岛的现象,缺乏一个行业、部门之间的气象信息共享平台,无法充分发挥信息资源的作用。同时,重复建设问题也十分突出,造成

资源浪费。基于云计算的模式将很好地解决这个问题。对于人影行业和航空、农业、林业、水利部门之间可以创建部门云,各部门把资料放在同一云中,资料共享,共同合作,协同工作,各取所需。对于不同级别的省市县人影部门同样可以在一个云中共享资料和数据,降低建设成本。

### 3 结束语

云计算作为一种新型的计算模式,具有计算性能强大、部署快速简单、投资成本低廉的优势,在学术界和产业界得到了快速的推广和发展。人工影响天气业务在防灾减灾、改善生态环境中发挥着越来越重要的作用,在实施人工影响天气作业过程中,首先需要对大量的雷达、卫星等观测数据进行详细的分析与复杂的模式计算,才能得到精确的分析结果。而传统的计算方式都是采用PC机、服务器模式,随着对人工影响天气作业的时效性和准确性要求的提高,需要分析的观测数据量越来越大,模式计算复杂程度越来越高,传统的计算方法已经无法满足计算需求。如果能将高效先进的云计算模式引入到人工影响天气业务中,将大大提高计算的时效性和准确性,对作业潜力区的分析更加精准,从而使得人工影响天气作业更加有效,可以提高人工影响天气作业效益,使人工影响天气业务发挥更大的作用。

#### 参考文献:

- [1] 肖云,钱惠平,夏梅娟,等.初探云计算对气象领域的影响[J].浙江气象,2011,32(4):33-37.
- [2] 谢海燕.云计算的RFID数据采集和管理系统设计[J].舰船科学技术,2016,38(2):115-117.
- [3] 邓北胜.人工影响天气技术与管理[M].北京:气象出版社,2011:11.
- [4] 李乔,郑啸.云计算研究现状综述[J].计算机科学,2011,38(4):32-37.
- [5] 张建勋,古志民,郑超.云计算研究进展综述[J].计算机应用研究,2010,27(2):429-433.
- [6] BUYA R, YEO C S, VENUGOPAL S. Market-oriented cloud computing: vision, hype, and reality for delivering it services as computing utilities[C]//10th IEEE international conference on high performance computing and communications. Dalian: IEEE, 2008: 5-13.
- [7] VAQUERO L, RODERO-MARINO L, CACERES J, et al. A break in the clouds: towards a cloud definition[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2009, 39(1): 50-55.
- [8] 陈全,邓倩妮.云计算及其关键技术[J].计算机应用,2009,29(9):2562-2567.
- [9] CHANG F, DEAN J, GHEMAWAT S, et al. BigTable: a distributed storage system for structured data[J]. ACM Transactions on Computer Systems, 2008, 26(2): 1-26.
- [10] ZAHARIA M, KONWINSKI A, JOSEPH A D. Improving MapReduce performance in heterogeneous environments[C]//Proceedings of the 8th USENIX symposium on operating systems design and implementation. [s. l.]: ACM, 2008: 29-42.
- [11] 苏立娟.内蒙古地区云、降水和可降水量的时空分布、变化趋势及其与气候因子的关系[D].兰州:兰州大学,2005.
- [12] 洪延超,雷恒池.云降水物理和人工影响天气研究进展和思考[J].气候与环境研究,2012,17(6):951-967.
- [13] 周毓荃,史月琴,孙晶,等.第34届中国气象学会年会S14云降水物理与人工影响天气进展论文集[C]//北京:中国气象科学研究院,2017.
- [14] 王福宁.基于卫星云图的台风云系分割和中心定位研究[D].昆明:云南师范大学,2006.
- [15] 张晰莹,方丽娟,景学义,等.黑龙江省产生冰雹的卫星云图特征[J].南京气象学院学报,2004,27(1):106-112.
- [16] 洪毅,李玉柱,陈智源,等.中尺度强对流天气卫星遥感短时临近预报系统设计[C]//中国气象学会2007年年会气象综合探测技术分会会场论文集.北京:中国气象学会,2007:1047-1053.
- [17] 李云川,王福侠,戴念军,等.一次中尺度涡旋的成因分析[J].气象,2003,29(11):33-35.
- [18] 赵仕雄,德力格尔,涂多彬.黄河上游降水云层对流特性及降水微结构机制研究[J].高原气象,2003,22(4):385-392.
- [19] 李仑格,德力格尔.高原东部春季降水云层的微物理特征分析[J].高原气象,2001,20(2):191-196.
- [20] 刘黎平,邵爱梅.新一代可移动式天气雷达在人工影响天气中的应用研究[J].暴雨灾害,2007,26(1):40-45.
- [21] 楼小凤,师宇,李集明.云降水和人工影响天气催化数值模式的发展及应用[J].气象科技进展,2016,6(3):75-82.
- [22] 聂元丁.基于云计算的国家级气象资源池设计与建设[J].计算机技术与发展,2018,28(12):132-136.
- [23] 杨敏,黄毅梅.我国中部区域人工增雨天气系统分型及典型天气系统特点[J].气象与环境科学,2017,40(4):63-69.