# Study on the Development and Application of Hainan Cloud Water Resource in 2015

Qiaoming Huang<sup>1,2</sup>, Guangrui Huang<sup>1</sup>, Yanbin Huang<sup>1</sup>, Zhiyuan Mao<sup>1</sup>, Guangwei Li<sup>1</sup>, Fenghua Xing<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Artificial Weather Centre, Hainan Weather Bureau, Haikou Hainan <sup>2</sup>Hainan Key Laboratory for South China Sea Meteorology and Disaster Mitigation, Haikou Hainan Email: Huangqiaoming@sina.com

Received: Jun. 20<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jul. 14<sup>th</sup>, 2017; published: Jul. 17<sup>th</sup>, 2017

### Abstract

Using the FNL data of NCEP/NCAR, combining with fusion products of the meteorological satellite and the ground precipitation observation data, cloud water resource monitoring and evaluation method (CWR-MEM), data decoding and format conversion method of GrADS, air water resource and the characteristic parameters of the distribution characteristics and variation trend of Hainan in 2015 were studied. The distribution characteristics of various properties in different regions of Hainan cloud water resources were analyzed, including spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in Hainan in 2015 and the previous years.

### **Keywords**

Cloud Water Resources, Precipitation Enhancement Potential, Evaluation, FNL Reanalysis Data, CWR-MEM Method

## 海南2015年空中云水资源开发应用的研究

### 黄巧明1,2,黄光瑞1,黄彦彬1,毛志远1,李光伟1,邢峰华1

<sup>1</sup>海南省气象局人工影响天气中心,海南 海口 <sup>2</sup>海南省南海气象防灾减灾重点实验室,海南 海口 Email:Huangqiaoming@sina.com

收稿日期: 2017年6月20日; 录用日期: 2017年7月14日; 发布日期: 2017年7月17日

### 摘要

利用NCEP/NCAR的FNL再分析资料,结合气象卫星与地面降水观测资料的融合产品,采用云水资源监测

**文章引用:**黄巧明,黄光瑞,黄彦彬,毛志远,李光伟,邢峰华.海南 2015 年空中云水资源开发应用的研究[J]. 气候 变化研究快报, 2017, 6(3): 155-163. <u>https://doi.org/10.12677/ccrl.2017.63017</u>

评估方法(CWR-MEM)和利用GrADS对FNL再分析资料进行解码和格式转换等方法,对海南2015年空中 云水资源及特征参量分布特征和变化趋势进行了研究,也分析了海南不同区域的云水资源各特征量的分 布特征,并对海南2015年及历年降水量的时空分布特征进行分析。

### 关键词

云水资源,增雨潜力,评估,FNL再分析资料,CWR-MEM方法

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

CC O Open Access

### 1. 引言

海南的季节性和区域性干旱,影响工农业生产,为解决水资源短缺问题,需要了解海南空中云水资源的分布及其变化规律。由于云水量资料获取较为困难,导致云水资源的研究比较缺乏,阻碍了空中水资源的开发利用。本文应用中国气象科学研究院人工影响天气中心的水资源监测评估方法(Cloud water resource-monitoring and evaluation method,简称 CWR-MEM)和利用 GrADS (Grid Analysis and Display System)对 NCEP/NCAR (美国国家环境预测中心/大气研究中心)的 FNL (Final Operational Global Analysis) 再分析资料进行解码和格式转换等方法,对 2015 年海南空中云水量的分布特征和变化趋势进行分析和研究。估算空中云水资源人工增雨潜力,为开展人工增雨作业提供科学依据,这具有十分重要的现实意义[1]-[10]。

### 2. 资料和方法

### 2.1. 资料

### 2.2.1. 大气再分析资料

采用 NCEP/NCAR 提供的 6 小时一次 FNL 再分析资料,一天 4 次(世界时 00 时、06 时、12 时和 18 时),空间分辨率 1°×1°,垂直方向从 1000 hPa 到 10 hPa 共 26 层。包括地面气压、海平面气压、位势高度、温度、相对湿度以及风场等信息,同时在垂直方向上也能给出不同高度的大气特征量。FNL 资料是 T254 L64 谱模式的高分辨率资料同化地面观测、无线电探空、气球、飞机和卫星观测资料得到的。本文利用 GrADS 对 FNL 资料进行解码和格式转换[11] [12]。

### 2.2.2. 降水融合产品

采用国家气象信息中心下发的气象卫星与地面降水观测资料的融合产品(CMPA-Hourly, V1.0),水平分辨率 1°×1°,时间分辨率为1小时。

### 2.2. 方法

应用云水资源监测评估方法 CWR-MEM,根据大气水平衡理论,归纳得到(0-T)时段内,任意区域内的水汽和水凝物的平衡方程[13]:

水汽终值 – 水汽初值 = 水汽输入 – 水汽输出 + 蒸发 – 凝结 + 地面蒸发 (1)

水凝物终值 - 水凝物初值 = 水凝物输入 - 水凝物输出 + 凝结 - 蒸发 - 降水 (2)

云水资源及相关物理量的计算方法:

一定时段(0-T)、一定区域范围(X,Y,Z)的云水资源评估量包括各种水物质总量、水物质更新周期和水物质转换效率三类,共十个参量。各参量的概念和计算方法如下:

水汽总量 GQv: T 时段内,评估区域内参与大气水循环过程的水汽总量。

GQv = 水汽初值 + 水汽输入 + 地面蒸发 + 蒸发

或 GQv = 水汽终值 + 水汽输出 + 凝结

水凝物总量 GQh: T 时段内,评估区域内参与大气水循环过程的水凝物总量。

GQh = 水凝物初值 + 水凝物输入 + 凝结

或 GQh = 水凝物终值 + 水凝物输出 + 降水 + 蒸发

降水总量 GR: T 时段内,分析区域的降水总量。

GR = T 时段内区域雨量累加

云水资源总量 GCWR:一定范围,一段时间中,水凝物总量中没有降到地面的那部分。

GCWR = 水凝物总量 - 降水总量

= 水凝物终值 + 水凝物总输出 + 蒸发

或 GCWR = 水凝物初值 + 水凝物总输入 + 凝结 - 降水

水汽更新周期 Tv: 0-T 时段,评估区域内水汽瞬时总量的平均值和平均降水强度的比值。 Tv = 水汽瞬时总量的平均值/(总降水量/时段)

水凝物更新周期 Th: 0-T 时段,评估区域内水凝物瞬时总量和平均降水强度的比值。

Th = 水凝物瞬时总量的平均值/(总降水量/时段)

水汽凝结效率 P: 一定范围, 一段时间中, 总凝结量占总水汽量的比率。

P= 总凝结量/水汽总量

水汽降水效率 Ev: 一定范围, 一段时间中, 降水总量占水汽总量的比率。

Ev = 降水总量/水汽总量

水凝物降水效率 Eh: 一定范围,一段时间中,降水总量占水凝物总量的比率。

Eh = 降水总量/水凝物总量

总水物质降水效率 Em: 一定范围, 一段时间中, 降水总量占总水物质总量的比率。

Em = 降水总量/总水物质量

### 3. 云水资源评估值

### 3.1. 海南 2015 年云水资源评估值

海南 2015 年空中云水资源评估计算结果见表 1。 水汽和水凝物输入和输出量评估值列于表 2。

### 3.2. 海南 2015 年不同区域云水资源评估值

海南东部地区(包括文昌、琼海和万宁),西部地区(包括昌江和东方),北部地区(包括海口、定安、澄迈、临高和儋州),南部地区(包括乐东、保亭、陵水和三亚),中部地区(包括屯昌、白沙、琼中和五指山)的空中云水资源的计算评估结果值分别列于表 3~表 5。

表 1. 海南 2015 年至中云水资源评估组				
特征参量	2015 年评估值			
水汽总量 GQv	2.19623×10 <sup>15</sup> kg (21962.3 亿吨)			
水凝物 GQh	4.949×10 <sup>13</sup> kg (494.9 亿吨)			
水汽更新周期 Tv	5 day			
水凝物更新周期 Th	10.7 hour			
水汽凝结效率 P	2.2%			
总水物质降水效率 Em	2%			
水汽降水效率 Ev	2.1%			
水凝物降水效率 Eh	94%			
空中云水资源总量 GCWR	3.15×10 <sup>12</sup> kg (31.5 亿吨)			

### Table 1. Evaluation values of the Hainan 2015 cloud water resource 表 1. 海南 2015 年空中云水资源评估值

**Table 2.** The water vapor and hydrometeor boundary of each input and output evaluation value of Hainan in 2015 **表 2.** 海南 2015 年从各边界输入和输出的水汽和水凝物评估值

	输入(亿吨, 10 <sup>11</sup> kg)	输出(亿吨)	净输入量(亿吨)
水汽 Qv	2054.58	2047.175	74.1
水凝物 Qh	166.094	160.4896	5.60472

### **Table 3.** The air water amount of material evaluation value in different regions of Hainan in 2015 **表 3.** 海南 2015 年不同区域空中各水物质总量评估值

区域	水汽总量 QGv (亿吨,10 <sup>11</sup> kg)	水凝物总量 QGh (亿吨)	降水总量 QR (亿吨)	云水资源总量 GCWR (亿吨)
东部	3796.1	98.9	92.3	6.6
西部	2302.4	41.8	38	3.7
北部	6823.4	144.6	135.3	9.2
南部	4396.7	95	88.1	7
中部	4309.6	121.3	111.6	9.8

 Table 4. The air water material evaluation value of different areas of Hainan in 2015

 表 4. 海南 2015 年不同区域单位面积上空中各水物质评估值

区域	面积 (km²)	水汽量 Qv (mm)	水凝物量 Qh (mm)	降水量 R (mm)	云水资源量 CWR (mm)
东部	6040	62,849.3	1637.7	1527.8	109.9
西部	3860	59,647.7	1082.1	985.5	96.6
北部	10,280	66,375.6	1406.3	1316.5	89.8
南部	6960	63,170.4	1365.2	1265.1	100.1
中部	7180	60,022.1	1690.1	1554	136.1

分析 2015 年不同区域的云水资源评估量可见:北部的水汽总量最多,西部的水汽总量最少,水汽更新也较快,4至6天;水汽凝结效率都差不多,在2%左右,其中水汽凝结效率最高的是中部,约为2.8%,最少的是西部,约为1.8%。在各区域中,北部和中部的水凝物总量较为丰沛,西部的水凝物总量最小,

区域	水汽更新周期 Tv (day)	水凝物更新周期 Th (hour)	水汽凝结效率 P(%)	降水效率 Ev (%)	降水效率 Eh (%)
东部	4	10	2.6	2.4	93
西部	6	11	1.8	1.7	91
北部	5	10.6	2.1	1.9	94
南部	5	10.8	2.2	2	93
中部	4	10.9	2.8	2.6	92

**Table 5.** Evaluation value of water substances update cycle and conversion efficiency in different regions of Hainan in 2015 表 5. 海南 2015 年不同区域水物质更新周期和转换效率评估值

但平均到单位面积上后,中部的水凝物平均值最大,东部次之,西部的水凝物平均值也是最小。各部区域的水凝物降水效率比较大,都在90%以上。而各部区域的水汽降水效率 Ev 和总水物质降水效率 Em 均较低,约 2%左右。

海南不同区域中,中部和东部水凝物总量较大,云系有较高的降水效率,云水资源总量也最为丰沛; 西部区域水凝物总量为各部区域中最少,降水效率也最低,都有很大一部分云水资源可供开发利用。

### 4. 海南不同区域云水资源各特征量的分布特征

#### 4.1. 海南 2015 年不同区域云水资源总量分布特征

海南空中云水资源总量 GCWR 在中部、东南部最为丰沛,西部云水资源总量相对较少,空间分布极 不均匀,如图 1 所示。

### 4.2. 海南 2015 年不同区域水汽和水凝物存量分布特征

海南岛水汽分布是西南部少、四周多,这可能与海南岛地形和四周是海洋有关;而水凝物的分布与 降水趋势相类似,中部的水凝物多,而四周少。与水汽相比,水凝物的瞬时存量明显小于水汽约3个量 级,且空间分布更为不均匀。水汽存量主要位于海南岛的沿海地区,最小值在西南部;而水凝物存量的 最大值位于中部,依次往本岛四周减少,如图2所示。

### 4.3. 海南 2015 年水汽和水凝物平流输送分布特征

海南水汽平流输送值中部较大,东北部次之,西部和西南较小。而水凝物平流输送值在中部最小, 西部反而最大。海南水汽和水凝物平流输送分布有所相反;水凝物的年平流输送明显小于水汽约1个量级,如图3所示。

#### 4.4. 海南 2015 年水汽和水凝物更新周期

水汽更新周期年平均值大多在 4~6 天之间,水凝物更新周期 10~11 小时,如图 4 所示。

### 5. 海南岛历年降水量的时空分布特征

海南岛 50 年(1961~2010)平均降水量的空间分布,如图 5 所示。从中可以看到,全省各市县年平均 降水量都比较大,降水丰沛,全省年平均降水量接近 1800 mm。其中以中部的琼中县为最多,达到 2401.5 mm,而西部的降水量普遍较小,其中东方市的年平均降水量最少,仅为 962.2 mm,是全省最缺水的地 区。就不同区域的降水量而言,中部单位面积上的平均降水量最大,东部次之,均超过 1500 mm,西部 单位面积上的降水量最小,不足 1000 mm。



Figure 1. Total cloud water resource distribution feature in the air of different regions of Hainan in 2015 [10<sup>11</sup> kg] 图 1. 海南 2015 年不同区域空中云水资源总量分布特征[10<sup>11</sup> kg]



Figure 2. Distribution characteristics of Hainan in 2015 (a) water vapor (b) hydrometeor [mm] 图 2. 海南 2015 年存量分布特征 (a) 水汽 (b) 水凝物[mm]



Figure 3. Distribution characteristics of net transport of Hainan in 2015 (a) water vapor (b) hydrometeor  $[10^{11} \text{ kg}]$ 图 3. 海南 2015 年净输送值分布特征 (a) 水汽 (b) 水凝物[10<sup>11</sup> kg]

由于地形和热带气候的影响,降水量在时空上分布极不均匀,东湿西干非常明显。每年 5~10 月是多



Figure 4. The update cycle of Hainan in 2015 (a) water vapor [day] (b) hydrometeor [hour] 图 4. 海南 2015 年更新周期 (a) 水汽[天]和 (b) 水凝物[小时]





图 5. 海南岛 50 年平均降水量的空间分布特征

雨季,总降雨量达1500 mm 左右,占全年降雨量的70%~90%;每年11月至次年4月为少雨季,仅占全年降雨量的10%~30%;海南岛中部和东部降水量较大,西部降水量较小。海南岛属季风气候区,盛行风随季节变更。冬半年,常风以东北风和东风为主,平均风速2~3 m/s。夏半年,海南岛转吹东南风和西南风,且夏秋台风较多,水分和热量都比冬半年充足。海南处于热带地区,阳光充足,日照时间长,水分蒸发量大,少雨季干旱常常发生。

### 6. 海南 2015 年气候概况

2015年1月~12月,海南降水量较常年平均偏少24%,其中:2月、3月、5月、8月月雨量较常年同期异常偏少5~7成;1月、6月、9月、10月较常年同期偏少1~3成;4月、12月降水量较常年同期偏多约1~3成;11月降水量与常年同期持平。如图6所示。



**Figure 6.** Distribution characteristics of monthly average precipitation of Hainan in 2015



### 7. 小结

应用水资源监测评估方法 CWR-MEM 和利用 GrADS 对 FNL 资料进行解码和格式转换的方法,分析 评估了 2015 年海南空中云水资源,分析结果对开发人工增雨潜力无疑具有重要的参考意义。

1) 海南 2015 年空中云水资源总量 31.5 亿吨,水汽净输入量 74.1 亿吨,水凝物净输入量 5.6 亿吨。

2)海南不同区域中,中部和东部水凝物总量较大,云系有较高的降水效率,云水资源总量也最为丰
 沛,西部区域水凝物总量为各部区域中最少,降水效率也最低。

3) 海南 2015 年不同区域云水资源总量 GCWR 分布特征,在中部、东南部最为丰沛,西部云水资源 总量相对较少,空间分布极不均匀。

4) 海南 2015 年不同区域水汽和水凝物存量分布特征,水凝物的瞬时存量明显小于水汽约 3 个量级, 且空间分布更为不均匀。

5) 海南 2015 年水汽和水凝物平流输送分布特征,水汽和水凝物平流输送分布有所相反;水凝物的 年平流输送明显小于水汽约1个量级。

6) 海南 2015 年水汽更新周期年平均值大多在 4~6 天之间,水凝物更新周期 10~11 小时。

7) 海南岛 50 年(1961~2010)降水量的时空分布特征,全省各市县年平均降水量都比较大,降水丰沛, 年平均降水量接近 1800 mm。

8) 海南岛 2015 年平均降水量较常年平均偏少 24%,为 1360.5 mm。

### 基金项目

资助信息:中国气象局华南区域气象中心科技攻关项目《人工增雨潜力的自动分级预报设计》。

### 参考文献 (References)

[1] 周毓荃, 蔡淼, 欧建军, 等. 云特征参数与降水相关性的研究[J]. 大气科学学报, 2011, 34(6): 641-652.

[2] 李兴宇, 郭学良, 朱江. 中国地区空中云水资源气候分布特征及变化趋势[J]. 大气科学, 2008, 32(5): 1094-1106.

- [3] 樊增全,刘春蓁. 1980-1987 年华北地区上空水汽输送特征[J]. 大气科学, 1992, 16(5): 548-555.
- [4] 刘国伟, 周仪. 中国大陆上空水汽输送的研究[J]. 水利学报, 1983(2): 31-35.
- [5] 刘洪利,朱文琴, 宜树华, 等. 中国地区云的气候特征分析[J]. 气象学报, 2003, 61(4): 466-475.
- [6] 杨大生,王普才.中国地区夏季 6~8月云水含量的垂直分布特征[J].大气科学,2012,36(1):89-101.
- [7] 陈勇航, 黄建平, 陈长和, 等. 西北地区空中云水资源的时空分布特征[J]. 高原气象, 2005, 24(6): 905-912.
- [8] 张泽中,黄强,齐青青,等.云水资源的生态和环境功探讨及其应用[J].干旱区资源与环境,2008,22(10):1-4.
- [9] 周德平, 宫福久, 张淑杰, 等. 辽宁云水资源分布特征及开发潜力分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 644-651.
- [10] Seo, E.K. and Liu, G.S. (2006) Determination of 3D Cloud Ice Water Contents by Combing Multiple Data Sources from Satellite, Groud Radar and a Numerical Model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45, 1494-1504.

- [11] 邓伟,陈海波,马振升,等. NCEPFNL 全球分析资料的解码及其图形显示[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(3): 78-82.
- [12] 李葳. NECPFNL 资料解码及数据格式转换[J]. 气象与减灾研究, 2011, 34(1): 63-68.
- [13] 蔡淼. 中国空中云水资源和降水效率的评估研究[D]: [博士学位论文]. 南京信息工程大学, 2013.

### **Hans** 汉斯

### 期刊投稿者将享受如下服务:

- 1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
- 2. 为您匹配最合适的期刊
- 3. 24 小时以内解答您的所有疑问
- 4. 友好的在线投稿界面
- 5. 专业的同行评审
- 6. 知网检索
- 7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <u>http://www.hanspub.org/Submission.aspx</u> 期刊邮箱: <u>ccrl@hanspub.org</u>