

西太平洋热带海域的水汽 和云的变化特性*

王普才 忻妙新 魏 重 吕达仁

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文依据1987年9—11月西太平洋热带海域海洋大气综合考察中双波长微波辐射计观测系统和红外窗区辐射计所得到的观测资料,分析研究了考察海域的水汽和云的变化特性,得到了一些有意义的结果。双波长微波辐射计观测系统可以获得水汽场的动态变化和云中液态水的演变;西太平洋海域的个例显示出辐合区的垂直气柱水汽含量比非辐合区的明显大的特征;用红外亮度温度可以近似估计晴空大气垂直气柱水汽含量。

关键词: 微波遥感; 水汽; 云液态水含量; 红外遥感。

一、引 言

西太平洋热带海域综合考察对于研究海气相互作用及其对东亚气候年际变化的影响具有重要意义。作为西太平洋热带海域综合考察的观测项目之一,水汽和云的观测占有重要位置,因为水汽是描述大气状态的基本参量之一,它对大气状态的变化反应敏感,同时水汽既是海洋大气之间物质交换又是其能量交换的重要因子;云对辐射场有重要影响并通过辐射对大气产生作用,进而对气候发生影响;云的出现改变大气的垂直结构,影响海洋大气界面的热量和动量交换。双波长微波辐射计观测系统是进行水汽和云观测的有用工具。地基微波辐射计的观测与卫星的空间遥感相结合,将能获得全球范围内的目前还十分缺乏的水汽资料,这将大大地提高卫星的利用价值,有助于全球气候变化的研究。

在1987年9—11月由中国科学院组织的第三次西太平洋热带海域海洋大气综合考察期间,我们用船载双波长(1.35cm, 8.6mm)微波辐射计系统和便携式红外窗区辐射计(8.5—12.5 μm)对大气中的水汽总量和云中积分液态水含量以及天空红外亮度温度作了测量,获得了约7000组观测资料。另外,配合辐射计的观测,还对天气状态、云型和云量作了观测记录。用物理统计反演方法实时得到了大气垂直气柱水汽含量和云积分液态水含量。

本文利用上述资料,通过个例分析和统计分析研究了所考察的海域的水汽和云的变化特性,得到了有意义的结果。

1989年8月2日收到,1990年2月21日收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目,它亦属中国科学院支持的项目的一部分。

二、观测仪器、观测方法及反演方法

我们把原用于陆地上观测的双波长辐射计^[1,2]改装后随“实验3号”科学考察船参加西太平洋热带海域综合考察。双波长微波辐射计和 HP-9825 微型计算机连接在一起,构成双波长微波辐射计观测系统。用微机控制微波辐射计作定时观测,以每5分钟时间间隔自动采集数据并利用观测间隙实时处理资料,反演得出大气垂直气柱水汽含量和云中积分液态水含量。我们的观测主要侧重于有天气系统(包括一些剧烈天气过程)来临时的水汽场的演变特点,我们也注意积累稳定天气下的水汽和云的资料,以便得出观测海域的水汽和云的统计特征,如平均量、日变化和分布等。另外,我们还用日本制造的 ER-2007 型便携式红外窗区辐射计观测天空亮度温度,用所得的晴空部分资料研究晴空红外亮度温度与晴空垂直气柱水汽总量的关系,而用云天部分资料反演云底高度,以期进一步改善由微波辐射计反演的水汽总量和云中积分液态水含量的精度。另外,我们还记录了天气状况、云型和云量,以供资料分析。

我们用物理统计方法^[1,2]反演了资料。所反演的水汽总量与探空求得的结果相比较,均方根偏差为 0.73 g/cm^2 ,两者相关系数为 $0.88^{[2]}$ 。

三、第三次西太平洋热带海域考察航线

第三次西太平洋热带海域考察中“实验3号”船的航线在 $5^\circ \text{N} - 5^\circ \text{S}$, $125^\circ - 150^\circ \text{E}$ 的范围内。航线上共设置了82个测站,其中包括一个位于 130°E , 5°N 的5天同步测站(“科学1号”考察船在 135°E , 15°N 处进行同步观测),二个停靠48小时的测站分别位于 140°E 和 150°E 的赤道上,三个停靠24小时的测站在 $(145^\circ \text{E}, 0^\circ \text{N})$ 、 $(150^\circ \text{E}, 5^\circ \text{N})$ 和 $(140^\circ \text{E}, 5^\circ \text{N})$,其余均是停靠半小时的测站。

四、观测结果及分析

1. 西太平洋热带海域水汽的变化特点

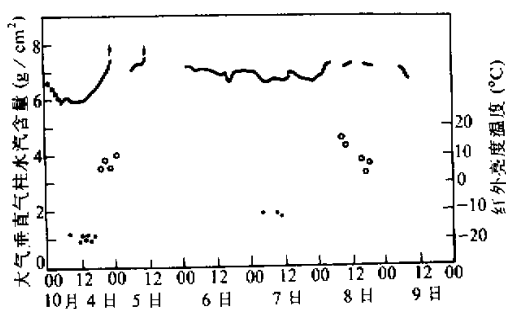


图1 同步测站(130°E , 5°N)上连续5天的观测结果

——晴空红外亮温, ○——云天红外亮温

图1是“实验3号”船同步测站连续5天的观测结果。这5天前后的天气形势是这样的：10月3日一热带低压系统控制了130°E以西0—20°N的大片区域，考察船位于该系统东侧并受其影响。此外，当天在(35°N，125°E)处有一中纬大陆冷高压，而在(20°N，155°E)处有一热带高压；10月4日，上述中纬大陆高压东移，而相应的热带高压西移并与中纬高压南北呼应联成一片，使得130—150°E的整个热带及亚热带以至中纬地区都处于高压控制。考察站(5°N，130°E)处于高压的西南边缘。这时，前述热带低压系统范围大大缩小，对测站影响不大；10月5日伴随中纬大陆高压东移，热带高压北退，已对本站影响不大，

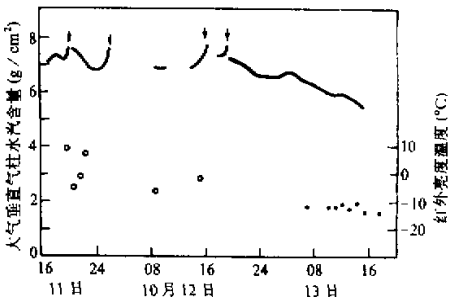


图2 16号48小时连续测站上(140°E 5°N)的观测结果
——晴空红外亮温，○——云天红外亮温

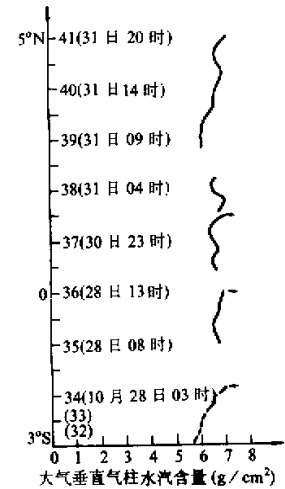


图3 沿150°E经线，从3°S到5°N的航线上的观测结果

这时，海域受其西面的热带低压系统影响较大；10月6日—7日，该热带低压系统进一步西移并衰退，这时海域受大天气系统影响较小；10月8日以后，另一热带低压系统在考察站东面(7°N，140°E)生成，向西偏北方向移动，影响本站。这样的天气形势印证了我们的观测结果：10月4日水汽总量呈高→低→高的变化形式，反映了测站由受热带低压影响转变到受高压影响进而高压影响减弱的过程。当天傍晚前后水汽总量值降到很低(6g/cm²)，相应的红外亮温只有-18℃，而其它日子的晴空红外亮温在-12℃以上。这样低的水汽值和红外亮温正是高压气团空气相对干燥的反映；10月5日受热带低压影响，对流旺盛，积云发展快，云量加大，降水频繁，水汽总量也增大。随着云加厚，水汽总量不断增加，达到7g/cm²；10月6—7日，测站转为稳定的多云天气，降水频度减小，水汽总量稳定在7g/cm²左右；10月8—9日，受新生的热带低压影响，降水频度增大，水汽总量又有增加。

图2是16号48小时连续观测站(0°N，140°E)的观测结果，可以看出，在10月11和12日，水汽总量值都较大，约为7g/cm²，而13日的水汽总量小得多，最小约为5.8g/cm²。红外辐射计的测量结果也印证了这一点。10月11日和12日红外亮温在-10℃以上，而13日在-10℃以下。当时的天气形势是：10月9日考察区域有低压形成，深度为1008hPa，中心位置在(10°N，138°E)；10月10日热带低压加深到1002hPa；10月12日该低压继续加深，转变成19号台风(STS 8719)，其最低气压为985hPa，中心已北移到(16.2°N，137.2°E)；10月13日，该台风继续向

西北方向移去, 中心气压降到 965 hPa. 这时, 台风离开测站已很远, 测站转为晴天, 水汽总量值很快减小, 相应的红外亮度温度也降低.

图 3 是沿 150°E 经线, 从 3°S 到 5°N 的观测结果, 而图 4 是在上述沿线上的第 36 号测站 (0°N , 150°E) 的连续 48 小时观测结果. 由于 32 和 33 号站不在 150°E 的经线上, 在图 3 中我们用虚线表示在那里观测的结果, 从图中可以看出, 从莱城经 32, 33 号站, 空气较干并且水汽总量在 6.0 g/cm^2 以下, 而经过其它地方 (比如 34—38, 40—41 号测站) 水汽总量一般都在 6.8 g/cm^2 左右. 但是, 我们发现 39 号测站水汽总量小得多, 约为 6.0 g/cm^2 . 从图 4 可以看出, 在 36 号站的 48 小时连续观测中, 也出现过较低水汽值, 约为 6.0 g/cm^2 . 船上同时施放的探空印证了 36 号测站的低值, 探空得到的水汽总量为 5.6 g/cm^2 . 39 号测站的低值因为没有探空资料而无法印证. 能够连续获得水汽场的动态变化是双波长微波辐射计的特色. 图 4 中的低水汽值可以从当时的天气形势得到解释. 图 5 (a) 和 (b) 是对应的 10 月 28 日和 29 日的热带地面流场分析图. 可以看出, 28 日考察船位于辐合区, 水汽值相对较大. 29

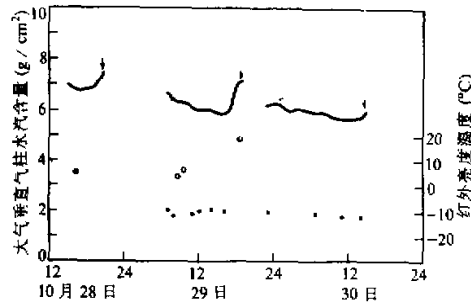


图 4 36 号 48 小时连续测站 (0°N , 150°E) 上的观测结果

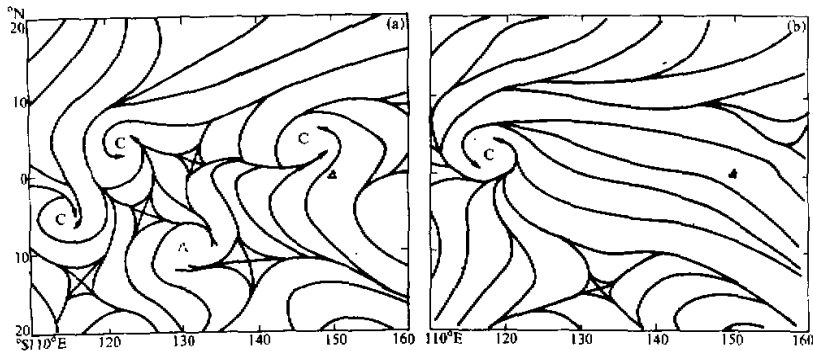


图 5 热带地面流场分析图, Δ 代表“实验 3 号”

(a) 1987 年 10 月 28 日地方时 22:00 (b) 1987 年 10 月 29 日地方时 10:00

日考察船不在辐合区，所在区域流线变得比较平直，这天的水汽值较28日明显低。30日的情况与29日类似。可以认为，辐合区的水汽总量值比非辐合区的明显高许多。

2. 降水云中云液态水含量的变化特点

在考察海域内，虽然纬度比较低，台风不能直接在这里生成，但是有相当多的台风胚胎是在这海域内发育的。在热带低压内，对流旺盛，积云发展很快，容易形成降水，热带低压活动频繁，降水频度也随之增大。图6(a)一(d)是几个降水过程的云中液态水含量和水汽总量的变化的例子。其中图6(b)和6(c)是轮船行进时的变化，图中的小箭头指示降水发生的时刻。从这些例子中可以看出，降水发生前10分钟内液态水含量都是增加的，伴随云的发展和云中液态水含量的增加，垂直气柱水汽含量也有所增加，在降水发生前的短时间内，垂直气柱水汽含量一般都增加，但在降水发生的瞬间，水汽含量有时继续增加，有时反而减小，情况较为复杂。图6(b)是一次晴天→密卷云→高积云→层积云发展并形成降水的过程。这次降水过程发生前的一段时间内，液态水增长比其它几个例子给出的降水过程要慢，而且存在起伏现象。图6(d)是“实验3号”在2.5小时内穿过三块浓积云的过程。

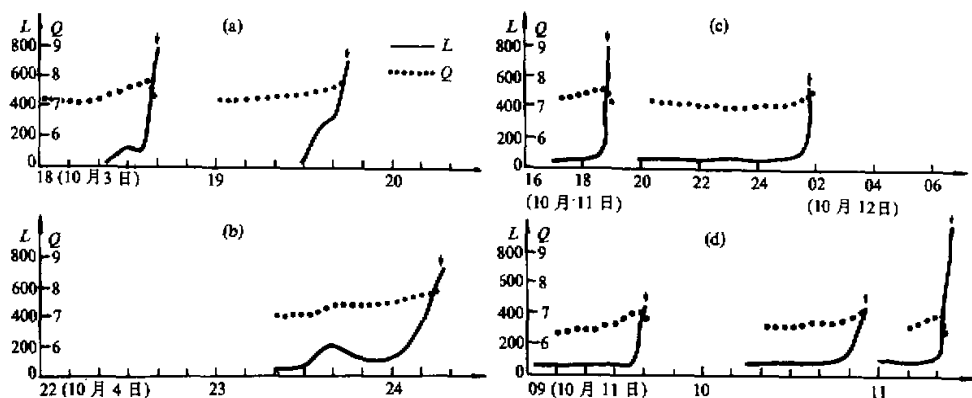


图6(a)一(d) 降水发生前云中液态水含量和水汽总量的变化

L——云中积分液态水，Q——垂直气柱水汽总量

3. 红外亮度温度与晴空大气垂直气柱水汽总量的回归关系

红外亮度温度与晴空大气垂直气柱水汽总量有可以接受的相关性^[3]。红外亮度温度和晴空大气垂直气柱水汽总量之间的回归关系列于表1中。表中广州的系数是用广州的1983年8月一个月份的探空廓线资料由理论模式计算得到的，西太平洋海域的回归系数则是用第三次考察资料计算得到的。由表1可以看出，用晴空红外亮度温度可以近似地估计晴空大气垂直气柱的水汽总量。

表 1 晴空红外亮度温度 T_b 和大气垂直气柱水汽总量 Q 的回归关系单位: $T_b(^{\circ}\text{C})$; $Q(\text{g}/\text{cm}^2)$

地 区	回归方程	相关系数	资料份数
广 州	$T_b = -36.79 + 5.21Q$	0.94	31
西太平洋	$T_b = -43.02 + 4.89Q$	0.79	22

五、总 结

综上所述得出以下看法:

(1) 双波长微波辐射计观测系统是陆地也是海洋上探测的实用手段, 可以获得水汽场的动态变化和云中液态水的演变。

(2) 一般情况下, 当天气由晴转阴时, 垂直气柱水汽含量增加, 反之则减少。

(3) 西太平洋的个例显示出辐合区的垂直气柱水汽总量比非辐合区内明显大的特征。

(4) 在降水前 10 分钟, 云中液态水含量猛烈增加, 垂直气柱水汽总量也增加, 但在降水发生的瞬间, 水汽总量有时会减少, 情况较复杂。

(5) 大气垂直气柱水汽总量和晴空红外亮度温度间有较好的相关性, 因此可以用两者的回归关系近似地估计晴空大气的垂直气柱水汽总量。

致谢: 作者同高登义作了有益的探讨。王维为本文提供了探空资料。邹寿祥、宣越健、陈英参加了工作。林海同志给予了帮助。

参 考 文 献

- [1] 黄润恒、邹寿祥, 1987, 两波段微波辐射计遥感云天大气的可降水 and 液态水, 大气科学 第 11 卷, 第 4 期, 397—403.
- [2] Wei Chong, Lin Hai, et al., 1989, *Microwave Remote Sensing of the Earth System*, Ed. by Alain Chedin, A DEEPAK PUBLISHING, 111—126.
- [3] Wang Pucai, Lu Daren and Lin Hai, 1989, Remote Sensing of cloud Bottom Height and Cloud Temperature, *ACTA METEOROLOGICA SINICA*, 3(1), 54—63.

EVOLUTION OF WATER VAPOR AND CLOUDS OVER THE WESTERN PACIFIC OCEAN

Wang Pucai, Xin Miaoxin, Wei Chong and Lu Daren

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The evolution of water vapor and clouds over the western Pacific Ocean ($5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$, $125^{\circ} - 150^{\circ}\text{E}$) have been studied with observations obtained by a shipborne dual-wavelength microwave radiometer system and an infrared radiometer working in the IR window region during Sept. — Nov. 1987, the third survey over this area. Some useful results are presented in this paper. The dual-wavelength microwave radiometer is feasibly measuring means over ocean as well as over land. It can be used to obtain the evolution of water vapor and liquid water contents in clouds. Some cases show that the precipitable water in the convergence region is apparently greater than that in divergence region, the atmospheric precipitable water in the clear atmosphere can be determined approximately by infrared brightness temperature.

Key words: Microwave remote sensing; Water vapor; Cloud liquid water content; Infrared remote sensing.