

颜晓露, 郑向东, 李蔚, 等. 两种探空仪观测湿度垂直分布及其应用比较. 应用气象学报, 2012, 23(4): 433-440.

两种探空仪观测湿度垂直分布及其应用比较

颜晓露 郑向东* 李蔚 马金

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘 要

对 2010 年 8 月在云南腾冲利用芬兰 Vaisala RS80 和低温霜点仪 (Cryogenic Frostpoint Hygrometer, CFH) 两种探空仪测量大气湿度的垂直分布进行对比分析, 同时比较它们白天和夜间测量误差的差别, 并对国产 GTS1, RS80 和 CFH 共 3 种探空仪测量水汽总量与地基 GPS 遥测结果进行比较。结果表明: RS80 湿度测值在整个对流层比 CFH 测值偏干 ($23.7 \pm 18.5\%$); 因太阳辐射白天 RS80 偏干较夜间更明显, 比夜间偏干 ($13.5 \pm 14.8\%$)。而在对流层上层向平流层过渡区域内 RS80 湿度数据基本无效。CFH 在低温、低湿环境下对湿度能有效测量, 但在湿度较高的对流层低层测值偏高, 导致比较中 CFH 水汽总量平均比 GPS 遥测的水汽总量偏高 (4.3 ± 2.0) mm (样本数为 11), 而 RS80, GTS1 与 GPS 的水汽总量差别分别是 (0.2 ± 1.4) mm (样本数为 12), (-0.2 ± 2.2) mm (样本数为 43)。地基 GPS 遥测的水汽总量对对流层上层至平流层的水汽变化不敏感。由于 RS80 测量相对湿度在高空偏低, 通过 RS80 相对湿度测值来确定中、高云结果是偏低的, 特别是对 6000 m 以上的高云判别上, RS80 相对湿度的探测几乎很难甄别到云的存在。

关键词: RS80 探空仪; 低温霜点仪; GPS 水汽总量

引 言

在大气垂直方向上由于气压、温度和湿度较大的动态变化范围以及高空低温、低湿和低压等苛刻环境给气象探空观测提出了较高的技术要求。多种探空仪的比对观测是评估各种探空仪测量技术水平的主要手段。在全球气候观测系统框架下设立的高层大气参考网络 (GCOS Reference Upper Air Network, GRUAN), 是了解气象探空观测仪器精度水平、观测数据质量的重要手段。我国气象探空业务一直沿用独立研制的探空仪器, 其数据准确性、可靠性及应用已得到重视^[1]。目前我国业务上广泛使用的是 GTS1 型数字式探空仪^[2]。它曾与芬兰 Vaisala RS92 气象探空仪进行比对观测, 相关作者已注意到 GTS1 探空仪在湿度、风场和高度等方面存在一定差距^[3-5]。2009 年 Bian 等^[6]在昆明的同球比对观测中注意到这样的事实: GTS1 探空仪, 被认为测量大气中湿度最准的低温霜点仪 (Cryogenic Frost

Hygrometer, CFH) 及芬兰 Vaisala RS80 的气象探空仪测量的湿度数据中, GTS1 和 RS80 探测仪器测量湿度偏干。

本文主要根据 2010 年 8 月云南腾冲 11 次的 CFH 和 RS80 气象探空观测, 对 RS80 与 CFH 测量的大气湿度进行比较。除了与高空观测较为准确的 CFH 湿度数据进行比对外, 还将 CFH, RS80 和国产的 GTS1 探空仪观测积分水汽总量与 GPS 地基遥测结果进行比较, 以了解 3 种探空仪测量水汽的差异。此外, 本文还根据对流层中、上层相对湿度的测量数据来比较分析 RS80 与 CFH 观测高空云 (云出现的次数及厚度上) 的状况。

1 仪器、观测和数据处理

本文分析比较的气象探空仪是芬兰 Vaisala 公司的 RS80 探空仪, 它是 RS-GPS92 气象探空仪的前代产品, 20 世纪 80—90 年代国际上广泛使用。RS80 探空仪温度传感器使用变电容丝, 湿度测量使

2011-08-12 收到, 2012-06-01 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目 (40875014)

* 通信作者, E-mail: zhengxd@cma.gov.cn

用薄膜电容传感器,通过测量电容转化为相对湿度^[3]。RS80的测温范围为 $-90\sim 60^{\circ}\text{C}$,测量精度为 0.4°C ;相对湿度测量范围为 $0\sim 100\%$,测量误差为 $2\%\sim 3\%$ ^[7]。

CFH是能测量从对流层到平流层大范围的水汽体积混合比的霜点仪器。它是通过测量水汽在镜面凝结成露(霜)时的温度(测量范围为 $-100\sim 30^{\circ}\text{C}$)来反推大气中水汽体积混合比。CFH测量水汽最大的不确定度来自于微控制器电路的稳定性及其对镜面上的水相变化响应上。CFH测量露点温度的不确定度小于 0.5°C ,转化成水汽混合比在热带下对流层测量误差小于 4% ,在中平流层测量误差不超过 10% ^[8]。CFH作为大气水汽测量的标准仪器参加了很多次的探空比对工作,包括对卫星MLS测量水汽垂直分布的验证^[9],2010年在中国阳江进行的WMO探空仪比对观测^[10]。

地基GPS遥测水汽总量是利用GPS卫星信号穿过大气层通过水汽的湿延迟而反演出大气中水汽总量的^[11]。Wang等^[12]指出,RS80探空仪测量的水汽总量总体上低于GPS遥测结果,这种情况在白天更明显。

常规业务气象探空湿度数据是来自国产GTS1

型数字式探空仪的观测。它采用湿敏电阻来完成湿度的测量。根据颁布的国家标准^[2];GTS1型探空仪温度测量范围为 $-90\sim 50^{\circ}\text{C}$,测量精度为 $0.2\sim 0.3^{\circ}\text{C}$;湿度测量范围为 $15\%\sim 95\%$, -25°C 以上测量误差小于 5% , -25°C 以下测量误差小于 10% 。

本文湿度垂直分布比较采用水汽体积混合比,而对于应用湿度垂直分布结果探测云的分析工作,基于设定的经验判断方法,则选用相对湿度。由于Vaisala公司是国际上最大的探空仪生产厂商,在校准其探空仪时采用的是Hyland等^[13]相对于液态水面的气压方程。因此,本文中用到的水汽体积混合比和相对湿度数据均采用Hyland等^[13]相对于液面的气压方程,基于露点温度的测量数据计算而得。

2 结果分析

2.1 水汽体积混合比测量结果的比较

图1给出了CFH和RS80在云南腾冲10次测量水汽体积混合比平均结果的比较情况。图1a是两种探空仪测量水汽体积混合比的分布,图1b是CFH和RS80在各个高度上测值的相对误差 δq ,

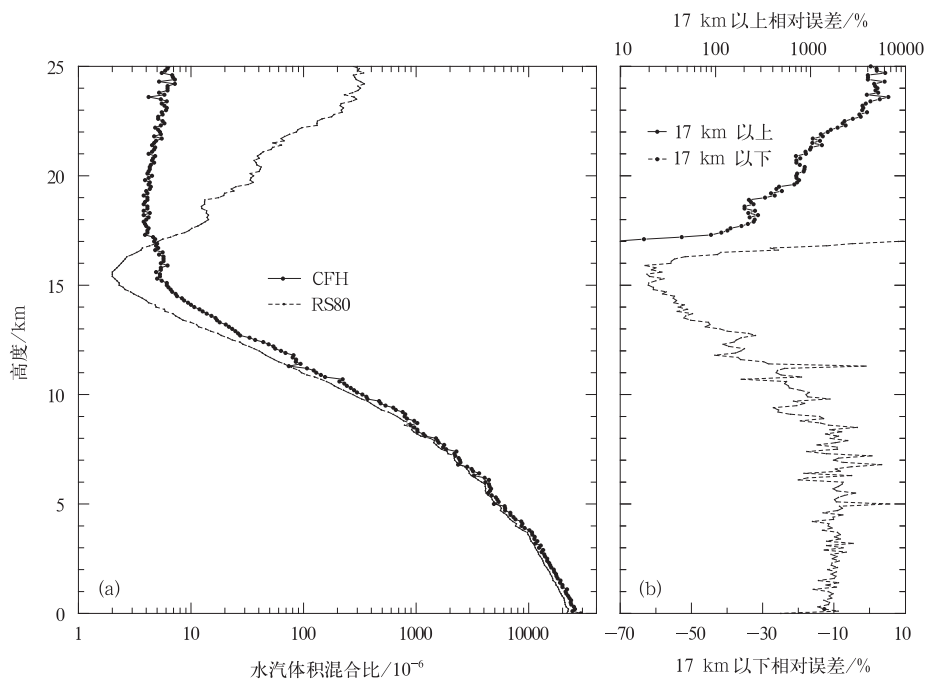


图1 2010年8月云南腾冲CFH,RS80探空仪观测水汽垂直分布的比较(a)及RS80相对于CFH的测值误差 δq (b)

Fig. 1 Vertical profiles of water concentration(a) measured by CFH and RS80 radiosondes with their relative difference δq (b) at Tengchong, Yunnan in August 2010

$\delta q = \frac{q_{RS80} - q_{CFH}}{q_{CFH}} \times 100\%$ 。从图 1a 可以看出,对流层低层两种仪器测量的水汽体积混合比较接近,CFH 测量水汽体积混合比较 RS80 测量值偏高 10% 左右。但 CFH 在对流层上层测量值明显高于 RS80。整个对流层,RS80 比 CFH 偏干(23.7±18.5)%,这也反映了 RS80 测量的水汽体积混合比在对流层偏干的事实。在平流层大概距地 17 km 以上,RS80 湿度测量值随温度的增加而升高是不符合物理意义的观测结果。CFH 测量表明在平流层低层湿度很低、垂直分布很稳定的事实。从图 1b 可以看出,RS80 测

量的水汽在 17 km 以下有干偏差,17 km 以上有湿偏差。

表 1 给出了 RS80 和 CFH 在不同高度水汽体积混合比简单统计结果比较。在整个对流层 RS80 测量水汽平均体积混合比要低于 CFH。在对流层上层到平流层低层高度,CFH 测量的水汽体积混合比低于 RS80,但标准偏差小。此外,RS80 探空仪在对流层过渡到下平流层的低温、低湿环境下水汽测量不准确,数据已没有比较的意义。

表 1 Vaisala RS80 和 CFH 测量平均水汽体积混合比比较(单位:10⁻⁶)

Table 1 Intercomparison of averaged water vapor concentrations between CFH and Vaisala RS80 radiosonde measurements(unit: 10⁻⁶)

高度/km	RS80		CFH	
	混合比±标准差	样本数	混合比±标准差	样本数
0~5	13583±5426	546	15334±6403	540
5~10	2164±1865	542	2335±2044	517
10~15	58±90	550	79±109	485
15~20	10±14	526*	4.7±1.1	382
20 以上	135±233	322*	5.0±1.0	192

注: * 表示测值已没有意义。

2.2 白天和夜间两种探空仪测量湿度的比较

本文利用 2010 年的观测中仅有的 1 次夜间两种探空仪的测量数据与任意一个中午测量的数据进行比较,以了解两种探空仪在白天和夜间测量湿度

的差异。图 2 和图 3 分别给出了 CFH 和 RS80 在云南腾冲 8 月 26 日中午和 8 月 15 日夜间接测量水汽的体积混合比的比较情况,图 2a 和图 3a 是两种探空仪测量水汽体积混合比的垂直分布,图 2b 和图 3b

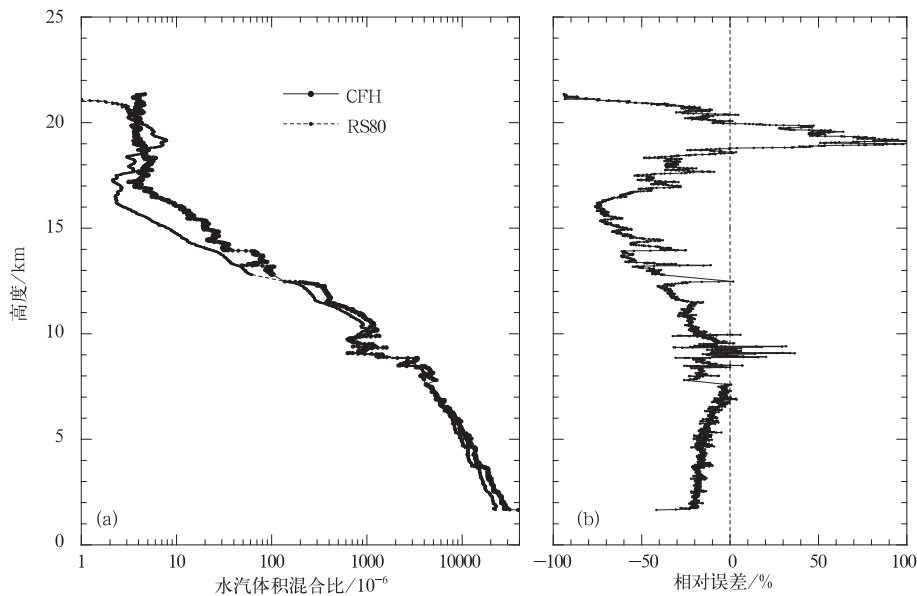


图 2 2010 年 8 月 26 日白天云南腾冲 CFH,RS80 探空仪观测水汽垂直分布的比较

(a)水汽垂直分布,(b)相对误差

Fig. 2 Individual intercomparison of day-time water vapor concentration profiles(a) measured by CFH and RS80 radiosondes with their relative difference δq (b) at Tengchong, Yunnan on 26 August 2010

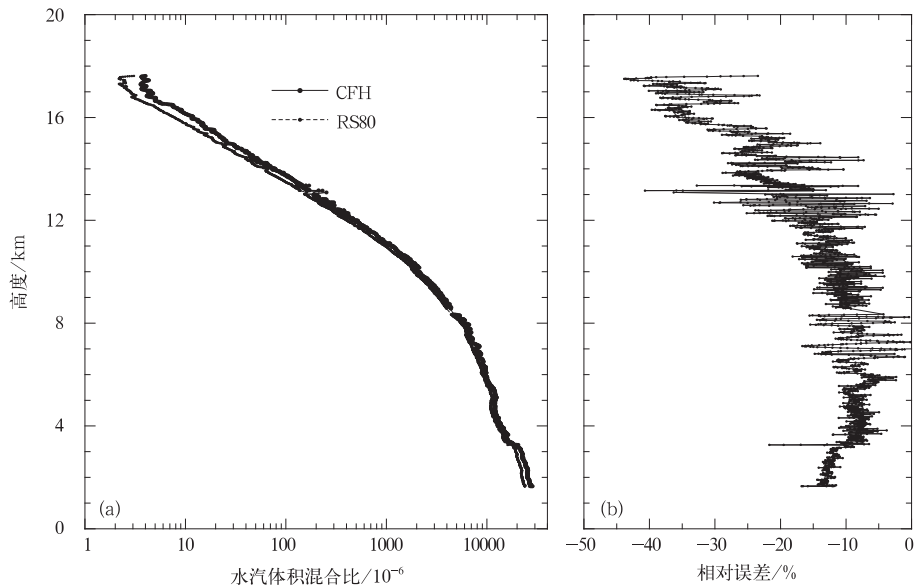


图 3 2010 年 8 月 15 日夜間云南腾冲 CFH,RS80 探空仪观测水汽垂直分布的比较
(a)水汽垂直分布,(b)相对误差

Fig. 3 Individual intercomparison of night-time water vapor concentration profiles(a) measured by CFH and RS80 radiosondes with their relative difference δq (b) at Tengchong, Yunnan on 15 August 2010

是 CFH 和 RS80 在各个高度上测值相对误差 δq 。从图 2a 和图 3a 可以看出无论白天还是夜间在对流层 RS80 测量的水汽比 CFH 偏干。由于夜间测量数据高度有限,因此没有两种探空仪在夜间平流层测量比较情况。比较图 2b 和图 3b 发现,尽管在对流层 RS80 测量的水汽均较 CFH 偏干,但白天 RS80 偏干较夜间更明显,平均达到 $(13.5 \pm 14.8)\%$ 。Miloshevich 等^[14]研究发现白天太阳辐射给 RS80 测量的湿度带来误差,这种误差与太阳高度角和气压有关。导致白天与夜间测量湿度的误差不同,其中白天测量在对流层的干偏差更大。

2.3 水汽总量的比较

地基 GPS 测量水汽总量为进一步了解 CFH, RS80 和国产 GTS1 这 3 种探空测量大气水汽垂直分布的差异提供了另一个相对独立的参考。本节主要分析 3 种探空仪测量水汽总量与各自探空仪释放相近时间里 GPS 测量水汽总量的比较结果。

图 4 给出了 2010 年 8 月在云南腾冲 CFH 直接测量和校正后的水汽体积混合比垂直分布积分水汽总量与探空释放时刻前、后 1 h 内 GPS 测量水汽总量的比较。所谓校正,这里是指 2.5 km 以下用 RS80 探空仪测量的湿度代替。这是基于 2010 年 8 月在广东阳江举行的第 8 次探空比对^[10]发现,在对

流层低层,CFH 由于测量水汽体积混合比偏高,建议在求取 CFH 水汽柱总量时,对流层低层的湿度数据用 RS92 测值来代替 CFH,但本次观测由于没有 RS92 测值,故用 RS80 来代替。从图 4 可以看出,CFH 原始数据积分水汽总量与 GPS 测值变化趋势比较接近,但是 CFH 测值明显高于 GPS 测值,CFH 的水汽总量平均比 GPS 值高 (4.3 ± 2.0) mm (样本数为 11)。校正后的 CFH 水汽总量明显减小,但仍比 GPS 水汽总量高 (1.6 ± 1.2) mm。

CFH 的水汽总量与 GPS 相差较大的原因与 CFH 设计原理有密切联系。CFH 主要是侧重在低温低湿环境下测量大气中露(霜)点温度,它采用三氟甲烷液体(接近 -83°C)作为冷却剂,CFH 在下对流层高温、高湿环境下,镜面易出现凝结水。CFH 的微控制器无法在下对流层快速除去镜面上的凝结水,可能导致 CFH 在下对流层测量湿度偏大。因此,在下对流层(一般在 2.5 km 左右)湿度测量则以常规探空为准。另外,低空云的频率出现比较高,特别是积雨云里面的液态水滴也易对 CFH 的镜面造成污染。当液态的云滴出现在镜面上时,被传感器误以为是水汽凝结的露点而导致测值不正常偏高。但 CFH 在中上对流层至平流层水汽测量结果是准确的。

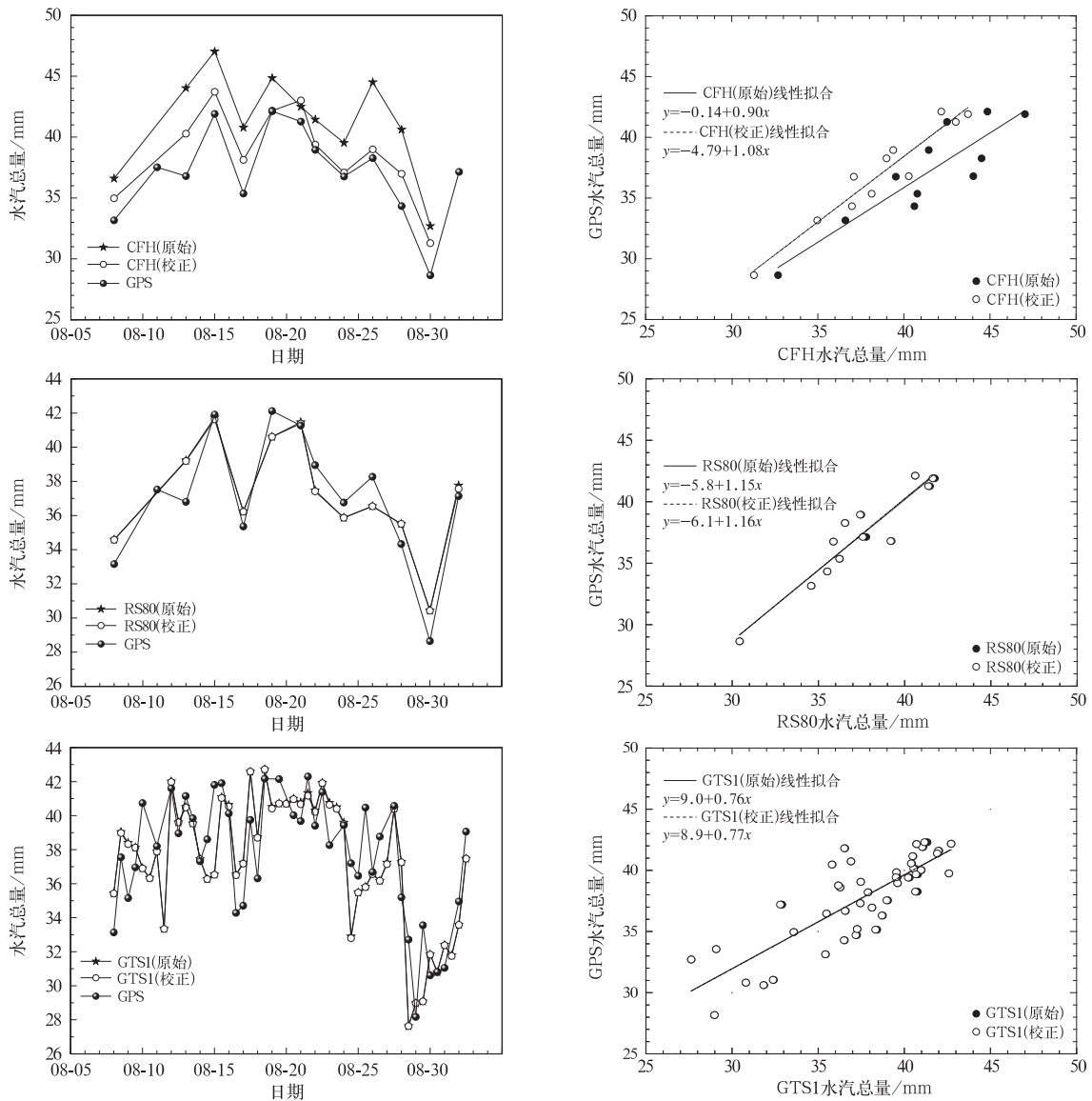


图 4 2010 年 8 月云南腾冲探空仪水汽总量在不同情形下与 GPS 地基遥测的水汽总量比较及相互关系

Fig. 4 Intercomparisons of precipitable water(PW) amounts between GPS measurements and different integrated values of radiosonde-based water concentration profiles at Tengchong, Yunnan in August 2010

在已有较多的比对工作中,GTS1 测量的水汽总量与 GPS 测值较一致^[15-20]。但也有比对观测表明,在降水量比较大的季节,GPS 地基遥测水汽总量比积分探空观测结果要偏低 6.5 mm,精度甚至低于地面气象参数的经验计算结果^[19]。图 4 还给出了 RS80 和 GTS1 气象探空仪积分的水汽总量分布与 GPS 值的比较。GTS1 和 RS80 与 GPS 的差值分别是 (-0.2 ± 2.2) mm (样本数为 12), (0.2 ± 1.4) mm (样本数为 43),远低于 CFH 与 GPS 测值的比较。

即使在将 15 km 以上的水汽体积混合比用 CFH 测值来代替,计算出的 RS80 和 GTS1 探空仪

水汽总量仍与 GPS 值接近。可以看出,由于对流层上层和平流层的水汽含量小,不同探空仪测得的相对湿度值相差较大,但对水汽总量影响不大。GPS 水汽总量和常规气象探空仪测值均明显比 CFH 测值偏低^[19]。由此可见,GPS 遥测的水汽总量实际上对对流层上层和平流层的水汽变化不敏感。

2.4 RS80 和 CFH 测云的比较

本文根据 Wang 等^[21]提出的通过相对湿度测量来确定云层。传统上这种方法主要基于对 RS80 湿度探空仪测量数据来判断云。CFH 测量湿度的精度在对流层中、上层明显高于 RS80,因此,本文利用相对湿度测量结果来了解 RS80 在探测云的差

异,特别是高空云的判别。

基于 Wang 等^[21]方法,通过以下步骤可判断是否有云存在:

① 满足下面 3 个条件之中任意一个就可判断为云底:相对湿度不小于 87%;如果观测层不是在地面上,相对湿度小于 87%但不小于 84%,且相对湿度必须比前一个(下面)观测值大 3%;如果观测层在地表面上,相对湿度不小于 84%,下一层相对湿度若不小于 84%,则暂时认为是处于云中,直到相对湿度小于 84%,或者到达廓线顶。

② 云层从云顶向下至云底再检测 1 次,并且满足随后 3 个条件中任意一个就可判断为云顶:相对湿度不小于 87%;如果观测层不是在廓线顶,相对湿度小于 87%但不小于 84%,且相对湿度必须比前一个(上面)观测值大 3%;如果观测层在廓线顶,相

对湿度不小于 84%。

③ 如果未能找到符合条件的云顶,那么这个湿的水汽层不被认为是云层。如果在步骤 3 中找到云顶,这个湿的水汽层中最大的相对湿度必须大于 87%才能被认为是云层。这里 87%和 84%可以看作是云中相对湿度最大和最小的阈值。

基于以上方法,根据 CFH 和 RS80 的相对湿度结果给出了云的高度(表 2)。从表 2 可以发现,对于中、低云来说,RS80 与 CFH 观测结果比较一致,但 RS80 观测到的云层比 CFH 观测的云层要稍薄一点。对于 6000 m 以上的高云,RS80 能观测到的很少。对于多层云来说,RS80 观测到的云量也比 CFH 少。中、低云两种仪器观测云量相差不多,但对于高云,RS80 几乎观测不到,而 CFH 能观测到。

表 2 2010 年 RS80 与 CFH 在云南腾冲分别对云的观测高度(单位:m)

日期	低云		中云		高云	
	CFH	RS80	CFH	RS80	CFH	RS80
08-08	500~1725		3710~4206			
08-13	500~2000	749~1826	2000~3875	2155~2596		
			5875~6067			
08-15	500~1624	572~1595	3382~6000	3654~6000	6000~8939	6000~6572
08-17	500~2000	566~2000	2000~3795	2000~3094	7700~8225	
08-19	500~2000	1468~2271	2000~4480	3365~4417	5924~6557	
					7376~8079	
08-21	500~2000	500~3391	2000~5387	4179~5070	6075~6557	
					7037~7170	
					8331~8343	
08-22	685~4393	1700~1751	4977~6157	3933~4073	6523~6694	
08-24	500~2000	1661~2439	2000~4969	2888~4931		
08-26	500~2081	1871~2013	2510~3622		6180~6788	6449~6500
			3926~5200		7105~7181	
08-28	523~1676	1394~1460	1933~2897	2324~2690	7376~7937	
			3099~3276			
			3629~3843			
08-30	500~2000		2000~3805	2657~3766		

3 结 论

1) 与 CFH 相比,RS80 测量的水汽体积混合比在整个对流层比 CFH 偏干(23.7±18.5)%,白天受太阳辐射影响偏干更为明显,其值比夜间偏干(13.5±14.8)%,而 RS80 湿度数据在对流层上层向平流层过渡的区域内基本无效。

2) CFH 测量水汽总量要高于 GPS 地基遥感值,但 GPS 地基遥感水汽总量与 GTS1 和 RS80 探空观

测积分值比较接近。GPS 地基遥感水汽总量对高空水汽的变化不是很敏感。CFH 作为一种适合在上对流层和下平流层低温、低湿环境下探测的仪器,在对流层低层高湿的环境下会高估水汽总量。

3) 由于高空湿度测量的明显差异,利用 RS80 测量相对湿度是明显地低估了 6000 m 以上的高云出现概率。依据常规气象探空的湿度资料会低估高空云存在的事实。

致 谢:云南省腾冲县气象局协助现场观测并提供 GTS1 气象探空的业务数据。中国气象科学研究院张胜军博士提供

了观测期间的 GPS 地基遥测水汽总量数据。低温霜点仪 (CFH) 释放及数据的 QA/QC 工作得到了德国气象局 Holger Vömel 博士的帮助。

参考文献

- [1] Zhai P, Eskridge R E. Analyses of inhomogeneities in radiosonde temperature and humidity time series. *J Climate*, 1996, 9: 884-894.
- [2] 李吉明, 孙宜军, 薛蜀云. 中华人民共和国气象行业标准(QX/T 36—2005), GTS 1 型数字探空仪. 北京: 中国气象局, 2005.
- [3] 王冬玫, 张小斌, 王志文, 等. 芬兰 GPS 探空仪与中国 L 波段探空仪试验数据对比分析. *仪器仪表学报*, 2008, 28(8): 461-464.
- [4] 李伟, 邢毅, 马舒庆. 国产 GTS1 探空仪与 VAISALA 公司 RS92 探空仪对比分析. *气象*, 2009, 35(10): 97-102.
- [5] 李伟, 赵培涛, 郭启云, 等. 国产 GPS 探空仪国际比对试验结果. *应用气象学报*, 2011, 22(4): 453-462.
- [6] Bian J C, Chen H B, Vömel H, et al. Intercomparison of humidity and temperature sensors: GTS1, Vaisala RS80, and CFH. *Adv Atmos Sci*, 2011, 28(1): 139-146.
- [7] Miloshevich L, Vömel H, Paukkunen A, et al. Characterization and correction of relative humidity measurements from Vaisala RS80-A radiosondes at cold temperatures. *J Atmos Oceanic Technol*, 2001, 18: 135-156.
- [8] Vömel H, David D, Smith K. Accuracy of tropospheric and stratospheric water vapor measurements by the cryogenic frost point hygrometer: Instrumental details and observations. *J Geophys Res*, 2007, 112, D08305, doi: 10. 1029/2006JD007224.
- [9] Vömel H, Barnes J E, Forno R N, et al. Validation of Aura Microwave Limb Sounder water vapor by balloon-borne Cryogenic Frost point Hygrometer measurements. *J Geophys Res*, 2007, 112, D24S37, doi: 10. 1029/2007JD008698.
- [10] Nash J, Oakley T, Vömel H, et al. WMO Intercomparison of High Quality Radiosonde Systems. Instruments and Observing Methods Report. 2011, 107: 91-152.
- [11] Bevis M, Businger S, Herring T A, et al. GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. *J Geophys Res*, 1992, 97: 15787-15801.
- [12] Wang J, Zhang L. Systematic errors in global radiosonde perceptible water data from comparisons with ground-based GPS measurements. *J Climate*, 2008, 21: 2218-2238.
- [13] Hyland R W, Wexler A. Formulations for the thermodynamic properties of the saturated phases of H₂O from 173. 15 K to 473. 15 K. *ASHRAE Trans*, 1983, 89: 500-519.
- [14] Miloshevich L, Holger V, David N W, et al. Accuracy assessment and correction of Vaisala RS92 radiosonde water vapor measurements. *J Geophys Res*, 2009, 114, D11305, doi: 10. 1029/2008JD011565.
- [15] 杨红梅, 葛润生, 徐宝祥. 用单站探空资料分析对流层气柱水汽总量. *气象*, 1998, 24(9): 8-11.
- [16] 李延兴, 徐宝祥, 胡新康, 等. 应用地基 GPS 技术遥感大气柱水汽量的实验研究. *应用气象学报*, 2001, 12(1): 61-69.
- [17] 何平, 徐宝祥, 周秀骥, 等. 地基 GPS 反演大气水汽总量的初步试验. *应用气象学报*, 2002, 13(2): 179-183.
- [18] 李成才, 毛节泰. GPS 地基遥感大气水汽总量分析. *应用气象学报*, 1998, 9(4): 470-471.
- [19] 向玉春, 陈正洪, 徐桂荣, 等. 三种大气可降水量推算方法结果的分析. *气象*, 2009, 35(11): 48-54.
- [20] 柳典, 刘晓阳. 地基 GPS 遥感观测北京地区水汽变化特征. *应用气象学报*, 2009, 20(3): 346-353.
- [21] Wang J, Rossow W B. Determination of cloud vertical structure from upper-air observations. *J Applied Meteorology*, 1995, 34: 2243-2258.

Inter-comparison and Application of Atmospheric Humidity Profiles Measured by CFH and Vaisala RS80 Radiosondes

Yan Xiaolu Zheng Xiangdong Li Wei Ma Jin

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

Vertical profiles of atmospheric humidity simultaneously measured by balloon-borne Cryogenic Frost-point Hygrometer(CFH) and Vaisala RS80 radiosonde in Tengchong, Yunnan in August 2010 are analyzed. Currently, CFH is the reference instrument in the measurement of atmosphere water vapor profile. RS80 radiosonde is ever extensively used in the world before the middle of 1990s. The humidity data measured by CFH is used to assess the quality of RS80 radiosonde humidity data. The difference of RS80 radiosonde humidity data in day and night time respectively compared to CFH data is also given in individual inter-comparison. The results have revealed there is a large dry bias produced by the RS80 humidity sensor with average of $(23.7 \pm 18.5)\%$, and the daytime dry bias is $(13.5 \pm 14.8)\%$ larger than that in the nighttime owing to solar radiation heating on the humidity sensor. In addition, RS80 radiosonde is almost incapable of measuring the valuable humidity data in the transition region from upper troposphere to lower stratosphere. For the integrated precipitable water(PW) amounts from the profiles of GTS1, RS80, CFH and their comparisons with GPS measurements, CFH integrated PW is (4.3 ± 2.0) mm (number of samples is 11) higher than that of GPS because that CFH tends to be saturation at moist condition, especially when passes through cloud in lower troposphere, while the PW differences of RS80, GTS1 from the GPS measurements are (0.2 ± 1.4) mm (number of samples is 12) and (-0.2 ± 2.2) mm (number of samples is 43) respectively. The value of GPS PW is not sensitive to the humidity variations in the altitudes above upper troposphere. CFH is demonstrated as an effective instrument measuring water vapor concentration in the circumstance with lower temperature as well as lower humidity, such as in the upper troposphere and lower stratosphere. Owing to dry bias, RS80 radiosonde detects less middle or high clouds than CFH does, especially in the detection of high clouds above 6000 m where the low humidity value from RS80 radiosonde almost cannot indicate the occurrence of cloud. Therefore, the occurrence frequency and altitude of high cloud would be much underestimated if RS80 radiosonde water profiles are used.

Key words: RS80 radiosonde; Cryogenic Frost-point Hygrometer; GPS PW measurements