

海南省自动土壤水分观测数据异常原因分析

■ 施晨晓 陈珍莉 刘霄燕 王小洁 羊清雯 江益 陈海莉

分析了DZN3型自动土壤水分观测仪在实际业务应用中出现的数据异常情况及其原因，对多种数据异常现象进行总结，发现造成海南省自动土壤水分观测数据异常的原因主要在四个方面：1) 传感器等仪器部分出现故障；2) 人工对比观测、土壤水文物理常数错误；3) 观测土层发生变化；4) 网络传输中断、断电等客观条件影响，造成数据无法正常传输。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.04.022

土壤水分能够很好地反映土壤的干湿状况，是陆气循环中一个重要参数。海南省曾采用人工取土观测的传统方法对每旬的土壤水分进行观测记录。该方法时效性和准确性较差，无法满足生态环境、水文状况及农田干旱等实际业务和科研需求。2013年，海南省开始土壤水分自动观测，减轻业务观测人员的工作强度，保证数据的时效性，满足业务和科研的需求。土壤水分自动观测要求业务观测人员需具备分析、处理土壤水分数据与传输，维护与维修仪器与观测场地等能力。针对海南省土壤水分数据的数据分析研究较少，因此，本文分析和整理海南省常见土壤水分数据异常情况、原因及应对措施，帮助业务人员提高业务工作的能力，以期提高数据质量。

1 自动土壤水分观测系统结构组成及观测原理

1.1 自动土壤水分观测系统结构组成

海南省土壤自动观测站采用的是中国华云公司生产的DZN3型自动土壤水分观测仪(图1)。DZN3型自动土壤水分观测仪主要由室外部分和室内部分组成。其中，室外部分包括多点可调土壤水分探测器、数据采集器、通信单元和系统电源四个部分。室内部

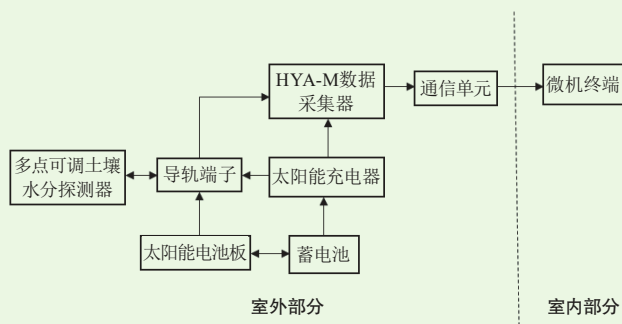


图1 DZN3型自动土壤水分观测仪结构组成示意图

分主要是微机终端，用于处理采集到的数据，通过应用软件实现对采集器的实时数据采集和监控。

1.2 自动土壤水分观测仪观测原理

多点可调土壤水分探测器采用土壤水分频域反射(FDR)测量技术及多通道数据采集技术(图2)。该技术原理是利用土壤介电常数与频率信号、土壤水分的关系，即当在两个电极之间加上电压时，振荡回路会产生频率信号，频率的大小随土壤介电常数而改变，通过测量频率信号从而测量出土壤水分。该测量方法既具有时域反射(TDR)法的所有优点，如操作简易、不破坏土壤本来结构等，也可实现对土壤水分准确、及时、连续的动态观测、存储及传输土壤水分信息。但也存在一些问题，比如易受土壤空隙影响；传感器安装条件要求较高；对土壤电导率较敏感等。

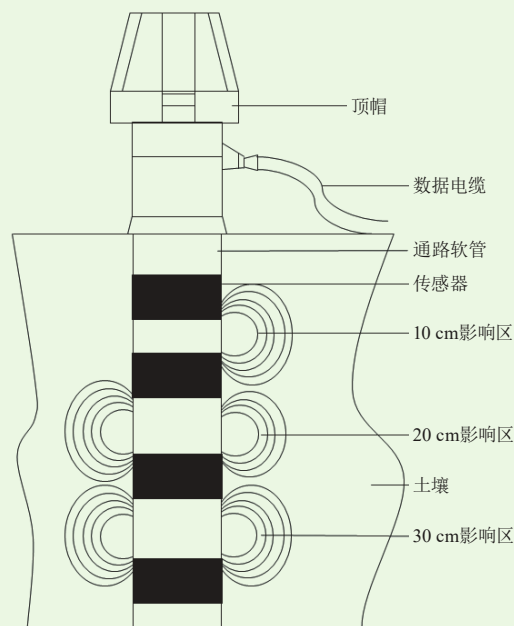


图2 多点可调土壤水分探测器感应示意图

2 数据资料来源

土壤水分数据来源于海南省18个自动土壤水分观测站,共选取了2014—2018年0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm共5层的土壤水文物理常数、小时和日土壤体积含水量、小时土壤相对湿度进行分析(图3)。

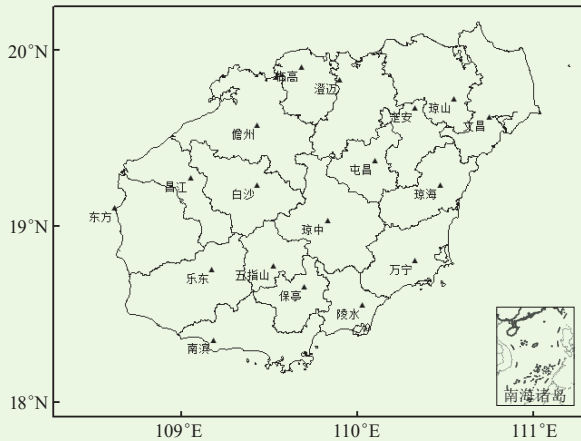


图3 海南省自动土壤水分观测站点分布

3 数据异常情况及原因分析

3.1 土壤水分传感器故障导致数据异常

图4给出了东方站2016年4月1日21时—5月31日20时(北京时,下同)各层次日平均土壤体积分含水量的变化图。从图4可知,0~10 cm、30~40 cm曲线波动变化幅度较大,其他层次变化趋势基本一致。0~10 cm处于表层,受外界影响较大,尤其是降水期间。30~40 cm土层在分析期间无论有没有降水,其体积含量均有较大的波动,如4月14—15日该站无降水(图4红框),30~40 cm土层14日的土壤体积含水量为3.5%,至4月15日该站的土壤体积含水量降至1.7%,降幅达51.4%。其他层次虽呈下降趋势,变化幅度较少,比如40~50 cm,其下降了0.1%。5月2—11日亦是相同情况,此处不再赘述。

为了更好说明传感器故障造成数据异常,选择无降水发生时段内的小时数据变化进一步讨论。图5是东方站2016年4月29日22时—5月12日20时各层次小时土壤体积分含水量变化。由图5可知,东方站2016年4月29日22时—5月12日20时内无降水发生。除30~40 cm外,其他各土层的土壤体积分含水量变化趋势基本一致。在无外界因素影响下,30~40 cm的土壤体积分含水量剧烈波动变化,出现0.0%的土壤体积分含水量,各小时间的差值最大值也较大,最大相差2.5%。相应的,该层次的土壤相对湿度也发生剧烈波动变化,相对湿度达到0.0%,各小时间的差值最大相差50.0%

(图略)。

当出现数据异常时,先对数据采集器中各层次各土壤要素的观测数据进行分析检查,发现仅有30~40 cm的数据异常。然后检查数据采集器上的通讯电缆,也未发现异常,因此初步断定可能是30~40 cm传感器部分在观测时出现故障。更换30~40 cm传感器后,数据恢复正常。由此,传感器不稳定或接触不良,导致数据异常。

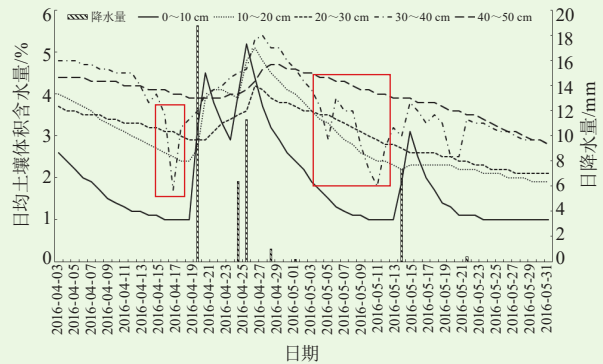


图4 东方站2016年4月1日21时—5月31日20时各层次日均土壤体积分含水量变化

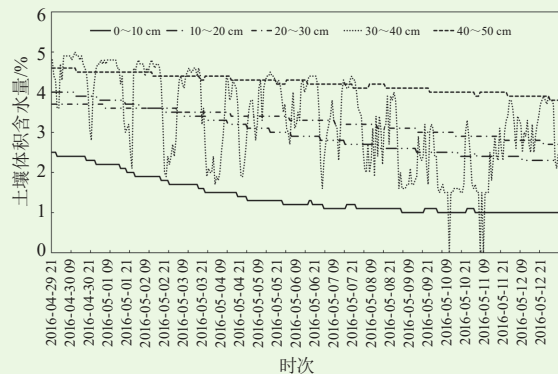


图5 东方站2016年4月29日22时—5月12日20时各层次小时土壤体积分含水量变化

3.2 人工对比观测失误导致数据异常

搬迁新站需先进行人工对比观测及土壤水文常数的测定,做好这两项工作,才能做好系数订正、换算和监测精度检验等工作,以保证新站数据的准确性和可用率。

人工对比观测至少进行半年,逢3、逢8对各层进行一次取土观测和测定,人工主要测定的对象是土壤重量含水率,而自动仪器观测的是土壤体积分含水量,因此需再经土壤容重反推得到人工观测的土壤体积分含水量。将各层人工对比观测数据与仪器观测数据进行分析比较,并建立各层相应的对比曲线及拟合计算公式,从而确定仪器的订正系数:

$$Y=A_0+A_1X, \quad (1)$$

其中, Y 为订正值, X 为仪器的测量值, A_0 、 A_1 为订正系数。

利用订正系数将每个土层的体积含水量原始自动观测值订正至接近人工测定值。但经过订正后的自动观测土壤水分需根据土壤容重、田间持水量和凋萎湿度等土壤水文物理常数才可计算得到土壤重量含水率、土壤相对湿度和土壤有效贮水量, 因此在进行人工对比观测前, 还需进行土壤水文物理常数的测定。在完成所有土壤水分要素的订正和计算后, 再连续人工对比观测1个月(不少于6次), 达到业务化检验标准后, 才可投入业务进行观测使用。

2014年8月, 澄迈自动土壤水分观测站由瑞溪镇加巨坡搬迁至福山镇红光农场。澄迈自动土壤水分观测站于2015年3月结束半年的人工对比观测, 2015年5月14日08时起启用新站观测数据。

图6为澄迈站在对比观测期间, 人工观测各土层间土壤体积含水量的变化趋势。从图6可看出, 对比观测期间, 各土层间土壤体积含水量变化趋势为深层土层土壤体积含水量小于浅层土层体积含水量, 即各土层间从小到大的顺序为40~50 cm<30~40 cm<20~30 cm<0~10 cm<10~20 cm。图7为澄迈站2015年5月7日21时—21日20时各层次土壤体积含水量变化图。由图7可知, 自2015年5月14日08时启用

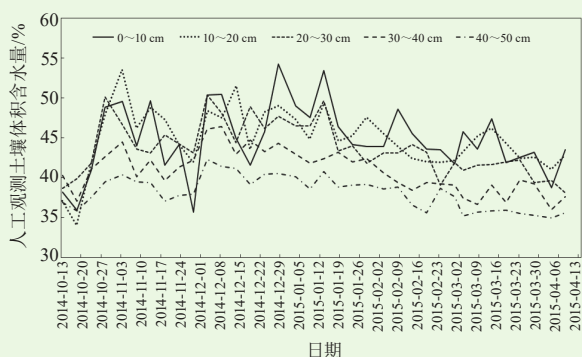


图6 澄迈站土壤体积含水量人工对比观测资料

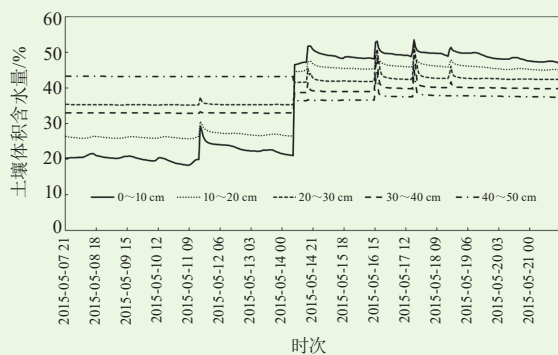


图7 澄迈站2015年5月7日21时—21日20时各层次土壤体积含水量变化

新站数据开始, 所有土层数据发生倒转, 即2015年5月14日08时前各土层土壤体积含水量由小到大的顺序为0~10 cm<10~20 cm<20~30 cm<30~40 cm<40~50 cm, 至2015年5月14日08时起, 土壤体积含水量由小到大的顺序则变为40~50 cm<30~40 cm<20~30 cm<10~20 cm<0~10 cm, 并一直维持至今。由此看出, 在进行人工观测对比期间, 各层观测的土壤体积含水量值已发生倒转。

根据以上异常数据的表现特点, 初步分析数据异常的原因可能有两点, 一是台站在维护时, 由于操作不规范, 传感器的标号与各土层出现倒置; 二是人工对比观测失误。基于上述两个可能原因, 首先确定仪器已正确安装。其次将人工对比观测前后及期间的数据进行比较、分析发现, 人工对比观测反推得到土壤体积含水量因测定的重量含水率或土壤容重有误而出现该站整个土层的数据发生严重偏差。

因此, 该站需重新按规范进行人工对比观测, 并结合仪器观测数据, 重新标定人工对比拟合订正系数。

3.3 土壤水分观测土层变动导致数据异常

表1为昌江站2016年8月2日07—19时各层次的土壤体积含水量与相对湿度的数据对比。从表1看出, 该时间段内的土壤体积含水量正常, 但各层次的土壤相对湿度均为100%。昌江属于海南西部较干旱地区, 观测场内的土壤质地为粗砂土。在无降水情况下, 各层次土壤中的水分含量均达到饱和, 不符合土壤相对湿度变化规律, 判断土壤相对湿度数据错误。

经核查发现, 2016年6月22日昌江站观测环境进行改造, 致使观测地段地面抬高, 各层次观测土层的土壤水文物理特性常数发生变化, 但仍采用之前的参数, 造成土壤水分其他要素计算错误。经重新测量各层次土壤水文物理特性常数, 至2017年4月数据完全恢复正常。

3.4 土壤水文物理常数错误导致数据异常

屯昌站2014年7月18日04时以前降水量仅0.9 mm, 各层次的土壤相对湿度均偏低(图8)。至06时有12.9 mm的降雨, 除0~10 cm的土壤相对湿度呈下降外, 其余各层次均有所上升, 但相对湿度仍偏低, 均在70%以下。从18日06—20时共有156.0 mm的降水量, 各层次均未达到饱和, 特别是30~50 cm, 基本在60%左右。且该站的土壤质地为壤土, 降水不会迅速往下渗, 即表层的土壤相对湿度应达到100%, 但实际并未达到饱和。在降雨初期的土壤相对湿度虽不会马上达到饱和, 但随着降水不断积累, 土壤中的

表1 昌江站2016年8月2日07—19时各层次土壤体积含水量(单位:%)与相对湿度(单位:%)对比

时间	0~10 cm		10~20 cm		20~30 cm		30~40 cm		40~50 cm	
	土壤体积含水量	土壤相对湿度	土壤体积含水量	土壤相对湿度	土壤体积含水量	土壤相对湿度	土壤体积含水量	土壤相对湿度	土壤体积含水量	土壤相对湿度
07时	28.3	100	21.2	100	25.3	100	30.8	100	26.8	100
08时	28.3	100	21.2	100	25.2	100	30.7	100	26.8	100
09时	28.3	100	21.1	100	25.2	100	30.6	100	26.7	100
10时	28.2	100	21.1	100	25.1	100	30.6	100	26.6	100
11时	28.8	100	21.1	100	25.1	100	30.5	100	26.6	100
12时	27.8	100	21.1	100	25.0	100	30.4	100	26.6	100
13时	27.8	100	21.0	100	25.0	100	30.4	100	26.5	100
14时	27.7	100	21.0	100	25.0	100	30.4	100	26.5	100
15时	27.7	100	21.0	100	24.9	100	30.3	100	26.5	100
16时	27.6	100	21.0	100	24.9	100	30.3	100	26.4	100
17时	27.7	100	21.0	100	24.9	100	30.2	100	26.4	100
18时	27.8	100	20.9	100	24.9	100	30.2	100	26.4	100
19时	27.8	100	20.9	100	24.8	100	30.2	100	26.4	100

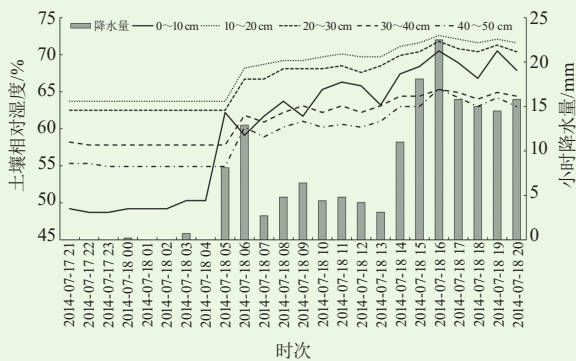


图8 屯昌站2014年7月17日21时—18日20时各层次土壤相对湿度

水分不断往下渗透, 深层土壤相对湿度应逐渐趋于增大或饱和, 但实际一直处在干旱边缘, 不符合土壤水分的一般变化规律。

由土壤体积含水量与土壤相对湿度之间的关系(公式略)可知, 在观测土壤体积含水量无误的情况下, 当土壤容重或田间持水量出现错误时, 便会致土壤相对湿度错误。

造成此类数据异常的原因有三种情况: 一是在进行人工对比观测的过程中, 人工观测样本质量偏低, 使得人工对比拟合订正系数的相关性较差; 二是土壤水文物理常数测定错误, 即当土壤容重或田间持水量偏大, 均会导致土壤相对湿度偏小; 三是仪器变性。先对观测土壤水分场地、仪器及其传输过程等进行逐一排查, 未发现异常。根据土壤体积含水量与土壤相对湿度之间的关系, 将人工对比观测记录及其数据进行重新审核分析, 结合观测数据发现, 拟合订正系数偏低, 且土壤水文物理常数偏大, 造成所观测的土壤体积含水量值偏小, 相应地, 其他计算土壤水分要素

值偏低。因此, 为了保证数据的准确率, 该站需重新进行人工对比观测, 并通过公式(1)重新建立各土层的订正系数以及土壤水分物理常数。

3.5 其他客观原因等造成数据缺失

在数据传输过程中, 偶尔会发生采集器等仪器本身故障导致数据无法传输, 造成数据缺测, 或采集器等仪器本身工作正常, 但在终端始终无法接收到数据。

前者是由于采集器等仪器本身原因所造成数据缺测。如文昌站2018年9月11日因电源转换器故障, 造成当日09—14时无数据传输。保亭站2018年10月23日20时—24日17时因仪器故障维修造成该期间无观测数据。琼中站2018年11月15日因土壤采集器故障, 造成当日16时—次日14时数据缺测。该情况需及时更换、维护仪器, 尽快恢复数据正常传输。

造成后者的原因可能是多方面的, 例如: 一是省局的综合气象信息共享平台(CIMISS)出现故障, 导致数据不能入库, 且土壤水分观测无备份站数据, 无法对缺失数据进行代替; 二是由于当地断电造成数据资料缺测; 三是由于当地通讯故障或是通讯信号不稳定, 造成数据无法进行正常传输。

4 结论与讨论

海南省自动土壤水分观测仪自投入实际业务应用以来, 数据异常现象时有发生, 造成其原因主要有5种: 1) 自动土壤水分观测仪传感器、采集器、电源转换器等仪器本身故障, 导致某层次的数据异常, 或是无法采集数据导致数据缺测, 影响土壤水分数据的时效性和准确性; 2) 探测环境改变导致土壤水分数据异常, 影响数据的准确性和可用性; 3) 前期人工

对比观测失误造成土壤水文物理参数,或不及时测定调整土壤水分物理常数,或订正常数错误,影响仪器参数的设定,导致土壤水分需计算的要素错误,使得数据的准确度和可用率降低;4)业务人员未及时在报表中备注数据处理情况,如小时数据连续异常变化(需缺测处理)、小时数据较前后时次异常(需内插处理)、观测环境改变或是迁站,影响数据的可用性;5)网络传输中断,断电等客观条件影响,造成数据无法正常传输,影响数据的时效性。

为了保障本省自动土壤水分观测站正常运行,避免土壤水分数据的缺测和异常数据,建议台站业务人员注意以下几点:1)根据《自动土壤水分观测规范(试行2011)》要求,台站应选择合理规范的观测地点,进行人工对比观测,认真设置仪器参数。但该项工作量较大,也可以结合多方面的考虑,比如土壤质地、土壤结构等,可在合理的范围内对参数等进行适当的调整,使观测值变化较之前合理。2)查看数据时应注意土壤水分数据变化情况,结合当时的天气条件或当地天气变化趋势分析判断,注意各层次间、各层次前后时次的土壤水分数据变化。及时处理异常数据,并做好数据处理备注。3)台站业务人员需不断提高自身的业务素养,加强业务知识学习,本着认真负责的工作态度,做好仪器维护和场地巡视工作,做

好数据处理备注工作。4)网络传输中断等客观原因造成数据无法正常传输,台站业务人员可在土壤水分月报表中做好备注,以便日后查阅。

深入阅读

Evelt S R, Steiner J L, 1995. Precision of neutron scattering and capacitance type soil content gauges from field calibration. *Soil Science Society of America Journal*, 59(4): 961-968.

Fares A, Alva A K, 1999. Estimation of citrus evapotranspiration by soil water mass balance. *Soil Science*, 164(5): 302-310.

Seyfried M S, 1993. Field calibration and monitoring of soil-water content with fiberglass electrical resistance sensors. *Soil Science Society of America Journal*, 57(6): 1432-1436.

成兆金, 赵煜飞, 庄立伟, 等, 2018. 农业气象观测实用手册. 北京: 气象出版社.

龚元石, 李子忠, 李春友, 1998. 利用时域反射仪测定的土壤水分估算农田蒸散量. *应用气象学报*, 9(1): 72-78.

黄翔, 2009. 土壤水分空间变异性的研究方法评述及展望. *上海水务*, 25(2): 40-43.

李海滨, 林忠辉, 刘苏峡, 2001. Kriging方法在区域土壤水分估值中的应用. *地理研究*, 20(4): 446-452.

邵晓梅, 严昌荣, 徐振剑, 2004. 土壤水分监测与模拟研究进展. *地理科学进展*, 23(3): 58-66.

中国气象局, 2010. 自动土壤水分观测规范(试行). 北京: 气象出版社.

庄季屏, 1989. 四十年来的中国土壤水分研究. *土壤学报*, 26(3): 241-248.

(作者单位: 海南省气象信息中心; 海南省南海气象防灾减灾重点实验室)

(上接122页)

作业信息并在作业结束后即时存至省级人影指挥系统的数据库内,实现了作业后作业信息的即时上报,提高了人影作业信息的上报时效;弹药安全管理系统实现了火箭弹从产品出厂到运输、仓储、转运、发射等全流程跟踪管理,全面提高了安全监管水平。

4)通过人工影响天气业务系统,建立并完善了人影五段实时业务流程,通过五段实时业务指导产品的制作发布,迅速改变了以往地面人影作业盲目性和作业方式简单、粗放、随意、低效等问题,从五段业务内容的完整性、产品发布的实时性和作业指挥的合理性等方面加强要求,省级指挥人员与地面作业人员的业务衔接更为流畅、产品指导性更强、指挥准确性更高、作业时效性更好,五段实时业务指导产品的科技内涵得以显著提升。

5)系统作业指挥、效果评估的核心为TITAN系统的移植、开发和本地化处理,利用TITAN风暴追踪技术,可以快速识别作业云-对比云,自动计算作业云和对比云的相似度,根据相似度选择两者对比的雷达参数,在一定程度上消除了人为主观判断的误差,提

高效率检验的科学性。但由于对流云发展演变过程中云的并合、分裂导致TITAN追踪失败出现bug,系统仍需要进一步优化和不断改进。

深入阅读

Tessendorf S A, Brintjes R T, Weeks C, et al, 2012. The Queensland cloud seeding research program. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(1): 75-90.

曾光平, 吴明林, 林长城, 等, 1993. 古田水库人工降雨效果的综合评价. *应用气象学报*, 4(2): 154-161.

崔丹, 黄彦彬, 肖辉, 等, 2012. 多普勒雷达数据在海南省人工增雨效果评估中的应用. *大气科学学报*, 35(1): 87-94.

黄彦彬, 李天富, 李春鸾, 等, 2006. 2004年春季夏季海南火箭人工增雨效果检验. *广东气象*, 28(1): 50-53.

黄彦彬, 毛志远, 邢峰华, 等, 2019. 海南岛西部山区人工催化暖底积云随机化效果检验. *气象科技*, 47(3): 487-495.

贾烁, 姚展予, 2016. 江淮对流云人工增雨作业效果检验个例分析. *气象*, 42(2): 238-245.

王婉, 石玉恒, 李宏宇, 等, 2014. 对流云人工增雨效果检验技术方法及应用. *气象科技*, 42(6): 1131-1136.

周毓莹, 潘留杰, 张亚萍, 2009. TITAN系统的移植开发及个例应用. *大气科学学报*, 32(6): 752-764.

(作者单位: 黄彦彬、敖杰、李光伟, 海南省人工影响天气中心, 海南省南海气象防灾减灾重点实验室; 叶彩荣, 海南省气象服务中心, 海南省南海气象防灾减灾重点实验室)