

# 青海省通量观测站网的运行管理

■ 李甫 肖宏斌 陈奇 张娟 周秉荣

青海省内已建成10个高原地气交换通量观测站，其中三江源区域内7个、柴达木盆地内1个、青海湖流域内1个、祁连山国家公园内1个，观测场下垫面有温性草原、高寒草原、高寒草甸、高寒湿地、荒漠化草原和沙漠。为了保障站网运行和数据有效管理，青海省气象局开发了野外试验数据综汇管理平台。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.04.014

陆面过程以地球陆地表面物质、能量和水分的交换与输送为核心内容，是各圈层之间相互联系的纽带，气候系统响应外部强迫和调整内部变化主要通过陆面过程来实现。20世纪90年代由于新一代超声风速仪和红外气体分析仪等设备的问世，连续涡度通量测量成为现实，不同类型地表与大气间能量、水分和CO<sub>2</sub>等交换过程的研究得到空前发展。涡度相关技术作为目前直接测定地表与大气间CO<sub>2</sub>和水热交换通量的标准方法，已成为国际通量观测网络的主要技术手段。在边界层气象和地圈-生物圈-大气圈相互作用的研究中，注重辐射能、动量和热量在生物圈和大气圈之间的传输过程与平衡。自20世纪以来，由于大气中CO<sub>2</sub>等温室气体浓度升高所导致的全球气候变暖对人类社会生产活动与经济可持续发展提出了严峻挑战，从而使地球系统的碳循环和碳收支成为当前一系列大型国际合作计划的核心研究内容之一。

青藏高原通过动力作用和热力作用影响着东亚气候格局和亚洲季风进程，热力作用主要通过其地表与大气间进行动量、水分和热量的交换，对区域大气环流和局地气候产生影响。在中国科学院、科学技术部、中国气象局、国家林业和草原局、教育部和西藏自治区人民政府等的支持下，在青藏高原的不同下垫面上正逐步建立“青藏高原观测研究平台”(TORP)，以研究该地区复杂地表的多圈层相互作用规律。但青海为青藏高原上的重要省份之一，地气交换通量观测站还比较少，而且分布极不均衡，故在青海省建设通量观测综合站，对加深青藏高原不同下垫面的地气相互作用研究、耦合于中尺度数值预报模式的陆面模式结果检验，以及卫星资料反演不同下垫面物理参数数

验具有重要作用，对青藏高原不同类型下垫面的地气相互作用参数和参数化方案改善具有重要意义。

## 1 青海地气交换通量观测站网建设

2001年中国科学院西北高原生物研究所首先在青海省海北高寒草地生态系统国家野外观测研究站布设了红外快速气体分析仪和三维超声风速仪，正式开启了青藏高原长期连续水、热、碳通量的观测。2009—2020年，青海省气象科学研究所依托业务和科研项目以独立或合作形式陆续在青海省境内不同下垫面、不同重点生态功能区和国家公园内建设一批地气交换通量观测站。截至目前，青海省内已建成10个高原地气交换通量观测站，初步形成覆盖全省的地气交换通量观测网。试验场下垫面生态系统有温性草原、高寒草原、高寒草甸、高寒湿地、荒漠化草原和沙漠6类。观测系统包括梯度观测子系统、涡度相关观测子系统、辐射观测子系统(四分量辐射+光合有效辐射)、土壤观测子系统(土壤温度+土壤湿度+土壤热通量)。在野外站选址时除了考虑下垫面类型，还注意涵盖青海省重点生态功能区，已建成的地气交换通量观测站中三江源区域内7个，柴达木盆地内1个，青海湖流域内1个和祁连山国家公园内1个(图1)。

在祁连山区、柴达木盆地、环湖区和三江源区分别建成全要素梯度通量监测站，可以为开展不同类型地表能量收支、近地层结构、陆面过程参数及遥感反演结果验证搭建试验平台，提升青海乃至全国天气预报水平。依托监测站已实现气象要素、波文比系统、固态降水、冻土、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>O通量观测。一方面开展土壤水热通量及过程与积雪、草地下垫面要素

收稿日期: 2021年12月22日; 修回日期: 2022年2月25日  
第一作者: 李甫(1980—), Email: 75243809@qq.com  
通信作者: 周秉荣(1976—), Email: zbr0515@foxmail.com  
资助信息: 中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z094)

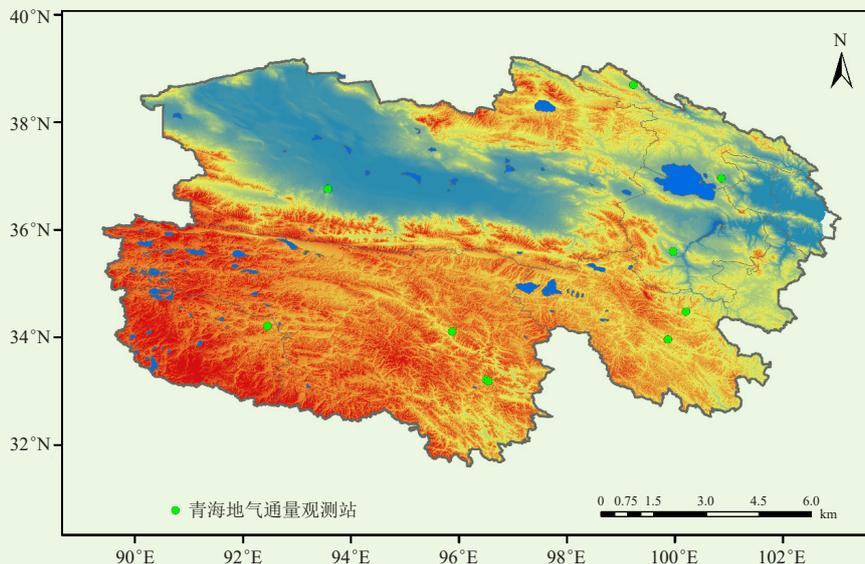


图1 青海省地气交换通量观测站布局图

以及局地微气象过程间的关系研究，揭示高寒生态环境要素间物质与能量循环交互规律；另一方面强化气候变化背景下多年冻土能量与水分交换机制监测与研究，重点开展冻土冻融、积雪融雪条件下能量与水分交换特征及运移机理，探索并定量辨识影响高寒草地生态陆面过程变化的主要机制及驱动力，揭示高寒草地生态地气相互作用及其对气候变化的响应，提升气候变化对生态系统过程影响的认识。2018年，依托海北、隆宝和甘德3个典型下垫面的观测站入选中国气象局野外科学试验基地。

## 2 青海地气交换通量观测站网运行保障

由于青海省地处青藏高原，自然条件较为恶劣。特别是相比于常规气象观测设备，通量观测仪器观测频率高，干扰项也比较多。雨雪天气、冰雹、沙尘和雾霾等均会给观测造成影响。而且通量观测的气体分析仪除常规维护外，还需要定期开展标定工作。2017年青海省气象科学研究所专门抽调技术人员组成野外基地试验室，专职负责站点建设、保障以及数据管理。

### 2.1 严格管理

制定了13项规章制度，汇编成《青海高寒生态气象野外试验基地管理办法》，涵盖野外基地运行管理、岗位职责、工作管理、仪器采购、场站建设、仪器开放共享、仪器管理、资料管理、安全、标定、巡检和日常维护技术手册等内容，确保野外观测的正常运行。另外还根据实际观测要素分站设计了巡检记录表，编制了年度巡检报告编写规范，为后期数据分析以及设备更替提供参考依据。

### 2.2 运行保障

按照管理办法要求，属地气象局负责日常维护以及故障的初步排查，野外基地试验室负责故障维修以及每年春季和秋季巡检。日常维护主要是每月对观测场环境、传感器外观、供电、支架和光学镜头进行检查和维护。巡检主要开展两方面的工作，首先是常规的、全面的检查，例如观测站环境变化、支架、线缆、数据采集器、供电、无线模块等配件的检测和维护；辐射表、涡度相关观测系统、雨量筒、固态降水等仪器检查、清洁和维护；雪深传感器下垫面的维护等。其次是气体分析仪的标定。通过对比涡度相关系统观测的水汽密度与空气温湿度传感器计算的水汽密度值，如果两者存在明显差异或观测水汽密度为负值，则开展零点标定；跨度标定则每2年定期开展一次；如果气体分析仪的信号强度在清洁过后仍小于0.9，则需要拆除返厂进行内部清理和工厂标定。仪器检查的同时填写巡检记录表用于记录和存档，最后编制年度巡检报告提交青海省气象科学研究所审核备案。

### 2.3 故障处理

野外观测站常见的故障多出现在观测仪器、供电模块、数据采集器以及数据传输模块等方面，其中又以供电模块和数据传输模块的故障频率最高。观测仪器故障中涡度相关观测系统传感器的故障数为3站次，辐射仪为1站次，CO<sub>2</sub>浓度仪为1站次，风速仪为2站次等。故障处理时需要在维护巡检表中详细记录故障发生的时间、原因、处理结果等内容，以备数据处理分析时使用。故障处理遵循的基本原则为不中断观测或

尽可能缩短维修时间。能现场解决的，尽可能当场解决，即便当场解决有些许瑕疵，也较数据缺失带来的影响要小。如果现场缺少维修配件，在判明故障原因或部位的基础上立即拆除返厂维修，对于三维超声风和气体分析仪的运输还需准备好其自带包装箱。这期间最好能有备用传感器可以替换继续开展观测。

### 3 存在的问题和对策

#### 3.1 存在的问题

##### 1) 数据质量有待提高

青海省面积72万km<sup>2</sup>，东西长超过1200 km，南北宽超过800 km。青海地气交换通量观测站网中沱沱河站距离省会西宁最远，约为1200 km，巡检一次往返就需要4天时间，每年开展两次定期的巡检已经实属不易。加之通量观测站一般安装在人烟稀少的野外，自然环境极其恶劣，站点故障率较高，而且由于缺乏实时有效的监控系统，故障发生时往往无法及时发现，导致数据连续性较差，数据缺失通常要以旬月计。

观测点的建设是依托不同的项目建设而成，由于观测设备更新换代较快，所以各观测站的仪器型号差异较大。以气体分析仪为例，目前青海地气交换通量观测站的设备拥有Li-7500、EC150、IRGASON等型号，标定设备和判识方法很难统一。由于建设时间和人员不同，相同数据命名也是千差万别。野外基地试验室成立后，由于缺少有效的数据库和管理系统，一直未能完成原始数据的标准化处理，这就造成数据使用时每次都需要花费大量时间完成前期的标准化处理，十分繁琐。加上不同的数据由于处理人员不同，缺失值、异常值等处理方法差异较大，相同站点同一时间的数据，往往分析结果还有差异。

##### 2) 数据挖掘深度不够

在通量站网建设规划时，首先着重考虑不同下垫面观测体系的建设，未能在特定区域或流域内形成观测网络布局，目前科技论文和项目只能针对单一站点开展辐射、地气间水汽、物质等交换通量的变化特征分析，缺乏由微尺度到小尺度再到中尺度的拓展。团队建设方面，科技人员专业相对较为集中，每个团队只关注特定领域内的研究，缺乏土壤、草地、积

雪、冻土、遥感等多学科的交叉，导致有大量数据却只能分析表象，无法做到针对某一问题多专业、多领域结合开展深入分析和挖掘。科研产出未能出现有效提升。

#### 3.2 对策

为了解决仪器故障解决时效和数据标准化以及使用管理等存在的问题，2019年启动了野外试验数据综合管理平台的开发，主要包括两部分：数据库和实时监控及报警平台，以实现数据标准化处理和仪器状态的实时监控。

数据库采用目前较为通用或流行的语言编写，具有较好的可扩展性。提供较为通用的数据接口，以及接口说明文档。实现入库数据的初步质量控制。库中数据表分为通用型和专业型两类，通过站名连接。其中通用型表中包括站点地理信息及其他相关较为固定的信息等字段。专业型表中则按照设备观测内容具体设置字段，并对各站的同一数据的命名进行了规范。

实时监控及报警平台基于WebGIS，可在界面上直观展示站点能否建立连接。点击每个站点可以打开对应的窗口，该窗口可获取对应设备的Public数据，并在界面中进行精美展示。根据数据变化规律及实际物理意义，对电压、探头等实时运行状态进行监测，如果出现问题则会写进日志。每天早上08时前，生成前一天的设备运行状况日志，包括连接是否正常、设备是否正常、电压是否正常等信息。出现不正常情况会突出显示。

#### 深入阅读

- 郭海强, 邵长亮, 董刚, 2016. 湍度协方差技术——测量及数据分析的实践指导. 北京: 高等教育出版社.
- 马耀明, 2012. 青藏高原多圈层相互作用观测工程及其应用. 中国工程科学, 14(9): 28-34.
- 于贵瑞, 孙晓敏, 2017. 陆地生态系统通量观测的原理与方法(第二版). 北京: 高等教育出版社.
- 于贵瑞, 2007. 中国陆地生态系统通量观测研究网络(ChinaFLUX)的建设和发展. 高科技与产业化, (1): 110-111.
- 张强, 王胜, 2008. 关于黄土高原陆面过程及其观测试验研究. 地球科学进展, 23(2): 167-173.

(作者单位: 青海省气象科学研究所, 青海高寒生态气象野外科学试验基地)