

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.02.07

引用格式: 杨斌,陈映,谭昌海,等. 青藏高原自然资源要素综合观测实施进展与展望[J]. 中国地质调查,2021,8(2): 37-46. (Yang B, Chen Y, Tan C H, et al. Progress and prospect of integrated observation of natural resource elements on the Qinghai - Tibet Plateau[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(2): 37-46.)

青藏高原自然资源要素综合观测实施进展与展望

杨斌^{1,2}, 陈映^{1,2}, 谭昌海^{1,2}, 赵阳刚^{1,2}, 段阳海^{1,2}, 张浚浚^{1,2}, 刘晓煌^{2,3}

(1. 中国地质调查局应用地质研究中心, 四川 成都 610036; 2. 自然资源要素耦合过程与效应重点实验室, 北京 100055; 3. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055)

摘要: 青藏高原不仅是中国重要的生态安全屏障, 在全球自然地理环境中也扮演着重要的角色。然而, 受限于严酷的自然环境, 青藏高原的自然资源要素观测数据较为缺乏。在青藏高原组建自然资源要素综合观测网络, 建立一支长期稳定的综合观测专业队伍, 开展全要素、多尺度、持续性的系统观测, 是一项十分必要且紧迫的工作。从站网布设思路、观测指标体系、重点观测内容、站网布设进展等方面介绍了青藏高原自然资源要素综合观测实施进展情况和取得的相关成果, 并从完善观测要素和观测方法、科学部署观测体系建设工作、加强观测队伍体系建设、创新融合共建机制和开展重大课题研究5个方面对未来工作进行了展望, 以期对青藏高原自然资源要素综合观测体系的建设提供建议和参考。

关键词: 青藏高原; 综合观测; 自然资源

中图分类号: P962

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2021)02-0037-10

0 引言

青藏高原被称为“世界屋脊”“地球第三极”“亚洲水塔”, 是中国生态文明建设的重点地区之一, 是国家生态安全屏障和战略资源储备基地^[1-2]。习近平总书记在中央第七次西藏工作座谈会上指出: “保护好青藏高原生态就是对中华民族生存和发展的最大贡献”“要深入推进青藏高原科学考察工作, 揭示环境变化机理, 准确把握全球气候变化和人类活动对青藏高原的影响, 研究提出保护、修复、治理的系统方案和工程举措。”^[3]在青藏高原组建自然资源要素综合观测网络, 建立一支长期稳定的自然资源要素综合观测专业队伍, 开展多要素、多尺度、全面立体的综合观测, 研究全球气候变化背景下青藏高原冰川冻土、水平衡、生态系统退化等要素的变化规律与

相互影响, 揭示青藏高原自然环境变化机理, 对于优化生态安全屏障、推动青藏高原可持续发展、推进国家生态文明建设、促进全球生态环境保护具有十分重要的意义。2019年10月, 自然资源部正式启动自然资源要素综合观测工作^[4], 青藏高原自然资源要素综合观测被纳入试点项目, 由中国地质调查局应用地质研究中心(以下简称应用地质研究中心)承担实施, 旨在建设覆盖青藏高原全区长期连续的自然资源要素综合观测体系网络, 为高原生态环境保护与高质量发展提供咨询建议, 为自然资源部行使“两统一”(即统一行使全民所有自然资源所有者职责, 统一行使所有国土空间用途管制和生态保护修复职责)核心职责提供基础支撑。本文分析了青藏高原自然资源要素综合观测体系的建设实施情况和相关成果, 并从多方面展望了综合观测的下一步工作, 以期对青藏高原自然资源要素综合观测体系建设提供建议和参考。

收稿日期: 2021-01-14; 修订日期: 2021-03-17。

基金项目: 中国地质调查局“青藏高原自然资源要素综合观测试点(编号: DD20208064)”项目资助。

第一作者简介: 杨斌(1984—), 男, 工程师, 主要从事自然资源调查、观测和地质学方面的研究。Email: 617594749@qq.com。

通信作者简介: 陈映(1988—), 男, 工程师, 主要从事自然资源观测和地质工程方面的研究。Email: 397167178@qq.com。

1 区域概况

青藏高原位于中国最高一级地势阶梯,平均海拔 4 000 m,是世界最高的高原,面积为 $257.24 \times 10^4 \text{ km}^2$,占我国陆地总面积的 26.8%^[5]。青藏高原在我国气候系统稳定、水资源供应、生物多样性保护、碳收支平衡等方面起到了重要的生态安全屏障作用^[6-7],是全球气候变化的指示器和放大器。在全球气候变暖的大背景下,青藏高原的生态环境对气候变化的响应更为敏感和突出^[8]。青藏高原海拔高,气候寒冷,全年干旱少雨,年降水量约 508.83 mm,湿润度约 -16.42,辐射强烈,太阳总辐射最高值超过 $8\,500 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,太阳能资源丰富。青藏高原

是中国现代冰川集中分布的地区,发育有现代冰川 36 793 条,冰川面积 $49\,873.44 \text{ km}^2$,多年冻土面积约 $150 \times 10^4 \text{ km}^2$,也是长江、黄河、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等众多大江大河的发源地^[9]。青藏高原新构造运动活跃,地貌外营力作用强烈,地表物质处于不断的侵蚀、搬运和堆积过程中,自然生态系统极不稳定,土壤贫瘠,植物生长缓慢,自我调节和修复能力差^[10-12]。近年来,受全球气候变化的影响,高原气候向温暖、干旱方向发展,使得高原生态环境更加脆弱敏感^[13-15]。为做好青藏高原自然资源要素综合观测体系的构建工作,2020 年应用地质研究中心结合已有的工作基础和基地建设情况,优选青藏高原长江源地区与拉萨—林芝地区开展综合观测工作(图 1)。

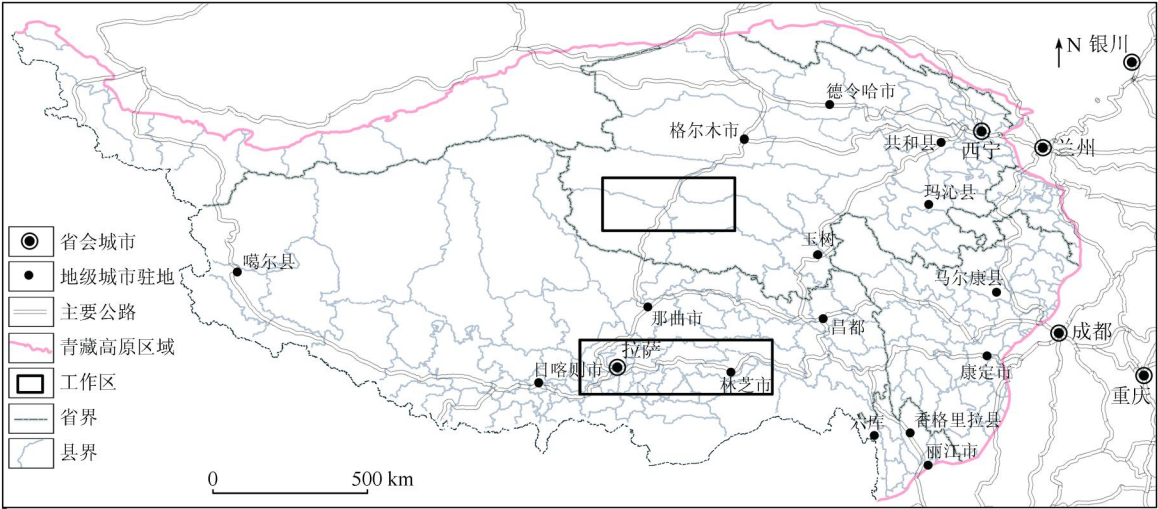


图 1 工作区交通位置
Fig. 1 Traffic location map of the research area

2 综合观测发展历程与面临挑战

2.1 自然资源调查历史沿革

由于海拔高、地理条件复杂、自然条件恶劣等原因,青藏高原是全球地球科学类数据最贫乏的地区之一。对青藏高原的系统调查研究始于 20 世纪 50 年代初,主要为针对青藏高原资源环境的本底调查,受限于当时条件,仅对局部地区进行了专题考察。70 年代初,中国科学院组织了第一次青藏高原综合科考,这次科考以“阐明高原地质发展的历史及隆升的原因,分析高原隆起后对自然环境和人类活动的影响,研究自然条件与自然资源的特点及其

利用升级的方向和途径”为中心任务,历时 20 余年,对青藏高原进行了全面、系统、多学科的综合考察,分析了高原隆升过程及其在地球演化中起到的作用,研究了高原生物区系组成、起源和演化的过程及规律,并按照温度条件、水分状况和地形差异,把青藏高原划分为 7 个自然地带,阐明了各地带的资源利用方向与主要途径^[9]。从 90 年代开始,青藏高原研究逐渐由面上考察转变为以定位观测为主的机理性研究。1992—1996 年,“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”被列为国家“八五”攀登计划;1995 年,时任国务委员兼国家科委主任宋健做出关于加强青藏高原研究的批示,中国科学院联合相关部委专家制定了《青藏高原专项研究计划》;1999—2003 年,作为首批国家重点基础

研究发展计划(“973”计划)项目,中国科学院地理科学与资源研究所启动了“青藏高原形成演化及其环境、资源效应”研究;2003年,李岚清副总理批示成立中国科学院青藏高原研究所,以加强和协调我国青藏高原研究的整体发展,2005—2009年中国科学院青藏高原研究所在“973”计划下开展了“青藏高原环境变化对全球变化的响应与适应对策研究”,2017年8月,由中国科学院青藏高原研究所牵头的第二次青藏高原综合科学考察在拉萨启动,以揭示环境变化机理、优化生态环境安全屏障体系为科学目标,聚焦水、生态和人类活动,着力解决青藏高原资源环境承载力、灾害风险、绿色发展途径等方面的问题^[16]。

2019年经中国科学技术部和财政部联合发文成立的国家青藏高原科学数据中心落户中国科学院青藏高原研究所,该数据中心是我国唯一一座针对青藏高原及周边地区科学研究的数据中心。根据对现有资料进行收集统计(不含气象部门台站和水利部门台站),青藏高原共有冰川及高寒生态观测站13个、草地生态观测站5个、森林生态观测站11个、湿地生态观测站10个、大气环境观测站1个、环境观测站3个、农业观测站1个、荒漠生态观测站2个。其中,由中国科学院负责管理的17个院级野外站和1个网络综合中心通过联合其他系统的野外站,组建了“高寒区地表过程与环境观测研究网络(High-cold region Observation and Research Network for Land surface processes & Environment of China, HORN)”。

调查发现,现有的野外台站多以单要素、单门类观测为主,由于服务对象不同,各单位站网观测数据没有统一的标准规范,且共享融合程度较低。受高原特殊的自然环境条件制约,现有站点对高原的覆盖程度不够,多集中在高原东北部格尔木—西宁—玉树—马尔康一带和中南部那曲—拉萨—林芝等局部地区,高原中西部、西北部、西南部及藏东南地区仍存在较多观测空白区,平均海拔4 500 m以上多年冻土区的各类观测数据尤为稀缺。此外也缺乏各类地球系统模拟所需要的高精度验证数据,这在很大程度上制约了青藏高原地球系统科学的研究。

2.2 综合观测建设面临的挑战

构建满足服务于自然资源“两统一”管理的青藏高原自然资源要素综合观测体系是一项庞大且艰巨的工程,不仅需要多学科、多领域的综合研究,

也需要统筹协调已有站网,建立协作机制,通过融合共建、空白添建、数据共享等方法,建立起覆盖青藏高原全区的自然资源要素综合观测网,但由于各站网间在台站建设、指标体系、数据采集传输等方面没有统一的标准规范,要实现有机衔接和深度融合还存在很大困难。

本文将开展青藏高原自然资源要素综合观测体系建设工作面临的主要挑战归纳为4个方面。

(1)为服务自然资源综合管理开展的自然资源要素综合观测需在科研基础上凝练出具有指导意义的管理决策依据,但目前缺少能够借鉴的前人经验,且综合观测系统性强、观测技术难度大、涉及多领域、多学科的交叉融合,要求基础知识全面、综合科研能力强。

(2)由于各行业之间存在行业壁垒,不同站网间的衔接融合难度大,有效地共享利用已有历史观测数据较为困难。

(3)自然环境严酷,人工观测窗口期短,尤其是在海拔超过4 500 m的羌塘高原等观测空白区基础设施条件落后,通讯网络覆盖率低,各类保障难度极大,每年的人工观测窗口期在6—9月份,实现长期连续观测难度高。

(4)工作条件艰苦,如高寒缺氧、辐射强烈、通讯安全保障困难,这些都要求青藏高原自然资源要素综合观测队伍必须是一支不仅懂建站、会观测、能研究,还需要有科学信仰、能吃苦耐劳、具有牺牲奉献精神的稳定队伍。

3 综合观测实施进展

3.1 观测站网布设总体思路

根据当前青藏高原野外观测台站东多西少的分布情况,围绕青藏高原自然资源和生态功能关键带以“东部融合、中部改造提升、西部添建控制”为总体布设思路,开展观测站网布设工作。“东部融合”主要开展与现有科学院、高校等机构的野外观测台站的合作共建,采取共享观测数据、少量补充观测等方式尽可能将其纳入自然资源要素综合观测网;“中部改造提升”针对当前中部地区台站观测内容主要服务于“水土气生”的生态观测特点,补充开展针对自然资源要素的观测,同时依托应用地质研究中心已有的拉萨、林芝基地开展综合观测站点建设工作;“西部添建控制”主要是在高原西部、

西北部、西南部等观测空白区的关键区域,结合实际架设自动观测设备,获取相应观测数据。

观测站网布设主要依托郑度^[17]提出的生态区划作为底图部署,初期建成长江源流域寒区冰川冻土水文气象生态植被综合观测网、拉萨河流域农田草地水文气象综合观测网、尼洋河流域山地水文气象生态植被综合观测网 3 个区域性自然资源要素综合观测网络,以此为基础逐步辐射至整个青藏高原,最后建设成覆盖青藏高原生态屏障区(包括三江源草原草甸湿地、若尔盖草原湿地、阿尔金草原荒漠区、羌塘高原荒漠区、藏东南高原边缘森林区)和长江重点生态区(川滇森林及生物多样性保护区)的自然资源要素综合观测网络,同时,配套开展卫星多波段航拍、无人机高光谱扫描等遥感解译工作,从站点尺度观测逐步拓展至“空-天-地一体化”观测,构建综合观测体系。

3.2 观测指标体系和重点观测内容

3.2.1 观测指标体系

规范、统一的指标体系是开展自然资源要素综合观测的基础,也是开展高水平网络化联合观

测的基本前提^[18-19]。构建青藏高原资源综合观测指标体系,利用统一的观测系统和观测标准对自然资源中各要素指标进行长期、持续、系统、稳定的观测,能够获取各要素特征的第一手数据,跟踪研究高原自然资源的动态变化情况,预测其发展演化趋势,全面掌控青藏高原各类资源与生态系统的态势。水圈是连接岩石圈、大气圈、生物圈的重要圈层^[20]。以地球系统科学和寒区水文学为指导,以冰冻圈水循环(水平衡)影响因素为主线,选取各类自然资源要素基础评价指标和各要素相互耦合作用指标作为主要观测指标,兼顾其他影响自然资源动态平衡的因素,组合形成各类资源观测指标模块,构建自然资源要素综合观测指标体系。

根据不同资源类型,将青藏高原自然资源划分为植被资源、水资源、大气资源和土壤资源。通过正演、反推及专家评议的组合方法整合选取了青藏高原 12 个一级指标、52 个二级指标和 164 个三级指标,分别采用人工观测、自动观测、数值计算和实验室检测等方式开展观测研究(表 1)。

表 1 青藏高原观测指标体系
Tab. 1 Observation index system for the Qinghai - Tibet Plateau

资源类型	一级指标	二级指标	三级指标
植被资源	植被特征	植被群落特征	种类、优势物种、总物种数、植被覆盖度、叶面积指数
		植被生产力	凋落物生物量、植被生产力、单位面积生产力、各功能群植物生产力占比
		生物量	地上生物量、地下生物量
水资源	地表水资源量	水文特征	水位、水深、水量
		物理性质	水温、浊度、电导率
		化学性质	pH、溶解氧、矿化度、K、Na、Ca、Mg、氯化物等
		江河水资源量	河流横截面积、流向、流量、流速、流域面积、河道长度
		湖库水资源量	平均淹水深度、最大淹水深度、岸线周长、水域面积
	冰川资源量	冰川冰储量	冰川面积、冰川长度、冰川厚度、冰川密度
		冰川气象	冰川温度、表面温度、雪层温度、浅层冰温
		冰川水文及积雪质量	冰雪融水径流量、冰川表面液态降水量、冰面蒸发量、积雪雪压、雪层雪密度、积雪面积、各积雪深度、雪水当量
	地下水资源量	地下水类别	地下水类型(潜水、承压水、裂隙水、岩溶水)、泉类型
		地下水资源量	补给量、消耗量
地下水净流量		含水层渗透系数、水位高程、断面宽度	
气候资源	气象参数	物理性质	水温、浊度、电导率
		大气压	最高气压、最低气压、平均气压、空气密度
		大气能见度	最小能见度、最小能见度时间
		水汽	水汽压、铅直水汽通量、相对湿度
		云	云量、云状、云高、基本反射率、组合反射率
		空气温度	最高气温、最低气温、平均气温、积温
	辐射	地表温度	地表最低和最高温度、定时地表温度
		露点温度	日最低、最高、平均露点温度
		太阳辐射资源量	太阳总辐射量、直接辐射量、紫外辐射量
		其他辐射量	长波辐射、净辐射量、散射辐射、反射辐射

(续表)

资源类型	一级指标	二级指标	三级指标
气候资源	风能	风速	最大风速、极大风速、瞬时风速、平均风速
		风向	平均风向
		风能	风能密度
	大气降水	降水量	次降水量、降水总量、连续降水量、极端日降水量、极端连续降水量、汛期降水量
		降水强度	
		降水量年内分配	
		丰枯周期	
		降水日数	连续降水日数、极端连续降水日数
		降水 pH	
		雪深与雪压	
		降水资源量	面雨量、汇水区降水资源量
	蒸发	水面蒸发量	
		陆面蒸发量	
土壤资源	土壤物理性质	土壤质地	砂粒、粉粒、粘粒
		土壤厚度	枯落物层、腐殖质层、淀积层、母质层、泥炭层厚度
		土壤温度	浅层地温、最低温度、最高温度
		土壤容重	土壤容重(表层、深层)
		土壤导热、温率	土壤导热率、土壤导温率
		土壤含水量	土壤含水率、各深度含水量
	土壤化学性质	土壤矿质全量	Si、Fe、Mn、Ti、Al、S、Ca、Mg、K、Na
		微量元素、重金属元素	Se、Co、Cd、Pb、Cr、Ni、Hg、As
		土壤盐	土壤全盐量、土壤水溶性盐分、土壤碳酸盐量
		土壤有机质	
		土壤有机碳	
	冻土资源量	冻土物理性质	上限和下限深度、冻土面积、冻土厚度、活动层深度、活动层温度、冻土地温、冻土容重、冻土含水率、冻土比重
		冻土化学性质	甲烷水合物、天然气水合物、CO ₂ 通量、易溶盐含量、有机质总量
		冻土强度特性	抗拉强度、抗剪强度、抗压强度
		冻土冻胀特性	冻胀率、地表冻胀率、冻结层厚度

3.2.2 重点观测内容

(1)多年冻土观测。通过钻探和坑探布设活动层水热观测场和地温观测场,对多层次的冻土地温、活动层土壤温度、含水量和土壤热导率进行观测。活动层观测深度在 5 cm、10 cm、20 cm、30 cm、50 cm、80 cm、100 cm 以及更深层次,通常观测最大深度在该点活动层厚度下方 30~50 cm。在冻土地温观测钻孔位置布设冻土连续地温观测场,部分钻孔地温采用自动数据采集系统以 0.5 h 为间隔进行连续记录,其余钻孔数据由人工定期采集。地温观测间隔一般在地温年变化深度以上每 1.0 m 布设一个探头,在地温年变化深度以下每 2.0 m 布设一个探头。

(2)冰川观测。使用差分 GPS、地基三维激光扫描等技术设备在冰川观测中进行试验。使用中、高分辨率遥感影像数据结合数字高程模型(Digital Elevation Model,简称 DEM)数据对遥感影像进行地形校正,并与中国冰川目录进行比较,观测长时间序列下冰川的边界范围及其前进/退缩等情况。同

时结合降水、蒸散发及冰川融水等数据计算冰川物质平衡。

(3)积雪观测。在观测场内布设标杆、可见光自动相机、GPS 接收器及温度探头,自动记录雪深和不同深度的积雪温度;用地物光谱仪记录雪面光谱曲线,并通过地面拍照与无人机摄影的方式记录整条测雪线路及周边的积雪覆盖状况;使用站点观测数据结合光学及被动微波遥感反射率、亮度温度数据对积雪产品进行降尺度处理,观测积雪范围、雪深等积雪特征的动态变化。

(4)气象观测。依据国家气象观测规范,建立标准地面气象观测塔 15 个,共包括 10 m 高度塔(3 层)10 个、30 m 高度塔(5 层)4 个和 50 m 高度塔(7 层)1 个,观测内容包括不同高度的气温、气压、湿度、风速、风向等指标。此外,在 2 m 高度架设总辐射及四分量辐射、光合有效辐射、雪深和红外地表温度等传感器。

(5)水资源观测。选取典型河流,建立水文断

面,使用流量流速仪定点观测河流的流速、流量;选取典型湖泊,使用红外水位仪,定点观测湖泊水位。此外,通过人工取样定期观测湖泊、河流的水质。

(6) 地表通量观测。基于气象塔安装涡动系统,实现对地表水汽、CO₂、CH₄通量的长期观测;采用多通道土壤呼吸仪观测土壤呼吸;在典型地表下垫面区安装大孔径闪烁仪,用于观测地表和湖面的感热通量。

(7) 植被观测。基于中、高分辨率遥感影像,计算植被指数,观测植被生物量动态变化情况。根据植被指数提取植被物候节点,获取植被的物候变化信息。

3.3 观测站网布设进展

经过 2020 年开展的工作,已初步建成长江源

地区、拉萨—林芝地区高原综合气象观测网,长江源冰川冻土观测网和拉萨河、尼洋河流域尺度资源观测网。

3.3.1 长江源地区、拉萨—林芝地区高原综合气象观测网

经过优选,纵向沿拉萨河—北麓河、横向沿拉萨—林芝及青藏线布设综合气象观测站,形成不同海拔梯度、不同下垫面类型的气象观测网(图 2)。综合气象站观测指标包括多层温度、湿度、风速、风向、降水、蒸发、辐射、多层土壤温湿盐等。根据初步调查观测并结合收集的历史数据,拉萨—林芝地区属海洋性季风气候,受喜马拉雅山、念青唐古拉山和唐古拉山阻挡,唐古拉山以北地区转变为大陆性气候,拉萨河、尼洋河流域降水量达到 1 000 mm,呈增加态势。

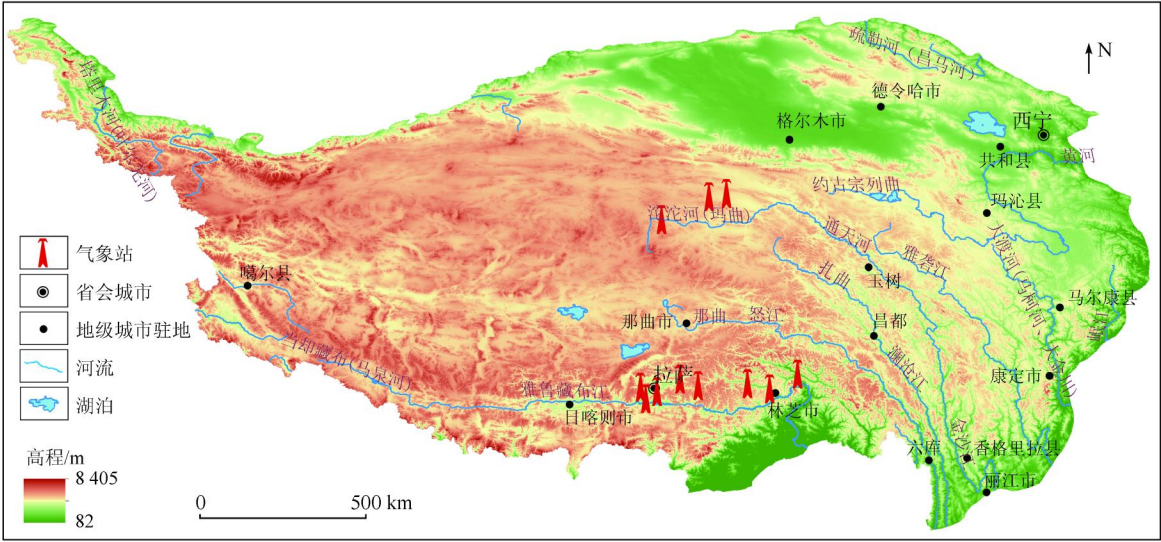


图 2 青藏高原气象观测网

Fig. 2 Meteorological observation network on the Qinghai - Tibet Plateau

3.3.2 长江源沱沱河源头冰川冻土观测网

通过踏勘、钻探、坑探、物探(探地雷达、瞬变时域电磁法)、测绘(地表变形监测、无人机航拍)、植被剖面与样方调查、定位监测等方法,以《多年冻土调查手册》^[21]为标准,选取典型多年冻土区域开展钻探和坑探工程,针对多年冻土主要特征要素(多年冻土温度、活动层水热特性、主要环境因子等)开展长期定位观测。同时,在长江源源头冰川顶部、冰川消融区架设自动气象站,监测冰川的双层表面气温、风速、风向、2 m 处湍流通量、四分量辐射(长短波)、降水、气压、不同层位冰川内部温度等指标,通过长期定位观测,监测冰川表面高度的变化,获得冰川表面

消融/积累量的连续观测数据,结合全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)位移数据,记录冰川表面运动速度,进一步研究冰川物质能量与速度之间的变化机制,初步建成长江源沱沱河源关地区冰川冻土观测网(图 3)。

初步调查结果显示,长江源沱沱河源头地区多年冻土上限(活动层厚度)深度主要分布在 1.00 ~ 4.00 m,平均为 2.70 m。高寒草甸区活动层平均厚度为 2.36 m,冻土平均厚度为 20.98 m;高寒草原区活动层平均厚度为 3.10 m,冻土平均厚度为 9.70 m;高寒荒漠区未见冻土出现。该数据可初步估算沱沱河源头地区的地下冰总含量,进一步计算长江源

地区的水当量。通过研究活动层厚度年际变化与年平均气温的耦合关系,发现长江源地区活动层厚

度逐年增加且与年平均气温变化呈正相关,表明是全球变暖导致了高原地区冻土厚度的降低^[21]。

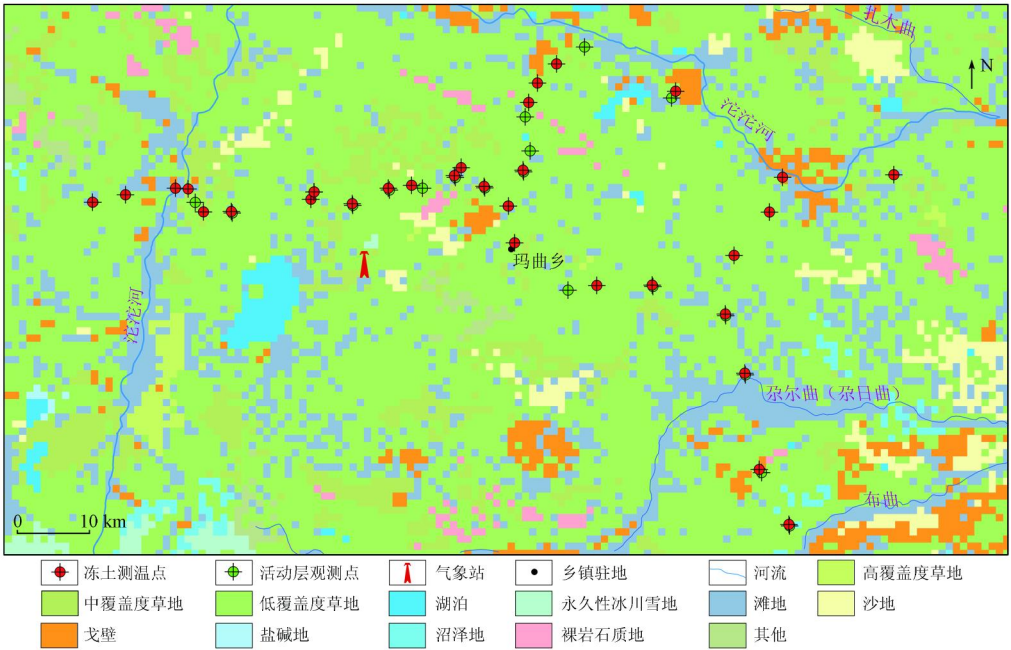


图 3 长江源沱沱河源头地区冰川冻土观测网

Fig. 3 Observation network of glaciers and permafrost in the source area of the Yangtze River

3.3.3 拉萨河、尼洋河流域尺度水资源观测网

以“主要控制干流、选择控制支流”为原则,在拉萨河、尼洋河流域布设河流水文观测 3 处,配套布设气象观测 6 处,同时新设 10 口地下水观测井,

与西藏地质环境监测总站已有的地下水观测站互补,初步建成地表及地下水资源观测网,进一步完善了拉萨河、尼洋河流域尺度水资源观测网(图 4)。初步调查观测显示:拉萨河、尼洋河流域地下水资

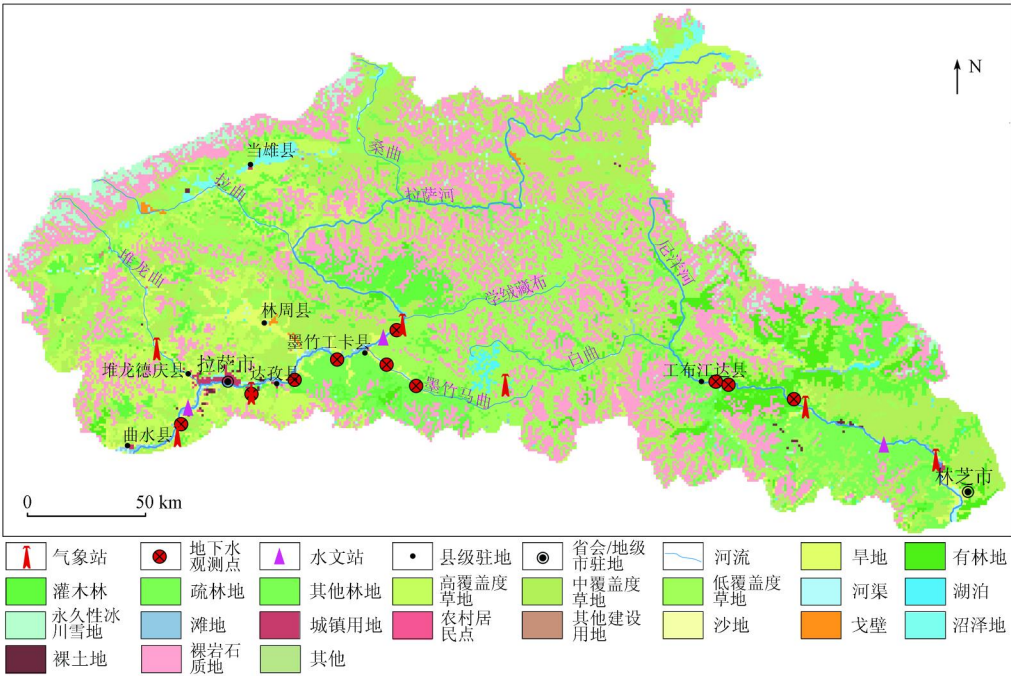


图 4 拉萨河、尼洋河流域尺度水资源观测网

Fig. 4 Water resources observation network at the scale of Lhasa River and Niyang River basins

源含量丰富,年平均静水位 1.20 ~ 18.20 m,平均流量 11.48 L/s,地下水静水位深度可能受地层、地形、海拔以及全球变暖影响,表现出良好的耦合关系。

4 未来工作设想

青藏高原自然资源要素综合观测体系建设工作开展以来,在长江源、拉萨河、尼洋河流域完成了 3 个观测网建设,包括冻土观测站 2 个、地表及地下水资源观测站点 4 个、土壤观测站 3 个、气象观测站 5 个、植被观测站 2 个;在长江源沱沱河源头地区建成国内海拔最高的无人冻土观测站,填补了我国在该地区的观测空白,获取了沱沱河源流域尺度的多年冻土活动层厚度、冻土分布等珍贵的原始数据;探索了与青藏高原已有台站的融合共建机制;根据收集、采集的观测数据形成了一些初步认识。青藏高原自然资源要素综合观测体系建设是一项具有重要意义的基础性工作,同时也是一项庞大的工程。针对目前已取得的进展情况和面临的建设挑战,本文从以下 5 个方面进行了展望。

(1)完善观测要素和观测方法,建立系统的观测网。针对青藏高原自然资源区域特征,完善与自然资源相关的要素观测,在长江源流域增加对冰川、湖泊、草原、荒漠的观测,在拉萨河、尼洋河流域增加对森林、草原、荒漠、耕地的观测。此外,对青藏高原的湖泊、湿地观测也应纳入未来青藏高原资源要素综合观测的重点。在建设地面观测台站的同时,利用卫星遥感、无人机等加强深空对地观测、低空观测、地面地下观测的系统融合^[22],建立青藏高原“空-天-地-井”立体式全覆盖的自然资源要素综合观测体系网络。

(2)科学部署观测体系建设工作。要制定科学的观测体系建设实施方案,在进入观测区工作前周密细致地做好各项准备工作,包括人员、设备、材料、保障等,全面考虑野外观测网建设过程中可能遇到的各类情况,制定备选方案和应急预案,确保在 4 个月的最佳人工观测窗口期完成观测数据采集和计划建设任务。加强高寒缺氧条件下的自动观测、自动采集数据、前端数据智能分析

及无线通讯传输等无人操作的智能化观测装备体系研究,减少人工观测负担,实现无人区的长期不间断观测。

(3)加强观测队伍体系建设。利用应用地质研究中心的人员和区位优势打造一支能吃苦、有纪律、甘奉献、人员结构稳定的青藏高原自然资源要素综合观测专业队伍,按建设运维团队、数据采集处理团队、综合分析研究团队等分类别、分层次、各有侧重地培养锻炼,形成结构合理、梯次发展的高原观测人才队伍体系。

(4)创新融合共建机制。推动制定统一的青藏高原自然资源要素综合观测标准规范、指标体系和数据采集传输体系,完善观测指标,填补观测空白,协调各方建立不同站网间的转换接入机制和共享机制,既保持原有站网在各自业务领域的相对独立,又能实现与自然资源要素综合观测研究相关的各类数据的接入融合。

(5)开展重大课题研究。围绕青藏高原生态保护和高质量发展,不断强化青藏高原冰川、冻土、水资源、草原、森林等自然资源要素的观测,联合各有关单位开展江河源头冰川气象物质能量平衡与运动速度的变化机制、青藏高原多年冻土分布和地下冰储量变化、气候变化背景下江河源头水文与冰川径流变化规律、高原自然资源要素对全球气候变化的响应和适应、西藏农牧业资源优化利用模式等重大课题研究,为自然资源部“两统一”管理提供咨询建议。

参考文献 (References):

- [1] 姚檀栋,陈发虎,崔鹏,等.从青藏高原到第三极和泛第三极[J].中国科学院院刊,2017,32(9):924-931.
Yao T D, Chen F H, Cui P, et al. From Tibetan Plateau to third pole and pan - third pole[J]. Bull Chin Acad Sci, 2017, 32(9): 924 - 931.
- [2] 张瑞江. 青藏高原冰川演变与生态地质环境响应[J]. 中国地质调查, 2016, 3(2): 46 - 50.
Zhang R J. Glacier change and eco - geological environment response in Tibetan Plateau[J]. Geol Surv China, 2016, 3(2): 46 - 50.
- [3] 中共中央文献研究室. 习近平关于社会主义生态文明建设论述摘编[M]. 北京: 中央文献出版社, 2017.
Literature Research Office of the CPC Central Committee. Excerpts from Xi Jinping's statement on the Construction of Socialist Ecological Civilization [M]. Beijing: Central Party Literature

- Press,2017.
- [4] 陆成宽. 自然资源要素综合观测体系开建[EB/OL]. (2019-12-18)[2020-06-01]. http://www.mnr.gov.cn/dt/mtsy/201912/t20191218_2490347.html.
Lu C K. Construction of a Comprehensive Observation System for Natural Resource Elements[EB/OL]. (2019-12-18)[2020-06-01]. http://www.mnr.gov.cn/dt/mtsy/201912/t20191218_2490347.html.
 - [5] 韦志刚,黄荣辉,董文杰. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化[J]. 大气科学,2003,27(2):157-170.
Wei Z G, Huang R H, Dong W J. Interannual and interdecadal variations of air temperature and precipitation over the Tibetan Plateau[J]. Chin J Atmos Sci,2003,27(2):157-170.
 - [6] 郑度,姚檀栋. 青藏高原形成演化及其环境资源效应研究进展[J]. 中国基础科学,2004,6(2):17-23.
Zheng D, Yao T D. Progress in research on formation and evolution of Tibetan Plateau with its environment and resource effects[J]. China Basic Sci,2004,6(2):17-23.
 - [7] Yao T D, Thompson L, Yang W, et al. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings[J]. Nat Climate Change,2012,2(9):663-667.
 - [8] 牛富俊,程国栋,赖远明,等. 青藏高原多年冻土区热融滑塌型斜坡失稳研究[J]. 岩土工程学报,2004,26(3):402-406.
Niu F J, Cheng G D, Lai Y M, et al. Instability study on thaw slumping in permafrost regions of Qinghai-Tibet Plateau[J]. Chin J Geotechn Eng,2004,26(3):402-406.
 - [9] 郑度,赵东升. 青藏高原的自然环境特征[J]. 科技导报,2017,35(6):13-22.
Zheng D, Zhao D S. Characteristics of natural environment of the Tibetan Plateau[J]. Sci Technol Rev,2017,35(6):13-22.
 - [10] 张江,袁旻舒,张婧,等. 近30年来青藏高原高寒草地 NDVI 动态变化对自然及人为因子的响应[J]. 生态学报,2020,40(18):6269-6281.
Zhang J, Yuan M S, Zhang J, et al. Responses of the NDVI of alpine grasslands on the Qinghai-Tibetan Plateau to climate change and human activities over the last 30 years[J]. Acta Ecol Sin,2020,40(18):6269-6281.
 - [11] 郑度,吴绍洪,尹云鹤,等. 全球变化背景下中国自然地域系统研究前沿[J]. 地理学报,2016,71(9):1475-1483.
Zheng D, Wu S H, Yin Y H, et al. Frontiers in terrestrial system research in China under global change[J]. Acta Geogr Sin,2016,71(9):1475-1483.
 - [12] Gao Z Y, Niu F J, Lin Z J. Effects of permafrost degradation on thermokarst lake hydrochemistry in the Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. Hydrol Process,2020,34(26):5659-5673.
 - [13] 马耀明,胡泽勇,田立德,等. 青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究进展[J]. 地球科学进展,2014,29(2):207-215.
Ma Y M, Hu Z Y, Tian L D, et al. Study progresses of the Tibet Plateau climate system change and mechanism of its impact on East Asia[J]. Adv Earth Sci,2014,29(2):207-215.
 - [14] Liu X L, Liu C Q, Kang Q, et al. Vegetation Response to Climate Change in the Southern Part of Qinghai-Tibet Plateau at Basinal Scale[C]//Proceedings of the ISPRS Technical Commission III Midterm Symposium on "Developments, Technologies and Applications in Remote Sensing". Beijing: Tiantu Work Department of National Basic Geographic Information Center,2018:8.
 - [15] 李林,李红梅,申红艳,等. 青藏高原气候变化的若干事实及其年际振荡的成因探讨[J]. 冰川冻土,2018,40(6):1079-1089.
Li L, Li H M, Shen H Y, et al. The truth and inter-annual oscillation causes for climate change in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. J Glaciol Geocryol,2018,40(6):1079-1089.
 - [16] 董璐,李泽霞,魏韧. 1981—2018年青藏高原研究国际态势分析[J]. 世界科技研究与发展,2020,42(4):412-425.
Dong L, Li Z X, Wei R. A bibliometric analysis of international research on Tibetan Plateau, 1981-2018[J]. World Sci-Tech R&D,2020,42(4):412-425.
 - [17] 郑度. 中国生态地理区域系统研究[M]. 北京:商务印书馆,2008.
Zheng D. A Study on Eco-geographical Region System of China[M]. Beijing: Commercial Press,2008.
 - [18] 张贺,王绍强,王梁,等. 自然资源要素综合观测指标体系探讨[J]. 资源科学,2020,42(10):1883-1899.
Zhang H, Wang S Q, Wang L, et al. Discussion on the indicator system of comprehensive observation of natural resource elements[J]. Resour Sci,2020,42(10):1883-1899.
 - [19] 孙兴丽,刘晓洁,刘晓洁,等. 面向统一管理的自然资源分类体系研究[J]. 资源科学,2020,42(10):1860-1869.
Sun X L, Liu X H, Liu X J, et al. Classification system of natural resources for integrated management[J]. Resour Sci,2020,42(10):1860-1869.
 - [20] 刘晓洁,刘晓洁,程书波,等. 中国自然资源要素综合观测网络构建与关键技术[J]. 资源科学,2020,42(10):1849-1859.
Liu X H, Liu X J, Cheng S B, et al. Construction of a national natural resources comprehensive observation system and key technologies[J]. Resour Sci,2020,42(10):1849-1859.
 - [21] 赵林,盛煜. 多年冻土调查手册[M]. 北京:科学出版社,2015.
Zhao L, Sheng Y. Permafrost Survey Manual[M]. Beijing: Science Press,2015.
 - [22] 甘甫平,刘镭源,葛大庆,等. 深空对地观测创新工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查,2018,5(6):1-10.
Gan F P, Liu R Y, Ge D Q, et al. Progresses and main achievements on the innovation project of deep space and earth observation[J]. Geol Surv China,2018,5(6):1-10.

Progress and prospect of integrated observation of natural resource elements on the Qinghai – Tibet Plateau

YANG Bin^{1,2}, CHEN Ying^{1,2}, TAN Changhai^{1,2}, ZHAO Yanggang^{1,2}, DUAN Yanghai^{1,2},
ZHANG Xunxun^{1,2}, LIU Xiaohuang^{2,3}

(1. *Research Center for Applied Geology, China Geological Survey, Sichuan Chengdu 610036, China*; 2. *Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements, Beijing 100055, China*; 3. *Command Center for Integrated Natural Resource Survey, China Geological Survey, Beijing 100055, China*)

Abstract: The Qinghai – Tibet Plateau is not only an important ecological security barrier for China, but also plays an extremely important role in the global physical – geographic environment. However, the observation data of natural resource elements are relatively scarce due to the harsh natural environment of the Qinghai – Tibet Plateau. It is an urgent and necessary task to establish an integrated observation network of natural resource elements on the Qinghai – Tibet Plateau, establish a long – term and stable professional integrated observation team, and carry out the systematic and continuous multi – scale observation of total factors. The authors in this paper have introduced the Qinghai – Tibet Plateau natural resources integrated observation implementation progress and the related achievements from the aspects of station network layout ideas, observation index system, key observation content and station network construction. Besides, five aspects have been forecasted, including the perfection of observation factors and methods, the scientific deployment of observation system construction work, the organization of long – term and stable observation team, the innovation of fusion mechanism and the strengthening of major research projects. The research above could provide some advice and reference in building the integrated observation system for the natural resources in the Qinghai – Tibet Plateau.

Keywords: Qinghai – Tibet Plateau; integrated observation; natural resources

(责任编辑: 常艳, 魏昊明)