

# “美丽冰冻圈”融入区域发展的途径与模式

杨建平<sup>1</sup>, 哈琳<sup>1</sup>, 康韵婕<sup>2</sup>, 肖杰<sup>1</sup>, 陈虹举<sup>1,3</sup>, 贺青山<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000;

2. 山西师范大学地理科学学院, 临汾 041000; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 在探讨“美丽冰冻圈”内涵的基础上,从自然属性与社会经济两个层面、致利与致害两条线,分析了“美丽冰冻圈”与区域可持续发展的关系,“美丽冰冻圈”、区域社会经济发展、人类福祉构成冰冻圈—人类社会经济复合命运共同体。基于中国冰冻圈要素及其变化影响的区域差异性,选取祁连山—河西地区、青藏高原三江源地区、横断山大香格里拉地区,分别代表冰冻圈水资源影响区、冰冻圈灾害影响区、冰冻圈旅游经济区,围绕冰冻圈水资源服务与绿洲经济、雪灾害风险与畜牧业经济、冰雪旅游与区域经济等核心问题,从冰冻圈资源服务与灾害风险视角,详细阐述了冰冻圈融入不同区域发展的途径与模式。在干旱半干旱内陆地区,冰冻圈主要以水源涵养、水量供给与径流调节服务,融入绿洲社会经济发展,是一种冰冻圈水资源支撑型区域发展模式;在青藏高原高寒区,冰冻圈生态环境决定了畜牧业经济的脆弱性,冰冻圈灾害负向影响畜牧业经济,是一种冰冻圈生态支撑+灾害影响型区域发展模式;在冰冻圈旅游经济区,直接依托冰雪资源发展冰雪旅游业,是一种基于冰冻圈资源的旅游经济驱动型区域发展模式。

**关键词:** “美丽冰冻圈”;冰冻圈水资源;冰冻圈灾害;冰雪经济;区域可持续发展;途径与模式

DOI: 10.11821/dlxb202110004

## 1 引言

建设美丽中国是党的“十八大”报告首次提出的重大战略思想和全新执政理念<sup>[1]</sup>,作为生态文明建设的宏伟目标与实现中华民族永续发展的战略构想,美丽中国是绿水青山向金山银山实现价值转变的途径和载体,是生态文明建设的关键环节,是实现五位一体的最高重要举措,是生态—经济—社会—人口和谐相处的基本路径,是生态环境治理的最高目标。“十九大”报告进一步明确了美丽中国建设的阶段性目标:2035年生态环境根本好转,美丽中国目标基本实现;到本世纪中叶,物质文明、政治文明、精神文明、社会文明、生态文明得到全面提升(2050愿景)<sup>[2]</sup>。

生态脆弱区是指两种不同类型的生态系统的交界过渡区域,中国是世界上生态脆弱区分布面积最大、脆弱生态类型最多、生态脆弱性表现最明显的国家之一<sup>[3]</sup>,生态脆弱区占国土陆地面积的70%以上。冰冻圈是地球表层具有一定厚度且连续分布的负温圈层<sup>[4]</sup>,是很脆弱的生态环境要素<sup>[5]</sup>,中国冰冻圈的主体是冰川、冻土和积雪,冰冻圈作用区面积占国土陆地面积的78.1%<sup>[6]</sup>,囊括了中国5/8的生态脆弱类型,而且是国家级贫困县与集中连片特困区集中分布区,生态脆弱区再叠加自身脆弱的冰冻圈,增加了脆弱生态环境

收稿日期:2020-10-09; 修订日期:2021-04-30

基金项目:中国科学院战略科技先导专项(XDA23060704) [Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA23060704]

作者简介:杨建平(1971-),女,山西方山人,博士,研究员,研究方向为气候变化风险与适应、冰冻圈与区域可持续发展。

E-mail: jianping@lzb.ac.cn

通讯作者:哈琳(1990-),女,甘肃天水人,硕士,研究方向为冰冻圈变化与区域可持续发展。E-mail: hal213@126.com

2379-2390 页

问题的多样性与治理的复杂性。冰冻圈亦是一类特殊的自然资源,中国冰冻圈资源丰富,但长期以来对其认识局限于水资源方面,对其经济资源(能源、旅游等)、生态资源(水源涵养、碳氮储存等)、文化资源(宗教、探险、体育等)的认识与关注不足,开发利用程度低。2016年3月7日习近平总书记在十二届全国人大四次会议参加黑龙江省代表团审议时,指出:“绿水青山是金山银山,冰天雪地也是金山银山”。同年颁布《冰雪运动发展规划(2016—2025)》<sup>[7]</sup>,将以2022年北京—张家口冬奥会为契机,大力发展冰雪产业,使之成为经济增长的新引擎。

作为自然环境的重要组成部分与独特的自然资源,冰冻圈对人类社会经济发展影响深远,其变化与影响,尤其是对区域社会经济可持续发展的影响越来越受到高度关注<sup>[8-13]</sup>,这些影响研究主要聚焦阿尔卑斯山、兴都库什—喜马拉雅山、安第斯山、落基山这些全球高山地区与北极及其周边地区,研究内容涉及广泛,包括水资源与水资源安全<sup>[9-10, 14-15]</sup>,寒区生态系统与生态安全<sup>[10, 16-18]</sup>,灌溉农业与食品安全<sup>[16, 19-20]</sup>,交通、基础设施、矿产资源开发、航道开通<sup>[10, 16, 18, 21]</sup>,生计、健康、文化等<sup>[18, 22-25]</sup>。近年来,随着全球气候持续变暖,冰冻圈不稳定性增加<sup>[13]</sup>,冰冻圈灾害风险研究亦受到日益关注<sup>[10, 12-13, 26]</sup>。此外,从功能与服务视角,研究冰冻圈的功能变化及其服务价值亦成为当前冰冻圈领域的新颖研究内容<sup>[27-30]</sup>。

冰冻圈变化具有牵一发而动全身的自然与社会经济效应。在气候持续变暖,冰冻圈不断萎缩、但灾害增加趋势下,在全球环境持续变化,中国正在加快形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局之际,如何防范与应对冰冻圈灾害风险,将冰冻圈资源优势转变成经济效益?如何提升、优化冰冻圈作用区与影响区的现有发展模式?如何针对不同冰冻圈要素,探寻、发展崭新的转变途径与模式,促进区域社会经济高质量发展,成为当下乃至未来一段时间迫切需要解决的重要问题。因此,本文从剖析“美丽冰冻圈”内涵切入,从冰冻圈变化对人类社会致利与致灾影响两条线,阐述了冰冻圈与区域可持续发展的逻辑关系。在此基础上,根据中国冰冻圈变化影响的区域差异性,选取祁连山—河西地区、青藏高原三江源地区、大香格里拉地区,分别代表冰冻圈水资源影响区、冰冻圈灾害影响区、冰冻圈旅游经济区,从冰冻圈水资源、冰冻圈灾害风险、冰冻圈旅游三方面,解析“美丽冰冻圈”融入不同影响地区发展的途径与模式,为以“寒”“旱”为特征的经济欠发达地区,因地制宜开发利用冰冻圈资源,促进区域社会经济绿色发展提供参考。

## 2 美丽冰冻圈 的内涵

水体处于冻结状态是冰冻圈区别于其他环境要素的主要特性<sup>[4]</sup>,也因此使冰冻圈成为地球自然生态系统中的独特成员,其“美丽”有两重属性:①作为一种自然系统,冰冻圈具有自然美,广袤的冰盖和冰原、瑰丽迷人的山地冰川、星罗棋布形状各异的多年冻土地貌、一望无际的高寒苔原和草甸、皑皑高山雪峰等形成了丰富多样的自然景观之美;②作为一种独特资源,冰冻圈具有社会、经济服务之美。冰冻圈自身环境特性、独特的结构和过程使其具有供给功能、调节功能、文化功能、承载功能和支持功能<sup>[28]</sup>,从而可为人类系统提供多种服务惠益。冰冻圈服务是指人类社会从冰冻圈获取的各种惠益,包括直接或间接从冰冻圈系统获得的资源、产品、福利和享受等<sup>[27-28]</sup>,包括供给服务、调节服务、文化服务、承载服务与支持服务(图1),这些服务支撑了以人为核心的社会经济的发展,并形成了与低纬度、低海拔地区迥异的高纬与高山地区独特的社会—冰

冻圈系统（寒区的社会生态系统）发展模式。

现代人地系统具有复杂性、地域性和动态性特征，人—地交互作用过程、格局及其综合效应正在发生深刻变化。在冰冻圈与人类圈构成的这一特殊人地关系地域系统中，冰冻圈受全球气候变暖影响而加速退缩，其“颜值”（自然景观美）在萎缩“衰老”，一些功能和服务已呈减弱迹象，并可能继续加剧，出现功能衰退和丧失<sup>[28]</sup>；与此同时，冰冻圈极端灾害事件却呈增加趋势<sup>[26]</sup>。这两方面作用可能使人类社会经济系统，尤其是受冰冻圈变化显著影响地区的社会经济系统面临多重危机与灾害风险，譬如水危机、生境危机、文化危机、冰雪崩风险、冰湖溃决风险、冻融灾害风险等。冰冻圈不仅拥有自然景观之美，为人类社会提供各种服务之美，但亦存在灾害风险的一面，避害趋利，化害为利，人类唯有减缓与适应冰冻圈变化的影响，与冰冻圈保持和谐，社会经济系统方可在一定时间内持续获取冰冻圈服务（图1）。可见，“美丽冰冻圈”是“自然之美、服务之美、和谐之美的综合体、利与害的辩证统一体”。

综合上述分析，可见“美丽冰冻圈”是在特定时期、特定地域内，遵循冰冻圈自然变化规律、冰冻圈资源永续利用规律和冰冻圈保护规律，防范冰冻圈灾害风险，合理开发利用冰冻圈资源，服务区域社会经济建设，形成冰冻圈环境优美、冰冻圈文化传承、人与冰冻圈和谐、区域社会稳定经济富裕的可持续发展格局。“美丽冰冻圈”概念源于美丽中国，是美丽中国概念在特殊自然环境要素—冰冻圈的延伸与应用。美丽中国，顾名思义为中国美丽，是一个国家/区域整体美丽，是生态、经济、社会、政治、文化和谐发展。而“美丽冰冻圈”为一种自然要素美丽，既然是一种自然环境要素，其变化就必然存在利与害两方面的影响，利用有利的一面，防范并化害为利，冰冻圈才更美丽，故冰冻圈美丽是利与害的辩证统一；其次，从社会经济属性上，“美丽冰冻圈”与特定区域美丽密切不可分，是自然环境要素与特定区域美丽的综合体，是生态、经济、社会、文化和谐发展，它既是美丽中国的一部分，又具有自身独特的“美丽”内容，可以说“美丽冰冻圈”在一定程度上丰富了美丽中国概念的内涵。

### 3 美丽冰冻圈 与区域可持续发展的关系

鉴于冰冻圈的自然、社会经济双重属性，冰冻圈与区域可持续发展的关系可以从自然属性层面与社会经济层面两条线梳理。就自然属性而言，作为地球气候系统五大圈层之一的冰冻圈，其通过与大气圈、水圈、岩石圈和生物圈相互作用，影响全球能量平衡、水量平衡、碳氮平衡、水盐平衡、热盐平衡等，并通过能水、热盐和生物地球化学的改变，影响天气/气候、水循环和水资源、陆地和海洋生态系统、地表环境与灾害，进而影响人类社会经济可持续发展<sup>[18, 31-35]</sup>（图2）。在社会经济层面，冰冻圈又具有两面性，一方面冰冻圈是区域社会经济发展不可或缺的重要资源，通过其在气候、水资源、生态、工程、旅游和休闲、探险和体育、特色人文等领域的利用，为人类社会产生可观的

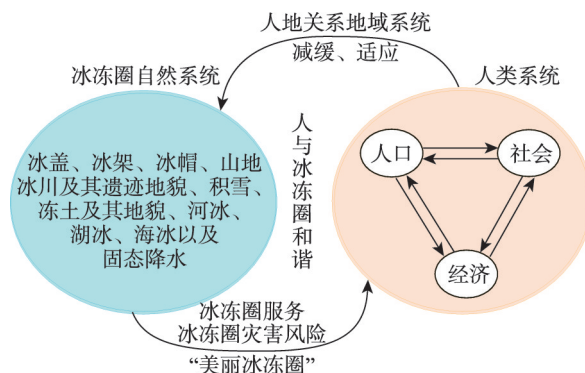


图1 “美丽冰冻圈”内涵示意图

Fig. 1 The schematic diagram of the connotation of "Beautiful Cryosphere" (BC)



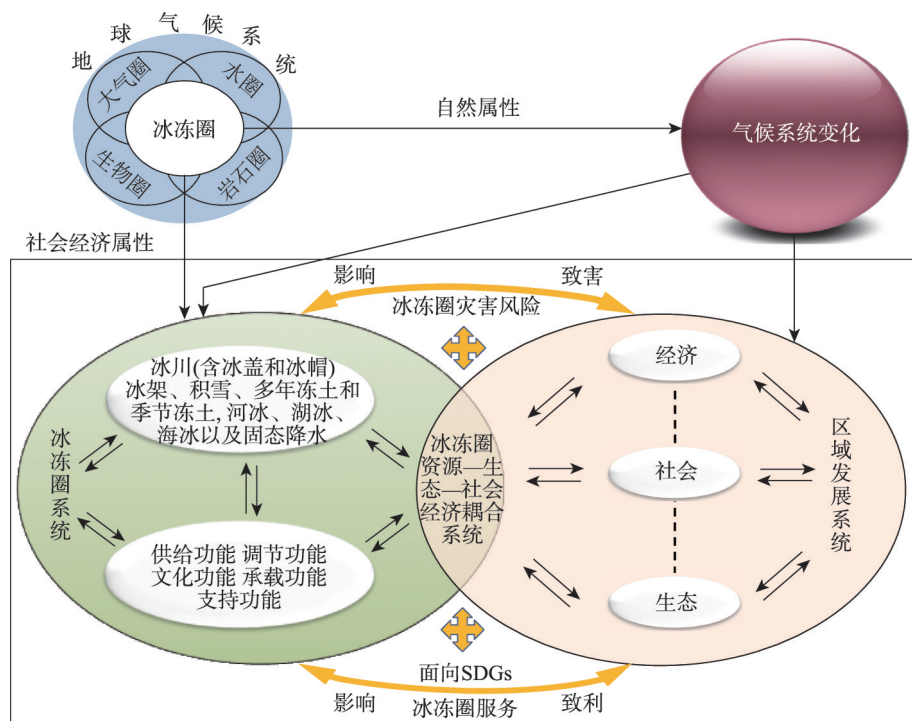


图2 冰冻圈与区域发展的逻辑关系

Fig. 2 The relationship between the cryosphere and regional development

服务价值<sup>[27-28, 30]</sup>。另一方面,处于变化中的冰冻圈也给人类社会带来灾害与风险,即冰冻圈灾害,根据冰冻圈的组成要素,可以划分为冰川灾害、冻土灾害、积雪灾害、海冰灾害、河湖冰灾害等。这些灾害不仅影响寒区基础设施、农牧业、交通运输、冰雪旅游发展,而且增加、危及受影响地区人居生命财产安全与风险,乃至国家安全。随着全球持续变暖与冰冻圈加速退缩,一些冰冻圈功能逐渐衰退与丧失<sup>[28]</sup>,冰冻圈对社会经济发展的惠益作用面临严重危机;同时冰冻圈极端灾害事件呈加剧态势<sup>[26, 36]</sup>,其致害效应日渐凸显。未来随着冰冻圈继续快速萎缩,冰冻圈变化的“红利”(惠益效应)或将快速减小,而灾害影响将可能进一步增加与扩大,冰冻圈变化及其影响对区域社会经济发展的惠及与制约作用需引起高度关注。

可持续发展是实现人口、资源、环境、经济相协调的一种社会结构范式。作为一种全新的发展战略和发展观,自1987年世界环境与发展委员会(World Commission on Environment and Development, WECD)在其报告《我们共同的未来》中提出其概念以来,可持续发展就成为人类理想的一种发展模式 and 一种普遍的政策目标<sup>[37]</sup>,也是中国实现“两个一百年”奋斗目标,乃至中华民族永续发展的基石。中国是中低纬度地区冰冻圈最发育的国家,为促进美丽中国建设,实现生态文明,应将冰冻圈资源优势转变为价值优势,服务社会经济高质量发展需要,因而“美丽冰冻圈”、区域社会经济发展、民生福祉构成冰冻圈—区域社会经济复合命运共同体。在“美丽冰冻圈”—生态文明—区域可持续发展这一关系链条上,“美丽冰冻圈”形象地体现区域可持续发展的目标和冰冻圈增值增效途径的现实需求,是区域生态文明建设的具体化目标。从内在逻辑来看,由冰冻圈服务与灾害风险组成的“美丽冰冻圈”系统和由社会、经济和生态组成的区域社会经济系统相互作用,形成了冰冻圈资源—生态—社会—经济耦合系统(图2)。一方面,

两大系统内部的各要素相互影响,相互作用;同时,两大系统之间存在着复杂的反馈关系,冰冻圈系统是建设“美丽冰冻圈”之美丽区域的物质基础之一,支撑与约束着区域社会经济系统的发展,而区域社会经济系统又影响着“美丽冰冻圈”,加速亦或减缓冰冻圈系统的变化。

## 4 美丽冰冻圈 融入典型地区发展的路径与模式

中国冰冻圈的主体是冰川、冻土(包括多年冻土和季节冻土)和积雪,主要分布于西部高山、青藏高原、新疆北部、内蒙古与东北地区,其存在形式、分布范围与变化影响均具有显著差异性。故此,文中从北向南依次选取祁连山—河西地区、青藏高原三江源(长江、黄河和澜沧江)地区和横断山大香格里拉地区为案例研究区,分别代表冰冻圈水资源影响区、冰冻圈灾害影响区与冰冻圈旅游经济区,主要从冰雪水资源利用、雪灾害与高寒畜牧业、冰雪旅游与地区经济3个方面,解析冰冻圈融入区域发展的不同途径与模式。

### 4.1 祁连山—河西地区冰冻圈融入绿洲经济的途径与模式

祁连山位于青藏高原东北缘,地处甘肃、青海两省交界处,东起乌鞘岭的松山,西到当金山口,北临河西走廊,南靠柴达木盆地,海拔4000~6000 m,发育现代冰川2683条<sup>[6]</sup>,是河西三大内陆河流域(自东向西依次为石羊河、黑河和疏勒河)的发源地。作为“固体水库”,祁连山冰冻圈是河西地区的“水塔”,是绿洲农业经济系统与干旱荒漠生态系统维持与发展的“生命线”。河西内陆地区位于中国西北干旱区东部(37°17'N~42°48'N、93°23'E~104°12'E),面积约27.11万km<sup>2</sup>,是经济相对发达、人口密集的绿洲分布区和古丝绸之路的主要通道。该地区远离海洋,深居欧亚大陆腹地,降水量介于40~400 mm之间,年蒸发量却高达1500~3000 mm<sup>[38]</sup>,降水基本不产生径流,水资源供给主要依赖山区来水。

随着西部大开发战略持续实施,“一带一路”建设逐步加快,生态文明与美丽中国建设全面展开,作为西北地区的重要生态屏障与甘肃省重要经济走廊,祁连山—河西地区对水资源的需求增加,尤其凸显出对冰冻圈水资源利用的依赖性与重要性。就水量而言,在河西三大河流域中,即使占比最大的疏勒河,冰雪融水的比例也只有36.6%,黑河和石羊河流域更小,多年平均冰川融水补给比例分别为9.0%和3.18%<sup>[6]</sup>,其对绿洲社会经济的供给服务主要取决于其冰雪融水补给比例<sup>[6]</sup>。然而,就调节服务而言,其对中国内陆河流域尤为重要,以黑河干流山区流域为例,其冰川覆盖率仅有0.5%,多年平均冰川融水比例仅为3.5%,但在干旱年份却接近5.0%,在干旱月份则高达16%<sup>[39-40]</sup>。正是由于调节功能的存在,才使得河西地区河流具有相对稳定的河川径流,使绿洲灌溉农业与生态受旱涝威胁相对小,绿洲得以长期保持稳定。因此,在祁连山—河西地区,乃至中国西北干旱半干旱区,冰冻圈水资源服务是水源涵养、水量补给与径流调节服务的综合(图3)。

传统模式研究上,主要从自然视角,聚焦冰冻圈水量供给功能。而从冰冻圈与区域可持续发展相互关系视角看,冰冻圈是社会经济发展的重要资源之一,是资源就有价值,而其价值不仅体现在水量供给方面,也体现在水源涵养与径流调节两方面,是三者的综合。因此,以“水”为联系纽带,建立冰冻圈水资源服务与水效益之间的关系,才能更加综合的量化冰冻圈水资源在绿洲社会经济体中的服务价值。

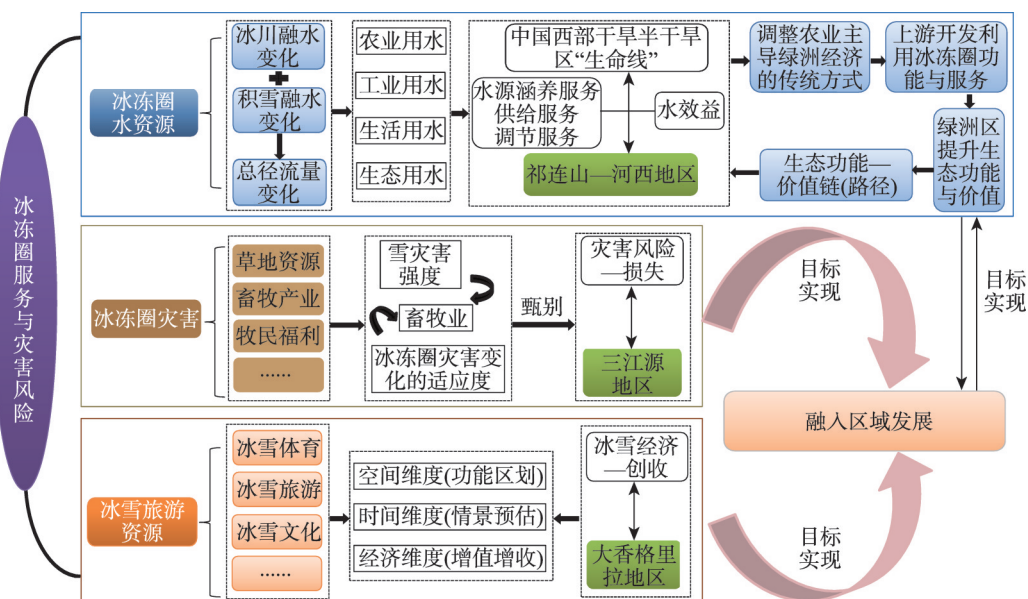


图3 冰冻圈融入区域发展的途径与模式解析

Fig. 3 Approaches and models for the cryosphere integrating into regional development in the Qilian Mountains-Hexi Corridor, the Three Rivers Source Region, and the Great Shangri-La area of China

受全球气候变暖影响,中国冰冻圈处于持续萎缩状态。未来,在祁连山地区,全球温升 $2^{\circ}\text{C}$ 阈值下,黑河流域冰川将完全消失,流域径流量将减少5.6%;疏勒河冰川径流也呈现减少趋势,但由于降水的增加,流域径流量仍增加25.1%<sup>[40]</sup>。因此,应对与适应未来水资源量减少与丰枯不均引发的极端缺水事件对绿洲系统的冲击,应分别从冰冻圈系统与绿洲社会经济系统着手。就冰冻圈系统而言,要以祁连山国家公园设立为契机,加大园内生态保护、修复与建设,提高山区水源涵养功能;要精细化研究冰冻圈变化,提高冰冻圈水文水资源预估精度,明确冰冻圈的水源涵养、水量补给与径流调节功能及其变化,为流域水资源管理与调度提供精准信息;就受冰冻圈水资源影响的河西地区而言,其处于干旱半干旱气候带,属于资源型缺水,水资源主要优先用于保障农业生产。含有冰雪融水的河川径流出山之后,通过干渠、支渠、斗渠和毛渠四级渠道直接用于绿洲农业灌溉。根据2019年甘肃省水资源公报,石羊河、黑河和疏勒河流域农业用水分别占流域总用水量的89.15%、89.73%和85.58%。而工业生产、生活、生态用水主要依靠抽取地下水,渠道渗透和定期分水,所占比例甚小,三者用水合计分别只占三大河流域总用水量的10.85%(石羊河)、10.27%(黑河)和14.42%(疏勒河)。在水量有限的条件下,农业用水大,其他产业用水相应就会被压缩。因此,降低农业,尤其是种植业用水比例,是河西地区,乃至整个干旱半干旱区产业转型升级,社会经济高质量发展的核心与关键。为了节约水资源,河西三大河流域实施了水票制,分级逐层管理水资源利用;实施了多种节水措施,包括滴管、喷灌、管灌等;采取工程措施,对渠道进行衬砌;调整农业结构,降低高耗水品种的种植;实施“土地流转”政策,规模化、节约化农业生产。尽管实施了上述一系列措施,但收效不甚理想,与2010年相比,2019年农业用水比例石羊河流域反而增加了1.5%,黑河流域仅下降了1.26%,疏勒河流域降幅较大,也仅有5.52%。目前的发展方式恐难突破水资源约束的瓶颈,河西内陆河流域未来的可持续发展需寻找新的解决方案。



祁连山冰冻圈通过水源涵养、水量供给与径流调节功能为河西内陆绿洲社会经济发展与荒漠生态系统维持提供水资源,祁连山冰冻圈又通过其“湿岛效应”凝聚来自河西地区蒸散发的水汽,以保持自身的生态稳定,二者相依相生构成冰冻圈—绿洲—荒漠耦合系统。河西地区,乃至干旱半干旱地区是一种冰冻圈水资源支撑型区域发展模式。这种冰冻圈、绿洲、荒漠生态环境,加之深居内陆地区,使祁连山—河西地区区位优势不明显,吸引力低,人才、技术、资金等资源缺乏,社会经济欠发达。然而,其生态功能突出,是中国重要的生态安全屏障和水源涵养地。因此,立足祁连山冰冻圈,在生态功能价值链上审视绿洲发展,调整农业主导绿洲经济的传统方式是中国西北干旱半干旱区解决水资源利用问题的根本路径(图3)。具体地,针对流域不同地区,发挥冰冻圈的不同功能,最大化其服务价值。上游地区在保护的基础上,开发利用冰冻圈文化服务,助力产业结构优化;绿洲地区在提高经济效益的同时,要增强水资源服务的生态效益,提升生态服务价值,促进产业转型升级。

#### 4.2 三江源地区冰冻圈融入高寒畜牧业经济的途径与模式

三江源包括黄河、长江和澜沧江源,位于青藏高原腹地,介于 $31^{\circ}39'N\sim 36^{\circ}12'N$ 、 $89^{\circ}45'E\sim 102^{\circ}23'E$ 之间,面积约30.15万 $km^2$ ,地势西高东低,平均海拔4000 m以上,是中国冰冻圈的核心区,2161条现代冰川分布于源区及其周边的高山<sup>[6]</sup>,多年冻土广布,其上发育了高寒草甸、高寒草原等植被类型,是典型的生态环境脆弱区<sup>[40]</sup>,重要的高寒畜牧区,雪灾多发区,因其特殊的地理位置和自然地理环境,也是中国重要的生态安全屏障。冰川、多年冻土、积雪等多要素共存的冰冻圈环境,使三江源区长期处于冰冻圈变化的诸种影响之下,是冰冻圈惠益服务与灾害风险双重叠加地区。三江源区地势高亢,气候严寒,年平均气温 $-4\sim -1^{\circ}C$ ,年平均降水量200~550 mm,如此高寒环境的源区,畜牧业是其社会经济的主要支柱产业,农业只存在于气候较温暖的河谷地区,工业主要是手工业与农产品加工。因此,相对于冰冻圈的惠益服务,结构单一且脆弱的源区畜牧业经济更易受到多重冰冻圈极端灾害事件的影响。

就对区域社会经济的影响而言,不同冰冻圈灾害其影响方式与程度不同。冰川灾害(譬如冰川泥石流、冰川消融洪水、冰湖溃决等)主要呈“线状”发展模式,影响冰川流域;冻土灾害(譬如热融滑塌、冻胀丘、沉陷等)主要呈“斑块状与线状”,影响基础设施与工程建设;而积雪灾害主要呈“面状”,其影响社会经济的方方面面,且范围相对更大更广。因此,对三江源区畜牧业经济而言,积雪灾害是最主要的冰冻圈灾害,文中也主要从雪灾风险角度深入解析冰冻圈融入源区畜牧业经济的发展模式(图3)。

在三江源区,降雪可以增加冰川积累量,有助于维持冰川的相对稳定;降雪可以使草地蓄积水分,有助于来年生长;积雪消融可以增加河川径流;降雪时的降温效应及上述作用可维持三江源区的高寒气候、冰冻圈环境、高寒草地生态系统,从而有助于提升水源涵养功能,稳定与保障水源。然而,极端降雪除上述自然作用之外,将引发灾害风险。积雪过厚,牲畜无法觅食,再加上冻害、饲草料储备不足,极易形成雪灾,造成巨大经济损失。例如,2019年春节前后,三江源玉树地区雪灾导致牲畜死亡5.79万头(只、匹),直接经济损失1.92亿元。积雪异常也可形成消融洪水,威胁河流周边村镇。除影响三江源本地之外,积雪异常还通过地—气相互作用影响热带海洋与亚洲夏季风,导致中国东部地区的夏季降水与气温异常<sup>[41-42]</sup>,进而影响东部发达地区的社会经济发展。

草地资源是畜牧业经济发展的载体,牧民福利是畜牧业经济获益的重要结果,草地、牧民与畜牧业是畜牧业经济的“三位一体”。高亢的地势、严寒的气候、多个冰冻圈要素共存的生态环境形成了三江源畜牧业经济的本底资源,是其经济体的重要组成部

分,也使其直接暴露于冰冻圈环境之中;三江源区高寒草地生长季节短,草地生产力与承载力较低,加之牧民世代放牧为生,受教育水平低,生存生活技能单一等,致使畜牧业经济这一承险体脆弱,适应能力较低(图3),极易受到积雪灾害影响。三江源区,乃至青藏高原是一种冰冻圈生态支撑+灾害影响型区域发展模式,高寒畜牧业经济与冰冻圈灾害风险相伴生。未来,冰冻圈极端事件频发、加剧态势下<sup>[26,36]</sup>,降低积雪灾害风险,减小风险损失需要从3个方面着手:①加强源区乃至青藏高原积雪异常研究,建立早期灾害风险预警预报系统,及时为牧民与各级政府部门提供防范信息;②通过政策、技术、资金等支持,大力加强暖棚、人工草地等基础设施建设,提高畜牧业经济应对雪灾风险的能力;③引入商业保险,通过保险形成风险分摊机制,降低损失。

#### 4.3 大香格里拉地区冰冻圈融入区域经济的途径与模式

大香格里拉地区位于川藏滇交界处,介于26°N~34°N、94°E~102°E之间。根据2002年川藏滇三省联合发布的《旅游合作宣言》,其区域范围涵盖川西南、滇西北、藏东南的9个地州(市)、50个县域,具体为四川省甘孜州、凉山州、攀枝花市;云南省迪庆州、大理州、怒江州、丽江市;西藏自治区昌都地区和林芝地区<sup>[43]</sup>。大香格里拉地区位于横断山区,山高谷深,区位优势不明显,工农业基础薄弱,但境内雪山冰川、森林草甸、高山峡谷等自然景观与藏文化、茶马文化等人文景观完美结合,被世人普遍认同为“中国最美的地方”,成为著名旅游地之一。

大香格里拉作为世界知名品牌,该地区有着得天独厚的冰雪旅游资源,尤以冰川旅游突出,主要有玉龙雪山冰川、梅里雪山冰川、贡嘎山海螺沟冰川、稻城亚丁雪峰、米堆冰川等,因其具有可进入性强、离客源地市场较近的优势,成为中国典型的冰冻圈旅游优先开发区。2008年国家旅游局与发展改革委员会通过纲领性指导文件《中国香格里拉生态旅游总体规划(2007—2020)》,确定了可持续、国际化、综合发展和区域旅游共同体的战略目标<sup>[44]</sup>。作为大香格里拉地区的核心旅游品牌,冰雪旅游在质量与空间上得到进一步提升与扩展,并成为该区域绿色发展的强大动力。坐拥丰富冰雪资源的大香格里拉地区,借国家发展冰雪产业政策的“东风”,开展冰、雪旅游深层次产品开发和冰雪运动,进一步提升冰雪旅游品位,促进地区经济增值增收,并将冰雪旅游绿色产业发展和精准扶贫相结合,探索出一条适合山区资源开发与生态旅游发展的新方向,可为西部其他地区冰冻圈资源开发提供范式。

大香格里拉地区尽管冰雪旅游开发相对较早<sup>[45]</sup>,但目前只有玉龙雪山冰川和贡嘎山海螺沟冰川开发相对比较成熟,即使如此,各景区景观同质化比较严重,地区差异性、独特性不明显,冰雪景观单一,缺乏体验型项目,严重制约了冰雪旅游品牌提升,经济效益难以发挥、升级。再加之气候持续变暖,海洋型冰川显著萎缩的不利影响,作为自然景观的冰雪旅游未来前景堪忧。因此,开展冰雪旅游资源功能区划,并预估未来可能变化态势,围绕冰川资源特点,结合各地人文景观与文化,突出差异性和独特性,拓展冰雪旅游项目,变直接利用(目前主要是观光)为深度开发(譬如冰雪文化),延伸冰雪旅游产业链,提高冰雪旅游知名度,切实助力地区经济提档升级(图3)。

综上所述,中国冰冻圈要素多,范围广,其融入区域发展的途径与模式迥异。在祁连山—河西内陆地区,冰冻圈、绿洲、荒漠三者相依相生,冰冻圈资源主要以水源涵养、水量供给与径流调节形式,融入绿洲社会经济发展,并以绿洲工农业、生活与生态水效益体现其服务价值,是一种冰冻圈水资源支撑型区域发展模式;三江源高寒区,冰冻圈生态环境是畜牧业经济的载体,暴露于这种环境的高寒畜牧业经济与冰冻圈灾害风



险相伴生,是一种冰冻圈生态支撑+灾害影响型区域发展模式;位于横断山海洋型冰川区的大香格里拉地区,冰冻圈旅游资源优势突出,发展冰雪旅游,是基于冰冻圈资源的旅游经济驱动型区域发展模式。

## 5 结语

本文从人地关系视角,分析了“美丽冰冻圈”的内涵,从冰冻圈的自然与社会经济双重性,致利与致害两方面,剖析了“美丽冰冻圈”与区域可持续发展的逻辑关系。在此基础上,选取了代表冰冻圈水资源影响区的祁连山—河西地区、代表冰冻圈灾害影响区的三江源区和代表冰冻圈旅游经济区的大香格里拉地区,从冰冻圈服务与灾害风险视角,解析了“美丽冰冻圈”融入区域发展的途径与模式。得出以下结论:

(1)“美丽冰冻圈”是“自然之美、社会经济服务之美、和谐之美”的综合体,利与害的辩证统一体。

(2)“美丽冰冻圈”区域发展的本质是由冰冻圈自然生态系统与社会经济系统组成的复杂“人地关系地域系统”,即冰冻圈资源—生态—社会—经济耦合系统,各要素、子系统间的良好运行和协调高效发展是实现“美丽冰冻圈”区域高水平、可持续发展目标的关键。

(3)冰冻圈融入区域发展的途径与模式地区差异显著。在干旱半干旱内陆地区,冰冻圈资源主要以水源涵养、水量供给与径流调节形式,融入绿洲社会经济发展,是一种冰冻圈水资源支撑型区域发展模式;青藏高原高寒区,冰冻圈生态环境决定了畜牧业经济的脆弱性,冰冻圈灾害影响畜牧业经济,并以灾害损失展示其负向作用程度,是一种冰冻圈生态支撑+灾害影响型区域发展模式;在冰冻圈旅游经济区,依托冰雪优势资源,发展冰雪旅游业,是一种基于冰冻圈资源的旅游经济驱动型区域发展模式。

本文以典型案例形式,侧重从“水—服务”“灾害风险—损失”和“冰雪旅游—创收”三方面,解析了“美丽冰冻圈”融入区域发展的途径与模式,疏漏不足部分在所难免,对此日后将深入研究。因作者知识所限,文中分析只是抛砖引玉,希望对冰冻圈与区域可持续发展研究感兴趣的科研人员,共勉一起探索深钻这一新兴研究方向。

## 参考文献(References)

- [1] Hu Jingtao. Firmly March on the Path of Socialism with Chinese Characteristics and Strive to Complete the Building of Moderately Prosperous Society in All Respects: Report to the Eighteenth National Congress of the Communist Party of China. Beijing: People's Publishing House, 2012. [胡锦涛. 坚定不移沿着中国特色社会主义道路前进为全面建成小康社会而奋斗: 在中国共产党第十八次全国代表大会上的报告. 北京: 人民出版社, 2012.]
- [2] Xi Jinping. Secure a Decisive Victory in Building a Moderately Prosperous Society in All Respects and Strive for the Great Success of Socialism with Chinese Characteristics for a New Era: Report to the Nineteenth National Congress of the Communist Party of China. Beijing: People's Publishing House, 2017. [习近平. 决胜全面建成小康社会夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利: 在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告. 北京: 人民出版社, 2017.]
- [3] Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Outline of National Ecologically Vulnerable Areas Protection Planning (No.92). [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/200910/t20091022\\_174613.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/200910/t20091022_174613.htm), 2008. [中华人民共和国生态环境部.《全国生态脆弱区保护规划纲要》环发〔2008〕92号. [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/200910/t20091022\\_174613.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/200910/t20091022_174613.htm), 2008.]
- [4] Qin Dahe, Yao Tandong, Ding Yongjian, et al. An Introduction to Cryosphere Science. Beijing: Science Press, 2018. [秦大河, 姚檀栋, 丁永建, 等. 冰冻圈科学概论. 北京: 科学出版社, 2018.]
- [5] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [6] Ding Yongjian, Yang Jianping, et al. Vulnerability and Adaptation of Cryosphere Change in China. Beijing: Science Press, 2019. [丁永建, 杨建平, 等. 中国冰冻圈变化的脆弱性与适应研究. 北京: 科学出版社, 2019.]
- [7] National Development and Reform Commission. "Ice and Snow Sports Development Planning (2016-2025)" Style Scripture No.645. [https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/shs/sjdt/201611/t20161115\\_1121759.html](https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/shs/sjdt/201611/t20161115_1121759.html), 2016-11-25. [中华人民共和国国家发展和改革委员会.《冰雪运动发展规划(2016—2025)》体经字[2016]645号. [https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/shs/sjdt/201611/t20161115\\_1121759.html](https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/shs/sjdt/201611/t20161115_1121759.html), 2016-11-25.]
- [8] Hill M. Adaptive capacity of water governance: Cases from the Alps and the Andes. *Mountain Research and Development*, 2013, 33(3): 248-259.
- [9] McDowell G, Ford J D, Lehner B, et al. Climate-related hydrological change and human vulnerability in remote mountain regions: A case study from Khumbu, Nepal. *Regional Environmental Change*, 2013, 13(2): 299-310.
- [10] Haeblerli W, Whiteman C. Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters. Amsterdam: Elsevier, 2014.
- [11] Fang Y P, Zhao C, Ding Y J, et al. Impacts of snow disaster on meat production and adaptation: An empirical analysis in the Yellow River source region. *Sustainability Science*, 2016, 11(2): 249-260.
- [12] Kääb A, Leinss S, Gilbert A, et al. Massive collapse of two glaciers in western Tibet in 2016 after surge-like instability. *Nature Geoscience*, 2018, 11(2): 114-120.
- [13] Ding Y J, Zhang S Q, Zhao L, et al. Global warming weakening the inherent stability of glaciers and permafrost. *Science Bulletin*, 2019, 64(4): 245-253.
- [14] Committee on Himalayan Glaciers, Hydrology, Climate Change, and Implications for Water Security. *Himalayan Glaciers: Climate Change, Water Resources, and Water Security*. Washington D C: The National Academies Press, 2012.
- [15] Grover V I, Axel B, Jürgen H B, et al. Impact of Global Changes on Mountains: Responses and Adaptation. Boca Taton, London, New York: CRC Press, 2015.
- [16] French H, Slaymaker O. Changing Cold Environments: A Canadian Perspective. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [17] IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [18] AMAP. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2017.
- [19] Immerzeel W W, van Beek L P H, Bierkens M F P. Climate change will affect the Asian water towers. *Science*, 2010, 328(5984): 1382-1385.
- [20] Nolin A W, Phillippe J, Jefferson A, et al. Present-day and future contributions of glacier runoff to summertime flows in a Pacific Northwest watershed: Implications for water resources. *Water Resources Research*, 2010, 46(12): W12509. DOI: 10.1029/2009WR008968.
- [21] Chen J L, Kang S C, Chen C S, et al. Changes in sea ice and future accessibility along the Arctic Northeast Passage. *Global and Planetary Change*, 2020, 195: 103319. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2020.103319.
- [22] AMAP. Climate Change Update 2019: An Update to Key Findings of Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2019.
- [23] Boelens R. Cultural politics and the hydrosocial cycle: Water, power and identity in the Andean highlands. *Geoforum*, 2014, 57: 234-247.
- [24] Allison E A. The spiritual significance of glaciers in an age of climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2015, 6(5): 493-508.
- [25] Konchar K M, Staver B, Salick J, et al. Adapting in the shadow of Annapurna: A climate tipping point. *Journal of Ethnobiology*, 2015, 35(3): 449-471.
- [26] Ding Y J, Mu C C, Wu T H, et al. Increasing cryospheric hazards in a warming climate. *Earth-Science Reviews*, 2021, 213: 103500. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103500.
- [27] Xiao Cunde, Wang Shijin, Qin Dahe. A preliminary study on cryosphere service function and its value estimation. *Climate Change Research*, 2016, 12(1): 45-52. [效存德, 王世金, 秦大河, 冰冻圈服务功能及其价值评估初探. 气候变化研究进展, 2016, 12(1): 45-52.]
- [28] Xiao Cunde, Su Bo, Wang Xiaoming, et al. Cascading risks to the deterioration in cryospheric functions and services. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(19): 1975-1984. [效存德, 苏勃, 王晓明, 等. 冰冻圈功能及其服务衰退的级联风

- 险. 科学通报, 2019, 64(19): 1975-1984.]
- [29] Immerzeel W W, Lutz A F, Andrade M, et al. Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature*, 2020, 577: 364-369.
- [30] Su B, Xiao C, Chen D, et al. Cryosphere services and human well-being. *Sustainability*, 2019, 11(16): 4365. DOI: 10.3390/su11164365.
- [31] Vaughan D G, Comiso J C, Allison I J, et al. 2013. Observations: Cryosphere//Stocker TF, et al. *Climate Change 2013: IPCC AR5*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [32] Field C B, Barros V R, Dokken D J, et al. Technical summary//Field et al. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. IPCC AR5*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014: 35-94.
- [33] Richter-Menge J, Overland J E, Mathis J T, et al. Arctic Report Card 2017, 2017. <http://www.arctic.noaa.gov/Report-Card>.
- [34] Qin D H, Ding Y J, Xiao C D, et al. Cryospheric Science: Research framework and disciplinary system. *National Science Review*, 2018, 5(2): 255-268.
- [35] Boy M, Thomson E S, Acosta Navarro J C, et al. Interactions between the atmosphere, cryosphere and ecosystems at northern high latitudes. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2019, 19(3): 2015-2061.
- [36] Wang Shijin, Xiao Cunde. Global cryospheric disaster at high risk areas: Impacts and trend. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(9): 890-900. [王世金, 效存德. 全球冰冻圈灾害高风险区: 影响与态势. 科学通报, 2019, 64(9): 890-900.]
- [37] Xu Zhongmin, Cheng Guodong. The theory and application of fundamental orientations of the sustainable development systems. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(1): 7-11. [徐中民, 程国栋. 可持续发展系统评价的属性细分理论与应用. 地理科学, 2001, 21(1): 7-11.]
- [38] Lin Shu, Li Hongying, Dang Bing, et al. The latest evidences of a warm-wet climatic shift in Hexi Corridor, Gansu. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(5): 1111-1121. [林纾, 李红英, 党冰, 等. 甘肃河西走廊地区气候暖湿转型后的最新事实. 冰川冻土, 2014, 36(5): 1111-1121.]
- [39] Ding Yongjian, Zhang Shiqiang, Chen Rensheng. *Water Science Frontier Series: Introduction to Hydrology in Cold Regions*. Beijing: Science Press, 2017: 18. [丁永建, 张世强, 陈仁升. 水科学前沿丛书: 寒区水文导论. 北京: 科学出版社, 2017: 18.]
- [40] Chen Rensheng, Zhang Shiqiang, Yang Yong, et al. Effects of Cryosphere Change on Runoff in the Cold Regions of Western China. Beijing: Science Press, 2019. [陈仁升, 张世强, 阳勇, 等. 冰冻圈变化对中国西部寒区径流的影响. 北京: 科学出版社, 2019.]
- [41] Liu Caihong, Yu Jinhua, Fang Ke, et al. Numerical simulation of the response of the snow disaster on the Tibetan Plateau to the anomalous tropical ocean temperature. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2020, 40(6): 810-818. [刘彩红, 余锦华, 方珂, 等. 青藏高原雪灾变化对热带海洋海温异常响应的数值模拟. 气象科学, 2020, 40(6): 810-818.]
- [42] Lu Mengmeng, Wu Renguang, Yang Song, et al. Relationship between Eurasian cold-season snows and Asian summer monsoons: Regional characteristics and seasonality. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2020, 43(1): 93-103. [鲁萌萌, 吴仁广, 杨崧, 等. 欧亚大陆冷季积雪与亚洲夏季风的关系: 区域特征与季节性. 大气科学学报, 2020, 43(1): 93-103.]
- [43] Liu Qiao, Fan Jihui, Cheng Genwei, et al. Characteristics and exploitation of glacier resources for tourism in the Shangri-la ecotourism region in China. *Territory & Natural Resources Study*, 2006(1): 63-64. [刘巧, 范继辉, 程根伟, 等. 川滇藏三省交界地区冰川旅游资源的特征及其开发. 国土与自然资源研究, 2006(1): 63-64.]
- [44] China National Tourism Administration. Master Plan for Shangri-La Eco-Tourism Area of China (2007-2020). Beijing: China Travel & Tourism Press, 2008: 59-61. [中华人民共和国国家旅游局. 中国香格里拉生态旅游区总体规划 (2007—2020). 北京: 中国旅游出版社, 2008: 59-61.]
- [45] Wang Shijin, Qin Dahe, Ren Jiawen. Spatial development and distribution of glacier tourism in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(4): 464-470. [王世金, 秦大河, 任贾文. 中国冰川旅游资源空间开发布局研究. 地理科学, 2012, 32(4): 464-470.]



## Approaches and models of 'Beautiful Cryosphere' integration into regional development, China

YANG Jianping<sup>1</sup>, HA Lin<sup>1</sup>, KANG Yunjie<sup>2</sup>, XIAO Jie<sup>1</sup>, CHEN Hongju<sup>1,3</sup>, HE Qingshan<sup>1,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Cryospheric Science, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, CAS, Lanzhou 730000, China; 2. College of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Linfen 041004, Shanxi, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The basic connotation of "Beautiful Cryosphere (BC)" is firstly discussed in the paper. After that, the relationship between BC and regional sustainable development is analyzed from two aspects of natural and social economy attributes of the cryosphere, and from two lines of cryospheric profit and harm. BC, regional social and economic development, and human well-being constitute the cryosphere and human social and economic complex destiny community. There are significant regional differences for cryosphere changes and their effects in China. Therefore, the Qilian Mountains-Hexi Corridor region, the Three Rivers Source Region (Yangtze, Yellow and Lancang rivers) over the Tibetan Plateau and the Great Shangri-La region are selected to represent the impact area of cryospheric water resources, the cryospheric disaster affected area, and cryospheric tourism economic zone, respectively. This paper mainly focuses on the core issues of cryospheric water resources services and oasis economy, snow disaster risk and animal husbandry development, ice and snow tourism and regional economy, analyzes in detail the approaches and models of BC integration into regional development from the perspective of cryosphere service and disaster risk. In arid and semi-arid inland areas, the cryosphere resources are integrated into the oasis social and economic development mainly through water conservation, water supply and runoff regulation services, so we built a cryospheric water resource-supported development model. In the alpine region of the Tibetan Plateau, cryospheric ecological environment determines the vulnerability of animal husbandry economy, and cryospheric hazards negatively affects the animal husbandry economy, which is a kind of cryospheric ecology-supported and cryospheric disaster-influenced development model. The cryospheric tourism economic zone that directly depends on ice and snow resources can develop ice and snow tourism, which is a kind of tourism economy-driven development model based on cryosphere resources.

**Keywords:** "Beautiful Cryosphere"; cryospheric water resources; cryospheric hazards; ice and snow economy; regional sustainable development; approaches and models