|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 天气 气候 水 | A picture containing text, clipart, ceramic ware, porcelain  Description automatically generated**世界气象组织**  **观测、基础设施与信息系统委员会**  **第二次届会** 2022年10月24至28日，日内瓦 | **INFCOM-2/文件 6.6** |
| 提交者: 会议主席  2022.10.27  **APPROVED** |

**议题6： 技术规则和其他技术决定**

**议题6.6： WMO冰冻圈交叉职能研究组（SG-CRYO）**

# 研究组的建议：缩小将冰冻圈纳入WMO地球系统战略方面的差距



# 总体考虑

### SG-Cryo的建议

### 关于缩小将冰冻圈纳入WMO地球系统战略方面的差距的建议

本决议草案介绍了观测、基础设施和信息系统委员会(INFCOM) 根据全球冰冻圈监视网—冰冻圈交叉功能研究组(SG-CRYO)最终报告中的建议作出的决定和将要采取的行动。这些建议涉及到填补将冰冻圈信息纳入WMO地球系统战略方面的空白。

这些建议是作为可操作的后续步骤而制定的，用于在整个价值周期内应对已注意到的关键差距，以支持在区域和全球层面上受到冰雪变化影响的WMO会员，这些变化正在加速且在很大程度上不可逆转，例如水资源不确定性的增加、海平面上升、冰冻圈相关灾害风险的增加等。

SG-Cryo最终报告概述

SG-CRYO向INFCOM提交的最终报告见本决议草案[附件](#_Annex_to_draft_3)，该报告总结了研究组的工作。

该报告概述了与WMO战略优先事项有关的冰冻圈交叉职能以及SG-CRYO提出的14项建议。这些建议是向INFCOM提出的，并提到了与WMO其他机构合作的领域，包括：

(1) 将冰冻圈相关活动纳入WMO的管理结构；

(2) 全球冰冻圈监测咨询组(GCW-AG)作为协调机制的作用及其为可持续地满足WMO首要优先事项(《[WMO战略计划2020—2023](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9943)》 (WMO-No. 1225) 的冰冻圈信息需求而进行的必要事项；

(3) 对冰冻圈中与WMO服务重点有关的所有组成部分，如雪、海冰、冰川、永久冻土、冰盖、淡水冰等进行全面评估。

SG-CRYO的审议结果将以白皮书的形式发布，作为本决议草案[所附](#_Annex_to_draft_3)最终报告的补充。

**预期行动**

委员会：

— 批准SG-CRYO报告及其建议

— 批准其子机构的具体活动

— 邀请其他WMO机构和WMO会员与INFCOM机构合作执行这些建议。

# 决议草案

## 决议草案6.6/1（INFCOM-2）

## 缩小将冰冻圈纳入WMO地球系统方法的差距

观测、基础设施和信息系统委员会：

**忆及**

(1) [[决议48 (Cg-18)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9832#page=158) —WMO下个财期（2020-2023年）极地和高山议程的关键方针，](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9827#page=162)

(2) [[决议18 (EC-73)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11009#page=279) —全球冰冻圈监视网（GCW）的过渡和预运行计划，](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11008#page=338)

(3) [[决议30 (EC-73)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11009#page=430)—执行理事会极地与高山观测、研究和服务专家组(EC-PHORS)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11008#page=495)，

(4) [[决议1 (INFCOM-1)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10939#page=15)—观测、基础设施和信息系统委员会（基础设施委员会）常设委员会和研究组的建立](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11197#page=18)，

(5) [[决议7 (INFCOM-1)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10939#page=98)—全球冰冻圈监视网咨询组，](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11197#page=146)

**审查了**本决议[附件](#_Annex_to_draft_3)所载的全球冰冻圈监视网—冰冻圈交叉功能研究组(SG-CRYO)提交至INFCOM的最终报告，

**审议了**第十一届极地和高山观测、研究和服务执行小组([EC-PHORS-11](https://community.wmo.int/final-reports-ec-phors-sessions))的建议，

**铭记**政府间气候变化专门委员会(IPCC) [第六次评估报告](https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/) (AR6) 的结论；

**欢迎**极地预测年(YOPP)项目的完成和世界不断变暖背景下冰、雪和水问题国际研讨会(2022年，冰岛)的成果；

**注意到**SG-CRYO在其最终报告中总结的为有效的天气、气候、水和环境服务所需的冰冻圈信息；

**接受**本决议[附件](#_Annex_to_draft_3)所载SG-CRYO在其最终报告中提出的十四（14）[秘书处]项建议；

**决定：**

（1） 加速将冰冻圈信息纳入其各项活动，以可持续和公平的方式满足会员需求，以应对冰冻圈不可逆转的变化及其对水资源、海平面上升、灾害风险等下游影响所造成的全球和区域风险；

（2） 修订全球冰冻圈观测咨询组(GCW‑AG)的职权范围，以纳入SG-CRYO建议[((INFCOM-2)/文件2.1)](https://meetings.wmo.int/INFCOM-2/English/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2FINFCOM%2D2%2FEnglish%2F1%2E%20DRAFTS%20FOR%20DISCUSSION&FolderCTID=0x012000DFD47F9206CDD640A4FDFBAA2EB0EF6E&View=%7BDBBC48FA%2DBEE2%2D4A94%2D8905%2DFBE98B87E342%7D)；

**要求**其常设委员会与GCW-AG密切合作，并在其专业知识的基础上，将针对SG-CRYO建议的优先行动纳入其下一个闭会期的工作计划中；

**要求GCW‑AG：**

(1) 与INFCOM常设委员会合作，编写技术规则和指导材料，执行SG-CRYO建议，并经由INFCOM-3在WMO信息系统(WIS)、WMO全球综合观测系统 (WIGOS) 和全球数据处理和预报系统(GDPFS)中运行GCW组件；

(2) 经与SC-ON协商，在极地空间工作组的职权范围和工作方式的基础之上拟订天基能力协调工作组的职权范围和工作方式，提高天基冰冻圈观测的效益和利用机会，供INFCOM主席批准；

(3) 与INFCOM和SERCOM相关附属机构磋商，在SG-CRYO最终报告附录的基础上，进一步阐述WMO与冰冻圈有关活动的详细定位，特别注意到GCW-AG[秘书处、俄罗斯联邦]和SERCOM相关附属机构之间的需求和潜在协同关系；[俄罗斯联邦]

(4) 在INFCOM-3会议上报告处理SG-CRYO建议方面取得的进展；

**进一步要求**GCW-AG 和 SC-ESMP 在INFCOM-3上报告基础设施路线图，以支持地球系统模型中完全耦合的冰冻圈，其中包括将成熟的研究成果转化为业务的机会，就像YOPP的成果那样；

**邀请**

(1) 在INFCOM管理小组的指导下，SERCOM、RB和RA酌情就SG-CRYO建议的实施进行合作；

(2) EC-PHORS在其战略和宣传中考虑SG-CRYO最终报告；

**敦促** 会员：

(1) 继续促进其国家气象水文部门（NMHS）与合作伙伴、研究机构和学术界合作，通过WIGOS、WIS和GDPFS最大限度地提高冰冻圈一体化的效益；

(2) 提供资源，支持落实SG-CRYO建议，包括通过 GCW信托基金和/或借调专家；

**邀请** 合作伙伴参与SG-CRYO建议的实施；

**要求** 秘书长：

(1) 在现有资源范围内，根据会员的需求，为执行本决议向会员，特别是发展中国家和最不发达国家提供必要的援助和秘书处支持；

(2) 协助调动必要的资源并聘请专家，以支持执行本决议所述的行动。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

[附件:](#_Annex_to_draft_3) 1

## 决议草案 6.6/1(INFCOM-1) 的附件

## 冰冻圈交叉职能研究组 - 全球冰冻圈监视网（SG-CRYO）

# 最终报告

**缩小将冰冻圈纳入WMO地球系统方法的差距**

目录

1. 摘要 5

2. 不断变化的冰冻圈和不断发展的信息需求 6

3. 服务社会的冰冻圈信息 7

4. 通过整合所有尺度的冰冻圈信息增强地球系统预测 9

5. 建议 10

6. SG-CRYO 最终报告的附录：WMO 服务中的冰冻圈定位 15

### 1. 摘要

冰冻圈交叉功能研究组- 全球冰冻圈监视网（SG-CRYO）是根据[决议1 (INFCOM-1)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10939#page=15) —设立观测、基础设施和信息系统委员会(基础设施委员会)常设委员会和研究组而设立的，其职权范围如下：

(a) 为全球冰冻圈监视网（GCW）和执行理事会极地与高山观测、研究和服务专家组（EC-PHORS）的职责（经[决议48 (Cg-18)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9832#page=158)、[决议50 (Cg-18)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9832#page=171) [和决议6 (EC-71)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10250#page=22)批准）与技术委员会及研究理事会常设委员会的职责和工作方式进行整合提供建议，以满足WMO战略和运行计划所确定的WMO所有活动对冰冻圈信息的需求，并确定差距；

(b) 评估与全球气候观测系统（GCOS）、世界气候研究计划（WCRP）、国际大地测量学和地球物理学联合会（IUGG）、南极研究科学委员会（SCAR）及其它相关计划和伙伴的协同作用，促进在WMO内部以及与当前和新兴伙伴在冰冻圈领域建立更多的互惠关系；

(c) 为了在WMO治理结构内优化整合这些活动并建立协调机制提出建议，以促进满足对冰冻圈信息的需求，包括对进一步发展的需求。

SG-CRYO的预期成果包括：

(a) 报告WMO各项活动中的冰冻圈交叉职能；

(b) 就这些活动在WMO治理结构内的优化组合、协调机制以及必要参与等提出建议，以便到委员会下一次常会前始终满足冰冻圈信息需求；

(c) 作为WMO框架内的一项协调机制，就GCW的职责和职能提出建议，覆盖与[WMO战略计划](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9943)相关的冰冻圈所有组成部分，例如雪、海冰、冰川、多年冻土、冰盖等。

在其工作中，SG-CRYO评估了实现WMO2020 - 2030年战略优先事项所需的冰冻圈信息，同时考虑到国际冰冻圈科学研究的现状和前景、新出现的信息需求以及会员的能力。

本报告概述了冰冻圈在WMO各项活动中的交叉职能(报告第3、4节和[附录](#_Appendix_to_the))，并针对WMO结构和活动中已确定的差距提出了14项建议(第5节)。在其工作中， SG-CRYO将重点放在与WMO天气、气候、水和环境方面的活动有关的冰冻圈所有组成部分，即雪、海冰、湖冰、河冰、冰川、冰川冰盖和冰架、冰山、永久冻土、季节性冻土以及固态降水。

在编写本报告时，SG-CRYO旨在遵循WMO执行理事会第七十三次界会[决议30 (EC-73)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11009#page=430)的规定。(EC-73)，该决议要求“*INFCOM、SERCOM以及研究理事会在其各自的工作计划中纳入之前属于EC-PHORS的技术、业务和研究类优先事项和活动。*”[决议30 (EC-73)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11009#page=430)进一步要求 *"INFCOM、SERCOM和研究理事会共同制定世界天气研究计划（WRP）极地预测项目从科学到服务的路线图，通过全球数据处理和预测系统（GDPFS）整合其成果，并确定新的研究重点，包括为科学咨询组制定的愿景作出贡献"。*

根据SG-CRYO的建议，[决议7 (INFCOM-1)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10939#page=98)中设立了全球冰冻圈监视网咨询组(GCW-AG)，并将其作为协调机制。本报告确定了GCW-AG的其他重点领域，以应对新出现的优先事项，例如执行WMO统一数据政策，在WMO各机构之间以及与相关伙伴之间建立有效联系。

总的来说，SG-CRYO的结论是，为了实现WMO地球系统观测、建模和预测方法想要达到的目标，需要在整合和使用冰冻圈信息方面采取更多的行动，以缩小差距，在地球系统中实现冰冻圈的完全耦合，并以此作为提供有效服务的手段，以应对新兴需求。

作为一个政府间组织，WMO的协调作用至关重要，对会员也是最为有益的，WMO将关于天气和气候的既定做法扩大到冰冻圈的一体化，体现出了冰冻圈在地球系统中的关键作用。

[第五节](#_Recommendations)概述的14项建议提供了高水平的路线图，将冰冻圈相关活动与WMO结构进行优化整合，涵盖观测和数据的基础、在地球系统建模和预测中体现冰冻圈过程、进一步了解和研究冰冻圈变化以及气候系统的反馈。该报告包括一项专门建议，有关于WMO在南极活动中的作用。需要在WMO的所有机构中精心确定优先次序并进行协作。

本报告之后，SG-CRYO将在同行评议期刊上发表一份白皮书，该白皮书将全面评述WMO在冰冻圈交叉职能方面的差距和机遇。

### 2. 不断变化的冰冻圈和不断发展的信息需求

雪、冰川、冻土、淡水和海冰的存在范围远远超出极地和高山地区，它们遍布于100多个国家，并影响着全球和区域的天气、水文、水资源和气候[[1]](#footnote-2)。

政府间气候变化专门委员会(IPCC)最近发布的报告，即第六次评估报告(AR 6 2021[[2]](#footnote-3)，2022[[3]](#footnote-4))和关于气候变化中海洋和冰冻圈的特别报告(SROCC，2019[[4]](#footnote-5))，包含了关于高山(Hock等，2019)和极地(Meredith等，2019年)的章节，全面记录了全球冰冻圈前所未有的变化及其影响。此外，在科学文献中也有许多全球和区域层面十年冰冻圈趋势的分析。

地球上大部分地区的冰雪都在减少，这对世界的天气、气候和水文系统产生重大反馈和影响。近几十年来，全球海平面上升速度加快，这主要是因为格陵兰岛、南极冰盖以及世界各地冰川的冰流失量在增加(IPCC SROCC，SMP，A3)。

在通常情况下，冰冻圈变化的影响范围远远超出发生这些变化的国家，下游国家、沿海社区和小岛屿都能感受到。此外，这种影响通过水文系统以及冰雪变化对天气和气候的连锁影响从极地和河源传递至大众和海洋。

在全球变暖的情况下，冰冻圈的变化在很大程度上是不可逆转的，有必要确定若干并行路径，为决策和行动提供支持，使民众和社会在应对这些变化时能采取减缓和适应措施。与此同时，需要理解地球系统中的冰冻圈过程并将其体现出来，这方面亟待加强，以增强会员满足其需求的能力。在提供服务和缩小现有信息差距方面新出现的要求和优先事项，特别是对山区和极地社区而言，必须与所有人公平获得信息、预报和减缓建议的需求保持同步。

### 3. 服务社会的冰冻圈信息

本节概述了与WMO优先事项相关的冰冻圈关键服务功能(So等，2019[[5]](#footnote-6))。

监测冰冻圈变化的规模和可持续性，以及其影响和服务功能相关知识方面存在的差距与受影响地区的社会经济需求及其对社会的重要性不完全匹配。在价值周期中，关键的观测和数据分析以及这些分析结果的分配仍然缺失或不足，这些问题仍然亟待解决。

冰冻圈信息是WMO协调之下所有服务的组成部分，从全球到区域和地方各层面均是如此。冰冻圈信息对更好地服务于社会需求至关重要，这正是WMO战略计划长期目标1所设定的目标。经与SERCOM协调，本报告的[附录](#_Appendix_to_the)提供了服务社会所需的冰冻圈信息定位。

3.1 冰冻圈调节功能和服务

冰冻圈对天气、气候和水资源在所有尺度上均具有强大的调节功能。比如：

海冰的变化有可能影响中纬度的天气。海冰的高反照率使其表面比周围环境更冷。海冰上的雪有更高的反照率，使海冰隔热，并推迟夏季冰的融化。

陆地上的融雪和融冰有助于调节水文径流，对调节下游的水资源供应和生态系统服务至关重要。

冰盖融水径流对物理海洋学有影响(例如海洋混合、分层和海流等)，也是全球海平面上升的主要原因。

在季节性到十年尺度，积雪、淡水、海冰、冰川、冰盖和永久冻土的变化影响着水资源和生态系统，包括近海岸和海洋生态。

冰冻圈是山区和极地地区生态学和地貌学的组成部分，它塑造了这些地区的地貌，并提供了基本的生态系统服务，如为依赖雪的陆地物种提供栖息地，并在冰川或雪为主的流域保持较低的河水和湖水温度，如鱼类栖息地。

北半球的冰冻圈，特别是永久冻土，在全球气候系统中起着关键的调节作用，作为碳汇或碳源，永久冻土可改变大气温室气体的排放。IPCC (SROCC，2019)估计，永久冻土中储存的碳量约为如今大气中碳量的两倍。

3.2 冰冻圈供给和文化功能及服务

冰冻圈信息对许多经济部门的服务至关重要。

冰川和雪是水力发电生产和运行、农业和工业供水以及数十亿人饮用水的天然水库。山脉通常被称为天然水塔，因为它们是许多河流的重要源头，也是其他淡水源（补给含水层）的河源。

山区积雪和冰川是山区旅游业和滑雪业的关键，而雨、雪产生的融水和冻土周期的时间影响到农业、牧业和当地土著居民的生计。雪和冰对山区和北部地区具有重要的文化和精神价值。

3.3 与运输和基础设施相关的冰冻圈功能和服务

关于冰雪状况的信息是极地航运路线和陆地、河流、湖泊冬季运输网络业务和季节规划的关键，这些往往是许多社区的生命线。

对于北极和南大洋的一系列商业活动(如渔业、资源开发、旅游业、航运)，其海上交通依赖于预报技能，如天气和冰情预警，以通知航运和海上应急服务，如搜索和救援行动或溢油清理。

能源部门依赖于对秋季和春季温度的了解，以建造冰路来保护苔原，并利用冰冻的河流作为通往开采地点的通道。海冰冻结的时间影响到液化天然气(LNG)的运输以及高纬度地区的旅游业。

从多年到十年时间尺度上了解雪、永久冻土和冰(陆地和海上)如何变化，这对于制定基础设施设计标准、规划决策、保险和再保险预测以及投资至关重要。对于受沉降和海岸侵蚀严重影响的建筑物、住房、铁路和公路(极地和高山地区)来说的确如此，对于破冰船能力、深海港口能力和近海结构(如钻机)等主要海洋基础设施投资而言亦是如此。

3.4 冰冻圈变化和相关灾害

正如IPCC (SROCC，2019年)所指出的，冰川、雪、冰和永久冻土的变化改变了大多数相关自然灾害的频率、时间、规模和位置，导致人类住所和生活面临的风险增加，这一现象在高山和北极地区普遍存在。最常见的冰冻圈灾害与以下情况相关：雪面降雨的增加和变迁、春季融雪洪水、冰川湖洪水爆发(GLOFs)、永久冻土退化和冰川退缩造成的滑坡和斜坡剥离/落石、雪崩和冰崩、不可靠和不稳定的冰雪状况以及冰山变化。最容易受到冰冻圈灾害影响、脆弱性最高的往往是生活在发展中国家的居民，而这些国家的适应能力最差。

接近实时的冰冻圈信息对于支持建立早期预警系统、监测和报告极端事件以及进行必要的风险评估至关重要。例如，由于海洋—海冰—大气相互作用的改变，海冰状况正在发生变化，在以前分布着二年冰或多年冰的北极地区，现如今一年冰正变得越来越普遍。这对目前用于绘制和报告海冰状况的观测技术而言是一个挑战。因此，需呼吁采用更加先进的监测技术，以便能够在区域和天气尺度上跟踪海冰情况。

充分的风险评估需要可靠和长期的冰冻圈气候记录，以了解和描述风险水平，并支持适应战略，包括反映预期未来变化的基础设施设计标准和参数。

3.5 利益相关方

在许多国家，多个机构、部委和利益相关方共同负责山区和极地地区的水文气象观测和服务。

大多数现有的水文气象服务是为人口集中的低地和中低纬度地区而设计的，其空间分辨率不足以充分体现山区和高纬度地区复杂的地形和相关水文气候过程。这导致在实际应用中冰冻圈的代表性不足，预报和预测的可靠性降低。在大多数国家，冰冻圈监测的大部分工作仍然是由研究界推动的，尽管人们期望有可持续的长期方案。

高山和极地地区现有监测网络的分辨率不足以充分体现复杂的地形和相关的水文气候过程。

参与和积极合作，特别是研究和业务实体之间的参与和积极合作，是克服目前冰冻圈信息差距的必要步骤。

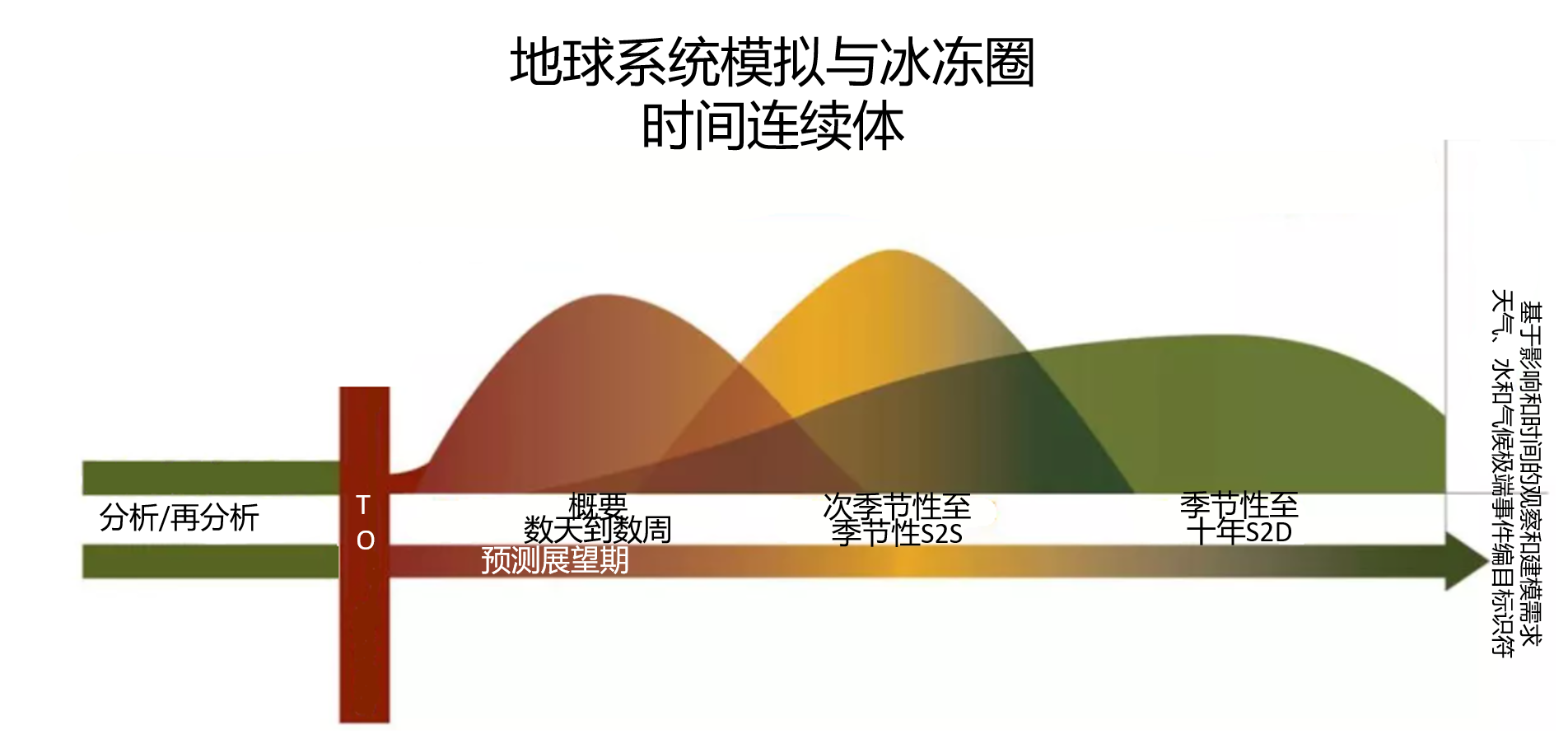
### 4. 通过整合所有尺度的冰冻圈信息增强地球系统预测

对于其2030年的战略重点，WMO采取了统一的地球系统方法来进行监测和预测，以改进决策和政策制定。

地球系统分析和建模包括整个时间尺度上大气、海洋、地表、冰冻圈、生态系统、水文循环和生物地球化学循环的耦合演变。耦合分析和预测要求整个地球系统各组成部分的观测和建模系统保持一致，包括冰冻圈在内，并具备：1)可持续的观测网络; 2)可靠的数据交换和机制，以便及时获取观测结果及数据。

地球系统和冰冻圈过程在连续的时间尺度上运行(图1)，这在无缝的全球预报系统中自然得以表现出来。

冰冻圈的信息需求因应用而异，取决于其时间尺度。例如，在数小时到数天的时间尺度上，数值天气预报(NWP)通常会忽略极地冰盖或永久冻土的变化。另一方面，对本世纪末的气候预测并不需要(或受益于)对季节性冰雪覆盖现状进行详细初始化。



**图1模拟地球系统冰冻圈过程的时间连续体**

为了提高地球系统模式在极地和高山地区的能力以及在整合冰冻圈信息方面的能力，有必要增加对海洋、陆地、海冰和大气之间复杂相互作用的理解和模型表示，正是这些相互作用决定了环境条件。许多上述过程和相互作用属于亚网格尺度，取决于模式分辨率，并且必须通过简化的物理学来表示(即参数化)。然而，当前的预测模式并没有很好地表现出许多亚网格尺度过程，尤其值得注意的是，这些模式以次优的状态表示非均质山地地形 (Rotach等，2022[[6]](#footnote-7))。在向完全耦合模式转型后，这些缺点变得更为突出。

地表水文学是地球系统建模的组成部分。对于许多应用来说，将水文模式纳入地球系统模式是有益的，可以捕获水文模式对大气的反馈(例如土壤湿度；开放水域与冰情的比较，包括能量、动量和水分通量；雪和冰表面的热状态和反照率)。对于其他应用，在天气和气候模式输出的强迫下，水文模式以“独立”模式的状态进行有效的运行。这往往需要采取额外的步骤对这些输出降尺度并进行调整，使其适应基于过程的水文和冰冻圈模式的原始分辨率，通常为几十到几百米。这一建模路线能够生成水文预测集合(即涵盖参数设置和模式强迫的不确定性)，为洪水预报或季节性水资源情景等关键应用提供概率信息。

### 5. 建议

数值预报（NWP）是大多数水文气象、气候和环境服务以及气候再分析的基础，因此，SG-CRYO的建议侧重于提高NWP能力，因为目前的NWP不足以整合冰冻圈信息，而这是在区域到全球各级提供有效信息服务的先决条件。需要改进基础设施(例如观测、高质量数据的获取、计算和代码重构等)，以便能够同化冰冻圈数据，提高模式的准确性和可靠性，从而改进短期和战术事件的预报，并促进长期预测和气候再分析。

鉴于极地和高山地区是许多土著居民和农村社区的家园，SG-CRYO将与这些团体合作开发信息系统设为优先事项，该信息系统将有效地传达气候变化对其生计的影响(冰情变化、在冰冻湖泊和河流上旅行的危险增加、冰川变化等)。

建议1

**GCW-AG—重点任务是支持WMO战略**

SG-CRYO建议INFCOM更新GCW-AG的职权范围，以纳入本报告的建议。GCW-AG可利用来自伙伴社区的各类专业知识，实现互利互惠，因此在INFCOM和WMO中均发挥着关键作用，

在编写建议时，SG-CRYO 考虑到GCW所取得的重大进展，包括将冰冻圈观测和数据纳入WMO全球综合观测系统（WIGOS）和WMO信息系统（WIS）、在WMO和冰冻圈社区之间搭建桥梁以及支持开发具体服务，正如北极区域气候中心网络（ArcRCC-Network）和第三极区域气候中心网络（TPRCC- Network）所示。

GCW-AG成员需要具备关键的专业知识，并能够反映出对每个冰冻圈组成部分的信息需求。建议与SERCOM、WWRP和研究理事会世界天气气候计划(WCRP)的相关机构保持工作层面的接触。其他有益的接触是通过执行理事会极地和高山观测、研究和服务小组(EC-PHORS)与WMO伙伴进行的，例如IUGG、SCAR、山区研究倡议、第三极环境、持续性北极观测网络等。

建议2

**冰冻圈—WMO活动的组成部分**

SG-CRYO建议INFCOM常设委员会在其工作计划中增加行动方案，将冰冻圈系统地纳入WIGOS、WIS和GDPFS，并建议GCW-AG持续地提供专家参与和支持，以实现这些目标。

建议3

**制定基础设施路线图，将冰冻圈完全整合至地球系统模式之中**

SG-CRYO注意到地球系统监测、建模和预测是WMO战略的核心，建议INFCOM责成GCW-AG和SC-ESMP协调制定基础设施路线图，以支持地球系统模式中完全耦合的冰冻圈(大气层—冰冻圈—陆地—海洋)，这是从区域到全球各级提供有效信息服务的先决条件，如本报告第3节和第4节所述。

需要与WMO相关机构和合作伙伴进行磋商，以便有效地利用现有的相关举措和倡议，确定试点项目并反映用户需求。应在委员会下届常会上提交一份进展情况报告。

SG-CRYO编制了一份非详尽的关键领域清单，供此过程中考虑，包括：

● 与当地和区域利益相关者有关联的冰冻圈、水文和海洋学过程建模时从动力和统计方面降尺度。

● 缩小NWP 和季节预报之间的差距，以支持生成极地和高山地区的业务水文和气候产品，例如支持落实TPRCC网络。

● 对极端冰冻圈事件的数据同化和模式预测能力以及对冰冻圈灾害(例如冰塞、滑坡、雪崩、GLOFs、冰山等)的风险评估。

● 将NWP 和水文模式与先进的降尺度方法(气温、辐射、降水量和降水相)相结合，并为独立运行的水文和冰川模式提供高分辨率的大气强迫。

● 现有冰川水文模式的业务化，即每日到季节性融水径流预测。

● 冰冻圈数据访问、质量控制和精选数据集，以用于数据同化和模式验证。

● 提高对冰冻圈观测和数据中相关不确定性(也包括不一致性和代表性)的理解，并促进其业务应用，包括在约束模式中的应用。

● 在地球系统模式中利用冰冻圈卫星观测，包括提高冰冻圈卫星产品的同化能力。

● 增进对冰冻圈观测和数据中的偏差和不确定性(包括不一致性和代表性)的了解，并促进其业务应用，包括在约束模式中的应用，例如为流域水量平衡分析和水文模式量化固态降水的不确定性。

● 评估高分辨率(次公里)冰冻圈观测标准，以便于对气象和地球系统模式进行初始化、验证和降尺度；推动研究和观测活动，以生成此类数据集。

建议4

**提高WIGOS中冰冻圈观测的可用性**

SG-CRYO建议GCW-AG继续支持会员理解并应对其在冰冻圈所有组成部分及相关观测数据上的观测差距 (如极地和高山观测)，因为这与他们的需求息息相关。为此，GCW-AG应帮助制定相关技术规则和指南，如观测标准化。GCW-AG需与地球观测系统和监测网络常设委员会(SC-ON)和测量、仪器和溯源性常设委员会(SC-MINT)保持合作，这是取得预期成果的关键。

SG-CRYO强调，对于WMO需求滚动审议(RRR)的应用领域，需要有记录齐全的冰冻圈观测要求，这对克服当今记录严重碎片化至关重要。这项分析需要对观测系统的能力(现场和遥感)进行严格审查，提请注意现有冰冻圈观测系统能力中最为重要的差距所在，并确定机会，改进对冰冻圈观测(现场和遥感)不确定性的理解，包括继续推动相互比较。

建议采取一项优先行动，综合全球数值预报和气候再分析的观测要求，以供全球基本观测网(GBON)考虑。

建议5

**WMO统一数据政策中的冰冻圈数据**

SG-CRYO建议GCW-AG与SC-ON合作，定期审查并更新WMO统一数据政策[附件1决议 1 (Cg-Ext(2021))](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11114#page=12)，明确冰冻圈核心数据集的最低要求，会员须在自由和不受限制的基础上按其要求进行数据交换。GCW-AG与SC-ON还可就任何推荐数据做出明确说明，并草拟相关适用技术规则的修改意见，以供INFCOM审议。

建议6

**冰冻圈数据：标准化并通过WIS增加数据访问**

SC-CRYO建议，INFCOM责成GCW-AG与相关INFCOM常设委员会和合作伙伴合作，填补冰冻圈观测和数据标准化方面的差距，并通过应用符合FAIR (可发现、可访问、可互操作、可重复使用)指导原则的互操作性标准，在WIS框架内促进并推动冰冻圈和极地数据共享。SG-CRYO在这一方面确定了三个关键优先事项：

(1) 如有必要，编制资料更新并提交至WMO技术规则，其内容有关于冰冻圈所有组成部分的测量和数据报告标准及最佳做法，并将其作为GCW实施工作的一部分予以公布；

(2) 推动相关冰冻圈数据和第三方数据在WIS的整合，重点是实时交换数据；

(3) 促进冰冻圈数据的获取和长期存档，例如专门的数据中心。

建议7

**在**[**GDPFS**](https://public.wmo.int/en/programmes/global-data-processing-and-forecasting-system)**中整合冰冻圈特定功能**

SG-CRYO建议GCW-AG和SC-ESMP通过利用ArcRCC-Network和TPRCC-Network的经验以及2019年高山峰会的建议(这些建议仍然具有高度相关性)，推动将冰冻圈特定功能整合到GDPFS框架中，以反映极地和高山地区的信息需求。应考虑极地和高山地区多领域、多尺度的信息需求，如气候—水文联动增强等。

建议8

**在WMO现有的减少灾害风险(DRR)框架中对冰冻圈相关灾害采取系统性方法**

SG-CRYO建议开展范围界定工作，将冰冻圈相关灾害纳入现有的WMO DRR框架，这需INFCOM和SERCOM共同努力。这一方法需要支持WMO全民预警系统这一优先事项。

SG-CRYO建议INFCOM责成GCW-AG推动在该领域具有成熟实践的相关合作伙伴参与其中，如国际冰冻圈科学协会、国际永久冻土协会、第三极环境计划等。

范围界定工作应确定在WMO活动范围内进行审议的组成部分，如灾害定义和编目、观测要求和数据获取、极端事件监测、早期预警做法、进一步研究等。

建议9

**全球气候观测系统（GCOS）中的冰冻圈**

通过利用基本气候变量(ECV)方法的演变发展，例如海冰ECV（Lavergne等，2022[[7]](#footnote-8)），SG-CRYO建议INFCOM责成GCW-AG与GCOS指导委员会就GCOS框架内冰冻圈监测的演变发展进行对话。

SG-CRYO认识到，需要通过GCOS协调完成ECV结构的修订工作，满足会员在不同尺度上不断变化的气候监测需求，有效支持山区和极地地区气候变化及其后果的监测工作。在编写本建议时，SG-CRYO注意到在定义北极共享变量方面开展的工作，这是根据持续性北极观测网(SAON)北极观测和数据系统路线图( [ROADS](https://www.arcticobserving.org/news/378-guidelines-for-contributing-to-saon-s-roadmap-for-arctic-observing-and-data-systems-roads))的提议而完成的。SG-CRYO还注意到对山区ECV[[8]](#footnote-9)的考虑。研究组承认冰冻圈与业务类气候服务存在潜在的联系。和谐统一的制度既承认必要的复杂性，又保持其简约性，这对于全球社会将是非常宝贵的。

建议10

**极地和高山地区科研转化为服务路线图**

SG-CRYO敦促INFCOM与研究理事会合作，利用完成极地预测年(YOPP)项目的机会，制定路线图，将成熟的研究成果转化为可持续服务。研究组指出，需要倡导提供必要的资源，以便将开发的知识转化为可持续的能力，并纳入经验教训，例如在设计阶段让用户参与。

SG-CRYO认为，会员为组织大规模的研究项目(如YOPP)进行了大量投资，必须为WMO社区带来可持续的改进，例如优化数据稀疏区域的观测和数据系统、模式改进等。

更广泛地说，SG-CRYO承认，为了增进对地球系统中冰冻圈物理过程的了解和代表性，其他国际协调的研究项目和观测活动具有重要意义。研究组注意到如下计划和活动所提供的机会，包括山区大气多尺度传输和交换过程计划和实验（TEAMx）、第二次青藏高原考察（STEP2）、世界气候研究计划（WCRP）之下的全球能源和水交换（GEWEX）区域水文气候小组，以及WCRP气候和冰冻圈项目（CliC）支持的活动。

建议11

**从局部到全球尺度进一步研究冰冻圈的关键问题及其影响**

SG-CRYO建议在研究理事会的协调和技术委员会的积极参与下开展进一步的研究，以提高会员应对新兴信息需求的能力。

根据评估结果，SG-CRYO确定在以下方面可取得成效：

(1) 更好地了解由快速且深刻的气候变化所引起的极地和高山具体过程，并在数值模式中加以体现。这些过程可影响到全球各个区域。

(2) 通过综合历史观测和新的观测数据、改进模式真实度、分析和业务输出，提高建模能力，以满足从区域到地方对天气、气候及水文产品和服务日益增长的需求。

以下为未来研究领域的非详尽清单，包括：

● 模式具有更高的空间和时间分辨率：对流尺度分辨率的气候预估以及在不同尺度上与特定需求一致的NWP预报

● 高分辨率和能够给出概率信息的集合方法之间的折衷

● 后处理的标准化，使模式输出适合相关尺度的后处理

● 冰盖/海洋/地球系统模拟与预测研究进展

● 对不断变化的不确定性进行量化，这是成熟模式运行的先决条件。不确定性是造成区域和地方尺度上冰冻圈观测不一致以及代表性有限的原因。

● 检查由模式/人工智能/机器学习所引导的观测

建议12

**获取冰冻圈空基产品：与空间机构合作**

因为费用高、进入实地困难、极端的运行条件和有限的代表性对扩大和维持冰冻圈实地观测系统造成重大障碍，所以冰冻圈的天基观测至关重要。WMO最适合为新的卫星发射任务进行游说，这些任务将确保关键数据流的连续性，同时公布有据可查的观测要求，并促进开发冰冻圈业务卫星产品，供业务模式和应用使用。

在这方面，SG-CRYO建议INFCOM以EC-PHORS极地空间任务组(PSTG)的成功经验为基础，并作为决议30(EC-73)执行工作的一部分，确保与执行冰冻圈观测任务的空间机构持续接触。WMO将发挥其号召力，调动各个参与机构独特且互补的能力（无论是研究开发还是面向业务的能力）来取得成效。

SG-CRYO认为，GCW-AG与SC-ON合作，并定期向EC-PHORS反馈，在专业知识和参与度之间保持适当的平衡，无论是在外部还是在WMO核心活动中，都能为会员带来益处。预期的协调应侧重于促进冰冻圈、极地和高山卫星数据集的获取和分发，其目的是促进开发具体的衍生产品，以支持冰冻圈科学研究，并促进业务应用。

WMO的一个补充作用是促进冰冻圈卫星产品的相互比较，包括补充性实地观测数据的获取和质量保证，其目的是加强对各种不确定性的推导，以支持将其用于同化、验证和核查。SG-CRYO认可GCW在推动此类相互比较(积雪覆盖、海冰厚度)方面取得的成功，并建议GCW在未来继续开展这些活动。

建议13

**冰冻圈作为区域和全球气候变化指标**

SG-CRYO建议INFCOM责成GCW-AG与SERCOM和区域协会的相关机构合作，推动冰冻圈变化代表性指标定义工作，以支持不同尺度的水文气候服务。该项指标定义工作可为WMO出版物（如《气候状况—全球和区域》）做出贡献，并可用于用户交流，如气候论坛等。这可能包括例如水资源的预估变化、风险评估、季节性评估和冰雪变化追踪系统、极端事件（所有组成部分）等。

建议14

**WMO在南极洲的作用**

WMO的南极活动一直是WMO的优先事项，第二届世界气象大会(1963年)设立了首个南极常设委员会，由执行理事会负责。2007年至2019年间，该职能由EC-PHORS承担。在WMO治理改革之后，[决议30 (EC-73)](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11009#page=430)重新确立了EC-PHORS在协调南极洲活动方面的作用，重点是战略参与和宣传。

EC-PHORS和INFCOM之间通过SG-CRYO进行协调，EC-PHORS-10和EC-PHORS-11的会议报告记录了一项协议，即与观测、数据交换和改进南极极端条件下的观测方法和仪器有关的技术层面应与INFCOM SCs的任务保持一致，并反映在其工作计划中。EC-PHORS 设立了南极咨询组，重点协调其参与和宣传方面的事宜。

SG-CRYO就南极洲活动参与情况进行了审议，在结论部分，SG-CRYO建议GCW-AG与南极洲活动之间保持强有力的联系，以便与活跃在该区域的小型科学团体保持联系。

### 6. SG-CRYO最终报告附录：WMO服务中的冰冻圈初步[俄罗斯联邦]定位

下文提供了生成相应服务所需的冰冻圈信息的定位标示，与通过WMO协调的服务领域相一致。

**气候服务(SC-CLI)**

(a) 长期水资源预测：雪、冰川、固态降水；

(b) 海平面上升和相关的沿海服务：冰川、冰盖、海冰、永久冻土；

(c) 淡水流向海洋的路径和通量：雪、冰川、冰原、永久冻土；

(d) 永久冻土碳反馈：永久冻土、雪(对活动层深度的影响)；

(e) 环境演变以及与基础设施架构标准和设计依据的关系：雪、永久冻土、冰川、冰盖；

(f) 气候—冰冻圈：反照率、潜热、反馈(海冰、雪、冰盖)；

(g) 海洋淡水收支和循环：雪/降雪、海冰、冰盖；

(h) 降水周期的变化，例如，降雨导致淡水径流量增加；

(i) 开放水域天数/年的区域变化：海洋/海冰、河冰、湖冰；

(j) 气候变化预估和与变化的永久冻土和海冰条件相关的碳通量(积雪、海冰、永久冻土)。

**水文服务(SC-HYD)**

(a) 业务水文建模和预测[俄罗斯联邦]：雪、冰川、永久冻土、冻土；

(b) 洪水建模和预测[俄罗斯联邦]：业务预报、季节性风险评估：积雪、湖冰和河冰、冻土；

(c) 农业、干旱管理、水电和水资源管理所用的季节性径流[俄罗斯联邦]预报[俄罗斯联邦]：雪、冰川；

(d) 冰情预测：湖冰和河冰、积雪[俄罗斯联邦]；

(e) 服务于水-粮食-能源关系的[俄罗斯联邦]长期(如十年)水资源预估：雪、冰川、永久冻土。

**减少灾害风险和公共气象服务(灾害、预警)**

(a) 搭建(早期)预警系统，应对不断变化的冰冻圈灾害：

● 大雪、冻雨

● 雪崩(雪、山地天气)

● 冰川崩塌，冰川湖爆发的洪水；冰和落石(冰川、山区永久冻土和季节性冻土)

● 海岸侵蚀(永久冻土、海冰、陆地坚冰、固态降水)

● 湖、河、海冰厚度和物候变化(淡水和海冰)

(b) 基础设施对洪水、永久冻土融化、结冰、大雪/暴风雪/极地低压的恢复力：雪、雪面雨、永久冻土；

(c) 粮食安全/减少生态系统风险；

(d) 受不断变化的冰冻圈严重影响的生存活动；

(e) 支持应急预防、准备和响应，如极地和高山搜救、支持溢油响应或船舶交通量增加的影响等。

**海洋气象和海洋服务(SC-MMO)**

(a) 支持海员和社区的例行冰情信息；

(b) 从业务到季节性时间尺度的海冰预报系统：海冰；

(c) 冰山追踪：冰盖、冰架、冰—海相互作用；

(d) 淡水收支：水文/径流模式的降雪/雪、永久冻土；

(e) 混合和洋流：海冰、冰架、冰盖径流；

(f) 海运航线、基础设施的长期规划：海冰、冰山。

**农业服务(SC-AGR)**

(a) 指导用水的业务水文预报：雪；

(b) 灌溉和作物管理的季节性水资源预报：雪、冰川。

**综合能源服务(SG-ENE)** —为能源提供天气和气候服务

(a) 水电站和水库的运行管理：雪、冰川；

(b) 用于热能发电厂、工业需求的水资源，：雪、冰川；

**生态服务**

(a) 与水生生态相关的水质和水量：雪、冰川；

(b) 依赖冰和雪的生态系统，从藻类到旅鼠再到北极熊：海冰、雪、冰川、冰原。

**经济服务**

(a) 山地旅游休闲：雪、冰川；

(b) 极地旅游：雪、冰川、冰盖、冰山、湖冰、海冰、永久冻土；

(c) 季节性运输、商业、经由冰路的流动性：湖冰、河冰、海冰、冰冻和春季冰裂；

(d) 依赖冰情的商业航运和渔业：河流、湖泊和海冰；

(e) 土著、北部和山地社区的生计活动(狩猎、捕鱼)：雪、河流、湖泊、冰川、永久冻土、海冰；

**卫生考虑因素**

(a) 水质、水的可用性：雪、冰川、永久冻土；

(b) 水生生态系统健康及其对粮食安全的影响：雪、淡水冰；

(c) 遗留污染物(如PCBs)和病毒：冰川、永久冻土。

**地缘政治和政策考虑因素**

(a) 国际伙伴关系和科学外交(例如根据《南极条约》、北极理事会工作组、国际科学理事会等开展的冰冻圈研究和监测)；

(b) 山区跨界水安全：雪、冰川；

(c) 平均海平面上升的全球影响。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. Marshall, S.J. (2011).《气候科学入门之冰冻圈》，普林斯顿大学出版社 [↑](#footnote-ref-2)
2. IPCC，2021：《气候变化2021：自然科学基础. 第一工作组对政府间气候变化专门委员会第六次评估报告的贡献》[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. 剑桥大学出版社，剑桥，英国和纽约市，纽约州，美国.印刷中，doi:[10.1017/9781009157896](https://dx.doi.org/10.1017/9781009157896). [↑](#footnote-ref-3)
3. IPCC, 2022：《气候变化2022：影响、适应和脆弱性。第二工作组对政府间气候变化专门委员会第六次评估报告的贡献》[H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)].剑桥大学出版社.印刷中。 [↑](#footnote-ref-4)
4. IPCC, 2019 : 决策者摘要. 源自《关于气候变化中海洋和冰冻圈的特别报告》[H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].印刷中。 [↑](#footnote-ref-5)
5. 《可持续发展》2019年第11期第4365页；冰冻圈服务和人类福祉doi：10.3390/su 11164365 [↑](#footnote-ref-6)
6. Rotach,M.W., et al (2022). 更好地理解、测量和模拟山区大气交换过程的合作努力，《美国气象学会公报》，103(5)，E1282-E1295。2022年9月5日检索自[https：//journals.ametsoc.org/view/journals/bams/103/5/BAMS-D-21 0232.1.xml](https://wmoomm-my.sharepoint.com/personal/fli_wmo_int/Documents/M_Drive/M%20TRANSLATION/https：/journals.ametsoc.org/view/journals/bams/103/5/BAMS-D-21%200232.1.xml) [↑](#footnote-ref-7)
7. Lavergne, T., Kern, et al. (2022).全球气候观测系统海冰基本气候变量的新结构，《美国气象学会公报》，103(6)，E1502-E1521。2022年9月5日检索自https：//journals.ametsoc.org/view/journals/bams/103/6/BAMS-D-21 0227.1.xml [↑](#footnote-ref-8)
8. James M. Thornton, et al, 基本山地气候变量的定义，《一个地球》，第4卷，第6期，2021年，第805—827页，ISSN 2590 3322，<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.005。>

   [(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332221002487](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.005。)) [↑](#footnote-ref-9)