

冰冻圈 主题报告

2007年8月

WMO/TD-No.1405



Integrated Global Observing Strategy

全球综合观测战略伙伴

For the Monitoring of our Environment from Space and from Earth



效存德 谢爱红 马丽娟 等 译

全球综合观测战略伙伴

冰冻圈主题报告



冰冻圈主题

效存德 谢爱红 马丽娟 张 通 译
明 镜 辛羽飞 丁明虎

 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书介绍了世界气候研究计划/气候与冰冻圈计划(WCRP/CLIC)提交世界气象组织(WMO)的特别报告,同时也被纳入全球综合观测战略伙伴(IGOS)——冰冻圈主题报告,是IGOS的诸多主题报告之一。报告介绍了冰冻圈数据在天气、气候和相关灾害研究中的应用及其社会意义,阐述了作为气候系统变量的冰冻圈各要素当前的观测能力和要求,并提出了进一步发展的建议以及未来执行时间框架和路线图。本书是气候系统科学领域的指南性书籍,可供我国从事相关科研、业务、教学、管理人员和决策者在开展相关研究和制定有关政策措施时参考。

图书在版编目(CIP)数据

全球综合观测战略伙伴冰冻圈主题报告/效存德等译.

北京:气象出版社,2010.7

ISBN 978-7-5029-5020-0

I. ①全… II. ①效… III. ①气候变化-气候影响-冰川-研究报告-世界
IV. ①P343.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 141200 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:隋珂珂 张 斌

封面设计:翟劲松

责任校对:石 仁

印 刷:中国电影出版社印刷厂

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:244 千字

版 次:2010 年 7 月第 1 版

印 数:1~1000

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:章澄昌

责任技编:吴庭芳

印 张:9.5

印 次:2010 年 7 月第 1 次印刷

定 价:45.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

致 谢

本译著出版得到以下项目资助,谨致谢忱!

- 财政部/科技部社会公益类行业专项“中国气候系统的协同观测与预测研究”(COPES)(GYHY200706005)
- 国家重点基础研究计划项目“我国冰冻圈动态过程及其对气候、水文和生态的影响机理与适应对策”(2007CB411500)
- 科技部国际合作重点项目“国际合作气候与冰冻圈研究”(2005DFA20930)
- 中国科学院“百人计划”项目

序 言

全球综合观测战略计划(IGOS)是关注全球环境变化主题的国际合作组织,联系研究、长期监测和业务项目,在全球观测资料的提供者和需求此资料的使用者之间架起联系的桥梁,缩小所需资料产品、观测资料和物理机制之间的差距,满足科学和政策机构的需求。IGOS 的主要目标是把卫星、航空和实测系统整合为一体。

IGOS 伙伴组织包括全球观测系统(GOS)、GOS 的国际承办组织、地球观测卫星委员会(CEOS)和国际全球变化科学与研究计划。

IGOS 伙伴组织认为,一套综合的全球性的地球观测系统最好是通过切实有效的分步过程进行。IGOS 主题是定义和发展所选择环境议题的全球观测战略,这些议题都是 IGOS 伙伴组织和使用团体普遍感兴趣的。目前 IGOS 主题包括海洋、碳循环、地质灾害、水循环等主题和一个珊瑚礁次主题。

2004 年通过南极科学委员会(SCAR),由世界气候研究计划(WCRP)气候与冰冻圈(CliC)计划和国际科学联盟理事会(ICSU)发起成立了 IGOS-冰冻圈主题编写委员会。2004 年 5 月在意大利罗马召开的 IGOS 伙伴组织第 11 届全体会议上,通过了发展冰冻圈主题的提议,并成立了一个主题组。在全球冰冻圈科学界的支持下,2007 年 5 月在法国巴黎向 IGOS 全体会议递交了一份报告草案。

有关 IGOS 的详情,可以登录网站:<http://www.igospartners.org>;

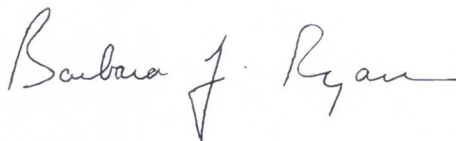
冰冻圈主题报告的下载网址为:<http://igos-cryosphere.org>;

有关 IGOS 冰冻圈主题的问题,可以发信至:igos@esa.int。



Kerth Alverson

联合国 UNESCO 政府间海洋学委员会
全球综合观测战略伙伴 联合主席



Barbara Ryan

美国地质调查局
全球综合观测战略伙伴 联合主席

中文版序言(1)

当今,人们越来越深刻认识到冰冻圈在全球气候系统中的重要作用。主要体现在:冰冻圈消长直接影响海平面变化,冰冻圈释放的冷水是大洋传送带的重要驱动力,冰冻圈通过巨大冷储、表面反照率以及相变潜热产生强大气候反馈效应,北极冻土带释放的温室气体可能会加剧全球气候变暖,等等。由于上述原因,IPCC 第四次评估报告认为冰冻圈是气候系统中仅次于海洋的第二大要素。冰冻圈变化不仅对自然生态系统产生影响,还正在深刻影响到经济社会乃至政治外交的诸多方面。例如,在全球变暖下,冰冻圈及其毗邻地区深受雪冰灾害影响,冰冻圈消退严重威胁到干旱、半干旱区水资源,淡水匮乏且主要依赖雪冰融水的地区可能会因为水的问题而起纷争,北冰洋夏季海冰大范围消退会影响北半球海运格局,并可能因此而改变全球地缘政治格局,等等。

中国冰冻圈主要包括冰川、冻土和积雪三大要素。最新统计结果表明,中国冰冻圈包括现代冰川 46377 条,面积约为 59426 平方千米,储冰量估计达 5.6 万亿立方米;多年冻土 220 万平方千米,约占陆地国土面积的 23%;稳定积雪(持续 60 天以上)面积平均约为 420 万平方千米,占陆地国土面积的 44%。中国冰冻圈对区域可持续发展有重要影响,主要涉及西部水资源、区域气候、高原和干旱区生态保育、寒区灾害(其中包括河冰冰凌、渤海海冰灾害)防治,等等。

中国冰川学、冻土学研究经历 50 年长河后,今天建成了冰冻圈科学国家重点实验室。同时,相关部委及其研究所还设置了针对极地、高原等区域,以及针对海冰、河冰等冰冻圈要素的研究机构和队伍,他们都是我国冰冻圈科学和技术研究的重要组成部分。气候与冰冻圈计划(CliC)和国际冰冻圈科学联合会(IACS)中国国家委员会(CNC)的成立并良好运行,使中国冰冻圈科学的研究工作有了良好科技平台。在研究过程中我们体会到:如何实现“地—空—天”一体化观测冰冻圈

要素及其变化,如何准确模拟冰冻圈过程,如何在数值模式中实现冰冻圈与气候系统其他圈层的耦合,显得非常必要和紧迫。我们在这些方面还存在不少缺陷或短板。WCRP/CliC 组织编写的《IGOS—冰冻圈主题》报告对我们弥补这方面的知识是大有裨益的,中国人及时推介这样一部重要专著,非常必要,有助于推动我国冰冻圈科学研究的发展。

在这里,我也要衷心感谢 CNC-CliC 暨 CNC-IACS 办公室的青年人为此所付出的努力。

秦大河

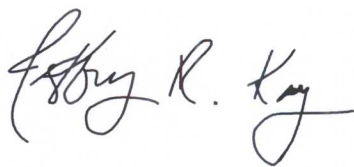
2010 年 5 月 1 日

中文版序言(2)

中国是冰冻圈科学的主要贡献者,于 20 世纪 50 年代后期开始系统研究亚洲冰冻圈,此后,中国持续调查研究,进行冰川编目、冻土观测、冰芯分析以及冰冻圈和冰冻圈—大气圈相互作用模拟等。这些工作成果显著,富有成效,发现关于冰冻圈过程的重要信息,提供了亚洲气候变化影响的证据。例如,最近研究显示过去 50 年固态降水频率减少;印度季风影响积雪,反过来,积雪又影响季风的爆发和强度;多年冻土和季节冻土正在退化;过去 25 年海冰范围缩小,河冰持续时间缩短。

全球综合观测战略计划(IGOS)是联系科学研究和观测规划的国际组织合作伙伴之一,为资料提供者和使用者架起沟通的桥梁,以便确认对资料的需求和空白。中国在此方面做出了很大努力,2001 年世界气候研究计划(WCRP)气候和冰冻圈中国委员会(CNC-CliC)的成立,加强了中国对冰冻圈科学研究的贡献。目前 CNC-CliC 正处于第二阶段,有望强化中国气候与冰冻圈研究,探讨先进的创新研究理念,鼓励年轻科学家更多地参与国际组织工作,通过完善观测网络开发出冰冻圈监测的标准,加强国际合作。此外,中国还承担并参与了 35 项国际极地年(IPY)项目,其中 21 项与 WCRP 或南极研究科学委员会(SCAR)有关,后两者皆为 IGOS-冰冻圈主题的倡议者。

我们期待 IGOS-冰冻圈主题报告中文版的面世,通过中国内、外交流以拓宽全球冰冻圈信息平台,引发对冰冻圈科学的深入讨论,并对这项重要国际成果作出新的补充和贡献。



Jeffrey Key

美国国家海洋与大气管理局
IGOS-冰冻圈主题报告 主席

前言

气候科学界、国内和国际决策者、媒体和公众对冰冻圈给予了相当多的关注，源于下列因素：

- 很多冰川、格陵兰冰盖、多年冻土和季节冻土、积雪、北极海冰等，正发生着急剧变化。北极多年冻土和海冰的融化影响生态系统和人类活动的可持续性，融化的雪和冰可能引起海平面升高。因此，冰冻圈的稳定性是科学和国际政策关注的焦点问题，尤其是政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007 年报告中确证了全球变暖。

- 人们充分认识到，冰冻圈对于天气预报和气候预测、海平面升高的预测、淡水资源的可用性、航空、航海、渔业、矿物资源探测和开采以及众多其他实际应用而言很重要。

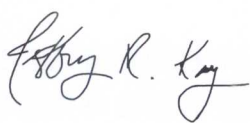
- 冰冻圈是气候变化的敏感指示器，然而，它可能是气候系统中研究最少的领域。

全球综合观测战略计划(IGOS)冰冻圈主题需要为冰冻圈观测创建一个框架，促进增强其协同性，为业务服务和研究提供所需要的资料和信息。极区实测资料的费用非常昂贵，卫星监测具有挑战性，因此，特别亟需观测的紧密协同，还需要强化国家和国际冰冻圈观测的研究结构，扩大资源确保研究型项目向可持续观测的转变。通过发展一套全面的、协同的、综合的方法，IGOS 主题将明显提高实现这些目标的可能性。

本报告的目标是发起建立一个更完整的、更协同的、更综合的冰冻圈观测系统。本报告的开端是包含主要建议的执行摘要；第 1 章和第 2 章定义冰冻圈和冰冻圈数据的主要应用；第 3~10 章描述对冰冻圈主要领域的基本气候变量(ECVs)目前的观测能力和要求，每章都包含针对本领域的建议；第 11 章通过观测类型(即实测、卫星和航空观测)回顾冰冻圈观测系统，详细说明数据管理的目标；第 12 章介绍执行的注意事项和时间安排；以冰冻圈观测系统(CryOS)为冰冻圈主题贯穿整个报告。

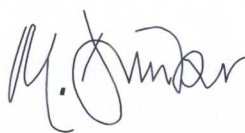
很多人和组织机构为此报告付出了艰辛劳动。我们感谢加拿大空间局

(CSA)、日本宇宙航空研发中心(JAXA)、日本海洋—地球科学技术中心(JAM-STECC)、欧洲空间局(ESA)、美国国家海洋与大气管理局(NOAA)、美国国家航空航天局(NASA)、南极科学委员会(SCAR)、世界气候研究计划(WCRP)等单位支持三个工作组,CliC 国际计划办公室的 Angélique Prick 博士帮助编辑本报告。感谢本报告和我们网站上列出的作者和贡献者,源自 17 个国家的近 80 位科学家为本报告作出了贡献,他(她)们的劳动和奉献是本报告得以完成的基本保障,对本报告的成功出版至关重要。



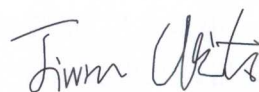
Jeffrey Key

美国国家海洋与大气管理局
IGOS 冰冻圈主题 主席



Mark Drinkwater

荷兰欧洲空间局
IGOS 冰冻圈主题 副主席



Jinro Ukita

日本千叶大学
IGOS 冰冻圈主题 副主席

执行摘要

冰冻圈主要指含固态水的地球系统部分,包括海冰、湖冰、河冰、积雪、固态降水、冰川、冰帽、冰盖、多年冻土和季节冻土。大气、陆地和海洋表面上固态水的存在,影响能量、水汽、气体和粒子通量、云、降水、水文状况、大气和海洋循环;冰冻圈要素还包括为解释现代气候变化提供基准的重要的古气候记录。冰冻圈存在于各个纬度地区,遍布百余个国家。

冰冻圈的观测和相关数据产品,可以对全球综合地球观测系统(GEOSS)的所有社会效益区域有一定影响。融雪水和冰川径流是水力发电的主要资源,也是很多地区维持生活和农业的唯一水源;几种自然灾害直接与冰冻圈相关,包括雪崩、冰山和冰川湖引发的特大洪水,甚至在局部地区,冰冻圈可以影响所有的交通运输,季节性冻融可以损坏道路。

尽管热带、亚热带地区的高山上也有雪和冰,但冰冻圈通常与寒冷气候紧密相连。通常情况下,冰冻圈所在区域的环境条件比较荒芜,并且观测费用高。由于缺少资金,部分冰冻圈观测网络点正在衰退,例如,监测冰川、湖/河冰的网络点正在大量减少。卫星监测克服了部分后勤障碍,但是,卫星费用昂贵,并且不能准确划定研究冰冻圈所需要的地球物理变量的范围。因此,为了不同组织和国家的资料使用者的利益,应该制定切实可行的经济鼓励措施,用于冰冻圈观测的操作和冰冻圈数据产品的共享。

为了应对冰冻圈网络点的衰退,加强多项目和机构在冰冻圈观测资料和数据方面的合作,IGOS 伙伴要求冰冻圈主题团队寻找途径,以便于:

- 通过研究、长期的科学监测和业务规划,改进冰冻圈观测的协调;
- 促进业务服务和研究的数据和信息的产生与交换;
- 加强冰冻圈观测的相关国家和国际组织机构之间的合作;
- 增加财力确保基础研究的冰冻圈观测项目向可持续观测的转变。

整个冰冻圈的 IGOS 主题制定了规模经济,通过支撑气候、气象和环境研究与业务的观测系统,确保充分完成冰冻圈观测。

本报告总结 IGOS 冰冻圈主题团队的工作,规划 CryOS(冰冻圈观测系统),简要概述冰冻圈观测、数据和产品的要求以及对其发展和维护的一些建议。本报告没有建议为冰冻圈建立新的、专用的和孤立的观测系统,相反,建议通过发展和协调世界气象组织(WMO)的全球一体化观测系统、全球气候观测系统(GCOS)、全球海洋观测系统(GOOS)、全球陆地观测系统(GTOS)以及其他系统中冰冻圈要素的观测,以便大约在 10~15 年内,发展的冰冻圈产品能够满足大多数用户的要求。此外,建议设立计划确保现有的冰冻圈数据和产品可知、可得,并能及时地以可操作的方式被公开访问。本报告着重强调对数据校验和协调的需求,随着要求和技术的提高,持续完善观测资料;重申观测系统操作人员的必要义务,持续和增强观测现有

的冰冻圈要素。

CryOS 不仅仅包括简单的雪、冰的属性观测,还必须包括以下五项要素:

- 卫星遥感设备;
- 地面网络设备;
- 航空观测;
- 模式、同化和再分析系统,以及
- 数据管理系统。

卫星是传输持续一致的全球冰冻圈观测数据的基本设备。不存在可以包罗万象的传感器,更确切地说,有必要合并和综合源自不同且相互弥补的传感器的数据,强调维持系统关键协同要素的至关重要性。同样情况,地表观测和航空观测也非常重要,因为它们提供目前卫星不能观测的关键数据、核心地区的更多详细信息,以及用于校正和验证卫星反演的观测资料。反过来,卫星是扩宽实测数据的关键。CryOS 需要促进冰冻圈在模式中的估算,揭示冰冻圈在气候中的作用及其在气候模式模拟中的可预报性,以及激励冰冻圈过程参数化的完善。数据和信息管理部门必须要服务于冰冻圈研究、长期科学监测和业务监测中的数据和信息交换。然而,一定要鼓励监测手段的发展,结合多种的和不同分布中心的所有类型的数据(包括模式场),超越传统的元数据服务或者网站门户。

本报告分章给出每个冰冻圈要素(如陆地积雪、冰盖、多年冻土)的具体建议,下面就近期、中期和长期的规划,给出概括性建议,其中,近期建议与国际极地年 2007—2008(IPY)相吻合。这些建议包括(并不是按照优先重要性排序):

近 期(2007—2009 年):

• 确保协调好 IPY 极地缩影的不同组织间的规划(尤其是合成孔径雷达(SAR)和干涉测量 SAR(InSAR)、高分辨率可见光和红外线(Vis/IR)、ICESat 激光周期的最优化覆盖)。协调 IPY 期间执行的航空、无人驾驶航空器(UAVs)和卫星搭载的自主潜水艇(AUVs)的近地表的、高分辨率的遥感行动以及实测试验。从现有的卫星数据中获取高标准的、连续性更好的极区数据产品,充填 IPY 遗留数据库。

• 为观测降水、雪水当量、多年冻土钻孔温度、冰盖冰芯属性、气象/海洋/冰物质平衡轨迹浮标和高山冰川,补充稀少、零星的实测网络,有计划地挑选、增加至少 15 个配套设施与冰冻圈观测相关的参考“优秀台站”(如增加现有的国际协同强化观测计划(CEOP)台站和/或全球陆地观测网(GTN)台站)。

• 开始实行一套以 CEOP 为导向的综合方法,获取完整的冰冻圈相关数据产品,开发用于包括实测和卫星反演的多种的、不同地理分布的数据整合手段。

• 开发用于观测雪水当量和固态降水的卫星体系,启动针对这些要素的实测和卫星观测的综合性验证程序。

• 促进海冰厚度验证的业务方法的研究和发展,尤其是加强南极冰厚度监测项目。通过制定“观测员”协议书和实测取样仪器的标准系列,发展适当的最优方案,加强独立团体间的协调(如海冰观测的 ASPeCt 标准、CEOP 标准),确保冰覆盖洋面的停泊处有仰视声呐测量冰厚度。

- 持续发展和完善源自光学卫星传感器的雪、冰的光谱特性的估算方法。
- 计划稳步推进、发展一个有效的多频、多极化 SAR 群,满足冰冻圈在以下方面的要求:常规高频制图、用于地形变化和冰动力的 InSAR 和雪制图。
- 准备部署 Cryosat 2 和计划 ICESat 后续的激光测高仪。
- 促进北极和南大洋—南极观测系统的发展,包括其海洋、陆地和大气要素,如 Arctic-HYCOS(水文循环观测系统)。
- 协调 IPY 期间的源自航空、卫星 UAV 和 AUV 以及定点试验的近地表、高分辨率的遥感行动。
- 通过学校和当地组织,发展河冰、湖冰和雪的观测者网络。
- 创建一个全球二维冰川目录,作为估算冰川变化的参考。
- 设立一个 IPY 数据管理机构(或数据信息系统),标准化元数据准则(如用于反演档案文件的所有 IPY 遗留数据的唯一元标签)。
- 验证和启动历史标准数据库的数据反演和再处理。

采取这些建议将确保获取 IPY 遗留数据库作为未来气候变化的测定标准,振兴重要的实测观测网络,制定、规划关键星载传感器(如被动微波成像系统)的后续项目,使创新数据管理系统向科学界、决策者和公众发送数据和 GIS 服务。

中 期(2010—2015 年):

- 在冰冻圈数据同化、模式、卫星和实测的数据基础上,发展综合的业务分析产品,提高冰冻圈的业务预测能力。
- 执行雪水当量(SWE)观测的双频和高频雷达任务,并拓展到固态降水的全球降水计划(GPM)。
- 提高源自 SAR 有效群的冰冻圈产品的综合数据过程的能力。
- 发射 Cryosat 后续的高纬度雷达测高仪。
- 执行国际北极研究规划会议(ICARP)的陆地冰冻圈、水圈过程和系统工作组的建议,增加精选的优秀台站,扩大主要的地理网络,获取适时的观测密度和分布的具有代表性的数据。开展台站自动的和近似实时的遥感探测,促进校正和验证卫星数据的数据同化和数据采集。
- 所有业务卫星和实测台站都执行 GCOS 气候监测准则(GCMP)。
- 为了观测淡水冰和雪,培训当地团体的观测员,扩大学校在此方面的招生。
- 执行用于分布式网站/地球数据可视化服务的标准数据格式。
- 反演和再处理与冰冻圈基本气候资料记录(FCDRs)的发展和构建相关的长时间序列的存档数据。
- 确保数据有足够的时间重叠,以便相互校核卫星传感器,保证时间序列的前后一致性。
- 整理比较、数字化和分析北半球不同国家的区域历史冰图表中的长时间序列的冰记录,为过去 1000 年海冰状态和气候的历史变率和趋势提供证据。
- 基于 IPY 遗留数据,对所有冰冻圈变量进行广泛的再处理,更好地校准、验证反演准则,启动南极再分析计划。

- 执行南极雷达卫星地球物理处理系统。
- 确保高光谱分辨率的光学传感器用于将来的卫星。

采取这些建议将充实对冰冻圈和气候如何变化的观测的理解,为测试和估算未来气候变化及其对海平面上升和局地天气的影响的预测模型而奠定基础。

长 期(2015 年以后):

- 对冰冻圈数据产品进行无缝整合和分类,包括数据的融合产品(如海冰、陆冰和积雪的物质平衡)。
- 为了全天候冰冻圈遥感的国际性业务,建立 SAR 卫星群,维持大尺度制图、InSAR 和海冰制图的基本模型。
- 确保多频且高分辨率($<12\text{ km}$)的被动微波辐射观测的连续性,包括用于全天候表面温度观测的 C 波段信道。
- 业务化卫星 SWE 和时间变量的重力观测。
- P 波段微波概念应用于冰盖探测、针叶林生物量估算和潜在多年冻土。
- 评估冰冻圈的实测网络(CryoNet),根据需要,补充增加新台站,撤退一些其他台站,确保 CryoNet 是 WMO 综合性全球观测系统公认的支撑组成部分。
- 开发一个大型的自动化网络,配备表面能量和物质通量的观测。
- 同化冰冻圈产品,用于新一代地球系统全球环流模式(GCMs)、业务中尺度和季节一年际的预报模式和气候模式。
- 提高冰盖动力、物质平衡变化和海平面上升速率评估的年际预报能力。

采取这些建议将确保所需的数据流注入模式,使其精确预测冰冻圈将如何响应气候变化,以及冰冻圈变化将如何驱动局地的、区域的以及全球尺度的气候变化。

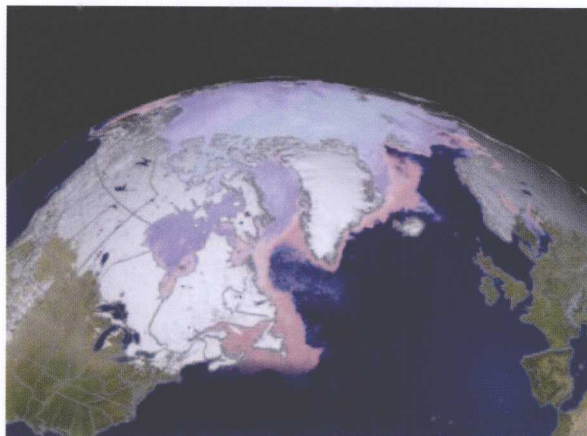
除对冰冻圈观测的建议外,本报告还对其他的环境观测提出更加概括性的建议:

- 针对地表网络,IGOS 应该提议对隶属于 IGOS 伙伴的所有观测站和平台、研究网络、科学院和工程团队进行编目,利用附加的多学科观测增加项目。还应该考虑这些观测的上报程序,注重现代观测和数据传输系统的性能,如 WMO 综合全球观测系统和 WMO 信息系统。需要校订数据传输、反演、归档、编辑、验证、监控等一系列的报告标准,这具有一定的挑战性和困难,但是需要启动。地球观测组是发起此行动的合适组织。IPY 期间多学科的地表和航空观测数据库,至少对于极区而言,可以提供对此系统的必要理解。

- 针对星载系统,CryOS 最概括性的建议就是尽可能持续、配合研究和业务任务的组织间合作,尽可能完整地为用户提供多种传感器的数据库。IPY 期间 IPY 极地缩影年全球国际组织(GIIPSY)项目,朝此方向迈出了重要一步。

- CryOS 建议系统性地发展标准分布的环境数据处理,为数据可视化、质量控制和评估,发展被公众所接受的标准。

同陆地冰冻圈 CryOS 图像相似,在下一个 10~15 年内,将会很可能获取海洋冰冻圈要素的全方位完整的图像。MODIS 在北极区域上空对积雪和海冰温度观测的实例说明,目前具备能够与其他性能结合而实现这种可能的能力(图片源自 NASA/Goddard 航空飞行科学中心可视化工作室)。



通过与 IPY 相关项目、IPY 协作组织和团体紧密合作的南极科学委员会(SCAR),世界气候研究计划气候和冰冻圈(CliC)计划以及 ICSU 将负责被建议的行动的初始合作。具体执行将涉及更广泛的科学界、国内和国际组织以及冰冻圈观测机构。



录

序 言

中文版序言(1)

中文版序言(2)

前 言

执行摘要

1 冰冻圈主题	(1)
1.1 冰冻圈	(1)
1.2 冰冻圈主题的研究范围和目标	(2)
2 冰冻圈数据的应用	(4)
2.1 天气和气候	(4)
2.2 冰冻圈的社会意义	(6)
2.3 与冰冻圈相关的灾害例证	(8)
3 陆地积雪	(10)
3.1 观测现状	(12)
3.2 目前观测的缺陷	(13)
建议:积雪观测的发展	(15)
4 海冰	(17)
4.1 观测现状	(19)
4.2 目前观测的缺陷	(22)
建议:海冰观测的发展	(23)
5 湖冰和河冰	(25)
5.1 观测现状	(26)
5.2 目前观测的缺陷	(28)
建议:淡水(域)冰观测的发展	(29)

6 冰盖	(31)
6.1 观测现状	(32)
6.2 目前观测的缺陷	(35)
建议:冰盖观测的发展	(37)
7 冰川与冰帽	(39)
7.1 观测现状	(40)
7.2 目前观测的缺陷	(43)
建议:冰川和冰帽观测的发展	(43)
8 表面温度和反照率	(45)
8.1 观测现状	(46)
8.2 目前观测的缺陷	(48)
建议:表面温度和反照率观测的发展	(49)
9 多年冻土和季节冻土	(50)
9.1 观测现状	(51)
9.2 目前观测的缺陷	(53)
建议:冻土观测的发展	(54)
10 固态降水	(56)
10.1 观测现状	(56)
10.2 目前观测的缺陷	(58)
建议:固态降水观测的发展	(58)
11 综合协调观测系统	(61)
11.1 冰冻圈卫星任务	(61)
11.2 地面观测	(66)
11.3 航空观测	(67)
11.4 模拟、数据同化和再分析	(68)
11.5 数据和信息管理	(69)
建议:数据同化和再分析	(70)
11.6 相关的观测网络和活动	(72)
11.7 历史数据和古气候研究观测资料	(75)