

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T XXXXX—XXXX

极地冰川观测规范

Specification for polar glacier observation

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(报批稿)

20XX - XX - XX 发布

20XX - XX - XX 实施

中华人民共和国自然资源部

发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 物质平衡观测	3
4.1 测杆/雪坑观测法	3
4.2 辅助观测方法	5
4.3 测量精确度	6
5 表面运动观测	6
5.1 观测点布设	6
5.2 观测频率	6
5.3 观测方法	6
6 温度观测	9
6.1 表面温度观测	9
6.2 内部温度观测	10
7 气象和水文观测	11
7.1 气象观测	11
7.2 水文观测	11
8 雪冰样品采集	13
8.1 雪冰样品采集工具	14
8.2 表层雪采样	14
8.3 雪坑采样	15
8.4 冰芯钻取和现场处理	16
9 遥感观测	17
9.1 影像图和编目	17
9.2 地形图测绘	17
9.3 表层观测	18
9.4 厚度、冰床地形、内部反射层和冰下湖观测	19
9.5 积累率观测	20
9.6 质量控制	20
附录 A（资料性）冰川物质平衡观测记录表	21
附录 B（资料性）表面雪、雪坑观测和采样记录表	22
附录 C（资料性）冰川 GNSS 观测记录 and 数据处理结果表	23

附录 D（资料性） 冰川表面温度观测记录表	24
附录 E（资料性） 冰川内部温度观测记录表	25
附录 F（资料性） 冰川水文观测记录表	26
参考文献	27

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC283）归口。

本文件起草单位：中国极地研究中心、中国科学院西北生态环境资源研究院、北京师范大学、中国气象科学研究院、中山大学、中国气象局兰州干旱气象研究所。

本文件主要起草人：闫明、任贾文、效存德、张东启、程晓、刘雷保、王显威、李传金、安春雷、刘宇硕、刘伟刚。

极地冰川观测规范

1 范围

本文件规定了极地冰川观测内容、观测方法、技术指标和记录整理的要求。
本文件适用于极地冰川观测工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 33703-2017 自动气象站观测规范
GB/T 35221-2017 地面气象观测规范 总则
GB/T 35233-2017 地面气象观测规范 地温
GB/T 35237-2017 地面气象观测规范 自动观测
QX/T 117-2020 气象观测资料质量控制 地面气象辐射
QX/T 118-2020 气象观测资料质量控制 地面
SL337 声学多普勒流量测验规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冰川 glacier

地球陆地上由降雪和其它固态降水积累、演化形成的在自身重力作用下处于运动状态的冰体。

[来源：GB/T 41026-2021，6.1，有修改]

3.2

冰盖 ice sheet

面积大于50000km²，通常呈穹状，冰流轨迹呈辐散状从中心地带流向边缘的冰川。

注：地球上现存的两大冰盖是南极冰盖和格陵兰冰盖。

[来源：GB/T 41026-2021，6.2]

3.3

积累 accumulation

冰川的所有物质收入。

注：包括冰川表面的各种降水、凝华以及由风和重力作用再分配的吹雪堆和雪崩堆等。

3.4

消融 ablation

冰川的所有物质损失。

注：包括冰雪融化形成的径流、蒸发、升华、冰体崩解、流失于冰川之外的风吹雪和雪崩等。

3.5

冰川物质平衡 glacier mass balance

冰川在一定时间内的物质收入（积累）与支出（消融）的代数和。

注：积累大于消融为正平衡，消融大于积累为负平衡。

3.6

粒雪 firn

各种形状的新雪自动圆化后变成的颗粒状的雪。

[来源：GB/T 41026-2021，6.10，有修改]

3.7

冰川运动 glacier motion

在重力的驱动下，冰川内部发生的变形运动、底部滑动和基底变形等形式的物理过程。

注：宏观表现为冰川向下游及冰盖和冰帽由中心向边缘的物质迁移。

3.8

山谷冰川 valley glacier

从冰斗或粒雪盆流出或由山坡雪崩补给形成在谷地延伸较远的冰川。

3.9

雪坑 snow pit

为采集雪冰样品或观测雪冰变化过程而在冰川表面或积雪表面挖掘的坑。

3.10

风吹雪 drifting snow; blowing snow

由气流挟带起分散的雪粒在近地面运行的多相流或由风输送的雪。

3.11

冰芯 ice core

利用冰钻从冰川表面自上而下连续逐段取出的圆柱状冰雪样品。

3.12

冰壳 ice crust

冰川雪层内，尤其是干雪带雪层表面因辐射或风雪流，使雪颗粒摩擦生热而颗粒表面微弱融化，或因烧结作用而形成的薄冰片，也称冰皮。

3.13

深霜 depth hoar

水汽在雪层内部向上迁移，遇到上层较冷阻隔层时，凝华结晶成为棱柱体、棱锥体、中空六角形等形状的巨大晶体。深霜孔隙度高，密度低。

3.14

成冰带 glacier zone

根据一条冰川上不同高度带的水热条件差异导致的成冰过程不同而划分出的区带，或者主要根据冰川表面和雪层特征划分出的区带，也称冰川带。

3.15

雪线 snow line

消融期末积雪存在的下限。

3.16

冰裂隙 glacier crevasse

冰川流动过程中张力超过抗张强度时冰体断裂所形成的裂缝。

3.17

冰碛 till

由冰川侵蚀、搬运和沉积的非冰物质。

4 物质平衡观测**4.1 测杆/雪坑观测法****4.1.1 测杆布设**

4.1.1.1 依据冰川形态、特点和观测区域将测杆布设于冰川表面，形成积累和消融观测网（见图1）；测杆出露雪或冰面的高度和在冰内的长度依观测点积累和消融状况以及观测周期而定。

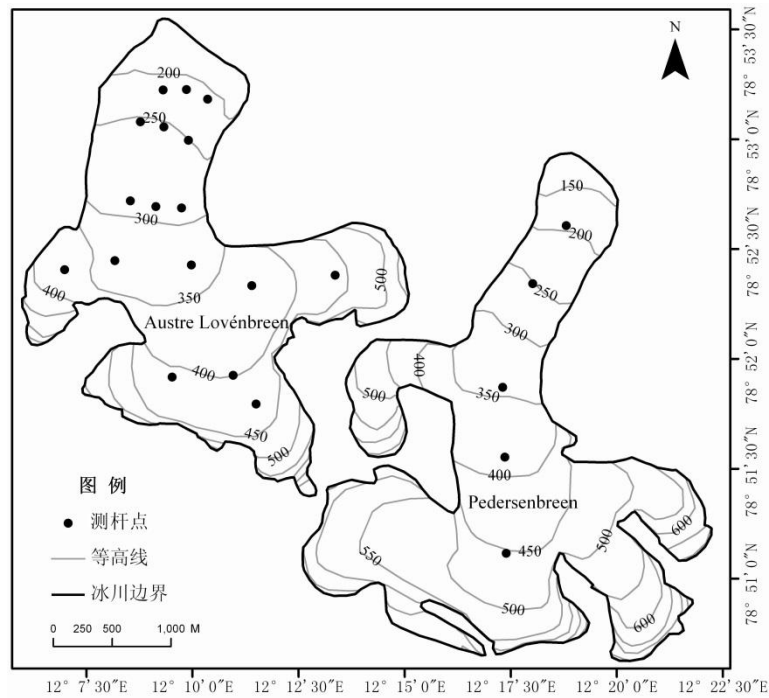


图 1 北极 Austre Lovénbreen 和 Pedersenbreen 冰川物质平衡观测点示意图

4.1.1.2 按现场条件和观测需求布设测杆。如：仅沿冰川主流线布设测杆，或在均匀布设测杆的基础上增设冰川主流线测杆。

4.1.1.3 测杆可为木质、金属或其它材料（如竹竿），依据冰川形态、大小、所处气候环境、物料搬运和观测难易程度等因素综合考虑选择，标上刻度和不同颜色，并设有观测点编号和标志。

4.1.1.4 在消融期定期检查测杆情况，对即将倾倒的测杆进行原位补杆，对已倒伏或埋没的测杆在原位或其附近进行补杆，对补杆应拍照和文字详细说明。

4.1.2 适用范围

适用于表面高差和坡度较小、形态较为规则、裂隙较少且宽度较小、运动速度较缓的冰川，以及冰盖、冰帽。

4.1.3 观测内容

观测内容如下：

a) 冬平衡观测

消融开始前，对冰川表面各观测点积雪厚度、雪坑剖面层位特征和不同特征层位密度进行观测，一些冰川还应进行附加冰和内补给的形成过程和量值观测。该观测结果与上年消融季末观测结果之差折算成水当量即为冬平衡。

b) 年平衡观测

消融季末，对冰川积累区各观测点剩余积雪厚度、雪坑剖面层位特征和不同特征层位密度进行观测，对冰川消融区各观测点则应记录冰面高度。该观测结果与上年消融季末观测结果之差折算成水当量即为年平衡。

4.1.4 观测频率

一般以物质平衡年为1个周期，每年消融开始前和消融季末各观测1次。也可按观测需求增加观测频率。

4.1.5 观测记录

冰川物质平衡观测记录表见附录A，表面雪、雪坑观测和采样记录表见附录B。

4.2 辅助观测方法

4.2.1 重复地面立体摄影测量法

4.2.1.1 适用于因地形因素表面数据难以采集的冰川。

4.2.1.2 测量整条冰川物质平衡，而不是测定某一具体观测点上物质平衡。

4.2.1.3 每隔1年或几年制作1张精确的冰川地形图，比较2张图，确定冰川在2次测图相隔期间的体积（包括面积、高程）变化，之后应用粒雪和冰的平均密度将体积变化换算成物质变化。

4.2.1.4 冰川表面高程变化主要由物质平衡、冰川运动、雪与粒雪的压实作用、雪层内补给和冰内冰下消融等因素造成。为计算冰川物质平衡应结合动力学模式将物质平衡以外因素的贡献除去，冰川宽度、沿主流线厚度、坡度分布和降水随高程变化等数据是必要辅助参数。

4.2.1.5 一般在消融季末进行冰川地面立体摄影测量。

4.2.2 水文气象学方法

4.2.2.1 适用于因地形因素表面数据难以采集的冰川流域。

4.2.2.2 测量冰川流域的平均降水量、径流深、平均蒸发量、渗透水量、所有冰川及雪斑物质平衡、冰川面积所占比例。

4.2.2.3 冰川流域的水量平衡按公式（1）计算：

$$b=p-r-e-i\cdots\cdots\cdots(1)$$

式中：

b ——冰川流域的水量平衡，单位为毫米（mm）；

p ——冰川流域的平均降水量，单位为毫米（mm）；

r ——冰川流域的径流深，单位为毫米（mm）；

e ——冰川流域的平均蒸发量，单位为毫米（mm）；

i ——冰川流域的渗透水量，单位为毫米（mm）。

4.2.2.4 冰川流域的物质平衡按公式（2）计算：

$$b_g = \frac{b}{k}\cdots\cdots\cdots(2)$$

式中：

b_g ——冰川流域所有冰川及雪斑的物质平衡，单位为毫米（mm）；

b ——冰川流域的水量平衡，单位为毫米（mm）；

k ——冰川流域内冰川面积（ S_g ）所占比例。

注： $k=S_g/S$ ， S 为冰川流域面积，单位为百分比（%）。

4.2.3 高频度物质平衡和气象要素观测法

4.2.3.1 在4.1.4的基础上增加气象要素观测和观测频率，适用于无法获取完整的冬平衡和年平衡数据的冰川。

4.2.3.2 观测网络布设的要求见 4.1.1, 但测点密度与观测频率高于测杆/雪坑法。1 天 1 次或几天 1 次进行冰川表面气象要素和消融量同步观测。

4.2.3.3 观测仪器包括便携式温湿仪、风速风向仪、辐射仪等。

4.2.3.4 气象观测要素包括冰雪表面温度、冰面以上 1.5m 大气温度和湿度、近冰面及冰面以上 1.5m 风向和风速、入辐射、出辐射和云量。

4.3 测量精确度

测量精确度要求如下:

- a) 经度、纬度精确到秒 (");
- b) 海拔高度及其精确度单位为米 (m), 保留 2 位小数;
- c) 表面坡向、标杆倾向精确到度 (°); 表面坡度、标杆倾角单位为度 (°), 保留 1 位小数;
- d) 标杆杆高、雪深单位为米 (m), 保留 2 位小数;
- e) 雪粒径单位为毫米 (mm), 保留 2 位小数;
- f) 雪冰温度单位为摄氏度 (°C), 保留 2 位小数;
- g) 雪冰密度单位为克/立方厘米 (g/cm^3), 保留 2 位小数;
- h) 雪硬度单位为牛顿 (N), 保留 2 位小数;
- i) 降水量、径流深、平均蒸发量和渗透水量精确到毫米 (mm)。

5 表面运动观测

5.1 观测点布设

5.1.1 一般冰川物质平衡观测点即是冰川表面运动观测点。也可根据山谷形态、冰面形态增设若干观测点。应以测杆与冰川表面相交处(钻孔位置处)为测量基准。

5.1.2 将不易消失的观测标志物布设在冰面上或选择冰面上的特征物(如冰裂隙)作为观测点。

5.2 观测频率

观测频率根据冰川运动观测需求而定。若为取得年运动速度, 需每年观测 1 次, 每次观测时间均应在消融季末; 若为分别获得积累期和消融期的运动速度资料, 则应在每年消融开始前和消融季末各观测 1 次; 若为取得月运动速度, 则应每月测量 1 次; 若为研究更短时间(如昼夜、小时等)内的冰川运动变化, 则应在相应的时间段上复测。

5.3 观测方法

5.3.1 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 精密单点定位法

5.3.1.1 适用于快速冰流区。

5.3.1.2 使用 1 台 GNSS 接收机的非差分载波相位观测数据, 利用精密卫星轨道和精密卫星钟差进行测量结果修正、并进行单点定位。

5.3.2 GNSS 静态测量法

5.3.2.1 选取测量型 GNSS 接收机至少 2 台, 满足 1cm 以下精确度的测量要求。

5.3.2.2 架设 1 台或更多 GNSS 接收机于起算基准点上, 接收天线应精确对中, 其它 GNSS 接收机架设于冰川运动观测点上, 然后同步观测若干时间, 时间长度取决于基线的长度, 一般 20km 以下观测不少于 1h, 更长基线观测不少于 2h。

5.3.2.3 对于 20km 以下的短基线，采用 GNSS 接收机生产厂家的随机数据处理软件解算基线；对于长基线，应采用专业版 GNSS 解算软件。

5.3.3 载波相位动态实时差分全球导航卫星系统(Real Time Kinematic Differential GNSS, RTK-GNSS)测量法

5.3.3.1 载波相位动态实时差分全球定位系统测量通常由 1 台基准站接收机、1 台或多台流动站接收机和用于数据传输的电台组成，满足 5cm 以下精确度的测量要求。

5.3.3.2 将基准站架设在上空开阔、没有强电磁干扰、多路径误差影响小的具有已知坐标的参考点位上，设置基准站为动态测量模式。

5.3.3.3 在流动站的手簿上定义新建工程等各项参数。若有当地坐标系统与 WGS-84 坐标系统的坐标转换参数，在测量控制器中直接输入，建立坐标转换关系。若坐标转换参数未知，直接采用点校正方式建立，平面至少 3 个点，若进行高程拟合则至少有 4 个水准点参与点校正。

5.3.3.4 流动站接收机在跟踪 GNSS 卫星信号的同时接收来自基准站的数据，然后根据相对定位原理，将载波相位观测值实时进行差分处理，得到基准站和流动站之间的坐标差值。坐标差值加上基准站坐标即可得到流动站站点的 WGS-84 坐标，通过坐标转换参数转换得出流动站站点的平面坐标和海拔高度。一段时间后，进行复测；通过比较 2 次流动站点的位置变化信息，可取得冰川在此期间的运动距离和方向。

5.3.4 前方交会法

5.3.4.1 建立控制点

冰川区一般可归为测量学中的小地区，其控制网在可能的情况下应与高等级控制网联系起来，如果测区内或附近无高等级控制点，或有高等级控制点而不便连接时，则建立测区独立控制网。各类型冰川控制点的布设要求如下：

- a) 冰斗-山谷冰川类型：选择有利地形在冰川一侧布设 1 条或 2 条控制基线，即可控制冰川上全部的运动点；
- b) 小山谷冰川类型：选择横跨冰川方式布设控制基线，通过该基线即可控制冰川上半部分和下半部分的流速点，做正反前方交会。若基线附近的流速点因角度限制而无法观测时，可设立 1 条辅助基线，进行交会；
- c) 大山谷冰川类型：应布设较多的速度断面，通常 1 条基线不可能同时兼顾 2 个断面，需要数条以至数十条基线布设控制网。

5.3.4.2 测量观测点坐标

通过测量交会点与周边已知坐标点所构成的三角形的水平角确定观测点的平面坐标，再通过三角高程测量确定观测点高程。

5.3.5 重复地面立体摄影测量法

5.3.5.1 在固定不变的摄影基线上作周期性（一定时间间隔）的重复地面摄影，经过立体自动绘图仪或立体坐标仪计算出冰川表面观测点的空间变化值，测出观测点的速度，反算观测点的运动方向。摄影基线最适宜的长度为冰川平均宽度的 1/15，精确度不低于 1/3000。复测至少应在每年消融初期和消融末期进行。

5.3.5.2 从摄影基线上摄取相应断面上的所有运动标志点；摄影基线方向应与冰川主轴线一致；摄影基线点应埋设长期保存标志，并标有精细的点位中心；为了提高测量精确度，在每个立体像对范围内，应实测 2 个以上的检查点，以修正摄影过程中存在的内外方位元素误差。

5.3.6 特征跟踪法

5.3.6.1 目视跟踪法

5.3.6.1.1 应用光学图像和合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar, SAR）图像，通过测量两幅不同时间成像并配准的图像上同一表面观测点的位移获得该点的冰面位移方向和速度。

5.3.6.1.2 同一地区 2 幅不同时间成像图像的配准是正确测量冰面流速尤其短时段流速的前提。通常选用图像上的多个固定点，如无法找到理想的固定点，可将 2 幅数字图像经高低通滤波，生成能显露冰面某些地形特征的图像，尤其是反映冰下地形的低通滤波图像有可能提供辅助选点。当固定点选择合适时，2 幅图像配准偏差一般不超过 1~2 个像元。配准后 2 幅高通滤波图像显露的随冰面移动的小尺度特征及裂缝，可作判读冰面运动的选点。

5.3.6.2 最大互相关法

5.3.6.2.1 仅适用于中期和长期的平均表面运动计算，通常 1 个图像对之间的时间间隔为 1 年或 1 年以上。

5.3.6.2.2 应用光学图像和 SAR 图像，对同一冰面特征、不同时间所形成的 2 幅图像的亮度或后向散射强度实施交叉相关测量，利用相关点在平面图像上的位移等信息提取冰川流速。该结果通常与冰川实际流速相近而无需订正，但当冰面出现强烈变形和较大旋转时，可采用仿射变换加以修正。

5.3.7 雷达干涉法

5.3.7.1 差分干涉测量法

5.3.7.1.1 二轨差分法

适用范围和测量步骤如下：

- a) 适用于高相干相位和低边缘率地区测量冰在雷达斜距方向的偏移量。对于无数字高程模型（Digital Elevation Model, DEM）数据的地区无法采用该方法，虽然历史 DEM 可能会引入新的误差，但是在最新 DEM 数据缺乏的情况下该方法是较好选择；
- b) 测量步骤依次包括：
 - 1) 精确配准 SAR 图像对；
 - 2) 生成干涉图；
 - 3) 将 DEM 采样至干涉图像像元的大小，基于多普勒方程、斜距方程和椭球方程，利用轨道参数将 DEM 转换到雷达坐标系统中并模拟成干涉条纹图；
 - 4) 从干涉条纹图中减去 DEM 模拟的地形干涉条纹图；
 - 5) 进行相位解缠，将差分后的干涉条纹图投影到地理坐标系中。

5.3.7.1.2 三轨差分法

适用范围和测量步骤如下：

- a) 适用于高相干相位和低边缘率地区测量冰在斜距方向的偏移量；
- b) 测量步骤依次包括：

- 1) 利用 3 幅 SAR 图像进行组合, 1 幅始终用作主图像, 分别与另外 2 幅图像生成 2 幅干涉图;
- 2) 1 幅是只包含地形信息的干涉图 1 (一般采用相隔 1 天的重复轨道数据), 另 1 幅是包含地形信息和地表形变信息的干涉图 2;
- 3) 干涉图 2 与干涉图 1 做差即可去除地形相位;
- 4) 经平地效应去除后即可进行相位解缠;
- 5) 解缠之后的形变相位投影到地理坐标中。

5.3.7.2 相干性跟踪法

5.3.7.2.1 适用于高相干相位地区。

5.3.7.2.2 使用单视复数 SAR 图像的相位信息; 每次过程搜索均为获取来自 2 幅匹配图像的 2 个样本数据之间的最佳匹配; 通过相干性跟踪, 从整幅中选择小斑点 (内核), 生产系列偏移量的干涉图, 进行相干性估算。

5.3.7.3 强度跟踪法

强度跟踪法与相干性跟踪法类似, 但不同的是使用实值幅度图像的强度信息。该方法基于 SAR 强度图像对的相关程度, 通过计算搜索窗口与目标窗口影像强度的互相关性, 寻找互相关函数的峰值以确定搜索窗口与目标窗口的偏移量, 应用于低相干性的图像对, 同时测量方位向和斜距方向的地表位移。

5.3.8 观测记录 and 数据处理结果

冰川 GNSS 观测记录 and 数据处理结果表见附录 C。

6 温度观测

6.1 表面温度观测

6.1.1 直接测量法

按 GB/T 35233-2017 中 4.2、4.3、4.4.1、4.4.3、4.4.4、4.5.1、4.5.2.1、5.1.1、5.1.3、5.2、5.3、第 7 章和第 9 章的规定执行。冰川表面温度观测记录表见附录 D。

6.1.2 卫星资料反演法

陆地卫星专题制图仪 (Thematic Mapper, TM) 影像和气象卫星 AVHRR 热红外通道亮温可反演冰川表面温度 (冰、雪和冰碛表面温度)。以 Landsat-5 TM6 为例, 温度算法如下:

a) 像元谱辐射亮度按公式 (3) 计算:

$$L(\lambda) = L_{\min} + \frac{(L_{\max} - L_{\min})DN}{255} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$L(\lambda)$ ——像元谱辐射亮度值, 单位为毫瓦/(平方厘米·球面度·微米) [mW/(cm²·sr·μm)];

L_{\min} ——传感器最低辐射亮度标定值, Landsat-5 TM6 升空前为 0.1238, 单位为毫瓦/(平方厘米·球面度·微米) [mW/(cm²·sr·μm)];

L_{\max} ——传感器饱和辐射亮度标定值, Landsat-5 TM6 升空前为 1.5600, 单位为毫瓦/(平方厘米·球面度·微米) [mW/(cm²·sr·μm)];

DN ——遥感影像像元亮度值，为无量纲单位。

b) 地表亮温按公式(4)计算：

$$T(K) = \frac{X_2}{\ln \left[\frac{X_1}{L(\lambda)} + 1 \right]} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$T(K)$ ——地表亮温，单位为开(K)。

注 1: $X_1=60.776$ [mW/(cm²·sr·μm)]；

注 2: $X_2=1260K$ 。

6.1.3 测量准确度

直接测量法准确度为±0.1℃，卫星资料反演法准确度为±1K。

6.2 内部温度观测

6.2.1 测量技术

6.2.1.1 冰温测量多采用高精度金属热电阻材料的传感器，温度分辨率为 0.01℃，准确度在 0.05℃以内，读数采用欧姆表（分辨率为 0.1Ω），导线应采用浅色电线。冰川内部温度观测记录表见附录 E。

6.2.1.2 内部温度按公式(5)计算：

$$T = D \left(\frac{C}{\ln(R-H)-B} - 273.15 \right)^2 + E \left(\frac{C}{\ln(R-H)-B} - 273.15 \right) + F \dots\dots\dots (5)$$

式中：

T ——换算出来的温度，单位为摄氏度(℃)；

R ——测得的电阻值，单位为欧姆(Ω)；

H ——导线的电阻，单位为欧姆(Ω)；

$B、C、D、E、F$ ——根据导线长度换算出来的系数。

6.2.2 操作步骤

6.2.2.1 浅层冰温测量一般沿冰川主流线在冰川积累区中部、平衡线附近及消融区中部各钻取 1 个垂直探孔，其深度应在活动层以下。探孔内放置高精度金属热电阻材料传感器温度探头链，并密封探孔。温度探头的深度按需求设置，一般在温度变化较大的冰层设置较密的探头。

6.2.2.2 深孔冰温测量一般在探孔内设置 2 套高精度金属热电阻材料传感器温度探头链，1 套按 6.2.2.1 的要求设置；1 套深度到达钻孔底部，温度探头的深度按需求设置。

6.2.2.3 温度探头会根据冰川自身水热状况进行充分的平衡，平衡时间可通过观测数据进行判断。

6.2.3 测量频率

测量频率为10天或1个月，也可根据需求调整。

6.2.4 人工数据采集

人工数据采集过程中需要1个欧姆表，欧姆表的正极接在探头上，负极接在探头的负极上，将读数记录，然后回到室内进行换算。

6.2.5 自动数据采集

通过接入数据采集器实现自动数据采集。该装置包括数据采集器、太阳能板、太阳能板支架和蓄电池。数据采集时间间隔为30min，也可根据需求调整。

7 气象和水文观测

7.1 气象观测

7.1.1 常规气象观测

7.1.1.1 一般要求

除时间、最低气温和最大风速外，按GB/T 35221-2017中第4章、第5章、第7章和第8章的规定执行。条件不允许时，应简化观测要素、方式和频率。

7.1.1.2 观测要素

常规气象观测要素包括气压、空气温度和湿度、风向和风速、降水、日照、蒸发、辐射、地表温度、浅层和深层地温、雪深等。实际观测时可根据不同观测需求选择部分或全部要素进行观测。

7.1.1.3 观测方式和频率

常规气象观测分为人工观测和自动观测，定时观测为24个正点时次，不能进行24次观测时，应每天进行08时、14时、20时或者02时、08时、14时、20时的定时观测。也可根据不同观测需求选择相应时次进行观测。

7.1.1.4 特殊技术要求

时间、气温和风速的技术指标根据具体情况做适当调整。时间以当地时间为准；在南极内陆高原，气温表能指示当地最低气温；在冰盖边缘，风速表能测量当地最大风速。

7.1.2 自动气象观测

7.1.2.1 一般要求

在常规气象观测条件不允许的地区，采用自动气象站进行观测。除时间、最低气温和最大风速外，按GB/T 33703-2017中第4章、第5章、第6章、第7章、第8章和GB/T 35237-2017中第4章、第5章、第6章的规定执行。

7.1.2.2 观测要素

气压、温度和湿度、风向和风速、降水、日照、蒸发量、辐射、地温、雪深等全部或部分要素。

7.1.2.3 特殊技术要求

按7.1.1.4执行。

7.1.3 质量控制

质量控制按QX/T 117-2020中第4章、第5章和QX/T 118-2020中第3章、第4章的规定执行。

7.2 水文观测

7.2.1 断面选择

水文观测断面按以下要求选择：

- a) 选择天然水文断面作为野外水文观测断面；
- b) 室内研究流域地形图，查看流域水系，选择多个能够控制流域干支流处作为候选水文断面，断面上下游河道应顺直，河道比降小；
- c) 河流低水位时期现场考察候选断面实况，断面上下游流速应平稳，河床底部石块均匀稳固、少泥沙堆积，河道无漫滩、无分流斜流、无乱石阻碍；
- d) 应避开回水、上下游筑坝、引水等影响，避开码头、船坞和废水污水排入地点，使观测资料具有代表性和准确性；
- e) 基于以上条件，通常在冰川末端附近建立水文断面或尽量把水文断面选择在桥梁附近，为后期流量测定创造有利条件。

7.2.2 水位和流量

7.2.2.1 水位

7.2.2.1.1 观测设备

水尺或水位计，水尺或水位计读数加其零点高程即得水位。

7.2.2.1.2 水尺观测

水尺观测要求如下：

- a) 整个观测期内，布设在河道中的第 1 根水尺固定不动。水位升高淹没水尺导致不能继续测量水位时，应在岸边补设第 2 根（第 3 根……，依次类推）水尺，其读数换算为第 1 根水尺读数。观测方式是人工观测。观测频率据水位日变化而定，平时时每日观测 1~2 次；强消融季节和有洪水、结冰、流凌（流冰）、冰凌堆积、冰坝和冰雪融水补给河流等现象时，根据水位实际情况增加观测次数，尤其要捕捉到高水位，使观测数据反映水位日变化过程；
- b) 在保证安全的前提下，在高水位和低水位期应测量河床变化，及时掌握河床下切和淤埋状况，并将河床变化值订正到水尺测量的水位值上。

7.2.2.1.3 水位计观测

水位计观测要求如下：

- a) 使用浮子式水位计时应在河道旁开挖引水槽和测井，河水通过引水槽进入测井。测井内安装浮子式水位计，水位变化自动记录在自计纸上。测井应定期清淤。浮子式水位计应和水尺配合使用，观测水尺水位时记录观测时刻，以便后期将此时此刻的浮子式水位计记录数据与水尺记录水位对应，水尺观测要求见 7.2.2.1.2。根据自计纸记录的最长时间定期更换自计纸，并对自计笔加注墨水。每更换 1 张自计纸，应在开始记录处标出此刻水尺记录的水位值，自计纸上的时间刻度与真实观测时间保持一致；最后将浮子式水位计记录数据转化为水位；
- b) 压力式水位计通过测量水位计上部水压从而获取水位值，其测得的压力值是水压和大气压力之和。压力式水位计测量值减去大气压，获得净水压力值，结合河流水的密度，通过液体压强公式（ $P=\rho gh$ ）计算获得水位计上覆水水深。结合水尺读数和对应时刻的水位计水深计算值，将水位计水深转化为水位。水位计在低水位时装入水面下，完成测量后再在低水位时取出。使用压力式水位计时，应避免水位计被泥沙淹埋。压力式水位计观测记录保存在水位计内存内，观测频率根据需要设定；

- c) 超声波水位计工作原理是把水位计固定安装在水面以上建筑物上,依靠测量水位计和液面之间的距离变化反映水位变化。观测频率根据需要设定。

7.2.2.2 流量

7.2.2.2.1 观测设备

常用测流设备包括旋杯式流速仪和声学多普勒测流仪。

7.2.2.2.2 旋杯式流速仪观测

旋杯式流速仪观测要求如下:

- a) 使用一点法测流,即取 0.6 倍水深处的流速作为测点平均流速。也可取 0.2 倍水深处流速和 0.8 倍水深处流速的均值作为测点平均流速。根据水文断面宽度,将整个断面等距分为几个小断面,测量并记录小断面起始和结束处两端水深、0.6 倍水深处流速;
- b) 采用测深杆、测深锤或铅鱼测量水深时,应在垂线上进行 2 次测深。水深不小于 5m 时记至 0.1m,小于 5m 时记至 0.01m。采用测深杆测得的 2 次水深相差应不大于 5cm,河底不平坦或有波浪时应不大于 8cm;采用测深锤或铅鱼 2 次测得水深相对误差不大于 3%,河底不平坦或有波浪时应不大于 5%,2 次测量水深平均值作为实测水深;
- c) 测量水深时应同时进行水位观测:当水位变化小于 5cm 时,应在同一岸观测开始和结束得到水位,以其算数平均值作为计算水位;当水位变化大于 5cm 时,应在各垂线测深时观测水位,以各垂线的观测水位作为该垂线河底高程的计算水位;
- d) 岸边到第 1 个测点、岸边到最后 1 个测点构成的小断面,按三角形计算。小断面平均流速为断面起始和结束处流速均值。根据流速乘断面面积,即可算出流量;小流量之和即为断面总流量。

7.2.2.2.3 声学多普勒测流仪观测

按 SL337 执行。

7.2.2.3 观测记录

冰川水文观测记录表见附录 F。

7.2.3 其它辅助观测

7.2.3.1 冰川消融观测

消融期内,通过测杆/雪坑法测量同期冰川物质平衡状况,并经由雪冰密度换算成水当量,具体要求见 4.1。

7.2.3.2 气象观测

气象观测要求如下:

- a) 结合流域实际情况,布设多个气温、降水观测点,反映该流域水热状况。如流域高程变化较大,至少应在低海拔地点和高海拔地点各布设一套气温和降水观测设备;
- b) 流域内降水多为固态降水,降水测量应使用固态降水观测设备;
- c) 蒸发量和升华量可用蒸渗计测量,也可根据不同参数化方案求取。

8 雪冰样品采集

8.1 雪冰样品采集工具

8.1.1 采样工具

8.1.1.1 一般要求

样品用于分析氢氧稳定同位素组成时，采样工具应保证干燥；样品用于分析微粒、常规化学成分时，采样工具应由强度高、成分纯、表面光洁的材质（如不锈钢或有机玻璃）制作，且应在百级洁净实验室洗净、晾干，用洁净塑料袋包装、密封，运往采样现场。样品用于分析有机成分时，不应采用有机玻璃采样工具；样品用于分析重金属成分时，不应采用金属材料采样工具。

8.1.1.2 具体要求

8.1.1.2.1 尺

选用标尺（如按厘米分划刻度，高齿尖，不锈钢或有机玻璃材质）、钢卷尺。

8.1.1.2.2 铲

选用不锈钢材质大铲或小铲、铝合金材质大铲。

8.1.1.2.3 锯

选用大板锯、不锈钢锯。

8.1.1.2.4 钻

应根据观测和采样目的选择钻的型号、大小。

8.1.1.2.5 其它采样、现场测量工具

根据采样需要选择其它采样、现场测量工具，如：密度铲、游标卡尺、机械台秤或电子天平、雪冰芯架、刮板、粒度板、坐标纸、铅笔、记号笔、订书机、裁纸刀（或剪刀）、塑料封口机、塑料薄膜、封箱胶带、簸箕、冰镐等。

8.1.2 盛样容器

8.1.2.1 样品瓶

采用密封好、强度高且洁净的样品瓶。

8.1.2.2 塑料袋、塑料筒袋

采用洁净材料。塑料筒袋的直径应大于雪冰芯直径2~3cm。

8.1.2.3 保温箱

采用密封好、纸质或合金材质、内以特种保温材料为隔热层的保温箱。合金材质的保温箱还可加装把手。

8.2 表层雪采样

8.2.1 表层雪采样点选择与定位

8.2.1.1 采样点选择

采样点可根据不同的采样目的进行选择，一般选择在典型区的代表点。

8.2.1.2 采样点定位

根据已有地形图、地貌图、航卫片等资料在室内确定采样点位。实施野外工作时，采用车载导航型或手持式GNSS接收机确定采样点位。

8.2.2 表层雪采样方法

8.2.2.1 表层采样

在采样点进行表层雪特征描述、密度测量，采3个或5个样；3个样以等边三角形布点，5个样以正方形布点。应在微地貌的同一部位采集每个样。取样时，采样者位于下风向，将样品瓶直接在雪面上向上风向推进，瓶口、瓶内侧及瓶盖内侧不可接触除样品以外其它任何物品。

8.2.2.2 表层浅雪坑采样

在浅雪坑内进行雪层地层学特征描述、密度测量，确定冰片层、冰壳层和深霜层的分布、雪晶粒度变化以及冬季层、夏季层，绘制雪层剖面示意图。按层采样，采样分辨率依观测目的而定，可采取2cm、3cm、5cm或其它分辨率。

8.2.2.3 表层浅雪芯采样

先在采样点附近试钻，以雪把钻头、钻筒内外壁擦洗干净，之后钻取浅雪芯。应以洁净工具（刮板等）把浅雪芯表面雪渣清除，并将其放入洁净塑料筒袋中密封保存。

8.2.3 表层雪采样记录

表层雪采样记录应包括采样点号、采样点经纬度和海拔高度、采样时间（年、月、日、时、分）、层位深度、采样量、雪面地貌特征（包括雪垄走向、雪垄顶谷高差（平均值）、雪面微地貌主要形态、雪面松、硬程度、风吹雪特征）以及备注。

8.3 雪坑采样

8.3.1 采样点选择

采样点选择在冰川上具有代表性的点。在坡度不变地区，按给定高差变化布置雪坑；在坡度平坦地区，则以一定间距布置雪坑。若有大的地形起伏，在不同地貌部位挖掘雪坑。若为获取古气候、古环境信息，则不应选择风吹雪地貌发育区，而应选择积累率大的地区。

8.3.2 雪坑挖掘

8.3.2.1 雪坑一般为长方形（如3m×2m）。通常沿雪坑迎风面（长方形1条长边）依次挖掘雪块，直至所需深度。

8.3.2.2 以雪坑迎风面外1m范围内留作采样，不受任何污染；若有风吹雪，应在雪坑迎风面外1m处砌1堵雪墙。

8.3.2.3 在雪坑背风面留1个台阶；雪坑壁应垂直，坑底应平整。

8.3.3 雪坑地层描述

在雪坑迎风面修出1个垂直剖面，其旁侧垂直竖立1根标尺。由表面向下逐层确定雪层、冰壳、冰片、冰腺、冰脉层、透镜体、标志层（如深霜层、沉积间断层、污化层等）的界线，并用标记物标出。以长

条状坐标纸附在雪坑壁上，坐标纸顶端与雪表面一致，按1:1比例把地层情况包括雪粒径、温度、密度和硬度观测结果记录在坐标纸上，绘制剖面图，文字与符号并用。雪坑地层还可用照相辅助记录。

8.3.4 雪坑采样过程

8.3.4.1 采样分辨率依样品分析研究目的和当地年积累率而定。若重建气候环境的季节性变化，1个年层至少取得8个样品。

8.3.4.2 采样前，应依次穿戴洁净工作服、一次性洁净口罩、一次性洁净手套，并对雪坑剖面进行修整，清除可能被污染的表面雪层；所有采样工具、用品均放置在雪坑的下风区域。

8.3.4.3 采样时，可由上向下或由下向上连续取样，以每5组或10组样品为一段，以标记物插入雪坑壁进行分段；由上向下取样时，边取样边清除下边雪层上的浮雪；每采完一段后将样品按顺序放入洁净塑料袋并摆入保温箱。

8.3.4.4 应在剖面图上记录采样瓶始末编号、采样组数、每组样品个数、采样时间、装箱编号，并在雪冰样品箱上标注雪坑位置、采样瓶始末编号、采样时间。

8.3.4.5 采样完成后，在雪坑坑底钻取数米长的雪芯，并在坐标纸上按1:1的比例直接标绘雪芯剖面图。

8.4 冰芯钻取和现场处理

8.4.1 冰芯钻取地点选择

冰芯钻取地点一般选择在年平均气温低于-15℃、夏季气温低于0℃、积累率高、风吹雪弱、雪面较平坦、远离污染源、冰层变形小且运动慢的地区。

8.4.2 冰芯钻取

8.4.2.1 仪器设备

浅冰芯钻机系统一般由绞车、电缆、电力控制系统、动力钻头（和钻筒）以及发电机5个子系统组成，其钻进机械原理是单筒翼板式或绷簧式反扭装置。

深冰芯钻机系统由地面设施和钻机设备两部分组成。地面设施是钻塔、绞车、绞盘、起重机拱形悬架、钻孔液加注系统、终端控制计算机、控制面板及上述设施的附属设施；钻机设备由钻头、冰芯内筒、冰芯外筒、冰屑存储筒、高压密封腔、中继计算机、电机、减速器、铠装电缆、反扭矩装置以及钻机与电缆连接端等零部件组成。其钻进机械原理是双筒式绷簧反扭装置。

8.4.2.2 钻取时间

冰芯钻取所需时间依钻取长度而定，从数天（浅冰芯）至数年（深冰芯）不等。

8.4.3 冰芯编目

8.4.3.1 冰芯编目内容

钻取点名称（位置）、钻取时间、编号，每段冰芯顶部深度、底部深度、整段长度、上部位置、下部位置，一段中包含几个自然段、各断口形态，雪冰晶粒度，污化层，火山灰层等。

8.4.3.2 冰芯编目过程

在洁净有机玻璃冰芯架旁平行放置1根不锈钢标尺。把冰芯放置在冰芯架上，冰芯顶端与不锈钢标尺零刻度对齐，从冰芯顶端开始按1:1比例在坐标纸上进行冰芯编目。

冰芯编目工作完成后，把冰芯装入洁净塑料筒袋，以订书机或塑料封口机封口，并在塑料筒袋外侧记录本段冰芯编号和冰芯钻取起止方向。

8.4.4 冰芯储存和运输

冰芯存储和运输要求如下：

- a) 冰芯应装入雪冰样品专用保温箱储存与运输，深部冰芯放置在保温箱底部；
- b) 冰芯之间以及冰芯与箱体之间的空隙可用洁净的雪充填；保温箱内顶部也可有少量空间放置制冷剂；
- c) 保温箱上应标明该箱冰芯的钻取点名称（位置）、钻取时间、编号、深度、编目者等；
- d) 在现场用封箱胶带封箱、打包带加固保温箱；装有冰芯的保温箱在运抵低温实验室之前不应再打开；
- e) 保温箱尽快放入低温冰库保存；若暂时无法放入低温冰库，则应挖掘雪坑并将其掩埋起来；
- f) 冰芯在储运过程中应一直处于冻结状态；储运温度为 $-25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

9 遥感观测

9.1 影像图和编目

9.1.1 在可见光、近红外图像上冰面特征通常难以识别，需对遥感图像进行增强处理，突出冰面地形；分析雪冰及周围地物各波段反射率的变化及雪冰地貌的影像特征，选出最佳 3 个波段图像予以适当增强处理，最终合成 1 幅易于判读的假彩色图像。

9.1.2 遥感自动冰川编目应首先从图像上自动识别并圈定冰川，然后通过多光谱影像波段比值法建立合适的判定规则对冰川进行提取并编目。

9.2 地形图测绘

9.2.1 倾斜摄影测量法

9.2.1.1 对同一观测区获得具有一定重叠度（ $> 60\%$ ）的摄影测量影像，通过影像同名点匹配和共线方程获得观测区数字高程模型。

9.2.1.2 通过一定数量的已知高程地面控制点（控制点高程由 5.3 的方法获取，也可由 9.2.2 和 9.2.3 两种方法测量结果内插细化得到）对观测区数字高程模型进行校准，获得水平分辨率较高的三维地形，进而生成坡度、流向等高分辨率影像数据，分析冰川表面特征及其变化。

9.2.2 合成孔径雷达干涉测量法（Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR）

9.2.2.1 InSAR（具体方法见图 2）仅需少量已知高程地面控制点即可获得较高水平分辨率的冰面地形，高程精确度为数米至数十米。

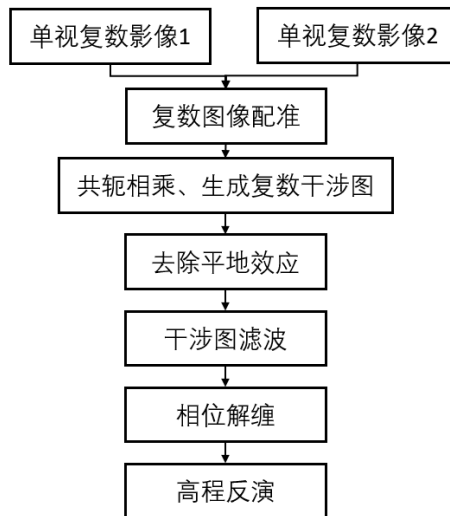


图 2 合成孔径雷达干涉测量方法

9.2.2.2 利用 2 幅合成孔径雷达 (SAR) 复图像提取干涉相位差, 将其转化成 2 雷达至测点斜距差后, 经换算即可获取地面高程。

9.2.2.3 InSAR 成像主要有如下 2 种模式:

- a) 同一飞行器上安装 2 幅天线, 1 次飞行过程同时获取 SAR 复图像对 (单轨道测量);
- b) 单天线的飞行器以几乎相重轨道两次测量同一地区, 获取 SAR 复图像对 (重复轨道测量)。

9.2.3 雷达高度计和激光高度计测量法

9.2.3.1 雷达高度计和激光高度计测量冰面高程的基本原理相同, 均是利用发射脉冲与冰面反射回波时间间隔测量飞行器与脉冲照射点的距离。前者为微波脉冲束, 具有一定的穿透性, 而后者发射的是激光脉冲束, 飞行器同一高度下照射的面积远比前者小。主要的传感器有 ERS-1/2、Envisat、Cryosat-2 和 Sentinel-3 搭载的雷达高度计、ICESat 搭载的 GLAS 激光高度计和 ICESat-2 搭载的 ATLAS 激光高度计。由于脉冲由卫星到冰面需经过大气层, 测定的高程需经过大气层延迟改正, 主要改正项有电离层延迟改正、对流层延迟改正、固体潮改正和极潮改正等。

9.2.3.2 雷达和激光测高的波形分析算法相似, 主要步骤如下:

- a) 根据观测区范围, 提取观测点的点位坐标和未改正的冰面高程;
- b) 提取观测点的高程改正信息和回波波形;
- c) 对原始波形进行拟合或统计;
- d) 对波形进行拟合时, 初步估计波形的有关参数;
- e) 对回波波形进行波形重定, 得到波形重定改正量;
- f) 对未改正的冰面高程进行波形重定改正、大气改正和固体潮改正等, 得到冰面高程。

9.3 表层观测

表层观测要素包括成冰带和雪线、冰川末端位置、冰面湖、冰裂隙、表面冰碛、反照率和物质平衡。

9.3.1 成冰带和雪线

9.3.1.1 基于各成冰带可见光、近红外反射特性或 SAR 图像后向散射系数的差异, 提取成冰带、雪线位置。

9.3.1.2 通过不同时相雪线位置的比较获得雪线位置的变化。

9.3.2 冰川末端位置

9.3.2.1 利用可见光、近红外或 SAR 图像分析冰川区与非冰川区遥感影像色调的差异，通过构建边缘提取算法，获取冰川末端位置。

9.3.2.2 利用观测时段冰川末端位置的不同，获得冰川末端位置米级以上尺度的变化。

9.3.3 冰面湖

9.3.3.1 通过冰川表面对应的可见光、近红外图像获得观测区真彩色图像，由水体（蓝色）与雪冰颜色差异提取冰面湖面积。

9.3.3.2 通过 SAR 图像冰面水体呈现比雪冰更小后向散射系数的特性提取冰面湖面积。

9.3.3.3 通过观测区所有湖泊的提取得到冰面湖数量。

9.3.3.4 通过不同时相冰面湖面积的变化和边界的差异等得到冰面湖位置变化。

9.3.4 冰裂隙

9.3.4.1 基于光学或 SAR 图像可判读冰裂隙，包括位置、方向、长度、深度等。

9.3.4.2 利用光学或 SAR 图像观测冰面的暗色调、条状特征纹理信息提取冰裂隙位置、方向、长度。

9.3.4.3 雷达高度计或激光高度计在冰裂隙最高处与最低处测得的高程值之差为冰裂隙深度。

9.3.5 表面冰碛

9.3.5.1 表面冰碛和冰面在可见光、近红外遥感图像上反差明显，有时对 TM 和多谱扫描仪（Multi-Spectral Scanner, MSS）相应波段图像不作任何图像处理，也很易识别。

9.3.5.2 利用遥感图像分析冰碛在冰面上的位置和形态，提取冰碛类型（侧碛、中碛或冰表碛）和规模。

9.3.5.3 利用热红外图像、数字图像处理技术分辨表面冰碛与周围其它环境冰碛的差异。

9.3.6 反照率

9.3.6.1 冰川表面反照率数值高、变化幅度大且迅速，决定冰面辐射平衡。

9.3.6.2 主要使用 Landsat TM/ETM+/OLI, NOAA-AVHRR 和 MODIS 数据等对冰川表面反照率进行反演。通过有限个数窄波段的遥感观测，结合反演模型、地面测量信息等将遥感观测数据转换为全波段反照率。

9.3.7 物质平衡

通过雷达高度计或激光高度计数据生成冰面高程变化图或利用微波遥感获得 DEM 差异，结合冰川面积得到观测时段内雪冰变化的体积，再乘以冰川表层平均密度得到冰川表面物质平衡。

9.4 厚度、冰床地形、内部反射层和冰下湖观测

9.4.1 厚度和冰床地形

9.4.1.1 探地雷达（Ground Penetrating Rader, GPR）通过发射天线由冰川表面向下垂直发射一定频段的电磁波，当电磁波传播到冰川底部时，由于冰川冰与下伏基岩 2 种介质存在显著电性特征，电磁波在冰-岩界面就会产生反射信号，反射信号回到冰川表面时被接收天线所接收。根据电磁信号的双程传播时间、反射信号强度和同相轴特征，GPR 实现对冰-岩界面位置的判定，以平面二维图像方式显示冰厚和冰床地形。

9.4.1.2 雪冰厚度（假定为两层均匀介质）按公式（6）计算：

$$\left(\frac{Tv}{2}\right)^2 = H^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

T——雷达波传播的双程往返时间，单位为秒（s）；

v——雷达波传播速度，单位为米/秒（m/s）；

H——雪冰厚度，单位为米（m）；

x——发射和接收天线间距，单位为米（m）。

注：对于100MHz天线，*x*=1m。

9.4.2 内部反射层

冰内浅层（冰面下约700m以内）、中部（冰面下700m~1000m）和深部（冰面下约1000m以下）分别以冰体密度、酸度和冰晶组构差异导致的介电常数变化为主，沿GPR剖面提取后向散射系数相近的冰层作为内部反射层。

9.4.3 冰下湖

根据GPR获得的冰体剖面信息进行冰-水界面提取，提取后向散射系数较大且水平分布的冰-水界面层作为冰下湖。

9.5 积累率观测

除雪坑和冰芯测量方法外，可通过GPR测量积累率。高频GPR测量分辨率较高，但低频GPR可测量较深（年代较久远）的冰层。测量过程如下：

- a) 编辑雷达回波生成的数据，对回波图像进行分析，划分等时层；
- b) 根据雪冰层密度（由雪坑和冰芯测量中获得）信息，得到雷达波在不同密度层的传播速度，从而得到不同雪冰层的积累深度；
- c) 根据雪冰层的密度和积累深度计算积累率。

9.6 质量控制

质量控制要求如下：

- a) 选择云覆盖较小的可见光、近红外遥感图像进行信息提取；
- b) 选择波形简单的雷达高度计或激光高度计观测信号进行处理；
- c) 选择凸显观测区特性的合适视向、观测时段的雷达图像进行信息提取；
- d) 选择 GPR 获得的后向反射信息连续的区域进行冰-岩或冰-水界面提取。

附录 A
(资料性)
冰川物质平衡观测记录表

表A.1给出了冰川物质平衡标杆观测记录。

观测点	日期 y/m/d UTC	时间 hh:mm UTC	经度 。	纬度 。	海拔 高度 及其 精度 m	表面 坡向 。	表面 坡度 。	直立/倾斜			标杆 高 (杆 顶距 离雪 面高 度) m	雪深 m	补杆 杆高 (杆 顶距 离雪 面高 度) m	补杆 处雪 深 m	照片 号	备注	
								直立	倾斜 。	倾角 。							

表 A. 1 冰川物质平衡标杆观测记录

观测者：

记录人：

审核人：

附录 B

(资料性)

表面雪、雪坑观测和采样记录表

表B.1给出了表面雪、雪坑观测和采样记录。

表 B.1 表面雪、雪坑观测和采样记录

观测者： 记录人： 审核人：

观测点	日期 y/m/d UTC	时间 hh:mm UTC	经度 。	纬度 。	海拔高度 及其精度 m	雪层厚度 m	照片号	备注
雪层观测和采样记录								
深度(m)	粒径 mm	温度 °C	密度 g/cm ³	硬度 N	雪层剖面描述	样品编号	样品描述	备注

附录 C

(资料性)

冰川 GNSS 观测记录和数据处理结果表

表 C.1 给出了冰川 GNSS 观测记录和数据处理结果。

表 C.1 冰川 GNSS 观测记录和数据处理结果

观测者： 记录人： 数据处理者： 审核人：

点名	观测方法	日期 y/m/d UTC	开始 时间 hh:mm UTC	结束 时间 hh:mm UTC	天线 高 m	经度 。	经度 误差 m	纬度 。	纬度 误差 m	海拔 高度 m	海拔 高度 误差 m	备注

附录 D
(资料性)
冰川表面温度观测记录表

表D.1给出了冰川表面温度观测记录。

表 D. 1 冰川表面温度观测记录

观测者: 记录人: 审核人:

观测点	日期 y/m/d UTC	02时温度 UTC ℃	08时温度 UTC ℃	14时温度 UTC ℃	20时温度 UTC ℃	日最高温 度 ℃	日最低温 度 ℃	备注

附 录 E
(资料性)
冰川内部温度观测记录表

表E. 1给出了冰川内部温度观测记录。

表 E. 1 冰川内部温度观测记录

观测者：

记录人：

审核人：

观测点	日期 y/m/d UTC	时间 hh:mm UTC	天气	温度计组编 号	检测端与零 刻度线距离 m	零刻度线与 冰面距离 m	观测仪表
传感器记录							
传感器名	电阻 Ω			备注			

附 录 F
(资料性)
冰川水文观测记录表

表F.1给出了冰川水文观测记录。

表 F. 1 冰川水文观测记录

观测者： 记录人： 审核人：

站点名称	观测设备	日期 y/m/d UTC	天气	备注	
测流记录					
测点距离岸边距离 m	测流开始时间 hh:mm UTC	测流结束时间 hh:mm UTC	测流开始水位 m	测流结束水位 m	流速 m/s

参 考 文 献

- [1] 柏延臣, 冯学智. 积雪遥感动态研究的现状及展望[J]. 遥感技术与应用, 1997, 12(2): 59-65.
- [2] 曹梅盛, 李新, 陈贤章, 等. 冰冻圈遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [3] 程晓, 李小文, 邵芸, 等. 南极格罗夫山地区冰川运动规律 DINSAR 遥感研究[J]. 科学通报, 2006, 51(17): 2060-2067.
- [4] 康建成, 温家洪, 汪大立, 等. 东南极冰盖伊丽莎白公主地区现场考察、冰雪地层和微粒特征[M]//周秀骥, 陆龙骅, 南极地区对全球变化的响应与反馈作用研究. 北京: 海洋出版社, 2004: 424-449.
- [5] 李慧林, 李忠勤, 秦大河. 冰川动力学模式基本原理和参数观测指南[M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [6] 李忠勤. 中国冰川定位观测研究 50 年[M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [7] 刘时银, 等. 冰川观测与研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [8] 秦大河, 任贾文. 南极冰川学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [9] 秦大河, 等. 冰冻圈科学辞典(修订版)[M]. 北京: 气象出版社, 2016.
- [10] 秦大河, 等. 英汉冰冻圈科学词汇(修订版)[M]. 北京: 气象出版社, 2016.
- [11] 秦大河, 等. 冰冻圈科学概论(修订版)[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [12] 全国科学技术名词审定委员会. 地理学名词(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [13] 施雅风, 黄茂桓, 任炳辉, 等. 中国冰川学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [14] 孙作哲. 喀喇昆仑山区的冰川运动速度测量[J]. 冰川冻土, 1979, 1(2): 33-38.
- [15] 王超, 张红, 刘智. 星载合成孔径雷达干涉测量[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [16] 全球综合观测战略计划冰冻圈主题编写委员会. 全球综合观测战略伙伴冰冻圈主题报告[M]. 效存德, 谢爱红, 马丽娟, 等, 译. 北京: 气象出版社, 2010.
- [17] 谢自楚, 刘潮海. 冰川学导论[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2010.
- [18] 闫明, 任贾文, 张占海, 等. 斯瓦巴尔群岛冰川学研究进展与我国北极冰川监测系统建设[J]. 极地研究, 2006, 18(2): 137-147.
- [19] 杨帆, 温家洪, Weili Wang. ICESat 与 ICESat-2 应用进展与展望[J]. 极地研究, 2011, 23(2): 138-148.
- [20] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [21] COGLEY J G, HOCK R, RASMUSSEN L A, et al. Glossary of glacier mass balance and related terms[M], IHP-VII Technical Documents in Hydrology No.86, IACS Contribution No.2. Paris: UNESCO-IHP, 2011.
- [22] KASER G, FOUNTAIN A, JANSSON P. A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers[M], IHP-VI Technical Documents in Hydrology No.59. Paris: UNESCO-IHP, 2003.
- [23] NOLIN A W, DOZIER J. A hyperspectral method for remotely sensing the grain size of snow[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 74(2): 207-216.