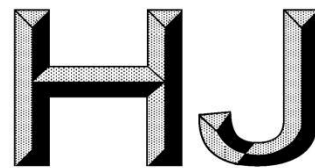


附件 6



中华人民共和国国家生态环境标准

HJ □□□□—20□□

全国生态状况调查评估技术规范 ——冰川规模和冰量变化观测

Technical specification for investigation and assessment of national ecological
status

——Observation of glacier extent and ice mass change
(征求意见稿)

202□-□□-□□发布

202□-□□-□□实施

生 态 环 境 部 发 布

目 次

前 言 ii

1 适用范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 3

5 技术流程 3

6 总体要求 3

7 冰川规模变化观测 4

8 冰川冰量变化观测 6

9 精度评价 7

10 数据检查和成果归档 9

附录 A（规范性附录） 冰川规模和冰量变化观测指标数据属性项 10

附录 B（资料性附录） 冰川属性采集信息表 12

附录 C（资料性附录） 冰川边界和长度提取方法 17

前 言

为贯彻《中华人民共和国生态环境法典》及相关法规，规范冰川变化观测，制定本标准。

本标准规定了利用天基和空基遥感数据，辅以地面观测，进行冰川规模和冰量变化观测的技术流程、总体要求、观测内容、观测技术、精度评价、数据检查和成果归档等要求。

本标准的附录 A 为规范性附录，附录 B 和附录 C 为资料性附录。

本标准首次发布。

本标准与以下标准同属全国生态状况调查评估技术规范系列标准：

《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》（HJ 1166—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——森林生态系统野外观测》（HJ 1167—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——草地生态系统野外观测》（HJ 1168—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——湿地生态系统野外观测》（HJ 1169—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——荒漠生态系统野外观测》（HJ 1170—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统格局评估》（HJ 1171—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统服务功能评估》（HJ 1173—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——生态问题评估》（HJ 1174—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——项目尺度生态影响评估》（HJ 1175—2021）；

《全国生态状况调查评估技术规范——数据质量控制与集成》（HJ 1176—2021）。

本标准由生态环境部自然生态保护司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：生态环境部卫星环境应用中心、云南大学、湖南科技大学、新疆生产建设兵团环境保护科学研究所、西藏自治区生态环境监测中心。

本标准生态环境部 20□□年□□月□□日批准。

本标准自 20□□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

全国生态状况调查评估技术规范

——冰川规模和冰量变化观测

1 适用范围

本标准规定了利用天基和空基遥感数据,辅以地面观测,进行冰川规模和冰量变化观测的技术流程、总体要求、观测内容、观测技术、精度评价、数据检查和成果归档等要求。

本标准适用于全国山地冰川规模和冰量变化的区域性调查和评估,其他地理区域可参照执行。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用标准,仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用标准,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。其他文件被新文件废止、修改、修订的,新文件适用于本标准。

GB/T 12979 近景摄影测量规范
GB/T 15968 遥感影像平面图制作规范
GB/T 23236 数字航空摄影测量 空中三角测量规范
GB/T 35643 光学遥感测绘卫星影像产品元数据
GB/T 43995 数字航天摄影测量 空中三角测量规范
GB/T 44490.2 地理信息 成像传感器的地理定位模型 第2部分: SAR, InSAR, lidar 和 sonar
HJ 1166 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查
HJ 1176 全国生态状况调查评估技术规范——数据质量控制与集成
CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范
CH/Z 3002 无人机航摄系统技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

冰川 glacier

地球上由降雪和其他固态降水积累、演化形成的在自身重力作用下处于流动状态的冰体,包括冰帽和冰盖。本标准中冰川特指山地冰川,也被称为山岳冰川、山麓冰川。

3.2

冰川规模变化 glacier extent change

冰川在一定时期内,因冰川物质平衡变化和冰川动力过程造成的边界范围、冰川长度(冰川末端位置)、表碛覆盖范围等的变化。其中,冰川几何形态的变化特征可通过重复制图的方式来获取,冰面湖塘、基岩露头等特征需在制图时独立反映。

3.3

冰量变化 ice mass change

观测周期内，由冰川不同位置的厚度减薄或增加以及崩解脱离引起的冰川体积变化，结合冰川密度计算得出的冰川质量变化，其结果以水当量为单位表示。按此方法获得的整条冰川的冰量变化，对应冰川表面的当量水层厚度，与冰川物质平衡相当。

3.4

分冰岭 ice divides

与分水岭相当的冰川分割线，是冰川上具有相反冰流向的分界线。分冰岭把复杂的冰川多边形斑块划分为不同的单条冰川。

3.5

冰川表碛 supraglacial debris

覆盖冰川消融区表面的岩屑、沙砾、粉尘等碎屑物质，其厚度在几厘米到几米之间。冰川表碛厚度分布不均，表面破碎，且越靠近冰川末端，表碛覆盖越厚。表碛分布影响冰川的融化速率，薄层表碛加速冰川融化，厚层表碛则减缓冰川融化。表碛覆盖区往往发育有冰面湖塘和冰崖。

3.6

冰川中流线 glacier centerlines

一条接近冰川主流线的虚拟参考线，是冰川表面各高程带中心点的连线，主流线指冰川表面各高程横断面上最大冰流速点的连线，对于地貌形态无异常变化的冰川，二者位置相近，因此，冰川长度测量及几何形态特征描述通常以中流线作为基准参考线。

3.7

冰川表面高程 glacier surface elevation

按照一定基准测量的冰川表面某点距离海平面的高程。可根据地面或遥感测量获取，可用等高线、规则格网或点云的高程值表达。

3.8

冰川密度 glacier density

冰川体积变化与质量水当量的转换参数，为冰川表面新雪、粒雪、冰川冰密度（范围 350 kg m^{-3} ~ 917 kg m^{-3} ）空间分布的综合体现。基于大地测量法计算多年间隔的冰川冰量变化时，推荐取值 $850 \text{ kg m}^{-3} \pm 60 \text{ kg m}^{-3}$ 。

3.9

激光雷达 light detection and ranging; LiDAR

发射激光束并接收回波获取冰川表面高程信息的星载或机载系统。

3.10

合成孔径雷达干涉测量 interferometric synthetic aperture radar; InSAR

利用两幅或多幅经配准的合成孔径雷达（SAR）复图像共轭相乘得到的干涉相位，以直接获取图像覆盖区域冰川表面高程及其变化信息的一种空间对地观测技术。

4 总则

冰川规模和冰量变化观测应遵循规范性、可操作性、先进性和经济与技术可行性的原则。

5 技术流程

基于重复观测冰川边界范围和冰川表面高程差两个关键指标，获取冰川规模和冰量变化情况，并评估其变化精度，开展冰川规模和冰量变化观测。总体技术流程如图 1。

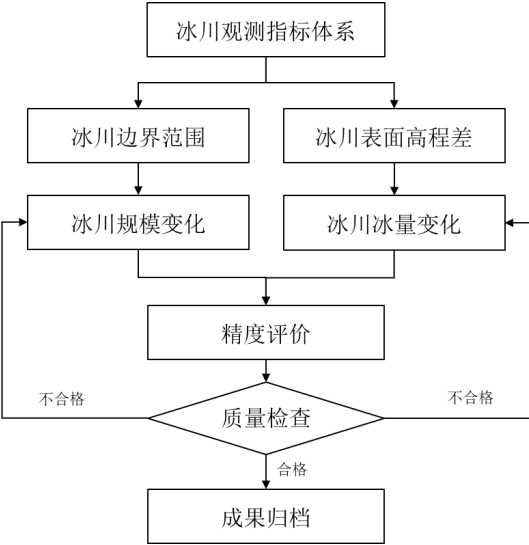


图 1 冰川规模和冰量变化观测技术流程

6 总体要求

6.1 观测指标

- 包括反映冰川规模及其变化、冰川冰量变化和基于上述观测可间接获取的其他指标：
- a) 冰川规模及其变化：冰川边界范围，冰川末端位置，冰川表碛覆盖范围，以及这些指标的变化；
 - b) 冰量变化：观测周期内冰川表面高程差异，以水当量表示；
 - c) 其他：冰川长度，冰川表面形态，粒雪线高度，冰面湖塘位置和范围，冰川区裸露基岩范围等。

6.2 空间参考与坐标基准

- 空间数据的坐标系统、高程基准、计量单位等参照 HJ 1176，投影方式参照 GB/T 15968。
- a) 平面坐标系采用 2000 国家大地坐标系；
 - b) 高程基准采用 1985 国家高程基准；
 - c) 投影方式采用横轴墨卡托投影（UTM）。

6.3 属性要求

冰川规模和冰量变化观测指标数据属性项名称、定义及内容应符合附录 A。

7 冰川规模变化观测

7.1 观测内容

7.1.1 冰川边界范围变化

冰川边界在时间上的位置移动，表现为冰川的扩张或缩小，以面积或平均长度与平均宽度表示。具体分析时还可区分裸冰川区边界、表碛覆盖区边界等。一般推荐以固定分冰岭（如山脊线）对冰川进行切分，因采用不同分冰岭数据带来的冰川范围差异不计入冰川面积变化。通过多期遥感影像数据制图来获取冰川边界变化信息。观测时，应根据影像分辨率、自动识别精度等因素评估变化的不确定性，确保不同时期冰川边界具有可比性。

7.1.2 冰川末端位置变化

沿冰川中流线一定范围测量的冰川末端位置的平均高程和平均长度变化量，反映冰川末端前进、后退或稳定状态，其数值即对应长度或高程变化量。为获取更早时间和可比较的冰川末端变化，推荐以最早制图数据提取中流线为基准确定末端位置及其高程变化。

7.1.3 冰川表碛覆盖范围变化

冰川表碛覆盖区域在时间上的变化，用于评估冰川消融、表面反照率及冰川动力学等特征及其变化。表碛覆盖范围的变化通常由冰川消融、冰流变形、物源补给及坡面堆积等过程共同驱动，其变化可通过不同时期的遥感影像判读或分类结果确定，计算各时期表碛覆盖区的面积差值或比例变化率来表征。

7.1.4 其他属性

能够反映冰川规模变化的其他属性，如冰面湖塘面积、基岩露头图斑等的变化。

7.2 观测方法

7.2.1 数据源要求

优先选取冰川区消融季末期、无（或少）云和积雪覆盖的光学遥感影像。若单景影像难以满足无云/雪要求，可选用多景互补影像或长波段 SAR 影像进行边界提取。数据预处理和解译流程参考 HJ 1166，质量控制参考 HJ 1176。遥感影像按照以下要求选取：

- a) 根据研究目标和冰川规模选取遥感影像空间分辨率，原则上不低于 30 m。对于多数大型冰川，30 m 分辨率的影像可满足边界识别精度、数据连续性和处理可行性的需求；对于小型冰川、复杂地形或需识别精细尺度变化，则宜优先采用更高分辨率影像；
- b) 对获取的卫星或无人机影像数据进行几何校正与空间配准等预处理，确保不同时相、不同来源影像的几何精度和空间分辨率一致；
- c) 当研究区范围较大或可用图像质量较低时，可采用相邻时段影像进行补充，选用影像的时间间隔控制在 2 年以内，或选用时间和空间分辨率接近的其他卫星数据；
- d) 进行冰川变化监测时，应尽量采用同源同质、同分辨率或更高分辨率的影像数据，监测变化的时间间隔以边界变化量超过影像分辨率为准。

7.2.2 冰川边界提取

基于地形校正与正射校正后的光学遥感影像,通过波段比值阈值分割或智能解译(如深度学习算法)自动识别积雪、裸冰和表碛分布范围,经形态学开闭运算滤除小斑块及裂隙后,转化为矢量边界。在数据质量差、识别误差大或表碛覆盖的区域,参考 SAR 和热红外影像开展目视解译,进行精细修订以提高精度。为保证数据质量和变化分析的可比性,还需满足以下要求:

- a) 不同时期的边界提取应采用一致的解译规则与方法,并尽量由同一(或少数)解译人员完成;
- b) 最小编录冰川面积应根据采用的影像分辨率确定,最小制图图斑不应小于 3×3 个像元,同时,应核查连续存在 2 年以上的此类小图斑,并将其纳入最小编录范围。对于 30 m 分辨率影像,最小图斑以 0.01 km^2 为基准。

7.2.3 冰川表碛范围提取

表碛边界提取采用多模态数据和深度学习方法为核心技术手段,并结合多源影像特征(SAR 相干特征、地表温度特征、光谱色彩和纹理特征)、地形辅助要素(冰面湖塘、冰崖分布)、地貌约束条件(冰川末端水文特征以及冰川两侧的地形与水系分布)加以判读修正,提高表碛覆盖范围的识别精度后,从冰川边界中分离出表碛覆盖范围边界。

7.2.4 冰川长度提取

通过提取冰川中流线长度间接地获取冰川长度信息。冰川中流线可基于欧氏分配原理,结合冰川表面地形特征,利用冰川边界和数字高程模型数据从形态学角度提取。

7.2.5 基岩露头提取

基岩露头指冰川范围内未被冰体或积雪覆盖的裸露岩体,其识别应基于多时相遥感影像,按年际暴露稳定性分类处理:

- a) 连续不低于 5 年暴露的长期稳定基岩露头,不计入有效冰川覆盖面积;
- b) 暴露范围呈年际波动或出现/消失交替的基岩露头,应纳入冰川编录范围,计入有效冰川覆盖面积或基岩露头面积,并作为独立图层记录。

7.3 变化计算

7.3.1 面积变化计算

借助地理信息系统或其他软件,将不同时期获取的冰川边界数据转换成面状矢量图层,并采用研究区所在分带的 UTM 投影坐标系以保证面积计算精度。分别计算不同时期的冰川面积和表碛覆盖面积,并求得冰川面积变化量。面积单位以 km^2 或 m^2 表示,保留两位小数。

在计算面积变化时,需评估时段内基岩露头出现时间和频次,扣除多年出现的基岩露头面积。

7.3.2 长度变化计算

在同一中流线方向上计算不同时期冰川末端位置之间的距离差,即为冰川长度变化量。长度单位以 km 或 m 表示,保留两位小数。

8 冰川冰量变化观测

8.1 观测内容

本标准仅限基于大地测量学的方法，通过重复获取不同时期的数字高程模型（DEM）间接观测冰川表面高程差，或采用 InSAR 技术直接观测冰川表面高程差，结合冰川面积和冰川平均密度，获取用当量水层厚度表示的冰川质量变化。

8.2 观测方法

8.2.1 冰川表面高程差间接观测

采用 LiDAR、地面近景摄影测量、无人机倾斜摄影测量以及航空航天摄影测量等技术获取不同时期 DEM，计算冰川表面高程差。在冰川表面高程差间接观测过程中，需满足以下要求：

- a) 不同 DEM 数据获取与制图过程，需满足 GB/T 44490.2、GB/T 12979、GB/T 23236、GB/T 43995、CH/T 8024、CH/Z 3002 等国家标准和行业规范；
- b) 多源 DEM 数据的观测时间优先选择在消融季末进行，且覆盖包括积累区和消融区的整条冰川，生成的 DEM 数据空间分辨率不低于 30 m；
- c) 计算冰川表面高程差异时，不同时期获取的 DEM 数据的空间坐标系、空间分辨率、数据单位等数学基础应统一；
- d) 可基于冰川及周边地形的坡度/坡向/高程等地形因子、DEM 分辨率、获取平台轨道等信息对不同 DEM 间的空间匹配误差进行检校。空间匹配校正后的平面误差不高于 1/3 个参考数据像元，高程差误差应不高于观测区域内冰川表面高程差平均值同等数量级。

8.2.2 冰川表面高程差直接观测

利用覆盖同一冰川区域的两景或时间序列合成孔径雷达（SAR）影像，可采用多种 InSAR 技术，直接提取观测时期内的冰川表面高程变化点云数据。在冰川表面高程差直接观测过程中，还需要满足以下要求：

- a) 进行差分干涉的 SAR 影像对，空间基线应小于 400 m；图像配准误差不高于 1/8 个像元；冰川覆盖区的干涉相干性数值高于 0.7；
- b) 采用 InSAR 技术提取的冰川表面高程差点云数据，应同时覆盖冰川的积累区和消融区。

8.3 冰量变化计算

统计观测周期内冰川表面高程差，依据统计特征对高程差异异常值进行识别并予以剔除后，按照公式（1）计算冰川冰量变化或物质平衡当量：

$$\Delta M = \overline{\Delta h} \rho_g S_{max} \quad (1)$$

式中： ΔM ——观测冰川冰量变化，单位为 kg；

$\overline{\Delta h}$ ——冰川表面高程差平均值，单位为 m；

ρ_g ——冰川平均密度，单位为 kg m^{-3} ，取值 $850 \text{ kg m}^{-3} \pm 60 \text{ kg m}^{-3}$ ；

S_{max} ——冰川最大发育范围的投影面积，单位为 m^2 。

公式（1）中， $\overline{\Delta h}$ 对应的冰川表面当量水层厚度 $\overline{\Delta h} \rho_g / \rho_w$ ，与冰川物质平衡相当，其中 ρ_w 为水密度 1000 kg m^{-3} 。

9 精度评价

9.1 冰川边界范围观测精度

9.1.1 基于实地观测的精度评估

对于可抵达冰川，可利用北斗卫星导航系统（BDS）等全球卫星导航系统（GNSS）、无人机等手段，采集冰川边缘离散点的平面坐标，数字化形成连续闭合的冰川边界线，通过计算样本冰川待评估边界与实测边界的面积相对偏差平均值及标准差开展不确定性评估。按照公式（2）计算冰川面积误差：

$$\sigma_s = e \times S \quad (2)$$

式中： σ_s ——观测冰川的面积误差，单位为 m^2 ；

e ——样本冰川的待评估边界与实地观测边界之间面积的相对变化平均比例，无量纲；

S ——研究区冰川总面积，单位为 m^2 。

实地观测时还需注意：

- a) 优先在消融季开展观测，以避免或减少季节性积雪对冰川边界识别的干扰；
- b) 根据冰川规模动态调整采样点间距，确保能有效捕捉冰川边界的形态特征点；
- c) 采用 GNSS 观测时，需专项评估冰川边缘定位点通行安全性与测量可行性。

9.1.2 基于遥感影像的精度评估

当冰川可达性较差无法现场核实时，可基于与冰川边界提取同期或时间邻近的遥感影像，通过目视解译获取新的冰川边界，计算待评估边界与其相对面积差的平均值及标准差开展不确定性评估。具体操作分为两种情况：

- a) 有更高分辨率影像时，由具备五年以上冰川遥感解译经验、成果发表于权威冰川学期刊或数据库的专家重新解译多条冰川边界；
- b) 仅有原分辨率影像时，由 3 名以上专家多次（3~5 次）解译多条冰川边界，基于新解译边界的面积均值开展评估。

9.1.3 基于经验的精度评估

在上述两种核心评估方法的基础上，可补充以下辅助方法：

- a) 依据影像分辨率设定冰川边界位置不确定范围（通常为 0.5 像元，表碛覆盖部分可放宽至 1 像元），计算冰川范围面积差评估不确定性；
- b) 当数据源和处理方法与引文一致时，直接采用文献中冰川边界不确定性的范围值（通常为 2%~5%）作为估算依据。

9.2 冰川面积变化精度

根据误差传递原理，结合两个时期冰川边界的不确定性开展面积变化的不确定性评估，通过计算不同时期冰川面积误差平方和的平方根来表征，按照公式（3）计算：

$$\sigma_{\Delta S} = \sqrt{(\Delta S_1 \cdot e_1)^2 + (\Delta S_2 \cdot e_2)^2} \quad (3)$$

式中： $\sigma_{\Delta S}$ ——观测时段内冰川面积变化误差，单位为 m^2 ；

e_1, e_2 ——时间点 t_1 和 t_2 时，样本冰川的待评估边界与实地观测边界之间面积的相对变化比例，无量纲；

ΔS_1 ——时间点 t_1 时存在而在 t_2 时消失的冰川面积，单位为 m^2 ；

ΔS_2 ——时间点 t_2 时出现而在 t_1 时缺失的冰川面积，单位为 m^2 。

9.3 冰川冰量变化精度

9.3.1 精度评价方法

为排除冰川自身变化对观测成果精度评估的影响，应在观测冰川发育区周边地形平坦稳定的非冰川区域，利用精度更高或可信度更强的测绘成果作为参考基准，对冰川表面高程差的观测精度进行评价，再结合冰川面积误差和冰川平均密度误差，通过误差传递原理，对冰川冰量变化观测结果精度予以评价。其中，样本观测值与参考差异值按以下方法获取：

- a) 样本观测值：指在非冰川区域同一采样空间，基于间接或直接观测提取的高程差异值；
- b) 参考差异值：指在同一非冰川区域，利用观测时期内获取的、更高精度的独立验证数据（包括 GNSS 地面验证点、激光测高地面光斑、高分辨率 DEM 测绘成果等）提取的高程差异值，作为参考差异值。

9.3.2 精度评估指标

冰川冰量变化的观测精度，由冰川表面高程差误差、冰川面积误差和冰川平均密度误差构成，基于误差传递原理估算。

- a) 重复观测的冰川表面高程差误差，可按照公式（4）计算：

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{m^2 + SD^2 / N_e} \quad (4)$$

式中： $\sigma_{\Delta h}$ ——重复观测的冰川表面高程差误差，单位为 m ；

m ——非冰川区样本观测值与参考差异值的平均值，单位为 m ；

SD ——非冰川区样本观测值与参考差异值的标准差，单位为 m ；

N_e ——非冰川区样本统计数。若采用 GNSS 验证点进行精度评估，则取值等于非冰川区观测样本总数量；若采用 DEM 数据，则取值为去空间自相关后的观测样本数量，按照公式（5）计算。

$$N_e = NR / 2d \quad (5)$$

式中： N ——非冰川区样本观测值的总数量；

R ——用于计算高程差的像元分辨率，单位为 m ；

d ——观测冰川发育区的地形空间自相关距离，采用莫兰指数（Moran's I）表征，单位为 m 。

- b) 冰川冰量变化的精度，可按照公式（6）计算。

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{\Delta h} S \rho_g)^2 + (\Delta \bar{h} \sigma_s \rho_g)^2 + (\Delta \bar{h} S \sigma_\rho)^2} \quad (6)$$

式中： σ ——冰川冰量变化或物质变化水当量误差，单位为 kg ；

$\sigma_{\Delta h}$ ——重复观测的冰川表面高程差误差，单位为 m ；

S ——观测冰川投影面积，单位为 m^2 ；

ρ_g ——冰川平均密度，取值为 850 kg m^{-3} ；

$\Delta \bar{h}$ ——重复观测的冰川表面高程差平均值，单位为 m ；

σ_s ——观测冰川的面积误差，单位为 m^2 ；

σ_ρ ——冰川平均密度误差，取值 60 kg m^{-3} 。

10 数据检查和成果归档

10.1 成果数据

成果数据由空间数据和属性数据构成。空间数据包括冰川边界、冰川表面高程差、冰量变化等，成果空间坐标系统统一到 2000 国家大地坐标系（1985 国家高程基准）；属性数据指反映冰川规模变化和冰川冰量变化的表格数据（成果表格的表头内容见附录 A）。

10.2 数据格式

冰川边界为矢量数据，冰川表面高程差和冰量变化为栅格数据。矢量数据采用带空间坐标信息的 ESRI Shapefile (.shp) 格式归档，属性内容参考附录 A；栅格数据采用带空间坐标信息的标准 GeoTIFF (.tif) 格式归档，空值以 NoData 标记。

其他地基、空基、地基遥感数据源及过程数据，采用带空间坐标信息的标准 GeoTIFF (.tif) 格式归档，并附带有数据说明文件（数据信息表头规范见附录 B）和缩略图文件，具体数据要求可参考 GB/T 35643。

10.3 质量检查

10.3.1 矢量数据

矢量数据全域覆盖无遗漏、拓扑关系正确、属性数据规范。可按照以下标准检查：

- a) 源数据云层、积雪和阴影覆盖不影响冰川边界识别与勾画；
- b) 核实冰川边界的平面坐标是 2000 国家大地坐标系，高程基准为 1985 国家高程基准；
- c) 核实所使用源数据覆盖观测区域所有冰川，观测区域内所有冰川均被正确识别并准确勾画边界；
- d) 核实冰川面积在规范投影坐标系下计算，归档数据集中不包含小于 3×3 像素大小的冰川（持续存在 2 年以上的除外）；
- e) 核实数据集中冰川积累区后壁空洞、表碛覆盖、分冰岭等定义和识别的标准及处理方式一致；
- f) 核实冰川边界为闭合多边形矢量图层，同一观测时期的冰川边界无重叠、包含等拓扑关系错误，由分冰岭划分的冰川边界间无间隙；
- g) 核实归档数据的属性数据格式符合附录 A、附录 B。

10.3.2 栅格数据

栅格数据全域覆盖无遗漏、没有异常值，多期数据像元对齐。可按以下要求检查：

- a) 核实冰川冰量变化数据的平面坐标是 2000 国家大地坐标系，高程基准为 1985 国家高程基准；
- b) 核实提交数据集与所使用源数据覆盖范围一致；
- c) 核实不同数据源间的平面匹配误差不高于 $1/3$ 个像元；
- d) 核实冰川积累区计算点数量不少于消融区计算点数量的 10%；
- e) 核实归档数据集中冰量变化异常值像元；
- f) 核实归档数据集的属性数据格式符合附录 A、附录 B。

10.3.3 成果文档

冰川观测项目中产生的原始数据记录、图件资料和技术支撑文件等成果文档内容完整、表述明确，基于观测形成的冰川变化监测技术报告逻辑清晰，数据命名一致、格式合规。

附录 A

(规范性附录)

冰川规模和冰量变化观测指标数据属性项

表 A.1 冰川规模和冰量变化属性名称、定义及内容

序号	冰川属性指标	名称	编码	备注（要求）
1	基本信息	冰川名称	Glc_Name	取自中国第二次冰川编目编码属性表
2		冰川编码	GID	冰川编码为每条冰川赋予一个唯一的标识码，建议采用中国第一次冰川编目的编码方式（WGI）或第二次冰川编目的编目方式
3		山系名称	Mtn_Name	根据中国西部山系的一般定义，按照冰川所在山系赋值
4		所在行政区	Pref_Name	依据最新的中国省级和市/地区级行政区划，根据冰川所在行政区域的名称赋值
5		冰川经度	Glc_Long	冰川多边形质心点地理位置，单位采用度，保留 6 位小数
6		冰川纬度	Glc_Lati	计算方法同冰川经度
7	冰川规模变化	冰川面积	Glc_Area	冰川覆盖区域的面积，单位为 m^2 或 km^2 ，计算冰川面积时是在 UTM 投影下进行，保留两位小数
8		面积误差	E_Area	冰川面积的误差，为标准 9.1.1 中 σ_S 的取值，单位为 m^2 ，保留 2 位小数
9		冰川面积变化	Area_Change	计算两个时期之间的冰川面积变化，正值表示冰川面积增加，负值表示冰川面积减少（单位为 m^2 或 km^2 ）
10		面积变化误差	E_AC	冰川面积变化的误差，为标准 9.2 中 $\sigma_{\Delta S}$ 的取值，单位为 m^2 ，保留 2 位小数
11		表碛区面积	Deb_Area	冰川上表碛覆盖区的面积，计算方法同冰川面积，单位为 m^2 或 km^2
12		表碛面积变化	Deb_Change	计算两个时期之间的冰川表碛覆盖面积变化，正值表示表碛面积增加，负值表示表碛面积减少（单位为 m^2 或 km^2 ）
13		冰川长度	Glc_Len	冰川主流线的最大长度，单位为 m 或 km
14		冰川长度变化	Len_Change	冰川长度的变化，单位为 m 或 km
15		末端状态	Termi-state	冰川末端前进、后退或稳定等状况
16		数据源 1	Da_source	冰川边界重复观测数据源名称，不同数据源间用分号隔开
17		时间间隔 1	Da_period	冰川面积变化对应时间间隔
18		数据作者 1	Compiler_ac	冰川规模变化成果的数据作者或提交人姓名或单位
19		数据审核人 1	Verifier_ac	冰川规模变化成果的数据审核人姓名或单位

序号	冰川属性指标	名称	编码	备注（要求）
20	冰川冰量变化	冰川表面高程差平均值	Dh_gla	观测时期内冰川表面高程差平均值，为标准 8.3 中 Δh 的取值，单位为 m，保留 2 位小数
21		高程差误差	E_dh	冰川表面高程差误差，为标准 9.3.2 中 $\sigma_{\Delta h}$ 的取值，单位为 m，保留 2 位小数
22		冰量变化	Mc_gla	观测时期内冰川冰量变化，为标准 9.3.2 中 ΔM 的取值，单位为 kg，保留 2 位小数
23		冰量变化误差	E_mc	冰川冰量变化误差，为标准 9.3.2 中 σ 的取值，单位为 kg，保留 2 位小数
24		数据源 2	Dh_source	冰川表面高程差重复观测数据源名称，不同数据源间用分号隔开
25		时间间隔 2	Dh_period	冰川冰量变化对应时间间隔
26		数据作者 2	Compiler_mc	冰川冰量变化成果的数据作者或提交人姓名或单位
27		数据审核人 2	Verifier_mc	冰川冰量变化成果的数据审核人姓名或单位

附 录 B
(资料性附录)
冰川属性采集信息表

标准中冰川属性采集信息见表 B.1~B.5。

表 B.1 冰川边界提取数据源信息

序号	名称	编码	说明
1	影像数据名称	IMG_name	用于冰川边界提取的光学或雷达影像名称，如 Landsat 8 OLI、Sentinel-2 MSI、GF-2 PMS 等
2	影像数据平台	IMG_plt	影像获取平台，包括卫星载荷、航空平台或无人机系统，如 Landsat、Sentinel、Gaofen、DJI UAV 等
3	影像数据获取时间	IMG_date	影像获取日期，精确至天，用于确保影像处于消融末期或最小雪盖期
4	影像数据空间分辨率	IMG_res	影像的地面分辨率（m），反映冰川边界提取的空间精细程度
5	数据水平精度	IMG_hacc	地理定位精度（m），指影像地理配准与参考地理坐标系统的一致性误差
6	DEM 数据名称	DEM_name	用于冰川地形要素提取的数字高程模型数据的名称，如 SRTM DEM、ASTER GDEM、AW3D30 等
7	DEM 数据来源	DEM_resource	数据的提供机构或项目平台，如 NASA, JAXA, ESA, NGCC 等或基于立体像对或 InSAR 技术自行生产
8	DEM 数据分辨率	DEM_res	DEM 的水平分辨率（m），用于地形校正、山脊线提取及冰川边缘辅助判读等
9	DEM 数据水平精度	H_acc	DEM 的水平定位误差（m）
10	DEM 数据垂直精度	V_acc	DEM 的高程误差（m），影响冰川坡度与流域边界判定精度

表 B.2 冰川表面高程差间接观测数据源信息

序号	名称	编码	说明
1	主数据名称	Master_DEM	用于空间匹配误差校正和冰川表面高程差计算的主参考 DEM
2	主数据数据源	Master_resource	生产主数据所用的数据源，包括数据采集批次或观测计划、立体像对影像名等
3	主数据获取时间	Master_date	主数据数据源的获取时间，精确到天
4	主数据分辨率	Master_res	主数据的空间分辨率
5	主数据获取方式	Master_pro	主数据的生产方法和技术，包括星载、机载、地基、无人机等载荷平台，以及 LiDAR、近景摄影测量、倾斜摄影测量、空三测量等技术
6	辅数据	Slave_DEM	用于空间匹配误差校正和冰川表面高程差计算的待配准 DEM
7	辅数据数据源	Slave_resource	生产辅数据所用的数据源，包括数据采集批次或观测计划、立体像对影像名等
8	辅数据获取时间	Slave_date	辅数据数据源的获取时间，精确到天
9	辅数据分辨率	Slave_res	辅数据的空间分辨率
10	辅数据获取方式	Slave_pro	辅数据的生产方法或技术，包括星载、机载、地基、或无人机等载荷平台，以及 LiDAR、近景摄影测量、倾斜摄影测量、空三测量等技术

表 B.3 冰川表面高程差直接观测 InSAR 技术数据源信息

序号	名称	编码	说明
1	数据名称	SAR_img	SAR 影像源名称
2	数据平台	SAR_plt	SAR 影像获取时的天基、空基、地基等载荷平台，包括 TerraSAR、DJI 无人机等
3	数据获取时间	SAR_date	SAR 影像获取时间，精确到天
4	数据入射角	SAR_inc	SAR 影像拍摄时的传感器倾角
5	影像中心点经度	SAR_lon	SAR 影像地面落图的中心点经度，坐标系为 WGS1984
6	影像中心点纬度	SAR_lat	SAR 影像地面落图的中心点纬度，坐标系为 WGS1984
7	数据成像模式	SAR_type	SAR 影像获取的工作模式，包括条带模式（SM）、聚束模式（SP）、扫描模式（SCAN）、宽幅模式（SCW）等
8	产品类型	SAR_pro	SAR 影像的产品类型，包括单视（SLC）、多视（MLC）等
9	数据分辨率	SAR_res	SAR 影像空间分辨率
10	时间基线	Baseline_tmp	相较于主影像的时间间隔，主影像的时间基线为 0，单位为天
11	空间基线	Baseline_spl	相较于主影像的距离间隔，主影像的空间基线为 0，单位为 m

表 B.4 冰川规模变化数据信息

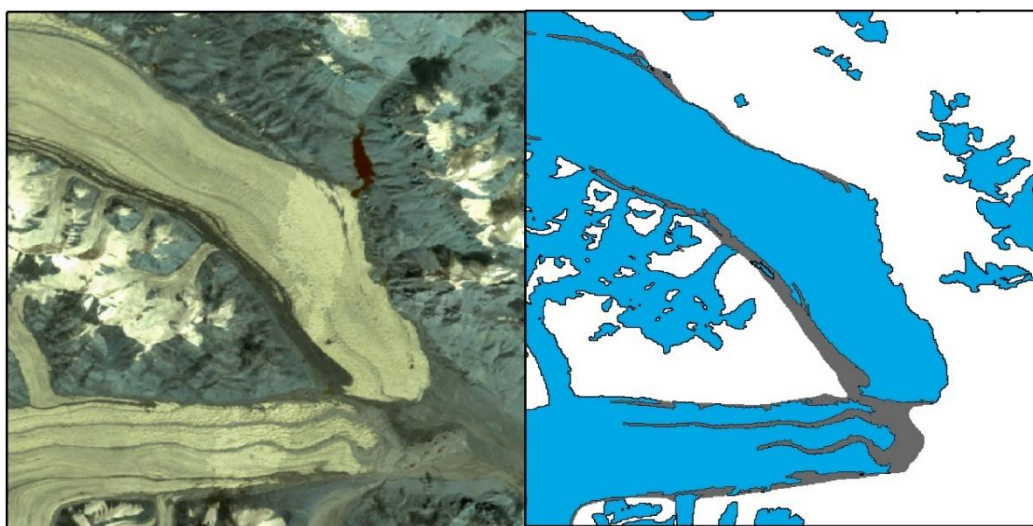
序号	名称	编码	说明
1	冰川编码 (ID)	ID	数据库中用于唯一标识冰川的编码,通常与 RGI 或研究区内部编号对应, 如 RGI ID、GLIMS ID 等
2	冰川最大海拔	Z_max	冰川范围内的最大高程值 (m), 由 DEM 提取
3	冰川最小海拔	Z_min	冰川范围内的最小高程值 (m), 由 DEM 提取
4	冰川中值海拔	Z_med	冰川面积加权中值海拔 (m), 用于反映冰川的重心高程特征
5	冰川坡向	Asp	冰川主体朝向 (8 个方位), 由 DEM 导数计算
6	冰川平均坡度	Slope	冰川范围内坡度场平均值 (°), 由 DEM 导数计算
7	起始日期	Date_start	冰川初始时相影像或冰川边界数据的时间 (YYYY-MM-DD)
8	结束日期	Date_end	冰川末次时相影像或冰川边界数据的时间 (YYYY-MM-DD)
9	面积变化量	Δ Area	结束日期冰川面积与起始日期冰川面积的差值 (km ²), 正值表示扩张, 负值表示退缩
10	长度变化量	Δ Length	沿冰川主流线的长度变化量 (km), 正值表示前进, 负值表示退缩
11	表碛面积变化量	Δ Debris	冰川表碛的面积变化量 (km ²)
12	数据源	Data_src	用于制图的影像来源, 如 Sentinel-2 MSI、Landsat 8 OLI、GF-1 PMS 等
13	数据源空间分辨率	Data_res	影像空间分辨率 (m), 影响冰川边界位置判定精度
14	面积不确定性	U_Area	冰川面积变化估计的不确定性 (km ²), 可基于边界精度、影像分辨率与方法误差综合获得
15	长度不确定性	U_Length	冰川长度变化量估计的不确定性 (km), 通常由冰川边界误差、主流线判定误差及分辨率误差计算
16	表碛面积不确定性	U_Debris	表碛面积变化量的不确定性 (km ²), 受影像解译精度和阴影影响
17	解译者	Compiler	数据提取人员或数据提供人姓名, 可为审稿或数据可追溯提供信息

表 B.5 冰川冰量变化数据信息

序号	名称	编码	说明
1	数据对	DEM_pair	计算冰川表面高程差的 DEM 数据对, 用 DEM1-DEM2 表示, 其中辅数据 (DEM1) 在前, 主数据 (DEM2) 在后
2	观测时期	Period	数据的间隔时间, 单位为年, 精确到天
3	空间分辨率	Resolution	主、辅数据差值图的空间分辨率
4	坐标系统	Coordinate	数据处理过程中使用的平面坐标系和高程基准
5	原始平面误差	Error_org	数据对在空间匹配误差校正前的平面误差, 采用特征点匹配误差表征
6	原始高程误差	Verror_org	数据对在空间匹配误差校正前的高程差误差, 采用非冰川区稳定区域的高程差中误差表征
7	校正后平面误差	Error_cor	数据对在空间匹配误差校正后的平面误差, 采用特征点匹配误差表征
8	校正后高程误差	Verror_cor	数据对在空间匹配误差校正后的高程差误差, 采用非冰川区稳定区域的高程差中误差表征
9	冰川平均密度	Density_gla	用于计算冰川物质变化的冰川平均密度

附 录 C
(资料性附录)
冰川边界和长度提取方法

标准中冰川边界和长度提取示意图 C.1 和图 C.2。



说明：

左图——冰川区域遥感影像；

右图——提取后的冰川边界，蓝色区域代表裸冰区，灰色部分则代表表碛覆盖区。

图 C.1 冰川边界提取示意



说明：

图中红线表示冰川中流线， w 指代冰川宽度， h 指代冰川厚度。

图 C.2 冰川长度提取示意