

中国积雪特性时空分布电子地图集

张学良^{1*}, 王华东¹, 肖鹏峰¹, 郑子贤¹, 冯学智¹

ISSN 2096-2223

CN 11-6035/N



文献 DOI:

10.11922/11-6035.ncdc.2021.0030.zh

数据 DOI:

10.12072/ncdc.I-SNOW.db0022.2021

文献分类: 地球科学

收稿日期: 2021-11-29

开放同评: 2021-12-13

录用日期: 2022-02-18

发表日期: 2022-04-08

1. 南京大学地理与海洋科学学院, 自然资源部国土卫星遥感应用重点实验室, 江苏省地理信息技术重点实验室, 南京 210023

摘要: 积雪作为冰冻圈的重要组成部分, 对气候变化、水资源管理、人类活动等具有重要意义。基于国家科技基础资源调查专项“中国积雪特性及分布调查”项目生产的长时间序列逐日积雪产品和地面观测数据, 统计分析各积雪要素时空分布及变化特征, 设计积雪物候、积雪深度/雪水当量、积雪反照率、积雪密度的分级方案与符号标识, 编制积雪要素系列专题图件 1244 幅, 形成中国积雪特性时空分布电子地图集 (China's snow characteristics spatiotemporal distribution electronic atlas, CSEA), 为认识和掌握中国积雪特性的空间分布差异和时间变化特征提供数据支撑。

关键词: 中国; 积雪物候; 积雪深度; 雪水当量; 积雪反照率; 积雪密度; 积雪专题地图

数据库 (集) 基本信息简介

| | |
|------------|---|
| 数据库 (集) 名称 | 中国积雪特性时空分布电子地图集 |
| 数据作者 | 张学良、王华东、郑子贤、王建 |
| 数据通信作者 | 张学良 (zx1@nju.edu.cn) |
| 数据时间范围 | 1980–2020年 |
| 地理区域 | 中国 |
| 空间分辨率 | 5 km、25 km、0.01° |
| 数据量 | 121.2 GB |
| 数据格式 | *.geotiff、*.jpg |
| 数据服务系统网址 | http://dx.doi.org/10.12072/ncdc.I-SNOW.db0022.2021 |
| 基金项目 | 科技部国家科技基础资源调查专项 (2017FY100500); 国家自然科学基金 (42171307)。 |
| 数据库 (集) 组成 | 数据集共包括4个子集, 分别为积雪日数图集、积雪深度/雪水当量图集、积雪反照率图集和积雪密度图集, 共包含1244幅jpg格式的电子地图和1244景geotiff格式的制图数据。 |

* 论文通信作者

张学良: zx1@nju.edu.cn

引言

积雪是冰冻圈最活跃的存在形式，也是全球气候系统的重要组成部分，在全球地表能量平衡、水文循环和人类活动中占据重要地位^[1-4]。全球约有 98% 的季节性积雪覆盖在北半球，覆盖面积约占冬季北半球陆地面积的 50%^[5]，积雪融水汇集河流，不仅可为全球六分之一的人口提供淡水资源，同时影响河流下游地区的农业和生态系统^[6]。在中国，多年平均积雪面积约占陆地面积的 94%，尤其是在我国的三大季节性积雪稳定区^[7]。在全球变暖背景下，积雪对气候变化具有高度敏感性和重要反馈作用^[8-9]，积雪及其属性发生变化，将造成冰冻圈和其他圈层发生改变，继而影响生态环境及人类社会生活。

最初的积雪研究主要依赖有限的人工观测和地面台站数据，数据准确性高，但难以实现大规模积雪要素动态监测，尤其是在高海拔的山区。遥感以其大范围、多尺度、多时相等特点，逐渐成为积雪调查研究的重要手段。遥感与地面调查手段的联合为了解和掌握中国积雪特性的时空分布特征提供了有力保障和支撑。而积雪物候、积雪深度/雪水当量、积雪反照率、积雪密度是积雪的重要参数，与气候变化、水资源管理和自然灾害等密切相关^[10-12]。

积雪要素专题地图可直观、定量表达积雪的时空分布，已有的专题地图包括积雪分布^[13]、积雪稳定性^[7]、积雪灾害^[13-14]、积雪覆盖日数^[15]、最大积雪深度^[15]等。在国家科技基础资源调查专项的支持下，基于“中国积雪特性及分布调查”项目生产的中国区域不同积雪要素逐日遥感产品和地面调查数据，编制中国积雪系列图件，包括 4 个子集，分别为 1980–2020 年中国积雪日数（积雪物候）图集、1980–2020 年中国积雪深度/雪水当量图集、2000–2020 年中国积雪反照率图集和 2013–2020 年中国积雪密度图集，共计 1244 张电子地图及相应制图数据。从不同时间频度（逐月、逐年、多年逐月平均等）定量表达积雪要素的空间分布及其年内、年际变化，对逐日积雪要素数据的进一步整合归纳与再生产，为认识和掌握中国积雪特性的空间分布差异和时间变化特征提供数据支撑。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据来源

从国家冰川冻土沙漠科学数据中心网站（<http://www.ncdc.ac.cn/>）获取的中国 1980–2020 年积雪面积 5 km 逐日无云产品^[16]、中国 1980–2020 年雪水当量 25 km 逐日产品^[17]和中国 2000–2020 年积雪反照率逐日产品^[18]，分别编制 1980–2020 年中国积雪日数图集、1980–2020 年中国积雪深度/雪水当量图集和 2000–2020 年中国积雪反照率图集。

目前关于积雪密度的产品有积雪密度再分析数据集，它是将各种观测数据同化到预测模型中，提供积雪密度网格数据集^[19]，例如欧洲的 ERA-5 产品，但与中国站点数据对比后发现验证精度较低。本积雪密度图集利用 2013–2020 年中国气象站观测数据（<http://data.cma.cn/>），2017–2019 年中国典型积雪区线路积雪观测数据集^[20]（<http://www.ncdc.ac.cn/>），和 ERA-5 再分析数据集（<https://cds.climate.copernicus.eu>），包括风速、气温、融雪量、降雪量、积雪表层温度、积雪蒸发量、降水量、地表气压、叶面积指数，以及数字高程模型（<http://www.gscloud.cn/>），编制了 2013–

2020年中国积雪密度图集。

1.2 数据处理

1.2.1 积雪日数

利用中国 1980–2020 年积雪面积 5 km 逐日无云遥感产品，提取逐年积雪日数（积雪持续日数、积雪初日、积雪终日），其中积雪持续日数在本文中由积雪覆盖日数指代，指一个积雪年内（9 月 1 日–翌年 8 月 31 日）观测到的累计积雪总天数。计算公式如下：

$$SCD = \sum_{i=1}^N (S_i) \quad (1)$$

SCD (snow cover days)表示积雪持续日数， N 表示一个完整的积雪年(9月1日–翌年8月31日)， S_i 表示第 i 天的逐日无云积雪面积产品， $S_i = 1$ 表示存在积雪， $S_i = 0$ 表示无雪。

为了避免短暂积雪的影响，积雪初日定义为在一个积雪年内，第一个连续 5 天积雪的第一天；积雪终日定义为在一个积雪年内，最后一个连续 5 天积雪的最后一天。如果在一个积雪年内不存在连续 5 天积雪，则表示没有积雪初日和积雪终日，计算公式如下：

$$SCOD = \min\{t\} | \{t \in [0, N - 4] \text{ and } \sum_{k=0}^4 S_{t+k} = 5\} \quad (2)$$

$$SCED = \max\{t\} + 4 | \{t \in [0, N - 4] \text{ and } \sum_{k=0}^4 S_{t+k} = 5\} \quad (3)$$

其中 $SCOD$ (snow cover onset date)表示积雪初日， $SCED$ (snow cover end date)表示积雪终日， t 为儒略日， N 表示一个完整积雪年， S_t 表示第 t 天的逐日无云积雪面积产品， $S_t = 1$ 表示存在积雪， $S_t = 0$ 表示无雪， k 表示连续 5 天。

利用逐年积雪持续日数、积雪初日、积雪终日，计算多年平均积雪持续日数、积雪初日和积雪终日，以及利用一元线性回归进行趋势倾向估计积雪日数的多年变化率，并进行 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

对得到的所有制图数据进行分级和制图符号设计，采用分层设色法表示积雪日数，获得积雪日数专题地图。积雪日数制图流程如图 1 所示。

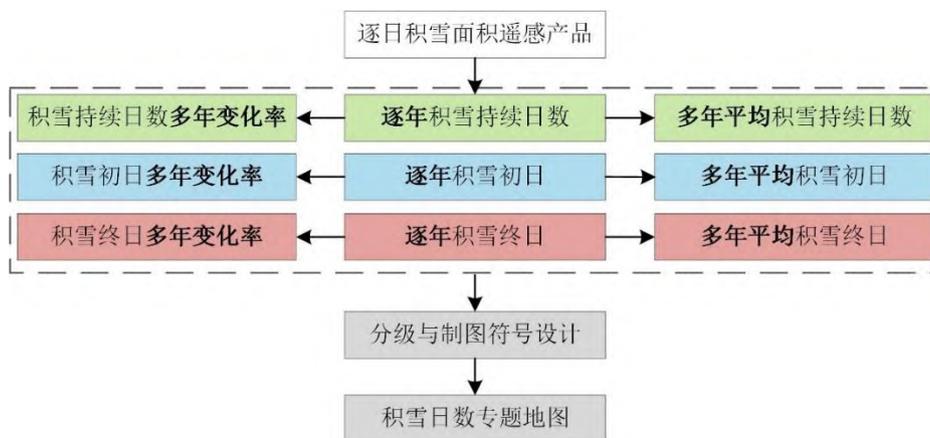


图 1 积雪日数制图流程图

Figure 1 Flow chart of snow phenology mapping

1.2.2 积雪深度/雪水当量

利用中国 1980–2020 年雪水当量 25 km 逐日遥感产品，计算逐年平均、逐月平均和多年逐月平均积雪深度/雪水当量，再根据逐年平均和逐月平均积雪深度/雪水当量，分别计算得到积雪深度/雪水当量多年变化率和多年逐月变化率，并进行 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。利用逐月平均和多年逐月平均积雪深度/雪水当量，计算得到积雪深度/雪水当量多年逐月标准偏差。

对得到的所有制图数据进行分级和制图符号设计，采用分层设色法表示积雪深度和雪水当量，获得积雪深度/雪水当量专题地图。积雪深度/雪水当量制图流程如图 2 所示。

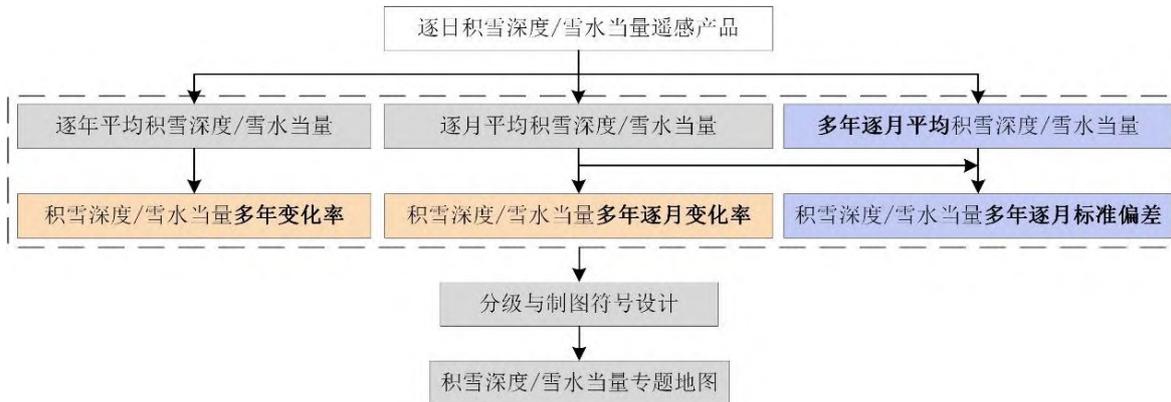


图 2 积雪深度/雪水当量制图流程图

Figure 2 Flow chart of snow depth / snow water equivalent mapping

1.2.3 积雪反照率

利用中国 2000–2020 年积雪反照率逐日遥感产品，计算逐旬（上旬、中旬、下旬）平均、逐月平均和多年逐月（9 月–翌年 5 月）平均积雪反照率，然后利用逐月平均和多年逐月平均积雪反照率，计算积雪反照率多年逐月标准偏差图。

对得到的所有制图数据进行分级和制图符号设计，采用分层设色法表示积雪反照率图集，得到积雪反照率专题地图。积雪反照率制图流程如图 3 所示。

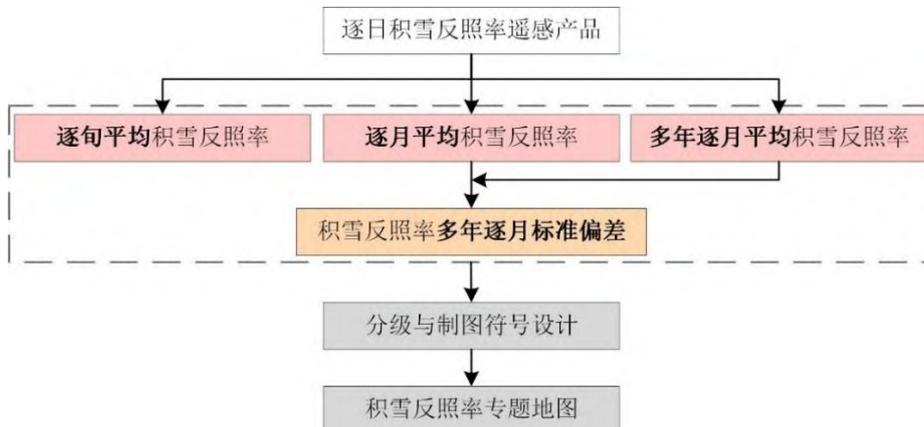


图 3 积雪反照率制图流程图

Figure 3 Flow chart of snow albedo mapping

1.2.4 积雪密度

首先建立时空加权神经网络模型得到 2013–2020 年逐日积雪密度, 模型输入变量包括积雪特性、气象条件和地形特征, 输出变量为积雪密度。输入变量的数据来自于遥感数据和再分析数据。使用的遥感数据包括逐日积雪深度、积雪反照率、积雪面积, 以及地形特征数据(海拔、坡度、坡向), 利用逐日积雪面积提取积雪累积日数, 即从某个积雪日向前延伸到积雪开始出现的累积日数。使用的 ERA-5 再分析数据包括风速、气温、融雪量、降雪量、积雪表层温度、积雪蒸发量、降水量、地表气压、叶面积指数。地面观测积雪密度数据包括气象站观测数据和地面调查数据。

时空加权神经网络模型主要包括两部分^[21]: 一是时空加权, 二是广义回归神经网络。时空加权考虑积雪密度的时空异质性, 可以得到预测点和其周围样本点的时空权重, 而广义回归神经网络考虑积雪密度与影响因素之间的非线性关系, 可以得到预测点和其周围样本点的影响因素权重, 时空加权神经网络模型计算公式如下:

$$d_{ST} = \sqrt{[(j_p - j_s)^2 + (k_p - k_s)^2] + \varphi(t_p - t_s)^2} \quad (4)$$

$$W_{GT} = \begin{cases} [1 - (\frac{d_{ST}}{h_{ST}})^2]^2, & d_{ST} < h_{ST} \\ 0, & d_{ST} \geq h_{ST} \end{cases} \quad (5)$$

其中, d_{ST} 表示时空距离, (j, k, t) 表示样本点 s 和预测点 p 的空间位置和时间, φ 是调节空间和时间距离重要性的参数, h_{ST} 表示自适应带宽, 即不同预测点选择相同数量的周围样本参与模型计算, 而不是确定一个固定范围(固定带宽), 这可以解决样本分布不均匀问题, 最后根据公式(4)和(5)得到不同样本点和预测点的时空权重 W_{GT} 。

$$W_{GRNN} = e^{-\frac{1}{2}(\frac{D(x_p - x_s)}{spread})^2} \quad (6)$$

$$snow\ density = \frac{\sum_i^N (W_{GT}^i \cdot W_{GRNN}^i \cdot y_i)}{\sum_i^N (W_{GT}^i \cdot W_{GRNN}^i \cdot 1)} \quad (7)$$

其中, x 表示样本点 s 和预测点 p 的影响因素, D 表示欧几里得距离, $spread$ 是控制拟合函数平滑度的参数, N 表示预测点周围样本点的数量, y_i 表示样本点 i 的真实积雪密度值。根据公式(4)和(5)计算得到第 i 个样本点和预测点的时空权重 W_{GT}^i , 公式(6)计算得到第 i 个样本点和预测点的广义回归神经网络权重 W_{GRNN}^i , 最后根据公式(7)得到预测点的积雪密度($snow\ density$)估计值。

分别提取观测站点的积雪密度及其对应位置上的影响因素作为样本, 共得到 16933 个样本。将所有样本随机平均分成十份, 采用十折交叉验证的方法确定最优模型, 估算 2013–2020 年逐日积雪密度。进而计算逐月(9月–翌年5月)平均和多年逐月平均积雪密度, 以及积雪密度多年逐月标准偏差。

对得到的所有制图数据进行分级和制图符号设计, 采用分层设色法表示积雪密度, 获得积雪密度专题地图。积雪密度制图流程如图4所示。

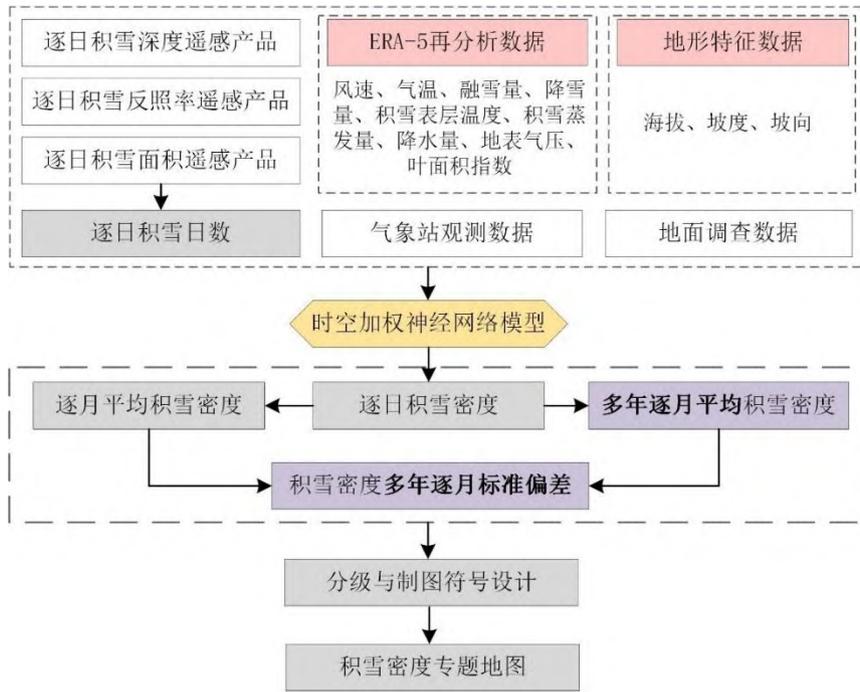


图 4 积雪密度制图流程图

Figure 4 Flow chart of snow density mapping

2 数据样本描述

中国积雪特性时空分布电子地图集共有四种积雪要素图集，分别为积雪日数图集、积雪深度/雪水当量图集、积雪反照率图集和积雪密度图集，共生产 1244 张 jpg 格式的电子地图和 1244 张 geotiff 格式的制图数据，每个图集的详细信息如表 1 所示。

表 1 图集介绍

Table 1 Introduction of electronic atlas

| 图集名称 | 图集内容 | 年份 | 空间分辨率 | 数量 |
|-------------|--|-----------|-------|--------|
| 积雪日数图集 | 逐年积雪持续日数、积雪初日、积雪终日；多年平均积雪日数；积雪日数多年变化率 | 1980–2020 | 5 km | 126 幅 |
| 积雪深度/雪水当量图集 | 多年逐月平均积雪深度/雪水当量；积雪深度/雪水当量多年逐月标准偏差和多年逐月变化率；积雪深度/雪水当量多年变化率 | 1980–2020 | 25 km | 74 幅 |
| 积雪反照率图集 | 逐旬、逐月平均积雪反照率；多年逐月平均积雪反照率；积雪反照率多年逐月标准偏差 | 2000–2020 | 0.01° | 1026 幅 |
| 积雪密度图集 | 多年逐月平均积雪密度；积雪密度多年逐月标准偏差 | 2013–2020 | 25 km | 18 幅 |

2.1 积雪日数图集

积雪日数图集共包含 5 个子图集：（1）1980–2020 年中国逐年积雪持续日数图；（2）1980–2020 年中国逐年积雪初日图；（3）1980–2020 年中国逐年积雪终日图；（4）1980–2020 年中国平均积雪日数图；（5）1980–2020 年中国积雪日数变化率图。

命名规则为：（1）yyyy–yyyy 年中国积雪持续日数图；（2）yyyy–yyyy 年中国积雪初日图；（3）yyyy–yyyy 年中国积雪终日图；（4）1980–2020 年中国平均积雪日数要素图；（5）1980–2020 年中国积雪日数要素变化率图。其中图 5 和图 6 展示了中国积雪持续日数、积雪初日、积雪终日的多年平均和多年变化率图。

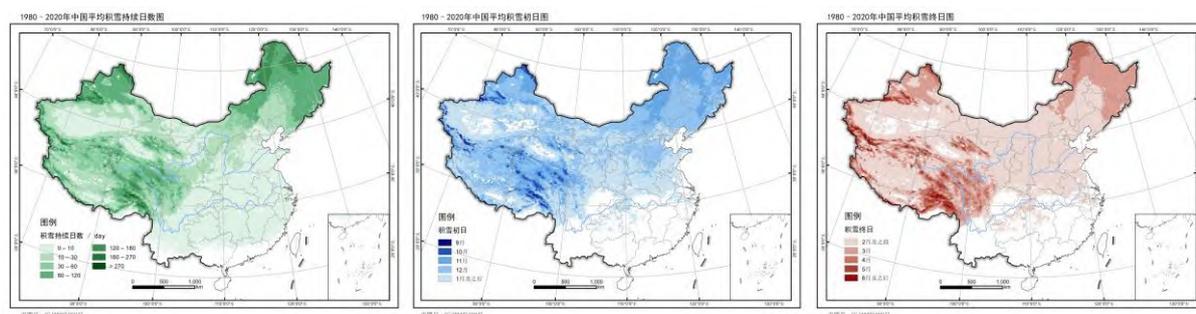


图 5 多年平均积雪日数图（审图号：GS(2022)922 号）

Figure 5 Map of average snow phenology

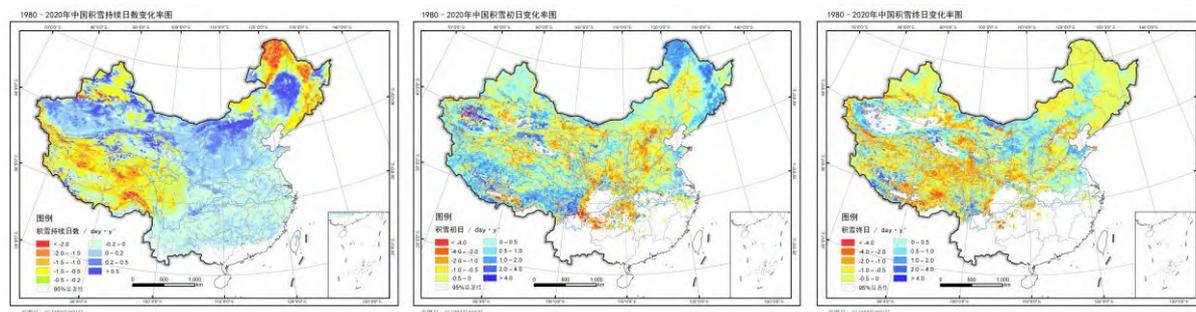


图 6 积雪日数多年变化率图（审图号：GS(2022)922 号）

Figure 6 Map of snow phenology change rate

2.2 积雪深度/雪水当量图集

积雪深度/雪水当量图集共包括 8 个子图集：（1）1980–2020 年中国逐月平均积雪深度图；（2）1980–2020 年中国逐月平均雪水当量图；（3）1980–2020 年中国积雪深度逐月标准偏差图；（4）1980–2020 年中国雪水当量逐月标准偏差图；（5）1980–2020 年中国积雪深度逐月变化率图；（6）1980–2020 年中国雪水当量逐月变化率图；（7）1980–2020 年中国积雪深度变化率图；（8）1980–2020 年中国雪水当量变化率图。

命名规则为：（1）1980–2020 年中国逐月平均积雪深度图_mm 月；（2）1980–2020 年中国逐月平均雪水当量图_mm 月；（3）1980–2020 年中国积雪深度逐月标准偏差图_mm 月；（4）1980–2020

年中国雪水当量逐月标准偏差图_mm 月；（5）1980–2020 年中国积雪深度逐月变化率图_mm 月；（6）1980–2020 年中国雪水当量逐月变化率图_mm 月；（7）1980–2020 年中国积雪深度变化率图；（8）1980–2020 年中国雪水当量变化率图。其中图 7 和图 8 分别展示中国积雪深度和雪水当量不同统计特征的一张示例图。

2.3 积雪反照率图集

积雪反照率图集共包含 4 个子图集：（1）中国逐旬平均积雪反照率图；（2）中国逐月平均积雪反照率图；（3）2000–2020 年中国逐月平均积雪反照率图；（4）2000–2020 年中国积雪反照率逐月标准偏差图。

命名规则为：（1）中国逐旬平均积雪反照率图_yyyy 年 mm 月 t 旬；（2）中国逐月平均积雪反照率图_yyyy 年 mm 月；（3）2000–2020 年中国逐月平均积雪反照率图_mm 月；（4）2000–2020 年中国积雪反照率逐月标准偏差图_mm 月。其中图 9 展示了中国积雪反照率图集中每个子图集的一张示例图。

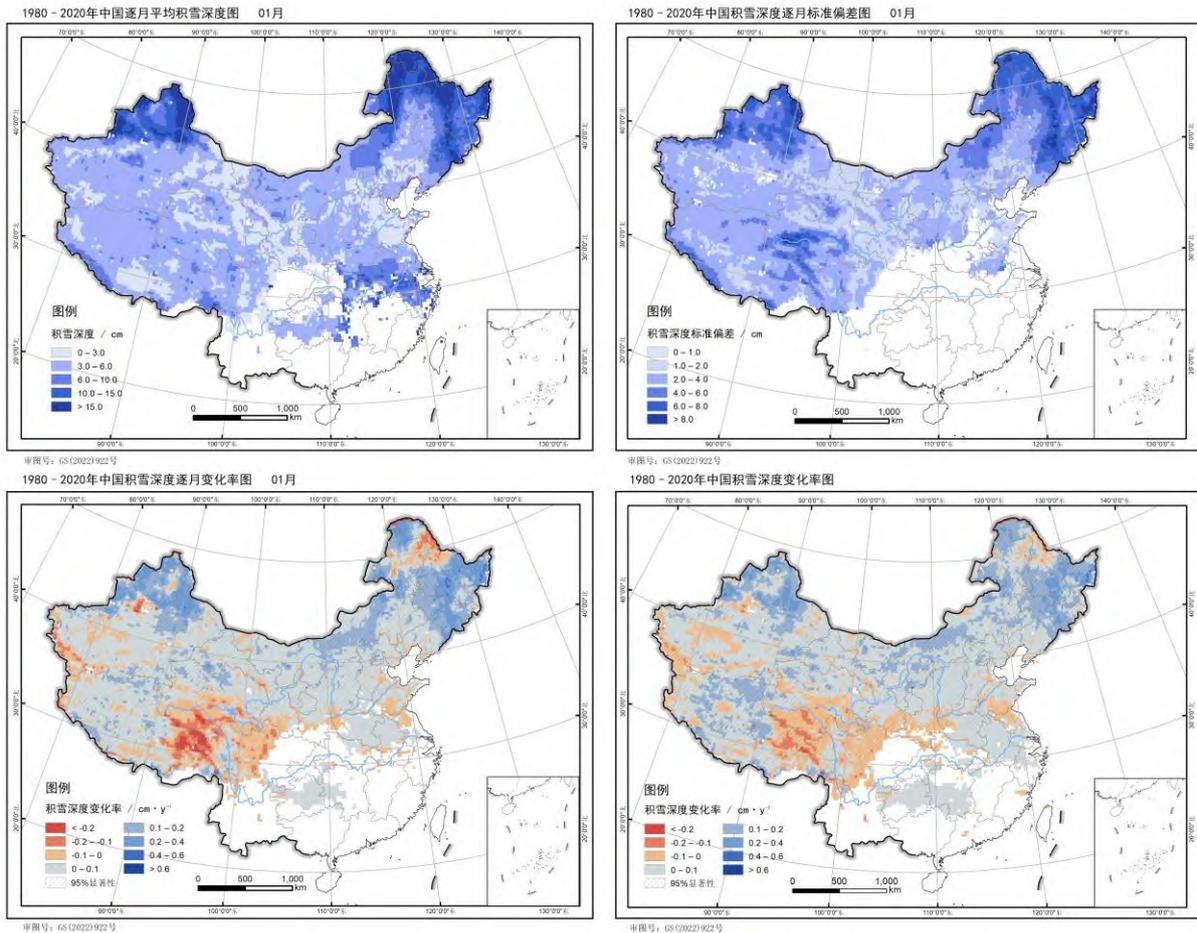


图 7 积雪深度图集示例图（审图号：GS(2022)922 号）

Figure 7 Sample map of snow depth atlas

2.4 积雪密度图集

积雪密度图集共包括 2 个子图集：（1）2013–2020 年中国逐月平均积雪密度图；（2）2013–2020 年中国积雪密度逐月标准偏差图。

命名规则为：（1）2013–2020 年中国逐月平均积雪密度图_mm 月；（2）2013–2020 年中国积雪密度逐月标准偏差图_mm 月。其中图 10 为中国积雪密度图集子图集的示例图。

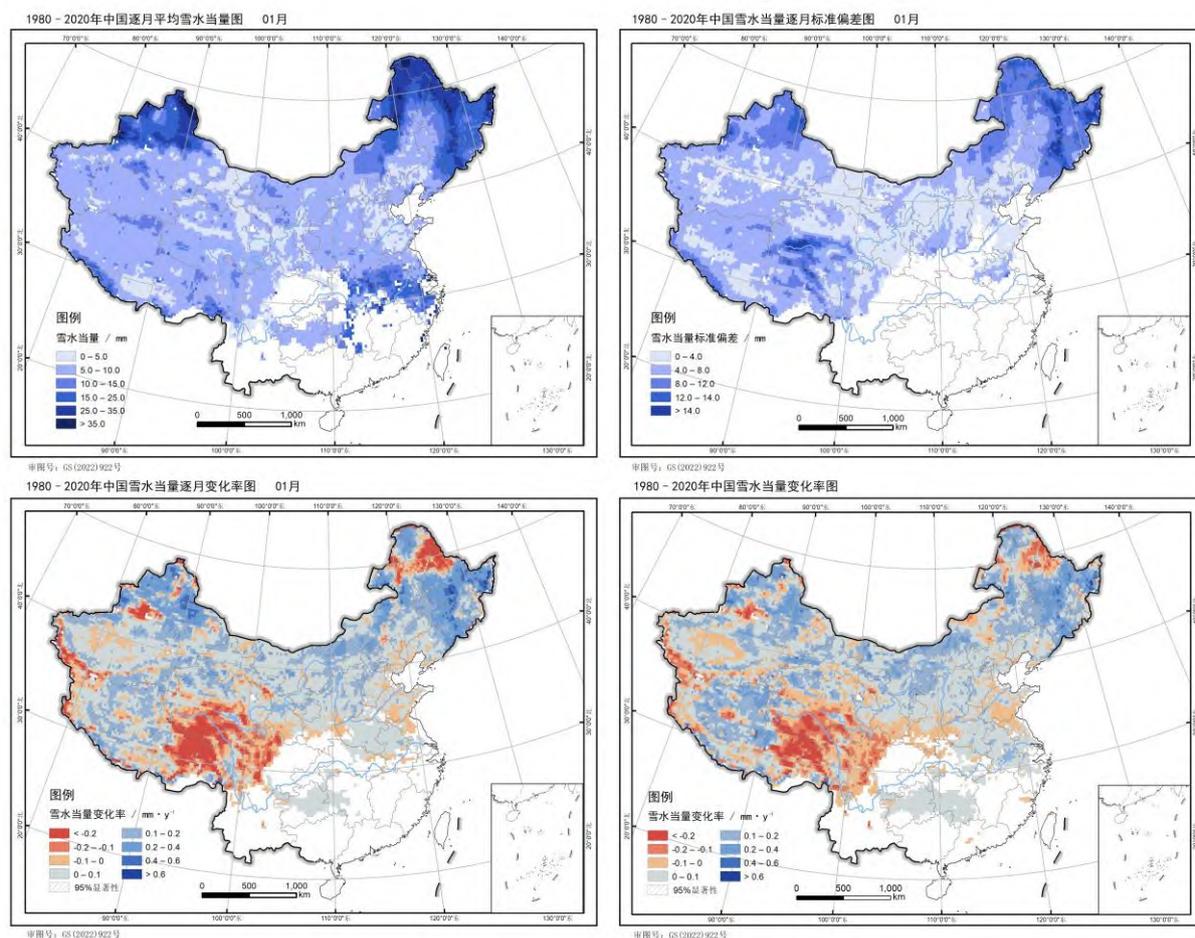


图 8 雪水当量图集示例图（审图号：GS(2022)922 号）

Figure 8 Sample map of snow water equivalent atlas

3 数据质量控制和评估

积雪反照率图集使用中国 2000–2020 年积雪反照率逐日产品编制，逐日积雪反照率产品的均方根误差（root mean squared error, RMSE）达到 0.11^[18]，积雪深度/雪水当量图集使用中国 1980–2020 年雪水当量 25 km 逐日产品编制，逐日雪水当量产品的 RMSE 在 15 mm 以内^[17]。

利用中国 1980–2020 年积雪面积逐日无云产品^[16]提取得到的积雪日数遥感数据，经与 7282 个气象站观测积雪日数（雪深 ≥ 2 cm 视为积雪日）数据进行对比验证，结果显示：积雪持续日数平均日数误差为 3.5 天，积雪初日和积雪终日的平均日数误差分别为 3.8 天和 5.4 天。

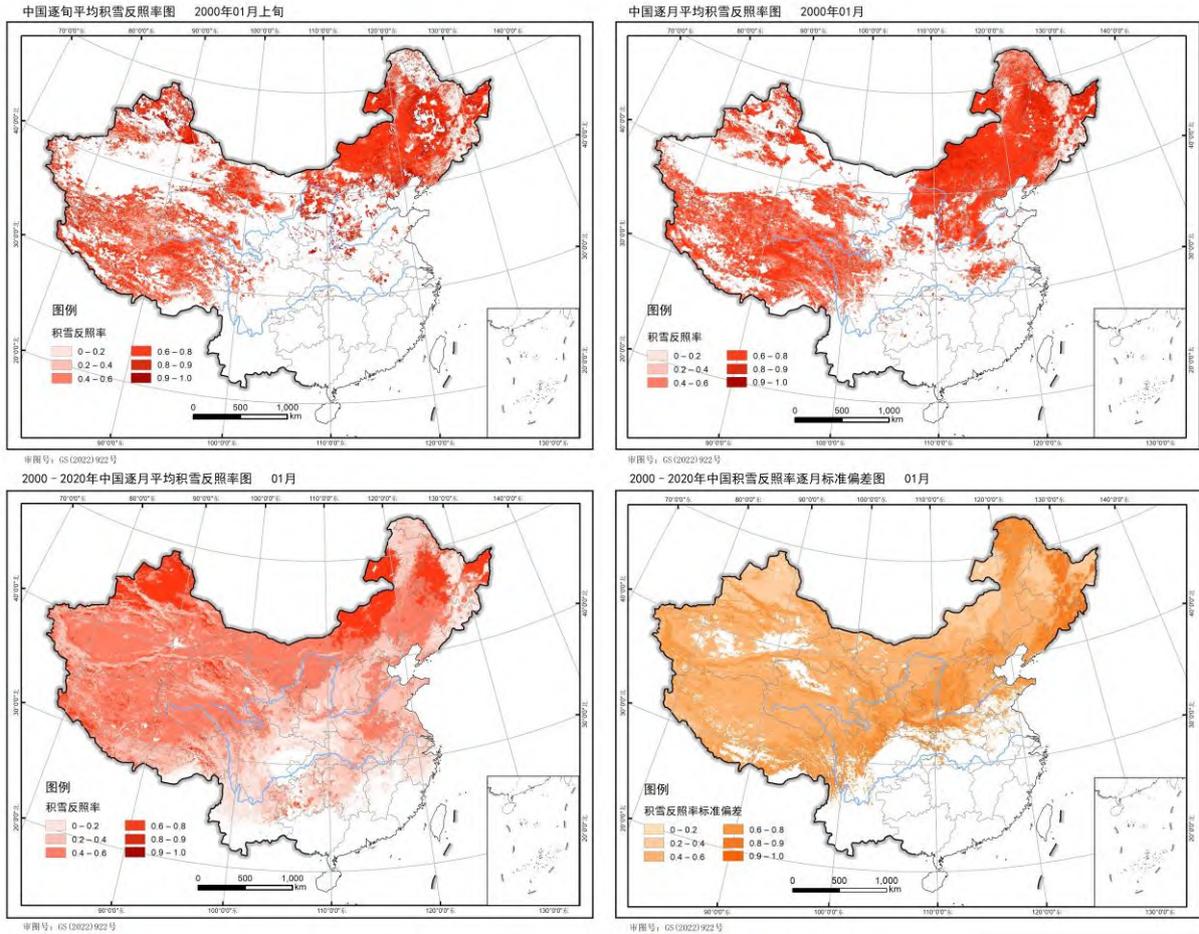


图9 积雪反照率图集示例图（审图号：GS(2022)922号）

Figure 9 Sample map of snow albedo atlas

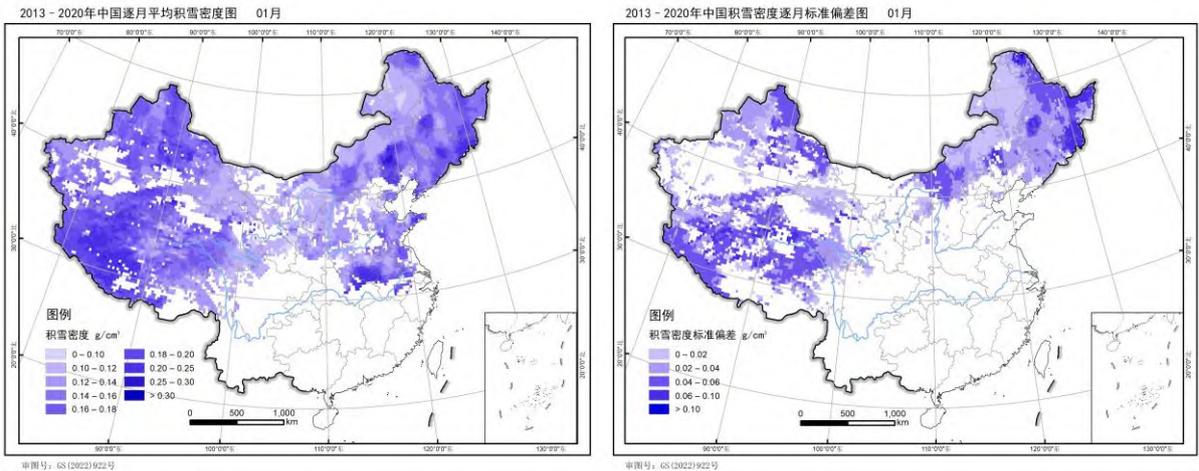


图10 积雪密度图集示例图（审图号：GS(2022)922号）

Figure 10 Sample map of snow density atlas

经十折交叉验证，积雪密度的决定系数 (R^2)、平均绝对误差 (mean absolute error, MAE)、RMSE 分别为 0.517、0.028 g/cm^3 和 0.043 g/cm^3 。在三大积雪区中，北疆的估计精度最高， R^2 达到

0.626, 其次为东北-内蒙古 ($R^2=0.566$) 和西藏-青海 ($R^2=0.502$), 其 MAE 和 RMSE 都在 0.06 g/cm^3 以下。

4 数据使用方法和建议

本数据集共享了长时间序列积雪要素的时空分布特征及其变化规律, 是对逐日积雪要素数据的进一步整合归纳与再生产。数据文件按积雪要素属性文件存储, 分别采用 geotiff 格式存储制图数据, jpg 格式存储电子地图。用户可按照实际情况选择不同时间频度、不同积雪属性的文件下载。

致 谢

感谢中国气象局 (<http://data.cma.cn>) 提供的 2013–2020 年中国气象站观测数据, 以及 ERA-5 (<https://cds.climate.copernicus.eu>) 和地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 提供的再分析数据集和数字高程模型数据。

数据作者分工职责

张学良 (1987—), 男, 湖南人, 副教授, 研究方向为积雪遥感、遥感智能解译。主要承担工作: 总体设计、数据预处理和数据生产。

王华东 (1998—), 女, 山东人, 硕士生, 研究方向为积雪遥感。主要承担工作: 数据预处理和数据生产。

肖鹏峰 (1979—), 男, 湖南人, 教授, 研究方向为高分辨率光学雷达遥感、积雪遥感。主要承担工作: 总体设计。

郑子贤 (1997—), 女, 安徽人, 硕士生, 研究方向为遥感数字图像处理。主要承担工作: 数据预处理和数据生产。

冯学智 (1953—), 男, 甘肃人, 教授, 研究方向为遥感数字图像处理、水资源遥感及雪冰灾害监测。主要承担工作: 总体设计。

参考文献

- [1] 张廷军, 钟歆玥. 欧亚大陆积雪分布及其类型划分[J]. 冰川冻土, 2014, 36(03): 481–490. DOI: 10.7522/j.issn.1000-0240.2014.0058. [ZHANG T J, ZHONG X Y. Classification and regionalization of the seasonal snow cover across the Eurasian Continent[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(3): 481–490. DOI: 10.7522/j.issn.1000-0240.2014.0058.]
- [2] BORMANN K J, BROWN R D, DERKSEN C, et al. Estimating Snow-Cover Trends from Space[J]. Nature Climate Change, 2018, 8(11): 924–928. DOI: 10.1038/s41558-018-0318-3.
- [3] HALL A, QU X. Using the Current Seasonal Cycle to Constrain Snow Albedo Feedback in Future Climate Change[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(3): L03502. DOI: 10.1029/2005GL025127.
- [4] LI W, GUO W, QIU B, et al. Influence of Tibetan Plateau Snow Cover on East Asian Atmospheric

- Circulation at Medium-Range Time Scales[J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 4243. DOI: 10.1038/s41467-018-06762-5.
- [5] BARANDUN M, FIDDES J, SCHERLER M, et al. The State and Future of the Cryosphere in Central Asia[J]. *Water Security*, 2020, 11: 100072. DOI: 10.1016/j.wasec.2020.100072.
- [6] BARNETT T P, ADAM J C, LETTENMAIER D P. Potential Impacts of a Warming Climate on Water Availability in Snow-Dominated Regions[J]. *Nature*, 2005, 438(7066): 303–309. DOI: 10.1038/nature04141.
- [7] 李培基, 米德生. 中国积雪的分布[J]. *冰川冻土*, 1983, (04): 9–18. [LI P J, MI D S. Distribution of snow cover in China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1983, (04): 9–18.]
- [8] 翟盘茂, 周佰铨, 陈阳, 等. 气候变化科学方面的几个最新认知[J]. *气候变化研究进展*, 2021, 17(6): 629–635. DOI: 10.12006/j.issn.1673-1719.2021.201. [ZHAI P M, ZHOU B Q, CHEN Y, et al. Several new understandings in the climate change science [J]. *Climate Change Research*, 2021, 17(6): 629–635. DOI: 10.12006/j.issn.1673-1719.2021.201.]
- [9] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知[J]. *气候变化研究进展*, 2007, (02): 63–73. [QIN D H, CHEN Z L, LUO Y, et al. Updated understanding of climate change science[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2007, (02): 63–73.]
- [10] FAYAD A, GASCOIN S, FAOUR G, et al. Snow Hydrology in Mediterranean Mountain Regions: A Review[J]. *Journal of Hydrology*, 2017, 551: 374–396. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.05.063.
- [11] NIEDZIELSKI T, SZYMANOWSKI M, MIZIŃSKI B, et al. Estimating Snow Water Equivalent Using Unmanned Aerial Vehicles for Determining Snow-Melt Runoff[J]. *Journal of Hydrology*, 2019, 578: 124046. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124046.
- [12] WANG X, XIE H. New Methods for Studying the Spatiotemporal Variation of Snow Cover Based on Combination Products of MODIS Terra and Aqua[J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 371(1–4): 192–200. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.03.028.
- [13] 施雅风, 米德生. 中国 1:400 万冰雪冻土图 (1988). 国家青藏高原科学数据中心, 2013. DOI: 10.3972/westdc.020.2013.db. [SHI Y F, MI D S. Map of snow, ice, and frozen ground in China (1988). National Tibetan Plateau Data Center, 2013. DOI: 10.3972/westdc.020.2013.db.]
- [14] 史培军. 《中国自然灾害风险地图集》. 北京: 科学出版社, 2011. [SHI P J. Atlas of Natural Disaster Risk of China. Beijing: Science Press, 2011.]
- [15] 中国气象局. 《中国灾害性天气气候图集 (1961-2015 年)》. 北京: 气象出版社, 2018. [China Meteorological Administration. Atlas of China Disastrous Weather and Climate (1961-2015). Beijing: China Meteorological Press, 2018.]
- [16] HAO X, HUANG G, CHE T, et al. The NIEER AVHRR snow cover extent product over China – a long-term daily snow record for regional climate research[J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13, 4711–4726. DOI:10.5194/essd-2021-189.
- [17] 蒋玲梅, 杨建卫, 戴礼云, 等. 中国 1980-2020 年雪水当量 25 公里逐日产品. 国家冰川冻土沙漠科学数据中心(www.ncdc.ac.cn), 2020. DOI: 10.12072/ncdc.I-SNOW.db0002.2020. [JIANG L M,

- YANG J W, DAI L Y, et al. Daily snow water equivalent 25 km products from 1980 to 2020 in China. National Cryosphere Desert Data Center (<http://www.ncdc.ac.cn>), 2020. DOI: 10.12072/ncdc.I-SNOW.db0002.2020.]
- [18] 肖鹏峰, 胡瑞, 张正, 等. 中国 2000-2020 年积雪反照率逐日产品. 国家冰川冻土沙漠科学数据中心(www.ncdc.ac.cn), 2020. DOI: 10.12072/ncdc.I-SNOW.db0004.2020. [XIAO P F, HU R, ZHANG Z, et al. Daily snow albedo products from 2000 to 2020 in China. National Cryosphere Desert Data Center (<http://www.ncdc.ac.cn>), 2020. DOI: 10.12072/ncdc.I-SNOW.db0004.2020.]
- [19] DEE D P, BALMASEDA M, BALSAMO G, et al. Toward a Consistent Reanalysis of the Climate System[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2014, 95(8), 1235–1248. DOI: 10.1175/BAMS-D-13-00043.1.
- [20] 车涛. 中国典型积雪区线路积雪观测数据集 (2017-2021 年). 国家冰川冻土沙漠科学数据中心 (www.ncdc.ac.cn), 2021. DOI: 10.12072/ncdc.I-SNOW.db0014.2021. [Che T. Snow course dataset in the typical regions of China during 2017-2019. National Cryosphere Desert Data Center (<http://www.ncdc.ac.cn>), 2021. DOI: 10.12072/ncdc.I-SNOW.db0014.2021.]
- [21] LI T, SHEN H, YUAN Q, et al. Geographically and temporally weighted neural networks for satellite-based mapping of ground-level PM_{2.5}[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2020, 167, 178–188. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.06.019.

论文引用格式

张学良, 王华东, 肖鹏峰, 等. 中国积雪特性时空分布电子地图集[J/OL]. 中国科学数据, 2022, 7(3). (2022-04-11). DOI: 10.11922/11-6035.ncdc.2021.0030.zh.

数据引用格式

张学良, 王华东, 郑子贤, 王建. 中国积雪特性时空分布电子地图数据集[DS/OL]. 国家冰川冻土沙漠科学数据中心(www.ncdc.ac.cn), 2021. doi: 10.12072/ncdc.I-SNOW.db0022.2021.

CSEA: An electronic atlas of the spatiotemporal distribution of snow cover in China

ZHANG Xueliang^{1*}, WANG Huadong¹, XIAO Pengfeng¹,
ZHENG Zixian¹, FENG Xuezh¹

1. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Key Laboratory for Land Satellite Remote Sensing Applications of Ministry of Natural Resources, School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210023, P.R. China

*Email: zxl@nju.edu.cn

Abstract: As an important part of the cryosphere, snow cover is of great significance to climate change, water resource management, human activities, etc. Based on the corresponding daily remote sensing products and ground observation data produced by the Science & Technology Basic Resources Investigation Program of China—"Investigation on snow cover characteristics and their distribution in China", we carried out statistical analysis of the spatial and temporal distributions of snow phenology, snow depth/snow water equivalent, snow albedo, and snow density across China for their classification scheme and mapping symbols. We compiled a total of 1,244 thematic maps of snow cover and thus formed the China's snow cover characteristics spatiotemporal distribution electronic atlas (CSEA), which is expected to provide data support for understanding and mastering the spatial differences and temporal changes of snow cover across China.

Keywords: China; snow phenology; snow depth; snow water equivalent; snow albedo; snow density; thematic map of snow cover

Dataset Profile

| | |
|----------------------------------|--|
| Title | CSEA: An electronic atlas of the spatiotemporal distribution of snow cover in China |
| Data corresponding author | ZHANG Xueliang (zxl@nju.edu.cn) |
| Data authors | ZHANG Xueliang, WANG Huadong, ZHENG Zixian, WANG Jian |
| Time range | 1980 – 2020 |
| Geographical scope | China |
| Spatial resolution | 5 km, 25 km, 0.01° |
| Data volume | 121.2 GB |
| Data format | *.geotiff, *.jpg |
| Data service system | < http://dx.doi.org/10.12072/ncdc.I-SNOW.db0022.2021 > |
| Sources of funding | Science & Technology Basic Resources Investigation Program of China (2017FY100500); National Natural Science Foundation of China (42171307). |
| Dataset composition | The dataset consists of 4 subsets, i.e, the snow phenology atlas, snow depth/snow water equivalent atlas, snow albedo atlas, and snow density atlas. A total of 1,244 maps in "jpg" format are produced together with the corresponding cartographic data in "geotiff" format. |