



文献 DOI:

DOI: 10.11922/csdata.2018.0042.zh

数据 DOI:

DOI: 10.11922/sciencedb.623

文献分类: 地球科学

收稿日期: 2018-06-29

开放同评: 2018-08-02

录用日期: 2018-09-11

发表日期: 2018-11-28

1952–2009 年青藏高原东南部贡嘎山海螺沟流域冰川 物质平衡数据集

张勇^{1,2*}, 刘时银^{3,2}, 刘巧⁴

1. 湖南科技大学资源环境与安全工程学院, 湖南湘潭 411201

2. 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000

3. 云南大学国际河流与生态安全研究院, 昆明 650500

4. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041

摘要: 冰川物质平衡是反映气候变化的敏感指标, 是评估冰川变化对水资源和海平面上升影响的基础。然而, 青藏高原具备连续物质平衡监测的冰川数量较少, 尤其是青藏高原东南部海洋型冰川分布区, 加之该区域部分冰川消融区表碛分布广泛, 使得青藏高原东南部海洋型冰川物质平衡总体变化特征尚不清楚。本研究基于物理机制的冰川能量-物质平衡模型、气象观测数据和格网气象数据, 重建了青藏高原东南部贡嘎山东坡海螺沟流域冰川物质平衡变化数据集(文本格式)。通过与流域不同时段冰川消融和径流观测对比, 验证了模型的精度。本数据集包括 1952–2009 年海螺沟流域冰川物质平衡数据和平衡线高度数据, 总体反映了 1952–2009 年间海螺沟流域冰川物质平衡变化情况, 可作为青藏高原东南部海洋型冰川区冰川变化、气候变化等研究的基础数据。

关键词: 海洋型冰川; 物质平衡; 能量-物质平衡模型; 表碛; 海螺沟流域

数据库(集)基本信息简介

数据库(集)名称	1952–2009 年青藏高原东南部贡嘎山海螺沟流域冰川物质平衡数据集
数据通信作者	张勇 (yong.zhang@hnust.edu.cn)
数据作者	张勇、刘时银、刘巧
数据时间范围	1952–2009年
地理区域	北纬29°30′–29°40′, 东经101°50′–102°1′
数据量	1.7 KB
数据格式	*.txt
数据服务系统网址	http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/623
基金项目	国家自然科学基金项目(41671057、41761144075、41771075); 科技部科技基础性工作专项项目(2013FY111400); 云南大学引进人才项目(YJRC3201702)。
数据库(集)组成	数据集共包括2个数据文件: Mass_balance_data.txt是流域冰川物质平衡数据; Equilibrium_line_atitude_data.txt是流域冰川平衡线高度数据。

* 论文通信作者

张勇: yong.zhang@hnust.edu.cn

引言

冰川物质平衡是反映气候变化较为敏感的指标之一，冰川作用区能量–物质–水交换的纽带^[1-2]。冰川物质平衡特征及其时空变化规律不仅与气候变化密切相关，还是引起冰川性质和规模、区域水资源和海平面变化的物质基础^[2-3]。因此，冰川物质平衡已成为全球气候系统中一个重要的监测和模拟对象^[3-4]。过去几十年间，在气候变暖背景下，全球大多数山地冰川普遍退缩，且冰川物质平衡亏损呈加速趋势，引起的海平面上升、水循环和生态环境等问题日益受到广泛关注^[3,5]。目前，全球开展连续物质平衡观测的冰川数量共 126 条，且冰川规模相对较小^[6]。在不同区域，由于冰川物理性质、规模的不同，导致冰川对气候变化的响应差异较大^[7]，例如海洋型冰川对气候变化比较敏感，大陆型冰川则较为迟钝，这种差别很可能是由于物质平衡对气候变化敏感性差异引起的^[1,8]。因此，对于不同区域冰川物质平衡研究来说，鉴于冰川物质平衡观测的困难性，模型模拟是解决这一问题的有效途径。

青藏高原东南部是我国海洋型冰川的主要分布区^[7]，该类型冰川对气候变化的响应较为敏感，尤其是对气温变化的响应最为敏感^[1-2,7]。加之，部分冰川消融区表碛的广泛分布使得该区域海洋型冰川对气候变化的响应过程更为复杂^[9-10]。然而，在青藏高原东南部地区，仅少数几条冰川具有连续的物质平衡监测^[4,11-12]。为了获取海洋型冰川物质平衡变化序列，基于能量平衡和热传导理论，构建了流域尺度冰川能量–物质平衡模型^[10]。该模型不仅考虑了冰雪的转化过程和融水再冻结过程，还耦合了表碛覆盖下的冰川消融过程。本文选择该区域贡嘎山东坡的海螺沟冰川流域作为研究对象(图 1)，应用上述模型重建了该流域冰川物质平衡变化序列。海螺沟流域总面积约 80.5 km²，该流域共有 7 条冰川，面积约 36.44 km²，约占整个流域面积的 45.3%。其中 3 条冰川是表碛覆盖型冰川，表碛覆盖面积占流域冰川总面积的 8.2%^[10]。该模型精度已得到验证^[9-10,13]，因而获取的冰川物质平衡数据可靠，为进一步研究青藏高原东南部海洋型冰川变化及其对气候变化响应的区域特征与差异提供必要数据支撑。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据源

本文采用的数据包括观测的气象、冰川消融和月径流数据，0.5°×0.5°格网气温和降水数据，冰川边界、表碛层热阻系数和数字高程模型(表 1)。其中气象观测数据(包括日平均气温、降水、风速、相对湿度和太阳辐射)以及月径流数据，由中国科学院贡嘎山森林生态系统国家野外科学观测研究站(简称贡嘎山站，海拔 3000 m，主峰海拔 7514 m，<http://ggf.cern.ac.cn>)提供，气象数据用于模型驱动和格网数据的误差校正，月径流数据用于模型的参数校正与验证。0.5°×0.5°格网日平均气温和降水数据选取了距离该冰川流域最近的网格数据，并基于冰川末端气温和降水观测数据对格网数据进行了误差校正^[10]。冰川边界数据基于地形图和遥感影像获取^[14]，其用于冰川面积的计算；而不同时段观测的冰川消融数据用于模型效果的验证。遥感反演的表碛层热阻系数是所应用模型的输入数据之一，用于考虑表碛厚度空间分布对冰川消融的影响，而数字高程模型用于流域的高程分带和气象数据的空间分布。

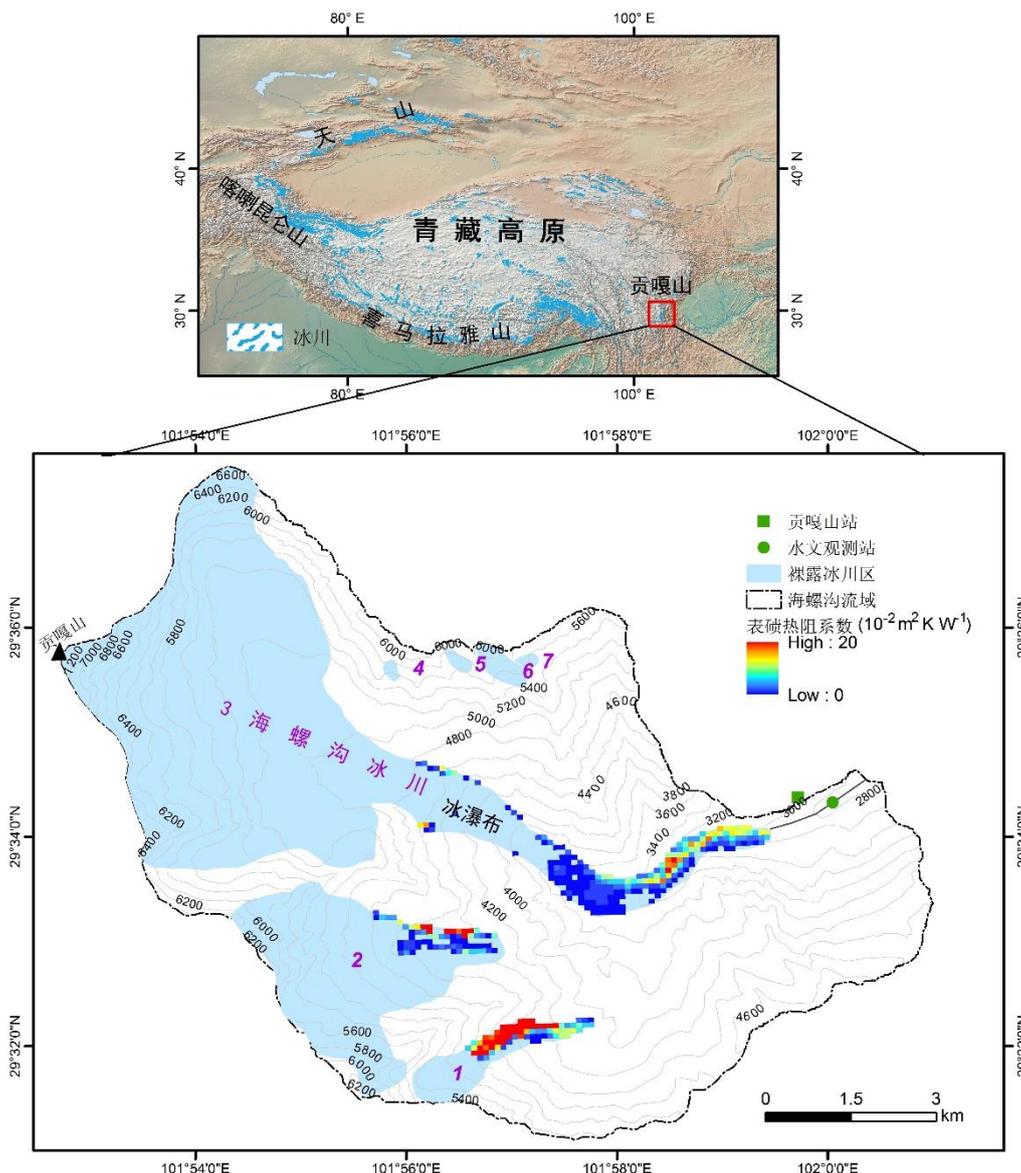


图 1 研究区位置示意图

表 1 数据集用到的各类数据列表

序号	数据名称	时间 (年份)	来源
1	冰川末端气温、降水、风速、相对湿度和太阳辐射观测值	1988–2009	http://ggf.cern.ac.cn
2	0.5°格网气温数据	1951–2007	[15]
3	0.5°APHRODITE 降水数据	1951–2007	[16]
4	冰川末端月径流观测值	1994–2002	http://ggf.cern.ac.cn
5	冰川边界	1966、1975、1994 和 2002	[14]
6	冰川消融观测值	1982–1983、1990–1994 和 2008	[17–19]
7	90 m 分辨率表碛层热阻系数	2009	[18]
8	30 m 分辨率数字高程模型	1989	[20]

1.2 数据处理步骤

为重建海螺沟流域的冰川物质平衡序列，本文采用了基于能量平衡和热传导理论构建的流域尺度冰川能量-物质平衡模型。该模型由两个模块组成^[10]：第一个模块是基于表碛覆盖区和裸露冰川区表面的能量平衡方程计算用于冰雪消融的能量；第二个模块考虑了冰川表面积雪转化为冰川冰、融水再冻结等过程。需要特别指出的是，该模型考虑了表碛厚度空间分布对冰川消融的影响^[10]。

首先，基于表碛层热阻系数的空间分布数据，将流域冰川区分为表碛覆盖冰川区和裸露冰川区（图 1）。随后，以上述气象、表碛层热阻系数等数据为驱动数据，按照图 2 所示的模型计算流程，重建海螺沟流域冰川的物质平衡变化序列，同时计算了该流域逐年冰川的平衡线高度变化趋势。其中，能量平衡各项计算方法和各参数优化过程参见 Zhang 等^[10]的研究，而冰川区不同高度上降水的液态和固态识别采用了临界气温法确定^[4]。

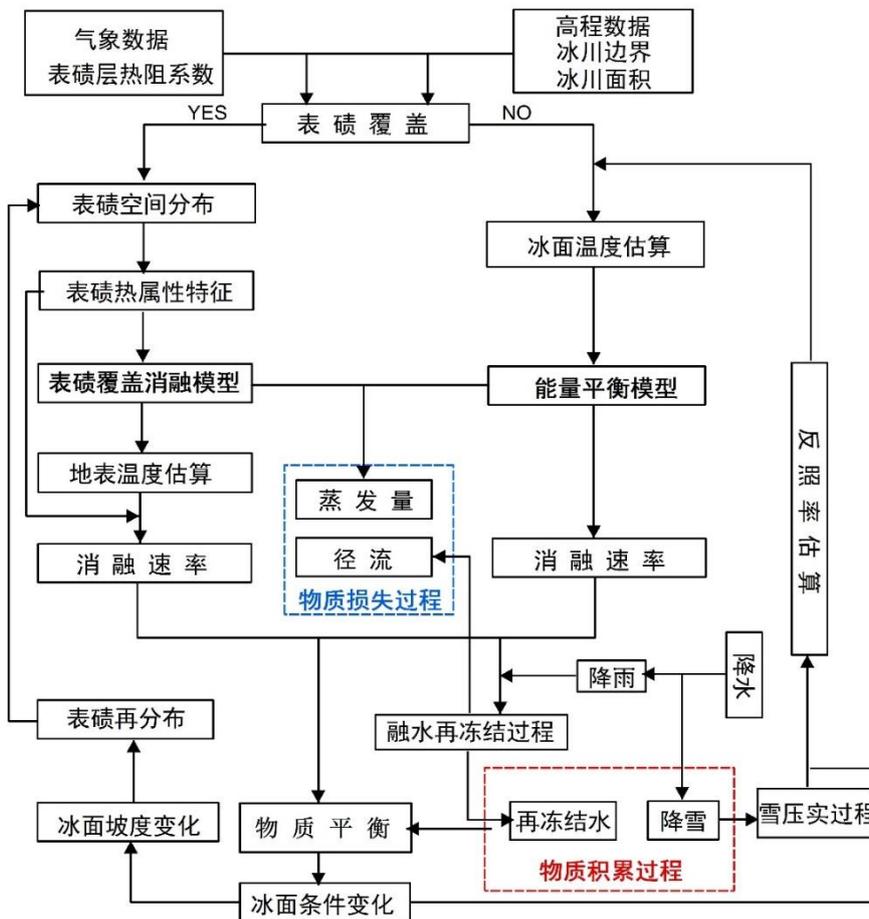


图 2 基于冰川能量-物质平衡模型重建海螺沟流域冰川物质平衡流程示意图^[10]

2 数据样本描述

本数据集的数据存储格式为文本格式，其中文本数据包括冰川物质平衡数据和冰川平衡线高度数据，命名为 Mass_balance_data.txt 和 Equilibrium_line_altitude_data.txt，单位分别是 m w.e. 和 m a.s.l.。样本展示如图 3。

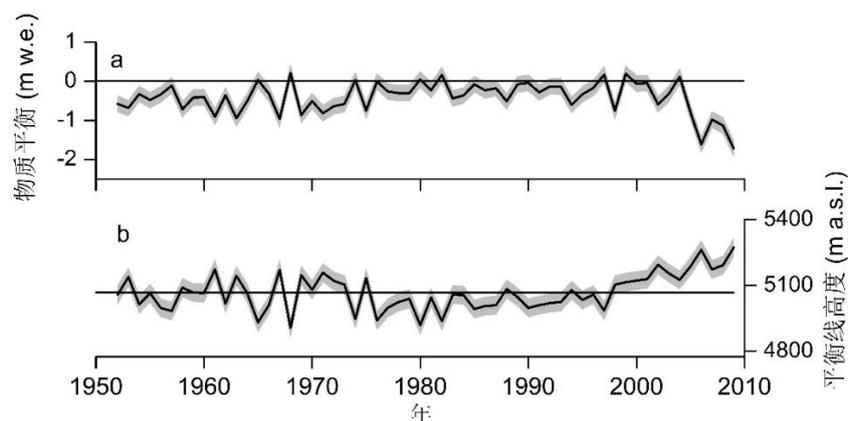


图3 1952–2009 年海螺沟流域冰川物质平衡和平衡线高度变化图

3 数据质量控制和评估

本文基于观测气象数据、格网气象数据等，应用冰川能量–物质平衡模型重建了海螺沟流域冰川物质平衡序列。首先，通过冰川末端观测的气温和降水数据对格网气温和降水数据进行了评估（表2）。总体上，气温和降水格网数据的日、月、年值与流域冰川末端观测值有较好的相关性，但降水的相关系数低于气温。同样，春、夏和秋季格网数据的相关性高于冬季。尽管冬季降水的格网数据与观测值相关性较低，但该流域冰川属于夏季补给型冰川，夏季降水占了全年降水量的80%以上^[10]，因此对模型精度影响相对较小。在此基础上，基于二者建立的线性回归方程对格网气温和降水数据进行了误差校正^[10]。误差校正后的气温和降水数据与观测数据的相关系数分别达到了0.96和0.87^[10]。

表2 海螺沟流域冰川末端观测气温和降水数据与格网数据的相关系数（显著性水平 $p < 0.001$ ）^[10]

	气温 ^a	降水 ^b
日值	0.90	0.70
月值	0.98	0.96
年值	0.71	0.53
春季（3–5月）	0.98	0.90
夏季（6–8月）	0.91	0.70
秋季（9–11月）	0.99	0.95
冬季（12月至次年2月）	0.64	0.53

注：a 采用的数据是1988–2007年间数据；b 采用的数据是1988–2004年间数据。

冰川能量–物质平衡模型的模拟精度是通过流域内不同时期观测的消融速率和月径流数据进行综合评估的^[10]。从图4a和图4b可以看出，该模型对不同时期冰川消融模拟结果与观测值较为接近。总体上，冰川消融观测值与模拟值的相关系数和均方根误差分别为0.78（ $p < 0.001$ ）和0.003 m w.e. d^{-1} ，尤其是不同表碛厚度下冰川消融速率观测值与模拟值的相关系数达到了0.82（图4b）。通过对比不同厚度表碛下的冰川消融速率观测值与模拟值发现，二者的相对误差仅为10%左右。与不同时期观测的流域月径流值对比发现，效率系数（Nash-Sutcliffe efficiency）达到了0.84^[10]（图4c）。基于观测气象数据模拟的累计径流值与观测值相比低估了10%，而基于格网数据高估了4%^[10]（图4d）。

尽管个别时间点的模拟值有所偏差，但总体上，该模型能够模拟出流域物质转化的过程，因此该模型的模拟效果是可靠的。

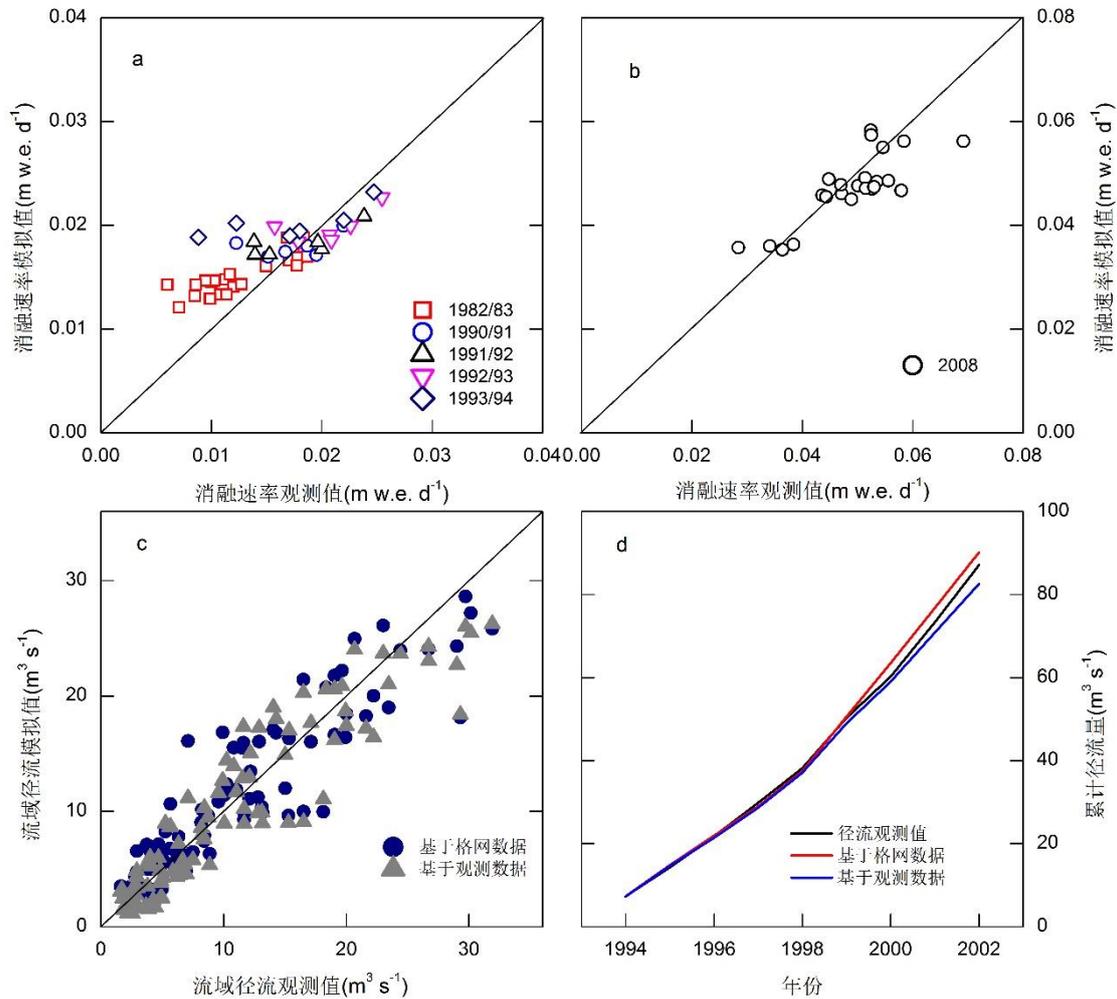


图 4 海螺沟流域冰川消融、流域径流的观测值与模拟值（数据来源于 Zhang 等^[10]）

4 数据价值

冰川物质平衡数据是研究冰川作用区能量–物质交换的基础数据，搞清全球不同区域冰川物质平衡变化过程、差异及其控制机理，能够系统揭示冰川对气候变化响应机理及影响的科学认识，进一步评估区域冰川变化的水资源效应、气候效应、生态效应及其对全球海平面的影响。本数据集是基于物理过程的冰川能量–物质平衡模型重建的青藏高原东南部海螺沟流域冰川 1952–2009 年物质平衡序列和平衡线高度变化序列，可反映青藏高原东南部典型海洋型冰川区物质变化特征。因此，本数据为研究青藏高原东南部地区海洋型冰川对气候变化的响应特征奠定了数据基础。

5 数据使用方法和建议

1952–2009 年青藏高原东南缘贡嘎山海螺沟流域冰川物质平衡序列和平衡线高度变化序列所有数据存储格式均为文本格式。常用的办公软件均可支持该数据的读取、编辑、查看、统计等操作。本数据集可靠性高，代表性强，可作为青藏高原东南部海洋型冰川物质平衡研究的参考数据，为区

域气候变化、冰川变化等研究提供基础数据支持。

致谢

感谢中国科学院贡嘎山森林生态系统国家野外科学观测研究站提供的冰川末端气象和径流观测数据。

数据作者分工职责

张勇（1979—），男，山东省滕州市人，博士，教授，研究方向为冰川模拟。主要承担工作：模型的计算、数据分析及论文撰写。

刘时银（1963—），男，河南省信阳市人，博士，研究员，研究方向为冰川变化。主要承担工作：数据处理流程的设计。

刘巧（1980—），男，湖北随州人，博士，副研究员，研究方向为冰川变化。主要承担工作：数据质量分析。

参考文献

- [1] OERLEMANS J, FORTUIN J P F. Sensitivity of Glaciers and Small Ice Caps to Greenhouse Warming[J]. *Science*, 1992, 258: 115–117.
- [2] CUFFEY K M, PATERSON W S B. *The physics of glaciers*[M]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2010.
- [3] 秦大河, 丁永建. 冰冻圈变化及其影响研究——现状、趋势及关键问题[J]. *气候变化研究进展*, 2009, 54(4): 187–195.
- [4] 刘时银, 张勇, 刘巧, 等. *气候变化对冰川影响与风险研究*[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [5] GARDNER A S, MOHOLDT G, COGLEY J G, et al. A Reconciled Estimate of Glacier Contributions to Sea Level Rise: 2003 to 2009[J]. *Science*, 2013, 340(6134): 852–857.
- [6] ZEMP M, THIBERT E, HUSS M, et al. Reanalysing glacier mass balance measurement series[J]. *The Cryosphere*, 2013, 7: 1227–1245.
- [7] 施雅风, 刘时银. 中国冰川对 21 世纪全球变暖响应的预估[J]. *科学通报*, 2000, 45(4): 434–438.
- [8] BRAITHWAITE R J, RAPER S C B. Glaciological conditions in seven contrasting regions estimated with the degree-day model[J]. *Annals of Glaciology*, 2007, 46: 297–302.
- [9] ZHANG Y, HIRABAYASHI Y, FUJITA K, et al. Heterogeneity in supraglacial debris thickness and its role in glacier mass changes of Mount Gongga[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2016, 59(1): 170–184.
- [10] ZHANG Y, HIRABAYASHI Y, LIU S. Catchment-scale reconstruction of glacier mass balance using observations and global climate data: Case study of the Hailuoguo catchment, south-eastern Tibetan Plateau[J]. *Journal of Hydrology*, 2012, 444–445: 146–160.
- [11] YANG W, GUO X, YAO T, et al. Recent accelerating mass loss of southeast Tibetan glaciers and the relationship with changes in macroscale atmospheric circulations[J]. *Climate Dynamics*, 2016, 47(3–4): 805–815.

- [12]刘巧, 张勇. 贡嘎山海洋型冰川监测与研究: 历史、现状与展望[J]. 山地学报, 2017, 35(5): 717–726.
- [13]ZHANG Y, HIRABAYASHI Y, LIU Q, et al. Glacier runoff and its impact in a highly glacierized catchment in the southeastern Tibetan Plateau: past and future trends[J]. Journal of Glaciology, 2015, 61(228): 713–730.
- [14]LIU Q, LIU S, ZHANG Y, et al. Recent shrinkage and hydrological response of Hailuoguo glacier, a monsoon temperate glacier on the east slope of Mount Gongga, China[J]. Journal of Glaciology, 2010, 56(196): 215–224.
- [15]HIRABAYASHI Y, KANAE S, MOTOYA K, et al. A 59-yr (1948–2006) global meteorological forcing data set for land surface models. Part I: development of daily forcing and assessment of precipitation intensity[J]. Hydrological Research Letters, 2008, 2: 36–40.
- [16]YATAGAI A, KAMIGUCHI K, ARAKAWA O, et al. APHRODITE: Constructing a Long-Term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2012, 93(9): 1401–1415.
- [17]苏珍, 宋国平, 曹真堂. 贡嘎山海螺沟冰川的海洋性特征[J]. 冰川冻土, 1996, 18: 51–59.
- [18]ZHANG Y, FUJITA K, LIU S, et al. Distribution of debris thickness and its effect on ice melt at Hailuoguo Glacier, southeastern Tibetan Plateau, using in situ surveys and ASTER imagery[J]. Journal of Glaciology, 2011, 57(206): 1147–1157.
- [19]李吉均, 苏珍. 横断山冰川[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [20]ZHANG Y, FUJITA K, LIU S, et al. Multi-decadal ice-velocity and elevation changes of a monsoonal maritime glacier: Hailuoguo glacier, China[J]. Journal of Glaciology, 2010, 56(195): 65–74.

论文引用格式

张勇, 刘时银, 刘巧. 1952–2009 年青藏高原东南部贡嘎山海螺沟流域冰川物质平衡数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2018, 3(4). (2018-09-04). DOI: 10.11922/csdata.2018.0042.zh.

数据引用格式

张勇, 刘时银, 刘巧. 1952–2009 年青藏高原东南部贡嘎山海螺沟流域冰川物质平衡数据集[DB/OL]. Science Data Bank, 2018. (2018-06-29). DOI: 10.11922/sciencedb.623.

A dataset of glacier mass balance of Hailuogou catchment in Mount Gongga, southeastern Tibetan Plateau, during 1952–2009

Zhang Yong^{1,2*}, Liu Shiyin^{3,2}, Liu Qiao⁴

1. School of Resource Environment and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, P. R. China

2. State Key Laboratory of Cryospheric Science, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, P. R. China

3. Institute of International Rivers and Eco-Security, Yunnan University, Kunming 650500, P. R. China

4. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, P.R. China

*Email: yong.zhang@hnust.edu.cn

Abstract: Glacier mass balance is among the clearest natural indicators of ongoing climate change and is important for the assessment of water resources and sea-level rise. However, few glaciers in southeastern Tibetan Plateau are under continued mass balance measurement. In addition, debris cover is widely present in the glacier ablation areas of southeastern Tibetan Plateau, which affects the melt rate of underlying ice and consequently influences glacier mass balance. Accordingly, overall characteristics of glacier mass balance in this region are not yet clear. Hailuogou catchment is located in the east side of Mount Gongga, southeastern Tibetan Plateau. The dataset of glacier mass balance of Hailuogou catchment for the period 1952 – 2009 is reconstructed by an energy-mass balance model that accounts for the significance of debris cover and its effect on the ice melt rate, based on observed meteorological data and gridded climate data. These data are stored in TXT format. The model performance is then validated against observed ablation and river runoff in the catchment. This dataset includes mass balance data and equilibrium line altitude data, which can reflect overall variation in the glacier mass changes of Hailuogou catchment during the period 1952 – 2009. This dataset can be used as basic data for studying glacier change and its response to climate change in the maritime glacierized region of southeastern Tibetan Plateau.

Keywords: maritime glacier; mass balance; energy-mass balance model; debris cover; Hailuogou catchment

Dataset Profile

Title	A dataset of glacier mass balance of Hailuogou catchment in Mount Gongga, southeastern Tibetan Plateau, during 1952–2009
Data corresponding author	Zhang Yong (yong.zhang@hnust.edu.cn)
Data authors	Zhang Yong, Liu Shiyin, Liu Qiao
Time range	1952–2009
Geographical scope	29°30'–29°40' N, 101°50'–102°1' E
Data volume	1.7 KB
Data format	*.txt

Data service system	< http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/623 >
Sources of funding	National Natural Science Foundation of China (41671057, 41761144075, 41771075); Fundamental Program of the Ministry of Science and Technology of China (MOST) (2013FY111400); Research Funds for New Talents of Yunnan University (YJRC3201702).
Dataset composition	This dataset consists of 2 subsets in total: (1) Mass_balance_data.txt is made up of time series of glacier mass balance in the Hailuogou catchment of Mount Gongga, southeastern Tibetan Plateau; (2) Equilibrium_line_atitude_data.txt is made up of time series of glacier equilibrium line altitude in the catchment.