

DOI: 10. 7522/j. issn. 1000-0240. 2018. 0028

MU Jianxin , LI Zhongqin , ZHANG Hui , et al. The global glacierized area: current situation and recent change , based on the Randolph Glacier Inventory (RGI 6. 0) published in 2017 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology , 2018 , 40(2) : 238 - 248. [牟建新, 李忠勤, 张慧, 等. 全球冰川面积现状及近期变化: 基于 2017 年发布的第 6 版 Randolph 冰川编目[J]. 冰川冻土, 2018 , 40(2) : 238 - 248.]

全球冰川面积现状及近期变化 ——基于 2017 年发布的第 6 版 Randolph 冰川编目

牟建新¹, 李忠勤^{2, 1}, 张 慧^{2, 3}, 梁鹏斌¹

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 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/
天山冰川观测试验站, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 基于 2017 年发布的第 6 版 Randolph 冰川编目资料, 结合全球 16 个主要冰川区近期发表的冰川变化研究文献, 系统分析了全球冰川面积现状及其近期变化。结果表明, 全球(不包括南极与格陵兰冰盖) 共发育山地冰川 215 547 条, 总面积达 705 739 km², 面积相对误差为 4. 2%。冰川数量以面积等级 < 1 km² 的冰川(79. 15%) 为主, 冰川面积以面积等级 ≥ 100 km² 的冰川(54. 9%) 为主。分布在北极的冰川面积(45. 5%) 最多, 分布在南极周边岛屿的冰川面积(18. 8%) 次之, 分布在高亚洲(13. 8%) 和阿拉斯加(12. 3%) 的冰川面积再次之。近 50 年间全球冰川经历了强烈退缩, 16 个主要冰川区面积退缩率达 11. 3%, 1960 年以来的冰川面积年均退缩率为 0. 35%。由于目前尚缺乏多期冰川编目可供比较, 全球范围内冰川变化的定量研究仍将是今后研究的重点。

关键词: 全球; 冰川变化; 冰川面积; 冰川编目

中图分类号: P343. 7 文献标志码: A 文章编号: 1000-0240(2018) 02-0238-11

0 引言

冰川作为地球气候系统中冰冻圈的重要组成部分, 其面积变化是对圈层间能量平衡的综合反映, 被认为是气候变化的可靠指示器^[1], 在全球海平面上升与区域水循环研究中扮演着不容忽视的角色^[2-3]。冰川面积不仅是通过“面积-体积”经验公式法获取冰储量的基础^[4-5], 也是大地测量学方法准确估算冰川物质平衡的关键参数之一^[6]。在当前气候变暖的大背景下, 全球范围内冰川普遍出现了加速退缩的趋势^[7], 准确测算全球冰川面积现状及近期变化已成为当务之急。

面积变化的系统性研究依赖于世界冰川编目的完成, 为此, 国际地球物理年(1957 - 1959 年) 专门委员会在 1955 年就要求各国对其境内的冰川基本信息进行调查登记^[8]。20 世纪 70 年代, Müller 等^[9]编写完成了世界冰川编目指南, 细化了对 40

种冰川参数的量测规定, 但至 80 年代, 也仅有少数几个国家完成了本国的冰川编目。1989 年, 世界冰川监测服务处(World Glacier Monitoring Service, WGMS) 出版了世界冰川编目(World Glacier Inventory, WGI) 专辑^[10], 与国际欧亚冰川编目^[11]结合也仅覆盖全球大约 25% 的冰川区, 之后 Cogley^[12]对 WGI 进行了拓展, 也仅提升至 48%。但 WGI 缺乏冰川边界, 难以用其去评估全球冰川面积变化。1995 年发起的全球陆地冰川空间测量计划(Global Land Ice Measurements from Space, GLIMS), 到 2013 年仅覆盖全球约 58% 的冰川区^[13]。2010 年为满足 IPCC 第五次评估报告有关冰川变化对海平面影响的需要, 在各国冰川学家的努力下展开了首次全覆盖的冰川编目(不包括南极与格陵兰冰盖), 两年后第 1 版 Randolph 冰川编目(Randolph Glacier Inventory, RGI) 问世, 随着影像质量的不断提高及遥感技术的发展, 新版本也在陆续发布。本研究以

收稿日期: 2017-11-18; 修订日期: 2018-04-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(91425303; 41471058; 41771077; 41641003) 资助

作者简介: 牟建新(1994 -), 男, 甘肃陇南人, 2016 年在西北师范大学获学士学位, 现为西北师范大学在读硕士研究生, 从事冰川变化与冰川物质平衡研究。E-mail: mujianxin2012@ 163. com

通信作者: 李忠勤, E-mail: lizq@ lzb. ac. cn.

2017 年 7 月最新发布的 RGI 6.0 为基础,综合学者们在不同区域的冰川变化研究成果,分析全球冰川面积现状及近期变化,以期为全球尺度的冰川变化研究提供一定的参考。

1 数据与方法

1.1 数据源

1.1.1 RGI 6.0 编目数据

本研究所用 RGI 6.0 数据来源于美国国家雪冰数据中心 (<http://www.glims.org/RGI/>),该编目以 1999 年及之后的 Landsat TM/ETM+ 为主要影像来源,以 ASTER、IKONOS 及 SPOT 等高分辨率影像和地形图资料作解译补充,最小冰川面积采用 WGI 推荐值 0.01 km^2 。大部分冰川矢量边界的提取依靠建立在雪、冰不同光谱反射特征和归一化波段比值基础上的自动或半自动程序,部分轮廓采用了人工目视解译和地形图数字化。复杂冰川体采用标准分水岭工具进行分割,然后依据终点临近度进行组合。其中,加拿大西部和阿拉斯加、格陵兰岛、高亚洲部分地区采用 Bolch 等^[14]提出的方法;阿拉斯加、加拿大北极南部及其他几个区域采用 Kienholz 等^[15]提出的方法进行校准和质量控制。所有解译出的矢量边界均采用等面积圆柱投影,选用 WGS84 椭球体,在 GIS 环境下计算冰川面积。

与之前版本相比,RGI 6.0 在以下方面的质量有所提高^[16]: ①有明确时间信息的冰川大幅上升,占到总数的 99%、面积的 98%; ②吸纳了最近完成的区域性冰川编目,如中国第二次冰川编目及高亚洲冰川编目; ③进一步细化了冰川区范围的界定,

如将亚洲中部及东南部的东部边界向东做了调整; ④对于可能的 1 343 条跃动冰川给予了相应编码; ⑤增加了 RGI 与 WGMS 的编码连接; ⑥部分高纬度地区冰川的属性信息由更高分辨率的 ArcticDEM 代替 ASTER GDEM2 重新进行了计算。

就全球尺度而言,目前并没有统一的区划方案来满足冰川编目的全部要求。RGI 主要考虑地理临近度(气候、水文、地形)^[17],将全球冰川划分为 19 个一级区域(图 1)及 91 个二级区域,主要原则包括:覆盖全球全部冰川、与普遍承认的冰川区域类似、简单且易于识别的冰川区边界,该分区结果已被全球冰川研究所广泛使用^[18-21]。19 个一级冰川区依次为: 01 阿拉斯加(Alaska); 02 北美西部(Western North America); 03 加拿大北极北部(Arctic Canada North); 04 加拿大北极南部(Arctic Canada South); 05 格陵兰岛边缘(Greenland Periphery); 06 冰岛(Iceland); 07 斯瓦尔巴群岛和扬马延岛(Svalbard and Jan Mayen); 08 斯堪的纳维亚(Scandinavia); 09 俄罗斯北极(Russian Arctic); 10 亚洲北部(Asia North); 11 欧洲中部(Central Europe); 12 高加索和中东(Caucasus and Middle East); 13 亚洲中部(Asia Central); 14 亚洲西南部(Asia South West); 15 亚洲东南部(Asia South East); 16 低纬度地区(Low Latitudes); 17 南安第斯(Southern Andes); 18 新西兰(New Zealand); 19 南极周边岛屿(Antarctica and Sub Antarctic Islands)。本研究采用 10^n ($n=0, 1, 2, 3$) 的面积分类指标,对 19 个一级区域的冰川分布现状进行归类统计。

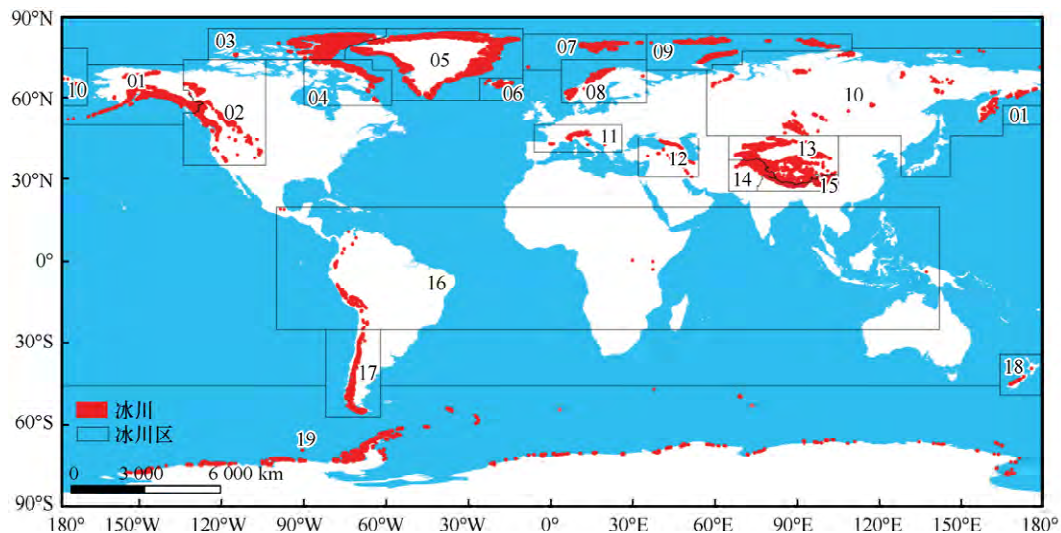


图 1 RGI 一级冰川区划分

Fig. 1 The 19 first-order glacier regions by Randolph Glacier Inventory (RGI)

1.1.2 冰川变化数据

尽管 RGI 提供了全球冰川分布信息,但由于缺乏完整的多期数据而无法对其变化进行系统评估。本研究结合 IPCC 第五次评估报告并更新部分区域

最新研究文献,尽可能收集整理了 1950 年以来相同时间段的数据(表 1)。需要说明的是,格陵兰岛边缘、高加索和中东、俄罗斯北极的相关研究资料匮乏,故未对这 3 个区域的冰川变化予以评述。

表 1 16 个一级冰川区面积变化数据来源
Table 1 Data sources of glacierized area variation of the 16 first-order glacier regions

冰川区序号	研究区域	开始年份	结束年份	当前冰川面积/km ²	面积相对变化率/%	文献来源
01	Chugach Mountains	1952	2007	1 286	-23.0	[22]
02	North Cascades	1958	1998	117	-7.0	[23]
	Rocky Mountains	1985	2006	880	-16.7	[24]
	Wind River Range	1966	2006	46	-37.7	[25]
	Yukon	1959	2007	11 622	-21.9	[26]
	Rocky Mountains	1985	2005	30 063	-11.1	[14]
	Clemenceau Icefield	1985	2001	313	-13.4	[27]
	Chaba Group	1985	2001	97	-28.9	[27]
	Rocky Mountains	1952	2001	40	-15.0	[28]
	Columbia Mountains	1952	2001	397	-5.0	[28]
	Coast Mountains	1964	2002	2 397	-5.0	[28]
03	Queen Elizabeth Island	1960	2000	107 071	-2.7	[29]
	North Ellesmere	1960	2000	27 556	-3.4	[29]
	Agassiz	1960	2000	21 645	-1.3	[29]
	Axel/Meighen/Melville	1960	2000	12 231	-1.7	[29]
	Prince of Wales	1960	2000	19 558	-0.9	[29]
	South Ellesmere	1960	2000	10 696	-5.9	[29]
	Devon Island	1960	2000	15 344	-4.0	[29]
04	Bylot Island	1959	2001	5 036	-5.0	[30]
	Barnes Ice Cap	1958	2000	5 995	-2.0	[29]
	Penny Ice Cap	1959	2000	6 604	-1.9	[29]
	Terra Nivea	1958	2000	197	-14.0	[29]
	Grinnel Ice Cap	1958	2000	135	-10.9	[29]
	Baffin Island	1975	2000	2 187	-12.5	[31]
06	four ice caps	1998	2011	1 005	-7.6	[32]
07	Svalbard	1990	2008	5 205	-4.6	[33]
08	Jostedalbreen	1966	2006	725	-9.0	[34]
	Jotunheimen	1965	2003	230	-12.4	[35]
	Svartisen	1968	1999	518	-1.1	[36]
10	Ural	1956	2000	9	-22.3	[37]
	Kodar Mountains	1995	2010	7	-40.2	[38]
	Altai Chuya Ridges	1952	2004	284	-19.7	[39]
	Altai	1952	2008	805	-10.2	[40]
11	Alps	1969	1998	567	-17.1	[41]
	Ötztaler Alps	1997	2006	116	-8.2	[42]
	Alps	1973	1999	1 171	-16.1	[43]

表 1(续)

冰川区序号	研究区域	开始年份	结束年份	当前冰川面积/km ²	面积相对变化率/%	文献来源
11	Alps	1985	1998	372	-18.0	[43]
	Pyrenees	1982	2001	6	-52.3	[44]
	Aosta Valley	1975	2005	120	-27.0	[45]
	South Tyrol	1983	2006	137	-31.6	[46]
	Lombardy	1992	1999	117	-10.8	[47]
13	Altai Mountains	1989	2009	213	-4.2	[48]
	Pskem	1968	2000	220	-19.5	[49]
		2000	2007	177	-6.7	[49]
	Ili-Kungoy	1971	1999	672	-12.2	[49]
		1999	2007	590	-4.1	[49]
	At-Bashi	1968	2000	114	-12.1	[49]
		2000	2007	100	-4.2	[49]
	SE-Fergana	1968	2000	190	-9.2	[49]
		2000	2007	173	-0.5	[49]
	China	1960	2010	51 766	-18.0	[50]
	Akshiirak	1977	2003	407	-8.6	[51]
	Ala Archa	1981	2003	41	-10.6	[51]
	14	ten basins mean	1962	2004	6 332	-15.8
Kang Yatze		1969	2010	96	-14.4	[53]
Gharwal Himalaya		1968	2006	600	-4.6	[54]
15	Khumbu Himal	1976	2006	3 212	-15.6	[55]
	Khumbu Himal	1962	2005	92	-5.3	[56]
	Sagarmatha National Park	1962	2001	404	-4.9	[57]
16	Cordillera Coropuna	1955	2003	123	-54.0	[58]
	Cordillera Blanca	1970	2009	136	-28.0	[59]
	Cordillera Vilcanota	1985	2006	297	-33.2	[60]
	Quelcaya Ice Cap	1985	2009	43	-23.1	[60]
	Puncack Jaya	1942	2002	2	-78.3	[61]
	six mountain ranges	1959	2002	46	-48.1	[62]
	Cordillera Blanca	1970	2003	665	-22.4	[63]
	Kilimandscharo	1962	2011	7	-76.0	[64]
17	Gran Campo Nevado	1942	2002	253	-14.4	[65]
	San Lorenzo Mountains	1985	2008	207	-13.4	[66]
		Patagonia	1986	2011	22 717	-4.3
	Northern Patagonia Icefield	1979	2001	4 093	-3.4	[68]
	Aconcagua Basin	1955	2003	151	-19.9	[69]
18	Southern Alps	1978	2002	513	-16.6	[70]
19	Kerguelen Island	1963	2001	703	-21.0	[71]
	King George Island	1956	1995	1 250	-7.0	[72]

1.2 方法

1.2.1 误差评估

冰川的遥感解译精度主要受影像分辨率及质

量、研究尺度和人员专业技能的影响^[73-74]。由于 RGI 影像来源广泛,因而不能采用常规方法来衡量其相对误差。Pfeffer 等^[75]在总结了前人大量冰川

变化研究成果后,发现相关误差与冰川面积之间存在一定的指数关系。

$$e(s) = ke_1s^p \quad (1)$$

式中: $e(s)$ 为面积 s 所具有的误差(km^2); e_1 、 p 为

基于最小二乘法确定的 1 km^2 冰川面积对应的误差系数,取值为 0.039 和 0.7; k 为校正因子,这里取其推荐值 3。计算表明, RGI 6.0 冰川面积相对误差为 4.2% (表 2)。

表 2 一级冰川区条数和面积统计
Table 2 Number and area of glaciers of the 19 first-order glacier regions

冰川区序号	冰川区	数量		面积		面积相对误差
		/条	/%	/ km^2	/%	/%
01	阿拉斯加	27 108	12.6	86 725	12.3	4.3
02	北美西部	18 855	8.8	14 524	2.1	9.2
03	加拿大北极北部	4 556	2.1	105 111	14.9	2.7
04	加拿大北极南部	7 415	3.4	40 888	5.8	4.4
05	格陵兰岛边缘	19 306	9.0	89 717	12.7	4.4
06	冰岛	568	0.3	11 060	1.6	2.5
07	斯瓦尔巴群岛和扬马延岛	1 615	0.8	33 959	4.8	3.1
08	斯堪的纳维亚	3 417	1.6	2 949	0.4	9.3
09	俄罗斯北极	1 069	0.5	51 592	7.3	2.7
10	亚洲北部	5 151	2.4	2 410	0.3	11.0
11	欧洲中部	3 927	1.8	2 092	0.3	9.8
12	高加索和中东	1 888	0.9	1 307	0.2	10.2
13	亚洲中部	54 429	25.3	49 303	7.0	8.7
14	亚洲西南部	27 988	13.0	33 568	4.8	7.2
15	亚洲东南部	13 119	6.1	14 734	2.1	8.6
16	低纬度地区	2 939	1.4	2 341	0.3	10.0
17	南安第斯	15 908	7.4	29 429	4.2	5.3
18	新西兰	3 537	1.6	1 162	0.2	11.4
19	南极周边岛屿	2 752	1.3	132 867	18.8	1.8
	全球	215 547	100.0	705 739	100.0	4.2

1.2.2 面积变化

由于冰川面积在各区域上的分配不均,因而对于各一级冰川区面积退缩率的计算需考虑其所占不同权重。在不考虑文献间研究时段差异的情况下,全球冰川面积退缩率为

$$AC = \sum_{i=1}^n \frac{S_{RGI}}{S_{RCI}} \sum_{j=1}^n \left(\frac{s_{ij}}{S_i} a_{ij} \right) \quad (2)$$

式中: AC 为全球冰川面积退缩率(%); i 为研究文献涉及的一级冰川区数量; S_{RGI} 为 RGI 6.0 中第 i 个冰川区的面积(km^2); S_{RCI} 为研究所涉及的 16 个冰川区的总面积(km^2); j 为某一冰川区相关研究文献的数量; s_{ij} 为第 i 个冰川区中第 j 篇文献的当前冰川面积(km^2); S_i 为第 i 个冰川区所有研究文献现存面积总和(km^2); a_{ij} 为第 i 个冰川区中第 j

篇文献的相对变化率(%)。

若假定各一级冰川区中单个文献研究时段内的面积年均变化率一定,则可以采用差值的方法得到 1960 年以来全球冰川面积的相对变化率^[76]。

$$\frac{\Delta s}{S_0} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{RGI}}{S_{RCI}} \sum_{j=1}^n \left[\frac{s_{ij}}{S_i} \times \frac{\frac{\Delta s_{ij}}{\Delta t_{ij}} (T - 1960)}{S_{0ij} + \frac{\Delta s_{ij}}{\Delta t_{ij}} (t_{0ij} - 1960)} \right] \quad (3)$$

进一步可计算出面积的年均变化率(annual percentages of area changes, APAC)。

$$APAC = \frac{\Delta s}{S_0 \times \Delta t} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{RGI}}{S_{RCI}} \sum_{j=1}^n \left[\frac{s_{ij}}{S_i} \times \frac{\frac{\Delta s_{ij}}{\Delta t_{ij}}}{S_{0ij} + \frac{\Delta s_{ij}}{\Delta t_{ij}} (t_{0ij} - 1960)} \right] \quad (4)$$

上述式中: Δs 为冰川变化面积(km^2); Δs_{ij} 为第 i 个

冰川区中第 j 篇文献的冰川变化面积 (km^2); S_0 为冰川初始面积 (km^2); S_{0ij} 为第 i 个冰川区中第 j 篇文献的冰川初始面积 (km^2); Δt 为研究时段 (a); Δt_{ij} 为第 i 个冰川区中第 j 篇文献的研究时段 (a); Δt_{0ij} 为第 i 个冰川区中第 j 篇文献研究的开始年份; T 为研究文献的结束年份; 其余变量同式 (2)。

2 结果与分析

2.1 冰川面积现状

根据表 2, 全球共发育山地冰川 215 547 条, 总面积达 $705\ 739\ \text{km}^2$, 单条冰川平均面积为 $3.28\ \text{km}^2$ 。需要说明的是, RGI 中格陵兰岛边缘区包括 955 条地理位置非常靠近冰盖的冰川, 本文没有统计在内。从数量来看, 冰川主要集中在亚洲中部 (25.3%)、亚洲西南部 (13.0%) 和阿拉斯加 (12.6%) 等区域, 发育冰川均在 27 000 条以上, 总计达 109 525 条, 占全球冰川数量的 50.9%; 数量最少的一级冰川区为冰岛, 仅分布有 568 条冰川。

面积方面, 南极周边岛屿冰川面积最大 ($132\ 867\ \text{km}^2$), 其次是加拿大北极北部 ($105\ 111\ \text{km}^2$); 高加索和中东 ($1\ 307\ \text{km}^2$)、新西兰 ($1\ 162\ \text{km}^2$) 面积最小。总体而言, 北极地区 (包括加拿大北极、格陵兰岛边缘、斯瓦尔巴群岛和扬马延岛、俄罗斯北极) 冰川面积分布最多 (45.5%), 南极周边岛屿 (18.8%) 次之, 高亚洲 (13.8%, 包括亚洲中部、亚洲西南部和亚洲东南部) 和阿拉斯加 (12.3%) 再次之。对于面积相对误差而言, 表现出冰川面积越大、相对误差越小的特点。南极周边岛屿冰川面积最大, 其相对误差最小 (1.75%); 新西兰、亚洲北部、高加索和中东、低纬度地区小冰川数量众多, 相对误差均在 10% 左右。

从不同面积等级冰川数量与面积统计 (表 3) 来

表 3 全球冰川面积分级统计

Table 3 Statistics of number and area of glaciers in different area ranks all around the world

冰川面积 等级/ km^2	数量		面积	
	/条	/%	/ km^2	/%
<1	170 610	79.15	43 599	6.2
$\geq 1 \sim 10$	38 021	17.64	108 082	15.3
$\geq 10 \sim 100$	5 954	2.76	166 817	23.6
$\geq 100 \sim 1\ 000$	886	0.41	239 209	33.9
$\geq 1\ 000$	76	0.04	148 032	21.0
总计	215 547	100.00	705 739	100.0

看, 全球冰川数量以面积等级 $< 1\ \text{km}^2$ 的冰川为主, 共 170 610 条, 占冰川总条数的 79.15%, 但面积仅占 6.2%; 面积等级 $\geq 100\ \text{km}^2$ 的冰川共 962 条, 数量占比不足 0.5%, 但面积高达 $387\ 241\ \text{km}^2$ (54.9%)。其中, 以介于 $\geq 100 \sim 1\ 000\ \text{km}^2$ 的冰川面积比例最大 (33.9%), 面积 $\geq 1\ 000\ \text{km}^2$ 的冰川共 76 条, 以南极 Carney Island IC 冰川面积最大, 达 $6\ 005\ \text{km}^2$ 。

从面积等级的区域分布 (表 4) 来看, 面积 $\geq 100\ \text{km}^2$ 的冰川主要分布在高纬度地区 (北极和南极周边岛屿, 占 73.1%), 低纬度地区 99.6% 的冰川面积 $< 10\ \text{km}^2$, 中纬度地区 99.9% 的冰川面积 $< 100\ \text{km}^2$ 。不同面积等级冰川分布反映出明显的纬度地带性特征: 高纬度地区气候寒冷, 利于冰川的发育, 平均冰川面积大 ($8.75\ \text{km}^2$), 但数量占比低 (17%); 低纬度地区太阳辐射强烈, 地表温度较高, 不利于冰川的形成, 冰川平均面积 ($0.8\ \text{km}^2$) 和数量占比 (1.4%) 都相对较小; 中纬度地区冰川多分布在高大山系, 平均面积 ($2.17\ \text{km}^2$) 介于两者之间, 但数量占比 (81.6%) 最高。可见, 全球冰川数量和面积在不同区域的空间分布差异显著。

RGI 中对于冰川斑块的划分及面积最小阈值的设定直接影响着数据统计结果, 特别是小冰川的数量和面积。Pfeffer 等^[75] 研究表明, RGI 中遗漏的小冰川占总面积的比例至多不高于 1.4%, 但数量可能达 50%。另外, RGI 6.0 中仍然存在 461 条名义冰川 (只有位置和面积, RGI 中用圆圈表示), 同时受表碛覆盖及季节性积雪的影响, 部分冰川的精确边界还有待提高。因而, 相较于冰川数量, 面积的统计结果更为准确。

2.2 冰川面积近期变化

全球冰川数量众多且分布广泛, 目前尚缺乏多期完整的冰川编目资料来对其变化进行综合评估。本研究依据全球 16 个一级冰川区近期发表的冰川变化研究文献, 对其进行面积加权, 初步结果表明近 50 年来全球统计范围内的冰川面积退缩率为 11.3%, 在假定各一级冰川区中单个文献研究时段内的面积年均变化率不变的情况下, 计算得到 1960 年以来全球统计范围内的冰川面积年均退缩率为 0.35%。总体上全球冰川面积在近 50 年间经历了强烈退缩, 但退缩幅度在区域间存在明显差异 (图 2)。冰川面积的年均退缩率最大值出现在低纬度地区 (2.28%), 是全球平均退缩率的近 7 倍, 最小值出现在加拿大北极北部 (0.07%), 仅为全球平均

表 4 一级冰川区内不同面积等级冰川的数量与面积

Table 4 Number and area of glaciers in different area ranks of the 19 first-order glacier regions

冰川区	冰川面积等级/km ²									
	<1		≥1~10		≥10~100		≥100~1 000		≥1 000	
	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²	数量/条	面积/km ²
阿拉斯加	21 427	6 378	4 924	12 770	613	18 475	137	35 601	7	13 501
北美西部	16 094	3 634	2 611	6 862	146	3 137	4	891		
加拿大北极北部	1 779	798	1 804	6 341	804	24 497	150	43 721	19	29 754
加拿大北极南部	4 375	1 507	2 433	7 927	554	14 569	51	13 062	2	3 823
格陵兰岛边缘	13 089	3 621	4 811	15 788	1 286	36 806	119	25 965	1	7 538
冰岛	356	121	147	533	42	1 520	19	3 768	4	5 118
斯瓦尔巴群岛和扬马延岛	608	297	656	2 282	269	9 546	80	19 512	2	2 322
斯堪的纳维亚	2 843	678	532	1 504	42	767				
俄罗斯北极	149	94	448	1 732	350	12 360	119	33 717	3	3 689
亚洲北部	4 692	865	438	1 118	21	427				
欧洲中部	3 520	522	380	1 044	27	526				
高加索和中东	1 605	384	267	662	16	261				
亚洲中部	45 815	11 735	8 029	20 453	565	13 010	20	4 105		
亚洲西南部	23 390	5 732	4 183	11 243	390	9 411	24	6 104	1	1 078
亚洲东南部	10 379	3 041	2 519	6 728	219	4 664	2	301		
低纬度地区	2 311	536	615	1 656	13	149				
南安第斯	13 141	2 830	2 472	6 751	254	6 536	40	12 077	1	1 235
新西兰	3 377	468	143	333	17	361				
南极周边岛屿	1 660	358	609	2 355	326	9 795	121	40 385	36	79 974
全球	170 610	43 599	38 021	108 082	5 954	166 817	886	239 209	76	148 032

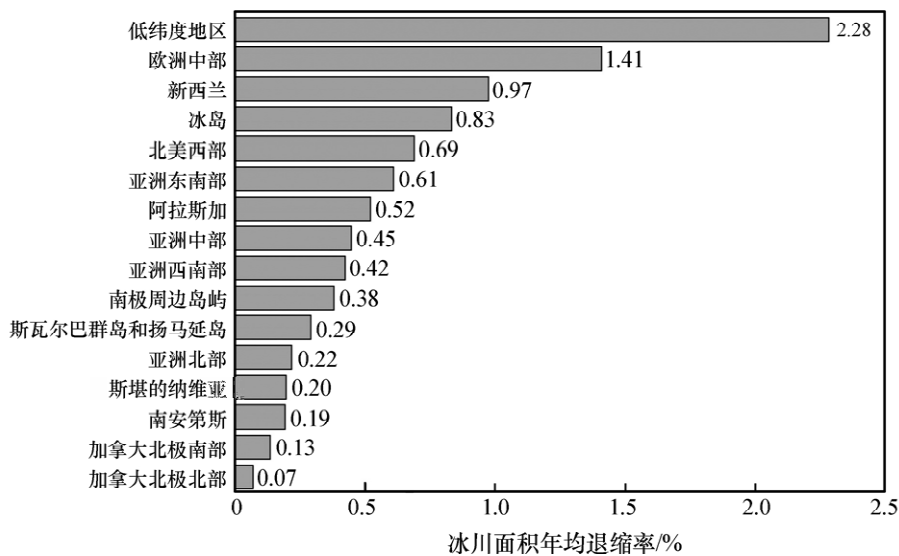


图 2 16 个一级冰川区 1960 年以来的冰川面积年均变化率
Fig. 2 The APAC of glaciers in the 16 first-order glacier regions since 1960

值的 20%。16 个一级冰川区中仅有 6 个区域的面积退缩率低于全球平均值,其中 3 个区域位于北极地区,南极周边岛屿冰川面积退缩率接近全球均值。总体而言,不同区域的面积退缩率与冰川规模有着密切关系,冰川规模越大,其面积年均退缩率越小。冰川面积等级不同,其对于气候变化的响应方式也有所不同,面积等级越高的冰川,虽然退缩率相对较小,但绝对量值大。考虑到本研究涉及的

相关文献在各冰川区分配不均,同时研究样本也相对较少,因而对各冰川区面积年均退缩率大小的比较结果仍有待后续多期冰川编目的验证。Zemp 等^[7]基于 WGMS 数据库 2000–2010 年冰川物质平衡观测资料对主要冰川区未来的面积变化进行了研究,指出未来气候条件即便同 2000–2010 年全球平均状况一致,受气候惯性作用,大部分区域的冰川也将经历进一步退缩(图 3),在气候变暖的大背

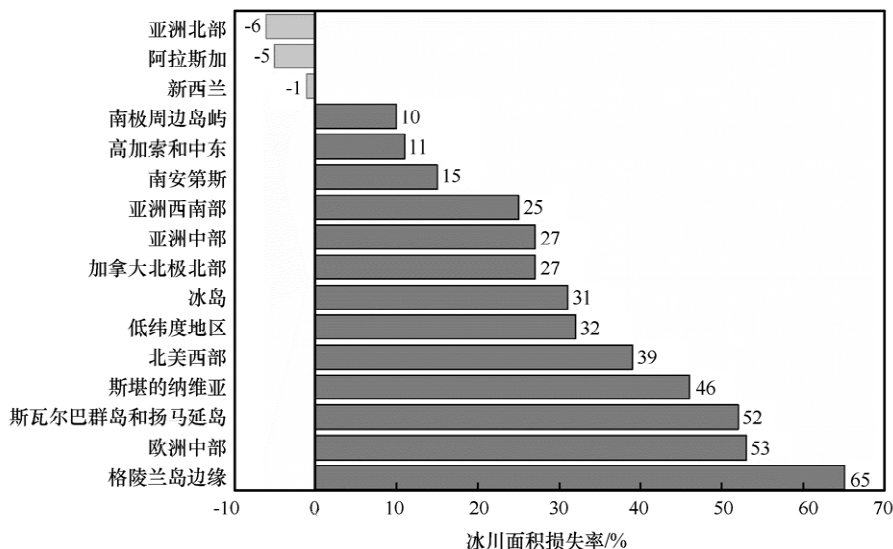


图 3 基于 2000–2010 年冰川物质平衡观测资料估算的全球冰川面积损失率^[7]

Fig. 3 Estimated glacierized area loss percentages based on glacier mass balance observations from 2001 to 2010^[7]

景下,未来冰川面积有可能仍维持退缩状态。

3 结论

(1) RGI 6.0 冰川编目表明全球共发育山地冰川 215 547 条,总面积达 705 739 km²,相对误差为 4.2%。分布在北极的冰川面积(45.5%)最多,分布在南极周边岛屿的冰川面积(18.8%)次之,分布在高亚洲(13.8%)和阿拉斯加(12.3%)的冰川面积再次之。数量上以面积等级 < 1 km² 的冰川为主(79.15%),面积上则以面积等级 ≥ 100 km² 的冰川为主(54.9%)。

(2) 对近期冰川变化研究文献的统计表明,近 50 年来全球 16 个一级冰川区面积退缩率为 11.3%,在对时间插补后计算得到 1960 年以来全球统计范围内的冰川面积年均退缩率为 0.35%。冰川面积退缩幅度的区域差异显著,年均面积退缩率在低纬度地区最快(2.28%),在加拿大北极北部最慢(0.07%),之间相差超过 30 倍。

目前尚缺乏多期完整的冰川编目来综合评估全球范围内的冰川变化,同时 RGI 6.0 还存在一些已

知问题,对于全球冰川面积变化的系统性定量研究仍将是今后的重点。

致谢: 感谢美国国家雪冰数据中心提供 Randolph 冰川编目数据。

参考文献(References):

- [1] Bojinski S, Verstraete M, Peterson T C, et al. The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2014, 95(9): 1431–1443.
- [2] Meier M F, Dyurgerov M B, Rick U K, et al. Glaciers dominate eustatic sea-level rise in the 21st century [J]. *Science*, 2007, 317(5841): 1064–1067.
- [3] Bliss A, Hock R, Radić V. Global response of glacier runoff to twenty-first century climate change [J]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2014, 119(4): 717–730.
- [4] Wang Puyu, Li Zhongqin, Li Huilin, et al. Analysis of the relation between glacier volume change and area change in the Tianshan Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(1): 9–15. [王璞玉, 李忠勤, 李慧林, 等. 天山冰川储量变化和面积变化关系分析研究 [J]. *冰川冻土*, 2017, 39(1): 9–15.]
- [5] Farinotti D, Huss M, Bauder A, et al. A method to estimate the ice volume and ice-thickness distribution of alpine glaciers [J]. *Journal of Glaciology*, 2009, 55(191): 422–430.

- [6] Zemp M , Thibert E , Huss M , et al. Reanalysing glacier mass balance measurement series[J]. *The Cryosphere* , 2013 , 7(4) : 1227 – 1245.
- [7] Zemp M , Frey H , Gärtner-Roer I , et al. Historically unprecedented global glacier decline in the early 21st century [J]. *Journal of Glaciology* , 2015 , 61(228) : 745 – 762.
- [8] Xie Zichu , Liu Chaohai. Introduction of glacial science [M]. Shanghai: Shanghai Popular Science Press , 2010. [谢自楚 , 刘潮海. 冰川学导论[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2010.]
- [9] Müller F , Caflisch T , Müller G. Instructions for compilation and assemblage of data for a World Glacier Inventory [M]. Zurich , Switzerland: Department of Geography , Swiss Federal Institute of Technology (ETH) , 1977.
- [10] Haerli W , Böschi H , Scherler K , et al. World glacier inventory: status 1988 [J]. Paris: IAHS , 1989.
- [11] Bedford D. New digitized glacier inventory for the former Soviet Union and China [J]. *Earth System Monitor* , 1996 , 6(3) : 8 – 10.
- [12] Cogley J G. A more complete version of the world glacier inventory [J]. *Annals of Glaciology* , 2009 , 50(53) : 32 – 38.
- [13] Kargel J S , Leonard G J , Bishop M P , et al. Global land ice measurements from space [M]. Berlin: Springer , 2014.
- [14] Bolch T , Menounos B , Wheate R. Landsat-based inventory of glaciers in western Canada , 1985 – 2005 [J]. *Remote Sensing of Environment* , 2010 , 114(1) : 127 – 137.
- [15] Kienholz C , Hock R , Arendt A A. A new semi-automatic approach for dividing glacier complexes into individual glaciers [J]. *Journal of Glaciology* , 2013 , 59(217) : 925 – 937.
- [16] RGI Consortium. Randolph glacier inventory: a dataset of global glacier outlines: version 6. 0 [DB]. Boulder , CO , USA: National Snow and Ice Data Center , 2017.
- [17] Radić V , Hock R. Regional and global volumes of glaciers derived from statistical upscaling of glacier inventory data [J/OL]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* , 2010 , 115(F1) [2018-04-04]. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2009JF001373>.
- [18] Gardelle J , Berthier E , Arnaud Y , et al. Region-wide glacier mass balances over the Pamir Karakoram Himalaya during 1999 – 2011 [J]. *The Cryosphere* , 2013 , 7(4) : 1263 – 1286.
- [19] Grinsted A. An estimate of global glacier volume [J]. *The Cryosphere* , 2013 , 7(1) : 141 – 151.
- [20] Farinotti D , Huss M. An upper-bound estimate for the accuracy of glacier volume-area scaling [J]. *The Cryosphere* , 2013 , 7(6) : 1707 – 1720.
- [21] Radić V , Bliss A , Beedlow A C , et al. Regional and global projections of twenty-first century glacier mass changes in response to climate scenarios from global climate models [J]. *Climate Dynamics* , 2014 , 42(1/2) : 37 – 58.
- [22] Le Bris R , Paul F , Frey H , et al. A new satellite-derived glacier inventory for western Alaska [J]. *Annals of Glaciology* , 2011 , 52(59) : 135 – 143.
- [23] Granshaw F D , Fountain A G. Glacier change (1958 – 1998) in the North Cascades National Park Complex , Washington , USA [J]. *Journal of Glaciology* , 2006 , 52(177) : 251 – 256.
- [24] Tennant C , Menounos B , Wheate R. Area change of glaciers in the Canadian Rocky Mountains , 1919 to 2006 [J]. *The Cryosphere* , 2012 , 6(6) : 1541 – 1552.
- [25] Thompson D , Tootle G , Kerr G , et al. Glacier variability in the Wind River Range , Wyoming [J]. *Journal of Hydrologic Engineering* , 2011 , 16(10) : 798 – 805.
- [26] Barrand N E , Sharp M J. Sustained rapid shrinkage of Yukon glaciers since the 1957 – 1958 international geophysical year [J]. *Geophysical Research Letters* , 2010 , 37(7) : 363 – 372.
- [27] Jiskoot H , Curran C J , Tessler D L , et al. Changes in Clemencau Icefield and Chaba Group glaciers , Canada , related to hypsometry , tributary detachment , length-slope and area-aspect relations [J]. *Annals of Glaciology* , 2010 , 50(53) : 133 – 143.
- [28] Debeer C M , Sharp M. Recent changes in glacier area and volume within the southern Canadian Cordillera [J]. *Annals of Glaciology* , 2007 , 46(1) : 215 – 221.
- [29] Sharp M , Burgess D O , Cawkwell F , et al. Remote sensing of recent glacier changes in the Canadian Arctic [M]. Berlin: Springer , 2014.
- [30] Dowdeswell E K , Dowdeswell J A , Cawkwell F. On the glaciers of Bylot Island , Nunavut , Arctic Canada [J]. *Arctic , Antarctic and Alpine Research* , 2007 , 39(3) : 402 – 411.
- [31] Paul F , Svoboda F. A new glacier inventory on southern Baffin Island , Canada , from ASTER data: II. data analysis , glacier change and applications [J]. *Annals of Glaciology* , 2009 , 50(53) : 22 – 31.
- [32] Jóhannesson T , Björnsson H , Magnússon E , et al. Ice-volume changes , bias estimation of mass-balance measurements and changes in subglacial lakes derived by lidar mapping of the surface of Icelandic glaciers [J]. *Annals of Glaciology* , 2013 , 54(63) : 63 – 74.
- [33] König M , Nuth C , Kohler J , et al. A digital glacier database for Svalbard [M]. Berlin: Springer , 2014: 229 – 239.
- [34] Paul F , Andreassen L M , Winsvold S H. A new glacier inventory for the Jostedalbreen region , Norway , from Landsat TM scenes of 2006 and changes since 1966 [J]. *Annals of Glaciology* , 2011 , 52(59) : 153 – 162.
- [35] Andreassen L M , Paul F , Käab A , et al. Landsat-derived glacier inventory for Jotunheimen , Norway , and deduced glacier changes since the 1930s [J]. *The Cryosphere* , 2017 , 2(3) : 131 – 145.
- [36] Paul F , Andreassen L M. A new glacier inventory for the Svartisen region , Norway , from Landsat ETM + data: challenges and change assessment [J]. *Journal of Glaciology* , 2009 , 55(192) : 607 – 618.
- [37] Shahgedanova M , Nosenko G , Bushueva I , et al. Changes in area and geodetic mass balance of small glaciers , Polar Urals , Russia , 1950 – 2008 [J]. *Journal of Glaciology* , 2012 , 58(211) : 953 – 964.
- [38] Stokes C R , Shahgedanova M , Evans I S , et al. Accelerated loss of alpine glaciers in the Kodar Mountains , south-eastern Siberia [J]. *Global and Planetary Change* , 2013 , 101(1) : 82 – 96.
- [39] Shahgedanova M , Nosenko G , Khromova T , et al. Glacier shrinkage and climatic change in the Russian Altai from the mid-20th century: an assessment using remote sensing and PRECIS regional climate model [J/OL]. *Journal of Geophysical Research* , 2010 , 115(D16) [2018-04-04]. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2009JD012976>.
- [40] Narozhnyi Y , Zemtsov V A. Current state of the Altai glaciers (Russia) and trends over the period of instrumental observations 1952 – 2008 [J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* , 2011 , 40(6) : 575 – 588.
- [41] Lambrecht A , Kuhn M. Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades , derived from the new Austrian glacier inventory [J]. *Annals of Glaciology* , 2007 , 46(1) : 177 – 184.
- [42] Abermann J , Lambrecht A , Fischer A , et al. Quantifying chan-

- ges and trends in glacier area and volume in the Austrian Ötztal Alps (1969–1997–2006) [J]. *The Cryosphere*, 2009, 3(2): 205–215.
- [43] Paul F, Kääb A, Maisch M, et al. Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellite data [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(21): 163–183.
- [44] Gonzales J J T, Moreno R M, Pisón E M D, et al. ‘Little Ice Age’ glaciation and current glaciers in the Iberian Peninsula [J]. *Holocene*, 2008, 18(4): 551–568.
- [45] Diolaiuti G A, Bocchiola D, Vagliasindi M, et al. The 1975–2005 glacier changes in Aosta Valley (Italy) and the relations with climate evolution [J]. *Progress in Physical Geography*, 2012, 36(6): 764–785.
- [46] Knoll C, Kerschner H. A glacier inventory for South Tyrol, Italy, based on airborne laser-scanner data [J]. *Annals of Glaciology*, 2010, 50(53): 46–52.
- [47] Citterio M, Diolaiuti G, Smiraglia C, et al. The fluctuations of Italian glaciers during the last century: a contribution to knowledge about alpine glacier changes [J]. *Geografiska Annaler*, 2007, 89(3): 167–184.
- [48] Krumwiede B S, Kamp U, Leonard G J, et al. Recent glacier changes in the Mongolian Altai Mountains: case studies from Munkh Khaikhan and Tavan Bogd [M]. Berlin: Springer, 2014.
- [49] Narama C, Kääb A, Duishonakunov M, et al. Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data [J]. *Global and Planetary Change*, 2010, 71(2): 42–54.
- [50] Liu Shiyin, Yao Xiaojun, Guo Wanqin, et al. The contemporary glaciers in China based on the second Chinese glacier inventory [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(1): 3–16. [刘时银, 姚晓军, 郭万钦, 等. 基于第二次冰川编目的中国冰川现状 [J]. *地理学报*, 2015, 70(1): 3–16.]
- [51] Aizen V B, Kuzmichenok V A, Surazakov A B, et al. Glacier changes in the Tien Shan as determined from topographic and remotely sensed data [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 56(4): 328–340.
- [52] Kulkarni A V, Rathore B P, Singh S K, et al. Understanding changes in the Himalayan cryosphere using remote sensing techniques [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32(3): 601–615.
- [53] Schmidt S, Nüsser M. Changes of high altitude glaciers from 1969 to 2010 in the Trans-Himalayan Kang Yatze Massif, Ladakh, Northwest India [J]. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 2012, 44(1): 107–121.
- [54] Bhambri R, Bolch T, Chaujar R K, et al. Glacier changes in the Garhwal Himalaya, India, from 1968 to 2006 based on remote sensing [J]. *Journal of Glaciology*, 2011, 57(203): 543–556.
- [55] Nie Y, Zhang Y, Liu L, et al. Glacial change in the vicinity of Mt. Qomolangma (Everest), central high Himalayas since 1976 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(5): 667–686.
- [56] Bolch T, Buchroithner M F, Pieczonka T, et al. Planimetric and volumetric glacier changes in the Khumbu Himal, Nepal, since 1962 using Corona, Landsat TM and ASTER data [J]. *Journal of Glaciology*, 2008, 54(187): 592–600.
- [57] Salerno F, Buraschi E, Brucocoleri G, et al. Glacier surface-area changes in Sagarmatha national park, Nepal, in the second half of the 20th century, by comparison of historical maps [J]. *Journal of Glaciology*, 2008, 54(187): 738–752.
- [58] Silverio W, Jaquet J. Multi-temporal and multi-source cartography of the glacial cover of Nevado Coropuna Arequipa, Peru between 1955 and 2003 [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, 33(18): 5876–5888.
- [59] Baraer M, Mark B G, McKenzie J M, et al. Glacier recession and water resources in Peru’s Cordillera Blanca [J]. *Journal of Glaciology*, 2012, 58(207): 134–150.
- [60] Salzmann N, Huggel C, Rohrer M, et al. Glacier changes and climate trends derived from multiple sources in the data scarce Cordillera Vilcanota region, Southern Peruvian Andes [J]. *The Cryosphere*, 2012, 7(1): 103–118.
- [61] Klein A G, Kincaid J L. Retreat of glaciers on Puncak Jaya, Irian Jaya, determined from 2000 and 2002 IKONOS satellite images [J]. *Journal of Glaciology*, 2006, 52(176): 65–79.
- [62] Ceballos J L, Euscategui C, Ramirez J, et al. Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia [J]. *Annals of Glaciology*, 2006, 43(1): 194–201.
- [63] Racoviteanu A, Arnaud Y, Williams M W, et al. Decadal changes in glacier parameters in the Cordillera Blanca, Peru, derived from remote sensing [J]. *Journal of Glaciology*, 2008, 54(186): 499–510.
- [64] Cullen N J, Sircuey P, Molg T, et al. A century of ice retreat on Kilimanjaro: the mapping reloaded [J]. *The Cryosphere*, 2012, 7(2): 419–431.
- [65] Schneider C, Schnirch M, Acuna C, et al. Glacier inventory of the Gran Campo Nevado Ice Cap in the Southern Andes and glacier changes observed during recent decades [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 59(1): 87–100.
- [66] Falaschi D, Bravo C, Masiokas M H, et al. First glacier inventory and recent changes in glacier area in the Monte San Lorenzo region (47°S), Southern Patagonian Andes, South America [J]. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 2013, 45(1): 19–28.
- [67] Davies B J, Glasser N F. Accelerating shrinkage of Patagonian glaciers from the Little Ice Age (~AD 1870) to 2011 [J]. *Journal of Glaciology*, 2012, 58(212): 1063–1084.
- [68] Rivera A, Benham T, Casassa G, et al. Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia Icefield, Chile [J]. *Global and Planetary Change*, 2007, 59(1): 126–137.
- [69] Bown F, Rivera A, Acuna C, et al. Recent glacier variations at the Aconcagua basin, central Chilean Andes [J]. *Annals of Glaciology*, 2008, 48(1): 43–48.
- [70] Gjermundsen E F, Mathieu R, Kääb A, et al. Assessment of multispectral glacier mapping methods and derivation of glacier area changes, 1978–2002, in the central Southern Alps, New Zealand, from ASTER satellite data, field survey and existing inventory data [J]. *Journal of Glaciology*, 2011, 57(204): 667–683.
- [71] Berthier E, Bris R L, Mabileau L, et al. Ice wastage on the Kerguelen Islands (49°S, 69°E) between 1963 and 2006 [J/OL]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2009, 114(F3) [2018-04-04]. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2008JF001192>.
- [72] Ruckamp M, Braun M, Suckro S, et al. Observed glacial changes on the King George Island Ice Cap, Antarctica, in the last decade [J]. *Global and Planetary Change*, 2011, 79(1): 99–109.
- [73] Wu Kunpeng, Liu Shiyin, Bao Weijia, et al. Remote sensing monitoring of the glacier change in the Gangrigabu Range, south-

- east Tibetan Plateau from 1980 through 2015 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(1): 24–34. [吴坤鹏, 刘时银, 鲍伟佳, 等. 1980–2015 年青藏高原东南部岗日嘎布山冰川变化的遥感监测[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(1): 24–34.]
- [74] Liu Kai, Wang Ninglian, Bai Xiaohua. Variation of glaciers in the Nubra basin, Karakoram Mountains, revealed by remote sensing images during 1993–2015 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(4): 710–719. [刘凯, 王宁练, 白晓华. 1993–2015 年喀喇昆仑山努布拉流域冰川变化遥感监测[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(4): 710–719.]
- [75] Pfeffer W T, Arendt A A, Bliss A, et al. The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers [J]. *Journal of Glaciology*, 2014, 60(221): 537–552.
- [76] Zhang Mingjun, Wang Shengjie, Li Zhongqin, et al. Glacier area shrinkage in China and its climatic background during the past half century [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(1): 15–28.

The global glacierized area: current situation and recent change , based on the Randolph Glacier Inventory (RGI 6.0) published in 2017

MU Jianxin¹, LI Zhongqin^{2,1}, ZHANG Hui^{2,3}, LIANG Pengbin¹

(1. College of Geography and Environment Sciences , Northwest Normal University , Lanzhou 730070 , China; 2. State Key Laboratory of Cryospheric Science / Tianshan Glaciological Station , Northwest Institute of Eco-Environment and Resources , Chinese Academy of Sciences , Lanzhou 730000 , China; 3. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

Abstract: Based on the Randolph Glacier Inventory (RGI 6.0) published in 2017 , current situation and recent change of global glacierized area were analyzed with reference to the statistics of glacierized area change in 16 first-order glacier regions of RGI. The results show that there are 215 547 glaciers covering an area of 705 739 km² all around the world (excluding the Antarctic and Greenland ice sheets) , with an uncertainty of 4.2% . The number of glaciers with the area below 1 km² reaches 170 610 and accounts for the majority part (79.15%) of glaciers in the world. Glaciers with area above 100 km² are totaled as 387 241 km² and constitute the main part (54.9%) of the world's glaciers. The 45.5% of total glacierized area is in Arctic regions (Arctic Canada North , Arctic Canada South , Greenland Periphery , Svalbard and Jan Mayen , and Russian Arctic) and 18.8% in Antarctica and Sub Antarctic Islands. Glacierized area in High Asia accounts for 13.8% and that in Alaska for 12.3% . The area-weighted shrinking rate of global glacier was 11.3% and the interpolated annual percentages of area changes (APAC) of global glacier has been 0.35% since 1960. There is a significant regional difference in the magnitude of the APAC of glacierized area , with a difference of more than 30 times between the fastest one in low latitudes area (2.28%) and the slowest one in Arctic Canada North area (0.07%) . Owing to lack of multiple global glacier inventories for comparison , quantitative studies of global-scale glacier change will continue to be the focus in the future.

Key words: global; glacier change; glacierized area; glacier inventory

(本文编辑: 武俊杰)