

doi:10.7522/j.issn.1000-0240.2013.0063

Nie Ning, Zhang Zhijie, Zhang Wanchang, *et al.*. Analysis of the characteristics of the glacier system and typical glacier change based on remote sensing in the Yarlung Zangbo River basin during the past 30 years[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(3): 541–552. [聂宁, 张智杰, 张万昌, 等. 近 30 a 来雅鲁藏布江流域冰川系统特征遥感研究及典型冰川变化分析[J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 541–552.]

# 近 30 a 来雅鲁藏布江流域冰川系统特征遥感研究及典型冰川变化分析

聂 宁<sup>1,2</sup>, 张智杰<sup>3</sup>, 张万昌<sup>2\*</sup>, 邓 财<sup>1,2</sup>

(1. 南京大学 环境学院 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093; 2. 中国科学院 遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100094; 3. 南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京 210023)

**摘 要:** 综合运用 RS 和 GIS 手段, 利用卫星遥感影像, 结合中国第一次冰川编目数据及数字高程模型 (DEM), 获取了雅鲁藏布江流域不同朝向上冰川面积分布、冰川面积随高度带分布状况统计结果, 及 3 个冰川聚集区 21 条大型海洋性冰川在 1976、1988、2005 年的冰川面积、厚度、冰储量及物质平衡线等基本参数, 丰富了该研究区相关冰川信息, 并统计分析了 21 条大型冰川面积变化状况及与气候变化的响应关系. 研究表明: 3 个区域冰川在 1976—1988 年和 1988—2005 年时间段内随着气温、降水的变化出现了相应的波动, 但总的来说在 1976—2005 年间, 这 21 条大型海洋性冰川并没有出现明显的前进或退缩现象, 这可能是由于降水的增加抵消了气温升高给冰川积累带来的不利影响, 也可能是由于大型冰川在高海拔地区有较大的积累区补给造成的, 进一步的研究亦在进展中.

**关键词:** 雅鲁藏布江; 高度带; 朝向; 冰川变化; 气候响应

**中图分类号:** P343.6 **文献标识码:** A

## 0 引言

雅鲁藏布江为恒河主干二级支流, 发源于中国西藏仲巴县境内的杰马央宗曲. 雅鲁藏布江由西向东流经西藏自治区南部, 在派-墨脱间形成著名的“U”字形大拐弯及世界最大的峡谷, 并向南流, 从巴昔卡进入印度境内后称布拉马普特拉河, 在孟加拉国戈尔隆多附近与恒河相汇<sup>[1-2]</sup>. 雅鲁藏布江流域冰川广布, 是中国主要的海洋性冰川分布区. 本区冰川季节性融水对于下游水资源开发利用起到重要作用. 大约有 5 亿人口依靠恒河、布拉马普特拉河以及印度河这 3 条河的水资源来用于农业和经济活动<sup>[2-3]</sup>. IPCC 第四次研究报告指出<sup>[4]</sup>, 最近 100 a (1906—2005 年) 的温度线性增加趋势为 0.74 °C, 这一趋势大于 IPCC 第三次评估报告给出的 0.6 °C

(1901—2000 年). 全球温度普遍升高, 尤其在北半球高纬地区升幅较大. 在这一气候背景下, 监测流域内冰川变化对于研究流域内水文、生态资源变化是非常必要的. 传统的冰川研究以野外考察并结合航空照片进行的<sup>[5]</sup>, 需耗费大量的人力物力财力. 遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 的发展为冰川变化的研究提供了有效的技术手段<sup>[5-6]</sup>. 目前, 我国大批冰川变化数据都主要通过不同时期的卫星遥感影像处理解译后获得<sup>[7]</sup>. 本文综合运用 RS 和 GIS 手段, 利用卫星遥感影像, 结合第一次冰川编目数据及数字高程模型 (DEM), 试图对雅鲁藏布江流域内冰川分布特征及大型海洋性冰川的发育做系统的分析研究, 了解在全球变化背景下这些冰川的变化及响应, 为以后综合评估流域水文、生态资源的脆弱性提供科学依据. 针对本研究获取的雅鲁藏布江

收稿日期: 2012-10-16; 修订日期: 2013-02-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2010CB951404); 自然科学基金项目 (41175088; 40971024) 资助

作者简介: 聂宁 (1988—), 女, 河南周口人, 2012 年硕士毕业于南京大学, 现为南京大学在读博士研究生, 主要研究方向为水资源与环境遥感. E-mail: niening33@163.com

\* 通讯作者: 张万昌, E-mail: wczhang@ceode.ac.cn

流域 3 个大型冰川聚集区 21 条大型海洋性冰川在 1976、1988、2005 年的冰川面积、冰储量及物质平衡线高度等基本参数, 统计分析这些冰川群的变化状况及其与气候变化的响应关系. 此外, 还弥补了传统方法在冰川系统特征统计上的空缺与不足, 为进一步了解该区域冰川发育、分布特征及变化提供更多资讯.

### 1 研究区概况

受自然条件、测绘水平等条件的限制, 不同学者对雅鲁藏布江长度、流域面积等基础数据的测定亦不尽相同<sup>[8-9]</sup>. 笔者曾利用分辨率 1 km 的 DEM 数据、主干河道矢量数据及 ArcHydro Tools 提取了雅鲁藏布江流域边界, 提取获得的雅鲁藏布江流域地理范围介于 82°1'~97°6' E、27°49'~31°17' N 之间, 流域面积为 257 682.03 km<sup>2</sup><sup>[10]</sup>. 该范围与以往研究结果及最新考察结果<sup>[1,8-9,11]</sup> 较为吻合. 因此, 以下所述雅鲁藏布江流域均为上述范围, 流域

基础地理概况如图 1 所示.

依据我国第一次冰川编目数据, 在提取获得的雅鲁藏布江流域范围内共有冰川 9 930 条, 面积 13 376.6 km<sup>2</sup>, 西部为大陆性冰川, 东部为季风海洋性冰川, 二者分界线大约在嘉黎-米拉-郎县-隆子一带<sup>[12]</sup>. 图 1 中所示的大型冰川为流域中面积较大的 60 条冰川(面积均大于 20 km<sup>2</sup>), 其面积总和为 3 154.2 km<sup>2</sup>, 占流域冰川总面积的 26.2%, 可见大型冰川在该区冰川资源中的地位. 其中, 4 条面积大于 100 km<sup>2</sup> 的特大海洋性冰川又占据更加显著的地位, 分别为恰青(编码 5O281B0729, 面积 206.7 km<sup>2</sup>)、雅弄(编码 5O282B0037, 面积 191.4 km<sup>2</sup>)、夏曲(编码 5O281B0702, 面积 163.6 km<sup>2</sup>)、那龙(编码 5O281B0768, 面积 117.8 km<sup>2</sup>), 这 4 条冰川共有面积 679.5 km<sup>2</sup>, 占流域冰川总面积的 5.6%.

鉴于大型海洋性冰川在流域冰川中的突出作用, 且海洋性冰川在气候变化下积累消融相对于大

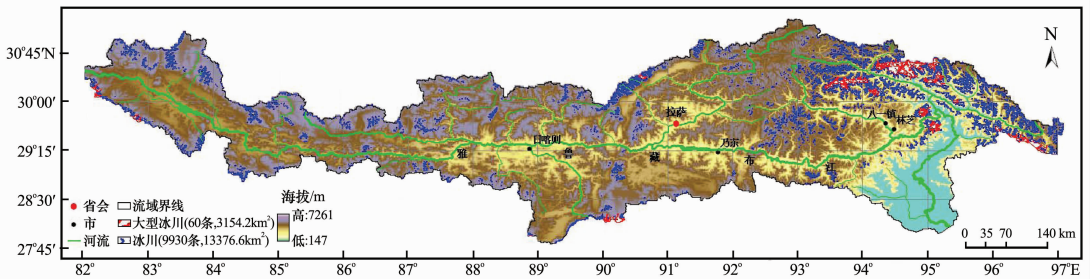


图 1 雅鲁藏布江流域基础地理概况图

Fig. 1 Map showing the fundamental geographic information of the Yarlung Zangbo River basin

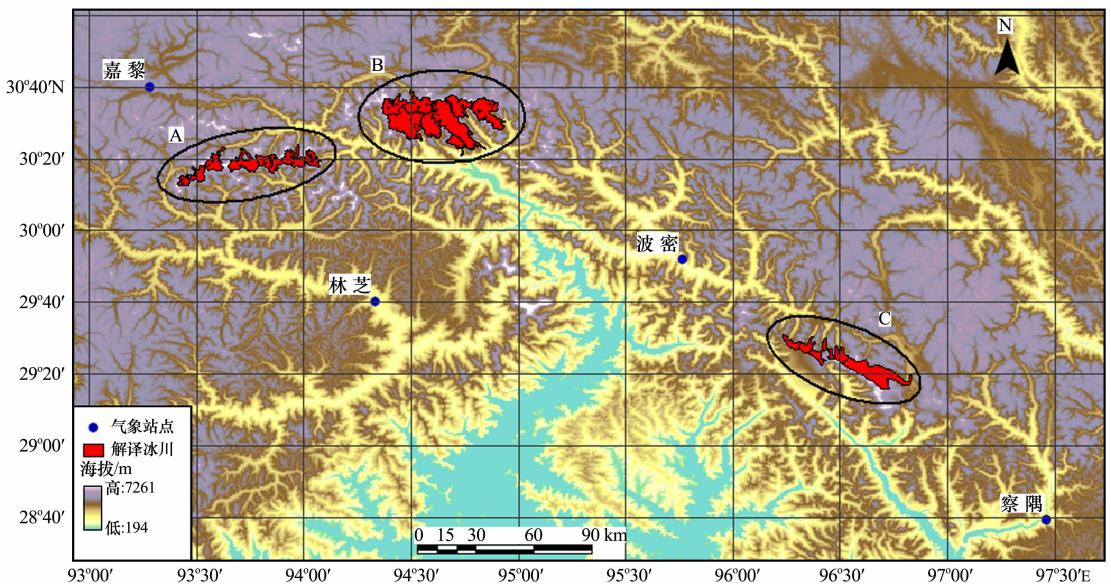


图 2 21 条大型冰川分布位置

Fig. 2 Map showing the geographic location of the 21 glaciers in the studied basin

陆性冰川更加强烈,本研究特选出其中 21 条大型海洋性冰川(冰川面积均大于 20 km<sup>2</sup>),对其变化状况及对气候变化的响应状况做一研究,其分布位置如图 2 所示.这 21 条冰川聚集在 3 个区域,为描述方便分别定义为 A、B、C 区.

## 2 数据源与图像预处理

### 2.1 数据资料

数据资料主要包括:中国第一次冰川编目数据集(1:10 万),数字高程模型(DEM)及 Landsat MSS/TM/ETM+ 卫星遥感数据.第一次冰川编目数据来源于国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”(http://westdc.westgis.ac.cn/).DEM 数据采用 90 m 分辨率 SRTM DEM 数据,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台(http://datamirror.csdb.cn)由于青藏高原云覆盖概率较高,满足解译要求的陆地卫星遥感资料非常有限<sup>[13-15]</sup>,很难获得同一时段满足低云要求覆盖全部研究区的遥感影像.因此,为尽可能的减少不同时期冰川变化解译的误差,在 1976、1988、2005 年没有相应的 Landsat 系列卫星遥感影像时,采用相近时段的影像数据,获取时间段为 10 月到次年 1 月.根据这一原则最终选择了以下 8 景影像数据分析解译:WRS1 参考系下 P146R39(1976 年 12 月 15 日)和 P144R40(1973 年 10 月 27 日)Landsat MSS 数据,WRS2 参考系下 P136R39(1988 年 10 月 9 日)、P135R39(1987 年 12 月 03 日)和 P134R40(1988 年 10 月 27 日)Landsat TM 数据,以及 P136R39(2005 年 10 月 24 日)、P135R39(2006 年 12 月 23 日)和 P134R40(2005 年 11 月 11 日)Landsat ETM+ 数据.上述 Landsat 卫星影像数据来源于 GLCF(Global Land Cover Facility, http://www.glcg.gov)及中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台(http://datamirror.csdb.cn).

### 2.2 图像处理

下载获得的 Landsat 卫星数据类型为 Level 1T,已经过系统的辐射校正和地面控制点几何校正,并且通过 DEM 进行了地形校正.该产品的大地测量校正依赖于精确的地面控制点和高精度的 DEM 数据,已满足图像后期分析的精度要求,故不再进行任何校正预处理.

目前,用于冰川边界提取的计算机解译方法包括监督分类、非监督分类、主成分分析、阈值法、

最大似然法、光谱角制图法,以及国内外学者提出的一些改进的自动、半自动提取方法<sup>[16-20]</sup>.然而,阴影、冰碛物的存在以及相邻冰川间界限划分问题等,仍然使得这些方法解译结果精度难以得到保证.人工目视解译虽工作量较大,但因提取的冰川信息准确性高而被国内外部分学者所采用<sup>[21-23]</sup>.因此,为保证冰川变化解译精度,本研究采用人工目视解译.解译并人工数字化成矢量图后,在 Google Earth 中进一步修正,获得了 3 个时期 21 条大型冰川面积矢量图.

## 3 分析与讨论

### 3.1 不同朝向冰川面积分布状况

第一次冰川编目数据给出了每条冰川粒雪盆的朝向,谢自楚等<sup>[1]</sup>依据粒雪盆朝向的不同,对雅鲁藏布江流域冰川的条数、面积、冰储量做了详细的统计,在此不再赘述.冰川表面是凹凸不平的,局部区域朝向各不相同,关于不同朝向上冰川面积的统计,传统测量统计方法很难实现.本研究利用 ArcGIS 软件,通过 DEM 数据与第一次冰川编目数据的叠置分析,依据冰川表面朝向的不同对流域内冰川面积进行统计.主要实施步骤如下:1)由流域 DEM 生成流域朝向数据;2)将流域朝向重分类为新的栅格数据(简称为 *Reaspect*),相应的栅格值转换为新的栅格值,如朝向值为 -1(即坡度为 0)转换为 *Reaspect* 值等于 1,朝向值介于 0~22.5 及 337.5~360(即朝向为北)转换为 *Reaspect* 值等于 2,朝向值介于 22.5~67.5(即朝向为东北)转换为 *Reaspect* 值等于 3,朝向值介于 67.5~112.5(即朝向为东)转换为 *Reaspect* 值等于 4.以此类推;3)将输出的 *Reaspect* 栅格数据转换为矢量数据,并将不同朝向数据输出为单独的矢量图层,即可得到不同朝向矢量图;4)用不同朝向矢量图切割雅鲁藏布江流域冰川边界数据,即可得到图 3 及表 1 所示的雅鲁藏布江流域不同朝向的冰川面积统计结果.

就不同朝向上的冰川面积而言,朝北向的冰川面积最大,为优势朝向,朝西向面积最小.朝南向虽因太阳辐射能量多于其他方向处于劣势,然而冰川面积次于北、东北、东向,竟多于西、西南、东南朝向,与西北朝向冰川面积持平.偏北向(北、东北、西北)与偏南向(南、东南、西南)冰川面积比值为 1.34(略大于 1),这种非对称性反映了偏北向因太阳辐射较少对冰川发育的有利影响.偏西向(西、西北、西南)与偏东向(东、东北、东南)面积比值为

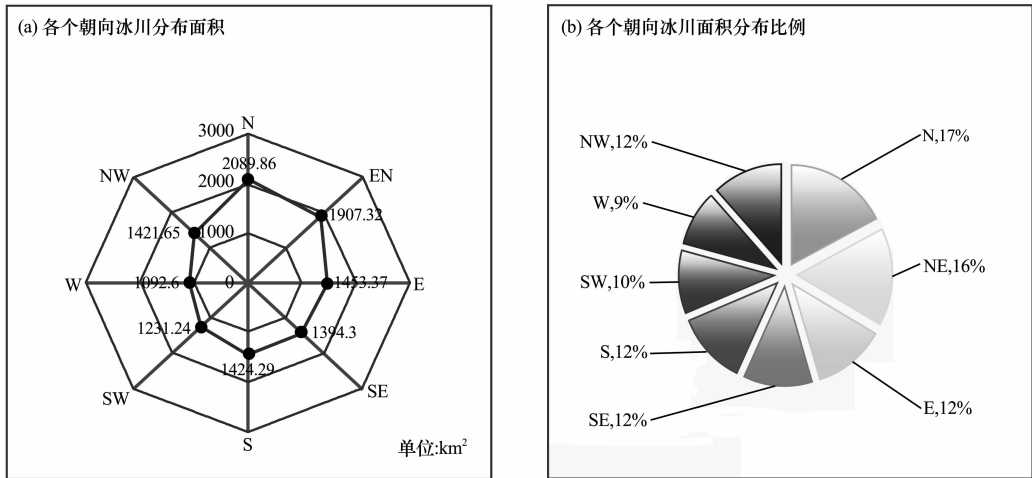


图 3 雅鲁藏布江流域冰川面积随朝向分布

Fig. 3 The orientational distribution of glacierized areas in the Yarlung Zangbo River basin in  $\text{km}^2$  (a) and in percentage (b)

表 1 雅鲁藏布江流域冰川面积及海拔随朝向分布

Table 1 The orientational dependences of glacierized areas and altitude ranges in the Yarlung Zangbo River basin

朝向	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
最高海拔/m	7253	7246	7253	7238	7261	7248	7252	7241
最低海拔/m	2597	2603	2616	2586	2782	2695	2696	2697

0.79(小于1),反映了前者相比于后者较有利的冰川发育条件.上述非对称性冰川发育特征与雅鲁藏布江流域的水汽通道有关.来自印度洋孟加拉湾的暖湿气流向南运动受到喜马拉雅山、念青唐古拉山东段及岗日嘎布的阻碍后,便以雅鲁藏布江大峡谷为最大的水汽通道,沿着干流河谷上溯运动形成降水<sup>[1,24]</sup>.因此,在雅鲁藏布江流域,水汽供给在一定程度上弥补了朝南坡向对冰川发育造成的不利影响,但其来源方向也造成了偏西偏东向冰川发育的不对称性.此外,偏北朝向冰川的最大海拔(7 253 m)略低于偏南向的最大海拔(7 261 m),但最低海拔(2 597 m)则略高于偏南向的最低海拔(2 586 m),与此相应的,偏北向冰川分布高度范围小于偏南向.偏西向与偏东向最高高度大致相同,但最低高度前者大于后者.因此,偏西向冰川高度范围小于偏东向.这些进一步说明了孟加拉湾暖湿气流带来的水汽补给对该区冰川发育的影响.

### 3.2 冰川面积随高度的分布状况

冰川面积随高度的分布具有重要的冰川学及水文学意义,如冰川消融、冰川径流的计算、成冰作用带的划分及面积统计等往往需要冰川面积按高度带分布的数据.由于工作量大,计算繁琐,因此大

多数国家的冰川编目未进行该项统计<sup>[25]</sup>.第一次冰川编目中,谢自楚等<sup>[1]</sup>将天山地区不同高度带冰川面积与其总面积之间的经验关系,套用于恒河-雅鲁藏布江水系,得出雅鲁藏布江流域每条冰川不同高度区间的面积,以此累加,获得了全流域不同高度区间的冰川面积.然而,天山地区冰川形态类型组合虽与恒河-雅鲁藏布江流域相似,但具体情况毕竟不完全一致.此外,该经验公式应用于恒河-雅鲁藏布江流域结果是否准确,并未得到相关验证.因此,本研究尝试利用90 m分辨率SRTM DEM数据及第一次冰川编目数据中冰川面积矢量图层,在ArcGIS软件中获得雅鲁藏布江流域不同高度区间的冰川面积.主要实现步骤如下:1)将DEM数据以200 m为一高度区间重新分类为新的DEM栅格数据(简称为RDEM),相应的栅格值转换为新的值,如DEM旧值介于2 500~2 700之间转换为RDEM值等于1,旧值介于2 700~2 900转化为RDEM值等于2……以此类推,介于7 100~7 261转化为RDEM值24(雅鲁藏布江流域高程最小值为147,最大值为7 261);2)将输出的RDEM栅格数据转化为矢量数据,并将不同高层区间数据出为单独的矢量图层,即可得到不同高度

区间的矢量图层; 3) 用不同高度区间矢量图层切割雅鲁藏布江流域冰川数据, 并统计各个区间冰川面积. 雅鲁藏布江流域冰川面积随高度的分布状况如图 4 所示.

由图 4 可见, 雅鲁藏布江流域冰川分布的高度范围为海拔 4 600 m 左右, 最大面积高度区间为海拔 5 300~5 500 m, 其冰川面积约占全流域冰川面积的 14.4%. 以此高度区间为中心, 在上下各 200 m、400 m、600 m 的区间内, 冰川的集中比重分别占流域冰川总面积的 40.3%、63.7% 及 79.9%. 本研究结果与谢自楚等<sup>[1]</sup>的研究结果较为一致. 从理论上而言, 若 SRTM DEM 数据、第一次冰川编目数据精度较高, 则该研究结果足够精确. 然而, SRTM DEM 数据、第一次冰川编目矢量数据精度有限, 这势必会对本研究结果带来一定误差影响.

### 3.3 近 30 a 来 21 条大型冰川变化状况及其对气候变化的响应

#### 3.3.1 21 条大型冰川变化状况

从解译获得的冰川矢量图, 可以得到这 21 条大型冰川近 30 a 的面积变化状况. 若想要估算出冰川冰储量, 需先测得冰川厚度. 恒河水系冰川目录编纂中采用了如下公式求得冰川平均厚度值<sup>[1]</sup>:

$$\bar{D} = -11.32 + 53.21 \times S^{0.3} \quad (1)$$

继而, 可以求得冰储量, 即:

$$V = S \times \bar{D} \quad (2)$$

式中:  $\bar{D}$  为冰川平均厚度;  $S$  为冰川面积;  $V$  为冰储量. 本文亦采用上述公式, 将解译获得的冰川面积代入式(1)、(2), 从而求得了各个时期冰川的平均厚度及冰储量.

近 30 a 来, 这 21 条大型冰川面积、平均厚度及冰储量变化状况如表 2 所示.

冰川平衡线高度 (equilibrium line altitude, ELA) 是冰川全年物质积累与消融相等地带处的海拔高度. 冰川前进、退缩或消亡直接由冰川平衡线高度变化决定. 冰川平衡线高度可通过野外观测实地获得, 但需耗费大量人力物力财力, 目前我国也仅有不到 10 条冰川进行平衡线高度观测<sup>[26]</sup>. 中国冰川编目主要采用 Hess 法<sup>[27]</sup>量测平衡线高度. 邓育武等<sup>[28]</sup>利用冰川编目数据, 统计了雅鲁藏布江流域 1 125 个冰川样本, 得到了流域内冰川平均高度与 Hess 法测量雪线高度之间的线性回归方程:

$$ELA_h = 1.0449H_{me} - 395.822 \quad (R = 0.87) \quad (3)$$

式中:  $ELA_h$  为 Hess 法量算得到的平衡线高度;

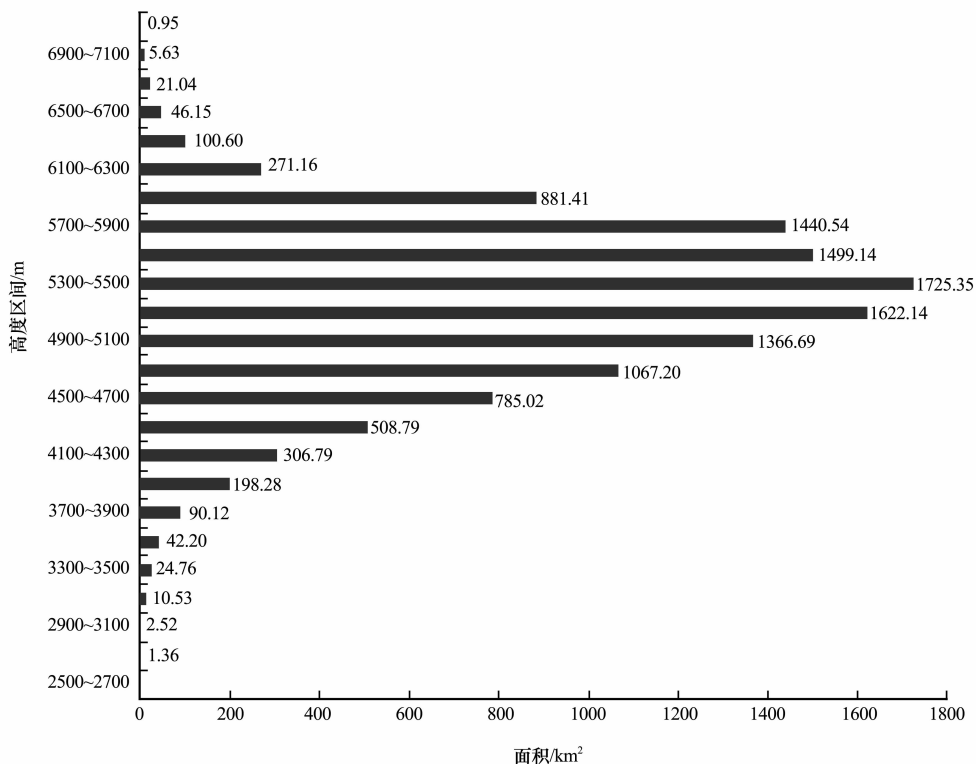


图 4 雅鲁藏布江流域冰川面积随海拔分布

Fig. 4 The glacierized areas changing with altitudes in the Yarlung Zangbo River basin

表 2 近 30 a 来 21 条大型冰川面积、平均厚度、冰储量

Table 2 A summary of the glacierized areas, average ice thicknesses and ice volumes of the 21 glaciers during the past 30 years

冰川编码	冰川名称	1976(1973)年			1988(1987)年			2005(2006)年		
		S /km <sup>2</sup>	$\bar{D}$ /m	V /km <sup>3</sup>	S /km <sup>2</sup>	$\bar{D}$ /m	V /km <sup>3</sup>	S /km <sup>2</sup>	$\bar{D}$ /m	V /km <sup>3</sup>
5O27B0249	卓朗	27.79	132.9	3.69	25.45	129.2	3.29	27.29	132.2	3.61
5O272B0256	哈巴	27.61	132.7	3.66	24.81	128.1	3.18	27.39	132.3	3.62
5O272B0420		21.25	121.8	2.59	19.31	118.0	2.28	20.94	121.2	2.54
5O281A0118	洋热扛普	35.71	144.2	5.15	24.07	126.9	3.05	34.98	143.3	5.01
5O281A0145		56.68	167.3	9.49	50.98	161.7	8.25	58.46	169.0	9.88
5O281A0163	荣哇	32.31	139.6	4.51	23.41	125.7	2.94	32.11	139.3	4.47
5O281A0185	嘎洛共	66.67	176.3	11.75	64.29	174.2	11.20	67.47	176.9	11.94
5O281A0191		48.09	158.7	7.63	44.48	154.8	6.89	47.32	157.9	7.47
5O281B0575	炯拉	80.32	187.0	15.02	77.14	184.6	14.24	83.43	189.3	15.79
5O281B0582		60.96	171.3	10.44	51.12	161.9	8.27	61.84	172.1	10.64
5O281B0702	夏曲	164.74	234.7	38.67	125.95	215.7	27.17	156.19	230.8	36.05
5O281B0714	道格	79.17	186.2	14.74	65.43	175.2	11.46	78.42	185.6	14.56
5O281B0720	贡浦	33.12	140.7	4.66	31.44	138.4	4.35	31.89	139.0	4.43
5O281B0729	恰青	198.90	249.0	49.54	183.97	243.0	44.71	195.31	247.6	48.37
5O281B0746	若果	74.23	182.4	13.54	62.01	172.2	10.68	70.62	179.5	12.68
5O281B0768	那龙	121.54	213.3	25.92	97.07	198.6	19.28	117.61	211.1	24.82
5O282B0037	雅弄	194.10	247.1	47.97	193.31	246.8	47.72	191.51	246.1	47.13
5O282B0083	贡扎	31.96	139.1	4.45	36.43	145.2	5.29	33.41	141.1	4.71
5O282B0093	洛腮	30.36	136.8	4.15	31.81	138.9	4.42	30.79	137.5	4.23
5O282B0099		25.44	129.2	3.29	26.99	131.7	3.55	26.12	130.3	3.40
5O282B0123	架几	23.46	125.8	2.95	23.94	126.6	3.03	23.36	125.6	2.93
	总计	1434.4		283.8	1283.4		245.3	1416.5		278.3

$H_{me}$ 为冰川平均高度,等于每座冰川最低高度与最高高度二者的平均值.本研究利用 DEM 数据获得冰川平均高度  $H_{me}$ ,继而采用式(3)求取每座冰川的  $ELA_n$ 如表 3 所示.

由表 4 可以看到,在 1976—1988 年期间,有 17 座冰川面积在减小,仅 4 座冰川出现了面积增加的现象,21 条冰川的总面积也从 1 434.4 km<sup>2</sup>减小到 1 283.4 km<sup>2</sup>,退缩面积占 1976 年冰川总面积的 10.53%,退缩年平均速率为 0.810%·a<sup>-1</sup>.然而,在 1988—2005 年期间,这些大型冰川的面积变化则呈现出相反的波动状况,16 条冰川面积在增加,仅 5 条冰川面积减小出现了退缩的现象.与此相应的,这 21 条冰川的总面积也从 1 283.4 km<sup>2</sup>增加到 1 416.5 km<sup>2</sup>,冰川前进面积占 1988 年冰川总面积的 10.37%,冰川前进年平均速率为 0.576%·

a<sup>-1</sup>.但总的看来,在 1976—2005 年 30 年间,这 21 条大型冰川总面积减少了 17.9 km<sup>2</sup>,仅占 1976 年冰川总面积的 1.25%,冰川退缩年平均速率为 0.042%·a<sup>-1</sup>,每条冰川的前进退缩比率也在 6%以内,冰川前进退缩状况并不显著.由于冰川平衡线高度(ELA)缺乏实测数据,使用经验统计公式难免会使计算结果(表 3)出现稍许失真甚至错误.但大体上来说,在冰川面积增加状况下,这些冰川 ELA 大体呈现出降低趋势;相反,在冰川面积减小状况下,ELA 大体呈现出升高趋势.

此外需要指出的是,C 区冰川位于藏东南岗日嘎布山北坡然乌错流域,一些学者已经对该流域冰川变化状况进行了相应研究<sup>[2,6,14,29]</sup>.本文研究所得雅弄冰川变化状况与姚檀栋等<sup>[2]</sup>和刘时银等<sup>[14]</sup>研究结果一致.刘时银等<sup>[14]</sup>研究测得 5O282B0099

表 3 21 条冰川选用影像时间及  $ELA_h$  变化Table 3 Days of the selected images and corresponding  $ELA_h$  of the 21 glaciers

冰川区	冰川名称	编码	影像时间	$ELA_h/m$	影像时间	$ELA_h/m$	影像时间	$ELA_h/m$
A	卓朗	5O272B0249	19761215	5309	19881009	5313	20051024	5358
	哈巴	5O272B0256	19761215	5260	19881009	5165	20051024	5224
		5O272B0420	19761215	4958	19881009	4971	20051024	5055
		5O281A0118	19761215	5076	19881009	5190	20051024	5116
	洋热扛普	5O281A0145	19761215	5208	19881009	5220	20051024	5198
		5O281A0163	19761215	4925	19881009	4933	20051024	4979
	嘎洛共	5O281A0185	19761215	5289	19881009	5246	20051024	5302
		5O281A0191	19761215	5043	19881009	5014	20051024	5100
	B	炯拉	5O281B0575	19761215	5181	19871203	5158	20051024
5O281B0582			19761215	5316	19881009	5367	20051024	5255
夏曲		5O281B0702	19761215	4696	19881009	4886	20051024	4908
道格		5O281B0714	19761215	4874	19871203	4886	20051024	4842
贡浦		5O281B0720	19761215	4141	19871203	4073	20061223	4168
恰青		5O281B0729	19761215	4489	19871203	4498	20061223	4501
若果		5O281B0746	19761215	4880	19871203	5013	20051024	4909
那龙		5O281B0768	19761215	4620	19871203	4710	20061223	4619
C	雅弄	5O282B0037	19731027	5014	19881027	4985	20051111	5011
	贡扎	5O282B0083	19731027	4928	19881027	4934	20051111	4938
	洛腮	5O282B0093	19731027	4847	19881027	4817	20051111	4851
		5O282B0099	19731027	4701	19881027	4636	20051111	4836
	架几	5O282B0123	19731027	4490	19881027	4570	20051111	4566
	$\overline{ELA}/m$			4916		4933		4947

冰川、5O282B0123 冰川(架几冰川)在 1980—2001 年间分别处于退缩和前进状态,架几冰川在此期间增加了  $0.49 \text{ km}^2$ ,因本文研究时段与其不同,故而研究结果略有差异。

### 3.3.2 冰川变化对气候变化的响应

气象要素中,温度影响了冰川的消融,降水则决定了冰川的积累<sup>[30]</sup>,二者共同决定了冰川未来的命运<sup>[31-32]</sup>。在这些解译的大型冰川附近,嘉黎、林芝、波密、察隅 4 个气象站点(如图 2 所示)在 1978—2005 年期间有连续的气象观测数据,且距离 3 个冰川群距离较近,气象站点与相邻冰川群距离不超过 160 km。故笔者分析这 4 个气象站的气温和降水变化特征,以期认识这些大型冰川变化对气候变化的响应状况。

距离 A 区冰川群最近的是嘉黎气象站(距离每座冰川 50~90 km)。气候线性倾向分析(表 5)表明,嘉黎站在 1976—1988 年期间气温以  $0.65 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  的速度线性增长,而降水则以  $-4.17 \text{ mm} \cdot$

$(10\text{a})^{-1}$  的速度线性减少,二者的变化均促使 A 区冰川在该时段内发生退缩。而在 1988—2005 年期间,气温增长的同时,降水也以  $69.79 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$  的速度线性增长。在该时段内,A 区所有冰川都没有退缩,反而出现了面积增加的现象,由此可推测,该时段内降水的增加抵消了气温升高对冰川积累的不利影响。总的看来,在 1976—2005 年期间,嘉黎站气温及降水均出现了增长,气温升高促使冰川发生退缩,而降水增加则为冰川积累提供了有利条件,二者综合作用下,A 区大型冰川面积并没有发生显著的变化(变化百分比均在 3.1% 以内)。

距离 B 区冰川较近的是林芝(海拔 2 991.8 m)、嘉黎(海拔 4 488.8 m)气象站。两站虽与冰川群距离相当(距离每座冰川 100~150 km),但考虑到林芝站海拔较低,而上文已知几乎所有的冰川面积均分布在海拔 3 000 m 以上,故仍主要考虑嘉黎站气候变化状况,以此探讨 B 区冰川对气候变化的

表 4 近 30 a 来 21 条大型冰川面积变化量及变化百分比统计

Table 4 A summary of the glacierized area changes of the 21 glaciers during the past 30 years

冰川区	冰川编码	冰川名称	1976/1973	1988/1987	2005/2006	1976—1988 年面积		1988—2005 年面积		1976—2005 年面积	
			面积 /km <sup>2</sup>	面积 /m <sup>2</sup>	面积 /m <sup>2</sup>	变化量 /km <sup>2</sup>	百分比 /%	变化量 /km <sup>2</sup>	百分比 /%	变化量 /km <sup>2</sup>	百分比 /%
A	5O272B0249	卓朗	27.79	25.45	27.29	-2.3	-8.4	1.8	7.2	-0.5	-1.8
	5O272B0256	哈巴	27.61	24.81	27.39	-2.8	-10.1	2.6	10.4	-0.2	-0.8
	5O272B0420		21.25	19.31	20.94	-1.9	-9.1	1.6	8.4	-0.3	-1.5
	5O281A0118	洋热扛普	35.71	24.07	34.98	-11.6	-32.6	10.9	45.4	-0.7	-2
	5O281A0145		56.68	50.98	58.46	-5.7	-10.1	7.5	14.7	1.8	3.1
	5O281A0163	荣哇	32.31	23.41	32.11	-8.9	-27.5	8.7	37.1	-0.2	-0.6
	5O281A0185	嘎洛共	66.67	64.29	67.47	-2.4	-3.6	3.2	4.9	0.8	1.2
	5O281A0191		48.09	44.48	47.32	-3.6	-7.5	2.8	6.4	-0.8	-1.6
B	5O281B0575	炯拉	80.32	77.14	83.43	-3.2	-4	6.3	8.2	3.1	3.9
	5O281B0582		60.96	51.12	61.84	-9.8	-16.1	10.7	21	0.9	1.4
	5O281B0702	夏曲	164.74	125.95	156.19	-38.8	-23.5	30.2	24	-8.6	-5.2
	5O281B0714	道格	79.17	65.43	78.42	-13.7	-17.4	13	19.9	-0.7	-0.9
	5O281B0720	贡浦	33.12	31.44	31.89	-1.7	-5.1	0.5	1.4	-1.2	-3.7
	5O281B0729	恰青	198.9	183.97	195.31	-14.9	-7.5	11.3	6.2	-3.6	-1.8
	5O281B0746	若果	74.23	62.01	70.62	-12.2	-16.5	8.6	13.9	-3.6	-4.9
5O281B0768	那龙	121.54	97.07	117.61	-24.5	-20.1	20.5	21.2	-3.9	-3.2	
C	5O282B0037	雅弄	194.1	193.31	191.51	-0.8	-0.4	-1.8	-0.9	-2.6	-1.3
	5O282B0083	贡扎	31.96	36.43	33.41	4.5	14	-3	-8.3	1.4	4.5
	5O282B0093	洛腮	30.36	31.81	30.79	1.4	4.8	-1	-3.2	0.4	1.4
	5O282B0099		25.44	26.99	26.12	1.5	6.1	-0.9	-3.2	0.7	2.7
	5O282B0123	架儿	23.46	23.94	23.36	0.5	2.1	-0.6	-2.4	-0.1	-0.4
总计		1434.4	1283.4	1416.5	-151.0	-10.53	133.1	10.37	-18.0	-1.25	

表 5 冰川群附近气象台站气候线性分析统计

Table 5 A summary of the climate linear analyses of the meteorological data from the stations around the glacier groups

		1976—1988 年		1988—2005 年		1976—2005 年	
		气候倾向率	置信度检验	气候倾向率	置信度检验	气候倾向率	置信度检验
嘉黎	气温 / $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$	0.65	90%	0.42	/	0.48	99%
	降水 / $\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$	-4.17	/	69.79	90%	42.33	95%
林芝	气温 / $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$	0.30	/	0.57	99%	0.38	99%
	降水 / $\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$	65.20	/	30.23	/	23.51	/
波密	气温 / $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$	0.19	/	0.42	99%	0.21	99%
	降水 / $\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$	70.64	/	-86.43	/	1.38	/
察隅	气温 / $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$	0.09	/	0.43	95%	0.15	95%
	降水 / $\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$	-20.84	/	-107.73	90%	-14.63	/

注：因 C 区冰川群采用 1973 年遥感影像，故波密、察隅二站统计 1973—1988、1988—2005、1973—2005 年 3 时段气候变化趋势。



响应。此外, A、B 区冰川相距较近(最小距离仅 40 km), 因此, B 区冰川群与 A 区冰川群在 3 个时间段内因为相似的气候变化状况表现出相似的波动状况。

距离 C 区冰川较近的为波密、察隅气象站。波密站在 1973—1988 年和 1988—2005 年两个时间段内, 气温持续增长, 而降水在相同时段与嘉黎站呈现出相反的趋势。因此, C 区中较靠近波密气象站的 4 条冰川在上述两时间段内呈现出与 A、B 区冰川群相反的波动状况, 即在 1973—1988 年冰川面积增加, 1988—2005 年冰川面积减小。但总的来说, 在 1973—2005 年间, 降水的增加削弱甚至抵消了气温升高对冰川积累的不利影响, 这 4 座冰川面积大都呈现不显著的增加(除架几冰川减少了 0.1 km<sup>2</sup> 外)。察隅站在 1973—1988 年和 1988—2005 年两个时间段内, 气温持续升高, 而降水也显示持续减少, 这种气候变化加剧了冰川的消融, 最靠近该站的巨大的雅弄冰川也随之在相应的两时间段内出现了冰川退缩的现象。

总的来说, 这 21 条冰川所处地区气温升高虽然会导致其退缩, 但降水的增加削弱或者抵消了气温升高带来的不利影响, 这种气候变化状况可能是导致这些大型冰川在 1976—2005 年间面积变化均不显著的主要原因。当然, 气象台站大都位于河谷腹地, 并不能全面表示冰川区、尤其是高海拔冰川区的气候变化状况。而大型冰川在高海拔地区拥有较大比例的积累区<sup>[27]</sup>, 可进行及时的补给和积累, 这也可能是造成其变化不显著的原因之一。

## 4 结论

(1) 利用 DEM 数据及冰川编目数据, 运用 GIS 空间分析技术, 对雅鲁藏布江流域不同朝向上冰川面积的分布以及冰川面积随高度带的分布进行了统计, 弥补了传统方法在这两方面统计的空缺与不足。统计结果表明: 1) 不同朝向冰川面积由大到小依次为北、东北、东、南、西北、东南、西南、西; 偏北向与偏南向比值为 1.34, 偏西向与偏东向比值为 0.79; 偏北向冰川分布高度范围小于偏南向, 偏西向冰川分布高度范围小于偏东向; 2) 雅鲁藏布江流域冰川分布的高度范围大约为海拔 4 600 m; 最大面积高度区间为海拔 5 300~5 500 m, 其冰川面积约占全流域冰川面积的 14.4%, 以此高度区间为中心, 在上下 200 m、400 m、600 m 的区间, 冰川的集中比重分别占流域冰川总面积的 40.3%、

63.7% 及 79.9%。

(2) 利用 1976、1988、2005 年及其相近时刻的遥感影像及 DEM 数据, 综合运用 RS、GIS 技术以及相关统计公式, 获得了雅鲁藏布江流域 21 条大型海洋性冰川面积、厚度、冰储量、平衡线等基本参数。

(3) A、B 区冰川在 1976—1988 年和 1988—2005 年两时段分别呈现退缩、前进两种现象, 而 C 区大部分冰川则在两时间段内与 A、B 区呈现相反的波动状态。但总的来说, 3 个区域的冰川面积在 1976—2005 年期间并没有出现剧烈的变化。这可能是因为降水的增加削弱甚至抵消了气温升高对冰川积累的不利影响, 也可能是由于大型冰川在高海拔地区有较大的积累区造成的。

致谢: 对课题组其他成员在研究进展中所作的努力及审稿人提出的建设性意见, 在此一并致谢。

## 参考文献 (References):

- [1] Xie Zichu, Feng Qinghua. Distribution characteristics of glaciers in the Ganga-Yarlung Zangbo basin and its utilization prospect [M]//Mi Desheng, Xie Zichu. Glacier Inventory of China, XI: The Ganga Drainage Basin. Xi'an: Xi'an Map Publishing House, 2001: 3—47. [谢自楚, 冯清华. 恒河-雅鲁藏布江水系冰川分布特征及其利用前景[M]//米德生, 谢自楚. 中国冰川目录 XI: 恒河水系. 西安: 西安地图出版社, 2001: 3—47.]
- [2] Yao Tandong, Li Zhigou, Yang Wei, *et al.* Glacial distribution and mass balance in the Yarlung Zangbo River and its influence on lakes[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, **55**(20): 2072—2078. [姚檀栋, 李治国, 杨威, 等. 雅鲁藏布江流域冰川分布和物质平衡特征及其对湖泊的影响[J]. 科学通报, 2010, **55**(18): 1750—1756.]
- [3] Cruz R V, Harasawa H, Lal M, *et al.* Asia[M]//Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, *et al.* Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007: 469—506.
- [4] Solomon S, Qin D, Manning M, *et al.* Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Shangguan Donghui, Liu Shiyin, Ding Yongjian, *et al.* Glacier changes at the head of Yurungkax River in the West Kunlun Mountains in the past 32 years[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, **59**(6): 855—862. [上官冬辉, 刘时银, 丁永建, 等. 玉龙喀什河源区 32 年来冰川变化遥感监测[J]. 地理学报,

- 2004, **59**(6): 855—862.]
- [6] Xin Xiaodong, Yao Tandong, Ye Qinghua, *et al.* Study of the fluctuations of glaciers and lakes around the Ranwu Lake of southeast Tibetan Plateau using remote sensing[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, **31**(1): 19—26. [辛晓冬, 姚檀栋, 叶庆华, 等. 1980—2005年藏东南然乌湖流域冰川湖泊变化研究[J]. *冰川冻土*, 2009, **31**(1): 19—26.]
- [7] Du Jiankuo. The Research of Glacier Change in the Yulong Snow Mountains Based on RS and Observation Data[D]. Master Thesis, Lanzhou: Lanzhou University, 2011. [杜建括. 基于遥感与实测的玉龙雪山冰川变化[D]. 硕士学位论文, 兰州: 兰州大学, 2011.]
- [8] Xu Huaxin. Geography of Tibet Autonomous Region [M]. Lhasa: Tibet People's Publishing House, 1986. [徐华鑫. 西藏自治区地理[M]. 拉萨: 西藏人民出版社, 1986.]
- [9] The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xiang Plateau, Chinese Academy of Sciences. Rivers and Lakes in Xizang (Tibet)[M]. Beijing: Science Press, 1984: 238. [中国科学院青藏高原综合考察队. 西藏河流与湖泊[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 238.]
- [10] Nie Ning, Zhang Wanchang, Deng Cai. Spatial and temporal climate variations from 1978 to 2009 and their trend projection over the Yarlung Zangbo River basin [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(1): 64—71. [聂宁, 张万昌, 邓财. 雅鲁藏布江流域1978—2009年气候时空变化及未来趋势研究[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(1): 64—71.]
- [11] Yu Fei. Chinese Scientists Identify Sources of Four International Rivers: Yarlung Zangbo River and so on[N/OL]. [2011—08—22]. <http://www.chinanews.com/gn/2011/08-22/3274811.shtml>. [喻菲. 中国科学家确定雅鲁藏布江等4条国际河流源头[N/OL]. [2011—08—22]. <http://www.chinanews.com/gn/2011/08-22/3274811.shtml>.]
- [12] The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xiang Plateau, Chinese Academy of Sciences. Glaciers of Xizang (Tibet)[M]. Beijing: Science Press, 1986: 328. [中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏冰川[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 328.]
- [13] Li Zhen, Sun Wenxin, Zeng Qunzhu. Deriving glacier change information on the Xizang (Tibetan) Plateau by integrating RS and GIS techniques [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, **54**(3): 263—268. [李震, 孙文新, 曾群柱. 综合RS与GIS方法提取青藏高原冰川变化信息——以布喀塔格峰为例[J]. *地理学报*, 1999, **54**(3): 263—268.]
- [14] Liu Shiyin, Shangguan Donghui, Ding Yongjian, *et al.* Glacier variations since the early 20th century in the Gangrigabu Range, southeast Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, **27**(1): 55—63. [刘时银, 上官冬辉, 丁永建, 等. 20世纪初以来青藏高原东南部岗日嘎布山的冰川变化[J]. *冰川冻土*, 2005, **27**(1): 55—63.]
- [15] Nie Yong, Zhang Yili, Liu Linshan, *et al.* Monitoring glacier change based on remote sensing in the Mt. Qomolangma National Nature Preserve[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, **65**(1): 13—28. [聂勇, 张懿铨, 刘林山, 等. 近30年珠穆朗玛峰国家自然保护区冰川变化的遥感监测[J]. *地理学报*, 2010, **65**(1): 13—28.]
- [16] Wang Gaofeng, Zhang Tingbin, Zhang Jianping, *et al.* Comparative study of glaciers information extraction method based on remote sensing image[J]. *Geospatial Information*, 2010, **8**(3): 43—46. [王高峰, 张廷斌, 张建平, 等. 遥感影像的冰川信息提取方法对比[J]. *地理空间信息*, 2010, **8**(3): 43—46.]
- [17] Song Bo, He Yuanqing, Pang Hongxi, *et al.* Identifying automatically the debris-covered glaciers in China's monsoonal temperate-glacier regions based on remote sensing and GIS[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, **29**(3): 456—462. [宋波, 何元庆, 庞洪喜, 等. 基于遥感和GIS的我国季风海洋性冰川区冰碛物覆盖型冰川边界的自动识别[J]. *冰川冻土*, 2007, **29**(3): 456—462.]
- [18] Zhang Minghua. Extracting the temperate glacier information in the Mount Namjagbarwa, Tibet Autonomous Region, based on ETM<sup>+</sup> image[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, **27**(2): 226—232. [张明华. 基于ETM<sup>+</sup>影像的西藏南迦巴瓦峰地区海洋性冰川信息提取[J]. *冰川冻土*, 2005, **27**(2): 226—232.]
- [19] Paul F, Huggel C, Käab A. Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, **89**: 510—518.
- [20] Yan Lili, Wang Jian. Study of extracting glacier information from remote sensing[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, **35**(1): 110—118. [彦立利, 王建. 基于遥感的冰川信息提取方法研究进展[J]. *冰川冻土*, 2013, **35**(1): 110—118.]
- [21] Wang Yuan, Wu Lizong, Xu Junli, *et al.* Variation and uncertainty analysis of the glaciers in the past 50 years in Geladandong of Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, **35**(2): 255—262. [王媛, 吴立宗, 许君利, 等. 1964—2010年青藏高原长江源各拉丹冬地区冰川变化及其不确定性分析[J]. *冰川冻土*, 2013, **35**(2): 255—262.]
- [22] Lu Anxin, Yao Tandong, Liu Shiyin, *et al.* Glacier change in the Geladandong area of the Tibetan Plateau monitored by remote sensing [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(5): 559—562. [鲁安新, 姚檀栋, 刘时银, 等. 青藏高原各拉丹冬地区冰川变化的遥感监测[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(5): 559—562.]
- [23] Lu Anxin, Yao Tandong, Wang Lihong, *et al.* Study on the fluctuations of typical glaciers and lakes in the Tibetan Plateau using remote sensing[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, **27**(6): 783—792. [鲁安新, 姚檀栋, 王丽红, 等. 青藏高原典型冰川和湖泊变化遥感研究[J]. *冰川冻土*, 2005, **27**(6): 783—792.]
- [24] Jia Jianwei, Lü Sunyun, Wang Zhengxiang. Analysis on the water resource of the Yarlung Zangbo River[J]. *Yangtze River*, 2008, **39**(17): 71—72, 81. [贾建伟, 吕孙云, 王政祥. 雅

- 鲁藏布江流域水资源量特性分析[J]. 人民长江, 2008, **39**(17): 71—72, 81.]
- [25] Xie Zichu, Liu Zongxiang, Ushnurchev, *et al.* Mass Balance of Tianshan Mountains[M]//Liu Chaohai, Xie Zichu, Tyurgynov M B. Glaciation in Tianshan Mountains. Beijing: Science Press, 1998: 98—117. [谢自楚, 刘宗香, 乌什努尔且夫, 等. 天山冰川物质平衡特征和成冰作用[M]//刘潮海, 谢自楚, М. Б. 久尔盖诺夫. 天山冰川作用. 北京: 科学出版社, 1998: 98—117.]
- [26] Wang N L, He Jianqiao, Pu Jianchen, *et al.* Variations in equilibrium line altitude of the Qiyi Glacier, Qilian Mountains, over the past 50 years[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, **55**(33): 3810—3817. [王宁练, 贺建桥, 蒲健辰, 等. 近 50 年来祁连山七一冰川平衡线高度变化研究[J]. 科学通报, 2010, **55**(32): 3107—3115.]
- [27] Hess, H. Die Gletscher[M]. Braunschweig, Germany: Friedrich Vieweg und Sohn, 1904: 426. (in German)
- [28] Deng Yuwu, Xie Zichu, Qin Jianxin, *et al.* The field of equilibrium line altitude in the Ganga-Yarlung Zangbo Rivers system: Establishment and its environmental significance [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, **28**(6): 865—872. [邓育武, 谢自楚, 秦建新, 等. 恒河-雅鲁藏布江流域雪线场的建立及其环境意义[J]. 冰川冻土, 2006, **28**(6): 865—872.]
- [29] Yang Wei, Yao Tandong, Xu Baiqing, *et al.* Quick ice mass loss and abrupt retreat of the maritime glaciers in the Kangri Karpo Mountains, southeast Tibetan Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, **53**(16): 2547—2551. [杨威, 姚檀栋, 徐柏青, 等. 青藏高原东南部岗日嘎布地区冰川严重损耗与退缩[J]. 科学通报, 2008, **53**(13): 2091—2095.]
- [30] The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xiang Plateau, Chinese Academy of Sciences. Glaciers of Xizang (Tibet)[M]. Beijing: Science Press, 1986: 155—165. [中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏冰川[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 155—165.]
- [31] Wang Liping, Xie Zichu, Liu Shiyin, *et al.* Glacierized area variation and its response to climate change in Qangtang Plateau during 1970—2000[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, **33**(5): 979—990. [王利平, 谢自楚, 刘时银, 等. 1970—2000 年羌塘高原冰川变化及其预测研究[J]. 冰川冻土, 2011, **33**(5): 979—990.]
- [32] Tian Hongzhen, Yang Taibao, Liu Qiping. Relation between climate change and Dunde Glacier retreat studied by using remote sensing data, 1970—2010[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, **34**(2): 277—283. [田洪阵, 杨太保, 刘沁萍. 基于遥感技术的近 40 a 来敦德冰川变化和气候变化的关系研究[J]. 冰川冻土, 2012, **34**(2): 277—283.]

# Analysis of the Characteristics of the Glacier System and Typical Glacier Change Based on Remote Sensing in the Yarlung Zangbo River Basin during the Past 30 Years

NIE Ning<sup>1, 2</sup>, ZHANG Zhijie<sup>3</sup>, ZHANG Wan-chang<sup>2</sup>, DENG Cai<sup>1, 2</sup>

(1. *State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210023, China*; 2. *Key Laboratory of Digital Earth Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China*; 3. *College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunication, Nanjing Jiangsu 210023, China*)

**Abstract:** By means of RS and GIS techniques, in association with the first glacier inventory data and digital elevation model, statistical studies concerning with the orientation and the altitudinal distributions of glacierized areas in Yarlung Zangbo River basin, and individual glacierized area, average ice thickness and ice volume as well as mass balance and equilibrium line fluctuations for 21 selected large marine glaciers in 1976, 1988, 2005 were conducted. The results enrich the information of the first glacier inventory considerably for the studied basin. The glacierized area changes of the 21 marine glaciers, together with their response to climate change, were also statistically analyzed.

**Key words:** Yarlung Zangbo River; altitudinal distribution; orientational distribution; glacier change; climate response

The study results suggested that the large marine glaciers, developing over three different climate environments, had shown fluctuation in response to the variation in temperature and precipitation during 1976—1988 and 1988—2005, respectively. Generally speaking, however, no significant advance or retreat could be seen from the 21 large marine glaciers. This was possibly due to the rising precipitation having offset the negative effect of rising temperature on glacier mass balance. Alternatively, there could be a supplementing effect in the accumulation area over high altitude for large glacier. Further study on this issue will be undertaken for much concrete conclusions.