

地球上奇特的固体水库

——现代冰川与自然资源

□ 文 / 张瑞江



山川的峻美，少不了冰的功劳。正是冰川及其融水的作用，让群山有了角、脊、斗、谷的千姿百态。人类的生存，离不开水资源，正是水这一生命之源，支撑了众多生命。水资源，尤其是淡水资源，对地球上的生命而言，其重要性不言而喻。而淡水中绝大部分为极地冰雪、冰川和地下水，适宜人类享用的仅为 0.01%。地球淡水资源的 85% 以冰雪的形式储存在冰川里；14% 以地下水的形式埋藏在地下；0.3% 渗含在土壤中；0.05% 以水汽的形式飘逸在空气里。此外，虽然湖泊和河流通常以传统的形式深入人们脑海成为水的象征，但它们的淡水总量仅占地球淡水总水量的 0.604%。冰雪是水的固态形式，因此，现代冰川可以称为地球上不折不扣的固体水库。



> 奇美冰川 作者供图

冰川的类型和分布

冰川是寒冷地区多年降雪积聚,经过变质作用形成的自然冰体,在重力作用下缓慢运动,因此,冰川具有地质学上变质岩的若干特征,是运动着的冰体。部分冰川末端分布有壮观的冰塔林,冰川具有强大的侵蚀和搬运能力,其内部和终、侧碛垄上分布有大量岩屑和岩块。雪线是指大气固态降水的年收入等于年支出的气候平衡线。雪线以下,没有永久积雪;而雪线以上,一年降落的雪,却不能全部融化掉。通常所说的“雪线”,是指理论

雪线或气候雪线。在这条线上,大气固态降水的零平衡,是根据平坦的非遮阴地面上气象条件多年平均状况确定的。雪线以上称为冰川的积累区,组成冰川的物质在增加;雪线以下称为冰川的消融区,组成冰川的物质在减少,与冰川有关的水资源来自于消融区。

地球上冰川可分为大陆冰盖和山岳冰川两大类型。大陆冰盖是覆盖岛屿或大陆的全部或大部的辽阔而深厚的冰壳。其特征是:冰盖下面的地形在大陆冰盖的表面上大多看不到。在大陆冰盖表面,其中央部分几乎是一个

平坦的白色荒漠,当局部过渡到边缘时,由于消融的影响,冰下的地形地貌才初露端倪,从冰原内耸立出单个的或成群的无雪覆盖的高峰,称为“冰原岛山”。如南极洲的大陆冰盖几乎覆盖了整个南极大陆,总面积达1 300多万平方千米,冰盖平均厚度达2 300多米,堪称世界之冠。绝大部分位于北极圈内的世界第一大岛——格陵兰岛,其冰盖面积达180万平方千米,平均厚度为1 500多米,最大厚度为3 400多米。

山岳冰川只占据山顶和山坡的一部分及低洼处。由于冰川表面地形受基岩地形的制约,它们



> 帕米尔高原冰川末端的冰塔林 作者供图



> 山岳冰川 郝沛 / 摄



> 托木尔冰川 郝沛 / 摄

的规模较大陆冰盖要小得多。如世界上中低纬度区规模最大的几条山岳冰川，面积也只不过 285 ~ 1 150 平方千米，长度 32 ~ 77 千米，冰川最大厚度也只有 300 ~ 1 000 多米，较高纬度地区的冰川规模就要小很多。

地球上冰川除我国藏东南和

横断山的海洋性冰川区外无一例外地分布于干旱或极度干旱的气候区，冰川区年降水量稀少，平均在 100 毫米左右。冰川分布除上述两极地区外，在亚洲的青藏高原周边、天山和阿尔泰山，欧洲的阿尔卑斯山，大洋洲的新西兰，南美洲的巴塔哥尼亚，北美洲的

加拿大和美国的阿拉斯加，非洲的乞力马扎罗山等地都有分布。

中国冰川主要分布于西部气候极度干旱的西藏、新疆、青海和甘肃 4 省区，少量分布在四川、云南二省与青藏高原接壤地区，其中西藏和新疆是中国冰川的主要分布区。



> 冰川一角 作者供图

青藏高原的冰川主要分布于帕米尔高原、喀喇昆仑山、昆仑山、阿尔金山、祁连山、羌塘高原、唐古拉山、冈底斯山、念青唐古拉山、横断山和喜马拉雅山；新疆北部地区的冰川主要分布于南天山、西天山、东天山、萨吾尔山和阿尔泰山。

中国目前有冰川 48 571 条（中国第二次冰川编目数据）。根据中国地质调查局 2010 年完成的“青藏高原生态地质环境遥感调查与监测”项目调查数据，在 20 世纪 60 年代中国冰川面积

为 63 045 平方千米；在 1975 年前青藏高原冰川面积有小幅增长，导致全国冰川面积也有小幅增长，1975 年中国冰川面积为 63 197 平方千米；2000 年中国冰川面积为 56 965 平方千米；2007 年中国冰川面积为 56 675 平方千米。40 多年间，中国冰川总面积减少了 10%。

中国冰川形成的奥秘

气候和地形是冰川形成的两大条件，缺一不可。

寒冷的气候和丰沛的固态降

水是形成冰川的外在和内在条件。冰川的物质基础是一定数量的固态降水（雪、霰、雹），而固态降水的多少则受两个因素制约：一方面取决于大气环流及其影响因素；另一方面又与所处气温高低有关。前者决定总降水量多少，后者决定着固态降水量在总降水量中所占比例大小。

中国冰川区处于欧亚大陆腹部荒漠干旱、极度干旱地区，远离海洋，水汽来源主要有三方面：一是靠盛行的西风环流；其次是受来自印度洋的西南季风对青藏

高原南部的影响及来自太平洋的东南季风对祁连山东部和横断山东部的影响；三是受从北冰洋来的水汽对阿尔泰山和天山北坡的影响。

由于中国冰川地处温带和亚热带气候区，不具备冰川形成的气候条件。但是青藏高原和天山等山脉的持续隆升，形成了一系列绝对海拔达到高山或极高山的山脉，这些山脉中部分区域温度常年低于 0°C ，具备了冰川发育的气温条件。

青藏高原和天山等山脉在隆升前长期处于剥蚀阶段，形成了一系列古高原夷平面，为冰川的形成提供了良好的空间条件。

地形条件对冰川形成的影响主要有以下四个方面：

一是山体绝对海拔高度的

影响。巨大的山体高度一方面造就了冰川发育的必要低温条件；另一方面可以促进地形降雨（雪），为冰川发育提供了所需的物质条件。

二是山体坡度的影响。坡度越平缓，古高原面越宽大，山体积水面积就越大，积雪量相应就越多，利于冰川积累。

三是山坡走向的影响。山脉走向如与水汽输送方向垂直，则有利于拦截水汽，形成有效降水，为冰川形成提供物质条件。中国冰川区山脉大体为近东西走向，与水汽输送方向垂直，有利于冰川形成。

四是山坡坡向的影响。山坡坡向主要是通过日照作用影响冰川发育的热量条件，阴坡冰川数量多，规模大。

多功能的中国现代冰川

中国地质调查局调查结果显示，2010年后青藏高原冰川面积年均减少率为0.4%，预计2020年冰川面积为43 935平方千米，减少13%；2050年冰川面积为38 957平方千米，减少23%；2070年冰川面积为35 956平方千米，减少26%；2100年冰川面积为31 883平方千米，减少37%。

调查结果还显示，2010年后新疆北部地区冰川面积年均减少率为0.85%，预计2020年冰川面积为9 025平方千米，减少近10%；2050年冰川面积为6 986平方千米，减少30%；2070年冰川面积为5 889平方千米，减少41%；2100年冰川面积为4 559



> 俊秀冰川 作者供图



> 昆仑冰塔 郝沛 / 摄



> 昆仑冰塔 郝沛 / 摄

平方千米，减少 54%。

中国现代冰川与水资源

水资源是逐年可以更新且保持动态平衡的水体。冰川水资源是冰川在消融期释放出来的水体，即冰川融水径流，每年有物质补充，因此也是动态水资源。它包括冰川消融区冬、春季节性积雪融水径流，夏季降

水径流，冰川融水径流（冰川表面、冰内和底部冰融水）以及积累区融水径流。冰川融水径流是我国西部干旱山区水资源的重要组成部分，在生态补偿、生产和生活中起着至关重要的作用。

青藏高原是地球第三极，拥有大面积冰川和多年冻土，是长江、黄河、怒江（萨尔温江）、澜沧江（湄公河）、雅鲁藏布江（布拉马普特拉河）和印度河等河流发源地，同时还分布有众多内陆湖泊和沼泽湿地。

青藏高原冰川冻土变化对我国水安全有重要影响，对制定科学的水资源可持续利用对策、掌握国际河流水资源谈判主动权具有重要意义。高原河流补给源主要是冰川融水，且一些河流是跨



> 冰川强大的搬运能力 作者供图



> 冰川中携带的大量泥砂 作者供图

境河流，如何系统认识冰川变化水文、水资源效应，不仅关系到地区可持续发展，还涉及到周边国家水资源利用，一旦冰川水资源变化的导致河川径流减少，将会引发国际问题。

中国地质调查局调查结果表明，青藏高原冰川消融年水资源量为 101.07×10^9 立方米。目前青藏高原冰川消融年水资源量是 1988 年的 2 倍多，这与急剧升温导致冰川退缩加剧和消融区不断扩大的事实相符合。另外，中国地质调查局调查结果还显示，新疆北部南天山冰川

消融年水资源量为 6.71×10^8 立方米 / 年，西天山地区冰川消融年水资源量为 107.55×10^8 立方米 / 年，东天山地区冰川消融水资源量为 3.16×10^8 立方米 / 年，中国阿尔泰山冰川消融水资源量为 3.72×10^8 立方米 / 年，萨吾尔山冰川消融水资源量为 0.10×10^8 立方米 / 年。

冰川与人文活动

中国西部干旱、极度干旱地区为冰川提供了主要水资源，形成了青藏高原河谷经济、新疆绿洲经济和河套地区流域经济。

由于冰川强大的侵蚀作用和搬运能力，冰川退缩后留下了宽阔的冰蚀河谷和沙土，成为冰川区人文活动的主要场所。

古冰川堰塞湖溃决后也为后期人文活动提供了土地资源。因此，古冰川遗迹为人类提供了生产和生活空间。

中国现代冰川开发与保护

全球海平面上升主要因素有：升温效应及由此带来的海洋扩展，冰川消融，地表水库水的储存和地下水的析出，大陆冰盖的增长和融化，自上一盛冰期以来冰盖的缓慢调节。由此看来全球升温导致冰川消融是海平面上升的主要因素。对全球 3 个濒临海洋的冰山区调查结果表明，阿拉斯加地区冰川消融导致海平面上升的贡献是 (0.12 ± 0.02) 毫米 / 年；格陵兰冰盖冰川消融导致海平面上升的贡献是 0.14 毫

米/年；智利巴塔哥尼亚冰原冰川消融导致海平面上升的影响是 (0.055 ± 0.07) 毫米/年。这三个地区冰川消融入海水资源量远大于中国冰川消融外流水资源量，中国冰川消融的外流水资源分8条河流入海，途经数千千米，中途人口密集，而且主要以农业为主，水资源利用率较高，因此，中国冰川变化对海平面上升的影响基本可以忽略。

目前，全球升温加剧，高寒山区升温幅度更大，是平原地区的2倍以上，冰川加速退缩已是不可阻挡的趋势。加强生态环境保护，减少温室气体排放，抑制升温效应，以延缓冰川退缩，是唯一可行的方法。前期冰川持续大幅退缩后，冰川提供的水资源量呈逐年下降趋势，对下游各行业的抑制作用已凸显，长期、科学、



> 古冰川堰塞湖溃决后提供人类生产生活空间 作者供图

合理地规划、利用水资源已迫在眉睫，发展节水农业和储存水资源是唯一可行的解决水资源短缺问题的方法，建议加强冰川资源长期监测，在冰川末端利用天然地形修建水库，保存冰川融水，使冰川水资源得到可持续利用。❏

作者简介 张瑞江，男，博士，教授级高级工程师，长期从事遥感地质和生态环境方面研究。

(作者单位 / 中国国土资源航空遥感物探中心)



> 昆仑冰塔掠影 郝沛 / 摄