



走向干涸的“固体水库”

——记石羊河流域冰川的消融

文图 / 宋淑红 谢媛 聂振龙 王哲 朱谱成 卢辉雄

第一作者简介 宋淑红，副研究员，主要从事生态地质、环境地质研究及科普工作，著有科普读物《爱护水环境》等。

冰川贮存着全球约 70% 的淡水资源，享有天然“固体水库”之美誉，世界上较大的江河多起源于有冰川覆盖的高山。中国是中、低纬度地区冰川发育最好的国家，据第二次冰川编目数据统计，我国西部现有冰川 48 571 条，总面积约 51 480 平方千米，居亚洲首位，占

世界冰川（除南极和格陵兰冰盖外）面积的 7.1%。祁连山地处亚大陆型冰川与极大陆型冰川的过渡地带，高山冰川冻土带是河西走廊内陆河流的生命线，不仅孕育了古老的“丝绸之路沿线文明”，也是我国首个进行大规模冰川综合考察的地区，是我国现代冰川研究的发祥地，在我国冰川研究中的地位堪比阿尔卑斯山。

石羊河流域的冰川分布在祁连山东端冷龙岭北坡，雪线高程 4 400 ~ 5 100 米，冰川面积 0.06 ~ 3.16 平方千米，以小于 1 平方千米的小型冰川为主，属于典型的亚大陆型冰川，具有规模小、数量少等特点。其地处中纬度地带的欧亚大陆腹地，是西北内陆干旱区与东部季风的交汇过渡地带，对气候变化非常敏感，极具代表性。

积雪落于地表并随外界条件变化成为粒雪——冰川的“原料”。粒雪随时间变迁，其硬度和颗粒间紧密度不断增加、



> 俯瞰石羊河

能够为河流提供较为稳定的补给，调节多年径流，对区域水循环影响显著；冰川变化关系着流域中下游的绿洲农业发展、区域水供应，以及水文生态系统的可持续性。

冰川守护绿洲

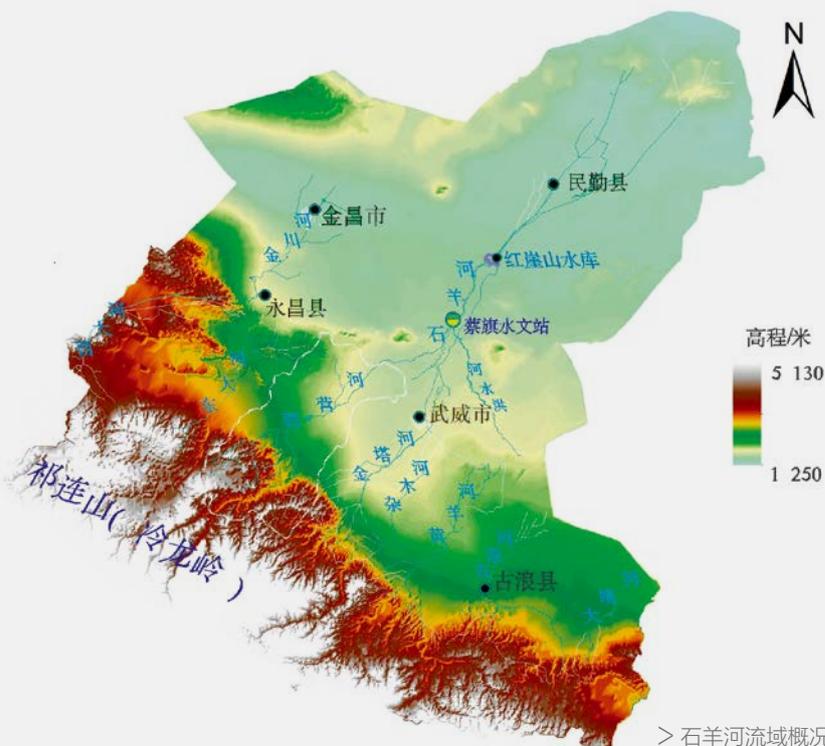
祁连山似一道道黛青的纱幔绵延起伏于云海间，高山上的冰川和山区降雨孕育了三大内陆河流（石羊河、黑河和疏勒河），养育着中下游广袤的绿洲。

石羊河及其支流发源于祁连山冷龙岭北麓，上游山区为产流区，自东而西分布着石羊河的八条一级支流：大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大河及西大河，均为山水河流，有冰川融水汇入的支流主要为杂木河、金塔河、西营河、东大河；各支流出山后进入中游的绿洲平原，呈倒置扇形向北汇集，石羊河干流过龙首山东峡口处的红崖山水库后，流入下游的民勤绿洲。

冰川的存在维系着内陆河流域健康的生态环境。冰川冬季积累而夏季释放，其融水不仅对河流有补给作用，对

孔隙不断缩小、雪层的亮度和透明度逐渐减弱，孔隙内空气被封存，形成冰川冰；冰川冰累积到一定厚度，在自身重力作用下从高处向低处流动，谓之冰川。一定低温下的高山和固态降水（包括雪、雾、雹，等等）是冰川形成的必要条件；山区地形不能过于陡峭也是其形成的重要因素。

冰川是气候系统多圈层相互作用的核心纽带和关键性因素，祁连山冰川消长是中国北方生态变化晴雨表。石羊河冰川作为重要淡水资源及径流组分，其融水



> 石羊河流域概况



▷ 石羊河中下游绿洲

维持河水径流量的稳定具有重要的调节作用。冰川与降水、径流之间有着互为补充的关系，在丰水多雨年份可大量储存固体降水，而高温时节又能融化和提供一定的冰雪融水用来缓解干旱。1970—2010年间，河西走廊冰川融水每年补给河流约8亿立方米，40年间，冰川融水总量达260亿方，其中石羊河流域冰川融水量达18.16亿立方米，黑河冰川融水量为70.94亿立方米，疏勒河的冰川融水量为171亿立方米。

由于冰川融水衔接，石羊河流域的上游山区与中下游绿洲耦合形成了独特的冰水绿洲景观。受温度和降水差异影响，在海拔2100米往上，植被分布显示出强烈的垂直地带性：荒漠草原带位于海拔2000~2350米，山地草原带位于海拔2350~2800米，高山杜鹃带位于海拔3100~3500米，高山草甸带位于海拔3500~4000米。这些上游山区的森林、灌丛、草原等多个植被垂直带组成的植被体系，它们位于“固体水库”与河流水系之间，起着涵养水土、储存水源、调节区域水文循环的作用。

冰川或将远去

冰川发育主要受气候和地形、地势等因素制约。在全球性气候转暖大背景下，近几十年来，石羊河流域冰川不断退缩，主要表现为冰舌后退、雪线持续上升，冰川面积、冰川储量缩减，小型冰川消亡，等等。据中国第一次冰川编目资料，20世纪70年代石羊河流域有冰川141条；2009年第二次冰川编目结果显示，石羊河流域内冰川仅剩97条，30年间消失了44条小型冰川，包括流域内仅有的一条朝向为东、编号5Y417C0013的冰川也消失了（1973年，冰川面积0.1平方千米）。

石羊河流域接受冰川融水补给的主要支流自西向东分别为：东大

河、西营河、金塔河、杂木河。据长时间序列（1975—2018年）的16期次卫星遥感影像，同时结合地面实际调查等多源数据综合分析、解译，结果显示：石羊河流域的冰川严重退缩，冰川面积和冰川储量缩减趋势一致；东部冰川较西部规模较小，对温度变化反应更为敏感、消融速度更快。

冰川是气候变化的记录器和预警器，气温升高是导致石羊河流域冰川消融的主要因素。冰川面积缩小只是表面现象，冰川储量的变化直接反映了冰川水资源的损失。2018年石羊河流域冰川面积为25.36平方千米，与1975年同季节冰川面积249.39平方千米相比较，2018年仅为1975年冰川面积的1/10；2018年冰川储量为9.62亿立方米，与1975年同季节冰川储量（122.67亿立方米）相比，缩减到1975年的1/13，即：1975—2018年的43年间，石羊河流域冰川面积退缩率89.83%，累计缩退224.48平方千米；冰川储量缩减率达92.16%，累计减少113.05亿立方米。

在全球变暖的大背景下，石羊河流域冰川持续缩减。在经历了1975—1995年的快速消融阶段后，1995—2005年冰川退缩速率有所减缓，2001—2018年进入相对缓慢的较少时期。这符合冰川研究专家对我国西北地区小型冰川发展趋势的预测，冰川

退缩速率随着温度升高达到一个极限后，会慢慢减缓。据此推断，石羊河流域冰川的消融拐点已经出现，时间在1995—2005年间。

未来去向何方

石羊河流域冰川作为“固体水库”，依赖于高大祁连山体所提供的丰富冷储资源而发育，维持着各支流源区的水量稳定，保护着高山脆弱的生态系统，哺育着古凉州的世代子孙，参与创造了灿烂的丝绸之路沿线文明。冰川的大规模退缩及消失，意味着其各项功能也在逐步削弱或丧失，一旦河流源区降水量减少、气候变干，将会导致区域性的长期水危机等生态问题。

气候变暖导致的冰川消融已为人类敲响了警钟，2019年9月，冰岛为失去了奥克冰川举办了

“葬礼”，纪念碑上，刻着一封给未来的信：这是第一条痛失冰川地位的冰川。在接下来的200年里，我们所有的冰川都将遵循同样的灭亡路径……

全球变暖已成为一个不争的事实。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）一直将人类活动对气候系统的影响作为评估报告的核心内容。据2021年8月9日，IPCC第六次评估报告《气候变化2021：自然科学基础》：1950年以来，全球几乎所有冰川同时在退化，且退化速度乃过去2000年里所未见；人类影响已使大气、海洋和陆地持续变暖，且正以前所未有的速度发生。与工业化前的气温记录相比，目前全球已平均升温约为1.1℃，到本世纪中叶，全球地表温度将继续上升，除非在未来几十年里采取深度减排措施，否则全球1.5℃温控

目标乃至2℃目标将无法实现。

全球变暖背景下，石羊河流域上游山区2001—2020年间气温每10年上升0.285℃，远高于北半球陆地气温每10年0.064℃的升温速率；冰川呈继续消融趋势，冰川融水径流补给逐年缩减，其水资源调蓄功能减弱。关注石羊河流域冰川变化，对于探讨气候变化条件下区域水资源演变，维系研究区脆弱的生态平衡具有重要的理论价值和现实意义。❏

本文由中国地质调查局“河西走廊石羊河流域水文地质调查（编号：DD20190349）”项目资助。

第一作者单位 / 中国地质科学院水文地质环境地质研究所

（本文编辑：陈慧）



＞ 河景蕴春色