

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.01.003

哈萨克斯坦巴尔喀什湖-阿拉湖流域水资源及其开发利用

吴 淼^{1,2}, 张小云^{1,2}, 王丽贤^{1,2}, 陈 曦¹, 吉力力¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院新疆分院文献信息中心, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 利用定量与定性相结合的方法, 对哈萨克斯坦巴尔喀什湖-阿拉湖流域的水资源量、水资源分布以及多年水资源利用状况进行分析, 揭示近年来该流域水资源的动态变化特点和人类活动对该区域水体变化的影响。结果表明: 巴尔喀什湖-阿拉湖流域水资源形式多样, 但以湖泊水量所占比重最大; 河流径流近 10 多年来虽然波动明显, 但呈增长态势; 冰川资源较丰富, 但储量与面积都显著缩减; 巴尔喀什湖-阿拉湖流域是哈萨克斯坦著名的地下水分布区, 但开发利用程度低。在社会经济领域用水方面, 来源主要为地表水, 农业用水占总用水量的绝大部分, 是影响用水变化的主要因素。20 世纪 90 年代中期以来用水量随着流域人口的增长和经济的复苏呈现上升趋势, 显示人类活动对水体水量变化的影响逐渐变大。

关键词: 巴尔喀什湖-阿拉湖流域; 水资源开发; 水资源利用

中图分类号: TV211.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2013)01-0011-10

Water resources and their exploitation and utilization in Balkhash-Alakol Lake Basin in Kazakhstan

WU Miao^{1,2}, ZHANG Xiaoyun^{1,2}, WANG Lixian^{1,2}, CHEN Xi¹, JI Lili¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

2. Document and Information Center of Xinjiang Branch of Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: The qualitative and quantitative methods were combined to analyze the quantity, distribution, and utilization of water resources in the Balkhash-Alakol Lake Basin in Kazakhstan, in order to investigate the dynamic characteristics of water resources and the influences of human activities on the variation of water bodies in this area in recent years. The results show that the water resources in this basin are in various forms, and lake water accounts for the largest proportion. Although the fluctuation of river runoff is obvious, it has shown growth trends over the past ten years. Glacier resources of the basin are abundant, but their reserves and distribution area have decreased significantly. The Balkhash-Alakol Lake Basin is a famous groundwater distribution area in Kazakhstan, but it is not well developed and utilized. Surface water is a major source for socio-economic water utilization, and agricultural water use, which accounts for a large proportion of the total water consumption, is a major factor influencing the change of water consumption. Water consumption has increased with the growth of the basin's population and economic recovery since the mid-1990s, indicating an increasingly large impact of human activities on water change.

Key words: Balkhash-Alakol Lake Basin; water resources exploitation; water resources utilization

哈萨克斯坦是与我国山水相邻的中亚最大的国家, 巴尔喀什湖-阿拉湖流域(以下简称巴湖流域)包括横跨中俄两国的伊犁河流域的一部分, 也是哈萨克斯坦 8 个主要流域中面积最大的流域^[1]和传统的农业区之一。流域中的伊犁河、巴尔喀什湖是中亚干旱区最重要的水体之一, 其水文变化状况是人类社会和自然因子

收稿日期: 2012-04-05

基金项目: 国家国际科技合作计划(2010DFA92720)

作者简介: 吴淼(1968—), 男, 江苏南京人, 工程师, 硕士, 主要从事中亚、俄罗斯文献信息调研。E-mail: wm_xj@126.com

对环境影响的重要指示器。加之其与中国相邻、相近的特殊地理位置,引起了国内学术界的关注。近年来不少国内学者分别对巴尔喀什湖的水位变化^[2-4]、前苏联时期的流域开发和流域的气温变化等方面进行了研究^[5-7],取得一定的成果。但关于包括阿拉湖流域在内的全流域水资源及其利用方面的研究报道较少。

水资源开发利用是人类对天然水资源施加的最直接的影响。巴湖流域与其相邻的中国境内流域在自然环境、用水结构等方面非常相近。在全球气候变化的背景下,通过对该流域的水资源量、水资源的分布与利用状况的分析,可以为探究干旱区流域水体变化状况中人类活动因子的影响程度提供借鉴。

1 研究区概述

1.1 地理区位概述

巴湖流域位于哈萨克斯坦东南部,与中国新疆伊犁哈萨克自治州接壤,面积 $35.3\times10^4\text{ km}^2$ (也有数据是 $38.6\times10^4\text{ km}^2$)^[8]。其所属行政区包括阿拉木图州全境,江布尔州的莫因库姆区、科尔达区、楚河区,卡拉干达州的阿克斗卡区、舍特区、卡尔卡拉林区,东哈萨克斯坦州的乌尔贾尔区和阿亚古兹区,哈萨克斯坦最大的城市阿拉木图也位于该流域^[9]。流域人口为 362×10^4 人(2009 年)^[10]。

巴湖流域北面以卡尔卡拉雷-阿克套山岭和成吉思套山为分水岭,东面以塔尔巴哈台山、乌尔卡沙尔山、巴尔雷克山、迈利山、准噶尔阿拉套、博罗霍罗山、伊连-哈贝尔加山、纳拉特山、哈雷恩套为分水岭,南面以泰尔斯凯山脉、昆格山脉和外伊犁山脉的东支脉为界,西面以楚-伊犁山脉为界。流域边界线的总长度为 4 000 km 左右,从西向东约 900 km,从北向南约 680 km。

流域最突出的特点是地势不均、气候多样、自然环境差异大。巴尔喀什湖北面是狭长的干旱草原地带,湖北沿岸区和阿拉湖盆地是半荒漠地带,而自巴尔喀什湖南岸延至天山和准噶尔阿拉套山脚下则分布着广阔的荒漠。

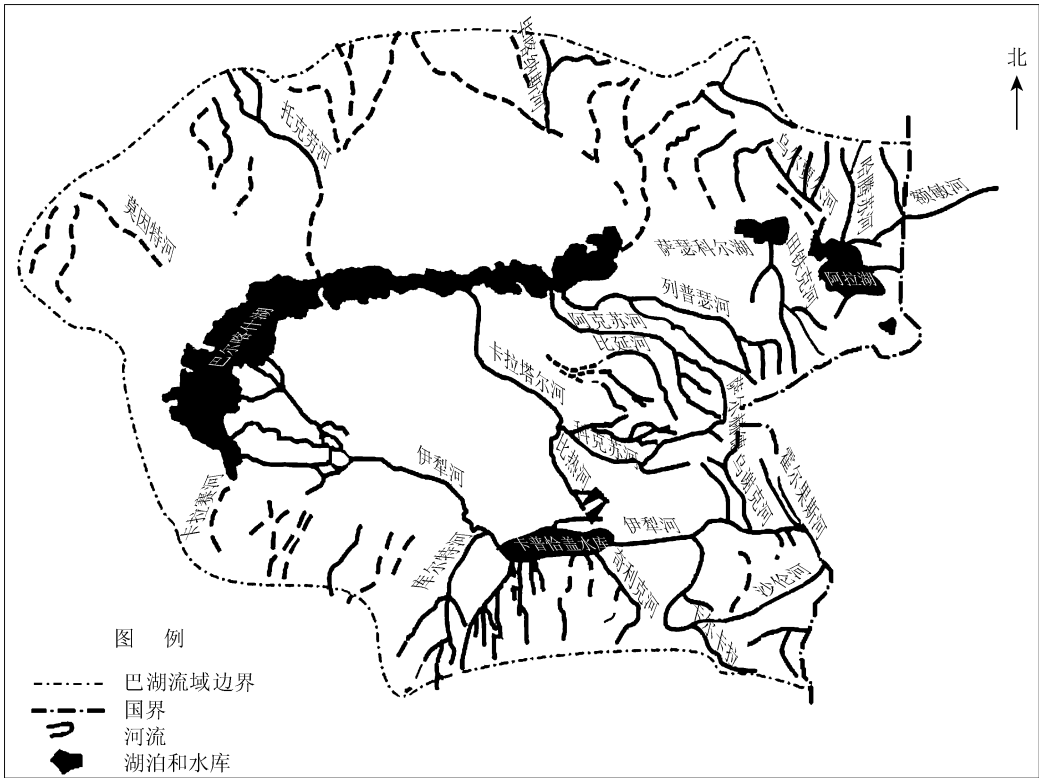


图 1 巴尔喀什湖-阿拉湖流域示意图

Fig. 1 Sketch map of Balkhash-Alakol Lake Basin

由于流域的南、东南和东面是地势较高的山脉,而北面和西面是较低的山脉,这就决定了流域内河流的主要流向为东南-西北走向^[11]。

1.2 气候条件

巴湖流域所在地区呈典型的大陆性气候特征。主要行政区阿拉木图州以北的平原冬季气候严寒,1 月平均气温为-9~-10℃;夏季炎热,7 月平均气温为 24℃,山前地带较温和。全年平均降雨量为 110 mm,山前地带达 500~600 mm,山区更高,为 700~1 000 mm。山区植被有明显的垂直分布,山前地带及平原的农作物生长期为 205~225 d,5 月常有倒春寒发生^[12]。

东哈萨克斯坦州的阿亚古兹、乌尔贾尔、马坎奇区和阿拉木图州的阿拉湖区所在的阿拉湖流域位于哈萨克斯坦东南部同名山间盆地。该地区的地理与山形复杂多样,海拔 300~4 107 m,景观大致为山前干旱草原和荒漠。降雨量从阿拉湖-萨瑟科尔湖群中央的 250 mm 到塔尔巴哈台与热特苏阿拉套山脉分水地带的 800~1 000 mm 不等,年均降雨量为 442 mm,山区径流形成地区平均降雨量为 595 mm,主要降水区分布于山脉中部海拔 1 000~2 000 m 区间。

水体区域大气温度的日变化与年变化取决于气候条件(风、云)。夏季少风天气情况下,阿拉湖上方的气温与水面温度接近,偏差约 1~2℃;水面与陆地的同期气温差达 7~8℃。在秋季,由于变冷和昼夜温差,陆地上方与水面温度差为 8~10℃。水体上方的空气湿度通常大于陆地,但据观测在春季和秋季会出现相反的情况,这主要是与水面湿气凝结有关。12 月至翌年 4 月的平均蒸发量为 92~150 mm^[13]。

2 流域水资源构成

巴湖流域既是河流、湖泊、冰川等地表水体广泛分布的地区,也是哈萨克斯坦著名的地下水产区。流域有超过 52 000 条河流、临时水道,总长度达 137 000 km。最大河流是伊犁河(集水区面积占全流域的 75%),由其河口在巴尔喀什湖形成的三角洲面积为 8 000 km²。三角洲在维持生态系统平衡进行的自然调节方面起着重要作用。此外,流域内还分布着 24 000 个湖泊和人工水体。流域各种水体的水资源总量约为 1 494×10⁸ m³,其中湖泊水量约占水资源总量的 77.4%,河流流量约占水资源总量的 18.6%(表 1)^[14]。

2.1 地表水

2.1.1 河流

2.1.1.1 伊犁河

巴湖流域最主要的河流是伊犁河,其径流量占全流域的近 70%。伊犁河是一条国际河流,发源于天山山脉中央、中国新疆境内特克斯河和巩乃斯河的交汇处,全流域面积为 13×10⁴ km²,在哈萨克斯坦境内流域面积为 7.74×10⁴ km²。伊犁河的总长度为 1 001 km,在哈萨克斯坦境内的长度为 815 km^[15]。根据不同作者提供的数据,伊犁河流入巴尔喀什湖的平均补给量在 465~480 m³/s 之间^[16]。伊犁河在哈萨克斯坦境内的主要支流有南岸的恰伦河、奇利克河、图尔根河、伊塞克河、塔尔加尔河、卡斯克连河及库尔特河,北岸的霍尔果斯河、乌谢克河等^[17]。

根据国外学者对伊犁河雅玛渡站、37 km 站和乌什亚尔玛站径流量的年际变化进行的研究^[18],1945—1990 年伊犁河径流量的变化分为 2 个阶段:1970 年以前河流流量在 500 m³/s 左右,其年际波动也大致围绕这一数值发生;而 1970—1990 年间,河流流量呈明显下降趋势,平均流量也降至 350 m³/s 左右。

笔者根据联合国有关研究报告^[11,14]中的数据对 1991—2004 年伊犁河的径流量变化进行分析(图 2),结果表明:1994 年伊犁河的水量(径流)为 195.0×10⁸ m³,其中 58.8×10⁸ m³ 产自哈萨克斯坦;2004 年哈萨克斯坦境内伊犁河的径流量为 72.4×10⁸ m³,比 2003 年的流量有所减少;2004 年由伊犁河流入巴尔喀什湖的水量达到 120.9×10⁸ m³。

虽然无法从图 2 判断伊犁河超长期的径流量是增加

表 1 按水平衡划分的巴湖流域水资源量统计(多年平均)

Balkhash-Alakol Lake Basin (the annual average)					10 ⁸ m ³
水体	年资源量	消耗		可利用 水资源量	特殊水 利用限额
		生态	蒸发等		
河 流	278	169	23	86	55
湖 泊	1 156		180	976	3
地下水	60		60	6	54
总 计	1 494	169	203	1 122	64

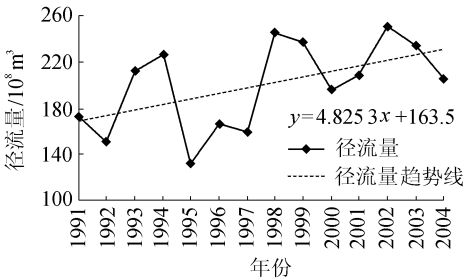


图 2 伊犁河 1991—2004 年径流量变化

Fig. 2 Variation of runoff of Ili River from 1991 to 2004

还是下降,但在1991—2004年观测期内可看出1995年之后的水量存在较明显的波状增长趋势,其中2002年的径流量在这一区间段是最高的,最低值则出现在1995年。由此可以得出如下结论:(a)1991—2004年伊犁河径流并未因上游的开发而减少;(b)1991—2004年如果巴尔喀什湖的水位出现下降,那么与伊犁河径流变化的因素相关性不大。

2.1.1.2 巴尔喀什湖东部和阿拉湖群的主要河流

巴尔喀什湖东部的河流主要有卡拉塔尔河、阿克苏河、列普瑟河和阿亚古兹河等。卡拉塔尔河按水量属于流域第二大支流。由于其流域内大量的灌溉用水,河水只有很少部分注入巴尔喀什湖,大部分在穿越萨雷耶西克-阿特劳沙漠后形成1个100 km宽的三角洲,有大量鱼类和鸟类栖居其中。巴尔喀什湖东部河流水情见表2^[16-17]。

表2 巴尔喀什湖东部河流水情
Table 2 Water regime of main rivers on east side of Balkhash Lake

河 流	集水面积/km ²	长度/km	单位平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	发源地
卡拉塔尔河	19 100	390	75.0	准噶尔阿拉套山系
阿克苏河*	4 280	228	13.5	准噶尔阿拉套山系
列普瑟河**	6 790	264	17.5	准噶尔阿拉套山系
阿亚古兹河	9 495	380	20.0	塔尔巴哈台山脉

注: * 杨川德等^[2]的研究结果为:集水面积5 040 km²,长度316 km,平均流量9.5 m³/s; ** 杨川德等^[2]的研究结果为:集水面积8 100 km²,长度417 km,平均流量22.8 m³/s。

阿拉湖群的河流不多,其中形成于热特苏-阿拉套山脉冰川的田铁克河是最大的河流。该河从其左岸的乌沙拉尔市接纳了支流钦扎雷河,最终流入萨瑟科尔湖(表3)。额敏河是跨越中哈边界的国际河流。

表3 阿拉湖群主要河流水文状况
Table 3 Hydrological situation of main rivers in Alakol Lake Basin

河 流	流向湖泊	流域面积/ km ²	长度/ km	年均流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	径流系数/ (L·(s·km ²) ⁻¹)
田铁克河	萨瑟科尔湖	5 390	183	47.50	8.83
乌尔贾尔河	阿拉湖	4 550	186	1.56	0.34
卡滕苏河	阿拉湖	387	71	4.50	12.10
额 敏 河	阿拉湖	21 800	102	4.00	0.18
厄尔盖特河	阿拉湖	1 660	28	5.70	3.40
扎曼特河	阿拉湖	667	51	2.50	3.75

阿拉湖流域的河流总径流量为39.5×10⁸ m³,其中田铁克河径流量约占流域径流总量的50%,并在萨瑟科尔湖形成面积为295 km²的三角洲^[11,13]。从图3可知,在1995—2004年间,除2000—2002年间径流变化幅度较大外,田铁克河年径流量呈现明显的持续上升趋势。

2.1.2 湖泊

2.1.2.1 巴尔喀什湖

巴尔喀什湖位于哈萨克斯坦东南部(东经73°21′~79°30′,北纬45°45′~46°44′),湖面面积为18 665 km²(水位342 m),水量为1 096×10⁸ m³,平均深度为5.9 m^[16],是世界第十六大、哈萨克斯坦第三大内陆咸水湖泊。周边环境干燥少雨。地理形态证据显示,历史上巴尔喀什湖水位曾发生过巨大变化。18世纪前半期湖水位最高时超出海平面346 m,最低湖水位为1840年的338 m。在历史时期水位波动幅度为10 m^[18-19]。但仅从湖面影像资料辨析,近年来其水面面积变化幅度不大(图4)。

如本文引言所述,关于巴尔喀什湖的水位、水量和气候等方面,国内外已有不少学者进行过研究,对于湖泊水位出现周期性的丰枯变化也基本形成共识,这其中既有自然环境的原因,也有人类活动的影响。限于篇幅,不再赘述。

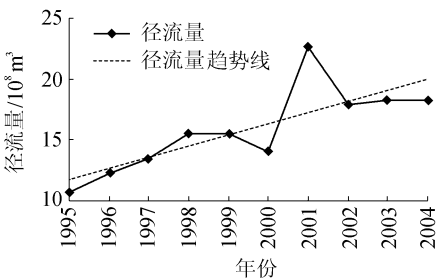


图3 田铁克河1995—2004年径流量变化
Fig. 3 Variation of runoff of Tentek River from 1995 to 2004

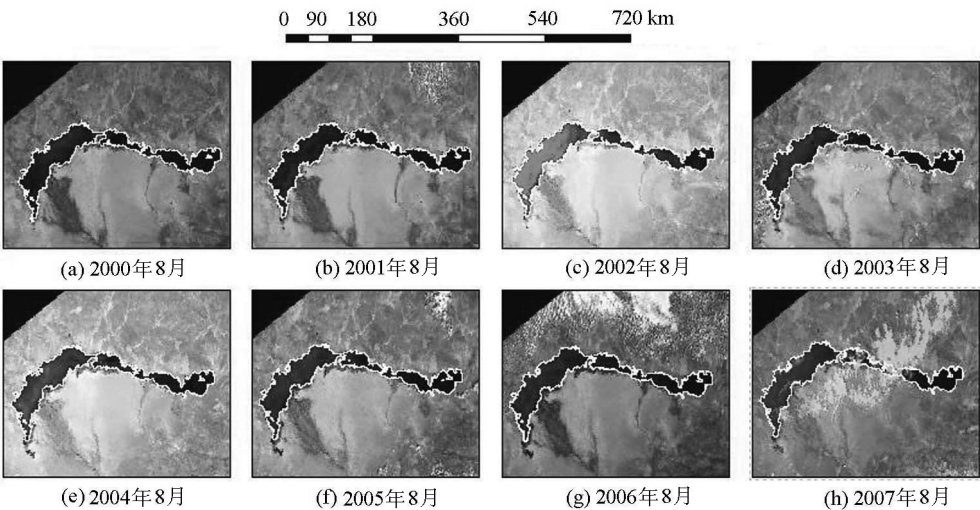


图 4 巴尔喀什湖影像(1 : 850 000)
Fig. 4 Image of Balkhash Lake(1 : 850 000)

2. 1. 2. 2 阿拉湖群

阿拉湖群位于哈萨克斯坦东南同名的山间盆地,其中约 2/3 的湖域面积位于西塔尔巴哈台山脉。在阿拉湖盆地共有 529 个湖泊,其中 513 个湖面面积小于 1 km²。这些湖泊中有 4 个大型湖泊——阿拉湖、科什卡尔湖、萨瑟科尔湖和扎拉纳什湖,与其他小型湖泊一起构成阿拉湖湖泊系统(表 4)。

表 4 阿拉湖群湖泊水情特征

湖泊名称	水情特征							
	湖长/km	最宽处/km	平均宽度/km	湖岸长度/km	湖面面积/km ²	最深处/m	平均深度/m	水量/10 ⁸ m ³
阿 拉 湖	104. 0	52. 0	25. 5	384. 0	2 650. 0	54. 0	22. 1	585. 6
萨瑟科尔湖	49. 6	19. 8	14. 8	182. 0	736. 0	4. 7	3. 3	2434
科什卡尔湖	18. 3	9. 6	6. 5	57. 3	120. 0	5. 8	4. 1	489
扎拉纳什湖	8. 8	6. 3	4. 7	26. 2	40. 6	3. 4	2. 4	99. 5

注:湖面面积为 2002 年状况,水断面为 1992 年平均水平。

阿拉湖是本湖群中面积最大的湖泊,也是哈萨克斯坦内流湖泊中唯一的深水湖,平均深度为 22. 1 m,最深处为 54. 0 m。湖泊内形成大量的半岛、峡湾,岛屿面积约为 80 km²。部分湖岸浅缓,生长着大量的芦苇^[13]。

2. 1. 3 冰川

巴湖流域东南部坐落着北天山山系的外伊犁-阿拉套和准噶尔-阿拉套山脉,这里是哈萨克斯坦主要的冰川分布区,冰川面积和冰川数量占据了该国冰川总数的 50% 以上^[1]。该地区的现代冰川主要分为外伊犁-昆格冰川系统和准噶尔冰川系统,见表 5^[20]。从表 5 可以看出,外伊犁-昆格和准噶尔 2 座冰川系统的储量相当丰富,在 1955—1956 年间两者之和达到 820×10⁸ m³,之后虽然有所减少,但仍然占据了全国冰川资源量的大部分份额。

表 5 北天山和准噶尔-阿拉套不同时期的冰川分布

Table 5 Glacier distribution of North Tianshan Mountain and Dzungar Alatau in different periods		冰川储量/10 ⁸ m ³				
冰川系统	分布地区	1955—1956 年	1972 年	1975 年	1979 年	1990 年
外伊犁-昆格冰川	昆格-阿拉套山脉南坡	66		43		
	琼-凯明流域	67		62		
	外伊犁-阿拉套山脉北坡	132		113	88	84
	齐利克流域	160		169	137	128
准噶尔冰川	准噶尔-阿拉套山脉南坡	111	81			61
	卡拉套流域	98	81			68
	奔河、阿克苏河和列普瑟河流域	143	121			100
	伊尔盖提流域、田铁克流域	43	39			33

在冰川的储量分布方面存在着显著的差异。在外伊犁-昆格冰川系统中,齐利克流域、外伊犁-阿拉套山脉北坡的储量远高于其他地区;而在准噶尔冰川系统中,奔河、阿克苏河和列普瑟河流域的储量是伊尔盖提河流域和田铁克河流域储量的近4倍。在冰川作用面积的分布上也呈现同样的不均衡特点。以外伊犁-阿拉套山脉北坡流域的冰川为例,据1990年对该地区的调查,有超过67%的冰川作用面积发生在塔尔加尔流域、叶希克流域和图尔根流域,其中塔尔加尔流域和叶希克流域的冰川化程度(冰川面积与流域面积之比)是最高的;冰川化程度较低的地区主要分布在山脉北坡、流域西部的乌尊卡尔加利流域和东部的图尔根流域。该地区的冰川大多分布在海拔3 300 m以上的区域。

近年来由于气候变化等因素,冰川面积呈缩小趋势。以外伊犁-阿拉套北坡冰川为例,1955—1990年间该地区的冰川面积和体积大幅度减少。35 a间冰川面积以平均每年 2.4 km^2 的速度缩减,总缩减幅度达到29.2%。1998年,该地区的冰川面积已缩减至 185 km^2 。这种状况目前在环绕外伊犁-阿拉套南坡的奇利克河流域冰川系统和昆格-阿拉套北坡均存在。

2.2 地下水

巴湖流域的地下淡水储量丰富,在巴尔喀什湖北面沿岸的丘陵平原地带最常见的是裂隙水,而在山间凹地和丘陵盆地形成的主要是承压水,一些自流湖泊、河流都被列入此类。在山区,尤其是丘陵地,其地下水的形成与地表水有着紧密的相互关系。预测勘探地下水资源约为 $170.4\times10^8\text{ m}^3/\text{a}$,其中可利用的约为 $53\times10^8\text{ m}^3/\text{a}$ 。但因为该地区地表水储量丰富,地下水资源并未得到大规模利用。目前已利用的地下水量约为 $8.7\times10^8\text{ m}^3$,占已确定储量的16.4%。据有关资料^[11,21]介绍,2003年取自地下水源的水量达到 $2.7\times10^8\text{ m}^3$ 。

浅层地下水径流以不同流量直接注入巴尔喀什湖,主要发生在湖滨地区30~35 km宽的范围。地下径流仅限于古老和现代的河流谷地以及大型地质断裂带。直接进入巴尔喀什湖的地下水(承压地下水与浅层地下水)流量大约是 $0.8\times10^8\text{ m}^3/\text{a}$,溶解的固体达到 $1.1\times10^6\text{ t/a}$ 。这些数字大约是地表水注入量的0.5%和盐分注入量的26%。

在巴尔喀什湖南部以及莫因库姆、克孜勒库姆、阿雷斯库姆等沙漠地区广泛分布着第四纪沉积层地下水,埋深从3~10 m到30~50 m不等;巴尔喀什湖沿岸和莫因库姆沙漠西部边缘的地下水矿化度为0.5~3 g/L,克孜勒库姆沙漠地下水矿化度较高(达到5~15 g/L);该地区的产流介于 $100\sim430\text{ m}^3/\text{d}$ 到 $1\,800\sim2\,580\text{ m}^3/\text{d}$ 之间^[8]。

3 水资源利用状况

巴湖流域的用水主要引自地表水,地下水只占很小部分(表6)。2004年该流域的水资源被引用了 $39.5\times10^8\text{ m}^3$,其中地表水资源为 $37\times10^8\text{ m}^3$,地下水为 $2.5\times10^8\text{ m}^3$,后者大约仅占总引水量的6.36%。1990—2000年之间,引水量大幅度减少。农业(包括灌溉)、畜牧业、市政、工业等是巴湖流域水资源的主要消耗领域,游憩、水运和水力发电行业虽然也利用水资源,但并不产生消耗^[14]。

表6 按来源划分的流域引水量
Table 6 Water abstraction from different sources of river basin 10⁸ m³

年份	巴尔喀什湖流域			阿拉湖流域			总计
	地表水	地下水	合计	地表水	地下水	合计	
1990	63.6	13.5	77.1	3.4	0.2	3.6	80.7
2000	33.8	2.4	36.2	1.0	0.1	1.1	37.3

3.1 农业用水

农业是巴湖流域的主要用水领域,用水量超过经济领域用水总量的80%。在哈萨克斯坦各州中,全部面积位于流域内的阿拉木图州是主要的灌区之一,并且阿拉木图州和阿拉木图市的面积占流域总面积的63%。流域拥有哈萨克斯坦最大的灌溉土地(约 $65.3\times10^4\text{ hm}^2$),其中阿拉木图州占 $59.7\times10^4\text{ hm}^2$,东哈州部分占 $5.6\times10^4\text{ hm}^2$ 。

从表7分析,巴湖流域的农业用水有3个特点:(a)农业用水特别是灌溉用水主要发生在巴尔喀什湖流域,阿拉湖流域所占比重很小,1990年巴尔喀什湖流域的农业和渔业用水约是阿拉湖流域的18倍,2000年两者的用水差距更大;(b)与1990年相比,该流域2000年农业供水、灌溉和渔业所耗的水量均有大幅度减

少;(c)在用水结构中,灌溉用水所占的比重最大。

表 7 按流域划分的 1990 年和 2000 年农业用水量

Table 7 Agricultural water consumption of different basins from 1990 to 2000									10 ⁸ m ³
年份	巴尔喀什湖流域				阿拉湖流域				总 计
	农业供水	土地灌溉	渔业	合计	农业供水	土地灌溉	渔业	合计	
1990	1.0	60.3	1.5	62.8	0.2	3.0	0.3	3.5	65.3
2000	0.2	20.6	0.2	21.0	0.03	0.8	0.04	0.8	21.8

图 5 反映了巴湖流域灌溉用水的多年变化。流域灌溉用水在前苏联解体前的 20 世纪 80 年代处于高位,1990—1999 年出现了快速下降;2000 年之后,流域以灌溉为主的农业用水量基本维持在平均每年 $30\times10^8\text{ m}^3$ 左右,2006 年之后出现了缓慢上升势头。造成农业用水下降的因素,除了气温、降水等自然因素外,灌溉面积减少是另一个重要原因。由于土地私有化的实施,大量土地撂荒。1990 年全流域的实际灌溉面积为 $64.2\times10^4\text{ hm}^2$,而 2006 年降为 $42.1\times10^4\text{ hm}^2$,降幅达到 34%;相应地,同期的灌溉用水分别为 $65\times10^8\text{ m}^3$ 和 $30\times10^8\text{ m}^3$,后者比前者下降了 53%。

此外,灌溉用水水平还与作物种类相关。流域的灌溉地主要种植谷物、饲料和水稻等,以阿拉木图州为例,其每年的单位灌溉用水量在水稻种植区为 $1.9\times10^4\text{ m}^3/\text{hm}^2$,谷物种植区为 $4\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$,多年生草场为 $5\,900\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。2001—2004 年间阿拉木图全州单位平均灌溉用水量为 $6\,094\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。在水生产力方面,小麦为 $1.4\text{ kg}/\text{m}^3$,水稻为 $0.2\text{ kg}/\text{m}^3$,玉米为 $1.2\text{ kg}/\text{m}^3$,番茄为 $4.2\text{ kg}/\text{m}^3$,均低于国际水平^[11, 22]。

3.2 工业用水

巴湖流域工业部门很少,基础相对薄弱。流域主要的工业部门有巴尔喀什市的有色金属冶炼,塔尔迪库干市的电池企业,以及部分制糖、陶瓷等轻工业。因此,流域的工业用水在用水总量中所占的比重远低于农业,平均不到 10%,1996 年这一指标仅为 2.9%。

如果按流域划分工业用水量,巴尔喀什湖流域占绝对份额,1990 年阿拉湖的工业用水量为 $0.01\times10^8\text{ m}^3$,不到巴尔喀什湖的 1%,2000 年这一差距更大,阿拉湖为 $0.003\times10^8\text{ m}^3$,而巴湖流域达到 $1.9\times10^8\text{ m}^3$;2000 年,两流域的工业用水量较 1990 年均大幅度减少。图 6 是巴湖流域多年工业领域用水情况。1990—2006 年虽然总用水趋势呈下降态势,但可具体划分为 2 个阶段:第 1 阶段从 1990—1996 年,是快速下降阶段;第 2 阶段从 1996—2006 年,基本呈缓慢、波状上升阶段。这在一定程度上也反映了流域工业生产由前苏联解体初期的迅速萎缩到之后的缓慢、持续的恢复过程。尽管如此,从总量上分析,全流域的工业用水仍处于较低的水平。

3.3 市政生活用水

20 世纪末巴湖流域人口为 3.3×10^6 人,其中居住在阿拉木图州的有 1.60×10^6 人,占流域人口总数的 72.7%。农村人口 1.5×10^6 人,阿拉木图市人口为 1.13×10^6 人,塔尔迪库干市人口为 0.11×10^6 人,巴尔喀什市人口为 0.10×10^6 人。2009 年的流域人口比 10 a 前增加了 31×10^4 人,其中城市人口占总人口比例超过 50%,包括阿拉木图市在内的阿拉木图州全部人口占流域人口总量的 80% 多^[10, 15]。人口增长必然给市政用水造成压力。从 1999 年起,市政用水量出现了连续多年的上升状况(图 7)。

城市公用事业用水的 90% 取自地下水,城镇居民用水基本可以得到满足。阿拉木图地区供水来源主要有卡斯克连河,大、小阿拉木图河,伊塞克河,伊犁河和 8 处位于这些流域的地下水源。塔尔迪库干地区的城市萨雷

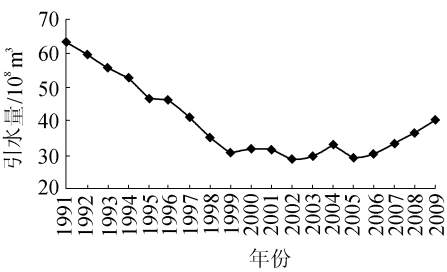


图 5 巴湖流域基于灌溉的引水量变化
Fig. 5 Variation of irrigation water consumption in Balkhash-Alakol Lake Basin

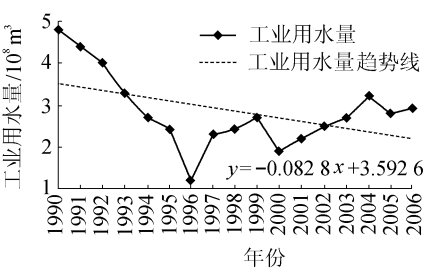


图 6 巴湖流域工业用水量变化
Fig. 6 Industrial water use in Balkhash-Alakol Lake Basin

阿泽克、潘菲洛夫、乌什托别、塔尔迪库尔干、基洛夫斯基和卡拉布拉克的供水引自地下水,江素古洛夫、铁克利和萨尔坎德则依靠地表水源。1990 年集中供水系统覆盖了386个乡村,其中 364 个为地方系统,22 个为集体管道供水。集体供水管道总长 317 km,地方供水管道网长为 2 560 km。但近年来供水设施年久失修,水质较差^[14]。

与工业用水相似,市政生活用水量占总用水比重不大,平均不足 10%,远低于农业用水量。在用水分布上,人口、城镇数较多的巴尔喀什湖流域的用水量远高于人口、城镇数少的阿拉湖流域。如 2000 年巴尔喀什湖流域用水量为 $1.9\times10^8\text{ m}^3$,而阿拉湖流域用水量仅为 $0.01\times10^8\text{ m}^3$ 。在流域所属各州、市中,人口超过 100 万的特大城市阿拉木图的水消耗量最大,2006 年达到 $1.6\times10^8\text{ m}^3$,占全流域的近 60%^[23]。

关于流域生态需水方面的文献不多,笔者仅从中亚区域生态中心的 1 篇研究报告中获取了 2003 年有关生态需水概况的部分资料^[24]。据报道,2003 年哈萨克斯坦的额定生态与环境用水量为 $375\times10^8\text{ m}^3$,但实际用水量达到 $666\times10^8\text{ m}^3$,其中巴湖流域的生态用水量为 $217\times10^8\text{ m}^3$,占全国用水总量的 1/3,且流域中伊犁河、田铁克河和乌尔贾尔河等河流的生态用水量均超过需水定额,分别为 $131\times10^8\text{ m}^3$ 、 $17\times10^8\text{ m}^3$ 和 $18\times10^8\text{ m}^3$ 。

3.4 水利工程

巴湖流域有 14 座水电站,装机容量为 496 MW,年最大电能生产量可达 $11.8\times10^8\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。最大水电站是卡普恰盖电站,装机容量为 434 MW。此外,还建有 40 座灌溉水库,总库容为 $8\times10^8\text{ m}^3$ ^[14]。

卡普恰盖水库位于伊犁河口附近,长约 200 km,宽 15 ~ 20 km,设计容量为 $281\times10^8\text{ m}^3$ 。1970 年水库开始注水。按设计要求,应在 10 a 内达到设计容量,即高程达到 485 m。但由于小水量周期(1974—1977 年)的原因,到 1980 年前蓄水高程只达到 476.3 m^[25]。根据对 2004—2005 年的水资源情况分析,水库水量和水位有逐渐减小的趋势。2004 年初水库的水量为 $169.3\times10^8\text{ m}^3$,水位为 477.78 m,而到年底相应的指标分别为 $161.4\times10^8\text{ m}^3$ 和 477.16 m;2005 年底,水量减少到 $152.3\times10^8\text{ m}^3$,水位为 476.43 m。水位在 2 a 内降低了 1.35 m。

关于卡普恰盖水库对巴尔喀什湖的影响,有学者认为水库对湖区造成了较大的负面影响^[11,16]。主要包括:巴尔喀什湖湿地退化,特别是其支流三角洲湿地;巴尔喀什湖盐度不断上升;巴尔喀什湖渔业产值下降;自然水文模式改变等。

其他较大型水利设施主要有:巴尔托盖水库,位于奇利克河上,库容为 $3.2\times10^8\text{ m}^3$,该水库与大阿拉木图运河相连接,运河从奇利克河调水 $4\times10^8\text{ m}^3$ 至切莫尔干河,调水 $1.2\times10^8\text{ m}^3$ 至库尔金河;具有灌溉功能的有库尔金水库(库容 $1.2\times10^8\text{ m}^3$)、克孜勒拉加什水库(库容 $0.4\times10^8\text{ m}^3$)。灌渠有大阿拉木图灌渠(齐利克河—切莫尔干河之间),输水量为 $4\times10^8\text{ m}^3$ (流量为 $75\text{ m}^3/\text{s}$),以及巴卡纳斯、塔斯木伦、乌什托别和库拉姆灌渠等。此外,在阿克达拉建设了面积为 $3.2\times10^4\text{ hm}^2$ 的水稻灌溉系统,水的消耗为 $13\times10^8\text{ m}^3/\text{a}$;在申格里金的灌溉系统面积为 $1.5\times10^4\text{ hm}^2$,每年拦截水总量为 $1.7\times10^8\text{ m}^3$ 。

流域大面积的灌溉土地中,只有不到 10% ($5\times10^4\text{ hm}^2$) 配备了集成排水系统。由于缺乏有效的排水系统,使得地下水位上升,同时造成土壤盐渍化、洪水和内涝,土地不适宜农作物生长,农作物产量较低。除阿拉木图大运河等少数灌溉系统外,其余多为土河床,输水效率低,输水系数仅为 0.4 ~ 0.5。经过对 1996—2004 年间流域水资源在输送过程中的损耗分析,结果表明输水损耗量在持续增长,尤其是在灌溉区,输水损耗量达到 31% ~ 40%。阿拉木图市政水网在输水过程中的损耗量占输水总量的 23% ~ 32%^[11]。

4 数据分析结果及讨论

4.1 数据分析结果

在水资源方面,首先是近 20 a 巴湖流域的主要河流径流总体呈增加趋势,其中伊犁河的径流量年际波动较大,而田铁克河则相对平稳;其次是巴尔喀什湖的水量长期波动较大,近期其水面面积变化不明显;再者冰川资源长期呈减少趋势,这一结果既体现在冰川储量方面,也反映在冰川的分布面积上;地下水储量丰富,且

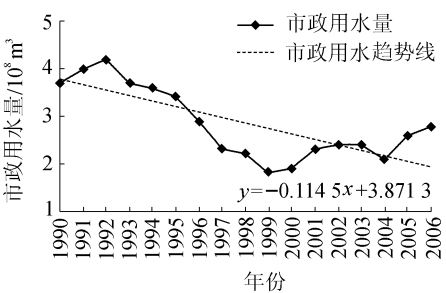


图7 巴尔喀什湖-阿拉湖流域市政用水量变化
Fig. 7 Municipal water use in Balkhash-Alakol Lake Basin

由于开发利用程度低而变化幅度小。

在水资源利用方面,首先是用水来源中,主要引自地表水,地下水所占份额非常低;其次在用水结构中,农业用水特别是灌溉用水占全流域用水的比重大,而其他领域的用水较少;在近年的用水变化方面,虽然各领域总体用水量呈下降趋势,但在经过初期的快速下降后,大致都在1996—1999年期间开始了缓慢的增长;此外,单位灌溉耗水高、水生产力低下、水利设施老化、输水过程损耗大也是流域水资源利用的特点。

造成上述水资源和水利用状况的因素很多,气候、地貌、土壤覆被等是固有的自然影响因素;但随着流域人口增加和经济发展,人类活动的影响越来越大。从用水量看,20世纪前苏联解体初期,随着人口外流、经济发展停滞、耕地撂荒,用水量出现了快速下降的现象,而20世纪90年代中晚期随着经济逐步恢复以及人口增长,各领域的用水都开始呈现上升趋势。可见两者之间存在着相关性。限于篇幅和境外资料获取的难度,未就此进行更深入的研究,有待今后在有效开展国际合作的基础上进一步探讨。

4.2 讨论

巴湖流域紧邻中国,包括伊犁河、额敏河在内的许多河流都是跨境河流,可以说与中国的接壤地区同处于一个自然地理单元和生态系统中。加之中国境内人口较多,农业、工业生产发展较快等原因,多年来常有哈萨克斯坦人士断言,由于中国的过量引水,影响了哈萨克斯坦相邻地区的用水和生态状况。客观而言,在一个流域中,上游的水利开发或多或少地会对下游有一定影响,伊犁河流域也不例外。但只要合理规划、开发适度,就不会影响下游的水资源利用,并使生态环境处于可控的良性发展状态。这在诸如多瑙河、五大湖等许多跨境流域均得以证明。

中国的新疆地处伊犁河、额敏河的上游,特别是伊犁河产流占全流域的近70%。但如前文所述,近年来上游的水资源利用对下游主要水体的影响有限。实际上从1995年以来,伊犁河的径流量尽管波动较大,但总体呈增长趋势;此外,近年来的巴尔喀什湖表面积并没有明显变化。

在水资源利用方面,更大的影响因素来自巴湖流域内部,如人口增长过快、灌溉用水过度(多数巴尔喀什湖东部河流的径流已不能流入湖泊)、卡普恰盖等诸多水库截流、输水过程中过高的损耗和低效的水利用等,加之气候变化、水量蒸发、冰川缩小等因子的叠加,势必对水资源承载量产生不利影响。如果能够保持适度的人口增长,且广泛采取高效的节水措施和合理的用水管理制度,扩大地下水的使用,完全可以应对地表水资源可能产生的亏缺。

任何水体变化的原因都是自然与人类活动等各种因素的综合,而不是某一种、某一类或某个国家地区单一的影响。因此关于跨境流域水体的研究是一项十分复杂的科学工作,笔者仅从某一方面进行分析,还有待其他专家、学者进行更加全面的研究。

参考文献:

- [1] 吴森,张小云,罗格平,等. 哈萨克斯坦水资源利用[J]. 干旱区地理,2010,33(2):196-202. (WU Miao,ZHANG Xiaoyun, LUO Geping, et al. Water resources utilization in Kazakhstan[J]. Arid Land Geography,2010,33(2):196-202. (in Chinese))
- [2] 杨川德. 巴尔喀什湖水位变化及其原因[J]. 干旱区地理,1993,16(1):36-42. (YANG Chuande. The change and causes of water level in Balkhash Lake[J]. Arid Land Geography,1993,16(1):36-42. (in Chinese))
- [3] 孙佳龙,郭金运,常晓涛. 利用卫星测高和重力的巴尔喀什湖水位变化监测[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2011,36(4):401-407. (SUN Jialong, GUO Jinyun, CHANG Xiaotao. Balkhash Lake level variations monitored with satellite altimeter and satellite gravity data[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2011,36(4):401-407. (in Chinese))
- [4] 邓铭江,王志杰,王娇妍. 巴尔喀什湖生态水位演变分析及调控对策[J]. 水利学报,2011,42(4):403-413. (DENG Mingjiang, WANG Zhijie, WANG Jiaoyan. Analysis of Balkhash Lake ecological water level evolvement and its regulation strategy [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2011,42(4):403-413. (in Chinese))
- [5] 付颖昕,扬恕. 苏联时期哈萨克斯坦伊犁-巴尔喀什湖流域开发述评[J]. 兰州大学学报:社会科学版,2009,37(4):16-24. (FU Yingxin, YANG Shu. Commentary on the development of Kazakhstan Ili-Balkhash Basin during the Soviet period[J]. Journal of Lanzhou University: Social Sciences,2009,37(4):16-24. (in Chinese))
- [6] 郭利丹,夏自强,李捷,等. 巴尔喀什湖流域气候变化特征分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):316-322. (GUO Lidan, XIA Ziqiang, LI Jie, et al. Characteristics of climatic change in the Balkhash Lake Basin [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2008,36(3):316-322. (in Chinese))

- [7] 肖婷婷,夏自强,郭利丹,等. 巴尔喀什湖流域 1936-2005 年气温特征[J]. 河海大学学报:自然科学版,2011,39(4):391-397. (XIAO Tingting,XIA Ziqiang,GUO Lidan, et al. Temperature characteristics in the Balkhash Lake Basin from 1936 to 2005 [J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences,2011,39(4):391-397. (in Chinese))
- [8] АЛЫХАСОВ Ж, НИКОЛАЕНКО А, ПЕТРАКОВ И. Управление водными ресурсами в Казахстане [R]. Алматы: ПРООН,2007:9-16.
- [9] ZHARAS T, NATALYA P, STAINISLAV K, et al. Water resources of Kazakhstan in the new millennium [R]. Almaty: UNDPKZ07,2004:16-18.
- [10] КАСЕНОВ А, ТОЛЕБИ А, НУРАСЫЛОВ Н. Демографический ежегодник Казахстана [M]. Алматы: Статистическое агентство КР,2009:13-27.
- [11] Проект Разработки Национального Плана по ИУВР и Водосбережению в Казахстане. Информационный бюллетень: современные проблемы Балхаш-Алакольского бассейна[R]. Алматы: UNDP,2006:4-97.
- [12] 新疆科学技术委员会. 中亚五国手册[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992:26-30.
- [13] БУРЛИБАЕВ М Ж, КУРОЧКИНА Л Я, КАЩЕЕВ В А. Том3 Алаколь-Сасыккольская Система Озер: глобально значимые водно-болотные угодья Казахстана [M]. Астана: GEF ПРООН,2007:17-38.
- [14] Всемирный Банк комитет по водным ресурсам. Балхаш-Алакольский бассейн: приоритетные проблемы 7 основных речных бассейнов Казахстана [R]. Инсбрук, Австрия: Posch & Partners Consulting Engineers,2001:17-37.
- [15] СМАИЛОВ А. Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Казахстана [M]. Астана: Агентство РК по Статистике,2009:60-61.
- [16] PETR T. Lake Balkhash, Kazakhstan [J]. Int J Salt Lake Res,1992(1):21-46.
- [17] 杨川德,赛迪科夫 Ж. 亚洲中部水资源研究 [M]. 北京:科学技术文献出版社,1992:3-264.
- [18] KADER K, HIROSHI M. Decrease of river runoff in the Lake Balkhash basin in Central Asia [J]. Hydrological Progresses,2006,20:1407-1423.
- [19] PAVEL A. Propastin P A. Sample model for monitoring Balkhash Lake water levels and Ili River discharges: application of remote sensing [J]. Lakes & Reservoir: Research and Management,2008,13:77-81.
- [20] SEVERSKIY I V, KOKAREV A L, SEVERSKIY S L, et al. Contemporary and prognostic changes of glaciation in Balkhash Lake Basin [M]. Almaty: VAC Publishing House,2006:39-45.
- [21] ZEKSTER I S. Groudwater discharge into lakes: a review of recent studies with particular regard to large saline lakes in Central Asia [J]. International Journal of Salt Lake Research,1996(4):233-249.
- [22] Delegation of the EU to KZ. Development and improvement of policy instruments for environmental protection, republic of Kazakhstan EuropeAid/127636/C/SER/KZ Result 3-1 : Ili-Balkhash LEAP [R]. Almaty: Mott Macdonald,2010:2-56.
- [23] СМАИЛОВ А. Охрана окружающей среды и устойчивости Казахстана [M]. Астана: Агентство РК по Статистике,2008:162.
- [24] Проект. Информационная поддержка общественного мониторинга целей центрально-азиатской инициативы [R]. Almaty: Региональный Экологический Центр Центральной Азии,2003:2-5.
- [25] ПЛИСАК Р, ОГАРЬ Н. Влияние водохранилищ аридной зоны на растительность [M]. Алма-Ата: Гылым,1992:44-48.