

河西走廊干旱区的水资源分布及循环过程

郭良才^{1,2}, 岳平¹, 李红英², 相吉², 葛鹏²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省(中国气象局)干旱气候变化与减灾重点(开放)实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省酒泉市气象局, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 运用河西走廊3大内陆河流(疏勒河、黑河和石羊河)1955~2006年河流流量、冰川、地质水文和气象实测资料,系统分析了区域内水资源的分布规律及其循环转化关系等。结果表明,河西走廊水资源主要以冰雪水资源、地表水资源与地下水资源的形式存在,分布于3大相对独立的流域水系中;南部祁连山区发育大小河流共计57条,多年平均出山径流量 $72.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。总体而言,近56a出山径流变化比较稳定;走廊盆地主要由8个大型的构造地貌盆地组成,盆地地下水主要接受出山河水及引灌河水的入渗补给,是地表水资源的重复表现形式,多年平均地下水补给量为 $42.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;20世纪50~90年代,走廊地区地下水补给量减少了约30%,平均每10a减少近 $3.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。受构造地貌的制约,自南部山区至北部盆地,地下水与河水之间经过5个不同地带带有规律和重复的转化过程,形成完整统一的“山区地下水—地表水—南盆地地下水—地表水—北盆地地下水”的水资源循环系统。

关键词: 水资源;冰雪水;地表水;地下水;水资源循环;河西走廊

中图分类号: TV211.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0157-07

水是干旱区特别是内陆地区最为珍贵、最稀缺的自然资源,不仅是农业绿洲形成、发展和稳定的基础,也是自然环境所必须和最为重要的组成部分。水通过自身的循环和转化,使水资源系统与自然环境各要素之间相互作用和相互影响并发生有机的联系,且在很大程度上决定着干旱地区的环境良莠。对于深处内陆腹地的河西走廊干旱区水资源的研究,已经取得了很多有意义的成果,孙涛、丁宏伟等^[1~4]根据疏勒河出山径流量及相邻气象台站的观测资料,采用滑动平均、逐步回归和频谱分析等方法,对疏勒河出山径流量年际动态变化特征进行了分析研究,利用MODFLOW和HYDRUS建立了流域土壤水、地下水耦合水流与溶质运移数值模型,预测水土资源开发利用条件下地下水水位、水质的变化趋势,分析对生态环境的潜在影响,并且对流域内生态环境与沙漠化及开发利用存在的问题进行了讨论;宋先松、任建华^[5,6]等针对黑河流域的现状,在生态用水及产业发展等流域进行了研究;徐昔保^[7]等在综合分析石羊河流域生态环境基本特征的基础上,确定生态功能区划原则、依据、方法及命名,探讨利用3S技术进行生态功能区划的方法,分析了各功能区的主要特征,对石羊河流域生态环境综合治理及生态恢复与重建提供了科学依据。这些研究成果从不同角度揭示了河西走廊内陆河流域的生态环境

演变及其特征,为合理治理开发流域资源提供了科学依据,王根绪等^[8]、张光辉等^[9]、武选民^[10]研究结果也表明,河西走廊祁连山山前平原浅层地下水的80%以上来自山区地表水的径流入渗补给,下游细土平原65%~90%的地表水是山前地下水在溢出带以泉水溢出形成。本文运用1955~2006年走廊内疏勒河、黑河和石羊河三大河流的流量、冰川、地质水文和气象实测等资料,对水资源的分布规律及循环转化关系等进行了分析讨论,取得了一些有意义的结论,为区域内进一步合理开发调配水资源提供了理论依据。

1 区域自然地理及社会经济概况

河西走廊地处干旱的西北内陆,东起乌鞘岭,西至甘新交界,南部以高耸的祁连山与青海省相邻,北侧为低缓的北山与内蒙古自治区接壤。总面积 $2.76 \times 10^5 \text{ km}^2$,约占甘肃省总面积的60%,其中耕地面积 65.3 万 km^2 ,占全省耕地面积的18.2%,灌溉面积 56.1 万 km^2 ,占全省总灌溉面积的48.6%,草场面积 254.7 万 km^2 ,占全省的二分之一。还有66.7万多公顷开垦荒地。南部祁连山地海拔2.5~5.8 km,山体陡峭,属切割强烈的中高山区。4.5 km以上终年积雪,发育现代冰川。3.0 km以上降水丰富,森林植被覆盖良好,是水源涵养区和径流形成

收稿日期:2011-04-28

基金项目:国家自然科学基金(41075008);中国气象局气候变化专项(280200S011C00);甘肃省气象局气象科研项目“甘肃省风电资源评估及预报技术研究”(2011-09)

作者简介:郭良才(1962-),男,甘肃通渭人,高级工程师,主要从事天气气候分析及城市生态环境预测工作。E-mail:jgcle@163.com。

区,以上面积合计 $9.12 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。中部走廊平原区海拔 $1.0 \sim 1.5 \text{ km}$, 绿洲、戈壁、沙漠相间分布,地势平坦,降水稀少,光热资源充足,是主要的农业灌溉区和水资源耗散区,面积 $5.91 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。北部山地海拔 $1.5 \sim 2.2 \text{ km}$, 干燥、缺水、植被稀少、风蚀强烈,为荒漠天然牧场,面积 $6.99 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。山地与平原(盆地)相间分布的地形地貌特征,形成了独具特色的“河流—含水层”水资源系统,自东向西分布于石羊河、黑河和疏勒河 3 大相对独立的流域水系,维系着十分脆弱的生态和工农业经济的可持续发展。行政区划属武威、金昌、张掖、酒泉和嘉峪关 5 市,共辖 19 个农牧业市、县(区),区内总人口 448.6 万人,其中农业人口 343.4 万人。河西走廊地区每年提供全省 34.6% 的粮食, 41.3% 的油料, 87.4% 的甜菜, 90.4% 的棉花, 100% 的啤酒花等^[11~13], 是甘肃省的主要商品粮、油、棉基地。

2 水资源概况

2.1 水资源存在形式

降水、冰雪水、地表水和地下水资源是河西走廊干旱区水资源的基本存在形式,大气降水是水资源唯一的总补给来源。在高山区,降水凝结成雪与冰成为雪冰水资源;在中低山区和盆地丘陵区,降水部

分形成地表径流直接补给河流,部分入渗后成为山区地下水资源,最终通过深厚的水文网排泄到沟谷成为地表水资源;在走廊平原,出山水大量入渗后便成为地下水资源。

2.2 水资源特征及数量

2.2.1 冰雪水资源 自然干旱的河西走廊内陆河流域河流的流量全部来源于南部的祁连山冰川,冰川与积雪冰盖犹如一座巨大的“高山固体水库”,发挥着调节走廊内内陆河径流量的作用。在干旱少雨的年份,冰川融水可以弥补因降水减少而造成的河流水量不足;当连续出现低温多雨天气时,冰川融水量减少,冰川上的积雪补给冰川形成冰川冰保存起来,河流水量减少,这种冰川的自然调节作用不但是河西水资源的重要组成部分和存在形式,也使得冰川融水补给量较大的河流受旱涝威胁相对减小。据统计,河西走廊 3 大内陆河流域的冰川有 2 444 条,冰川面积 $1\ 334.75 \text{ km}^2$, 占祁连山冰川总面积的约 80%,冰川储量 $698.31 \times 10^8 \text{ m}^3$, 也占祁连山冰川总储量的约 80%,冰雪年融水约占河西走廊地表水资源的 13.8%^[14],相当于河西走廊出山水多年平均径流量的 10 倍多和总 142 座水库总蓄水量的 63 倍,是河西走廊商品粮基地赖以发展的命脉(表 1)。

表 1 河西走廊干旱区内陆河水系冰川及融水径流

Table 1 Runoff from inland rivers and melted glacier in the arid area of Hexi Corridor

流域 Basin	冰川面积 Glacier area (km^2)	冰川储量 Glacier reserve (10^8 m^3)	出山河川径流量 Runoff from rivers (10^8 m^3)	冰雪融水径流量 Runoff from melted glacier and snow (10^8 m^3)	冰雪融水补给比重(%) Proportion of recharge from melted glacier and snow
石羊河 Shiyang River	64.82	21.43	4.5	0.58	4
黑河 Hei River	420.55	136.70	21.7	2.98	8
疏勒河 Shule River	849.38	540.19	46.2	6.43	32
合计 Total	1334.75	698.31	72.4	9.99	—

受气温、降水量、海拔和地形地貌等因素的综合影响,祁连山冰川发育规模自西向东渐小。冰川末端、雪线及冰川中值高度自东向西抬升,石羊河流域的大靖河冰川末端平均海拔高度为 4.25 km ,疏勒河流域的大哈勒腾河上升到 4.881 km ;石羊河流域雪线海拔高度为 4.4 km ,疏勒河流域的党河为 5.07 km 。冰雪融水补给比重超过 30% 的河流有摆浪河、洪水河、疏勒河、党河和大哈勒腾河。受近 50 a 来西北地区气候干旱化趋势的影响,祁连山区冰川与积雪普遍处于退缩过程中,但除东段的冷龙岭外,大多数冰川的退缩幅度不大,而且有逐年减缓的趋势,甚至有些冰川也出现了增厚的现象^[15]

2.2.2 地表水资源 河西走廊地区的河流均发源于祁连山区(图 1),自西向东主要由疏勒河、黑河和石羊河组成三大相对独立的流域水系,是径流的形成区和水源涵养区,区域内河水量随流程的增加而增大,一般在出山口处达到最大值;走廊平原则为径流散失区,也是水土资源开发程度最高的地区,河流进入这里以后,由于蒸发、渗漏和沿途引用,河水量随流程增加而急剧减少,余水进入下游尾间区,消没于沙漠(荒漠)。疏勒河流域位于走廊西段,源于祁连山脉西段托来南山与疏勒南山之间,西北流经肃北县的高山草地,穿大雪山至托来南山间峡谷,经昌马、玉门镇和饮马场后,折向西流,入敦煌市西北的

哈拉湖,尾间为间歇性河道,消没于新疆东部边境的盐沼之中;干流流域面积 $4.13 \times 10^4 \text{ km}^2$,全长 670 km。疏勒河水系上游祁连山区降水较丰,多高山草地,为良好牧场,中、下游地势低平,玉门镇、安西和敦煌诸绿洲的灌溉农业发展迅速;黑河是我国西北地区第二大内陆河,位于河西走廊中部,发源于南部祁连山腹地。黑河从莺落峡进入河西走廊,经临泽和高台县汇梨园河与摆浪河穿越正义峡(北山),进入阿拉善平原。莺落峡至正义峡流程 185 km,河床平均比降 2‰,为黑河的中游,黑河流经正义峡谷后,在金塔县境内与北大河汇合,至内蒙古额济纳旗境内注入居延海;它从发源地到居延海全长 821 km,流域面积约 $14.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。石羊河流域位于河西走廊东部,由发源于祁连山冷龙岭的诸支流组成,这些支流出山后进入中下游走廊平原,自东向西由

大靖河、古浪河和黄羊河等 8 条上游支流及其汇集而成的下游石羊大河干流组成,呈倒置扇形向北汇集,过龙首山东峡口红崖山流入下游民勤盆地,至青土湖潜没于沙漠之中,流域总面积 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$,全长 300 km,流域涉及武威、金昌、张掖和白银 4 市 9 县(区),流域内总人口约为 227 万人,是河西平均人口密度的 3.4 倍。河西走廊水资源的大规模开发利用是在新中国成立之后,经过 50 多年来的开发和建设,三大流域水资源得到不同程度的开发利用,使得河西走廊成为甘肃省经济发达的区域。三大内陆河大小河流共计 57 条之多,大都在 20 世纪 40~50 年代设有水文和气象观测站,据统计,区域内年出山径流量超过 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的河流有 2 条, $5 \times 10^8 \text{ m}^3 \sim 10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的河流有 1 条,大部分河流的出山径流量小于 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ [16]。

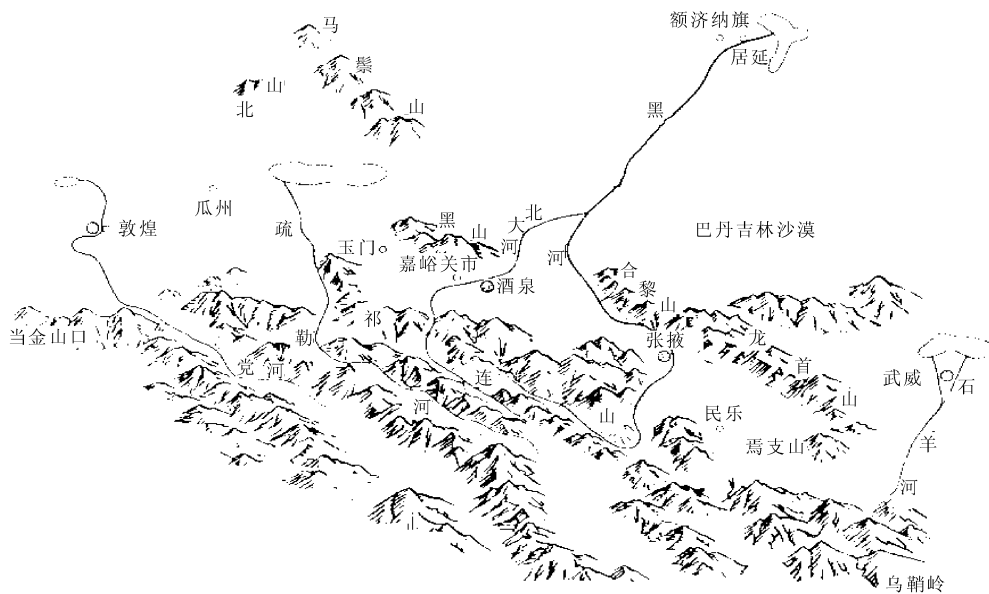


图 1 河西走廊内陆河三大河流(疏勒河、黑河和石羊河)流域示意图

Fig. 1 The schematic diagram of three inland rivers (Shule River, Hei River and Shiyang River) basins in Hexi Corridor

研究表明,出山径流的多年变化过程主要是由祁连山山区的气象变化引起的[17,18]。根据径流多年变化和河流丰、枯水程度的差异,大致以梨园河为界可分为东西两个径流变化同步区。东区河流源于祁连山东段,径流以降水补给为主,其补给比重在 80%以上,冰川与积雪融水补给仅占 3%~10%,径流年内分配与山区降水过程相吻合,汛期(6~9 月)径流量占全年径流总量的 70%以上,年际丰、枯变化剧烈;西区河流源于祁连山西段,河川径流中冰川、积雪融水和地下水所占比重增大,属降雨、雪冰融水、地下水混合补给型,雪冰融水的比重已上升至 25%~34%。部分河流如党河及大小哈勒腾河,雪冰

融水比重可达 40%以上,属雪冰补给型,年内分配比较平稳。其 5~9 月的水量仅占全年水量的 50%左右,径流的年际变化比较平缓。以 10 a 为一个代表段来观察,20 世纪 50 年代北大河以东河流水流量偏丰,以西水量偏枯,60 年代除西营河外,其它河流水流量偏枯,70 年代与 50 年代正好相反,北大河以东河流偏枯,以西河流水流量以平水为主,80 年代除杂木河外,其它河流水流量平水偏丰,90 年代后北大河以东河流水流量偏枯,以西河流水流量平水偏丰。总体而言,近 56 a 来河西走廊出山径流变化比较稳定,石羊河流域呈下降趋势,黑河和疏勒河流域呈上升趋势(图 2)。

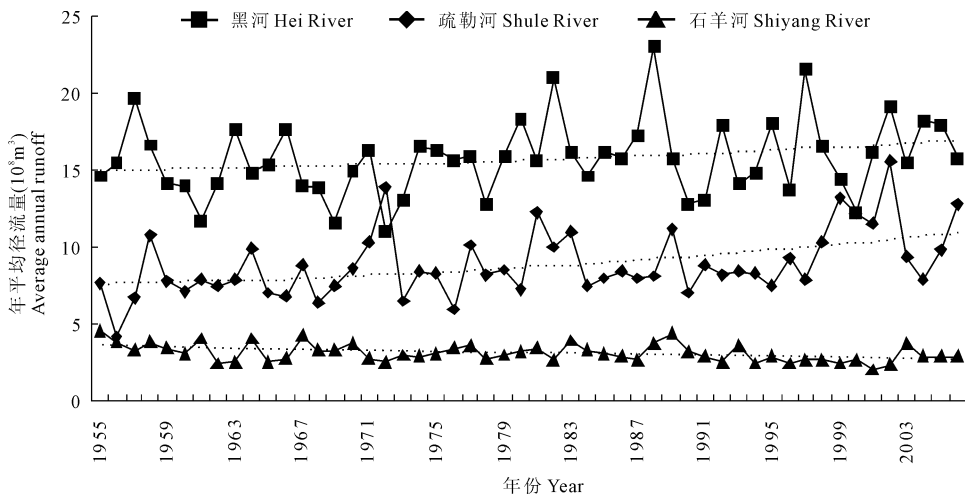


图 2 河西走廊内陆河三大河流年平均径流量(图中点虚线为演变趋势)

Fig. 2 The average annual runoff of three inland rivers in Hexi corridor (The dotted line is the evolution trend)

2.2.3 地下水资源 走廊地区地下水资源以大气降水和地表水体有直接水力联系的浅层地下水为主,主要成分是矿化度小于 2000 mg/L 的淡水、咸水和微咸水,范围涵盖整个走廊区域,地下淡水资源量为 $34.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中黑河流域 $17.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总量的 51.6% ,疏勒河流域 $11.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 32.1% ,石羊河流域 $5.61 \times 10^8 \text{ m}^3$,占 16.4% ;咸水和微咸水资源量为 $0.987 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中黑河流域咸水 $0.045 \times 10^8 \text{ m}^3$,微咸水 $0.428 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占总量的 21.33% 和 55.15% ,疏勒河流域咸水 $0.166 \times 10^8 \text{ m}^3$,微咸水 $0.348 \times 10^8 \text{ m}^3$,分别占 78.67% 和 44.85% ,石羊河流域地下水咸水和微咸水含量极小^[18]。区域内的地质构造结构主要由 8 个大型的中新生代构造地貌盆地组成,呈南北两列分布,南部为武威、张掖、酒泉、玉门—踏实和阿克塞 5 个盆地,北部为民勤—潮水、金塔—花海、安西—敦煌 3 个盆地,中下游盆地沿石羊河、黑河和疏勒河 3 大水系呈“串珠状”分布,区域内堆积了 $200 \sim 1000 \text{ m}$ 厚的第四系山麓相—河湖相粗颗粒松散物质,为地下水的赋存和运移提供了良好的天然空间。区域中的地下水主要接受出山水及引灌河水的垂向入渗补给,占总补给量的 90% 左右,山区侧向流入量和降水、凝结水入渗补给量仅占总补给量的 10% 左右,属自产水资源,与出山水地表水无关。计算表明,多年平均地下水补给量为 $42.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,其中石羊河流域为 $8.2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,占 19% ;黑河流域为 $21.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,占 51% ;疏勒河流域为 $12.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,占 30% ,出山水及引灌河水(渠系、田间)的垂向入渗补给约占总补给量的 87% 。

计算分析表明,走廊区域内的地下水资源自 20

世纪 50 年代中期至 90 年代的补给量呈减少趋势(表 2),其总量由 50 年代的 $56.7 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 减少到 $39.2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,即近 56 a 来走廊地区地下水补给量减少了约 30% ,平均每 10 a 减少近 $3.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。以石羊河流域减少幅度最大,约 43% ,黑河流域次之,为 41% ,疏勒河流域由于水资源开发利用程度低,地下水补给量基本保持稳定,近年来还出现了增加的趋势,如 20 世纪 90 年代较 80 年代增加约 13% ,较 50 年代后期增加约 9% 。另外从表 2 中还可以看出,进入 21 世纪后,各流域的地下水补给量减少放缓,黑河和石羊河的补给量略有增加,可见国家对此流域的综合治理已见成效,另外近年来自然降雨量的增加及伴随全球变暖导致的祁连山冰川消融和成功的人工增雨技术应用使得区域内地下水量的补给增加。

由于近 50 多年来区域内各流域水利现代化程度的日益提高和工农业经济的持续发展,使得引用河水量和渠系利用率不断提高,气候变暖导致的西北气候干旱化趋势促使地表水资源蒸发量的增大,引起走廊内地下水补给资源减少。泉水是区域内地下水的主要排泄方式之一,主要分布于走廊南部,是区域内工农业生产及生活的源泉所在。受地下水补给资源减少引起的区域性地下水位下降的影响,河西走廊各流域的泉水资源均处于不断削减过程,据统计 56 a 间泉水资源衰减剧烈,其中疏勒河流域衰减近 4% ,黑河流域衰减了 22% ,石羊河流域衰减了 60% 。由此不难看出,水利化程度较高的石羊河流域,不但是地下水资源减少幅度最大的地区,亦是泉水量减少最大的流域^[19]。

表 2 河西走廊区域内各流域地下水补给量演变

Table 2 Evolution of the groundwater recharge in inland rivers basins in Hexi Corridor

流域 Basin	50 年代 1950s ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)	60 年代 1960s ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)	70 年代 1970s ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)	80 年代 1980s ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)	90 年代 1990s ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)	2000~2006 年 2000~2006 ($10^8 \text{ m}^3/\text{a}$)
石羊河 Shiyang River	12.5	12.8	11.2	11.7	13.5	13.4
黑河 Hei River	31.7	28.8	24.6	21.1	18.6	19.2
疏勒河 Shule River	12.5	9.9	8.1	7.7	7.1	8.3
合计 Total	56.7	50.5	43.9	40.5	39.2	40.9

2.3 总水资源

河西走廊干旱区内水资源系统的突出特点是:出自南部祁连山区的雪融山水在走廊平原区与地下水之间存在着有规律的和重复性的相互转化过程,反映了出山河水与地下水之间不可分割的内在联系,其实质上构成了一个统一的水资源系统。虽然这种转化过程极大地提高了水资源的重复利用率,但并不意味着水资源数量的增加。因此,水资源总量应为出山水量与盆地内和出山河水无关的地下水天然补给量之和,其中,出山水量和地下水天然资源量分别占总水资源量的 92% 和 8% 左右。据统计,黑河流域总水资源约占全区总水资源的 51%,疏勒河流域和石羊河流域总水资源分别占区域内总水资源的 28% 和 21%。

3 地表水与地下水的相互转化

河西走廊并不是一个统一的、连续的山前平原带,而是由一系列具有共生关系的构造地貌盆地所组成的。这些盆地呈南、北两排展布,南面的一排紧靠祁连山,北面的与低矮的北山邻接,南北盆地之间多为不宽的构造山梁分隔。由于中新生代以来强烈的沉降,各盆地中都有巨厚的半固结—疏松的山麓相、河湖相堆积,从而使这些盆地成为地下水良好的聚集场所,这一受山前平原地貌及沉积物岩相制约的潜水—承压水系统,也是各盆地中地下水资源主要的富集层位。在分布上它受盆地的构造、地貌限制,具有独立的补给、径流、排泄过程,但通过地下水与河水的互相转化,又使一些盆地之间的水资源发生密切的联系,并在开发利用上互相牵制。受构造地貌的制约,河西走廊自南部山区至北部盆地,河水与地下水之间形成有规律重复的转化过程。一般情况下,河西走廊的水资源从祁连山中山形成区到下游盆地湖积平原的消失区河水与地下水之间都要经过以下 5 个不同地带的转化^[20]:

(1) 中高山——地下水沿河(沟)谷大量排泄转化为河水;

(2) 山麓丘陵——阻滞地下径流;

(3) 南部盆地:

a. 洪积扇群带——河水大量渗漏转化为地下水;

b. 细土平原——地下水大量溢出转化为河水(泉水);

(4) 走廊山脉——阻隔地下径流;

(5) 北部盆地:

a. 洪积扇——河水(泉水)再度渗漏转化为地下水;

b. 湖积平原——地下水蒸腾、蒸发消耗殆尽。

在中高山带,由于祁连山自新第三纪以来上升幅度超过数千米,水文网密集而深厚,从而使山区水积极交替带的裂隙—脉状地下水强烈地排向河中。根据河流流量历史过程线分割,祁连山北坡每年泄入河流中的地下水总量在 $23.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。虽然在祁连山内某些地区特别是一些巨大的构造纵谷,河水与地下水之间的转化过程颇为复杂,但就总的特征而言,山区的地下径流在河流出山前,绝大部分已排泄入河流。中国科学院冰川冻土研究所对河西走廊东段石羊河支流西营河山区流域部分的水均衡研究也得到这样的结论;祁连山区的地下径流在出山前基本上已转化为河水,还有一个重要的原因,即山麓带所特有的地质结构。多方面的调查与勘探资料证实,祁连山与河西走廊南部各盆地平原之间的衔接带,常见的三种地貌—构造型式都起到阻挡山区地下径流向平原运动的作用。从祁连山进入河西走廊的三大水系(石羊河、黑河、疏勒河)总是先流进南部盆地,然后切穿南北盆地之间的山梁,再流入北部盆地中。在南部盆地中河流在洪积扇群带大量渗失。据统计,2000 年河西走廊在此带通过天然河道的渗漏量约为 $23.2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,通过渠系的渗漏量约为 $16.1 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,总计约 $39.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

在南部盆地中部和北部,由于北部山梁阻隔和地势低落,致使在洪积扇群带主要由河流(渠系)渗

入而成的地下径流沿洪积扇边缘和细土平原上的河床、沟槽大量溢出地表,形成广泛分布的泉沟。河西走廊这个地带的泉水总流量达 $21.2 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ (2000 年)。这些泉水汇流到主干河道中成为河西走廊上述三大河流下游河水的主要组成部分。在南部盆地中,从河流渗入到地下水溢出,形成了河水→地下水→河水这样一个反复的转化过程。由于南、北盆地之间构造山梁(低山丘陵带)的阻隔,南部盆地的地下径流,除了很少的一部分通过沟通南、北盆地的现代河床或古河床冲积层直接以地下径流形式流向北部盆地外,绝大部分呈泉水溢出或蒸发散失。因此南部盆地的水资源仍然主要以河流的形式流入北部盆地。天然条件下进入北部盆地的河流基本上是一个与南部盆地近似的再渗入、溢出和蒸发的过程。不过这里泉水溢出有限,已看不到类似南部盆地那样大型泉群、泉沟,地下水的消耗几乎完全依赖于蒸发。

计算表明,进入 21 世纪以来的最近 6 a 中,河西走廊祁连山山区平均约有 $25.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 的地下水通过密集的水文网转化为河水,约占出山河川径流量的 35.2%;在南部盆地,出山河水中有 $34.3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 通过山前大厚度砾卵石带河床入渗和以渠道、田间灌溉入渗的方式转化为盆地地下水,约占出山河川径流量的 49.2%;地下水运移至细土平原浅水位带,有 $18.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 地下水重新溢出地表转化为河水(泉水),占河水入渗补给地下水量的 50.8%,并成为进入北盆地地表径流的主要组成部分;在北盆地,河水中有约 $12.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 通过山前大厚度砾石层入渗和以渠道、田间灌溉入渗再度转化为盆地地下水,约占河水进入北盆地径流量的 70%。

4 结 论

1) 河西走廊水资源主要以冰雪水资源、地表水资源和地下水资源的形式存在,分布于疏勒河、黑河、石羊河 3 大相对独立的流域水系。区域内河流均发源于南部祁连山区,大小河流共计 57 条,多年平均出山径流量 $72.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。近 56 a 来河西走廊出山径流变化比较稳定,石羊河流域呈下降趋势,中西部黑河和疏勒河流域呈上升趋势。

2) 走廊地形构造主要由 8 个大型的中新生代构造地貌盆地组成,盆地中堆积了深厚的第四系山麓相—河湖相松散物质,给地下水的赋存和运移提供了天然空间。盆地地下水主要接受出山河水及引灌河水的入渗补给,为总补给量的 90% 左右,是地

表水资源的重复表现形式;山区侧向流入量、降水和凝结水入渗补给量仅占总补给量的 10% 左右。走廊内多年平均地下水补给量为 $42.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

3) 受构造地貌的制约,河西走廊的水资源从祁连山中高山形成区到下游盆地湖积平原的消失区,河水与地下水之间都要经过 5 个不同地带有规律的、大量的、重复的转化过程,形成完整统一的“山区地下水—地表水—南盆地地下水—地表水—北盆地地下水”水资源循环系统。

4) 在走廊地区地表水与地下水之间联系密切且相互转化频繁,地下水资源绝大多数是由地表水转化形成的,水资源开发利用格局或方式的改变,将深刻地影响着地下水的补给、径流和排泄关系以及补给量和排泄量的大小。地下水补、径、排关系及其补排量的改变,则直接导致地下水可开采量的变化。因此,在开发用水区域应该将地表水与地下水资源进行统一考虑,进行地表水与地下水资源的统一评价和规划,对水资源数量、质量及其时空分布规律进行分析研究,用以科学地指导水资源的合理开发和高效利用。

参 考 文 献:

- [1] 孙 涛,潘世兵,李纪人,等.疏勒河流域水土资源开发及其环境效应分析[J].干旱区研究,2004,21(4):313—317.
- [2] 丁宏伟,赵 成,黄晓辉.疏勒河流域的生态环境与沙漠化[J].干旱区研究,2001,12(2):5—9.
- [3] 丁宏伟,魏余广,李爱军,等.疏勒河出山径流量变化特征及趋势分析[J].干旱区研究,2001,13(3):48—53.
- [4] 丁宏伟,尹 政,李爱军,等.疏勒河流域水资源特征及开发利用存在的问题[J].干旱区研究,2001,18(4):20—25.
- [5] 宋先松,石培基,毛笑文.黑河流域生态用水与产业发展研究——以张掖市为例[J].干旱区研究,2004,21(4):323—326.
- [6] 任建华,李万寿,张 婕.黑河干流中游地区耗水量变化的历史分析[J].干旱区研究,2002,19(1):7—12.
- [7] 徐昔保,张建明,祁永安.基于 3S 的石羊河流域生态功能区划研究[J].干旱区研究,2005,22(1):41—44.
- [8] 王根绪,程国栋.近 50 年来黑河流域水文及生态环境的变化[J].中国沙漠,1998,18(3):233—238.
- [9] 张光辉,刘少玉,张翠云,等.黑河流域水循环演化与可持续利用对策[J].地理与地理信息科学,2004,20(1):63—66.
- [10] 武选民.西北黑河下游额济纳盆地地下水系统研究[J].水文地质工程地质,2003,29(2):30—33.
- [11] 刘昌民,陈志浦.中国水资源现代评价和供需发展趋势分析[M].北京:中国水利水电出版社,2001:1—6.
- [12] 李志荣,田 刚.甘肃省情知识简明读本[M].兰州:兰州大学出版社,2005:11—14.
- [13] 甘肃省水文总站.甘肃省地表水资源[R].兰州:甘肃省水文总站,1980:72—110.
- [14] 沈永平.冰川[M].北京:气象出版社,2003.

- [15] 刘时银,沈永平,孙文新,等.祁连山西段小冰期以来的冰川变化研究[J].冰川冻土,2002,24(3):227-233.
- [16] 丁宏伟,尹政,李爱军,等.疏勒河流域水资源特征及开发利用存在的问题[J].干旱区研究,2001,18(4):19-25.
- [17] 蓝永超,康尔泗.河西内陆干旱区主要河流出山径流特征及变化趋势分析[J].冰川冻土,2002,22(2):147-152.
- [18] 康尔泗,程国栋,蓝永超,等.西北干旱区内陆河流域出山径流变化趋势对气候变化响应模型[J].中国科学(D辑),1999,29(增刊1):48-54.
- [19] 杨针娘.祁连山冰川水资源及其在河流中的作用[C]//中国科学院兰州冰川冻土研究所.中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊(第7号).北京:科学出版社,1992:10-20.
- [20] 丁宏伟,张荷生.近50年来河西走廊地下水资源变化及对生态环境的影响[J].自然资源学报,2002,17(6):691-697.

Distribution and circular process of water resources in the arid area of Hexi Corridor

GUO Liang-cai^{1,2}, YUE Ping¹, LI Hong-ying², XIANG Ji², GE Peng²

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Institute of Arid Meteorology, China Meteorology Administration, Lanzhou 730020, China; 2. Jiuquan Meteorological Bureau of Gansu Province, Jiuquan 735000, China)

Abstract: The runoff, glacier, hydrological geology and climatological observed data of three inland rivers (Shule River, Hei River and Shiyang River) basins in Hexi corridor from 1955~2006 were used to analyse systematically the law of distribution and its cyclic transformation relations of water resources in these basins. The results indicated that water resources of Hexi Corridor mainly exist with ice-snow, surface and groundwater resources, distributed around the three relatively independent river basins. All together 57 rivers develop in southern Qilian Mountains, and the average annual runoff from the mountain areas totals $72.4 \times 10^8 \text{ m}^3$. On the whole, the runoff from the mountain areas is very stable in recent 56 years. Hexi corridor is mainly composed of eight basins in structural landform, and the ground water of these basins mainly receive river-water from mountain areas and the vertical ground water recharge in the area, these are the repeated manifestation of earth's surface water resources. The average annual recharge of ground water is $42.5 \times 10^8 \text{ m}^3$. In the years of 1950s~1990s, the ground water recharge in the area reduces by 30%, about $3.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ every 10 years. Subject to the structural landform, from southern mountain to northern basin, groundwater and river-water form a complete and unified circulatory system of water resources as "ground water in the mountain — surface water — ground water of southern basin — surface water — ground water of northern basin" after undergoing regular and repeated conversion process in 5 different zones.

Keywords: water resources; ice-snow water; surface water; ground water; water resources circulation; Hexi Corridor