

黑河流域水资源供需平衡与配置研究

孙栋元, 李元红, 胡想全, 王军德, 卢书超, 程玉菲

(甘肃省水利科学研究院, 兰州 730000)

摘 要:水资源合理配置是水资源高效利用的重要手段,同时是水资源可持续利用的核心问题。针对黑河流域水资源利用现状与存在的问题,运用系统分析理论与方法,对黑河流域水资源需求、供水能力、水资源配置与供需平衡进行了分析与讨论。结果表明:在 50% 保证率下,黑河流域 2015 年、2020 年和 2030 年需水量分别为 $3.271 \times 10^9 \text{ m}^3$, $3.041 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $3.071 \times 10^9 \text{ m}^3$, 供水量分别为 $2.841 \times 10^9 \text{ m}^3$, $2.972 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $3.033 \times 10^9 \text{ m}^3$, 缺水量分别为 $4.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, $0.69 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $0.38 \times 10^8 \text{ m}^3$, 缺水率分别为 13.15%, 2.27% 和 1.24%。针对流域水资源现状,应采取提高工业用水重复利用率、调整农业种植结构、大力发展高效节水技术等措施。继续加强流域水资源高效管理,改善流域生态环境,提高流域内水资源可持续利用能力。

关键词:黑河流域; 水资源; 供需平衡; 配置

中图分类号:TV213.9

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)03-0217-05

Study on Balance and Configuration of Water Resources Supply and Demand in Heihe River Basin

SUN Dong-yuan, LI Yuan-hong, HU Xiang-quan, WANG Jun-de, LU Shu-chao, CHENG Yu-fei

(Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Rational allocation of water resources is an important measure for the high efficient utilization of water resources, and a key problem for water resources sustainable utilization. Based on the status and problems of water resources, system analysis theory and method, water resource supply and demand, water supply capacity, configuration of water resources and water supply and demand balance in Heihe River basin were analyzed and discussed. The results showed that water demand was $3.271 \times 10^9 \text{ m}^3$, $3.041 \times 10^9 \text{ m}^3$ and $3.071 \times 10^9 \text{ m}^3$, water supply was $2.841 \times 10^9 \text{ m}^3$, $2.972 \times 10^9 \text{ m}^3$ and $3.033 \times 10^9 \text{ m}^3$, water shortage was $4.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, $0.69 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $0.38 \times 10^8 \text{ m}^3$, and rate of water shortage was 13.15%, 2.27% and 1.24%, in 50% level in 2015, 2020 and 2030, respectively, in Heihe River basin. Water resources are in a severe shortage situation. The improvement of the recycling rate of industrial water, adjustment of agricultural cultivation structure, development high-effective water saving should be adopted. The water resources high-effective management should be further strengthened and eco-environment in river basin should be improved, which can enhance water resources sustainable utilization capacity in Heihe River basin.

Key words: Heihe River basin; water resources; water supply and demand balance; configuration

在干旱和半干旱区,水资源是最宝贵的自然资源,它不仅是荒漠绿洲形成、发展和稳定的基础,也是维系生态系统和流域生态安全与经济社会和谐发展的决定性因素^[1-2]。然而,随着人口与经济的不断增长,水资源的需求量不断增加,可利用水资源不足成为区域生态恢复、经济发展和人民生活水平不断提高的限制因素,同时水环境又不断恶化,水资源短缺已成为全

球性问题^[3-4]。流域水资源优化配置是在水资源生态经济复合系统内,按照可持续性、有效性、公平性和系统性的原则,遵循生态规律和经济规律,对特定流域内不同形式的水资源,通过各种工程和非工程措施,以单位产值的水资源消耗最小,生态系统提供的服务最大为目标,在生态与社会经济用水之间、区域之间、经济用水部门之间进行科学调配,尽可能提高流域整

收稿日期:2013-09-30

修回日期:2013-10-21

资助项目:国家自然科学基金项目(51369004,91125018);水利部公益性行业科研专项(201301081);甘肃省技术与开发专项计划项目(1205TCYA005)

作者简介:孙栋元(1978—),男,甘肃省民乐县人,博士,高级工程师,主要从事水文水资源方面的研究。E-mail:gsausundy@126.com

体的用水效率,促进流域水资源的可持续利用、生态系统的健康稳定和区域的可持续发展^[5-6]。

黑河是我国第二大内陆河,流经青海、甘肃、内蒙古三省区。它是河西走廊绿洲的支柱,北部沙漠的命脉。水资源是该流域维持生态平衡的主要保障,是绿洲发育的生命源泉。有限的水资源既要保证上中游工农业生产的正常需求,又要确保向下游输水,恢复下游生态环境^[7-8]。为缓解黑河下游河湖干涸、荒漠化、生态环境恶化的局面,实行以水资源合理配置为核心的流域水资源综合统一管理,在水资源有效管理的基础上实现流域水资源合理配置和高效利用。本文在流域水资源开发利用现状分析基础上,采用系统分析方法,对流域水资源需求和供水能力进行分析,并对未来规划水平年(2015年、2020年和2030年)水资源配置进行分析,从而为未来流域水资源开发利用和合理配置提供技术支撑。

1 水资源开发利用现状

1.1 供水量

2010年黑河流域总供水量为 $3.388 \times 10^9 \text{ m}^3$,供水类型主要为地表水、地下水、其他水源。其中地表水 $2.675 \times 10^9 \text{ m}^3$,占总供水量的78.96%;地下水 $7.01 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总供水量的20.69%;其他水源 $0.12 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总供水量的0.35%^[9]。

1.2 用水量

2010年黑河流域总用水量 $3.388 \times 10^9 \text{ m}^3$,其中农业灌溉用水量 $2.880 \times 10^9 \text{ m}^3$,占总用水量的85.01%;林牧渔畜用水量 $2.62 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总用水量的7.73%;工业用水量 $1.49 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总用水量的4.40%;居民生活用水 $0.67 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总用水量的1.98%,其中城镇居民生活用水 $0.51 \times 10^8 \text{ m}^3$,农村居民生活用水 $0.16 \times 10^8 \text{ m}^3$;生态环境用水 $0.30 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总用水量的0.88%^[9]。2010年黑河流域用水构成如图1所示。

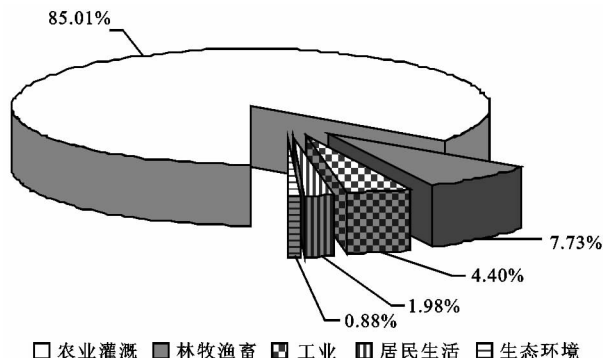


图1 黑河流域2010年用水构成

从图1可以看出,在2010年黑河流域用水构成

中,经济效益相对较差的农业灌溉用水所占比重较大,超过全流域用水的80%以上,而经济效益相对较好的工业用水所占比重较低,仅为4.40%。

1.3 耗水量

2010年黑河流域总耗水量 $2.344 \times 10^9 \text{ m}^3$,其中农业灌溉耗水量 $2.060 \times 10^9 \text{ m}^3$,占总耗水量的87.88%;林牧渔畜耗水量 $1.84 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总耗水量的7.85%;工业耗水量 $0.48 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总耗水量的2.05%;居民生活耗水 $0.38 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总耗水量的1.62%;生态环境耗水 $0.14 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总耗水量的0.60%^[9]。从上述可知,黑河流域耗水量仍以农业灌溉耗水量为主,占总耗水量的80%以上。

2 水资源开发利用中存在的问题

2.1 水资源严重短缺,供需矛盾突出

按照水利部《黑河水量分配方案》确定的正义峡下泄水量,中游张掖市人均水资源量只有 1250 m^3 ,为全国平均的61%。按现有有人口增长速度,到2015年,人均水资源量将降为 1000 m^3 ,属严重缺水地区。此外,黑河径流年内分配不均,来水与需水过程很不协调,干流缺乏骨干调蓄工程,客观上加剧了水资源供需矛盾。

2.2 水资源供需失衡,经济用水挤占生态用水

解放以来黑河中游地区大规模垦荒种粮,灌溉面积由解放初期的 $106667 \sim 120000 \text{ hm}^2$ 增长到目前的 282440 hm^2 ,从黑河流域现状用水地区分布看,中游用水占全流域用水的82.16%,从用水结构来看,中游地区的农业仍然是用水的主体,其用水量占总用水量的95%,其中农田灌溉、林牧业用量分别占87.12%和7.17%^[10],该地区也是我国西部重要的粮食基地,提供的商品粮占全省商品粮的35%。农业和国民经济其他部门用水的增长,挤占了中下游地区尤其是下游地区的生态用水,如何在现有的水资源条件约束下,在确保中游地区生产用水的前提下,确保下游地区的生态环境需水量是急需解决的问题。

2.3 供用水结构不合理,水资源利用经济效益低下

黑河流域用水以农业用水为主,用水结构优化推进缓慢,农田用水结构造成区域单方水DGP产出偏低,导致水资源利用经济效益低下,而水资源配置方案和水权制度的完善进展不足,成为农田灌溉用水供给量居高不下的首要原因。

2.4 用水管理不够完善,管理制度不健全

黑河中下游地区用水计量、水费征收、取水计划及监督管理工作均不够完善,中、下游之间,中游地区的各县之间管理力度不一。流域内涉及到的取水许

可与水资源有偿使用制度、水功能区制度、总量控制和定额管理制度等,由于管理等方面原因,这些制度还存在一定问题,同时由于执法不严,违法和干扰管理现象也较为普遍。

3 水资源需求分析

(1) 生活需水量预测。生活需水与黑河流域经济社会发展水平、居民收入水平、水价、生活用水习惯、节水器具的普及与推广等因素有关。随着生活水平的提高,居民生活用水将呈增长趋势。根据甘肃省现状实际用水水平,城镇生活平均综合用水定额为 $154 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$,节水器具普及率仅为 55% ,城镇管网漏损率达 20% ,存在一定程度的水资源浪费。参照《甘肃省行业用水标准》及近年来甘肃省用水水平及其变化趋势,并综合《甘肃省水利发展“十二五”规划》,经分析确定 2015 年、2020 年和 2030 年黑河流域城镇综合需水定额分别为 $160, 165, 175 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$,节水器具普及率分别提高到 $65\%, 75\%, 85\%$ 以上,城镇管网漏损率分别降低到 $18\%, 15\%, 13\%$ 以内。同时随着农村居民生活水平提高,考虑农村自来水供水人口比例不断提高,农村生活用水将有所增加,根据《村镇供水工程设计规范》,2015 年、2020 年和 2030 年分别为 $60, 65, 75 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$ 。在上述指标基础上,结合《甘肃省水资源综合规划》预测的人口发展结果,计算得到流域生活需水量^[9]。

(2) 农业需水量预测。农业需水包括农田灌溉和林牧渔业需水。黑河流域按照《黑河流域近期治理规划》进行流域治理后,现状灌溉面积仍超出规划治理目标,考虑中游生态,规划水平年维持现状农田有效灌溉面积 $277\,540 \text{ hm}^2$,2020 年配水面积维持现状实灌面积 $268\,720 \text{ hm}^2$,2030 年考虑南水北调西线工程水量指标,配水灌溉面积可恢复到有效灌溉面积 $277\,540 \text{ hm}^2$ 。随着种植结构调整,大力发展节水灌溉面积、大幅度提高高效节水比例、加强管理节水、加快灌区节水改造、加大田间节水改造力度等措施,黑河流域农业需水量将呈下降趋势。甘肃省在“十二五”期间实施《甘肃省河西走廊国家级高效节水灌溉示范区项目》,实施千万亩灌溉面积高效节水,黑河流域作为该项目实施的重点区域之一,将进一步增加高效节水灌溉面积比例。根据《甘肃省水资源综合规划》,经分析确定 2015 年、2020 年和 2030 年黑河流域农田灌溉综合用水净定额分别为 $5\,550, 5\,505, 5\,430 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,灌溉水利用系数分别为 $0.53, 0.64, 0.67$,园林草综合用水净定额为 $3\,345 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。在上述指标基础上,结合《甘肃省水资源综合规划》预测

的农业灌溉面积和林牧渔发展结果,计算得到流域农业需水量^[9]。

(3) 工业需水量预测。根据 2009 年底国务院批复的《甘肃省循环经济总体规划》,甘肃被列为全国第一个循环经济试点省份,明确将甘肃建设成为国家循环经济示范区,同时在新一轮西部大开发和区域发展战略、工业强省战略带动下,甘肃工业发展将实现转型跨越发展,使工业所占全省 GDP 比重达到 60% 以上,未来 20 年将是加快工业化进程的重要时期,甘肃工业将呈快速发展态势。同时结合《甘肃省水资源综合规划》,黑河流域将继续把工业结构的整体优化和升级作为第二产业结构优化的重点,大力引进发展高新技术产业,把发展高新技术产业和环保型产业作为流域工业产业结构优化的重要环节,力争形成具有较强市场适应性和竞争力的产业结构,提高经济的整体运行质量。随着节水技术的推广和深入,工业节水力度在加大、用水工艺在提高,未来黑河流域将以风电、光电、火核电等能源产业以及新能源装备制造为主。在现状资料的基础上,预测在采取相应节水措施条件下,2015 年、2020 年和 2030 年黑河流域非火电工业万元增加值用水量分别降为 $63.5, 39.9, 17.5 \text{ m}^3/\text{万元}$,工业用水重复利用率分别达到 $65\%, 75\%, 85\%$ 以上。新增火核电项目严格按照国家行业用水指标控制,采用国内外先进的节水工艺设备,对 2011—2020 年新增项目每千瓦装机用水量控制在 $3.2 \text{ m}^3/\text{kW}$ 以内,工业用水重复利用率控制在 96% 以上;2021—2030 年水平年新增项目每 1 kW 装机用水量控制在 $3.0 \text{ m}^3/\text{kW}$ 以内,工业用水重复利用率控制在 98% 以上。并对现状各火电厂进行核查,对工艺落后的企业要求进行技改,以降低每 1 kW 装机用水量。在上述指标基础上,根据流域万元工业增加值用水量估算各年工业需水量。

(4) 生态环境需水量预测。生态环境需水量包括河道外需水量和河道内需水量,流域河道外生态环境需水量主要由绿地灌溉和道路洒水两部分组成。根据规划的公共绿地和城市道路面积以及相应的需水定额,同时考虑各水平年河道外生态环境需水量的保证率,预测流域河道外生态环境需水量。流域内水资源量相对紧缺,河道内需水量只能靠降水和未充分利用的再生水补充,因此对流域河道内生态环境需水量不进行预测。

(5) 总需水量预测。汇总生活、农业、工业和生态需水量预测结果,得到流域各规划水平年需水量,2015 年、2020 年和 2030 年黑河流域总需水量分别为 $3.271 \times 10^9 \text{ m}^3, 3.044 \times 10^9 \text{ m}^3$ 和 $3.071 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。黑

河流域 2010—2030 年各行业需水量变化趋势预测见图 2。

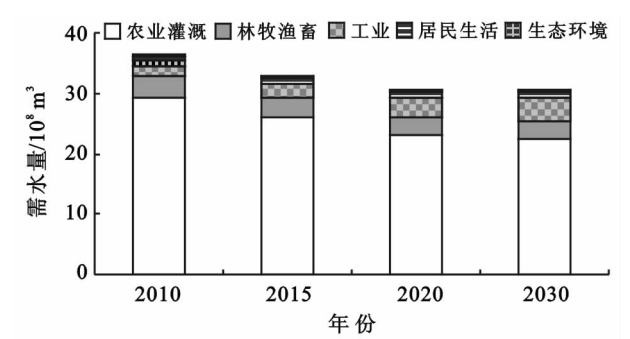


图 2 黑河流域 2010—2030 各行业需水量变化趋势预测

从图 2 可以看出,2010—2030 年,随着高效节水技术的推广和应用,农业需水量呈现下降趋势,生活、工业和生态需水呈现逐年增加的趋势,总需水量呈下降趋势。

4 供水能力分析

(1) 地表水可供水量。黑河流域工程的布局,以保障区域经济社会发展的正常需水和有效遏制生态环境恶化趋势为基本目标,近期通过全面实施高效节水农业和灌区改造工程以及内陆河各流域生态保护和重点治理工程,充分挖掘区域内节水潜力,提高水资源利用效率,促进区域经济、生态协调可持续发展;远期通过实施必要的跨流域调水工程,增加区域供水能力,基本解决制约流域经济社会发展和生态环境恢复的资源性缺水问题。根据《甘肃省水资源综合规划》,地表水可利用量采用水利工程控制的调节性水量和通过引水提取的河道基流量进行计算^[9]。在充分考虑现有及规划蓄水工程、生态修复工程和其他工程条件下,不同特征年份地表水可利用量见表 1。

(2) 地下水可供水量。黑河流域浅层地下水开采利用程度高,根据《甘肃省水资源综合规划》成果^[9],结合地下水水位多年动态观测资料和年开采量资料,采用实际开采量调查法,确定平原区浅层地下水的可开采量。规划水平年地下水可供水量,在基准年地下水供水量的基础上,根据地下水允许开采量,在有开采潜力且城市及农村生活用水十分紧张的局部地区,可适度开采地下水。考虑到在 2020 年、2030 年,在无重点外调水源的情况下,黑河流域严格按照流域规划确定的开采指标进行控制。根据规划成果,在未来满足生态环境用水的前提下,增加地下水开采量,因此 2015—2030 年地下水呈现增加趋势。黑河流域地下水资源可利用量如表 1 所示。

(3) 其他水资源可利用量。其他供水工程主要包括集雨工程、污水处理工程等。按发展节水型社会

的要求,积极推进污水处理及污水处理回用工程建设。在各水平年规划中,城镇生活和工业用水收集处理量在 2015 年、2020 年和 2030 年分别达到排污量的 70%,80%,90%;一般城市回用率在 2020 年、2030 年分别达到 30%,40%,重点城市分别达到 40%,50%。根据《甘肃省水资源综合规划》预测成果,平水年(50%)黑河流域 2015 年、2020 年和 2030 年可利用其他水资源量分别为 $0.21\times10^8\text{ m}^3$ 、 $0.30\times10^8\text{ m}^3$ 和 $0.48\times10^8\text{ m}^3$ 。

(4) 可供水总量预测。根据上述分析,平水年(50%)黑河流域 2015 年、2020 年和 2030 年可供水总量分别为 $2.841\times10^9\text{ m}^3$ 、 $2.972\times10^9\text{ m}^3$ 和 $3.033\times10^9\text{ m}^3$ (见表 1)。

表 1 黑河流域不同水平年不同保证率可供水量

年份	保证率/ %	可供水量/ 10^8 m^3			
		地表水	地下水	其他	合计
2015	50	20.85	7.35	0.21	28.41
	75	19.78	7.35	0.19	27.32
2020	50	20.85	8.57	0.30	29.72
	75	19.78	8.57	0.28	28.63
2030	50	20.85	9.00	0.48	30.33
	75	19.78	9.00	0.47	29.25

5 水资源配置与供需平衡分析

5.1 水资源配置方案

根据水资源总体规划要求,水资源配置方案是以满足行业需求为出发点,兼顾区域发展需求,以采取强化节水措施的水资源供需分析成果为基础,按照水资源可利用量对河道外用水消耗实施总量控制,按照河流生态环境要求进行断面水量控制,按照节水型社会建设要求进行用水定额控制,对流域水资源在经济社会系统和生态环境系统之间,不同部门和区域之间以及不同用水行业之间进行合理调配,使得水资源配置格局与经济社会发展及生态环境保护的要求相协调,实现水资源合理利用,促进社会经济可持续发展。在保障经济社会又好又快发展的同时,有效保护水资源,维护生态平衡,改善环境质量。根据黑河流域不同水平年不同保证率水资源可供水量,对规划水平年 2015 年、2020 年和 2030 年各行业供水量进行配置,水资源配置结果见表 2。到 2030 年生活用水量由现状年的 $0.72\times10^8\text{ m}^3$ 增加到 $1.09\times10^8\text{ m}^3$,基本满足了流域人口增长和城市发展的需要。工业生产配置的水量由现状的 $1.49\times10^8\text{ m}^3$ 增加到 $3.96\times10^8\text{ m}^3$,在建设节水型工业体系的基础上,基本满足保障流域实现新型工业化发展的需要。配置的农业水量

由现状的 $3.288\times10^9\text{ m}^3$ 减少到 $2.495\times10^9\text{ m}^3$,减少的农业用水量中大量的水直接用于退还挤占的生态环境用水和农村地区生态环境建设。

表 2 黑河流域各行业水量配置

年份	保证率/%	供水量/ 10^8 m^3				
		生活	工业	农业	生态环境	合计
2015	50	0.80	1.86	25.50	0.25	28.41
	75	0.80	1.86	24.41	0.25	27.32
2020	50	0.91	3.20	25.33	0.28	29.72
	75	0.91	3.20	24.24	0.28	28.63
2030	50	1.09	3.96	24.95	0.33	30.33
	75	1.09	3.96	23.87	0.33	29.25

5.2 供需平衡分析

根据黑河流域不同水平年可供水量和需水量预测成果,进行不同水平年的水资源供需平衡分析。具

表 3 黑河流域不同水平年水资源供需分析

年份	保证率/%	需水量/ 10^8 m^3	供水量/ 10^8 m^3				缺水量/ 10^8 m^3	缺水率/%
			地表水	地下水	其他	合计		
2015	50	32.71	20.85	7.35	0.21	28.41	4.30	13.15
	75	32.71	19.78	7.35	0.19	27.32	5.39	16.48
2020	50	30.41	20.85	8.57	0.30	29.72	0.69	2.27
	75	30.41	19.78	8.57	0.28	28.63	1.78	5.85
2030	50	30.71	20.85	9.00	0.48	30.33	0.38	1.24
	75	30.71	19.78	9.00	0.47	29.25	1.46	4.75

6 结论

黑河流域水资源短缺形势依然严峻,存在着水资源利用率低、用水结构不合理、水资源管理体系不健全等一系列问题,必须积极推进节水和水资源保护工作的开展。

根据水资源规划成果,系统分析了黑河流域水资源需求、供水能力,提出了流域水资源配置方案,并对水资源供需平衡进行了分析,结果表明在 50%保证率下,黑河流域 2015 年需水量 $3.271\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $2.841\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $4.30\times10^8\text{ m}^3$,缺水率13.15%;2020 年需水量 $3.041\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $2.972\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $0.69\times10^8\text{ m}^3$,缺水率 2.27%;2030 年需水量 $3.071\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $3.033\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $0.38\times10^8\text{ m}^3$,缺水率 1.24%。针对黑河流域水资源现状,可以采取降低管网漏损率,提高居民家庭节水器具普及率,提高工业用水重复利用率,调整农业种植结构,大力发展高效节水技术,促进污水和再生水的利用等方式,有效地促进用水效率的提高,达到节水目的。继续加强流域水资源高效管理,改善流域生态环境,提高流域内水资源可持续利用能力。

体结果见表 3。在 50%保证率下,黑河流域 2015 年需水量 $3.271\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $2.841\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $4.30\times10^8\text{ m}^3$,缺水率 13.15%;2020 年需水量 $3.041\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $2.972\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $0.69\times10^8\text{ m}^3$,缺水率 2.27%;2030 年需水量 $3.071\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $3.033\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $0.38\times10^8\text{ m}^3$,缺水率 1.24%。在 75%保证率下,黑河流域 2015 年需水量 $3.271\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $2.732\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $5.39\times10^8\text{ m}^3$,缺水率 16.48%;2020 年需水量 $3.041\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $2.863\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $1.78\times10^8\text{ m}^3$,缺水率 5.85%;2030 年需水量 $3.071\times10^9\text{ m}^3$,供水量 $2.925\times10^9\text{ m}^3$,缺水量 $1.46\times10^8\text{ m}^3$,缺水率 4.75%。针对黑河流域生态环境问题,在水资源配置时考虑地下水超采严重的问题,严格控制地下水的开采量,并且加大再生水的使用量。

参考文献:

[1] 王浩,陈敏建,秦大庸,等.西北地区水资源合理配置和承载力研究[M].郑州:黄河水利出版社,2003.

[2] 孙栋元,赵成义,李菊燕,等.基于层次分析法的干旱内陆河流域生态环境需水评价:以新疆塔兰河流域为例[J].水土保持通报,2011,31(5):108-115.

[3] 左其亭,陈曦.面向可持续发展的水资源规划与管理[M].北京:中国水利水电出版社,2003.

[4] 李丽娜,石培基,董翰蓉,等.干旱区石羊河流域水资源研究进展[J].水土保持研究,2012,19(2):280-284.

[5] 栗晓玲,康绍忠.石羊河流域多目标水资源配置模型及其应用[J].农业工程学报,2009,25(11):128-132.

[6] 卢晓杰,张克斌,李瑞.柴达木盆地香日德绿洲水资源优化配置研究[J].水土保持研究,2011,18(4):232-236.

[7] 曹辉,黄强,畅建霞,等.黑河径流时空演变规律分析[J].水资源与水工程学报,2008,19(5):69-72.

[8] 白福,李文鹏,黎志恒.黑河流域植被退化的主要原因分析[J].干旱区研究,2008,25(2):219-224.

[9] 甘肃省水利厅.《甘肃省水资源综合规划》[R].兰州,2012.

[10] 张凯,宋连春,韩永翔,等.黑河中游地区水资源供需状况分析及对策探讨[J].中国沙漠,2006,26(5):842-848.