

马莲河流域水资源供需量预测及平衡分析

高雅玉, 张新民, 金毅

(甘肃省水土保持科学研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 根据马莲河流域地形地貌特点、水资源分布状况及社会经济、能源产业的发展情况, 将流域系统概化为5个水资源分区, 并依据2020和2030年的社会经济发展速度和水利工程建设速度、分为12个方案, 采用指标分析法对12个方案进行供、需水量预测。结果表明: 2020年最大概率方案为社会经济高速发展、水利工程低速建设方案, 流域总需水量6.45亿 m^3 , 供水量4.67亿 m^3 , 缺水率27.56%。2030年的最优方案为2020年社会经济高速发展、2030年社会经济低速发展, 水利工程高速建设方案, 流域总需水量10.33亿 m^3 , 供水量8.72亿 m^3 , 缺水率15.62%。按照供需平衡方案进行水资源分配, 可促使流域综合缺水率逐年减少, 促使流域的水资源能够更好地为高速发展的社会经济服务, 从而提高流域的供水、用水水平, 为流域生产、生活安全提供强有力的保障和支撑。

关键词: 供、需水量预测; 水资源供需平衡分析; 指标分析法; 专家咨询概率法; 马莲河流域

中图分类号: TV211.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)06-0169-07

Forecast of water resources supply and demand as well as balance analysis in Malian river basin

GAO Yayu, ZHANG Xinmin, JIN Yi

(Gansu Institute of Soil & Water Conservation Sciences, Lanzhou 730020, China)

Abstract: According to the characteristics of landforms, distribution situation of water resource, society economy and development state of energy industry in Malian river basin, the paper generalized the basin into 5 water resource partitions. Then it formed 12 plans according to the development speed of society economy and the construction speed of water conservancy project in 2020 and 2030. It predicted the quantities of water supply and demand of 12 plans by use of indicators analysis. The analysis indicated that the maximum probability plan in 2020 is the program that social economy is quickly developed and water conservancy projects is slowly constructed. The total amount of water requirement and supply is 645 million and 467 million cubic meter. The water shortage rate is 27.56%. In 2030, the maximum probability plan will be the program of social economy with high-speed development in 2020 and with low-speed development in 2030, and water conservancy projects with high-speed construction. The total amount of water requirement and supply is 1033 and 872 million cubic meter, and water shortage rate is 15.62%. The allocation scheme of water resources according to supply and demand balance can decrease the integrated water shortage rate year after year and impel the water resource of basin to better service for the socio-economic high-speed development, and improve the level of water supply and water use. The result can provide strong protection and support for production and life safety in the basin.

Key words: forecast of water supply and demand; balance analysis of water resources supply and demand; indicator analysis method; expert advisory probabilistic method; Malian river basin

1 研究背景

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资

源, 其时空分布不均及开发利用不合理造成的水多、水少、水脏等问题日趋严重。随着人口的不断增长和经济的持续高速发展, 对有限水资源提出更高的

收稿日期: 2014-03-26; 修回日期: 2014-09-30

基金项目: 甘肃省水利厅水资源费项目(甘财农[2010]162); 甘肃省科技厅重大专项课题(1203FKDA035); 甘肃省科技支撑计划(1204NKCA087)

作者简介: 高雅玉(1985-), 女, 天津人, 硕士, 工程师, 长期从事水资源与水土保持方面的研究。

承载要求,水资源供需矛盾日趋突出。资源性缺水、工程性缺水和水质性缺水等水资源短缺问题已成为社会经济进一步发展的严重制约因素,引起了国内外学者对水资源供需平衡、优化配置研究的重视。国外对水资源供需平衡的研究始于 20 世纪 60 年代初期,科罗拉多(1960)等几所大学对计划需水量的估算及满足未来需水量的途径进行了研讨,初步体现了水资源优化配置的思想^[1]。我国对水资源供需平衡的研究始于 20 世纪 50 年代末的西北地区,“新疆水土平衡(1959)”、“甘肃河西地区农田用水供需平衡的初步研究^[2-3](1960)”的出现,研究方法自 1960 年吴淦浦提出的 DP 模型到 20 世纪 80 年代华士乾提出的水资源系统工程方法,再到后来的水资源合理配置及承载力的研究课题取得了初步的成果。“新疆水资源及其承载能力和开发战略对策”的研究,首次涉及水资源承载力的分析计算方法,并提出初步成果^[4]。20 世纪 90 年代,程吉林等^[5]采用模拟技术和正交设计对灌区进行优化规划,蔡喜明等^[6]形成了基于宏观经济的水资源配置理论。中国水利水电科学研究院(2002)等单位建立了干旱区生态环境需水量计算方法,提出了与区域发展模式及生态环境保护准则相适用的生态环境需水量^[7]。冯耀龙等^[8]建立了多目标优化配置模型。王浩等^[9]针对生态环境脆弱的干旱区水资源利用特点,建立了干旱区水资源合理配置模型。赵军凯等^[10]运用水资源供需平衡分析的基本理论,进行了开封市水资源供需平衡分析。董耀华等^[11]针对突泉县“工程性缺水”特征,提出了突泉县水资源调配工程的推荐方案及分期实施建议。上述研究在我国水资源分析、分配领域取得了丰硕的研究成果,在水资源较为丰富的地区进行水资源合理分配研究能够使有限的资源产生更大的效益,那么在水资源较为缺乏的地区,水资源已经限制到了当地经济的快速发展,进行合理分配研究意义更为重大。

2 马莲河流域水资源概况及区划

2.1 流域水资源概况

地处干旱、半干旱地区的马莲河流域(图 1)是传统的农业地区,也是经济亟待腾飞的地区,油、煤、气等资源丰富,发展潜力巨大。大发展对流域水资源保障提出了更高的要求,然而,马莲河流域多年期望水资源量 4.49 亿 m^3 ,人均占有量为 352 m^3 ,是甘肃省人均占有量的 25.7%,7、8 两月的洪水量占总径流量的 50% 以上,非汛期径流量仅占 40% 左右。

流域水资源利用存在着总量贫乏、年际年内分配不均,常规水资源量低、水污染问题日趋严重等问题。要为高速发展的经济提供强有力的水资源保障,就必须要对水资源进行合理的分配和利用,将水资源供需分配的风险降到最低,以水资源可持续利用支撑全流域经济的可持续发展。

2.2 流域水资源区划

马莲河流域水资源系统具有复杂多样性,水资源决策需根据其目的与需要,抓住系统的主要矛盾,对与水资源优化配置相关的各种重要特性和规律在模拟模型中加以反映,对系统的其他方面进行概化,对流域水资源系统所涉及的各类实体进行分析,确定系统概化的基本元素。流域的水资源系统主要由水源、调蓄工程、输配水系统、用水户和排水系统组成。按照流域的自然地理特点和社会经济发展状况,结合区域水量和水质特点,将流域划分为不同的用水单元,对不同用水单元上的供水工程进行统计、分析,便于进行后续水资源决策分析,共计分为牧区能源产业区、农牧兼作工业发展区、生态农业保护区、石油、煤炭产业循环发展保护区、生态农业、煤炭工业可持续发展保护区 5 个水资源分区(见图 1)。



图 1 马莲河流域分区图

3 流域供、需水量预测

3.1 流域需水量预测方法

马莲河流域的需水量预测分为近期(2020)、远期(2030)规划水平年,根据不同的社会经济发展速度进行。需水量的预测采用模型模拟预测法中的指标分析法进行,该方法能够充分考虑影响未来用水

量的因素,根据用水量的主要影响因素变化趋势,确定相应的用水指标及用水定额,然后根据用水户规模和用水定额计算出规划水平年的需水量。用水户规模主要根据不同规划水平年、不同社会经济发展速度进行预测确定,而用水定额根据社会经济发展状况、节水水平等进行预测。

(1)工业需水量预测。计算公式为:

$$IQ^t = \sum_i IQ_i^t = \frac{\sum_i X_i^t \cdot IA_i^t}{\alpha^t} \tag{1}$$

式中: i 为不同工业部门的分类序号; t 为规划水平年序号; IQ^t 为规划水平年工业总需水量, 亿 m^3 ; IQ_i^t 为 t 规划水平年第 i 工业部门的需水量, 亿 m^3 ; X_i^t 为 t 规划水平年第 i 工业部门的工业发展指标; IA_i^t 为 t 规划水平年第 i 工业部门的取水定额; α^t 为 t 规划水平年工业供水系统水利用系数。

(2)农业需水量预测。农业需水包括农田灌溉和林牧渔畜需水。农田灌溉需水量预测采用灌溉定额方法进行预测。林牧渔畜需水量包括林果地灌溉、草场灌溉、鱼塘补水和牲畜用水等 4 项。鱼塘补水量在马莲河流域罕有,因此这部分水量极小,不予计算。牲畜用水则根据用水定额及预测的牲畜数目进行预测。

(3)生活需水量预测。生活需水预测由农村生活需水预测和城镇生活需水预测两部分组成。预测采用口人均用水定额指标进行预测。

$$LQ^t = \sum_i LQ_i^t = \frac{\sum_i 365Po_i^t \cdot LA_i^t}{10^7\beta_i^t} \tag{2}$$

式中: i 为用户分类序号; t 为规划水平年序号; LQ^t 为 t 规划水平年生活总需水量, 亿 m^3 ; LQ_i^t 为 t 规

划水平年 i 用户的生活需水量, 亿 m^3 ; Po_i^t 为 t 规划水平年第 i 用户的用水人口, 万人; LA_i^t 为 t 规划水平年第 i 用户的用水定额, 升/(人·日); β_i^t 为 t 规划水平年第 i 用户的生活供水系统系统水利用系数。

(4)生态环境需水量预测。城镇绿地生态需水量采用定额法, 即:

$$W_G = S_G \cdot q_G \tag{3}$$

式中: W_G 为绿地生态需水量, m^3 ; S_G 为绿地面积, hm^2 ; q_G 为绿地灌溉定额, m^3/hm^2 。

城镇环境卫生需水量计算, 公式为:

$$W_{ch} = S_c \cdot q_c \tag{4}$$

式中: W_{ch} 为环境卫生需水量, m^3 ; S_c 为城市市区面积, m^2 ; q_c 为单位面积的环境卫生需水定额, m^3/m^2 。

农村生态环境需水量只计算林草植被生态需水量, 方法为:

$$W_p = \sum_{i=1}^n S_{pi} \cdot q_{pi} \tag{5}$$

式中: W_p 为植被生态需水量, m^3 ; S_{pi} 为第 i 种植被面积, hm^2 ; q_{pi} 为第 i 种植被灌水定额, m^3/hm^2 。

3.2 流域社会经济发展及定额预测

根据划分的水资源分区及《庆阳市“十二五”综合规划》、《庆阳市水利“十二五”规划》、《庆阳市中、长期水利发展规划》、《庆阳市能源基地建设水资源保障方案》、《庆阳市能源基地综合规划》以及《庆阳市节水型社会建设规划》等资料, 确定马莲河流域各个用户不同规划水平年在社会经济高速和低速发展情况下的人口、城镇化率、工业及第三产业、新能源产业、农业及生态的发展速度, 见表 1。

表 1 不同规划水平年社会经济发展速度预测表

方案	水平年	常住人口	城镇	能源基地发展/万 m^3			工业增	第三产业	生态	灌溉面积
		增长率/%	化率/%	煤矿	石油化工	电厂				
低速	2010	2.66	23.79	1120	558	1008	13.14	11	4	2.1
	2020	3	34	8588	1015	2520	13.5	11	3	0.3
	2030	3	44	9160	1538	2688	12	10	2	0.9
高速	2010	2.66	23.79	1120	558	1008	13.14	11	4	2.1
	2020	3	44	11450	1353	3360	16	13	3	0.6
	2030	3	54	11450	1923	3360	14	12	2	1.2

在需水量定额预测的过程中,以水资源高效利用为原则,采用高节水方案情况下的定额进行预测。节水的措施主要包括,农业、工业、能源产业以及城镇生活服务业,定额预测结果见表 2。

(1)城镇生活。2020 年,人均用水毛定额为 157 L/(人·d),净定额为 140 L/(人·d)。节水器具普及率为 100%,管网漏失率为 11%。2030 年,人均用水毛定额为 160 L/(人·d),净定额为 150 L/(人·d)。节

水器具普及率为 100%,管网漏失率为 8%。

(2)一般工业、建筑业、第三产业节水方案。2020 年,工业综合重复利用率为 65%,管网漏失率为 8%,综合用水定额为 30 m³/万元。2030 年,工业用水综合重复利用率为 70%,综合用水定额为 25 m³/万元。建筑业现状用水定额为 21 m³/万元。2020 年、2030 年,建筑业万元产值用水定额为 9.5 m³/万元,单位建筑面积用水定额为 0.81 m³,管网漏失率为 11%。第三产业现状用水定额为 27 m³/万元,进行强化节水后,2020 年、2030 年,用水定额为 16 m³/万元,管网漏失率为 12%。

(3)农业节水方案。2020 年,全面实现自流灌区常规节水,小提灌和井灌区管道输水,设施农业微灌化,灌溉水的综合利用系数达到 60%,灌溉水份生产效率为 1.75 kg/m³,灌溉净定额为 2 550 m³/hm²,毛定额为 4 290 m³/hm²,大牲畜用水净定额为 45 L/(头·d),小牲畜用水净定额为 10 L/(头·d)。2030 年农业节灌面积达到 95% 以上,灌溉水的综合利用系数达到 66%,灌溉水份生产效率为 2.1 kg/m³,灌溉净定额为 2 400 m³/hm²,毛定额为 3 630 m³/hm²,大牲畜用水净定额为 45 L/(头·d),小牲畜用水净定额为 10 L/(头·d)。

(4)能源产业节水方案。根据甘肃省水利厅 2004 年发布的《甘肃省行业用水定额》,吨煤开采水量为 0.4 m³/t,水重复利用率为 24%,单位对洗选煤行业进行说明。《庆阳市能源基地规划》中吨煤综合用水定额为 0.35 m³,而较好水平可达到 0.20 m³,因此,本次预测的定额 2020 年吨煤综合用水定额为 0.30 m³,2030 年吨煤综合用水定额为 0.25 m³。依据我国环境保护行业标准《清洁生产标准石油炼制造业》(HT/T125-2003),一级国际清洁生产先进水平的吨取水量≤1.0 m³。而甘肃省行业用水定额中为 2.5 m³。因此,此次预测选取 2020 年吨取水定额为 0.57 m³,2030 年吨取水定额为 0.55 m³。依据中华人民共和国国家电力行业标准《火力发电厂节水导则》(DL/T783-2001),参考中华人民共和国环境保护部《燃煤电厂污染防治最佳可行技术导则》,单机容量 125 MW 及以上新建或扩建的凝汽式电厂,全厂发电耗水率不应超过考核指标的上限,并力求降到范围的下限,取水定额采用下限,及对于单机容量≥300 MW 取值 0.13 m³/(s·GW)和对于单机容量<300 MW 取值 0.15 m³/(s·GW)。根据马莲河流域的实际情况,本次预测 2020 年采用 0.18 m³/(s·GW),2030 年采用 0.16 m³/(s·GW)。

3.3 需水量预测

根据对 2020 年和 2030 年定额和社会经济水平的预测和分析,分为农业、工业、能源产业、生态、生活五部分,按照水资源分区分为牧区能源产业区、农牧兼作工业发展区、生态农业示范保护区、石油、煤炭产业循环发展保护区、生态农业、煤炭工业可持续发展保护区五个区,利用上节公式对需水量进行预测。与此同时,对各个规划水平年拟定不同的发展速度,得到不同的需水量方案,根据专家咨询概率(过程见图 2)结果对不同方案的概率进行统计,根据专家咨询概率调查表结果,统计分析得:2020 年社会经济低速发展概率为 0.4,社会经济高速发展的概率为 0.6;2020 年社会经济低速发展情况下,2030 年社会经济低速发展概率为 0.24,社会经济高速发展概率为 0.16;2020 年社会经济高速发展情况下,2030 年社会经济低速发展概率为 0.36,社会经济高速发展概率为 0.24。

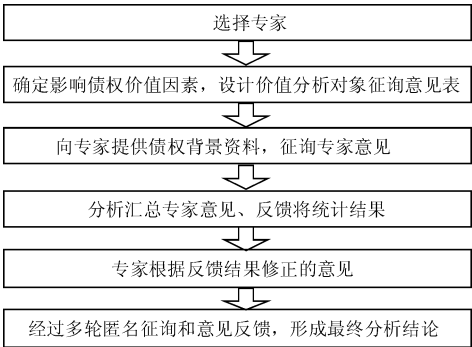


图 2 专家咨询概率法步骤图

表 2 2020 年和 2030 年用水定额统计表

定额统计	2020 年 2030 年	
农村绿地/(L·m ⁻²)	90	90
城镇绿地/(L·m ⁻²)	90	90
人工林灌溉/(m ³ ·hm ⁻²)	3000	3000
城镇市区道路面积/(L·m ⁻²)	75	75
农田灌溉/(m ³ ·hm ⁻²)	4290	3630
城镇人口/(L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)	157	160
农村人口/(L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)	116	136
工业增加值/(m ³ ·万元 ⁻¹)	30	25
建筑业增加值/(m ³ ·万元 ⁻¹)	9.5	9.5
第三产业/(m ³ ·万元 ⁻¹)	16	16
大家畜/(L·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)	45	45
羊/(L·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)	10	10
猪/(L·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)	42	42
煤矿综合定额/(m ³ ·t ⁻¹)	0.30	0.25
石油化工需水定额/(m ³ ·t ⁻¹)	0.57	0.55
火电和煤矸石电厂需水定额(m ³ /s·GW)	0.18	0.16

3.4 流域供水量预测

根据庆阳市各项规划资料、在原有水利工程的基础上,分析预测新增水利工程的数量及在规划水平年的新增供水能力。到 2020 中期规划水平年,流域内新建各类常规水源主要包括马莲河上游水质改造工程、马莲河中下游水资源开发利用工程、盐环定扬黄续建工程、小盘河水库工程、泾河引水工程、四郎河引水枢纽工程等;非常规水源包括千池百湖工程、城市废污水处理利用工程及农村雨水积蓄利用工程,到 2030 年中远期规划水平年,新增的供水工程主要包括葫芦河引水工程、扬黄调水三期工程、洮河或白龙江调水工程、城市废污水处理利用工程、农村雨水积蓄利用工程。根据新增水利工程的发展速度,分为高速、低速对 2020 和 2030 年可供水量进行分析计算,主要考虑流域内的地表水、地下水供水工程及污水利用工程、集雨利用工程和外调水的水量,结合现状年规划,提出可供水量相应水利工程的低速方案和高速方案,见表 3,并对各个水利工程的概率进行专家咨询概率。

将所有需水和供水的情况罗列出来,制成专家咨询概率调查方案,邀请各个领域专家进行专家咨询概率。选择水资源领域专家 8 人、地方水行政部

门专家 8 人、流域内熟悉水资源情况人员 8 人、课题组部分成员 3 人以及社会经济规划专家 3 人共 30 人对专家咨询概率调查方案进行打分,并对各个专家的打分结果进行统计计算,结果见表 4、表 5。

表 3 不同规划水平年可供水量概率专家咨询概率结果统计表

年份	水利工程低速	水利工程高速
2020	0.656	0.344
2030	0.368	0.632

表 4 2020 年不同供需方案概率专家咨询概率结果统计表

	方案一	方案二	方案三	方案四
社会经济发展速度	低速 0.4	低速 0.4	高速 0.6	高速 0.6
水利工程建设速度	高速 0.344	低速 0.656	高速 0.344	低速 0.656
概率可能性	0.138	0.262	0.206	0.394
概率排序	4	2	3	1

根据专家咨询概率结果,2020 年概率最大发生的可能性最大的方案为方案四:社会经济高速发展、水利工程低速发展。

表 5 2030 年不同供需方案概率专家咨询概率结果统计表

	2020 年低速		2020 年高速		2030 年低速		2030 年高速	
	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六	方案七	方案八
社会经济发展速度	低速	高速	低速	高速	低速	高速	低速	高速
概率可能	0.24	0.16	0.36	0.24	0.24	0.16	0.36	0.24
水利工程建设速度	低速	低速	低速	低速	高速	高速	高速	高速
概率可能性	0.088	0.059	0.132	0.088	0.152	0.101	0.228	0.152
排序	5	6	4	5	2	3	1	2

2030 年概率最大发生的可能性最大的为方案七:2020 年社会经济高速发展、2030 年社会经济低速发展,水利工程建设高速发展。因此对方案四和方案七做供需平衡分析。

4 流域供、需水平衡分析

根据上节的分析,2020 年的供需水方案共有 4 个,分别为社会经济发展速度不同导致的需水量的不同和水利工程建设速度不同导致的可供水量不同的组合方案,根据 4 个方案的概率咨询结果,方案四为最大概率方案,因此对方案四的供需水量进行平衡分析,见表 6。

2020 年方案四中社会经济发展高速、水利工程

建设低速发展,马莲河流域总需水量 64 528 万 m³,供水量 46 746 万 m³,缺水率 27.56%。其中,牧区能源产业区需水量 7 769 万 m³,供水量 3 801 万 m³,缺水率 51.07%;农牧兼作工业发展区需水量 14 608 万 m³,供水量 9 197 万 m³,缺水率 37.04%;生态农业保护区需水量 4 280 万 m³,供水量 4 028 万 m³,缺水率 5.89%;石油、煤炭产业循环发展保护区需水量 24 922 万 m³,供水量 21 101 万 m³,缺水率 15.33%;生态农业、煤炭工业可持续发展保护区需水量 12 948 万 m³,供水量 8 618 万 m³,缺水率 33.44%。

工业需水量 24 273 万 m³,供水量 23 775 万 m³,缺水率 2.05%;能源基地需水量 4 811 万 m³,供水

量 4 811 万 m³,缺水率为 0;农业需水量 22 130 万 m³,供水量 7 030 万 m³,缺水率 68.23%;生活需水量 12 494 万 m³,供水量 10 861 万 m³,缺水率 13.07%;生态需水量 819 万 m³,供水量 268 万 m³,缺水率 67.26%。

表 6 2020 年最大概率(方案四)水资源供需平衡分析成果表

水资源分区	分项	工业	能源基地	农业	生活	生态	合计
牧区能源产业区	需水量/万 m ³	458	967	5335	897	111	7769
	供水量/万 m ³	458	967	1398	897	81	3801
	缺水量/万 m ³	0	0	3937	0	30	3968
	缺水率/%	0	0	73.798	0	27.203	51.071
农牧兼作工业发展区	需水量/万 m ³	7529	72	5420	1467	120	14608
	供水量/万 m ³	7529	72	109	1467	20	9197
	缺水量/万 m ³	0	0	5311	0	100	5411
	缺水率/%	0	0	97.989	0	83.319	37.041
生态农业示范保护区	需水量/万 m ³	537	0	3016	693	34	4280
	供水量/万 m ³	537	0	2764	693	34	4028
	缺水量/万 m ³	0	0	252	0	0	252
	缺水率/%	0	0	8.355	0	0	5.888
石油、煤炭工业可持续发展保护区	需水量/万 m ³	14093	970	5780	3784	295	24922
	供水量/万 m ³	14093	970	2180	3784	74	21101
	缺水量/万 m ³	0	0	3600	0	221	3821
	缺水率/%	0	0	62.283	0	74.930	15.332
生态农业、煤炭工业可持续发展示范保护区	需水量/万 m ³	1656	2802	2579	5653	259	12948
	供水量/万 m ³	1158	2802	579	4020	59	8618
	缺水量/万 m ³	498	0	2000	1633	200	4330
	缺水率/%	30.072	0	77.546	28.887	77.191	33.443
马莲河流域	需水量/万 m ³	24273	4811	22130	12494	819	64528
	供水量/万 m ³	23775	4811	7030	10861	268	46746
	缺水量/万 m ³	498	0	15100	1633	551	17782
	缺水率/%	2.052	0	68.233	13.070	67.263	27.557

同样方法,得到 2030 年 8 个方案的供需水量预测结果,根据概率咨询结果,确定方案七(2020 年社会经济高速发展的基础上,2030 年社会经济低速发展、水利工程高速建设)为最大概率方案,其平衡分析结果为:马莲河流域总需水量 103 286 万 m³,供水量 87 157 万 m³,缺水率 15.62%。其中,牧区能源产业区需水量 8 179 万 m³,供水量 8 179 万 m³,缺水率 0;农牧兼作工业发展区需水量 27 271 万 m³,供水量 22 997 万 m³,缺水率 15.67%;生态农业保护区需水量 5 804 万 m³,供水量 5 804 万 m³,缺水率 0;石油、煤炭产业循环发展保护区需水量 48 920 万 m³,供水量 37 159 万 m³,缺水率 24.01%;生态农业、煤炭工业可持续发展保护区需水量 13 112 万 m³,供水量 13 017 万 m³,缺水率 0.72%。

工业需水量 62 660 万 m³,供水量 53 988 万 m³,缺水率 13.84%;能源基地需水量 3 566 万 m³,供水量 3 566 万 m³,缺水率 0%;农业需水量 23 395 万 m³,供水量 16 446 万 m³,缺水率 29.70%;生活需水量 11 427 万 m³,供水量 11 427 万 m³,缺水率 0%;生态需水量 2 239 万 m³,供水量 1 730 万 m³,缺水率 22.74%。

5 结 语

通过本文对马莲河流域供、需水量预测的分析可得到以下结论:

(1)利用指标分析法对流域不同社会经济发展及水利工程建设速度下的供、需水量进行预测分析,对各个不同速度的供需水方案进行排列组合,得到

12个供需水方案。

(2)利用专家概率咨询法对不同方案进行分项排列打分,得到2020年社会经济发展高速、水利工程建设低速发展的方案四为最大概率方案,2030年方案七(2020年社会经济高速发展的基础上,2030年社会经济低速发展、水利工程高速建设)为最大概率方案。

(3)采用专家概率咨询法进行流域水资源供需平衡分析,得到了合理的分配结果,按照供需平衡方案进行水资源分配,可促使流域综合缺水率逐年减少,促使流域的水资源能够更好地为高速发展的社会经济服务,从而提高流域的供水、用水水平,为流域生产、生活安全提供强有力的保障和支撑。

参考文献:

- [1] Hall WA, Buras N. The dynamic programming approach to water resources development [J]. Journal of Geophysical Research, 1961, 66(2): 517-520.
- [2] 吴泽宁,索丽生. 水资源优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(2): 1-5.

- [3] 汤奇成,张捷斌,程维明. 中国西部地区水资源供需平衡预测[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 327-332.
- [4] 李雪萍. 国内外水资源优化配置研究概述[J]. 海河水利, 2002(5): 13-15.
- [5] 程吉林,孙学华. 模拟技术、正交设计、层次分析与灌区优化规划[J]. 水利学报, 1990, 21(9): 36-40.
- [6] 蔡喜明,翁文斌,史慧斌. 基于宏观经济的区域水资源多目标集成系统[J]. 水科学进展, 1995, 6(2): 139-144.
- [7] 王浩,陈建敏,秦大庸,等. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2003: 34-36.
- [8] 冯耀龙,韩文秀,王宏江,等. 面向可持续发展的区域水资源优化配置研究[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(2): 133-138.
- [9] 王浩,秦大庸,郭孟卓,等. 干旱区水资源合理配置模式与计算方法[J]. 水科学进展, 2004, 15(6): 689-693.
- [10] 赵军凯,赵秉栋,李九发,等. 城市水资源供需平衡及预测分析——以开封市为例[J]. 水文, 2009, 29(6): 50-57.
- [11] 董耀华,李凌云,杨春花. 突泉县水资源调配工程方案及关键技术研究[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(5): 66-70+76.

(上接第168页)

- [10] 何因,秦保平,李云生,等. GWLF模型的原理、结构及应用[J]. 城市环境与城市生态, 2009, 22(6): 24-27.
- [11] 王东,赵越,徐敏,等. 区域营养盐管理模型在沙河流域的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(5): 98-101.
- [12] 王玉秋,沙健,谢阳村,等. 通用流域负荷模型(GWLG模型)理论方法与应用案例[M]. 北京:中国环境出版社, 2012, 6-11.
- [13] Chapra S, Pelletier G. QUAL2K: A modeling framework for simulating river and stream water quality: Documentation and user's manual [R]. Medford: Tufts University Civil and Environmental Engineering Department, 2003.
- [14] Kannel P R, Lee S, Lee Y S, et al. Application of automated QUAL2Kw for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal [J]. Ecological Modelling, 2007, 202(3-4): 503-517.
- [15] 赵罡,李川,陆宇超,等. QUAL2Kw模型在新安江干流

黄山段水质模拟中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(5): 1-5.

- [16] Pelletier G J, Chapra S C, Tao Hua. QUAL2Kw - A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration[J]. Environmental Modelling and Software, 2006, 21(3): 419-425.
- [17] Santos S, Vilar V J, Alves P, et al. Water quality in Minho/Miño River (Portugal/Spain). [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(4): 3269-3281.
- [18] 张婷婷,王文勇. QUAL2Kw模型在岷江流域乐山段水质模拟中的应用研究[J]. 广东农业科学, 2010, 37(6): 247-249.
- [19] Oliveira B, Bola J, Quinteiro P, et al. Application of Qual2Kw model as a tool for water quality management: Cértima River as a case study[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, 184(10): 6197-6210.