

基于黄河健康生命的流域水资源合理 配置方案评价研究

黄晓荣¹, 李云玲², 蔡 明^{3,4}, 李煜刚¹

(1 四川大学 水电学院, 四川 成都 610065; 2 中国水利水电科学研究院 水资源所, 北京 100044;

3 黄河勘测规划设计有限公司 博士后科研工作站, 河南 郑州 450003; 4 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

【摘 要】 【目的】考虑人类活动作用下的水资源演变背景, 针对黄河以基于供需严重不平衡条件下的缺水配置和输沙要求, 计算拟定了以维持河流健康生命、保持干流主要断面最小控制流量为特征描述的 4 种不同配置方案, 即方案 1: 按流域内各省(区)缺水比例大致相当进行配置; 方案 2: 在方案 1 的基础上考虑了黄河水资源供需矛盾尖锐的情况, 适当减少了入海水量, 相应增加了河道外可配置水量; 方案 3: 在方案 1 的基础上进行了同比例折减; 方案 4: 偏重于考虑目前实际耗用的黄河地表径流量情况, 适当考虑了 2020 年水平年的需求预测, 并对这 4 种方案进行评价。【方法】针对 4 种配置方案, 建立了相对独立可行的指标体系, 以流域水资源禀赋为先天条件, 以流域水资源开发利用水平为后天基础, 运用投影寻踪分类评价模型, 将高维数据转换到低维子空间, 利用实数编码的加速遗传算法对投影指标函数和模型参数进行了优化, 获得了指标体系最佳投影方向即权重和投影值, 从而揭示了高维数据的结构特征, 并同时运用模糊物元、灰色关联方法和综合集结方法进行了分析。【结果】从水资源合理配置的角度考虑, 以第 2 方案为优。【结论】该模型简单、高效、可行, 最大限度地避免了模糊综合评判等方法中对权重的人为干扰。

【关键词】 黄河流域; 水资源配置; 配置方案评价; 评价体系方法

【中图分类号】 TV213

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2008)11-0208-09

Research on the evaluation for rational allocation of water resources based on healthy life in Yellow River basin

HUANG Xiao-rong¹, LI Yun-ling², CAI Ming^{3,4}, LI Yu-gang¹

(1 College of Hydraulic & Hydroelectric Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China;

2 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

3 Yellow River Engineering Consulting CO., Ltd, Postdoctoral Programme, Zhengzhou, Henan 450003, China;

4 institute of water resources and hydro-electric engineering, Xi'an university of technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: 【Objective】 Having considered the background of evolvement of water resources under human activity, the four scenarios of water resources rational allocation of the Yellow Rivers were assessed. Its characteristics were described as the allocation in short of water under big imbalance between the demand and supply of water resources, the need sediment transport in order to keep the least control flow of important cross-section of rivers and maintain healthy life of rivers. The four scenarios were: the first scenario was designed for similar proportion of shortage among each province; based on the first scenario, the second scenario reduced sea-going quantities and at the same time increased water resources volume of river

* [收稿日期] 2007-11-23

[基金项目] 中国气象局成都高原气象所开放实验室基金项目(LPM2007005); 水利部江湖治理与防洪重点实验室开发研究基金项目(R2007-13)

[作者简介] 黄晓荣(1972—), 男, 重庆奉节人, 副教授, 博士, 主要从事水资源综合规划与经济管理研究。
E-mail: hxiaorong@tom.com

outside according to serious imbalance between water supply and demand in Yellow River basin;the third scenario reduced water resource volume for allocation at the same proportion among each province;the fourth scenario focused on actual consumption of runoff of Yellow River and forecast the water demands of 2020 level year at large.【Method】The independent and feasible index system was designed in this research based on the natural endowment of water resources in basin as the inborn term,development and utilization of water resources as the acquired foundation. Through applying the Projection Pursuit Classification(PPC) based on Real-coded Accelerating Genetic Algorithm(RAGA),the multi-dimension data were easily changed into low dimension space and its structure could be indicated based on RAGA,then the optimum projection direction as weight matrix and the value of project function could be obtained. PPC based on RAGA as the mean method and the Fuzzy Mater-element,the Grey Correlation Analysis as the assistant method were used respectively and synthetically .【Result】In consideration of the Yellow River water resources rational allocation,the second scenario was the best.【Conclusion】The analysis,concise,effective,feasible and creative in practical application,can avoid jamming of weight matrix in the method of fuzzy synthetic judgment.

Key words: Yellow River basin; water resources allocation; evaluation of scenarioses for allocation; method of evaluation system

黄河水资源供需矛盾突出,生态环境脆弱,尤其是近 20 年来,部分地区由于人类活动改变了下垫面条件,致使径流减少,用水已达到或超过了水资源的承载能力,缺水断流现象更加严重^[1]。2002~2007 年开展的黄河流域水资源综合规划,其关键环节是对黄河水资源的不同配置方案进行全面的综合评价。如何制定出基于黄河健康生命的一套完善评价指标体系和科学合理的评价方法,并从中遴选出合理方案,这对维持黄河健康生命具有十分重要的意义。

流域水资源配置实施效果的评价,是一个多层次、多目标的群决策过程,是一个典型的半结构化、多层次、多目标的群决策问题^[2-4]。我国关于水资源配置方案综合评价体系的研究始于上世纪 80 年代末,国内专家刘恒和杨志峰在指标体系的建立、评价方法的选择等方面进行了积极的研究与探索,在实践应用中也取得良好的效果^[5-6],但水资源可持续利用是一个非常复杂的巨系统,目前还没有公认的标准和方法^[7-9]。总体而言,流域水资源合理配置方案评价研究目前还主要存在以下问题:(1)现有指标体系还未能从水循环、水量平衡、水文特性、生态效应、经济促进力角度,准确描述水资源评价以及不同水资源配置方案对保持流域水循环过程的相对稳定而带来的影响,在宏观尺度上对流域、地区水资源可持续利用指标体系的研究还比较少。(2)对人类活动作用下的水资源演变背景认识不足,现有指标体系中缺乏体现变化环境下水资源演化过程和揭示演化规律的评价指标。(3)由于基础数据支持不够,限制

了多元统计方法在指标筛选中的应用,还没有很好地解决指标体系的系统性和指标间的独立性问题。(4)合理确定权重还是尚未解决的难题。权重既要体现评价者对指标的偏好,又要反映该指标在评价中所提供客观信息量的大小,如何通过协商最终达成一致,从而建立主客观权重组合方法还需要深入研究。

基于现有研究的不足,针对目前研究中存在的问题,本项目从评价指标的选取、指标权重的确定、评价方法的选择 3 个影响评价结果的关键因素入手,对拟定的 4 种黄河水资源配置方案进行了全面的综合评价,以期为黄河流域水资源配置方案的最终决策提供参考。

1 流域级水资源配置方案评价模型框架的构建

基于现有研究的不足,针对目前研究存在的问题,本项目从评价指标的选取、指标权重的确定、评价方法的选择 3 个影响评价结果的关键因素入手,提出了以流域水资源禀赋评价为先天条件,以流域水资源开发利用水平评价为后天基础,以基于加速遗传算法的投影寻踪方法为主,辅以模糊物元、灰色关联方法,综合针对北方河流基于供需严重不平衡条件下的缺水配置和输沙要求、维持河流健康生命、保持干流主要断面最小控制流量为特征描述的不同配置方案进行评价,该评价体系的整体框架如图 1 所示。

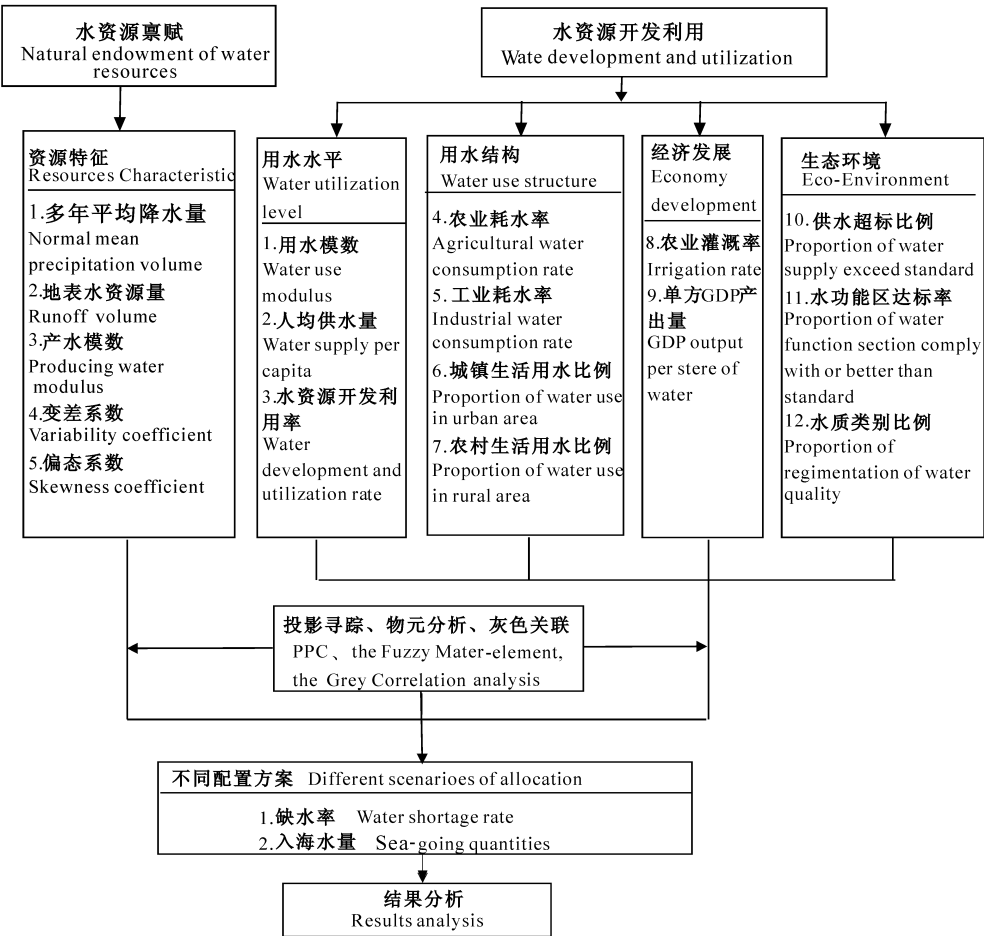


图 1 流域水资源合理配置评价模型框图

Fig. 1 Chart of the evaluation for Rational Allocation of Water Resources in Basin

由图 1 可以看出,流域水资源配置方案评价不但要对传统的流域各分区的缺水率进行评价,而且首先要考虑流域各分区水资源禀赋的差异,同时还要考虑各分区后天水资源开发利用水平的不同。既突出水资源初始水权的地位,同时也强调水资源对经济发展的促进作用,引导并提倡将水资源配置到水资源利用效率及效益相对较高的地区和部门。既体现水资源在流域内经济社会和谐分配的内在要求,同时也体现维持河流健康生命、人水和谐的外在需求。

对大流域而言,在具体指标筛选中,建立众多包罗万象的指标体系并对这些指标赋值,既不可行也不科学,指标相关性也对评价结果的科学性有一定影响。另外,选择指标不宜太多,选择的指标应以独立性强,方向性和表征明显为佳。各指标的简要说明如表 1 所示。

评价计算方法主要采用基于实数编码的加速遗传算法(RAGA)的投影寻踪(PPC)技术^[10-15]。PPC

方法的特点主要可以归纳为以下几点:

1)自然科学研究中有许多数据不符合正态分布,人们对这些数据也没有多少先验信息,因此需要从数据本身找出其结构或特征。PPC 方法能成功地克服高维数据的“维数祸根”所带来的严重困难,这是因为其对数据的分析是在低维子空间上进行的,对 1~3 维的投影空间来说数据点足够密,足以发现数据在投影空间中的结构或特征;

2)PPC 方法可以排除与数据结构和特征无关的,或关系很小的变量的干扰;

3)PPC 方法为使用一维统计方法解决高维问题开辟了途径。因为 PPC 方法可以将高维数据投影到一维子空间上,再对投影后的一维数据进行分析,比较不同一维投影的分析结果,找出好的投影;

4)PPC 方法与其他非参数方法一样,可以用来解决某种非线性问题。PPC 问题虽然是以数据的线性投影为基础,但它寻找的是线性投影中的非线性结构,因此其可以用来解决一定程度的非线性问

题,如多元非线性回归等。

表 1 流域水资源评价指标体系

Table 1 Index system of evaluation of water resources in basin

项目 Item	序号 Number	指标 Index	计算过程或公式 Formula & Calculation	单位 Unit	特征描述 Characteristic description
水资源禀赋 Natural endowment of water resources	1	多年平均降水量 Normal mean pre- cipitation volume	雨量站资料系列推求 Measured by precipitation gauge	mm	区域气候、水资源总体及分布状况 Regional climate, water resources volume and distribution
	2	地表水资源量 Runoff volume	径流还原计算和一致性处理 Estimation of restoration of an- nual runoff and consistency pro- cessing	mm	下垫面产水特征及变化情况 Characteristics of producing water and vari- ety of surfaceland
	3	产水模数 Producing water modulus	水资源总量/计算面积 Water volume/Area	km ³ /km ²	水资源空间分布 Spatial distribution of water resources
	4	C _v	方差/均值 Variance/Mean		降水变化特性和分布离散度 Variety characteristics and scatter degree of precipitation
	5	C _s	通过假定为变差系数的倍数 Estimated as a multiple of varia- tion		变差系数显示出离散的特征,而分布对重心 (期望值)是否对称 Characteristic of variation and asymmetric distribution
水资源开 发利用 Water resources development and utilization	1	用水模数 Water use modulus	总用水量/用水面积 Total water use/Area	km ³ /km ²	单位用水面积的用水水平 Water utilization level of per unit area
	2	人均供水量 Water supply per capita	总供水量/总人口 Total water supply/Total capita	m ³ /人	区域人均供水水平 Level of water supply per capita
	3	水资源开发利用率 Water development and utilization rate	当地水资源总供水量/当地水资 源总量 Local water supply/Water vol- ume	%	区域水资源开发利用程度 Degree of local water development and utili- zation
	4	农业用水耗水率 Agricultural water consumption rate	农业耗水量/农业用水量 Agricultural water consump- tion/Agricultural use	%	农业灌溉耗水强度 Irrigation intension
	5	工业用水耗水率 Industrial water consumption rate	工业耗水量/工业用水量 Industrial water consumption/ Industrial water use	%	反映地区工业综合耗水程度 Industrial water consumption intension
	6	城镇生活用水比例 Proportion of water use in urban area	城镇生活用水量/总用水量 Water use in urban area/Total water use volume	%	城镇生活用水占总用水量的比例 Proportion of water use in urban area among total water use volume
	7	农村生活用水比例 Proportion of water use in rural area	农村生活用水量/总用水量 Water use in rural area/total water use volume	%	农村生活用水占总用水量的比例 Proportion of water use in rural area among total water use volume
	8	农业灌溉率 Irrigation rate	农田灌溉面积/耕地面积 Irrigation area/Plantation area	%	耕地灌溉水平 Irrigation degree of plantation area
	9	单方水 GDP 产出量 GDP output per stere of water	GDP/总用水量 GDP/Total water use volume	元/m ³	地区用水效益 Regional water use benefit
	10	供水超标比例 Proportion of water supply exceeding standard	供水超标量/总供水量 Water supply exceeding stand- ard/Total water supply	%	供水水质状况 Water quality status
	11	水功能区达标率 Proportion of water function section comply with or bet- ter than standard	达标河长/评价河长 River with water quality comply with or better than standard / River assessed	%	河流自净潜力特征 Potential characteristic of river self-purifica- tion
	12	水质类别比例 Proportion of regi- mentation of water quality	劣于Ⅴ类河流长/评价河流长 River length inferior to class- Ⅴ/River length assessed	%	河流污染情况 Pollution condition of river
关键因素 Key factor	1	缺水率 Water shortage rate	需水预测与供水预测的缺口 Gap between water requirement prediction and supply prediction	%	缺水程度 Degree of water shortage
	2	入海水量 Sea-going quantities	各断面下泄流量 Discharge of each section	10 ⁸ m ³	河流健康生命 Health life of rivers

评价计算过程通过 RAGA 来实现,其优点是搜索空间大、精度高、收敛速度快,克服了二进制编码过程繁琐、计算量大及易出现早熟收敛的不足。这种算法从某种程度上解决了高维度非线性优化模型的求解难题。然后再通过模糊物元^[16]和灰色关联方法对评价计算结果进行验证计算。模糊物元和灰色关联的基本原理都是通过计算各备选方案与理想方案之间的距离,依此判断备选方案的优劣。目前这 2 种方法在评价计算中应用较多,效果不错。最后综合上述 3 种方法所得结论给出最终评价结果,

可行度更高。

2 实例研究

2.1 水资源禀赋及水资源开发利用评价

2002 年按全国统一部署,历时 5 年进行了黄河流域水资源综合规划工作,其水资源调查分析采用了黄河流域四川、山东、河南、陕西、青海、山西、甘肃、宁夏、内蒙古等 9 省区 1956~2000 年共 45 年的系列降水、蒸发、地表水资源量、地下水资源量、水资源总量及水资源开发利用评价等数据(表 2,3)。

表 2 黄河流域水资源基本特征

Table 2 Basic characteristics of water resources in Yellow River basin

省份 Province	降水量/mm Precipitation				多年平均地表水资源量 Normal mean runoff volume					产水模数 Producing wate modulus
	频率/% Frequency				C_v	C_s/C_v	水资源量/mm Runoff volume	C_v	C_s/C_v	
	20	50	75	95						
青海 Qinghai	489.5	443.2	408.2	361.2	0.12	2.0	135.8	0.22	3.0	13.68
四川 Sichuan	784.4	698.6	634.5	549.5	0.14	2.0	267.2	0.24	2.0	26.72
甘肃 Gansu	527.2	465.7	420.0	359.7	0.15	2.0	85.2	0.28	2.0	8.70
宁夏 Ningxia	339.5	281.1	239.4	187.1	0.23	2.0	18.5	0.30	2.0	2.04
内蒙古 Neimenggu	325.8	267.6	226.3	174.7	0.24	2.0	13.9	0.31	3.0	3.72
山西 Shanxi	595.4	513.3	453.2	375.4	0.18	2.0	46.48	0.35	3.0	7.12
陕西 Shaanxi	593.3	515.6	458.5	384.1	0.17	2.0	67.13	0.29	2.0	8.66
河南 Henan	747.9	639.5	560.7	459.1	0.19	2.0	114.0	0.50	2.5	15.52
山东 Shandong	820.6	679.3	578.6	452.3	0.23	2.0	102.6	0.92	3.0	15.37
黄河流域 Yellow River basin	498.7	444.2	403.4	349.3	0.14	2.0	74.77	0.22	3.0	8.89

表 3 黄河流域水资源开发利用指标评价值

Table 3 Index value of evaluation of water resources development and utilization in Yellow River basin

评价指标 Index	青海 Qinghai	四川 Sichuan	甘肃 Gansu	宁夏 Ningxia	内蒙古 Neimenggu	陕西 Shaanxi	山西 Shanxi	河南 Henan	山东 Shandong	黄河流域 Yellow River basin
用水模数/ ($\text{km}^3 \cdot \text{km}^{-2}$) Water use modulus	1.77	0.08	3.03	16.88	6.14	6.32	3.20	14.48	15.78	5.27
人均供水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$) Water supply per capita	4 120	1 455	2 388	15 720	11 926	2 224	2 007	3 132	2 774	3 835
水资源开发 利用率/% Water development and utilization rate	8.6	0.3	34.7	826.2	165.0	88.7	37.0	93.4	102.4	59.3
农业水耗水率/% Agricultural water consumption rate	78.0	0	67.0	34.8	65.0	41.0	36.4	36.8	23.4	47.6
工业用水耗水率/% Industrial water consumption rate	3.90	0	29.0	6.5	14.0	15.2	6.6	8.1	3.6	13.6

续表 3 Continued table 3

评价指标 Index	青海 Qinghai	四川 Sichuan	甘肃 Gansu	宁夏 Ningxia	内蒙古 Neimenggu	陕西 Shaanxi	山西 Shanxi	河南 Henan	山东 Shandong	黄河流域 Yellow River basin
城镇生活用水 比例/% Proportion of water use in urban area	4.24	0	5.90	1.48	2.17	7.66	7.43	4.06	6.90	4.32
农村生活用水 比例/% Proportion of water use in rural area	6.92	92.9	5.90	0.78	1.60	5.74	6.42	6.49	5.82	4.06
农业灌溉率/% Irrigation rate	31.5	4.4	14.4	31.0	47.6	28.1	28.8	50.7	59.7	31.3
单方水 GDP 产出量/(元·m ⁻³) GDP output per stere of waterV	10.97	23.36	15.45	3.06	7.45	23.46	24.8	20.48	38.31	14.84
供水超标比例/% Proportion of water supply exceed stan- dard	13.5	0	26.7	97.1	2.7	63.4	10.3	43.7	45.1	42.6
水功能区达标率/% Proportion of water function section comply with or bet- ter than standard	76.3	50	43.8	37.0	43.8	34.0	47.1	48.2	27.6	47.7
水质类别比例/% Proportion of regi- mentation of water quality	13.5	0	22.7	95.7	1.8	10.2	61.5	44.7	38.3	41.3

利用图 1 建立的数学评价模型分别对黄河流域 2 和表 3 数据进行计算,评价结果见表 4 和表 5。
各省区的水资源禀赋及开发利用进行评价,即对表

表 4 黄河流域水资源禀赋评价结果

Table 4 Evaluation result of the natural endowment of water resources in Yellow River

水资源禀赋评价方法 Evaluation method of water resources nature gift	黄河流域九省区排名顺序 Ranking of nine provinces in the Yellow River basin
投影寻踪 PPC	四川、山东、河南、陕西、青海、山西、甘肃、宁夏、内蒙古 Sichuan,Shandong,Henan,Shaanxi,Qinghai,Shanxi,Gansu,Ningxia,Neimenggu
物元分析 Fuzzy Mater-element	四川、河南、陕西、甘肃、青海、山东、山西、宁夏、内蒙古 Sichuan,Henan,Shaanxi,Gansu,Qinghai,Shandong,Shanxi,Ningxia,Neimenggu
灰色关联度 Grey Correlation Analysis	四川、甘肃、陕西、河南、青海、山东、宁夏、山西、内蒙古 Sichuan,Gansu,Shaanxi,Henan,Qinghai,Shandong,Ningxia,Shanxi,Neimenggu
综合集结分析 Comprehensive Analysis	四川、河南、山东、陕西、甘肃、青海、山西、宁夏、内蒙古 Sichuan,Henan,Shandong,Shaanxi,Gansu,Qinghai,Shanxi,Ningxia,Neimenggu

表 5 黄河流域水资源开发利用评价结果

Table 5 Evaluation result of development and utilization of water resources in Yellow River

省区 Province	经济、人口状况 Economy and population condition	用水强度 Water use intension	用水水平 Water use level	水资源承载状况 Water resources carrying capacity condition	水环境状况 Water environment condition	综合评价 Comprehensive evaluation
青海 Qinghai	十分稀少、不发达 Extremely short underdeveloped	一般 Com- mon	较低 Lower	匹配良好 Matching all right	优 Best	有潜力 With po- tential
四川 Sichuan	十分稀少、不发达 Extremely short underdeveloped	低 Low	较高 Upper	匹配良好 Matching all right	优 Best	潜力较大 With greater potential
甘肃 Gansu	中等、欠发达 Mediate, not devel- oped	较低 Lower	一般 Com- mon	基本匹配 Commonly matching	中等 Middle	基本平衡 Balance
宁夏 Ningxia	中等、欠发达 Mediate,Not developed	高 High	低 Low	极不匹配 Far from matc- hing	差 Bad	严重失衡 Badly out of balance

续表 5 Continued table 5

省区 Province	经济、人口状况 Economy and population condition	用水强度 Water use intension	用水水平 Water use level	水资源承载状况 Water resources carrying capacity condition	水环境状况 Water environment condition	综合评价 Comprehensive evaluation
内蒙古 Nei-menggu	稀少、发达 Short developed	高 High	低 Low	不匹配 Not matching	良好 Better	失衡 Imbal- ance
陕西 Shaanxi	中等、欠发达 Mediate, not devel- oped	较低 Lower	较高 Upper	不匹配 Not matching	较差 Worse	失衡 Imbal- ance
山西 Shanxi	中等、欠发达 Mediate, not devel- oped	较低 Lower	较高 Upper	基本匹配 Commonly matching	较差 Worse	基本平衡 Balance
河南 Henan	稠密、欠发达 Dense,not developed	一般 Com- mon	较高 Upper	不匹配 Not matching	差 Bad	失衡 Imbal- ance
山东 Shan-dong	稠密、中等发达 Dense,mediate developed	较低 Lower	高 High	不匹配 Not matching	差 Bad	失衡 Imbal- ance
黄河流域 Yellow River basin	中等、欠发达 Mediate, not devel- oped	一般 Com- mon	一般 Com- mon	不匹配 Not matching	较差 Inferi- or	失衡 Imbal- ance

2.2 配置方案的生成

黄河流域水资源综合规划配置模型,采用世行贷款项目研发的软件模型^[1]——黄河流域水资源模拟模型(YRSIM),其建模水平处于国内领先地位。该模型是以节点和连线来概化实际流域,并根据已知边界条件及给定的运行规则,追踪河道内径流的变化过程,计算各节点及全流域的物理和经济指标。黄河“87”分水方案的适用条件是在南水北调工程生效以前,鉴于南水北调东、中线工程都在 2010 年以后开始生效,且“87”分水方案在近些年黄河水资源的管理、调度中实施效果良好,因此在 2010 年以前(南水北调东、中线工程生效以前),黄河水资源配置方案仍为黄河“87”分水方案。在南水北调西线工程生效以前,黄河水资源的配置为缺水配置,主要影响

因素为多年平均入海水量、各省(区)的缺水比例以及现状用水情况。经 YRSIM 模型初步计算拟定了 4 种方案,方案 1:按流域内各省(区)缺水比例大致相当进行配置;方案 2:在方案 1 的基础上考虑了黄河水资源供需矛盾尖锐的现状,适当减少了入海水量,相应增加了河道外可配置水量;方案 3:采取同比例折减,与《黄河可供水量年度分配及干流水量调度方案》和《黄河水量调度管理办法》的原则相一致;方案 4:偏重于考虑目前实际耗用的黄河地表径流量情况,适当考虑了 2020 年水平年的需求预测。4 种方案除第 2 种方案入海水量为 185 亿 m³,其余 3 种方案的入海水量均为 200 亿 m³。这 4 种方案的各指标值见表 6。水资源禀赋和水资源开发利用评价结果值均为无量纲值。

表 6 黄河流域配置评价方案的拟定

省份 Province	方案 1 The first scenario			方案 2 The second scenario		
	缺水率/% Water shortage rate	水资源禀赋 wate resources nature gift	水资源开发利用 Wate development and utilization	缺水率/% Water shortage rate	水资源禀赋 wate resources nature gift	水资源开发利用 Wate development and utilization
青海 Qinghai	19.5	0.10	0.07	15.1	0.10	0.07
四川 Sichuan	0	0.20	0.04	0	0.20	0.04
甘肃 Gansu	21.2	0.11	0.10	15.9	0.11	0.10
宁夏 Ningxia	21.7	0.05	0.16	16.6	0.05	0.16
内蒙古 Neimenggu	18.1	0.03	0.10	16.0	0.03	0.10
陕西 Shaanxi	17.7	0.08	0.11	16.1	0.08	0.11
山西 Shanxi	15.4	0.11	0.09	14.7	0.11	0.09
河南 Henan	16.9	0.13	0.11	14.9	0.13	0.11
山东 Shandong	15.4	0.10	0.12	15.0	0.10	0.12
黄河流域 Yellow River basin	18.5	0.09	0.10	15.7	0.09	0.10

续表 6 Continued table 6

省份 Province	方案 3 The third scenario			方案 4 The fourth scenario		
	缺水率/% Water shortage rate	水资源禀赋 wate resources nature gift	水资源开发利用 Wate development and utilization	缺水率/% Water shortage rate	水资源禀赋 wate resources nature gift	水资源开发利用 Wate development and utilization
青海 Qinghai	27.6	0.10	0.07	21.5	0.10	0.07
四川 Sichuan	0	0.20	0.04	0	0.20	0.04
甘肃 Gansu	31.0	0.11	0.10	25.6	0.11	0.10
宁夏 Ningxia	31.2	0.05	0.16	25.0	0.05	0.16
内蒙古 Neimenggu	22.1	0.03	0.10	16.1	0.03	0.10
陕西 Shaanxi	19.4	0.08	0.11	17.3	0.08	0.11
山西 Shanxi	3.0	0.11	0.09	14.5	0.11	0.09
河南 Henan	3.4	0.13	0.11	15.1	0.13	0.11
山东 Shandong	12.5	0.10	0.12	12.5	0.10	0.12
黄河流域 Yellow River basin	19.6	0.09	0.10	18.7	0.09	0.10

2.3 配置方案的评价

再次利用数学评价模型及开发的软件,分别考虑缺水率、水资源禀赋和水资源开发利用的评价结果(表 6),对 4 种配置方案进行最终评价,可得这 4 种方案的最终评价结果值分别是 0.22,0.34,0.19 和 0.25,均为无量纲值(图 2)。根据评价结果值越大其方案越优的原则,显然方案 2 最优。

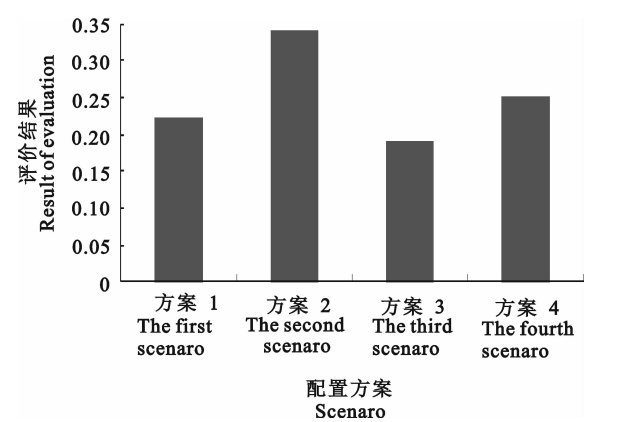


图 2 4 种黄河水资源配置方案的评价

Fig. 2 Result of evaluation of water resources rational allocation for four scenarios

对以上评价结果进行综合分析可知:方案 1 保证了 200 亿 m³ 的多年平均最低入海水量,以 2020 年水平年的需水预测为基础,流域内各省(区)缺水比例大致相当,由于黄河流域各省区水资源禀赋条件及水资源开发利用程度有较大的差别,这种单纯以各省(区)缺水比例大致相当的水资源配置思路显然有其不足之处;方案 3 采取同比例折减,与《黄河可供水量年度分配及干流水量调度方案》和《黄河水量调度管理办法》的原则相一致,但流域缺水率在 4 个方案中最大,达 19.6%,其优点是易于操作,执行比较容易;方案 4 偏重于考虑目前实际耗用的黄河

地表径流量情况,适当考虑了 2020 年水平年的需求预测,该方案动态反映了近 20 年来,黄河流域水资源及其开发利用条件发生的较大变化,同时水资源配置考虑了水资源禀赋条件和水资源开发利用程度因素;方案 2 在方案 1,3,4 的基础上,考虑了黄河水资源供需矛盾尖锐的情况,适当减少了入海水量,相应增加了河道外可配置水量,各省区缺水率均相对较其他方案小,185 亿 m³ 的入海水量也基本能维持黄河的健康生命。综合上述分析,以方案 2 最优。

3 结 论

- 1)考虑到本次规划的配置思路和技术工作基础,为维持黄河健康生命,从水资源合理配置的角度出发,以方案 2 为最优配置方案;
- 2)经定量分析认为,评价结果的利用还需从政策、社会等定性方面进行综合分析 with 确定。
- 3)基于实数编码的加速遗传算法(RAGA)的投影寻踪(PPC)技术,在一定程度上解决了高维度非线性优化模型的求解难题。不同方法的综合运用,增强了结果的可信度。

[参考文献]

[1] 黄晓荣,张新海,杨立彬. 黄河流域(片)水资源综合规划的关键技术难点探析 [J]. 人民黄河,2007,29(4):33-34.
Huang X R,Zhang X H,Yang L B. Analysis in key technique problem for overall comprehensive planning of Yellow Rive basin water resources [J]. Yellow River,2007,29(4):33-34. (in Chinese)

[2] 王 浩. 我国水资源合理配置的现状和未来 [J]. 水利水电技术,2006,37(2):7-8.
Wang H. The actuality and future of rational allocation of water resources in China [J]. Water Resources and Hydropower Engeneering,2006,37(2):7-8. (in Chinese)

[3] 王 浩,王建华,秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发

- 展方向 [J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 123-126.
- Wang H, Wang J H, Qing D Y. Research advances and direction on the theory and practice of reasonable water resources allocation [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(1): 123-126. (in Chinese)
- [4] 翁文斌, 蔡喜明, 史慧斌. 宏观经济水资源规划多目标决策分析方法研究及应用 [J]. 水利学报, 1995, 12(2): 1-8.
- Weng W B, Cai X M, Shi H B. Development of the macro-economic based water resources multiple objective analysis approach and its applications [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1995, 12(2): 1-8. (in Chinese)
- [5] 刘恒, 耿雷华, 陈小燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立 [J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 265-270.
- Liu Heng, Geng L H, Chen X Y. Indicators for evaluating sustainable utilization of regional water resource [J]. Advances in Water Science, 2003, 14(3): 265-270. (in Chinese)
- [6] 沈珍瑶, 杨志峰. 黄河流域水资源可再生性评价指标体系与评价方法 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 187-197.
- Sheng Z Y, Yang Z F. Index system and method for assessing water resources renewability of the Yellow River Basin [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(2): 187-197. (in Chinese)
- [7] 张丽萍, 朱钟麟, 邓良基. 水资源评价指标体系的研究现状及问题探讨 [J]. 国土资源科技管理, 2004, 21(4): 5-9.
- Zhang L P, Zhu H L, Deng L J. Present situation of and problems in water resource evaluation indicator systems in China [J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2004, 21(4): 5-9. (in Chinese)
- [8] 王志良. 水资源管理多属性决策与风险分析理论方法及其应用研究 [D]. 成都: 四川大学, 2003: 1-60.
- Wang Z L. Theory and application of multi-attribute decision making and risk analysis on water resources management [D]. Chengdu: Sichuan University, 2003: 1-60. (in Chinese)
- [9] 曾国熙. 流域水资源配置合理性评价研究——以黑河流域为例 [D]. 成都: 四川大学, 2004: 1-65.
- Zheng G X. Evaluation of basin water resources allocation rationality—take example for Hehei River Basin [D]. Chengdu: Sichuan University, 2004: 1-65. (in Chinese)
- [10] 黄晓荣, 付强, 梁川. 基于 RAGA 的 PPC 模型对区域水资源可持续利用的评价 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2003, 35(4): 29-32.
- Huang X R, Fu Q, Liang C. Applying PPC model based on RAGA in the evaluating the regional water resources sustainable using [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2002, 35(4): 29-32. (in Chinese)
- [11] 黄晓荣, 付强, 梁川. 投影寻踪分类模型在工程评标中的应用 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(1): 69-72.
- Huang X R, Fu Q, Liang C. Application on PPC model based on RAGA in appraisal bid of engineering project [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2004, 36(1): 69-72. (in Chinese)
- [12] 王顺久, 杨志峰, 丁晶. 关中平原地下水资源承载力综合评价的投影寻踪方法 [J]. 资源科学, 2004, 26(6): 104-110.
- Wang S J, Yang Z F, Ding J. Projection pursuit method of comprehensive evaluation on groundwater resources carrying capacity in Guanzhong plain [J]. Resources Science, 2004, 26(6): 104-110. (in Chinese)
- [13] 金菊良, 丁晶. 水资源系统工程 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2002.
- Jin J L, Ding J. Water Resource Systems Engineering [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2002. (in Chinese)
- [14] 张欣莉, 丁晶, 李祚泳, 等. 投影寻踪新算法在水质评价模型中的应用 [J]. 中国环境科学, 2000, 20(2): 187-189.
- Zhang X L, Ding J, Li Z Y, et al. Application of new projection pursuit algorithm in assessing water quality [J]. China Environmental Science, 2000, 20(2): 187-189. (in Chinese)
- [15] 王顺久, 张欣莉, 丁晶, 等. 投影寻踪聚类模型及其应用 [J]. 长江科学院院报, 2002, 19(6): 53-55, 61.
- Wang S J, Zhang X L, Ding J, et al. Projection pursuit cluster model and its application [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2002, 19(6): 53-55, 61. (in Chinese)
- [16] 门宝辉, 王志良, 梁川, 等. 物元模型在区域地下水资源承载力综合评价中的应用 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2003, 35(1): 34-37.
- Men B H, Wang Z L, Liang C, et al. Application of matter element model to evaluating on of resources carrying capacity of regional groundwater [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2003, 35(1): 34-37. (in Chinese)