

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.06.029

三亚河流域水资源供需方案组合比较

程雪蓉¹,任立良¹,杨肖丽¹,刘士军²

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 四川省水利水电勘测设计研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 针对三亚河流域水资源开发利用现状, 以2010年为现状水平年, 2020年、2030年为规划水平年, 分析比较三亚河流域水资源配置方案。设置不同组合的需水方案和供水方案并进行分析比较。最终选定的需水方案是考虑节水及供需平衡反馈形成的修订方案, 供水方案是在现状工程的基础上, 规划水平年考虑增加工程措施, 蓄水工程主要考虑增加小(I)型以上水库的方案。结果表明, 此水资源配置方案可解决各水平年 $P=90\%$ 保证率条件下各分区的缺水状况, 使水资源供需达到基本平衡。

关键词: 供水方案; 需水方案; 水资源配置; 三亚河流域

中图分类号: TV213.4 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2015)06-0174-05

Comparison of supply-demand planning schemes of water resources over Sanya River Basin

CHENG Xuerong¹, REN Liliang¹, YANG Xiaoli¹, LIU Shijun²

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Sichuan Water Resources and Hydroelectric Investigation & Design Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: Based on the situation of water resources utilization over the Sanya River basin, taking 2010 as the current standard year, taking 2020 and 2030 as the planning year, the schemes of supply-demand planning of water resources were compared. Different scenarios of the schemes of water demand and water supply are made up and combined with each other. Among the final schemes of water resources allocation, water-demand scheme include water-saving measures and feedback of water supply and demand balance and water-supply scheme is to store more water resources in addition to the existing water projects, which are mainly small-scale type I reservoirs. The results show that the final scheme above could solve the problem of water shortage over each administrative partition with 90% of the frequency and balance water supply and water demand in general.

Key words: water-supply scheme; water-demand scheme; water resources allocation; Sanya River Basin

随着经济和人口的不断增长, 水资源的需求量越来越大, 水资源的供需矛盾越来越突出^[1-2], 成为一个迫切需要解决的问题。从水资源供需平衡角度研究水资源供需方案有利于解决供需水矛盾。对水资源供需平衡的研究较多^[3-4], 采用的方法有系列法^[5]、典型年法(或称代表年法)^[5]、系统论和线性目标规划法^[6]等, 但这些方法已不能满足社会经济转型期区域可持续发展对水资源利用的整体要求。综合考虑影响水资源供需平衡的各种主要因素, 有利于规划区域社会经济发展模式和发展速度。笔者针

对三亚河流域水资源开发利用现状, 综合考虑水资源供需平衡的发展因素, 采取不同的需水方案和供水方案, 并在不同的供需方案组合中进行择优。

1 流域概况

三亚河是流经三亚市区的主要河流, 流域总面积 626.74 km², 属于热带海洋性季风气候, 长夏无冬, 气候条件优越。季风特征比较明显, 冬季盛行偏北风, 夏季盛行偏南风, 常年以偏东风为主。三亚河流域中上游属低山丘陵区, 树木茂盛, 植被覆盖良

好,占流域面积的 75.2%;下游属沿海平原、台地,占流域面积的 24.8%。三亚河流域的水资源分区是根据行政区进行划分的,分为凤凰、城区、吉阳,面积分别为 240.39 km²、64.70 km²、321.65 km²。

2 需水预测

需水预测^[7]主要对生活需水、生产需水和生态需水进行预测。生活需水分为城镇居民需水和农村居民需水两类,采用人均日用水定额方法进行预测。2010年,三亚河流域平均城镇居民生活用水定额为 243 L/(人·d),预计 2020 年将达到 240 L/(人·d),2030 年达到 235 L/(人·d)。2010 年三亚市综合平均农村居民生活用水定额为 103 L/(人·d),2020 年将增长到 107 L/(人·d),2030 年达到 110 L/(人·d)。城镇生活需水总量计算公式如下:

$$W_{\text{生}} = P_0(1 + \varepsilon)^n K \quad (1)$$

式中: $W_{\text{生}}$ 为某一水平年城镇生活需水总量,万 m³; P_0 为现状人口数,万人; ε 为城镇人口年增长率,%; K 为某一水平年拟定的城镇生活需水综合定额,m³/a; n 为预测年数,a。

生产需水分为第一、二、三产业需水,其中第一产业需水主要指农业需水。农业需水包括农田灌溉需水、林牧渔业需水和牲畜用水 3 部分,其中农田灌溉需水由水田、水浇地需水和菜田需水组成;林牧渔业需水由林果地灌溉用水、草地用水和鱼塘补水组成。现状水平年和两个规划水平年水田和水浇地的综合灌溉水利用系数分别为 0.63、0.69、0.76。但由于资料条件的限制,本研究参考了海南省水资源综合规划报告,直接采用了 90% 的综合灌溉定额。农业需水计算公式如下:

$$W_{\text{农}} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^k A_{ij} \cdot M_{ij} / \eta_i \quad (2)$$

式中: $W_{\text{农}}$ 为全区农业总灌溉需水量,m³; A_{ij} 为第 i 时段第 j 分区某种作物的灌溉面积,hm²; M_{ij} 为第 i 时段第 j 分区某种作物的净灌溉定额,m³/hm²; η_i 为分区灌溉水利用系数; t 、 k 分别为时段和分区数。

第二产业需水包括工业、建筑业需水,第二产业

需水量计算公式如下:

$$W_i = R_i V_i \quad (3)$$

式中: W_i 为工业或建筑业需水量,万 m³; R_i 为工业或建筑业用水定额,万 m³/万元; V_i 为工业或建筑业产值,万元。

第三产业需水是除第一、二产业以外的生产需水。以第三产业万元增加值需水量和第三产业增加值为指标,对第三产业进行需水量预测。2010 年三亚市第三产业用水定额为 89.4 m³/万元,随着用水效率的提高,第三产业需水定额必然有一个逐年下降的趋势,预计 2020 年为 57.6 m³/万元,2030 年为 31.7 m³/万元,2030 年为 22.5 m³/万元。

河道外生态需水分为城市生态环境用水和农村生态环境用水。城市生态环境用水包括城市绿化用水、城市人工河湖补水与城市环境卫生用水。农村生态环境用水包括林草植被建设补水、河道外湖泊湿地补水、地下水回灌补水。由于农村生态环境用水比重较小,故本文不予考虑。根据海南省水资源综合规划资料和其他相关研究成果,可计算出三亚河流域河道生态环境需水量。

3 水资源配置方案比较

配置方案的确定^[5]主要以需水方案、供水方案为基础,以行政分区为单位,结合三亚河流域水资源开发利用的实际情况,对各种方案进行组合形成。供需水量的计算是以《水资源评价导则》为依据的。

3.1 需水方案

在分析三亚河流域 2020 年、2030 年经济社会发展趋势的基础上,在采取强化节水措施的前提下,预测三亚河流域经济、社会、生态总需水量。需水量的预测^[5,8]主要采用指标预测的方法,指标包括社会经济发展指标以及各用水户的需水定额指标。需水方案同时考虑河道内最小生态需水要求的相应流量和河道外城市河湖绿地的生态补水要求等。考虑存在的不确定因素,以各项指标的基本预测值来计算基本方案(方案 a);考虑节水及供需平衡,而形成的修订方案(方案 b)。具体计算结果见表 1,其中农业均按 $P=90\%$ 来水保证率下的需水值统计。

表 1 需水方案设置

万 m³

方案	水平年	全市需水							
		城镇生活需水	农村生活需水	第二产业需水	第三产业需水	农业需水 ($P=90\%$)	城镇生态需水	农村生态需水	总量
方案 a	2010	1471	631	2233	2369	11641	243	0	18588
	2020	2313	582	2798	4191	13314	377	0	23576
	2030	5836	826	5748	16280	24716	925	0	54331
方案 b	2010	1253	573	2027	2019	9824	220	0	15916
	2020	2012	557	2678	3645	10903	361	0	20156
	2030	2928	484	3366	8168	11036	542	0	26523

3.2 供水方案

供水方案包括地表水工程建设、地下水开采利用、污水处理再利用以及非常规水源利用等。

方案 A: 以现状工程为基础, 不考虑增加新的水源工程。

方案 B: 在现状工程的基础上, 规划水平年考虑增加工程措施, 蓄水工程主要考虑增加小(I)型以上水库。引提工程的供水量计算公式如下:

$$W_{\text{供引提}} = \sum_{i=1}^t \min(Q_i, H_i, X_i) \quad (4)$$

式中: Q_i 为第 i 时段取水口的可引流量, m^3 ; H_i 为第 i 时段工程的引提能力, m^3 ; X_i 为第 i 时段需水量, m^3 ; t 为计算时段数。

3.3 方案组合

水资源配置的方案设置需要将以上各个方面的不同需水和供水方案有机结合起来而形成水资源配置方案, 并从中筛选出可行的有参考意义的各类方案进行组合。由于供水方案 A 与需水方案 a 的组合不能解决供需平衡问题, 因此排除。

根据对三亚市未来 30 年在无直接供水和节水

工程投入情形下水资源供需状况的分析, 以及对三亚市未来节水潜力和供水能力的分析, 水资源合理配置研究围绕多种可能的开源措施, 从方式和规模两方面进行了水资源配置方案组合, 见表 2。

表 2 水资源配置方案组合

组合方案	供水方案		需水方案	
	供水方案 A	供水方案 B	需水方案 a	需水方案 b
方案一		✓	✓	
方案二	✓			✓
方案三		✓		✓

3.4 二次供需平衡分析

在一次供需平衡的基础上, 各个配置方案对各区不同水平年、不同保证率的水资源供需平衡进行二次供需平衡^[9-10]计算, 结果见表 3~5。

对于方案一, 在各个保证率下, 凤凰几乎是不缺水的, 城区和吉阳的水量都是供水不能满足需水, 且城区的缺水率要大。对于方案二, 所有地区都是缺水的, 相同保证率下, 凤凰的缺水率最高。与方案一比较而言, 方案二中凤凰的缺水率明显增大, 城区与吉阳的缺水率减少, 且全流域的缺水率是减少的。

表 3 方案一供需平衡计算结果

水平年	区县	$P=50\%$				$P=75\%$				$P=90\%$			
		需水量/ 万 m^3	供水量/ 万 m^3	缺水率/ 万 m^3	缺水率/ %	需水量/ 万 m^3	供水量/ 万 m^3	缺水率/ 万 m^3	缺水率/ %	需水量/ 万 m^3	供水量/ 万 m^3	缺水率/ 万 m^3	缺水率/ %
2010	城 区	8 295	8 295	0	0	8 318	8 318	0	0	8 344	8 551	0	0
	吉 阳	3 443	3 443	0	0	3 722	3 722	0	0	4 051	4 051	0	0
	凤 凰	3 332	3 998	0	0	3 601	4 301	0	0	3 899	4 340	0	0
	全流域	15 070	15 736	0	0	15 641	16 341	0	0	16 294	16 942	0	0
2020	城 区	12 068	12 068	0	0	12 095	11 710	385	3.2	12 099	12 099	0	0
	吉 阳	4 410	4 410	0	0	4 746	4 722	24	0.5	4 892	4 892	0	0
	凤 凰	4 217	4 217	0	0	4 532	4 532	0	0	4 575	4 575	0	0
	全流域	20 695	20 695	0	0	21 373	20 964	409	1.9	21 566	21 566	0	0
2030	城 区	19 484	11 070	8 414	43.2	19 511	10 965	8 546	43.8	19 516	11 727	7 789	39.9
	吉 阳	5 019	4 205	814	16.2	5 354	3 563	1 791	33.5	5 509	4 171	1 338	24.3
	凤 凰	4 842	4 842	0	0	5 156	5 156	0	0	5 210	5 210	0	0
	全流域	29 345	20 117	9 228	31.4	30 021	19 684	10 337	34.4	30 235	21 108	9 127	30.2

表 4 方案二供需平衡计算结果

水平年	区县	$P=50\%$				$P=75\%$				$P=90\%$			
		需水量/ 万 m^3	供水量/ 万 m^3	缺水率/ 万 m^3	缺水率/ %	需水量/ 万 m^3	供水量/ 万 m^3	缺水率/ 万 m^3	缺水率/ %	需水量/ 万 m^3	供水量/ 万 m^3	缺水率/ 万 m^3	缺水率/ %
2010	城 区	7 944	8 295	0	0	7 964	8 107	0	0	8 009	8 344	0	0
	吉 阳	3 018	3 895	0	0	3 255	4 415	0	0	3 757	4 118	0	0
	凤 凰	2 887	2 887	0	0	3 112	3 112	0	0	3 627	3 627	0	0
	全流域	13 849	15 077	0	0	14 331	15 634	0	0	15 393	16 089	0	0
2020	城 区	11 253	11 253	0	0	11 274	12 095	0	0	11 301	12 099	0	0
	吉 阳	3 613	3 613	0	0	3 874	4 770	0	0	4 221	4 888	0	0
	凤 凰	3 422	3 422	0	0	3 663	3 836	0	0	3 971	4 135	0	0
	全流域	18 288	18 288	0	0	18 811	20 701	0	0	19 493	21 122	0	0
2030	城 区	17 225	15 972	1 253	7.3	17 244	14 810	2 434	14.1	17 260	16 031	1 229	7.1
	吉 阳	3 873	3 283	590	15.2	4 110	3 520	590	14.4	4 350	4 165	185	4.3
	凤 凰	3 717	1 168	2 549	68.6	3 936	3 132	804	20.4	4 126	2 234	1 892	45.9
	全流域	24 815	20 423	4 392	17.7	25 290	21 462	3 828	15.1	25 736	22 430	3 306	12.8

表5 方案三供需平衡计算结果

水平年	区县	P=50%				P=75%				P=90%			
		需水量/ 万 m ³	供水量/ 万 m ³	缺水 量/ 万 m ³	缺水 率/ %	需水量/ 万 m ³	供水量/ 万 m ³	缺水 量/ 万 m ³	缺水 率/ %	需水量/ 万 m ³	供水量/ 万 m ³	缺水 量/ 万 m ³	缺水 率/ %
2010	城 区	7 944	7 944	0	0	7 964	7 964	0	0	8 009	8 009	0	0
	吉 阳	3 018	3 735	0	0	3 255	4 246	0	0	3 757	4 195	0	0
	凤 凰	2 887	2 887	0	0	3 112	3 112	0	0	3 627	3 627	0	0
	全流域	13 849	14 566	0	0	14 331	15 322	0	0	15 393	15 831	0	0
2020	城 区	11 253	11 253	0	0	11 274	11 274	0	0	1 1301	1 1301	0	0
	吉 阳	3 613	4 375	0	0	3 874	4 533	0	0	4 221	4 221	0	0
	凤 凰	3 422	3 422	0	0	3 663	3 663	0	0	3 971	3 971	0	0
	全流域	18 288	19 050	0	0	18 811	19 470	0	0	19 493	19 493	0	0
2030	城 区	17 225	17 225	0	0	17 244	17 244	0	0	17 260	17 260	0	0
	吉 阳	3 873	3 873	0	0	4 110	4 110	0	0	4 350	4 350	0	0
	凤 凰	3 717	3 676	41	1.1	3 936	3 306	630	16	4 126	4 126	0	0
	全流域	24 815	24 774	41	0.2	25 290	24 660	630	2.5	25 736	25 736	0	0

方案三中,90%的保证率下,全流域是不缺水的,50%、75%的保证率下仅凤凰有缺水的情况。

3个方案在合理的水资源配置下,除了方案一中在2020年75%的保证率下,城区和吉阳稍有缺水之外,大部分均能满足现状水平年2010年和规划水平年2020年的用水需求。由于社会经济需水量的增加,3个方案在2030年某些区域都会造成缺水,但缺水程度不同。在相同保证率的情况下,全流域的缺水率在方案一的情况下最大,均大于30%;方案二次之,均小于20%;

在方案三的情况下缺水率最小,均小于3%。在90%的来水保证率下,方案一、方案二和方案三流域缺水分别达到9 127万 m³、3 306万 m³和0,缺水率分别为30.2%、12.8%和0。因此,采用提高水的重复利用率、减少输供水过程中的漏损、分质供水、减少排污等节水技术,需水方案b中的总需水量低于需水方案a;通过采取增加工程措施的供水方案B的供水量高于供水方案A,由需水方案b和供水方案B结合的方案三是最合理的。

4 结 论

当前,三亚河流域自然和社会环境正在发生着剧烈变化,主要体现在以下两个方面:一是经济和社会发展方式的改变将对三亚河流域水资源需求的格局产生一定的影响;二是气候与下垫面条件的不断变化会导致流域产流特性发生变化,进而造成三亚河流域未来水资源量相应发生变化,成为影响水资源供需配置结果的不确定因素。

在增加供水工程措施的前提下,同时实施节水,可保证三亚河流域经济社会的正常需水要求,且供水工程配置适度超前,使得供需平衡留有余地,以适应社会经济的超预期发展的水资源配置方案三,可以基本解决各水平年P=90%保证率条件下各分区

的缺水状况,使水资源供需达到平衡。因此对于三亚河流域,有必要增加供水工程措施,同时采取节水技术,尽量减少未来的缺水量。

参考文献:

- [1] VÖRÖSMARTY C J, GREEN P, SALISBURY J, et al. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth[J]. Science, 2000, 289: 284-288.
- [2] 曾发琛. 西安市水资源供需平衡分析及优化配置研究[D]. 西安: 长安大学, 2005: 2-9.
- [3] 钱正英. 中国水资源战略研究中几个问题的认识[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2001, 29(3): 1-7. (QIAN Zhengying. About some problems in research of water resources strategy of China [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2001, 29(3): 1-7. (in Chinese))
- [4] 吴伟, 张剑峰. 沈阳市水资源供需分析及可持续利用战略研究[J]. 水资源保护, 2004, 20(3): 40-42. (WU Wei, ZHANG Jianfeng. Analyze on supply-demand balance of water resources and study on sustainable development [J]. Water Resources Protection, 2004, 20(3): 40-42. (in Chinese))
- [5] 董增川. 水资源规划与管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 73-89.
- [6] 张领先, 傅泽田, 王德成, 等. 唐山市沙流河镇水资源供需平衡优化分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 38-42. (ZHANG Lingxian, FU Zetian, WANG Decheng, et al. Optimization of supply and demand balance of water resources at Shaliuhe Town of Tangshan City [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 38-42. (in Chinese))
- [7] 王双银, 宋孝玉. 水资源评价[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2008: 188-205.
- [8] 关业祥. 对水资源配置的认识与思考[J]. 水利规划与资源配置, 2005(5): 21-23. (GUAN Yexiang. Thought on water resources allocation [J]. China Water Resources,

2005 (5):21-23. (in Chinese))

- [9] 王浩,秦大庸,王建华. 黄淮海流域水资源合理配置研究[M]. 北京:科学出版社,2003:6-8.
- [10] 游进军,甘泓,王浩. 水资源配置模型研究现状与展望[J]. 水资源与水工程学报,2005,16(3):1-5. (YOU

Jinjun, GAN Hong, WANG Hao. Advance in water allocation model and prospect [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2005, 16 (3) :1-5. (in Chinese))

(收稿日期:2014-12-01 编辑:彭桃英)

(上接第 157 页)

- [7] 黄华坚. 果壳活性炭吸附水体中邻苯二甲酸二丁酯的研究:平衡、动力学和热力学[D]. 广州:华南师范大学,2010.
- [8] 张鹏伟,王郑,余丹,等. 银杏叶粉末活性炭对水中 DBP 的吸附效能与机理[J]. 湖北农业科学,2013,52(10):2293. (ZHANG Pengwei, WANG Zheng, YU Dan, et al. Adsorption performance and mechanism of ginkgo leaves powder acticarbon on DBP in water [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52 (10) : 2293. (in Chinese))
- [9] 胡涛,钱运华,金叶玲,等. 凹凸棒土的应用研究[J]. 中国矿业,2005,14(10):73-76. (HU Tao, QIAN Yunhua, JIN Yeling, et al. Study on the application of attapulgite clay [J]. China Mining Magazine, 2005, 14 (10):73-76. (in Chinese))
- [10] 陈天虎. 改性凹凸棒土黏土吸附对比实验研究[J]. 非金属矿,2005,23(3):11-12. (CHEN Tianhu. Adsorption of modified attapulgite clay contrast experiment [J]. Non-Metallic Mines, 2005, 23 (3) :11-12. (in Chinese))
- [11] 王学江,张全兴,李爱民,等. NDA-100 大孔树脂对水溶液中水杨酸的吸附行为研究[J]. 环境科学学报,2002,22(5):658-660. (WANG Xuejiang, ZHANG Quanxing, LI Aimin, et al. Adsorption of salicylic acid from aqueous solution by NDA-100 macroporous resin

[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002,22(5):658-660. (in Chinese))

- [12] 王穆君,孙越,周玮,等. 大孔树脂对水溶液中邻苯二甲酸的吸附行为及其热力学研究[J]. 离子交换与吸附,2004,20(6):533-540. (WANG Mujun, SUN Yue, ZHOU Wei, et al. Study on thermodynamic properties for adsorption of o-phthalic acid from aqueous solution by macroporous resin [J]. Ion Exchange and Adsorption, 2004, 20(6):533-540. (in Chinese))
- [13] 严伟峰,呼晓明,陈英文,等. 阳离子交换树脂对 NH_4^+ 的吸附热力学与动力学研究[J]. 环境污染与防治,2012,34(10):11-19. (YAN Weifeng, HU Xiaoming, CHEN Yingwen, et al. Investigation on kinetics and thermodynamics of removal of NH_4^+ adsorption on exchange resin [J]. Environmental Pollution & Control, 2012, 34 (10):11-19. (in Chinese))
- [14] 于鲁冀,吴小宁,梁亦欣,等. NDA-66 树脂对邻苯二甲酸的吸附及脱附性能[J]. 化工环保,2014,34(1):1-4. (YU Luji, WU Xiaoning, LIANG Yixin, et al. Adsorption and desorption of o-phthalic acid on resin NDA-66 [J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2014, 34(1):1-4. (in Chinese))
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.

(收稿日期:2015-01-16 编辑:彭桃英)

(上接第 173 页)

- [11] 王有乐. 区域水污染控制多目标组合规划模型研究[J]. 环境科学学报,2002,22(1):107-110. (WANG Youle. Study on the multi-purposes combination planning model of regional water pollution control [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2002,22(1):107-110. (in Chinese))
- [12] 林高松,李适宇,江峰. 基于公平区间的污染物允许排放量分配方法[J]. 水利学报,2006,37(1):52-57. (LIN Gaosong, LI Shiyu, JIANG Feng. Allocation method of allowable waste load in river based on the principle of equitable interval [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006,37(1):52-57. (in Chinese))
- [13] 盛虎,李娜,郭怀成. 流域容量总量分配及排污交易潜力分析 [J]. 环境科学学报,2010,30(3):655-662. (SHENG Hu, LI Na, GUO Huaicheng. Analysis of total amount allocation and emission trading potential in a watershed [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30

(3):655-662. (in Chinese))

(收稿日期:2015-03-04 编辑:徐娟)

