

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.13.010

# 三亚市水资源承载力分析及水资源配置优化研究

寻 昊

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200434)

**摘 要:** 水资源是三亚市未来发展的重点掣肘,分析最近22年三亚市的降雨量及水资源总量发现,在50%、70%、90%的降雨保证率下,三亚市水资源总量分别为 $15.95 \times 10^8$ 、 $13.83 \times 10^8$ 、 $11.18 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。根据三亚市的供水现状,在供水保证率为97%的前提下,三亚市水资源可利用总量为 $5.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,水资源人口承载力为212万人(城镇化率为87%)。三亚市规划总供水规模为 $123.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,当地水资源可利用总量无法满足未来城市规划的需求,建议通过区域调水、新建供水水源地等措施保障供水安全。

**关键词:** 三亚市; 水资源可利用量; 水资源承载力; 区域调水

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)13-0059-05

## Analysis of Water Resources Carrying Capacity and Optimization of Water Supply System in Sanya City

XUN Hao

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co. Ltd., Shanghai 200434, China)

**Abstract:** Water resources are key constraints for the future development of Sanya City. The rainfall data and the total water resources of Sanya City in the past 22 years were analyzed, and the total amount of water resources were  $15.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,  $13.83 \times 10^8 \text{ m}^3$  and  $11.18 \times 10^8 \text{ m}^3$  respectively under the rainfall guarantee rate of 50%, 70% and 90%. According to the current situation of water supply in Sanya City, the total available water resources were  $5.50 \times 10^8 \text{ m}^3$  and the demographic carrying capacity of water resources was 2.12 million (urbanization rate of 87%) when the water supply guarantee rate was 97%. The planned total water supply scale of Sanya City was  $123.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , and the local total available water resources were unable to meet the demand of future urban planning. Therefore, regional water transfer and new water supply sources were recommended to ensure water supply security.

**Key words:** Sanya City; available water resources; carrying capacity of water resources; regional water transfer

三亚市属于热带海洋季风气候,水资源丰富,但分布极其不均,工程性缺水成为制约城市发展的主要因素之一<sup>[1]</sup>。空间层面,水资源地域差距明显,三亚市全境北部靠山,南部临海,北部山区降雨量约为2 000 mm,南部沿海地区仅为1 200 mm左右,地表河流大多由北至南呈放射状独流入海,大多源短流急,建库条件较差,天然存蓄能力弱,开发利用难

度大;三亚市东西方向呈狭长状多角形,沿地形地貌分成东、中、西3个相对独立的水系,其中东、西部水资源分布较多,中部水资源最少,需采取西水中调、东水中调等工程措施保障水资源供给。

时间层面,汛期降雨量占全年80%以上,大量淡水资源随河道泄洪入海而白白浪费;年降雨量和水资源总量在多年均值附近呈现小周期丰枯交替变

化,丰水年与枯水年的降雨量相差可达数倍,较难达到供水保证率。

供需层面,旅游高峰期及60%以上的农业灌溉用水均在11月一次年4月。恰逢枯水年时,生产、生活用水主要依靠水库,对工程依赖程度高。为了满足未来发展的需求,需要分析三亚市水资源承载力,并对现行供水规划方案进行优化。

## 1 水资源可利用量分析

### 1.1 水资源总量分析

图1为三亚市1997年—2018年降雨量及水资源总量情况。

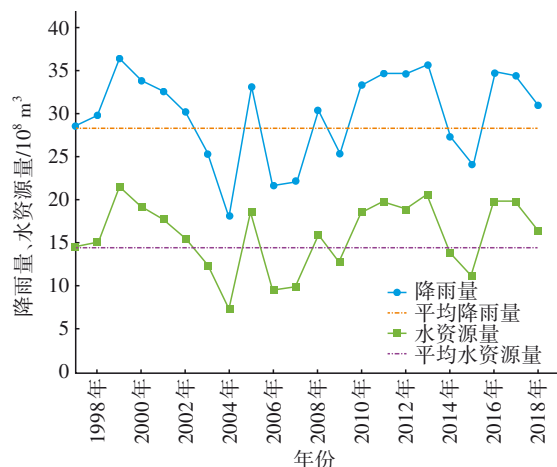


图1 三亚市1997年—2018年降雨量及水资源总量  
Fig.1 Rainfall and total water resources of Sanya City from 1997 to 2018

从图1可以看出,三亚市年降雨量及地表水资源总量整体稳定,仅在多年均值附近呈小周期丰枯交替变化,1999年、2000年、2005年、2010年、2011年、2013年、2016年、2017年为丰水年(2012年的水资源总量偏低,故不作为丰水年),占总年份的36.4%;2004年、2006年、2007年、2015年为枯水年,占总年份的18.2%,且最多连续两年总量低于平均水平。

对三亚市1997年—2018年的降雨量数据进行皮尔逊Ⅲ型曲线拟合,并进行适配线选择。经分析,确定最佳的适配条件为 $C_s=2C_v$ ( $C_v$ 为变差系数, $C_s$ 为偏差系数),如图2所示。同时,对降雨量和地表水资源总量进行相关性分析,结果如图3所示,其相关系数 $R^2$ 为0.99,说明两者之间有很明确的线性关系。

三亚市地下水资源贫乏,市区大部分地区为海

湾盆地,并且在陆地上为相互独立的水文地质单元,地下水补给量很小。三亚市潜水一般埋藏较深,含水层不但薄而且变化不稳定,可出水量较少,存储量不大。地下水资源属于不可再生资源,为了保护环境,三亚市不应将地下水资源作为常规饮用水源,仅可考虑作为城乡抗旱和应急用水备用,并且目前使用地下水作为饮用水源的村镇要逐渐纳入城乡统一供水范畴,逐渐降低地下水资源使用量。

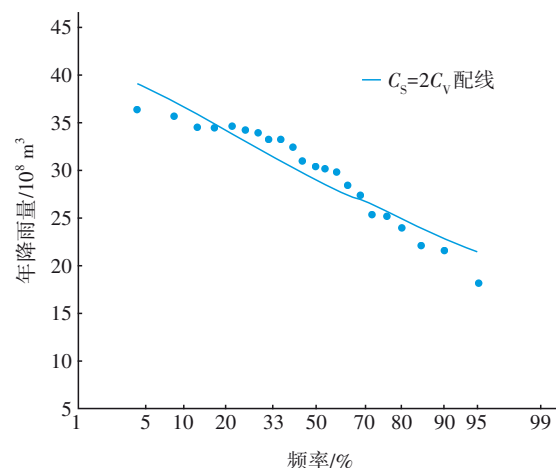


图2 降雨量皮尔逊Ⅲ型曲线模拟

Fig.2 Pearson III curve simulation of rainfall

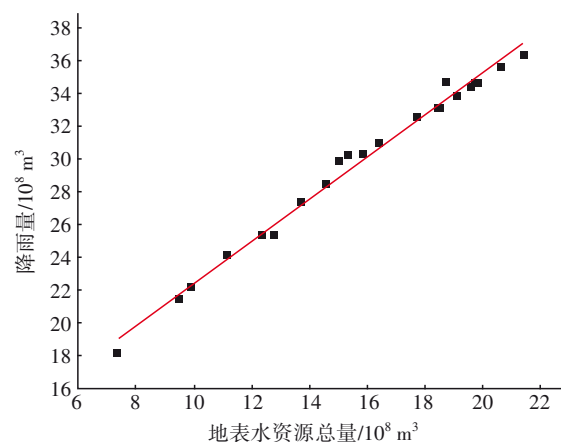


图3 降雨量与水资源总量的相关性曲线

Fig.3 Correlation curve between rainfall and total water resources

地下水资源年际变化较稳定,以2018年地下水资源量作为参考,其总量共计 $2.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中平原地区地下水资源量为 $1.59 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,山区为 $1.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,大部分与地表水资源重复,其中不重复计算量仅为 $0.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在50%、70%、90%的降雨保证率下,三亚市降雨量、地表水资源总量和水资源

总量情况见表 1。

表 1 不同降雨保证率下三亚市水资源总量

Tab.1 Total water resources of Sanya City under different rainfall guarantee rates  $10^8\text{ m}^3$

项 目	保证率=50%	保证率=70%	保证率=90%
降雨量	29.60	26.89	23.49
地表水资源量	15.68	13.56	10.91
水资源总量	15.95	13.83	11.18

1.2 三亚河水质分析

一般情况下,水资源承载力需要考虑水质的约束<sup>[2]</sup>。但是三亚市以旅游为主,工业体量很少,总体水质较好,水质型缺水问题基本消除。2018 年三亚市已基本消除黑臭水体,市域内三大河流水质达持续优良水平。其中,宁远河水质达到地表水Ⅱ类标准,三亚河和西河水质达到地表水Ⅲ类标准,东河水质达到地表水Ⅳ类标准,藤桥河水质达到地表水Ⅱ类标准,两个大中型湖库和集中式饮用水水源地水质均为地表水Ⅱ类标准。综上,水质问题对三亚水资源承载力影响不大,不进行重点考虑。

1.3 水资源可利用总量分析

水资源可利用总量是指在可预见的时期内,在统筹考虑生活、生产和生态环境用水的基础上,通过经济合理、技术可行的措施在当地水资源中可利用的最大水量。

水库工程是未来三亚市供水的主要方向,优先利用三亚市内 1 座大型水库、6 座中型水库、86 座小型水库和 54 座山塘作为水源。目前,三亚市水源主要来自水库工程,约占总供水量的 90%,三亚城区水源全部来自水库,其中三亚东部城区以池田水库、新民水库为水源;中部以大隆水库调水为主,以福万-水源池水库、半岭水库为辅;西部以大隆水库为供水水源。

近年来,生态问题越来越受到关注,水库蓄水需要考虑河流的生态需水量,保证其基本生态环境不受破坏<sup>[3]</sup>。根据 Tennant 河流生态标准,河流流量达到平均流量的 60%~100%,可以保证河宽、水深及流速为水生生物提供优良的生长环境;根据《河湖生态环境需水计算规范》(SL/Z 712—2014)规定,对于水资源短缺、用水紧张的河流,一般在“好”的分级之下,根据节点最小生态环境流量及径流特征,选择合适的生态环境流量百分比。考虑到三亚市主要城区皆位于河流下游沿海岸线一带,旅游业是

城市发展的主导产业,其河流生态环境应该维持在标准“好”以上,取 10 月一次年 3 月的河道流量占比为 25%、4 月—9 月的河道流量占比为 45%。

在经济合理、技术可行水库的兴利库容下,供水保证率可以达到 90% 以上;当降雨量保证率为 70% 时,可使三亚市供水保证率达到 97% 以上,能够满足未来城市韧性、安全发展的需求。对三亚市大中型水库汇水流域水资源可利用量进行分析,可以估算出在供水保证率为 97% 的条件下,三亚市可利用水资源总量为  $5.50\times 10^8\text{ m}^3$ ,小型水库及其他水资源可利用量为  $6\,992\times 10^4\text{ m}^3$ ,具体计算结果如表 2 所示。

表 2 可利用水量计算结果

Tab.2 Calculation results of available water resources

项目		集水面 积/ $\text{km}^2$	总过水量/ $10^4\text{ m}^3$	生态需水量/ $10^4\text{ m}^3$	可利用水 量/ $10^4\text{ m}^3$
大型 水库	大隆水库	749	54 572	18 009	32 197
	半岭水库	24	1 749	577	1 032
中型 水库	抱古水库	28.9	2 106	695	1 242
	池田水库	220.6	16 073	5 304	9 483
	福万水库	33.3	2 426	801	1 431
	水源池 水库	53	3 862	1 274	2 278
	汤池水库	8	583	192	344

2 水资源承载力分析

按照《海南省人民政府办公厅关于印发海南省实行最严格水资源管理制度考核办法的通知》(琼府办〔2014〕112 号)确定的三亚市用水总量控制目标为:2030 年不超过  $4.205\times 10^8\text{ m}^3$ ,2050 年可利用水量达到  $5.500\times 10^8\text{ m}^3$ 。三亚市用水主要分为农业用水、工业用水、城市生态用水和生活用水 4 部分。

2.1 农业用水量

三亚市现代化农业发展迅速,近年来农业用水量逐年提升,预计 2030 年农业用水达到峰值。根据 2014 年—2018 年三亚市农业用水数据,农业用水量由  $11\,190\times 10^4\text{ m}^3$  逐步增至  $11\,655\times 10^4\text{ m}^3$ ,总增长率为 4.2%,灌溉有效系数为 0.61,估算 2030 年灌溉有效系数可增至 0.63,农业用水量达  $12\,693\times 10^4\text{ m}^3$ ;2050 年灌溉有效系数可增至 0.65,农业用水量达  $12\,303\times 10^4\text{ m}^3$ 。

## 2.2 工业用水量

三亚以国际化热带滨海旅游为主要产业,限制重工业发展。目前主要工业耗水行业为建筑业以及与旅游相关的轻工业,且总耗水量的占比仅为2.7%。2018年三亚市工业生产耗水量为 $838 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,预测期内可采用2018年的数据,分析结果对水资源承载力整体分析无影响。

## 2.3 生态需水量

本研究的生态需水量不包括河湖、湿地等,仅包括人为措施供给的城镇环境用水,特指道路广场和绿化用水。三亚市城镇建设用地中,市政道路广场的用地面积约为 $3\,000 \text{ hm}^2$ ,绿地建筑面积约为 $2\,100 \text{ hm}^2$ ,浇洒道路广场用水量按 $2.0 \sim 3.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 计算,浇洒绿地用水量按 $1.0 \sim 3.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 计算,按照近期标准的规定,二者皆取 $2.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ,远期取低值,估算2030年城镇生态需水量为 $3\,723 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,2050年城镇生态需水量为 $2\,956.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,该部分用水主要由城镇中水系统供给。

## 2.4 生活原水可利用总量

根据三亚市水资源可利用量,除去农业用水、工业用水和生态需水量,可以得出生活原水2030年的最大出库总量为 $28\,519 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,2050年的最大出库总量为 $41\,859 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

## 2.5 三亚市以水定人分析

原水出库后经输水管送至自来水厂,处理后的水经二级泵站加压后由城镇配水管网送至各用水点。随着输水管年限的增加,原水漏损率逐渐增加。现状管网漏损量与水厂自用水量之和为原水取水量的13.8%,预计2030年会增至15.0%,2050年增至18.0%。预计2030年城市水厂最大供水规模为 $24\,241 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,2050年为 $34\,325 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。结合城市配水管网漏损率和未预见水量,并考虑供水管网管材和老旧情况,现状配水管网总的漏损水量占城镇供水规模的17.7%,老城区近期难以改造完成,预测该项损失近期会逐渐增大,预计2030年增至20.0%。未来管网改造完成后,预计2050年该项数值会减少至15.0%。综上所述,2030年城市实际可供水量达到 $19\,393 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,2050年达到 $29\,175 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

由于三亚市旅游业发达,现状候鸟人口为41万人,占三亚常住人口的一半,旅游人群的人均用水量明显高于当地居民的<sup>[4]</sup>,导致城镇综合生活用水

量大于国内大部分一区II型大城市,并且该用水量数值逐年增加。现状农村综合生活用水量变化不大,但是随着城市化的推进,逆城市化也初现端倪。农村生活水平的大幅改善,反映在用水方面,其用水量将达到城市综合生活用水定额的下限值附近,具体见表3。

表3 平均综合生活用水量

Tab.3 Average comprehensive domestic water scale

$\text{L} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$

时间	平均综合生活用水量	
	城镇居民	农村居民
2015年	269.0	145.8
2016年	278.9	151.5
2017年	282.6	156.9
2018年	293.9	145.0
2030年	350.0	160.0
2050年	400.0	220.0

三亚市现状城镇化率为75%,预计2030年城镇化率增至80%。将三亚市大中水库全部用于供给城镇用水,小型水库及其他可利用量用于乡村供水,可估算出三亚市最大城镇化率为87%。通过以上分析可以得出三亚市2030年和2050年的水资源可承载人口总量,具体见表4。

表4 水资源承载力预测

Tab.4 Prediction of water resources carrying capacity

时间	城镇人口数/万人	农村人口数/万人	总人口数/万人	城镇化率/%
2030年	136.2	34.1	170.3	80
2050年	184.7	27.6	212.3	87

## 3 三亚市供水系统分析

### 3.1 供水现状分析

在三亚市现有规划中,供水规模总计为 $123.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,年规划供水量约为 $45\,150 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。其中,中部供水规模为 $48.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,主要由凤凰水厂、荔枝沟水厂和金鸡岭水厂供水;西部供水规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,由崖城水厂供给;东部供水规模为 $41 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,由海棠湾水厂和青田水厂供给。育才地区和南岛农场设置专门的水厂供水,供水规模分别为 $2.2 \times 10^4$ 和 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

根据上述分析,在保证供水可靠性的前提下,三亚市可利用水资源年供水能力为 $34\,325 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,与规划用量相差24%;中西部地区的水源皆来自大



隆水库和抱古水库,二者的总供水能力为  $27\,250 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,仅能满足崖州水厂和凤凰水厂的需水量;东部海棠湾水源主要来自池田水库,其供水能力仅为  $7\,776 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,远远无法满足海棠湾水厂和青田水厂需水量( $14\,965 \times 10^4 \text{ m}^3$ ),东部供水保证率无法满足。总体来说,三亚市给水能力不足,部分地区供水保证率偏低,区域单水源供水现象突出,供水安全无法保障。

### 3.2 未来水资源配置方案调整

为了应对上述问题,需要对三亚市给水的整体规划做出相应调整。

区域水资源调整,增加三亚中西部供水能力:为了保障三亚城区用水,将昌化江引水至大隆水库工程已经逐渐引起关注,通过工程措施,修建大型引水管渠,将乐东县昌化江丰富的水资源引至宁远河上游,同步增加大隆水库的水资源量,满足未来三亚市中西部水资源的需求。在三亚区域内,为了协调水资源供给,满足农田灌溉、生态发展等方面的需要,需进行区域内水系连通和引水渠道等建设。

规划藤桥河供水水源地,确保东部供水保证率:藤桥河是海南岛南部较大的河流,发源于保亭县的昂日岭,至三亚市藤桥港入海,年均径流量为  $3.07 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。除池田水库外,需新规划一座供水水源地,满足东部地区  $7\,189 \times 10^4 \text{ m}^3$  的需水量。

淘汰中小水厂,提高供水规模效益:淘汰荔枝沟水厂和金鸡岭水厂,增大凤凰水厂供水能力,发挥规模效益。老水厂位于三亚老城区,供水规模总计为  $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,水源地较小,供水保证率不高,从社会发展角度考虑,应予以取消。

构建区域应急联动供水系统,应对饮用水卫生紧急事件:整体上看,三亚市供水水源主要为藤桥河和宁远河,每个湾区组团仅有一座水厂供给用水。单水源供水系统安全性差,无法应对水源地污染、水厂事故等特大公共事件,需要构建三亚市应急联动供水系统。该系统需要4个水厂供水主干管网,并在供水区域连接处设置区域调水泵站,一旦某一地区发生特殊事件,可由旁边的供水管网临时供应一部分水量,确保城镇居民生活不受影响<sup>[5]</sup>。

### 4 结论

在城市供水保证率为97%的前提下,三亚市水

资源可利用总量为  $5.50 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,水资源人口承载力为212万人,城镇化率为87%。现状水资源无法满足三亚市未来供水需求,需采用区域调水增加大隆水库可供水规模,满足中、西部用水需求。新建藤桥河供水水源地,保障东部海棠湾水厂的供水安全。构建区域应急联动供水系统,城区水厂干管联网,保证紧急状况下城镇的饮用水安全。

### 参考文献:

- [1] 揭秋云. 海南省旅游水资源承载力研究[D]. 海口:海南大学,2011.  
JIE Qiuyun. Research on Hainan Tourism Water Resources Carrying Capacity [D]. Haikou: Hainan University, 2011(in Chinese).
- [2] 褚雅君,许萍,王海东,等. 基于区域水量-水质的水资源承载力研究[J]. 中国给水排水,2020,36(3): 54-61.  
CHU Yajun, XU Ping, WANG Haidong, et al. Water resources carrying capacity based on regional water quantity and quality [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(3): 54-61(in Chinese).
- [3] LIU F, QIN T L, YAN D H, et al. Classification of instream ecological water demand and crucial values in a semi-arid river basin [J]. Science of the Total Environment, 2020, 712: 136409.
- [4] 罗艳菊,黄宇,毕华,等. 海南省各县市旅游用水影响分析[J]. 热带地理,2010,30(2):200-204.  
LUO Yanju, HUANG Yu, BI Hua, et al. Analysis on the impact of tourism water use in counties and cities of Hainan Province[J]. Tropical Geography, 2010, 30(2): 200-204(in Chinese).
- [5] 王磊磊,卢峰,吴磊. 双向增压应急泵站在城市供水中的应用[J]. 中国给水排水,2019,35(6):80-84.  
WANG Leilei, LU Feng, WU Lei. Application of bidirectional pressure booster emergency pump station in urban water supply [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(6): 80-84(in Chinese).

作者简介:寻昊(1989-),男,河南商丘人,硕士,注册给排水工程师,注册环保工程师,注册城乡规划师,主要从事市政规划、海绵城市建设等方面的工作。

E-mail:627818338@qq.com

收稿日期:2020-04-09

修回日期:2020-06-12

(编辑:任莹莹)