

供水能力相关概念及计算方法辨析

游进军,林鹏飞,蒋云钟,付敏

(中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室,北京 100038)

摘要: 鉴于供水能力涉及的影响因素较多,实际应用中存在不同的认识,从概念到计算方法都存在分歧,探讨供水能力的相关概念,辨析影响供水能力的关键要素,界定单一工程、供水系统和区域整体供水能力之间的区别与联系,提出不同类型供水能力的含义,对比供水能力与可供水量、供水保证率之间的区别和联系。以成都市为案例,核算了该区域的供水能力,为供水能力相关概念的分析、计算和应用提出建议。

关键词: 供水能力;可供水量;水资源可利用量;需水量

中图分类号: TV213.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2021)06-0072-06

Analysis of concepts and calculation methods related to water supply capacity//YOU Jinjun, LIN Pengfei, JIANG Yunzhong, FU Min(*State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China*)

Abstract: Different understandings and definitions of water supply capacity exist in practice from concepts to calculation methods due to many factors involved. The relevant concepts of water supply capacity were discussed and the key factors affecting water supply capacity were analyzed. Differences and linkages between a single project, a water supply system and the regional overall water supply capacity were discussed. The meanings of water supply capacity in different situations were suggested. The relationships between water supply capacity and available water supply, water supply guaranteed rate and other related concepts were compared. Chengdu city was taken as an example, of which the regional water supply capacity was accurately accounted. Some suggestions were put forward for the calculation and application of related concepts in water supply capacity.

Key words: water supply capacity; available water supply; availability of water resources; water demand

供水能力是一个常用的水利术语,对于区域水资源开发状况评估、供需形势分析以及相关决策具有重要意义。供水能力能够反映区域水资源开发形势,是确定水利工程规划建设方案的重要参考,体现了水利服务民生、支撑经济社会发展的能力,也是水利供给侧改革的主要成效指标^[1]。供水能力分析是水资源中长期规划重要工作,也是水资源开发利用和配置体系的重要内容。从水利统计数据看,全国层面以及大多数地区统计的供水能力均高于实际供用水量,该结果与当前供需形势和缺水现状存在矛盾,使得水源工程规划建设的必要性受到质疑。造成该现象的主要原因是缺乏对供水能力的科学认识和统计^[2]。随着生态文明理念的深入和最严格水资源管理制度的全面推行,我国水资源供需形势出现了明显变化,对供水能力的科学客观评价提出了更高要求。因此,明晰供水能力相关概念,对提高

水资源管理以及水利工程规划工作具有重要意义。

1 供水能力相关概念

供水能力概念提出较早,其中文含义浅显易懂,专业和非专业领域均广泛引用。文献检索表明,虽然大量文献和报告中使用供水能力这一概念,并延伸使用工程供水能力、区域供水能力、现状和规划供水能力等术语,然而很少有人专门针对供水能力的定义进行深入探讨。

GB/T 50095—2014《水文基本术语和符号标准》将供水能力定义为“利用供水工程设施,对水量进行存储、调节、处理、传输,可以向用水户分配的具有一定保证程度的最大供水量”。GB/T 30943—2014《水资源术语》沿用了该定义,《中国资源科学百科全书》水资源科学分册的定义基本相同。该定义的要点是供水能力应针对工程分析,其次是满足

一定保证程度向用水户分配的能力,第三是满足要求的最大供水量,较为准确的总结了工程供水能力分析要求。

然而,工程供水能力不能准确表达区域的供水安全状况,实际工作中区域整体供水能力对于决策更为重要。《全国水资源综合规划技术细则》提出了区域供水能力的概念,将其定义为“区域内所有供水工程组成的供水系统,依据系统来水条件、工程状况、需水要求及相应的运用调度方式和规则,提供不同用户、不同保证率的供水量”,并区分了现状和规划供水能力。现状供水能力是指现状条件下相应供水保证率的供水量。规划新增供水能力是考虑地表、地下水和其他可能的供水工程的变化,与现状条件相比对应保证率能提高的供水量。该技术大纲以规划为目标突出了区域供水能力的概念,以及不同用户和保证率要求的影响,说明供水能力的概念具有一定的弹性,表征了不同条件下的供水量。目前无论技术管理人员还是研究人员,对供水能力的基本含义和相关要素都有一定共识,但对其概念缺乏深入理解且缺乏相对统一规范的计算方法,导致具体分析应用中存在各种争议。

由于供水能力对水利规划管理工作 and 供需分析的重要性,部分研究对其含义和计算要求进行了探讨。台世舜^[3]提出供水能力一般指蓄、引、提工程设计供水规模,与来水、需水没有直接联系,随着工程规模的扩大,供水能力可相应增加。甘泓等^[4]提出水资源系统的稳定供水能力需要从系统的可水量、供水保证率和供水破坏深度三方面衡量。方红远等^[5]指出区域供水能力需要综合考虑需求大小、工程容量等动态变化条件。游进军等^[6]考虑区域水量需求、天然来水和工程条件等三方面因素,提出以引提水和河网调蓄工程调度计算为中心的区域供水概化算法。郭旭宁等^[7]指出水库群供水能力不仅取决于水库的兴利库容,而且与联合调度规则密切相关。柳林云等^[8]以蓄水、引水、提水、调水工程供水能力之和作为长江流域区域供水能力,分析了长江流域近 20 年的开发利用进程和潜力。林鹏飞等^[9]研究了并联水库系统供水能力的影响因素,证明了联合供水系统的供水能力高于水库单独运行时供水能力之和。王庆利等^[10]考虑多种用水户保证率的差异性,分析了生态用水、保证率变化等对水库供水能力的影响。由于供水能力计算涉及的因素较多,而且不同水利工程的性质不同,导致供水能力计算方法不够统一,容易出现偏差,给相关决策带来不利影响。

2 供水能力影响因素

目前对供水能力的共识体现了一定要求下满足

用户需水的水平和能力,但在使用和计算过程中仍然存在几点关系需要进一步明晰:供水能力与需水关系,供水能力与来水关系,单个工程与区域整体的关系,骨干工程和配套工程的关系,生态流量与供水能力的关系。

a. 供水能力应与需水用户相关,而与需水量无关。供水能力是否与需水相关是一个焦点问题,存在明显分歧,各有依据。坚持与需水无关的观点认为,供水能力表达一种以工程为基础的客观状态,不应随需求变化而变化,否则这种状态就不具有客观性。而坚持与需水有关的观点则认为,没有特定的需水无法分析工程或工程系统是否能在一定条件(如保证率)下保障需水的要求,因而供水能力不应该独立于需水存在。笔者认为供水能力应与需求用户相关,而不是与需水量相关。需水是计算供水能力的必要条件,但不应是构成供水能力的要素。不同用户的保障要求不同,供水能力需要衡量在来水偏枯等不利条件下可保障的需水。同一个工程,在承担城镇供水和农业灌溉等不同任务时,由于保证率要求不同,其供水能力应不同。在用水户确定的情况下,供水能力应由工程决定,不受需求变化影响。随着经济社会的发展,很多水利工程的供水目标从单一目标转换为多个目标,设计供水能力不能代表实际承担供水任务的能力,因此需要考虑用水户类型的变化,按照不同供水目标的保证率要求进行复核。

b. 供水能力应考虑上游工程建设和取用水导致的来水条件变化。由于来水涉及工程间的水力关系,因此供水能力与来水是否相关的判断也更加复杂。笔者认为来水是计算供水能力的必要条件。对于地表水工程而言,单个工程的供水能力计算与来水关系密切,在给定来水条件下分析供水能力是工程规划设计的基本工作。但工程来水条件会受上游工程建设和取用水变化影响,其实际供水能力也会随之变化,即工程设计阶段分析的能力不能代表其实际供水能力。一般而言,工程数量增加,工程的来水条件受上游工程取用水的影响将发生变化,虽然区域整体供水能力增强,但单个工程供水能力可能降低。以三亚河福万水库和水源池水库两座中型串联水库为例,上游福万水库多年平均来水量为 2604 万 m³,兴利库容 998 万 m³;下游水源池水库兴利库容 1190 万 m³,两库区间来水量为 3751 万 m³。若不考虑福万水库的影响,水源池水库的年均入库径流量为 6355 万 m³,长系列调算表明 95% 供水保证率要求下其供水能力为 2328 万 m³。福万水库 95% 保证率下年供水能力为 1464 万 m³,考虑福万

水库对上游来水的拦蓄作用,水源池水库年供水能力降低至 1956 万 m^3 。可以看出,福万水库建成后的下游水源池水库供水能力减少 372 万 m^3 ,但双库联合系统供水能力增加 1092 万 m^3 。上述结果说明水库上游新建工程后,下游工程自身独立的供水能力会降低,但系统整体供水能力会增加。因此,对于区域或流域整体而言,其来水条件是不变的,区域供水能力只与工程有关,单独讨论某个工程的供水能力必须明确来水条件。

c. 区域供水能力不是单个工程供水能力的简单叠加。区域整体供水能力和单个工程供水能力存在明显不同。二者存在密切关系,区域总供水能力必须从区域整体进行分析计算,不能将单个工程设计供水能力简单累加。这是水利工程与其他类别基础设施工程在计算增加保障能力时的主要区别,也是依托工程规划分析新增供水能力与实际存在差异的关键。新建工程可以提高区域整体供水能力,在水资源条件不变的情况下,更多是增强系统的供水保障能力,尤其是通过存蓄增加枯水年等不利条件下的能力,不能简单等同于增加工程设计供水能力。

d. 骨干工程供水能力应考虑配套工程建设情况。骨干工程和配套工程在界定供水能力时也容易带来争议。按照供水能力的基本定义,应以供水工程系统可以满足用户需求的水平衡量其能力,因此必须考虑配套工程状况。一方面,水利工程从骨干工程到配套工程的建成周期非常长,实际中不得不采用现状供水能力和设计供水能力分别表达配套工程部分建成和完全建成达效状态下的供水能力。但供水能力数据很难做到实时变化,因而难以准确界定现状和设计供水能力。另一方面由于水利工程存在水力联系,部分工程既可以承担独立供水任务,也可以承担现有骨干工程的配套作用,即骨干工程和配套工程也存在前文所述的工程间能力重叠问题。因此,评价大型工程系统的供水能力时,应将骨干工程与配套工程作为一个整体分析。

e. 新增生态流量要求影响供水能力。水利工程运行中确保基本生态流量下泄已经成为共识,但生态流量会对供水能力分析带来不确定影响。一是早期的工程设计中通常未考虑生态需求,导致不同时期供水能力的概念和意义不一致;二是工程调度的生态需求和河流生态需求不一致;三是实际的生态流量标准、优先级存在不一致。这些差异化认识都给分析计算供水能力带来不确定性。

从上述分析可以得出,供水能力的概念存在很多不确定性,导致其分析计算不规范,在使用中存在较多容易引起矛盾的问题。因此,界定其概念不仅

需要明确影响因素与分析计算方法的关系,更需要从认识上达成一致。在不能形成统一认识、规范定义和计算方法的情况下,笔者认为应在特定工作范围内作说明,避免歧义。

3 相关概念辨析

供水能力的影响因素较多,当面对不同的工程类型、水源类型、供水阶段时供水能力计算方法存在一定差异,本文结合不同情况进一步探讨供水能力的意义。同时,供水能力在使用过程中通常与水资源可利用量、可供水量存在混淆,需要进一步对相关概念进行辨析。

3.1 供水能力

a. 按工程组成分析。按照工程组成可以划分为单一工程、供水系统、区域整体等不同类型的供水能力。其中,单一工程通常是指地表水工程,包括蓄、引、提、调等工程,需要结合调度规则分析多个用水户在不同保证率要求下的供水能力^[10]。供水系统包括取水、输水、净水、配水等多个环节,其供水能力由水源工程、水厂及管网等共同决定。对于多个水源工程组成的供水系统,需要考虑不同工程之间的调度规则,分析系统整体在合理调度下满足保证程度的最大供水量^[9]。区域供水能力表达区域内所有工程集合对用户用水保障的情况,需要在区域范围界定基础上考虑来水、用水过程及工程调控的影响,计算不同来水条件、水量配置模式下用户需求的保障情况,最后分析得出满足不同用户不同保证率的最大供水量。目前对于单一工程、供水系统、区域整体等不同角度供水能力的使用和分析还存在混淆,需要以单个工程的供水能力分析为基础,明确各自的概念,提出合理的分析计算方法。

b. 按水源类型分析。按水源类型划分,一般包括地表水、地下水和非常规水等三类供水能力。地表水源由于受水资源时空分布不均的影响,供水能力的大小受到来水的不确定性影响较大,因此在计算地表水供水能力时必须严格考虑保证率的约束作用。地下水和非常规水源在水源稳定的条件下,主要根据其工程规模和供水范围评价供水能力。由于非常规水源一般不存在水源交叉关系,其供水能力可以采用工程规模并累加,但实际应用时需要考虑水质影响下的供水范围。

c. 按供水阶段分析。按照《全国水资源综合规划技术大纲》,可将供水能力划分为现状供水能力和设计供水能力。现状供水能力是指在现状条件下工程的实际供水能力,设计供水能力是指工程及相应的配套设施按照规划设计建成后,整个工程的供

水能力。受配套设施建设情况不够完善或年久失修等情况的影响,设计供水能力一般大于现状供水能力^[11]。但实际也存在另一种可能,即上游用水增加导致工程来水减少,工程会无法达到设计供水能力。因此,现状和设计供水能力也需要根据工程实际情况进行分析和修正,直接用于统计分析可能会与实际情况出现较大的偏差。

3.2 水资源可利用量与供水能力

水资源可利用量是在可预见的时期内,在统筹考虑河道内生态环境和其他用水的基础上,通过经济合理、技术可行的措施,可供河道外一次性利用的最大水量(不包括回归水的重复利用)^[12-13],表达了合理的水资源利用上限值^[13]。

对比水资源可利用量和供水能力的概念,两者的约束条件不同,供水能力需要与工程、用户类型关联分析。在实际研究工作中,不少专家学者对水资源可利用量作了探讨^[14-17],水资源可利用量与供水能力区别在于前者界定了开发利用的上限,后者主要从工程角度出发分析满足要求的供水量。理论上,区域供水量不应超过水资源可利用量,供水能力也应受此约束。水资源可利用量是一次性利用的最大水量,是可消耗的水资源量。供水能力分析的是可供出的水量,由于存在着水资源的内部利用循环,难以简单与可利用量进行对比。从实际工作而言,两者实际服务于不同的任务,水资源可利用量更多用于承载能力等总体概念性的分析,供水能力应用于工程规划计算。两者在分析计算上具有密切关系,应从学术研究角度进一步探讨。

3.3 可供水量与供水能力

可供水量是在考虑来水和用水条件,通过各种工程措施可提供的水资源量。部分学者探讨了可供水量的概念^[18-19],均认为其与来水条件、工程规模、用水需求相关。可以看出可供水量的概念与供水能力非常相似,都需要综合来水、工程和需求分析计算。区别在于两者表达的目标不同,可供水量强调实际可供出的水量,不强调供水稳定性和安全性,且随来水频率年变化而变化。而供水能力是满足保障程度的最大供水量,不应随着来水条件发生变化。此外,可供水量与具体的需水量相关,而供水能力只与需水用户相关,不随需水量变化而改变。简言之,供水能力是给定保证率下的供水量。

3.4 来水保证率与供水保证率

保证率是评价供水工程供水能力的重要因素,包括来水保证率和供水保证率。来水保证率是统计分析某一量级来水或某一水位得到保证的程度^[20]。依据经验频率的计算方法,采用实测系列资料,统计

量从大到小降序排列。来水保证率的经验计算公式为

$$p_{ru} = \frac{n}{m + 1} \times 100\% \tag{1}$$

式中: p_{ru} 为来水保证率; n 为排序号; m 为样本数。

供水保证率是指预期供水量在多年供水中能够得到充分满足的年数出现的概率,是评价供水能力的重要指标。供水保证率的计算公式为

$$P_{su} = \frac{N}{M + 1} \times 100\% \tag{2}$$

式中: P_{su} 为供水保证率; N 为长系列水文年中可供水量能够满足某一供水量的年数; M 为总年数。

来水保证率与供水保证率有联系也有区别,实际中也存在一些混淆。就供水能力分析而言,在工程不具备调蓄能力的条件下,这两个保证率实际没有差异。如 GB 50282—2016《城市给水工程规划规范》提出城市给水水源的枯水流量保证率可采用 90% ~ 97%,实际是按照来水条件进行分析。但当工程具备调蓄能力时,由于存在年际间的径流补偿关系,来水保证率与供水保证率存在不同频的现象,该情况下供水能力应采用供水保证率分析。

不同用户要求的供水保证程度不同,在同时承担多个不同类型用户供水任务时,应按照不同用户保证率计算,而且不同用户、不同频率的供水能力不能简单累加。一般情况下,居民用水供水保证率一般在 95% 以上,工业用水在 90% 以上,而农业用水相对较低。

4 案例分析

4.1 研究区概况

成都市位于四川盆地西部,是都江堰灌区的核心区,面积 1.43 万 km²。近年来随着城市范围的增大、人口和经济规模的增加,水资源需求不断增强,加之都江堰灌区扩大,水资源供需矛盾日益明显,影响到区域可持续发展。准确核算区域供水能力,对合理规划布局水利工程,保证区域供水安全十分重要。

成都市可利用水源包括本地地表水、地下水、过境水、非常规水源以及外调水。由于水源类型多,相互关系密切,全市的供水能力需要在整体配置模式下分析计算。笔者依据《成都市水资源综合规划(修编)》成果,根据 2025 年、2030 年的需水预测数据和 1964—2008 年的水资源评价数据,以 ROWAS 为工具构建了成都市水量配置模型,并对区域供水能力进行分析^[21]。

4.2 计算边界条件

a. 水资源量。水资源量是供水能力分析计算的

基础。依据水资源规划对1964—2008年长系列数据的评价结果,成都市地表水资源量为85.93亿m³,地下水资源量为32.16亿m³,地表地下重复量27.54亿m³,本地水资源总量为90.55亿m³。全市入境水量多年平均值156.20亿m³,其中岷江入境148.40亿m³,沱江入境7.80亿m³。

b. 需水量。根据《成都市水资源规划(修编)》成果,按照生活、生产、生态口径的2016年、2025年、2030年需水成果如表1所示。以该需水计算现状工程在不同需水条件下的可供水量。

表1 成都市不同水平年需水量

水平年	保证率/%	生活/ 亿 m ³	第一产业/ 亿 m ³	第二产业/亿 m ³ 工业 建筑	第三产业/ 亿 m ³	生态/ 亿 m ³	需水量 合计/ 亿 m ³	
2016 年 (现状年)	50	9.04	33.14	12.14	1.85	4.13	1.50	61.80
	75	9.04	35.81	12.14	1.85	4.13	1.50	64.47
	95	9.04	38.29	12.14	1.85	4.13	1.50	66.95
2025 年	50	12.21	28.85	16.97	2.37	7.38	2.40	70.19
	75	12.21	31.19	16.97	2.37	7.38	2.40	72.52
	95	12.21	33.37	16.97	2.37	7.38	2.40	74.70
2030 年	50	13.71	27.98	17.43	2.45	10.06	2.84	74.47
	75	13.71	30.27	17.43	2.45	10.06	2.84	76.76
	95	13.71	32.38	17.43	2.45	10.06	2.84	78.87

4.3 单个工程与区域供水能力分析

根据《成都市水利统计年报》,2018年所有工程供水能力叠加值为186.90亿m³。考虑水利工程之间的水力联系,基于成都市水资源配置模型,按照生活、工业满足95%保证率,农业满足75%保证率,分析得出的区域供水能力为70.30亿m³。由此可见,采用工程供水能力叠加处理会造成区域供水能力偏大的问题。因此,在计算区域供水能力时,若水利工程之间不存在水力联系,将各供水工程的供水能力直接相加即等于区域供水能力;当存在水力联系时,需根据一定的原则和运行方式构建区域供水能力联合结算模型进行求解,而不能进行简单的叠加。

4.4 可利用水资源量与区域供水能力分析

根据水资源评价结果,成都市当地水资源可开发利用总量为33.93亿m³,岷沱江过境水(入成都断面水量)的可利用总量为120.70亿m³。综合考虑,成都市水资源可利用量的多年平均值为154.60亿m³,而成都市的区域供水能力仅为70.30亿m³。对比结果表明,可利用量不受需水用户类型及保证率要求约束,对于丰水地区可利用量值一般要大于供水能力值。

4.5 可供水量与供水能力分析

成都市可供水量与区域供水能力模型计算结果表明,见图1。成都市2025水平年可供水量多年平均值为65.30亿m³;2030水平年可供水量多年平均值为71.40亿m³。在工程条件和来水条件一致的

情况下,可供水量与需水相关,随着需水增大可供水量也逐步增大,同时缺水也可能随之增加。而区域供水能力在工程规模、来水条件及用水户保证率要求确定后,其值即可确定。可供水量随着来水情况波动,来水较多时可供水量可以高于供水能力,而来水条件较差时可低于供水能力。可供水量与供水能力也不存在线性相关关系,不可以采用简单的比例关系由供水能力推算可供水量或者由可供水量推算供水能力。

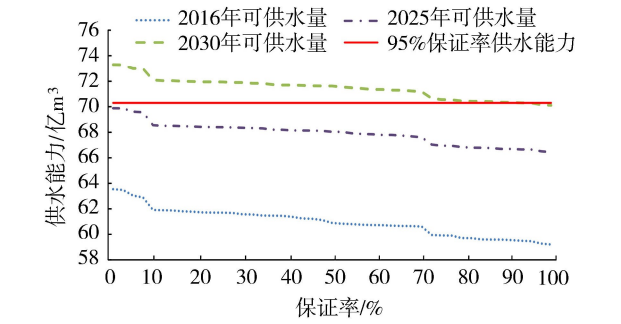


图1 可供水量与供水能力关系

根据2030年计算结果,分析不同来水保证率各水源的供水量关系,见表2。由于地下水和非常规水源供水规模有限,枯水条件可供水量有一定增长,但增幅有限。本地水工程由于枯水年来水减少,可供水量将减少,水源条件相对稳定的过境水供水量在枯水年需要进一步增大。不同类别水源受来水和工程控制影响,可供水量变化呈现不同特征。未来成都市的供水安全需要本地水和过境水共同开发,本地水在平水年增加供给量,而枯水年需要加大过境水的利用保障供水安全。

表2 2030年不同来水保证率各水源可供水量

保证率/%	本地地表水/亿m ³	本地地下水/亿m ³	过境水/亿m ³	其他水源/亿m ³	总可供水量/亿m ³
50	30.33	3.65	37.45	0.20	71.63
75	27.23	3.68	39.43	0.24	70.58
95	23.10	3.72	43.18	0.30	70.30

注:本地地表水可供水量包括玉溪河调入水量。

4.6 来水保证率与供水保证率分析

通过对本地水资源量排频,根据式(1)得到成都市不同来水保证率对应的年份,相应年份的供水水量作为对应来水保证率下的供水量。通过对逐年的供水量排频分析,根据式(2)得到成都市不同供水保证率对应的供水量,两者的结果对比见表3。两种方式选择得出的可供水量不同,通过两种保证率对应的年份也不一致。由于两种分析方式在实际中均有应用,因此应注意其区别。因此,在计算区域或者大中型水库的供水能力时,不能简单选用来水保证率对应年份的结果。同时也说明,在水库等调蓄工程具有相互调剂作用时不能简单地选用典型年法

进行供水能力计算,割裂水文年之间的补偿关系。

表 3 供水保证率和来水保证率对比分析

保证率/%	供水能力/亿 m ³	供水能力相应年份	可供水量/亿 m ³	可供水量相应年份	供水能力与可供水量之差/亿 m ³
25	71.95	1974	70.54	1985	1.41
50	71.63	1986	71.90	1992	-0.27
75	70.54	1985	71.64	1971	-1.10
95	70.30	1999	73.00	1969	-2.70

5 结 语

a. 单个工程及多个工程组成的联合供水系统,需要考虑调度规则的约束作用,结合多目标、多保证率要求计算供水能力。

b. 区域供水能力不能将单个工程供水能力简单叠加,需要考虑工程间水力联系的互相作用,构建区域整体的水资源配置模型,计算满足不同用水户保证率要求的供水能力。

c. 区域可利用水量为一次性可提供的最大水资源量,不受需水用户及保证率的约束作用;区域可供水量受用水户需水量的限制,但不考虑保证率的约束作用;供水能力与需水用户的类型相关,而与具体的需水量无关,是一定保证率要求下的最大可供水量。

d. 确定工程供水能力时需要辨别供水能力的阶段,不能简单将设计阶段供水能力作为现状供水能力,需要考虑上游工程建设、取用水等对来水条件的影响以及供水对象的变化情况。

e. 供水能力及其相关概念由于涉及条件复杂、需求导向不同,当前仍然缺乏系统规范的定义,还需进一步分析其应用需求和与各类影响因素的相关关系,通过研究形成技术标准,规范其分析计算和应用,支撑相关决策判断,以便水利部门和其他部门工作的顺畅衔接。

参考文献:

[1] 吴强,刘汉. 加快水利供给侧结构改革的四大着力点[J]. 水利经济,2018,36(1):17-19. (WU Qiang, LIU Han. Four key points to accelerate the structural reform of water conservancy supply side[J]. Journal of Economics of Water Resources,2018,36(1):17-19. (in Chinese))

[2] 高龙,姜楠,乔根平. 供水能力统计中的问题与建议[J]. 水利发展研究,2010(12):21-23. (GAO Long, JIANG Nan, QIAO Genping. Problems and Suggestions in water supply capacity statistics [J]. Water Resources Development Research,2010(12):21-23. (in Chinese))

[3] 台世舜. 关于蓄水工程可供水量计算方法的探讨[J]. 南昌水专学报,1997,16(2):43-49. (TAI Shishun. Discussion on the calculation method of water supply in

water storage project [J]. Nanchang Shuizhuan Xuebao, 1997,16(2):43-49. (in Chinese))

[4] 甘泓,黄守信. 地表水资源系统供水能力的分析计算[C]//水资源大系统优化规划与优化调度经验汇编. 北京:中国科学技术出版社,1995:138-144.

[5] 方红远,姜志群. 区域供水能力扩展分析的整数规划模型[J]. 扬州大学学报(自然科学版),2003,6(3):66-70. (FANG Hongyuan,JIANG Zhiqun. Research of surface developing technology and application [J]. Journal of Yangzhou University (Natural Science Edition),2003,6(3):66-70. (in Chinese))

[6] 游进军,宋秋波,王丽萍,等. 中小型水利工程供水概化算法研究与应用[J]. 水利水电科技进步,2008,28(1):19-22. (YOU Jinjun,SONG Qiubo,WANG Liping,et al. Research and application of water supply generalization algorithm for small and medium-sized water conservancy projects [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2008,28(1):19-22. (in Chinese))

[7] 郭旭宁,胡铁松,曾祥,等. 基于调度规则的水库群供水能力与风险分析[J]. 水利学报,2013,46(6):664-672. (GUO Xuning, HU Tiesong, ZENG Xiang, et al. The maximum water-supply yield of the multi-reservoir system under the operating policy control with risk analysis [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2013,46(6):664-672. (in Chinese))

[8] 柳林云,纪国强,李书飞. 长江流域近 20 年来供水工程调查分析[J]. 人民长江,2011,42(18):95-98. (LIU Linyun,JI Guoqiang,LI Shufei. Statistic analysis on water supply projects in Yangtze River Basin in recent 20 years [J]. Yangtze River,2011,42(18):95-98. (in Chinese))

[9] 林鹏飞,游进军,付敏,等. 基于引水限制调度线的并联水库系统供水优化算法及应用[J]. 水利水电技术,2018,49(2):8-14. (LIN Pengfei,YOU Jinjun,FU Min,et al. Optimization algorithm of parallel reservoir system based on the regulation line for water supply [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2018,49(2):8-14. (in Chinese))

[10] 王庆利,林鹏飞,贾玲,等. 基于遗传算法优化的水库多目标供水能力分析:以岳城水库为例[J]. 水利水电技术. 2020,51(12):55-62. (WANG Qingli, LIN Pengfei, JIA Ling, et al. Genetic algorithm optimization-based analysis on multi-objective water supply capacity of Yuecheng Reservoir [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2020,51(12):55-62. (in Chinese))

[11] 胡清凤,黄辉. 金南宁市水资源问题及对策[J]. 水资源保护,2004,20(3):43-45. (HU Qingfeng,HUANG Hui. Problems and countermeasures of water resources in Jinnanning City [J]. Water Resources Protection,2004,20(3):43-45. (in Chinese))

[12] 中华人民共和国水利部. 全国水资源综合规划技术细则[R]. 北京:中华人民共和国水利部,2002.

(下转第 87 页)