

# 云南省城市非常规水资源综合利用设想——以昆明市为例

刘杨梅, 黄英, 王杰 (云南省水利水电科学研究院, 云南昆明 650228)

**摘要** 在简述云南省水资源概况及未来经济社会发展对水资源需求的基础上, 探讨云南省城市非常规水资源利用的必要性, 并以昆明市为例, 阐述城市非常规水资源利用现状, 进行潜力分析, 并对下一步城市非常规水资源综合利用提出设想, 为云南省城市非常规水资源进一步的有效开发利用提供参考和思路。

**关键词** 非常规水资源; 城市; 雨洪水; 中水; 云南省

**中图分类号** S271 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)19-08265-03

**Urban Comprehensive Utilization of Unconventional Water Resources in Yunnan Province—Taking Kunming City as an Example**  
LIU Yang-mei et al (Yunnan Institute of Water Resources and Hydropower Research, Kunming, Yunnan 650228)

**Abstract** On the basis of reviewing general situation of water resource and future demands in Yunnan Province, the necessity of unconventional water resources utilization was discussed. With Kunming City as an example, the utilization status of urban unconventional water resource was elaborated, and the potentiality was analyzed. The assumption for the next step utilization was put forward, which will provide references and thoughts for further development and utilization of unconventional water resources in Yunnan Province.

**Key words** Unconventional water resources; City; Flood; Reclaimed water; Yunnan Province

云南省水资源较为丰富, 总量位列全国第3, 但水资源年内分配不均, 雨季水量有余, 而旱季水源不足且水、土资源匹配极不均衡, 水资源开发利用率低<sup>[1]</sup>。随着人口增长、经济发展和城镇化速度的加快, 水资源短缺、供水不足等问题日益凸显。水资源的缺乏将会对城市的正常活动和发展造成严重的阻碍, 很多城市采用超采地下水、跨流域远距离调水来暂时满足城市的需求, 甚至被迫限时限量供水。随着城市水资源形势的日趋严峻, 常规水资源显出了种种不足, 如水资源量有限, 不能满足需求; 长距离调水的费用高昂等<sup>[2]</sup>。实践证明, 单靠开源或跨流域调水难以从根本上解决日益突出的缺水问题。与此同时, 污水处理、雨水收集利用等技术逐渐发展起来, 以再生水、建筑中水、雨水、海水为主要代表的非常规水资源在国内外得到了越来越广泛的应用, 在城市水系统中的地位也越来越重要, 非常规水资源利用量的多少已经成为一个城市水资源开发利用先进水平的重要标志<sup>[3]</sup>。近年来, 云南省连续的干旱更突显了水资源供需矛盾。目前, 昆明城市水资源开发已接近极限, 常规水资源开发潜力已非常有限。为了缓解水资源的供需矛盾和日益严重的水环境恶化的世界性难题, 非常规水资源利用已迫在眉睫。

## 1 云南省水资源概况及未来水资源需求

云南省多年平均地表水资源总量 2 210 亿 m<sup>3</sup>, 约占全国的 1/13, 全省多年平均径流深为 576.7 mm, 多年平均产水模数为 57.7 万 m<sup>3</sup>/(km<sup>2</sup>·a)。水资源总的分布趋势为南多北少, 西多东少。全省自西向东排列着西部多水带、中部少水带、南部多水带、东北局部多水带的分布规律<sup>[4]</sup>。云南水资源较为丰富, 但人均水资源量分布差异较大, 水、土资源匹配

极不均衡, 水资源分布与经济发展需求极不适应。同时由于山区河谷深切, 开发利用困难; 坝区水资源贫乏而需水量大; 城镇用水供需矛盾突出, 水资源短缺及水污染严重。与此同时, 云南省万元生产总值(GDP)用水量、农田灌溉亩均用水量、万元工业增加值(当年价、不含火电)用水量分别是全国平均值的 1.4、1.1、1.1 倍, 一方面城市水资源严重不足, 另一方面水资源利用方式粗放、用水效率不高、用水浪费等问题十分突出。如何在水资源可利用量有限的情况下, 最大程度提高水资源利用效率和效益是一个值得思考的问题。

以 2009 年为例, 多年平均情况下全省总需水量 208.89 亿 m<sup>3</sup>, 而 2009 年各类水利工程供水设施的实际供水量为 171.13 亿 m<sup>3</sup>, 缺水 37.76 亿 m<sup>3</sup>, 缺水率为 18.8%。随着经济社会的发展, 经预测到 2020 年, 中等干旱年需水总量为 249.69 亿 m<sup>3</sup>, 缺水总量 15.3 亿 m<sup>3</sup>, 缺水率为 6.25%; 特枯年缺水总量 37.83 亿 m<sup>3</sup>, 缺水率为 14.92%。

## 2 云南省城市非常规水资源利用的必要性

面对云南省日益严峻的水资源形势, 切实加强水资源系统规划、统筹管理, 加快城市水资源综合利用力度, 提高水资源综合利用效率已迫在眉睫。单靠开源或跨流域调水, 难以从根本上解决日益突出的缺水问题。污水资源化利用是实现城市水资源可持续利用的一条重要途径, 实现水资源利用的良性循环是实现城市可持续发展的根本保障<sup>[5]</sup>。

云南省严峻的水资源形势以及 2008 年的阳宗海砷污染事件, 2009~2011 年的连旱警醒我们, 只有实施最严格水资源管理制度、建设节水型社会, 方能使水资源的利用效率和效益得到提高, 缓解水资源供需矛盾, 提高水资源的承载能力, 遏制生态环境恶化, 促进人与自然和谐共处。为此, 切实加大非常规水资源综合利用力度, 可变废为宝, 减少入河湖污水排放总量及氮、磷负荷, 为执行最严格水资源管理制度的“三条红线”之一的水功能区纳污限制打下坚实基础。

## 3 城市非常规水资源利用现状

相比而言, 云南省各地的污水处理回用及城市雨水利用

**基金项目** 水利部公益性行业专项经费(201001058)。

**作者简介** 刘杨梅(1985-), 女, 陕西汉中人, 助理工程师, 本科, 从事水资源与节水灌溉方面的研究, E-mail: asklym@163.com。

**鸣谢** 文中部分数据来自于《云南省水资源公报》、《云南省‘十二五’水资源可持续开发利用保护专项研究》、《云南省水资源综合调控研究》, 在此表示感谢。

**收稿日期** 2013-05-26

程度相对较低,但其资源量丰富,有较大的利用潜力。随着经济社会和城镇化的快速发展,城市水资源的供需矛盾将更加突出,而城市非常规水源的综合利用是减轻供需矛盾和解决资源性缺水的有效途径之一。就全省范围来说,城市非常规水源利用尚处于起步阶段,以昆明市为例,阐述城市非常规水源的利用。

**3.1 污水处理利用现状及潜力分析** 昆明市是一个资源性、水质性缺水城市,人均水资源占有量低于全省、全国水平。目前,昆明主城区 8 个污水处理厂平均每天处理的污水量近  $110.5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$  (年处理量超过  $4 \text{ 亿 m}^3$ ,大于供水能力  $3.65 \text{ 亿 m}^3$ ),处理后的中水除小部分用于绿化、洗车外,大部分就近排入自然水体,有限的城市水资源未得到充分利用。如果将这部分中水深度处理后,按回用率 30% 计算,则相当于少建一座  $33 \text{ 万 m}^3/\text{d}$  (年供水量  $1.2 \text{ 亿 m}^3$ ) 的水厂。因此,污水资源的利用潜力较大。通过多年的努力,昆明市污水处理率达 65.19%,城市再生水利用率达 20%,工业用水重复利用率达 31.9%,但就全省城市来说,再生水利用率仍较低。昆明市近年来加大城市基础设施建设,同时不断完善城市的污水收集处理系统,现有的 8 个污水处理厂出水回用于城市公共景观及河道生态环境用水已有较好的工程范例。

昆明城市居民生活用水量仅占城市供水总量的 38% ~ 50%,其余为工业、市政用水。每人每天直接用于饮食的水量一般为 5 L,而对于新建的住宅小区,由于其卫生设备比较完善,人均日用水量(包括公共建筑和绿地用水在内)约为 100 L,饮用水仅占 1/20。其中,不直接接触人体的各种杂用水(冲刷、清洗等)约占用水总量的 50%,若这部分杂用水由中水替代,则可减少自来水年供水量  $8 \text{ 000 万 m}^3$ 。在市政建设方面,年供水量约占 10% 左右,城市建筑、洗车行业、城市景观、绿化等用水由城市集中的中水供应站提供,则可减少自来水年供水量  $3 \text{ 600 万 m}^3$ 。在工业生产方面,年供水量约占 40% 左右,若将 30% 工业用水由中水替代,则可减少自来水年供水量  $4 \text{ 380 万 m}^3$ 。因此,污水资源利用前景较广。

**3.2 雨水集蓄利用现状及潜力分析** 昆明市多年平均降水量为  $1 \text{ 000 mm}$  左右,昆明主城区可利用雨水资源潜力为  $2.501 \text{ 亿} \sim 3.282 \text{ 亿 m}^3$ ,年均可利用雨水资源潜力为  $2.899 \text{ 亿 m}^3$ 。但是,昆明市的雨水收集利用尚处于起步阶段,目前主城区内仅少量实现雨水资源化利用工程,总储水量为  $18.25 \text{ 万 m}^3$ ,利用率仅占可利用雨水资源潜力的 0.063%,雨水资源化利用量微不足道,利用潜力巨大。从 2010 年 5 月开始,昆明市新建和在建道路都全面推行使用雨水资源化利用设施,目前已有 20 多条道路采用了雨水生态断面技术施工,实现了雨水资源化利用;昆明市将在二环内建设 16 座调蓄池,总容积  $20.44 \text{ 万 m}^3$ ,首期已启动建设 9 座调蓄池,乌龙河调蓄池和海明河调蓄池,2012 年 7 月底投入试运行;白云路调蓄池、麻线沟调蓄池、教场北沟调蓄池、小路沟调蓄池、圆通沟调蓄池、核桃箐调蓄池、采莲河调蓄池 2012 年 9 月底投入试运行。第二批启动实施的明通河调蓄池、老运粮河调蓄池、学府路大沟调蓄池、大观河调蓄池、兰花沟调蓄池 2012

年 12 月底投入试运行。调蓄池建成投入使用后,将有效收集二环内主要河流、沟渠及管内的合流水,减消雨季期间污水处理厂超负荷运行,实现错峰,并在一定程度上缓解城市低洼地带雨季淹积水状况,经调蓄池沉淀后的雨水还可用于绿化等,实现雨水再利用,减少雨水对河道的污染。

2020 年昆明市生态需水量为  $5.82 \text{ 亿 m}^3$ ,目前昆明年均可利用雨水资源潜力约为  $2.9 \text{ 亿 m}^3$ ,考虑雨水利用技术等因素,如果利用率为 50%,则每年可以利用雨水约  $1.45 \text{ 亿 m}^3$ 。现状污水年处理量为  $4 \text{ 亿 m}^3$ ,若 30% 按深度处理,约  $1.2 \text{ 亿 m}^3$ ,两者约占昆明城市年生态用水量的 45%。可见,将城市非常规水源回用参与水资源调控利用潜力较大。

## 4 城市非常规水资源综合利用设想

**4.1 城市中水回用措施** 城市污水只需根据回用用途进行适当处理,便可用于绿化景观、道路喷洒、居民冲厕、车辆冲洗、工业冷却水系统等。目前,城市中水利用可以过以下途径实现。

**4.1.1 城市景观、河道生态环境用水。**随着人们生活水平的提高,人们对身边的景观环境要求也越来越高,绿化等城市景观用水量过高早已成为不争的事实。在绿地用水紧张的情况下,为满足不断增长的绿化用水需求,应当优先考虑使用中水。随着城市污水处理率的提高,中水量是相当可观的,应首先考虑中水回用于公共绿地、公园绿地等城市景观的浇灌及河道生态环境用水的补给。

**4.1.2 新建小区绿化、冲厕用水。**近年来,随着新建住宅小区绿地面积的增加,草坪、树木、水景等用水量加大。一个中型住宅区每天非饮用水的排放量约为  $3 \text{ 500 m}^3$ ,小区污水水量稳定,可就近取水,建立小型中水处理系统,供小区内部绿化、喷洒道路使用。经过处理的水,其水量和效益是很可观的,除了用于浇灌草坪、树木、水系景观外,还可用于小区喷洒道路、洗车或者重新回到住宅冲洗便器。新建小区绿化面积大,对绿化用水需求量巨大。只要给中水一个合理的定价,推行就地消化的策略,新建小区绿化用水将成为中水的需求主体。

**4.1.3 工业生产冷却及循环用水。**循环用水约占工业用水的 70% ~ 80%,工业回用水一般对水质要求不高,经污水处理厂二级处理的出水只需进行物化处理即可满足要求。工业回用水一是要确保供水的保证率,决不能因再生水断水而停产;二是要保证工业产品的卫生质量、工业用水系统的卫生质量;三是作为冷却水补充水时,必须确保工业冷却水系统不会因为污水水质硬度、微生物等指标达不到要求而受到影响。

**4.1.4 农业灌溉用水。**生活污水回用于农田灌溉时,通常对其处理程度要求不高,处理后一般还含有氮、磷、钾等成分。用于灌溉可以给土壤提供水分和肥分,增加农作物产量,同时可以减少化肥用量,而且通过土壤的自净作用能使污水得到进一步的净化。因此,将处理后的污水用于农业灌溉既可以取得经济效益,又可以保护环境,是一种符合可持续发展的回用方式。

**4.1.5 地下回灌水。**城市污水经过强化二级处理后,就近排入市区或市郊湖泊、水库,以地表水渗漏方式补充地下水,维持地下水的含量平衡,防止地下水水位降低。

**4.2 城市雨水集蓄利用措施** 昆明城市雨水调控利用应以补充生态环境用水和地下水,控制地表径流为主要目的,雨水集蓄调控利用主要有以下途径。

**4.2.1 构建城市立体人工湿地。**昆明市地处山间盆地,盆地最低处是滇池,城市位于周围山地与滇池之间,具有建立“城市立体人工湿地系统”的良好条件。在城市集水区按地势由高到低,分别在山坡与城市交接地带、城区、城市低洼纳水过度地带建立湿地群,并在各湿地群之间用水渠或管道连通,形成一个具有整体联动性的系统,使截留下来的雨水在流动中进行呼吸作用,在存储雨水的同时净化水质。此外,针对水库调度中“先弃后缺”的问题,“城市立体人工湿地系统”还可以与城市周边河流和水库建立联动机制,在水文站网信息支持下,通过现代化的数据采集和处理信息系统,建立科学的雨水资源调控利用联合调度系统。

**4.2.2 建立雨水回用生态小区。**昆明城区屋顶面积占整个不透水面总面积的 70% 左右,是整个城市雨水收集最有潜力的区域。目前,昆明城市小区的屋顶雨水收集系统已经比较完善,但大多没有相应的回收处理和储存系统,收集的雨水仍与污水一起排走。为此,选择建筑物面积与路面硬化面积之和在 1 500 m<sup>2</sup> 以上的商业区、生活小区等区域,配套建立雨水收集及回用设施。对含污染物和杂质较多的雨水进行一定量的弃流(一般为 2 mm 左右)后,进行收集处理回用。此外,屋顶雨水回收处理系统还可以结合屋顶绿化加以实施,它在雨水收集时可以改善屋面径流水质,简化雨水处理流程,节约处理成本。处理后的雨水用于对水质要求不高的生活杂用水和城市景观用水、人工湖区补充用水等。

**4.2.3 构建雨洪蓄滞带。**在学校、小区、大型公共场所和道路两侧兴建滞洪和储蓄雨水的蓄洪池,减少地面积水总量,并将积蓄的雨水用作喷洒路面、灌溉绿地、消防、水景景观用水等城市杂用水。

**4.2.4 建设以城市绿地为主的下渗系统。**改变绿化带的模式,使其具备蓄水功能,推广下凹式绿地建设,提高绿地草坪的雨水入渗能力。在城市休闲地、停车场、人行道、步行街,尽可能使用渗水材料铺装地面,使雨水尽可能下渗回补地下水。

**4.2.5 修建各种雨水入渗设施。**渗井、渗沟、渗池等的水入渗设施占地面积小,可因地制宜地修建在楼前屋后。在新建、改建、扩建的道路中,铺设的雨水管道一律采用下渗管道,道路雨水通过下水道排入沿途大型蓄水池或通过渗透补充地下水。

## 5 建议

为有效利用云南省城市非常规水资源,建议采取以下措施:一是加快制定适合省情和水情的非常规水源利用技术标准与规范化评价体系;完善中水回用及雨水集蓄利用的政策法规体系,保证非常规水源利用的推广实施。二是充分调动各方面积极性,逐步建立多层次、多渠道、多元化的城市非常规水利用资金投入保障机制;尽快建立城市非常规水替代自来水的成本补偿机制与价格激励机制,调动城市非常规水利用的积极性。三是落实将城市非常规水利用纳入城市建设发展总体规划,积极推进非常规水在水资源供需矛盾突出城市的开发利用及推广示范。

## 参考文献

- [1] 王杰,黄英,段琪彩,等.持续干旱事件下云南水资源面临的挑战[J].节水灌溉,2012(12):19-21.
- [2] 鲍孝容.关于我国污水资源化的研究[J].环境科学与技术,2005,28(2):51-53.
- [3] 徐善春.推进中水资源化利用的途径探讨[J].江苏环境科技,2005,18(2):57-59.
- [4] 王树鹏,张云峰,方迪.云南省旱灾成因及抗旱对策探析[J].中国农村水利水电,2011(9):39-41.
- [5] 王海玲.昆明市污水处理中水回用发展初探[J].市政技术,2002(4):55-58.
- [6] 张志国.商丘地区水资源评价及可持续利用[J].湖南农业科学,2011(17):60-62,65.
- [7] 李淑霞,马文涛.关于宁夏水资源开发利用问题的思考[J].宁夏农林科技,2011,52(4):23-24.
- [8] 孙万国.商丘地区水资源评价及可持续利用[J].湖南农业科学,2011(17):60-62,65.
- [9] 赵军,杨凯.生态系统服务价值评估研究进展[J].生态学报,2007,27(1):346-353.
- [10] 王小丹,钟祥浩,刘淑珍,等.青藏高原生态功能区划研究[J].地理科学,2009,29(5):715-720.
- [11] 李诚,王淑娟,刘晓春.唐山市大南湖生态服务价值评估[J].湖北农业科学,2012,51(10):1997-2000.
- [12] 刘富刚.基于生态服务价值的德州市土地利用评价[J].湖北农业科学,2012,51(2):268-272.
- [13] 中国国家标准管理委员会.土地利用现状分类标准(GB/T21010-2007)[S].2007.
- [14] 孙万国.中国现行湿地恢复补偿的制度悖论[J].生态环境学报,2011,20(12):1966-1969.
- [15] 潘明麒,于秀波.洞庭湖湿地生态系统管理面临的威胁及应对策略初探[J].长江流域资源与环境,2011,20(6):729-733.
- [16] 黄锡生,嵯嵘.论跨界河流生态受益者补偿原则[J].长江流域资源与环境,2012,21(11):1402-1406.

(上接第 8264 页)

地生态开发构成研究区域产业发展方向。

## 参考文献

- [1] COSTANZA R. The value to the world ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387:253-260.
- [2] 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J].应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [3] 谢高地,鲁春霞,成升魁.全球生态系统服务价值评估研究进展[J].资源科学,2001,23(6):5-9.
- [4] 威宁彝族回族苗族自治县统计局.威宁彝族回族苗族自治县统计年鉴[R].2011.
- [5] 威宁彝族回族苗族自治县农业区划委员会办公室.威宁彝族回族苗族自治县综合农业区划[M].贵阳:贵州人民出版社,1989:6-22.
- [6] 威宁彝族回族苗族自治县国土局.土地利用现状变更调查[Z].2011.
- [7] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-195.
- [8] 朱文泉,张锦水,潘耀忠,等.中国陆地生态系统生态资产测量及其动