

地下水库调蓄水资源的研究现状与展望

杜新强¹, 廖资生¹, 李砚阁², 冶雪艳¹

(1. 吉林大学 环境与资源学院, 吉林 长春 130026; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要:地下水库是水資源人工调蓄领域中的热点问题,在水资源开发、利用与保护方面都独具功效,是实现水资源可持续利用的重要途径之一。我国目前应该大力开展对地下水库相关理论问题与实践技术的研究工作,逐步建立和完善指导实际工作的理论方法和操作性强的应用规范。地下水库技术对于我国干旱、半干旱地区、岩溶山区、滨海地区、地下水超采区的水资源可持续开发具有十分重要的意义。

关键词:地下水库;人工调蓄;人工补给;含水层

中图分类号:P641

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2005)02-0178-03

修建地表水库一直是水资源人工调蓄领域中的主要方法,可以发挥防洪、供水、发电、灌溉的综合效益,提高水资源的利用程度。但修建地表水库的损失(如淹没、占地)、风险(如诱发地震、溃坝等)以及引起的环境负效应(如下游流量锐减、库区土壤盐渍化等)也日益受到人们的关注。而且大多数河流,经过梯级开发,已不具备建设地表水库的条件。因此,世界上一些国家已经放弃了修建大型地表水库调蓄水资源的作法,而是越来越多地利用地下含水层的广阔空间修建地下水库,实现水资源的地下人工调蓄。

1 地下水库

地下水库是指修建于地下并以含水层为调蓄空间的蓄水实体,它在取水、用水和调节水资源方面与地表水库具有相似的功能,目前还没有严格和通用的定义。地下水库调节水资源的基本原理是,在丰水期将多余的地表水储存在地下水库中,干旱缺水的时期大量取用,同时腾出地下库容,为下一个丰水期储水提供空间条件,以这种周期性补给——开采的运行方式调节水资源供需的时空矛盾。

与地表水库相比,地下水库具有如下特

点:①蒸发损失小,提高了蓄水的有效利用率;②不占土地资源、不动迁、不筑高坝、建库投资少,但水资源开发成本较高;③无淹没、淤积及次生盐渍化等问题,相应的环境负效应小;④与地表水体(河流、水库)等联合运用,可以有效进行水资源的统一规划;⑤由于含水层的过滤作用,水质良好,不易污染,但污染后难于治理。

2 国内外研究的现状

根据国内外地下水库建设的工程实践,可将地下水库从工程形式上划分为两类:有坝地下水库和无坝地下水库。

2.1 有坝地下水库

当地下水库的储水区需要修建地下挡水坝方能形成有效调蓄库容时,这种地下水库称为有坝地下水库。

早在1964年,日本的松尾氏便提出了较为具体的关于修建地下水库的设想。1972年,在长崎县野母崎町桦岛采用灌浆法建设了第1座有坝地下水库,总库容约为9000m³。但由于当时的技术与条件所限,出现了水质咸化问题,1980年对该防渗墙进行了改进后,水中盐分浓度从未超过饮用水标准,达到了蓄水与防止海水入侵的双重效

果。1979年在冲绳县宫古岛建成了总库容为70万m³的皆福地下水库,地下坝采用灌浆方法将水泥浆灌入珊瑚礁石灰岩空隙,造成连续的截水墙,长500m,高16.5m,厚5m,考虑到避免农业上的化合物集聚,防渗墙为半透水,使含水层蓄水后仍可向海里渗流。继宫古岛地下水库建成后,又相继兴建了福井县常神地下水库、福冈县天熊地下水库、冲绳县砂川和福里地下水库等10余座有坝地下水库^[1],总储水量可达2805万m³,有效实现了增加农业和生活供水能力以及防止海水入侵的目标,成为日本水资源管理的重要措施。

由于日本所处的特殊地理位置,其所修建的地下水库均为有坝地下水库,日本在地下坝施工方面目前居于世界领先地位,在地下坝建设方面发展了原位搅拌法、灌浆法、置换法(地下连续墙法)和钢板桩法等多种方法^[1]。

我国的有坝地下水库基本可以分为2种:①岩溶山区有坝地下水库:在岩溶含水层径流集中地段,建筑地下拦水坝,主要用于封闭地下洞腔、抬高地下水位。据不完全统计,至1995年南方5省已建成岩溶地下水库52座,总蓄水量达4000万m³,可灌溉0.89万hm²粮田^[1]。建于1990年的贵州普定

收稿日期:2004-06-17

基金项目:水利部科技创新项目(SCX2003-05);吉林省科技厅社会发展重点项目(2002001)

作者简介:杜新强(1977-),男,黑龙江肇东人,吉林大学环境与资源学院,助教,博士研究生,主要从事地下水资源评价与管理的教学与科研工作。

县马官地下水便是一个成功实例,该水库处于峰丛洼地——峰林谷地过渡带,主要利用当地发育的落水洞、地下河及与其连通的岩溶洼地联合蓄水,总库容为 132.54 万 m³,挡水坝体为砌石拱坝,拱厚 0.4m,虽然工程量很小,却充分发挥了灌溉、防洪、供水的重要作用。②其它地区有坝地下水,主要指修建在岩溶山区以外的平原地区或丘陵山区的有坝地下水,其地下坝修建理念与方法主要来源于日本的工程实践。1990 年,山东省龙口市在国内首次采用高压喷浆技术,修建了八里沙河地下水。1998 年又建成了目前亚洲规模最大的有坝地下水——黄水河地下水,该地下水位于黄水河河谷,距入海口 1.2km,地下坝采用高压喷浆技术建成,全长 6 700m,平均深度 26.7m,总库容 5 359 万 m³,年可增加水资源利用量 3 000 多万 m³;为防止地下水水质污染,修建了总长 38.6km 的地下排污工程;还在地下坝内外和库区内建立观测井 88 眼,定期监测水位、水质的变化。山东省还开展了滨海平原地下水建设的研究工作,主要在建库设计可供水量计算、高压喷射灌浆地下建坝孔距优选及板墙厚度设计、地下水雨洪回灌工程设计、地下坝防海水入侵技术指标、地下坝质量评价无损检测方法、地下水水库补给——开采优化调度研究以及地下建库经济效益分析方面进行了深入研究^[2]。

2.2 无坝地下水

当地下水库的储水区不需修建地下挡水坝就能形成有效调蓄库容时,此类地下水称为无坝地下水。

美国从 19 世纪末期便开始进行地下水人工补给的实践,主要用于解决地下水过量开采引起的水资源枯竭和海水入侵等问题。在长期的地下水人工补给实践中,利用含水层对水的储存、输送和释放功能,将人工补给、地下储水及开采有机配合起来,从而实现了水资源地下调蓄,发挥了地下水库的功能。

美国在调节水资源供需平衡方面提出了“水银行”概念^[3],水权拥有者可以将富余的水出售或存入水银行,需要水的用户可以从银行提取水资源。“水银行”的概念本身包括了水权分配和管理、工程措施及运行等一系列先进做法,它主要是以市场运作的手段实现水资源供需矛盾的调节,但水权交易的剩

余水量通常储备于地下含水层中,因此,水银行行的储水实体也常被称为“地下水”。位于加州河谷南部的 Kern 县水银行,以 Kern 河冲积扇为蓄水实体,其蓄水能力至少有 12.35 亿 m³,目前已蓄水 10.7 亿 m³,抽水能力达到约 3 亿 m³/a,是世界上最大的水银行。

自 20 世纪 80 年代以来,美国开始实施“含水层储存和回采 (Aquifer Storage and Recovery, ASR) 工程计划”,在干旱和半干旱地区推广利用含水层调蓄水资源的做法:在丰水季节将水通过注水井储存到合适的含水层中,当需要的时候,再通过该井将水抽取出来以供使用 (Pyne, 1995)^[4]。ASR 工程的设计思想与地下水库的理念不谋而合,但由于它主要以承压含水层为目标,并以井灌为补给手段,因此我们只能将其视为地下水的一种类型。ASR 工程的应用范围除了水资源地下调蓄外,还广泛用于保护和修复生态环境、改善水质以及管理废水等。到 2002 年 7 月,美国正在运行的 ASR 系统共有 56 个,而建成的系统则在 100 个以上^[5]。美国水资源委员会于 2000 年底完成的《区域和全国尺度地下水系统调查》报告,在所确定的全国和区域地下水系统 7 个优先研究领域,含水层储存和回采工程 (ASR) 被列为第二项^[6]。

我国的无坝型地下水研究主要是在人工补给实践与浅层地下水开发利用研究相结合的基础上发展起来的。1977~1982 年间,河北省南宫县进行了地下水试验研究工作,库区位于清凉江以北、滹河以东的黄(河)、清(河)、漳(河)古河道带上,面积 206km²,地下有大约 30m 厚的砂层,库底是不透水的粘土层,库面是入渗条件良好的砂壤土,总蓄水量可达 4.8 亿 m³,年可调蓄水量 1.12 亿 m³,兴利库容 0.84 亿 m³。在库区东南选定 10km² 范围作为中心试验区,研究内容包括库区条件论证、工程设计、回灌引渗、水源论证、水均衡计算与调节运用、水质变化以及社会经济效益分析等。它是我国最早的相对完整的大型无坝地下水,现已初步建成提水、输水、拦水、排水、引渗等 20 多项工程设施^[7]。

1981 年,原国家科委把《北京西郊地区人工调蓄地下水资源(地下水)试验研究》列为重大科研项目。要求分析北京回灌水源地条件、含水层入渗性能、回灌引渗条件与技

术方法、地下水人工补给堵塞机理及消除堵塞的方法、人工补给地下水的水动力场、浓度场和温度场的变化特征、探讨地下水人工补给渗流理论和方法,为建立西郊地下水提供科学依据。北京市地质局水文地质工程地质公司于 1981~1983 年间,在北京近郊约 1 000km² 范围内开展了大量的水文地质调查、回灌试验以及室内模拟实验,进行了各种水文地质参数的测试,取得了近百万个数据,综合研究圈定出西郊地区 283km² 的面积为地下水库区范围,总库容约 8 亿 m³。通过模型研究,论证了控制地下水位持续下降和进行优化调蓄的方案,虽然这一方案论证后并未实施,但为平原区地下水建设论证工作提供了可供借鉴的模式。

2.3 地下水研究方面存在的主要问题及对策

地下水在工程技术上的难点主要集中在人工补给工程补给效率问题(入渗速度和入渗量)、堵塞的预防与治理问题、地下储水的水质变化和水岩相互作用等问题,对于这些问题,可以借鉴国内外关于地下水人工补给方面的相关研究成果。

尽管世界各国在利用地下水进行水资源人工调蓄的实践方面已有多年历史,但至今尚未形成系统的地下水理论体系,目前存在以下主要问题:

(1) 地下水的概念界定问题。在美国的科技文献中“groundwater reservoir(地下水)”通常指的是含水层,而水银行(drought water bank)、含水层储存和回采(aquifer storage and recovery, ASR)以及一部分综合利用的地下水人工补给 (artificial recharge, AR) 工程则与我们所特指的地下水有异曲同工之处,但又有所不同(本文暂将其划入地下水的范畴);而在日本,只有修建了地下坝的水资源地下调蓄工程方可称为地下水。在中国,关于地下水概念的理解基本可以划分为 3 种:第一种观点认为地下水与含水层的内涵相一致^[8];第二种观点认为地下坝是地下水的重要标志;第三种观点认为地下水是基于含水层或蓄水构造之上,结合了地下水人工补给、开采等技术的系统工程,而地下坝也不是地下水必需的要素^[9,10],这种观点目前占据着主流。

由于概念的内涵不明确,关于地下水的组成、功能以及分类等一系列相关的理论

问题一直都是众说纷纭。因此,要想促进地下水理论的发展和推广,首先需要对其概念进行科学的界定。

(2)地下水库的建设与管理需要规范。迄今为止,关于地下水库的工程组成与建设、回灌水的水质标准、监测系统的建立以及地下水库建成后的维护和管理等一系列问题都还没有一个明确的指导原则,严重影响了地下水库的建设与推广。

鉴于以上存在的问题,目前急需开展以下3个方面的工作:

(1)建设典型类型的地下水库示范工程,对其相关的理论与实践问题进行重点、综合的研究;

(2)在全国范围内开展大型地下水库建设的潜力调查,推广水资源的地下调蓄方法;

(3)逐步建立和完善指导地下水库实际工作的理论方法和操作性强的应用规范。

3 地下水库技术在中国的发展前景

地下水库利用含水层实现水资源的地下调蓄,调节水资源供需的时空矛盾,是一种高效利用有限水资源、实现水资源可持续发展的重要途径,在水资源开发和调蓄领域具有广泛的适用性,尤其在解决我国以下地区的水资源开发利用问题上具有十分重要的意义:

(1)干旱半干旱地区。这类地区通常属于生态环境脆弱地区,水资源开发不当,往往会引起生态环境退化问题。而地下水库作为一种环保型水资源开发工程可以有效实现地表水与地下水统一规划、联合利用,不仅能够解决或缓解水资源短缺问题,并且对于保护生态环境也具有积极的影响。例如,在我国西

北干旱地区就应严格限制修建地表水库拦截山区径流的作法,而应充分利用山前戈壁带天然地下水库^{[1][2]}的调蓄功能。

(2)岩溶山区。以中国南方岩溶山区为例,虽然雨水资源丰富,但却普遍存在干旱缺水问题,其主要原因,一是岩溶含水层自身的特点导致雨季大量径流从地表和地下迅速流失,枯季径流急剧衰减,仅开发利用动储量远远不能满足需求;二是岩溶区存在独特的地表、地下双层水文网,岩溶渗漏严重,修建地表水库的地质条件一般较差,人工调节径流的效果很不理想。而地下水库可以通过修建地下挡水工程控制岩溶含水层的调蓄能力,还可以利用地表岩溶渗漏的地段修建地表拦蓄工程补给地下水,极大地提高水资源的利用程度。

(3)滨海地区。滨海地区水资源的主要问题在于区域水资源短缺和大量超采地下水引起的海水入侵,而地下水库技术对于解决这一问题也十分有效。当海岸地带咸淡水流通性较差时,可以考虑建设无坝地下水库,将汛期降水、地表弃水以及处理过的污水通过人工补给工程储存在含水层中,既可增加枯水季节水资源保证程度,也可抬高地下水水位达到控制海水入侵的目的。如果海岸地带咸淡水流通性较好,可以修建有坝地下水库,主要通过地下坝拦截入海潜流增加水资源储存量,并且可以达到有效阻止海水入侵的效果。

(4)地下水超采区。调整超采区的开采规划,利用其超采腾出的“地下库容”,有计划地将处理达标的废水、丰水季节的地表余水等补给含水层,一方面提高水资源的使用率,另一方面使地下水资源得到涵养。目前“南水北调”以及其它一些调水工程的实施,

为受水区建设地下水库提供了有利的水源条件。^[13]

参考文献:

- [1]邓自民.喀斯特地下水与成库条件[J].贵州科学,1995,13(3):16-22.
- [2]李道真,李呈义,刘培民等.滨海平原地下建库供水开源防止海水入侵技术研究[J].水利水电技术,1997,(8):15-17.
- [3]陈皓.加利福尼亚的“水银行”[J].科技导报,2000,(1):37-38.
- [4]British Geology Survey,Elucidating the Hydrogeological Issues associated with aquifer storage and recovery in the UK[R].2002.
- [5]韩再生.为可持续利用而管理含水层补给[J].地质通报,2003,(2):142-143.
- [6]张丽君.美国《区域和全国尺度地下水系统调查》[J].国土资源,2002,(1):52-53.
- [7]李文果,郭维东,方明.利用地下蓄水层缓解水资源短缺的探讨[J].排灌机械,2002(6):29-31.
- [8]张宏仁.关于“地下水库”,<http://203.93.38.203> [EB/OL].2002-4-24.
- [9]徐恒力.水资源开发与利用[M].北京:地质出版社,2001.
- [10]赵天石.关于地下水库几个问题的探讨[J].水文地质工程地质,2002(5):65-67.
- [11]陈梦熊,马凤山.中国地下水资源与环境[M].北京:地震出版社,2002:198-199.
- [12]耿雷华,陈晓燕,贾健等.西北地区水资源数量、质量及其分布规律[J].自然资源学报,2003,(3):268-273.
- [13]余强,赵云章,苗晋祥等.南水北调中线工程地下水库的基本特征与调控管理[J].水科学进展,2003(2):209-212.

(责任编辑:曙 光)

Study on the Distribution and Storage of Water Resources by Groundwater Reservoir

Abstract:Groundwater reservoir that is becoming the bright spot in the field of water resources regulation and storage has special effect on development, utilization and protection for water resources, it was thought as the important way to realize sustainable development of water resources. In China, it's important to develop the theory and practice research on groundwater reservoir and to establish the relevant criterion. The groundwater reservoir has special meaning for sustainable development of water resources in some area with vulnerable environment, such as arid and semi-arid area, karst area, seashore area and groundwater over-development area.

Key words:groundwater reservoir; regulation and storage; artificial recharge; aquifer