

地下水库研究浅探

易树平 迟宝明 戴长雷 高淑琴

(吉林大学环境与资源学院 ,吉林 长春 130026)

摘要 通过综合分析 ,对地下水库的概念进行了界定 ,指出了地下水库的 4 大蓄水条件及其在水资源系统中的作用 ,简要介绍了目前国外地下水库的研究概况及国内的研究成果 ,结合实践经验 ,将地下水库设计论证的众多内容归纳为库体勘察、工程设计、模拟运行和数据论证 4 个部分 ,并分别进行了论述 ,最后 ,分析指出了目前地下水库研究存在的不足 ,以期得到进一步的深入研究。

关键词 地下水库 地下水调蓄 水资源优化 库体勘察

中图分类号 :TV62⁺.3 ;P641.8 文献标识码 :A 文章编号 :1006-7647(2004)07-0007-03

进入 21 世纪 ,水危机是人类面临的最严峻的挑战 ,目前 “ 节水、储水和调水 ” 为人类社会缓解水资源供需矛盾的三大措施 ,关于 “ 储水 ” ,世界上许多国家和地区都比较热衷于修建地下水库 ,然而 ,什么是地下水库 ? 其研究应用状况如何 ? 兴建地下水库需要做哪些工作 ? 地下水库研究还存在哪些不足 ? 本文拟就上述问题展开讨论。

1 地下水库

迄今为止 ,地下水库还没有一个统一的定义 ,林学钰认为 : “ 地下水库技术就是利用含水层空间 ,作地下水储存的库容 ,采取一定的工程措施 ,将自然排泄入海的洪水、河水和水库弃水 ,引渗到地下储存起来 ,然后进行调节扩大开采利用地下水 ”^[1] ,赵天石认为 : “ 人们将为了优化水资源配置而成功施加人工干预的地下实体称之为地下水库 ”^[2] ,杜汉学认为 : “ 所谓地下水库就是指存在于地下的天然大型储水空间 ”^[3] ,其他学者也发表过类似的定义 ,从许多文献给出的定义看 ,虽然在字面上表达不尽一致 ,但从中可以抽象出地下水库的本质是 “ 实施地下水开发工程的地下储存实体 ” ,因此 ,作者将地下水库定义为 : “ 在人为工程干预下进行地下水开发、具有一定调蓄规模的地下蓄水实体 ”。

“ 人为工程干预 ” 包括地下水的补入、截流、采出及监控等 ,它强调人类活动的主观控制作用 ,纯天然的地下含水层或含水系统 ,由于缺乏人类主观能动作用 ,就不能称之为地下水库 ;进行地下水开发 ”

则表明地下水库如地表水库一样 ,是蓄水与用水的循环组合 ,其目的是扩大开发利用水资源 ,只蓄水不用水或只用水不蓄水的地下蓄水实体都不能叫作地下水库 ; “ 一定调蓄规模 ” 指出地下蓄水空间并不是越大越好 ,以地下水库的调蓄库容^[4]可提供国民经济建设稳定的水源为准 ; “ 地下蓄水实体 ” 则是指大型层状孔隙含水层、岩溶储水空间或大型含水构造带等。

必须指出 ,不是任何地下含水系统都可运用地下水库技术来进行调蓄的 ,必须同时具备下述 4 个条件 :①充裕且水质符合回渗条件的水源 ;②规模适当、易于控制的地下调蓄空间 ,即调蓄库容 ;③便利、良好的水更替条件 ;④经济可行性条件。

具备上述条件修建而成的地下水库 ,可以充分发挥水资源优化配置的作用 ,首先是蓄水 ,利用库内多孔隙介质构成的库容空间 ,遵循 “ 以丰补歉 ” 的原则 ,于丰水期储存大量淡水资源 ,以备枯水期之用 ;其次是调水 ,应用适当的工程手段 ,通过干预地下水的补入与采出 ,由此完成水资源优化配置的功效 ,此外 ,地下水库还可以防治海水入侵、地面沉降 ,控制缓解地下水降落漏斗 ,滋养生态环境 ,调节小气候 ,储冷储热等。

2 地下水库研究概况

2.1 国外地下水库研究

一个多世纪以来 ,世界上一些国家就已致力于利用地下库容来储热、储气、储油、储淡水以及放置

基金项目 :吉林省科技发展计划资助项目(20010432)
作者简介 :易树平(1979—)男 ,四川富顺人 ,博士研究生 ,主要从事地下水研究。

废水和毒液^[5]。20 世纪二三十年代,日本、以色列、美国、中东、荷兰、前苏联、南斯拉夫、法国等国家和地区就开始了运用地下含水层来调蓄淡水的工程实践,建立了为数众多的地下水库,并取得了显著的经济、社会和生态效益。

随着工程实践的推进和理论研究的加强,人们在运用地下水库进行调蓄的过程中,遇到了各种各样的问题和困难,同时也积累了丰富的经验。目前,由于世界各国发展程度及所处的地理环境不同,地下水库研究的侧重点也不一样,可大致归纳如下:

a. 人工补给方式及淤塞处理研究。人工补给作为地下水库的一项关键技术,受到世界各国的普遍关注,各国都在积极探索各类条件下人工补给的技术方法和经验。例如澳大利亚 Peter 等对不同的补给方式进行了比较研究,论述了选择补给方式时应当考虑的各种影响因素^[6];印度 Krishnamurthy 等运用遥感和 GIS 技术对西印度半干旱硬岩地区进行了不同回灌方式的应用研究,提供了一种新的研究方法^[7]。

对于运用人工调蓄历史比较悠久的国家,由于人工回渗水源或其他条件的改变,形成物理、化学、生物淤塞,降低了入渗速率,严重影响地下水库的运行效益。因此,实验和研究各种处理淤塞的方法,也愈来愈受到人们的重视。如美国的 Bouwer 对引起淤塞的物理、化学、生物作用进行了分析,并提出了相应的预防、处理、补救等措施^[8]。

b. 含水层存储和恢复过程中水质变化研究。水质的变化直接关系到地下水库的长期稳定运行,是决定地下水库成败与否的关键。因此,目前世界上许多国家都在致力于这个方面的研究。澳大利亚 Peter 对 Bolivar 灰岩地区的暴雨回灌以 DOC 为指标进行了深入研究,分析了回灌井和周边地区在回灌和抽水的各个阶段水质变化规律^[9];德国自由大学的 Massmann 等对德国 Oder 河河口也进行了相似的研究^[10];美国学者 Pyne 利用 20 多年的研究经验,撰写了专著《含水层恢复指南》^[11],详细地论述了含水层存储恢复中水质的变化。

除上述研究以外,围绕地下水库还有防止海水入侵研究、数值模拟评价研究、生态优化研究等等,荷兰和纳米比亚等国家正在开展相关方面的研究工作。

2.2 国内地下水库研究

我国很早就提出了地下水调蓄的概念,但实际应用却处于起步阶段。综合我国地下水库研究和实践状况,笔者认为可概括为以下两点:

a. 理论研究已具有一定基础,可为进一步研究和应用提供支撑。理论研究从地下水库的概念、组

成、蓄水原理、库容计算到勘察要点、止水坝施工方法、地下水库的运行管理等,都取得了一定的成果。林学钰 1984 年对地下水库的定义、地下水库的设计论证及地下水库的运行管理进行了深入浅出的论述^[1];赵天石 2002 年详细探讨了地下水库的基本概念、组成、资源评价方法和水资源联合调度问题、勘察要点、地下止水坝的施工方法、水资源保护和地下水管理、地下水库的优势和不足及开发前景等问题^[2];汪文科、孔金玲 2001 年利用有限元和有限分析数值模拟技术对关中盆地秦岭山前地下水库的调蓄功能进行了模拟,取得了较为成功的经验^[12]。此外,其他许多专家和学者也进行了相关的研究,取得了大量研究成果。

b. 已成功建成一批地下水库工程,积累了宝贵的实践经验。伴随理论研究的逐步完善,我国许多省市都开展了地下水库研究,见诸于文字的有北京西郊、河北南宫、河南、山东、山西、辽宁、吉林、陕西、广西、新疆等地。实施兴建了大批地下水库,如北京西郊、山东龙口、大连龙河、三涧堡等地下水库,这些水库不但取得了巨大的经济、生态、环境、旅游效益,还在库址选择、工程施工、水库运营、水资源保护等方面积累了大量经验,起到了很好的带头作用,同时极大地促进了地下水库的理论研究。

总之,由于地下水库在水资源系统中所具有的巨大兴水利、除水弊作用,国内外关于地下水库的研究和应用正在蓬勃兴起,研究内容亦在不断扩展。随着研究方法的改进和新技术的应用,地下水库将会在人类生活中发挥愈来愈大的作用。

3 地下水库的设计论证

实践证明,地下水库是优化水资源配置的有效手段^[13]。但地下水库从其规划到兴建,需要开展一系列前期工作,即设计论证。笔者通过分析和总结,将地下水库设计论证的内容概括为 4 个部分,即库体勘察、工程设计、模拟运行和数据论证,如图 1 所示。

a. 库体勘察。库体勘察为地下水库设计论证的起点,属于基础工作部分,主要目的是掌握库区水文地质及工程地质条件。工作内容包括库址选择、库边界勘察、库容勘察及调水能力勘察。通过野外勘察、试验和观测,获取含水层厚度及分布、孔隙度、给水度、渗透系数、三维边界性质、水力坡度、地下水动态、污染状况、水源潜力等信息,为工程设计等下一步设计论证提供依据。

b. 工程设计。工程设计以库体勘察所得的基本信息为指导,结合水资源丰枯及供需状况,定点、定规模地设计人工补采工程和地下拦水坝工程及其他

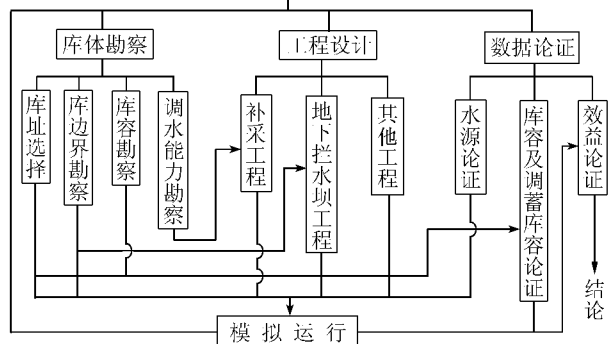


图1 地下水库论证设计示意图

如地表排污、监测、残留咸水体处理、海潮拦截等辅助工程。补给工程的设计应确定补给区域及适宜的补给方式,根据水源状况,还应拟订补给工程量的大小及水质改良工程等;开采工程则应结合水文地质条件及补给工程状况,确立取水位置、方法、井数、井距及井结构等,以从时间和空间上最大地利用地下水库而又不造成环境地质及生态问题。地下拦水坝工程的设计主要是根据透水边界的水工条件,确定坝址、设计坝的长、宽、高、渗透性能指标及选择施工方法等。辅助工程的设计则视具体情况而定,能够管理和维护地下水库的正常运行即可。

c. 模拟运行。模拟运行是指运用计算机技术模拟将要建设的地下水库,模拟其建成后在各种条件下,采用不同工程组合的运行结果,从而提出多套地下水库方案以供选择,规划和指导地下水库的建设和运行管理。地下水库的模拟一般采用数值法^[12,14],常用的有有限差分法和有限单元法两种,相应的计算机模型有 Modflow 和 Feflow 等。模拟步骤分为建立水文地质概念模型、建立地下水库的数学模型、从空间和时间上离散数学模型、识别模型、验证模型、模拟预报等 6 个步骤^[15]。

d. 数据论证。在地下水库的设计论证中,必须得出补给水源、库容及调蓄库容、效益的定量结论,可统称为数据论证。其中,水源论证包括天然补给量和补源工程补给量两部分,应确定水源组成,计算补给量,预测补给时间规律等,为地下水库的运行和开采利用提供依据;库容及调蓄库容的论证则通过分区计算或数值法而得,明确地下水库的使用价值。效益论证则是计算不同方案下兴建地下水库所需要投入的成本和能够获得的效益,当获得的经济效益、社会效益和生态效益大于成本时,地下水库才具备了实施的前提。

上述各部分内容互为条件,又彼此论证,共同协作完成地下水库的设计论证,最终得出一种或多种优化的地下水库可行性方案,供决策部门选用和指

导地下水库的兴建、运行及管理。

4 地下水库研究存在的不足

a. 调蓄水源的定量刻画研究。调蓄水源的计算涉及到气象学、概率论、运筹学及水文地质学等多学科知识,考虑因素众多,计算条件复杂,目前成功的计算范例还不多见。调蓄水源计算的关键在于流域降水产、汇流与水资源多目标规划及地下水回渗补给三者之间的有机结合,计算预测调蓄水资源量的时空分布规律问题,指导地下水库的决策运行。

b. 滨海地下拦水坝的设计研究。这主要涉及到地下水动力学及工程地质学方面的知识。设计地下拦水坝时要考虑三个方面的影响因素:一是海水入侵影响,二是残留咸水的处理,三是地下水库的库容。合理的地下水坝应当是理想的地下库容与咸水处理费用的最优组合,坝体的渗透性能指标及坝底的最大埋深(尤其对巨厚含水层)必须以能防止海水入侵为准。

c. 水质衍变研究。目前,进行地下水库的人工补给时,大多都考虑补给水源的水质,而事实上,由于地下水库循环用水的结果,可能破坏库内的盐均衡,造成不同水质的混合和弥散,使地下水质变坏。因此,应当对回灌水、地下水及含水介质岩性进行综合分析,考虑水动力条件改变的条件下混合水的水质衍变规律,防患于未然,促进地下水库的良性运行。

d. 模拟管理研究。进行地下水库的综合论证时,针对地下水库的模拟有一系列功能强大的软件包,但由于地下水库的复杂性,同时考虑水文、地质、数学、化学等学科的知识,目前还没有一个全面的、针对地下水库模拟管理的软件。因此,合理地将众多信息归纳、概化为合适的条件进行不失真模拟,以及改进模拟软件来适应地下水库模拟均为需要加强研究的方向。

此外,地下水的补采方式、残留咸水体的处理、地下水库的监测管理等方面也存在不足,需要加强研究和实践。

5 结 语

地下水库是指在人为工程干预下进行地下水开发、具有一定调蓄规模的地下蓄水实体。地下水库的开发需具备水源、调蓄空间、水更替及经济可行性 4 个条件。目前,国外地下水库趋向于补给方式、淤塞处理、水质衍变、生态优化等方向的研究,国内则在地下水库原理、勘察、模拟、管理监测等方面取得了一定的成就,且积累了丰富的实践经验。地下水库的设计论证可概括为库体勘察、工程设计、(下转第 56 页)

通过遥感对洪涝灾害进行监测,采用计算机识别遥感信息,利用遥感信息分析河湖形势、河道状况、河中的阻洪障碍物以及沿河水利工程薄弱处等信息,并进行洪涝灾害损失的评估,为防汛指挥部门提供可视化三维多媒体抗洪决策支持及灾害实况动画模拟。

3.4 旱灾的监测

旱灾的表现和影响可以从航天遥感图像上直接或间接分析出来,因此,用航天遥感监测旱情是一种较好的手段。由于土壤的介电特性和含水量有着密切的关系,不同介电常数的物体,其回波信号不同,即不同含水量的土壤微波回波也不同,通过建立两者的关系,可以利用微波遥达到监测土壤含水量的目的,同理,利用微波遥感或电磁波遥感也可以估算蓄水工程的蓄水量和河道流量,确定旱情的严重性,将作物的类型及生长情况与遥感信息建立相关的数学模型,在旱灾发生时,可以通过遥感信息来推算农作物的受旱情况。

3.5 洪涝灾害快速评估信息系统

快速灾情评估信息系统是地理信息系统和遥感系统的有机结合和综合应用,在易发洪涝和旱灾地区,逐步建立灾害评估信息系统,将水文气象站点分布数据、地貌、土壤植被、土地利用和社会经济等统计数据分层存储于信息系统中,作为区域自然灾害背景信息,待灾害发生后,利用遥感技术将遥感到的

反映灾害情况的遥感信息输入信息系统,便可以进行洪涝灾害快速评估。

3.6 雷达遥感技术在防汛中的应用

由于不同大气、云和降水与雷达电磁波之间的相互作用所产生的规律和特征不同,因而可以利用雷达来研究和探测大气、云和中小天气系统的结构、演变规律以及降水的分布和变化过程,对灾害性天气进行监测和预测。福建省已在龙岩、厦门、建阳等地建设雷达回波测云系统,并于2004年在泉州、厦门和漳州等地的人工降雨中发挥了重要的作用。

4 结 语

3S技术是建设“数字防汛”的基础,是实现可视化防汛指挥决策和防汛现代化的关键技术。3S技术虽然在防汛中得到了一定程度的应用,但福建省的应用表明,其潜力还远远没有得到充分发挥。随着信息技术的发展和人们对3S技术认识的加深,3S技术与防汛抗旱紧密结合的应用前景将会更加远大。

参考文献:

[1] 陆桂华,赵学民,薛联青,等.遥感和GPS技术在黄土高原水土保持中的应用[J].水利水电技术,2001,33(5):44~47.
[2] 许志宏.GMS气象卫星云图实时数据录取和图像处理[J].电子技术应用,2002(10):51~53.

(收稿日期 2004-04-06 编辑 高建群)

(上接第9页)模拟运行和数据论证等4个相互关联的部分,每个部分都具有相应的工作内容,其中水源刻画、滨海地下拦水坝设计、水质演变、模拟管理等由于涉及范围广,考虑因素多,需要进一步加强研究。尽管如此,地下水库仍将在未来发挥愈来愈大的作用。

参考文献:

[1] 林学钰.论地下水库开发利用中的几个问题[J].长春地质学院学报,1984(2):113~121.
[2] 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.
[3] 杜汉学,常国纯,张乔生,等.利用地下水库蓄水的初步认识[J].水科学进展,2002,13(5):618~622.
[4] 戴长雷,迟宝明.地下水库调蓄能力分析[J].水文地质工程地质,2002(2):37~40.
[5] 林学钰,廖资生.地下水管理[M].北京:地质出版社,1995.
[6] Pter J C, Bridget R S, Richard W H. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge[J]. Hydrogeology Journal, 2002(10):18~39.
[7] Krishnamurthy J, Mani A. Groundwater resources development in hard rock terrain-an approach using remote sensing and GIS

techniques[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2000, 2(3):204~215.
[8] Bouwer H. Artificial recharge of groundwater:hydrogeology and engineering[J]. Hydrogeology Journal, 2002(10):121~142.
[9] 韩再生.为可持续利用而管理含水层补给——第四届国际地下水人工补给会议综述[J].水文地质工程地质,2002(6):72~73.
[10] Massmann G, Tichomirowa M, et al. Sulfide oxidation and sulfate reduction in a shallow groundwater system (Oderbruch Aquifer, Germany) [J]. Journal of Hydrology, 2003, 278(1):231~243.
[11] Pyne R D G. Groundwater recharge and wells: a guide to aquifer storage recovery[M]. Lewis Publishers, CRC Press, 1995.
[12] 王文科,孔金玲,王钊,等.关中盆地秦岭山前地下水库调蓄功能模拟研究[J].水文地质工程地质,2002(4):5~9.
[13] 田园,张原秀,孙雪峰.黄淮海平原地下水人工补给[M].北京:水利电力出版社,1990.
[14] 陈南祥,殷淑华,邱林.平原(灌区)地下水库的数值模拟[J].灌溉排水学报,2003,24(4):50~53.
[15] 房佩贤,卫中鼎.专门水文地质学[M].北京:地质出版社,1996.

(收稿日期 2004-09-08 编辑 熊水斌)