

地下水库耦合系统的组构及作用

Composition of Coupling System of Underground Reservoir and Its Role

向华龙¹ 沈珠江²

(南京水利科学研究所, 研究员¹; 中国科学院院士² 南京 210024)

水资源所具有的时空特征表明水资源的自然分布不仅存在空间(地区、流域)上的差异而且在时间(年度、季节)上也不相同。我国由于降水量在时空上的严重不均衡性,更突出了水资源的时空差异特性。储水的重要性在干旱半干旱地区尤显突出;加上每年有汛期与否之分,并且存在丰水系列和枯水系列年度之别的差异,就更有必要建造各种储水工程。下面就如何开发和利用地下可储水空间即地下水库展开研讨。

一、地下水库及其储水的优越性

我国的地表水库大都修建在河流的上游以及中游,其负面作用便是经过梯级拦截河水而减少甚至中断了下游应受水区的供水量。华北平原地处诸多河流的下游,极度缺乏供水量以及可供储水的地表水库;但华北平原却具有另一种储水的优势条件,那就是广泛存在于华北平原的地下可储水空间即天然地下水库。这些天然地下水库因得到相应地质构造的界定而具有可持续储水功能,仅沿海地区的部分地下水库可能需构筑地下坝体阻隔海水侵入。华北地区长期以来地下水超量开采,形成以北京、石家庄、保定等市为中心的浅层地下水漏斗区,合计漏斗面积约 41 000 km²;此外还形成了以沧州、廊坊、天津等市为中心的深层地下水漏斗区。浅层地下水漏斗区是本文研讨的重点。而已经形成的地下水位降落漏斗也就成了对储存水量有利的不泄流边界条件。

天然地下水库储水具有得天独厚的优越性。地下水库本身不占用宝贵的地表国土资源。地下水库通常不需修筑地下拦蓄工程就能储水,因此储水成本降低。用地下水库储水的蒸发损耗较少,不仅可以免受地表自然空间环境对水质的污染性干扰,而且还可以通过地层的综合过滤机能对水质起到不同程度的过滤作用。将地表水转化为地下水以及对地下水的回灌补给将遏制地下水位的下降,并可以提升地下水位,从而明显有利于减小地面沉降,这

是保护环境的安全性要求。地下水库所具有的巨量可储水库容和有利于保护水质的先天优势将促使人类对其予以更加广泛的重视和开发利用,这也是一种必然趋势。

目前世界上最大的地下水库当数利比亚的沙漠地下水库,并且已得到成功的开发和利用。利比亚南部的撒哈拉沙漠下面深储着令人兴奋的巨量地下水,当地仅迈尔祖克、库夫拉、哈马德和艾季达比耶等 4 处地下水储量就超过 10 000 亿 m³。利比亚政府采用直径 4m 的钢套筒预应力混凝土管道在沙漠中长途输水 1 000 多 km,由此兴建了举世瞩目的“大人工河”,取得了开发和利用沙漠地下水库的明显成效。

综上所述,地下水库可以为人类储存和保护水资源并充分利用这些水资源作出巨大贡献,其最鲜明的特点是使我们能把调水工程和储水要求有机地结合起来,并且能使这种努力跟自然界取得和谐与协调。显而易见,地下水库的勘察、规划和开发是环境地质学与环境岩土工程的重要组成部分,具有广阔的发展前景。

二、开发地下水库需要设置配套工程

将所探明的地下可储水空间转化成拥有相当储水量的地下水库,需要设置配套工程以完成一个以渐进为特点的注入水量的过程。这里主要是指由调水工程引来的客水量。人为开发地下水库必须设法加快和加大注入水量,使回灌补给、排渗补给以及多种形式的渗漏更加有效。

这里提出的配套工程主要是修建地表漏水水库与建造地表生态河,将二者综合起来,使之与对应存在的地下可储水空间相耦合,实现地下水库与地表漏水水库及生态河的耦合系统的功能作用。提出这种地下水库耦合系统,是充分考虑到了调水工程的运行特点,即调水特征是每年汛期来水量大但历时却并不长,而汛期调水峰值时段尤需充分加以利用;为此完全应当在相应地表修建一种人为漏水

的水库,并且建造生态河来串联调水干渠和漏水水库。漏水水库和生态河在地下可储水空间和调水干渠之间起到过渡作用。由于漏水水库自身具备容纳调来水量的能力即拥有一定程度的可变动库容,因此能够把汛期峰值调水量滞留在库内,然后再以一种被地下储水空间能够接受并能实现的排渗强度或回灌流量,而注入地下可储水空间。

由此可见,研究的重点在于:如何因地制宜在地表修建漏水水库以及生态河;如何经济而又有效地实现地下可储水空间与地表漏水水库的耦合,最终取得地下水库有效储存水量的规模效应。

漏水水库与常见的防渗水库相反,它的基本特征是库底人为漏水。提出修建漏水水库的建议^[1]时首先研究了大型聚淤这种天然形成的漏水水库形态。聚淤的地表呈现湿地状态,大量降雨后积水成潭,但随后就会渗漏殆尽而作物照样生长。由此可见天然漏水水库具有三大基本功能,即滞洪、淤地和使积水直接渗漏到地下,但最主要的功能是把地表水转化为地下水,只不过在这个转化过程中体现出了可以滞洪拦洪并能够淤地的功能。因此,漏水水库作为一种工程而言与为防止土壤流失而兴建的淤地坝有根本区别。中国的淤地坝以广泛修建在黄土高原沟蚀严重地区并显见保土成效而闻名于世;但蓄意而主动地由人工修建的地表漏水水库,将在汛期起到滞留水量并同时向地下水库泄流的作用。

人工修建漏水水库的技术关键是在库内有效设置漏水通道,例如漏水井。对漏水井的基本要求是排水畅通、防止淤塞,并需有足够的深度而能与地下储水层相连通。漏水水库若涉及淹没农田则需加大单井的排渗能力并增加井数,从而缩短库内水量基本渗漏完毕所需的日程,这与农作物的耕作及生长季节相关。应当指出,由于兴建漏水水库的投资较大,而且主要是公益类投资,因此有赖于政府行为。由地表水和外调客水转化为地下水后,届时抽取使用的水权和水价也是需要探讨的问题。

修建生态河意味着不采用混凝土或浆砌块石等刚性衬砌来构筑河道,而是从环境岩土工程学角度建造生态河堤,或者说按照生态水工学的要求营造生态河堤的绿色植被,栽培具有治污效能的水生植物例如芦苇、慈姑、茭白等,恢复和发展自然河流的生态链,增强河流的生态功能。修建这样的生态河,可以扩展河岸湿润地带,使水系和土壤介质以及生物群体之间恢复和维持自然的和谐关系,这必然会改善水环境。利用生态河输水将增强水体的净化作用从而提高水质,并能够营造出优美和谐的生态景观。为此必须针对已探明的地下可储水空间来规划和修建与之配套的漏水水库和生态河。

三、组构天然地下水库的耦合系统

要把地下可储水空间开发成有效储水的地下水库,使之在调水工程有限的丰水调度期内获得上规模的储水库容,必须解决储水技术难度较大的问题。汛期时丰水调入历时较短且来水量大,势必要求地下可储水空间尽可能提速并尽可能加量地纳入进水量。这就需要为此提供一种“工作平台”,即先为汛期调来丰水提供一个暂时滞留的场所,而且必须是在滞留的同时大量下漏,向地下可储水空间泄入水量。这种一边滞水一边泄流的工作平台正是如上所述的漏水水库。而地下水库与地表漏水水库连同生态河就组构成了一个工况良好的耦合系统。

为了搞好地下水库耦合系统的规划和设计,应重点研究、确定修建漏水水库的合理布局。在确定地表漏水水库的位置或坝址时应充分考虑以下几个方面:(1)地表漏水水库的库区投影面积应当位于相应地下水库区域以内,并且面积明显小于后者,还必须满足可以由上向下贯通的泄流和排渗要求;(2)在满足(1)的条件下,地表漏水水库的位置应当尽量靠近调水工程的骨干渠道,以便减少由调水干渠向漏水水库输水的距离;(3)在满足(1)和(2)的条件下,尽可能把地表漏水水库布置在地下水库靠上游一端的相应部位,这将有利于地表水和调来水量向地下储水空间排泄后的流动;(4)在调水工程干渠和地表漏水水库之间开辟生态河,使所调水量进入生态河流到漏水水库中去。同时也可以尽量利用原有生态河或断流河道。

在调水工程的规划和实施中应当考虑利用汛期和丰水系列年度的水量优势营造出生态河的自然回归状态。这种由调水工程干渠为新开辟的生态河提供生态用水的构想在中线工程所经河北省和京津地区很有实施的必要和可能。原有的和新辟的生态河所出现的水量泄漏对该地区相应存在的大中型地下可储水空间则是有效的水量补给方式。我们还可以利用生态河流两侧的低洼地形修建若干个不同规模的地表漏水水库,例如修建一系列小型漏水水库与生态河流连接起来。这些简易的小型漏水水库与生态河形成一种瓜蔓式结构。这样的瓜蔓式结构将增加地表水和外调水向地下水库泄漏和排渗的通道,并且由于多个漏水水库的滞水库容明显增多,便能在汛期丰水状况下更多地滞留水量并向地下水库排泄水量。生态河两旁可以修建小型漏水水库,而生态河的末端则是直通主体漏水水库。

四、地下水库耦合系统的重要作用

地下水库耦合系统在我国水资源保护和利用上将发挥以下多方面的重要作用。

1. 在平原排涝抗旱的减灾工作中发挥滞洪蓄洪的调蓄作用 由地下可储水空间与地表漏水水库及生态河组构的耦合系统形成了一种崭新的滞洪调蓄模式,在汛期洪水提供了安全的出路,例如地下水库蓄洪不存在垮坝的威胁;另一方面,从节水角度而言,在汛期丰水状况下把多余水量存储在地下水库能起到“真实节水”的作用。特别对于我国华北海河流域这样的严重缺水地域来说,能把洪水安全地蓄留下来实在是比把洪水直接泄流到大海这种传统方式更符合水资源可持续利用的宗旨。排泄进入地下水库储存的水量将成为抗旱时能够抽取的宝贵水资源,把洪水变为新的资源优势。我们应当借鉴埃及大胆而充分蓄留洪水加以利用的成功经验。水利部副部长索丽生教授最近提出是否更应该把我国北方地区过去长期实施的“泄蓄兼施,以泄为主”改为“泄蓄兼施,以蓄为主”的方针。两院院士张光斗教授认为对于海河流域可以采用以蓄为主。由此可见,我们完全可以在华北地区广泛构建地下水库耦合系统,达到大规模滞留和蓄存洪水的目的。

2. 为南水北调中线工程调水提供地下调蓄的良好条件和场所 必须看到,南水北调中线工程从丹江口水库自流输水 1 421km 到达终端北京市以及天津市,沿途一直没有大中型水库与之相连通,故无法进行调蓄,因此运行极不灵活。所以我们应当利用地下水库耦合系统为中线调水工程提供必要的调蓄功能。其可行性已经从研究资料中得到一定程度的证明^[2]。滹沱河断流区处于南水北调中线工程的受水区。滹沱河二级阶地以上至石家庄市漏斗中心是良好的蓄水地段,而滹沱河断流河床与河漫滩地带对地下水有良好的补给条件。按 1990 年的漏斗空间范围并且按地下调蓄空间含水介质的平均给水度为 0.17,再加上满足不引发土壤盐渍化的地下水位埋深 3m 的约束条件来进行计算,结果是该地下调蓄库容达 4.8~6.2 亿 m^3 。由于地下水漏斗和滹沱河两岸具有天然地下调蓄库容,因此实施南水北调中线工程后,将客水引入滹沱河就能补充给地下水可储存空间,这时滹沱河将成为地下水的良好补给源,从而提高南水北调中线工程客水的有效存储和有效利用率。在这个示例中,滹沱河的河床及河漫滩地带的地表岩性构成渗透性极强的细砂、中砂,而包气带岩层主要是砂和砂卵砾石。因此地表水和外调客水可以直接渗补给地下。现已长期断流的滹沱河也就事实上成为本文所述地下水库耦合系统的重要组成部分。若进一步在石家庄地下水漏斗区并靠近滹沱河的适当位置修建地表漏水水库,那么就能在该地区组构起完善的地下水库耦

合系统,从而在该地区为南水北调中线工程客水提供运行效率更强的地下水库调蓄系统。

3. 为南水北调中线工程受水区的大中城市创建永久性的储水工程 对于南水北调中线工程而言,由于被调水源的水文特征,致使必须同时抓紧储水工作。诚如两院院士潘家铮所言:“丹江口水库难以进行多年调节,当南北同丰同枯时,运作上有困难;年内供水也不能持续”,由此可见,储水尤其显得重要。北京和天津都是典型的缺水都市,光有调水工程而不配备相应的储水工程将出现极大的系统风险。我们不仅要修建大型储水工程,而且要求大型储水工程既靠近市区又不耗用大量的地表国土资源,同时要求满足大型储水工程的永久性和安全度。综合这多方面要求,科学的选择就是开发和利用缺水都市内存在的地下可储水空间。本文提出的地下水库耦合系统能够有助于构建北京、石家庄和天津等市的大型储水工程。为解决北京市的储水问题,合理的构想是在北京西郊营造地下水库耦合系统工程。多年的水文地质勘探研究已经查明,在北京西郊存在库容约 8 亿 m^3 的地下水库,这是应该尽快开发和利用的大型地下可储水空间。通过组构该地下可储水空间与地表漏水水库及生态河的耦合系统,就能达到有效储水的目的,满足北京市的储水需求,在每年汛期和丰水系列年度能够上规模地储存中线工程调入水量的富余部分供枯水期使用。修建地表漏水水库时要强调因地制宜的原则,并注意对漏水水库的库区综合利用以及加强周边生态环境的建设和保护工作,例如栽植能在水淹环境中生长的意大利杨树(鲁克斯杨树,1985 年国家科技进步一等奖优良树种)将获得良好的经济效益和绿化效果。现在北京市人均水资源量不足 300 m^3 ,是全国人均占有量的 1/8,还不足世界人均占有量的 1/30。北京近年连续大旱,地下水长期严重超采。至 2002 年 7 月底,北京市平原地区的地下水位平均埋深达 18.23m,又比上年同期下降 0.65m;跟 1980 年时的地下水位相比已下降了 11.78m,地下水储量累计减少 60.31 亿 m^3 ;以市区为中心的严重超采区面积达到 1 262 km^2 。由此可见,开发和利用地下水库在丰水期储存南水北调中线工程客水,将对北京的水资源保护和优化调配具有很重要的促进作用。利用北京西郊现在的天然地下可储水空间,必然使大规模储水的成本降低,带来明显的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 沈珠江. 关于修建漏水水库的建议. 中国水利, 2002 (3)
- [2] 费宇红, 陈树娥, 刘克岩. 滹沱河断流区水环境劣变特征与地下调蓄潜力. 水利学报, 2001(11)

(责任编辑 王宏章)