

地下水库特征水位与特征库容的划分及确定研究

杜新强¹, 秦延军², 齐素文², 慕 山³

(1. 吉林大学环境与资源学院, 长春 130026; 2. 大庆油田水文地质工程公司, 大庆 163454;

3. 大庆市水利设计研究院, 大庆 163454)

摘要: 参考地表水库调控指标的划分方法, 将地下水库的特征水位与特征库容划分为死水位与死库容、正常蓄水位与调蓄库容、腾空库容和已占库容以及总库容, 并提出了特征水位确定的一般原则以及承压地下水库的库容计算原理与方法。以大庆市西部地下水位降落漏斗区地下水库为实例, 确定地下水库水量调蓄的死水位为 115m, 正常蓄水位为 132m, 结合现状地下水位, 计算得出相应的死库容为 $1\ 161\ 58 \times 10^8 \text{ m}^3$, 调蓄库容为 $1.75 \times 10^8 \text{ m}^3$, 腾空库容为 $1.57 \times 10^8 \text{ m}^3$, 总库容为 $1\ 163.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

关键词: 地下水库; 特征水位; 特征库容; 人工补给

中图分类号: P641.5⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)04-0022-05

地表水库通过制定水库蓄泄规则调节地表径流, 以达到发电、供水、防洪、灌溉、航运等目标, 水库的调控以特征水位和特征库容为指标, 例如死水位和死库容、正常蓄水位和兴利库容、防洪限制水位和结合库容、防洪高水位和防洪库容、校核洪水位和调洪库容、总库容等。地下水库要对地下水资源实现合理有效的调节和控制, 也需要制定相应的调控指标和标准, 也就是地下水库的特征水位与特征库容。这两类指标是地下水库设计和运用过程中体现其生态环境功能和水量调蓄能力的重要参数。

1 地下水库特征水位与特征库容划分方案

由于地下水库在功能上不同于地表水库, 一般不具有航运、发电功能, 防洪、调洪也非其主要功能, 而且地下水库对水位的控制不如地表水库灵活和迅速。因此, 地下水库的特征水位划分应当简单实用, 过于繁琐则不利于实际运用。参考地表水库特征水位与库容的划分方案, 将地下水库特征水位与特征库容进行如下划分(图1):

(1) 死水位($H_{\text{死}}$)和死库容($V_{\text{死}}$)

在当前技术经济条件允许、不致引起环境负效应

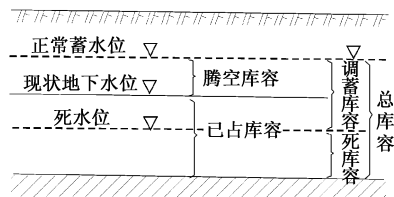


图1 地下水库特征水位与特征库容划分示意图

Fig.1 Sketch map of groundwater reservoir feature level and feature storage

的前提下, 地下水库允许的最大疏干水位称为死水位, 它是地下水库是否丧失调控能力的临界水位, 与其对应的地下水库蓄水体积称为死库容。

(2) 正常蓄水位($H_{\text{正}}$)与调蓄库容($V_{\text{调}}$)

长期储水而不引起环境负效应的前提下, 地下水库能发挥最大蓄水效益时所达到水位称为正常蓄水位, 正常蓄水位到死水位之间所对应的地下水库蓄水体积称调蓄库容, 它是地下水库调蓄能力大小的重要指标, 相当于地表水库的兴利库容。

(3) 腾空库容($V_{\text{空}}$)和已占库容($V_{\text{占}}$)

地下水库现状地下水位到正常蓄水位之间的蓄水体积称为腾空库容, 表明地下水库可利用的蓄水空间大小; 从含水层隔水底板到现状地下水位之间的库容, 已经被占用, 称为已占库容, 该指标表明现状条件下, 地下水库总库容中的已经利用部分。这两个特征库容的设定, 体现了地下水库对水量动态调控的要求。

(4) 总库容($V_{\text{总}}$)

正常蓄水位到地下水库隔水底板所对应的库容称为总库容, 它包括地下水库的调蓄库容和死库容, 数值

收稿日期: 2007-05-21; 修订日期: 2007-06-02

基金项目: 水利部南京水利科学研究院开放流动研究基金项目(YK90510); 大庆市水务局委托项目

作者简介: 杜新强(1977-), 男, 博士, 讲师, 地下水科学与工程研究方向。

E-mail: duxq77@163.com

上等于已占用库容和腾空库容之和,即 $V_{\text{总}} = V_{\text{死}} + V_{\text{调}} = V_{\text{空}} + V_{\text{占}}$ 。

2 地下水库特征水位的确定原则

2.1 死水位的确定原则

(1) 水量均衡: 地下水库最低水位的确定必须建立在水资源的年内或年际平衡基础上, 否则干旱季节或枯水年份将地下水位降得过低, 而在丰水季节或丰水年仍然得不到有效补偿的话, 势必影响到地下水库相应功能的正常实现。

(2) 地表生态: 最低地下水位不应导致区内地表生态环境退化, 如地表荒漠化、湖泊、沼泽和湿地的萎缩等。

(3) 地下水环境: 地下水位过低可能引起与调蓄含水层有水力联系的其它劣质水体的入侵; 另外, 地下水位过低, 造成含水层水文地球化学环境改变, 可能造成地下水水质恶化。

(4) 地质环境: 对于水位抬升不可恢复的环境地质问题而言, 例如, 地面沉降, 最低水位不超过现状地下水位即可, 因为即使是地下水位有较大幅度回升, 地面沉降的回弹量也是极其微小的; 第二, 对于地下水位上升可以改善的生态环境地质问题, 应将地下水位升至不产生该问题时的临界地下水位。

(5) 效益/成本: 地下水库最低水位一般不应超过现有取水工程的最大提水深度, 以免因水位过低造成开采井吊泵、报废, 影响到水源地的正常运行、增加能耗、提高成本; 或者因水位过低需要增加新井、安装新设备等而增加工程投资。

2.2 正常蓄水位的确定原则

(1) 地表生态: 地下水位过高的主要危害是可能产生土壤次生盐碱化, 通常以地下水临界深度为指标。地下水临界深度指在一年中蒸发最强烈的季节, 不致引起土壤表层积盐的最浅地下水埋藏深度, 其值与地下水矿化度、土壤质地、气候条件等均有关系。

(2) 蓄水效益: 蓄水效益方面可以从有利于增加大气降水入渗补给量以及减少地下水无效损失量两个方面来考虑。从降水入渗的角度而言, 降水入渗量的大小与地下水位埋藏深度有关, 往往存在一个与降水入渗系数最大值相对应的地下水位埋藏深度^[1]。从减少地下水损失量而言, 地下水的蒸发损失随着水位的升高而逐渐加大; 对于非封闭边界, 库区地下水位越高, 则侧向径流排泄量就越大。

(3) 水量均衡: 考虑区内水资源储备量的需要以及

可用的地下水人工补补水的水量大小, 根据实际情况设定正常蓄水高程。

3 地下水库特征库容的计算原理与方法

如果调蓄含水层是无压含水层, 则库容指的是库区含水层有效储水部分的空隙体积, 库容计算公式为: $V = \mu V^*$; 如果调蓄含水层为承压含水层, 库容应包括含水层孔隙空间所蓄存的地下水体积以及承压水位高出含水层顶板所形成的弹性储存水量的体积(图 2), 库容计算公式为:

$$V = nV^* + (H_w - H_a) S \mu^*$$

式中: V ——地下水库的库容;

V^* ——蓄水体的体积;

μ ——潜水含水层重力给水量;

n ——承压含水层的孔隙度(无量纲);

μ^* ——承压含水层的弹性储水系数(无量纲);

H_w, H_a ——承压含水层顶板标高和承压含水层

地下水的测压水位高程(m);

S ——承压区面积(m^2)。

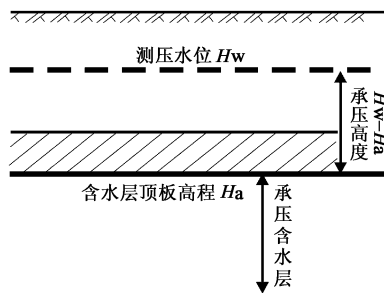


图 2 承压含水层蓄水库容计算示意图

Fig. 2 Sketch map of storage calculation of confined aquifer

由于含水层的顶、底板高程面和现状地下水位面均为曲面, 应采用离散化方法计算, 可利用 Surfer 软件中的 Grid/volume 工具或借助于 ArcGIS 的空间分析功能来完成此类计算^[2~3]。

4 计算实例

4.1 研究区概况

大庆市是以石油、石油化工为主体产业的工业城市, 在我国能源供应中占有举足轻重的地位。大庆境内地表水资源贫乏, 地下水一直是城市和工业供水的主要水源。大庆位于松辽盆地中央坳陷区, 从地质构造上讲, 是一个地下水形成和储存条件极佳的地区。然而油田开发建设 40 多年来, 为满足油田生产和城市

发展的供水需要,长期过量的开采地下水资源,已经形成东、西部两个区域性的地下水位降落漏斗,产生了地下水环境恶化等问题,并成为环境灾害的隐患^[4]。为此,从保护环境和提高供水安全保障程度的目的出发,大庆市水务局决定利用地下水位降落漏斗空间,引入地表水源实施地下水人工补给,建设地下水库。本次研究针对大庆西部地下水位降落漏斗区水资源人工调蓄的特征水位与库容的确定问题。

4.2 死水位的确定

本区在地下水资源开发过程中,并未发现与地下水开采有密切关联的严重的环境地质问题和地表生态问题,开采井的抽水量也无明显减小现象,但部分第三系泰康组水源地地下水中的 SO_4^{2-} 、总矿化度和总硬度有升高趋势^[5]。另外,部分水源地地下水中曾检出硫化氢和甲烷气体。所以,地下水水质成为确定地下水库死水位的主要约束条件。

关于研究区水质演化机理的观点主要有如下三个^[2]:(1)深部含油气地层中烃类“微迁移量”增多,使浅部含水层中有硫化氢和烃类出现,导致地下水向高矿化度、高硬度及高铁锰的水文地球化学环境转变;(2)地表纳污湖泊污染浅层地下水,而浅层地下水向下越流导致承压地下水水质发生变化;(3)地下水位降低导致水中溶解物质的化学平衡状态受到影响,使地下水水质发生变化,例如水中溶解的 CO_2 逸出而产生脱碳酸作用。从以上三种观点可以看出,无论研究区内的水质恶化现象的具体机理如何,其直接原因均是由于地下水大量开采所导致的地下水位降低所致。因此,本次研究从统计关系的角度来研究地下水位与地下水

水质演化的联系,试图找到导致地下水水质突变的地下水位约束。

反映水质变化的指标很多,选择能够反映水质总体变化趋势的总矿化度。在地下水开发过程中,漏斗中心区的西水源、红卫星水源、喇嘛甸水源、南二水源等地的地下水总矿化度均出现升高现象,其它水源地水质没有出现明显的趋势性变化。从西水源地下水位与矿化度的动态变化曲线中可以看出:当地下水位降至114~115m左右时,地下水总矿化度出现明显上升趋势,表明地下水化学条件此时发生较为明显的变化。另外,1993年大庆石油管理局对13个水源地的地下水水质进行了检测,有9个水源地检出甲烷,检出最多的是处于漏斗中心地带的西水源、南水源和前进水源,此时上述水源地大部分地区的地下水位在100~115m之间。由于 CH_4 检测数据没有系列资料,无法与地下水位动态资料对比分析,但至少可以推断:当地下水位低于115m时,可能导致地下水中 CH_4 的出现或增加。

通过上述区域地下水位降深与水质之间的动态相关分析,确定本区地下水资源人工调蓄的死水位为115m。需要说明的是,对于区域性地下水位降落漏斗区的水资源人工调蓄,死水位并不是指全部库区均以此水位为水资源调蓄的临界水位,那样无疑将夸大地下水库的调蓄能力,在水资源调蓄过程中也是不现实的。因此,死水位指的应是在现状人工开采格局下形成的区域地下水位降落漏斗中心的平均最低水位。

4.3 正常蓄水位的确定

由于地下水在含水层中的运动、传输速度较慢,受水力坡度的影响,实际的地下水库蓄水面是一个倾斜

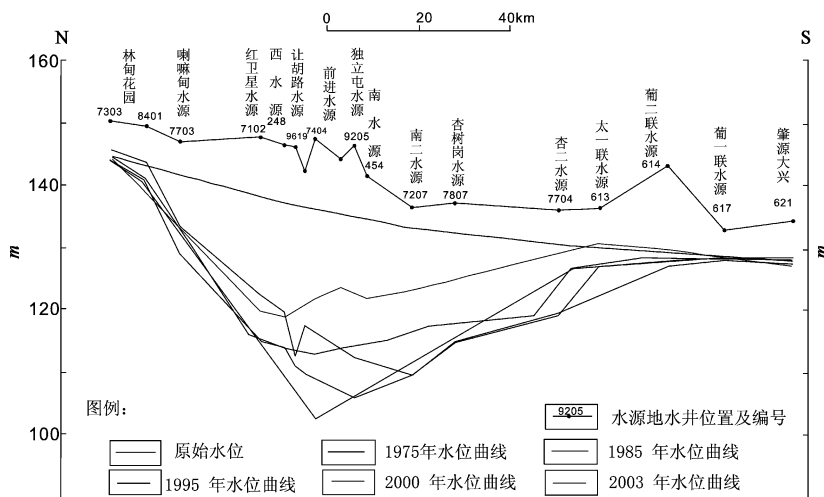


图3 承压含水层地下水位降落漏斗剖面图

Fig.3 Groundwater depression cone profile in confined aquifer

曲面, 基本不会形成全库区统一高度的地下水位, 因此, 如果地下水库正常蓄水位要用一个特定地下水位高程值的话, 应该是指特定地段地下水位而言。在本区主要利用地下水位降落漏斗空间来调蓄水资源, 因此, 所指的正常蓄水位指的是地下水位降落漏斗中心(南水源、南二水源一带)地带的地下水位平均值。

据大庆地下水动态资料记载, 西部区域地下水开发初期地下水原始水位埋深一般在 7~ 9m 之间, 现地下水位降落漏斗中心地带的原始地下水位高程在 132m 左右, 地下水水力坡度约为 0.13‰。现状条件下, 地下水位降落漏斗中心地带地下水位在 117~ 118m 左右, 漏斗边缘地带地下水位最低在 126m 左右(图 3)。

根据承压含水层地下水资源人工调蓄正常蓄水位确定的基本原则, 本次研究主要考虑了正常蓄水位不超过开采前的原始地下水位高程和尽量提高蓄水效益两点, 参照区内现状地下水位分布特征, 人为确定地下水水库库区正常蓄水位为 132m。当现状地下水位降落漏斗中心地下水位为 132m 时, 该水位与该处地下水大规模开采前的原始地下水位相近, 按蓄水后的水力坡度略缓于原始水力坡度计算, 地下水位漏斗区的南部边界地下水位可达到 126m, 不超过现状条件下该边界的地下水位, 库区蓄水后, 地下水位降落漏斗仍可保持微漏斗状态, 可将所储存的水资源最大限度地留在库区以内, 保证了地下水库的蓄水效益。

4.4 库容计算结果

库区承压含水层顶、底板高程等值线见图 4; 现状

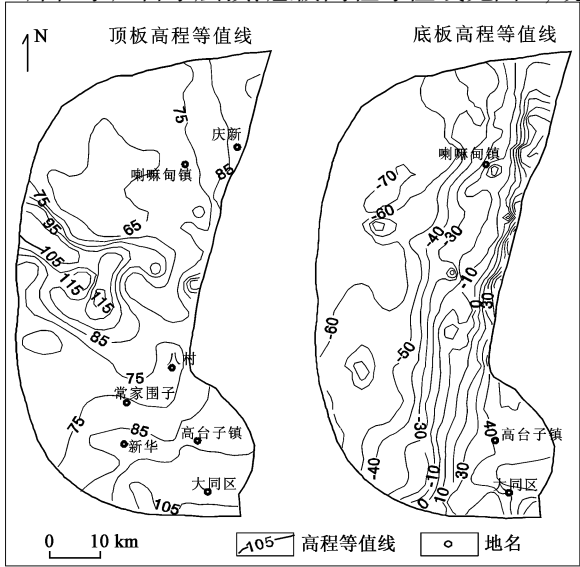


图 4 含水层顶、底板高程等值线

Fig. 4 Elevation isoline of upper and below aquifer surface

地下水位高程等值线见图 5, 以中心水位为 115m 时的区域地下水位降落漏斗区(图 6)作为水资源人工调蓄空间, 弹性释水系数按水文地质参数分区(图 7、表 1), 承压含水层的孔隙度取 0.3, 计算地下水库的特征库容。具体计算采用 SurfDSer 中的 Grid/Volume 中的梯形规则(Trapezoidal Rule) 算法进行体积计算, 计算公式为:

$$A_i = \frac{\Delta x}{2}$$
$$[G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} + \dots + 2G_{i,nCol-1} + G_{i,nCol}]$$
$$V \approx \frac{\Delta y}{2} [A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}]$$

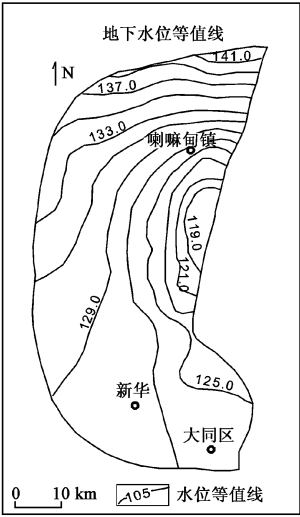


图 5 地下水位等值线(2004 年 12 月)
Fig. 5 Groundwater level contour(12. 2004)

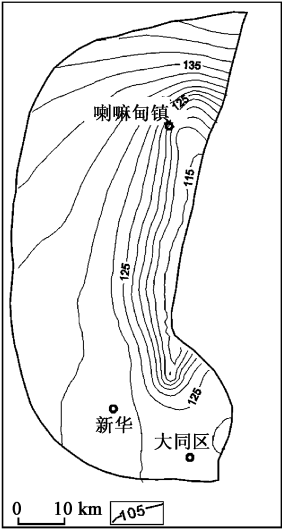


图 6 地下水位降落漏斗区形态
Fig. 6 Shape of groundwater depression cone

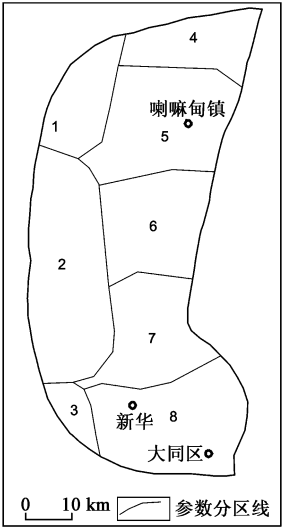


图 7 水文地质参数分区

Fig. 7 Hydrogeological Parameter district

式中: Δx ——剖分网格的列宽;

Δy ——剖分网格的行宽;

G_{ij} ——第 i 行第 j 列处的节点值;

A_i ——第 i 行网格的面积;

V ——含水层体积;

n ——剖分的网格数。

表 1 承压含水层弹性释水系数

Table 1 Specific storage of confined aquifer

参数区	1	2	3	4	5	6	7	8
μ^*	0.00214	0.008	0.00213	0.00926	0.005	0.007	0.009	0.0095

当地下水库的设计正常蓄水位为 132m 时, 计算总库容为 $1\,163.33 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中死库容为 $1\,161.58 \times 10^8 \text{ m}^3$, 调蓄库容为 $1.75 \times 10^8 \text{ m}^3$, 腾空库容为 $1.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在地下水库的特征库容中, 调蓄库容的大小决定了地下水库建成后地下水资源的可利用量, 腾空库容的大小决定了地下水库在现状条件下所提供的储水空间, 是地下水库设计中最为关注的两个指标, 而总库容的大小并不能表明地下水库调蓄能力的强弱。

参考文献:

[1] 许志荣. 河南地下水资源与可持续发展研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2004: 80– 82.

[2] 李伟, 束龙仓, 李砚阁. 济宁市地下水库特征参数分析[J]. 水科学进展, 2007(2): 282– 285.

[3] 肖长来, 兰盈盈, 梁秀娟. 洮儿河扇形地修建地下水库可行性研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2004(S1): 55– 59.

[4] 孙伟, 万力, 于颖, 等. 大庆市环境地质问题及防治对策研究[J]. 水文地质工程地质, 2006, 33(3): 106 – 108.

[5] 廖资生, 林学钰, 杜新强. 松嫩盆地地下水水质评价图的编图原则与方法[J]. 地球科学进展, 2003 (2): 299– 304.

[6] 大庆市水务局. 大庆市地下水资源开发利用规划报告[R]. 大庆: 大庆市水务局资料室, 2001: 146– 155.

[7] 大庆市水利学会. 大庆市水利科技优秀论文集[C]. 大庆: 大庆市水利学会, 1990: 62– 70.

Study on the feature water level and storage of groundwater reservoir

DU Xir qiang¹, QIN Yarr jun², QI Surwen², MU Shan³

(1. Colledge of environment and resources, Jilin University, Changchun 130026, China;

2. Hydrogeology and Engineering corporation, Daqing Oil Field, Daqing 163454, China;

3. Daqing institute of water conservancy, Daqing 163454, China)

Abstract: The feature water level and the feature water storage of groundwater reservoir was divided as follows: the dead water level and dead storage, beneficial water level and beneficial storage, empty storage and occupation storage and total storage. The general principles for feature water level, the principle and methods for water storage calculation are proposed. The west groundwater reservoir in Daqing was used as an example, the feature water level and the storage was confirmed and calculated as follow: the dead water level is 115m, beneficial water level is 132m, the calculation results are as follow: the dead storage of groundwater reservoir is $1\,161.58 \times 10^8 \text{ m}^3$, beneficial storage is $1.75 \times 10^8 \text{ m}^3$, empty storage is $1.57 \times 10^8 \text{ m}^3$, total storage is $1\,163.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

Key words: groundwater reservoir; feature water level; feature storage; artificial recharge

责任编辑: 王宏