

GRACE 卫星数据在海河流域地下水年开采量估算中的应用

冉全¹, 潘云², 王一如¹, 陈琳海¹, 许海丽²

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048;

2. 北京市城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地, 北京 100048)

摘要:结合 GRACE 卫星数据和全球陆面数据同化系统 GLDAS 数据,反演了 2004—2009 年连续 72 个月的海河流域地下水储量变化。在此基础上,结合 2004—2009 年海河流域水资源公报的降水量、地下水开采量数据,建立了地下水年开采量与 GRACE 地下水储量年变化、年降水量的二元回归模型。利用 GRACE 卫星数据和 GLDAS 数据反演的地下水储量年变化与由地下水位观测数据计算出的地下水储量年变化相关性较强,其 R^2 为 0.804;基于 GRACE 地下水储量年变化数据与年降水量数据,对地下水年开采量的估算结果良好,建立的回归模型的 R^2 为 0.787,表明利用 GRACE 卫星数据对地下水年开采量进行估算是可行的,是传统地面调查的良好补充。

关键词:GRACE 卫星数据;全球陆面数据同化系统;海河流域;地下水开采量

中图分类号:P641.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)02-0042-05

Estimation of annual groundwater exploitation in Haihe River Basin by use of GRACE satellite data//RAN Quan¹, PAN Yun², WANG Yiru¹, CHEN Linhai¹, XU Haili² (1. College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. Urban Environmental Processes and Digital Modeling Laboratory, Beijing 100048, China)

Abstract: By means of the gravity recovery and climate experiment (GRACE) satellite and the global land data assimilation system (GLDAS), the change of groundwater storage in the Haihe River Basin over 72 consecutive months from 2004 to 2009 was investigated. On such a basis, a binary regression model for groundwater exploitation, the annual change of groundwater storage, and annual rainfall of the GRACE satellite was established based on the previously published data of rainfall and groundwater exploitation in the Haihe River Basin from 2004 to 2009. The change of groundwater storage derived from the GRACE and GLDAS data has a good correlation with the observed data, and the R^2 is 0.804. Based on the annual data of change of groundwater storage and the annual rainfall data of the GRACE satellite, the estimated results of the groundwater exploitation are satisfactory, and the R^2 of the binary regression model is 0.787, indicating that using the GRACE satellite data to estimate the groundwater exploitation is feasible and is a good complementary evaluation method for the traditional terrestrial investigation.

Key words: GRACE satellite data; GLDAS; Haihe River Basin; groundwater exploitation

海河流域 65% 以上的用水需求靠地下水支撑。由于长期不合理的开发利用,地下水资源衰减,地质环境恶化严重。自 1960 年以来,由于过度开采,地下水总储量急剧减少,引发了一系列如地面沉降、河道干涸、堤防防洪能力降低等问题,地面沉降问题尤为严重。目前,海河流域所处的华北平原地区的浅层地下水漏斗超过 2 万 km^2 ,深层地下水漏斗超过 7 万 km^2 ,已成为世界上最大的地下水漏斗^[1]。地下水环境问题已成为制约海河流域经济社会发展的最

大瓶颈,精确地统计地下水开采量,对于合理规划地下水的可持续发展和地下水模拟有着重要意义^[2]。

传统的地下水开采量观测手段,如水井观测和水准观测,其观测成本较高,精度较低,且由于地下水观测井的空间分布相对来说过于稀疏且不均匀,难以捕捉到地下水变化的空间细节,也做不到不间断的实时监测。这些传统观测手段的局限性制约了地下水资源管理和评价、地下水文学研究、水文及灾害预警的进一步发展^[3]。

基金项目:国家自然科学基金(41101033,41130744);中国博士后科学基金(2011M500347)

作者简介:冉全(1991—),女(土家族),重庆酉阳人,硕士研究生,主要从事地下水遥感研究。E-mail: pollyran@hotmail.com

通信作者:潘云(1980—),男,江苏溧阳人,博士,主要从事地下水与水文遥感研究。E-mail: panyun86@hotmail.com

GRACE (gravity recovery and climate experiment) 卫星通过监测地球时变重力场的变化,能够监测陆地水储量的变化。最近一些研究表明,采用实测值或陆表模型数据可以从 GRACE 卫星数据中提取地下水储量的变化量,如 Rodell 等^[4]利用全球陆面数据同化系统 GLDAS (the global land data assimilation system) 数据从 GRACE 卫星数据中提取了密西西比河流域及其 4 个子流域的地下水储量变化量; Strassberg 等^[5]利用 GRACE 卫星数据对位于美国中心地带的半干旱高地平原的地下水储量进行了评估,认为利用 GRACE 卫星对大面积的半干旱地区进行地下水储量监测是可行的。

本文利用 GRACE 卫星数据,结合 GLDAS 的土壤含水数据,提取了海河流域 2004—2009 年共 6 年的地下水储量变化,通过地下水位观测数据进行验证;再利用海河流域这 6 年的年降水量数据及地下水年开采量数据,采用多元线性回归方法,建立了地下水年开采量与地下水储量年变化和年降水量数据的二元回归模型,可用于估算地下水年开采量。

1 研究区概况及研究数据

1.1 研究区概况

海河流域地处华北平原,东临渤海,西倚太行,南界黄河,北接内蒙古高原。流域面积 31.8 万 km²,人口 1.34 亿,是我国七大流域之一。行政区域包括北京、天津市、河北省大部分地区、山西省东部、山东、河南省北部、内蒙古自治区及辽宁省的小部分地区,是国家的政治、经济、文化中心和重要的粮食生产基地。

海河流域属温带半干旱季风气候区,包括海河、滦河和徒骇马颊河三大水系。流域多年平均降水量 539 mm,人均水资源占有量 305 m³,仅为全国平均水平的 1/7,远低于国际上 500 m³ 的极度紧缺标准^[6],是我国水资源最紧缺的地区。然而流域内生产发达,需水模数居全国前列,水资源供需矛盾异常突出^[7]。由于长期过度开发利用地下水资源,缺乏完善的地下水动态监测系统,主管部门监管不到位,流域平原区地下水长期严重超采,造成了如地面沉降、塌陷、地裂、海水入侵、地表生态环境恶化等一系列地质和生态问题。

1.2 研究数据

研究数据包括 GRACE 卫星陆地水储量变化数据、GLDAS 的土壤含水量变化数据、海河流域地下水埋深数据、海河流域年降水量数据、海河流域地下水年开采量数据。

1.2.1 GRACE 卫星陆地水储量变化数据

GRACE 卫星是由美国国家航空航天局 (NASA)

和德国宇航中心 (DLR) 联合研制,由美国喷气动力实验室 (JPL) 负责工程管理的地球重力卫星。它采用 SST-II 技术,在同一个轨道上发射了两颗低轨道卫星,卫星间彼此相距 100 ~ 400 km,一个“追踪”另一个。两者的相对运动,即卫星间的距离变化用微波干涉仪可精密测量,用其一阶微分可求得重力加速度,因此可通过 GRACE 卫星获取地球重力场的中长波部分及全球重力场的时变特征。GRACE 卫星监测的时变重力场反映的是非大气、非海洋的质量变化,这在季节性或更短的时间尺度上,对于陆地区域反映的主要就是陆地水储量变化信息。

GRACE 卫星陆地水储量变化数据是基于美国得克萨斯空间研究中心 (CSR) 制作的 RL4.0 数据^[8],选用其中 2003 年 1 月至 2009 年 12 月的数据用于本次研究。该数据已经排除了冰后期反弹的信号,并使用了高斯滤波平滑和球谐滤波器以增加数据的精度。在使用 GRACE 卫星数据时,每一个格网都需要乘以一个相同位置的尺度系数^[9];同时,GRACE 卫星的月重力模型球谐系数数据大部分反映的是与地球静态结构相关的成分,需要减去 2003 年 1 月至 2007 年 12 月共 60 个月数据的平均值,处理后的时变重力数据基本反映了陆地水储量的变化,可用于反演计算。

1.2.2 GLDAS 的土壤含水量变化数据

GLDAS 由美国国家航空航天局 (NASA) 戈达德空间飞行中心 (GSFC) 和美国海洋和大气局 (NOAA) 国家环境预报中心 (NCEP) 联合开发,是一个全球高分辨率离线的陆面模拟系统,它融合来自地面和卫星的观测数据来提供最优化近实时的地表状态变量^[10]。

本次研究采用的数据来自 GLDAS 的 1°×1° 的陆地水文模型^[11],由 Noah 模型输出,并且经过了 JPL 的相关平滑、距平等处理,可以直接与 GRACE 卫星数据进行计算分析。选用 2003 年 1 月至 2009 年 12 月的数据用于本次研究。与 GRACE 卫星数据的处理方法相似,需要减去 2003 年 1 月至 2007 年 12 月共 60 个月数据的平均值,以保持尺度的一致性。

1.2.3 水文气象数据

地下水埋深数据来源于《中国地质环境监测地下水位年鉴》,时间段为 2005 年 1 月至 2009 年 12 月共计 60 个月。每月的地下水观测井点均大于 143 个,且观测数据包含潜水位和承压水位。2006 年海河流域地下水观测井点分布如图 1 所示。

年降水量数据和地下水年开采量数据来源于《海河流域地下水通报》,选用 2004—2009 年共计 6 年的数据。

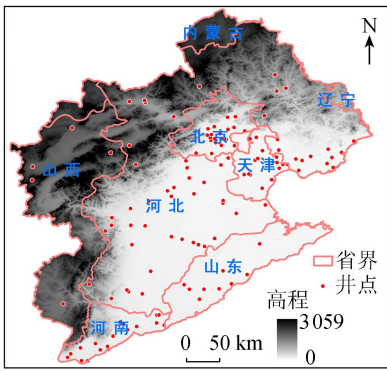


图1 海河流域地理位置及2006年地下水观测井点分布

2 研究方法

2.1 反演地下水储量变化

陆地水储量的变化主要由土壤含水量、地下水、地表水、雨雪的变化引起。近期的研究认为,土壤含水量和地下水储量的变化是引起陆地水储量变化的主要原因,而地表水、雨雪的变化对陆地水储量的变化影响较小^[12]。本文假定陆地水储量的变化由土壤含水量和地下水储量的变化引起,利用 GRACE 卫星数据采用式(1)对地下水储量变化进行计算:

$$\Delta G_{WS} = \Delta T_{WS} - \Delta S_M \quad (1)$$

式中: ΔG_{WS} 为地下水储量变化值,mm; ΔT_{WS} 为陆地水储量变化值,mm,由 GRACE 卫星数据反演得到; ΔS_M 为土壤水分引起的陆地水储量变化值,mm,用 GLDAS 数据反演的土壤水分变化数据表示。

地下水储量变化还可以通过对地下水观测井观测的地下水位数据计算得到。为了将观测的地下水位变化转化为地下水储量变化,地下水位变化数据需要乘以给水度。给水度即含水层的释水能力,表示单位面积的含水层,当潜水面下降一个长度单位时其在重力作用下所释放出的水量,其值在 0~1 之间,本文采用的给水度为流域平均给水度,数值为 0.066^[13]。可采用式(2)对地下水储量变化进行计算:

$$\Delta G_{WS} = \Delta H S_Y \quad (2)$$

式中: ΔH 为地下水埋深变化值,mm; S_Y 为给水度。

式(2)计算得到的地下水储量变化用于对式(1)计算得到的地下水储量变化进行精度验证。

2.2 地下水开采量的多元回归分析

地下水储量变化理论上是补给与排泄的综合作用。在海河流域,降水入渗补给是地下水的主要补给源,而地下水排泄主要由地下水开采影响,即地下水开采量与地下水储量变化及降水量有较强的关联性。鉴于三者之间的强关联性,笔者认为可以对地下水开采量进行回归分析,建立其与地下水储量变

化和降水量的二元线性回归模型:

$$y = k_1 x_1 + k_2 x_2 + b \quad (3)$$

式中: y 为地下水年开采量; x_1 、 x_2 分别为 GRACE 卫星数据反演的地下水储量年变化和年降水量数据; k_1 、 k_2 为回归参数; b 为回归常数。

3 结果与讨论

3.1 地下水储量变化的计算与检验

利用地下水位观测数据计算出的海河流域 2005—2009 年地下水储量变化可以对利用 GRACE 卫星数据计算出的海河流域地下水储量变化进行精度验证,图 2(a)为月尺度的 GRACE 卫星数据和地下水位观测数据计算结果的比较,其 R^2 为 0.151,相关性较低,主要是受 GRACE 卫星数据在平滑、滤波等处理过程中产生的误差影响。另外,海河流域开采岩溶水、深层地下水的水量难以通过浅层水位观测反映,却可反映在 GRACE 卫星数据反演的地下水储量变化中,这造成了部分误差。图 2(b)为年尺度的 GRACE 卫星数据和地下水位观测数据计算结果的比较,其 R^2 为 0.804,相关性较强,说明基于 GRACE 卫星数据通过遥感方式反演的海河流域地下水储量年变化数据是可靠的,可用于本研究。

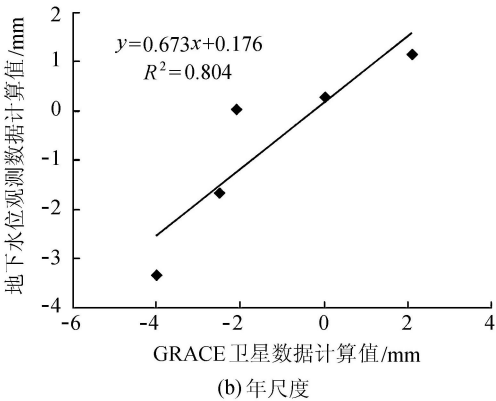
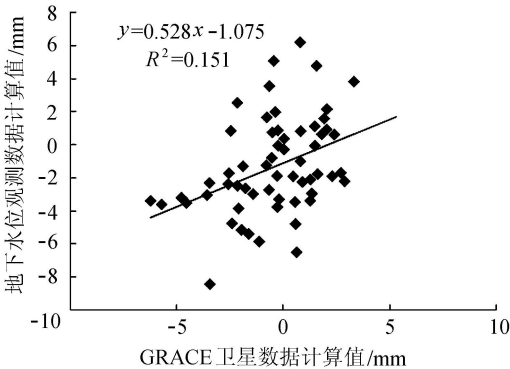


图2 2005—2009年地下水储量变化计算结果比较

在本研究中,对由 2005—2009 年共计 60 个月的 GRACE 卫星数据反演的陆地水储量变化、GLDAS 土壤含水量变化以及分别利用 GRACE 卫星

数据和地下水位观测数据计算出的地下水储量变化进行了对比分析,见图3。可以看出,陆地水储量变化与土壤含水量变化的曲线走向基本一致,在每年的雨季(6、7、8月)曲线呈上升走向,而在每年的春季(3、4、5月)和秋季(9、10、11月)曲线呈下降走向,然而在其他一些月份的走向存在不一致的情况,可能是受小麦等农作物生长需要大量灌溉用水^[14]及植被生长状况的影响。GRACE 卫星数据和地下水位观测数据计算出的地下水储量变化曲线走向也基本一致,但有一些月份相差较大,可能 GRACE 卫星在监测陆地水储量变化时受降雨降雪及蒸发的影响较大。已有研究表明,雨雪及蒸发是引起陆地水储量、地下

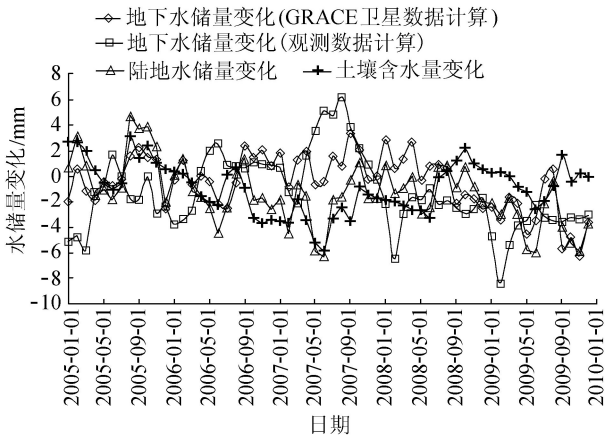


图3 2005—2009年水储量的变化

水储量及土壤含水量动态变化的主要原因^[15]。
图4为利用 GRACE 卫星数据计算出的海河流域 2004—2009 年地下水储量年变化,图中每一年的数据都是该年 12 个月数据的平均值。可以看出,2004—2009 年的地下水储量年变化较大,最高值与最低值的差值先增后降,且存在区域变化不一致的情况。在流域的东北部地区,地下水储量年变化有所增长,而在其他大部分地区,地下水储量年变化均有所降低,尤其是 2008 年和 2009 年北京地区降低明显。地下水储量年变化的降低直接影响到地下水的可开采量,对农业、社会经济的发展存在一定的制约作用。
3.2 地下水开采量的估算

地下水开采量与地下水储量变化、降水量之间均有较强的关联性。对海河流域 2004—2009 年地下水年开采量与地下水储量年变化进行相关性分析,其 R^2 为 0.842(图 5(a));对海河流域 2005—2010 年地下水年开采量与年平均降水量进行相关性分析,其 R^2 为 0.446(图 5(b))。从图 5 可以看出,地下水储量变化对地下水开采量的影响强于降水量的影响。可能是由于地下水储量的变化是由地下水补给和开采共同影响的,而降水只影响地下水补给。

通过获取的研究区年降水量数据及 GRACE 卫星数据计算出的地下水储量年变化数据,对研究区地下水年开采量数据进行回归分析(式(3)),其中

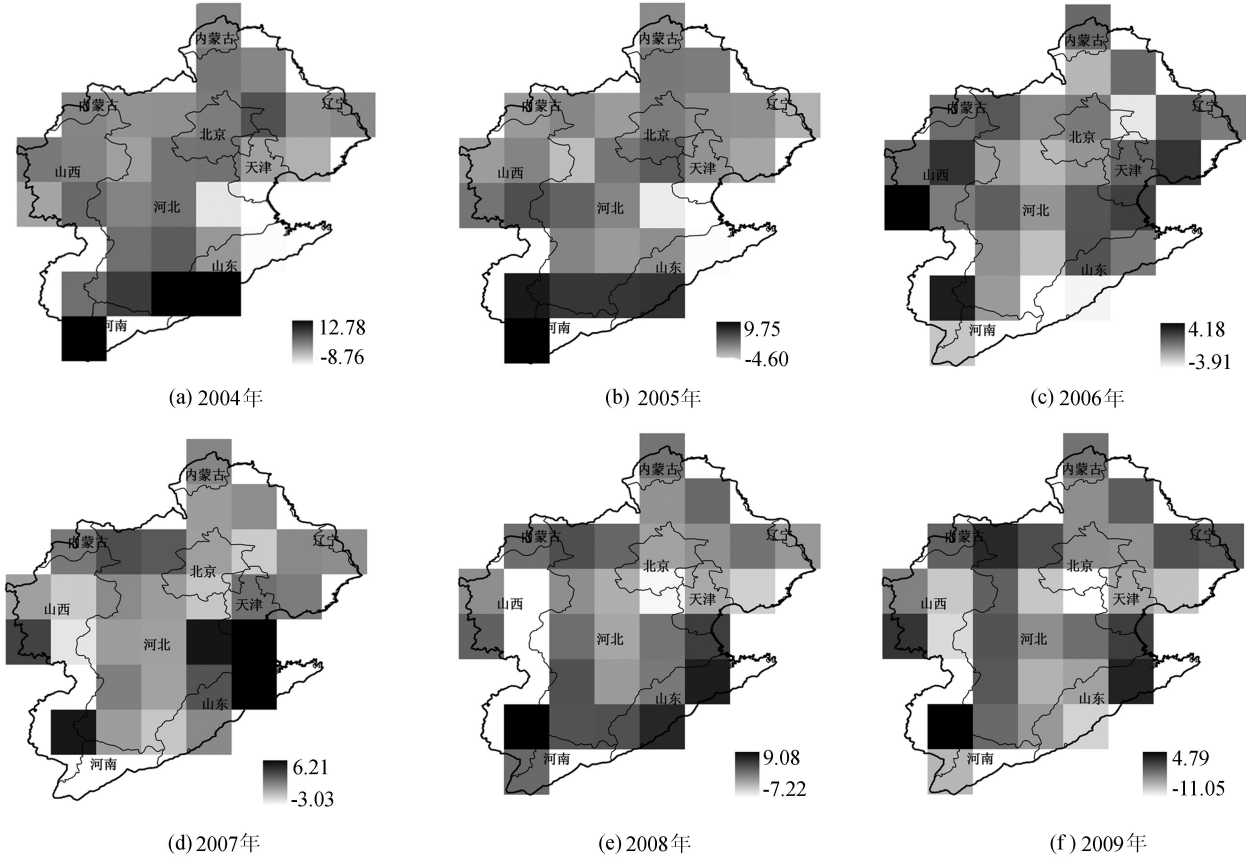
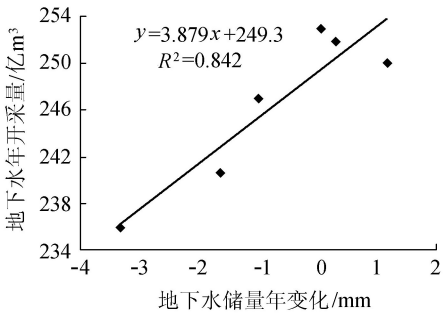
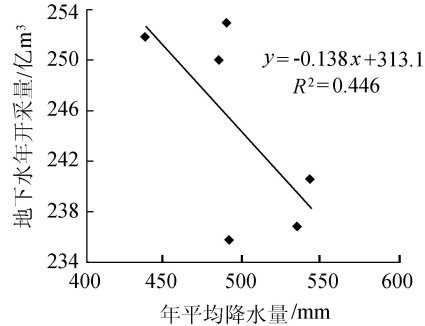


图4 利用 GRACE 卫星数据计算的海河流域 2004—2009 年地下水储量年变化(单位:mm)



(a) 地下水年开采量与地下水储量年变化的相关性



(b) 地下水年开采量与年平均降水量的相关性

图5 地下水年开采量与地下水储量年变化和年平均降水量的相关性

2004—2007 年数据用于回归分析,用 2008 年和 2009 年数据进行检验,结果见表 1。

表 1 回归分析结果

参数	系数	标准误差	<i>t</i> 统计量	<i>P</i> 值
x_1	16.512	13.923	1.186	0.036
x_2	0.509	0.022	22.850	0.002

根据表 2,可以建立起二元回归模型(设常数 $b=0$): $y = 16.512x_1 + 0.509x_2$ 。表 1 中, $t_{x_1} = 1.186$ (对应概率为 0.036), $t_{x_2} = 22.850$ (对应概率为 0.002),分析可知,参数 x_1 和 x_2 是有意义的。该回归模型的标准误差为 21.617,且其 R^2 为 0.787,其调整 R^2 为 0.494,表明方程的变量对 y 的解释能力较强,对数据的拟合较好。利用 2008 年和 2009 年数据对该二元回归模型进行检验,发现模型预测值均值与实测值均值间的误差为 17.184,小于该模型的标准误差 21.617,说明该模型的预测值较可靠,可以采用该模型对未来的地下水年开采量进行估算,是估算地下水开采量的一种新的选择。

4 结 论

a. 利用 GRACE 卫星数据反演了海河流域地下水储量年变化,结果与由地下水位观测数据计算的地下水储量年变化相关性较高 ($R^2 = 0.804$)。在海河流域利用 GRACE 卫星数据反演地下水储量年变化是可行的。

b. 建立了 GRACE 地下水储量年变化、年降水

量与地下水年开采量的二元回归模型。回归模型的相关性较好 ($R^2 = 0.787$)。在海河流域利用 GRACE 卫星数据估算地下水年开采量是可行的。

c. 受制于 GRACE 卫星数据的时间序列,本文仅进行了 2004—2007 年的回归统计,并用 2008 年及 2009 年数据进行了该回归模型的检验,模型预测值均值与实测值均值间的误差在模型标准误差内,该回归模型在海河流域内估算地下水年开采量有意义。

参考文献:

[1] 韩瑞光. 加强海河流域地下水管理,促进经济社会可持续发展 [J]. 海河水利, 2004 (5): 13 - 15. (HAN Ruiguang. Strengthen the Hai River basin in groundwater management, promoting the sustainable development of social and economic [J]. Haihe Water Resources, 2004 (5): 13-15. (in Chinese))

[2] PAN Y, GONG H, ZHOU D, et al. Using WetSpa and GIS to analyze the impact of land-use change on groundwater recharge in Guishui River Basin, China [J]. Chinese Geographical Science, 2011, 21 (6): 734-743.

[3] 叶叔华, 黄斌. 地下水变化的空间技术监测和预测 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22 (4): 1030-1034. (YE Shuhua, HUANG Bin. Space technique monitoring and prediction of ground water changes [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22 (4): 1030-1034. (in Chinese))

[4] RODELL M, CHEN J L, KATO H. Estimating groundwater storage changes in the Mississippi River Basin (USA) using GRACE [J]. Hydrogeology Journal, 2007, 15: 159-166.

[5] STRASSBERG G, SCANLON B R, CHAMBER D. Evaluation of groundwater storage monitoring with the GRACE satellite: case study of the High Plains Aquifer, Central United States [J]. Water Resources Research, 2009, 45 (W05410), doi: 10.1029/2008WR006892.

[6] 于伟东. 海河流域水平衡与水资源可持续开发利用分析与建议 [J]. 水文, 2008, 28 (3): 79-82. (YU Weidong. Water balance and water resources sustainable development in Haihe River Basin [J]. Journal of China Hydrology, 2008, 28 (3): 79-82. (in Chinese))

[7] 白杨, 郑华, 欧阳志云, 等. 海河流域生态功能区划 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (9): 2377-2382. (BAI Yang, ZHENG Hua, OUYANG Zhiyun, et al. Ecological function regionalization of Haihe River Basin [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22 (9): 2377-2382. (in Chinese))

[8] SWENSON S C. NASA MEaSUREs program [EB/OL]. [2011-08]. <http://grace.jpl.nasa.gov>.

[9] HU X, CHEN J, ZHOU Y, et al. Seasonal water storage change of the Yangtze River Basin detected by GRACE [J]. Science in China: Earth Sciences, 2006, 49 (5): 483-491.

(下转第 67 页)

颗粒流程序 PFC 中引入损伤速率的概念形成的 PSC 模型能够较好地再现脆性岩石中的应力腐蚀作用。

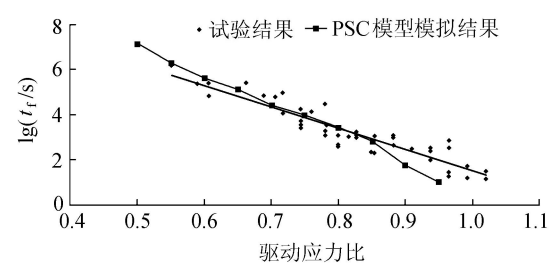


图9 大理岩破裂时间效应的静态疲劳破坏试验

5 结 语

与我国其他地下水电工程相比,锦屏二级水电站深埋引水隧洞显然有其特殊性,对深埋条件下岩体强度的认识和参数指标的确定方法,很可能全面超越水电行业既有的规程规范,其中深埋岩体强度的时间效应问题的研究便是一个全新的研究课题。目前世界上关于此问题的研究成果并不多见,因此解决破裂扩展问题需要采用全新的工作思路,去获得大理岩强度随时间变化特性的认识,丰富岩石力学理论,解释和定量估计隧洞围岩破裂随时间的变化特征,满足引水隧洞长期稳定安全运行的需要。

参考文献:

[1] 锦屏二级水电站引水隧洞围岩稳定、动态支护设计专题研究;2010 年阶段性总结报告[R]. 武汉:Itasca(武汉)咨询有限公司,2010.

[2] READ R S. 20 years of excavation response studies at AECL's underground research laboratory[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,2004,41 (8):1251-1275.

[3] FAIRHURST C. Nuclear waste disposal and rock mechanics: contributions of the Underground Research Laboratory (URL), Pinawa, Manitoba [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2004, 41 (8): 1221-1227.

[4] SCHMIDTKE R H, LAJTAI E Z. The long-term strength of Lac du Bonnet granite[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,1985,22(6):461-465.

[5] CHARLES R J. Static fatigue of glass[J]. J Appl Phys, 1958,29(11):1549-60.

[6] CUNDALL P A, POTYONDY D O, LEE C A. Micromechanics-based models for fracture and breakout around the mine-by experiment tunnel[C]//Designing the Excavation Disturbed Zone for a Nuclear Repository in Hard Rock Proceedings, EDZ Workshop. Winnipeg: Canadian Nuclear Society,1996,113-22.

[7] POTYONDY D O, CUNDALL P A. A bonded-particle model for rock [J]. International Journal of Rock

Mechanics and Mining Sciences, 2004, 41 (8): 1329-1364.

[8] POTYONDY D O. Simulating stress corrosion with a bonded-particle model for rock [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,2007,44(5): 677-691.

[9] 张春生,陈祥荣,侯靖,等. 锦屏二级水电站深埋大理岩力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29 (10):1999-2009. (ZHANG Chunsheng, CHEN Xiangrong, HOU Jing, et al. study of mechanical behavior of deep-buried marble at jinping ii hydropower station[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29 (10):1999-2009. (in Chinese))

[10] 刘宁. 深埋大理岩破裂扩展的时间效应及隧洞长期稳定性评价[R]. 杭州:华东勘测设计研究院,2011.

[11] 刘宁,张春生,褚卫江. 深埋大理岩破裂扩展时间效应的颗粒流模拟[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30 (10):1989-1996. (LIU Ning, ZHANG Chunsheng, CHU Weijiang. Simulating time-dependent failure of deep marble with particle flow code [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30 (10): 1989-1996. (in Chinese))

(收稿日期:2012-05-15 编辑:熊水斌)

(上接第46页)

[10] HOUSER P R, MICHEAL B, BRIAN C, et al. A global land data assimilation scheme (GLDAS) [J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2004,85(3):381-394.

[11] RODELL M, HOUSER P R, JAMBOR U, et al. The global land data assimilation system [J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2004,85(3):381-394.

[12] STEASSBERG G, SCANLON B R, RODELL M. Comparison of seasonal terrestrial water storage variations from GRACE with groundwater level measurements from the High Plains Aquifer (USA) [J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34 (L14402, doi: 10.1029/2007GL030139).

[13] Ministry of geology and mineral resources, People's Republic of China. Geological memoirs [M]. Beijing: Geological Publishing House,1988:202-204

[14] YANG Y, ZHANG X, WATANNBE M, et al. Optimizing irrigation management for wheat to reduce groundwater depletion in the piedmont region of the Taihang Mountains in the North China Plain [J]. Agricultural Water Management,2006,82:25-44.

[15] MOIWO J P, YANG Y, HAN S, et al. A method for estimating soil moisture storage in regions under water stress and storage depletion; a case study of Hai River Basin, Northern China [J]. Hydrological Processes,2011, 25:2275-2287.

(收稿日期:2012-06-06 编辑:熊水斌)