

长清—孝里铺水文地质单元 岩溶地下水资源量计算及开采潜力分析

薄克庭, 蔡有兄

(山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

摘要:在收集利用前人研究成果的基础上,计算岩溶地下水补给资源量,通过调查统计获得岩溶地下水开采资源量,采用水均衡法和数值法计算岩溶地下水可增采资源量,并分析增采潜力。通过水文地质条件分析,将归德镇附近富水地段作为增采潜力开采区,最后提出岩溶地下水开发利用建议。

关键词:水文地质单元;岩溶地下水;潜力分析;长清—孝里铺;济南市

中图分类号:P641.8

文献标识码:B

引文格式:薄克庭,蔡有兄.长清—孝里铺水文地质单元岩溶地下水资源量计算及开采潜力分析[J].山东国土资源,2015,31(12):37-42. BO Keting, CAI Youxiong. Calculation of Karst Groundwater Resources and Analysis on Exploitation Potentiality of Changqing-Xiaolipu Hydrogeologic Unit[J]. Shandong Land and Resources, 2015, 31(12): 37-42.

1 研究区范围及水文地质条件

1.1 研究区边界条件

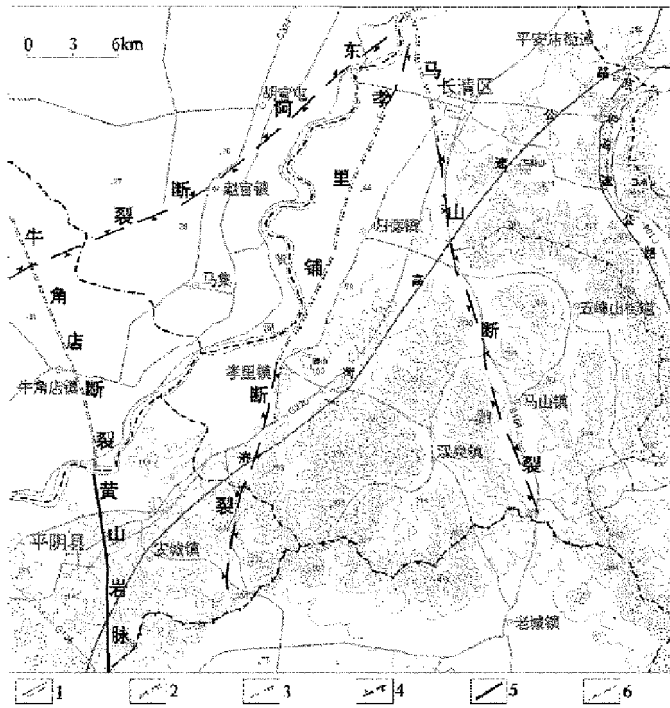
长清—孝里铺水文地质单元位于泰山隆起的西北翼^[1],跨济南市长清区、平阴县和德州市齐河县,总面积约935.40 km²(图1)。西部以牛角店断裂和黄山岩脉为界,其中牛角店断裂为一透水断裂,在黄河以北构成透水边界,黄山岩脉在黄河以南构成阻水边界。东部边界以马山断裂为界,断裂两盘地层相对错动较大,形成了2个断块地质体,即长清—孝里铺和济南泉域2个水文地质单元。长清—孝里铺水文地质单元内的新周庄以南至岗辛庄段,断层E、W两盘地层岩性及岩溶发育情况存在较大差异,此段断层阻水。新周庄南至老屯段马山断层长约6.1 km,断层E盘岩性主要为奥陶纪马家沟群北庵庄组和土峪组的灰岩,泥灰岩,W盘岩性为马家沟群五阳山组的灰岩,断层两盘都为岩溶发育的灰岩,富水性较好,但根据以往群孔抽水试验和动态观测等资料表明,该段断层显示了一定程度的阻水作用^①。老屯至前隆段长约2.50 km,在钻孔揭露深度内,断

层E盘为马家沟群五阳山组的灰岩,断层W盘为马家沟群五阳山组、阁庄组和八陡组灰岩,岩溶均发育,富水性好,反映了断层具良好的透水性。虽然老屯以北至前隆段为透水性质,但与整条马山断层的长度和主要作用相比是局部的。因此,把马山断层作为长清—孝里铺水文地质单元与东部济南泉域水文地质单元的边界。北部边界以东阿断裂为界,该断裂自东阿县高集镇,向东北经齐河县赵官镇、胡官屯镇东部出境,断裂总体走向NE40°,倾向NW,倾角85°,总长度达100 km。该断裂ES盘寒武纪、奥陶纪与WN盘石炭纪、二叠纪直接接触,断裂两侧落差大于2500 m,为高角度的张性阻水断裂。南部以地表分水岭为界,分水岭西起黄山岩脉,经贤子峪,冷饭店、兴隆镇南,玉皇顶、木阁寨北等制高点至双山东南研究区。另外鉴于南沙河水对岩溶水的补给,南部补给区范围在东南部已越过马山断层南段,以南沙河北支与北沙河的地表分水岭为边界,即从岗辛起向东沿黄石崖、桃花峪分水岭为界。调查证实,地下分水岭可以用地表分水岭近似代替,构成南部地下水边界。

收稿日期:2015-02-04;修订日期:2015-03-07;编辑:陶卫卫

作者简介:薄克庭(1975—),男,山东邹城人,工程师,主要从事水工环和桩基础施工工作;E-mail:bocaiyu_2009@sina.com

①山东省地质矿产局八〇一水文地质工程地质大队,长清—孝里铺水源地供水水文地质勘探报告,1986年。



1—断层及推测断层界线;2—透水断层;3—弱透水断层;4—阻水断层;

5—岩脉;6—地下(地表)分水岭

图1 长清-孝里铺水文地质边界图

1.2 研究区水文地质条件

1.2.1 含水岩组划分及其特征

根据含水层岩性组合特征及地下水的赋存条件、富水程度,将研究区含水岩组可划分为松散岩类孔隙水含水岩组、碎屑岩类裂隙水含水岩组、碳酸盐岩裂隙-岩溶含水岩组、碎屑岩夹碳酸盐岩溶-裂隙含水岩组和块状岩类含水岩组。由于研究区地下水主要赋存在碳酸盐岩裂隙-岩溶含水岩组中,因此该文只对碳酸盐岩裂隙-岩溶含水岩组进行说明。根据研究区水文地质条件该含水岩组分为三山子组-马家沟群含水亚组和寒武纪张夏组含水亚组。

三山子组-马家沟群含水亚组含水层岩性为厚层纯灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩和泥质灰岩。岩溶裂隙发育,导水性强,有利于地下水的补给、径流和富集,在重力作用下,形成一个具有统一水面的含水层。在低山丘陵区灰岩直接裸露地表,岩溶裂隙发育,有利于大气降水的渗入补给,为岩溶地下水的补给径流区,单井出水量一般小于 $100 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在地形、构造及地表水补给有利处,单井出水量可大于 $500 \text{ m}^3/\text{d}$,地下水位埋深 $50 \sim 100 \text{ m}$,甚者大于 100 m ,水位年变幅 $20 \sim 50 \text{ m}$ 。丘陵及部分

岛状山分布区,含水层主要为奥陶纪灰岩,富水性中等,单井出水量 $100 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{d}$,局部地段由于构造控制,单井出水量可大于 $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。山前倾斜平原以及单斜构造前缘,含水层岩溶裂隙发育,地下水储存于裂隙溶洞中,一般单井出水量可达 $1000 \sim 5000 \text{ m}^3/\text{d}$,局部地区大于 $10000 \text{ m}^3/\text{d}$ ^[2],水位埋深小于 10 m ,局部地区自流,水位年变幅 $3 \sim 4 \text{ m}$ 。

寒武纪张夏组含水亚组主要分布在研究区南部山区和北部平原区,南部山区绝大部分裸露地表,北部均埋藏于奥陶纪地层或寒武纪地层之下,岩性以鲕状灰岩为主,其次为白云质条带细晶灰岩。该含水层上、下由具有相对隔水作用的崮山组和馒头组的页岩构成顶、底板,含水层岩性可溶性强,尤其是在岩层的顶部和底部,岩溶发育较强。该含水岩组裸露区单井出水量一般小于 $500 \text{ m}^3/\text{d}$,隐伏区单井出水量 $500 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{d}$,局部地段大于 $1500 \text{ m}^3/\text{d}$ ^①。

1.2.2 岩溶地下水的补径排条件

三山子组-马家沟群岩溶地下水的运动与鲁中山地其他地区相似,受地形、地质、构造等因素制约较为复杂。该含水岩组的主要补给来源为大气降水入渗补给,其次为地表水渗漏补给、第四系孔隙水补给、侧向径流补给等。排泄方式主要包括人工开采和向第四系排泄等。岩溶水的运动方向和地形及岩层的倾斜方向大体一致,在接受补给后由南向北运动。岩溶地下水在运动过程中水力坡度随地形坡度由陡渐缓,地下水运动至山区与平原交接带,在北部由于受下伏石炭纪、二叠纪地层的阻挡,岩溶水向北运动受阻,产生“壅水”现象,在这些地段往往形成岩溶水的强富水区^[3]。

寒武纪张夏组含水亚组裸露区多见溶槽、溶沟、溶芽,有利于大气降水的入渗补给,因此,大气降水是张夏灰岩的主要的补给来源之一。张夏灰岩在接受大气降水的补给后,沿地层倾向向北部径流,在径流的过程中,受断裂及构造影响,使之通过构造裂隙与上覆的奥灰岩溶水沟通,向奥灰岩溶水排泄,另一部分继续向北进入更深的循环。

① 山东省地矿工程勘察院、济南市水利局、济南大学,济南市地下水资源调查评价,2008年。

2 地下水资源量计算

2.1 水均衡计算

2.1.1 计算参数的确定

降水量采用长清区 1953—2013 年多年平均降水量 0.6342 m。降水入渗系数 α 取 0.28。经计算,直接补给区面积 144.66 km²,张夏组灰岩区面积 30.96 km²。考虑到该区农灌区多位于山间河谷或山间盆地地带,地势低洼平缓,便于入渗,故农灌回渗系数 β 取值 0.30。

2.1.2 补给量($Q_{补}$)及排泄量($Q_{排}$)计算

根据水均衡法计算,长清-孝里铺水文地质单元岩溶地下水多年平均条件下总补给量为 6061.19 万 m³/a(16.61 万 m³/d),总排泄量为 5015.59 万 m³/a(13.74 万 m³/d),总补给量大于总排泄量(表 1),为正均衡。

表 1 岩溶水补、排项均衡计算

项目		补给 排泄量 (万 m ³ /a)	补给 排泄量 (万 m ³ /d)	合计 (万 m ³ /a)	合计 (万 m ³ /d)
补给项	大气降水入渗补给量	3118.59	8.54	6061.19	16.61
	黄河水侧渗补给量	383.25	1.05		
	农灌回渗补给量	256.2	0.70		
	西北角地下径流补给量	1324.95	3.63		
	南大沙河及小屯水库 渗漏补给量	978.20	2.68		
排泄项	工农业及自备井开采量	1428.0	3.91	5015.59	13.74
	地下径流排泄量	2795.9	7.66		
	煤矿矿坑排泄量	200.39	0.55		
	洼地排泄量	591.30	1.62		
均衡性				1047.55	2.87

2.1.3 可增采资源量计算($Q_{可采}$)

研究区地下水补给来源广泛持久,补给条件优越,排泄区地下岩溶发育,富水性好,西北部又有煤系地层阻挡,各项补给量完全可以转化为可开采量。因此,排泄量中除工农业开采量 1627.90 万 m³/a(4.46 万 m³/d)以外,尚有 4 434.75 万 m³/a(12.15 万 m³/d)通过洼地补给第四系或转化为地表水和径流排泄。因此,增大人工开采量通过洼地和径流排泄是可行的,所以,在现状开采的基础上,该单元可增采 4 434.75 万 m³/a(12.15 万 m³/d)岩溶地下水资源是有保障的。

2.2 数值法计算

根据长清-孝里铺水文地质单元条件,采用数值

法预测分析实施开采方案对该区地下水动态及均衡的影响。通过分析资料结合前人研究成果,建立研究区的概念模型及结构模型,利用 Visual MODFLOW 软件对模型进行数值计算,并根据观测资料对模型进行识别与验证,最后借助识别验证好的数值模拟模型对开采方案进行模拟计算,预测分析其对地下水的影响^①。

2.2.1 开采方案模拟

根据水文地质调查成果,确定开采目的层位为岩溶含水层,在研究区内富水地段确定了 2 种开采方案,分别为:

方案一:开采井位于曹楼井组,设计单井涌水量为 13 333.33 m³/d,共布设 6 个抽水井,开采量总计 8 万 m³/d。

方案二:位置与方案一相同。设计单井涌水量为 12 500 m³/d,共布设 8 个抽水井,开采量总计 10 万 m³/d。

2.2.2 开采方案对地下水位的影响

运行方案一后,地下水位产生明显变化,在布井地段出现了一个明显的地下水降落漏斗,最大降深约 9.02 m,位于曹楼附近,年降幅 0.902 m;马山断裂长清北排泄区水位降深约 1.49 m,年降幅 0.149 m。曹楼水源地岩溶水的开采对整体流场影响不大,虽然马山断裂长清北观测孔水位下降,但依然能趋于稳定状态,水位维持在 29 m 附近,对济南泉域补给量并未大幅袭夺。

运行方案二后,地下水位降落漏斗进一步扩大,曹楼最大降深为 12.25 m,年降幅达 1.225 m,马山断裂长清北排泄区水位降深约 1.50 m,年降幅为 0.150 m。由于开采量的加大,抽水后得不到有效补给,降落漏斗增大,水位降深加大。曹楼水源地开采量的加大,对长清北排泄区影响较小。

2.2.3 数值模拟结果

根据数值模拟,增加的开采方案不仅激发了地下水补给量的增加,同时也使排泄量减少,地下水均衡状态均呈正均衡,但有减小趋势,均衡差分别为 0.1939 万 m³/d,0.1419 万 m³/d(表 2)。

① 山东省地矿工程勘察院,济南地区优质地下水供水水文地质调查,2015 年。

表 2 增加开采条件下地下水均衡一览(万 m³/d)

源汇项		方案一	方案二	
孔隙水含水层	补给项	降水入渗量	9.295	9.295
		黄河渗漏量	5.223	5.223
		侧向补给	1.519	1.519
		引黄灌溉回渗量	1.402	1.402
		顶托补给量	0.011	0.009
	总计	17.45	17.448	
	排泄项	蒸发	-4.753	-4.753
		泄流	-6.542	-6.351
		越流量	-0.821	-1.65
		地下径流排泄量	-1.12	-1.12
工农业开采量		-3.3	-3.3	
总计	-16.536	-17.174		
均衡差		0.914	0.274	
岩溶水含水层	补给项	降水入渗量	6.8919	6.8919
		河道水库渗漏量	2.041	2.071
		黄河渗漏量	3.251	3.73
		侧向补给	4.345	4.758
		越流补给	0.821	1.65
	总计	17.3499	19.1009	
	排泄项	地下径流排泄量	-3.254	-3.059
		水源地开采量	-8	-10
		工农业开采量	-4.06	-4.06
		洼地溢出	-1.281	-1.281
顶托排泄		-0.011	-0.009	
矿区	-0.55	-0.55		
总计	-17.156	-18.959		
均衡差		0.1939	0.1419	

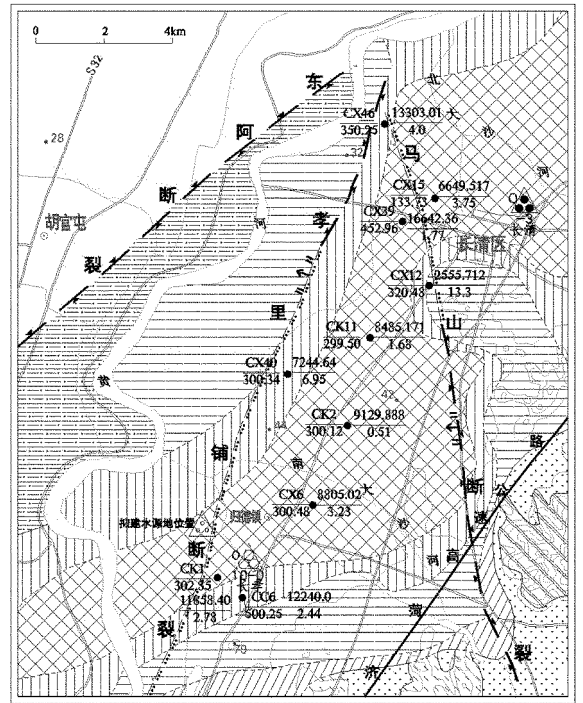


图 2 长清-孝里铺水文地质单元水文地质条件图

通过数值法对岩溶水开采方案模拟分析表明, 实施开采方案后, 地下水水位变化明显, 在开采井附近产生地下水降落漏斗, 对水文地质单元的地下水水位也有一定影响。枯水系列年的方案一、方案二开采方案改变地下水均衡状态。自然情况下, 马山断裂为岩溶水的排泄边界, 而实施开采方案后, 激化增加补给量, 袭夺部分边界排泄量, 但激化与袭夺总量是有限的, 各方案计算说明连续枯水系列年条件下, 尤其是考虑到赵官煤矿开采等因素, 长清地区开采量不宜超过 14 万 m³/d (含分散开采)。若考虑东边界以东外围水源地, 应建立长孝-济南数值模型, 统一进行地下水资源评价。

3 开采潜力分析

3.1 水文地质结构良好

研究区内马山断裂和孝里铺断裂所夹的三角地带为区内主要富水地段(图 2)。孝里铺断裂西侧有煤系地层, 厚度约 200 多米, 构成其相对阻水边界,

东部马山断裂有一段为弱透水性, 奥陶纪灰岩裂隙, 岩溶发育, 含水层厚度大, 有良好的地下水通道和储水空间。灰岩之上覆有厚度 30~200 余米的第四纪地层, 红色粘土层构成了岩溶水的隔水顶板, 广大的南部山区为岩溶水的补给区, 所以, 构成一个具有相对独立补给、径流和排泄条件的单斜构造水文地质单元。

3.2 补给条件好

该三角地带地处岩溶水的汇流区, 中部有黄河水渗漏补给; 南部接受大气降水入渗径流补给; 局部地区岩溶水可得到第四纪含水层的下渗补给, 主要在山前平原近山的第四系较薄处, 如在前平、小屯、庄楼、前刘官庄一带, 第四纪地层厚度 5~20 m, 底部粘土层也薄, 平水期和枯水期, 第四纪孔隙水水位高

于下伏岩溶水水位,这时第四纪孔隙水就垂直下渗补给下部岩溶水;西部平阴水文地质单元的岩溶水通过牛角店断裂径流补给。因此,该水文地质单元岩溶水补给条件较好。

3.3 具有较强的调蓄能力

研究区富水地段奥陶纪马家沟群地层分布齐全,含水层厚度较大,总厚度约800~1000 m,具有较大的储水空间和较强的调蓄能力。根据长孝勘探资料,长清区顾小庄—曹楼村—坟台村—长清西关一线富水性极强,单井涌水量大于10 000 m³/d。曹楼村CK1号井主要含水层为马家沟群北庵庄组灰岩,而曹楼村西CX38号井、坟台村CK2号井、长清西关CX39号井主要含水层为马家沟群五阳山组灰岩,而以上地段单井涌水量均大于10 000 m³/d,证实了研究区富水地段含水层厚度较大,具有较大的储水空间和较强的调蓄能力。还有以往由于受技术手段、勘探深度的限制,研究区内钻孔深度一般为350 m左右,存在下伏岩溶水含水层勘探不明的问题。根据曹楼附近CC6号钻孔分层抽水资料,在流量相差无几的情况下,在未揭露三山子组含水层时降深为5.61 m,而在仅仅揭露三山子组上部含水层后降深减少至1.74 m。这充分说明研究区内三山子组含水层富水性较好,具有进一步勘察开发利用的潜力。

3.4 地下水动态分析

根据长清区归德镇曹楼村CK1号和城关镇西

关村CX15号钻孔地下水水位的多年(2007—2013年)动态变化曲线可以看出(图3),研究区岩溶水动态具有显著的平盘上升、平盘下降、缓降陡升的特点,遇到枯水年岩溶水水位持续缓慢下降,遇到丰水年,岩溶水在强降水的影响下,水位快速回升并得到完全恢复。2006年研究区降水量仅为475.3 mm,为枯水年,该年降水量比多年平均降水量702.19 mm(1953—2013年)少226.89 mm,有效降水量太少,对岩溶地下水的入渗补给明显不足,导致水位持续下降,于2007年6月出现最低水位。2007年降水量717.6 mm,地下水位于7月份逐渐上升,一直到12月才开始下降。2008年、2009年降水量基本相当,区域地下水水位较为稳定。2010年降水量838.3 mm,为丰水年,但7月份之前,降水量极少,对岩溶水入渗补给不足,导致2010年枯水期水位为多年枯水期最低水位。7月中旬以后降雨异常集中,地下水水位急剧上升,到9月普降大雨后,出现多年丰水期最高水位。受2010年丰年的影响,2011年枯水期岩溶地下水水位仍然较高,为多年枯水期水位最高的一年。2011年、2012年降水量分别为556.9 mm,610.2 mm,较2010年偏少,丰水期地下水位上升幅度较小,水位一直处于稳定状态。2013年降水量为791.1 mm,地下水水位在7—8月回升,丰水期水位较前两年高,9月中旬水位下降,进入消耗阶段。

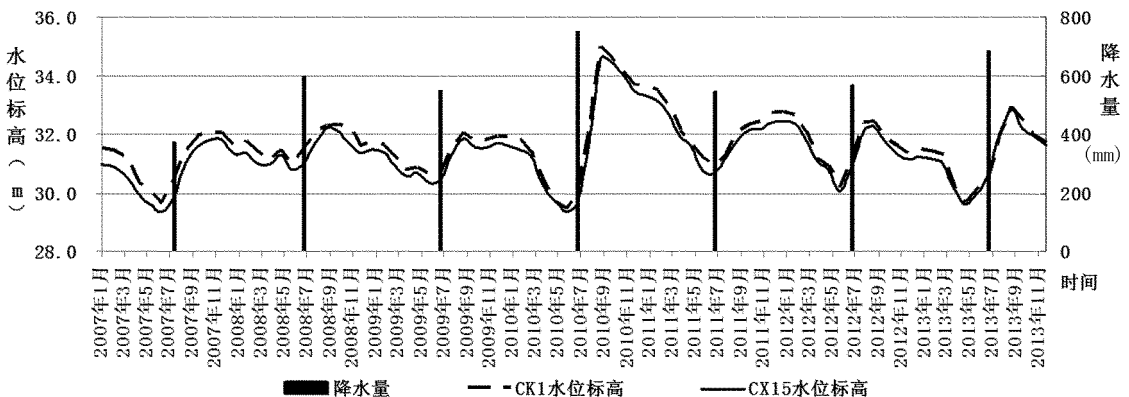


图3 研究区岩溶水水位多年动态曲线图

研究区岩溶水在遇到2010年丰水年后,水位大幅升高,1个丰水年完全补偿了所消耗的储存量。根据多年水位动态观测资料,CK1,CX15自2007年1月至2013年12月,水位分别上升了0.19 m和0.64 m,反映研究区岩溶水具有较好的调蓄功能和极强的补

给能力,具有一定的开采潜力^[4]。

4 结论与建议

4.1 结论

综合考虑研究区水均衡法和数值法计算结果,确定研究区可增加开采资源量 10 万 m^3/d 。目前开采条件下,岩溶地下水具有较大的增采潜力。

4.2 建议

(1)根据研究区岩溶水水文地质条件,进一步优化地下水动态监测网,加强工作区岩溶地下水水质、水量、水位的长期监测工作。特别要注意监测水源地开采后的影响范围和出现的地质环境问题。同时也为今后开展各项水文地质勘查、建立地下水资源信息系统及管理模型等工作积累必要的基础资料^[5]。

(2)加强地下水资源环境保护,防止水质污染。对研究区岩溶地下水污染区,尽快采取有效的防治措施,以免污染范围进一步扩大,同时应加强对地下水可能造成污染的工业三废、生活垃圾、农药化肥等排放和使用量的控制,绝对禁止其污染物随意就地排放和不达标排放^[6]。

(3)严格新增水井定点和成井的检查验收工作。新增水源井井位、井深和取水层位必须有行政

主管部门统一确定,并制定严格的质量验收制度,以杜绝诸如盲目打井、混合串层开采等不合理现象的发生。

(4)农业用水应尽可能用地表水替代,减少岩溶水开采量。

参考文献:

- [1] 宋明春,王沛成,梁邦启,等.山东省区域地质[M].济南:山东省地图出版社,2003.
- [2] 徐军祥,康凤新,张中祥,等.山东省重大水文地质问题—理论技术创新与应用[M].济南:山东科学技术出版社,2014,198-199.
- [3] 邢立亭,徐军祥,张伟.济南泉域岩溶地下水环境演化及保泉对策研究[A]//山东省地矿局主编.山东省环境地质文集[C].北京:地质出版社,2007:31-37.
- [4] 陈洪年,张文才,戴振芬.双村岩溶水系统多年开采动态分析及潜力评价[A]//山东省地矿局主编.山东省环境地质文集[C].北京:地质出版社,2007:83-86.
- [5] 高明志,尚宇宁,高明玲,等.济南地下水环境保护研究[A]//山东省地矿局主编.山东省环境地质文集[C].北京:地质出版社,2007:38-42.
- [6] 史启朋,王博伦,赵庆令,等.官桥断块地下水资源量分析评价[J].山东国土资源,2013,29(9):61-64.

Calculation of Karst Groundwater Resources and Analysis on Exploitation Potentiality of Changqing-Xiaolipu Hydrogeologic Unit

BO Keting, CAI Youxiong

(Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: Based on the collection and utilization of previous study results, amount of recharge resources accounts of karst groundwater has been calculated. Through investigation and statistics, karst groundwater exploitation resources has been obtained. The recoverable resources of karst groundwater which can be increased by using water balance method and numerical method have been calculated, and the increasing production potentiality has been analyzed. According to analysis on hydrogeological condition, rich water section near Guidezhen town will be regarded as increasing production potentiality mining area. Suggestions for the exploitation and utilization of groundwater have been put forward.

Key words: Hydrogeological unit; karst groundwater; potentiality analysis; Changqing-Xiaolipu; Jinan city