

## 千佛山与趵突泉泉水形成关系研究

韩连山<sup>1</sup>,汪玉静<sup>2</sup>,韩昱<sup>3</sup>

(1.山东地矿新能源有限公司,山东 济南 250014;2.济南市林场,山东 济南 250014;3.山东省地矿工程勘察院,山东 济南 250014)

**摘要:**从沉积盖层的形成、岩浆的侵入、碳酸盐岩岩溶发育过程及演化、构造运动对盖层的切割与破坏及对地形地貌的塑造等方面,分析了济南千佛山、佛慧山和以趵突泉为代表的济南四大泉群的内在联系。研究表明,燕山运动末期奠定了济南构造全貌,新近纪末期,千佛山、佛慧山一带基本形成了与现在相近的地貌特征,市区一带,在趵突泉、黑虎泉泉群附近形成了“天窗”。千佛山、佛慧山一带是趵突泉泉水的重要补给区,碳酸盐岩在市区隐伏于地下,是三水转化系统的重要介质,在地形低洼、构造有利的部位趵突泉腾空而出,其流出时间大约在距今1万至6000 a之间。

**关键词:**千佛山;趵突泉;碳酸盐岩;燕山运动;天窗;三水转化

**中图分类号:**P962

**文献标识码:**B

**引文格式:**韩连山,汪玉静,韩昱.千佛山与趵突泉泉水形成关系研究[J].山东国土资源,2015,31(12):27-32.HAN Lianshan, WANG Yujing, HAN Yu. Research on Relationship between the Formation of the Baotu Spring and Qianfo Mountain[J].Shandong Land and Resources, 2015,31(12):27-32.

济南是集山、泉、河、湖于一体的园林化城市,古今中外名人志士赋诗作词赞美济南的景色,既有“济南山水甲齐鲁,泉甲天下”,“四面荷花三面柳,一城山色半城湖”等诸多溢美之词,又有“岱阴诸谷之水经渴马漏,伏流北出成泉”的科学考究。但鲜有人提及城区正南的千佛山、佛慧山与市区泉水的内在联系。该文通过对济南城区附近地形地貌、地质及水文地质条件的分析,从济南地区碳酸盐岩沉积,构造运动、岩浆活动对盖层的切割与破坏及对地形地貌的塑造,碳酸盐岩岩溶发育过程及演化,岩溶水的水动力特征等方面,揭示千佛山、佛慧山与市区泉水的密切关系。

## 1 自然地理

研究区位于济南泉域的中北部,地处鲁中山地北缘,地形东南高西北低,变化显著。东南部的千佛山、佛慧山等,山势陡峻,沟深谷狭,广泛分布着碳酸盐岩,形成一系列岩溶地貌,灰岩顺层缓坡可见溶

沟、溶槽,灰岩陡坡不同高程分布有溶洞,岩溶最发育的地层为三山子组白云岩及马家沟群灰岩、豹皮灰岩。该区大致以经十路为界,南部地面绝对标高50~460 m,属丘陵地貌(图1);北部地面绝对标高26~50 m,为冲洪积成因的山前倾斜平原;地势为南东高北西低,坡度一般5°~10°,东西差异明显。在地势最低洼的中心城区出露趵突泉、黑虎泉、珍珠泉及五龙潭四大泉群。

## 2 地质构造演化

### 2.1 地层沉积

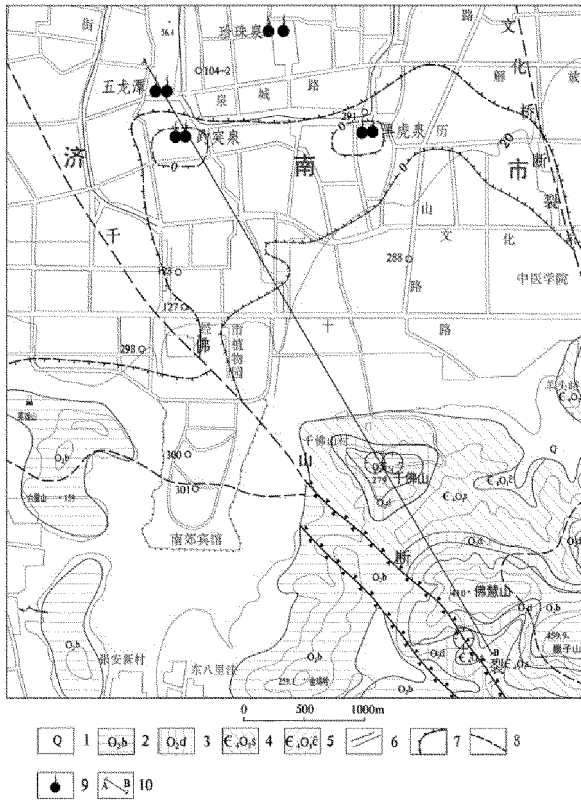
从距今5.7亿年的寒武纪开始,海水侵入济南,与华北海连为一体,济南地区开始了以海相碳酸盐岩为主的沉积阶段<sup>[1]</sup>。

早寒武世至中寒武世早期,属于第一海侵旋回前期。早寒武世早期济南地区整体下沉海侵扩大,在尚未准平原化的基底上,因古地形的起伏和分割

收稿日期:2015-05-04;修订日期:2015-07-02;编辑:王敏

基金项目:山东地矿重大科技攻关项目(2012-045)

作者简介:韩连山(1964—),男,山东寿光人,研究员,主要从事水文地质研究工作,E-mail:hanlianshan-1@163.com



1—第四系;2—北庵庄组;3—东黄山组;4—三山子组;5—炒米店组;6—断层及隐伏断层;7—碳酸岩与辉长岩接触界线及倾向;8—碳酸岩地层中辉长岩侵入范围;9—泉群;10—剖面线

图1 地理位置及地质构造图

作用造成水流不畅的海湾和泻湖,沉积了以白云岩及含燧石条带泥晶灰岩为主的朱砂洞组;随着地壳继续下沉,海侵范围扩大,古地形的分割作用仅限于水下,沉积了以粉砂岩、粉砂质页岩、紫色页岩夹石灰岩为特征的馒头组。

中寒武世晚期至早奥陶世晚期,属第一海侵旋回后期。自中寒武世晚期开始,地壳持续下沉,到早奥陶世海侵继续发展,水下古地形与前期海侵时具有一定的继承性,陆源区已进入准平原化阶段,母岩风化的碎屑岩阶段已告结束,沉积区已接近清水沉积。在该阶段有两次海侵高潮控制着九龙群张夏组石灰岩和三山子组白云岩的沉积。

中奥陶世早期(距今4.78亿a左右),济南地区地壳整体上升,海水退出济南,三山子组遭受风化剥蚀,俗称“怀远间断”<sup>[2]</sup>。随后地壳开始缓慢下沉,开始了早古生代奥陶纪第二海侵旋回。中奥陶世第一次海侵高潮的前期,地壳下沉幅度较小,沉积了以角砾岩、泥灰岩、白云岩为特征的马家沟群东黄山组。在海侵高潮后期,地壳下沉幅度增大,发育了以

隐晶灰岩和云斑灰岩为特征的北庵庄组。中奥陶世中期和晚期,即第二次和第三次海侵高潮期,其沉积环境的演化与早期高潮期有一定的相近性,使马家沟群沉积发育构成3个沉积旋回,6个阶段,即东黄山组、北庵庄组,土峪组、五阳山组,阁庄组、八陡组。

至此,经历了1.32亿a的海侵之后,以海相碳酸盐岩为主的沉积期结束。在距今约4.53亿a的中奥陶世末期,海水退出济南,开始了漫长的风化剥蚀和海陆交互相转陆相动荡沉积过程。

## 2.2 构造演化

### 2.2.1 构造运动

早古生代碳酸盐岩沉积后,济南地区经历了多期次构造运动,其中燕山期地壳差异运动使统一的基底发生破裂,伴随岩浆侵入,断裂构造切割了古生代地层,使其发生落差较大的位移。

济南地区的断裂构造走向主要有NW和NNE 2组,呈“X”型断裂组合<sup>[1]</sup>。研究区发育2条近于平行的NW向断裂——千佛山断裂和文化桥断裂。

千佛山断裂呈NW向斜切研究区中部,断裂从佛慧山及千佛山西侧经南郊宾馆东北角进入济南市区被第四系覆盖。千佛山断裂主体倾向SW,仅个别分支E倾,W盘地层年代较新,断距中间大两端小,最大断距可达450m。断层面倾角陡,一般为70°~80°,两盘地层呈EW向条带展布,是一条折线形高角度大型正断层。断层附近地层有明显的NW倾向,断层带及附近地层中具有清晰的NW系配套形象节理组,说明断裂具NW系压性断层性质。因此,千佛山断裂是在早期EW向构造的张面和扭裂面基础上发展的NW系压性断层。

文化桥断裂位于千佛山断裂东约3.5km处,南起羊头峪庄,经体工大队西侧至中心医院文化桥附近向北西延伸。已知长约3km,走向340°~350°,倾向SE,倾角大于60°。据钻探资料,西盘三山子组地层抬升,东盘下落;东盘为侵入岩体,在平面上E盘又向南推移。由于千佛山断裂与文化桥断裂的存在,使济南老城区内三山子组地层相对抬高,形成地垒,平面位置上两断层间灰岩向北突出。“四大泉群”就在灰岩突出部的北缘出露,趵突泉泉群出露在靠近千佛山断裂一侧。

### 2.2.2 岩浆侵入

中生代早白垩世早期(距今约1.30亿a),济南

市发生了大范围中基性岩浆侵入<sup>[3]</sup>,在市区附近形成的侵入岩岩性主要为辉长岩和少量辉石二长岩。由于第四系覆盖,地表直接出露面积不大,但在较薄的第四系之下辉长岩体是大范围连片分布。辉长岩侵入体南部的边界不受两条断层影响,其波状边界是北侧岩浆基本顺层楔入,厚度愈往北愈大(图2),其波状边缘是岩浆舌状楔入距离的不同而形成。佛慧山—羊头峪一带,在奥陶纪东黄山组中的辉长岩岩床,是岩体顶部的顺层侵入,只是在泉群出露区一带部分被剥蚀,故仅见于山区高层位,千佛山向北至经十路一带,侵入岩应被剥蚀殆尽。

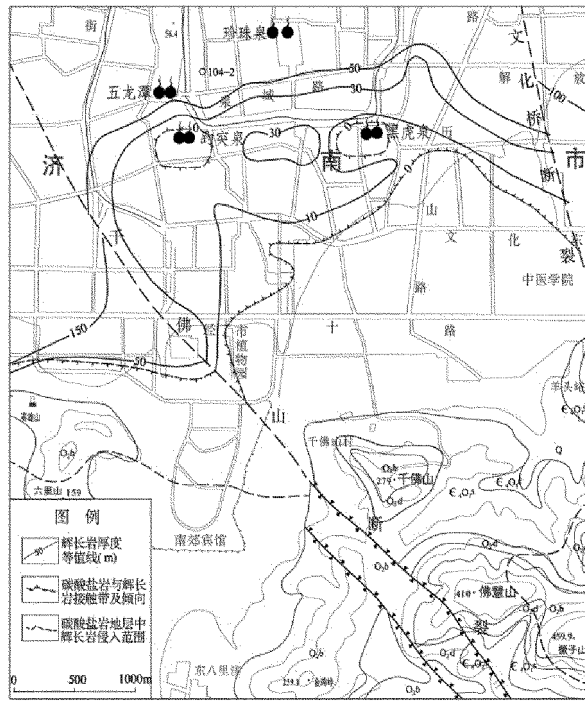


图2 辉长岩体分布及厚度等值线图

## 3 成生关系及岩溶发育

### 3.1 燕山期构造格局形成

早白垩世早期的岩浆侵入使济南市区一带的古地形隆起,马家沟群及石炭二叠纪沉积岩层产生大量裂隙,局部碎裂,形成了易于遭受风化剥蚀和流水冲蚀的薄弱地带。岩浆侵入后,地壳受到强有力的挤压,褶皱隆起,泰山山脉崛起,使本来夷平原化的地形呈现出总体南高北低的特征,沉积岩层向N及NW方向倾斜。同时,由于地壳的差异性升降,断裂构造发育,千佛山断裂和文化桥断裂就在这一时期形成,切割了早期侵入的辉长岩体。燕山运动,奠定

了济南地区构造格局和地貌特征,南依泰山隆起,北临济阳凹陷,城区一带的辉长岩体分布区处于南升北降的过渡地带,两条断裂之间形成的地垒区地形高耸,成为喜马拉雅运动时期的风化剥蚀区。

### 3.2 喜马拉雅期地貌塑造与岩溶发育

古近纪至新近纪,济南地区地壳整体相对稳定,地垒区及千佛山、佛慧山一带遭受风化剥蚀,大量碎屑向北转移成为济阳盆地沉积物质的来源,齐河—广饶断裂数次活动,盆地持续下沉。这一时期济南地区寒武系盖层,在区域空间分布上处于较高部位,碎屑岩类和粘土岩类居多,抗风化弱易被风化成土壤,而成层厚度较大的碳酸盐类岩石,抗风化强(如张夏组),多形成孤峰和陡崖地貌。奥陶纪石灰岩(白云岩),具有质纯、坚韧、厚度大、抗风化能力强的特点,在空间上处于隆起构造边缘的较低部位。在漫长风化剥蚀期间,承接地表水流动的时间长,构造裂隙更有利于地表水向深部流动而发生水化学溶蚀作用,使裸露地表的石灰岩形成特有的羊背石、溶沟、溶槽、石芽等岩溶地貌;而地下形成千姿百态的溶蚀洞穴和地下暗洞。经过6200多万年的风化剥蚀及流水冲蚀,千佛山、佛慧山一带基本形成了与现在相近的地貌特征,而市区一带,辉长岩体之上的石灰岩盖层被剥蚀殆尽,地垒区的辉长岩体也被大量剥蚀,在趵突泉、黑虎泉泉群附近辉长岩岩体之下的三山子组白云岩部分出露,形成了“天窗”。

第四纪早更新世,济南地区地壳上升,古近纪和新近纪形成的溶洞逐渐高出侵蚀基准面,上升至区域地下水位以上,此间,随着侵蚀基准面的不断抬升,山区进一步遭受风化剥蚀和流水冲蚀,沟谷加宽、加深,甚至切割了古近纪和新近纪形成的溶洞,岩溶发育的深度加大。中更新世时期,山区边缘下沉,趵突泉、黑虎泉一带沉积了坡积、冲积的棕红色含粘土砾石层,厚度8~10m;而岩溶作用在早更新世溶蚀基础上不断扩展加大,岩溶发育达到鼎盛时期<sup>[4]</sup>。晚更新世,受全区气候由湿热转向干旱的影响,地下水补给减少,区域地下水位下降,地下水位经常在“天窗”之上的砾石层内波动,造成钙质富集,含粘性土的砾石层胶结成岩。通过对黑虎泉附近砾岩胶结物的化验分析和年龄测定,泉水出露区砾岩胶结年代为距今(40450±1710)~(28520±490)a。这个时期深部岩溶只是继承性发展,但浅部溶隙及洞穴受水动力条件减弱的影响,充填了以

粘性土为主的洞穴堆积物。全新世,济南地区转为半干旱气候,夏季炎热多雨,其他季节降水较少,但由于地壳下沉,区域地下水位比晚更新世有一定幅度抬升,部分充填粘性土的空隙重新沉没于地下水位以下。

## 4 三水转化

济南趵突泉是济南泉域碳酸盐岩裂隙岩溶含水系统接受大气降水入渗补给、地表水渗漏补给后,向北运移,并汇集于城区一带,受济南辉长岩体的阻挡水位抬升,在千佛山断裂与文化桥断裂之间的地垒区,地形低洼的部位出露形成,是在特定的地质历史长河中,地形地貌、气象水文、地质构造等多种自然因素巧妙地结合下形成的<sup>[5]</sup>。

### 4.1 千佛山是趵突泉的直接补给区

千佛山、佛慧山一带的早古生代碳酸盐岩沉积后,经过近4亿a的地质构造演化和新生代6000余万年的风化剥蚀,自上而下依次遗留了早古生代马家沟群北庵庄组石灰岩、东黄山组泥质白云岩、三山子组细晶白云岩及其以下岩层,三山子组及其以上岩层出露地表,形成山体。向趵突泉方向延伸,则仅存了三山子组及以下岩层。千佛山一带炒米店组、三山子组和马家沟群碳酸盐岩分布连续,厚度较大,岩溶裂隙发育,接受大气降水补给能力强,是趵突泉得到源源不断补给的重要介质,其间无良好的隔水层,相互水力联系密切,具有基本统一的水动力场,水化学场。但由于出露位置高,含水层连通性好,地下水径流速度快,不利于地下水的储存,因此,富水性一般。该区域无泉水出露,仅在局部相对隔水层分布的区域,滞留上层滞水,如千佛山龙泉洞中的井水即为此类型。

千佛山、佛慧山一带开发为济南千佛山公园,历代文人墨客依山崖所作之石刻、石塔,傍山而建的古刹幽寺,成为当今宝贵的地质旅游资源。目前,千佛山、佛慧山一带由过去的荒山秃岭,变为片片绿洲,森林密集、树种繁多,一年四季,青山碧水,树木枝繁叶茂,郁郁葱葱,风景秀丽宜人,游人络绎不绝,容山、水、色于一体,秀丽之风光令游人流连忘返,是休闲度假的良好去处。森林土壤又是天然的配水站,它可将丰水期的部分降雨蓄存起来,于枯水期再释放出来,起到“以丰补歉”的年度调节作用,并能控

制汛期地表水洪峰流量,增加枯水期的地下径流,对大气降水起到“零存整取”的储蓄作用<sup>[6]</sup>。不仅有利于市区减洪防灾和使地表水的利用效益增加,而且增强对地下水的入渗补给。因此,千佛山、佛慧山一带是大气降水渗入裂隙岩溶含水层转化为岩溶地下水的主要场所,是趵突泉泉水的直接补给区。

### 4.2 千佛山断裂对地下径流的控制

补给趵突泉泉水的岩溶水其径流方向和径流强度受地形、地貌、岩性和地质构造等因素控制。千佛山、佛慧山一带岩溶水的运动方向与地形及岩层的倾斜方向大体一致,在接受大气降水的补给后总体方向由南向北运动。但千佛山断裂南部阻水北部透水的性质,对岩溶地下水的径流起到控制作用。平面上,千佛山断裂以东,山区总体流向为北北西,水力坡度为 $2.5 \times 10^{-3}$ ,岩溶水水位标高达140 m(图3)。千佛山断裂以西,山区岩溶水总体流向北北西,水力坡度为 $2.0 \times 10^{-3}$ ,岩溶水水位标高最高60余米;进入山前区,水力坡度变缓,断裂两侧水位差减小,并由于断裂的导水最终趋同<sup>[7]</sup>,岩溶水径流方向总体向趵突泉方向汇集。

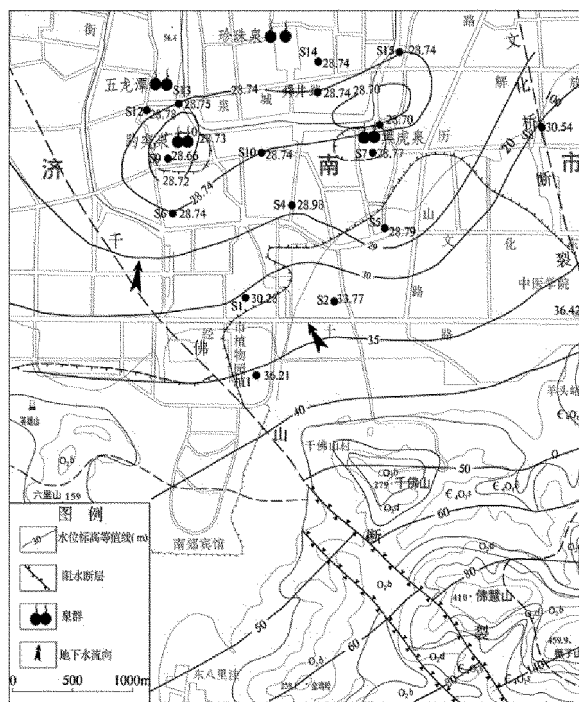


图3 千佛山断裂附近岩溶水等水位线图

### 4.3 趵突腾空——岩溶水向泉水转化

济南市区一带是岩溶地下水汇集、储存、排泄的区域,是岩溶水系统循环的末端,每年的更新交替该

区域承担排泄功能(图 4)。岩溶含水层包括寒武纪和奥陶纪炒米店组、三山子组的碳酸盐岩,皆隐伏于第四系之下。第四系覆盖层厚度 8.85 m(趵突泉附近),岩性以弱胶结的砾岩为主。北部第四系之下埋藏侵入岩体,岩性以辉长岩为主,总体上自南向北厚度逐渐增大,岩溶水在千佛山、佛慧山一带接受大气降水补给后向北径流,受岩体阻隔,承压性增强,在其前沿富集。由于区域断裂构造发育,岩石破碎,岩溶地下水的富集,加剧了石灰岩含水层的岩溶化程度,经过长期溶蚀逐渐形成了以裂隙、溶隙、溶孔、

溶洞及少量管道状空隙组成的脉状地下网络通道,形成了巨大的蓄水空间,储存了丰富的岩溶地下水,在巨大的静水压力下,在地形低洼、千佛山断裂与文化桥断裂形成地垒,辉长岩体被风化剥蚀殆尽,上覆石灰质砾岩厚度不大并发育构造裂隙和溶蚀孔隙的区域,趵突泉腾空外露。据研究,以趵突泉为代表的市区四大泉群在距今 1 万 a 之后 6 000a 之前具备了出流条件。泉水出露后转化为地表水,流入东西护城河,补给大明湖,并最终汇集于小清河,成为济南市区水生态循环系统的主要补给源。

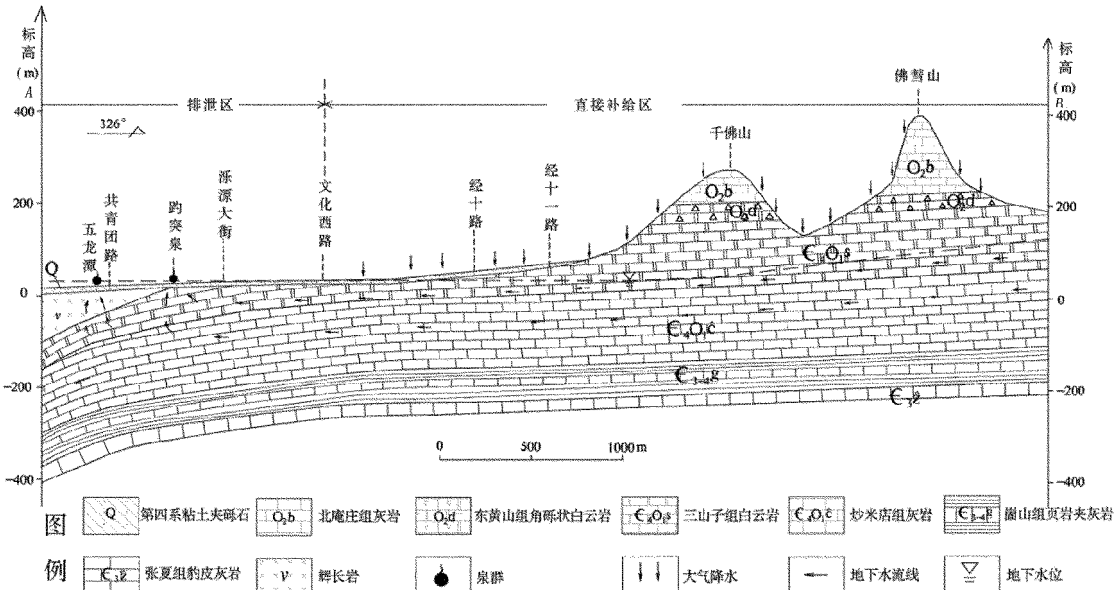


图 4 千佛山-趵突泉三水转化系统水文地质剖面图

## 5 结语

(1) 济南市千佛山、佛慧山一带及市区地下埋藏的碳酸盐岩是早古生代寒武纪、奥陶纪海相沉积物,在漫长的地质历史时期,受各种复杂的地质作用,形成了现今起伏的山峦、山间洼地、沟谷、河流并存的地貌景观。

(2) 中生代早白垩世,济南市发生了大范围岩浆侵入,岩性主要为辉长岩和少量辉石二长岩,侏罗纪末至白垩纪地壳差异性升降产生大规模断裂,导致沉积岩层破裂,燕山运动末期奠定了济南构造全貌。

(3) 新近纪末期,千佛山、佛慧山一带基本形成了与现在相近的地貌特征,市区一带,在趵突泉、黑虎泉泉群附近辉长岩岩体之下的三山子组白云岩部分出露,形成了“天窗”。

(4) 千佛山、佛慧山一带是趵突泉泉水的重要补给区,碳酸盐岩在市区隐伏于地下,是三水转化系统的重要介质,在地形低洼、构造有利的部位趵突泉腾空而出,其出流时间大约在距今 1 万 a 至 6 000a 之间。

## 参考文献:

- [1] 宋明春,徐军祥,王沛成,等.山东省大地构造格局和地质构造演化[M].北京:地质出版社,2009.
- [2] 宋明春,王沛成.山东省区域地质志[M].济南:山东省地图出版社,2003.
- [3] 杨承海,许文良,杨德彬,等.鲁西济南辉长岩的形成时代:锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年证据[J].地球学报,2005,26(4):321-325.
- [4] 中国地质学会岩溶地质委员会.中国北方岩溶和岩溶水[M].北京:地质出版社,1982.
- [5] 孙晓刚,韩连山.大美泉城[M].济南:济南出版社,2013.
- [6] 徐军祥,邢立亭.济南泉域地下水环境演化与保护[J].水文地

质工程地质,2004,(6):69-71.

水利,2009,(S1):77-79.

[7] 邹连文,商广宇,张明泉,等.济南泉水来源区域探讨[J].中国

## Research on Relationship between the Formation of the Baotu Spring and Qianfo Mountain

HAN Lianshan<sup>1</sup>, WANG Yujing<sup>2</sup>, HAN Yu<sup>3</sup>

(1.Shandong New Energy Limited Company of Geology and Mienral Resources, Shandong Jinan 250014, China;2. Jinan Forestry Station, Shandong Jinan 250014, China; 3.Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** In this paper, through analysis on the formation of sedimentary covers, magmatic intrusion, development process and evolution of carbonate rocks, cutting and destroying to the cover layers and the formation of landscapes caused by tectonic movement, internal connection of four springs represented by Qianfo Moutain, Fohui Moutain and Baotu Spring has been analyzed. It is showed that late Yanshan movement has established the structures of Jinan city, and geomorphic characteristics are similar to now in Qianfo Moutain, Fohui Moutain area were formed in late Neogene, and in the urban areas, roof window came into being around Baotu Springs and Heihu springs. Qianfo Moutain and Fohui Moutain area are important recharge area of Baotu Spring. Carbonate rocks are hidden in the urban underground, which are important mediators of three types of water transformation system. In low-lying terrain and favorable position of tectonics, Baotu spring start gushing out at about ten thousand years to six thousand years ago.

**Key words:** Qianfo moutain; Baotu spring; carbonate rocks; Yanshan movement; roof window; three type water transformation