

Protection of Jinan Spring Water and Relation with Hydrogeology at Adjacent Watershed

Zengyuan Yang¹, Zhaocheng Shang², Guangyu Shang³, Zisen Zhang¹

¹Hydrographic Bureau of Jinan City, Jinan Shandong

²Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

³Hydrographic Bureau of Shandong Province, Jinan Shandong

Email: jnswyzy@163.com

Received: Nov. 23rd, 2016; accepted: Dec. 6th, 2016; published: Dec. 13th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on the geological and hydrogeological conditions in Jinan, this paper discusses the relationship between adjacent watershed and Jinan spring water. It is pointed out that the Qianfo Mountain scenic spot is a part of the direct recharge area of spring water and the Qianfo Mountain fault is not the north-south channel of spring water supply. Geological survey data show that: Jinan spring water from the southeastern limestone distribution area of the Xiaoqing River basin, the famous springs 20 years drying up due to the eastern region of over-exploitation of groundwater caused. To ensure the long-term normal spewing springs, the pumping groundwater in the Jinan eastern region should be stopped. There are a number of conclusive evidences to prove that the Liuchang Mountain area of igneous rock as the boundary and the western region of Jinan are independent of groundwater system with spring area. The comprehensive and rational development of the groundwater of Jinan western region does not affect the Jinan spring spewing. As an alternative source of spring protection, the potential of groundwater in Jinan western region is huge, which can fully meet the demand of water supply. Implementation of the provincial and municipal levels of governance “mine western region and stop pumping eastern region” of the protection of spring spewing and spring water supplying decision-making and “control the city southern development” strategy, is the fundamental way protection. The Qianfo Mountain scenic spot should be a model for the protection of the direct spring water recharge area.

Keywords

Jinan Spring, Hydrogeology, Protection Strategy

作者简介: 杨增元(1964-), 男, 山东省莱芜市人, 高级工程师, 主要从事水文水资源研究工作。

文章引用: 杨增元, 商昭诚, 商广宇, 张子森. 济南泉水与附近水文地质关系研究[J]. 水资源研究, 2016, 5(6): 613-619.
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.56071>

济南泉水与附近水文地质关系研究

杨增元¹, 商昭诚², 商广宇³, 张子森¹

¹济南市水文局, 山东 济南

²卡尔斯鲁厄理工学院, 德国 卡尔斯鲁厄

³山东省水文局, 山东 济南

Email: jnswyzy@163.com

收稿日期: 2016年11月23日; 录用日期: 2016年12月6日; 发布日期: 2016年12月13日

摘要

以济南地区地质、水文地质条件为基础, 论述千佛山所在流域及其毗邻流域与济南泉水的关系。指出大千佛山景区为济南泉水直接补给区的一部分, 千佛山断层并非泉水补给的南北向通道。勘察资料表明: 济南泉水来自东南部以石灰岩为主的小清河流域, 名泉20年断流干涸的原因是由于济东地区过量开采地下水造成的。全面停采济东地下水, 可确保名泉持久正常喷涌。有十几项确凿证据证明: 以刘长山一带的火成岩体为界, 济西地区为独立于济南泉域之外的地下水系统, 全面、合理开发济西地下水不影响名泉喷涌。济西地下水供水潜力巨大, 作为保泉替代水源, 完全能够满足济南市供水需求。落实省、市两级政府“采西停东”的保泉供水决策和济南“南控”战略, 乃济南保泉供水成功的根本途径。大千佛山景区应当成为泉水直接补给区保护的样板。

关键词

济南泉水, 水文地质, 保护策略

1. 引言

大千佛山景区与趵突泉景区、大明湖景区构成济南三大名胜, 千佛山及其周边地区水文地质与济南泉水的关系备受各界关注。自上世纪80年代以来, 为济南保泉供水、城市供水水源地勘察、城市水文监测等目的, 国家部委和省市有关部门在该地区开展了大量的水文地质钻探、物探、抽水试验和水文地质测绘工作, 确认济南泉水来自东南部818.5 km²的千佛山所在的小清河流域, 以西郊刘长山一带火成岩体为分界线, 济西地区2625 km²属济南泉域之外的地下水系统[1][2]。2003年山东省和济南市两级政府做出了“采西停东”的决策, 试验性开发泉域外济西地区丰富的地下水, 停采泉域内济东地下水, 停喷20多年的济南泉水迅速恢复持续喷涌, 百万泉城市民也喝上了优质地下水。大千佛山景区与济南泉水的关系、千佛山断层是否构成南北向地下导水通道等多年谜团也被揭开。与此同时, 随着经济社会的快速发展和城市化进程的不断加快, 济南城市“南控”战略受到严重挑战, 以大千佛山景区为典型的泉水直接补给区, 地下水保护形势异常严峻。本文以多年勘察试验资料为依据, 结合实际分别论述。

2. 大千佛山景区——名泉区地质与水文地质

千佛山所在的济南地区地处鲁西台背斜北翼, 为平缓单斜构造。地势东南高西北低, 从低山丘陵过渡到山前平原、黄泛平原。地层总体向北、西北倾斜, 倾角5°~12°。太古界泰山群古老变质岩构成区域沉积基底, 盖层从老到新依次为寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、新近系、第四系。在城区西部、北部至东北郊区, 为燕

山期辉长岩、闪长岩侵入体。较大的褶皱为埠村向斜，轴向北西，核部地层为石炭系、二叠系，翼部为奥陶系、寒武系；较大的断层有 NNW 向的东梧断层、千佛山断层、马山断层和 NNE 向的港沟断层。

2.1. 自然地理

大千佛山景区为西起舜耕路，东到二环东路，南达兴济河，北至经十一路范围，面积 11.46 km²。景区内千佛山、佛慧山分别海拔为 274 m、460 m，罗庵寺顶、燕子山、榷子山、平顶山、羊头山、金鸡岭、卧虎山、蝎子山、蚰蜒山等山峰，海拔 244~456 m 之间。

城区趵突泉、黑虎泉、五龙潭、珍珠泉四大泉群，多年平均流量为 40 万 m³/d。城区泉水有 108 处，集中分布在 2.6 km² 区域。趵突泉、黑虎泉泉水天然出流标高分别为 26.60 m 和 27.20 m，多年平均地下水位 30.00 m。近百年泉水的鼎盛期是 1961~1964 年，泉群最大流量为 95.12 万 m³/d，最高地下水位达 34.45 m [1]。

多年平均降水量 640.0 mm。河流有兴济河、玉绣河、历阳河、羊头峪东西沟、窑头大沟等。

2.2. 地层

大千佛山景区至名泉区一带发育华北型地层[1] [2]，从老到新分述如下：

(1) 太古界泰山群(Art)

为一套古老的变质岩系，主要为混合花岗岩、花岗片麻岩、角闪石片麻岩、黑云母角闪片岩等。在千佛山脚下埋藏于地面 700 m 深度以下。

(2) 寒武系(ε)

主要为页岩夹泥质灰岩、鲕状灰岩与页岩互层、泥质条带灰岩、豹皮灰岩，倾向 NNW，倾角 5°~12°，总厚度 450~550 m。在千佛山脚下埋藏于地面以下 200~700 m。

(3) 奥陶系(O)

主要为白云质灰岩、质纯灰岩、豹皮灰岩夹泥灰岩，总厚度 500~600 m，总体倾向 NW，倾角 5°~10°。在千佛山景区出露于山坡地表，在名泉区埋藏于地面 300 m 深度以内。

(4) 岩浆岩(火成岩)

主要为燕山期济南火成岩体，属中基性岩浆岩侵入体。该岩体西起位里庄，东到王舍人镇，南达刘长山，北至桑梓店，覆盖面积约 330 km²。主要岩性为辉长岩、闪长岩。在西部段店至吴家堡、北部泇口至华山一带，岩体多呈岩基形态；在城区大明湖至东北郊大辛庄、王舍人一带，多呈岩床、岩盘形态，在燕子山、羊头山、榷子山一带依然有火成岩顺层穿插。该岩体地下有效阻水界面呈 SW-NE 向。

(5) 第四系(Q)

第四系松散地层主要为粉质粘土、胶结砾岩、黄土状土夹碎石等，厚度 10~30 m。覆盖于基岩断层之上，分布在山间河谷、山前倾斜平原。

2.3. 地质构造

区内地质构造形迹主要断层，较大的断层有千佛山层和羊头峪断层[1]，均形成于距今 6500 万年以前的燕山运动。

(1) 千佛山断层

南起泰山群老变质岩区的金牛山东侧，经商家庄、小佛寺、天井峪、兴隆东，穿越千佛山西麓进入城区，经泉城公园、杆石桥，至天桥转向北，在泇口穿越黄河。千佛山一带分为近平行的 2 支，总体走向 NW，倾向 SW，倾角 70°~80°。东盘出露冶里组、亮甲山组，西盘为马家沟组。东盘上升，西盘下降，断距 70~110 m，为具平推性质的正断层。

(2) 羊头峪断层

南起羊头峪、省司法厅,沿羊头峪东沟,经和平路真如意大酒店、中心医院至后岗子街继续北延。走向 NNW,倾向 NEE,倾角 75°。西盘为冶里组、亮甲山组,东盘为马家沟组。西盘上升,东盘下降,断距 60~80 m,亦具平推性质的正断层。

2.4. 水文地质

2.4.1. 地下水的赋存

该区石灰岩类地层地下岩溶发育,构成含水层;页岩类非可溶岩地层构成相对隔水层;新鲜火成岩体不含水也不透水,为隔水体。具供水价值地下水类型为裂隙岩溶水,赋存于奥陶系及上寒武统石灰岩裂隙溶含水岩组。裂隙岩溶水从补给径流区到排泄区,富水性由弱变强。

大千佛山景区地处地下水补给径流区,地下水垂直交替强烈,地下水的富集储存条件俱差,山高水深,为地下水贫水区。天然情况下景区河流多为季节河,沟谷为干谷。

地下水位埋深达 30~100 m,单井出水量一般小于 500 m³/d。如蝎子山 J55、羊头峪 J56、浆水泉 J57 号钻孔,孔深分别为 303 m、251 m、251 m,均为干孔;千佛山 G57 号、金鸡岭 2 号钻孔,孔深均为 260 m,单井出水量仅 206 m³/d、260 m³/d。

只有在断层发育、补给有利的地段形成局部富水区。如省科学院水井,位于一条次级断裂带上,裂隙岩溶发育良好,单井出水量达 3000 m³/d。

城区一带山前隐伏石灰岩区,为地下水排泄区。地下岩溶发育,见有溶洞、溶隙,岩溶含水层厚度达 200 m。地下水连通性好,富水性强。普利门、泉城路、饮虎池、解放桥等地水井,孔深 200~300 m,单井出水量大于 5000 m³/d。

2.4.2. 地下水的补给、径流、排泄

裂隙岩溶水补给途径主要是大气降水直接入渗补给、河道渗漏补给及灌溉回归补给。

大千佛山景区一带广泛分布的奥陶系石灰岩,地表、地下岩溶较发育,为强渗漏区,亦为岩溶水直接补给区。为大气降水入渗补给、地表水转化地下水创造了有利条件。

石灰岩区岩溶发育情况主要受水动力条件控制。在大千佛山景区,地下岩溶通道沿河谷、沟谷及汇水条件较好的构造带呈网状分布,富水区相对局限,岩溶发育深度一般在 500 m 以内;在城区一带山前隐伏石灰岩区,地下岩溶呈面状分布,富水性相对均匀,岩溶发育深度一般在 50~300 m 之间。

岩溶地下水总体流向为从 SE-NW,从山丘区到山前水力坡度由陡峭明显变缓。

岩溶地下水在从东南往向西北运动过程中,至城区一带受阻于济南火成岩体,在地形低洼、排泄畅通的地段,以上升泉形式涌出地面,形成了著名的泉群。见图 1。

受制于大气降水补给和人工开采,多年来地下水位呈总体下降趋势。名泉区地下水位上世纪 50、60 年代的 29~32.5 m,80 年代为 24~28 m,近 10 多年为 27~29.5 m。

地下水位年变幅,大千佛山景区 20~50 m,名泉区为 2~4 m。

2.4.3. 地下水水化学特征

该区奥陶系石灰岩裂隙岩溶水,天然状况下水化学类型主要为 HCO₃-Ca 型和 HCO₃-Ca.Mg 型,为低矿化弱碱性微硬优质地下水[1]。近 30 年来,随着补给径流区人类活动、人为污染加剧,近 30 年来水质呈现恶化趋势。

3. 千佛山断层与济南泉水的形成

3.1. 断层有机组合为泉水形成营造了必要的地质条件

由于千佛山断层和羊头峪断层的组合效应,使得千佛山断层以西、羊头峪断层以东的火成岩及奥陶系地层

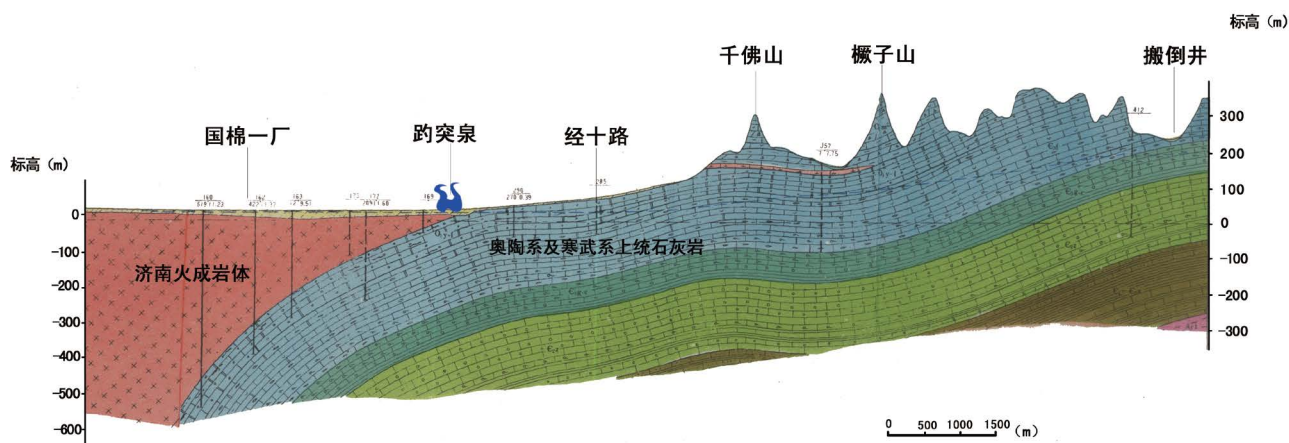


Figure 1. Hydrogeological profile of Qianfo Mountain—Baotu Spring area

图 1. 济南千佛山——趵突泉一带水文地质剖面图

下落且南移，两断层之间地块的奥陶系地层抬升且北移，形成了济南名泉区地垒构造。北面、西面的隔水火成岩体，形成一道弧形的天然挡水坝，为济南泉群的形成营造了必要的地质条件。来自东南部、南部的岩溶地下水，迎面受火成岩体阻挡在城区溢出地面，形成群泉喷涌的壮观景象。

3.2. 千佛山断层的山区段并非导水通道

以往曾有千佛山断层导水的猜测，甚至以为是济南泉水的重要来水通道，实际情况并非如此。理由如下：

(1) 断层所经山丘区地势高亢，不利于地下水的汇集，水动力条件差，不利于地下岩溶发育；(2) 断裂带有火成岩充填；(3) 新近纪(距今 2300 万年)以来，该断层无明显活动，缺少张开型导水裂隙；(4) 断层南段切割地层多为非含水层。

为验证该断层带的导水性能，上世纪 80 年代曾在千佛山南路与旅游路交叉口处钻探，孔位就定在千佛山断层的断裂带上，孔深 400 m，为裂隙闭合、岩溶不发育的干孔。

4. 千佛山所在流域、毗邻流域与济南泉水的关系

正确确定济南泉域范围及其边界条件，是保泉供水成功的关键。30 多年实践充分证明：泉域范围及其边界不清楚，哪些水源地(自备井)该停采，哪些水源可扩大开发就难以确定，济南市得天独厚的地下水优势难以发挥，保泉就走弯路。

4.1. 千佛山所在的小清河流域诸支流属济南泉域

勘察试验资料表明，埠村向斜以西至万灵山岩溶弱发育带 818.5 km^2 小清河流域为济南泉域范围，大千佛山景区是济南泉域的组成部分，见图 2。该泉域范围的小清河支流自东到西有巴漏河、巨野河、刘公河、石河、大辛河、窑头大沟、羊头峪东西沟、历阳河、广场西沟、兴济河等，出露地层主要为奥陶系。多年平均地下水 $44 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ [3]，东郊水源地、章丘电厂水源地和城区解放桥等水源地都在济南泉域范围内。

2003 年以前 20 年名泉断流干涸的根本原因，是东郊和城区过量开采地下水所致。只要认真落实省市两级政府“采西停东”决策，济南保泉供水就能圆满解决。关于济南泉水与济南地下水关系，至少有 7 方面的论据：

- (1) 埠村向斜构造分隔了明水与济南两大泉域，构成济南泉域东边界；
- (2) 试验证明东梧断层、港沟断层等均为透水断层，不对泉域地下水形成阻隔；
- (3) 城区与济南抽水试验、停水试验证实济南地下水与济南泉水联系密切；
- (4) 局部暴雨解谜团，泉水来自东南部；

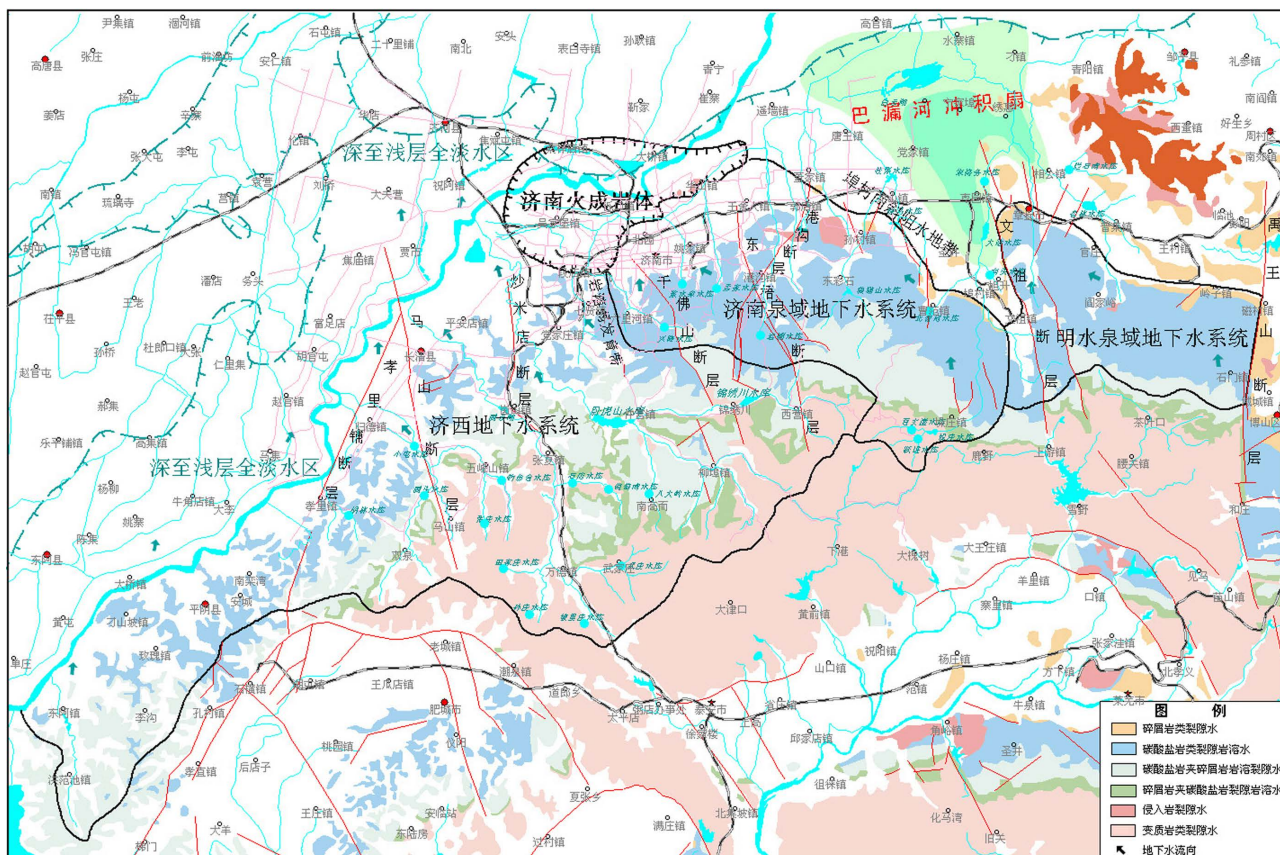


Figure 2. Groundwater system in Jinan area
图 2. 济南地区地下水系统图

- (5) 地下水动态、水化学资料验证济东地区地下水与济南泉水属同源补给;
 - (6) 白泉湿地一带排泄不畅, 泉域地下水只能从城区一带集中涌出;
 - (7) “白泉泉域”是济南泉域的组成部分, 不构成独立的泉域。
- 可见, 济东地下水大量开采是济南泉水流量衰减以致断流干涸的主要根源。

4.2. 毗邻流域诸支流属于济西地下水系统

落实省市决策取得的成果表明, 玉符河和南、北大沙河等流域共 2625 km² 的区域, 为独立于济南泉域的济西地下水系统, 出露地层为奥陶系、寒武系和泰山群, 见图 2。地下水可开采量 116.7 万 m³/d, 可增采量 74.5 万 m³/d [3], 为我国北方屈指可数的特大型水源地, 迄今开发程度较低。另有来自大汶河流域侧向径流补给和黄河流经平阴、长清段岩溶区的垂向渗漏补给, 济西地下水增采潜力还将扩大。

水质评价结果表明, 济西地下水各项指标优于生活饮用水卫生标准。

济西地下水具独特优越性: (1) 储存量大, 调蓄能力强, 供水保证率高; (2) 水质优于其他水源; (3) 水源地建设占地甚少, 无须移民; (4) 投入少见效快且受益持久。

地下水是不断更新的动态资源, 不开采就流失掉, 不可能长期储备留给子孙后代用。

以隔水的济南火成岩体及刘长山 - 万灵山地下水分水岭为界, 济西地区为独立于济南泉域之外的地下水系统。关于济西地下水与济南泉水关系, 至少有 10 方面的论据:

- (1) 济西与名泉区之间有隔水火成岩体和岩溶弱发育带相隔;
- (2) 沿岩溶弱发育带长期存在一条连续稳定的地下水分水岭;

- (3) 济西超大型抽水试验、停水试验未见济西地下水与济南泉水有水力联系；
 - (4) 历次示踪试验均未拿到济西地下水与城区水力联系的任何证据；
 - (5) 多年监测数据表明，城区的地下水位变化根本不受济西影响；
 - (6) 水化学场、天然同位素研究证明济西与城区分属两个地下水系统；
 - (7) 水不会往高处流，玉符河干流至城区不存在泉水补给通道带；
 - (8) 泉水断流在先济西增采在后，名泉断流与济西无关；
 - (9) 停采西郊水源井及自备井对恢复泉涌没产生作用；
 - (10) 济西地下水直接流入黄河北，齐河、东阿存在全淡水自流区证据确凿。
- 可见，合理开发济西地下水可从根本上解决济南市供水，且有利于济南保泉。

5. 关于大千佛山景区在内的泉水直接补给区地下水保护

以大千佛山景区为代表的南部、东南部至东部小清河流域石灰岩分布区，是济南泉水直接补给区[4]；与之类似，西南部、南部玉符河等黄河支流石灰岩分布区，是济西地下水直接补给区。石灰岩分布区基本上都是强渗漏区，是地下水资源重点保护区。只有按照《济南市名泉保护条例》严格控制地面硬化的比例在 30% 以下，才能保证名泉长涌和供水安全。

直接补给区保护比间接补给区保护更重要，是因为其渗漏条件优越，不仅接受当地大气降水直接入渗，而且还承接来自间接补给区地表水的渗漏补给。

东部城区、高新区大部至旅游路两侧地段，均为济南泉水的直接补给区的脆弱、敏感地段，照目前的势头大规模成片增加不透水地面，济南名泉补给量将大大减少；西部城区为济西地下水直接补给区和水源地分布区，大规模硬化地面，特别是东风水库强渗漏区搞铺底防渗，已使济西地下水优势大大削弱。

大千佛山景区历阳河景观提升工程，从大明湖北门引水入 3 座串联助渗水库，既形成了湖光山色长流水的景观，又增加了泉水补给；佛慧山景区保护性开发、卧虎山公园修建、蚰蜒山绿化等工程，水源涵养与历史文化并重，均凸显出良好的生态示范效应。

济南市地下水资源条件得天独厚，潜力巨大的泉域外济西地下水优势北方少有，只要不折不扣地落实“南控”战略，切实保护地下水直接补给区，牢固树立“西部保供水，东部保泉涌”的科学思路，就一定能确保济南名泉持久正常喷涌，确保泉城市民长期喝优质地下水，确保城市和工业供水安全。

参考文献 (References)

- [1] 山东省水文局, 济南供水集团. 济西抽水试验与济南保泉供水研究[R]. 济南: 山东省水文局, 济南供水集团, 2005.
Shandong Province Hydrology Bureau, Jinan Water Supply Group. Study of experiments of pumping water in west of Jinan for conserving the spring of Jinan and water supply. Jinan: Shandong Province Hydrology Bureau, Jinan Water Supply Group, 2005.
- [2] 山东省水文局. 济南市城市地下水精测与评价[R]. 济南: 山东省水文局, 1994.
Shandong Province Hydrology Bureau. Measurement and evaluation of urban groundwater in Jinan City. Jinan: Shandong Province Hydrology Bureau, 1994.
- [3] 商广宇, 王建军, 邹连文. 济南市保泉供水对策研究[J]. 中国水利, 2007(8): 34-38.
SHANG Guangyu, JIANJUN Wang, ZOU Lianwen. Study of countermeasure of spring protect and water supply in Jinan. China Water Resources, 2007(8): 34-38.
- [4] 邹连文, 商广宇, 张明泉, 宋秀英, 李森. 济南泉水来源区域探讨[J]. 中国水利, 2008(7): 22-24.
ZOU Lianwen, SHANG Guangyu, ZHANG Mingquan, SONG Xiuying and LI Sen. Probe into water-source area of Jinan Spring. China Water Resources, 2008(7): 22-24.