

水文地质

## 济南岩溶水系统划分及典型泉域水力联系

孙斌, 彭玉明, 李常锁, 林广奇

(山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

**摘要:** 济南地区岩溶地下水研究程度较高, 但泉域边界争议较多, 命名混乱。为统一思想认识, 以地下水系统理论为指导, 依据相关边界划分及定名原则, 将济南单斜岩溶水系统划分了三级系统, 明确了各级系统的边界范围。通过对主要构造水文地质特征分析, 揭露了典型泉域之间的水力联系及补排关系。对济南岩溶地下水系统划分及相互关系的综合研究结果, 可为济南保泉供水提供地质依据。

**关键词:** 岩溶水; 系统划分; 边界特征; 水力联系; 济南市

**中图分类号:** P641.11

**文献标识码:** B

**引文格式:** 孙斌, 彭玉明, 李常锁, 等. 济南岩溶水系统划分及典型泉域水力联系[J]. 山东国土资源, 2016, 32(10): 31-34. SUN Bin, PENG Yuming, LI Changsuo, etc. Division of Karst Water System and Hydraulic Connection of Typical Spring Fields in Jinan City[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(10): 31-34.

## 0 引言

2012 年 10 月 31 日, 济南被水利部确定为全国首个水生态文明试点城市, 济南市委市政府高度重视, 按照党的十八大关于生态文明建设战略部署以及习近平总书记“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路, 统筹利用水资源, 努力把济南打造成人与自然和谐、人水相亲的宜居城市。经过几年努力, 水生态文明城市建设已经取得了初步成效。2015 年初, 济南市又成功跻身国家首批海绵城市建设试点城市。济南“水生态文明城市”、“海绵城市”建设, 都是以泉水为基础, 突出“山、泉、河、湖、城浑然一体”的泉城特色, 解决保泉与供水的矛盾问题, 让保泉与供水并存。

自 20 世纪 70 年代以来, 随着济南市经济和文化的快速发展与人口的急速增加, 水资源的供需矛盾日益突出。大量不科学的集中开采地下水<sup>[1]</sup>, 破坏了济南市岩溶水系统的自然均衡状态, 再加上对水文地质条件认识不清, 使济南泉群的地下水位呈现持续下降态势, 恢复并保持泉涌成为社会各界共同关心的课题。保泉供水工程是一项庞大的系统工

程, 围绕济南泉域边界问题<sup>[2-5]</sup>, 前人做了大量工作, 节流、封井、采外补内、引黄、回灌等措施也取得一定成效<sup>[6-9]</sup>。近年来, 泉水持续喷涌, 但保泉问题尚未从根本上解决。关于泉域的名称、边界、范围及相互水力联系, 社会各界仍然没有一个统一认识, 尤其是针对济南泉域, 近 30 年来也一直存在较大争议。泉域边界不清、关系不明, 泉水保护工作很难具有针对性, 水生态文明城市建设也会受到影响。

## 1 济南岩溶地下水系统划分

### 1.1 系统划分原则

岩溶水系统划分所采用的方案大同小异, 因工作目的以及空间尺度不同有所差异。或强调区域系统的级别, 以大系统、系统以及子系统区分; 或注重于岩溶含水层系统, 其边界划分主要关注岩溶含水层的分布埋藏<sup>[10-11]</sup>。在综合考虑前人研究成果的基础上, 从岩溶水系统的概念出发, 对济南地区岩溶地下水系统进行划分, 强调具备相对明确的岩溶水边界和补排关系、连续的岩溶含水层、统一的岩溶地下水流场以及相互关联的岩溶水系统资源要素。

(1) 地表分水岭边界: 济南岩溶水系统内地表

收稿日期: 2016-03-31; 修订日期: 2016-05-05; 编辑: 曹丽丽

基金项目: 山东地矿重大科技攻关项目 2012-045

作者简介: 孙斌(1982—), 男, 山东荣成人, 工程师, 主要从事水文地质与环境地质工作; E-mail: spinhrlr@163.com

河流是重要岩溶地下水补给源,当这些地表流域范围可控且超出由岩溶含水层所确定的边界范围时,将地表流域划入岩溶水系统,将流域分水岭确定为地表分水岭边界。

(2)地下分水岭边界:由于区域岩溶地下水开发利用,造成地下分水岭与地表分水岭不一致时,则以地下分水岭作为边界。

(3)隔水边界:受构造运动控制,区域内发育多级次断裂,对区域含水层系统连续性产生影响,致使断裂带两侧水力联系程度减弱,将这些阻水构造作为隔水边界。

(4)滞流性边界:依据以往勘探数据,岩溶含水层埋深达到一定深度时,岩溶地下水循环缓慢的地带,确定为滞流性边界。

(5)推测边界:由于勘探、研究程度较低,一些不能确定具体位置或不能确定其水文地质性质的边界,确定为推测边界。

## 1.2 定名原则

自 20 世纪 80 年代开始,济南趵突泉断流严重,由此开展了济南泉域岩溶地下水保护研究,至今已经过去 30 多年。几十年以来,济南城市发展迅速,过去城区面积较小,以济南泉域命名符合当时的客观情况,而今城区扩展范围较大,不再适宜用济南泉域表征市区“四大泉群”汇水范围。另外,对于不同级次岩溶地下水系统也存在定名混乱的现象。为此,结合济南特殊历史情况,以岩溶地下水系统理论为依据,以加强交流、便于理解、达成共识、服务社会为目标,对该区岩溶地下水系统命名采取如下原则:

(1)以角标表示系统级次:根据不同尺度的区域地下水动力条件、水文地质条件及水力联系差异,划分为不同级次的地下水系统,分别以①②③作角标,表示一级、二级、三级地下水系统。

(2)以泉水出露地行政区命名:对一级、二级系统命名,当岩溶水系统水文地质边界超出行政区边界时,以泉水集中出露区所在行政区位置为定名依据。

(3)以地质构造特征命名:对于能够直观表达地质及水文地质条件,便于揭示泉水成因的特殊构造,可以参考作为定名依据。

(4)以典型名泉为代表命名:对三级级系统命名,当存在以岩溶泉水为主要排泄的系统,按照代表性泉水名称定名。

(5)以典型地名为代表命名:若三级系统内,不存在以岩溶泉水为主要排泄的情况时,则按照典型地名定名,定名时可适当参照历史用法。

## 1.3 系统划分

根据区域地质及水文地质特征,以区域地下水系统理论为指导思想,按照如上边界划分及定名原则,将济南岩溶地下水划分为三级系统(图 1)。

(1)一级地下水系统。一级地下水系统南以地表分水岭为界,东以禹王山深大断裂为界,西南以地表、地下分水岭和孝直断裂为界,北以齐广深大断裂为界,为一相对独立的区域大型单斜岩溶水系统,跨越济南、聊城、德州和淄博四个行政区,泉水主要出露于济南地区,定名为济南单斜岩溶水系统<sup>①</sup>。

(2)二级地下水系统。对二级地下水系统划分有两种方式,分别以平面和垂直方向上水力联系差异进行划分:划分方式一:以文祖断裂-埠村向斜大型阻水构造为界,将济南单斜岩溶水系统<sup>①</sup>划分为 2 个二级地下水系统。西侧定名为济南-平阴岩溶水系统<sup>②</sup>,东侧定名为章丘-淄川岩溶水系统<sup>②</sup>。受构造北段阻水影响,两系统间水力联系极其微弱。划分方式二:以垂向上地下水循环深度为依据,地下水由南向北流,在南部以冷泉形式排泄,北部形成地热以热水形式排泄。因此以岩溶地下水滞留性边界和地层隔水边界,将济南单斜岩溶水系统<sup>①</sup>也划分为 2 个二级地下水系统。南部定名为济南单斜岩溶水冷泉系统<sup>②</sup>,北部定名为济南单斜岩溶水热水系统<sup>②</sup>。

(3)三级地下水系统。依据一系列 NNW 向的断裂构造,将济南单斜岩溶地下水冷泉系统<sup>②</sup>自西而东划分为 5 个三级地下水系统:平阴-东阿岩溶水系统<sup>③</sup>、长孝岩溶水系统<sup>③</sup>、趵突泉泉域(原称济南泉域)岩溶水系统<sup>③</sup>、白泉泉域岩溶水系统<sup>③</sup>和百脉泉泉域岩溶水系统<sup>③</sup>。

## 2 典型泉域之间水力联系

泉水是济南城市的灵魂,因此与泉水相关的城市规划与保护工作格外被重视。泉水则主要集中分布于济南单斜岩溶水系统南部的冷泉系统,而冷泉各子系统间由于构造性质不同,水力联系也有所差异。

### 2.1 边界水文地质特征

(1)黄山岩脉-牛角店断裂。黄山岩脉:主支南

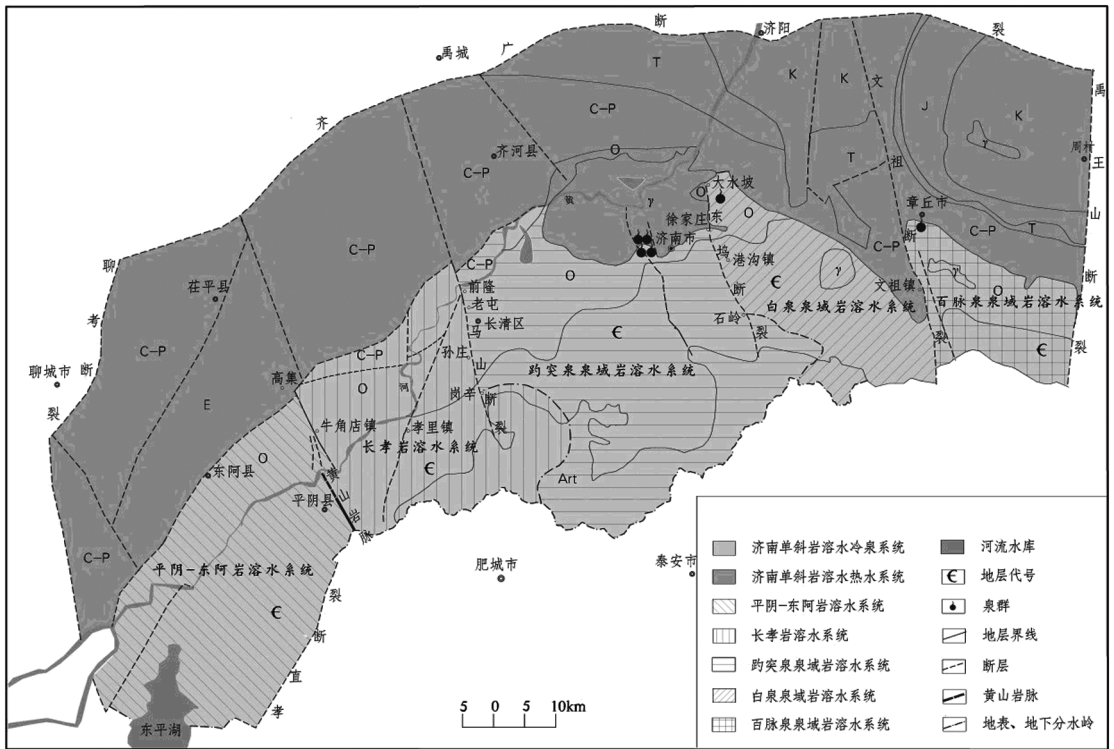


图 1 济南单斜岩溶水系统分级示意图

起平阴镇郑家峪北,向北伸至黄河南岸。黄山岩脉总体走向 NW,局部走向摆动于 NW 30°~NE 18°之间,直立,宽度一般 7 m,最宽处 11 m,主支长度 10 km。岩脉宽度沿走向比较稳定,岩性为中性煌斑岩,透水性差,是一条典型的隔水边界。

牛角店断裂:为一 NW 向推测断裂,东南端起自平阴县安城乡大官庄,向西北穿越黄河,过牛角店,延伸至高集。断裂倾向 W,上下两盘地层岩性为马家沟群灰岩,断距仅 20 m 左右。依据以往水文试验资料,断裂两侧水力联系密切,即牛角店断裂具透水性性质。

(2) 马山断裂。马山断裂是一条规模较大的 NW 向的隐伏断裂,横切沉积盖层,并使基底岩系产生较大位移。南起基底变质岩系分布区,向北延伸并穿过黄河,全长约 32 km。总体走向为 345°~350°,倾向 SWW,断距约 250~350 m,东盘地层相对向北推移,西盘地层相对南移,在同一地点断裂西盘地层新,东盘地层老。依据以往水文试验及监测资料,马山断裂岗辛-孙庄段具阻水性,孙庄-老屯段具弱透水性,老屯-前隆段具透水性,马山断裂整体为一相对阻水的构造,仅在北部局部透水性较强,为一

条相对隔水边界。

(3) 东坞断裂。东坞断裂南起前震旦系分布区的下阁老,经石岭、港沟、刘志远、徐家庄、大水坡,继续向北延伸过黄河。长约 39 km,总体走向为 NNW 向,倾向 SWW。根据以往钻探、试验及动态监测资料显示,断裂东盘地层整体北移,西盘地层相对南移,东坞断裂石岭-徐家庄段具阻水性,徐家庄-大水坡段具弱透水性,与整条断裂的长度和主要作用相比,北段局部弱透水性不影响整条断裂的水理性质,认为东坞断裂为一条相对隔水边界。

(4) 埠村向斜-文祖断裂。文祖断裂南起莱芜市上游镇,向 NW 文祖方向延伸,在西琅沟以北隐伏于第四系之下,切割了全部古生代地层。断裂出露部分长度 22 km。总体走向 NNW,部分地段走向近 SN,局部偏 NE。断裂面总体西倾,倾角 70°~80°,断距中间大,可达 800 m,两端减小为 70~80 m。据以往勘探资料显示,断裂两盘地层及水位差异明显。尤其在埠村向斜轴部地带,西盘石炭、二叠系地层厚度较大,石炭系地层底板埋深大于 900 m,向斜构造加强了文祖断裂的阻水性,基本可以视为一条隔水边界。

## 2.2 相邻泉域间水力联系

济南岩溶水系统南部冷泉系统实际上是一个有机联系的整体,各子系统之间相互独立又存在不同程度联系。

(1)平阴-东阿岩溶水系统与长孝岩溶水系统之间主要构造为黄山岩脉和牛角店断裂,依据构造的水文地质特征,两系统在黄河以南受岩脉阻水影响,基本无水力联系;在黄河以北受牛角店断裂透水影响,水力联系密切。现状条件下,平阴-东阿岩溶水系统通过牛角店断裂补给长孝岩溶水系统。

(2)长孝岩溶水系统与趵突泉泉域岩溶水系统之间主要构造为马山断裂,依据马山断裂的水文地质特征,两系统在岗辛以南受地表分水岭控制,无水力联系;岗辛以北至孙庄受阻水构造控制,基本无水力联系;孙庄以北至老屯受弱透水构造控制,水力联系较弱;老屯以北受透水构造控制,水力联系密切。天然状态下,长孝岩溶水系统通过马山断裂北部老屯一前隆透水段补给趵突泉泉域岩溶水系统,而在人工大量开采以后,地下水补给方向取决于断裂两侧水位高低,即由高水位补给低水位。

(3)趵突泉泉域岩溶水系统与白泉泉域岩溶水系统之间主要构造为东坞断裂,依据断裂的水文地质特征,两系统在石岭以南受地表分水岭控制,基本无水力联系;石岭以北至徐家庄受阻水构造控制,基本无水力联系;徐家庄以北至大水坡受弱透水构造控制,水力联系较弱。自然状态下,白泉泉域岩溶水系统补给趵突泉泉域岩溶水系统;在人工大量开采状态下,地下水侧向水量交换也取决于两侧水位高低。

(4)白泉泉域岩溶水系统与百脉泉泉域岩溶水系统之间主要构造为埠村向斜-文祖断裂,依据构造的水文地质特征,两系统受阻水构造控制,水力联系极其微弱,基本不存在明显的侧向补给关系。

## 3 结论

(1)以地下水系统理论为依据,将济南岩溶地

下水划分了三级系统。明确了各级系统的边界范围、定名结果及相互水力联系程度,从宏观与微观上进行了详细阐述,便于加深对济南泉水补给来源的认识,为泉水保护提供地质依据。

(2)从济南岩溶水冷泉系统间相互关系可以看出,各子系统间既相互独立又彼此存在一定水力联系,子系统内部岩溶地下水开采达到一定程度时,即会对相邻子系统产生影响。因此,泉水保护必须进行整体把控,不能局限于某一子系统内。

(3)局部受勘探精度影响,一级系统西南部边界及二级系统的北部边界研究程度相对较低,建议投入工作继续进行深化研究。

(4)建议开展区域大系统多目标保泉供水专题研究,通过数值模拟方法,优化岩溶地下水采补方案,逐步实现保泉与供水双目标。

## 参考文献:

- [1] 邢立亭. 济南泉域岩溶地下水开发布局研究[J]. 人民黄河, 2007, 29(2): 46-47.
- [2] 商广宇, 王明海. 新水源开发与济南保泉供水[J]. 水文, 2000, 20(4): 46-48.
- [3] 李传谟, 李岚, 陶卫卫. 济南保泉供水近期与长远对策[J]. 山东地质, 2002, 18(6): 37-39.
- [4] 邹连文, 商广宇, 张明泉, 等. 济南泉水来源区域探讨[J]. 中国水力, 2009, (S1): 77-79.
- [5] 侯新文, 邢立亭, 孙蓓蓓, 等. 济南市岩溶水系统分级及市区与东西郊的水力联系[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2014, 28(4): 300-305.
- [6] 徐军祥, 邢立亭. 济南泉域岩溶水数值预报与供水保泉对策[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(3): 209-213.
- [7] 孟庆斌, 邢立亭, 滕朝霞. 济南泉域三水转化与泉水恢复关系研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2008, 38(5): 82-87.
- [8] 李常锁, 秦品瑞. 济南市水资源概况及开发利用初探[J]. 山东国土资源, 2010, 26(10): 22-26.
- [9] 刘莉莉, 宋苏林, 崔春梅. 济南泉水的成因及保泉对策研究[J]. 山东水利, 2013, (5): 17-18.
- [10] 梁永平, 王维泰. 中国北方岩溶水系统划分与系统特征[J]. 地球学报, 2010, 31(6): 860-868.
- [11] 王晓明, 贾晓鹏, 曹永国, 等. 地下水系统的内涵与外延[J]. 煤田地质与勘探, 2013, 41(2): 51-59.

# Division of Karst Water System and Hydraulic Connection of Typical Spring Fields in Jinan City

SUN Bin, PENG Yuming, LI Changsuo, LIN Guangqi

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

**Abstract:** The research degree of karst groundwater in Jinan area is high. But there are more disputes in the spring field boundary and system name. As the unified ideological understanding, setting groundwater system theory as the guidance, and based on the principles of the boundaries and name, Jinan monoclinic karst water system is divided into a three-level system. The boundaries of the system are clearly defined at all levels. Through analyzing main tectonic hydrogeological characteristics, hydraulic connection and drainage relationship between typical spring fields have been studied. Through comprehensive study on karst groundwater system division and hydraulic connection, geological basis can be provided for spring protection and water supply in Jinan city.

**Key words:** Karst water; systematic division; boundary characteristics; hydraulic connection; Jinan city