

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.05.006

杭州市龙坞地下水应急水源地开发利用潜力评价

刘思秀,黎伟,朱晓曦

(浙江省地质环境监测院,浙江 杭州 310007)

摘要:对杭州市龙坞孔隙潜水水源地在考虑疏干条件下的地下水应急可开采潜力进行评价,结果表明,龙坞水源地分布面积和含水层厚度较大,水质优良,在水位降深 5m 时,可满足附近约 17 万居民的应急供水,但现有开采井的地下水开采能力有限,需布设新的开采井。建议查明区域内的水文地质条件,合理布设开采井,并设置防护带,以保护水源地。

关键词:应急水源地;地下水;疏干开采;开采潜力;杭州市

中图分类号:P641.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2013)05-0028-04

Development potentiality assessment of emergency groundwater source area in Longwu, Hangzhou City

LIU Sixiu, LI Wei, ZHU Xiaoxi

(Geological Environmental Monitoring Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

Abstract: An assessment of the emergency exploitation potentiality of the groundwater in the groundwater source area in Longwu, Hangzhou City was conducted with consideration of dewatering conditions. The results show that the groundwater source area is large, the aquifer in the study area is thick, and the groundwater quality is good. When the groundwater level descends by 5 m, it can provide an emergency groundwater supply for 170 000 residents nearby. However, new mining wells need to be arranged because the existing wells have limited mining capacity. It is suggested that hydrogeologic conditions in the study area be investigated, the mining wells can be rationally fixed up, and the protection zone can be set up for protection of the groundwater source area.

Key words: emergency water source area; groundwater; dewatering; exploitation potentiality; Hangzhou City

应急水源地主要为突发性事件供水,如在恐怖袭击、自然灾害(如特枯年、连续干旱、地质灾害,等)、水污染等非常规事件发生时进行供水^[14]。杭州市水系发达,地表水资源丰富,钱塘江为主要的供水水源,但随着城市化进程的加快,常出现地表水遭受突发性污染和遭遇特枯水期等极端情况,水源危机逐步凸现,如,2011 年 6 月 4 日,杭州市建德境内杭新景高速公路上苯酚槽罐车泄漏,导致新安江受污染,下游沿线的桐庐自来水厂、桐庐七里陇水厂、江北水厂、江南水厂、东梓自来水厂等被迫停止取水,使 55.22 万居民用水受到影响。地表水污染的突发性和易污性是影响供水的主要因素。相对于地

表水,地下水具有含水层分布范围广、直接受短期气象因素的影响较小、供水保证程度高、水质优良、不易遭受污染、取水设施不易受损等诸多优势^[5-10],是最为理想和可靠的应急供水水源。

杭州市地下水可分为孔隙潜水和承压水、岩溶水、基岩裂隙水等^[11],其中,孔隙承压水以咸水为主,其余以淡水为主。开采孔隙承压水易导致地面沉降,开采岩溶水易引发地面塌陷,而杭州市基岩裂隙水资源较贫乏。杭州市分布于山麓沟谷区的孔隙潜水,水量丰富,水质符合饮用水的标准,且补给充足。笔者应用含水层疏干原则,选择具有代表性的龙坞地区进行地下水应急水源地开发潜力的评估研

基金项目:浙江省主要城市环境地质调查评价项目(1212010540302)

作者简介:刘思秀(1961—),女,高级工程师,主要从事水文地质监测与调查评价研究。E-mail:mountain9@163.com

究,旨在为地方政府部门提供决策依据,为杭州市规划应急水源地提供参考。

1 应急水源地的确定

考虑杭州市城市规模和布局,以及日常城镇居民平均生活用水量,根据应急供水的特殊性,结合地下水水源地的规模等级划分标准,地下水应急水源地应当符合 3 个条件:①水量丰富,在应急状态下日开采量大于 5 000 m³,按人均 100 L/d 估算,至少可以解决附近 5 万居民的应急供水;②开采条件良好,取水方便,离供水区域距离较近,输水便捷;③水质为淡水,符合或经简单处理后符合 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》。

依据上述条件,杭州市龙坞地区可确定为应急水源地。

2 龙坞水源地水文地质特征

龙坞水源地位于杭州市西湖区龙坞镇,属于山麓沟谷区冲洪积、冲积地貌(图 1)。含水层主要由全新统冲积砂卵石(alQ₄)组成,结构松散,沿现代河床呈条带状展布,埋藏较浅,厚度 3~10 m,面积 3.76 km²,静止水位埋深 0.5~3.0 m。在古河道中心位置水量较丰富,单井涌水量(大口径井以 3m 降深计)大于 1 000 m³/d,水质为淡水,符合

GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》的要求,可以作为供水水源。地下水主要接受大气降水的入渗补给,其次接受上游基岩裂隙水的补给。地下水径流条件较好,主要以蒸发的方式排泄,其次供人工开采和补给平原区的潜水和承压水。

3 龙坞水源地地下水的开采与水位动态

3.1 地下水开采历史与现状

龙坞水源地的地下水主要以集中供水的方式开采,1998 年以前有开采井 3 眼,即原周家埭农灌 6 号井(现为龙坞水厂井)、原船校 7 号井和甘溪头井。现有地下水开采井 4 眼,即龙坞水厂、葛衙庄、叶埠桥、外桐坞,至 2007 年 12 月仍在开采。地下水开采量 1986—1997 年为 153.67 万 m³/a,1998—2007 年为 114.98 万 m³/a,地下水开采量基本保持平衡。

3.2 地下水水位动态

龙坞水源地地下水流向北西至南东,水力坡度约 0.003~0.005,静止水位埋深接近地表,约 0.5~3.0 m。据《杭州市之江国家旅游度假区供水水文地质评价报告》,周家埭农灌 6 号井年内水位变幅为 1.0~1.5 m。据叶埠桥井水位监测资料,年内最高水位埋深为 1.58 m(2007-03-16),最低水位埋深为 2.96 m(2007-08-26),年内水位变幅为 1.38 m,动态

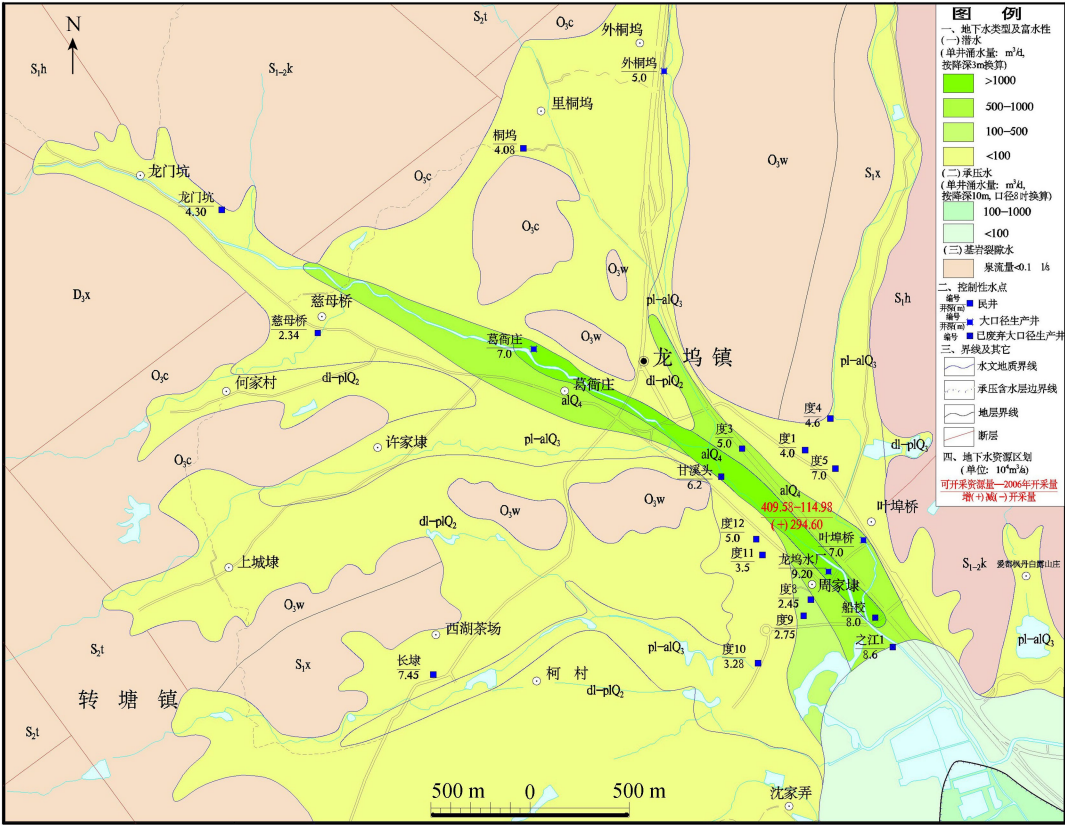


图 1 杭州市龙坞孔隙潜水水源地情况

变化不大,说明区域内地下水补给来源充分(图2)。

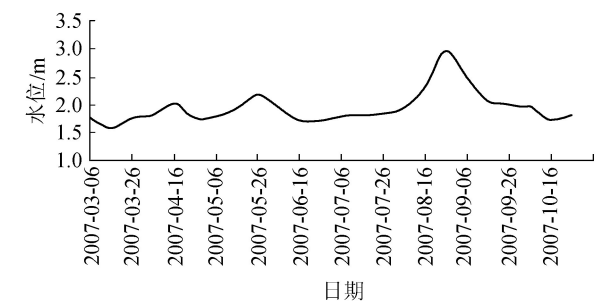


图2 叶埠桥井水位动态变化曲线

4 龙坞水源地地下水水质评价

4.1 地下水水质评价标准与方法

龙坞水源地地下水水质分析结果见表1。按GB/T 14848—93《地下水质量标准》,对龙坞水源地地下水水质进行综合质量评价,并按GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》进行超标组分情况分析。地下水综合质量评价方法如下:

a. 确定各单项组分的环境质量类别及分值 F_i 。单项组分分类标准见GB/T 14848—93《地下水质量标准》,单项组分质量类别评分标准为: $F_i=0$, I类水; $F_i=1$, II类水; $F_i=3$, III类水; $F_i=6$, IV类水; $F_i=10$, V类水。I类水主要反映地下水化学组分的天然低背景含量,适用于各种用途;II类水主要反映地下水化学组分的天然背景含量,适用于各种用途;III类水以人体健康基准值为依据,主要适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水;IV类水以农业和工业用水要求为依据,除适用于农业和部分工业用水外,适当处理仍可作为生活饮用水;V类水不宜饮用。

b. 计算综合评分值 F 。综合评分值 F 的计算公式为

$$F = \sqrt{\frac{\overline{F}^2 + F_{\max}^2}{2}} \tag{1}$$

$$\overline{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \tag{2}$$

式中: $\overline{F}$ 为各单项组分分值 F_i 的平均值; $F_{\max}$ 为各单项组分分值 F_i 的最大值; n 为评价项目数。

c. 确定地下水质量级别。根据综合评分值 F 的大小,确定地下水质量级别: $F<0.8$, I (优良); $0.8\leq F<2.5$, II (良好); $2.5\leq F<4.25$, III (较好); $4.25\leq F<7.20$, IV (较差); $F\geq 7.20$, V (极差)。优良、良好、较好级均符合国家饮用水标准,能满足各类不同功能的用水要求;而较差级、极差级水的水质明显不佳,未经处理,不宜饮用,可按要求作为工业用水或养殖用水水源。

4.2 评价结果

龙坞水源地总体水质良好,通过对水源地的龙坞水厂、叶埠桥2眼代表性井的水质进行化验分析,发现其地下水质量级别为II级淡水,水质优良,各项指标符合GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》的要求。据《杭州市之江国家旅游度假区供水水文地质评价报告》,对船校7号、周家埭6号(即现龙坞水厂井)、之江1号井的水质进行化验分析^[12],结果表明,除之江1号井铁锰含量略高,局部pH值略偏低,为IV级水外,其余均符合国家GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》的要求,并且水质动态稳定,可以作为应急供水水源,而对局部锰含量略高的水可采用除铁锰装置予以处理。

5 龙坞水源地地下水开采潜力评估

本研究主要根据现有开采井的开采现状,在地下水位允许的临界范围内评估地下水的可开采潜力。龙坞水源地水质优良,补给速度快,因此,在遭遇突发异常情况出现供水紧缺时,在应急供水期间

表1 龙坞水源地2007年地下水主要水质指标情况

井名	pH 值	$\rho(\text{固形物})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{总硬度})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NH}_4^+)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NO}_2^-)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{NO}_3^-)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{HCO}_3^-)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cl}^-)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{SO}_4^{2-})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{F}^-)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{SiO}_2)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Fe}^{2+})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
叶埠桥	6.7	130.5	77.9	0.3	<0.04	<0.04	26.2	59.0	10.9	22.2	0.079	7.0	<0.04
龙坞水厂	6.5	203.2	110	0.2	<0.04	<0.004	49.6	65.6	17.9	36.5	0.13	7.4	<0.04
船校7号	6.3	87.1	55.1	0.8	<0.04	<0.004	24	18.3	8.9	16			
周家埭6号	6.9	121	73.1	0.72	<0.02	0.04	24	37.9	6.4	12			
之江1号	6.2	105.5	24.99	2.96	<0.04	0.01	<0.2	39.7	8.9	16			

井名	$\rho(\text{Fe}^{3+})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Mn})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cu})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Pb})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Zn})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cd})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Cr})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{As})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Hg})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	综合分值	水质级别	水化学类型	采样日期
叶埠桥	<0.04	<0.01	<0.005	<0.001	<0.01	<0.001	<0.01	<0.004	<0.0001	2.14	II	HCO ₃ -Ca	2007-02-03
龙坞水厂	<0.04	<0.01	<0.005	<0.001	<0.01	<0.001	<0.01	<0.004	<0.0001	2.14	II	HCO ₃ -Ca	2007-02-03
船校7号		<0.02	<0.005	<0.005	0.04	<0.002	<0.004	<0.01	<0.0002	4.28	IV	HCO ₃ -Ca	1994
周家埭6号		<0.003	<0.005	<0.005	<0.0025	<0.00005	<0.006	<0.004	<0.00002	2.13	II	HCO ₃ -Ca	1994
之江1号		0.02	<0.005	<0.005	1.44	<0.002	0.008	<0.01	<0.0002	4.34	IV	HCO ₃ -Ca	1994

注:船校7号: $\rho(\text{Fe}^{2+})+\rho(\text{Fe}^{3+})<0.04\text{ mg/L}$,周家埭6号: $\rho(\text{Fe}^{2+})+\rho(\text{Fe}^{3+})<0.02\text{ mg/L}$,之江1号: $\rho(\text{Fe}^{2+})+\rho(\text{Fe}^{3+})=2.2\text{ mg/L}$ 。

内可采用加大地下水位降深的方式加大地下水开采强度。地下水应急开采资源按地下水区域平均水位下降 5 m 进行计算,计算公式为

$$Q_{\text{总}} = Q_{\text{储}} + Q_{\text{补}} = \mu \Delta h F + BKIH \tag{3}$$

式中: $Q_{\text{总}}$ 为地下水应急开采量,万 m^3 ; $Q_{\text{储}}$ 为地下水储量,万 m^3 ; $Q_{\text{补}}$ 为地下水侧向径流补给量,万 m^3 ; μ 为给水度,取 $\mu = 0.3$; Δh 为地下水水位变幅,取 $\Delta h = 5 \text{ m}$; F 为含水层分布面积,取 $F = 3.76 \text{ km}^2$; B 为垂直水流方向的断面宽度,取 $B = 500 \text{ m}$; K 为含水层渗透系数,取 $K = 130 \text{ m/d}$; I 为天然状态下的地下水水力坡度,经计算得 $I = 0.005$; H 为计算断面处含水层的饱水厚度,取 $H = 6 \text{ m}$ 。

计算结果为:龙坞水源地地下水每年应急开采量为 635.18 万 m^3 ,其中地下水储量 $Q_{\text{储}}$ 为 564.00 万 m^3 ,地下水侧向径流补给量 $Q_{\text{补}}$ 为 71.18 万 m^3 。按人均 100 L/d 估算,可解决附近约 17 万居民的应急供水。

龙坞水源地现有地下水开采井 4 眼,即龙坞水厂、叶埠桥、葛衙庄、外桐坞。4 眼井总开采量为 114.98 万 m^3 ,日均开采量为 3 150 m^3 。若恢复利用已废弃的 2 眼井(原船校 7 号井、甘溪头),加上现有的 4 眼井,按其单井的额定泵量开采,则整个龙坞水源地 6 眼地下水井供水量可达 4 553 m^3/d 。为了达到高效利用龙坞水源地的目的,根据已有生产井的分布及含水层水文地质特征,可在沿葛衙庄—甘溪头—周家埭一线布置水井 3 眼(设 1,设 2,设 3),设计单井涌水量约 1 000 m^3/d ,新增的 3 眼井可增加供水量为 3 000 m^3 ,预计本地区日供水量可达 13 260 m^3 (表 2)。

表 2 生产井基本情况

生产井	目前 状况	历史最大 开采量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	现状 开采量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	允许单井 开采量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	水泵泵量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
龙坞水厂	开采	2 500	2 100	3 000	额定值
叶埠桥	开采	150	150	780	实际值
葛衙庄	开采	800	800	1 920	额定值
外桐坞	开采	100	100	720	额定值
原船校 7 号井	废弃	1 350	0	1 920	额定值
甘溪头	废弃	400	0	1 920	额定值
设 1、设 2、设 3 新增					

龙坞水源地属河谷孔隙潜水水源地,基岩为志留系和泥盆系粉砂岩、砂岩。河谷孔隙潜水直接受降水补给,埋藏浅,补给丰沛,地下水可以“以丰补歉”,在雨季可迅速得到恢复,即使进行地下水疏干性开采,也不会产生环境地质问题,但应建立水源地保护区,防止人为活动对地下水产生污染。

6 结 语

a. 龙坞水源地含水层厚度大,埋藏浅,水质优

良,地下水资源丰富,在维持现状开采的条件下,地下水水位基本保持平衡,但在突发应急状态下,为尽可能满足周边居民的生活用水,考虑在疏干状态下,即水位下降 5m 的条件下,可开采资源为每年 635.18 万 m^3 ,平均每天 17 400 m^3 ,但在现状 4 口井的开采条件下,日均开采量仅为 3 150 m^3 ,占可开采资源量的 18.1%,需要考虑新增开采井。因此,为合理布设开采井,应先查明区域内的水文地质条件,根据不同水文地质单元的水文地质与环境地质约束因素确定开采井的井位、井距、井深等,制定应急开采方案,采用最优开采方案,达到最合理、最大量地应急供水的目的。

b. 龙坞水源地应急开采潜力较大,进行疏干性开采,不会产生环境地质问题;局部地区水中铁锰含量超标,对短期应急供水影响不大,如长期供水时可采用除铁锰装置处理。

c. 为保障优质的水源,在充分开采利用龙坞水源地的条件下,应制定相应的环境保护措施,建立水源地保护区和卫生防护带,防止污染源入侵。

参考文献:

[1] 张远东. 城市地下水应急水源地管理探讨[J]. 中国水利,2010(19):49-51. (ZHANG Yuandong. Discussion on the management of urban emergency groundwater source [J]. China Water Resources, 2010 (19): 49-51. (in Chinese))

[2] 王凌芬,李洪文,胡伏生,等. 镇江市应急水源地规划评价[J]. 水资源保护,2011,27(1):89-94. (WANG Lingfen, LI Hongwen, HU Fusheng, et al. The planning assessment of emergency water sources in Zhenjiang City [J]. Water Resources Protection, 2011, 27(1): 89-94 (in Chinese))

[3] 张月萍,刘金宝,俞俊英. 上海市地下水应急水源地规划战略研究[J]. 地下水,2011,33(4),28-29. (ZHANG Yueping, LIU Jinbao, YU Junying. The development strategy and study of emergence groundwater source field in Shanghai [J]. Groundwater, 2011, 33(4): 28-29 (in Chinese))

[4] 邱训平. 太仓市应急水源地水质影响分析[J]. 水资源保护, 2011, 27(2): 89-94. (QIU Xunping. Impact analysis of water quality of emergency water source at Taicang City [J]. Water Resources Protection, 2011, 27(2): 89-94. (in Chinese))

[5] 林伟成. 浅谈汕头片区应急水源地地下水的形成条件[J]. 广东地质,2012(10):107-109. (LIN Weicheng. The formation conditions of emergency groundwater source in Shantou Area [J]. Geology of Guangdong, 2012(10): 107-109. (in Chinese))

(下转第 37 页)

- 1997,4(1/2):17-25. (in Chinese))
- [3] 刘再华. 表层岩溶带的水温特征及其与下部包气带的对比 [J]. 中国岩溶, 1991, 10 (4) : 277-282. (LIU Zaihua. Characteristics of water temperature in epikarst zone and its comparison with that in lower aeration zone [J]. Carsologica Sinica, 1991, 10 (4) : 277-282. (in Chinese))
- [4] 蒋忠诚. 中国南方表层岩溶带的特征及形成机理 [J]. 热带地理, 1998, 18 (4) : 322-326. (JIANG Zhongcheng. Features of epikarst zone in south china and formation mechanism [J]. Tropical Geography, 1998, 18 (4) : 322-326. (in Chinese))
- [5] 蒋忠诚, 袁道先. 表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义 [J]. 地球学报, 1999, 20 (3) : 302-308. (JIANG Zhongcheng, YUAN Daoxian. Dynamics features of the epikarstzone and their significance in environments and resources [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20 (3) : 302-308. (in Chinese))
- [6] 蒋忠诚, 王瑞江, 裴建国, 等. 我国南方表层岩溶带及其对岩溶水的调蓄功能 [J]. 中国岩溶, 2001, 20 (2) : 106-110. (JIANG Zhongcheng, WANG Ruijiang, PEI Jianguo, et al. Epikarst zone in south China and its regulation function to karst water [J]. Carsologica Sinica, 2001, 20 (2) : 106-110. (in Chinese))
- [7] 刘再华, 袁道先. 中国典型表层岩溶系统的地球化学动态特征及其环境意义 [J]. 地质论评, 2000, 46 (3) : 324-327. (LIU Zaihua, YUAN Daoxian. Features of geochemical variations in typical epikarst systems of China and their environmental significance [J]. Geological Review, 2000, 46 (3) : 324-327. (in Chinese))
- [8] 章程, 曹建华. 不同植被条件下表层岩溶泉动态变化特征对比研究: 以广西马山县弄拉兰电堂泉和东旺泉为例 [J]. 中国岩溶, 2003, 22 (1) : 1-5. (ZHANG Cheng, CAO Jianhua. Seasonal and diurnal variation of physicochemistry of typical epikarst springs under different vegetation: a case study of Landiantang Spring and Dongwang Spring at Nongla Village, Mashan County, Guangxi [J]. Carsologica Sinica, 2003, 22 (1) : 1-5. (in Chinese))
- [9] 邹胜章, 朱远峰, 梁彬. 湘西洛塔表层岩溶泉的生态环境类型及水文特征 [J]. 地质前缘, 2008, 15 (4) : 190-197. (ZOU Shengzhang, ZHU Yuanfeng, LIANG Bin. Hydrologic features and the eco-environmental classification of epikarst springs in Luota, West of Hunan, China [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15 (4) : 190-197. (in Chinese))
- [10] 姚昕, 夏日元, 唐健生. 湘西洛塔岩溶生态微景观结构对表层岩溶泉的影响 [J]. 中国水土保持, 2006 (11) : 35-37. (YAO Xin, XIA Riyuan, TANG Jiansheng. Influence of Karst micro landscape structures to Karstic spring of surface layer in Luota of Western Hunan [J]. Soil and Water Conservation in China, 2006 (11) : 35-37. (in Chinese))
- [11] 姜光辉, 郭芳. 表层岩溶泉的水资源管理与开发工程设计 [J]. 水文, 2008, 28 (4) : 31-33. (JIANG Guanghui, GUO Fang. Water resources management and exploitation design of epikarst spring [J]. Journal of China Hydrology, 2008, 28 (4) : 31-33. (in Chinese))
- [12] 邓艳, 蒋忠诚, 覃星铭, 等. 岩溶生态系统中不同植被枯落物对土壤理化性质的影响及岩溶效应 [J]. 生态学报, 2009, 29 (6) : 3307-3315. (DENG Yan, JIANG Zhongcheng, QIN Xingming, et al. Impacts of litter on physical and chemical soil properties and its Karst effects on different forested Karst ecosystem [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (6) : 3307-3315. (in Chinese))

(收稿日期: 2013 - 01 - 23 编辑: 彭桃英)

(上接第 31 页)

- [6] 毕建新, 张杰. 烟台市王家庄地下水应急水源评价 [J]. 城市地质, 2012, 7 (1) : 18-19. (BI Jianxin, ZHANG Jie. The evaluation on the emergency groundwater sources in Wangjiazhuang, Yantai [J]. Urban Geology, 2012, 7 (1) : 18-19. (in Chinese))
- [7] 王素芬, 刘记来, 房利民, 等. 北京市应急水源工程续采可持续利用研究 [J]. 人民长江, 2010, 41 (24) : 20-24. (WANG Sufen, LIU Jilai, FANG Limin, et al. Study on sustainable exploitation of groundwater emergency water-supply field under emergency situation for Beijing City [J]. Yangtze River, 2010, 41 (24) : 20-24. (in Chinese))
- [8] 方星, 毛建国. 安徽省主要城市地下水应急水源建设初步探讨 [J]. 安徽地质, 2010, 20 (4) : 279-282. (FANG Xing, MAO Jianguo. Preliminary discussion on providing alternative groundwater sources in major cities in Anhui Province [J]. Geology of Anhui, 2010, 20 (4) : 279-282. (in Chinese))
- [9] 杨齐青, 马震, 孙晓明, 等. 华北主要城市地下水应急水源供水前景分析 [J]. 地质调查与研究, 2009, 32 (4) : 297-305. (YANG Qiqing, MA Zhen, SUN Xiaoming, et al. Analysis on the water supply prospect of the emergency water source in the major cities of North China [J]. Geological Survey and Research, 2009, 32 (4) : 297-305. (in Chinese))
- [10] 崔秋苹, 徐海振, 刘立军, 等. 河北省重要城市地下水应急水源地方案建议 [J]. 水文地质工程地质, 2010, 37 (6) : 12-16. (CUI Qiuping, XU Haizhen, LIU Lijun, et al. Plan suggestion for emergency water supply sources of key cities in Hebei Province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37 (6) : 12-16. (in Chinese))
- [11] 浙江省地质环境监测院. 杭州市环境地质调查评价报告 [R]. 杭州: 浙江省地质环境监测院, 2009.
- [12] 浙江省地质环境监测总站. 杭州市之江国家旅游度假区供水水文地质评价报告 [R]. 杭州: 浙江省地质环境监测院, 1994.

(收稿日期: 2013 - 04 - 05 编辑: 彭桃英)