

基于监测数据的全国地下水水质动态变化特征

殷秀兰, 李圣品

中国地质环境监测院, 北京, 100081

内容提要:地下水水质动态变化及其趋势研判是区域水资源调配决策的重要依据。本文以全国 2007~2017 年国家级地下水监测网水质数据为基础, 结合典型地区的代表性监测组分超标特征及动态趋势, 开展了地下水水质动态变化过程研究, 结果表明: 全国地下水监测中以Ⅳ类水质点占比最大, 其次为Ⅱ类水质点; Ⅰ~Ⅲ类水质点数量较少, 而且占比以降低为主, Ⅳ和Ⅴ类地下水监测点逐渐增加, 其中Ⅳ类水质点的比例由 40.50% 增加至 51.45%; 全国地下水水质主要的超标组分为 pH、总硬度、总溶解性固体、硫酸盐、氯化物、高锰酸钾指数、铁、锰、氟化物、“三氮”。以华北地区、华东地区、西南地区 and 西北地区为代表, 分析研究典型地区地下水水质的动态变化过程及其影响因素, 结果显示, 在地下水位变化较大的地区, 地下水水质状况随着地下水位变化明显, 在地下水位波动较小的地区, 地下水水质状况也基本上变化较小。研究成果对于科学评价地下水资源、合理制定区域地下水开发利用规划、防治地下水污染等具有一定的指导作用。

关键词:地下水监测; 水质; 污染; 典型地区; 动态变化

地下水作为重要的资源, 在工业、农业和日常的生产生活中有着重要的作用。根据中国水资源公报(2018), 我国地下水资源量 8246.5 亿 m³, 大约占总水资源量的 1/3。地下水占据了我国总供水量近 20%, 饮用水供水量的近 70%。受自然因素与人类活动影响, 我国地下水资源与地质环境形势严峻, 尤其是近十余年来工农业的迅速发展, 地下水的过度开发利用使地下水资源数量、质量动态变化明显, 地下水资源问题和地下水环境问题日趋加剧(Chen Mengxiong et al., 2002; Liang Yixin et al., 2007; Hu Junchun et al., 2009; Wu Shunze et al., 2013; Lu Yaoru et al., 2015; Gao Maosheng et al., 2016; Ren Kun et al., 2016; Shi Hong, 2018; Xi Beidou et al., 2019)。Luo Lan(2008)提出我国北方 17 个省会城市中 16 个污染问题突出, 南方 14 个省会城市中也有 3 个污染问题严重。对华北平原的野外调查中, 研究范围内 35.47% 的地下水受到不同程度污染, 其中 12.86% 的深层地下水受到了污染(Zhang Zhaoji et al., 2012); 我国东部主要平

原区地下水中“三氮”污染呈面状特征, 重金属呈点污染特征, 尤以铅、砷污染为甚, 有机污染呈“检出率高、超标率低”的特征(Wen Dongguang et al., 2012; Ren Kun et al., 2016; Xi Beidou et al., 2019)。引起地下水污染的物质种类繁多, 特别是近年来, 对生态环境和人体危害较大的重金属污染和有机物污染尤为突出, 如六价铬、有机氯农药和多环芳烃类(Huang Guanxing et al., 2008; Gao Cunrong et al., 2011; Wang Qiong et al., 2012; Zhai Yali et al., 2012; Han Ying et al., 2017; Li Zhenghong et al., 2018)。但现有地下水监测网点少, 布局不合理、监测技术落后, 监测指标与控制层位有限, 数据存储分散, 数据分析和发布时效性差, 公益性服务功能欠缺, 远不能满足经济社会可持续发展的要求。

地下水监测是正确认识地下水及其与地质环境属性, 科学评价和可持续利用地下水资源的重要依据(Zhang Yongshuang et al., 2017)。特别是以地下水作为主要引用水源的地区, 地下水水质和水量的变化直接影响这人类的生产和生活。然而, 目前缺

注: 本文为中央财政专项(编号 1210800000022)资助的成果。
收稿日期: 2020-02-27; 改回日期: 2020-05-12; 网络发表日期: 2020-06-01; 责任编辑: 张永双; 责任编辑: 黄敏、潘静。
作者简介: 殷秀兰, 女, 1968 年生。研究员, 主要从事地下水调查监测及水化学研究。E-mail: yinxl@cigem.cn。通讯作者: 李圣品, 男, 1988 年生。博士后, 主要从事地下水水质分析研究。E-mail: lisp@cigem.cn。

引用本文:殷秀兰, 李圣品. 2021. 基于监测数据的全国地下水水质动态变化特征. 地质学报, 95(5): 1356~1365, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020088.
Yin Xiulan, Li Shengpin. 2021. Research on dynamic characteristics of groundwater quality based on monitoring data in China. Acta Geologica Sinica, 95(5): 1356~1365.

乏全国性、连续性的水质和水位监测研究,因此需要对我国多年的地下水动态特征进行总结分析,在全国连续监测数据的基础上,开展典型地区地下水动态特征研究,挖掘和分析地下水水位和水质监测数据,为地下水资源的安全利用提供支撑。

本文通过对 2007~2017 年国家级地下水水质监测数据进行统计分析,基于监测并能代表的监测范围,对地下水水质变化过程进行评价,在此基础上对典型地区的代表性水质指标变化过程进行综合分析,借此研究地下水动态过程,识别我国地下水长期动态和变化规律,以期对于全国和典型地区地下水资源调控具有指导作用。

1 国家级地下水监测概况

自 2007 年以来,我国逐步建立和完善了地下水监测工作,地下水监测井分布在全国 31 个省市范围内,以国家级地下水监测井为主,各省(区、市)也根据实际情况,分别建立了省级和市级监测井。截至 2017 年底,各省统计报表数据显示国家级地下水监测井(点)共有 2860 个,其中,国家级地下水水质监测点 1356 个(图 1、表 1)。

本文涉及的地下水监测井,综合了不同含水层

介质类型的所有监测井,包括不同地区的孔隙水、岩溶水和裂隙水监测井。地下水位变化选取 2007~2017 年各省市有连续监测的数据,具有代表性的国家级监测井,进行不同含水层水位值变化的评价。地下水水质综合评价以 2007~2017 年具有连续监测数据的国家级水质点并结合各省市级水质点进行总体评估,代表性指标变化以 2013~2017 年连续监测数据为基础进行评价。基于水质总体变化特征,对 2013~2017 年期间 20 项监测指标的连续变化进行评价,研究各指标年际变化规律和水位特征的关系。

表 1 国家级地下水水质监测点统计(2017 年度)

Table 1 National grade groundwater quality monitoring points (2017)

省份	水质监测点数量(个)	省份	水质监测点数量(个)	省份	水质监测点数量(个)	省份	水质监测点数量(个)
北京市	29	上海市	252	湖北省	50	云南省	24
天津市	21	江苏省	22	湖南省	11	西藏	10
河北省	72	浙江省	7	广东省	14	陕西省	36
山西省	67	安徽省	59	广西	19	甘肃省	32
内蒙古	24	福建省	9	海南省	6	青海省	0
辽宁省	52	江西省	16	重庆市	12	宁夏	63
吉林省	75	山东省	71	四川省	32	新疆	28
黑龙江省	53	河南省	158	贵州省	32		



图 1 国家级地下水监测点分布图(2017 年度)

Fig. 1 Distribution of national grade groundwater monitoring points (2017)

地下水水质评价按照《地下水质量标准 GB/T 14848—93》对监测井水质 20 项指标进行综合评价,共包括:pH、总硬度(以 CaCO_3 计)、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、高锰酸盐指数、铁、锰、氟化物、碘化物、硝酸盐(以氮计)、亚硝酸盐(以氮计)、氨氮(以氮计)、汞、砷、镉、铅、铬(六价)、挥发性酚类(以苯酚计)、氰化物。

2 全国地下水水质动态变化

根据《地下水质量标准 GB/T 14848—93》中规定,利用内梅罗指数综合评价方法,对监测井 20 项指标进行综合评价,得出水质综合评价结果,通过 2007~2017 年际地下水水质变化规律可以看出(图 2),地下水水质 I 类的监测点比例呈现出了逐年减少的趋势,由 2007 年的 10.87%,降至 2016 年的 6.96%,虽然在 2017 年 I 类水质点回升至 9.57%;II 类地下水水质监测点减少趋势更为明显,尤其是在 2011 年至 2016 年,由 27.63%降低至 20.73%;III 类地下水水质监测点波动较为明显,没有统一的变化趋势。

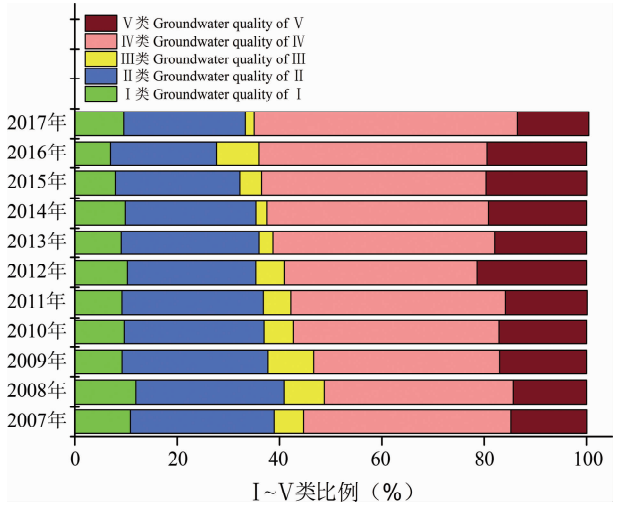


图 2 2007~2017 年全国地下水水质变化趋势
Fig. 2 Dynamic of national groundwater quality from 2007 to 2017

相比于 I~III 类监测点,水质 IV 和 V 类的地下水监测点数量呈现出增加的趋势,特别是 IV 类的地下水监测点由 2007 年的 40.50% 增加至 2017 年的 51.45%,占到全部统计点的 50% 以上;V 类地下水监测点则在 2007~2012 年期间,由 14.84% 增加到了 21.40%,然后在 2012~2017 年期间,又由 21.40% 逐渐降至 13.94%,呈现出一个先增加后降低的变化。

将 2007~2017 年期间 I~V 地下水水质点数量进行统计发现(图 3),数量最少的是 III 类地下水水质点,其次是 I 类地下水水质点数量,说明二者是 I~V 水质中比例最低的。IV 和 II 类地下水水质点数量明显高于其他三种,IV 水质点数量变幅最大,II 类水质点数量变化则较为稳定,说明 IV 水质点在监测期间变化是最大的。V 类地下水水质点数量低于 II 类水质点,也说明该类水质点变化较为不稳定。

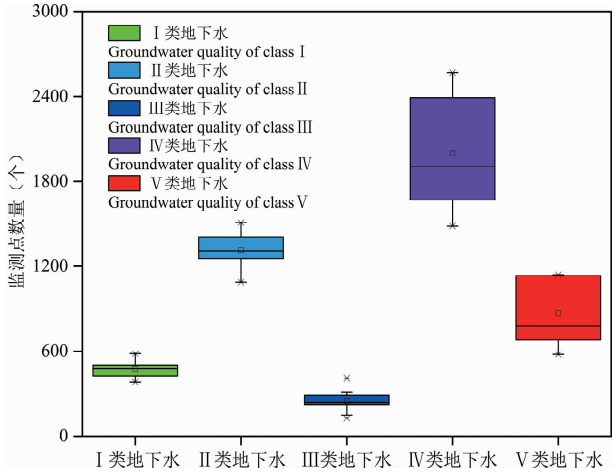


图 3 2007~2017 年全国地下水水质分布
Fig. 3 Variations of national groundwater quality from 2007 to 2017

就监测点区域而言,地下水水质类型以 IV 和 II 类地下水水质点为多,尤其是 IV 类地下水水质点数量变化较大,说明水质呈现逐渐变差的趋势,变差的主要驱动力是 IV 类地下水水质比例不断增高,I~III 类地下水水质点数量较少。

由于统计数据的限制,仅统计了 2009~2017 年期间的潜水和承压水数据(表 2)。由表 2 可以看出,与地下水整体质量情况基本类似,2009~2017 年期间潜水中 I 和 III 类水质点比例最小。IV 类地下水比例最高,且呈现出增加的趋势,由 2009 年的 38.82% 逐渐增加至 2017 年的 51.08%,增幅高达 12.26%。相应的 I~III 类地下水水质点比例有 9.52% 的降幅,V 类水质比例基本维持稳定,以上反映了潜水水质监测点状况在逐渐变差。

相比于潜水状况,承压水质状况明显较优,I~III 类水质点比例在 2009~2017 年期间均高于潜水。即使承压水质状况较好,I~III 类水质点比例仍由 2009 年的 54.31% 逐渐降低至 2017 年的 36.85%,降幅为 17.46%。相应的 IV 类地下水水质点比例则是在 2009~2017 年期间由 36.25% 增加至 52.56%,增幅为 16.31%,以上说明承压水质变化主要由 I

~Ⅲ类水质向Ⅳ类地下水水质转变。

表 2 2009~2017 年全国潜水和承压水水质评价对比
Table 2 Comparison of phreatic and confined national groundwater quality from 2009 to 2017

年份	含水层 类型	优良(Ⅰ)	良好(Ⅱ)	较好(Ⅲ)	较差(Ⅳ)	极差(Ⅴ)
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
2009	潜水	5.23	27.64	8.42	38.82	19.89
	承压水	12.88	30.41	11.01	36.25	9.44
2010	潜水	8.72	24.50	5.42	39.86	21.50
	承压水	10.49	32.15	4.61	41.69	11.05
2011	潜水	7.56	27.70	5.19	40.09	19.46
	承压水	17.30	30.69	5.60	38.92	7.49
2012	潜水	7.23	27.64	3.57	40.27	21.30
	承压水	18.11	26.90	3.62	40.91	10.45
2013	潜水	6.94	25.94	2.28	45.03	19.81
	承压水	18.66	29.24	4.05	39.55	8.50
2014	潜水	8.56	25.18	1.87	44.67	19.72
	承压水	16.30	28.08	2.82	41.56	11.24
2015	潜水	5.70	23.49	6.24	42.91	21.67
	承压水	16.48	27.96	3.41	41.23	10.92
2016	潜水	4.45	16.55	15.77	40.50	22.73
	承压水	9.42	20.42	13.45	45.41	11.29
2017	潜水	6.67	22.17	2.92	51.08	17.15
	承压水	10.69	24.19	1.96	52.56	10.59

在监测点地下水水质整体变化的基础上,结合潜水和承压水水质的变化可以看出,Ⅰ~Ⅲ类水质点比例在逐渐降低,相应的Ⅳ类地下水水质点比例逐渐增加,Ⅴ类水质比例基本维持稳定,Ⅰ~Ⅲ类水质主要向Ⅳ类地下水水质转化,监测点地下水水质状况呈现变差的过程。

3 典型地区地下水水质与动态过程分析

在全国监测评价的基础上,将监测点按行政区域进行划分,分为华北地区(北京市、天津市、河北省、山西省和内蒙古自治区)、东北地区(辽宁省、吉林省和黑龙江省)、华东地区(上海市、江苏省、浙江省、安徽省、福建省、江西省和山东省)、中南地区(河南省、湖北省、湖南省、广东省、广西壮族自治区和海南省)、西南地区(重庆市、四川省、贵州省、云南省和西藏自治区)、西北地区(陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区和新疆维吾尔自治区)。基于 5 个行政区域的水质评价结果,分别选择华北地区、华东地区、西南地区 and 西北地区为代表性地区的相应省市监测点,对其进行水质和水位变化分析,确定地下水动态变化过程。

3.1 华北地区

将华北地区各省市Ⅳ类水 2007~2017 年期间

的比例变化进行比较发现(表 3),2007~2017 年期间,北京市Ⅳ类水质比例年均为 40.07%,河北省Ⅳ类水质比例较为稳定,基本上在 40%左右波动。山西省Ⅳ类水质比例年平均为 20.32%。内蒙古和天津地区Ⅳ类水质比例是华北地区较高的,年均分别达到了 64.09%和 44.17%。河北省是华北地区Ⅳ类水质状况最为稳定的省份,因此选择其作为代表分析华北地下水动态变化过程。

表 3 2007~2017 年华北地区Ⅳ类水质比例变化(%)
Table 3 Variation (%) of Ⅳ grade groundwater quality in North China from 2007 to 2017

年份	北京市	天津市	河北省	山西省	内蒙古自治区
2007	21.85	57.97	36.89	28.42	48.42
2008	25.67	74.77	41.96	29.13	42.02
2009	26.71	68.81	41.01	30.00	40.32
2010	49.17	64.49	40.44	15.15	39.79
2011	36.44	73.33	36.50	20.14	44.84
2012	42.13	73.33	43.02	20.14	43.43
2013	47.06	67.57	35.77	0.00	44.25
2014	49.08	67.52	32.07	24.39	44.70
2015	44.65	63.11	34.84	14.29	45.26
2016	45.41	54.10	36.95	13.11	36.44
2017	52.55	40.00	43.40	28.79	56.38

河北省地下水水质状况主要受“三氮”、总硬度、铁、锰、总溶解性固体、硫酸盐、氯化物等指标影响,因此选择代表性的硝酸盐氮、铁、锰和总硬度作为水质变化性指标。受限于数据的连续性,仅以 2013~2017 年水质变化指标作为研究序列。由图 4 可以看到,在 2013~2017 年期间典型指标的超标率情况整体呈增加势态,尤其是在 2016 年后超

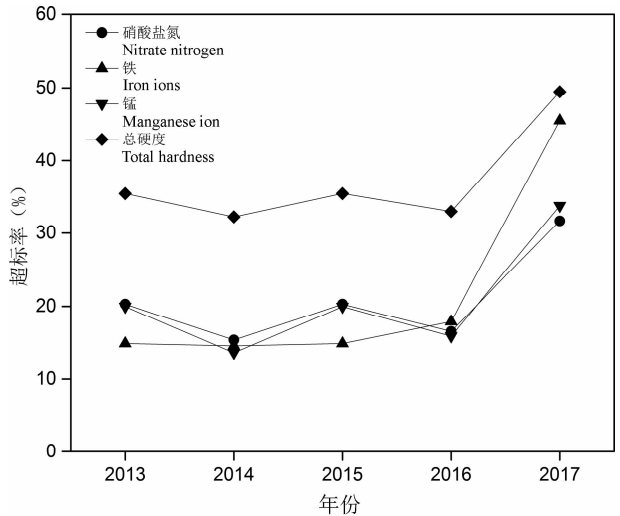


图 4 河北省典型超标组分变化
Fig. 4 Over-standard rate of typical contaminants in Hebei Province

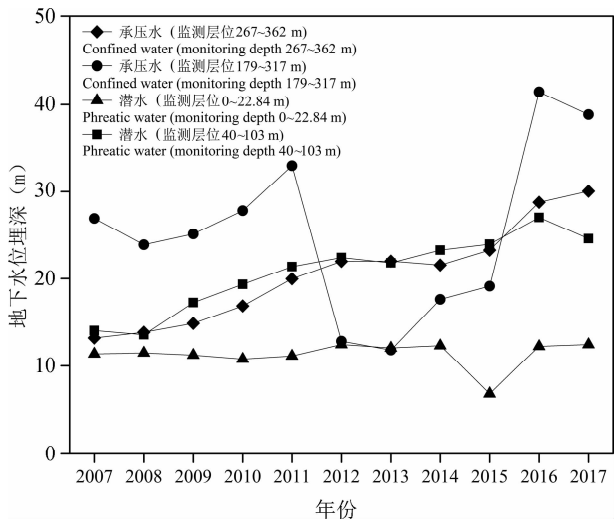


图5 河北省监测点水位变化

Fig. 5 Variation of groundwater level in Hebei Province

标率增加明显。

在河北省选取具有代表性的潜水和承压水,且2007~2017年期间有连续数据的监测点,如图5所

表4 2007~2017年华东地区Ⅰ~Ⅲ类地下水变化(%)

Table 4 Variation (%) of Ⅰ~Ⅲ grade groundwater quality in eastern China from 2007 to 2017

省份	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
上海	57.81	88.50	80.95	54.55	78.85	75.47	70.71	7.08	23.81	24.00	29.17
江苏	91.89	90.48	90.48	36.02	46.51	6.33	23.86	33.33	18.57	20.67	11.04
浙江	65.98	71.91	70.00	66.67	50.68	73.91	50.65	63.04	46.73	45.30	34.82
安徽	9.93	17.45	14.67	54.25	58.82	55.28	19.11	14.52	18.06	20.23	19.30
福建	62.20	56.96	58.54	60.49	65.00	63.75	62.26	61.44	56.46	52.08	59.29
江西	28.99	33.77	33.77	54.55	40.74	74.36	72.00	66.67	50.00	47.87	41.28
山东	41.60	48.61	35.77	16.30	28.54	28.54	24.48	21.64	21.64	11.55	21.06

福建省水质状况整体较好,所以福建省监测组分的超标现象并不突出。主要超标组分为铁、锰、氟化物和“三氮”等,重金属中的镉有少量超标检出。选择具有代表性的“三氮”、铁、锰作为研究对象,结合水位动态变化分析其变化过程。由图6可以看到,福建省的典型指标超标率变化均较为稳定,虽然有波动,但是变幅均较小。

福建省2007~2017年期间水位动态较为稳定,深层承压水动态在期间有较大的波动,但是长期过程水位整体变化均较小(图7)。以2013~2017年期间为例,结合典型水质指标超标变化,可以看出水质超标率变化过程与水位动态基本一致。

3.3 西南地区

西南地区Ⅳ类地下水比例在2007~2017年期间呈降低势态,由2007年最高的56.35%逐渐降低至2016年的23.23%,虽然2017年略有回升,但

示。潜水和承压水位变化在2007~2017年期间整体呈现降低趋势,说明这期间地下水资源利用量逐渐增加,致使地下水位不断降低。地下水中指标的超标率变化,受外源输入和水位波动的影响,相应的在2013~2017年期间,地下水位明显降低,与之配合的是地下水中典型指标的超标率明显增高,说明地下水位变化影响了地下水水质状况。

3.2 华东地区

通过华东各省市Ⅰ~Ⅲ类地下水比例变化可看出(表4),华东大部分省市以2011和2012年为界点,基本上2012年后Ⅰ~Ⅲ类地下水比例均逐渐降低。以上海市为例,上海市Ⅰ~Ⅲ类地下水比例在2012年之前均值在60%以上,但是之后降低明显,最低一度达到7.08%。福建省和江西省属于Ⅰ~Ⅲ类地下水比例变化较为稳定的地区,江苏省则是呈降低趋势。福建省是华东地区Ⅰ~Ⅲ类地下水最为稳定的省份,选取福建省作为代表探析华东地区地下水动态变化过程。

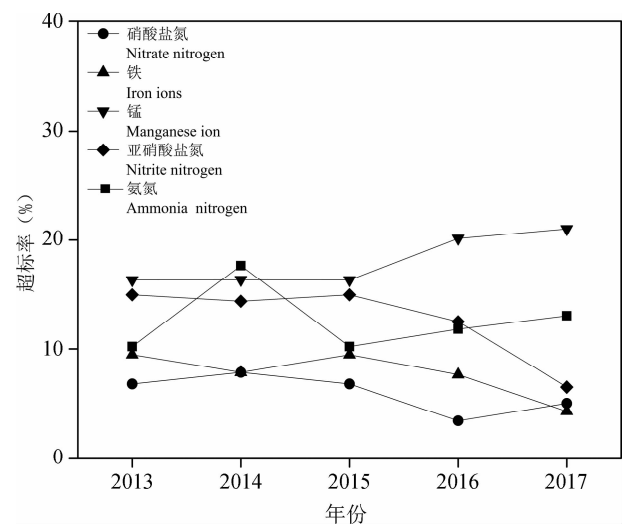


图6 福建省典型超标组分变化

Fig. 6 Over-standard rate of typical contaminants in Fujian Province

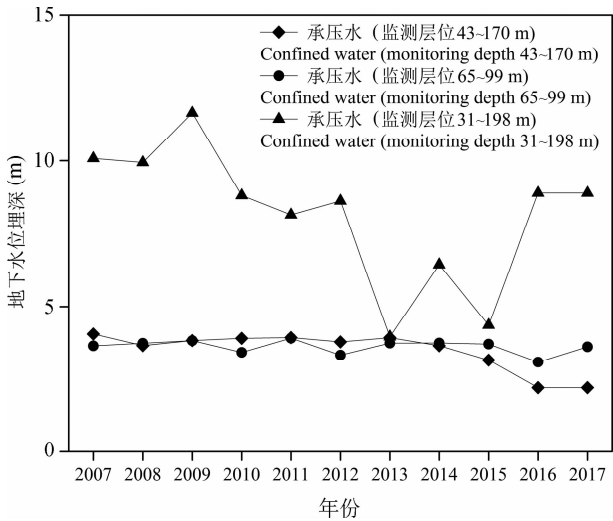


图 7 福建省监测点水位变化

Fig. 7 Variation of groundwater level in Fujian Province

整体趋势不变。通过表 5 可以发现,影响西南地区水质状况的主要是Ⅳ类地下水比例变化,随着Ⅳ类地下水逐渐降低,西南地区整体水质状况逐渐变好。云南、贵州省和重庆等省市Ⅳ类地下水水质逐渐降低,以云南为代表,分析其动态过程。

表 5 西南地区 2007~2017 年Ⅳ类地下水比例变化 (%)

Table 5 Variation (%) of Ⅳ grade groundwater quality in southwestern China from 2007 to 2017					
年份	重庆	四川	贵州	云南	西藏
2007	42.86	52.27	49.02	65.96	50.00
2008	80.00	55.81	35.61	31.82	50.00
2009	68.75	49.02	44.51	34.62	43.33
2010	20.00	50.98	52.57	27.27	59.38
2011	13.33	56.86	44.38	46.67	39.39
2012	70.59	45.10	37.13	41.84	28.13
2013	25.00	45.10	32.62	28.67	43.75
2014	25.00	52.94	35.50	35.81	14.06
2015	16.67	64.71	20.13	27.70	31.67
2016	8.33	44.12	12.33	37.67	10.00
2017	33.33	62.75	30.77	36.30	16.67

云南省整体水质状况较好,其主要的超标组分有“三氮”、铁、锰、总硬度、氟化物等物质,以“三氮”、铁、锰作为典型指标,由图 8 可以看到,以上指标的超标率均在较低的水平,虽然超标指标变化存在,但是均没有明显的超标率增加或降低趋势。相应的水位变化可以看出,潜水和承压水状态均呈水位增高的趋势,说明水量状况得到了明显的回升。结合 2013~2017 年期间水质和水位变化过程可以看出,这期间的水位回升并没有使水质状况明显增加,其原因可能是云南水质状况基础较好,小幅度的水位增加过程,并不能使水质状况明显改善(图 9)。

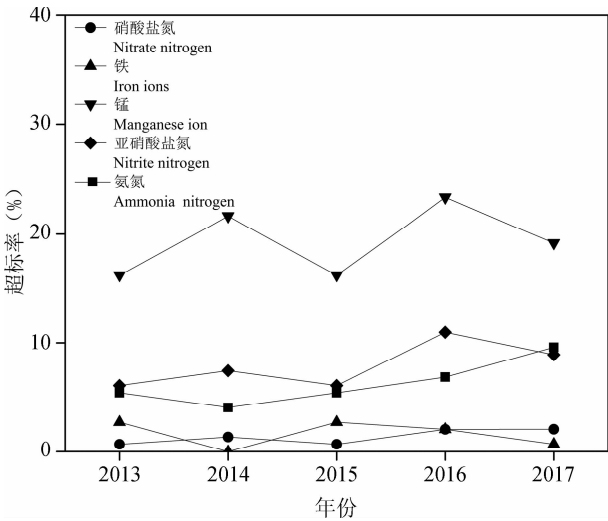


图 8 云南省典型超标组分变化

Fig. 8 Over-standard rate of typical contaminants in Yunnan Province

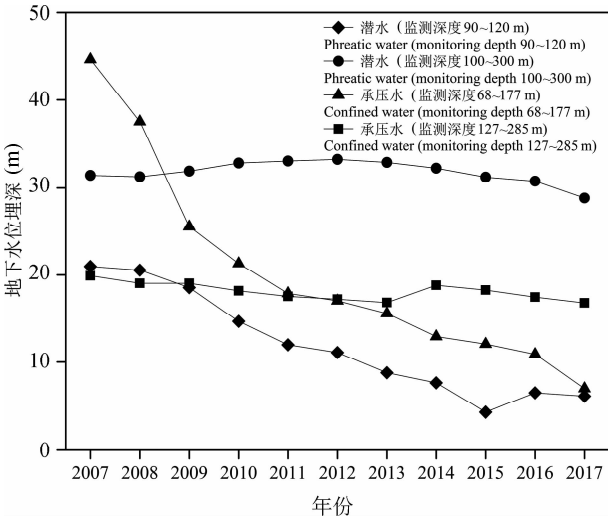


图 9 云南省监测点水位变化

Fig. 9 Variation of groundwater level in Yunnan Province

3.4 西北地区

西北地区水质状况以Ⅰ~Ⅲ类地下水占比最高,年均比例为 45.97%。虽然西北地区Ⅰ~Ⅲ类地下水比例较高,但是以整体变化趋势来看,Ⅰ~Ⅲ类水呈降低趋势。Ⅴ类地下水比例较为稳定,除 2008 年未有Ⅴ类地下水检出外,其余年份Ⅴ类地下水比例基本稳定在 20%左右。Ⅳ类地下水比例则变化较大,在 30%~45%之间波动。如图 10 所示,Ⅰ~Ⅲ类地下水变化是影响西北地区整体水质状况的主要原因,西北地区Ⅰ~Ⅲ类地下水比例最高的是青海省,年均比例高达 72.38%,是影响西北地区的主要省份。

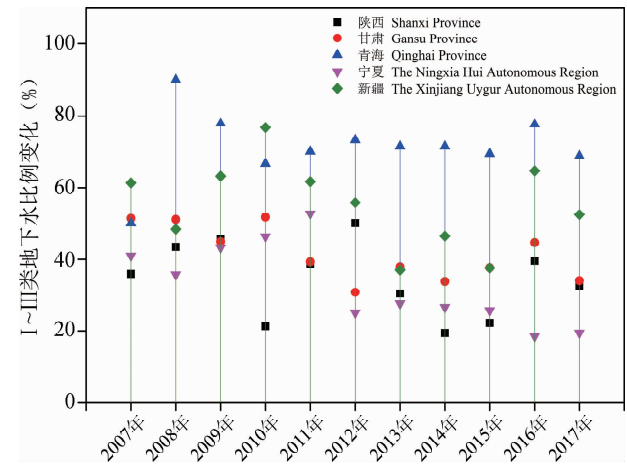


图 10 西北地区 2007~2017 年 I~III 类地下水变化
Fig. 10 Variation of I~III grade groundwater quality
in northwestern China from 2007 to 2017

青海省整体水质状况较好，存在的部分较差水质主要受总硬度、总溶解性固体、硫酸盐、氯化物、“三氮”和重金属六价格的影响。总硬度、总溶解性固体、硫酸盐和氯化物主要是来自水体的天然成因，在地下水盐相互作用下溶入了地下水体中，将这些作为地下水质的代表性指标，由图 11 可以看到，氯化物、总硬度、总溶解性固体和硫酸盐的超标率均在 20% 以下，变化均较小，在 2013~2017 年期间呈总体降低态势。

青海地下水位动态在 2007~2017 年总体呈稳定趋势，整体变幅较小，但是在 2011~2015 年期间地下水位有个小幅的降低过程，然后迅速回升。2013~2017 年期间地下水位总体趋势升高明显，但是在 2017 年水位有较小的降幅（图 12）。结合水质变好过程可以发现，由于水位是为小幅度内升降，对水质的影响较小，特别是典型指标均为天然成因居多的物质，在没有外源输入的情况下，水质状况与水位基本趋势一致，变化较小。

通过对华北地区、华东地区、西南地区 and 西北地区典型省市水质和水位的变化过程发现，水质和水位动态有密切的关系，基本上地下水位变化较大的地区，地下水水质状况随着地下水位变化明显。在地下水位波动较小的地区，地下水水质状况基本上也变化较小。

4 讨论

4.1 地下水水质变化的原因分析

在全国有连续监测数据的水质监测点中，地下水水质综合变化趋势以稳定为主（稳定监测点大于

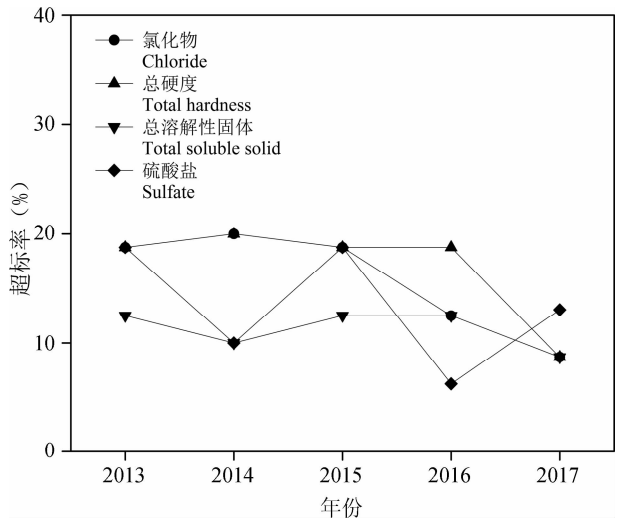


图 11 青海省典型超标组分变化
Fig. 11 Over-standard rate of typical contaminants
in Qinghai Province

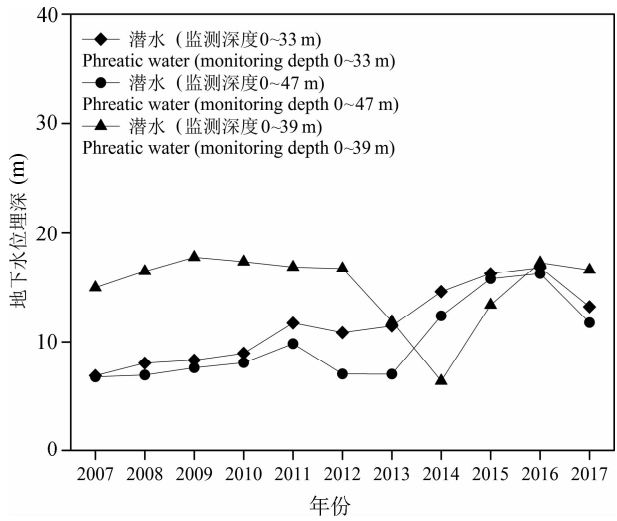


图 12 青海省地下水位变化
Fig. 12 Variation of groundwater level in Qinghai Province

58%)，呈变好趋势和变差趋势的监测点比例相当 (20%~22%)。但地下水水质总体状况不容乐观，IV~V 类水比例超过了 I~III 类水比例，主要受溶解性总固体、总硬度、氯化物、硫酸盐、“三氮”（亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮）、挥发酚、铁、锰、氟化物等组分超标的影响。地下水水质超标的主要原因包括：一是天然地质背景的原因，我国部分地区地下水中铁、锰含量本底值较高，造成地下水中铁、锰等元素超标；二是人为不合理经济社会活动的原因，如农药、化肥的过量使用和农村、城市生活垃圾乱排乱放等，从而造成浅层地下水中“三氮”等化学物质的超标。据统计，2016 年全国共有 21 个省（自治区、直辖市）平原区存在地下水超采问题，总面积近 30 万

km²,超采量约 170 亿 m³,其中河北省超采最严重,平原区超采面积达 7.07 万 km²,约占全国的 24% (Chen Fei et al., 2016)。大量的地下水开采,导致沿海地区地下水水位大幅度下降,引发海水入侵,海水侵入沿岸含水层并逐渐向内陆渗透。

4.2 对策建议

防治地下水水质变差的技术措施应建立在对当地水文地质条件、地下水污染的环境条件、污染物的种类以及对污染途径、长度、范围有深入了解的基础上。防治地下水水质变差的技术措施,按其功能可分为“预防”和“治理”两大类。

首先是预防地下水水质变差,由于地下水的封闭性、隐蔽性、难更新性等特点,世界各国对地下水的保护都会采取比地表水保护更为严格的措施。在城乡建设的总体规划中应有防治污染和维持生态的指标,保护地下水水质不受污染,对于可能的污染源(如工业开发区、工业园区、石油化工、生物医药、冶金与机械制造、食品加工、纤维橡塑与纺织印染、造纸印刷、电镀等)应规划到下游较远区域,新建或备用水源地应在城市上游或地下水的补给区,也可可为防污染条件较好地层岩性区;在生态脆弱或附近有劣质水层或水体分布时要严格控制地下水的开采量和开采降深,同时要建立和健全统一的地下水资源管理和水质监测制度与机构。

其次是针对引起地下水水质污染的主要原因和污染途径及时采取有效的治理措施,主要包括控制化肥的投放量和农药的使用、基于水文地质条件合理规划污水灌溉、对可能引起的地下水水质恶化的废水进行预处理等。

5 结论

本文以全国 2007~2017 年国家级地下水监测网水质数据为基础,结合典型地区的代表性监测组分超标特征及动态趋势,开展了地下水水质动态变化过程及其与水位变化的相关性研究,取得以下主要认识。

(1)全国地下水水质监测点评价结果以Ⅳ类水质点占比最大,其次为Ⅱ类水质点;Ⅰ~Ⅲ类水质点数量较少,而且占比以降低为主,Ⅳ和Ⅴ类地下水监测点逐渐增加,其中Ⅳ类水质点的比例由 40.50%增加至 51.45%。

(2)全国地下水水质变化状况以稳定为主,稳定比例由 72.02%降至 62.48%。

(3)pH、总硬度、总溶解性固体、硫酸盐、氯化

物、高锰酸钾指数、铁、锰、氟化物、“三氮”是地下水中主要的超标组分,常见的天然污染组分主要有铁锰氧化物、氟化物、硫化物、氯化物和“三氮”等,在全国不同区域的地下水环境中广泛分布。

(4)典型地区地下水水质与水位动态有密切的关系:在地下水位变化较大的地区,地下水水质状况随着地下水位变化明显;在地下水位波动较小的地区,地下水水质状况基本上也变化较小。

References

Chen Fei, Hou Jie, Yu Lili, Liu Yunzhu, Tang Shinan, Ding Yueyuan, Liu Guojun. 2016. Analysis of national groundwater overdraft treatment. *Water Resources Planning and Design*, 11: 3~7 (in Chinese with English abstract).

Chen Mengxiong, Ma Fengshan. 2020. *Groundwater Resources and Environment of China*. Beijing: Earthquake Press, 60~61 (in Chinese with English abstract).

Gao Cunrong, Wang Juntao. 2011. Research on groundwater organic contamination characteristics in 69 cities of China. *Acta Geoscientia Sinica*, 32 (5): 581~591 (in Chinese with English abstract).

Gao Maosheng, Luo Yongming. 2016. Change of groundwater resource and prevention and control of seawater intrusion in Coastal Zone. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 31 (10): 1197~1203 (in Chinese with English abstract).

Han Ying, Bo Song, Yu Liming, Li Jie, Ouyang Xiajun. 2017. A preliminary analysis of the environment protection system of groundwater in China. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 5: 65~68 (in Chinese with English abstract).

Hu Junchun, Guo Chunqing. 2009. Preliminary study on using groundwater depression conoto construct underground reservoir in Northern China. *Water Saving Irrigation*, 6: 21~24 (in Chinese with English abstract).

Huang Guangxing, Sun Jichao, Wang Shan, Du Haiyan, Lu Yaodong, Zhi Bingfa, Chen, Huichuan, Chen Xi, Jing Jihong. 2008. Elementary research of organochlorine pesticide in groundwater of Pearl River Delta. *Journal of Agro Environment Science*, 27 (4): 1471~1475 (in Chinese with English abstract).

Li Zhenghong, Zhang Yi long, Hu Bo, Wang Lijuan, Zhu Yuchen, Li Jianfeng. 2018. Driving action of human activities on NO₃⁻-N pollution in confined groundwater of Togtoh County, Inner Mongolia. *Acta Geoscientia Sinica*, 39 (3): 358~364 (in Chinese with English abstract).

Liang Yixin, Liu Xiang, Yu Luji. 2007. Current status and trend of groundwater pollution in China. *Science & Technology Information*, 27: 288~288 (in Chinese with English abstract).

Lu Yaoru, Zhang Fenge, Liu Qi, Gu Zhanfei. 2015. The construction of ecological civilization for the environmental security and sustainable development of New Urbanization. *Acta Geoscientia Sinica*, 36 (4): 403~412 (in Chinese with English abstract).

Luo Lan. 2008. Research on groundwater pollution and its prevention-control policy in China. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 8 (2): 72~75 (in Chinese with English abstract).

Ren Kun, Pan Xiaodong, Lan Yujiang, Jiao Youjun, Zeng Jie, Meng Xiaojun, Pang Yuan. 2016. Sulfate concentrations and source identification in different water bodies of the Chadianqiao Underground River Basin in Central Guizhou. *Acta Geoscientia Sinica*, 90 (8): 258~268 (in Chinese with English abstract).

Shi Hong. 2018. Research on some key problems in groundwater environmental impact assessment. *Environment and Development*, 7: 30~32 (in Chinese with English abstract).

- Wang Qiong, Tan Xiuyi, Chen Junfeng. 2012. Current situation and research progress of groundwater pollution in China. *Environmental Science and Management*, (S1): 52~56 (in Chinese with English abstract).
- Wen Dongguang, Lin Liangjun, Sun Jichao, Zhang Zhaoji, Jiang Yuehua, Ye Nianjun, Fei Yuhong, Qian Yong, Gong Jianshi, Zhou Xun, Zhang Yuxi. 2012. Groundwater quality and contamination assessment in the main plains of Eastern China. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 37(2): 220~228 (in Chinese with English abstract).
- Wu Shunze, Wang Dong, Wu Yueying, Zhang Tao. 2013. Groundwater environment monitoring and pollution prevention measures in North China Plain. *Environmental Protection*, 41(12): 20~22 (in Chinese with English abstract).
- Xi Beidou, Li Juan, Wang Yang, Tang Jun, Hong Hui. 2019. Strengthening the innovation capability of groundwater science and technology to support the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei region: Status Quo, problems and goals. *Research of Environmental Sciences*, 32(1): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yali, Wang Xingrun, Shu Xinqian, Zhu Wenhui, Lei Youde. 2012. Experimental study on remedy of chromium contaminated groundwater with PRB technology. *Environmental Engineering*, 30(S2): 54~58 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhaoji, Fei Yuhong, Gui Chunyan, Qian Yong, Li Yasong. 2012. Regional groundwater contamination assessment in the North China Plain. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(5): 1456~1461 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yongshuang, Sun Lu, Yin Xiulan, Meng Hui. 2017. Progress and prospect of research on environmental geology of China: A review. *Geology in China*, 44(5): 901~912 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yangxiao, Li Wenpeng. 2011. *Groundwater Monitoring, Information Systems, Modelling and Sustainable Development*. Beijing: Science Press, 18~32 (in Chinese with English abstract).
- 陈飞, 侯杰, 于丽丽, 刘昀竺, 唐世南, 丁跃元, 刘国军. 2016. 全国地下水超采治理分析. *水利规划与设计*, 11: 3~7.
- 陈梦熊, 马凤山. 2002. *中国地下水资源与环境*. 北京: 地震出版社, 60~61.
- 高存荣, 王俊桃. 2011. 我国 69 个城市地下水有机污染特征研究. *地球学报*, 32(5): 581~591.
- 高茂生, 骆永明. 2016. 我国重点海岸带地下水资源问题与海水入侵防控. *中国科学院院刊*, 31(10): 1197~1203.
- 韩颖, 柏松, 俞黎明, 李洁, 欧阳夏骏. 2017. 浅析我国地下水环境保护体系. *环境监控与预警*, 5: 65~68.
- 胡君春, 郭纯青. 2009. 中国北方利用开采型漏斗建设地下水库的初步研究. *节水灌溉*, (6): 21~24.
- 黄冠星, 孙继朝, 汪珊, 杜海燕, 卢耀东, 支兵发, 陈彗川, 陈玺, 荆继红. 2008. 珠江三角洲地下水有机氯农药分布特征的初探. *农业环境科学学报*, 27(4): 1471~1475.
- 李政红, 张翼龙, 胡波, 王丽娟, 朱玉晨, 李剑锋. 2018. 人类活动对内蒙古托克托县浅层地下水 NO_3^- -N 污染的驱动作用. *地球学报*, 39(3): 358~364.
- 梁亦欣, 刘祥, 于鲁冀. 2007. 我国地下水污染现状及趋势. *科技信息*, 27: 288~288.
- 卢耀如, 张凤娥, 刘琦, 顾展飞. 2015. 建设生态文明保障新型城镇群环境安全与可持续发展. *地球学报*, 36(4): 403~412.
- 罗兰. 2008. 我国地下水污染现状与防治对策研究. *中国地质大学学报: 社会科学版*, 8(2): 72~75.
- 任坤, 潘晓东, 兰干江, 焦友军, 曾洁, 孟小军, 庞园. 2016. 黔中茶店桥地下河流域不同水体硫酸盐浓度特征及来源识别. *地质学报*, 90(8): 258~268.
- 师虹. 2018. 地下水环境影响评价若干关键问题研究. *环境与发展*, 7: 30~32.
- 王琼, 谭彦益, 陈峻峰. 2012. 中国地下水污染现状分析及研究进展. *环境科学与管理*, (S1): 52~56.
- 文冬光, 林良俊, 孙继朝, 张兆吉, 姜月华, 叶念军, 费宇红, 钱永, 龚建师, 周迅, 张玉玺. 2012. 中国东部主要平原地下水质量与污染评价. *地球科学——中国地质大学学报*, 37(2): 220~228.
- 吴舜泽, 王东, 吴悦颖, 张涛. 2013. 华北平原地下水环境监测及污染防治措施. *环境保护*, 41(12): 20~22.
- 席北斗, 李娟, 汪洋, 唐军, 洪慧. 2019. 京津冀地区地下水污染防治现状、问题及科技发展对策. *环境科学研究*, 32(1): 1~9.
- 翟亚丽, 王兴润, 舒新前, 朱文会, 雷有德. 2012. PRB 技术修复铬污染地下水的试验研究. *环境工程*, 30(S2): 54~58.
- 张兆吉, 费宇红, 郭春艳, 钱永, 李亚松. 2012. 华北平原区域地下水污染评价. *吉林大学学报(地球科学版)*, 42(5): 1456~1461.
- 张永双, 孙璐, 殷秀兰, 孟晖. 2017. 中国环境地质研究主要进展与展望. *中国地质*, 44(5): 901~912.
- 周仰效, 李文鹏. 2011. *地下水监测信息系统模型及可持续开发*. 北京: 科学出版社, 18~32.

Research on dynamic characteristics of groundwater quality
based on monitoring data in China

YIN Xiulan, LI Shengpin*

China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China

** Corresponding author: lisp@cigem.cn*

Abstract

Understanding the dynamic variation of groundwater quality can support the analysis of groundwater quality and regional water resources allocation. The dynamic variation of groundwater were investigated based on the groundwater monitoring data from national grade monitoring wells from 2007 to 2017, and groundwater level dynamic trends and pollutants distribution characters in typical areas. The results showed that the quality of class IV and II were mainly part of the groundwater. The number of groundwater quality of class I ~ III was relatively small, and the proportion has mainly decreased in recent years. The number of groundwater quality of class IV and V has increased, especially for the groundwater quality of class IV, the proportion has increased from 40.50% to 51.45%. The mainly contaminants in groundwater were pH, total hardness, total dissolved solids, sulfate, chloride, potassium permanganate index, iron, manganese, fluoride, ammonium, nitrate, and nitrite, the groundwater quality was related obviously with the groundwater level variation in typical areas. The study of the groundwater quality dynamics can provide support for scientific evaluation of groundwater resources, formulation of reasonable development and utilization plans of water resources, and prevention and control of groundwater pollution.

Key words: groundwater monitoring; groundwater quality; pollution; typical area; dynamic variation