

大理州弥渡县城水源地地下水基础环境状况调查评价

聂晶晶, 陈文昶, 杨 翠

云南省生态环境应急调查投诉中心, 云南 昆明

收稿日期: 2023年3月11日; 录用日期: 2023年4月12日; 发布日期: 2023年4月19日

摘 要

从多年大理州环境监测站对弥渡县饮用水监测结果看, 弥渡县县城集中式饮用水水源地水质锰、铁、氨氮等多项指标超标。地下水质量评价分值 $F = 7.10$ 分, 评价类别为较差级别; 污染评价 $P = 22.7 > 1.5$ 为极重污染。本次调查全面分析造成县城地下水饮用水源地超标的原因。

关键词

地下水, 水源地, 弥渡县城

Investigation and Evaluation of Groundwater Basic Environmental Condition in the Water Source Area of Midu County Dali State City

Jingjing Nie, Wenchang Chen, Cui Yang

Yunnan Eco-Environmental Emergency Investigation and Complaint Center, Kunming Yunnan

Received: Mar. 11th, 2023; accepted: Apr. 12th, 2023; published: Apr. 19th, 2023

Abstract

According to the monitoring results of drinking water in Midu County by Dali Environmental Monitoring Station for many years, the water quality of the centralized drinking water source in the county of Midu County, including manganese, iron and ammonia nitrogen, exceeded the standard.

The groundwater quality evaluation score $F = 7.10$ points, and the evaluation category is poor; pollution assessment $P = 22.7 > 1.5$ is extremely heavy pollution. This survey comprehensively analyzed the causes of the groundwater drinking water sources exceeding the standard in the county.

Keywords

Groundwater, Water Source, Midu County

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 水源地基本情况

1.1. 地理位置

弥渡县县城集中式饮用水水源地，位于弥渡县弥城镇城北社区弥渡县水厂内，地处东经 $100^{\circ}28'45.6''\sim 100^{\circ}28'35''$ ；北纬 $25^{\circ}20'49.4''\sim 25^{\circ}20'55''$ 。流经一级保护区地表的毗雄河属元江水系，饮用水水源地水资源补给主要来源于降雨产生的地表水渗漏，弥城镇地下水多年平均水资源总量 1120 万 m^3 。

1.2. 水源地特征

弥渡县县城集中式饮用水水源地属于地下水，于 1983 年开始筹建，1985 建成。弥渡县供水有限公司供水范围为弥城镇，2007 年末供水人口为 31,500 人，供水量为 126.816 万 m^3 。目前，弥城城市饮用水靠提取地下水解决。取水点在毗雄河东岸的第一水厂内，水厂有五眼深水井，1 号井深 138 m，2 号井深 150 m，3 号井深 150.72 m，4 号井 150 m (已停用)，5 号井 150 m。四口井设计出水量 7000 t/d，设计年总供水量 170 万 m^3 ，根据弥渡县供排水有限责任公司供水统计资料，弥城最高日供水量为 7000 t/d，平均日供水量为 6500 t/d，最高日最高时供水量为 292 t/h，由于开采地下量受设计供水限制，供水量不能满足用水要求。

1.3. 水源地水文地质条件

弥渡县县城集中式饮用水地下水类型为承压水，属孔隙水，介质为细沙层，地下水水位埋深 97 m。含水层、隔水层分为十二个自然分层：其中第一个含水层位于孔深 $0\sim 43.49$ m，厚度为 43.49 m，厚度大，岩层胶结疏松，为该井的主要含水层之一。第二个含水层埋深 $48.37\sim 50.37$ m，厚度 2.00 m，为次要含水层，厚度小，水量弱，不能作为地下水开发对象。第三个含水层埋深 $61.61\sim 95.15$ m，厚度 33.54 m，是区内最主要含水层，具承压。形成承压自流水，水质良好，不易受污染，为区内开发利用地下水的主要对象。

1.4. 地下水补径排条件

弥渡盆地四周山地存在地表分水岭，在盆地内形成独立的水文地质单元(图 1)。大气降水一部分下渗到地下含水层，盆地四周的碳酸盐岩含水层组的地下水通过泉点溢出地表顺着地势由山间汇聚到平原的水系，由弥渡河流向弥渡县城方向，在第四系松散堆积孔隙含水层中下渗在基岩中形成承压水。另一部分顺着地下含水层，以地貌一致流向盆地中央的承压区，形成承压水。第四系孔隙水的补给来源

主要是大气降水、地表水(河道、渠道水)、农田灌溉水入渗补给和邻区的侧向补给,近年来人工回灌也成为地下水补给来源之一。第四系含水层岩性以砾卵石、砂砾石为主,地下水埋深 97 m。地下水径流条件较好,地下水径流方向与地形地貌变化一致,即由山前向平原。第四系孔隙水的排泄以人工开采方式为主,其次是地下水蒸发、侧向径流排泄。人工开采主要包括弥渡县水厂水源井、农业井及工业自备井。



Figure 1. Hydrogeological map of Midu County Dali State City
图 1. 大理弥渡县水文地质图

2. 调查区域内污染源和风险源状况

2.1. 调查范围

弥渡县县城现有饮用水采用承压地下水,一级保护区位于两开采井周围[1]。其作用是保证单井集水有一定滞后时间,以防止一般病原菌对井水的污染。其划分方法为:

1) 根据 HJ/T338-2007《饮用水水源保护区划分技术规范》规定,参照(孔隙潜水一级保护区范围经验值)确定一级保护区范围半径为 30 m,不设二级保护区。

2) 根据 HJ/T338-2007《饮用水水源保护区划分技术规范》:“井间距大于一级保护区半径 2 倍时,可以分别对每口井进行一级保护区划,井间距小于等于一级保护区半径 2 倍时则以外围井的外接多边形为边界,向外径向距离为一级保护区半径的多边形区域。”弥渡县自来水厂三口水井从南至北同一直线上 1 号、3 号水井井间距 20 m, 2 号、3 号下水井井间距为 380 m,一级保护区半径为 30 m,因而 2 号井保护区划分方法采用单井划分, 1 号井、3 号井采用外接多边形边界划分。

3) 根据 GB5249-85《生活饮用水卫生标准》中有关水源卫生防护的规定[2],一级保护区边界到采水井最小距离不小于饮用地下水水源卫生防护带的距离(30 m)。

根据 HJ/T338-2007《饮用水水源保护区划分技术规范》及水源地的环境现状,划定弥渡县县城集中式饮用水源地保护区范围[3]为:以 2 号井为中心,半径 30 m 的圆形区域(2826 m²)和以 1 号井 3 号

井南北轴线分别延伸 30 m, 东西向各 30 m 的矩形区域(4800 m²)划为一级保护区, 总面积为 7626 m²。

2.2. 污染源和风险源调查

目前在饮用水源地保护区范围内无工业污染源。

2.2.1. 点源污染现状评价

在饮用水源地保护区外围可能对饮用水源地区域水源产生影响的点源污染有毗雄河上游及其支流的弥渡县老土罐绿色食品有限责任公司北沟箐厂、弥渡县建林绿色食品有限公司、弥渡县连明食品有限公司、柏丽丝农产品(大理)有限公司、弥渡县高山食品有限公司等。其主要污染物为 COD_{Cr}、NH³-N、SS、BOD₅、pH、粪大肠菌群等。这几家企业排放的废水最终都汇入毗雄河流经水源地保护区。可能会对饮用水源地区域地下水产生一定的不良影响。

2.2.2. 面源污染现状评价

饮用水源地区域面源污染主要来自饮用水源地保护区范围内及外围的生活污水、农田径流、畜禽养殖、固体废物等。近年来, 随着饮用水源地区域内人口的增加和人民生活水平的提高, 导致生活污水及村落生活垃圾排放量越来越大。据调查, 目前县城污水处理厂管网覆盖面有限, 县城北片区大部分生活污水直接排入毗雄河。县城周边毗雄河上游的村落密集, 垃圾集中收集较少, 生活垃圾随处堆放, 一经暴雨冲刷, 生活污水及村落生活垃圾所含大量污染物, 几乎全部随雨水冲入饮用水源地区域内的毗雄河, 给水源地带来了大量的污染负荷。此外, 随着县城周边、毗雄河两岸农田大量农药化肥的施撒以及牲畜沿河散养现象的增多, 使得农药、化肥、牲畜粪便等各种污染物直接随雨水进入河道内, 加剧了保护区内水质的恶化。

2.2.3. 工业污染源

目前, 饮用水源地区域范围内无工业企业。饮用水源地保护区外围的工业污染源主要有: 毗雄河上游有弥渡县老土罐绿色食品有限责任公司北沟箐厂、弥渡县连明食品有限公司; 安景河上游有柏丽丝农产品(大理)有限公司、弥渡县建林绿色食品有限公司, 城河上游有弥渡县食品有限责任公司(屠宰场)、弥渡县高山食品有限公司。

2.3. 地下水环境管理情况

弥渡县城地下水水源地管理单位为弥渡县供排水公司, 三十年来未发生污染事故。《弥渡县城集中式饮用水源地环境保护规划》已经编制完成, 正在等待批复。规划[4]显示, 近期目标(2011~2015年): 全部取缔饮用水水源一级保护区排污口, 基本遏制饮用水水源地环境质量下降趋势, 满足集中式饮用水源地水质要求的比例 ≥ 95%。中期目标(2015~2020年): 不达标饮用水水源地排污总量大幅削减, 水源地水质得到一定改善, 满足集中式饮用水源地水质要求的比例达 100%。远期目标(2020~2025年): 饮用水水源地水质明显改善, 稳定达标。

3. 水源地环境质量评价

3.1. 水源地监测

3.1.1. 监测点布设

在调查布点原则基础上, 本着以最少监测点获取足够的、有代表性地的地下水水质状况信息原则, 确定监测点的基本数量与点位。水源地研究区 7626 m² 范围内, 布设区域地下水监测井 4 个, 其中第四系水源井 5 眼, 潜水监测井 4 个。如表 1。

Table 1. Basic information table of monitoring well**表 1.** 监测井基本信息表

序号	编号	经纬度	监测井性质	地下水类型	井深(m)
1	1号	经度: 100°28'46" 纬度: 25°20'49"	第四系水源井	潜水	138
2	2号	经度: 100°28'36" 纬度: 25°20'58"	第四系水源井	潜水	150
3	3号	经度: 100°28'45" 纬度: 25°20'52"	第四系水源井	潜水	150.72
4	5号	经度: 100°28'48" 纬度: 25°20'51"	第四系水源井	潜水	150
5	4号	经度: 100°28'29" 纬度: 25°20'56"	报废的第四系水源井	潜水	150

3.1.2. 监测指标

地下水水质调查内容包括水质监测值、水质类别、主要超标指标和超标倍数等。充分利用历史数据进行分析,并于2013年10月进行1次取样监测。参照《全国地下水基础环境状况调查评估工作方案(2012年)》对水源地水质调查指标的要求,根据云南实际情况确定本次地下水水质调查检测指标共109项[5]。

3.1.3. 调查评价结果

对研究区4眼地下水监测井,进行了地下水天然背景离子(必测)、常规指标(必测)和必测特征指标等,共计106项指标的检测。其中4项指标在研究区4个监测点均有检出,包括33项无机指标(超标的指标有:氨氮、锰、铁)、2项微生物学指标(大肠杆菌)。

3.1.4. 地下水水质评价

按照《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)评价总硬度等37项指标[6],结果表明,4眼监测井中有4眼存在超标情况;有4项指标超出《地下水质量标准》(GB/T 14848-93) III类标准限值,超标指标包括氨氮、铁、锰、大肠杆菌等指标,其超标率分别达到10.8%、10.8%、10.8%和10.8%,但超标倍数,分别为0.12~0.37、3.85~8.22、12.1~22.7和5.0~5.8。按照《地下水质量标准》,水源保护区地下水中污染物指标超标情况见表2。

Table 2. Table of pollution index exceeding the standard**表 2.** 污染物指标超标情况表

序号	指标名称	超标井数	超标率%	超标倍数	最大超标倍数监测井
1	氨氮	4	10.8	0.12~0.37	弥渡地下水2号监测井
2	铁	4	10.8	12.1~22.7	弥渡地下水1号监测井
3	锰	4	10.8	3.85~8.22	弥渡地下水2号监测井
4	大肠杆菌	4	10.8	5.0~5.8	弥渡地下水1号监测井

3.2. 水源地地下水污染状况综合评估

研究区4眼监测井地下水检测分析结果表明,有4项无机指标超出《地下水质量标准》(GB/T 14848-93) III类标准限值,包括氨氮、铁、锰、大肠杆菌指标。因此,研究区地下水无机污染现状评估仅选取此4项指标进行评估。水源地地下水无机化学组分背景值见表3。其余指标取自地下水调查背景点。

Table 3. Inorganic index background values**表 3.** 无机指标背景值

指标(mg/L)	氨氮	铁	锰	大肠杆菌
背景值	0.025	0.037	0.011	3

对 36 项有机指标进行了污染评估，有机组分背景值按零计算。

3.2.1. 无机污染评估结果

研究区地下水无机指标的污染评估结果及其统计数据见表 4。4 眼监测点中有 4 个点位都存在氨氮、铁、锰、大肠杆菌污染，其中有 4 个点位达到 V 级严重污染。

Table 4. Inorganic index pollution assessment results statistics

表 4. 无机指标污染评估结果统计

污染级别	铁	锰	大肠杆菌
I 级(未污染)	0	0	0
II 级(轻污染)以上	0	0	0
III 级(中污染)以上	0	0	0
IV 级(较重污染)以上	0	0	0
V 级(严重污染)以上	0	4	0
VI 级(极重污染)	4	0	4

3.2.2. 有机污染评估结果

对 36 项有机指标的污染评估结果统计数据见表 5。

研究区域范围内，有机指标未有检出。所有监测点位均为 I 级。

Table 5. Organic index pollution assessment results statistics

表 5. 有机指标污染评估结果统计

指标名称	污染级别						
	I 级	II 级以上	III 级以上	IV 级以上	V 级以上	VI 级	
四氯化碳	4	0	0	0	0	0	
三氯甲烷	4	0	0	0	0	0	
溴仿	4	0	0	0	0	0	
苯	4	0	0	0	0	0	
甲苯	4	0	0	0	0	0	
乙苯	4	0	0	0	0	0	
二甲苯	4	0	0	0	0	0	
苯乙烯	4	0	0	0	0	0	
氯苯	4	0	0	0	0	0	
1,2-二氯苯	4	0	0	0	0	0	
1,4-二氯苯	4	0	0	0	0	0	
1,2,4-三氯苯	4	0	0	0	0	0	
六六六	4	0	0	0	0	0	
滴滴涕	4	0	0	0	0	0	
对硫磷	4	0	0	0	0	0	
甲基对硫磷	4	0	0	0	0	0	
乐果	4	0	0	0	0	0	
马拉硫磷	4	0	0	0	0	0	

Continued

邻苯二甲酸二正丁酯	4	0	0	0	0	0
邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯	4	0	0	0	0	0
萘	4	0	0	0	0	0
萘烯	4	0	0	0	0	0
萘	4	0	0	0	0	0
芴	4	0	0	0	0	0
菲	4	0	0	0	0	0
蒽	4	0	0	0	0	0
荧蒽	4	0	0	0	0	0
芘	4	0	0	0	0	0
苯并[a]蒽	4	0	0	0	0	0
屈	4	0	0	0	0	0
苯并[b]荧蒽	4	0	0	0	0	0
苯并[k]荧蒽	4	0	0	0	0	0
苯并[a]芘	4	0	0	0	0	0
二苯并[a,h]蒽	4	0	0	0	0	0
苯并[g, h, i]芘	4	0	0	0	0	0
茚并[1,2,3-cd]芘	4	0	0	0	0	0

3.2.3. 污染综合评价

研究区地下水污染综合评估结果统计数据见表 6。综合污染级别达到 VI 级(极重污染)的监测井位达到 4 个, 整个研究区地下水污染处于中污染到极重污染状况。

Table 6. Comprehensive pollution level results statistics

表 6. 综合污染级别结果统计

污染级别	I 级(未污染)	II 级(轻污染)	III 级(中污染)	IV 级(较重污染)	V 级(严重污染)	VI 级(极重污染)
监测井个数	0	0	0	0	0	4

4. 原因分析

根据调查对象地下水质量评价和污染现状评价结果, 针对污染指标, 初步判断地下水污染有外因与内因两个因素造成。而且研究区域典型特点是全部监测点位全部超标。对历史和现状的各类污染源进行分析。

4.1. 企业污染源

根据 2011 年度弥渡环境统计数据及各企业环评报告书(表)内容[7], 企业全年废水排放量、主要污染物排放量及入河量; 各企业废水最终通过排污口直接或间接排入毗雄河。考虑不确定因素以及废水输移过程的损耗, 污染物入河系数以企业排污口到入河排污口的距离(L)确定: $1 \text{ km} < L \leq 10 \text{ km}$ 取 0.9; $L \leq 1 \text{ km}$ 取 1.0; 入河修正系数取 0.8; 废水、 COD_{cr} 、氨氮入河量 = 排放量 \times 入河系数 \times 修正系数; 工业企业废水入河量 164009.904 t, COD_{cr} 119.613 t, 氨氮 1.692 t。

4.2. 城镇生活污染源

根据调查能汇入保护区范围内的县城生活污水主要来自毗江路以东，文笔路以西，西街以北，连接线以南区域内的居民，约有 1640 人。根据《全国饮用水水源地环境保护规划技术培训讲义系数》城镇人均产污系数[8]约为：COD 60~100 g/人·日，氨氮 4~8g/人·日，结合当地居民实际情况取值 COD 60 克/人·日，氨氮 5.4 克/人·日。则生活污水污染物 COD_{Cr}、氨氮年排放量分别为 35.916 t、3.232 t。调查范围内，面源污染存在农村生活污染、农田径流污染。源强系数参照《全国饮用水水源地环境保护规划技术培训讲义系数》。

4.2.1. 农村生活污染源

毗雄河上游调查涉及吉祥、竹园、班局、赤水、史近、东海、新街、六一、永祥、双海 10 个村委会，共有 54587 人；城河、安景河上游共涉及新庄、红星、长坡岭 3 个村委会，共有 11056 人。根据《全国饮用水水源地环境保护规划技术培训讲义系数》，计算得农村生活污水年排放量 191.67756 万 t、COD_{Cr} 392.939 t、总氮 119.798 t、总磷 10.542 t、氨氮 95.839 t [8]，见表 7。

Table 7. Emission from Rural Domestic Sources

表 7. 农村生活污染源排放量

排放量	排放系数	人均生活污水量 (升/人·天)	COD _{Cr} (克/人·天)	总氮 (克/人·天)	总磷 (克/人·天)	氨氮 (克/人·天)
		80	16.4	5	0.44	4
人口总数(人)				65,643		
污染物年排放量(吨)		1,916,776	392.939	119.798	10.542	95.839

4.2.2. 农田径流污染源

通过对饮用水源地区域内、毗雄河上游、安景河上游、城河上游农田调查可知，区内主要种植稻谷、蔬菜、小麦、玉米、烤烟等作物，种植面积 3006 ha (45,088 亩)，年平均化肥施用量为 53.7 kg/亩，农药施用量为 0.37 kg/亩。根据全国饮用水水源地环境保护规划技术培训讲义提供的农田径流污染物排放量系数 COD 10 kg/亩·年，氨氮 2 kg/亩·年。土地坡度在 25°以下取 1.1，农作物类型修正系数取 1.0，土壤类型修正系数取 1.0，化肥施用量修正系数取 1.3，降水修正系数取 1.3。修正后系数为 COD 18.59 kg/亩·年，氨氮 3.718 kg/亩·年。污染物年排放总量 COD_{Cr}：838.186 t，氨氮：167.637 t。面源污染物入河量测算入河系数[8]取 0.08，入河修正系数取 0.8，则面源污染物排放量、入河量见表 8。

Table 8. Emissions of non-point source pollutants and river (Discharge t/a)

表 8. 面源污染物排放量、入河量(单位：t/a)

污染物 种类	农村生活污染		农田径流污染		合计	
	排放量	入河量	排放量	入河量	排放量	入河量
COD _{Cr}	392.939	25.148	838.186	53.644	1231.125	78.792
氨氮	95.839	6.134	167.637	10.729	263.476	16.863

5. 结论

5.1. 人口及城市化的影响

2013 年弥渡县的人口增长比较平稳，人口增长为 1.75 倍(与 2005 年比较)。弥渡县有国土面积 1523.43

平方公里,其中山区、半山区占90%以上;有林地面积1,551,438亩,占国土面积的67.74%;有集体林面积1,440,639亩,占林地总面积的93%。弥城镇全镇总面积174.6平方公里,耕地38,144亩,总人口84,349人,下辖:张迁、双海、龙泉、谷芹、新城、龙华、蔡庄、长坡、山高、新庄、红星、高坪、石甲13个村委会及城东、城西、城南、城北4个社区居委会[9]。与此同时,土地利用格局发生了较大变化,对弥渡县卫星遥感影像分析研究表明,近多年来,经济高速发展,弥渡县出现了以城市化为主要特征的大规模土地利用/覆盖变化。土地利用现状具有明显的圈层结构,具有典型的小城市及其郊区用地特点。随着人口和城市的不断扩张,城市生活污水排放量与日俱增。每天污水排放量从2005年的3678.54 m³增至2012年的5865.66 m³,2012年城市污水排放量达到214.10万m³。城镇生活污水经淋滤下渗进入地下含水层前,在包气带介质中发生一系列物理、化学和生物学作用,经土壤微生物作用,有机物转化为无机物,BOD₅和COD基本得到降解;但是,在污水中的氮素多为NH⁴⁺-N和R-N,在土壤亚硝酸杆菌和硝化菌作用下逐步、并最终转化为NO³⁻-N稳定存在于水体中;而当污水中的Na⁺和NH⁴⁺含量大于土层中的Ca²⁺和Mg²⁺含量时,可将土层中的Ca²⁺和Mg²⁺置换[10],从而使地下水中的总硬度、溶解性总固体升高。因此,以生活污水为主的城市污水的下渗主要引起地下水总硬度、溶解性总固体、NO³⁻-N的升高。

5.2. 地下水污染途径影响

此区域受大气降水和山区侧向径流清水补给,地下水污染可得到地下周期性补给作用调节而淡化,水质一般相对较好。在地下水溢出带区,地下含水层由单一结构逐渐过渡到多层结构,地下水径流受阻,水岩作用时间长且强烈,同时由于水位埋深相对较浅,蒸发作用强,包气带和含水层一般积累大量盐分,此地区地下水主要化学组分含量一般高于邻近区域[11]。在冲洪积扇中部地区,粘性土厚度逐渐增大,但含水层间的粘性土类隔水层延续性不强,上下含水层有一定水力联系,上部含水层受污染后有可能影响下部含水层。在冲洪积扇下部地区,粘性土厚度较大且稳定,上下含水层间的垂向水力联系较弱,上部含水层受污染后对深部含水层水质影响较小。因此,根据水文地质条件,地下水污染一般主要分布于冲洪积扇的中上部,而冲洪积扇的中下部地区、特别是深层水一般不易受到污染,水质相对较好。研究区位于弥渡岩溶断陷盆地冲洪积扇的中下部,第四系地下水以松散层孔隙水为主。第四系沉积厚度大,含水层岩性为砾卵石含漂石、砂砾石,累计厚度由西南至东北逐渐减小。第四系孔隙水的补给来源主要是大气降水、地表水(河道、渠道水)、农田灌溉水入渗补给和邻区的侧向补给,地下水的排泄以人工开采方式为主。因此,从水文地质条件看,研究区地下水易受到污染,但污染亦可通过地下周期性补给作用调节而淡化。

5.3. 水动力影响

本区地下水水质恶化另一原因是因开采引起的地下水流场的改变。自然条件下弥渡县地下水源地研究区地下水径流方向基本与地形地貌变化一致,即由山前向平原,由北向南流动,但由于受地下水集中开采影响,局部地区地下水流向发生较大变化。现状条件下,区内地下水径流方向由自西向东流动。受地下水流场控制,弥渡县集中式饮用水源地作为下游地区受上游及周边污染源影响,该区地下水水质恶化明显。

基金项目

国家重大专项课题:云南省地下水基础环境状况调查评估专项课题。

参考文献

- [1] 中华人民共和国环境保护部. 饮用水水源保护区划分技术规范(HJ/T338-2007) [S]. 北京, 2007.

-
- [2] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准(GB5249-85) [S]. 北京, 1985.
- [3] 弥渡县人民政府. 弥渡县县城集中式饮用水源地保护区评价报告[R]. 2015.
- [4] 弥渡县人民政府. 弥渡县县城集中式饮用水源地环境保护规划[Z]. 2014.
- [5] 中华人民共和国环境保护部. 全国地下水基础环境状况调查评估工作方案(2012年) [Z]. 北京, 2012.
- [6] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 地下水质量标准(GB/T 14848-93) [S]. 北京: 1993.
- [7] 弥渡县人民政府. 2011年度弥渡环境统计数据及各企业环评报告书(表) [Z]. 2011.
- [8] 中华人民共和国环境保护部. 全国饮用水水源地环境保护规划技术指南[S]. 北京, 2008.
- [9] 弥渡县人民政府. 弥渡县 2013 年国民经济状况报告[R]. 2013.
- [10] 李焯, 李建明, 蟠涛. 地下水氨氮污染及处理技术[J]. 环境工程, 2011(29): 100-102.
- [11] 雷静. 地下水环境脆弱性的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 清华大学 2002.