
2018 年全国水源地水质报告

广州绿网环境保护服务中心

2019 年 4 月



机构简介

广州绿网环境保护服务中心（简称“广州绿网”），成立于2015年3月，是一家致力于污染防治的非营利性环保组织。广州绿网通过环境数据分析应用，促进公众参与，改善环境政策，保护环境和公众健康。

广州绿网建立了包括环评、污染源、环境质量的综合环境数据平台，包含了企业从建立、过程监管、直至关停的全生命周期的环境管理数据。

广州绿网开发了基于位置的环境数据查询，应用于公众服务；同时针对银行、供应链等公共服务提供基于企业的环境数据查询。

广州绿网基于环境数据分析，研判环评、污染源对环境质量的宏观影响，推动环境政策进步，提升环境管理的有效性。

网址：www.lvwang.org.cn

邮箱：office@lvwang.org.cn

致谢

本报告及相关工作由以下资助方资助，报告内容及观点仅代表作者，与资助单位的立场和观点无关。



感谢北京守望者环保基金会在本报告案例分析实地调研中提供的协助。



目录

摘要	4
一 集中式饮用水源地的信息公开情况	5
二 全国水源地水质总体超标情况	6
各省地表水源地超标概况	7
各省地下水源地超标概况	8
三 地表水水源受到的主要污染及成因分析	10
地表水水源地的磷污染成因分析	11
矿产开采区域对地表水源地的影响	14
四 地下水源地受到的主要污染成因分析	22
地下水源地污染的地质因素	22
地下水过量开采带来的影响	25
矿产开采对于地下水源地的影响	27
标准修订暴露的通辽地下水砷超标及成因分析	28
五 水源地污染对供水安全的影响	30
六 全国水源地保护整治建议	32

摘要

2018年是集中式饮用水源地水质监测及信息公开工作实施的第三年。通过整理2018年全国各省集中公开的水源地水质信息我们发现：(1)全国水源地整体达标率从92.9%小幅度下降至92.3%。(2)湖南省及吉林省地表水源地超标情况最为严重，黑龙江、内蒙古地下水源地超标情况最为严重，且对比2017年，这四个省份水源地水质总体下降。本文分类归纳了2018年全国地表及地下水源地的主要污染类型及成因，主要发现如下：

磷是地表水源地中最普遍的污染物，除此之外地表水源地中还出现了锑、铊、硼、钼、镍、石油类、氟化物等七项生活饮用水卫生标准归类为毒理指标的污染物。从污染成因角度分析，造成磷污染的人为因素有：农业及畜牧业生产中大量含磷化肥、饵料、饲料的使用及粪便处置不当等农业面源污染；生活污水直排，磷矿的开采，部分水源地周边含磷较高土壤的水土流失也是造成水源地中磷超标的重要原因。从造成供水风险及影响范围角度看，矿区污染对水源地的影响最大。规模较大的矿区容易造成流域内的多个水源地超标，同时由于部分矿区矿种为重金属或伴生重金属，造成了部分水源地重金属超标。其中，湖南省资江流域受龙山锑开采矿区的影响及吉林省吉林市松花江流域受夹皮沟铁开采矿区的影响最为典型。受锑矿区产生污染的影响，湖南省资江流域已经有多个水源地关闭取水口并撤销保护区。

2018年，我国地下水源地的主要污染因子是铁、锰，硫酸盐、总硬度，这四项占了地下水污染物构成的70%。这四类污染主要集中在东北平原-内蒙古东部地区及甘肃南部地区。通过归纳分析，发现由于地下水超采造成的水位下降与这四类因子超标情况相关，但是通常被归纳为由地质因素引起的水源地水质超标。2017年-2018年，这两个地区的水源地水质持续下降。另外，通辽市市区地下水源地重金属砷超标问题显著，通过分析发现通辽市市区河流——西辽河的上游山区大量砷矿开采行为导致的水土流失将砷导入河流从而影响地下水，以及通辽市市区水源地所在的科尔沁区使用含砷污水灌溉这两大因素可能是通辽市市区地下水砷污染的主要成因，从而造成水源地的持续砷污染。

2018年生态环境部在全国范围内开展了水源地环境保护问题整治，但是未见到地下水水源地问题排查情况的公开，且只局限于排查地表水源地保护区内的问题。从本文归纳的水源地主要问题及情况来看，有相当多的水源地污染成因或风险并不在水源地保护区内，从而形成的具体问题及建议如下：

- (1) 我国地下水源地污染问题比地表水源地严重，地下水源地污染问题的排查及整治更为迫切。较大范围的地下水超采已经引起了许多地区的地下水水质下降，从而影响了当地地下水源地的水质。建议从水源地保护角度划定地下水限采、禁采区，并结合地质特点，从水质保护的角度制定限采、超采区内的管控方案。
- (2) 目前我国部分流域内较大规模的矿区对流域内的水源地产生了较大影响（已经造成污染或存在风险），仅仅从在这些水源地保护区内排查问题无法识别污染问题的真正原因。建议通过可识别的风险源密度，水文及地质特性，区域内潜在的风险评估等方法，重点识别流域内矿区划定为水源风险区，建立包括上收风险区内的建设项目评价审批权，增加风险区内建设项目针对水源地的风险评价等更审慎的环境管理制度。

一 集中式饮用水源地的信息公开情况

原环保部办公厅于 2016 年发布了《全国集中式生活饮用水水源水质监测信息公开方案》（环办监测[2016]3 号）。根据该方案要求，各省环保部门集中发布水源地水质信息，并公开了地市级及以上的水源监测数据。由于县级水源地存在分布更分散，监管更困难等问题，方案允许逐步实现县级水源地的水质监测及信息公开，并要求从 2018 年开始全面公开县级水源地监测信息。

在此背景下，从 2016 年至 2018 年，各省发布水源地总数持续上升，公开水质监测信息的水源地总量从 2016 年的 1750 个上升至 2018 年的 2235 个。

从图一中我们可以发现，近 3 年来市级的水源地监测信息总数保持稳定，县级水源地水质监测信息公开力度持续加大。



图一 2016-2018 年水源地信息公开变化

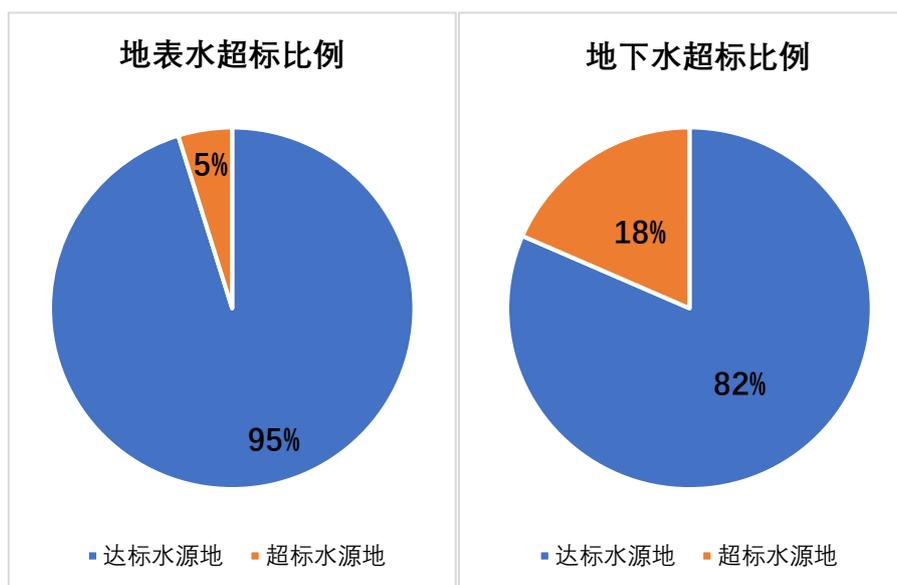
但令人遗憾的是，目前仍有 6 个省的环保部门未发布县级水源地水质监测信息，另有 8 个省份不足一半的地级市发布县级水源地水质数据，导致这些地区的公众难以全面了解水源地水质状况，同时也与《全国集中式生活饮用水水源水质监测信息公开方案》的要求背道而驰。

表一 未公开县级集中式饮用水水源地水质监测信息省份清单

未公开县级集中式饮用水水源地水质监测信息省份清单					
西藏	新疆	山东	黑龙江	吉林	江西
北京 (30%)	上海 (50%)	天津 (10%)	河北 (27%)	河南 (22%)	山西 (36%)
辽宁 (36%)	宁夏 (20%)				

二 全国水源地水质总体超标情况

2018 年全国各省共公开了 338 个地级市的 2235 个水源地的水质监测信息，其中 81 个地级市的 171 个水源地在本年度内水质超标，未超标水源地个数为 2064 个，本年度水源地达标率为 92.3%，对比 2017 年水源地报告总体达标率 92.9%略有下降。同时，根据生态环境部发的《2018 年全国生态环境质量简况》对全国 906 个在用源地的评价结果显示，本年度水源地达标率为 89.8%，对比 2017 年达标率 90.4%也略有下降。从水源地评价总数来看，纳入环境部环境质量公报的水源地评价数量较少，建议该报告扩大集中式饮用水源地的评价范围。



图二 不同类型水源地超标比例

2018 年全国公开的水源地中，地表水水源地有 1769 个，其中 85 个超标，占比 4.8%；地下水水源地有 466 个，其中 86 个超标，占比 18.45%，由此不难看出地下水水源地超标比例远大于地表水水源地超标比例。



图三 2016-2018 年不同类型水源地超标率

通过 2016 年至 2018 年的水源地超标情况我们可以发现，地表水水源地超标比例维持

稳定，而地下水源地超标比例及单个水源地累计超标次数持续上升。这意味着地下水源地超标的地区增加，同时部分地区的地下水源地污染加重。

各省地表水源地超标概况

从地表水超标水源地分布情况来看，以地表水作为主要水源的湖南省、江苏省、吉林省及云南省水源地超标数量对比 2017 年明显上升，而同样以地表水作为主要水源的福建省、湖北省、海南省以及重庆市水源地全体达标。福建省水源地总体状况 3 年来持续向好，得益于福建省九龙江流域水源地水质持续改善。



图四 地表水源地污染严重情况分布

从各省地表水超标累计时长我们可以发现，湖南省及吉林省的地表水源地超标次数明显高于其他省份。另外对比 2017 年，安徽省的地表水累计超标次数明显上升，主要是水源地多次锰超标造成的。

表二 各省地表水源地超标累计月次及造成超标的污染因子

省	超标时长累计	污染因子
湖南	64	镉/铊/锰
吉林	45	铁/锰/磷/氨氮
广西	24	磷/铁
江苏	24	磷/氨氮/氯化物/五日生化需氧量/高锰酸盐指数
黑龙江	21	高锰酸盐指数/磷
宁夏	20	硫酸盐/氟化物/硼
浙江	20	高锰酸盐指数/铁/锰/溶解氧/磷/石油类
安徽	19	锰/磷
辽宁	17	硼/钼
上海	13	五日生化需氧量/磷/溶解氧

陕西	12	石油类/磷/溶解氧
四川	12	磷/氨氮/高锰酸盐指数
云南	10	磷/锰/五日生化需氧量/
山东	9	硫酸盐
贵州	7	磷
江西	7	磷/锰/五日生化需氧量/
广东	5	溶解氧
甘肃	1	锰/镍/硫酸盐
青海	1	氯化物

各省地下水源地超标概况

2018 年地下水超标累计次数前三省份依次是黑龙江，内蒙古、宁夏。从这三个省份地下水源地超标的城市分布及超标污染物的类型来看，不同地域受到同类污染物影响的特征明显，近似的污染类型也侧面证明了这些污染物在该区域地下水呈面域型污染的情况。由于这三个省份同时出现水源地长时间超标，又缺乏可替换的地表水水源的情况，可能会造成可用水资源缺乏情况，同时这些来自水源的污染物也会给当地用水安全造成威胁（图七）。



图五 地下水污染严重情况分布

综合 2016-2018 年各省地下水源地的超标信息来看，铁、锰、氨氮、氟化物、氯化物、硫酸盐、总硬度是造成地下水源地超标的主要污染因子。砷污染则在 2018 年首次出现，除河南省东周水厂于 2018 年 7 月出现一次砷浓度超标外，内蒙古通辽市的 5 个地下水源地中的 4 个从 2018 年 5 月开始出现持续性的砷超标记录。在排除了新公开的水源地水质信息造成的数据影响后，对比各省 2016 至 2018 年间的地下水源地水质超标情况，可以发现黑龙江、内蒙古以及河北的地下水源地超标情况明显上升，而河南省地下水源地水质好转。其中，黑龙江省齐齐哈尔市、大庆市、佳木斯市、绥化市，内蒙古的通辽市、呼伦贝尔市、阿拉善

盟以及河北张家口市的地下水源地 3 年来水质连续下降，地下水水质恶化情况堪忧。

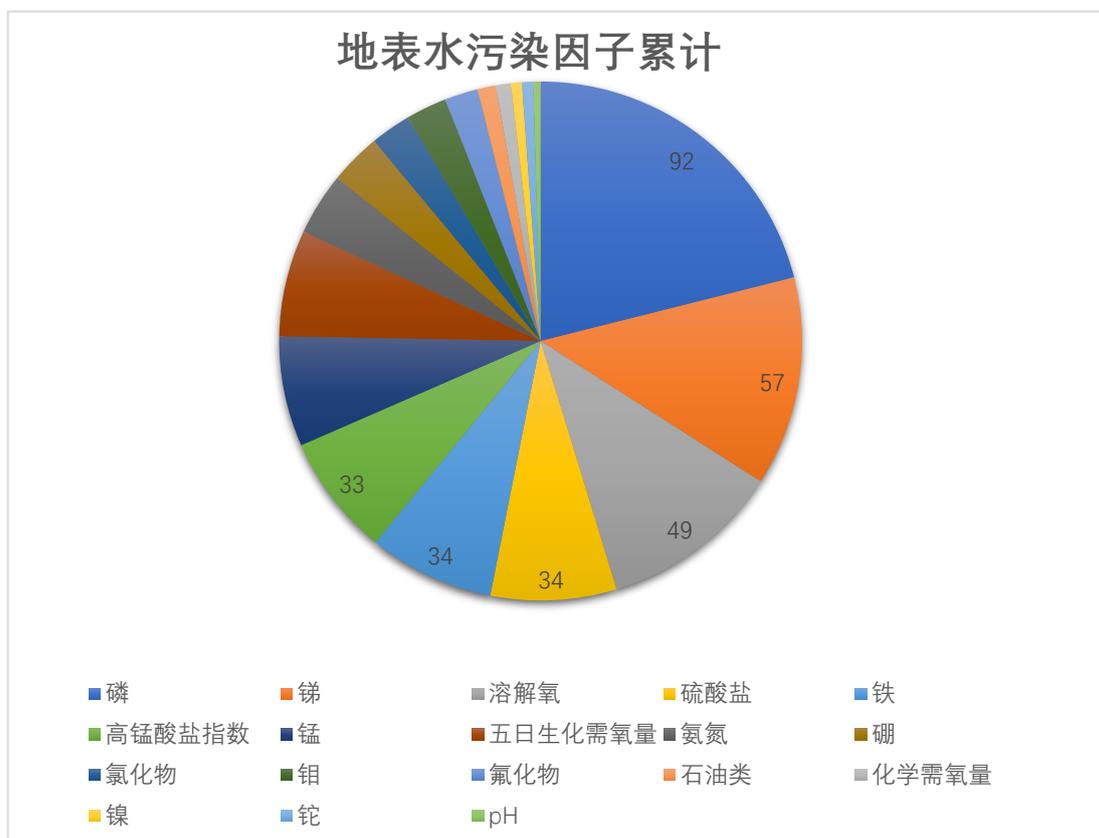
表三 2016—2018 地下水源地污染情况变化

省	超标累计次数			3 年累计出现超标污染物
	2016	2017	2018	
黑龙江	61	134	132	铁/锰/氨氮
内蒙古	80	110	116	铁/锰/氨氮/砷/氟化物/总硬度
宁夏	23	26	80	铁/锰/硫酸盐/氟化物/总硬度
安徽	18	42	64	氟化物
甘肃	16	49	50	总硬度/氟化物/硫酸盐
广西	0	30	45	总大肠菌群
辽宁	36	26	34	锰
北京	3	12	24	总硬度
山西	15	24	24	硫酸盐/总硬度
新疆	0	3	17	总硬度/硫酸盐
河北	1	1	12	硝酸盐/总硬度
青海	0	1	12	氟化物
山东	24	12	12	总硬度/硫酸盐
江苏	0	0	11	氟化物/总硬度/硫酸盐
河南	32	21	6	铁/锰/砷
陕西	6	18	4	总硬度

通过归纳地表水及地下水各省水源地的污染状况我们发现，水源地水质较差的省份或邻近省份中，污染类型及造成水质污染的成因存在着一定共性，而水源地水质的整体下降意味着这些共性的问题尚未得到有效解决或控制。

三 地表水水源受到的主要污染及成因分析

2018 年年我国地表水源地主要受到磷、镉、溶解氧、硫酸盐、铁、高锰酸盐指数、锰、五日生化需氧量的污染。这十项污染因子超标累计月次占所有地表水污染因子超标累计总月次的 83%。



图六 2018 年地表水污染因子累计

从这些污染因子的成因来看，这些水源地的水质污染主要来源于人类活动。其中，水源地附近的生活污水直排、畜牧污水直排、农业化肥、渔业养殖的超量使用是造成磷超标的主要原因，磷矿开采也是部分水源地磷超标的原因；尽管镉、铁、锰、镍、铊等金属物质以及硫酸盐、氯化物等盐类浓度超标与水源地所在地区的地质特性相关，矿产采选、尾矿库溢流、矿井涌水、工业排放才是污染物质进入水体的直接原因；溶解氧、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、氨氮反映了水源地受到有机污染的情况，生活污水、农业污水、工业污水的排放是主要成因。

从饮用水安全角度来看，地表水污染因子中，镉、硼、钼、铊、镍、氟化物、石油类都在生活饮用水卫生标准中作为毒理指标划定限值，对人体健康影响较大。长期饮用超过镉浓度标准限值的水，会导致人体血液中胆固醇增加及血糖的降低¹；铊的慢性中毒可能导致由钾离子参与的生理活性降低，也可能导致脱发、指甲停止生长等中毒外在体现，并且会穿过胎盘，对胎儿产生损害²；镍及镍的化合物容易在生物体内积累，并且具有潜伏期长的致癌性³；石油类浓度较高的水中容易衍生出多环芳烃、苯系物、苯胺，这些物质被认为有较强

¹ http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201610/t20161027_366356.htm

² 铊污染环境标准分析及防治对策建议_卢然

³ 化学沉淀法强化常规工艺去除水中镍的应急处理_谭浩强

的致癌风险及神经毒性⁴；长期饮用氟浓度较高的水容易形成氟斑牙⁵。对比地下水，我国地表水源地受到更多种类的毒理性污染因子影响，意味着在这些水源地取水水厂及所供应的地区面临着更高的健康风险。

表四 2018 年有毒理指标超标的地表水源地名称

行政区	水源地所在河流（湖库）	水源地名称	超标月份	超标因子
湖南省益阳市	资江	龙山港	1,2,3,9,10	镉
湖南省益阳市	资江	桃花江镇一水厂	全年	镉
湖南省益阳市	资江	安化县城北水厂	全年	镉
湖南省永州市	紫溪河	东安县水厂	全年	镉
湖南省永州市	紫溪河	新屋	1,2,3,7,8,9,10,11,12	镉
湖南省邵阳市	西洋江	龙潭水厂	1,2,3, (4 月开始停止发布)	镉
湖南省娄底市	孙水河	大科石埠坝	9,10,11,12	镉
湖南省株洲市	渌水	醴陵自来水厂	7,8,9	砷
辽宁省营口市	石门水库	石门水库	1,2,3,4,5,6,7,8	砷
辽宁省葫芦岛	乌金塘水库	乌金塘水库	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12	钼
陕西省延安市	仙姑河	仙姑河水源地	1,2,3,	石油类
浙江省嘉兴市	京杭大运河	运河桐乡水源地 (单桥)	9	石油类
浙江省嘉兴市	广陈塘	广陈水厂水源地 (备用)	9	石油类
宁夏省固原市	海子峡水库	海子峡水库	1,2,3,4,5,6,7,11	氟化物

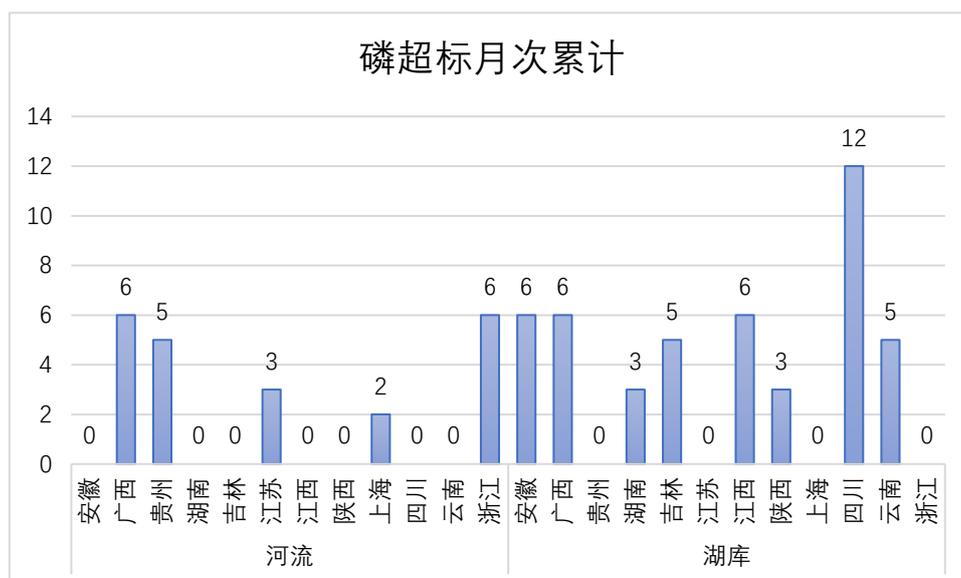
地表水水源地的磷污染成因分析

尽管 2017 年-2018 年，磷污染造成的水源地超标比例从 35%下降至 22%，磷污染仍是目前地表水源地的第一大污染因子。由于磷及磷的化合物作为水中的营养盐，非常容易使得水体富营养化而造成藻类或其他浮游生物的快速生长繁殖，造成水源地的有机污染及可能由藻类等微生物释放的毒性物质污染，并可能导致溶解氧等指标的下降及 PH 值的升高⁶。由于湖库的水更新速度较慢，磷等营养盐容易累积造成上述继发污染，因此湖库型水源地的浓度限值比河流型水源地严格很多。归纳不同水源地类型的磷超标数据，可以看出大部分水源地类型为湖库，其中广西省北海合浦县南流江水源地及江西省新余市仙女湖水源地磷超标情况最为严重。

⁴ 石油类污染物对水体生态环境的危害_纪巍

⁵ 氟化物影响人体健康机制的研究进展_边归国

⁶ 渔洞水库 pH 值异常成因分析及水资源保护建议_申开旭



图七 2018年各省水源地磷超标月次累计

农业造成的磷污染

在较多的水源地磷污染成因分析中都会指出农业污染是主要来源, 农业造成磷污染的主要表现有:

(1) 速效化肥的大量使用。由于磷是植物生长过程中的一类重要的营养物质, 农民进行农业生产时往往大量施用溶解度高的磷肥(复合肥), 让作物根系处于高磷浓度环境的土壤中吸收营养快速生长。当土壤中的可溶性磷被雨水或地表径流带入水体, 水中的磷浓度就会上升⁷。

(2) 水产养殖中含磷饵料的大量投喂。由于磷酸盐是动物体内一类重要的营养物质, 水产养殖饵料中一般会添加一定浓度的磷酸盐, 这些磷酸盐通过饵料混入水中或水生生物食用饵料的排泄向水中释放, 造成水中磷浓度的上升⁸。

(3) 畜牧业粪便废弃物的造成污染。因此磷是动物生长发育必须营养物质之一, 畜牧业饲料中添加无机磷及植酸磷是常见的现象。由于动物对于饲料中磷的利用率较低, 最少40%的磷无法吸收而通过排泄排出, 因此畜牧粪便有较高的含磷量。当这部分磷在粪便处置中未有效去除, 就会随着废水大量排放进入环境⁹。

由于农业的化肥施用、水产养殖以及畜牧粪便往往是呈面域分布, 所以将这一类污染时归纳为面源污染。面源污染来源较广, 往往难以针对性的进行管理, 因此目前通过调整化肥产品结构, 划定禁止渔业养殖水域及禁止在水源保护区内进行畜牧养殖作为这一类污染的主要控制手段。

城镇生活污水造成的磷污染

在对于四川省眉山市的黑龙滩水库¹⁰、遂宁市的黑龙函水库¹¹磷污染的成因分析中, 发

⁷ 农业非点源氮磷污染对水环境的影响研究_杨斌

⁸ 我国水产养殖环境氮磷污染现状及应对策略_李卫阳

⁹ 畜牧生产中磷污染及其防治_徐兴安

¹⁰ 黑龙滩水库污染源分析及治理措施浅谈_周晓刚

现这两个水库周边及入库河流的居民生活区尚未进行生活污水截污处理, 导致生活污水直排, 含磷洗涤剂及未经处理的居民生活污水直接排入水库成为磷超标的主要原因。

磷矿开采造成的磷污染

除了上述原因造成水体的磷污染外, 磷矿的开采及磷石膏的堆积也是部分水源地磷污染的成因。常近时¹²在分析乌江上游贵州段磷污染严重情况时指出, 由于乌江上游生产磷肥产生了大量磷石膏堆场, 这些堆场在长时间雨水淋溶的作用下, 可溶性磷通过渗漏, 溢流的方式汇集进入乌江干流, 导致乌江干流磷超标。而安徽巢湖也面临着类似情况。有研究指出¹³, 在巢湖北部为地质上的富磷区, 而离巢湖北部边缘约 20 公里处的桥头集镇密集分布较多的开采、冶炼等工矿企业。在富磷地带土壤中的磷由于风化作用溶解进入巢湖的基础上, 矿产开采造成的水土流失加速了磷向巢湖水体中溶解的速度, 在地质原因及人为工矿开采的双重压力下, 巢湖磷污染严重, 巢湖一二水厂水源地蓝藻常年聚集, 对巢湖市的饮用水安全影响巨大¹⁴。

上游河流输入造成水库型水源磷超标

由于湖库型水源地磷浓度限值明显比河流型水源地严格 (湖库型水源地磷浓度限值为 0.05mg/L, 河流型水源地磷浓度限值为 0.2mg/L)。一个水系中相互连接着的河流及湖泊在这个浓度标准差异下就会出现与水文自然状态不一致的人为要求。这种情况在湖库位于河流中游的尤为明显。当入湖河流水量大, 对下游湖库有明显水质影响时, 考核达标的河流所含的磷输入下游湖库, 也有可能造成下游湖库磷浓度超标。新余市江口-仙女湖水库就是一个典型例子。



图八 袁河与仙女湖水文关系及浓度限制差异

¹¹ 黑龙山水库水环境质量现状调查与分析_覃建强

¹² 乌江干流总磷污染的严峻形势与环保对策_常近时

¹³ 巢湖流域富磷地质区地表_地下水磷时空分布特征及磷源探究_吴忱

¹⁴ <http://www.ahwang.cn/hefei/20150806/1436877.shtml>

尽管对于进入仙女湖的袁河及仙女湖的考核要求都是Ⅲ类水，磷浓度限值间却存在着明显的浓度差异。由于仙女湖的水量 60%以上从袁河输入，导致袁河水水质对仙女湖水库水质起着决定性的作用，仅按照 0.2mg/L 的磷浓度限值对将要进入仙女湖的袁河段进行考核及保护，无法对仙女湖水源地的磷浓度控制提供有力保障。在这种情况下，根据下游湖库（如仙女湖）的浓度限制制定上游输入河流磷浓度考核标准并开展保护工作，才是解决湖库型水源地磷超标的关键。

矿产开采区域对地表水源地的影响

对比 2016 年-2018 年水源地超标情况，我们发现部分流域的水源地三年来受到同一种污染物影响或三年来受到的影响持续增强。而通过地理位置的归纳分析，可以发现受污染的水源地都集中在流域内的一个或多个河段，反映出了该流域某一特定河段的污染问题。是什么原因导致了这些流域内某河段的持续受到同种污染？

资江流域的锑污染典型分析：龙山矿区

资江流域的锑污染是这一类污染的典型。通过数据归纳（图九）我们发现，资江（含支流西洋江）是湖南省范围内水源地超标情况最严重的水系（西洋江龙潭水厂水源地于 2018 年第二季度开始停止更新），而锑是造成资江水系超标的唯一污染因子。



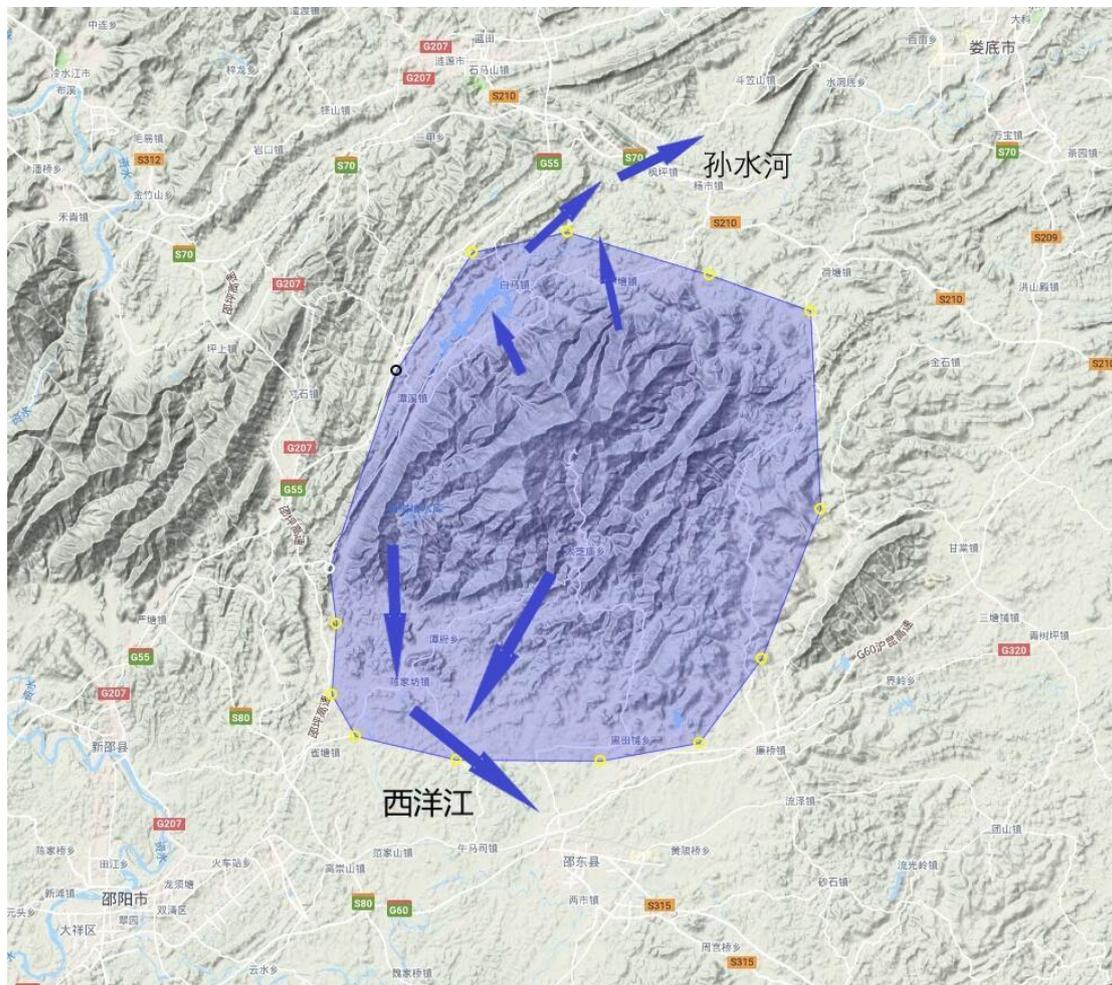
图九 湖南省各流域地表水源地超标月次累计及污染因子

胡亚琛¹⁵认为，资江流域内丰富的锑矿产资源造成流域锑污染的潜在风险，而诱发这个风险因素造成直接污染的，则是流域内矿区进行涉锑生产时的人类活动，包括：（1）采矿井巷废水；（2）矿渣及炉渣淋溶；（3）选矿排放废水；（4）尾矿库溢流废水。而当一个矿区富含上述四种风险因素，对于以这个矿区作为汇水区的小流域而言，就会受到持续的影响或面临极高的风险。位于湖南省邵阳市新邵县境内的龙山矿区就是一个典型的例子。

龙山矿区位于邵阳市新邵县，隶属于龙山林场，湘中地区规模最大的脉状金锑矿床所在

¹⁵ 流域锑污染如何综合防治_胡亚琛

区域。龙山矿区已经有 100 多年的开采历史，有较多的老窿、民窿（矿井排水坑）。在 20 世纪 80 年代末 90 年代初，这个矿区存在着大量的民采点，近年来民采现象基本杜绝，但是留下较多风险隐患¹⁶。该地区目前唯一一家采矿企业为新龙矿业有限责任公司，已经有锡矿开采尾矿形成的尾矿库¹⁷。同时，龙山矿区是资江支流-西洋江以及涟水河支流-孙水河的主要汇水区，西洋江及孙水河分别为邵阳市邵东县龙潭水厂及娄底市城区水厂的取水水源。



图十 以龙山矿区为汇水区两条河流的走向

从 2017-2018 年的水源地数据来看，邵东县龙潭水厂水源地所在的西洋江，以及娄底市大科石埠坝水源地所在孙水河的都受到锡的污染。其中，西洋江锡超标问题是一个持续多年的问题，而孙水河锡浓度超标记录是从 2018 年开始的。西洋江锡超标问题，长期影响着龙潭水厂水源地水质及邵东地区人民的用水安全。因此，邵阳县政府于 2017 年 5 月认定西洋江污染来源于上游，并向新邵县政府通报了这一情况¹⁸。这个情况与绿网于 2017 年进行的实地采样检测调查结果相符（根据绿网实地调查取样数据来看，我们认为锡污染是从西洋江东侧支流龙山河输入的）。

¹⁶ http://www.lvwang.org.cn/project/projectdetail?project_id=97478

¹⁷ <http://www.xinshao.gov.cn/c161/20180709/i68436.html>

¹⁸ <http://www.shaodong.gov.cn/Item/123847.aspx>



图十一 西洋江河流走向及 2 干流支流检测断面 2017 年 6 月镉的检测浓度¹⁹

针对这种情况，新邵县人民政府通报称 2017 年 9 月龙山矿区的新龙矿业及矿井涌水的已经建立了矿井污水集中收集设施并能达到稳定排放²⁰。然而从 2017 年年底至 2018 年第一季度的龙潭水厂镉水源数据来看，西洋江受到的镉污染并未有效得到控制，龙潭水厂水源地受到镉污染的最终解决方案为撤销水源地保护区并停止在西洋江取水。另一方面，尽管建立了污水处理设施，新龙矿业却在 2018 年 6 月 29 日发生了一次严重的废水外排事件。由于已经撤销了下游的水源地并停止公布监测数据，该事件是否对西洋江龙潭水厂断面产生较大影响不得而知，水源地的撤销是否会降低相关部分对西洋江水质的保护及治理力度同样值得思考²¹。

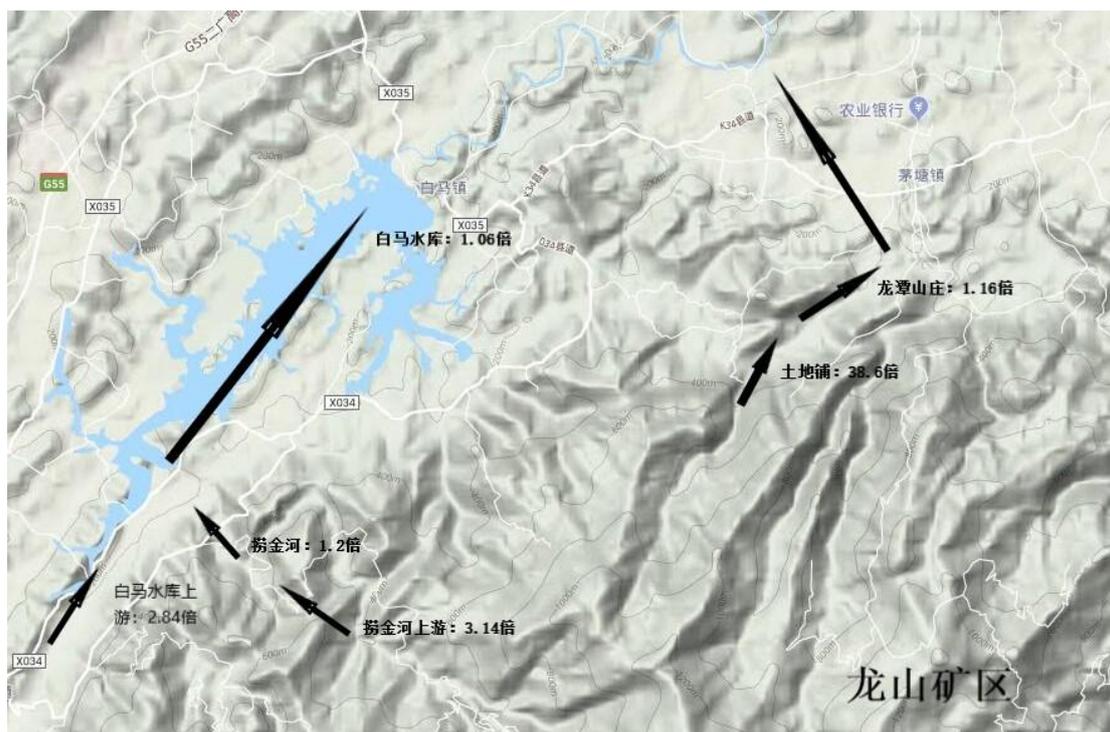
数据显示，娄底市孙水河受龙山矿区的影响是从 2018 年开始的。经调查，娄底市环境部门认为孙水河的镉超标主要来源于河流上游的龙山矿区。娄底市环保局分析污染成因时，除了矿区造成的孙水河本底值超标外，降水偏少、废弃矿井溢水及龙山峡谷漂流进行的河道改造被认为是孙水河镉超标成因²²。根据绿色潇湘于 2019 年的实地走访调查，发现龙山矿区部分支流的镉超标现象已经日趋严重。其中，发源于龙山矿区林场，流经土地埔（土地排）的无名溪流，在未经整治前镉超标 70 多倍，处理后溪水浓度仍超标 38 倍之多，但目前镉的来源尚未明确。

¹⁹ 该数据由广州绿网环境保护服务中心于 2017 年 6 月在邵东县西洋江流域各断面取水样交第三方机构检测所得

²⁰ <http://www.xinshao.gov.cn/c161/20171215/i37774.html>

²¹ <http://www.xinshao.gov.cn/c161/20180709/i68436.html>

²²



图十二 龙山矿区内孙水河各汇水支流断面 2019 年 3 月锑的检测浓度²³

龙山矿区对区内汇水形成的两条河流都造成了锑污染，而这种污染的来源可能来自于历史开采遗留的老窿、民窿，进行探矿活动或开采是遗留的废石渣堆场以及无法保持持续稳定运行的污水处理设施，任何一点发生的泄露都会将锑浓度极高的水进入下游水体。在龙山矿区水污染风险难以精确识别且不可控的情况下，下游水源地始终面临着锑污染的风险。而从孙水河 2018 年开始受到锑污染的情况来看，这种风险最终会转换为实质性的污染。那么，在我国其他开采历史长、储量大且作为流域汇水区的矿区，是否也会对下游河流及水源地造成影响？

松花江流域典型分析：夹皮沟矿区

水源地水质数据显示，2017 至 2018 年间，松花江吉林段一水厂至四水厂水源地陆续多次出现铁锰浓度超标的监测记录。

表五 松花江吉林段各水源地 2017-2018 年超标情况

市	河流	水源地名称	2017年超标记录							2018超标记录
			2月	3月	8月	9月	10月	11月	12月	1月、2月、3月、4月、7月、9月
吉林市	松花江	第一水厂水源	锰	锰	铁/高锰酸盐指数	铁	铁	铁	铁	铁
吉林市	松花江	第二水厂水源	锰	锰	铁/高锰酸盐指数	铁	铁	铁	铁	铁
吉林市	松花江	第三水厂水源	锰	锰	铁/高锰酸盐指数	铁	铁	铁	铁	铁
吉林市	松花江	第四水厂水源	铁/锰	锰	铁/高锰酸盐指数	铁	铁	铁	铁	铁

2010 年时，吉林市松花江段也出现了铁锰超标的情况。吉林省第二地质调查所在归纳

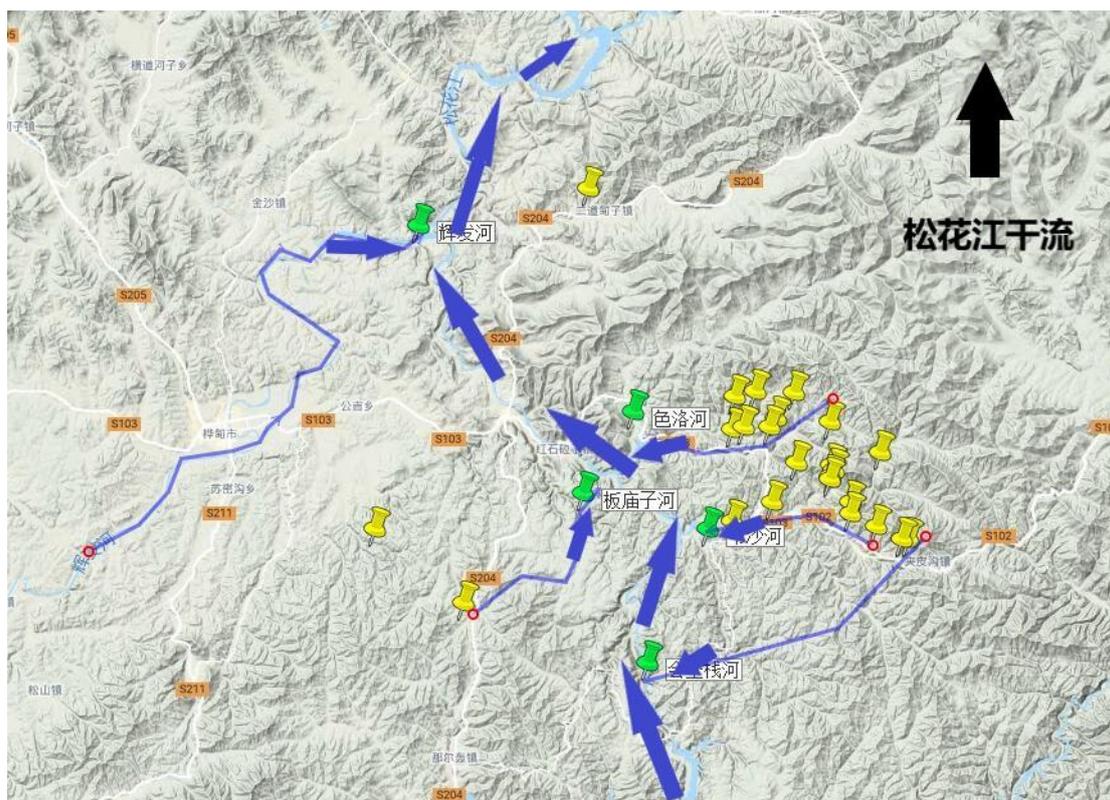
²³ 该数据由湖南省绿色潇湘环保协会 2019 年 3 月在新邵县孙水河龙山矿区汇水区各支流断面取水样检测并提供

松花江吉林段 2010 年的铁超标成因时认为该河段铁浓度超标与吉林省上游土壤有质量分数较高的铁有关，并发现在雨季，松花江吉林段上游各支流携带浓度较高的总铁（含铁离子及非可溶性铁）因大量水土流失进入松花江干流²⁴。当我们利用文中各松花江干流及各支流的总铁浓度监测数据与绿网尾矿库定位数据进行叠加比对发现，干流中总铁浓度上升的河段主要位于白山水库与松花湖水库之间。这个河段有多条总铁浓度较高的支流汇入，而这些支流的汇水区与尾矿库密集分布区几乎重合。这说明该区域开采活动众多，流经这个区域的径流将富含铁的土壤大量带入水体造成松花江干流铁污染。



图十三 松花江吉林段及上游干流各断面 2010 年铁浓度

²⁴ 第二松花江松原段水环境污染调查及研究_常峥



图十四 松花江吉林段及上游各支流走向及涉铁尾矿库分布
表六 松花江吉林段及上游各支流 2010 年铁浓度

松花江支流名称	可溶性铁 (mg/L)	总铁 (mg/L)
全会栈河	< 0.03 ~ 0.12	4.04 ~ 12.80
苇沙河	< 0.03 ~ 0.06	0.88 ~ 5.64
板庙子河	< 0.03	0.56 ~ 21.40
色洛河	< 0.03	0.37 ~ 3.64
辉发河	< 0.03	0.10-4.05

根据资料查找，我们发现该尾矿库密布的区域名为夹皮沟矿区，至今已有 189 年的开采历史。尽管夹皮沟在历史上以开采金矿著名，实际上这个地区富含黄铁矿及磁铁矿，铁矿储量为吉林省首位。由于多年来的开采经营活动，使得人们对该矿区的土壤污染状况普遍担忧。为此艾建超对于夹皮沟矿区土壤中的金属含量进行了来源解析，发现该矿区部分区域土壤重金属含量较高外，铁、锰、铜的浓度普遍较高。通过污染成因解析进一步指出，夹皮沟地区土壤中的金属主要来自于矿山开采、冶炼及矿石运输等人类活动²⁵。由于人类活动造成的水土流失加剧，如土壤中暴露的铁矿石，以及尾矿库中的铁矿渣，可能由多条支流携带铁质进入松花江，从而造成松花江吉林段持续加重的铁锰污染。

矿区开发造成流域污染共性分析

尽管龙山矿区及夹皮沟矿区造成流域性污染的具体成因仍未明确，但是这两个矿区都具有如下特性。

- (1): 矿区通常具备一定规模，且储量丰富。

²⁵ 夹皮沟金矿区土壤重金属源解析_艾建超

- (2): 矿区所在区域地质结构以山脉为主, 同时是所在流域的汇水区或支流汇水区。
- (3): 矿区有较长的开采历史, 有较多数量的矿井或矿洞, 以及一定数量的尾矿库。
- (4): 近年来仍有持续地质状况造成影响的人类活动。

当矿区符合上述 3 点特征时, 可以认为该矿区具有造成下游水源地污染的风险, 而无视这个风险的人类活动, 可能是造成水源地污染的诱因。

娄底市环保局发布的孙水河水源地污染成因分析中提出, 上游进行漂流项目建设, 河道改造是成因之一。根据这个分析, 我们找到了位于孙水河上游超标支流之一的淘金村进行改造的“淘金村美丽乡村建设项目”环境影响报告表。通过该报告表我们发现, 尽管建设项目名称为淘金村的美丽乡村建设, 实质为流经淘金村的捞金河漂流项目建设, 并对捞金河实施了河道改造工程²⁶。环评文件中对于捞金河的监测数据可以明确看出, 捞金河的镉浓度超过了集中式饮用水标准, 但该评价并未对捞金河的底泥进行进一步的监测评价。此外, 评价中明确表示项目建设期间将对地貌造成一定影响并造成水土流失, 但未对此行为对下游可能造成的影响进行评价。此前“龙山矿区矿产勘探项目”的环评文件中, 也明确指出在探矿过程中产生的废石渣及形成的堆场可能造成地表水的污染, 然而对于废石堆场的风险管理是否到位目前仍未明确²⁷。这些环评文件中所记录的矿区中的人类活动都对矿区中的地质结构产生了影响, 但是未评价这些影响可能带来的环境风险, 也无法明确建设单位是否对这些地质影响进行相应的处置或修复。

矿区由于开采历史长, 矿区地质因素复杂多样以及矿区水文条件的不确定性, 河流所在地区的环保部门似乎缺乏对于龙山矿区的有效管理, 造成了发现一处治理一处, 治理不成就放弃的被动局面, 而这种情况已经对部分地区的总体供水情况产生了影响。

流域性污染造成的供水影响

当影响该流域的污染物无法通过水厂安全处理完全达标的时候, 水厂可能被迫放弃所有该河流的水源地, 而由于被放弃的河流是相应城市的唯一主要供水来源, 这个地区就会面临造成水质性缺水。实际上, 由于镉的污染不断加重, 湖南省多个地区已经陆续放弃受到污染的水源地。

表七 湖南省因镉污染撤销的水源地清单

地级市区	水源地名称	水源地河流	水源地撤销或取水口关闭时间	水源替换方式
邵阳市邵东县	龙潭水厂	资江 (西洋江)	2017年12月30日	调用另外河道水源
益阳市安化县	城北水厂 ²⁸	资江	2018年10月29号	在支流上游修建水库
永州市东安县	新屋	紫溪河	未关闭	湘江引水工程
永州市东安县	东安县水厂 (高岩水库) ²⁹	紫溪河 (高岩水库)	未关闭	湘江引水工程

²⁶ <http://www.xinshao.gov.cn/c163/20180621/i67338.html>

²⁷ http://www.lvwang.org.cn/project/projectdetail?project_id=97478

²⁸ http://sthjt.hunan.gov.cn/xxgk/zdly/wrfz/swrfz/201810/t20181030_5151326.html

²⁹ http://www.sohu.com/a/292723212_774261

矿区造成水源地流域性污染的保护建议

矿区一旦对水源地造成的影响将会是流域性的，持续性的，并且无法通过取水口上移等方法获取干净用水，所产生的污染也无法通过等待河水流动更新的方式而去除。因此防治矿区造成的水质污染是对可用水资源的保护至关重要。在新修订的《饮用水水源保护区划分技术规范》³⁰中，明确提出了识别水源地上游密集污染源的概念，从而对这一类区域进行管控的概念。建议将这个概念进一步深化，根据目前分析的矿区污染成因，提出如下建议：

- (1) 建议除了划定水源保护区外，针对在上游能够识别出密集污染风险源的水源地，划定水源风险管控区。风险源的识别不仅仅包括已建成项目，还应当包括停产项目中可能造成水污染而未进行有效处置的部分。
- (2) 划定的风险管控区中建设项目进行环境影响评价时，应当评价项目建设及运行可能对下游流域及水源地造成的水质影响。
- (3) 由于矿产的开采除了产生废水的直接排放及尾矿库外，往往也使得该区域地质变得脆弱，因此将这一类矿区优先识别为风险管控区，在这个区域中的建设项目还应该重点评价项目建设及运行造成的地貌变化对下游水质可能产生的影响。

除了湖南省新邵县龙山矿区、吉林省桦甸市夹皮沟矿区外，全国范围内还有6组矿区与流域性污染（含水库）呈对应关系，建议在可能造成下游水源地流域性超标的矿区建立管控区试点。

表八 受到上游矿区污染风险较高水源地名称、流域及对应污染物

省份	流域及河段	矿区名称	受影响水源地名称	污染因子
贵州	乌江开阳至铜仁段	贵州开阳磷矿区	思林电站/河西水厂	磷
湖南	资江安化至洞庭口	安化渣滓溪矿区	安化县城北水源地/ 桃江县水源地/龙山 港水源地	锑
湖南	紫溪河东安段	东安黄泥洞锑矿区	东安县水厂（高岩水 库）/新屋	锑
安徽	淮河阜阳至淮南段	安徽霍邱铁矿矿区	蚌埠闸上/淮南凤台 水厂水源地/淮南李 咀孜水源地/淮南袁 庄水源地/淮南第四 水源地	锰
辽宁	大清河上游石门水库 段 ³¹	后仙峪矿区	石门水库	硼
辽宁	乌金塘水库 ³²	钢屯镇钼矿区	乌金塘水库	钼

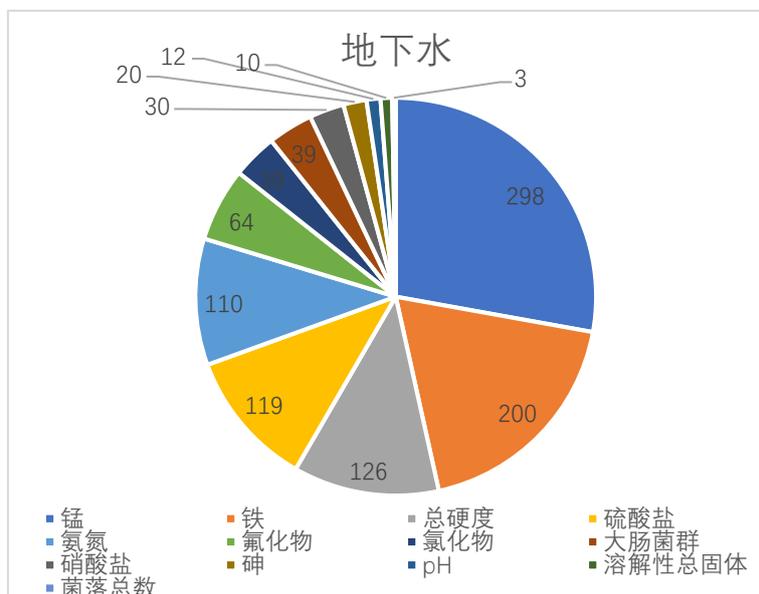
³⁰ http://kjs.mee.gov.cn/hjbhzbz/bzwb/jcffbz/201803/t20180321_432813.shtml

³¹ <https://www.mining120.com/news/show-htm-itemid-139238.html>

³² 针对葫芦岛市乌金塘水库水质钼污染状况防治对策中倡导绿色 GDP_薛力群

四 地下水源地受到的主要污染成因分析

地下水的超标因子中，铁、锰、总硬度、硫酸盐、氨氮、氟化物、氯化物，大肠菌群、硝酸盐等 9 项因子在 2018 年在全国各地下水源地累计超标 1025 次，占各项污染因子总累计超标次数的 96%。



图十五 2018 年地下水源地各超标因子累计比例

地下水超采、化肥农药的施用、污水直排、污水灌溉、垃圾倾倒等人类活动却是这些超标因子浓度升高的主要原因。比如沿海地区的地下水超采会引起海水倒灌，增加氯化物和总溶解性固体的浓度³³。内陆地区的地下水超采引起的水位下降会改变地下的氧化还原环境和离子间的化学平衡，进而增加铁、锰、钙等在地下水中的浓度³⁴。污水直排、污水灌溉后渗入地下，垃圾淋滤液渗入地下，这些对地下水质的影响则更为直接。

在常见的地下水超标因子中，氨氮和硝酸盐超标则基本上是由于人类活动引起的。农业生产地区，人畜粪便、化肥农药的施用、污水灌溉是造成氨氮和硝酸盐升高的主要原因；城市建成区及周边则可能由工业和生活废水排放、垃圾倾倒引起。氨氮对人体没有直接的危害，但它可转化为硝酸盐，而硝酸盐在人体内可能转化为亚硝酸盐，而亚硝酸盐对人体健康是有较大影响的，可能引起蓝婴症、高铁血红蛋白血症、癌症等。

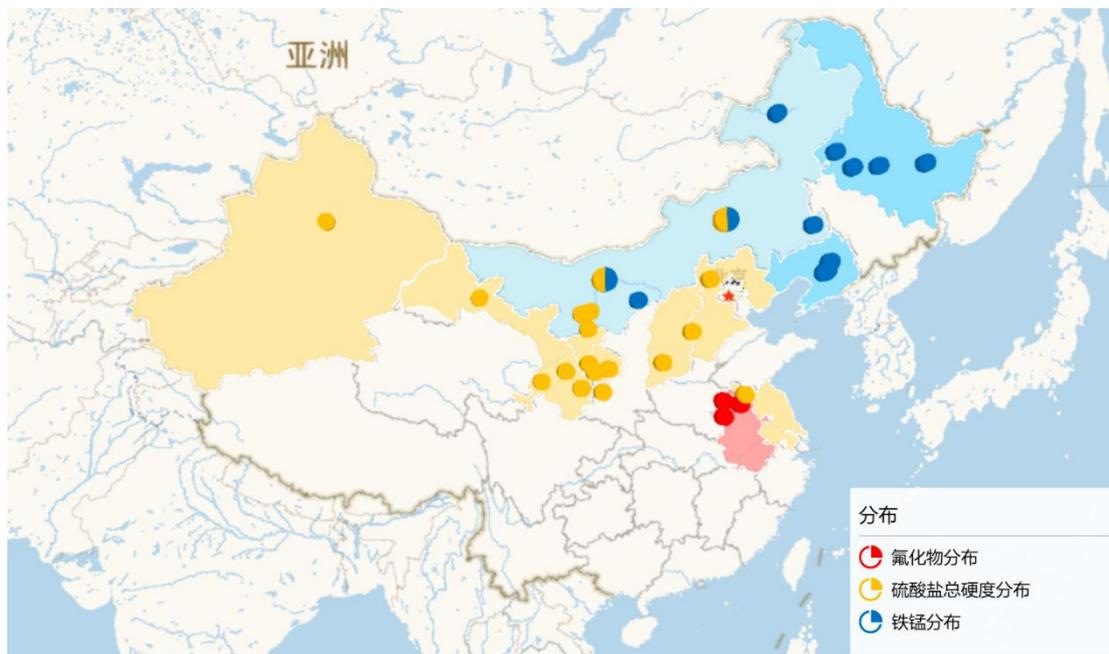
地下水源地污染的地质因素

通过归纳超标水源地所在地区的研究我们可以发现，铁、锰、总硬度、硫酸盐、氟化物、氯化物等 6 项污染因子与水源地所在地区的地质条件相关性较强。当水源地所在地区地层中土壤中富含如黄铁矿、硫酸钙（石膏）、硫酸镁、及伴生的锰矿等矿质结合物时，这些矿物容易受到于水中酸碱度的改变及氧化还原环境的改变溶入地下水，导致相应离子浓度升高造成水源水质恶化。由于前 5 种超标因子更为常见，并且铁/锰超标，硫酸盐/总硬度超标在地质化学构成中有较强的相关性，我们将由地质因素引起的水质超标归纳为铁锰型超标，硫酸

³³ 蚌埠市区浅层_中层地下水硬度_氯_省略_硫酸盐_溶解性总固体增高机理探讨_吴旭东

³⁴ 西安市临潼区地下水水质调查与评价成果分析_马艳

盐-总硬度型超标及氟化物型超标。我们发现这三种类型超标的水源地在全国不同地区的分布情况如下（该区域某色系颜色越深代表该类型超标程度越深）：



图十六 铁/锰、硫酸盐/总硬度、氟化物三种污染类型水源地全国分布

从图中我们可以发现，这三种类型的水源地超标呈现出明显不同的地带分布，主要地带有：

我国东北地区的三江平原及内蒙古东部平原为地下水源铁—锰型超标高发区。这个地带铁锰矿储量丰富，地下水化学类型主要离子组合为 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Na}^{35}$ 。

我国西北地区的鄂尔多斯盆地及晋陕盆地（河套平原及汾渭平原以南盆地）地下水硫酸盐—总硬度超标高发区。鄂尔多斯盆地是一个由不同含水系统构成的大型地下水盆地，盆地内富含煤炭、石油资源，地下水主要离子组合为 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ ； $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ ； $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na-Mg}$ ，硫酸盐浓度较高³⁶。

我国淮北平原为地下水源氟化物超标高发区。然而有研究指出，淮北平原的地下水化学离子组合中，氟离子浓度并不突出，同时从氟超标水源地的地理空间分布来看，这些地区并不连贯。从污染成因看，地质因素也不是造成淮北平原地下水氟化物的主要成因。淮北平原地区地下水的氟超标，是工矿企业排放废水造成的土壤氟污染、萤石矿的开采直接造成的³⁷。

因此我们可以认为东北三江平原、内蒙古东部平原以及西北地区的鄂尔多斯盆地及晋陕盆地才是地质因素造成地下水源地超标的高发区。尽管地质因素意味着水源地中的污染物主要来源于地层中矿物的释放，但是这是否意味着人类活动对此毫无影响？答案是否定的。

通过分析 2016 年至 2018 年上述两个地带的各地级市对应污染类型的污染程度[表九、表十：表中数值为当年地级市受到对应污染物影响倍数=（当年超标倍数累计+当年发布水源地数量×12）/（当年发布水源地数量×12）-1]，我们发现东北平原地区有多个城市的水源地铁锰污染程度三年来持续上升，同时西北盆地地区有多个城市的水源地硫酸盐总硬度污染程度呈现相同状态。

表九 2016-2018 年各地级市水源地铁/锰超标程度对比

³⁵ 中国东北松嫩平原地下水水化学特征与演变规律_章光新

³⁶ 鄂尔多斯盆地地下水资源与开发利用

³⁷ 安徽淮北平原浅层地下水水质特征分析_许光泉

铁/锰超标倍数对比				
省	市	2016年	2017年	2018年
黑龙江省	佳木斯市	35.542	48.933	57.986
内蒙古自治区	呼伦贝尔市	23.425	14.775	20.281
黑龙江省	绥化市	5.863	10.591	13.400
辽宁省	辽阳市	7.508	9.433	12.717
黑龙江省	齐齐哈尔市	3.802	8.571	8.590
内蒙古自治区	通辽市	1.882	3.918	4.536
内蒙古自治区	锡林郭勒盟	2.083	2.588	4.271
辽宁省	鞍山市	3.372	1.561	3.917
黑龙江省	大庆市	0.131	3.145	1.187
辽宁省	沈阳市	0.299	0.006	0.199
内蒙古自治区	巴彦淖尔市	2.408	3.175	0.058
河南省	郑州市	0.016	0.000	0.014
陕西省	西安市	0.082	0.000	0.000

东北三江平原及内蒙古东部平原片区的地级市中，目前铁锰超标最为严重的地区为佳木斯、呼伦贝尔、绥化、辽阳、齐齐哈尔及通辽。而我国西北地区的鄂尔多斯盆地及晋陕盆地的地级市中，天水市、定西市、庆阳市，平凉市，宁夏的固原市、石嘴山市，山西的临汾市、阳泉市的总硬度、硫酸盐浓度持续上升。其中，庆阳、固原、临汾、天水、定西的超标情况最为严重。这两个地区的地下水水质有着呈片区持续下降的阶段。那么，有什么原因造成了这些水源地所在地区的地质向地下水持续释放污染物？有众多研究表明，地下水的过量开采可能是主要原因。

表十 2016-2018年各地级市水源地铁/锰超标程度对比

总硬度/硫酸盐超标倍数对比				
省	市	2016年	2017年	2018年
甘肃省	庆阳市	1.158	1.179	0.860
宁夏回族自治区	固原市	0.287	0.160	0.775
山西省	临汾市	0.000	0.381	0.449
甘肃省	天水市	0.312	0.247	0.374
甘肃省	定西市	0.000	0.202	0.242
宁夏回族自治区	石嘴山市	0.146	0.549	0.231
新疆维吾尔自治区	乌鲁木齐市	0.001	0.062	0.109
山西省	阳泉市	0.053	0.080	0.097
内蒙古自治区	锡林郭勒盟	0.000	0.013	0.088
内蒙古自治区	阿拉善盟	0.000	0.000	0.034
河北省	张家口市	0.002	0.000	0.026
陕西省	宝鸡市	0.015	0.000	0.011
安徽省	宿州市	0.000	0.000	0.010
甘肃省	平凉市	0.012	0.018	0.010
甘肃省	酒泉市	0.000	0.011	0.005
江苏省	徐州市	0.000	0.000	0.004
甘肃省	甘南藏族自治州	0.012	0.000	0.003
宁夏回族自治区	吴忠市	0.000	0.000	0.002
河南省	安阳市	0.113	0.058	0.000
河南省	平顶山市	0.000	0.028	0.000
河南省	新乡市	0.000	0.020	0.000
陕西省	咸阳市	0.010	0.011	0.000
内蒙古自治区	乌海市	0.007	0.000	0.000

地下水过量开采带来的影响

地下水水位变化导致地下水中化学性质的变化被广泛研究。较多研究表明，某个地区的地下水水位下降，会形成区域性的地下水漏斗，漏斗的形成加快周边地下水向该地区地下水的流速，将周围地区的可溶物被带入地下漏斗所在地区³⁸；另外，地下水层的下降使得地下水含氧量降低，从氧化状态改变为还原状态，同时水中的离子浓度增加，造成地层中矿物的溶解度增加³⁹。在这两个因素的双重影响下，某一地质带富含的矿物离子及阴离子向地下水水位下降地区富集，造成该区域地下水水质污染⁴⁰。

有研究表明，我国东北地区的三江-嫩江-辽河平原的地下水超采严重的地区。由于地表水资源已经受到污染，东北地区的生活生产活动严重依赖地下水资源。东北地区的地下水的年开采量从上世纪 80 年代至 2016 年增加了 3 倍左右，达到了该地区全年用水量的 46%。多年的开采已经造成了部分地级市的地下水水位明显降低。水利部水利水电规划设计总院及水利部松辽水利委员会水文局通过对于 2001 年至 2017 该地区各地下水水位变化数据后指出，东

³⁸ 松辽平原西部严重缺水地区地下水赋存规律研究_贾伟光

³⁹ 甘肃省地下水超采区环境地质问题与保护对策_崔涛

⁴⁰ 齐齐哈尔市区地下水超采引发的环境问题与对策_陈玉春

北地区的超采区主要分布在松嫩平原中部、辽河平原西部、松嫩平原北部及辽河平原滨海地区。其中，绥化市，佳木斯市，通辽市的浅层地下水位下降最为显著。

佳木斯环境保护监测站对于佳木斯地下水超采造成的影响进行了分析，明确指出佳木斯地下水的过量开采，在水源地一带形成了地下水漏斗，使得周围地下水向水源地方向的流速加快，导致铁锰离子在水源地水中富集，导致水源地中铁锰离子的浓度持续提升⁴¹。齐齐哈尔水务局在 2005 年时发表的文章明确指出，由于早年过量的开采地下水，齐齐哈尔市区地下水厂所在区域早已形成地下水的降落漏斗，2005 年时地下水的补给及开采勉强处于平衡状态，进一步的过量开采将会造成水质的持续恶化。辽阳市环境监测站在 2005 年时的研究同样发现，辽阳市的超采片区与地下水铁锰超标片区高度重叠。可以认为，东北地区的地下水超采地区地下水水质普遍下降，以铁离子及锰离子浓度上升为主要特征⁴²。冯海波在呼伦贝尔地下水系统的研究中，通过对地下水位及水质的结合分析，认为呼伦贝尔地下水位的下降造成了地下水 PH 值的降低及 SO_4^{+} 的增加，导致该地区煤层中的黄铁矿溶解度增加，造成地下水中铁离子浓度持续升高。同时指出，呼伦贝尔露天煤矿的开发及矿井排水，造成大量地下水流失，地下水位的显著下降⁴³。

2019 年，水利部水利水电规划设计总院及水利部松辽水利委员会水文局总结了东北地区地下水超采严重的成因⁴⁴。

(1)：近年来东北地区地下水开采量大幅上升。1980 年至 2016 年间，我国东北地区地下水开采量从 89 亿立方上升至 322 亿立方。

(2)：目前，部分企业，如大庆市，松原市，盘锦市的石油开采企业仍在使用深层承压水用于油田生产。

东北平原地区的地下水超采及其引起的水质问题已经有较多研究证明，而目前仍然处于超采状态或地下水位下降严重的地区与该地区地下水源地持续下降的状态表现出了比较明显的关联性。

由于我国西北地区地表水资源的缺乏及对地下水的依赖，甘肃省南部也是地下水超采严重的区域，主要的超采地区为定西市的安定-香泉盆地，庆阳、平凉构成的陇东盆地以及天水的河谷盆地。在甘肃省公布的超采片区划定中，认定定西、庆阳、平凉、天水市地下都形成了一定规模的地下水超采区，其中定西市的地下水存在一定规模的严重超采区⁴⁵。

甘肃省兰州水文水资源勘测局在对于定西市的香泉地区地下水研究中明确指出，2003 至 2010 年间该地区的地下水处于严重超采状态。香泉盆地的地下水水位下降，地下水层中的含盐量上升，导致水质恶化⁴⁶。甘肃省地质调查院于 2005 通过对庆阳市地下水化学分析及分布特征指出，庆阳市所位于的陇东盆地地层同样富含石膏等硫酸盐，非常容易在地下水中浓缩富集，地下水位的下降容易造成有硫酸盐浓度上升引起的水质下降⁴⁷。在邻近甘肃省盆地的宁夏自治区固原市，同样有研究者对于固原市地下水硫酸盐、总硬度超标现象的研究中进一步指出，固原市的土层中富含石膏、芒硝等易溶盐，阳离子主要为钙离子及镁离子，阴离子为重碳酸根例子及硫酸根离子，由于地下水超采水位下降导致含水层变薄，地下水中的电解质增加将会增加土层中石膏、芒硝等的溶解度，造成总硬度，硫酸盐的持续上升⁴⁸。

事实上，早在 2003 年就有研究指出，我国海河，黄河，松辽，淮河流域地下水的超采

⁴¹ 佳木斯市水源地源水铁、锰含量超标的原因分析_王岚

⁴² 辽阳市地下水超采区水资源状况及治理保护_胡国军

⁴³ 内蒙古呼伦贝尔草原露天煤矿区地下水系统演化研究_冯海波

⁴⁴ 东北地区地下水超采情况及对策建议_于丽丽

⁴⁵ http://www.gansu.gov.cn/art/2016/1/14/art_4785_261126.html

⁴⁶ 内官_香泉盆地地下水资源及其开发利用状况探讨_任东

⁴⁷ 陇东盆地地下水水化学特征分析_刘心彪

⁴⁸ 固原市地下水污染调查评价_陆雯婷

现象严重⁴⁹。而从 2015 年开始，各省地方政府陆续明确划定省内的超采片区，并确定地下水超采区内的限采区域及禁采区域。超采区的探明及限采区、禁采区的划定，是对地下水源地水质保护的有力保障。然而，由于超采引起的地下水水质恶化仍在我国部分地区大面积持续发生，这些地区地下水源地水质恶化就是一个具体的体现。因此我们建议：

(1)：山西、辽宁、吉林及黑龙江四省尽快完成超采区的勘定及限采、禁采区的划定并向社会公布。

(2)：相关部门严格执行除生活饮用水外对于深层承压水的开采使用。如大庆油田，松原油田，盘锦油田目前仍在利用深层承压水进行油田开采。

(3)：部分省应该结合部分地区可用水量及地下水环境容量及地址特征划定地下水限采区及禁采区。建议宁夏回族自治区政府应该增加划定固原市及石嘴山市作为地下水限值开采区⁵⁰。

矿产开采对于地下水源地的影响

通过关联水源地数据及水源地分布地区发现，我国地下水硫酸盐超标地区广泛，并且普遍分布在煤炭资源丰富的地区。除了集中在甘肃-宁夏盆地外，也分布在山西阳泉、临汾，山东枣庄，江苏徐州、宁夏吴忠、河北张家口市及内蒙古的锡林郭勒盟、鄂尔多斯。近年来，分别有研究者对于枣庄、阳泉、锡林郭勒盟及鄂尔多斯地下水硫酸盐污染成因的分析，为我们揭示了煤炭开采造成地下水硫酸盐污染的多种不同途径。

阳泉市娘子关泉域管理处对于阳泉市地下水源地水质恶化的成因分析中指出，娘子关泉流域上游煤炭层的开采影响了下游地下水，包括地下水源地水质。阳泉市经济发展依赖于对于煤炭的开采开发，以采煤废水为主的废水首先进入地表水河道，通过下渗进入地下水，从而造成了娘子关水源地污染。根据监测数据，主要造成地下水水质污染的因子为硫酸盐，总硬度及 TDS，而对于地表径流的监测数据表明，2003 年-2013 开采力度最大的南川河上述污染物的大幅度增长，地下水源受到上游煤炭开采污染的证据显著⁵¹。中国地质大学用同位素示踪法分析枣庄市地下水硫酸盐的来源时也发现，市区的工矿企业矿坑排废水进入地表水径流，而地表水径流的下渗是枣庄市地下水硫酸盐超标的主要成因⁵²。王军涛在对于煤矿矿坑造成地下水污染的成因中指出，尽管部分煤矿矿山不含有石膏层，但是富含的黄铁矿富含的硫化物在矿山闭坑后在矿井水中充分反应氧化，会形成硫酸盐向水中释放，矿坑废水的硫酸盐逐步上升；同时由于矿山的开采在当地的当地地表及地下水层间留下大量通道，矿坑废水就会下渗产生串层污染⁵³。

由于煤炭能源仍是我国主要能源来源，煤炭开采业分布广泛且在部分地区规模极大，而受煤炭开采影响地下水水质下降的地区分布广范。鉴于煤炭开采量大，历史较久的地区地质构造已经非常脆弱，建议识别出这些地区并划定为环境风险区域，对可能造成地质、水文变动的建设项目，建立以水源地保护为出发点的、更为审慎的评价标准。

⁴⁹ 全国地下水超采区现状与治理对策_毕守海

⁵⁰ http://www.nx.gov.cn/zwgk/qzfwj/201801/t20180115_668820.html

⁵¹ 娘子关泉域径流_排泄区岩溶水污染特征及成因分析_霍建光

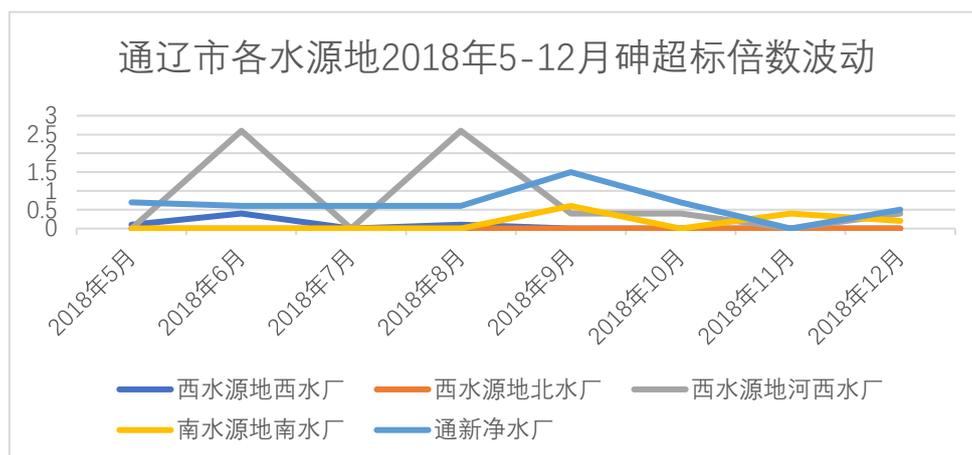
⁵² 水化学和环境同位素在示踪枣庄市南部地下水硫酸盐污染源中的应用_马燕华

⁵³ 淄川煤矿矿坑排水对水质特征影响与串层污染防治研究_王军涛

标准修订暴露的通辽地下水砷超标及成因分析

2017年，我国修订了《地下水环境质量标准》，并于2018年5月开始执行。其中值得关注的是集中式饮用水源地中砷的浓度限值从0.05mg/L修订为0.01mg/L，与生活饮用水卫生标准中砷的限制保持一致，为地下水水质保护提供了标准依据。

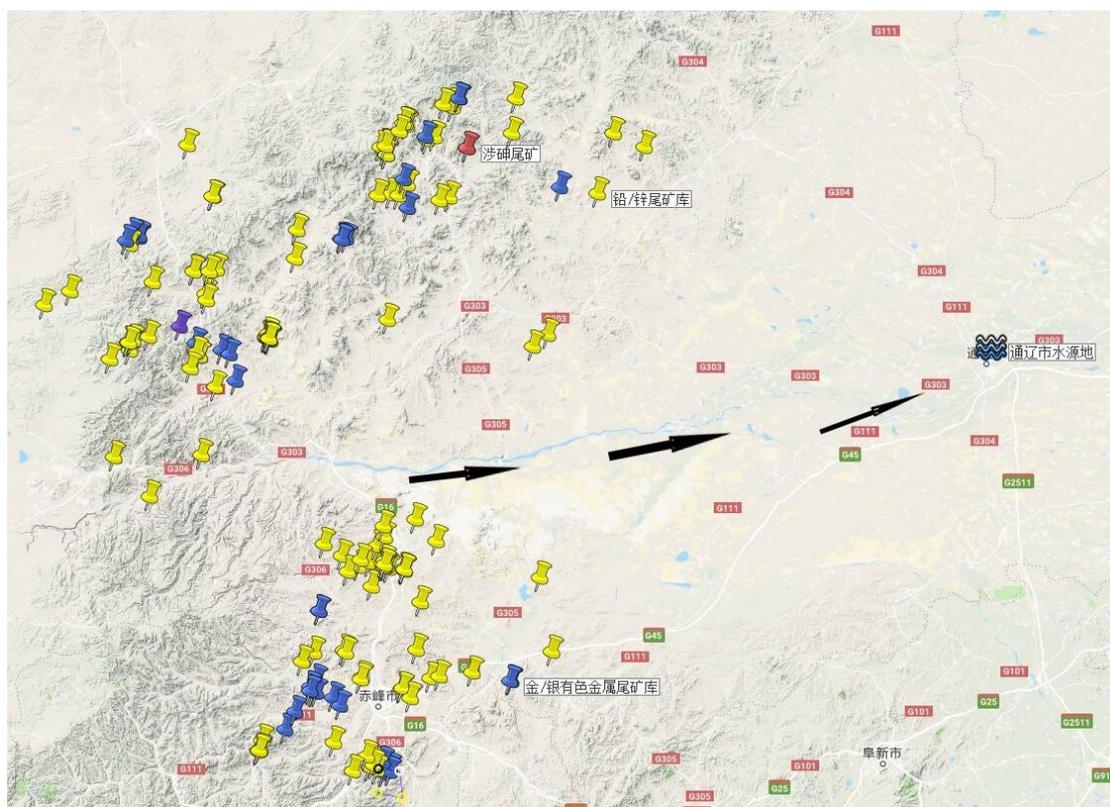
新规开始执行后，通辽市的集中式饮用水源开始出现砷超标记录，多个水源地的砷浓度在一定范围内波动，其中通辽市西水源地河西水厂2018年8月砷超标倍数最高达到2.6倍。



图十七 2018年5月至2018年12月通辽市各水源地砷超标倍数变化趋势

目前，尚未有相关部门公布通辽市地下水砷污染成因，然而从相关研究中我们可以发现，通辽市确实存在着造成地下水中砷超标的风险。

(1)：通辽市区水源地为集中分布在西辽河两岸，由于西辽河水的下渗及侧向补给，地下水源地中的污染物容易向通辽的地下水层扩散。西辽河上游两岸分布大量尾矿库(158座)，其明确含砷的尾矿库1座，有色金属中金尾矿库33座，银尾矿库12座。由于西辽河上游红山山脉富含金、银等有色金属矿产资源(图中黄色标签为铅、锌、煤尾矿库；蓝色标签为金、银尾矿库；红色标签为矿砂含砷尾矿库)。



图十八 通辽市水源地及上游矿产开发区位置关系图（尾矿库标注展示）

近年来西辽河上游矿山受到了持续的开发。李艺通过对我国的有色金属矿产开发情况研究后指出，我国各类有色金属矿产中，金矿和银矿往往伴生一定砷矿资源。但是由于大部分矿砂中砷含量品位较低，往往随选矿堆积在尾矿库中⁵⁴。从位于这个地区的内蒙古黄岗矿业有限责任公司开采铁矿项目的环境影响评价中我们可以发现⁵⁵，尽管通过砷处理车间对矿井涌水进行处理，处理后排放的废水含砷浓度最大日均值仍达到 0.04mg/L。由于地表水中 3 类水砷的限值为 0.05mg/L，因此判断为达标排放。由于西辽河上游数量众多的有色金属尾矿溢流及矿井废水长期排放最终进入西辽河，将会造成西辽河砷浓度较一般地表径流要高。对于辽河流域的砷生物毒性评价中，也发现西辽河上游通辽至双辽市段的三价砷浓度明显高于辽河其它支流，同时超过了水生生物慢性中毒的暴露限值⁵⁶。

(2)：污水处理厂中的含砷废水可能通过回灌进入地下水。有研究指出，由于通辽市地表水资源缺乏，当地农业从业者从 20 世纪 80 年代开始至 2012 年都在持续使用污水处理厂排放污水进行灌溉。研究检测位于用于灌溉二道河灌区的通辽碧波水务及通辽经济开发区污水处理厂潘芳的污水，发现经开区污水处理厂排放污水中砷浓度为 0.0078mg/L，接近生活饮用水卫生标准与地下水质量标准中 3 类砷的浓度限值，同时发现，长期使用工业废水进行灌溉的二道河灌区土壤中的重金属污染显著高于其他灌区。二道河灌区与通辽地下水源地同位于科尔沁区，长期大量的时候使用含砷废水进行农业灌溉，可能造成土壤中砷的富集⁵⁷。而同时有研究标明，土壤中的铁锰化合物含量较高的情况下，如果氧化还原环境发生变化，会形成离子组分更活泼的二价铁及二价锰离子，这些离子会将吸附在其表面的砷及砷的化合物随之进入地下水。通辽市属于地下水铁锰离子严重超标地区，可能因为这个原理导致

⁵⁴ 有色金属矿山砷污染对生态环境的影响及其治理分析_李艺

⁵⁵ http://www.lvwang.org.cn/project/projectdetail?project_id=1697

⁵⁶ 不同形态的砷水生生物基准探讨及在辽河流域的初步应用

⁵⁷ 通辽市灌区土壤重金属污染现状及评价_于晓华

了土壤中积累砷向地下水转移⁵⁸。

尽管无法判断通辽市区水源地所在地区地下水砷的主要来源,但是从该水源地砷浓度现状看来,该水源地环境容量已经突破上线,将会对通辽市区供水安全造成非常大的压力。从这个角度考虑,建议加强对西辽河及上游重金属浓度的监测,找到造成砷等重金属污染环境风险区,加强可能导致砷进一步进入水体环境的管控。另外,建议限制污水灌溉量或取消污水灌溉,避免地下水及周边土壤中受到重金属的二次污染。

五 水源地污染对供水安全的影响

我们日常使用的自来水都是取自各城市水源地,加以处理输送到各家各户的。因此,水源地水质的超标,意味着来自水源地的污染物可能输送到自来水中,从而影响我们的日常生活。我们通过整理全国各级水行政部门及卫计委部门会对其管辖的出厂水、管网水及末梢水进行抽样检测,并公开的水质信息,发现这个影响确实存在。

通过整理水源地超标所在地级市卫生部门发布的末梢水水质检查结果,其中27个地级市无法找到信息发布网站或监测报告,32个地级市发布的监测信息无不合格项目,另外有22个地级市卫生部门发布在对于末梢水检查中一个或多次指标超标的监测记录。

表十一 超标水源地所在地级市的供水安全情况

省	安徽	超标月份	水源地超标污染因子	超标水源地类型	末梢水超标月份	超标项目
安徽	阜阳	4.5.6	氟化物	地下水	2、3、4季度	氟化物
甘肃	酒泉	1,2,3,7,8,9	硫酸盐	地下水	1、2、4季度	菌落总数, 硫酸盐
甘肃	天水	4,5,6,7,8,9	总硬度/硫酸盐/氯化物	地下水	1、3、4季度	总硬度
甘肃	庆阳	1,2,3,7,8,9,	总硬度/硫酸盐/氯化物	地下水	4季度	硫酸盐, 钠
黑龙江	大庆	全年	铁/锰/氨氮	地下水	全年	二氧化氯含量低、铁、锰
辽宁	辽阳	全年	锰	地下水	全年	色度, 浑浊度, 肉眼可见物, 铁, 锰, 硝酸盐
内蒙古	通辽	全年	铁/锰/氨氮/砷	地下水	5月抽查	锰
宁夏	固原	全年	硫酸盐/氯化物/总硬度	地下水	1、3季度	总硬度, 菌落总数
安徽	亳州	全年	氟化物	地下水	4季度	耗氧量, 细菌总量

⁵⁸ 江汉平原地下水中氮素与砷迁移富集的相关性研究_熊峰

安徽	淮南	1,2,7	锰	地表水	1、3 季度	三氯甲烷, 铁、菌落总数
广西	北海	1,2,3,4,5,6,7,8,9	ph	地表水	2 季度	菌落总数
广西	防城港	1,2,3,7,8,9	磷	地表水	2、3 季度	总大肠菌群, 耐热大肠菌群菌落总数
广西	崇左	7,8,9	铁	地表水	3 季度	菌落总数
湖南	张家界	1	磷	地表水	2 季度	铝
河南	郑州	1,3,5,6,11,12	铁/锰/砷	地表水	7 月、11 月抽查	游离氯, 菌落总数
辽宁	营口	1,2,3,4,5,6,7,8	硼	地表水	2、3、4 季度	菌落总数, 硝酸盐
辽宁	葫芦岛	全年	钼	地表水	2、3、4 季度	总硬度、硫酸盐
宁夏	石嘴山	1,2,3,4,5,6,7,8,9,	总硬度/硫酸盐	地下水	12 月抽查	浑浊度, 二氧化氯, 总大肠菌群
安徽	蚌埠	1,2	锰	地表水	2、3、4 季度	感官性状、一般理化指标、消毒剂指标、毒理指标
广西	玉林	7,8,9	磷/五日生化需氧量	地表水	2 季度	浑浊度, 耗氧量, 菌落总数, 总大肠菌群, 耐热大肠菌群, 大肠埃希氏菌
湖南	株洲	7,8,9,	铊	地表水	4 季度	菌落总数

总硬度、硫酸盐、铁、锰、浑浊度、菌落总数及大肠菌群六个项目为末梢水超标的常见指标。表中标红城市的水源地 2018 年超标项目及超标时间与末梢水抽检超标项目及时间两项信息都能匹配（考虑到部分水厂从水源地取水后可能会进入蓄水设施暂时储存，因为将水源地监测超标时间与末梢水的相应后一个时间段的超标信息视作时间上的匹配）。通过时间上及污染项目上的直接匹配，可以认为这些城市的水源地污染物有较大的可能性直接影响当地的供水水质安全。

还有 6 个城市符合上述特征而未在卫计委及相关网站上公开末梢水水质信息，建议当地卫生部门尽快开展相应的水质监测并主动公开该信息（表 12）。

表十二 地下水污染较严重并且未公开供水监测信息地区清单

省	地级市	水源地类型	水源地超标时间	超标因子
北京	北京（房山区）	地下水	1,2,3,4,5,6,7,8,9	总硬度
甘肃	定西	地下水	全年	总硬度/硫酸盐氯化物
广西	北海	地下水	全年	ph
黑龙江	佳木斯	地下水	全年	铁/锰
辽宁	鞍山	地下水	全年	锰
新疆	和田	地下水	1,2,3,	总硬度

六 全国水源地保护整治建议

我们的水源地面临着什么样的问题，应该怎么解决？

为了解决水源地污染的问题，2018年，环境保护部、水利部印发了《全国集中式饮用水源地保护专项行动方案》，将保护水源地水质的目标放在：（1）划定饮用水水源保护区；（2）设立保护区边界标识；（3）整治保护区内环境违法问题上，并制定时间表，定于2019年年底完整所有县级以上集中式饮用水源地的专项整治。据报道，截止至2018年12月31日，水源地问题整改完成率为99.9%，意味着几乎所有水源地保护问题已经获得整改。然而通过对比根据各省整理出来的2018年超标水源地及各省根据《全国集中式饮用水源地保护专项行动方案》，能够发现如下问题。

（1）地下水水源地的保护情况未纳入整治专项行动。尽管该方案名称为《全国集中式饮用水源地保护专项行动方案》，方案内容却明确要求对地表水水源地保护区进行问题汇总及整改，而未将地下水水源地进行整治纳入其中。这造成的直接结果是全国至少464个地下水水源地的未在这次专项行动中清查保护区的问题，至少84个地下水超标水源地无法通过这一次专项行动得到水质的保护及改善。

（2）水源地整改问题局限于保护区所提出的“划、设、治”三步方案，仅仅针对水源地保护区内的问题，无法有效地反映部分超标水源地面临的保护区外的上游风险。

针对2018年全国水源地整改情况，结合2018年水源地水质情况及本报告对于水源地超标主要成因的分析，建议：

- （1）开展地下水水源地问题整改工作，建立整改清单并公开。
- （2）督促各地建立水源地风险源清单。

通过本文对于我国2018年水源地主要问题的归纳我们发现，由于我国部分地区难以整治却总是被忽视，此类地区普遍有以下特征：a. 面积较大的；b. 风险源密集且难以精确识别；c. 由于地质因素流域或区域水质非常容易受到人为活动影响。如部分地下水超采严重区及矿区，可能会对下游水源地所在流域、地下水源地所在地下水层造成较大水质影响，仅仅从单个水源保护区的角度难以完全发现并解决这类问题，因此建议如下：

- （1）将地下水资源保护与水源地环境保护相结合。由于《地下水超采去评价导则》实施时间较晚（2017年11月1日发布，2018年5月1日实施），《导则》中明确将开采造成水质下降地区划定为超采区，但是这个划定原则在各省政府公布的超采区清单中并未明确体现，建议各省结合地下水水质保护，从重点保护地下水水质角度调整或补充划定地下水超采区并制定管理制度。
- （2）针对我国部分流域中存在矿区对较大范围的水源地造成影响，仅仅靠水源地保护区管理制度难以识别矿区内的污染源及风险源并进行有效管控。因此建议针对这一类型（不限于）设立水源地保护风险区，结合该区域特点制定更为审慎的环境管理办法并上收管理权及审批权，管理办法包括但不限于严格审批对部分矿区地质地貌结构影响较大的建设项目，对区域内的风险识别及治理。