

末梢水与水源水数据“倒挂”现象探讨

史绵红, 胡雅琴, 张敏

(安徽省生态环境监测中心, 安徽 合肥 230071)

摘要:末梢水与其水源水的数据“倒挂”现象是影响居民饮水健康的安全隐患。基于末梢水数据“倒挂”现象在新闻报道、政府信息公开及相关调查研究中的表现形式,分析了引起末梢水数据“倒挂”的原因主要包括:监测采样、分析偏差,物理因素和化学、生物反应以及综合因素造成的污染等。提出,在饮用水水源方面,加强规范化管理,保持水源水水质合格并长期稳定;在水处理阶段,选择适宜且安全高效的水处理方式;在水管输送阶段,选择健康的管道材质并合理规划设计、维护输水管网体系;在饮用水使用阶段,加强用水宣传,让居民养成良好的健康用水习惯。从而逐渐消除末梢水数据“倒挂”现象,保障居民的饮水安全。

关键词:末梢水;水源水;数据“倒挂”;饮用水安全

中图分类号:X832

文献标志码:C

文章编号:1674-6732(2021)05-0138-05

Discussion on the Phenomenon of Data Inversion Between the Tap Water and Its Source Water

SHI Mian-hong, HU Ya-qin, ZHANG Min

(Anhui Ecological & Environmental Monitoring Center, Hefei, Anhui 230071, China)

Abstract: The phenomenon of the data inversion between the tap water and its source water is a hidden danger that affects the drinking water safety of residents. Based on the description of the data inversion phenomenon in news reports, government information disclosure and related investigation and research, the causes of the data inversion were analyzed, which mainly include the deviations come from the sampling and analysis of the monitoring, and pollution caused by physical factors, chemical and biological reactions and the comprehensive factors. In terms of source water, we should strengthen standardized management to keep the water quality qualified and stable for a long time. In the stage of water treatment, appropriate, safe and efficient water treatment methods should be selected. In the stage of drinking water transportation, harmless pipe material, reasonable design and maintenance of the water pipe network system are necessary; In the drinking water use stage, the publicity of water usage should be strengthened, so as to help the residents develop a good habit. Thus, the phenomenon of the data inversion will be gradually eliminated to ensure the safety of drinking water for residents.

Key words: Tap water; Source water; Data inversion; Drinking water safety

饮用水安全一直是公众普遍关注的环境与健康焦点之一。管网末梢水是水源水经自来水厂处理后,经输水管道输送至用户水龙头处的饮用水,直接关系到大众的饮水健康,并受到高度重视^[1-3]。理论上,除了因消毒等工艺过程中必须添加试剂而引起部分物质含量有所增加外,其余物质,尤其是对健康有影响的污染物质在末梢水中的含量应不大于其水源水中的含量。然而,末梢水与其水源水数据“倒挂”现象时有发生,即末梢水监

测、感观到的污染物含量大于其水源水。为有效抑制或降低末梢水“倒挂”这种不合理现象的产生,应对其出现的原因进行剖析,并有针对性地采取措施,确保管网末梢水的水质安全,消除因末梢水数据“倒挂”而产生的饮水风险。

1 末梢水数据“倒挂”表现形式

末梢水与其水源水数据“倒挂”一般有以下3种表现形式:

收稿日期:2021-05-07;修订日期:2021-05-28

基金项目:生态环境部环境保护项目[Eh(2019)-08-08-02]

作者简介:史绵红(1973—),女,正高级工程师,博士,主要从事环境与健康研究及环境应急监测工作。

(1) 出现在新闻报道中,发现管网末梢水水质明显变差。除了因水源水污染,水厂处理能力不足等因素导致末梢水水质突然变差之外,仍有部分管网末梢水水质变差属于末梢水与其水源水的数据“倒挂”现象。例如,2016年12月上旬,郑州市不断有郑东新区用户反映家中自来水发浑、发黄并伴有异味。郑州自来水公司调查后承认,此次事件的根本原因是公司利用一条原水干管反向输水,在没有清洗干净并检测水质的情况下,贸然和城市供水管网连接,造成末梢水水质污染事故的发生^[4]。2017年8月,赤壁市供水公司在进行供水主管改迁施工中,造成附近管网水出现短时间浑浊现象,经对该区域所有供水管网全面排污冲洗后,水质恢复正常^[5]。2019年1月,江苏省连云港市灌南县水务集团发布自来水管道冲洗消毒的通知,指出对城区供水管道进行冲洗消毒后,恢复供水时水质会有短暂浑浊及轻微消毒剂味等现象^[6]。

(2) 通过政府信息公开,发现末梢水数据“倒挂”现象。例如,阜阳市卫生健康委对阜阳市城区2018年第2季度水龙头水质检测结果公示显示,所抽检20个末梢水水样中,有7份氟化物出现超标现象^[7],而同期水源水监测结果显示,水源水在2季度各月份的监测结果均符合相关要求^[8-10]。其中,《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)^[11]与《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[12]中,对氟化物的标准限值要求一致。因此,管网末梢水中氟化物监测结果明显大于水源水,出现数据“倒挂”现象。

(3) 出现在各类相关调查与研究活动中。牛海玲^[13]以东营市某地区2019年1—12月的水源水和管网末梢水为研究对象,检测发现,锰、铁、铜、硒、砷、铅等指标出现一定的末梢水数据“倒挂”现象。王士然等^[14]在对G市某地水源水和管网末梢水水质检测分析时也出现了类似现象,监测指标中的锰、铁和硒出现了一定比例的末梢水和水源水数据“倒挂”现象。金晓辉等^[15]在对多环芳烃在饮用水处理中的行为进行研究时所获取的数据表明,部分多环芳烃出现了末梢水数据“倒挂”现象。

2 末梢水数据“倒挂”原因分析

从水源水到管网末梢水,需经历水源水取水调配、水厂净化处理、管网输配,可能的二次供水过程,最后才到达用户的水龙头成为末梢水^[1-2]。再

综合考虑水源水和末梢水的采样、运输及分析过程,造成末梢水与水源水数据“倒挂”的影响因素主要包括监测采样和分析偏差,各种物理因素、化学或生物反应造成的污染以及综合因素造成的污染等。这些由于污染所造成的末梢水数据“倒挂”现象应努力消除或降低,避免因末梢水污染而影响居民的饮水安全。

2.1 监测采样及分析因素

(1) 水源水和相应末梢水的非绝对同步采样。前后对应水体的不一致性导致监测结果的非绝对一致。由于水处理前的水源水与处理后的末梢水不可能做到绝对对应一致,这就造成大部分监测指标结果允许有一定的正常波动。

(2) 实验室分析的正常偏差波动。对不同浓度水平的水质监测指标,允许存在一定范围内的正常数值波动,即合理实验室分析精密度的要求^[16]。因此,末梢水与水源水在监测次数与监测点位等具有一定代表性和完整性的情况下,这种波动应是双向的,即末梢水与水源水的监测结果均有一定比例的大小分布,如只是单纯的末梢水监测结果大于其水源水,则需要进一步分析原因。

2.2 物理因素污染

物理因素污染一般多发生在自来水输水管运输、加压、水龙头采样及水样运输等环节,具体表现为外来污染源、输水管网管材所含物质的析出、管壁和管垢物理吸附后的解吸附、水处理药剂的使用等^[4,17-21],相应出现数据“倒挂”的指标多为外来污染源所含物质,比如浊度,管材所含物质成分铁、铝、多环芳烃等,所使用水处理药剂中的铝离子、消毒剂及其副产物等。而存在管壁、管垢物理吸附后解吸附现象的指标需经长期观察,其浓度一般会随管道使用时间而出现先低后高的变化特征。

因自来水运输管道多采用合金或高聚物塑料等材质^[17-18],材质的种类和质量差异会对末梢水水质带来一定影响。钱静汝等^[17]通过对19个采样点57组数据的分析,发现二次供水末梢水水质与直供水水质相比,铝、铁、铜有所增加,这些指标的增加与二次供水管材、水龙头材质有关。赵杰等^[18]尝试制定塑料管材供给生活饮用水中多环芳烃的检测方法标准,以避免塑料水管中的多环芳烃从水管中迁移至水中,对人体健康造成直接或间接伤害。水源水处理工艺过程中消毒等药剂的引入也会带来末梢水数据“倒挂”现象,例如,消毒剂及

次生的三氯甲烷等消毒副产物在末梢水中含量的增加^[17,19]。孙茂艳^[20]通过调查生活饮用水中铝的含量,指出由于枯水期水质处于高浊期,水厂处理时投放一定量的铝盐类混凝剂,造成末梢水中铝的含量明显高于非枯水期。

2.3 化学、生物因素污染

化学、生物反应造成的污染一般多发生在运输管道及二次供水的储水环节,具体影响因素涉及末梢水不同水源水的切换、出厂水水质的化学稳定性、管网水中溶解氧及余氯的含量、管材和管壁的化学稳定性等^[22-24],相应可能出现数据“倒挂”的指标为金属管网材料经腐蚀产生的金属离子或其不完全氧化产物,亚硝酸盐等缺氧条件下产生的还原性物质以及各类微生物指标等。虞吉寅等^[22]在调查一起海水淡化末梢水铁超标事件时发现,海水淡化出厂水 pH 值为 6.61,呈弱酸性,由于海水淡化水与水库水存在化学稳定性差异,造成自来水颜色变黄,在联合供水交叉性较强区域出现管网铁释放现象,引起末梢水铁含量超标。赵乐乐等^[24]在对南方某城市供水管网经常出现红水现象进行调查研究后发现,出厂水本身具有腐蚀性,管网中长期存在的低余氯和低溶解氧环境,各水厂供水量及水质变化以及微生物腐蚀等因素共同促进了管网铁的释放,导致管网中出现红水现象。黄香等^[25]通过研究拉萨管网末梢水化学稳定性发现,对化学稳定性较差的管网水,运输管道管材中的铁、锌、铜、铅等重金属会被侵蚀下来进入管网水中,从而影响末梢用户饮水安全。钱静汝等^[17]指出若管网水亚硝酸盐达到 0.20 mg/L,就说明该区域管网水水质不稳定,管壁可能有生物膜形成。林明利^[2]指出饮用水在管道输送、水池储存过程中会发生水质下降的现象,原因是水中消毒剂及溶解氧会与管道、水箱以及水中的有机物等还原性物质发生反应,或在铁细菌、硫细菌的作用下,发生设施腐蚀与沉积反应。一方面,会造成铁、锰等管道内壁氧化物溶出,导致水中色度、浊度升高;另一方面,由于消毒剂反应消耗,造成微生物指标升高,出现细菌增殖、耐氯红虫滋生、管道生物膜生长,进而导致臭味加重。

2.4 综合因素污染

综合因素所造成的末梢水污染与前述物理因素污染以及化学、生物反应造成的污染密不可分。大多是输水管道使用一段时间后因锈蚀、吸附等产

生内壁附着物脱落,以及末梢水的不良使用习惯等造成,相应可能出现数据“倒挂”的指标多为管垢组分。黄香等^[25]研究发现输水管网老化、水化学稳定差引起管道腐蚀和结垢是影响供水末梢水质下降的主要原因之一。由于管网水的腐蚀作用,管材材料(如铁)被侵蚀析出;当自来水在管网长时间滞留(如夜晚期间),铁锈形成并沉积于管道内壁形成结垢;当清晨打开水龙头,管道内流速突然增大时,铁锈脱落进入水中从而导致浊度升高,而当地居民又有接清晨第一拨水的风俗习惯。钱静汝等^[17]也指出日常检测及调查采样时,按照国家标准要求应放一段时间的水,水质稳定后才采样,而用户则是打开水龙头就用,缺少一定的放水时间。林明利^[2]指出用户供水水质下降甚至无法达标的直接原因是部分设施老旧失修、材质落后以及清洗消毒等运行维护不到位。此外,居民小区入住率、用水量、用户管道材质等也是影响居民饮用水水质的重要因素。

3 解决末梢水数据“倒挂”问题的建议

虽然随着水质健康要求的不断提高,绝大部分管网末梢水满足或优于《GB 5749—2006》中饮用水的标准要求,但是仍要高度重视末梢水与其水源水的数据“倒挂”现象,防止因饮用水前处理工艺、末梢水运输管道、饮用水使用不良习惯等人为因素引入污染。饮用水安全相关工作的持续有效开展也为有效降低末梢水数据“倒挂”现象出现概率,防止因末梢水数据“倒挂”而带来饮食安全问题等提供了有效保障。

3.1 水源水的安全与稳定

在水源水方面,通过规范化管理确保饮用水水源的持续合格与取水水源的长期稳定^[26],能有效减少水处理环节药剂的使用量,降低水处理环节及因水源水切换给末梢水水质带来的影响^[17,19,27]。林爱武等^[26]为了考察北方某市水源切换为黄河水源后管网的适应性问题,在当地 3 处典型供水区域管段搭建管网模拟系统,进行水源切换试验,发现历史水源水质、管道在供水管网中所处位置共同影响着管道中的溶解氧和消毒剂浓度,继而影响水的氧化还原电位。在地表水条件下形成的管垢较稳定,而在地下水条件下所形成的管垢稳定性较差。切换为黄河水源后,部分管段会出现不同程度的“黄水”,不同区域管段适应期时段会有差异。

赵乐乐等^[24]在调查南方某城市供水管网红水现象时也发现,在来自不同水厂管网水交汇的地方,居民自来水中经常出现红水问题。毛洁等^[28]研究了不同水源水和水处理工艺对上海市生活饮用水水质的影响,发现要改善上海市饮用水水质,应从选择优质水源和有效的水处理工艺入手,其中水源对于饮用水水质起着决定性的作用,水处理工艺能在一定程度上改善水质。

3.2 高效安全的水处理方式

在水处理阶段,应根据水源状况选择更加适合并且安全高效的水处理方式,加强水厂出水的健康风险研究及监控,在提高出厂水化学稳定性的前提下,防止因不合理的药剂使用而额外引入污染物质^[23-24,29-30]。同时,加强技术储备与研究,在发生突发水源污染等状况时确保生活饮用水的安全供给^[31-32]。袁展等^[33]通过饮用水处理工艺中臭氧剂量控制消毒副产物生成势研究发现,臭氧-生物活性炭饮用水深度处理工艺能够较有效地去除各类消毒副产物,有利于保障饮用水出水的生物稳定性和水质安全性。抗生素抗性基因进入饮用水系统大部分源于水源水,以水平转移为主要方式进行传播。对比不同饮用水处理工艺对抗生素抗性基因的去除效果发现,不同的处理工艺对不同种类的抗生素抗性基因去除效果不尽相同,其中传统饮用水处理工艺和光催化方法对抗生素抗性基因去除效果略好^[34]。虽然生物活性炭具有物理吸附、化学吸附、化学氧化和生物氧化等性质,常被作为一种高效的水处理工艺,但是其对抗生素抗性基因的去除效果却不尽如人意。Su等^[35]观察到颗粒状活性炭会增加饮用水系统中抗生素抗性基因的含量,如 tetS、fexA、qepA、qnrA 和 qnrD 等抗性基因有上升趋势,这可能是因为生物活性炭表面形成了促进抗性基因扩散的生物膜。氯制剂消毒副产物如二溴乙酸、二氯乙腈和溴酸钾等表现出了对抗生素抗性细菌的选择作用,Lv等^[36]发现致病性铜绿假单胞菌 PAO1 的致病基因来自饮用水中消毒副产物的诱导作用,表明氯消毒可以诱导抗生素抗性基因的产生。

3.3 输水管网的材质健康与高效维护

在饮用水运输管道的健康材质选择与高效维护方面,健康材质的选择应重点关注管道内壁的化学钝性、抗吸附和抗结垢能力以及抗菌性等。自来水的水质与给水管道的管材有着密切的关

系^[37-38]。陈湘萍等^[37]指出,从水厂出口水到末梢水要经过漫长的管网和蓄水设施,往往需要几个小时,甚至几天。管网实际上是一个大反应器,继续进行出厂水未完成的反应及水与管壁物质的反应。应慎重选择运输管道的材质,健康的水必须采用健康的管道来输送。张韬^[38]则明确指出,自来水的水质与给排水管道的管材有密切的关系。在某些地区大面积使用的金属管道材料,会在很大程度上造成水质的二次污染。而采用高压射流法、机械清洗法、弹性冲管器法、空气脉冲法、酸洗法、脱脂法等给排水管道系统高效维护方法,可以有效提高管道系统内部的清洁性。加强输水管网体系的后期运行维护,如监控加定期冲洗、消毒等措施,并注重信息公开^[6],可以保障居民安全用水。

3.4 输水管网的合理规划及良好用水习惯

除了上述措施以外,输水管网体系的合理规划设计也能够起到良好的预防作用。陈湘萍等^[37]指出,管网老化、树状管道铺设过长、末端滞水、死水等因素会导致末梢水水质变差。而良好的用水习惯也是确保健康用水的重要因素^[17,25,37],包括二次供水管理、健康用水宣传等系列措施。

4 结语

末梢水与其水源水的数据“倒挂”现象是影响居民饮水健康的安全隐患。引起末梢水数据“倒挂”的不良因素主要包括各种物理、化学和生物反应以及综合因素造成的污染等。为有效降低末梢水数据“倒挂”现象出现的概率,提升居民的饮用水安全水平,建议保持饮用水水源的持续合格与取水水源的长期稳定,在水处理阶段根据水源状况选择更加适合且安全高效的水处理方式,选择健康的饮用水运输管道材质并高效维护,合理规划设计输水管网体系,同时加强用水宣传,形成良好的用水习惯。

[参考文献]

- [1] 林明利,秦建明,张全斌. “从源头到龙头”的饮用水安全保障技术体系及其应用[J]. 环境工程技术学报, 2019, 9(4): 362-367.
- [2] 林明利. 我国城市“最后一公里”饮用水安全保障问题与对策建议[J]. 净水技术, 2020, 39(2): 1-5.
- [3] 王蔚蔚,崔迪,吕士健,等. 中国饮用水安全保障标准体系现状,问题及建议[J]. 给水排水, 2020, 46(5): 90-94.

- [4] 中央人民广播电台. 郑州自来水公司就“黄水现象”道歉 启动追责减免水费[EB/OL]. (2016-12-31)[2021-04-23]. http://china.cnr.cn/NewsFeeds/20161231/t20161231_523422170.shtml.
- [5] 咸宁新闻网. 赤壁一社区自来水浑浊供水公司:已冲洗管道[EB/OL]. (2017-08-16)[2021-04-23]. http://news.xnnews.com.cn/shxw/201708/t20170816_2765354.shtml.
- [6] 灌南县水务集团. 自来水管冲洗消毒的通知[EB/OL]. (2019-01-14)[2021-04-23]. <http://www.guannan.gov.cn/gnxx/gsgg/content/7db5318e-9da1-4ced-a407-838dd41d6f4d.html>.
- [7] 阜阳市卫生健康委. 阜阳市城区2018年第二季度水龙头水质检测结果公示[EB/OL]. (2018-06-15)[2021-04-23]. <http://www.fy.gov.cn/openness/detail/content/5b236c727f8b9ab15e2bd0ed.html>.
- [8] 阜阳市生态环境局. 2018年4月饮用水源环境状况[EB/OL]. (2018-05-03)[2021-04-23]. <http://www.fy.gov.cn/openness/detail/content/5af3fac57f8b9ade2af0956f.html>.
- [9] 阜阳市生态环境局. 2018年5月饮用水源环境状况[EB/OL]. (2018-05-29)[2021-04-23]. <http://www.fy.gov.cn/openness/detail/content/5b0cbfc97f8b9a607c1ecb0e.html>.
- [10] 阜阳市生态环境局. 2018年6月饮用水源环境状况[EB/OL]. (2018-06-29)[2021-04-23]. <http://www.fy.gov.cn/openness/detail/content/5b3dc8387f8b9acd63c42611.html>.
- [11] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准:GB 5749—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [12] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [13] 牛海玲. 水源水和管网末梢水水质检测分析[J]. 食品安全导刊,2020,268(9):108-109.
- [14] 王士然,杨光红,张爱华,等. G市某地水源水和管网末梢水水质检测分析[J]. 贵阳医学院学报,2014,39(2):187-190,197.
- [15] 金晓辉,胡建英,万祎,等. 多环芳烃在饮用水处理中的行为研究[J]. 中国给水排水,2005,21(7):14-16.
- [16] 国家环境保护总局,《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法:第四版[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [17] 钱静汝,陈国光,朱慧峰. 上海市出厂水、管网水、二次供水水质情况及二次供水改造的设想与建议[J]. 给水排水,2016,42(12):15-19.
- [18] 赵杰,王桂苓,王伟,等. 气相色谱-质谱法测定塑料管材供给生活饮用水中的多环芳烃[J]. 理化检验:化学分册,2016,52(7):849-852.
- [19] 王丽,姚凯锋. 关于影响管网末梢水水质因素的分析[J]. 林业科技情报,2010,42(1):48-49.
- [20] 孙茂艳. 生活饮用水中铝含量调查[J]. 食品安全导刊,2019,232(8):32.
- [21] 宋珊. 重金属元素在给水管网中的蓄积释放规律研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018.
- [22] 虞吉寅,陈伟,邱凤梅,等. 一起海水淡化末梢水铁超标事件调查[J]. 浙江预防医学,2014,26(7):728-729.
- [23] 许仕荣,方伟,徐洪福. 城市供水系统的水质化学稳定性变化规律研究[J]. 中国给水排水,2007,23(11):5-7,12.
- [24] 赵乐乐,李星,杨艳玲,等. 南方某城市供水管网红水原因调查与研究[J]. 环境科学,2011,32(11):3235-3239.
- [25] 黄香,张硕,王晓龙,等. 拉萨城市饮用水安全:管网末梢水化学稳定性评价[J]. 西藏大学学报(自然科学版),2014,29(1):71-77.
- [26] 谢琼,付青,昌盛,等. 城市饮用水水源规范化管理机制及其对水质改善的驱动作用[J]. 西北大学学报(自然科学版),2020,50(1):68-74.
- [27] 林爱武,李玉仙,张磊,等. 给水管网对黄河水源水质的适应性研究[J]. 中国给水排水,2014,30(21):50-53.
- [28] 毛洁,周艳琴,周晓鹏,等. 水源水和水处理工艺对上海市生活饮用水水质的影响[J]. 环境与职业医学,2013,30(12):928-930.
- [29] 姬广雪,刘建广,孙韶华,等. 饮用水源腐殖酸高级氧化去除技术研究进展[J]. 水处理技术,2020,46(336):12-16.
- [30] 赵静. 中澳科学家开发出超薄筛膜:30分钟内将海水转化为清洁饮用水[J]. 水处理技术,2020,46(9):127.
- [31] 易文杰,刘妍妍,林朋飞. 水源重金属污染的供水应急处理技术研究[J]. 矿业研究与开发,2020,40(8):81-85.
- [32] 戴步峰,燕强,贺超,等. 抗生素去除技术在饮用水处理领域的研究进展[J]. 应用化工,2020(8):2091-2095,2100.
- [33] 袁展,吉红军,余冉,等. 饮用水处理工艺中臭氧剂量控制消毒副产物生成势研究[J]. 化工学报,2018,69(6):2697-2707.
- [34] 王婷,李芬芬,冯萃敏,等. 抗生素抗性基因在饮用水系统中的污染特征与去除研究进展[J]. 应用化工,2020,49(12):3137-3142,3149.
- [35] SU H C, LIU Y S, PAN C G, et al. Persistence of antibiotic resistance genes and bacterial community changes in drinking water treatment system: From drinking water source to tap water[J]. Science of the Total Environment,2017,616/617:453-461.
- [36] LV L, JINAG T, ZHANG S, et al. Exposure to mutagenic disinfection byproducts leads to increase of antibiotic resistance in pseudomonas aeruginosa [J]. Environmental Science and Technology,2014,48(14):81-88.
- [37] 陈湘萍,姚江华. 生活饮用水管网中水质影响因素的研究[J]. 环境科学与管理,2007,32(10):49-51.
- [38] 张韬. 给排水管材对水质的影响与处理方法研究[J]. 中国市场,2015(37):45-46,50.

栏目编辑 谭艳 王湜 周立平