

再谈水质稳定、管网改造及运行管理间的相互关系

文 / 何维华(成都市自来水总公司,成都 610041)

摘要:针对当前在改善管网水质上,偏重于管道的更新改造,忽略了水质稳定及管网运行管理的问题。从腐蚀、结垢机理、水质稳定性等方面,论述了影响管网水质的诸多因素,并提出了制定供水企业出厂水稳定性要求,加强管网技术改造及管网运行管理科学化等具体建议。

关键词:水质稳定 管网改造 运行管理

前言

当前城市供水系统的水质,在给水厂出厂时比较好,而用水户放出时问题不少。这里存在管网的结构和运行管理的毛病,也存在出厂水水质稳定的问题。水质稳定包括化学稳定性及生物稳定性两个方面,目前国内不少城市供水系统中这两个方面都存在问题。

在 20 世纪 90 年代初编制“城市供水行业 2000 年技术进步发展规划”时,曾对占当时全国城市供水能力近一半的供水企业进行了函调,函调资料汇总时,充分考虑了各企业供水规模的差异后,进行加权平均,资料汇总分析的部分结论,如表 1 和表 2 所示。

管网水浊度比出厂水高 24%~37%,水质不稳定,红水、黑水现象经常困扰各城市的供水管网,用水户十分反感,对供水企业的信誉产生质疑。因而值得对近十多年来国内外学者提出的管网水质稳定性问题进行研究,并探讨其与管网的合理改造及科学运行管理的关系。

表 1 管网与出厂水水质比较

序号	水质项目	管网水比地表水厂出厂水高出率%	管网水比地下水厂出厂水高出率%
1	浑浊度	24.43	36.97
2	色度	12.29	128.4
3	铁	21.83	64.2
4	余氯	-35.83	-32.72
5	细菌	264.1	1005

表 2 出厂水水质稳定性情况

序号	稳定性	地表水厂出厂水	地下水厂出厂水
1	水质基本稳定所占比例/%	21	50
2	水质有腐蚀性倾向所占比例/%	50	30
3	水质有轻微结垢倾向所占比例/%	29	20

管内腐蚀、结垢对水质影响的机理

给水厂出水含有某些无机物及微生物,水在管网内流动时,有些水中化合物会分解,水和管内壁的材质亦会发生化学作用,水中残存的细菌还可以再繁殖,加之管网受到外来的二次污染,管网水质发生变化,引起诸多问题。

水在管网流动的过程中,往往形成管内腐蚀、沉淀及结垢的情况,结垢层的厚度和管道输配水的过程中,往往形成管内腐蚀、沉淀及结垢的情况,结垢层的厚度和管道输配水的年数(管龄)有关,随着时间的延续,管道有效截面积的缩小,直接影响管道的输配水能力。这些结垢层又是细菌孳生的场所,形成“生物膜”,国内学者称“生长环”,直接威胁着饮用水的安全。形成管内结垢层的原因,归纳起来有以下五个方面。

1、水对金属管道内壁腐蚀形成的结垢

对金属管道而言,输送的水就是一种电解液,水的pH影响着管道的腐蚀速度,水中的溶解氧及二氧化碳的存在,是管道腐蚀的重要因素。

因电化学反应,对于偏碱性水,且无侵蚀性二氧化碳时,首先生成的是氢氧化亚铁,然后被水中溶解氧氧化,生成氢氧化铁,形成钝化保护膜,使管壁的腐蚀速度减慢。否则,在生成氢氧化亚铁后,与二氧化碳作用生成重碳酸亚铁,它具有可溶性而流失于水中,被水中溶解氧氧化,生成氢氧化铁,出现红水,其中部分脱水形成铁锈 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。它质地疏松,不能起保护作用,以上反应继续进行,铁锈不断沉积于管内表面形成锈垢。

在与水接触的管内表面,有一层似乎不流动的薄水层,流速增大,该水层减薄,通过该水层水流中的氧的扩散、补给容易,故促进锈蚀;当管内流速再加快,氧的补给量增多,铁管表面由于氧过剩,趋于钝态化,反使腐蚀减小;若流速继续增大,剧烈紊流将导

致发生气蚀,因机械作用使铁管表面产生空隙腐蚀。

配水管网末端的小口径管道,管内流速较小,甚至有时不流动,水中的氧气难以补充,锈蚀较严重。相反,输水干管通常流速大,氧不断由水带入,管内壁趋于钝态,腐蚀速度放慢。就是发生腐蚀,也往往因过大速度使锈垢剥离,故发生锈瘤的机会减少。

由于腐蚀的生成物能溶于酸性介质中,而不易溶解于碱性介质中。因此pH偏低的酸性水能促进腐蚀作用,而pH偏高能阻止或完全停止腐蚀作用。

2、水中碳酸钙(镁)沉淀形成的水垢

在所有的天然水中几乎都含有钙镁离子,并且水中的重碳酸根离子分解出二氧化碳和碳酸根离子,这些钙镁离子和碳酸根离子化合成碳酸钙(镁),难溶于水而变为沉淀。

3、水中含铁量过高所引起的问题

作为给水的水源一般含有铁盐,当铁的含量过大时容易在管网中形成大量沉淀。水中的铁常以重碳酸铁、碳酸铁等形式存在,以重碳酸铁的形式存在时最不稳定,分解出二氧化碳,而生成的碳酸铁经水解成氢氧化亚铁。这种氢氧化亚铁经水中溶解氧的作用,转为絮状沉淀的氢氧化铁。它主要沉淀在管内底部,当管内水流速度较大时,上述沉淀就难以形成;反之,当管内水流速度较小时,就促进管内沉淀物的形成。

4、管道内的生物性堵塞

铁细菌是一种特殊化的营养菌类,它依靠铁盐的氧化,以及在有机物含量极少的清洁水中,利

用细菌本身生存过程中所产生的能而生存。这样,铁细菌附着在管内壁上后,在生存过程中能吸收亚铁盐和排出氢氧化铁,因而形成凸起物。由于铁细菌在生存期间能排出超过其本身体积499倍的氢氧化铁,所以有时能使水管过水截面严重堵塞,并且这些凸起物是沿着管内壁四周生存的,不仅是管底面而已。大量的亚铁离子储存在铁细菌,而在细菌表面生成了氧化后的产物(三价铁的氢氧化合物),为棕色粘泥。

硫酸盐还原菌是一种腐蚀性很强的压气细菌,它常存在于管内壁上,在没有氧的条件下,在金属管道电化学腐蚀过程中主要在阴极起极化剂的作用,能把硫酸盐还原成硫化物,这样就加快了管道的腐蚀结垢速度。据报道,在铁硫菌参与下的腐蚀速度会增大300~500倍。

任何一种细菌对pH值都有一定的适应性,通常细菌在中性和偏碱性介质中生长最好。铁细菌和硫酸盐还原菌亦是如此,当pH在8.0时,它们的生长就受到抑制,pH值在8.4以上时基本不生长,试验表明pH在5.96~7.89范围内铁细菌生长;pH在5.96~8.35范围内硫酸盐还原菌生长。

水中悬浮物的沉淀是形成沉淀渣的最简单过程,尽管多数给水管网所输送的水中悬浮物含量很少,可仍然有沉淀物形成。当深夜用水极少时,配水管道水流速度极小,乃至停流,为水中微粒自然沉降创造了条件。特别是直接向管网输送的井水,往往把井周围粉砂、细砂随水流带入管内,由于生物的集聚粘附性能,使这些悬浮无机物很容易在管道内沉

淀。然而当水厂水浊度长期保持在 $\leq 0.5\text{NTU}$ 时,这样的沉淀应该是微弱的。

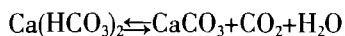
以上五种情况引起的管内沉淀与结垢,因形成的条件和时间的差异,可分为坚硬性结垢和松软性沉淀。形成坚硬性结垢主要是因为金属管道自身的腐蚀和生物性结垢,它为金属管道所独有。松软性沉淀主要是水中的悬浮铁质及碳酸盐的沉淀,它在金属管道或非金属管道内都可能存在。

管网水的稳定性问题

管网水的稳定性问题包括化学稳定性及生物稳定性两个问题。

1、化学稳定性

水是否化学稳定性与水中重碳酸钙、碳酸钙和二氧化碳之间的平衡有关。如水中游离二氧化碳含量少时,则产生碳酸钙沉淀;如超过平衡量时,则产生二氧化碳腐蚀。反应式为:



化学稳定性的鉴别方法在《城市供水行业 2000 年技术进步发展规划》的“改善管网水质”子课题中已有阐述,不再赘述。

2、生物稳定性

生物稳定性系用生物可同化有机碳(AOC)来表示管网水中被细菌利用的有机质的浓度,它可作为管网中细菌生长的潜在能力指标。

对于良好的水源,水未用氯消毒时,AOC 小于 $10\mu\text{g}$ 乙酸碳/L,异养菌不发生增值;水经消毒而 AOC 在 $50\sim 100\mu\text{g}$ 乙酸碳/L 时,细菌孳生受到抑制,生物稳定性好;AOC 大于 $200\mu\text{g}$ 乙酸碳/L 时生物稳定性差,细菌迅速孳生。

用 AOC 评价水处理工艺对进入管网水的生物稳定性时,以下趋

向引起关注:(1)用氯胺消毒的生物稳定性优于液氯消毒;(2)采取二氧化氯替代液氯进行源水的预氯化措施,可降低 AOC 值;(3)合理保持出厂水的余氯在偏低范围,必要时管网内局部补充加氯,可以降低管网水的 AOC 值;(4)膜过滤法处理水的生物稳定性差,AOC 值高;(5)生物活性碳法(GAC)处理水的生物稳定性好;(6)美国、日本都已证实经臭氧处理后的水,AOC 值高。

具体建议

1、应制定供水企业出厂水稳定性的指导性要求

(1)首先“生活饮用水水质标准”中,对化学稳定性和生物稳定性补充提出指导性的要求。

(2)当源水水质偏酸性时,将出厂水 pH 调整至 $8.0\sim 8.5$,欧美应用广泛。十年前笔者在美国华盛顿北方水厂考察时,该厂水源来自湖泊,出厂水的 pH 调至 $8.0\sim 8.5$,最高达 9.0,当 pH 超过 8.4 以后,铁硫细菌生长基本抑制,延缓生物膜的发育。

(3)碱性介质中, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 等溶解度小,生成钝化膜,减轻腐蚀,亦不利于细菌孳生。

(4)选用二氧化氯进行源水的预氯化、氯胺消毒、生物活性碳深度处理、管网补加氯降低出厂水余氯值等措施,从而降低出厂水中 AOC 值,抑制细菌生长,当管网水中 $\text{AOC} < 50\mu\text{g}$ 乙酸碳/L;细菌生长受到抑制。

(5)美国建议标准为 $\text{AOC} < 50\sim 100\mu\text{g}$ 乙酸碳/L;我国学者建议的近期目标 $\text{AOC} < 200\mu\text{g}$ 乙酸碳/L,远期目标 $\text{AOC} < 100\mu\text{g}$ 乙酸碳/L。

2、加大管网技术改造的力度

(1)管网技改的原则

①要结合城市供水总体规划的需要,要结合供水管网分块管理的需要;②易爆管段优先列入更换;③建筑物等压埋管段,建筑物等又难以拆除的,应改迁;④管线走向不符规划要求,影响严重的管段,应改迁;⑤管道腐蚀严重,漏水频繁的管段,应改造;⑥管道内壁腐蚀结垢,影响输配水卫生要求的,列为改造,其中严重不满足输配水要求的,优先改造;⑦管网改造的设计构思完善、管材选用可靠、施工质量优良,避免重新带帐。

水表以内的用户内部管道,亦应参照以上原则调整,同时贮水池、水箱等亦应配置合理,内壁防腐符合卫生要求。凡水表后为多层建筑物配水时,防止用户内部水回流入管网的可能,应在水表后设置可靠的防回流装置。

(2)管网改造的策略

①按照以上原则编制现有管网技术改造规划,针对各管段的具体情况,拟定技术改造的推荐方案。

②编制年度管段技术改造计划时,应作经济效益的说明,这包括工程投资效益、运行能源效益及影响用户的社会效益的分析,阐述该计划最佳方案的理由。

③道路的扩宽改造是管道更新改造的最好机遇,通常以拆排新管为主。

④易爆管段、漏水严重管段,通常以开挖式的拆排新管,非开挖式的胀破换管、管中管等方案比较选择。

⑤无内衬、非易爆的金属管段,为了改善管网水质,应慎重选

择最佳方案。通过国内多年的实践,对于中大口径管道采用刮管、喷衬水泥砂浆;对于小口径庭院及进户支管采用刮管、喷砂除锈后喷涂卫生级的环氧树脂是较经济、易实施的方案。需要说明的是应对水泥砂浆衬里的金属管道及水泥压力管所用的水泥有具体要求,因硅酸盐水泥制造过程中掺和了高炉矿渣,这类掺和料成份不稳定,有时带有钡、镉等有害人体的金属成分,有时存在放射性问题,故应检测水泥相关的化验报告。对于管道的内表层,喷涂卫生级的不饱和聚酯树脂是较好的措施,它减缓了水泥砂浆层碱及有害成分的析出,延伸了管道的使用寿命,并对输送水的水质保证有利。

⑥管道的技改应包括水不流动的盲肠管段的根除,排气阀门安装方式的改进,尽量消除管网中的二次污染源。

盲肠管段在管网内大量存在,它是管网几十年形成与改造过程中遗留下来的问题,在盲肠管段内的水是不流动的“呆滞水”,呆滞水中的氧消耗尽后,水质恶化发臭,若是金属管,内壁又没衬里,则要产生“红水”、“黑水”问题。

排气阀是管道的呼吸器,长期处于地下井室内,在南方地下水位较浅的环境,甚至浸泡在脏水中,它实质上是管网严重的二次污染源。因此排气阀不仅安装在德位置应改进,排气阀本身也应改造,应附进气的空气净化设施。

⑦管道技改应包括阀门的更换,测压、测流、检测水质点的增补,小区总表、检漏分流水表的完善,管网分块管理相关设施的增改。

⑧管网技改本着“先严重后一般”、“先大后小”、“先易后难”,进行工程排序。

“先严重后一般”系指:严重影响输水水质的管段、严重影响输配水的瓶颈管段、严重影响管网连续供水的易爆管段、严重漏水的管段提前按排;

“先大后小”系指:经济效益、社会效益影响较大的管段优先安排;

“先易后难”系指:道路改扩的、有资金来源的、投资少的、容易见效的管段先办。

管道改造的较大工程,应作多方案的经济、效益分析,选定改造的较优方案。

3、管网运行的科学管理

管网运行管理涉及的方面很多,这里仅探讨“改善管网水质”相关的内容。

(1)管网运行管理模式的探讨

①被动管理模式:它是一种对管内水流非扰动模式,尽可能不扰动管网内水流方向的变化,以免扰动管底的沉淀物,以免浑浊度剧变。实质上这种运行模式对改善管网水质,只能治标不能治本,一旦控制失调,浑水现象难以避免。

②主动管理模式:主动管理模式系指对管内水流可扰动模式,也就是管网内水流方向、水流速度的较多的变化,不会引起管内水浑浊明显波动。

长期以来,供水管网输配水过程中流态的研究很粗,只安新管、不拆旧管,有些管段的输配能力超过实际需要太多。

为此,首先建立好管网的地理信息系统(GIS),并达到管网建模、可复核运行计算的深度。

摸清各管段流速动态变化数

据,绘制管网水龄(出厂水流至该点的小时数为该点的水龄)等值曲线。

逐条街道对平行的管道进行流态分析,将一些可以“退役”的管段,调整“下岗”。对于当前较富裕的联络管,只要对供水没有太大的影响,亦可隔离“临时休息”。

通过阀门的启闭调控,使部分流速偏低的管段,周期性增大流速,从而减少管网中沉淀物的形成。

(2)管道的清洗

对于管道内衬符合要求,管内流速能周期性大于自净流速的管段,原则上不需要定期冲排“洗澡”。但对于管内流速长期偏低的管段,特别是枝状末端管段,定期冲排是十分必要的。国内外一些同行对管网中的消火栓及枝状末端管,要定期进行冲排,这是值得推广的一项制度。成都水司几十年一直有专门班子对消火栓一个月排水一次,一方面保持消火栓长期处于良好备用状态;另一方面排掉干管至消火栓的一段呆滞水,特别是配水支管上的消火栓排水时间较长,亦是对配水管道的一次清洗。至于内衬不符合要求的金属管道,就是管内流速较大,也应定期冲排,当然更重要的是衬里应尽快完善。

结束语

总之,管网科学的运行管理是将管网的被动管理转为主动管理,无序管理转为有序管理,粗犷管理转为分块的效益管理。

当前我国城市建设处于大兴土木的发展期,城市供水管网亦处于更新改造的扩建期,管网运行管理的模式跳出被动的模式是不现实的。