

• 科技信息综述 •

城市供水生物污染及其生物因素

金 敏 李君文

(军事医学科学院卫生学环境医学研究所, 天津 300050)

摘要 城市供水生物污染事件在全球范围内不仅发生频率高,而且由于能导致肠道传染病或其他疾病的暴发流行,对人民的生命安全和社会的安定团结具有一定的威胁。介绍了城市供水生物污染现状和我国城市供水水质,探讨了造成生物污染的主要生物因素,并提出我国应高度重视城市供水生物安全及其污染事件并建立强大的水源性疾病和城市供水系统生物学监测系统,掌握我国的水源性疾病流行病学特点和城市供水生物污染特点,为今后我国城市供水系统生物污染的快速检测和处置奠定基础。

关键词 生物污染 城市供水 生物污染因素

0 引言

城市供水污染事件往往导致城市供水安全问题和水源性疾病的暴发流行,如果处理不及时或处理不当,会造成社会恐慌和政府公信力的下降,甚至成为政治事件。因此,城市供水污染事件备受世界各国政府的高度重视。

许多国家为了应对城市供水生物污染,不仅建立了水源性疾病或肠道传染病的监测体系,而且对城市供水生物污染流行特征及其成因进行了系统的分析,相关的报道也越来越多^[1~4]。

本文就国内外城市供水生物污染及主要污染源情况作一综述,为今后有关监测及处置奠定理论基础。

1 城市供水生物污染定义

城市供水生物污染是指病原微生物、寄生虫等进入城市供水水体,使供水水质恶化并导致水源性疾病(如肠道传染病或其他疾病)暴发的现象。根据污染来源的性质,城市供水生物污染事件类型包括事故型(如生活污水、雨污水等污染水源井;管网生物膜病原体暴发;生物制品公司废水排放或泄漏)、自然灾害型(如洪涝造成水源及给水管网污染)和恐怖袭击型(如恐怖分子向水源或供水系统人为投加致病微生物等)。

2 城市供水生物污染的危害

据报道,城市供水生物污染事件发生的频率要

远高于化学污染事件^[1]。美国 WBDOS (Waterborne Disease and Outbreak Surveillance System) 数据显示^[1],1971~2006 年期间,在美国爆发的 780 起饮用水污染致水源性疾病暴发的案例中,就有 680 起与公用自来水系统污染有关(Public Water Systems),其中,生物性污染事件占 43.9%(病毒污染占 8.2%,细菌污染占 16.6%,寄生虫污染占 18.3%,混合因素占 0.8%),不明原因占 44.6%,而化学污染事件仅占 11.5%。另外,由于城市供水生物污染往往能导致肠道传染病或其他疾病的暴发流行,因此造成的危害及社会不良影响也远超出化学性污染事件。

而这 780 起饮用水污染致水源性疾病暴发事件中,生物性污染事件病例占 85.1%,达 491 014 例,不明原因病例 82 179 例(14.2%),化学性污染事件只有 3 901 个病例(0.7%),其中,与公共水供应系统污染有关的病例达 93.4%。

在我国法定的 37 种传染病中,有 8 种是靠水传播:霍乱、病毒性肝炎、脊髓灰质炎、伤寒和副伤寒、感染性腹泻、阿米巴痢疾、钩端螺旋体病、血吸虫病,均是细菌、病毒、原虫、寄生虫等病原体所致疾病^[5]。

2006 年,中国上报法定传染病发病人数 460.9 万,其中,靠水传播的发病人数为 127.8 万,达 27.7%^[6]。

因此,结合以上国内外的数据统计分析,城市供水生物污染事件不仅发生率高,涉及面广,而且后果

国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2009AA06Z404)。

严重,对人类的健康和社会的安定造成巨大的威胁,应该受到世界各国,尤其我国的关注。

3 我国城市供水系统生物污染现状

2006年,中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所水质安全监测室在全国范围内开展了集中式供水监督检查工作^[7]。检查范围包括全国4个直辖市、各省会城市、计划单列市、地级市的2 713家市政水厂、2 713家自建水厂和二次供水设施。结果表明^[8]:市政水厂和自建水厂中水源水的水质合格率分别为75.3%和80.0%,主要超标项目包括菌落总数和总大肠菌群等微生物指标;出厂水、末梢水、二次供水均存在微生物指标和余氯未达标情况,其中出厂水的水质合格率分别为85.0%和77.5%;末梢水的水质合格率分别为92.4%和82.0%;二次供水的水质合格率为80.8%。

丛泽等^[9]对1996~2006年北京市发生的93起水污染事件进行了分析,结果表明,在93起事故中,17起为市政供水(18.3%),16起为二次供水(17.2%),60起为自备水源井(64.5%),另外,在引起发病的水污染事件中,生物性污染占78.9%。

刘丹等^[10]对1952~2008年大连市部分肠道传染病暴发疫情资料进行分析,结果证实供水系统污染是大连市部分肠道传染病暴发的主要原因。

因此,我国城市供水系统的微生物安全性并未得到有效保障,存在暴发水源性疾病和突发城市供水水生物污染的隐患。

4 城市供水生物污染种类

城市供水生物污染种类包括细菌、病毒、真菌、寄生虫、藻类及其毒素等。但一般较为关注的是介水传播疾病病原微生物。介水传播疾病病原微生物包括两大类^[8,11]:①肠道传染病病原体:它们主要来自于人或动物的粪便,对环境具有较强抵抗力,可引起腹泻和肝炎,不仅发病率高,而且其暴发通常与污染饮用水密切相关。它们一般是由于粪便污染的水源水消毒不彻底或污水污染自来水管道的造成的。这类病原体包括霍乱弧菌、伤寒杆菌、志贺菌、耶尔森菌、大肠埃希氏菌、弯曲菌属等肠道致病菌;诺如病毒、甲型和戊型肝炎病毒、轮状病毒、腺病毒等肠病毒;贾第鞭毛虫和隐孢子虫等原虫。②其他病原微生物:这类微生物在水中数量不多,不直接

对人类健康产生危害,但进入供水管网后能够生长繁殖,构成管网生物膜的一部分,最终对人类健康产生危害,如绿脓杆菌、军团菌属、水性气单胞菌属。

据统计,在美国1971~2006年期间的680起公用自来水系统污染事件中,338起与集中供水系统(Community System)有关,342起与非集中供水系统(Noncommunity System)有关^[1]。美国WBDOS对其中的244起集中供水系统污染事件和221起非集中供水系统污染事件进行了病源学调查,结果表明,寄生虫污染、非军团菌细菌污染、化学污染、病毒污染、军团菌污染、混合菌污染分别发生130起、83起、70起、54起、24起、4起,分别占公用自来水系统污染事件的19.1%、12.2%、10.3%、7.9%、3.5%、0.6%。因此,对于美国城市供水系统,生物污染种类主要依次为寄生虫、非军团菌细菌、病毒、军团菌。

在欧洲,由于将饮用水归结为食物,因此很少有水源性疾病的报道。但对于食源性疾病,弯曲杆菌、诺如病毒、贾第鞭毛虫及隐孢子虫是其主要病原菌^[12]。

而我国,并未正式建立城市供水水源性疾病监测体系并形成定期报道制度,因此,城市供水生物污染流行特征及其成因数据未见公开报道。但根据零星的有关事件文献报道,我国城市供水生物污染种类包括贾第鞭毛虫、隐孢子虫、志贺氏菌、大肠埃希氏菌、沙门氏菌、志贺氏菌、诺如病毒、轮状病毒、甲肝病毒等^[13~18]。

4.1 寄生虫(parasite)

寄生虫污染是美国公用自来水系统最常见的一种污染,它主要包括原生动物(如疟疾原虫、贾第鞭毛虫、隐孢子虫)、无脊椎动物(如扁形动物猪肉绦虫、中华肝吸虫等)和脊椎动物等。对于美国公用自来水系统污染,寄生虫污染发生频率最高的是原生动物中的贾第鞭毛虫,其次是隐孢子虫。数据也表明,在美国饮用水污染发生的143起寄生虫污染事件中,发生频率最高的仍是贾第鞭毛虫,占86%(123起),并造成28 127例病例(占该类病例的6.3%),而隐孢子虫虽然只占9.1%(13起),但却造成421 301例病例(占该类病例的93.6%)。另外,

由于隐孢子虫/贾第鞭毛虫的孢/卵囊对传统的水处理法中氯化消毒有抗性,膜过滤法也不能完全去除,因此,贾第鞭毛虫和隐孢子虫是包括公用自来水系统在内的饮用水生物污染的最大隐患,应该受到高度的重视。我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中,贾第鞭毛虫和隐孢子虫已被列为水质非常规指标。

贾第鞭毛虫(*Giardia lamblia*)亦称小肠贾第虫(*G. intestinalis*),主要寄生在人和某些哺乳动物的小肠内,引起以腹泻为主要症状的贾第鞭毛虫病,该病多见于儿童和旅游者,故又称“旅游者腹泻”。如今,贾第鞭毛虫病已被列为全世界危害人类健康的十种主要寄生虫病之一。人是贾第鞭毛虫病主要的传染源,尤其携带其包囊者,往往一人带包囊全家感染。贾第鞭毛虫致病剂量为10~100个活包囊^[19,20]。

隐孢子虫为体积微小的球虫类寄生虫,广泛存在多种脊椎动物体内。寄生于人和大多数哺乳动物的主要为微小隐孢子虫(*C. parvum*),由微小隐孢子虫引起的疾病称隐孢子虫病(*cryptosporidiosis*),是一种以腹泻为主要临床表现的人畜共患性原虫病,隐孢子虫致病剂量仅为1~10个活卵囊^[20]。

隐孢子虫包囊和贾第鞭毛虫包囊对外界环境有较强的抵抗力,一些常用的消毒剂在标准浓度下对包囊并无杀灭作用,臭氧和卤素对包囊只有轻度杀伤力。对于城市供水系统,其污染的来源主要为:①粪便和污水所污染的水源水消毒不彻底;②自来水管因日久失修造成的与污水管相互沟通或因管壁渗漏将污水吸入管内。

4.2 非军团菌细菌(Non-Legionella bacteria)

军团菌以外的致病菌,在这里统称为非军团菌细菌。数据表明,污染美国公用自来水系统的主要非军团菌细菌依次为志贺氏菌(*Shigella*)、沙门氏菌(*Salmonella*)、弯曲杆菌、大肠埃希氏菌^[1],另外,还有小肠耶尔森、非O1霍乱弧菌等。然而,目前,我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)中,除大肠埃希氏菌外,其余均未列入指标^[21]。

其中,霍乱弧菌引起的霍乱是通过饮水传播的一种烈性肠道传染病,死亡率甚高,为我国的甲类法定传染病,属于国际检疫传染病。2010年

海地发生的霍乱大流行造成4 000多人死亡,感染217 000人^[22]。

志贺氏菌属肠杆菌科,是肠道传染病细菌性痢疾最为常见的病原菌,通称痢疾杆菌,主要包括痢疾志贺氏菌、福氏志贺氏菌、鲍氏志贺氏菌、宋内氏志贺氏菌。沙门氏菌也属肠杆菌科,是肠道传染病伤寒和副伤寒的主要致病菌,分别由伤寒沙门氏菌和副伤寒沙门氏菌引起,另外,它还可引起急性胃肠炎、腹泻与腹痛等病症,是我国细菌性食物中毒最常见的病原体^[23]。

2009年7~8月,我国内蒙古自治区赤峰市新城区强降雨,大量雨污水淹没水源井,致使沙门氏菌污染了饮用水并导致18个居民小区累计4 000余人发生腹泻接受治疗^[24]。

弯曲杆菌和大肠埃希氏菌也是国外报道较多的饮用水污染细菌,其中弯曲杆菌是挪威1988~2002年最主要的水源性疾病病原菌,在水中,它一般能存活2~4周^[4,25]。它们均可引起腹泻的暴发流行。在弯曲杆菌和大肠埃希氏菌引起的水源性疾病中,空肠弯曲菌和肠出血性大肠杆菌O157:H7是报道最多的病原菌^[1]。

4.3 军团菌(*Legionella*)

军团菌系一类需氧革兰氏阴性杆菌,以嗜肺军团菌为代表菌株,可引起军团菌病,临床表现为肺炎型和非肺炎型(类似流感的庞蒂亚克热)两种。

军团菌对氯气有耐受性,常规用氯处理水的过程不能杀伤军团菌。它一般隐藏于水暖设备和供水系统中,当供水温度较高,或者供水管道和蓄水池的管壁和池壁上形成积垢和生物膜,就会保护军团菌抵御干燥、高温、消毒剂等环境压力,使之能够长期存活和大量增殖。与此类似的还有冷却塔的循环水和空调的冷凝水,由于水温较高,管道中容易藏污纳垢,且容易形成死水区,为军团菌提供了良好的栖息和繁殖环境。另外,自由生活阿米巴原虫是军团菌的体内寄生宿主,对军团菌具有天然保护作用,因此军团菌可以凭借阿米巴及其包囊的保护逃避消毒剂等环境压力^[26,27]。

受军团菌污染的自来水在军团菌暴发中起重要作用。陶黎黎等^[28]对上海市8所医院供水系统进

行了军团菌污染调查,结果表明上海市医院供水系统中军团菌属污染常见,且污染浓度高,存在发生医院内军团菌肺炎甚至暴发流行的严重隐患,而美国 2001~2006 年期间其公用自来水系统共发生军团菌污染 24 起。因此,基于军团菌特殊的生物学性质及其污染现状,我国应加强相关的供水系统检测。

4.4 肠病毒(Enteric Virus)

肠病毒或肠道内病毒是指通过人肠腔而经粪便排出的一类病毒,包括脊髓灰质炎病毒、柯萨奇病毒、埃可病毒、肠道病毒 68-72 型、肝炎病毒、呼肠弧病毒、轮状病毒、腺病毒、星状病毒、诺如病毒等。由于目前的自来水厂净水工艺不能完全去除病毒,再加上肠病毒较细菌对温度、消毒剂 and pH 具有较高的抵抗力,因此在细菌学指标合格的饮用水中仍可能检出肠病毒。张楚瑜等^[29]采集自来水厂水样,发现自来水常规净水工艺很难全部去除病毒。

肠病毒主要由粪-口(或肛-口)通过消化道传播,即由病人的潜伏期或急性期粪便污染水源,经口进入胃肠道而传播。它们具有极强的感染性,因此,人类一旦饮用了被以上肠病毒污染的水,极易引起感染性腹泻的暴发流行,往往具有发病急、传播速度快、涉及范围广等特点。在美国,污染公用自来水系统次数最多的病毒是诺如病毒($n=34$),造成的病例达 14 133 例;其次是甲肝病毒($n=29$);轮状病毒虽然只发生了 1 次,但造成 1 761 例病例。在我国,以前对诺如病毒感染的报道和研究较少,但近年来,我国报告供水系统污染诺如病毒事件日益增多^[13~15],其中,较大规模的一次发生于 2010 年 12 月我国广州从化,共造成 429 人发病。另外,轮状病毒是引起婴幼儿腹泻报道最多的病毒(包括食源和水源)^[18]。目前,我国并未制定出饮用水的病毒学安全标准及其检测方法。

5 结语

城市供水系统生物安全关乎国计民生,更有助于国家和社会的安定团结,一旦发生生物污染事件,不仅可能造成巨大的经济损失,还可能引起社会的动荡和政府公信力的下降,因此,我国政府应高度重视城市供水生物安全及其污染事件,建立强大的水源性疾病和城市供水系统生物学监测系统,掌握我

国的水源性疾病流行病学特点和城市供水生物污染特点,为今后城市供水系统生物污染的快速检测和处置奠定基础。

参考文献

- 1 Craun G F, Brunkard J M, Yoder J S, et al. Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006. *Clin Microbiol Rev*, 2010, 23(3):507~528
- 2 Kuusi M, Nuorti J P, Hänninen M L, et al. Enteric viruses in a large waterborne outbreak of acute gastroenteritis in Finland. *Epidemiol Infect*, 2005, 133(4):593~601
- 3 Bhunia R, Hutin Y, Ramakrishnan R, et al. A typhoid fever outbreak in a slum of South Dumdum municipality, West Bengal, India, 2007: Evidence for foodborne and waterborne Transmission. *BMC Public Health*, 2009, 9: 115
- 4 Jakopanec I, Borgen K, Vold L, et al. A large waterborne outbreak of campylobacteriosis in Norway: The need to focus on distribution system safety. *BMC Infect Dis*, 2008, 8:128
- 5 中华人民共和国传染病防治法. 北京:法律出版社, 2004
- 6 蔡如鹏. 中国新闻周刊:中国每年因大气污染致门诊 35 万人. <http://news.163.com/07/1203/09/3UPENCBO000120GU.html>
- 7 张岚. 2006 年全国生活饮用水卫生安全情况调查和分析. *环境与健康杂志*, 2007, 34(8):595~598
- 8 张明德, 蔡云龙, 白晓慧. 城市供水系统中的水质微生物安全与评价. *给水排水*, 2010, 36(增刊):30~33
- 9 丛泽, 刘永泉, 时福礼, 等. 近 10 年北京市生活饮用水污染突发事件分析. *中国公共卫生管理*, 2008, 24(6):590~592
- 10 刘丹, 历丹. 1952~2008 年大连市部分肠道传染病暴发疫情资料分析. *预防医学论坛*, 2009, 15(11):1145~1147
- 11 Leclerc H, Schwartzbrod L, Dei-Cas E. Microbial agents associated with waterborne diseases. *Crit Rev Microbiol*, 2002, 28(4):371~409
- 12 European Food Safety Authority (EFSA), European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). The Community Summary Report. Food-borne outbreaks in the European Union in 2007. *The EFSA Journal*: Brussels, Belgium, 2009, 107~108
- 13 梁坚忠, 司徒荣阮, 陈缘超. 一起诺如病毒感染性腹泻暴发疫情流行病学调查. *热带医学杂志*, 2008, 8(9):971~973
- 14 秦彦珉, 廖玉学, 刘刚, 等. 一起诺如病毒感染性腹泻爆发的流行病学调查. *热带医学杂志*, 2009, 9(8):967~969
- 15 李群, 李苑, 王涛. 深圳市某大型工厂发生诺如病毒腹泻暴发的调查. 2010, 26(20):2352~2354
- 16 丛旭滋, 李福成. 一起阴河水型甲型病毒性肝炎的爆发流行. *当代医学*, 2008, (148):9
- 17 冯景强, 梁恒进, 姜岳明. 我国城乡给水状况与肠道菌腹泻. *环境与健康杂志*, 2001, 18(1):60~62

• 标准规范交流园地 •

住宅建筑生活给水管道设计秒流量计算的简化

罗 斌

(中国建筑上海设计研究院有限公司, 上海 200063)

摘要 住宅建筑给排水设计过程中, 给水水力计算是确定管径, 选择水泵的依据。探讨了应用概率法计算给水设计秒流量过程的简化, 将平均出流概率公式中每户的概念推广至每个楼层或每栋住宅, 供给水设计秒流量计算参考。

关键词 设计秒流量 平均出流概率 给水水力计算 住宅建筑

0 前言

住宅建筑给水排水设计过程中, 给水水力计算至关重要, 它是确定管径和选择水泵的依据。住宅是用水分散型建筑, 《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003, 2009 年版, 以下简称“规范”) 中采用概率法进行设计秒流量计算。实际工程中住宅每层有几个户型, 每个户型的给水当量数和用水人数都有可能不同, 一个给水系统要供应几栋住宅楼, 如果按部就班按照“规范”中的公式计算, 计算量很大且繁琐。笔者在住宅给水计算过程中, 发现将平均出流概率计算公式中每户人数和每户当量应用于整层楼或者整栋住宅的计算结果是一样的, 这样就大大简化了计算过程。下面将两种计算结果进行对比说明。

现以一栋 10 层住宅楼给水计算进行说明, 该楼每层有 3 种户型, 每个户型的给水当量分别为 3、4、5, 用水人数取 3.5 人, 小时变化系数取 2.5, 用水时间全天 24 h, 用水定额取 250 L/(人·d), 给水管材选用钢塑复合管。

1 按“规范”规定计算

“规范”3.6.4 条规定住宅建筑的生活给水管道的设计秒流量, 按照下列步骤和方法计算:

(1) 计算最大用水时卫生器具的给水当量平均出流概率:

$$U_0 = \frac{100q_L m K_h}{0.2N_g T \times 3600} \quad (1)$$

- 18 魏承毓. 我国感染性腹泻的基本状况与防控对策. 海峡预防医学杂志, 2006, 12(3): 1~4
- 19 王中全, 崔晶. 贾第虫病流行病学研究进展. 国外医学寄生虫病分册, 2005, 32(3): 99~105
- 20 崔福义, 左金龙, 赵志伟, 等. 饮用水中贾第鞭毛虫和隐孢子虫研究进展. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(9): 1487~1491
- 21 GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准
- 22 Tuite A R, Tien J, Eisenberg M, et al. Cholera Epidemic in Haiti, 2010: Using a Transmission Model to Explain Spatial Spread of Disease and Identify Optimal Control Interventions. Ann Intern Med, 2011, 154(9): 593~601
- 23 Wang S, Duan H, Zhang W, et al. Analysis of bacterial food-borne disease outbreaks in China between 1994 and 2005. FEMS Immunol Med Microbiol, 2007, 51(1): 8~13
- 24 赤峰自来水污染事件. http://www2.h2o-china.com/report/2009/2009_chifengwater
- 25 Nygard K, Gondrosen B, Lund V. Water-borne disease outbreaks in Norway. Tidsskr Nor Laegeforen, 2003, 123(23): 3410~3413

- 26 Taylor M, Ross K, Bentham R. Legionella, Prot ozoa, and Bio-films: Interact ions Within Complex Microbial Syst ems. Microb Ecol, 2009, 58(3): 538~547
- 27 周昭彦, 胡必杰, 于玲玲, 等. 3 种方法对供水系统嗜肺军团菌、阿米巴原虫及生物膜消毒效果的比较. 中华医院感染学杂志, 2010, 20(12): 1657~1660
- 28 陶黎黎, 胡必杰, 周昭彦, 等. 上海市 8 所医院供水系统军团菌属污染调查及危险因素分析. 中华医院感染学杂志, 2010, 20(12): 1710~1712
- 29 李劲, 李丕芬, 丁建华, 等. 自来水常规净水工艺去除病毒效果的研究. 中国环境科学, 1989, 9(5): 348~354

○ 通讯处: 300050 天津市和平区大理道 1 号天津市军事医学科学院卫生学环境医学研究所

电话: (022) 84655418

E-mail: jinminzh@126.com

收稿日期: 2011-08-04