

管道直饮水及其关键技术研究

杨 澎 傅文华 赵 锂 赵世明 赵 昕 朱跃云

(中国建筑设计研究院,北京 100044)

摘要 针对目前城市供水方式与现状,阐明建筑与小区设置管道直饮水系统的必要性,现阶段所发挥的作用。同时根据该系统的应用状况及存在的问题,结合《管道直饮水系统技术规程》(CJJ 110—2005)、《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)和管道直饮水系统设计秒流量计算等,介绍了管道直饮水的关键技术研究。

关键词 管道直饮水 水质标准 设计秒流量 技术规程

1 我国目前城市供水现状

1.1 我国城市供水水质状况

1.1.1 水源污染日趋严重

近年来,我国水污染仍呈发展趋势,工业发达地区水域污染尤为严重。据七大水系和内陆河流的110个重点河段统计,目前我国80%的水域、45%的地下水受到污染,90%以上的城市水源严重污染^[1]。水资源污染除危害人们健康和影响国民经济生产之外,对城市供水也造成了严重危害。

1.1.2 供水管网系统的二次污染

据一些城市调查统计,采用传统工艺处理的自来水水质是符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)中35项水质指标的,而经过管网输送造成二次污染所占的比例高达20%^[2],一些城市还多次出现由于管网问题引起饮用水的污染事故,致使供入用户的生活饮用水水质达不到标准要求。管网老化、管材选择不合适、管道施工存在不足、管理不善等,是问题出现的主要原因。

1.1.3 自来水加氯消毒引起的潜在危害

目前大多自来水厂普遍采用沉淀、过滤、加氯消毒的传统处理工艺,在氯化过程中,氯与天然有机物、腐殖物相结合生成三卤甲烷(THMs)、卤乙酸(HAAs)^[3]等消毒副产物,这些都是导致癌症、心脏病的主要因素。

1.2 管道直饮水系统的现状

鉴于目前城市供水现状及存在的问题,为使居民饮用符合标准的水,1996年上海率先在锦华小区

试验建设第一个管道直饮水系统。之后北京、深圳、广州、宁波、大庆、包头、沈阳、长沙等城市相继在一些工程项目中建设此类系统。使用人数由初期的几千人发展到上万人,处理能力由24 m³/d发展到370 m³/d,处理工艺由精滤发展到纳滤、反渗透膜,投资由几十万元发展到数千万元(如山东东营安居工程管道直饮水项目),范围由建筑与小区供水发展到城镇区域供水。从现状及发展趋势看,管道直饮水系统在安全饮水方面发挥着举足轻重的作用。

但从近年来管道直饮水市场运作来看,还存在一定的问题,由于无工程规范依据,该系统的设计、施工、验收、管理均由厂商说了算,处理工艺五花八门,这给一些低劣产品提供了可乘之机;同时成品水执行的标准不统一,有《瓶装饮用纯净水标准》,也有《饮用净水水质标准》,还有《瓶(桶)装饮用纯净水卫生标准》等等。这些均是亟待解决的问题。

2 管道直饮水的性质

2.1 我国管道直饮水系统的产生背景

2.1.1 目前城市供水标准低,二次污染严重

长期以来,我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85)水质指标只有35项,对水源中大量人工合成的有害物质均未做限定,在水厂水质达标的条件下,自来水中的“三致”物活性试验仍呈阳性^[4]。对于水中的有机污染物,已不是靠煮沸就能去除的。因此,现阶段供水水质标准难以满足要求。

城市给水系统特别是建筑给水系统的二次污染严重,出厂达标的自来水从用户的水龙头出来后往

往变成不达标的水,尽管城市供水系统逐年改造,建筑给水采用了新的供水技术、设备及管材,但二次污染仍然存在。

2.1.2 水厂及供水管网改造任重道远

2005 年国家颁布执行了《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005),若针对达不到 I、II 类水质的原水采用传统工艺净化,使出厂水符合该标准是很困难的,要求水厂的处理工艺在原有基础上进行活性炭、膜过滤等较高成本的深度处理^[5],甚至一部分给水输送的技术需要更新,否则现实中存在的二次污染会因水质标准的提高而更加突出。

此外,大范围的水厂及给水管网的改造需要大量的资金,改造工程难以在短期内实现,城镇居民饮用放心、合格的水还需要耐心等待。

2.1.3 经济发展与需求

管道直饮水的出现与国内物质生活水平的提高,以及健康饮水消费意识的提升有着密不可分的关系,对高档楼盘、写字楼、宾馆、机关、医院等社区或场所来说尤为明显。这些人员集中、用水需求量大、对饮水本身有着较高的要求,一般开水炉和桶装水已无法满足需求,管道直饮水此时作为一种很好的饮水方式出现恰逢其时。

从上述背景分析中得出,我国建筑管道直饮水系统的产生与发展是有其客观性的。

2.2 管道直饮水的性质与定位

2.2.1 国外专供饮用的管道供水系统

在那些以分质供水方式为主的国家,也已发展起了“管道直饮水”系统,如美国的 Dedicated Drinking Water System(DDW)和日本的“上质水系统”等。其中 DDW 系统还专门与桶装水进行经济比较,展开竞争。此外,美国政府近年来倡导^[6] POU/POE 深度处理方式去除城市供水中的杂质及有害物质。POU(point-of-use)是对住户的厨房龙头用水进行处理,POE(point-of-entry)是对住户的全部用水进行处理。该技术对于提高水质标准及供水卫生、安全不仅可行,而且是必要的。

2.2.2 城市供应直饮水的可行性

城市自来水厂通过深度处理供应直接饮用的水,只要投入资金经过改造,从理论上分析是可行的,目前有些城市在尝试,但需解决以下问题。

众所周知,饮水量只占日常生活用水量的不到 10%^[7],将自来水全部处理达到直接饮用的标准,势必会大幅增加处理成本,相应带来自来水价格的提高,其合理性决定着城市直饮水供应的命运。

其次,若达到直饮水的标准,处理工艺需要增加深度处理,无论国际还是国内管道直饮水的处理工艺基本采用膜过滤工艺,为此水厂需要增加大量的资金投入,融资渠道的畅通是关键。

水质保持至关重要,目前国内管道直饮水系统采用循环系统以保持水质,城市供水管网若采用此方式,因其规模大,无论是改造资金还是施工都难以实现。虽然消毒可以起到一定的作用,但消毒副产物会严重影响水质,这一矛盾目前在技术上很难解决。

2.2.3 管道直饮水的定位

我国建筑管道直饮水系统的产生既符合国际直饮水处理的通行做法,又解决了现阶段国内城市直饮水在处理技术、水质保持及建设投资等存在的现实问题,同时管道直饮水处理厂商在其中起到了积极的作用,因此,我国建筑管道直饮水系统的产生与发展有其必然性和存在价值。

3 《饮用净水水质标准》修订

3.1 修订原因

2004 年初,在编制《管道直饮水系统技术规程》过程中发现,《饮用净水水质标准》(CJ 94—1999,以下简称“标准”)在水质指标项目特别是指标限值上不适应管道直饮水事业的发展。2001 年卫生部颁布了《生活饮用水水质卫生规范》,2005 年建设部颁布了中华人民共和国城镇建设行业标准《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005),这些标准中所列水质项目更全面,限值更严格。根据 4 年来“标准”实施的情况与分质供水系统管道直饮水工程发展中存在的水质问题,有必要对“标准”进行修改与补充。

根据中华人民共和国建设部建标[2004]65 号要求,由建设部给水排水产品标准化技术委员会管理并主持,委托中国建筑设计研究院等单位对《饮用净水水质标准》(CJ 94—1999)进行修订。

3.2 修订内容

本次修订综合考查了国际、国内近年来实施和即将实施的水质标准、规范,修订内容包括:调整了浑浊度、总硬度(以 CaCO_3 计)、耗氧量(COD_{Mn} ,以

O₂ 计)、硝酸盐氮(以 N 计)、镉、银、总大肠菌群与粪大肠菌群、余氯等指标的限值,使指标更严格,取消了总有机碳(TOC)、氰化物、滴滴涕(DDT)、六六六、苯并(a)芘及放射性等指标,增加了亚氯酸盐、氯酸盐、溴酸盐、甲醛等指标及对管网末梢水中消毒剂残余浓度的规定(如余臭氧、二氧化氯),推荐了对水中溶解臭氧的检测方法,明确溴酸盐和氯酸盐的检测方法。增加供水企业必须开展的日常性水质检验要求,对检验项目与频率、采样点的设置加以规定。

3.3 修订后的技术水平

修订后的“标准”适用于以符合生活饮用水水质标准的自来水或水源水为原水,经再净化后供给用户直接饮用的管道直饮水水质,水质指标比《城市供水水质标准》和《生活饮用水水质卫生规范》更严格,符合我国直饮水行业的实际情况,具有中国特色,达到世界卫生组织的饮用水水质标准。该标准的实施可以规范并促进直饮水行业的长足发展,保障人民身体健康。

4 管道直饮水系统设计秒流量计算的研究

4.1 研究起因

针对管道直饮水系统的用水器具单一,为同一种水龙头,且用水时间集中,各龙头放水规律的差异较小的特点,根据概率理论,我院在 2000 年承担的建设部《建筑和居住小区优质水供应技术》科研课题中提出了设计秒流量计算公式。

由于该公式仅是经理论分析得出,其结构、参数是否正确,需要通过工程实测、数据分析来验证。

4.2 研究内容

2004 年规范组开展了管道直饮水设计秒流量计算的研究课题,于 7、8 月间在新起点嘉园(办公)和九龙花园(住宅)进行 24 h 饮用水量连续测试。

实测共持续 46 d,采集数据共计 132 480 个,经分析、整理,有效数据为 100 800 个。在进行测试的同时,对实测工程的用户做了调查,这些有助于设计秒流量计算公式推导与验证。

研究涉及以下内容:设计秒流量计算公式的建立、饮水龙头同时使用概率 p 的计算方法、时变化系数 K_h 及比例系数 a 的确定、饮水高峰持续时间 T 、最高日饮水定额。

4.3 研究结论

通过建立数学模型、实测数据分析,应用概率论的 poisson 分布及正态分布近似计算,将计算结果与实测数据对比及进行误差分析,得出以下结论:

(1) 本课题选用概率法研究管道直饮水设计秒流量,符合直饮水用水规律,研究方法正确。

(2) 本课题进行管道直饮水设计秒流量研究的基础资料,为全年气温最高饮用水量最大的夏季 7、8 月份管道直饮水用水实测数据。由实测资料分析统计的建筑饮水高峰值,反映了相同条件下全年管道直饮水的高峰值。研究基础资料选择合理。

(3) 应用亨特公式计算直饮水龙头使用概率 $p=t/T$ (t 为龙头在 T 时段的放水时间, T 为用水高峰时段的连续时间)时,推荐办公楼建筑 T 取 11 min、住宅小区 T 取 6 min 为宜,其他建筑可参照选用。

(4) 由实测资料统计分析得出了办公楼和住宅小区不同 T 时段用水量占最大时用水量的比例系数 a ,建立了设计秒流量 q_s 对应的同时作用龙头数 m 的计算表,由额定流量 q_0 求得计算管段的设计秒流量 q_s , $q_s=q_0 m$,简化了计算,便于设计人员使用。

(5) 推导了综合楼直饮水干管设计秒流量计算时,为调整不同管段的用水概率,进行龙头折算的折算公式,即折算后的龙头数 $n_e=n p/p_e$,其中 n 为龙头数, p_e 取龙头数量与概率乘积较大者管路的概率值,该式也适用于用水概率不同的汇合管道上游管段设计秒流量的计算。

(6) 根据九龙花园实测资料统计分析,目前我国住宅直饮水用水标准取 3~5 L/(人·d) 偏高。修改后用水量标准以 1~5 L/(人·d) 计,设计人员可根据实际情况,在更大的范围内合理取值。

4.4 研究意义

本研究课题的内容及测试自建国以来还属首次,尽管测试地点在北京,直饮水用水量受地域、生活水平和人们生活习惯等因素的影响,数据还存在一定的局限性,但其意义是显著的。

本研究课题的测试手段、研究方法 & 数据分析为今后给水排水专业开展用水量分析、计算公式的合理建立、参数确定等类似研究打下了坚实的基础,提供了宝贵的经验及参考价值。

5 《管道直饮水系统技术规程》

5.1 编写介绍

根据中华人民共和国建设部建标[2003]104号要求,由建设部标准定额研究所委托中国建筑设计研究院、深圳市水务集团深水海纳水务有限公司、上海管道纯净水股份有限公司主持编写《管道直饮水系统技术规程》(CJJ 110—2006,以下简称“规程”)。

规程编写组在建设部科学技术司下达的《建筑和居住小区优质水供应技术》研究课题的基础上,参考国内外有关应用研究资料,认真总结国内实践经验,制定、编写了本“规程”。

经过征求意见、专家审查,最终形成“规程”报批稿,并于2005年11月上报建设部审核批准。

5.2 编写内容

“规程”共分12章,内容包括:总则;术语和符号;水质、水量和水压;水处理;系统设计;系统计算与设备选择;净水机房;水质检验;控制系统;施工安装;工程验收;运行维护和管理。

5.2.1 系统计算

该章条文是在管道直饮水系统设计秒流量计算研究课题所取得成果的基础上,通过对比当前管道直饮水设计所采用的公式计算结果的可靠性,结合该系统饮水龙头的使用概率及用水高峰的分布情况、持续时间,通过调整公式结构,便于工程设计并使其操作性更强而编写。

5.2.2 水质、水量和水压

根据上述研究课题的结论,住宅最高日直饮水定额下限值有所调整。规定了系统用户端的水质必须符合《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)的规定,其他指标符合《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005)的规定。值得注意的是,“规程”中的规定是针对用户终端水质,而非出厂水水质。

5.2.3 系统设计

除在系统分区、供水方式、系统循环等方面做出规定外,管材推荐采用不锈钢管、铜管或其他符合食品级要求的优质给水塑料管和优质钢塑复合管,是在满足管道直饮水系统的安全卫生要求,并结合处理工艺、出水水质、水质保持、消毒等对管道材质的要求条件下制定的。

5.2.4 水处理

根据原水水质及出水水质标准推荐采用膜处理技术(包括微滤、超滤、纳滤和反渗透),同时对与所

采用的膜处理配套的预处理、后处理和膜的清洗等做出规定,并对消毒提出要求。另外从节水角度出发,要求深度净化处理系统排出的浓水应回收利用。

根据相关的试验研究及工程经验总结,并考察不同情况下采用的各种工艺,结果表明,应根据原水水质有针对性地优化组合预处理、膜处理和后处理工艺。对于以城市自来水为水源的净水工艺,从经济、实用的原则采用臭氧活性炭或活性炭再辅以微滤或超滤和消毒,是可以满足直饮水水质要求的;只有在某些城市水源污染较严重、含盐量较高、水中低分子极性有机物较多的自来水净化时,采用纳滤。目前国内常采用的直饮水净水工艺见表1。

表1 目前国内常用的直饮水净水工艺

原水	净水工艺
微污染水,硬度和含盐量适中或稍低	活性炭→超滤
微污染水,硬度和含盐量偏高	活性炭→纳滤,活性炭→反渗透
有机物污染严重	臭氧→纳滤,臭氧→活性炭→反渗透

5.2.5 运行维护和管理

为使管道直饮水系统合理、有效、可靠地运转,解决质量与安全保障问题,对净水站的管理、生产运行、水质检测、室内管道维护、室外管网和设施维护、故障处理等方面做出规定。

5.2.6 其他

为保证饮水安全卫生与系统正常运行,在净水机房、管道敷设、水质检验、工程验收等方面也做了详细而全面的规定,制定了质量控制要求的条文。

5.3 意义

编制本“规程”在技术上起到规范、指导管道直饮水系统的设计、施工安装、运行维护管理的作用,杜绝该系统质量与安全保障问题的发生,对于这一产业的存在和健康发展,对于居民的身体健康和安全非常重要。

参考文献

- 崔玉川,傅涛.我国城市给水发展现状与特点.中国给水排水,1999,15(2):52~54
- 王占杰.“水质标准”提高加快管网建设步伐.中国建设信息,2005,(3):1~3

不伸顶通气自循环排水系统的试验研究

汪雪姣 高乃云 夏圣骥

(同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要 对不伸顶通气的自循环排水系统进行了试验性研究, 试验楼高 33.6 m, 共 12 层。结果表明, 设置公称外径 $dn75$ 的 PVC-U 通气立管, 其底部与排水立管连接或直接与外界连通时, 仅 12、11 层 2 个坐便器排水就可使立管内的最大负压波动达到 $-65 \text{ mmH}_2\text{O}$ 。当通气管公称外径为 $dn110$ 时, 采用 H 管每层与排水立管连接, 在底部排出横管上距离排水立管底部 3 m 处设置 1 个 $\varnothing 315 \text{ mm}$ 的塑料检查井, 并将通气立管下部与检查井连接; 或不设置检查井, 直接在该处采用三通将通气立管与排出横管连接, 以 $\pm 40 \text{ mmH}_2\text{O}$ 作为排水系统的破坏标准时, 其通水能力约为 11 L/s , 并且 H 管每层连接的方式比隔层连接明显有利于排水系统的运行。

关键词 不伸顶通气 自循环 排水系统 通水能力 H 管

建筑排水设计中常遇到排水立管无法伸出屋面, 需要采用其他配件来满足排水能力的情况。保护卫生器具存水弯的水封, 将自循环补气移植至排水立管无法伸顶通气的立管, 使下降水流所挟带的气体释放后又通过通气立管补充到排水立管, 让自循环补气理念为实际工程的应用提供新的思路 and 理论支撑。由于不透气自循环系统还未在实践中运用, 前人也未曾对该系统进行研究, 因此本试验研究完全处于探索性阶段, 以期为通气立管不宜伸顶时的工程运用提供一些参考数据。

1 试验部分

1.1 试验装置

同济大学留学生 1 号楼共有 12 层, 层高 2.8 m, 总高度为 33.6 m, 选择该楼的消防楼梯通道作为试验场地。由于现场条件限制, 每层的坐便器和排水横支管在原有地面基础上均抬高 1.2 m 进行安装。

本试验排水楼层集中在 7~12 层, 其中 12 和 11 层各安装 2 个坐便器, 10~7 层各安装 1 个坐便器。系统中设置公称外径 $dn110$ 的 PVC-U 排水立管, 每层采用斜三通与排水横管连接, 立管顶部采用 2 个 90° 弯头直接与通气立管相连, 立管底部采用 2 个 45° 弯头与 $dn110$ 的排出横管连接, 排出横管设置为直管段排出不转弯, 管长 7.2 m, 坡度为 1.5%, 满足《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003) 4.4.10 条对塑料排水横干管坡度的要求。在每层离地面高 1.4 m 的立管处, 安装一检查口作为测压点, 采集不同排水负荷时每层的压力变化, 绘制的压力曲线是各楼层最大压力的集合, 为分析系统通水能力提供较为可靠的数据, 试验装置示意图 1。

1.2 装置气密性

本试验需要测定排水管道内的气压波动, 因此要求该测试系统必须达到气密性要求, 尤其是正压

- 3 张晓健, 李爽. 消毒副产物总致癌风险的首要指标参数——卤乙酸. 给水排水, 2000, 26(8): 1~6
- 4 陆在宏, 康兰英, 冯秉中. 应用反渗透法—RO 组合净水器深度处理自来水有害物质效果研究. 给水排水, 1995, 21(3): 37~39
- 5 城镇供水协会. 城市供水行业 2010 年技术进步发展规划及 2020 年远景目标. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- 6 USEPA. Guidance for Implementing a point-of-use and point-of-entry treatment strategy for compliance with the safe drinking water act—Revised Final Draft, 2002

- 7 丹保宪仁. 水文大循环和城市水环境代谢. 给水排水, 2002, 28(6): 1~5

※通讯处: 10044 北京西外车公庄大街 19 号

电话: (010) 68302579

E-mail: yangp@cadg.cn

收稿日期: 2006-10-27

修回日期: 2006-12-15