

述评与讨论

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.20.015

## 日本自来水管网管理及风险控制

马骏<sup>1</sup>, 袁远<sup>2</sup>, 林应超<sup>3</sup>, 贺凯<sup>4,5</sup>

(1. 太原科技大学 环境与安全学院, 山西 太原 030027; 2. 天津生态城环境技术股份有限公司, 天津 300467; 3. 南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300350; 4. 日本京都大学 工学研究科附属流域圈综合环境质研究中心, 日本; 5. 清华大学-京都大学环境技术联合研究和教育中心, 广东 深圳 518055)

**摘要:** 基于城市的快速发展过程导致供水方面的需求不断增加等问题,介绍了日本自来水管网的发展历程,从日本管网现采用的抗震设计、管压和流速的设计、供水管网布局模式等方面介绍了日本水力风险的控制策略,从自来水水质、管道事故控制对策、水质控制指标、末端水质控制策略等方面介绍了日本水质风险的控制策略,并介绍了日本最新的自来水管网管理相关研究。最后,依据日本的发展经验提出对我国管网建设与管理的建议。

**关键词:** 自来水管网; 水质风险; 水质控制

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)20-0086-09

## Management and Risk Control of Water Supply Network in Japan

MA Jun<sup>1</sup>, YUAN Yuan<sup>2</sup>, LIN Ying-chao<sup>3</sup>, HE Kai<sup>4,5</sup>

(1. College of Environment and Safety, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030027, China; 2. Tianjin Eco-city Environmental Technology Co. Ltd., Tianjin 300467, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China; 4. Research Centre for Environmental Quality Management, Kyoto University, Japan; 5. Kyoto University-Tsinghua University Cooperative Research and Education Center for Environmental Technology, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** In the process of rapid development of cities, the demand for urban water supply is increasing. This paper introduces the development process of water supply network and the control strategy of water risk in Japan from the aspects of Japanese seismic design, pipeline pressure and flow design, and layout of water supply network. The paper also introduces the control strategy of water quality risk in Japan from the aspects of tap water quality, pipeline accident control, water quality control indicators and terminal water quality control strategy, and reports the latest research on water supply network management in Japan. According to the experience from Japan, this paper puts forward suggestions for the construction and management of water supply network in China.

**Key words:** water supply network; water quality risk; water quality control

城市的快速发展过程导致其对于供水方面的需求不断增加,各自来水厂也随之持续对自来水处理单元提升改造,完善深度处理工艺<sup>[1]</sup>。在自来水出水水质不断提高的同时,作为自来水厂和用户终端

纽带的自来水管网也面临着更高的要求,一方面,随着用水人口数量和用水需求量的增加,自来水管网的铺设持续延伸,覆盖范围也在不断扩大;另一方面,很多管道使用年限已久,磨损严重,因此需要稳

步推进改造工作<sup>[2]</sup>。日本的自来水事业开始于17世纪初的江户时代,1887年日本近代自来水事业于日本港口城市横滨起步,据统计,1985年日本自来水覆盖人口3 700万人,2011年日本自来水覆盖人口已达到12 462万人,自来水普及率从1958年的41%发展到2011年的97.5%,已基本实现全民自来水供给<sup>[3]</sup>。但是,在快速的城市化过程中,日本也面临过如管网老化和管网水质事故等各种自来水管网管理问题,并针对这些管网问题采取了相应的对策和措施。针对日本近年的供水管网事故及其应对措施,从日本供水管网、供水水质问题及其应对措施、供水管网研究进展三方面进行系统性介绍,为我国的自来水管网管理工作提供建议。

## 1 日本供水管网介绍

第二次世界大战以前,自来水供水在日本是仅在大城市能享受到的基础设施服务。1958年后,随着日本现代化城市建设进程,自来水系统也快速拓展和升级。2014年的统计表明,日本全国自来水管总长度为 $66 \times 10^4$  km<sup>[4]</sup>。但是,随着供水管网的长年使用,管道的老化率不断增加,而管道的更新率仅维持在1%左右,特别是有众多供水单位和密集供水管网的人口密度较高的大都市区<sup>[5]</sup>。例如,根据2011年的统计,其超过40年使用年限的老化自来水管占8.5%<sup>[6]</sup>。传统的供水管网主要是铁质管道、镀锌钢管等,老化后容易发生漏损现象,产生红水等水质问题。后来,为预防管网漏损,开始逐渐使用球墨铸铁管道替换铁质管道。目前,在日本主要的水管材料中,球墨铸铁管的比重最大,其次分别是硬质氯乙烯管(PVC管)、聚乙烯管和钢管等。球墨铸铁管和硬质氯乙烯管材用量占总管长的88%<sup>[7]</sup>。日本某地区供水管网模型见图1<sup>[8]</sup>。

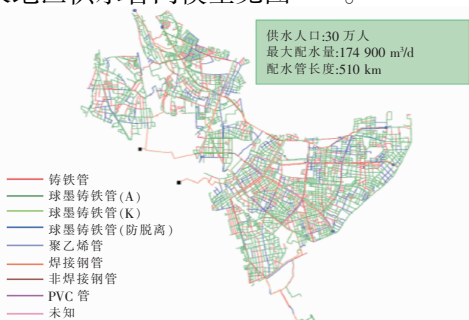


图1 某地区供水管网模型

Fig.1 Schematic diagram of a regional water supply network model

## 2 水力风险及控制策略

根据2013年日本对其全国供水事故的统计<sup>[9]</sup>汇总(见图2),2013年日本全国供水事故中,涉及供水管网的供水事故占大多数,特别是水管漏损的情况占总事故的60.20%。为了进一步控制自来水漏损造成的自来水资源的浪费,日本厚生劳动省制定了漏水控制对策以及有效的供水率目标(大型供水单位有效供水率为98%,小型供水单位有效供水率为95%)。为此,日本制定了一系列漏损控制措施。其中主要包括基础措施、针对性措施和预防性措施。得益于日本有效的漏损预防控制工作,日本的供水效率已从1979年的77.6%上升到2001年的92.4%<sup>[10]</sup>。

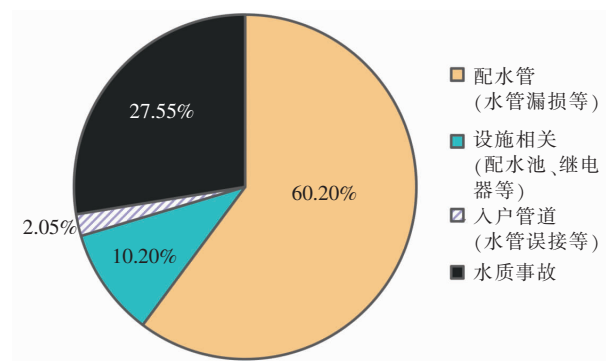


图2 日本全国的供水事故原因汇总

Fig.2 Causes of water supply accidents in Japan

### 2.1 水力风险基础调查

水力风险基础调查主要包括配水量分析、漏水量的掌握和漏水原因的解析。其中配水量分析主要针对水的用途进行分类统计,其分析结果作为供水单位运营的重要指标,并为供水单位的漏损控制目标提供理论依据。

根据日本厚生劳动省的水道维持管理方针,配水量(见表1)主要分为有效水量和无效水量。其中,有效水量主要包括正常收费水量和市政用等非收费水量,无效水量则包括由于水质问题导致的减额水量和管网系统漏水量的测量(当地面出现漏水时,于维修前进行)。地下漏水的测量方法主要包括直接测量法和间接测量法;而漏损分析是其中非常重要的一环,对未来的漏损控制措施的制定非常重要。为了分析渗漏问题,准确的管道信息和管道周围环境信息必不可少,主要内容包括漏水种类、漏水设施、漏水原因和漏水区域等。

表 1 配水量分析内容汇总

Tab.1 Summary of water distribution analysis content

配水量	有效水量	有收费水量	费用水量	①作为收费基础的水量 ②定额栓及其认定水量
			分水量	其他自来水业务中的分水量
			其他	①公园用水量 ②公共厕所用水量 ③消防用水量 ④其他(作为维持必要管理费收入而计算的水量)
		无收费水量	仪表故障水量	在有效使用水量中,由于仪表不灵敏而不成为收费对象的水量
			业务用水量	管道冲洗用水,漏水控制作业用水等配水设施相关业务使用的水量
	无效水量		其他	①公园用水量 ②公共厕所用水量 ③消防用水量 ④其他(没有计入收入的水量)
			调整减额水量	因为红水等水质问题,通过调整成为减额对象的水量
			漏水量	①配水主管漏水量 ②配水支管漏水量 ③从仪表上游供水管道来的漏水量
			其他	因其他原因引起的水管设施损坏等造成的无效水量和不明水量

2.2 针对性措施

针对性措施主要包括机动型漏水修复措施和计划型漏水修复措施。机动性修复主要是指检测地面渗漏的早期检测、准确检测和修复漏水点的工作,根据居民提供的信息以及在巡回检测中发现的临时问题实施。计划型漏水修复指通过各种漏水检测手段对修复区域内的管路进行定期检查和修复,主要针对的是地下漏水。主要工作内容包括巡回检测漏损位置、测定漏损水量,对检测漏损管路进行定期巡回

检测,并及时进行修复。

2.3 预防性措施

预防性措施是指采取更新管道等手段来消除可能产生漏损的原因,主要措施包括配水管和给水管的改良、水压的调整、腐蚀防治和施工中的注意事项等。

① 配水管改良。及时对配水管和给水管进行改良,使用球墨铸铁管道替换容易产生红水、抗震性差的铁管。球墨铸铁管具备承压能力强、抗震性强、耐腐蚀等特点,2002 年东京实施的“K0 工程”将老化供水铁管更换为球墨铸铁管道,到 2007 年底,东京配水管网已基本完成更换<sup>[11]</sup>。

② 改善入户水管材质。在传统供水管网中,通常采用的是铅质管道,容易发生漏损。将入户管道更换为不锈钢材质的管道,可以控制饮用水中铅含量,并预防控制管网漏损。

③ 采用大口径供水管道。采用大口径供水管道,在一定程度上可增强管道的抗震能力。东京供水管理局采用直径 >75 mm 的管道更换以前铺设的配水管网,自 2007 年起,替换范围已经扩大到 1998 年以前铺设的配水管道<sup>[12]</sup>。

④ 水管漏损预防技术。加大对漏损检测技术或设备的开发和研究,缩短管道漏损检测工作时间,及时检出漏损水管,降低水管漏损率。

2.4 管道风险评价体系

为了更进一步对供水单位的管网管理情况进行评价考察,日本水道协会制定了水道事业指导手册业务指标(见表 2),主要包括管道环境、管道状况、经营状况、更新耐震措施、经营状况、更新耐震一级维持管理措施等指标。

表 2 水道事业指导手册业务指标

Tab.2 Water supply guidebook business indicators

等级	管道环境	管道状况	经营状况	更新耐震措施	维持管理措施
	配水管长度密度/ ( $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ )	老化管道率/ %	经常性收支比率/ %	管道更新率/ %	有收入率/ %
1	<3.7	<14.6	<103.2	0	<81.1
2	$\geq 3.7$	>7.9	$\geq 103.2$	>0	$\geq 81.1$
	<5.9	$\leq 14.6$	<109.0	$\leq 0.39$	<87.1
3	$\geq 5.9$	>3.4	$\geq 109.0$	>0.39	$\geq 87.1$
	<9.3	$\leq 7.9$	<115.6	$\leq 0.72$	<92.1
4	$\geq 9.3$	>0	$\geq 115.6$	>0.72	$\geq 92.1$
	<17.1	$\leq 3.4$	<132.6	$\leq 1.21$	<97.0
5	$\geq 17.1$	0	$\geq 132.6$	>1.21	$\geq 97.0$

注: 经常性收支比率 = 营业收入/营业支出;有收入率 = 获得收入的水量/供水量。



## 2.5 日本管网现状

### 2.5.1 抗震设计

2011年日本东北地区太平洋冲地震中,约257万户断水;2016年熊本地震,约44.6万户断水,自来水设施受到了很大的损失,严重影响了市民生活和社会经济活动。厚生劳动省开展了“自来水设施、管道抗震性改善运动”(第一期2008年—2009年、第二期2010年—2011年),2012年设立了“自来水抗震化推进项目”,进一步发展了前述的运动,进行了有关自来水设施抗震化的宣传活动。在“2013年度管路抗震化研讨会”上,制定了《自来水抗震化计划等制定指南》修订版等<sup>[13]</sup>,对自来水设施抗震化进行宣传普及。为了配合设施更新,将自来水设施整体在牢固抗震性方面进行改进,修订了《制定自来水设施技术基准的省令》部分内容。另外,考虑到现有设施的重要性和优先度,针对各自来水经营者进行建议和指导,以便有计划地进行抗震化的推进。

截至2018年末,日本自来水设施中主干管路抗震适应性强的管道比例约40.3%,净水厂的抗震化率约30.6%,供水池的抗震化率约56.9%。

### 2.5.2 管压、流速设计

为保证供水水质,日本水道设施设计指南中对配水管水压制定了规定技术标准的省令,有着明确规定:①从配水管分支到配水管的地方,配水管内的最小动水压要确保在150 kPa以上。②从配水管分支到配水管内的最大静水压不超过740 kPa。日本主要使用球墨铸铁管、钢管、不锈钢管、硬质多氯乙烯管等自来水配水管,对于球墨铸铁管及钢管、不锈钢管等配水管的最高使用压力为1.00 MPa,对于硬

质多氯乙烯管和聚乙烯管自来水配水管最高使用压力为0.75 MPa。在配水管网中,由于这些管材混在一起,所以从保护当前使用的供水装置的角度来看,最大静水压可接受的数值设定为0.74 MPa。另外,关于最大动水压,考虑到直接供水范围扩大带来的最小动水压的上升,优选为0.50 MPa左右<sup>[14]</sup>。

同时,针对流速,根据具体的情况,在考虑经济性的基础上制定设计平均流速。日本导水管和输水管道的的设计平均流速参考因素为:①在自然流下式的情况下,容许最大限度为3.0 m/s左右。②在泵加压式的情况下,采用经济流速。引水渠的平均流速允许最大限度为3.0 m/s左右,允许最小限度为0.3 m/s左右。东京地区水道局则一般在用户出口流速为2.0 m/s的情况下进行设计。

### 2.5.3 供水管网布局

日本供水模式主要分为直压直连、加压直连、高置水槽和底置水槽加压供水4种方式,其具体的优缺点如表3所示。同时为满足稳定水量、安全水质、适当水压、抗震、设施更新改造等要求,日本水道协会将供水系统划分为取水设施、导水设施、净水设施、送水设施、配水设施和给水设施6部分。其中送水管道、配水池和配水管道共同构成了城市送配水系统。送水管道连接净水厂和配水池,在合适的压力下以稳定方式供水。配水池根据当地的供水压力,满足用户水量变化要求。日本的常规操作是对给水区域进行划分,具体到每个分区包含有一到多个配水池。配水池作为供水的临时储存设施,根据需求进行水量控制,其容积按照辐射区域日12 h供水量作为标准;区域内的水压保证由管网按照区域划分进行计算确定<sup>[15]</sup>。

表3 日本供水模式适用范围及优缺点

Tab.3 Scope of application, advantages and disadvantages of the Japanese water supply models

供水模式	适用范围	优缺点
直压直连	主要3层以下建筑	直接同供水管网相连,水质污染可能性小,但一般只能供给低层建筑
加压直连	4层以上建筑	在供水管网后设置加压泵,水质污染可能性小,但需要考虑加压泵空间及维护成本
高置水槽	4层以上建筑	利用重力给用户供水,需要考虑受水槽和高置水槽的清扫及维护,同时也需要考虑其设置空间
底置水槽加压供水	4层以上建筑	利用加压泵向用户供水,需要考虑受水槽的清扫及维护,同时也需要考虑其设置空间

### 2.5.4 运行案例及效果

日本埼玉县朝霞净水厂、东京都杉并区、上井草给水所的朝霞上井草线送水管使用的是超大口径给水管,供应220万人的正常用水,但经过50年的使

用,开始出现一定程度上的设施老化。加之考虑到地震事故对供水的影响,日本全境特别是东京地区,正在逐步推进自来水管网的二重化和网络化建设。比如,在原有的朝霞上井草线基础上,修建第二朝霞

上井草线,同样采用超大管径 2 600 mm 耐震型球墨铸铁管,并预计 2023 年竣工使用<sup>[16]</sup>。现在东京主要的大口径管道建设见图 3。

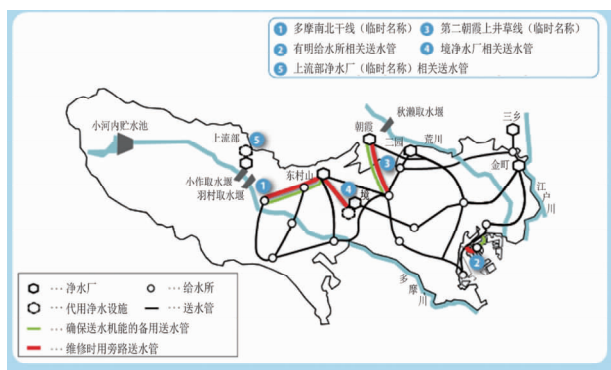


图 3 东京主要大口径管道建设示意

Fig. 3 Construction drawing of main large diameter pipelines in Tokyo

### 3 水质风险及控制策略

#### 3.1 自来水水质风险

为保证供水水质的安全,除使用符合法律要求的材料标准产品外,还应从给水水质、土壤影响、敷设位置、管道特性、耐腐蚀性等角度对管道材料进行必要的考虑和适当的选择,并且在建设过程中有所注意。另外,在发生由配水管引起的红水等水质异常的情况下,需要考虑更新配水管或采取清扫配水管内部等措施。同时在供水设施中,管道连接方法的不当也可能会产生水的倒流,从而对配水管内的水质产生不良影响。当直接连接供水管以外的机器、设备上的水管时,由于闸阀等的错误操作而发生

回流也会对自来水水质产生影响。在日本,私人独栋住宅经常同时使用地下水和城市自来水作为水源,地下水和自来水管的混接引起的水质事故时有发生,因此自来水管和地下水管的使用和连接需要更加严格的管理。而当供水管网中发生负压情况时,供水管网附近的污染物会由于负压作用进入供水管网,从而导致严重事故,进而影响整个供水系统的水质安全。

一般而言,异常现象可以根据供水设备(由水锤和供水工具部件等引起的异常噪声和振动)、自来水的着色和气味(与供水设备的结构和材料有关)进行大致分类。

尽管供水系统中的异常声音和振动通常通过改善管道形式和供水工具的部件消除,但是仍然有必要对自来水着色和气味的原因进行详细调查,并及时采取适当的措施。日本厚生劳动省对主要的水质现象及其发生原因和解决办法进行总结,制定水质污染防治对策。

#### 3.2 管道事故对策

针对可能产生的管路事故,日本制定了管道事故对策指导手册<sup>[17]</sup>,其中针对管道事故制定的相关应急响应机制包括:预防对策(包括应急体制组织和业务、准备应急对策资料、与有关单位的合作、教育培训、给水装置冻结事故对策等)和应急对策(出动体制确立、应急体制的确立、应急修复、应急供水对策等)。管道事故紧急部署基准内容见表 4,管道事故应急修复现场作业步骤见图 4。

表 4 管道事故紧急部署基准(例)

Tab. 4 Pipeline emergency deployment benchmark

紧急部署	配备标准	出动范围	本手册的应急对策业务中实施的内容
第 1 紧急部署	小规模管道事故 事故造成的断水、减水影响范围不满○○○件,且○○○小时内可以修复的事故	班长以上, 管道修复班	信息联络,受害状况等的把握,应急修复等(按照对策本部体制,实施这些业务)
第 2 紧急部署 (管道事故对策本部设置)	大规模管道事故上述以外的事故	全体职员	包括应援请求在内,实施所有业务

修复现场作业内容及注意事项:

① 首先确认工作内容,包括事故场所、事故管道信息(口径、管种等)、通行路径、断水方法、断水概要(断水户数、污水户数、减压户数等)、医院等应急供水对应设施的有无。准备自备设备等。

② 掌握现场状况(事故内容等),锁定事故

管道。

③ 制定应急修复计划、应急供水计划。

④ 关闭阀门,限定断水区间,实施紧急修复工程。

⑤ 工程完成后,慢慢打开阀门,流入修复用水,通过空气阀、消火栓等同时进行排气。

- ⑥ 确认管内满水时的水压及其变化等,在进行漏水调查的同时慢慢提高水压。
- ⑦ 在区间内巡回等进行漏水调查,有漏水时停止修复用水的流入。
- ⑧ 将管内水用排水管抽出,进行漏水部分的修理。之后,反复上升到静水压。
- ⑨ 修理完成后,排除空气,用水管接消防栓等清洗。

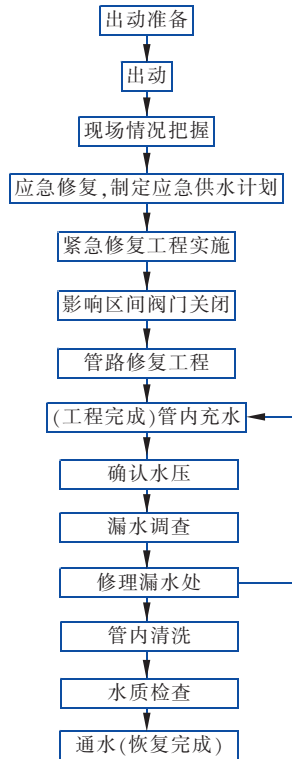


图 4 管道事故应急修复现场作业步骤(例)

Fig. 4 On site operation procedures for emergency repair of pipeline accidents

3.3 水质控制指标

根据日本《水道法》第 4 条规定,自来水必须符合《水质标准相关省令》(2015 年 5 月 30 日厚生劳动省第 101 号法令)中规定的水质标准,具体的自来水质量标准、水质管理目标值如表 5 所示<sup>[18]</sup>。根据《水道法》,日本自来水供水部门等必须对自来水进行检查。

除水质标准外,还要将水质管理目标项目、未进行毒性评估的物质和自来水中检测不明显的项目作为必要的项目。同时自来水供水部门应制定相关的水质检测计划,并向消费者提供水质标准项目的检测结果。

表 5 日本水质标准项目和参考值(51 项)

Tab. 5 Japan water quality standard indicators and reference value (51 items)

项 目	标准值
一般细菌/(个·mL <sup>-1</sup> )	<100(菌落数)
大肠杆菌/(个·mL <sup>-1</sup> )	未检出
镉及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.003
汞及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.000 5
硒及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.01
铅及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.01
砷及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.01
六价铬化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.05
亚硝酸盐氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.04
氰化物离子和氯化氰/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.01
硝酸盐氮和亚硝酸盐氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	<10
氟及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.8
硼及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤1.0
四氯化碳/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.002
1,4-二恶烷/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.05
顺-1,2-二氯乙烯和反-1,2-二氯乙烯/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.04
二氯甲烷/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.02
四氯乙烯/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.01
三氯乙烯/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.01
苯/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.01
氯酸/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.6
氯乙酸/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.02
氯仿/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.06
二氯乙酸/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.03
二溴氯甲烷/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.1
溴酸/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.01
总三卤甲烷/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.1
三氯乙酸/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.03
溴二氯甲烷/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.03
溴化物/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.09
甲醛/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.08
锌及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤1.0
铝及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.2
铁及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.3
铜及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤1.0
钠及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤200
锰及其化合物/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤0.05
氯化物离子/(mg·L <sup>-1</sup> )	<200
钙、镁等(硬度)/(mg·L <sup>-1</sup> )	<300
蒸发残留物/(mg·L <sup>-1</sup> )	<500
阴离子表面活性剂/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.2
土霉素/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.000 01
2-甲基异苯甲酮/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.000 01



续表5 (Continued)

项 目	标准值
非离子表面活性剂/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$<0.02$
酚类(以苯酚计)/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\leq 0.005$
有机物[总有机碳(TOC)量]/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$<3$
pH 值	5.8 ~ 8.6
味	不异常
气味	不异常
色度/度	$<5$
浊度/度	$<2$

### 3.4 末端水质控制策略

在预防水质事故的同时,日本对供水水质也提出了更高的要求。日本自来水工艺最终都会采用氯消毒工艺,以控制自来水微生物风险。为保证消毒效果,法律规定了余氯浓度在 $0.1 \text{ mg/L}$ 以上。为保证管网末端的余氯浓度,日本大城市管网(东京、大阪等)中供水泵站实行多级加氯措施<sup>[19]</sup>,同时通过中途加氯,降低药耗,减少消毒副产物的生成,满足最新的水质标准对消毒副产物的严格要求<sup>[20]</sup>。但是余氯浓度过高,水会有强烈的气味,因此,日本政府同时将自来水水质管理中的余氯目标值最高设定为 $1.0 \text{ mg/L}$ 。名古屋市政府为了水的口感,将余氯浓度控制在 $0.1 \sim 0.4 \text{ mg/L}$ 的范围内。然而,氯在水输送过程中逐渐消耗,造成氯浓度在靠近水厂的地方高,在相对较远的地区较低的情况。因而,在自来水厂负责的整个供水区域内,将所有地区的余氯浓度保持在一定范围内较为困难,需要使用先进的技术手段,对其进行更加精确的控制。特别还要研究在配水过程中进行氯添加的技术<sup>[21]</sup>;同时还要减少水的停滞区段,降低供水流经管道过程所用的时间。

为了进一步提升自来水的口感,日本在供水水温上也开展了大量具体的工作。日本开展了抑制供水设施中每个阶段水温上升的技术研究,进一步研究了从供水口到用户末端时影响水温升高的因素及波动原因。研究人员调查了从水源到供水口的水温,并找出影响水系统水温的原因,考虑改进措施。在调查的水箱供水水温变化的情况下,考虑时间的影响,研究安装、材料和换水时间对水温的影响。作为抑制水温上升的另一个有效措施,日本也在如何切断太阳光及覆盖水净化厂过滤池方面开展了广泛的研究。

## 4 最新研究进展

在以上的措施之外,日本近年来也开展了未来自来水管网管理的相关研究(见表6),主要包括管网信息化管理、管网监测和控制以及管道修复技术等。其中,管网信息化管理通过详细的管网数据和模型,对管网老化、漏损事故和水质事故等进行预测;管网监测则通过设置传感器、水质监测仪等先进的监测设备,实现对水源、供水、排水设备运行的自动化检测、评价和管理,可远程监控供水量、水压的实施情况。管道修复技术主要从管道清洗、管道状态检查、管道修复等方面开展相关研究<sup>[22-23]</sup>。

表6 日本最新的管道技术课题汇总

Tab.6 Summary of the latest pipeline technology in Japan

序号	技术分类	序号	技术分类
1	漏水位置诊断	10	与余氯浓度有关的技术
2	管道位置查找	11	管道内清洗和洗涤技术
3	计量法	12	管厚/喷涂损伤检查技术
4	开挖方法	13	管道内表面条件检查技术
5	非开挖方法	14	腐蚀环境的监控技术
6	管道填充	15	最新的管道材料
7	断水工程	16	用于远距离观察的水文/水质测量仪器
8	信息管理系统		
9	与信息管理系统有关的技术	17	远距离测量设备(遥测仪)
		18	供水远距离控制系统

东京水道局、横滨市水道局、大阪市水道局、堺市上下水道局、神奈川县企业厅、广岛市水道局、名古屋市上下水道局、新潟市水道局、福岛市水道局、埼玉市水道局、福冈市水道局、京都市上下水道局、静冈市上下水道局等13个日本地方水道局联合成立了日本水道ICT情报联络会,专门公开相关课题,推进智慧管控在自来水管理上的应用。同时,日本经济产业省也发表了水道情报活用系统导入指导手册,为智慧水务的发展提供指导。随着NTT西日本在神户自来水管网运用智能监测设备的实证研究后,东京都水道局也于2020年3月发布了东京地区的水道智能监测计划,例如开发并应用新一代一体式智能水表等为实时把握水量变化提供支持。

## 5 结论

① 日本持续致力于提高城市给水管网管理的技术水平,加强城市给水管网的维修维护工作水平,定期进行给水管网检查与养护,及时发现给水管网出现的问题。定期对城市给水管网进行改造,利用大口径管网对小口径管道进行更换,保证自来水管

网的供水水压。

② 日本利用智慧管控、新型技术管理方法等措施,通过详细的管网数据和模型,对管网老化和漏损事故进行预测,提高实时漏损检测的效率和可靠性,及时完成管网升级改造,降低漏损事故发生率。

③ 日本通过导入先进的城市给水管网管理理念提高给水管网的供水质量。我国可以充分借鉴国外先进的管理理念,并与城市的实际情况结合,从而建立与城市自身特点相适宜的管理理论体系和管理标准;确保城市给水管网管理水平的提升,提高我国供水管网管理能力,降低管道漏损率和发生水质污染的可能性。

#### 参考文献:

- [1] 潘莉莉. 城市自来水管网的管理措施探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2016(10): 185.  
Pan Lili. Discussion on management measures of urban tap water pipeline network [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2016 (10): 185 (in Chinese).
- [2] 张佩. 自来水管网突发水质污染的综合应对及方法分析[J]. 供水技术, 2017, 11(3): 57-60.  
Zhang Pei. Comprehensive response and analysis to emergency water pollution in water pipe network [J]. Water Technology, 2017, 11(3): 57-60 (in Chinese).
- [3] 厚生労働省. 水道の基本統計[M]. 東京: 厚生労働省, 2018.  
Ministry of Health, Labour and Welfare. Basic Statistics of Water Supply [M]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2018 (in Japanese).
- [4] 厚生労働省. 最近の水道行政の動向について[A]. 水道の基盤強化のための地域懇談会[C]. 東京: 厚生労働省, 2017.  
Ministry of Health, Labour and Welfare. Recent developments in water supply administration [A]. The Proceedings of Regional Water Supply Infrastructure [C]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2017 (in Japanese).
- [5] 前川祐介. 下水道管路施設の維持管理について[J]. 下水道協会誌, 2016, 53(642): 4-7.  
Maekawa Y. Maintenance of sewerage pipeline facilities [J]. Journal of Japan Sewage Works Association, 2016, 53(642): 4-7 (in Japanese).
- [6] 鈴木文彦. 水道インフラ老朽化[J]. 大和総研重点テーマレポート, 2016(1): 1-20.  
Suzuki F. Aging water infrastructure [J]. Report in Daiwa Institute of Research, 2016 (1): 1-20 (in Japanese).
- [7] 厚生労働省. 管路の耐震化に関する検討報告書[M]. 東京: 厚生労働省, 2014.  
Ministry of Health, Labour and Welfare. Report on Earthquake-resistant Pipelines [M]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2014 (in Japanese).
- [8] 日本水道技術研究センター. 次世代の水道管路に関する研究(PipeStarsプロジェクト)報告書[M]. 東京: 日本水道技術研究センター, 2014.  
Japan Water Research Center. Report on Next Generation Water Pipelines (PipeStars Project) [M]. Tokyo: Japan Water Research Center, 2014 (in Japanese).
- [9] 厚生労働省. 主な水道関連の事故事例等について[M]. 東京: 厚生労働省, 2014.  
Ministry of Health, Labour and Welfare. Major Water Supply-related Accidents in Japan [M]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2014 (in Japanese).
- [10] 李红梅. 日本供水事业发展前景[J]. 水利水电快报, 2008, 29(6): 29-30.  
Li Hongmei. Development prospects of Japan's water supply industry [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2008, 29 (6): 29-30 (in Chinese).
- [11] 施卫红. 发达国家管网漏损控制技术对我国的启示——以日本东京为例[A]. 第八届中国城镇水务发展国际研讨会论文集[C]. 长沙: 中国城市科学研究会, 中国城镇供水排水协会, 2013.  
Shi Weihong. Enlightenment of pipe network leakage control technology in developed countries to my country: Take Tokyo, Japan as an example [A]. The Proceedings of the 8th China Urban Water Development International Symposium [C]. Changsha: China Urban Science Research Association, China Urban Water Supply and Drainage Association, 2013 (in Chinese).
- [12] 钟丽锦, 傅涛, 孔德艳. 日本东京供水管网的漏损预防管理[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(2): 1-4.  
Zhong Lijin, Fu Tao, Kong Deyan. Leakage prevention management of Tokyo water supply pipe network, Japan [J]. Environmental Science and Management, 2010, 35 (2): 1-4 (in Chinese).
- [13] 厚生労働省. 水道施設の耐震化の推進[M]. 東京: 厚生労働省, 2015.  
Ministry of Health, Labour and Welfare. Guideline for



- Planning Earthquake-resistant Waterworks[M]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2015 (in Japanese).
- [14] 厚生労働省. 水道施設設計指針[M]. 東京:厚生労働省,2012.
- Ministry of Health, Labour and Welfare. Design Criteria for Waterworks Facilities [M]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2012 (in Japanese).
- [15] 李树平. 日本给水管网布局理论与启示[J]. 中国给水排水, 2014, 30(22): 46-49.
- Li Shuping. Theory and enlightenment of Japanese water supply network layout[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(22): 46-49 (in Chinese).
- [16] 東京都水道局. 東京水道基幹施設再構築事業[M]. 東京:東京都水道局,2016.
- Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government. Tokyo Waterworks Fundamental Facilities Renewal Project [M]. Tokyo: Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government, 2016 (in Japanese).
- [17] 厚生労働省. 管路事故・危機管理対策マニュアル策定指針[M]. 東京:厚生労働省,2020.
- Ministry of Health, Labour and Welfare. Guidelines for Establishing a Crisis Management Manual[M]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2020 (in Japanese).
- [18] 厚生労働省. 水質基準項目と基準値(51項目)[S]. 東京:厚生労働省,2020.
- Ministry of Health, Labour and Welfare. Water Quality Standards for Drinking Water, Japan (51 Items) [S]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2020 (in Japanese).
- [19] 市川博明. 給水所での追加塩素注入による給水栓残留塩素低減効果[A]. 第61回全国水道研究発表会講演集[C]. 新潟:日本水道協会,2010.
- Ichikawa H. Reduction of residual chlorine in water by additional chlorine injection at water stations[A]. The Proceedings of the 61st National Waterworks Research Symposium [C]. Niigata: Japan Water Works Association, 2010 (in Japanese).
- [20] 吉村誠司,服部晋也,洲上知弘. 追加塩素注入による市内給水区域の残留塩素濃度の平準化[R]. 大阪:大阪市水道局,2012.
- Yoshimura S, Hattori S, Fuchigami T. Leveling of residual chlorine concentration in the urban water supply area by injecting additional chlorine[R]. Osaka: Osaka City Waterworks, 2012 (in Japanese).
- [21] 三宅勝. 日本一おいしい水なごやをめざして[J]. 水道協会雑誌, 2009, 78(11): 1
- Miyake M Nagoya. Aiming at the best city for drinking water in Japan [J]. Journal of Japan Water Works Association, 2009, 78(11): 1 (in Japanese).
- [22] 厚生労働省. 水道情報活用システム導入の手引き[M]. 東京:厚生労働省,2019.
- Ministry of Health, Labour and Welfare. Guide of IoT Technologies in Water Supply System [M]. Tokyo: Ministry of Health, Labour and Welfare, 2019 (in Japanese).
- [23] 東京都水道局. 水道スマートメータトライアルプロジェクト実施プラン[M]. 東京:東京都水道局, 2020.
- Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government. Smart Meter Trial Project in Water Supply[M]. Tokyo: Bureau of Waterworks Tokyo Metropolitan Government, 2020 (in Japanese).



作者简介:马骏(1977-),男,内蒙古丰镇人,博士研究生,讲师,主要从事环境土壤和水污染处理方面研究。

E-mail: junma0888@126.com

收稿日期:2020-04-18