

GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF WATER QUALITY SAFETY
STANDARDS FOR DOMESTIC HOT WATER

生活热水水质安全技术标准 实施指南

中国建筑设计研究院有限公司◎主编

中国建筑工业出版社

生活热水水质安全技术标准 实 施 指 南

中国建筑设计研究院有限公司 主编

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生活热水水质安全技术标准实施指南/中国建筑设计研究院有限公司主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-112-22689-4

I. ①生… II. ①中… III. ①生活用水-水质标准-中国-指南 IV. ①TU991-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 210267 号

《生活热水水质标准》CJ/T 521—2018、《集中生活热水水质安全技术规程》T/CECS 510—2018 是中国建筑设计研究院有限公司主持编制的两本建筑热水应用领域的技术标准。这两本标准从水质安全保障层面规范并指导民用建筑集中生活热水系统的设计、施工、验收和运行维护。为帮助使用者准确理解上述两个标准的相关要求及其与国家标准《建筑给水排水设计规范》GB 50015 修订后相关条款的内在联系, 推动这两个标准的宣贯实施, 本书对这两本标准作出深入解读。本书主要内容包括五个部分: 1. 生活热水水质安全; 2. 生活热水水质安全技术措施; 3. 建立生活热水系统危害分析的关键控制点; 4. 生活热水水质调研; 5. 生活热水新型消毒技术研究。

责任编辑: 丁洪良

责任校对: 焦 乐

生活热水水质安全技术标准实施指南
中国建筑设计研究院有限公司 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11½ 字数: 274 千字

2018 年 10 月第一版 2018 年 10 月第一次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-22689-4
(32805)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

编委会主任：匡杰 朱跃云

主 编：傅文华

副 主 编：沈晨 张晋童

主 审：赵锂 刘振印

编委会成员：车爱晶 潘国庆 张庆康 王松 张源远

赵伟薇 关若曦 安明阳 李梦辕 张艺馨

林建德 高峰 赵伊 苏兆征 王睿

李建业

序

2018 年是中国改革开放 40 周年,在这 40 年中,中国发生了巨大的变化,中国城镇化建设取得了举世瞩目的成绩。超高层建筑、大型商业类综合建筑、医疗建筑、酒店建筑等的建设越来越普遍。在上述建筑中新技术、新工艺及新设备得到普遍的使用,中国建筑技术得到了极大的提升,与世界水平接近甚至在某些领域领先世界水平,但是我们在质的方面还有一定的差距。在建筑给水排水领域,集中生活热水系统是居住类公共建筑(酒店、医院、公寓等)生活热水的最终解决方案,部分住宅建筑及住宅小区也有集中生活热水系统的设置。集中生活热水系统工程界将解决问题的重点放在水量、水压及水温的保障上,对水质一致未予以关注。国家设计规范中也是仅规定集中生活热水系统的热水水质满足现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 即可,未做针对性的规定。但生活热水与生活冷水的水质,不论是物理性质还是微生物性质都有显著区别,现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 不能全面反映生活热水的水质指标。西方发达国家早在 20 世纪 90 年代就对建筑物中热水水质问题开展研究,中国建筑设计研究院有限公司给水排水专业从 1997 年开始关注建筑热水军团菌的问题,并开展一系列的研究工作。2014 年,中国建筑设计研究院有限公司承担了国家“十二五”重大专项“建筑水系统微循环重构技术研究及示范”课题(以下简称“水专项”),将建筑热水水质标准和生活热水水质安全保障技术纳入研究范围,集中生活热水水质和水质安全保障技术的研究进入了新的阶段。行业标准《生活热水水质标准》CJ/T 521—2018 及协会标准《集中生活热水水质安全技术规程》T/CECS 510—2018 就是“水专项”课题热水水质研究的主要产出成果。热水水质相关标准的发布填补了我国生活用水水质的空白,水质标准达到了国际水平。上述两本标准对集中生活热水水质、水质安全保障将起到规范、指导作用,有利于保障人民的身体健康和用水安全。为使上述两本标准的使用者准确理解标准的内容,推动标准的执行与实施,中国建筑设计研究院有限公司“水专项”课题组编写了本指南,作为上述两本标准实施时的技术参考资料。

感谢“水专项”热水课题组的全体研究人员的辛苦付出,为中国建筑给水排水技术的发展与进步做出了贡献。

中国建筑设计研究院有限公司副总经理、总工程师
国家“水专项”课题负责人

赵 铨

前 言

水是生命之源,人类的生存和发展离不开安全卫生的水。我国的城市供水体系日趋完善,市政供水水质均能满足现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 的要求。随着城市建设的不断发展,越来越多的大型综合类建筑、医疗建筑、酒店建筑、住宅小区等投入使用,其中许多建筑都设置了集中生活热水系统。一直以来,集中生活热水系统的热水水质需满足现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 的要求,但比较生活热水与生活冷水的水质,不管是物理性质还是微生物性质都有显著区别,现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 不能全面反映生活热水的水质指标。另一方面,由于水质的不同,集中生活热水系统的设计、施工和运行维护,与生活给水(冷水)系统的要求不同。因此,为了保证生活用水更加安全卫生,填补用水标准的空白,有必要制定集中生活热水系统热水水质标准,并对生活热水水质标准提出相应的安全技术要求。

欧、美、日等发达国家早在 20 世纪 90 年代就对建筑物中热水水质问题开展研究,针对热水物理特性与微生物增强的作用及影响发表多项专题报告。中国建筑设计研究院有限公司在 1997 年召开的中日建筑给排水技术研讨会上发表了“建筑热水中军团菌的问题”研究报告,开始对生活热水水质进行关注。2006 年,赵锂发表了《二次供水水质保障技术》论文,文中对生活热水水质安全提出了要求。2011 年,赵锂、刘振印、傅文华等在中国建筑给排水技术高峰论坛上发表了“热水供应系统水质问题探讨”的报告,深层次地探讨了生活热水水质安全问题。2014 年,国家“十二五”重点课题“建筑水系统微循环重构技术与示范”,将建筑热水水质标准和热水水质安全保障技术纳入研究范围,中国建筑设计研究院有限公司对热水水质标准和水质安全保障技术的研究进入了新的阶段,并开始了相关规范及标准的编制工作。

根据“住房和城乡建设部关于印发 2016 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知”(建标[2015] 274 号)要求,由中国建筑设计研究院有限公司等单位完成的《生活热水水质标准》CJ/T 521—2018(以下简称《标准》)将于 2018 年 11 月 1 日起正式实施。

根据“关于印发《2015 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划》的通知”(建协协字[2015] 099 号)要求,由中国建筑设计研究院有限公司等单位完成的《集中生活热水水质安全技术规程》T/CECS 510—2018(以下简称《规程》)已于 2018 年 5 月 1 日起正式实施。

《标准》、《规程》是在深入研究国内外科研成果,认真总结大量工程实践经验,并在广泛征求意见的基础上制定的。《标准》和《规程》将从水质安全保障的层面上起到规范、指导建筑集中生活热水系统的设计、施工安装及验收、运行和维护管理的作用,有利于保障人民的身体健康和用水安全。由于生活热水水质安全问题近几年才逐步得到关注和重视,待研究问题很多。为帮助使用者准确理解《标准》、《规程》的相关要求,以及与《建筑给水排水设计规范》GB 50015 修编后相关条款的内在联系,推动《标准》、《规程》的贯彻实施,由主编单位中国建筑设计研究院有限公司组织编写了《生活热水水质安全技术

标准实施指南》，作为《标准》、《规程》实施的参考技术资料。

本书第1章主要介绍了生活热水水质存在的问题及《生活热水水质标准》CJ/T 521—2018，第2章主要介绍了《集中生活热水水质安全技术规程》T/CECS 510—2018，第3章介绍了集中生活热水系统的维护管理，第4、5章介绍了本课题组关于生活热水水质及灭菌措施的研究工作。

本书第1、3、4、5章由沈晨、张艺馨、张庆康、李梦辕、安明阳、赵伟薇、林建德、高峰、赵伊、苏兆征、李建业编写，第2章由车爱晶、潘国庆、张晋童、张庆康、王松、张源远、赵伟薇、关若曦、王睿编写。

特别感谢赵世明、郭汝艳、杨澎在本书编写过程中给予的大力支持与帮助。

在《标准》、《规程》的实施过程中，可能会遇到大量问题、意见和建议，欢迎读者随时将有关意见和建议反馈给《标准》、《规程》的主编单位中国建筑设计研究院有限公司，同时由于时间仓促和编者水平所限，本书错误和不当之处在所难免，恳请读者对本指南提出意见和建议。

中国建筑设计研究院有限公司
热水水质研究课题组
2018年5月

目 录

第 1 章 生活热水水质安全	1
1.1 关注生活热水水质	1
1.2 《生活热水水质标准》释义	2
第 2 章 生活热水水质安全技术措施	17
2.1 生活热水水质安全技术概述	17
2.2 《集中生活热水水质安全技术规程》条文释义	17
第 3 章 建立生活热水系统危害分析的关键控制点	53
3.1 生活热水系统军团菌防治措施研究	53
3.2 建立生活热水系统危害分析的关键控制点	57
第 4 章 生活热水水质调研	68
4.1 关注生活热水水质	68
4.2 生活热水水质调研的目的与意义	76
4.3 集中生活热水系统水质保障技术研究	113
第 5 章 生活热水新型消毒技术研究	117
5.1 生活热水银离子消毒装置灭菌效果研究	117
5.2 生活热水水质安全及军团菌	117
5.3 银离子灭菌装置的研发与应用	121
5.4 AOT 紫外线光催化二氧化钛装置灭菌效果的验证与应用	146
附录 A 《建筑给水排水设计规范》GB 50015 征求意见稿中热水相关内容	160
附录 B 生活热水相关研究汇总	165
参考文献	167

第 1 章 生活热水水质安全

1.1 关注生活热水水质

中国建筑设计研究院有限公司赵铨带领生活热水水质研究课题组，从关注热水水质开始，收集大量国内外二次供水及生活热水的先进技术信息和相关的文献资料，到发现热水水质核心问题对象——军团菌等建筑管道机会致病菌（Opportunistic Premise Plumbing Pathogens，简称 OPPPs），持续关注研究热水水质安全问题 20 年之久。课题组通过大量的试验研究来验证生活热水系统中军团菌等建筑管道机会致病菌 OPPPs 的灭菌措施，并对国内多个城市进行热水水质数据调研，在此基础上编制了《生活热水水质标准》CJ/T 521—2018（以下简称《标准》）及《集中生活热水水质安全技术规程》T/CECS 510—2018（以下简称《规程》）。

《标准》适用于集中生活热水供应系统。集中生活热水供应系统是满足人们日常生活洗涤、洗浴等需求的公共设施，广泛应用于厂矿、企业、宾馆、饭店、医院、公共浴室、公寓住宅和一些公共建筑。

国家现行标准对建筑物二次供水水质作出了明确规定，而生活热水供应系统中实际存在的热水水质问题长期未被重视。在工程的应用中，热水供应设计虽然要求热水水质应满足《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 的要求，但实际上来自市政的给水加热成热水，流经加热设备和管道系统，水质发生变化，达不到《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 的要求，甚至出现管道机会致病菌 OPPPs。随着社会发展和生活水平的提高，在饮用水水质安全之外，人们开始更多地关注生活热水的水质安全。我国生活热水系统存在的军团菌、非结核分枝杆菌等生物安全问题，逐渐引起社会的广泛关注。生活热水供应系统是城市二次供水的重要组成部分，生活热水系统水质安全的最大威胁来自于军团菌和非结核分枝杆菌，作为由生活水系统携带并通过空气传播的致病菌，必须引起高度重视。

影响热水水质发生变化的因素有很多，如：水温、有机物、余氯、电导率等。从国外对热水水质卫生状况的调查研究可知，加热过程会使水中余氯含量减少或消失，导致异养菌数增多，细菌总数增多，使得热水系统水质不满足《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 的要求。

2014 年，课题组对我国北方某城市的二次供水、生活给水及生活热水用水末端进行了采样分析，包括大型酒店、医院、居民小区、高校和工厂等 14 个采样点。采用在线快速检测结合实验室检测的方法，分析水样中以下理化、微生物指标：温度、TOC、DOC、COD_{Mn}、UV₂₅₄、溶解性总固体、电导率、余氯、pH 值、ATP、三卤甲烷、细菌总数、异养菌数和浑浊度。

14 个采样点中仅有 2 个热水系统末端出水水温高于 45℃，但低于 50℃；生活给水 TOC 平均值为 1.56mg/L，生活热水 TOC 平均值为 1.808mg/L；生活给水 DOC 平均值

为 1.48mg/L，生活热水 DOC 平均值为 1.618mg/L；生活给水 COD_{Mn} 平均值为 1.829mg/L，生活热水 COD_{Mn} 平均值为 1.925mg/L；生活给水 UV₂₅₄ 平均值为 0.017mg/L，生活热水 UV₂₅₄ 平均值为 0.019mg/L。随着水温的升高，热水系统中 TOC、DOC、COD_{Mn}、UV₂₅₄ 这些表征有机物的指标含量都有所增加。冷热水水质对比见图 1.1-1。

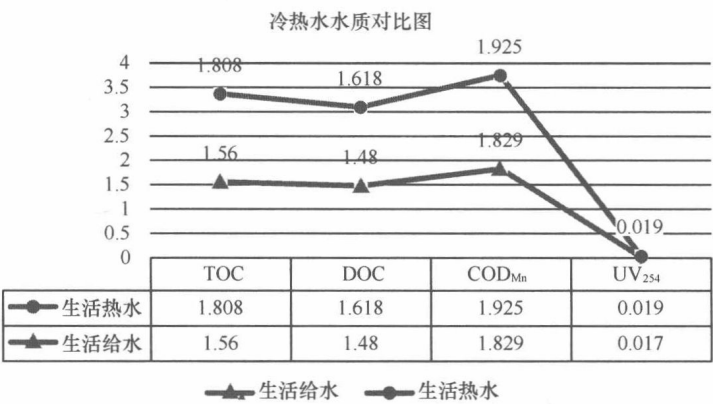


图 1.1-1 冷热水水质对比图

1.2 《生活热水水质标准》释义

1.2.1 生活热水水质卫生要求

生活热水水质应符合下列基本要求：

- (1) 生活热水原水水质应符合现行国家标准《生活饮用水卫生标准》GB 5749 的要求。
- (2) 生活热水水质应符合表 1.2-1、表 1.2-2 的卫生要求。
- (3) 除表 1.2-1、表 1.2-2 中指标以外，生活热水水质其他指标及限值，还应符合《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 的规定。

表 1.2-1 常规指标及限值

项目		限值	备注
常规指标	水温 (℃)	≥46	—
	总硬度 (以 CaCO ₃ 计, mg/L)	≤300	—
	浑浊度 (NTU)	≤2	—
	耗氧量 (COD _{Mn}) (mg/L)	≤3	—
	溶解氧* (DO) (mg/L)	≤8	—
	总有机碳* (TOC) (mg/L)	≤4	—
	氯化物* (mg/L)	≤200	—
	稳定指数* (R. S. I)	6.0<R. S. I. ≤7.0	需检测：水温、溶解性总固体、钙硬度、总碱度、pH 值

续表 1.2-1

项目		限值	备注
微生物 指标	菌落总数 (cfu/mL)	≤100	—
	异养菌数* (HPC) (cfu/mL)	≤500	—
	总大肠菌群 (MPN/100mL 或 cfu/100mL)	不得检出	—
	嗜肺军团菌	不得检出	采样量 500mL

注：稳定指数计算方法参见本标准附录 A。

* 指标为试行。试行指标于 2019 年 1 月 1 日起正式实施。

表 1.2-2 消毒剂余量及要求

消毒剂指标	管网末梢水中余量 (mg/L)
游离余氯 (采用氯消毒时测定)	≥0.05
二氧化氯 (采用二氧化氯消毒时测定)	≥0.02
银离子 (采用银离子消毒时)	≤0.05

1.2.2 常规指标及限值释义

1. 水温：本标准将一般集中生活热水系统终端用水水温限定为≥46℃。

水的物理化学性质与水温有密切关系。水温能影响微生物生长速度、消毒效率、余氯消耗速率、管材腐蚀速度等。水温不仅直接影响微生物的代谢活性，而且还间接作用于细菌再生长的其他影响因素，如消毒剂的扩散与灭菌效果及管道腐蚀速率等。由此可见，温度是影响水系统水质的关键因素。

水温是热水系统的核心指标，实验发现当水温大于 60℃时，水中结垢量有明显增加。根据国外研究文献，军团菌的适宜生长温度为 30℃~37℃，水温达到 50℃以上可起到抑制水中微生物繁殖生长的作用，且军团菌的生长抑制温度阈值为：≥46℃。另外，有研究认为，对兼顾军团菌杀灭效果、防烫和减少能源消耗等三个方面因素进行综合考虑，管道系统内的热水水温应控制在 50℃~55℃。结合我国《城镇给水排水技术规范》GB 50788—2012 中要求生活热水系统的供水温度应保持在 55℃~60℃，终端出水水温不应低于 45℃。本标准结合对集中生活热水系统水温及系统内消毒剂含量控制的同时，要求系统水温低于 50℃的集中生活热水系统应采用有效消毒措施，综合以上观点，控制集中生活热水系统用水终端水温为 46℃。用水终端龙头最大流量出水，受水容器持续溢流水 15s，水温计读数上下变化不超过 1℃，水温计读数为热水系统终端出水温度。因此，综合考虑结垢、微生物和节能三个方面，本标准将一般建筑集中生活热水系统用水终端水温限定为≥46℃。

2. 总硬度 (以 CaCO₃计)：限值为≤300mg/L。

水的硬度是由水中溶解的金属离子形成的，主要是钙离子和镁离子。用 mg CaCO₃/L 表示水中硬度离子的含量，以方便比较不同硬度物质含量，并非指硬度以这种形态存在。

水的硬度过高，可在配水系统中形成水垢，加热水时需要多消耗能源，洗涤时需要多消耗洗涤剂。有研究表明，具有各种硬度的水样，温度升高总结垢析出量增大，水的硬度低于 10 德国度 (相当于以 CaCO₃计 178mg/L) 时，在各种温度条件下结垢量少，且随温

度变化缓慢。水样硬度高于 14 德国度（相当于以 CaCO_3 计 250mg/L）时，在各种温度条件下析出垢量多，且随温度变化激烈。温度大于 60℃ 后，结垢析出量的增长率随温度的升高而增大。

由此可见，硬度和水温是导致管网系统结垢的两个关键因素。因此，控制好硬度与水温，可以降低热水管网系统中的结垢量。

德国 DIN1988 设计规范以防垢为目的，提出了水质处理措施，见表 1.2-3。

表 1.2-3 水质处理措施

含钙离子浓度 (mg/L)	热水温度 $\leq 60^\circ\text{C}$ 措施	热水温度 $> 60^\circ\text{C}$ 措施
< 80 （相当于 7 德国度 ~ 14 德国度） （相当于钙离子以 CaCO_3 计 125mg/L ~ 250 mg/L）	无	无
80 ~ 100 （相当于 14 德国度 ~ 21 德国度） （相当于钙离子以 CaCO_3 计 250mg/L ~ 375 mg/L）	无，或稳定化处理，或软化	无，或稳定化处理，或软化
> 120 （相当于超过 21 德国度） （相当于钙离子以 CaCO_3 计 375mg/L）	无，或稳定化处理，或软化	稳定化处理，或软化

注：100mg/L (CaCO_3) = 5.6 °dH (德国度)。

参考国际上关于硬度与温度控制的同时，结合我国国情，一般考虑当水温 $\leq 55^\circ\text{C}$ 时，总硬度（以 CaCO_3 计）应控制在 250mg/L $\sim$ 300mg/L；当水温 $> 55^\circ\text{C}$ 时，总硬度（以 CaCO_3 计）应控制在 300mg/L $\sim$ 350mg/L。超过该限值后应采取相应的处理措施，具体措施参见《建筑给水排水设计规范》GB 50015—2003（2009 年版）的规定。

参考《建筑给水排水设计规范》GB 50015—2003（2009 年版），第 5.1.3 条：当洗衣房日用热水量（按 60℃ 计）大于或等于 10m³且原水总硬度（以碳酸钙计）大于 300mg/L 时，应进行水质软化处理。

3. 浑浊度：限值为 ≤ 2 NTU。

温度急剧变化是引起管网水浑浊度短时间内突然上升的重要原因。相同时间段内，温度变化幅度越大，浑浊度上升幅度越大。由于温度变化引起的温度应力致使给水管网管壁附着物质大量脱落进入水中，从而导致管网水浑浊度上升。

浑浊度指标不仅是感官性状，也是微生物指标。浑浊度低，细菌、病毒裸露于水中更易被消毒剂杀灭。美国环境保护局将浊度划分为微生物指标，因此本标准将浊度定为日检指标，以便于更快速地预警水质的变化。

《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 中浑浊度的限值为 1NTU，日本 2016 年 4 月 1 日发布的新的水质标准项目及标准值中对浑浊度的限值为 2NTU。由于生活热水一般为非饮用水，在保障水质的前提下，降低热水系统的运行维护成本，故本标准参考日本 2016 年 4 月 1 日发布的新的水质标准，限值定为 ≤ 2 NTU。

4. 耗氧量 (COD_{Mn})：限值为 ≤ 3 mg/L。

结合我国目前国情，考虑 TOC 这一指标目前暂时作为试行指标，故保留耗氧量作为常规检测指标，限值参考《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006。

5. 溶解氧：限值为 ≤ 8 mg/L。

空气中的分子态氧溶解在水中称为溶解氧 (Dissolved Oxygen, 简称 DO)。水中溶解

氧的含量与空气中的分压、水的温度有密切关系。水温升高，水中溶解氧析出，热水中过饱和的溶解氧随压力变化而气泡化，水中析出的溶解氧是管道（钢管及铜管）系统发生腐蚀的最大原因，氧气不断供应腐蚀持续发展。随着所供热水中溶解氧浓度的降低，管道系统的腐蚀情况会得以缓解。控制热水中的溶解氧含量，可以有效缓解铜管的氧化腐蚀。另一方面，热水中溶解氧含量也与水中好氧微生物的含量有关，高溶解氧利于水中好氧微生物的滋生，特别是在有塑料管材的热水系统内。

日本“热水循环系统中热水的溶氧变化规律”一文中，通过对热水循环系统中 DO 的调查研究得出：抑制腐蚀发生的目标值为室温条件下 DO 在 8mg/L 以下。德国标准规定饮用水规定中 DO 给出的参考值为 5mg/L，德国水务部门公布的官方数据，显示德国饮用水中的氧含量为 8mg/L~11mg/L。当 DO 含量 6mg/L~8mg/L 时，对不锈钢管形成保护层是最有利的，过高的 DO 会促进细菌的滋生，尤其在塑料类有机物材料管道中。

表 1.2-4 为美国文献“热水水质标准和相关参数的调查研究”关于热水系统中 DO 对微生物的影响。

表 1.2-4 热水系统中 DO 对微生物的影响

参数	作用	军团杆菌	复合鸟分枝杆菌（MAC）
DO	微生物生长需要，但浓度过高则会抑制	在较低的 DO 条件下生长速率更高	在较低的溶解氧条件下生长速率更高

我国《建筑给水排水设计手册》中指出，水中溶解氧不宜超过 5mg/ L，而课题组对全国多个城市热水系统溶解氧的检测结果显示：我国北方地区热水系统溶解氧含量基本都高于 5mg/ L，其中北京市在 6mg/ L 左右，但是满足热水系统内溶解氧含量均≤8mg/ L。

综上所述，本标准控制热水系统内溶解氧含量为≤8mg/ L。

6. 总有机碳（TOC）：限值为≤4.0mg/L。

有研究表明在热水器中由于牺牲阳极释放的 H₂能支持自养氢氧化细菌生长，可产生一定量的有机碳。从腐蚀钢管中释放的氢也能支持自养氢氧化细菌的生长，由钢管管壁中的无机碳产生出了可同化有机碳 AOC。硝化作用产生的 AOC 生物量，对于建筑管道中的致病菌将是一个重要的碳源。由此可见，建筑管道系统中 TOC 的含量是会发生变化的。

芬兰 1989~1991 年间总共对全国 13 个城镇 67 个楼中的饮用水和生活热水水质进行了调查研究，本课题组于 2014 年对北京市 14 家集中生活热水系统冷热水水质进行了调查研究，其中 TOC 的调研数据显示见表 1.2-5。

表 1.2-5 北京市和芬兰对生活给水和热水中 TOC 的调研数据

TOC (mg/L)	生活给水			生活热水		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
北京市	1.56	3.10	0.90	1.81	3.10	0.90
芬兰	6.05	9.22	2.83	6.12	10.1	3.05

综上所述，生活冷水经加热成为生活热水，水中的 TOC 含量有明显的变化。

有研究表明，有机物含量与水中异养菌含量在一定条件下具有很强的相关性。饮用水中有机碳的水平有时能强烈的影响管道系统机会致病菌的扩增，因此为保证热水系统水质

良好，应对热水系统中 TOC 的含量进行限制。《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006 中在生活饮用水水质参考指标及限值中建议 TOC 的限值为 5mg/L，该数值来源于日本 2004 年 4 月实施的日本饮用水水质基准，而日本 2016 年 4 月 1 日发布的新的水质标准中对 TOC 的限值为 3mg/L，目前美国及德国已对综合评价水质有机物污染状况的指标 TOC 提出最高阈值为 4mg/L。

综合考虑，本标准采用 TOC 的限值为 4mg/L。

7. 氯化物：限值为 $\leq 200\text{mg/L}$ 。

《加拿大饮用水水质指南：指导技术文件——氯化物》中指出：在饮用水中氯化物浓度高于 250mg/L 可能会导致配水系统中管道设备的腐蚀。本课题组通过实验发现热水中氯化物对不锈钢管道会产生点腐蚀：经试验 31603 薄壁不锈钢浸在热水中，当水中氯化物浓度 $\leq 200\text{mg/L}$ 时不会被腐蚀；30408 和 304 薄壁不锈钢浸在热水中，当水中氯化物浓度 $\leq 75\text{mg/L}$ 时不会被腐蚀。国际镍协会提出配水系统中氯化物含量见表 1.2-6。

表 1.2-6 国际镍协会提出氯化物含量

不锈钢	输送水中允许的氯化物含量	
	冷水 ($\leq 40^{\circ}\text{C}$)	热水 ($\geq 40^{\circ}\text{C}$)
304 和 S30408	200	50
316 和 S31603	1000	250

故本标准设定氯化物限值为 $\leq 200\text{mg/L}$ 。

8. 稳定指数 (Ryznar Stability Index, 简称 R. S. I.)：限值为 $6.0 < \text{R. S. I.} \leq 7.0$ 。

雷兹纳 (Ryznar) 在大量实验基础上提出半经验性的稳定指数，用来判断水的稳定性，预防热水系统腐蚀和结垢的危害，计算公式如下：

$$\text{R. S. I.} = 2pH_s - pH_0 \tag{1.2-1}$$

稳定指数公式是基于碳酸钙溶解平衡理论并根据实践规律总结出的经验公式，具有一定的结垢、稳定和腐蚀倾向区间，基本可以定量判断水的结垢与腐蚀程度，比饱和指数更接近实际，更具有实际的指导意义。因此，本标准采用稳定指数对水的特性进行分析，要求水质保持在轻度结垢和轻微腐蚀之间，控制 R. S. I. 在 6.0~7.0 (表 1.2-7)。

表 1.2-7 用稳定指数对水的稳定进行判断分析

稳定指数 R. S. I.	水的稳定倾向
$\text{R. S. I.} < 5.0$	严重结垢
$5.0 < \text{R. S. I.} \leq 6.0$	轻度结垢
$6.0 < \text{R. S. I.} \leq 7.0$	基本稳定
$7.0 < \text{R. S. I.} \leq 7.5$	轻微腐蚀
$\text{R. S. I.} > 7.5$	严重腐蚀

建议将饱和指数和稳定指数配合使用，共同作为热水水质结垢和腐蚀倾向的判断依据，为建筑热水系统的运行和维护管理提供更准确的参考和指导。

水的饱和 pH 值 (pH_s) 受很多因素影响，除了与水的钙离子浓度、水温、水的重碳酸盐碱度等有关外，还受到水中含盐量、钙的缔合离子对及其他能形成碱度的成分等多种

因素的影响，可以通过实验测得。一般从简化计算的角度考虑，可忽略某些因素近似计算。根据淡水大致固有的化学值，辅以温度因素，查表 1.2-12 得到相应的常数，可按下式计算 pH_s ：

$$pH_s = (9.3 + N_s + N_t) - (N_H + N_A) \tag{1.2-2}$$

式中 pH_s ——水在使用温度下碳酸钙达到饱和平衡时的 pH 值（计算值）；

N_s ——溶解固体常数，可查表 1.2-12；

N_t ——温度常数，可查表 1.2-12；

N_H ——钙硬度（以 $CaCO_3$ 计，mg/L）常数，可查表 1.2-12；

N_A ——总碱度（以 $CaCO_3$ 计，mg/L）常数，可查表 1.2-12。

9. 菌落总数：参考《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006，限值为 ≤ 100 cfu/mL。

10. 异养菌数（HPC）：限值为 ≤ 500 cfu/mL。

含细菌的给水进入热水系统后，温度在一定范围内的升高会导致生化反应活化能降低，细菌生长繁殖速率加快，微生物污染风险增大。HPC 检测的异养型微生物菌谱范围广，包括细菌和真菌。实际工程中，消毒过程不可能完全杀灭水中的微生物；在适宜的条件下，如水中缺少消毒剂残留时，HPC 会快速生长。

本课题组对二次供水生活给水和生活热水的水质调研结果显示，生活热水的异养菌数明显高于生活给水。更进一步证明，温度升高且不高于 60°C 时，生活热水水质明显下降，主要表现为微生物明显增多，生活热水系统爆发微生物污染的可能性明显升高。根据美国安全饮用水法案，对与大肠杆菌相关的异养菌（HPC）水平规定为不得超过 500cfu/mL，较高的 HPC 水平（高于 500cfu/mL）被认为是导致大肠杆菌超标的潜在因素。结合世界各国对异养菌的限值规定，生活热水中异养菌限值参考美国标准，定为 500cfu/mL。

11. 总大肠菌群：参考《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006，限定值为不得检出。

12. 嗜肺军团菌：不得检出。

嗜肺军团菌属是异养菌，广泛生活在各种水环境中，在 25°C 以上即可繁殖增长。嗜肺军团菌是军团菌病的主要水源性病原体。国外研究资料显示，军团菌适宜生长温度 $30^\circ\text{C} \sim 37^\circ\text{C}$ ，温度大于 46°C 时生长受到抑制，热水供应系统可为军团菌繁殖提供适宜生长的温度（ $25^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ ）条件。嗜肺军团菌的常见感染途径是热水淋浴喷洒出水，嗜肺军团菌随着热水气溶胶被人吸入肺部，感染致病。因此在生活热水系统中应格外关注嗜肺军团菌，严格控制其存在与含量。

《美国职业安全与健康法案》（Occupational Safety And Health Act, OSAH）对饮用水系统中军团菌的限值分为两档：当水中军团菌浓度高于 10cfu/mL 时，需采取及时清洗或有效灭菌措施；当水中军团菌浓度高于 100cfu/mL 时，需立即清洗或采取有效灭菌措施，并立即采取人员防护措施。

《公共场所卫生检验方法 第 5 部分：集中空调通风系统》GB/T 18204.5—2013 中空调冷却水、冷凝水中嗜肺军团菌的采样要求为：每个采样点无菌操作取水样 500mL，本标准结合生活热水系统的使用性质，对军团菌的限定值为：不得检出/500mL。

13. 游离余氯（给水原水采用氯消毒时）：限值为 ≥ 0.05 mg/L。

军团菌以漂浮、附着的生物膜或寄居在阿米巴宿主中的形式存在于建筑管道系统中，

只有持续消毒作用的方式才能够更好地灭杀管道系统中的军团菌，因此保持管道系统内有持续的余氯，对生活热水系统水质保障更加有利。伊朗学者研究发现，管道系统中余氯含量与军团菌含量成反比，余氯可对军团菌的繁殖起到抑制作用。伊朗学者对德黑兰七家医院的研究中余氯的总平均数为 0.38mg/L，峰值为 1.7mg/L，余氯浓度为 0.4mg/L 时对细菌消毒效果一般。美国学者对建筑室内水系统中致病微生物的消毒研究指出，温度和余氯为水系统中致病微生物消毒的两种有效措施。保证热水系统水温的前提下，满足热水系统内仍有余氯沿程消毒，可以保证热水系统的出水水质。

《WHO 饮用水水质准则》（第四版）中提到：为了有效消毒，在 pH 值 <8.0 的情况下接触时间不得小于 30min，接触后水体游离氯量不得小于 0.5mg/L；管网中必须保持一定浓度的余氯量；在管网末端（用户端），最小的游离氯量不得小于 0.2mg/L。

中国建筑设计研究院有限公司与北京工业大学合作进行了热水恒温余氯衰减静态开式烧杯实验，当水温恒定保持 50℃ 时，设定余氯起始浓度 0.5mg/L，1h 后余氯衰减 28%，3h 后衰减 60%，5h 后衰减 80%，7h 后余氯浓度为 0.05mg/L，衰减 90%，见图 1.2-1 余氯衰减曲线。实际工程中由于水在管道系统内是流动的，因此余氯衰减的速率会受到水流速度和管网生物膜等因素的影响，其衰减速率会高于静态实验。本标准参考《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006，当生活给水采用氯消毒时，集中生活热水系统的用水终端余氯含量应满足 $\geq 0.05\text{mg/L}$ 。

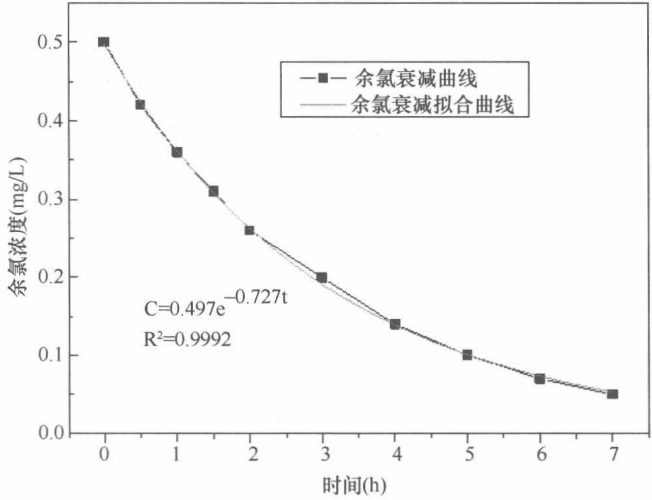


图 1.2-1 余氯衰减曲线

14. 二氧化氯（给水原水采用二氧化氯消毒时）：限值为 $\geq 0.02\text{mg/L}$ ，参考《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2006。

15. 试行指标

《生活热水水质标准》CJ/T 521—2018 是新编制的行业标准，部分指标受检测方法及相应检测设备等的限制，结合工程中生活热水系统的实际情况，将《标准》中部分指标作为试行指标进行试行过渡，试行期至 2018 年 12 月 31 日，自 2019 年 1 月 1 日起试行指标转为正式执行。

1.2.3 判别水质的稳定性

在热水系统中,腐蚀与结垢现象是由于水质不稳定造成的,会对热水水质造成二次污染,影响系统的正常运行,对用户的身心健康有潜在危害。例如,“红水”现象是由于腐蚀作用引起的,这会导致公共卫生问题,给用户带来不良卫生感;硬水加热形成结垢层,热水设备和管道因结垢或沉积物的堆积而降低传热能力和输水能力,不仅浪费燃料,还会堵塞热水管道,使管道的寿命大大缩短,并给系统维护工作带来困难,造成经济损失。

在工程实践中,腐蚀与结垢现象在热水系统中常常同时出现,相互依存,有时以腐蚀为主,有时以结垢为主,根据不同的水质,主次关系会发生变化。正确有效地判断热水系统的结垢和腐蚀倾向,是给水排水技术人员需面对的问题之一,其对热水系统的安全稳定具有实际指导意义。目前国内关于如何判断热水水质稳定性并无相关标准,给工程设计人员和设备运行人员合理选择热水稳定措施以及维护设备正常运行带来了许多困难。

《建筑给水排水设计规范》GB 50015—2003(2009年版)根据水的总硬度是否大于300mg/L来判断原水是否需要水质软化处理,是为了减缓热水系统的结垢现象对系统造成的破坏。热水腐蚀与结垢现象的本质是碳酸钙在水中的溶解平衡,该溶解平衡不仅与温度、硬度相关,还与水的碱度和溶解性总固体有关,单纯根据水的总硬度来判断水质的稳定有一定片面性,寻找合理、有效、全面的热水水质稳定判断方法势在必行。

1. 碳酸钙饱和和溶解平衡理论

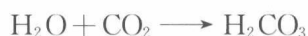
热水系统中的腐蚀与结垢与碳酸钙的饱和和溶解平衡有直接关系,当水中碳酸钙和氢离子浓度处于平衡状态时,这种既不溶解又不沉积碳酸钙的水被认为是稳定的。



一般情况下,管道内壁上形成一薄层碳酸钙膜会保护金属不被过度侵蚀,如果保持碳酸钙浓度在适当的水平,这种覆盖层可以永久保持。但在实际中,水中碳酸钙并不总是处于饱和平衡状态,而时常处于未饱和或过饱和状态。如果pH值自平衡点升高,水中碳酸钙浓度处于过饱和状态。而且,冷水中的暂时硬度极不稳定,加热即失去稳定,碳酸钙析出,沉积在热交换器上,造成结垢危害,这种水称为具有沉积性。



碳酸钙析出,热水中的钙硬度减小,pH值降低,水中碳酸钙浓度处于未饱和状态,具有进一步溶解碳酸钙的能力,会对金属管道和设备产生侵蚀作用。而且,热水在金属管道中流动时,会溶解管道内壁上的碳酸钙保护膜,使金属与水直接接触,促成和加剧腐蚀,这种水称为具有侵蚀性。



由此可见,腐蚀与结垢现象可能同时存在,管道和水加热器内部结垢的不均匀,在电化学腐蚀作用下,水垢的沉积也会导致“垢下腐蚀”。这种腐蚀速度是正常腐蚀速率的4倍~5倍,可使管道和设备在短期内因穿孔而破坏。

碳酸钙饱和和溶解平衡理论是判断水质稳定的理论基础,目前,判断水质稳定的方法均是基于此理论来实现的。

2. 判断水质稳定的方法

1) 饱和指数(Langelier Saturation Index, L. S. I.)