

城镇水系统全流程水质监测技术专栏

蒋增辉,李梅,张华军,等. 水中微生物 ATP 含量的标准检测方法[J]. 净水技术, 2025, 44(7): 184-191.

JIANG Z H, LI M, ZHANG H J, et al. Standard determination method for ATP content of microorganisms in water [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(7): 184-191.

水中微生物 ATP 含量的标准检测方法

蒋增辉^{1,*}, 李梅², 张华军^{2,3}, 马顺君^{2,3}

(1. 东方国际集团上海环境科技有限公司, 上海 200082; 2. 上海浦东水务<集团>有限公司, 上海 201300; 3. 上海南汇自来水有限公司, 上海 201300)

摘要 【目的】为弥补水中微生物传统检测方法的不足, 该文通过建立水中微生物三磷酸腺苷(ATP)含量检测的标准方法, 充实水中微生物指标检测体系, 提供快速检测手段, 提升水质实验室的检测能力。【方法】依据美国材料与试验协会方法——《水中微生物三磷酸腺苷(ATP)含量的标准试验方法》(ASTM D4012—23a), 建立 ATP 标准化检测流程。经多家实验室对检出限、测定下限、精密度和准确度等进行验证, 并应用在供水全过程和供水管网冰浆清洗的检测中。【结果】方法验证显示, 方法检出限为 0.170 pg/mL, 测定下限为 0.680 pg/mL, 相对标准偏差为 0.6%~17.5%, 相对误差为-5.7%~8.6%, 加标回收率为 105.7%~125.4%, 空白试验结果均小于检出限。方法应用显示, ATP 标准方法能够反映净水工艺过程中微生物的变化情况、供水管网水龄特点和管网内壁微生物的污染程度。【结论】该方法具有检测范围广、浓度跨度大、数据准确、步骤便捷、低废环保等特点, 能反映水质、净水工艺和水龄差异, 适用于供水全过程的微生物总量监控。该方法已发布为团体标准《水中微生物含量的测定 三磷酸腺苷(ATP)生物发光法》(T/SAWP 003—2024), 可作为水中微生物指标检测体系的有效补充。

关键词 三磷酸腺苷(ATP) 生物发光法 方法验证 供水全过程 微生物指标

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-0177(2025)07-0184-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.07.022

Standard Determination Method for ATP Content of Microorganisms in Water

JIANG Zenghui^{1,*}, LI Mei², ZHANG Huajun^{2,3}, MA Shunjun^{2,3}

(1. Orient International Holding Shanghai Environmental Technology Co., Ltd., Shanghai 200082, China;

2. Shanghai Pudong Water <Group> Co., Ltd., Shanghai 201300, China;

3. Shanghai Nanhui Water Supply Co., Ltd., Shanghai 201300, China)

Abstract [Objective] To make up for the deficiencies of traditional microbial determination method in water, a standard method for detecting the adenosine triphosphate(ATP) content of microorganisms in water is established. This enriched the detection system of microbial indices in water and provides a rapid detection means, thereby enhancing the detection capability of water quality in laboratories. [Methods] Based on the method of the American Society for Testing and Materials —Standard Test Method for Adenosine Triphosphate (ATP) Content of Microorganisms in Water (ASTM D4012—23a), a standardized ATP determination procedure had been established. Multiple laboratories had verified the limit of detection, lower limit of determination, precision, and accuracy. This method had also been applied in the detection of the entire water supply process and ice slurry cleaning of water supply pipelines. [Results] The verification result showed that the method detection limit was 0.170 pg/mL, the lower limit of determination was 0.680 pg/mL, the range of the relative standard deviation was from 0.6% to 17.5%, the range of relative error was from -5.7%

[收稿日期] 2024-08-18

[基金项目] 上海市水务局科研项目: 惠南水厂供水区域管网水质提升及管段清洗研究(沪水科 2022-30)

[通信作者] 蒋增辉(1975—), 男, 正高级工程师, 主要从事水质管理、水务和环境监测等工作, E-mail: 1564838908@qq.com。

to 8.6%, the range of adding standard recovery was from 105.7% to 125.4%, and the results of the blank test were all less than the method detection limit. The method application showed that the ATP standard method could reflect the changes in microorganisms during the water purification process, the characteristics of water age in the water supply pipeline network, and the degree of microbial contamination on the inner wall of the pipeline. [Conclusion] The method has the characteristics of a wide detection range, large concentration span, accurate data, convenient steps, and low waste and environmental protection. It can reflect the differences in water quality, water purification processes, and water age. And it is suitable for the microbial total quantity monitoring of the entire water supply process. It has been officially released as a group standard — *Determination of Microorganisms Content in Water-Adenosine Triphosphate (ATP) Bioluminescence Method* (T/SAWP 003—2024) and can serve as an effective supplement of the microbial indices determination system in water.

Keywords adenosine triphosphate (ATP) bioluminescence method method validation entire water supply process microbiological indicator

微生物指标是反映水质污染和卫生安全的重要指标,饮用水标准^[1]中有菌落总数、总大肠菌群、大肠埃希氏菌、肠球菌、贾第鞭毛虫、隐孢子虫和产气荚膜梭状芽孢杆菌 7 项,地表水标准^[2]中仅有粪大肠菌群 1 项,污水标准^[3]中也仅有粪大肠菌群数 1 项。相比理化指标,微生物指标数量明显偏少,亟需增加。这些指标中,菌落总数虽可反映水中微生物的数量,但由于培养基、培养温度 and 好氧条件等限制,仅能检出很小一部分以细菌为主的微生物,无法全面评估水中微生物的总量,而上述其他微生物指标的检测范围更小,针对性更强。传统检测方法主要采用培养、富集、染色和镜检等,不仅步骤复杂、工作量大、专业性强、成本高、培养废弃物多,而且时效性差,出具结果需要等待 1~3 d。

为弥补上述不足,充实水中微生物指标检测体系,提供快速检测手段,提升水质实验室的检测能力,上海浦东水务(集团)有限公司牵头,依据美国材料试验协会相关方法^[4],参考环境监测分析方法标准的制定要求^[5],经多家实验室验证,编制了检测水中微生物三磷酸腺苷(ATP)含量的标准方法(以下简称“ATP 标准方法”)。该方法经上海市净水技术学会批准,命名为《水中微生物含量的测定三磷酸腺苷(ATP)生物发光法》(T/SAWP 003—2024),于 2024 年正式发布。

1 材料与方法

1.1 方法原理

ATP 又称腺嘌呤核苷三磷酸、腺苷三磷酸,由 1 分子腺嘌呤、1 分子核糖和 3 个磷酸基团连接而成,化学式为 $C_{10}H_{16}O_{13}N_5P_3$,相对分子质量为 507.18,结构式(图 1)可简写为 A-P~P~P。其中,“~”代表高能磷酸键,当其水解时可释放大量能量。ATP

广泛存在于细菌、藻类、动植物细胞的内部和周围组织中,在生命活动中起到能量传递的作用,是细胞新陈代谢的重要指标。通过检测细胞内部的 ATP,可定性、定量地反映水中微生物的总量和活性。检测过程中,ATP 和荧光素、荧光素酶等快速反应产生荧光,荧光强度与 ATP 含量成正比,使用经 ATP 标准物质做单点校准的光度计测量,将荧光强度测量结果“相对光单位”(RLU)值代入公式计算后,可得到 ATP 的浓度。

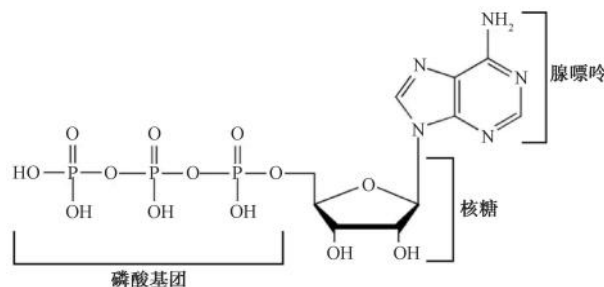


图 1 ATP 的结构式

Fig. 1 Structural Formula of ATP

1.2 仪器耗材

试验所使用的仪器耗材如下。

- (1) 光度计:使用光电倍增管,波长为 300~600 nm,测量示值为 RLU 值。
- (2) 微量移液器:固定式的容量为 100 μ L 和 1 000 μ L,可调式的量程为 100~1 000 μ L。
- (3) 注射器:容积刻度 ≥ 50 mL,具活塞,无针头,具鲁尔接口,聚丙烯(PP)材质,无菌独立包装,一次性使用。
- (4) 测光管:与光度计适配,PP 材质,无菌包装,一次性使用。
- (5) 测光管架:与测光管适配;
- (6) 针头过滤器:滤盘直径 ≤ 35 mm,孔径为

0.45 μm, 鲁尔接口与注射器适配, 水系混合纤维素酯 (MCE)、玻璃纤维等材质, 无菌包装, 一次性使用。

1.3 试剂

试验所使用的试剂如下。

(1) 裂解液: 用于破坏细胞结构后释放 ATP。

(2) 提取液: 使用 1 mL 裂解液提取 ATP 后的混合液。

(3) 稀释液: 用量为 9 mL, 用于稀释和定容提取液。

(4) ATP 保存液: 1 mL 提取液和 9 mL 稀释液的混合物。

(5) 荧光素-荧光素酶粉剂: 含有荧光素、荧光素酶等物质的粉状试剂。

(6) 缓冲液: 用于溶解荧光素-荧光素酶粉剂。

(7) 荧光素-荧光素酶试剂: 将荧光素-荧光素酶粉剂溶解于缓冲液后的混合物。

(8) 单点校准标液: 质量浓度为 1 000 pg/mL 的 ATP 标准物质溶液。

(9) 校准曲线标液: 质量浓度为 10、100、1 000、10 000 pg/mL 和 100 000 pg/mL 的 ATP 标准物质溶液。

1.4 分析步骤

ATP 的检测分析主要包括样品采集、试样制备、单点校准、试样测定、数据出具和质量控制等步骤。其中, 样品采集包括取样、样品保存、样品运输等环节, 试样制备包括样品过滤、ATP 提取、ATP 保存等环节, 单点校准包括荧光素-荧光素酶试剂配制、测光管本底值测量、ATP 重复测量、相对偏差计算等环节, 数据出具包括公式计算、数据修约、结果表示等环节, 质量控制包括精密度、准确度、空白结果控制等环节。

1.5 计算公式

根据式(1)计算样品中 ATP 的浓度 $\rho(\text{ATP})$ 。根据式(2)和式(3)控制重复测量质量: 当 D_{S1} 和 D_{S2} 均 ≤ 100 时, 2 次试样重复测量值的极差 $R_S < 20$; 当 D_{S1} 和 D_{S2} 中至少有 1 个值 > 100 时, D_{S1} 和 D_{S2} 的相对偏差 R_{VS} 应 $\leq 10\%$ 。根据式(4)控制单点校准质量: D_{C1} 和 D_{C2} 均应 $\geq 5\ 000$, 且 D_{C1} 和 D_{C2} 的相对偏差 R_{VC} 应 $\leq 5\%$ 。

$$\rho(\text{ATP}) = \frac{D_{S1} + D_{S2}}{D_{C1} + D_{C2}} \times \frac{1\ 000 \times 10 \times f}{V} \quad (1)$$

$$R_S = |D_{S2} - D_{S1}| \quad (2)$$

$$R_{VS} = \frac{|D_{S2} - D_{S1}|}{D_{S1} + D_{S2}} \times 100\% \quad (3)$$

$$R_{VC} = \frac{|D_{C2} - D_{C1}|}{D_{C1} + D_{C2}} \times 100\% \quad (4)$$

其中: $\rho(\text{ATP})$ ——微生物细胞内 ATP 的质量浓度, 反映样品中活性微生物的含量, pg/mL;

D_{S1} ——第 1 次试样重复测量值;

D_{S2} ——第 2 次试样重复测量值;

D_{C1} ——第 1 次单点校准重复测量值;

D_{C2} ——第 2 次单点校准重复测量值;

1 000——单点校准标液质量浓度, pg/mL;

10——ATP 保存液体积, mL;

f ——样品稀释倍数;

V ——样品过滤体积, mL;

R_S ——2 次试样重复测量值的极差;

R_{VS} ——2 次试样重复测量值的相对偏差;

R_{VC} ——2 次单点校准重复测量值的相对偏差。

1.6 方法验证

由上海浦东水务(集团)有限公司、东方国际集团上海环境科技有限公司[具中国计量认证(CMA)资质]、上海南汇自来水有限公司(具 CMA 资质)等单位建立 ATP 标准化检测流程, 由天津泰达水业有限公司(具 CMA 资质)、上海青浦自来水有限公司、上海市松江自来水有限公司、上海市自来水奉贤有限公司(具 CMA 资质)、沈阳水务水质检测技术发展有限公司(具 CMA 资质)等实验室进行验证, 主要验证的方法特性指标包括检出限、精密度、准确度、单点校准、空白试验等。

2 结果与讨论

2.1 检出限

各验证实验室选择 $\rho(\text{ATP}) < 1$ pg/mL 且预估浓度接近方法检出限的实际水样, 按照分析步骤制备试样, 样品过滤体积为 50 mL, 计算 7 次重复测定的方法检出限(MDL), 以 4 倍方法检出限作为测定下限(LOD), 以光度计最小示值($D=1$ 时)计算仪器检出限(IDL)。如表 1 所示, 仪器检出限为 0.010

pg/mL,当样品体积为 50 mL 时,ATP 的方法检出限 为 0.170 pg/mL,测定下限为 0.680 pg/mL。

表 1 检出限结果
Tab. 1 Data of Detection Limits

测定结果		验证实验室编号				
		1	2	3	4	5
$\rho(\text{ATP})/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$	第 1 次测定	0.121	0.284	0.220	0.547	0.315
	第 2 次测定	0.115	0.304	0.254	0.571	0.248
	第 3 次测定	0.115	0.284	0.254	0.552	0.248
	第 4 次测定	0.205	0.311	0.215	0.605	0.253
	第 5 次测定	0.097	0.307	0.225	0.649	0.219
	第 6 次测定	0.230	0.302	0.278	0.629	0.238
	第 7 次测定	0.181	0.244	0.259	0.561	0.234
平均值($\bar{x}$)/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)		0.152	0.291	0.244	0.588	0.251
极差对应的 $\rho(\text{ATP})/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		0.133	0.067	0.063	0.102	0.096
标准偏差(S)/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)		0.052	0.023	0.024	0.040	0.031
自由度(ν)值		3.143	3.143	3.143	3.143	3.143
IDL/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)		0.010	0.009	0.010	0.010	0.010
计算的方法检出限/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)		0.163	0.072	0.075	0.126	0.097
MDL/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)		0.170	0.080	0.080	0.130	0.100
LOD/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)		0.680	0.320	0.320	0.520	0.400

2.2 精密度

各验证实验室对 ATP 极低质量浓度[$\rho(\text{ATP}) < 1 \text{ pg/mL}$]、ATP 低质量浓度[$1 \text{ pg/mL} \leq \rho(\text{ATP}) < 10 \text{ pg/mL}$]、ATP 中质量浓度[$10 \text{ pg/mL} \leq \rho(\text{ATP}) < 100 \text{ pg/mL}$]和 ATP 高质量浓度[$\rho(\text{ATP}) \geq 100 \text{ pg/mL}$]中至少 3 个浓度的样品按照分析步骤制备试样,样品体积原则上为 50 mL,计算 5 次重复测定的精密度。由表 2~表 5 可知,ATP 极低质量浓度样品的标准偏差为 0.013~0.061 pg/mL,相对标准偏差为 4.0%~16.5%,极差对应的 $\rho(\text{ATP})$ 为 0.027~0.125 pg/mL;低质量浓度样品的标准偏差为 0.06~0.71 pg/mL,相对标准偏差为 1.6%~10.8%;中质量浓度样品的标准偏差为 0.42~8.90 pg/mL,相对标准偏差为 2.2%~15.2%;高质量浓度样品的标准偏差为 0.82~97.20 pg/mL,相对标准偏差为 0.6%~17.5%。

2.3 准确度

各验证实验室对校准曲线标液中 5 种浓度的标准物质进行测定,计算相对误差。选择 ATP 极低浓

度样品、低浓度样品和高浓度样品,采用 1:1 加标方式开展试样加标回收率试验,计算加标回收率。测定标准物质[$\rho(\text{ATP}) = 10 \text{ pg/mL}$]的相对误差为 0.4%~8.6%,标准物质[$\rho(\text{ATP}) = 100 \text{ pg/mL}$]的相对误差为-1.2%~4.6%,标准物质[$\rho(\text{ATP}) = 1000 \text{ pg/mL}$]的相对误差为-1.4%~4.0%,标准物质[$\rho(\text{ATP}) = 10000 \text{ pg/mL}$]的相对误差为-1.7%~4.0%,标准物质[$\rho(\text{ATP}) = 100000 \text{ pg/mL}$]的相对误差为-5.7%~1.9%,总体相对误差为-5.7%~8.6%。

ATP 极低浓度样品的加标回收率为 117.0%~117.7%,低浓度样品的加标回收率为 120.4%~125.4%,高浓度样品的加标回收率为 105.7%~120.5%,总体加标回收率为 105.7%~125.4%。

2.4 单点校准

由表 6 可知,当单点校准 2 次重复测量的操作步骤控制在 1 min 内快速完成时, D_{C1} 和 D_{C2} 的 R_{VC} 为 0.05%~3.50%。

2.5 空白试验

将无菌水、瓶装水、超纯水和部分出厂水作为试

表 2 ATP 极低质量浓度样品的精密度结果
Tab. 2 Precision Data of Very Low ATP Mass Concentration Samples

测定结果		验证实验室编号					
		1	1	2	3	4	5
$\rho(\text{ATP})/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$	第 1 次测定	0.497	0.507	0.284	0.220	0.547	0.315
	第 2 次测定	0.493	0.466	0.304	0.254	0.571	0.248
	第 3 次测定	0.424	0.513	0.284	0.254	0.552	0.248
	第 4 次测定	0.376	0.507	0.311	0.215	0.605	0.243
	第 5 次测定	0.372	0.483	0.307	0.225	0.649	0.219
$\bar{x}/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		0.432	0.495	0.298	0.234	0.585	0.255
$S/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		0.061	0.020	0.013	0.019	0.042	0.036
RSD		14.1%	4.0%	4.4%	8.1%	7.2%	14.1%
极差对应的 $\rho(\text{ATP})/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		0.125	0.047	0.027	0.039	0.102	0.096

表 3 ATP 低质量浓度样品的精密度结果
Tab. 3 Precision Data of Low ATP Mass Concentration Samples

测定结果		验证实验室编号					
		1	2	3	4	5	5
$\rho(\text{ATP})/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$	第 1 次测定	7.83	5.38	5.64	2.73	3.77	5.17
	第 2 次测定	6.18	5.10	5.98	2.68	3.61	5.07
	第 3 次测定	7.41	4.94	5.85	2.67	3.62	5.04
	第 4 次测定	7.16	6.28	5.52	2.77	3.61	5.22
	第 5 次测定	7.97	6.08	5.49	2.80	3.54	5.20
$\bar{x}/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		7.31	5.56	5.69	2.73	3.63	5.14
$S/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		0.71	0.60	0.21	0.06	0.09	0.08
RSD		9.7%	10.8%	3.7%	2.2%	2.2%	1.6%

表 4 ATP 中质量浓度样品的精密度结果
Tab. 4 Precision Data of Medium ATP Mass Concentration Samples

测定结果		验证实验室编号					
		1	1	2	3	4	4
$\rho(\text{ATP})/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$	第 1 次测定	17.9	57.8	23.9	20.0	45.6	17.9
	第 2 次测定	18.2	52.4	25.9	22.7	45.3	18.6
	第 3 次测定	20.3	73.8	24.4	21.3	43.4	17.8
	第 4 次测定	16.7	52.1	24.0	22.9	43.9	18.0
	第 5 次测定	21.6	56.0	23.0	22.3	45.2	18.7
$\bar{x}/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		18.9	58.4	24.2	21.8	44.7	18.2
$S/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		2.00	8.90	1.10	1.20	0.97	0.42
RSD		10.6%	15.2%	4.5%	5.5%	2.2%	2.3%

表 5 ATP 高浓度样品的精密度结果
Tab. 5 Precision Data of High ATP Mass Concentration Samples

测定结果		验证实验室编号									
		1	2	2	2	3	3	4	5	5	5
$\rho(\text{ATP})/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$	第 1 次测定	430.3	131.0	530.5	890.5	1 194	142.8	380.3	135.2	109.7	237.5
	第 2 次测定	319.6	138.8	532.0	1 026.0	1 222	152.8	358.9	136.6	112.3	235.9
	第 3 次测定	440.0	133.3	519.3	895.0	1414	145.1	385.5	136.1	107.7	240.9
	第 4 次测定	461.9	144.8	467.8	849.9	1 181	147.2	384.1	136.7	113.2	250.8
	第 5 次测定	319.8	138.7	550.4	823.5	1 200	154.6	373.9	134.9	117.8	229.0
$\bar{x}/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		394.3	137.3	520.0	897.0	1 242	148.5	376.5	135.9	112.1	238.8
$S/(\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1})$		69.10	5.40	31.20	78.00	97.20	5.00	10.80	0.82	3.80	8.00
RSD		17.5%	3.9%	6.0%	8.7%	7.8%	3.4%	2.9%	0.6%	3.4%	3.4%

表 6 单点校准结果
Tab. 6 Data of Single-Point Calibration

测定序号		验证实验室编号 1		验证实验室编号 2		验证实验室编号 3		验证实验室编号 4		验证实验室编号 5	
		D_C	R_{ve}	D_C	R_{ve}	D_C	R_{ve}	D_C	R_{ve}	D_C	R_{ve}
1	D_{C1}	19 910	1.70%	22 315	1.30%	17 213	1.40%	20 630	0.07%	21 028	0.29%
	D_{C2}	19 243		21 748		16 744		20 657		20 905	
2	D_{C1}	16 724	1.10%	22 420	1.20%	22 135	2.40%	21 598	0.82%	20 814	1.10%
	D_{C2}	16 367		21 895		21 087		21 247		20 363	
3	D_{C1}	23 298	0.77%	22 740	1.10%	20 836	1.70%	20 649	0.05%	21 688	0.82%
	D_{C2}	22 940		22 260		20 133		20 670		21 336	
4	D_{C1}	14 798	0.08%	21 658	0.08%	20 836	1.70%	18 480	0.93%	21 448	1.50%
	D_{C2}	14 821		21 691		20 133		18 827		20 804	
5	D_{C1}	17 126	0.92%	20 783	1.10%	19 347	3.50%	19 464	1.10%	19 820	0.92%
	D_{C2}	16 813		20 337		18 044		19 028		19 457	

注: D_C 为单点校准重复测量值。

样,测定结果均<方法检出限,分析步骤中用于测定的测光管的本底 RLU 值均<10。

3 方法应用

3.1 供水全过程检测

F 水厂具备臭氧-生物活性炭深度处理工艺,将 ATP 标准方法应用于水厂原水、过程水、出厂水和管网水的检测,ATP 质量浓度为 0.093 ~ 322.387 pg/mL。以 10 为底数对 APT 浓度取对数后绘制图 2,由图 2 可知:经前臭氧、后臭氧和加氯消毒后,ATP 浓度均明显降低,尤其是后臭氧,ATP 浓度降幅达 97.0%,反映了臭氧的消毒效果;砂滤池和炭滤池出水 ATP 均明显升高,炭滤池中微生物量更大,ATP 升高幅度达 15.6 倍,反映了生物膜中微生

物的释放;出厂消毒和管网输配过程中,ATP 浓度呈现先降低再升高的变化,输配近端、中端和末端 ATP 浓度的变化与水龄特点一致。因此,ATP 标准方法能够反映净水工艺过程中微生物的变化情况和供水管网水龄特点,适用于供水全过程的微生物安全控制。

3.2 管网冰浆清洗检测

对 N 小区供水管网进行冰浆清洗,清洗过程中间隔采样并对 ATP 和浑浊度进行检测,ATP 质量浓度为 0.277 ~ 98.554 pg/mL,浑浊度为 0.4 ~ 258.0 NTU。以 10 为底数对上述结果取对数后绘制图 3,由图 3 可知:ATP 浓度和浑浊度的变化趋势总体相似,呈现先急剧升高而后逐步降低的变化;4 号样品

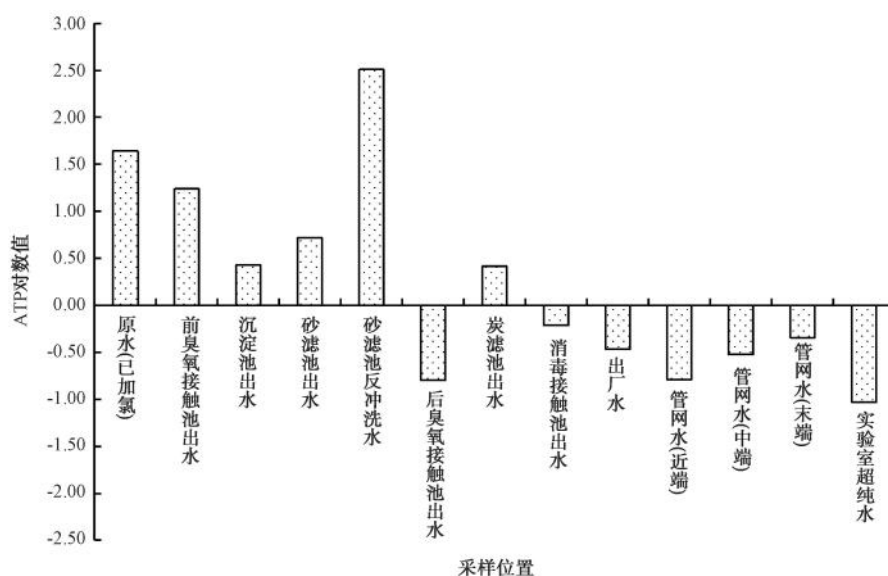


图2 ATP 检测方法在供水全过程的应用

Fig. 2 Application of ATP Determination Method through the Whole-Process of Urban Water Supply

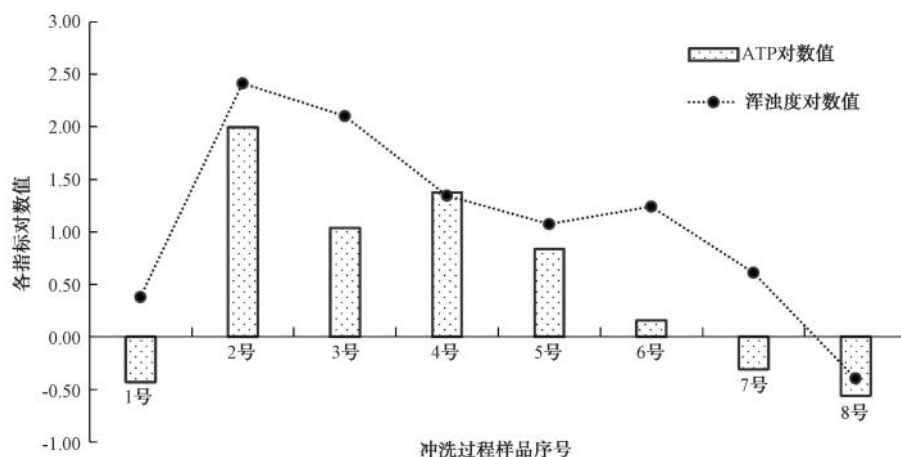


图3 ATP 检测方法在管网冰浆清洗中的应用

Fig. 3 Application of ATP Determination Method in Ice Slurry Cleaning of Water Supply Network

和6号样品中ATP浓度与浊度有背离,说明管垢中的无机颗粒和微生物在局部分布上有一定差异。总之,ATP能够反映管网内壁的微生物污染总量,是对浊度指标的补充。

4 结论

(1) ATP标准方法经多家实验室验证,当制备试样的样品体积为50 mL时,方法检出限为0.170 pg/mL,测定下限为0.680 pg/mL,相对标准偏差为0.6%~17.5%,相对误差为-5.7%~8.6%,加标回收率为105.7%~125.4%,空白试验结果均小于检出限。

(2) 对供水全过程和管网冰浆清洗的应用表

明,检测结果符合原水特征和净水工艺,能反映水质差异、工艺区别与管网水龄特点,适用于供水全过程的微生物总量监控。

(3) ATP标准方法检测范围广、浓度跨度大、结果准确、步骤便捷、低废环保,可作为水中微生物指标检测体系的有效补充。

5 展望

团体标准《水中微生物含量的测定 三磷酸腺苷(ATP)生物发光法》(T/SAWP 003—2024)的发布,为环保、供水乃至商检行业提供了新的微生物快速检测手段,未来可以应用的领域和方向包括以下几点。

(1)河湖(水源地)藻类监测、藻华预警、微生物总量评价。

(2)水厂深度处理工艺臭氧投加、消毒接触效果评价。

(3)回用水、中水、再生水、冷凝水、循环水等的微生物控制。

(4)管网水、管网末梢水、二次供水的水龄分析。

(5)管网三定(定期、定点、定时)冲洗效果快速评价。

(6)二次供水水箱(池)清洗消毒效果评价。

(7)瓶装水、实验室纯水的微生物总量检测。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中华人民共和国国家标准化委员会. 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- National State Administration for Market Regulation of People's Republic of China, National Standardization Administration of People's Republic of China. Standards for drinking water quality: GB 5749—2022 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [2] 中华人民共和国国家环境保护总局, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—

2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

National State Environmental Protection Administration of People's Republic of China, National General Administration of Quality Supervision and Inspection and Quarantine of People's Republic of China. Environmental quality standards for surface water: GB 3838—2002[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.

- [3] 中华人民共和国国家环境保护总局, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 城镇污水处理厂污染物排放标准: GB 18918—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.

National State Environmental Protection Administration of People's Republic of China, National General Administration of Quality Supervision and Inspection and Quarantine of People's Republic of China. Discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant: GB 18918—2002 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.

- [4] American Society for Testing and Materials. Standard test method for adenosine triphosphate (ATP) content of microorganisms in water: ASTM D4012—23a[S]. Pennsylvania: ASTM International, 2023.

- [5] 中华人民共和国生态环境部. 环境监测分析方法标准制订技术导则: HJ 168—2020[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2020.
- National Ministry of Ecology and Environment of People's Republic of China. Technical guideline for the development of environmental monitoring analytical method standards: HJ 168—2020[S]. Beijing: China Environment Publishing Group, 2020.

(上接第 146 页)

- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇雨水调蓄工程技术规范: GB 51174—2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for urban stormwater detention and retention engineering: GB 51174—2017 [S]. Beijing: China Planning Publishing House, 2017.
- [6] 张青文, 余健, 李天兵. 雨水管道沉积物污染初期冲刷效应及初期雨水量研究[J]. 给水排水, 2020, 46(7): 119–124.
- ZHANG Q W, YU J, LI T B. Study on first flush effect and initial rainwater volume in storm sewer sediments pollution[J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(7): 119–124.
- [7] 张卫, 赵树旗, 卢兴超, 等. 华盛顿哥伦比亚特区合流制管网溢流污染治理及长效管控策略的工程经验分析[J]. 净水技术, 2022, 41(3): 110–117.
- ZHANG W, ZHAO S Q, LU X C, et al. Engineering experience analysis on pollution control and long term control strategy of combined sewer overflows in Washington D.C. [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(3): 110–117.
- [8] 沙桐, 王洋, 汪聪, 等. 南方水系发达区域村镇水环境综合

治理关键技术与示范[J]. 净水技术, 2022, 41(10): 115–119, 129.

SHA T, WANG Y, WANG C, et al. Crucial technologies and demonstration of comprehensive treatment of water environment in villages and towns in southern developed water system areas[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(10): 115–119, 129.

- [9] 钟江丽, 沈捷, 高华, 等. 基于 DOM 荧光光谱分析的初期雨水径流污染物溯源[J]. 中国给水排水, 2023, 39(7): 133–138.

ZHONG J L, SHEN J, GAO H, et al. Source tracing of initial rainwater runoff pollutants based on DOM fluorescence spectrum analysis[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(7): 133–138.

- [10] 符韵, 陈翠珍, 李敏, 等. 武汉市汉口片区排水体系运行效能评估[J]. 净水技术, 2023, 42(5): 139–150.

FU Y, CHEN C Z, LI M, et al. Evaluation of operation efficiency for drainage systems in Hankou Area of Wuhan City [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5): 139–150.