好氧条件下 CANON 工艺的启动研究

付昆明¹, 张杰^{1,2}, 曹相生¹, 李冬¹, 孟雪征¹, 朱兆亮¹

(1. 北京工业大学建工学院,北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室,北京 100124; 2. 哈尔滨工业大学市政环境工程 学院,哈尔滨 150090)

摘要:为揭示厌氧氨氧化细菌对于 DO 的适应性及缩短 CANON (completely autotrophic nitrogen removal over nitrite) 工艺的启动时 间,以海绵为填料,采用小试试验研究了 CANON 工艺直接在好氧条件下的启动. 启动过程中,控制温度在 35 ±1 ,pH 7.39 ~ 8.01 之间. 部分亚硝化在 60 d 得以建立,亚硝酸盐积累率 (NO₂² - N/NO_x² - N) 达到 98 %,并保持长期稳定;连续运行至 160 d 时, 厌氧氨氧化作用开始逐步显现,到 210 d 时,TN 去除负荷达到 1.22 kg/(m³ d),TN 去除率维持在约 70 %,成功地在好氧条件下 启动了 CANON 工艺. 启动过程中发现,以不含有机碳源的氨氮废水启动 CANON 反应器时,CANON 反应器启动成功的标志为:

填料内部开始产气; 总氮损失与硝酸盐增加的比值趋于稳定,理论值为8,在本试验中,二者的比值平均为8.61.

关键词:部分亚硝化;ANAMMOX;CANON;海绵

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301 (2009) 06-1689-06

Study of CANON Process Start-up Under Aerobic Conditions

FU Kun-ming¹, ZHANG Jie^{1,2}, CAO Xiang-sheng¹, LI Dong¹, MENG Xue-zheng¹, ZHU Zhao-liang¹

(1. Key Laboratory of Beijing Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract : The start-up of CANON process was studied to reveal adaptability and how to condense time of start-up with a lab-scale experiment. During start-up stage, temperature was controlled at 35 ± 1 , pH was 7.39-8.01 and free ammonium was 2.89-12.37 mg L⁻¹. Partial nitritation was first built up in 60th day and kept steady, nitrite accumulation rate (NO₂ -N/NO_x -N) was up to 98 %. In the 160th day, the reactor started to show effects of anaerobic ammonium oxidation, and in the 210th day, CANON process was started-up under aerobic conditions successfully, and total nitrogen removal load was 1.22 kg/(m³ d) and 70 % removal rate on average was attained. When using ammonium wastewater without organic carbon sources as influent, there are two signs to indicate the CANON start-up : first, nitrogen gas was produced in carriers; the other one was the ratio of total nitrogen loss and increased nitrate keep steady, and in this study average ratio was 8.61 compared to theoretical value 8.

Key words: partial nitritation; ANAMMOX; CANON; sponge

自从 20 世纪 90 年代 Mulder 等[1] 发现厌氧氨氧 化(anaerobic ammonium oxidation, ANAMMOX)以来, 其与传统生物脱氮工艺相比具有的需氧量低、不需 要外加碳源、污泥产量少等优点^[2],对于氨氮废水尤 其是有机碳源低的高氨氮废水具有重大应用价值. 参与 ANAMMOX 反应的基质是氨与亚硝酸盐[3,4], 因此,应用 ANAMMOX 的前提是实现短程硝化,在此 基础上,研究人员开发了数种以应用 ANAMMOX 为 主要手段的脱氮工艺.这些工艺可分为两类,一类是 亚硝化与 ANAMMOX 分开在 2 个反应器中进行的工 艺,代表工艺是 SHARON + ANAMMOX 工艺,目前该 工艺已经率先应用于鹿特丹污水厂^[5];另外一种工 艺是亚硝化与 ANAMMOX 在一个反应器中进行的工 艺,代表工艺即为 CANON (completely autotrophic nitrogen removal over nitrite) 工艺. Sliekers 等^[6] 通过接 种 ANAMMOX 污泥,采用 SBR 工艺流程首先实现了

CANON 工艺. CANON 工艺集亚硝化与 ANAMMOX 于一体,利用生物膜或 ANAMMOX 颗粒污泥为载体, 在污泥外部处于好氧区,进行亚硝化作用,污泥内部 的厌氧区进行 ANAMMOX 反应. 它是迄今为止最简 捷的一条脱氮途径,其反应过程可用(1)式^[7]描述.

$$1NH_3 + 0.85O_2$$

 $0.11NO_{3}^{-} + 0.44N_{2} + 0.14H^{+} + 1.43H_{2}O \quad (1)$

目前, CANON 工艺仍然处于试验研究阶段^[6-8], CANON 工艺构建时,大多以人工配置亚硝酸盐与氨氮启动 ANAMMOX 反应,其后再接种ANAMMOX污泥逐渐启动 CANON 反应器^[7],这样可避免启动初期氧气对于 ANAMMOX 的抑制作用^[9],

- 收稿日期:2008-07-10;修订日期:2008-09-29
- 基金项目:国家自然科学基金项目(50878003);城市水资源与水环境 国家重点实验室开放课题项目(08UWQA08);北京市自然 基金重点项目(KZ200610005001)

作者简介:付昆明(1981~),男,博士研究生,主要研究方向为水处理 技术,Email:fukunning@yahoo.com.cn 降低 CANON 反应器启动的难度,但需人为添加亚硝酸盐,浪费大量亚硝酸盐.本试验试图直接在好氧状态下启动 CANON 反应器,研究 ANAMMOX 细菌对溶解氧的适应性,以期为缩短 CANON 反应器的启动时间等提供依据.

1 材料与方法

1.1 试验装置

采用如图 1 所示的试验装置和工艺流程,其中 反应器由有机玻璃制成,总体积为 3.85 L,废水由反 应器底部进入后,由上部出水口排出,反应器内添加 规格为 2 cm ×2 cm ×2 cm 海绵填料,载体平均湿密 度为 1 g cm⁻³.曝气量通过转子流量计调节并计量. 反应器内的温度通过水浴夹套中的热水循环进行调 节,热水通过 XMT-102 型温度控制仪进行控制,使 反应器内的温度控制在 35 ±1 .反应器内 pH 通 过 HI 931700 型 pH 控制仪控制在 7.39~8.01 之间.







1.2 接种污泥与试验用水

接种污泥采用本实验室内 SBR 反应器的普通 活性污泥.首先将填料置于活性污泥中浸泡 24 h,使 活性污泥吸附于海绵中,然后将海绵填料置于反应 器中,填充度为 75 %.

试验用水采用人工配水,进水量 18 L d⁻¹. 配水 由自来水中添加适量的 NH₄Cl、NaHCO₃、NaCl 与 K₂ HPO₄ 配置而成.考虑到自来水中含有大量微量元 素,不再进行微量元素的投加,由于自来水中存在近 乎饱和的溶解氧,在试验过程中也没有进行溶解氧 的吹脱,且大气中氧气会不断溶解到原水中,造成原 水中存在一定浓度的NO₂-N,在自来水中含有的 NO₃-N是进水中NO₃-N的主要来源.原水主要指标 如表1所示.

表1	进水水质/mg	L - 1
----	---------	-------

	Table 1	Water quality of influent/mg L^{-1}					
NH_4^+ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ -N	PO ₄ ^{3 -} - P	NaCl	pН		
120 ~ 300	0~10	3~5	10	400	7.5~8.5		

1.3 分析项目及测试方法

NH⁺₄-N:纳氏试剂比色法^[10],NO₂-N:*N*-(1-萘基)-乙二胺光度法^[10],NO₃-N:麝香草酚分光光度法^[11],pH值:pHTestr 30型pH计;溶解氧:HI2400型溶解氧仪;MLSS:711型污泥浓度仪.

2 结果与讨论

2.1 部分亚硝化启动阶段

由于本试验进行亚硝化的目的是为了启动 ANAMMOX,而 ANAMMOX 细菌对NO₂ -N与NH⁺₄-N之 比为 1.32 1^[12],因此,在启动亚硝化的过程中并不 需要实现NH⁺₄-N的完全亚硝化,而仅需要将部分 NH⁺₄-N转化为NO₂ -N,即部分亚硝化.在本试验中, 通过控制 50 % ~ 60 %的NH⁺₄-N亚硝化,以基本满足 ANAMMOX 对于NO₂ -N与NH⁺₄-N的进水比例.

启动初期,由于内部仍然含有少量气泡,填料的 平均密度 < 1 g cm⁻³,使填料在反应器中处于上浮 状态.随着启动时间的延长,填料内部的气泡逐渐溢 出,污泥开始在填料内部生长,使得填料的平均密度 > 1 g cm⁻³,填料全部下沉至反应器底部.亚硝化启 动过程中,NH⁺₄-N、NO²₂-N和NO³₃-N变化分别如图 2 ~4 所示.

前 26 d 内,曝气量维持在 12.5 ~ 15.6 m³/(m³ h).在启动初期,反应器就表现出一定的硝化效果.这说明在接种的 SBR 活性污泥中存在一定数量的硝化菌.0~9 d 内进水NH⁴₄-N浓度维持在 120 ~ 140 mg L⁻¹之间,出水NH⁴₄-N浓度维持在 120 ~ 140 mg L⁻¹之间,出水NH⁴₄-N浓度维持在 65 %;增大进水NH⁴₄-N浓度至约 180 mg L⁻¹后,NH⁴₄-N去除率迅速降低至 30%,后又开始上升,至 27 d 后时,NH⁴₄-N去除率再次达到 50%~60%之间.继续提高进水NH⁴₄-N浓度 280 mg L⁻¹,辅以适当调节曝气量, 氨氮去除率维持稳定,如图 2 所示.在启动过程中,



图 2 部分亚硝化启动时NH4⁺-N的变化

Fig. 2 NH4+-N in partial nitritation start-up stage





Fig. 3 NO₂ -N in partial nitritation start-up stage





虽然NH⁴-N去除率因为进水NH⁴-N的浓度的提高而 出现大幅下降,但NH⁴-N去除负荷一直呈现上升趋 势,由反应初期的 0.3 kg/(m³ d)逐渐上升到 0.68 kg/(m³ d). NO₂⁻N从第 25 d 开始检测,发现出水NO₂⁻N已 达到 60 mg L⁻¹,至 35 d 时,出水NO₂⁻N达到 140 mg L⁻¹,在以后的时间中,NO₂⁻N基本稳定在 100~ 150 mg L⁻¹之间,如图 3 所示;NO₃⁻N从第 35 d 开始 检测,进水NO₃⁻N浓度比较稳定,维持在 5 mg L⁻¹以 下,出水NO₃⁻N浓度也相对稳定,维持在 12 mg L⁻¹ 以下,出水NO₃⁻N均值仅比进水NO₃⁻N均值高 1.87 mg L⁻¹,如图 4 所示,因此,亚硝酸盐积累率 (NO₂⁻-N/NO₄⁻-N)很高,平均值达到 98 %.

部分亚硝化的启动经过了约 60 d 的时间,并在 厌氧氨氧化启动阶段继续保持稳定,为厌氧氨氧化 的顺利进行提供了必要条件.在本试验中,能够建立 部分亚硝化且获得很高的亚硝酸盐积累率的原因, 经过分析主要有以下2点.

其一是温度控制的作用, Ford^[13]研究认为 NO₂-N累积的最佳温度是 30~36 ,在这个温度下, 氨氧化细菌 (ammonium oxidation bacteria, AOB)的生 长速率明显快于亚硝酸盐氧化细菌 (nitrite oxidation bacteria, NOB)的生长速率.本反应器控制温度 35 ± 1 ,处于NO₂ -N累积的最佳温度,易于形成 AOB 对 NOB 的生长优势. SHARON 工艺原理正是利用了 在此温度范围内,通过污泥龄控制,使 NOB 逐渐被

淘洗出反应器而获得稳定亚硝酸盐积累[14].

其二是游离氨 (free ammonium, FA) 的作用,根据 Anthonisen 等^[15]的研究结果,FA 的浓度可按(2)式计 算. Anthonisen 发现 FA 对 AOB 和 NOB 都有抑制作 用,但对 NOB 比 AOB 更敏感. FA 对 NOB 和 AOB 的 抑制浓度分别为 0.1 ~ 1.0 mg L⁻¹ 和 10 ~ 150 mg L⁻¹. 若控制 FA 浓度在这二者之间,即可起到只 抑制 NOB 而不抑制 AOB 的效果.在本试验中,pH 通 过 pH 控制仪控制在 7.39 ~ 8.01,使 FA 的浓度处于 2.89 ~ 12.37 mg L⁻¹,即处于只对 NOB 产生抑制而 对 AOB 不产生抑制的范围,所以在反应初期,就迅 速获得了很高的亚硝酸盐积累率.虽然有大量报 道^[15,16]认为利用 FA 控制亚硝酸盐积累并不稳定, 但 FA 的应用初期能够实现亚硝酸盐积累却是毫无 疑问的.

$$FA = \frac{17}{14} \times \frac{[NH_4^+ - N] \times 10^{pH}}{K_b / K_w + 10^{pH}}$$
(2)

式中, K, 为水的电离常数, K, 为氨的离解常数.

由于本试验采用海绵填料,启动初期 AOB 与 NOB 共存于生物膜中,FA 对 NOB 的选择性抑制作 用与温度共同作用,使得初期使 AOB 在反应器内大 量生长,建立了 AOB 对 NOB 的数量优势,使得本反应器获得了长期稳定的亚硝酸盐积累.值得注意的是,在本反应器中,并没有对溶解氧进行控制,反应器内部 DO 分布不均,在反应器上部上清液中,DO 的浓度甚至达到 3~4 mg L⁻¹,远远大于利用 DO 控制

1692

亚硝酸盐积累的条件(AOB 的溶解氧饱和常数一般为 $0.2 \sim 0.4 \text{ mg L}^{-1}$,NOB 为 $1.2 \sim 1.5 \text{ mg L}^{-1[17]}$).

2.2 ANAMMOX 启动阶段

在 ANAMMOX 启 动 阶 段, NH[↑]-N、NO₂-N、 NO₃-N及 TN 的变化情况如图 5 所示.





启动初期,继续维持与部分亚硝化相同的条件, 后考虑到 DO 与亚硝酸盐浓度对 ANAMMOX 可能产 生的抑制作用(Strous 等^[9]的研究表明在溶解氧浓度 为 0.5%~2.0%的空气饱和度下,ANAMMOX 的活 性完全被抑制,认为当亚硝酸盐浓度超过 100 mg L⁻¹时,将完全抑制 ANAMMOX 反应^[18]),在启动 第 120 d 开始逐渐降低曝气量,曝气量由 18.7 m³/(m³ h)逐渐降低到 6.2 m³/(m³ h),出水NO₂-N 也由最高达 163.73 mg L⁻¹降低至 70~80 mg L⁻¹ 在此阶段,发现反应器进水管及反应器内部分出现 淡红色污泥,虽然红色是 ANAMMOX 细菌的一个显 著特征^[19],但此时并没有出现明显的 TN 损失,因 此,不能断定淡红色的污泥即为 ANAMMOX 细菌,因 为部分 AOB 也会呈现淡红色^[20].

维持此曝气水平至 160 d,沉淀池中的污泥中不 时有气泡溢出,部分填料开始上浮,一周后填料全部 上浮于反应器中,观察海绵表面,有微量气泡产生, 反应器已经开始产气,导致填料平均密度<1 g cm⁻³,使填料上浮.检测数据也开始有明显变化, 出水NO2-N浓度快速下降,进出水的硝酸盐变化 NO₃ -N与总氮损失 TN 也开始快速上升. 至 180 d 时,出水 NO_2 -N浓度已下降至 20 mg L⁻¹以下, NO3 -N升高至 11.25 mg L⁻¹, TN 升高至 92.61 $mg L^{-1}$,这与式(1)的反应相吻合,表明很有可能厌 氧氨氧化已经启动(其后的 ANAMMOX 活性验证证 明了 ANAMMOX 细菌的确存在). 随后同时提高进水 NH4+ -N与曝气量,至 210 d 时,进水NH4+ -N达到 380 mg L¹,曝气量为 24.9 m³/(m³ h) 时, NO₃ -N已经 达到 36.58 mg L¹, TN 达到 262 mg L¹, TN 去除 率最高达到 80 %,平均维持在 70 %左右, TN 去除负 荷达到 1.22 kg/(m³ d),较 Furukawa 等^[8]采用无纺 布为填料获得的 0.48 kg/(m³ d) 为高. 在随后的过

程中, CANON 反应器稳定运行, TN 去除效果稳定. 至此,在好氧条件下, CANON 反应器在第 160 d 时, 启动厌氧氨氧化,至 CANON 反应器开始维持稳定, 共经历 210 d.

从 160 d 起,反应器有了 2 个明显的现象,一个 现象是原本下沉的海绵填料上浮,其原因是填料内 部产气导致的;另外一个现象是 NO₃ -N与 TN 同 时增加.对 160 d 后数据整理发现, NO₃ -N与 TN 基本呈现等比例增加关系, TN/ NO₃ -N均值为 8.61,而通过式(1)计算的理论值 TN/ NO₃ -N = 0.44 x2/0.11 = 8.因此在以不含有机碳源的NH⁺-N 废水启动 CANON 反应器时,填料内部开始产气与

TN 与 NO₃⁻N比值趋于稳定,可视为 CANON 反应器成功启动的标志.

2.3 ANAMMOX活性验证

为进一步验证反应器中存在 ANAMMOX 细菌, 排除反应器中的 TN 是厌氧氨氧化作用造成,而非 其它原因(如同步硝化反硝化、好氧反硝化等)造成 的,取适量反应器中脱落的污泥,置于 2 L 的烧杯 中,MLSS 为1 250 mg L⁻¹,采用恒温水浴维持反应器 内温度为 35 ±1 ,DO < 0.2 mg L⁻¹条件下,添加 适量的NO₂ -N与NH⁴₄-N,搅拌 6h,每隔 1 h 取样检 测,NH⁴₄-N,NO₂ -N、NO₃ -N与 pH,如图 6 所示.



图 6 ANAMMOX 活性验证试验 Fig. 6 Proof test of ANAMMOX activity

从图 6 可以看出,前 5 h内,NH⁺₄-N与NO₂ -N同 比例下降,NO₃ -N升高,pH升高,这是典型的厌氧氨 氧化反应的特征,在厌氧氨氧化过程中,NH⁺₄-N与 NO₂ -N并不是按1 1 直接合成 N₂,NO₂ 不仅作为电 子受体参与能量代谢,而且作为电子供体参与合成 代谢,因此会有 NO₃ -N的生成,NH⁺₄-N、NO₂ -N与 NO₃ -N的变化比例理论值为1 1.32 0.26^[12],本试验 的实测值为 1 1.36 0.22,与理论值非常接近.在 NO₂-N首先消耗完毕后,厌氧氨氧化反应基本停止, pH开始下降.经过以上试验可以确认,反应器内的 确存在 ANAMMOX 细菌.

3 结论

(1) CANON 反应器在以海绵为填料,温度35

±1 ,pH在 7.39~8.01 条件下,经过 210 d 的运 行,成功地在好氧条件下启动 CANON 工艺,去除负 荷达到 1.22 kg/(m³ d),运行稳定.

(2)部分亚硝化启动成功是 ANAMMOX 启动的 先决条件,通过温度与 pH 联合控制获得了稳定的 亚硝酸盐积累,亚硝酸盐积累率达到 98 %.

(3) 以海绵填料为载体,不含有机碳源的NH⁺-N 废水启动 CANON 反应器时,CANON 反应器启动成 功的标志为: 填料内部开始产气; 反应前后有明 显的总氮损失,且总氮损失与硝酸盐增加的比值趋 于稳定,本试验中平均值为 8.61.

参考文献:

- Mulder A, van Graaf A A, Robertson L A, *et al*. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor
 [J]. Fems Microbiol Ecol, 1995, 16(3): 177-184.
- [2] 郑平,胡宝兰. 生物脱氮技术的研究进展[J]. 环境污染与防治,1997,19(4):25-28.
- [3] Strous M, Fuerst J A, Kramer E H, et al. Missing lithotroph identified as new planctomycete. [J]. Nature, 1999, 400 (6743): 446-449.
- [4] van Graaf A A, Mulder A, De Bruijn P, et al. Anaerobic oxidation of ammonium is a biologically mediated process [J]. Appl Environ Microbiol, 1995, 61(4): 1246-1251.
- [5] 郝晓地, van Loosdrecht M. 荷兰鹿特丹 DOKHAVEN 污水处理 厂介绍[J]. 给水排水, 2003, **29**(10): 19-25.
- [6] Sliekers A O, Third K A, Abma W, et al. CANON and ANAMMOX in a gas-lift reactor[J]. Fems Microbiol Lett, 2003, 218(2): 339-344.
- [7] Sliekers A O, Derwort N, Gomez J L, et al. Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor [J]. Water Res, 2002, 36(10): 2475-2482.
- [8] Furukawa K, Lieu P K, Tokitoh H, et al. Development of singlestage nitrogen removal using anamnox and partial nitritation (SNAP) and its treatment performances [J]. Water Sci Technol, 2006, 53 (6): 83-91.
- [9] Strous M, van Gerven E, Kuenen J G, et al. Effects of aerobic and microaerobic conditions on anaerobic ammonium-oxidizing (ANAMMOX) sludge [J]. Appl Environ Microb, 1997, 63 (6): 2446-2448.
- [10] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].(第四版). 北京:中国环境科学出版社,2002.

- [11] 中华人民共和国卫生部. 生活饮用水标准检验方法 ——无机 非金属指标[S].
- [12] Strous M, Heijnen J J, Kuenen J G, *et al*. The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic annoniunr-oxidizing microorganisms[J]. Appl Microbiol Biot, 1998, 50(5): 589-596.
- [13] Balmelle B, Nguyen M, Capdeville B, et al. of factors controlling nitrite build up in biological process for water nitrification[J]. Water Sci Technol ,1992, 26(5, 6): 1017-1025.
- [14] Heijnen J J, Hellinga C, Mulder J W, et al. The SHARON process: an innovative method for nitrogen removal from ammonium rich waste water [J]. Water Sci Technol, 1998, 37(9): 135-143.
- [15] Anthonisen A C, Loehr R C, Prakasam T B. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid [J]. Journal of Water Pollution Control Fed, 1976, 48(5): 835-852.

- [16] Turk O, Mavinic D S. Maintaining nitrite build-up in a system acclimated to free ammonia[J]. Water Res, 1989, 23 (11): 1383-1388.
- [17] Laanbroek H J, Gerards S. Competition for limiting amounts of oxygen between *Nitrosomonas europaea* and *Nitrobacter winogradskyi* grown in mixed continuous cultures [J]. Arch Microbiol, 1993, 159 (5): 453-459.
- [18] Magri A, Corominas L, Lopez H, et al. A model for the simulation of the SHARON process: pH as a key factor. [J]. Environ Technol, 2007, 28(3): 255-265.
- [19] van Graaf A A, De Bruijn P, Robertson L A, *et al.* Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor[J]. Microbiology, 1996, **146**(8): 2187-2196.
- [20] 布坎南 R E,吉布斯 N E. 伯杰细菌鉴定手册[M]. (第八版). 北京:科学出版社, 1984.

欢迎订阅 2009 年《环境科学》

《环境科学》创刊于 1976 年,由中国科学院主管,中国科学院生态环境研究中心主办,是我国环境科学学 科中最早创刊的学术性期刊.

《环境科学》自创刊以来,始终坚持"防治污染,改善生态,促进发展,造福人民'的宗旨,报道我国环境科 学领域内具有创新性高水平,有重要意义的基础研究和应用研究成果,以及反映控制污染,清洁生产和生态 环境建设等可持续发展的战略思想、理论和实用技术等.

《环境科学》在国内外公开发行,并在国内外科技界有较大影响,被国内外一些重要检索系统收录,如美 国医学索引 MEDLINE;美国化学文摘 CA;俄罗斯文摘杂志 AJ;美国生物学文摘预评 BP;美国医学索引 M;日 本科学技术情报中心数据库 JICST;英国动物学记录 ZR;剑桥科学文摘(CSA): Environmental Sciences;剑桥科 学文摘(CSA): Pollution Abstracts;剑桥科学文摘(CAS): Life Sciences Abstracts 等;国内的检索系统有中国科技 论文统计与引文数据库(CSTPCD);中文科技期刊数据库(维普);中国期刊全文数据库(CNKI);数字化期刊 全文数据库(万方);中国科学引文数据库(CSCD);中国生物学文摘等.

全国各地邮局均可订阅 ,如有漏订的读者可直接与编辑部联系 ,办理补订手续.

《环境科学》2009 年为大 16 开本 ,70 元/册 ,全年 12 期.

国内统一刊号: CN11-1895/X 国际标准刊号: ISSN 0250-3301

国外发行代号 :M 0205 国内邮发代号 :2-821

编辑部地址:北京市海淀区双清路 18 号(2871 信箱) 邮编:100085

电话:010-62941102;传真:010-62849343;E-mail:hjkx@rcees.ac.cn;网址:www.hjkx.ac.cn