

# 合川污水处理厂 TN 提标问题诊断及效能分析

郝丽岭<sup>1</sup>, 吴晓林<sup>1</sup>, 李楠<sup>1</sup>, 邱家国<sup>1</sup>, 吉芳英<sup>2</sup>

(1. 重庆市合川排水有限公司, 重庆 401520; 2. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

**摘要:** 为改善三峡库区水环境质量,合川污水处理厂在提标改造项目完工投用前,对现有 Orbal 氧化沟工艺的生物脱氮进行了问题诊断及效能提升。水质数据的统计分析结果显示,碳源短缺是限制生物脱氮的重要原因。为此,提出通过调控内回流比和投加外碳源(乙酸钠)来提升生物脱氮效能。结果表明,当内回流比为 300%、乙酸钠投加量为  $2\,240\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$  (相当于  $104\text{ mg/L}$  的 COD) 时,出水 TN 浓度可稳定在  $10\text{ mg/L}$  以下。进一步的生产性试验结果表明,在水温为  $14\text{ }^\circ\text{C}$ 、进水 TN 为  $57.2\sim81.1\text{ mg/L}$  的条件下,控制内回流比为 300%、乙酸钠投加量为  $1\,540\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$ ,出水 TN 平均值为  $14.4\text{ mg/L}$ ,可稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 A 标准。

**关键词:** 城镇污水处理厂; 生物脱氮; 内回流比; 外加碳源; 乙酸钠; 提标改造

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)23-0119-05

## Diagnosis of TN Removal in Hechuan Wastewater Treatment Plant and Its Efficacy Analysis

HAO Li-ling<sup>1</sup>, WU Xiao-lin<sup>1</sup>, LI Nan<sup>1</sup>, QIU Jia-guo<sup>1</sup>, JI Fang-ying<sup>2</sup>

(1. Chongqing Hechuan Drainage Co. Ltd., Chongqing 401520, China; 2. School of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** In order to improve the quality of water environment in the Three Gorges reservoir area, the existing biological denitrification of Orbal oxidation ditch process in Hechuan Wastewater Treatment Plant was diagnosed and its efficiency was improved before operation of the upgrading and reconstruction project. The statistical analysis results of water quality data showed that the shortage of carbon sources was an important reason to limit biological nitrogen removal. So, it was proposed to enhance the biological nitrogen removal efficiency by regulating the internal reflux ratio and adding the external carbon source (sodium acetate). The results showed that the effluent TN concentration was always less than  $10\text{ mg/L}$  when the internal reflux ratio was 300% and the sodium acetate dosage was  $2\,240\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$  ( $104\text{ mg/L}$  of COD). Further productive test results showed that, the average effluent TN was  $14.4\text{ mg/L}$  under the condition of water temperature of  $14\text{ }^\circ\text{C}$ , influent TN of  $57.2\sim81.1\text{ mg/L}$ , internal reflux ratio of 300% and sodium acetate dosage of  $1\,540\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$ , which stably reached the first level A criteria of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

**Key words:** municipal wastewater treatment plant; biological nitrogen removal; internal reflux ratio; external carbon source; sodium acetate; upgrading and reconstruction

国务院于2015年4月印发的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)要求敏感区域(重点湖泊、重点水库、近岸海域汇水区域)的城镇污水处理设施应于2017年底前全面达到一级A排放标准,在此形势下,重庆市环保局要求合川等32座污水处理厂限期完成提标改造工作。目前,合川污水处理厂提标改造工程已经投入建设,在项目完工投用前,拟通过管理提标实现出水水质达到一级A标准,削减接纳水体的污染负荷并挖掘提标改造潜能,以减轻后续深度处理的压力。针对提标改造的关键指标TN和TP,现有的化学除磷工艺可实现出水TP浓度的达标,为此笔者拟通过探讨内回流比、外碳源及其投加量对生物脱氮的影响,实现污水处理厂出水TN浓度达到一级A标准,以期为已建污水处理厂的提标改造提供理论依据和技术参考。

## 1 污水处理厂概况

### 1.1 水质与水量

合川污水处理厂的设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,实际处理量为 $(5.6 \sim 6.1) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,总变化系数为1.36,最高日最高时流量为 $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ ,进水主要为市政污水和少量垃圾渗滤液(约 $300 \text{ m}^3/\text{d}$ )。原设计进水水质及2016年5月—2017年5月的进、出水水质见表1,现有工艺出水水质执行一级B标准。

表1 进、出水水质

Tab. 1 Quality of influent and effluent  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	TP	TN	NH <sub>3</sub> -N
设计进水	350	170	220	4.5	45	40
实际进水	87 ~ 597 (289)	34 ~ 278 (116)	70 ~ 595 (182)	1.65 ~ 14.1 (4.99)	18.6 ~ 82.1 (50.7)	12.8 ~ 67.0 (37.9)
实际出水	10 ~ 40 (22)	1.3 ~ 9.9 (5.1)	4 ~ 18 (9)	0.46 ~ 1.39 (0.96)	9.4 ~ 18.9 (16.6)	0.2 ~ 4.92 (1.00)
一级B标准	60	20	20	1.5	20	8
一级A标准	50	10	10	1.0	15	5

注: 括号内的数值为平均值。

### 1.2 工艺流程

合川污水处理厂的工艺流程见图1。主体工艺为两座并联的Orbal氧化沟,污水经格栅与旋流沉砂池预处理后,流入前置厌氧池强化释磷,出水进入氧化沟并完成生物脱氮除磷,氧化沟采用转碟曝气。

在氧化沟出水口投加化学除磷剂聚合硫酸铁,最后加氯消毒排入嘉陵江。污泥部分回流,剩余污泥脱水后外运填埋。

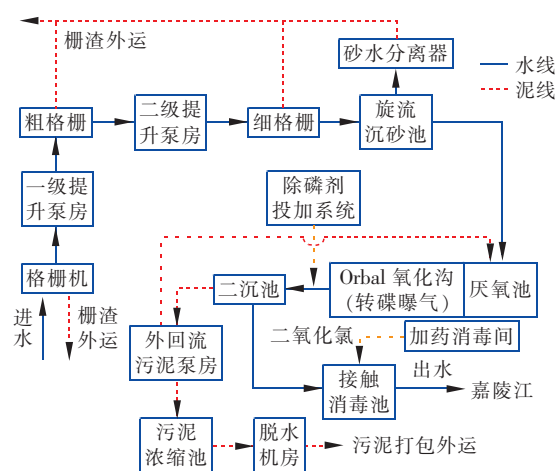


图1 合川污水处理厂的工艺流程

Fig. 1 Flow chart of treatment process in Hechuan WWT

## 2 问题诊断

### 2.1 碳源不足

根据2011年版《室外排水设计规范》(GB 50014—2006),若要稳定达到一级B标准,进水BOD<sub>5</sub>/TN值宜大于4(或COD/TN值>8);若要达到一级A标准,去除1 mg硝态氮需要消耗5~5.5 mg BOD<sub>5</sub><sup>[1]</sup>。通过对合川污水处理厂2016年的进水水质数据进行统计分析,绘制BOD<sub>5</sub>/TN值的频率直方图,如图2所示。

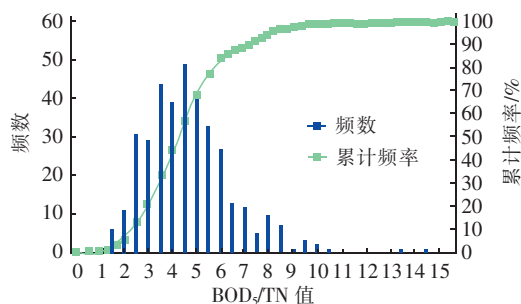


图2 BOD<sub>5</sub>/TN值的频率直方图

Fig. 2 Frequency histogram of BOD<sub>5</sub>/TN ratio

由图2可以看出,BOD<sub>5</sub>/TN值<4的天数将近50%,BOD<sub>5</sub>/TN值<5的累计频率约为70%,BOD<sub>5</sub>/TN值<5.5的累计频率接近80%,说明合川污水处理厂一年内有近半年难以达到一级B标准,有70%以上的天数难以实现一级A标准,生物反硝化的碳源短缺问题十分严峻。试验开始前期,已采用甲醇

作为外加碳源维持污水处理厂的稳定运行,但限于甲醇的危化品特性未大量投用。

## 2.2 其他影响因素

随着城市的发展,该污水厂的实际处理规模已达到  $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,处于超负荷运行状态,污水实际停留时间低于设计值,脱氮效果较差。由于进水 TN 中氨氮占比较大,运行中限于氨氮超标的风险,实行间歇曝气-低溶解氧控制以实现同步硝化反硝化(SND)存在困难。基于此,有必要增加混合液回流以提升脱氮效果。此外,受进水细微泥沙的影响,污泥活性比值 MLVSS/MLSS 常年在 0.4 左右,污泥活性有待提高;在气温回升和有机负荷较低时,生化池有生物泡沫产生,SVI 值上升,有污泥膨胀的风险,亟待补充碳源以改善现状。

## 3 试验过程及分析

### 3.1 试验方案

方俊华等<sup>[2]</sup>在传统 Orbal 氧化沟中增加了混合液回流,实现了 TN 等指标的提标;吴光学等<sup>[3]</sup>对比了 3 种常见外加碳源(葡萄糖、乙酸钠、甲醇)的反硝化效果和驯化期,发现甲醇的效果最佳但驯化期较长,乙酸钠的效果优于葡萄糖。本试验拟通过增加混合液回流,并将回流比从 100% 提升至 300%,分析内回流比调控的效果;随后以较为安全的快速碳源乙酸钠为外加碳源,以单组氧化沟为试验对象,通过半连续方式将乙酸钠溶液投加到厌氧池出水口,探究 TN 提标效果并确定乙酸钠的最佳投量。试验(进水为沉砂池进水,出水为研究组二沉池出水)内容主要包括:

#### ① 内回流比试验

以单组 Orbal 氧化沟为研究对象,试验时间为 2017 年 7 月 24 日—27 日,第 1 天为背景值,内回流比为 80%~100%,后 3 d 内回流比调为 300%。为不影响污水厂正常生产运行,试验组水量控制在  $(1.8 \sim 2.0) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ;试验期间污泥浓度、污泥回流比、曝气控制等条件维持不变。

#### ② 外碳源投加试验

外加碳源 COD 当量计算:配制  $x \text{ mg/L}$  的乙酸钠溶液,测得 COD 值为  $y \text{ mg/L}$ ,则外加碳源的 COD 当量  $a = y/x \text{ mgCOD/mg 碳源}$ 。

碳源投加量计算:

$$W = \frac{\Delta\rho \times 5}{a \times b} \times 10 \quad (1)$$

式中: $W$  为外加碳源的理论投加量,  $\text{kg}/10^4 \text{ m}^3$ ;  $\Delta\rho$  为实现一级 A 标准的硝态氮削减值,为稳定达标本研究设为  $10 \text{ mg/L}$ ;  $a$  为外加碳源的 COD 当量,试验测定值为  $0.464 \text{ mgCOD/mg 碳源}$ ;  $b$  为外加碳源的 B/C 值,乙酸钠的 B/C 值为  $0.769 2$ 。

投加方式:碳源采用半连续投加方式至厌氧池出水,即每日理论投药量连续 12 h 加完(22:00—次日 10:00);每日投药量分 3 批次在溶药罐内配成溶液,每批次溶解后泵至储药罐匀速 4 h 加至生化池。图 3 为外碳源投加系统示意。

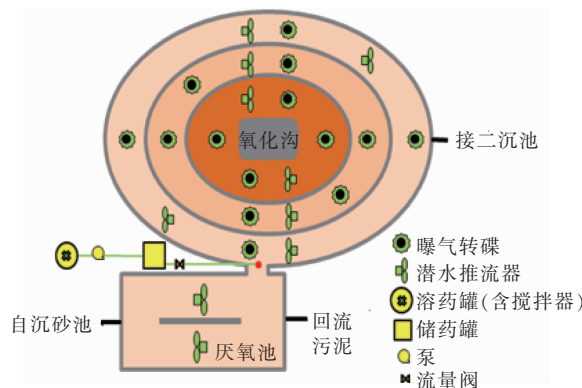


图3 外碳源投加系统示意

Fig.3 Schematics of external carbon source dosing system

试验过程:试验时间为 2017 年 9 月 5 日—12 日,单组试验流量控制在  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。9 月 5 日—6 日为背景值调查期。基于水质波动和渗滤液冲击负荷的影响,同时考虑到批购药剂的碳源纯度较低,设定  $1.3W$  和  $1.6W$  两个投加梯度进行试验。阶段 I 试验时间为 9 月 6 日 22:00—8 日 22:00,碳源投加量为  $1.3W$ ;阶段 II 试验时间为 9 月 8 日 22:00—12 日 16:00,碳源投加量为  $1.6W$ 。试验期间白天间隔采集 4~5 个进、出水水样进行检测分析。

#### ③ 验证性生产试验

按照外碳源投加试验的投药量分析结果,进行连续 15 d 的生产性试验,检测分析进、出水水质,验证前期试验结果的可靠性。

## 3.2 试验结果与分析

#### ① 内回流比试验

试验期间单组氧化沟的进、出水 TN 浓度变化见图 4。可知,7 月 24 日背景值当日内回流比为 100%,进水 TN 浓度均值为  $42.6 \text{ mg/L}$ ,出水平均值接近  $20 \text{ mg/L}$ ,去除率为 54.1%;7 月 25 日—27 日,内回流比提高至 300%,进水 TN 浓度为  $36.9 \sim 76.8$

mg/L(平均为 52.8 mg/L),出水浓度为 17.6 ~ 19.4 mg/L(平均为 18.8 mg/L),平均去除率为 62.6%。

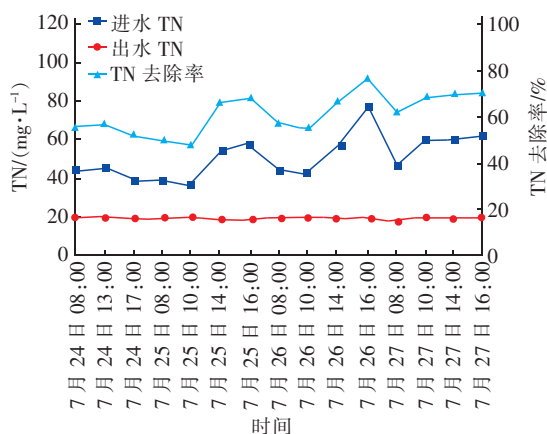


图4 内回流比调控试验期间 TN 浓度的变化

Fig. 4 Variation of TN concentration during internal reflux ratio control field test

试验运行数据表明,提升内回流比对出水 TN 浓度的提标没有显著影响,但是 TN 去除率有所提升,这是因为增大内回流比提高了硝态氮在氧化沟内的停留时间,从而提高了 TN 的削减量。从图 4 可以看出,试验期间进水 TN 波动较大,但系统出水 TN 浓度仍能稳定达到一级 B 标准,表明增大内回流比有利于提高系统的抗冲击负荷能力。分析通过调控内回流比仍不能使出水 TN 达到一级 A 标准的原因,认为进水 COD/TN 平均值仅为 5.32,低于设计值,碳源不足严重限制了生物脱氮效果的提升。

## ② 外碳源投加试验

根据式(1)计算得到乙酸钠的理论投加量  $W = 1\,400\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$ 。在阶段 I 试验期间,乙酸钠投加量为 1.3 倍理论值( $1\,820\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$ ),将原水 COD/TN 平均值从 7.02 提高到了 8.40;进水 TN 为 35.4 ~ 98.7 mg/L(平均为 56.1 mg/L),出水 TN 为 17.5 ~ 19.8 mg/L(平均为 18.6 mg/L);9月7日—8日, TN 去除率提升至 44% ~ 80%,平均为 64.2%(如图 5 所示)。投加外碳源后的前 2 d, TN 去除效果未能明显提升,这可能是由于在碳源投加初期,微生物处于驯化适应阶段,反硝化菌对碳源利用亦需要适应。分析试验期间的污泥浓度指标可知, MLVSS/MLSS 值从背景期的 0.42 增大至 9月8日的 0.54,提高了 28.5%,说明试验期间投加的碳源被微生物用于细胞合成,从而使得污泥活性组分比例增大。外碳源投加 2 d 后,出水 TN 浓度有明显的下降趋势,为尽

快使出水 TN 降至 15 mg/L 以下,决定增大投药量。

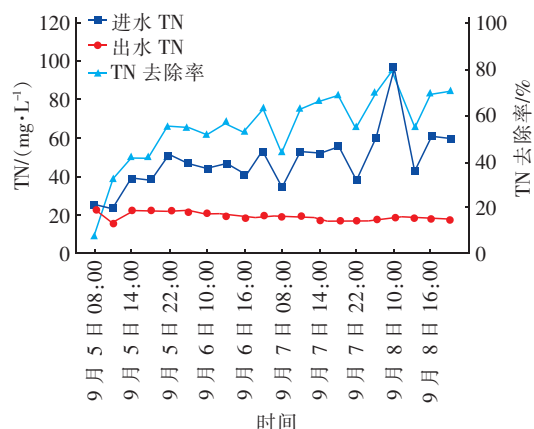


图5 碳源投加试验期间 TN 浓度的变化  
(1.3 倍理论投加量)

Fig. 5 Variation of TN concentration during carbon source dosing test (1.3 times of theoretical dosage)

在阶段 II 试验期间,乙酸钠投加量为 1.6 倍理论值( $2\,240\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$ ),进水 COD/TN 平均值仅为 5.29,投加碳源后 COD/TN 值提升至 7.60。TN 浓度的变化如图 6 所示。

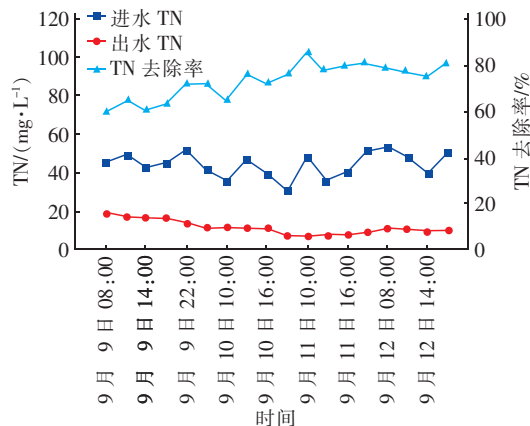


图6 碳源投加试验期间 TN 浓度的变化  
(1.6 倍理论投加量)

Fig. 6 Variation of TN concentration during carbon source dosing test (1.6 times of theoretical dosage)

由图 6 可知,进水 TN 浓度为 30.8 ~ 53.3 mg/L(平均为 44.5 mg/L),出水 TN 浓度为 7.3 ~ 18.5 mg/L(平均为 12.0 mg/L),TN 去除率为 59.4% ~ 85.0%(平均为 73.0%)。经过 9月9日稳定期后,9月10日—12日出水 TN 平均浓度仅为 10.0 mg/L,稳定达到一级 A 标准, TN 平均去除率为 76.5%,同时 MLVSS/MLSS 值稳定在 0.5 以上。尽管 COD/TN



值略低于实现一级 B 标准的设计值 8.0,但阶段 I 试验大大提高了污泥活性,结合内回流比调控和乙酸钠作为反硝化碳源的高效性使得出水 TN 浓度明显低于一级 A 标准限值,达到了试验的预期效果。若以 15 mg/L 作为出水 TN 的目标值,则实际需要的乙酸钠投加量为  $1\,540\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$ 。

工业乙酸钠的价格按 3 000 元/t 计,上述试验的投药量为  $1\,820\sim2\,240\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$ ,单耗为  $0.182\sim0.224\text{ kg}/\text{m}^3$ ,则乙酸钠碳源投加成本为  $0.546\sim0.672\text{ 元}/\text{m}^3$ 。若以 15 mg/L 作为出水 TN 的目标值,投药量为  $1\,540\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$ ,则乙酸钠碳源投加成本为  $0.462\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

### ③ 验证性生产试验

为验证上述试验结果的长期有效性,按照  $1\,540\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$  投加乙酸钠,在 2018 年 1 月 11 日—25 日进行了连续性生产试验。结果表明,在水温为  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、进水 TN 为  $57.2\sim81.1\text{ mg/L}$  的条件下,出水 TN 平均值为  $14.4\text{ mg/L}$ ,TN 去除率达到了 79%,出水 TN 浓度可以稳定达到一级 A 标准(见图 7),从而也证明了前期试验结果可用于指导该污水厂的 TN 提标工作。

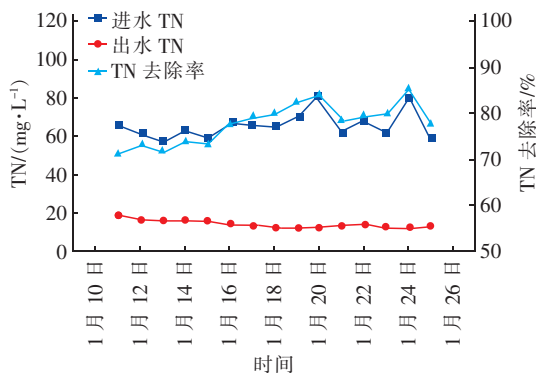


图 7 验证性生产试验期间 TN 浓度的变化

Fig. 7 Variation of TN concentration during production test

## 4 结论

① 通过水质数据的统计学分析,诊断出碳源短缺是生物反硝化效果差的主要原因。内回流比调控对 TN 的提标作用在碳源短缺的情况下效果不显著,在碳源充足的情况下有积极作用。

② 通过碳源投加试验摸索出适合合川污水处理厂水质特征的外碳源投加量控制方法,在内回流比为 300%、乙酸钠投加量为  $1\,540\text{ kg}/10^4\text{ m}^3$  的条件下,可实现出水 TN 达到一级 A 标准。外加碳源

不仅可作为反硝化的电子供体,还能大大改善污泥活性。

③ 本研究在不改变原有构筑物的基础上,嵌入外碳源投加系统,通过试验确定内回流比、碳源投加量等重要工艺控制参数,实现了出水 TN 浓度稳定达到一级 A 标准的目标,对其他类似污水处理厂的运行具有借鉴意义,但为降低成本,建议寻求更廉价、有效的反硝化碳源。

## 参考文献:

- [1] 郑兴灿. 城镇污水处理厂一级 A 稳定达标技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.  
Zheng Xingcan. Municipal Wastewater Treatment Plant Process with Stable First Level A Attainment[M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2015 (in Chinese).
- [2] 方俊华,任立清. 重庆某污水处理厂提标工艺调控效果分析[J]. 给水排水,2013,39(11):48-51.  
Fang Junhua, Ren Liqing. Analysis on the control effect of a upgrading process in a wastewater treatment plant in Chongqing[J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(11):48-51 (in Chinese).
- [3] 吴光学,时运红,魏楠,等. 外加常规碳源污水反硝化脱氮研究进展[J]. 给水排水,2014,40(增刊):168-172.  
Wu Guangxue, Shi Yunhong, Wei Nan, et al. Research advance on the effect of common external carbon source in denitrification [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(S1):168-172 (in Chinese).



作者简介:郝丽岭(1985-),女,河南南阳人,硕士,工程师,研究方向为水污染治理。

E-mail:553661755@qq.com

收稿日期:2018-05-08