研究开发

生物转盘同步去除化学需氧量和氮的实验研究

李 芳[1, 2]，崔红梅[1, 2] ，吕炳南[3]

（[1]东北石油大学土木建筑工程学院给水排水工程专业，黑龙江 大庆 163318；[2]黑龙江省防灾减灾及防护工程重点实验室，黑龙江 大庆 163318；[3]哈尔滨工业大学市政环境工程学院市政工程系，黑龙江 哈尔滨 150090）

摘 要：采用单轴三级生物转盘（RBC），进行了生物转盘同步去除化学需氧量和氮的试验研究。水温度 15 ℃，进水 COD 浓度为 400mg/L 左右时，转盘对化学需氧量的去除率达到 85%左右。控制适宜的碱度，转盘系统氨氮的硝化率在 75%左右、总氮（TN）的去除率在 50%左右。增设硝化液回流系统后，总氮的去除率显著提高，特别是回流比为 200%时，TN 去除率在低温下可达 73.87%。实验表明生物转盘对化学需氧量和氮有较好的同步去除效果。

关键词：生物转盘；总氮的去除率；化学需氧量的去除率；回流比

中图分类号：X 703 文献标志码：A 文章编号：1000－6613（2012）－07－1615－05

COD and nitrogen removal with rotating biological contactor

LI Fang[1,2]，*CUI Hongmei*[1,2]，*LÜ Bingnan*[3]

([1]Department of Water Draining and Supply, School of Civil Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, Heilongjiang, China；[2]Heilongjiang Key Laboratory of Disaster Prevention, Mitigation and Protection Engineering, Daqing 163318, Heilongjiang, China ;[3]School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, Heilongjiang, China)

Abstract：A 3-stage rotating biological contactor was used to study simultaneous removal of COD and nitrogen. When temperature was 15 ℃ and influent COD concentration was about 400mg/L，removal rate of COD was about 85% . Through controlling proper alkalinity nitrification rate of ammonia was about 75% and removal rate of TN was about 50%. After addition of a nitrification liquid circulation system，removal rate of TN，at reflux ratio of 200% increased to 73.87 %. Experimental results showed good effect of rotating biological contactor on removing COD and nitrogen.

Key words：rotating biological contactor；removal rate of total nitrogen；removal rate of COD；reflux ratio

生物转盘法是一种膜生物处理技术，起步于 20 世纪 50～60 年代[1]。因其具有净化效率高、耗能低、进水负荷高和易管理等优点[2]，在生活污水[3]和有机废水[4]、含酚废水[5]、石化废水[6-7]等工业废水处理领域得到了广泛的应用。它除被用于去除水中的含碳化合物外，也可以用于脱氮。美国和日本等国，近年来对生物转盘的运用已扩大到污水的脱氮工艺中。Gupta 等[8-9]采用多级生物转盘系统对合成废水及城市污水中的碳、氮同步去除进行了研究，取得了较好的效果。但是国内在这方面尚未展开较系统的应用研究。本文应用三级生物转盘，对污水的同步去除碳和氮进行系统研究，为生物转盘在污水同步去除碳和氮的工程应用提供有价值的参考。

1 实验部分

1.1 实验装置

本实验采用单轴三级生物转盘装置，转盘的盘

收稿日期：2012-02-10；修改稿日期：2012-02-24。

第一作者及联系人：李芳（1979－），女，硕士，讲师，主要研究方向为污水及含油污泥处理。E –mail lif1216@163.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 生物转盘的主要技术参数

项目	数值
级数	3
盘片直径	30 cm
盘片间距	5.5 cm
槽容积/级	23 L
转速	5～15 r/min
盘片个数（每级）	9
盘片浸没率	45%

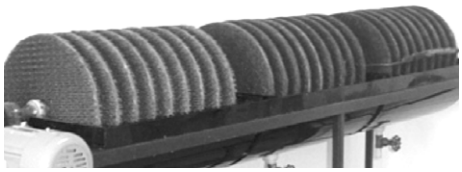

图 1 生物转盘实际装置图（启动阶段）

片为孔隙率 96%的特殊网状载体，有利于微生物的附着生长。主要技术参数见表 1。

装置见图 1。水箱内的水经蠕动泵打入第一级氧化槽的首端，依次流经二、三级生物转盘，最后进入二沉池，进行泥水分离。

1.2 实验用水水质

实验用水水质见表 2。

表 2 实验用水水质

水质指标	监测值/mg·L^{-1}
COD	350～450
NH^{+}_{4}-N	25～35
TP	1～3
TN	50～60

1.3 水质分析方法及主要试剂

实验中水质分析方法及主要试剂见表 3。

1.4 实验启动

启动开始，每天向反应器内投加一定量的污泥（取自大庆市东城区污水处理厂）。进水 COD 为 400 mg/L 左右，水力停留时间 24 h，进行生物膜的培养。7 天后 COD 的去除率可达到 46%左右，15 天达到 66%左右。17 天后，水力停留时间改为 10 h，进水有机物浓度不变，26～36 天，COD 的去除率保持在 75%～85%，生物转盘启动成功。

表 3 水质分析方法及主要试剂及仪器

指标	分析方法	主要试剂及仪器
COD	重铬酸钾回流法	重铬酸钾 GR；硫酸亚铁铵 AR
TN	过硫酸钾氧化 紫外分光光度法	752N 分光光度计，上海精密过硫酸钾 AR
NH_4^+-N	纳氏试剂分光光度法	752N 分光光度计 上海精密碘化钾 AR
NO_2^--N	*N*-（1-奈基）-乙二胺比色法	*N*-（1-奈基）-乙二胺盐酸盐 AR
NO_3^--N	紫外分光光度法	752N 分光光度计，上海精密盐酸 GR；硫酸锌 AR
碱度	滴定法	酚酞指示剂 AR
DO	电化学探头法	HI964400 型 DO 测定仪 HANNA

2 实验结果和讨论

2.1 COD 的处理效果

水力停留时间调整为 8 h，转盘转速 5～15 r/min，水温 15 ℃左右。此时转盘各级均好氧运行。各级溶解氧见表 4。

表 4 生物转盘各级溶解氧浓度

级数	溶解氧/mg·L^{-1}
1	2～3
2	4～6
3	6～10

生物转盘对 COD 有较好的去除效果。见图 2。

在进水 COD 浓度为 400 mg/L 左右时，COD 去除率均值 85%，起主要有机物降解作用的是第一级转盘。该转盘盘片采用新型网状材料，盘片与传统盘片相比具有较大的比表面积和孔隙率，有利于微

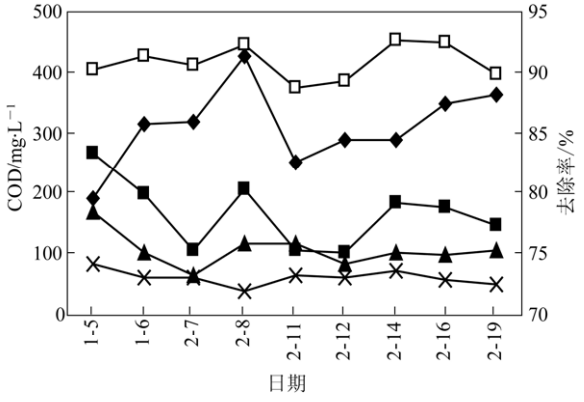

图2 COD去除效果图

◆ 去除率；□ 进水COD浓度；▲ 第2级出水COD浓度；
✕ 第3级出水COD浓度；■ 第1级出水COD浓度

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生物的附着、生长与繁殖，单位面积的网状盘片上的生物量是普通盘片的 2～3 倍。虽然水温较低但生物量大，COD 的去除效果较好。

2.2　氨氮的处理效果

由图 3 可见，此时氨氮的硝化率一般在 60%左右。硝化细菌的生长除了对营养物质的需求外，还需要一定的外界环境条件。主要原因有两个：首先运行温度偏低。温度是影响细菌生活的重要环境条件之一。硝化细菌属于中温菌，最适生长温度为 25～30 ℃[10]。而运行中的温度只有 15 ℃。这大大影响了细菌的生长繁殖速率，进而影响了氨氮的硝化率。其次碱度过低。采集水样测定碱度，1、2、3 级转盘内的碱度分别为 92 mg/L、20.1 mg/L、3.1 mg/L（以 $CaCO_3$ 计）。

配水时加入 $NaHCO_3$ 为 25 g/300L 调节碱度。氨氮的去除效果见图 4。

加入碳酸氢钠调节碱度后，1、2、3 级的碱度分别为 104.6 mg/L、50.5 mg/L、22 mg/L。如图 4 所示调节碱度后，氨氮的去除率有所上升，即硝化率提高了，由原来的 60%左右升高到 75%左右。

2.3　硝酸盐氮的变化

由图 5 可见未外加碱度时生物转盘 1、2、3 级硝酸盐氮的浓度分别在 4 mg/L、5 mg/L、9 mg/L 左右，硝化率较低。由图 6 可见调节碱度后第三级出水硝酸盐氮含量大幅度提高，出水值在 20 mg/L 左右。硝化反应过程生成一定量的酸，会使系统的碱度不断下降，抑制了硝化反应的进行，加入碱后，中和一部分生成的酸，提高了系统的硝化率。所以氨氮的去除率上升，硝酸盐氮的含量增加。

2.4　亚硝酸盐氮的变化

在生物转盘的整个运行过程中亚硝酸盐氮的含量一直很低，图 7 所示。通常各级亚硝酸盐氮的浓度均在 0.5 mg/L 以下。原因是温度过低，高温更有利于亚硝化细菌的生长繁殖[10]。调解碱度后亚硝

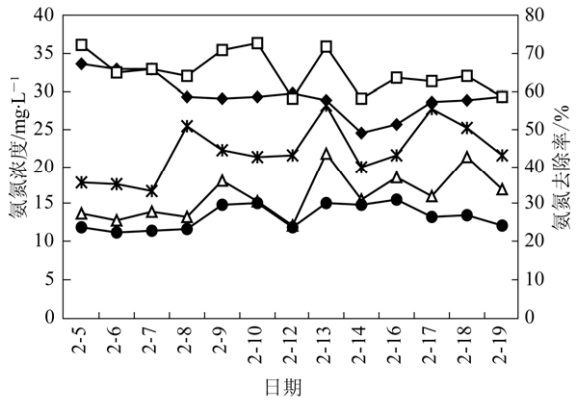

图 3　氨氮去除效果图

◆去除率；□进水氨氮浓度；△第2级出水氨氮浓度；
●第3级出水氨氮浓度；✱第1级出水氨氮浓度

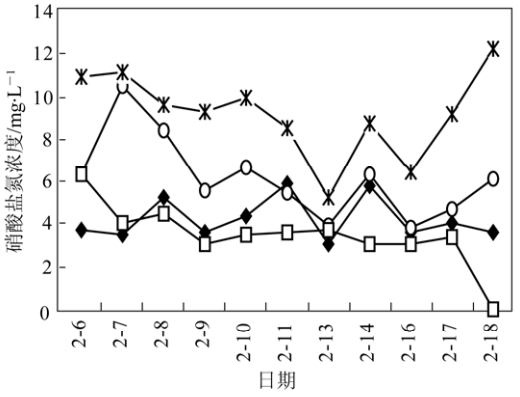

图 5　硝酸盐氮的变化图

♦ 进水硝酸盐氮浓度；O第2级出水硝酸盐氮浓度；
✱ 第3级出水硝酸盐氮浓度；□第1级出水硝酸盐氮浓度

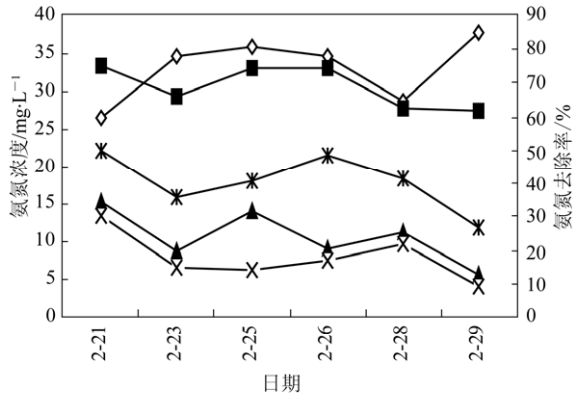

图 4　调节碱度后氨氮去除效果图

◊氨氮去除率；■原水氨氮浓度；▲第2级出水氨氮浓度；
X第3级出水氨氮浓度；✱第1级出水氨氮浓度

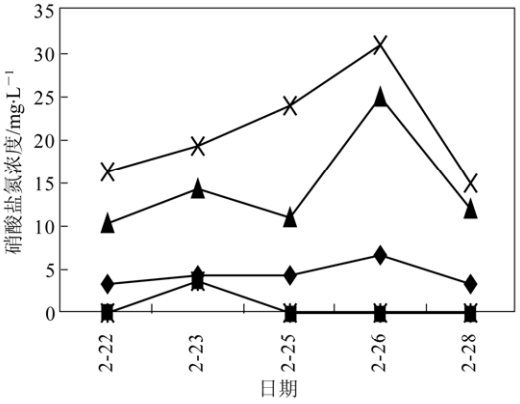

图 6　调节碱度后的硝酸盐氮变化图

♦ 原水硝酸盐氮浓度；▲第2级出水硝酸盐氮浓度；
X第3级出水硝酸盐氮浓度；■第1级出水硝酸盐氮浓度

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

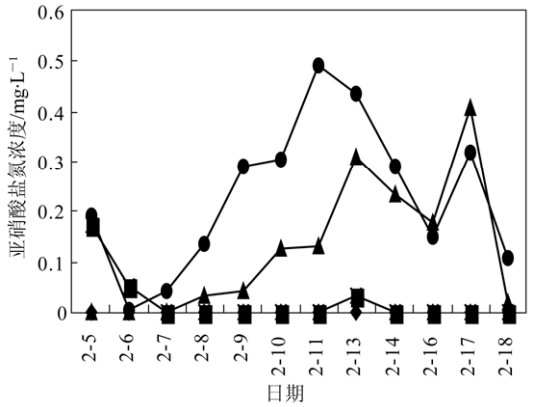

图 7 亚硝酸盐氮的变化图

◆ 进水亚硝酸盐氮浓度；● 第二级出水亚硝酸盐氮浓度；
▲第三级出水亚硝酸盐氮浓度；■第一级出水亚硝酸盐氮浓度

酸盐氮的浓度亦无较大变化。可能是由于生物转盘具有同步硝化反硝化的功能，一部分生成的亚硝酸盐被还原成氮气，所以碱度调节前后亚硝酸盐氮的变化不大。

2.5 总氮的处理效果

由图 8 可见：温度 15 ℃左右时，系统对总氮的去除率在 50%左右。去除的氮量超过了生物自身生长繁殖所需要的氮量，证明了生物转盘有一定的除氮功能。起主要脱氮作用的是第一级转盘，原因是第一级转盘内由于进水有机物含量较高，微生物生长繁殖较快，转盘的生物膜厚度大，膜内的厌氧、缺氧环境范围大，为反硝化菌的生长繁殖提供了一定的空间，反硝化脱氮的效果较好。另外由图 6 可知第一级转盘出水硝酸盐氮的含量低于原水硝酸盐氮的含量，减少的部分被反硝化菌还原为氮气，而二、三级转盘的硝酸盐氮含量是逐渐增加的，也说明了第一级转盘起主要脱氮作用。但是出水总氮浓度仍然较高，在 20～25 mg/L 左右。

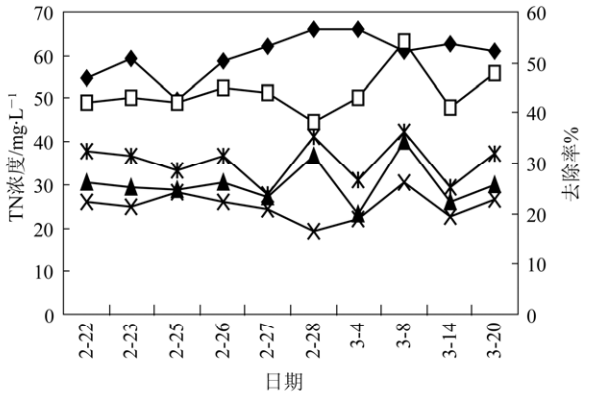

图 8 总氮的去除效果图

◆ 去除率；□进水总氮浓度；▲ 第二级出水总氮浓度；
X 第三级出水总氮浓度；✱第一级出水总氮浓度

2.6 增设回流系统的实验结果和讨论

由于转盘出水硝酸盐氮含量较高，说明反硝化效果不好。增加了硝化液回流系统，出水由二沉池上部回流至进水口，同时调节转速至 5 r/min，以减小氧化槽内的溶解氧浓度，更有利于反硝化反应的进行。不同的回流比时，生物转盘约运行 21 天。

表 5 不同回流比时总氮的去除效果

回流比/%	进水 TN 浓度/mg·L^{-1}	第 1 级出水 TN 浓度/mg·L^{-1}	第 2 级出水 TN 浓度/mg·L^{-1}	第 3 级出水 TN 浓度/mg·L^{-1}	TN 去除率/%
100	54.14	27.88	25.23	22.45	58.53
200	53.7	22.03	20.51	14.03	73.87
300	53.86	26.54	21.38	18.15	66.3

由表 5 可知，增加回流后，总氮的去除率提高。在回流比为 100%、200%、300%时，总氮的去除率分别为 58.53%、73.87%、66.30%。

RBC 的转速降低，各级溶解氧的浓度随之下降，生物膜内部缺氧环境范围扩大。硝化液回流至反应器前端，为系统的反硝化反应又提供了足够的反应底物，有利于各级内反硝化菌的生长、繁殖。所以增加了硝化液循环系统后，总氮的去除率显著提高。

随着回流比的增加，TN 和 COD 的去除率均有增加。在回流比为 200%，TN 去除效果好于 100%和 300%。这是因为回流比小时 DO 浓度过低，生物絮凝体内微环境倾向于向缺氧或厌氧状态发展，提高了系统的反硝化能力，但会对一部分硝化菌产生抑制作用，影响了硝化反应。硝化率下降，反硝化反应没有足够的底物，导致整体的脱氮率不高。所以回流比为 100%，总氮的去除率仅为 58.53%。回流比继续增加，使氧化槽内的溶解氧值随之增大。回流比为 200%，总氮的去除率为 73.87%。回流比继续增加到 300%，DO 浓度也继续增加，氧的穿透能力增强，使得生物膜内部缺氧和厌氧区域范围缩小，有利于提高 NH^+_4-N 的去除率，但却大大降低了系统的反硝化能力，进而降低了对 TN 的去除率[11]。所以回流比为 300%时，去除率降低到 66.30%。

3 结 论

（1）转盘系统由于生物量较大除碳效果较好，

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

水力停留时间 8 h，温度 15 ℃，在进水 COD 浓度为 400 mg/L 左右时，COD 去除率均值 85%。

（2）氨氮的硝化率一般在 60%～70%之间，系统运行时应注意添加碱防止硝化率的下降。

（3）总氮的去除率在 50%左右。增设硝化液回流系统后，总氮的去除率显著提高，特别是回流比为 200%时，TN 去除率可达 73.87%.

（4）装置在 15 ℃对 C 和 N 仍有较好的同步去除效果，所以生物转盘在气温较低地区有一定的应用前景。

参 考 文 献

[1] Rittman B E，Mclarty PL. Environmental biotechnology：Principles, and applications[M].北京：清华大学出版社，2002：456-541.

[2] 张自杰. 排水工程[M]. 第 4 版. 北京 :中国建筑工业出版社, 2000, 222-226.

[3] 李彬，吕锡武，宁平，等.自回流生物转盘/植物滤床工艺处理农村生活污水[J].中国给水排水，2007，23（17）：15-18.

[4] 熊欢伟，郭勇，李礼，等. 新型颗粒生物膜生物转盘处理有机废水的研究[J].中国给水排水，2009，25（1）：75-81.

[5] Waminathan S G，Ramanujam T K. Effect of substrate concentration on biodegradation of 2，4-dichlorophenol using modified rotating biological contactors[J]. *Bioprocess Engineering*, 1999（21）:169-173.

[6] Ahn K-H，Chang J-S. Performance evaluation of compact RBC-selting tank system [J]. *Wat. Sci. Tech.*，1991，23：1467-1476。

[7] 孙卫红，操家顺. A/O 生物转盘工艺处理氨氮废水[J].上海环境科学，2001，20（8）：390-392.

[8] Tait S J，Friedman A A. Anaerobic rotating biological contactor for carbonaceous wastewater[J]. *JWPCF*，1980，52：2257-2269.

[9] Gupta A B，Gupta S K. Simultaneous carbon and nitrogen Removal in a mixed culture aerobic RBC biofilm[J]. *Wat. Res.*，1999，32（2）：555-561.

[10] 任南琪，马放，杨基先. 污染控制微生物学[M].哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2007：359-364.

[11] 齐唯，李春杰，何义亮.浸没式膜生物反应器的同步硝化反硝化效应[J].中国给水排水，2003，19（7）：8-11.

（上接第 1614 页）

84：1215-1220.

[40] Krishnakumar B ，Helble J J. Determination of transition state theory rate constants to describe mercury oxidation in combustion systems mediated by Cl，Cl_2，HCl and HOCl[J]. *Fuel Processing Technology*，2012，94：1-9.

[41] Xu M H，Qiao Y，Zheng C G，et al. Modeling of homogeneous mercury speciation using detailed chemical kinetics[J]. *Combustion and Flame*，2003，132：208-219.

[42] 罗光前，姚洪，徐明厚，等. 均相系统中汞的氧化实验与热力学平衡计算[J]. 工程热物理学报，2007，28（6）：1039-1042.

[43] 侯文慧，张斌，周强，等. 均相汞氧化的化学动力学耦合流体动力学数值模拟[J]. 中国电机工程学报，2010，30（5）：23-27.

[44] 陶叶，禚玉群，刘晶，等. 燃煤烟气中汞均相氧化的数值模拟[J]. 化工学报，2011，62（1）：186-190.

[45] Lee Tai Gyu. Study of mercury kinetics and control methodologiesin simulates combustion flue gases[D]. Dissertation：University of Cincinnati，1999.

[46] 刘杨先，张军，盛昌栋，等. 燃煤烟气脱汞吸附剂最新研究进展[J]. 现代化工，2008，28（11）：19-23.

[47] Le Sung Jun，Seo Yong-Chil，Jurngb Jongsoo，et al. Removal of gas-phase elemental mercury by iodine- and chlorine-impregnated activated carbons[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38 :4887-4893.

[48] Vidic R D，Siler D P. Vapor-phase elemental mercury adsorption by activated carbon impregnated with chloride and chelating agents[J]. *Carbon*，2001，39（1）：3-14.

[49] Chao C C，Pontanio S J. Adsorbents for mercury removal from flue gas：WO，2006099291（A2） [P]. 2006-09-21.

[50] Zeng H C，Jin F，Guo J. Removal of elemental mercury from coal combustion flue gas by chloride- impregnated activated carbon[J]. *Fuel*，2004，83（1）：143-146.

[51] 张鹏宇，曾汉才，张柳. 活化处理的活性炭吸附汞的试验研究[J]. 电力科学与工程，2004（2）：1-3.

[52] 向飞，申哲民，梅志坚，等. 活性炭负载催化剂对模拟烟气中单质汞的吸附[J]. 环境科学与技术，2007，30（9）：7-8.

[53] 胡长兴，周劲松，骆仲泱，等. 烟气脱汞过程中活性炭喷射量的影响因素[J]. 化工学报，2005，56（11）：2175.

[54] 任建莉，周劲松，骆仲泱，等. 活性炭吸附烟气中气态汞的试验研究[J]. 中国电机工程学报，2004，24（2）：171-175.

[55] 任建莉，周劲松，骆仲泱，等. 新型吸附剂脱除烟气中气态汞的试验研究[J]. 中国电机工程学报，2007，27（2）：48-53.

[56] Zhuang Ye，Thompson Jeffrey S，et al. Impact of calcium chloride addition on mercury transformations and control in coal flue gas[J]. *Fuel*，2007，86：2351-2359.

[57] 潘卫国，吴江，王文欢，等. 添加 NH_4Cl 对煤燃烧生成 Hg 和 NO 影响的研究[J]. 中国电机工程学报，2009，29（29）：41-46.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net