



国家“七五”科技攻关环境保护项目  
成果简介

国家环境保护局 编

# 城市污水资源化研究

科学出版社

国家“七五”科技攻关环境保护项目成果简介

# 城市污水资源化研究

国家环境保护局 编

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

## 内 容 简 介

本书是《国家“七五”科技攻关环境保护项目成果简介》之一，简要介绍攻关项目“水污染防治及城市污水资源化技术研究”中“城市污水资源化研究”课题的成果。这对于解决城市污水和工业废水排放量增多的问题、开发适宜的城市污水和工业废水治理技术是十分重要的。

本书可供有关环境保护的科技工作者、大专院校有关专业的师生，以及科技管理人员参考。

国家“七五”科技攻关环境保护项目成果简介

### 城市污水资源化研究

国家环境保护局 编

责任编辑 陆晓明

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

北京市怀柔县黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1992年8月第一版 开本：850×1168 1/32

1992年8月第一次印刷 印张：3

印数：1—2300 字数：68000

ISBN 7-03-003021-4/P·598

定价：4.00元

# 国家“七五”科技攻关环境 保护项目研究成果编辑委员会

**顾问** 陶葆楷 陶诗言

**主编** 金鉴明

**副主编** 鲍强 井文涌 刘鸿亮 章申

**常务编委** 周思毅 张忠祥 盛祖贻 雍永智 孟伟  
钱谊 陈利秋

**编辑委员**(以姓氏笔画为序)

于锡忱	王大生	王文兴	王能勤	井文涌
白宪宏	史提	甘海章	刘鸿亮	刘培哲
刘秀茹	庄亚辉	庄德安	安鼎年	孙昌仁
戎玲玲	许鸥泳	任阵海	乔寿贻	肖佩林
吴燕玉	余之祥	李安邦	李宪法	李献文
陈利秋	陈静生	汪凯民	张永良	张忠祥
张珂	张贻儒	张家锡	张绪祎	张冀强
金鉴明	周思毅	孟伟	赵英民	赵殿五
胡荣梅	徐正中	徐邦宜	高拯民	郭方
唐孝炎	唐鸿德	秦文娟	钱易	钱谊
夏增祿	黄钟成	章申	阎兴中	盛祖贻
彭志良	豆庆生	傅立勋	傅国伟	雍永智
鲍强	缪天成	臧玉祥	魏复盛	

**编辑工作人员**(以姓氏笔画为序)

刘幼兰 刘鲁君 向铎 杨景辉 陈彦  
张忠祥 钱谊 盛祖贻

74: 1102

## 前 言

随着我国国民经济和四个现代化建设的发展，城市污水和工业废水的排放量逐年增多，而我国城市污水的处理率却较低，大部分污水未经处理就直接排入水体，使得水环境日趋恶化，水环境的污染又加重了北方干旱地区水资源的短缺。防治水污染，除加强管理，严格执行环境保护的法规和标准外，开发适宜的城市污水和工业废水治理技术也是十分重要的。国外经济发达国家大多采用普及二级污水处理厂的办法，使城市污水经处理后排放。我国在近期内大量投资和普遍建设城市二级污水处理厂尚有较大困难，因此，迫切需要寻求适合我国国情的城市污水处理技术，特别是研究开发利用大自然净化能力的稳定塘、土地处理、深海排放等技术和实现污水回用的深度净化技术，逐步形成具有我国特色的城市污水处理与回用的系列技术，以提高城市污水处理率和保护我国水环境。

根据 80 年代中期对工业废水处理设施运行状况的调查，我国工业废水的处理率仅为正常运行的 30%。在造成处理设施报废、停运、运行效率低的各种问题中，技术问题是首位的。在各行各业中，水处理设施的设计和技术问题更为严重，因此，针对工业废水中的重点污染源，开发高效、节能、适用的工业废水系列成套技术便成为迫切的重要课题。

国家“七五”科技攻关项目第 59 项“水污染防治及城市污水资源化技术研究”是从我国城市污水基本未经处理、水环境污染相当严重、某些工业废水已成为水体的重要污染源、北方城市又严重缺水的现状出发，设置了“工业污染源治理技术及排放总量控制技术研究”（75-59-01）、“城市污水土地处理系统研究”（75-59-02）、“城市污水资源化的研究”（75-59-03）及“太湖

水系水质保护研究”(75-59-04)等4个课题,以期开发低投资、低能耗、低成本的城市污水土地处理、氧化塘技术,缺水城市的污水再利用技术,量大面广而长期未能攻克的造纸、印染、高浓度有机废水的有效治理技术,以及对制定流域水质保护规划提出原则及方法。该项目是以开发适用的先进技术为主,其“先进、适用”体现在既能高效地控制污染,又能与我国经济技术比较薄弱的国情相适应。为了有效地推动污染源的治理和区域环境污染综合防治工作,要求在开展研究的同时,建立相应的示范工程和装置。

国家“七五”科技攻关项目“水污染防治及城市污水资源化技术研究”包括上述4个课题及39个专题,由国家环境保护局主持,并由中国科学院和国家教委参加主持。参加攻关的单位有206个,参加攻关的人数为1786人,其中具有中级以上技术职称的人员占81%。参加攻关的主要有环保系统、中国科学院、国家教委、建设部、轻工业部、纺织工业部等系统和部门以及北京市、天津市、江苏省等地方环保科研单位。5年来,在国家计委、国家科委的领导下,在主持部门和参加主持部门的共同努力下,经过广大科技人员和管理人员的刻苦攻关、奋力拼搏,已全面完成了攻关任务和考核指标。所研究的4个课题均已通过国家验收,39个专题已分别通过鉴定和验收。4个课题共取得重大成果157项。在39个专题科技成果中,达到国际先进水平的有36个;其中的54个专项技术成果达到国际领先水平(或国际首创);共建立中试装置和中试基地43个,生产性试验装置6套,示范工程10个。在国内首次建立了环境保护菌种库和城市污水资源化试验基地,首次编著出版了《稳定塘、土地处理设计手册》,建立了7个水污染控制数据库。

参加该项目攻关的主要单位有:清华大学环境工程系、北京市环境保护科学研究所、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国环境科学研究院、天津大学环境工程研究所、天津纪庄子污水处理厂、天津市环境保护科学研究所、南京大学环境科学系、中国

科学院南京地理与湖泊研究所、江苏省环境科学研究所、北京轻工学院、纺织工业部设计院、中国科学院武汉病毒研究所、沈阳市环境保护科学研究所、北京农业大学土壤农化系、哈尔滨建筑工程学院、呼和浩特市城建环保局、武汉市环境保护科学研究所、中国市政工程西南设计院、中国科学院武汉水生生物研究所、北京建筑工程学院、天津市政工程勘察设计院、中国市政工程华北设计院、中国市政工程东北设计院、同济大学环境工程系、苏州城建环保学院、国家环境保护局南京环境科学研究所、中国科学院南京土壤研究所、河海大学环境水利研究所等。担任该项目各课题技术组组长的专家有：井文涌教授、张珂教授、汪凯民高级工程师、高拯民研究员、李宪法研究员、李献文教授、于锡忱教授级高工、安鼎年教授、唐鸿德教授级高工、胡荣梅研究员、余之祥研究员、许鸥泳教授等。清华大学环境工程系、北京市环境保护科学研究所、中国环境科学研究院、天津市环境保护局、江苏省环境保护局分别为各课题的主持、管理部门。

本书简要介绍“城市污水资源化的研究”课题的成果。该课题开发了适用于不同水质特点、不同回用途的5项成套污水处理技术，其中有污水回用的关键净化技术A/O，A<sup>2</sup>/O和旁路脱磷工艺。在基建投资和运行费与常规处理相当条件下，不但氨氮、总氮、总磷取得较好的处理效果，而且BOD<sub>5</sub>、COD及SS的去除率均高于常规生物处理。微絮凝过滤、絮凝-澄清-过滤、生物陶粒接触氧化滤池-纤维球过滤等深度净化成套技术，处理成本为0.10元/吨，出水水质的指标可达到浊度<5度，色度<20度，BOD<10毫克/升，COD<40毫克/升，T-P<1毫克/升，可满足工业冷却、工艺和低压锅炉用水等。开放循环河道自然净化技术费用低，使用灵活，适于市政、杂用和景观用水。以上研究成果在技术上均达国际先进水平。建成了天津城市污水资源化试验基地，天津、大连、北京3个污水回用示范工程和4套中试装置；提出了回用于直流及循环冷却、锅炉、市政、中水5种回用水水质指标，提交了城市污水回用的规划方法、系统设计优化软件和技术

经济政策建议等；开发了3台污水回用新设备（一体化中水处理设备、洗涤污水一体化处理装置、DY-3带式压滤机）和4种新型水处理药剂（PFC，PDM，PDMC，改进型JSM）。

该项成果部分已被采用。污水处理厂生物脱磷脱氮技术在天津纪庄子污水处理厂10万吨/天改造工程中应用，每年可节电25万千瓦·小时。在“八五”期间，在天津、大连、太原等地拟建城市污水回用工程，规模可达13.4万吨/天。到2000年，若按回用污水总量的15%计，在北方缺水城市北京、天津、太原、石家庄、大连、青岛等城市共计可回用污水6亿米<sup>3</sup>/年，可创净产值约9亿元。

最后，简单说明本书的编排体例。本书所收集的国家“七五”科技攻关环境保护项目成果简介依课题、专题和子专题3个层次编序排列。不列序号的（课题概况）项为课题一级的成果简介；以一级序号编序的项为专题级的成果简介；以二级序号列序的项为子专题级的成果简介。



# 目 录

前 言	( iii )
城市污水资源化研究的概况	( 1 )
一、城市污水处理厂生物脱氮技术的研究	( 5 )
二、活性污泥旁路除磷工艺的研究	( 8 )
三、城市污水处理厂二级出水开放循环利用自然净化技术系统及其回用于市政用水的水质指标研究	( 11 )
§ 3.1 污水处理厂二级出水利用河道净化技术开放循环回用于市政、园林、绿化、喷洒街道、放流到二级河道的研究	( 14 )
§ 3.2 二级出水回用于市政水体的卫生安全评价	( 16 )
§ 3.3 城市污水处理厂二级出水中优先毒性有机物的分离鉴定	( 19 )
四、二级出水工业回用的深度净化技术	( 23 )
§ 4.1 无机高分子絮凝剂的研制及其应用	( 25 )
§ 4.2 有机高分子絮凝剂的研制及其应用	( 27 )
§ 4.3 高效絮凝剂沉淀和过滤技术的研究	( 30 )
§ 4.4 微絮凝过滤技术的研究	( 32 )
§ 4.5 二级出水回用于工业直流冷却技术的研究	( 34 )
§ 4.6 二级出水回用于工业循环冷却技术的研究	( 37 )
五、城市污水处理厂污泥处理技术的研究	( 40 )
§ 5.1 污泥中温消化提高产气率的研究	( 43 )
§ 5.2 污泥与城市垃圾混合堆肥技术的研究	( 45 )
§ 5.3 污泥脱水技术的研究——粉剂阳离子型絮凝剂的合成	( 47 )
§ 5.4 污泥脱水技术的研究——带式压滤机引进消	

化国产化 .....	( 50 )
<b>六、城市污水资源化系统分析及影响回用的污染物控制措施的研究</b> .....	( 54 )
§ 6.1 城市污水资源化总体规划研究 .....	( 56 )
§ 6.2 城市污水资源化系统优化与评价模型 .....	( 58 )
§ 6.3 区域污水回用技术方案优化分析 .....	( 60 )
§ 6.4 城市污水再生利用技术经济政策研究 .....	( 63 )
<b>七、中小城镇和住宅小区污水回用技术的研究</b> .....	( 66 )
§ 7.1 中小城镇污水资源化方案与回用技术研究 ...	( 69 )
§ 7.2 住宅小区污水回用技术研究 .....	( 72 )
<b>八、污水回用中生物炭工艺的研究</b> .....	( 75 )
<b>九、北方缺水城市污水回用于工业的技术研究</b> .....	( 78 )

## 城市污水资源化研究的概况

### 1. 课题研究内容和攻关考核目标

城市污水资源化研究是针对我国北方水资源匮乏，水环境严重污染的背景而立题的。它的总目标是从我国缺水城市迫切需要综合开发利用城市污水的实际情况出发，研究开发城市第二供水资源系统技术。根据我国城市污水处理的实际情况和近10余年来城市污水处理的实践经验，课题的总体技术部署由影响回用的污染源控制措施和以城市回用水为目标，改善污水处理厂二级生化处理出水水质的除磷脱氮技术、回用再净技术（深度处理技术）、重点回用水技术及水质控制指标，以及回用系统规划设计技术和配套的技术政策。由此，这项研究分立8项专题25个子专题。

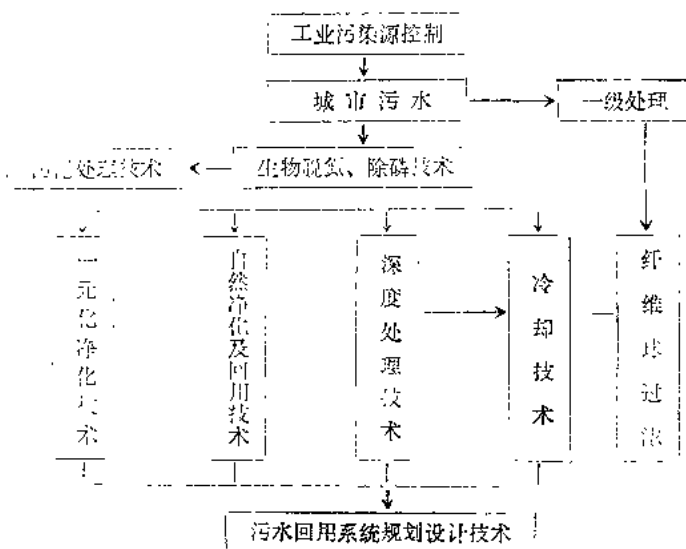
8项专题是：

1. 城市污水处理厂生物脱氮脱磷技术；
2. 城市污水处理厂二级出水开放循环和用自然净化技术系统及其回用于市政用水的水质指标；
3. 城市污水处理厂二级出水回用于工业的深度净化技术系统及其水质指标；
4. 城市污水处理厂污泥处理技术；
5. 城市污水资源化系统规划设计技术及影响回用的污染物控制措施和城市污水回用技术政策；
6. 中小城镇及住宅小区污水回用技术；
7. 城市污水一级处理区回用于冷却的技术；
8. 大连春柳污水厂污水回用于工业的示范工程研究（即北方缺水城市污水回用技术研究）。

课题的技术构成见下页图示。

课题研究的技术关键：

1. 以硝化、反硝化技术为核心的城市污水二级生化处理工艺的脱氮、除磷技术；



2. 应用高效脱色、去油絮凝剂和消毒剂,以过滤技术为核心的深度净化技术。进一步去除二级出水中残留的 BOD, COD, 色度, SS, 总磷、细菌及其他污染物,使出水达到一般回用水的要求;

3. 以回用于工业(冷却、低压锅炉)为主要目标的水回用技术及水质指标, 以及通过河道自然净化后回用于市政景观、园林绿化、浇洒马路等市政杂用水技术;

4. 城市污水回用系统的污染源控制、规划设计技术及系统优化计算机软件。

## 2. 攻关取得的主要结果

1. 该课题以研究开发适合我国国情的城市污水资源化成套技术为目标,通过小型试验、中型试验以及半工业性应用试验,系统地深入地研究开发了系列实用工程技术,包括城市污水处理厂脱磷脱氮技术;回用于工业的微絮凝过滤、高效絮凝-沉淀-过滤,生产陶粒过滤等深度处理技术;回用于工业的直流冷却水和循环冷却水的回用技术;城市公共用水的自然净化技术;城镇及小区污水回用一元化技术;提高产气率的污泥消化工艺以及污泥和垃

圾堆肥处理工艺等,其中包括12个污水处理工艺和回用技术,并开发了两个新工艺,研制了两台污水及污泥回用处理设备和4种新药剂,提出了城市污水回用于工业冷却,市政杂用、中水等5个水质建议标准;提出了城市污水回用系统规划优化设计方法和软件,以及相应的技术经济政策;建成了一个可长期开展污水回用实验研究的综合实验基地和3个中试点。全面完成了课题合同规定的任务,达到了攻关考核目标。该项研究提出的一整套适合我国国情的污水回用技术,具有很强的系统性和实用性。该课题所属的各专题均经技术鉴定和计划验收,全部达到国际先进水平,某些方面达到国际领先水平。

2. 在污水回用技术领域形成了一支由科研、设计、生产三结合学科、专业配置合理的专业科技队伍。参加该课题研究的有环保、市政、卫生等高等院校、中国科学院等部门17个单位,277人;研究内容涉及环境工程学、环境化学、环境技术经济学、化学工程、合成化学、无机化工、微生物学、环境卫生学、计算数学等学科和专业。按照污水回用成套技术系统的技术构成,合理地组织科研力量,经过5年的科学实践,从改善传统二级出水水质的现代生物处理技术、污水回用再净技术、污水回用用水技术、污水回用高效除油脱色抑制菌垢药剂,到污水回用系统设计技术、回用水质标准及环境风险评价、污水回用技术经济政策,在我国首次以中试和半工业性试验的规模系统地研究了城市污水回用成套技术的各个环节。

3. 污水回用技术柔性中型实验基地的建设是本课题又一重大收获。历时5年的污水回用科技攻关,无疑是我国城市污水回用技术发展的重要阶段。但是从试验研究到推广应用是一个比较长的科学实践过程。为此,在实施课题计划的组织上,我们一方面依据攻关目标要求,确保小试和中试任务的完成;另一方面,提出结合攻关建设柔性中型实验基地的原则,指导中试的设计。天津市建成了500米<sup>2</sup>的实验大厅、半工业规模的优化处理实验设施,以及模拟河道及配套的化验室等设施的纪庄子城市污水资源

化研究实验基地;在北京506厂建有480米<sup>3</sup>/天规模的A<sup>2</sup>/O系统中试基地和回用于低压锅炉补充水的示范点;北京市环境保护科学研究所建有3米<sup>3</sup>/小时规模的中水回用实验点;在太原杨家堡污水处理厂建有处理能力为2000米<sup>3</sup>/天不同滤料过滤和200米<sup>3</sup>/天生物填料接触氧化的中试点;在大连春柳污水处理厂建有300米<sup>3</sup>/天的污水再净技术和工业回用技术的半工业试验点。特别是这项研究还建立了包括11种回用处理技术、技术经济评价数据库和污水回用系统设计软件的计算机辅助设计系统。

### 3. 推广应用前景

本研究成果可为我国北方缺水城市提供城市污水经深度处理后回用于工业、市政杂用水的成套技术及系统设计方法;对改建、新建城市污水处理厂,开辟城市第二水源,发展我国的城市污水资源化事业,均具有十分重要的意义。

近期(“八五”期间),天津、大连、太原、北京等城市在建设中和拟建的城市污水回用工程规模可达13.4万米<sup>3</sup>/天;远期(2000年),按污水回用量占城市污水的15%计,天津、北京、太原、石家庄、大连、青岛等城市可回用污水量达 $5 \times 10^8$ 米<sup>3</sup>/年。

**完成单位** 天津市环境保护科学研究所 天津大学环境工程研究所 天津市纪庄子污水处理厂 天津市市政工程勘测设计院 北京市环境保护科学研究所 清华大学环境工程研究所 中国市政工程华北设计院 中国市政工程东北设计院 大连市春柳污水处理厂 中国科学院生态环境研究中心 南开大学环境科学系 天津大学应用化学系 天津大学系统工程研究所 天津市卫生防病中心 太原市排水管理处 太原市环境保护局 太原市水利科学研究所

**执笔人** 乔寿锁 李宝柱

## 一、城市污水处理厂生物脱氮技术的研究

### 1. 研究目的、意义及研究方法和结果

城市二级污水处理厂大多采用活性污泥生物法，这对控制水污染、改善水环境质量起着重要的作用。传统的活性污泥法以去除污水中含碳有机物为主，对于氮和磷，只能去除 20—40%。一般处理厂生物处理不发生硝化反应，这样，污水厂的二级出水直接排入水体，势必给水体带来富营养化危险。当考虑城市污水资源化，开发城市第二水源时，除对二级处理进行完善和提高外，还需进行脱氮除磷处理。国内外都在开发和研究污水脱氮除磷技术。生物脱氮除磷已经成为进一步提高水质，为城市污水回用提供良好水质的有效途径之一。

传统的活性污泥法二级污水处理厂的出水中，一般残留较多的氮。含氮污水排入水体或回用于工业冷却水、市政杂用水时将造成以下危害：(1) 氨氮是藻类和水生植物的营养源，会造成水体富营养化；(2) 含氨氮的回用水促使输水管道、用水设备繁殖生物垢、霉菌及藻类等微生物，形成的微生物群体掺杂着粘土、金属氧化物等附着在输水管道和热交换器表面上，形成污泥状粘性物质；(3) 氨氮会造成水体中溶解氧的降低；(4) 氨氮会增加消毒所需的投气量；(5) 氨氮对铜有腐蚀性，若用含一定浓度氨氮的污水作为冷却水回用时，对以铜为主要材料的冷却品有损害作用。实践还证明，如果只控制水中氮的含量而忽视对磷浓度的限制，也不能有效地控制藻类过量繁殖而引起的富营养化。为此，在“七五”期间，本专题研究确定以天津市纪庄子污水处理厂污水为对象，通过室内模拟小试和半生产性中试，研究城市污水生物脱氮脱磷技术，全面开展并完成合同中所规定的各项研究内容的工程性试验。

## 2. 研究成果达到的技术经济指标, 推广应用取得的经济、社会和环境效益

以天津市纪庄子污水处理厂为代表的我国北方城市污水采用A/O(缺氧/好氧)作为本研究的中试生物脱氮工艺, 试验规模达1000—1500米<sup>3</sup>/天, 运行周期为一年零五个月, 考查历经了春夏秋冬四季, 取得了15000多个数据, 成果直接转向天津市纪庄子污水厂和我国北方城市污水厂应用。

研究结果推荐的A/O工艺流程有以下几个特点: (1) 可以进行A/O工艺生物脱氮; (2) 可以按照常规活性污泥法或单独硝化工艺处理; (3) 有利于对已有城市污水的技术改造; (4) 该流程设有初沉池, 节省二级处理能耗。研究成果还提出A/O容积比为1:2.5—1:5, 设计应考虑可调灵活性, 缺氧池可以采用气体搅拌或机械搅拌方式, 均可保证控制溶解氧在0.2—0.5毫克/升, 又达到没有死角沉淀。采用好氧池投加半软性填料的接触曝气法, 有效地提高了低温下硝化率和脱氮率, 当水温为10—15°C时, 比普曝池硝化效果高出80%。该工艺显著特点是电耗低, 处理1米<sup>3</sup>污水的A/O工艺耗电0.09千瓦·小时。

完成的技术指标:

A/O工艺去除率: BOD<sub>5</sub> 93%, COD<sub>Cr</sub> 85%, SS 90%, T-N 66%, T-P 49%, 电耗0.0881千瓦·小时/米<sup>3</sup>污水。

A<sup>2</sup>/O工艺去除率: BOD<sub>5</sub> 94%, COD<sub>Cr</sub> 92%, SS 88%  
T-N 65%, T-P 64%。

在本专题研究过程中, 天津市纪庄子污水处理厂已完成了13万米<sup>3</sup>/天普通活性污泥法工艺改造为A/O工艺的工程, 并于1989年开始试运行。在常温(水温15°C以上)条件下, 取得了一定脱氮效果。与之配套的污水厂内部污水回用示范工程也于1989年底竣工。建成的日处理量为2000米<sup>3</sup>的深度处理车间, 其处理工艺采用了纤维球滤料直接过滤法, 该装置已于1990年4月正式投产。深处理的回用水日产量为1000米<sup>3</sup>。除供给本厂污泥脱水机



房冲洗滤布、杂用及综合楼厕所冲洗用外,还为附近煤建三厂提供工艺杂用水 300 米<sup>3</sup>/天。据不完全统计, 1990 年 4—10 月节约自来水 18 万吨, 直接经济效益 4.41 万元, 外供回用水仅半年可创收 1.08 万元(污水回用收费 0.02 元/米<sup>3</sup>)。

### 3. 应用领域和范围及推广应用前景

该研究对我国城市污水回用, 控制水体富营养化有着重大的意义和广泛的应用前景, 该项研究成果已经在天津市纪庄子污水处理厂 10 万米<sup>3</sup>/天污水回用工程的技术改造设计中采用, 并部分实施。

**完成单位** 天津市纪庄子污水处理厂

**执笔人** 赵丽君 傅 篁