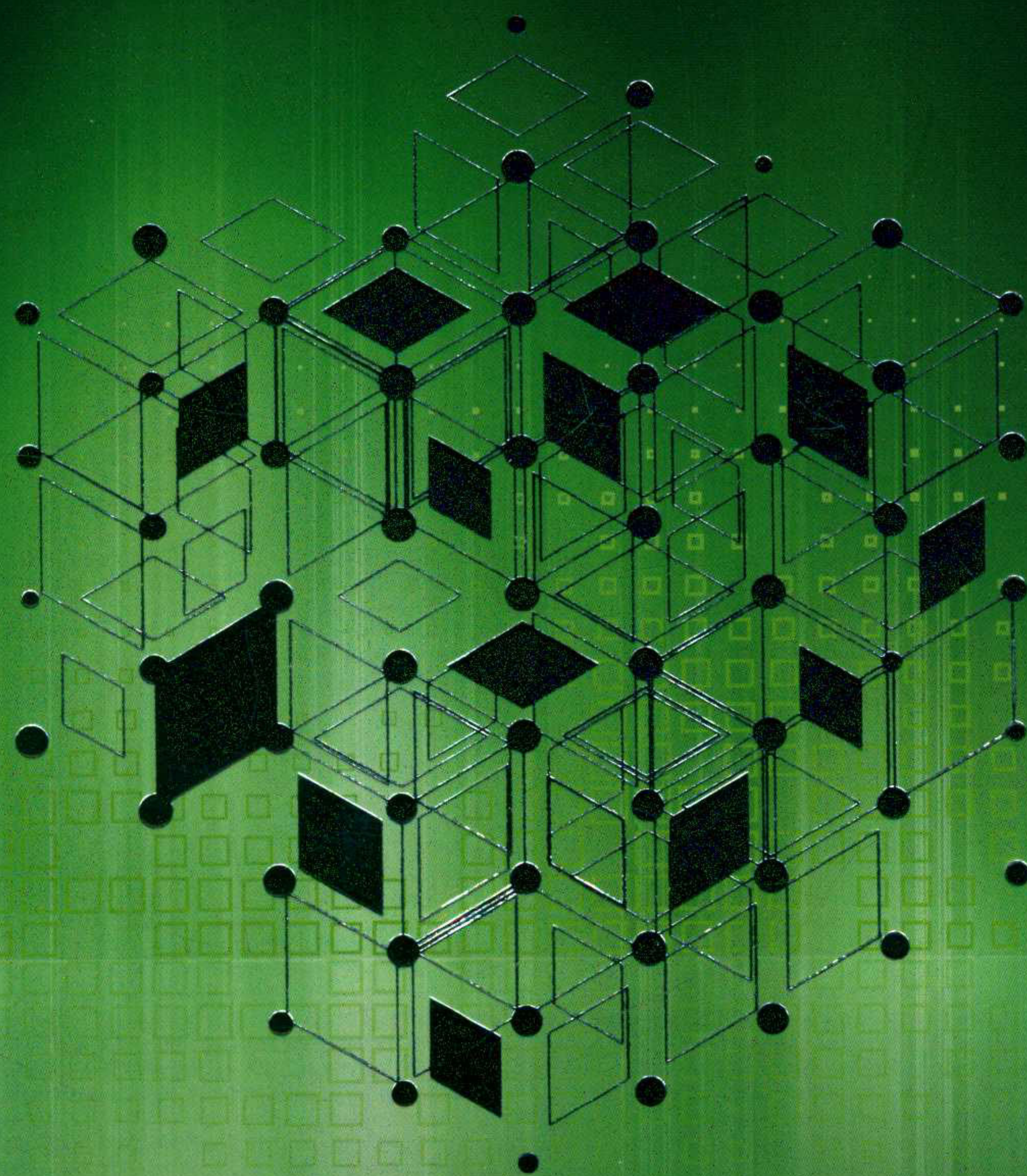


绿色过程工程与 清洁生产技术

—— 张懿 院士论文集精选

《绿色过程工程与清洁生产技术》编写组 编

上册



化学工业出版社

绿色过程工程与 清洁生产技术

——张懿 院士论文集精选

《绿色过程工程与清洁生产技术》编写组 编

上册



化学工业出版社

本书选登了中国科学院过程工程研究所张懿院士的 130 余篇学术论文，内容分为总论、亚熔盐绿色化工冶金平台技术、重化工业环境污染治理技术与工程、热点与前沿领域四大主题。本书还附有张懿院士的照片资料、学术成长经历及学术成就、承担的主要科研项目、主要获得奖励和社会兼职等内容，展示了张懿院士科学研究、学术交流及培育人才的经验与成就。

本书充分反映了张懿院士在绿色过程工程方面做出的学术贡献，可供从事绿色化工的科研人员、技术人员参考，也可供高等学校化学工程与工艺、环境科学与工程及相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

绿色过程工程与清洁生产技术：张懿院士论文集精选：
上、下册//《绿色过程工程与清洁生产技术》编写组
编. —北京：化学工业出版社，2019.6

ISBN 978-7-122-34307-9

I. ①绿… II. ①绿… III. ①环境保护-中国-文集
IV. ①X-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 069399 号

责任编辑：刘 婧 刘兴春

装帧设计：王晓宇

责任校对：王 静

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：中煤（北京）印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 99 ½ 彩插 2 字数 2502 千字 2019 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888

售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：498.00 元

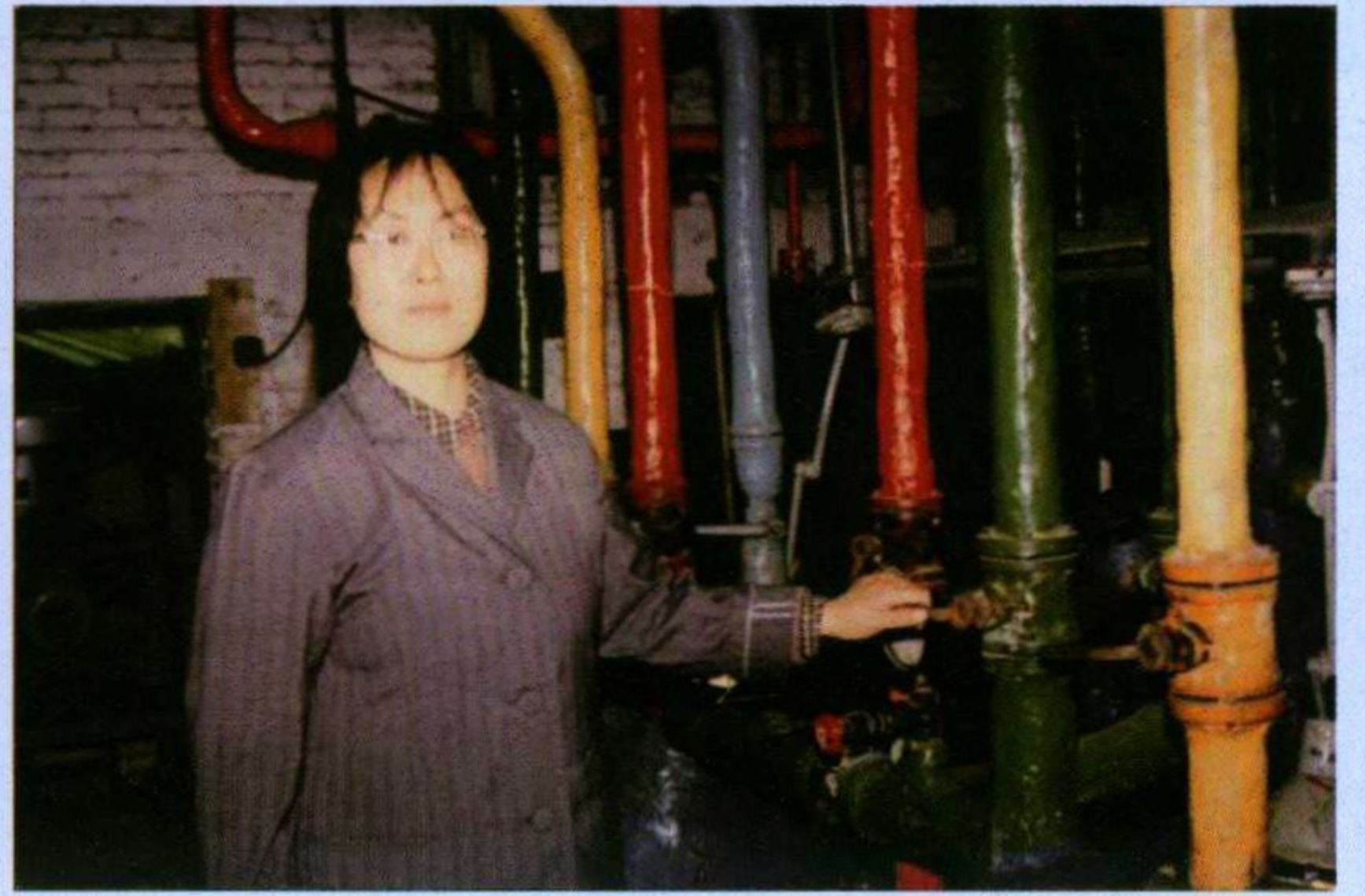
版权所有 违者必究



张懿在沈阳读初中时留影



20 世纪 60 年代，张懿（后排右一）与父母、兄弟姐妹合影



20 世纪 80 年代，张懿在工程现场



张懿与瑞士伯尔尼大学同行讨论工作留影



1989 - 1990 年，张懿在瑞士伯尔尼大学做高级访问学者期间在环境实验室留影



1990 年，张懿在瑞士留学期间在日内瓦留影



张懿与瑞士著名环境化学家 P. Schindler 夫妇留影



1998 年，张懿（中）随中科院代表团访问台湾工业技术研究所



2003年，张懿在重庆示范工程现场



2005年，张懿（前排右四）与课题组成员合影



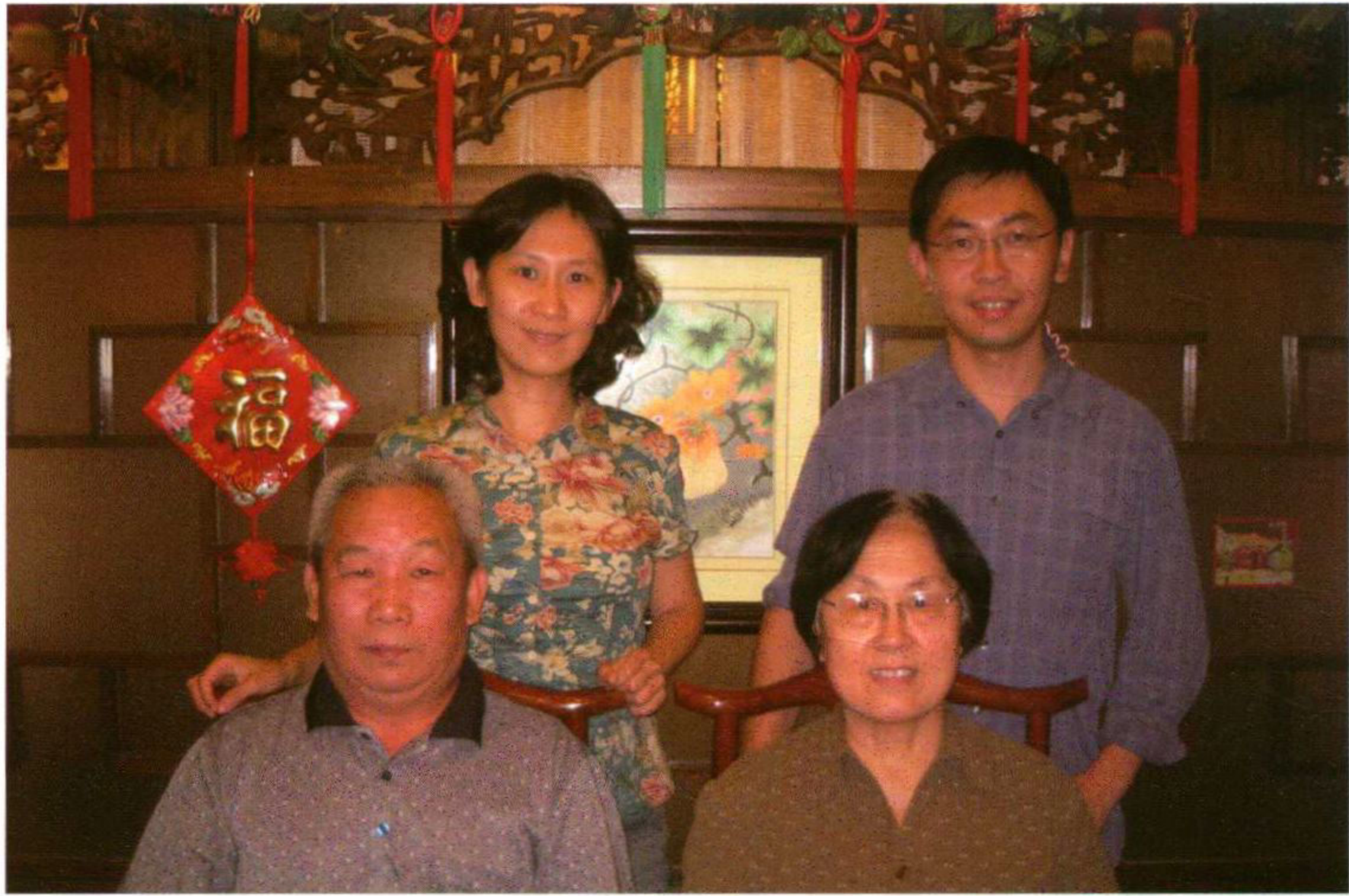
2006年，张懿在山西铝厂指导工作



2006年，张懿与丈夫、孙女留影



2006年，张懿荣获何梁何利科学与技术进步奖



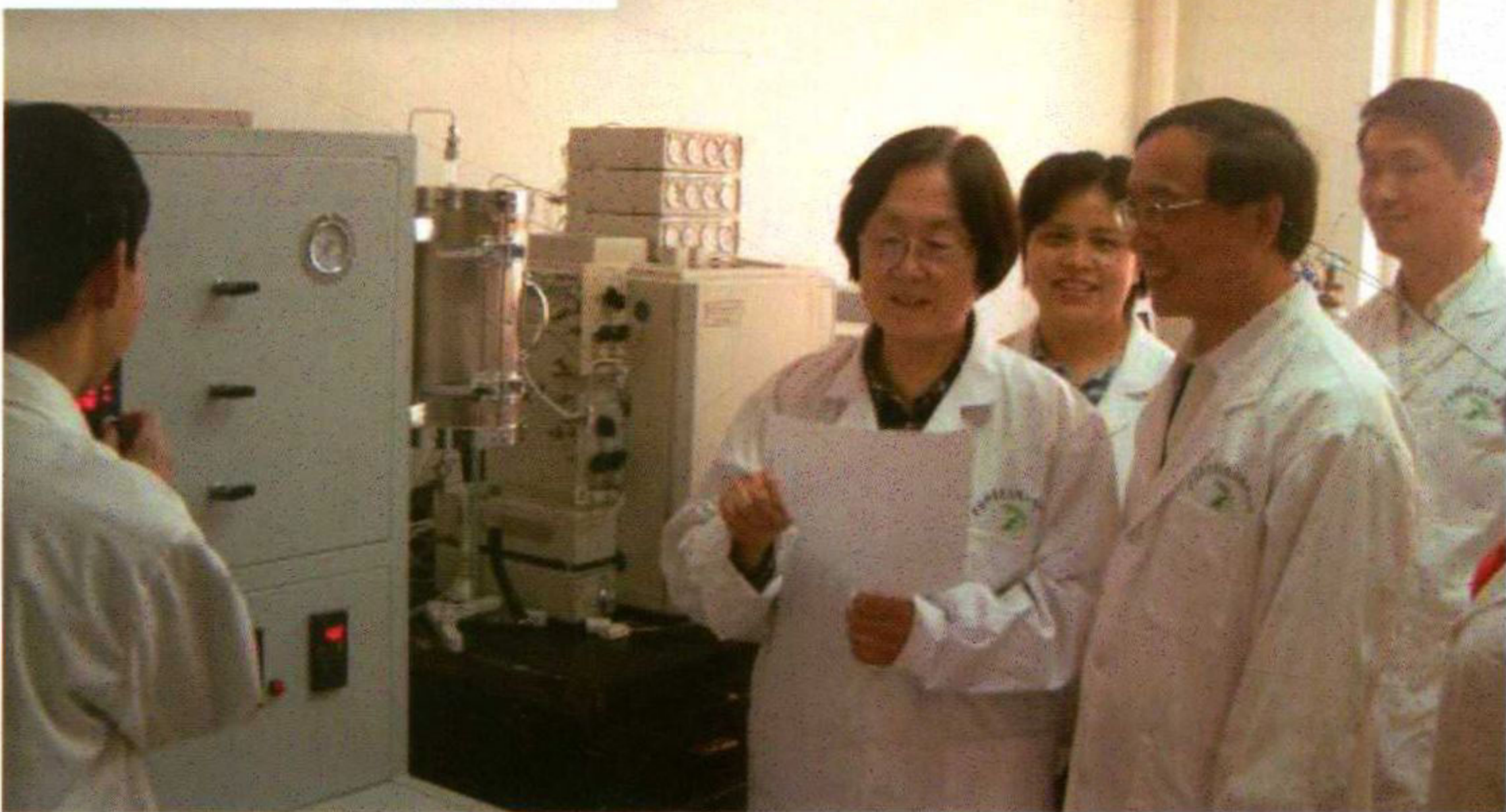
2007年，张懿与丈夫、儿子、女儿的全家福

2007年，张懿与陈家镛院士（中）、李佐虎研究员（右）在示范工程现场



2007年，张懿与好友王静康院士在参加中国工程院化工冶金与材料工程学部第六届学术会议期间留影

张懿与科研团队在实验室



《绿色过程工程与清洁生产技术 ——张懿院士论文集精选》编委会

名誉主任：李佐虎

主任：齐 涛

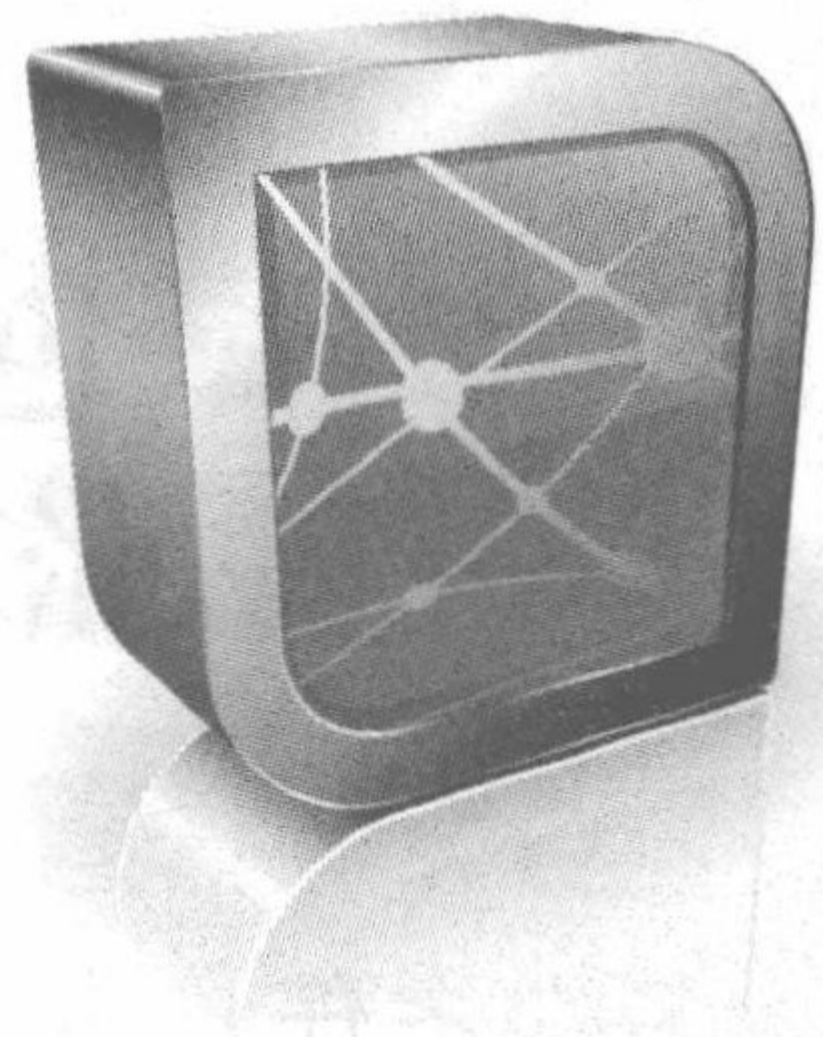
副主任：郑诗礼 曹宏斌 李会泉

委员：高毅颖 徐红彬 杜 浩 曲景奎 李玉平 王丽娜

张亦飞 王 志 杨 刚 孙 峙 曹绍涛 阎文艺

胡应燕 乔 珊 王于杰 裴丽丽 关 雪 张芳芳

王 东 王 雨



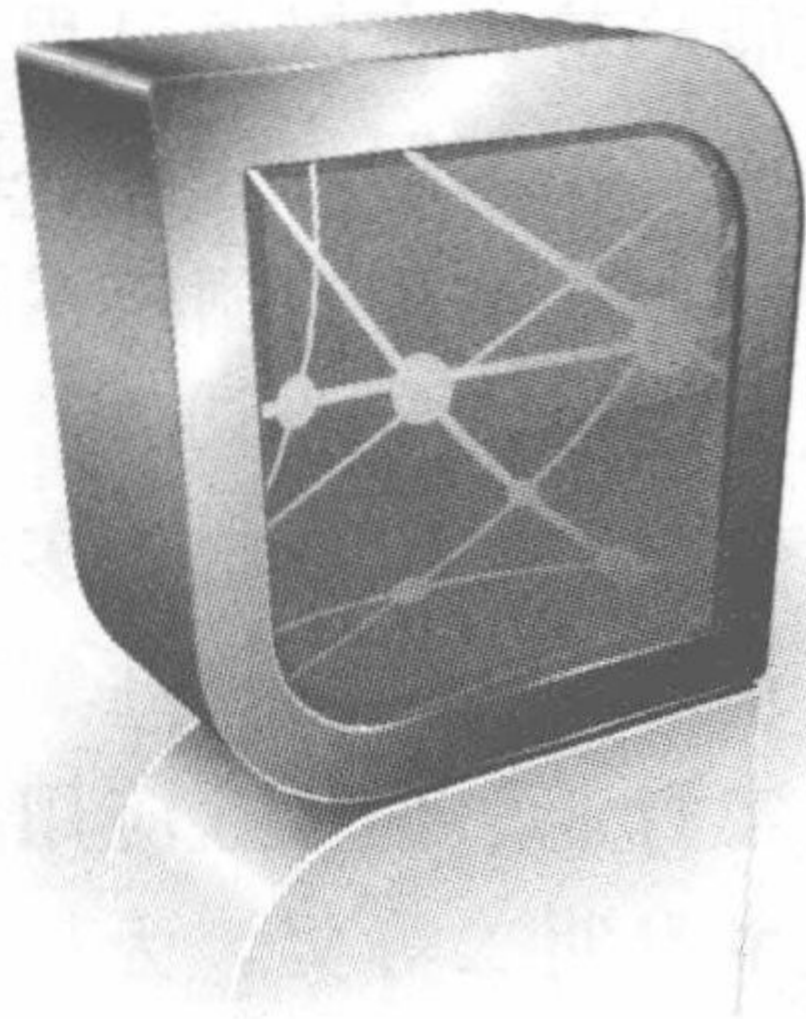
序

张懿院士长期从事矿产资源高效清洁循环利用的技术研发与产业化应用，是我国绿色过程工程的著名学者。张懿院士的科研工作始终聚焦于过程工业绿色化，开拓了资源-材料工程与环境工程学交叉综合研究的新方向；在国内率先将资源-材料化学化工的最新成果和研究方法融合渗透到环境工程学领域，提出资源再生循环与无害化技术相结合的积极治理路线；她率先由工业污染的末端治理转向源头控制研究，并将催化领域的原子经济性概念引入冶金过程，创建了亚熔盐非常规介质清洁化工冶金新原理新技术。作为中科院资源环境领域主要学术带头人，她多次代表中科院提出清洁生产-环境友好技术的战略性高新技术研究发展规划。

在张懿院士八十岁华诞来临之际，她的学生和晚辈特编纂了这本论文集精选，该书是张懿院士及其团队数十年学术生涯的经典总结。

该书总论部分收录了张懿院士绿色过程工程、清洁生产与循环经济、资源可持续化等论著，论述了我国清洁生产与资源优化循环的理念、目标、内涵、研究方法和技术创新特色；涵盖了我国化工冶金基础制造业绿色化升级及清洁生产技术创新的国家需求，绿色制造/清洁生产技术的发展趋势。第二部分收录了亚熔盐化工冶金新原理、以及应用于铬化工、钒钛化工、氧化铝及钽铌行业的研究成果。第三部分收录了在工业废水和工业固废资源化方面的代表性成果。第四部分收录了张懿院士在高纯材料、功能材料、绿色催化和循环经济等热点与前沿领域的研究进展。该书体现了张懿院士的学术思想，以及在环境工程、绿色过程工程和工业生态网络构建/工业循环经济建设等方面的代表性成果和开拓性贡献，反映了张懿院士学术生涯严谨、求实、创新的治学风范，相信该书的出版对我国资源和环境领域的科研工作者必将大有裨益，可对有关部门、高等学校相关专业师生、设计单位及企业有所帮助。

邱定蕃



前言

张懿院士八十岁华诞来临之际，我们作为张先生的学生和晚辈以十分崇敬的心情编纂了这本论文集精选。

中国工程院院士、环境与过程工程专家张懿是我国绿色过程工程的主要开拓者之一，在国际上首次从生产源头上彻底解决了铬盐行业重金属污染的难题，首次实现了铬渣的零排放和铬资源多组分深度利用的生态工业新模式，为我国国民经济的可持续发展做出了重要贡献。

1939年农历四月二十八日，张懿院士出生在黑龙江省牡丹江市。张懿从小学少先队大队长、初中的尖子生到1955年以优异成绩考取了东北最好的学校辽宁省实验中学高中。张懿院士在确定考大学也是国家需要后，选择了冶金物理化学专业，既有理科的攻坚，又能为东北冶金重工业服务。1958年报考东北工学院（现东北大学）冶金物化专业，以化学工程和物理化学为知识基础解决国民经济主体产业的发展问题。1963年张懿以东北工学院冶金物化全系总分第一名的成绩被学校分配到北京的中国科学院化工冶金研究所（现中国科学院过程工程研究所）陈家镛院士领导的湿法冶金研究室，从此她在中科院国家一流研究所的土壤上，在20世纪50年代回国的著名爱国科学家陈家镛（化学工程专家）、叶诸沛（化工冶金专家）、郭慕孙（化学工程专家）的指导下，在过程工程领域不断开拓创新，逐步建立了可解决我国资源环境瓶颈问题并引领未来发展的系列基础与应用研究的重要科技方向。

张懿院士在环境工程领域做出了开拓性贡献。20世纪80年代初，在工业污染治理社会需求急迫的背景下，张懿院士在国内率先将资源材料化学化工的最新成果和研究方法融合渗透到环境工程研究领域，开拓了资源材料化学化工与环境工程交叉综合研究的新方向，提出资源再生循环与无害化技术相结合的积极治理路线，主持完成了多项国家“七五”“八五”“九五”环保科技攻关及院部级重大项目，在重金属危险废弃物污染控制方向建立了多组分高效选择性提取、Cr(VI)催化还原水解、萃取分离、铁氧体固定无害化、资源循环利用与酸碱废弃物协同治理等系列新技术和应用工程，建成国内外第一个多组分重金属污泥综合回收生产线。“八五”攻关主持完成的“电镀污泥与铬渣资源化技术”为我国重金属有害废弃物资源化提供了产业化集成技术。近年又完成了钒-铬废渣资源化、冶金行业氨氮废水处理、钢铁焦化行业焦化废水处理等环保难题的十多个产业化应用工程，具有化工过程强化环境治理的鲜明技术创新特色，较传统工艺大幅度提高了处理效率，高效回收资源，降低环境治理成本，获得了国家主管部门和企业的高度认可，为完成国家重点污染物减排指标做出了重要贡献。相关成果获国家奖5项，院部级奖7项，已发挥重大社会效益、环境效益和经济效益，促进了我国工业废弃物治理从消纳性处置提高到资源良性循环的新阶段。

随着时代发展和需求，20世纪90年代初，张懿院士准确把握了国内外资源环境领域技

术发展趋势，在绿色过程工程领域做出了开拓性贡献。针对我国重化工业高速发展阶段的资源环境瓶颈问题，在中科院开拓了清洁生产工艺与技术研究新领域，率先由工业污染末端治理转向源头污染控制技术研究。张懿院士主持我国第一个清洁工艺国家攻关和 863 项目，从铬化工重污染行业切入，在国内外首次提出亚熔盐非常规介质低温高效清洁转化铬、铝、钒、钛、铌、钽、锆等多种两性金属矿产资源的原创性原子经济性反应新系统、新原理，建立了亚熔盐介质中活性氧组分对矿物矿相转化量化调控的理论和物理场协同强化技术，已在铬化工行业取得工业应用并成为国家认定的行业替代性清洁技术。该成果已于 2005 年获国家技术发明二等奖，为最终实现产业化应用，正在扩展为铝、钒、钛、钽、锆等两性金属亚熔盐清洁工艺的共性技术。该系列产业化集成技术可解决我国大宗特色难处理矿产资源综合利用和过程污染控制的资源-环境难题。

在清洁生产集成技术研究基础上，从企业和系统尺度，在国内最早从技术层面研究工业废弃物与过程物流质量交换集成网络构建的循环经济方法。所指导的“河南义马市循环经济建设规划”“株洲清水塘循环经济工业园区规划”为国家环境保护总局（现生态环境部）和国家发改委审批的国家级循环经济试点。作为国家循环经济规划和工业生态网络构建主要专家，多次主持与参加循环经济规划审定，为推动我国循环经济建设作出了重要奉献。

在绿色化学化工与环境化学基础研究方面，张懿院士发现并定义亚熔盐非常规介质，针对物质转化的化学活化，建立了亚熔盐非常规介质的全新化学、溶液模型与热力学计算方法，首次在分子水平解析亚熔盐介质中不同类型活性氧负离子/原子（ O^{2-} 、 O_2^- 、 O_2^{2-} 、 HO^- 、 O 等）生成机理及赋存规律，形成“亚熔盐非常规介质高效清洁新过程”的系统理论和共性技术基础研究平台，对推动我国难处理资源高效清洁循环利用与材料研究奠定了重要理论基础。已获得国内外学术界与相关产业界的很高评价与认同，形成基础理论-应用技术-产业开发的良性科研模式。

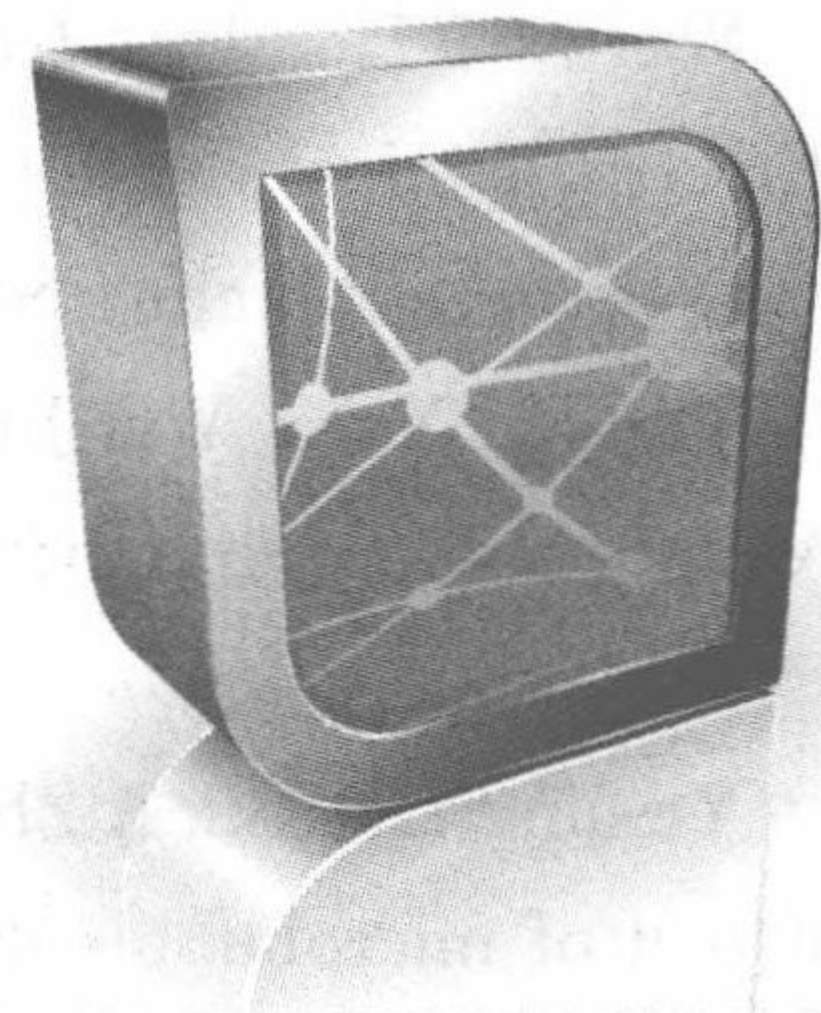
张懿院士的研究团队获得 2002 年国家人事部、中国科学院授予的“先进集体”。张懿院士克己奉公，不拿现场补贴，还个人资助合作企业的困难职工，在合作单位树立了共产党员科学家的很高威信。她用自己的实践和人格魅力证实共产党人对科技事业的崇高追求，连续多年被评为中科院和中央国家机关优秀共产党员，2001 年被评为中科院首届“十大杰出妇女”。

张懿院士敬业、团结、求实、创新，视名利淡如水，看事业重如山。数十载科研生涯，桃李满天下，春晖遍四方，一直默默为我国的资源环境科学事业忘我耕耘。在张懿院士 80 岁生日来临之际，编写组特整理了张懿发表的学术论著，精选编纂了这本《绿色过程工程与清洁生产技术》，记录了张懿院士所有的学术思想，在环境工程领域、绿色过程工程领域和工业生态网络构建/工业循环经济建设方面的开拓性贡献，以及在绿色化学化工与环境化学基础研究方面的突出贡献。书中所收录的原论文、发表时间跨度较大，随时代发展，稿件中一些名词术语存在不同用法。为尊重历史原貌、保留原文风格，在文中不做统一、于书后附有非法定计量单位换算表，以供参考。

忆往昔，张懿院士对我们的谆谆教诲。岁月如梭，春秋轮回，衷心祝愿张懿院士：生命之树常绿，生命之水长流！

本书编写组

2019 年 1 月



目录

第 1 章 总论

绿色过程工程

张懿 2

SUB-MOLTEN SALT ENVIRONMENTALLY BENIGN TECHNOLOGY

Yi ZHANG, Zuo-Hu LI, Hong-Bin XU, Shi-Li ZHENG, Tao QI, Hui-Quan LI 8

绿色化学与铬盐工业的新一代产业革命

张懿, 李佐虎, 王志宽, 陈家镛 18

新一代资源回收·循环集成技术与生态化产业体系

张懿, 陈家镛, 刘会洲 26

清洁生产与循环经济

张懿 30

原子经济性

张懿 36

绿色制造技术发展趋势

张懿, 徐滨士, 段广洪 43

第 2 章 亚熔盐绿色化工冶金平台技术

2.1 亚熔盐绿色过程基础 49

Comparison of the Oxygen Reduction Reaction between NaOH and KOH Solutions on a Pt Electrode: The Electrolyte-Dependent Effect

Wei Jin, Hao Du, Shili Zheng, Hongbin Xu, and Yi Zhang 49

The influence of KOH concentration, oxygen partial pressure and temperature on the oxygen reduction reaction at Pt electrodes

Wen-Yi Yan, Shi-Li Zheng, Wei Jin, Zhong Peng, Shao-Na Wang, Hao Du, Yi Zhang 63

Structure and Diffusivity of Oxygen in Concentrated Alkali-Metal Hydroxide Solutions: A Molecular Dynamics Simulation Study

LÜ Ye-Qing, ZHENG Shi-Li, WANG Shao-Na, DU Hao, ZHANG Yi 81

Indirect Electrochemical Cr(III) Oxidation in KOH Solutions at an Au Electrode: The Role of Oxygen Reduction Reaction

Wei Jin, Michael S. Moats, Shili Zheng, Hao Du, Yi Zhang, and Jan D. Miller 97

Improved electrochemical Cr(VI) detoxification by integrating the direct and indirect pathways

Wei Jin, Hao Du, Kai Yan, Shili Zheng, Yi Zhang	109
Electrochemical Cr(III) Oxidation and Mobilization by In Situ Generated Reactive Oxygen Species in Alkaline Solution	
Yudong Xue, Wei Jin, Hao Du, Shili Zheng, Zhi Sun, Wenyi Yan, and Yi Zhang ...	117
Vibrational spectra and molecular dynamics of hydrogen peroxide molecules at quartz/water interfaces	
Ye-qing Lv, Shi-li Zheng, Shao-na Wang, Wen-yi Yan, Yi Zhang, Hao Du	130
Effect of microbubble diameter, alkaline concentration and temperature on reactive oxygen species concentration	
Xiaobin Yu, Zhonghang Wang, Yeqing Lv, Shaona Wang, Shili Zheng, Hao Du, and Yi Zhang	148
Electrochemical detoxification and recovery of spent SCR catalyst by insitu generated reactive oxygen species in alkaline media	
Yudong Xue, Yang Zhang, Ying Zhang, Shili Zheng, Yi Zhang, Wei Jin	162
Electrochemical enhanced oxidative decomposition of chromite ore in highly concentrated KOH solution	
Zhonghang Wang, Hao Du, Shaona Wang, Shili Zheng, Yi Zhang, Seyeon Hwang, Nam Soo Kim, Tae Eui Jeong	180
Electrochemical decomposition of vanadium slag in concentrated NaOH solution	
Zhonghang Wang, Shili Zheng, Shaona Wang, Yaling Qin, Hao Du, Yi Zhang	199
Phase Diagram for the System $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ at High Alkali Concentration	
Yifei Zhang, Yinghui Li, and Yi Zhang	211
Phase diagram for the $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ system at 130°C	
Shuhua Ma, Shili Zheng, Yifei Zhang, and Yi Zhang	218
Solubility Data for the $\text{NaOH}-\text{NaNO}_3-\text{Na}_3\text{VO}_4-\text{Na}_2\text{CrO}_4-\text{H}_2\text{O}$ System at (40 and 80) °C	
Shaona Wang, Ziwei Song, Yan Zhang, Hao Du, Shili Zheng, and Yi Zhang	224
Phase Equilibria in the $\text{NaOH}-\text{Na}_2\text{MoO}_4-\text{Na}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}$ System at (313.15 and 403.15) K	
Yan Liu, Yifei Zhang, Fangfang Chen, and Yi Zhang	232
Isopiestic Study of the $\text{Na}_2\text{CrO}_4-\text{H}_2\text{O}$ System at 353.15K; Prediction of the Solubility of Na_2CrO_4 in Aqueous NaOH Solutions	
Wei Jin, Shili Zheng, Hao Du, Hongbin Xu, and Yi Zhang	241
Potential—pH diagrams of Cr- H_2O system at elevated temperatures	
YOU Hai-xia, XU Hong-bin, ZHANG Yi, ZHENG Shi-li, GAO Yi-ying	250
Vapor Pressure Determination of the $\text{KOH}+\text{K}_2\text{CrO}_4+\text{H}_2\text{O}$ System	
Shaona Wang, Shili Zheng, Hong-Bin Xu, and Yi Zhang	259
Density and viscosity of aqueous solution of $\text{K}_2\text{CrO}_4/\text{KOH}$ mixed electrolytes	
GUO Ya-jie, XU Hong-bin, GUO Fen, ZHENG Shi-li, ZHANG Yi	265
Solid-Liquid Equilibria of $\text{K}_2\text{CO}_3+\text{K}_2\text{CrO}_4+\text{H}_2\text{O}$ System	
Chunhua Du, Shili Zheng, Huiquan Li, and Yi Zhang	272
Hydrodynamics of a Multi-Stage Internal Loop Airlift Reactor	
Shaoguo Li, Tao Qi, Yi Zhang, Changhou Liu	278

Experimental investigation and CFD simulation of liquid-solid-solid dispersion in a stirred reactor	
Licheng Wang, Yifei Zhang, Xingang Li, Yi Zhang	288
Na ₂ O-CrO ₃ -Al ₂ O ₃ -H ₂ O 四元水盐体系高碱区相图	
邹兴, 张懿	312
Na ₂ CrO ₄ -(NH ₄) ₂ CrO ₄ -H ₂ O 体系的相图	
崔金兰, 张懿, 刘昌见	317
Pitzer 模型对 Na ⁺ CrO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ -H ₂ O 体系的溶解度计算与实验验证	
刘昌见, 张懿	323
开发用于辅助流程模拟的物性数据库	
王兵, 赵岩, 齐涛, 张懿	327
2.2 铬盐清洁工艺与集成技术	337
Green Manufacturing Process of Chromium Compounds	
Yi Zhang, Zuo-Hu Li, Tao Qi, Shi-Li Zheng, Hui-Quan Li, and Hong-Bin Xu	337
Green chemistry of chromate cleaner production	
ZHANG Yi, LI Zuo-Hu, QI Tao, WANG Zhi-Kuan, ZHENG Shi-Li	349
Green metallurgical processing of chromite	
S. Zheng, Y. Zhang, Z. Li, T. Qi, H. Li, H. Xu	358
Oxidative leaching of a Vietnamese chromite ore in highly concentrated potassium hydroxide aqueous solution at 300°C and atmospheric pressure	
H.-B. Xu, S.-L. Zheng, Y. Zhang, Z.-H. Li, Z.-K. Wang	368
A New Method of Potassium Chromate Production from Chromite and KOH-KNO ₃ -H ₂ O Binary Submolten Salt System	
Zhi Sun, Yi Zhang, and Shi-Li Zheng, Yang Zhang	384
Effect of mechanical activation on alkali leaching of chromite ore	
ZHANG Yang, ZHENG Shi-li, DU Hao, XU Hong-bin, ZHANG Yi	404
Hydrogen Reduction: A Novel Method of Synthesizing Ultra-fine Chromic Oxide Powder	
BAI Yulan, XU Hongbin, ZHANG Yi	411
An investigation on the kinetics of chromium dissolution from Philippine chromite ore at high oxygen pressure in KOH sub-molten salt solution	
Gang Chen, Jiajun Wang, Wang Xiaohui, Shi-Li Zheng, Hao Du, Yi Zhang	417
铬铁矿液相氧化过程中材质腐蚀性能研究	
郑诗礼, 张懿	435
铬酸钠氢还原反应动力学	
尤海侠, 徐红彬, 张懿, 李佐虎, 郑诗礼, 白玉兰	441
低温氢还原活化烧结法制备氧化铬绿颜料	
李平, 徐红彬, 张懿, 李佐虎, 郑诗礼	448
铬盐清洁生产工艺中铝硅的脱除	
王少娜, 郑诗礼, 张懿	454
铬渣零排放绿色化工新过程	
齐涛, 张懿, 郭跃华, 李佐虎, 王志宽	463

2.3 钒钛清洁工艺	469
Decomposition of ilmenite by concentrated KOH solution under atmospheric pressure	
Yumin Liu, Tao Qi, Jinglong Chu, Qijie Tong, Yi Zhang	469
A novel preparation of titanium dioxide from titanium slag	
Yongjie Zhang, Tao Qi, Yi Zhang	477
Extraction behaviours of titanium and other impurities in the decomposition process of ilmenite by highly concentrated KOH solution	
Yu-min Liu, Hua Lü, Tao Qi, and Yi Zhang	487
A novel method of leaching vanadium from extracted vanadium residue using sodium sub-molten salt medium	
Lanjie Li, Shili Zheng, Donghui Chen, Shaona Wang, Hao Du, Minglei Gao, and Yi Zhang	496
A Novel Method to Extract Vanadium and Chromium from Vanadium Slag using Molten NaOH-NaNO ₃ Binary System	
Biao Liu, Hao Du, Shao-Na Wang, Yi Zhang, and Shi-Li Zheng, Lan-Jie Li Dong-Hui Chen	506
Kinetics analysis of decomposition of vanadium slag by KOH sub-molten salt method	
Hui-bin LIU, Hao DU, Da-wei WANG, Shao-na WANG, Shi-li ZHENG, Yi ZHANG	526
Intensified decomposition of vanadium slag via aeration in concentrated NaOH solution	
Longjie Liu, Zhonghang Wang, Hao Du, Shili Zheng, Ulla Lassi, Yi Zhang	543
Crystallization and Separation of Potassium Vanadate in Highly Concentrated Potassium Hydroxide Solution	
Na Yang, Shili Zheng, Shaona Wang, Yaling Qin, Wanli Xie, Bingjing Zhou, and Yi Zhang	558
The electrowinning of vanadium oxide from alkaline solution	
Biao Liu, Shili Zheng, Shaona Wang, Yi Zhang, Hao Du	566
Cleaner production of vanadium oxides by cation-exchange membrane-assisted electrolysis of sodium vanadate solution	
Bo Pan, Wei Jin, Biao Liu, Shili Zheng, Shaona Wang, Hao Du, Yi Zhang	579
Vanadium metabolism investigation using substance flow and scenario analysis	
Fangfang ZHANG, Huiquan LI, Bo CHEN, Xue GUAN, Yi ZHANG	593
KOH 亚熔盐法制备钛酸钾晶须和二氧化钛	
仝启杰, 齐涛, 刘玉民, 王丽娜, 张懿	609
活性炭强化氧化亚熔盐介质中钒渣分解机理	
王少娜, 王亚茹, 杜浩, 郑诗礼, 张懿	617
2.4 氧化铝、钽铌清洁工艺及其他	629
Spectra of sodium aluminate solutions	
MA Shu-hua, ZHENG Shi-li, XU Hong-bin, ZHANG Yi	629
Preparation of sodium aluminate from the leach liquor of diasporic bauxite in concentrated NaOH solution	

Shaotao Cao, Yifei Zhang, Yi Zhang	637
Nucleation and Morphology of Monosodium Aluminate Hydrate from Concentrated Sodium Aluminate Solutions	
Shaotao Cao, Yifei Zhang, and Yi Zhang	650
Research on NaCaHSiO_4 decomposition in sodium hydroxide solution	
Ran Zhang, Shuhua Ma, Quancheng Yang, Shili Zheng, Yi Zhang, Namsoo Kim, Sungik Hong	661
Additives effects on crystallization and morphology in a novel caustic aluminate solution decomposition process	
Ying ZHANG, Shili ZHENG, Yifei ZHANG, Hongbin XU, Yi ZHANG	679
Cleaner synthesis of mesoporous alumina from sodium aluminate solution	
Li Zhong, Yifei Zhang, and Yi Zhang	686
Combined treatment of red mud and coal fly ash by a hydro-chemical process	
Chunli Liu, Shuhua Ma, Shili Zheng, Yang Luo, Jian Ding, Xiaohui Wang, Yi Zhang ...	698
Study of extracting alumina from high-alumina PC fly ash by a hydro-chemical process	
Jian Ding, Shuhua Ma, Shili Zheng, Yi Zhang, Zongli Xie, Shirley Shen, Zhongkai Liu	714
Leaching of a low-grade niobium-tantalum ore by highly concentrated caustic potash solution	
Hongming Zhou, Shili Zheng, Yi Zhang	730
Kinetic Investigations on the Leaching of Niobium from a Low-Grade Niobium-Tantalum Ore by Concentrated KOH Solution	
ZHOU Hongming, ZHENG Shili, and ZHANG Yi	739
Dissolution behaviors of Ta_2O_5 , Nb_2O_5 and their mixture in KOH and H_2O system	
WANG Xiao-hui, ZHENG Shi-li, XU Hong-bin, ZHANG Yi	750
A novel method to prepare ultrafine potassium tantalate powders	
Xiaohui Wang, Shili Zheng, Yi Zhang	760
Dehydration of tetrahydrate potassium pentaborate in fluidized bed	
Gang Yang, Zuohu Li, Yi Zhang	765
Preparation and surface chemistry characteristics of pure and coated acicular $\alpha\text{-FeOOH}$ particles	
Guo Yue-Hua, Zhang Yi	773
铝酸钠溶液中过饱和氧化硅的稳定性	
张亦飞, 郑诗礼, 张懿	782
NaOH 亚熔盐法处理拜尔法赤泥的铝硅行为	
孙旺, 郑诗礼, 张亦飞, 徐红彬, 张懿	787
一水硬铝石型铝土矿在 KOH 亚熔盐介质中的溶出行为	
马青霞, 张亦飞, 曹绍涛, 张懿	794
高苛性化系数铝酸钠溶液深度脱硅	
元炯亮, 张懿	804
甲醇溶析铝酸钠制备氢氧化铝	
王雪, 郑诗礼, 张懿	809

3.1 工业废水治理技术	818
Recovery of heavy metals from electroplating sludge and stainless steel pickle waste liquid by ammonia leaching method	
Zhang Yi, Wang Zhi-kuan, Xu Xia, Chen Yong-qi, Qi Tao	818
Electrochemical dechlorination of chloroacetic acids (CAAs) using hemoglobin-loaded carbon nanotube electrode	
Yu-Ping Li, Hong-Bin Cao, Yi Zhang	823
Electrochemical reduction of nitrobenzene at carbon nanotube electrode	
Yu-Ping Li, Hong-Bin Cao, Chen-Ming Liu, Yi Zhang	831
A novel mechanism of bisphenol A removal during electro-enzymatic oxidative process: Chain reactions from self-polymerization to cross-coupling oxidation	
Haitao Li, He Zhao, Chenming Liu, Yuping Li, Hongbin Cao, Yi Zhang	843
Novel technique for internal structure and elemental distribution analyses of granular sludge from reactors for wastewater treatment	
Xiaolei Cao, Hongbin Cao, Yuxing Sheng, Haixia You, Yi Zhang	857
Optimal Design of Solvent Blend and Its Application in Coking Wastewater Treatment Process	
Mingsen Liao, Yuehong Zhao, Pengge Ning, Hongbin Cao, Hao Wen, and Yi Zhang	864
Activated carbon-enhanced ozonation of oxalate attributed to HO [·] oxidation in bulk solution and surface oxidation: Effects of the type and number of basic sites	
Linlin Xing, Yongbing Xie, Hongbin Cao, Daisuke Minakata, Yi Zhang, John C. Crittenden	882
Desalination stability of capacitive deionization using ordered mesoporous carbon: Effect of oxygen-containing surface groups and pore properties	
Feng Duan, Xuan Du, Yuping Li, Hongbin Cao, Yi Zhang	900
Activated carbon electrodes: Electrochemical oxidation coupled with desalination for wastewater treatment	
Feng Duan, Yuping Li, Hongbin Cao, Yi Wang, John C. Crittenden, Yi Zhang	915
C ₃ N ₄ -Mn/CNT composite as a heterogeneous catalyst in the electro-peroxone process for promoting the reaction between O ₃ and H ₂ O ₂ in acid solution	
Zhuang Guo, Linbi Zhou, Hongbin Cao, Yongbing Xie, Jiadong Xiao, Jin Yang, and Yi Zhang	927
基于 MINLP 模型的焦化废水蒸氨塔操作优化	
廖明森, 赵月红, 宁朋歌, 曹宏斌, 温浩, 张懿	943
新型非均相电-Fenton 技术深度处理焦化废水	
李海涛, 李玉平, 张安洋, 曹宏斌, 李鑫钢, 张懿	955
3.2 工业固废资源化	966
Preparation of high purity magnesium oxide and magnetic ferrite from chromium containing	