

研究简报

石英砂流化床床料磨损的数学模型

周陵生, 姜秀民, 刘建国, 王 辉
(上海交通大学热能工程研究所, 上海 200240)

关键词: 磨损; 数学模型; 流化床; 石英砂

中图分类号: TB 302.1

文献标识码: A

文章编号: 0438-1157 (2007) 11-2776-06

Mathematic model of attrition of quartzite particles as medium material in fluidized bed

ZHOU Lingsheng, JIANG Xiumin, LIU Jianguo, WANG Hui

(Institute of Thermal Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Quartzite particles, as a bed material, are used in the high density fluidized bed. However, in the operation, a great amount of fines, due to the attrition of quartzite particles, were elutriated, which would result in the decrease of bed material and bed pressure drop, and herein have an impact on the normal fluidization in the fluidized bed. In view of the attrition of quartzite particles, a mathematic model was established based on the Fleischer's system energy balance theory about the friction attrition mechanism. The condition that the fine particles were separated from the parent particles was based on the least energy principle of material dynamic failure. The particle's operation characteristics in the fluidized bed and the particle's physical properties were also considered in the model. This model could explain some factors of the particle's attrition. Moreover, the predicted value from the model was close to the experimental value. Therefore, this study would be beneficial to the engineering application of the high density fluidized bed.

Key words: attrition; mathematic model; fluidized bed; quartzite particles

引 言

石英砂作为异密度流化床锅炉媒体床料, 在特种流化床锅炉与装置中得到应用。但在实际运行过程中, 由于磨损而形成大量的细小颗粒并产生扬析现象, 使床料量减少、床压降低, 影响正常流化; 并且运行时为了保持基本恒定的床压, 常需要根据床压的变化定时地加入石英砂以补充由于扬析或夹

带引起的床料损失, 这就造成了运行成本的增加^[1]。因此, 对石英砂媒体床料流化床运行的物料平衡和能量平衡的研究具有重要意义, 本文对石英砂流化床床料颗粒的磨损进行了研究, 并基于 Fleischer 关于摩擦磨损的系统能量平衡理论^[2]建立了石英砂媒体床料的磨损模型。

在流化床颗粒磨损的研究方面, 有相当一部分主要是针对灰粒子和脱硫剂的磨损进行的。

2007-03-26 收到初稿, 2007-05-25 收到修改稿。

联系人: 姜秀民。第一作者: 周陵生 (1977—), 男, 博士研究生, 工程师。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50476021)。

Received date: 2007-03-26.

Corresponding author: Prof. JIANG Xiumin. E-mail: xiuminjiang@sjtu.edu.cn

Foundation item: supported by the National Natural Science Foundation of China (50476021).

Chirone 等^[3]对在流化床中燃烧的炭颗粒磨损进行了较全面的分析。Donsi 等^[4]也提出了焦炭磨损速率方程。Whitcombe 等^[5]对流化床中的催化剂颗粒磨损做了较全面的研究。Almerinda Di Benedetto 等^[6]研究了流化床反应器中石灰石在盐酸反应过程中的磨损。岑可法等^[7]对流化床中颗粒的磨损机理做了冷、热态实验研究,并提出了适用于低挥发分煤的磨损速率近似计算公式。上述这些研究主要是针对在炉内燃烧或者参加化学反应颗粒磨损的研究,对于不参加炉内燃烧或化学反应如石英砂床料的磨损研究鲜见报道。因此,本文在石英砂床料磨损分析和计算原理的基础上,建立了一种关于石英砂流化床床料磨损的数学模型。

1 实验系统与方案

1.1 实验系统

实验系统的流化床主体部分按烟气流程由空气加热炉、密相区、稀相区、一级旋风分离器和二级布袋分离器 5 个主要部分组成,在一、二级分离器之间布置有冷却装置,其中空气加热炉、密相区、稀相区均布置有电阻丝。密相区内径 $D=51\text{ mm}$;密相区和空气加热炉的风室之间为布风板,由两层 0.074 mm 的不锈钢网中间夹上硅酸铝纤维毡构成。冷空气经压缩机升压后经过减压阀和玻璃管流量计进入空气加热炉。空气加热炉采用填充床技术,由 5 kW 的电阻丝和自然堆积的瓷珠构成,可以将冷空气加热至 $800\sim 950\text{ }^{\circ}\text{C}$,然后进入密相区并保证床料流态化。密相区管外侧绕有电阻丝以维持和提高密相区的温度,电阻丝外面是耐热保温层。稀相区内径由密相区的 51 mm 逐渐扩大至 82 mm ,炉膛高度为 800 mm ,出口串联有旋风分离器和布袋分离器。实验系统如图 1 所示。

1.2 实验方案

实验样品取自邹城市城关岗岩石粉厂,成分分析见表 1。

表 1 石英砂的成分分析

Table 1 Composition analysis of quartzite particles		
SiO ₂ / % (mass)	Fe ₂ O ₃ / % (mass)	Color
99.63	0.03	white

石英砂在内径为 51 mm 的实验台经过 12 h 流化磨损实验。其中床温取为 750 、 850 、 $950\text{ }^{\circ}\text{C}$,考

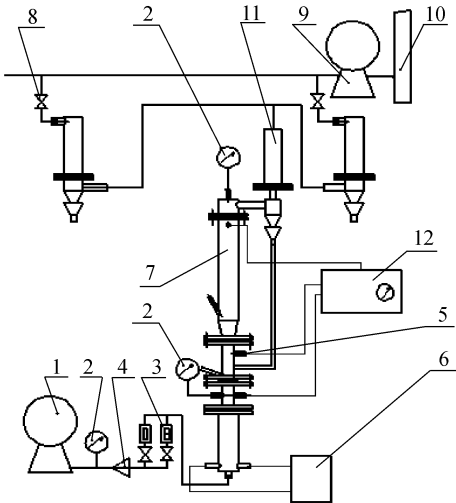


图 1 实验系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

- 1—compressor; 2—manometer; 3—rotameter;
4—pressure regulator; 5—thermometer; 6—voltage regulator;
7—fluidized bed main part; 8—valve; 9—vacuum pump;
10—stack; 11—cooler unit; 12—temperature controller

表 2 石英砂磨损实验前的尺寸分布

Table 2 Size distribution of quartzite particles before attrition experiment

Scheme	Mass fraction / %					Mass mean diameter / mm
	0.6—1.6 mm	1.6—2.5 mm	2.5—3 mm	3—4 mm	4—5 mm	
1	5	30	40	15	10	2.7450
2	10	40	35	10	5	2.4675
3	15	50	30	5	0	2.1900

虑燃烧循环流化床密相区的运行温度一般为 $800\sim 950\text{ }^{\circ}\text{C}$;流化数为 3.5 、 4 和 4.5 ,以保证石英砂床料的流化质量;石英砂取自实际运行锅炉,其颗粒组成见表 2;床料高度取为 50 、 70 、 90 mm ,基于实验台的结构设计和保证流化质量。

2 石英砂床料磨损分析与建模原理

磨损是指互相接触的两个物体运动过程中,表面材料损失的过程^[8]。任何一种磨损都发生在物体的工作表面上,不仅物体表面宏观上发生变化,而且物体的微观组织结构及其性能也发生变化,同时产生一定数量的磨损产物,磨损是摩擦的结果。磨损过程涉及的因素很多,包括材料表面特性,材料的物理化学性质,外界热、力环境等^[9]。在异密度流化床运行过程中,石英砂床料磨损的本质是由于

碰撞摩擦等物理因素导致的,也是一种摩擦的结果。

摩擦磨损的定量计算与其能量耗散机制密切相关,摩擦的能量耗散机制一直是摩擦学理论研究的重点^[10-11]。磨损过程会导致材料表面强度的弱化直到屈服破坏,磨损必然伴随着能量的耗散,能量耗散是材料变形破坏的本质属性^[12]。在研究摩擦磨损方面,Fleischer 的系统能量平衡理论^[8,13]采用综合和系统的观点来分析摩擦磨损过程。Fleischer 认为,摩擦磨损耗散能约有 10% 以内能形式积蓄在材料中,成为表面破坏和产生磨屑的动力。本文正是基于该理论建立的一种数学模型,并且认为床料磨损所需的耗散能主要来自颗粒间碰撞产生的动能损失,而磨屑脱离母体颗粒的这种磨损破坏条件是依据材料动力破坏的最小能量原理^[14]。

3 模型的建立

3.1 假设条件

石英砂流化床床料磨损数学模型的建立是以上述石英砂床料磨损分析和计算原理为基础的。假设条件为:(1)床料颗粒外形为球体,其直径为 $\bar{d}_{in}$,床内初始颗粒总数为 n ,经过时间 t 以后,颗粒的直径变化为 $\bar{d}_{out}$;(2)忽略石英砂颗粒的破碎,产生的磨屑不再产生磨损,床料颗粒的总数目 n 不变;(3)颗粒磨损来自颗粒间的碰撞,忽略壁面摩擦、气流的冲刷;(4)颗粒碰撞磨损破坏(磨屑脱离母体颗粒)条件所依据的材料破坏最小能量原理只考虑累积的耗散能等于最小单轴压缩能;(5)床料颗粒之间的碰撞采用颗粒碰撞模型。

由上述假设得出给料质量与颗粒数和流化床结构尺寸的关系式为

$$W_{in} = n \frac{1}{6} \pi \rho_p \bar{d}_{in}^3 \quad (1)$$

$$W_{in} = \pi \frac{D^2}{4} \rho_{pb} H \quad (2)$$

经过时间 t 以后,颗粒磨损质量为

$$m_a = n \frac{1}{6} \pi \rho_p (\bar{d}_{in}^3 - \bar{d}_{out}^3) \quad (3)$$

$$m_a = \left[1 - \left(\frac{\bar{d}_{out}}{\bar{d}_{in}} \right)^3 \right] W_{in} \quad (4)$$

3.2 颗粒平均碰撞频率

参照颗粒碰撞模型原理,颗粒的碰撞自由程^[7]为

$$l_p = \frac{\bar{d}_{in}}{6\sqrt{2}(1-\epsilon)} \quad (5)$$

那么,颗粒的平均碰撞频率 Z_p 即每秒钟颗粒在其碰撞区间内发生的碰撞次数为

$$Z_p = \frac{|u_p|}{l_p} \quad (6)$$

式中 $|u_p|$ 为碰撞颗粒之间的相对速度。

3.3 颗粒磨损的原理

根据假设,当一个颗粒的累积耗散能 U_a 等于其最小单轴压缩能 U_{min} 时,就发生磨屑脱离母体颗粒。

颗粒的最小单轴压缩能为

$$U_{min} = \frac{\sigma_c^2}{2E} \frac{1}{6} \pi (\bar{d}_{in}^3 - \bar{d}_{out}^3) \quad (7)$$

颗粒的累积耗散能来自于颗粒的多次碰撞带来的动能损失,在时间 t 内发生碰撞转化为颗粒产生磨屑的耗散能为

$$U_a = PtZ\Delta T \quad (8)$$

式中 P 为转化为耗散能的比例,这里取为 10%; ΔT 为碰撞的动能损失,对于等质量、等直径的颗粒有

$$\Delta T = \frac{m_p}{4} (1 - k^2) |u_p|^2 \quad (9)$$

经化简可以得到磨损流量和磨损率的方程

$$m_a = Pt \frac{6\sqrt{2}(1-\epsilon)(1-k^2)\rho_p E}{\bar{d}_{in}^2 \sigma_c^2} |u_p|^3 W_{in} \quad (10)$$

$$R_a = P \frac{6\sqrt{2}(1-\epsilon)(1-k^2)\rho_p E}{\bar{d}_{in}^2 \sigma_c^2} |u_p|^3 W_{in} \quad (11)$$

而床料前后平均直径的比值关系式为

$$\frac{\bar{d}_{out}}{\bar{d}_{in}} = \left[1 - Pt \frac{6\sqrt{2}(1-\epsilon)(1-k^2)\rho_p E}{\bar{d}_{in}^2 \sigma_c^2} |u_p|^3 \right]^{1/3} \quad (12)$$

4 模型分析与实验对比

4.1 模型分析

由式(10)可发现一些影响磨损量的因素。首先可以看出磨损量与运行时间 t 呈正比,即随着时间的增加,磨损量也相应增大,这是由于随着时间的增加,颗粒碰撞磨损的次数也增加,导致颗粒磨损量增加;第二,磨损流量与床料所采用材料的性质密切相关,尤其是与材料的力学性能有关,由于颗粒不参加化学反应,理论上不存在化学腐蚀磨损,磨损主要是机械磨损,因此材料的机械性质对磨损流量有重要影响,式(10)还表明磨损量与其最小剪切破坏能量呈反比,这可理解为当颗粒越难磨损时,其磨损流量也越小;第三,磨损量与颗粒的平均碰撞速度密切相关,在相同条件下,颗粒的平均碰撞速度越大,颗粒碰撞产生的耗散能也越

大，从而更易导致颗粒表面破坏磨损；第四，通过计算发现 [式 (10)]，床料的粒径对磨损流量有一定的影响，粒径越大磨损量相对也越大 (图 2)，这基本符合 Reppenhagen 等^[15]关于磨损速率常数与初始平均粒径正相关的观点；另外通过计算式 (12) 还发现床料高度对磨损几乎没有影响 (图 3)，这与文献 [16] 的结论吻合。

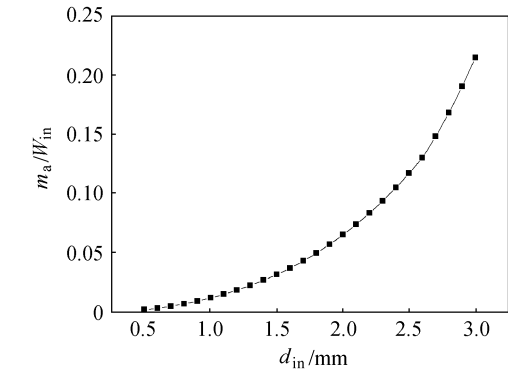


图 2 给料平均粒径与磨损的关系

Fig. 2 Relationship between mean particle diameter and particle attrition

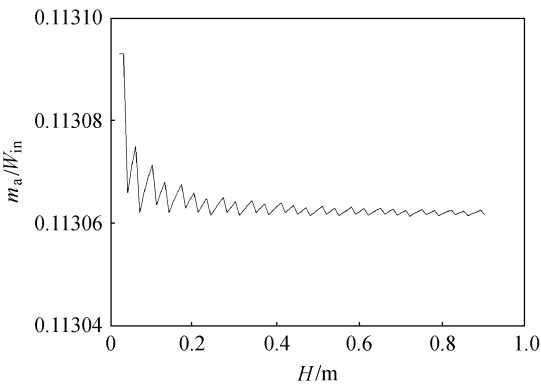


图 3 床料高度与磨损的关系

Fig. 3 Relationship between bed material height and particle attrition

4.2 实验对比

石英砂在高温条件下的屈服强度和弹性模量的数据近似采用杜守继等^[17]关于高温条件下花岗岩在高温条件下的力学实验结果，见表 3；床内空隙率、密相区高度和颗粒的平均速度见文献 [18-20]。颗粒碰撞的恢复系数 k 是颗粒物性的函数，可以通过实验测得^[21]。由于它能够反映颗粒在碰撞中能量的耗散强弱^[22]，不同的取值会得到不同的结果^[23]。这里参照沙粒的恢复系数 (0.85~0.95^[24-25])，取石英砂的恢复系数为 0.9，并依据式 (12) 分别计算了 9 个实验工况的床料前后平均

直径的比值，计算值与实验值对比见表 4 和图 3。由表 4 可知，模型的计算值与实验测量值基本吻合。

表 3 石英砂在不同温度下的力学性能
Table 3 Mechanical characteristics of quartzite particles

Temperature/℃	Peak stress/MPa	Young's modulus/GPa
750	107.295	17.362
850	95.645	14.222
950	83.995	11.082

表 4 模型计算结果与实验结果的对比
Table 4 Comparison of calculated value with experimental value

No.	T /℃	H /mm	W	$\bar{d}_{in}$ /mm	$\bar{d}_{out}/\bar{d}_{in}$		Relative error/%
					Experiment	Calculation	
1	750	50	3.5	2.7463	0.9866	0.9648	2.21
2	750	70	4	2.4668	0.9816	0.9608	2.12
3	750	90	4.5	2.1895	0.9857	0.9581	2.80
4	850	70	4.5	2.7455	0.9710	0.913	5.97
5	850	90	3.5	2.4689	0.9858	0.974	1.20
6	850	50	4	2.1948	0.9805	0.9428	3.84
7	950	90	4	2.7450	0.9785	0.9421	3.72
8	950	50	4.5	2.4784	0.9736	0.9387	3.58
9	950	70	3.5	2.1888	0.9939	0.9563	3.78

5 结 论

针对石英砂流化床床料磨损问题，从磨损的机理出发，结合流化床颗粒的运行特点，基于 Fleischer 关于摩擦磨损的系统能量平衡理论，并结合材料动力破坏的最小能量原理，通过一定的假设简化，得到了一种关于石英砂流化床床料磨损的数学模型。对石英砂磨损量模型公式分析发现，磨损量与运行时间、床料的力学性能、颗粒的外径、石英砂颗粒在密相区的运行速度以及流化床实际运行特点密切相关。该模型的物理意义与实际流化床运行情况较吻合，且石英砂颗粒磨损前后直径比的模型计算值与实验值也较吻合。

符 号 说 明

- D ——流化床的直径，mm
- $\bar{d}_{in}$ ——初始床料平均直径，mm
- $\bar{d}_{out}$ ——实验后床料平均直径，mm
- E ——弹性模量，GPa
- H ——堆积高度，mm

k ——颗粒碰撞的恢复系数

l_p ——颗粒的碰撞自由程, m

m_a ——磨损质量, kg

m_p ——石英砂颗粒质量, kg

R_a ——磨损率, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$

ΔT ——单位体积动能损失, $\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$

U_a ——累积耗散能, J

$U_{\min}$ ——最小单轴压缩能, J

u_p ——颗粒的平均速率, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

W ——流化数

W_{in} ——送入流化床内的床料颗粒质量, kg

Z_p ——颗粒的平均碰撞频率, s^{-1}

ϵ ——床内的空隙率

ρ_p ——颗粒的表观密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

ρ_{pb} ——颗粒的堆积密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

σ_c ——峰值应力, MPa

References

- [1] Wang Hui (王辉), Jiang Xiumin (姜秀民), Liu Jianguo (刘建国), Yuan Dequan (袁德权). Attrition experiment and gray relational analysis of quartzite particles as medium material in fluidized bed. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)* (化工学报), 2006, **57** (5): 1133-1137
- [2] Wen Shizhu (温诗铸). Tribology Principle (摩擦学原理). Beijing: Tsinghua University Press, 1990: 462-464
- [3] Chirone R, Massimilla L, Salatino P. Comminution of carbons in fluidized bed combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 1991, **17** (4): 297-326
- [4] Donsi G, Massimilla L, Miccio M. Carbon fines production and elutriation from the bed of a fluidized coal combustor. *Combustion & Flame*, 1981, **41**: 57-69
- [5] Whitcombe J M, Agranovski I E, Braddock R D. Attrition due to mixing of hot and cold FCC catalyst particles. *Powder Technology*, 2003, **137** (3): 120-130
- [6] Almerinda Di Benedetto, Piero Salatino. Modelling attrition of limestone during calcination and sulfation in a fluidized bed reactor. *Powder Technology*, 1998, **95**: 119-128
- [7] Cen Kefa (岑可法), Ni Mingjiang (倪明江), Luo Zhongyang (骆仲泱), Yan Jianhua (严建华), Chi Yong (池勇), Fang Mengxiang (方梦祥), Li Xuantian (李绚天), Cheng Leming (程乐鸣). Theory, Design and Operation of Circulating Fluidized Bed Boiler (循环流化床锅炉理论、设计与运行). Beijing: Chinese Electricity Press, 1998: 246-248
- [8] Dai Zhendong (戴振东). Introduction to Tribo-thermodynamics (摩擦体系热力学引论). Beijing: National Defense Industry Press, 2002: 4-5
- [9] He Jiang'ai (何奖爱), Wang Yuwei (王玉玮). Material Attrition and Anti-Friction Material (材料磨损与耐磨材料). Shenyang: Northeast University Press, 2001: 1-2
- [10] Hu Yuanzhong (胡元中), Wang Hui (王慧), Zou Kun (邹鲲), Zhang Tao (张涛). Superlubricity, interfacial friction and dissipation—some aspects on fundamental study of friction. *Tribology* (摩擦学报), 2000, **20** (4): 313-316
- [11] Xu Zhongming (许中明), Huang Ping (黄平). Calculating friction force with considering material microstructure and potential on contact surfaces. *Tribology* (摩擦学报), 2006, **26** (2): 159-163
- [12] Gao Hong (高红), Zheng Yingren (郑颖人), Feng Xiating (冯夏庭). Exploration on yield and failure of materials. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering* (岩石力学与工程学报), 2006, **25** (12): 2515-2522
- [13] Dai Xiongjie (戴雄杰). Tribology Foundation (摩擦学基础). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984: 43-44
- [14] Zhao Yangsheng (赵阳升), Feng Zengchao (冯增朝), Wan Zhijun (万志军). Least energy principle of dynamical failure of rock mass. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering* (岩石力学与工程学报), 2003, **22** (11): 1781-1783
- [15] Reppenhagen J, Werther J. Catalyst attrition in cyclones. *Powder Technology*, 2000, **113** (1/2): 55-69
- [16] Liu Y D, Kimura S. Fluidization and entrainment of difficult-fluidize-fine powder mixed with easy-to fluidize large particles. *Powder Technology*, 1993, **75** (2): 189-196
- [17] Du Shouji (杜守继), Liu Hua (刘华), Zhi Hongtao (职洪涛), Chen Haohua (陈浩华). Testing study on mechanical properties of post-high-temperature granite. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering* (岩石力学与工程学报), 2004, **23** (14): 2359-2364
- [18] Fang Deshan (房德山). Dynamic modeling and analysis on the operation characteristics of CFB boiler [D]. Nanjing: Southeast University, 2002
- [19] Cheng Leming (程乐鸣), Cen Kefa (岑可法), Ni Mingjiang (倪明江), Luo Zhongyang (骆仲泱). Thermal calculation of a circulating fluidized bed boiler furnace. *Proceedings of the CSEE* (中国电机工程学报), 2002, **22** (12): 146-151
- [20] Wang Fang (王芳), Ouyang Jie (欧阳洁), Zhang Hongping (张红平), Yang Jiye (杨继业). Hard-sphere simulation with unequal particle diameters in gas-solid fluidized beds. *Journal of Basic Science and Engineering* (应用基础与工程科学学报), 2005, **13** (3): 238-246

- [21] Cheng Yi (程易), Wei Fei (魏飞), Zheng Yu (郑雨), Jin Yong (金涌), Guo Yincheng (郭印诚), Lin Wenyi (林文漪). Computational fluid dynamic modeling of hydrodynamics in downer reactors. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)* (化工学报), 2000, **51** (3): 344-352
- [22] Chen Bo (陈波), Tong Peiqing (童培庆). Dynamics of many particles in the urn model. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2005, **54** (12): 5554-5558
- [23] Jiao Zhaoyong (焦照勇), Ma Shuhong (马淑红), Liu Zhongshan (刘中山). A discussion on a collision problem of classical mechanics. *College Physics* (大学物理), 2006, **25** (3): 27-29
- [24] Xia Jianxin (夏建新), Han Peng (韩鹏). Stresses of cohesionless solids flows in water-sediment mixture. *Acta Mechanica Sinica* (力学学报), 2004, **36** (2): 213-217
- [25] Sun Qicheng (孙其诚), Wang Guangqian (王光谦). Simulation of dynamic behavior of saltation grains from loose sedimentary beds. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2001, **21** (suppl.): 17-21

信息与交流

第 143 次青年科学家论坛——离子液体与绿色化学在京召开

由中国科学技术协会主办, 化学工业出版社、中国科学院过程工程研究所、中国石油大学(北京)重质油国家重点实验室、浙江大学环境与资源学院共同承办的第 143 次青年科学家论坛——离子液体与绿色化学(The 143rd Forum of Young Scientists—Ionic Liquids and Green Chemistry)于 2007 年 9 月 20~21 日在北京西郊宾馆召开, 论坛的执行主席为中科院过程工程研究所张锁江研究员、中国石油大学(北京)徐春明教授及浙江大学吴忠标教授。来自北京大学、清华大学、浙江大学、南开大学、华东理工大学、华南理工大学、中国石油大学、北京化工大学、中科院过程工程所、中科院化学所、中科院大连化物所、中科院上海应用物理所、中科院长春应化所、中科院生态环境中心等大学和研究机构的 6 位特邀专家、40 余名青年学者及 60 多名研究生参加了此次论坛。

离子液体是国际绿色化学的前沿和热点, 为解决全球能源、资源、环境等重大战略性问题提供了新机遇。然而, 离子液体作为一类新型的复杂物质体系, 其理论 and 应用尚有待深入和完善, 面临技术、经济、环境等多项挑战, 如何通过学科交叉和技术集成, 实现对离子液体的共性科学规律和关键技术的新突破, 成为当前学术界、工业界和管理部门共同关注的重大问题。在这样一种形势下, 召开“离子液体与绿色化学”论坛是十分必要的。

在论坛的开幕式上, 石油化工科学研究院何鸣元院士分析了离子液体与绿色化学面临的机遇和挑战, 指出了离子液体在能源、资源和环境等领域的重大技术突破前景。北京大学寇元教授展望了离子液体与绿色化学的今天和明天, 认为离子液体改变了传统的载体、催化及相分离等过程。北京化工大学汪文川教授、中科院化学所韩布兴研究员、河南师大王键吉教授、浙江大学包伟良教授分别就离子液体和绿色化学的前沿研究进展做了精彩的报告。

论坛期间, 各位专家和青年学者针对能源、资源、环境等领域的重大战略需求, 围绕离子液体与绿色化学的共性科学问题和关键技术难题展开了深入而广泛的研讨。尤其是结合各自研究团队的实际进展和国际前沿发展趋势, 在离子液体的结构-性质关系、离子液体的催化与分离过程、离子液体在能源、资源、环境、生物和材料中的应用等方面展开了热烈的研讨。通过研讨, 进一步凝炼了科研方向、研究重点和中长期目标, 形成了若干个具有重大理论和应用前景的前沿交叉课题。与会专家学者认为, 离子液体为创造新反应、新工艺和新产品提供了新机遇, 对促进绿色化学进步具有重大意义, 蕴含着丰富的科学内涵和广阔的应用前景。我国在离子液体与绿色化学领域的研究工作在有些方向上与国际水平同步, 具有基础与应用紧密结合的鲜明研究特色, 应该进一步加强我国该领域学者之间的密切交流与合作, 整合一支具有创新精神的研究团队, 优势互补, 进行更加深入系统的研究, 使我国在该领域的基础研究和工业应用方面取得更大的进展和突破。此次论坛对促进我国离子液体和绿色化学研究的理论和技术创新, 促进同行相互之间的学术交流与合作, 尤其是青年学者的视野拓展和联合攻关, 将产生积极的作用。

离子液体作为一类新型的绿色介质, 近年来获得了突飞猛进的发展。推动离子液体研究迅速发展的直接动力, 来源于国际社会对清洁生产、环境保护、循环经济的强烈愿望, 以及离子液体本身的科学探索价值和巨大应用潜力。离子液体的应用领域已经从有机合成扩展到能源、资源、环境、生物、材料以及航空航天领域, 其理论研究也从基础物性和构效关联深入到对其科学本质和基本理论问题的探索。离子液体的理论 and 应用正在迎来新的突破。