

粉煤灰中稀有金属镓-铌-稀土的联合提取

刘汇东^{1,2}, 田和明², 邹建华²

1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083

2. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400000

摘要 采用碱法烧结-分步浸出法,对重庆安稳电厂循环流化床粉煤灰中Ga、Nb、REE等稀有金属进行了联合提取实验。结果表明,粉煤灰加无水碳酸钠在860℃下烧结30 min,采用水浸法提取Ga,采用酸浸法提取REE,Ga、REE的提取率分别达到84.70%和80.07%;Nb在两步浸出实验中的浸出率均低于1%,但在酸浸滤渣中得到富集。采用D201离子交换树脂和NH₄Cl(0.5 mol/L)溶液在40℃下对富Ga水浸滤液中的Ga进行吸附与解吸附,Ga的吸附率(27.99%)、解吸附率(37.33%)偏低,可能与解吸附液用量不足和水浸滤液中Al离子竞争吸附有关,后续将通过改进实验条件提升Ga的分离提取效果;酸浸液中REE及酸浸渣中Nb的分离提取工艺尚需进一步研究。通过上述稀有金属Ga、Nb、REE的联合提取及后续工作,可实现安稳电厂粉煤灰的高附加值利用,有效缓解粉煤灰造成的环境污染。

关键词 粉煤灰;稀有金属;镓;铌;稀土;联合提取

中图分类号 X752

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.11.006

Combined extraction of rare metals Ga-Nb-REE from the fly ash

LIU Huidong¹, TIAN Heming², ZOU Jianhua²

1. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

2. Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400000, China

Abstract Alkali sintering-multistep leaching experiments are carried out to extract the rare metals Ga, Nb and REE (rare earth elements) from the fly ash in the circulating fluidized bed (CFB) generated from the Anwen Coal-fired Power Plant in Chongqing, Southwest China. It is shown that, the roasting of the CFB fly ash with 1.5 times Na₂CO₃ under 860℃ for 30 minutes, followed by the water leaching (Solid/Liquid (S/L)=1:10; 90℃; 2 hours) extraction of Ga and the acid leaching (HCl solution, 6 mol/L; S/L= 1:20; 60℃; 2 hours) extraction of REE, can achieve extraction rates of 84.70% and 80.07% for Ga and REE, respectively. The leaching rate of Niobium (Nb) enriched in the acid leaching residue, is lower than 1% in the above two steps. Adsorption and desorption experiments of Gallium from the Ga-rich water leaching filtrate using the D201 ion exchange resin and NH₄Cl solution (0.5 mol/L) are carried out both under a temperature of 40℃. The adsorption rate (27.99%) and the desorption rate (37.33%) of Ga are unsatisfactory. The conditions of the follow-up experiments would be adjusted in order to enhance the separation and extraction effect of Ga. The extraction process of Nb from the acid leaching residue and the separation of REE from the acid leaching solution also need to be further studied. With the above combined extraction technology for Ga, Nb, REE and subsequent studies, a high value-added fly ash product is expected. The environmental pollution pressure caused by the Anwen fly ash might be alleviated.

Keywords fly ash; rare metal; gallium; niobium; rare earth elements; combined extraction

收稿日期:2015-03-16; 修回日期:2015-04-30

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2014CB238902);教育部创新团队发展计划项目(IRT13099)

作者简介:刘汇东,博士研究生,研究方向为大宗工业固体废物资源化,电子邮箱:haydn15liu@gmail.com

引用格式:刘汇东,田和明,邹建华.粉煤灰中稀有金属镓-铌-稀土的联合提取[J].科技导报,2015,33(11):39-43.

重庆安稳电厂(又名重庆松藻电力有限公司)隶属于重庆能源投资集团,位于重庆市綦江县安稳镇松藻矿区,是一座国家重点支持的坑口电厂。一期工程2×150 MW煤矸石资源综合利用1[#]、2[#]发电机组分别于2006年4月和7月投入试运行。松藻煤矿的煤与矸石混合后作为安稳电厂的入料原煤,2011年煤耗量157.95万t,年产粉煤灰约30万t。二期2×660 MW扩建工程预计于2015年完成,届时将年增加消耗洗煤280万t(折合原煤350万t),年增产灰渣80万t。安稳电厂目前采用的是2台循环流化床(circulating fluidized bed, CFB)锅炉,炉膛中心温度约900℃;采用石灰石(粉)燃中固硫,导致产生的粉煤灰中SO₃(CaSO₄)含量偏高。CFB锅炉较低的燃烧温度(830~930℃)使得NO_x等污染性气体排放率低于常规煤粉炉^[1-3],但由此也将导致煤中有机质燃烧不彻底、粉煤灰烧失量过高。SO₃含量和烧失量超标的问题严重制约了CFB固硫粉煤灰在水泥、混凝土生产方向的利用^[4]。由于上述原因,安稳电厂粉煤灰目前仍未得到有效利用,大量积压在灰场,对周边的生态环境以及电厂的运营成本造成了双重压力。

松藻煤及夹矸中不同程度地富集了Ti、Ga、REE、Zr、Nb(Ta)、Hf等稀有金属元素^[5,6]。原煤经高温燃烧后煤中元素在燃煤产物(粉煤灰、底渣、脱硫石膏等)之间发生不同程度分异,可能造成某些元素(有害及有益的)在某一燃煤产物(粉煤灰或底渣或脱硫石膏)中进一步富集^[7]。前期研究表明,安稳电厂粉煤灰中Ga、Nb、REE等稀有金属元素均接近或超过各自的工业化利用最低标准,因此可考虑将其作为潜在的人工多金属矿床予以开发利用,从而提高粉煤灰资源化利用的经济附加值和利用率。

由于此前关于粉煤灰中Nb、REE富集成矿的研究较少,因而目前鲜有粉煤灰中Nb、REE分离提取的报道。从粉煤灰中分离提取稀有金属Ga的研究相对较多,其分离提取工艺可主要划分为碱法烧结-碳酸化法^[8,9]和酸浸-树脂吸附法^[10,11]两大类。碱法烧结的原材料便宜易得,碳酸氢钠母液可循环使用,因此成本较低,但也存在影响因素多、中间环节多而不易控制等问题。酸浸法的Ga浸出率相对较高,但酸浸渣不易处置,且对设备的耐酸腐蚀性要求高,成本相应较高。

鉴于Ga、Nb、REE等元素在浸取过程中的行为差异,本文尝试采用碱法烧结-分步浸出实验,研究安稳电厂粉煤灰中稀有金属Ga、Nb、REE的联合提取。

1 实验方法

1.1 实验样品

实验样品为安稳电厂循环流化床粉煤灰。粉煤灰常量元素及目标稀有金属元素的含量如表1所示。根据《DZ/T 0204—2002 稀土矿产地质勘查规范》,按风化壳离子吸附型稀土矿计,稀土边界品位——稀土氧化物(REO)质量分数:重稀土为0.05%,轻稀土为0.07%。根据《DZ/T 0203—2002

稀有金属矿产地质勘查规范》,按铝土矿计,Ga的工业利用标准为0.002%;按风化壳矿床计,单独Nb(Ta)矿床最低工业品位为Nb₂O₅ 0.016%~0.02%,作为伴生矿产回收时Nb工业利用标准为Nb₂O₅ 0.007%~0.01%。

表1 粉煤灰中的元素含量

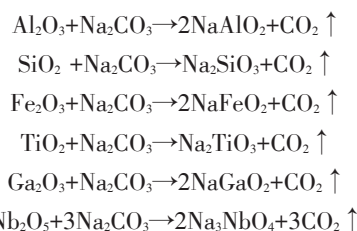
Table 1 Percentages of major and valuable trace elements in the fly ash

常量元素质量百分比/%				微量元素质量百分比/%			
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	REO	Ga	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂
38.94	21.38	14.49	2.30	0.0947	0.0047	0.0170	0.1455

安稳粉煤灰中稀有金属元素REE、Ga、Nb均达到了各自的边界品位或工业利用最低标准,作为伴生多金属矿床综合利用时尤其具备工业化开采价值^[12,13]。

1.2 实验原理

碱法烧结-分步浸出的基本原理:首先通过碱法烧结,使稀有金属Ti、Ga、Nb、REE的载体矿物在高温下与无水碳酸钠反应、分解,形成可溶于水或酸的化合物;再依次经过水浸、酸浸溶出,实现不同稀有金属元素的分离和富集。碱法烧结过程中涉及到的化学反应主要有:



水浸过程中,以上元素发生不同程度水解,水解程度大的如Si、Fe生成SiO₂·nH₂O、Fe(OH)₃等胶状沉淀,过滤后进入固相;NaGaO₂及部分NaAlO₂进入液相;水浸渣再经酸浸后,Al、Fe、Ti、REE、Ga等溶出进入液相,Si、Nb保留在酸浸渣中;最后从溶液中分离出Ga、REE。

1.3 实验流程

设计的实验流程如图1所示。

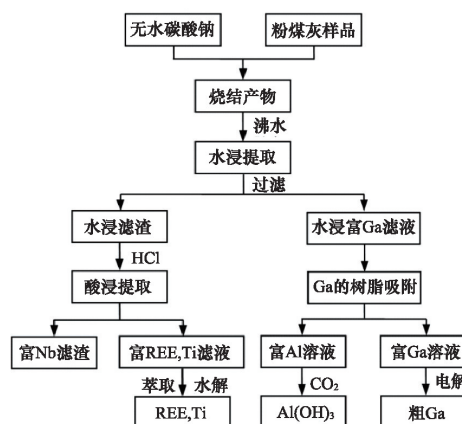


图1 稀有金属Ga-Nb-REE的联合提取实验流程

Fig. 1 Technological process of the combined extraction of rare metals Ga-Nb-REE from the Anwen fly ash

1) 通过碱法烧结充分破坏稀有金属元素载体矿物(如粘土矿物等)的Si-Al-O化学键,使Ga、REE、Nb等目标稀有金属释放出来,形成水溶性或酸溶性化合物。

2) 采用水浸法提取Ga。取碳酸钠烧结粉煤灰15 g,采用150 mL纯水在90℃下浸2 h提取Ga。之后过滤,滤液待测,滤渣进入下一步酸浸。

3) 采用酸浸法提取REE。对水浸滤渣采用6 mol/L盐酸在60℃下浸取4 h提取REE,固液比设定为1 g:20 mL;所形成的Nb化合物由于不溶于水和酸(盐酸)而在酸浸渣中实现富集。

4) 采用树脂吸附法从水浸液中提纯Ga。

2 结果与讨论

2.1 样品的碱法烧结

实验所用样品为安稳电厂除铁处理后的粉煤灰。将样品在干燥箱105℃干燥2 h,用玛瑙研磨机(GSXX-4型)在转速300 r/min条件下研磨30 min,使粒度达到50 μm以下。

煅烧温度及时间对样品中矿物的分解彻底程度具有决定性作用,从而直接影响赋存其中的稀有金属元素浸出。根据已有的实验数据,本次实验选择的煅烧温度为860℃,煅烧时间为30 min,碳酸钠与样品混合比为1.5:1,共设置4组平行样品。

2.2 金属元素Ga的水浸提取

采用水浸法对烧结产物中的Ga进行提取。将烧结产物中Ga、Al等可溶性化合物从固体物料中分离出来进入液相,测定滤液及滤渣中Ga、Nb、REE等稀有金属含量,并计算提取率。水浸滤渣烘干后待用(用于下一步酸浸实验)。

水浸提取率计算公式为

$$W_1 = C_1 / C_0$$

式中, W_1 为水浸提取率; C_1 为水浸液中金属元素质量; C_0 为粉煤灰原样中金属元素质量。

水浸提取实验结果如表2所示。由表2可见,4组样品的水浸实验中,Ga浸出效果较好,浸出率为83.34%~85.84%,均值为84.70%;Al浸出率为13.58%~18.27%,均值为15.44%;Ti、Nb、REE几乎未浸出,浸出率均值低于0.1%。

表2 水浸提取实验结果

Table 2 Extraction rates of the water leaching experiments

样品编号	水浸提取率/%				
	Al	Ti	Ga	Nb	REE
1	13.58	0.14	85.10	0.06	0.01
2	15.60	0.02	84.52	0.06	0.01
3	18.27	0.04	83.34	0.07	0.01
4	14.32	0.02	85.84	0.05	0.00
均值	15.44	0.06	84.70	0.06	0.01

通过水浸提取实验,初步实现了粉煤灰中稀有金属Ga与Si、Fe、Nb、REE的分离;水浸富Ga(Al)滤液作为后续树脂吸附分离提纯Ga的原液。

2.3 金属元素REE的酸浸提取

以水浸滤渣作为实验对象,进行酸浸法提取REE的操作,并计算酸浸提取率。酸浸提取率计算公式为

$$W_2 = (C_1 + C_2) / C_0$$

式中, W_2 为酸浸提取率; C_1 为水浸液中金属元素质量; C_2 为酸浸液中金属元素质量; C_0 为粉煤灰原样中金属元素质量。

酸浸提取实验结果如表3所示。由表3可见,4组样品的酸浸提取实验中,元素Al、Ti、REE的浸出效果明显,在水浸基础上,Al的浸出率提高到64.99%~75.56%,均值为68.62%;Ti的浸出率提高到70.64%~83.04%,均值为76.11%;REE的浸出率提高到75.73%~84.88%,均值80.07%。酸浸提取过程中有少量(约1%)的Ga被进一步浸出,在水浸提取率均值84.70%基础上,Ga的两步浸出率升至85.65%。碱法烧结-水浸过程中, Na_3NbO_4 易水解形成不溶于酸的多铌酸盐(如 $\text{Na}_7\text{Nb}_5\text{O}_{16} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 等),造成了酸浸过程中Nb的提取率极低,均值仅为1.21%。

表3 酸浸提取实验结果

Table 3 Extraction rates of the acid leaching experiments

样品编号	酸浸提取率/%				
	Al	Ti	Ga	Nb	REE
1	68.01	78.29	82.57	1.36	79.82
2	65.93	70.64	85.08	1.07	75.73
3	75.56	83.04	84.44	1.37	79.85
4	64.99	72.47	90.50	1.04	84.88
均值	68.62	76.11	85.65	1.21	80.07

实验产物中固相物质的稀有金属含量如表4所示。水浸提取过程中Al、Ga的大量溶出导致水浸渣中REE富集效果明显。经水浸提取Ga实验后,固相残渣中REE含量(0.0757%)较烧结产物中REE含量(0.0256%)富集了2.96倍。经水浸提取Ga和酸浸提取REE两步浸出提取后,酸浸渣中Nb含量达到0.0159%(合 $\text{Nb}_2\text{O}_5=0.0228\%$),较原灰中 Nb_2O_5 (0.0171%)含量提高了33.6%。酸浸渣中Nb的进一步富集技术及分离提取工艺有待深入研究。

2.4 水浸液中Ga的树脂吸附分离

碱法烧结-水浸滤液呈碱性,碱性浸出液中Ga的分离与提取方法主要有碳酸化法^[14]、离子交换法^[15,16]、Kelex-100萃取法^[17]等。离子交换树脂是带有交换离子的活性基团、具有网状结构的不溶性高分子化合物^[18]。离子交换树脂对溶液中的不同离子有不同的亲和力,对它们的吸附有选择性。前期研究表明,D201大孔强碱性苯乙烯系阴离子交换树脂用于Ga的吸附效果良好。

表4 实验产物中的金属元素含量

Table 4 Percentages of the target rare elements in leaching residue generated in each steps

实验产物	样品编号	质量百分比/%				
		Al	Ti	Ga	Nb	REE
烧结产物	1	5.26	0.55	0.00131	0.00420	0.02537
	2	5.94	0.56	0.00126	0.00416	0.02505
	3	—	—	—	—	—
	4	6.02	0.55	0.00131	0.00332	0.02627
	均值	5.74	0.55	0.00129	0.00389	0.02557
水浸滤渣	1	10.88	1.29	0.00109	0.0105	0.07402
	2	11.18	1.41	0.00120	0.0115	0.07667
	3	10.11	1.35	0.00131	0.0090	0.07971
	4	11.80	1.45	0.00104	0.0112	0.07215
	均值	10.99	1.38	0.00116	0.0106	0.07566
酸浸滤渣	1	4.97	0.53	0.00030	0.0157	0.01540
	2	4.05	0.77	0.00030	0.0122	0.01866
	3	3.57	0.62	0.00026	0.0184	0.01621
	4	3.36	0.61	0.00020	0.0174	0.01304
	均值	3.99	0.63	0.00027	0.0159	0.01583

注:烧结产物的3号样品粉磨过程中部分损失,未做元素含量分析测试,后续计算采用2号样品数据。

取D201树脂20 g装入离子交换玻璃柱。取前述水浸富Ga滤液50 mL进行Ga的树脂吸附实验。吸附操作温度为40℃,树脂的解吸液分别选用了纯水和0.5 mol/L的氯化铵溶液,各取100 mL进行了Ga的解吸附实验,操作温度40℃,解吸附溶液流速控制在1~2 滴/s。

实验结果如表5所示。在Ga的树脂吸附和解吸附过程中,溶液中的Al也被大量吸附和解吸附。Al与Ga的化学性质相似,可与Ga形成竞争吸附,可能是造成Ga的吸附率(27.99%)和解吸附率(35.19%)均偏低的主要原因。吸附树脂的类型对Ga、Al的分离效果影响较大,后续研究将通过改进实验条件,尤其是改换吸附树脂类型,以减少Al离子对Ga吸附的干扰,提高Ga的吸附率和解吸附率。

表5 金属元素Ga树脂提取的吸附率及解吸附率

Table 5 Rate of the resin adsorption and desorption of element gallium

元素	吸附率/%	解吸附率/%	
		纯水	HN ₄ Cl溶液
Ga	27.99	35.19	37.33
Al	37.85	30.37	22.80

就解吸液类型而言,相对于纯水(35.19%),NH₄Cl溶液(37.33%)对Ga的解吸附率更高,同时对Al的解吸附率更低,有利于Ga的分离提纯,因而选取0.5 mol/L的NH₄Cl溶液作为解吸液。本次实验Ga的整体吸附率和解吸附率均不理想,可能与解吸附液用量不足或Al离子的干扰有关。

3 结论

实验及分析结果表明,元素Ga在水浸过程中的浸出率较高(84.70%),酸浸对Ga浸出率提升有限。元素Al、Ti、REE主要在酸浸过程中浸出,总浸出率分别为68.62%、76.11%和80.07%。元素Nb在两步浸出过程中的浸出率均低于1%,而在酸浸取渣中富集。Ga的树脂吸附率、解吸附率均偏低,分别为27.99%和37.33%,可能与Al离子的竞争吸附有关。

后续研究将通过优化实验条件,改善Ga、REE的分离提取率,尤其是改善Ga的树脂吸附及解吸附效率;酸浸液中REE及酸浸渣中Nb的提取工艺有待进一步研究。

参考文献(References)

- [1] 岳光溪. 循环流化床技术发展与应用[J]. 节能与环保, 2003(12): 3-4.
Yue Guangxi. The development of circulating fluidized bed technology and application[J]. Energy Saving and Environmental Protection, 2003 (12): 3-4.
- [2] 史培甫. 工业锅炉节能减排应用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
Shi Peifu. Application technology of energy-saving and emission reduction of the industrial boiler[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.
- [3] 黄从国. 大气污染控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
Huang Congguo. Air pollution control technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2013.
- [4] 姚志通, 夏枚生, 叶瑛, 等. 循环流化床锅炉脱硫灰和普通粉煤灰的特性研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2010(1): 6-12.
Yao Zhitong, Xia Meisheng, Ye Ying, et al. Study on characteristics of CFB desulfurated fly ash and pulverized fly ash[J]. Comprehensive Utilization of Fly Ash, 2010(1): 6-12.
- [5] Dai S, Ren D, Chou C L, et al. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization[J]. International Journal of Coal Geology, 2012, 94(1): 3-21.
- [6] Dai S, Wang X, Zhou Y, et al. Chemical and mineralogical compositions of silicic, mafic, and alkali tonsteins in the late Permian coals from the Songzao coalfield, Chongqing, Southwest China[J]. Chemical Geology, 2011, 282(1-2): 29-44.
- [7] Linak W P, Wendt J O L. Trace metal transformation mechanisms during coal combustion[J]. Fuel Processing Technology, 1994, 39(1): 173-198.
- [8] 赵毅, 赵英. 从粉煤灰中分离镓的实验研究[J]. 华北电力技术, 1998 (1): 35-37.
Zhao Yi, Zhao Ying. Experiment study on the separation of gallium from the fly ash[J]. North China Electric Power Technology, 1998(1): 35-37.
- [9] 许富军, 许诺真. 三段碳酸化法生产金属镓[J]. 河南化工, 2002(10): 21-22.
Xu Fujun, Xu Nuozhen. Production of gallium by the method of three-

- section carbonation[J]. Henan Chemical Industry, 2002(10): 21-22.
- [10] Abisheva Z S, Zagorodnyaya A N. Hydrometallurgy in rare metal production technology in Kazakhstan[J]. Hydrometallurgy, 2002, 63(1): 55-63.
- [11] Kumbasar R A, Tutkun O. Separation and concentration of gallium from acidic leach solutions containing various metal ions by emulsion type of liquid membranes using TOPO as mobile carrier[J]. Hydrometallurgy, 2004, 75(1): 111-121.
- [12] 胡明清. 边界品位的调整与低品位矿石资源的回收[J]. 采矿技术, 2006, 6(3): 594-596.
Hu Mingqing. Recovery and the adjusting of the boundary of low grade ore resources[J]. Mining Technology, 2006, 6(3): 594-596.
- [13] 向永生, 何焕学, 张继林. 低品位矿产资源评价问题研究——以金矿资源为例[J]. 地质与勘探, 2008, 44(3): 79-83.
Xiang Yongsheng, He Huanxue, Zhang Jilin. Issues on evaluation of the low-grade mineral resources, taking the golden resources for example[J]. Geology and Exploration, 2008, 44(3): 79-83.
- [14] 吕理霞. 氧化铝厂镓的回收[J]. 轻金属, 2002(5): 15-17.
Lü Lixia. The recovery of gallium from the alumina smelter[J]. Light Metals, 2002(5): 15-17.
- [15] 谢访友, 郭朋成. 用离子交换法从拜耳工艺溶液中提取镓的工业实践[J]. 湿法冶金, 2001, 20(2): 66-71.
Xie Fangyou, Guo Pengcheng. Extraction process of gallium from Bayer solution by the ion exchange technology[J]. Hydrometallurgy, 2001, 20(2): 66-71.
- [16] 杨马云, 蔡军. 离子交换法回收镓工艺中螯合树脂的研究[J]. 轻金属, 2007(3): 14-16.
Yang Mayun, Cai Jun. Study on ion exchange chelating resin in the process of the gallium recovery[J]. Light Metals, 2007(3): 14-16.
- [17] 徐君镐, 李菁华. 用 Kelex100 由高碱度铝酸钠溶液中萃取镓[J]. 稀有金属, 1994, 18(2): 81-86.
Xu Junhao, Li Jinghua. Extraction of gallium from the high alkali sodium aluminate solution by Kelex100[J]. Rare Metals, 1994, 18(2): 81-86.
- [18] 陈光, 崔崇, 徐锋, 等. 新材料概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013(4): 234-235.
Chen Guang, Cui Chong, Xu Feng, et al. New material science[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2013(4): 234-235.

(责任编辑 韩星明)

·学术动态·



第17届中国科协年会举办科学道德建设论坛

2015年5月22日,由中国科协、教育部、广东省人民政府共同主办,主题为“科学道德和学风建设长效机制建设”的第17届中国科协年会科学道德建设论坛在广州举行。全国政协副主席、中国科协主席韩启德院士出席论坛并致辞,十一届全国政协副主席、中国科协常委会科技工作者道德与权益专委会顾问王志珍院士,中国科协副主席、党组副书记、书记处书记张勤,广东省政协副主席姚志彬出席论坛。教育部科学技术司司长王延觉主持论坛开幕式。

论坛分为上午、下午两个单元。中国科协副主席黄伯云院士、中国疾病预防控制中心副主任高福院士主持第一单元专题报告。国家自然科学基金委主任杨卫院士作“重塑评价体系,加强研究诚信”报告,北京大学副教务长严纯华院士作“研究生的学术规范教育”报告,四川大学校长谢和平院士作“以加强学术诚信建设为引领,筑牢大学道德围墙”的报告,美国 Science 杂志高级编辑 Jelena Stajic 博士作“科学出版的伦理问题”报告,北京协和医院主任医师邱贵兴院士作“学科带头人核心能力构建与培养”报告。

暨南大学校董刘人怀院士、中国原子能科学研究院王乃彦院士主持第二单元专题报告。中山大学副校长马骏教授作“强化学术自律,建立优良学风和学术环境,推动科学道德建设”报告,美国恩波里亚州立大学 John Richard Schrock 教授作“科学出版中浮现的问题”报告,北京大学昌增益教授作“美国对学术不端行为的监管机制:对中国学术道德体系建设的启示”报告,教育部科学技术委员会常务副主任吴常信院士作“建立科研诚信长效机制重在落实”报告,美国 Cell 杂志高级编辑杨晓红宣读了主编 Emilie Marcus“筑起科学信誉的长城”报告。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/16405556.html>。