

# 胶东招平断裂带金矿成矿指示元素特征及找矿应用

徐述平<sup>1</sup> 杨立强<sup>2</sup> 张蜀冀<sup>1</sup> 郭春影<sup>2</sup>

1.武警黄金第二总队 河北 廊坊 065000;

2.中国地质大学 北京 100083

**摘要** 对招平断裂带上的大尹格庄、夏甸、山后、大磨曲家等金矿进行了矿体原生晕测量,分析了 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mo、Hg 等 10 种元素,统计了微量元素含量和相关系数。与金相关的元素中,As 在每个矿床均出现;Ag、Pb、Cu、Sb 在大部分矿床出现;Mo、Bi、Zn 只在个别矿床出现。前缘晕元素 As 是最好的成矿指示元素,可以用 As 的含量结合其他元素异常开展地球化学深部预测。划分了 As、Au 元素强弱异常标准,As 元素含量大于  $4 \times 10^{-6}$  为强异常,  $1.5 \times 10^{-6} \sim 4 \times 10^{-6}$  为中等异常,小于  $1.5 \times 10^{-6}$  为弱异常,金元素含量大于  $35 \times 10^{-9}$  为强异常,  $10 \times 10^{-9} \sim 35 \times 10^{-9}$  为中等异常,小于  $10 \times 10^{-9}$  为弱异常。总结了深部地球化学预测的 3 种准则,经矿区实际验证预测效果较好。

**关键词** 指示元素 金矿 招平断裂带 山东省

中图分类号 P618.51 文献标识码 A 文章编号 1005-2518(2010)05-0007-05

胶东是我国重要的金矿集中区,在胶西北著名的三山岛、新城、招平三条断裂带上发现了一系列大型、特大型金矿床。近年来,随着金矿勘查和研究工作的不断深入,特别是深部勘查技术的研究应用,使普查找矿不断取得突破,焦家金矿深部新探获资源量 103 t,新发现的寺庄金矿规模达到特大型,招平断裂带上的台上、大尹格庄、夏甸、山后等金矿资源量不断增加。

随着找矿向深部拓展,开展矿床深部成矿预测成了摆在地质工作者面前的一项重要使命。美国学者 S.S.亚当斯提出了隐伏矿预测的“资料—过程—准则”,赵鹏大院士在 20 世纪 90 年代提出了地质异常致矿理论,于 2000 年又提出了“三联式”定量预测的新模式,王世教教授提出了综合信息矿产预测理论,陈毓川院士提出了成矿系列理论,翟裕生院士用成矿系统理论,在矿产资源评价预测方面进行了深入的探讨。成矿预测是矿床研究中最不好把握的一项工作,基本上都是通过已知模型或规律来预测未知区域,使预测充满不确定性,而且预测过程繁琐复杂,工作量大。作者多年在野外从事金矿勘查工作,运用地质、地球物理、地球化学综合手段对很多矿床深部进行了预测,主要是详细研究破碎蚀变带的规模、产状、含金性、蚀变特征,沿走向、倾向的矿化、蚀变变化规律,对深部工程系统采集构造原生晕样品,研究微量元素组合及变化规律;运用可控源音频大地电磁测深 CSAMT、大地电磁测深 MT 等大探测深度的物探方法,寻找深部构造的有利成矿部位。特别

是在地球化学预测方面进行了一些探索,总结了招平断裂带大尹格庄、夏甸、山后、大磨曲家等金矿微量元素特征,提取出了成矿预测的主要指示元素,减少了数据处理的工作量,提高了效率,对招平断裂带勘查工作有一定指导意义。

## 1 招平断裂带地质概况

招平断裂是胶西北“S”形断裂中规模最大的一条,是在基底深大断裂的基础上发展起来的一条控矿断裂构造(图 1)。断裂南起平度城北,走向近 EW,至宋格庄逐渐转向,向 NE 延伸,经招远城又转为 NNE 向,经黄城集、蓬莱城以西进入渤海,全长 120 km,宽度一般 50~200 m,断面向南东倾斜,倾角 30~50°左右。断裂自南往北基本上沿荆山群地层、胶东岩群地层与玲珑花岗岩的接触带延伸,至招远城以北切割玲珑花岗岩。

整个主断裂带以脆性变形为主,包括角砾岩、碎裂岩和碎裂状岩石。以稳定的主裂面为中心,上下两盘的构造岩呈带状分布,破碎程度依次递减,下盘的构造岩较上盘发育。热液蚀变主要表现在破碎带的下盘,上盘热液蚀变较微弱。总体上看,从主裂面向下自黄铁绢英岩—绢英岩化碎裂岩—花岗质碎裂岩—碎裂状花岗岩,有依次减弱的趋势。蚀变类型有黄铁绢英岩化、绢英岩化、硅化、钾长石化、碳酸盐化、绿泥石化等,其中黄铁绢英岩化是主要的蚀变,与金矿化关系密切。在下盘发育的宽大的构造岩中产出蚀变岩型金矿床。远离主断裂的下盘,发育有一

收稿日期 2010-09-14,修订日期 2010-09-25。

基金项目:武警黄金指挥部地质勘查科研项目(编号 HJ10-23)资助。

作者简介:徐述平(1965-),男,山东昌邑人,博士,高级工程师,主要从事黄金地质勘查工作,xspyt@163.com

系列的次级控矿构造,如破头青断裂下盘的玲珑金矿田内发育一系列次级断裂裂隙构成控矿帚状构造,控制了诸多石英脉型金矿床。招平断裂是长期多次活动

的结果,总体看,属压剪性为主的左行断裂,控制了玲珑、台上、阜山、大磨曲家、大尹格庄、曹家洼、夏甸、姜家窑、山后、北泊和旧店等一系列金矿床。

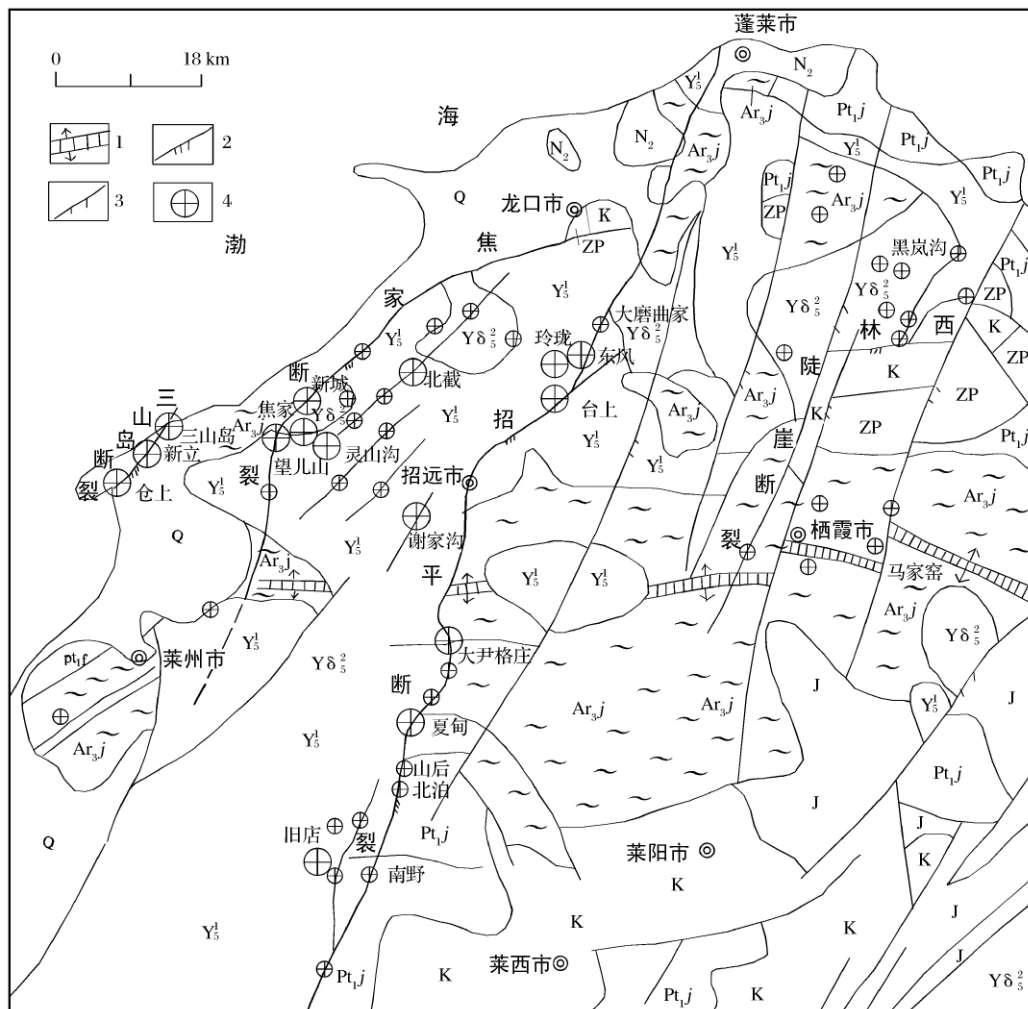


图1 胶东西北部金矿区域地质图

Q-第四系  $N_2$ -新第三系 K-白垩系 J-侏罗系 ZP-蓬莱群  $P_{11}f$ -粉子山群  $P_{11}j$ -荆山群  $A_{r3}j$ -胶东岩群  $\gamma_3^1$ -玲珑花岗岩;  
 $\gamma_6^2$ -郭家岭花岗岩 1.栖霞复背斜轴 2.新华夏系压扭性断裂 3.华夏系压扭性断裂 4.金矿床

## 2 金成矿指示元素确定及预测准则

同一类型或同一矿化带上的金矿床, 金及伴生组分在空间分布上有一定的规律性<sup>[1]</sup>, 查明这种规律有助于深部矿体定位预测。通过研究招平断裂带典型金矿微量元素特征, 确定与金相关的指示元素, 探索整个断裂带地球化学预测准则, 提高预测的效率和准确度, 指导找矿实践。

## 2.1 原生晕样品采取

对招平断裂带上的 4 个矿床,即北部大磨曲家金矿,中部大尹格庄金矿、夏甸金矿,南部山后金矿进行了系统的坑道和钻孔地球化学原生晕样品取样

工作。采样时,采样间距根据剖面长度和矿体厚度确定,一般为 10 m,个别为 5 m 和 20 m。一个样品在采样区间内多点采取,形成组合样以增强代表性。采样介质一般选取矿化或蚀变较好的部位,以强化异常。李惠<sup>[2]</sup>通过对 58 个典型金矿床原生晕轴向分带序列的概率统计,得出了中国金矿床原生晕综合轴向(垂直)分带序列,从上往下是: B-As-Hg-F-Sb-Ba(前缘及上部)→Pb-Ag-Au-Zn-Cu(矿体中部)→W-Bi-Mo-Mn-Ni-Cd-Co-V-Ti(矿体下部及尾晕)。结合胶东金矿地质特征,确定测试 Au、Ag、Cu、Pb、Zn(近矿晕)、As、Sb、Hg(前缘晕)、Bi、Mo(尾晕)共 10 种元素。大尹格庄、夏甸金矿样品由国土资源部廊坊

物化探研究所测试,大磨曲家、山后金矿样品由武警黄金第七支队实验室测试。

## 2.2 金成矿指示元素

含矿地质体中微量元素丰度及其变化是深入认识矿床成因与成矿演化的重要依据<sup>[3]</sup>,也是进行深部矿体预测的基础。为揭示成矿元素金及其伴生元素之间的相关性,对山后、夏甸等金矿破碎蚀变带中微量元素进行相关分析,确定与金相关的指示元素。

(1)大尹格庄金矿成矿指示元素。表1是大尹格庄金矿元素地球化学相关系数矩阵<sup>[4]</sup>。从不同元素间的相关系数看,Au与Ag、Bi的相关系数较高,分别为0.86和0.83,其次为Au-As,相关系数为0.56。

Au-Ag-Bi-As-Pb-Mo是与金矿化密切相关的一组元素组合。

(2)夏甸金矿成矿指示元素。从表2看出,Au与Ag、Pb的相关系数较高,分别为0.84和0.81,其次为Au-Cu,相关系数为0.51。Au-Ag-Pb-Cu-Zn-As是与金矿化密切相关的一组元素组合。

(3)山后金矿成矿指示元素。从表3看出,Au与As、Sb相关,相关系数分别为0.41和0.31,Au-As-Sb是与金矿化密切相关的一组元素组合。

(4)大磨曲家金矿成矿指示元素。表4列出了302号蚀变带微量元素的相关系数,与金相关系数由高到低为Au-Ag(0.53)、Au-Cu(0.38)、Au-As(0.35)、Au-Bi(0.35)、Au-Sb(0.25)。与Au元素正相

表1 大尹格庄矿区元素地球化学相关系数矩阵

	Au	Ag	As	Bi	Cu	Hg	Mo	Pb	Sb	Zn
Au	1.00	0.86	0.56	0.83	0.15	0.02	0.30	0.37	0.15	-0.06
Ag		1.00	0.68	0.95	0.23	0.09	0.05	0.58	0.16	0.05
As			1.00	0.66	0.52	0.32	-0.03	0.56	0.29	0.20
Bi				1.00	0.08	0.08	0.03	0.50	0.09	-0.02
Cu					1.00	0.33	-0.07	0.48	0.26	0.41
Hg						1.00	-0.01	0.45	0.10	0.87
Mo							1.00	-0.06	0.16	-0.04
Pb								1.00	0.34	0.64
Sb									1.00	0.20
Zn										1.00

表2 夏甸金矿微量元素相关系数矩阵

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Hg	Mo
Au	1.00	0.84	0.51	0.81	0.34	0.24	0.08	-0.01	-0.01	-0.01
Ag		1.00	0.39	0.97	0.01	0.01	0.03	-0.01	-0.01	-0.01
Cu			1.00	0.51	0.43	0.39	0.49	0.35	0.12	0.02
Pb				1.00	0.11	0.18	0.07	0.03	0.00	-0.01
Zn					1.00	0.82	0.15	0.15	0.05	0.01
As						1.00	0.02	-0.01	0.00	-0.01
Sb							1.00	0.62	0.58	0.39
Bi								1.00	0.28	0.18
Hg									1.00	0.88
Mo										1.00

表3 山后金矿微量元素相关系数

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	As	Sb	Hg
Au	1.0000	-0.1889	-0.2559	-0.0109	-0.2500	-0.3487	-0.3007	0.4124	0.3079	-0.0041
Ag		1.0000	0.1065	0.4537	0.3303	0.4070	0.0865	-0.4282	0.2032	0.1697
Cu			1.0000	0.1220	0.5760	0.3100	0.1758	-0.3200	-0.3958	0.0771
Pb				1.0000	0.2793	0.4627	0.0204	-0.0833	0.2538	-0.1673
Zn					1.0000	0.0085	-0.0519	-0.1053	-0.0928	0.3538
Mo						1.0000	0.3418	-0.4643	0.3182	0.0974
Bi							1.0000	0.2639	-0.0396	0.1563
As								1.0000	0.2142	0.2462
Sb									1.0000	0.3366
Hg										1.0000

关的元素为 Ag、Cu、As、Bi、Sb、Pb。

从以上几个矿床与金矿化有关的指示元素统计看，指示元素组合为 Au、As、Ag、Pb、Cu、Sb、Mo、Bi、Zn，As 在 4 个矿床中均与 Au 元素相关，Ag、Pb 为 3 个矿床，Cu、Sb 为 2 个矿床，其他元素只在 1 个矿床中与 Au 相关。因此，根据各元素与 Au 的相关性，可以用前缘晕元素 As 的含量来进行矿床深部地球化学预测，但在预测时还要结合其他元素 Au、Ag、Pb、Cu、Sb 异常情况综合考虑。

2.3 金矿体中 As 元素含量统计

表 5 中 3 个矿区平均 As 元素含量  $4.04 \times 10^{-6}$ ~ $5.40 \times 10^{-6}$ ，最大值有 2 个矿区为  $8 \times 10^{-6}$ ，一个矿区为

$20 \times 10^{-6}$ ，最小值  $0.8 \times 10^{-6}$ ~ $1.65 \times 10^{-6}$ ，平均值接近  $1.5 \times 10^{-6}$ 。选取 As 元素含量大于  $4 \times 10^{-6}$  为强异常， $1.5 \times 10^{-6}$ ~ $4 \times 10^{-6}$  为中等异常，小于  $1.5 \times 10^{-6}$  为弱异常。在地球化学预测时金异常是考虑的重要因素，山后金矿破碎蚀变带金异常的范围是：大于  $151.22 \times 10^{-9}$  为强蚀变异常， $12.69 \times 10^{-9}$ ~ $151.22 \times 10^{-9}$  为中等蚀变异常，小于  $12.69 \times 10^{-9}$  为弱蚀变异常。大磨曲家金矿破碎蚀变带金异常的范围是：大于  $84.81 \times 10^{-9}$  为强蚀变异常， $11.23 \times 10^{-9}$ ~ $84.81 \times 10^{-9}$  为中等蚀变异常，小于  $11.23 \times 10^{-9}$  为弱蚀变异常<sup>[5]</sup>。综合考虑，金元素含量大于  $80 \times 10^{-9}$  为强异常， $10 \times 10^{-9}$ ~ $80 \times 10^{-9}$  为中等强度异常，小于  $10 \times 10^{-9}$  为弱异常。

表 4 大磨曲家金矿 302 号脉微量元素相关系数矩阵

	Zn	Ag	Mo	Pb	Cu	As	Sb	Bi	Hg	Au
Zn	1.00	0.28	0.10	0.50	0.31	0.37	0.28	0.18	0.02	0.08
Ag		1.00	0.14	0.36	0.51	0.43	0.23	0.54	-0.01	0.53
Mo			1.00	-0.09	0.15	0.05	0.11	0.14	0.10	-0.02
Pb				1.00	0.26	0.35	0.02	0.43	0.10	0.20
Cu					1.00	0.26	0.29	0.50	0.22	0.38
As						1.00	0.32	0.55	0.21	0.35
Sb							1.00	0.15	0.05	0.25
Bi								1.00	0.48	0.35
Hg									1.00	0.12
Au										1.00

表 5 矿体中 As 元素含量统计 (×10<sup>-6</sup>)

元素	大尹格庄 <sup>[4](55)</sup>			山后(14)			大磨曲家(8)		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
As	4.43	20.2	0.80	4.04	8.62	1.55	5.40	8.40	1.65

注 括号内为工程样品数

2.4 指示元素预测准则

根据前面对 Au、As 等元素的统计分析，确定招平断裂带地球化学指示元素预测准则如下。

(1)当金异常强度较低，小于  $10 \times 10^{-9}$  时，前缘晕元素 As 含量大于  $4 \times 10^{-6}$ ，出现强异常，指示深部可能有矿体存在；相反，前缘晕异常值较低，深部赋存矿体的可能性较小。

(2)当金异常强度中等，介于  $10 \times 10^{-9}$ ~ $80 \times 10^{-9}$  时，前缘晕元素 As 含量大于  $4 \times 10^{-6}$ ，出现强异常，指示深部有矿体存在；前缘晕元素 As 含量介于  $1.5 \times 10^{-6}$ ~ $4 \times 10^{-6}$ ，出现中等强度异常，指示深部可能有矿体赋存，前缘晕异常值较低，深部赋存矿体的可能性较小。

(3)当金异常强度大于  $80 \times 10^{-9}$  时，前缘晕元素 As 含量大于  $4 \times 10^{-6}$ ，出现强异常，指示深部一定有矿体存在，前缘晕元素 As 含量介于  $1.5 \times 10^{-6}$ ~ $4 \times 10^{-6}$ ，出

现中等强度异常，指示深部赋存矿体的可能性较大；前缘晕异常值较低，深部赋存矿体的可能性较小，为上一个矿体的尾部。

以上预测准则还要结合其他近矿晕、尾晕元素的异常强度，以及元素在轴向上的变化规律来综合考虑，才能获得更好的预测效果。

3 找矿预测应用

以山后金矿为例探讨指示元素预测准则的有效性，实践证明该准则简单有效。

1-2 号矿体 18 线 ZK1803 孔金品位只有  $1.04 \times 10^{-6}$ ，仅见到矿化，而 As 元素含量为  $8.62 \times 10^{-6}$ ，为强异常，根据预测准则，指示矿体向下继续延伸，且变富。后来施工的 ZK1804 孔验证了这一点，金品位达到  $8.99 \times 10^{-6}$ 。

1-2 号矿体 22 线、24 线 ZK2201 和 ZK2401 均



未见矿,但它们的As元素含量均为强异常,分别为 $3.79 \times 10^{-6}$ 、 $4.05 \times 10^{-6}$ ,预示深部有矿,后来施工的深部钻孔ZK2402见到工业矿体,金品位 $4.32 \times 10^{-6}$ 。

1-5号矿体102线ZK10201孔未见矿,As元素异常较强,为 $3.77 \times 10^{-6}$ ,金异常为 $30.4 \times 10^{-9}$ ,在深部施工的钻孔见到工业矿体。

#### 参考文献

[1] 郭光裕,林卓虹.脉状金矿床深部大比例尺统计预测理论

与应用[M].北京:冶金工业出版社,2002.

[2] 李惠,张国义,禹斌.金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M].北京:地质出版社,2006.

[3] 邓军,杨立强,刘伟,等.胶东招掖矿集区巨量金质来源和流体成矿效应[J].地质科学,2001,36(3):257-268.

[4] 邓军,房天文,杨立强,等.山东省招远市大尹格庄金矿床多元构造体制叠接与4D矿化网络研究[R].北京:中国地质大学,2005.

[5] 徐述平,邓军,高帮飞,等.胶东山后金矿床地质体微量元素特征及找矿意义[J].地质与勘探,2008,44(5):23-29.

## Metallogenic Indication Element Characteristics and Application of Gold Deposit in Zhaoyuan-Pingdu Fault Zone

XU Shuping<sup>1</sup>, YANG Liqiang<sup>2</sup>, ZHANG Shuji<sup>1</sup>, GUO Chunying<sup>2</sup>

1. The Second Gold General Party of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

**Abstract:** Primary halo investigation has been carried out in Dayingezhuang, Xiadian, Shanhou, Damoqujia gold deposits which hosted in Zhaoyuan-Pingdu fault zone. Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Mo and Hg elements were analyzed. Trace elements contents and their pertinence coefficients were Statistised. All four gold deposits appeared As, most gold deposits appeared Ag, Pb, Cu, Sb, individual gold deposits appeared Mo, Bi, Zn, foreside halo As was the best indication element, we can put up exploration forecast with contents of As and other elements geochemistry abnormality. Abnormality standards of As, Au elements were compartmentalized, more than  $4 \times 10^{-6}$  of As contents were strong abnormality,  $1.5 \times 10^{-6} \sim 4 \times 10^{-6}$  was middling abnormality, less than  $1.5 \times 10^{-6}$  was weak abnormality; More than  $35 \times 10^{-9}$  of Au contents were strong abnormality,  $10 \times 10^{-9} \sim 35 \times 10^{-9}$  were middling abnormality, less than  $10 \times 10^{-9}$  was weak abnormality. Three rules of geochemistry forecast for deposits depth were summarized, these rules had preferably forecast effect through validating.

**Key words:** Indication elements, Gold deposits, Zhaoyuan-Pingdu fault zone, Shandong Province

### 王淀佐院士获国际矿物加工大会 终身成就奖

中国科学院和中国工程院两院院士、知名矿物加工与冶金专家王淀佐于2010年9月8日荣获国际矿物加工大会终身成就奖,成为首位获得该奖的中国科学家。

第25届国际矿物加工大会于2010年9月6~10日在澳大利亚布里斯班举行,在8日晚的会议上,大会按照惯例颁发了终身成就奖,中国工程院原副院长王淀佐教授和来自澳大利亚的国际矿物加工领域著名专家Alban Lynch教授一道,荣获国际矿物加工大会终身成就奖。该奖旨在奖励在世界范围内为矿物加工业做出杰出贡献的科学家,之前总共有

6位科学家获此殊荣。

76岁的王淀佐院士多年从事科研、教学和管理工作,主要研究方向有:矿物与材料加工药剂的分子设计和应用表面化学;矿物与材料加工过程溶液化学;矿物浮选电化学和硫化矿电位调控浮选技术;有色金属矿生物湿法冶金;铝土矿的浮选脱硅和有效利用;固体颗粒的相互作用和细粒技术;纳米结构矿物-聚合物复合材料;稀土金属的提取和分离精制。在矿物浮选和浮选化学、浮选药剂研究中有系统的创新性成果。

他于1991年、1994年先后当选为中国科学院院士和中国工程院院士;1990年当选美国工程院外籍;2006年当选俄罗斯科学院外籍院士。