

文章编号: 0253-9993(2010)02-0236-05

煤中金的地球化学研究进展

王文峰 秦 勇 桑树勋 王钧漪 王 冉

(中国矿业大学 资源与地球科学学院 江苏 徐州 221008)

摘 要: 对煤中金的国内外研究现状进行了综述,详细讨论了煤中金的分布规律、赋存状态与富集成因。世界范围内绝大多数煤中金的丰度较低,只有局部煤中金的含量异常,特别是在周围有金矿点或富金岩层的煤层中才有富金可能。含有较多金矿点的黔西南区煤中金的平均含量要明显高于黔北煤,具有成矿潜力。低温热液成因的硫化物(主要是黄铁矿)、石英和方解石脉可能是金的主要载体,腐植酸与黏土矿物的吸附也是煤中金的重要赋存方式。对任一金矿床来说,可能由多种地质因素引起金的富集沉淀,其中有机质、低温热液作用、纳米金的气相迁移以及矿物表面特性可能是煤中金富集的主要因素。

关键词: 煤; 金; 地球化学; 丰度

中图分类号: P61 **文献标志码:** A

Advances in geochemical research on gold in coal

WANG Wen-feng, QIN Yong, SANG Shu-xun, WANG Jun-yi, WANG Ran

(School of Resources & Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Current studies on gold in coal in world were introduced and the distribution, occurrence and accumulation causes of gold in coal were discussed in detail. Gold has a lower abundance in most coals throughout the world. However, anomalous gold content was found in some coals, particularly in the coal seams framed by gold mines or Au-specialized rocks and these seams were regarded as the most promising for gold accumulation. Gold has an obviously higher content in coals from Southwestern Guizhou Province containing many gold deposits than in coals from the North, possessing an ore-forming potential. Sulfide (mainly pyrite), quartz and carbonate veins affected by low-temperature hydrotherm should be the main carriers of gold in coal. Additionally, gold is absorbed by humic acid and clay minerals, which are also important modes of occurrence of gold in coal. For any gold deposit, there exist many geological factors resulting in the gold accumulation, of which the organic matter, the low-temperature hydrothermal process, the migration of nano-gold in gas phases and the surface behaviour of minerals are likely to be the most effective factors for gold accumulation in coal.

Key words: coal; gold; geochemistry; abundance

诸多研究认为金矿床与有机质成因关系密切,并在炭质页岩、煤、干酪根、沥青、油母岩中发现有异常富集的 Au。我国西南巨型低温成矿域中发育较多的 Hg、As、Sb、Au、Tl 等矿床,主要赋存于龙潭组等含煤岩系中。显然这些稀散金属在化石燃料层系中富集成矿,有机质起了重要作用。金矿体上方收集的气体

中存在金含量异常,甚至天然气中也有金异常显示,可见自然界中金可以呈气相存在^[1]。滇黔桂金三角区赋存于沉积岩中的微细浸染型金矿床,常为 Au-Hg-Sb-As-Tl 低温矿化组合,为什么卡林型金矿中存在这样特殊的元素组合?显然,这几种金属都是在较低温度条件下能气化的元素。我国西南地区的

一些煤烟型地方病也与煤中高异常的 As、F、Se、Hg 等元素有关^[2]。黔西的高砷煤区经常见金矿床(点)的产出,甚至有伴生的现象^[3]。已有零星研究显现黔西煤中 Au 含量的高异常^[3-4],故可判断 As、F、Hg、Au 在黔西煤中富集成因上具有同源性,这些多种能源矿产共存于同一盆地(构造背景),对其演化的时空过程应进行整体研究,即有机与无机、金属和非金属能源矿产同盆地怎样共存这一核心科学问题。

1 研究现状

1.1 煤中金的丰度

地壳中金极其分散,其丰度为 1.0~3.5 ng/g,沉积岩(黏土岩和页岩)中金丰度是 1.0 ng/g^[5]。据统计,世界范围内绝大多数褐煤中金含量多在 0.1~2.2 ng/g 之间^[6],煤与煤灰中的金平均含量为 3.7 与 22.0 ng/g^[7]。迄今为止世界上有 15 个国家的大约 100 个煤田(矿)中金含量异常(煤灰中 >0.2 μg/g)^[8],如美国、德国、英国、乌克兰、塔吉克斯坦等国的局部地区,煤/煤灰中含金量达 0.18~17.00 μg/g^[5]。煤中 Au 含量异常报道较多的国家是俄罗斯, Seredin 等^[9]对此发表总结性文章。俄罗斯的乌拉尔、阿穆尔河(黑龙江)上游、远东地区一些煤/煤灰中含金量达 0.1~100.0 μg/g,甚至发现有超过毫米级的明金^[9-10]。不同于黑色页岩中的成矿作用,煤中金作为资源可以从煤的副产品与燃烧产物中提取,因此煤中 Au 含量超过 50 ng/g 就可以作为金矿石^[8],如俄罗斯乌拉尔地区的 Reftinsk 电厂已经从燃煤灰渣(金平均含量为 0.1~0.2 μg/g)中提取金。

国内对煤中金的研究不多^[2,5],煤中金含量多在 0.2~6.0 ng/g 之间^[5],少数煤样达 10~50 ng/g,如内蒙古平庄盆地煤系^[11]与福建永定早二叠世煤^[2]。金含量超过 50 ng/g 的主要为黔西南煤^[2-3]。聂爱国等^[3]讨论了黔西南高砷煤与金矿的成因联系,认为与非矿化区的煤相比,金矿化区煤明显富集 Au,含量为 0.95 μg/g,接近其工业边界品位 1 μg/g。Belkin 等^[4]与 Ding 等^[12]也得出类似结论:所研究煤样中多数金含量大于 100 ng/g,最高 570 ng/g。据报道,采自西南地区的 97 件煤样中 Au 含量的算术均值为 29.6 ng/g,最高为 366.1 ng/g^[2]。笔者最近对采至黔北与黔西南的电厂煤灰、煤层以及煤系岩石样(151 件)进行了中子活化分析,发现 Au 含量最高 1 621 ng/g,算术均值为 23.7 ng/g,而且靠近金矿点的黔西南煤样中金含量要明显高于黔北煤样,煤中裂隙充填的黄铁矿含金量较高(接近 0.1%,电子探针分析)。这说明黔西南煤有富金潜力,黄铁矿可能是

金的富集载体,但金的分布是极不均匀的,周围有金矿点的煤层才有富金可能。

1.2 煤中金的赋存

煤中金的存在方式主要有 4 种:分散状自然金,存在于硫化物矿物内,被黏土矿物吸附,成为有机化合物^[8]。Arbuzov 等^[10]研究了西西伯利亚东南地区褐煤与泥炭中的金,认为 95% 的金与有机质结合在一起,主要存在于腐植酸与木质素中,而沥青、水溶、水解物质中金含量不到总金量的 1%。煤中金也富集在矿物中,如俄罗斯某地泥炭中的自然金微颗粒是联系硫化物、硫酸盐、碳酸盐矿物^[9];金也可以碲化物赋存^[13]。Chyi^[14]发现美国肯塔基西部石炭纪煤中金与溴、钾和钠共生,推测金可能以卤素络合物的形式进入煤层被吸附或俘获。前苏联某矿区(有大断裂存在)褐煤中金与石英关系密切,推测深部含矿溶液将金与石英带入煤层^[5]。多数研究显示^[2,5],煤中硫化物(特别是黄铁矿)是金的主要载体,由于金来自于热液流体,因此,热液成因或受热液改造的黄铁矿中含金总体较多,特别是含砷黄铁矿。

1.3 煤中金的富集成因

尽管金在地壳中极分散,但特殊的地球化学条件和多种地质作用能使金从矿源层中迁移出来形成各种类型矿床金。Seredin^[8]总结了煤与泥炭中 Au 等贵金属含量异常的成因类型有宇宙、火山、冲积(包括陆源碎屑与化学离子)、渗滤、流体成因(包括同生、成岩与后生)等,并认为无论成因类型,含煤盆地中贵金属含量异常的盆地周围一般都包含贵金属的岩石,如:黑色页岩、超基性火成岩或含有这些岩石的基底。煤中金富集主要与下列因素有关。

(1) 低温热液作用。金的络合能力很强,它能与许多无机和有机配位体结合形成络合物或螯合物,以增加其溶解迁移能力。研究表明:Si 与 Au 在低温(200℃)Au-HCl-SiO₂体系中有明显的络合作用;在有氯化物存在的热液系统中 Au 也可呈 AuCl、AuCl₃形式迁移,当溶液中缺乏 Cl⁻、SO₄²⁻时,含有 HCO₃⁻的偏中性溶液可以溶解部分金,并随碳酸盐沉淀,因而能形成浸染型卡林型金矿或含金碳酸盐、石英脉。此外,金在 150~300℃时可溶解于 H₂SeO₄溶液中,常温下可溶解于 H₂SeO₄、H₂TeO₄与 H₂SO₄的混合溶液中^[15],这可能是在中、低温热液金矿床中,金的碲化物与硒化物共生的原因。

(2) 有机质。有机质对金的迁移、沉淀及赋存状态均有重大影响。有些生物体对金有异常的吸附能力,如生长在富金地区的植物灰中含金量增多,马尾藻吸收金元素,最多可达细胞干重的 42%。研究表

明,蓝藻纲的颤藻及色球藻在海水中能够数千倍甚至数万倍的富集 Au^[16],如在南非威特沃特斯兰德,由古蓝藻群落堆积而成的油母岩中发现大量的 Au 沉淀。含金软丝藻在转变沉积有机质的低成熟阶段,99.8% 以上的金赋存在类干酪根中^[17],甚至原油可作为金运移的载体。腐植酸对金离子具有强烈的结合能力^[18];可溶性富啡酸不仅可以从矿石中萃取 Au,而且可溶解 Au、Ag,在酸性条件下,沉淀的凝胶状胡敏酸对 Au、Ag 具有强烈的吸附作用。有机质对活化 Au(Ⅲ)的还原作用常被认为是 Au 沉淀的机制,Au 与有机碳的相关性以及 Au 在富有机质沉积层的热液脉体围岩附近优先富集均有力地说明这一点^[19]。Gatellier 等^[20]基于实验证实 Au(Ⅲ)的络合物能被成熟褐煤强烈还原,甚至在室温下也会使 Au 发生快速沉淀。据报道^[15],美国内华达州卡林热液金矿床就是由于成矿溶液中金被围岩中的有机质吸附或络合而富集成矿的;黔西南诸多金矿床的碳质物(干酪根)含金量高达 129 ~ 411 $\mu\text{g/g}$ ^[21],均表明有机质参与了金的低温热液成矿作用,但这种作用是多阶段的,形式也是多种多样的,包括络合、表面吸附和阳离子交换作用。

(3) 纳米效应。纳米尺度金属比表面积大,低熔点、低沸点、强扩散性使其地球化学活性增强。宏观块体金的熔点为 1 055 $^{\circ}\text{C}$,而纳米微粒金的熔点仅 327 $^{\circ}\text{C}$,易于在低温热液中迁移。纳米微粒的制备通常用高压蒸气法,在地质作用中有类似的过程,如墨西哥 Colima 火山喷出的高温火山气的沉积物中存在微米级自然金^[22];李景春等^[23]统计了国内绝大数含金建造的形成均有火山活动的参与。已有研究证实地气物质是纳米微粒形式迁移的,其主要成分就含有 Au^[24]。粗粒金矿中的可见金也是从微粒金长大而成的,如把含金量高但未见可见金的光片在真空中持续加热 5 h(350 $^{\circ}\text{C}$),主要矿物未发生分解或氧化,但在显微镜下观察到有可见金出现(粒度为 1 ~ 10 μm),显然加热使金发生了归并^[25],表明低温热液作用能完成金的活化、迁移和富集。因此纳米金的迁移聚集对金的成矿作用具有重要意义。多数研究发现,在卡林型或微细浸染型金矿中存在大量纳米金,章振根等^[26]应用纳米效应对此进行了探讨,并在黔西南金矿中检测到粒度为 7 nm 到几十个纳米的自然金,并提出纳米矿床学概念。

(4) 矿物表面特性。成矿环境表面化学在 Au 与硫化物共沉淀中起重要作用,硫化物胶体可能是 Au 极其有效的吸附剂。Renders 等^[27]认为,在 90 $^{\circ}\text{C}$ 以及一定的 pH 值范围内,胶态 As_2S_3 和 Sb_2S_3 可将 Au

(呈 AuHS) 从溶液中定量地吸附出来,并赋存在带电胶体表面,而且矿物(如黄铁矿)表面对 Au 的络合物吸附及随后的还原作用对 Au 沉淀也具重要作用。石英、硫化物,特别是黄铁矿,其晶体表面金颗粒赋存归因于黄铁矿混合的 n-P 型和 P 型导电性以及物理/化学上的缺陷(如晶体边缘、生长台阶、断面、溶蚀坑等)部位金的点成核作用^[28]。由于纳米金通常带有负电荷,遇带正电荷的矿物,它将被吸附而沉淀,因而,金能富集在黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和 α -石英等极性矿物中,这些都是金矿床中常见的载金矿物。金也可被黏土矿物吸附,但酸、碱性黏土吸附金的能力不一样,碱性黏土吸附力强,在有机碳的还原作用下,起了聚金剂的作用^[11]。Gayer 等^[29]认为,英国南威尔士煤中 Au 含量与灰分无关,而随着煤的显微干缩裂纹增加而增高,一些小于 100 μm 的胶态 Au 矿物附着在裂隙表面,据分析,Au 是在裂隙中的石英、碳酸盐和黏土矿物沉积后,在小于 100 $^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下沉淀的。

2 现存不足与研究趋势

同盆地各类能源矿产的内在成因联系研究不足。与煤共生的金属矿床、有机质与成矿金属元素的成因联系、聚煤盆地的各期次演化与成矿作用的关系研究均极少;天然有机质与金直接相互作用并形成稳定的含金化合物进而导致金的沉淀富集,其作用机理仍不十分清楚。就化石燃料来说,大多报道的均是泥炭与褐煤中富集金,高煤级煤较少富金,金在煤变质过程中的迁移机理也值得探讨;金在载体矿物中的赋存形式还存在争论。金是否能呈负一价的阴离子替代矿物晶格中的硫,金在矿物中是以晶格金还是以纳米金存在,还不清楚;尽管有研究显示,地壳内存在的上升气流将非气态元素以纳米微粒形式垂直迁移至地表,但自然界中金属物质(包括金)是否以纳米单质呈气相形式迁移并富集成矿,其气相迁移与有机质演化生烃之间是否有相互催化关系,尚待研究;黔西南煤中金具有成矿潜力,但相关研究尤显不足。多数研究认为,黔西南金的成矿作用与有机质有关,但成矿作用是否一定与煤层有关、还是与下伏可能存在的油气有关?黔西南金矿石的干酪根中金含量甚高,此干酪根是 I 型,还是 II 型?夏勇^[21]对黔西南水银洞特大型层控卡林型金矿床研究,成矿流体具有低温低盐度和较高压力与富挥发份的特点,在一流体包裹体中 CH_4 体积分数高达 63%, N_2 为 18%, CO_2 为 19%,其成分比类似矿井瓦斯风化带的第三带(从上而下),这些气体来自煤层、油气还是来自地球深部,还有待

深入研究。

3 结 论

有机质对金的成矿作用有重要的影响,煤中金等贵金属元素的研究具有重要的理论与实际意义,然而世界范围内绝大多数煤中金的丰度较低,只有局部煤中金的含量异常,特别是在周围有金矿点或富金岩石的煤层中才有富金可能。前人以及笔者的初步研究均显示黔西南煤中金具有成矿潜力,含有较多金矿点的黔西南区煤中金的平均含量要明显高于黔北煤。煤中低温热液成因的硫化物(主要是黄铁矿)、石英和方解石脉可能是金的主要载体,腐植酸与黏土矿物的吸附也是煤中金的重要赋存方式。对任一金矿床来说,可能因多种因素引起金的富集沉淀,其中有机质、低温热液作用、纳米金的气相迁移以及矿物表面特性可能是煤中金富集的主要因素。煤中金的地球化学研究虽已取得了一定的进展,但仍存在一些尚待解决的课题,这也是今后本领域研究的重要内容。

参考文献:

- [1] 李九玲, 齐 锋, 李 铮, 等. 金在气相中迁移与有机质演化生烃关系的实验研究[J]. 地学前缘, 2004, 11(2): 413–423.
Li Jiuling, Qi Feng, Li Zheng, et al. An experimental study on the migration of gold in gas phase related to hydrocarbon gases produced by the evolution of organic matter [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(2): 413–423.
- [2] 任德怡, 赵峰华, 代世峰, 等. 煤的微量元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Ren Deyi, Zhao Fenghua, Dai Shifeng, et al. Geochemistry of trace elements in coal [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [3] 聂爱国, 黄志勇, 谢 宏. 黔西南地区高砷煤与金矿的成因研究[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2006, 21(3): 21–25.
Nie Aiguo, Huang Zhiyong, Xie Hong. Research on origin between high-As coal and gold deposit in southwestern area of Guizhou Province [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2006, 21(3): 21–25.
- [4] Belkin H E, Zheng B S, Zhou D X, et al. Preliminary results on the geochemistry and mineralogy of arsenic mineralized coals from endemic arsenosis areas in Guizhou Province, P R China [A]. 14th Annual International Pittsburgh Coal Conference & Workshop [C]. Taiyuan: 1997: 23–27.
- [5] 唐修义, 黄文辉. 中国煤中微量元素[M]. 北京: 商务印书馆, 2004.
Tang Xiuyi, Huang Wenhui. Trace elements in coal of China [M]. Beijing: Commercial Press, 2004.
- [6] Bouška V, Pešek J. Quality parameters of lignite of the North Bohemian basin in the Czech Republic in comparison with the world average lignite [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40(2–3): 211–235.
- [7] Ketris M P, Yudovich Ya E. Estimations of clarkes for carbonaceous biolithes: world averages for trace element contents in black shales and coals [J]. International Journal of Coal Geology, 2009, 78(2): 135–148.
- [8] Seredin V V. Distribution and formation conditions of noble metal mineralization in coal-bearing basins [J]. Geology of Ore Deposits, 2007, 49(1): 3–36.
- [9] Seredin V V, Finkelman R B. Metalliferous coals: a review of the main genetic and geochemical types [J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 76(4): 253–289.
- [10] Arbuzov S I, Rikhvanov L P, Maslov S G, et al. Anomalous gold content in brown coal and peat in the south-eastern region of Western Siberian Platform [J]. International Journal of Coal Geology, 2006, 68(3–4): 127–134.
- [11] 温显端, 李宝芳, 郑清文. 内蒙平庄盆地煤系金的探索[J]. 现代地质, 1993, 7(3): 346–355.
Wen Xianduan, Li Baofang, Zheng Qingwen. Research on gold in coal formation in Pingzhuang Basin, Inner Mongolia [J]. Geoscience, 1993, 7(3): 346–355.
- [12] Ding Z H, Zheng B S, Long J P, et al. Geological and geochemical characteristics of high arsenic coals from endemic arsenosis areas in Southwestern Guizhou Province, China [J]. Applied Geochemistry, 2001, 16: 1353–1360.
- [13] Finkelman R B. The inorganic geochemistry of coal: a scanning electron microscope view [J]. Scanning Microscopy, 1988, 2(1): 97–105.
- [14] Chyi L L. The distribution of gold and platinum in bituminous coal [J]. Economic Geology, 1982, 77: 1592–1597.
- [15] 王剑锋, 周振冬, 邓 斌. 金的迁移形式和沉淀富集机理及赋存状态[J]. 矿物岩石, 1985(3): 68–75.
Wang Jianfeng, Zhou Zhendong, Deng Bin. The form of migration, mechanism of deposition and existence states of gold [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1985(3): 68–75.
- [16] 张景荣, 朱法华. 蓝藻富集金的模拟实验及其地质意义[J]. 地球化学, 1993(1): 61–67.
Zhang Jingrong, Zhu Fahua. Simulating experiments on the process of accumulation of gold by blue algae [J]. Geochimica, 1993(1): 61–67.
- [17] Xie Shucheng, Yin Hongfu, Wang Hongmei, et al. Experimental study of gold distribution in the algae-organic matter–fluid system [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(9): 1640–1643.
- [18] 卢家烂, 庄汉平. 有机质在金银低温成矿作用中的实验研究[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 172–180.
Lu Jialan, Zhuang Hanping. Experimental studies on role of organic matter during mineralization of gold and silver at low temperatures [J]. Geochimica, 1996, 25(2): 172–180.
- [19] Disnar J R, Sureau J F. Organic matter in ore genesis: progress and perspectives [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16: 577–599.
- [20] Gatellier J P, Disnar J R. Kinetics and mechanisms of the reduction of Au(III) to Au(0) by sedimentary organic materials [J]. Organic Geochemistry, 1990, 16: 631–640.
- [21] 夏 勇. 贵州贞丰县水银洞金矿床成矿特征和金的超常富集机制研究[D]. 广州: 中国科学院地球化学研究所, 2005.
Xia Yong. Characteristics and model for Shuiyindong gold deposit in

Southwestern Guizhou Province ,China [D]. Guangzhou: Institute of Geochemistry ,Chinese Academy of Sciences 2005.

[22] Taran A ,Bernard A ,Gavilanes J C ,et al. Native gold in mineral precipitates from high-temperature volcanic gases of Colima Volcano , Mexico [J]. Applied Geochemistry 2000 ,15: 337 – 346.

[23] 李景春. 金在热液流体中存在形式的讨论 “纳米效应”在成矿理论中的应用 [J]. 贵金属地质 ,1995(4) : 306 – 310.

Li Jingchun. A discussion on the being formal of gold in hydrothermal fluid [J]. Journal of Precious Metallic Geology ,1995(4) : 306 – 310.

[24] Tong Chunhan ,Li Juchu ,Ge Liangquan ,et al. Experimental observation of the nano-scale particles in geogas matters and its geological significance [J]. Science in China (Series D) ,1998 43(1) : 325 – 329.

[25] 范国传 ,廖香俊. 金矿床中超显微金的判定方法及其伴生碲矿物的研究 [J]. 贵金属地质 ,1988(1/2) : 363 – 368.

Fan Guochuan ,Liao Xiangjun. The methods to identify submicroscopic gold in gold deposits and research on Te ,Bi minerals [J]. Geology of Noble Metals ,1988(1/2) : 363 – 368.

[26] 章振根 ,姜泽春. 纳米矿床学——一门有前途的新科学 [J]. 矿产与地质 ,1993 7(3) : 161 – 165.

Zhang Zhenggen ,Jiang Zechun. Nano-level ore deposit research: a new promising branch of geoscience [J]. Mineral Resources and Geology ,1993 7(3) : 161 – 165.

[27] Renders P J ,Seward T M. The adsorption of this gold(I) complexes by amorphous As₂S₃ and Sb₂S₃ at 25 °C and 90 °C [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta ,1989 53: 245 – 253.

[28] 汪东波. 金从热液中沉淀的机制 [J]. 有色金属矿产与勘查 ,1998 7(5) : 257 – 261.

Wang Dongbo. The deposition mechanism of gold from hydrothermal solution [J]. Geological Exploration for Non-Ferrous Metals ,1998 ,7(5) : 257 – 261.

[29] Gayer R ,Rickard D. Colloform gold in coal from Southern Wales [J]. Geology ,1994 22 (1) : 35 – 38.

煤炭行业 9 个项目获得 2009 年度国家科学技术进步奖二等奖

项目名称	主要完成人	主要完成单位
基于科技资源整合模式的煤炭开发利用技术创新工程		神华集团有限责任公司
高效洁净煤制甲醇与联合循环集成系统的研发和示范	肖云汉 ,耿加怀 ,王 信 等	兖矿集团有限公司 ,中国科学院工程热物理研究所
深井煤与瓦斯突出煤层区域性瓦斯灾害防治关键技术及应用	程远平 ,李 伟 ,胡千庭 等	淮北矿业(集团) 有限责任公司 ,中国矿业大学 ,煤炭科学研究总院重庆研究院 等
低透气性煤层群无煤柱煤与瓦斯共采关键技术	袁 亮 ,张 农 ,卢 平 等	煤矿瓦斯治理国家工程研究中心 ,淮南矿业(集团) 有限责任公司 ,安徽建筑工业学院 等
年产 600 万 t 大采高综采成套技术与装备	宁 宇 ,王金力 ,王国法 等	煤炭科学研究总院 ,中国神华能源股份有限公司 ,天地科技股份有限公司 等
600 m 特厚表土层冻结法凿井关键技术	杨维好 ,蒲耀年 ,李功洲 等	中国矿业大学 ,中煤第一建设公司 ,煤炭科学研究总院北京建井研究所 等
自动化放顶煤关键技术与装备研发及其在国内外的应用	金 太 ,黄福昌 ,王国法 等	兖矿集团有限公司 ,天地科技股份有限公司 ,兖州煤业股份有限公司
两淮矿区复杂地层条件下深大井筒特殊法凿井关键技术与应用	刘 谊 ,程 桦 ,赵时运 等	国投新集能源股份有限公司 ,中煤特殊凿井(集团) 有限责任公司 ,安徽理工大学 等
矿山大功率高性能电力传动关键技术与应用	谭国俊 ,何晓群 ,刘建功 等	中国矿业大学 ,开滦(集团) 有限责任公司 ,邯郸矿业集团有限公司 等

摘自“煤炭网”