

保证国家资源安全的矿产资源基础研究思考

赵振华

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

[摘 要] 战略性矿产资源的基础研究是建立国家安全体系的关键之一。应加强成矿动力学研究, 努力开拓成矿地球化学动力学新领域, 注意发现矿床新类型, 挖掘空白区、矿集区找矿潜力, 加强深部找矿和成矿域、带研究, 实施资源环境一体化, 尽快建立我国矿产资源基础研究创新体系。

[关键词] 国家资源安全 矿产资源基地 成矿动力学 矿床地球化学

[中图分类号] P96 [文献标识码] A [文章编号] 0495 - 5331(2002)02 - 0006 - 05

1 实施可持续发展, 矿产资源面临严峻挑战

人口、资源、环境是制约可持续发展的重大因素。我国已发现 171 种矿产, 探明储量的矿产 155 种。矿产资源的成功开发对我国工业体系的建立和发展发挥了巨大作用, 以矿业为主导产业的城镇已达 300 多座, 矿业职工约 2000 万人, 矿产采掘、加工业约占我国国民经济总产值的 17%。然而, 我国矿产资源面临庞大的人口和国民经济快速发展的巨大压力, 虽然我国矿产资源潜在价值居世界第三位, 但按人口平均, 即人均占有的矿产资源储量退居世界第 80 位, 仅为世界人均水平的 1/3, 不足美国的 1/10。改革开放以来, 我国矿产资源对国际市场的依赖程度已高达 20%。按现在的发展速度预测, 未来 10 年中 2/3 主要矿种不能满足需要, 15 种支柱性大宗矿产将有一半缺口。到 2020 年, 我国国民经济对多种矿产的需求将增加一倍, 对大多数矿产品需求量将超过美国而居世界第一。我国后备矿产资源匮乏的严峻形势, 将严重制约我国第二、三步发展战略的实现和经济、社会的可持续发展。

2 加强重要战略矿产资源基地的基础研究 是建立其安全供应体系的关键之一

面对矿产资源严峻形势的挑战, 除实施利用两种资源、两个市场和矿产资源储备(战略储备、经济安全储备、市场安全储备); 建立资源节约型经济, 有效保护与合理开发利用矿产资源等政策和措施外,

还应加强有关矿产资源的形成规律和找矿的基础研究。“九五”计划实施以来, 国家在攀登计划和重点基础研究规划方面已设立或将设立若干个有关矿产资源重大基础问题的研究项目。笔者认为, 已立项的几个项目, 就“建立战略性矿产资源储备和安全供应体系”这个国家目标而言是远远不够的, 因为它们仅涉及了有关矿产资源的共性问题及形成分布问题。在目前形势下, 非常必要立足于保障国家资源安全, 重点抓几个关系我国经济发展的战略性资源的基础问题立项研究, 其总题目拟为“重要战略矿产资源基地的基础研究”, 项目目标定位在几种紧缺的、战略性矿产资源, 紧紧针对这几种矿产资源, 突出重点, 抓几个有关的重大基础问题。其重点研究内容建议如下:

1) 能源矿产资源: 除石油天然气外, 应重点抓天然气水合物(Gas hydrates)和可地浸式铀矿。天然气水合物被誉为 21 世纪的新能源, 储量巨大, 是油气的接替能源。我国南海已发现天然气水合物的重要地球物理标志“BSR”(似海底反射层), 预测其资源量可达 60~70 万亿 m^3 , 东海的冲绳海槽也有显示。因此, 应尽快开展有关天然气水合物形成、分布理论的地质、地球化学基础研究。

可地浸式砂岩铀矿, 特别要重视中新生代沉积盆地、油、铀共生和上油下铀等重要特征, 有可能形成双能源基地。

2) 固体战略矿产资源: 重点是铜、铂族、钾盐、金刚石等大—超大型矿床的基础研究。

[收稿日期] 2001 - 11 - 20; [修订日期] 2001 - 12 - 01; [责任编辑] 余大良。

[基金项目] 国家攀登计划预选项目(95 - 预 - 25)和中国科学院院长基金特别支持项目和知识创新工程(KZCX2 - 102)资助。

[作者简介] 赵振华(1941 年 -), 男, 研究员(博士生导师), 地球化学专业, 主要从事元素地球化学和矿床地球化学研究。

铜:大型矿集区斑岩型、层控型矿床基础研究;

铂族:黑色岩系及层状超基性岩中铂族分布、富集的基础研究;超大型斑岩铜矿中伴生铂族(特别是Ir)的研究(如阿尔马雷克型),铂族的经济效益有可能超过主成矿元素铜;

钾盐:除传统类型外,重点开拓油田中钾盐及富钾或超钾岩石[火成岩(有的火山岩 K_2O 可达13%)、沉积岩]的分布及提取技术研究;

金刚石:开拓新类型,如哈萨克斯坦在高压变质岩中找到储量巨大(30亿克拉)的金刚石矿床(可克他切夫金刚石矿床),我国应在变质或高压变质岩(如大别—秦岭—阿尔金—西天山这一东西向超高压变质带)中开展金刚石形成潜力的研究。

3 建立我国矿产资源基础研究创新体系

自建设我国知识创新体系以来,在地球科学领域中,中国科学院、国家重点大学和国土资源部等相继建立了一批国家级和部级重点实验室、重点地球科学学科中心,例如高灵敏高分辨率离子探针国家中心(SHRIMP)、激光探针多接受等离子体质谱(LM-ICPMS)国家中心等,一批新一代固体和气体质谱仪也先后在一些重点实验室投入使用,可以实现微区、原位的高精度同位素组成和微量元素含量分析,为新世纪我国地球科学的飞跃发展奠定了物质基础。我们除应加强协作、提高效率、建立全国性地球物质分析测试网络外,还应积极开拓新领域,努力建设我国矿产资源研究的创新体系。根据地球科学的前缘发展,在矿产资源研究上应积极开展成矿动力学方面研究。

成矿动力学(Ore-forming dynamics)研究:动力学是指一个系统的性能是怎样随时间变化的,因此,不能孤立地研究矿床,必须把矿床置于地球复杂巨系统的动力学系统中,对矿床形成的全过程(包括形成前、后)进行系统研究,它主要包括两部分:

1)成矿的地球动力学(Ore-forming geodynamics),这是指成矿的宏观背景,当前主要是应用大陆动力学,特别是化学地球动力学的理论和方法,研究成矿作用和成矿过程的地球动力学背景,其主要内容包括:

(1)成矿演化:成矿的时控性和暴发成矿,后者指某一元素在一定地质时期之前几乎不成矿,之后突然成矿,且常形成超大型矿床,典型的如铅、稀土矿床;(2)重大地质事件与成矿:古大陆裂解;白垩纪重大事件;海平面变化;缺氧事件等;(3)地壳增生

与成矿:水平增生;垂向增生;岩石圈拆沉;地幔柱活动;壳幔相互作用等;(4)岩石圈地球化学边界时空结构:岩石圈地球化学边界与构造关系;与重力场关系;地幔的亏损与富集;(5)地球物理场与矿床分布:层析技术在矿床学中的应用;地热场、重力场、磁场等的特点。

2)成矿地球化学动力学(Ore-forming geochemical kinetics),主要指成矿的微观背景及条件,如成矿温度、压力、氧逸度、流体成份等。

在这方面,除应大力开展成岩、成矿同位素精确定年外,成矿物质来源的同位素示踪研究也是最受关注和发展迅速的领域。目前已建立的以同位素和微量元素示踪研究方法,多为间接法,即为与成矿元素相关的元素,例如S, Rb-Sr, Pb, Sm-Nd, O, H, C等同位素组成,根据这些元素的同位素组成特点探讨成矿物质来源。值得注意的是,近年来相继开拓了与成矿关系更为密切的元素如Cl同位素,以及成矿元素本身如Cu的同位素组成研究。

(1)Cu同位素组成:Cu是重要的成矿元素,由两个同位素组成: ^{63}Cu 69.09%, ^{65}Cu 30.91%。最早对自然界Cu同位素研究的是Walker(1958)和Shields等(1965)。近年来,多接收等离子体质谱(MC-ICPMS)的发展使得Cu同位素精确测定成为现实, Marechal等(1998, 1999), O'Nions等(1998), Zhu等(2000)对Cu同位素组成测定是选用 $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$ 比值(R),其表示方法为: $\epsilon^{65}\text{Cu} = (R_{\text{样品}}/R_{\text{标准}} - 1) \times 10000$,目前测定的样品主要是黄铜矿、自然铜、兰铜矿及孔雀石等不同产状的铜矿物。从目前所获得的初步结果看(Zhu等, 2000),产于火成岩中的黄铜矿: $\epsilon^{65}\text{Cu}$ 变化范围为-6.17~+3.98,相对富集 ^{63}Cu 。 $\epsilon^{65}\text{Cu}$ 的变化主要在低温水溶液过程中发生,在同一产地变化范围为-3.31~-12.50, Cu的碳酸盐(孔雀石、兰铜矿)富集 ^{65}Cu ,与在大陆上不同,在大洋底的硫化物黑烟囱中的黄铜矿, $\epsilon^{65}\text{Cu}$ 变化较大。2万年前的热液脉比正在喷发的热液富集 ^{63}Cu ,在一个活动的黑烟囱中, Cu同位素组成从底部向顶部变轻, ^{65}Cu 易被热液淋滤。

自然界不同铜矿物的 $\epsilon^{65}\text{Cu}$ 值变化列于图1中。

Cu同位素示踪研究处于起步阶段,相信随着资料的不断积累和分析技术的提高,将会对成矿物质来源研究、成矿理论和找矿模型建立提供重要依据。

(2)Cl同位素组成:流体是成矿的关键因素之一,对成矿流体来源的研究主要采用包裹体的H、O

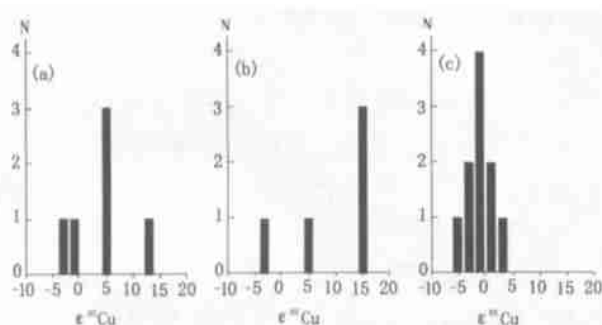


图1 大陆矿床中铜矿物的 $\epsilon^{65}\text{Cu}$ 分布直方图

a—北美、欧洲、俄罗斯的自然铜;b—北美、欧洲、俄罗斯的 Cu 碳酸盐;c—北美、欧洲、非洲火成岩型矿床中黄铜矿 (Zhu 等,2000)

同位素组成测定,但由于 H、O 的广泛存在而使答案产生多解。Cl 是成矿流体中最重要的元素,许多成矿的金属元素与之形成稳定配合物迁移,因此对 Cl 同位素的研究不仅对成矿流体来源,而且对水—岩相互作用均具有重要意义。

Cl 有两个稳定同位素 ^{35}Cl 和 ^{37}Cl ,它们的相对丰度分别为 75.53% 和 24.47%。早在 20 世纪 60 年代就开始了地质样品的 Cl 同位素组成的研究 (Hoering & Parker, 1961),但由于分析灵敏度低而未能发现其明显的变化。80 年代以来,分析技术的进步使这种研究成为现实 (Kaufman 等, 1984, 1987, 1988),特别是在 1989 年 Eastoe 等成功地从密西西比河谷型铅锌矿和斑岩矿床的流体包裹体中提取出氯化物并发现了在这些矿床的热液体系中可测量出 Cl 同位素组成的差异,此后,对不同类型地质样品中 Cl 同位素的研究取得了迅速进展 (Long 等 1993, Magenheimer 等 1994, 1995, Ransom 等 1995, Eggenkamp 等 1995, Marki 等 1997, Musashi 等 1998, Eastoe 等 1992, 1999, Banks 等 2000)。我国学者肖应凯在 1992, 1995 年也发表了对 Cl 同位素的研究成果。

Cl 同位素组成变化采用 $\delta^{37}\text{Cl} = \{ (^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl})_{\text{样品}} / (^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl})_{\text{SMOC}} - 1 \} \times 1000 \text{ ‰}$,式中 SMOC 为标准样,即标准平均大洋氯化物。

地球各圈层的 Cl 同位素组成不同,地幔中的 Cl 占整个地球的 60%, $\delta^{37}\text{Cl}$ 为 4‰,地壳中的 Cl 占整个地球的 40%, $\delta^{37}\text{Cl}$ 为 0‰,据此可区分不同来源的流体。例如,对新墨西哥州 Capitan 侵入体和西南英格兰岩基的研究表明,它们的 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 表明为高温岩浆流体,但 Capitan 岩体的 $\delta^{37}\text{Cl}$ 集中于 -0.33‰~+0.95‰,而西南英格兰岩基 $\delta^{37}\text{Cl}$ 为 +1.69‰~+1.98‰,表明前者属地壳来源,后者为深

部地壳或地幔。对密西西比河谷型铅锌矿的 $\delta^{37}\text{Cl}$ 研究可区分不同的共生阶段、卤水来源及与 Pb、Zn 矿化的关系,例如密西西比河谷型的 Elmwood - Gordonsville 锌矿的闪锌矿 $\delta^{37}\text{Cl}$ 为 -0.2‰~-1.0‰,萤石为 0.0~-0.2‰,方解石 -0.7‰~0.0,重晶石 0.0~0.5‰,这些特点表明该类型矿床与两种类型的卤水有关,一是 $\delta^{37}\text{Cl}$ 近于 -1‰,另一种卤水为 >0‰,该区的三个盆地建造水呈双峰式,为 -0.8‰和 0.0 (图 2)。

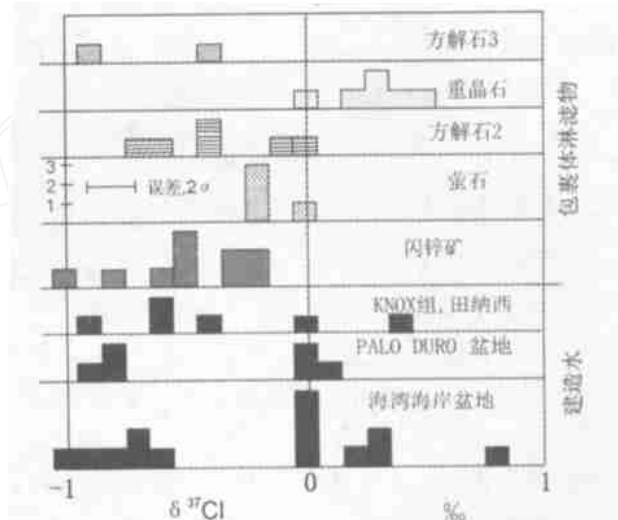


图2 Elmwood - Gordonsville 锌矿区和中田纳西 Knox 组、Palo Duro 盆地及海湾海岸盆地建造水 $\delta^{37}\text{Cl}$ 的变化直方图 (Eastoe, 1992)

斑岩铜矿相对富集 $\delta^{37}\text{Cl}$, 其中黑云母更为富 $\delta^{37}\text{Cl}$, 可达 1.7‰, 三个斑岩铜矿范围为 -0.1‰~+0.4‰,高盐度的流体可与之相对比,范围为 0.0~+0.3‰,表明岩浆后期的高盐度的流体相对富 ^{37}Cl 。

从已有资料看,在地质样品中,来自成矿系统中的热液 $\delta^{37}\text{Cl}$ 范围 -1.0‰~+0.5‰,沉积盆地中建造水为 -1.0‰~+0.8‰,而热液中黑云母为 +0.3‰~+1.7‰,比共生的石英富 ^{37}Cl 。

(3) 氮及其同位素

氮是自然界较普遍存在的元素,在许多岩石中它以 NH_4^+ 形式存在,属微量组分。煤和油页岩非常富集 N,而火成岩、变质岩比沉积岩贫 N,沉积物中的 N 呈有机质。不同类型花岗岩中 NH_4^+ 含量不同,平均含量为 45×10^{-6} ,相当于 35×10^{-6} 的 N。过铝花岗岩 NH_4^+ 含量最高,其中强过铝 $\text{ACNK} > 1.1$ 的为 86×10^{-6} ,中等过铝 $\text{ACNK} = 1.0 - 1.1$ 的平均为 20×10^{-6} ,次过铝的 $\text{ACNK} < 1.0$ 为 14×10^{-6} 。过碱性花岗岩 NH_4^+ 含量最低。

NH_4^+ 和 K^+ 非常相似,可在钾长石、云母等矿物晶格中类质同象置换。在花岗岩、变质岩中黑云母是 NH_4^+ 存在最合适的矿物,除云母和长石外,也可被粘土矿物捕获。

岩浆过程中控制 N 的地球化学行为的因素主要有:岩浆源区中沉积物质的量、源区的氧化还原条件(还原条件更适于 NH_4^+ 的存在)、岩浆分异和混染、热液蚀变等。在深熔过程中, NH_4^+ 主要受黑云母控制。在岩浆分异过程中,如果黑云母是分异结晶相,则流体相将贫 NH_4^+ 。一般情况下,蚀变花岗岩比未蚀变花岗岩 NH_4^+ 明显增加(图 3),因此, NH_4^+ 是比其它矿化剂更灵敏的示踪剂。在野外可用红外反射率定性测量 NH_4^+ 。

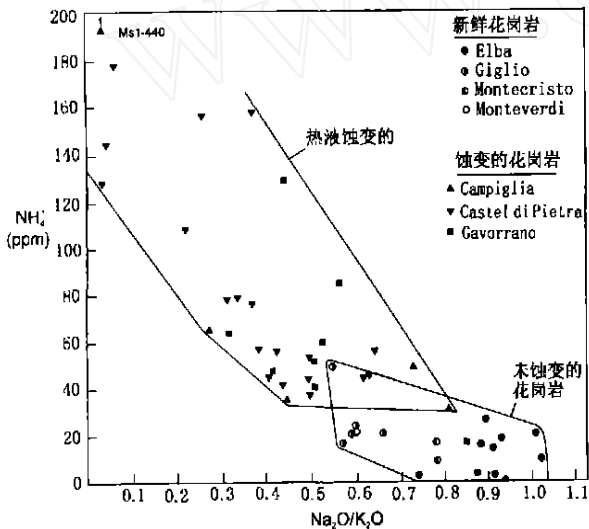


图 3 Tuscany 岩省新鲜和热液蚀变花岗岩 NH_4^+ 与 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 关系(Hall 等,1991)

N 的同位素有两个, ^{14}N 和 ^{15}N ,丰度分别为 99.634 %和 0.336 %。不同岩石类型的 N 同位素组成变化不同:沉积岩 $\delta^{15}\text{N}$ - 4 ‰~ + 10 ‰;火成岩变化大于沉积岩,为 - 5 ‰~ + 13 ‰;随变质程度增加,变质岩中 N 含量降低, $\delta^{15}\text{N}$ 变化加大。

4 开拓思路,建立我国紧缺战略矿产资源的成矿和找矿理论体系

在以紧缺战略矿产资源为研究对象,以建立矿产资源安全供应体系为目标的基础研究中,20 世纪 80~90 年代国内外重要大一超大型矿床的发现给我们在矿床基础理论研究及找矿勘探等方面有许多重要启迪(涂光炽 2001,赵振华 1999,2001),它们可概括如下:

1)“空白”地区找矿潜力仍十分巨大:实践证明,

在找矿难度越来越大的今天,一些空白地区的找矿潜力仍很大,如加拿大最东部的纽芬兰地区在 1993 年找到了超大型的 Cu、Ni、Co 硫化物矿床;我国近年在东天山土屋发现具有超大型规模的斑岩型矿床均是有利的例证。

2)注意新类型矿床的发现,开拓紧缺矿产研究新领域::受国外发现蚀变岩型金矿床新类型的启发,我国突破了石英脉型(玲珑式)金矿,发现了焦家蚀变岩型金矿并已达超大型规模(焦家式);东坪式与碱性杂岩有关的大一超大型金矿床的发现,为扩大我国金矿资源开拓了新领域。同样,在解决我国紧缺铜、铂族、钾盐、金刚石等资源的基础研究中借鉴国外经验,突破传统的成矿找矿模式,开拓新类型具有重要的战略意义(如层产状超镁铁岩、黑色岩系中寻找铂族矿床;在深变质岩中寻找金刚石矿床)。

3)矿床密集区内具有巨大找矿潜力:矿床密集区(矿集区)是地球成矿作用最集中的地区,它具有丰富的成矿物源、热源和优厚的赋矿条件,是地球的高渗透域。对 100 个特大型矿床发现过程的统计表明,58 %是在已有矿床周围找到的。如湘南以柿竹园超大型钨、铋多金属矿床为代表的 W、Sn 多金属矿集区,近年来发现了芙蓉锡矿田,并可达超大型规模,再次证明了矿集区研究的重大现实和理论意义,为确保大型矿产资源基地接替资源提供了范例。

4)加强深部找矿:许多矿床在垂直方向上常常表现为不同矿种,如上铁下铜,上金下银,上铜(金)下铜(钼);或不同类型,如上热液脉型下斑岩型;上夕卡岩型下斑岩型;上热液脉型下蚀变岩型等,这都为建立完整的成矿、找矿模式,扩大矿床规模提供了范例。

5)加强成矿域、带研究:跨地区、国界的成矿域或带在成矿理论和找矿研究中具有重大意义,如中亚成矿域中已存在的阿尔马雷克、科翁拉德、厄尔登纳等超大型斑岩铜矿的存在,使在东天山发现土屋超大型规模斑岩铜矿成为必然。

6)加强元古宙成矿作用研究:元古宙占地球历史的近二分之一,国外在元古宙发育了大量大型、超大型矿床。我国虽在元古宙也发现了一些大型、超大型矿床,但对元古宙基础地质与成矿作用研究较薄弱,应予加强。

7)加强超大型矿床基础研究,实施资源环境一体化。

全球矿业不景气的重要原因之一是囿于环境问题的巨大压力。由于超大型矿床是超常量的成矿元

素聚集在一处,因而便于控制和治理由开矿所造成的环境破坏。开采一处超大型矿床所造成的环境污染效应远比开采分散于多处的中小型矿床为小,也使集中治理环境污染更为经济、有效。在当今世界各大矿业公司的开发战略中,其选择原则是“环境影响可降到最低、矿量大、开采寿命长的矿床”,符合这种原则的应首推超大型矿床,是实现绿色(生态)矿业的最佳选择。

[参考文献]

- [1] 赵振华. 从超大型矿床研究对中国矿产资源的思考[J]. 科学通报, 1999, 44(8): 890 ~ 894.
- [2] 涂光炽. 过去 20 年矿床事业发展的概略回顾[J]. 矿床地质,

2001, 20(1): 1 ~ 9.

- [3] 赵振华, 刘秉光, 李朝阳. 我国与寻找超大型矿床有关的基础研究进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(2): 184 ~ 188.
- [4] Zhu, X K, et al. Determination of natural Cu - isotope variation by plasma - source mass spectrometry: implications for use as geochemical tracers[J]. Chemical Geology, 2000, 1163, 139 ~ 149.
- [5] Eastoe, C J, Gulbert J M, Stable chlorine isotopes in hydrothermal processes, Geochim[J]. Cosmochim. Acta, 1992, 56, 4247 ~ 4255.
- [6] Banks, D A, et al. Chlorine isotopes in fluid inclusions: Determination of the origins of salinity in magmatic fluids, Geochim[J]. Cosmochim. Acta, 2000, 64, 1785 ~ 1789.
- [7] Hall, A, Ammonium in granites and its petrogenetic significance [J]. Earth - Science Reviews, 1999, 45, 145 ~ 165.

CONSIDERATIONS ON THE THEORETIC STUDY OF MINERAL RESOURCES TO ENSURE THE SAFETY OF NATIONAL RESOURCES

ZHAO Zhen - hua

(Guangzhou Geochemistry Institute, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Abstract :To strengthen the theoretic study of strategic mineral resources is one of the keys to set up the safety system of national resources. In the building of national innovation system of theoretic research of mineral resources, it is necessary to strengthen the ore - forming dynamic study, to develop the new field of ore - forming geochemical kinetics study, to tap the potential of mineral resources in both the non - prospected and known massed ore - forming area, to discover new types of mineral deposits, and to strengthen the prospecting of the deep of ore bodies and the study of the minerogenic territory and belts.

Key words :Safety system of national resources, mineral resources, ore - forming dynamics, ore - forming geochemical kinetics

地学界历年当选院士

1955 年、1957 年当选中国科学院院士的有：尹赞勋、田奇馨、乐森瑛、许杰、孙云铸、李四光、杨钟健、何作霖、张文佑、武衡、孟宪民、侯德封、俞建章、顾功叙、黄汲清、斯行健、程裕淇、谢家荣、裴文忠、王竹泉、冯景兰。

1980 年当选院士的有：丁国瑜、马杏垣、王仁、王钰、王曰伦、王恒升、王鸿祯、业治铮、叶连俊、卢衍豪、朱夏、刘东光、刘光鼎、关士聪、池际尚(女)、孙殿卿、李春昱、李星学、杨遵义、吴汝康、谷德振、宋叔和、张伯声、张宗祜(后为两院院士)、张炳熏、陈国达、岳希新、周明镇、赵金钊、郝诒纯(女)、秦馨菱、袁见齐、贾兰坡、贾福海、顾知微、徐仁、徐克勤、翁文波、高振西、郭文魁、郭承基、涂光炽、黄绍显、黄申保、谢学锦、穆恩之。

1991 ~ 2001 年当选中国科学院与中国工程院院士的有：马在田、马宗晋、叶大年、刘宝珺、安芷生、许厚泽、孙枢、孙大中、李德生、杨起、肖序常、汪品先、沈其韩、张弥曼(女)、陈庆宣、陈梦熊、欧阳自远、袁道先、盛金章、常印佛(后为两院院士)、傅家谟、李廷栋、赵鹏大、殷鸿福、郭令智、何继善、王思敬、刘广志、汤中立、李庆忠、郑绵平、韩德馨、翟光明、许志琴、汪集贤、周志炎、秦蕴珊、戴金星、卢耀如、陈毓川、金庆焕、金翔龙、胡见义、马瑾(女)、王德滋、田在艺、任纪舜、戎嘉余、张彭熹、林学钰(女)、刘广润、李坪、邱中健、裴荣富、吴新智、张本仁、张国伟、翟裕生、滕吉文、薛禹群、多吉、赵文津、金玉玕、钟大赉。

(梓国 供稿)