

山东省地质矿产勘查开发局60年重要找矿成果和深部隐伏区找矿技术进展

宋明春,徐军祥,焦秀美,孟庆宝,孙丙伦,李世勇,曹佳,傅朋远

(山东省地质矿产勘查开发局,山东 济南 250013)

摘要:山东省地质矿产勘查开发局建局60年来,以资源报国为己任,全力为山东省和国家经济建设提供资源保障,取得了巨大找矿成就。该文较全面总结了山东省地质矿产勘查开发局60年取得的重要找矿成果和近年来深部和隐伏区找矿技术进展。20世纪,发现了焦家式新类型金矿,探明全国三分之一的黄金储量;发现了中国第一个金刚石原生矿和最大的蓝宝石矿,找到了一批大煤矿、大铁矿、有色金属矿和非金属矿。新世纪以来,山东省地质矿产勘查开发局省内、省外、境外三线联动全方位开展找矿突破行动,省内深部找矿成果突出,探明了10余个资源量超过100t的大金矿,尤其是在三山岛北部海域探获了470t的全球最大的海底金矿床;省外,在新疆和内蒙分别探明了重要的煤矿床和多金属矿床;国外,在刚果(布)、秘鲁、澳大利亚、津巴布韦、肯尼亚等国家探获了特大型钾盐、铁、金刚石和硅藻土矿床。研发和建立了以深部金矿阶梯式找矿方法为代表的一系列深部和复杂条件找矿技术方法。

关键词:找矿成果;深部和隐伏矿;方法技术;山东省地质矿产勘查开发局;60周年

中图分类号:P621;P624

文献标识码:A

引文格式:宋明春,徐军祥,焦秀美,等.山东省地质矿产勘查开发局60年重要找矿成果和深部隐伏区找矿技术进展[J].山东国土资源,2018,34(10):1-14.SONG Mingchun, XU Junxiang, JIAO Xiumei, etc. Important Prospecting Achievements and the Development of Ore Prospecting in Deep Hidden Area Gained by Shandong Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources in 60 Years[J].Shandong Land and Resources, 2018,34(10):1-14.

0 引言

矿产资源是大自然为人类生存提供的最宝贵物质财富。人类历史的长河中,重要矿产资源的发现和利用,有力推动了社会历史的发展和人类文明的进步。如:铜矿与铁矿的发现和冶炼,划开了人类农业文明的两大历史阶段;化石燃料成为当今人类生产、生活的重要能源;铀和硅的利用,带来了现代核能、电子和尖端科学的突飞猛进。山东省矿产资源丰富,种类齐全,资源配套,开发利用历史悠久。截至2017年底,山东省已发现矿产148种,其中查明资源/储量的矿产85种。查明矿产中包括能源矿产7种、金属矿产25种(其中稀有分散元素矿产12

种)、非金属矿产50种、水气矿产3种。山东省保有资源/储量列全国前5位的有40种,前10位的有73种,以非金属矿产居多。其中,金、铅、自然硫、石膏、石榴子石、玻璃用砂岩、水泥配料用红土、陶瓷用粘土8种矿产列全国第一位^{①[1]}。得天独厚的资源条件为山东省矿业发展奠定了基础,矿业开发已成为山东省经济发展的重要支柱。一个个矿业城镇拔地而起,一大批以矿业为依托的地、市、县实现了经济腾飞。昔日黄河三角洲的盐碱滩已矗立起举世瞩目的石油城——胜利油田;胶东的莱州、招远、乳山已成为闻名遐迩的黄金生产基地;鲁中地区的莱芜市建立起全省钢铁工业中心;兖州、新汶、枣庄、肥城、济宁、滕州、龙口因煤炭生产而兴盛;淄博、临沂

收稿日期:2018-08-12;修订日期:2018-09-13;编辑:曹丽丽

基金项目:山东省泰山学者建设工程专项经费(ts201511076)和山东省重点研发计划(2017CXGC1604)

作者简介:宋明春(1963—),男,山东莱阳人,研究员,主要从事地质矿产勘查工作;E-mail:mingchuns@163.com

①山东省国土资源厅,山东省矿产资源储量年报(2017)。

的陶瓷、建材、耐火材料运销全国各地;山东能源、兖矿集团、山东钢铁、山东黄金、招金集团等一批国际知名矿业企业应运而生。面对一座座工矿业城镇和矿山,人们永远铭记那些以青春和热血打开地下宝藏大门的地质工作者!山东省地质矿产勘查开发局作为全省地质工作的主力军,为山东省矿业发展做出了巨大贡献。

1958年3月31日经国务院批准,山东省地质局于4月21日在济南成立,承载着为祖国探寻地下宝藏的历史使命。山东省地质矿产勘查开发局60年的历史,是一部找矿立功史。作为和平时期的侦察兵、游击队,地质队员们枕高山,涉深壑,探老硐,闯西部,赴境外,栉风沐雨,风餐露宿,远离都市的繁华,远离亲情的陪伴,与高山说话,与溪流共舞,与矿石谈情,与长风同行,用热血和汗水,发现和探明了大量矿产资源,催生了一批重要工业城市和资源产业,铸就了山东经济建设大厦的基石,使山东省成为全国的资源大省。山东省地质矿产勘查开发局也因此获得国家级、省部级各类奖项600余项,其中,国家科技进步特等奖、国家科技进步二等奖各1项,涌现出全国唯一的英雄地质队和5个部级找矿功勋单位。为了纪念山东省地矿局建局60周年,铭记历史,开创未来,该文简要综述了山东省地矿局60年的主要找矿成果。

1 20世纪的浅表部矿产资源勘查成果

1.1 金矿找矿引领全国地勘行业

(1)石英脉型金矿找矿

山东省的岩金勘查工作始于1958年,“一五”末,国家作出了大力发展黄金生产的决定。山东省委根据国民经济发展需要对全省黄金生产进行了部署,胶东、临沂地区掀起了采金热。为适应黄金工业发展的需要,1958年山东地质局胶东第一地质队首先对招远玲珑金矿组织普查,其后“走出玲珑”,将九曲、大开头、玲珑、欧家乔与招远灵山沟、望儿山一并作为金矿重点找矿区。同时,胶东一队和胶东四队等单位在招远、黄县、蓬莱、牟平、乳山、海阳、栖霞、威海、平度等地开展了以金矿、银矿和黄铁矿为主的普查工作。1958—1965年,受国外金矿找矿理论的束缚,金矿普查一直局限在石英脉型上,虽然开展了大量工作,但在7年多的时间里仅提交了20余吨黄

金储量^[2]。1963年,地质部在招远县召开了“全国山金座谈会”,会议总结了以往照搬苏联金矿勘查规范“以坑探为主探求金矿工业储量”的经验教训,确定可以“以钻探为主要手段控制工业矿体,坑道作为验证的手段”。1965年,在灵山沟金矿区进行钻探方法实验,取得成功,开拓了我国自己的金矿勘查方法,从而加快了金矿地质勘查的步伐。

(2)发现焦家式新类型金矿

1965年以来,807队突破“大断裂只导矿不成矿”的传统观点,大胆在三山岛断裂、焦家断裂、招(远)平(度)断裂及所围限的区域,即“三带、两面”寻找受区域大断裂控制的赋存于断裂破碎带中的金矿床。1965年冬,807队三分队终于在三山岛断裂蚀变带中发现了矿化连续稳定的黄铁绢英岩蚀变带,于1966年探明了第一个产于断裂蚀变破碎带中的特大型金矿床——三山岛金矿床。时隔一年,又在焦家断裂上找到了第二个同一类型特大型金矿——焦家金矿床。于1969年提交的三山岛金矿勘探报告,是国内第一份特大型金矿勘探报告,从而揭开了山东特大型和蚀变岩型金矿勘查的序幕。

胶东金矿找矿的重大突破,受到国家的高度重视。1975年6月26日至7月1日,国家计委地质局在烟台召开了“全国黄金工作座谈会”,王震副总理亲临会议并作了“发展黄金生产,大打矿山之仗”的指示。1977年,地质矿产部在招远召开“第二次全国金矿工作会议”,正式将胶东地区“破碎带蚀变岩型”金矿命名为“焦家式”金矿。这一金矿类型是明显不同于国内外已知类型金矿的新金矿类型,随着这一新金矿类型的确立,“焦家式”金矿成矿理论逐渐建立和丰富起来。焦家式金矿的主要特点是:①矿床受区域性构造破碎带控制,矿体多产于主断裂下盘的中生代花岗岩与早前寒武纪变质岩的内接触带;②成矿方式以热液交代蚀变、渗透浸染为主;③矿石主要由花岗质碎裂岩组成;④矿体形态简单,矿石品位稳定,矿床规模大^[2]。

焦家金矿床是“焦家式”金矿的典型矿床,这一矿床的发现凝聚着地质人员认真细致的工作态度。1966年,地质六队二分队在其他矿区勘查时对其外围进行了路线地质调查,在焦家一带以往民采井旁的毛石中发现了细分散状黄铁矿,对此线索高度重视,几经周折找到了当年的老矿工,根据其指引的采矿“顺槽”在麦田中所引起的麦苗长势异常位置,布

施探槽,探槽揭露了宽大的构造蚀变带,经取样分析确定了品位、厚度分别为 7.36×10^{-6} , 8.26 m 和 5.23×10^{-6} , 7.28 m 的两条厚大矿体^[3],随后施工的7条探槽、2个钻孔全部见矿,确定了区域性大型构造蚀变带赋矿及其找矿意义,一个具有重大意义的新类型金矿诞生了!

“焦家式”金矿的发现,打破了“大构造不成矿”的传统认识,确立了我国新的金矿类型,促进了我国金矿找矿的战略转移。国内陆续找到了许多“焦家式”金矿,加快推进了金矿找矿步伐。山东省金矿勘查步入快速发展阶段。在胶东西北部地区,地质六队(807队)陆续发现和探明了马塘、河东、新城、河西、埠上、前孙家、姜家窑、台上、大尹格庄、仓上、东季、蒋家、破头顶等金矿床;沿金牛山断裂,地质三队先后发现并勘探了邓格庄、西直格庄等金矿床;在烟台福山一带,地质八队、地质三队发现并勘探了张家、杜家崖金矿;在威海市,地质六队发现并评价了范家埠金矿。

1985年,地质六队以《“焦家式”新类型金矿的发现及其突出的找矿效果》获得“国家科技进步特等奖”。1992年11月,地质六队因为金矿找矿业绩突出,被国务院授予《功勋卓著无私奉献英雄地质队》称号。

(3)发现归来庄式隐爆角砾岩型和发云弁式蚀变砾岩型等金矿类型

20世纪80—90年代,随着胶东传统金矿区易发现金矿的逐步减少,山东省地矿局部署开展了新区、新类型金矿找矿工作。在鲁西地区平邑县发现了归来庄金矿床,矿床位于铜石杂岩体东部边缘,矿化类型为脉状构造-隐爆角砾岩型^[4-5],是我国首例碲金型浅成低温热液金矿床,目前已累计探获金金属量超50 t,为鲁西地区唯一特大型金矿床。归来庄金矿找矿始于1987年初,第二地质队曾五进归来庄地区找矿采样,均一无所获,1988年底第六次进驻归来庄,从一块紫黑色蚀变角砾岩转石开始,一路寻找终于发现了大块基岩露头,样品分析金品位为 9.9×10^{-6} ,最终实现了归来庄金矿床找矿的重要发现。1989年4月—1994年12月,地质二队对归来庄矿区开展了普查至勘探一系列评价工作,探获金金属量34.8 t,平均品位 8.10×10^{-6} 。归来庄金矿的发现,创造了“新地区、新发现、新类型”,填补了鲁西地区无大型金矿空白。在后续研究中,建立了归来

庄式、磨坊沟式等矿床式。

在胶东地区,地质人员将找矿方向瞄准胶莱盆地东北缘区域,发现和探明了蓬家夙、辽上、土堆—沙旺、宋家沟等金矿床,提出了蓬家夙式构造角砾岩型和发云弁式砾岩型等金矿类型^[2,6]。蓬家夙金矿床是地质三队于1988—1989年通过区域化探异常查证发现的,经过1989—2000年的普查、详查,提交金金属量19.550 t;宋家沟金矿床是地质三队在1997—1998年找矿发现的基础上,于2000—2002年详查探明的。

1.2 铁矿勘查为山东省钢铁工业发展提供保障

铁矿资源是山东省钢铁工业持续健康发展的重要保障。山东省铁矿主要分布在鲁西地区,富铁矿集中分布在莱芜、金岭、淄河、济南四个地区,贫铁矿主要集中于苍山-峰城、韩旺、汶上—等地区。山东省地矿局为山东省的铁矿勘查做出了重要贡献。

(1)莱芜地区富铁矿的发现和评价

莱芜地区富铁矿为产于白垩纪闪长岩类与奥陶纪马家沟群灰岩接触带的接触交代型富铁矿。1958年,党中央确定大力发展钢铁工业,提出全国钢产量要达到1 070万 t的目标,钢铁工业迅速发展,推动了山东省铁矿地质工作的大发展。山东地质局成立之初即瞄准了莱芜地区的铁矿勘查,重点围绕该地区的高磁异常找矿,鲁中一队于1958—1960年分别评价了马庄地段、曹村地段、仪家庄地段、顾家台地段、杜官庄地段、石门官庄地段及赵庄地段的铁矿床。1965年根据地质部加强富铜、富铁普查找矿的指示,综合一队与803物探队针对莱芜地区的低磁异常开展找矿,提出了张家洼低磁异常是矿异常的观点,于1971年提交了张家洼铁矿勘查报告。1966年,综合一队与803队重新研究了西尚庄低磁异常,推测有隐伏矿体,1967年4月25日经综合一队验证,在CK2孔孔深377.66 m处见厚达91 m的磁铁矿^[3]。1970年综合一队提交了西尚庄矿区及山子后矿区储量简报和刘家庙地段初勘报告,1980年地质一队提交了西尚庄矿区详细勘探地质报告。低磁异常的找矿突破,使莱芜铁矿矿石储量翻了四番。随着铁矿床的开发,使以单一农业生产为主的贫困的莱芜县逐渐成为经济繁荣的工业城市——莱芜市。

(2)“朱崖式”铁矿的发现和评价

位于淄博市淄川区的淄河铁矿是山东省重要的

富铁矿资源基地之一。铁矿类型属于中低温热液充填交代型褐铁矿(菱铁矿),这一类型在国内首次于朱崖矿区被确认,命名为朱崖式铁矿。其特点是:矿石中含铁矿物以褐铁矿为主,脉石矿物为方解石、白云石,具有较强的自熔性、熔点低、易冶炼。淄河铁矿的发现始于群众报矿,1958年,淄博勘探队在淄河西岸孤山东北山坡实施第一个钻孔,于63~124 m孔深处见到了61 m厚的褐铁矿层,证实了淄河富铁矿的存在。1959年,由鲁东南地质队与淄河勘探队合并成立的淄博市冶金工业局勘探队,经过勘探发现了隐伏于奥陶系中的巨厚似层状铁矿体,最厚达140多米。1959年下半年,根据省委指示,省地质局成立了朱崖铁矿会战指挥部^[3],组成了800多人的勘探会战队伍,于1960年2月提交了黑旺铁矿地质勘探总结报告。1962年综合一队在朱崖地区开展新一轮勘探,于1963年12月提交朱崖铁矿地质勘探总结报告。

1975年,地质一队三分队在文登地区进行找矿钻探,8月3日在孔深277.45~296.54 m处见到了2层褐铁矿,厚5.17 m,赋矿层位为寒武系。这一钻孔,突破了铁矿层只存在于奥陶系中的旧框框,并认识到由朱崖矿区向北的淄河断裂主断层仍为控矿构造。受文登矿区找矿启发,1976年11月地质人员在店子地区施工了第一个钻孔,见矿17层,总厚达80.22 m,单层最厚23.81 m。根据1978年山东省委关于在1985年基本实现工业省的规划,要求年产铁250万t。省地质局于1978年6月在张店召开淄河铁矿会战会议,组织500多人开展勘探,于1983年6月提交了店子矿区初步勘探地质报告。文登矿区的详查工作于1983年开始,1985年6月提交了详细普查地质报告。期间,1979—1981年地质五队对庙子矿区进行了普查评价。

(3) 苍峰和韩旺铁矿勘查

苍峰和韩旺铁矿为产于新太古代泰山岩群中的BIF贫铁矿床。苍峰铁矿东起兰陵县尚岩,西至枣庄市卓山,矿区全长31 km^[6],累计探明铁矿石资源量3.26亿t。苍峰铁矿的发现时间已无法考证。1958年5月鲁南第一地质队对税郭—东石门一带铁矿进行了调查,9—12月对走马岭矿段进行了深部钻探,确认该区是一大型铁矿床。1961—1962年813队对苍峰铁矿进行了勘查和总结。1976年2月成立“山东省苍峰铁矿地质勘探会战指挥部”,组织

对走马岭、黄牛岭、卓山、刘岭等进行补充勘探,于12月提交了补充勘探报告。

韩旺矿带北起沂源县院峪村,南至沂水县张耿村,延伸长11 km,面积约40 km²。该矿由山东省地质调查所发现后,231地质队进行了初步评价。1975年,以地质局为主成立“韩旺铁矿地质勘探指挥部”,组织了补充勘探工作,1976年3月完成补充勘探地质报告,共计探明铁矿石资源量1.73亿t。

(4) 汶上-东平铁矿勘查

汶上-东平铁矿为赋存于新太古代泰山岩群山草峪组下部的BIF贫铁矿床。该矿床首先是航空磁测发现了彭集磁异常(680 nT),随后,于1966年综合一队和803队对航磁异常进行检查验证,在东平县刘庄附近施工CZ1孔,发现了含铁斜长角闪片麻岩及含铁石英角闪片岩,首次证实该磁异常系鞍山式贫铁矿所引起。1972年,地质二队对磁异常再次进行了钻探验证;1974年,地质二队与物探队配合开展普查工作,按照山东省建设2个“鞍钢”的大计划,在1:1万地面磁测的基础上,加快实施普查评价工作,于1976年9月提交了彭集、大牛两矿段普查报告。李官集矿区的详细勘探工作于1977年—1978年完成。1982年提交了汶上-东平铁矿区补充普查报告,全矿区累计探明矿石资源量7.63亿t。

(5) 昌邑-安丘铁矿勘查

1972—1973年,地质四队在1:5 000地面磁测基础上,对昌邑东辛庄、莲花山、搭连营矿区磁异常开展了钻探验证和地质普查工作,探明了中型铁矿床。

1.3 能源矿产勘查为全省经济社会发展提供动力

(1) 对胜利油田的勘查做出了贡献

石油、天然气的地质普查工作,由厅(局)代管的地质部第一石油普查大队进行,1960年在渤海之滨发现原油团,1967年7月在义和庄沾1井发现含油砂岩,日产原油3 m³。是继石油部在惠民凹陷和东营发现工业油流后,鲁西北平原石油普查的又一重大突破。

(2) 发现黄县煤田

1967年6月,综合三队根据黄县水利局钻孔见煤线索,施工一个验证钻孔见煤,随后开展勘查工作,于1969年提交了《洼里矿区地质勘探报告》,一个大型煤田诞生了,结束了胶东无煤的历史。

(3) 鲁西覆盖区煤田普查

1982—1990年,根据地矿部全国煤田地质工作会议精神,部署开展了全省煤炭资源调查及煤田普查,由一队、二队、物探队开展相关工作,在第四系覆盖区下发现了埋深在1 000 m以内的4个煤矿区——梁山、郓城、潘店和聊城煤矿区,探获煤炭资源量约80亿t。

(4)油页岩勘查

对黄县煤田、五图煤田中伴生油页岩及安丘周家营子含油碳质页岩进行了勘查,为黄县煤田油页岩的开发利用提供了重要依据。

1.4 发现中国第一个具有工业价值的金刚石原生矿

1958—1965年的金刚石砂矿勘查,探明了郯城于泉、陈家埠、邵家湖、柳沟、小埠岭等5处小型金刚石砂矿。金刚石原生矿普查工作始于1962年。1964年,地质部在临沂召开全国金刚石地质工作专业会议,确定了“以地质观察为基础,重砂法为主要手段,通过寻找金刚石的伴生矿物(含铬镁铝榴石),进而寻找金刚石原生矿”的普查方法。1965年,809队二分队首次利用重砂法在蒙阴马庄小河第四系冲积物中选到了伴生矿物含铬镁铝榴石和一颗金刚石,于是逆流取样追索,经过艰苦细致的工作,终于在8月24日找到了我国第一个具有工业价值的金刚石原生矿脉——红旗一号金伯利岩管,结束了我国没有金刚石原生矿的历史,填补了我国这一矿产资源空白。至1972年底,先后提交了蒙阴金刚石原生矿红旗一号、红旗30号、胜利I和II号、西峪等矿区勘查报告,在蒙阴地区发现常马庄、西峪和泊里3个金伯利岩带,包括47条金伯利岩脉、11个岩管^[7]。1972年,在白彦及其周围陆续发现新近纪至第四纪早期含金刚石砾岩点近200处。1977年,又在枣庄上泥河发现寒武纪朱砂洞组砾岩中含金刚石。另外,在中石炭统底砾岩、侏罗系底砾岩和古近系砾岩中亦相继发现含金刚石。

1.5 有色和稀土金属矿的发现和评价

山东省有色金属资源比较缺乏,虽然地质工作者开展了大量工作,但由于成矿条件不够理想,找矿成果并不突出。

由综合三队勘查的烟台市福山王家庄铜矿是山东省最大的铜矿。1966年,805队发现了吴阳泉铜异常,1968年10月综合三队在王家庄村西进行钻探验证见到了矿体。经过1969—1977年的普查和

勘探会战,探明了一个中型铜矿床,共生锌也达到中型规模,实现了山东省有色金属找矿突破。

此外,自20世纪60年代初开始,济南二队、区测大队、综合三队、第一、二、四地质队先后对邹平王家庄铜矿、大临池铜矿、平度谢格庄多金属矿、枣庄下道沟铜矿、泗水北孙徐铜镍矿、荣成乔北铜矿、荣成金角口多金属矿、五莲七宝山金线头金铜矿、莱芜埠口铜矿、胡家庄铜矿、沂南铜井铜矿汞泉矿段等铜矿床(点)进行勘查,探明了一批小型矿床。807队、综合一队还对招远、莱州地区金矿中伴生铜、莱芜地区铁矿中伴生铜进行了综合评价。勘查的铅锌矿床有:六队在20世纪60年代评价的黄县凤凰山铅锌矿,昌潍二队在1960年勘探的安丘担山铅锌矿、1961年勘查的安丘宋官疃铅矿,二队在1974年评价的汶上毛村铅矿。此外,三队、四队、六队、五队在勘查评价金矿、银矿、铜矿时,对共生、伴生的铅锌矿进行了评价,提交一批小型矿产地。

山东省铝土矿地质勘查工作主要是冶金部门承担的。山东省地矿局仅由鲁中二队于1959年在淄博王村小口山硬质粘土矿区探求1处小型共生铝土矿床。此外,二队于1973年在陶枣盆地潘庄矿区提交1处小型铝土矿,一队于1974年在新泰黄泥庄提交1处小型铝土矿。

山东省地质矿产勘查开发局勘查的钼矿主要有:1970年,地质三队发现福山邢家山钼矿,经普查、详查,于1984年11月提交了1个特大型钼矿、伴生中型钨矿。1976年6月,地质六队提交了栖霞尚家庄中型钼矿床。1987年6月地质一队提交的邹平王家庄铜矿,共生小型钼矿床。

微山县郗山稀土矿是山东省唯一的稀土金属生产矿山,矿床是由济宁专署地质局和山东地质局802队在1958—1959年检查航空放射性测量异常时发现的,后经20世纪70年代勘查,确认为铈族元素为主的中型轻稀土矿床。此外山东省地矿局所属队伍相继发现和评价了莱西塔埠头、五莲大珠子一坤山稀土矿点,在蒙阴金刚石原生矿中发现铈钙钛矿,在淄博、莱芜的碳酸盐岩中发现稀土矿化,在兰陵龙宝山含金石英脉中发现伴生的稀土矿化。

1.6 发现和评价了一大批优质非金属矿产资源

(1)菱镁矿、滑石、石墨矿

莱州粉子山、优游山地区的菱镁矿于1956年开始勘查,1958年掖县地质队(234队)提交了《山东掖

县菱镁矿详勘地质报告》。1980—1984年地质三队对粉子山大原家—山刘家滑石矿普查时,对伴生的菱镁矿进行了综合评价。

1965年初,综合三队对栖霞李博士乔滑石矿部分地段进行了普查评价;1981—1988年,地质三队对李博士乔滑石矿进行了详查,证实为特大型矿床,为全国第三大滑石矿。1971—1973年,地质六队对平度芝坊滑石矿进行了普查评价。1956—1958年掖县地质队在对粉子山菱镁矿进行勘探的同时,对滑石矿也进行了勘查。1980—1984年,地质三队对莱州大原家—山刘家滑石矿进行了普查,1986年对粉子山—优游山滑石矿山刘家矿段进行了详查。

山东规模较大的石墨矿主要分布于平度、莱西、文登等地^[8]。1961—1966年,综合三队承担了莱西南墅石墨矿刘家庄矿区勘查评价。20世纪80年代,地质三队在莱阳、文登、平度等地开展石墨矿勘查,发现并探明了文登臧格庄、牟平徐村和新添堡、莱阳大梁子口和山前乔等石墨矿床。同期,地质四队在平度一带开展石墨矿勘查,发现并探明了平度刘戈庄、矫戈庄、明村3处大型石墨矿,使平度成为山东省的石墨矿集中分布区和出口生产基地。

(2)石膏、石盐和钾盐、自然硫矿

山东省的石膏、石盐和钾盐、自然硫矿分布于鲁西地区的新生代凹陷中,为严格受地层控制的沉积型层状矿产^[8]。

1959—1961年,济南地质局第二地质队对汶口盆地南部临汶石膏矿进行普查勘探,提交了山东省第一份大型石膏矿勘查报告。1962—1965年,综合一队对汶口盆地东部的北西遥—臭泉—满庄一带石膏矿进行了普查评价。1977—1982年,地质一队对汶口盆地的石膏、石盐、钾盐矿进行了勘查。1979—1986年,地质一队先后对平邑卞桥石膏矿、平邑盆地石膏矿进行了勘探和普查。80年代,地质八队对淄博口头—南邢石膏矿进行了评价,这是山东省内首次评价的寒武纪海相大型石膏矿床。

1977—1986年,地质一队和地质九队先后对汶口盆地和泰莱盆地进行了钾盐普查,对汶口盆地的石盐(含自然硫、石膏)进行了详查评价,证实汶口盆地为石膏、石盐、钾盐、自然硫4种矿产共生的盐盆地(石膏、石盐、自然硫矿均可达大型规模),并在ZK8孔发现钾盐矿层,填补了中国东部红色碎屑岩系盆地找钾的空白。

1975—1976年,地质一队根据群众报矿线索,在新泰西羊舍及其以西地段进行自然硫普查,在几个钻孔中发现自然硫矿层。1977—1980年,地质一队、地质九队先后对汶东盆地东部的泰安朱家庄自然硫矿进行普查;1985—1986年,地质一队对该矿区进行了详查。

(3)膨润土、沸石岩、珍珠岩矿

山东省具有工业价值的膨润土、沸石岩、珍珠岩矿均为陆相火山沉积型,三者常伴生产出,主要分布在胶莱盆地及沂沭断裂带中^[8]。

1976—1984年,第四、三、六、八地质队分别对潍坊涌泉庄、莱阳白藤口、诸城青墩—芦山、胶州李子行—黑山前、荣成龙家—大岚头、莒南侍家宅子、安丘胡丘等地的膨润土、沸石岩、珍珠岩矿进行了勘查评价,其中以潍坊涌泉庄、莱阳白藤口、诸城青墩—芦山矿床规模大。1971—1973年,四队评价了涌泉庄膨润土矿;1976年在矿床中发现斜发沸石和丝光沸石,1976—1977年开展了以沸石岩为主的评价工作;1979—1981年证实矿区内存在钠基膨润土,并补施钻探工作进行控制,同时对沸石岩、珍珠岩补充部分工作,提交了大型膨润土矿床。1977年经鉴定确认莱阳白藤口矿区存在沸石岩后,三队在1978—1979年间进行了沸石岩普查评价工作,1980—1982年又开展了以膨润土为主的综合普查工作,提交了中型膨润土矿床。

(4)玻璃硅质原料矿

山东省玻璃用石英砂岩主要有早寒武世李官组和晚二叠世奎山组2个层位,分布在临沂—枣庄一带。1983—1986年,地质八队分别对临沂李官石英砂岩矿和沂南孙祖石英砂岩矿进行勘查,提交了2处大型石英砂岩矿床,其中李官石英砂岩矿共生瓷石矿。玻璃用石英岩矿为产于古元古代粉子山群中的变质沉积型铁矿床,1982—1985年,地质四队对昌邑山阳石英岩矿进行评价,探获资源量3.68亿t。

(5)萤石、重晶石矿

山东省萤石、重晶石矿主要分布于鲁东地区,与中生代酸性侵入岩、火山活动有关^[8]。

山东省地矿局主要对鲁东地区2处中型萤石矿进行了勘查评价。1971—1973年,地质六队对蓬莱巨山沟萤石矿进行了勘查。1973—1976年,地质四队对胶州山相家萤石矿进行了勘查。1982—1983年,地质三队对胶东地区的萤石矿进行了成矿区划

研究。

1959—1965年,烟台专署第二地质队、昌潍专署第二地质队、综合三队等分别对莱阳岭后、诸城荆山—锡山、安丘宋官疃、即墨等地的重晶石矿进行过勘查。1980—1984年,地质八队分别对莒南仕沟和郯城县房庄重晶石矿进行勘查,提交了2处中型重晶石矿,伴生萤石矿;1982—1985年,地质四队对高密化山重晶石矿进行勘查,提交了中型重晶石矿。

(6) 硫铁矿、明矾石矿

山东省硫铁矿可分为单独硫铁矿和伴生硫铁矿2大类,二者资源量大致相当。伴生硫铁矿主要产在石墨矿(变质型)、煤矿(沉积型)、金银矿(热液型)及多金属矿中。伴生硫铁矿主要由地勘单位在金、石墨等矿床勘查时,对其进行了相应评价。单独硫铁矿主要以中生代火山热液型为主。1971—1973年,地质一队对乳山唐家沟黄铁矿进行勘查,提交中型硫铁矿床;1973—1978年,地质四队分别对安丘敖山磁黄铁矿和五莲七宝山钓鱼台黄铁矿进行了勘查,五莲七宝山钓鱼台黄铁矿探明矿石量22 491.3万t,占全省探明总矿石量的1/2。

明矾石矿是20世纪70年代末发现的,1979年地质四队在诸城桃林石屋子沟地区发现有含量高达30%的明矾石,为此,于1980—1983年开展了普查评价,探明了小型明矾石矿床。1980年地质八队在莒南县将军山发现明矾石矿,经过1981—1984年的普查,提交了小型明矾石矿。

(7) 石灰岩、膨胀粘土岩矿

山东省水泥、化工、熔剂用石灰岩资源相当丰富。从20世纪60年代以来,山东省地矿局对山东各类石灰岩矿床进行了大量勘查评价。主要勘查矿区有:二队勘探的平邑黑泉庄、费县荣和庄、费县许家崖石灰岩矿,一队勘探的肥城市桃园石灰岩矿,三队勘探的烟台市福山区大芹子乔水泥大理岩矿和栖霞县油家泊燕地水泥灰岩矿。勘探的熔剂用石灰岩矿区主要有:1958年鲁中二队勘探了济南党家庄、刘长山及章丘明水石灰岩矿,1987年二队勘探了平邑县长山石灰岩矿,1993年一队勘探了历城港沟有兰峪石灰岩矿。勘探的制碱用石灰岩矿为一队于1982—1983年勘查的淄博市柳泉大型制碱用灰岩矿床。

分布于淄博市博山石炭—二叠系中的膨胀粘土岩,是20世纪80年代省内新发现的矿种。1981

年—1984年,地质五队分别对博山安上、两平2处膨胀粘土岩矿进行了勘查评价。

(8) 红柱石、透辉岩矿

红柱石矿为20世纪70年代省内发现的矿种。1977年4月,区调队在进行1:20万日照幅区调时,在五莲东北部的变质地层中首次发现红柱石矿层。1979年及1987—1988年地质四队对五莲小庄红柱石矿进行了勘查。

透辉岩矿产于胶北地区的古元古代粉子山群和荆山群中。地质三队于1985—1988年分别对福山老官庄透辉岩矿和蓬莱战山透辉岩矿进行了勘查评价。地质四队于1986—1988年勘查评价了平度长乐透辉岩矿,于1995年勘查评价了平度罗头透辉岩矿。

(9) 蓝宝石、硅藻土矿

蓝宝石原生矿产于沂沭断裂带北段晚中新世—上新世尧山组玄武岩中,砂矿则产于第四系残坡积及冲积、洪积层中,蓝宝石矿的发现填补了省内空白。根据20世纪70年代的群众报矿线索,1983年山东省地质矿产勘查开发局给地质四队下达找矿任务。1984年,四队在昌乐地区的1:5万重砂测量中发现蓝刚玉,此后,四队及七队在该区许多地段发现了蓝刚玉。1987年,七队在昌乐北岩地区进行蓝宝石矿详查,探明蓝宝石砂矿20 558.4918g,为国内最大的蓝宝石矿。1988—1991年七队在昌乐五图—郑母地区发现蓝宝石砂矿点5处,原生矿点3处,对五图鞠家村和辛旺矿区蓝宝石砂矿进行了评价。

硅藻土矿仅见于临朐县新近纪山旺组中。1959年山东省地质厅磷矿大队在对临朐解家河磷矿进行评价时,对硅藻土矿进行过评价。1984—1986年,地质四队对临朐青山、包家河硅藻土矿进行了勘查评价。

(10) 其他非金属矿

1981—1982年地质四队勘查评价了高密县姚奇庄铸型砂矿,探明资源量3 547万t。1958—1963年,根据群众报矿,812队对日照梭罗树石棉矿进行了普查。1961—1962年综合二队对诸城桃行白云母矿进行了详查。

2 省内深部和隐伏区找矿成果

2.1 胶东地区深部金矿勘查取得世界级影响重大突破

20世纪90年代后期至21世纪初,金矿找矿越来越难,尽管投入大量人力、财力,但胶东地区找矿一直没有大的进展,金矿找矿陷入困境。胶东地区以往探明的金矿床一般延伸到400 m深度以浅即消失,地质工作者曾经施工了部分500 m左右深度的钻孔,均未发现新的矿体,导致一些专家认为深部已无矿。山东省地矿局和地质六队的地质专家反复研究认为,焦家断裂带规模大、向深部延续稳定,深部应当存在第二成矿空间。因此,首先选择莱州寺庄金矿区进行深部找矿探索。在部分地质人员认为寺庄矿区的金矿“小、贫、浅、薄、散,五毒俱全”的情况下,地质六队技术人员冒着风险,经过艰苦努力,终于在穿越浅部金矿消失后的无矿段之下,发现了深部特大型金矿,于2006年提交了深部金矿详查报告。寺庄深部特大型金矿的探明,在国内率先实现了“攻深找盲”重大突破。喜报送到中南海,国务院总理温家宝同志于2007年9月19日欣然批示:“请国土资源部转告山东六队职工:祝贺他们在金矿勘探中取得的重大发现,向大家致以亲切的问候。”六队在总结寺庄深部金矿成矿规律时发现,深部金矿主要赋存于断裂倾角较缓的部位,因此提出了“断裂变缓控矿”的认识。2007年,山东省地矿局部署开展了焦家矿区深部金矿详查项目,为了加强深部找矿研究,同时部署了“山东省龙莱成矿带深部金矿成矿规律和成矿模式研究”项目。通过边勘查、边研究发现,胶东大型金矿的控矿构造带沿倾斜方向不是呈直线式向深部延展,而是在自地下浅部向较深部延展中出现一系列倾角较为平缓的台阶,金矿主要沿这些台阶分布。将这种自然地质规律命名为“阶梯式成矿模式”^[9]。阶梯式成矿模式揭示了断裂缓倾段赋矿,陡倾段无矿规律,科学解释了深部无矿段出现的原因。在这一模式的指导下,相继在焦家、马塘等浅部金矿之下穿过150~200 m垂直间隔的无矿段之后探明了新的深部特大型金矿^[10],在三山岛北部海域中断裂陡倾斜无矿段之下的缓倾斜段发现了大金矿。在此基础上,提出了胶东型金矿热隆—伸展成矿理论^[11]。

胶东地区的深部找矿始于21世纪初,是我国最早开展深部找矿的地区,迄今在500~2 000 m深度探明金资源储量3 000余吨。除了探明焦家深部、马塘深部、东风171号脉深部、水旺庄深部、夏甸深

部等资源储量超过100 t的金矿区外,在三山岛北部海域、纱岭^[12]、西岭等矿区分别探明了470 t、389 t、383 t金资源储量。研究发现,在焦家和三山岛矿区以往认为独立分布的数个浅部金矿床,其主矿体向深部延深与深部金矿体相互连接或相互叠合,多个浅部矿床复合为同一矿床,构成焦家和三山岛2个总资源量超过1 000 t的超巨型金矿床,这是我国金矿勘探历史上的重大发现和突破。国土资源部在2017年5月3日召开的新闻发布会上评价,胶东地区金矿深部勘查重大突破具有世界级影响。胶东金矿集中区面积约16 522 km²,已累计探明金资源储量接近5 000 t,成为除南非兰德盆地和乌兹别克斯坦穆龙套地区之外的世界第三大金矿集中区。胶东地区已探明的金矿资源,就矿床埋藏深度而言,浅部矿占38%,深部占62%,深部金资源量已大大超过浅部;在矿床规模方面,资源储量大于100 t的超大型金矿床占65%,大型金矿床占24%,中型金矿床占11%;在矿床类型方面,焦家式破碎带蚀变岩型金矿资源储量超过4 100 t,玲珑式石英脉型金矿床400余吨,邓格庄式硫化物石英脉型金矿床近200 t,其他类型金矿资源量均不足100 t。

在此期间,地质三队、地质六队实施的招远市金翅岭金矿接替资源勘查、牟平邓格庄金矿资源接替勘查、乳山市大业金矿接替资源勘查、招远市原家岭矿区金矿深部普查、招远市埠上矿区金岚沟矿段金矿普查等老矿山深部找矿项目,均取得重要找矿进展,缓解了矿山危机局面。在胶莱盆地东北缘地区,地质三队除在该区的蓬家夼和宋家沟金矿床深部探获新的金矿资源外,在以往辽上小型金矿床的深部探获了胶东东部最大的金矿床,金金属量接近70 t。地质一队在海阳土堆—沙旺金矿床深部找矿探获金金属量超过19 t,使该矿区由2000年开采时资源量不足1 t的小型金矿床,发展为大型金矿床。在鲁西地区,地质二队对归来庄金矿床深部及外围开展的勘查评价工作,最大勘查深度为1 000 m,在-550 m标高左右发现了归来庄隐爆角砾岩型厚大的金矿体,深部和浅部资源量累计达50 t。地质一队承担的“山东省莱芜市三岔河矿区铁金矿详查”项目,探求金金属量6 941 kg,指示了鲁西地区寻找与铁矿共伴生的接触交代型金矿的新方向。

2.2 深部铁矿勘查探获近30亿吨资源量

铁矿深部和外围找矿工作首先开始于2003年,

2003—2005年地质四队分别对昌邑市毛家寨和东辛庄—莲花山矿区进行铁矿详查,探明了隐伏铁矿床。其后陆续勘查了南任、常家屯、新河、大淀河等铁矿床。

在莱芜和淄博地区,2007—2009年地质一队和地质四队分别探明了莱芜市牛泉铁矿床和淄博市东召口铁矿。

在苍峰铁矿带,2004—2014年,地质二队对苍峰铁矿的深部和外围开展了勘查工作,发现和探明了兰陵县王埝沟、沟西、宋楼、李山根、木山、大青山等铁矿,其中,王埝沟和沟西铁矿为隐伏的深部大型铁矿床,矿头埋深为34~806 m,赋存标高为+60 m~-1 496 m,二矿区总计探明铁矿石资源量3.38亿t。

在汶上—地区,2005年—2011年,地质四队分别对东平县大牛矿区和汶上县张宝庄矿区深部和外围开展了详查工作,累计探明铁矿石资源量4.19亿t。同时,在汶上—铁矿带及附近区域,一队、物探队、矿业公司等单位分别完成了汶上县张家毛坦、东平县石河王、东平县梁林、东平县大高庄、平阴县洪范池等矿区的铁矿详查。

在济宁颜店地区,根据磁异常及1970—1977年地质二队施工5个验证钻孔发现的条带状磁铁矿石岩线索,2004年1月—2012年10月,山东省物化探勘查院开展深部铁矿勘查,对磁异常区进行了异常研究、验证和铁矿普查、详查,在颜店和翟村2个矿段探获铁矿石量18.35亿t,矿石平均品位TFe 25.45%,mFe 16.63%,矿体顶部埋深899~1 377 m^[13-14]。

2.3 开拓海域矿产资源勘查新空间

(1)发现和探明了世界最大的海底岩金矿床

2006年6月,地质一队通过申请在先获得山东省莱州市三山岛北部海域矿区金矿普查探矿权;2007—2009年,一队开展了部分物探及海域调查工作;2009年5月—2011年6月,一队开展了钻探工作,施工岩心钻孔8个,取得了重要的找矿发现,在2个见矿钻孔中,ZK2806孔控制矿体厚度72.71 m,金平均品位 7.86×10^{-6} ;ZK3206孔控制矿体厚度47.98 m,金平均品位 2.18×10^{-6} 。

2012—2015年,地质三队承担了三山岛北部海域矿区金矿勘查工作,成功完成海域钻探123 727.03 m/115孔,探获金资源量470 t,为世界上最大的海底金矿床。矿区均为海水覆盖,主要区域

水深8.5~20 m。海水之下第四系厚度一般为35~40 m,最厚60 m。这一矿床与位于其南侧的三山岛矿区的深部主矿体相互连接,实际上为同一矿体,矿体全长超过3 km,最大斜深超过1.7 km,金资源总量超过500 t,是我国规模最大的单一金矿体。其规模最大的4号矿体,赋存标高-796 m~-1 736 m,矿体走向长1 446 m,倾向最大延深1 027 m,平均厚度30.91 m,平均品位 5.23×10^{-6} ^[15]。

(2)在国内率先开展了海域煤勘查

2006—2008年,地质一队分别对龙口市北皂海域扩大区及梁家西海域煤矿床进行了勘查,在海底之下累计探明煤炭资源量1.89亿t,油页岩9 349万t。

2.4 深部和隐伏煤炭资源勘查有新发现

2005—2007年,地质一队分别对阳谷—茌平煤田的阳谷、安乐和博平等矿区进行了深部煤炭资源勘查,总计探获煤炭资源量19.83亿t,3个勘查区的最大勘查深度分别为1 616.00 m,1 400.61 m,1 681.35 m。2017年地质二队完成的“山东省巨野县葛店地区煤炭普查”项目提交煤炭资源量1.7亿t。

2.5 金刚石矿和泰山玉矿勘查取得重要进展

2011年以来,地质七队金刚石矿找矿取得重要进展。在蒙阴县常马矿区深部查明-205 m~-740 m高程范围内金刚石矿物量105.6万ct^[16];在蒙阴县西峪地区金刚石原生矿深部-355 m~-730 m标高新增金刚石矿物量132.1万ct^[17];在费县大井头发现含金刚石钾镁煌斑岩管,选获金刚石3颗和大量指示矿物;在睢宁县姚集镇四山村北约250 m,新发现滑石化金伯利岩,地表由断续相连3个岩管和1条岩脉组成,选出具有指示意义的4粒含钠镁铝-铁铝榴石、2粒铬透辉石。

2010—2013年,地质五队和地矿工程集团分别对泰安石腊矿区、大辛庄矿区和济南界首矿区泰山玉矿进行了勘查评价,共发现7个泰山玉矿体,累计探获泰山玉矿石量752.6万t,玉石量270.5万t,为特大型泰山玉矿床。

2.6 深部有色金属和稀土矿勘查成效明显

有色金属矿首先在邹平县碑楼铜矿区实现找矿突破。碑楼地区第四系覆盖厚度达70~80 m,找矿难度非常大。2003—2005年,山东省物化探勘查院通过对该区开展多种地球物理探矿方法的综合勘查工作,确定了地球物理异常体。经过钻探验证和勘

查评价,新发现隐伏的中型铜矿床。

其他有色金属矿找矿成果集中于胶东地区,地质六队于2007—2009年探明了栖霞尚家庄中型钼矿,矿体埋深200~450 m。地质八队于2008年探明了五莲敞沟—杏山峪铅锌银铜中型多金属矿床,铅锌金属量23.2万t。地质四队于2008—2011年对七宝山金铜矿床深部及外围进行详查,探获铜金属量10.96万t、金金属量1422 kg^[18]。地质三队于2008—2011年开展烟台市福山区王家庄矿区深部及外围铜矿勘查,探获铜资源量4.25万t、锌资源量5.2万t。地质三队于2009—2013年在福山区邢家山矿区探获钼金属量32.15万t、钨金属量(WO₃)2.52万t(大型)。

2016—2017年,地质二队在微山县鄱山稀土矿深部及外围,新发现矿体3条,新增稀土矿量357.7万t,稀土氧化物资源量17.0万t,平均品位(TR₂O₃)4.65%,达到中型矿床规模^[19]。山东省物化探勘查院在枣庄市薛城地区圈定稀土矿化体1条,稀土氧化物RE₂O₃平均品位1.03%,估算稀土矿资源量435283.2t,稀土氧化物资源量4487.2t^[20]。

3 省外和境外找矿成果

3.1 新疆和内蒙古的煤炭资源勘查

在新疆维吾尔自治区,地质一队分别勘查评价了伊南煤田脱维勒克和伊昭井田、伊北煤田界梁子和苏勒萨依井田、昭苏煤田切特木斯矿区、和布克赛尔蒙古自治县陶和矿区、巴里坤哈萨克自治县东泉地区等煤炭资源,累计探明煤炭资源超过180亿t。测绘院勘查评价了准东煤田库兰喀孜干矿区,探获煤炭资源量36.57亿t。

在内蒙古自治区,地质一队探明了陈巴尔虎旗虎山盆地东北段煤矿床,地质五队探明了苏尼特右旗赛汉塔拉煤田巴音胡舒煤矿床,二者累计探明煤炭资源约40亿t。

3.2 内蒙古、青海和新疆的有色金属矿勘查

在内蒙古自治区,地质六队勘查评价了西乌珠穆沁旗白音查干东山矿区铜铅锡银锌矿床和阿巴嘎旗必鲁甘矿区32~56线钼矿。其中,白音查干东山矿区探获的锌资源量达到大型规模,银资源量是大型矿床国家标准的9倍,锡资源量是大型矿床国家标准的5倍;阿巴嘎旗必鲁甘矿区探获的钼资源量

为大型矿床的4倍。测绘院探获了额济纳旗独龙包中型钼矿,矿业公司探获了锡林浩特毛登小孤山北中型锡多金属矿。

在青海省,地质一队勘查评价了同德县石臧寺大型铋金矿,地质八院评价了兴海县日龙沟矿区锡多金属矿、铜峪沟铜矿、赛什塘深部铜矿和都兰县哈茨谱山北铜矿。

在新疆维吾尔自治区,地质七队勘查评价了新疆和硕县可可乃克镉矿床,探获天青石矿物量122.27万t, SrSO₄平均含量43.36%,属于超大型镉矿床。

3.3 境外矿产资源勘查

大力实施“走出去”战略,到20多个国家开展了地质工作,合作勘查矿权238个,勘查面积5.69万km²。在澳大利亚西澳洲达令山地区探获铝土矿资源量1800多万吨,在西澳洲伊尔高地区探明铁矿石资源量9.13亿t。在秘鲁邦沟地区控制磁铁矿资源量19.95亿t^[21]、伴生铜178.24万t。在刚果(布)布谷马西地区控制钾盐资源量31.04亿t。在美国加州新戴尔矿区探明金资源量32.716t。在津巴布韦马尼卡兰省奇拉色卡矿区探获金刚石矿物量379.8万ct。在肯尼亚纳库鲁省巴林戈郡地区,探明1处超大型优质硅藻土矿,估算硅藻土资源量2亿t以上。在埃塞俄比亚发现铜矿2处、锌矿1处、镍矿1处。此外,还在蒙古、智利等国开展了矿产勘查工作。

4 深部和复杂条件找矿方法技术

21世纪初,我国大宗矿产资源供不应求,严重威胁国家资源安全。山东省地矿局瞄准国家重大需求,实施了“资源山东建设”工程,省内、省外、境外三线联动,全面开展找矿突破行动。在找矿实践中,针对传统理论方法难以发现和识别的隐伏矿开展技术攻关,建立了一系列矿床勘查模型,集成创新了找矿方法。

4.1 深部金找矿方法技术

(1)通过莱州市焦家—纱岭深部金矿床的找矿实践,突破以验证电法异常为目标的传统浅部矿找矿思路,研发基于“成矿构造带+高精度地球物理探测+阶梯式成矿模式”的深部金矿阶梯式找矿方法;集成了“区域成矿预测十大比例尺矿带(田)成矿

预测“三维矿床成矿预测”的多尺度逐步逼近成矿预测技术;确立了不同方法识别深部金矿的地球物理特征参数,建立了以“密集过渡梯级带”为特征的CSAMT、SIP法深部金矿地质-地球物理找矿模型^[10];创建了胶东型金矿“热隆-伸展”成矿理论和阶梯式成矿模式;发现了焦家-纱岭和三山岛2个超巨型金矿床,认为以往在这2个区域探获的多个金矿床实际上为超巨型金矿床的不同矿段。

(2)在招远市玲南-水旺庄深部金矿床勘查中,突破传统的在远离主断裂的下盘寻找石英脉型金矿的思路束缚,将找矿方向聚焦于破头青主断裂带上,越过地表弱矿化段直接进行深部勘查;提出了“断裂结构面特征+破碎蚀变强度+矿体分段富集”的深部找矿方法,重点根据断裂变缓控矿、阶梯式成矿、矿化蚀变分带、矿体分段富集等规律找矿;提出了焦家、三山岛、招平3条成矿带具有大型矿床聚集丛生、金矿床呈NEE向对应分布、赋矿深度和矿体规模具有对称性、主断裂的直接下盘是成矿的最有利空间等矿床分布规律。在玲珑金矿田中探明的蚀变岩型金矿床资源量已经超过石英脉型金矿,改变了该矿田的矿床类型格局。

(3)在胶莱盆地东北缘金矿床找矿中,发现了以含黄铁矿碳酸盐脉为标志的辽上式金矿新类型;提出了盆地边缘拆离断层成矿模式和基底边缘密集断裂带成矿模式;将沿胶莱盆地边缘发育的拆离滑脱断裂带、沿荆山群与玲珑型花岗岩接触带发育的断裂构造、主干断裂与分支断裂的交会部位作为重要的找矿标志^[22],建立了根据控矿断裂呈现“上陡下缓”型式、断裂深部倾向由陡变缓部位赋矿的规律寻找深部第二赋矿台阶的勘查模型。

4.2 隐伏铁矿找矿方法技术

(1)针对兰陵县王埝沟-沟西深部铁矿床被新元古代-古生代盖层深覆盖、矿体陡倾斜、发育紧闭褶皱等特点^[23],发明了一种陡倾斜深部隐伏铁矿找矿方法,分别建立了深部隐伏铁矿床赋存区、深部铁矿床矿头位置和陡倾斜紧闭相似褶皱铁矿体的磁参数定量指标;建立了“地质-地面磁法延拓反演相结合、在局部高磁异常区内找铁矿”的勘查模型;创新应用了螺杆钻定向钻探和“造斜钻具组合+黑箱理论+造斜钻头+螺杆钻”定向纠斜技术。

(2)针对覆盖层厚达千米的济宁市颜店铁矿床找矿,采用的勘查技术集成和找矿技术路线为:地质

分析-高精度磁法、重力测量、综合资料研究-深孔钻探验证-可控源音频大地电磁测深、频谱激电测量、综合研究、矿体预测-深孔钻探追索控制矿体^[13];提出了在深覆盖区“利用重磁联合反演圈定超深重磁同源体,在同源体内找铁矿”的方法技术;新发现和厘定了隐伏的新地层单位——济宁群,发现了赋存于新太古代-古元古代浅变质岩系中“济宁式”铁矿新类型。

(3)针对汶上-县张宝庄-大牛隐伏铁矿床勘查,提出的地球物理勘查模型是:在矿体上部磁异常出现极大值,矿头位于正负异常梯度带附近,矿体向磁异常等值线相对宽缓侧倾斜,有限延深矿体的异常两侧均显示负异常,多层矿体出现多个异常峰值。

(4)在昌邑县莲花山-南任隐伏铁矿床勘查中,采用高精度磁法精细数据处理技术解决了第四系厚覆盖区铁矿体精确识别难题。通过对重磁异常场进行频率域位场分离,将局部场和背景场分离,准确推断解释了沉积变质型和海相火山岩型铁矿床。

4.3 有色和稀有金属找矿方法技术

(1)针对五莲七宝山潜火山杂岩体岩性、构造复杂的特点,坚持就矿找矿,实现深部找矿突破。敞沟-杏山峪矿区的勘查要点是:共轭断裂+成矿地质体+高磁异常区中的低值-负值异常+3%~6%的极化率异常+以透明硬石膏为标志的蚀变分带;七宝山金铜矿床深部及外围矿区的勘查要点是:就矿找矿(矿化垂向变化)+角砾岩筒+缓倾角裂隙+成矿地质体。

(2)在内蒙古白音查干东山锌铅银锡铜矿床勘查中,针对第四系覆盖厚、地表露头少、矿体产状较陡、隐伏矿体较多的特点,采用“地质-物化探先行+钻探工程验证”的技术方法,通过地质测量和物化探圈出断裂蚀变带和异常带,直接使用钻探工程进行深部追索、控制;建立了草原强风化区隐伏多金属矿床“地球化学组合异常+带状高充电率和高电阻率异常+断裂矿化蚀变带”勘查模型。

(3)针对内蒙古必鲁甘干铜钼矿床矿区露头差、主矿体为盲矿的特点,采用了直接对物探异常圈定的靶区进行钻探验证、控制的矿床快速评价方法,在白钨矿、泡铋矿重砂异常及铜金属量异常区的基础上,开展高精度地球物理探测,将中高电阻(300~650 Ω·m)、中等充电率异常(12~30 ms)和中低磁异常(0~100 nT)叠合区作为找矿靶区,采用正方形

勘探网布设钻探工程,发现与评价矿体;确定了“一条含矿接触带(花岗斑岩与林西组接触带),两种赋矿岩石(花岗斑岩和硅质角岩),3个矿化富集段(由NE向SW依次排列的Ⅲ,Ⅰ,Ⅱ号矿段)”的找矿方向。

(4)在新疆可可乃克锇矿床勘查中,以“含矿层位(二叠纪阿其克布拉克组一段)+中基性脉岩+天青石矿物”为重点勘查标志,探明了超大型锇矿床;根据矿区地形特点,采用“大比例尺地质填图+槽探+硃探”找矿技术组合有效控制了矿体。

4.4 煤矿床勘查方法技术

(1)通过阳谷-茌平煤田阳谷深部煤矿床勘查,提出了“三大构造层地震反射波+含煤地层+隆起边缘带”的鲁北隐伏区找煤方法,建立了以识别TQ+N(新近系底界面反射波)、TR(古近系底界面反射波)和T_g(煤系基底或奥陶系顶界面反射波)反射波,以及T₃波(3煤层反射波)为标志的地震勘查模型^[24]。

(2)首次在新疆伊犁盆地利用二维地震勘探技术找煤,采用“戈壁专用钻机+洛阳铲工艺成孔+3井组合激发”技术,克服了无水成孔、地形复杂地段成孔和井深浅于6m激发难题;采用“赋煤地层+地层界面和标志层地震反射波解释+构造标定+特定条件钻探工艺”勘查模型开展隐伏煤田勘查,建立了以TN(覆盖层底界面反射波)、T₃(3煤层反射波)、T₅和T₁₀波识别和解释为标志的伊南煤田地震勘查模型,以及以TE(古近系与侏罗系不整合面反射波)、T₂₁₋₁(21-1煤层反射波)、T₂₃₋₂和T₂₇波识别和解释为标志的伊北煤田地震勘查技术体系;建立了磁法测量查明隐伏火烧区的技术指标。

(3)根据内蒙古呼山盆地北东段煤矿区地表被第四系、风成砂覆盖,地表水位低等特点,采用震源车可控源施工方法开展二维地震勘查,准确圈出了含煤盆地范围。首次在内蒙二连盆地煤炭勘查中采用了地震、电法、数字测井相结合的物探方法,辅助解决了赋煤盆地内构造较发育、盆底凹凸不平、赋煤不均等问题,建立了以T₃波(3煤层反射波)识别和解释为标志的巴音胡舒煤矿床地震勘查模型;提出了矿区古地形呈隆拗相间之态,在隆起区无煤层聚集、在凹陷区赋煤的聚煤规律和找煤方向。

4.5 宝玉石和重要非金属矿勘查方法技术

(1)将二维地震勘探技术成功应用于大汶口盆

地王庄和夏家马庄矿段石膏矿勘探,建立了下部石膏层反射波和古近系底砾岩界面反射波的识别和解释标志,根据时间剖面上反射波波组的错断、同相轴的扭曲、强相位的转换或消失、绕射波、断面波等特殊波的出现,准确推断解释了切割矿层的断层。

(2)针对蒙阴县常马深部金刚石原生矿床赋矿的金伯利岩管直径小、延深大、倾角陡的特点,研究确定了按深度层次分别确定钻探工程间距的深部勘查工程布设方法;首次将可控源音频大地电磁测深(V8)方法引入金刚石原生矿勘查,建立了利用低阻异常圈定金伯利岩管的新方法^[16]。

(3)在泰安市大辛庄—济南市界首泰山玉矿床勘查中,针对玉石种类和质量难以识别问题,提出了通过与标准样比对确定矿石类型及特征的玉石质量评价对比分析方法;针对泰山玉呈团块状、透镜状,难以圈定具有一定规模的单一玉石矿体的问题,构建了首先圈定含玉母岩,然后按照含玉率估算玉石资源量的方法体系^[25-26]。

4.6 海域固体矿产勘查方法技术

(1)通过三山岛北部海域金矿勘查,建立了“根据陆域推断控矿断裂在海域的延伸范围—开展大比例尺高精度磁法测量和浅地层剖面测量探测控矿断裂具体位置和产状变化—依据断裂结构特征预测最佳找矿靶区—布设钻孔进行揭露控制”的海域金矿勘查技术系统;发明了海域金矿勘查钻探方法,这一方法的要点包括:选择有利成矿区域布设钻孔技术、依靠施工船和钻探平台完成钻孔精准定位和钻机就位技术、小口径岩心钻机钻探施工中避免海水灌入和全孔取芯技术、环保和安全钻探技术;研发制造了简易拼装式插桩海上钻探平台。

(2)在龙口北皂及梁家海域煤矿床勘查中,首次应用三维地震勘探技术开展海域煤炭资源勘查,采用子波匹配和二次定位技术获得了高质量的海域地震勘探数据,建立了以5组标准反射波为核心的地震勘查模型;研发海域钻探平台和软岩层钻探技术,解决了钻孔定位和三软煤层钻探施工难题。

4.7 境外复杂地质条件找矿方法技术

(1)在美国新戴尔、奥德山、铜王一纽崔金、铜多金属矿床勘查中,针对以往遗留的探采工程多、新施工工程成本高的特点,建立了“1:1万地质填图+对以往探采工程进行编录和系统取样+矿区资源评

价”的勘查技术系统;分别提出了以中生代岩浆侵入接触蚀变带为主要标志的砂卡岩型铜多金属矿床勘查模型和以拆离断层为主要标志的中低温热液交代充填型金矿床勘查模型。

(2)针对秘魯邦沟全隐伏铁(铜)矿床,采用“重磁精细解释+四位一体成矿模式”勘查模型开展勘查工作,构建了“成矿环境+岩浆活动+导矿构造+有利围岩”四位一体成矿模式^[21]。

(3)澳大利亚伊尔高铁矿床勘查采用的主要技术路线是:通过1:1万低空航磁测量与地面重力测量大致圈定矿带,以钻探为主要勘查手段对矿体进行追索控制;利用RC钻探代替机械岩心钻探,降低了成本、提高了勘探效率。

(4)在津巴布韦奇拉色卡矿区金刚石古砂矿床勘查中,建立了金刚石古砂矿勘查技术体系:采用大比例尺矿区填图圈出矿层范围,采用钻探确定矿层厚度和规模,采用槽探采样确定矿层品位变化情况,在此基础上选择合理的采样工程间距,最终采用浅井采集选矿大样;研发出适合该类型金刚石砂矿的选矿流选车,建立了适用的金刚石选矿流程和选矿方法,使金刚石回收率达到了98%以上。

(5)采用“岩相分析+地震解释标定层位+标志层+软地层钻探和易溶盐取芯技术”勘查模型,开展刚果共和国布谷马西钾盐矿床勘查;将硬石膏岩层、沥青页岩(含沥青质石盐岩)、厚层粗粒石盐岩层等作为圈定钾盐矿层的标志层^[27],确定了盆地的沉积中心及成矿有利部位;研发软地层钻探工艺,采取三层套管钻进工艺,有效解决了松散层塌孔、缩径等问题;在油基泥浆的基础上,改进冲洗液成分配比,研制出特种泥浆,解决了易溶盐取芯难题。

5 结论

(1)20世纪后半叶,山东省地矿局取得了丰硕找矿成果。如:发现了焦家式破碎带蚀变岩型新类型金矿,以及归来庄式、发云沓式等金矿类型,探明全国三分之一的黄金储量;发现了中国第一个金刚石原生矿和最大的蓝宝石矿,探明了莱芜铁矿、淄河铁矿、苍峰铁矿、黄县煤田、梁山和郓城煤矿区、王家庄铜矿(福山)、邢家山钼矿、莱州菱镁矿、平度石墨矿等一批大煤矿、大铁矿、有色金属矿和非金属矿。

(2)新世纪以来,山东省地矿局省内深部找矿成果突出,探明了10余个资源量超过100t的大金矿,

尤其是在三山岛北部海域探获了470t的全球最大的海底金矿床。发现和探明了王埝沟和沟西铁矿、济宁颜店铁矿、阳谷和安乐煤矿区、常马和西峪深部金刚石矿、泰山玉、碑楼铜矿、尚家庄钼矿、郯山深部稀土矿等一批深部和隐伏矿床。

(3)省外,在新疆和内蒙分别探明了重要的煤床和有色(多)金属矿床;国外,在刚果(布)、秘魯、澳大利亚、津巴布韦、肯尼亚等国家探获了特大型钾盐、铁、金刚石和硅藻土矿床。

(4)研发和建立了深部金矿阶梯式找矿方法、海域金矿钻探方法、陡倾斜深部隐伏铁矿找矿方法、地震反射波识别深部隐伏煤层技术、软地层中的钾盐盲矿床“岩相分析+地震解释标定层位+标志层+软地层钻探和易溶盐取芯技术”勘查模型等一系列深部和复杂条件找矿技术方法。

致谢:2018年是山东省地矿局建局60周年,谨以此文表示对山东省地质矿产勘查开发局的祝贺!并对为山东省地矿事业做出贡献的广大干部职工致以崇高的敬意!该文是在综合山东省地矿局大量找矿成果的基础上编写的,文中引用了许多未公开发表的地质报告,由于篇幅所限未在文章中予以注明,对这些成果的完成者表示感谢。

参考文献:

- [1] 宋明春,艾宪森,于学峰,等.山东省矿产资源类型和时空分布特点[J].矿床地质,2015,34(6):1237-1254.
- [2] 李士先,刘长春,安郁宏,等.胶东金矿地质[M].北京:地质出版社,2007:1-423.
- [3] 艾宪森,纪兆发,张钦文,等.中国矿床发现史·山东卷[M].北京:地质出版社,1996:1-303.
- [4] 林景仟,谭东娟,于学峰,等.鲁西归来庄金矿床成因[M].济南:山东科学技术出版社,1997:12-93.
- [5] 于学峰.山东平邑铜石金矿田成矿系列及成矿模式[J].山东地质,2001,17(3-4):59-64.
- [6] 孔庆友,张天祯,于学峰,等.山东矿床[M].济南:山东科学技术出版社,2006:1-50.
- [7] 罗声宣,任喜荣,朱源,等.山东金刚石地质[M].济南:山东科学技术出版社,1999:1-128.
- [8] 张天祯,石玉臣,王鹤立,等.山东非金属矿地质[M].济南:山东科学技术出版社,1998:1-50.
- [9] 宋明春,伊丕厚,徐军祥,等.胶西北金矿阶梯式成矿模式[J].中国科学:地球科学,2012,42(7):992-1000.
- [10] 宋明春,崔书学,伊丕厚,等.山东省胶西北金矿集中区深部大型-超大型金矿找矿与成矿模式[M].北京:地质出版社,2010:1-339.

- [11] 宋明春,伊丕厚,崔书学,等.胶东金矿“热隆伸展”成矿理论及其找矿意义[J].山东国土资源,2013,29(7):1-12.
- [12] 宋国政,杨真亮,李瑞翔,等.莱州市纱岭矿区金矿地质特征及其找矿前景[J].山东国土资源,2016,32(10):1-4.
- [13] 宋印胜,李培远,万国普,等.济宁超深特大型铁矿床勘查实践[M].北京:地质出版社,2015:1-20.
- [14] 何其芬.山东省兖州市翟村铁矿床地质特征及成因探讨[J].山东国土资源,2018,34(3):22-27.
- [15] 宋明春,张军进,张丕建,等.胶东三山岛北部海域超大型金矿床的发现及其构造-岩浆背景[J].地质学报,2015,89(2):365-383.
- [16] 赵秀芳,褚志远.山东省蒙阴县常马矿区金刚石原生矿深部综合找矿模型[J].山东国土资源,2016,32(9):17-25.
- [17] 褚志远,王树星,付帅.可控源音频大地电磁测深法在西峪矿区金刚石原生矿找矿中的应用[J].山东国土资源,2018,34(6):59-64.
- [18] 范伟顺,邹立春,唐秀花,等.五莲县七宝山多金属矿矿化特征及地球物理地球化学特征[J].山东国土资源,2018,34(2):18-23.
- [19] 王继芳,孙茂田,杜显彪,等.山东省郯山稀土矿地质特征及找矿前景分析[J].山东国土资源,2016,32(6):33-41.
- [20] 邹安德,赵法强,宋娟娟,等.山东枣庄薛城地区稀土矿成矿规律研究及找矿预测[J].山东国土资源,2018,34(2):1-7.
- [21] 徐洪岩,万中杰,胡庆辉,等.秘鲁阿雷基帕省邦沟矿区铁铜矿床地质特征及成因探讨[J].矿床地质,2015,34(4):82-84.
- [22] 李国华,丁正江,纪攀,等.胶莱盆地东北缘地区金矿特征及找矿方向[J].地质与勘探,2016,52(6):1029-1036.
- [23] 安仰生,韩廷宝,刘邦君,等.山东苍山王埝沟铁矿床地质特征及找矿方法探讨[J].山东国土资源,2008,24(7):40-43.
- [24] 宋明春,伊丕厚,刘明渭,等.山东省鲁西北地区含煤地层序列及深部煤炭资源预测评价[M].北京:地质出版社,2014:1-167.
- [25] 张念朋,李宗成,邢楠.泰山玉的外观特征及分类分级研究[J].山东国土资源,2015,31(11):26-29.
- [26] 张念朋.泰山玉的致色因素分析[J].山东国土资源,2016,32(7):31-34.
- [27] 宫述林.刚果盆地钾盐矿床沉积特征及成因探讨[J].化工矿物与加工,2012(10):39-42.

Important Prospecting Achievements and the Development of Ore Prospecting in Deep Hidden Area Gained by Shandong Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources in 60 Years

SONG Mingchun, XU Junxiang, JIAO Xiumei, MENG Qingbao, SUN Binglun, LI Shiyong, CAO Jia, FU Pengyuan

(Shandong Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: In the past 60 years, Shandong Exploration Bureau of Geology and Mineral Resources (SDGM) insists on prospecting to serve the country as own duty, to provide resources guarantee for the economic construction of Shandong province. So they made great achievements in prospecting. This paper comprehensively summarizes the important prospecting achievements and latest technological advances of deep and concealed prospecting by SDGM. In the 20th century, a new type of gold deposit of Jiaojia type was discovered, and one-third of the country's gold reserves was proven. China's first primary diamond deposit and the largest sapphire deposit had been discovered, and a batch of large-scale coal deposits, iron ore deposits, nonferrous metal deposits and non-metal deposits had been found. Since the 21st century, SDGM implement National Exploration and Development Planning in the inner-province, outer-province and overseas. In the inner-province, outstanding achievements in deep prospecting has been made, and more than 10 large gold deposits with a reserves of over 100t have been discovered, especially a world's largest undersea gold deposit with 470t reserves has been detected. In the outer-province, important coal deposits and polymetallic deposits have been discovered in Xinjiang and Inner Mongolia respectively. In other countries, such as Congo-brazzaville, Peru, Australia, Zimbabwe and Kenya, a batch of large-scale potash, iron, diamond and diatomite deposits have been detected. A series of deep-and complex-condition prospecting methods are developed and established, such as stepwise prospecting method for deep gold deposits.

Key words: Prospecting achievements; deep hidden deposits; prospecting method; SDGM; 60th anniversary