



甘肃成矿系列研究及矿产勘查新突破*

张新虎¹, 任丰寿¹, 余超², 刘建宏¹, 赵彦庆², 张发荣², 贾志磊¹

(1 甘肃省地矿局, 甘肃 兰州 730000; 2 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 甘肃省地质环境复杂, 成矿条件优越, 矿产资源相对丰富, 构造上位于古亚洲、滨太平洋、特提斯三大构造域的交接部位, 有北山、祁连山、西秦岭 3 个北西-南东向造山带, 其间夹持着敦煌、阿拉善、中-南祁连、鄂尔多斯等地块。根据甘肃省的构造演化、岩石建造组合及矿产分布规律, 运用成矿系列理论, 对全省各成矿单元成矿系列和谱系作了初步研究与梳理, 重新划分出 10 个成矿系列组, 54 个成矿系列, 42 个成矿亚系列, 82 个矿床式。在此基础上, 进一步归并出 4 个矿床成矿系列组合、16 个矿床成矿系列类型。通过归纳总结祁连山-龙首山、秦岭成矿区矿床成矿谱系, 依据甘肃主要成矿大区不同构造环境、成矿旋回和成矿系列发育特征, 运用缺位找矿思维, 调整对区域矿产勘查工作部署, 开展新区域、新层位、新类型、新矿种勘查找矿, 取得重要成果。西秦岭地区玛曲县大水金矿、夏河县加甘滩金矿找矿成果卓著, 先后列为国土资源部 2010 年度、2014 年度全国 10 大找矿成果, 西成铅锌矿田厂坝老矿山深部勘查资源储量大幅度增加, 发现大桥金矿新类型, 北祁连西段卡瓦铁铁矿富集区评价取得新进展, 将成为镜铁山铁矿资源接续区, 阿尔金成矿带青砂沟锰矿勘查实现新层位找矿突破, 显示出成矿系列理论在指导区域成矿规律研究方面具有强大的生命力和科学依据。甘肃省内已设置国家级整装勘查区 5 个, 据《2012 年全国主要矿产资源储量通报》, 甘肃省金矿资源储量跃居全国第 2 位, 锰矿居全国第 8 位, 锌、铅矿分别位居全国第 3、6 位, 找矿潜力巨大。

关键词 地质学; 构造演化; 成矿旋回; 区域成矿规律; 成矿系列; 成矿谱系; 矿产勘查新突破; 甘肃省

中图分类号: P612

文献标志码: A

Breakthrough in geological prospecting based on study of metallogenic regularity

ZHANG XinHu¹, REN FengShou¹, YU Chao², LIU JianHong¹, ZHAO YanQing², ZHANG FaRong²
and JIA ZhiLei¹

(1 Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2 Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract

Gansu Province is relatively rich in mineral resources thanks to the complicated geological environment and favorable mineralization condition which can be ascribed to its special location which is the connection between Paleo-Asia, marginal Pacific and Tethys tectonic domain and strides Beishan, Qilanshan and west Qinling inland orogenic belt that include some uplifts and blocks such as Dunhuang, Alxa, middle Qilian and Ordos. In this paper, the authors studied metallogenic series and pedigree of each mineralization unit in terms of tectonics, stratigraphic division, rock formation and mineral distribution, and summarized 10 groups of minerogenetic se-

* 本文得到中国地质调查局中国矿产地质与区域成矿规律综合研究项目“甘肃省矿产资源调查成果综合集成与服务产品开发(编号: 12120114058501)”子项目资助

第一作者简介 张新虎, 男, 1963 年生, 工学博士, 教授级高级工程师, 主要从事区域地质、区域成矿研究工作。Email: xhz15@163.com

收稿日期 2015-07-31; 改回日期 2015-09-02。张绮玲编辑。

ries, 54 minerogenetic series, 42 minerogenetic sub-series and 82 deposit styles; on such a basis, the authors grouped them into 4 associations and 16 types of minerogenetic series. By studying the minerogenetic pedigree of Beishan-Altun, Qilianshan-Longshoushan, Qinling metallogenic provinces, the authors revealed the characteristics of tectonic environment, metallogenic cycles and main minerogenetic series of key metallogenic zones. Following the thought of absence prospective idea, the authors adjusted regional mineral prospective plan, carried out prospecting in new regions and new horizons for new types and species of minerals and achieved obvious results: ① In West Qinling region, the Dashui gold deposit in Maqu County and the Jiagantan gold deposit in Xiahe County are listed as one of 10 key prospecting achievements of Ministry of Land and Resources in 2010 and 2013 respectively; ② In the Xihe-Chenxian Pb-Zn orefield, resource reserves of the Chanba mine has increased greatly, and a new type of gold deposit was discovered in Daqiao; ③ In western segment of North Qilian, the Kawa iron concentration area will replace Jingteishan mine as the next resource mine; ④ In Altun metallogenic zone, the Qingshagou manganese deposit is likely to be a breakthrough of manganese prospecting in the different strata. The gold reserves of Gansu possess the second place in China, the manganese reserves possess the eighth, the zinc reserves possess the third, and the lead reserves possess the sixth. These achievements demonstrate that the theory of metallogenic series has strong vitality and scientific basis.

Key words: geology, tectonic evolution, metallogenic regularity, regional mineralization, metallogenic series, metallogenic lineage, prospecting breakthrough, Gansu Province

“甘肃省矿床系列研究”始于2000年,是甘肃省地矿局参与“中国成矿体系与区域矿产找矿潜力评价”研究项目中完成的子课题,初步总结了全省主要矿产成矿规律,划分了成矿区带,初步建立了成矿系列组合、成矿系列类型、矿床成矿系列(李永军等,2002;刘建宏等,2006;张新虎等,2007a),同时也开展了找矿预测工作。

许多学者对甘肃地质构造、成矿区带及成矿系列进行过研究,发表了许多重要文章,有利地指导了甘肃的地质找矿工作。陈毓川等(1994)对秦岭地区主要金属矿床成矿系列进行了划分并探讨了区域成矿规律;张新虎等(2008)发表了甘肃省成矿区(带)研究一文,探讨了各主要成矿区带的特征。贾群子等(2002)研究了祁连山的金属矿床的分带性及其分布规律。刘建宏等(2006)运用矿床成矿系列理论和方法,对甘肃西秦岭地区进行了矿床成矿系列和成矿谱系的研究。2012年,张新虎等完成了“甘肃省区域成矿及找矿”研究,全面总结了1999年国土资源大调查以来基础地质调查、成矿规律研究的新资料,特别是矿产资源潜力评价的系列成果,对甘肃成矿系列进行了重新梳理和深入研究,在成矿系列理论指导下,部署区域矿产远景调查和重点矿种勘查,取得了一系列勘查新成果。本文通过对甘肃区域成矿基本特征的规律性认识,展示成矿系列研究新成果,以6个找矿突破实例,反映出区域成矿规律研究对

区域找矿部署的指导作用,以期对甘肃地质找矿及勘查工作具有重要指导意义。

1 甘肃省区域成矿基本特征的规律性认识

1.1 地质构造演化特征

甘肃省位于古亚洲、滨太平洋、特提斯三大构造域的交接部位,北山、祁连山、西秦岭造山带总体呈北西-南东向展布,其间夹持着敦煌、阿拉善、中-南祁连、鄂尔多斯等地块。甘肃大地构造演化大致划分为4个阶段(梁明宏等,2014a,2014b):

(1)前南华纪—中元古代,属大陆地壳早期演化阶段;

(2)南华纪—早泥盆世,进入洋陆演化-多岛洋演化阶段;

(3)中晚泥盆世—中三叠世总体属陆内伸展演化阶段,中晚泥盆世为伸展环境,陆相火山岩及石炭纪—二叠纪裂谷双峰式火山岩在北山、祁连大量发育,河西走廊及秦、祁地区普遍发育陆表海沉积;

(4)三叠纪—古近纪总体属陆内盆山构造演化阶段,见有后造山花岗岩和后碰撞钾玄岩类陆相火山岩。

上述各阶段中,各类成矿作用复杂,并独具甘肃特色,其中祁连山是中国最为重要的早古生代与海相火山岩型块状硫化物铜多金属矿床成矿带,而其

北邻的龙首山则赋存有中国元古宙最主要的岩浆Cu-Ni-P(PGE)硫化物矿床成矿带,西秦岭是中国最主要的铅、锌、金、锑矿成矿区。

1.2 主要成矿旋回

甘肃省内自中元古代至新生代都有矿产形成。各时期所形成的矿床在矿种方面无显著差异,但在矿床类型及其系列组合上却极其复杂,具有各自的特点和演化趋势。

依据省内大地构造演化特点,将金属成矿期划分为:

(1) 陆块期成矿旋回(I)。在武陵-扬子成矿期(I₁),发育有长城纪大陆裂谷带铁质超基性岩岩型铜镍-铂族共生矿床和碳酸岩型稀土矿床。蓟县-青白口纪出现沉积-变质型铁、锰、铜金组合矿床和铅(锰)矿床。

(2) 拼接期成矿旋回(II)。在兴凯成矿期(II₁),震旦系-早寒武世赋存有沉积-改造型锰矿、沉积型磷、钒、铀共生矿床。加里东成矿期(II₂)则是甘肃省主要成矿期,以中寒武世—早奥陶世蛇绿岩型铬、铜矿、中寒武世—中奥陶世火山-次火山型铜多金属矿(伴生金、银及稀散元素)、喷气沉积型铜锌矿为主,其次为火山沉积-热液再造型金矿、沉积-改造型锰矿。志留纪发育与中酸性岩基有关的钨、钼、铜、铁、(铜、铅、锌)矿;在中间隆起边缘超基性、基性杂岩体内赋存有岩浆岩型铬矿。在华力西成矿期(II₃),早泥盆世晚期-中泥盆世早期生成热水沉积型铅(银)矿,在中泥盆世形成沉积-改造型铅(银)矿和沉积铁矿,在晚泥盆世形成砂岩型铜矿,在早石炭世形成火山沉积-再造型铅、银、(银)、锌矿、热液型金矿。石炭纪与花岗岩类有关的矿床有斑岩型铜(银)矿、(铁、锰)金矿。二叠纪与花岗岩类有关的有铅、铜、铁、金矿。在印支成矿期(II₄),三叠纪与花岗岩基、小岩体有关的热液型金矿、低温热液充填型锑、锑金矿、汞锑矿广泛发育。

(3) 后构造成矿旋回(III)。在燕山期(III₁),侏罗纪发育与花岗岩类有关的铜(铁、砷)铁矿、铅(银)矿、金矿、斑岩型铜矿和热液型金矿,白垩纪发育浅成低温热液型金矿、古砂金矿和砂岩型铜矿。在喜马拉雅期(III₂),古近纪形成有热水型铀矿,第四纪有砂金矿。

(4) 成矿作用在时间维上的演化趋势。在成矿元素组合上,从铜-铁族元素为主(陆块期旋回)→亲铜元素为主(拼接期旋回)→金为主(后构造期旋

回);在成矿作用方面,由幔源岩浆型、沉积变质型(陆块期旋回)→壳幔混合源、部分幔源型的火山岩型(拼接阶段)→以硅铝质壳源为主的层控型、花岗岩热液型、复合热液型(断陷海盆阶段、造山阶段)→上部壳源浅成低温成矿作用。

上述成矿演化趋势与省内构造演化史一致,反映了地壳由薄变厚、地壳成熟度不断提高的趋势。

1.3 主要矿产空间分布规律

甘肃省矿产地在地理分布上,主要集中在北山、祁连山、西秦岭、陇东地区,其次为河西走廊、龙首山、阿尔金山东段等地区。

(1) 北山地区:主要有斑岩型铜矿、火山热液型铁矿、石英脉型钨矿、沉积变质型钒、磷、铀矿、石英脉型金矿,其次是矽卡岩型铜矿、铅、锌矿、富铁矿、热液型多金属矿、钼矿、锡矿,小型含煤盆地及非金属萤石、大理岩、白云母、重晶石、蛇纹石、硅灰石等矿床。

(2) 祁连山地区:主要有沉积-变质型铁、铜矿、火山岩型块状硫化物铜多金属矿、石英脉型钨矿、火山岩型金矿,其次是石灰岩、白云岩、菱铁矿、重晶石、石膏等非金属矿床。

(3) 西秦岭地区:主要有热水沉积改造型铅、锌矿、构造蚀变岩型、浅成低温热液型金、锑矿、矽卡岩型铜、钨、锡、砷矿,沉积型铁、锰、磷矿,其次是重晶石、石灰岩、白云岩等非金属矿床。

(4) 陇东地区:主要是石油、煤(煤层气)、页岩气富集区,规模大而集中。在埋藏深度上,由浅到深依次为铀矿、煤炭、石油,为分层开采提供了良好条件。其次为油页岩、铝土矿和石灰岩矿。

(5) 龙首山地区:是中国重要的铜、镍、铂族矿产富集区,具有共伴生元素多、规模大的特点。其次是沉积变质型铁矿、磷矿、铀矿及稀土元素、膨润土、白云岩、石英岩等矿床。

(6) 河西走廊地区:主要有石油、煤炭及沉积型芒硝、石膏、萤石、凹凸棒石、海泡石、水泥灰岩、岩盐矿床,其次为砂金、黏土等矿床。

(7) 阿尔金山东段地区:主要有超基性岩型石棉、沉积变质型铁、锰矿床,其次是煤、区域变质岩型蓝晶石、片岩型石榴子石矿床等。

2 甘肃成矿系列研究新成果

2000~2003年,由中国地质科学院矿产资源研究所陈毓川院士任项目负责,笔者承担“中国成矿体

系与区域矿产找矿潜力评价”研究项目,甘肃省地矿局完成“甘肃省矿床系列研究”子课题,初步总结了全省主要矿产成矿规律,划分了成矿区带,初步建立了矿床成矿系列、亚系列(张新虎等, 2005; 2007a; 2008)。同时,对全省主要矿种开展了靶区预测。同期,许多学者对甘肃地质构造、成矿区带及成矿系列、成矿谱系进行研究,将甘肃省内划分出 16 个Ⅲ级成矿区(带)、43 个Ⅳ级成矿区(带),探讨了主要成矿区带特征,发表了许多重要文章,并将研究成果应用于勘查实践,有利地指导甘肃地质找矿,取得了新的找矿突破(程裕淇等, 1983; 陈毓川等, 1994; 2006;

2007; 王平安等, 1997; 聂凤军等, 2002; 毛景文等, 2003; 张新虎等, 2005; 2007b; 2008; 刘建宏等, 2006; 徐东等, 2014)。

在“甘肃省区域成矿及找矿”研究中,以成矿系列理论为指导,系统反映了甘肃区域地质、区域物化探、成矿规律研究的新进展,特别是矿产资源潜力评价的系列成果,深化了成矿系列研究内容,探索了成矿谱系的构建,开展区域找矿预测和靶区优选,在重要成矿区带部署区域性矿产远景调查,取得了显著的找矿成果(张新虎等, 2012)。

根据成矿系列和成矿谱系的基本概念、划分依

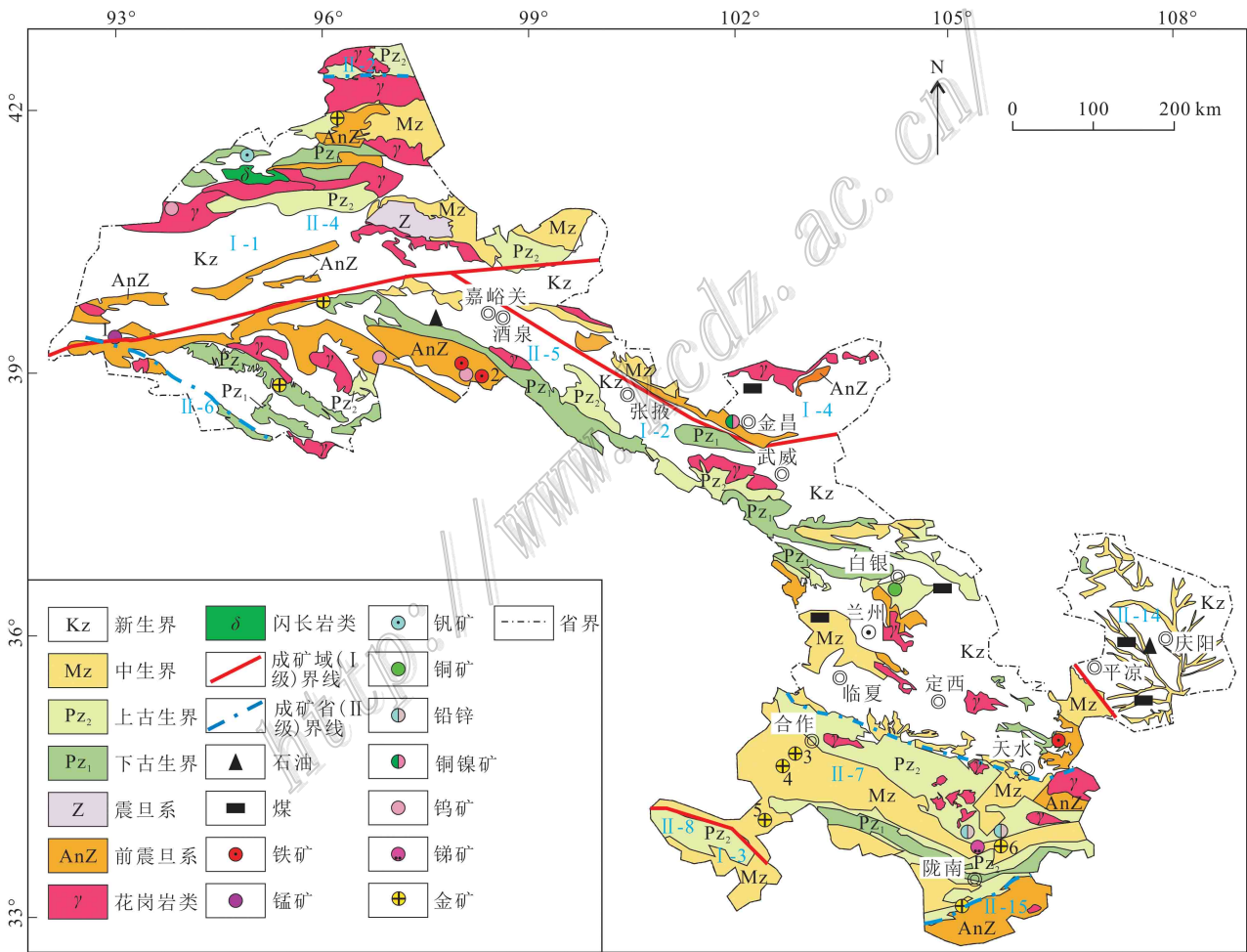


图1 甘肃省地质矿产简图(显示近年来新发现、评价的大型矿床分布)

成矿省: Ⅱ-2—准噶尔成矿省; Ⅱ-4—塔里木成矿省; Ⅱ-5—阿尔金-祁连成矿省; Ⅱ-6—昆仑(造山带)成矿省; Ⅱ-7—秦岭-大别-苏鲁成矿省; Ⅱ-8—巴颜喀拉-松潘成矿省; Ⅱ-14—华北成矿省; Ⅱ-15—扬子成矿省

Fig. 1 Geological sketch map of Gansu Province, showing distribution of large-sized mineral deposits discovered or evaluated recently

Ⅱ-2—Junggar metallogenic province; Ⅱ-4—Tarim metallogenic province; Ⅱ-5—Altun-Qilian metallogenic province; Ⅱ-6—Kunlun metallogenic province; Ⅱ-7—Qinling-Dabie-Sulu metallogenic province; Ⅱ-8—Bayan Har-Songpan metallogenic province; Ⅱ-14—North China metallogenic province; Ⅱ-15—Yangtze metallogenic province

据和命名原则,结合甘肃省构造、地层划分、各套岩石建造组合及矿产分布规律,对全省各成矿单元成矿系列和谱系作了初步研究与划分,厘定出 54 个成矿系列,42 个成矿亚系列,82 个矿床式,并进一步归并出 4 个矿床成矿系列组合、16 个矿床成矿系列类型(表 1)。

根据成矿系列研究成果,结合甘肃主要成矿大区不同构造环境、成矿旋回和主要成矿系列发育特征,构建了成矿谱系图。从图 2 中可见,北祁连地区古元古代到中新元古代,在陆核增生基础上,发育了与沉积变质作用有关的铁、铜、铅锌、金、磷、重晶石成矿系列,以镜铁山大型铁矿为代表。加里东期是北祁连重要的铜、多金属、钨钼成矿期,以白银厂、塔儿沟、小柳沟为代表,构成与火山-沉积作用有关及与钙碱性岩浆侵入岩有关的矿床成矿系列。在图 3 中,甘肃西秦岭各成矿系列在不同成矿期的演化规律展示的更为清晰,在扬子古陆边缘发育了与中新元古代沉积作用有关的铁、锰、重晶石、毒重石成矿系列,与泥盆纪碳酸盐岩、火山作用有关的层控铅锌、银、金成矿系列,构成西成铅锌矿田。印支期-燕山期是大规模成矿期,形成与中酸性侵入岩有关的高温热液型钨、锡、钼矿、矽卡岩型铁、铜、金矿、浅成低温热液型汞、砷、锑、金成矿系列。整个西秦岭地区,金成矿不具有选择性,在各系列中均发育,尤以印支-燕山期与浅成低温热液型、构造蚀变岩型金矿最为发育,形成大型、超大型矿床,如玛曲县大水、西和县大桥、合作市早子沟、文县阳山等金矿床。

上述研究成果对区域矿产勘查工作部署,主攻矿种勘查规划,运用缺位找矿思维在新区域、新层位、新类型、新矿种找矿方向和预测等方面均具有重要指导作用(王登红等,2007)。(图 2、3)。

3 矿产勘查新成果

近年来,自觉运用成矿系列理论于区域成矿规律研究中,使金、镍、铅锌、铁锰、钨钼的找矿工作取得了新突破。其中,汤中立院士在甘肃北山地区发现评价了黑山铜镍大型矿床(汤中立等,2000;徐刚等,2012;张新虎等,2012;孙涛等,2014)。在祁连山成矿系列研究基础上,建立了塔儿沟矿床式,在其东部延伸部位发现了小柳沟钨钼矿床,已成为中国西北地区最大的钨资源基地,远景资源量可达 35~40 万吨(刘堆富等,2005)。通过研究沉积-变质型铁矿

富集规律,在北祁连西段,与古元古代—中元古代与沉积-变质改造作用有关的 Fe、Cu-Pb-Zn、Au、P、重晶石矿床成矿系列中,扩大镜铁山铁矿外围找矿,发现了卡瓦铁矿富集区,初步探获铁矿石资源量 5.44 亿吨(齐瑞荣等,2015)。在柴达木北缘阿尔金成矿带东段,建立了新元古代与变质作用有关 Fe、Mn、Nb、Ta、稀土成矿系列,发现并评价了安南坝锰矿,实现新区域、新层位的找矿突破。

近年来,在西秦岭地区已设置甘肃崖湾-大桥地区、寨上-马坞地区、阳山地区 3 个国家级整装勘查区,金矿勘查取得突破性进展,典型的有西和县大桥(金资源储量 96 t)、宕昌县竹园北(72 t)、夏河县加甘滩(150 t)、礼县杜家沟(56 t)、岷县寨上(33 t)、合作市岗岔(20 t)、西和县小东沟(26 t)、徽县九条沟(28 t)等一批大型、超大型金矿床,老矿山如大水、早子沟金矿的资源储量大幅度增加,在 500~1000 m 勘查深度发现新的富集带(表 2,图 1),使甘肃金矿资源储量跃居全国第二位。在西成铅锌矿田内厂坝铅锌矿深部勘查取得突破性进展,主矿体斜深达 770 m,厚度、品位基本稳定,在深部及外围累计查明资源量 990 万吨。

3.1 阿克塞县安南坝锰矿床

通过对比分析阿尔金东段成矿区成矿系列特征,认为该区西段具有寻找沉积型锰矿的地质条件,2010 年甘肃省地矿局第二勘查院根据勘查工作部署,在安南坝地区开展了 1:5 万水系沉积物测量,经异常查证发现青砂沟锰矿。这是锰矿勘查新区域、新层位找矿突破的实例。

安南坝锰矿位于塔里木陆块成矿省柴达木北缘成矿带,经历了复杂的地质演化,中新元古代沉积了碎屑岩-碳酸盐岩过渡部位的含锰岩系,锰矿产于蓟县系第二岩组含锰白云质砂岩中,矿石与围岩呈渐变关系(赵保青等,2013,2014)。全矿区共圈出 2 个矿体群,61 条矿体。矿体呈近 EW 向层状-似层状展布,长度 86~1900 m,平均厚度 0.52~7.26 m,Mn 平均品位在 8.09%~15.48% 之间,矿体斜深在 138~564 m。估算锰矿石资源量 2823 万吨,使甘肃锰资源量在全国的排名上升至第 8 位(蒙轸等,2015)。矿石主要是硬锰矿,次为菱锰矿,矿石结构主要为胶状、隐晶、粒状变晶结构,构造主要有块状、浸染状、网格状构造。勘查评价时,通过还原焙烧-酸性浸出选矿试验研究,锰金属总回收率可达 82.86%,进一步论证工业指标,确认该锰矿是具有一定经济意义

表 1 甘肃矿床成矿系列划分表

Table 1 Minerogenic series of mineral deposits in Gansu Province

矿床成矿系列组合	矿床成矿系列	矿床成矿系列类型
与岩浆作用有关的成矿系列组合	III-08Pz ₂ -II 北山地区华力西期与岩浆侵入活动及火山有关的 Cr、Fe、Ni、Cu、Pb、Zn、Au、Ag 硫铁矿-石棉-水晶-宝石矿床成矿系列	裂谷环境与岩浆作用有关的成矿系列类型
	III-12Pz ₂ -II 塔里木板块北缘华力西期与中酸性岩浆活动有关的 Cu、Fe、钼矿床成矿系列	
	III-21Pz ₁ -5I 北祁连加里东期与岛弧火山岩建造有关的 Cu、多金属、Au、Ag、Pb、Zn、Fe、Mn 矿床成矿系列	
	III-73Pt ₃ -II 扬子西北缘晋宁期与海相火山岩及岩浆热液作用有关的 Cu（钴锌金）Fe、Mn、Au、钒矿床成矿系列	岛弧环境岩浆作用有关的成矿系列类型
	III-14Pz ₁ -II 北山南部加里东期与岩浆岩侵入有关的 Cu、Ni、Cr、Sn、稀有金属、多金属矿床成矿系列	岩浆弧岩浆作用有关的成矿系列类型
	III-14Pz ₂ -3I 北山南带华力西中晚期与中酸性侵入岩及火山作用有关的 Cu、Pb、Au、Ag、Fe、钼、铌钽、Sn、多金属矿床成矿系列	
	III-15Pz ₂ -II 北山南带华力西晚期与造山期后构造-岩浆和热液作用有关的 Au-Pb-Zn-As 矿床成矿系列	
	III-21Pz ₁ -4I 北祁连西段加里东中晚期与钙碱性岩浆侵入有关的 W、Mo、Cu、Mi、Au、Ag 矿床成矿系列	
	III-28Mz ₂ -4I 西秦岭印支期—燕山期与中酸性岩浆侵入作用有关的 Cu(As)、Au(Sb)、Ag、W、Sn 多金属矿床成矿系列	
	III-28Mz ₁ -7I 西秦岭燕山期与岩浆-热液作用有关的 Au、Hg、As、Sb、Ag、PbZn 矿床成矿系列	
	III-12Mz ₂ -2I 北山南带印支期与埃达克岩钾长花岗岩有关的 Au 矿床成矿系列	缝合带环境岩浆作用有关的成矿系列类型
	III-21Pz ₁ -3I 北大河、古浪峡地区加里东期与基性超基性岩侵入有关的 Cu、Ni、Pt、Co、Cr、钒钛矿床成矿系列	
	III-23Pt ₁ -II 南祁连加里东期与超基性岩（蛇绿岩）有关的 Cr、Pt、Na、Ti、Cu、蛇纹岩、石棉矿床成矿系列	
	III-28Pz ₁ -II 西秦岭北缘加里东期与超基性岩有关的 Cr、Au 矿床成矿系列	
	III-23Pz ₂ -4I 阿尔金地区华力西晚期与构造岩浆热液作用有关的稀有（Nb、Ta）金属矿床成矿系列	
	III-22Pz ₂ -2I 中祁连华力西期与岩浆侵入作用有关的 W、Mo、Fe、Be、Cu、磷矿床成矿系列	
与沉积作用有关的成矿系列组合	III-21Pz ₂ -7I 北祁连华力西早期与碱性岩浆及热液作用有关的 REE、Cu、Pb、Au、Ag、As、萤石矿床成矿系列	后造山拉张环境岩浆作用有关的成矿系列类型
	III-24Pz ₂ -II 柴达木北缘华力西晚期与岩浆作用有关的 Cu、W、Mo、Au、Ag 矿床成矿系列	
	III-24Mz ₂ -II 柴达木北缘燕山期与岩浆-热液作用有关的 Cu、Fe、稀有金属、Au 矿床成矿系列	
	III-18Pz ₂ -4I 龙首山华力西早期与基性超基性岩浆侵入作用有关的 Ti、Fe 矿床成矿系列	
	III-18Pz ₂ -5I 龙首山、独青山地区华西晚期与酸性侵入岩有关的稀有（Nb、Ta）、萤石矿床成矿系列	
	III-73Mz ₂ -3I 三江地区印支期—燕山期与火山-沉积及岩浆作用有关的 Au、Cu、Fe、Pb、Zn、Ag 矿床成矿系列	区域断裂构造带岩浆作用有关的成矿系列类型
	III-18Pt ₂ -II 龙首山地区晋宁期与基性超基性岩侵入活动有关的 Cu、Ni、Pt、Co、V、Ti 矿床成矿系列	
	III-28Mz ₁ -6I 西秦岭印支期与岩浆期后热液作用有关的 Au、Pb、Zn 矿床成矿系列	
	III-14Pz ₁ -2S 北山南带寒武纪与沉积作用黑色岩系有关的 Cu、Fe、Mn、磷、钒、铀、重晶石矿床成矿系列	陆表海、裂陷槽岩浆作用有关的成矿系列类型
	III-20Pz ₂ -1S 走廊过渡带石炭纪与沉积作用有关的盐类（膏盐）、黏土矿床成矿系列	被动陆缘海环境裂谷地质环境与沉积作用有关的成矿系列类型
	III-21Pz ₂ -6S 北祁连中西段志留纪与沉积作用有关的 Cu、Fe、Mn、磷、重晶石矿床成矿系列	
	III-28Pz ₂ -2S 西秦岭晚古生代早中期与沉积（碳酸盐岩）-（碎屑岩）作用有关的 Cu、Pb、Zn、W、Mo、Ag、Au 矿床成矿系列	
	III-18Pz ₂ -6S 永昌红泉地区晚二叠世与陆相沉积及火山沉积作用有关的黏土矿床成矿系列	陆表海、湖盆、裂陷槽裂谷地质环境与沉积作用有关的成矿系列类型
	III-59Pz ₂ -1S 贺兰山陆缘二叠纪与沉积作用有关的铝土矿、黏土矿、铁矿、煤矿床成矿系列	
	III-28Pz ₁ -3S 西秦岭南缘志留纪与海相沉积及新生代表生作用有关的 Mn、褐铁矿矿床成矿系列	
	III-22Cz-3S 中祁连西段新生代与矿泉喷流沉积作用有关的自然硫矿床成矿系列	陆缘海槽地质环境裂谷地质环境与沉积作用有关的成矿系列类型
	III-15Cz-2S 北山南带第四纪与坡积和现代盐湖沉积作用有关的砂金、芒硝、石盐、硼、钾盐矿床成矿系列	中生代断陷盆地裂谷地质环境与沉积作用有关的成矿系列类型
	III-20Cz-2S 走廊北侧古近纪与沉积作用有关的石膏、凹凸棒石黏土矿床成矿系列	
	III-08Cz-2S 北山北带第四纪残坡层中的 Au、W 砂矿床成矿系列	
	III-23Cz-5S 南部连南缘第四纪与沉积（化学沉积）作用有关的钾盐、石盐、芒硝矿床成矿系列	
	III-18Cz-7S 湖水盆地新生代与沙漠盐湖、现代盐湖沉积作用有关的芒硝、石盐矿床成矿系列	
	III-60Mz ₁₋₂ -1S 陇东正宁、宁县、华亭中生代（早-中侏罗世、三叠纪、白垩纪）与沉积作用有关的煤、石油、天然气、铀矿床成矿系列	
	III-28Mz ₁ -5S 迭部以东地区下-中泥盆统与沉积作用有关的 Fe、磷矿床成矿系列	
	III-21Mz ₂ -8S 北祁连中东段中生代与沉积作用有关的 Cu、稀散金属、Au 矿床成矿系列	
	III-24Cz-3S 柴达木北缘苏干湖槽地第四纪与沉积（化学沉积）作用有关的钾盐、石盐、芒硝矿床成矿系列	
	III-28Cz-8S 渭河、犀牛江等流域第四纪与沉积（冲积）作用有关的砂金矿床成矿系列	
与变质作用有关的成矿系列组合	III-73Cz-4S 三江地区新生代与沉积（冲积）作用有关的砂金矿床成矿系列	河谷环境与沉积作用有关的成矿系列类型
	III-14Pt ₃ -4M 北山南带震旦纪与沉积变质作用有关的 Fe、Mn 矿床成矿系列	
	III-14Pt ₂ -5M 柳园裂谷北缘中元古代与海相沉积变质作用有关的 Fe、Mn 矿床成矿系列	
	III-14Pt ₃ -6M 北山南带青白口纪与海相沉积变质作用有关的 Fe、重晶石盐类矿床成矿系列	稳定古陆块区与变质作用有关的成矿系列类型
	III-18Pt ₁ -2M 龙首山中东段（东大山地区），中条旋回与沉积变质及火山沉积作用有关的 Fe、Cu 矿床成矿系列	
	III-18Pt ₂ -3M 龙首山晋宁期与沉积变质作用有关的 Fe、Cu、Mn、PbZn、磷、钒、铀矿床成矿系列	
	III-21Pt ₁ -1M 北祁连中东段中条期与海相火山-沉积变质作用有关 Fe、Cu、Au 矿床成矿系列	
	III-21Pt ₂ -2M 北祁连晋宁期与海相沉积-变质作用有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、Au、磷、重晶石矿床成矿系列	
	III-22Pt ₂ -1M 中祁连晋宁期与海相沉积变质作用有关的 Fe、Mn 矿床成矿系列	
	III-23Pt ₂ -3M 南祁连晋宁期与沉积变质作用有关的 Fe、Mn 矿床成矿系列	陆缘盆地与变质作用有关的成矿系列类型
与含矿流体作用有关的矿床成矿系列组合	III-73Pt ₃ -2M 扬子北缘震旦纪与火山-沉积及生物-化学沉积变质作用有关的 Au、Fe、Mn、磷、钒、Mo、重晶石、毒重石矿床成矿系列	
	III-23Pz ₁ -2N 党河南山地区寒武纪—志留纪与含矿流体作用有关的 Au、As、Pb、菱镁矿矿床成矿系列	裂谷环境与含矿流体作用有关的成矿系列类型

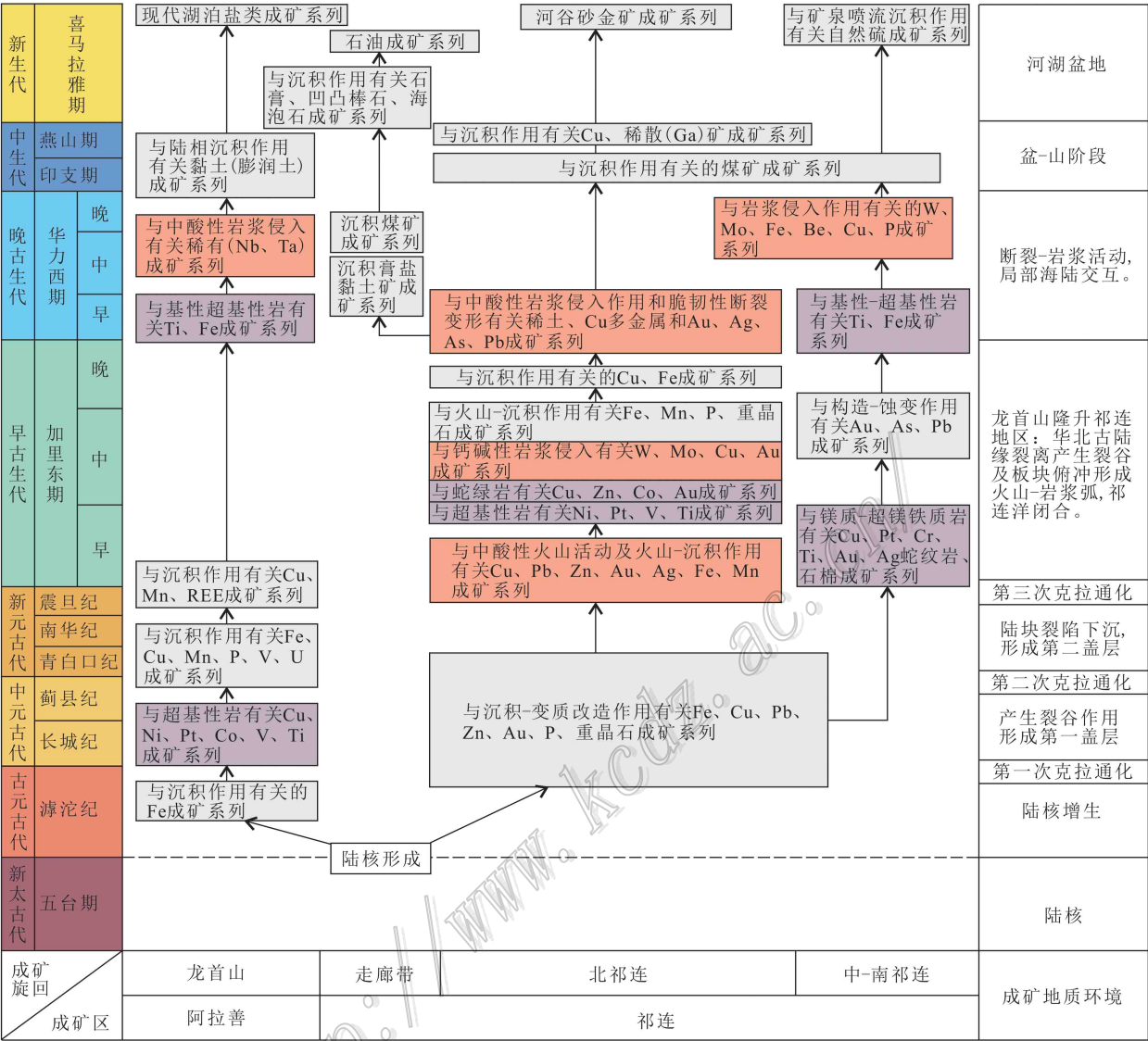


图 2 甘肃祁连山-龙首山成矿区矿床成矿谱系图

Fig. 2 Pedigree tree of minerogenic series of mineral deposits in Qilian-Longshoushan metallogenic belt of Gansu

的大型低品位锰矿床。矿床成因属沉积变质型。

发现该锰矿的意义在于:在工作程度较低的重要成矿带,区域成矿规律研究、成矿条件分析是勘查部署的基础,预测和评价的基本方法是含矿层位对比和就矿找矿;有效勘查评价方法是地质、物化探、遥感综合调查等技术组合,以达到快速缩小找矿靶区的目的,其中化探找锰成效显著,这一成功实例,在国内鲜有先例。仅用 3 年时间,就完成了从物化探异常查证、矿产普查到详查,极大地缩短了找矿周期。

3.2 肃南县卡瓦铁矿床

卡瓦铁矿富集区位于阿尔金-祁连成矿省,北祁连加里东成矿带镜铁山成矿区内。通过深入研究北

祁连西段古元古代—中元古代与沉积-变质改造作用有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、Au、P、重晶石矿床成矿系列,对比已知大型镜铁山铁矿外围成矿条件和物化探异常特征,认为镜铁山铁矿外围是最有利的找矿靶区,2009 年建议在其东延带部署“丰乐河-西插山地区 1:5 万矿产远景调查”。该项目的实施,进一步理清了镜铁山式铁矿含矿岩系空间展布,先后发现了卡瓦铁矿、沙梁铁矿、光滑岭铁矿等一批铁矿点,实现了铁矿勘查新突破,成为甘肃北祁连西段找矿突破战略行动的典型实例。通过前期勘查,全区已获得铁矿石资源量 5 亿吨,可成为镜铁山铁矿后续开发基地。

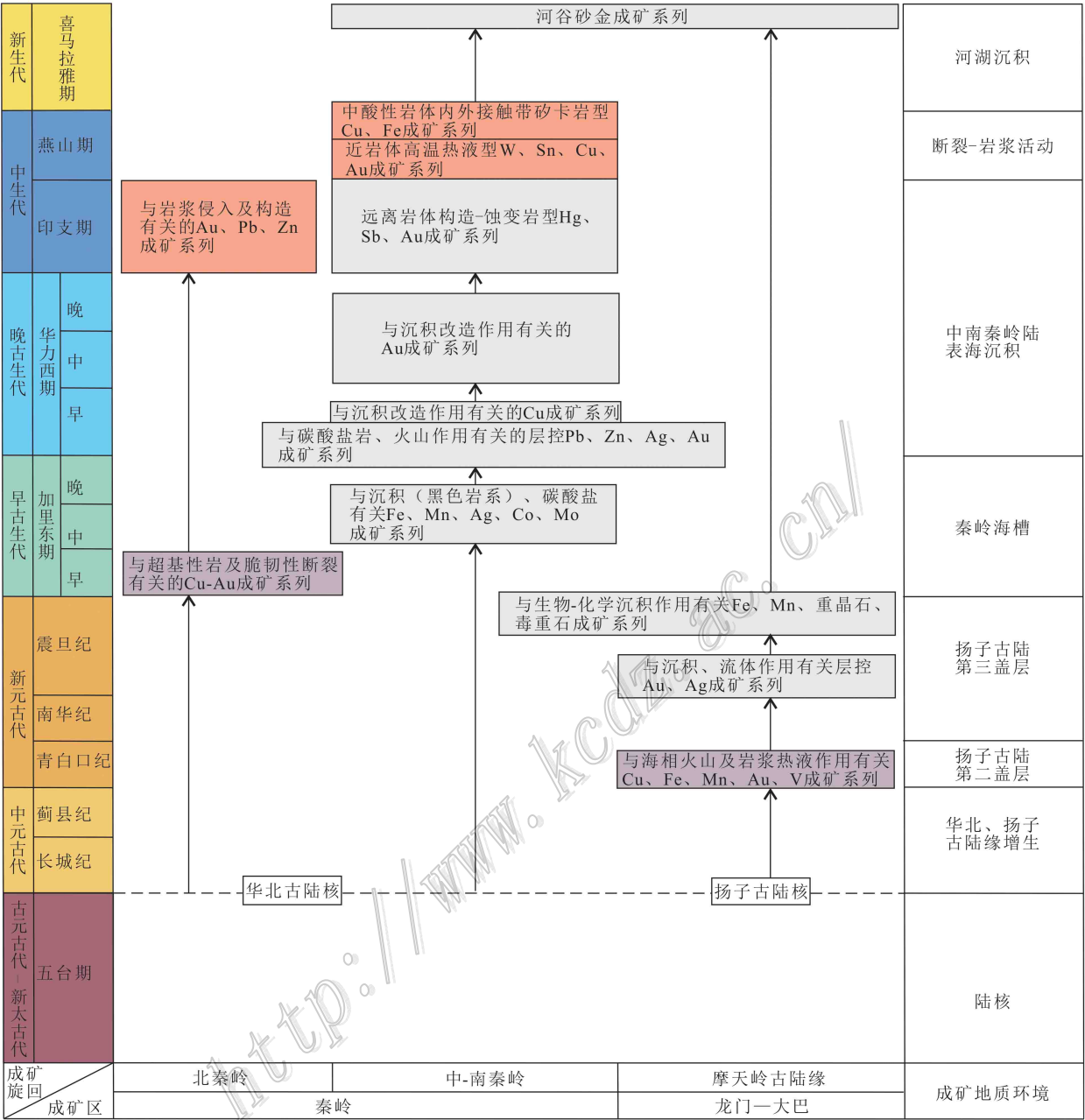


图 3 甘肃秦岭成矿区矿床成矿谱系图

Fig. 3 Pedigree tree of minerogenic series of mineral deposits in Qinling metallogenic belt of Gansu

卡瓦铁矿的主要含铁层位为长城纪桦树沟组，矿体赋存于桦树沟组 2 岩段的粉砂质板岩及硅板岩中，顶板围岩以浅色板岩为主，底板围岩主要为深灰色-灰黑色粉砂质板岩，局部为灰黑色细晶灰岩(张春宇等, 2014; 齐瑞荣等, 2015)。已圈出铁矿体 64 条，呈层状、透镜状产出，近 EW 向延伸，矿体长度 100~3460 m，厚度 1.05~22.96 m，TFe 平均品位 25%~35%，铁矿体倾向延伸稳定，目前控制最大斜深 490 m。矿石矿物主要有磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、

菱铁矿、黄铁矿等。矿石自然类型为赤铁矿矿石、磁铁矿矿石、菱铁矿矿石。矿石结构主要为他形粒状、粉末-胶状和他形晶粒状-显微鳞片状结构，矿石构造以块状、浸染状构造为主。矿床成因属沉积变质型。

卡瓦铁矿富集区找矿突破和勘查实践表明：研究区域成矿规律，优选圈定找矿靶区，并部署公益性矿产远景调查，是卡瓦铁矿富集区实现找矿突破的基础和前提。在镜铁山铁成矿区东延带，铁矿层严格受地层层位控制，主要含矿层属长城系、蓟县系，

表 2 甘肃省近年来新发现、评价大型矿床一览表
Table 2 Large-sized mineral deposits discovered or evaluated recently in Gansu Province

图 1 中编号	矿产地名称	所在成矿区带(Ⅱ-Ⅲ级)	累计查明资源储量	规模	矿床成因类型
1	阿克塞县安南坝锰矿床	塔里木陆块成矿省,柴达木北缘 Pb-Zn-Mn-Cr-Au-稀土白云母成矿带	2823 万吨	大型	沉积变质型
2	肃南县卡瓦铁矿床	阿尔金-祁连成矿省,北祁连 Cu-Pb-Zn-Fe-Cr-Au-Ag-硫铁矿-石棉成矿带	2 亿吨	大型	沉积变质型
3	合作市早子沟金矿床	秦岭-大别-苏鲁成矿省,西秦岭 Pb-Zn-Cu(Fe)-Au-Hg-Sb 成矿带	122 吨	超大型	岩浆热液型
4	夏河县加甘滩金矿床	秦岭-大别-苏鲁成矿省,西秦岭 Pb-Zn-Cu(Fe)-Au-Hg-Sb 成矿带	150 吨	超大型	变质热液型
5	玛曲县大水金矿床	秦岭-大别-苏鲁成矿省,西秦岭 Pb-Zn-Cu(Fe)-Au-Hg-Sb 成矿带	120 吨	超大型	岩浆期后中-低温热液型
6	西和县大桥金矿床	秦岭-大别-苏鲁成矿省,西秦岭 Pb-Zn-Cu(Fe)-Au-Hg-Sb 成矿带	96 吨	大型	热液型

另要注意区域相变规律,研究矿床分带性,矿石类型自西向东出现菱铁矿、赤铁矿-磁铁矿、磁铁矿石分带,对区域找矿预测和勘查目标层位确定具有指导意义。

3.3 合作市早子沟金矿床

甘肃西秦岭金矿成矿规律研究表明,夏河-合作是金资源富集区,先后发现了早子沟(超大型)、格娄昂(大型)、加甘滩(超大型)、早仁道(中型)、直合完干(中型)、也赫杰、答浪沟、桑曲、索纳贡玛等一批金矿床。早子沟金矿距合作市仅 10 km,处于夏河-合作断裂以南的 Au、Hg、As、Sb、Ag 等中低温元素成矿亚带,其赋矿地层主要为下、中三叠统古浪堤组板岩及与闪长玢岩内、外接触带,主要受 NE 向、NW 向和近 SN 向断裂的控制(刘春先等,2011)。金矿体与喜马拉雅期花岗岩关系密切,岩浆热液-构造-围岩的耦合富集作用是形成金矿床的主要原因(刘春先等,2011;陈国忠等,2012;梁志录等,2012)。

在矿区共圈定金矿体 212 条,其中主矿体(单矿体金资源量大于 1 吨)12 条,矿体长度 300~1200 m,平均厚度 2~4.08 m,控制斜深 85~850 m,平均品位 3.41~4.77 g/t。Au1 矿体总体形态呈较规则脉状,矿体长 1240 m,斜深大于 1000 m,控制最大垂深 1228 m,单工程矿体厚度 0.82~18.13 m,平均品位 3.47 g/t。近矿围岩蚀变类型丰富,主要以低温热液蚀变为特征,金矿化与硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化密切相关。矿石具自形-半自形粒状、柱状结构,矿石构造有脉状、星散浸染状、细脉浸染状及块状等。主要金属矿物为黄铁矿、毒砂、褐铁矿和辉锑矿,脉石矿物主要为石英。矿石伴生有用金属元素为 Ag、Sb。截至 2013 年底,矿区累计

提交金资源量 122 t。矿床成因类型为岩浆热液型。

3.4 夏河县加甘滩金矿床

加甘滩金矿床属于秦岭-大别-苏鲁成矿省,西秦岭成矿带,位于早子沟金矿南西 30 km 处。出露地层为三叠系下统隆务河组(TL),岩性为长石石英砂岩、粉砂质板岩、岩屑砂岩等。区内褶皱、断裂构造发育,断裂主要分 NW 向、近 EW 向及 EW 向 3 组,其中近 EW 向断裂 F1 断层控制着金矿体的产出、产状、规模及变化,在走向和倾向上呈舒缓波状变化,具膨大、缩小、分支特征。矿化带长 1380 m,矿体密集分布于 300~500 m 宽的断裂带内,呈雁行状、羽状分布,共圈出金矿体 330 条,其中主矿体 19 条,矿体赋矿岩性为角砾岩、砂岩、板岩。主矿体呈脉状、长条状,倾向上,矿体近地表倾角较大;向下延伸倾角逐渐变缓,为 36~45°,属缓倾斜矿体;在断层走向变化地段、倾角由陡变缓部位、羽状裂隙发育地段,是成矿的有利部位,往往形成厚大的矿体。矿区内产出锑矿体与金矿体。矿石中矿石矿物主要有黄铁矿、毒砂、赤铁矿、褐铁矿、辉锑矿。矿石结构主要有粒状结构、交代结构、胶状结构。矿石构造主要有星点浸染状、块状、细脉-网脉状等。矿石中 As 元素达到伴生组分指标。矿床成因属岩浆热液型。

3.5 玛曲县大水金矿床

大水金矿位于南秦岭成矿亚带,玛曲-略阳大断裂北侧附近(代文军等,2009),金矿赋存于下三叠统马热松多组(T₁m)灰岩和印支期花岗闪长岩脉中,矿化受到 NWW 向和近 SN 向断裂严格控制(赵彦庆等,2003;韩春明等,2004;赵向农等,2011)。1992 年发现该金矿,经多年持续勘查、开发,2007 年通过实施全国危机矿山找矿项目,勘查工作取得了重大

突破,累计提交金资源量 120 t。目前共圈出金矿体 133 条,其中格尔珂矿区的金矿体 112 条,贡北矿区 21 条。格尔珂矿区金矿体长度 1900 m,走向呈现由近 EW 向、NW 向到近 SN 向的规律变化,矿体倾角 $45^{\circ} \sim 80^{\circ}$;形态呈不规则枝杈状、透镜状、囊状等,并具有膨大缩小、尖灭再现等特征,矿体长 20~320 m,厚 0.84~29.36 m,金品位一般为 1.0~29.36 g/t。贡北矿区矿体长度 20~560 m,厚度 1.28~17.38 m,金品位一般 1.0~6.36 g/t。矿石结构主要有自形-半自形-他形结构、碎裂-角砾状结构,以稀疏浸染状构造、细脉-网脉状构造为主,次为角砾状构造、块状构造;矿石中金属矿物成分主要为赤铁矿、褐铁矿,金的赋存状态以独立自然金为主。

矿区内灰岩、灰质砾岩是赋存金矿的重要岩性,由于灰岩化学活动性较强,砾岩裂隙及空隙发育,利于含矿热液的运移及渗透交代作用的发生,区域北西向断裂和热穹窿(格尔括合岩体)是矿质热液交代沉淀的良好场所,往往形成厚大且品位富的矿体,矿脉群与中酸性岩脉群之间存在着对应的时空关系,后期硅化和赤铁矿化(黄铁矿化)与金矿化关系最为密切,蚀变带宽者含矿率较高,所赋存的金矿体厚度较大、品位较富(李文军等,2010)。矿床为岩浆期后中-低温热液矿床。

3.6 西和县大桥金矿床

大桥金矿的发现是西秦岭区新类型找金的重大突破。矿床位于西秦岭成矿带东段,2005 年甘肃省地质调查院通过 1:5 万矿产远景调查圈定化探异常,次年通过异常查证发现地表金矿体,经过近年的地质勘查工作,累计查明金资源量超过 90 t,并已转入开发阶段。金矿赋存于三叠系下部岩性段的角砾岩中(尤关进等,2009),总体呈似层状,局部分枝复合。共圈出了金矿体 36 条,矿体多呈 NE 向展布,严格受硅质角砾岩控制,产状与硅质角砾岩层基本一致,沿走向和倾向具膨大缩小、分枝复合现象。其中 I-1 金矿体规模最大,呈层状、似层状,长度 2000 m,平均厚度 12.16 m,延深 20~405 m,平均品位 3.25 g/t。矿石矿物成分较为简单,金属矿物主要以黄铁矿、褐铁矿、白铁矿为主,脉石矿物主要为石英、方解石、绢云母等。矿石结构主要有隐晶-微晶结构、微鳞片粒状变晶结构等,构造以角砾状构造、块状构造和浸染状构造为主。矿石类型为硅质角砾岩型金矿石,矿石总体氧化程度弱,硫化物普遍发育(尤关进等,2009;刘月高等,2011)。初步认为矿床

属热液型金矿床。

4 结 论

甘肃省位于古亚洲、滨太平洋、特提斯构造域的交接部位,通过对全省成矿系列的研究,深化了构造演化与区域成矿基本特征的认识。

(1) 甘肃省内自中元古代至新生代均有重要矿产形成,各时期形成的矿床各具特色,大致划分出陆块期成矿旋回、拼接期成矿旋回、后构造成矿旋回。

(2) 根据甘肃地质构造演化、岩石建造组合及矿产分布特征,对全省主要成矿单元成矿系列和谱系作了系统研究,重新厘定出成矿系列 54 个、成矿亚系列 42 个,建立矿床式 82 个,进一步归并出矿床成矿系列组合 4 个、矿床成矿系列类型 16 个。通过总结祁连山-龙首山、秦岭成矿区矿床成矿谱系,展示了甘肃主要成矿大区不同构造环境、成矿旋回和主要成矿系列的发育特征,其意义在于启发缺位找矿思维,在新区域、新层位、新类型、新矿种找矿预测方面发挥指导作用。

(3) 目前甘肃已设置国家级整装勘查区 5 个,玛曲大水金矿、夏河县加甘滩金矿分别获得国土资源部 2010 年度、2014 年度全国 10 大找矿成果,阿尔金成矿带青砂沟锰矿是甘肃勘查的新矿种,北祁连卡瓦铁矿富集区将成为镜铁山矿区主要资源接续区,西秦岭西成铅锌矿田厂坝老矿山深部实现资源储量大幅度增加,据《2012 年全国主要矿产资源储量通报》,甘肃金矿资源储量跃居全国第 2 位,锰矿居全国第 8 位,锌、铅矿分别稳居全国第 3、6 位,找矿潜力巨大,显示出成矿系列理论指导区域成矿规律研究具有强大的生命力和科学依据。

志 谢 甘肃省地调院李通国总工、刘义科高工、甘肃省地调局第三勘查院刘伯崇高工对本文提供了相关资料并帮助修改,中国地质科学院矿产资源研究所王登红研究员对文章选题、修改提出宝贵意见,在此表示衷心感谢。

References

- Chen G Z, Liang Z L, Wang J L and Ma H S. 2012. Geochemical characteristics of Zaozigou gold deposit and its significance[J]. Gansu Geology, (4): 23-21 (in Chinese with English abstract).

- Chen Y C, Wang P A, Qin K L, Zhao D H and Mao J W. 1994. Metallogenic series of main ore deposits and regional metallogeny in the Qinling area [J]. *Mineral Deposits*, 13(4): 289-298 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Pei R F and Wang D H. 2006. On minerogenic (metallogenic) series: Third discussion [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(10): 1501-1508 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Wang D H and Zhu Y S. 2007. Metallogenic system and regional mineralization evaluation, China [J]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Cheng Y Q, Chen Y C, Zhao Y M and Song T R. 1983. Preliminary discussion on the problems of minerogenic series of mineral deposits [J]. *Bulletin of Chinese Academy Geological Sciences*, 1: 1-50 (in Chinese with English abstract).
- Dai W J, Chen G Z and Ma X Y. 2009. Features and origin of metallogenic fluid of Dashui gold deposit in Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 18(1): 21-27 (in Chinese with English abstract).
- Han C M, Yuan W M, Yu F S, Tang Y H and Bao Z K. 2004. Geochemistry of the Dashui gold deposit in west Qinling Mountains, Gansu Province [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(2): 127-132 (in Chinese with English abstract).
- Jia Q Z, Yang Z T, Xiao C Y, Zou X H, Ye D J, Duan Y M, Zhao J W and Su L H. 2002. Subdivision of Qilian metallogenic belt and ore-forming regularities [J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.): 140-143 (in Chinese with English abstract).
- Li W J, Zhao C S, Zhang J S, Ge Z and Li Y S. 2010. Application of geochemical exploration by Pb isotopes to deep ore-prospecting in the Dashui gold deposit of Maqu County, Gansu Province, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 29(9): 1338-1348 (in Chinese with English abstract).
- Li Y J, Li Y, Liu Z W, Zhao R F, Jin Z P and Dong J G. 2002. Study on gold metallogenic series in western Qinling [J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.): 156-159 (in Chinese with English Abstract).
- Liang M H, Zhang X H, Liu J H and Ding S P. 2014a. Intrusive rock and petrologic and tectonic assemblage in Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 23(3): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Liang M H, Zhang X H, Liu J H, Ding S P and Ding S P. 2014b. Large scale deformation structures and ophiolite tectonic melange belts in Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 23(4): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Liang Z L, Zhang Y N, Wang J L and Wang H T. 2012. Geology feature and deep prospecting analysis of Zaozigou gold deposit [J]. *Gansu Metallurgy*, 34(6): 64-69 (in Chinese with English abstract).
- Liu C X, Li L and Sui J X. 2011. Mineralization characteristics and ore genesis of the Zaozigou gold deposit, Gansu Province [J]. *Geological Science and Technology Information*, 30(6): 66-74 (in Chinese with English abstract).
- Liu D F and Chen Y F. 2005. Characteristics and mineralization appraisal of quartz veins of Xiaoliugou wolfram deposit in Gansu Province [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 20(3): 182-187 (in Chinese with English abstract).
- Liu J H, Zhang X H, Zhao Y Q and Ren F S. 2006. A study of minerogenic series of west Qinling region in Gansu province and its ore-prospecting significance [J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 727-734 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y G, Lu X B, Zhang Z J, You G J, Cao X F, Wang Y Q and Liu G. 2011. Genesis of Daqiao gold deposit in Xihe County, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 30(6): 1085-1099 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Yang J G, Zuo G C, Zhang Z H and Ye D J. 2003. The metallogenic series and prospecting assessment of Cu, Au, Fe, W, polymetallic deposit in the west section of North Qilian [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Meng Z, Zhao B Q, Zhang X H, Liu J H and Jia Z L. 2015. Discover and significance of Qingshaogou large scale low-grade manganese deposit at Altyn metallogenic belt, Gansu [J]. *Gansu Geology*, 24(2): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Jiang S H and Bai D M. 2002. Metallogenic studies and ore prospecting in the Conjunction area of Inner Mongolia Autonomous Region, Gansu Province and Xinjiang Uygur Autonomous Region (Beishan Mt.), northwest China [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Qi R R, Chen S Q, Hu X C, Zhou S M, Kong W Q, Zhang X H, Liu J H and Jia Z L. 2015. Exploration around periphery of Jingtieshan iron deposit in the west section of north Qilian in Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 24(1): 11-18 (in Chinese with English abstract).
- Sun T, Wang D H, Qian Z Z, Fu Y, Chen Z H and Lou D B. 2014. Summary of metallogenic regularity for the nickel deposits, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(12): 2227-2251 (in Chinese with English abstract).
- Tang Z L. 2000. Metallogenic system and metallogenic tectonic dynamics of the southwest margin of North China Block (Long-

- shou-Qilian Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang D H, Li J K, Ying L J, Chen Z H and Chen Y C. 2007. Thinking on the use of the full mineralization and the absence of the mineral deposits of the platinum group elements [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(4): 460-462.
- Wang P A and Chen Y C. 1997. Tectono-minerogenic cycles and minerogenetic evolution through geological history in the Qinling orogenic belt [J]. *Journal of Geomechanics*, (1): 10-20 (in Chinese with English abstract).
- Xu D, Liu J H and Zhao Y Q. 2014. The ore control factors of gold deposits and prospecting direction in west qinling of Gansu Province [J]. *Northwestern Geology*, 47(3): 83-90 (in Chinese with English abstract).
- Xu G, Tang Z L, Wang Y L, Yan H Q, Jiao J G and Wang J Z. 2012. Features and genetic significance of olivine from Heishan magmatic sulfide ore-bearing intrusion in Beishan area, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 31(5): 1075-1086 (in Chinese with English abstract).
- You G J and Zhang Z P. 2009. Geological characteristics of Daqiao gold deposit in Gansu Province and its significance in prospecting for gold deposits [J]. *Gansu Geology*, 18(4): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Zhang C Y, Hu X C, Huang Z H, Feng J and Wei J H. 2014. Geologic feature of Kawa iron deposit in Sunan County of Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 23(1): 47-51 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X H, Liu J H, Xu J L, Niu H B and Zhao Y Q. 2005. Second study on plate tectonics in Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 14(2): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X H and Liu J H. 2007b. Strategic study on solid mineral exploration in Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 16(1): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X H, Liu J H and Zhao Y Q. 2008. Study on metallogenic provinces (zones) in Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 17(2): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X H, Liu J H, Liang M H, Tian L P, Li T G and Zhao Y Q. 2012. Regional metallogeny and prospect in Gansu Province [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhang X H, Tang Z L, Liu J H, Ren F S and Zhao Y Q. 2007a. Study on minerogenetic series of deposits in Gansu Province [J]. *Gansu Geology*, 16(4): 1-15 (in Chinese with English abstract).
- Zhao B Q, Chen Y L and Yuan B. 2013. Geological characteristics and prospecting criteria of Qingshagou manganese ore in Aksay county, Gansu province [J]. *Gansu Science and Technology*, 29(7): 35-37 (in Chinese).
- Zhao B Q, Yuan B, Chen Y L and Liu Y Q. 2014. Geological characteristics, genesis and metallogenic prospect of manganese deposit zone in Altyn Oroge [J]. *Gansu Science and Technology*, 29(21): 36-38 (in Chinese).
- Zhao X N and Li X D. 2011. Geological characteristics and prospecting of Dashui gold of west Qinling [J]. *Gansu Metallurgy*, 33(1): 67-70 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y Q, Ye D J, Li Y Q and Chen G Z. 2003. Granitic mineralization of the Dashui gold ore deposit in west Qinling [J]. *Geoscience*, 17(2): 151-156 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈国忠, 梁志录, 王建龙, 麻红顺. 2012. 早子沟金矿岩石地球化学特征及其地质意义 [J]. *甘肃地质*, (4), 23-31.
- 陈毓川, 王平安, 秦克令, 赵东宏, 毛景文. 1994. 秦岭地区主要金属矿床成矿系列的划分及区域成矿规律探讨 [J]. *矿床地质*, 13(4): 289-298.
- 陈毓川, 裴荣富, 王登红. 2006. 三论矿床的成矿系列问题 [J]. *地质学报*, 80(10): 1501-1508.
- 陈毓川, 王登红, 朱裕生. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价 [M]. 北京: 地质出版社.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 宋天锐. 1983. 再论矿床的成矿系列问题——兼论中生代某些矿床的成矿系列 [J]. *中国地质科学院院报*, 6: 1-50.
- 代文军, 陈国忠, 马小云. 2009. 甘肃大水金矿床成矿流体特征与来源 [J]. *甘肃地质*, 18(1): 21-27.
- 韩春明, 袁万明, 于福生, 汤云晖, 保增宽. 2004. 甘肃省玛曲大水金矿床地球化学特征 [J]. *地球学报*, 25(2): 127-132.
- 贾群子, 杨钟堂, 肖朝阳, 邹湘华, 叶得金, 段永民, 赵俊伟, 苏亮红. 2002. 祁连山金属矿床成矿带划分及分布规律 [J]. *矿床地质*, 21(增刊): 140-143.
- 李文军, 赵财胜, 张江苏, 葛佐, 李永胜. 2010. Pb 同位素剖面化探法在甘肃玛曲地区大水金矿深部找矿中的应用 [J]. *地质通报*, 29(9): 1338-1348.
- 李永军, 李英, 刘志武, 赵仁夫, 金治鹏, 董俊刚. 2002. 西秦岭金矿成矿系列 [J]. *矿床地质*, 21(增刊): 156-159.
- 梁明宏, 张新虎, 刘建宏, 丁仁平. 2014a. 甘肃侵入岩及岩石构造组

- 合特征[J]. 甘肃地质, (3): 1-8.
- 梁明宏, 张新虎, 刘建宏, 丁仁平, 贾志磊. 2014b. 甘肃大型变形构造及蛇绿构造混杂岩带特征[J]. 甘肃地质, (4): 1-8.
- 梁志录, 张愿宁, 王建龙, 汪宏涛. 2012. 甘肃省合作市早子沟金矿地质特征及其深部找矿前景分析[J]. 甘肃冶金, 34(6): 64-69.
- 刘春先, 李亮, 隋吉祥. 2011. 甘肃枣子沟金矿的矿化特征及矿床成因[J]. 地质科技情报, 30(6): 66-74.
- 刘堆富, 陈玉峰. 2005. 甘肃小柳沟钨矿床石英英脉特征及其含矿性评价[J]. 地质找矿论丛, 20(3): 182-187.
- 刘建宏, 张新虎, 赵彦庆, 任丰寿. 2006. 西秦岭成矿系列、成矿谱系研究及其找矿意义[J]. 矿床地质, 25(6): 727-734.
- 刘月高, 吕新彪, 张振杰, 尤关进, 曹晓峰, 王玉奇, 刘阁. 2011. 甘肃西和县大桥金矿床的成因研究[J]. 矿床地质, 30(6): 1085-1099.
- 毛景文, 张招崇, 杨建民, 左国朝, 张作衡, 叶得金. 2003. 北祁连山西段铜金铁钨多金属矿床成矿系列和找矿评价[M]. 北京: 地质出版社.
- 蒙轸, 赵保青, 张新虎, 刘建宏, 贾志磊. 2015. 甘肃阿尔金成矿带安南坝青砂沟大型贫锰矿发现及意义[J]. 甘肃地质, 24(2): 1-7.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明. 2002. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M]. 北京: 地质出版社.
- 齐瑞荣, 陈世强, 胡小春, 周树民, 孔维琼, 张新虎等. 2015. 甘肃北祁连西段镜铁山铁矿外围勘查实践——以卡瓦铁矿富集区找矿突破为例[J]. 甘肃地质, 24(1): 11-18.
- 孙涛, 王登红, 钱壮志, 付勇, 陈郑辉, 姜德波. 2014. 中国镍矿成矿规律初探[J]. 地质学报, 88(12): 2227-2251.
- 汤中立. 2000. 华北古陆西南缘(龙首山-祁连山)成矿系统及成矿构造动力学[M]. 北京: 地质出版社.
- 王登红, 李建康, 应立娟, 陈郑辉, 陈毓川. 2007. 对运用全位成矿与缺位找矿理念寻找铂族元素矿床的思考[J]. 矿物学报, 21: 460-462.
- 王平安, 陈毓川. 1997. 秦岭造山带构造-成矿旋回与演化[J]. 地质力学学报, (1): 10-20.
- 徐东, 刘建宏, 赵彦庆. 2014. 甘肃西秦岭地区金矿控矿因素及找矿方向[J]. 西北地质, 47(3): 83-90.
- 徐刚, 汤中立, 王亚磊, 闫海卿, 焦建刚, 王建中. 2012. 甘肃北山黑山岩浆铜镍硫化物矿床橄榄石特征及成因意义[J]. 矿床地质, 31(5): 1075-1086.
- 尤关进, 张忠平. 2009. 甘肃大桥金矿地质特征及其发现的意义[J]. 甘肃地质, 18(4): 1-8.
- 张春宇, 胡小春, 黄治化, 冯杰, 魏建华. 2014. 甘肃省肃南县卡瓦铁矿矿区地质特征浅析[J]. 甘肃地质, 23(1): 47-51.
- 张新虎, 刘建宏, 徐家乐, 牛洪斌, 赵彦庆. 2005. 再论甘肃省的板块构造[J]. 甘肃地质, 14(2): 1-10.
- 张新虎, 汤中立, 刘建宏, 任丰寿, 赵彦庆. 2007a. 甘肃省矿床成矿系列研究[J]. 甘肃地质, 16(4): 1-15.
- 张新虎, 刘建宏. 2007b. 对甘肃省固体矿产勘查的战略性思考[J]. 甘肃地质, 16(1): 1-6.
- 张新虎, 刘建宏, 赵彦庆. 2008. 甘肃省成矿区(带)研究[J]. 甘肃地质, 17(2): 1-8.
- 张新虎, 刘建宏, 梁明宏, 田黎萍, 李通国, 赵彦庆. 2012. 甘肃省区域成矿及找矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 赵保青, 陈彦龙, 袁博. 2013. 甘肃省阿克塞县青砂沟锰矿地质特征及找矿标志[J]. 甘肃科技, 29(7): 35-37.
- 赵保青, 袁博, 陈彦龙, 刘永强. 2014. 阿尔金锰矿带地质特征、矿床成因及成矿远景分析[J]. 甘肃科技, 29(21): 36-38.
- 赵向农, 李向东. 2011. 西秦岭大水金矿成矿地质特征及找矿前景分析[J]. 甘肃冶金, 33(1): 67-70.
- 赵彦庆, 叶得金, 李永琴, 陈国忠. 2003. 西秦岭大水金矿的花岗岩成矿作用特征[J]. 现代地质, 17(2): 151-156.