



京津冀地区线环构造遥感地质解译与控矿规律分析

卢克轩,刘新星,张娟,成嘉伟,高椿

河北地质大学/河北省战略性关键矿产资源重点实验室,河北 石家庄 050031

摘 要: 线性构造和环形构造与矿产的生成有着密切的内在联系。在京津冀地区地质背景与矿产资料搜集的基础上,获取京津冀地区 Landsat 8 OLI 遥感影像,继而对遥感影像上的线性和环形构造进行遥感地质解译;并借助于 ArcGIS 平台对研究区内的线性构造和环形构造及其交汇部位进行缓冲区分析,根据线性、环形构造的影像特征及其与矿点的产出关系,总结出线-环形构造的控矿规律及控矿模式,为以后遥感找矿、圈定成矿远景区提供依据。

关键词: 线性构造;环形构造;控矿规律;遥感;地质解译;京津冀

REMOTE SENSING GEOLOGICAL INTERPRETATION AND ORE-CONTROLLING REGULARITY OF LINE-RING STRUCTURES IN BEIJING-TIANJIN-HEBEI REGION

LU Ke-xuan, LIU Xin-xing, ZHANG Juan, CHENG Jia-wei, GAO Chun

Hebei GEO University/ Hebei Key Laboratory of Strategic Critical Mineral Resources, Shijiazhuang 050031, China

Abstract: Linear and ring structures are closely related to the formation of mineral resources. With obtained Landsat 8 OLI remote sensing images, the geological interpretation for linear and ring structures is carried out on the basis of geological background and mineral data collection in Beijing-Tianjin-Hebei region. The ArcGIS is used to analyze the buffer zones of linear and ring structures and their intersections in the study area. According to the image features of linear and ring structures and their relationship with distribution of ore occurrences, the ore-controlling regularities and models of line-ring structure are summarized, which can provide a basis for remote sensing prospecting and delineation of metallogenic prospects.

Key words: linear structure; ring structure; ore-controlling regularity; remote sensing; geological interpretation; Beijing-Tianjin-Hebei region

0 引言

随着 20 世纪 70 年代遥感技术的飞速发展,地质学家们逐渐注意到影像中线-环形构造与矿床的密切联系^[1]。20 世纪 80 年代,我国也开始了对于遥感影像中线-环形构造的研究,如杨武年^[2]通过图像增强技术

识别 MSS 卫片上的环形异常,并得出环形异常与蚀变异常、矿点的分布比较吻合;赵不亿等^[3]从遥感线-环构造的定量统计方面详细探讨了在找矿方面的应用,较为深入、全面地研究了遥感地质的定量分析方法。地球化学元素的异常富集和地壳运动的综合结果导致

收稿日期:2021-04-27;修回日期:2021-07-08。编辑:张哲。

基金项目:河北省高等学校科学技术研究项目“冀东峪耳崖金矿床黄铁矿中矿物包裹体微区研究”(编号 QN2019144)。

作者简介:卢克轩(1997—),男,硕士研究生,研究方向遥感地质,通信地址 河北省石家庄市槐安东路 136 号,E-mail//l791251117@163.com

通信作者:刘新星(1987—),男,博士,副教授,从事遥感地质研究,通信地址 河北省石家庄市槐安东路 136 号,E-mail//liuxinxing963@163.com

区域性大的成矿带,而具体位置则受控于具体的线性构造与环形构造^[4]。比如金银矿床的成矿关键就在于构造条件,以张家口-宣化地区的幔枝构造为例,在遥感图像上显示为3层环状构造,其成矿物质主要来自地球深部并通过地幔热柱的演化从地核运移到近地表,在幔枝构造的有利构造带中集聚成矿^[4-6]。因而,对遥感图像上的线-环状构造的分析,无疑将深化控矿构造及找矿研究的意义。近年来遥感影像的空间分辨率越来越高,多源遥感数据有利于线环构造的精细化解释^[7],还有地质学家将线环构造与多源信息(地、物、化、遥)结合起来进行综合分析^[8-11]。随着越来越多的矿床被发现,各类矿床的成矿作用、各地区的矿床成因更加深入的研究,有必要进一步对线-环状构造控矿规律进行总结,为指导找矿提供有效依据。

1 区域地质特征

1.1 区域地层与构造

京津冀地区位于华北平原的北部,本地区地层包括:下前寒武系,主要分布在太行山和燕山地区;中-新元古界,分布广泛,出露良好,发育完整,区内广泛出露长城系、蓟县系、青白口系;古生界寒武系、奥陶系,出露于北起平泉,延伸至南部的邯郸西部山区,划分为冀北地层分区和冀南地层分区;中生界,为一套复杂的陆相火山-沉积岩系,三叠系、侏罗系和白垩系出露广泛;新生界,主要分布于河北平原、坝上高原以及太行山和燕山的山前地带。

本区地质构造十分复杂,在地质历史的演化过程中,形成东西向展布的燕山板内造山带(天山-阴山造山带的一部分)和呈东北向展布的太行山板内造山带(兴安-太行山构造岩浆岩带的一部分),是中国窗棂式构造的重要组成部分^[12]。研究区构造分区如图1所示。

1.2 区域矿产

京津冀地区的三大岩类齐全且地层出露良好,赋存了大量的矿产资源。矿床分布相对集中,但小型矿床多,大型矿床少,非金属矿产多,金属矿产少,贫矿多,富矿少。截至1995年,该地区已发现各类矿产109种,其中已探明储量的66种,占全国已探明储量矿产种类的34.38%。已探明的矿产储量中,有44个矿种保有储量居全国前10位,还有9个矿种居全国第11到14位^[12]。

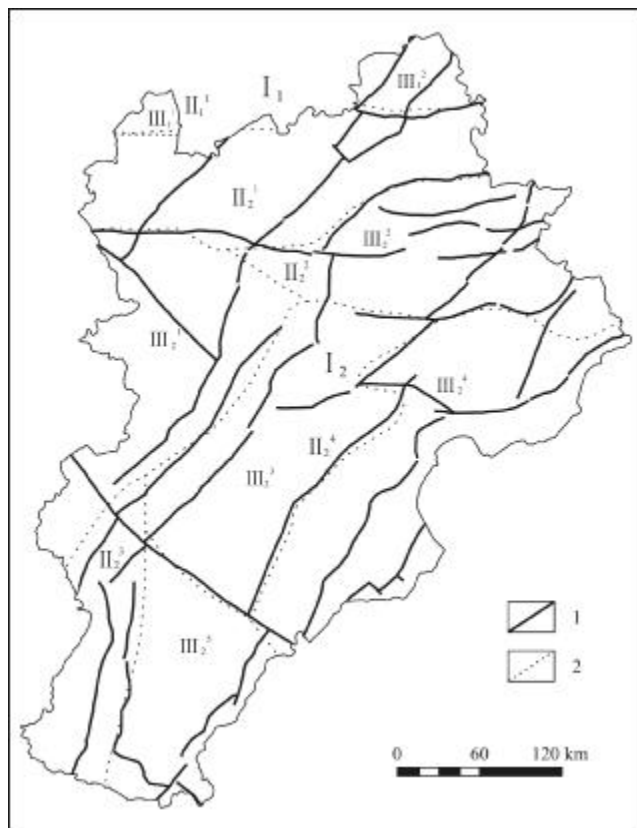


图1 河北省主要断裂构造图

(据文献[13])

Fig. 1 Tectonic map of major faults in Hebei Province

(From Reference [13])

1—重力推断构造断裂(gravity-inferred fault); 2—重力推断构造单元界线(gravity-inferred boundary of tectonic unit); I₁—内蒙古板块南缘(southern margin of Inner Mongolia Plate); II₁—内蒙古海西褶皱带(Hercynian Inner Mongolia fold belt); III₁—康保褶皱束(Kangbao fold bundle); III₂—棋盘山中凹陷(Qipanshan sag); I₂—华北板块(North China Plate); II₂—冀北岩浆固结陆块(Northern Hebei magma-consolidated land block); II₂—燕山基地-盖层活动构造带(Yanshan base-cap active tectonic belt); III₃—宣化-蔚县凹褶皱束(Xuanhua-Yuxian depression-fold bundle); III₂—承德-平泉穹凹褶皱束(Chengde-Pingquan dome-depression-fold bundle); II₃—太行山隆升断块(Taihang Mountain uplifted fault block); II₄—冀中南活动软块(断陷盆地)(Central South Hebei active soft block (断陷盆地)); III₅—廊坊-保定台陷(Langfang-Baoding platform subsidence); III₅—临清台陷(Linqing platform subsidence)

铁矿:主要有受变质铁硅质建造铁矿床、接触交代矿床、岩浆型矿床。此外,还有少量海相沉积矿床、沉积变质矿床、沉积矿床,极少量的热液矿床。

金矿:主要分布在承德、唐山、张家口等地。据数据统计,燕山期岩体附近的储量约占86%,海西期岩体附近的储量约占13%。

铜矿:主要分布在高化学丰度值的地层中,兴隆寿王坟-平泉小寺沟铜矿成矿区、平泉下营房铜矿成矿区和滦水镇厂-滦水东团堡铜矿成矿区为 3 处重点成矿区。

铅锌矿:主要为共生矿床。铅矿主要为热液型,其次为斑岩型、火山-次火山热液型,规模均较小;锌矿以火山-次火山热液型为主,夕卡岩型次之。

煤矿:在平面上呈带状分布,煤炭资源丰富,变质程度普遍较高。主要有开滦煤田、广宗煤田和东坡煤田。

2 遥感数据的选择与处理

2.1 遥感数据选择

2013 年 Landsat 8 卫星发射,主要携带有两个传感器:OLI(陆地成像仪)和 TIRS(热红外传感器)。OLI 含有 9 个波段,不仅包括了 ETM+的所有波段,而且还对波段 5、全色波段进行了调整,增加了海岸波段 1 和卷云波段 9,辐射分辨率提高到 12 bit,灰度区间为 0~65535,增加了影像的灰度显示范围。故而本次选取较新且植被较少的 2017 年 11 月 22 日 Landsat 8 OLI 遥感影像作为源数据。表 1 对 OLI 与 ETM+的波段设置进行了对比^[14-15]。

表 1 OLI 与 ETM+的波段设置对比
Table 1 Comparison of band settings between OLI and ETM+

OLI			ETM+		
波段	波长/ μm	GSD/m	波段 No.	波长/ μm	GSD/m
8(PAN)	0.500~0.680	15	8(PAN)	0.52~0.90	15
1	0.433~0.453	30			
2	0.450~0.515	30	1	0.45~0.52	30
3	0.525~0.600	30	2	0.53~0.61	30
4	0.630~0.680	30	3	0.63~0.69	30
			4	0.78~0.90	30
5	0.845~0.885	30			
9	1.360~1.390	30			
6	1.560~1.660	30	5	1.55~1.75	30
7	2.100~2.300	30	7	2.09~2.35	30
OLI 无热红外			6(TIR)	10.40~12.50	60

2.2 遥感数据处理

在遥感影像解译前,需要对其进行预处理,从而能够真实地反映地表信息。具体操作包括辐射校正、几何校正、镶嵌融合、图像增强及图像彩色合成。辐射校正:首先利用 ENVI 软件中的 Radiometric Calibration 工具进行辐射定标,然后用大气校正工具 FLAASH 进行大气校正,可以消除或减弱大气对阳光和来自目标的辐射所产生的散射而引起的辐射失真。

镶嵌融合:通过使用 ENVI 平台的 Seamless Mosaic 工具对的京津冀地区的多景 Landsat 8 OLI 影像进行镶嵌、融合,从而拼接成一幅完整的京津冀地区的遥感影像,作为本次研究的对象。图像增强:对于一幅遥感影像,它的边缘和突变等细节比较丰富的地方属于影像中的高频部分,背景区域等细节比较少的地方则属于低频部分,频域高通滤波法只允许高频部分通过而相对抑制低频部分,进而达到了锐化图像的目的。图像彩色合成:为了更好地解译线-环构造,采用 753 波段分别赋予蓝、绿、红三原色进行 RGB 合成。

2.3 遥感地质解译

本研究主要采用目视解译的方法,解译了研究区的线-环构造(如图 2),同时叠加了搜集到的矿点信息。从解译出的线-环构造及矿点分布情况可以看出:该区的矿床多成群出现,部分环形构造受北东向和东西向的线性构造控制,且部分环形构造内部包括含一个或多个次级环形构造;该区小环较多,大环相对较少,且多数矿点落在了小环之上或其旁侧,即小型环形构造控矿特征较为明显;环形构造分布明显受控于线性构造,线性构造与环形构造交错分布,且在线性构造交汇部位矿床分布较为密集,尤以研究区的东部和西南部最为明显。

3 线-环构造的控矿规律分析

3.1 线性构造的控矿规律

3.1.1 单一线性构造

根据线性构造不同半径缓冲区内的矿点数量统计(图 3),可以看出缓冲区半径在 0.5~5 km 时,随着缓冲区半径的增大,矿点数量的增长速度较快且大致相同,因而得出线性构造 5 km 内为最佳成矿范围。然后对该范围内的矿床成因类型进行统计得出,96%的矿床类型为内生矿床,外生矿床仅占 4%,可见线性构造

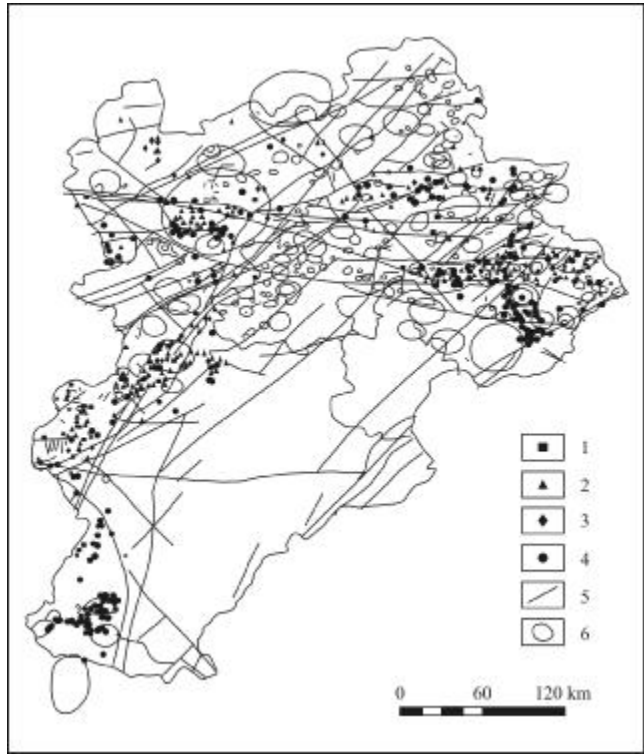


图 2 京津冀地区线-环形构造与矿点分布关系图

Fig. 2 Relationship between line-ring structures and ore occurrences in Beijing-Tianjin-Hebei region

1—铜矿点(Cu occurrence); 2—金矿点(Au occurrence); 3—铅锌矿点(Pb-Zn occurrence); 4—磁铁矿矿点(magnetite occurrence); 5—线性构造(linear structure); 6—环形构造(ring structure)

对内生矿床的控制作用最为显著,与外生矿床关系甚微;并且热液矿床和中温热液矿床为主要成因类型,分别占比 35%和 27%。对线性构造最佳成矿范围内的内生矿床矿种类型进行统计(图 4),可见线性构造对金矿和铅锌矿的控制作用十分强烈。

综合以上分析可得出结论,线性构造 5 km 范围内应为最佳成矿范围,与内生金属矿床的分布极为密切,尤其是铅锌矿和金矿最为明显,且该范围内的矿床多为热液矿床和中温热液矿床,对此两种矿床的控制作用最强。

3.1.2 线性构造交汇部位

结合矿床的具体位置与线性构造的分布格局进行综合分析,可知两组或两组以上线性构造交汇部位较单一线性构造控矿作用更为明显。对线性构造交点处不同半径缓冲区内矿点数进行统计(图 5),发现半径在 0.5~10 km 时矿点数的增长速度较快且保持稳定,继续扩大范围后矿点的增长速度突然下降,因此推

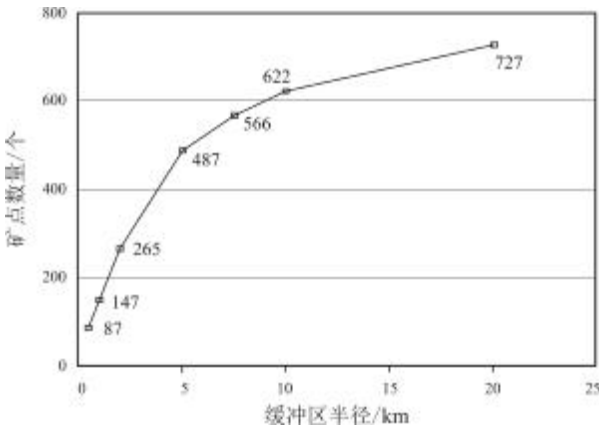


图 3 线性构造不同半径缓冲区内矿点数量统计图

Fig. 3 Ore occurrence numbers in buffer zones with different radii from linear structure

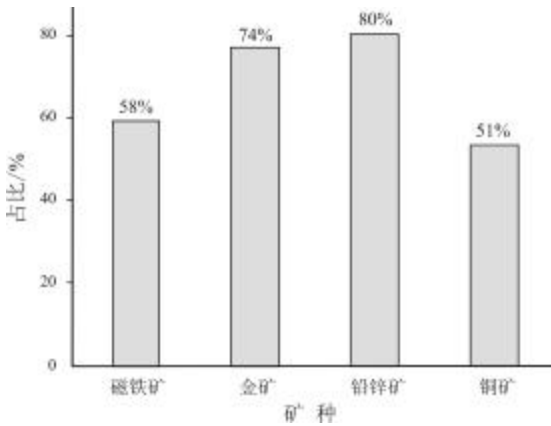


图 4 线性构造 5 km 缓冲区内内生矿床矿种统计图

Fig. 4 Varieties of endogenous deposit in buffer zone of 5 km from linear structure

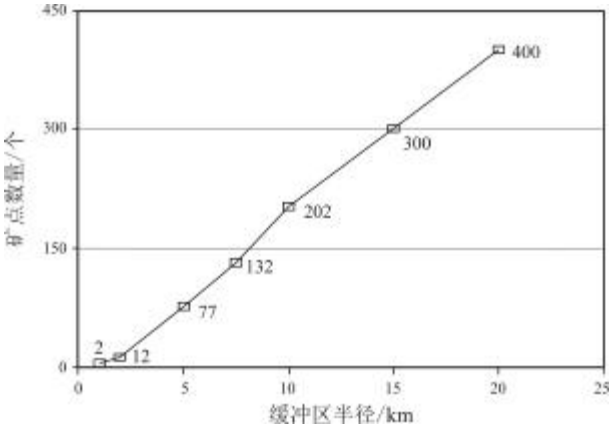


图 5 线性构造交点不同半径缓冲区内矿点数量统计图

Fig. 5 Ore occurrence numbers in buffer zones with different radii from linear structure intersection

断线性构造交汇处 10 km 内为最佳成矿范围. 再对矿床成因类型进行统计,该区域内 96%的矿床为内生矿床,外生矿床仅占 4%,且在该区域内热液矿床和中温热液矿床为主要的矿床类型,且此两种矿床在线性构造交汇部位分布的比例明显高于在单一线性构造处的分布,可知两组或两组以上断裂的交汇部位较单一线性构造对成矿热液的运移与矿床的形成更为理想. 从图 6 可推测,线性构造交汇部位为金属矿床的形成提供了良好的条件,对内生金属矿产的分布有一定的控制作用,其中对磁铁矿矿床的控制作用最为明显.

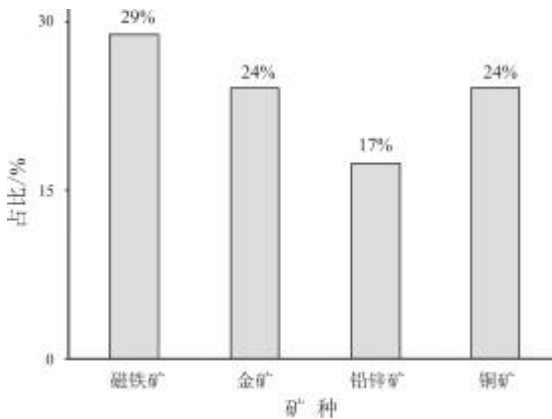


图 6 线性构造交点 10 km 缓冲区内内生矿床矿种统计图
Fig. 6 Varieties of endogenetic deposit within 10 km buffer zone from linear structure intersection

综上分析可得,线性构造交汇处 10 km 范围内为最佳成矿范围,与磁铁矿矿床的分布相关性较高,且构造交汇处矿床类型仍以热液矿床和中温热液矿床为主.

3.2 环形构造的控矿规律

3.2.1 单一环形构造

环形构造与金属矿床的分布有着十分密切的内在联系,并对其具有一定的控制作用^[16-17]. 对于环形构造与矿点的关系分析可从环形构造内部和环形构造外部两方面进行分析比较^[18]. 对环形构造内部不同半径缓冲区内矿点数量进行了统计(图 7),发现 2 km 为环形构造内部的最佳成矿范围. 其中 98%的矿床为内生矿床,可见环形构造与线性构造相似,与内生矿床关系十分密切,与外生矿床的形成关系甚小;中温热液矿床和热液矿床为主要的矿床类型,40%矿床为中温热液矿床,11%为热液矿床. 根据环内 2 km 范围内的内生

矿床矿种类型的统计结果(图 8),约 28%的铅锌矿、20%的磁铁矿、14%的金矿和 22%的铜矿分布在该范围内,可见环形构造内部与铅锌矿分布最为密切.

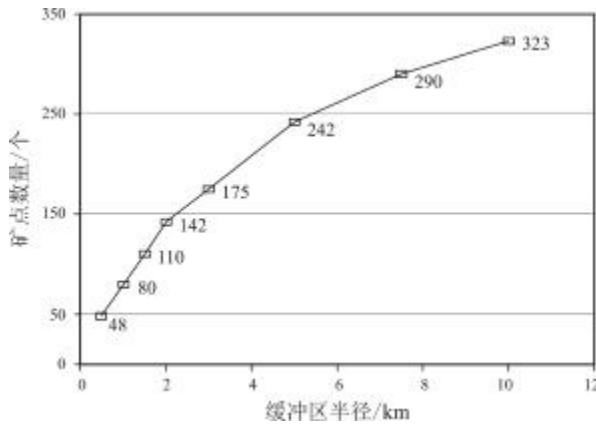


图 7 环形构造内部不同半径缓冲区内矿点数量统计图
Fig. 7 Ore occurrence numbers in buffer zones with different radii from ring structure

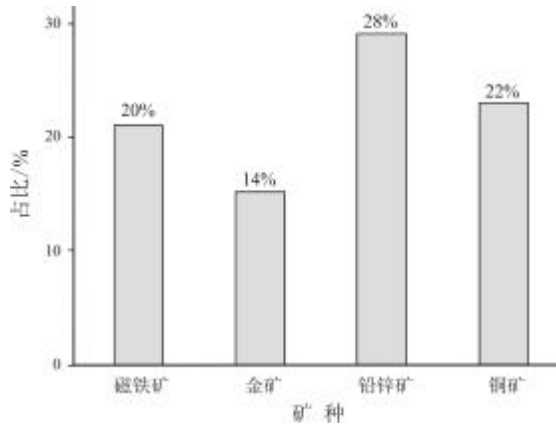


图 8 环形构造内部 2 km 缓冲区内内生矿床矿种统计图
Fig. 8 Varieties of endogenetic deposit within 2 km buffer zone inside ring structure

图 9 为环形构造外部不同半径缓冲区内矿点数量的统计结果,不难发现环形构造外部 5 km 为最佳成矿范围. 与环形构造内部比较发现,相同半径缓冲区内,环形构造外部的矿点数量明显高于环形构造内部,所以环形构造外部对矿床的控制作用更为明显. 对该范围内的矿床成因类型进行了统计,发现内生矿床仍占据主要地位,约占 95%,构造对外生矿床几乎无影响. 该范围内 35%的矿床为热液矿床,27%的矿床为中温热液型矿床,可见热液矿床和中温热液矿床与环形构造关系最为密切,受环形构造控制最为明显. 从

图 10 中可明显看出,48%的磁铁矿、55%的金矿、39%的铅锌矿和 54%的铜矿分布在该范围内,即将近 50%的内生金属矿床分布在该范围内,可见环形构造外部 5km 与内生金属矿床的成矿关系十分密切,其中对金矿和铜矿的影响最大。

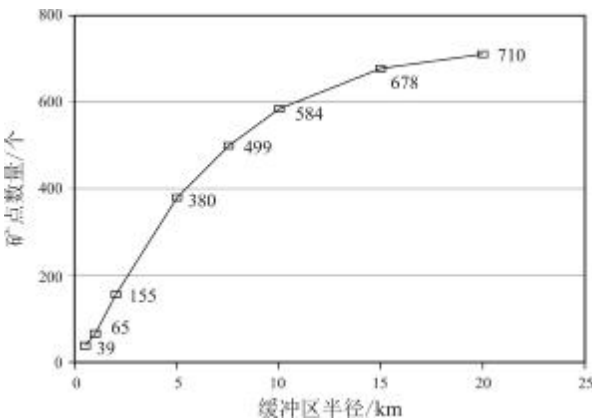


图 9 环形构造外部不同半径缓冲区内矿点数量统计图
Fig. 9 Ore occurrence numbers in buffer zones with different radii outside ring structure

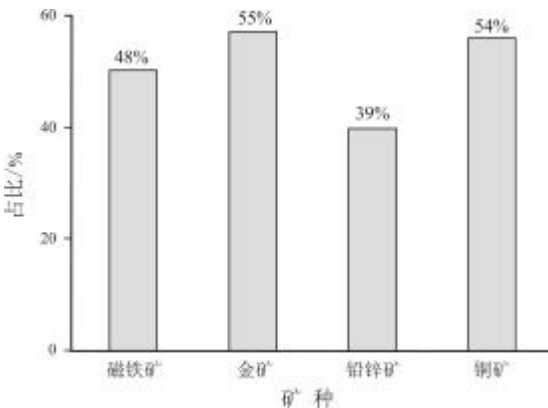


图 10 环形构造外部 5 km 缓冲区内内生矿床矿种统计图
Fig. 10 Varieties of endogenous deposit within 5 km buffer zone inside ring structure

综合上述对环形构造内部和外部的缓冲区分析可知,环形构造外部较环形构造内部更有利于矿床的形成,且与内生金属矿床如金矿、铜矿的分布关系十分密切。50%左右的内生金属矿床都分布在环形构造外部 5 km 范围内,且矿床成因类型以热液型和中温热液型为主。

3.2.2 环形构造交汇部位

环形影像往往并非孤立存在,它们多成群、成串或

成复式环出现。如果环代表不同期次的岩浆活动,则金属矿床多富集在环与环的交汇处,或复式小环的内缘^[19-20]。通过对京津冀地区环形构造交点处的缓冲区分析(图 11),发现 10 km 为环形构造交汇部位的最佳成矿范围。但是在实际工作中,不能脱离地质成矿理论,简单地根据环的位置作为找矿的标志。一般说,金属矿床只赋存于与岩浆或热源有关的环内^[21],该范围内的主要矿床成因类型为热液型和中温热液型,分别占该范围的 38%和 27%,且 98%的矿床为内生矿床。因而断定环形构造交汇处对内生矿床具有显著的控制作用,与外生矿床无明显联系。图 12 为环形构造交汇处 10 km 范围内的内生金属矿床矿种统计图,其中 38%的铜矿床分布在该区域内,对其控制作用最为明显,磁铁矿、金矿次之。

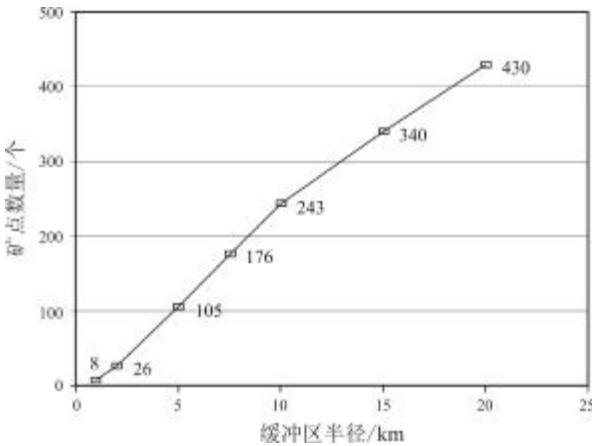


图 11 环形构造交点不同半径缓冲区内矿点数量统计图
Fig. 11 Ore occurrence numbers in buffer zones with different radii from ring structure intersection

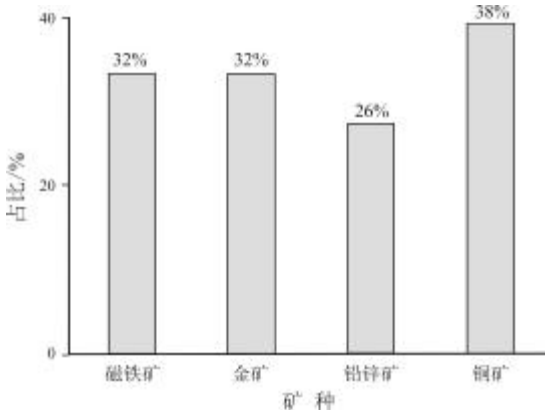


图 12 环形构造交点 10 km 缓冲区内内生矿床矿种统计图
Fig. 12 Varieties of endogenous deposit within 10 km buffer zone from ring structure intersection

综合上述对环形构造交汇处的分析可知,在半径小于 10 km 时,矿点数量的增长速度较快且保持稳定,半径大于 10 km 后矿点数量的增长速度明显下降.因而推测 10 km 为环形构造交汇部位的最佳成矿范围,且对铜矿的分布影响最大,与热液矿床和中温热液矿床关系最为密切,控制作用最为明显.

3.3 线-环形构造交汇部位的控矿规律

借助 ArcGIS 平台对线性构造与环形构造交汇处进行缓冲区分析(图 13),发现半径大于 10 km 后,矿点数量的增长速度开始下降,因而推断缓冲区 10 km 为线环构造交汇处的最佳成矿范围.热液矿床和中温热液矿床为主要的矿床类型.线性构造为热液的运移提供了良好的通道,环形构造则成为了良好的容矿场所.通过对线-环形构造交汇处 10 km 范围内的内生金属矿床的矿种类型进行统计(图 14),可见 54%的铅锌矿、54%的铜矿、49%的金矿和 43%的磁铁矿分布在该范围内,其中线-环构造交汇处对铜矿、铅锌矿的影响最为明显.

综合上述分析可得,线-环构造交汇处 10 km 应为最佳成矿范围,对金属矿产如铅锌矿、铜矿分布的影响最为显著,矿床成因类型仍以热液型和中温热液型居首位.

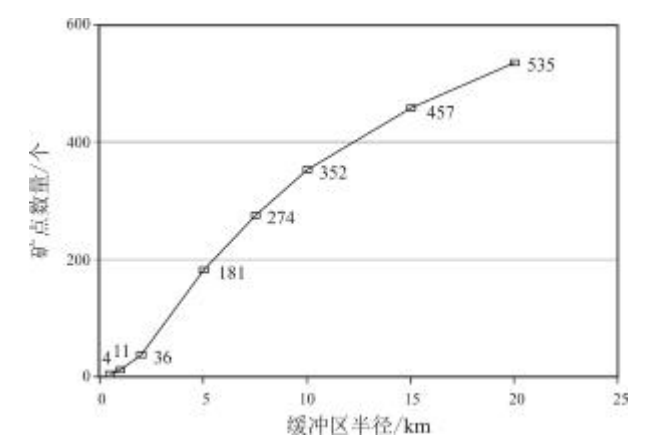


图 13 线-环形构造交点处不同半径缓冲区内矿点数量统计图
Fig. 13 Ore occurrence numbers in buffer zones with different radii from the intersection of line-ring structure

4 结论

通过以上研究分析,得出如下结论:

(1)线-环构造与内生金属矿床的形成与分布关系十分密切,与外生矿床无明显联系;

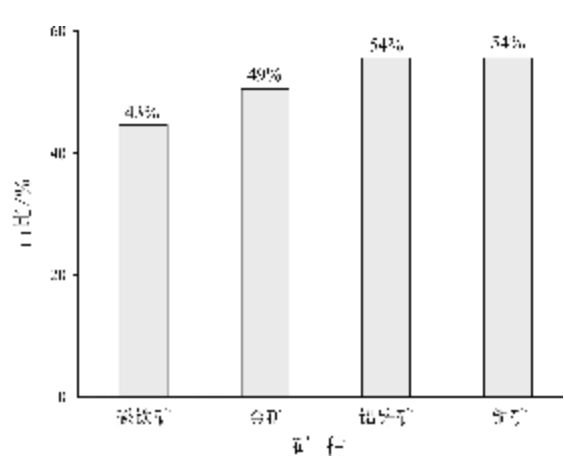


图 14 线-环形构造交点处 10 km 缓冲区内内生矿床矿种统计图
Fig. 14 Varieties of endogenous deposit within 10 km buffer zone from the intersection of line-ring structure

(2)线性构造和环形构造对热液型矿床的控制作用较大;

(3)线性构造附近成矿几率略大于环形构造;

(4)环形构造外部比环形构造内部更有利于成矿,线-环形构造交汇处较线性构造交汇处和环形构造交汇处更有利于成矿.

本次研究发现线环构造与成矿具有非常密切的联系,大多数矿点分布在线环构造之上或其旁侧,并且在构造交汇处矿点分布更为密集.在一定程度上,线环构造对矿点的分布具有一定的控制作用,值得今后找矿勘探以及野外地质工作的进一步验证.

参考文献(Reference):

[1]魏冠军,高建国,杨世瑜.澜沧地区遥感影像线-环形构造解译与找矿研究[J].矿山测量,2010,38(6):8-10.
Wei G J, Gao J G, Yang S Y. Remote sensing image interpretation of linear-circular structures and exploration in Lancang area[J]. Mine Surveying, 2010, 38(6): 8-10. (in Chinese)

[2]杨武年.根据遥感图像资料试论环形构造与矿产之关系[J].成都地质学院学报,1983(4):101-108.
Yang W N. On the relationship between circular structures and mineral deposits based on remote sensing imagery data[J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1983(4): 101-108.

[3]赵不亿,秦小光.遥感构造的定量分析方法[J].地质科技情报,1988,7(1):127-136.
Zhao B Y, Qin X G. Quantitative analysis methods for remote sensed structures[J]. Geological Science and Technology Information, 1988, 7(1): 127-136. (in Chinese)

- [4]牛树银,孙爱群.张宣幔枝构造的成矿作用研究[J].长春地质学院学报,1997,27(4):407-414.
- Niu S Y, Sun A Q. Metallogeny in Zhangjiakou-Xuanhua mantle branch structure[J]. Journal of Changchun College of Geology, 1997, 27(4): 407-414.
- [5]牛树银,孙爱群,王宝德,等.张宣幔枝构造成矿与深部找矿潜力分析[J].大地构造与成矿学,2009,33(4):548-555.
- Niu S Y, Sun A Q, Wang B D, et al. Study on mineralization and ore potentialities in the depth for Zhangjiakou-Xuanhua mantle branch structure[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(4): 548-555.
- [6]牛树银,孙爱群,郝梓国,等.地幔热柱多级演化及其成矿控矿研究:以张-宣幔枝构造研究为例[J].地学前缘,2011,18(2):258-267.
- Niu S Y, Sun A Q, Hao Z G, et al. Multiple-stage evolution of mantle plume and its control of mineralization: Taking Zhangjiakou-Xuanhua mantle branch as an example[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(2): 258-267.
- [7]张廷斌,别小娟,吴华,等.斑岩型铜矿找矿预测中环状构造的示矿作用——以玉龙-馬拉松多子区为研究区[J].国土资源遥感,2012,24(1):143-149.
- Zhang T B, Bie X J, Wu H, et al. Metallogenic prognosis significance of circular structures in porphyry copper deposits: A case study of Yulong-Malasongduo area[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2012, 24(1): 143-149.
- [8]余晓霞,高建国,潘亚茹,等.基于沟里金矿集区线环构造与色调异常的找矿预测[J].黄金科学技术,2014,22(4):32-38.
- Yu X X, Gao J G, Pan Y R, et al. Ore prediction analysis based on line-ring structure and tone anomaly in Gouli gold deposits[J]. Gold Science and Technology, 2014, 22(4): 32-38.
- [9]祝爱明,朱杰勇,朱林生,等.金牛厂铅锌矿遥感线性构造解译及找矿应用[J].红河学院学报,2009,7(2):61-66.
- Zhu A M, Zhu J Y, Zhu L S, et al. Remote sensing lineations explanation and ore-prospecting application in Jin Niu Chang Pb-Zn deposit[J]. Journal of Honghe University, 2009, 7(2): 61-66.
- [10]韩玲,王润平.武都-文县地区遥感影像线性构造解译[J].地球科学与环境学报,2008,30(4):434-437.
- Han L, Wang R P. Remote sensing image interpretation of linear tectonics in Wudu-Wenxian area[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(4): 434-437.
- [11]韩乐乐,丁伟翠,陈宣华,等.西准噶尔地区多源遥感信息的线性构造提取与定量分析[J].中国地质,2019,46(5):1209-1223.
- Han L L, Ding W C, Chen X H, et al. Linear structure extraction and quantitative analysis of multi-source remote sensing information in West Junggar Basin[J]. Geology in China, 2019, 46(5): 1209-1223.
- [12]河北省地质矿产局.中华人民共和国地质矿产部地质专报(一,第15号):区域地质,河北省北京市天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1989:9-276.
- Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Hebei, Beijing and Tianjin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 9-276. (in Chinese)
- [13]张亚东,董杰,肖金平.河北省地质构造重力推断解释[J].物探与化探,2011,35(2):143-148.
- Zhang Y D, Dong J, Xiao J P. Gravity deduction and interpretation of geological structure in Hebei Province [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2011, 35(2): 143-148.
- [14]李国志,丛利民,沈丽霞,等.内蒙东部赤峰地区小井子一带遥感地质找矿应用[J].华南地质与矿产,2009(4):83-88.
- Li G Z, Cong L M, Shen L X, et al. Application of remote sensing for geological exploration in Xiaojingzi area, Chifeng, eastern Inner Mongolia [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2009(4): 83-88.
- [15]Sabins F F. Remote sensing for mineral exploration[J]. Ore Geology Reviews, 1999, 14(3/4): 157-183.
- [16]成永生,陈松岭.基于遥感解译的环形构造研究及其找矿意义[J].矿业研究与开发,2007,27(3):53-55.
- Cheng Y S, Chen S L. Research on ring-shaped structures based on remote-sensing interpretation and its significance in ore prospecting [J]. Mining R&D, 2007, 27(3): 53-55.
- [17]刘燕君.遥感找矿的原理和方法[M].北京:冶金工业出版社,1991:92-155.
- Liu Y J. Principle and method of remote sensing prospecting[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1991: 92-155. (in Chinese)
- [18]楼性满,葛榜军.遥感找矿预测方法[M].北京:地质出版社,1994:26-61.
- Lou X M, Ge B J. Remote sensing method for prospecting and prediction[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 26-61. (in Chinese)
- [19]刘登忠.“康定杂岩”区的线性和环形构造及其地质找矿意义[J].成都地质学院学报,1991,18(4):48-55.
- Liu D Z. The linear and circular structures in Kangding complex area and their significance [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1991, 18(4): 48-55.
- [20]刘林清.从遥感图像看桃溪环形构造及其对铀矿分布的控制[J].江西地质,1996,10(1):69-74.
- Liu L Q. Taoxi annular structure and its controlling on the distribution of uranium deposit from the view of remote sensing image[J]. Geology of Jiangxi, 1996, 10(1): 69-74.
- [21]朱永田.黔东南地区内生金属矿产与环形构造的关系[J].贵州地质,1992,9(1):63-71.
- Zhu Y T. The relationship between the hydrothermal metal ores and the ring structures in southeastern Guizhou [J]. Geology of Guizhou, 1992, 9(1): 63-71.