

白银厂黄铁矿型矿床成因模式探讨

陈文森

(福建有色地质勘探公司)

关于白银厂黄铁矿型矿床的成因问题,不少研究者曾作过讨论^[1,2,3],但至今仍众说纷纭,莫衷一是。

笔者等^[4]通过研究矿区的古火山活动与成矿的关系,发现赋存在喷发中心附近的近火山口亚相中的矿床,和距离较远的过渡亚相中的矿床,各具有明显不同的特征。1977年,R. R. Large^[5]在研究加拿大的同类矿床时,也得出了相同的结论。他用“近处”和“远处”这两个术语来称呼这两类矿床的矿石。不过他认为“近处”是指离热液喷出中心近,未必专指离喷发中心近,尽管二者往往是一致的。

近年来,作者发现白银厂矿区的3个矿床,随着与喷发中心距离的加大,其某些特征呈现规律性的变化,从而组成一个递变的成矿系列。查

明这一系列不仅有理论意义,而且有实际意义。本文通过研究矿床的特征及其演化规律,试图提出一个成矿模式。

矿床的主要特征

矿区发育一套早古生代*海底喷发的细碧角斑岩。大致可划分为两大旋回:第Ⅰ旋回以富钠为特征,岩浆分异良好。又可细分为三个亚旋回,依次为基性—酸性—基性火山喷发。其中,第二亚旋回以中心式猛烈爆发为主,形成一套巨厚的酸性熔岩、凝灰熔岩、火山碎屑岩、沉凝灰岩和稍晚的次火山岩。区内的矿床均产在其中。

第Ⅱ旋回为不整合于前者之上的基性火山岩喷发,以富钾为特征。

根据火山颈相的位置,熔岩的厚度变化,火

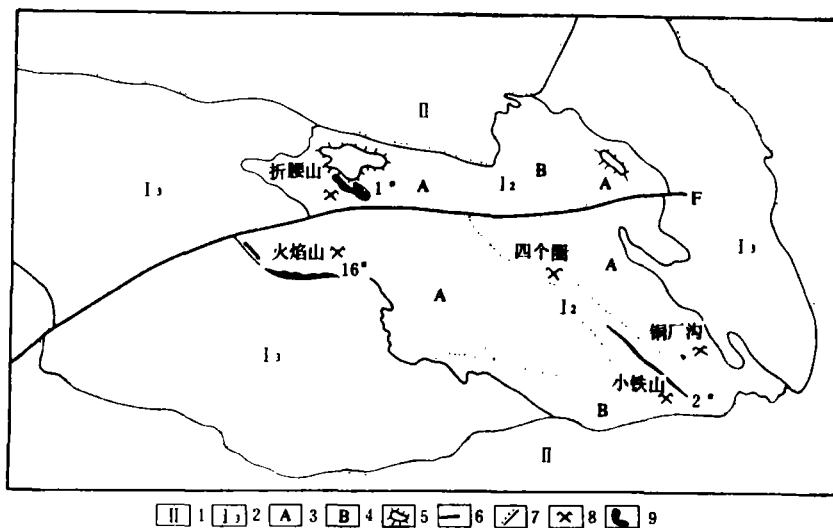


图1 白银厂矿床分布图

1—喷发旋回; 2—喷发亚旋回; 3—近火山口亚相; 4—过渡亚相; 5—火山颈相; 6—断层;
7—不整合; 8—矿床; 9—主矿体及其编号

*地层时代尚未最终确定,可能属早寒武世或早奥陶世。

山集块、角砾的块度和密度变化,以及次火山岩的分布等因素判断,折腰山和铜厂沟北各有一个古喷发中心。随着与喷发中心的距离加大,火山岩相有明显的变化,沉积岩夹层明显增多。据此,相应地划分出近火山口亚相和过渡亚相。显然,远离喷发中心的应属远火山口亚相,后者在矿区外围大量发育。

区内已发现五个矿床,距喷发中心从近到远依次是:折腰山、火焰山、铜厂沟、四个圈和小铁山。其中前二者产于近火山口亚相,后二者产于过渡亚相。折腰山、火焰山、小铁山为大—中型矿床,其余为小型矿床。矿区外围尚有石青矿床,为产于远火山口亚相中的小型多金属矿床。综合对比各矿床的地质特征,发现它们既具有明显的共性,又各具个性。

(一) 共性

1.所有矿床均产在火山丘—复背斜内,距喷发中心不远。

2.绝大多数矿体产在第二亚旋回的石英角斑凝灰岩中,仅个别产在向第三亚旋回过渡的凝灰岩中,其他层位及岩石中至今未发现工业矿体。这种明显的层位控制,表明了成矿时间上的局限性。

3.矿体成群产出。大—中型矿床均有1~3个储量巨大的主矿体,且均为块状矿石。成矿物质的高度集中,表明了成矿在空间上的局限性。

4.主矿体常赋存在不同岩性的接触带附近,例如折腰山1*,火焰山16*,小铁山1*、2*、3*等矿体。显然,火山喷发末期、喷发间歇或环境的变换,对成矿是有利的。

5.矿床具强烈的围岩蚀变,近矿的围岩,长石往往消失,形成无长石带;黄铁矿化广泛而强烈。但是过渡亚相中矿床的蚀变范围较狭窄且不均匀,而且还有范围广泛得多的蚀变带,其中却无矿体。看来,与其把围岩蚀变看作矿床的特征,与成矿作用伴生,不如看作是靠近喷发中心的标志,既可与成矿的、也可与不成矿的火山气液作用有关。

6.矿石中黄铁矿占绝对优势,其颗粒细小且多破碎。

7.据陈兰桂(1981)测定:小铁山和折腰山主要矿石矿物包裹体的爆裂温度如表1。

矿床	矿石及矿物	平均温度(℃)
折腰山	浸染状黄铁矿	324
	块状和稠密浸染状黄铁矿	332
	磁黄铁矿	337
	磁铁矿	344
	闪锌矿	339
小铁山	黄铜矿	306
	脉状黄铁矿	347
	块状黄铁矿	341
	条带状黄铁矿	340
	花岗斑岩中的黄铁矿	279

*样品共18件。

从表1可见,这两个矿床主要矿石矿物的爆裂温度相当接近,变化于306~347℃之间,而与穿切矿体的花岗斑岩脉(有人认为它是深部成母岩的浅部分枝)中的黄铁矿的温度截然不同,表明了它们成因上的一致性。

据报道,东太平洋海岭顶部,在一定的压力下,海底热泉喷口处的温度可达350℃,从中喷出并直接沉淀出硫化贱金属矿物。

8.矿区及外围187件硫同位素数据分别表示于表2、图2及图3中。

	矿床	S ³² /S ³⁴			δS ³⁴ ‰			样品
		最高	最低	平均	最高	最低	平均	个数
矿 区	折腰山	22.438	22.070	22.143	+ 6.8	- 9.7*	+ 3.51	47
	火焰山	22.318	22.058	22.124	+ 8.8	- 4.4	+ 4.36	52
	铜厂沟	22.130	22.026	22.074	+ 8.7	+ 4.1	+ 6.63	24
	小铁山	22.154	22.063	22.114	+ 7.1	+ 3.0	+ 4.77	13
外 围	石青铜	22.254	22.013	22.108	+ 9.4	- 1.5	+ 5.09	24
	银洞沟	22.156	22.107	22.125	+ 5.1	+ 2.9	+ 4.26	5
	老虎山	22.148	22.038	22.106	+ 8.2	+ 3.3	+ 5.16	22

*全矿区δS³⁴‰呈负值者仅有7件,除2件尚待研究外,其余5件均为沉积岩或火山—沉积岩中的浸染状黄铁矿,与矿石中的黄铁矿截然不同。

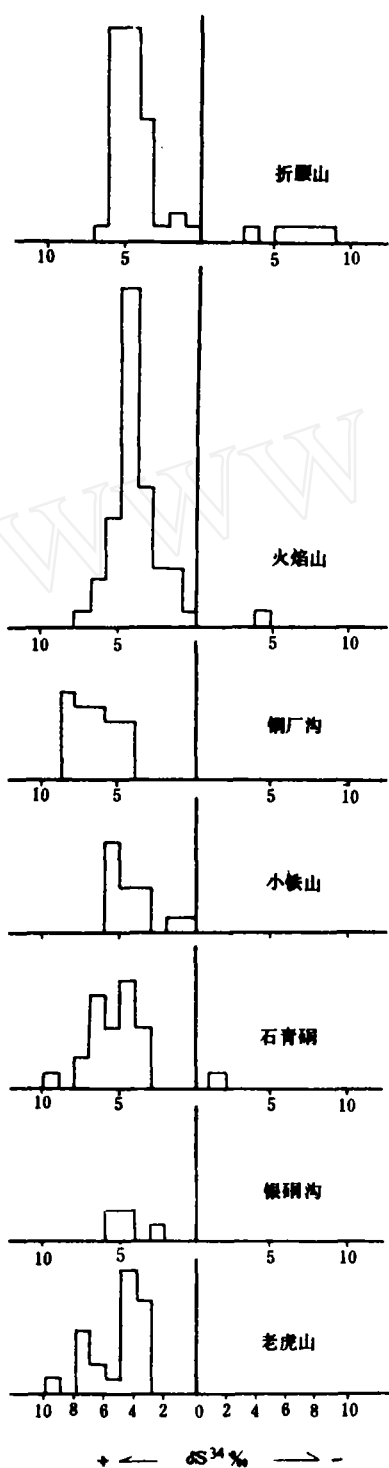


图2 按矿床统计的频数直方图

从图2和图3可见, 矿区和外围的所有矿床、各矿床的主要矿石矿物(包括方铅矿和闪锌矿, 已统计入表2, 但未单独作图), 其硫同位素组成

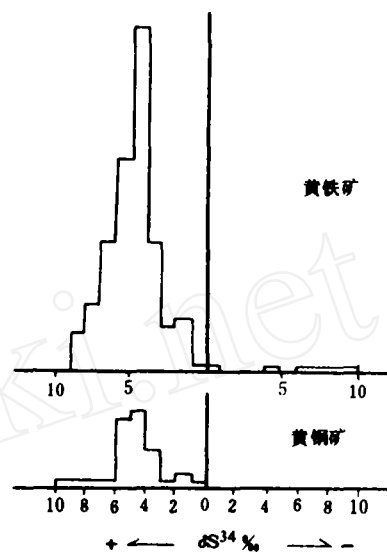


图3 按矿石矿物统计的频数直方图

接近于陨石型, 且相当一致, 均以 $\delta S^{34} = +4 \sim +5\%$ 为峰值呈塔式分布, 离散范围颇窄。许多研究者认为, 这种特征反映硫来源于上地幔。鉴于影响硫同位素分馏的因素相当复杂, 作者认为上述特征至少提供了各种矿床成因上具有一致性的信息, 而且尔后经历了相似的地质过程。

以上共性提示, 白银厂矿床的形成与其围岩火山岩的形成是同源、同时、同地的, 成矿活动实际上只是火山活动的一个组成部分, 而矿石只不过是火山活动过程中生成的一种特殊的、具有工业价值的岩石罢了。由此可见, 白银厂黄铁矿型矿床与世界上许多知名的同类矿床一样, 是一个典型的火山矿床。

(二) 个性

1. 在成矿元素组合上, 折腰山、火焰山以Cu为主, 伴生Zn; 铜厂沟也以Cu为主, 边部Pb, Zn较多; 小铁山、四个圈则以Zn, Pb为主, Cu较少。

矿区外围远火山口亚相中的石膏洞矿床仍为Zn, Pb, Cu组合, 但规模小且均为浸染状矿石。再向远处则出现栏门石Mn矿和惠家庄的Mn—Fe矿沉积。更远处还有Fe的沉积, 矿区外围仅见矿化, 也许镜铁山矿床的产出部位与此相当。

因此, 距喷发中心从近到远元素的变化为:

$\text{Cu (Zn)} \rightarrow \text{Cu (Zn, Fe)} \rightarrow \text{Zn, Pb, Cu} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{Mn, Fe} \rightarrow \text{Fe}$ (图6)。

2. 离喷发中心越远的矿体，形态越简单，与围岩整合的现象越普遍、清晰。折腰山为厚大而不甚规则的透镜体，深部网脉状矿大量发育，沿火山活动期间生成的断裂甚至充填块状的194[#]矿体；火焰山的主矿体呈似层状、透镜状，形态较简单；小铁山则为明显呈整合产出的层状矿体；石青洞含矿的酸性凝灰岩夹于大理岩层间，厚逾百米，几乎整层矿化，仅据化学分析才圈定出二百余个矿体。至于外围的铁锰矿沉积特征更明显，以前均被看成沉积矿床。

3. 主矿体中的层纹或条带等沉积构造，距喷发中心越远越发育。折腰山矿床上上述构造甚少发现，相反，却频频出现反映热液作用的特征，例如矿石的元素组成复杂（达36种，其中多数可回收利用），矿物种类繁多，Co、Ni、Cu及放射性元素局部富集，交代、晶洞、粗晶等结构及角砾、网脉等构造发育等等；火焰山矿床矿石中常见条带状构造（图5）；小铁山矿石普遍发育条带及层纹构造，有时还见揉皱构造（图4），

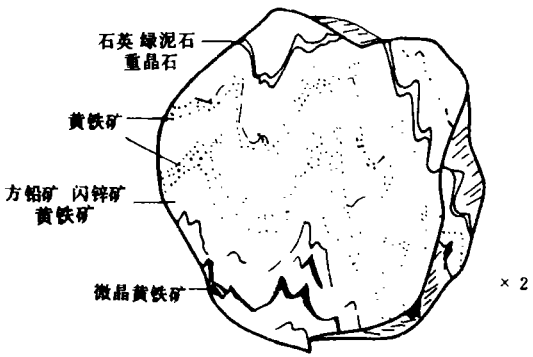


图4 小铁山含铅、锌黄铁矿的揉皱构造

反映成岩过程中的变动；到石青洞矿床则全部为条带状矿石，黄铁矿沿层理及片理分布且具压力阴影，表明形成于变质作用之前。

4. 矿石中重晶石含量随着与喷发中心的距离加大而递增。折腰山矿床至今未发现重晶石矿物，却出现其他矿床所未见的黝锡矿、自然铋、磁黄铁矿等；火焰山偶尔可见重晶石呈条带状产于矿

体中（图5）；而小铁山、石青洞矿床中重晶石则作为脉石矿物普遍发育。

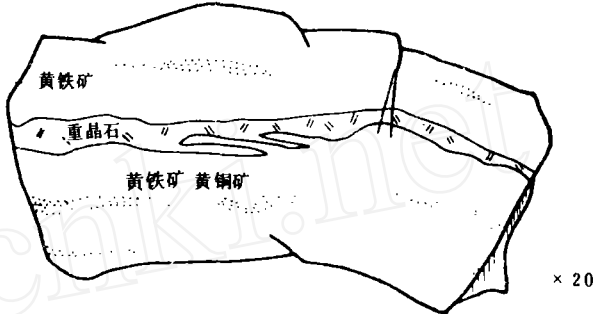


图5 火焰山16[#]矿体中的重晶石条带

据姜齐节等（1980）研究，虽然重晶石作为一种正常成分出现于火山矿床中，但难以设想在远火山条件下还会大量生成。作者推测，如果 Ba^{2+} 来自火山气液，当进入海底时将很快与海水中大量存在的 SO_4^{2-} 结合成溶度积很小的 BaSO_4 而沉淀。这样，在一定的范围内，随着与喷发中心距离的加大，重晶石含量逐渐增加，正反映发生在海水—岩石界面上的火山喷气—沉积作用的逐渐增强。

5. 各矿床主矿体中黄铁矿的Co、Ni含量及Co/Ni值随远离喷发中心而呈规律性的连续递减（表3）。

各矿床Co、Ni含量及其比值表
(据滕文超, 1981) 表3

矿床	矿石构造	样品个数	Co (ppm)	Ni (ppm)	Co/Ni
折腰山	块状	8	479.9	7.8	92.7
火焰山	块状	8	130.1	12.3	10.9
铜厂沟	浸染状	11	94.9	10.1	9.0
小铁山	块状	2	50.5	18.0	2.9

距喷发中心最近的折腰山与较远的小铁山矿床相比，矿石中黄铁矿所含的微量元素及元素对的比值也有明显差异（表4）。

不少研究者主张黄铁矿的Co/Ni比值可以反映矿床的成因，认为 $\text{Co/Ni} > 1$ 为内生矿床的特征， < 1 为沉积矿床的特征。王亚芬（1981）

折腰山、小铁山微量元素含量及元素对比值(据 641 队)

表 4

矿床	微量元素 (%)								比值			
	In	Ge	Ga	S	Se	Te	Au (g/t)	Ag (g/t)	Co/Ni	Se/Te	S/Te	Ga/Ge
折腰山	0.00039	0.00009	0.0009	51.93	0.0134	0.0001	0.83	29.8	20.7	13.4	3875	10
小铁山	0.00019	0.00009	0.0001	46.67	0.0063	0.00054	3.74	4.4	3.9	11.6	8272	1.1

修正这个意见,认为只有成矿物质来源于古陆剥蚀区,并且是在沉积中形成的黄铁矿,其Co/Ni才 <1 ,虽然她认为白银厂的Co/Ni $\gg 1$,应属火山气液矿床。作者认为除此之外,这种Co/Ni比值的连续变化,以及表4所反映的两

个端员矿床间微量元素含量和元素对比值的明显差别(甚至相差达一个数量级),却绝非偶然。这正反映折腰山以火山气液成矿为主,随着远离喷发中心,逐渐为喷发沉积成矿所取代,至小铁山、石青碛则以后者为主。上述各点归纳入表5。

各矿床特征的演化表

表 5

特 征	火山颈相	近火山口亚相			过渡亚相	远火山口亚相
	喷发中心	→折腰山	→ 火焰山	→ 铜厂沟	→小铁山、四个圈	→石青碛 →惠家庄
成矿元素	Cu (Zn) → Cu (Zn Pb) → Zn Pb Cu → Zn Pb Cu → Mn Fe					
矿体形态	不规则透镜状 似层状透镜状 透镜状 层状 层状 层状					
沉积构造	罕见 —————→ 常见 —————→ 普遍					
重晶石含量	无 少 —————→ 多 多					
Co/Ni	高 —————→ 低					
微量元素特征	热液型 沉积型					

成矿机理的推断和成因模式

矿区的五个矿床及石青碛矿床均赋存在酸性火山岩中;产于基性火山岩中的矿床仅见于矿区外围,其规模远较前者为小。这与世界上大多数大型矿床产在酸性火山岩中是一致的。据马歇欧(1965)研究,在900℃、1000大气压条件下,岩浆愈偏酸性,岩浆气液中硫化物含量愈高,成矿的可能性愈大。作者认为,白银矿区贱金属元素的高丰度乃是形成第I喷发旋回的钠质岩浆本身的属性,由于强烈分异而富集于高酸度长英质岩浆喷发阶段,这正是矿体在时空分布上如此局限的主要原因之一。

从岩浆分异出来的富含硫化物的气水溶液,在某次喷发的末期集中,在内部压力的驱动下向上运移。喷发中心附近,由于应力集中,常发育大量的断层裂隙;同时,所堆积的火山碎屑具有高孔隙度和渗透率,容许含矿气液广泛渗入并周流。另一方面,海水也容易沿裂隙断层下渗,当

其受热上升时也能淬取围岩中的金属元素,形成活跃的含矿热卤水,参与成矿。所以在喷发中心附近,成矿的主导因素是气液的交代与充填。

当含矿气液运移至海水—岩石界面上时,海水的静压力使之不易扩散。由于急剧冷却,加上相当大的静压力(一般认为块状硫化矿形成于深海),含矿蒸气将转化成热液,不会沸腾或直接上升逸散。高矿化度的热液由于比重较大,将沿火山斜坡向低洼处流动,并在略为远离喷发中心处沉积成矿。

R. R. Large (1977)研究了Fe—S—O系统中的Eh值、pH值、氧逸度和硫的总溶量对硫化物沉淀的影响,认为热液在离开喷出口运移时,随着温度的降低、海水的稀释、pH值逐渐上升,氧逸度和氧化硫(S₀)与还原硫(S_r)比值不断改变,将分别析出Cu、Zn和Pb、Zn。通常大部分Cu在热液筒内沉淀,而所有的Pb、Zn仍留在溶液中并被带到海底^[5]。这就造成了成矿元素的分异。既然上述诸因素随含矿溶液离开

喷出口而逐渐改变,那么受其制约的矿床特征当然也随之逐渐改变。靠近喷发中心,成矿作用以火山气液的充填、交代为主,伴有喷发沉积作用,形成以铜为主的矿床;向外则喷发沉积作用逐渐增强,至火山斜坡或更远的火山洼地则成为主导因素,形成以铅锌为主、含铜的矿床;来自火山喷发而呈各种状态进入海水中的铁锰质,被海流携带到离火山口远处沉积,形成与火山硅质岩建造有关的铁锰矿,例如栏门石、惠家庄、镜铁山等地所见。由于在海水中的滞流,矿床形成的时

间往往较晚。

于是我们发现,白银厂矿区的五个矿床组成一个连续演化的成矿系列,对于其中任一矿床,实际上很难简单地概括为热液成因或沉积成因。C. A. Anderson 索性就主张:“鉴于这类矿床的成因复杂,因此区分它们是同生的、后生的或热液的实在没有多大意义”^[6]。是该结束这种无休止的争论了。

兹将白银厂矿床的成因模式示意如图 6。

必须指出,这一模式只表示成矿作用。野外

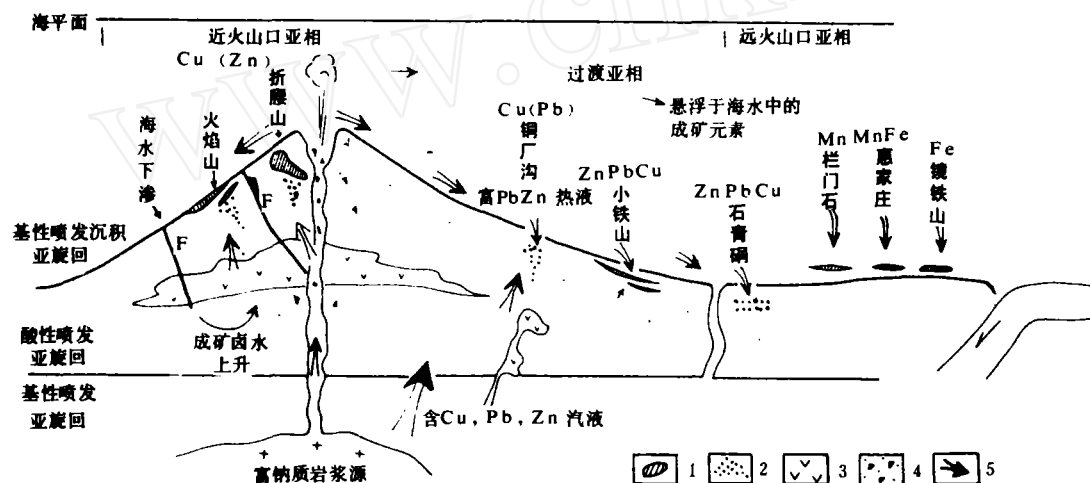


图 6 白银厂成矿模式图

1—块状矿体; 2—浸染状矿体; 3—石英角斑质熔岩、次火山岩; 4—石英角斑质碎屑岩;
5—矿液运移方向; 箭头大小示相对强弱

观察表明,后期的构造变动对矿床有重大的影响,它可使矿石发生塑性流动,导致矿体在压力低处加厚、富集;矿石中的活性组分黄铜矿发生迁移,在矿体内形成网脉,甚至穿入离“母”体不远的围岩中,形成一定规模的石英—黄铜矿脉,如折腰山所见。D. F. Sangster (1973) 认为块状硫化矿体在应力下将发生位移,“T”字型矿体旋转换位的结果,将使原来位于下盘的直立细脉带移向块状矿体的一端^[7]。折腰山块状矿体均在 VI 行以东,以西为浸染状矿,可能就是在顺时针方向的扭力作用下旋转换位的结果。显然,变质作用对矿床的影响是十分重要的。但是这一问题已超出本文讨论的范围。

根据上述结论可以推论,当发现该成矿系列中的一个矿床时,就可以通过恢复火山活动机

构,追索“链条”中的其他“环节”。

本文编写过程中,蒙王集磊、万冠儒、余太勤、史子平等工程师提出宝贵的意见,姜齐节工程师审阅全文,特此表示深切的感谢。

参考文献

- [1] 宋叔和:地质学报,1955,35卷,第1期
- [2] 胡惠民:地质论评,1959,19卷,第1期
- [3] 成岗:地质与勘探,1980,第8期
- [4] 甘肃冶金地质三队,地质与勘探,1975,第8期
- [5] Large, R. R.: Econ. Geol., 1977, v. 72, No. 4, pp. 549~572
- [6] Anderson, C. A.: Econ. Geol., 1969, v. 64, No. 2, pp. 129~146
- [7] Sangster, D. F.: Precambrian volcanogenic massive sulfide deposits in Canada: a review. 《Geological Survey of Canada, paper 72-22》, pp. 1~36