

粤北层控铅-锌-硫矿床成矿机理 及控矿地质因素

陈元琰

(冶金地质学院地质矿产勘查系, 桂林)

提 要: 粤北层控铅-锌-硫矿床产于晚古生代沉积盆地边缘的碳酸盐岩中,是沉积盆地自身发展演化中的产物。含矿热液主要是沉积盆地下部的泥质岩层在后生演化阶段发生压挤脱水作用形成的,金属硫化物是从盆地中心向上运移的含矿热液与碳酸盐岩中富含 H_2S 气体的地下水混合而结晶沉淀的,成矿主要受沉积盆地建造、盆地边缘或古岛古隆起、构造、沉积相和白云岩化五个因素控制。

主题词: 成矿机理 沉积盆地压挤脱水作用 控矿地质因素 层控铅-锌-硫矿床 粤北

1 矿床地质特征

粤北层控铅-锌-硫矿床产于晚古生代沉积盆地边缘的中上泥盆统和下石炭统碳酸盐岩中。盆地基底为前泥盆系冒地槽型浅变质复理石建造,盆地沉积物主要由晚古生代准地台型的下部碎屑岩建造和上部碳酸盐岩建造夹少量含煤碎屑岩组成,盆地盖层主要为中-新生代活动地台型的小型陆相断陷盆地红层-火山岩建造。

本区主要含矿层位为泥盆系海侵沉积序列:下部为中下统桂头群碎屑岩,上部为中统东岗岭组和上统天子岭组碳酸盐岩,总厚度达 1000~2600 m。次要含矿地层为石炭系的下统岩关阶孟公坳组、下统大塘阶石磴子段、测水段和梓门桥段以及中上统壶天群,主要由浅海碳酸盐岩夹含煤碎屑岩组成,总厚度达 1200~2300 m。

粤北层控铅-锌-硫矿床集中分布于北部曲仁盆地的北缘、西北缘和南部英德盆地的南、北两侧(图1)。曲仁盆地为铅-锌-黄铁矿型,如凡口、杨柳塘和西岗寨矿床,英德盆地为单一黄铁矿型,主要有红岩、梨树下、田寮、马口、硫磺山和井冲角等矿床。除杨柳塘矿床赋存于下石炭统外,其它矿床均产于中泥盆统东岗岭组和上泥盆统天子岭组的潮坪碳酸盐相带中。其中,凡口、杨柳塘、红岩、马口四个典型矿床的主要地质特征见表1。

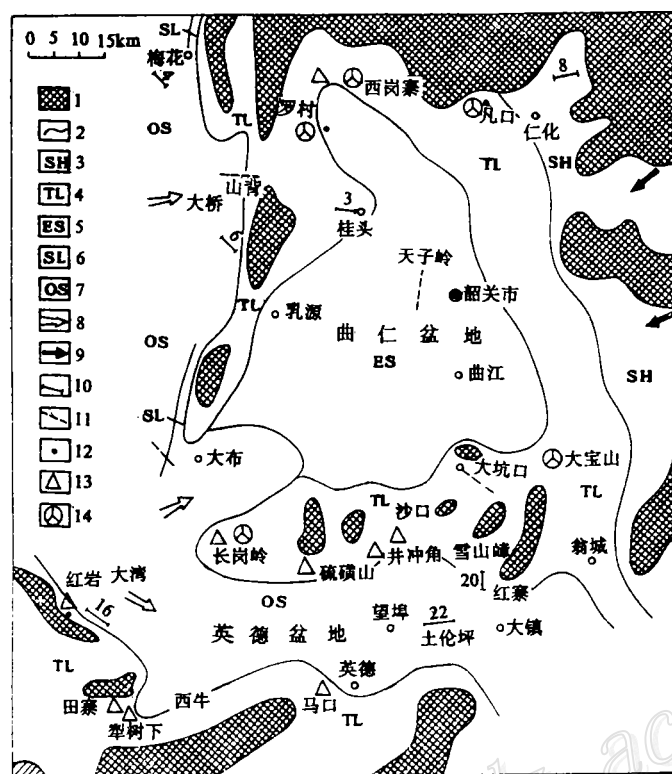


图 1 粤北中晚泥盆世岩相古地理与层控矿床分布关系图

(据广东省地质矿产研究所吴萍等, 1985)

1—古陆及古岛; 2—相带界线; 3—潮坪碎屑岩相带; 4—潮坪碳酸盐相带; 5—局限海相带; 6—斜坡相带; 7—开阔海相带; 8—海侵方向; 9—陆源物质补给方向; 10—实测地层剖面及编号; 11—踏看地层剖面; 12—钻孔岩心观察点; 13—黄铁矿床; 14—多金属硫化物矿床

Fig. 1. Map showing relationship of Middle-Late Devonian lithofacies and paleogeography to distribution of stratabound deposits in northern Guangdong.

1—Old land or old island; 2—Boundary of facies belt; 3—Tidal flat detrital facies belt; 4—Tidal carbonate facies belt; 5—Confined sea facies belt; 6—Slope facies belt; 7—Open sea facies belt; 8—Transgression direction; 9—Terrigenous supply direction; 10—Measured stratigraphic section and serial number; 11—Reconnaissance stratigraphic section; 12—Borehole observation point; 13—Pyrite deposit; 14—Polymetallic sulfide deposit.

2 成矿机理

2.1 成矿模式

根据粤北层控铅-锌-硫矿床的地质特征和稳定同位素组成研究^①, 成矿金属元素来源于中下泥盆统桂头群和基底老地层以及泥盆系、石炭系含矿地层, 硫主要为海水硫酸盐还原硫, 成矿溶液是雨水与地层水的混合溶液。因此, 笔者认为矿床是盆地自身沉积-成岩-后生演化作用的产物, 其成矿模式可概括为(图2):

① 陈元琰, 1989, 粤北层控铅、锌、硫矿床成矿模式、统计预测及矿床评价系统(博士论文)

表 1 典型矿床地质特征

Table 1. Main geological characteristics of typical ore deposits

典型矿床	含矿层位	围岩岩性	控矿构造	矿体形态、产状	矿石矿物	特征的矿石结构构造	$\delta^{34}\text{S}$ 平均值(‰)
凡口	D_2d 、 $D_{a'}$ 、 $D_{a''}$ 、 C_1	白云岩、白云质灰岩、粒屑灰岩瘤状灰岩、花斑状灰岩、砂页岩	近南北向断裂(F_a 、 F_4)和北东向断裂(F_{101} 、 F_{102})	穿层脉状、透镜状、顺层似层状、“瓜藤状”	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿	块状和条带状构造、胶状环带和交代结构	17.08
杨柳塘	$C_1d_5^1$ 、 C_1y^{n2}	结晶灰岩夹白云石大理岩、泥晶和生物碎屑灰岩	西瓜地向斜南西转折端的层间裂隙和破碎带	顺层似层状和透镜状	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿	脉状和块状构造、交代结构	12.04
红岩	D_2d	富含珊瑚、层孔虫的块状白云岩及结晶灰岩	同生断层和古水下隆起	顺层似层状和透镜状	黄铁矿	脉状和块状构造、胶状结构	6.76
马口	D_2d	微晶灰岩、藻团粒和核形石灰岩	近南北向大理岩化角砾岩带	顺层似层状和透镜状	黄铁矿	角砾状构造	17.36

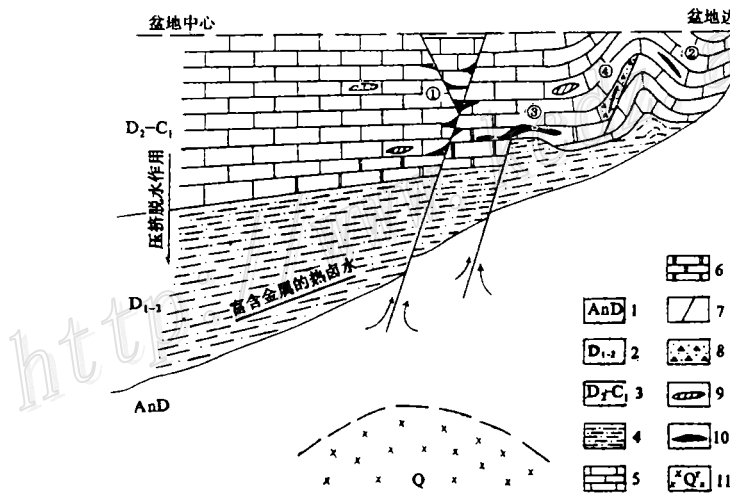


图 2 粤北层控铅、锌矿床成矿模式示意图

1—前泥盆系；2—中下泥盆统；3—中泥盆统一下石炭统；4—砂页岩；5—灰岩；6—白云岩；7—断层；8—角砾岩；9—沉积-成岩阶段矿体；10—后生热液阶段矿体；11—热源；①—凡口式；②—杨柳塘式；③—红岩式；④—马口式

Fig. 2. Schematic metallogenic model of strata-bound lead, zinc and sulfur deposits in northern Guangdong.

1—Pre-Devonian; 2—Middle-Lower Devonian; 3—Middle Devonian-Lower Carboniferous; 4—Sandshale; 5—Limestone; 6—Delomite; 7—Fault; 8—Breccia; 9—Orebody of sedimentary-diagenetic stage; 10—Orebody of epigenetic hydrothermal stage; 11—Heat source; ①—Fankou type; ②—Yangliutang type; ③—Hongyan type; ④—Makou type.

(1) 在沉积-成岩阶段, 沉积物中的铁质与细菌还原硫酸盐产生的 H_2S 发生反应, 生成灰岩中分散状的黄铁矿和条带状、层纹状黄铁矿贫矿石。

(2) 在含矿地层普遍发生成岩白云岩化之后, 随着沉积盆地的沉降, 已固结成岩的岩层埋藏加深、温度增高和压力增大, 沉积盆地发生泥质岩层的压挤脱水作用和地下水的循环渗透作用, 形成了富含金属的热卤水。

(3) 在岩层静压力和构造应力的作用下, 含矿热卤水从高压带的盆地中心向低压带的盆地边缘运移, 在盆地上部碳酸盐岩储集层中与富含 H_2S 气体的地下水混合或交代先前存在的黄铁矿, 产生金属硫化物的沉淀。

2.2 热卤水的形成

地下水循环渗透作用的成矿机制前人已作过详细的研究。本文侧重论述压挤脱水作用的成矿机制。压挤脱水作用是已经初步固结的泥质岩层, 在较大埋深 (大于 3~4 km) 和较高温度 (大于 90~100℃) 下, 发生矿物相的转变、脱水作用和有机质的演化。脱水作用主要包括粘土矿物脱水 (层间水) 和非晶质无机凝胶脱水。

据差热分析研究, 粘土矿物层间水的释放温度为 100~200℃, 粤北地区海西-印支构造层的地层厚度为 3400~6300 m, 古地热温度可达 100~190℃。地热温度、粘土矿物脱水温度和矿物包裹体均一温度 (100~250℃, 陈元琰, 博士论文) 三者基本一致, 充分说明了压挤脱水成矿的可能性。

根据 B H 霍洛多夫 (1982) 研究高加索东部第三纪粘土实际矿物成分的脱水模式, 即 $1 m^3$ 粘土水云母化时排出 100 kg 水, 按照粤北晚古生代沉积盆地长为 120 km, 宽为 50 km, 桂头群页岩厚度平均为 200 m, 则可计算出粘土矿物脱水作用 (层间水) 所释放的水量为 1.2×10^{14} kg。如果加上其它的压挤脱水作用, 并且考虑到桂头群砂页岩的原始沉积厚度比现在要大得多的情况, 则不难看出, 桂头群砂页岩的压挤脱水可以成为本区层控铅、锌、硫矿床其成矿溶液的主要来源之一。

氯化物型卤水是沉积物中的囚水 (古海水) 经过成岩-后生作用演化形成的。这种演化机制可能有硫酸盐的还原作用、蒙脱石向水云母转变的固钾作用和脱钠钙作用、分散碳酸盐的溶解作用、粘土的薄膜渗滤作用和盐类矿物的溶解作用。

2.3 金属元素和硫的来源

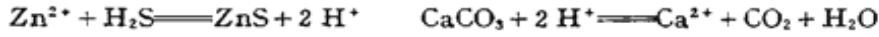
金属元素在沉积岩中主要富集在粘土岩和杂砂岩中, 存在形式主要有类质同象、粘土吸附、胶体吸附、生物及有机质吸附四种。因此, 热卤水中成矿金属元素主要通过下列机制而富集: ①热卤水的萃取; ②矿物分解或转变的释放; ③粘土矿物相转变的解吸; ④胶体结晶的解吸; ⑤生物及有机质分解的释放。

金属元素在热卤水中的存在和搬运形式可能主要以氯化物络合物形式, 其它形式如硫酸盐、二硫化物络合物和有机络合物等可能也有一定的作用。

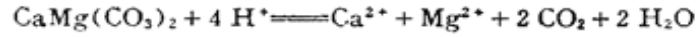
与金属元素反应生成硫化物的 H_2S 主要有海水硫酸盐还原生成和有机质热降解产生。据硫同位素组成研究, 粤北层控矿床的硫源主要为海水硫酸盐。在温度低于 250℃ 的情况下, 硫酸盐的还原作用主要有两种, 即常温条件下的细菌还原作用和较高温度条件下的有机质还原作用。

2.4 硫化物沉淀

细菌还原作用和有机质还原作用生成的 H_2S 通过地下水运移或扩散作用在成矿地点汇集, 当遇到富含金属的含矿热液时, 金属元素与 H_2S 发生反应, 产生硫化物沉淀, 同时生成大量的酸, 从而引起碳酸盐的溶解, 反应式为:

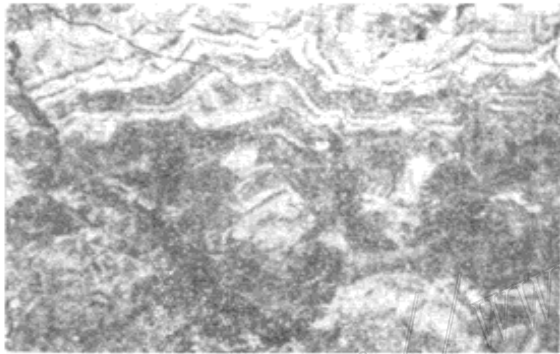


或



碳酸盐的溶解既是成矿作用的结果, 又能为硫化物沉淀提供空间。在某些条件下, 强烈的碳酸盐溶解可形成岩溶角砾岩(如马口矿床)或矿石中泥晶方解石的缺失(如凡口矿床的各种矿石)。溶解的碳酸盐组分迁移到矿体围岩中重新沉淀, 形成后生方解石和白云石脉, 也可在成矿后期物理化学条件改变后在硫化物孔隙中重新沉淀, 形成与硫化物伴生的白色粗晶方解石或白云石。

沉积盆地的周期性脱水引起矿化作用的多阶段性, 从而形成特征的矿石结构构造。在盆地卤水排泄的间歇期间, 由于 H_2S 的大量积累, 当遇到下次含矿热液时, 金属元素与 H_2S 发生快速反应, 生成的硫化物具胶状结构(照片1)。多阶段的硫化物沉淀可形成多韵律层的环带结构(照片2)。



照片1
黄铁矿胶状环带结构 反光 ×32 红岩



照片2
闪锌矿胶状环带结构 负片 ×25 凡口

3 控矿地质因素

3.1 盆地沉积建造控矿

粤北层控铅锌硫矿床主要是在沉积盆地成岩-后生演化作用下形成的。这种沉积盆地是大地构造发展史上地台阶段的克拉通内盆地, 具有典型的下部碎屑岩建造和上部碳酸盐岩建造组合。它是形成这类矿床的前提条件。

粤北地区自早泥盆世开始至早三叠世为止, 在加里东不整合面上沉积了一套由下部碎屑岩、中部碳酸盐岩和上部含煤碎屑岩组成的准地台型沉积建造。由于本区在加里东运动中褶皱上升为陆的前泥盆系遭受长期的风化剥蚀, 因此沉积物来源丰富, 分异良好, 在稳定的大地构造条件下沉积了总厚达 3400~6300 m 的沉积物(其下部砂页岩近千米), 为本区层控铅锌硫矿床的形成奠定了基础。

盆地沉积建造的控矿作用具体表现为同一大地构造单元上区域性的地层层位控矿, 即矿床普遍产于不整合面之上的首次最大海侵旋回下部的碎屑岩层与上部碳酸盐岩层的过渡部位的偏碳酸盐岩一侧^①, 这是压挤脱水成矿作用对粤北及南岭其他地区中上泥盆统碳酸盐岩控制层控矿床的最重要贡献, 其本质是下部碎屑岩层压挤脱水形成的含矿热液首先在邻近过渡带的碳酸盐岩储集层中成矿。

3.2 盆地边缘古岛古隆起控矿

沉积盆地下部砂页岩的顶部一般是一层较纯的页岩层。随着埋藏深度的加大和成岩作用的进行, 这层页岩很快就变成不透水层, 阻挡下部的孔隙水向上部运移。同时, 盆地中心的地静压力比盆地边缘要大很多, 所以当下部砂页岩在压挤脱水之后孔隙水处于异常压力的情况下, 孔隙水只能从盆地中心向盆地边缘沿不整合面或岩性分界面等薄弱地带从下向上运移, 进入上部碳酸盐岩储集层中而成矿。只有当盆地中有深大断裂或古岛、古隆起时, 孔隙水才能通过这些地带而得到排泄。因此, 矿床在平面上一般产于盆地边缘或古岛古隆起和深大断裂附近(图1)。

3.3 构造控矿

为了形成具有一定规模和品位的工业矿床, 一个能集中、汇集成矿热液的排泄系统是必不可少的。发育于盆地边缘的深大断裂被证明是构成这种排泄系统的最主要通道。凡口的 F_3 和 F_4 南北向断裂、杨柳塘的 F_{302} 北西向断层、红岩的东西向同生断层和马口的南北向断层等即是这类导矿构造的主要代表。

控制矿体分布和形态产状的矿床构造本区主要有四种(见图2): 第一种是主断裂带或与其派生断裂、裂隙组成的Y字型断裂, 如凡口矿床; 第二种是褶皱翼部或转折端的层间裂隙和破碎带, 如杨柳塘、梨树下矿床; 第三种是小型古水下隆起及其旁侧同生断层的上部减压带, 如红岩矿床^②; 第四种是层间滑动断裂—岩溶角砾岩带, 如马口、硫磺山矿床(参见表1)。

3.4 沉积相控矿

硫酸盐还原硫是形成本区层控铅-锌-硫矿床的主要硫源, 而硫酸盐还原作用需要大量的有机质。因此, 富含有机质的沉积相是形成这类矿床的另一物质条件。

碳酸盐岩中有机质的含量与沉积环境有很大的关系, 一般有机质在封闭、半封闭和滞流的沉积环境中含量较高, 据广东地质科学研究所吴萍等(1985)^③对粤北地区中晚泥盆世的沉积相和凡口、杨柳塘、红岩矿区含矿地层的有机碳含量及其与矿床分布关系的研究(表2, 图1), 粤北层控铅-锌-硫矿床主要分布在有机碳含量较高的潮坪相带和局限盆地相带中, 而有机碳含量较低的开阔浅海盆地相带和斜坡相带则没有矿床分布。

3.5 白云岩化控矿

粤北层控铅-锌-硫矿床的矿体围岩普遍具有白云岩化, 矿体的空间定位常与白云岩化密切相关。如红岩、梨树下和田寮矿床, 含矿地层东岗岭组几乎全部为白云岩; 井冲角、西岗寨矿床, 矿体主要产在含矿地层灰岩与白云岩互层的白云岩段中; 凡口矿床含矿地层之一东

① 赖应镜, 1981, 广东泥盆系的含矿性, 地质论评, 第1期

② 覃功炯、陈元琰, 1988, 广东英德红岩黄铁矿床古水下隆起的控矿作用及矿床成因, 现代地质, Vol. 2, No 2

③ 吴萍等, 1985, 粤北泥盆纪岩相古地理, 广东地质科学研究所汇刊, 第2号

表 2 粤北地区中晚泥盆世沉积相及矿区含矿地层的有机碳含量表 (%)
Table 2. Organic carbon content of Middle-Late Devonian sedimentary facies strata in ore districts of this region

地区	样品名称	样数	含量范围	平均值	资料来源
粤北地区	潮坪碳酸盐相带	54	0.070~0.615	0.1649	吴萍等 (1985)
	局限浅海盆地相带	7	0.088~0.475	0.2011	
	开阔浅海盆地相带	25	0.031~0.136	0.0922	
凡口	含矿的各种灰岩	43	0.140~0.900	0.4110	冶金部地质研究所 (1982)
杨柳塘	细晶白云岩	4	0.290~0.840	0.430	
红岩	白云岩和灰岩	18	0.120~1.950	0.539	706队

岗岭组为白云岩、白云质灰岩和灰岩。因此,研究白云岩化的控矿作用对阐明矿体的空间定位机制具有重要的意义。

首先,白云岩的岩石力学性质比灰岩、泥灰岩和页岩较为刚性和脆性,因此在同一构造应力作用下,上下岩层之间的岩石力学性质差异容易引起岩层的顺层滑动,并在白云岩中大量发育裂隙和破碎带,为矿液的充填结晶沉淀提供足够的就位空间。

其次,白云岩化过程中岩石体积显著减少,孔隙度增大,由白云石菱面体构成的多面体晶间孔隙连通性好,渗透率高。这种高孔隙度和高渗透率的白云岩有利于矿液的运移和沉淀。红岩矿区可见到黄铁矿充填白云石的三角形晶间孔隙即为例证。

本文是博士论文的一部分,得到导师朱上庆教授的悉心指导,得到了凡口铅锌矿等有关单位和个人的热情支持和帮助,在此特表谢意。

参 考 文 献

- 1 霍洛多夫 B H. 对后成作用的新认识(II)——压挤后成作用, 国外地质科技, 1983.
- 2 Anderson G M. Some geochemical aspects of sulfide precipitation in carbonate rocks; International Conference on Mississippi Valley-type lead-zinc deposits proceeding volume, 1983.
- 3 Cathles L M. Thermal constrains on the formation of Mississippi valley-type lead-zinc deposits and their implication for episodic basin dewatering and deposit genesis; Econ. Geol. 1983. 983~1002
- 4 Foscolis A E. Diagenesis 7—Catagenesis of argillaceous sedimentary rocks; Geoscience Canada, 1985, 11 (2); 67~75
- 5 Jackson S A. Beales F W. An aspects of sedimentary basin evolution; The concentration of Mississippi valley-type ores during late stage of diagenesis; Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1967, 35 (4); 383~433

METALLOGENIC MECHANISM AND ORE-CONTROL GEOLOGICAL FACTORS OF THE STRATABOUND LEAD, ZINC AND SULFUR DEPOSITS IN NORTHERN GUANGDONG

Chen Yuanyan

(*Department of Exploration Geology, Guilin College of Geology, Guilin 541004*)

Key words: metallogenic mechanism, ore-control geological factor, squeezing and dewatering process of the sedimentary basin, stratabound lead, zinc and sulfur deposits, northern Guangdong

Abstract

The stratabound lead, zinc and sulfur deposits in northern Guangdong occur in Middle-Upper Devonian and Lower Carboniferous carbonate rocks on the margin of the late Paleozoic sedimentary basin, being products of diagenetic-epigenetic evolution of the sedimentary basin. The ore-bearing thermal brine was mainly formed through the squeezing and dewatering process of argillaceous strata in the lower part of the basin at the epigenetic stage. The dewatering process means the release of interlayer water of clay minerals at rather great buried depth ($>3\sim 4$ km) and fairly high temperature ($>90\sim 100$ °C). Metal sulfides precipitated in carbonate accumulations when the thermal brine that migrated upwards from the depth of the basin with high pressure to its margin with low pressure mixed with H_2S -rich groundwater or replaced pyrite, with the H_2S derived from the reduction of sulfates by bacteria and organism and the pyrite formed at the sedimentary and diagenetic stage. The formation of ore deposits was controlled by five factors, i. e., sedimentary formation of the basin, margin of the basin, paleo-island or paleoupheaval, structure, sedimentary facies and dolomitization.