

· 矿床矿物学 ·

主要载金矿物及其找矿意义*

贾建业

(西安地质学院资源与材料工程系, 西安, 710054)

摘 要 本文重点研究了除黄铁矿(另文介绍)以外的石英、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、菱铁矿、褐铁矿等载金矿物的矿物学特征及其找矿意义。研究表明,石英的颜色和其中的 Pb、Cu 含量,方铅矿中的 Ag、黄铜矿的晶胞参数等具有找金和评价的标型意义。石英的红外光谱和包体研究可以揭示其形成温度和后期变形情况,方铅矿的空间分布极不均匀,可能与金矿形成时代有关。另外,本文纠正了前人把菱铁矿误认成铁白云石的作法。

关键词 载金矿物 找矿与评价 石英 方铅矿 黄铜矿 含金性

在小秦岭地区,金矿床中的主要载金矿物是黄铁矿,其次为石英、黄铜矿、方铅矿、菱铁矿、褐铁矿、磁铁矿、孔雀石和闪锌矿等,偶而可见白铅矿和自然银等。它们与其他脉石矿物一起,组成了该区原生硫化物型和氧化型两种不同类型的矿石。矿石构造有块状、浸染状、角砾状、网脉状和蜂窝状以及多孔状等。其结构类型除以自形、半自形、他形粒状结构为主外,尚有斑状、压碎、乳滴、交代残余等结构。

1 样品加工与处理

为了确保测试分析的质量,本次研究的所有单矿物样品均先在实体显微镜下手选,然后再采用一定的方法和流程进行分离提纯。具体分离情况随矿物种的不同而异,现简述如下:

石英:浓 HNO_3 (化学纯) 处理→清水冲洗至 pH 为 7。

黄铁矿、方铅矿:碎样(粒度视解离情况而定,一般为 80~100 目,个别小于 200 目)→淘洗(剔石英)→烘干(低温 50℃ 左右)→电磁选→电磁液体分离〔介质为 $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 饱和溶液〕→清水洗至干净→低温烘干→镜检。

黄铜矿:碎样→淘洗→低温烘干→磁选→电磁选→镜检。

菱铁矿:淘洗(脱泥)→低温烘干→电磁选→镜检。

收稿日期:1996-01-08

* 国家自然科学基金资助项目(49472092) 成果之一。

2 主要载金矿物研究

黄铁矿是本区金矿中最主要的矿石矿物,也是最重要的载金矿物,我们做了较多的研究,并在本刊另文详细作了介绍,本文仅讨论除黄铁矿以外的其他载金矿物。

2.1 石英

本区石英为金的主要载体之一,与金矿化有密切的成因联系,也是矿石中最主要的脉石矿物。按矿化期次不同,前人一般将其分为 4 种类型,并进行过详细的对比。为了提高对含金石英的认识,便于确定找矿标志,本次研究主要限于含金石英脉中的石英。并且重点对比了富矿、贫矿和无矿段中石英的差异。

2.1.1 石英中的痕量元素以及金含量 由表 1 可见,本区金矿脉中的石英成分比较单一,除 Cu、Pb、Au 外,别无其他元素,这不能不说是其特点之一。石英的含金量范围变化于 $(0.13 \sim 0.55) \times 10^{-6}$, 平均为 0.25×10^{-6} 。从痕量元素与金的相互关系看,随着金含量的增长,Pb 和 Cu 的含量也有所增长,可见金随着亲 S 元素含量的升高而上升,其中金与铅有着更明显的正相关关系。

表 1 石英的一般特征及化学成分($\times 10^{-6}$)

样号	采样位置	颜色	形态	共(伴)生矿物	金含量	Cu	Pb
Y20	Q502 PD ₂ YD ₁	烟灰色	块状	黄铁矿、方铅矿	0.55	10	80
Y05	Q502 PD ₂ YD ₁	烟灰色	破碎块状	褐铁矿细脉	0.26	5	40
Y41	Q501 PD ₄	烟灰色	块状	黄铁矿	0.27	35	20
Y46	Q529 PD ₄	乳白色	块状	黄铜矿、方铅矿	0.13	5	40
Y54	Q804 PD ₂	乳白色	块状	黄铜矿	0.13	5	40
Y60	Q527 LD ₁	乳白色	块状	黄铜矿、方铅矿	0.17	5	15

注:表中金含量系化学分析;痕量元素为光谱分析。测试单位:西安地质学院。

2.1.2 石英的颜色 含金石英脉中经常见有乳白色、暗灰色、蛋青色、烟灰色和紫色石英的不均匀分布,它们之间无明显的穿切关系。其中以烟灰色石英含金量最高(表 2),这种石英在镜下多具波状消光,出现二轴晶并显示塑性变形。关于烟灰色的成因,除能直接观察到其中的硫化物微粒外,可能还含有其他杂质染色元素。

表 2 石英的晶胞参数

样号	采样位置	$a_0(\times 10^{-10}\text{m})$	$c_0(\times 10^{-10}\text{m})$	金含量($\times 10^{-6}$)
Y46	Q529 PD ₄	4.91616	5.40966	0.13
Y54	Q8104 PD ₂	4.91076	5.40386	0.13
Y35	Q502 PD ₁	4.91212	5.40396	0.15
Y60	Q527 LD ₁	4.91816	5.41034	0.17
Y10	Q502 PD ₂	4.91244	5.40240	0.21
Y05	Q502 PD ₂	4.91383	5.40645	0.26
Y41	Q501 PD ₄	4.91692	5.40822	0.27
Y20	Q502 PD ₂	4.91233	5.40403	0.55

测试单位:西安地质矿产研究所。

2.1.3 石英的晶胞参数 本区石英的晶胞参数值见表2,可见晶胞参数间的差值很小,且接近理论值(a_0 为 $4.913 \times 10^{-10} \text{m}$ 、 c_0 为 $5.404 \times 10^{-10} \text{m}$)。比较晶胞参数与其含金量的变化规律,不难发现二者间无一致性关系,可见金并未进入石英晶格。事实上经研究也发现,石英中的金有包体金和裂隙金,并以后者为主。

2.1.4 石英的红外光谱特征 石英的红外光谱图见图1,关于各谱带的指派此处不赘述。经研究发现:

本区的石英均为典型的 α -石英,以具有 695 cm^{-1} 和 512 cm^{-1} 两个特征的吸收带而区别于其他石英。通过对比石英的含金量与其红外谱图,明显可见二者间不具有某种直接的内在联系,这与x射线分析所取得的结论相同,即金未进入石英晶格。至于杂质结构铝及钾、钠补偿离子是否取代硅进入石英晶格,因实验未能做出定量分析,故情况尚不明朗。

特征双峰吸收 (797 cm^{-1} 和 779 cm^{-1})对不同的石英样品而言,有较为显著的差异,主要表现为系数强度之差的不同,即部分样品此差值为正,另一部分为负。具体地讲,在样品Y20中, 797 cm^{-1} 与 779 cm^{-1} 的系数强度之差为负值;在Y56、Y05和Y60中,该差值为零或接近于零;在其余的样品中,该差值均为正值。据于桂梅等(1984)的研究,此差值可以反映石英的形成温度,即随着石英形成温度的降低,此差值由负值变为正值。由此可知,上述Y20、Y56、Y05、Y60样品的形成温度相对偏高,其余样品则偏低。而且, 510 cm^{-1} 谱峰随温度的降低而逐渐分辨明显。

2.1.5 石英的包裹体特征及形成温度 测试结果见表3,经分析得如下结论:

(1)本区石英包裹体发育,大小不等,一般为 $5 \sim 20 \mu\text{m}$,个别达 $50 \mu\text{m}$ 。

(2)包裹体类型以气液包裹体为主,气液百分比为 $10\% \sim 30\%$,次为纯液相包体、 CO_2 包体和有机包体。

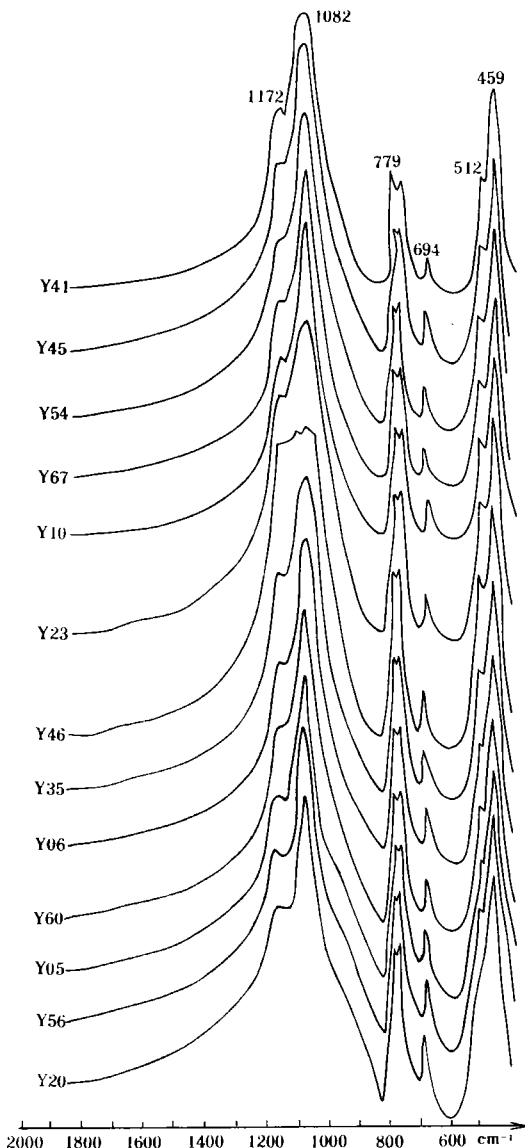


图1 石英的红外光谱图

(测试单位:西安地质学院)

表 3 石英包裹体特征及测温结果

样号	采样位置	包体类型	包体大小(μm)	气液比(%)	气液相颜色	均一化温度测定结果			备 注
						温度范围	平均温度	百分数(%)	
Y10	Q502 1595 水平	液体包体	2~10	10~30	气相无色、褐色,液相无色	149~271	205	100	
Y20	Q502 PD ₂	液体包体	2~3	10±	气相无色、褐色,液相无色	118~133	126	15.4	仅测到 2 个
		液体包体	2~10	<10~30	气相灰、浅灰褐色,液相无色	170~272	225	61.5	
		液体包体	4~10	10~30	气相浅红、灰色,液相无色	323~373	356	23.1	
Y25	Q502 1595 水平	液体包体 CO ₂ 包体	3~20	10~30	气相(CO ₂)灰色、褐色,液相无色、灰色	191~235	217	100	CO ₂ 含量 25%~99%
Y35	Q502 PD ₁	液体包体	10~25	<10~15	气相褐色,少数无色,液相无色、浅红	236~286	243	100	
Y36	小岔斜长角闪岩中	子晶包体 液体包体	5~20	一般<10 个别 10±	气相红褐色,少数无色,液相无色	236~373	285	100	
Y45	Q501 PD ₈₄	液体包体	3~15	25~30 个别<10	气相灰、深灰色,液相无色,个别浅灰	199~394	296	100	
		液体包体	5~35	<10~15 个别 25±	气相褐色、深褐色,液相无色	166~265	200	100	
Y46	Q529 PD ₄	液体包体	7~25	10~40	气相褐色、黑褐色,液相无色	166~265	213	100	
Y52	Q529 PD ₁₄	液体包体 CO ₂ 包体	5~20	10~25 个别<10	气相褐、深褐色,个别无色,液相无色	163~265	234	100	
Y54	Q8104 PD ₆	液体包体	3~25 个别 50	<10~25	气相褐、深褐色,个别无色,液相无色	173~271	216	100	CO ₂ 包体发育
Y58	Q8104 PD ₆	液体包体	5~25	10~25 个别<10	气相无色、灰色,液相无色	174~287	235	100	
Y60	Q527 LD ₁	液体包体	6	<5	气液相无色	93	93		仅测到 1 个
Y67	Q527 LD ₁	液体包体	4~20	<10~15	气相无色、褐色,液相无色	160~274	274	90	
		液体包体	7	<10	气液相无色	116	116	10	仅测到 1 个

测试单位:西北有色金属地质研究所。

- (3) 在气液包体中，气相多为褐色或无色，液相多为无色，由此推断包体成分比较单一。
- (4) 均一化温度范围为 93~394℃，一般为 160~270℃，平均 219℃，即矿脉形成的温度不高，故应重视中低温条件下金的释放与沉淀。
- (5) 包体形状以椭圆形和不规则状为主，且见压扁拉长、搓开以及多期次生包裹体，表明石英经历了多次塑性变形和多期构造破碎重熔。
- (6) 从包体的分布看，一般多具定向拉长特征，彼此断开而又有连续性，从体腔呈平状连续分布分析，其系压应力和剪应力同时作用的结果，即韧性剪切带对含金石英脉的形成起重要作用。
- (7) 围岩中的石英包体以富含子晶（多为 NaCl 晶体）为特征，而含金石英脉中则不含子晶包体。
- (8) 个别样品中有负晶形包裹体，对比其含金量发现，负晶形包体的出现不利于金的沉淀。

2.2 方铅矿

方铅矿是本区多金属硫化物的主要代表矿物之一，在矿石矿物中，其含量仅次于黄铁矿，也是金的载体矿物。

2.2.1 方铅矿的一般特征 呈铅灰色、紫蓝色或铁黑色，结晶良好，一般为中细粒和粗粒，集合体多为粒状或块状。从产状看，方铅矿大多数产于石英脉中，与多金属硫化物矿物共生，只有少数产于晚期的碳酸盐脉中，与细粒黄铁矿共生。从其空间分布特征看，方铅矿是该区硫化物矿物中分布最不均匀的矿物，就在同一条矿脉中，也呈团块状或鸡窝状分布，甚至形成小规模工业铅矿体。据徐国风等（1984）研究，方铅矿虽然在各种金属矿床中都可产出，但在寒武纪很少以大量形式产出，特别是在太古代金矿床中出现较少。从全球总的地质历史和金矿演化的历史来看，较年轻成矿时代（中生代、新生代）的内生金矿石中含有较多的方铅矿。据此推断，胭脂河地区的方铅矿说明该金矿床成矿较晚，在中生代或更晚些。

2.2.2 方铅矿的成分、结构与金含量 方铅矿的成分、结构及其金含量的测试结果见表 4，经研究发现以下特征：

表 4 方铅矿的成分、结构与金含量对比表(×10⁻⁶)

样号	采样位置	Cu	Ag	Zn	Ni	Co	Mo	Mn	Ti	Bi	晶胞参数(10 ⁻¹⁰ m)	金含量
Y91	Q502 PD ₂	1 000	700		10				<50	200	5.93368	0.82
Y92	Q502 PD ₂	1 500	700		10				<50	20	5.93749	0.92
Y61	Q527 LD ₁	2 000	500	50	20	30			<50	70		0.46
Y53	Q529 PD ₁	1 500	700		10		5	500	150	850		1.03
Y12	Q502 PD ₂										5.93368	
Y01	Q502 PD ₂										5.93201	
Y13	Q502 PD ₂										5.92880	
Y64	Q527 LD ₁										5.93517	
平均		1 500	650	12.5	12.5	7.5	1.25	125	75	285	5.93347	3.52

注：表中微量元素系光谱分析，金含量为化学分析，测试单位：X 射线衍射分析为西安地质矿产研究所；其他为西安地质学院。

(1) 本区方铅矿中的微量元素以含 Cu、Ag 为主, 次为 Bi、Ti、Ni, 而 Zn、Co、Mo、Mn 只在个别样品中含有。

(2) 金在方铅矿中的含量变化较大, 最高的达 14.37×10^{-6} , 平均为 3.52×10^{-6} 。同一地点采集的细粒方铅矿 Y91 和粗粒方铅矿 Y92, 它们的含金量基本相同, 可见粒度大小对方铅矿的含金量无明显影响。

(3) 晶胞参数平均为 $5.935 \times 10^{-10} \text{m}$, 而标准方铅矿的 a_0 为 $5.936 \times 10^{-10} \text{m}$, 可见本区方铅矿的 a_0 小于标准 a_0 值, 这与前人所述小秦岭金矿中方铅矿的 a_0 (平均为 $5.9390 \times 10^{-10} \text{m}$) 大于其标准 a_0 值的结论恰好相反。至于原因何在, 值得进一步研究。另外晶胞参数的变化与其金含量无明显相关关系, 由此推测, 方铅矿中的金并未进入晶格, 而是以包体金或裂隙金赋存于其中。

2.3 黄铜矿

矿区内所有矿脉几乎均含黄铜矿, 但其分布具明显不均匀性。尤其在矿区东部唐沟一带, 黄铜矿大有取代黄铁矿之势, 故对其进行研究, 搞清它与金的关系具有一定意义。

2.3.1 黄铜矿的一般特征 呈他形或半自形、中—粗粒, 粒径 1~5mm, 少数小于 0.1mm。矿相显微镜下, 多见呈网脉状、叶片状及团块状嵌生于石英、黄铁矿的裂隙中, 或溶蚀交代黄铁矿、方铅矿。黄铜矿与自然金、银金矿可以组成连生体, 同时沉淀于载金矿物的裂隙中。在黄铜矿的边缘常被蓝铜矿交代。据野外现场观察, 本区的黄铜矿均不同程度地发生了氧化, 矿脉中随处可见孔雀石被膜或不均匀分布的孔雀石团块。

2.3.2 黄铜矿的成分、结构和含金量 有关测试结果见表 5, 经分析, 本区黄铜矿具有如下特征:

(1) 微量元素成分以 Pb、Zn 为主, 次为 Ag、Ti 等其他元素, 此现象符合一般黄铁矿型多金属金矿床的特点。

(2) 黄铜矿含金量变化较大, 平均仅 1.43×10^{-6} , 可见矿区东部矿脉中的 Au 仍主要存在于黄铁矿中。

(3) 晶胞参数值平均 a_0 为 $5.285 \times 10^{-10} \text{m}$, c_0 为 $10.409 \times 10^{-10} \text{m}$ 远远大于黄铜矿的标准晶胞值 (a_0 为 $5.24 \times 10^{-10} \text{m}$, c_0 为 $10.32 \times 10^{-10} \text{m}$), 可见, 黄铜矿含金虽不高, 但对其晶体结构影响较大。由此看来, 前人推断金呈类质同象置换铜是有可能的。

表 5 黄铜矿的成分、结构与含金量对比表 ($\times 10^{-6}$)

样号	采样位置	Zn	Pb	Ni	V	Mo	Ag	Mn	Ti	Bi	$a_0 (\times 10^{-10} \text{m})$	$c_0 (\times 10^{-10} \text{m})$	金含量
Y26	Q502	1 500	1 700	10	10	5	50	70	100		5.283	10.406	<0.05
Y55	Q8140	200	900	10	10	5	200	50	100	100	5.286	10.414	0.34
Y58	Q8140										5.283	10.406	1.37
Y34	Q502										5.287	10.411	3.95
平均		850	1 400	10	10	5	125	60	100	50	5.285	10.409	1.43

注: 表中金系化学分析结果; 微量元素系光谱分析结果, 测试单位: x 射线衍射分析为西安地质矿产研究所; 其他为西安地质学院。

2.4 其他载金矿物

除上述主要载金矿物外，本区次要载金矿物还有菱铁矿、闪锌矿、褐铁矿等。它们的主要特征见表 6。

由表 6 可知，除了闪锌矿外，其他矿物的微量元素含 Mn 较高，体现了其地球化学行为及表生特点；含 Zn、Cu 等则反映了本矿床的元素组合特征，表中矿物含金都不高，唯独菱铁矿偶而例外，可达 0.34×10^{-6} ，但不宜作为找矿标志对待。此外，表中矿物的晶胞参数基本属正常值。需要说明的是，这些菱铁矿前人多误认为是铁白云石，应予以纠正，因在用它解释围岩蚀变、成矿作用等时，情况有所不同。

表 6 其他载金矿物特征一览表($\times 10^{-6}$)

样号	产地	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	V	Mo	Ag	Mn	Ti	a ₀ ($\times 10^{-10}\text{m}$)	b ₀ ($\times 10^{-10}\text{m}$)	c ₀ ($\times 10^{-10}\text{m}$)	Au
Y39	Q501	5	700	15	15	10	10	5		1 800	200	4.682	4.682	15.31332	0.13
Y62	Q527	5	700	30	15		10	5		1 800	200	4.684	4.684	15.34135	0.17
Y66	Q527	未测	未测									4.680	4.680	15.30477	0.34
Y04	Q502	25	10 000	30	10			15	0.5	1 000	100	4.616	9.943	3.00795	0.10
Y03	Q502	未测	未测									5.411	5.411	5.41190	

注：表中 Y39、Y62、Y66 为成矿晚期的菱铁矿；Y04 为胶态成因的针铁矿；Y03 为蚀变岩中的脉状闪锌矿；微量元素系光谱分析结果，金含量为化学分析；测试单位：x 射线衍射分析为西安地质矿产研究所，其他为西安地质学院。

3 矿物学找矿标志

综上所述，小秦岭胭脂河金矿与其他同类型金矿相比虽有不少相同或类似的地方，但又有其独特之处。就矿物学特征而言，除黄铁矿（后文还将详细介绍）外，可归纳出以下找矿标志：

- (1) 矿物组合可以作为石英脉中含金性及其贫富的标志。在石英脉中，以方铅矿-黄铜矿-黄铁矿-自然金-石英组合和黄铜矿-方铅矿-黄铁矿-自然金-石英组合含金最高。围岩的矿物组合以绢云母-绿泥石-长石-石英组合、黄铁矿-绢云母-长石-石英组合以及方铅矿-黄铁矿-绢云母-长石-石英组合意义相对较大。
- (2) 本区石英中的 Pb、Cu 含量随着 Au 含量的升高而升高，尤其是 Pb 的含量与 Au 有着更明显的正相关关系。
- (3) 石英的颜色对找矿有指示意义，其中以烟灰色石英含金最佳。
- (4) 方铅矿中普遍含 Ag，其中 Au 含量随 Ag 含量的增加而增加。而方铅矿的粒度粗细一般不具有找矿意义。
- (5) 黄铜矿的晶胞参数大于其标准值时，指示该脉体可能成矿，即黄铜矿具有金矿的结构标型。

4 结论

(1) 本区石英中的 Pb、Cu 等亲 S 元素的含量和石英对找金和评价具有指示意义。石英的晶胞参数和红外光谱与其金含量之间不存在直接的内在联系, 但红外光谱的特征双峰吸收之系数强度有正有负, 说明不同期石英的形成温度不同。石英中的包裹体大小不等, 以气液包体为主, 气液比为 10%~30%。气相多为褐色或无色, 液相多为无色, 由此推断包体成分比较单一。包体形态研究表明, 石英经历了多期塑性变形和构造破碎重熔, 且剪切带对金矿的形成起着重要作用。

(2) 从空间分布看, 本区方铅矿分布极不均匀, 常呈团块或鸡窝状, 甚至形成小规模工业铅矿体, 此现象表明, 该金矿床的成矿时代较晚, 可能在中生代或更晚。方铅矿的粒度和晶胞参数与其金含量无明显关系, 但本区方铅矿的晶胞参数大于标准 a_0 值, 与小秦岭其他金矿的情况恰恰相反, 原因值得探讨。

(3) 黄铜矿的分布也不甚均匀, 在本研究区东部大有取代黄铁矿之势, 常与自然金、银金矿组成连生体, 沉淀在载金矿物的裂隙中。黄铜矿中含金量变化大, 平均仅 1.43×10^{-6} , 微量元素富 Pb、Zn, 晶胞参数远大于标准值, 即具有金矿的结构型。

(4) 其他载金矿物中, 闪锌矿中较富 Mn, 菱铁矿中偶尔富含金。另外, 前人多把菱铁矿误认为成铁白云石, 应予以纠正。

参 考 文 献

- 1 梁文艺等. 活动剪切带的有序叠加与金矿的形成. 西安: 西北大学出版社, 1993, 64~73
- 2 刘英俊、马东升. 金的地球化学. 北京: 科学出版社, 1991, 244~257, 300~312
- 3 张振儒等. 近代岩矿测试新技术. 长沙: 中南工业大学出版社, 1987, 332~351
- 4 中国矿物岩石地球化学学会. 80 年代中国矿物学和岩石学地球化学研究回顾. 兰州: 地震出版社, 1991, 39~44, 180~189
- 5 [英] B. J. 伍德等. 地质热力学基础. 北京: 地质出版社, 1981, 53~54
- 6 Vaughan D. J. and Craig J. R. Mineral Chemistry of Metallsulfides. Cambridge University Press, 1980

· 简 讯 ·

西安地矿所印刷厂印刷质量检测名列陕西省第八位

陕西省新闻出版局于 1996 年 4 月 10 日至 12 日召开了“陕西省印刷质量管理工作会议”。地矿部西安地质矿产研究所印刷厂在 1995 年度书刊印刷质量检测评比中, 被列为 115 家参检企业中的第八名, 在陕西省众多地矿行业印刷企业中名列首家, 这次送检的《陕南膨胀土地质研究》一书, 获省优质品, 受到省新闻出版局的通报表扬。西安地矿所印刷厂设备齐全, 技术力量雄厚, 交活迅速。本厂以重质量、讲信誉、让客户最大程度地满意为宗旨, 热情欢迎各方客户, 尤其是地矿行业的企事业单位来人来函洽谈印刷业务。联系人: 西安地质矿产研究所印刷厂雷秋霞(地址: 西安市友谊东路 166 号; 电话: 5251266—2223; 邮政编码: 710054)。

(地矿部西安地矿所印刷厂厂长 雷秋霞)