

山西袁家村矿区前寒武纪 铁矿的形成条件

朱今初 张富生

(南京大学地质系)

内容提要: 山西省吕梁山地区早元古宙袁家村铁矿以变质程度浅、地层剖面完整和地质构造简单为特征。厚约1200m的袁家村组含铁岩系可以分成三个段,它们分别代表了三个沉积-成矿旋回。其中每一个旋回都是以粗碎屑岩开始,经过粉砂岩和泥质岩逐渐过渡为较纯的胶体化学沉积物即硅质岩。矿区出现的铁矿物相沿剖面自下而上依次为黄铁矿、菱铁矿、铁硅酸盐(包括铁绿泥石、铁滑石和黑硬绿泥石)、磁铁矿和赤铁矿。这些铁矿物相是沉积阶段、成岩阶段至初级变质阶段的产物。它们在地层剖面上的空间分布,反映各旋回铁矿物相的形成环境,在时间上自早至晚,空间上自下而上,其氧逸度逐渐增高。控制铁矿物相类型和其中铁价态形式的主要因素,是沉积时泥砂质碎屑组分和铁硅质胶体化学组分的性质和相对比例,以及其中有机质的存在与否及其多寡。

关键词: 前寒武纪 铁矿 铁硅质岩 铁矿物相 山西袁家村

山西省吕梁山群是我国早元古宙绿岩建造和铁硅质岩建造的典型剖面之一。它由一套巨厚的基性火山岩、酸性火山岩、泥砂质沉积岩、碳酸盐岩和条带状铁硅质岩等所组成,总厚在15000m以上。袁家村地区吕梁山群及其中所含的铁硅质岩建造在我国同时代地层和沉积变质铁矿中变质程度最浅,且地层剖面完整,地质构造简单,这为我们认识早元古宙的沉积作用和火山作用环境,恢复变质岩原岩性质,研究变质作用过程,以及探讨铁硅质岩建造形成,提供了十分有利的条件。

区域地质概况

本区属华北地台山西台背斜的吕梁山复背斜北部,东侧与古生代静乐断陷盆地相邻,西侧与鄂尔多斯台向斜毗连。它本身具有典型的双层构造特征,即由前寒武纪地槽型褶皱结晶基底和平缓产出的古生代至中生代地台盖层所组成(图1)。

从60年代起,北京地质学院山西实习大队、地质科学院沈其韩、山西省218队和区测队等,先后在本区工作过,对本区吕梁山群的地层划分和构造格架提出了基本的认识,为研究本区区域地质和地层等工作奠定了重要的基础。他们都在本区的袁家村一带建立了吕梁山群的标准剖面,并毫无例外地认为,本区近南北走向向东作陡倾斜的吕梁山群,其产状是正常的,即底在西,顶在东。

1976年5月至8月,我们在对该区铁硅质岩建造及其外围变质岩地层进行野外地质调查时,根据地层中发现的原生沉积构造(包括斜交层理、粒序层理、波痕等,图2)、基性海相火山岩中气孔和杏仁体的形态、成分和空间排布方式,以及袁家村组含铁岩系所表现出来的

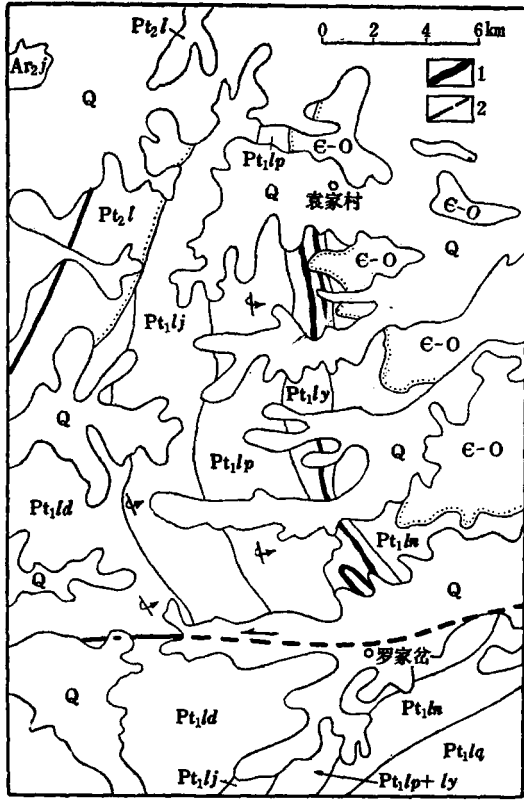


图1 山西吕梁山袁家村—罗家岔地区地质简图

1—铁矿体, 2—断层, Ar_{2j} —晚太古宙界河口群, Pt_2l —早元古宙吕梁山群; Pt_1lq —清杨沟组; Pt_1ln —宁家湾组; Pt_1ly —袁家村组; Pt_1p —裴家庄组; Pt_1lj —近周峪组; Pt_1ld —杜家沟组; Pt_2l —中元古宙岚河群; $\epsilon-O$ —寒武—奥陶系; Q —第四系

Fig. 1. Simplified geological map of the Yuanjiacun-Luojiacha area in Luliang Mountain, Shanxi Province.

1—Iron orebody; 2—Fault; Ar_{2j} —Late Archeozoic Jiehekou Group; Pt_2l —Early Proterozoic Luliangshan Group; Pt_1lq —Qingyanggou Formation; Pt_1ln —Ningjiawan Formation; Pt_1ly —Yuanjiacun Formation; Pt_1p —Peijiazhuang Formation; Pt_1lj —Jingzhouyu Formation; Pt_1ld —Dujiaogou Formation; Pt_2l —Middle Proterozoic Lanhe Group; $\epsilon-O$ —Cambrian-Ordovician; Q —Quaternary.

接受了我们的看法, 并进而作出了吕梁山群整体倒转的结论⁽²⁾。这些成果, 为在本区建立正确的含铁岩系地层剖面 and 探讨铁硅质岩建造形成的地质和物理化学条件, 提供了至关重要的依据。

山西省区测队等传统地认为吕梁山群属晚太古宙。用钾氩法对该地层片岩中的和侵入于该地层的伟晶岩中的白云母所测得的表面年龄为1960—1740 Ma, 这些数据与世界很多地区测得的早元古宙最重要的变质事件时间 (1900 Ma 左右)⁽³⁾相一致。结合地质和岩相等其它特征, 可以认为, 吕梁山群应该属早元古宙。

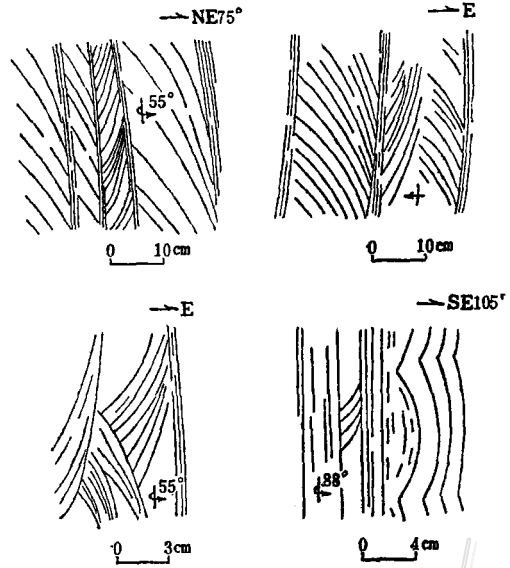


图2 裴家庄组中的原生沉积构造 (示斜交层理和波痕)

Fig. 2. Primary sedimentary structures in Peijiazhuang Formation, showing oblique bedding and ripple-mark.

沉积-成矿旋回特征, 确定了该区地层的倒转性质, 指出过去对吕梁山群地层的层序划分确系上下颠倒⁽¹⁾。嗣后, 山西省区测队于1983年对该区地层问题进行了系统复查和对比,

根据我们对吕梁山群顶底关系和年龄等问题的认识,并参考山西省区测队的资料,可将吕梁山地区前寒武纪地层表归结如表1。

表1 吕梁山地区前寒武纪地层划分简表

Table 1. Precambrian stratigraphy in Lüliangshan area

时代	地层名称和代号	岩性	厚度(m)	估计年龄(Ma)	
晚元古宙	黑茶山群 Pt ₃ h	长石石英砂岩、砾岩	>1080	600—1200	
中元古宙	野鸡山群 Pt ₂ y	砂页岩,夹基性火山岩	2617—5647	1500—1800	
	岚河群 Pt ₂ l	石英岩、砂砾岩、千枚岩、大理岩	2566		
早元古宙	吕梁山群 Pt ₁ l	杜家沟组 Pt ₁ ld	流纹岩、流纹斑岩、石英角斑岩	3545	1800—2500
		近周峪组 Pt ₁ lj	基性火山岩,夹海相沉积岩	2000—2500	
		裴家庄组 Pt ₁ lp	千枚岩、石英砂岩	880—2650	
		袁家村组 Pt ₁ ly	含铁岩系	840—1200	
		宁家湾组 Pt ₁ ln	中酸性(夹少量基性)火山岩、凝灰岩、含铁岩系、大理岩、千枚岩	2000—5000	
		青杨沟组 Pt ₁ lq	石英岩、变粒岩、片岩、片麻岩、斜长角闪岩	>4000	
晚太古宙	界河口群 Ar ₂ l	混合岩、片麻岩、斜长角闪岩、石英岩、大理岩	16700	>2500	

矿带地质和铁矿剖面

厚逾15,000m的吕梁山群,由一套细碧角斑岩建造、陆源碎屑岩建造、铁硅质岩建造和浅海相碳酸盐岩建造所组成,为典型的优地槽相火山沉积物。

吕梁山群中的铁硅质岩建造,见于袁家村组和宁家湾组两个层位,并以前者为主。

袁家村组含铁岩系北起袁家村矿区,向南经皇姑山矿区,抵达罗家岔附近的尖山矿区一带,全长约18 km(图1)。尖山以南,向南倾斜的西川河左行巨大平移断层自西向东通过,造成了该区吕梁山群的整体倒转,并在尖山地区呈S形扭曲;同时在该区绿片岩相区域变质的背景上,产生了断裂区域变质作用,出现了该区自北向南渐进式的多相变质分带和混合岩化作用^[4]。

袁家村矿区位于这一矿带的北端。矿区地层呈南北走向单斜构造,倒转东倾,倾角为60°—80°,东侧底部为宁家湾组,西侧顶部为裴家庄组,中部为袁家村组含铁岩系。它们均被平缓产出的寒武系石灰岩不整合覆盖(图3)。

根据我们在袁家村矿区中部不同地段对含铁岩系进行的多条剖面实测及其室内分析鉴定,并结合山西省地质局218队在本矿区测制的地质图等资料,可将厚近1 200m的袁家村组划分为三个段,其综合剖面如下:

裴家庄组(Pt₁lp)(上覆地层)

绢云母片岩

石英砂岩

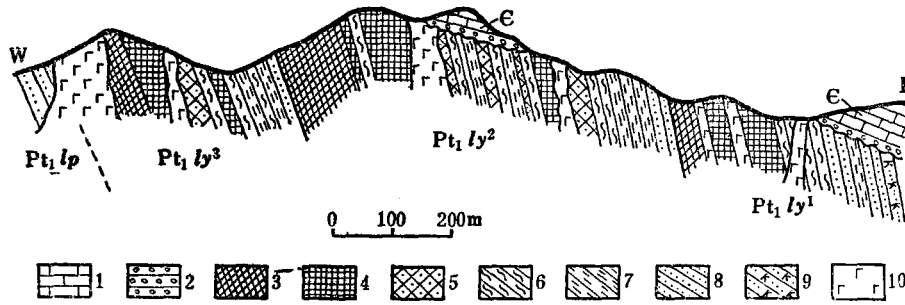


图3 袁家村组含铁岩系地质剖面简图

1—寒武系石灰岩；2—底砾岩；3—赤铁石英岩；4—磁铁石英岩；5—铁硅酸盐磁铁石英岩；6—绿泥石片岩；7—绢云母片岩；8—石英砂岩；9—长石石英砂岩；10—中基性脉岩

Fig. 3. Simplified geological section of Yuanjiacun ferriferous Formation.

1—Cambrian limestone; 2—Basal conglomerate; 3—Hematite quartzite; 4—Magnetite quartzite; 5—Ferro-silicate magnetite quartzite; 6—Chlorite schist; 7—Sericite schist; 8—Quartz sandstone; 9—Feldspar-quartz sandstone; 10—Intermediate-basic vein rock.

袁家村组(Pt₁ly)上段(Pt₁ly³)

24 赤铁石英岩	~20m
23 磁铁(假象赤铁)石英岩	93m
22 豆状铁矿与磁铁石英岩、硅酸盐磁铁石英岩、含铁片岩、绿泥石片岩等互层	47.4m
21 石英绿泥石片岩和绢云母片岩	~40m
20 石英砂岩	~20m

中段(Pt₁ly²)

19 含赤铁矿石英岩	~20.8m
18 赤铁石英岩	49.8m
17 磁铁(假象赤铁)石英岩	124.7m
16 铁滑石磁铁石英岩	20.8m
15 豆状铁矿与含铁片岩、绢云母片岩、绿泥石片岩互层	59.1m
14 磁铁(假象赤铁)石英岩夹绿泥石片岩	67.7m
13 豆状铁矿与磁铁石英岩、硅酸盐磁铁石英岩、含铁片岩、绿泥石片岩互层, 有时夹凝灰岩	49.6m
12 绿泥石片岩	~30m
11 石英绢云母片岩	~30m
10 石英砂岩、长石石英砂岩	18.4m

下段(Pt₁ly¹)

9 赤铁石英岩	17.6m
8 磁铁(假象赤铁)石英岩	62.9m
7 豆状铁矿夹含铁片岩	39.8m
6 磁铁(假象赤铁)石英岩	55m
5 覆盖层	~40m
4 石英绿泥石片岩	~20m

表 2 袁家村组含铁岩系某些岩石和矿石的化学成分
Table 2. Chemical composition of some rocks and ores from Yuanjiacun ferriferous Formation

样号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失	总和
431-6	碳质绢云母片岩	65.39	0.60	17.65	4.98	1.56	0.06	0.70	0.34	0.11	5.34	0.07	4.12	100.92
223-7	叶绿泥石片岩	46.56	1.29	14.20	4.88	15.82	0.08	7.74	0.65	0.32	0.62	0.26	8.03	100.45
338-8	镁铁绿泥石片岩	73.98	0.21	4.72	10.62	5.56	0.11	1.53	0.45	0.03	0.03	0.08	2.05	99.37
314-17	同上	39.23	0.58	15.65	17.09	12.58	0.03	6.13	0.77	0.04	0.03	0.14	6.96	99.23
406-11	同上	65.82	1.03	7.45	5.62	10.69	0.10	5.04	0.74	0.03	0.03	0.16	1.66	98.37
410-1A	同上	42.89	0.60	13.95	17.22	9.66	0.02	6.20	1.92	0.03	0.06	0.09	7.11	98.85
411-14A	豆状假象赤铁矿英岩	30.00	0.10	—	62.46	1.07	2.28	1.17	0.10	0.14	2.24	0.06	0.08	99.88
406-57-1	豆状铁绿泥石磁铁矿英岩	46.86	0.12	3.18	42.33	3.39	0.03	1.49	0.23	0.05	0.03	0.10	1.68	100.49
406-52-1	铁绿泥石磁铁矿英岩	65.98	0.20	5.04	17.83	5.19	0.09	2.24	0.68	0.04	0.03	0.17	2.37	99.76
409-1	铁滑石磁铁矿英岩	46.13	0.03	0.88	42.41	8.60	0.02	1.33	0.12	0.06	0.08	0.04	0.14	99.84
402-1	磁铁矿英岩	44.49	0.06	—	50.22	5.08	—	0.13	0.18	0.06	0.03	0.16	0.10	100.48
408-4	同上	48.99	—	—	45.23	5.69	0.31	0.16	0.05	0.08	—	0.03	0.06	100.60
404-3	赤铁矿英岩	45.99	0.06	—	52.98	0.68	—	—	—	0.07	0.03	0.06	0.22	100.09
406-21	同上	42.91	0.01	—	56.73	0.34	0.12	0.13	0.02	0.06	0.14	0.06	0.05	100.63

(南京大学地质系分析)

- | | |
|------------------------|-------|
| 3 绢云母片岩 | ~15m |
| 2 石英砂岩, 夹少量绿泥石片岩和绢云母片岩 | ~100m |
| 1 长石石英砂岩 | >25m |

与下伏地层宁家湾组(Pt₁ln)未见接触

袁家村组含铁岩系中某些岩石和矿石的化学成分列于表2。根据上述含铁岩系的综合剖面和室内分析鉴定资料可以看出, 本区含铁岩系的三个岩段, 实际上反映了含铁岩系形成的三个沉积-成矿旋回。其中每一个旋回的岩层, 都是从中粗粒的碎屑岩即变质很浅的长石石英砂岩或石英砂岩开始, 向上经细砂岩、粉砂岩、粉砂质绢云母片岩、绢云母片岩、绿泥石片岩、含铁片岩(主要是指含磁铁矿的绿泥石片岩、铁滑石片岩和黑硬绿泥石片岩)逐渐过渡到胶体化学沉积的磁铁石英岩、磁赤铁石英岩和赤铁石英岩, 然后再整合地突变为下一个旋回的粗碎屑岩。虽然上述各种岩层和矿层出现的次序可以有所重复, 但这一变化的总趋势十分明显, 都显示了自下而上碎屑物质渐减和化学沉淀渐增的规律性。因而, 总的来说, 这三个沉积-成矿旋回, 实际上代表了三个在浅水盆地环境下的海侵系列。

就含铁硅质岩的结构构造而言, 每一个旋回都是以豆状铁矿和含铁片岩开始, 经条带状硅酸盐磁铁石英岩, 逐渐过渡到细条带状的磁铁石英岩和赤铁石英岩。本区是世界上已发现的最古老的豆状铁矿产地之一, 其产出条件, 与世界各地显生代形成的鲕状铁矿有很多共同之点, 它在认识前寒武纪条带状铁矿和后寒武纪鲕状铁矿的形成机制问题上, 起着桥梁的作用。

铁矿物相

袁家村矿区含铁岩系中出现的原生铁矿物相类型齐全, 主要是铁的氧化物和硅酸盐, 其次是铁的碳酸盐, 而铁的硫化物则偶有所见。在这些铁矿物相中, 氧化物相为磁铁矿和赤铁矿; 硅酸盐相为铁绿泥石、铁滑石和黑硬绿泥石; 碳酸盐相主要为菱铁矿和铁白云石; 硫化物相为黄铁矿。

磁铁矿主要见于磁铁石英岩和硅酸盐磁铁石英岩中, 颗粒度大小不一, 一般为0.04 mm左右, 呈自形晶或它形, 与石英交互镶嵌, 组成条带。细小者呈粉尘状, 往往包裹于石英颗粒中, 显示胶体沉淀的特征。由于中寒武世以前及现代风化和氧化作用的结果, 地表样品大多已假象赤铁矿化。

赤铁矿主要见于赤铁石英岩中, 呈鳞片状或薄板状, 沿片理方向平行排布, 闪闪发亮。鳞片一般很细, 为 $n \times 10^{-2}$ mm, 大者可达1—2 mm, 小者甚微, 至粉尘状, 不易氧化。

铁绿泥石、铁滑石和黑硬绿泥石等硅酸盐矿物是通过光学常数测定、伦琴射线粉晶分析和电子探针分析方法而定名的, 并通过全岩化学分析的检验。

铁绿泥石是分布最广的含铁硅酸盐, 为绿色至墨绿色, $N_m = 1.610 - 1.647$, 属铁质至铁镁质绿泥石, 根据电子探针分析结果(表3), 矿物中的 $FeO / (FeO + MgO) = 0.46 - 0.69$ (全部Fe换算成FeO, 下同), 按照Hey1954年的分类^[7], 应属鳞绿泥石系列。一般说来, 富铁的含铬较多, 含钙较少; 而含镁较高的则相反。

铁滑石在铁滑石磁铁石英岩中组成白色的细小条带, 单层一般厚0.5—2 mm。显微镜下

表3 袁家村矿区铁绿泥石的化学成分(%)

Table 3. Chemical composition of daphnite from the Yuanjiacun ore district (in percentage)

	1	2	3	4	5	6	7
MgO	14.67	15.04	12.08	17.27	17.25	19.35	17.43
FeO	31.42	30.24	27.28	16.96	22.57	16.55	19.25
Al ₂ O ₃	23.01	22.72	20.19	19.61	19.49	22.04	21.45
SiO ₂	30.43	31.59	37.81	45.49	39.48	40.95	39.86
Cr ₂ O ₃	0.49	0.40	2.63	0.07	0.02	0.00	1.44
CaO	—	—	—	0.59	1.19	1.12	0.56
$\frac{\text{FeO}}{\text{FeO} + \text{MgO}}$	0.68	0.67	0.69	0.50	0.63	0.46	0.52

(电子探针分析)

新鲜的铁滑石为无色透明的片状集合体,乍看起来,很像白云母和滑石,但氧化时分解出褐铁矿。 $Nm=1.607$ 。 $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})=0.33-0.42$ (表4)。所测得的折光率和化学成分均介于普通滑石和标准的铁滑石之间。伦琴射线粉晶照相结果表明,该矿物结晶的面网间距数据接近于标准的铁滑石,仅稍有差别(表5),但与普通滑石却大不一样。

由于该矿物结晶性能接近于标准的铁滑石,但化学成分中MgO含量仍相当高,故这里暂命名为镁铁滑石。虽然该矿物在美国上湖地区分布较广,但在我国前寒武纪铁硅质岩建造中还是首次发现。

黑硬绿泥石出现在矿区中部的凝灰岩夹层中,更多地见于矿区南部的含铁片岩(可能有火山物质)和菱铁矿层发育的地段,其颜色为暗褐色,薄片中Nm为绿褐色至黝褐色,Np为褐黄色至金黄色,大多富含铁。

表4 袁家村矿区铁滑石的化学成分(%)

Table 4. Chemical composition of minnesotaite from the Yuanjiacun ore district (in percentage)

	1	2	3
MgO	22.16	23.97	20.28
FeO	15.11	11.55	14.56
SiO ₂	62.71	64.48	59.52
Cr ₂ O ₃	—	—	5.63
$\frac{\text{FeO}}{\text{FeO} + \text{MgO}}$	0.41	0.33	0.42

(电子探针分析)

表5 袁家村矿区铁滑石伦琴射线粉晶照相数据

Table 5. X-Ray powder data of minnesotaite from the Yuanjiacun ore district

袁家村矿区 (本文)	1	6	5	4	7	8	4	7	1	5
	d	3.10	2.66	2.19	1.81	1.69	1.45	1.177	1.055	1.016
美国上湖 ⁽⁶⁾	1	50	20	20	10	5	10	20	15	15
	d	3.17	2.65	2.204	1.818	1.692	1.450	1.176	1.051	1.018

菱铁矿和铁白云石主要见于矿区南部的钻孔中(山西215队资料), 此处见有菱铁矿数层, 单层厚度一般为5—20 m, 最厚可达70 m。它们主要产于碳质绿泥石片岩中, 部分亦产于含铁片岩和硅酸盐磁铁石英岩中, 多呈透镜状, 地表已氧化成铁帽。在矿区中部的实测剖面中未见菱铁矿层, 可能是地表氧化的缘故, 亦可能是因相变而缺失。

矿区内绢云母片岩和绿泥石片岩中, 往往含碳质较高, 有时出现碳质绢云母片岩和碳质绿泥石片岩, 且含有浸染状黄铁矿。局部地段黄铁矿较富集。沈保丰等^[5]对袁家村矿区含铁建造进行了分析, 证实岩石和矿石中均含有一定数量的有机碳和石墨碳。其中以泥质片岩、含铁片岩和菱铁石英岩中相对较多, 磁铁石英岩中较少, 赤铁石英岩中则极少。

综合上述袁家村矿区含铁岩系铁矿物相的空间分布特征是: 少量的黄铁矿仅见于含有机质甚多的绢云母片岩特别是绿泥石片岩中; 菱铁矿透镜体主要见于碳质片岩中, 其次亦产于

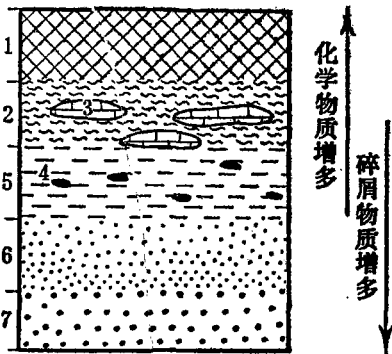


图4 袁家村矿区沉积-成矿旋回柱状示意图

1—铁氧化物相; 2—铁硅酸盐相; 3—铁碳酸盐相; 4—铁硫化物相; 5—泥质岩; 6—粉砂质岩; 7—砂岩

Fig. 4. Diagrammatic column showing sedimentation-mineralization cycle of the Yuanjiacun ore district.

1—iron oxide facies; 2—Iron silicate facies; 3—Iron carbonate facies; 4—Iron sulfide facies; 5—Argillaceous rock; 6—Silty rock; 7—Sandstone.

含铁片岩和硅酸盐磁铁石英岩中; 铁硅酸盐矿物是铁硅质组分和泥质组分的混合产物, 见于绿泥石片岩、含铁片岩和硅酸盐磁铁石英岩中。它们可以与碳酸盐重叠, 但大多位于其之上; 菱铁矿开始出现于含铁片岩和硅酸盐磁铁石英岩中, 但在胶体化学沉积的磁铁石英岩中达到最大的富集; 赤铁矿主要见于赤铁石英岩中, 并占据整个含铁岩系剖面的最顶部, 而在赤铁石英岩的底部则与菱铁矿相过渡。

因此, 在袁家村矿区不大的范围内, 四类铁矿物相均有所见。沿铁矿剖面自下而上, 依次出现的顺序一般为黄铁矿、菱铁矿、铁硅酸盐、磁铁矿和赤铁矿(图4)。

这种铁矿物相的垂直空间分布剖面, 与Пласенко等^[11]在1972年描述的苏联库尔斯克磁异常区十分相近, 而袁家村矿区所见到的规律性似乎更为明显。在美国上湖库云纳矿区的铁矿剖面中, 亦见到有碳酸盐相和硅酸盐相在下和氧化物相在上的情况^[12]。

形成条件

与铁矿剖面中铁矿物相自下而上依次变化相对应的是铁的价态形式有规律的变化, 即由全部二价(黄铁矿、菱铁矿), 经二价为主(铁硅酸盐), 逐渐过渡到二价和三价各占一定比例(磁铁矿), 至最后变化为全部三价(赤铁矿)。这一顺序, 反应了自下而上铁矿物形成时的氧逸度逐渐增高, 即由还原条件逐渐转化为氧化条件。

决定沉积环境中氧化还原电位的关键因素, 主要是以下两个方面: 其一是沉积时氧气的供应能力, 一般说来, 近岸浅水环境和有波浪作用的地方, 氧气相对比较充分; 其二是有机质的多寡和还原细菌的存在。有机质的足量存在且不被氧化可以创造一种还原环境, 而硫酸

盐还原细菌的存在,则可以形成一种富含 H_2S 的环境。

James(1954)^[8]和Borchert(1960)^[9]等在解释铁矿物相形成条件的理想剖面中,都特别强调了沉积场所离开海岸线的距离和海水的深度,认为近岸浅处应该形成铁的氧化物,稍远稍深处形成铁的硅酸盐和碳酸盐,较远较深处形成铁的硫化物。Gastil和Knowles(1960)^[10]研究了加拿大Wabush湖地区铁矿物相在平面上的分布规律,即从西北向东南方向依次出现鳞片状赤铁矿→磁铁矿→铁硅酸盐和铁碳酸盐,认为有赤铁矿相存在的西北端为靠海岸一端的位置。Плаксенко等(1972)^[11]则从苏联库尔斯克磁异常的剖面出发,认为铁矿物相的类型主要取决于有机质的含量。

考虑到下列几个因素:(1)本区黄铁矿、菱铁矿和铁硅酸盐等以二价铁为主的矿物,在空间分布上与泥质沉积物关系密切,那里存在着比较丰富的有机质。(2)本区铁的氧化物相矿物是在泥砂质碎屑物质基本达到不了,有机质较少或甚微(特别是赤铁矿相),离海岸线稍远一些的浅水盆地中形成的,它几乎是纯的胶体化学沉积物变来的。(3)早元古宙时地球表面氧气含量很低,在比较平坦的浅水海域,海水中的氧逸度梯度是很小的。我们认为,James(1954)的模式,似乎不能适用于袁家村矿区。控制吕梁山地区早元古宙含铁岩系铁矿物相形成环境氧逸度的关键因素,应该是沉积环境中有机质的存在与否及其多寡。而控制氧气供应能力的水深和离岸距离这一因素,可能对显生宙鲕状铁矿中铁矿物相的空间分布更有普遍意义。

我们设想的吕梁山地区铁硅质建造的形成环境大致如下(图5):在滨海地区快速沉淀了粗砂岩、细砂岩和粉砂岩;沿着较平缓的海底向海域方向前进,碎屑物颗粒变细,并逐渐为泥质沉积物取而代之,在绿泥石片岩中达到最高值;再向远处,泥质沉积物逐渐过渡为铁硅质的胶体化学沉积物。

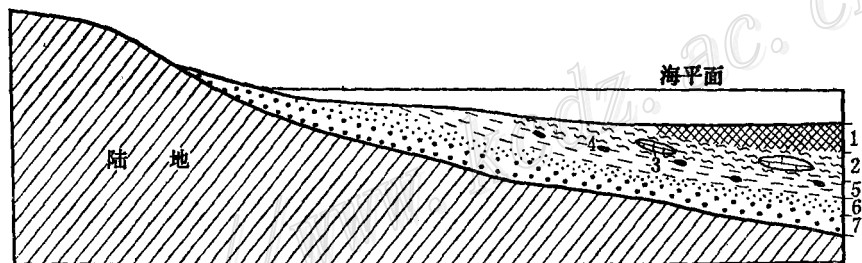


图5 袁家村组含铁建造中不同岩石和铁矿物相的形成环境示意图

1—铁矿物相; 2—铁硅酸盐相; 3—铁碳酸盐相; 4—铁硫化物相; 5—泥质岩; 6—粉砂岩; 7—砂岩

Fig. 5. Sketch section showing formation environments of various facies of rocks and iron minerals in Yuanjiacun ferriferous Formation.

有机质在泥质岩中达到最大的富集创造了还原环境,而在胶体化学沉淀的铁硅质岩中,有机质很少或基本缺失,创造了氧化环境。有机质的主要来源,可能是近岸较平静环境中的浮游生物。在泥质岩向纯化学岩过渡和交替的背景上,相应地沉淀了不同类型的铁矿物相,在剖面上自下而上依次为黄铁矿→菱铁矿→铁硅酸盐→磁铁矿→赤铁矿。控制这些铁矿物相类型及其中铁的价态形式的主要因素,是沉积物中泥砂物质和铁硅质胶体化学物质的相对比例和其中有机质的存在与否及其多寡。

研究工作是在徐克勤教授的指导下进行的；在野外工作期间，曾得到山西省冶金地质勘探公司的帮助；本校魏文君、刘铁兵、胡锦涛等同学共同参加了野外和室内工作；林承毅、赵梅芳等老师协助进行了分析测试；高秀英同志清绘了图件。在此一并表示感谢。

主要参考文献

- [1] 张富生、朱金初 1981 对山西岚县地区吕梁群地层层序的商榷 地层学杂志 第5卷 第2期
- [2] 徐朝雪、徐有华 1985 吕梁山地区太古宙地层重新划分与对比 河北地质学院学报 第3期
- [3] 张秋生等 1984 中国早前寒武纪地质及成矿作用 吉林人民出版社
- [4] 王德滋、马瑞士、王赐银、牟惟熹 1985 断裂区域变质作用与混合岩化作用、花岗岩化作用研究 南京大学学报 第21卷 第3期
- [5] 沈保丰、宋亮生、李华芝 1982 山西省岚县袁家村铁建造的沉积相和形成条件分析 长春地质学院学报(增刊)
- [6] International Centre for Diffraction Data, 1980, Mineral Powder Diffraction File Search Manual.
- [7] Hey, M. H., 1954, A new review of the chlorites. Mining Mag., 30, 277.
- [8] James, H. L., 1954, Sedimentary facies of iron-formation. Econ. Geol., Vol. 49, pp. 235-293.
- [9] Borchert, H., 1960, Genesis of marine sedimentary iron ores. Trans. Inst. Mining Met., Vol. 69, pp. 261-279.
- [10] Gastil, G. and Knowles, D. M., 1960, Geology of the Wabush Lake area, Labrador and eastern Quebec, Canada. Geol. Soc. Amer. Bull., 71, pp. 1243-1254.
- [11] Плаксенко Н. А., Коваль И. К. и Щеголев И. Н., 1972, Железисто-кремнистые формации докембрия курской магнитной аномалии, В сб. Геология и генезис докембрийских и марганцевых формаций мира.
- [12] Мори Г. Б., 1972, Железорудные Районы Мисаби, Ганфлинт и Куона в Миннесоте, В сб. Геология и генезис докембрийских и марганцевых формаций мира.

THE FORMATION CONDITION OF THE PRECAMBRIAN IRON ORES IN YUANJIACUN ORE DEPOSIT, SHANXI PROVINCE

Zhu Jinchu and Zhang Fusheng

(Department of Geology, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu Province)

Abstract

The Yuanjiaocun deposit is characterized by low grade metamorphism, well exposed stratigraphic section, and simple tectonics. It therefore offers an ideal locality in studying formation environment and metamorphic processes of Precambrian banded iron ores. Developed in shallow water basin of eugeosyncline, the Yuanjiaocun formation some 1200 m thick comprises three sedimentation-ore formation cycles, each of which begins with coarse to medium-grained clastic rocks (quartz sandstone or arkose), passing through fine-grained siltstone and pelitic rocks, and grades into pure colloidal chemical deposits represented by thin-bedded ferruginous quartzites.

The iron mineral facies present in the ore district are diverse. From the bottom of each cycle upwards, there generally occur in succession pyrite, siderite iron silicates (composed of Fe-chlorite, minnesotaite and stilpnomelane), magnetite and hematite. These iron mineral facies are products of sedimentation, diagenesis and metamorphism of very low grade. The spatial distribution of iron mineral facies in stratigraphic section shows that the sedimentation-ore formation environment had an increasing oxygen fugacity in the course of each cycle.

The main factors controlling the types of iron mineral facies and the valence state of iron are considered to be the proportion of pelitic-arenaceous components to colloidal chemical materials during deposition as well as the relative amount of organic substance they contain. The existence of abundant organic materials results in the formation of a reducing environment and the facies dominated by ferrous minerals, whereas lack of organic materials leads to the development of oxidizing media and the formation of ferric or ferric-ferrous mineral facies.

<http://www.kcdz.ac.cn/>