

# 内蒙狼山霍各乞矿床条带状含铜石英岩成因的讨论

## Origin Study of Langshan Huogeqi Banded Cupreous Quartzite in Inner Mongolia

孙宝忠 徐贵忠 边千韬

Sun Baozhong, Xu Guizhong and Bian Qiantao

(中国科学院地质研究所 北京 100029)

(*Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*)

**摘要** 内蒙霍各乞条带状含铜石英岩的结构、构造、阴极发光、化学常量元素、稀土元素及其所含的电气石的矿物成分、石英包体测温等方面的特点与加拿大沙利文矿床热水沉积和我国大厂热水沉积矿床中的热水沉积岩-条带状硅质岩及电气石岩十分相似,可以证明了霍各乞条带状含铜石英岩为热水沉积成因。

**Abstract** The study of texture, structure, cathodoluminescence, main and trace elements, REE, and of mineral composition of tourmaline and homogenization temperature of inclusion in quartz are made for Huogeqi banded cupreous. Banded cupreous quartzite possesses the characteristics of syngenetic sedimentary structure and geological occurrence, and of hydrothermal sedimentary geochemistry and mineral composition. These characteristics are similar to Chinese Dachang hydrothermal sedimentary rocks—banded silicalite and tourmaline rock. They demonstrate that Huogeqi ore deposit of banded cupreous quartzite is of hydrothermal sedimentary genesis.

**主题词** 霍各乞 石英岩 热水 沉积

**Keyword:** Huogeqi; Quartzite; Hydrothermal; Sedimentary

**分类号:** P611

**Classific code:** P611

• 1996-03-15 收稿, 1997-02-23 改回.

本论文为国家攀登计划——我国华北元古界赋存超大型矿床可能性研究成果的一部分.

第一作者简介: 孙宝忠 男 1968 年出生 硕士 构造地质学专业

前人根据霍各乞条带状含铜石英岩呈层状且与地层呈整合接触关系、石英含量高、局部石英颗粒呈浑圆状，认为这种石英岩是陆源碎屑石英岩（李兆龙，1986）。经过野外和室内研究工作，本文认为条带状含铜石英岩为热水沉积成因的硅质岩。

### 1 地质产状

霍各乞条带状含铜石英岩受地层层位控制，呈层状、似层状、透镜状与地层整合接触，与地层同步褶皱，岩石中还保存着同生沉积-成岩结构构造如纹层状、条带状、球状及变胶状构造，微莓球状结构。条带状含铜石英岩与上、下层位的二云石英片岩、含

矿碳质板岩的地质界线截然（见图 1），在地层中呈渐变尖灭。条带状含铜石英岩为铜矿的容矿岩石，条纹和条带由互层的白色微粒石英和暗色有机泥、碳质组成，含有较多的电气石、磷灰石和重晶石、胶状黄铁矿、菱铁矿等热水沉积产物。霍各乞条带状含铜石英岩的铅模式年龄为 9~11 亿年（张英臣等，1983），即形成时代为中元古代。条带状含铜石英岩是中元古代裂陷槽环境下的产物。霍各乞地区该期同生断裂发育，这为热水对流提供了良好的通道。该地区该期基性岩浆活动强烈，则为热水对流提供热源。

根据 Kernagel and Zin(1989)的研究，石英的阴极发光有三种类型：①具紫色、蓝紫色、蓝色的阴极发光，形成温度大于 573℃，往往产于火成岩及接触变质岩中；②褐色发光的石英，形成温度为 300℃~573℃产于区域变质岩中；③不发光石英，为成岩过程中形成的自生石英。据采自霍各乞矿床条带状含铜石英岩的样品测试分析而知，霍各乞一、二号矿床中的条带状石英岩阴极不发光，说明条带状含铜石英岩中的石英为自生石英。如果条带状含铜石英岩是由碎屑岩重结晶而成，石英颗粒应保持源岩区特点而发光。因而霍各乞矿床条带状含铜石英岩由硅质岩经变质作用颗粒有所加大而形成的。

### 2 地球化学特征

#### 2.1 常量元素

霍各乞条带状含铜石英岩 6 个样品和不同成因硅质岩的化学成分列于表 1，由于未分析硫化物，因此总量低于 100%。由此表可以看出生物成因的硅质岩中 TiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、FeO 的含量普遍偏低，而与火山作用或海底热液系统有关的硅质岩中这些元素含量普遍偏高，霍各乞矿床条带状含铜石英岩与后者相似。据 Bostrom (1983) 统计结果，现代海底热水

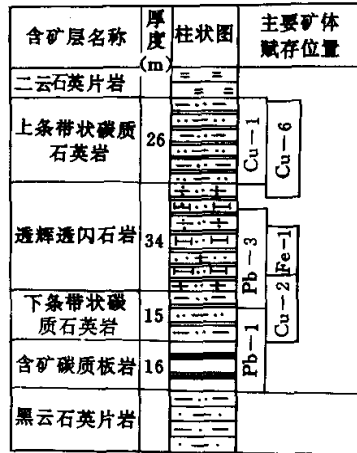


图 1 霍各乞矿床柱状图  
Fig. 1 Column map of Huogeqi ore deposit

沉积物的 Fe/Ti 值大于 20, Al/(Al+Fe+Mn) 值小于 0.35; 而非热水沉积物的 Fe/Ti 值常小于 20, Al/(Al+Fe+Mn) 大于 0.35。霍各乞矿床的条带状含铜石英岩的 Fe/Ti、Al/(Al+Fe+Mn) 值与热水沉积硅岩一致。在 Bostrom 图解上霍各乞条带状含铜石英岩的投影点多落入热水沉积端元附近, 有一个点靠近陆源沉积端 (见图 2), 说明霍各乞条带状含铜石英岩为热水沉积成因, 有少量的陆源物质混入。

表 1 霍各乞条带状含铜石英岩及不同成因硅质岩的化学成分(%)

Table 1 Chemical composition (%) of Huogeqi banded cupreous quartzite and different origin silicite

序号	1	2	3	4	5	6	7(8)	8(10)	9(8)	10(5)
SiO <sub>2</sub>	88.05	87.72	74.40	87.85	81.58	87.58	88.04	95.96	92.31	73.68
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.32	0.32	0.27	0.01	0.01	0.02	0.03	0.23	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.45	0.42	0.64	3.93	0.29	3.12	0.84	0.71	2.89	5.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.43	1.57	6.17	0.66	3.78	2.15	1.59	0.43	0.43	2.06
FeO	1.80	5.07	7.60	5.32	8.93	1.62	0.26	0.08	0.94	4.13
CaO	1.38	0.39	2.00	0.13	0.26	0.01	5.07	0.30	0.47	5.93
MgO	0.01	0.05	2.55	0.40	0.07	0.07	0.19	0.02	0.95	0.79
MnO	0.01	0.01	1.28	0.16	1.18	1.08	0.30	0.02	0.25	0.06
K <sub>2</sub> O	0.48	0.27	0.11	1.14	0.04	0.04	0.16	0.05	0.45	1.37
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.14	0.01	0.14	0.03	1.08	0.18	0.06	0.33	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.40	0.22	0.16	0.09	0.18	0.19	0.03	0.02	0.05	0.13
H <sub>2</sub> O	2.17	2.42	3.20	0.58	1.96	1.35	2.40	2.93	0.63	5.50
总量	98.69	98.6	99.11	99.46	98.31	98.30	99.18	99.61	99.93	99.6
Fe/Ti	24	21	54	30	1063	461				
A	0.34	0.05	0.03	0.27	0.02	0.30				

注: 1~6. 霍各乞条带状含铜石英岩; 7, 8. 生物成因硅质岩; 9. 与海底热泉有关的硅质岩 (据 Takeo Watanabe et al., 1970); 10. 富含电气石的喷气岩 (加拿大沙利文矿床); 11. 大厂锡矿床的硅质岩 (据韩发等, 1989); A = Al/(Al+Fe+Mn)。

北太平洋 DSDP Leg32 的白垩纪热水沉积硅质岩在 SiO<sub>2</sub>-TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 图解上投影点分布于 SiO<sub>2</sub>-玄武岩连线和 SiO<sub>2</sub>-热水沉积端元连线之间的区内, 霍各乞矿床条带状含铜石英岩在此图解上的投影点分布于此区内 (图 3), 这也反映了其为热水沉积成因。

在 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> 关系图解 (图 4a) 上, 生物成因硅质岩与火山或海底热水成因硅质岩的投影点明显分为两个区。生物成因的硅质岩区投影点零散分布, 即 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 TiO<sub>2</sub> 之间无相关关系; 而在火山及海底热水成因的硅质岩区, 投影点呈条带分布, 呈对数正相关关系 (韩发等, 1989)。对于充分海解的化学沉积岩 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 TiO<sub>2</sub> 之间呈正相关关系 (韩发等, 1983)。霍各乞矿床条带状含铜石英岩投影点 (除一个点外) 都落入火山及海底热水成因的硅质岩区及其附近, 应为热水沉积硅质岩; 但投影点分散, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 TiO<sub>2</sub> 无明显相关关系, 可能是由于其未充分海解, 热水一喷出来, 很快就沉积下来。在 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) 图解上, 霍各乞矿床条带状含铜石英岩除一个样品外, 其余投影点都落在火山或海底热水成因硅质岩区内 (图 4b)。由此图解可知, 霍各乞矿床条带状含铜石英岩与加拿大的沙利文矿床、我国大厂锡矿床热水沉积成因的硅质岩类似。

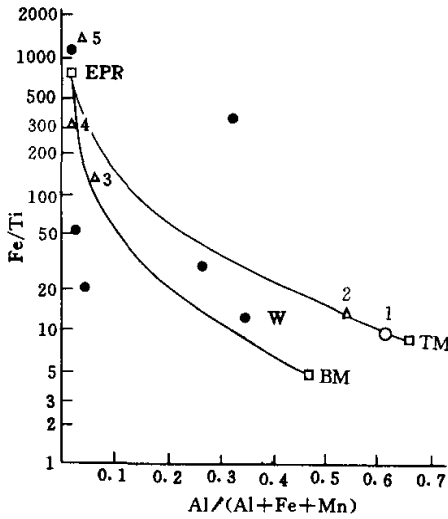


图 2 霍各乞条带状石英岩  $Al/(Al+Fe+Mn) - Fe/Ti$  图解 (据 Bostrom, 1983)

1. 生物成因硅质岩; 2. 平均远洋粘土; 3. 海渊热水沉积物; 4. 热水沉积物; 5. 热水粘土; W 为西太平洋盆地沉积物; BM 为生物成因端元沉积物; TM 为陆源物质端元沉积物; EPR 为东太平洋洋隆热水端元沉积物;  
● 为霍各乞条带状石英岩

Fig. 2  $Al/(Al+Fe+Mn) - Fe/Ti$  Diagram of Huoqeqi banded quartzite

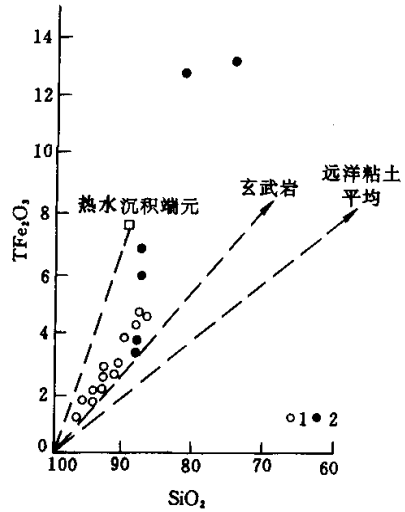


图 3 霍各乞条带状石英岩的  $SiO_2 - TFe_2O_3$  图解

(据 Adachi et al., 1986)

1. 霍各乞矿床条带状含铜石英岩;  
2. DSDP Leg32 热水沉积硅质岩  
Fig. 3  $SiO_2 - TFe_2O_3$  diagram of huogeqi banded quartzite

## 2.2 稀土元素

霍各乞一号、二号矿床的条带状含铜石英岩的稀土元素含量列于表 2。为了对比, 此表还列入了加拿大沙利文矿床条带状富含电气石的热水沉积岩和加拿大 Agnico-Eagle 矿床条带状硅质岩的稀土元素含量。霍各乞矿床条带状含铜石英岩稀土元素总量低(33.69~77.77  $\mu g/g$ )、具弱负 Ce 异常, 与加拿大沙利文矿床条带状富含电气石的热水沉积岩和 Agnico-Eagle 矿床条带状硅质岩(与火山有关的块状硫化物矿床)相似。

霍各乞矿床条带状含铜石英岩具有较强的正铕异常,  $\delta Eu = 1.83 \sim 3.09$ 。这反映其物质来自较深的下地壳, 因为下地壳的 REE 低(54  $\mu g/g$ )并富 Eu ( $\delta Eu = 1.1$ ) (涂光炽等, 1984)。除 Eu 异常外, 霍各乞矿床条带状含铜石英岩的稀土配分型式与沙利文矿床的热水沉积硅质岩和 Agnico-Eagle 矿床条带状硅质岩相似(图 5), 说明霍各乞条带状含铜石英岩为热水沉积成因的硅质岩。

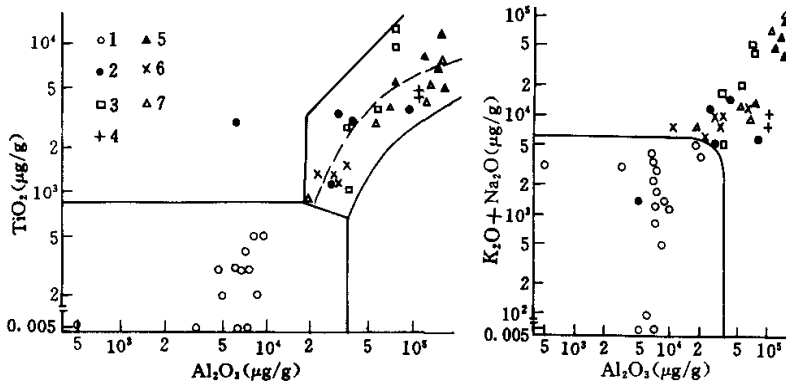


图4 硅质岩的  $\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  关系图解(a)和  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  关系图解(b)

(界线据韩发, 1989)

1. 霍各乞矿床条带状含铜石英岩; 2. 生物成因的硅质岩; 3. 火山弧区的硅质岩; 4. 与火山有关的矿床中的硅质岩; 5. 沙利文矿区含电气石的喷气岩; 6. 与热卤水系统有关的硅质岩; 7. 大厂锡矿床的硅质岩; 2~7 资料引自韩发等 (1989)

Fig. 4  $\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (a) and  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (b) diagrams of silicite

表2 霍各乞条带状含铜石英岩的稀土元素含量(µg/g)

Table 2 REE contents (µg/g) of Huogeqi banded cupreous quartzite

序号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	δEu
1	22.4	26.0	3.00	9.80	2.85	2.21	2.05	0.28	1.25	0.28	0.80	0.13	0.76	0.16	77.7	3.09
2	8.87	9.62	0.2	4.86	1.32	0.64	1.10	0.1	0.77	0.16	0.44	0.10	0.54	0.1	33.9	1.83
3	11.2	23.1	2.80	11.3	2.30	0.44	1.80	0.20	1.80	0.32	1.10	0.20	1.10	0.19	68.9	0.65
4	5.60	13.7	1.70	7.80	1.80	0.43	1.30	0.20	1.40	0.15	0.60	0.10	0.60	0.05	41.4	0.83

注: 1. 霍各乞一号矿床条带状含铜石英岩; 2. 霍各乞二号矿床条带状含铜石英岩; 3. 加拿大沙利文矿床条带状富电气石的热液沉积硅质岩; 4. 加拿大 Agnico-Eagle 矿床条带状硅质岩; 3, 4 据韩发等 (1989).

### 3 电气石矿物成分

霍各乞矿床条带状含铜石英岩层中电气石含量很高。电气石呈粒状、柱状, 为半自形—它形晶, 分布于石英等矿物颗粒间, 其化学成分列于表3。在  $\text{Al-TFe}$  (全铁)- $\text{Mg}$  图解和  $\text{Ca-TFe-Mg}$  图解上 (图6), 投影点分别落入4区和8区, 与大厂和沙利文矿床电气石投影点相似。这说明霍各乞矿床条带状含铜石英岩中的电气石为热水沉积成因。

### 4 包体测温

条带状含铜石英岩包体测温数据见表4。由表4可知, 包体形成温度分为二组: 127~212°C、294~390°C。其中低温组代表热水沉积期的温度; 高温组代表区域变质期的温度, 它

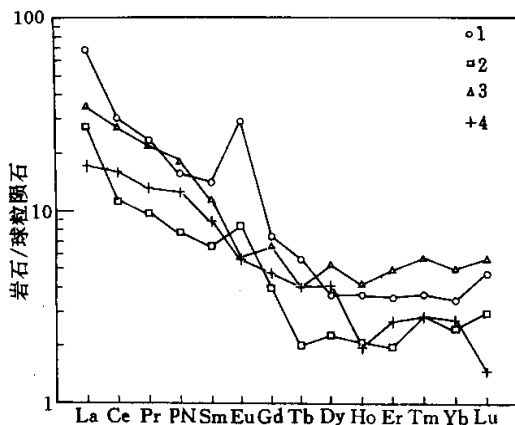


图 5 霍各乞条带状含铜石英岩  
稀土配分型式曲线

- 1. 霍各乞一号矿床条带状含铜石英岩；2. 霍各乞二号矿床条带状含铜石英岩；3. 加拿大沙利文矿床热水沉积硅质岩；7. 加拿大 Agnico-Eagle 矿床条带状硅质岩

Fig. 5 REE distributed curve of Huoqeqi banded cupreous quartzite

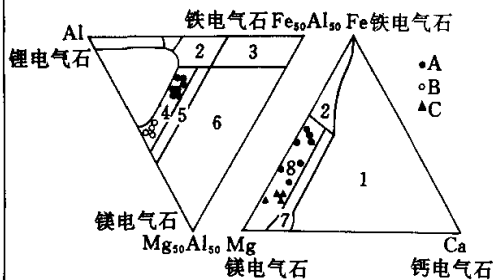


图 6 霍各乞条带状含铜石英岩中电气石的  
Al-TFe-Mg 图解和 Ca-TFe-Mg 图解 (mol%)

(据 Taylor, 1984)

- 1. 富锂花岗岩、伟晶岩及细晶岩区；2. 贫锂花岗岩、伟晶岩及细晶岩区；3. 热液蚀变花岗岩区；4. 含铝饱和矿物的泥质岩和碎屑变质岩区；5. 变质泥岩和变质砂质岩区；6. 富 Fe<sup>3+</sup> 石英-电气石岩、钙-硅质岩和泥质变质岩区；7. 富钙泥质变质岩区；8. 贫钙泥质、砂质变质岩和石英电气石岩区；A. 霍各乞矿床条带状石英岩中的电气石；B. 大厂热水沉积矿床电气石 (韩发, 1989)；C. 沙利文热水沉积矿床电气石 (韩发, 1989)

Fig. 6 Huoqeqi banded cupreous quartzite of tourmaline Al-TFe-Mg figure and Ca-TFe-Mg figure (mol%)

表 3 霍各乞矿床条带状含铜石英岩中电气石电子探针分析结果 (%)

Table 3 Chemical composition of tomalline from Houqeqi banded coupeous quartzite (%)

序号	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO
1	2.09	7.61	33.46	37.66	0.00	0.19	0.42	0.00	5.62
2	2.11	6.90	32.85	37.56	0.10	0.12	0.32	0.02	6.13
3	1.85	9.74	31.79	37.36	0.00	1.41	0.71	0.13	3.88
4	1.40	10.24	29.08	39.07	0.99	2.24	0.14	0.00	3.05
5	1.17	4.06	33.89	35.46	0.12	1.43	0.93	0.03	7.44
6	1.35	4.28	32.72	37.83	0.03	0.08	0.20	0.00	8.68
7	1.48	6.89	32.27	39.89	0.00	0.01	0.40	0.00	4.64

与周围的绿片岩变质温度相一致。由于霍各乞矿床条带状含铜石英岩中热水沉积形成的气液包体在埋藏较深、围压较高的条件下的后期区域变质改造过程中,部分气液包体仍能得以保留下来。在理论上这说明条带状含铜石英岩的形成温度较低,保存的这部分包裹体的测温与热水沉积硅质岩包裹体测温相一致。

表4 霍各乞条带状含铜石英岩石英包体测温数据表

Table 4 Quart-enclave temperature data of Huogeqi banded cupreous quartzite

成矿期	均一法		爆裂法		资料来源
	矿物	T (°C)	矿物	T (°C)	
热水沉积	石英 (1)	318	石英 (1)	127~212	本文资料
			石英 (1)	180	天津地调所 (1983年)
区域变质	石英 (1)	318	石英 (2)	343~401	本文资料
	石英脉 (1)	294	石英 (1)	325	天津地调所 (1983年)

注: 括号中的数字为样品数。

## 5 结论

综上所述,霍各乞矿床条带状含铜石英岩地质特征、地球化学常量元素、稀土元素、电气石矿物成分、石英包体测温资料都反映了其为热水沉积成因的硅质岩。这些硅质岩是热水通过对流,淋滤围岩中的硅质,经同生断裂通道将硅质带到海底,物理化学条件发生了变化,使得硅质沉积下来,形成热水沉积硅质岩。

## 参 考 文 献

- 李兆龙. 1986. 内蒙古中部层控多金属矿床硫、铅、碳、氧同位素组成及矿床成因. 地球化学, 1 (2): 23~30
- 张英臣. 1983. 内蒙古渣尔泰群、狼山群同位素地质年龄研究. 天津地质调查所所报, (1): 40~48
- 涂光炽等著. 1984. 地球化学. 北京: 科学技术出版社
- 韩发, 哈钦森 R W. 1989. 大J'锡多金属矿床热液喷气沉积的证据-含矿建造及热液沉积岩. 矿床地质, (3): 26~37
- Bostrom K. 1983. Genesis of ferromanganese deposits-diagenostic criteria for recent and old deposits. In: Rona P A et al., eds. Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading enters. New York: Plenum Press, 473~489
- Kernagel J and Zin. U. 1989. Petrologic determination of metamorphic pressure-temperature-time path. short course in Geology Volume
- Takeo Watanabe, Shunzo Yui and Akiva Kato. 1970. Metamorphosed bedded manganese deposits of the Noda-Tamagawa Mine. Volcanism and Ore Genesis
- Taylor B E and Slack J S. 1984. Tourmalines from Appalachian-Caledonian massive sulfide deposits: textural, chemical and isotopic relationships. Econ. Geol., 49: 1703~1726