

瑶岗仙“五层楼”式脉钨矿床围岩蚀变研究

邱瑞龙

(安徽省地质科学研究所)

我国华南脉钨矿床的围岩蚀变,前人已有较为广泛的研究。“五层楼”式脉钨矿床的形态分带及其区域多阶段矿化规律的揭示^[1],为研究各成矿阶段的围岩蚀变特征提出了新的课题。

一、矿区地质概况

瑶岗仙钨矿区位于南岭东西向构造带及北东向红岩-万岩山断裂带的交汇处。矿区总体

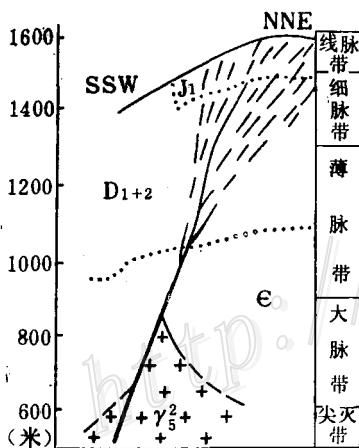


图1 瑶岗仙“五层楼”脉钨矿床剖面略图

Fig. 1. Schematic geological section of a "five-storied" vein-type tungsten deposit at Yaogangxian.

构造线方向为北东-北北东。北东向逆(平移)断层大致平行地层走向,北西向平移断层斜切褶曲轴线。南西倾伏的背斜控制了脉钨矿床的分布。沿倾伏背斜轴部发育有北北西、北东东、北西、北西西四组节理。“五层楼”式脉钨矿床(图1)(以下简称脉带)即产于北西西组剪切节理中。

寒武系(ε)构成倾伏背斜的基底,走向多呈南北向。上覆泥盆系(D₁₊₂)和侏罗系(J₁)走向多呈北东向。三个不同时代的地层均以明显的角度不整合接触,构成了倾伏背斜的三个构造层^[2]。

燕山早期复式黑云母花岗岩(γ₅²)呈小岩株状由东南向北西穿入背斜轴部的寒武纪及泥盆纪地层中。前人大量研究结果表明,钨矿床与黑云母花岗岩有着成因上的联系^[3,4]。

脉带的矿物组合主要特点是富含金属硫化物。它相当于脉钨矿床区域多阶段矿化第五矿化阶段,即硫化

物-黑钨矿阶段的产物。

二、近矿围岩及其岩石化学特征

脉带主要产于一套浅变质的泥质碎屑岩中。近矿围岩由下而上依次为:

1. 寒武系变质砂岩系 主要岩石为深灰色绢云母变质砂岩、含长石变质砂岩及砂质板岩等。在花岗岩浆多次活动的影响下,围岩受到明显的接触热变质作用,形成了云母角岩、

斑点状云母角岩及绢云母斑点板岩等岩石。

2. 中下泥盆统跳马涧系 底部为砾岩，其上为泥质砂岩、石英质砂岩。岩石经区域变质及热变质作用，成为灰色致密块状绢云母变质砂岩。镜下见石英砂粒略呈拉长状，与片状矿物一起构成明显的定向排列。

3. 侏罗纪艮口系 底部为砾岩、含砾石英质砂岩。上部为石英质砂岩、砂岩、薄层状页岩和砂质页岩互层。岩石亦受到轻微变质作用，局部可见重结晶现象。

燕山期黑云母花岗岩在脉带下部亦构成近矿围岩的一部分。

近矿围岩的主要化学成分列于表1。从表1可看出，脉带近矿围岩硅铝质成分普遍偏高。依H. П. 谢勉年科(1960)分类，分别计算了沉积变质岩系中各主要岩石的F、A、M、C系数，结果表明它们介于铝硅质岩类及铝镁铁硅质岩类的分界面附近，具有近于等化学系列的特点。

近矿围岩主要化学成分表

表 1

岩石名称	标高(米)	时代	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO
石英质砂岩	1600	J ₁	90.57	4.78	0.51	0.60	0.08	0.17
绢云母变质砂岩	1320	D ₁₊₂	79.46	8.55	2.50	未分析	2.80	2.52
绢云母变质砂岩	1280	D ₁₊₂	70.87	13.77	0.84	2.89	0.16	1.77
云母角岩	780	Є	70.60	10.63	0.25	6.39	1.85	2.53

三、围岩蚀变特征

(一) 蚀变类型 脉带的围岩蚀变有萤石化、电气石化、绢云母化、石英化、绿泥石化、碳酸盐化、硫化物化、云英岩化。其中绢云母化、石英化及金属硫化物化是本区围岩蚀变的最主要类型。

1. 绢云母化：绢云母化有强弱之分，强者绢云母含量可达80%以上，弱者绢云母一般介于10—40%。镜下绢云母呈细鳞片无定向杂乱散布。绢云母鳞片的大小随蚀变增强而增大，有向白云母过渡的趋势。绢云母化的强弱还与原岩性质有关；砂板岩、砂页岩中绢云母化往往较为发育。

2. 石英化：脉带围岩的石英化与中等程度以下的绢云母化密切伴生。次生石英以微粒状或糖粒状两种方式产出。前者多充填在绢云母鳞片的空隙中。石英化明显时，原岩中的细粒砂状石英部分或大部分发生重结晶。

3. 金属硫化物化：主要为黄铁矿化和毒砂化。黄铁矿一般呈不规则显微粒状，在脉带下部蚀变围岩中含量较多。毒砂多呈稀疏状散布于脉带上部蚀变围岩中，粒径一般较大，自形程度完好，肉眼即可辨认。

金属硫化物化的强弱与裂隙的发育程度关系密切。在层理构造明显的岩石中，常见金属硫化物顺层交代。

4. 其它蚀变：近脉壁的下部蚀变围岩中，常见萤石化及电气石化。萤石多呈微粒状或

显微蠕虫状，与绢云母镶嵌，构成斑点状集合体。电气石多呈自形程度较好的长柱状晶体。它们的含量一般多在5%以下。碳酸盐化及绿泥石化多发育在蚀变围岩的外带。前者与含钙质较高的岩石有关；后者则多为交代黑云母的产物。在蚀变岩石中，其含量一般可达5%左右。脉带下部的花岗岩中常发育云英岩化。富云母云英岩化断续出现在近矿脉的内侧，向外常见富石英云英岩化。

根据局部所见早阶段矿化的蚀变——黑云母化，可推测脉带深部钾化会更加强烈。

(二) 蚀变岩类型 沉积变质岩系中发育的蚀变岩石划分为三大类八亚类：

1. 绢云母岩：常呈灰—淡绿灰色，致密块状，紧靠脉壁发育。主要成分为绢云母、石英。常见的次要矿物是电气石及萤石等（表2）。岩石以显微鳞片变晶结构为特征，有时可见变余层理构造。依典型蚀变矿物含量上的差异，可分为电气石-萤石-绢云母岩亚类和萤石-绢云母岩亚类。

绢云母岩矿物成分表

表 2

薄片编号	石 英	绢 云 母	萤 石	电 气 石	其 它
Sp011-1	1.7	89.6	4.0	1.7	3.0
Sp004-1	0.9	89.4	5.5	4.2	—
Sp033-1	6.8	88.3	3.3	1.3	0.3
平均值	3.1	89.1	4.3	2.4	1.1

2. 石英绢云母岩：岩石呈灰—淡黄灰色，主要由细鳞片状绢云母和显微粒状次生石英组成。镜下观察，绢云母含量为50—80%，石英含量为10—50%，常见少量原生细粒砂状石英、电气石、萤石及碳酸盐等（表3）。白云母被电气石、绢云母交代呈残晶状，易于蚀变的黑云母几乎全无保留。常呈显微鳞片状变晶结构，块状构造。依蚀变矿物组合划分出以下亚类：（1）电气石-萤石-石英绢云母岩；（2）萤石-碳酸盐-石英绢云母岩；（3）碳酸盐-石英绢云母岩。

石英绢云母岩矿物成分表

表 3

薄片编号	石 英	绢 云 母	电 气 石	萤 石	碳 酸 盐	硫 化 物	其 它
Sp011-2	34.8	57.3	2.8	1.3	0.9	2.6	0.3
Sp086-1	34.4	59.8	2.1	0.8	—	2.4	0.5
Sp035-1	23.9	65.3	—	—	9.1	1.7	—
平均值	31.0	60.8	1.6	0.7	3.3	2.2	0.2

3. 绢英岩：这是脉带蚀变围岩中分布最为广泛的一种蚀变岩石。典型的蚀变矿物有次生石英、绢云母、碳酸盐、绿泥石、金属硫化物等。依蚀变矿物组合划分为以下亚类：（1）碳酸盐-绢英岩；（2）绿泥石-绢英岩；（3）毒砂-绢英岩。绢英岩呈灰—灰白色，绢云母含量为

绢英岩矿物成分表

表 4

薄片编号	石 英	(白) 绢云母	碳 酸 盐	绿 泥 石	毒 砂	其 它
Sp011-3	70.1	25.7	—	—	1.0	3.2
Sp016-2	66.6	19.7	1.5	2.5	0.6	9.1
Sp059-1	79.3	18.3	—	—	1.9	0.5
Sp086-2	68.7	20.0	9.4	0.7	0.4	0.8
Sp078-1	69.3	29.1	—	—	1.1	0.5
Sp096	82.9	15.6	—	—	1.2	0.3
平均值	72.8	21.4	1.8	0.5	1.0	2.4

10—50%，石英含量为50—80%（表4）。石英有原生的，亦有蚀变产生的。原生石英都有增生加大，其含量往往数倍于次生石英。次生石英多为微粒状，与绢云母伴生。绢云母则散布在原生石英粒间。

显然，绢英岩化的石英较之前两种蚀变岩石明显增强。原岩中的部分电气石、锆石、磷灰石等保留，常见少量黑云母残晶。岩石结构以显微鳞片状变晶结构为主，局部可见微层构造。

（三）蚀变带 不同类型的蚀变围岩在矿脉两侧常呈对称带状分布。常见的水平分带为：

矿脉→毒砂-绢英岩→绢云母化变质砂岩→浅变质砂岩（上部）

矿脉→电气石-萤石-绢云母岩→电气石-萤石-石英绢云母岩→碳酸盐-绢英岩→绢云母化角岩→云母角岩（下部）

这种水平分带越向脉带的下部越明显。蚀变围岩在垂向上的分带模式如图2所示。

上述水平及垂直分带，反映了蚀变围岩由内向外、由下到上蚀变作用呈现从绢云母化到石英化的递变规律。

蚀变带的宽度上下差异显著。脉带下部蚀变围岩宽仅10余厘米至20—30厘米，而脉带上部蚀变围岩宽达数十厘米至2米以上。在含脉密度较高的地段，蚀变围岩连成一片，其宽度远远大于总脉幅。

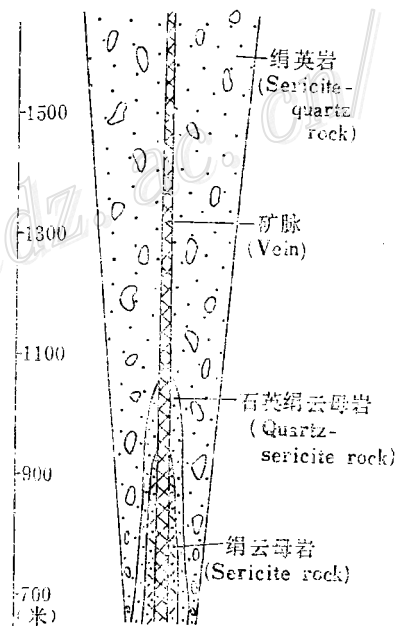


图 2 脉带蚀变围岩垂直分带示意图
Fig. 2. Sketch showing vertical zoning of altered rocks on both sides of ore vein.

四、蚀变围岩的微量元素分布

为查明蚀变围岩微量元素的分布状况，进行了系统采样和光谱半定量分析，并对同一层位的蚀变岩与未蚀变岩的微量元素含量进行了比较。依相对百分含量求出平均值，绘制成图3。

从现有资料可以看出：①水平方向上，近脉壁蚀变围岩带入的 Sn、W 等元素较多，远离脉壁其带入量逐渐减少；As 则相反。

②微量元素 W、Sn、Mo、Bi、As、Sb、Pb 在不同的标高带入量亦有明显差异。脉带下部带入的 W、Sn、Mo 较多，脉带上部带入的 As、Bi、Sb、Pb 较多，呈现了一定的分带性。这种分带性与蚀变围岩的垂向分带相吻合。③ As 在脉带上部的绢英岩中的带入量有明显的增高，故蚀变岩石中出现了多量的毒砂。④ Cu、Zn 的带入与带出较为复杂。总体上看，脉带中下部的蚀变岩石中的带入量略显偏高。

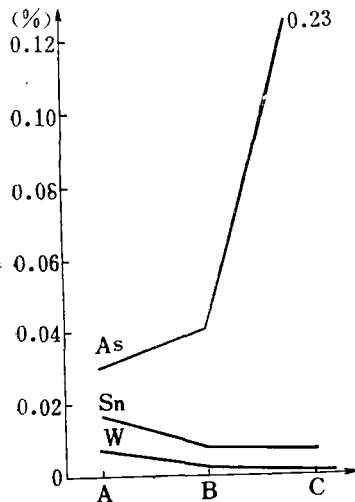


图3 垂向各蚀变岩石微量元素带入量均值

A—绢云母岩；B—石英绢云母岩；C—绢英岩

Fig. 3. Mean values of minor elements added to altered rocks in vertical direction.

A. sericite rock; B. quartz sericite rock; C. sericite quartz rock.

五、围岩蚀变与热液性质及矿化强度关系的探讨

以蚀变岩及未蚀变岩单位体积内的矿物成分及化学成分的变化趋势(表5)为例进行讨论。

石英在未蚀变岩石中的含量为 1.82 g/cm^3 ，在绢英岩中增加到 1.88 g/cm^3 ，而在石英绢云母岩中下降到 0.98 g/cm^3 ，绢云母岩中则仅有 0.05 g/cm^3 。绢云母在绢云母岩中含量高达 2.54 g/cm^3 ，石英绢云母岩中为 1.62 g/cm^3 ，而在绢英岩中则仅有 0.74 g/cm^3 。由此可见，从内向外，绢云母含量逐渐减少，石英含量逐渐增多。

从图4及表5中可以看出，由内向外 SiO_2 含量先是由于原岩石英被大量交代而明显减少，随着原岩石英的保留数量的增多和次生石英的增加， SiO_2 含量逐渐增高。在外带绢英岩中， SiO_2 有时反而比原岩有所增高。 K_2O 、 Li_2O 、 Al_2O_3 的含量由内向外随着绢云母含量的递减而减少。上述变化趋势表明，蚀变过程中溶液的碱度逐步降低，向着酸度增加的方向演化。

原岩中的 MgO 、 FeO 的含量主要与黑云母含量有关。随着黑云母被交代数量的增多，这些组分相应减少。 Fe_2O_3 的含量在各蚀变带中都有明显的增加，各蚀变岩石中的氧化度 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) 远远大于未蚀变岩石，这说明蚀变过程中的 P_{O_2} 分压较高，显示了氧化电位增高的特点。

蚀变岩石中的 F、 H_2O 与原岩相比有明显的带入，且带入量随着远离脉壁而逐渐减少，加之下部围岩中 B 的含量较高，反映在强烈绢云母化带萤石、电气石明显增多。显然，通常所认为的“高温气成”蚀变产物电气石、萤石与“典型的”中温热水蚀变产物绢云母的共生，表明了来自深部的氟钨酸钾络合物溶液分解产物的组分浓度对蚀变产物有着决定性的影响。S 在蚀变岩石中亦有显著增加，这说明热水溶液中硫的活度也较高。

Na_2O 的含量与斜长石的含量相关。蚀变过程中由于斜长石大量被交代， Na_2O 明显减少。 CaO 的含量较之原岩亦有减少，但由于萤石及碳酸盐的出现，其减少不很明显。

蚀变围岩化学成分

表 5

样品编号	岩石名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO
Sp011-1 (A)	绢云母岩	57.94	19.50	3.18	1.88	0.72	1.11	1.80
Sp011-2 (B)	石英绢云母岩	62.12	16.80	2.06	2.71	0.88	0.69	2.43
Sp011-3 (C)	绢英岩	70.89	12.83	1.43	2.91	0.72	0.55	1.86
Sp011-4	云母角岩	70.60	10.63	0.25	6.39	0.80	1.85	2.53

样品编号	岩石名称	MnO	Li ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	F	S	烧失量
Sp011-1 (A)	绢云母岩	0.17	0.24	6.56	0.28	1.77	1.29	4.53
Sp011-2 (B)	石英绢云母岩	0.23	0.16	5.22	0.24	1.10	1.01	4.61
Sp011-3 (C)	绢英岩	0.13	0.09	3.94	0.20	0.77	0.71	2.76
Sp011-4	云母角岩	0.13	0.08	2.66	1.53	0.54	0.24	1.16

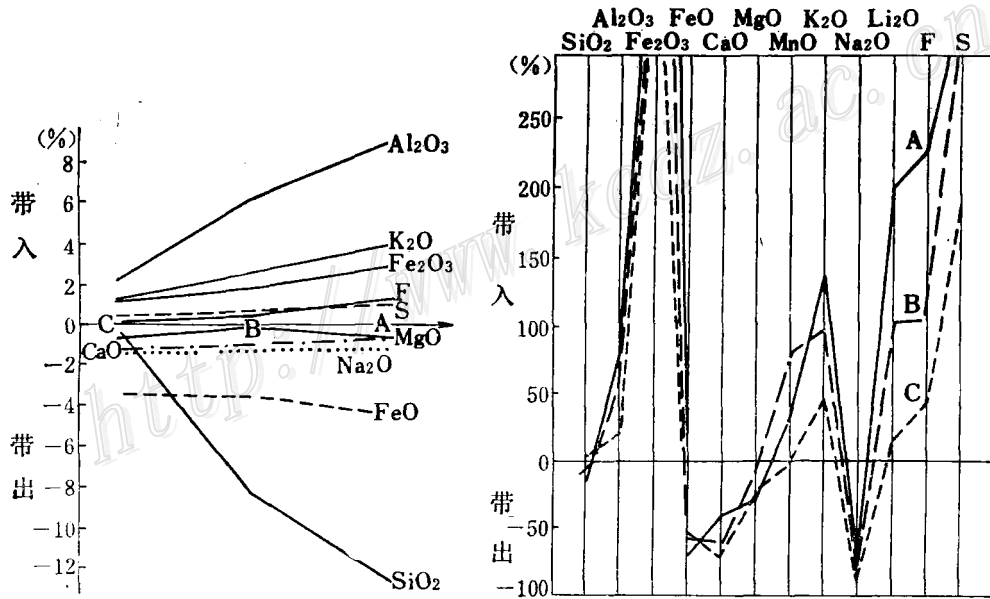


图 4 Sp011各蚀变带与原岩组分带人、带出绝对量及相对百分比
(图例同图 3)

Fig. 4. Diagram showing absolute and relative percentage differences in chemical composition between altered rocks and unaltered rocks (from sample 011). Symbols as in Fig. 3.

各蚀变带主要带人带出组分的计算表明,不同蚀变带有较大的相似性。各蚀变带主要带人组分为Al₂O₃、K₂O、F、S、H₂O等;主要带出组分为SiO₂、Na₂O、FeO、CaO、MgO等。不同蚀变带,各组分所占带人带出总量的比重不同,呈现了一定规律性的变化。

根据前述资料不难看出,由蚀变内带至外带,蚀变矿物含量及类型的变化、蚀变岩石化

学组分的变化、蚀变岩石中微量元素的变化都表明整个蚀变过程是连续的，蚀变分带呈现了渐变过渡的特点。

依据物理化学原理，每一种蚀变矿物及其组合出现与否，是受体系的压力、温度、组分、浓度等条件所制约的。Hemley 通过实验研究了 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-H}_2\text{O}$ 体系蚀变矿物的稳定区间。在其稳定区间内，温度和压力给定的条件下，体系在唯一的 $[\text{K}^+]/[\text{H}^+]$ 比和唯一的 KOH 浓度下达到平衡^[5]。考虑到脉带蚀变带的宽度和埋藏深度，可以认为整个蚀变带呈现上述规律性的变化，反映了在一次成矿活动中，位于蚀变矿物形成的稳定区间内的溶液各组分的浓度梯度及酸度变化是蚀变分带的主要影响因素，而温度和压力则是次要的。

研究结果表明，热液蚀变演化过程中溶液的性质是由碱性或弱碱性→中性→弱酸性的方向连续变化的。

由达西直线渗透定律可知^[6]，溶液在围岩中的直线渗透距离与围岩的渗透率及热液与围岩的压力差成正比，即溶液渗透距离取决于岩石本身使溶液通过的能力及促使溶液渗透的动力。前者主要受围岩的孔隙结构特征控制。一般说来，有效孔隙度愈大，其渗透率愈大。后者则由热液本身的压力与围岩的静压力差所决定，压力差越大，溶液渗透的动力越大。研究表明，脉带由下而上围岩的孔隙度逐渐增大，热液与围岩的压力差亦逐渐增大。所以，脉带上部围岩中蚀变带的宽度相应较大，而下部蚀变带的宽度则较小。

围岩蚀变垂直分带与矿化强度在空间分布上亦有相应的关系。绢云母岩及石英绢云母岩十分发育的地段，一般矿化较强；而绢英岩普遍发育的地段，一般矿化较弱。这可能由于富含氟钨酸钾的热水溶液，在运移过程中随着温度的降低以及沿途 K^+ 、 F^- 等离子的交代消耗，致使络合物不断分解，形成了黑钨矿微粒。这些新生成的黑钨矿微粒从溶液析出后并没有就地沉淀，而被含矿流体搬运，最后在多种因素影响下沉淀富集。所以说，引起围岩蚀变的因素与矿化富集的条件既有联系又不完全相同。因此，这种相应关系就空间分布而言是有联系的，但就任何局部来说蚀变强度与矿化强度又不是完全对应的。脉钨矿床中局部强烈云英岩化地段并不总会发现矿化富集，这与上述结论是相吻合的。

研究工作得到柳志青副教授的指导；本文初稿承蒙陈毓川副研究员和刘义茂副研究员审阅。在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 柳志青 1980 脉状钨矿床成矿预测理论 科学出版社
- [2] 徐克勤 1957 湘南钨铁锰矿矿区中矽卡岩型钙钨矿的发现，并论两类矿床在成因上的关系 地质学报 第37卷 第2期
- [3] 阮道源 1958 湖南瑶岗仙花岗岩侵入体的生成与变化过程及成矿关系的初步研究 地质论评 第18卷 第1期
- [4] 翁金桃 1965 湖南某花岗岩的岩石化学和地球化学特征及其与钨矿床的成因关系 地质学报 第45卷 第3期
- [5] Hemley, J. J., 1959, Some mineralogical equilibria in the system $\text{K}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Amer. J. Sci., 257, pp. 241-270.
- [6] Park, C. F., 1975, Ore deposits, third edition.

WALL ROCK ALTERATIONS OF A “FIVE-STORIED” VEIN-TYPE TUNGSTEN DEPOSIT AT YAOGANGXIAN, HUNAN PROVINCE

Qiu Ruilong

(Anhui Institute of Geological Sciences)

Abstract

The “five-storied” zoning of the vein-type tungsten deposit with its related regional multistage mineralizations has formulated a new topic in the study of wall rock alterations at various ore-forming stages. Statistics of hundreds of tungsten deposits of various sizes show evidently that large- and medium-sized ore bodies occur mainly in the excontact zone of granite. It is desirable, therefore, to look into wall rock alterations of the “five-storied” vein-type tungsten deposits present mainly in sedimentary sequences.

The “five-storied” vein-type tungsten deposit at Yaogangxian is an excontact zone deposit formed for its main part at the fifth ore-forming stage. The near-ore wall rocks are in upward succession mica-hornfels, sericite-metamorphic sandstone, weakly metamorphic sandstone, sandy shale, etc.

Based on detailed field observations and laboratory data, this paper dwells on types of near-ore alterations related to the fifth mineralization stage with a description of horizontal and vertical zoning of the altered rocks. From the vein outward or from the bottom upward, alterations change gradually from sericitization to silicification.

The distribution of minor elements in altered rocks corresponds to alteration zoning. Evidently lots of arsenic was brought to the altered rocks above the vein zone, forming as a result a significant amount of arsenopyrite. This serves as an indicator in search for ore deposits of this type.

Variations in altered minerals, chemical composition and minor elements all point to a progressive transition nature of the zoning, suggesting that the alteration zoning resulted mainly from concentration gradient of ore-forming fluids and variation in acidity of the media.

Apparent change in width of alteration zone, i. e., varying from narrow to broad, can be observed from the depth upward, presumably caused by porosity of the wall rocks and pressure gradient between the ore-forming fluids and the wall rocks. This furnishes a fairly reliable symbol indicating hidden or concealed ore deposits.

A detailed discussion is also given in this paper concerning evolution of hydrothermal fluids and relationship of alterations to mineralization.