

钾长石中的铅及其对成矿的贡献

张 乾¹, 刘志浩¹, 裘愉卓¹, 高计元², 王一先²

(1. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

[摘要]在中—酸性岩浆岩、碱性岩浆岩、片麻岩及混合岩等岩石类型中, 钾长石是含铅最高的造岩矿物, 其铅含量是全岩铅含量的2~10倍, 云母类矿物铅含量的3~16倍, 石英铅含量的6~32倍。早元古代、太古宙岩石中钾长石含量低, 钾长石中的铅占全岩铅含量的比例低于10%, 中元古代以来的碱性岩浆岩、富含钾长石的花岗岩和变质岩, 钾长石含量增高, 其中所含的铅占全岩铅的比例明显增大, 钾长石含量达50%~70%的碱性岩, 钾长石中的铅约占全岩总铅量的70%~95%。钾长石在后期极易发生水热蚀变, 转变为绢云母、方解石、石英等, 在这种转变过程中, 铅大量析出进入流体相。这种变化能够为后期铅的成矿提供成矿物质。

[关键词] 岩石 钾长石 含铅性 变化特点 成矿作用

[中图分类号] P618.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2004)01-0045-05

20世纪60~70年代的研究表明, 钾长石是岩浆岩中含铅最高的造岩矿物, 结晶花岗岩中54个天河石含Pb $130 \times 10^{-6} \sim 6800 \times 10^{-6}$, 产于澳大利亚Broken Hill的花岗岩脉中的天河石含铅 11000×10^{-6} , 花岗岩中638个钾长石含铅 $n \times 10 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$, 其它造岩矿物(云母类、斜长石、角闪石、石英、辉石等)含铅则低得多^[1]。这些研究仅限于钾长石中的铅含量, 研究的对象主要是中生代岩浆岩, 大多是针对某个岩体的研究。70年代后期以来, 很少再有这方面研究的报导。因此, 本文以最新资料展示了钾长石含铅性的同时, 讨论了钾长石中的铅随岩石类型及地质时代的变化, 同时探索了钾长石中的铅在蚀变过程中的变化及其地质意义。

1 钾长石的含铅性及其变化

早元古代以前的岩石以 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 为特征, 含钾长石的岩石较少, 钾长石含量一般较低; 从中元古代开始, 钾长石在中酸性—碱性岩浆岩及某些变质岩中成为主要造岩矿物之一。

本次研究所用的样品主要采自: ①山西交城的吕梁群(>2500 Ma)混合花岗片麻岩; ②内蒙古乌拉山群(1900~2400 Ma^[2])红色混合片麻岩、混合片麻岩和条带状混合岩; ③内蒙古白云常合山黑云

母钾长花岗岩(1648 Ma^[3]); ④河北东坪碱性岩(正长岩、碱性正长岩、石英正长岩等)(1600 Ma^[4~5]); ⑤内蒙古新巴尔虎右旗的燕山期黑云母钾长花岗岩和广东连山的花岗斑岩; ⑥滇西喜山期碱性岩。岩石代表的时间跨度从太古宙到新生代, 岩石类型有岩浆岩、变质岩, 从中挑选出钾长石及其它主要造岩矿物, 用原子吸收光谱和ICP-MS分析了全岩及造岩矿物中的Pb含量, 表1列出了全岩及钾长石的铅含量。

如表1所示, 不同时代、不同岩石的铅含量在 $10 \times 10^{-6} \sim 220 \times 10^{-6}$ 之间, 是中国大陆岩石圈铅丰度(6.15×10^{-6})^[6]的1.6~36倍, 而钾长石的铅含量在 $62 \times 10^{-6} \sim 355 \times 10^{-6}$ 之间, 钾长石的铅含量远高于全岩铅含量, 二者之比为1.5~10.6。全岩铅含量高者, 钾长石铅含量也高, 存在“水涨船高”的关系。分析结果显示, 钾长石中锌的含量远低于铅含量。其它造岩矿物如斜长石、黑云母、白云母、石英、角闪石、辉石含铅都远低于钾长石, 其中斜长石、白云母和黑云母含铅低于 20×10^{-6} , 石英、角闪石含铅低于 10×10^{-6} , 辉石含铅低于 8×10^{-6} 。

在时间上, 从太古宙到新生代, 全岩铅含量明显呈现上升趋势(图1)。由于我们选择的不同时代的岩石类型不同, 铅在时间演化上可比性差。在不考

[收稿日期] 2002-11-12; **[修订日期]** 2003-03-10; **[责任编辑]** 余大良。

[基金项目] 国家科技部攀登计划预选项目(编号:95-预-25)和国家重点基础研究规划项目(编号:G1999043208)联合资助。

[第一作者简介] 张 乾(1955年-), 男, 1981年毕业于成都地质学院, 获学士学位, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿床地球化学研究工作。

虑岩石形成的构造环境的前提下,同类岩石相比,滇西新生代碱性岩比河北东坪中元古代碱性岩含有更高的铅,前者铅含量高出后者 6~10 倍;中生代钾长

花岗岩含铅也明显高于中元古代的同类岩石。这说明随时代变新铅含量不断增高的趋势是存在的。

表 1 不同时代岩石及钾长石中 Pb 含量

采 样 位 置 及 岩 性			样品号	全 岩	钾 长 石	钾长石/全岩	
太古宙	吕梁群山西交城 (>2500Ma)	混合花岗岩片麻岩	CE31	25	75	3.0	
		混合花岗岩片麻岩	CE32	18	82	4.6	
		混合花岗岩片麻岩	CE33	14	99	7.1	
		混合花岗岩片麻岩	CE34	10	106	10.6	
早元古代	内蒙古乌拉山群(1900~2400Ma)	红色混合片麻岩	IM-1	12	84	7.0	
		混合片麻岩	IM-2	17	62	3.6	
		条带状混合岩	IM-3	19	109	5.7	
		条带状混合岩	IM-4	14	91	6.5	
中元古代	内蒙古白云常合山(1648Ma)	黑云母钾长花岗岩	IM-37	28	211	7.5	
		黑云母钾长花岗岩	IM-38	31	143	4.6	
		黑云母钾长花岗岩	IM-39	34	108	3.2	
		黑云母钾长花岗岩	IM-37	28	211	7.5	
	河北东坪(1600Ma)	正长岩	DP-3	13	82	6.3	
		碱性正长岩	DP-4	21	110	5.2	
		石英正长岩	DP-18	16	78	4.9	
		正长岩	DP-19	22	91	4.1	
		碱性正长岩	DP-20	19	97	5.1	
		中元古代	内蒙古额仁陶勒盖	黑云母钾长花岗岩	E-128	21	136
		黑云母钾长花岗岩	E-129	30	162	5.4	
		黑云母钾长花岗岩	E-130	66	129	2.0	
		黑云母钾长花岗岩	E-131	53	144	2.7	
中生代	广东连山	花岗斑岩	FC32	30	133	4.4	
		花岗斑岩	FC33	27	106	3.9	
		花岗斑岩	FC37		86		
	新生代	云南姚安	正长斑岩	YA36	81	324	4.0
			正长斑岩	YA37	92	263	2.9
			黑云母正长斑岩	YA38	105	202	1.9
			石榴石响岩	YA55	121	314	2.6
		石榴石响岩	YA56	88	198	2.3	
		正长伟晶岩	YA62	220	355	1.6	
		正长斑岩	BY1	127	186	1.5	
新生代	云南北衙	正长斑岩	BY2	155	238	1.5	
		石英正长斑岩	BY23	96	154	1.6	
		石英正长斑岩	BY31	137	217	1.6	

分析方法:原子吸收光谱;测试单位:中国科学院地球化学研究所;测试时间:2000年6月。

钾长石中铅含量随时间推进而增高的趋势更加明显(图1)。从岩石类型来看,以滇西碱性岩中的钾长石含铅最高,含量在 $154 \times 10^{-6} \sim 355 \times 10^{-6}$ 之间,类似岩性的河北东坪碱性岩中的钾长石含铅在 $78 \times 10^{-6} \sim 110 \times 10^{-6}$ 之间。根据部分岩石中主要造岩矿物及其铅含量计算得出,早元古代、太古宙岩

石由于钾长石所占比例小,钾长石所拥有的铅约占岩石总铅含量的 10% 以下,钾长花岗岩类、花岗斑岩类、正长斑岩类岩石中钾长石含量达 50%~70%,钾长石中的铅约占全岩总铅量的 70%~95%。可见中元古代以来的中酸性、碱性岩浆岩中的铅主要存在于钾长石矿物中。

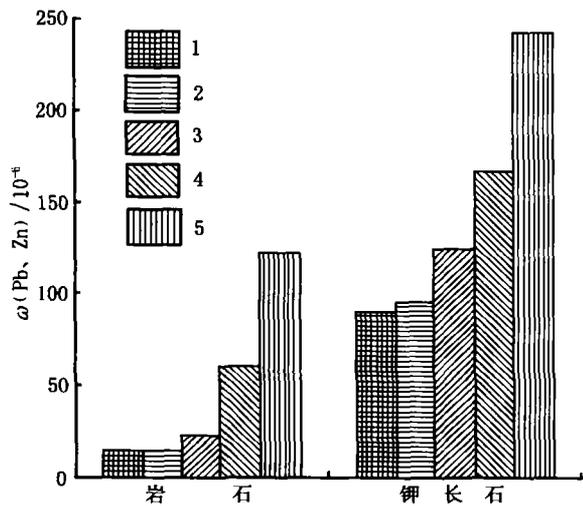


图1 不同时代岩石及钾长石铅含量对比

1—太古宙;2—早元古代;3—中元古代;4—中生代;5—新生代

2 钾长石中的铅在蚀变过程中的变化

广东连山地区燕山期的花岗斑岩及钾长石斑晶

分别含铅 $27 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ 和 $87 \times 10^{-6} \sim 133 \times 10^{-6}$ (表1),斑晶大者可达 $50 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 。经目测和显微镜鉴定发现,多数钾长石斑晶遭受了不同程度的绢云母化,在断裂、裂隙发育部位,钾长石斑晶发生了硅化蚀变。有些斑晶边部蚀变强,内部蚀变弱,有些则反之,部分大斑晶中心部位新鲜未蚀变。钾长石蚀变后颜色变浅,随蚀变程度的不同,褪色的程度也不同,新鲜未蚀变者为肉红色。

根据目测和显微镜鉴定结果,从未蚀变的斑晶中心选出新鲜钾长石,从不同斑晶部位选择不同蚀变程度的钾长石,由于钾长石的蚀变程度很难量化,所以将其分为未蚀变(或轻微蚀变)钾长石、弱(强)绢云母化钾长石、弱(强)硅化钾长石,共17个样品,分析了其中的铅含量(表2和图2)。

从表1及表2可以看出,3个未蚀变(或轻微蚀变)钾长石含铅 $86 \times 10^{-6} \sim 133 \times 10^{-6}$,平均 108×10^{-6} 。从表2可以看出,肉眼看上去新鲜的钾长石具有轻微蚀变,其铅含量比新鲜钾长石略有降低,为

表2 钾长石蚀变过程中铅含量的变化

样品号	岩石名称	测定对象	长石特征	未蚀变(或轻微蚀变)钾长石 Pb 含量	蚀变钾长石 Pb 含量			
					弱绢云母化	强绢云母化	弱硅化	强硅化
3*	花岗斑岩	钾长石斑晶	未蚀变	108				
FC38	花岗斑岩	钾长石斑晶	弱绢云母化	75	49			
FC39	花岗斑岩	钾长石斑晶	弱绢云母化	94	34			
FC42	花岗斑岩	钾长石斑晶	强绢云母化		37	19		
FC24	花岗斑岩	钾长石斑晶	强绢云母化			23		
FC14	花岗斑岩	钾长石斑晶	弱硅化	99			33	
FC2	花岗斑岩	钾长石斑晶	弱硅化	93			29	15
FC1	花岗斑岩	钾长石斑晶	强硅化	71			31	18
FC8	花岗斑岩	钾长石斑晶	强硅化					11

*表1中3个未蚀变钾长石样品平均值;分析方法:原子吸收光谱;测试单位:中国科学院地球化学研究所;测试时间:2000年6月。

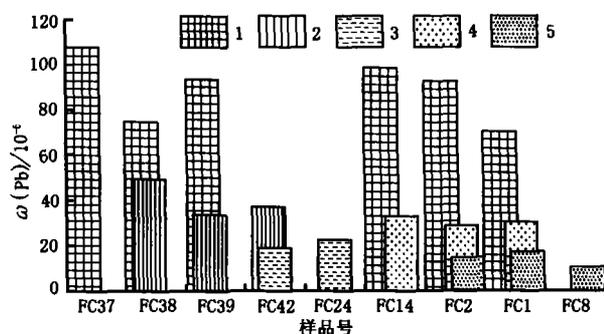


图2 钾长石中的铅在蚀变过程中的变化

1—未蚀变(轻微蚀变)钾长石;2—弱绢云母化钾长石;3—强绢云母化钾长石;4—弱硅化钾长石;5—强硅化钾长石

$71 \times 10^{-6} \sim 99 \times 10^{-6}$ 。钾长石蚀变后铅含量明显降低(图2),弱绢云母化后铅含量为 $34 \times 10^{-6} \sim 49 \times$

10^{-6} ,强绢母化云后铅含量为 $19 \times 10^{-6} \sim 23 \times 10^{-6}$,弱硅化后铅含量为 $29 \times 10^{-6} \sim 33 \times 10^{-6}$,强硅化后铅含量仅为 $11 \times 10^{-6} \sim 18 \times 10^{-6}$ 。蚀变生成的绢云母、微粒石英含铅低的现象与岩石中原生云母类矿物和石英低的含铅性是一致的。说明在蚀变过程中,钾长石所含的铅没有全部进入新生成的蚀变矿物中,而是大量析出转移到了流体相。实际上,岩石中的斜长石、角闪石、辉石等造岩矿物中高含量的锌,在蚀变过程中也会大量析出进入流体相。

3 钾长石中铅与成矿的关系讨论

姜齐节(1994)认为,岩浆岩含钾性与金属矿床的形成有重要关系,含钾性的高低主要决定于钾长石含量^[7]。钾长石是岩浆岩中重要的造岩矿物。

一般来说,钾长石的蚀变是在流体参与下发生的,蚀变产物(绢云母化:绢云母;硅化:石英)含铅比钾长石低得多,那么钾长石损失的这部分铅进入流体是毫无疑问的。在地质过程中,钾长石是最易于遭受蚀变的矿物之一,即使在低温条件下也容易发生蚀变。架状结构的钾长石转变为层状含水的(或含 F, Cl)云母类矿物,矿物相的转变是铅析出的根本原因。如果岩石富含钾长石(如钾长花岗岩中钾长石含量可达 50% ~ 60%,正长岩中钾长石含量会更高),当其蚀变后,就会有大量的铅进入流体而形成含铅流体^[8]。这种含铅流体极有可能就是单铅矿床或富铅矿床的物质来源。

地球上许多铅矿床的例子都与富钾的岩浆活动或富钾长石的岩浆岩、变质岩有关。如云南北衙铅矿和姚安铅矿,就是富钾岩浆活动来源的含铅热液直接成矿的例子。事实上,绝大多数钾质岩浆活动并没有直接形成铅矿床,与岩浆活动有直接关系的铅(锌)矿床都与中—酸性岩浆活动有关。一个可能的解释是:在富钾岩浆分异—结晶过程中,岩浆所带来的铅基本上都进入钾长石等造岩矿物中,没有多余的铅形成含铅成矿流体。然而进入钾长石中的铅对后期铅的成矿是非常有利的,这方面的例子比富钾岩浆直接成矿的例子多得多。如我国山西的西榆皮铅矿床是早元古代黑云花岗片麻岩(19 ~ 23 亿年)中的铅在中元古代经改造而成矿,矿石有用元素为铅,锌含量达不到工业品位, Pb/Zn 为 4 ~ 6, 岩石中钾长石含铅 $99 \times 10^{-6} \sim 150 \times 10^{-6}$ 。根据我们对矿石中方铅矿与变质岩中钾长石铅同位素组成的分析,方铅矿(7 个样品) $^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 14.652 ~ 14.825, $^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 14.900 ~ 15.707, $^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 33.971 ~ 34.508, 钾长石(4 个样品)铅同位素比值各为: $^{206}Pb/^{204}Pb = 14.480 \sim 15.007$, $^{207}Pb/^{204}Pb = 14.675 \sim 15.136$, $^{208}Pb/^{204}Pb = 33.807 \sim 34.734$, 二者具有一致的铅同位素组成,说明铅的来源与钾长石有密切关系;波罗的海地盾边缘的 Laisval、Vassbo、Osen、Kluken、Garrogaissa 等砂岩型铅矿(少锌)的铅主要来自赋矿层下伏的中元古代花岗岩—碱性岩基底,花岗岩—碱性岩中的长石含铅 $100 \times 10^{-6} \sim 200 \times 10^{-6}$, 矿石的铅同位素组成与长石接近^[9~11];在我国,辽宁柴河、关门山、浙江乌岙等铅(锌)矿床的铅也都是来自基底岩石,如乌岙铅(锌)矿床,铅同位素组成显示铅来自基底中元古代片麻岩,片麻岩中的斜长石含铅可达 35×10^{-6} , 钾长石含铅达 155×10^{-6} ^[12],但是由于岩石中钾长石含量

较低(一般 < 10%),而富集锌的斜长石和角闪石等矿物含量高于钾长石,所以矿床中 $Pb < Zn$, Pb/Zn 比值为 4 左右。科拉超深钻在 9km 深处发现含矿流体,在 9.2 km 深处存在由这种流体引起的矿化,矿质是由太古代片麻岩提供的^[13]。

地质历史中,富含钾长石的岩石如正长岩、钾长花岗岩、含钾长石的变质岩等于中元古代开始大量出现,早元古代及其以前这类岩石很少。铅的成矿大量出现于中元古代,早元古代及其以前很少有富铅矿床形成。这种时间上的同步性可能意味着二者之间成因上的联系。

钾长花岗岩、正长岩等富含钾长石的岩石,钾长石含量可达 50% 以上,其中所含的铅占全岩铅的比例在 70% 以上。这种岩石经后期改造,正如波罗的海地盾基底的富钾长石岩浆岩一样,形成岩浆岩改造型铅矿床。

大多数铅锌矿床的 Zn/Pb 比值大于 1,多数在 4 以上。也就是说,多数铅锌矿床以锌为主,单独的铅矿床很少。这与自然界富钾长石的岩石(包括岩浆岩、变质岩、沉积岩)远少于富斜长石岩石的现象惊人地一致。

与钾长石不同,斜长石、角闪石、辉石中锌含量比铅含量高出数倍甚至一至二个数量级。据我们分析,中酸性岩浆岩中最富锌的矿物是角闪石,其次是黑云母和斜长石。这些矿物也是易蚀变矿物,当其蚀变后,锌大量析出,当角闪石和黑云母发生绢云母化或硅化时,还会有铁析出。这种模式有可能形成富锌和铁的流体,由这种流体形成的矿床会以锌为主。理论上,这种地质过程可以发生于所有类型的岩石中。在各种时代的地质体中,富钾长石的岩石,其量远少于富斜长石和角闪石以及钾长石和其它矿物同时存在的岩石。后者包括了基性岩、中—酸性岩、变质岩、沉积岩的广大岩石类型。可以肯定地预测,这种岩石经改造,所形成的必然是锌 > 铅的铅锌矿床。热水沉积型铅锌矿床、与中—酸性岩浆活动有关的铅锌矿床都是这种矿床类型的例子。

由于岩石中不同的成矿元素分布在不同的造岩矿物中,而不同矿物由于其溶解度及抗蚀变能力的不同,其中所含成矿元素析出的难易程度和析出的量是不同的,因而会形成不同元素组合的成矿流体,这可能正是造成成矿元素分异的主要原因之一。

4 结论

1) 钾长石是含铅最高的造岩矿物。富含钾长

石的岩石如钾长花岗岩、正长岩等,钾长石含量占50%以上,所含的铅占全岩总铅量的70%以上。

2) 钾长石发生绢云母化、硅化蚀变时,所含的铅大量析出,蚀变越强,铅析出越多。从钾长石中析出的铅进入流体相形成含铅流体,则有可能形成铅矿床。

3) 成矿元素都存在于不同的造岩矿物中,不同岩石类型具有不同的矿物组合,而不同矿物其溶解度和抗蚀变能力不同,成矿元素析出的难易程度及析出的量也就不同。因而,成矿元素在岩石及造岩矿物中的含量及其变化有助于解释成矿过程中成矿元素的来源及分异机理。

由于测试手段的限制,本文未讨论铅在钾长石矿物中的存在形式等理论问题。但从铅的高含量及在蚀变过程中的变化这些宏观现象来看,对其进一步研究是有重要意义的。

[参考文献]

- [1] Wedepohl K H. Handbook of Geochemistry[M]. Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1974, II(4): 82 - C - 1 ~ 82 - O - 1.
- [2] 王 楫,李双庆,王保良,等. 狼山-白云鄂博裂谷系[M]. 北京:北京大学出版社,1992.
- [3] 曹 林,曲以秀. 内蒙古大青山一带早元古宙钾长花岗岩系的深熔成因及构造环境[J]. 长春地质学院学报,1996,26(1): 24 ~ 30.
- [4] 莫测辉,梁华英,王秀璋. 冀北水泉沟碱性杂岩体锆石 U - Pb 定年[J]. 科学通报,1997, 42(1): 75 ~ 77.
- [5] 梁华英,莫测辉,王秀璋. 张家口水泉沟碱性杂岩单颗粒锆石的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄分析[J]. 地球化学,1998, 27(1): 59 ~ 65.
- [6] 黎 彤,倪守斌. 中国大陆岩石圈的化学元素丰度[J]. 地质与勘探,1997,33(1): 31 ~ 37.
- [7] 姜齐节. 论岩浆岩含钾性的地质意义[J]. 地质与勘探,1994, 30(1): 1 ~ 6.
- [8] 张 乾. 围岩的含矿性与铅锌成矿的关系[J]. 地质与勘探, 1989,25(9): 1 ~ 7.
- [9] Richard D T, Willden M Y, Marinder N E, Donnelly T H. Studies on the genesis of the Laisvail sandstone lead - zinc deposit, Sweden[J]. Econ. Geol., 1979, 74: 1255 ~ 1285.
- [10] Arne B and Ralph I T. The source of lead in the Osen sandstone lead deposit on the Baltic shield, Norway[J]. Econ. Geol., 1982, 77: 430 ~ 440.
- [11] 张 乾. 砂砾岩型 Pb - Zn 矿床的地质特征、时空分布规律及形成机制[J]. 地质与勘探,1988,24(8): 8 ~ 17.
- [12] 涂光炽. 华南元古宇基底演化及其成矿作用[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [13] 卡赞斯基 V I. 科拉超深钻:期望与结果[J]. 长春地质学院学报,1996, 26(4): 368 ~ 370.

LEAD IN POTASSIUM FELDSPAR AND CONTRIBUTION TO MINERALIZATION

ZHANG Qian¹, LIU Zhi - hao¹, QIU Yu - zhuo¹, GAO Ji - yuan², WANG Yi - xian²

(1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Abstract: Potassium feldspar from the middle - acidic and alkaline igneous rocks, gneiss and migmatite possesses the highest lead in comparison with the other rock - forming minerals such as quartz, plagioclase, hornblende, pyroxene, etc. Lead contents in potassium feldspar are 2 to 10 times of the whole rocks, 3 to 16 times of mica and 6 to 32 times of quartz. The rocks of early Proterozoic and Archaean contain the lower potassium feldspar and lead number in potassium feldspar is lower than 10% of lead in the whole rocks. The alkaline rock, kali - granite and metamorphic rocks contain higher potassium feldspar, which content in some rocks may reach 50% to 70% in volume. Lead in potassium feldspar from these rocks reaches the weight of 70% to 95% of the whole rock lead. Potassium feldspar is easily altered and entered generally into sericite, calcite and quartz, etc. In this alteration process, a great quantity of lead in potassium feldspar is released and get into fluids so that to form the ore - forming fluids. Therefore, it is inferred that such changes of lead in potassium feldspar can provide the ore - forming material for late Pb mineralization.

Key words: rock, potassium feldspar, lead, changing characteristics, mineralization