

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

论超基性岩体的蛇纹石化问题

贾 炳 文

蛇纹石化是超基性岩体发育最广泛的蚀变现象,它实质上是由不含水的铁镁质硅酸盐—橄榄石、辉石等蚀变为含水的硅酸盐—蛇纹石的过程。

鉴于超基性岩体是许多重要矿产(如铬、镍、钴、铂、金刚石、石棉等)的母岩,而其本身的蚀变现象对原岩岩性的恢复、矿床的分布和富集都有影响。因此对蛇纹石化的机理进行深入的分析和研究,对找矿勘探工作有一定的现实意义。

蛇纹石化的成因,长期以来,一直是广大岩石学工作者争论的问题之一。而争论的中心,乃是引起蛇纹石化的水分来源问题。归纳起来,有两种不同的观点:第一种观点认为水分来自母岩浆本身,即所谓自变质说;第二种观点认为水分来自周围较晚期的酸性侵入体,而与母岩浆无关,即所谓它变质说。

笔者在多年的教学和科研实践过程中,曾先后到北京 Y 区、河北 G 区、内蒙 S 区以及安徽 Sh 区等地,对超基性岩体进行了一定的工作,特别注意了广泛发育的蛇纹石化。根据野外观察和室内的研究,发现上述岩体有如下几方面的共同特征:

(一) 在这些岩体的周围,一般不出现晚期较酸性的岩浆活动,但它们本身蛇纹石化的强度和规模往往很大,其中纯橄榄岩、斜辉辉橄岩几乎全部蚀变为蛇纹岩,很少有原岩保留,甚至在薄片,连橄榄石残晶都极难发现。其中如 G 区岩体, S 区岩体表现最为突出。

(二) 超基性岩体与围岩的接触带,没有发现较高温的接触变质现象,如 G 区橄榄岩体与围岩的接触带只见到 1—5 米的绿泥石化和绿帘石化;内蒙 S 区岩体与围岩的接触带一般也只有绿泥石化、绢云母化及微弱的角闪岩化,蚀变带的宽度一般不足 10 米;而 Y 区岩体围岩蚀变更为微弱,只局部有碳酸盐化和绿泥石化。这些现象说明,岩体在侵入过程中温度并不很高。

(三) 不同类型超基性岩体的蛇纹石化强度往往受原岩岩性的控制。总的来说,蛇纹石化的强度由纯橄榄岩、斜辉辉橄岩、橄榄岩、斜方辉石岩、单斜辉石岩的顺序依次减弱。举例如下:

(1) 北京 Y 区岩体:主要由紫苏辉石岩和二辉岩组成,显微镜下观察,前者蛇纹石化强度可达 30—40%,而后者仅占 10%。

(2) 河北 G 区岩体:主要由纯橄榄岩和透辉岩组成,前者 95% 以上全部蛇纹石化;而后者蛇纹石化部分不足 5%,而且仅沿裂隙发育。

(3) 内蒙 S 区岩体:主要由纯橄榄岩、斜辉辉橄岩组成,前者呈分离体状分布于后者之中,但在同一高度的剖面上,纯橄榄岩全部变为蛇纹岩,而斜辉辉橄岩常保留 3—5% 的辉石残晶。

(四) 蛇纹石化往往可达相当大的深度。如 S 区岩体在深达 700 米, G 区岩体深达

500 米的钻孔中,蛇纹石化仍十分强烈。笔者曾对 G 区岩体岩芯标本在显微镜下作了定量矿物统计:上部橄榄石残晶含量不足 1%,而向下可增至 5%;但在 S 区岩体, Y 区岩体及 Sh 区岩体中却看不出这种现象。

根据 A. H. 扎瓦里茨基的报道:苏联塔吉尔超基性岩体,在深 450 米处,蛇纹石化强度发生突变,深处蛇纹石化不超过 5%,而在浅处却达 80—90%。

上述事实说明,超基性岩体蛇纹石化自上而下强度递减的趋势并不是固定的。这取决于很多因素;如冷凝裂隙发育程度,挥发分的聚集状态以及岩体的侵入深度等。在这些因素没有充分阐明之前,泛论蛇纹石化的规律是不可能的。

(五) 蛇纹石化的强度,明显地受岩体原生节理裂隙的控制:笔者对 Y 区岩体作了两个剖面的定量矿物统计,发现靠近原生节理的边缘部分,蛇纹石含量可达 76—82%,而在两组原生节理的中央部分,蛇纹石含量仅占 15—30%,而且分布零散。G 区岩体, S 区岩体及 Sh 区岩体均表现出同样的规律:即在原生节理的边缘部分的薄片几乎全部由蛇纹石组成,而在两组原生节理之间,橄榄石残晶可达 2—5% 或更多;而在原生节理密集发育的地段,整个岩石几乎全部蛇纹石化,很少发现橄榄石残晶。

相反,在上述岩体次生节理裂隙两侧却未发现这样的规律。

(六) 通过对上述地区超基性岩体矿物组合的共生分析,发现了和鲍文、图特尔^[2]所作 $\text{MgO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系实验相当的全部矿物的共生组合,即和蛇纹石相伴生的矿物除作为交代残余的橄榄石、斜方辉石外,还见到大量的水镁石、滑石等一系列蚀变矿物,这表明由橄榄石转变为蛇纹石存在着一系列的过渡阶段。

特别有趣的是在 G 区, S 区岩体中,发现较富的铬铁矿体多集中在蛇纹石化较强的部位。这种现象证明,挥发份对铬铁矿的富集有着一定的影响。

(七) 笔者对 Y 区岩体未经蛇纹石化的原岩——橄榄紫苏岩和经过强烈蛇纹石化的“绢石岩”作了化学全分析,并将分析结果去掉 H_2O 和 CO_2 后作了重新计算,列表如下:

岩 石 \ 氧化物%	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	CO_2	H_2O	P_2O_5
橄 榄 紫 苏 岩	47.03	8.86	3.58	9.69	19.01	7.90	1.30	0.68	0.14	0.91	—
“绢 石 岩”	40.20	1.48	6.74	6.74	29.86	0.48	0.13	0.07	0.10	14.16	—
去 H_2O , CO_2 各重新计算											
橄 榄 紫 苏 岩	47.86	9.04	3.65	9.88	19.39	8.06	0.32	0.70			
“绢 石 岩”	47.06	1.74	7.57	7.87	34.95	0.56	0.15	0.08			
分 析 者	原 北 地 院 化 学 分 析 室										

由上表可见,与橄榄紫苏岩相比较,经蚀变后的“绢石岩”中 MgO 和 H_2O 显著增加, Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O 却显著减少,而 SiO_2 前后变化不大。这就清楚地表明,岩体在蛇纹石化过程中,不仅未受晚期酸性岩浆活动的影响,反而伴随着 Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O 的淋失。

根据我们的研究^[1],本区由紫苏辉石蚀变而成的“绢石”,实际上是蛇纹石族矿物的特殊变种,命名为铁鳞石(*Ferrolizardite*)。它呈暗棕绿色鳞片状集合体,沿解理裂隙交代紫苏

石,有时保留其假像。显微镜下呈淡黄至褐绿色;多色性明显: $N_g = N_m$: 褐至褐绿色, N_p : 淡黄色至无色;折光率: $N_g = 1.5861 - 1.5865$, $N_m = 1.5857 - 1.5860$, $N_p = 1.5678 - 1.5681$, $N_g - N_p = 0.0184 - 0.0188$;光性方位: $N_g = a$, $N_m = b$, $N_p = c$;化学结构式为: $(Mg_{5.7}Fe_{0.2}Al_{0.17})(Si_4O_{10})(OH)_8$;晶胞参数: $a = 5.35 \text{ \AA}$, $b = 9.2 \text{ \AA}$, $c = 7.2 \text{ \AA}$, $\beta = 90^\circ$ 。

(八) 对上述岩体的野外观察,未发现岩体本身或围岩有显著变形的迹象,同时根据大量薄片的显微镜下鉴定,发现蚀变后的岩石常保留完整的橄榄石或辉石假像,新析出的磁铁矿粉末也呈直线状分布,未见明显弯曲的现象。这些现象都表明蛇纹石化后岩石体积发生膨胀的说法是没有根据的。

根据以上几点,笔者认为,超基性岩体蛇纹石化的他变质说不能普遍应用。它无法解释在完全没有晚期酸性岩浆或其他热液活动的地区能产生大规模的蛇纹石化;无法解释蛇纹石化的强度如此有规律地受岩体冷凝裂隙(原生节理)的控制,而与次生裂隙无关;也无法解释蛇纹石化前后,岩石体积没有显著改变,而化学成分却有明显变异(如 Y 区岩体经蛇纹石化后 MgO , H_2O 增高而 Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O 降低);更无法解释蛇纹石化对铬铁矿分布和富集的影响。当然其他一些因素,如超基性岩体的围岩蚀变不强,蛇纹石化的强度受原岩岩性的控制等,也是它变质假说所不能圆满解释的。因此,许多超基性岩体蛇纹石化的根本原因,应该主要从原始岩浆本身去找。

关于超基性岩浆中水分存在的可能性,为鲍文、图特尔所作的 $MgO-SiO_2-H_2O$ 三元系实验所证实。因此,愈来愈多的学者,都同意超基性岩浆中可以含有一定量水分,而争论的关键在于超基性岩浆中水分含量的多少,以及这些水分是否足够引起大规模的蛇纹石化。因为根据格朗松等人的实验证明,超基性岩浆中含水量不超过 8%,而要使超基性岩体全部蛇纹石化,必需有 12—15% 的水分。因此,尚有一些学者仍然怀疑原始岩浆中所含少量水分是否是引起蛇纹石化的主要因素。

笔者认为,这种怀疑是不必要的。首先格朗松等人的实验,只是在实验室进行的,与自然条件有相当大的差距;其次在超基性岩体中蛇纹石化是不均匀的,它常集中在岩体的一定部位及原生节理最发育的地带,而且受原岩岩性的控制,即蛇纹石化最强的岩性发生在纯橄榄岩及斜辉辉橄岩中,而辉石岩则大大减弱。因此超基性岩的蛇纹石化完全可以通过岩浆内部析出的水分来完成,无需借助于其他的来源。

根据近十多年来许多学者的研究,大都认为超基性岩浆来源于上地幔的橄榄岩壳,在地壳运动影响下侵入到深大断裂带中形成岩体。由于其中富含挥发组分(主要是 H_2O)产生巨大的内压力,促使岩浆向压力减低的方向运移,而在运移的过程中,伴随着温度的逐渐降低,部分岩浆开始结晶。鲍文和图特尔的实验说明:由于岩浆中挥发份的存在,大大降低了岩浆的结晶温度(如橄榄石结晶温度可由 1890°C 降低到 500°C ,而顽火辉石可由 1140°C 降低到 700°C),即超基性岩浆只有冷却到 $500-700^\circ\text{C}$ 时才开始结晶。显然在这样的低温状态下,不足以使围岩产生强烈的接触变质作用。而在此温度以上,由于水蒸汽对于顽火辉石和橄榄石来说是惰性的,故不能发生“岩浆期的蛇纹石化”,如同赫斯等人所假想的那样:残余岩浆中的 H_2O 和 SiO_2 与浮游于其中的橄榄石、辉石发生反应而形成蛇纹石。相反,蛇纹石化乃是一种更晚期的蚀变,即当岩浆基本凝固之后,温度继续下降至

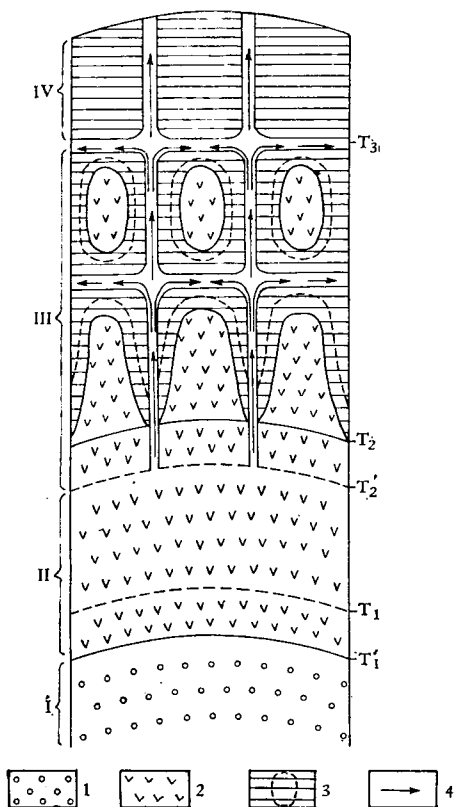
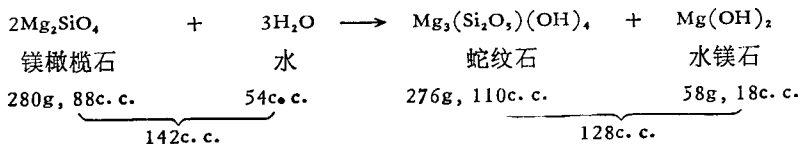
400℃以下,岩体开始出现冷凝裂隙,岩浆期后的残余溶液(主要是 H₂O)开始顺着这些冷凝裂隙向上部迁移,聚集在某些张力裂隙带中,并沿着这些裂隙带周围的粒间和粒内间隙,发生一系列的交代作用,使橄榄石和辉石发生蛇纹石化。当然这种以交代为主的蛇纹石化并不是一次完成的,可以分为多次,这取决于残余溶液中挥发份的聚集程度,构造-岩

浆活动的次数。当温度下降到 300℃ 以下时,残余的硅酸盐溶液还可以胶体状态充填裂隙形成胶蛇纹石和纤维蛇纹石-石棉脉。

为了进一步阐述自变质蛇纹石化的演变,试用左面的理想图解来说明其在纵剖面上的演化过程:

如左图所示:在剖面的下部,位于深处的超基性岩浆(I带),冷却到相当于等温线 T₁(500—700℃)时,岩浆开始结晶,形成橄榄岩(由于构造-岩浆活动,这一等温线可在 T₁—T'₁的间隔内波动)。剖面的中部,相当等温线间隔在 T'₁—T'₂(500—400℃)之间的区域,是橄榄岩主要形成部位(II带)。温度下降至等温线 T'₂以上(<400℃)时,橄榄岩开始出现冷凝裂隙(原生节理),这时由橄榄岩带析出大量富含挥发份的热液充填其中,并沿裂隙向上运移(如箭头所示),通过粒间或粒内间隙逐渐交代橄榄岩而形成蛇纹石化橄榄岩(III带)。蛇纹石化的强度由两组冷凝裂隙的边缘向中央逐渐减弱,而在中央部分常保留未受蛇纹石化的橄榄岩残体(由于构造-岩浆活动蛇纹石化的下限可在 T₂—T'₂之间波动)。而当温度降至 T₃时(约 300℃)橄榄岩全部蚀变为蛇纹岩。温度继续降低,即等温线位于 T₃以上时(IV带),残余富含镁质的硅酸盐胶体溶液充填裂隙,形成胶蛇纹石细脉;或结晶为纤维蛇纹石-石棉脉。

由于蛇纹石化过程中,水分来自岩浆本身,因此,在蛇纹石化前后,体积并不发生显著的变化。根据上述地区蛇纹石化岩体中经常有大量水镁石的伴生,可用以下化学反应式表示:

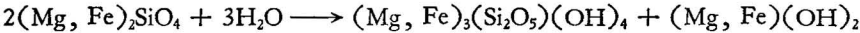


超基性岩体蛇纹石化在纵剖面上的演化示意图

I 超基性岩浆带 II 超基性橄榄岩带 III 蛇纹石化橄榄岩带 IV 纤维蛇纹石-石棉形成带
T₁ 超基性岩浆开始结晶的等温线(依鲍文、图特尔 500—700℃) T'₁ 超基性岩浆结晶作用停止下降的等温线 T₂ 蛇纹石开始形成的等温线(依鲍文、图特尔 400℃) T'₂ 蛇纹石化停止下降的等温线 T₃ 纤维蛇纹石-石棉开始沿裂隙结晶的等温线(依鲍文、图特尔 300℃) 1. 超基性岩浆 2. 橄榄岩 3. 蛇纹岩及蛇纹石化晕圈(虚线) 4. 由橄榄岩带析出的富含挥发分的溶液沿冷凝裂隙运移的方向。

由上述反应式可见,蛇纹石化后岩石体积不仅不膨胀,反而减少约 5—10%。

但自然界完全由镁橄榄石组成的超基性岩很少,常混有不等量的铁橄榄石分子,故上述反应式可以改写如下:



其中 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 经过氧化形成磁铁矿,呈粉末状集合体,沿蛇纹石网脉的边缘呈直线状分布。

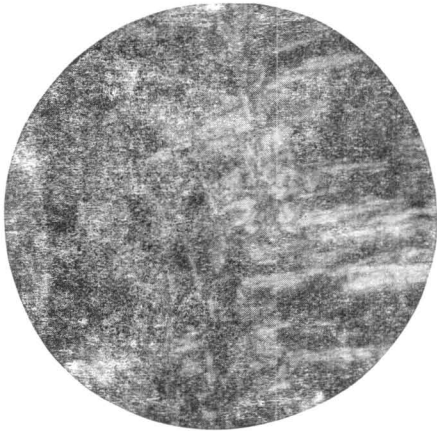
对 G 区岩体的岩石薄片进行系统的研究表明,蛇纹石族矿物的形成顺序可划分为两个不同的世代:第一个世代表现在橄榄石为胶蛇纹石和叶蛇纹石所交代;第二个世代,主要表现在晚期胶蛇纹石、纤维蛇纹石和石棉的形成上。

在以交代作用为主的第一世代,橄榄石在富含挥发份的溶液作用下,首先通过胶体阶段形成胶蛇纹石,以后又由胶蛇纹石重结晶为叶蛇纹石。

在重结晶的初期,胶蛇纹石首先沿某些显微裂隙隙局部转变为叶蛇纹石(见显微照片),随着重结晶作用进一步发展,胶蛇纹石可全部重结晶为叶蛇纹石,有时在中心部分残留少量胶蛇纹石“残体”,形成特殊的网状结构。

蛇纹石形成的第二世代,是由残余富含镁质的硅酸盐胶体溶液充填岩石裂隙而成。由于此时温度较低($< 300^\circ\text{C}$),一般不与围岩发生反应或交代。如冷却迅速,则直接形成胶蛇纹石细脉;如冷却缓慢,则可形成纤维蛇纹石-石棉脉。

当然,纤维蛇纹石石棉的形成并不是只能在自变质蛇纹石化的晚期才能形成。如新疆某地纤维蛇纹石石棉矿床可能是酸性热液交代超基性岩体,生成大量富含镁质的硅酸盐溶液充填于次生构造裂隙而成;而山西某地纤维蛇纹石石棉矿床则是晚期酸性溶液交代富含镁质的白云大理岩而成。但它们形成条件的共同特点是必需具有大量富含镁质的硅酸盐溶液,有适宜的构造裂隙作为充填通道,而且冷却缓慢,有利于纤维状晶体的发育。



显微照片

橄榄石全部为胶蛇纹石交代(黑色)沿胶蛇纹石显微裂隙重结晶为叶蛇纹石(白色)。正交偏光 8×10

柯尔尼洛夫^[7]、纳吉和福斯特^[3]、卡洛赛克^[4]、赫斯^[6]等人对各地超基性岩体中胶蛇纹石、叶蛇纹石、纤维蛇纹石作过化学分析,兹将其中 H_2O^+ 和氧化系数 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$) 经过重新换算,列表如下:

	胶 蛇 纹 石	叶 蛇 纹 石			纤 维 蛇 纹 石		
H_2O^+	11.78—12.69	12.36	12.18	12.20	12.87	14.04	13.46—14.80
$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	0.3—1.2	0—0.3	0.2	0.2—0.5	0.78—1.9	1.87	0.9—1.2
资 料 来 源	H. A. 柯尔尼洛夫 1961	B. 纳吉和 T. 福斯特 1956	H. H. 赫斯 1952	H. A. 柯尔尼洛夫 1961	H. A. 柯尔尼洛夫 1961	B. 纳吉 T. 福斯特 1956	G. L. 卡洛赛克 1957

由上表可见,晚期形成的纤维蛇纹石较早期形成的胶蛇纹石、叶蛇纹石具有较多的

H_2O^+ , 和较高的氧化系数。说明在超基性岩体蛇纹石化过程中水的饱和蒸气压和介质氧化电位有逐渐增高的趋势。

综上所述, 笔者认为超基性岩的蛇纹石化主要是自变质作用的产物。其形成过程是: 在岩浆冷凝的晚期, 析出大量富含挥发分的热水溶液, 饱和于早期结晶的矿物中, 并沿冷凝裂隙循环, 通过粒间或粒内间隙交代橄榄石或辉石等矿物, 使岩石局部或全部发生蛇纹石化。到了晚期, 才有以充填为主的胶蛇纹石和纤维蛇纹石的生成。交代的过程遵守等体积定律, 一般不发生体积膨胀。蛇纹石化过程中, 蛇纹石族矿物的形成可划分为两个世代: 第一世代是由热液作用于橄榄石或辉石, 通过胶体阶段形成胶蛇纹石, 以后又由胶蛇纹石逐渐重结晶为叶蛇纹石。其生成温度大致在 $300-400^{\circ}C$ 之间, 以交代作用为特点。蛇纹石形成的第二世代, 是在温度继续降低的情况下 ($<300^{\circ}C$), 残余富含镁质的硅酸盐胶体溶液, 充填岩石裂隙, 冷却迅速时, 形成胶蛇纹石细脉; 冷却缓慢时, 则结晶为纤维蛇纹石-石棉脉, 有时可形成有价值的石棉矿床。

至于那些明显地受晚期酸性岩浆活动的影响, 而使超基性岩体局部产生的蛇纹石化, 对某些纤维蛇纹石-石棉矿床的形成也有一定的影响, 值得进一步研究。

参 考 资 料

- [1] 贾炳文、郑敏 1964 铁鳞石—蛇纹石族矿物新变种。地质学报 44 卷 No. 1。
- [2] Bowen, N. L. and Tuttle, O. F. 1949 System $MgO-SiO_2-H_2O$. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 60.
- [3] Nagy, B. and Faust, G. T. 1956 Serpentine natural mixtures of chrysotile and antigorite. *Am. Min.*, Vol. 41, No. 11—12.
- [4] Kalousek, G. L. and Mutlart, L. E. 1957 Studies on the chrysotile and antigorite. *Am. Min.*, Vol. 42, No. 1—2.
- [5] Hess, H. H. 1933 Hydrothermal metamorphism of an ultrabasic intrusion. *Am. Jour. Sci.*, 5, Ser. XXVI.
- [6] Hess, H. H. 1952 Antigorite from the vicinity of Caracas Venezuela. *Am. Min.*, Vol. 37, No. 1—2.
- [7] Корнилов Н. А. 1961 К минералогии серпентинов. Зап. ВМО. ч. 90, Вып. 5.
- [8] Лодочников В. Н. 1933 Серпентины и серпентиниты и связанные с ними петрологические вопросы. Проб. сов. геол., № 5.

ON THE PROBLEM OF THE SERPENTINIZATION OF ULTRABASIC ROCKS

Jia Bingwen

Abstract

The viewpoints about the origin of the serpentinization of ultrabasic rocks stated in this paper are based upon the author's field investigation and laboratory research in Y, G, S, Sh, and other districts in China. The serpentinization of ultrabasic rock is chiefly the product of autometamorphism, occurred at the late stage of magma solidification, during which a great amount of hydrothermal solution rich in volatile fluid is left out, which circulates along the cracks of the cooling rock, and runs through the intergranular spaces of olivine and augite to form the serpentine by metasomatism. Later chrysotile is formed by infiltration. The course of metasomatism is in conformity with "equal volume law", i.e., with no volume inflation. In the course of serpentinization, the minerals of serpentine family may be divided into two generations. During the period of the first generation, the hydrothermal solution in a colloform stage acting upon the olivine or augite, forms the serpophite mineral, and later it alters to antigorite through crystallization. The temperature of its formation is about 300—400°C. During the second generation, serpentine is formed by the silicate colloidal solution which, rich in magnesium, infiltrates the cracks of the rocks. When it cools fast, veinlet serpophite is formed, and when cools slowly, chrysotile is formed.