

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

花岗岩中宇宙尘的发现及其地质意义

王吉珺、卓肇琨
(冶金工业部天津地质研究院)



昌黎-阜新构造岩浆钼金成矿带,沿NE向断裂带分布有中生代花岗岩体27处,以重熔岩浆花岗岩为主,交代花岗岩次之,包括I、A和S型三种花岗岩,分四期侵入,第三期花岗岩伴随有钼金多金属成矿作用,其中的11个不同期次不同类型的花岗岩体中发现有宇宙尘,可分为铁质空心球、铁质实心球和硅酸玻璃球状三种宇宙尘,组成矿物有磁铁矿、蔷薇辉石、石英、刚玉和锥纹石。花岗岩中宇宙尘的发现进一步证明该区花岗岩是壳源产物,而且这种源岩曾经出现在地表,接受宇宙降落物质,而后下沉重熔或交代改造生成花岗岩。

一、区域地质背景

1982年在昌黎-阜新地区,面积约15 000km²的范围内,对中生代花岗岩成矿系列的研究中,在11个花岗岩体中发现了宇宙尘,并做了初步研究。该区位于中朝准地台北部台褶带,其南东为山海关和医巫闾隆起,由太古界变质岩系组成,下部以变火山岩为主,上部变沉积岩增多;西北部为燕辽沉降带的元古-古生界冒地槽和海陆交互相沉积岩系,其上断续分布中生代的火山-沉积断陷盆地。古隆起和沉积带之间以青龙-锦西NE向断裂带为界,沿断裂带形成中生代花岗岩-钼金矿带。

青龙-锦西断裂带原为近EW向的古断裂,在中生代又遭受太平洋板块的推挤再次复活,并被一系列NNE和SN向的中生代断裂切割,由西向东分段依次北移,形如边幕状展布,各段中点的轨迹呈东北向延伸。这一构造机理正确地解释了受其控制的花岗岩体在产状上的特殊性,即单个岩体呈近EW向延长,而总体花岗岩带却呈NE向展布。该花岗岩带由北西向南东又可细分为三个亚带:(1)重熔岩浆型-交代富钠的S型花岗岩亚带,靠近燕辽沉降带一侧。(2)重熔岩浆I型花岗岩亚带,居于青龙-锦西构造岩浆带的中间。(3)交代富钾S型花岗岩-A型花岗岩亚带,居于古隆起一侧,而交代S型花岗岩集中在该亚带的北东段,A型花岗岩集中在南西段,并与侏罗系白旗-张家口组富碱火山岩系相伴产出,甚至其本身就是火山颈中的次火山岩相,如山海关后石湖山岩体。

二、中生代花岗岩特征简述^[1]

区内,面积大于5km²的花岗岩体计27处,最大的700km²左右,主要成多期的复式岩基和岩株,少数为单式小岩体。根据我们采集全岩样品由北京地质局实验室测定的Rb-Sr等时年龄,K-Ar等时年龄,参考冶金部天津地质研究院同位素室测定的(体积法)K-Ar最大表面年龄,将花岗岩分为四期:(1)印支中晚期,211—195Ma,如碱厂和河坎子岩体。(2)燕山早期,

190—172Ma, 如虹螺山、杨家杖子和大石柱岩体。(3) 燕山中期, 162—136Ma, 如虹螺山、杨家杖子和旧门复式岩体中的细粒花岗岩小岩体, 这些小岩体广泛形成斑岩型钼矿和接触交代型多金属矿。另外还有交代花岗岩如医巫闾山和石山岩体。(4) 燕山晚期, 小于136—100Ma, 如大黑山岩体和后石湖山、响山碱性花岗岩体。组成这些岩体的主要岩石有二长花岗岩、二长花岗岩斑岩、黑云二长花岗岩(片麻状)、黑云石榴二长花岗岩(片麻状)、花岗闪长岩、闪长岩、钠钾碱性花岗岩和钠碱性花岗岩。

按生成方式分为重熔岩浆花岗岩类和交代花岗岩类, 根据源岩分为I、S和A型花岗岩。各类岩石的简要特征列于表1。

总之, 除表1中所列特点以外, 该区花岗岩类与成因有关的特性还可以简要概括如下几点:

(1) 花岗岩类岩石共生组合中, 以花岗闪长岩—花岗岩为主, 闪长岩很少。在北松树砬石英二长闪长岩体中有大量浑园状二长闪长岩质的熔融残留体被石英闪长岩基质胶结, 显然是半重熔状态的固-液混合相侵入所成, 说明其重熔温度不甚高, 相对难熔组分还达不到中性岩成分。

(2) 相对富含 SiO_2 、 K_2O 、 F 、 Cl 、 CO_2 和 H_2O , 贫 FeO 、 CaO , 并且 $(\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO}) > 10$ 或 20 , 斜长石相对含量中 $\text{Ab} > \text{An}$, 这些特点表明该区花岗岩重熔温度不高, 因为花岗岩熔融温度往往随着挥发分含量、 $(\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO})$ 和 Ab/An 的增高而降低。

(3) 花岗岩成分比较均匀, 相对富含钾质浅色矿物, 贫暗色矿物, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \approx 0.860 \pm$, 主要为钾质系列岩石。 $\text{K}/\text{Rb} \approx 248 \pm$, $\text{Rb}/\text{Sr} = 0.07—8.06$ (远离于上地幔 $\text{Rb}/\text{Sr} = 0.025 \pm$), 均显示大陆壳属性。

(4) $\delta^{18}\text{O} = +7.4—+10.3\%$, 介于幔源与壳源之间, 但更趋近大陆壳型的特点, 明显高于玄武岩浆派生花岗岩, 近似于大陆壳重熔花岗岩(7—14%)。 $\delta\text{Eu} = 0.2—0.4$, 属亏损型, $\delta^{34}\text{S} = -1.9—+7.9\%$, 与基底变质岩系($\delta^{34}\text{S} = -0.6—+2.4\%$)比较近似, 但重硫偏高。以上表明花岗岩与基底变质岩系之间既有近似性和继承性, 又有明显的改造和分异性。

(5) 用巴尔特二长温度计计算各类花岗岩成岩温度为: 交代花岗岩类 $570^\circ—630^\circ\text{C}$, 重熔岩浆S型花岗岩类 $600^\circ—610^\circ\text{C}$, I型花岗岩类 $610^\circ—680^\circ\text{C}$, A型花岗岩类 680°C 。压力约为 $0.2—0.8\text{GPa}$, 相应的成岩深度当为 $10—25\text{km}$ 。对照王言中编制的莫霍面等深线图(1/100万), 该区莫霍面深度为 $32—40\text{km}$, 故成岩作用显然属于地壳范围中。

综合以上不难看出, 该区花岗岩类的起源基本上是在地壳范畴之内, 换句话说, 就是地壳重熔和交代而成的。I型和A型花岗岩的某些数据近似于幔源特征, 但考虑到太古界基底中存在大量的幔源中—基性火山岩系(绿岩), 当这些源岩被选择重熔时, 它的一些幔源特征被花岗岩继承下来是完全可能的。交代型与重熔岩浆型花岗岩往往是共存的, 是同一地质作用中不同作用方式的产物, 实际上是地壳物质不同改造程度的结果, 交代花岗岩虽非岩浆的直接冷凝产物, 但岩浆活动是生成交代花岗岩的必要条件。A型花岗岩生成较晚, 在空间上与侏罗纪白旗—张家口组富碱火山岩系相伴, 推测其重熔深度可能大些, 比较接近上地幔。该区太古界结晶基底含 Mo (Au)较高, 是克拉克值的4—6倍。因此太古界(可能包括早元古界)基底是花岗岩和钼矿、金矿的共同来源。至于接触带上的铅锌矿, 根据5个方铅矿的铅同位素资料(由宜昌地矿所同位素室测定), 是古老单阶段演化的正常铅, 模式年龄是 $1294.0—1146.2\text{Ma}$, 同翼北地区的震旦系中层状同生铅锌矿($1407—1177\text{Ma}$)基本一致。因此, 铅锌是震旦系围岩受热活化集中而成。

表 1 各类花岗岩特征对比⁽¹⁾
Table 1 Comparison of various granite features

特征类型 项目	重熔岩浆花岗岩类			交代花岗岩类	
	I 型	A 型	S 型	富钾 S 型	富钠 S 型
岩石组合	闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩	钠钾碱性花岗岩、钠碱性花岗岩	二长花岗岩	黑云石榴二长花岗岩、黑云二长花岗岩	黑云(石榴)二长花岗岩、花岗闪长岩
接触关系	侵入	侵入	侵入	侵位和渐变	侵位和渐变
残留体	角闪-闪长岩质		变沉积岩	片麻岩、石英岩、磁铁石英岩	同 左
岩石构造	块状、冷凝边、流动状	块状、冷凝边、流动状、晶洞状	块状、冷凝边、流动状	片麻状	片麻状
岩石结构	似斑状、斑状、等粒状	似斑、斑状、花斑状、微文象状	似斑、环斑、等粒状	交代、变斑、应力蠕英石	同 左
标型主矿物	条纹长石、正长石	微斜长石、钠闪石、霓辉石	条纹长石、环斑状正长石	微斜长石、微斜条纹长石、黑云母、白云母	同 左
标型付矿物	氟磷灰石、长柱状锆石、硫化物多	褐钨矿、曲晶石、白钨矿	金红石、钛铁矿、短柱状锆石	锰铝榴石、榍石、锆石(二个世代)	锰铝榴石、榍石、锆石(二个世代)、磁铁矿多
黑 云 母	富Mg			富Fe ²⁺ 、Mn	富Al、Fe ³⁺ 、Ti
磁 铁 矿	富Mg、Ni、Co、Cr		富Al、Ca	富Mn、Cu、Ti	富V、Cu、Ti
$\Sigma LRE/\Sigma HRE$	6.8	6.5		10.6	8.2
δEu	0.20	0.31		0.33	0.40
$\delta^{18}O(\text{‰})SMOW$	+7.4		+10.3		+7.6
$\delta^{34}S(\text{‰})$	-1.9—+7.9		+1.5—+5.9		+4.8—+6.7
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr初始值	0.7031				
暗色指数	32—2.3	7.9—1.4	8.9—6.3	13—3.4	7.5—4.4
A/CNK	0.85—1.02	0.83—0.93	1.11—1.28	1.04—1.07	1.03—1.09
Na ₂ O/K ₂ O	0.67—3.57	0.61—1.11	0.04—0.91	0.82—0.91	1.10—2.24
Rb/Sr	0.07—1.94	1.47	0.35—0.89	8.06	5.60
微量元素	富Mo、Cu、Co、Ni	富Th、U、La	富Ba、Sr、Pb	富U、Th、Rb	富Ba
含 矿 性	Mo、Cu、Au	Cu、Au	不明显	(Cu) (Au)	(Cu) (Au)
实 例	杨家杖子、虹螺山岩体	后石湖山、响山岩体	旧门岩体、大黑山岩体	石山、山岳沟岩体	医巫闾山、碱厂岩体

三、宇 宙 尘

在上述27个岩体中的21个岩体采集了人工重砂样品,经过分离鉴定,在11个不同期次和不同类型的花岗岩体中发现有宇宙尘,诸如白庙子岩体(I型)、小孤山岩体(I型)、西双山岩体(I型)、松树崮岩体(I型)、杨家杖子岩体(I型)、虹螺山岩体(I型)、阜新北岩体(I型)、大黑山岩体(S型)、碱厂岩体(交代S型)、锦西岩体(交代S型)、医巫闾山岩体(交代S型)等。其中以小孤山、松树崮、杨家杖子、虹螺山和医巫闾山花岗岩体中含宇宙尘较多。

宇宙尘有三种类型:(1)硅酸盐玻璃质球状宇宙尘,罕见,无色透明,微具黄绿色调,直径0.21—0.40mm,表面光滑,玻璃光泽,但因数量太少,无法进一步测试。(2)铁质空心球状宇宙尘,是最主要的一种,呈圆球状、椭圆状、纺锤状、乳滴状(一端带尾巴)、哑铃状和短棒状(图1),直径0.12—0.45mm,一般0.2mm左右)。外壳厚0.01—0.07mm,表面光滑,略现冲击或熔蚀凹坑和皱状凹凸^[2]。黑色,沥青一半金属光泽,性脆,强磁性。内壁圆滑,呈气泡状,偶尔在一个球中有两个气泡状空心,其间以铁质薄壁相隔。铁质宇宙尘在热台上加热到1200℃仍无变形。(3)铁质实心球状宇宙尘,外貌与铁质空心球状宇宙尘一样,只是内含球形核心,核心由单一的锥纹石组成,核心直径0.09—0.32mm。



图1 花岗岩中的圆球状、椭圆状、纺锤状、乳滴状和哑铃状宇宙尘

Fig. 1 Spherical, elliptical, spindle, milkydrop and dumbbell shape cosmic dust in granite

立体显微镜×16
Stereomicroscope ×16

鉴于铁质宇宙尘外壳的组成矿物极细,无法单独分离,因此,采用全壳样品进行显微镜、电子探针和X射线粉晶测定。根据组成矿物分布情况,将外壳(厚0.05mm)分成外、中、内三层分别用JCSA-733型电子探针分析仪测定(中国地质科学院陈克樵测定),共测定4个点,实验条件:加速电压15kV,电流 2×10^{-8} A,光栏2—3,分析结果列于表2。X射线粉晶分析由冶金部天津地质研究院X光组承做,实验条件:铁靶,锰滤波,电压30kV,电流15mA,相机直径57.3mm,曝光20h,分析结果列于表3。首先用显微镜和X射线粉晶数据鉴定出矿物种类,按各种矿物的标准分子式和矿物比重,根据电子探针分析结果分别计算出矿物体积百分比。

铁质壳的组成矿物,主要有磁铁矿(含量54.4—32.8%)和蔷薇辉石(含量51.0—37.8%),其次是石英(含量12.5—1.7%)和刚玉(含量3.7—3.5%)。分布特点是磁铁矿主要集中在铁壳的中间和外侧,而内侧明显减少。蔷薇辉石主要集中在内侧,由内向外依次减少。石英和刚玉类似于蔷薇辉石,内侧多外侧少。铁质壳的最外表偶尔可见次生针铁矿的薄膜。

磁铁矿在铁质壳中呈雪花状、羽状、透瓦状和交织花纹状雏晶,有规律的排列,雏晶粒度

表 2 宇宙尘的电子探针分析
Table 2 Microprobe analysis of cosmic dust

成分 部位	FeO*	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Ni	计算矿物含量 (体积%)	
外 壳	外	63.11	14.50	18.42	3.13	0.87						磁铁矿(53.4),石英(5.4), 蔷薇辉石(37.8),刚玉(3.5)	
	中	63.60	15.16	16.87	3.22	1.18						磁铁矿(54.4),石英(1.7), 蔷薇辉石(40.3),刚玉(3.6)	
	内	42.79	21.53	30.77	3.72	1.13						磁铁矿(32.8),石英(12.5), 蔷薇辉石(51.0),刚玉(3.7)	
核 心	99.60										0.40	锥纹石(100)	
内蒙宇 宙尘 ⁽³⁾		88.95	1.09	7.28	2.56		0.08	0.19	0.12	0.10	0.23	0.04	
		88.20	0.32	11.05	1.81		0.45	0.15	0.12	0.01	0.42	0.17	

* FeO中,以Fe²⁺为主,包括少部分Fe³⁺,在计算中已予考虑。

表 3 宇宙尘的X射线粉晶分析
Table 3 X-ray powder analysis of cosmic dust

矿物名称	宇宙尘矿物X射线粉晶特征数据		JCPDS《PDF》标准值	
	d	I/I ₁	d	I/I ₁
磁 铁 矿	2.96	m	2.967	m
	2.53	S	2.532	S
	2.09	m	2.099	m
	1.62	m	1.616	m
	1.485	m	1.485	m
蔷薇辉石	3.15	m	3.15	m
	2.98	S	2.98	S
	2.92	S	2.92	S
	2.77	S	2.77	S
	2.65	m	2.65	m
	1.43	s(宽)	1.425	S
石 英	4.25	m	4.26	m
	3.34	S	3.343	S
刚 玉	3.48	m	3.479	S
	2.55	S	2.552	S
	2.08	S	2.085	S
	1.60	S	1.601	S
锥纹石α-Fe	2.02	S	2.02	S
	1.43	m(宽)	1.43	m
	1.172	m(模糊)	1.17	S

般小于0.004mm,属快速冷却的产物。反射色灰带玫瑰色调,均质,反射率 $R=21$ (黄光),相对硬度大于针铁矿,强磁性。磁铁矿锥晶之间填充有极细粒他形晶的蔷薇辉石、石英和刚玉(图2)。

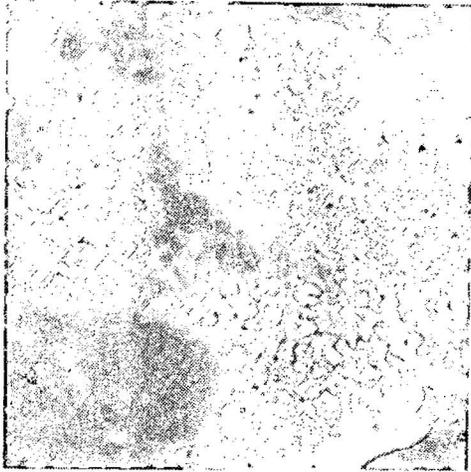


图2 铁质宇宙尘外壳中有规律排列的雪花状、羽状、迭瓦状、交织花纹状磁铁矿锥晶,其间为蔷薇辉石、石英和刚玉
Fig. 2 Snowflake-like, plumose-like, imbricate, pilotaxitic arabesquitic magnetite crystallite with regular arrangement in the ferruginous cosmic dust shell, between the magnetite crystallites there are some rhodonite, quartz and corundum
反光 $\times 1250$
Reflection $\times 1250$

锥纹石(α -Fe),仅在少数铁质宇宙尘圆球中形成单一成分的核心,反射色呈亮白微带玫瑰色调,均质性,微见纹理,相对硬度 $H \leq$ 磁铁矿,反射率 $R=62.5$ (黄光),强磁性。

四、花岗岩中发现宇宙尘的地质意义

宇宙尘在古老变质岩系和沉积地层中广见不鲜,但在花岗岩中还是首次见到。它为花岗岩成因或起源提供了最直接最重要的佐证。关于花岗岩成因问题从19世纪中叶以来经过一个多世纪的激烈争论,迄今仍未取得完全一致的意见。诚然,20世纪40年代以来,由于新理论新方法的不断引进和运用,对花岗岩研究的广度和深度都有了极大的发展,证据愈来愈多,认识也愈来愈深入,在某些方面逐渐得到统一,但在某些方面仍处于争论之中。概括起来,目前,大多数学者认为花岗岩的起源有三种可能,即上地幔源、地壳源、上地幔与地壳的混合源。但涉及到某个具体岩带或岩体的起源时,许多方面仍然处于假设和推论的基础上,即或取得大量的数据,有时也出现矛盾而难以判定,甚至不同学者有不同的解释,说明当前对花岗岩起源的研究尚未达到真正量化的程度。关于花岗岩成因的学说是比较多的,诸如原始玄武岩浆分异说、地幔或地壳重熔岩浆说、交代成因说和超变质说等,尽管还有不同程度的不完善性,或者还有些方面不够确切,但从总的方面看是有事实依据的,有待进一步深化和发展。关于宇宙尘的成因问题也是众说不一,概括起来有三种学说,第一种是太阳星云或其分异等同物的直接凝结说,第二种是火山起源说,第三种是冲击碰撞陨落说。尽管对其成因说法不一,但有一个基本共同点,就是这些宇宙尘是从空中降落到地球表面的(包括海底)^[4-7]。该区花岗岩中宇宙尘的分布特点是:(1)分布范围大,所见者达15 000km²以上。(2)不同类型(I和S型,重熔和交代的)和不同期次(从第一期到第四期)的花岗岩中均有所见。(3)不论岩体边缘还是岩体内部均有产出。(4)宇宙尘的类型不因花岗岩的地区、期次和类型不同而变化。根据以上事实,不难得出如下推论:(1)如此大范围的花岗岩都含有宇宙尘,表明绝非偶然的或者局部与围岩接触过程中捕获而来的,显然是在基底岩层形成的早期曾经发生过灾难性的星体碰撞事件,造成陨尘物质在大范围内的降落。(2)生成花岗岩的源岩必须曾经展布于地表或海底,才有机会接受大量宇宙降落物质。

(3) 这些曾经在地表, 并含有陨尘物质的沉积层和火山岩系, 必然经过构造变动而下沉到地壳深部, 在新的物理化学条件下发生重熔和改造, 生成各种类型的花岗岩。(4) 保存在花岗岩中的宇宙尘必然属于相对难熔组分, 换言之, 花岗岩浆的重熔温度必然低于这些宇宙尘的熔点, 推测这些宇宙尘的熔点至少高于1200℃以上。(5) 鉴于不同类型不同期次和不同地点的花岗岩都含有同一种类型的宇宙尘, 表明这些花岗岩体是具有同源性的。

综合以上可以看出, 该区花岗岩的起源明显与地壳有关, 即含有宇宙降落物质的沉积层和火山岩系, 伴随构造活动, 下沉到一定深度, 在热事件的作用下发生改造, 改造重者产生重熔岩浆上侵成岩, 相对难熔的宇宙尘仍保留在花岗熔浆中。改造轻者形成交代花岗岩, 相对稳定的宇宙尘也同样被保存下来。宇宙尘的特点说明, 这些种类花岗岩不仅是壳源的, 而且是同源的。至于花岗岩类型的不同, 主要取决于重熔或交代的部位、源岩成分、改造程度、演化过程和生成方法的差异。对花岗岩中宇宙尘的研究仅仅是开始, 进行深入系统的研究无疑是极其重要的, 因为它是花岗岩起源的最直接最可靠的证据之一, 可望今后会有更大的进展。本文挂一漏十, 不当之处, 切望批评指正。

参 考 文 献

- [1] 王吉琯、刘其严、余和勇, 1983, 辽西地区中生代花岗岩成因类型及其找矿意义。天津地质调查所所报, 第2期, 第23—40页。
- [2] 李兆麟、李懋, 1985, 陨石微结构研究。中国科学, B辑, 第8期, 第754—759页。
- [3] 李增惠, 1986, 内蒙温都尔庙群和白乃庙群的宇宙尘。科学通报, 第31卷, 第4期, 第290—292页。
- [4] 从柏林、李继亮译(米勒, R. F.、萨克纳, S. K. 著) 1982, 化学岩石学。地质出版社, 第81—107页。
- [5] 王道德、谢先德、曹鉴秋译(金, E. A. 著, 1983, 宇宙地质学概论。地质出版社, 第95—106页。
- [6] 徐道一、杨正宗、张勤文、孙亦因, 1983, 天文地质学概论。地质出版社, 第196—212页。
- [7] Depei, B., 1981, Meteoritics, pp. 115—128.

DISCOVERY OF COSMIC DUST IN GRANITE AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Wang Jijun and Zhuo Zhaokun

(Tianjin Academy of Geology, Ministry of Metallurgical Industry)

Abstract

The Changli-Fuxin gold- and molybdenum-bearing granite belt is located in the NE-trending fracture belt between the Shanhaiguan-Yiwulu uplift and the Yanshan-Liaoning subsidence belt, which possesses 27 granite bodies (>5 km²), including I-type, S-type and A-type. Although they belong to crustal granite, anatectic granite is dominant and metasomatic granite is subordinate. Four phases may be distinguished from the middle-later Indosinian stage to late Yanshanian stage. Molybdenum in the granites was derived from the Archean basement, while lead and zinc occurring in the contact belt were derived from the country rocks of the Sinian.

Cosmic dust has been discovered in eleven granite bodies of different stages and different types at Honglaoshan, Jinxi, Yangjiazhangzi, Jianchang, Yiwulu etc. There are three types of cosmic dust: silicate glass ball, ferruginous hollow ball and ferruginous solid ball. Cosmic dust is spherical, elliptical, spindle, milkdrop,

dumbbell etc. in shape. The diameter of the cosmic dust ranges from 0.12 to 0.45 mm and the thickness of the crust varies from 0.01 to 0.07 mm. The surface of the cosmic dust is smooth with an asphaltic-semimetallic luster and strong magnetism, and is brittle. According to the electron microprobe, X-ray and microscopic analyses, the crust is composed mainly of magnetite and rhodonite with minor quartz and corundum. The grains of the magnetite are extremely fine (<0.004 mm) and are arranged regularly in the shapes of snowflake-like, feather-like, imbricate and pilotaxitic arabesquitic crystallites. The core is composed of kamacite (α -Fe).

Obviously, the cosmic dust in the granites was derived from the basement source rocks, and such rocks were bound to have been exposed at the surface once. Only thus could the cosmic dust in the air fall on it at that time, and then it descended to depths to undergo anataxis or metasomatism to form the granite. In this way, the cosmic dust has been kept as a refractory constituent in the granite. Therefore the existence of the cosmic dust in granite is the most direct and important evidence for the crustal granite.

作 者 简 介

王吉琚，1933年11月生。1956年毕业于长春地质学院地质勘探专业，从事于矿床、矿相学研究。现为高级工程师，在冶金工业部天津地质研究院工作。