

文章编号: 1000- 6524 (2002) 03- 0209- 09

望云山复式花岗岩体磁性组构 特征及其动力学意义

贾宝华^{1,3}, 刘耀荣^{2,3}

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 3. 湖南省地质调查院, 湖南 湘潭 411100)

摘要: 为了分析望云山复式花岗岩体侵位时的动力学状态, 对该岩体进行了岩石磁组构参数测定。磁化率的变化特征反映了望云山复式岩体侵位过程中构造环境的变化和单元岩石的暗色矿物组成及基性程度的高低; 磁面理的产状与岩体形态和岩石单元分布相吻合, 清晰地反映了不同构造单元岩浆侵位方式; 磁线理指示岩体的侵位中心, 线理表现形式不一, 标示侵位方式与受构造应力的不同; 晚期岩浆对早期岩浆中的磁线理有一定的改造作用, 磁线理方向基本上反映了岩浆原始流动状态; 从磁化率椭球参数可以看出岩浆侵位的应变状态; 岩浆应力场分布体现了岩浆侵位方式及其所处构造环境。岩体岩石磁组构参数佐证了区域构造、围岩构造及岩体内部其他构造所反映的岩体侵位机制。

关键词: 花岗岩; 磁性组构; 动力学; 侵位机制; 望云山

中图分类号: P588. 12⁺ 1; P318. 4

文献标识码: A

Magnetic fabric of Wangyunshan complex granite and its dynamic significance

JIA Bao_hua^{1,3} and LIU Yao_rong^{2,3}

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. Hunan Institute of Geological Survey, Xiangtan 411100, China)

Abstract: The authors have determined magnetic fabric parameters of the complex granite in Wangyunshan with the purpose of analysing dynamic state of the granite in the process of emplacement. Changes of tectonic environments, composition of the dark minerals in the rock units and basification of the granite in the process of emplacement find expression in changes of magnetic capacities. The attitude of magnetic foliation, which clearly suggests the emplacement of the magma in different tectonic units, is consistent with rock shapes and distribution of rock units. Magnetic lineations indicate emplacement centers of the granite, and different lineations imply different ways of emplacement and tectonic stress. Magnetic lineations of the magma in

收稿日期: 2001- 09- 1; 修订日期: 2002- 04- 02

作者简介: 贾宝华(1957-), 男, 高级工程师, 主要从事区域构造、岩体构造与成矿的研究。

the early period were altered by those in the late period, and direction of magnetic lineation shows primitive flowing state of the magma. The strain state of the emplaced magma is shown by ellipsoid parameters, and distribution of stress field of the magma reflects the ways of emplacement and tectonic environment. Mechanism of granite emplacement reflected by regional structure, wallrock structure and other structures is substantiated by magnetic fabric parameters of the granite.

Key words: granite; magnetic fabric; dynamics; mechanism of emplacement; Wangyunshan

望云山复式花岗岩体位于扬子与华夏两陆块接壤部位的雪峰山东南缘弧形构造带上(图 1)。该带自加里东期至燕山期均有强烈活动,地质构造复杂,发育有颇具规模、与山脉走向一致的 3 条韧性剪切带,岩体的形成与之关系密切。对复式岩体进行磁组构研究,可以分析岩体侵位时的动力学状态,为侵位机制的研究提供佐证(余钦范等,1922;马昌前等,1984;贺绍英,1994;徐柏安,1990)。

1 岩体地质概况

望云山复式花岗岩体由加里东期水车岩体、印支期金石桥岩体和燕山早期大山岩体组成(郑基俭,1999),出露面积 884 km^2 (图 2)。加里东期水车岩体呈南北向往西凸出的半椭圆形。岩体侵位于青白口纪浅变质碎屑岩。印支期金石桥岩体呈一近东西向展布的“手榴弹”形,与水车岩体在平面上组成一个蘑菇形。岩体西段侵位于水车岩体中,接触面分别向南或北倾斜,倾角 65° 。西端点刺穿水车岩体的弧顶,与青白口纪地层呈侵入接触,并向西南偏拐,与龙潭岩体相连。东段呈切割状横向侵入青白口系—奥陶系及泥盆系—二叠系中。燕山早期大山花岗岩体见于金石桥岩体核部,平面上呈近东西伸长的椭圆形,岩体南北两侧外倾,倾角 $75^\circ \sim 80^\circ$,东西两端呈超覆状侵入于金石桥岩体之上。

从早到晚,岩石类型为英云闪长岩→花岗闪长岩→黑云母二长花岗岩→二云母二长花岗岩,矿物成分上钾长石、石英含量递增,斜长石、黑云母含量递减,角闪石由有到无,特征矿物白云母、电气石从无到有且含量逐渐增加。岩石化学成分中 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 含量总体由

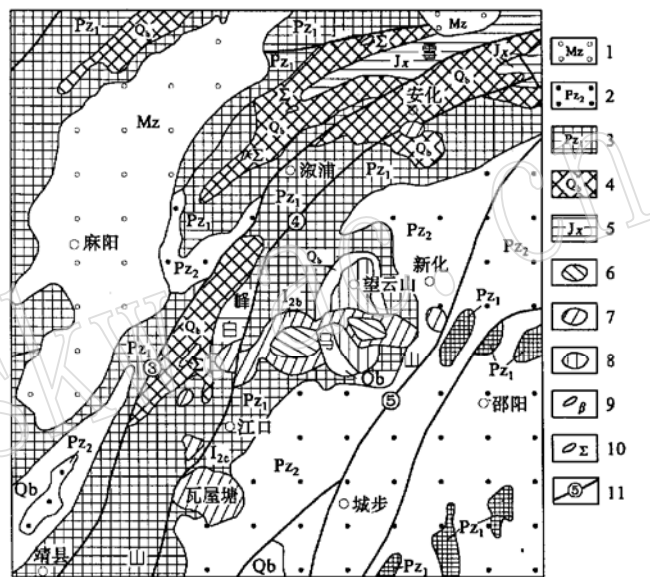


图 1 雪峰山区域地质图

Fig. 1 Geological map of the Xuefengshan Mountain

1—中生代地层; 2—晚古生代地层; 3—早古生代—南华纪地层; 4—青白口纪地层; 5—蓟县纪地层; 6—燕山期花岗岩; 7—印支期花岗岩; 8—加里东期花岗岩; 9—玄武岩; 10—超基性岩; 11—区域性断裂及编号: ③—靖县—溆浦韧性剪切带; ④—安化—江口韧性剪切带; ⑤—城步—新化韧性剪切带

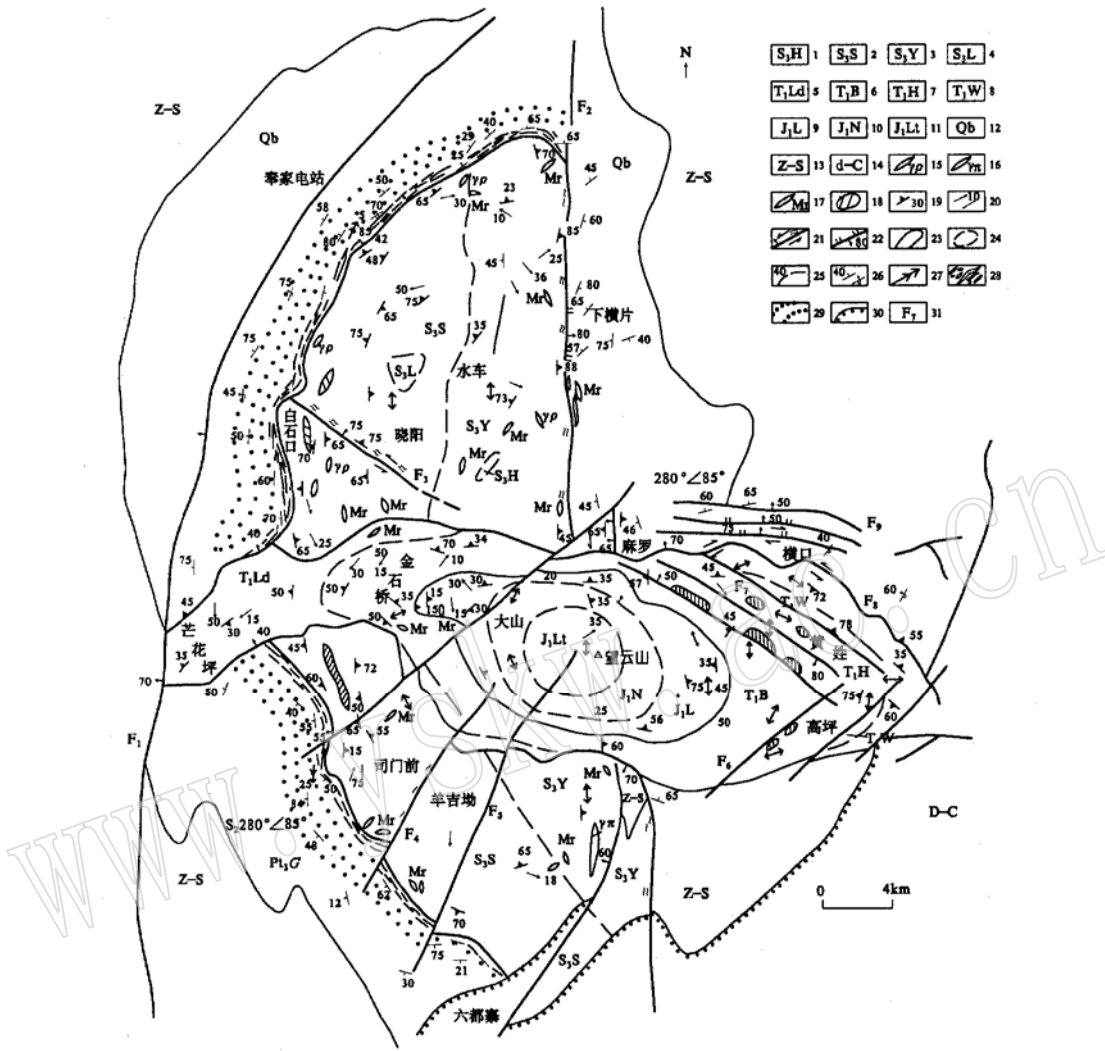


图2 望云山岩体地质图

Fig. 2 Geological map of the Wangyunshan granite body

加里东期花岗岩: 1—黄土坳单元; 2—司门前单元; 3—游家桥单元; 4—落马洞单元; 印支期花岗岩: 5—龙单元
 6—珀塘单元; 7—黄姓单元; 8—乌鸡山单元; 燕山早期花岗岩: 9—里湖坪单元; 10—南水山单元; 11—两头塘单元;
 12—高涧群; 13—震旦—志留系; 14—泥盆—石炭系; 15—伟晶岩脉; 16—花岗斑岩脉; 17—花岗细晶岩脉;
 18—围岩捕虏体; 19—面理产状; 20—倾伏或近水平线理产状; 21—切性断层; 22—脆性断层; 23—岩体间界线;
 24—岩石单元间界线; 25—接触面产状; 26—地层产状; 27—小褶曲枢纽; 28—强变形带; 29—中弱变形带; 30—不
 整合界线; 31—断裂编号

低到高, FeO+ Fe₂O₃、MgO、CaO 等含量则渐低, 说明岩石由较基性向较酸性方向演化。

2 磁性组构特征

本次共布置了 62 个磁组构标本采样点, 比较均匀地控制在 3 个不同构造时期的花岗岩

体中,其中加里东期岩体33个,印支期岩体20个,燕山期岩体9个。

样品的磁参数测定是在中国地质大学(武汉)古地磁实验室进行的,分别使用WSW-1型数字无定向磁力仪SSM-2A数字旋转磁力仪和TSD-1热退磁仪对上述样品做了磁化率各向异性、剩余磁化量测量和热退磁处理,数据统计见表1。

2.1 岩体的磁化率

整个岩体磁化率偏低, 10^{-4} SI 与 10^{-5} SI 数量级在整个岩体中分别占 67.7% 和 30.6%, 而在水车岩体中分别占 75.8% 和 24.2%, 在金石桥岩体中分别占 85% 和 15%, 大山岩体全是 10^{-5} SI 数量级。以此比较容易地区分望云山复式岩体由 3 个不同时期岩体组成, 且岩石中黑云母、角闪石等暗色矿物含量愈多, 即基性成分相对越高处, 磁化率值相对越高, 如水车岩体边部及金石桥岩体; 酸性成分增高, 石英、长石类矿物含量明显增高处, 磁化率值相对较小, 如水车岩体中部和大山岩体。磁化率值的变化情况表明 3 期岩体形成的构造环境不同。

2.2 磁面理

水车岩体中磁面理产状(图3)与岩石单元界线基本一致, 岩体各点磁面理的倾角变化在 40° ~ 50° 之间。金石桥岩体中磁面理产状变化明显增大, 西部的磁面理总体呈东西向, 局

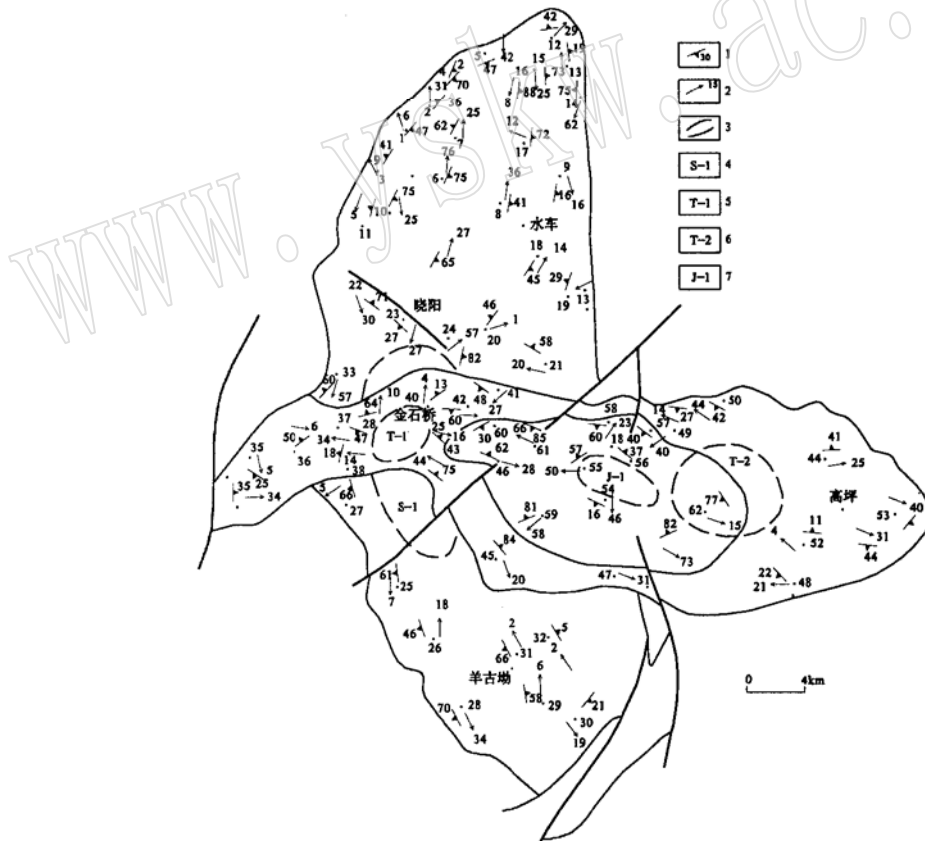


图3 望云山岩体岩石磁性面理、磁性线理分布图

Fig. 3 Distribution of magnetic foliation and magnetic lineations in the Wangyunshan granite body
1—磁性面理; 2—磁性线理; 3—推测侵位中心; 4—水车岩体侵位中心; 5—金石桥岩体早期岩石单元侵位中心;
6—金石桥岩体晚期岩石单元侵位中心; 7—大山岩体侵位中心

表 1 望云山岩石磁性组构参数表

Table 1 Magnetic fabric parameters of the Wangyunshan granite body

岩体	样号	K	K ₁	K ₂	K ₃	P	L	F	E	T
水	1	115.8	118.6	116	112.8	1.05	1.02	1.02	1	0
	2	119.8	122.2	121.5	115.7	1.05	1.00	1.05	1.05	1
	3	135.6	140.2	136.5	130	1.07	1.02	1.05	1.03	- 0.43
	4	130.6	137.9	132.5	121.3	1.13	1.04	1.09	1.05	0.39
	5	105.3	113.7	104.4	97.8	1.16	1.08	1.06	1.98	0.14
	6	212.6	217.1	215.6	205.1	1.05	1.00	1.05	1.05	1
	7	124.8	130.3	124	120.1	1.08	1.05	1.03	0.98	0.26
	8	80.8	85.7	81.3	75.4	1.13	1.05	1.07	1.02	- 0.16
	9	64.2	70.0	66.3	56.4	1.24	1.05	1.17	1.11	0.49
	10	182.6	186.7	182.7	178.4	1.04	1.02	1.02	1	0
	11	181.1	186.7	186.4	172.0	1.09	1.00	1.09	1.09	1
	12	89.3	96.7	93.5	77.2	1.25	1.03	1.21	1.17	0.7
	13	73.1	85.4	68	65.8	1.29	1.25	1.03	0.84	0.68
	14	45.8	48.9	47.6	40.8	1.19	1.02	1.16	1.14	0.75
	15	64.4	69.7	66.3	57.3	1.21	1.05	1.15	1.09	0.45
	16	61	63.9	61.5	57.7	1.10	1.03	1.06	1.03	- 0.31
	17	84.8	88.6	86.6	79.4	1.11	1.02	1.09	1.07	0.65
	18	162.6	170.2	160.6	157	1.08	1.05	1.02	0.97	0.39
	19	155.1	158.5	155.6	151.2	1.04	1.01	1.02	1.01	0.25
	20	180.8	188.9	183.3	170.4	1.10	1.03	1.07	1.04	0.41
	21	179.3	185.1	180.3	172.6	1.07	1.02	1.04	1.02	- 0.29
	22	119.3	123.9	122.2	111.9	1.10	1.01	1.09	1.08	0.81
	23	111.4	121.4	114.5	98.2	1.23	1.06	1.16	1.09	0.41
	24	111.3	116.4	113.3	104.2	1.11	1.02	1.08	1.06	0.55
	25	176.1	192.2	182.1	153.9	1.24	1.05	1.18	1.12	0.53
	26	183.3	192.7	187.8	169.6	1.13	1.02	1.10	1.08	- 0.63
	27	137.1	147.1	140.9	122.9	1.19	1.04	1.14	1.10	0.55
	28	113.5	119.4	116.3	104.8	1.14	1.02	1.10	1.08	0.58
	29	109.6	119.5	113.6	95.6	1.25	1.05	1.18	1.12	0.51
	30	114.8	120.6	113.9	109.9	1.09	1.05	1.03	0.98	0.23
	31	118.1	121	120	113.4	1.06	1.00	1.05	1.05	- 0.84
	32	157.8	176.9	153.6	143	1.23	1.15	1.07	0.93	0.35
	33	146.1	152.1	147.2	139	1.09	1.03	1.05	1.02	0.23
34	163.4	170	165.5	154.8	1.06	1.02	1.06	1.04	0.46	
35	59.3	63.4	59	55.4	1.14	1.07	1.06	0.99	- 0.08	
36	801.7	1147.7	746.9	510.6	2.24	1.53	1.46	0.96	- 0.05	
37	83.2	90.5	83.2	75.8	1.19	1.08	1.09	1.01	0.06	
38	196.1	201.1	197	190.3	1.05	1.02	1.03	1.01	- 0.20	
39	169	175.5	169.1	162.5	1.08	1.03	1.04	1.01	0.13	
40	158.4	163.7	156.9	154.4	1.05	1.04	1.01	0.97	- 0.62	
41	152.4	156.7	151.2	149.2	1.05	1.03	1.01	0.98	- 0.41	
42	116.1	123.8	113.4	111	1.11	1.09	1.02	0.93	- 0.69	
43	180.6	183.3	179.7	178.7	1.02	1.02	1.00	0.98	- 1	
44	132.3	135.4	134	127.6	1.06	1.01	1.04	1.03	0.51	
45	161.2	168.8	158.8	156.2	1.08	1.06	1.01	0.95	- 0.67	
46	147	150.7	149.1	141.1	1.66	1.01	1.05	1.04	- 0.67	
47	146.1	151.1	145.1	142	1.06	1.04	1.02	0.98	- 0.35	
48	156.9	160.2	156.5	154	1.03	1.02	1.01	0.99	- 0.34	
49	142.4	148.6	140.4	138.3	1.07	1.05	1.01	0.96	- 0.60	
50	34	36.4	33.9	31.6	1.14	1.07	1.07	1.00	0	
51	140.5	142.3	139.7	139.4	1.02	1.01	1.00	0.99	- 0.01	
52	150	156.8	148.9	144.5	1.08	1.05	1.03	0.98	- 0.26	
53	121.3	130.2	119.2	114.5	1.13	1.09	1.04	0.95	- 0.42	
54	39	50.9	36.8	29.4	1.73	1.38	1.25	0.91	- 0.17	
55	34	38.4	32.1	31.5	1.22	1.19	1.01	1.03	0.82	
56	32.5	37.8	32.7	27.1	1.39	1.15	1.20	1.04	0.12	
57	23.1	26.6	23.3	19.6	1.35	1.14	1.19	1.04	- 0.13	
58	55.9	57.4	55.5	54.7	1.05	1.03	1.01	0.98	0.41	
59	51.5	54.6	53.1	46.8	1.16	1.02	1.13	1.11	0.71	
60	4.5	6.6	5.2	1.8	3.78	1.28	2.94	2.3	0.63	
61	24.4	29.8	23.5	20	1.48	1.26	1.17	0.93	- 0.18	
62	43.7	48.5	44.9	37.8	1.28	1.07	1.18	1.1	0.38	

K—总磁化率($\times 10^{-6}$ SI); K₁、K₂、K₃—分别为最大、中间、最小磁化率($\times 10^{-6}$ SI); P—磁化率各向异性因子(K₁/K₃); L—磁线理系数(K₁/K₂); F—磁面理系数(K₂/K₃); E—扁平率(K₂²/K₁•K₃); T—形体因子[(2 lnK₂- lnK₁- lnK₃)/(lnK₁- lnK₃)]。

部向南或向北偏转,有些与接触带斜交,倾角向外或向内,倾角 $25^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 不等;东部的磁面理分布规律比较明显,近东西走向,向内倾,倾角 $40^{\circ}\sim 80^{\circ}$,属中等偏陡。大山岩体的磁面理围绕望云山中心呈椭圆形分布。边缘地带多内倾,倾角一般较陡($60^{\circ}\sim 80^{\circ}$),在东西两端呈超覆状,倾角较缓;中心地带向外倾斜,倾角变缓($20^{\circ}\sim 50^{\circ}$)。

显然,磁面理的产状与岩体形态和岩石单元分布特征相吻合,从边部至中心地带,面理的倾角有明显的变化,清晰地反映了不同构造阶段岩浆侵位活动的方式,总体上有从中心向四周扩展挤压的特点。

2.3 磁线理

从各采点磁化率椭球长轴方向的分布来看,水车岩体磁线理分布大致以南北线为中轴,略向外辐射,中部呈东西向,倾角多为 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$,南北两端倾角相对较缓,可在 20° 以下,中部相对较陡可在 50° 以上。金石桥岩体整体呈近东西向分布,但西部以金石桥一带为中心向外呈发散状分布,散开区间内磁线理倾角相对较缓($10^{\circ}\sim 20^{\circ}$);中东部以里湖坪一带为中心,也呈发散状分布,散开区间内磁线理倾角相对较陡,磁线理的方向有些在较近的距离内可以是相向的。大山岩体以望云山为中心,向外呈放射状分布,规律相当明显,倾角较陡。

通过对磁性线理分布与方向的分析,可以得出如下认识:

(1) 水车岩体的侵位中心在晓阳一带;金石桥岩体的侵位中心早期在金石桥,后期(主期)移至里湖坪一带,向东产生了较大的位移;大山岩体的侵位中心位于断层交叉中心部的望云山一带(图3)。

(2) 在岩浆分期次以脉动方式侵位进程中,晚期岩浆对早期岩浆流动形成的线理方向有一定改造作用,如大山岩体形成时对金石桥岩体线理构造的改造;在同一岩体中,则是中心相晚期岩石单元在形成时对边缘相的早期岩石单元线理的改造;岩体形成过程中或形成后的区域构造应力的叠加也可使磁性线理发生偏转。

(3) 中心相(晚期岩石单元)岩石变形最弱,它的磁性线理方向基本上反映了岩浆原始流动状态。而边缘地带则是原始岩浆流动和受岩体侵位构造力影响的综合反映。

3个时期磁线理表现形式不一,说明其侵位方式与受构造力的不同:早期受剪切构造影响明显,岩浆沿剪切带楔入侵位,逐渐向外扩展的机制表露无遗;印支期磁线理沿东西向线状排列,主体部分倾角较大,表现出被动式贯入的特点;燕山期岩体中磁线理的空间分布反映出晚期岩浆侵位至岩体顶部受到上覆围岩的阻挡而向四周扩展的特点。

2.4 各向异性度

总体上望云山岩体各向异性度较低,表明后期韧性应变作用不明显。

水车岩体各向异性度(P)变化范围1.04~1.29,平均1.13,其东、西两侧P值相对较大,中部较小(图4a)。这反映了后期岩石单元对早期岩石单元产生了推挤作用,也反映出岩石具塑性变形,即受东侧韧性剪切带(断层)作用明显。金石桥岩体P值一般为1.02~1.19,平均1.10,较之前者,其值有所减小(个别点处相对较高,如36.46号点,经野外观察,该处受后期构造作用产生了变形),表明岩浆侵位应力作用微弱,具被动侵位特点。大山岩体的各向异性度变化范围最大(1.05~3.78),平均1.33,中部P值相对小一些,边缘高一些,西侧值最高,说明岩浆具强力气球膨胀式上侵定位特点,后期岩石单元对早期岩石单元产生了明显向外推挤作用,且向西产生偏位,并经受了同侵位构造应变(马昌前等,1944)。

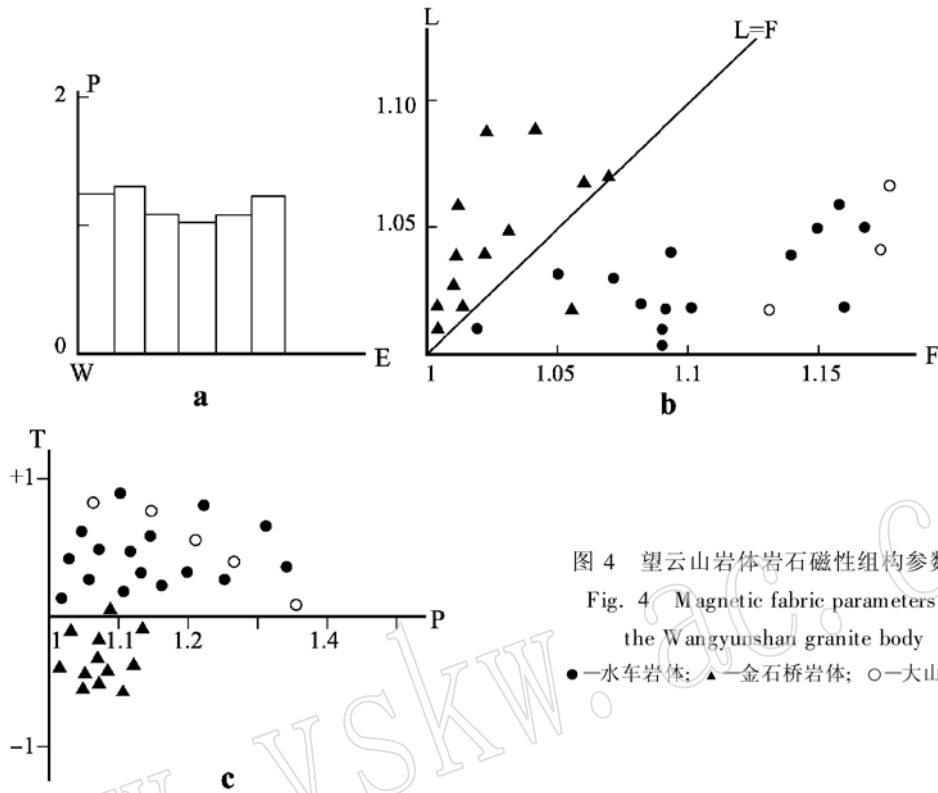


图4 望云山岩体岩石磁性组构参数图

Fig. 4 Magnetic fabric parameters of the Wangyunshan granite body

●—水车岩体; ▲—金石桥岩体; ○—大山岩体

2.5 磁化率椭球参数

从表1、图4不难看出,水车岩体中的磁线理L值多为1~1.05,磁面理系数F为1.02~1.21,一般 $F > L$;形体参数T值一般为0.4~1;扁平率 $E > 1$,说明岩石的磁化率椭球为压扁型。少数点 $T < 0$ 的情况,一般位于岩体中心,属晚期上升岩浆,受挤压相对较弱,反之边部压扁作用较强烈。

金石桥岩体中的磁面理系数F值一般为1.00~1.06,磁线理系数L值多为1.02~1.09, $F < L$;除少数点外,形体参数大多数介于-1和0之间;扁平率 $E < 1$,总体上属拉长的磁化率球体,反映了岩浆侵位过程中的拉伸应力状态。

大山岩体的L值1.02~1.38,F值1.01~2.94,总体上 $F > L$;T值多大于零,且都在中心部位;F值多数大于1,个别达2.3,少数小于1,即使如此,也达0.9以上。这些特征反映出岩体的受力状态不甚均匀,其中心地带岩浆上侵后冷凝向四周扩散较少,仅在顶部晚期岩浆上侵受阻且后续岩浆供应充足时发生侧向水平流动,其中 $L > F$, $-1 < T < 0$,显示具有扩张的空间环境,利于晚期岩浆顺利上侵定位。其余周边地带,总体上是 $F > L$, $1 > T > 0$, $E > 1$,显示了压扁椭球之特点(图4c)。

2.6 岩浆应力分布特征

选择主要样点的 K_1 、 K_2 和 K_3 值投于(下半球)施氏网,绘出岩体应力分布图(图5)。由图可见,水车岩体的最大挤压力方向于岩体不同部位各异:西部,垂直或近于垂直岩体接触边界,中部近南北向,中东部为北东向,显然具有绕岩体侵位中心呈放射状分布的趋势,有别于区域构造应力场。金石桥岩体的应力分布图则是另一种型式,主压力方向近东西向,与

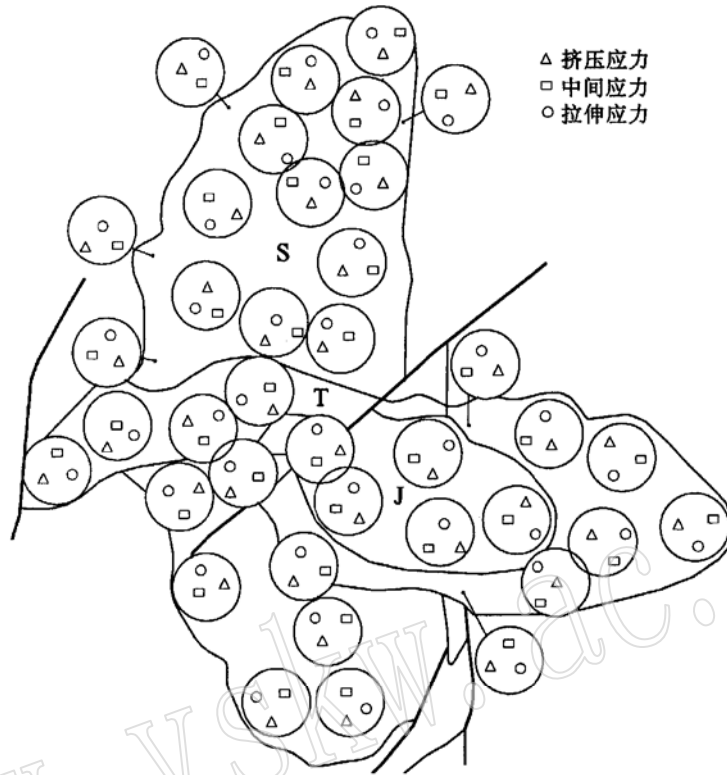


图5 望云山岩体岩石磁性应力分布略图

Fig. 5 Distribution of magnetic stresses in the Wangyunshan granite body

岩体长轴一致, 比较稳定, 反映出一种线状张性构造环境。大山岩体应力场分布显然是以望云山为中心呈放射状分布, 且具右行旋转之特点。

3 结论及意义

(1) 磁化率的变化特点清楚地反映了望云山复式岩体形成过程中构造环境的变化和单元岩石的暗色矿物组成及基性程度的高低。即不同构造期岩体和不同岩石单元具不同的磁组构特征。

(2) 岩体磁化率偏低, 但磁化率各向异性参数变化较明显, 各向异性度值既有分时、分区性, 亦具变形成因之特点。磁面理产状与岩体产出状态吻合, 磁线理变化特点反映出3个不同时期岩浆上侵的4个通道部位从老至新由西向东发生了明显的迁移。磁椭球形状的改变反映了三大构造期应力状态由压→张→压的总变化趋势。

(3) 据磁化率各向异性特点判定, 加里东期岩体当为在南东至北西向构造力持续作用下, 于南北方向上产生反时针剪切作用所致, 即剪切作用的拓展和背形不断上隆为岩浆定位提供了空间; 印支期岩体的形成应为在南北引张环境下, 岩浆沿北东和北西交叉断层上顺势而为的结果; 燕山期岩体的形成兼具岩墙式扩展和热气球膨胀方式的双重机制。

Reference

- He Shaoying, Tang Zhen, Xu Tongchun. 1994. Comprehensive analysis on the magnetic fabric of Lishui volcanic rocks[J]. *Acta Geophysica Sinica (supp.)*, 1: 334~ 341 (in Chinese).
- Ma Changqian, Yang Kunguang, Tang Zhonghua, *et al.* 1994. Magma dynamics of granitoids—theory, method and a case study of the eastern Hubei granitoids[M]. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences, 136~ 166 (in Chinese).
- Xu Baian. 1990. Magnetic susceptibility anisotropy of rocks and its application to geology[J]. *Geology and Prospecting*, (4): 39~ 45.
- Yu Qinfan, Zheng Min. 1992. Magnetic fabric analyses of rocks and their application to Geology[M]. Beijing: Geology Press, 58~ 85 (in Chinese).
- Zheng Jijian. 1995. Units and superunits of the granites in Hunan Province and metallogenic characteristics[J]. *Hunan Geology (supp. 8)*: 145~ 154 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 贺绍英, 唐震, 许同春. 1994. 溧水火山岩体岩石磁性组构的综合分析[J]. *地球物理学报*, 增1: 334~ 341.
- 马昌前, 杨坤光, 唐仲华, 等. 1994. 花岗岩类岩浆动力学——理论方法及鄂东花岗岩类例析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社. 136~ 166.
- 徐柏安. 1990. 岩石的磁各向异性及其在地质上的应用[J]. *地质与勘探*, (4): 39~ 45.
- 余钦范, 郑敏. 1992. 岩石磁组构分析及其在地学中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 58~ 85.
- 郑基俭. 1995. 湖南花岗岩单元—超单元划分及其成矿专属性[J]. *湖南地质*, 增8: 145~ 154.