文章编号:1006-544X(2004)02-0138-05

# 哇洪山断裂带中段岩石磁组构特征及其地质意义

张拴宏1,周显强1,纪占胜2

(1. 中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081; 2. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037)

摘 要:对哇洪山断裂带中段变形岩石磁组构分析表明,断裂带及其外围构造岩磁化率百分率各向异性 H 值(普遍 > 5%,断裂带 > 10%)较高,说明岩石经历了较强的韧性变形,岩石磁组构具有磁面理发育、磁线理不发育、磁化率量值椭球呈压扁状的特点.由构造岩磁化率最小轴推断的韧性变形期最大主压应力方位主要为近 E - W 向,由此推断该期断裂带的水平运动性质为左旋.沿断裂带走向构造岩磁组构参数有明显的变化,反映构造变形特征沿断裂带走向有一定差异,其中阿移项、哇沿河一巴硬格莉沟一加木恩韧性变形较强,而红柳沟一蒙高、老沿等地相对较弱.晚华力西期及其以后岩体(脉)H 值不高,说明岩石无明显韧性变形,反映韧性变形早于此类岩体(脉)形成.
 关键词:磁组构;韧性剪切带;构造变形;哇洪山断裂带;青海
 中图分类号: P542.3; P318.4; P313

哇洪山断裂带位于青海省中部柴达木盆地与 共和盆地之间的隆起区,是我国西部的重要断裂 带之一.该带为一规模宏大,呈 NNW 向展布的反 S 型构造,它北起德令哈,向南经哇洪山、温泉至 同德一带,总长约 200 多 km.本文对该断裂带中 段岩石组构特征进行系统分析,并探讨其地质构 造意义.

1 区域地质概况

哇洪山断裂带中段出露的地层主要有(图 1):下元古界达肯大坂群,岩性主要为混合岩、 混合岩化斜长片麻岩夹黑云斜长片岩、斜长角闪 岩、大理岩、二云石英片岩;上奥陶统滩间山群, 岩性主要为变中基性火山碎屑岩、绢云母千枚岩、 绢云绿泥片岩及板岩等;上泥盆统牦牛山组,岩 性主要为变砾岩、变长石砂岩、千枚岩及凝灰质 砾岩夹安山岩及板岩;下石炭统,岩性主要为砂 岩、含砾砂岩、细砾岩、页岩及灰岩等;上石炭 统,岩性主要为灰岩夹炭质页岩、粉砂岩、薄层 页岩及砾岩;下二叠统,岩性主要为石英硬砂质 砂岩、长石砂岩、粉砂岩夹流纹岩、安山岩、灰 岩等;下三叠统,岩性主要为含砾硬砂岩、中酸性 熔岩凝灰岩、流纹岩、砂岩、粉砂岩、细砾岩等;上三 叠统,岩性主要为安山岩、流纹质英安岩、凝灰岩及 酸性火山角砾岩等;上第三系(相当于油砂山组), 岩性主要为砾岩及砂岩,局部夹泥岩及石膏;第四 系沉积物成因类型复杂,主要有冰碛泥砾及砂砾 层、冲积层、洪积层、湖积层等.

本区岩浆活动频繁,从加里东期一印支期都 有分布,但印支期花岗岩最为发育.岩石类型以 酸性、中酸性侵入岩为主,在该区北部分布有较 多的超基性岩及基性岩.加里东期侵入岩主要有 超基性岩 ( $\Sigma_3$ )、基性岩 ( $\nu_3$ )、斜长花岗岩 ( $\gamma o_3^3$ )和闪长岩 ( $\delta_3^3$ );华力西期侵入岩主要有花 岗闪长岩 ( $\gamma \delta_4^3$ )、花岗岩 ( $\gamma_4^3$ )及少量闪长岩 ( $\delta_4^3$ );印支期侵入岩主要是花岗岩 ( $\gamma_5^1$ ),其次是 花岗闪长岩 ( $\gamma \delta_5^1$ ).

① 收稿日期: 2003-03-13

基金项目:国土资源部国土资源地质大调查项目(DKD9902003)部分成果 作者简介:张拴宏(1974-),男,博士研究生,助理研究员,研究方向:构造地质及岩石磁学.



图1 哇洪山断裂带中段构造地质略图(据 1/20 万资料修编) Fig. 1 Geological sketch map of middle Wahongshan fault zone Q一第四系; N<sub>2</sub>—上第三系(相当于油砂山组); T<sub>3</sub>—上三叠统; T<sub>1</sub>—下三叠统; P<sub>1</sub>—下二叠统; C<sub>2</sub>—上石炭统; C<sub>1</sub>—下石炭统; D<sub>3</sub>—牦牛山组; O<sub>3</sub>—滩间山群; Pt<sub>1</sub>—达肯大坂群;  $\gamma_{5}^{1}$ —花岗岩;  $\gamma \delta_{5}^{1}$ —花岗闪长岩; $\delta_{4}^{3}$ —闪长岩; $\gamma \delta_{4}^{3}$ —花岗闪长岩; $\gamma_{4}^{3}$ —花岗岩;  $\gamma_{5}^{3}$ —花岗闪长岩; $\delta_{4}^{3}$ —闪长岩; $\gamma \delta_{3}^{3}$ —花岗闪长岩; $\gamma_{4}^{3}$ —花岗岩;  $\mu_{5}^{3}$ —花岗岩; $\delta_{3}^{3}$ —闪长岩; $\gamma \sigma_{5}^{3}$ —谷岗闪长岩; $\nu_{4}$ —花岗岩;  $\mu_{5}$ —花岗岩; $\delta_{3}^{3}$ —闪长岩; $\gamma \sigma_{5}^{3}$ —斜长花岗岩; $\nu_{4}$ — 花岗岩; E;5—平移断层;6—韧性剪切带;7—性质不明断层及推测 断层;8—铜矿点;9—铅锌矿点

本区构造以断裂为主.其中 NW – NNW 向最 为发育,是哇洪山断裂带的主体,也是本区最主 要的控岩控矿构造,该组断裂变形历史复杂,主 要经历了早期韧性变形(韧性剪切带)和晚期脆 性变形两个阶段<sup>[1]</sup>.其次为东西向、南北向、北 东向断裂,性质复杂,有正断层、逆断层、也有 平移断层.这些断裂带常对 NW – NNW 向断裂起 改造破坏作用.

### 2 原理分析

构造应力作用往往使岩石中磁性矿物产生定向排列、韧性变形或动态重结晶,其结果是使岩 石产生磁化率各向异性.研究结果表明,变形岩 石应变椭球的3个主轴与磁化率椭球的3个主轴 相互平行,具有共轴关系<sup>[2-7]</sup>,因此磁化率椭球 可用来代替应变椭球,用其形态和空间定向来分 析构造变形的性质和应力作用的方式和方向.这 对缺乏应变标志体,应变椭球难以确定的地区的 变形研究具有重要的实用意义.

### 3 样品采集和测试

为了系统研究哇洪山断裂带中段岩石变形特征,笔者在哇洪山断裂带中段及其外围采集大量样品进行了岩石磁组构分析.同时为了探讨岩脉 及岩体的变形特征,还特别采集了少量岩体(脉) 样品进行了测试.

野外采集定向标本之后,在室内钻取定向岩 心,然后在中国地质大学(北京)古地磁实验室 进行岩石磁组构测试,所用仪器为KLY—1型卡帕 桥测定仪,测试精度为2E-8SI.通过测试,得到 样品磁化率张量3个主磁化率 $K_{max}$ , $K_{int}$ 和 $K_{min}$ (或 $K_1$ , $K_2$ , $K_3$ )大小及方位,应用微机程序求 出样品磁化率椭球的特征值(磁化率各相异度值 P、磁线理L、磁面理F、磁椭球扁率E、磁椭球 形状因数T和f等参数),并给出了磁面理产状.

### 4 测试结果分析及其构造意义

本次磁组构分析共进行了 109 件样品的 144 次测试.其中断裂带中段及其外围构造岩样品 94 件,岩脉及岩体(华力西期及其以后)样品 15 件.另外为了检验测试结果的可信度,选取若干 样品进行了前后多次重复测量,结果显示,除极 个别样品外,同一样品多次测试的结果均相差不 大,故认为此次测试结果可信,其精度可以满足 分析要求.

#### 4.1 岩石磁化率量值大小

在各类岩石中有显著差别,范围为 n×10<sup>-4</sup> ~n×10<sup>-1</sup>SI,相差数千倍,反映了岩石中磁性矿 物种类及含量有较大的差别. 总体来说,石英岩 及大理岩的磁化率较低,部分甚至出现负值.

#### 4.2 岩石变形强度

为了研究岩石塑性变形的强弱,求得磁化率百 分率各向异性 H. 一般认为,H 值大于 5% 时表明岩 石开始产生塑性变形<sup>[8]</sup>. 计算结果表明,除华力西 期及其以后的岩体(脉)外,区内岩石 H 值普遍大于 5%,尤其是断裂带及其边部的糜棱岩,H值普遍大于10%,最高达30.15%,说明岩石经历了较强的韧性变形.少量经受韧性变形的岩石也表现出低的H值(<5%),可能与后期热蚀变作用引起的磁化率各向异性部分消除及减弱有关.

#### 4.3 F-L图解及其意义

岩石磁组构 F (磁面理) -L (磁线理) 参数 图解(图2、图3)表明:构造岩样品94个测试 结果有84个落在 E <1 的范围内,仅有10个落在 E >1 的范围内,说明岩石磁化率量值椭球呈压扁 状,构造变形以压扁作用为主;15 件岩体(脉) 样品测试结果中8件落在 E <1 的范围内,7件落 在 E >1 的范围内,反映此类岩石无明显变形规 律,可能系岩石原生磁组构(即岩浆作用引起的 磁化率各向异性)的反映.

#### 4.4 T-P图解及其意义

由岩石磁组构 T (磁化率椭球形状因数) -P (磁各向异度)图(图4、图5)可知:94件构造 岩样品测试结果有84个位于P轴上方,10件位于 P轴下方,反映本区岩石磁性组构具有磁面理发 育,磁线理不发育的特点;15件岩体(脉)样品 测试结果中8件落在P轴上方,7件落在P轴下 方,说明磁面理和磁线理几乎对等发育.两类岩











石磁性组构特征的差别说明它们有不同的变形历 史,这与野外观测结果相一致.

#### 4.5 最小磁化率产状投影与最大主压应力方位

由于变形岩石磁化率椭球最小轴与最大应变 压缩轴有一定的对应性,故可近似代表变形期的 最大主压应力方向.将构造岩样品最小磁化率产 状投影到施米特网上得图6,可以看出,大部分投 影点落在近 E - W 向(SEE - NEE)区域,少量 NNW 向,反映岩石发生韧性变形时最大主压应力 的方位主要为近 E - W 向.而岩体(脉)最小磁 化率产状投影图(图7)则无明显的优选方位, 这与此类岩石无明显韧性变形,岩石磁组构主要 为其原生组构的事实相吻合.

#### 4.6 韧性剪切带指向分析

根据前文分析结果,用磁化率最小主轴推断的本区韧性剪切变形期最大主压应力方位为近 E – W 向,而韧性剪切带的总体走向为 NW – NNW 向. 将E – W向最大主压应力沿断裂带走向进行分解,



图 4 构造岩磁组构 T – P 图





图 5 岩体 (脉) 磁组构 T - P 图 Fig. 5 T - P diagram of magnetic fabric of veins and plutons

将在剪切带两侧形成一逆时针方向的力偶(图 8),促使剪切带发生左旋滑动,即剪切带韧性变 形期运动性质为左旋,这一点与野外宏观及室内 微观构造分析结果非常吻合<sup>[1]</sup>.

#### 4.7 磁组构参数沿断裂带走向的变化

为了解本区磁组构参数沿断裂带走向的变化 规律,将断裂带走向上不同部位构造岩(不包括 岩体和岩脉)的磁化率参数平均后,作出磁组构 参数沿断裂带走向变化图(图9).从图中看出:



**图6 构造岩最小磁化率产状投影图** (施米特网,下半球投影) Fig. 6 Projection diagram of minimum magnetic

susceptibility of tectonites



图 7 岩体(脉)最小磁化率产状投影图 (施米特网,下半球投影)

Fig. 7 Projection diagram of minimum magnetic susceptibility of veins and plutons







图 9 磁组构参数 H, P, F, L和 E沿断裂带走向变化图 Fig. 9 Variation of H, P, F, L and E values along the strike of Wahongshan fault zone

(1)磁组构各参数沿断裂带走向有明显不同,可反映岩石韧性变形大小的磁各向异性度 P 值及磁化率百分率各向异性 H 值在阿移项、哇沿河一巴硬格莉沟一加木恩较大,反映此区韧性变形较强;在红柳沟一蒙高、老沿等地较低,反映这些地区韧性变形较弱.与本区构造变形分析结果<sup>[1]</sup>基本符合.

(2) 磁面理 F 和磁线理 L 在变化上步调不近一致,普遍 F>L,F 在一棵树一哈莉哈德、哇沿河一巴硬格莉沟一加木恩一带较高;L 在阿移项、鄂阿洛东等地较高,但总体上变化不大.

### 5 结 论

(1)不同岩石磁化率大小有较大变化,反映 了岩石中磁性矿物种类及含量有较大的差别.

(2)晚华力西期及其以后的岩脉及岩体磁化 率百分率各向异性 H 值不高,反映岩石无明显韧 性变形,也说明韧性变形早于此类岩体及岩脉的 形成.此类岩石磁组构系岩体(脉)形成过程中 岩浆作用所引起,而非构造变形之起因.

(3)断裂带及其外围构造岩磁化率百分率各向异性 H 值很高,说明岩石经历了较强的韧性变形.磁组构 F-L及T-P 图解分析表明,岩石以压扁变形为主,磁面理发育而磁线理不发育.

(4)由构造岩磁化率最小轴推断的韧性变形 期最大主压应力方位主要为近 E - W 向,由此推 断断裂带韧性变形期运动性质为左旋,这与野外 及室内研究结果相吻合. (5) 沿断裂带走向,构造岩磁组构参数有明显的变化,反映岩石变形特征在断裂带不同部位 有一定差别. P 值和 H 值的变化反映阿移项、哇 沿河一巴硬格莉沟—加木恩韧性变形较强,而红 柳沟—蒙高、老沿等地韧性变形相对较弱. 这与 本区构造变形及岩石组构分析结果<sup>[1]</sup>基本一致, 其中构造变形较强的哇沿河—巴硬格莉沟—带成 为本区最为有利的多金属矿化区域<sup>[9]</sup>.

**致谢:**参加此项研究野外工作的还有:中国地质 科学院地质力学研究所张国铎、尹华仁研究员, 青海省第六地质队郑和平、李永地高级工程师, 中国地质大学(北京)硕士生于宏东等,地质力 学所宋友贵研究员参与了部分室内工作,在此谨 致谢意.

#### 参考文献

[1] 张拴宏,周显强.青海省洼洪山断裂带中段构造变形特征及X光岩组分析 [J].大地构造与成矿学,2003,27(1):29-36.

- [2] 吴汉宁. 岩石的磁性组构及其在岩石变形分析中的应用 [J]. 岩石学报, 1988, (1): 94-98.
- [3] Kligfield R W, Lowrie W, Dalziel W D. Magnetic susceptibility anisotropy as a strain indicator in the subbury basin Ontratio
  [J]. Tectonophysics, 1977, (40): 287 308.
- [4] Borradaile G J , Tartning D H. The influence of deformation on magnetic fabric in weakly deformed rocks [J]. Tectonophysics, 1981, (77): 151-168.
- [5] Rathore J S. Magnetic fabric in rocks from the moll Dran valley [J]. Geologische Rundschau, 1983, 72 (3): 1081 1104.
- [6] Rathore J S, Becke M. Magnetic analyses in the Gail Valley (Garinthia, Austria) for the determination of the sense of movements along this region of the periadriatic line [J]. Tectonophysics, 1980, (69): 349-368.
- [7]余钦范,郑 敏.岩石磁组构分析及其在地学中的应用[M].北京:地质出版社,1992.58-81.
- [8] 阎桂林. 岩石磁化率各向异性在地学中的应用 [M]. 武 汉:中国地质大学出版社, 1996. 90-104.
- [9]张拴宏,周显强,于宏东,等.青海省巴硬格莉沟一哇沿 河多金属矿化带稳定同位素地质与成矿物质来源[J]. 地质地球化学,2003,31 (2):22-38.

## Characteristics of rock magnetic fabric in middle Wahongshan fault zone and its geological significance

ZHANG Shuan-hong<sup>1</sup>, ZHOU Xian-qiang<sup>1</sup>, JI Zhan-sheng<sup>2</sup>

(1. Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China)

**Abstract**: The Wahongshan fault zone in Qinghai province is one of the most important faults in western China. Magnetic fabric of the tectonites and some plutons and veins along the middle segment of the fault are studied. The characteristics of the tectonites from the faults are: (1) the values of H, which symbolize the degree of the magnetic anisotropy, are high (>5% in general and >10% in fault zone); (2) the magnetic susceptibility ellipsoid is flattened; (3) the magnetic foliation is well developed, but the magnetic lineation is poor developed. The orientation of the maximum principal stress inferred from the minimum magnetic susceptibility is nearly E - W, so the horizontal movement sense of the shear zones is sinistral. The variations of H, P, F, L, E values along the strike of the fault zones show that the deformation characteristics are different along the fault. The ductile deformations in Ayixiang and Wayanhe – Bayinggeligou – Jiamuen are stronger than the deformations in Hongliugou – Menggao and Laoyan. Because of the low H values of the plutons and veins formed in or after late Hercynian, these rocks have no significant ductile deformation, which indicates that the rocks formed after the formation of the Wahongshan ductile shear zone.

Key words: magnetic fabric; ductile shear zones; deformation; Wahongshan fault zone; Qinghai