

确定变质岩区褶皱构造形态的 几种方法及其理论分析

蔡 学 林

(成都地质学院地质学系)

摘 要

本文根据作者多年研究和实践,提出确定变质岩区褶皱构造形态的 3 种技术和方法: 1. 微片石法, 2. 钩状褶皱法, 3. 构造透镜体法。它们的理论依据是构造置换。这些方法无论在实际上,还是在理论上都是能成立的。应用这些方法能获得较好的效果。

关键词: 微片石, 钩状褶皱, 构造透镜体, 构造置换

研究和确定变质岩区褶皱构造形态及其类型往往是地质学家一项困难而艰巨的任务。本文根据作者在四川会理、河南桐柏、武当山、秦岭等地变质岩区构造多年研究和实践,论述了 3 种确定变质岩系褶皱构造形态的方法及其理论依据。

一、微 片 石 法

片理面与片理面之间的岩石称为微片石。在片岩和片麻岩中,轴面片理的微片石内存在多种结构样式。湖北竹山银洞沟银金矿区,武当群云母钠长石英片岩和云母石英片岩中广泛发育轴面片理,该轴面片理的微片石内有 7 种结构样式(图 1)^[1]: (a) 平行型 层理 (S_0)、顺层片理 (S_1) 与轴面片理 (S_2) 产状完全一致,而且相互平行,微片石内的片状矿物与轴面片理面近于平行; (b) 斜列型 微片石内层理、顺层片理的片状矿物排列方向,与轴面片理呈一定交角,前者为斜列型展布; (c) S 型或反 S 型 微片石内层理、顺层片理的片状矿物定向,构成 S 型或反 S 型展布; (d) 钩型 微片石内层理或顺层片理的片状矿物或长石、石英集合体排列成一系列微型钩状褶皱; (e) 单式褶皱型 微片石内层理或顺层片理的片状矿物或长石、石英集合体构成一个微型褶皱; (f) 复式褶皱型 微片石内层理或顺层片理的片状矿物或长石、石英集合体构成两个以上的微型褶皱; (g) 透镜体型 微片石内层理或顺层片理的片状矿物或长石、石英集合体经强烈挤压作用和变质作用,其矿物定向与轴面片理面一致,构成一系列透镜体。

微片石内的 7 种结构样式在中浅变质的褶皱岩层内均能见到。通常这些结构样式与一定

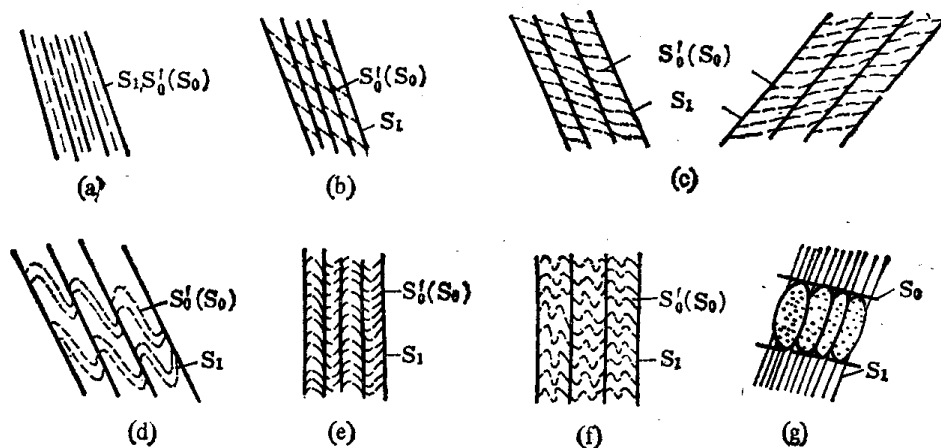
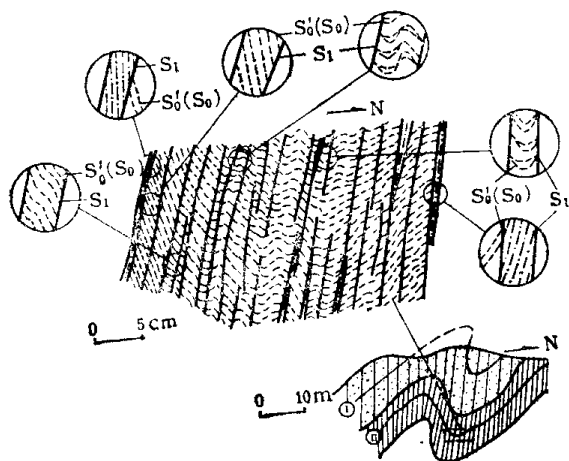
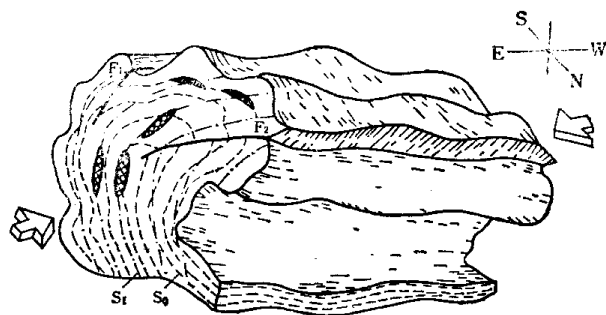


图 1 轴面片理微片石的结构样式

(湖北竹山银洞沟矿区,说明见正文)

的褶皱形态、所处的构造部位以及变形和变质作用强度有关。这些结构样式在大褶皱内分布有一定的规律：例如，在较开阔褶皱中，翼部为斜列型、S 型或反 S 型，转折端为单式褶皱型和复式褶皱型；在倒转褶皱中，7 种结构样式均发育，在褶皱翼部为平行型，由褶皱翼部到转折端枢纽点附近分别出现平行型、斜列型、S 型或反 S 型、钩型、单式褶皱型、复式褶皱型和透镜体型，由枢纽点到褶皱另一翼分别对称重复出现上述结构样式。据此，我们在云母钠长石英片岩中恢复出一个倒转向斜构造形态（图 2）。竹山银洞沟矿区主体褶皱银洞沟-梨树坪复式倒转倾伏背斜及其中一系列次一级褶皱构造形态主要是根据上述结构样式确定的（图 3）。运用此

图 2 微片石的结构样式与倒转向斜的关系
(竹山银洞沟口)图 3 银洞沟-梨树坪复式倒转倾伏背斜立体块断示意图
(竹山银洞沟矿区)

方法研究会理群和陡岭群变质岩系的褶皱构造形态获得了成功。由此可见，根据微片石的结构样式可以较准确地确定中浅变质岩系褶皱构造形态、位态和规模。

二、钩状褶皱法

钩状褶皱或无根褶皱在变质岩系中广泛发育，这种褶皱由粘度较大的能干岩层，如石英

岩、磁铁石英岩、大理岩、角闪岩以及各种脉岩构成。其间的基质是由粘度较小,但厚度较大的不能干岩层,如云母片岩、云母石英片岩、角闪片岩和片麻岩构成。二者的粘度系数始终是 $\mu_1 \gg \mu_2$ 。组成钩状褶皱的能干岩层中,轴面片理不发育;基质不能干岩层内轴面片理发育。

钩状褶皱的形态比较复杂,主要有以下几种类型(图 4)^[2]: (a) 单式对称型 该型在褶皱转折端处岩层或岩脉厚度加大,到两翼厚度减小并同时尖灭,褶皱外弯部分呈弧形,内弯可以是弧形,也可以是尖形; (b) 单式不对称型 褶皱两翼不对称,一翼长,另一翼短,两翼呈不等长尖灭; (c) S 型 S 型钩状褶皱是由共用一个短翼的两个褶皱组成,短翼岩层厚度变化不大,长翼岩层厚度逐渐减小,直至尖灭,在褶皱转折端处厚度加大; (d) Z 型 它是由两个褶皱所组成,两翼长度大致相等,共同翼厚度变化不大,非共同翼岩层厚度逐渐减小尖灭; (e) 链环型^[3] 这类钩状褶皱由两个褶皱组成,共同翼是长翼,其岩层厚度变化不大,非共同翼是短翼。

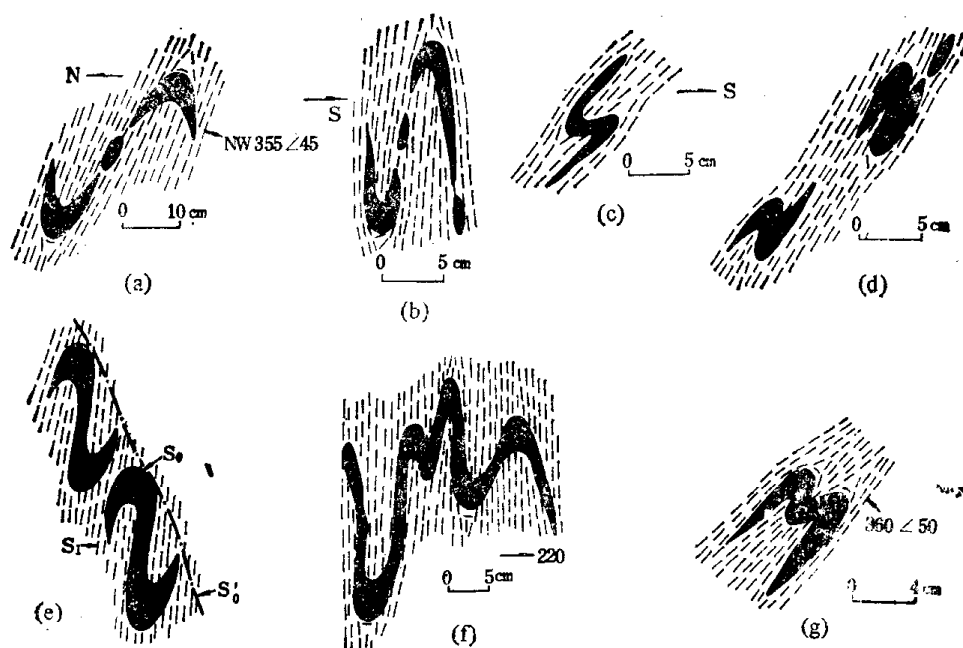


图 4 钩状褶皱的形态类型

((a) 单式对称型, (b) 单式不对称型, (c) S 型, (d) Z 型, (e) 链环型, 能干岩层为石英岩, 基质为片岩(嵩山, 据马杏垣等), (f) 肠状式钩状褶皱, 能干岩层为变粒岩, 基质为片岩(桐柏朱庄), (g) M 型或 W 型; (a), (b), (c), (d), (g) 的能干岩层为脉石英岩, 基质为绢云石英片岩夹绢云母千枚岩(会理下村))

岩层厚度变化大, 并很快尖灭, 沿尖灭方向发育构造透镜体; (f) 肠状式钩状褶皱 它由数个或更多的褶皱组成, 总体形似钩状, 它在基质中是不生根的; (g) M 型或 W 型 通常由 3 个褶皱构成, 褶皱外弧呈圆滑形, 内弧一般呈尖形, 共同翼岩层厚度变化不大, 非共同翼岩层厚度减小尖灭, 其长度大致相等。

这些钩状褶皱构造形态类型在大褶皱内分布是有一定规律的。通常单式对称型、M 型或 W 型钩状褶皱发育在大褶皱的转折端, 钩状褶皱转折端的切线方向代表了包络面的方向, 它反映大褶皱转折端的轮廓, 包络面与大褶皱轴面近直交。而单式不对称型、S 型、Z 型、链环型和肠状式钩状褶皱发育在大褶皱转折端到翼部的过渡部位, 其中 Z 型钩状褶皱发育在大褶皱的左翼, S 型钩状褶皱发育在大褶皱的右翼, 此时钩状褶皱转折端的联面, 即包络面方向与大褶

皱轴面呈锐角相交。到大褶皱翼部,由于构造置换的结果,能干岩层全部形成构造透镜体,构造透镜体延伸方向也就代表了原始层理的方向,亦即大褶皱翼部包络面的方向。将褶皱各个构造部位包络面联结起来也就反映了大褶皱的形态特征和规模(图 5)。由此可见,根据钩状褶皱的形态类型和分布规律,就可以指示它们所处的大褶皱的构造部位,以及恢复大褶皱的形态、位态和规模。

根据各地变质岩系构造研究表明,在能干岩层与不能干岩层相间的构造置换强烈的中深变质岩系内发育不同规模的钩状褶皱,有的钩状褶皱规模较大,成为区域变质岩系特有的褶皱构造形态之一。例如,河南桐柏-泌阳金银矿带内,经 1:10000 详细构造地质填图,河前庄不协调斜歪倾伏背斜北西倾伏端就是由厚层大理岩构成一大型对称钩状褶皱(图 6)。此外,我国鞍山式铁矿是受钩状褶皱控制的。

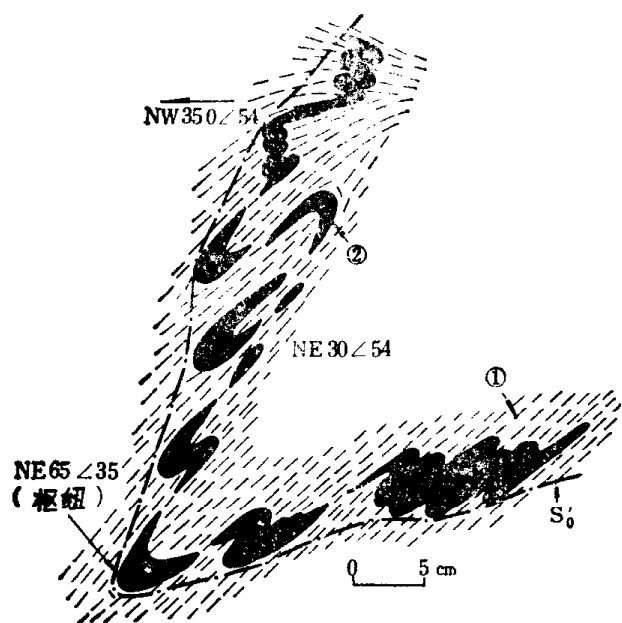


图 5 会理群中钩状褶皱形态类型与大褶皱的关系(会理下村)

(①——绢云石英片岩; ②——变质脉石英岩)

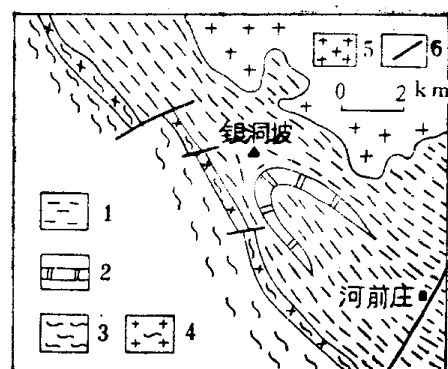


图 6 河前庄背斜核部由大理岩构成的钩状褶皱

(1——元古界歪头山组变粒岩、斜长角闪片岩和云母石英片岩, 2——歪头山组大理岩, 3——元古界大梁树组斜长角闪片岩, 4——片麻状花岗岩, 5——桃源花岗岩, 6——断层)

实践检验该方法效果良好。在中深变质岩区用这种方法恢复大褶皱形态类型效果更佳。钩状褶皱可以用来恢复露头级的褶皱形态,也可以用于恢复区域褶皱构造形态,但要发现钩状褶皱类型与大褶皱的关系,必须通过填绘构造岩性图才能获得。

三、构造透镜体法

在构造置换强烈的中深变质岩地区,构造透镜体比较发育。根据我们的研究,构造透镜体的最重要意义在于恢复变质岩发育区大褶皱的形态、位态和规模。构造透镜体主要是由相对能干岩层,如石英岩、磁铁石英岩、大理岩和各种脉岩组成,构造透镜体周围基质成分是由各种片岩、片麻岩构成。两者均发育轴面片理或轴面劈理,但基质岩石内更发育。

构造透镜体与香肠构造的主要区别是：(a) 构造透镜体和香肠构造成分均为能干岩层，但规模不同，前者规模可大可小，后者规模一般较小；(b) 形成方式不同，前者开始总是平行于层面的挤压，并经构造置换而成，后者总是垂直层面的挤压；(c) 从总体产状来看，前者在岩层中与层面的关系是多种多样的，后者基本平行于岩层层理面。

根据构造透镜体横剖面延伸方向(局部岩性层理方向)与包络面(S_0)和轴面片理或轴面劈理(S_1)的关系，大体可以分为3种形态类型(图7)：(a) 平行式 构造透镜体呈平行排列，与 S_0' 及 S_1 呈大角度相交或直交，有时可见残留的钩状褶皱构成的构造透镜体(图8)；(b) 斜列式 构造透镜体呈斜列式排列，透镜体延伸方向与 S_0' 及 S_1 呈中等角度相交；(c) 串珠状式 构造透镜体呈串珠状式排列，构成首尾相联，透镜体延伸方向与 S_0 、 S_0' 及 S_1 平行。

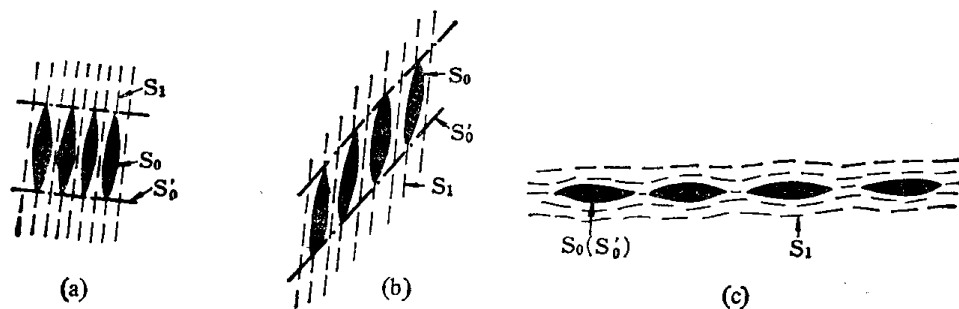


图7 构造透镜体形态类型
(a) 平行式, (b) 斜列式, (c) 串珠状式

与大褶皱有成因联系的构造透镜体在区域变质岩系中分布是有一定规律的，如图8所示。一般情况下，平行式构造透镜体分布在大褶皱转折端，构造透镜体端点的切线方向代表了大褶皱转折端的形态。斜列式构造透镜体分布在大褶皱转折端到翼部的过渡部位，或者翼部，此时，构造透镜体端点的联线与大褶皱轴面呈锐角相交。而串珠状式构造透镜体完全平行于

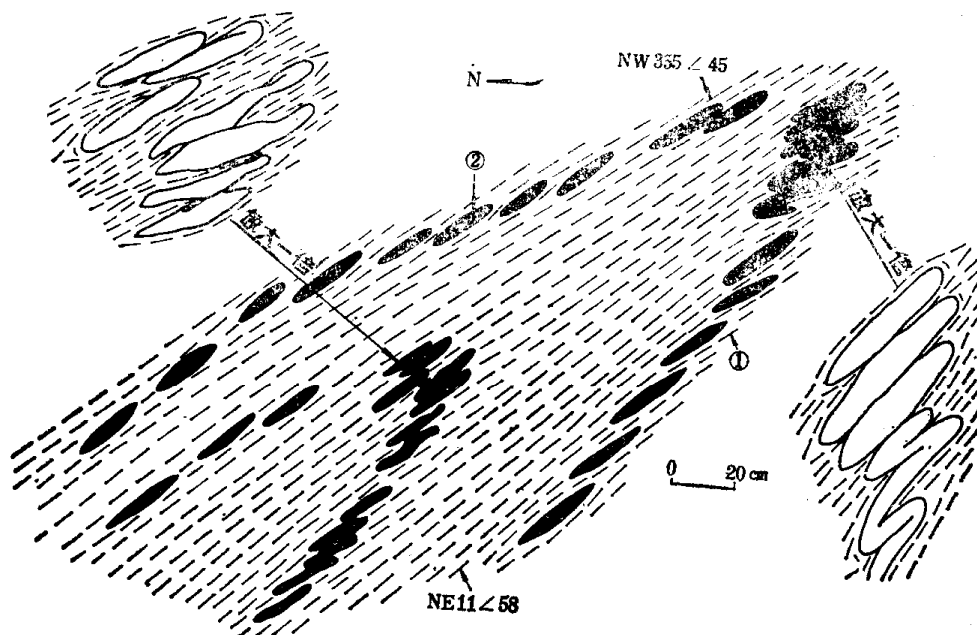


图8 会理群中构造透镜体与大褶皱的关系(会理下村顺河)
(①——绢云石英片岩, ②——变质脉石英岩)

大褶皱的轴面。将由构造透镜体反映出来的各个构造部位的包络面联起来的构造形态也就代表了大褶皱的形态。在构造置换强烈的变质岩区应用这种方法可以达到良好的效果。如图 9 所示。在填绘构造岩性图的基础上,利用构造透镜体法恢复该区构造为一三期褶皱叠加。

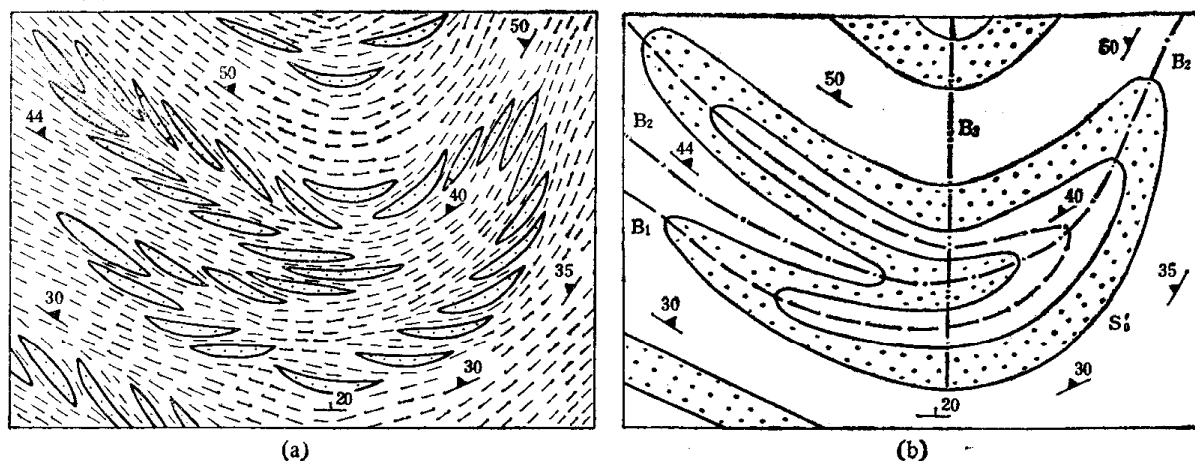


图 9 利用构造透镜体恢复三期褶皱叠加图示

((a) 岩性图(构造透镜体为石英岩,基质为片麻岩), (b) 左图的构造解析图)

四、方法的理论依据

上述 3 种方法可以单独使用,也可以综合使用,互相印证。方法简便易行,比较可靠。根据作者的观察和研究认为,变质岩区褶皱岩层的构造置换作用^[4,5]是这些方法的理论基础。因为,在褶皱作用过程中,由于不同岩层的面状构造置换将依次出现上述构造形态,据此可以利用它们来恢复大褶皱形态。

形成前述构造形态的前提有:(1) 岩性条件 一般情况下,厚度较小的能干岩层夹在厚度较大的不能干岩层之间时,在其它条件具备情况下,就容易形成前述构造形态;(2) 温压条件 通常岩石处于塑性变形的环境中,在低温低压、中温中压和高温高压条件下都可以形成上述构造形态;(3) 力学条件 水平侧向挤压力是形成前述构造形态必要的动力学条件。

在上述条件下,面状构造置换大体经历了以下几个阶段。在平行或近平行于层理面的侧向挤压力作用下,首先是层状岩层整体缩短(图 10 (a), (b))。紧接着是粘度大的能干岩层力学失稳,发生纵弯褶皱。这一点为 Biot 和 Ramberg 等人的研究所证实,能干岩层褶皱初始波长受主波长 W_d 的控制,即

$$W_d = 2\pi T \sqrt[3]{\frac{\mu_1}{6\mu_2}}$$

式中 T 为能干岩层的厚度, T 小波长小, T 大波长, μ_1 为能干岩层的粘度系数, μ_2 为不能干岩层的粘度系数, μ_1/μ_2 粘度比大,波长越大。能干岩层发生纵弯褶皱同时,不能干岩层继续缩短(图 10 (c))。此时,可能两种岩层均有缩短,仅缩短量不等而已。当进一步变形时,按 Biot 和 Ramberg 等人的意见,不能干岩层发生整体力学失稳,形成较大的纵弯褶皱时,而能干岩层继续褶皱,并在大褶皱翼部形成不对称的从属褶皱,左翼为“Z”型从属褶皱,右翼为“S”型从属褶皱(图 10 (d))。上述构造置换形成的构造形态为构造模拟实验所证实。

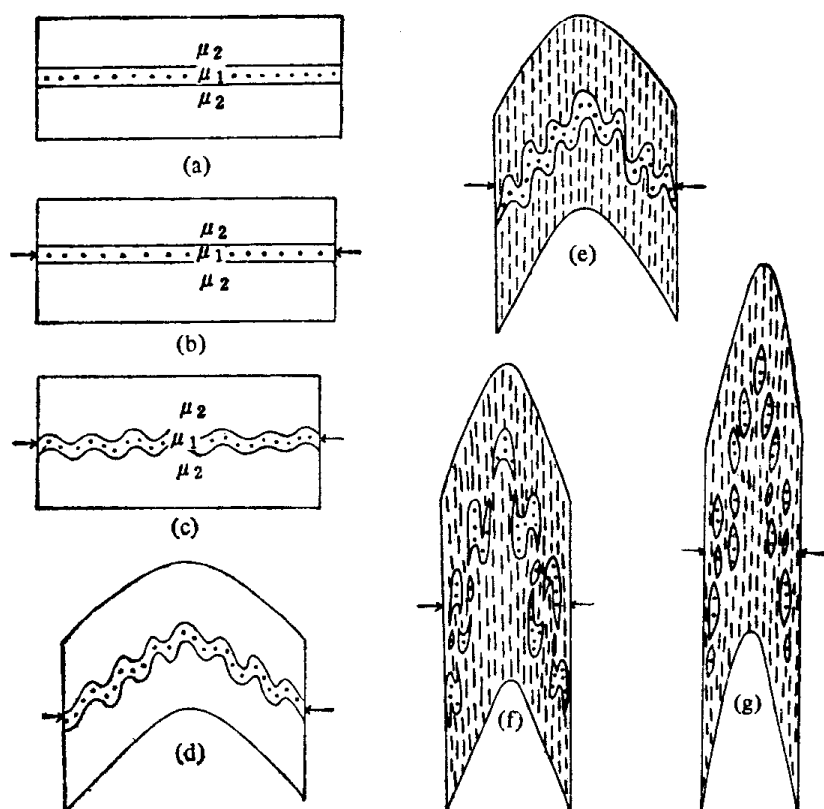


图 10 面状构造置换过程示意图

((a) 原始状态, (b) 侧向挤压下岩层整体缩短, (c) 能干岩层的褶皱, 基质缩短, (d) 岩层整体褶皱, (e) 基质发育轴面劈理或片理, (f) 能干岩层形成钩状褶皱, 基质发育轴面片理, (g) 构造透镜体)

当变形、压扁作用和变质作用加强时, 能干岩层开始发育轴面劈理, 劈理面切割不能干岩层层理面, 并常常掩盖层理, 不易恢复大褶皱形态。有时沿劈理面有微小滑动, 形成滑褶皱。由于能干岩层沿轴面劈理面的滑动, 引起能干岩层进一步弯曲褶皱。这个阶段褶皱的能干岩层基本是连续的, 在褶皱转折端岩层加厚, 翼部岩层变薄, 产生细颈化, 仅在个别褶皱的翼部出现能干岩层的不连续(图 10 (e))。可能江西兴余式铁矿层褶皱就是如此, 磁铁石英岩矿层形成极为壮观的“红绸舞式”褶皱形态^[7]。此时就可以利用褶皱岩层包络面恢复大褶皱形态。

当变形、压扁作用和变质作用继续加强时, 能干岩层发育轴面片理, 形成微片石内的各种结构样式^[1]。由于沿片理面发生差异剪切滑动, 造成由能干岩层构成的褶皱两翼被剪断和错开, 形成各种形态的钩状褶皱(图 10 (f))。有时翼部岩层被拉断, 出现构造透镜体。当能干岩层厚度比较小时, 在变质较浅的岩层中, 也可以发育钩状褶皱。当能干岩层厚度比较大时, 只有侧向挤压更强烈, 变质程度更深条件下, 能干岩层才有可能发育钩状褶皱, 这种钩状褶皱规模较大, 而且不发育轴面片理。此时, 仅在能干岩层中才发育轴面片理或片麻理等, 片理或片麻理完全置换了能干岩层的层理。通过上述作用, 使连续完整的褶皱消失, 出现在岩层中的褶皱仅仅是一个个孤立的互不相联的残留的转折端。这时, 就可以利用微片石法和钩状褶皱法恢复变质岩系内大褶皱的形态。

在最强烈地构造置换阶段时, 钩状褶皱形态基本消失, 能干岩层表现为一系列彼此孤立的

形态不同的构造透镜体^[6](图 10(g))。不能于岩层继续发育轴面片理或片麻理。此时, 可以利用构造透镜体法恢复变质岩系内的大褶皱形态。

总之, 利用微片石法、钩状褶皱法和构造透镜体法恢复变质岩系内大褶皱形态, 经野外多次实践的检验和室内模拟实验, 不仅在实际上能取得较好的效果, 而且在实验和理论上都是能成立的。因此, 这些方法与其它方法一起利用和推广必将提高变质岩区地质填图的质量和水平, 扩大找矿和勘探效益。

参 考 文 献

- [1] 蔡学林、邓明森, 科学通报, 30 (1985), 15: 1175—1178.
- [2] 蔡学林, 地学进展, 1986, 2: 58—65.
- [3] 马杏垣等, 嵩山构造变形, 地质出版社, 1981, 118—130.
- [4] Turner, F. J. et al., *Structural Analysis of Metamorphic Tectonites*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1963, 163—193.
- [5] Hobbs, B. E. et al., *An Outline of Structural Geology*, J. Wiley and Sons, Inc., New York, 1976, 100—159.
- [6] Davis, G. H., *Structural Geology of Rocks and Regions*, J. Wiley and Sons, Inc., New York, 1984, 438—447.
- [7] 汤加富, 中国区域地质, 1983, 7: 97—104.