

在变质岩区开展一比五万区调的体会

王 启 超

(河北省第一区调队)

变质岩区由于经历了多次强烈的褶皱作用、变质及混合岩化作用,使岩石改变了面貌,因而在变质岩区,尤其高级变质区开展1/5万填图,也就增加了极大的困难,所以欧美的地质工作者多强调不宜进行地层划分,而应以变质杂岩对待。基于以上原因,在采用的方法上有其不同于沉积区的各种特点。尤其进入七十年代后,国内外强调了由岩石地层法转入构造地层法。当然,为了搞清地层层序,除了加强构造研究外,对变质岩石的工作,包括岩类的划分、原岩恢复、变质带、相、相系的研究,混合岩形态、成因特点与深度带的研究仍是不可忽视的,属相辅相成关系。毋宁说需综合采用岩石—构造各种手段,称做岩石—构造地层法。虽然在变质岩区的工作存在着各种困难,但通过我队多年来在太行北段对阜平群、五台群、滹沱群的1/20万区调重点工作,配合燕山地区如冀西桑干群、红旗营子群(单塔子群)等面上的工作近年来又转向冀东变质岩分布区从事迁西群、遵化群的1/5万区调实践(不少人对该区的1/20万区调成果颇有异议),深深体会到只要采用正确的工作方法,进行过细的艰苦工作,仍然是可以搞清或基本搞清其构造与层序的。现在谈谈我们在变质岩区开展1/5万区调的方法与体会。

(一) 区调开展前的准备工作

1. 抓技术学习。

我们采取的主要办法是:多次邀请变质岩专家讲课,从理论上进一步提高,其内容包括变质岩、构造解析、同位素知识、变质成矿理论等。但是从学习书本到实际操作尚有一段距离,所以我们又组织了由技术骨干或全体技术人员参加的野外构造解析实习,其内容以掌握构造解析的野外操作及室内整理方法为重点。此外,我们还组织有关人员外出联系或函购各种急需的变质岩书籍。

2. 做好地质踏勘与实验性填图

对于多数职工属于初搞变质岩来讲,这项工作尤为重要,且都是在编写设计前进行的。踏勘的目的在于统一变质岩命名与工作方法;对测区地质背景作轮廓了解,对构造—地层法有一个初步认识。为了达到上述目的,不仅野外观察中共同定名测量与描述,并对各种类型岩石及疑难岩石多采一些薄片标本,以便通过室内镜下鉴定,修改野外定名后,供全体野外生产人员对照观察,做到正确定名,达到统一目的。

接着即安排几十平方公里的面积进行实验性填图(不计入生产指标)。包括进一步的统一岩石命名与记录内容,划分地层单位、混合岩类型、追索标志层,同时详细观测各种构造要素(层理、片理、轴面、枢纽、线理等)。检验踏勘时所划分的各种地层及确定的标志层的稳定性,对区内的构造特征有了更实际的了解,这块填图范围,尽量是测区内变化最大、层序最全的地段。

例如我队三分队今年用大约一个月的时间,才完成 15Km^2 的面积,开始全分队在一起,以后也仅分为2~3个组。通过工作,大家很有收获,也明确了只有追索标志层,才能搞清构造与层序,并且对过去的单斜分布区找到了属于背斜的转折端。但是有的并未真正认识到这一点,试图越过这一步而全面铺开;或者走老路,仍仅采用穿越路线,不仅统一不了认识,掌握不了方法,其成果在第二年度也不得不报废重填。除上述外,我们认为通过这次实验性填图之后,尚应很好地总结经验教训,以求能更有效地指导今后的工作。

3. 编制变质岩区的区调工作细则

区调工作细则是设计的详细补充,在编写时尽量切合测区实际情况,求适用而不求齐全,有所偏重。其目的为取得技术工作上的统一,并使原始资料尽量取得齐全、可靠,便于应用。当然,更要反映变质岩工作的特性与搞法。我队二分队在冀东东荒峪、三屯营变质岩区工作之初,所编的工作细则包括以下章节:有关岩石命名,变质岩区褶皱观测要求,断裂构造的观察与研究,节理构造的观察与研究,变质岩区不整合的标志,标志层的观察,地质剖面测制,地质填图,各种样品代表符号及编号方法,关于测试样品的采样规格和重量要求,几种地质温度计,压力计简介。其补充细则内又增加了地质点记录格式,要求及说明,地质点的评定标准,主要为变质岩方面的岩石、矿物代号、花纹规定等。

(二) 摆正工作程序

马杏垣、索书田在前寒武纪变质岩构造解析一文中指出:“过去,在变质岩区进行地质构造研究时,多沿用沉积岩和岩浆岩的一套经典办法,利用岩性—地层法测制剖面建立成层顺序……”,显然对变质作用不深,构造置换不强的岩石,如板溪群、津沱群等,这些方法仍然是行之有效的。如果再能辅以构造方法,如利用次生面理确定岩层正常或倒转等,定会获得更大的成绩。然而,对于变质和混合岩化比较深的岩石,如胶东群、五台群、阜平群、登封群、迁西群、桑干群等,就不能照搬岩性—地层法一套程序,而查明变质岩组之间的空间关系就成为确定层序的首要步骤。即要采用先构造—后地层的方法。相应地,还要有一些专门方法,以便针对变质岩构造的特殊性,扬长避短,逐步查明变质岩构造的三维空间型式和变形历史。”“近二十年来,国外逐步较少用一般地层学方法填制深变质岩区的岩性—地层分布图,而采用构造—地层方法填图,同时还发展起来一些定量构造填图方法。如在有两期褶皱叠加的变质岩区,通过填制与第二期褶皱伴生的交线型线理等,就可以确定早期大型褶皱的形态和构造部位,进而查明地层的顺序。构造—地层填图方法的要点是,在程序上,如上所述,先把构造格架和构造序列搞清楚,再进行地层划分,建立层序;地质图(起初应为岩性图)与构造同时填绘;填图与构造解析结合起来。最终填绘和编制的图,应能反映客观的地质实际和认识水平,在地层和构造解释上基本没有矛盾。”根据我们在变质岩区开展1/20万区调,最近又开展1/5万区调的实践体会,坚持上述先搞清构造骨架再测剖面,然后填图的步骤是完全必要的。这是因为经受较深的变质作用后,地层的原来构造不易辨认,对其正反难以直观确定。由于构造及层序尚未查清,选测的剖面带有一定程度的盲目性,往往投入很大的工作量。通过填图,尤其追索后始发现所测的貌似单斜的该段地层,赋含着若干个同斜褶曲,控制的地层很少;还收不到事半功半的效果;有的则包括了一些不易辨认的韧性断层,甚至还会返工报废,或降为辅助剖面、构造剖面;有的偏离理想位置,如能适当位移,用同样多的工作量即可控制更全的层序。

所以,我们认为必须坚持的正确做法是,一定要在测区内变化最大的方向通过追索标志层结合穿越路线,填出一片图,搞清构造骨架后,再测剖面。然后根据剖面指导填图,当填完大面积或全区后,还会发现更多的新层位,还需继续补测剖面。因为按照主观愿望而想一气哈成,将剖面测全,那是不现实的。当然,等到整个测区完成之后,再测剖面,又似过晚。在未测剖面前,势必影响填图时划分地层,甚至遗漏标志层。弥补的办法为详细记录与分出穿越路线上的岩性变化以及标志层,并为追索后者提供线索。其中不稳定的岩层可在面上工作确定后,在图上予以取缔。也可考虑相对早些测制些构造剖面或草测剖面。其不同点为着重观测岩性变化与测量构造要素。但减少采集各种重复样品,在描述上也可相对简略一些。

(三) 选好与追索标志层,为搞清变质岩区构造骨格及层序的最重要手段。

根据在变质岩区开展1/20万区调的实践,凡是重视了这项工作,所填绘的构造轮廓就比较清楚,层序可靠;凡只是布置穿越路线,结果是欲速则不达。将复杂的变质岩区反映为单斜构造,其成果也经不起实际的检验,以后工作的单位,大多做出否定的评价。我队冀东东荒峪三屯营测区的工作在前年以穿越路线为主,结果是构造不清,层序不明。去年重视了标志层的追索工作,从而在图面上面貌一新(通过标志层追索出的褶皱转折端是具有等斜褶皱的最可靠标志)。即使局部出现点问题,也是由于标志层追索不够所致。

标志层一般要求是野外易认,外观特殊,层位确切,展布稳定,裸露良好的岩层。如磁铁石英岩、含硼大理岩、电气石变粒岩等含矿层;石英岩、长石石英岩、含石墨石英岩、含矽线石或石榴石的浅粒岩、层状浅粒岩、闪角闪岩(主要为细至中粒的层状斜长角闪岩)、石榴石黑云母十字石片岩、片麻岩等。当然这些标志层能具有一定的地貌特征更好。在不能追索出足够清晰的单个标志层时,可采用“岩石共生方法”,例如将浅粒岩与斜长角闪岩(或大理岩)结合起来,以使在其中岩层局部尖灭时,但该岩层的另一种仍可继续延伸。还要注意标志层的横向变化关系。例如怀安、天镇一带即有矽线石榴浅粒岩与大理岩共生,尤以前者表现很稳定。太行北段则为大理岩与浅粒岩共生,大理岩顺走向依次递变为透辉岩、斜长角闪岩等。斜长角闪岩由于构造原因常常被挤压成断续延伸的透镜体。而在冀东的麻粒岩分布区,地层划分极为困难,在1/5万区调过程中,通过努力寻找,还是追索出了石榴浅粒岩、石榴黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩与磁铁石英岩等共生岩石组合的标志层,从而将原来反映的大片单斜区,填绘出了相当复杂的连续褶曲构造,地层的层序与厚度也随着出现了重大的改变。这里需要强调追索标志层组合层比追索单个标志层有更为重要的实用意义,它不仅如上述的在其中单层尖灭时,可以相互弥补,更重要的是可用以分析叠加构造。例如在冀东迁西地区发育以自 S_1 至 S_3 的三期构造,其中 S_3 则微弱,反映为地层的局部波状弯曲;图上主要填出的为轴面近南北向延伸的W形连续褶曲(局部为向斜倒转)。通过剖面构造解析工作,可知 S_2 是在东西延伸的同斜褶曲(S_1)基础上发生的近南北向重褶,说明枢纽南倾的W形连续褶曲的南北方向也并非单斜构造。南北重复出现的若干套标志层组合是不同层位或者一层的重复?即需依靠这些组合的旋迴关系^①及是否对称出现去解决。因为往往因测区范围的限制,不一定能找到标层组合间在东、西两端的连续

① 也可以是反旋迴,尚难以确定地层正反。

关系。在一旦找不到理想标志层时,利用局部稳定的标志层也是不得已而求其次的办法。在标志层的选定时要深入研究其原岩性质及生成时期。例如我队即出现过不同人对相邻的不同测区分别采用了不同的标志层,一为上述的石榴浅粒岩、石榴黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩与磁铁石英岩层组合,另为选单独的斜长角闪岩层。这种人为的表示的不同对象,就为两区的地层对比带来了困难。经过研究,最后认为斜长角闪岩层成因复杂,它既可是富铁镁的粘土岩或不纯的碳酸盐岩,又可能是基性火山岩或侵入的基性岩脉。如为后者将为地层与构造的确定带来麻烦,但对其成因又非一时所能准确确定,相反对上述标志层组合从其构成一个良好的韵律以及富含顺层分布的石榴石与磁铁石英岩分析,可以肯定为沉积成因无误(具体对当地地质情况而言,属火山岩层之间的沉积夹层),又有上述组合反映的优越性,所以最后确定应以反映这组标志层为主,而单独的斜长角闪岩也可做为参考之用。

(四) 构造研究

1. 地层正反确定

这项工作确定变质地层层序,并进而建立大型褶皱的重要环节。如众所周知,它包括利用原生构造及次生构造两个途径。原生构造包括沉积岩原生构造,如交错层、波痕、冲刷面即侵蚀面,泥裂、冲沟、各种印痕、砾石方位等。火山岩则有气孔、气管、杏仁状构造,碳酸盐岩中的叠层石等。次生构造主要指片理、劈理、褶皱对先存面理和低级次褶皱的褶面对包络面(相当先存面理)的几何关系等。如片理缓、层理陡为倒转,片理陡、层理缓为正常。对于原生构造,经历了强烈的变形之后,大多已不能鉴别地层正反了,主要能保存下来的为递变层理(即粒级层)。在使用时要注意将其与构造韵律层相区别,后者因可属海侵或海退,不适于确定层序。递变层理是指厚度不大,几厘米至几分米,很少达几米,横向延伸稳定,在垂直剖面上具不对称构造,粒度由底部的截然急变,向上渐变换层,但变质深时注意从原岩恢复角度识别从下向上由粗到细的粒级变化,而不能再机械的根据颗粒粗细了。在使用次生构造时必须注意查清构造序列,如果区内仅发生一次褶皱,上述方法即可用以确定地层的顶底,如果出现了重褶或多次褶皱,情况就不同了,即需分析所反映的为层褶或片褶,也即为原岩层(S_0)的顶底或第一次褶皱后,平行轴面片理(S_1)构成的层系的顶底。例如有的地方既出现了根据原生构造判别为正常产状,同时根据次生构造反映为倒转的层序,即是因为后者属于片褶产物,即代表第二次褶皱的顶底。它说明在该地层于第一次褶皱时,已属倒转产出,而第二次褶皱时又出现上述属于倒转的片褶,倒转地层再经倒转,即出现其原生构造所反映的正常层序。相反,上述属于 S_2 的片褶轴面与 S_1 的关系,只能解决 S_1 的顶底,而不能用以反映 S_0 的顶底。我们在有些地区也见到过变质铁矿层层内,无论据粒级层原生构造或据片理与层理关系的次生构造均表现为正常地层,相互吻合,实际根据各种资料分析,当地也处于正常翼。从上可知如要直接确定地层的正反,采用原生构造较为简单可靠,但要发现重褶否?只要搞清构造期次,次生构造的作用更大(不仅能确定地层顶底)。如能原生与次生构造并用,可能更为理想、直观。此外,尚应在路线观察过程中,注意连续测量,尤其在地层界线附近更要着重观测,以保证地层划分及确定层序的可靠性,因地层单位内部的正倒,仅只影响地层厚度的测量。

2. 在假单斜地区查明大的褶皱形态或寻找同斜褶曲

这是在变质岩区，尤其高级变质岩区开展区调成败关键所在，也是最为困难的问题。当然，如前述的如能找到标志层，并进行了追索，发现了各种形态的转折端，不仅同斜褶皱，即是构造叠加也往往能清晰的反映出来（但仅属向形背形，而确定为向斜或背斜，尚需结合确定地层正反证据等其它手段）。在找不到标志层的巨厚均一地层区，寻找褶皱的方法通常有：

（1）根据层理与片理的关系确定褶皱的存在。例如自西向东依次遇到了层理缓、片理陡（为正常岩层产状），层理与片理反向倾斜（正常产状），层理陡、片理缓（倒转产状）。上述三点依次反映为背斜的左翼（正常翼）、转折端与背斜的右翼（倒转翼）。以上仅是一期褶皱的情况，但如为多期褶皱时，早期片理（ S_1 ）与层理（ S_0 ）的关系只能反映层褶的情况，晚期片理（ S_2 ）与早期片理（ S_1 ）的关系，也只能反映早期片褶的情况。自然更晚期片理（ S_3 ）与晚期片理（ S_2 ）的关系也只能反映晚期片褶的情况。而 S_2 与 S_1 有交切关系，自然也必须交切 S_0 ，但不能以 S_2 与 S_0 的关系去鉴别 S_0 的层褶。

（2）根据褶皱的包络面确定地层的褶皱。褶皱包络面是指“顺同一地层层位把褶皱群（系）的转折端连接起来的假想面。”或称褶皱镜面、褶皱基准面或褶皱系基准面。它可以根据小褶皱的枢纽把更大一级褶皱的形态与规模描绘出来，它相似于变形以前的层理位置。褶皱包络面既可同构成它的等斜褶皱的翼部以不同角度向同一方向倾斜，又可同这种翼部（以及片理）向相反方向倾斜。所以上述翼部（或轴面片理）在不同地点均属同斜时，其包络面可仅是稍稍斜歪的褶皱（而非倒转褶皱），相向倾斜的轴面片理也可以构成背斜（包络面）相背倾斜的轴面同样也可构成向斜（包络面）。当然更可以是相反的情况。使用褶皱包络面判断更大一级构造时，要注意其与褶皱轴面之间的夹角，用以确定该包络面勾绘出来的较大构造中的大体位置与所研究露头处于构造的那一翼——正常或倒转，在所反映的较大褶皱的转折端处包络面的倾角最小（如褶皱枢纽为倾斜产出时，包络面的走向垂直于褶皱的枢纽，而其倾斜则与枢纽的倾伏一致）。褶皱包络面不仅可判断更大的褶皱两翼的倾向，而某些数据在较大范围内的一致性又可以判断更大型构造两翼的性态。在野外记录本上要注明褶皱的宽度、两翼的长度、褶皱包络面和轴面之间的夹角，以及岩层的厚度，以便后来可以定出所查明的包络面的等级。

（3）根据不对称褶皱长翼与短翼的交替规律识别更大型的褶皱。在较大型褶皱的相反的两翼中，不对称褶皱的长度不同的两翼，其更替性质不同，统一按褶皱枢纽的倾伏方向进行观察，以使用左旋及右旋的术语。在横交岩层走向的露头面上，所称右旋花纹是指当自下而上追索变了形的岩层时，不对称褶皱的长翼依次向右偏离。在相同观察条件下，左旋花纹是指不对称褶皱的长翼依次向左偏离。不对称褶皱的右旋花纹表示，背斜核部分布在观察点的右边，即分布在露头的右边，而其左边则相应地分布着相邻向斜的核部。也即右旋花纹表明，被观察的露头分布在背斜的左翼，或位于相邻向斜的右翼中，另一方面，左旋花纹表明，背斜的核部位于左边，而相邻向斜的核部则位于右边。因此，露头属于背斜的右翼，或者属于相邻向斜的左翼。而当右翼花纹变成左旋花纹时，意味着大褶皱的一翼向另一翼过渡。把不同花纹带隔开的地段正好就是这个大褶皱的转折部位，在此地段内，小褶皱具有对称的或几乎对称的构造。

（4）根据小褶皱枢纽方位的分布规律可以判断更大型构造的倾伏和扬可判断起，并

它们的构造性质。小褶皱枢纽多数向大型构造转折端凹面（由小褶皱轴面或某些标志层勾画出来的）倾斜表明，它们是属于负向构造（向斜），小褶皱枢纽多数向大型构造转折端凸面方向倾伏，则证明它们是背斜类型。

3. 构造解析

构造解析是指大量测量层理、片理、褶皱轴面及枢纽、不同类型的线理的产状（同时进行有关特征描述），并对这些构造数据在赤平投影图上进行定量统计评价，以建立构造事件发展的序列和相应的古构造型式，以及构造变形与变质作用、岩浆活动和成矿过程的关系。例如构造图解上的角距关系可以反映褶皱的截面轮廓在横剖面图中的形态、两翼的夹角和褶皱的类型（直立的、倒转的、平卧的）。褶皱的不同特征可由图解上层理（或片理）极点的集结情况确定（具有一定密度的高峰值、完整或不完整的带）。空间方位的规律研究还可取得褶皱在地面上的方向方面的可靠资料，能够发现一些在进行1/5万地质测量时没有在野外查明的褶皱构造及大小构造是否同期，也只有利用几何分析方法，才能确定在地质图上圈出的大构造的枢纽及其轴面的准确方位，才能研究在叠加褶皱条件下构造方位的规律性。对某些矿山采用构造解析分析方法，常能发现有关矿产的保存状态，取决于不同时期构造干扰格式，即构造叠加时而干扰保存下来的，并据以进行有望地区的圈定。构造解析所提供的资料，尚可用作变质杂岩对比的标志（例如各自不同的构造形态及构造叠加次数），划分群一级的地层单位等。构造解析的理论基础是庞氏律（构造相似原理，指同期不同级别褶皱因内应力状况相似而形态、方向相似），透入性（普遍发育的构造）与多期性。对于构造解析在刘如琪的《变质岩构造解析》、马杏垣等的《嵩山构造变形》、F、J、特纳、L、E、韦斯的变质构造岩的构造解析等书内均有详细论述。这里仅对其工作步骤简述如下（着重野外观测部分）：

（1）野外观测：野外的直接观测和制图，是构造解析的基础。对于1/5万区调来讲，限于生产定额而难于按要求全面开展这项工作。只能在填图过程中选择露头良好路线重点进行（即路线的构造解析）和在大面积地质制图范围内，对不同大套地层（群一级）分布区各自选择能清楚显示区域主要构造特点的代表性区段进行解剖。在对每个露头测量时，必须对各种构造形迹的发育状况，包括不同方位构造形迹的相对数量、明显程度和相对规模等心中有数，照顾均匀，避免测量统计中的人为测重。所用工具为罗盘、硬纸板（或记录本）及专用测量线构造带悬锤的杆，构造数据包括位置、形态、范围、方位或产状，除片理等外，主要寻找小褶皱进行测量。观测的构造要素包括：

① 面状构造（S）：包括属于残余结构要素的层理（符号为 S_0 ）及新生结构要素的劈理、片理、变质条带（按构造生成世代自老而晚反映为 S_1 、 S_2 、 S_3 等），记录所测产状的层位、岩性，用何表现的。例如变粒岩内的韵律条带（ S_0 ），或绿泥石、黑云母等反映的片理（ S_1 或 S_2 等）。只有标志性的特殊岩性层（石英岩、大理岩等）和沉积构造特征如交错层、粒级层等才能指示层理的存在。注意不要把片理、片麻理当做层理，二者可以不吻合。

② 褶皱枢纽（B）：同线理一样，注意在其铅直面上测量，尽量鉴定其期次，如 B_1^1 代表以 S_1 为轴面的层理的褶皱，属层褶； B_2^1 代表第二期的以 S_2 为轴面的 S_1 片理褶皱，属片褶。辨别不清时可以？表示。要记录属相似或同心褶皱及褶皱的形态特征（尖棱、圆顶、紧闭或开阔等）。枢纽产状变了要素描，并测量变化了的产状，对片褶也要素描。

③ 褶皱轴面 (S)：符号表示同面理所述。褶皱对称时，轴面平分两翼夹角，如不对称或一翼显著变薄时，偏离翼间角平分面。

④ 线理 (L)：要测量与注明属何种类型线理，如角闪石等矿物生长线理，杏仁体拉伸线理，由小褶皱枢纽形成的皱纹片理，层片交线或 S_1 、 S_2 交面线理等。要研究各种线理的先后次序和复合关系，右下方数字代表不同时代，有时在右上方用数字代表上述不同类型。如变形呈弧形时，在其变化处都要量产状。线构造有香肠构造（布丁构造）、构造透镜体、窗棱构造、杆状构造等。

⑤ 褶皱包络面：包络面的测定可为我们判断该露头上被揉曲成褶皱的面状构造的总的平均状况提供资料。实际上反映了更大一级构造的褶前层理或相对前期片理，因而十分重要。

⑥ 定向标本的采集：主要做岩组用，在薄片内可见到肉眼不能看到的现象。对反映不同构造样式及世代的地段，转折端上、不整合面（或惑疑为不整合面）上、下尽量有标本控制。要采集包括可测光轴的云母、石英或方解石等的标本。

此外，为了搞清构造演变，在填图时要注意寻找与观察直接的褶皱叠加现象及其间接标志，如各种面理间（包括轴面在内）、线理间（包括枢纽在内），面理线理间的相互交切关系，早期面理有规律的弯曲或者具有不同特征的各种面理。要特别注意小型褶皱的不同方位、样式和对称性，观察、记录与它们组合在一起的面理和线理，以及与之共生的变质矿物组合之间的关系。

（2）地质构造制图：除了地质图上反映的内容外，主要是增加以不同的专门符号所表示的上述构造要素，特别是透入性的小型结构要素，在上述选定的代表性地段内，开展小构造的详细系统填图（或称定量填图），包括：①在填图范围内均匀分布若干个测点，搜集产状方位数据。②划分均匀区，通常以构造的或组成的不连续面为界，要求每一区段内部结构是均匀的。③按每一区段分析野外构造数据（用等面积投影及计算机处理各种方位数据），还要研究所观察到的构造形态的意义，同时注意那些表征不同变形阶段的构造特征和构造要素之间的相互关系，逐区建立构造几何性的图象。④各区段之间的对比，查明构造变化，揭示全区的方位格式以及是否有的构造形迹的方位在全区都保持稳定，即具优选方位。还要注意小型构造和大型构造之间的关系，为全区构造的力学解释建立基础。

配合地质制图，在变质岩区一般都要坚持作信手剖面图，对于强烈变形变质岩区，为确切表现褶曲形态，尽量从地质图上作出垂直褶皱轴的截面图。

（3）室内整理：包括等面积投影（ β 图分析、方位图解、划等值线图）、方位图解对称性解释、方位图的展平、综合分析等，可参看上述有关参考书。尚需指出的，熟练掌握等面积投影技术为进行室内整理的先决条件。

由于变质岩区的构造的复杂性，除了进行有关的描述外，尚应注意多做素描。

（五）变质岩石学的研究

对于变质岩有关的宽广领域，这里只能着重提出下述方面的一些属于模糊不清、观点不一的问题。

1. 野外描述问题

由于变质岩区的填图比其它岩区往往增加了很多额外工作量，例如在路线布置上除了

穿越路线外,还要投入大量的追索工作量。而野外观测不仅要观测更多的构造内容,即是岩石本身还要照顾到混合岩、原岩恢复等沉积岩区所不存在的部分,如果面面俱到,即按现行的复杂区生产定额也远难完成任务。所以需要在不缺主要内容的前提下做必要的简化。例如以变质岩石本身为例,遇到黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩等常见岩石时,由于这些岩石本身即反映了构造及大致的矿物含量,所以后者可以略去(特殊者例外),再增加岩石的颜色、粒径即可,层间劈开面清楚时可补充以单层厚如厚层等。但是特征矿物如石榴石、矽线石等则要详细描述(含量、分布状态等),因为它们对说明岩石的原岩成分与温压条件是有重要意义的,对于标志层等也应从详记录。对于混合岩化作用岩石除了按下述统一口径命名外,由于混合岩本身已反映了原变质岩的成分、脉石含量及形态,故只需要增加脉石的成份,尤其长石的大致种类,因为以脉石成分与当地岩石相对比,以判断是否为就地取材,能够结合其它特征,有助于分析混合岩的成因类型。混合岩命名时一定要加上形态类型,以便于帮助恢复原岩成分。

2. 岩石命名问题。目前均根据变质岩的矿物成份及结构构造命名,大同小异。但生产中常对一些具体问题感到无所适从,或不好辨别,从而出现定名不统一的问题。例如:

(1) 变粒岩与麻粒岩、片麻岩的区别

① 变粒岩是具平行粒状构造,多属细粒,不具变质分异形成的断续条带,仅不同层间显示其颜色深浅变化,但每层内深浅矿物均匀排列,长石含量在25%以上,片状矿物<30%、柱状矿物<40%,对沉积韵律明显的单层锤击之成板状剥离。

② 片麻岩:中至粗粒,其片麻状构造因属变质分异、集结作用产物,所形成的条带是断续的,不那么严格平行,深浅矿物间排列就不可能均匀。其它同变粒岩相近。

③ 麻粒岩:具麻粒构造(微片麻状),细至粗粒。铁镁矿物以无水矿物为主,以含紫辉石为特征(不限量)钾长石多以条纹长石出现。如出现少量含水矿物时,其角闪石因含钛高而呈现棕褐色,黑云母也因富镁和钛而呈棕色。长石总量>20%,暗色矿物<85%。

对变粒岩与片麻岩之间的过渡岩石,可称有关的片麻状变粒岩。

(2) 板岩、千枚岩、片岩的过渡岩石区别:分别具板状、千枚状、片状构造。板岩、千枚岩所含绢云母等新生矿物以30%为介;在片状矿物内除主要为绢云母、绿泥石外,出现少量铁铝榴石、十字石或黑云母、角闪石时,则分别称绢云片岩、绿泥片岩,不再叫千枚岩。

(3) 关于混合岩的命名,目前存在两种命名系统,根据混合交代程度自浅而深划分,一个系统称注入混合岩、混合片麻岩、混合花岗岩;另种称混合质变质岩、混合岩、混合花岗岩。前一系统存在以下问题,即不符合一般均将主词放后面的岩石命名习惯,从成因上讲注入混合岩给人以外来物质注入感觉,但对就地重熔成因者就不好包括在内,或不相吻合;分类与命名脱节,如角砾状混合岩同注入混合岩即不吻合。不如后一系统为好。由于混合岩化的深浅主要根据物质成分与结构构造的改变程度,对于成分已属花岗质但构造仍未达混合花岗岩的均匀程度者(如仍具条带状、片麻状等),最好再增加一个花岗质混合岩等级,置于混合岩与混合花岗岩间。混合岩按构造形态和基体的暗色矿物与主要长石种类再详细命名,如黑云奥长条带状混合岩;混合质变质岩的命名要在前面增加脉体长石成分

及形态,如钾长质条带状混合质黑云斜长片麻岩,而花岗质混合岩前面只增加残留的混合岩形态特征,如雾迷状花岗质混合岩、条带状花岗质混合岩等。对于混合质变质岩与混合岩间的界线,除考虑混合交代程度外,为野外命名方便以及尽量保留变质岩名称,可以脉体50%为界(有的以15%为界,似不妥)。

3. 变质带、相、相系的确定方法:除了根据有关的标型矿物、标型矿物组合做为划分标志外,并有利用石榴石、辉石、角闪石、云母、长石等贯通矿物的标型特征判断温、压条件。例如使用白云母的晶格常数 b_0 值做为压力指示计,分别根据有关矿物一定的化学成分含量,成分区间图解、某类型矿物的端员量比确定温、压条件,利用某化学成份判别式判别变质相及根据 a_0 (晶格常数)/ N (折光率)大致了解温度等级等。近年来,随着矿物热力学理论的发展和在地质领域的广泛应用,各种矿物(辉石、石榴石、长石、云母等)地质温度计、压力计也得到广泛应用。地质测温测压的方法很多,最实用的为利用固溶体矿物的成分与温度、压力之间的函数关系,在实验的基础上,建立相应的方程式,当已知固溶体矿物的成分时,即可求出温度与压力;或利用微量元素在共生矿物之间的分配系数与温度之间的函数关系进行测温。由于地质情况的复杂性以及方法的局限性,在使用时尚需弄清基本原理,以便根据具体情况进行适当处理。在使用时,应注意必须使用同一岩石中稳定的矿物对,此外采用的计算克分子数 X 和分配系统 KD 的方法并不相同,应按各自的要求去计算。要据测区特点选择合适的温压计,最好用几种方法相互对比,以得出较可靠的温压值。

4. 原岩恢复问题。这里不再重复很多参考书上已有的各种方法。仅对以下方面内容做些讨论:

(1) 野外观察。首要的是将侵入体变质产物同火山岩及沉积岩等属于地层的成分区分出来。除了一般文献上介绍的内容外,我们感到以下内容比较实用:岩性很单调,不见任何成分夹层,只有捕虏体等不规则团块;粒径较大,虽有片麻理,但呈块状产出,没有残留层状痕迹;图上多为封闭短轴体,与不同岩层接触;小褶皱罕见;即有混合交代,亦多呈脉状形态等。片麻理同其与围岩界线局部斜交等。

(2) 化学分析方法的择选使用。在对硅酸盐分析资料通过各种方法计算后,在恢复正副原岩时,会发现大多相互矛盾。对此,周世泰用未变质的火成岩和沉积岩的岩石化学数据检验了一些常用的恢复原岩的岩石化学方法(因区域变质作用是在等化学条件下进行的),现将其中误差相对较小的列出供参考。

① 尼格里四面体图解:凡落在沉积岩区者误差率为1.59%,相当精确,但火成岩区者误差达32.8,不可用。

② 威尔逊(al-alk)/C图解,大致同上,落沉积岩区误差率2%,火成岩区为26.6%。

③ 西蒙南 $\frac{(Al+fm)-(C+alk)}{Si}$ 图解:火成岩区者误差率6.7%,沉积岩区内29.6%。

④ 周世泰KA图解:落火成岩区误差率6.75%,沉积区9.34%。

⑤ D·M·肖DF值判别函数法:落火成岩区误差率12.8%,落沉积岩区为9%,仅适用 $SiO_2 > 53.5\%$ 者。

⑥ 对适用正付角闪质岩石（正付变基性岩）的方法，大多数落入火成岩区者精度高，而落入沉积岩区者误差大。其中包括：米斯拉 TiO_2 -F图解（0.004%）、米斯拉 TiO_2 -MnO图解（3.68%），D、M、肖D（X）值判别函数法（0%）。其它方法误差均更大。

（3）利用付矿物恢复原岩效果往往比岩石化学分析方法还要好。例如原岩主要为沉积岩的阜平群，其付矿物亦主要具沉积岩特征，五台群下亚群下部为沉积岩、中上部为火山岩等，重矿物也是如此反映。

我队重砂组借鉴前人资料，通过自己实践，提供了一套利用副矿物恢复原岩的方法，简介如下^①：

①副矿物组合：各大类侵入岩因其化学成分的不同，形成的副矿物各有专属，而火山岩虽基本符合所属岩浆岩的大类组合，但专属性不强，常携带一定量的外来物质，并副矿物种类向火山沉积岩变化。沉积岩除了急速沉积并风蚀源分别为某种火成岩，从而其副矿物亦具继承性外，一般种类复杂。不同成因花岗岩副矿物组合也有异，侵入花岗岩的金属元素和稀有元素矿物的含量较大，原地花岗岩则以屑石、磁铁矿、磷灰石、褐帘石、独居石、锆石的含量高为特征。

②锆石特征

i. 原岩为侵入岩：锆石均具固有的柱状自形，呈正方锥或复正方双锥，晶体要素清晰，晶面较平直（受混合岩化除外），光泽强，透明度好，表面光洁，颜色单一。为区分侵入岩的大类，还可根据锆石晶形所具几种习性分（略）。

ii. 原岩为火山岩：锆石种类、形态、颜色都很复杂。表面光亮，呈金刚光泽，有熔蚀的也可脂肪光泽；颜色以一种为主（火山碎屑沉积岩除外）；形态可多样（熔岩除外），如有滚动或短距离搬运，表面也可呈微毛玻状及大部光亮，局部有碰撞和刻划现象；断口常呈弯月形，断面较光滑，与沉积岩的搬运和碰撞有所区别。此外，因火山岩形成方式不同，锆石特征也有差异（略）。

iii. 原岩为沉积岩：由于风蚀源与搬运距离的不同，其各种特征不全一致，搬运近时，不易识别原岩，而搬运距离长时，即以半滚圆状为主，表面磨坑遍布，具搬运磨边，光泽暗，颜色杂，常有贅生物及铁染外壳，分选性好。沉积岩变质后又经强混合岩化时，锆石被熔蚀，呈浑圆状，被新生锆石包裹，形成有核晶的自形晶体；混合岩化轻时，可见沉积铁染外壳和贅生物被熔，在重结晶时形成的黑、红色小包体包在表层之内。有的锆石只在表面形成有熔蚀坑、沟，粗糙表面仍可见，但不管混合深浅均可见一些新生锆石，其晶形决定原岩成分。

③锆石S形的对比

锆石伸长系数频率曲线形态及累计曲线所得S值的大小对比可区别原岩性质。可将每个样品数出200粒锆石，作晶体长、宽测量，算出伸长系数，按频率作出频率曲线与累计曲线图，然后算出分选系数或结晶系数。凡沉积岩中锆石频率曲线形态有一最大凸峰，其分选系数 $S < 1.375$ ；侵入岩中锆石频率曲线形态为参差状（或锯齿状），其结晶系数 $S > 1.375$ 。火山岩具上述双重性，频率曲线形态为一峰型，但峰顶不及沉积岩高，离散程度

① 详见我队孙文敏所写《用副矿物恢复原岩的方法及实例》，已在全国变质岩原岩恢复会议上交流。这些内容摘自该文。

较大, 如为熔岩偏近侵入岩的参差状, 有一峰, 两侧带小锯齿, S 值 > 1.375 , 如为火山碎屑沉积岩则只有一高峰, 跨度大, S 值大于或小于 1.375 。沉积变质岩又经混合岩化时, 曲线为参差状, S 值也可 > 1.375 。原岩为杂砂岩、硬砂岩类, 因分选差也会造成参差状, S 值 > 1.375 。

④借助电镜形貌扫描确定原岩性质。主要是可用以清楚的分辨锆石的形态、擦痕、磨边、熔蚀、贅生物、糙面等。

(4) 利用造岩矿物恢复原岩, 在变质岩岩石薄片观察变余结构构造基础上, 利用有指示性的硅酸盐矿物进行原岩恢复, 近来已取得较好的结果。主要依据造岩矿物的种类、共生矿物组合、标型特征、化学成分和微量元素的综合对比。杨敏之在《变质岩原岩建造研究》一书中选择绿片岩相中产出的绿泥石、角闪岩相产出的黑云母、角闪石、石榴石、麻粒岩相的镁铝榴石逐个讨论了原岩恢复情况, 现以绿泥石为例摘录如下:

绿泥石类矿物包括镁绿泥石类、镁—铁绿泥石类、铁绿泥石类。主要利用其以下参数进行原岩恢复。

① 镁绿泥石类矿物及有关共生组合指示原岩为超基性岩、基性火山岩; 镁铁绿泥石原岩多为基性火山岩或粘土岩; 铁绿泥石多为粘土岩和硅铁岩。

② 绿泥石类矿物的化学组成和氧化系数 $f = \frac{F_{e^{+3}}}{F_{e^{+3}} + F^{+2}}$ 指示了原岩类型的差异; 绿泥石矿物用 $Al_2O_3 - MgO - (Fe_2O_3 + FeO)$ 三角图解可区分出沉积岩区基性—超基性岩区绿泥石类矿物成分的差异。氧化系数高时, 标志原岩类型为沉积岩。

③ 绿泥石类矿物的物理性质与原岩类型有着依存关系, 基性—超基性原岩变质的绿泥石折光率低 ($N_m = 1.570 - 1.590$), 色为淡黄绿色, $b_0 = 9.21 \text{ \AA}$, 硅铁岩 (沉积岩) 内的绿泥石颜色深, 折光率较高 ($N_m = 1.670$), $b_0 = 9.28 \text{ \AA}$, 多为铁绿泥石。

④ 原岩岩石和绿泥石矿物的化学成分间有着正相关的直线函数关系, 原岩为泥质岩的绿泥石 $\frac{F_{e^{+2}}}{Fe^{2+} + Mg} = 0.2 - 0.8$, 基性岩内的绿泥石, 其 $\frac{F_{e^{+2}}}{Fe^{2+} + Mg} = 0.1 - 0.5$ 。原岩内 (FeO) MgO 的含量与绿泥石内 (FeO)、MgO 的含量表现出明显的相关关系。

(六) 同位素年龄样品采集注意问题

1. 测试方法的选择, 利用钐钕法可以取得地层生成年龄; 从理论上讲, 利用锆石做 U—Pb 测试, 其一致曲线上交点也可取得地层生成年龄 (但实际上有时仍反映为地壳运动主幕年龄)。全岩 Rb—Sr 等时年龄主要反映变质年龄 (往往是地壳运动尾声)。K—Ar 单矿物年龄主要为较晚时期的变质年龄。故按解决地质问题的选择方法。

2. 取样对象: U—Pb 法最常用的单矿物为锆石, 但随着 U—Pb 分析测试技术的发展, 由于磷灰石的晶体化学结构比锆英石更可靠 (因含量低必须高灵敏度设备与熟练的技术)。对 Rb—Sr 样品, 由于只有包括富 Rb 贫 Sr、富 Sr 贫 Rb 及二者比值相近的各种样品, 其数据才能拉开成线 (K_2O 或钾长石、云母反映 Rb 含量高, CaO 或斜长石、角闪石反映 Sr 含量高), 千万注意避免样品单一, 应当包括这种不同矿物组合或化学成份的岩石 (要同源)。K—Ar 样品尽量采用角闪石单矿物, 因在热事件中, 不是所有的矿物都能完全保持住氩, 唯有角闪石抵抗热事件的能力相对最大, 为最适宜的单矿物测试对象。

3. 取样时要加强地质与岩石学研究, 尽量在地质搞清后由地质人员与同位素实验人员配合取样。为取得地层生成年龄, 必须确定矿物成因, 并注意不要有混合岩化、退变质现象与蚀变现象, 如有退变质时一定要找退变质的原生残留体, 由于野外取样时难辨认上述现象, 注意成倍的增加取样数量, 例如Rb—Sr全岩样品最少采20个以上。一定要取相应的岩石薄片, 在镜下鉴定后筛选出最佳样品供同位素测试使用(全无退变及交代者)。对于锆石样品一定要在镜下将原生碎屑锆石与变质锆石分开, 为求得地层年龄变质稍深者应采用碎屑锆石, 在所取大样内, 还要对后者按磁性、颜色、粒径进一步分开, 分成若干样品在做图时始能组合成线。基性、超基性原岩因含锆石太少, 故改用磷灰石为宜。

(七) 变质岩区航磁成果图的地质判断方法

我们利用航磁的磁场等值线图对迁西一带高级变质区, 进行了最粗浅的地质判断尝试, 发现在研究地质问题上有其独特的作用, 简介如下:

1. 迁西群及上覆的遵化群(有称八道河群)的等值线各自具有明显的不同的形态特征及方向差异, 可以比较准确的圈定该二群的空间位置。

2. 迁西群的等值线形态紊乱、多变, 具短轴, 局部反映为轴向近南北延伸的W形晚期叠加褶皱群。

3. 遵化群呈典型的稳定线状褶皱, 其由北东东向转北北东向的长条状弧形封闭曲线可延伸20公里以上, 并显示了大型的同斜褶皱转折端与同一磁性岩层的多次褶皱重复。

4. 均属斜长角闪岩的分布区, 但分别呈差异很大的正负异常。根据地质观察, 原岩分属地层与侵入体, 并为准确的寻找边果提供了线索。

5. 在具断裂处, 或反映为等值线的错开, 或表现为正负异常带间的线状界线。

本文的构造研究一节分别参考了马杏垣教授、刘如琦、白瑾研究员的有关的讲稿及M. A. 契尔诺莫尔斯基、B. П. 沃兹涅斯基等的有关论文, 特此说明。