

矿物包裹体研究方法及其应用

桂林冶金地质研究所测温组

为适应冶金地质工作发展的需要,普及金属矿床研究方法,提高找矿效果,促进成矿规律、成矿预测的研究,更好地为大打矿山之仗服务,本刊从今年第一期起选登“金属矿床研究方法”专题介绍。本专栏将结合当前找矿勘探工作的需要,有重点地报道野外研究方法及室内测试成果、数据的应用和处理。读者有何意见和要求,望及时函告我们。

——编者

一、矿物包裹体简介

1. 什么是矿物包裹体 矿物包裹体是被包裹在矿物中并与矿物之间有相的界限的那一部分物质。它可以是固体的、液体的或气体的。矿物中包裹体的数量极多,尤其是气液两相包裹体常大量存在。一般来说一立方厘米的热液石英中常多达100~1000万个气液包裹体。包裹体一般极小,如我国某斑岩铜矿石英中包裹体直径一般为3~5微米,某些金矿和钨矿石英中的包裹体直径在几至几十微米。水晶等矿物中有时有较大的包裹体,直径可达几毫米甚至1厘米以上,但这种大包裹体是极罕见的。

2. 包裹体是怎样形成的 包裹体的形成可分为以下几种情况:(1)矿物形成过程中,品格有某些缺陷或窝穴,成矿的母液或硅酸盐熔融体充填在其中,随着矿物的生长被封闭包围而成包裹体,即所谓原生包裹体。(2)矿脉固结后,许多小晶体之间的空隙中,可能仍封闭残留的成矿母液,最后以包裹体的形式保存下来。它们也属于原生包裹体。(3)矿物生长过程中,由于受到应力作用而产生一些微裂隙,矿液沿裂隙侵入后,溶蚀原生晶体而重结晶,在重结晶过程中也可以形成包裹体,称为假次生包裹体。矿物形成后,后期的热液侵入裂隙,对主晶进行溶蚀和重结晶或由于裂隙收缩、愈合等因素使热液封闭在裂隙中而成的包裹体,称为次生包裹体。(4)矿物形成过程中,生长较快的矿物把早先形成的其他矿物包围起来而成固体包裹体。在火成岩矿物中,包裹了原生的未结晶硅酸盐熔体,冷却后成为玻璃包裹体。

3. 包裹体的分类 如前所述,根据成因包裹体分为原生、次生和假次生的三种。

表 1

物理状态		包裹体特征及成因意义	镜下特征	加热均化特征	产状
单相	固体包裹体		结晶质的 玻璃质的	熔融体 熔融体	火成岩矿物 冷水矿物（如盐湖矿物）
	液体包裹体		液体		
二相	以气体为主的包裹体		气相>50%	气体	气成矿物（如伟晶岩矿物）
	以液体为主的包裹体		液相>50%	液体	热液矿物
多相	气+液+固体包裹体		气泡+液体+子矿物*	液体或气体，子矿物溶解或不溶解	热液矿物

*子矿物是指从包裹体的液体中结晶出来的矿物。

根据包裹体的物理状态，又可分为单相、二相及多相的固态、液态、气态等几种包裹体（表1）。

4. 研究包裹体的方法 这里只着重介绍常用的几种，有些我们尚未开展工作的方法，只是简单地提出来。

(1) 包裹体测温的方法：利用包裹体中物相变化的性质确定成矿温度是当前应用最广，而且比较可靠的方法。如均化法、爆裂法、图解法、计算法、红外显微镜法（对部分不透明矿物）、熔化法（对固体包裹体）等。前两种方法是应用最普遍的方法，下面将专门介绍。

(2) 包裹体测定成矿压力的方法：有以下几种。①等容线法和克分子分数法。它是利用纯CO₂包裹体中液体CO₂和水溶液在均化时的相体积的关系，恢复包裹体被捕获时的压力。②以气体为主的包裹体均化时的内压力作为成矿压力下限的测压法。这种方法适应于气成矿床或夕卡岩矿床的压力测定，但必需找到比较大的包裹体（直径0.3~0.4毫米）。③综合利用均化法和爆裂法的测压方法。它是利用含CO₂包裹体中的部分均化温度和压力及与爆裂温度之间的关系来确定成矿压力。

(3) 包裹体成分的研究方法：主要谈盐度和pH值。利用显微冷冻台，使包裹体降温至结冰，找出其冰点。利用已知的实验曲线可以查到各种冰点下包裹体的含盐度。根据盐度可以推导出包裹体的pH值。包裹体成分分析的方法很多，其关键是如何把包裹体中的物质收集起来。目前收集的方法有：微钻法（对大包裹体）、蒸馏水浸取法、真空球磨法、电渗析法、烧瓶法（收集气体）等。收集方法较复杂，目前国内正在着手研究。

(4) 光学研究方法：在显微镜下研究包裹体的颜色、流动性、物理性质（磁性、折光率）等对确定包裹体的性质是很重要的。例如液体CO₂一般呈黄色；水溶液包裹体的气泡能自由移动，玻璃包裹体的“气泡”则不会移动，利用磁铁可在显微镜下区别矿物是否有磁性，从而鉴定矿物，其次根据

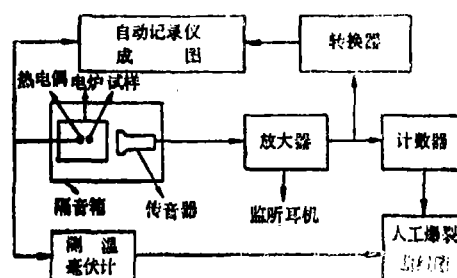


图1 实验装置图

包裹体中的子矿物的大小、种类、晶形和折光率可以大致估计包裹体的主要成分和盐度。在显微镜下区分原生、次生包裹体及包裹体的不同形状和类别是各种包裹体研究方法的基础。因此,对包裹体的研究,必须重视光学研究。

5. 研究包裹体的主要仪器设备 比较简单,主要有偏光显微镜、加热台、爆裂仪和冷冻台。爆裂仪各器件的连接见图1。

关于成分分析的设备比较复杂,国内正在试制。

二、矿物包裹体研究在地质找矿工作中的用途

如上所述,矿物包裹体是作为成岩成矿母液或硅酸盐融熔体的样品保存下来的,它记录了成岩成矿作用的历史,反映了岩石和矿物的形成温度和压力,成矿物质的成分、浓度、密度、pH值、氧化还原电位等条件。包裹体的研究在地质上的用途主要有以下几方面:

1. 成岩成矿的温度和压力 矿物的形成温度和压力是矿床形成的重要因素,温度和压力的数据是分析研究矿床成因、类型及其他物理化学条件,以便指导找矿的重要依据。因此,测定矿物的形成温度和压力在地质研究和生产中得到了不少的应用。我所测定的某斑岩铜矿形成温度在260~450℃之间,并指出主要矿体的形成温度大于300℃,成矿压力在150~200大气压,属于浅成矿床,为该矿床的找矿和研究提供了资料;研究了海南铁矿后指出,赤铁矿富矿体中无气液包裹体存在,因此赤铁矿不是热液形成的,又测得其磁铁矿的爆裂温度为272~423℃,属高温热液阶级的产物,结合其他地质条件分析指出了海南铁矿的成因应是以沉积变质为主、热液改造为次的矿床,为研究该矿的成因提供了某些资料。截至目前为止,我们和其他兄弟单位为我国的铁、铜及其他金属、非金属矿床作出了上万个温度压力数据,在生产和科研工作中起了一定的作用。

2. 测定成矿母液的成分、盐度、密度和pH值及氧化还原电位、硫同位素、矿床同位素年龄 现有的包裹体分析资料证明,花岗岩、气成矿床、热液矿床的成矿母液均具有类似的特征,它们主要是一个高浓度的 $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 体系,与以 $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ 为主的卤水差不多。这些资料曾为解决某些具体地质问题提供了较好的依据。例如:我国万山汞矿的矿床成因曾是一个争论的问题,我所对该矿床进行包裹体测温后,认为该矿的形成温度在90~133℃,是一个低温热液矿床。后贵阳地化所研究了该矿包裹体的盐度,指出成矿溶液的含盐度很高,达到21~25% (重量百分比),矿床可能是从卤水或原生高盐度的热水中形成的。这样对该汞矿的成因问题有了比较清楚的认识。又如美国的密西西比型铅锌矿,过去热液说和沉积说长期争论不休,经包裹体研究证明不是热液的,也不是沉积的,而是原生地下水形成的。这样对该矿床成因的争论就得出了结论。以上例子说明,对成矿溶液的成分及其他特点的研究,能解决许多具体地质问题,在找矿研究上是一项很重要的工作。目前我国这方面的许多工作尚待加强。

3. 利用包裹体研究新的找矿方法 主要介绍以下几种。

(1) 热晕找矿 热液矿床或岩体向围岩进行热扩散,由近及远扩散温度逐渐下降,这种地质现象即热晕。包裹体测温可以反映这种温度变化,把测温的数据反映到平面或剖面图上,绘成等温线图即热晕图。在热晕图上矿体或岩体往往位于温度最高的部位或某一温度范围内。

利用热晕图可以分析矿体赋存的部位,从而指导找矿。热晕图的长轴方向代表热液运动

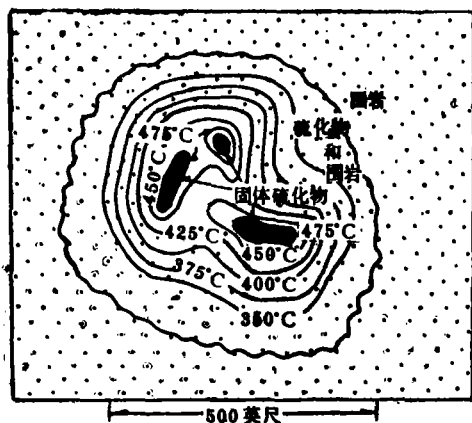


图2 英国巴尔马特铅锌矿热晕分布图

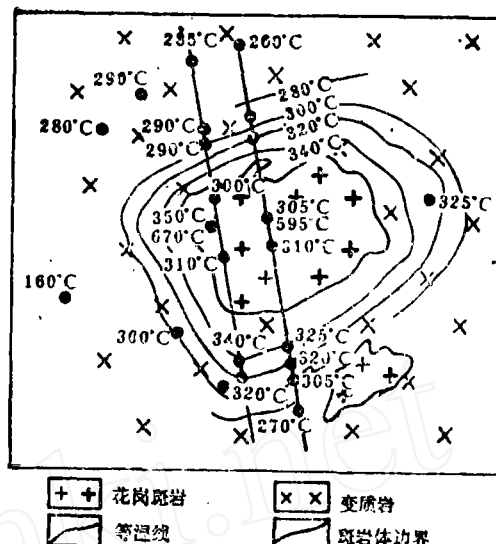


图3 我国德兴斑岩铜钼矿床的热晕分布图

的方向,可根据这一方向追索矿体或找寻新矿体。图2为英国巴尔马特铅锌矿热晕图,图3为我国德兴斑岩铜钼矿床的热晕分布图。

(2) “蒸发晕”找矿 “蒸发晕”是指热液矿床或矿脉周围岩石中含的包裹体数量,由近矿到远矿逐渐减少的现象,反映到平面或剖面上就是所谓“蒸发晕”找矿图。苏联地质学者对一个矿床进行“蒸发晕”的试验如图4。从该图可以看出“蒸发晕”比矿体的原生晕更宽大,它对深部盲矿体有明显的反应。

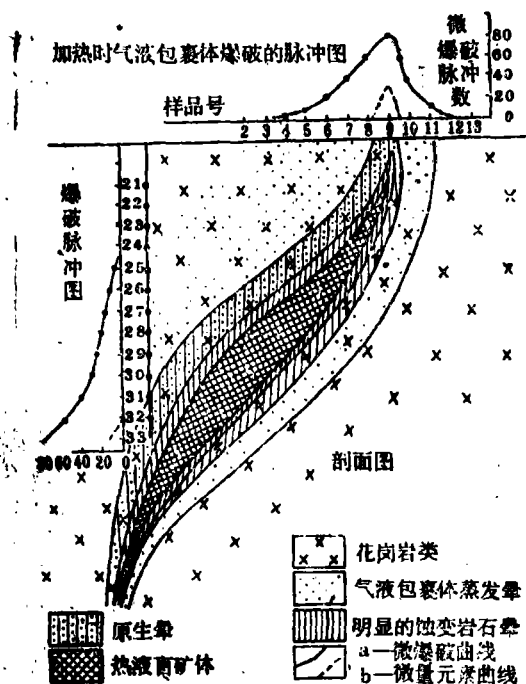


图4 隐伏矿体周围原生晕和蒸发晕分布图 (据H.П.耶尔马可夫资料)

在我国铜厂铁矿和德兴斑岩铜矿做的蒸发晕试验中也发现有蒸发晕存在,证明这种蒸发晕在热液矿床找矿工作中将是一种新的找矿方法。

(3) 重砂爆破法找矿 这是通过对重砂矿物中的脉石和重砂矿物包裹体进行爆破计数、分类综合找寻矿体的方法。一般沿河谷、水系及风化壳采样追索,找寻原生矿体。

4. 构造及热液活动的研究 通过对原生次生包裹体的研究,可以弄清成矿及期后热液活动的规律,及多次热液蚀变、次生构造等问题。

以上各种方法必须综合应用,并结合地质条件进行分析,才能得出比较正确的结论。

三、矿物包裹体测温的原理及数据应用

1. 均化法和爆裂法测量矿物形成温度的原理 矿物是在较高的温度和压力下,均

匀的单相液体或气体中形成的。包裹体在它刚被捕获时,也是单相的液体或气体。随着地质条件的演变,温度和压力下降到常温常压。在降温过程中,矿物和包裹体都要收缩。固体矿物收缩很小或基本不收缩,而矿物包裹体中的液体或气体则收缩了很大的体积,这样包裹体和包围它的矿物之间出现了一个空间,液体蒸发到这个空间中便形成一个气泡。包裹体中的气泡就是这样形成的。如果把矿物加热温度达到矿物形成温度时,矿物中包裹体应恢复到原来的单一均匀相,气泡应消失。这时的温度就是均化温度,测量

均化温度的方法叫均化法。继续加热,包裹体中液体对包裹体壁将产生压力,这一压力随着温度的升高而迅速增大,当它超过包裹体壁的强度时,就会冲破包裹体壁而爆炸,同时产生爆炸声,包裹体爆炸时的温度称爆裂温度,测定爆裂温度的方法叫爆裂法。

2. 均化法和爆裂法的比较 见表2。

由表2可知,均化法和爆裂法测温各有优缺点,测定时常配合使用。

3. 均化温度和矿物形成温度的关系 均化温度一般低于矿物形成温度,可称为矿物形成温度的下限。两者相差的温度数的多少与成矿压力和成矿母液的浓度有关,成矿压力愈大,差数愈大。浓度的影响较小。由于我们测定均化温度是在常压下进行的,而实际上成矿压力可能是几百甚至上千个大气压,这就造成所测的温度数小于真实的形成温度,因此均化温度数据需要进行压力改正。

列姆列依等人用实验方法作出了成矿压力和成分对均化温度的改正图表,现介绍于图5、6、7、8、9。该图横坐标表示测得的均化温度,纵坐标表示压力改正数。图中的实线表示不同压力。以NaCl的含量表示溶液的浓度,每一个图代表一种NaCl浓度。成矿压力可以根据地质条件来估计或按地质剖面法推算上覆地层的厚度,以地层增压率每公里等于250个大气压左右计。据耶尔马可夫统计,金属矿床的成矿压力一般小于1000个大气压。许多热液矿床或气成矿床常常是在一个相对封闭的系统中形成的。岩石的构造如渗透力、裂隙度对压力都有影响,估计压力时要考虑到实际的地质条件。

用包裹体测量压力是比较好的办法,但这一工作有许多限制,如必须要有含CO₂的包裹体等,因此,当前应用较少。

压力改正先根据估计的压力和测定的均化温度在图表上查出压力改正数,则矿物形成温度=均化温度+压力改正温度数。如果不大可能估计成矿压力时,也可以简单地利用均化温度讨论矿物或矿床的相对形成温度,在同一矿区或地质条件相同的矿床之间进行对比,常常是可行的。但必须注意结合其他地质条件进行综合分析。

4. 爆裂温度和矿物形成温度的关系 爆裂温度一般高于矿物形成温度,可相当于形成温度上限。造成这一差别的主要原因是成矿压力,其次矿液的成分和矿物硬度、样品颗粒大小均有关系。A.H.赫特奇可夫曾对人造石英进行爆裂法试验,其结果如表3。

从表3可看出,成矿压力小于700大气压时,爆裂温度高于形成温度,成矿压力达1100大气压以上时,爆裂温度低于形成温度。在700~1100大气压之间,爆裂温度从高于形成温度向低于生成温度过渡。据研究得知,石英包裹体爆炸时最大内压力为850±50个大气压,故

表2

	均化法	爆裂法
1	用于透明或半透明矿物测温	主要用于不透明矿物,也可用于透明矿物测温
2	测温的精确度和可靠性较高,影响测温的因素较少	测温精确度和可靠性较差,影响因素较多
3	极小的包裹体常受显微镜放大倍数和分辨力限制而不能测温	包裹体大小无限制
4	测定程序较麻烦	测定程序较简便

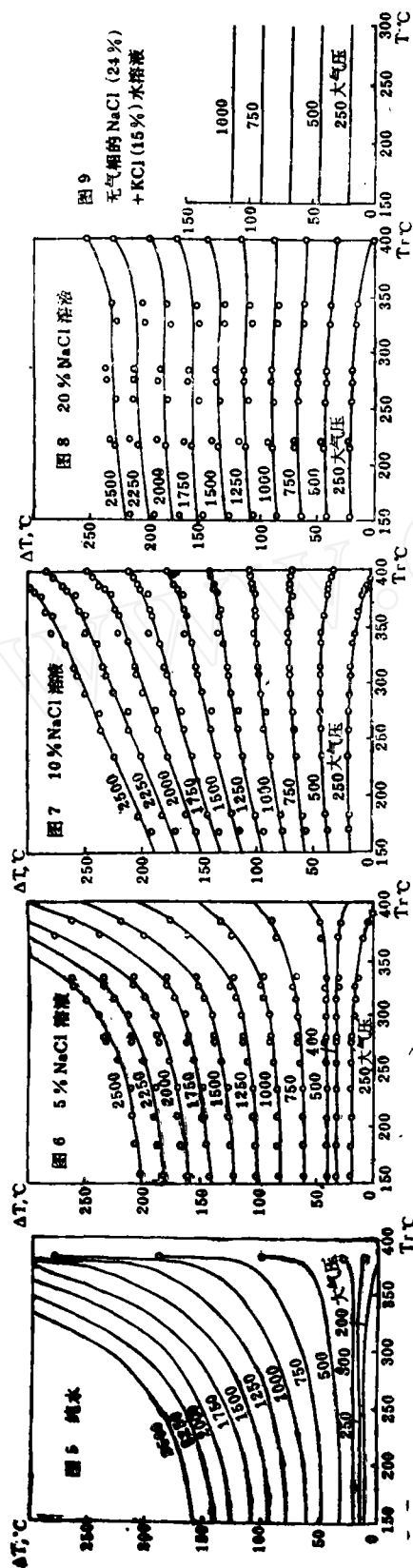


图5—图9 压力对均化温度 (T_r) 或正值 (ΔT) 图表 (据列姆列依和克列夫佐夫资料)

表3*

样号	合成条件		起爆温度	$T_g - T_c$
	(P大气压)	T_c (°C)	T_g (°C)	(°C)
1	100	306	370	64
2	300	318	360	42
3	500	334	360	26
4	700	338	350	12
5	1100	345	320	-25
6	2000	375	290	-85

* 据A.H.赫特奇可夫资料。

P—矿物生成时的压力；

T_c —矿物生成时的温度；

T_g —矿物爆裂温度。

850±50个大气压的压力下形成的石英，其爆裂温度和真实的形成温度应很相近。

爆裂温度是根据爆裂曲线来确定的。爆裂曲线是根据矿物包裹体爆炸的脉冲数和温度的关系作出的。包裹体在某一温度开始连续爆炸，致使曲线陡然上升。该陡然上升的拐点就是爆裂温度点，图10是德兴斑岩铜矿富家坞花岗斑岩中石英脉的爆裂曲线图。这个曲线图，有两个起爆点，我们得出爆裂温度为335℃和650℃。335℃代表成矿热液的温度，650℃可能表示残余岩浆—气成阶段的温度。可见，爆裂法有时可以区分两个不同阶段的温度。如果两个阶段的温度相差不大，前后两曲线重叠在一起时，则只能求得最低阶段的温度。

从图10可知，两次爆炸均有一定的温度范围，前者为335~430℃左右，后者为650~800℃左右。这说明矿物是在某一温度范围内形成的。测量爆裂温度时，如发现其温度范围有特殊意义时，应加以说明。

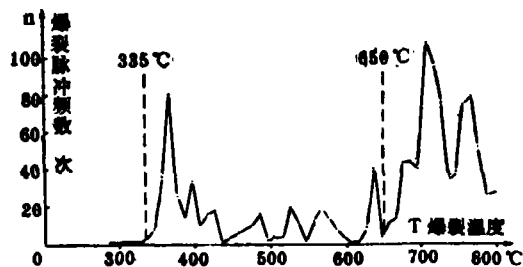


图10 富家坞花岗斑岩中的石英脉爆裂曲线图

5. 影响爆裂温度的因素: 包括矿物本身的因素, 如成矿压力、矿液成分、矿物硬度、解理等均能影响爆裂温度值的大小。这些因素是固定的, 需要通过实验研究找出它们的规律。这项工作已作了不少实验数据, 对爆裂温度的准确性提供了依据。人为的因素, 如试验时的加热速度、样品纯度、仪器灵敏度等是主要的影响因素。必须掌握最佳条件尽可能排除这些因素的干扰。目前许多单位作了各种条件试验, 已取得了较好的结果。

6. 如何使用爆裂温度数据 由于影响矿物包裹体爆裂温度的因素较多, 因此, 对爆裂温度的使用必须注意以下几点:

(1) 爆裂温度一般高于矿物的形成温度, 在形成压力不太高的情况下, 爆裂温度作为矿物真实的形成温度大部分情况下是近似的。因此可以按照均化温度的使用条件用爆裂温度来分析地质现象。关于爆裂温度的压力校正, 尚无统一的认识。

(2) 由于成矿压力对爆裂温度的影响较复杂, 其他影响因素又较多, 因此使用爆裂温度解释地质现象时必须注意: ①和均化温度进行对比。对不透明矿物应尽可能地找到与之共生的透明矿物进行均化温度试验。②爆裂温度应尽可能多做一些数据, 不要仅拿个别数据就来解释地质现象。③必须结合实际地质情况, 综合分析, 去伪存真。④样品必须有代表性。

四、均化法和爆裂法测温样品的要求

1. 取样要求 ①必须采集新鲜的岩石和矿物。②样品要有代表性。在野外应详细观察地质体的结构构造、围岩蚀变、矿石类型、成矿阶段、矿床成因等地质现象, 并详细纪录, 分别采样。③对不透明矿物, 要尽可能采集与之共生的透明矿物, 以便于均化温度与爆裂温度对比, 互相验证。④对某些解理非常发育的矿物, 如碳酸盐矿物、长石、萤石、云母等应尽量采单矿物标本作均化温度, 不要采爆裂法样品。因为这类矿物解理发育, 加热时容易裂开而发出声音, 对爆裂温度的影响很大。

2. 样品加工 ①均化法样品: 一般采一两块有代表性的手标本, 根据矿物的透明度磨制成一定厚度的薄片, 即可做均化法测定。②爆裂法样品: 破碎粒度在0.1~0.5毫米左右。在这一范围内粒度愈均匀愈好。样品纯度, 一般要求单矿物, 力求纯净, 凡比较易采易选的矿物, 应尽可能挑纯。如挑不纯者, 一般要求其纯度达95%以上, 样品重量在5克以上。难选的或量很少的矿物可减少到1~2克。易挑选的常见矿物尽可能多采些样品备用, 以便反复测量, 减少测量误差。样品中如夹有碳酸盐类矿物, 需加酸处理, 溶掉碳酸盐, 处理后在80℃以下的温度中彻底烘干。加工处理不能超过80℃, 以免破坏低温包裹体。

3. 样品编录 送样时, 需附有以下资料: ①送样单, 说明样品编号、名称、重量、粒度等。②采样地质简图, 标明样品位置。③送样说明书, 说明简略地质情况, 送样目的, 需解决的问题。

本文概述了矿物包裹体研究的一般问题, 仅供参考。许多实验数据和实际操作方法及进一步的理论探讨, 限于篇幅和水平, 均未展开。其中谬误之处, 望读者及时指出, 以便使之不断提高。