

# 用矿物包裹体进行地质测温的方法

何知礼

## 一、地质测温的重要意义

地质测温法在发展地质科学和找矿勘探工作上均有重要意义。如密西西比河流域大型铅锌矿的成因长期争论不休，直至测定其闪锌矿形成温度为 $115^{\circ}\text{C}$ — $135^{\circ}\text{C}$ 后才肯定为低温热液矿床。不同成因的矿物和矿床形成温度不同，价值亦异。测定矿物、岩石、矿床形成温度，有助于寻找盲矿体和解决成矿方面的某些重要理论问题。根据统计，有26种地质测温法，可分为三类。第一类为普通地质测温法，共包括四种。如用风化作用和沉积作用的温度、溢出熔岩的温度等直接测量近代地质作用的温度；按侵入体接触处煤的焦化程度等可间接估计过去地质作用的温度；按矿物共生、矿体产状，矿石结构构造、围岩蚀变等特征亦可估计矿床形成温度。第二类为普通矿物测温法，共包括十一种，如按分解温度、转折点、固熔体的分解、矿物内杂质元素的含量、结晶习性等。第三类为矿物包裹体测温法，其中又分为数种，如均化法，破裂法等。上述各法中只有矿物包裹体测温法最先进。尤其当注意到利用矿物包裹体研究尚可确定热液的流向，相对速度和成份时，此法的作用就更大了。

## 二、矿物包裹体测温法的原理与主要方法

矿物晶体内的气液包裹体相当于自动记录温度计，可借以测定矿物形成温度。它是确定地质体形成温度的基础。在地质测压时，也常需测出生成温度。测温法的原理基于物质热胀冷缩原理。矿物晶体内带着极微量，但分布较广的母液。液体和气体的膨胀和收缩系数均远大于固体。晶体冷却时，液体体积的缩小远大于包围它的空腔的收缩，致使包裹体内局部形成真空，并被来自同一母液的蒸汽迅速充满。由此导出下述三个重要方法。第一法：按汽泡消失温度测定矿物形成温度的方法，又名均化法。当晶体用人工加热时，液态包裹体的膨胀速度远较空腔为大，此时蒸汽泡被逐渐挤小，最后液体充满整个空腔，蒸汽泡随之消失（图1）。此瞬间的温度叫汽泡消失温度或充填温度，亦名均化温度。它是该矿物生长带的最小

温度，与结晶温度极近似。对深成矿床则应加压力（影响最大）校正，有时还必须加浓度改正。第二法：是按充填度计算温度的方法，也可叫容积比法。汽泡的大小是温度和压力的函数，如压力一定，并且不考虑影响较小的溶液浓度的话，则汽泡的大小只与充填温度有关。即是结晶温度和冷却后的温度之间的温差的直接函数。高温的汽泡大，低温的汽泡小。第三法：为破裂法，包裹体中有液态气态存在，加热时，包裹体内压力增高。当达均化温度时，只要略加热则压力急剧增加，而空腔增大有限，故产生破裂而达到新的平衡。当然，均化温度和破裂温度间有一较长间隔，包裹体壁的厚度、气相与液相的比值、加热速度等均可影响破裂的发生，但开始大量的破裂正是在均化温度下产生的。

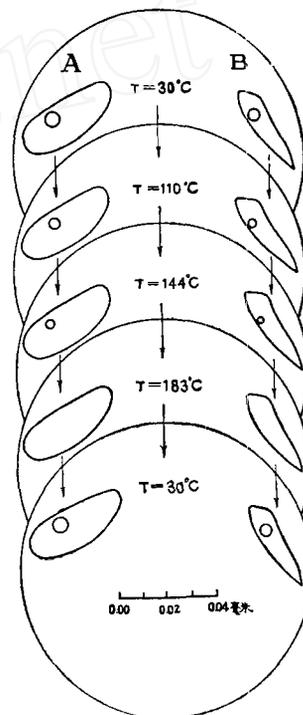
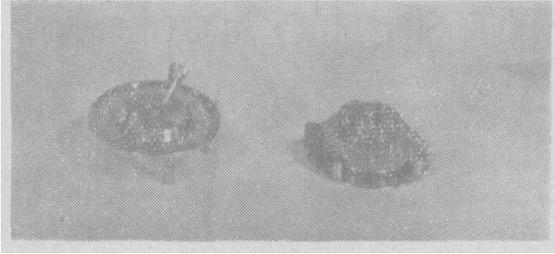


图 1

## 三、仪器设备效能

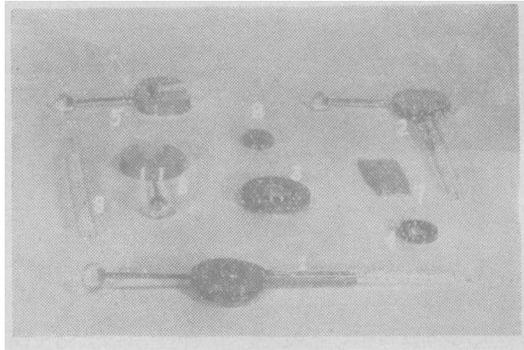
均化法须用显微电热台，亦称显微加热台或热台，显微加温盒或加温盒。此仪器类型多，但原理相同，兹将本单位仿制的魏干德式显微电热台的性能，主要应用范围、结构原理、附属设备等简述如后（照片1、2、3、4）。依原设计，此仪器欲定温度达 $300^{\circ}\text{C}$ 。它是微量化学中在偏光显微镜下辨认任何熔化物质的工具，也可用作微量熔点装置，以便在透射光和入射

光中精确测定熔点。在一定温度下用它研究多晶现象、凝固机理，转变点和结晶速度。



照片 1

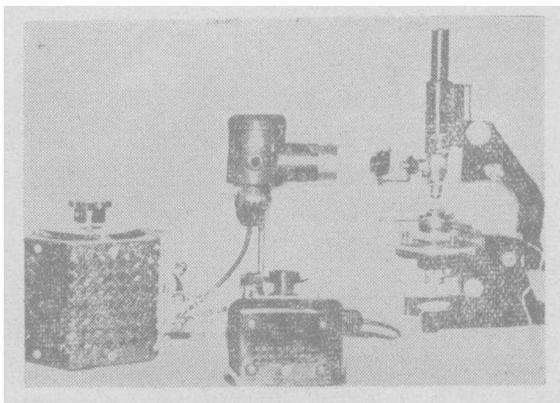
魏干德显微电热台的主要部件：左为操纵圈，右为底座



照片 2

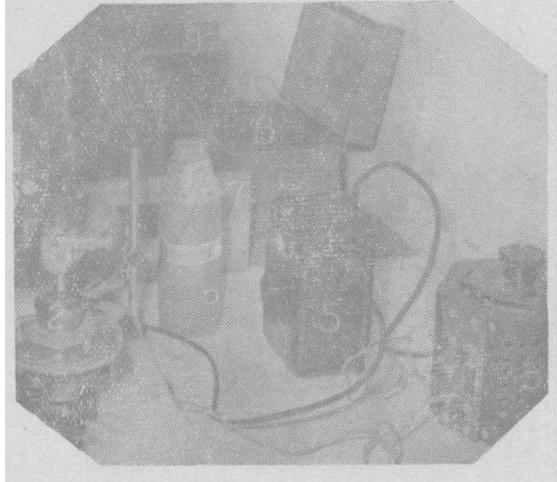
魏干德显微电热台的某些零件：1—带特制温度计之透光滑板；2—带特制温度计之监督滑板；3—滑盖（已除去其中4），4—滑盖中的石英玻璃窗（使用时可放入3中），5、6—冷却器，7—可用于监督滑板内的金属板；8—必要时可装入1的中央孔的金属圆片；9—特制温度计

此仪器由带加热线圈的底座和操纵圈两大部分组成（照片1）。使用透光滑板（照片2—1）或监督滑板（照片2—2）时可套上滑盖（照片2—3），滑盖中



照片 3

装于莱兹通用偏光显微镜上的带监督滑板和滑盖（中有石英玻璃窗）的显微电热台、图为在反射光下工作之情形



照片 4

利用显微电热台研究矿物包裹体工作情形之一。1 莱兹通用偏光显微镜，2 带透光滑板、滑盖及石英玻璃窗的显微电热台，3 显微电热台用调压变压器，4 照明灯，5 照明灯用变压器，6 保证热电偶正常工作之盛冰筒，7 电位计，8 标准电池，9 检流计（图中只见其箱盖）

央有一石英玻璃窗（照片2—4）以防热向上辐射。热台可迅速恢复至室温，用冷却器（照片2—5、2—6）可加速冷却。冷却器也可用冷却剂或乙醚—碳酸预冷。冷却器的尺寸保证降温时能长时间用长焦距的略能放大的物镜观察物体。透光滑板能在筒形机罩上来回滑动。其中可水平插入76×26毫米的并带有18×18毫米盖玻片的载物片。取去上面玻璃盖，透光滑板可作为表玻璃试验或在载物片上作点滴试验的底座，热量由周边输入，可慢慢从边缘烘干溶液。在显微镜下可用最少量标本作任何反应试验。操纵圈是为某些特殊用途而设计的。其上有三根可关闭的导管。第一根内可插入热电偶，以测定标本每一部位的温度。第二根内可插入一种特备接头栓和毛细管。第三根内可插进金属软管，从中可吹进预冷或预热空气，以便暂时调整标本温度而又不影响或调整热台温度。在作热电测量时，可通过其他两根导管固定住热电偶。确定熔点时可用监督滑板，为便于传递热量，可将金属板作衬垫，但大多数情况下也可用载玻片代替。试样够时，可放进百分之几毫克，并用盖玻片盖住。比较物放在试样旁的载玻片上，或放在上述盖玻片上再用另一小块盖玻片盖住。所用显微镜，既要有适当的放大率，又要有一定工作距离以保证安全。如被研究物质较大而不需要精密偏光显微镜时，可放在某些双目立体显微镜或矿相显微镜上使用，否则最好放在通

用偏光显微镜上使用,此时在沒有操纵圈的条件下物鏡用消色差透鏡3(10:1)和UO11X。我們是用VM<sub>1</sub>、VM<sub>3</sub>和VM<sub>2</sub>弗氏台上的特制长焦距镜头代替,其放大率分别为30X、20X、5X。当用操纵圈时,常用消色差透鏡2(6:1)和VO6.5X。

仪器額定溫度为300°C,最大功率80瓦,电源(由調压变压器輸入)220伏/110伏,50赫,据我們做加热实验結果說明,在58分钟內热台內溫度能以适当速度由23°C上升到300°C(表1)。如参考表1数据,用調压变压器逐漸加大电压和电流,則热台可用平均每分钟升高5°C±的速度在1小时左右由0°C升高到300°C。

魏干德式显微电热台加热实验結果 表 1

加热時間 (分)	加热总时 間(分)	溫度°C 变化	使用电压 (伏)	使用电流 (安)	加热速度 (°C/分)
6.25		23—50	10	1.2	4.3
15.75	58.00	50—159	17	2.1	7.0
6.00		159—201	20	2.5	7.0
10.00		201—247	22	2.6—2.7	4.6
20.00		247—300	22	2.8	2.7

为了方便,可备一套特別水銀溫度計和一对热电偶。水銀溫度計共三支,分别为-10°C到+110°C,+90°C到+210°C,190°C到+310°C。

#### 四、实验工作和注意事項

(一) 取样:在野外,按成矿阶段和成矿期,或按各矿物組合系統采有代表性的标本。应尽量注意采集未遭受破坏和未变化的,透明度較高的标本,取样时要詳細记录标本产状并素描或照像。

(二) 室内准备:先对标本作詳細肉眼观察和双筒显微镜检查。必要时以煤油或折光率近似的适当液体擦試晶面。注意晶体物理性质、形态、内部构造、共生关系等各项特征,詳細记录和素描或照像。然后制备測温样品。

解理发育的矿物如方解石,可先用小錘輕击或用小刀剥离,再选用沿解理面裂开的小晶片作測温标本。但如透明度差,則与其他矿物一样仍用磨片方式。对晶洞中的小晶体,可用小刀将整个晶体剥出备用,或将其集合体送去制片。对微小矿物的集合体或透明度差的均應磨片。对大晶体应采用定向切片,如石英可沿垂直C軸和平行C軸各切一些試片,以有代表性为宜。

(三) 制片工作及要求:試片大小取决于热台尺寸,但一般不宜过大。因热台內同一平面上溫度不

一,四周高而中間低,故試片大小应适当。对叶尔馬柯夫式仪器可磨成2—1.5平方厘米,对仿制的热台也可磨成大約25×18毫米的长方形試片,这可在透光滑板內移动。当然为了受热均匀試片大小也应适宜,以便浸于特殊油液中。此种油液应为无色透明、高沸点且不易与矿物起化学反应。一般可用硅酮油、医药用的潤滑油石蜡油等,使用前須小心地长时间加热以除去易揮发的成份,但所加溫度不应高于其沸点。这次我們使用的是后二种,效果良好。切片厚度主要取决于标本透明度,其次是包裹体的大小。此次对万山区少数石英和部份透明度高的方解石所取厚度为1毫米,甚至更厚一点。一般为0.2—0.5毫米,石英用0.4—0.5毫米,方解石0.2—0.3毫米。总之,透明度高的厚点,反之薄点。普通应小于5毫米而大于0.2毫米,太厚則杂质或裂縫的影像可能重迭于包裹体上不易看清楚,且受热也可能不均匀。太薄則包裹体多被損失且制片亦难。切片应两面打光,或一面打光而另一面稍磨一下也可。磨法为先磨光一面,将此面用树胶粘于載玻片上,磨另一面至所需厚度再打光,然后精心将胶除去即成。制片时宜用手工輕磨,用力和速度应均匀,以防包裹体被震破。在粘胶和去胶时,只能略加热,不宜超过估計矿物的均化溫度。磨制含CO<sub>2</sub>包裹体的标本时更应細心。以防包裹体的破損。

(四)、寻找包裹体:包裹体种类繁多,測温用的是具备液态及汽态两相的包裹体,且应选择原生的。次生包裹体不能用来測定成矿溫度,但假次生的可以用。要区别包裹体的成因較难,据某些著作中介绍,大体上原生的形状較規則,与晶体的生长形状有一定关系。次生的常与次生裂隙有关,有时形状很不規則。如液体包裹体平面在穿过晶粒边界时不分叉和不改变方向,这多半是次生包裹体。这种包裹体在整个切片中大致保持恒定方向。对假次生包裹体的特征文献中亦有所介绍。在区分包裹体时,尚須留心共生、蚀变及交代作用等其他特征。原生包裹体在达到汽泡消失溫度后,立即降溫并使其逐漸恢复至加温前的溫度,包裹体可恢复原形。此时虽汽泡位置可能移动,但其与整个包裹体的容积比不变。为了很好区分包裹体和寻找所需包裹体,宜多看、多想、多比較。有时視域內只有一些极小的麻点,当用高倍显微镜精心观察时就可发现它們都是包裹体。計算充填度的包裹体应选形状規則的,如英格松所說,这些形状为空晶、直径均匀的拉长了的柱状、扁平的长椭圆等。只有在这些汽泡未被压缩的情况下,相对面积和相对容积才成

万山矿区矿区地质测温研究结果表

表 2

样品号	被测矿物	被测矿物产地	被测包裹体数	充 填 温 度						被测矿物特征及产状	备 注*
				按均化法			按充填度换算				
				平均	最 小	被测包 裹体个 数	平均	最 小	被测包 裹体个 数		
W006	石英	张家湾	1	95	95	1				无色透明自形产于富含辰砂的石英方解石脉中, 其生成略早于辰砂和方解石(照片5)	早
W022	石英	张家湾	1				111	111	1	半透明粒状。充填于乳白色白云石脉中	未
W188	石英	大坪第一中段	2	115	115	1	97	97	1	灰白色微石英岩中的梳状石英, 其所组成的晶簇内有辰砂	早
W189	石英	大坪第一中段	2	90	90	2				条带状微石英岩中含辰砂的整合石英脉(照片6)。	同
W208	石英	杉木董大平坑	7	142	160 125	4	149	163 125	3	自形产于 $e_5^2$ 层内“变晶白云岩”夹层内乳白色热液白云石晶洞中, 并包裹白云石	
W291	石英	张家湾	2				178.5	180 179	2	无色透明六方柱状双锥, 成晶簇产出, 辰砂产于其晶簇中。晶形近似图2。	
W330A	方解石	张家湾	1	113	113	1				乳白色半透明菱面体。产于 $e_2^4$ 层内孔洞中	
W338	石英	冲脚	1	133	133	1				无色、透明、自形。辰砂产于其所组成的晶簇中。晶形近似图2	
W338B	石英	同上	2	183	183	2				同上, 但比W338的晶体及该处一般石英晶体大1倍, 是标本上最大的晶体	
W338	方解石	冲脚坑口 $e_7^2$ 老洞层内	2				120	128 111	2	乳白色半透明, 局部带灰褐色菱面体, 长对角线3.5厘米, 解理缝中有辰砂	
W390①	石英	黑 矸 子	5	88	88	2	105	124 100	3	无色半透明, 晶体内部浑浊, 晶形近似图3, 长2厘米以上	
W391	石英	同 上	3	168	168	1	169	177 161	2	无色半透明, 晶形近似图3呈晶簇状出现。	
W392	石英	大坪第一中段	1				78	78	1	产于灰白色, 微石英岩内石英脉中, 成晶簇状出现	

\* 早: 指该矿物的形成早于辰砂; 同: 指该矿的形成与辰砂同时, 未: 指未见该矿物与辰砂的直接关系。

正比。如包裹体特别细长呈细针状, 此时用线比例也可代替容积比。因包裹体很小, 要精确计算容积比甚难。但须指出, 在其他情况下用面积比代替容积是有误差的。我们曾对万山标本 W392 石英中一个椭圆形

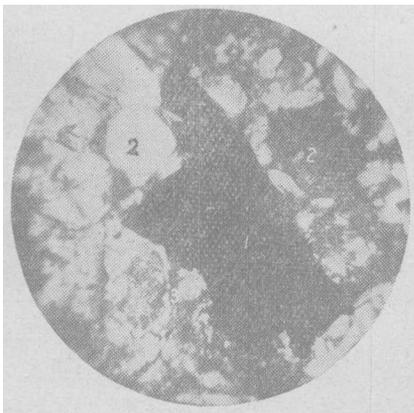
包裹体进行过试验: 当把它视为旋转椭球体而将汽泡视为球体按容积比计算充填度后, 求出温度为78°C; 但换用面积比时为111°C。显然误差很大。找到有包裹体的合适视域后, 用墨水圈定其位置并记清其特

征, 作为测定温度的对象。

(五)、加热: 将所选包裹体置于视域中央, 每个视域内最好能同时观察几个或更多的气液包裹体。然后接通电源, 徐徐加热。为了不使包裹体和试片破碎, 在加热之初宜保持每分钟升高  $5^{\circ}\text{C}\pm$ , 以后稍快点。在降温过程中观察标本时也应保持同样的温度变化率。加温和降温过程中均应仔细注意包裹体的各种变化。尤其注意相变过程。一般多认为, 加温时的汽泡消失温度与降温时汽泡出现温度之差小于 5% 时结果才算正确。在透射光下, 有时汽泡临近消失而尚未真正消失前即为包裹体边缘的里腔所隐蔽, 此时如换用反射光, 则汽泡将重复出现。为了充分保护镜头, 除可在热台上临时加上两个防热石棉圈外, 在暂停观察时应立即提升镜筒, 等观察时再下降。为了进一步隔热, 我们在使用此热台时, 还在其滑盖上的石英窗中临时放入一两块厚约 1 毫米的高透明度圆玻片。在加热和降温过程中, 应详细记录均化温度及降温过程中汽泡出现的温度对比并与按充填度换算出温度, 互相验证, 加热前应详细了解热台的最大功率和调压变压器的规格, 以及检查各电路的接法是否正确, 以确保仪器安全。实验结果可用图表显示。

#### 五、万山汞矿的成矿温度和矿床成因

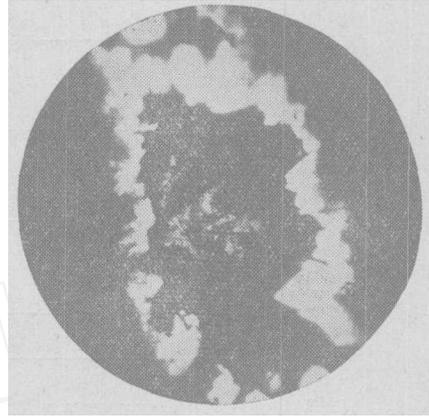
根据 13 块较适于进行测温研究, 所获的数据 (表 2) 看来, 部份试片因包裹体太小, 只按充填度换算充填温度。同样, 部份样品中未找到易于测定充填度的很规则的包裹体, 仅测了均化温度。图 3 为按前表所作充填温度分布图。上述实测数据未加压力校正值。因为从图 4 中可见浅成低温矿床的压力改正数很



照片 5

富含辰砂 (1) 的石英 (2) 方解石 (3) 脉。辰砂的生成时期略晚于石英。×22.4  
(标本 W006)

小, 且本区上覆层厚度亦即矿床形成时距地表深度尚难精确估计, 因此不加压力校正值是适宜的。关于按充填度换算充填温度是按图 5 进行。结合英格松对图 5 的解释, 我们采用的是图中上面那条曲线。



照片 6

条带状微石英岩 (图的两侧黑色部份) 中富含辰砂的整合石英脉。脉的白色部份 (似犬牙状) 为石英, 脉中黑色及花白色者均为辰砂。×22.4

表 3 和图 3 说明下述情况。在所有个次包裹体的测定中, 最低温度为  $78^{\circ}\text{C}$ , 最高  $183^{\circ}\text{C}$  (该石英未与辰砂直接共生或伴生), 其中 60% 的个次测定为  $88^{\circ}\text{C}$ — $133^{\circ}\text{C}$ 。W385 和 W330 A 为方解石, 其余被测矿物均为石英。这些石英中除 W900 长大于 2 厘米外, 余均结晶细小, 主要产于白云石晶洞中, 或在石英脉内呈晶簇状产出。按野外及室内观察, 辰砂主要产于这一类细小石英的晶簇内, 应晚于这些石英。至多和后者

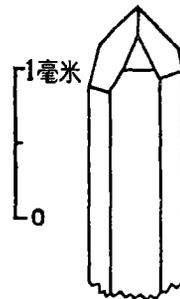


图 2

微石英岩内梳状石英脉中的石英晶体。辰砂常产于此类石英晶簇中, 仅偶尔见个别晶体生于辰砂晶面上

时期接近。W189 的石英和 W385 的方解石的平均温度分别为  $90^{\circ}\text{C}$  和  $120^{\circ}\text{C}$ , 它们与辰砂直接共生。由此可初步认为, 本区几个主要汞矿床的形成温度大约  $90^{\circ}\text{C}$  到  $133^{\circ}\text{C}$ 。这与费多丘克认为中亚成矿省和太平洋成矿带汞—铋矿床平均温度为  $200^{\circ}\text{C}$  和柯罗金科研究苏联尼基托夫卡汞矿床的成矿温度的上限为  $150^{\circ}\text{C}$ — $140^{\circ}\text{C}$ , 下限为  $100^{\circ}\text{C}$ — $110^{\circ}\text{C}$  相比较, 万山区的成矿温度似偏低, 而该区为单一辰砂的汞矿床, 从辰砂的晶体习性为等轴状等特征来看, 成矿温度较低是可能的。

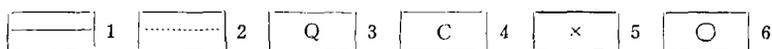
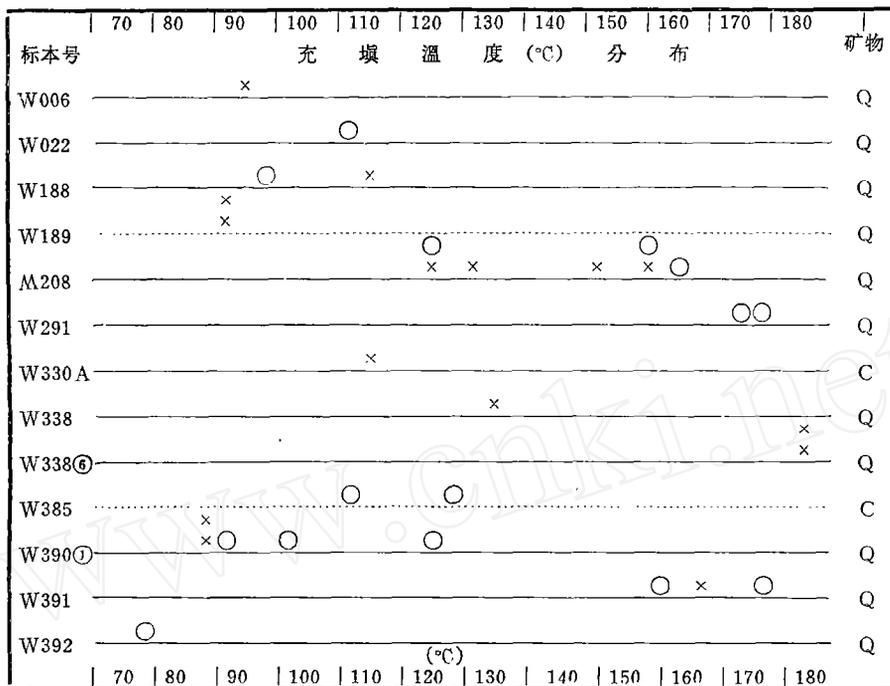


图 3 万山矿区某些热液矿物充填温度分布图

图内水平线左端为标本号，右端为矿物名称，上方之小圆点或小圆圈代表温度点。1.与辰砂伴生矿物；2.与辰砂共生矿物；3.石英；4.方解石；5.实测均化温度；6.按充填度换算温度

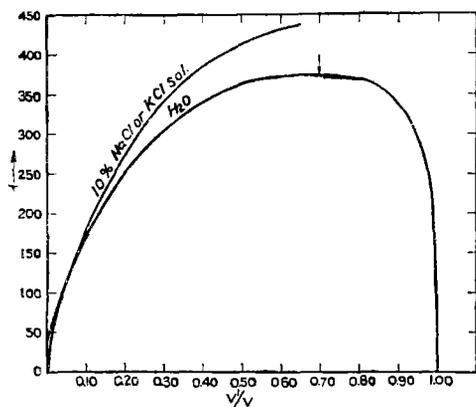


图 4

示气泡消失温度与按深度的压力改正数间的关系 (据 G.C. Kennedy)

在对本区中寒武系第四、六两分层 (即  $e_2^1 e_2^2$  层 “变晶白云岩” 的成因进行研究后，初步认为这两层岩石孔洞中充填的热液脉石矿物，如方解石、白云石、石英等，与中寒武系第三、五两分层 (即  $e_2^3$ 、 $e_2^5$  两主要合矿层) 孔洞中的脉石矿物相似，均为低温热液矿物。例如 W330A 的方解石形成温度为  $113^\circ\text{C}$ ，W208 石英产于  $e_2^3$  内与  $e_2^4$ 、 $e_2^5$  相同的 “变晶白云岩” 中，其温度也不过  $142^\circ\text{C}$  (见表 3)。有人认为  $e_2^4$ 、 $e_2^5$  两层可能成矿早期阶段的较高温度下蚀变的产物，不利于汞矿的沉积，通过填充的脉石矿物形成温度的测定，尚不能说明这一问题。

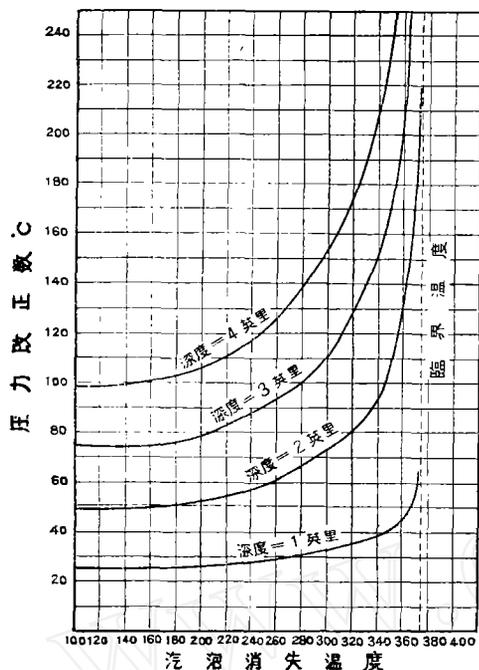


图 5

图示包裹体充填度 ( $V_1/V$ ) 与包裹体的均化温度 ( $T$ ) 间的关系。汽泡对全容积之比大约小于 0.7 时 (弯形曲线左边) 这个相是液体, 对于较高的比率则是气体。记有“10% NaCl or sol”那条曲线大概能适用于成份近似于含任何 10% 的硷性卤化物和少量碳酸盐、硅酸及别的化合物的溶液 (据 E. Ingerson)

## 結 語

(一) 地质测温学在发展地质科学和解决矿床成因、找矿勘探, 甚至矿床开采等方面均具有重要意义。此次仿制成的魏干德式显微电热台, 给今后广泛开展这一项工作创造了条件。

(二) 应用均化法等研究万山汞矿成矿温度的几点认识:

(1) 万山矿区各主要汞矿床 (除下寒式纪矿床因未获得良好测温标本外) 的形成温度, 经初步测定为  $90^{\circ}\text{C}$ — $133^{\circ}\text{C}$ , 应属低温热液矿床。

(2) 万山矿区与辰砂伴生或共生的矿物晶体内的气液包裹体一般很小, 就目前所见最大长度不过 0.014—0.03 毫米。仅在一个试片内偶尔见到一个长 0.09 毫米的。有些矿物透明度低 (如白云石), 因此, 对本区可进一步开展破裂法的研究。

(3)  $\text{C}_1^2$ 、 $\text{C}_2^2$  两层岩石孔洞内充填的脉石矿物, 与主要容矿层内的似无多大差异。因而, 认为它们是较高温产物而不利于成矿的看法, 还需要考虑。

(三) 在研究矿物包裹体以解决矿床成因时, 对辰砂的标型特征也应加以注意和研究。

## 确定钻孔空间位置的方法

程玉明 杜国沛

在地质勘探与储量计算过程中, 正确确定钻孔空间位置是不可缺少的一个主要环节, 它是指导钻孔施工与进行储量计算的主要依据。确定钻孔空间位置的方法, 很多教科书与参考书上都是采用钻孔弯曲校正剖面图的制图投影方法。根据几年来的实际工作, 这一方法虽然有很多特点, 但亦有不足之处。因此, 我们总结出数学的计算方法代替制图投影方法来确定钻孔在空间上的位置, 通过验证用计算方法完全可以代替制图投影方法, 并且速度快, 精度高。本文着重介绍钻孔弯曲校正角确定钻孔位置的方法。

### 一、钻孔弯曲校正角确定钻孔在剖面图上位置的计算方法

用制图投影方法校正钻孔在剖面图上的真正位

置不但费时间而且几次投影线搬点, 产生的误差较大。因此, 可以采用以下计算方法代替制图投影方法。

钻孔由 A 点到 B 点的进尺长度为  $l$  米 (图 1) 钻孔由 A 点到 B 点的垂直线为  $b$ ; 钻孔由 A 点到 B 点的水平投影长度为  $lx_1$ ; 控制  $l$  尺段实测钻孔倾角:  $\alpha$ ; 控制  $l$  尺段实测钻孔方位角与剖面线方位角的差角:  $\beta$ ; 剖面图上钻孔弯曲校正角:  $\gamma$ ;  $lx_1$  的投影长度:  $a$ 。

计算公式:

$$\begin{aligned} \because b &= l \sin \alpha, \therefore lx_1 = l \cos \alpha, \therefore a = lx_1 \cos \beta, \\ \therefore a &= b \cot \gamma, \therefore lx_1 \cos \beta = b \cot \gamma \\ l \cos \alpha \cdot \cos \beta &= l \sin \alpha \cdot \cot \gamma \end{aligned}$$