

DZ

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ 0003—91

汞 蒸 气 测 量 规 范

1991-06-11发布

1991-10-01实施

中华人民共和国地质矿产部 发布

目 次

1 主题内容与适用范围	(1)
2 总则	(1)
3 设计书的编写	(1)
4 野外工作方法	(2)
5 室内分析	(6)
6 资料整理	(11)
7 成果报告	(13)
附录A 汞的物理化学参数与汞的天然矿物 (参考件)	(14)
附录B 汞在地壳中的丰度值 (参考件)	(14)
附录C 饱和汞蒸气浓度表 (参考件)	(15)
附录D 各类岩石的汞含量 (参考件)	(16)
附录E 土壤、空气和水的汞含量 (参考件)	(17)
附录F 某些矿物的汞含量 (参考件)	(18)
附录G 地球化学标准参考样的汞含量推荐值 (参考件)	(19)
附录H 汞化合物中汞的热释峰值温度 (参考件)	(20)
附录I 我国某些金属矿物中汞的热释峰值温度 (参考件)	(21)
附录J 我国某些非金属矿物中汞的热释峰值温度 (参考件)	(22)
附录K 某些物质对饱和汞蒸气的吸附量 (参考件)	(23)
附录L 各类测汞仪性能对比表 (参考件)	(24)
附录M 各类测汞样品加工流程 (参考件)	(25)
附录N 水中汞的测定方法 (参考件)	(25)
附录O 捕汞管一致性检查记录卡 (参考件)	(25)
附录P 壤中气汞量测量野外记录卡 (参考件)	(26)
附录Q 汞异常登记卡 (参考件)	(27)

汞蒸气测量规范

1 主题内容与适用范围

1.1 本规范对汞蒸气测量工作的设计编写,野外工作,室内分析,资料整理及报告编写等方面作出了规定,确立了统一的标准。

1.2 本规范适用于地质行业,在地质勘查各个阶段中进行的汞蒸气测量。亦可供其他行业进行类似工作时参照使用。

2 总则

2.1 汞蒸气测量方法是六十年代发展起来的一种新的化探方法。它是寻找隐伏矿床的有效方法之一。

2.2 汞蒸气测量是汞量测量的一个重要技术分支,它主要以研究浅层和近地表大气中汞的分布为依据的。

2.3 汞蒸气测量既可根据游离气进行,也可根据吸附气进行。研究不同分散介质中汞气分散晕的方法分别称之为:壤中气汞量测量,土壤吸附汞测量,航空与地面或水面大气汞量测量,水中气和岩石气汞量测量等。目前实际应用的有壤中气汞量测量,土壤吸附汞测量,还有水中汞气测量等方法。

2.4 汞蒸气测量方法可以用于以下主要方面:

- a. 查明和圈定有关金属或非金属远景区、带,追索矿床(包括隐伏矿床)等;
- b. 查明和追索隐伏断裂构造,监测断裂活动情况;
- c. 圈定浅层地热储;
- d. 圈定油气远景区及评价局部油气圈闭;
- e. 环境监测;
- f. 圈定某些与汞有关的古文化遗址的范围等。

2.5 鉴于汞蒸气测量方法本身所具有的间接性和多解性,使所得结果的解释推断变得复杂。因此,本方法一般需要与其它方法配合使用,才能获得更好的地质效果。

2.6 进行汞蒸气测量工作的目的有多种多样,测量地区的地理、地质和地球化学条件也千差万别,因而在遵循本规范基本准则的前提下,结合具体情况,制订出实施细则,并在工作中不断总结经验,以便今后对本规范进行补充和修订。

3 设计书的编写

3.1 工作设计书是汞蒸气测量工作的基本文件。在接到下达的任务后,应根据任务要求做好设计前的有关准备工作,包括:

- a. 收集与工区有关的地理、地质、矿产、物化探等资料;
- b. 研究在该工区进行汞蒸气测量的前提和可行性;
- c. 根据已掌握的情况作出方法选择。如属不了解的未知区,应组织少数人到工区进行踏勘,必要时可进行少量方法试验;
- d. 根据获得的资料和初步试验结果,在符合本规范规定的前提下,考虑测量工作的实施方案。

3.2 设计书是测量施工的依据,没有设计书不能施工。

3.3 单独进行的汞蒸气测量工作应独立编写工作设计书;与其他化探工作等结合进行的汞蒸气测量工

作,可以根据具体情况与其他工作结合在一起编写。编写设计书应由技术负责人负责组织编写。

3.4 设计书的编写应力求简单明确,合理可行。设计书应主要包括下列内容:

- a. 工作任务:包括任务来源、目的与要求、工作依据与工作量;
- b. 工区概况:包括工区的地理景观,地质、地球物理和地球化学特点,以往工作及其研究程度;
- c. 工作方法与质量要求:包括所采用的野外工作、室内分析与数据处理的方法、技术,质量标准及质量检查方法;
- d. 提交成果的内容与时间:包括计划上交的资料、图件、报告的内容、提交的时间;
- e. 技术、经济指标:包括设备、材料计划,经济预算,组织编制和工作进度安排。

3.5 设计书应提交上级主管部门审批。经批准或根据审查意见修改批准后的设计书方能执行。设计书未经批准,不得施工。

3.6 在设计的实施过程中,如发现设计规定与实际情况不符或情况有重大变化需要进行修改或补充时,应提出书面修改补充意见,报请上级主管部门批准后实施。

4 野外工作方法

4.1 壤中气汞量测量

4.1.1 方法前提和应用条件

4.1.1.1 壤中气汞量测量是研究赋存于土壤各种孔隙中的游离汞气晕。从专门打的浅孔中用动态(抽气)或静态(吸附)方式,将土壤孔隙中的游离汞聚集至捕汞管(或汞杯)上,然后在现场或野外实验室对采集的样品进行脱汞测定。该方法的找矿效果主要取决于有利的地质条件和景观地球化学环境。

4.1.1.2 测区的选择应考虑下列条件:

- a. 拟寻矿床的含汞量必须明显高于围岩;
- b. 矿体尚未完全氧化,仍有一定数量的原生矿存在,足以形成动态稳定的汞气晕;
- c. 疏松覆盖层的厚度应在0.6m以上,这是汞气贮存和样品采集所必需的条件;
- d. 干旱或半干旱区有利于壤中汞气晕的形成,而沼泽和潜水面浅的地区不利于壤中汞气晕的发育;
- e. 活动砂丘、沿海砂滩、近期人工堆积物分布区不利于开展此项工作。需经试验证明可行后方可进行。

4.1.1.3 国内、外进行过试验研究或生产性测量,并获得壤中气汞量异常显示的矿种有:Ag、As、Au、B、Ba、Bi、Cd、Cu、F、Fe、Hg、Mo、Ni、Pb、Pd、Sb、Se、Sn、Sr、Te、Tl、U、Zn和石油天然气、地热田等。

4.1.1.4 本方法配合其他方法可用于普查和详查各个找矿阶段,物化探异常的综合评价,追索隐伏含矿断裂带等。本方法最大的特点是,能寻找隐伏矿,其有效探测深度一般可达百余米或更深,且异常的位移相对较小。

4.1.2 工作前的准备

4.1.2.1 分析设备:高灵敏度测汞仪、脱汞炉、微量注射器、饱和汞蒸气瓶等。

4.1.2.2 采样工具:1~1.3m长的钢钎($\phi 25\text{mm}$),八磅铁锤、螺纹锥形采样器*,大气采样器(或抽气筒),秒表,捕汞管(或汞杯),除尘过滤器和硅胶管。

4.1.2.3 捕汞管的净化和质量检查:新出厂的或长期未使用的石英质金丝捕汞管,其金丝表面有大量的汞和微尘,首先应以热稀硝酸处理,再用蒸馏水冲净、烘干后在800℃炉温下净化;活性炭捕汞管和镀金玻璃砂捕汞管可直接在500~600℃的炉温下净化,然后分别进行漏汞和释汞检查。检查时使仪器处于最灵敏档工作状态,用硅胶管将捕汞管和仪器进气口连接好,调节载气流量为0.6L/min,并分别往每只捕汞管内注入一定体积的饱和汞蒸气(含汞量约1ng左右),看仪器是否有读数。有读数的

* 亦可采用钢钎形采样器。

捕汞管表明漏汞，需进一步处理。将上述不漏汞的捕汞管在800℃炉温下进行脱汞测定，其测定结果按式(1)计算相对误差：

$$C = \frac{X_i - \bar{x}}{\bar{x}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中： \bar{x} ——全部检测捕汞管的读数平均值；

X_i ——某一检测捕汞管的测定读数。

$C > \pm 10\%$ 的捕汞管需进一步处理。

上述漏汞的和 $C > \pm 10\%$ 的捕汞管可再次用前述热稀硝酸清洗法处理一次后按上述方法重新检查，仍不合格者应当剔除，不能继续使用。

4.1.2.4 捕汞管长期使用后，其吸附汞的能力降低，不同捕汞管的一致性变差，每当一支捕汞管用于采集壤中气样品30次，或用于富集土壤样品中的汞10次以上时，也应应用热稀硝酸清洗，并按4.1.2.3条规定的方法进行质量检查。

4.1.2.5 在使用便携式金膜电阻型测汞仪直接在野外现场进行汞蒸气测量时，只需采用仪器上所附的金质捕汞线圈进行痕量汞的富集。其净化和质量检查可参考上述各条款进行。

4.1.3 踏勘与方法试验

4.1.3.1 在全面收集测区地质、物探和化探资料的基础上对测区进行踏勘，以便了解与本方法有关的景观地球化学条件和可能的干扰因素。

4.1.3.2 凡未进行过汞蒸气测量的地区，应在区内已知矿床或矿点上方法进行方法试验，以确定在具体地质——景观条件下，拟寻矿床类型的汞蒸气测量的合理采样布局，最佳采样深度和样量，并尽可能取得其他方法的对比资料，为制订综合找矿方案提供依据。

4.1.4 测网选择

4.1.4.1 壤中气汞量测量的比例尺应根据地质任务、成矿条件和工作程度合理选择。区调和普查是为了寻找新的成矿远景区，可选用1:5万到1:1万的比例尺；石油和天然气普查可选用更小的比例尺如1:10万到1:20万。详查是为了圈定成矿有利地段和矿体赋存部位，查明矿化带的形态和规模，可选用1:5千到1:2千的比例尺。各种比例尺的测网规格见下表。

比 例 尺	矩形 网 格	正方形 网 格	非 网 格 点/km ²
	线距 (m) × 点距 (m)	点线距相同 (m)	
1:20万	2 000 × 500 ~ 1 000	1 000 ~ 2 000	0.25 ~ 1
1:10万	1 000 × 250 ~ 500	500 ~ 1 000	1 ~ 4
1:5万	500 × 100 ~ 250	250 ~ 500	4 ~ 16
1:2.5万	250 × 50 ~ 100	100 ~ 250	
1:1万	100 × 20 ~ 50	50 ~ 100	
1:5千	50 × 5 ~ 25	25 ~ 50	
1:2千	20 × 5 ~ 10		

根据测量目的，可以在规定比例尺中按具体情况选用矩形网格、正方形网格或非网格的采样布局。

a. 矩形网格采样布局适用于寻找呈细长形或长、短轴相差较大的目标，其优点是能准确确定目标的位置及延伸方向。布置采样网时，测线应尽量垂直于目标的可能走向，这样可以获得最好的效果。

b. 正方形网格采样布局适用于寻找产状呈圆形或长、短轴相差不大的目标，其优点是样点比同比例尺的矩形网格略少，各测点的精度一致。

c. 非网格采样布局的优点是样点少，可以在最有利的地点采样。此外测量工作量小而定位可以很准确。它适用于对情况不明的小比例尺或中比例尺普查。

d. 剖面测量是非面积性测量中常用的一种采样布局。从小比例尺路线测量到大比例尺详查剖面测量都可采用。在情况不明的新工区开始工作时,通常采用剖面测量作为先导,以了解测区的地球化学特征,指出有利地段和确定合理的工作方法;在详查工作中的剖面测量常用来研究异常与地质体之间的关系和准确确定其位置。剖面测量中应采用的点距,可参照相应比例尺矩形网格布局中所采用的点距。

4.1.4.2 测线布置的原则除了要垂直矿体、含矿层和含矿构造走向外,应尽可能与其它方法的测线方向一致。基线必须有两个以上半永久性标志,测点应有临时性标志。基线与测点的定位误差应符合合同比例尺常规化探的规定要求。特殊情况下,可酌情修改并在设计书中说明原因,并报批。

4.1.5 采样

4.1.5.1 在预定点位上用铲清除 5~10cm 厚的表层土壤后,用铁锤将钢钎¹⁾打入疏松覆盖层内 0.4~0.6m,拔出钢钎后立即将螺纹采样器旋入孔内 0.2~0.35m 深处,用硅胶管依次将螺纹采样器、除尘过滤器、捕汞管和大气采样器(或抽气筒)连接好,并抽取最佳体积的气体样品(一般为 2~3 L)。

注:1) 采用钢钎形采样器时,可直接打入疏松覆盖层内 0.4~0.6m 处抽取气样。

4.1.5.2 采样时应注意下列事项

- a. 采样位置应选择在地层较厚和颗粒较细的地方,应避开碎石堆、废矿堆和新的人工堆积物。
- b. 拧螺纹采样器时不能左右摇幌,必需拧紧,要保证采样孔的密封性。采样器(包括硅胶胶接管)应经过检查,证明无污染及不吸附汞后方可应用。抽气时应采用最佳流量(一般为 1 L/min),并注意保持抽气过程中流量稳定。
- c. 半干旱区每天必须更换除尘过滤器的滤膜一次,在沙漠和潮湿地区应根据具体情况增加更换滤膜的次数。
- d. 采完样的捕汞管要妥善存放,禁止存放在汞源附近或烟尘多的地方,并应在 24 小时内分析完毕。
- e. 应有 2~3 支同型的捕汞管作为空白检查用,以监测在过程中可能发生而未被注意到的污染。采样完毕后,监测管与采过样的捕汞管一起进行分析,如果发现监测管有异常汞含量,则相应的采样工作量应予报废。

f. 在采用金膜电阻型测汞仪进行现场测定的情况下,每天在出工前及收工后应对仪器进行标定。为提高标定精度,每次应重复 3 遍,并记录下标定数据待查。如必须同时启用两台以上仪器并行工作时,必须对仪器响应的一致性作出校准,使之达到规定的质量要求。

4.1.5.3 对每条测线都必须记录工区名称、剖面编号、方位角;对每个测点必须记录测点编号、捕汞管号、采样深度、疏松沉积物特征、植被状况,特征的地物标志,仪器读数和汞蒸气浓度,采样者和分析者。每天还需记录开始工作时间,早、中、晚的天气状况,气温,0.5m 处的地温,这项工作可以在驻地观察站进行。

4.1.5.4 野外记录本(或记录卡)和观测点平面位置图是汞蒸气测量的主要原始文件,不得随意涂改和丢失。

4.1.5.5 在地温高于气温情况下不宜工作。雨天和风砂特大的天气应停止工作。大雨或暴雨后不能立即工作,应等待 1~3 天,待土壤中汞蒸气恢复平衡后再进行工作。具体可由实验确定。

4.1.6 野外工作质量检查

4.1.6.1 技术负责人应经常对采样和编录人员的工作质量进行抽查。并且还应及时地抽查若干测线,其重复检查工作量一般不少于观测点总数的 10%。随机抽查不应在基本观测进行的同一天进行,但两次测量之间的地温差不应大于 3℃。

4.1.6.2 基本观测和检查观测不能在同一浅孔中进行,应在原观测孔位 1~2m 的范围内重新打孔采样。粘土和亚粘土可取 1~1.5m;砂土和亚砂土可取 1.5~2m。

4.1.6.3 壤中气的汞浓度及其分布受到各种气象因素变化的影响而在时间上呈动态变化,致使不同时间进行的两次观测结果往往不可能完全一致。一般,异常地段的变化大而背景地段的变化小。因此,

重复测量的目的主要是检查异常地段是否重现。根据基本观测与检查观测剖面的对比,如果异常出现的形态或趋势基本一致,且有50%异常点重复出现则认为合格,否则要进行第二次检查。如再次证明基本测量有问题,则此次检查期内所作的全部测量工作予以报废。

4.2 大气汞测量

4.2.1 大气汞量测量主要研究近地表大气中汞蒸气浓度的分布特征。来自深部的汞蒸气,在压力和浓度梯度的作用下不断地从汞源(目标地质体)向地表渗漏或扩散,最后进入大气中与大气主体混合而构成大气汞背景。在地下汞蒸气逸出的地段,大气汞的浓度比无汞蒸气逸出的地段为高,从而形成大气汞异常。

通过系统测量大气汞浓度,可以迅速圈出汞蒸气源的位置及范围。因此,在矿产普查与大气汞污染的监测等有关方面均可应用。

4.2.2 大气汞量测量的工作方法和要求与壤中气汞量测量相似,只是抽取近地表大气样品。因此可参照本章壤中气汞量测量中有关各条进行。

大气汞量测量的采样高度应根据具体情况作出规定,并保持不变。由于汞蒸气的比重远大于空气,因此在地面测量时,采样高度越小越有利。一般采样高度在0.1m(在地面采样)与1.5m(在汽车上采样)之间。

4.2.3 由于大气中汞的背景浓度显著低于壤中气的,因此取样量通常大于后者。应根据试验来确定最佳的采样条件(采样高度、流速和体积),通常采样体积为10L,进样流速为1L/min。

4.2.4 采样时进气口必须有除尘过滤器,严格防止地表微尘进入捕集管造成污染。采样记录除应记4.1.5.3中有关各项外,还应记录点上采样时的风向与风速。

4.2.5 大气汞量测量结果受气象条件的影响大,特别是风向和风力。一般来说,应选择无风或微风天进行工作,风力在5级以上的天气不宜进行大气汞量测量。

4.2.6 大气汞量异常往往随着气象条件的变化而变化,因而不同时间的测量结果的可比性差。测量的目的仅是快速圈出异常,推测汞气源的大体位置,因此一般不作常规质量检查。

4.3 土壤吸附汞测量

4.3.1 土壤吸附汞测量是研究被吸附在土壤颗粒表面的汞蒸气或由其衍生出的化合物形成的分散晕特征。土壤中的汞有多种成因,其中有一部分与矿床形成无关。采用低温热释法或其它偏提取方法有可能排除这一无用部分,提取与矿化有关的信息。这种方法操作简便,重现性好,适用于厚层残坡积覆盖区和运积物覆盖区寻找各种含汞矿床。在沼泽区和常年多雨土质潮湿的地区,它比壤中气汞量测量更为适用。但它和土壤金属量测量一样易受地形、岩性和地表干扰物的影响。

4.3.2 采样的网度选择、野外采样和编录可参照化探工作有关规定执行。

4.3.3 样品制备时,应注意下列事项:

a. 样品尽可能地在室温下自然干燥,如必须烘烤时,烘样温度不得高于60℃,时间不得超过2小时。并且对同一测区的样品,应保持相同的烘样条件。

b. 采样至分析之间的存放时间一般不得超过三个月;如必须更长的存放时间,应先经过实验认可。

c. 需长期保存的样品加工好后应装入密闭的无汞的玻璃或塑料容器中,并且要严防受到外界汞的污染。严禁存放在汞源附近。

4.3.4 土壤吸附汞测量与土壤汞测量相比,在工作方法、分析装备与分析步骤上大同小异,只是前者只测样品中特定相态的汞,而后者则测样品中的总汞。通常土壤吸附汞的分析,热释温度一般不超过250℃,而在土壤汞的分析时,热释温度可高达800℃,因此,条件的改变即可改变测量的性质。

土壤汞测量一般在厚度不大的残坡积物覆盖区可取得很好效果;但在厚层运积物覆盖区中,其效果不如土壤吸附汞测量。为确切选用合适的测量方法,获得最好的测量效果,建议用若干典型的测区样品(应包括异常和少数背景样品)进行汞的热释谱研究。

4.4 水中汞量测量

4.4.1 应用条件

4.4.1.1 水中汞量测量是研究水中（有时包括悬浮物中）呈离子态，游离态汞的分布特征。它是以天然水与围岩的相互作用以及汞在天然水中分布的地球化学规律和水动力学特征为基础的。其主要任务是根据水中汞分散晕查明含汞矿床的赋存地点来评价一个地区的含矿远景。本方法适用于泉水和井水广泛分布的运积物覆盖区，它能反映埋藏深度较大的隐伏矿床，但异常的解释推断和异常源的追索比较复杂。

4.4.1.2 水中汞量测量适用于1:20万至1:5万区域普查阶段，通常与水化学普查方法结合进行。测量比例尺的确定和拟取水样点的最低数量应根据任务，景观地球化学条件，水文条件和地质构造的复杂程度而定。

4.4.2 方法试验

4.4.2.1 在进行生产规模的水中汞量测量之前，应进行方法试验，其主要任务是：

- a. 取得已知矿床和矿点的水中汞晕的规模和衬度的实际资料；
- b. 了解已知矿床水中汞晕和岩石化学晕的相互关系；
- c. 了解拟寻矿床的其他水化学普查标志及它们的分带特性；
- d. 选择最佳取样网度和观测水中汞气晕的动态变化。

4.4.3 采样

4.4.3.1 水中汞量测量的样品可采自泉水、水井、地表水及其他潜水露头处。

4.4.3.2 取水样前，用拟取的水刷洗容器三遍。取样时要防止淤泥、杂物进入样品中，必要时可以过滤。

应采用塑料或玻璃容器盛样，禁止使用金属容器，特别是镀锌、锡或铜质的。

4.4.3.3 水中汞易于从采集的水样中消失，必须在现场对水样进行处理。每100mL水样中应加入浓硫酸2.5mL，5%的高锰酸钾溶液1mL摇匀后密封存放在无汞源处，供分析用。所用试剂必须经过空白检查，如发现含汞，必须经过净化处理。

4.4.3.4 取水样时要作如下观测：

- a. 确定水源的地貌位置；
- b. 确定水点出露的类型，并尽可能确定补给它的含水层；
- c. 地下水出露处的沉积物岩性和裂隙发育特征；
- d. 测量涌水量、水温 and 气温；
- e. 描述水的物理性质，并指出是否有自生气体存在；
- f. 描述水源中的沉淀物，并采集它们的样品；
- g. 注意可能的干扰因素。

4.4.3.5 水中汞量测量的原始资料是：

- a. 具有完整观察记录的野外记录本或记录卡；
- b. 标有采样点位置的地形地质图；
- c. 样品分析结果记录本或分析报告。

5 室内分析

5.1 分析仪器、附件及试剂

5.1.1 常用测汞仪有两类：

a. 基于汞蒸气强烈吸收波长为253.7nm的光辐射而进行工作的原子吸收型仪器。仪器主要由光源（提供253.7nm辐射的汞灯），吸收室，信号检测器（光电倍增管），信号处理（放大、测量）和结果显示（表头）等五个部分组成。吸收室中如有痕量的汞蒸气，则通过吸收室的253.7nm辐射被汞原子选择吸收而使光强度衰减。衰减的幅度与汞的浓度成正比，并服从于比尔—朗伯特定律，即

$$I = I_0 e^{-KCL} \dots\dots\dots (2)$$

式中: I_0 ——原始的光强度;
 I ——衰减后的光强度;
 e ——自然对数的底;
 K ——吸收系数;
 C ——吸收室内的汞浓度;
 L ——吸收室的长度。

由此即可测出气体样品中的汞含量。这种类型的仪器灵敏度高,稳定性好,分析速度快,应用普遍。借助于捕汞管,测定的浓度检出限可高达 $1 \sim 2 \text{ ng/m}^3$ 。

b. 基于汞蒸气被金膜吸收后引起了金膜电阻率的变化而设计的金膜电阻型测汞仪。这种仪器国内已有生产,其优点是灵敏度高,重量轻,体积小,可以携带到现场进行测量。

常用国产测汞仪的主要性能和技术指标,可参看附录L。

5.1.2 热解炉:为使被收集在捕汞中或被吸附在土壤矿物颗粒表面上的汞蒸气释放出来,测汞仪都配有最高炉温可达 1000°C 的热解炉。为保证在指定的温度下进行脱汞以测量所需要的汞的某些组份,并为提高测量结果的可靠性和再现性,最好使用自动控温的热解炉。

5.1.3 饱和汞蒸气瓶:测汞仪的日常标定,通常采用在室温下平衡的饱和汞蒸气。

它的最简单制备方法是,取几克或几十克试剂汞,放入一个 $500 \sim 2500 \text{ mL}$ 的小口玻璃瓶中。

瓶内固定好一支测读精度可达 0.5°C 的水银温度计;瓶口用橡皮塞或硅胶垫和塑料瓶盖密封,使用时可以用注射器刺穿橡皮塞或硅胶垫抽取。在经过一段时间使用后,如发现密封性不好时,可以更换橡皮塞或硅胶垫。

5.1.4 石英舟:为盛放土样或其它固体样品送入热释炉内脱汞,需要使用石英舟或细瓷舟。石英舟的大小应以能盛放 0.5 g 样品,并能送进热释炉的石英管内即可。

5.1.5 分析室应保持清洁、干燥和良好的通风。开放的汞源,含汞或被汞污染过的物品等严禁放在分析室内。分析室内不允许进行有烟尘、酸雾产生的工作。

5.2 分析内容

5.2.1 汞蒸气测量中涉及到的样品介质有多种:气体——壤中气,地表大气;土壤——土壤吸附汞、土壤热释汞;岩石——岩石热释汞;矿物——单矿物热释汞;水——水中汞。本规范只对气体与土壤作出规定。岩石与矿物的分析方法与土壤相似;水的分析方法放在附录中介绍。

5.2.2 不同汞化合物具有不同的热释峰,如果样品中含有不同结合或化合状态的汞时,它的热释谱反映了样品中汞的特性。这为研究汞异常的成因,区分不同的汞异常提供依据,从而提高解释推断的水平。

5.2.3 根据实际情况,汞蒸气测量和常规的汞量测量可以平行进行,综合研究,更好地利用这些信息,揭露测区中汞的地球化学行为。

5.3 分析条件的确定

5.3.1 捕汞管的脱汞温度:用热解法使金丝捕汞管在捕汞后形成的金汞齐充分分解并定量地释放出汞来,同时又不致因温度过高而使金丝熔化,一般认为,石英质的金丝捕汞管的热样温度定为 800°C 比较合适。玻璃质的金丝捕汞管,镀金载体捕汞管或活性炭捕汞管的脱汞温度不能超过 $550 \sim 600^\circ\text{C}$ 。

5.3.2 捕汞管的热释时间:过短的热释时间会使金汞齐分解不完全,过长则会使释出的汞从捕汞管逸散一部分。最佳热释时间应由实验确定。例如,实验结果表明,在 800°C 的脱汞温度下取 30 s 较为合适;活性炭捕汞管的热释温度与时间用专用的自动控温计时仪进行。

5.3.3 载气流量:加热捕汞管时所释放出的汞以不含汞的洁净空气为载气带入吸收室。载气流量的变化会使仪器的读数呈现明显的差异。在使用 $\phi 6 \text{ mm}$ 吸收室时,一般采用 $0.4 \sim 0.8 \text{ L/min}$ 的载气流量。选择合适的流量可以提高分析的灵敏度和精度。不同仪器的最佳载气流量需经试验确定。

5.3.4 为保证分析结果的质量,提高精度和准确度,上述分析条件一经确定后,不得随意变更。

5.4 仪器的检查与标定

5.4.1 仪器状态的检查:每到一工区开始进行工作前,应先检查仪器外观是否正常。然后按仪器使用说明书全面检查仪器的性能和各项技术指标。在确认仪器正常后方可进行仪器的标定。

5.4.2 标定仪器:仪器标定时所使用的捕汞管应按4.1.2.3进行质量检验和净化。然后用微量注射器从饱和汞蒸气瓶中准确抽一系列体积的饱和汞蒸气,其含量分别近似于仪器检出限的2、4、6、8、10倍。为方便起见,体积可取整值。将标准汞系列分别注入捕汞管,再分别按规定条件和操作步骤进行测定,记下仪器的吸光度(A值)读数。为提高仪器标定的精密度,重复标定次数不应少于2次。

5.4.3 绘制工作曲线:根据标定仪器时饱和汞蒸气瓶内温度计指示的温度,从饱和汞蒸气浓度与温度关系表(附录C)中查出该温度时的饱和汞蒸气浓度并按式(3)分别计算出标准系列中各标准的汞量。

$$W_{Hg} = P_{tC} \cdot V \quad (3)$$

式中: W_{Hg} ——汞量, ng;

P_{tC} ——温度平衡在 $t^{\circ}\text{C}$ 的饱和汞蒸气浓度, ng/mL;

V ——抽取体积, mL。

以汞量为横坐标、测得的吸光度值为纵坐标,绘制出工作曲线图。亦可采用具有二元统计计算功能的计算机拟合出回归方程来,由此根据读数直接算出汞量。

5.5 样品分析

5.5.1 气体样品:样品分析时所采用的各项条件应当是最佳工作条件,并且应严格与标定时的条件与步骤完全一致。

在使用XG-3, XG-4或SG-4Z型仪器时,可参照以下的条件和步骤进行测定。

先将流量调节到0.6 L/min,炉温设定在800 $^{\circ}\text{C}$,热解时间(即仪器上的延迟时间)设定在30s,然后选好量程并调整好零点。当炉温稳定在800 $^{\circ}\text{C}$ 后,将已捕集了汞蒸气样品的捕汞管连接到仪器进样口的硅橡胶管上并插入热释炉中,并使金丝部分恰好位于炉膛中心。立即按启动按钮,30s后抽气泵自动将释出汞抽进吸收室进行测定,仪器表头则指示样品的吸光度值。据此,在工作曲线上查出相应的汞量(即取样体积中的汞量),然后按式(4)换算成每立方米中的汞量(即样品的汞浓度)。

$$C = \frac{W}{V} \times 1000 \quad (4)$$

式中: C ——气体样品含汞浓度, ng/ m^3 ;

W ——气体样品的含汞量, ng;

V ——气体样品的采集体积, L。

根据仪器的稳定情况,每天或每隔4个小时,对工作曲线检查一次。仪器标定应留下记录备查。

5.5.2 土壤样品:在使用XG-4Z型塞曼测汞仪并使用 $\phi 20\text{mm}$ 吸收室时,先将流量调节到1.5 L/min。炉温应根据要求来设定:吸附汞或低温汞可在150~250 $^{\circ}\text{C}$ 范围内选定,总汞可在700~800 $^{\circ}\text{C}$ 范围内选定。测量方式置于积分档,积分时间在60~120s范围内选定。

一般热释温度低时需要的时间长,温度高时需要的时间短。最后则选择量程并调整好微分(A_t)档的零点。仪器准备好后,用感量 $< 1\text{mg}$ 的分析天平称取200mg通过200目筛网的样品放入石英舟内,并送入炉温稳定在指定温度下的热释炉的石英管中进行释汞,同时按启动按钮,经60s后,仪器自动显示样品的吸光度积分值。根据测得的积分值在积分工作曲线——用饱和汞蒸气对仪器积分档标定后所得出的工作曲线——上查出相应的汞量,亦即200mg样品中的汞量,然后按式(5)换算成样品

的含汞浓度。

$$C = \frac{W_1}{W_2} \times 1000 \quad (5)$$

式中: C ——样品含汞浓度, ppb;

W_1 ——测得的样品释汞量, ng;

W_2 ——样品称重, mg。

在使用XG-3或XG-4型单光束测汞仪时,为排除干扰起见,首先应通过热解方式将样品中的汞定量地转移到金丝捕汞管上,然后再对捕汞管进行测定。在测得样品的释汞量后,按上式换算成样品的含汞浓度。

5.5.3 样品中汞热释特性的测定:汞热释特性的测定一般应针对异常样品(土壤或岩石)根据样品的汞浓度高低,称取50~500mg通过160~200目筛网的样品置石英舟内,送入炉温为室温的热解炉的石英管中。接通热解炉的电源,使炉温在40~45分钟内上升到800℃,热释过程中释出的汞以1.2~1.5L/min的流量连续抽入仪器进行测量,仪器输出接至记录仪,以便记录下由室温至800℃时的吸光度变化,同时用目视法读出表头上的温度指示,标注在记录释汞曲线的记录纸上。在没有记录仪的情况下,可按一定的温度间隔,测读下相应的吸光度读数,然后以温度为横坐标,吸光度值为纵坐标,绘制出样品的热释汞谱图。

在使用无干扰能力的单光束型测汞仪时,应采取相应的去干扰措施。

5.6 质量监控

5.6.1 为保证日常分析中各批次数据的质量和可靠性,在进行批量样品分析时,必须按规定插入管理样和抽查性的重份测量。

a. 气体样品:每50个样品中插入5个标准样。气体标准样的制备方法是用微量注射器在饱和汞蒸气瓶中准确抽取一定体积(含汞量近似于1ng,其精确含量可通过计算求得)的汞蒸气,注入与CD-1大气采样器相连接的捕汞管中。采样器的空载流量控制在0.6L/min左右。

b. 土壤及岩、矿石样品:每50个样品中插入2个二级以上的标准样或管理样,并随机插入5个重份分析样。

5.6.2 质量监控的主要参数:

a. 报出率 指能报出结果(即高于分析检出限)的样品数占测定样品总数的百分率,即

$$\text{报出率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{低于检出限的样品数}}{\text{测定样品总数}} \right) \times 100 \quad (6)$$

b. 精密度 分析的精密度反映分析过程中引入随机误差的大小。精密度用RSD(即相对标准偏差)表示。RSD可通过式(7)~式(9)进行计算。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}} \quad (7)$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (8)$$

$$\text{RSD}(\%) = \frac{S}{\bar{C}} \times 100 \quad (9)$$

式中: S ——标准偏差;

C_i ——样品第*i*次分析结果;

\bar{C} ——样品分析结果的平均值;

n ——样品重复分析次数。

在利用重份测定结果来计算分析的精度时,应采用式(10)和式(11):

$$\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \lg C_i)^2}{2n}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中: $\Delta \lg C_i$ ——第*i*对样品分析结果的对数差,即 $\Delta \lg C_i = \lg C_{i1} - \lg C_{i2}$;

n ——参加统计样品对的数量。

此时,相对标准偏差可按式(11)计算:

$$RSD'(\%) = (\text{antilg } \lambda - 1) \times 100 \quad \dots\dots\dots (11)$$

c. 准确度 用以指示分析结果与真值(或期望值)之间的接近程度。一般来说,在进行样品中总汞浓度分析时,可采用 I 或 II 级标准样的推荐值作为期望值;在进行低温热释汞时,由于只测定某一部分的汞,一般不计算准确度。

注:通常,通过在批量样品分析中插入标准样进行准确度检查,可以反映出批间的偏倚,从而在整理结果时予以调平。在低温热释汞分析的情况下,标准样的推荐值虽不能使用,但仍可利用其平均结果来代替,以控制批间偏倚。此时,计算出的相对误差(PE')显示出批间偏倚。

准确度可用百分误差 PE 来表示:

$$PE(\%) = \frac{\bar{C} - C_s}{\bar{C}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中: \bar{C} ——标样分析的平均值;

C_s ——标样的推荐值。

d. 合格率 指在抽样检查中,重份测定的两次结果其相对误差小于规定数值的样品数,占抽查样品总数的百分率。

相对误差 RE 的计算式为:

$$RE(\%) = \frac{A - B}{A + B} \times 100 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中: A ——重份分析结果中的偏高结果;

B ——重份分析结果中的偏低结果。

合格率按式(14)计算:

$$\text{合格率}(\%) = \frac{\text{相对误差小于规定数值的样品数}}{\text{抽查样品总数}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (14)$$

5.6.3 大规模样品的汞分析工作一般可分为三个阶段,每个阶段的内容与要求监控和提供的参数为:

a. 方法制定阶段 根据任务要求制定或修改已有的分析方法,优化分析条件,使之最大限度地满足任务要求。要求提供的参数为检出限(或报出率),精密度(RSD)与准确度(PE);

b. 批量样品日常分析阶段 为提供分析数据的主要阶段,应严格保持分析条件,减少偏倚。要求提供的参数为各批次的精密度(RSD')与批间偏倚(PE'),并要求制作质量监控图。

c. 分析工作总评阶段 主要全面评价分析工作的总情况。要求提供的参数为报出率和合格率。

5.6.4 质量要求

a. 报出率不得低于90%;

b. 精密度要求:当含量在检出限的三倍或以上时,RSD(%)或RSD' (%)不得超过20%;当含量低于检出限的三倍时,不得超过50%;

c. 准确度要求:当含量在检出限的三倍或以上时,PE不得超过60%;当含量低于检出限的三

倍时,不得超过100%;

d. 合格率不得低于80%。

合格率标准定为:

a. 按RE统计时:当含量在检出限的三倍或以上时, $RE < 20\%$ 为合格;当含量低于检出限的三倍时, $RE < 33\%$ 为合格;

b. 按RSD (%) 或RSD' (%) 统计时,标准同本条上述之b款。

5.6.5 在各项指标均达到质量要求的前提下,可根据总体合格率的统计结果给予以下的评价:

合格率在95%以上评为优秀;

合格率在85%~94%之间评为良好;

合格率在80%~84%之间评为及格。

6 资料整理

6.1 资料检查与整理

6.1.1 资料整理是汞蒸气测量工作中的一个重要环节,而真实无误而又完整的原始资料是汞蒸气测量工作的关键,是可靠推断解释的基础。为此,在进行资料整理之前,必须先对所有原始资料和数据进行检查核实。从野外定点、采样和记录开始,直到测试数据的提交等各个环节中,只要有一处发生疏漏或差错,均有导致全部综合图件返工的可能,因此必须认真对待。

6.1.2 资料整理过程中常用的含量单位统一如下:

a. 壤中气、大气汞量测量的汞浓度单位采用纳克/米³ (ng/m³) 或皮克/升 (pg/L); 其换算关系为 $1 \text{ ng/m}^3 = 1 \text{ pg/L}$;

b. 岩石、土壤、水系沉积物中的吸附汞或总汞浓度应采用十亿分率(10^{-9}) 和百万分率(10^{-6}) 表示;其换算关系为 $1000 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-6}$;

c. 水及液体中汞的浓度单位应采用纳克/升 (ng/L)。

6.1.3 背景平均值和异常下限的确定 在地球化学勘查工作和研究中,最重要的是发现异常和评价异常。异常的确定,必须研究测区背景值的变化规律,查明这些变化与地质、地球物理、地球化学特征之间的关系。

6.1.3.1 确定背景平均值的方法较多,一般采用统计计算法,也可以采用其它的统计方法,如概率坐标纸图解法;直方图图解法等。在使用统计计算法之前,应先选用迭代法剔除其中的异常数据,再对数据的分布特征,即服从于正态分布还是对数正态分布进行检验,最后按其属性进行计算。汞的分布在多数情况下呈对数正态分布,或接近于对数正态分布。计算的参数应包括:平均值(\bar{x}),最高与最低浓度(C_{\max} 、 C_{\min}),标准偏差 S ,并应给出统计的样本数 n 。

6.1.3.2 在比较复杂的情况下,背景参数的统计计算应按不同景观、不同样品介质特性等分别进行,以揭示其影响程度,提供进一步数据处理与解释推断的依据。

6.1.3.3 通常,将背景平均值加两倍标准偏差定为异常下限,即 $A_T = \bar{x} + kS$ (此时 $k = 2$)。在异常的衬度过小或过大的情况下,可根据具体情况改变 k 值。 k 值取得过高往往使异常的连续性增加,或出现孤立高点;反之,过低的 k 值将会降低异常的置信水准。异常浓度的分级可采用异常下限的 2^n 倍率进行(n 为自然数)。

6.1.4 汞蒸气测量图件 汞蒸气测量图件象其他地球化学图或地质图一样,可供各方面的工作者为了不同的目的来利用。汞蒸气测量结果可根据不同的目的,采用下列几种图件来表达:

a. 数据或符号图,通常将全部数据,或者用一系列代表不同浓度或浓度间隔的符号,标绘在采样位置图上。采样位置图上应注明比例尺,地理坐标或可用于定位的地物标志。这种图最客观地保留了数据中的全部信息。

b. 剖面图 通常为研究矿床上方汞异常的特征和响应效果而制作剖面图。剖面图的对应下方应有地形地质剖面,以便对照分析。在更深入研究的情况下,可制作多参数的综合剖面图。

c. 平剖图 当测网的点距远小于线距的情况下,工作成果宜用平剖图来表示。平剖图有利于反映异常的分布、规模、走向和特征。平剖图可根据具体情况选用背景图件(如地质图、矿体投影图或岩性图等),但应有用于定位的地理坐标或地物标志。

d. 等浓度线图 当采用网格测量或密度均匀的非网格测量的情况下,工作成果宜用等浓度线图来表示。等浓度线的勾绘可以清楚反映汞异常与地质体及地质构造之间的关系及其空间分布规律。

e. 解释推断图 以汞蒸气测量结果为基础,根据某种意图对测区内的地质、物探与化探等有关信息进行综合研究,根据实际情况有选择地加工处理,改造与取舍,从而突出或强化汞气异常与上述因素之间的内在联系,达到深化认识,提高综合解释水平的目的。解释推断图是多种多样的,包括各种统计分析图,综合成果图,推断预测图,理想模型图等等。

6.2 异常检查

6.2.1 异常检查的目的是:

- a. 确认异常的存在;
- b. 查明引起异常的原因;
- c. 对异常的形态、规模、强度、浓集中心和浓度分带特征等取得更详细的资料;
- d. 更仔细地观察研究异常赋存的地质环境与表生环境;
- e. 进一步评价异常的前景。

6.2.2 对所发现的主要或重要的汞异常都要进行必要的重复测量,充分肯定异常的重现和基本测量资料的可靠性;要求由熟悉测区地质情况、具有物化探和汞量测量等专业知识的技术人员负责进行,应当在认真分析测区的地形地貌、覆盖层的厚度、潜水面的埋深、植被发育状况、岩性类型、构造破碎带的分布特点以及物化探资料的基础上作出初步判断。决定异常是否具有详查的意义。

6.2.3 经确定有进一步工作意义的异常应布置比例尺更大的面积性测量,以便更详细地查明异常的形态和规模。在残坡积物覆盖区采集残积物或基岩样品;在运积物覆盖区采集深层土样及用其他可行的方法进行检查,研究汞以及其他微量元素分布特征。还可测定上述样品中的热释汞特征,推断汞的可能载体及存在形式,查明汞与矿化的关系。

综合上述情况,根据各类汞异常的特征参数及与其他微量元素在空间和成因上的联系以及岩性、构造等地质特征,对异常进行登记和分类排队,从而筛选出一些有远景的异常进行综合评价。

6.3 异常解释推断

6.3.1 应当遵循由已知到未知的原则,根据已掌握的地质、化探和物探资料,分析汞异常与某些地质体、土壤类型、物化探异常、地质构造和已知矿化在空间上的分布关系,从而逐步排除各种干扰,推断异常地段存在矿化的可能性。

6.3.2 研究矿石和异常地段的土壤样品中汞和成矿元素之间的关系,评价矿化的可能类型及汞对盲矿体的指示意义。

6.3.3 测定有关矿石及与蚀变、矿化有关的矿物、岩石和土壤样品的汞含量及其热释特征,用以查明汞的载体和汞的迁移方式及存在形式,为评价深部矿化提供依据。

6.3.4 根据固相和气相中汞异常在空间上的分布特征,有可能推断矿体的出露情况,如固相和气相中汞异常在空间上相吻合,说明矿体是出露的。仅有气相汞异常而无明显固相汞异常时,说明气相汞异常可能由隐伏矿所引起。

6.3.5 与已知矿床的汞气异常模式进行类比,推测矿体的倾斜方向和埋深。

6.3.6 在条件允许的情况下应结合地质和物化探方法综合评价异常。研究有利找矿的地质标志,物探异常和其他元素的异常在空间上和成因上的联系。根据各种方法的特点进行定性和定量的推断解释工作。

6.3.7 根据综合推断的结果,以各种成果图、推断图等形式提出各种异常的理想地质模型和追索矿体的方案,以便指导工程的布置。

7 成果报告

7.1 文字报告

7.1.1 汞气测量的工作成果是以文字报告的形式提交的。编写报告是总结规律、提高认识的重要过程，必须认真、及时地编写好报告。在第一阶段工作，即方法试验工作结束后，应当编写方法试验报告；在第二阶段工作，即应用性测量工作结束后，应当汇总两个阶段的工作资料和成果，编写正式的最终成果报告，即汞气测量工作总结报告。

7.1.2 报告的编写应力求主题明确，重点突出，论据充分，文字简练，文图表对应吻合，其基本内容应反映测区工作成果的所有方面。通常应包括以下各个部分：

- a. 前言 主要阐述汞气测量的目的、任务与要求、工作量与完成情况和取得的主要成果；
- b. 测区概况 主要简介测区的地理、地质和地貌情况，地球物理和地球化学特征。重点论述汞与其他元素的共生组合关系，开展汞气测量的依据以及有利和不利因素。
- c. 工作方法 其中分为：

(a) 野外工作方法：包括合理采样布局（网格密度、深度和粒度选择等）的确定；具体测量工作中各环节操作方法概述以及野外工作质量的评述等；

(b) 室内分析方法：包括所用测汞仪器的型号与性能；样品加工方法和流程；分析方法要点和所采用的分析条件以及分析质量的评述等；

(c) 数据处理和资料整理：包括数据的统计分析和处理方法要点；包括背景值和异常下限在内的测区地球化学特征参数的确定方法；推断解释中所采用的统计方法等；

d. 工作结果 结合已取得的分析数据和资料揭示测区汞的地球化学特征与分布规律；对发现的主要异常或价值异常进行定性和定量的描述；对汞异常与其他元素或指标异常之间的关系进行分析研究；结合已有的地质与物化探资料对异常进行综合解释与推断；对测区的成矿远景进行探讨或评价；结果及存在问题的提出与讨论。

e. 结论与建议 对通过工作所得到的重要而可靠的规律、成果予以强调、落实或肯定；对进一步工作部署、工作方法、找矿方向等提出具体方案、意见和建议。

7.1.3 关于报告的验收与评审见有关化探生产技术管理规定。

7.2 图件与表格

7.2.1 汞气测量工作的成果图件应符合同比例尺化探图件的编制要求，并且要强调可靠性和客观性。

7.2.2 汞气测量图件可分为基础类图件，地球化学图件和推断成果图件三类。各类图件包括的内容如下：

a. 基础图类：

(a) 原始手图；(b) 采样点位图；(c) 原始数据图；

b. 地球化学图类：

(a) 剖面图；(b) 平剖图；(c) 等含量线图；(d) 综合剖面图；

c. 解释推断图类：

(a) 各种统计分析图；(b) 综合成果图；(c) 推断预测图；(d) 模型图。

一般来说，基础图件必须提交；其余类型的图件种类和数量应根据任务和需要来确定，在设计书中予以明确。

7.2.3 报告中通常应附有以下表格：

- a. 原始数据表；
- b. 分析质量检查表；
- c. 采样质量检查表；
- d. 异常登记表；
- e. 数据处理有关图表等。

附录 A
汞的物理化学参数与汞的天然矿物
(参考件)

A1 汞的物理化学参数见表 A1 和表 A2。

表 A1

原子序数	原子量	比重	熔点(°C)	沸点(°C)	原子半径	二价离子半径	电离势	外层电子排列
80	200.6	13.595	-38.87	356.58	1.49 Å	1.12 Å	(1) (2) 10.39 eV 29.06 eV	5d ¹⁰ 6s ²

表 A2

汞同位素原子量	202	200	199	201	198	204	196	197	203
含量百分率	29.27	23.37	16.45	13.67	7.39	6.85	0.1	0.01	0.006

A2 汞的天然矿物: 辰砂 (HgS), 黑辰砂 (Hg、Zn、Fe) (S、Se), 自然汞 (Hg), 碲汞矿 (HgTe), 灰硒汞矿 (HgSe) 和橙红石 (HgO)。

附录 B
汞在地壳中的丰度值
(参考件)

作者	时间	10 ⁻⁹	作者	时间	10 ⁻⁹
克拉克和华盛顿	1924	n × 100	维诺格拉多夫	1949	70
安德生	1929	30	维诺格拉多夫	1962	83
斯托克	1934	70	泰勒	1964	80
费尔斯曼	1933 ~ 1939	50	苗松	1966	80
哥尔德斯密特	1937	500	魏杰波尔	1967	80
别尔格	1945	30	黎彤	1976	89
萨乌柯夫	1946	77	斯里瓦斯塔瓦	1979	15
谢尔盖耶夫	1957	70			

附 录 C
饱和汞蒸气浓度表
(参考件)

温度 (°C)	浓度 (ng/mL)	温度 (°C)	浓度 (ng/mL)
0.0	2.178	24.0	18.30
1.0	2.416	25.0	19.85
2.0	2.665	26.0	21.50
3.0	2.923	27.0	23.28
4.0	3.203	28.0	25.19
5.0	3.515	29.0	27.25
6.0	3.860	30.0	29.46
7.0	4.236	31.0	31.83
8.0	4.644	32.0	34.37
9.0	5.088	33.0	37.10
10.0	5.566	34.0	40.03
11.0	6.078	35.0	43.17
12.0	6.632	36.0	46.6
13.0	7.247	37.0	50.2
14.0	7.907	38.0	54.0
15.0	8.630	39.0	58.2
16.0	9.410	40.0	62.6
17.0	10.25	41.0	67.3
18.0	11.15	42.0	72.3
19.0	12.12	43.0	77.6
20.0	13.18	44.0	83.2
21.0	14.31	45.0	89.2
22.0	15.54		
23.0	16.87		

附录 D
各类岩石的汞含量
(参考件)

大 类	岩 石 名 称	含 汞 量 (10 ⁻⁹)	
		范 围	平 均
火 成 岩	超基性岩 (纯杆栏岩、金伯利岩)	7 ~ 250	168
	基性喷出岩 (玄武岩等)	5 ~ 40	20
	基性侵入岩 (辉长岩、辉绿岩)	5 ~ 84	28
	中性侵入岩 (闪长岩)	13 ~ 64	38
	中性喷出岩 (安山岩)	20 ~ 200	66
	酸性侵入岩 (花岗岩、花岗闪长岩、正长岩)	7 ~ 200	62
	酸性喷出岩 (流纹岩、粗面岩)	2 ~ 200	62
	富碱性岩 (霞石正长岩、响岩)	40 ~ 1 400	450
变 质 岩	石英岩	10 ~ 100	53
	闪岩	30 ~ 90	50
	角闪岩	35 ~ 400	225
	片岩	10 ~ 1 000	100
	片麻岩	25 ~ 100	50
	大理岩、晶质白云岩	10 ~ 100	50
沉 积 岩	近代溪河沉积物	10 ~ 700	73
	近代湖泊沉积物	10 ~ 700	73
	近代海洋沉积物	< 10 ~ 2 000	100
	砂岩长石砂岩、砾岩	< 10 ~ 300	55
	页岩、泥岩、泥灰岩	5 ~ 300	67
	碳质页岩、沥青质页岩	100 ~ 3 250	437
	石灰岩、白云岩	< 10 ~ 220	40
	无水石膏	< 10 ~ 60	25
	石盐、钾盐	20 ~ 200	30
	碱酸盐岩 (组合样)		120

附 录 E
土壤、空气和水的汞含量
(参考件)

大 类	名 称	含 汞 量	
		范 围	平 均
土 壤 (10^{-9})	寒温及热带土壤	20~150	70
	冰川堆积物	20~100	50
	矿化带土壤 A 层	60~200	161
	B 层	30~140	89
	C 层	25~150	96
	风化壳 (褐铁矿、红土)	50~200	100
大 气 (ng/m^3)	大气	0.2~10	
	火山气 (苏联)	100~9 600	
	汞矿床上方大气	30~1 600	
	汞矿床上方土壤中气体	< 1~2 000	
	铅锌矿上方土壤中气体	15~1 125	
	斑岩铜矿上方土壤中气体	16~205	
水 (10^{-9})	雨水	0.05~0.48	
	河湖水	0.01~0.10	0.03
	海洋水	0.03~5.0	0.20
	地下水	0.01~0.10	0.05
	温泉及某些矿水	< 0.01~2.5	0.10
	油田水	0.1~230	
	雪	< 0.005~0.05	0.01

附录 F
某些矿物的汞含量
(参考件)

矿 物	分 子 式	正 常 含 量 范 围 10 ⁻³	已发表的最高含量 %
萤 石	CaF ₂	0.01~50	0.01
方 解 石	CaCO ₃	0.01~20	0.03
霏 细 石	CaCO ₃	0.01~20	3.7
菱 铁 矿	FeCO ₃	0.01~10	0.01
玉髓蛋白石	SiO ₂ ·nH ₂ O	0.01~10	
石 英	SiO ₂	0.01~2	
软 锰 矿	MnO ₂	1.0~1 000	2
含水氧化铁	Fe ₂ O ₃ ·nH ₂ O	0.10~500	0.2
石 墨	C	0.5~10	0.01
煤		0.05~10	2
石 膏	CaSO ₄ ·2H ₂ O	0.01~4	
黝 铜 矿	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₂	10~100	21
砷 铜 矿	(Cu, As, Sb) _x S _y	5.0~500	14
闪 锌 矿	ZnS	0.1~200	1
纤 锌 矿	ZnS	0.1~200	0.03
辉 砷 矿	Sb ₂ S ₃	0.1~150	1.3
雄 黄	As ₂ S ₃	0.2~150	2.2
黄 铁 矿	FeS ₂	0.1~100	2
方 铅 矿	PbS	0.04~70	0.02
黄 铜 矿	CuFeS ₂	0.1~40	
斑 铜 矿	Cu ₅ FeS ₄	0.1~30	
车 轮 矿	PbCuSbS ₃	0.1~25	
辉 铜 矿	Cu ₂ S	0.1~25	
白 铁 矿	FeS ₂	0.1~20	0.07
磁 黄 铁 矿	Fe _{x-1} S _x	0.1~5	
辉 钼 矿	MoS ₂	0.1~5	
毒 矿	FeAsS	0.1~3	
雌 黄	As ₂ S ₃	0.1~3	
自 然 金	Au	1.0~100	60
自 然 银	Ag	1.0~100	30
重 晶 石	BaSO ₄	0.2~200	0.5
白 铅 矿	PbCO ₃	0.1~200	0.1
白 云 石	Ca Mg (CO ₃)	0.1~50	

附 录 G
地球化学标准参考样的汞含量推荐值
(参考件)

10⁻⁹

序 号	样 号	样品名称	采集地点	推荐值
1	GSD-1	水系沉积物	陕西兰田西杆沟	18
2	GSD-2	水系沉积物	江西德兴陇首	40
3	GSD-3	水系沉积物	江西德兴富家坞	(50)
4	GSD-4	塘积物	安徽铜陵前冲水库	44
5	GSD-5	塘积物	安徽铜陵老鸦岭水库	100
6	GSD-6	水系沉积物	青海玉树耶然公玛	45
7	GSD-7	水系沉积物	辽宁开原青城子	53
8	GSD-8	水系沉积物	广东丰顺建桥	42
9	GSD-9	长江底沉积物	湖北武汉	83 ± 6
10	GSD-10	水系沉积物	广西宜山	280 ± 18
11	GSD-11	水系沉积物	湖南郴州	72 ± 6
12	GSD-12	水系沉积物	广东阳春	56 ± 4
13	GSS-1	暗棕壤	黑龙江伊春西林	32 ± 3
14	GSS-2	栗钙土	内蒙古白乃庙	15 ± 2
15	GSS-3	黄棕壤	山东掖县	60 ± 3
16	GSS-4	石灰岩土壤	广西宜山	590 ± 34
17	GSS-5	黄红壤	湖南浏阳	294 ± 19
18	GSS-6	黄色红壤	广东阳春	72 ± 5
19	GSS-7	味红壤	雷州半岛徐闻	61 ± 4
20	GSS-8	黄土	陕西洛川	16.6 ± 1.7
21	GSR-1	花岗岩	湖南郴州千里山	(4.3)
22	GSR-2	安山岩	江苏南京梅山	12 ± 2
23	GSR-3	玄武岩	河北张家口	(6.4)
24	GSR-4	砂岩	安徽铜陵	(8.4)
25	GSR-5	页岩	天津蓟县	9.7 ± 1.4
26	GSR-6	碳酸盐岩	安徽铜陵	16 ± 1

附 录 H
汞化合物中汞的热释峰值温度
(参考件)

释汞峰值 作者	样品	Hg	Hg ₂ Cl ₂	HgCl ₂	HgS	Hg(NO ₃) ₂	Hg ₂ SO ₄	HgSO ₄	Hg ₂ O	HgO (黄色红色)
R. J. Walting (1972)		80	170	210 ~ 220	300 ~ 320			350 420 510		160, 255 ~ 270, 495
Armstrong (1975)			85 ~ 150	210	305					305, 470, 500
Martina Poppoldam (1978)		80	140	220	305					260 395 535
Конус (1978)				168 208		280 485	330 530	280 350 550	312	
常风池等 (1980)	100			210 270				120 120 270 470 ~ 550		270
李生郁等 (1983)			140	140 200	300 ~ 310			230 420 540 ~ 560		280 475

附 录 I
我国某些金属矿物中汞的热释峰值温度
(参考件)

矿物名称	产地	汞的含量 10^{-6}	汞的热释峰值温度 (°C)				
			峰 (1)	峰 (2)	峰 (3)	峰 (4)	文献数据
辰 砂	陕 西		300~310				300 (7) 300~430 (6)
方铅矿	关门山	110.71	200	290~330		715~730	288~314 (4) 810 (7)
辉锦矿	陕 西	37.21	210	290		430	
闪锌矿	安 徽	42.46	150	190		680	600~650 (1)
闪锌矿	黑龙江 沉积铁矿区	2.73	200	320		670	730 (7) 750 (8)
砷黝铜矿	湖 北	51.14	210			425	
黄铜矿	安 徽 铜官山	17.94	190	280		420	500 (7)
毒 砂	甘 肃	2.39	200			550~600	
黄铁矿	湖 北	77.17	180		390	550	
黄铁矿	江 苏	2.68	220	320		410	186, 290~334 364~390 400~600 660 (4)
黄铁矿	黑龙江	6.89	220		460	500~650	520 (7) 450 (1)
磁黄铁矿	安 徽 铜官山	24.17	190	280			

续表

矿物名称	产地	汞的含量 10^{-6}	汞的热释峰值温度 (°C)				
			峰 (1)	峰 (2)	峰 (3)	峰 (4)	文献数据
磁铁矿	江 苏	0.81	240	340			310、720 (10)
石 青	江 西	1.13		280			
重晶石	湖 北	0.29	200				178~216 250~284 (4)
天青石	湖北大冶	0.68	160	280			

附 录 J

我国某些非金属矿物中汞的热释峰值温度
(参考件)

序 号	矿物名称	产 地	汞 的 含 量 10^{-9}	热释峰值温度 (°C)		
				峰 (1)	峰 (2)	峰 (3)
1	大理石	新疆变质岩地区	85.6	160	190	320
2	斧石	新疆变质岩地区	32.8		190	
3	石榴子石	新疆变质岩地区	108.4		180	
4	绿泥石	新疆变质岩地区	33.4		220	
5	辉石岩	新疆变质岩地区	1034.0		200	
6	黑云母		29.8		220	
7	辉石		53.3		210	
8	角闪岩				150	
9	钾长石		212.1		220	
10	石榴石		20.6		210	
11	透辉石		43.0		150	
12	白云母		111.9		220	

附录 K
某些物质对饱和汞蒸气的吸附量
(参考件)

样品名称	原始汞量 ¹⁾ 10 ⁻⁹	吸附后的汞量 ²⁾ 10 ⁻⁶
SiO ₂	3	160
MnO ₂	48	3 500
Al ₂ O ₃	16.5	10
ZnO	2	0.44
PbO	18.5	0.46
CaO	350	1 500
Fe ₂ O ₃	5	110
Cr ₂ O ₃	25	5 520
KCl	痕量	6.6
NaCl	痕量	32.8
CaCl ₂	痕量	764
PbCl ₂	痕量	6
SnCl ₂	未测	75
AlCl ₃	0.5	60
ZnCl ₂	未测	3.6
AgS	2	116 000
SnO ₂	未测	270
MgO	4	3.6
BaSO ₄	3	22
Ca ₃ (PO ₄) ₂	未测	6.4
炭粉	1	4 000
黄土	未测	1 000
煤	未测	1 750
有机肥	未测	1 300

注：1) 样品放入饱和汞蒸气前的汞含量。

2) 放置在饱和汞蒸气中三年后的总汞量 (物探所化探实验室测定)。

附录 L
各类测汞仪性能对比表
(参考件)

比较内容	原子吸收型			金膜电阻型 常用型号JM-3	原子荧光型 常用型号WYD-2
	单光束型	常用型号XG-3	塞曼型	常用型号XG-4Z	
重量检出限 (ng)	+	0.01	+	0.05	0.05
浓度检出限 (ng/m ³)	+	200ng/m ³	+	1 000ng/m ³	
零漂	±	0.008A/30min	+	≤0.004A/h	
重量	±	21.5kg	-	39kg	限于室内使用
体积	±	500×35×20mm ³	-	760×375×230mm ³	
抗干扰能力	-	无	+	背景校正能力~1.3A	+
测量特性	微分测量, 积分测量, 浓度直读			浓度直读	浓度直读
功耗	±	530W		680W	1 000W
适用范围	用金汞齐法测壤中气汞、土壤总汞、水中汞			直接测量土壤总汞、水中汞、预富集后测壤中气汞	室内测定固体样品或液体样品中的汞

注: +——良好, ±——中等, -——差。

附录 M

各类测汞样品加工流程

(参考件)

M1 岩石、土壤及水系沉积物

原始样200g→室内风干→粗碎→细磨→过筛→<160目15g→纸袋包装送分析。

M2 水样

原始样200mL→5 mL 浓硫酸和2 mL 5 %高锰酸钾溶液→密封存放在无汞源处,或送实验室分析。

M3 大气和壤中气样

气样→ 捕汞器 → 密封存放在无汞源处 → 24小时内将预富集好的样品测定完

↓

排除其他气体

附录 N

水中汞的测定方法

(参考件)

经处理的水样,每100mL加入5 %的草酸3 mL,待无色透明后,取出10mL水样置还原器中,加入5 % SnSO₂ 2.5mL,即将还原器、捕汞管和大气采样器用硅胶管联接,以1 L/min的流量抽气1分钟,使汞富集于捕汞管上,然后将捕汞管在750~800℃炉管中脱汞,用测汞仪测定吸光度。

标准曲线制备:用0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1mL的饱和汞蒸气分别注入到100mL,经1mL 5 %高锰酸钾和2.5mL 浓硫酸处理的蒸馏水的还原器中,然后用测水样的方法分别测定吸光度读数,根据读数制作标准曲线。

附录 O

捕汞管一致性检查记录卡

(参考件)

检查日期:

室温:

饱和汞温度:

注入量:

顺序号	捕汞管号	漏汞读数	热释读数	与平均值的相对误差, %

载气流量:

联接胶管长度:

测定时载气流量:

检查者:

附 录 P
 壤中气汞量测量野外记录卡
 (参考件)

工区： 采样日期： 气候： 室温： 采样体积：

顺序号	点线号	采样位置	景观特征	采样深度	壤中气测量			备 注
					管 号	Hg 读数 (量 程)	Hg (ng/m ³)	

采样者： 记录者： 分析者：

景观特征：主要包括地貌、植被、土层类型。记录应明确、扼要。

附 录 Q
汞异常登记卡
(参考件)

异常编号		图幅号	
异常位置		工作时间	
工作性质		工作方法	
异常特征	异常面积		
	形 状		
	最 高 值		
	平 均 值		
	衬 度		
	其他元素异常		
	物探异常		
	其 他		
地质概况			
异常推断解释与 进一步工作建议			

填表者:

检查者:

附加说明:

本规范由地质矿产部提出。

本规范由全国地质矿产标准化技术委员会物化探分技术委员会归口。

本规范由地质矿产部勘查技术司负责起草。

本规范主要起草人郑康乐、伍宗华、李善芳、金仰芬、莫根生。