ICS 91.120.25
CCS P 15

DB

中华人民共和国地震行业标准

DB/T 103.1—2026

活动断层探查　年代测定
第1部分：碳十四方法

Active fault survey—Determination of age—
Part 1：Radiocarbon dating

2026-05-27 发布　　2026-12-01 实施

中国地震局　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅳ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　原理 …… 2
5　试验条件 …… 2
6　试剂或材料 …… 2
7　仪器设备 …… 3
8　样品 …… 4
9　试验步骤 …… 4
10　年龄计算 …… 12
11　误差分析 …… 12
12　试验报告编写 …… 13
附录 A（资料性）　常见样品含碳率 …… 14
附录 B（规范性）　碳十四样品登记表 …… 15
附录 C（规范性）　碳十四方法合成石墨实验记录表 …… 17
附录 D（资料性）　加速器质谱仪碳十四石墨靶制备装置示例图 …… 19
附录 E（规范性）　碳十四年代测定结果表 …… 20
参考文献 …… 21

前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 DB/T 103《活动断层探查　年代测定》的第1部分。DB/T 103 已经发布了以下部分：

——第1部分：碳十四方法；

——第2部分：释光方法；

——第3部分：铍十和铝二十六方法。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国地震局提出。

本文件由地震灾害预防标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国地震局地质研究所、中国地震灾害防御中心、中国地质科学院水文地质环境地质研究所。

本文件主要起草人：尹金辉、徐伟、杨会丽、杨劲松、石文芳、李兆宁、刘春茹、郑荣章。

引　言

国内外众多的大地震灾害现象分析研究表明，活动断层存在发生地震灾害的潜在危险。查明地震活动断层的精确活动时间并对其属性和地震危害性作出科学评价，是地震灾害风险评估和震害防御的重要基础性工作。我国自“九五”期间开始逐步推进活动断层探测工作，在理论和工程技术上都取得了长足的进展，积累了一定的实践经验，其成果在国土空间规划、工程场址勘选以及建（构）筑物断层避让、地震灾害风险评估和地震预测等领域发挥着越来越重要的作用。

为了规范工作的过程和技术方法的应用，保证活动断层探测工作科学有序地开展，提升产出成果的质量和实用性，近年来地震部门开展了活动断层探测技术梳理，理清了工作流程、工作内容和工作成果的基本框架，在此基础上构建了系列标准的框架，先后制定了 GB/T 36072—2018《活动断层探测》及一系列配套的行业标准。

年代测定是活动断层探测的重要技术支撑，DB/T 103《活动断层探查　年代测定》是活动断层探测系列标准框架的组成标准。DB/T 103 旨在统一并规范试验操作，确保年代测定结果的准确性、可比性和可靠性，拟由 9 部分构成。

——第 1 部分：碳十四方法。目的在于界定碳十四方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

——第 2 部分：释光方法。目的在于界定释光方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

——第 3 部分：铍十和铝二十六方法。目的在于界定铍十和铝二十六方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

——第 4 部分：电子自旋共振方法。目的在于界定电子自旋共振方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

——第 5 部分：磷灰石裂变径迹方法。目的在于界定磷灰石裂变径迹方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

——第 6 部分：氖二十一方法。目的在于界定氖二十一方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

——第 7 部分：氩四十-氩三十九方法。目的在于界定氩四十-氩三十九方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

——第 8 部分：古地磁法。目的在于界定古地磁方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

——第 9 部分：方解石的铀-铅同位素方法。目的在于界定方解石的铀-铅同位素方法的试验条件、试验流程、数据处理方法，确立试验报告编写内容。

含碳有机物或无机物均可采用碳十四方法测定年代，其测年范围为几百年至五万年，精度在 0.3%～10%，已为活动断层探测研究提供了大量的关键性年龄数据。通过对碳十四年代测定的技术方案及其测试结果的处理和报告编写要求的规定，为相关工作的规范性和测试结果的可靠性奠定良好的基础，有利于推进活动断层探测工作有序、高质发展。

活动断层探查　年代测定
第1部分：碳十四方法

警示——本文件涉及的部分化学试剂和仪器设备对人体和环境有害，使用者有责任采取适当的安全和健康防护措施，并保证符合国家有关法规规定的条件。

1　范围

本文件给出了碳十四方法年代测定的样品品质、试验条件、仪器设备和材料，确立了试验步骤，规定了试验数据处理方法和试验报告编写的要求。

本文件适用于活动断层探查工作中的碳十四样品年代测定。

2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 622　化学试剂　盐酸

GB/T 629　化学试剂　氢氧化钠

GB/T 674　化学试剂　粉状氧化铜

GB/T 678　化学试剂　乙醇（无水乙醇）

GB/T 1282　化学试剂　磷酸

GB/T 6003.1　试验筛　技术要求和检验　第1部分：金属丝编织网试验筛

GB 8978　污水综合排放标准

GB/T 15724　实验室玻璃仪器　烧杯

GB/T 30099　实验室离心机

GB/T 30435　电热干燥箱及电热鼓风干燥箱

GB/T 33087　仪器分析用高纯水规格及试验方法

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

碳十四年龄　radiocarbon age

含碳样品停止与大气碳库发生碳同位素交换，至公元1950年所经历的时间。

3.2

碳十四比活度　radiocarbon specific radioactivity

单位碳质量中的碳十四活度。

注：碳十四活度指样品中所有碳十四原子核在单位时间内的总衰变数。

3.3

前处理　pretreatment

提纯测样的物理和化学处理过程。

3.4

测样　test sample

原始样品经前处理后，用于制备靶样的物质。

3.5

日历年代校正　calendar date conversion

使用校正曲线将碳十四年龄转换成日历年龄的过程。

3.6

污染物　contaminant

非样品年龄的含碳组分。

3.7

现代碳　modern carbon

与公元 1950 年未受人类活动扰动的大气碳库保持碳十四同位素交换平衡的含碳物质。

4　原理

天然碳十四（^{14}C）由宇宙射线轰击高空大气中的氮原子生成，并通过光合作用和全球碳循环过程进入生物圈与水圈。在生物存活期间，其体内碳十四比活度与大气碳库保持动态交换平衡；一旦生物死亡或碳酸盐矿物沉积完成，碳同位素交换随即终止，封闭体系中的碳十四便以 5730 年的半衰期呈指数规律衰变。通过测定样品中残留的碳十四比活度（或碳十四与碳十二原子数比值，表示为 R_{14}），并与现代碳标准进行比较，即可计算得出样品的表观年代，即碳十四年龄。

碳十四年龄需经校正方可转换为真实日历年龄。由于地质历史时期大气中碳十四浓度存在自然波动，必须借助国际通用的校正曲线进行换算；此外，如果碳酸盐类样品中混入古老的“死碳”，则其初始碳十四比活度将显著偏低。因此，在碳十四年龄测定之前，应查明“死碳”的成因与来源，建立针对性的校正方案，以消除年代偏差，确保碳十四测年结果的准确可靠。

5　试验条件

5.1　试验空间环境洁净度为十万级以上。

5.2　温度为（23±5）℃。

5.3　相对湿度小于 80%。

6　试剂或材料

警示——化学试剂具危害性，须防潮密封存储，备齐应急用品，所有配制、取用及处理须在通风橱内操作，全程佩戴耐酸防化手套与全覆式面屏，液氮存储及相关实验需通风良好，严防缺氧窒息。

6.1　高氯酸镁［$Mg(ClO_4)_2$］：优级纯，开封后存储不超过 24 个月。

6.2　氢氧化钠（NaOH）：GB/T 629，优级纯。

6.3　铁粉（Fe）：-325 目，纯度不小于 98%，开封后存储不超过 24 个月。

6.4　铜粒（Cu）：直径 0.6 mm~0.8 mm，纯度不小于 99.999%。

6.5　碳十四标准物质：中国糖碳或美国草酸Ⅱ，SRM 4990 C。

6.6 亚氯酸钠（$NaClO_2$）：分析纯。
6.7 氧化铜（CuO）：GB/T 674，粉状，纯度不小于99.999%，开封后存储不超过12个月。
6.8 银丝（Ag）：直径0.2 mm，纯度不小于99.999%。
6.9 砂纸：200目、100目。
6.10 磷酸（H_3PO_4）：GB/T 1282，优级纯。
6.11 无水乙醇（C_2H_6O）：GB/T 678，分析纯。
6.12 盐酸（HCl）：GB/T 622，优级纯。
6.13 液氮（N_2）：沸点温度-196 ℃。
6.14 高纯氧气（O_2）：纯度不小于99.999%。
6.15 高纯氢气（H_2）：纯度不小于99.999%。
6.16 高纯水（H_2O）：GB/T 33087，电阻率不小于18.2 MΩ·cm。
6.17 试纸：酸碱度pH 1~pH 14。
6.18 靶锥：铝或铜。
6.19 石英管：高纯石英，长度10 cm，外径9 mm，一端开口，一端封口。
6.20 冷冻液：温度-78 ℃。
6.21 燃烧管：高纯石英，长度29 cm，外径9 mm，一端开口，一端封口。

7 仪器设备

7.1 加速器碳十四石墨靶制备装置：能够完成最少碳量0.5 mg石墨合成。
7.2 冰柜：温度范围-26 ℃~0 ℃。
7.3 超声波清洗器：最高温度不大于90 ℃，超声频率不小于37 Hz，容量不小于20 L。
7.4 干燥箱：GB/T 30435，温度不大于100 ℃，容量小于60 L。
7.5 加热板：温度不大于200 ℃，工作面不小于35 cm×30 cm。
7.6 加速器质谱仪（AMS）：R_{14}精度优于3‰，仪器本底R_{14}不大于5.0×10^{-16}，最小端电压0.2 MV。
7.7 离心机：GB/T 30099，转速不小于3500 r/min，转子50 mL、500 mL。
7.8 马弗炉：温度不小于400 ℃。
7.9 气焊枪：以煤气为燃料，以氧气为助燃剂。
7.10 石墨靶压制装置：压力100 N~800 N。
7.11 试验筛：GB/T 6003.1，孔径180 μm。
7.12 酸解装置：酸解碳量0.5 mg~40.0 mg。
7.13 体视显微镜：目镜放大倍数10倍，物镜放大倍数1倍~8倍。
7.14 电子天平：精度0.1 mg。
7.15 通风橱：耐强酸强碱材质。
7.16 研钵：容量200 mL~500 mL。
7.17 真空干燥箱：温度不大于200 ℃，极限真空不大于10 Pa。
7.18 玻璃烧杯：GB/T 15724，容量50 mL、100 mL、500 mL、1000 mL、2000 mL。
7.19 杜瓦瓶：容量250 mL、500 mL。
7.20 漏斗：玻璃材质，管部外径5 mm，内径3 mm，长度20 cm。

8 样品

8.1 样品类型

样品分为以下类型：

a） 生物体类样品，包括树叶、种子、草、树皮、木材、木炭、毛发、细树枝、织物、动物皮及其制品、树脂、孢粉和植硅体等；
b） 骨质类样品，包括骨骼、牙齿等；
c） 土质类样品，包括泥炭、淤泥、古土壤等；
d） 碳酸盐类样品，包括贝壳、钙结核、珊瑚、钙板、苏打、泉华、天然碱、石钟乳、石笋、有孔虫和介形虫等。

8.2 样品量

样品的初始质量应含不少于 1 mg 纯碳。常见样品含碳率见表 A.1。

8.3 包装与存储

8.3.1 潮湿样品应先除湿后再包装，在除湿过程中应避免混入其他含碳物。

8.3.2 样品应有包装。包装材料不应含碳成分。宜使用铝箔纸包裹，装入自封塑料袋、封闭于玻璃瓶、塑料盒或金属盒中。

9 试验步骤

9.1 试验流程

试验流程包括下列 4 个步骤：

a） 样品登记；
b） 前处理；
c） 石墨靶制备；
d） 加速器质谱仪测量。

9.2 样品登记

按表 B.1 规定的内容和格式登记样品信息。

9.3 前处理

9.3.1 根据 8.1 给出的样品类型，分别选取生物体类样品前处理、骨质类样品前处理、土质类样品前处理和碳酸盐类样品前处理。

9.3.2 按下列操作进行生物体类样品前处理：

a） 打开样品包装；
b） 参考样品对应的含碳率计算含纯碳不少于 1 mg 所需的样品量，称取样品；
c） 清除样品表面现代植物须根、菌丝等污染物；
d） 将样品置入 100 mL 烧杯后，再放在 70 ℃加热板上，加入 1 mol/L 盐酸至无气泡，用 pH 试纸测试显示为强酸性，浸泡 24 h，用高纯水冲洗至中性，保留残余物并标记为 A，废液排放符

合 GB 8978 的规定，酸液中和至 pH=6~9 后排放；

e） 加高纯水没过 A 表面约 2 cm，加入 2~4 滴 1.2 mol/L 氢氧化钠溶液；

f） 如果 A 在 5 s 内溶解量大于 10%，则立即倾倒上层溶液，执行步骤 i）；

g） 如果 A 在 5 s 内溶解量不大于 10%，则将烧杯置于 70 ℃加热板上加热，每隔 5 min~10 min 观察溶液颜色是否加深，至无明显变化时，倒掉 A 上层溶液；

h） 重复步骤 e）~g）直至上层溶液接近无色且 pH 试纸测试显示为碱性；

i） 用高纯水冲洗 A 至中性，在 70 ℃下加入 1 mol/L 盐酸浸泡 1 h，再用高纯水冲洗 A 至中性；

j） 如需继续提取出纤维素组分，则执行步骤 k），否则在 60 ℃干燥箱中烘干，结束处理，标记为测样 X，备用；

k） 加入 1 mol/L 盐酸，在 70 ℃下缓慢加入亚氯酸钠（$NaClO_2$），搅拌至样品呈白色或者淡黄色，用高纯水冲洗后在 60 ℃干燥箱中烘干，标记为测样 X，备用。

图 1 给出了生物体类样品前处理步骤示意。

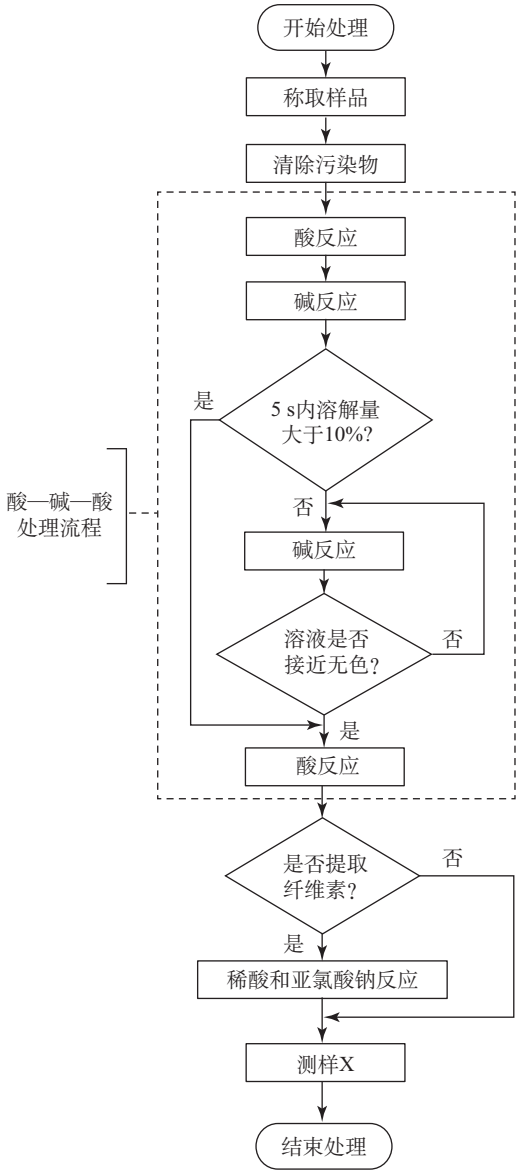


图 1　生物体类样品前处理步骤示意图

9.3.3 按下列操作进行骨质类样品前处理：

a） 选取新鲜致密骨头作为样品；

b） 将样品清洗后 60 ℃烘干；

c） 在研钵内将烘干的样品破碎为直径 0.5 mm～2.0 mm 的碎块；

d） 称取破碎后的样品 50 mg～150 mg（质量记为 W_b），标记为 B；

e） 将 B 置入离心管，加入 6 mL 0.5 mol/L 盐酸至碳酸盐类完全去除，用高纯水冲洗至中性，标记为 C；

f） 将 5 mL 0.1 mol/L 氢氧化钠溶液加至 C 中，每隔 15 min～30 min 观察溶液颜色变化（最长 2 h），待颜色稳定后，用高纯水冲洗至中性；

g） 吸取 5 mL 0.01 mol/L 盐酸，在室温下浸泡 C 约 1 h，倾倒上层溶液，残余物用高纯水冲洗至近中性，标记为 D；

h） 在 50 ℃下烘干 D，得到骨胶原，称重（质量记为 W_y），按公式（1）计算骨胶原产率 P_g；

$$P_g = W_y / W_b \times 100\% \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

P_g ——骨胶原产率；

W_y ——骨胶原干重，单位为克（g）；

W_b ——骨类样品原始质量，单位为克（g）。

i） 如果 D 需提取骨明胶，则执行步骤 j），否则，执行步骤 k）；

j） 将 D 置入离心管，加入 5 mL 0.01 mol/L 盐酸，于 60 ℃浸泡至 D 完全溶解，离心取上清液，冷冻干燥得到骨明胶 E，观察颜色并称重（质量记 W_m），按公式（2）计算骨明胶产率 P_m；

$$P_m = W_m / W_b \times 100\% \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

P_m ——骨明胶产率；

W_m ——骨明胶干重，单位为克（g）；

W_b ——骨类样品原始质量，单位为克（g）。

k） 当骨胶原产率 P_g 或骨明胶产率 P_m 在 5%～20%时，判定骨胶原或骨明胶为合格样品，标记为测样 X，备用；否则，结束处理。

图 2 给出了骨质类样品前处理步骤示意。

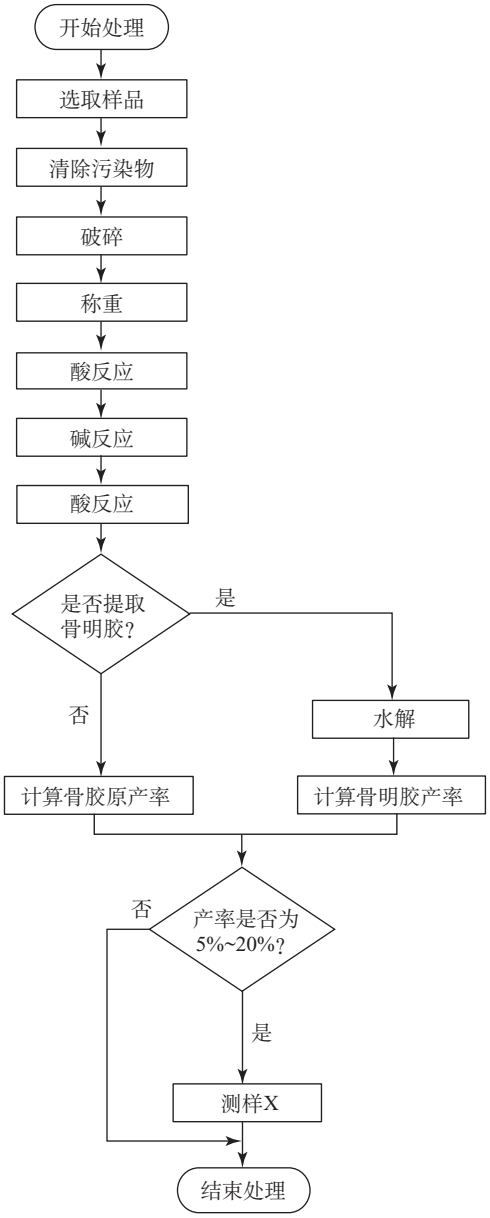


图 2　骨质类样品前处理步骤示意图

9.3.4　按下列操作进行土质类样品前处理：

a）　除去土质类样品中的植物须根、菌丝等杂物；

b）　称取土质类样品 3 g~10 g，标记为 F；

c）　如果样品 F 中含有种子、碳屑、树叶等生物体类样品，执行 9.3.2 a）~k）；

d）　如果样品 F 中不含生物体类样品，则采用 180 μm 试验筛，湿法筛分得到小于 180 μm 组分，标记为 G；

e）　将 G 放入烧杯，置于 70 ℃加热板上，加入 1 mol/L 盐酸浸泡并搅拌，至无气泡且 pH 试纸测试显示为强酸性，浸泡 24 h 后，倾倒弃去上层清液，用高纯水反复冲洗残余固体至近中性，保留残余物并标记为 H，废水排放符合 GB 8978 的要求，酸液中和至 pH=6~9 后排放；

f）　如果直接对土样进行全组分测定，则将 H 烘干，标记为测样 X，备用；

g） 如果不进行全组分测定，则向 H 中加入 1.2 mol/L 氢氧化钠溶液浸泡 24 h，用离心机在 3000 r/min下分离，得到碱溶液 I1 和碱不溶物 I2；

h） 如果进行碱可溶物的年代测定，则向 I1 中加入 1 mol/L 盐酸至出现絮状沉淀，用离心机在 3000 r/min下分离，弃去上层清液，用高纯水冲洗沉淀物 2 次~3 次至近中性，60 ℃烘干得到碱可溶物组分，标记为测样 X，备用；

i） 如果进行碱不溶物组分年代测定，则向 I2 中加入 1 mol/L 盐酸至 pH≈2，浸泡 24 h，用离心机在 3000 r/min 下分离，弃去上层清液，用高纯水冲洗底部残余物 2 次~3 次至近中性，60 ℃烘干得到碱不溶物组分，标记为测样 X，备用。

图 3 给出土质类样品前处理步骤示意。

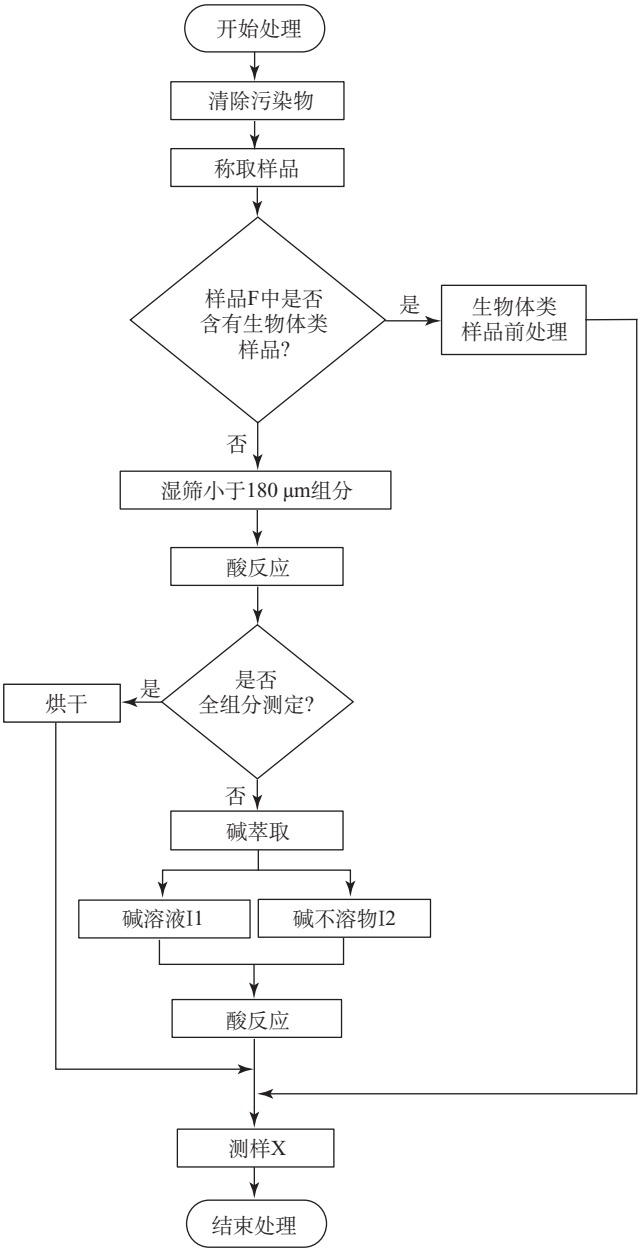


图 3　土质类样品前处理步骤示意图

9.3.5 按下列操作进行碳酸盐类样品前处理：

a） 去除样品外层粘附物；
b） 挑选原始结晶的碳酸盐；
c） 钻取样品，标记为样品 J；
d） 称取样品 J 30 mg~100 mg，放入 50 mL 烧杯中；
e） 加入 1 mol/L 盐酸，去除样品外层 10%~30%质量，获得新鲜样品 K；
f） 用高纯水洗至中性，烘干，标记为测样 X，备用。

9.4 石墨靶制备

9.4.1 工作内容

石墨靶制备包括下列操作：

a） 生成二氧化碳；
b） 纯化二氧化碳；
c） 生成石墨；
d） 压制石墨靶。

9.4.2 生成二氧化碳

9.4.2.1 按下列操作生成有机样品中二氧化碳：

a） 参考测样 X 对应的含碳率，估算含纯碳量为 0.5 mg~2.0 mg 所需的样品量，称取样品；
b） 通过漏斗将样品 X 装至燃烧管底部，并填写表 C.1；
c） 称取氧化铜，称取量按每 1 mg 纯碳需 45 mg 氧化铜粉末计算；
d） 将氧化铜粉末装入燃烧管内，加入 2 cm 银丝，并填写表 D.1；
e） 将燃烧管接到加速器碳十四石墨靶制备装置 A 处（参见图 D.1），启动抽真空操作；
f） 待系统真空度低于 2×10^{-2} Pa 且稳定时，气焊密封燃烧管，切割出约 20 cm 燃烧管；
g） 将密封燃烧管放入马弗炉，加热至 800 ℃，燃烧 10 h 以上；
h） 关闭马弗炉，冷却至室温后取出，在管上标记样品编号。

9.4.2.2 按下列操作生成无机样品（碳酸盐类测样）中二氧化碳：

a） 称取碳酸盐测样 30 mg；
b） 装入酸解装置，并填写表 C.1；
c） 通过漏斗将 2 mL~3 mL 浓磷酸加至酸解装置；
d） 将酸解装置连接至加速器碳十四石墨靶制备装置 A 处（参见图 D.1），启动抽真空操作；
e） 待系统真空度低于 2×10^{-2} Pa 且稳定时，关闭酸解装置活塞；
f） 倾斜装置使磷酸和测样充分反应，生成的二氧化碳留存于装置内。

9.4.3 纯化二氧化碳

9.4.3.1 按下列操作释放二氧化碳：

a） 系统真空度低于 2×10^{-2} Pa 时，记录压力传感器 a（参见图 D.1）的初始读数 P_{3A}，并填写表 C.1；
b） 掰断燃烧管或打开酸解装置释放二氧化碳，记录压力传感器 a 的终止读数 P_{3B}，并填写表 C.1；
c） 计算压强差 P_3（$P_{3B}-P_{3A}$），并填写表 C.1。

9.4.3.2 按下列操作提纯二氧化碳：

a） 二氧化碳经冷冻液冷阱 1（参见图 D.1），除水蒸气；

b） 液氮冷阱 2 凝华二氧化碳，辅助抽真空去除不可冷凝气体；

c） 导入加热至 450 ℃的纯化炉（内含有铜粒和银丝），去除杂质气体；

d） 再经冷冻液冷阱 3 去除水蒸气，液氮冷阱 4 凝华二氧化碳；

e） 冷阱 2 中二氧化碳全部升华后，开启真空抽气阀抽除残余杂气，记录压力传感器 b 的读数 P_{4A}，并填写表 C.1；

f） 关闭真空抽气阀，待二氧化碳气体挥发，记录压力传感器 b 的最终读数 P_{4B}，计算压强差 P_4（$P_{4B}-P_{4A}$），并填写表 C.1。

9.4.4 生成石墨

9.4.4.1 按下列操作生成石墨：

a） 活化铁粉；

b） 充入提纯后的二氧化碳；

c） 充入氢气；

d） 混合二氧化碳和氢气；

e） 合成石墨。

9.4.4.2 按下列操作活化铁粉：

a） 垂直石英管置入高氯酸镁 3 片~5 片，水平石英管加铁粉 2 mg~5 mg（参见图 D.1）；

b） 向系统充入 0.7 个标准大气压的高纯氧气，加热到 300 ℃，保持 30 min 后抽除氧气；

c） 再向系统充入 0.7 个标准大气压的高纯氢气，加热到 400 ℃，保持 60 min 后抽除氢气；

d） 系统真空度稳定在低于 2×10^{-2} Pa 时，记录压力传感器 c 的初始值 P_{5A}，并填写表 C.1。

9.4.4.3 按下列操作充入提纯后的二氧化碳：

a） 关闭真空抽气阀，开启二氧化碳进气阀，用液氮杜瓦瓶导贮气瓶中的二氧化碳至垂直石英管，关闭进气阀（参见图 D.1）；

b） 移去液氮杜瓦瓶，待二氧化碳挥发，如果压力超合成 1 mg 石墨所需 CO_2 压力（实验室自建关系式计算）10%以上，缓慢开启真空抽气阀抽出多余二氧化碳，记录压力传感器 c 最终压强 P_{5B}，计算压强差 P_5（$P_{5B}-P_{5A}$），并填写表 C.1；

c） 液氮凝华二氧化碳于垂直石英管，开启真空抽气阀抽残留气体。

9.4.4.4 按下列操作充入氢气：

a） 计算氢气压强值 P_{6A}（按二氧化碳压强的 2 倍计算），并填写表 C.1；

b） 关闭抽气阀，打开高纯氢气进气阀，充入氢气，压力在 $P_{6A}\pm5\%$内关闭阀门，记录此时压强 P_{6B}，并填写表 C.1。

9.4.4.5 按下列操作混合二氧化碳和氢气：

a） 关闭合成单元进气阀；

b） 取下液氮杜瓦瓶，待二氧化碳挥发，记录压力传感器 c 最终读数 P_7，并填写表 C.1。

9.4.4.6 按下列操作合成石墨：

a） 打开加热电炉，控制温度设定为 550 ℃；

b） 待温度升至 550 ℃时，记录 P_8 的压强值及反应开始时间，并填写表 C.1；

c） 每 30 min 观察反应器压力变化，当压力稳定且不再下降时，记录压强 P_9 及结束时间，并填写表 C.1；

d） 按照公式（3）计算石墨产率，如果产率不低于 90%，则取下石墨石英管，贴上样品号标签，置于真空干燥箱保存，否则石墨合成失败，须重制。

$$P_y = (P_8 - P_9)/(3 \times P_5) \times 100\% \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

P_y ——石墨产率；

P_8 ——550 ℃时二氧化碳和氢气混合反应开始时的压强值，单位为帕（Pa）；

P_9 ——550 ℃时二氧化碳和氢气混合反应结束时的压强值，单位为帕（Pa）；

P_5 ——合成装置内二氧化碳初始压强值，单位为帕（Pa）。

9.4.5 压制石墨靶

按照下列操作压制石墨靶：

a） 无水乙醇擦拭石墨靶压制装置，确保无尘后，放置靶锥；

b） 石墨倒入靶锥孔中，施加 80 N~150 N 压力压实石墨；

c） 靶锥放入小玻璃瓶，瓶身贴样品标签。

9.5 加速器质谱仪测量

按下列操作进行加速器质谱仪测量：

a） 装靶准备，先放置 3 个~8 个碳十四标准靶、1 个~3 个已知碳十四年龄靶、2 个~5 个碳十四本底样靶，剩余位置放待测样品石墨靶，每测试 30 个待测样品靶，应至少测量 1 个本底样靶；

b） 调试加速器质谱仪，离子源稳定后，用碳十三离子束流优化系统部件参数，使束流传输效率最高；

c） 调试高能传输系统中聚焦和导向元件，使束截面最优；

d） 注入碳十四离子束流，调探测器参数，使碳十四离子在双参数谱“平顶”中间区间测量；

e） 待测样依次测量，采用交替注入技术，单样单次测量 3 min~10 min，每 30 s 记录一次数据，一轮测完后按所需精度定总时长，重复测量不少于 3 轮；

f） 测量完成后，由程序计算标准、已知年龄样、本底样和测样的 R_{14} 及误差 σ_{14}，并填写表 E.1；

g） 依据测样、标准和本底的 R_{14} 以及测样、标准的同位素分馏值，按照公式（4）计算测样的 F_m 值，并填写表 E.1；

$$F_m = R_k \times ({}^{14}R_{s+b} - {}^{14}R_b) \times \left(1 - \frac{25}{1000}\right)^2 \Big/ \left(1 + \frac{\delta^{13}C_s}{1000}\right)^2 \Big/ ({}^{14}R_{std+b} - {}^{14}R_b) \Big/ \left(1 + \frac{\delta^{13}C_{stdN}}{1000}\right)^2 \times \left(1 + \frac{\delta^{13}C_{std}}{1000}\right)^2 \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

F_m ——经过本底校正、同位素分馏校正（碳的三种同位素碳十二、碳十三和碳十四因质量差异使含碳分子或离子的扩散速度、重力分布发生分异，借助测样碳十三值校正这部分碳十四年代测定误差）后，测样的 R_{14} 与现代碳的 R_{14} 的比值；

R_k ——标准校正系数；

${}^{14}R_{s+b}$ ——测样实测的 R_{14}；

${}^{14}R_b$ ——本底样实测的 R_{14}；

$\delta^{13}C_s$ ——测样实测碳十三同位素分馏值；

${}^{14}R_{std+b}$ ——标准实测的 R_{14}；

$\delta^{13}C_{stdN}$ ——标准同位素碳十三校正值；

$\delta^{13}C_{std}$ ——标准实测碳十三同位素分馏值。

h） 根据 F_m 值、测样、标准和本底的实测值和误差以及测样、标准的碳十三同位素分馏值和误差，按照公式（5）计算出值 σ_{F_m}，并填写表 E.1。

$$\sigma_{F_m} = F_m \times [\sigma^2_{14_{R_{s+b}}}/({}^{14}R_{s+b} - {}^{14}R_b)^2 + ({}^{14}R_{s+b} - {}^{14}R_{std+b})^2/({}^{14}R_{s+b} - {}^{14}R_b)^2/ ({}^{14}R_{std+b} - {}^{14}R_b)^2 \times \sigma^2_{14_{R_b}} + 4\sigma^2_{\delta_s}/(1000 + \delta^{13}C_s)^2 + \sigma^2_{14_{R_{std+b}}}/ ({}^{14}R_{std+b} - {}^{14}R_b)^2 + 4\sigma^2_{\delta_{std}}/(1000 + \delta^{13}C_{std})^2]^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

σ_{F_m} ——F_m 的标准偏差；

F_m ——经过本底校正、同位素分馏校正后，测样的 R_{14} 与现代碳的 R_{14} 的比值；

$\sigma_{14_{R_{s+b}}}$ ——测样的 R_{14} 误差；

${}^{14}R_{s+b}$ ——测样实测的 R_{14}；

${}^{14}R_b$ ——本底样实测的 R_{14}；

${}^{14}R_{std+b}$ ——标准实测的 R_{14}；

$\sigma_{14_{R_b}}$ ——本底的 R_{14} 误差；

σ_{δ_s} ——测样实测碳十三同位素分馏误差；

$\delta^{13}C_s$ ——测样实测碳十三同位素分馏值；

$\sigma_{14_{R_{std+b}}}$ ——标准实测 R_{14} 误差；

$\sigma_{\delta_{std}}$ ——标准实测碳十三同位素分馏误差；

$\delta^{13}C_{std}$ ——标准实测碳十三同位素分馏值。

10 年龄计算

按公式（6）计算样品碳十四年龄 t，计算结果填入表 E.1。

$$t = -\tau \ln(F_m) = -8033 \ln(F_m) \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

t ——碳十四年龄，单位为年（a），约定公元 1950 年作为碳十四年龄时间标尺零点，0 a 即 1950 A.D.，表示为 0 a B.P.；

τ ——利比碳十四平均寿命，$\tau = T_{1/2}/\ln 2 = 8033$ a，$T_{1/2}$ 为利比半衰期［（5568±30）a］；

F_m ——经过本底校正、同位素分馏校正后测样的 R_{14} 与现代碳的 R_{14} 的比值。

11 误差分析

按公式（7）计算样品年龄的误差 σ，计算结果填入表 E.1。

$$\sigma = -\tau \times (\sigma_{F_m}/F_m) = -8033(\sigma_{F_m}/F_m) \quad \cdots\cdots (7)$$

式中：

σ ——碳十四年龄误差；

τ ——利比碳十四平均寿命，$\tau = T_{1/2}/\ln 2 = 8033$ a，$T_{1/2}$为利比半衰期［(5568±30) a］；

F_m ——经过本底校正、同位素分馏校正后，测样的 R_{14}与现代碳的 R_{14}的比值；

σ_{F_m}——F_m 的标准偏差。

12 试验报告编写

12.1 试验报告应包括以下 3 个部分：

a） 封面；

b） 注意事项；

c） 正文。

12.2 封面应包括下列信息：

a） 报告编号；

b） 送样单位；

c） 送样人员；

d） 测试项目；

e） 测试人员；

f） 审核人员；

g） 报告日期；

h） 测试单位公章。

12.3 注意事项应包括下列内容：

a） 使用试验结果的条件；

b） 保留剩余测样的时间；

c） 保留原始数据的时间；

d） 使用试验数据的注意事项。

12.4 正文应包括下列内容。

a） 样品处理流程。

b） 按表 E.1 提供的年龄结果和测样参数。

c） 日历年代校正结果，包括以下内容：

1） 校正曲线名称和软件版本号；

2） 采用的校正方法；

3） 日历年代范围及对应的置信区间。

d） 碳库效应（海洋等水体初始碳十四浓度与同时期大气碳十四浓度存在差异现象）校正结果，包括以下内容：

1） 使用的本地 ΔR 值；

2） 校正曲线名称和软件版本号；

3） 采用的校正方法；

4） 日历年代范围及对应的置信区间。

e） 样品处理及样品年龄计算过程中需要说明的其他问题。

f） 参考文献，包括列出样品处理、测定步骤中所参考的重要文献或者标准。

附 录 A
（资料性）
常见样品含碳率

表 A.1 给出了常见样品含碳率。

表 A.1 常见样品含碳率

样品	含碳率 %
木炭	55～75
细树枝、木材	40～60
土壤	0.1～2.0
湖相沉积物	0.1～30.0
骨头	20～35
皮肤、毛发	20～40
碳酸盐	8～12

附 录 B
（规范性）
碳十四样品登记表

B.1 表 B.1 规定了碳十四样品登记的内容和格式。

表 B.1 碳十四样品登记表

野外编号			实验室编号	
取样点行政位置				
样品类型			质量 g	
采样点地理位置	经度 （°）		海拔 m	
	纬度 （°）		取样日期	年 月 日
样品物性描述				
采样地点地层和地貌描述（附图）				
样品在野外可能受到的污染情况说明				
样品年代测定意义				
估计年龄				
样品支撑项目来源和名称				
送样单位信息	单位名称			
	地 址			
	电子邮件			
	联 系 人			
	联系方式			
收样人			收样日期	年 月 日
测样人			完成日期	年 月 日
其他说明				

B.2 按下列说明填写表 B.1：

a) 野外编号：填写由字母+数字+汉字组成的样品唯一野外编号，总长不超过 10 个字符，如 SC2024CY01；
b) 实验室编号：由实验室代码、年份、顺序号组成唯一编号，如 CG20240001；
c) 取样点行政位置：填写所在省（自治区、直辖市、特别行政区）、县（旗）、乡（镇、苏木）名称及最邻近的村名；
d) 样品类型：按物理和化学特性区分，生物体类，如木炭、树叶、种子、草、树皮、木材、毛发、细树枝、织物、纸张、动物皮及其制品、树脂、孢粉、植硅体等；骨质类，如骨骼、牙齿等；土质类，如泥炭、淤泥、古土壤等；碳酸盐类，如贝壳、钙结核、珊瑚、钙板、苏打、泉华、天然碱、石钟乳、石笋、有孔虫、介形虫等；
e) 质量：送检样品初始质量应至少含纯碳 1 mg~3 mg，表 A.1 给出了常见样品的含碳率；
f) 采样点地理位置：填写样品的经纬度坐标，以度（°）表示，精确到小数点后 4 位；
g) 海拔：精确到 1 m；
h) 取样日期：以年、月、日格式填写；
i) 物性描述：描述样品颜色、岩化程度、尺寸、形状、表面观感、状态（固体、液体、气体等）、粒径大小、数量、品种鉴定等，附照片；
j) 样品采样地点地层地貌描述：标明样品构造部位、剖面位置、探槽层位（样品埋深）或钻孔层位（样品埋深），采样点周围沉积地貌、石灰岩出露等，附简单地质剖面图、钻孔柱状图或素描图；
k) 样品在野外可能受到的污染情况说明：标明样品是否存在二次搬运、现代根系混入、霉变腐烂、地下水浸透、动物洞穴、储存或包装中使用的杀菌剂或保护剂等情况；
l) 样品年代测定意义：研究领域如古地震、断层活动性鉴定、考古、第四纪、水文、土壤、火山、冰川等，解决考古、地质事件等相关科学问题；
m) 估计年龄：依据地貌位置、文化层、冰期、间冰期、黄土—古土壤序列、沉积结构、器型、共存物等推断样品的大概年龄，如千年、万年、大于五万年等；
n) 样品支撑项目来源及名称：项目类别和课题名称；
o) 送样单位信息：填写单位名称、地址、送样人电子邮件、联系人姓名及手机号等；
p) 其他说明：表格中未涉及的其他相关信息。

附 录 C
（规范性）
碳十四方法合成石墨实验记录表

C.1 表 C.1 规定了碳十四方法合成石墨实验记录的内容和格式。

表 C.1 碳十四方法合成石墨实验记录表

实验室编号			装样日期	年 月 日	
样品初始质量 mg			氧化铜质量 mg		
燃烧日期	年 月 日				
燃烧温度 ℃			燃烧时长 h		
纯化日期	年 月 日				
P_{3A}/Psi		P_{3B}/Psi		P_3/Psi	
P_{4A}/Psi		P_{4B}/Psi		P_4/Psi	
合成石墨日期	年 月 日				
P_{5A}/Psi		P_{5B}/Psi		P_5/Psi	
P_{6A}/Psi			P_{6B}/Psi		
P_7/Psi			P_8/Psi		
反应开始时间			反应结束时间		
P_9/Psi			操作人员		

C.2 按下列说明填写表 C.1：

a） 实验室编号：由实验室代码、年份、顺序号组成唯一编号，如 CG20240001；

b） 装样日期：称量样品时刻，以年、月、日表示；

c） 样品初始质量：样品中应至少含有 0.5 mg~2.0 mg 的纯碳量，根据表 A.1 含碳率估算样品质量，精确到 0.1 mg；

d） 氧化铜质量：按 1 mg 纯碳称 45 mg 氧化铜粉末的比例计算出氧化铜的使用量，精确到 0.1 mg；

e） 燃烧日期：样品放入马弗炉燃烧时刻，以年、月、日表示；

f） 燃烧温度：样品燃烧过程中的最高温度，精确到度；

g） 燃烧时长：样品在最高温度下燃烧的总时间，以小时表示；

h） 纯化日期：开始纯化生成二氧化碳时刻，以年、月、日表示；

i） P_{3A}：压力传感器 a（见图 D.1）的初始压强，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

j） P_{3B}：压力传感器 a（见图 D.1）的最终压强，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

k） P_3：压力传感器 a（见图 D.1）压强差（$P_{3B}-P_{3A}$），表示含杂质的二氧化碳初始体积，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

l） P_{4A}：压力传感器 b（见图 D.1）的初始压强，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

m） P_{4B}：压力传感器 b（见图 D.1）的最终压强，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

n） P_4：压力传感器 b（见图 D.1）压强差（$P_{4B}-P_{4A}$），表示纯二氧化碳初始体积，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

o） 合成石墨日期：制备石墨时刻，以年、月、日表示；

p） P_{5A}：压力传感器 c（见图 D.1）的初始压强，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

q） P_{5B}：压力传感器 c（见图 D.1）的最终压强，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

r） P_5：压力传感器 c（见图 D.1）的压强差（$P_{5B}-P_{5A}$），表示加入二氧化碳反应体积，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

s） P_{6A}：压力传感器 c（见图 D.1）估算加入氢气压强值（按氢气压强值 2 倍于二氧化碳计算），单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

t） P_{6B}：压力传感器 c（见图 D.1）实际加入氢气后读数，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

u） P_7：压力传感器 c（见图 D.1），常温下氢气与二氧化碳混合后总压力读数，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

v） P_8：压力传感器 c（见图 D.1）在 550 ℃时的压强读数，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

w） 反应开始时间：电炉到达 550 ℃时刻，以时、分表示；

x） 反应结束时间：压力传感器 c（见图 D.1），反应结束后压强不变时刻，以时、分表示；

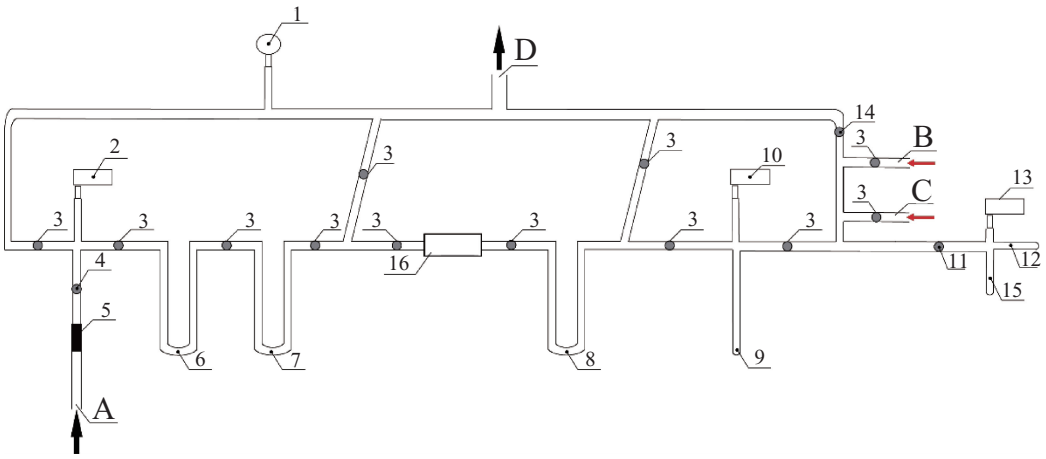
y） P_9：压力传感器 c（见图 D.1），反应结束后的最终压强读数，单位为 Psi，精确到 0.1 Psi；

z） 操作人员：完成实验人员签名。

注：1 Psi=6895 Pa。

附 录 D
（资料性）
加速器质谱仪碳十四石墨靶制备装置示例图

图 D.1 给出了加速器质谱仪碳十四石墨靶制备装置示例。



标引序号说明：
1——真空计；
2——压力传感器 a；
3——二通真空活塞；
4——进样阀；
5——过渡接头；
6——冷阱 1；
7——冷阱 2；
8——冷阱 3；
9——冷阱 4；
10——压力传感器 b；
11——合成单元进气阀门；
12——水平石英管；
13——压力传感器 c；
14——真空抽气阀；
15——垂直石英管；
16——纯化炉；
A——样品接入口；
B——氧气进气口；
C——氢气进气口；
D——真空泵接口。

图 D.1 加速器质谱仪碳十四石墨靶制备装置示例图

附 录 E
（规范性）
碳十四年代测定结果表

表 E.1 规定了碳十四年代测定结果的内容和格式。

表 E.1 碳十四年代测定结果表

序号	实验室编号	野外编号	采样地点	深度 m	测量文件号	送样者	样品物质	R_{14}	σ_{14}	$F_m \pm \sigma_{F_m}$	$t \pm \sigma^a$ a B. P.	日历年代校正[b] Cal a B. P.	
												区间	$\mu \pm \sigma$
1													
2													
3													
4													
5													

[a] 碳十四年龄采用利比半衰期 5568 年计算，误差为 1 σ。

[b] 使用校正软件计算日历年龄区间、平均值和标准偏差。

参 考 文 献

[1] WW/T 0043—2012 碳十四年代测定骨质样品的处理方法

[2] 仇士华，陈铁梅，蔡莲珍．中国^{14}C 年代学研究[M]．北京：科学出版社，1990

[3] Donahue D J，Linick T W，Jull A J. Isotope-ratio and background corrections for accelerator mass spectrometry radiocarbon measurements[J]. Radiocarbon，1990，32（2）：135-142

[4] Stuiver M，Polach H A. Discussion：reporting of ^{14}C data[J]. Radiocarbon，1977，19（3）：355-363

地震版 XM /P（ ）

中华人民共和国地震行业标准

活动断层探查 年代测定 第1部分：碳十四方法（DB/T 103.1—2026）

中国地震局

责任编辑：李亚靖

责任校对：凌 樱

出版发行：地震出版社

北京市海淀区民族大学南路9号 邮编：100081

营 销 部：68423031 68467991 传真：68467991

总 编 室：68462709 68423029

图书出版部：68467996

http://seismologicalpress.com

E-mail：cbs_lyj@163.com

经销：全国各地新华书店

印刷：北京星阳艺彩印刷技术有限公司

版（印）次：2026年 月第一版 2026年 月第一次印刷

开本：880×1230 1/16

字数：56千字

印张：1.75

书号：ISBN 978-7-5028- -

定价：28.00元

版权所有 翻印必究

（图书出现印装问题，本社负责调换）