ICS 91.120.25
CCS P 15

DB

中华人民共和国地震行业标准

DB/T 103.3—2026

活动断层探查　年代测定
第3部分：铍十和铝二十六方法

Active fault survey—Determination of age—
Part 3: Beryllium-10 and Aluminium-26 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 …… 3
6　试剂或材料 …… 3
7　仪器设备 …… 3
8　样品 …… 4
9　试验步骤 …… 4
10　年龄计算 …… 9
11　误差分析 …… 11
12　试验报告 …… 12
附录 A（规范性）　样品登记表 …… 13
附录 B（规范性）　前处理过程记录表 …… 16
附录 C（规范性）　提纯检测 …… 18
附录 D（规范性）　重液分选 …… 20
附录 E（规范性）　离子交换树脂检测 …… 21
附录 F（规范性）　石英坩埚清洗 …… 23
附录 G（规范性）　样品年龄及参数 …… 24
参考文献 …… 25

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 3 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、应急管理部国家自然灾害防治研究院。

本文件主要起草人：郑荣章、吕延武、杨会丽、尹金辉、刘春茹、魏传义、庞建章、赵俊香、刘旭东、李林林、丁锐。

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做出科学评价，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。

铍十和铝二十六方法测定的样品是沉积物中分布广泛的石英矿物，其暴露年龄测定范围从几百年至两百多万年，埋藏年龄测定范围从二十万年至七百多万年，已为活动断层探测研究提供了大量的关键性年龄数据。通过对铍十和铝二十六方法年代测定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，有利于促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3部分：铍十和铝二十六方法

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

1　范围

本文件给出了铍十和铝二十六方法年代测定的样品品质、试验条件、试剂或材料和仪器设备，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铍十和铝二十六样品年代测定。

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 620　化学试剂　氢氟酸

GB/T 622　化学试剂　盐酸

GB/T 623　化学试剂　高氯酸

GB/T 626　化学试剂　硝酸

GB/T 678　化学试剂　乙醇（无水乙醇）

GB/T 686　化学试剂　丙酮

GB/T 1914　化学分析滤纸

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/T 6684　化学试剂　30%过氧化氢

GB/T 28849　SX系列实验用箱式电阻炉

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

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

宇宙射线　cosmic rays

高能基本粒子和原子核组成的粒子流。

3.1.1

次级宇宙射线　secondary cosmic rays

进入地球大气层的宇宙射线（3.1）与大气层中物质相互作用生成的粒子流。

注：粒子流包括中子（n）、质子（p）和介子（π介子、K介子和μ子），以及电磁辐射粒子（光子γ和电子e）等。

3.2

宇宙成因核素　cosmogenic nuclides

宇宙射线（3.1）与物质相互作用生成的核素。

3.3

核素产率　nuclide production rate

宇宙成因核素（3.2）在物质中单位时间单位质量内生成的原子数量。

3.4

暴露年龄　exposure age

岩石从暴露地表至今的时间。

3.5

埋藏年龄　burial age

岩石暴露地表一定时间后，经地质事件或过程被埋藏至今的时间。

3.6

靶样　target sample

可在加速器质谱仪上测量的固体混合物。

3.7

前处理　pretreatment

分离和纯化样品中目标核素，制作靶样（3.6）的物理和化学处理过程。

3.8

浸析　leach

提纯样品中石英的前处理（3.7）中的化学过程。

3.9

空白样　blank sample

前处理（3.7）中，用于对照实验过程本底的物质。

3.10

载体　carrier

前处理（3.7）中，添加到样品石英中含有目标放射性核素的稳定同位素标准溶液。

3.11

侵蚀速率　erosion rate

物质在外营力作用下单位时间的损失量。

4　原理

地表或近地表的岩石在次级宇宙射线作用下，生成陆地原位宇宙成因核素铍十（^{10}Be）和铝二十六（^{26}Al）。核素的浓度随暴露时间不断累积，并受到半衰期、核素产率及侵蚀速率等因素的共同影响。通过测定样品中铍十和铍九的原子数比值（表示为 R_B）以及铝二十六和铝二十七的原子数比值（表示为 R_A），可分别计算得出铍十浓度和铝二十六浓度。结合核素产率、半衰期和侵蚀速率等参数，即可估算岩石的暴露年龄。

地表岩石累积一定浓度的铍十和铝二十六后，经侵蚀、搬运与沉积过程被埋藏。当埋藏深度足以屏蔽次级宇宙射线的作用时，沉积物中的铍十浓度和铝二十六浓度不再增加；随着埋藏时间延长，铝二十六浓度和铍十浓度的比值呈规律性衰减。通过测定样品中的 R_B、R_A，获得铍十浓度和铝二十六浓度，并结合埋藏前两种核素的产率比值、半衰期等因素，可进一步计算沉积物的埋藏年龄。

5 试验条件

5.1 试验空间环境洁净度不低于十万级。
5.2 温度为（23±5）℃。
5.3 相对湿度小于80%。

6 试剂或材料

6.1 定性滤纸：GB/T 1914，直径150 mm、180 mm。
6.2 金属导体粉：铌粉和银粉，粒径小于45 μm，纯度大于99.5%。
6.3 广口瓶：聚丙烯，带盖，容量2000 mL。
6.4 分液漏斗：聚丙烯，容量250 mL。
6.5 交换柱：聚丙烯，高14 cm，直径1.5 cm，容量20 mL。
6.6 离心管：聚丙烯，锥形，容量15 mL、50 mL。
6.7 烧杯：聚四氟乙烯，带盖，容量100 mL、250 mL、500 mL、1000 mL。
6.8 坩埚：石英，带盖，容量2 mL。
6.9 重液：多钨酸钠或多钨酸锂，密度不小于2.85 g/cm^3。
6.10 阴离子交换树脂：季铵基，氯型，交联度8%，水合粒径106 μm~180 μm。
6.11 阳离子交换树脂：磺酸基，氢型，交联度8%，水合粒径63 μm~150 μm。
6.12 高纯水：电阻率不小于18.2 MΩ·cm，总有机碳不大于10 μg/L。
6.13 氢氟酸（HF）：GB/T 620，优级纯。
6.14 盐酸（HCl）：GB/T 622，优级纯。
6.15 高氯酸（$HClO_4$）：GB/T 623，优级纯。
6.16 硝酸（HNO_3）：GB/T 626，优级纯。
6.17 乙醇（无水乙醇）（C_2H_6O）：GB/T 678，优级纯。
6.18 丙酮：GB/T 686，分析纯。
6.19 过氧化氢（H_2O_2）：GB/T 6684，优级纯。
6.20 氨水（NH_4OH）：优级纯，NH_3 含量25.0%~28.0%，蒸发残渣不大于0.0005%。
6.21 铍载体（Be）：铍标准溶液，GSBG62002-90，浓度1000 μg/mL。
6.22 铝载体（Al）：铝标准溶液，GSBG62006-90，浓度1000 μg/mL。
6.23 混合标准溶液：包含铝（Al）、铍（Be）、钙（Ca）、铁（Fe）、钾（K）、钠（Na）、钡（Ba）、钛（Ti）、镁（Mg）、硼（B）、锰（Mn）等多种元素，浓度不小于100 μg/mL。

7 仪器设备

7.1 通风橱：耐强酸强碱材质。
7.2 超净台：耐强酸强碱材质，洁净程度百级。
7.3 切割机：能够切割大于10 cm的样品。
7.4 破碎机：能够破碎不大于10 cm的样品。
7.5 粉碎机：进样口小于10 cm，钳口间距可调，粉碎后粒径小于2 mm。
7.6 试验筛：GB/T 6003.1，筛孔直径100 μm、500 μm。
7.7 加热板：最高工作温度不小于200 ℃，工作面不小于350 mm×300 mm。

7.8 超声波清洗器：最高工作温度不小于80 ℃，具有定时恒温功能，超声频率不小于37 Hz，容量不小于60 L。
7.9 离心机：GB/T 30099，最高转速5000 r/min，最大相对离心力4390×g，具有定时功能，配置15 mL和50 mL锥形试管转子。
7.10 干燥箱：GB/T 30435，最高工作温度200 ℃，容量不小于60 L。
7.11 移液器：单道，量程30 μL~300 μL，量程100 μL~1000 μL，准确度不大于0.6%。
7.12 电子天平：精度0.1 mg，量程不小于100 g。
7.13 磁选仪：可分离粒径为100 μm~600 μm的各种磁性矿物，电流强度可调。
7.14 金属浴：最高工作温度150 ℃，模块化，孔径12 mm、16 mm。
7.15 振荡器：最高转速不小于3000 r/min，具有点动触发功能。
7.16 箱式电阻炉：GB/T 28849，最高工作温度不小于950 ℃。
7.17 元素分析仪：能够测量铝、铍、钙、铁、钾、钠、钡、钛、镁、硼、锰等元素含量，检出限小于0.01 μg/g，相对标准偏差不大于1%。
7.18 靶样制备装置：包括漏斗、铜锭、撞针、钢珠等。
7.19 加速器质谱仪：R_B 检测限不大于 1.00×10^{-15}，R_A 检测限不大于 5.00×10^{-15}。

8 样品

8.1 样品分为暴露样品和埋藏样品两类。其中，暴露样品分为地表暴露样品和剖面暴露样品两种。
8.2 样品的矿物成分应为石英，或含石英的岩石、砾石和砂。
8.3 样品中石英质量应不少于300 g。
8.4 粒径大于2 cm的暴露样品应标记暴露顶面。
8.5 样品应有完整包装和标记。
8.6 样品应常温保存。

9 试验步骤

9.1 试验流程

试验流程包括下列3个步骤：
a） 样品登记；
b） 前处理；
c） 加速器质谱仪测量。

9.2 样品登记

按表A.1规定的内容和格式登记地表暴露样品信息。
按表A.2规定的内容和格式登记剖面暴露样品和埋藏样品信息。

9.3 前处理

9.3.1 切割破碎

9.3.1.1 称量完整样品，填写表B.1。
9.3.1.2 对于粒径大于2 cm的地表暴露样品，切割其顶面以下2 cm部分用作后续处理。

9.3.1.3 称取石英含量不小于300 g的样品，填写表B.1。

9.3.1.4 用切割机、破碎机或其他合适的破碎设备将样品切割破碎到不大于2 cm的尺寸。

9.3.2 粉碎筛分

9.3.2.1 人工剔除样品中目力可辨的非石英颗粒。

9.3.2.2 用粉碎机粉碎样品。

9.3.2.3 用试验筛筛分粉碎后的样品，将大于500 μm的颗粒循环进行粉碎筛分，直至无大于500 μm的颗粒为止。

9.3.2.4 将筛分后小于100 μm以及100 μm~500 μm的颗粒分别收集并称量，封装小于100 μm的颗粒，包装上标注样品实验室编号、粒径及质量，填写表B.1。

9.3.3 磁选

9.3.3.1 用磁选仪除去100 μm~500 μm颗粒中的磁性矿物。

9.3.3.2 称量并封装磁选后的样品，包装上标注样品实验室编号、粒径及质量，填写表B.1。

9.3.4 提纯

9.3.4.1 在通风橱中按下列操作进行样品盐酸（HCl）/过氧化氢（H_2O_2）浸析：

a) 称取100 g磁选后的样品，填写表B.2；

b) 取1 L烧杯，标注样品实验室编号，依次向烧杯中添加37%的盐酸（HCl）80 mL、高纯水250 mL、30%的过氧化氢（H_2O_2）3 mL；

c) 将样品分多次倒入烧杯，当无放气反应时，添加高纯水至500 mL；当有放气反应时，等待反应结束，逐次添加37%的盐酸（HCl）5 mL，至无反应后，添加高纯水至500 mL；

d) 将烧杯置于110 ℃加热板上加盖加热12 h后，关闭加热板，自然冷却烧杯；

e) 将烧杯中上层清液倒入废液桶，用高纯水清洗烧杯中样品5次，清洗液倒入废液桶；

f) 取一次性塑料烧杯，标注样品实验室编号，将烧杯中的样品转移到塑料烧杯中，将塑料烧杯置于75 ℃的干燥箱中烘干。

9.3.4.2 在通风橱中按下列操作对样品进行至少三次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析。

a) 第一次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析：

1) 称量9.3.4.1 f）中烘干后的样品，填写表B.2；

2) 取2 L广口瓶，在瓶盖上标注样品实验室编号。按每克样品40% 氢氟酸（HF）3 mL、每克样品68% 硝酸（HNO_3）2 mL的比例在广口瓶中配制溶液，添加1.2 L左右的高纯水，将样品倒入广口瓶中，虚盖瓶盖；

3) 将广口瓶置于温度为75 ℃的超声波清洗器中进行超声浸析，清洗器中的水体浸没三分之一或一半瓶体，虚盖瓶盖，运行9 h后，关闭清洗器，自然冷却广口瓶；

4) 将广口瓶中上层清液倒入废液桶，用高纯水冲洗瓶中样品5次，清洗液倒入废液桶；

5) 取一次性塑料烧杯，标注样品实验室编号，将广口瓶中样品转移到塑料烧杯中，将塑料烧杯置于75 ℃的干燥箱中烘干。

b) 第二次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析：

1) 称量9.3.4.2 a）中烘干后的样品，填写表B.2；

2) 取2 L广口瓶，在瓶盖上标注样品实验室编号。按每克样品40% 氢氟酸（HF）1.5 mL、每克样品68% 硝酸（HNO_3）1 mL的比例在广口瓶中配制溶液，添加1.2 L左右的高纯水。将样品倒入广口瓶中，虚盖瓶盖；

3） 执行 9.3.4.2 a）中的 3）~5）。

c） 第三次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析：

1） 称量 9.3.4.2 b）中烘干后的样品，填写表 B.2；

2） 执行 9.3.4.2 b）中的 2）、3）。

9.3.4.3 按附录 C 的规定对后两次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后的样品进行提纯检测，并根据检测结果，对样品按下列步骤进行处理。

a） 样品铝二十七含量符合 C.5.1 的规定时，执行 9.3.5。

b） 样品铝二十七含量符合 C.5.2 a）或 c）的规定时，执行 9.3.4.2 c）之后，按附录 C 进行检测，如此往复，直至样品铝二十七含量符合 C.5.1 的规定，执行 9.3.5。

c） 样品铝二十七含量符合 C.5.2 b）或 d）的规定时，按附录 D 的规定进行重液分选。

9.3.4.4 在通风橱中按下列操作对 D.4 f）中烘干后的样品进行氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析。

a） 称量烘干后的样品，填写表 B.2。当表 B.2 中的浸析次数填写满时，启用新的表 B.2 接续填写，并修改相应的浸析序号。

b） 执行 9.3.4.2 b）中的 2）、3）。

c） 按附录 C 的规定对浸析后烘干的样品进行提纯检测，并根据检测结果执行 9.3.4.3 a）或 b）。

9.3.5 分解

9.3.5.1 在通风橱中按下列操作进行样品分解。

a） 样品称取：在电子天平上称取 15 g~30 g 提纯后的样品并转移到标注样品实验室编号的 250 mL烧杯中，填写表 B.4。

b） 载体添加：用移液器摄取 0.25 mL 铍载体，在电子天平上称量后转移到烧杯中，记为 $M_{C,B}$，填写表 B.4。当需要测量样品铝二十六浓度且样品中铝二十七总质量小于 2 mg 时，按添加铍载体的操作添加铝载体使铝二十七总质量大于 2 mg，记为 $M_{C,A}$，填写表 B.4。

c） 空白样制备：进行分解的每批样品均设置空白样。用移液器摄取 0.25 mL 铍载体，在电子天平上称量后转移到标注空白样编号的 250 mL 烧杯中，记为 $M_{C,BK}$，填写表 B.4。当有样品添加铝载体时，空白样中添加称量后的 2 mL 铝载体，记为 $M_{C,AK}$，填写表 B.4。

d） 试剂添加：按每克样品 40%氢氟酸（HF）5 mL 和每克样品 65%硝酸（HNO_3）0.3 mL 的量将试剂添加到烧杯中。空白样中的试剂量按同批样品的质量平均值进行添加。

e） 样品溶解：将烧杯加盖置于 160 ℃的加热板上加热，待样品完全溶解后，去盖加热蒸干。

9.3.5.2 在通风橱中按下列操作对样品进行高氯酸（$HClO_4$）烟化。

a） 向 9.3.5.1 e）的烧杯中添加高纯水 10 mL、65% 硝酸（HNO_3）10 mL、72% 高氯酸（$HClO_4$）4 mL，加热蒸干。之后向烧杯中添加高纯水 6 mL、72% 高氯酸（$HClO_4$）2 mL，加热蒸干，重复本操作 1 次。

b） 取 15 mL 离心管，标注样品实验室编号，在电子天平上称量离心管并记录。用 6 mol/L 盐酸（HCl）5 mL 将烧杯中残留物分 5 次溶解，并用一次性塑料移液管转移至离心管中，再次称量离心管并记录，填写表 B.4。

c） 将离心管配平后置于离心机中，以 4000 r/min 离心 3 min~5 min。当离心管底部有沉淀时，转移溶液到新的已标注样品实验室编号的 15 mL 离心管中。将有沉淀的离心管进行干燥，之后在电子天平上称量，填写表 B.4，表 B.4 中校正后的样品质量记为 M_q。

9.3.6 铝取样

在通风橱中按下列操作进行铝取样。

a） 取 50 mL 离心管，标注样品实验室编号，在电子天平上称量并记录。将 9.3.5.2 c）中离心管

内的溶液转移到 50 mL 离心管中，并添加高纯水至 40 mL，称量 50 mL 离心管，填写表 B.5。

b) 取 15 mL 离心管，标注样品实验室编号，在电子天平上称量并记录；用移液器从 9.3.6 a）中的 50mL 离心管中转移 0.25 mL 溶液到 15 mL 离心管，称量 15 mL 离心管，填写表 B.5。

c) 向 15 m 离心管中添加 1 mol/L 盐酸（HCl）至 10 mL，在电子天平上称量 15 mL 离心管，填写表 B.5。

d) 用元素分析仪测试 15 mL 离心管中溶液的铝二十七含量，计算样品铝二十七含量，精确到小数点后 2 位。计算样品铝二十七的总质量，记为 $M_{S,27}$，精确到小数点后 4 位，填写表 B.5。

e) 取 100 mL 烧杯，标注样品实验室编号，将 9.3.6 a）中的 50 mL 离心管内的溶液转移到烧杯中置于 160 ℃的加热板上加热蒸干。

f) 取 15 mL 离心管，标注样品实验室编号和“-”。用 9 mol/L 盐酸（HCl）5 mL 分 5 次溶解烧杯底部残留物，并用一次性塑料移液管转移至离心管中。

9.3.7 铍与铝分离提取

9.3.7.1 按附录 E 的规定检测离子交换树脂并判定是否符合试验要求，用符合试验要求的离子交换树脂分离提取样品中的铍和铝。

9.3.7.2 按 E.3 的规定准备阴离子交换树脂。

9.3.7.3 在超净台中按下列操作进行阴离子交换，去除样品中除 Be^{2+} 和 Al^{3+} 外的其他阳离子。

a) 将 9 mol/L 盐酸（HCl）60 mL 添加到分液漏斗中冲洗平衡阴离子交换柱，用一次性塑料烧杯收集流出液，并将其转移到盐酸（HCl）回收容器中。

b) 将 9.3.6 f）中的 15 mL 离心管配平后置于离心机中，以 4000 r/min 离心 3 min~5 min。

c) 用一次性塑料移液管将离心管中离心后的溶液分 3 次上样至阴离子交换柱。用标注样品实验室编号和“+”的 100 mL 烧杯收集洗脱液。

d) 当溶液完全进入柱床后，将 9 mol/L 盐酸（HCl）35 mL 添加到分液漏斗中洗脱阴离子交换柱，洗脱其中的 Be^{2+} 和 Al^{3+}。洗脱结束后，将烧杯置于 160 ℃的加热板上加热蒸干。

e) 将 0.1 mol/L 盐酸（HCl）80 mL 添加到分液漏斗中清洗阴离子交换柱，用标注样品编号的 100 mL 带盖塑料试剂瓶收集洗出液。清洗完成后，将试剂瓶在常温下密封保存至试验结束。

f) 取 15 mL 离心管，标注样品实验室编号和“+”。用 1 mol/L 盐酸（HCl）5 mL 分 5 次溶解烧杯底部残留物，并用一次性塑料移液管转移至离心管中。

9.3.7.4 按 E.3 的规定准备阳离子交换树脂。

9.3.7.5 在超净台中按下列操作进行阳离子交换，以提取样品中的 Be^{2+}，并根据需要选择性地提取 Al^{3+}。

a) 将 9.3.7.3 f）中的 15 mL 离心管配平后置于离心机中，以 4000 r/min 离心 3 min~5 min。

b) 用一次性塑料移液管将离心管中离心后的溶液分 3 次上样至阳离子交换柱。用一次性塑料烧杯收集洗脱液。

c) 根据附录 E 的检测结果，将 1 mol/L 盐酸（HCl）300 mL 分三份先后添加到分液漏斗中洗脱阳离子交换柱，洗脱其中的阳离子。用标注样品实验室编号和“Be”的 250 mL 烧杯收集第二份含 Be^{2+} 洗脱液。洗脱结束后，将烧杯置于 160 ℃的加热板上加热蒸干。第一份和第三份洗脱液用一次性塑料烧杯收集后倒入废液桶。

d) 当样品需要测量铝二十六浓度时，将 2.5 mol/L 盐酸（HCl）80 mL 添加到分液漏斗中洗脱阳离子交换柱，洗脱其中的 Al^{3+}。用标注样品实验室编号和“Al”的 250 mL 烧杯收集洗脱液。洗脱结束后，将烧杯置于 160 ℃的加热板上加热蒸干；当样品不需要测量铝二十六浓度时，无需洗脱 Al^{3+}，执行 9.3.7.5 e）。

e) 将 6 mol/L 盐酸（HCl）200 mL 添加到分液漏斗中清洗阳离子交换柱，用一次性塑料烧杯收

集洗出液并将其转移到盐酸（HCl）回收容器中。

f） 将高纯水 60 mL 添加到分液漏斗中冲洗平衡阳离子交换柱，用一次性塑料烧杯收集流出液后倒入废液桶。

g） 根据样品的不同洗脱情况，选择下列步骤之一进行操作。

1） 当样品中 Be^{2+} 和 Al^{3+} 均被洗脱时，每个样品取两支 15 mL 离心管，分别标注样品实验室编号和“Be”、样品实验室编号和“Al”。分别用 1 mol/L 盐酸（HCl）1 mL~1.5 mL 分 2 次~3 次溶解 9.3.7.5 c）和 9.3.7.5 d）中烧杯底部残留物，并用一次性塑料移液管转移到与烧杯有相同标注的离心管中。

2） 当样品中只有 Be^{2+} 被洗脱时，每个样品取一支 15 mL 离心管，标注样品实验室编号和“Be”。用 1 mol/L 盐酸（HCl）1 mL~1.5 mL 分 2 次~3 次溶解 9.3.7.5 c）中烧杯底部残留物，并用一次性塑料移液管转移到与烧杯有相同标注的离心管中。

9.3.8 氧化物制备

9.3.8.1 在通风橱中按下列操作将氯化铍（$BeCl_2$）和氯化铝（$AlCl_3$）转化为氢氧化铍［$Be(OH)_2$］和氢氧化铝［$Al(OH)_3$］。

a） 将 14% 氨水（NH_4OH）1 mL~1.5 mL 添加到 9.3.7.5 g）中的 15 mL 离心管中，在振荡器上振荡 1 min 并置于 90 ℃的水浴中加热 3 h，之后自然冷却离心管。

b） 将 15 mL 离心管配平后置于离心机中，以 4000 r/min 离心 3 min~5 min。倒掉离心管上部清液，用 0.01%氨水（NH_4OH）清洗离心管中沉淀 3 次，每次均振荡均匀并离心。

c） 取石英坩埚、石英坩埚架，标注编号，铍标注“B”和样品实验室编号的数字部分，铝标注“A”和样品实验室编号的数字部分；对于空白样，铍标注“BK”和空白样编号数字部分，铝标注“AK”和空白样编号数字部分。石英坩埚在使用前按附录 F 的规定清洗。

d） 用一次性塑料移液管分别将 15 mL 离心管底部的氢氧化铍［$Be(OH)_2$］和氢氧化铝［$Al(OH)_3$］沉淀转移到石英坩埚中，将石英坩埚置于 90 ℃的金属浴中加热蒸干。

9.3.8.2 在通风橱中按下列操作将氢氧化铍［$Be(OH)_2$］和氢氧化铝［$Al(OH)_3$］脱水转化成氧化铍（BeO）和氧化铝（Al_2O_3）。

a） 将 9.3.8.1 d）中蒸干的石英坩埚放置在石英坩埚架上，盖上石英坩埚盖。记录不同编号石英坩埚在石英坩埚架上的位置。

b） 将石英坩埚架置入箱式电阻炉中进行脱水转化。电阻炉温度设定区间为 750 ℃~950 ℃，从室温到设定温度的升温时长为 30 min，达到设定温度后的恒温时长为 15 min。转化结束后，关闭电源，自然冷却电阻炉。

c） 将冷却后的石英坩埚架取出，根据记录的位置重新标注编号。

9.3.9 靶样制备

在超净台中按下列操作制备靶样。

a） 将制备靶样的装置置于乙醇溶液中超声 30 min，用乙醇淋洗 3 次。

b） 将氧化铍（BeO）或氧化铝（Al_2O_3）转移至石英坩埚中，加入等体积金属导体粉，氧化铍（BeO）中加铌粉，氧化铝（Al_2O_3）中加银粉，研磨约 5 min。

c） 将漏斗安装在铜锭上，在下面放上钢珠，按程序组装好各部件，用小钢勺分次将 9.3.9 b）所得的混合物转移至漏斗内。

d） 将漏斗等部件整体摇 3 次左右，然后依次放入铜针和撞针，置于压靶器下，快速下拉压杆两次，将混合物和铜针固定在铜锭内。

e） 拔出撞针打开组合工具，将铜锭的混合物靶样朝下放入新的 1.5 mL 塑料离心管内，上部填充

厚度合适的可发性聚乙烯或防震物后盖紧盖子。在离心管上标注与相应石英坩埚上相同的编号。

9.4 加速器质谱仪测量

9.4.1 按下列操作在加速器质谱仪中测量铍靶样，获取 R_B。

a） 标准铍靶样测量：

1） 测量 3 个~5 个已知 R_B 的同源标准铍靶样。每个靶样至少测量 3 次，每次测量 10 个 30 s 时段；

2） 测量结束后，对每个标准铍靶样的所有测量值进行统计检验及重组，得到每个靶样的测量 R_B；

3） 对所有标准铍靶样的测量 R_B 进行相同的统计检验，并计算加权平均值。将已知的标准铍靶样的 R_B 除以加权平均后的标准铍靶样的 R_B，得到校正因子。

b） 样品铍靶样测量：

1） 每个样品铍靶样至少测量 3 次，每次测量 40 个 30 s 时段或获得不少于 400 次计数；

2） 用与 9.4.1 a） 中 2） 相同的方法，得到 R_B，该比值乘以 9.4.1 a） 中 3） 得到的校正因子，获得样品铍靶样的 R_B。

9.4.2 按下列操作在加速器质谱仪中测量铝靶样，获取 R_A。

a） 标准铝靶样测量：

1） 测量 3 个~5 个已知 R_A 的同源标准铝靶样。每个靶样至少测量 3 次，每次测量 20 个 30 s 时段；

2） 测量结束后，对每个标准铝靶样的所有测量值进行统计检验及重组，得到每个靶样的测量 R_A；

3） 对所有标准铝靶样的测量 R_A 进行相同的统计检验，并计算加权平均值。将已知的标准铝靶样的 R_A 除以加权平均后的标准铝靶样的 R_A，得到校正因子。

b） 样品铝靶样测量：

1） 每个样品铝靶样至少测量 3 次，每次测量 40 个 30 s 时段或获得不少于 400 次计数；

2） 用与 9.4.2 a） 中 2） 相同的方法，得到 R_A，该比值乘以 9.4.2 a） 中 3） 得到的校正因子，获得样品铝靶样的 R_A。

10 年龄计算

10.1 参数

10.1.1 铍十浓度

按公式（1）将样品铍靶样的 R_B 转换为样品铍十浓度。将暴露样品铍十浓度填写至表 G.1，将埋藏样品铍十浓度填写至表 G.2。

$$C_B = (N_A/A_B)(R_{BS}M_{C,9} - \bar{R}_{BK}M_{C,9})/M_q \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

C_B ——样品的铍十浓度，单位为原子个数每克；

M_q ——校正后的样品质量，单位为克（g）；

R_{BS} ——样品铍靶样的 R_B；

$\bar{R}_{BK}$ ——多个空白样铍靶样的 R_B 平均值；

$M_{C,9}$ ——添加到样品的铍载体中铍九的质量，单位为克（g）；

N_A ——阿伏伽德罗常数，为 6.022×10^{23}，单位为原子个数每摩尔；

A_B ——元素铍的摩尔质量，为 9.012，单位为克每摩尔（g/mol）。

计算结果表示到整数位。

10.1.2 铝二十六浓度

按公式（2）将样品铝靶样的 R_A 转换为样品铝二十六浓度。将暴露样品铝二十六浓度填写至表 G.1，将埋藏样品铝二十六浓度填写至表 G.2。

$$C_A = (N_A/A_A)(R_{AS}M_{S,27} - \bar{R}_{AK}M_{C,27})/M_q \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

C_A ——样品的铝二十六浓度，单位为原子个数每克；

M_q ——校正后的样品质量，单位为克（g）；

R_{AS} ——样品铝靶样的 R_A；

$\bar{R}_{AK}$ ——多个空白样铝靶样的平均值；

$M_{S,27}$ ——样品中铝二十七总质量，单位为克（g）；

$M_{C,27}$ ——添加到样品的铝载体中铝二十七的质量，单位为克（g）；

N_A ——阿伏伽德罗常数，为 6.022×10^{23}，单位为原子个数每摩尔；

A_A ——元素铝的摩尔质量，为 26.982，单位为克每摩尔（g/mol）。

计算结果表示到整数位。

10.1.3 屏蔽因子

基于表 A.1 中地表暴露样品采样点的坡度走向和坡度角、方位角和高程角，利用程序计算采样位置地形对次级宇宙射线的屏蔽参数，计算结果精确到小数点后 6 位，填写表 G.1。

10.2 暴露年龄

10.2.1 当样品在暴露地表之初无核素继承量、系统保持封闭、核素产率已知并不随时间变化，同时核素聚集于地表面、无深度依赖时，按公式（3）计算样品暴露年龄，填写表 G.1。

$$t = -(\lambda + \mu\varepsilon)^{-1}\ln[1 - C(\lambda + \mu\varepsilon)/P_0] \times 10^{-3} \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

t ——暴露年龄，单位为千年（ka）；

C ——样品的铍十或铝二十六浓度，单位为原子个数每克；

P_0 ——采样点地表铍十或铝二十六的核素产率，经程序计算获取，单位为原子个数每克每年；

μ ——中子在岩石中的衰减系数，单位为每厘米（cm^{-1}）；

λ ——铍十或铝二十六的衰变常数，单位为每秒（s^{-1}）；

ε ——侵蚀速率，单位为厘米每年（cm/a）。

计算结果表示到小数点后 2 位。

10.2.2 当样品为松散堆积物，样品暴露地表之初含有宇宙成因核素，核素具有深度依赖，并非完全

聚集于地表面时，可用剖面技术测定暴露年龄。

10.3 埋藏年龄

10.3.1 当沉积物埋藏深度不小于20 m、屏蔽了次级宇宙射线的作用，同时核素产率在沉积物暴露期间恒定且暴露时间远小于铍十及铝二十六的半衰期时，按照公式（4）计算样品的简单埋藏年龄，填写表G.2。

$$t = -\tau_A \tau_B (\tau_B - \tau_A)^{-1} \ln[C_A/(C_B P_{A/B})] \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

t ——埋藏年龄，单位为百万年（Ma）；

τ_A ——铝二十六的平均寿命，单位为百万年（Ma）；

τ_B ——铍十的平均寿命，单位为百万年（Ma）；

$P_{A/B}$——铝二十六与铍十的地表核素产率比值；

C_A ——样品的铝二十六浓度，单位为原子个数每克；

C_B ——样品的铍十浓度，单位为原子个数每克。

计算结果表示到小数点后2位。

10.3.2 当沉积物埋藏深度小于20 m、不能完全屏蔽次级宇宙射线，同时核素产率在沉积物暴露期间恒定且样品始终埋藏在其当前深度时（即自沉积以来当地侵蚀率为零），可根据单个样品的计算结果得到一个年龄区间来限定样品埋藏年龄；或者采用等时线法，对同一层位多个样品的核素浓度进行线性拟合，根据拟合结果可得到该层位沉积物的埋藏年龄。

11 误差分析

11.1 按公式（5）计算暴露年龄误差，并填写表G.1。

$$\sigma_t = \sqrt{\left(\frac{\partial t}{\partial \lambda}\sigma_\lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial \mu}\sigma_\mu\right) + \left(\frac{\partial t}{\partial \varepsilon}\sigma_\varepsilon\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial c}\sigma_C\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial P_0}\sigma_{P_0}\right)^2} \times 10^{-3} \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

σ_t ——暴露年龄误差，单位为千年（ka）；

σ_λ ——铍十或铝二十六的衰变常数误差，单位为每秒（s^{-1}）；

σ_μ ——中子在岩石中的衰减系数误差，单位为每厘米（cm^{-1}）；

σ_ε ——侵蚀速率误差，单位为厘米每年（cm/a）；

σ_C ——样品的铍十或铝二十六浓度误差，单位为原子个数每克；

σ_{P_0} ——采样点地表铍十或铝二十六的核素产率误差，单位为原子个数每克每年。

计算结果表示到小数点后2位。

11.2 按公式（6）计算埋藏年龄误差，并填写表G.2。

$$\sigma_t = \sqrt{\left(\frac{\partial t}{\partial \tau_A}\sigma_{\tau_A}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial \tau_B}\sigma_{\tau_B}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial C_A}\sigma_{C_A}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial C_B}\sigma_{C_B}\right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial P_{A/B}}\sigma_{P_{A/B}}\right)^2} \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

σ_t ——埋藏年龄误差，单位为百万年（Ma）；

σ_{τ_A} ——铝二十六平均寿命误差，单位为百万年（Ma）；

σ_{τ_B} ——铍十平均寿命误差，单位为百万年（Ma）；

σ_{C_A} ——样品的铝二十六浓度误差，单位为原子个数每克；

σ_{C_B} ——样品的铍十浓度误差，单位为原子个数每克；

$\sigma_{P_{A/B}}$ ——铝二十六与铍十的地表核素产率比值误差。

计算结果表示到小数点后 2 位。

12 试验报告

12.1 报告应包括以下 3 个部分：

a） 封面；

b） 注意事项；

c） 正文。

12.2 封面应包括下列内容：

a） 报告编号；

b） 送样单位及送样人；

c） 测试项目；

d） 测试人员；

e） 审核人员；

f） 报告日期；

g） 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） 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） 元素含量测量仪器及测量单位；

c） 使用的载体名称、生产商及相应的同位素比值；

d） 加速器质谱仪测量时采用的铍标准和铝标准、与标准相关的铍十和铝二十六的半衰期及其核素产率比值 $P_{A/B}$；

e） 样品年龄计算方法；

f） 按附录 G 规定给出的样品年龄及参数表；

g） 样品处理及样品年龄计算过程中需要说明的其他问题；

h） 样品前处理、测量和年龄计算过程中引用的文献或标准。

附 录 A
（规范性）
样品登记表

A.1 表 A.1 规定了地表暴露样品登记表的内容和格式。

表 A.1 地表暴露样品登记表

<table>
<tr><td rowspan="2">野外编号</td><td rowspan="2">实验室编号</td><td colspan="4">采样点地理位置</td><td rowspan="2">质量
g</td><td rowspan="2">岩性</td><td rowspan="2">地貌位置</td></tr>
<tr><td>经度
（°）</td><td>纬度
（°）</td><td>海拔
m</td><td>气压
Pa</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="4"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="4"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="4"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="4"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="4"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">采样点行政位置</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">采样点周边地貌
屏蔽参数</td><td>方位角
（0°～360°）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>高程角
（0°～90°）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">采样点地表
地形坡度</td><td>走向
（°）</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>坡度
（°）</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="2">样品测试意义</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="2">样品估计年龄</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="2">样品支撑项目来源
及名称、编号</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">送样
单位
信息</td><td>名称</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>地址</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>联系人</td><td colspan="3"></td><td>电话</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>电子邮件</td><td colspan="3"></td><td>传真</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">收样人</td><td colspan="3"></td><td>收样日期</td><td colspan="4">年 月 日</td></tr>
<tr><td colspan="2">测样人</td><td colspan="3"></td><td>完成日期</td><td colspan="4">年 月 日</td></tr>
<tr><td colspan="2">其他说明</td><td colspan="8"></td></tr>
</table>

A.2　表 A.2 规定了剖面暴露样品或埋藏样品登记表的内容和格式。

表 A.2　剖面暴露样品或埋藏样品登记表

<table>
<tr><td colspan="2">野外编号</td><td>实验室编号</td><td>埋深
cm</td><td colspan="3">岩性</td><td>质量
g</td><td colspan="2">样品类型</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">采样点行政位置</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">采样点
地理位置</td><td>经度
(°)</td><td colspan="2"></td><td>海拔
m</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>纬度
(°)</td><td colspan="2"></td><td>气压
Pa</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">采样点周边地貌
屏蔽参数</td><td>方位角
(0°~360°)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>高程角
(0°~90°)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">采样点地表
地形坡度</td><td>走向
(°)</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td>坡度
(°)</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td colspan="2">样品测试意义</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td colspan="2">样品估计年龄</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td colspan="2">样品支撑项目来源
及名称、编号</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">送样
单位
信息</td><td>名称</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td>地址</td><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td>联系人</td><td colspan="2"></td><td>电话</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>电子邮件</td><td colspan="2"></td><td>传真</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">收样人</td><td colspan="2"></td><td>收样日期</td><td colspan="5">年　　月　　日</td></tr>
<tr><td colspan="2">测样人</td><td colspan="2"></td><td>完成日期</td><td colspan="5">年　　月　　日</td></tr>
<tr><td colspan="2">其他说明</td><td colspan="8"></td></tr>
</table>

A.3 按下列说明填写表 A.1 及表 A.2。

a) 填写表 A.1 时，同一张表格只填写采自同一地貌面的样品，且这些样品具有相同的地貌屏蔽参数和地形坡度，反之分别填写在不同的表格中。

b) 填写表 A.2 时，若样品为剖面暴露样品，划掉“或埋藏样品”，反之划掉“剖面暴露样品”，同时在样品类型中填写相应的类型名称。

c) 实验室编号、收样人、收样日期、测样人、测样日期由实验室填写，其他项目由送样人填写。

d) 野外编号：送样人编撰的样品编号。

e) 实验室编号：由“实验室代码+年份+序号”组成，长度不超过十个字符，如 TCN2024001 表示原位宇宙成因核素实验室在 2024 年接收的第一个样品。

f) 采样点行政位置：所在省（自治区、直辖市、特别行政区）、市（地区、州、盟）、县（区、旗）、乡（镇、苏木）名称及邻近的村名。

g) 埋深：以 cm 表示，记录到整数位。

h) 岩性：样品岩石性质，包括颜色、粒径大小、岩石名称。

i) 采样点地理位置：经纬度以度（°）表示，保留小数点后 5 位，海拔及气压以整数表示。

j) 地貌位置：样品所属的地貌单元，如 T_1（一级阶地）。

k) 采样点周边地貌屏蔽参数：方位角及高程角以度（°）表示，保留整数位。方位角为以采样点为原点，正北为 0°，向东至西至 360°，以目力可见远方最高的地形转折处的方位角度；高度角为每个方位角处水平线与地形转折处和采样点连线间的夹角，记录到整数位。

l) 采样点地表地形坡度：走向及坡度以度（°）表示，记录到整数位。

m) 样品测试意义：样品用于研究的目的，如用于活动断层、地震地质、构造地貌、火山、冰川等科学问题研究。

n) 样品估计年龄：依据各种地质条件推断的样品年龄。

o) 样品支撑项目来源及名称：项目类别、名称及编号。

p) 其他说明：表格中未列出的其他需要说明的情况。

附 录 B
（规范性）
前处理过程记录表

B.1 表 B.1 规定了样品切割破碎、粉碎筛分及磁选过程记录表的内容和格式。

表 B.1 样品切割破碎、粉碎筛分及磁选过程记录表

单位为克

实验室编号	总质量	用于切割和破碎的质量	筛分后 100 μm～500 μm 颗粒质量	筛分后 小于 100 μm 颗粒质量	磁选后 100 μm～500 μm 颗粒质量	日期	操作人

B.2 表 B.2 规定了样品提纯过程记录表的内容和格式。

表 B.2 样品提纯过程记录表

单位为克

实验室编号	盐酸（HCl）/过氧化氢（H_2O_2）浸析		氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析									操作人
	浸析前质量	浸析后质量	第一次浸析（HF1）			第二次浸析（HF2）			第三次浸析（HF3）			
			浸析前质量	浸析后质量	日期	浸析前质量	浸析后质量	日期	浸析前质量	浸析后质量	日期	

B.3 表 B.3 规定了样品提纯检测过程记录表的内容和格式。

表 B.3 样品提纯检测过程记录表

实验室编号	取样质量 g	15 mL 离心管质量 g	15 mL 离心管+溶液质量 g	15 mL 离心管+沉淀质量 g	^{27}Al 测量含量 μg/g 或 ppm	样品 ^{27}Al 含量 μg/g 或 ppm	日期	操作人

B.4　表 B.4 规定了样品分解过程记录表的内容和格式。

表 B.4　样品分解过程记录表

单位为克

实验室编号	样品质量	铍载体质量	铝载体质量	15 mL 离心管质量	15 mL 离心管+溶液质量	15 mL 离心管+沉淀质量	校正后的样品质量	日期	操作人

B.5　表 B.5 规定了样品 Al 取样过程记录表的内容和格式。

表 B.5　样品 Al 取样过程记录表

实验室编号	校正后的样品质量 g	50 mL 离心管质量 g	50 mL 离心管+溶液质量 g	15 mL 空离心管质量 g	15 mL 离心管质量+溶液质量 g	15 mL 离心管+稀释后的溶液质量 g	^{27}Al 测量含量 μg/g 或 ppm	样品 ^{27}Al 含量 μg/g 或 ppm	样品 ^{27}Al 总质量 g	日期	操作人

附 录 C
（规范性）
提纯检测

C.1 流程

样品提纯检测的步骤包括：铝取样、样品分解、铝二十七含量测量、铝二十七含量检测结果判别。

C.2 铝取样

按下列操作在通风橱内进行样品铝取样：

a） 取 100 mL 烧杯，在烧杯上标注样品实验室编号及浸析步骤；
b） 在电子天平上分别称取 1 g~2 g 最后两次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后烘干的样品，填写表 B.3；
c） 将称取的样品转移到烧杯中。

C.3 样品分解

按 40% 氢氟酸（HF）每克样品 10 mL 和 68% 硝酸（HNO_3）每克样品 2.5 mL 的量将试剂加入烧杯中，置于 160 ℃ 的加热板上加盖加热，待样品完全分解后去盖蒸干，添加一滴 72% 高氯酸（$HClO_4$）、68% 硝酸（HNO_3）0.5 mL、高纯水 1 mL 并蒸干，去除氟化物。

C.4 铝二十七含量测量

按下列操作测量样品铝二十七含量：

a） 取 15 mL 离心管，标注样品实验室编号，在电子天平上称量并记录；用 1 mol/L 盐酸（HCl）5 mL 分 5 次溶解烧杯中烟化后干燥的样品，用一次性塑料移液管转移到离心管中，称量并记录，填写表 B.3；
b） 将 15 mL 离心管配平后置于离心机中，以 4000 r/min 离心 3 min~5 min；
c） 当 15 mL 离心管内无沉淀时，向离心管中添加 1 mol/L 盐酸（HCl）至 10 mL，在电子天平上称量并记录；当离心管底部有沉淀时，将溶液转移到已称量记录的新 15 mL 离心管中，向新 15 mL 离心管中添加 1 mol/L 盐酸（HCl）至 10 mL，称量并记录。有沉淀的离心管干燥后称量并记录，填写表 B.3；
d） 用元素分析仪测量 15 mL 离心管溶液中铝二十七含量。

C.5 铝二十七含量检测结果判别

C.5.1 样品铝二十七含量为下列情形时，样品提纯达到要求：

a） 暴露样品：最后一次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后样品铝二十七含量不大于 100 μg/g，或者最后两次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后样品铝二十七含量在 5% 的误差范围内一致；
b） 埋藏年龄样品：最后两次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后样品铝二十七含量在 5% 的误差范围内一致。

C.5.2 样品铝二十七含量为下列情形时，样品提纯未达到要求：

a） 暴露样品：最后一次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后样品铝二十七含量大于 100 μg/g

且小于 500 μg/g；

b） 暴露样品：最后一次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后样品铝二十七含量大于 500 μg/g；

c） 埋藏样品：最后两次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后样品铝二十七含量在 5%～10%的误差范围，或者最后两次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后的样品铝二十七含量的差大于10%的误差范围，但最后一次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后样品铝二十七含量小于500 μg/g；

d） 埋藏样品：最后两次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后样品铝二十七含量的差大于10%的误差范围，且最后一次氢氟酸（HF）/硝酸（HNO_3）浸析后的样品铝二十七含量大于500 μg/g。

附 录 D
（规范性）
重液分选

D.1 流程

在通风橱中进行重液分选，重液分选流程包括：分选装置组装、重液配制、重液分选、重液回收和器皿清洗。

D.2 分选装置组装

将漏斗架、分液漏斗（分离装置），以及锥形瓶、布氏漏斗和定性滤纸等（接收装置）组装成重液分选装置。

D.3 重液配制

将适量密度不小于 2.66 g/cm^3 的重液倒入聚丙烯量筒中，向聚丙烯量筒中添加适量高纯水并搅拌均匀，期间用密度计测量重液密度，至重液密度达到 2.66 g/cm^3 为止。

D.4 重液分选

按下列操作进行样品重液分选：

a） 向分液漏斗中加入相当于其容积 80%的配制重液；

b） 将样品倒入分液漏斗中，搅拌，使样品与重液充分接触，静置。待无样品颗粒下沉后，打开分液漏斗阀门，用接收装置接收分离出的颗粒，此部分主要为重矿物；

c） 换上新的接收装置，用一次性塑料移液管向分液漏斗添加适量高纯水并搅拌均匀，至重液中的样品开始分层并有样品颗粒下沉为止，静置。待无样品颗粒下沉时，打开分液漏斗阀门接收分离出的颗粒，此部分主要为石英；

d） 换上新的接收装置，打开分液漏斗阀门接收剩余的颗粒，此部分主要为长石等矿物；

e） 用高纯水洗涤 b）～d）接收装置中定性滤纸上的颗粒，待颗粒吸附的重液洗滤干净为止，其中 b）、d）接收的矿物倒入废物桶中；

f） 将清洗后的 c）中样品颗粒转移到标注样品编号的一次性塑料烧杯中，用高纯水清洗杯中样品 3 次后置于 75 ℃的干燥箱中烘干，备用。

D.5 重液回收

将接收装置中锥形瓶接收的重液过滤后转移到聚四氟乙烯蒸发皿中，蒸发至重液密度大于 2.66 g/cm^{3}后储存。

D.6 器皿清洗

用自来水冲洗干净使用过的各种器皿，用高纯水冲洗 3 次后，自然风干。

附 录 E
（规范性）
离子交换树脂检测

E.1 分类

离子交换树脂分为阴离子交换树脂和阳离子交换树脂。

E.2 流程

检测流程包括：离子交换树脂准备、检测样准备、铍与铝的分离提取、元素含量测量、检测结果判别。

E.3 离子交换树脂准备

在超净台中按下列操作进行离子交换树脂准备：

a） 在两个架台上分别安装分液漏斗、交换柱，下置一次性塑料烧杯收集液体；
b） 分别取适量阴离子交换树脂和阳离子交换树脂到对应的一次性塑料烧杯中，加入高纯水后搅拌均匀，静置，待树脂完全沉淀后将水倒掉，如此重复 3 次；
c） 用一次性塑料移液管分别将阴离子交换树脂和阳离子交换树脂滴入两个交换柱中，树脂自由下降，至树脂面到 20 mL 刻度止，树脂中不能有气泡；
d） 当树脂顶部尚有 1 cm~2 cm 液体时，关闭交换柱下部阀门并盖上盖，完成阴离子交换柱和阳离子交换柱的准备。

E.4 检测样准备

在超净台中按下列操作进行检测样准备：

a） 取 1 个 100 mL 烧杯和 1 支 15 mL 离心管，在烧杯和离心管上标注“检测样”，在电子天平上称量离心管并记录；
b） 取 5 mL~10 mL 混合标准溶液转移到 15 mL 离心管中，在电子天平上称量并记录；
c） 将 15 mL 离心管中的液体倒入烧杯，用高纯水冲洗离心管 3 次，洗液倒入烧杯中，将烧杯置于 160 ℃加热板上蒸干；
d） 取 1 支 15 mL 离心管，标注“Be+Al−”，用 9 mol/L 盐酸（HCl）5 mL 分 5 次溶解烧杯底部残留物，并用一次性塑料移液管转移至离心管中。

E.5 铍与铝的分离提取

E.5.1 按下列操作准备带盖塑料试剂瓶和离心管：

a） 取 18 个 100 mL 带盖塑料试剂瓶，瓶上分别标注编号“1、2、3、…、16、17、19”，1 个 250 mL带盖塑料试剂瓶，瓶上标注编号“18”，在电子天平上称量并记录；
b） 取 19 支 15 mL 离心管，管上分别标注编号“1、2、3、…、17、18、19”，在电子天平上称量并记录。

E.5.2 在超净台中按下列步骤用阴离子交换树脂分离检测样中除 Be^{2+} 和 Al^{3+} 外的其他阳离子。

a） 将 9 mol/L 盐酸（HCl）60 mL 添加到分液漏斗中冲洗平衡阴离子交换柱，用一次性塑料烧杯

收集流出液，并将其转移到盐酸（HCl）回收容器中。

b） 将 E.4 d）中的 15 mL 离心管配平后置于离心机中，以 4000 r/min 离心 3 min~5 min。

c） 用一次性塑料移液管将离心管中离心后的溶液分 3 次上样至阴离子交换柱中。用标注“Be+Al+”的 100 mL 烧杯收集洗脱液。

d） 当溶液完全进入柱床后，将 9 mol/L 盐酸（HCl）35 ml 添加到分液漏斗中洗脱阴离子交换柱，洗脱其中的 Be^{2+} 和 Al^{3+}。洗脱结束后，将烧杯置于 160 ℃加热板上加热蒸干。

e） 将 0.1 mol/L 盐酸（HCl）80 mL 添加到分液漏斗中清洗阴离子交换柱，用“1”号带盖塑料试剂瓶收集洗出液。

f） 取 1 支 15 mL 离心管，标注“Be+Al+”。用 1mol/L 盐酸（HCl）5 mL 分 5 次溶解烧杯干燥后的底部残留物，并用一次性塑料移液管转移至离心管中。

E.5.3 在超净台中按下列操作用阳离子交换树脂提取检测样中的 Be^{2+} 和 Al^{3+}。

a） 将 E.5.2 f）的 15 mL 离心管配平后置于离心机中，以 4000 r/min 离心 3 min~5 min。

b） 用一次性塑料移液管分 3 次将离心管中离心后的溶液上样至阳离子交换柱中。用“2”号带盖塑料试剂瓶收集洗脱液。

c） 将 1 mol/L 盐酸（HCl）300 mL 分为 15 份，每份 20 mL，依次添加到分液漏斗中洗脱阳离子交换柱，同时依次用“2、3、4、…、14、15、16”号带盖塑料试剂瓶收集洗脱液。

d） 将 2.5 mol/L 盐酸（HCl）80 mL 添加到分液漏斗中洗脱阳离子交换柱，用“17”号带盖塑料试剂瓶收集洗脱液。

e） 将 6 mol/L 盐酸（HCl）200 mL 添加到分液漏斗中清洗阳离子交换柱，用“18”号带盖塑料试剂瓶收集洗出液。

f） 将高纯水 60 mL 添加到分液漏斗中冲洗平衡阳离子交换柱，用“19”号带盖塑料试剂瓶收集流出液。

E.6 元素含量测量

按下列步骤处理 E.5.2 和 E.5.3 中有编号的带盖塑料试剂瓶收集的液体：

a） 在电子天平上称量“1、2、3、…、17、18、19”号带盖塑料试剂瓶并记录；

b） 从“1、2、3、…、17、18、19”号带盖塑料试剂瓶中分别取 5 mL 溶液转移到 E.5.1 b）中相应编号的 15 mL 离心管中，在电子天平上称量并记录；

c） 用元素分析仪测量“1、2、3、…、17、18、19”号 15 mL 离心管内溶液中的铍、铝等元素含量；

d） 根据测量数据计算每个编号的带盖塑料试剂瓶中洗脱液的铍、铝等元素总含量。

E.7 检测结果判别

当元素含量符合下列要求时，认定离子交换树脂符合试验要求：

a） 铍元素只分布在连续几个 20 mL 的 1 mol/L 盐酸（HCl）的洗脱液中；

b） 铝元素只分布在 80 mL 的 2.5 mol/L 盐酸（HCl）洗脱液中；

c） 铍元素和铝元素的回收率均不小于 80%。

附 录 F
（规范性）
石英坩埚清洗

F.1 石英坩埚体清洗

在通风橱中按下列操作清洗石英坩埚体：

a） 取 500 mL 烧杯，将石英坩埚体在烧杯中分层码放，放置 2 层~4 层；
b） 向烧杯中添加体积比 23∶7 的 34% 硝酸（HNO_3）和 10% 氢氟酸（HF）的混合溶液，溶液浸过石英坩埚 1 cm~2 cm，盖上烧杯盖；
c） 将烧杯置于 110 ℃加热板上加热 1 h，之后关闭加热板，自然冷却烧杯；
d） 将烧杯中的溶液倒入废液桶中，用高纯水清洗石英坩埚体 5 次后，自然风干；
e） 扔掉有孔的石英坩埚体，将干燥后的石英坩埚体放置在干净密闭的盒子中；
f） 在记录本上记录日期、石英坩埚体数量。

F.2 石英坩埚盖清洗

在通风橱中按下列操作清洗石英坩埚盖：

a） 取 500 mL 烧杯，将石英坩埚盖在烧杯中分层码放，放置 2 层~4 层；
b） 向烧杯中添加体积比 47∶3 的 34% 硝酸（HNO_3）和 2.5% 氢氟酸（HF）的混合试剂，试剂没过石英坩埚盖 1 cm~2 cm，盖上烧杯盖；
c） 将烧杯放置在 110 ℃加热板上加热 1 h，之后关闭加热板，自然冷却烧杯；
d） 将烧杯中的溶液倒入废液桶中，用高纯水清洗石英坩埚盖 5 次后，自然风干；
e） 扔掉有孔的石英坩埚盖，将干燥后的石英坩埚盖放置在干净密闭的盒子中；
f） 在记录本上记录日期、石英坩埚盖数量。

附 录 G
（规范性）
样品年龄及参数

G.1 表 G.1 规定了样品暴露年龄及参数的内容和格式。

表 G.1 样品暴露年龄及参数

野外编号	岩性	纬度（°）	经度（°）	海拔 m 或气压 Pa	石英质量 g	铍载体质量 g	铝载体质量 g	^{27}Al 含量 μg/g 或 ppm	屏蔽因子	^{10}Be 浓度（原子个数每克）	^{26}Al 浓度（原子个数每克）	^{10}Be 暴露年龄 ka	^{26}Al 暴露年龄 ka

G.2 表 G.2 规定了样品埋藏年龄及参数的内容和格式。

表 G.2 样品埋藏年龄及参数

野外编号	岩性	纬度（°）	经度（°）	海拔 m 或气压 Pa	埋深 m	石英质量 g	铍载体质量 g	铝载体质量 g	^{27}Al 含量 μg/g 或 ppm	^{26}Al 浓度（原子个数每克）	^{10}Be 浓度（原子个数每克）	埋藏年龄 Ma

参 考 文 献

[1] Granger D E. Cosmogenic Nuclide Burial Dating in Archaeology and Paleoanthropology[M]. Edited by Holland H D and Turekian K K, Treatise on Geochemistry 2nd Edition, 2014, 81-97

[2] Granger D E, Muzikar P F. Dating sediment burial with in situ-produced cosmogenic nuclides: theory, techniques, and limitations[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 188: 269-281

[3] Kohl C P, Nishiizumi K. Chemical isolation of quartz for measurement of in-situ-produced cosmogenic nuclides[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1992, 56: 3583-3587

[4] Lal D. Cosmic ray labeling of erosion surfaces: in situ nuclideproduction rates and erosion models[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1991, 104: 424-439

[5] Repka J L, Anderson R S, Finkel R C. Cosmogenic dating of fluvial terraces, Fremont River, Utah [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1997, 152: 59-73

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3部分：铍十和铝二十六方法（DB/T 103.3—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：64千字

印张：2

书号：ISBN 978-7-5028- -

定价：32.00元

版权所有 翻印必究

（图书出现印装问题，本社负责调换）