ICS 91.120.25
P 15

DB

中华人民共和国地震行业标准

DB/T 81—2020

活动断层探察　古地震槽探

Active fault survey—Paleoseismic trenching

2020-03-30 发布　　2020-07-01 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　工作流程 …… 2
5　前期准备 …… 4
6　地点选择 …… 4
7　地形测绘和探槽开挖 …… 5
8　探槽记录准备 …… 6
9　探槽解读与古地震识别 …… 6
10　采样和定年 …… 7
11　古地震识别标志 …… 9
12　成果产出 …… 10
附录A（资料性附录）　探槽地点示例 …… 11
附录B（资料性附录）　探槽开挖与记录 …… 16
附录C（规范性附录）　古地震事件分析结果检验方法 …… 19
附录D（规范性附录）　古地震事件年代确定的限定方法 …… 22
附录E（资料性附录）　古地震识别模式与示例成果 …… 24
参考文献 …… 31

前　言

本标准是《活动断层探察》系列标准中的一项。该系列标准结构及名称预计如下：

——活动断层探察　遥感调查(DB/T 69—2017)；
——活动断层探察　野外地质调查(DB/T 82—2020)；
——活动断层探察　断错地貌测量(DB/T 71—2018)；
——活动断层探察　古地震槽探(DB/T 81—2020)；
——活动断层探察　钻探；
——活动断层探察　年代测试；
——活动断层探察　地震勘探；
——活动断层探察　活动性鉴定；
——活动断层探察　地震危害性评价；
——活动断层探察　图形符号(DB/T 72—2018)；
——活动断层探察　数据库；
——活动断层探察　数据库检测(DB/T 83—2020)；
——活动断层探察　1∶250 000 地震构造图编制(DB/T 73—2018)；
——活动断层探察　成果报告；
——1∶50 000 活动断层填图(DB/T 53—2013)；
——1∶50 000 活动断层填图数据库规范(DB/T 65—2016)；
……

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则　第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中国地震局提出。

本标准由地震灾害预防标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国地震局地质研究所、中国地震局地壳应力研究所、中国地震灾害防御中心、中国地震局地震预测研究所、宁夏回族自治区地震局。

本标准主要起草人：冉勇康、徐锡伟、王虎、柴炽章、于贵华、杨晓平、何宏林、冷崴、吴熙彦、刘华国、高帅波。

重要提示：本标准在实施过程中如有意见或建议，请将意见建议发送至 tc225_zf@126.com 并抄送 biaozhun@cea.gov.cn，或寄送至地震灾害预防标准化技术委员会(地址：北京市朝阳区民族园路 9 号，中国地震灾害防御中心；邮政编码：100029)，并注明联系方式。

引　言

国内外众多的大地震现场考察及其灾害现象分析研究表明，活动断层是地震的根源，也是地震灾害的元凶。查明地震活动断层的准确位置并对其属性和地震危险性做出科学评价，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“八五”期间开始逐步推进活动断层探测工作，多年以来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，其成果在城市规划、国土利用、工程建设以及地震科学研究等领域发挥了重要的作用。

近年来，地震部门组织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。为了规范并引导我国的活动断层探测工作及其成果应用，制定了GB/T 36072—2018《活动断层探测》，该标准对活动断层探测的工作内容、工作流程、技术方法、数据管理、成果产出等方面的技术要求作出了规定。在此基础上，进一步对实现探测目的的各种技术方法进行评估分析，明确其技术指标和数据汇总要求，并构建了活动断层探测工作标准框架。

古地震槽探作为活动断层探测与定位、断裂活动习性鉴定和地震危险性评价的主要技术方法之一，已广泛应用于活动断层探测、活动断层填图、工程场地活动断层调查等工作。鉴于探槽和古地震识别的复杂性，有必要对槽探技术和古地震识别方法进行规范，特制定本标准。

活动断层探察　古地震槽探

1　范围

本标准规定了古地震槽探的前期准备、地点选择、现场开挖、样品采集、古地震事件识别以及相关成果数据入库的要求。

本标准适用于活动断层地质填图、城市活动断层探测以及活动断层鉴定中的古地震槽探工作。地震科学考察也可参照使用。

2　规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 15608—2006　中国颜色体系

DB/T 65—2016　1∶50 000 活动断层填图数据库规范

DB/T 69—2017　活动断层探察　遥感调查

DB/T 71—2018　活动断层探察　断错地貌测量

3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

活动断层　active fault

距今 12 万年以来有过活动的断层，包括晚更新世断层和全新世断层。

[GB/T 36072—2018，定义 3.1]

3.2

隐形断层　nonvisible fault

发生过断错、但地层中难以识别错动面的断层。

3.3

同震位移　co-seismic slip

地震破裂过程中活动断层产生的滑动量。

[GB/T 36072—2018，定义 3.13]

3.4

古地震　paleo-earthquake

没有文字记载、采用地质学方法发现的地震事件。

[GB/T 36072—2018，定义 3.16]

3.5

断层槽谷　fault linear trough

沿断层线发育的谷地。

3.6

断塞塘　fault-block pond

走滑断层位错与其相交的地质、地貌体，阻塞河道或沟谷而形成的积水塘。

3.7

断陷塘　sag pond

断层拉张或挤压作用在局部形成的洼地。

3.8

事件层　event horizon

在一次地震事件后受控于位错变形环境而堆积的地层。

3.9

崩积楔　colluvial wedge

同震和震后从上升盘崩落及冲刷沉积在断层陡坎斜坡带的楔状堆积体。

注：崩积楔一般由下部的崩积相和上部坡面流水相两个部分组成。

3.10

充填楔　filling wedge

构造作用或外营力作用造成地表开裂、充填形成的楔状堆积体。

3.11

坎前堆积　scarp-derived deposit

断层陡坎前的堆积单元，包含崩积楔和其他堆积到断层陡坎前的物质。

3.12

构造楔　structure wedge

未固结地层中由两个以上断层破裂面控制的楔状体。

3.13

复发间隔　recurrence interval

在同一发震断层段上重复发生震级相近的地表破裂型地震所需的时间。

3.14

逐次限定法　progressive constraining method

通过同一断层段不同部位多个探槽，综合限定古地震事件时间范围的方法。

3.15

埋藏土壤　buried soil

被后期堆积物覆盖的土壤。

3.16

拉分盆地　pull-apart basin

走滑断层上张性变形阶区部位由于局部的正断层效应形成的断陷盆地。

3.17

组合探槽　multiple trenches

同一地点两个以上跨断层、平行断层或其他走向揭露断层或地层的探槽。

4　工作流程

4.1　图 1 给出了古地震槽探工作流程，包括下列 7 个阶段：

a）　前期准备；

b）　地点选择；

c）　地形测绘和探槽开挖；

d） 探槽记录准备；

e） 探槽解读与古地震识别；

f） 采样和定年；

g） 成果产出。

4.2 探槽解读、采样和定年、古地震识别工作可同时穿插进行。

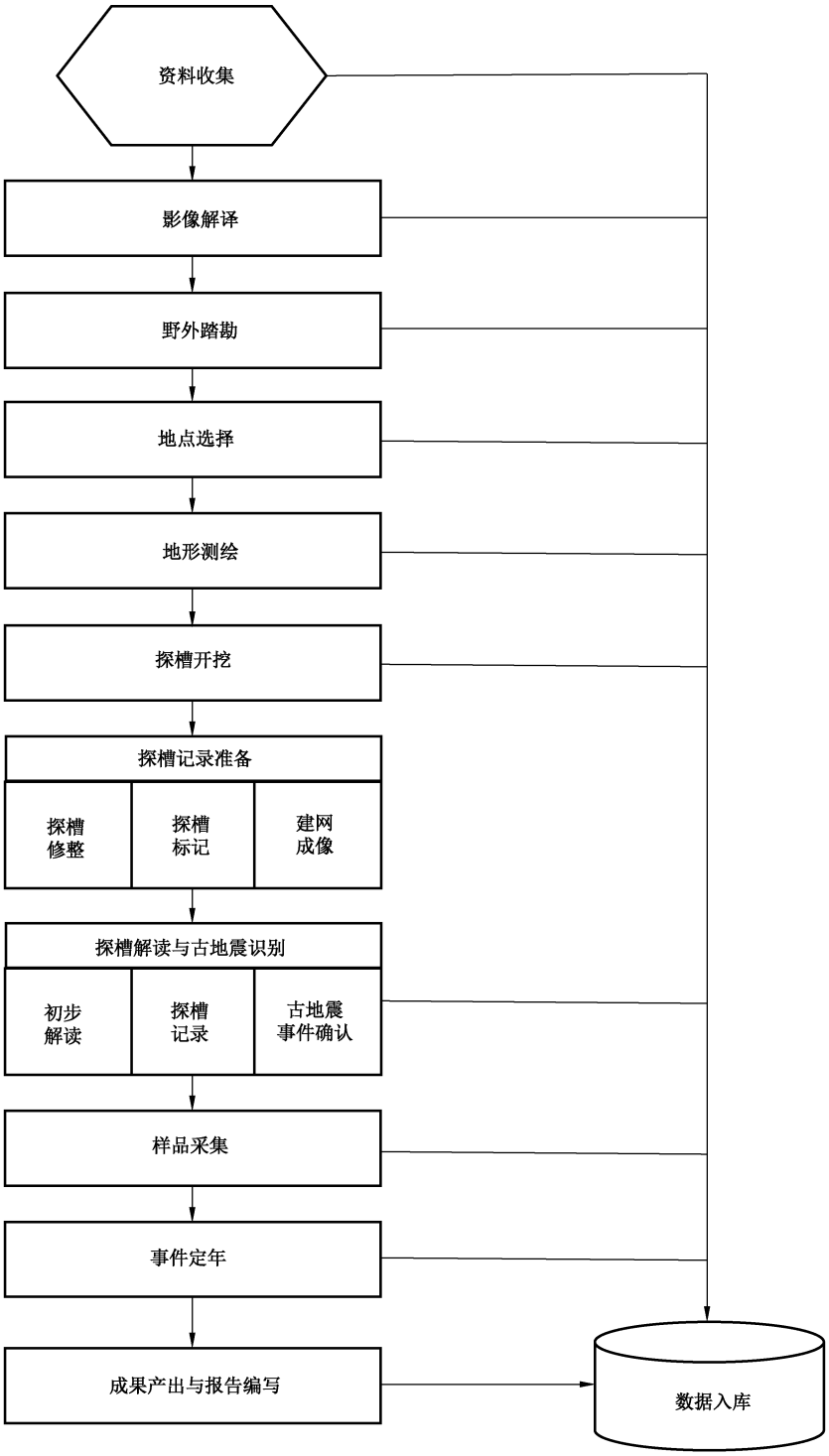


图 1 古地震槽探工作流程图

5 前期准备

5.1 资料收集

5.1.1 应收集目标断层的高分辨率遥感影像、已有断层活动性研究、槽探工作的成果资料。

5.1.2 应收集整理预选地点活动断层沿线及附近地区的地层、构造、地形和气候等资料。

5.2 影像解译

5.2.1 应使用分辨率优于1 m的遥感影像确定适合槽探工作的地点，并按照DB/T 69—2017的规定进行影像解译。

5.2.2 对于走滑断层，应识别断层槽谷、断塞塘、断陷塘、小型拉分盆地、小型冲沟沟床同步位错等部位。

5.2.3 对于正断层和逆断层，应识别断层上升盘的层状地貌和断层陡坎，断层陡坎前缘的地堑和洼地等。

5.3 野外踏勘

5.3.1 应对预选地点进行野外踏勘，评估是否符合第6章的要求。

5.3.2 预选地点的地貌不应被人工改造，不能避免的应评估人工改造的影响。

5.3.3 应依据遥感解译结果，评估古地震事件的同震位移。

5.3.4 应评估探槽预选地点沿目标断层的构造位置。

5.4 数据入库

应按照DB/T 65—2016中表A.1、表A.4～表A.13、表A.25、表A.28～表A.31的要求汇总收集到的资料信息并入库。

6 地点选择

6.1 基本要求

6.1.1 应选择断层结构简单、堆积连续、堆积物分层清晰，可采集到年代测试样品的地点。

6.1.2 探槽地点的选择宜避开：

a) 可溶岩和震陷发育的断层槽谷；
b) 槽谷坡度陡峭，坡脚堆积粗颗粒物质的部位；
c) 侵蚀和堆积转换频繁的部位；
d) 滑坡和泥石流影响区域；
e) 冻融异常发育地区。

6.2 走滑断层探槽地点

6.2.1 应选择拉分盆地、断层槽谷、断塞塘、断陷塘、被断层错开的冲沟沟床等部位，且符合下列要求：

a) 优先选择宽度小于100 m的拉分盆地，大型拉分盆地内探槽优先选择盆地内斜切断层，其次选择边界断层部位；
b) 选择宽度小于150 m的断层槽谷，选择槽谷内低洼或堆积物相对汇聚处；
c) 选择宽度小于100 m的断塞塘、断陷塘；

d) 选择冲沟近垂直或大角度通过断层，且两侧都为年轻堆积地层的部位；

e) 被断层错开的小型冲沟规模宽度宜小于 5 m。

6.2.2 附录 A 中的图 A.1～图 A.4 给出了 4 个走滑型探槽地点选择示例。

6.3 逆断层探槽地点

6.3.1 宜选择陡坎单一、坎前有连续堆积且累积高度 2 倍或以上于同震位移量的部位，选择冲洪积扇、河流二级或三级阶地上的断层陡坎部位、逆冲造成的反向陡坎或洼地部位。

6.3.2 图 A.5 给出了一个逆断层探槽地点选择示例。

6.4 正断层探槽地点

6.4.1 宜选择陡坎单一、坎前有连续堆积且累积高度 2 倍或以上于同震位移量的部位，选择冲洪积扇、河流二级或三级阶地上的断层陡坎部位、有小型地堑结构的部位。

6.4.2 图 A.6 给出了一个正断层探槽地点选择示例。

6.5 数据入库

选址确定后应按照 DB/T 65—2016 中表 A.40 的要求填写地点坐标并入库。

7 地形测绘和探槽开挖

7.1 基本要求

7.1.1 应依据断层的性质、开挖的目标选择探槽布设和开挖样式，决定开挖规模。附录 B 中的图 B.1 给出了一个探槽开挖样式示例。

7.1.2 宜拍照记录开挖地点的原始地貌。

7.1.3 在探槽施工过程中，当探槽深度大于 2 m 时，宜采取支护措施，防止探槽垮塌。

7.1.4 开挖深度大于 3.5 m 的探槽时，宜采用台阶状开挖方式，台阶宽度宜为 1 m，台阶高差宜为 1.7 m～2.3 m。

7.2 地形测绘

7.2.1 探槽开挖前宜先在探槽地点附近按照 DB/T 71—2018 的规定进行断错地貌测量。

7.2.2 地形测绘范围应覆盖探槽及附近的构造变形地貌。

7.3 探槽开挖

7.3.1 走滑断层

7.3.1.1 宜先开挖一个跨整个断层带的探槽，再根据揭露的断层位置分别垂直或平行于断层开挖组合探槽。附录 B 中的图 B.2 给出了一个走滑断层探槽平面布设和开挖示例。

7.3.1.2 可采用逐层剥离探槽壁方式揭露地层和构造信息。

7.3.1.3 没有条件开挖组合探槽的地点，宜布设两个及以上垂直断层的探槽。

7.3.1.4 探槽深度宜不小于 2.5 m，探槽底宽宜大于 1.5 m。

7.3.2 逆断层

7.3.2.1 应布设垂直断层且跨整个晚第四纪地表破裂带的探槽，坎前存在复杂地貌或堆积样式的地点宜布设组合探槽。图 B.3 给出了一个逆断层探槽平面布设和开挖示例。

7.3.2.2　探槽深度宜为同震位移量的2倍以上，探槽底宽宜大于1.5 m。

7.3.2.3　上升盘开挖应能控制晚第四纪地表破裂带，长度宜占整个探槽长度的3/5，下降盘应完整揭露坎前斜坡带堆积。

7.3.3　正断层

7.3.3.1　应布设垂直断层且跨整个晚第四纪地表破裂带的探槽，坎前存在地堑等复杂构造的地点可布设组合探槽。图B.4给出了一个正断层探槽平面布设和开挖示例。

7.3.3.2　探槽深度宜为同震位移量的2倍以上，探槽底宽宜大于1.5 m。

7.3.3.3　下降盘开挖长度宜占整个探槽长度的2/3。

7.4　数据入库

应按照DB/T 65—2016中表A.40、表A.45～表A.50的要求汇总开挖点的地形测绘数据和探槽规模参数并入库。

8　探槽记录准备

8.1　探槽修整

应进行探槽修整，并符合下列要求：

a）　先清理探槽壁，确保平整无浮土覆盖，地层界限和构造迹象清晰；

b）　砂土层应刮平，清除挖掘刮痕和其他的人为印痕；

c）　砾石层应确保基本平整。

8.2　探槽标记

宜采用不同颜色标签标记在探槽壁上，应标记的信息包括：

a）　断层迹线、地层变形和构造楔等断层活动迹象；

b）　标志地层、埋藏土壤、崩积楔和充填楔等特殊沉积地层；

c）　样品位置、化石或特殊堆积物，如动物毛发、火山灰、烘烤层、矿物结核或富积层等定年物质的部位。

8.3　建网成像

8.3.1　应建立1 m×1 m基准网格坐标。

8.3.2　应以下列方式之一制作探槽壁正射图像：

a）　以网格为单位拍摄照片，相邻照片重叠面积不小于20%；相机光轴应与探槽面垂直，宜选择光线稳定、柔和时拍照；对照片做正射校正和拼接，制作探槽壁的正射图像；

b）　采用其他技术方法获取探槽壁正射图像。

9　探槽解读与古地震识别

9.1　初步解读

9.1.1　应在探槽壁上标识断层。

9.1.2　应根据沉积不整合、堆积环境变化造成的粒度、颜色突变等现象，初步划分和标识地层单元、堆积顺序，并对各地层单元进行成因分析。

9.1.3 应按照第11章的规定识别、标记和描述古地震。

9.2 探槽记录

9.2.1 应在探槽壁正射图像上勾画地层单元，标注成因类型、构造变形和古地震事件层、样品和化石、特殊堆积物等信息，形成探槽剖面解译图。图B.5给出了一个探槽记录示例。

9.2.2 应按照下列要求描述探槽信息：

a) 依照GB/T 15608—2006规定的颜色体系色标描述地层颜色；
b) 使用砾石、粗砂-中砂-细砂-粉砂、粘土-泥炭、基岩-基岩风化物等对地层物质进行归类；
c) 描述砾石的磨圆度、分选性和粒径；
d) 分析堆积地层单元的成因类型和层理发育情况；
e) 描述地层相变、崩积楔和充填楔堆积特征；
f) 描述地层单元间是否有局部角度不整合接触现象；
g) 描述地层中是否有化石、矿物结核或富积；
h) 描述古土壤层及其发育程度；
i) 描述断层、节理、裂隙、褶皱、砂土液化等变形迹象。

9.2.3 应观察细粒物质局部定向特征及粗粒物质局部松散特征，或采用定向取样磨片测试高光谱和磁化率等地层物理性质，判断是否存在隐形断层及其位置。

9.3 古地震事件确认

9.3.1 应对探槽剖面解译图、文字记录信息进行现场核对，分析确认古地震事件。

9.3.2 应按照附录C规定的方法对古地震事件分析结果的真实性进行检验。无法达到检验要求的应在现场重新识别、记录与解译，重新分析结果，再进行古地震事件分析结果的真实性检验，直到检验结果正确为止。

9.3.3 应同时保存纸质介质和电子文档的野外记录、照片和图件。

9.4 数据入库

应按照DB/T 65—2016中表A.40和表A.41的要求汇总野外解译结果图件和文字资料并入库。

10 采样和定年

10.1 基本要求

10.1.1 应对探槽揭露地层逐层采集，确定古地震事件的年代样品；没有条件逐层采样时，应依据不同性质断层的震后堆积地层特征，对事件影响地层和地震后覆盖地层进行采样。

10.1.2 样品的采集应按相关年代学实验室的要求进行，避免样品污染和干扰。

10.1.3 碳十四(^{14}C)样品的采集应从探槽修整时开始。

10.1.4 采样位置应避开断层变形带和地层分层界线。

10.1.5 在崩积楔和充填楔部位采样应避开混杂堆积及团块。

10.1.6 应在采样点和样品存储容器上同时标记并拍照。

10.1.7 应在野外探槽记录时标示样品位置和标号。

10.1.8 应优先使用碳十四测年方法，其次考虑释光(TL+OSL)、宇宙成因核素(TCN)和其他测年方法。

10.1.9 宜分析序列样品测年结果的合理性，剔除被污染、再搬运等无效样品。

10.1.10 碳十四样品年龄宜进行年代数据校正，可参考使用《A 3400-year-long paleoseismologic record

of earthquakes on the southern segment of Anninghe fault on the southeastern margin of the Tibetan Plateau》和《中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(4)——古地震定年技术的样品采集和事件年代分析》给出的校正方法。

10.1.11 古地震限定的年代宜给出区间值。

10.2 序列样品采集

10.2.1 地层单元厚度小于 30 cm 时,每层碳十四样品采集量应不少于 2 个。

10.2.2 地层单元厚度为 30 cm～50 cm 时,每层碳十四样品采集量宜不少于 3 个,宜在靠近地层上部和下部的位置各采集 2 个释光样品。

10.2.3 地层单元厚度为 50 cm～100 cm 时,每层碳十四样品采集量宜不少于 4 个,宜在地层上部、中部和下部各采集 2 个释光样品。

10.2.4 地层单元厚度大于 100 cm 时,每层碳十四样品采集量宜不少于 5 个,释光样品的采样间隔宜小于 40 cm。

10.3 单个事件采集

10.3.1 走滑断层

10.3.1.1 当断层迹象清晰且地层覆盖与切割关系明确时,应在古地震事件发生时的地表地层和古地震事件发生后堆积的最老地层分别采样。

10.3.1.2 当断层迹象不清晰或遇到隐形断层难以限定古地震事件层时,应增加样品采集层位和数量。

10.3.2 逆断层

10.3.2.1 应在生长地层下部、崩积楔上部(即片流形成坡积物部位)采样,以限定古地震事件的最晚年代。

10.3.2.2 应在断层下盘被断错或变形的年轻地层(即古地震事件发生时的地表层)采样,以限定古地震事件的最早年代。

10.3.3 正断层

10.3.3.1 应在崩积楔上部(即坡面流水形成坡积物的部位)采样,以限定古地震事件的最晚年代。

10.3.3.2 应在断层上盘被断错或变形的年轻地层(即古地震事件发生时的地表层)采样,以限定古地震事件的最早年代。

10.4 现场采样要求

10.4.1 碳十四样品

碳十四样品采集应符合下列要求:

a) 优先采集种子、树叶、小的树枝端部等和树皮、动物毛发、炭屑、泥炭、富含有机质的砂土等;
b) 采集树皮或树干最外层作为测年样品;
c) 采集厚度小于 5 cm 的泥炭样品;
d) 使用小型刮刀作为采集工具,采用自封袋或小型透明玻璃瓶存储样品;
e) 碳十四样品保持干燥并低温冷藏。

10.4.2 释光样品

按照下列原则采集释光样品:

a) 宜采集火山灰、烘烤层、古陶(瓷)片、古砖瓦、风成黄土、湖相砂粘土、河流相细粉砂等物质;

b） 保存时应避免晃动、阳光直射。

10.4.3 宇宙成因核素样品

10.4.3.1 宇宙成因核素样品包括地表混合样品、地表统计样品和地表深度剖面样品等3类。

10.4.3.2 地表混合样品采集应符合下列要求：

a） 选择片流侵蚀地表作用较弱的平坦区域采集样品；

b） 每个采样点采集30枚以上粒径为1 cm～3 cm富含石英的砾石。

10.4.3.3 地表统计样品采集应符合下列要求：

a） 选择位于地貌面上未经埋藏和搬运的富含石英的大漂砾，漂砾粒径大于1 m；

b） 在漂砾暴露面上采样，采样厚度小于5 cm；

c） 同一地貌面上至少采集5个用于确定地貌面暴露年龄的统计样品。

10.4.3.4 地表深度剖面样品采集应符合下列要求：

a） 采样点位于无改造迹象的平坦地貌面中心位置；

b） 深度剖面不小于2 m，至少采集4个不同深度样品，且各个样品采样层厚不大于5 cm；

c） 采集粒径为1 cm～3 cm的砾石或2 mm～5 mm的细砂，且采样区域不大于2 m^2，每层样品质量不少于1 kg。

10.5 古地震事件定年

10.5.1 应依据被断层位错或影响的地层上部样品的年龄值和上覆未被断错或影响的地层下部样品的年龄值，限定古地震事件的时代。

10.5.2 在确认方法可靠、样品无污染的情况下，同一地层单元中多个样品年龄不一致时，应采用最年轻样品年龄值确定该层的堆积时代。

10.5.3 沿断裂上不同地点多个探槽的古地震事件应采用对比、约束方法限制事件年代。

10.5.4 应采用逐次限定法或Z统计法约束事件的年代。两种方法的原理和要求见附录D。

10.6 数据入库

应按照DB/T 65—2016中表A.40～表A.44、表A.51～表A.54的要求汇总样品编号和测年结果并入库。

11 古地震识别标志

11.1 基本规定

11.1.1 应结合微地貌形态与地表作用过程，分析探槽揭示的地层堆积与变形特征。

11.1.2 应多方面证据相互佐证，排除非构造因素的干扰。

11.1.3 通过砂土液化的切割关系、基岩断层面风化程度等辅助限定古地震的期次。

11.2 走滑断层

下列特征可作为走滑断层上古地震事件识别的识别标志：

a） 断错地层及上覆地层的不整合接触；

b） 局部坎前堆积及下覆地层的不整合接触；

c） 不同期次的裂缝充填堆积；

d） 不同地层单元沿断层面位移量的突然增加或减小；

e） 不同地层单元沿断层面不同程度的弯曲变形；

f） 不同期次的古断塞塘、断陷坑堆积；

g） 跨断层小型冲沟位移量呈倍数增加。

附录E中的图E.1～图E.4给出了4个走滑断层上古地震事件的识别标志示例。

11.3 逆断层

下列特征可作为逆断层上古地震事件识别的识别标志：

a） 崩积楔、推覆楔、断层与地层切割关系或标志地层厚度在断层两盘突然增减；

b） 地层不同程度的折曲或弯曲，上升盘的侵蚀不整合面和下降盘的生长地层；

c） 陡坎高度呈倍数增加。

图E.5～图E.7给出了3个逆断层上古地震事件的识别标志示例。

11.4 正断层

下列特征可作为正断层上古地震事件识别的识别标志：

a） 崩积楔、充填楔、埋藏土壤；

b） 陡坎高度呈倍数增加；

c） 陡坎坡面角度突变。

图E.8～图E.10给出了3个正断层上古地震事件识别的示例。

12 成果产出

12.1 古地震槽探成果包括图件、成果报告和数据库3部分。

12.2 图件产出应符合下列要求：

a） 成果图件包含比例尺相对应的无解译的探槽壁正射图像和解译图，比例尺为1∶50～1∶20，标示剖面方向和比例尺；

b） 探槽剖面解译图上标出地层单元、层理形迹、采样位置、样品编号和测年数据、古土壤或其他特殊或标志性堆积物、崩积楔和充填楔及其内部物质结构，断层面及其定向物质、构造楔、裂隙、砂土液化、褶皱弯曲等信息。

12.3 成果报告应符合下列要求：

a） 简要概述槽探地点及附近的地质地貌特征，探槽布设和开挖的目标；

b） 详细描述探槽揭露的地层单元、构造信息，对探槽揭露现象的分析与认识；

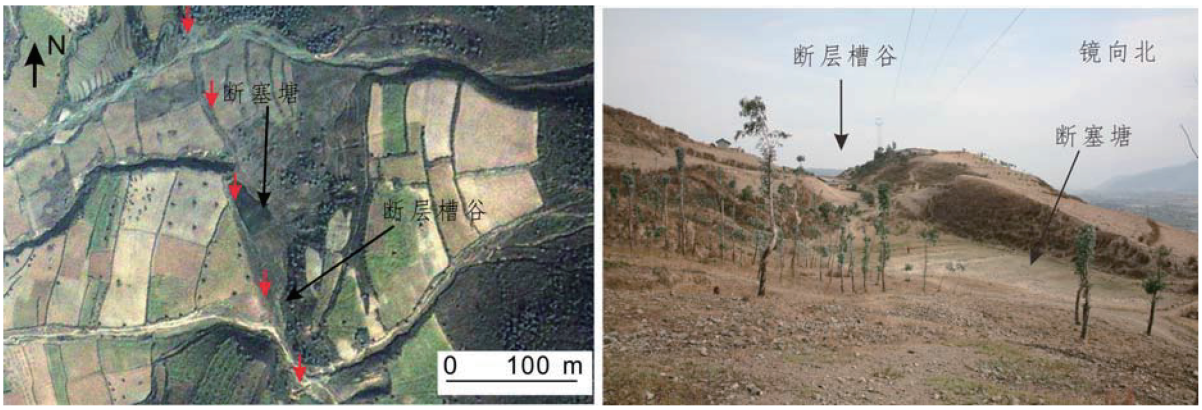
c） 重点论述古地震识别的地层和构造证据，古地震年代的限制依据和发生时间，古地震的同震位移量和累积位移量，以及古地震期次和复发间隔时间，最后一次事件的离逝时间等。

12.4 应按照DB/T 65—2016中表A.40、表A.76～表A.80的要求汇总图件和成果报告并入库。

附 录 A
（资料性附录）
探槽地点示例

A.1 走滑型探槽地点

图 A.1 给出了断层槽谷与断塞塘的示例。图 A.2 给出了拉分盆地的示例。图 A.3 给出了小型三角状拉分盆地的示例。图 A.4 给出了小型反向坡中槽的示例。

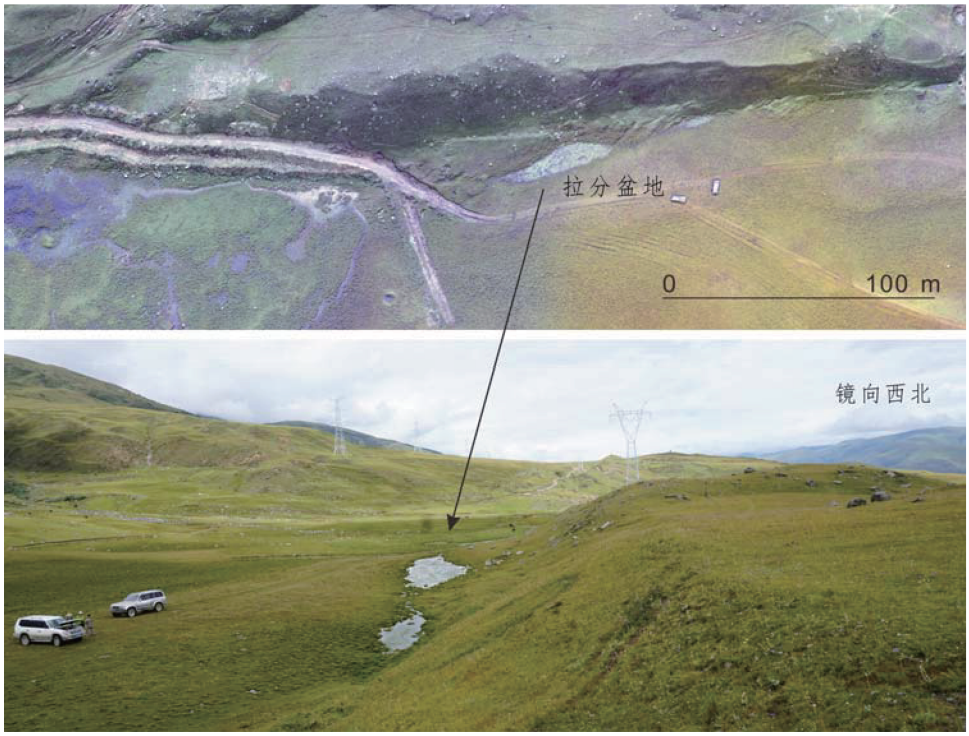


a） 高精度影像显示的有线性断层槽谷和断塞塘　　b） 实地踏勘断层槽谷和断塞塘

注 1：红色箭头示意断层位置，黑色箭头示意断层槽谷、断塞塘和平面图的方位。

注 2：图中为安宁河断裂月华乡一带断层槽谷和断塞塘，记录有断层作用和堆积的过程，并富集小冲沟带来的植物残骸和碳屑等（参见《A 3400-year-long paleoseismologic record of earthquakes on the southern segment of Anninghe fault on the southeastern margin of the Tibetan Plateau》）。

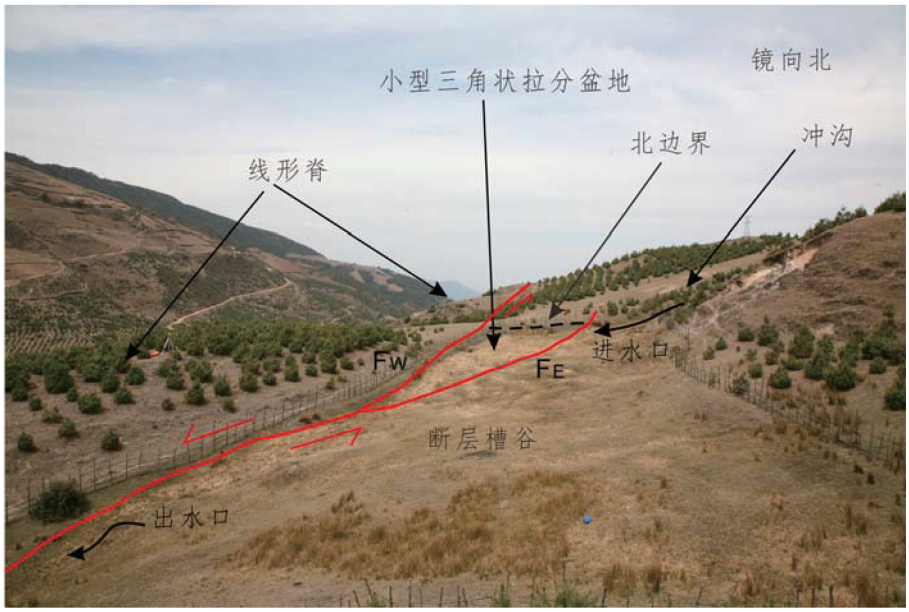
图 A.1 断层槽谷与断塞塘示意图



注 1：黑色箭头指示拉分盆地位置。

注 2：图中为鲜水河断裂上拉分盆地，拉分盆地有利于记录古地震作用和震后细粒含碳物质堆积。

图 A.2　拉分盆地示意图



注 1：红色实线示意断层位置，黑色箭头分别示意图中表明的地貌现象，断层大致沿南北向展布。

注 2：图中为则木河断层小型三角状拉分盆地，伴随着断层的拉分作用，有条件较完整地记录古地震事件和堆积丰富的测年物质（参见《则木河断裂上古地震破裂与小型三角状拉分盆地演化》）。

图 A.3　小型三角状拉分盆地示意图



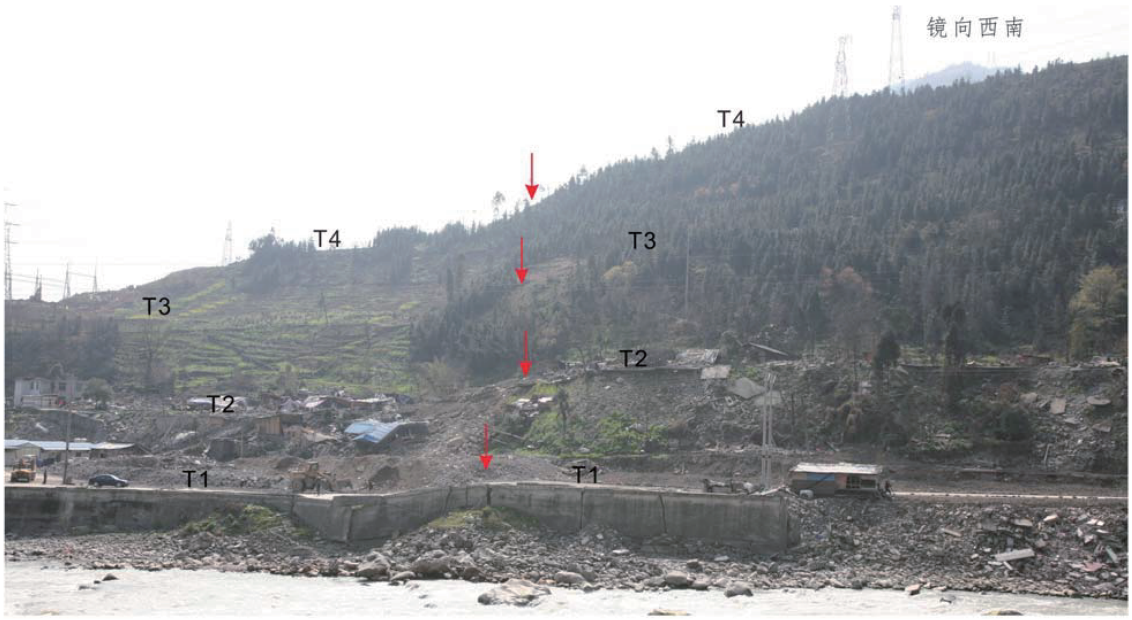
注 1：红色箭头示意汶川地震地表破裂带位置。

注 2：图中为汶川地震地表破裂带平溪桑树坪右旋逆走滑造成反向陡坎和坡中槽，震后坡积物会逐渐填充槽谷，坡中槽堆积物可指示古地震事件（参见《Late Quaternary paleoseismic behavior and rupture segmentation of the Yingxiu-Beichuan fault along the Longmen Shan fault zone，China》）。

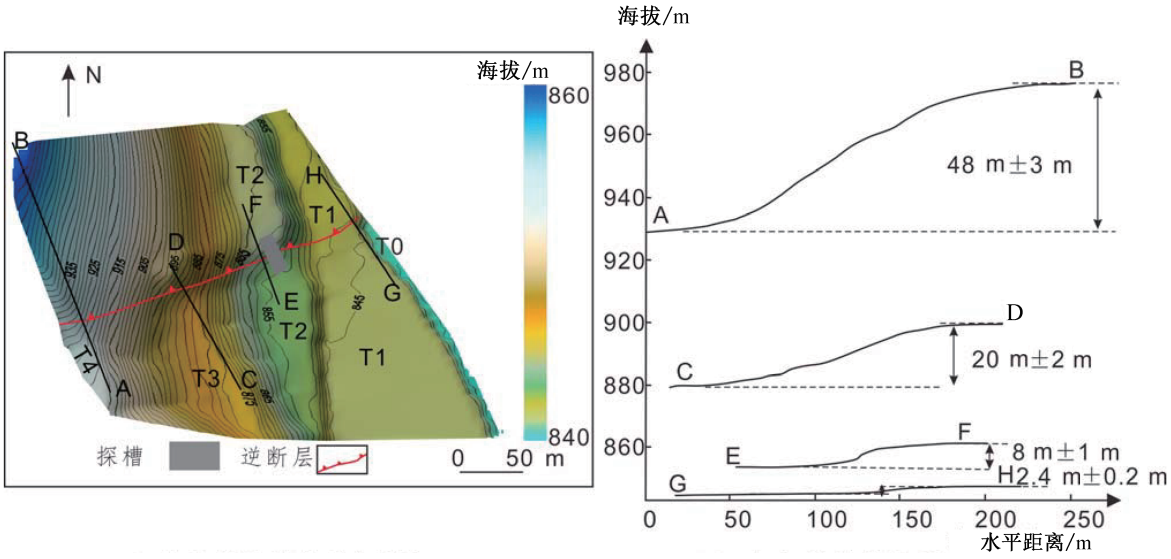
图 A.4　小型反向坡中槽示意图

A.2　逆断层探槽地点

图 A.5 给出了切过河流阶地的累积断层陡坎的示例。



a） 映秀 4 级阶地地貌照片



b） 映秀 4 级阶地地形实测图　　c） 映秀 4 级阶地剖面实测图

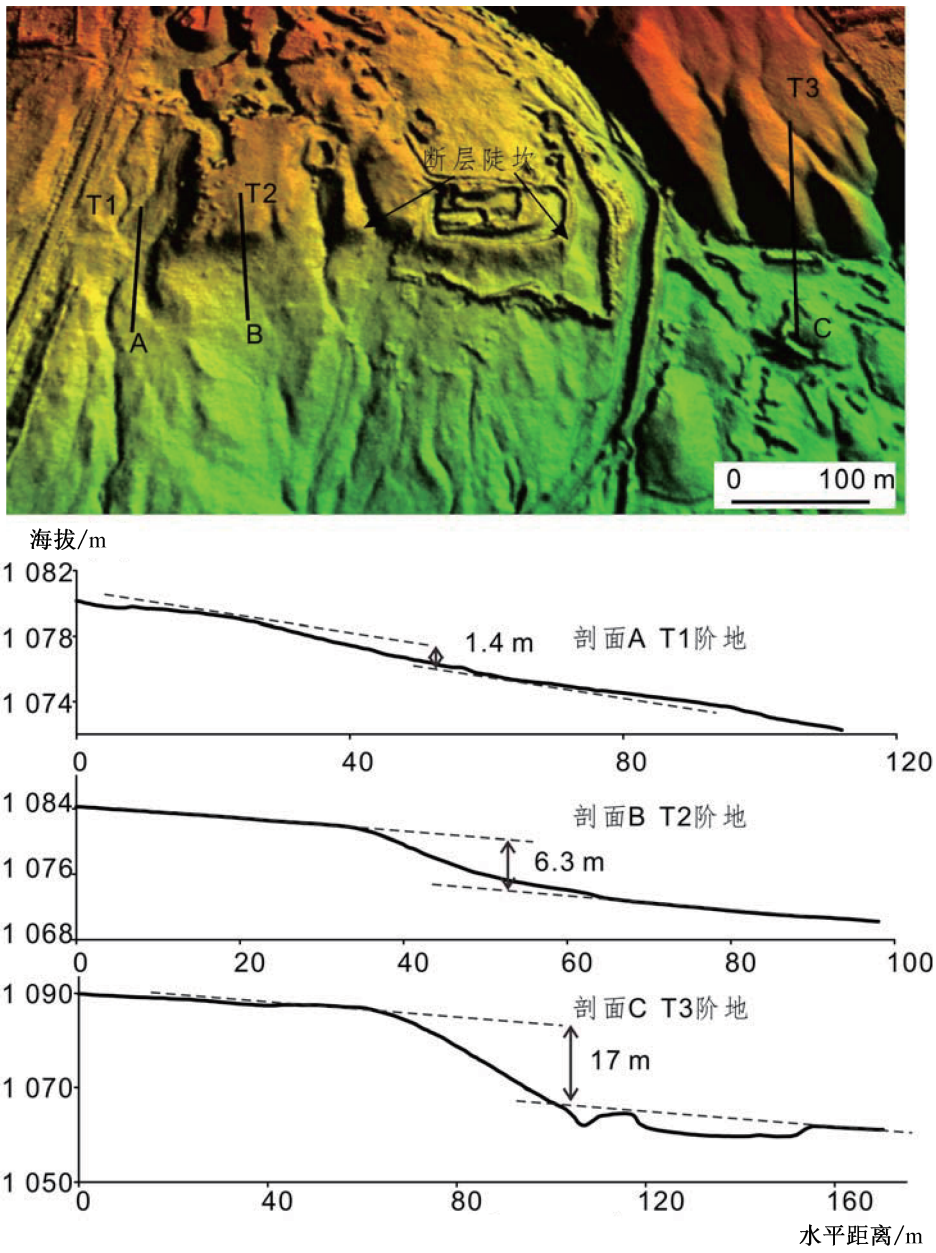
注 1：红色箭头示意断层位置，T 表示阶地。

注 2：图中为映秀-北川断裂在映秀一带岷江阶地上的断层陡坎地貌（参见《Paleoseismic events and recurrence interval along the Beichuan-Yingxiu fault of Longmenshan fault zone，Yingxiu，Sichuan，China》）。实测地形揭示不同阶地的断层断错量不一样，阶地越高，累积位错量越大。在 T2 阶地上的断层陡坎适合开挖探槽。

图 A.5　逆断层断层累积变形陡坎示意图

A.3 正断层探槽地点

图 A.6 给出了冲积扇发育断层陡坎的示例。



注 1：T 表示阶地，黑色箭头指示断层陡坎位置，黑色实线示意不同阶地陡坎变形实测剖面位置，越老的阶地断层陡坎越高。

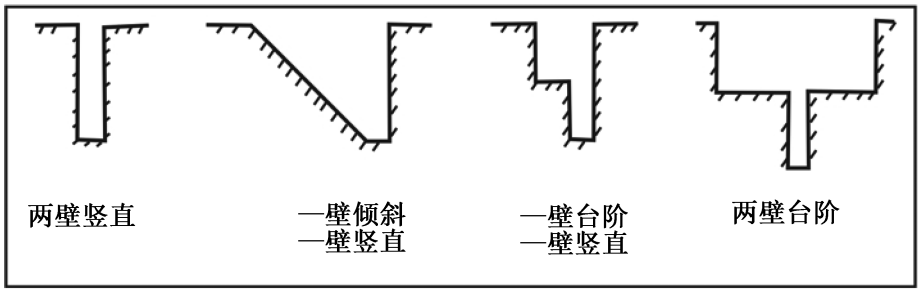
注 2：图中为河套断陷盆地乌拉山山前冲积扇上发育的断层陡坎和层状地貌面。T1 或 T2 阶地的断层陡坎适合开挖探槽。

图 A.6 正断层断层累积变形陡坎示意图

附　录　B
（资料性附录）
探槽开挖与记录

B.1　单个探槽开挖样式

图 B.1 给出了垂直断层方向上单个探槽开挖的剖面图示例。

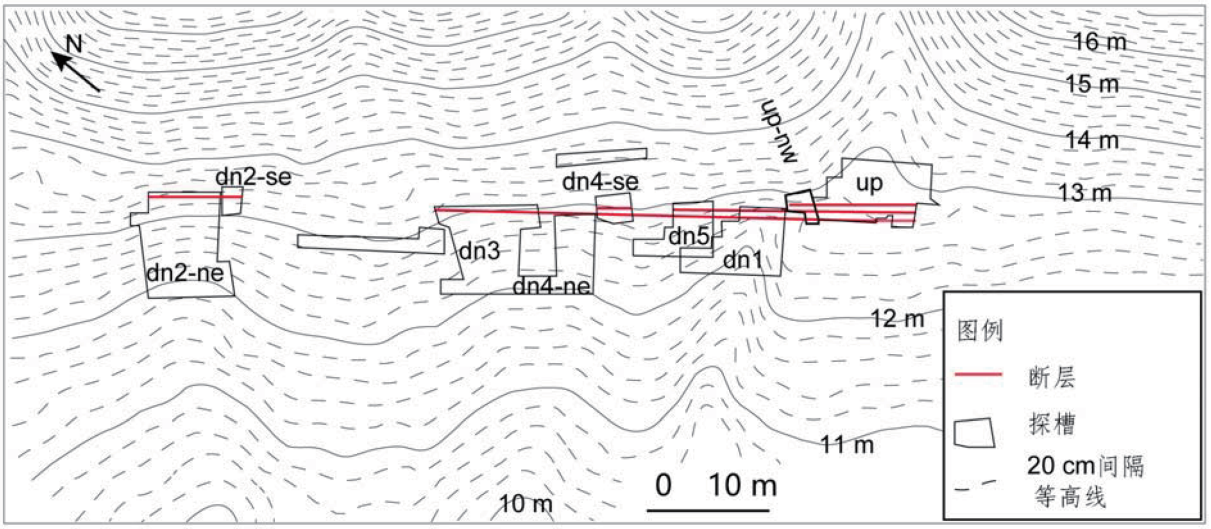


注：开挖模式原图参见《Paleoseismology》。

图 B.1　单个探槽开挖样式示意图

B.2　走滑断层探槽平面布设和开挖

图 B.2 给出了 San Andreas 走滑断层探槽平面布设和开挖的示例。



注 1：垂直和平行断层方向分别布设探槽，同时探槽壁采取逐层剥离方式揭露地层信息。

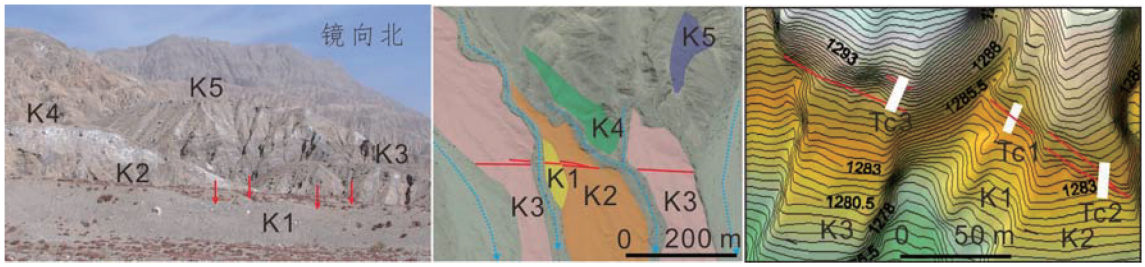
注 2：up 表示冲沟上游方向探槽位置，dn 表示冲沟下游方向探槽位置，se 表示从初挖探槽往东南方向逐层剥离探槽壁，ne 表示北东方向逐层剥离探槽壁，nw 表示北西方向逐层剥离探槽壁。

注 3：该组合探槽原型参见《Serial ruptures of the San Andreas fault，Carrizo Plain，California，revealed by three-dimensional excavations》。

图 B.2　走滑断层探槽平面布设和开挖示意图

B.3 逆断层探槽平面布设和开挖

图 B.3 给出了逆断层探槽平面布设和开挖的示例。



a） 新疆柯坪逆冲断层地貌　　b） 影像解译　　c） 地形实测与探槽布设

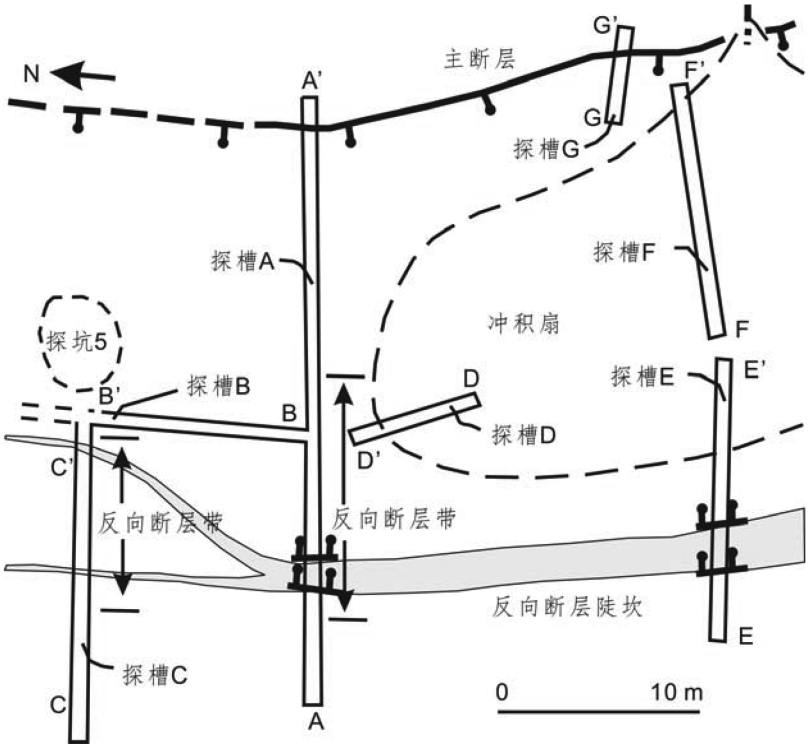
注 1：K 表示地貌面，红线示意断层陡坎。

注 2：跨断层布设了 3 个探槽组（白框 Tc1、Tc2 和 Tc3）。参见《Paleoseismic study of the east Kalpintage fault in southwest Tianshan based on deformation of alluvial fans and 10 Be dating》。

图 B.3 逆断层探槽平面布设和开挖示意图

B.4 正断层探槽平面布设和开挖

图 B.4 给出了正断层陡坎坎前地堑探槽平面布设和开挖的示例。



注：探槽（A、C、E、G）揭露古地震事件造成的断错和崩积楔，探槽 F 在未断冲积扇中寻找可测年物质，探槽 B、D 揭露地堑内平行断层的河沟过去堆积的地层，该组合探槽原型参见《Recurrence of moderate to large magnitude earthquakes produced by surface faulting on the Wasatch fault zone，Utah》。

图 B.4 正断层探槽平面布设和开挖示意图

B.5 探槽记录

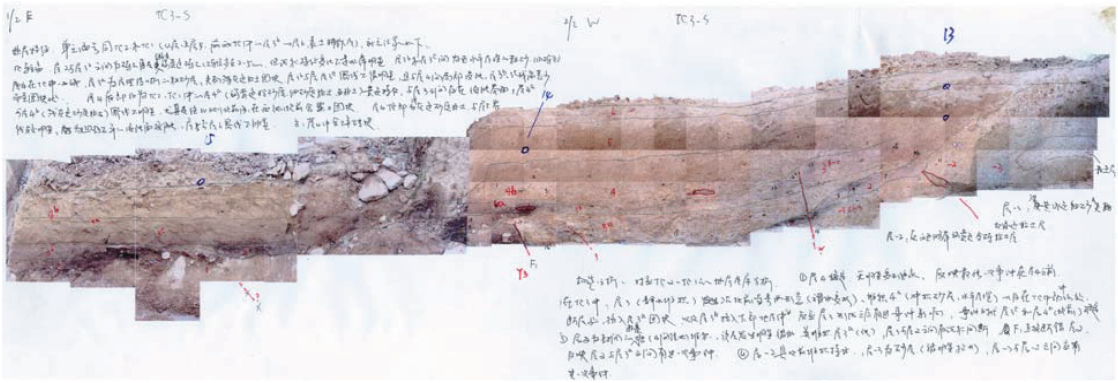
图 B.5 给出了探槽记录的示例。



a） 探槽清理的一些常用工具



b） 龙门山江油-灌县断裂白鹿地点台阶状开挖的探槽



c） 安宁河断裂帽盒山探槽组 Tc3-S 壁正射影像和现场记录

注 1：图 a)为探槽清理的一些常用工具，如三角砌墙泥刀、羊角锤、地质锤、轻型园艺锄、重型园艺锄、马镫锄、除草耙、扫帚、墙刷、板刷、油漆刷、便携式水喷、日本园艺锄等。

注 2：图 b)以汶川地震白鹿探槽为例，台阶式开挖，探槽修理整齐、干净。

注 3：图 c)以安宁河断裂帽盒山探槽为例，建立 1 m×1 m 基准网格，拍照并把照片校正成正射图像；野外直接在打印纸上记录：地层划分、断层识别、文字描述、样号标记等。

图 B.5 探槽记录示意图

附 录 C
（规范性附录）
古地震事件分析结果检验方法

C.1 位移量限定法

C.1.1 位移量限定法用于检验单一正断层多次位错原始地貌面（下称“原始面”）的古地震识别结果是否正确。

C.1.2 在野外实测断层陡坎两侧的地貌面位差、崩积楔的数量及其各自的厚度。

C.1.3 实测地貌面位差应跨过整个断层陡坎，即在陡坎上方和下方各外延不少于 20 m，相邻测量点间距不大于 3 m。多个测量点形成的回归线分别标注在地貌面上、下部，对上、下地貌回归线取平行线，量取上、下地貌面平行线的垂线高度值为实测面位差，单位为米（m），保留至小数点后两位。

C.1.4 实测崩积楔厚度时，应取崩积楔底部最靠近断层的位置为下起点，并垂直向上到崩积楔的顶部。

C.1.5 通常用实测面位差代替原始面位差。

C.1.6 按照式（C.1）计算识别到的崩积楔累积厚度的两倍值占原始面位差值的相对百分比（B），当 $0 \leqslant B \leqslant 35\%$ 时，可认为古地震识别结果正确。

$$B = \frac{2(w_1 + w_2 + \cdots + w_n) - y}{y} \times 100\% \cdots\cdots (C.1)$$

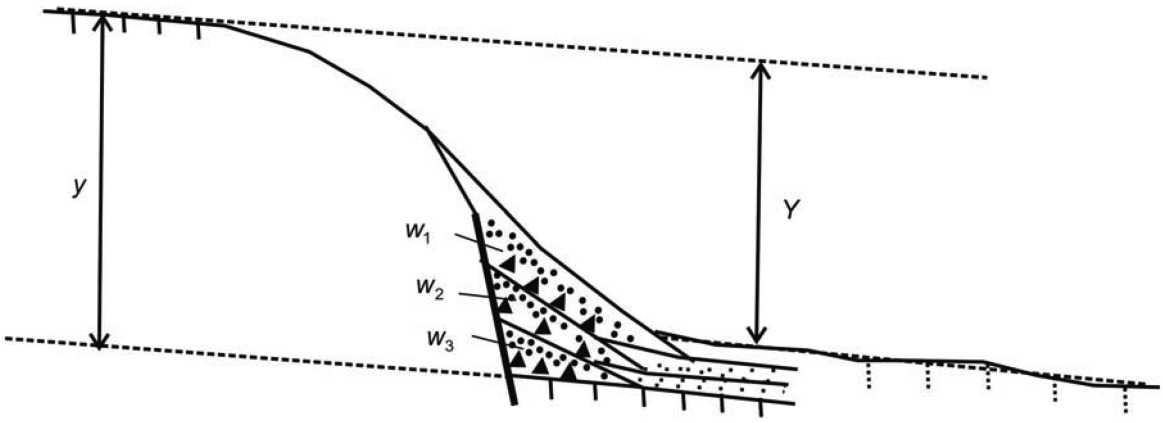
式中：

$w_1 \cdots w_n$ ——各崩积楔的厚度；

n ——崩积楔数量；

y ——原始面位差，通常用实测面位差代替原始面位差。

C.1.7 图 C.1 给出了位移量限定法应用示意图。



注：Y 表示实测面位差，y 表示原始面位差，$w_1 \sim w_n$ 分别表示 3 个崩积楔的厚度。

图 C.1 位移量限定法示意图

示例：

由于陡坎垮塌和后退，每一次古地震事件形成约 1 m 厚的崩积楔，本例共形成 3 个崩积楔，其中 $w_1 = 1.00$ m，$w_2 = 1.00$ m，$w_3 = 1.20$ m。实测得到的上、下地貌面位差为 5.50 m，即 $y = 5.50$ m，根据式（C.1）计算得到 $B = 16.36\%$。由于 16.36% 处于[0，35%]区间内，表明古地震事件识别结果正确。

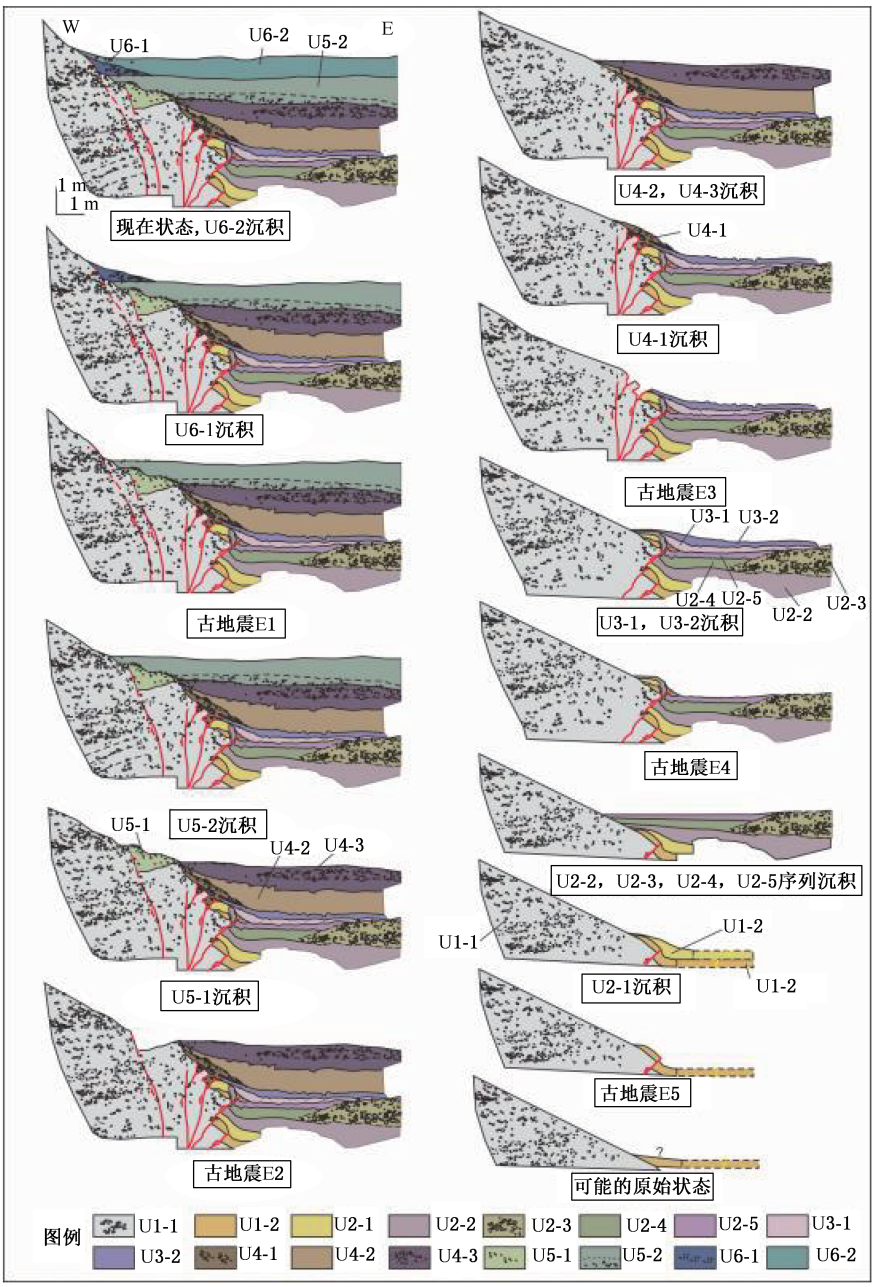
C.2 位错历史恢复法

C.2.1 位错历史恢复法用于检验走滑断层或其他性质断层，在形成断塞塘、堆积不同韵律地层单元情况下古地震识别结果是否正确。

C.2.2 在野外从断错层位、不整合面、局部崩积物、断塞塘由粗向细的堆积物等特征，识别和划分震后堆积地层单元。

C.2.3 恢复过程宜从最新事件开始，一次断层位错事件应对应一套符合堆积环境特征的坎前堆积物，逐次回推断层位错和坎前堆积的过程。

C.2.4 图 C.2 给出了位错历史恢复法的应用示例（参见《A 3400-year-long paleoseismologic record of earthquakes on the southern segment of Anninghe fault on the southeastern margin of the Tibetan Plateau》和《中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析（1）——走滑活动断裂的探槽地点、布设与事件识别标志》）。



注 1：该图示意：首先是最新的古地震事件 E1 发生，断错地表形成一个局部的断错陡坎，U6-1 沉积，稍后是 U6-2 沉积。依次往更早的事件进行推演。

注 2：U2～U6 分别表示由粗或粗细混杂到细的 6 个震后堆积单元，结合断错层位，此示例恢复出 5 次古地震事件。地层单元 U1-1 为棱角状砾石，U1-2 为灰黑色泥炭，U2-1 为含砾石泥炭，古地震事件 E5 断错 U1-2 及其下覆地层后，被粗细混杂的 U2-1 不整合覆盖；U2-2 为黝黑色泥炭，U2-3 为分选较差的冲积扇透镜状砾石，U2-4 为灰色粘土质砂，U2-5 为黝黑色泥炭，U3-1 为局部含砾石黝黑色泥炭，古地震事件 E4 断错 U2-5 及其下覆地层后被粗细混杂的 U3-1 不整合覆盖；U3-2 为黑色泥炭，U4-1 为含大量棱角状砾石泥炭，古地震事件 E3 断错 U1-1 后被 U4-1 不整合覆盖；U4-2 为灰黑色泥炭，U4-3 为灰色粉砂质泥炭，U5-1 为棱角状砾石，古地震事件 E2 断错 U1-1 后被 U5-1 不整合覆盖；U5-2 为粉砂质、粘土质、砾石互层，U6-1 为棕黄色砾石与粉砂质粘土，古地震事件 E1 断错 U1-1 并使 U5-2 变形，之后被 U6-1 不整合覆盖，随后堆积 U6-2。

图 C.2　位错历史恢复法示意图

附 录 D
（规范性附录）
古地震事件年代确定的限定方法

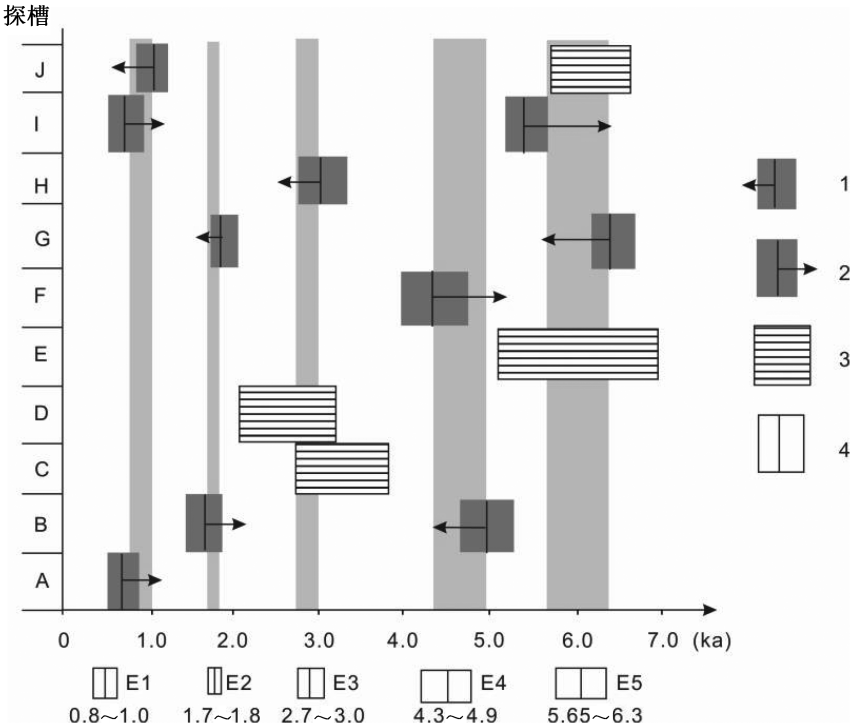
D.1 逐次限定法

D.1.1 逐次限定法用于确定在同一个断层破裂段开挖多个探槽时的古地震事件和发生时间。

D.1.2 应把不同探槽揭露出的古地震事件标识在坐标图上，确定事件发生在某一年代区间或是某一年代之前（以下简称“上限年代值”）和某一年代之后（以下简称“下限年代值”）。

D.1.3 上限年代值和下限年代值限定的最小时间范围，认定为古地震事件发生的时间区间。

D.1.4 图 D.1 给出了逐次限定方法的示例（参见《古地震研究的逐次限定法与新疆北部主要断裂带的古地震研究》）。



注 1：右侧图例中：1 表示古地震事件的上限年代；2 表示古地震事件的下限年代；3 表示古地震事件的年代区间；4 表示最终确定的年代及误差。

注 2：横坐标数字表示年代，纵坐标字母表示断层不同地点的探槽。

注 3：该图假定沿一条断裂上开挖了 10 个探槽，每个探槽都只揭露了一次或两次事件，通过确定其下限（即事件发生在某一年代之前）和上限（即事件发生在某一年代之后），将所有事件的上下限及其区间按时间顺序排列出来，先逐渐缩小事件的年代误差，获得 10 个探槽共揭露的 5 次事件及发生的年代。

图 D.1 逐次限定方法示意图

D.2 Z 统计法

D.2.1 Z 统计法用于判断同一断层或断层段相邻两个探槽揭露的古地震事件是否为同一次事件。

D.2.2 按照式(D.1)计算 Z 值，并按照图 D.2 所示曲线查找对应的概率值。当概率值大于 0.5 时，可判定两个地点的古地震事件为同一次事件。

$$Z = | T_1 - T_2 | / \sqrt{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (D.1)$$

式中：

T_1 和 T_2——分别为两个地点古地震事件的年代均值；

σ_1 和 σ_2 ——分别为对应年代的标准差。

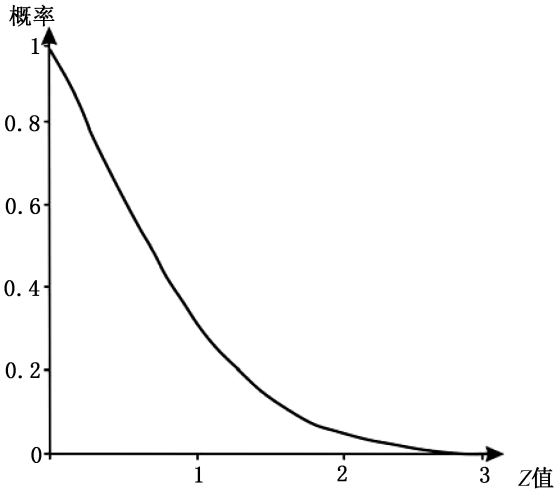


图 D.2 相同古地震事件概率与 Z 值的关系曲线

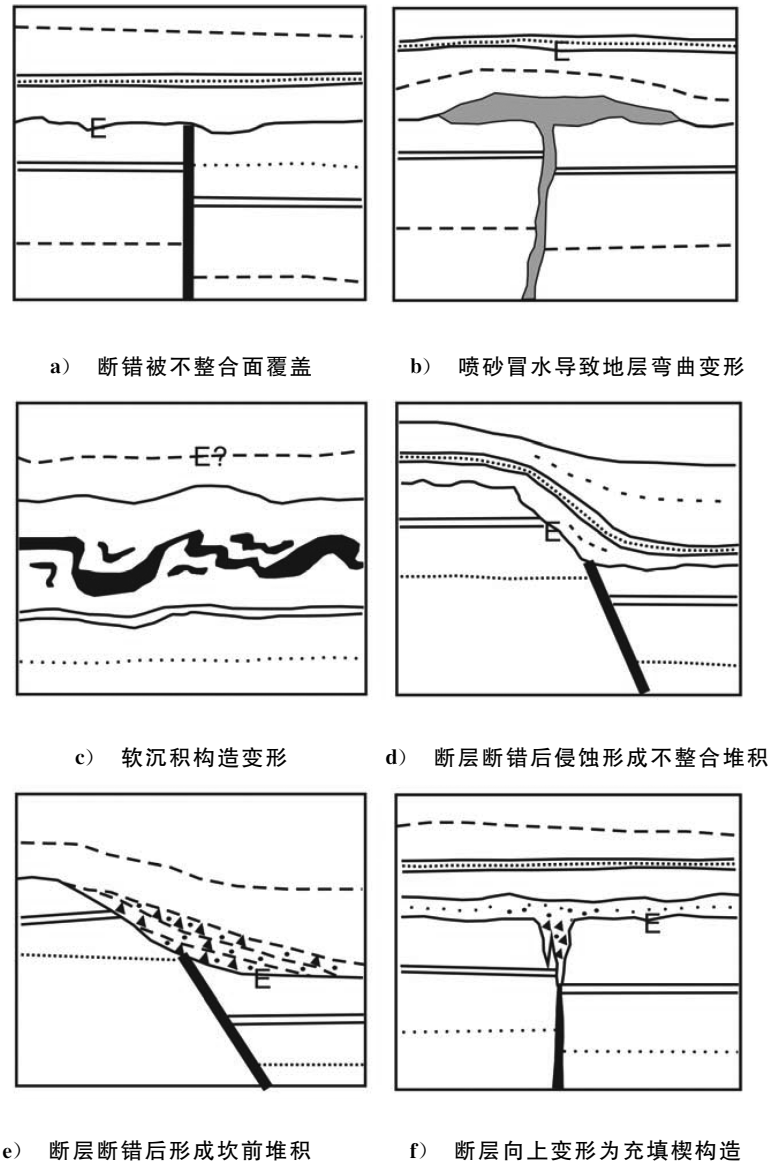
示例：

同一断层相邻两个探槽地点分别揭示一次事件的年代为 827±169 BP 和 669±156 BP，按照式(D.1)计算 Z 值为 0.69，对应的概率为 0.5，即表明这两次事件为同一次古地震事件的概率为 50%（参见《Rupture length and paleomagnitude estimates from point measurements of displacement—A model-based approach》）。

附　录　E
（资料性附录）
古地震识别模式与示例成果

E.1　走滑断层古地震识别模式

图 E.1 给出了走滑断层古地震识别模式的示例。



a）　断错被不整合面覆盖　　b）　喷砂冒水导致地层弯曲变形

c）　软沉积构造变形　　d）　断层断错后侵蚀形成不整合堆积

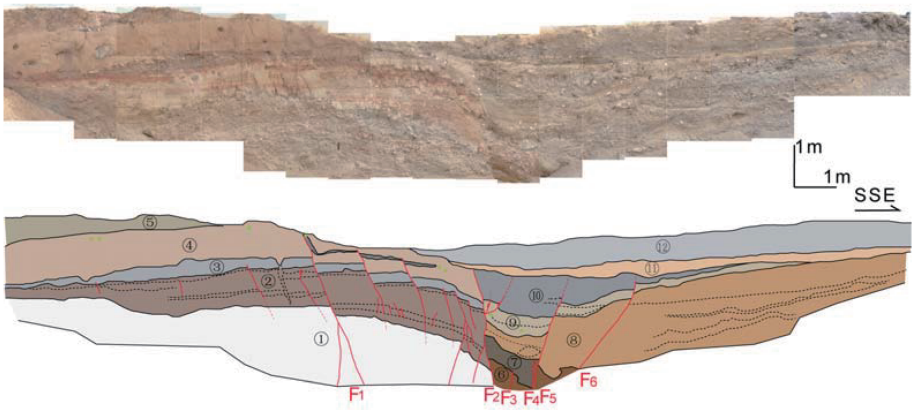
e）　断层断错后形成坎前堆积　　f）　断层向上变形为充填楔构造

注：走滑断层古地震识别模式（参见《Paleoseismology》）一般有地层断错后发育不整合层、砂土液化导致上覆地层褶皱变形、软沉积变形、断错变形发育陡坎、陡坎部分剥蚀形成不整合面、断错发育坎前堆积、充填裂隙。图中 E 代表事件层。

图 E.1　走滑断层古地震识别模式示意图

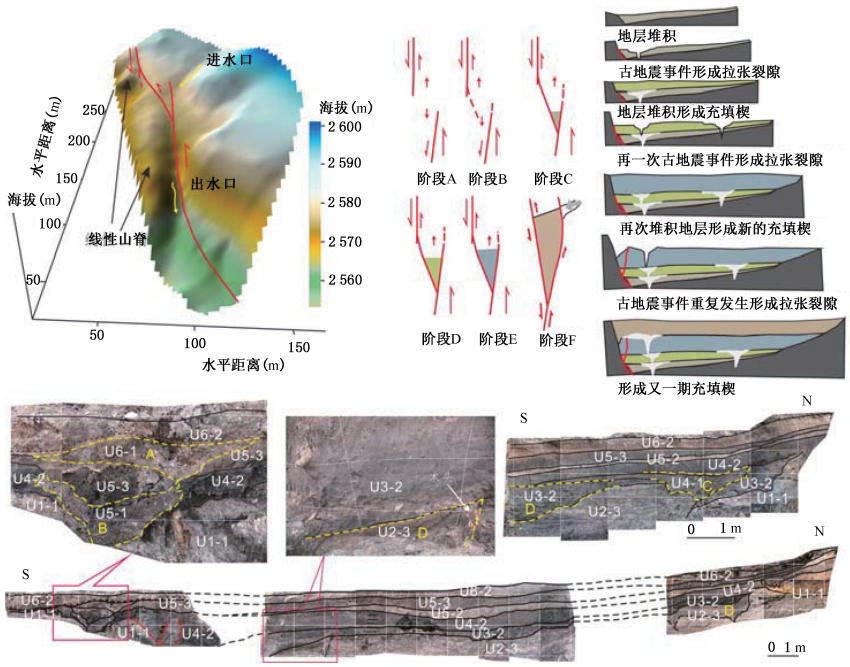
E.2 走滑断层古地震识别示例

图 E.2～图 E.4 给出了走滑断层古地震识别的 3 个示例。



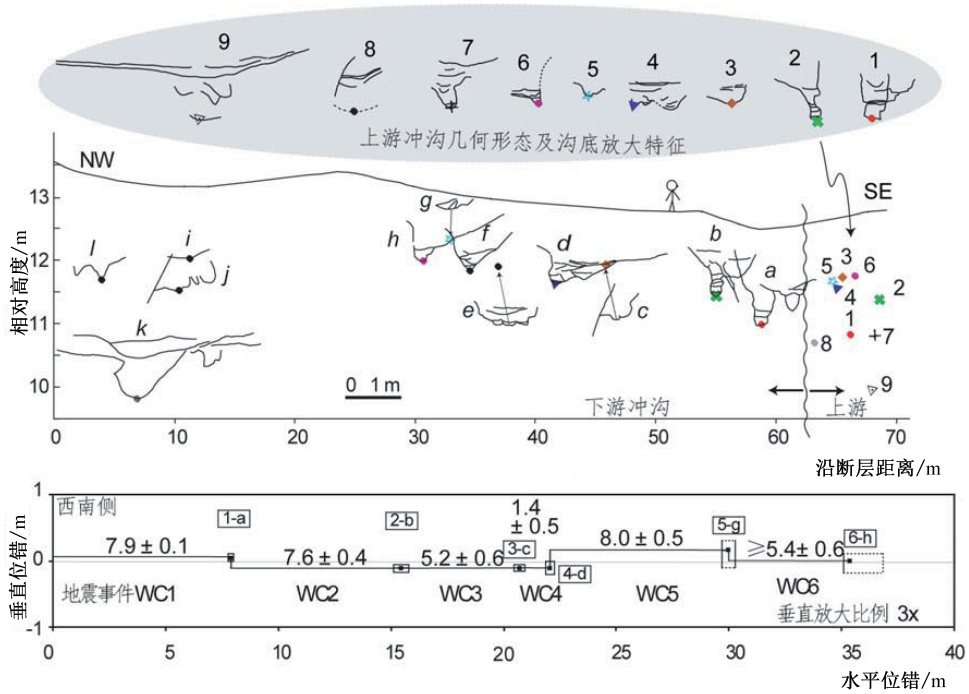
注：利用坎前堆积地层(含崩积楔)、断层切盖关系和变形程度识别古地震事件。该探槽(参见《阿尔金断裂带阿克塞段半果巴探槽揭露的古地震事件》)揭示 4 次古地震事件，最老事件位于层⑤和层⑥之间，主要识别依据是断层断错地层序列①～⑤，形成崩积楔⑥。第二次事件断错层⑥，被层⑦覆盖。第三次事件断错层⑦，被层⑧覆盖。最新事件断错层⑩。

图 E.2 阿尔金断裂走滑断层探槽正射图像及解译



注：通过探槽附近微地貌实测及地层剖面揭示(参见《则木河断裂上古地震破裂与小型三角状拉分盆地演化》)，量化了断层平面和垂向三维空间演化与不同阶段盆地堆积响应过程。

图 E.3 则木河断裂大箐梁子小型三角状拉分盆地古地震识别示意图

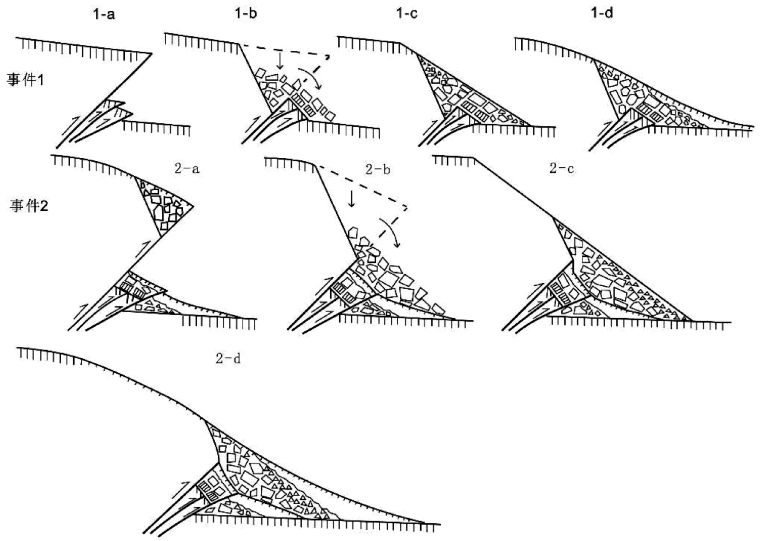


注：通过揭示跨 San Andreas 走滑断层的小冲沟形态和位置（参见《Six similar sequential ruptures of the San Andreas fault, Carrizo Plain, California》），限定每次地震的同震位移量。WC 表示地震事件，上游冲沟以数字表示，下游冲沟以字母表示，对应关系为 1/a，2/b，……，以此类推。

图 E.4　San Andreas 走滑断层组合探槽古地震识别示意图

E.3　逆断层古地震识别模式

图 E.5 给出了逆断层古地震识别模式的示例。



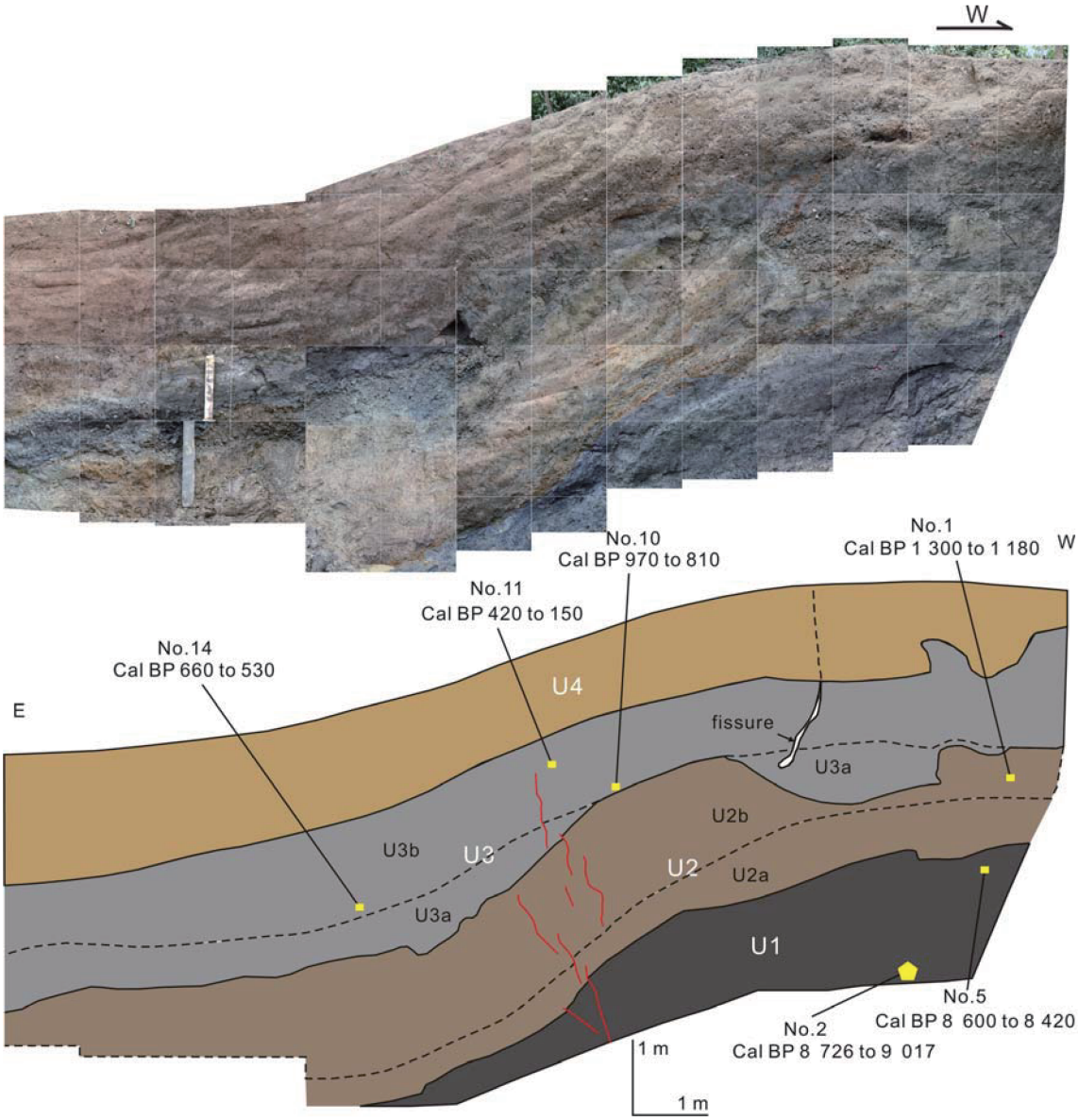
注 1：该模式（参见《Paleoseismology》）揭示了古地震事件的演化过程为：逆冲断错地表形成陡坎（a）、陡坎部分垮塌形成崩积楔（b）、地表剥蚀与堆积形成一套坎前堆积地层（c）、长时间地表作用发育古土壤层（d）。

注 2：该图示例两次事件的“断错”和“堆积”的 4 个阶段。

图 E.5　逆断层古地震识别模式示意图

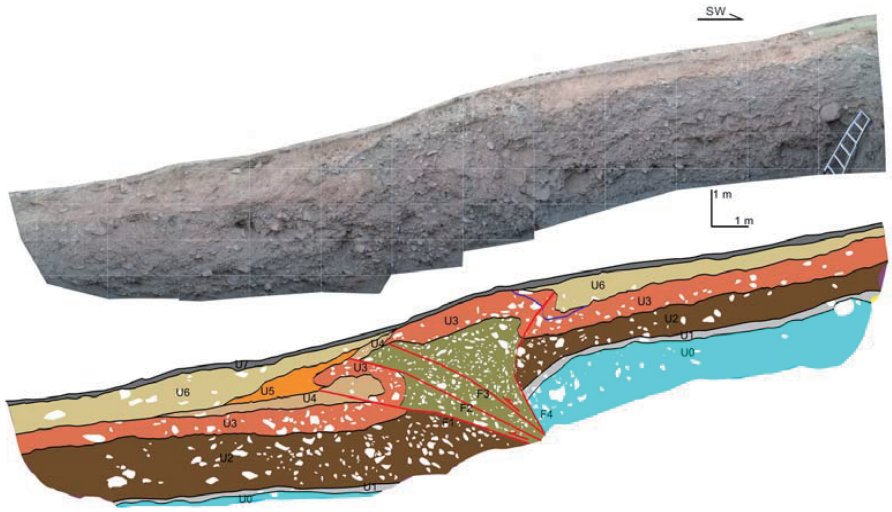
E.4 逆断层古地震识别示例

图 E.6～图 E.7 给出了逆断层古地震识别的两个示例。



注： 利用坎前生长地层和地层弯曲变形程度识别古地震（参见《中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析（2）——汶川地震地表变形特征与褶皱逆断层古地震识别》）。最新地震事件为 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震，造成 U4 垂向弯曲变形约 2.2 m，前一次事件的识别证据为 U2 垂向弯曲变形累积位移量约 3.5 m，其上覆为生长地层 U3a（参见《Late Quaternary paleoseismic behavior and rupture segmentation of the Yingxiu-Beichuan fault along the Longmen Shan fault zone》）。

图 E.6 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级地震地表破裂带凤凰村探槽正射图像及解译

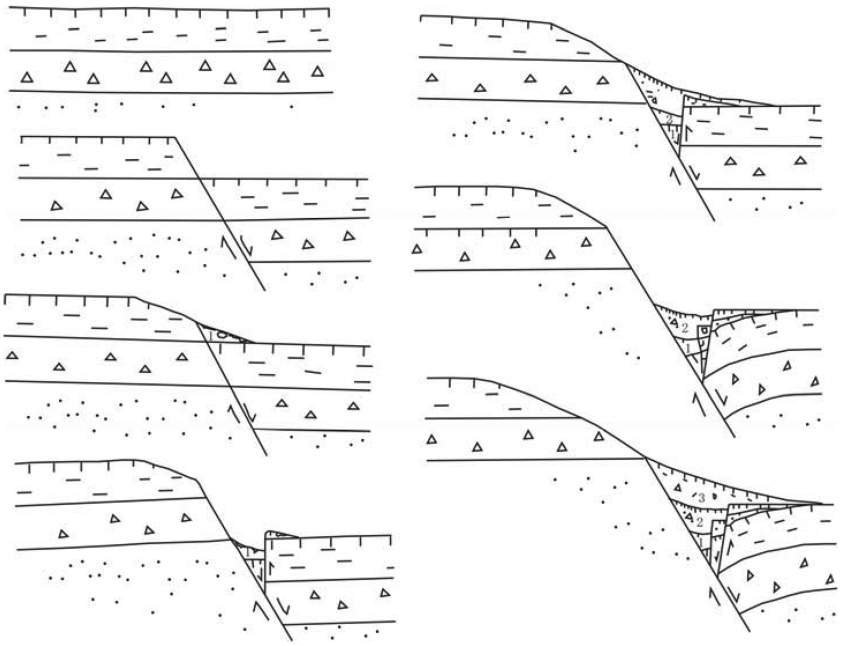


注：利用坎前崩积楔和标志地层的位移量倍数增加等信息识别古地震。探槽揭示三次古地震事件，最老事件断错U3被坎前堆积U4覆盖。第二次事件断错U4被坎前堆积U5覆盖。最新事件位于U5和U6之间，U5被断错，发育坎前堆积U6。另外，U1～U3序列地层垂向位错变形比较协调，均为4.8 m左右，表明U1～U3之间无事件。

图 E.7　新疆巴里坤红山探槽正射图像及解译

E.5　正断层古地震识别模式

图E.8给出了正断层古地震识别模式的示例。

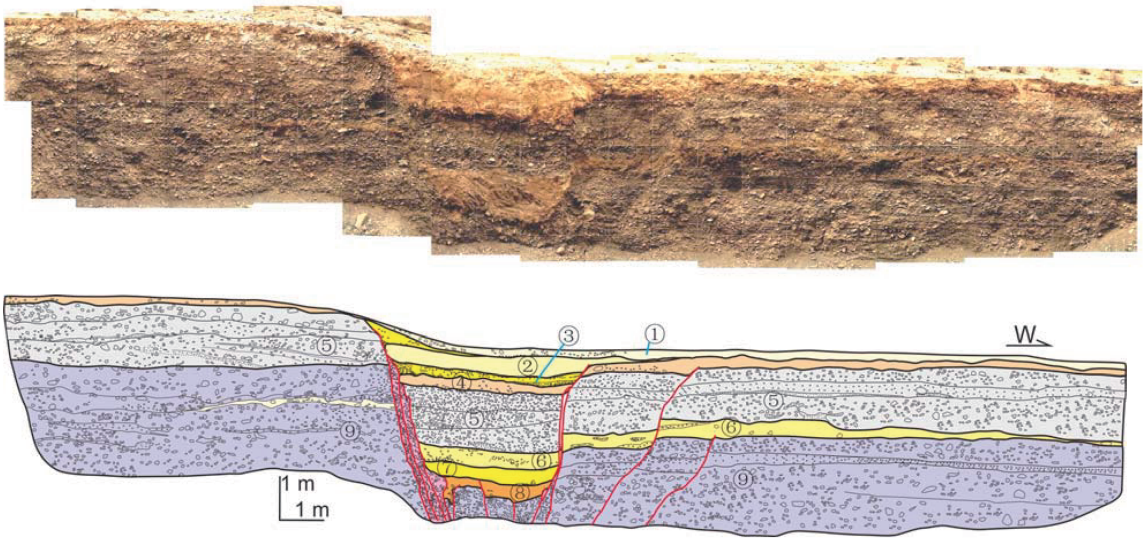


注：该模式（参见《Paleoseismology》）揭示了正断层型古地震事件的演化过程为：原始地层断错地表形成陡坎、陡坎部分剥蚀垮塌发育坎前堆积（崩积楔）并土壤化。

图 E.8　正断层古地震识别模式示意图

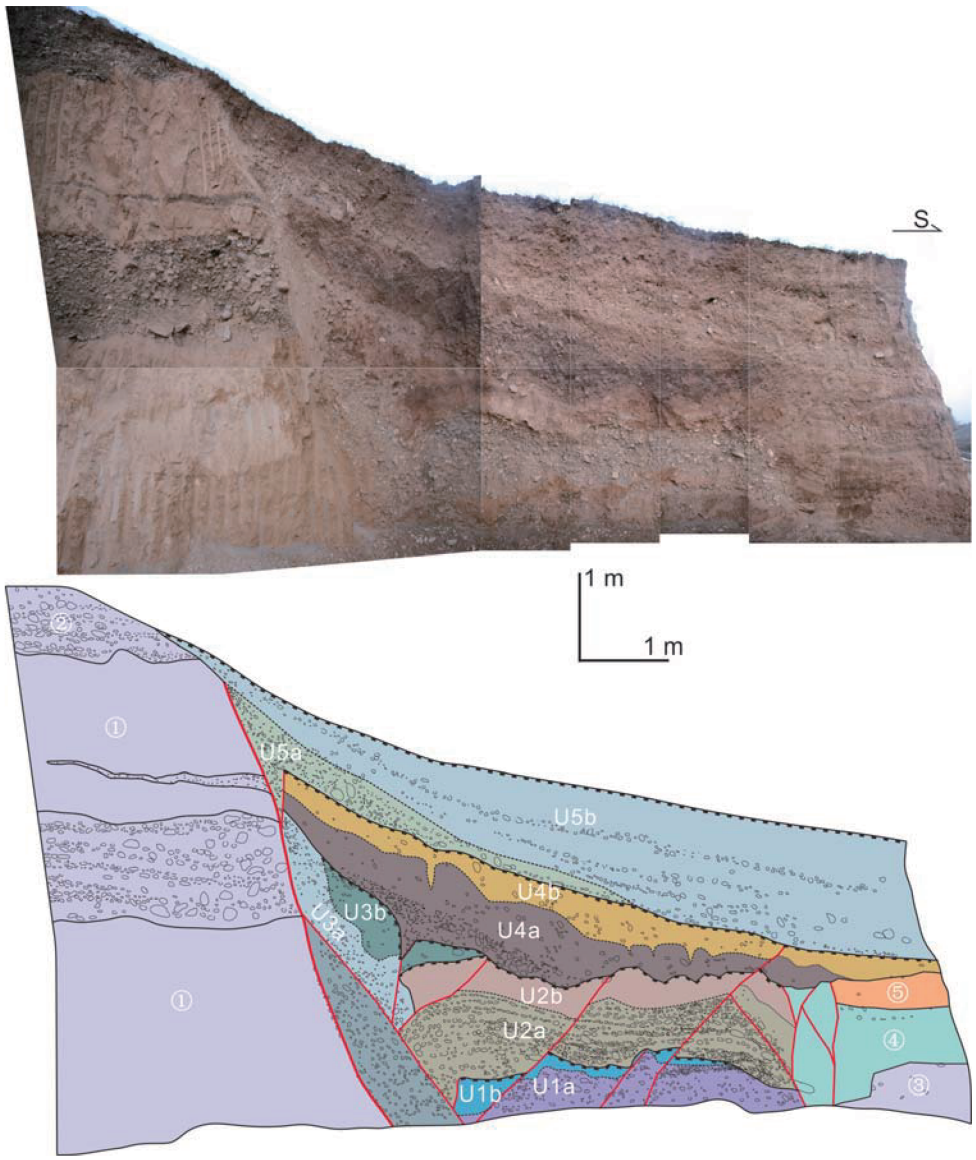
E.6 正断层古地震识别示例

图 E.9～图 E.10 给出了正断层古地震识别的示例。



注：利用坎前地堑堆积地层序列、崩积楔和地层切错关系识别古地震。该探槽(参见《青藏高原东北缘弧形构造带的扩展与华北西缘银川盆地的演化》)揭示了三次古地震事件，最老事件位于层⑧和层⑥之间，主要证据为层⑧断错变形，发育生长地层和充填楔。第二次事件位于层④和层③之间，层③被断错，发育小型崩积楔。最新事件位于层②之后，层②被断错，发育坎前堆积。

图 E.9 贺兰山西麓断裂小苏海探槽正射图像及解译



注：利用埋藏土壤、崩积楔、充填楔和断层切盖关系识别古地震。该探槽(参见《中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(3)——正断层破裂特征、环境影响与古地震识别》《河套断陷带主要活动断裂最新地表破裂事件与历史大地震》)揭示了4次古地震事件，最老事件位于U1b和U2a之间，主要证据为U1地层变形被U2覆盖，U2b顶部表现为长期暴露地表钙富集和古土壤化。第二次事件位于U2b和U3a之间，U2被断错形成充填楔U3a和崩积楔U3b。第三次事件位于U3b和U4a之间，U3被断错形成坎前堆积单元U4a和U4b。最新事件在U4b和U5a之间，主要证据是地层U4a和U4b被断错，堆积具有充填楔和崩积楔特征的U5a和U5b。

图 E.10　河套盆地大青山山前断裂探槽正射图像及解译

参 考 文 献

[1] GB 17741—2005 工程场地地震安全性评价

[2] GB/T 36072—2018 活动断层探测

[3] DB/T 53—2013 1∶50 000 活动断层填图

[4] 李康,徐锡伟,罗浩,等.阿尔金断裂带阿克塞段半果巴探槽揭露的古地震事件[J].地震地质,2016,38(3):670-679.

[5] 李彦宝,冉勇康,陈立春,等.河套断陷带主要活动断裂最新地表破裂事件与历史大地震[J].地震地质,2015,37(1):110-125.

[6] 毛凤英,张培震.古地震研究的逐次限定法与新疆北部主要断裂带的古地震研究[J].活动断裂研究,1995,4:153-164.

[7] 雷启云.青藏高原东北缘弧形构造带的扩展与华北西缘银川盆地的演化[D].北京:中国地震局地质研究所,2016.

[8] 冉勇康,王虎,李彦宝,等.中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(1)——走滑活动断裂的探槽地点、布设与事件识别标志[J].地震地质,2012,34(2):197-210.

[9] 冉勇康,陈立春,陈文山,等.中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(2)——汶川地震地表变形特征与褶皱逆断层古地震识别[J]. 地震地质,2012,34(3):385-400.

[10] 冉勇康,李彦宝,杜鹏,等.中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(3)——正断层破裂特征、环境影响与古地震识别[J].地震地质,2014,36(2):287-301.

[11] 冉勇康,王虎,杨会丽,等.中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(4)——古地震定年技术的样品采集和事件年代分析[J].地震地质,2014,36(4):939-955.

[12] 冉勇康,王虎,李彦宝.中国大陆古地震研究的关键技术与案例解析(5)——断层隐形、尖灭与年轻事件识别[J].地震地质,2015,37(2):343-356.

[13] 王虎,冉勇康,李彦宝,等.则木河断裂上古地震破裂与小型三角状拉分盆地演化[J].中国科学-地球科学,2013,43(7):1106-1114.

[14] Biasi G,Weldon RJ,Scharer K. Rupture length and paleomagnitude estimates from point measurements of displacement—A model-based approach[J]. Special Paper of the Geological Society of America,2011,479(13):195-204.

[15] Li A,Ran YK,Xu LJ,et al. Paleoseismic study of the east Kalpintage fault in southwest Tianshan based on deformation of alluvial fans and 10Be dating[J]. Natural Hazards,2013,68(2):1075-1087.

[16] Zeng JL,Klinger Y,Sieh K,et al.Six similar sequential ruptures of the San Andreas fault,Carrizo Plain,California[J].Geology,2004,32:649-652.

[17] Zeng JL,Klinger Y,Sieh K,et al. Serial ruptures of the San Andreas fault,Carrizo Plain,California,revealed by three-dimensional excavations[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres,2006,111(B2).

[18] McCalpin JP.Paleoseismology[M].San Diego,California,USA:Academic Press,2009.

[19] Ran YK ,Chen WS ,Xu XW ,et al. Paleoseismic events and recurrence interval along the Beichuan-Yingxiu fault of Longmenshan fault zone,Yingxiu,Sichuan,China[J]. Tectonophysics,2013,584:81-90.

[20] Ran YK,Chen WS,Xu XW,et al. Late Quaternary paleoseismic behavior and rupture segmentation of the Yingxiu-Beichuan fault along the Longmen Shan fault zone,China[J]. Tectonics,

2014,33(11):2218-2232.

[21] Swan FH ,Schwartz DP ,Cluff LS . Recurrence of moderate to large magnitude earthquakes produced by surface faulting on the Wasatch fault zone,Utah[J]. Bulletin of the Seismological Society of America,1980,70(5):1431-1462.

[22] Wang H,Ran YK,Li YB,et al. A 3400-year-long paleoseismologic record of earthquakes on the southern segment of Anninghe fault on the southeastern margin of the Tibetan Plateau[J]. Tectonophysics,2014,628:206-217.