

土壤年代学方法及其应用^{*}

邢成起 吕德徽 董治平 龙军华

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 本文较详细地介绍和论述了土壤年代学方法及其测年原理, 以及该方法的国内外研究现状和发展应用前景. 作者将该方法的基本思路引入榆木山和阿尔金山山前地区的活动构造测年工作, 并初步建立了土壤 CaO 、 CaCO_3 和 CaCO_3 累积指数值与发育年代之间的定量计算关系式, 统计得到了土壤中砾石钙膜的平均累积速率. 通过回检和应用对比分析, 认为土壤年代学方法适用于中国西北地区, 并具有广阔的应用前景.

关键词: 土壤特性 年代学方法 活动构造测年

1 前言

在活动断层(构造)定量研究工作中, 年代学方法的研究和改进一直是一个极为重要的内容, 它关系到能否正确评价断裂活动性的问题. 目前大约有二十几种年代学方法应用于活动构造的研究. 这些方法大致可划分为三类, 即绝对年代学方法, 如 ^{14}C 、热释光等; 相对年代学方法, 如断崖法、地衣法、土壤发育法等; 对比法, 如化石、各种古代人工制品等. 其中, 绝对年代学方法是最好的, 但在使用上存在一定的局限性, 一是常常缺乏可供测定年代的物质, 二是测定结果的正确性难以检验, 可能会存在大的不能分析的误差. 例如 ^{14}C 法, 在干旱-半干旱地区的冲洪积物(这是断层新活动最常错动的沉积物)中, 很难找到有机物质, 而在其 5 万年以内的使用范围内, 杂质的影响有时可能导致很大的误差. 另外, 所测结果上下层位颠倒的情况虽属少见, 但却说明了这种绝对方法的问题所在. 对比法取决于对一个已知事件或物体的识别, 然后对比推知同期事件或类似物品所在基物的年代. 这种方法仅在局部范围内适用. 相对年代学方法适用性很广, 潜在力很大, 但目前精度不是很高. 但随着工作的深入其精度会不断提高.

在上述二十几种年代学方法中, 我国已实际应用的方法虽不算少, 但其精度和适用范围仍不能满足我国活断层定量化研究水平不断提高的需要. 除了要对现有方法进行改进外, 还需要不断引进和发展新的测年方法. 尤其在我国干旱的西北地区, 应特别注重发展具有广阔应用前景的相对年代学方法.

在我国的活动构造研究工作中, 目前人们较常使用的相对年代学方法有断崖法、地衣法和不得已而用之的沉积速率法以及河流(冲沟)下切(溯源侵蚀)速率法等, 而有关土壤年代学方法的研究和应用还很少见. 本文将结合作者在河西走廊榆木山前和阿尔金山东段北麓地区开展的研究工作对土壤年代学方法的测年原理、研究现状和发展应用前景等进行较详细的论述.

* 地震科学联合基金会资助(课题编号: 85080107).

第一作者简介: 邢成起, 男, 1959 年生, 副研究员, 主要从事活动构造与年代学方法研究工作.

2 土壤年代学方法的测年原理

土壤测年方法, 是依据土壤发育的某个、某些或整体特性随时间(年代)而演变的原理, 采用所建立的土壤特性-发育年代定量关系或土壤特性发育速率来计算第四纪沉积物和断层(构造)活动年代的一种相对年代学方法. 各种定量关系和土壤特性发育速率由统计方法获得, 它们在同一个大气候区或构造区内普遍适用. 在建立定量关系和土壤特性发育速率过程中, 土壤发育年代采用已知数据或由其它绝对年代学方法测定.

土壤年代学方法的最终目标是要建立土壤年代序列. 该序列一旦建立起来, 将可方便快捷地确定沉积物和断层活动的年代.

土壤发育受多种因素的影响, 它是地形、母质、植被、气候和时间的函数. 但在同一气候和构造区内, 影响土壤发育进程的主要因素就是时间, 其他所有因素都可以被近似地看作常数(地形影响可以在具体使用和分析中加以克服). 在这个基本条件下, 就可以利用绝对年代学方法和已有可靠的年代数据, 深入研究某一地区内土壤发育随时间演变的规律, 进而建立土壤特性与发育年代之间的定量关系, 以及土壤年代序列. 应用所建立的定量关系和测定的需要测年地点的土壤发育特性进行计算, 或者将所建土壤年代序列与需要测年地点的土壤发育情况进行对比, 便可获得年龄信息, 从而确定该地点土壤所在沉积物或断层活动的年代.

土壤学的研究表明, 土壤的许多特性与其发育时间的长短密切相关. 这些特性主要有: 颜色、结构、质地、土层厚度、砾石风化环厚度、粘土含量、碳酸钙含量、次生石膏和次生铁氧化物含量等等. 利用土壤测年时, 既可以测量土壤整体或某些性质来估算年龄, 也可以测量单个土壤性质来估算年龄.

土壤年代学方法的建立以详细分析和研究土壤剖面为基础. 土壤在剖面上具有分层发育特点. 正常发育的土壤具有三层次构造, 即可以划分为 A, B, C 三层, 这是土壤的基本单位层. 发育程度高的土壤, 每层还可以进一步划分出若干亚层(图 1). 在土壤剖面的所有土层中, 随时间均发生着物质的迁移和变化. 但以 B 层最能反映土壤发育程度的高低和随时间演变的规律. 例如, 在本文所研究的河西走廊榆木山山前地区, 土壤富含钙质, 但以 B 层最明显, CaCO_3 最大含量值均出现在 B 层, 并多形成钙积层, 其形态特征和 CaCO_3 含量均随剖面发育年代而发生有规律的变化. 这种规律性变化便构成利用土壤进行测年的基础.

3 国内外研究现状

土壤方法主要是随着美国活动断层定量化研究工作的深入而发展起来的, 目前被认为是几种最具有使用前途的年代学方法之一. 1941 年, 美国学者 Jenny 把土壤发育年代序列定义为从最年轻到最老排列的一系列随年代变化的土壤. 这个定义为使用土壤资料确定年代奠定了基础. 其后, 大量研究结果表明, 土壤的许多特性与发育时间有关. 这些特性包括: 含钙土层形态(Gile 等, 1966)、碳酸钙含量(Machette, 1978, 1985)、砾石风化环厚度(Colman 等, 1981)、粘土含量(Levine 等, 1983)、土壤整体形态(Harden, 1983)、铁氧化物含量(McFadden 等, 1985, 1987), 等等. 这些研究结果已普遍应用于活动构造和第四纪地层的测年工作. 下面列举二例:

(1) 利用 CaCO_3 累积速率确定断层的活动时代与期次. 在新墨西哥州

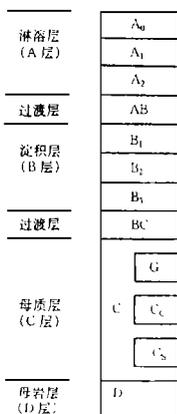


图 1 模式土壤剖面图
Fig. 1 Model soil development profile.

Albuquerque 地区西部, County Dump 断层切割了年代为 50 万年前的沉积地层, 在其下降盘保存有一系列被错断的更年青的沉积物及夹于其间的不同时期的钙质土壤. Machette 通过对这些埋藏古土壤层的数目及其 CaCO_3 含量的分析, 并依据在本地区统计获得的 CaCO_3 累积速率值 $0.35 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{ka}$ 进行计算, 求得该断层在 50 万年内曾经有过 4 次活动, 其中最近一次为距今 2 万年, 断层在本地段的重复活动间隔为 9~19 万年.

(2) 利用粘土含量-年代关系计算第四纪沉积物的年代. 在宾夕法尼亚东北部地区, Levine 等通过对 11 个已知年代的冰碛物土壤的分析, 建立了粘土含量累积指数值与年代的回归方程: $\log Y = 1.80 + 0.992 \log X$ ($r^2 = 0.913$). 式中 X 为土壤剖面粘土累积指数值, Y 为发育年代(即冰碛物的形成年代). 应用该计算式对其它冰碛物土壤的年代进行了计算, 并获得了理想的结果.

土壤年代学方法起源于美国, 因此大量的研究成果也主要出在美国, 其研究水平也是最高的. 目前他们这方面的工作仍主要集中在研究和建立某些土壤特性与发育年代之间的定量关系或统计其累积速率, 并力图提出最佳的定量评价土壤发育程度的指标和方法, 为最终建立土壤发育年代序列积累资料和奠定基础.

在我国, 土壤测年方法的研究和应用还很少见. 作者曾在“八五”后期将该方法的基本思路引入了我国的阿尔金山东段北麓和河西走廊榆木山山前地区, 并取得了若干重要的研究成果^①. 这两个地区同属大陆性干旱-半干旱荒漠草原气候环境, 发育的土壤多富含钙质, 碳酸钙淀积往往形成钙积层. 土壤发育的程度随剖面年龄增大而提高. 这一特点以淀积层反映最为明显, 主要表现在: ①土层厚度增大, 层次增多; ②土层颜色由浅变深; ③土层坚实度增大; ④土层石灰反映增强; ⑤土层粘度增大; ⑥土层石膏化现象增强.

在榆木山前地区, 作者通过在不同时代河流阶地上开挖探槽, 系统采集土壤样品并进行化学成分分析, 以及对各级河流阶地形成年代的绝对年龄测定, 详细研究了本区土壤 CaO , CaCO_3 含量和 CaCO_3 累积指数值随时间的演变规律(图 2, 3), 并建立了如下定量计算关系式:

$$\text{CaO: } Y = -24.084 + 4.897X \tag{1}$$

$$\text{CaCO}_3: Y = -37.36 + 3.254X \tag{2}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ 累积指数: } Y = -7.19 + 0.298X \tag{3}$$

$$\log Y = -1.748 + 1.545 \log X \tag{4}$$

式中 Y 为土壤发育年代(亦即土壤所在阶地或洪积扇的形成年代), 以千年为单位; X 为 CaO , CaCO_3 百分含量和 CaCO_3 累积指数值, 其中后者以下列计算方法获得:

$$X = \sum [(B_\alpha - C_\beta) \times h]$$

式中 B_α 为 B 层各亚层 CaCO_3 的百分含量; C_β 为 C_1 亚层 CaCO_3 百分含量或 C_1 亚层与 B 层中最底亚层 CaCO_3 百分含量的平均值; h 为 B_α 亚层的厚度. CaCO_3 累积指数值代表土壤剖面淀积层中 CaCO_3 累积的程度, 其与土壤发育年代的相关程

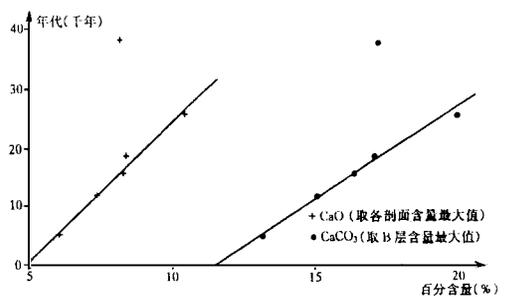


图 2 土壤 CaO 与 CaCO_3 含量随时间(年代)的变化关系

Fig. 2 Changes in the contents of CaO and CaCO_3 in soils with age.

① 邢成起, 等. 活断层土壤发育年代学新方法的应用研究. 见: 地震科学联合基金课题最终成果报告. 1996.

度高,能够更客观地反映土壤剖面的发育程度。

通过回检和对比分析,上述(1)-(4)关系式与实际情况拟合很好,其相关系数分别为0.99, 0.997, 0.998和0.992,它们可试用于同类地区活动构造的实际测年工作,并通过实际应用和进一步的修改完善最终确定出其中最佳的计算公式。

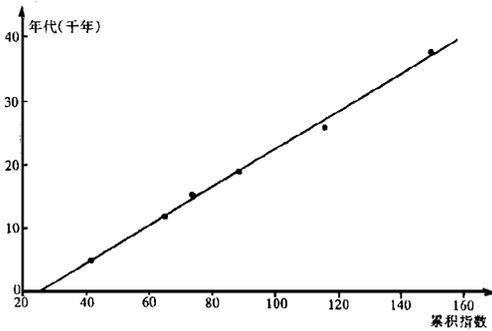


图3 土壤 CaCO_3 累积指数与时间(年代)的变化关系

Fig. 3 Change of CaCO_3 accumulation index in soils with age.

干旱-半干旱地区冲洪积物土壤中发育的砾石钙膜也含有明显的年龄信息,其厚度及由统计计算得到的累积速率可用来估算所在冲洪积物或土壤的形成年代.作者在阿尔金山东段北麓的5期洪积扇上对砾石钙膜厚度进行了系统的测量,并依据各期洪积扇的绝对年龄数据计算得到本区砾石钙膜的平均累积速率为0.01毫米/千年.根据该值对长草沟古河道及其附近断错洪积扇的形成年代进行的合理估算结果表明,砾石钙膜测年方法在使用上更具有快速、简便、经济的功效.另外,在古地震剖面上,对砾石钙膜进行仔细的观察和研究还有助于正确识别断崖崩积物和确定古地震的发生年代。

以上在阿尔金和榆木山地区开展的土壤年代学方法研究虽然仅仅是初步的,但却显示了这种测年方法在我国西北地区的适用性和广阔的应用前景。

4 发展应用前景

土壤测年方法具有非常突出的优点和广阔的应用前景.首先,在陆地上土壤发育很普遍,断层新活动几乎总是发生在土壤或含有土壤的各类沉积物中,因此该方法具有更广泛的适用性,不存在缺乏定年物质的问题.并且土壤年代及其发育速率的研究有助于更深入地了解 and 判定活动构造的作用过程.其次,土壤方法的研究内容很丰富,土壤的许多特性与其发育时间密切相关,因此该方法的挖掘潜力很大,尤其是其测年精度会十分明显地随着研究工作的深入而不断提高.再则,土壤年代学方法最终将建立起土壤发育年代序列,该序列一旦建立起来,便可更加方便快捷地、系统地确定活动构造的年代.最后,对土壤或各类土层发育特性以及整个土壤剖面构造特征的详细研究,还有助于推动第四纪微地层学的发展,提高古地震剖面微地层分析的水平,以及正确地识别与划分古地震的活动期次.总之,基于土壤本身的发育和分布特点,土壤年代学方法可广泛有效地用于活动构造的测年及第四纪地层的详细划分与对比工作中.尽快建立、发展和完善这一在国际上越来越受到重视的颇具应用前景的测年方法,对不断提高我国活动构造定量化研究和第四纪地质及其年代学研究工作的水平和精度具有重要的实用意义。

土壤测年方法的研究,在寻找和研究那些与发育年代密切相关的单个土壤发育特性的同时,应加强对土壤整体或多个发育特性的综合研究,提出综合的能够更客观评价土壤发育程度的定量指标.这对最终在所研究地区建立起土壤年代序列也是至关重要的.Harden (1983)曾通过对数个土壤发育特性客观定量化,建立了土壤“剖面发育指数”.该指数对土壤之间的比较提供了客观的数值依据,可消除主观上估计土壤发育程度的不足和误差.土壤“剖面发育指数”与时间还有十分明显的相关关系,并且不同气候区的土壤显示了随年龄增加有相似的剖面发

育指数值(图 4). 这些研究结果预示着土壤测年方法在地理区域上有着更加广阔的适用范围.

5 结语

土壤年代学方法是一种具有广泛应用前景的新的测年方法. 我国西北干旱-半干旱地区是开展这一方法研究并使之能够有效应用于测定活动构造和第四纪地层年代的最理想的地区. 这是因为: ①该地区活动断裂十分发育, 并且大多沿山地边缘或山前地带展布; ②在山前冲洪积物中往往很难采到可供测年的物质, 因此像¹⁴C 和热释光等数值测年方法的应用受到明显的限制; ③山前地带广泛展布有各种层状地貌(洪积扇、阶地和台地等), 在这些不同时代地貌面上形成有不同发育程度的保存完好的自然土壤, 并且这些土壤几乎总是与估算所在沉积物和断层活动的年代有密切的关系. 显然, 这三个方面的原因构成和体现了在我国西北干旱-半干旱地区发展、建立土壤测年方法的有利条件和重要的实用意义.

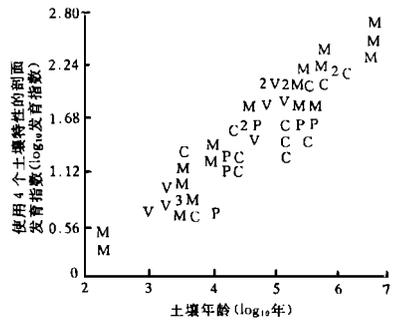


图 4 土壤剖面发育指数随时间(年代)的变化关系 (据 Harden 和 Taylor, 1983)

Fig. 4 Change of the soil profile development index with age (from Harden and Taylor 1983).

- C 新墨西哥拉斯克鲁斯;
- M 加利福尼亚默塞德;
- P 宾夕法尼亚中部;
- V 加利福尼亚文图拉;

数字表示在同一地点分析的数目

参考文献

- 1 Gile L H, Peterson F F and Grossman R B. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science*, 1966, 101(5): 347 ~ 360.
- 2 Machette M N. Dating Quaternary faults in the southwestern United States by using buried calcic paleosols. *Jour Research U S Geol Survey*, 1978, 6(3): 369 ~ 381.
- 3 Machette M N. Calcic soils and calcretes of the southwestem United States. *Geol Soc American Special Paper* 203, 1985, 1 ~ 21.
- 4 Colman S M and Pierce K L. Use of weathering rinds on andesitic and basaltic stones as a Quaternary age indicator, Western United States. *U S G S Professional Paper* 1210, 1981, 56.
- 5 Levine E R and Ciolkosz, E J. Soil development in till of variions ages in northeastern Pennsylvania. *Quaternary Research*, 1983, 19, 85 ~ 99.
- 6 Harden J W and Taylor E M. A quantitative comparison of soil development in four climatic regimes. *Quaternary Research*, 1983, 28: 342 ~ 359.
- 7 McFadden L D. Changes in the content and composition of pedogenic iron oxyhydroxides in a chronosequence of soils in southern California. *Quaternary Research*, 1985, 23: 189 ~ 204.
- 8 McFaden L D and Weldon R Y. Rates and processes of soil development on Quaternary terraces in Cajn Pass California. *Geol Soc Amer Bull*, 1987, 98: 280 ~ 293.
- 9 Pierce K L. 断代法. 见: 四川省地震局译, 活动构造学. 成都: 四川科学技术出版社, 1989.

SOIL CHRONOLOGICAL METHOD AND ITS APPLICATION

XING Chengqi LU Dehui DONG Zhiping LONG Junhua
(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China)

- 1 . . 1718 年通渭地震和 1654 年天水地震地区航空照片判读. , 1984 (1): 1~7.
- 2 . (). : , 1989.
- 3 . . . , 1993, 15(1): 67~71.
- 4 . . GBJ. : , 1992. 25~90.
- 5 . . : , 1992.

ON RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL MECHANICAL INDICES AND VULNERABILITY OF LOESS

DUAN Ruwen WANG Jun LI Lan

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

For several years the authors investigated and explored in loess area, collected loess samples of each type, tested the physical mechanical nature of loess in field and laboratory, and obtained a large amount of data about loess features. Based on these research results, the relationship between physical mechanical indices of loess and its vulnerability as well as regional distribution regularity of these indices were discussed, and then their relation to geological and seismic disasters in loess area was studied.

Key words: Geologic hazard, Earthquake disaster distribution, Loess, Loess vulnerability, Physical mechanical index

上接(80页)

Abstract

In this paper, the soil chronological method and its dating principle as well as present research situation at home and abroad and developmental prospect for application are introduced and discussed in detail. The fundamental train of thought of this method has been applied by the authors to dating study of the foreland regions of the Yumushan mountain and Altun mountain, and four quantitative relational expressions between CaO, CaCO₃ content and CaCO₃ accumulation index value in soils and their developmental age have been preliminarily formed and the mean accumulation rate of the calcic coats on gravels in soils has been obtained by statistical calculation as well. Through test and comparative analysis, it is considered that the soils chronological method is applicable to the Northwestern region of China and has the vast prospects for application.

Key words: Soil characteristic, Chronological method, Dating active tectonics