

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)6 - 761 - 08

树木地貌学在地质灾害研究中的应用

王秀丽,唐亚*

(四川大学建筑与环境学院环境科学与工程系,四川成都 610065)

摘 要: 地质灾害对人类及环境造成的影响巨大,了解灾害发生的规律及影响机制对防灾减灾有重大意义。树木分布广泛,不会迁移,一般情况下每年形成一圈记录当年环境状况的年轮,利用树木年轮信息能够分析环境因子的时空变化。树木地貌学已普遍应用于地震、泥石流、滑坡等地质灾害研究,通常以重建灾害发生的时间、影响范围、运动过程等为基础,评价地质灾害对森林结构组成、地貌变化的影响,分析灾害在时间及空间上的变化过程,结合气象及水文数据,能够探讨诱发灾害的可能原因,进而推测在全球变化大背景下的发展趋势。为此,探讨了利用树木年轮重建地质灾害的理论基础,总结了主要研究成果并分析了当前研究的不足,指出以后的研究方向。

关键词: 树木年轮学;自然灾害;泥石流;滑坡

中图分类号: Q948.2,X4

文献标志码: A

地震、泥石流、滑坡、雪崩、岩崩等自然灾害会引起局部环境变化,破坏当地生态系统的完整性,导致生态系统服务功能下降,影响人类的生产和生活条件,有时甚至危害生命财产安全,已经成为影响人类可持续发展的一个重要因素。研究灾害发生规律,有助于建立防灾减灾体系,降低灾害损失,而且对人类聚居地及工业产业的选址、城区规划、交通路线等的科学决策也有重要意义^[1]。对过去灾害的认识是预测未来灾害的基础。目前自然灾害的记录主要来自历史记录,但有明显缺陷:通常仅记录发生在人类聚居地、伤亡损失较大的事件,不记载人烟稀少区域或强度较弱的灾害;由于技术水平和条件所限,对灾害活动的发育过程、空间特征、强度等信息的记录常不全;不同文明发展程度使各地的历史记录年代差别较大,并且自成体系;朝代的更替、地形的改变也常使所记录的灾害发生区域难以确定^[2]。因此从历史资料中仅能获得部分不全面的灾害信息。

利用灾害遗迹重建和分析历史上自然灾害发生年代是弥补资料记载不足的一种途径,目前较成熟

的方法有放射性碳同位素定年法^[3]、地衣年代法^[4]和树木年轮年代法(简称树轮法)^[5]等。放射性碳同位素法通过测定残存的 C¹⁴ 含量推断年代,适用的时间跨度大,但由于摆动效应,以及化石燃料大量燃烧使大气中 C¹³、C¹⁴ 等所占比例降低的 Suess 效应等的影响^[6],测定的结果有年、十年甚至百年的误差;地衣年代法利用裸岩上地衣现状及生长速率推断其最初出现的年代,但不同环境下地衣的生长速率相差大,而且其生长速率不易准确测定,推断地衣年龄的误差较大^[7-9];树木生长发育受光照、温度、水分、养分等环境条件的影响,能够将环境变化记录在形成的年轮中,树轮法能够将事件发生时间精确到年,有时甚至能够达到月的精度,死树的年轮能够以木材、化石、艺术品等形式保留下来,其年轮序列可以叠加,加之树木分布广泛,利用树轮序列能够较精确地重建数百年至千年的历史^[6,10]。

1971 年 Alestalo 首次提出树木地貌学(Dendrogeomorphology)的概念,是“将植物生态学与树轮定年应用于地貌活动研究中”的一门学科,并提出了

收稿日期(Received date):2013-10-13;修回日期(Accepted):2014-04-06。

基金项目(Foundation item):高等学校学科创新引智计划项目(B08037)。^[Supported by the Program of Introducing Talents of Discipline to Universities (B08037).]

作者简介(Biography):王秀丽(1990-),女(汉),籍贯江苏省,硕士研究生,专业方向为树木年轮学。^[Wang Xiuli (1990-), female (Han), born in Jiangsu, graduate student for Master Degree, major in dendrochronology.] E-mail: Jasmineqya@gmail.com

* 通信作者(Corresponding author):唐亚[Tang Ya], E-mail: tangya@scu.edu.cn

树木对地貌活动的基本响应系列^[11]。在此基础上, Shroder 提出了“活动-事件-响应”体系,即某一地貌活动的发生(活动),对树木的生长造成影响(事件),而树木的生长对该影响会做出相对的响应(响应)^[12]。这种响应会在树木的年轮序列或外表留下痕迹,通过研究这些受影响的树木,能够对其所记载的地貌活动进行分析,包括类型、强度、发生的具体位置、受影响区域、发生频率等信息。若灾害发生地区的气象和水文等数据可以获得,还可以进一步研究地貌活动与气候之间的关系,预测在全球气候变化背景下地质灾害的趋势^[13-14]。

我国山地灾害频繁,造成严重的财产损失及人员伤亡。对山地灾害发生的研究很多,但对灾害发生历史的研究则较少。

1 利用树木年轮研究地质灾害的理论背景

生长在具有明显季节变化地区的树木,特别是针叶树,在生长季末期形成的晚材细胞和在次年生长季早期形成的早材细胞,有明显的形态和颜色差异,形成明显的圈层结构,通常一圈代表一年,即树木年轮。年轮的宽度和密度等受生物和非生物因素的共同影响, Cook^[15] 提出对应每一年(t),树木年轮的生长可以用以下公式表示

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

式中 R_t 为对应 t 年的树轮宽度; A_t 为树木生长趋势,与树木的年龄、大小、树种相关。 C_t 为气候因素的影响,如降水量、日照、温度等。 $\delta D1_t$ 是森林内部树木所受影响,如竞争作用; $\delta D2_t$ 为大面积森林所受的影响,如大面积的虫害、火灾等。 E_t 则是无法

解释的生长波动。

环境对树轮形成的影响主要表现在 C_t 、 $\delta D1_t$ 及 $\delta D2_t$ 三项,树木地貌学主要研究 $\delta D1_t$ 及 $\delta D2_t$,而 C_t 是树木气候学 (Dendroclimatology) 的主要研究对象^[15-16]。自然灾害除了能够影响树木的年轮宽度,还能使树木形成特殊细胞,如反应木细胞,甚至改变森林结构(表 1)。

一般根据样品中出现响应的年轮能够判别地貌活动具体出现的年份,而某些针叶树种,如欧洲云杉 (*Picea abies* (L.) Karst.) 和欧洲落叶松 (*Larix decidua* Mill.) 等,若自然灾害对其造成树干损伤,会在伤口形成之后在次生木质部产生沿切线方向的创伤性树脂道 (Traumatic Resin Ducts, 简称 TRD)。若创伤发生在生长季,欧洲落叶松的树脂在几天之后即会产生,树脂道则会在其后的 4 ~ 28 d 内形成。因此若干扰发生在生长季内,利用 TRD 在年轮中所处的位置,可以将引起干扰的事件精确到某一月^[17]。

2 树木年轮学在地质灾害历史重建中的应用

树木地貌学建立半个世纪以来,发展迅速,研究领域从地震等扩展到其他地质灾害。最近 20 a,应用树木年轮信息研究泥石流、滑坡、地震、雪崩、洪水、落石、土壤侵蚀等方面都有大量研究,重点包括地貌活动对树木生长影响的机制、事件重建及变化趋势和灾害诱发因素等^[12-14],建立了一套树木地貌学样品的采集、处理、分析体系。结合我国实际,以下主要论述树木年轮学在地震、泥石流以及滑坡研究中的应用。

表 1 地质灾害诱发的主要影响类型及树木响应机制
Table 1 Major impacts and tree-ring responses induced by geological disasters

| 影响类型 | 树轮响应 | 诱发响应的灾害类型 |
|---------|------------------|-----------------|
| 倾斜 | 反应木 | 滑坡,泥石流,雪崩,地震,崩塌 |
| 伤痕 | 生长抑制,创伤性树脂道,愈伤组织 | 滑坡,泥石流,地震,落石,崩塌 |
| 掩埋 | 生长抑制 | 泥石流,海啸 |
| 根部裸露或损伤 | 裸露根部的结构变化,生长抑制 | 水土流失,泥石流,地震,滑坡 |
| 树冠缺损 | 生长抑制 | 地震,泥石流,滑坡,落石,崩塌 |
| 竞争者去除 | 生长释放 | 泥石流,滑坡,地震,崩塌 |
| 森林结构改变 | 年轻树木或新树种出现 | 滑坡 |
| 环境改变 | 生长量变化 | 地震 |

2.1 地震

地震对树木的影响分为直接影响与间接影响。直接影响主要由震动及地表破裂引起,如树干倾斜、根系断裂、枝干折断等^[18]。一般来说,受直接影响的树木数量少,而且集中分布在断裂带附近,但所受影响强烈,包含的信息量大,准确度较高,对确定地震发生年代及位置很有价值,而且还能用于推断断层的相对位移^[19]、地震烈度及震级、活动断裂带^[20]等,对重建地震活动能够提供很好的信息,早期利用树木研究地震的主要对象就是这类树木。但由于断裂带附近危险性较高,可达性差,样品采集不易;或者沿断裂带植被稀疏,木本植物少,可供采集的样品量少,限制了研究的深入。Bekker 沿垂直断裂带方向不同距离取样的研究结果发现^[21]:在断裂带附近,树龄长的树木对地震响应明显,位于断裂带下降盘的树木受影响更显著;离断层越远,树木受的影响越小;在离断层 25~50 m 范围的树木所受的影响差异不大,在离断层 50 m 处的树木仍对地震表现出明显的响应。这些结果对确定树木采样范围很有价值。

间接影响包括由地震诱发的次生灾害,如泥石流、滑坡、海啸、崩塌等,以及地震引起的环境变化,如地下水位、营养物质供给变化等对树木造成的影响^[18]。由于诱发因素多,常无法判定某一具体地质灾害是否直接由地震引起,间接影响在未知地震的重建研究中作用有限,多用于评价已知地震造成的损失^[22-25]。例如 Cullen 等在新西兰的研究指出,当地 4 次大的森林结构变化中至少有 3 次是由地震引起,且与地震强度、震中位置、所积累的碎屑物质相关^[26];间接影响也用于分析重建地震发生的具体时间、影响范围、震级、断裂带等^[16, 27]。

利用树轮学证据重建地震活动的著名例子是美国卡斯凯迪亚断裂带 1700-01-26 的 8~9 级地震。1991 年在加利福尼亚州及华盛顿州的海湾地区,发现了可能由于地震导致的地面突然沉降而被掩埋的草本植物及树木^[28],C¹⁴ 定年判断其沉降发生在 1680—1720 年^[29],而对沿岸受影响但存活下来树木的研究,将该活动发生时间确定为 1699 年与 1700 年生长季之前^[30]。将树轮学研究结果与其他研究结果相结合,可以提高重建地震活动的精度,如 Satake 等分析日本海啸与环太平洋大地震之间的联系,发现日本历史记载中 1700-01-26 的大海啸,是由北美西海岸斯凯迪亚断裂带一场 8~9 级地震

引起。上述两个研究的时间与地点完全吻合,而对受影响树木的分布研究及相关地质证据发现,该地震至少导致 900 km 长的区域断裂^[29-30]。

对未知地震活动进行重建研究,分析地震重现期,有助于地震预测,对降低地震灾害影响具有重要意义。然而大地震的重现周期一般比树木的平均年龄长很多,所以树轮学在这方面研究较少,目前相关研究多侧重于分析已知地震对环境的影响,对资料记载的地震进行证实与完善,实际重建地震事件的案例很少。

2.2 泥石流

泥石流发生过程中,流动物质会破坏流体经过路径及其周边树木,在枝干上留下伤痕,甚至直接将树木撞断,而物质流动过程中的冲刷作用,在去除沿途植被的同时还会损伤两侧树木的根系和枝干,在泥石流堆积区域,树木会发生倾斜、被掩埋、或者被坚硬的石块撞伤。此外在泥石流堆积物上能够重新生长新一代植被,改变森林结构。所有这些保留了泥石流发生的大量信息。

利用树木年轮学研究泥石流的案例集中在欧洲阿尔卑斯山,因为当地泥石流发生频繁,自然环境受人为影响小,研究材料丰富。结合泥石流活动遗迹,利用树轮中所包含的信息(如愈伤组织、创伤性树脂道、反应木等),树木年轮学研究者重建了当地泥石流历史,完善泥石流年表;分析了泥石流发生频率、发生季节、空间分布的变化;结合水文、气象等数据,揭示了泥石流的发生特征、诱发因素、演变趋势等^[31]。

例如,通过对在 769 处可识别的泥石流遗迹处采集的 1 102 株树木样品(年轮序列起始于 1492—1962 年)的研究^[32],Stoffel 等:1. 重建了当地 1566—2005 年的 123 次泥石流;2. 指出在 1570—1860 小冰河期,由于高海拔地区较低的温度与频繁的降雪,当地泥石流发生频率较低;而在 1864—1895 年间,由于夏秋温度升高和降水量增大,泥石流发生频率升高,并一直持续到 20 世纪;3. 根据创伤性树脂道在树轮序列中的位置,结合洪水及气象记录,发现当地泥石流发生时间由 6—7 月后移至 8—9 月,主要原因是夏季暴雨的减少和秋季飓风天气带来的降雨量增大;4. 在当前温室效应影响下,预测该地区泥石流发生频率将继续降低,但单次泥石流的强度则会增大。他们在另一地区的研究^[33],则根据不同年代受影响树木的分布,重建了当地泥

泥石流经过路径的演变过程。这些研究系统分析了瑞士瓦莱州泥石流发生的时空特征,并以此为基础预测了当地泥石流的变化趋势,为减灾体系建立以及相关政策的制定提供了科学依据。

当前对泥石流活动在树轮中的识别方式较多。传统方法常常是根据样品表现出的响应以及空间分布来判断事件,要求相距较近或沿同一泥石流沟的树木表现出相似的响应。对于样本容量较大的年份,若数个样品均表现出较弱的生长响应或仅一株树木表现出突发的响应,则不能确定活动的发生,必须有两株以上的树木同时表现出较强的响应才可用于后续分析;当样本容量较小时,若两株树木同时表现出突发并且强烈的生长响应,可确认为有活动发生;若仅一株树木表现出生长响应,则不能确定该活动是否发生。目前尚不存在明确的、公认的判定标准。针对这一问题,有学者将树木的响应数值化,提出了指数 I_t ,加权系数 W_{it} 等指标^[34-35]。 I_t 能够去除样本容量不同带来的误差,但是没有考虑不同响应强度意义的差别,容易遗漏较细微的活动^[36], W_{it} 则综合考虑了受影响树木所占的比例以及所受影响的程度,但与 I_t 相同,无法回答如何选取适宜的界限值,才能够在尽量完整的重建所有事件的前提下保证准确性^[37]

$$I_t = (\sum_{i=1}^n R_i / \sum_{i=1}^n A_i) \times 100\%$$

$$W_{it} = [(\sum_{i=1}^n T_i * 7) + (\sum_{i=1}^n T_s * 5) + (\sum_{i=1}^n T_m * 3) + (\sum_{i=1}^n T_w)] * \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

式中 T_i 、 T_s 、 T_m 、 T_w 分别代表树木表现出的不同程度的响应,响应程度逐次降低; T_i 为愈伤组织或能够明确判定的伤痕; T_s 为树轮宽度变化 $\geq 60\%$ 且持续时间 ≥ 5 a、反应木(树轮宽度的 50% 以上为反应木)出现 ≥ 5 a、创伤性树脂道呈连续紧密的一排; T_m 为树轮宽度变化 $\geq 60\%$ 且持续时间 ≥ 2 a 但 < 5 a、反应木(树轮宽度的 50% 以上为反应木)出现 ≥ 3 a 但 < 5 a、创伤性树脂道紧凑但不是完全连续; T_w 则为树轮宽度变化 $< 60\%$ 且持续时间 ≥ 2 a、反应木(树轮宽度的 50% 以上为反应木)出现 ≥ 2 a、创伤性树脂道之间存在明显的间隙; A_i 是在 t a 的样本容量; R_i 是在 t a 表现出响应的树木的数量。

利用树木年轮信息对泥石流活动进行时空重建要求较大的样品量。目前对样品数量、采样位置等尚未有明确的标准,通常是对位于泥石流沟附近,表现出明显受外部影响的树木进行采样,样品数量由

数百至上千不等。近期有研究指出在研究区域均匀分散地取 150 株样品能够保留当地约 85% 的泥石流活动^[34],但其在特定区域的适用性尚需证实。

目前利用树木年轮重建泥石流活动的研究已经比较成熟,有较多的研究成果。但是具体研究仍以特定研究区域为单位,不同区域之间缺乏对比分析,在全球层面上的认识不足,原因之一是对事件识别标准不同所致。因此研究的主要发展方向是扩大研究覆盖的地域范围,建立合理、公认、通用的事件识别方式;在尽量减少样品量的前提下,提高事件重建的完整性和准确度。

2.3 滑坡

对树木的生长来说,滑坡影响主要表现在 3 个方面,即形成新的裸地、生长环境变化和对树木的直接影响。滑坡产生新的裸地,在裸地上发育的新植被与周边原来的植被在群落结构等方面有明显差异,新群落中最大的树龄,可大致代表该裸地形成的时间。生长于滑坡体边缘的树木,特别是上缘的树木,由于竞争者的消失,水分和光照条件改变,生长可能变快;而位于滑坡体及其下滑路径上的树木,除生境有所改变外,还会受到茎干掩埋、茎干倾斜、枝干去除、根系受损等直接影响,在年轮序列中常常会留下明显的窄年轮和反应木。因此在利用树轮研究滑坡时,主要指标为反应木、生长量突变以及树木年龄组成,此外一些死树残体的死亡年代也能用于推断滑坡发生的时间。

由于条件所限,早期研究多以重建及诱因分析为主。如美国西雅图华盛顿湖内随滑坡一起进入湖中的死树,其死亡年代与 23 km 之外位于海啸堆积物中的树木相同,证明两者由同一场地震引起^[38];加拿大魁北克的研究证实当地在 1818 年 7 月、1839 年和 1846 年的春季发生过滑坡,主要诱因为冷湿气候引起的心土含水率增加^[39]。

当前的研究在重建精度及准确度、空间分析、预测等方面均有进展^[36, 40]。如在法国,利用 403 株受影响的松树,重建了 1910—2011 年 100 a 间的 22 次滑坡^[36],发现重现期为 4.5 a,并以此为基础,利用松树分布模型以及 GIS 软件,绘制了未来 5 a、20 a、50 a 以及 100 a 内研究区域内滑坡发生的概率图,为防灾减灾体系的建立提供科学依据。

与泥石流对树木的影响不同,滑坡过程中,树干受损、形成创伤性树脂道的树木所占比例较小,而反应木较多,常常难以将事件精确到年内某一季节。

因此 Lopez 等探索根据反应木在年轮序列中出现的位置来提高事件重建的精度。他们发现,若反应木细胞自年轮初始即存在,说明倾斜发生在上一年的休眠期;若反应木细胞自年轮中部开始出现,并且后续几年年轮皆为反应木细胞,说明倾斜发生在生长季内;而对于连续几年反应木细胞皆自年轮中部开始出现的情况,则无法具体判定倾斜发生的时间^[40]。这项研究增加了一个能够将事件发生时间精确到年内的树轮指标,使得对于某些不产生树脂道,或者树脂道不能用于事件判定的树种也能进行年内精度的重建。但是反应木在年轮中的分布并不均匀,位于倾斜方向一侧的反应木最厚,起始时间最准确,偏离越远,反应木厚度越小,距离真正起始位置越远。因此对树芯样品采集时的要求高。重建滑坡事件的可信度一般利用指数结合表现出响应的树木数量进行判别,不同研究选取的界限值不同,但一般以值 10%,响应样品数 5 株为界,样品数量大可以相应地降低对值的要求,反之样品量少,则需要增大限值以保证重建的可信度^[41]。

与利用树木年轮分析泥石流活动相似,在滑坡研究中,也存在研究区域分布集中、不同区域间相关研究交流少、采用标准不同等问题。目前对气象因子,尤其是降水与滑坡、泥石流等灾害之间相关性的研究很多,得到了不少有意义的结论,但是大多数仅研究某一特定的灾害。滑坡、泥石流、崩塌等均发生在山区,滑坡、崩塌能够为泥石流提供物质源,而泥石流发生过程中的冲刷、撞击又能够促使滑坡等的发生,同时分析研究区域内的滑坡及泥石流活动可能能够解释不同灾害诱发条件的区别,以及在诱发条件不足情况下这些活动的发生。

3 新的研究方向及在国内应用的局限

3.1 不同类型事件的区分

不同地质灾害影响树木的方式不同,但可能表现出相似的响应(表 1),因此树木地貌学研究一般需要避开有多种活动痕迹的区域,研究地域受到限制。山区通常受地质灾害影响最大,同一地区不同时期或同时受泥石流、滑坡、崩塌、落石等的影响,多次多种活动的影响会叠加。因此,识别不同地质灾害在树轮中留下痕迹,区分研究区域受到的多次活动的影响,能极大促进树木地貌学的发展和应用。不同地质灾害对树木的影响,目前可以根据下述信

息区分:1. 响应木在树木年轮中的位置^[37];2. 树轮细胞微观结构的区别^[42];3. 树轮化学成分、密度、含水量等的变化;4. 受同一活动影响的树木受损类型的组合;5. 伤痕在树干上的位置等。但如何区分不同类型灾害对树木影响差别和利用树木重建两种(包括两种)以上灾害事件的研究很少,在这方面树木地貌学有较大发展空间。

3.2 研究树种的扩展

树木地貌学研究需要精确判定每一圈年轮所对应的年代,并充分挖掘树轮包含的环境信息。由于其特有的生长特性,针叶树木质部形成过程简单,细胞类型单一,年轮清晰,是树木地貌学的主要研究对象。阔叶树木质部细胞类型多样,细胞径向排列不明显,多数种类的早晚材常难以区分,缺乏明显的年轮,基于阔叶树种的树木地貌学研究较少。在我国,针叶树的分布不如阔叶树广,除寺庙等特殊场所外,人口密集区的植被都是以阔叶树为主,因此,开展阔叶树种对地质灾害的响应机制研究,将大力促进树木地貌学的发展和应用。近年来,国际上已经开始对阔叶树种的研究,包括一些热带地区的树种,发现阔叶树种对泥石流造成的伤痕有较明显的响应,在年轮的导管特征上有明显反映^[43]。阔叶树种细胞结构复杂,可供利用的指标也多,可能存在能够提高精度,或者有助于区分不同灾害影响的指标。深入研究阔叶树种受地质灾害影响的响应机制,不仅有助于对树木地貌学的理论认识,而且能够大大促进其在我国的应用。

3.3 新技术综合应用

遥感(RS)、全球定位系统(GPS)、卫星图像、地理信息系统(GIS)、光探测与测量(LiDAR)等技术的发展,为树木地貌学研究提供了巨大便利,主要体现在研究区域地理图像绘制、地貌活动痕迹的判别及空间分析等方面^[1-2, 44]。随着地理信息系统的发展,在以后的研究中,树木所包含的信息可以作为地理信息系统分析的一项原始数据,与地质资料、人文社会数据等相结合,进行最适宜开发区域、最佳避难区域、最佳公路建设路线等研究。

3.4 分析方法及指标改进

树木地貌学以树轮交叉定年(cross-dating)确定的每一圈年轮对应的确切年份为基础,依据树轮中响应的数量、强度、空间分布等信息重建灾害事件。但由于微环境的差异、局部影响等,即使距离相近的树木的响应也可能存在很大差异,而受事件影响的

树木由于剧烈的环境变化,与周围个体的差异会更明显,会导致树木之间交叉定年结果不理想。如何选取适宜的交叉定年标准,或者设计更适用于环境因素制约程度低、树木生长情况差异大的区域的定年方法,是树木地貌学发展面临的一个挑战。此外,如上文所述,目前对判别活动发生与否、活动类型、活动强度等缺乏统一的、公认规范,不同研究自成体系,不利于交流。

阔叶树与针叶树木质部组成细胞完全不同。随着对阔叶树种研究的深入,与阔叶树特有的导管细胞、薄壁组织等相关的指标将被逐渐提出。而作为研究程度较高的针叶树种,除年轮宽度、特殊细胞外,还有化学成分、密度、灰度等指标,但使用程度普遍较低。年轮的各项性质均受到同一环境的影响,除寻找新的指标外,还可以尝试综合多项指标结果,得到有意义的计算结果用于分析。

环境因素在影响树木径向生长(年轮)的同时,也对树干的高生长、枝条伸长生长量产生影响。比如针叶树常常每年仅发一次新枝条,主干上同一年的新枝条形成“一台”,“台”间距反映树木每一年的高生长量,枝条也表现出类似的伸长生长,但目前尚未见树木地貌学研究利用径向生长之外的其他生长。

3.5 树木地貌学在我国的前景和挑战

至今为止,树木地貌学研究主要在北美各大山脉、欧洲阿尔卑斯山脉及大洋洲新西兰等地,在世界其他区域的研究很少,在我国的研究仅有4例^[5, 19, 45-46]。主要原因之一是北美、阿尔卑斯及新西兰等地区森林保存好,人为影响小,容易获得时间序列长、人为影响因素少、信息量大的树轮序列。我国地理环境复杂,自然灾害类型多,发生频繁,但是森林面积保存少,人类活动影响广泛,保存可供研究的树木的区域少,特别是树龄长的针叶树种在人为活动强烈地区保存很少。但在我国各地有很多阔叶树由于“无用”而保留下来,成为树木地貌学研究的潜在材料,我国长期的人为活动,使很多可供利用的灾害遗迹消失,各地留存的树木可能成为研究区域自然灾害的重要材料。地质灾害频繁地区不同树种的研究,不仅能够有助于重建自然灾害历史,而且能够发现新的可供利用的性状。

参考文献 (References)

[1] Mayer B, Stoffel M, Bollschweiler M, et al. Frequency and spread of debris floods on fans: A dendrogeomorphic case study from a dolo-

mite catchment in the Austrian Alps [J]. *Geomorphology*, 2010, 118(1-2): 199-206

[2] Saez J L, Corona C, Stoffel M, et al. Debris-flow activity in abandoned channels of the Manival torrent reconstructed with LiDAR and tree-ring data [J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2011, 11(5): 1247-1257

[3] Yin Jinhui, Zheng Yonggang, Liu Yuexia. An overview of radiocarbon calibration [J]. *Seismology and Geology*, 2005, 27(04): 678-688 [尹金辉, 郑勇刚, 刘粤霞. 古地震¹⁴C年龄的日历年代校正[J]. *地震地质*, 2005, 27(04): 678-688]

[4] Winchester V, Chaujar R K. Lichenometric dating of slope movements, Nant Ffrancon, North Wales [J]. *Geomorphology*, 2002, (47): 61-74

[5] Han Tonglin. The dendrochronological method — A new method for determining the ages of seismic deformational belts in Damxung of Xizang (Tibet) [J]. *Bulletin Chinese Acad. Geol. Sci.*, 1983, (2): 95-106 [韩同林. 西藏当雄一带地震形变带发生年代确定的新方法——树木年轮算法[J]. *中国地质科学院院报*, 1983, (2): 95-106]

[6] Shao Xuemei. Advancements in dendrochronology [J]. *Quaternary Sciences*, 1997, (3): 265-271 [邵雪梅. 树轮年代学的若干进展[J]. *第四纪研究*, 1997, (3): 265-271]

[7] Sancho L G, Pintado A. Evidence of high annual growth rate for lichens in the maritime Antarctic [J]. *Polar Biology*, 2004, 27(5): 312-319

[8] Sancho L G, Palacios D, Green T G A, et al. Extreme high lichen growth rates detected in recently deglaciated areas in Tierra del Fuego [J]. *Polar Biology*, 2010, 34(6): 813-822

[9] Allan G T G, Brabyn L, Beard C, et al. Extremely low lichen growth rates in Taylor Valley, Dry Valleys, continental Antarctica [J]. *Polar Biology*, 2011, 35(4): 535-541

[10] Wu Xiangding. Application of tree ring analysis to the study on environment variation [J]. *Quaternary Sciences*, 1990, (2): 188-196 [吴祥定. 树木年轮分析在环境变化研究中的应用[J]. *第四纪研究*, 1990, (2): 188-196]

[11] Alestalo J. Dendrochronological interpretation of geomorphic processes [J]. *Fennia*, 1971, (105): 1-140

[12] Shroder J F. Dendrogeomorphology: review and new techniques of tree-ring dating [J]. *Progress in Physical Geography*, 1980, 4(2): 161-188

[13] Stoffel M, Bollschweiler M. Tree-ring analysis in natural hazards research — an overview [J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2008, 8(2): 187-202

[14] Stoffel M, Bollschweiler M. What tree rings can tell about earth-surface processes: teaching the principles of dendrogeomorphology [J]. *Geography Compass*, 2009, 3(3): 1012-1037

[15] Cook E R. The decomposition of tree-ring series for environmental studies [J]. *Tree-Ring Bulletin*, 1987, 47: 37-59

[16] Jacoby G C. Application of tree ring analysis to paleoseismology [J]. *Reviews of Geophysics*, 1997, 35(2): 109-124

[17] Bollschweiler M, Stoffel M, Schneuwly D M, et al. Traumatic resin ducts in *Larix decidua* stems impacted by debris flows [J]. *Tree*

- Physiol, 2008, 28(2): 255 – 263
- [18] Wiles G C, Calkin P E, Jacoby G C. Tree-ring analysis and Quaternary geology: principles and recent applications[J]. Geomorphology, 1996, 16(3): 259 – 272
- [19] Lin A M, Lin S J. Tree damage and surface displacement: The 1931 M 8.0 Fuyun earthquake[J]. Journal of Geology, 1998, 106(6): 751 – 757
- [20] Jacoby G C Jr, Sheppard P R, Sieh K E. Irregular recurrence of large earthquakes along the San Andreas fault: evidence from trees[J]. Science, 1988, 241(4862): 196 – 199
- [21] Bekker M F. Spatial variation in the response of tree rings to normal faulting during the Hebgen Lake Earthquake, Southwestern Montana, USA[J]. Dendrochronologia, 2004, 22(1): 53 – 59
- [22] Lamarche V C, Wallace R E. Evaluation of effects on trees of past movements on the San Andreas Fault, Northern California[J]. Geological Society of America Bulletin, 1972, 83(9): 2665
- [23] Page R. Dating episodes of faulting from tree rings: effects of the 1958 rupture of the Fairweather Fault on tree growth[J]. Geological Society of America Bulletin, 1970, 81(10): 3085
- [24] Kitzberger T, Veblen T T, Villalba R. Tectonic influences on tree growth in northern Patagonia, Argentina: the roles of substrate stability and climatic variation[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1995, 25: 1684 – 1696
- [25] Allen R B, Bellingham P J, Wiser S K. Immediate damage by an earthquake to a temperate montane forest[J]. Ecology, 1999, 80(2): 708 – 714
- [26] Cullen L E, Duncan R P, Wells A, et al. Floodplain and regional scale variation in earthquake effects on forests, Westland, New Zealand[J]. Journal of the Royal Society of New Zealand, 2003, 33(4): 693 – 701
- [27] Sheppard P R, Jacoby G C. Application of tree-ring analysis to paleoseismology: two case studies[J]. Geology, 1989, 17: 226 – 229
- [28] Jacoby G, Carver G, Wagner W. Trees and herbs killed by an earthquake ~300 yr ago at Humboldt Bay, California[J]. Geology, 1995, 23: 77 – 80
- [29] Yamaguchi D K, Atwater B F, Bunker D E, et al. Tree-ring dating the 1700 Cascadia earthquake[J]. Nature, 1997, 389: 922 – 923
- [30] Jacoby G C, Bunker D E, Benson B E. Tree-ring evidence for an A. D. 1700 Cascadia earthquake in Washington and northern Oregon[J]. Geology, 1997, 25: 999 – 1002
- [31] Bollschweiler M, Stoffel M. Tree rings and debris flows: recent developments, future directions[J]. Progress in Physical Geography, 2010, 34(5): 625 – 645
- [32] Stoffel M, Conus D, Grichting M A, et al. Unraveling the patterns of late Holocene debris-flow activity on a cone in the Swiss Alps: chronology, environment and implications for the future[J]. Global and Planetary Change, 2008, 60: 222 – 234
- [33] Stoffel M, Bollschweiler M, Widmer S, et al. Spatio-temporal variability in debris-flow activity: A tree-ring study at Geisstriftbach (Swiss Alps) extending back to AD 1736[J]. Swiss Journal of Geosciences, 2010, 103: 283 – 292
- [34] Schneuwly – Bollschweiler M, Corona C, Stoffel M. How to improve dating quality and reduce noise in tree-ring based debris-flow reconstructions[J]. Quaternary Geochronology, 2013, 18: 110 – 118
- [35] Bollschweiler M, Stoffel M, Schneuwly D M. Dynamics in debris-flow activity on a forested cone: A case study using different dendroecological approaches[J]. Catena, 2008, 72: 67 – 78
- [36] Saez J L, Corona C, Stoffel M, et al. Probability maps of landslide reactivation derived from tree-ring records: Pra Bellon landslide, southern French Alps[J]. Geomorphology, 2012, 138: 189 – 202
- [37] Kogelnig – Mayer B, Stoffel M, Schneuwly – Bollschweiler M, et al. Possibilities and limitations of dendrogeomorphic time-series reconstructions on sites influenced by debris flows and frequent snow avalanche activity[J]. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2011, 43(4): 649 – 658
- [38] Jacoby G C, Williams P L, Buckley B M. Tree ring correlation between prehistoric landslides and abrupt tectonic events in Seattle, Washington[J]. Science, 1992, 258(5088): 1621 – 1623
- [39] Bégin C, Filion L. Age of landslides along the Grande Riviere de la Baleine estuary, eastern coast of Hudson Bay, Quebec (Canada) [J]. Boreas, 1988, 17: 289 – 299
- [40] Saez J L, Corona C, Stoffel M, et al. Dendrogeomorphic reconstruction of past landslide reactivation with seasonal precision: the Bois Noir landslide, southeast French Alps [J]. Landslides, 2011, 9(2): 189 – 203
- [41] Stoffel M, Butler D R, Corona C. Mass movements and tree rings: A guide to dendrogeomorphic field sampling and dating[J]. Geomorphology, 2013, 200: 106 – 120
- [42] Stoffel M, Hitz O M. Rockfall and snow avalanche impacts leave different anatomical signatures in tree rings of juvenile *Larix decidua*[J]. Tree Physiology, 2008, 28: 1713 – 1720
- [43] Arbellay E, Stoffel M, Bollschweiler M. Wood anatomical analysis of *Alnus incana* and *Betula pendula* injured by a debris-flow event [J]. Tree Physiology, 2010, 30: 1290 – 1298
- [44] Procter E, Bollschweiler M, Stoffel M, et al. A regional reconstruction of debris-flow activity in the Northern Calcareous Alps, Austria[J]. Geomorphology, 2011, 132: 41 – 50
- [45] Yang Bin, Liu Baichi, Zhou Junxi. Tree seismological study of active Gulang and Jingtai Fault in Gansu province [J]. Seismology and Geology, 1995, 17(02): 139 – 147 [杨斌, 刘百旻, 周俊喜. 甘肃古浪、景泰活断层上的树木地震学研究[J]. 地震地质, 1995, 17(02): 139 – 147]
- [46] Wu Zhangming, Shentu Bingming, Cao Zhongquan, et al. The surface ruptures of Dangxiong (Tibet) earthquake (M = 8) in 1411 [J]. Seismology and Geology, 1990, 12(02): 98 – 108 [吴章明, 申屠炯明, 曹忠权, 邓启东. 1411年西藏当雄南8级地震地表破裂[J]. 地震地质, 1990, 12(02): 98 – 108]

Application of Dendrogeomorphology in the Research of Geological Disasters

WANG Xiuli, TANG Ya

(*Department of Environment, College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China*)

Abstract: Geological disasters can cause not only human life and property loss, but also drastic environmental changes. Reconstruction of past geological disasters helps understand occurrence frequency and reduce potential loss of future disasters. Dendrogeomorphology has great potentials in reconstruction of past landslides, earthquakes and debris flows. With use of dendrochronological information, year or month of earthquakes, landslides and debris flows can be determined. In combination of meteorological and geomorphological data, tree-ring data can be used to seek potential causes of geological disasters. Most studies are based on conifers and use of flowering trees will increase usefulness of dendrogeomorphology. Most of dendrogeomorphological studies are carried out in Europe, North America and New Zealand.

Key words: dendrochronology; natural disasters; earthquakes; landslide; debris flows

封面照片:沟源崩塌

发生在沟谷源头的崩塌,称为沟源崩塌,它是地表侵蚀作用的一种方式,也是一种地貌现象。由于它是在沟谷(或河流)源头产生的侵蚀作用,结果使源头不断地向上移动,导致谷地延长,因此这种侵蚀作用又是溯源侵蚀(向源侵蚀)的一种。一般在由松散堆积物组成的沟谷源区,沟源崩塌发生频繁,溯源侵蚀发展较快,如中国西北地区的黄土高原上黄土广布、西南地区的云南元谋等地红土层和棕黄色土层分布范围较大,成为了冲沟发育、沟源崩塌活跃、溯源侵蚀强烈的地区,往往沟壑纵横,水土流失严重,植被稀疏,生态环境恶化。照片为雅砻江支流安宁河中游左岸的一条沟谷(德昌县境内)的沟源崩落地貌。

(嘉 益)