

# 加利福尼亚夏斯塔山区泥石流 流频率和规模的树木形态证据

C. R. 赫普

## 摘 要

夏斯塔山区的惠特尼河和波伦河、马德河、阿什河和潘瑟河流域的泥石流堆积以及发育在河床和邻近地区的木本植物提供了该区300年的泥石流频率记录。泥石流树木年轮断代的结论与文献记载的结论相一致。历史文献中没有记录的九处泥石流也都借助于树木年轮法确定了它们的年代。最早的泥石流树轮年代约在1670年。

地貌和植物证据的综合研究表明,夏斯塔山区泥石流非常活跃。搬运距离在2公里以上的泥石流的频率为每百年8.3次。小型泥石流频率高但通常搬运距离不远。位于河床及邻近地区的树木形态可反映出泥石流的周期性侵蚀和堆积特征,并能揭示泥石流的频率和周期。无论小型或大型泥石流都是夏斯塔山区及其邻近地区刻蚀地表,塑造河床和形成巨大冲积扇的主要地貌外营力。

树木年轮学方法已广泛应用于山坡和河流地貌作用的断代及其地貌过程速率的研究。这种方法是定量研究某些侵蚀过程的有用工具。被泥石流毁坏和生长在泥石流堆积物上的木本植物为解释和测定古代泥石流的年代提供了良好途径。本文报导了在夏斯塔(stasta)山区四个流域内古代泥石流的树木形态分析结果。这四个流域是:惠特尼河和波伦河,马德河,阿什河和潘瑟河。

泥石流冲击树木的力量由它的流速、浓度和所搬运的碎屑物质大小来决定。其作用结果小则可埋没树干的下部,大则可毁坏大面积森林。尽管泥石流堆积物粗糙,往往为砾质结构,

\*\*\*\*\*  
失每年约为130立方公里。诚然,它只占水库调节径流量的1%;3)对周围环境的影响。尽管有这些不利影响,但由于世界上大部分地区年径流分配不平衡,造成水旱灾害频繁,因此,水库建设的规模仍在继续发展。不过近十几年来由于很多地区已设有供作水库淹没区的土地,开始建设地下水库以调节径流。目前根据地方地貌条件,已建立不少供居民用和小面积灌溉用的小型地下水库。经验证明,地下水库还有防止水污染,减少水面蒸发的作用。今后,拟设计用洪水,地表水补给地下水以建立大型地下水库的方案。但地下水库的环境效应还有待进一步论证。

综上所述,水文学地理方向在理论上正不断把水循环平衡的研究,把人类经济活动对径流影响的研究引向深入。在应用上进一步发展人为水文学——环境水文、农业水文,土壤水文,城市水文,资源水文等,涉及各主要经济部门和城乡建设。它不象某些人想象的,只是“一纸空文”,或“一言一蔽之”。在今后六十余年内为争取人类社会经济发展的宏伟目标中,水文学地理方向的工作仍然是大有可为的。

但通常木本植物仍然迅速地生长在这种堆积物之上。夏斯塔山区，特别是那些源自于高山冰川的河谷，泥石流遗迹非常广泛。这些遗迹通常以河谷堆积阶地的形式分布在现代河床之上。一些地方的古代泥石流已夷平了河谷，并进一步向下游发展堆积。

泥石流活跃的夏斯塔山及其邻近地区的植被组合主要为加利福尼亚红杉 (*Abies magnifica*)，加利福尼亚黑栎 (*Quercus kelloggii*)，峡谷活栎 (*Quercus chrysolepsis*)，道格拉斯黄杉 (*Pseudotsuga menziesii*)，香雪松 (*Libocedrus decurrens*)，洛奇波尔松 (*Pinus contorta*)，美国黄松 (*P. ponderosa*)，甜松 (*P. lambertina*)，西部桧 (*Juniperus occidentalis*)，西部白松 (*P. monticola*)，和白杉 (*Abies concolor*)。所有上述树种作了一次以上的树木年轮分析，但大量的植物证据来自于美国黄松，香雪松，白杉和道格拉斯黄杉。

**泥石流的植物证据类型** 泥石流能够摧毁或损坏其活动范围内和邻近地带的树木。那些经过一次泥石流袭击而生存下来的树木可为这一特殊事件提供最确切的年代资料。当树木还在生长时，泥石流的作用能以树干本身的变形和树木解剖时的变形等方式显示出来。树干的变形可分为以下四种基本类型 (图1)：(1) 年际偏心生长；(2) 收缩和放松序列；(3) 主干的偶然抽条；(4) 泥石流搬运的碎屑物质刻蚀树干后形成的瘢痕。对那些经受过一次或多次变形的树干进行树木岩芯年轮分析和横断面分析，可得到某一特定事件发生年代的几种证据。

年际偏心生长以及收缩和放松序列都包括一系列轮宽测量。年偏心生长 (A，图1) 能在不对称生长的树木上看到。由泥石流撞击而突然倾斜的树木，后续同一年轮在树干上一边宽一边窄 (A，图1)。当这种图案在同心年轮产生之后出现时，则偏心生长的年代通常在造成树木倾斜这一事件发生后的一年之内，当然还与季节和倾斜严重程度有关。

收缩和放松序列 (C，图1) 表现为树轮宽度由窄变宽。这种类型的序列可由诸如山火、病害和风暴等多种事件所引起。在一般情况下，树轮收缩是与邻近树木之间的竞争所致，如果这些竞争者迁移出境，则剩下的树木就产生松弛并进入一个快速生长期 (宽轮)。当泥石流流经地带的树木遭受破坏后，生长在泥石流活动带附近的树木就产生松弛现象。这种特殊的年代证据必须在经过慎重测量并在其它样本树上也能发现该年代的多次重复之后方可应用。

树木的严重倾斜，断枝或部分淤埋可导致主干偶然抽条，抽条往往在倾斜后一年内开始并生长，在反复验证后，可提供某一事件的年代证据。遗憾的是，偶然抽条通常只出现在被子植物中而不是拥有大量夏斯塔山区泥石流植物证据的裸子植物中。在夏斯塔山区仅桧科树种为被子植物。

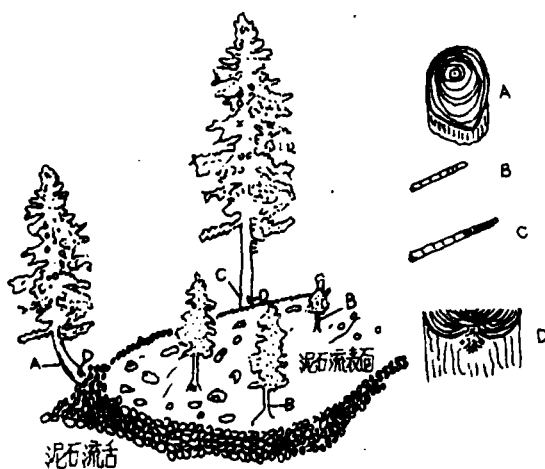


图1 夏斯塔山区泥石流植物证据的四种常见类型。每一类型在树木上的典型部位见图右，典型样品和树木变形见图左。(A)和(D)是横断面和楔形断面，(B)和(C)是增长树岩芯。

泥石流对树干的刻蚀作用损坏了树干的形成层(D, 图1), 从而导致了树干放射状生长的终止。在以后几年中, 这种瘢痕将逐渐被愈伤组织的生长所覆盖, 直到毁坏部分全被覆盖并且形成层又继续围绕了整个树干为止。通过树干瘢痕处的横断面能够确定出被毁坏时的确切年代。瘢痕发生的季节可由被损树木外缘的新老树木的位置来决定。在树木未遭损坏时, 通过瘢痕和楔形面两测不同角度的树木岩芯增长量可推断出泥石流发生的年代。

在被泥石流破坏了原来的植物并为新的植物开辟场合的地区, 泥石流的大致年代可通过新生植物群落中心的树干钻孔来确定(B, 图1)。因为从泥石流停止到植物定居之间的时间是可变的, 因此所估计到的年代仅仅是它的最小值。

**野外工作** 常规的野外工作包括: (1) 通过实地考察、地形图和航片确定堆积阶地的范围; (2) 用钻机和手锯在生长于泥石流阶地及其附近的树干上获取树木岩芯增值、横断面和楔形面资料; (3) 分析用于确定年代的树木样品和树轮图案, 不能在野外断代的送到弗吉尼亚、诺斯顿实验室在显微镜下测定断代。

选取用于树木年轮分析的样品, 有的是在堆积地面形成后生长在阶地上的扩张的根系表征了其生长的树木, 有的是能指示被泥石流毁坏并已发生了明显变形的树木, 或者两者兼而有之。对泥石流阶地的范围、性质和每一树木样品的位置、植物证据的类型以及在野外对泥石流的断代结论(当可能时)都作详细记载。在四个流域内总计分析了325棵树木。各个流域的资料都列成表, 标出每一泥石流可能年代的证据类型和数量。在每次调查中, 对泥石流的位置、范围和年代都做记录, 并在可能条件下进行泥石流填图。

泥石流发生的年代越早, 其规模就越难确定, 因为泥石流事件的大量植物证据已不能用于估计事件的规模。但泥石流堆积的高度、运动距离和堆积厚度仍是其相对规模的合理估计因素。泥石流的规模可分为三类, 即小型、中型和大型。这种分类主要是根据泥石流向下运动的距离确定, 而运动距离的证据又来自于泥石流的输移和堆积以及在河道内被限制的程度。在这一研究中, 考察的各类泥石流运动的距离都在2公里以上。小型泥石流多发生在河床内。中型泥石流多发生在下游沟道, 有一定的溢流迹象。大型泥石流的输送距离很远, 并有大量泛滥侵蚀和堆积。

**结论** (1) 惠特尼河和波伦河 阶地和河底的木本植物以美国黄松为主。在较低和较高部位分别散布有西部桧和白杉。大多数古代泥石流的植物证据来自美国黄松。现代还生长的树木分析和古代泥石流的 历史记载表明, 在泥石流堆积1—5年以后, 美国黄松开始在其上定居。大多数泥石流的植物证据来自于泥石流表面的树木年龄、树轮异常和刻蚀瘢痕, 而后者在近代泥石流的断代上最为有用。

通过树木年轮分析而确定的泥石流年代表列成表1, 并注明了每一事件植物证据的类型。树木年代表明, 扎根于泥石流表面的树木反映了地面的最小年代。最初的根系高度建立在生长点上。树轮异常有的与收缩和放松序列有关, 有的与树轮系列的偏心生长有关。事件G和H的年代是近似值, 因为仅仅只有阶地面上的树龄, 这只是指示泥石流年代表的一项线索。事件D有历史记载, 并且是该流域内一次较大规模的泥石流。

(2) 马德河 在阶地和河底的木本植物主要是美国黄松和香雪松, 在较高的位置散布有白杉和道格拉斯黄杉。古代泥石流的植物证据都来自于以上树种。现在还在生长的树木分析和历史记载表明, 在泥石流堆积3—15年以后, 植物开始在其表面定居。据希尔和爱更霍夫以及迪肯森和克罗克报道, 这片由1924—26年泥石流形成的地表在1950年仍只有稀少的植被覆盖, 植物在此定居的长时间推迟, 而不象在惠特尼河和波伦河那样快速, 其原因还不清楚。

表1 惠特尼河和波伦河泥石流年代和植物证据一览表

事件	地 点				植 物 证 据
	惠特尼河上游	波伦河	惠特尼河下游	惠特尼河桧树平原	
Awb	—	1974	—	—	树龄、树轮异常
Bwb	—	—	1962 (f) <sup>a</sup>	—	树龄
Cwb	—	1952 <sup>b</sup>	—	1952	树龄、刻蚀瘢痕
Dwb	1935	1935	1935 (h) <sup>a, b</sup>	1935 (h) <sup>a, b</sup>	树龄、树轮异常、刻蚀瘢痕
Ewb	—	1924 (f)	—	—	刻蚀瘢痕
Fwb	—	—	1840 <sup>b</sup>	—	树龄、树轮异常、刻蚀瘢痕
Gwb	—	—	1790	—	树龄
Hwb	1670	1670 <sup>b</sup>	—	—	树龄

<sup>a</sup> f = 与洪水有关; h = 历史记载

<sup>b</sup> 当沉积发生在许多地点时, 事件的主要沉积点。

比尔兹利和坎农认为是深厚的细粒沉积物所具有的低劣的保水能力阻止了植物在1924—26年泥石流的表面上的定居。另据希尔和爱更霍夫报道, 1924—26年的堆积物中可能含有能阻碍植被快速生长的有毒矿物质。

通过树木年轮分析而确定的马德河泥石流年代概括成表2。从事件A到F都代表位于事件G形成的阶地之下的河道内的小阶地, 而事件G曾普遍加积了大多数研究区的河段。事件A和D代表高部位的小泥石流和较低位置的微地貌。发现在较低位置的无植物生长的小片细

表2 马德河泥石流年代和植物证据一览表

事件	地 点				植 物 证 据
	坝址	管道交叉处	森林服务路13	加利福尼亚公路89	
A <sub>m</sub>	1977	1977 <sup>a</sup>	—	—	树龄、树轮异常、刻蚀瘢痕
B <sub>m</sub>	—	1974 <sup>a</sup>	1974	1974	树龄、树轮异常
C <sub>m</sub>	—	—	1967 (f) <sup>b</sup>	1967 (f) <sup>b</sup>	偶然抽条、树龄
D <sub>m</sub>	1964	1964 <sup>a</sup>	—	—	树龄
E <sub>m</sub>	—	1962	—	—	树龄、刻蚀瘢痕
F <sub>m</sub>	—	—	1950	—	树龄
G <sub>m</sub>	1924	1924 (h) <sup>b</sup>	1924 (h) <sup>a, b</sup>	1924 (h) <sup>a, b</sup>	树龄、刻蚀瘢痕
H <sub>m</sub>	—	1910	—	—	树龄、刻蚀瘢痕
I <sub>m</sub>	1881	—	1881 (h) <sup>b</sup>	1881 (h) <sup>b</sup>	树龄、树轮异常
J <sub>m</sub>	1800	1800	—	—	树龄

<sup>a</sup> 当事件发生在多个地点时, 代表事件的主要沉积点。

<sup>b</sup> f = 与洪水有关; h = 历史记载

粒沉积物可能与那些由于下移运动而失去了大部分粗粒碎屑的小型泥石流有关。事件I和J可能接近事件G的规模。事件I为历史记载。

(3) 阿什河 虽然在上游有一树种颇多的植物群,包括洛奇波尔松、甜松、西部白松、白杉、道格拉斯黄杉和加利福尼亚红杉,但在阶地和河底的木本植物仍以美国黄松和香雪松为主。古代泥石流的植物证据全都来自上述树种。植物在此定居明显比在马德河快。在文献所记载的泥石流(1977年)堆积后1—2年的时间内,就发现了树苗并已经生长。该泥石流发生在上游很多地点。与区内较高部位相比,在远处具有一些植物快速定居的证据。

通过树木年轮分析而确定的阿什河泥石流年代列成表3。事件A和B堆积的主要地点都在上游,但这些事件的迹象能在下游发现,以小片细粒堆积并偶尔有植物生长的河床地貌的形式出现。从事件C到F都是大型泥石流阶地,最大的堆积阶地出现在下游。

表3 阿什河泥石流年代和植物证据一览表

事件	地 点			
	上 游	军用公路	老磨坊场	植 物 证 据
A <sub>a</sub>	1977 (h) <sup>a, b</sup>	1977	—	树龄、刻蚀痕迹
B <sub>a</sub>	1962 <sup>a</sup>	1962	1962	树龄、刻蚀痕迹
C <sub>a</sub>	1939	1939 <sup>a</sup>	—	树龄、刻蚀痕迹、树龄异常
D <sub>a</sub>	—	1900	1900 <sup>a</sup>	树轮异常、树龄
E <sub>a</sub>	1800	1800	1800 <sup>a</sup>	树龄
F <sub>a</sub>	—	1725	1725 <sup>a</sup>	树龄

a 当事件发生在许多地点时,代表事件的主要沉积点。

<sup>b</sup> h=历史记载。

(4) 潘瑟河 低蚀痕迹和树龄分析表明,小型泥石流阶地的年代为1967年,树龄异常和树龄的大量证据表明,在1924—25年发生了一次泥石流。两个较老阶地的树龄最晚年代分别为1885和1810年。

**各流域的规模和频率** 各流域的泥石流频率及其相应的规模见图2。很显然,规定的频率随着泥石流规模的增大而减小。用于计算规模和频率的所有泥石流都列在表1—3中,但只考虑当规模大到足以留下树木年轮断代证据的泥石流。

在图2中所有泥石流的运动距离都在2公里以上。如果全部考虑自1670年以来四个流域的所有规模的泥石流的话,那么至少有26次泥石流,以每百年8.3次的频率发生。惠特尼河和波伦河流域自1670年以来平均以每39年一次的频率共发生了8次泥石流;马德河流域自1860年以来平均以每18.2年一次的频率共发生过10次泥石流;阿什河流域自1725年以来平均每51.4年一次共发生了5次泥石流。因此,马德河是泥石流最活跃的流域,也许是由于孔瓦克托冰川在1924年的解体和坡面持续失稳的缘故。

**讨论** 在各研究区内有如下一些明显而又广泛的观察结果:(1)小型泥石流发生频繁但通常流动距离不远;(2)大型泥石流比小型泥石流发生频率低但通常流动距离较远;(3)泥石流导致坡面高处剥蚀、低处加积,大型泥石流可以剥蚀那些后续小型泥石流的堆积区,并

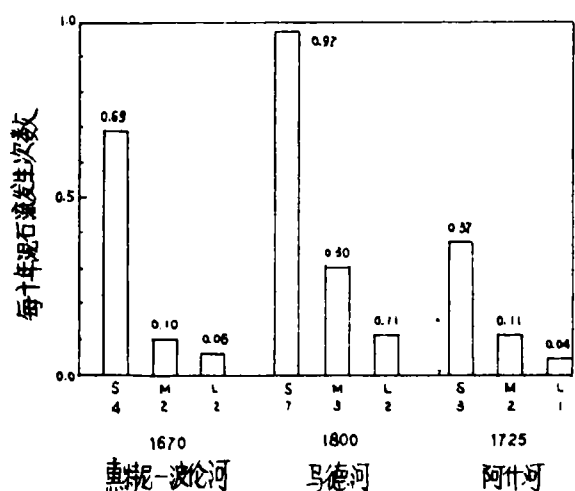


图2 相应河流和规模的泥石流频率。  
频率见每十年泥石流次数。小型、中型和大型泥石流分别略为S, m和L, 活动率见直方柱顶部。流域内每一规模的泥石流数量和最老泥石流年代见图。

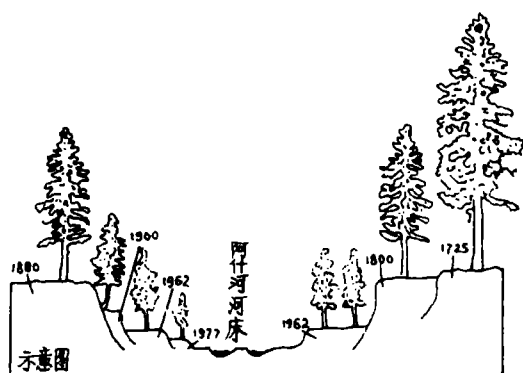


图3 阿什河在军用公路处的典型横断面。  
表明了已确定年代的阶地分布。1725年是最高阶地的最晚形成年代。地貌证据表明, 还有更早的泥石流的最晚年代表于高阶地的1800和1725年。有一薄层 (30 cm) 泥石流流体 (未表示出来) 在1939年的事件中溢流侧积在1800年的阶地上。

在堆积物中形成迭置层; (4) 后续泥石流可以破坏前期泥石流的地貌和植物证据; (5) 泥石流堆积阶地在形态上常呈舌状, 且在上游这一特征更加明显; (6) 高度切割的堤岸有许多史前大型泥石流的地层证据, 其年代可能比现存的树木还早许多。

前两点对水文学者来说不会感到惊讶。小规模流量肯定比大规模流量具有更短的重现期。河流上游理应由那些相当频繁的小型泥石流阶地占优势或因特大泥石流的冲刷而没有阶地出现。下游则以那些频率低但常形成冲积扇一部分的大型泥石流阶地为主。下游区的小型泥石流证据表现为较小的、常常全都在河道中的细颗粒阶地。

间歇性大型泥石流的结果是沿河下游堆积扇的发展。河谷上游深切是本区大多数河流的最大特点, 并为扇形堆积提供了物源。1935年的泥石流 (D, 表1) 就是大型泥石流在上游侵蚀和下游堆积的一个良好实例。在惠特尼河上游保留的几级阶地可能是现代局地侵蚀性大型泥石流所形成。发生在上游的1935年事件的几乎所有的植物证据都是河谷高处树木上的刻蚀痕。1840年阶地以下的植物年龄都大于45年, (F, 表1)。因此, 相反方面的植物证据反映了早于1937年的一次侵蚀事件很可能是1935年的泥石流, 同时, 惠特尼河下游主要由1935年泥石流堆积物所占据。

阿什河也是三个详细研究区之一。三区在过去的80年中都没有过关于1924年或1935年主要泥石流规模的证据。该河的小型泥石流已开始填充大型泥石流的侵蚀区。阿什河中游的一个典型横断面见图3。由小型泥石流 (1962和1977年) 形成的堆积阶地将很可能被下一次大型泥石流或后来的堆积物所掩埋。研究区内样品点的景观见图3。

在各流域中, 泥石流的年代明显一致。也许这与当时山区的气候条件有关。各流域中许

# 地球上的侵蚀和悬移质径流

A. П. 吉德柯夫 В. И. 莫也丁

**前言** 据马卡维也夫和其他研究者的意见，固态径流分析法是评价侵蚀强度的众多方法之中最客观的方法之一。但是应该着重指出：河流中的固体径流量不是流域中侵蚀的全部物质，侵蚀的物质中有相当大的一部分堆积在流域内。在流域上堆积多少，各个流域是不一样的，它取决于地质地貌、景观气候条件，现在还不能正确地定出，但是河流的固态流与流域的侵蚀强度和整个机械剥蚀是直线相关。因此，固态径流的资料可以用来评价不同地区侵蚀和剥蚀作用的强度。

目前的工作试图以陆地上3671个点的悬移质径流资料为基础来分析侵蚀的发展过程。这样可以断定：以前发表的文章是建立在资料相当少的基础上的。

**原始资料的整理方法** 悬移质径流指标系采用它的多年平均模数(吨/平方公里·年),其值来自全大陆(除南极外)大量的已发表了的资料。任何一个流域总的模数值用平均算术值,精确度达95%。平均模数的计算分为小流域(面积小于5000平方公里)和大流域(面积大于5000平方公里),5000平方公里首先可似作为地带性和非地带性河流之间的界线。

对于每个流域要确定其景观属性和人类改变景观的程度（按三级分类），以及岩石成分（三类主要岩石的更细的划分）、地形特征（低地，高地等等）。假如不小于流域面积75%的范围属于同一指标的范围，那么该流域被认为相同的流域（景观带、岩石组、地形类型）。

**平原侵蚀和景观带** 大河（地带性）悬移质径流的分析，可以根据侵蚀强度，把所有景观带分出五个组：1. 很弱的侵蚀带（ $< 10$  吨 / 平方公里 · 年）——针叶、混交林带、温带半荒漠，2. 弱侵蚀带（ $10—15$  吨 / 平方公里 · 年）——冻土，温带森林草原和草原，赤道森林，3. 中度侵蚀带（ $50—100$  吨 / 平方公里 · 年）——阔叶林带亚热带森林和草原、热带稀树草原，4. 强烈侵蚀带（ $100—250$  吨 / 平方公里 · 年）——地中海，5. 很强的侵蚀带（ $> 250$  吨 / 平方公里 · 年）——热带森林。

相似的分类还可以根据小河的固体径流进行分类,很明显最突出的是热带和亚热带侵蚀固体径流最大。在亚南极,温带、赤道形成比较低度的侵蚀和固体径流带(图1),在温带明显反映出阔叶林带最大,半荒漠带最小。

多泥石流的年代虽有一定差异，但这仅占一小部分，夏天局地暴雨至少对各流域形成大量小型泥石流是有一定作用的。泥石流发生期间的树轮形态分析表明，泥石流造成的树木毁坏和生长异常都发生在树木的生长季节。

生长在惠特尼河和波伦河、马德河、阿什河和潘瑟河河床及其附近的木本植物以及堆积特征为夏斯塔山区提供了古代泥石流的证据和年代。树轮断代结果和历史记载结果（如1924、1935及1977年）的一致性证实了树木年轮断代是基本可靠的。如能与地貌证据相结合，则植物证据就可为估计周期在几百年以上的泥石流的规模和频率提供一个较好的方法。

刘希林摘译自《Environ. Geol. Water Sci.》, Vol. 6, No. 2, 1984, 张丹、曹银针校