

广东惠州黄洞水库沉积物特征及其反映的 近50年土壤侵蚀意义

张晴华¹, 王红亚¹, 徐琳¹, 郑卓², 杨士雄², 陈效速¹

(1. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871; 2. 中山大学地球科学系, 广州 510275)

摘要: 在广东省东南部惠州市的黄洞水库中取得沉积物柱芯, 对其样品做了²¹⁰Pb和¹³⁷Cs比活度分析、粒度分析和孢粉及炭屑分析, 并收集了这一水库邻近气象站的降水数据, 计算了1960年以来的年降水量、夏季(6-9月)降水量和24小时暴雨量。利用上述²¹⁰Pb和¹³⁷Cs比活度分析结果建立了沉积物剖面的年代框架, 结合孢粉浓度、炭屑浓度与降水量计算结果, 对沉积剖面的粒度变化做出了解译, 并初步推测1960-2009年间水库所在流域的土壤侵蚀变化情况及其原因。研究表明, 在该亚热带丘陵地区植被覆盖度较高的自然条件下, 侵蚀作用对降水量波动和植被(尤其是乔木、灌木等木本植物)覆盖度变化的响应十分灵敏, 水库沉积物的粒度变化在一定程度上可以反映流域内土壤侵蚀相对强度的变化。

关键词: 广东惠州; 黄洞水库; 沉积物; 土壤侵蚀

DOI: 10.11821/dlyj201404005

水库中的沉积物大都来源于汇水流域内的土壤侵蚀, 因此, 可通过对这些沉积物特征的探究反推流域内土壤侵蚀状况^[1,2]。这一方法对于无水文观测记录的小流域具有一定的应用价值^[3]。

惠州市位于广东省珠江三角洲地区, 降水充沛、水系发达。1958年后市域内小型水库的建设逐步增加, 至2000年小型水库已达417座。然而, 到目前为止, 鲜见有利用水库沉积物分析法探查该区域水库所在流域内土壤侵蚀状况的文献及报道。本研究从中选取一座小型水库——黄洞水库^[4]为研究样本, 自水库中取得沉积物柱芯, 对这一剖面的样品做了²¹⁰Pb、¹³⁷Cs比活度分析、粒度分析和孢粉、炭屑分析; 此外, 还收集了邻近一气象站的降水数据, 并以此计算了年、夏季降水量和24小时暴雨量。以²¹⁰Pb、¹³⁷Cs比活度分析结果建立了剖面的年代框架, 并结合降水量计算结果和炭屑分析结果, 初步反推了过去近50年间该水库所在流域的土壤侵蚀变化情况及其原因。

1 研究区概况

黄洞水库位于广东省惠州市良井镇黄洞村境内。水库三面环山, 水域面积为0.47

收稿日期: 2013-10-10; 修订日期: 2014-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071027, 40871029)

作者简介: 张晴华(1988-), 女, 内蒙古呼和浩特, 硕士, 主要从事环境变化、陆地生态系统响应等研究。

E-mail: zhang.qing.hua@qq.com

通讯作者: 陈效速(1958-), 男, 教授, 主要从事气候变化及其生态响应等研究。E-mail: cxq@pku.edu.cn

km², 流域面积 6.58 km², 补给系数为 14。整个流域中植被覆盖面积为 4.8 km², 主要植被为次生林、人工林和农作物^[5,6], 无林木地带则覆盖有草本植物。水库流域内的主要土壤类型为赤红壤。该流域处于丘陵地带, 西部较陡, 东部较缓, 最大地势高差为 200 m。该水库于 20 世纪 50 年代动工, 1960 年 4 月正式开始蓄水, 总库容为 694 万 m³, 属小型水库^[4]。经实地考察, 黄洞水库库区蓄水前的土地利用类型为农田, 惠州市平均侵蚀模数为 429.55t/km²·a^[7]。水库处于亚热带季风气候带湿润气候区^[8], 年降水充沛, 主要集中的 4-9 月, 4 月之后雨季开始, 降水量逐渐增多, 7-9 月易受台风等天气系统的影响, 造成强降水, 一年以内以 6-9 月的降水最为集中和充沛。黄洞水库周边无入库河流, 仅有一条出库河流 (图 1)。

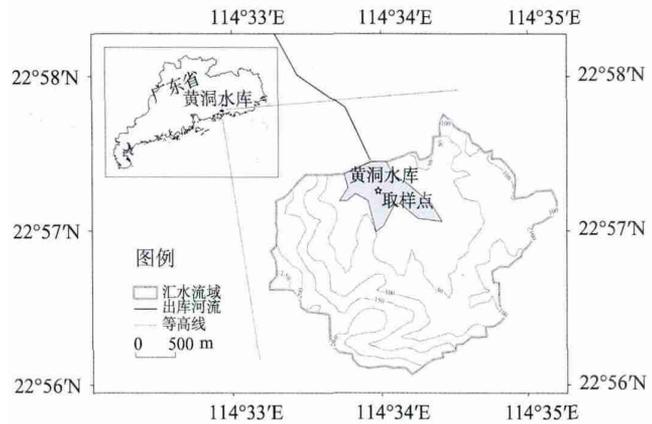


图 1 黄洞水库的取样点和汇水流域

Fig. 1 The sampling site and catchment of the Huangdong Reservoir

2 研究方法

2.1 样品采集和预处理

样品采集于 2010 年 6 月。水库沉积物钻孔位于黄洞水库水域中心 (22.95°N、114.57°E, 图 1), 所处水深 7.2 m, 采用无扰动俄罗斯钻取芯。库区无挖沙、清淤等人为扰动, 故沉积物样品可以反映建库以来汇水流域内的土壤侵蚀状况。在水库内同一地点取两管平行泥样, 分别命名为 HT01、HT02; 其中, HT01 取泥较浅, 为顶层沉积物到其下 50 cm 处, 孔深 50 cm; HT02 取泥较深, 为顶层以下 26~76 cm 处, 孔深也为 50 cm。两管泥样中有一段重合, 即 26~50 cm, 故采样的总深度范围实为 0~76 cm。对两管泥样间这段 24 cm 的重合, 可通过测年及粒度分析进行拟合。

HT01 为沉积物表层 0~50 cm 处的泥样, 整体上较为均一, 颜色灰白, 没有明显分带。HT02 为 26~76 cm 处的泥样, 上部 26~56 cm 为灰白色, 在底层 56~76 cm 为浅红色, 较为清晰的分为两带。据流域内土壤类型为赤红壤判断, 样品在 56 cm 处分界, 以下为建库前原地的库区土壤, 以上为水库沉积物。

将采集到的泥样以 2 cm 长度等间距分别分割为 25 小份共计 50 小份用于实验, 分装于样品袋内, 每袋样品分为三份, 分别用于年代测试分析、粒度分析和孢粉、炭屑分析。

2.2 降水资料数据的收集和整理

因流域内无气象观测站点, 故利用离水库最近 37km 处的惠阳气象站的观测数据代表流域内的气象状况, 降水数据来源于中国气象数据共享服务网。利用 1960-2009 年 50 年的逐日降水量数据计算得出年降水量、夏季 (6-9 月) 降水量和 24 小时暴雨量 (>50 mm)^[9]。

2.3 ²¹⁰Pb 和 ¹³⁷Cs 比活度分析

将 25 个样品放置在已知重量的容器中, 放入 100℃ 的干燥箱进行干燥, 将干燥的样品

在研钵中研磨成细粉,分装至各个标注好的样品袋并发送到中国科学院南京地理与湖泊研究所进行测试,测定中使用了美国EG&G Ortec公司生产的高纯锗井型探测器(Ortec HPGe GWL-120-15)。 ^{137}Cs 和 ^{226}Ra 的标准样品由中国原子能科学研究院提供, ^{210}Pb 标准样品由英国利物浦大学提供,作为对比标准,测试误差小于10%。

2.4 粒度分析

50个样品的粒度分析在中山大学第四纪环境研究中心完成。对样品进行预处理的步骤包括:首先,将各个样品置于清水中10小时,粗洗杂质;其次,将1~2 g样品置于10ml 30%的 H_2O_2 中放置10小时,去除有机质;再次,在样品中加入10 ml 36%的 HCl ,放置样品直到没有气泡产生为止,去除碳酸盐;最后,将处理过的样品用清水多次洗涤后置于90℃的烘箱中10小时,取出碾碎。预处理后利用英国Malvern公司生产的Mastersizer 2000激光粒度分析仪进行粒度分析,激光粒度仪的测量范围为0.02~2000 μm ,分辨率为0.01 Φ (粒径),正负测量的相对误差<3%。分析前,用 H_2O_2 对样品进行处理以除去有机质,随后投入仪器进行分析,得出相应的数据^[10-12]。根据粒径统计出样品中粘土(<5 μm)、粉砂(5~50 μm)和砂(>50 μm)的百分含量,并计算得到沉积物粒度的平均粒径、分选系数(又称为标准偏差)等参数^[13-18]。

2.5 孢粉与炭屑统计

50个样品的孢粉统计与炭屑统计在中山大学第四纪环境研究中心完成。利用重液悬浮法提取样品中孢粉与炭屑的步骤包括:首先,将各个样品置于10% HCl 中12小时;其次,水洗至中性后用10% KOH 水浴10分钟;再次,水洗至中性后在36% HCl 中浸泡5分钟;最后,将样品用清水多次洗涤后置于密度为1.9 g/ml的 ZnCl_2 中进行重液浮选,提取出实验所需孢粉与炭屑。将得到的样品中的微颗粒物加入配备好的石松孢子甘油液制作成玻片,在10×40光学显微镜下观察。孢粉或炭屑浓度的计算公式为^[19-22]:

$$W = A/B \times C/G \quad (1)$$

s式中: W 为孢粉或炭屑的浓度(粒/g); A 为加入样品中的石松孢子数(粒); B 为统计的石松孢子数(粒); C 为统计的孢粉或炭屑数(粒); G 为所取土样的重量(g)。

3 结果分析

3.1 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 比活度及沉积物柱芯年代

^{210}Pb 和 ^{137}Cs 比活度分析结果见图2。结合 ^{210}Pb 的沉积速率与 ^{137}Cs 的时标进行分析,推导出不同深度泥样的大致年龄。前文已判断出样品56 cm以下为原地赤红壤,非水库沉积物,故只根据岩芯56 cm以上的测试结果进行分析。此外,56 cm处可作为检验推断年代与实际年代是否吻合的一个重要依据。

利用 ^{210}Pb 计年一般采用恒定初始浓度(CIC)模式或恒定放射性通量(CRS)模式进行分析。CIC模式中沉积物主要来源于表层侵蚀产物,并且在湖水中滞留时间较短,沉积物的增

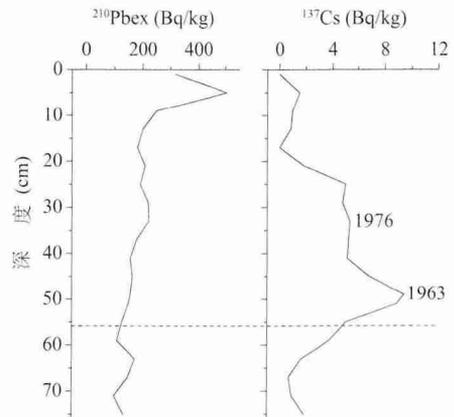


图2 黄洞水库 ^{210}Pb 与 ^{137}Cs 比活度的垂直剖面图
Fig.2 The ^{210}Pb and ^{137}Cs activity of vertical section of Huangdong Reservoir

加能同时导致相应²¹⁰Pb的增加。CRS模式中沉积物主要来源于湖面上大气的沉降，且在湖水中滞留时间较长，计算中要求得出整个样柱的总²¹⁰Pb非补偿值总累计量，整个样柱的年龄一般都在²¹⁰Pb的9~10个半衰期，即180~200年^[23-27]。本次实验采集样品在100年以内，故排除CRS方法，选用²¹⁰Pb的CIC模式（恒定初始浓度模式）进行计算。计算中采用简单最小二乘法求得沉积物柱芯的平均沉积速率^[23-26]，拟合²¹⁰Pb衰减的规律公式^[23-25]为：

$$^{210}\text{Pb}(H) = ^{210}\text{Pb}(0) \times e^{-rt} \tag{2}$$

式中：²¹⁰Pb(H)为深度H的比活度；²¹⁰Pb(0)为表层的比活度；r为²¹⁰Pb半衰期常数0.031；t为时间。计算得到的平均沉积速率为 $v=H/t=1.12\text{ cm/a}$ 。

对¹³⁷Cs结果的分析参考其主、辅时标及在该地区湖泊标记层中区域性的时标^[25,26]。图2显示，在56 cm深度内存在着两个峰值，分别在33 cm和49 cm处。根据¹³⁷Cs的时标，判断33 cm和49 cm处的峰值分别对应1976年（其他国家核试验沉降峰值年）、1963年（全球大气核试验峰值年）^[28]。用¹³⁷Cs比活度峰值确定1963年和1976年后，得到33 cm以上段平均沉积速率为0.97 cm/a，33~49 cm段平均沉积速率为1.23 cm/a；而49 cm以下段根据²¹⁰Pb的平均沉积速率1.12 cm/a进行分析，计算得出深度与年代的对应关系^[27-31]。

在确定HT01和HT02的对应年代后，将两管泥样拼接成一个连续的剖面，供分析研究时统一使用。结果表明：56 cm处推断的年代为1959年，与资料记载的建库时间1960年比较吻合，说明年代测试结果判断的时间与实际时间较为接近。

3.2 粒度

粒度分析结果见图3。整个剖面内粒度变化相对较大，粒径范围为0~2000 μm，属泥质、粉砂质和砂质。其中，以粉砂（5~50 μm）尤其是粗粉砂（10~50 μm）占优势，含量为38.0%~69.5%，平均为58.4%，粘土（<5 μm）和砂（50~2000 μm）次之，平均含量分别为21.4%、20.2%。在整个剖面中砂的百分含量波动最大，而粘土和粉砂的百分含量则相对较为稳定。

整个剖面的平均粒径和分选系数等粒度指标波动频繁，粒度分布及参数特征表现为阶段性变化。深度为56 cm以下的物质中砂含量高，平均粒径大，分选系数大，表明其为颗粒粗、未经搬运、分选性差、原地堆积的库区土壤。56 cm以上的物质各个参数曲线变化显示，粒径明显减小，砂含量降低，分选性提高，因而，这些物质为经过一定搬运和分选

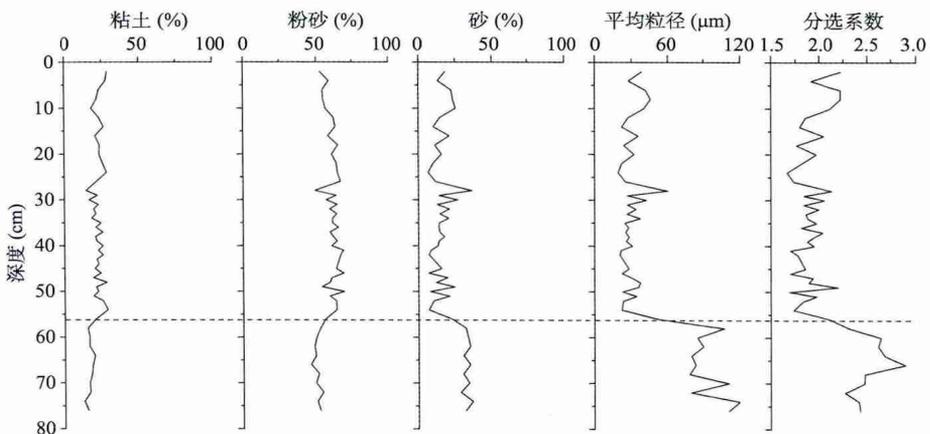


图3 黄洞水库钻孔（HT）粒度参数对比

Fig. 3 Comparison of particle size parameters in drillings (HT) of the Huangdong Reservoir

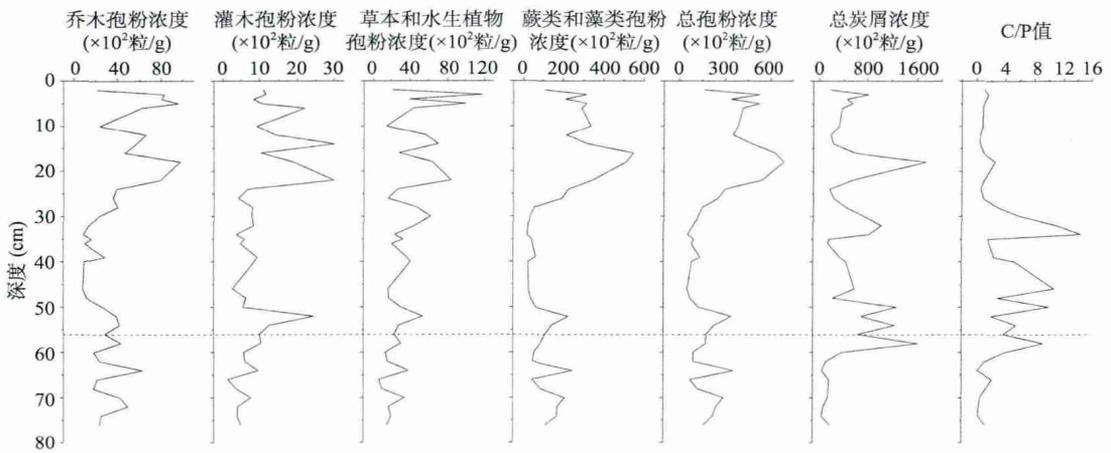


图4 黄洞水库钻孔 (HT) 孢粉浓度、炭屑浓度及 C/P 值对比

Fig. 4 Pollen concentration, charcoal concentration and C/P contrast in drillings (HT) of the Huangdong Reservoir

后的沉积物。

3.3 孢粉浓度与炭屑浓度

孢粉和炭屑分析结果见图4。湖泊或水库沉积物中的孢粉可以反映流域的植被状况,反演人类活动与环境变化对植被的共同影响^[32-34]。经孢粉统计,样品中共有90余个植物科、属或种。因部分植物无法准确划分类型(例如,冬青属植物可能为乔木或灌木),故对所有植物的孢粉进行了主成分分析,提取出4个主成分(累计方差贡献率大于80%)。松属(*Pinus*)、荔枝(*Litchi chinensis*)、栎属(*Quercus*)等10多类植物在第一主成分上载荷值较高,判断第一主成分为乔木植物类型;野牡丹属(*Melastomataceae*)、野桐属(*Mallotus*)、叶下珠属(*Phyllanthus*)等七类植物第二主成分载荷值较高,判断第二主成分为灌木植物类型;禾本科(*Gramineae*)、十字花科(*Cruciferae*)、狐尾藻属(*Myriophyllum*)等多类植物在第三主成分上载荷值较高,判断第三主成分为草本及水生植物类型;芒萁(*Dicranopteris*)、环纹藻(*Concentricystes*)、双星藻(*Zygnema*)等几种植物在第四主成分上载荷值较高,判断第四主成分为蕨类和藻类植物类型。分别统计出乔木、灌木、草本和水生植物、蕨类和藻类的孢粉浓度以及孢粉总浓度,用以间接反映当地不同植物类型的覆盖状况及总的植被覆盖状况。

炭屑浓度作为火活动的直接记录,在一定程度上说明了不同时期火活动的频率、强度及其变化。吕静等认为,可通过炭屑反演出古森林火的发生规律,进而推断长期地质历史时期的气候、植被、地理状况的演变^[20];曹艳峰等利用炭屑记录研究了黄土高原全新世的火环境^[19]。此外,用总炭屑浓度与总孢粉浓度的比值(C/P值)和炭屑浓度综合对比分析,可以更客观的反演山火情况,炭屑浓度和C/P值高的年份说明山火活动频繁且强烈^[35],再结合降水等其他数据的分析,则可推断人类活动对山火的影响。

3.4 影响因素分析

黄洞水库的补给水源主要来自库面降水和地表径流。通过实地调查访问得知,水库水位多年的变化幅度不大。据此判断,水库沉积物粒度的变化主要受到流域内土壤侵蚀强弱的影响,而受水位高低的影响较小。在南亚热带湿润地区,降水量大的年份地表径流也大,对土壤的侵蚀作用强,其携带粗颗粒物入库,使得沉积物粒径增大;反之,沉积物

粒径则减小^[36]。但另一方面,地表植被的覆盖程度也在很大的程度上影响土壤侵蚀的强弱,植被覆盖度高会减弱降水对土壤的侵蚀作用。一般来讲,孢粉浓度可间接反映植被的覆盖程度,孢粉浓度高说明植被覆盖度好;炭屑浓度则可间接反映山火的频率,炭屑浓度大说明山火频率高。

黄洞水库自1960年建成之后开始蓄水。综合考虑1960-2009年间的沉积物粒度、孢粉浓度和炭屑浓度的变化情况,将沉积物系列自下而上分为7段分别进行分析讨论(图5)。

第1段(1960-1967):沉积物颗粒偏粗、分选较差,说明土壤侵蚀较为强烈。总的来看,除1963年以外,各年年降水量、夏季降水量和24小时暴雨量均较大。在这一时期内,乔木孢粉浓度持续降低,灌木、草本和水生植物、蕨类和藻类植物的孢粉浓度均表现为自1962年开始迅速降低,总的孢粉浓度也从1962年开始降低,说明植被覆盖度逐渐降低。此外,本时段炭屑量和C/P值均较高,故火的频率较高或强度较大。由于这一时期雨水丰沛,气候潮湿,自然原因造成山火的可能性相对较小,故这些炭屑更有可能系由人类放火烧荒所产生,使植被受到一定程度的破坏。因此,较为强烈的土壤侵蚀可能是由较多的降水和较为稀疏的植被所致。

第2段(1967-1972):沉积物颗粒较第一段变细,分选性提高,说明土壤侵蚀有所减弱。其间,年降水、夏季降水和24小时暴雨量均明显减少;乔木、蕨类和藻类孢粉浓度均较低,虽然灌木、草本和水生植物孢粉自1968年开始逐渐升高,但总孢粉浓度较低,表明植被覆盖度较低,且以灌木、草本和水生植物为主。此外,虽然炭屑有所减少,但初期C/P值较高,说明初期仍存在一定的山火活动,但自然或人为原因造成山火的频率在逐渐降低,强度也在逐渐减弱。因此,较少的降水与灌木、草本和水生植物覆盖度的逐渐提高可能是侵蚀减弱的原因。

第3段(1972-1977):沉积物颗粒趋于变粗,分选性降低,说明侵蚀作用又趋增强。其间,年降水、夏季降水和24小时暴雨均明显增加;乔木孢粉浓度略有回升,但仍处于较低水平,灌木、草本和水生植物孢粉浓度下降,蕨类和藻类孢粉浓度也较低,总的孢粉浓度仍处于较低值,说明植被覆盖度较低。此外,炭屑浓度甚至比前一时期更低,C/P值较前两时期明显降低,表明山火的频率更低、强度更弱。因此,侵蚀的增强可能与降水增多和植被覆盖度较低有关。

第4段(1977-1985):沉积物颗粒进一步变粗,分选性也进一步降低,故侵蚀作用进一步增强。其间,降水特别是夏季降水和24小时暴雨量不仅没有增多,反而减少。乔木孢粉浓度在1978年达到最低值,然后逐渐回升,但平均值仍很低;灌木孢粉浓度平均值略有升高;草本和水生植物孢粉浓度自1978年后明显上升;蕨类和藻类孢粉浓度依然处于较低水平;总的孢粉浓度较低,但有缓慢上升的趋势。说明植被覆盖度较低,但有好转的趋势。本时段炭屑明显增多,C/P值出现一个较大的峰值,说明山火的频率和强度可能有较为明显的增多和增强。据记载^[37],1977年、1983年惠州地区均出现近百天的连旱日。故植被覆盖度低、山火频率高可能与天气偏干等自然因素有一定的关系。由此看来,植被相对稀疏可能是土壤遭受较为强烈的侵蚀的主要原因。

第5段(1985-2000):沉积物颗粒变细,分选性升高,表明侵蚀作用有所减弱。年降水与前一时期大致相同,但夏季降水和24小时暴雨却较前一时期有所增多。乔木、灌木、草本和水生、蕨类和藻类的孢粉浓度均明显提高,总孢粉浓度也大幅增加,表明地表植被覆盖度提高。资料显示,广东省政府曾于1985年11月做出 加快造林步伐,尽快绿

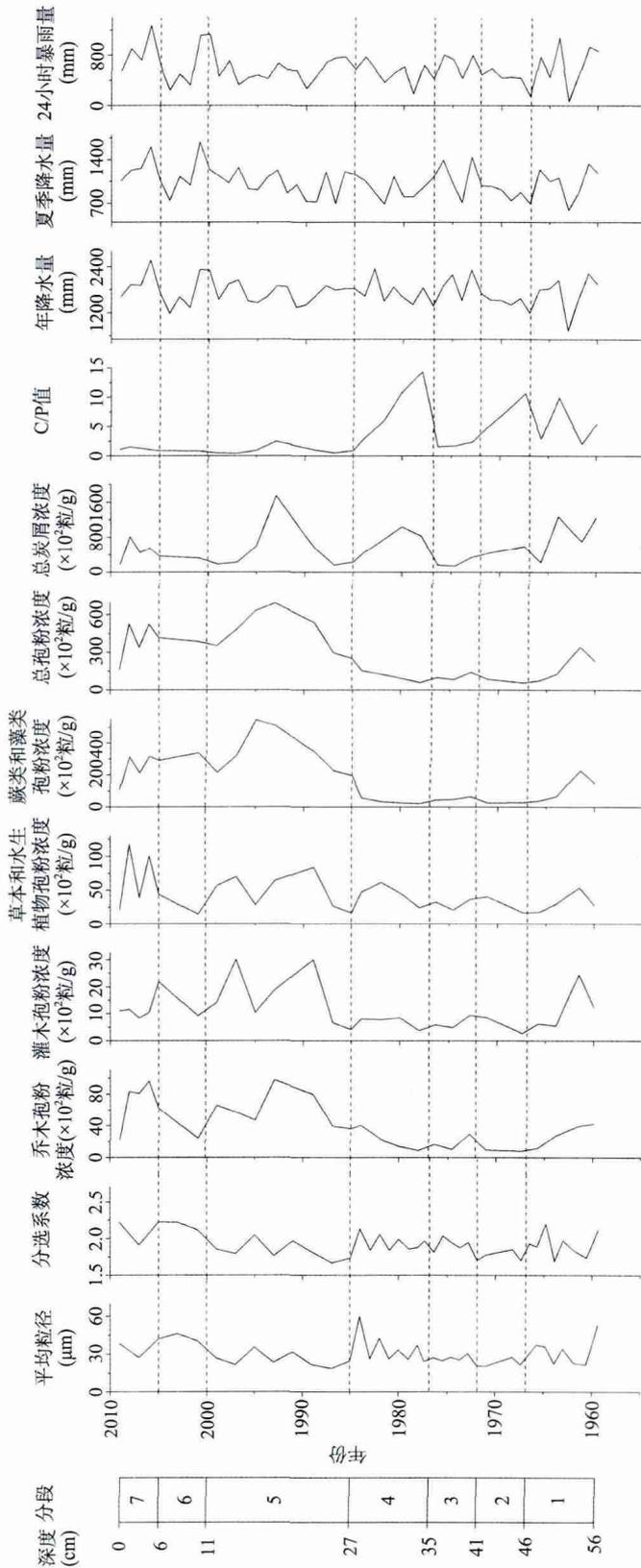


图5 粒度、孢粉浓度、炭屑浓度及降水量对比

Fig.5 Comparison in particle size, pollen concentration, charcoal concentration and precipitation among different periods

化全省 的决策^[4],开展了大规模的植树造林活动,使得森林覆盖率在较短时间内得到了有效的提高。炭屑浓度在1993年前后出现一个峰值,但C/P值总体较小,仅在1993年前后存在一个较小的起伏,故山火的频率和强度较前四个阶段显著降低和减弱。因此,植被覆盖度的提高可能是侵蚀作用减弱的主要原因。从图5可以看出,1993年平均粒径的低谷对应于乔木孢粉浓度的峰值,1995年平均粒径的峰值对应于乔木、灌木、草本和水生植物孢粉浓度的低谷,1997年平均粒径的低谷对应于灌木、草本和水生植物孢粉浓度的峰值,说明土壤侵蚀强度与植被覆盖度关系密切,尤其是受木本类植被影响明显,而蕨类和藻类植物的影响微弱。

第6段(2000-2005):沉积物颗粒相对于前一阶段变粗,然而年降水、夏季降水和24小时暴雨量却明显减少。乔木、灌木、草本和水生植物孢粉浓度明显降低,蕨类和藻类孢粉浓度仍保持较高水平,总孢粉浓度平均值比第5时段略有降低。炭屑浓度和C/P值依然较低,说明本时段山火活动较少。所以,植被覆盖度的降低可能是造成侵蚀强度加大的主要原因。

第7段(2005-2009):沉积物颗粒趋于变细,但降水量却有所增加。乔木孢粉浓度先增后减,平均值较前一时期增大,灌木孢粉浓度平均值与前一时期基本相似,草本和水生孢粉浓度有较大起伏,平均值比第6段有所增加,蕨类和藻类孢粉浓度则有所降低,总的孢粉浓度较上一段略有下降。炭屑浓度和C/P值略有升高,说明山火频率有所增加。本时段乔木数量有较为明显的增加,说明土壤侵蚀减弱可能与乔木覆盖度的加大有关。

4 结论

黄洞水库是一相对封闭的小流域,水库沉积物保留了较为连续的周边地区土壤侵蚀的信息。从粒度、炭屑量和降水量的变化趋势对比可知,水库沉积物的粒度大小随降水量多少而变化,说明降水量大会明显增加土壤的侵蚀强度,但在植被覆盖较好的时段,降水量对土壤的侵蚀作用会被削弱。因此,人类活动的干预和降水量的波动可能是影响黄洞水库流域土壤侵蚀强度变化的主要原因。

黄洞水库地处亚热带季风气候区,即使植被覆盖度较高,土壤依然会受到较强降水的冲刷。当植被状况改善时,土壤侵蚀程度呈减弱的趋势;当植被破坏严重时,土壤侵蚀程度则表现为加剧的趋势。通过不同时段四种类型植被覆盖度对土壤侵蚀强弱的影响来看,乔木、灌木等木本植物对土壤侵蚀的减弱作用比草本和水生植物、蕨类和藻类植物更为明显和突出,说明加强对多年生木本植物的保护,可以起到显著的水土保持功效。

致谢 感谢中国科学院南京地理与湖泊研究所夏威夷高级工程师在²¹⁰Pb、¹³⁷Cs测年提供的帮助与指导。感谢李宜垠副教授在炭屑研究方面的指点与帮助。

参考文献(References)

- [1] H E 赖内克, L R 辛格. 陆源碎屑沉积环境. 陈昌明, 李继亮, 译. 北京: 石油工业出版社, 1979. [Reineck H E, Sing I B. The Sedimentary Environment of the Terrigenous Detritus. Chen Changming, Li Jiliang, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 1979.]
- [2] 张祖陆, 聂晓红, 刘恩峰, 等. 莱州湾南岸咸水入侵区晚更新世依赖的古环境演变. 地理研究, 2005, 24(1): 105-111. [Zhang Zulu, Nie Xiaohong, Liu Enfeng, et al. The accumulation records of environmental evolution on the salt-water

- intruded area south of Laizhou Bay since late Pleistocene. *Geographical Research*, 2005, 24(1):105-111.]
- [3] 刘恩峰, 羊向东, 沈吉, 等. 近百年来湖北太白湖沉积物通量变化与流域水量和人类活动的关系. *湖泊科学*, 2007, 19(4):407-412. [Liu Enfeng, Yang Xiangdong, Shenji, et al. Sedimentary flux of Taibai Lake of Hubei Province and correlations between precipitation and human activities in its catchment during the last century. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(4):407-412.]
- [4] 惠州市地方志编纂委员会. 惠州市志. 北京: 中华书局, 2008: 686-690. [The Local Chronicles Compilation Committee of Huizhou. *The Chronicles of Huizhou*. Beijing: Zhonghua Book Company, 2008: 686-690.]
- [5] 惠州市惠城区地方志编纂委员会. 惠州市志. 北京: 中华书局, 2007: 82-131. [The local chronicles compilation committee of Huicheng District of Huizhou. *The Chronicles of Huizhou*. Beijing: Zhonghua Book Company, 2007: 82-131.]
- [6] 广东省地方志编纂委员会. 广东省志·水利志. 广东: 广东人民出版社, 1995: 4-19. [The local chronicles compilation committee of Guangdong Province. *The Chronicles of Guangdong province in Water Conservancy*. Guangzhou: Guangdong People's Publishing House, 1995: 4-19.]
- [7] 广东省水土保持网. <http://stbc.digitwater.com/ContentDetail.aspx?id=349&typeid=1>, 2012-12-25. [The soil and water conservation network of Guangdong Province. <http://stbc.digitwater.com/ContentDetail.aspx?id=349&typeid=1>, 2012-12-25.]
- [8] 曾昭璇, 黄伟峰. 广东自然地理. 广东: 广东人民出版社, 2001. [Zeng Zhaoxuan, Huang Weifeng. *Physical Geography of Guangdong Province*. Guangdong: Guangdong People's Publishing House, 2001.]
- [9] 徐琳, 王红亚, 蔡运龙. 黔中喀斯特丘陵区小河水库沉积物的矿物磁性特征及其土壤侵蚀意义. *第四纪研究*, 2007, 27(3): 414-415. [Xu Lin, Wang Hongya, Cai Yunlong. Mineral-magnetic characteristics of sediments from Xiaohe Reservoir in karst hilly plain, central Guizhou Province and their implications on soil erosion. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(3): 414-415.]
- [10] Shichi K, Kawamuro K, Takahara H, et al. Climate and vegetation changes around Baikal Lake during the last 350, 000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 248(3-4): 360-361.
- [11] Li Y, Wang N A, Morrill C, et al. Environmental change implied by the relationship between pollen assemblages and grain-size in N.W. Chinese lake sediments since the Late Glacial. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2009, 154(1-4): 55.
- [12] Peng Y J, Xial J, Nakamura T, et al. Holocene Eastern Asian monsoonal precipitation pattern revealed by grain-size distribution of core sediments of Daihai Lake in Inner Mongolia of northern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 233(3-4): 473.
- [13] 刘秀明, 李文宝, 邢春颖. MS2000 激光粒度分析仪在沉积物分析中的应用. *实验技术与管理*, 2007, 24(9): 50-51. [Liu Xiuming, Li Wenbao, Xing Chunying. Application of laser grain analyzer MS2000 to deposit analysis. *Experimental Technology and Management*, 2007, 24(9): 50-51.]
- [14] 米凤文, 牟同升. 激光粒度分析仪的数值计算. *光学仪器*, 1995, 17(4-5): 8-9. [Mi Fengwen, Mou Tongsheng. Numerical calculation of laser grain analyzer. *Optical Instruments*, 1995, 17(4-5): 8-9.]
- [15] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用. 北京: 地质出版社, 1978. [Shanbei Team of Chengdu College of Geology. *Sediment Particle-size Analysis and Its Applications*. Beijing: Geological Press, 1978.]
- [16] 卫管一, 张长俊. 岩石学简明教程. 北京: 地质出版社, 1995. [Wei Guanyi, Zhang Changjun. *Petrology Simple Tutorial*. Beijing: Geological Press, 1995.]
- [17] Folk T L, Andrews P B, Lewis D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1970, 13(4): 937-968.
- [18] 朱诚, 于世永, 史威, 等. 南京江北地区全新世沉积与古洪水研究. *地理研究*, 1997, 16(4): 23-28. [Zhu Cheng, Yu Shiyong, Shi Wei, et al. Holocene deposits and paleo-floods on the northern bank of the Yangtze River, Nanjing area. *Geographical Research*, 1997, 16(4): 23-28.]
- [19] 曹艳峰, 黄春长, 韩军青, 等. 黄土高原东西部全新世剖面炭屑记录的火环境变化. *地理与地理信息科学*, 2007, 23(1): 93-95. [Cao Yanfeng, Huang Chunchang, Han Junqing, et al. Changes of fire environment recorded by charcoal hidden in Holocene profiles in the eastern and western Loess Plateau. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(1): 93-95.]

- [20] 吕静, 王宇飞, 李承森. 古炭屑与古森林火. 古地理学报, 2002, 4(2): 73-74. [Lv Jing, Wang Yufei, Li Chengsen. Fossil charcoal and ancient forest fire. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(2): 73-74.]
- [21] 李小强, 周新郢, 尚雪, 等. 黄土炭屑分级统计方法及其在火演化研究中的意义. 湖泊科学, 2006, 18(5): 540-541. [Li Xiaoqiang, Zhou Xinying, Shang Xue, et al. Different (kPa/oC) size methods of charcoal analysis in loess and its significance in the study of fire variation. Journal of Lake Sciences, 2006, 18(5): 540-541.]
- [22] 李宜垠, 侯树芳, 赵鹏飞. 微炭屑的几种统计方法比较及其对人类活动的指示意义. 第四纪研究, 2010, 30(2): 356-357. [Li Yiyin, Hou Shufang, Zhao Pengfei. Comparison of different quantification methods for microfossil charcoal concentration and the implication for human activities. Quaternary Sciences, 2010, 30(2): 356-357.]
- [23] 万国江. 现代沉积的²¹⁰Pb计年. 第四纪研究, 1997, 17(3): 230-232. [Wan Guojiang. ²¹⁰Pb dating for recent sedimentation. Quaternary Sciences, 1997, 17(3): 230-232.]
- [24] Kirchner G. ²¹⁰Pb as a tool for establishing sediment chronologies: Examples of potentials and limitations of conventional dating models. Journal of Environmental Radioactivity, 2011, 102(5): 491.
- [25] Kanai Y. Characterization of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs radionuclides in sediment from Lake Shinji of Shimane Prefecture in western Japan. Applied Radiation and Isotopes, 2011, 69(2): 456.
- [26] Madsen A T, Murray A S, Andersen T J, et al. Optically stimulated luminescence dating of young estuarine sediments: A comparison with ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs dating. Marine Geology, 2005, 214(1-3): 255.
- [27] 夏威岚, 王云飞, 潘红玺. 女山湖现代沉积速率和环境解释. 湖泊科学, 1995, 7(4): 315-318. [Xia Weilan, Wang Yunfei, Pan Hongxi. Modern sedimentation rate dating and environmental implication of NvShan Lake. Journal of Lake Sciences. 1995, 7(4): 315-318.]
- [28] 张燕, 潘少明, 彭补拙. 用¹³⁷Cs计年法确定湖泊沉积物沉积速率研究进展. 地球科学进展, 2005, 20(6): 671-672. [Zhang Yan, Pan Shaoming, Peng Buzhuo. An overview on the evaluation of sediment accumulation rate of lake by ¹³⁷Cs dating. Advances in Earth Science, 2005, 20(6): 671-672.]
- [29] 叶崇开, 张怀真, 王秀玉, 等. 鄱阳湖近期沉积速率的研究. 海洋与湖沼, 1991, 22(3): 272-273. [Ye Chongkai, Zhang Huaizhen, Wang Xiuyu, et al. Survey of recent sedimentation rate in Poyang Lake. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1991, 22(3): 272-273.]
- [30] Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout cesium¹³⁷ for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns. Journal of Environmental Quality, 1990, 19(2): 215-233.
- [31] 赵锁志, 孔凡吉, 王喜宽, 等. 内蒙古乌梁素海²¹⁰Pb和¹³⁷Cs测年与现代沉积速率. 现代地质, 2008, 22(6): 909-911. [Zhao Suozhi, Kong Fanji, Wang Xikuan, et al. ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs dating and modern sedimentation rate on the Wuliangsu Lake of Inner Mongolia. Geoscience, 2008, 22(6): 909-911.]
- [32] Lupo L C, Bianchi M M, Aráoz E, et al. Climate and human impact during the past 2000 years as recorded in the Lagunas de Yala, Jujuy of northwestern Argentina. Quaternary International, 2006, 158(1): 30-43.
- [33] 羊向东, 沈吉, Jones R T, 等. 云南洱海盆地早起人类活动的花粉证据. 科学通报, 2005, 50(3): 238-245. [Yang Xiangdong, Shen Ji, Jones R T, et al. Pollen evidence of early human activities in Erhai Basin, Yunnan Province. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(3): 238-245.]
- [34] 沈吉, 杨丽原, 羊向东, 等. 全新世以来云南洱海流域气候变化与人类活动的湖泊沉积记录. 中国科学: D辑, 2004, 34(2): 130-138. [Shen Ji, Yang Liyuan, Yang Xiangdong, et al. Lake sediment record of climate changes and human activity in Erhai Valley of Yunnan Province since the Holocene. Science in China Series D, 2004, 34(2): 130-138.]
- [35] 孙湘君, 李逊, 陈怀成. 南海北部最近 37 ka 以来天然火与气候. 中国科学: D辑, 2000, 30(2): 163-168. [Sun Xiangjun, Li Xun, Chen Huaicheng. Evidence for natural fire and climate history since 37 ka B P in the northern part of the South China Sea. Science in China Series D, 2000, 30(2): 163-168.]
- [36] 陈敬安, 玩过将, 张峰, 等. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录: 以沉积物粒度为例. 中国科学, 2003, 33(6): 564-565. [Chen Jing'an, Wan Guojiang, Zhang Feng, et al. Environmental records of lacustrine sediments in different time scales: Taking sediment grain size as an example. Science in China: Series D, 2003, 33(6): 564-565.]
- [37] 惠阳县地方志编纂委员会. 惠阳县志. 广州: 广东人民出版社, 2003. [The Local Chronicles Compilation Committee of Huiyang. The Chronicles of Huiyang. Guangzhou: Guangzhou: Guangdong People's Publishing House, 2003.]

Characteristics of sediment from Huangdong Reservoir in Huizhou, Guangdong Province and their implications on soil erosion during the past 50 years

ZHANG Qinghua¹, WANG Hongya¹, XU Lin¹, ZHENG Zhuo², YANG Shixiong²,
CHEN Xiaoqiu¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Sediment cores were obtained from Huangdong Reservoir in Huizhou City, southeast of Guangdong Province. Specific activity analysis of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs, particle-size analysis, pollen and charcoal analysis were conducted on specimens of this sediment sequence. In addition, precipitation data were collected from a nearby meteorological station and annual precipitation, summer (June-September) precipitation and 24 hours' torrential rain volume were calculated for the period since 1960 based on the collected data. A chronological framework was established for the sediment sequence using results of the specific activity analysis of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs. Based on the pollen and charcoal concentration and precipitation data, the particle-size variations of this sediment sequence were interpreted, and the causes for soil erosion in the catchment of this reservoir during 1960-2009 were preliminarily inferred. The results showed that the response of soil erosion to fluctuations of precipitation and changes in vegetation coverage (especially trees and shrubs) in the catchment was very sensitive in the high vegetation coverage conditions of subtropical hilly areas. Moreover, the particle-size variations of reservoir-sediments can reflect the changes of relative intensity in soil erosion to some extent.

Key words: Huizhou; Guangdong Province; Huangdong Reservoir; sediment; soil erosion