

# 川中丘陵区 and 三峡地区小流域侵蚀产沙的塘库沉积<sup>137</sup>Cs 断代

齐永青<sup>1, 2</sup>, 张信宝<sup>1, 3</sup>, 贺秀斌<sup>1</sup>, 文安邦<sup>1</sup>, 伏介雄<sup>1, 2</sup>

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;  
3. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

**摘要:** 选择川中丘陵区 and 三峡地区四川盐亭、南充和重庆开县的 4 个小流域, 采集塘库沉积泥沙<sup>137</sup>Cs 样品, 确定了 1963 年以来塘库淤沙量, 并据此分析了流域输沙模数和侵蚀模数。研究表明, 开县春秋沟的淤沙模数最高, 为  $1869\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 盐亭武家沟和集流沟分别为  $701\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  和  $710\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 南充天马湾沟为  $566\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。对小流域地貌特征的分析 and 谷地水田取样结果表明, 除塘库淤积区外, 各小流域谷地内基本无泥沙淤积。因此, 除南充天马湾沟按现有水面面积作为淤积面积求算的淤沙模数明显偏小外, 其他小流域的塘库淤沙模数基本可以表征各研究小流域的侵蚀模数。对研究小流域侵蚀产沙影响因素的分析表明, 除降雨和土地利用状况外, 地形起伏、土壤抗蚀性及岩层产状也是三地侵蚀程度差异的重要原因。

**关键词:** 川中丘陵区; 三峡地区; 侵蚀产沙; <sup>137</sup>Cs; 小流域

文章编号: 1000-0585(2006)04-0641-08

## 1 前言

川中丘陵区 and 三峡地区中生代红层分布广泛, 川中丘陵区以丘陵为主, 三峡地区以中低山为主, 风化发育而成的紫色土富含矿质元素, 土壤肥沃。两区开发历史悠久, 人口密度大, 垦殖指数较高。紫色土抗蚀性较差, 陡坡耕地侵蚀强烈, 为数不多的径流小区测得的陡坡耕地侵蚀模数, 往往大于  $10000\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ [1]。上世纪 80 年代末开展的全国第一次土壤侵蚀遥感普查, 两区的大部分地区被定为强烈侵蚀区, 侵蚀模数高达  $5000\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  以上; 90 年代末的第二次遥感普查, 强烈侵蚀区面积略有减少[2]。由于水土流失强烈 and 对三峡水库泥沙影响大, 两区均被列为长江上游重点水土流失治理区。两区河流悬移质输沙模数  $200\sim 1000\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 远低于遥感普查公布的侵蚀模数。当然, 低泥沙输移比被用以解释两区侵蚀模数与悬移质输沙模数两者之间的巨大差异, 例如川中丘陵区泥沙输移比一直被认为仅 0.1 左右, 并广为传用。景可和张信宝等人, 对两区 0.1 左右的低泥沙输移比提出了置疑[3~5]。

可靠的侵蚀模数, 对川中丘陵区 and 三峡地区土壤侵蚀 and 三峡水库来沙变化趋势的正确预测、水土流失治理规划的制定 and 效益的评估, 具有重要的意义。长江上游地区侵蚀泥沙

收稿日期: 2005-09-04; 修订日期: 2006-02-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(40271015); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW330, KZCX3-SW422); 973 项目(2003CB415202); 国际原子能机构 CRP 项目(12300/RO)

作者简介: 齐永青(1977-), 男, 河北高阳人, 博士生。主要从事水土保持研究。E-mail: qiyongqing@126.com

研究基础薄弱,为数不多的径流小区观测年限短,资料可信度差。采用传统的径流小区和小流域水文站的方法,短期内难以解决两区的侵蚀模数问题。两区小流域塘库众多,多用于蓄水灌溉,流域来沙全部或大部沉积于塘库内,相当于天然的大型沉沙池。根据某一时段塘库沉积泥沙体积,可以求算该时段内塘库每年的泥沙淤积量(淤沙模数),再结合塘库管理和流域上游泥沙淤积情况,可进一步求算流域每年向塘库输出的泥沙量(输沙模数)和侵蚀模数。

$^{137}\text{Cs}$  是上世纪 50~70 年代大气层核试验产生的人工放射性同位素,半衰期 30.17 年, $^{137}\text{Cs}$  核尘埃主要随降水过程沉降到地面,随即被表层土壤颗粒强烈吸附。 $^{137}\text{Cs}$  核示踪技术广泛应用于土壤侵蚀速率的测定和湖库沉积泥沙的断代<sup>[6~13]</sup>。北半球 1963 年的  $^{137}\text{Cs}$  沉降量最大,而后迅速减少,70 年代以后  $^{137}\text{Cs}$  的沉降量极微。1986 年前苏联切尔诺贝利核事故泄漏的  $^{137}\text{Cs}$  中,约 99% 沉降于欧洲地区,对东亚地区的影响很小。湖泊、塘库沉积泥沙剖面中,1963 年  $^{137}\text{Cs}$  蓄积峰是国内外公认的湖库沉积断代标志<sup>[11~15]</sup>。国内外湖泊和大型水库的沉积物  $^{137}\text{Cs}$  断代报道较多,多用于确定沉积速率,由于上游流域面积多较大,泥沙输移情况复杂,很少用于求算上游侵蚀量<sup>[13~15]</sup>。小流域塘库沉积  $^{137}\text{Cs}$  断代的研究较少,已有的报道表明, $^{137}\text{Cs}$  均呈典型的单峰型分布,1963 年  $^{137}\text{Cs}$  蓄积峰非常明显,显然是小流域塘库沉积速率高,塘库底部水流和人类活动对表层底泥的搅动不大的缘故<sup>[16]</sup>。川中丘陵区 and 三峡地区降水量大,塘库沉积速率较高,沉积剖面中 1963 年  $^{137}\text{Cs}$  蓄积峰易于识别,可以求得可靠的 1963 年以来的淤沙量和淤沙模数。由于小流域产流有限,一些塘库的换水率(年径流量和库容的比率)较低,泥沙拦截率较高,流域侵蚀产生的大多数泥沙都沉积于塘库内,输出量少,淤沙模数往往接近输沙模数。结合上游谷地泥沙淤积情况,可以得出较可靠的流域侵蚀模数。2003~2004 年期间,我们在四川盐亭、南充和重庆开县三地,选择了 4 个汇水面积不足  $1\text{km}^2$  的小流域,通过沉积物的  $^{137}\text{Cs}$  示踪断代,测定 1963 年以来的塘库沉积量,得到了塘库淤沙模数,在此基础上估算了流域的输沙模数和侵蚀模数,本文是此研究的初步报道。

## 2 4 个小流域概况

地貌上,南充和盐亭分别属川中丘陵区的中丘区和中深丘区,开县属川东平行岭谷区的低山区(图 1)。4 个小流域的自然条件和土地利用状况见表 1。盐亭武家沟和集流沟紧邻中科院成都山地所盐亭紫色土农业生态试验站,流域面积分别为  $0.22\text{km}^2$  和  $0.09\text{km}^2$ 。两沟自然条件和土地利用状况相近,海拔 420~560m 和 420~530m,相对高差 140m 和 110m;流域下伏岩层为侏罗系蓬莱镇组砂岩、粉砂岩与泥岩互层,产状水平。流域内砂岩陡坡( $25^\circ\sim 30^\circ$ )和泥岩、粉砂岩缓坡台地( $<10^\circ$ )相间。缓坡台地和陡坡地面积各占流域面积的  $1/3$  和  $2/3$ 。缓坡台地为耕作多年的旱田,陡坡地原多为荒草坡,上世纪 70 年代后人工种植的柏树已成林。南充天马湾沟

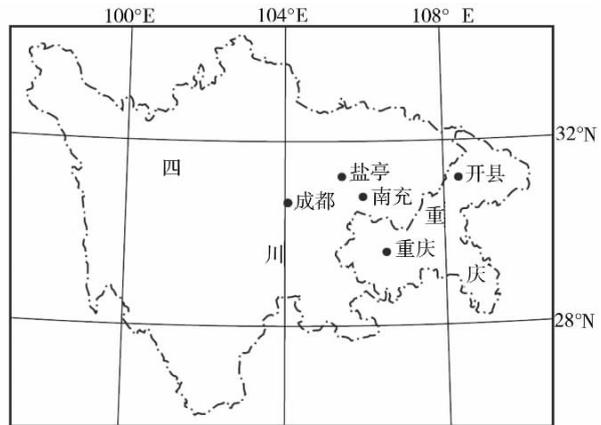


图 1 研究小流域位置示意图

Fig. 1 Locations of the study catchments

流域内砂岩陡坡( $25^\circ\sim 30^\circ$ )和泥岩、粉砂岩缓坡台地( $<10^\circ$ )相间。缓坡台地和陡坡地面积各占流域面积的  $1/3$  和  $2/3$ 。缓坡台地为耕作多年的旱田,陡坡地原多为荒草坡,上世纪 70 年代后人工种植的柏树已成林。南充天马湾沟

流域面积 0.19km<sup>2</sup>，海拔 310~420m，相对高差 110m；流域下伏岩层为侏罗系遂宁组，粉砂岩、泥岩互层，产状水平。流域内丘陵坡地往往由几十个相间的陡坎和短坡地组成，陡坎高约数米，短坡地坡长多小于 10~30m，坡度小于 10°，短坡地多为旱地，其间的陡坎多为草坡，少量柏树零星分布于陡坎。开县春秋沟流域面积 0.58km<sup>2</sup>，海拔 190~400m，相对高差 210m；流域下伏岩层为侏罗系沙溪庙组，砂岩、泥岩互层。岩层倾角 30°左右。流域地貌为川东平行岭谷区典型的单面山山地，流域朝向与岩层倾向一致，顺层坡地面积比例大。顺层坡地土层薄，多为草坡或陡坡耕地，有少量砂岩裸坡。

研究小流域的坡地土壤均为紫色土。不同地层风化而成的紫色土抗蚀性有一定差异，遂宁组砂岩比例最低，抗蚀性最差；蓬莱镇组比例最高，抗蚀性最好；沙溪庙组的砂岩比例和抗蚀性均居中<sup>[17]</sup>。由于均为面积不足 1km<sup>2</sup>的小流域，塘库以上谷地面积小，纵比降大，10~20%。南充天马湾沟垦殖率较高，0.45 左右；其余小流域垦殖率略低，0.25 左右。三地年降水量，开县 1100mm，南充 1010mm，盐亭 826mm，70%的降雨集中于 6~9 月雨季。

表 1 4 个小流域基本情况

Tab. 1 The basic information about the study catchments

流域名称	流域面积 (km <sup>2</sup> )	地形高差 (m)	沟道纵比降 (%)	地层	产状	年降水量 (mm)	垦殖率	坝高 (m)	修建年份	库容* (m <sup>3</sup> )
盐亭武家沟	0.22	140 (420~560)	11.8	蓬莱镇组(砂岩、粉砂岩、泥岩互层)	水平	826	0.25	4.75	1956	25000
盐亭集流沟	0.09	110 (420~530)	19.8	蓬莱镇组(砂岩、粉砂岩、泥岩互层)	水平	826	0.25	5.0	1955	15000
南充天马湾沟	0.19	110 (310~420)	12.7	遂宁组(粉砂岩、泥岩互层)	水平	1010	0.45	4.0	1949	21000
开县春秋沟	0.58	210 (190~400)	9.7	沙溪庙组(砂岩、泥岩互层)	倾斜, 倾角 30°左右	1100	0.25	4.0	1955	51000

\* 春秋水库库容根据万分之一地形图和坝高估算，其余据当地水利技术人员或群众介绍。

4 个研究小流域沟口的塘库分别修建于 1949~1956 年，坝高 4~5m，均为就地取土筑坝锁沟而成的山湾塘，库容 1.5~5.1 万 m<sup>3</sup> 不等。塘库常年蓄水，简易堰闸或涵卧管放水，春夏灌溉。开县春秋沟和盐亭集流沟无排洪沟，盐亭武家沟建有排洪沟，但很少排洪，这 3 个小流域的上游来沙几全部淤积于库内。南充天马湾沟建有排洪沟，1981 年前很少排洪，上游来沙也几乎全部淤积于库内。1981 年土地包产到户后，为保住所剩库容，加强管理，含沙洪水不再入库。据伏介雄等对南充流溪河流域内 71 座塘库沉积的调查，除部分山平塘外，塘库的泥沙拦截率一般均较高，淤沙模数基本可以表征流域的输沙模数<sup>[18]</sup>。据当地水利技术人员介绍，盐亭和开县 3 个小流域塘库的泥沙拦截率，不低于 0.8，和伏介雄等在南充的研究结果基本吻合。

### 3 样品采集与测试

2003~2004 年期间，我们分别采集了这四个塘库的沉积剖面分层泥沙样品，为尽可能减少对淤积量的计算误差，取样均位于塘库或淤积体的中心部位，其 1963 年<sup>137</sup>Cs 蓄积

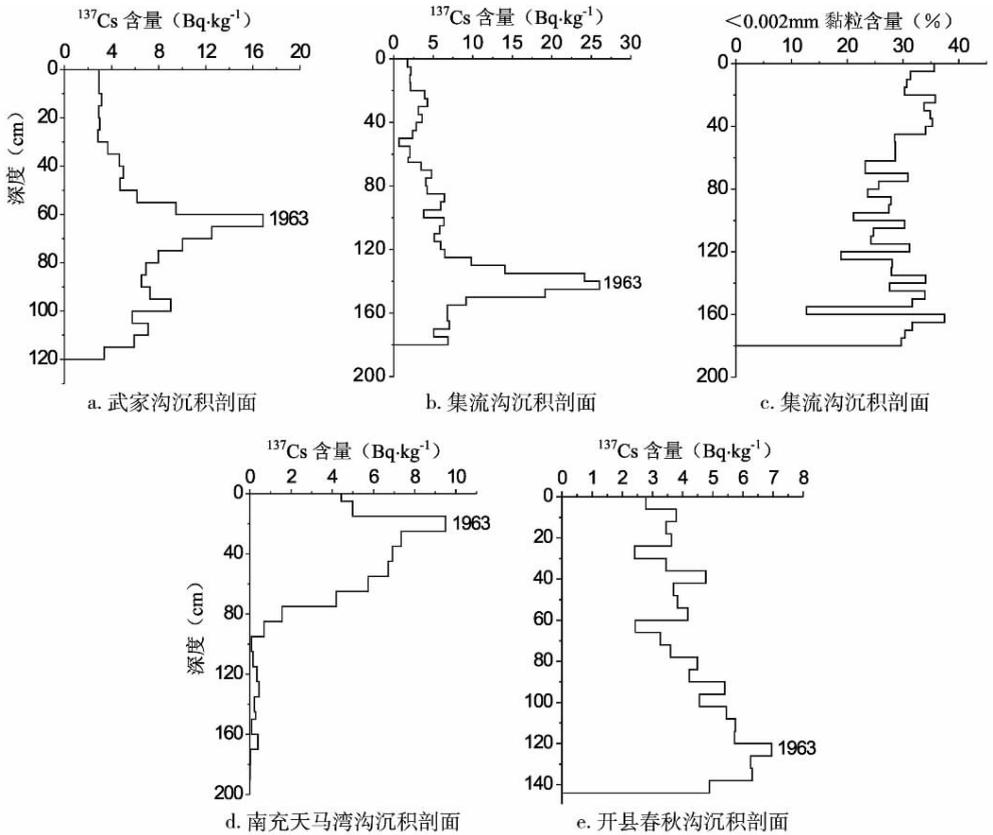
峰深度可用来表征该年以后塘库淤积的平均深度。其中,盐亭武家沟和集流沟塘库为修建渠道于2003年秋排干,沉积剖面样品在干枯的塘库中间位置挖坑分层采集,取样深度分别为120cm和190cm,南充天马湾沟和开县春秋沟塘库,用外径98mm的采样钻配以内径100mm PVC管在水面中央取样。PVC管的作用在于保护孔壁。采集时按照等厚分层取样,分层厚度5~7cm。盐亭集流沟取样时,注意到剖面深度50~55cm处出现一灰绿色细沙层。当地群众告知,这是1984年流域内修建公路,开挖到一层灰绿色细砂岩所致。我们还在南充天马湾沟塘库上游谷地水田内,采集了两个土壤剖面分层样品,用以查明 $^{137}\text{Cs}$ 分布深度,分析泥沙淤积情况。取样期间,我们实地测量了塘库现有水面面积和淤沙成陆的面积,表2中的淤沙区面积为淤沙成陆的地面面积和现有水面面积之和。

泥沙样品经风干、研磨、过筛(2mm)、称重后供测试用。采用高纯锗探头多道 $\gamma$ 能谱仪测定 $^{137}\text{Cs}$ 含量,样品测重 $\geq 380\text{g}$ ,测试时间 $\geq 50000\text{s}$ 。 $^{137}\text{Cs}$ 含量根据662keV谱峰面积和测试时间求算,在95%信度下的测试误差为 $\pm 6$ 。塘库沉积泥沙样品粒度组成分析采用吸管法进行。

## 4 结果与讨论

4个塘库沉积剖面的1963年 $^{137}\text{Cs}$ 蓄积峰均很明显,极易识别,其中盐亭武家沟、集流沟和开县春秋沟 $^{137}\text{Cs}$ 剖面为典型沉积形态, $^{137}\text{Cs}$ 蓄积峰均处于剖面中下部位,盐亭集流沟 $^{137}\text{Cs}$ 蓄积峰深度最大,为145cm;南充天马湾沟 $^{137}\text{Cs}$ 蓄积峰处于剖面中上部,深度仅25cm,这是由于1981年后流域含沙洪水不再入库, $^{137}\text{Cs}$ 蓄积峰以上沉积层位反映的是1963~1981年期间塘库沉积泥沙的情况,与其他塘库沉积剖面 $^{137}\text{Cs}$ 蓄积峰以上部分为1963年后采样年份期间沉积情况不同。各塘库沉积剖面不同层位泥沙粒度组成较为一致,以盐亭集流沟为代表,从其沉积剖面泥沙粒度变化可见,塘库沉积泥沙粒度组成细,黏粒( $< 0.002\text{mm}$ )平均含量27%,50年来无明显变化(图2, c)。

根据 $^{137}\text{Cs}$ 峰值深度( $h$ )和实测的淤沙区面积或水面面积( $S$ ),求算1963年以来的塘库淤沙体积( $V$ ): $V=h \times S$ 。其中盐亭和南充的三个塘库为1963年至取样年期间的淤沙量;南充天马湾沟塘库,由于1981年后流域来沙基本不再入库,为1963年至1981年期间的淤沙量。再根据流域面积和淤沙年限,计算了4个小流域的淤沙模数。开县春秋沟和盐亭武家沟、集流沟的淤沙模数,分别为 $1869\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $701\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $710\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (表2)。集流沟根据剖面中1984年灰绿色细沙层的深度,计算求得的淤沙模数为 $584\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,低于1963年来的平均淤沙模数,显然与流域内70年代后的人工造林、植被恢复有关。这3个沟塘坝以上的原谷地,建库后几乎全都成为库区,未淹没的上游谷地泥沙淤积非常有限。谷地以上的基岩沟道陡峻,无泥沙沉积,径流携带的泥沙几乎全部进入塘库,坡地的泥沙输移比接近于1。我们认为以上的淤沙模数,基本可以代表这3个小流域的输沙模数及侵蚀模数。南充天马湾沟塘库修建年代久远,当地群众无法区分塘库淤沙成陆后改造成的水田和原谷地内的水田,无法可靠确定淤沙区的面积。根据现有水面面积计算求得的1963~1981年期间的淤沙量 $1384\text{m}^3$ ,和相应的淤沙模数 $566\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ,显然低于实际值。伏介雄等通过塘库淤积调查,天马湾沟所在的流溪河流域内的塘库淤沙模数为 $762\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ [18]。一些研究者认为川中丘陵区泥沙输移比低的一个重要原因,是谷地水田泥沙淤积强烈。天马湾沟塘库小,塘库上游谷地大部分未被淹没,水田数百年来一直耕种,查明谷地水田泥沙淤积情况,对确定泥沙输移比非常有价值。塘库上游谷地内两

图 2 塘库沉积剖面的<sup>137</sup>Cs 与<0.002mm 黏粒含量深度分布Fig. 2 Depth distributions of <sup>137</sup>Cs and clay content of the deposit profiles in the ponds表 2 塘库沉积的<sup>137</sup>Cs 含量、分布深度特征值及流域淤沙模数Tab. 2 <sup>137</sup>Cs concentrations at different depths in deposit profiles and sediment deposition volumes

塘库所在流域	取样时间	淤沙区面积 (m <sup>2</sup> )	1963 年 <sup>137</sup> Cs 蓄积峰深度 (cm)	1963 年 <sup>137</sup> Cs 峰值浓度 (Bq·kg <sup>-1</sup> )	表层泥沙 <sup>137</sup> Cs 浓度 (Bq·kg <sup>-1</sup> )	1963 年以来淤沙体积 (m <sup>3</sup> )	淤沙模数* (t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
盐亭 武家沟	2003.10	7349	60	16.86±0.98	2.92±0.24	4409	701
盐亭 集流沟	2003.5	1259	145	26.03±1.40	1.74±0.14	1826	710
南充 天马湾沟	2004.7	5534 (水面面积)	25	9.50±0.56	4.44±0.29	1384	566
开县 春秋沟	2004.4	25400 (水面面积, 11400)	125	6.95±0.43	2.78±0.20	31750	1869

\* 泥沙容重  $\gamma=1.4 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$ 

个水田土壤剖面<sup>137</sup>Cs 深度分布表明,<sup>137</sup>Cs 基本均匀分布于表层土壤中, 分布深度分别为 25cm 和 28cm。两剖面的<sup>137</sup>Cs 分布深度和 25cm 的犁耕层深度基本吻合(图 3)。综合考虑以上因素, 我们认为南充一带中丘区谷地泥沙淤积有限, 前人对泥沙输移比 0.1 的认识

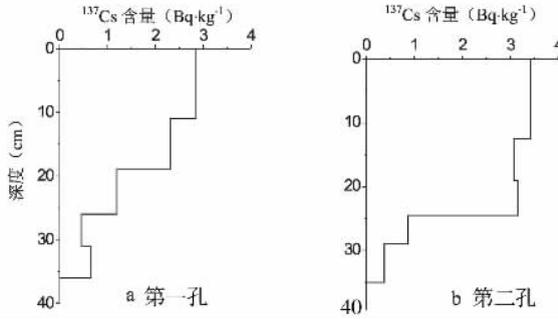


图3 南充天马湾沟谷地水田剖面的 $^{137}\text{Cs}$ 深度分布

Fig. 3 Depth distributions of  $^{137}\text{Cs}$  concentrations of the paddy fields of Tianmawan Gully in Nanchong

过于偏低，需开展进一步工作，以确定本区可靠的泥沙输移比。

沉积剖面中 1963 年 $^{137}\text{Cs}$  峰值，盐亭两个塘库的浓度最高，集流沟和武家沟分别为  $26.03 \pm 1.40 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $16.86 \pm 0.98 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；南充天马湾沟和开县春秋沟分别为  $9.50 \pm 0.56 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $6.95 \pm 0.43 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。盐亭两个塘库 $^{137}\text{Cs}$  峰值浓度高的原因，可能和蓬莱镇组砂岩比例高、致密坚硬的砂岩裸坡面积较大有关，核爆期间随降水沉降到地面的 $^{137}\text{Cs}$  尘埃基本不被裸岩地面吸附，随降雨径流直接流失进入塘库，因此沉积剖面中的 1963 年 $^{137}\text{Cs}$  峰值浓度高于南充和开县的两个塘库。塘库表层泥沙的 $^{137}\text{Cs}$  浓度，南充天马湾沟最高， $4.44 \pm 0.29 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；盐亭集流沟最低， $1.74 \pm 0.14 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；其余两沟分别为  $2.78 \pm 0.20 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ， $2.92 \pm 0.24 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。侵蚀土壤中的 $^{137}\text{Cs}$  含量伴随土壤的流失而减少，南充天马湾沟塘库表层泥沙为 1981 年沉积，因此其 $^{137}\text{Cs}$  浓度高于其他塘库。盐亭集流沟塘库表层泥沙的 $^{137}\text{Cs}$  浓度低，可能和 1984 年修建后的公路，填土边坡产沙基本不含 $^{137}\text{Cs}$  有关。

## 5 结语

川中丘陵区和三峡地区小流域塘库众多，泥沙沉积速率高，沉积剖面中的 1963 年 $^{137}\text{Cs}$  蓄积峰非常易于识别。根据塘库面积和 1963 年以来的泥沙沉积厚度，可以可靠确定 1963 年以来的塘库淤沙量，并据此分析流域输沙模数和侵蚀模数。研究表明，开县春秋沟的淤沙模数最高， $1869 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ；盐亭武家沟和集流沟分别为  $701 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  和  $710 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ；南充天马湾沟  $566 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。四个小流域均为面积不足  $1 \text{ km}^2$  的极小流域，塘库以上沟道纵比降大，谷地面积小，谷地以上的基岩沟道陡峻，无泥沙沉积。南充天马湾沟塘库以上的谷地水田，土壤剖面的 $^{137}\text{Cs}$  分布深度和犁耕层深度吻合，表明基本无泥沙淤积。其余三条沟塘库以上的原谷地，建库后几乎全被淹没为库区。除南充天马湾沟外，小流域塘库的淤沙模数基本可以表征研究区域的输沙模数和侵蚀模数。除年降雨量、土地利用状况，特别是垦殖系数等影响研究小流域侵蚀强度差异的主要侵蚀因子外，由于同处紫色土区域，地形起伏和土壤抗蚀性能及岩层产状也是三地侵蚀程度差异的重要原因，开县春秋沟小流域地处川东平行岭谷区，中低山单面山地，地形起伏较大，地层为抗蚀性中等的沙溪庙组，侵蚀模数高；盐亭的两个小流域，蓬莱镇组砂岩比例大，抗蚀性好，侵蚀模数低；南充天马湾沟，地层为抗蚀性最差的遂宁组，但地形起伏小，结合伏介雄等的研

究结果<sup>[18]</sup>, 侵蚀模数也不会太大, 可能接近于盐亭的两条沟。由于致密坚硬的砂岩裸坡面积较大, 盐亭两条沟塘库的 1963 年<sup>137</sup>Cs 峰值浓度高于其他两地塘库。

### 参考文献:

- [1] 姜万勤. 川中丘陵区旱坡地水土流失规律分析. 人民长江, 1996, 27(6): 34~35.
- [2] 中华人民共和国水利部. 全国水土流失公告. 北京, 2000.
- [3] 景可. 长江上游泥沙输移比初探. 泥沙研究, 2002, (2): 53~59.
- [4] 张信宝. 长江上游水土流失治理的思考. 水土保持科技情报, 1996, 4: 7~9.
- [5] 张信宝, 贺秀斌, 文安邦, 等. 川中丘陵区小流域泥沙来源的<sup>137</sup>Cs、<sup>210</sup>Pb 双同位素法研究. 科学通报, 2004, 49(15): 1537~1541.
- [6] Zapata F. Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publisher, 2002. 1~27.
- [7] Zapata F. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. Soil & Tillage Research, 2003, 69: 3~13.
- [8] Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns; a review. Journal of Environmental Quality, 1990, 19: 215~233.
- [9] Bajracharya R M, Lal R, Kimble J M. Use of radioactive fallout cesium-137 to estimate soil erosion on three farms in West Central Ohio. Soil Science, 1998, 163(2): 133~142.
- [10] Guimaraes M F, Nascimento F V F, Ritchie J C. Application of cesium-137 in a study of soil erosion and deposition in Southeastern Brazil. Soil Science, 2003, 168(1): 45~53.
- [11] Edgigton D N, Klump J V, Robbins J A, et al. Sedimentation rates, residence times, and radionuclide inventories in Lake Baikal from <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb in sediment cores. Nature, 1991, 350: 601~604.
- [12] Matisoff G, Bonniwell E C, Whiting P J. Soil erosion and sediment sources in an Ohio watershed using beryllium-7, cesium-137, and lead-210. J. Environ. Qual., 2002, 31(1): 54~61.
- [13] 万国江. <sup>137</sup>Cs 及 <sup>210</sup>Pb<sub>ex</sub> 方法湖泊沉积计年研究新进展. 地球科学进展, 1995, 10(2): 188~192.
- [14] 万国江, 林文祝, 黄荣贵, 等. 红枫湖沉积物<sup>137</sup>Cs 垂直剖面的计年特征及侵蚀示踪. 科学通报, 1990, 19: 1487~1490.
- [15] Xiang L, Lu X X, Higgitt D L, et al. Recent lake sedimentation in the middle and lower Yangtze basin inferred from <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb measurements. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 21: 71~86.
- [16] Walling D E, He Q. Interpretation of caesium-<sup>137</sup> profiles in lacustrine and other sediments: the role of catchment-derived inputs. Hydrobiologia, 1992, 235/236: 219~230.
- [17] 何毓蓉. 中国紫色土(下篇). 北京: 科学出版社, 2003.
- [18] 伏介雄, 贺秀斌, 文安邦, 等. 川中丘陵区小流域产沙的塘库沉积研究—以南充流溪河为例. 水土保持通报, 2005, 25(4): 50~53.

## A study on soil erosion induced sediment yield by reservoir and pond deposits dating with <sup>137</sup>Cs in small catchments of the hilly Sichuan Basin and the Three Gorges Region

QI Yong-qing<sup>1, 2</sup>, ZHANG Xin-bao<sup>1, 3</sup>, HEXiu-bin<sup>1</sup>, WEN An-bang<sup>1</sup>, FUJie-xiong<sup>1, 2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075, China)

**Abstract:** There are a huge number of small reservoirs and ponds with quite high deposition rates in the hilly Sichuan Basin and the Three Gorges Region. Four small catchments with a drainage area of less than  $1\text{km}^2$  each in Yanting and Nanchong of Sichuan Province and Kaixian of Chongqing were selected for this study. Incremental samples of sediment deposition profiles for  $^{137}\text{Cs}$  dating were collected in the four ponds to estimate the deposition volumes since 1963, and to analyse the specific sediment yields and the average erosion rates of those catchments. The highest specific sediment yields for deposition in the ponds is  $1869\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  for the Chunqiu Gully in Kaixian, and  $701\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  and  $710\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  for Wujia and Jiliu gullies in Yanting, respectively. The yield in the pond is about  $566\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  for the Tianmawan Gully in Nanchong. Being small drainage areas, the four study catchments have little valley areas and relatively high channel gradients. The  $^{137}\text{Cs}$  distribution depths are close to the plough depth of 25 cm in the paddy field of the Tianmawan Gully. As the original valley areas above the dam in the three catchments in Yanting and Kaixian were predominantly occupied by ponds, little sediment has accumulated in the upstream valley of the ponds since the dam construction in the 1950s. The small gullies on slopes above the valleys are steep and the bedrock bottoms of the gullies indicate no sediment accumulation occurring there. The sediment delivery ratio should be close to 1 for the slopes. By the above analyses of the topographic characteristics and the  $^{137}\text{Cs}$  depth distribution in paddy fields of the valleys, no significant sediment accumulation occurs in the valley areas of the study catchments. So it is reasonable to use the specific sediment yields for deposition in ponds to represent the specific sediment yield and soil erosion rate of the study catchments excluding the Tianmawan Gully in Nanchong where the current water surface area of the pond used for estimating the yield is underestimated. Clearly, the annual precipitations and the land use conditions, especially the cropland ratios are the important erosion factors of the study catchments. On the other hand, the landform, soil erodibility, and bedrock bedding conditions are the significant erosion factors too. The Chunqiu Gully is underlain of the Jurassic Shaximiao Group with medium erosion resistance and high soil erosion rate. The Wujia and Jiliu gullies in Yanting are underlain of the Jurassic Penglaizhen Group with high proportion of sandstones so they have high erosion resistance and low soil erosion rate.

**Key words:** hilly Sichuan Basin; Three Gorges Region; sediment yield;  $^{137}\text{Cs}$ ; small catchments