小化石筛洗法

Wet Sieving Technique for Collecting Microfossils

李强*, 倪喜军

中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044

*通讯作者邮箱: liqiang@ivpp.ac.cn

引用格式: 李强, 倪喜军. (2021). 小化石筛洗法. Bio-101 e1010613. Doi: 10.21769/BioProtoc.1010613.

How to cite: Li, Q. and Ni, X. J. (2021). Wet Sieving Technique for Collecting Microfossils. Bio-101 e1010613. Doi: 10.21769/BioProtoc.1010613. (in Chinese)

摘要: 湿筛、干筛与浮选是目前古生物学和考古学工作中有效获取微小生物化石或古人类遗物的通用方法。湿筛法使用水流对比重较大、容易沉底的物质进行冲洗, 通过不同孔径的网筛去除泥砂, 获得富含小化石或人类遗物的不同粒径砂样。通过大规模湿筛, 可以获得高多样性的小化石, 为地层年代的确定、生物地层对比、古环境恢复等提供基础材料。本文简要介绍了国外和国内古生物学与考古学发展历史中筛洗方法的演变, 重点推荐了一种适用于大规模筛洗小化石 (特别是小哺乳动物) 的粗、中、细三层套组金属网筛工具, 以及一种可循环利用水资源的筛洗池设计方案。同时, 结合工作实践, 作者还强调了筛洗中一些需要注意的事项。

关键词: 筛洗, 小化石, 古生物学, 考古学

一、基本介绍

本文中的筛洗法专指湿筛法 (wet sieving 或 screen washing), 即对自然地层或人类遗址的土样进行水洗, 使用一组不同孔径的网筛去除土样中的粘土和部分砂粒, 分选出富含微小化石或古人类遗物的不同粒径砂样的方法。筛洗获得的标本大小由网筛的孔径决定。筛洗法目前广泛应用于古生物学和考古学中, 适于成岩作用弱、胶结松散的新生代陆相沉积地层或风化后呈土状的中生代沉积物, 常见的采集对象包括脊椎动物 (鱼类、两栖类、爬行类、鸟类、哺乳类 (包括人)) 的骨骼碎片和牙齿 (特别是小型哺乳动物如

啮齿类、兔形类、食虫类、翼手类等), 无脊椎动物中的腹足类 (蜗牛和螺类等) 和介形虫, 植物中的茎干、叶片、种子、碳屑和轮藻的藏卵器, 以及古人类的一些细小遗物等。

二、目的

1. 地质时代鉴定

小型哺乳动物和介形虫等小化石分布广, 体型较小, 在岩石中容易保存, 在一些不太容易保存大化石的地层中, 通过筛洗获得小化石的可能性往往更大一些。相对于大化石, 小化石中大多数属种的生存时限较为短暂, 因此具有较好的年代鉴定意义。

2. 生物地层对比

通过筛洗尽可能全面地构建不同地质时期的小化石生物群, 利用古生物群所处的演化阶段进行时代先后排序, 构建区域性生物地层层序和生物年代框架, 实现不同区域之间古生物群的横向对比。

3. 古环境恢复

一些小化石种属局限于某种特殊生境内, 如灵长类多生活于较湿热的森林中, 跳鼠代表的是干冷的荒漠环境; 介形虫适应于不同盐度的湖泊; 轮藻主要生活于高钙的淡水中; 蜗牛常见于黄土地带, 螺类多生活于淡水中; 鲤科鱼类不同属种具有形态各异的咽喉齿, 代表了不同的食性, 且其地理分布严格受到淡水水系格局的控制; 碳屑的集中出现可能与自然野火或人工用火有关……诸如此类, 不胜枚举, 故可用某些特殊小化石的存在来推断当时的生物 (包括古人类) 所生活的环境。

三、国外筛洗历史

人类很早就在劳动生产中使用筛子, 比如利用干筛 (dry sieving) 或者用水筛洗来分选不同粒径的粮食或矿石。古生物学和考古学中的筛洗法显然是由此借鉴和发展而来。在考古学历史上, 早在 1903-1905 年间, 德国考古学家 Hubert Schmidt 对土库曼斯坦安诺 (Anau) 遗址发掘时采用干筛法获得了大量动物遗骸和人类遗物 (Pumpelly, 1908); 美国考古学家 Struever (1968) 在苹果湾遗址发掘中使用浮选法 (floatation technique) 并获得了大量植物遗存。上世纪六、七十年代美国和英国开展的一系列实验证明, 干筛会漏掉大量有价值的遗存, 使用水或重液对轻物质进行浮选, 对重物质进行筛洗就显得非常有必要了 (Orton, 2000)。到了上世纪 90 年代初, 国际考古学界已经广泛联用干筛、

浮选和湿筛三种方法 (Renfrew and Bahn, 1991), 并持续至今。

古生物学形成于 18 世纪后期, 至今已有 200 多年历史。拉马克 (Jean-Baptiste Lamarck, 1744-1829, 古无脊椎动物)、史密斯 (William Smith, 1769-1839, 生物地层)、居维叶 (Georges Cuvier, 1769-1832, 古脊椎动物) 和达尔文 (Charles Robert Darwin, 1809-1882, 进化论) 是古生物学的主要奠基人。其中, 居维叶 (1812) 撰写的共四卷的 "*Recherches sur les ossements fossils de quadrupèdes*" (Researches on fossil bones of quadrupeds) 为古脊椎动物学的肇端。根据 Whybrow (1985) 的考证, 早在 1804 年, 居维叶就已经总结过化石采集与修理方面的技术。进入 20 世纪后, 一些关于化石采集与修理技术方面的论著相继问世, 比如 Bather (1908) 在《*Museums Journal*》上发表的 "*The preparation and preservation of fossils*", Hermann (1909) 在《*Bulletin of the American Museum of Natural History*》发表的 "*Modern laboratory methods in vertebrate palaeontology*", 以及 Camp 和 Hanna (1937) 出版的《*Methods in Paleontology*》一书等。不过当时的古生物研究者或者化石"猎人"更偏重于地表收集和定点采掘大型化石, 不太关注微小化石的采集。

在古生物历史中, 筛洗法的应用最早可以追溯到 19 世纪中期, 英国的业余地质学家和化石采集者 Charles Moore 对英国 Holwell 地点晚三叠 Rhaetian 期的裂隙堆积进行了筛洗, 获得了 30 枚异兽亚纲 "*Microlestes*" (现归入 *Thomasia* 属) 的牙齿 (见 Savage, 1960)。19 世纪末的 1891 年, 美国的古生物学家 Wortman 对怀俄明 Bighorn 盆地的早始新世地层进行了筛洗 (见 Osborn and Wortman, 1892), 另一位美国的古生物学家 Schuchert (1895) 稍晚提出筛洗土样获取小化石的倡议。进入 20 世纪后, 在 1936-1947 年间, 美国古生物学家 Hibbard 等人通过筛洗法在堪萨斯和俄克拉何马的西部地区采集到数量和种类非常丰富的小型脊椎动物化石, 这是古生物学上应用筛洗法获得成功应用的经典案例之一 (见 Hibbard, 1949)。十多年后, 美国古生物学家 McKenna (1960) 使用筛洗法在美国科罗拉多的"四英里" (Four Mile) 地点的始新世地层中成功地获得了 1 万 1 千件哺乳动物牙齿。稍后, McKenna (1962) 对筛洗中使用的工具、工具制作方法和筛洗流程进行了详细介绍。在欧洲, 德国古生物学家 Henkel 在 20 世纪 60 年代初发展出一套利用抽水机的筛洗流程 (Henkel, 1966), Kühne (1971) 对这一流程进行了更详细的介绍。随着筛洗法在北美与欧洲古生物学界的迅速普及和改进 (Ward, 1984; Freeman, 1987), 原先被忽视的小化石特别是小型哺乳动物化石无论是在数量还

是在种类上都以极快的速度积累，这为北美陆相哺乳动物分期 (North American Land Mammal, NALMA) 框架和欧洲古近纪与新近纪哺乳动物分带 (Mammal Paleogene, MP; Mammal Neogene, MN) 体系的最终建立奠定了极其重要的基础 (Steininger, 1999; Luterbacher *et al.*, 2004; Woodburne, 2004)。国外其他一些通过筛洗法获得小化石的例子还见于：哺乳动物 (Ziegler, 1965; Thomas, 1969; Payne, 1972; Shaffer, 1992; Shaffer and Sanchez, 1994; Lyman, 2012)，鱼类化石 (Gordon, 1993; Nagaoka, 1994 and 2005; Stewart and Wigen, 2003)，无脊椎动物中的陆生蜗牛壳和水生螺壳 (Gifford, 1916; Muckle, 1994; Horsák *et al.*, 2014)，植物种子和轮藻藏卵器等 (García and Chivas, 2004; Mareković and Šoštarić, 2016; Mojon *et al.*, 2018)。时至今日，筛洗法已经成为国际古生物学工作者获得小化石的通用方法之一，而且为了获取更多的小化石，筛洗的土样早就从公斤级上升到吨级 (Freeman, 2010)。

四、国内筛洗历史

我国考古学上早期使用的都是干筛法。熊海堂 (1989) 首次将水洗选别法 (water separation technique) 介绍给我国考古学界，实际上水选法既包含了对比重小、上浮物质的浮选，又包含了对比重大、沉底物质的筛洗 (吴耀利, 1994)。我国考古学界目前干筛、筛洗、浮选三法均有广泛应用。

早在 1930 年，我国古脊椎动物学的奠基人杨钟健院士便出版了《脊椎动物化石之采集与修理》一书，1951 年杨钟健先生参考 Camp 和 Hanna (1937) 的《Methods in Paleontology》将《脊椎动物化石之采集与修理》增修为《古生物学研究法》。1956、1957 和 1960 年，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所在周口店举办了三次“脊椎动物化石发掘修理技术训练班”，为地方文博部门培养化石修理技术力量。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 (1979) 将英国化石修理技术人员 A. E. 里克森的《Fossil Animal Remains: Their Preparation and Conservation》翻译成中文版《动物化石的修理与保存》。不过当时国内对于小型脊椎动物化石标本的采集仍以搜集和采掘为主，化石标本种类和数量零零星星，不成规模。1962 年，胡长康将 Hibbard (1949) 的成果翻译成“采集微脊椎动物化石的技术”一文，正式将筛洗法介绍给国内古生物工作者 (胡长康, 1962)，筛洗法至此才逐渐得到我国古生物工作者的重视。1980 年，中—德联合古生物考察队在内蒙古化德地区的二登图和哈尔鄂博两个地点采用了筛洗法，从 6.5 吨土

样中共获得 1.1 万多件、50 多种小哺乳动物化石，成为了中国古脊椎动物小化石采集历史上的里程碑式事件 (Fahlbusch *et al.*, 1983)。随后，筛洗法迅速在我国古脊椎动物学界得到推广，代表性的案例还有 1984 年以来建立的河北泥河湾上新世—更新世生物地层序列 (杜恒俭等, 1988; 李强等, 2008; Cai *et al.*, 2013)、1986 年筛洗出的包含 39 个化石种的内蒙古通古尔中中新世小哺乳动物群 (邱铸鼎, 1996)、1987-1991 年间中美联合古生物考察队对山西榆社盆地新近纪化石的系统采集 (Tedford *et al.*, 2013; Flynn and Wu, 2017)、1995 年至今的内蒙古中部地区新近纪小哺乳动物群序列的构建 (邱铸鼎和王晓鸣, 1999; 邱铸鼎和李强, 2016)、2004 年以来的内蒙古二连盆地古近纪生物地层层序的厘清等等 (Meng *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2010)。筛洗法的普及应用极大地丰富了在我国新生代陆相地层中发现的哺乳动物化石的种类和标本量，为近年来建立的古近纪和新近纪中国陆相哺乳动物年代框架奠定了非常重要的基础 (邓涛等, 2019; 王元青等, 2019)。此外，国内的一些重要古人类遗址如云南元谋、安徽繁昌、湖北建始等地点的发掘过程中，古生物和古人类工作者同样也注重通过大规模筛洗获取小化石和一些细小的古人类遗物 (郑绍华, 2004; 祁国琴和董为, 2006; 刘金毅和金昌柱, 2009)。最近，在安徽东至华龙洞中更新世古人类遗址的发掘中，通过筛洗从土样中获得了 41 种、1500 多件小哺乳动物化石 (Wu *et al.*, 2019)。由此可见，大规模地筛洗土样是非常有效的采集小化石的手段。

五、干筛、湿筛与浮选

干筛多适用于干旱缺水的野外化石发掘或古人类遗址发掘，一般选用的筛网孔径比较大，所获得的样本通常较大，容易遗漏大量微小的化石和遗物。湿筛法由干筛发展而来，利用水压来冲洗掉包裹在标本上的泥和砂，通过不同孔径的筛网可以获得不同大小分级的标本。小规模筛洗可以利用人工淘洗，大规模的筛洗可以借助水泵等机械装置。曾有人发明过一些半自动或自动筛洗装置，但其工作效率和实用性较差，未得到广泛推广。湿筛不太注意轻浮物体的收集，因此为了从地层中尽可能全面地收集各种微小的动植物化石遗存或古人类文化遗物，可以将筛洗与浮选结合到一起 (赵志军, 2004)。一些自然地层和考古遗址中经常大量保存一些肉眼或低倍显微镜下即可见的动、植物遗存，比如昆虫遗骸、碳化的植物种子、碳屑、果实、茎秆等，可以利用其比重小和表面张力差异的物理性质，通过水的浮选从土样中提取 (黄其煦, 1986)。对于一些土样中所含有的必

须通过高倍显微镜才能挑拣的微小化石，比如孢粉、植硅体等，可以使用重液浮选从土样中提取。重液通常为密度大于水的有机液体或高密度盐类的水溶液，重液价格较昂贵，而且大多具有毒性，长期使用会对人体造成伤害。

六、筛洗的准备

1. 筛子：其核心是筛网，根据材质有金属、塑料、竹等，耐用性上金属筛网具有绝对优势。目前国内的金属筛网主要有三种：金属丝编织网、穿孔板筛网和电成型薄板筛网。其中，穿孔板筛网网孔大，适于大颗粒（毫米级以上）检测，有圆孔和方孔两种；电成型薄板筛网采用电化学方法制造，精度最高，网孔可到一微米，适于高精度分选，但成本最高；金属丝编织网是最容易从市场上购买的金属筛网，其成本低，柔韧性好，应用最广泛的是孔径为 2.36 mm 至 0.02 mm 的方孔筛网。关于金属丝编织网实验筛的技术要求可参考我国推荐性国家标准 GB/T 6003.1—2012。

金属丝编织网的目是指一英寸 (2.54 cm) 长度上所有的孔眼数目，例如 40 目就是指每英寸上的孔眼是 40 个；孔径是指筛网上孔眼（方孔）的宽度，比如 40 目筛网所对应的孔径是 0.45 mm。目数越高，孔眼越多，孔径越小；反之，目数越低，孔眼越少，孔径越大。筛洗中较常用到筛网的目数和孔径对照表如表 1 所示。

表 1. 我国市场上常见金属丝编织网的目数与孔径对照表

目数	孔径 (mm)	目数	孔径 (mm)
4	4.75	24	0.8
5	4	26	0.71
6	3.2	28	0.63
8	2.5	30	0.6
10	2	35	0.5
12	1.6	40	0.45
14	1.43	50	0.355
16	1.25	60	0.3
18	1	70	0.22
20	0.9	80	0.2

实际应用中，筛网不是越密越细越好，而是要根据所需要收集的对象的大小来选择合适的孔径的筛网，比如大多数种类的小哺乳动物的牙齿中一般前臼齿最小，但一般长或宽或高度不小于 0.5 mm，因此底筛的筛网选用 40 目/0.45 mm 孔径或者 60 目/0.3 mm 孔径即可，目数太低容易漏掉化石，目数太高或者孔径太小，筛孔容易被粘土和细小的砂子堵死，严重影响筛洗效率。

国内市场上较容易购买到的筛子是一种用于实验室颗粒分样的金属圆筛，通常称为"标准检验筛"，按照目数/孔径/直径分为不同规格，同一直径之下可以互相叠摞构成粗-中-细筛组，但由于其直径一般不超过 40 cm，因此更适合野外小规模尝试性筛洗或室内对大规模筛洗后得到的细砂样进行镜检前的精分。

本文推荐一种适合大规模筛洗且容易制作的金属筛组 (图 1)。全套由金属筛网和铝合金材料通过铆钉组装而成，分为框架、粗筛、中筛、细筛和支撑配件。粗筛的筛网目数最低，孔径最大，一般采用 4 目/4.75 mm 孔径或 5 目/4 mm 孔径，粗筛无螺栓孔；中筛筛网的目数和孔径居中，一般采用 10 目/2 mm 孔径或 12 目/1.6 mm 孔径，中筛长轴侧板上打上 4 个螺栓孔，每侧 2 个，孔眼中心距离筛子顶面约 5 cm；细筛的目数最大，孔径最小，一般选用 35 目/0.5 mm 孔径或 40 目/0.45 mm 孔径，细筛的长轴侧板上同样打上 4 个螺栓孔。体积上，细筛最大，长、宽、高可做到 80 cm、50 cm 和 30 cm，长轴两端可加把手，便于端取；中筛的长宽高略小于细筛，无把手，可贴合放置于细筛中；粗筛的长宽高又略小于中筛，无把手，可贴合放置于中筛中；套装好的粗、中、细筛子又可贴合放置于外部的框架内。所有的筛子筛网下面需要至少 2 根支撑杆，确保筛网在使用过程中不会塌坠。框架推荐采用航空铝合金材料，轻便坚固耐用。框架在不筛洗时起到收纳和保护筛子的作用 (图 2，文中所有照片均为第一作者拍摄)，在筛洗时可以作为筛子的底座支架，方便细筛泥水的释放 (图 3)。支撑配件推荐为 8 套粗的螺栓-螺母，因其极易购买，不慎丢失后也容易及时补充。

金属筛的组装与收纳：筛洗土样时，首先将 8 件螺栓分别穿过细筛和中筛上预留的孔洞，螺帽在筛子外侧，螺杆在筛子内侧，从筛子内侧套上螺母并拧紧，这样就在细筛和中筛内各自组成 4 个支撑，用于分别搁置中筛和粗筛。然后将细筛、中筛和粗筛自下而上叠摞，放置于框架上。将浸透后的土样倒在最上面的粗筛中，用

水冲洗掉其中的泥土和微小的砂粒，标本和砂砾依粒径分选并留置在粗、中和细三层筛网上。筛洗完毕后需仔细冲洗筛子和框架，拧下螺丝，晾干水分，将筛子套装起来装入框架中，螺丝用自封袋收纳好。

图 1. 粗-中-细金属筛组合示意图

图 2. 套装在铝合金框架内的金属筛 (未加粗筛)

图 3. 自上而下按照中-细摆放好的金属筛 (未加粗筛)

2. 水泵: 在野外直接进行筛洗时, 如果自然水流存在天然落差 (1 m 以上) 且流速快, 只需要准备长的软水管即可利用水压对土样进行冲洗。更普遍的情况是, 野外有水源但不具备形成自然落差的条件, 而且往往没有电力, 因此通常使用燃料为柴油或汽油的燃油抽水泵。在实际野外工作中我们使用最多的是便携式汽油二冲程抽水泵, 其质量一般小于 10 kg, 输出功率多小于 5 kW, 燃料为混合油 (体积比例, 汽油: 机油 = 25:1), 油耗通常小于 1 L/h (升/小时), 市场上常见品牌的进水口管径多固定为 2.5 cm, 出水口管径多为 2.5 cm 和 4 cm 两种 (图 4)。市场上售卖的农业用柴油抽水泵一般较笨重 (20 kg 以上), 不太机动, 但可以应急使用。在筛洗站一般具有电力条件, 可选择防漏电和静音的电动抽水泵, 功率和出水口管径可参考上述汽油抽水泵的参数。

图 4. 野外无电力条件下所使用的便携式汽油水泵

3. 筛洗池：如果条件允许，可建立专门的筛洗站，内设存样间、镜检室、筛洗池和晾晒场地。存样间用于存放野外挖取的土样和筛洗用到的工具，需要干燥通风和防雨。镜检室为专业化石技术人员使用显微镜挑拣砂样的空间。筛洗池分为筛洗区、折曲、沉淀池、蓄水池四部分（图 5-6）。修建时向地下挖掘，使用砖混或混凝土结构，所有内立面均需做防漏处理。筛洗区深度约为 1 m 左右，要放得下筛子，可同时放置两套或更多套的筛子，筛洗区的底部修建 2-5 °的坡度，自筛洗区往折曲渐高（图 6A）；折曲的深度约为 0.8 m 左右，自溢水口-1 至溢水口-2，底部以 2-5 °的坡度逐渐升高（图 6B），尽可能多设置几个折曲，这样的设计可以减缓泥水的流动速度，让其中的泥砂尽快沉淀下来；沉淀池深度 2 m 左右，最高处开两口分别与蓄水池和折曲连通，沉淀池—蓄水池连通口（溢水口-3）尽量远离折曲进入沉淀池的汇水口（溢水口-2）（图 6B 和图 6C）；蓄水池最深，深度为 2-3 m 较为合适，抽水机的进水笼放置的位置尽量远离沉淀池的溢水口-3。使用筛洗池时，先将蓄水池蓄满水，使用电动抽水机将蓄水池的水抽出，通过管道将水输送到筛洗区的筛子上；筛洗土样后的泥水先在筛洗区初步沉淀，经过爬坡进入折曲，在折曲处爬坡时再次沉淀；进入沉淀池之前，大约 70%-80%的泥砂已经沉淀下来；少量细小的粘土和粉砂在沉淀池中进一步沉淀，沉淀池中上部较清的水汇入蓄水池，清水再被水泵抽走，如此循环往复直至筛洗结束。在使用过程中，需要定期对筛洗区和折曲处沉积的泥砂及时清理，至少一月清理一次；沉淀池和蓄水池中的泥砂一般不太多，一年清理一次即可。如果筛洗池修建在北方地区，则需要在冬天来临之前将水放干，以防止筛洗池冻裂，有条件的话可以每年做一次补裂和防水。另外，蓄满水后的沉淀池和蓄水池上需要加装安全防护网进行遮挡，以防止人和动物误入水池，危害生命安全。

图 5. 可循环利用水资源的筛洗池 (使用电水泵)

图 6. 筛洗池平面设计图 (A, 箭头示水流方向) 和截面图 (B-D, 箭头示坡道)

4. 晾晒：需要用到晒布和布口袋。晒布最常用的是粗白布，其吸水性和透气性好，价格低廉，可反复使用长达数年之久。市场上粗白布的幅宽一般为 0.9 m 或 1.2 m，单块可裁剪成 2 m 长左右。棉的床单也可做晒布，但成本偏高。布口袋用于盛装筛洗剩下并干燥后的砂样，也由粗白布经人工缝制而成，市场上也有一些加工好的布口袋售卖，但价格较高且不太容易找到合适的尺寸。晾晒的场地在筛洗站里最好建

成水泥地坪，尽量平整和光滑；野外条件有限，但也需要找尽量平整和干净的地方进行晾晒。

5. 镜检：需要用到显微镜、镊子、托盘等工具。由专门的技术人员在显微镜下对筛洗遗留下的砂样进行化石挑拣 (图 7)。由于镜检需要耗费大量的人工、时间和资金，而且技术人员需要掌握一定的小化石解剖和分类知识，因此目前镜检仍是制约小化石采集的瓶颈因素。

图 7. 专业镜检人员在体视显微镜下从砂样中挑拣小化石

6. 标本保存：需要用到橡皮泥、石蜡、大头针、玻璃管 (带软木塞)、标本盒、标签贴纸等材料。专业镜检人员从砂样中挑拣出小化石后，通常会简单分类，并整齐地将标本集中排列于标本盒中的橡皮泥或石蜡上 (图 8)。橡皮泥的种类很多，国际市场上较好用的一种橡皮泥是德国产 **Läufer** 品牌，具有粘性适中、弱油性、长年不易硬化的优点。小化石标本也可分开存放，通常将单件标本粘附于石蜡托上，石蜡托粘于大头针尾端，大头针尖端插入软木塞的内壁，再将软木塞塞入玻璃管，这样标本就放置于玻璃管中并且不与玻璃管内壁接触。玻璃管中可以放适量脱脂棉垫在管底，防止标本从石蜡上脱落和损坏。无论是标本盒还是玻璃管的内外均须贴上标签，并注明化石产地、种类、地质时代、采集人、采集年份和鉴定人等基本信息。

图 8. 整齐摆放到橡皮泥上的小哺乳动物牙齿标本

七、大规模筛洗作业与野外现场筛洗的比较

野外现场筛洗与大规模筛洗作业适用于不同的野外和地层条件，两者在场地要求、常备工具、土样采集量、筛洗时间、成本费用上都有不同，各有优缺点（表 2）。初期地层踏勘、遗址尝试性发掘中可以采用小规模土样采集和现场筛洗，短期内即可获得少量化石或遗物，并初步识别地层年代及古环境；对于长期、系统性的生物地层工作、古生物群构建、考古遗址全面发掘等则更适合大规模筛洗作业，通过大规模筛洗作业能够积累极其丰富的化石标本和人类遗物，从而进行更精确的生物地层年代约束和提供更全面的古生物多样性及古人类生存时期的古环境信息。

表 2. 野外现场筛洗与大规模筛洗作业的比较

	野外现场筛洗	大规模取样工作站筛洗
野外条件	有水源	缺乏水源
	容易雇佣劳动力	缺乏劳动力
	容易获得燃油补给	不易获得燃油补给
地层条件	化石富集	化石不太富集
场地要求	水源地附近有合适晒场即可	需要建配套的工作站 (包括存样间、镜检室、筛洗池和晒场)

常备工具	标准检验筛/定制金属筛	定制金属筛
	燃油抽水泵	电抽水泵
土样采集量	1 吨以下	1 吨以上
	尝试性发掘	定点采集，长期累积
筛洗时间	短期，不稳定	长期，稳定
成本费用	运输成本低	运输成本较高
	单位时间人工费高	单位时间人工费低
	燃油费	电费
		工作站建筑和场地费
优点	灵活机动	土样处理能力较高
		室内作业，安全
缺点	土样处理能力较低	需要建设工作站并长期雇佣筛洗工人
	受野外自然条件影响，存在一定安全风险	

八、大规模筛洗作业流程

1. 野外大规模取土样

尽可能选择小化石富集、暴露的地层，开挖土方，如果土质松软，使用铁锹即可，如果土质硬结，则需要使用十字镐、电镐之类的工具甚至挖掘机等大型机械。将大块的土样破碎成小土块，装入编织袋中，每袋装入大约半袋，质量为 20-30 kg 的土样为宜，适于扎口和搬运。编织袋一般选用 50 kg 容量、具有塑料内衬的袋子，可以避免雨水淋湿，通常采用双层编织袋装盛土样，以减少运输过程中刮擦所造成的土样遗撒。采取的土样总质量与小化石在地层中的富集程度相关，小化石越富集所需要采集的土方量就越少，小化石越贫瘠所需要采集的土方量就越多。例如青藏高原的大多数新生代沉积盆地中化石稀少，往往一个化石点需要多年次采集土样，每次至少需要采集 100 编织袋，约 2-3 t 左右。

2. 土样运输

土样需要运输至专门的筛洗站，可以通过铁路与公路两种方式运输。铁路适于超远

距离、超大吨位土样运输，但受限于火车站点的不均衡分布和相对较高的收费。公路是目前相对便捷和经济的运输方式。得益于目前我国发达的公路网和物流网，基本上国内每个县城都有物流运输站点，采集到的土样可以成批次运输到物流站点进行打包托运，通过物流系统实现安全送货到筛洗站。

3. 站内筛洗

土样运输至筛洗站后，一定不能急于筛洗。首先要尽快选择晴朗的天气，打开编织袋，将土样摊平于干燥的晾晒场地，自然晾干。晾干后的土样才能进行筛洗。筛洗时选用合适的容器，如塑料或金属的盆或水桶，放入适量的土样加水浸泡，静置过程中可轻轻搅动，但不要过于剧烈，等所有土样被水泡透后再倒入筛子进行筛洗。冲洗时用手指调整出水管水流的大小、力度和方向，避免泥土的溅出。泡透后的土样在水流的冲洗下会快速从上至下通过三层不同孔径的筛子，大块的岩石、砂砾和标本会遗留在最上层的粗筛中，中筛遗留的是粒径中等的砂样和标本，底筛（细筛）遗留的砂样和标本则是粒径最小的。每当筛洗下一个地点的土样时，所有筛子必须仔细冲洗干净，以免有标本遗留在筛子里面造成混样。筛洗干净后的三种砂样等沥干筛子的大部分水分（倾斜筛子，筛子边角水流不成束，呈缓慢滴水即可）后转移至晒布上并尽量摊开，晒布上的砂样不要堆积过厚，晾晒过程中需要适时更换晒布，等湿砂样晾晒约半小时后归拢、转移至另一块干燥的白布上并摊平，原先的湿布需要晾干备用，如此往复直至砂样彻底干燥。将干燥后的砂样装入透气的粗布口袋，存放于干燥通风处备后续镜检。如果室外天气不允许自然晾晒，可以使用烘箱或烤房低温烘干，一般温度不要超过 60 °C 为宜。

4. 室内镜检

对于最上层筛子（粗筛）里的粗大岩块和砂砾，肉眼即可从中挑选出化石标本；对于中筛的粗砂样，可以肉眼或使用 10 倍台式带灯放大镜挑拣出化石；对于底筛（细筛）中的细砂样，每次从布口袋中取出少许放入小托盘中，前后左右摇晃托盘，使得砂样在盘底薄薄地均匀铺满一层，使用体视显微镜，如 Olympus SZ61 型，选择低倍（10-20 倍以下），人工挑拣出小化石。将挑选出的小化石集中排布于标本盒中的橡皮泥或分开粘到石蜡之上，按照不同类别分盒或按照不同标本号分瓶盛装，盒与瓶的内外均需贴上标签。

九、筛洗的注意事项

1. 筛子与筛洗方式

根据所需要获得的标本的大小来定制或购买筛子，野外筛洗工作还需要因地制宜。如果只是小规模尝试性发掘，自带一组不同目数和孔径的标准检验筛，或者临时从当地市场购买合适的金属筛网制作简易筛子，在发掘点附近找到水源对土样人力淘洗和晾晒即可。如果发掘区域干旱缺水，而且地层中化石量不太富集，可能大规模取土、物流运输、筛洗站定点筛洗的方式更为适合。

2. 地层的选择

不建议盲目筛洗毫无化石线索的地层，要有的放矢，尽量寻找小化石的富集层。以小哺乳动物化石为例，对于水下沉积物，小哺乳动物化石由于质量和体积小，受水流搬运分选，一般不太容易与大哺乳动物化石埋藏到一起，往往在盆地边缘地区的泥质砂岩、砂质泥岩透镜体或细砾岩中较容易富集；对于风成沉积物，小哺乳动物化石的分布通常较分散，但在那些被水流改造过或古土壤化的地层中往往比较容易发现较富集的小哺乳动物化石；对于洞穴和裂隙堆积物，水流对小哺乳动物化石的搬运和分选作用也较明显，小化石一般多富集在较细的沉积物中。无论对于哪种沉积物，只要肉眼可观察到地层中出露较多的小哺乳动物牙齿、牙床或骨骼化石，且随机敲取一块新鲜的土块就能从断面上发现小化石，就表明这些地层小化石的富集程度相当高 (图 9-11)。反之，如果地层中自然暴露的小化石很少，且随机敲取的土块断面上也缺乏小化石，那就表明小化石的富集程度非常低。在实践中，对于小哺乳动物化石不太富集的地层，我们通常采取大规模筛洗作业的方式来获得足量的小化石标本。野外地层观察中，我们一般遵循“粗中找细，细中找粗”的原则。比如，在以砾石为主的剖面上，往往其中有机质含量高的细砂、粉砂岩或泥岩透镜体中埋藏有小化石的可能性更大一些 (图 12)；在以泥岩甚至页岩为主的湖相地层中，往往要寻找水动力条件更强一点的砂岩或者砾岩透镜体。常规情况下，只挖取原生层位土样，避免地层混淆的发生；少数情况下，风化剥蚀面较平缓的层位可取风化后的表土 (图 13)，通常情况下，泥质砂岩、砂质泥岩和细砾岩的风化物较适于小化石的次生富集，钙质或铁质胶结程度高、富含石膏的粗砾岩、较为纯净的砂岩和泥岩往往不太适于小化石的次生富集。

图 9. 裂隙堆积中的钙质胶结物富含小哺乳动物化石，适于酸处理后筛洗

图 10. 含泥砾和钙质细砾的砂岩含有小哺乳动物化石，适于筛洗

图 11. 粉砂岩中含有大量淡水螺壳碎片，适于筛洗

图 12. 砾岩下部粒径较小且含哺乳动物化石，适于筛洗

图 13. 地表风化物中含化石碎片，适于筛洗

3. 土样的处理

土样中如果有大量粘土成分的话，潮湿状态下粘土与粉砂容易固结成团很难从化石上剥离下来，水流冲洗过程中容易损坏化石并堵塞筛孔，因此需要等待土样完全干燥，一般通过摊开晾晒、自然风干即可。对于以灰岩或钙质胶结物为主的地层，可以破碎后加入低浓度的工业乙酸 ($C_2H_4O_2$) (一般稀释到 10%-5% 为宜) (刘东生和高福清, 1963; McCrae and Potze, 2007), 静置一段时间后待其溶解再行筛洗。

4. 样品编号

从土样采集到人工镜检都需严格执行样品编号制度。不同地点与层位之间的土样必须及时标记，分开存放，切忌混杂。严格记录各层土样编号、量方、质量等信息，以备查询和核对。挑拣出的小化石装入标本盒或玻璃管后，务必在盒与管的内外均贴上标签，标注上地点号、采集年份、地层和类别等基本信息。

5. 环境保护

无论是在野外现场还是在筛洗站筛洗都需要注意环境的保护。野外用水中尽量找封闭的小水塘或小积水坑，并且需要挖一个沉淀坑，从水塘或积水坑内抽水筛洗排出的泥水先经沉淀坑再流回水塘或积水坑内，尽量避免污染自然水域与农业水系，沉淀坑使用完后需及时回填；筛洗站一般建有标准的筛洗池，筛洗池中储存的水可反复循环利用，定期补水即可，清理出的淤泥和砂子可以运输至垃圾处理场进行填埋。

致谢

本课题由中国科学院战略性先导科技专项 (A 类)(编号: XDA19050102) 资助。衷心感谢厦门大学蔡保全教授、重庆师范大学武仙竹教授和中国国家博物馆刘文晖馆员审阅稿件并提出建设性的修改意见。

参考文献

1. 邓涛, 侯素宽, 王世骥. (2019). [中国新近纪综合地层和时间框架](#). *中国科学: 地球科学* 49: 315-329.
2. 杜恒俭, 王安德, 赵其强, 蔡保全. (1988). [泥河湾地区晚上新世一个新的地层单位——稻地组](#). *地球科学—中国地质大学学报* 13: 561-568.
3. 黑伯特, C. W., 胡长康. (1962). [采集微脊椎动物化石的技术](#). *古脊椎动物与古人类* 6: 415-419.
4. 黄其煦. (1986). [考古发掘工作中回收植物遗存的方法之一——泡沫浮选法](#). *农业考古* 2: 95-99.
5. 里克森, A. E. (1979). *动物化石的修理与保存*. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所. 北京. 1-231.
6. 金昌柱, 刘金毅. (2009). [安徽繁昌人字洞——早期人类活动遗址](#). 科学出版社. 北京. ISBN: 9787030235824.
7. 李强, 郑绍华, 蔡保全. (2008). [泥河湾盆地上新世地层序列与环境](#). *古脊椎动物学报* 46: 210-232.
8. 祁国琴, 董为. (2006). [蝴蝶古猿产地研究](#). 科学出版社. 北京. ISBN: 9787030164438.

9. 邱铸鼎. (1996). [内蒙古通古尔中新世小哺乳动物群](#). 科学出版社. 北京. ISBN: 7-03-004819-9.
10. 邱铸鼎, 王晓鸣. (1999). [内蒙古中部中新世小哺乳动物群及其时代顺序](#). *古脊椎动物学报* 37: 120-139.
11. 邱铸鼎, 李强. (2016). [内蒙古中部地区新近纪啮齿类](#). 科学出版社. 北京. ISBN: 9787030491459.
12. 王元青, 李茜, 白滨, 金迅, 毛方园, 孟津. (2019). [中国古近纪综合地层和时间框架](#). *中国科学: 地球科学* 49: 289-314.
13. 吴耀利. (1994). [水选法在我国考古发掘中的应用](#). *考古* 4: 363-366.
14. 熊海堂. (1989). [考古发掘中水洗选别法的应用](#). *农业考古* 2: 155-173.
15. 杨钟健. (1930). *脊椎动物化石之采集与修理*. 地质调查所地质学研究所. 北平. 1-34.
16. 杨钟健. (1951). *古生物学研究方法*. 中华书局. 上海. 1-68.
17. 赵志军. (2004). [植物考古学的田野工作方法——浮选法](#). *考古* 3: 80-87.
18. 郑绍华. (2004). [建始人遗址](#). 科学出版社. 北京. ISBN: 7-03-013433-8.
19. Bather, F. A. (1908). [The preparation and preservation of fossils](#). *Mus J* 8: 76-90.
20. Cai, B. Q., Zheng, S. H., Liddicoat, J. C. and Li, Q. (2013). [Chapter 8: review of the litho-, bio-, and chronostratigraphy in the Nihewan Basin, Hebei, China](#). In: Wang, X. M., Flynn, L. J. and Fortelius, M. (Eds.). In: *Fossil Mammals of Asia Neogene Biostratigraphy and Chronology*. Columbia University Press, 218-242.
21. Camp, C. and Hanna, D. (1937). [Methods in Paleontology](#). University of California Press. Berkeley. 1-153.
22. Cuvier, G. (1812). *Recherches sur les ossemens fossiles de quadrupèdes*, tome 1-4. Chez Deterville. Paris.
23. Fahlbusch, V., Qiu, Z. D. and Storch, G. (1983). [Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Nei Mongol, China](#). *Scientia Sinica (Series B)* 26: 205-224.
24. Flynn, L. J. and Wu, W. Y. (2017). [Late Cenozoic Yushe Basin, Shanxi Province, China: Geology and Fossil Mammals. Volume II: Small Mammal Fossils of Yushe Basin](#). Springer. Dordrecht. 1-227.
25. Freeman, E. F. (1987). [The use of concrete mixers to wash sediments](#). *Proc*

- Geol Assoc* 98: 45-50.
26. Freeman, E. F. (2010). [The large-scale extraction of microvertebrate fossils from sediment residues using Interfacial Methods](#). *Proc Geol Assoc* 121: 4-12.
 27. García, A. and Chivas, A. R. (2004). [Quaternary and extant euryhaline *Lamprothamnium* Groves \(Charales\) from Australia: Gyrogonite morphology and paleolimnological significance](#). *J Paleolimnol* 31: 321-324.
 28. Gifford, E. W. (1916). [Composition of California shellmounds](#). *University of California Publications in American Archaeology and Ethnology* 12: 1-29.
 29. Gordon, E. A. (1993). [Screen size and differential faunal recovery: a Hawaiian example](#). *J Field Archaeol* 20: 453-460.
 30. Henkel, S. (1966). Methoden zur Prospektion und Gewinnung kleiner Wirbeltierfossilien. *N Jb Geol Paläont, Mh* 178-184.
 31. Hermann, A. (1909). Modern laboratory methods in vertebrate paleontology. *Bull Am Mus Nat Hist* 26: 283-331.
 32. Hibbard, C. W. (1949). [Techniques of collecting microvertebrate fossils](#). *Contr Mus Paleont, Univ Mich* 8: 7-19.
 33. Horsák, M., Zelený, D. and Hájek, M. (2014). [Land snail richness and abundance along a sharp ecological gradient at two sampling scales: disentangling relationships](#). *J Mollus Stud* 80: 256-264.
 34. Kühne, W. G. (1971). [Collecting vertebrate fossils by the Henkel process](#). *Curator* 14: 175-179.
 35. Luterbacher, H. P., Ali, J. R., Brinkhuis, H., Gradstein, F. M., Hooker, J. J., Monechi, S., Ogg, J. G., Powell, J., Röhl, U., Sanfilippo, A. and Schmitz, B. (2004). The Paleogene Period. In: Gradstein, F., Ogg, J. and Smith, A. (Eds.). *A Geologic Time Scale 2004*. Cambridge University Press, 384-408.
 36. Lyman, R. L. (2012). [The influence of screen mesh size, and size and shape of rodent teeth on recovery](#). *J Archaeol Sci* 39: 1854-1861.
 37. Mareković, S. and Šoštarić, R. (2016). [A comparison of the influences of flotation and wet sieving on certain carbonized legume and cereal remains](#). *Acta Botanica Croatica* 75: 144-148.
 38. McCrae, C. and Potze, S. (2007). [A fresh look at chemical fossil extraction](#). *Palaeontologia Africana* 42: 115-116.
 39. McKenna, M. C. (1960). Fossil mammals from the early Wasatchian Four Mile

- Fauna, Eocene of northwest Colorado. *University of California Publications in Geological Sciences* 37: 1-130.
40. McKenna, M. C. (1962). [Collecting small fossils by washing and screening](#). *Curator* 3: 221-235.
 41. Meng, J., Wang, Y. Q., Ni, X. J., Beard, K. C., Sun, C. K., Li, Q., Jin, X. and Bai, B. (2007). [New stratigraphic data from the Erlian Basin: implications for the division, correlation, and definition of Paleogene lithological units in Nei Mongol \(Inner Mongolia\)](#). *Am Mus Novit* (3570): 1-31.
 42. Mojon, P. O., De Kaenel, E., Kalin, D., Becker, D., Pirkenseer, C. M., Rauber, G., Ramseyer, K., Hostettler, B. and Weidmann, M. (2018). [New data on the biostratigraphy \(charophytes, nannofossils, mammals\) and lithostratigraphy of the Late Eocene to Early Late Miocene deposits in the Swiss Molasse Basin and Jura Mountains](#). *Swiss J Palaeontol* 137: 1-48.
 43. Muckle, R. J. (1994). [Differential recovery of mollusk shell from archaeological sites](#). *J Field Archaeol* 21: 129-131.
 44. Nagaoka, L. (1994). [Differential recovery of Pacific island fish remains: evidence from the Moturakau rockshelter, Aitutaki, Cook Islands](#). *Asian Perspectives* 33: 1-17.
 45. Nagaoka, L. (2005). [Differential recovery of Pacific island fish remains](#). *J Archaeol Sci* 32: 941-955.
 46. Orton, C. (2000). *Sampling in Archaeology*. Cambridge University Press. Cambridge. 1-261.
 47. Osborn, H. F. and Wortman, J. L. (1892). [Fossil mammals of the Wahsatch and Wind River Beds, collection of 1891](#). *Bull Am Mus Nat Hist* 4: 81-147.
 48. Payne, S. (1972). Partial recovery and sample bias: the results of some sieving experiments. In: Higgs, E. S. (Ed.). In: *Papers in Economic Prehistory*. Cambridge: Cambridge University Press, 49-64.
 49. Pumpelly, R. (1908). Explorations in Turkestan, expedition of 1904: prehistoric civilizations of Anau, origins, growth, and influence of environment. v. 2. *Carnegie Inst Washington Publ* 73: 1-494.
 50. Renfrew, C. and Bahn, P. (1991). *Archaeology: Theories, Methods and Practice*. Thames and Hudson. London. 1-543.

51. Savage, D. E. (1962). Cenozoic geochronology of the fossil mammals of the western hemisphere. *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia", (Ciencias Zoológicas)* 8: 53-67.
52. Savage, R. J. G. (1960). Cenozoic mammals in North America. *Nature* 188: 200.
53. Schuchert, C. (1895). Directions for collecting and preparing fossils. *Part K of Bulletin of the United States National Museum* 39: 5-31.
54. Shaffer, B. S. (1992). [Quarter-inch screening: understanding biases in recovery of vertebrate faunal remains](#). *Am Antiq* 57: 129-136.
55. Shaffer, B. S. and Sanchez, J. L. J. (1994). [Comparison of 1/8" and 1/4"-mesh recovery of controlled samples of small-to-medium-sized mammals](#). *Am Antiq* 59: 525-530.
56. Steininger, F. F. (1999). Chronostratigraphy, geochronology and biochronology of the Miocene "European Land Mammal Mega Zones (ELMMZ)" and the Miocene "Mammal-Zones (MN Zones)". In: Rössner, G. E. and Hessig, K. (Eds.). In: *The Miocene Land Mammals of Europe*. Munich: Dr. Friedrich Pfeil, 9-24.
57. Stewart, K. M. and Wigen, R. J. (2003). [Screen size and the need for reinterpretation: a case study from the northwest coast](#). *Bull Flo Mus Nat Hist* 44: 27-34.
58. Struever, S. (1968). [Flotation techniques for the recovery of small-scale archaeological remains](#). *Am Antiq* 33: 353-362.
59. Tedford, R. H., Qiu, Z. X. and Flynn, L. J. (2013). *Late Cenozoic Yushe Basin, Shanxi Province, China: Geology and Fossil Mammals*. Volume I: History, Geology, and Magnetostratigraphy. Springer. Dordrecht. 1-109.
60. Thomas, D. H. (1969). [Great Basin hunting patterns: a quantitative method for treating faunal remains](#). *Am Antiq* 34: 392-401.
61. Wang, Y. Q., Meng, J., Beard, K. C., Li, Q., Ni, X. J., Daniel, L. G., Bai, B., Jin, X and Li, P. (2010). [Early Paleogene stratigraphic sequence, mammalian evolution and its response to the environmental change in Erlian Basin, Inner Mongolia, China](#). *Sci China: Earth Sci* 53: 1918-1926.
62. Ward, D. J. (1984). [Collecting isolated microvertebrate fossils](#). *Zool J Linn Soc-Lond* 82: 245-259.
63. Whybrow, P. J. (1985). [A history of fossil collecting and preparation techniques](#). *Curator* 28: 1-22.

64. Woodburne, M. O. (2004). [*Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology*](#). Columbia University Press. New York. ISBN: 0-231-130-40-6.
65. Wu, X. J., Pei, S. W., Cai, Y. J., Tong, H. W., Li, Q., Dong, Z., Sheng, J. C., Jin, Z. T., Ma, D. D., Xing, S., Li, X. L., Cheng, X., Cheng, H., de la Torre, I., Edwards, R. L., Gong, X. C., An, Z. S., Trinkaus, E. and Liu, W. (2019). [*Archaic human remains from Hualongdong, China, and Middle Pleistocene human continuity and variation*](#). *Proc Natl Acad Sci USA* 116: 9820-9824.
66. Ziegler, A. C. (1965). The role of faunal remains in archaeological investigations. *Sacramento Anthropol Soc Paps* 3: 47-75.