脊椎动物化石野外采集

Collecting vertebrate fossils in the field

宋叶舟¹, 易鸿宇^{2, 3*}

¹ 电气与动力工程学院, 中国矿业大学, 徐州; ² 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; ³ 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 北京

*通讯作者邮箱: yihongyu@ivpp.ac.cn

引用格式: 宋叶舟, 易鸿宇. (2021). 脊椎动物化石野外采集. *Bio-101* e1010663. Doi: 10.21769/BioProtoc.1010663.

How to cite: Song, Y. Z. and Yi, H. Y. (2021). **Collecting vertebrate fossils in the field**. *Bio-101* e1010663. Doi: 10.21769/BioProtoc.1010663. (in Chinese)

摘要: 脊椎动物化石可保存在灰岩、泥岩、粉砂岩、砂岩等岩石中, 野外采集需结合徒步踏勘与定点挖掘工作。本文介绍了小规模采集脊椎动物化石的基本流程, 包括前期准备、野外踏勘、标本采集以及室内修理等多个步骤。在野外现场对标本进行合理固定与包裹, 可有效减少运输中造成的损坏, 使后期实验室内的修理工作更为高效。本文总结了适用于野外作业和室内加固的标本粘合剂, 并结合实际工作经验提供了野外用胶的配方、调配方法。

关键词: 化石, 野外, 粘合剂, 古生物学, 古脊椎动物学

一、研究背景

野外采集化石是大部分古生物研究的第一步。自 19 世纪起, 研究者们开始系统的采集脊椎动物化石供科研使用。著名的化石猎人如英国的玛丽·安宁 (Mary Anning), 美国的巴纳姆·布朗 (Barnum Brown), 我国古脊椎动物学家杨钟健等。经过几个世纪的发展, 古生物学形成了一套系统的野外采集方法, 包括前期踏勘、化石挖掘、实验室修理等步骤 (杨钟健, 1951; 里克森, 1979; Benton, 2014)。在标本的采集、修复、长期存放的过程中, 使用相应的标本粘合剂和固定材料。

早期的野外采集均为小规模地表采集和挖掘, 以人力为主。现在进行大规模定点发

掘时则可选用大型机械如挖掘机、岩石切割机等，大大提高了效率。然而脊椎动物化石的分布具有分散性、随机性的特点，大规模机械发掘的机会相对较少。目前，小规模地表采集和挖掘仍是古脊椎动物学野外工作的主要手段，因此本文主要介绍了小规模野外的材料、工具、基本工作流程。

脊椎动物化石一般保存在沉积岩中。水生的动物如鱼类、海龟常见于灰岩、页岩、泥岩、粉砂岩、砂岩结核中。陆生脊椎动物较少见于灰岩中，一般保存在页岩、泥岩、粉砂岩、砂岩中。灰岩、页岩、泥岩中的化石往往压扁保存，如果围岩分层性良好，则采集的化石一般呈薄板状，以柔软的材料包裹后运回实验室。粉砂岩、砂岩中则常见三维保存的脊椎动物化石，采集时需要比较繁复的固定、挖掘、包裹工作。本文介绍的工作步骤和野外工具适用于小规模野外采集的大部分情况。在介绍野外采集工作流程时，重点叙述了三维保存的化石的采集方法。

图 1. 脊椎动物化石的保存环境 (A) 灰岩中的鲨鱼牙齿化石; (B) 泥岩中压扁保存的蝶螈化石; (C) 粉砂岩中的蛋化石; (D) 大面积出露的砂岩、粉砂岩层。

二、材料与试剂

1. 医用绷带

2. 502 胶
3. 熟石膏
4. Paraloid B-72 树脂颗粒
5. Butvar B-76 树脂颗粒
6. 丙酮
7. 水
8. Primal WS-24 树脂水溶液

野外采集主要使用两类材料：1) 用于粘合标本的胶；2) 用于加固标本的石膏。选择胶水时首要考虑牢固性。其次，由于野外工作多在偏远地区开展，也要选择容易获得的胶水。在选择胶水时有一个因素常被忽略，即后期可移除性。具体来说，野外采集时胶水主要起粘合和固定标本的作用，目的是防止标本在采集和运输过程中损坏，因此往往用量较大。然而化石标本运回实验室后，修理时可能需要移除标本表面较厚的胶水，便于精细结构的修复，或标本的某些结构需要在显微镜下重新粘合和固定，这就要求野外施用的胶水在实验室里方便使用特定的溶剂去除。除了以上三点主要特性以外，野外用胶需固结速度快。对于砂岩等具有孔隙的围岩，应选取流动性、渗透性相对较好的粘合剂。

图 2. 几种常见的树脂胶 (A) Paraloid B-72 颗粒；(B) Butvar B-76 粉末；(C) Primal WS24 的水溶液。

考虑牢固性、普遍易得性、后期可移除性等因素，野外采集推荐使用树脂胶，也称颗粒胶，是将有机合成的树脂颗粒溶于有机溶剂中调配而成 (图 2)。调配好的液体胶施用于化石表面后，有机溶剂挥发，胶液随之固化。常用的树脂颗粒有 Paraloid B-72 (图

2A) 和 Butvar B-76 (图 2B)。对于潮湿的标本，则推荐使用 Primal WS24 (图 2C)。常用的溶剂有丙酮、酒精和水。颗粒胶在实验室中采用相应的溶剂均可去除，便于精细修理，或选用更适合标本长期保存的其他型号的颗粒胶。例如 B-76 比 B-72 渗透性好，并且固化后更容易用丙酮去除，在野外使用更广泛。而 B-72 则具有固化后稳定性强、标本存放多年不变性的特质，实际操作中更常用于实验室加固标本 (Goldberg and Davidson, 2014)。在中国，丙酮的存储和运输均有严格要求，因此在丙酮不便携带的情况下，也可以使用 502 胶水。对于砂岩结核等较致密的围岩，502 胶水的粘合效果好于颗粒胶。但是，502 胶固化后，在实验室内很难用有机溶剂去除，给后期修理带来不便。

标本的整体固定 (打包) 一般采用石膏。对于直径最大处不超过 50 cm 的小型化石标本，推荐使用医用石膏绷带包裹化石。石膏绷带的优点是携带方便、不易受潮；缺点是成本较高，对大型标本的承托力不够。直径超过 50 cm 的化石标本，则应选用熟石膏加麻布片的固定方式，才能保证标本在运输过程中不至于断裂或破损。麻布片是一种松散的织物，用于附着石膏，也可以用其它织物代替。直径一米以上的大化石标本，则采用石膏和麻布片结合木架、木箱的方式固定。

三、配方

表 1. 常用树脂胶成分、溶剂与用途

树脂	化学成分	溶剂	特点	主要用途
Paraloid B-72	丙烯酸甲酯与甲基丙烯酸乙酯共聚物	丙酮、酒精	黏着性好，长时间存放稳定性佳	实验室内修理
Butvar B-76	聚乙烯醇缩丁醛共聚物	丙酮、酒精	渗透性强，固化后易用丙酮去除	野外用胶、实验室内修理
Primal WS24	丙烯酸树脂	水	适用潮湿标本	野外用胶、实验室内修理

不同种类的颗粒胶有对应的溶剂 (表 1)，调配的粘稠程度则由采集人员灵活掌握。并非越粘稠的胶粘合效果越好：如果化石保存在孔隙度较高、相对疏松的围岩中(如粉砂岩)，则胶水应稀薄，每 100 ml 溶剂配树脂颗粒 2-4 g 为宜。而如果需要粘合比较致密的围岩，或较大的裂缝，则需用相对浓稠的胶，100 ml 溶剂可配树脂颗粒 6 g 或更多，直至

能牢固粘合为止。质地致密、体积较大的化石也可以使用 502 胶水粘合。需要注意的是，越致密的围岩对化石的保护越好，所以灰岩、砂岩结核中保存的化石一般不需要使用太多颗粒胶进行加固，在野外只需用报纸或卫生纸包裹即可。如需加固灰岩或结核中化石暴露在外的表面，仍然推荐使用稀的颗粒胶，薄薄一层覆盖在化石表面为佳。

野外用胶应现场调配，无需提前几天配好。如工作区域寒冷，树脂颗粒溶解较慢，可在野外工作开始前一晚将树脂和溶剂混合。在夏季、高温、干燥的工作区域，颗粒胶中的有机溶剂如丙酮、酒精都易挥发，因此颗粒胶调配好后，三至五天内会逐渐变稠。胶变稠以后会影响渗透性，表现在胶水停留在化石表面，无法渗入岩石缝隙。这种情况下粘合效果不佳，表面的胶水固化后化石仍可能断裂。此时添加有机溶剂将胶稀释即可。

四、野外工具

野外工具按使用目的大致分为四类：1) 踏勘工具；2) 挖掘工具；3) 围岩加固；4) 标本记录。本文列出了小规模地表挖掘时常用的工具 (表 2)。大规模定点发掘时，往往需要租用挖掘机来移除化石层顶部盖层；采集微小化石时使用筛洗法，则另有一套流程和工具 (李强和倪喜军，2021)。

表 2. 小规模地表化石发掘常用工具清单

类型	名称	用途
踏勘工具	地质锤	敲手标本、辅助攀爬、化石挖掘
	GPS 或地质罗盘	野外定位
	放大镜	观察小标本
挖掘工具	十字镐	去除化石层之上的覆盖层
	大铁铲、工兵铲	大铁铲去除大面积覆盖层；工兵铲小面积清理
	尼龙排刷	清理表层浮土
	鍬子 (粗、细)	与地质锤合用，挖探槽、将化石与围岩分离
	锥子	从松软的围岩中挖出小化石
	电镐	挖掘致密的围岩 (震动较大，距离化石~30 cm 使用)
围岩加固	塑料滴管	向化石局部滴胶水
	胶瓶 (50 ml, 200 ml)	调配颗粒胶
采集工具	比例尺	给化石和岩样拍照

卫生纸	包裹小化石；做石膏包时，打湿卫生纸盖在化石表面
麻布片、剪刀	制作化石标本的石膏外壳
标本袋	装化石、岩样
透明胶带、布基胶带	包裹化石
马克笔	在标本袋、石膏包上写标本号
标本记录 铅笔	野外记录 (适用下雨天，圆珠笔等下雨时书写会花)
野外记录簿、防水笔记本	野外记录

五、野外采集工作流程

1. 地质资料搜集

野外工作的第一步是徒步踏勘。只有徒步踏勘发现了化石集中露出地表的地点和地层，才能进一步进行定点挖掘。首次在一个区域开展野外工作之前需摸清工作区的地质背景，具体需要了解目标化石层的地质年代、分布范围，然后根据交通情况确定徒步踏勘路线。一次野外工作区域可能覆盖几百平方公里，因此合理的踏勘路线有助于在短时间内发现更多化石。

打开全国地质资料馆 (<http://www.ngac.org.cn/>)，在数据与服务一栏下找到数字资料馆中的地质图数据库，点击之后选择需要的区域地质调查图地质图比例、所在省区，寻找目标地区的区域地质调查图，也可以直接搜索目标区幅的地质图。大多数地质图由于保密需要，只能在网站上进行在线预览。如需下载地质图，则需要有资质的单位开具的介绍信，前往全国地质资料馆借阅地质图。

在移动端也可以下载中国地质调查局开发的地质云 app。打开 app 选择野外助手一栏，可以在全国 1:20 万区域地质调查图上使用 GPS 定位功能直接在踏勘中使用。也可以在 app 内的地质图一栏中搜索到一些可以在线查看的大比例地质图。

除了查阅在线地质图，也可查阅目标区域的区域地质志。以甘肃省为例，甘肃省区域地质志第一版出版于 1989 年，包含了由甘肃省地质局区域地质调查队、甘肃省地质局地质力学区域调查队等绘制于 1974 年的甘肃省 1:5 万区域地质调查图，在 1971 年到 1974 年期间绘制的 1:50 万和 1:100 万区域地质调查图，以及其他不同比例的区域地质调查图 (甘肃省地质矿产局, 1989)。

2. 徒步踏勘

化石往往富集保存在几层特定的化石层中，因此徒步踏勘的主要目的是找到含化石丰富的层位。到达工作区域以后，考察队员分散踏勘，一般两人一组，沿着路线平行穿越地层，寻找每一个地层的露头。在露头寻找化石，可以使用地质锤沿着岩层沉积的层面敲开，或敲开结核，查看其中是否有化石。如果没有发现化石，则前往下一个露头，并重复上一步骤。踏勘过程应记录相关地层的岩性。脊椎动物化石大部分保存在沉积岩中，因此应记录岩石种类、颗粒大小、岩层厚度、有无化石等信息。

一旦发现化石，应记录发现化石地点的 **GPS** 点位、围岩的岩性、化石的类别、在目标地层中的层位、保存情况、发现者、日期等信息。在已发现的化石周围沿着化石层寻找其他化石。一般比较富集的化石层，在几百米之内会有多处化石发现。除了局部范围内的仔细踏勘，采集人员还应根据地质学基本知识，判断化石层在野外的分布、出露规律，在方圆几公里之内确定更多的踏勘路线，有的放矢的进行后续踏勘。

3. 定点采集

踏勘时发现的是化石风化后暴露出地表的部分；如果化石恰好已被风化的和围岩基本分离，可以滴颗粒胶初步加固后，用卫生纸和胶带包裹，进行编号，并记录发现化石的时间和地理位置，放上比例尺拍照留档，放入标本袋。

图 3. 化石采集首先需要清理围岩 (A) 用刷子清理表面风化物；(B) 用地质锤等手动工具初步清理化石四周的围岩；(C) 使用电镐清除大块的围岩。

围岩为泥岩、页岩时，如果分层良好，则用地质锤沿层面将围岩劈开，发现化石后用卫生纸将其仔细包裹，带回野外营地。在整理化石时逐一编号、拍照、再用卫生纸包裹，写上野外编号，最后在最外层裹上胶带。

如果围岩为粉砂岩、砂岩，且化石为三维保存，则先用尼龙排刷清理表面的风化物，在化石已暴露的表面和裂缝中滴颗粒胶加固，以确保化石不会在进一步清除围岩的过程中破损 (图 3A)。使用地质锤和镊子一点点小心敲去化石四周的围岩，仅剩下承重的底面围岩 (图 3B)。在化石较大时，也可在使用镊子和锤子清理完表面围岩、确定了化石的大概轮廓后，在不损坏化石的前提下，使用电镐清除大块的围岩，用铁铲清除围岩碎屑和风化物 (图 3C)。

图 4. 给化石裹上起保护作用的石膏外壳 ("皮劳克") (A) 将化石从围岩中初步分离后裹上多层石膏绷带；(B) 编号完成，准备运回实验室的"皮劳克"。

待化石的大体轮廓显现出来，测量化石的大概尺寸，对化石进行编号，放上比例尺拍照留档。给化石打上起固定作用的石膏壳，俗称"皮劳克"。在用石膏包裹化石之前，需要将含有化石的岩石尽量打磨平；如岩石上有洞，则需要将其填上，否则在运输的过程中容易造成化石的碎裂。将卫生纸覆盖在化石表面，用尼龙刷沾水打湿卫生纸，使其更为贴合化石的轮廓。沾湿的卫生纸起到隔离化石和石膏壳的作用，所以应覆盖可见的化石表面，不必覆盖所有围岩。此时也可将样品编号和发现地点写在标签上放在表面，一同包入石膏壳中。石膏绷带在水里泡软，或往开口的石膏绷带包装袋里加入水将其泡软，一层一层裹在出露的化石表面上，直到化石表面完全覆盖多层石膏绷带 (图 4A)。十分钟到半小时之后，表面的石膏绷带变干变硬，具有承托力。用地质锤和镊子将包裹上石膏的标本底面和围岩分离；翻转标本，将未包裹石膏的化石底面朝上，裹上多层石膏绷带 (图 4B)。将标本与围岩分离前需要注意，在松散的岩石中皮劳克容易翻漏，严重破坏化石。为了避免翻漏，可以在使用石膏包裹出露的化石表面后，继续往下挖岩石，将化石与下方的围岩收成蘑菇型。如果使用熟石膏，则首先将麻布片剪成 15 cm 宽，50-100 cm 长度不等的布条。在

塑料盆中加满水，一边添加石膏粉一边搅拌，至稠浆糊状态。麻布条放入盆中裹上石膏，然后分多层覆盖住标本的外表面。石膏糊几分钟之内即变硬，因此要先剪好麻布条，再调石膏糊。

4. 标本整理

采集的标本、岩样、石膏包带回营地，需立刻进行整理。野外记录首先应给标本编号，然后按顺序将每个编号的化石拍照记录。石膏包刚从围岩中挖掘出来时表面仍未干透，此时用马克笔在湿的表面写编号很困难，需要等石膏包从野外运回营地晾干后，用马克笔写上野外编号。在野外用卫生纸简单包裹的化石样品，回到营地后往往需要拆开，重新仔细包裹，裹上胶带并写上编号。标本整理完成后撰写野外日志，包括一天内的查看的每个地层的情况、围岩的性质、厚度和发现的化石等内容。

5. 包装运输

化石从采集到运输，至最终到达古生物修理实验室，中间环节多，容易丢失或弄混，应该特别注意每一个步骤都留下详细记录。邮寄化石回实验室，要将化石放入纸箱、木箱中以免损坏。邮寄之前应拍照，记录每个箱子中有几件标本。石膏包的每个面都写上标本号，防止运输过程中标本相互磨擦导致编号无法辨认。在采集时石膏包中已留下带有标本号的标签，运回实验室后也可和石膏包表面的编号对应。

6. 实验室修理

运回修理室的化石是包裹在“皮劳克”中的。首先使用手锯、美工刀等方便的工具将石膏外壳切开，去除顶面。底面的石膏外壳可以保留，起支撑作用，因此在野外就标记好化石的顶底面十分必要。

化石修理一般在体视显微镜下进行，常用的工具包括手动工具以及气动工具。手动工具如较粗的斜口剔针和较细的尖头或斜口剔针，以及用于吹去碎屑粉末的吹气球；气动工具包括大小不同号的气动“风刻笔”(图 5)。气动工具和手动工具用于清除不同硬度的围岩。围岩较软时常用手动工具清修，以免损坏化石；围岩较硬的情况下常使用气动工具。此外还要用到笔刷、镊子、颗粒胶溶液、502 胶等。化石修理是一个非常需要耐心的过程。清修一个很小的部位常常需要几天，一件化石标本的清修通常需要数周时间。化石的精细修复和翻模技术在此不详细记述。

图 5. 修理化石的工具 (A) 手动工具：图中有体视显微镜、吹气球、笔刷、斜口剔针、尖头剔针、几粒未溶解的颗粒胶以及溶解在丙酮中的颗粒胶；(B) 气动工具：图中有体视显微镜以及两支气动“风刻笔”。

致谢

感谢中科院古脊椎所陈建业提供了野外发现的蝶螈化石照片。本研究由中国科学院战略性先导科技专项 (A 类) (编号: XDA19050102)、中国科学院战略性先导科技专项 (B 类) (编号: XDB18030504, XDB26000000)、中科院“率先行动”项目、国家自然科学基金青年科学基金项目 (批准号: 41702020) 资助。

竞争性利益声明

作者声明没有利益冲突。

参考文献

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

1010613.

2. 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.
3. 甘肃省地质矿产局. (1989). *甘肃省区域地质志*. 地质出版社. 北京. 1-692.
4. 杨钟健. (1951). *古生物学研究方法*. 中华书局. 上海. 1-68.
5. Benton. M. J. (2014). *Vertebrate palaeontology*. 4th edition. Wiley-Blackwell. 1-480.
6. Goldberg, S. and Davidson, A. (2014). [Adhesives for vertebrate paleontology preparation laboratory, American museum of natural history: an illustrated wall chart](#). Poster presented at the 74th Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology. Berlin, Germany.