

百色盆地舌形刃重型工具 的三维有限元应力分析

袁俊杰^{1,2,3}, 武成浩⁴, 侯亚梅², 谢光茂⁵, 王 颀⁶

(1. 广西师范大学历史文化与旅游学院, 桂林 541001; 2. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044;
5. 广西壮族自治区博物馆, 南宁 530022; 6. 广西壮族自治区自然博物馆, 南宁 530012)

摘要: 石器的使用是一个力学作用过程, 其功能部位(有效刃缘)在使用过程中, 常常会出现不同程度的磨蚀或者崩损, 这是由于石器刃缘处受到加工对象的反作用力而形成的。本文针对百色旧石器中手斧、手镐等大型工具类型出现较多的具有显著功能特点的舌形刃缘, 尝试了用有限元方法做应力分析。通过对百色盆地 13 个地点(或遗址)的 44 件石器的舌形刃缘所进行的 3D 力学模型分析表明, 这类工具受力是不均匀的, 舌形刃缘部位是高应力部位, 当外力加载到一定阈限时, 舌形刃缘会发生崩损, 而器身不发生破坏, 这与实际标本观察结果相吻合。结果还表明在模拟纵向受力(代表劈裂和砍砸)和横向受力(代表挖掘)两种工况下, 纵向受力的应力值远小于横向受力, 说明这类工具可能更适于劈裂和砍砸。本文为有限元方法在石器力学研究方面的应用作了有益的尝试。

关键词: 百色重型工具; 舌形刃; 功能模拟; 有限元; 应力分析

中图法分类号: K871.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3193 (2008) 02-0111-09

前言

从“操作链”的角度而言, 一件工具的“生命周期”包括制作原料的采办、加工、使用、修理和废弃^[1]。工具的有效刃口在使用过程中往往会有一定程度的崩损、磨蚀等痕迹, 刃口相对变钝; 对于精致耐用的工具而言, 石器的制作者们还会对其进行二次的修理加工, 使刃口保持锋利。工具在使用过程中是一个主动施力的过程, 根据所加工的对象的不同, 刃缘会产生不同程度的磨蚀或者崩损, 其使用寿命势必取决于刃缘的受力情况。将具有典型刃缘形态的标本进行有限元分析, 可以将受力情况定量化, 为石器的力学分析提供一种新的方法学尝试。此外, 还可以通过有限元方法建立的 3D 模型, 来对石器的功能进行模拟分析, 通过不同工况(力学过程)下的数值分析对比, 来推断工具的使用功能。

收稿日期: 2007-01-29; **定稿日期:** 2007-10-22

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB806407); 国家自然科学基金项目(40172009); 国家自然科学基金特殊学科点人才培养基金(J0630965); 中国科学院院长专项基金

作者简介: 袁俊杰(1978-), 男, 河南省新乡市人, 中科院古脊椎动物与古人类研究所硕士研究生, 现就职于桂林王城广西师范大学历史文化与旅游学院, 主要从事史前考古学和人体骨学等领域的教学和科研。

通讯作者: 侯亚梅, 中科院古脊椎动物与古人类研究所, 研究员, E-mail: houyamei@ivpp.ac.cn

有限单元法(Finite Element Method, FEM), 简称有限元, 它通过模拟计算研究解决各种工程力学、热学、电磁学及多物理场问题, 并与计算机技术、三维图像技术等学科相结合, 是近几十年来将数学物理方法广泛应用于工程领域如数字仿真和虚拟现实等领域的新型技术手段^[2]。随着该手段的不断成熟与发展, 有限元分析已被成功引入生物力学领域, 取得了一系列的研究成果^[3-6]。在生物力学领域, 有限元建模的主要对象是生物体, 包括人体的组织和器官; 同时还涉及临床上治疗需要的各种假体, 如人工义齿, 人工复合关节, 钢板等等。相对于生物体而言人工合成材料为各向同性, 生物体则为各向异性。以长管骨为例, 其中央是富含骨髓的空腔, 骨管则由骨松质和骨密质构成, 从物理特性来说, “材料”并非均质, 即为各向异性。各向异性材料的有限元在建模时需考虑多重因素, 其弹性模量需要在各个方向上分别赋值, 且要选择具备各向异性特性的单元, 而各向同性的材料则要简化很多。

生物力学领域的有限元分析法为百色旧石器建模提供了良好的参照。对于以各向同性的砾石为毛坯制作的百色旧石器来说, 使用有限元方法建模具有可行性基础。

百色旧石器自从 1973 年发现以来^[7], 至今发掘和采集的旧石器标本 10000 余件, 工具类型涵盖了砍砸器、刮削器、手镐、薄刃斧和手斧等类型^[8-10]。这其中有不少工具的有效刃缘呈明显的舌状, 这种现象曾为学者所关注^[11]。百色盆地的石器工业是典型的砾石工业, 当时的工具制作者们在选择制作工具的毛坯时, 多是经过精挑细选的, 他们往往借助于天然砾石面的形态, 对一端进行加工, 达到自己想要的器形, 而相对的另一端则往往保留部分石皮作为持握的把手。这些工具中有些类型的使用端都具有相似的舌形结构形态, 无论其传统意义上的分类如何, 我们认为它们都具有相似的功能。这些工具的岩性以石英砂岩、石英岩和硅质岩居多, 这些岩石从材料力学角度而言, 具有典型的各向同性, 因而为有限元分析应用于这类舌形刃缘的力学研究提供了可能。

1 材料与方法

1.1 标本

本文研究的标本来自百色盆地的 13 个地点(或遗址), 大部分为右江第四阶地采集, 仅有少部分为地层出土, 总数 44 件, 包括手斧、手镐和砍砸器三种器形(图版 I)。现分别馆藏于中科院古脊椎动物与古人类研究所、广西壮族自治区博物馆、广西壮族自治区自然博物馆、右江民族博物馆和田东县博物馆。年代均为中更新世早期, 距今 80 万年左右^[12]。

1.2 标本测量

在 44 件标本中, 手斧比例最多共 21 件, 占建模标本总数的 47.8%; 手镐比例次之共 17 件, 占建模标本总数的 38.6%; 砍砸器比例最少共 6 件, 占建模标本总数的 13.6%。除了手斧为两面加工外, 其余标本皆为单面加工。我们选取了 12 项测量指标, 用于提取相关点面的指征数据进行建模。这些测量指标包括: 弦长、弦高、弦厚、长、宽、厚, 左侧刃缘长、右侧刃缘长, 左侧刃缘夹角、右侧刃缘夹角, 尖刃角和尖面角。其中需要说明的是, 考虑到这些工具都具有典型的“舌形刃”, 笔者在选取弦长、弦高和弦厚这组指标时, 定位于典型舌形刃的下缘、左右剥片对称处进行测量(图 1)。其中编号为百色百谷 15 的凸刃砍砸器, 剥片简单, 剥片面积仅占器身的 1/4, 不像其他标本具有明显的两侧刃缘, 因而我们没有进行左侧刃缘长、右侧刃缘长, 左侧刃缘夹角、右侧刃缘夹角和尖刃角的测量。

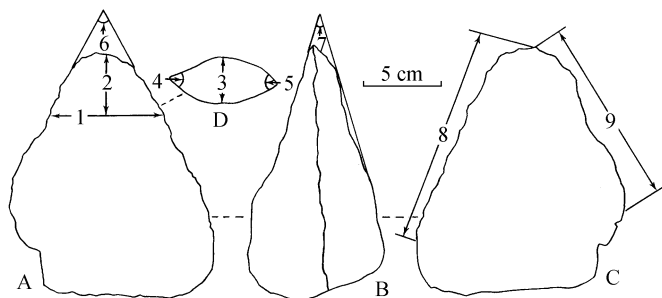


图1 建模数据的测量示意图(Measurements of Bose heavy-duty tools)

1.弦长 length of the chord;2.弦高 height of the chord;3.弦厚 thickness of the chord;4.左侧刃缘夹角 angle of left worked-edge;5.右侧刃缘夹角 angle of right worked-edge;6.尖刃角 angle of two edges;7.尖面角 angle of two faces;8.左侧刃缘长 length of left worked-edge;9.右侧刃缘长 length of right worked-edge

1.3 建模方法

根据这 44 件标本测量提取的点面指征数据,用国际通用的 ANSYS 有限元分析软件进行建模。ANSYS 软件为大型通用有限元分析专用软件,由世界上最大的有限元分析软件公司之一的美国 ANSYS 公司开发,融结构、热、流体、电磁场、声场和耦合场分析于一体,可与多数 CAD 软件接口,实现数据共享与交换^[13]。经过三十多年的发展,ANSYS 已逐渐为全球工业界广泛接受。ANSYS 涵盖了机械制造、航空航天、能源、交通运输、土木工程、水利、电子、地矿、生物医学等众多领域,同时也是这些领域进行国际国内分析设计技术交流的主要分析平台。本文将 ANSYS 软件建模方法引入到百色旧石器的力学研究中。

1.4 数据分析

利用美国 SPSS11.5 通用软件对数据进行统计分析。

2 结果

2.1 SPSS 软件分析数据

我们将 44 件标本的测量数据输入 SPSS11.5 软件中,得到上述 12 项数值的描述统计表(表 1)。其中建模关键的弦长、弦高、弦厚、尖刃角和尖面角偏差较小,我们可以将这组数据等效为一个近似的 3D 实体,进行 ANSYS 建模。

2.2 ANSYS 建模

在实际使用中,工具刃口的应力分布主要取决于其承受的荷载,而材料参数的影响是不大的,材料参数的变化主要影响的是工具的变形,本文中以舌形刃口所受应力作为指标来进行分析。这些工具的岩性有石英砂岩、石英岩和硅质岩,其中石英砂岩比例最高共有 19 件,占总数的 43.2%;石英岩次之共有 16 件,占总数的 36.3%;硅质岩最少共有 9 件,占总数的 20.5%。这些材料的物理参数相差不大属于同一个量级,本文选取硅质岩的材料参数进行建模,不影响我们对所建模型力学分析的评判。硅质岩弹性模量 $E(\times 10^2 \text{ MPa}) = 4.181$,单轴抗压强度 $\sigma(\text{MPa}) = 81.27$,泊松比为 0.204。

表 1 建模标本的测量数据 (Measurements of FEM analysis)

	数量	最小值	最大值	平均值	标准偏差值
弦长(mm)	44	48	135	76.91	20.251
弦高(mm)	44	25	101	50.75	17.096
弦厚(mm)	44	23	69	40.48	9.439
长度(mm)	44	118	243	168.36	28.941
宽度(mm)	44	68	159	117.45	20.153
厚度(mm)	44	49	98	69.93	12.020
左侧刃缘长(mm)	43	36	245	121.35	42.674
右侧刃缘长(mm)	43	35	208	113.07	35.096
左侧刃缘夹角(度)	43	42	89	66.02	10.122
右侧刃缘夹角(度)	43	38	88	69.28	9.533
尖刃角(度)	43	45	105	65.58	11.562
尖面角(度)	44	32	73	54.75	9.339
有效数量(件)	43				

百色工具的把手多含有天然的砾石石皮,对于我们判断把端很有帮助。可以想象,工具使用者手持工具生产劳作是一种主动施力的过程;根据力相互作用的原理,对手持的把端按固定端施加约束,即在工具舌形刃的底面施加三个方向的约束(图 2),将这类工具作为一个受力模型在刃缘施加线荷载^[14]。考虑到正常人上臂 100 公斤(1000 牛顿)的力,加上动力效应(如挥动),我们在刃缘 21 个节点上分别施加 100 牛顿的力,总荷载大小为 2100 牛顿,分 Y 轴和 Z 轴加载两种工况来模拟纵向的劈裂和砍砸及近似的横向挖掘(图 3 和图 4)。

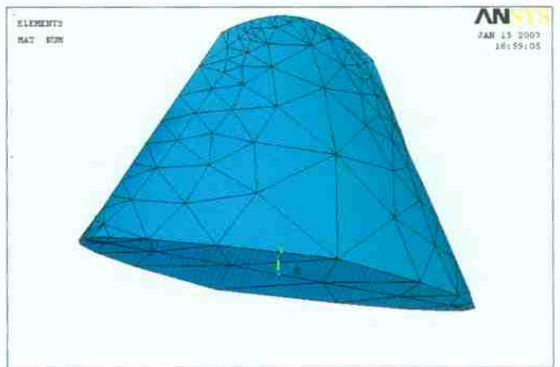


图 2 百色舌形刃工具的 3D 模型
(3D-Model of Bose tongue-shaped tools)

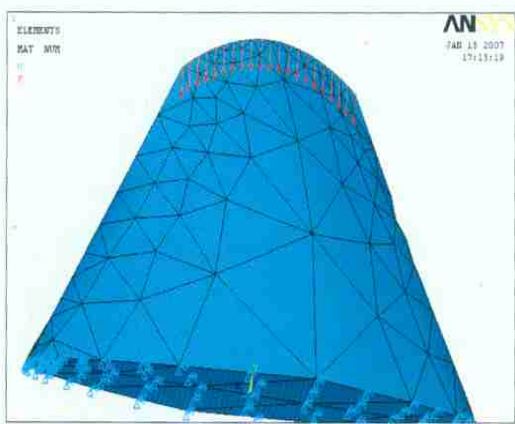


图 3 劈裂和砍砸模拟工况荷载图
(Load simulation of splitting and chopping)

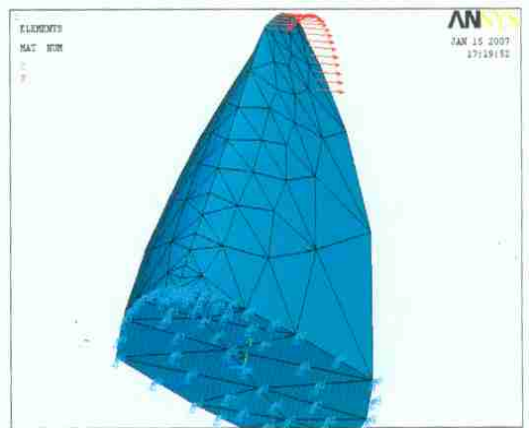


图 4 挖掘模拟工况荷载图
(Load simulation of digging)

2.2.1 材料输入

百色重型工具的毛坯多为石英岩、石英砂岩和硅质岩这样的砾石, 这些原料属于颗粒状材料, 此类材料受压屈服强度远大于受拉屈服强度, 且材料受剪切力作用时, 颗粒会膨胀, 常用的 VonMises 屈服准则不适合这种材料, 而采用 Drucker-Prager 屈服准则可得到较为精确的结果。在 DP 材料数据表中需要输入黏聚力、膨胀角和内摩擦角等物理力学参数(表 2)。

表 2 硅质岩物理力学参数

Physical and mechanical parameters of silicified rock

岩石	密度试验	劈裂试验	单轴压缩试验			斜面剪切试验	
	密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	抗拉强度 $\sigma_t(\text{MPa})$	单轴抗压强度 $\sigma_c(\text{MPa})$	弹性模量 $E(\times 10^2 \text{MPa})$	泊松比	黏聚力 (MPa)	内摩擦角 ($^\circ$)
硅质岩	2.796	5.488	81.27	4.181	0.204	41.76	36.28

2.2.2 单元选择

在进行三维建模时, 我们采用 SOLID45 单元的高阶单元 SOLID95 对百色这类重型工具进行建模, 并进行有限元分析。本单元在保证精度的同时, 允许使用不规则的形状, 有相容的位移形状, 适用于曲线边界的建模。因为岩石材料边界或整体形状并不是规则的, 所以用 SOLID95 单元比较合适。本单元由 20 个节点定义, 每个节点有三个自由度: 沿节点坐标系 X、Y、Z 三个方向的平动。本单元可以有任何空间方向, 具有塑性、蠕变、膨胀、应力钢化、大变形、大应变的功能, 有各种输出选项。

2.2.3 单元划分

对一个算题所划分的单元和节点的选取是否适度将直接影响到运算结果, 只有选取得恰当才能既满足精度又能在计算机运行的范围内进行运算。这里我们把重点研究的舌形刃缘部位网格划分较细, 把次要的部位网格划分较粗, 就是兼顾精度和运算效率的考虑。

2.3 ANSYS 结果分析

经过分析, 如图 5 和图 6 所示。当施加外荷载为 2100 牛顿时, 劈裂、砍砸模拟工况的刃缘最大应力为 191.6 兆帕; 挖掘模拟工况的刃缘最大应力为 10224 兆帕。两种工况下刃缘处只有几毫米石材发生破坏, 其余大部应力只有零点几兆帕远远小于硅质岩单轴抗压强度 81.27 兆帕。这表明在这两种工况下, 石器用于劈裂、砍砸时更加耐用。由于石器实际使用中, 并非是理想中的线荷载, 应该还包括面荷载, 故刃缘应力集中现象应该有所缓解, 从模型的力学分析中可以得出刃缘的几毫米边缘破坏现象是由于高应力作用所致。从应力云图分析来看, 当外力达到数万牛顿, 也就是数吨的时候, 除刃缘外石器中其他部位的应力也仅仅是几兆帕或者是几十兆帕。因此我们选取的百色具备舌形刃缘的重型工具完全可以在当时条件下作劈裂、砍砸和挖掘来使用, 除刃缘微有破损外而石器大部不发生破坏。

3 讨论

3.1 本文结果对百色石器研究的意义

百色旧石器的类型以大型工具为主, 这些工具的片疤清晰且具有明显的刃缘, 对其中典型标本进行分析测量, 可以运用有限元方法建模, 把实际实体转化为虚拟的 3D 模型进行数字模拟。用有限元分析软件(如 ANSYS 软件)进行数学运算, 可以得出具体的应力数值, 对

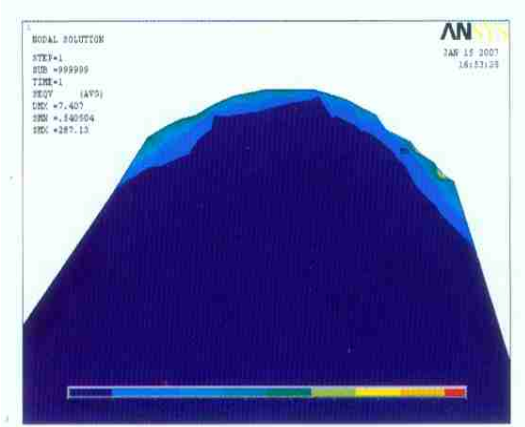


图 5 劈裂、砍砸模拟工况应力云图
(Nephogram of simulation stress
for splitting and chopping)

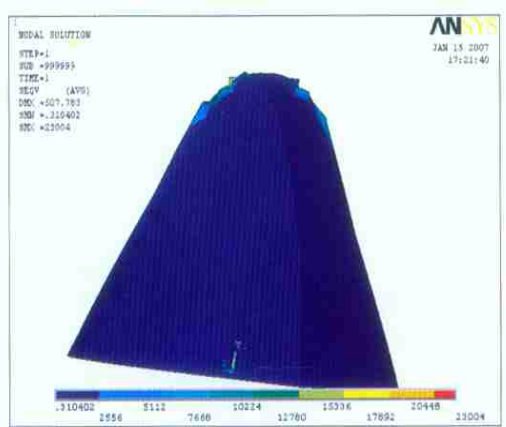


图 6 挖掘模拟工况应力云图
(Nephogram of simulation
stress for digging)

于量化数字化研究石器应力是个突破。不同工况的模拟可以得出不同的应力数值，可以为石器的功能研究提供参照。曾有学者做实验表明，百色的手斧和手镐在劈裂竹子上很有效，推测加工竹木器可能是百色手斧和手镐的主要用途之一^[15]。我们的分析结果也表明在模拟纵向受力(代表劈裂、砍砸)和横向受力(代表挖掘)这两大类工况下，百色的这些具有舌形刃缘的重型工具做劈裂、砍砸时更加耐用，亦即更适用于劈裂和砍砸。

3.2 ANSYS 分析结果判定

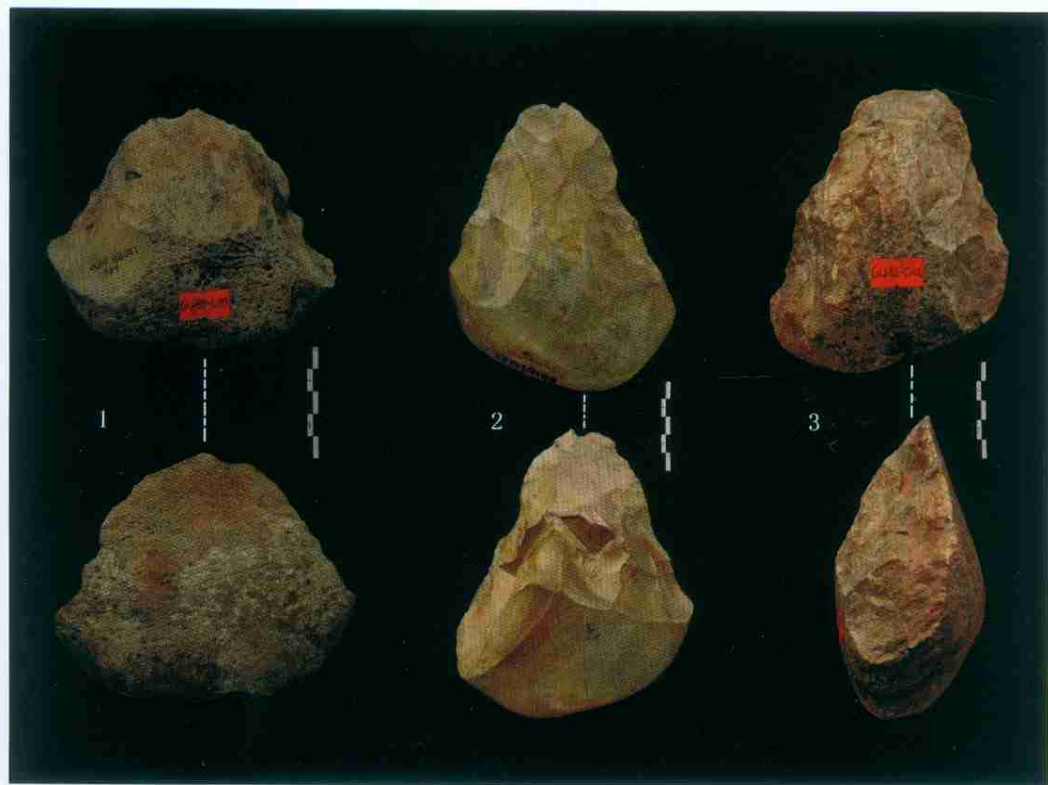
本文将建模的舌形刃缘选取了 21 个节点施加荷载，每个节点给予 100 牛顿的力，这个值是常人力臂的最大值，经过 ANSYS 运算我们得出了刃缘的崩损是由于高应力所致。该结果与标本的实际观察结果吻合。在本文记述的 44 件标本中，标本编号为百色大同 055、百色 GLP89-C155(见图版 I :1)的两件凸刃砍砸器、百色 GLP86-C006(见图版 I :2)的一件手镐及百色杨屋 53(见图版 I :3)的一件手斧的舌形刃缘都有崩损，提示舌形刃缘曾作为功能部位进行了使用。由于旧石器为人工打制，其外形不像人工铸件那么标准，本文仅仅是根据测量指标进行了舌形刃缘部位的近似建模。

3.3 有限元建模的优势

有限元方法是应用于工程领域中的一种数学物理方法，它能够对一些建筑结构构件进行建模，分析其各个方向的应力分布，为工程质量提供科学论证。而有限元分析软件(如 ANSYS)的基本功能是建立研究对象的有限元仿真模型，通过仿真对模型进行求解运算，来获取所建模型的未知结构力学的指标。

本文首次尝试使用有限元方法对百色这类重型工具进行建模，首先将 44 件标本的点面数据输入到 ANSYS 软件中，建立起一个 3D 的结构模型；然后把弹性模量、单轴抗压强度、泊松比、黏聚力、膨胀角和内摩擦角等物理参数赋予模型；最后确定有限元分析的边界条件，包括对舌形刃工具模型附加虚拟的固定、加载等。

有限元方法在旧石器力学研究中最大的优势就是对考古标本的“无创性”，该方法在不破坏珍贵标本的前提下，通过测量给出的点面数据用有限元方法进行建模分析，然后通过计



图版 I 建模所用的部分百色重型工具

1. GLP89-C155 高岭坡遗址的凸刃砍砸器(Chopper from the Gaolingpo site);
2. GLP86-C006, 高岭坡遗址的手镐(Pick from the Gaolingpo site);
3. YW-53, 杨屋遗址的手斧(Handaxe from the Yangwu site)

计算机运算来得到石器有效刃缘的应力大小。本研究所建模型可作为今后进一步研究的参照,进行相关的对比研究。

3.4 本研究的不足与展望

有限元分析方法问世六十多年来,已经发展成为工程力学领域的最为常用的一种数值模拟计算方法。在生物力学领域的应用近年来也获得不少成果,如对临床上假体的植入和指导治疗都起到了良好的效果。本研究是将有限元分析方法引入到旧石器功能学研究的初步尝试,个中仍存在诸多不足。旧石器领域的有限元力学分析建模尚未有人探究。包括从标本的测量指标到相应的岩石弹性模量的测定等诸多工作,都还没有明确的标准和实验测定。本研究的模型是在观察了百色大量相关标本的基础上,对具有舌形刃缘的重型工具尝试性地确定了一些建模数据,其中的得失有待在以后的工作中进行评估。限于研究基础的不足,我们尚未对百色石器的毛坯砾石进行弹性模量的测定,仅以硅质岩的弹性模量来进行初步的建模,即便是同一种岩性,也会因产地的不同以及石料内在晶体结构和裂隙发育程度而有数值上的差异,在后续研究中,我们将逐步完善基础数据的积累,继续围绕力学分析和功能模拟两大主题进行研究。

本文主要讨论了重型工具使用过程中应力造成破碎的模拟结果,并没有考虑工具的预

制加工和修理。诚然,一件工具的加工和使用是一个很复杂的过程,不同加工过程如初加工与二次修整会留下各种片疤,这些片疤有时很容易和砍伐和挖掘时造成的破碎相混淆。而工具的运动方式(tool motion)及不同的加工材料(worked material),又会在石制品上留下不同的微痕。石制品刃缘部分的破损或表面的光泽可能并不一定是使用造成的。自然动力(如流水和风沙等)和人为的扰动(如发掘损伤等)均会在石制品刃缘和表面留下微痕^[16]。所以,石器工具在生产和使用过程中受力情况极其复杂,它往往是各种动力过程共同作用的产物,常会因不同的运动方式以及不同的工作对象而发生不同程度的损坏,本文仅仅是通过加载人手臂最大挥动荷载来进行的应力分析,只选取了重型工具常用的劈裂、砍砸和挖掘二种工况(即纵向受力和横向受力)进行模拟,得出的应力分析结论并不能涵盖这类工具可能的所有用途。因此,如何从应力分析的角度来帮助了解石器工具的功能和人类的行为,可能还需要多变量和多方法的综合分析。本文只是从力学模拟的角度,提供了一个初步可供参照的方法。

史前人类的生产生活方式一直是旧石器时代考古学所研究的一个重要的领域,考古学家通过对石制品的研究,可以了解更多的史前人类的生活习惯或者生活方式。微痕分析的方法可以说是旧石器研究领域推断古人类生活行为方式最为常用的一种科学研究方法,该方法强调在实验的基础上对石器的功能进行分析和解读,大大加深了我们对古人类经济行为的认识。就以往的研究来看^[17-18],微痕分析的研究标本一般为砾石制品,它们在中国旧石器时代遗址中数量不占多数,对石制品的埋藏条件也有较高的要求。百色盆地的砾石石器由于风化和侵蚀等自然原因在目前条件下较难开展微痕研究,而运用有限元方法对百色石器进行力学模拟和功能分析,通过对一定数量的具有相似功能形态的石器进行标本数据采集,建立数字模型来探讨石器的功能,进而解读古人类的生产生活方式,了解古人类的经济行为,不失为一个新的可供努力的研究方向。

致谢: 百色市右江民族博物馆的黄胜敏馆长和田东县博物馆的田丰馆长在有关标本的研究方面所给予的支持;中国地质科学院地质力学研究所的裴军令先生的指导和鉴定标本岩性;沈文龙先生清绘线图。

参考文献:

- [1] Sellet F. Chaîne opératoire: the concept and its application[J]. Lith Tech, 1993, 18(1/2): 106-112.
- [2] 钟世镇. 数字人和数字解剖学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2004, 392-396.
- [3] 罗承刚, 龚宪生. 近端股骨的非均匀及各向异性有限元模拟[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2004, (2): 20-23.
- [4] 李苏皖, 卜海富, 何仿, 等. 正常双腿站立位股骨上段应力分布的三维有限元分析[J]. 临床骨科杂志, 2003, (1): 4-7.
- [5] 王成焘. 中国力学虚拟人[J]. 医用生物力学, 2006, (3): 7-13.
- [6] Koriath TWP, Romilly DP and Hannam AG. Three-Dimensional finite element stress analysis of the dentate human mandible[J]. Am J Phys Anthropol, 1992, 88: 69-96.
- [7] 李炎贤, 尤玉柱. 广西百色发现的旧石器[J]. 古脊椎动物与古人类, 1975, 13(4): 225-228.
- [8] 黄启善. 百色旧石器[M]. 北京: 文物出版社, 2003, 1-180.
- [9] 谢光茂, 林强. 百色旧石器的发现与研究[A]. 见邓涛, 王原主编. 第八届中国古脊椎动物学学术年会论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2001, 245-253.
- [10] 谢光茂. 广西旧石器时代考古回顾与瞻望[A]. 见广西壮族自治区文物工作队编. 广西考古文集(第二辑)[C]. 北京: 科学出版社, 2006, 9-35.
- [11] 何乃汉, 邱中郎. 百色旧石器的研究[J]. 人类学学报, 1987, 6(4): 289-297.

- [12] HOU Ya-mei, Potts R, YUAN Bao-yin *et al.* Mid-Pleistocene Acheulean-like stone technology of the Bose basin, South China [J]. *Science*, 2000, 287(5458): 1622-1626.
- [13] 王富耻, 张朝晖. ANSYS10.0 有限元分析理论与工程应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006, 1-383.
- [14] 廖东华, 韩海潮, 匡震邦. 离体胫骨的有限元分析 [J]. *生物医学工程学杂志*, 1998, 15(1): 53-57.
- [15] 谢光茂. 百色旧石器与亚洲东南部其他早期砾石器异同的成因 [A]. 见黄启善主编. 百色旧石器 [M]. 北京: 文物出版社, 2003, 104-108.
- [16] 沈辰, 陈淳. 微痕研究(低倍法)的探索与实践—兼谈小长梁遗址石制品的微痕观察 [J]. *考古*, 2001(7): 62-73.
- [17] 侯亚梅. 石制品微磨痕分析的实验性研究 [J]. *人类学学报*, 1992, 11(3): 202-215.
- [18] 侯亚梅. 考古标本微磨痕初步研究 [J]. *人类学学报*, 1992, 11(4): 354-361.

Three-dimensional Finite Element Stress Analysis of Tongue-shaped Edge of Bose Heavy-duty Tools

YUAN Jun-jie^{1,2,3}, WU Cheng-hao⁴, HOU Ya-mei², XIE Guang-mao⁵, WANG Wei⁶

(1. School of History Culture & Tourism, Guangxi Normal University, Guilin 541001; 2. Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044; 3. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 4. School of Civil Engineering and Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044; 5. Museum of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022; 6. Natural History Museum of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530012)

Abstract: In the mechanical process of tool utilization, abrasion or damage from counterforce on worked materials can often occur in differing degrees on the effective edge of the tool. In this paper, a trial application of the Finite Element Method (FEM) is applied to the analysis of tongue-shaped edges that are often observed in large tools such as handaxes, picks, and choppers from many Paleolithic sites in the Baise (Bose) Basin. Through a three-dimensional computer modelling programme the mechanical analysis of 44 stone artifacts with tongue-shaped edges (from 13 sites) shows that stress distribution on these tools was not uniform with the maximum stresses occurred along the tongue-shaped edges. In the FEM model of longitudinal and transverse load simulation experiments, edges began to appear damaged when the load was raised to the threshold but without destroying of the non-edge body part; an observation supported with archaeological specimens. These research results also indicate that the stress value of longitudinal load is much lower than that of transverse load, and under both conditions of simulating tongue-shaped tools these shapes were shown to be more applicable to splitting and chopping behaviors. This work demonstrates the value in applying FEM to the study of stone tool function.

Key words: Bose heavy-duty tools; Tongue-shaped edges; Functional simulation; Finite element; Stress analysis