



## 学科导航4.0暨统一检索解决方案研讨会

### 铜鼓的科学研究方法

<http://www.fristlight.cn> 2007-01-26

[作者] 万辅彬

[单位] 广西民族学院

[摘要] 文理相融是铜鼓研究的必由之路。文献调查、田野考古、社会调查等社会科学研究方法及铅同位素考证、频谱分析、调音理论与实践等自然科学实验方法在铜鼓中已得到较好的运用,证明社会科学与自然科学结成联盟,可以从多种学科的不同角度考察问题,使铜鼓研究更全面、更深入。这从一个侧面反映了当今科学研究高度综合的整体化趋势。

[关键词] 铜鼓;研究方法;文理相融

铜鼓不仅在中国南方是一种广泛存在的历史文化遗存,也是一种国际性文物,东南亚地区的越南、老挝、缅甸、柬埔寨、马来西亚、印度尼西亚等国乃至新几内亚都有铜鼓出土。铜鼓的铸造和使用,始于春秋,绵延至今,是中国南方少数民族及东南亚诸国极有代表性的科技文化瑰宝。铜鼓又是一部百科全书,涉及矿冶、铸造、声学、历史、艺术以及与之相关的科技史、考古学、民族学、人类学。20世纪80年代以前,各国学者对铜鼓的研究主要涉及铜鼓的分类、断代、纹饰、族属、社会功能等方面。隐蔽在铜鼓上的很多信息还未提取,很多秘密还未揭示,铜鼓研究呼唤自然科学工作者参加,人文社会科学的专家亟待与自然科学的专家结成联盟,开拓铜鼓研究的新局面。

一、文理相融是铜鼓研究的必由之路 1983年12月27日至1984年1月2日,在昆明举行的中国古代铜鼓研究会第二次学术讨论会上,一批理工科学者应邀赴会,北京钢铁学院冶金史研究室提交了“广西、云南铜鼓铸造工艺初探”和“广西云南铜鼓合金成分及金属材质研究”两篇论文,第一次将自然科学研究方法引入铜鼓研究领域,可谓别开生面。1985年10月,广西民族学院和中国科技大学、广西博物馆等单位联合成立了以笔者为组长的铜鼓研究课题组,先后获得广西壮族自治区两个攻关项目,课题组成员包括物理、化学、历史、考古等方面的专家,引入了科技考古的方法,运用了一系列科学实验手段。课题组首先对北流型铜鼓的矿料来源和铸造遗址进行了卓有成效的研究,1988年获得广西科技进步三等奖。中国科学技术大学李志超教授对上述工作给予了高度评价,他说:“他们的工作很漂亮,组织得很好,效率很高,成果有很鲜明的学术价值,无可挑剔的科学性,1986年在郑州的国际会议上一炮打响,受到国际学者的一连声称赞。……铅同位素分析法就此在国内站定了脚跟,并由此契机进一步推动了我国科技考古事业的发展,便有了1988年在广西举办的第一次全国性的科技考古会议。”“自然科学在铜鼓学中的介入产生了令人信服的效果,给学术界重要启迪。民族学家、考古学家、历史学家与自然科学家携起手来把铜鼓研究打开了一个暂新局面,这是自然科学与社会科学联盟的成功范例,有不可忽视的意义。这种联盟已被广大学术界人士和领导层关心重视,将来必有更好的成果。”<sup>①</sup>我们的联盟在众多同行的支持下,逐步扩大,研究的范围越来越大。我们在考古资料与文献的基础上,进一步实地调查,并科学运用铅同位素比值法,考证了滥觞期铜鼓——万家坝型铜鼓的矿料来源,确认这些铜鼓来源于滇池附近及滇西地区,从而使铜鼓源于我国云南的结论得到进一步肯定。我们与众多考古学家一道根据考古发掘资料提出了铜鼓传播路线的看法,认为铜鼓是以云南(滇西)为起点,向南、东、北朝三方向传播,各个不同区域又融入本地文化,发展成各具特色不同类型的铜鼓。通过考察,我们还发现广西北流型铜鼓和灵山型铜鼓背面有辐射状铲痕,经研究,确认是调音的铲痕,上述研究成果先后在英国剑桥“第六届中国科技史国际会议”,第一、二、三届“中国南方与东南亚古代铜鼓与青铜文化国际会议”、“第二届早期金属应用国际学术讨论会”以及《科学通报》、《物理》等重要刊物上发表,并被美国《化学文摘》(CA)转载。国内外同行认为我们对铜鼓的跨学科研究,填补了铜鼓研究的多项空白,为中国南方少数民族科技史研究及考古学开辟了新路。1992年我们获得国家自然科学基金资助项目“中国南方古代少数民族铜鼓矿料来源与声学特性研究”(批准号:1896001),还获得了一些其他项目。迄今,这一联盟在国内外学术刊物上发表了100多篇论文,部分成果结集为《北流型铜鼓探秘》和《中国古代铜鼓科学研究》两本专著出版。2001年、2002年又两次获得国家自然科学基金资助项目“麻江型铜鼓振动模式及调音机理研究”(批准号:10164002)、“运用现代物理技术对东南亚古乐器铜鼓综合研究”(批准号:10264002)。我们研究之所以不断取得进展,研究领域不断拓宽、队伍不断扩大,是由于我们选择了一条文理相融的科

研道路,实践证明这是一条越走越宽阔的必由之路。2002年6月4日,《科学时报》记者贺根生以“文理相融,科研路宽”为题,对我们铜鼓研究道路上的探索作了报道。②

## 二、社会科学研究方法在铜鼓研究中的应用

### (一) 文献调查法

中国古文献中有关铜鼓的记载比较丰富,从东汉《后汉书·马援传》中提到马援“于交趾得骆越铜鼓”以后,史不绝书,有关著录不下数百十种。其中既有正史、野史,也有笔记小说、诗词歌赋,而大量的则是明清以后的地方志书。它们从不同角度记录了铜鼓的发现、使用、流传以及有关的风俗民情。透过这些记载,可以追溯铜鼓的来龙去脉,铜鼓的大概分布范围,使用铜鼓的民族经济、文化面貌。世界上的铜鼓研究者,大都乐于从中国古籍中征引材料,来阐述自己的观点。这样一种社会科学研究方法,人们通常称之为文献调查法。文献调查法也叫二手资料查阅法,就是通过收集有关的各种文献资料,摘取其中对所研究课题有用的信息的方法。铜鼓研究一般是从文献调查开始的。因为研究人员要研究铜鼓,一般都希望占有现成的资料和信息,这样在研究过程中才可能心中有数,有的放矢。就铜鼓研究而言,通常需要熟悉的文献主要有两类:一类是古籍文献记载。要研究古代铜鼓,非熟悉中国古籍文献不可。二类是前辈学人对铜鼓研究进展情况。文献调查法在铜鼓研究中占有十分重要的地位。采用这种方法获取资料比较容易和方便,但是要花费大量的时间去查阅有关文献,并要求研究者有一定的相关知识和经验。

一篇好的铜鼓研究论著在开头的序论部分应该确认问题并进行文献评论。在铜鼓研究论文中确认一个问题,与一般性地提出一个问题是有区别的。因为学术性的问题,一定是在某一理论背景下提出的,即一个学术问题总是在一定理论启发、指导下提出的。这样,学术问题总是与一定理论相联系的,与其说是确认了一个问题,不如说是寻找了一个观察问题的理论视角。文献评论主要是对于与确认问题有关的研究领域进行综述与评论,这是一个学术性研究必备的环节。之所以要对已有的铜鼓研究进行综述和评论,是因为这里谈的学术研究属于科学研究的范畴,而科学研究是一种知识积累的过程,每一项具体的科学研究都是对科学知识系统的检验和补充。这样就有必要说明自己的铜鼓研究与以往铜鼓研究的关系,特别是要针对所研究的问题说明别的研究采用哪些方法,进行了哪些研究,形成了哪些理论,还存在哪些不足。文献评论前一般要对研究文献进行筛选,在相同研究领域的前提下特别要注意:

- (1) 选取与自己所研究的问题和采用的理论框架相近的研究文献。
- (2) 选取发表时间比较晚、年代较近的研究文献。
- (3) 选取那些被研究者引用频度较高的研究文献。
- (4) 选取学术刊物上的研究文献。

科学研究贵在创新,重复劳动没有意义。人类对任何问题的认识与研究,总是一个连续积累的过程。如果无视和否定前人的工作,那就意味着一切都将从零开始。熟悉前辈学人对铜鼓研究进展情况,目的在于对前人的研究成果能有所了解,把前人的终点作为自己的起点,以科学的世界观和方法论作指导,继续前进,努力解决前人没有解决或没有完全解决的那些问题。笔者和已故姚舜安教授等合著的《中国古代铜鼓科学研究》一书中,就有一章“中国古代铜鼓概说”,从中国古文献中探讨铜鼓的方方面面问题。在文献调查的基础上,我国学者写出了一批铜鼓研究论著,把铜鼓研究推进了一大步。在铜鼓的文献调查方面,做得最好的要数广西博物馆原馆长、中国古代铜鼓研究会现任理事长蒋廷瑜研究员,他从1979年开始研究铜鼓,至今已写了5本铜鼓研究方面的书,《古代铜鼓通论》是集大成之作,广西、云南、贵州、北京、上海、广东考古与文物学界的诸位专家也作了很多贡献。

### (二) 田野考古研究法

考古是一门融人文科学和自然科学于一体的学问。考古学者们从发掘出的文物中获悉和提炼出全方位的信息,得到更多的证据,解读出久远的历史、社会、文化、自然发展的真相,查找出早已隐没的远古文明的轨迹。中国的铜鼓考古研究起步较晚,一直到20世纪50年代考古工作者才从古墓中发掘出铜鼓。1955年5月,云南省博物馆对晋宁县石寨山进行了为期3个星期的考古发掘,清理了两座古墓和一大片贝壳层,在甲区第一号墓内挖出一面铜鼓和两件铜鼓形贮贝器。这是中国学者首次亲手发掘出铜鼓。和铜鼓出土的器物有铜锄、铜斧、铜犁、玛瑙、绿松石、赤金等珠饰,有漆奁,漆奁内盛铜镜。由于共出这样丰富的随葬品,使人们第一次有条件判明这种铜鼓是属于西汉时代的,引起了各有关方面的重视。1956年11月到1957年1月对石寨山遗址作第2次发掘,这次发现土坑墓20座,出土铜鼓15面,铜鼓形贮贝器4件。在第6号墓的漆棺底部出土了一颗“滇王之印”金印,和《汉书·西南夷传》记载汉武帝元封二年(公元前109年)赐滇王尝羌“滇王之印,复长其民”的史实相吻合,对铜鼓的断代和推定铜鼓的族属提供了更直接、更有力的依据。1955年春,在配合黎塘至湛江的铁路建设的考古发掘中,在广西贵县贵城镇贵县高中部的一座汉墓中也挖出1面铜鼓。1957年,在贵州遵义发掘南宋播州土司杨粲夫妇墓,在两个墓室底部的腰坑内各发现铜鼓1面。杨粲墓立碑于南宋淳佑七年(1247年),铜鼓在腰坑内倒放着,鼓面压着数圈铜的和铁的“崇宁通宝”和“崇宁重宝”钱,铜鼓身上可以看到一些夹铸垫片是北宋的“元佑通宝”铜钱碎片代替的。可以断定这面铜鼓制作的年代就是在元佑与淳佑之间。1964年,在云南祥云县大波那村后清理两座战国墓,其中1座是木椁铜棺墓,也出土1面铜鼓。1971-1972年,云南省文物工作队发掘江川县星云湖畔的李家山墓群,出土8面铜鼓。1972年7月,广西西林县八达公社普驮粮站开辟晒谷场,挖到一处用铜鼓作葬具的墓葬,一次出土4面铜鼓。1975年云南文物工作队在楚雄县城东南约3.5公里的万家坝,发现一群古墓,从其中一座大墓的腰坑中挖出一个铜鼓,3件铜釜,6件铜羊钮钟和100多件其他青铜器。同年10月,在同一墓地的23号墓的棺底垫木之下挖出4个铜鼓,大量青铜工具和兵器。1975年广西藤县蒙江镇横村冷水冲出土一面铜鼓。1977年冬,发掘云南曲靖县八塔台古墓,又出土铜鼓1面。1976

年广西壮族自治区文物队发掘贵县罗泊湾一号汉墓，在器物坑内发现铜鼓3面。1978年贵州省博物馆发掘赫章县可乐祖家老包古墓也出土铜鼓1面。1993年3月广西田东周乡联福村南岭坡战国早期墓出土两面万家坝型铜鼓。1994年6月又于田东县林逢乡和同村大岭坡春秋晚期墓中出土一面万家坝型铜鼓。……这些铜鼓由于出土情况清楚，相伴出土的其他器物较多，可资比较、印证，其年代较易确定，因而成为研究传世铜鼓的年代及形制发展的最好标尺。田野考古研究方法为铜鼓研究的深入发展，开辟了广阔的前景。（三）社会调查法铜鼓是民族文化的一种“活化石”。两千多年来，它们的铸造和使用从未间断过，在中国西南的滇、黔、桂交界的山区，在中南半岛缅、老、泰三国交界的山区，仍是使用铜鼓的民族集中的地区。在这两大块地区内，铜鼓还活在现实生活中，看得见，摸得着，敲得响。铜鼓的社会功能、使用方法、保藏手段，可以从实地调查中获得。现代使用铜鼓的习俗将是解开古代铜鼓的社会文化功能之谜的钥匙。因此，在铜鼓研究中经常使用的一种方法就是社会学中的实地调查研究方法。社会调查法主要是通过观察、访谈、开调查会等形式，利用普查和抽样调查等手段来收集大量资料，用以说明解释有关现象和问题。调查是研究的基础，没有调查就谈不上研究；而研究则是调查必要的延续，因为不进行科学而深入的研究和分析就不可能掌握足够多资料来解释事物的特点及其规律。20世纪80年代以来，中国学者尤其是民族学专家有意识地对壮、布依、水、苗、瑶、彝、佤等民族现存铜鼓习俗作了专题调查，越南学者对越北边境民族和芒族使用铜鼓习俗也作了一些调查，提供了一批有价值的调查报告，为解开古代铜鼓中的疑难获得了旁证和启发。但是这些调查还不够深入、具体，也不够全面。其原因主要在于有些学者对社会调查的程序了解不足所致。在铜鼓研究上应用社会调查研究的方法，一般都要经过选题、拟定计划、实施调查和分析总结四大阶段。

1. 选题阶段在选题阶段，研究者主要任务是提出研究的主题，确定研究目标，主题和目标一经确定，就明确了研究的领域和方向。一般选题应注意遵守几个原则：（1）必要性。是指选题要同需要相结合，将有益于探索规律的和有利于解决问题的研究作为主要选择对象；（2）可能性，即该研究的可行性，是指客观条件是否允许对该课题进行研究。

2. 拟定计划阶段周密的计划和充分的准备是调查研究得以顺利进行的必要保证。在计划阶段要做好以下工作：（1）初步探索。初步探索是指课题拟定后，对所调查研究的对象进行初步的了解，增加对调查研究对象的感性认识，以使自己对该调查研究更有把握。（2）提出调查研究假设。调查研究假设是建立在对调查研究对象的局部和感性认识的基础上的某种判断。由于这种假设变化是对调查研究对象的整体和本质的认识，所以只不过是一种理论的推断，它有待于通过调查研究来证明。（3）理论解释。理论解释是指对提出的调查研究假设进行理论上的说明和解释。（4）拟定调查提纲。拟定调查提纲是一个把调查内容条理化、具体化的过程，其目的是指出为了说明概念和假设要收集哪些方面的资料。（5）设计调查表。调查表是用来收集资料的表格，如果表中的问题采用问答式则成为问卷。问卷一般包括前言、主体和结语三个部分。问卷中的问题可以采取开放或封闭或半开放半封闭式的形式。开放式问题对答案不提供具体内容，完全让被调查者用自己的语言回答问题；封闭式问题就是调查者先规定问题的几个答案，再让被调查者选定自己认为适当的答案；在实践中，用得最多的往往是半开放、半封闭式的问题，即对某问题调查者先给出几种答案，让被调查者选择，然后要求其回答某一个或几个答案的理由。调查表格和问卷是由许多相互联系的问题组织的，它是调查提纲提出问题的进一步条理化和具体化，它最后确定了调查研究要收集哪些资料。（6）决定调查研究的方式和方法。任何调查研究都必须采取一定的方式和方法。采取何种方式和方法是由调查研究的目的，调查研究对象的范围，研究的人力、物力和实践经验等因素决定。（7）制定调查研究的组织计划。包括筹措经费、选训调查人员、对外联系和人员的合理配置。（8）试验研究。在进行实地调查之前，要在一定范围内对调查研究对象做一次小规模的试验研究，检验调查表或问卷是否完备，问卷的检验通常应检验以下几个方面：一是问题的用语。如用词是否恰当、准确，是否所有的被调查者对问题的理解可能都相同；二是句子的结构。各个句子是否都适当？是否言简意赅；三是问题的方式。问题的方式是否合适，如开放式的问题易于回答吗？封闭式问题的答案规定得适当吗？四是会不会出现被调查者拒绝回答的问题？五是会不会出现答案全部相同的问题？六是完成问卷的时间大概多长？被调查者在最后会不会感到厌倦？是否全部需要调查的内容都能通过问卷收集到？调查研究计划是否合理可行，并根据发现的问题进一步对计划进行修改。

3. 实施阶段实施阶段包括资料收集和资料整理两项主要内容，它是调查研究者直接或间接同被调查者接触，获取所需资料的过程。因此，调查的实施阶段是调查研究的关键阶段。包括以下主要内容：（1）资料收集。收集资料是调查者根据调查提纲、调查表和问卷向被调查者全面收集有关资料的过程。也是相互影响的过程。在资料收集阶段，调查者要充分鼓励、调动当地居民来参与收集资料，这样收集得来的资料才会真实可靠。（2）资料的整理。通过实地调查收集到的资料是原始资料，必须经过整理才能用来分析研究。原始资料分成文字资料和数字资料。在文字资料整理中要做的工作有：第一，审查补充资料，即看调查资料是否全面和准确，需要做哪些补充；第二，摘要，即把资料中的精华部分摘录出来，作为重点使用的资料；第三，归纳分类，即按调查提纲，或调查专题进行资料的归类整理，以便系统使用；第四，编整加注，即对所有资料进行统一的编排修整，作出初步总结。数字资料的整理包括有以下几个步骤：第

，校订，这项工作包括检验调查资料是否有遗漏之处，是否需要进行度量单位的统一，资料是否有明显的错误等，最后判断资料的可靠程度；第二，编码，首先对调查表编码，再对经过分类排队的问题进行逐一编码，最后对每一个问题的全部选择性答案进行编码；第三，登录，即将数字化的资料逐一登录表上。通过登录不仅使资料便于保存，也便于资料的统计分析。4. 总结阶段调查研究工作总结工作包括资料分析、假设检验和撰写调查报告3项工作。（1）资料分析。资料分析一方面是应用统计手段对调查资料进行数理分析，揭示它们的数理特征，另一方面是运用比较、归纳、推理或统计方法发现各资料之间的内在联系，揭示数理特征和资料本身所包含的意义。

（2）假设检验。如果我们的调查研究有一些假设的话，在调查结束时就要对这些假设的真实性进行判断，即假设检验。在检验时要从资料的实际出发，而不管假设是否成立都要对调查的结果进行解释。（3）撰写研究报告，调查报告是整个调查研究过程的总结，调查研究者要向外展示自己的调查研究结果。在写研究报告的时候，在报告的结论部分其写作应符合下面几条原则：一是从问题过渡到结果。按照“一般——具体”的顺序来表述研究结果，使读者沿着“问题——答案”这样的线索来接受研究结果。二是用资料支持结果。在给出研究结果后，相应地要用经验性的资料来支持，即用数字、图形和表格来论证研究结果真实性。在使用经验性资料时，要注意用文字对这些数字、图形、表格进行必要的说明和解释，帮助读者理解这些资料的含义以及在证明研究结果时的作用。另外，要对经验性资料进行适当的概括和小结，以帮助读者全面地把握资料。三是从理论的视角来探讨结果。以前大部分的铜鼓田野研究论文，常常是只描写一个地方所观察到的社会现象，较小涉及理论的探讨。提出理论的建构不是一件简单的事情，但如果我们的学者在做研究时能够先有一个理论架构，然后到田野中搜集资料，这样就比较能够掌握问题的核心。田野研究没有理论的指导，就显得缺少主题，不知道要解决什么样的问题。对研究结果或结论的讨论并不是简单地再次解释和重复研究结果部分已经总结了的观点，而是要将研究结果与序论中的理论联系起来，说明从理论的视角看，能够从研究结果中得出哪些与理论相关的推论。还可以把研究结果与文献评论中提到的那些研究的结果进行比较，彼此验证各自的研究结果，了解自己的研究结果对其他研究的修正和发展。另外，还可以讨论在研究是遇到的新问题，以及用研究结果推论这些新问题时必须具备的条件及所受的限制；讨论研究中没能解答的那些问题，以及研究可能存在的缺陷。当今的中国社会正处于急剧变迁时期，铜鼓赖以存在的农业村社组织将会消失，使用铜鼓的地域范围将越来越窄，最终也可能会消失，因此，对现代使用铜鼓的社会调查刻不容缓，必须抓紧时机，用文字、摄影、录音、录像等手段，将残存的铜鼓习俗客观地、完整地记录下来，否则稍纵即逝，又将增加新的历史之谜。跨入21世纪的铜鼓研究家必须有这种时代紧迫感。

三、自然科学研究方法在铜鼓研究中的应用如前所述，当今学术发展的重大趋势之一是社会科学与自然科学联盟，对重大课题如夏商周断代编年问题，携手进行多角度的合作研究。20世纪80年代以后，在科技史界与考古学界朋友的鼓动下，笔者与广西博物馆蒋廷瑜馆长，中国科技大学彭子成教授以及广西民族学院姚舜安教授，李世红教授等联袂，运用现代科技手段，开始了对中国古代铜鼓的系列研究。研究的范围从小到大，由浅入深，先后获得近60万元项目经费，运用了包括铅同位素的质谱分析、声频频谱分析，圆板振动模式等物理知识与技术，获得了一批可喜的成果。归纳起来，应用于铜鼓研究上的自然科学方法主要有下面几种。（一）铅同位素比值——铜鼓矿料来源的“指纹”近三十余年来，西方学者对历史文化的研究热情一直很高，吸引了许多自然科学家的介入。以美、英为中心，采用自然科学手段分析鉴定古代器物的新型考古方法十分风行。出现了诸如 authentication, characterization, identification, provenance(或proveninence) study 等多种名称，日本也相应地有“产地推定”、“产地分析”等名称。运用成分分析方法检测古物中心某些微量元素含量，从而追踪其原料产地是一种常用的方法。另一种是元素的同位素组成分析。早在50年代矿床地质学领域就已应用铅同位素作为“指纹”来探索成矿条件、成矿过程、矿物来源和矿床成因等问题。“他山之石，可以攻玉”，美国R·H·Brill等人首先成功地将铅同位素比值法移植到考古学领域。下面简要地阐述何谓铅同位素比值法；在自然界，铅矿石和铅矿物中所含的铅叫矿石铅，它由四种稳定的同位素组成，即 $^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}$ ，其中除 $^{204}\text{Pb}$ 为非放射性成因外，后三种都是铀和钍的衰变产物： $^{238}\text{U}\rightarrow^{206}\text{Pb}+84\text{He}+6\beta^{-1}$   $^{235}\text{U}\rightarrow^{207}\text{Pb}+74\text{He}+5\beta^{-1}$   $^{232}\text{Th}\rightarrow^{208}\text{Pb}+64\text{He}+4\beta^{-1}$  地质学家认为矿石铅的形成有三个阶段：第一，在地球形成的最初时刻存在的 $^{204}\text{Pb}$ 叫做原始铅。在地壳凝固时，这种 $^{204}\text{Pb}$ 便分布于地壳内的所有岩石中；第二，随着时间的推移，岩浆或岩石中的铀或钍要不断地衰变，产生放射性成因的铅同位素 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}$ ；第三，在一定的成矿条件作用下，铅从原来的岩浆或矿液体系中分离出来，即脱离了原来的铀、钍体系，形成了矿石铅。自此以后，矿石铅的同位素比值就不再变化，其组成特征会一直保持至今。尽管从矿石铅到成为青铜器（包括铜鼓）合金成分的一部分，要经过冶炼，铸造或锻打、热处理等过程，但其中的铅同位素组成仍保持不变，这是由于冶铸等物理和化学过程中产生分馏效应，所以，将青铜器的铅同位素组成与多种不同来源的矿石的铅的同位素组成进行比较，就可以追溯青铜器（如铜鼓）的矿料来源。我们进行铅同位素质谱分析的大致过程是这样的：将经过富集提纯的铅样品（要求达到质谱纯）涂于质谱离子源的铯带上，并加上硅胶发射剂，以提高发射效率，然后把离子源装入质谱仪内，待真空度达到 $10^{-7}$ — $10^{-8}$ 后，即开始加热铯带。当温度升到 $1200^{\circ}\text{C}$ 左右，铅样便离子化，这些铅离子进入分析室中具有电位差的缝隙时被加

速，再经磁场诱导分离，最后撞击到离子多接收器系统的极板上，产生电流，经放大后进行测量，即可得到排列整齐的铅同位素质谱图。每个铅同位素的峰值都与该同位素成正比例。为此，我们只要计算出每个峰高之间的比例，即可得到 $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 、 $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 、 $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$ 、 $(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})$ 、 $(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})$ 等的比值，由于非放射成因的 $^{204}\text{Pb}$ 含量低，为了提高测量数据的精度，在考古中经常用 $(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})$ 和 $(^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})$ 。现代的质谱仪已用计算机按预编辑程序自动地处理出数据，迅速而准确，我们使用的质谱仪是英国MICROMASS公司的先进产品，具有高灵敏度和高分辨本领，分析铅同位素时，一次可将十多个样品，进行全自动实验操作。由于各个实验室的质谱数据都可能存在一定的系统误差，为此各实验室都要用公认的国际标准样品来校正自己的实验数据。我们对八种类型铜鼓矿料来源进行铅同位素考证时，在质谱分析实验过程中穿插测试了美国标准局的NBS—981标准铅样，其结果与文献的相对标准误差 $\leq 0.3\%$ ， $\leq 0.03\%$ ，由此可见我们的实验结果是可靠的，可与国际上的同类结果相比。这个实验首先用于对北流型和灵山型铜鼓的矿料来源的研究。我们先后对16面北流型铜鼓的铅样、17面灵山型铜鼓铅样和16个相关含铅矿样（包括9件出土了北流型铜石岭及附近冶炼铜遗址的遗物样品）进行了质谱分析，铅同位素比值分布场明白无误地告诉我们：广西北流型铜鼓及灵山型铜鼓的矿料是来源于北流铜石岭及附近地区。这个结论与文献资料及考古学家的推测是一致的，并由此判断广西北流型与灵山型铜鼓是汉代至两晋时期聚居在“五郡（苍梧、郁林、合浦、宁浦、高凉）中央”（见吴·万震《南州异物志》）的俚人铸造的，根据民族学家研究的结果，认为俚人在唐以后，一部分与汉族融合，一部分发展成为岭南壮族的一支和海南岛黎族。这一结果填补了铜鼓研究的多项空白。用铅同位素比值来研究铜鼓的优点，可以概括为3点：第一，样品量十分少，一般取样1-10mg即可得到满意的结果（数据的相对误差为 $<2\%$ ）；第二，样品不受风化或腐蚀的影响，在这样的物理和化学过程中，铅同位素比值法不会变化；第三，通过铅同位素比值法可以分析器物之间的相互关系和来源的差异，在一定条件下，还可以推测其矿料来源的区域（包括不同的国家区域）。这是很多其他实验方法所不能比拟的。由于铅同位素比值法具有上述其他方法不可比拟的优点，因此得到广泛运用。铅同位素考证为我们对云南出土的早期铜鼓来源的研究也提供了重要的证据，说明了万家坝型铜鼓的矿料几乎都来源于滇地周围特别是滇西一带。这一结论对确定铜鼓发源地至为重要，解决了国际铜鼓学界一大难题。这些成果给国内外科技考古界以很大的鼓舞。

（二）频谱分析——考察铜鼓声学特性的依据多数学者认为铜鼓起源于铜釜。可以想象，古代南方先民们在用陶釜、铜釜等器物作炊具煮食之后，遇高兴之时，有人将炊具置于地而击之，其他的人则应声起舞，吁呀而歌。久而久之，这铿锵激越的铜鼓声在古人的心中便留下不可磨灭的印象，于是作为乐器的铜鼓便应运而生。在滇西春秋晚期墓葬中出土的万家坝型早期铜鼓还不是铅锡青铜合金，其基频特性尚未有一定的标准，各部落按照自己的爱好和欣赏的标准去创作，各鼓基频的分布是随意的，同时由于铜鼓制作技术尚处于早期阶段，对于铜鼓音频音色的控制也还难以做到随心所欲。到了汉代，在万家坝及石寨山型基础上发展起来的粤式（北流型及灵山型）铜鼓，铸造工艺已很成熟，铜鼓不仅作为乐器，而且已作为象征权力的重器和礼器出现于各种场合。对铜鼓音频音色的要求也相当高。史籍中关于铜鼓的音色及调音的记载语焉不详，且具神秘色彩。为何北流型铜鼓鼓声雄浑凝重？为何石寨山型铜鼓铿锵激越？都需要有科学的回答。我们从最基础的工作做起，对各类铜鼓的声频特性进行系统的频谱分析。为了对每个铜鼓的声音进行客观的记录，我们在标准录音室内以恒力撞击铜鼓数次，同时用高保真录音机录音，然后用丹麦的BrUel & Kjaer 2023型频谱分析仪进行频谱分析。对17面北流型铜鼓的基频分析结果如下：七面鼓为直径1000mm左右的大鼓，基频约为180Hz，而十面小一些的鼓（直径700mm），基频约为220 Hz。现代声学以440 Hz为标准频率。中国传统认为直管为声学之本，古代的标准音称为黄钟。不同历史时期黄钟的频率有差异。据历史记载，先秦黄钟管长9寸，孔径3分，围9分（有考据，先秦尺长230.8864 mm），经计算，频率应为386.85 Hz，而从长沙马王堆汉墓一号汉墓发掘出来的十二律管，最长的黄钟长176.5 mm、孔径6.5 mm，如果把它当作闭管，可以算出15℃时的频率为446.5 Hz。可见我国西汉标准音黄钟的频率与现代声学标准频率相差无几，也在440 Hz左右，而北流型铜鼓凡直径为700 mm左右的，其基频约为220Hz正好为汉代浊黄钟。浊黄钟虽然比黄钟度，但都与黄钟一样具有同样的音乐属性，听起来仍不失标准音的庄严，且低八度更加显得低沉而浑厚，显示出权力重器的威严。至于直径在1000 mm左右的大铜鼓，其基频在180Hz上下。可能这种大鼓多为北流型早期鼓，仍袭先秦的黄钟标准。据上面所述，先秦时期黄钟为368.85Hz，180Hz应为先秦的浊黄钟。当然，古代铜鼓调音师都是凭经验和听觉来调音的，不像现在有测音仪、频谱仪，因此即使他们心目中有一个确定的标准，调音的结果也只能大体趋于浊黄钟的标准。

（三）粤式铜鼓鼓面背部刮痕分析——鼓师调音技法探秘自汉代以来，对粤式铜鼓的记载可谓史不绝书，袁渊《广州记》曰：“俚僚贵铜鼓……鸣此鼓集众，到者如云。有鼓者，极为豪强”。据《明史·刘显传》越：“铜鼓以鼓声宏者为上，可易千牛，次者七八百，得鼓二三，便可僭号称王。”清人屈大均著《广东新语》载有“每铜鼓成，必置酒延铜鼓师。师至，微以药物淬脐及鼓四旁，稍挥冷锤攻之，用力轻松，不过十余锤。”该文还提到“广州炼铜鼓师不过十余人，其法绝秘，传于子而不传女”。究竟如何对铜鼓进行调音，必须进行详尽的科学考察。根据声学振动理

论，铜鼓的振动发声可视为对称圆板的振动。影响铜鼓的音频特性的因素是很多的，一块理想薄圆板振动频率由下式确定： $f_1=0.467$   
 $f_2=3.91 f_1$   $f_3=8.75 f_1$  ... 其中h为板的厚度，a为半径， $\rho$ 为材料密度，E为杨氏模量， $\delta$ 为泊松比。由此可见，铜鼓合金成份的变化（影响  
 $\rho$ 、E、 $\delta$ 值），鼓面半径和厚度的变化，都会对铜鼓的音频，音色产生影响。鼓身则相当于共鸣箱。需要指出的是，圆板振动的泛音不是  
基音的倍频，欲使声音柔和悦耳，或者希望改变基音频率，则必须采取一定的措施。经过长时期的考察研究，我们惊奇地发现，尽管古人  
对铜鼓调音都是凭借实际经验进行的，但每一步骤都合乎科学原理。铜鼓在制模阶段，鼓师就对影响铜鼓音频音色的上述诸多因素以及它  
们之间的相关联系有了通盘考虑。铸出来的每个铜鼓基频都已比较接近。为了进一步改善其音频特性，以“药物淬脐及鼓四旁”，显然是  
进行表面处理，我们曾做过模拟对比试验，表面未淬以药物和淬以药物的金相组织图是不一样的，而且硬度也大不一样，可见淬以药物对  
调音有一定效果，但古人淬以何种药物，至今我们尚不得而知。“稍挥冷锤攻之，用力轻松，不过十余锤”。这是在鼓面上淬以药物之  
后的又一调音步骤。由于铜鼓在铸造过程中内部残存各种内应力。对已有残余内应力铸件，可以进行自然时效或人工时效处理，即让铸件  
存放一段时间，或用人工时效消除内应力。通过敲打鼓面的适当部位，就是人工消除鼓面内应力的一种方法。现代的锣、钹等响器铸成  
后，也要经过冷锤调音，这就是所谓“一锤定音”。粤式铜鼓调音的一个最重要方法，莫过于通过刮削鼓面背部的一些特定部位，改变这  
些部位的厚度，进行鼓音调整。其目的是一是改变基音频率；二是使铜鼓的泛音近似成为基音的倍频，从而改善鼓的音质。为了研究铜鼓调  
音刮痕的规律，我们对较有代表性的刮痕拓印了拓片或拍了照片，共取得图片45幅。北流型与灵山型铜鼓调音刮痕的共同规律是：调音刮  
痕都是从鼓面背部中心开始，在背部与太阳纹对应的地方刮出一个整的小圆作为中心。然后从这个中心开始一刀一刀地沿半径方向刮削，  
每一刀刮痕的长度基本相同，这些刮痕成辐射状分布，排列成圆环或圆弧，从中心开始一环接一环地向外延伸。现代声学理论告诉我们，  
圆板振动时，其纵向节线沿着半径方向分布，北流型、灵山型铜鼓每一刀刮痕沿半径成幅射状分布，与圆板振动的纵向节线基本吻合；  
而每一环刮痕成同心圆弧状分布，正好又与圆板振动的横向节线吻合，铜鼓调音刮痕的分布与现代声学理论中的圆板振动模式如此吻合，  
这不能不使我们对古代少数民族匠师的技艺拍案称绝。这一分析得到曾候乙编钟的研究和复制工作主持者华觉明教授（原中国科学院自然  
科学史研究所副所长）的肯定。我们利用现代物理实验技术对铜鼓研究已有十五年了，我们觉得自然科学参与考古学研究大有可为，它可  
以从文物中提取大量文献未能记载的信息，这一点已为考古学界公认。在我们进行这一系列工作前后，自然科学其他领域的专家也参加铜  
鼓研究行列，而且做出了可喜的成就。前不久李晓岑研究员还应用数理统计方法对铜鼓的铅同位素比值进行了系统的研究分析。四、结果  
与讨论现代科学的发展在高度分化的基础上已明显地出现了高度综合的整体化趋势。自然科学和社会科学，也出现了显著的汇合发展的趋  
势。这种趋势的一个重要方面就表现在研究方法的汇合发展。正是由于科学技术的高度发展和社会生活的变更，任何一种研究都不可能是  
自我封闭的，科学正走向整体化，为了适应研究课题的需要，使自己的认识接近于客观实际进而解决处理好问题，那就不能只限于从一个  
角度研究一个局部的单一学科，而是要考虑多学科、跨学科的合作。所谓跨学科研究又称为科际研究或综合研究，就是从多种学科的不同  
角度同时考察一个对象，处处着眼于事物的“全面”和“整体”，重视比较研究，避免瞎子摸象的片面理解，共同协作解决一个不是单一  
学科所能解决的问题。在对铜鼓进行研究时，我们也应该重视这种研究和思考的方法。原因是，铜鼓不仅是一部不成文的民族文化百科全书  
，而且也是一座丰厚的民族科技史的资料宝库。铜鼓的内涵复杂多样，应该吸收多学科的研究方法，从不同的侧面去对铜鼓进行综合分  
析以便求得全面和整体的认识。鸣谢：本文在撰写过程中与黄世杰先生进行了多次讨论，受益匪浅。特此致谢。

[我要入编](#) | [本站介绍](#) | [网站地图](#) | [京ICP证030426号](#) | [公司介绍](#) | [联系方式](#) | [我要投稿](#)

北京雷速科技有限公司 Copyright © 2003-2008 Email: [leisun@firstlight.cn](mailto:leisun@firstlight.cn)

