

# 中国古代青铜剑的技术分析

郑利平

(重庆师范大学历史与文博学院, 重庆 400047)

**摘要:** 青铜兵器是青铜时代耀眼的明珠, 其中青铜剑最为引人注目。本文从青铜剑的成分组成、铸造工艺和表面处理技术三方面首次进行了全面、系统、科学的论述, 为青铜器的防腐保护工作提供借鉴。

**关键词:** 青铜; 古剑; 铸造技术; 分析

## Technical Analysis of Ancient Bronze Swords

Zheng Liping

(History and Museology College, Chongqing Normal University, Chongqing 400047)

**Abstract:** Bronze weapon are bright ppearls in the Bronze Age. Bronze Swords mostly catch people's eye among them. An overall, systematic and scientific discuss was made about component composition, foundry technology and surface decoration of ancient bronze swords for the first time. It could provided use for reference of ancient bronze swords protection.

**Keywords:** Bronze ware; Ancient swords; Found; Technology; Analysis

青铜剑是中国古代常用的一种兵器, 由剑身、茎与格三部分组成<sup>[1]</sup>。剑身最前端为锋, 正中多有突起之棱为脊, 脊两旁坡下部分为从, 左右两从合称腊; 从的两边为刃, 茎即剑柄, 茎的外端称为剑首, 茎与剑身之间加有护手, 横截面为菱形, 称作格。

中国青铜剑的起源时间可追溯到商代晚期, 已发现最早的青铜剑是山西保德林遮峪出土的铃首剑<sup>[2]</sup>, 其年代相当于商代后期。西周时期青铜剑也有较多发现, 春秋晚期到战国时期为高峰阶段。战国后期, 随着铸铁技术的发展, 青铜剑逐渐走向了衰落。西汉以后, 高强度、高硬度、高韧性的铁制兵器逐渐取代了青铜兵器。青铜剑起于中原, 但到春秋晚期, 南方吴国之剑却跃居首位, 越国在吴国的基础上精益求精, 从而超越吴国。目前吴、越地区发现最早的剑型, 可能是在西周初期<sup>[3]</sup>。越王勾践剑的发现, 曾震惊中外, 成为稀世珍宝。

古代青铜剑具有双重作用<sup>[4]</sup>, 一是防御, 重在实用, 二是佩饰, 重在华丽, 和衣冠带佩一样。剑的外观形制, 能够代表主人的身份、阶级, 地位愈高,

则愈讲究。因此兵器之精美, 以剑居首位。商末西周时期, 由于战争以车战为主, 剑多为佩饰, 实用性较小, 为贵族阶级身份的标志。到春秋战国时期, 逐渐成为实战兵器, 但仍为贵族阶级的身份标志。

### 1 古青铜剑成分组成

青铜剑属于铜、锡合金或铜、锡、铅合金, 《周礼·考工记》记载的“六齐”能够看出古人对青铜器的成分配方, “六齐”是这样记录的: 金有六齐, 六分其金而锡居一, 谓之钟鼎之齐; 五分其金而锡居一, 谓之斧斤之齐; 四分其金而锡居一, 谓之戈戟之齐; 三分其金而锡居一, 谓之大刃之齐; 五分其金而锡居二, 谓之削杀矢之齐; 金锡半, 谓之鉴燧之齐。这里所说的“大刃”即指刀剑一类的兵器。

对于“六齐”的解释, 目前学术界倾向观点见表 1。根据这种观点, 青铜剑的锡含量应为 25%, 但根据现代金属学对青铜机械性能的研究, 青铜显微金相组织因含锡量不同而不同, 故其机械性

表1 《考工记》“六齐”解释

“六齐”	铜含量(%)	锡含量(%)
钟鼎之齐	6/7=85.71	1/7=14.29
斧斤之齐	5/6=83.33	1/6=16.67
戈戟之齐	4/5=80	1/5=20
大刃之齐	3/4=75	1/4=25
削杀矢之齐	5/7=71.45	2/7=28.57
釜燧之齐	2/3=66.67	1/3=33.33

能亦随含锡量变化而变化,锡对青铜机械性能影响见表2<sup>[9]</sup>,可见,随着含锡量的增加,青铜的硬度增大,抗拉强度先增大而后又逐渐减小,但其延伸率却随着锡含量的增加逐渐减小,当含锡量在30%时,延伸率为零。通常,为了起到防御的作用,青铜剑的刃部必须锋利。为不至于卷刃,还需具有相当的硬度。为了避免在实战格斗时不致断折,还必须有一定的抗拉强度和延伸率,以防脆性。综合硬度、抗拉强度和延伸率三方面的因素,青铜剑含锡量应在15%左右。

表2 锡对青铜机械性能影响

Sn (%)	抗拉强度(Kg/mm <sup>2</sup> )	延伸率(%)	硬度(HB)
5	25	18	50
10	28	10	60
15	32	5	85
20	32	1	150
25	25	<1	280
30	10	0	420

各时代考古发掘出土部分青铜剑成分分析统计见表3。从时代上来看,西周时期青铜剑锡含量较低,为11%左右,没有含铅或者含铅量微量,具有较好的延伸率;到春秋时期,青铜剑锡含量略有增加11%~14%,通过降低铜含量开始加入铅,并且铅含量较高,在4%~13%之间;战国时期,青铜剑锡含量相对春秋时期增加,在14%~19%之间,具有较高的硬度和抗拉强度,延伸率降低。铅含量相对春秋时期又适当减少,在1%~7%之间;秦代青铜剑表面含锡量较高,达21%,含铅量很少,在2%左右;西汉时期,青铜剑的锡、铅含量又减少,锡含量在13%左右,铅含量在1%左右。因此,从实际成分分析来看,青铜剑的锡含量不符合“六齐”(25%)的“大刃之齐”,但古人也充分认识到锡含量在青铜中所起的作用。

表3 中国古代青铜剑的化学成分

出土地点	时代	Cu(%)	Sn(%)	Pb(%)	资料
—	西周	88.22	11.26		[5]
山东胶东	春秋	83.81	11.34	4.36	[6]
山东胶东	春秋	70.24	13.33	12.59	[6]
山西洪桐	东周	73.39	17.70	6.67	[7]
湖南株洲	战国	76.72	18.23	4.10	[7]
湖北汉口	战国	77.60	18.61	3.15	[7]
云南江川	战国	83.40	14.45	1.33	[7]
四川涪陵	战国	84.00	14.29	1.51	[7]
四川绵竹	战国	82.59	15.47	1.71	[8]
秦俑坑 (表面)	秦代	76.39	21.38	2.18	[9]
云南昆明	西汉	85.75	12.64	0.87	[7]

铅一般不溶于纯铜液,以软夹杂的形式存在于铜基体内,对铜体起到一种切割作用<sup>[9]</sup>。青铜内加铅,可以改善切削加工性能,减少晶间收缩,提高器物抗疲劳强度,减少机械撞击和开裂,但铅含量过多,会使器物强度、硬度降低,耐腐蚀能力变差。从上述各时期青铜剑铅含量的变化能够看出,对于铅的作用,古人也经历了“无一加一增加一减少”这样一个认识过程。

有关资料称,秦剑出土时在重压后却能“在一瞬间反弹平直,自然恢复”,这种“形态记忆合金”技术确实令人惊叹。由于铸造时内外冷却速度不同,使内外金相组织不同进而影响了锡的分布,内部的锡含量低到8%。合理的铜锡使秦剑韧性和强度结合的恰到好处。鄂州博物馆董亚巍先生复制过秦剑,发现按当时的技术制造的秦剑内韧外坚,内部的硬度比外部低不少。

## 2 古青铜剑铸造工艺

青铜兵器的铸造技术一般采用双合范铸造,陶范、石范均可,陶范成分主要为石英砂和粘土。而且母范、外范与内范、外范上的涂泥选用的材料粗细不同。按照两边对称形状分别做出上、下两件范,留出定位榫卯记号在剑首端部开出浇口,两范对准组合,立放捆紧后,浇注青铜液即成,一次浇铸而成(称浑铸法)。巴蜀典型的柳叶形剑,就是属于一次浇注而成。至于制范的材料,借鉴制陶技术的经验,用泥做胎,经过干燥和烘焙,制成泥范或陶范。

有些青铜剑铸造工艺复杂,采用分段铸造,然

后又采用铸合法连接各个结构部件,称分铸法。

“青铜剑三绝”之一的“双色剑”(又称复合剑)指呈现两种颜色的青铜剑,剑脊发黑,剑从及两刃泛白,上海博物馆研究人员认为该技术是采用低锡青铜制作韧性好的剑脊,用高锡青铜制作强度和硬度高的剑从,通过榫卯结构以二次铸造“铸接法”将剑脊和剑从结合成一体,得到刚柔兼具的青铜双色复合剑,这是化学成分和机械性能完美地结合在兵器上的体现<sup>[10]</sup>。

有时剑体的铸造加工工艺得分二次以上铸造加工而成。笔者认为,具有“青铜剑三绝”之一的“剑首同心圆”的这类青铜剑,就有可能是采用这种分铸工艺。越王勾践剑剑首就有11圈同心圆,铸造第一段为剑身、剑格、剑茎,此段剑身与剑刃硬度完全不同,又是采用上述复合金属工艺铸造而成;第二段就是剑茎末端与同心圆剑首部分,上海博物馆研究人员认为这类同心圆剑首的制作,是古人用轮制法直接车制出具有同心圆的剑首陶范,以陶范铸造法铸造剑首同心圆。轮制法制陶除了轮盘外主要是以手为工具,而在制作剑首同心圆时单靠这些是不行的,还必须制作出带齿的模板<sup>[11]</sup>;在第一段与第二段铸成后,分别经过机械加工篆刻铭文后,最后再将第一段和第二段用陶范连接进行浇注,采用“铸接”的方法使剑身与剑首连成一体。

### 3 古青铜剑表面处理工艺

#### 3.1 镶嵌

精美的青铜剑剑首和格的位置有时要镶嵌琉璃、绿松石、金银丝等,如越王勾践剑剑格背面满嵌包有0.1mm厚金丝的绿松石<sup>[12]</sup>,浙川下寺楚墓出土的铜剑剑首镶嵌绿松石<sup>[13]</sup>。镶嵌工艺要经“母范预刻凹槽、鑿槽、镶嵌、磨错”4个步骤,使装饰物与剑表面自然平滑。有些青铜剑,格上使用玉质材料作为装饰,所以这种剑也叫“玉具剑”。

#### 3.2 贴金

贴金铜器主要流行于春秋晚期以后,如辉县琉璃阁卫墓出土一青铜剑,剑首、茎和格上皆贴有一层厚约0.2mm的金箔<sup>[14]</sup>,从剑格与剑首正面已剥落的金箔可以看出,箔金叶是从整张金箔上按所

有张贴的剑体部位形状剪下,然后张贴至剑上的,贴上去后又用槌细细敲打,故能与剑贴紧,此剑贴上金叶后还在贴金纹饰上镶嵌绿松石作为兽眼和虫眼,色泽鲜艳。

#### 3.3 鎏金、银

鎏金是自先秦时代即产生的传统金属装饰工艺,其工艺流程:第一是“煞(杀)金”,是将黄金锻成金箔剪成碎片,在坩埚中加热至400℃左右,然后加入汞(Au:Hg=3:7或2:8),搅动使金完全溶于汞中,然后倒入冷水中冷却,成为银白色泥膏状金汞剂即金泥;第二是“抹金”,是用“涂金棍”粘金泥与盐、矾混合液均匀的涂抹在需要鎏金的器物部位,边抹边推压;第三是“开金”,即用适当温度的炭火烘烤,使汞蒸发逸走,黄金便留在器物表面,其色也由银白色转为金黄色;第四是“压光”,用毛刷沾酸梅水刷洗,并用玛瑙或玉石制成的“压子”沿着器物表面进行磨压,使鎏金层致密,与器物结合牢固。直至器物表面出现发亮的鎏金层。如湖北省博物院所藏的“吴王夫差剑”,剑面有铭文“吴王夫差自作用之”就是用鎏金的方法<sup>[15]</sup>。鎏银工艺与鎏金工艺相近,用银、汞制成银汞剂涂抹器表。但鎏银器很少。

#### 3.4 镀锡

冶金史学家对中国古代青铜器镀锡工艺做过一些推测。一说中国古青铜器镀锡方法是将青铜器大体加热,在赤热状态下涂抹锡液,是一种热镀法<sup>[16]</sup>,中国古青铜器中巴蜀式青铜剑虎斑纹的制作,初步认为可能就是人工热镀锡后经过了退火处理<sup>[17]</sup>;一说有浇灌与沉浸两法,浇灌法即“冷水浇背”的样子,周伟所举殷代镀锡铜盃大概就是用此法镀的。沉浸法则是把药镀的物体,一部分或全部沉浸到熔融的锡液中,再取出,晋宁小斧大概就是用沉浸法镀成的<sup>[18]</sup>。一说汞齐镀锡,将水银和锡以不同温度分别加热,达到一定温度后混合一起制成锡汞齐,涂抹在器物表面,用200℃~350℃的炭火烘烤,水银蒸发,锡熔融流展在器物表面形成锡镀层<sup>[17]</sup>。有国外学者认为巴蜀青铜剑虎斑纹是锡汞齐法制成的<sup>[19]</sup>。

值得注意的是,青铜器表面的银白色锡状外衣,并非皆是在铜器铸好后再用锡液外镀所成,而

是采用一种“铸渗”法形成的,即由高锡青铜在铸态时反偏析所致。在青铜中,锡铜形成固溶体,但对于高锡青铜,其含锡量超过所允许的溶解值时,铜锡则以化合物分布在青铜合金中,在用此青铜液浇铸时,由于铜的熔点高于锡,且由于铸型的导热作用,故使此种含锡量高的化合物首先沿铸壁凝固。但锡青铜金相组织有树枝状结晶的多孔性,如在浇铸后采取延时出型、缓慢冷却的措施,结晶的过程即会延长,晶粒粗化,熔点低的锡亦即会通过组织中的微孔向表层渗透,造成表面锡成分密集的结果,经过此种工艺处理的铜器在金相分析时,高、低锡层中间不存在分界面,锡含量由表及里递减,直到基体时才趋于平衡<sup>[14]</sup>。

### 3.5 化学药剂处理

古人也极有可能在青铜剑表面采用化学药剂处理的方法制作出漂亮的纹饰或达到其它目的。

上海博物馆的研究人员认为“青铜剑三绝”之一的“菱形纹饰”(指青铜剑身装饰的黑色菱形几何暗格花纹),是通过锡基合金粉末涂覆于青铜剑表面,经加热扩散到青铜剑基体之中形成<sup>[15]</sup>。其原色是黄白相间的菱形图案。未涂部位,呈现黄色,经涂覆处理的表面则变为白色,在表面形成黄白相间的菱形图案。当埋藏于含腐蚀介质的土壤中,在氧化络合作用下,纹饰区与非纹饰区的表面因结构和成分的不同,产生了不同程度的腐蚀,菱形纹饰则由黄白相间变为黑亮—灰黄相间等色泽<sup>[16]</sup>。复旦大学研究人员认为菱形纹饰是硫化物处理的结果<sup>[17]</sup>。无论是锡基合金粉末的作用还是硫化物的作用,这种菱形纹饰工艺都具有极高的科技水平。

秦代青铜剑经金相、电子探针、X 荧光分析表明,表层为 0.01mm~0.015mm 厚的致密钝化膜,含铬 0.02%<sup>[18]</sup>。秦剑用铬酸盐(如重铬酸盐)钝化处理,形成抗腐蚀表层。经过 2000 多年后仍然完好如新,证明当时的铬化处理工艺已具有相当高的水平。在欧洲,德国于 1937 年发明镀铬工艺并列为专利。

另外,髹漆和包金工艺被用在青铜剑剑柄或剑鞘的装饰上。用漆平涂于器物表面为髹漆,髹漆不仅使器物美观,也有助于防止金属锈蚀。主要用在剑柄和剑鞘上。在战国时期的巴蜀墓葬中,广泛

出土一类剑身呈柳叶形的青铜剑,是用两个柄形木条夹住剑茎,以小木钉在穿孔中钉合,然后缠以细绳并髹漆。少数剑还先将木柄插入一个铜套,再于铜套外缠绳涂漆<sup>[19]</sup>。包金银工艺,即是在器物表面包罩以极薄的金箔或银箔,2002 年小田溪战国墓葬曾出土一件剑鞘包金的青铜剑,可惜出土时已残断。

### 参考文献

- [1] 朱凤翰著. 古代中国青铜器. 天津: 南开大学出版社出版, 1995: 271-272.
- [2] 詹开逊. 谈新干大洋洲商墓出土的青铜兵器. 文物, 1994 (12): 82-92.
- [3] 肖梦龙. 试论吴越青铜兵器. 考古与文物, 1996 (6): 15-27.
- [4] 王振华编. 商周青铜兵器. 台北: 古越阁出版社, 1993: 32-36.
- [5] 田长济主编. 中国铸造技术史(古代卷). 北京: 航空工业出版社, 1995: 58-70.
- [6] 王成兴, 尹慧道主编. 文物保护技术. 合肥: 安徽大学出版社, 2005: 106-111.
- [7] 田长济. 中国古代典型青铜铸件的分析. 特种铸造及有色合金, 1985 (1): 16-23.
- [8] 曾中懋. 巴蜀式青铜剑虎斑纹的铸造工艺. 四川文物, 1993 (5): 72-74.
- [9] 夏文于. 秦代青铜表面的防腐蚀技术探讨. 材料保护, 1987 (2): 41-43.
- [10] 廉海萍, 谭德睿. 东周青铜复合剑制作技术研究. 文物保护与考古科学, 2002 (增刊): 319-334.
- [11] 廉海萍, 谭德睿, 徐惠康. 东周时期青铜剑首同心圆的制作技术研究. 文物保护与考古科学, 2003 (3): 40-43.
- [12] 陈琦平. 名剑之王—越王勾践剑. 轻兵器, 2005 (6): 50-54.
- [13] 钟家让, 郭桂珍. 青铜古剑表面处理工艺初探. 文物世界, 2004 (6): 63-65.
- [14] 凌业勤. 中国古代传统铸造技术. 北京: 科学技术文献出版社, 1987: 32-33.
- [15] 姚智辉, 孙淑云, 肖璞等. 巴蜀青铜兵器“虎斑纹”的考察、分析与研究. 文物, 2007 (1): 67-73.
- [16] 张子高. 从镀锡铜器谈到整字本义. 考古学报, 1958 (3).
- [17] 万俐. 中国古代青铜器表面处理技术几个研究课题的思考. 东南文化, 1993 (6): 119-127.
- [18] [美] 亚历山大·科索拉波茨, 约翰·特威利著, 曾中懋译. 中国古代巴蜀式青铜剑上的虎斑纹装饰—古代锡汞齐的证据. 四川文物, 1999 (5): 76-78.
- [19] 廉海萍. 东周铜兵器菱形纹饰技术研究. 中国文化遗产, 2004 (3): 43-43.
- [20] 廉海萍, 谭德睿, 吴则嘉等. 2500 年前中国青铜兵器表面合金化技术研究. 特种铸造及有色合金, 1998 (5): 56-58.
- [21] 庚晋. 古代刀剑的外观处理技术. 铸造技术, 2004 (3): 226-228.