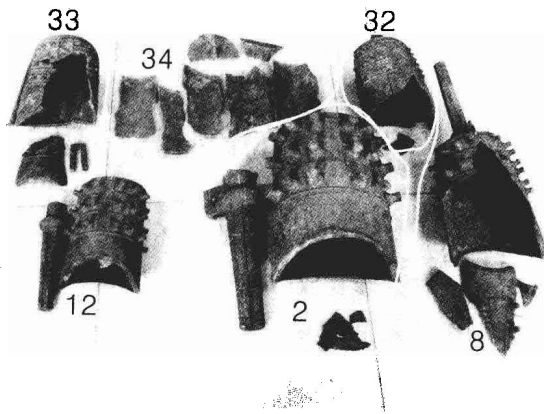


青铜编钟修复中的矫形定位装置及其使用

湖北省博物馆 胡家喜 胡 涛

一、修复标准与时俱进

2007年4—9月，为配合湖北省博物馆新落成的“综合馆”陈列展览工作，湖北省文物保护中心对枣阳九连墩战国墓出土的古乐器编钟（图一）进行了修复。



图一 变形破损编钟

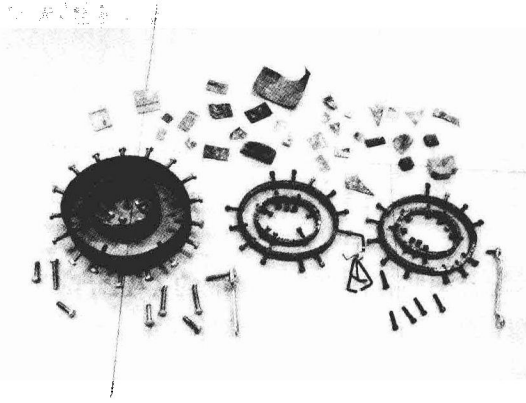
这些编钟由于长年在地下受到泥土等挤压，破损变形十分严重。未经修复不能用于陈列。编钟是有声文物，与其他文物相比，它们的修复多了一个要求，那就是在一定程度上要恢复声音。现代陈列要求全方位展示文物的价值，我馆从曾侯乙编钟开始，对编钟的展示都实行全媒体展示，编钟的原音被收集到计算机中，通过计算机终端来展示编钟的声音之美。

另外，对于编钟的研究来说，声音是非常珍贵的研究对象，研究工作的开展同样要求声音复原。对于九连墩这套编钟来说也是这样。显然，恢复编钟原声，是青铜编钟复原的一个新标准。

二、传统方法无法达标

青铜器修整的传统方法不少，如压模法、锤打法、锯解法及近年来发明的加温矫形法

等。但这些方法都容易造成新的损伤。而比较先进的加温矫形法，加温后对于编钟声响的复原也有一定的影响。显然仅仅靠传统方法无法达到复原新标准。因此，我们在传统方法的基础上，大胆创新，发明并使用“残损变形青铜器矫形定位修复装置”（图二），结合当今先进的高精度焊接工艺，使这批破损编钟在外形修复、音色复原等方面取得了某些开创性的研究成果。



图二 内外对应组合矫形定位器

三、矫形装置的设计与使用

青铜器一般很脆，矫形不当非常容易造成新的损坏。在文物修复工作中，青铜文物的矫形历来就是一个重点和难点问题，修复成败与矫形密切相关。编钟是一种以追求声音效果为目的的特殊器物，矫形工作的最后结果，不仅要解决“形”，还需要还原“声”，困难更大。

1. 传统矫形的特点及缺陷

特殊器物的修复需要特殊的工具。相比单曲面或多曲面内空文物而言，编钟矫形难度尤为突出。

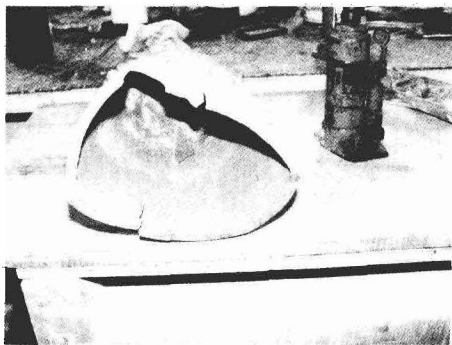
编钟的钟体是一种特殊的“合瓦形”，即由一对“圆弧”形成，酷似两块瓦片扣合在一起。钟体两侧铣边有棱，壁较厚，有利于声音的加速衰减。且钲部篆缘边亦铸有数道低棱，与钟体大小成正比例的三十六个“枚”，对编钟的音质音色和曲面强度亦有直接影响。这样的造型结构，使编钟的每一个曲面都能在较大程度上经受往来自垂直、侧面等不同方向的外力挤压。但是，一旦挤压的力量冲破了钟体自身压强所能承受的极限，编钟就不可避免地发生形变，甚至破裂。欲使能经受较强外力挤压的编钟从变形的状态恢复原位，难度相当大。

据文献记载，编钟的含锡量一般在 13% ~ 16% 之间。其硬度较大、韧性较小，易脆。若用锤击法矫形，力度大了钟体易折断，使编钟受到二次破坏；而力度小了则无济于事。采用模压法是用小型千斤顶在矫形机上缓慢施压，由于加力点只有一个，整形的部位受力不均，容易造成新的损伤。且由于编钟应力很大，稍一松动又恢复原状，无法矫正变形部

位。采用加温矫形法修复虽然整形较易，但对音质音色又会产生影响。另外，使用铅锡进行低温焊接，更加不可能恢复编钟原有的音质音色。

以九连墩1号墓出土的32号钮钟（图三）为例：因受外力挤压，合瓦形钟体已变成扁长形，钟口变形扭曲。在钟体一侧的正鼓上有一三角形缺口，缺口长4.5~5厘米、宽5.5厘米，钮与舞部断裂脱落，钟体从舞部至钟口沿有五条纵向裂缝。

由于钟体扭曲变形严重，钟口沿已成扁长形。以往我们通常先要用千斤顶将钟口沿撑开。在这个过程中，用力要循序渐进，缓慢施压。经较长时间模压后，钟口沿才逐渐张开。然而，千斤顶模压只能对编钟某一点的变形进行有限矫正，当矫正某一点或一个部位时，编钟其他变形部位或未变形部位，则相应地受到千斤顶的影响而发生形变；另外，残存钟体因受外力挤压，呈横向拉伸变形，模压不能同时对横向变形部位进行矫正，从而使矫形工作陷入困境。

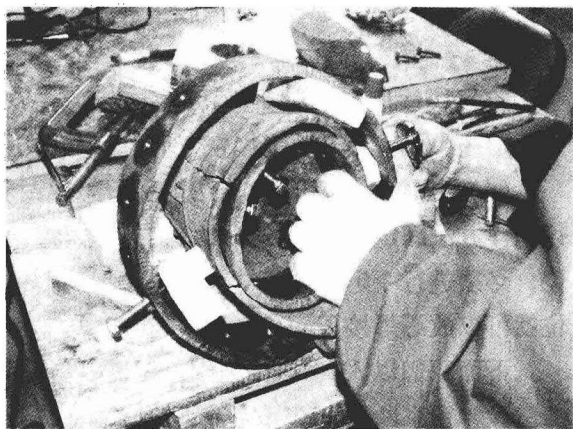


图三 32号编钟变形

寻求一种与编钟形体相符、可以从内到外多着力点同时加力的实用矫形设备，成为当务之急。笔者依据长期进行青铜文物修复的经验大胆创新，自行设计并制造出针对变形编钟复位的矫形工具——残损变形青铜器矫形定位修复装置。这种工具可以根据编钟不同的变形情况，通过自带的多个矫形支点，从不同的方向，施加不同的力度，运用对应点内、外两个方向施力的方法，对编钟进行矫形；也可以对某一点进行有针对性的矫形（图四）。实践证明：该方法科学合理，操作简单，省时省力，其功效显著，大大提高了工作效率，有利于文物保护。

2. 新型矫形装置的设计与使用

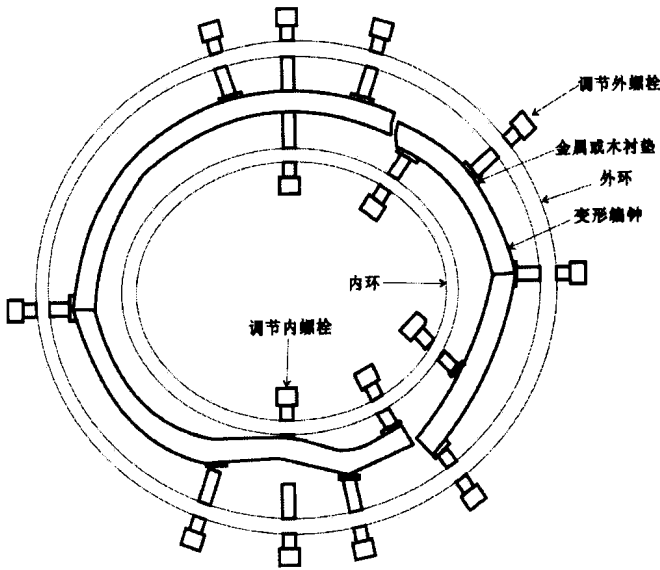
初期设计的矫形器，使用一大一小两个钢圈环为一组，内外相互对应。这种矫形工具的设计思想是：通过矫形器上均匀设置的多个螺杆，根据编钟的变形情况，从编钟的不同部位，以不同的力度对其进行矫正。一组（两个）多支点矫形器从编钟内、外两侧同时加力，其他部位同时固定，就会使变形部位在静态力的作用下缓缓地得到矫正。这样，既矫正了变形部位，又不至于对编钟产生二次破坏。经过多次实际操作和观察分析，我们发现仅用



图四 对32号编钟进行矫形

一组矫形器还不能达到非常理想的预期效果，在某些情况下修复意图还难以得心应手地全面实施。于是，又制作了两组同样的矫形器，然后在编钟上同时使用三组矫形器，终于得到了令人满意的效果。根据该矫形器的力学原理、结构特征和使用功能，我们将它命名为

“残损变形青铜器矫形定位修复装置”（以下简称矫形器）。



编钟矫形示意图

说明：在外环与内环之间，是残损变形的青铜编钟，外环和内环上均分布有螺纹孔，并安有调节螺栓。使用时，外调节螺栓从外向内地安装在外环上，内调节螺栓从内向外安装在内环上。外、内环调节的螺栓与青铜器壁接触处设置金属或木片衬垫（防止损伤文物）。这样，可以根据每一件不同编钟的变形状况及钟壁的厚薄情况，通过自带的多个矫形支点，从不同的方向，施加适当的力，运用对应点内外两个方向施力的方法矫正。对变形严重的，可增加多个内、外环配合矫形。对于破损变形严重的青铜编钟，进行外观形貌矫正定位、保证焊接修复过程顺利实施，上述方法科学

合理，操作简单，省时省力，是一种有效的矫形定位修复青铜器装置及方法。

下面以 32 号钮钟（以下简称钮钟）为例，来说明各个步骤。

（1）用外环将钮钟钲部暂时固定好位置，在钮钟钟腔内的相应部位设置内撑矫形器具；

（2）分别从钟腔内外两方面扭紧矫形器上均匀分布的螺栓，在每一个着力点的螺栓头与钟体器表相接触之处，均置放一块 2~3 厘米见方、表面光滑的金属垫片或较厚实的木垫（注意：不能以薄木板或橡胶垫等易扭穿、压透之物代替），以防止在加力过程中损伤器表；

（3）缓缓用力，适度扭紧螺栓，不求一次加力钮到位，循序渐进。定期再加力，历经多次加压，使变形部位慢慢恢复原位，并保压至少在一个星期以上；

（4）钮钟钲部矫形基本到位后，继续保持内外压强不变，使用另外一套矫形器，以上述同样方法固定于钟体鼓部加力，外压内撑，经多次加力钟体变形到位后，为防止回弹复位，必须进行一定程度的“矫枉过正”，保压一段时间后松开内外对应的矫形器，变形复位就可以放心焊接了。

下面我们以 33 号钮钟为例，做进一步说明。

该钟钮系断开，舞部完整；钟体一面纵长裂缝直至舞沿，宽度 0.5~2 毫米，裂缝两侧曲面内凹；另一面有较大缺块一处，裂纹两道，一长块断裂变形；个别铍部边缘外翘，两棱向两边伸展变形；钟口呈不规则的一字形。它是待修编钟里钟体形变最严重的一件，整形工作分以下三步：

由于钟体过度撕裂扭曲，变形严重，不经处理无法放置矫形器的内环，必须首先采用传统模压法、“G”形钳等把编钟口稍微撑开，以便放置矫形器的内环（按照钮钟钟体曲

面制作一木模，用小型千斤顶从一个曲面断块处向另一曲面裂缝内凹点平稳加力，着力点部位垫数块小方木。经过多次加压，迫使曲面内凹处向相反方向移动、变形。然后改换位置，以钟体两棱一侧顶压、外张使两棱慢慢合拢，直至矫形器能够按需固定，开始正常工作)。

经过初步矫正之后，自钮钟钲部应用内外对应矫形器。约一星期之后，于钮钟鼓部固定第二套内外对应矫形器，选择最佳的着力点，多个着力点依次用力，缓慢加压。单个加压点之力可达上百斤，操作过程中必须小心谨慎，仔细寻求每一个着力点部位青铜金属所能承受外部压力的最大限度，使每一部位的用力恰到好处。

钟体断块位置的整形稍稍复杂一点：在断块处以一丝或两丝将内外环状矫形设备连接在一起；应用内外矫形器自身的相向挤压，先矫正曲面缺块两侧钟体边缘部位的变形；复原到位后，松开内外矫形器，将断块置放到原位；再上紧矫形器上的螺丝，将断块与钟体曲面整形为一体。

3. 配合激光焊接的二次矫形

33号钮钟虽然经过矫形器矫形，而且效果明显，但实施激光焊接还是有较大的难度。因为焊接时要求焊缝越小越好，以免激光打穿编钟后熔化的铜粉漏掉，而导致无法焊接。因此，在尚未完全解除内外合力压强的情况下，对钮钟进行初步焊接是焊接过程中必不可少的一步。在焊接工作中，逐步减轻编钟外部压力，对焊接点逐一加力矫正，然后用激光进行焊接固定。通过多次矫形与焊接，破损编钟终于成为一个整体。用矫形器在焊接过程中进行二次或多次矫形，是编钟矫形工作在焊接过程中的延续。

4. 分散模压结合焊接再次矫形

传统文物修复整形方法中，锯解法是一项大家公认的不宜多用的方法，因为它会对文物造成二次损坏。

有趣的是，在此次编钟修复工作中，34号钮钟出土时已经被压破成七大块，且扭曲变形。其前期整形恰好与“锯解法”相似，只是省去了对文物损伤的“锯解”过程。该钮钟表舞部已经破成两块，钟体破裂为五块扭曲的不规则长方形。先把各个扭曲的残片用千斤顶和“G”形夹进行初步矫形；再用矫形器从内外固定编钟的各个残片，使之成为一个整体；然后施以激光焊接，边焊接边整形，取得了很好的修复效果。

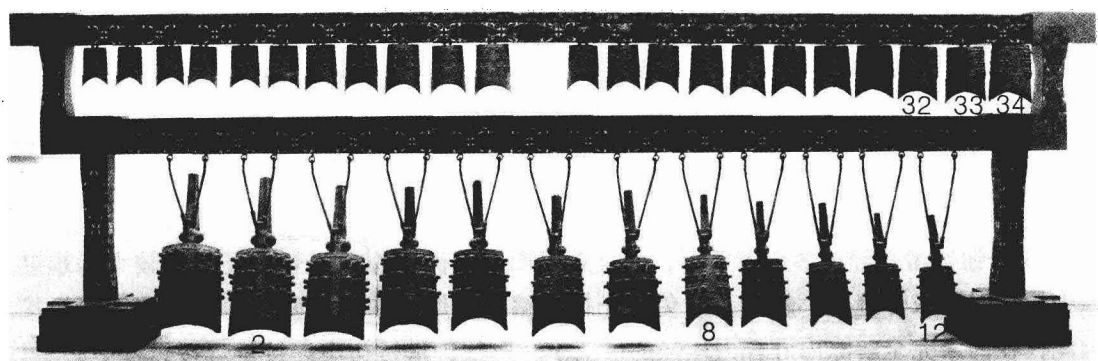
四、对编钟矫形工作的体会

此次编钟修复历时半年，工作中最困难且感受最深刻的莫过于整形。为保证编钟原音复位的准确性和科学性，在传统文物修复整形技法难以奏效、加温矫形易损音色不宜应用的情况下，我们仔细观察待修器物的扭曲变形现状、钟体造型等，苦索良策，废寝忘食，不知熬过了多少不眠之夜。“残损变形青铜器矫形定位修复装置”的诞生，也可以算是“功夫不负有心人”吧。

该矫形器的最大特点，是矫形设备由内到外与文物紧密结合在一起，单支点加力必然带动与之相反方向的多个支点轻重不等的力度共同施压，从不同的方位“牵一发而动全

身”，有一力而功增倍。它所达到的效果，是以往单着力点整形设备难以实现的。该矫形器能够使修复者想矫正哪里就矫正哪里，何处需要整何处，选用自如，得心应手。

从表面上看，整形手段不外乎撑、拉、压，看似简单其实难在其间，合适的力度和着力点的选择是问题的关键。这就要求修复文物的人多动脑，善思考，因地制宜，大胆创新。“残损变形青铜器矫形定位修复装置”不仅能做到不损伤器物，而且保质保量，又“好”又“快”。作为文物修复工作者，我们最大的人生乐趣莫过于让面目全非的文物“化腐朽为神奇”吧。



图五 有编号的是修复的编钟

参 考 文 献

- [1] 胡家喜. 变形青铜器加温矫形. 江汉考古, 1986 (3)
- [2] 胡家喜. 采用加温矫形新工艺修复商代人铜鼎. 文物天地, 1993 (3)

青铜文物的矫形修复及相关问题探讨

河南省南阳市博物馆 赤银忠

青铜器是我国古代人类文化的优秀遗存之一，具有历史、艺术和科学研究等比较珍贵的价值。除一部分属于传世品保存相对完好之外，大多数是从古代墓葬和遗址内重见天日的，因墓穴坍塌、地层变化被撞击挤压或人为辗转运输保管不善等主客观缘故影响造成青铜文物不同程度破损变形的情况普遍存在，可以说从一件青铜文物出土的那一刻起，文物的整形修复工作就已经开始了。因此，青铜器的矫形在我国传统文物修复领域里早已不是一个新鲜的话题了，修复是为了还原古代文物的原貌，矫正变形则是后期焊接、粘连和作旧等修复技术水平高低的保障，没有矫形就谈不上青铜文物的修复，它是青铜文物修复工作的一个关键步骤。对于每一位优秀的文物工作者来说，在长期的文物修复工作中不变的是对文物的热爱和精心养护，可变的则是在继承传统青铜文物整形技术的基础上改进更新，开动脑筋，多思考，勤动手，制作相应的工具轻松矫形，从而快速圆满地修复古代青铜文物。

如何做到轻松矫形、快速修复青铜文物并不是一件容易的事情，这里的关键是青铜器整形所使用的方法和工具。目前我国青铜文物修复界普遍采用的整形办法有多种。它们是从长期的工作实践中总结出来的，贾文忠先生将其归纳为以下五种：^①

- (1) 锤打法：适用于铜胎延展性较好、韧性高的局部变形青铜器；
- (2) 模压法：利用大台钳或液压机加压整形；
- (3) 工具整形法：使用不同的工具和夹具进行支撑、顶压、撬、扳、扭等方法；
- (4) 加热整形法：配备一个大小适中的烘干箱，温度控制在 200℃ ~ 250℃ 之间；
- (5) 锯解法：适合那些胎壁厚、延展性和弹性都比较差、严重变形的器物。

不论如今的矫形办法如何改进，它们都属于这五种基本方法范畴之内，在实际工作时往往是双管齐下，多种办法共同实施。其中的加热整形法相对出现较晚一些，来自报告的这方面的实例不太多，只是很典型。如湖北省博物馆的胡家喜老师，在 20 世纪 80 年代初期采用加温矫形新工艺成功修复了商代大铜鼎，^② 这是巧妙运用了铜产品在逐渐加热过程中其内部金属分子受热而增强了自身的延展性和可塑性，有效避免了青铜器变形部位反向垂直受力期间的撕裂破损，加大了整形工作的安全系数，减轻了青铜器矫形实际操作的劳动强度，节约时间。在其原报告中提到因“铜器和铜锈的热胀冷缩特性不一致，附着在铜器表面上的泥疆锈会自然脱落，不需使用别的化学或物理方法去除泥疆锈”。至于高温矫

① 贾文忠：《古玩保养与修复》，109~110 页，北京，北京出版社，2000。

② 胡家喜：《采用加温矫形新工艺修复商代大铜鼎》，载《文物天地》，1993（3）。

形实施过程中青铜器表面自然形成的保护锈层能否受到不同程度影响的问题有待今后向老师请教。限于各地特别是一些中小型博物馆经济财力及技术手段高低不均等因素，加温矫形法只是在那些经济和技术力量雄厚的大馆有所开展。而工具整形即通过相应的工具采用冷加工迫使青铜器变形部位的金属晶体再次发生扭曲复位的方法则实用易理解，推广性强，如果办法得当且运用合理的话，完全可以收到轻松矫形、事半功倍的良好效果。

这里所要特意介绍的是整形工具家族中的一个新成员，我们称之为：钢结构多支点内外（或上下）合力矫形器，分为圆形与椭圆形两个型号。也可以称之为青铜文物矫形工具种类上的一个小小的创新。在2007年的8—9月份，本人有幸师从湖北省博物馆的文物修复专家胡家喜先生学习提高青铜器修复技术。为了配合湖北省馆新建展览大厅文物陈列工作的需要，重点修复了一批战国时代的青铜编钟。编钟修复工作中最大的障碍无疑是矫形，这是因为编钟壁厚硬度大，钟体截面是“合瓦形”，有棱的两侧是钟体刚性最强的部位，鼓面上方分布一定数量的钮和纹饰，一旦编钟破裂变形很难使其恢复原位。胡家喜先生在运用传统整形办法无法达到预期目的情况下，认真思索，对症下药，自制了这种专用青铜器矫形工具。其特点是：将厚度为8毫米~10毫米的优质钢板切割成30毫米~50毫米宽的钢条，两端焊接起来，在钢条中间等距离钻孔，孔径大约8毫米，内径套丝，配备相应的螺栓；环形钢条的宽窄可视器物的大小厚薄而定，器体大且壁厚者可相应宽一些，反之则窄一些，螺孔之间依据器物变形情况可随时加钻新孔。一般说来，按器物的大、中、小制作矫形工具数套，每套两件，一大一小，小者内撑，大者外用。具体实施时内外相互对应，在青铜器变退部位与整形工具螺栓端相接触之点加垫块，近器身用薄木片，木片与螺栓柱头之间则用薄铜或不锈钢板，使用相应规格的扳手缓慢用力，保持平稳，注意观察矫形部位的受力状况不可急于求成，变形轻微者可快速复位，严重者则需几日乃至数周。它的优点还在于多支点内外共同加力，一次操作可以同时器物多个变形部位进行矫正，还能够一边矫正，一边焊接，灵活运用，安全快捷，实用效果相当显著，为编钟修复任务的圆满快速完成提供了绝好的保证。

针对内空深腹多弧面青铜器的变形矫正，圆形多支点内外合力矫形器是一个相当不错的选择。此类器物大致有容器、水器、酒器和烹饪器，如铜鼓、壶、罐、簋、鼎等，基本造型由口、颈、腹、耳（把、鬲）、底、足几部分组成，构成器物的每一部分相互交接相连，彼此相辅相成，缺一则不成完整之器，各弧面相合不仅体现了文物的造型之美，而且相互之间受金属分子内应力的影响合力抗衡外来的各种压力，能够最大限度地保护文物的整体性免受伤害。正因为如此，这类器物在超过了自身所能承受的受外力压强的极限后不可避免地破裂受损，要想使变形错位的各弧面恢复原样却不是一件轻松的事情，具体操作过程中大致上分为以下几种情况：

（一）口部较阔中型器以上的青铜文物的矫形

若器物口部变形较轻，可将内加力器直接放入，以相应规格的螺栓作为加杆，杆与器内壁间设置不同的垫块，用扳手将各个加力杆长短拧到位，在与之相对应的器物外壁固定外加力器，用同样的办法把各加力杆进入到指定位置，重点增加需要矫形部位及相邻点之

间加力杆的压强，缓用力，仔细观察器壁变形处的金属受力情况，感觉手上很费劲的时候应停止加力，保持一段时间（长短视具体情况而定），以卸去金属分子的内应力。重复操作以上的动作，大胆心细，适当用力，最后矫枉稍稍过正，保压，然后解除内外矫形器即可。对于那些口部严重挤压甚至口沿相连者，则应先以木楔等无伤害青铜质地的工具楔入口内，缓缓用刀，尽量大地撑开器口，直至内加力器可以放入为至，内外配合，分段进行，亦可使用两套以上的整形器分节设置，多支点同时加力。

（二）敞口窄颈圆鼓腹器青铜文物的矫形

这类器型类似于一个葫芦，口小肚大，给内加力器的放入带来了相当大的困难，在此情况下一方面可以改进缩小内加力器的周长，增大加力杆的长度；另一方面可将内置的整形器圆钢板分为二至三段，各段间以合页式加销钉固定，分段放入，再合并成整体使用。如果此两种情况均无法达到预期效果时，另用钢制台式长柄加力钳作为内置加力器，长钳柄稍长以增大杠杆的压力，尖端可适当弯曲。长柄钳分为单支点相夹式和双支点反向内撑式两种类型，应用时前者一端伸入器腔内，另一端置于与之相对应的器体外部，支点处预放垫块（或模块），长柄施力处钻孔套丝，用扳手紧丝缓加力经钳柄直达器物变形处。一般类似于单弧面凹点或翘起裂缝均可有效矫正，后者则在内支点处置放不同弧度的模块与自制的外加力器配合使用。

关于内撑加力器具，也可以借鉴混凝土楼层顶部浇筑或升降现房楼顶过程中用于支撑的升降杆的工作原理，按比例缩小，稍加改进，增加微小的齿轮传动等装置，应该说是可行的。

小型号窄口内空型青铜器挤压变形特严重者，不适宜运用这种多支点内外合力矫形器具。该类青铜文物和一些无法用常规器具整形的大型壁厚弹性差的文物如何处理留待文后再议。

以上是内空深腹多弧面青铜器的工具整形。还应该引以为戒的是合理运用止裂孔，工作中应避免造成文物的二次伤害。这种新式工具运用时从内到外与待整形之青铜文物器体紧紧地结合在一起，每一个单支点的加力必然带动与之相邻或相反方向的一至多个支点共同施压，牵一发而动全身，加一力则功效倍增，器正者确保不歪，器变者促其复位，加力卸力，运用自如，这是以往单支点矫形器具难以实现的。与之相比，平板类的青铜文物整形就不算太复杂了，一般用传统整形方法中的锤击法、模压法等就可以有效地完成这一任务。如果用钢板和加厚角铁制作一件台式平面矫形器（上下焊接固定50×30厘米的厚钢板各一块，钢板中间画大小不等的圆圈，圆圈上等距离钻孔，套丝，配备相应的螺栓和扳手），矫形过程将会更加轻松。

当然，从经济的角度来看待这一问题，制作这种矫形器一至数套所需费用也不是一个小数目，相当一部分中小型文博单位采用有一定困难。可以考虑开展馆际之间有偿或友谊借用，这样可以互通有无，加强各地文博单位之间的技术交流，增进双方的了解和信任，共同推动祖国文博事业的发展壮大。

应该引起我们格外注意的是青铜器矫形之法，从表面上看不外乎撑、挤、撬、压，其

实无常法，更不可能以一两种工具包治万器，平常要多动脑，善思考，根据器物不同的变形情况采用相应的方法，制作各种适宜的工具。

在对任何一件青铜器物进行整形修复之前，仔细观察，制订方案，这是一项不可少的工作程序，掌握相应的青铜文物的特殊性质是青铜器整形的关键，即青铜合金不同成分造成铜器的各种不同的性质，包括物理性质、化学性质和机械性质，纠正铜器的变形与焊接密切相关的是青铜器体的金属特性、腐蚀性、可焊性、塑性、弹性、脆性、硬度、强度和冲击韧性以及这些特性之间的相互联系。^① 简而言之，对待变形的青铜器可整则整，不可矫而强行之必将适得其反，使珍贵的文物再次受到人为损害，这是与矫形修复保护古代文物的美好初衷背道而驰的。故无论何时何地一定要严格遵守我国传统文物保护学科的严谨性和科学性。

近年来，随着国际性的学术交流活动的增多，西方文物保护理念逐渐被我国文物修复界了解和认识，相互之间既有共同点，也有差异性，这是在所难免的。作为不可再生资源 and 不可逆转之时空性载体的文物，自从其出土的那一刻起，修复与保护的问题就已经紧跟其后无所逃避了。意大利罗马文物保护修复中心主任 Cesare Brandi 在《文物修复理论》一书中提出了最小介入、可逆性、可再处理性和可识别性等文物保护的基本原则，以这是“一件艺术品”的观念看待每一件将要修复的文物，“只要想到这一点，我们在实施修复之前，就会对这件艺术品的原始意思进行再认识，也就是说通过这件艺术品的物质性和艺术性所具备的两性即美学价值、历史价值来进行再认识”。这样一种观念有效约束和促使每一位文物修复保护工作者从艺术品的高度去处理珍贵的文物，自觉增强自己从事文物工作的责任心及使命感，避免轻率无知，具有积极的现实意义。关于我国传统文物修复过程中的青铜器矫形问题，西方的修复理念持有不同的意见，认为这种操作会对青铜器身造成损害。反思我国传统整形技法中的“锯解法”的确嫌疑较大，它应是最初从服务于民间商业修复的过程中慢慢形成的，目前并不为现代文物修复理念所认同，贾文忠先生在《古玩保养与修复》一书里特别提到“一般古代青铜器不提倡采用锯解法”。这就是说对于变形破损非常严重且常规矫形技法无能为力者，不妨保留其本来的面貌，在充分展示古代珍贵文物自身的整体美和艺术魅力、弘扬祖国古代文化文明的同时，选取少量那些残损之器以其原状出现，从视觉上给人以强烈的震撼，不但无损古代青铜艺术品的完整性和展览形式与内容的和谐之美，而且能够激发人们自觉善待文物的紧迫感和积极性，从而更有利于文物修复保护工作的顺利开展。

① 高英：《青铜器的传统修复技术》，载中国文物保护技术学会编：《文物保护技术》第6辑，1991。

浅谈青铜器修复程序

中国农业博物馆 贾文忠

中国古代青铜器因收藏环境改变引起青铜器不能稳定存在的；或因地下墓葬塌陷、地层变化使青铜器被挤压变形、撞击而残破或缺损的；青铜器存在有害锈等可发展病害，影响完好存在的；青铜器表面被附着物覆盖，需要研究覆盖物下的文字、花纹等科技信息的都需要进行修复。青铜器修复是采用物理和化学的方法，通过特定的技能对腐蚀与残破的文物进行复原，达到修旧如旧目的。

一、青铜器修复相关原则及程序

（一）青铜器修复原则

（1）对青铜器进行修复时，首先研究青铜器病变机理，主动地采取科学的方法从根本上清除文物的病害并修复残破的部分，必须严格遵守“不改变文物原貌”的原则。“不改变文物原貌”是指不能改变文物原始形质或历代重新修复的原状。文物原状包括：文物构成的材料与文物形式、内容和工艺。

（2）文物修复要再现历史的真实，不能凭主观想象改变文物原物原貌，复原部分要求做到与其余部分相仿，对每件所要修复保护的文物，都要进行具体的分析研究，分别处理，反对将不成熟的技术随便地使用在珍贵文物上。

对于考古现场发掘出的破损严重或带彩绘青铜器，应当由修复工作者进行现场提取。目的是维持文物保存环境，减缓文物出土前后因环境等因素的变化对文物的影响，及时送有完备修复条件的修复室进行修复操作。

（3）青铜器修复原则：①消除隐患原则；②保存和再现历史信息遗存原则；③可逆性原则；④兼容性原则；⑤最小干预原则；⑥可辨识原则。

（二）青铜器修复程序

①青铜器现状调查登记；②青铜器材质结构分析及病害机理研究；③制订修复方案；④修复使用材料适用性分析；⑤前期实验和研究；⑥实施修复方案；⑦完成总结报告。

（三）青铜器修复中材料的选用原则

（1）用于青铜器修复的材料，要能保持青铜器的原貌，补缺部分质地、金相结构基本相符，无眩光，不变色，使青铜器在修复前后在外观上基本保持一致或力争恢复已损文物

原貌。

(2) 青铜器修复材料的性质和修复效果应具备长时间的稳定性，同时这种处理还应具有可逆性和再处理性。

(3) 青铜器修复材料能够起到治理和预防的双重作用，既能够消除影响青铜器存在的病害，又可以防止或延缓各种有害因素对青铜器的损坏。

二、青铜器修复前准备工作

(一) 对青铜器现状调查记录

青铜器现状调查记录是对青铜器属性、保存状态的真实详细记录。应包括以下内容：文物名称、登记号、等级、时代、质地、尺寸、重量、来源、埋藏环境、腐蚀与残破、现状描述、修复历史、影像记录等。

(二) 对青铜器进行科学检测分析

青铜器在实施修复方案前有条件的或较珍贵文物应进行系统的分析研究，它是青铜器修复的必要依据。主要检测分析青铜器组成成分、金相结构、保存状况、制作工艺、腐蚀产物、腐蚀机理等。目前采用的方法有：X 射线荧光光谱分析法、原子吸收光谱法、原子发射光谱法、X 射线电子能谱法、扫描电镜能谱法等。

(三) 在现状观察和检测分析基础上制定青铜器修复方案

确定修复项目的指导思想、修复的工艺路线、修复材料及实验，并对修复的主要程序、修复材料、方法配方、浓度、用量作出具体规定。

三、青铜器修复

瑰丽斑斓的腐蚀产物增添了青铜器的艺术魅力，成为其庄重古朴、年代久远的象征。但遇潮湿环境则加速腐蚀，腐蚀产物为氧化铜和氧化亚铜，这层矿化物对青铜基体有保护作用，可很好地阻止铜基体被继续氧化。

青铜器大多数曾经地下埋藏，因而受到不同程度的腐蚀。作为腐蚀介质土壤的毛细管及孔隙被空气、水和电解液充满。青铜器埋于地下，在空气、水、电解液的作用下，自然形成各种不同色彩的腐蚀覆盖层，有黑色的氧化铜（ CuO ）、红色的氧化亚铜（ Cu_2O ）、靛蓝色的硫酸铜（ CuSO_4 ）、蓝色的硫酸铜（ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ）、绿色的碱式硫酸铜（ $[\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ ）、白色的氯化亚铜矿（ CuCl ）、白色的氧化锡（ SnO_2 ）等不同色彩。绝大多数属腐蚀产物，不仅没有破坏古代艺术作品，反而更增添了青铜器艺术效果。古色的腐蚀层，成为青铜器庄严古朴、年代久远的象征，锈层一般并未改变青铜器物的形态，而且铜锈的性质也较稳定，不致使器物破坏。所以这类腐蚀层应保留。但鉴于大多数出土

青铜器基本上都是有土及锈包着，如要露出底色、花纹、图案、铭文，就必须除锈。但除锈又不能损伤铜器本胎，并要保留好的锈色。与基本除锈不同的是“粉状锈”的去除，青铜器锈蚀机理主要为氯离子的存在对青铜器的锈蚀影响最大，是产生“粉状锈”使青铜器遭到破坏的主要原因。要保护好青铜器，关键在于如何处理氯离子，怎样将氯离子从器物里层移出来加以除去，或者是把氯离子封闭、稳定在器物的内部，使之与氧气和水分隔绝，免受外界环境因素的影响。去除多余铜锈及“粉状锈”方法很多，采用何种方法除要视每件文物的具体情况而定，但总的有一条原则，必须保持器物的原貌，特别不能伤害器物的铭文、花纹和古斑。除锈方法主要有三类：即机械法、化学法和电化还原法。三类方法要相互配合使用。

（一）青铜器的去锈与保护

1. 清洗

青铜器的清洗，是要去除器物表面外来的附着物。在掌握了清洗对象的结构、成分，通过前期实验的前提下，选择清洗方法。清洗的试剂要安全有效，尽量减少对文物造成损害，做到最小干预。

2. 去除氯离子

青铜器文物的除氯，是要去除器物本体中存在的氯离子。青铜器本体中残留的氯离子如在可控制环境中可以稳定存在，不会化合为对文物有害的碱式氯化铜，可以不予去除。若要进行除氯操作，要求除氯彻底完全，确保使用的方法和试剂不会对青铜器本体造成化学腐蚀、机械损伤，不留存对文物有影响的化学成分。青铜器有害锈的去除及缓蚀处理方法，可用物理人工研磨、超声波激光方法机械去锈；或用化学 BTA - H₂O₂ 法对青铜器上的活性和非活性粉状锈局部清除和 AMT 复合剂清洗有害锈；或用锌粉与氢氧化钠电化还原去锈。

3. 去锈

青铜器文物的去锈，了解锈蚀结构、成分，分布范围、深度等方面的状况。去除在现有保存环境下，能够继续发展，会对文物存在造成影响的锈蚀。对于状态稳定不会继续发展的锈蚀产物原则上不要求去除。去锈操作结束要保证器物整体风格统一，不对文物本体造成损伤。

青铜器锈的去除，可采用机械方法和化学方法操作：

（1）机械方法

分为手工操作和机械操作。

①手工操作

多用于已暴露在青铜器表面上的粉状锈。可以用各种工具，如不锈钢针、锤子雕刻刀、凿子、镊子、不锈钢手术刀、多功能刻字笔、洁牙机等，直接在器物上操作，细心地将粉状锈剔除。在粉状锈去除后，往往会发现一层很薄的铜，这并不是青铜器的铜体，而是氯化铜水解过程中产生的铜。它的下面常掩盖着许多灰白色的氯化亚铜，因此，用钢针刺穿薄层铜质后，发现确系氯化物可将其去除，直至见到铜体为止。机械方法包括：挖

剔、削切、刮磨、锯解、扫刷、吹扫、打磨等。

②机械操作

喷砂机：可用于清除金属表面上的锈蚀和腐蚀产生，它的去锈原理是利用气压喷射金属微粒，锈会被迅速去除。该方法一快速，二方便，三去锈面积可大可小，这一点比激光器去锈、超声波去锈有更大优势，四是有些洞隙深处的锈也能去除。

激光去锈：采用激光对青铜器孔洞状深部病灶中氯化物的去除具有准确、易行的特点。主要利用激发出的巨大光能，瞬时作用在表面锈层上，使表面温度迅速上升，利用激光束同物质相互作用时产生的光热、光化、光压等光学效应。由于锈层结构疏松，对该能量的吸收能力强，因而将锈蚀层迅速烧熔，汽化与本体分离，它能够快速、高效、无污染地清除掉青铜器表面的绿色有害粉状锈，从而达到延长青铜器寿命、有效保护文物的目的。这种方法不适用于大面积有害锈的去除。

超声波去锈法：超声波清洗器，是采用超声波微机械振荡波，无论在固相、还是气相介质中均可以波的方式传播。其机理：借空泡作用，而发生高频冲击及振动液体，在超声波的一个周期中的某个时间受到负压，液体在液固界面被引开使那里成为真空，产生空化气泡，在另一时期，又因承受正压而空泡形成至破裂过程，以高频反复进行，对被清洗物品上的污垢进行周期性的强力冲击，而使之脱离物品，而污垢物品表面的空化气泡的剧烈振荡作用，更促使污垢自物品剥离，故超声波能达到极好的清洗效果。也可加入倍半碳酸钠溶液浸泡通过超声波加速反应，在很短的时间内达到长时间的浸泡处理效果。

另外，还可以用超声波洁牙机、刻字笔等。

(2) 化学法

用化学试剂配制除锈液，除锈液配方较多。

* 用5%~10%柠檬酸、5%~10%氢氧化铵、碱性酒石酸钾钠，可直接将青铜器置于除锈液中浸泡。

- * 倍半碳酸钠法；
- * 苯并三氮唑（BTA）法；
- * 过氧化氢法；
- * 乙腈法；
- * 氧化银保护法；
- * 柠檬酸和硫脲混合溶液法；
- * 碱性连二亚硫酸钠法。

4. 缓蚀处理

经过化学去锈的青铜器需经缓蚀处理，要求缓蚀层结构致密，与铜本体结合紧密，能够有效去除氯离子，不会改变文物外观；缓蚀效果长期有效。用BTA或AMT复合剂进行缓蚀处理。

5. 表面封护处理

青铜器文物表面的封护，是要能够有效抵抗外界有害成分的侵蚀、环境变化的影响。封护剂不易分解、对文物外观改变小、耐老化、有效期长。

6. 保存环境的控制

处理后的青铜器保存环境控制，是要控制锈蚀生成环境，避免与有害因素接触。青铜器保存要求湿度小于45%，室温保存。避免氧化性气体与文物的接触，控制达到无氯环境。

(二) 青铜器整形

青铜器在地下埋藏时，墓穴塌陷，地层变化，有些被挤压，有些被撞击，也有可能在辗转中发生破坏，因而就需要对这些青铜器进行整形。整形就是纠正变形。要根据铜器变形程度和铜质性质的延展性、弹性、塑性、脆性、强度、厚度及腐蚀程度，选择钣金技术、模压法及撑拉焊接等不同的方法整形。

- * 锤打法；
- * 模压法；
- * 工具整形法；
- * 加热整形法；
- * 锯解法。

各时期青铜器的特点：商、周、春秋早期铜器，因为铜器铸造的胎厚，而且入土年代久，没有弹性、韧性，不能用铅锤砸，变形的铜器要用绳捆，铅丝捆，台钳夹或钢锯锯。春秋中期和战国时期的铜器，精而薄，花纹比较活泼，而且出现了镶嵌金银、错花纹及铭文。这些破碎变形的大部分，或多或少的有了弹性软性，有弹性整形可用锤打法和模压法。

(三) 青铜器补配

有些青铜器出土时腐蚀严重，又有部分缺失，在修复时就需要进行补配。铜器补配是古代铜器修复技术中，复原残缺铜器的主要组成部分。由于铜器种类繁多，形状各异，残缺情况多种多样，补配方法也有所不同。通常用的方法有以下几种。

1. 打制补配

打制补配是利用加工金属的可塑性，通过特制工具的加工，使金属产生塑性变形来完成所需要的器形。这就需要首先了解被锤打“铜”的性质及其在变形度及锤打过程中的变化，才能充分掌握锤打技术。

打制补配方法：①拓剪纸样；②坯样剪裁；③锤打器形。

2. 铸造补配

(1) 低熔点合金补配：有些缺失附件形状特别，打制不便，则可用铸造方法来复原。用硅橡胶印模或石膏翻模，以锡锑或锡铅低熔点合金浇注。锡铅合金，锡铅比例6：4，锡的流动性好，铅的成本低，一般炉火上都可以熔化，方便易行。铸出配件后，经修饰花纹再补焊在器身上。经锉磨光洁，用三氯化铁涂抹使补缺部位颜色变黑，再作旧皮色。

(2) 失蜡铸造：失缺铜器的配件，可采用失蜡铸造，即工业上的精密铸造。

(3) 玻璃钢补配：树脂玻璃钢补配是指，在缺损青铜器部位，用环氧树脂加金属屑末

等原料，代替铜片或锡铅合金补配件。

（四）青铜器花纹的种类和雕刻、鑿花

铜器花纹种类很多，按制作方法可分为几类：①铸造花纹：花纹和铜器一起铸成。这类花纹在铜器中占绝大多数；②镶嵌花纹：铜器铸成后，在花纹的阴纹内镶嵌不同颜色的石料或金属，形成与铜器颜色不同的花纹，如嵌松石花纹、嵌红铜花纹（俗称铜镶铜）、嵌金银花纹（俗称“金银错”）。

修复青铜器补配工作完成后，补配的缺损部分与其他完好部位相比，有些还要补上花纹。补饰花纹，采用雕刻的方法。花纹的雕刻是铜器修复技术中最难的一种技术，是用钢錾在破残青铜器的缺块补配上雕刻出同原有部分统一风格的纹饰，除了要掌握雕刻技术外，更重要的是要熟悉和掌握古代各个不同时期铜器纹饰的风格，同时还必须会根据花纹的深浅宽窄、变化形式，打制各种直刃、弯刃、铲、沟、平、踩、挑、抹、眼等钢錾。钢錾的硬度和强度，必须大于铜器和铜质及配件。修复用的錾刀及工具用高碳钢（又称工具钢）制成。

鑿花：鑿花是一种用钢錾在铜板上雕刻花纹的技术。古代青铜器上多有纹饰和铭文，对于破残青铜器的缺块补配仅仅焊上花面铜板，还不理想，还应该雕刻出同原件统一风格的纹饰、铭文，这就需要鑿花。

胶板：胶板是雕刻花纹时固定物件的工具，用松香胶摊在木板上凝固，使用时将胶烤化，或用铁棍烧红将胶烫化成胶体，然后将物件放在软化的胶体上粘住，或将软化的胶按物件的形状制成胶槽，将物件放在胶槽上卡住。

松香胶的配方和制作法：黑松香1市斤，土粉子2.5~3.0市斤，植物油适量。

鑿花的过程是先在素面铜板的补块上，根据原来的纹样延续描绘出来，然后用松香胶板将要鑿花的补块或成件在胶板上粘结实。如：瓶、壶等中心空器物鑿花就可以在器内灌满胶，待胶冷却变硬就可以用錾子錾刻纹饰了，纹饰雕刻后棱角、边沿都较锋利，必须磨光，最后用磨炭蹭圆滑。完成后加热取出鑿花胶，一个青铜器的补块就完成了。

雕篆方法：①花纹的摹绘：将打制的胎坯表面先锉磨光洁，再摹绘上相应的花纹，才能鑿刻。根据残缺部分的花纹章法来摹绘。阴纹纹线用墨线画在铜器上，墨线之间为阳纹。先用毛笔沾墨标出小点，等所补纹饰的所有花纹全部标出，再将标出的各点用墨线串连一起，就成了线条连贯、轮廓清楚、尺寸正确的补配纹饰大样。所摹绘的花纹必须和配件所要对接的铜件花纹一致，所以测量标点时，先测标配件边缘的花纹，以保证配件花纹和原器物花纹对接；②花纹鑿刻：将画好花纹的配件固定在胶板上。鑿刻分“初刻、复刻、修整”三道工序。初刻是按配件已画好的墨线进行初步雕刻，形成初步刻纹；复刻是重复初刻的刻纹，加深刻纹的纹槽；修整是复刻完成前后，修整阳纹线的缺陷，使阳纹线工整、流畅。细回纹的描绘，在粗纹雕刻完后，在应鑿回纹素面上用墨全部涂黑，根据涂墨的面积大小和铜器上细回纹章法，先设计好回纹类型的腹稿，然后在墨黑的素面上直接鑿刻细回纹。

鑿刻时錾刀刀刃紧贴配件表面，对准墨线进行捶击，随錾刀进展，逐渐形成纹形，在

全部墨线被雕刻一遍，形成阳纹图像后，然后用细钢锉将纹两侧卷起的毛刺锉平，即可看到所篆刻形象。初刻纹形不工整，深度也不够，因此需要反复篆刻多次，来加深纹槽深度，修整阳纹形。一组花纹篆刻成功，连同修整纹形，需要反复雕刻七八次至十余次，复刻一次锉光一次，至花纹的阳纹形符合标准、与铜器花纹一样为止。细回纹前面已讲到，依此方法反复篆刻多次，至刻纹与原器纹一样为止。

（五）青铜器焊接

青铜器焊接是青铜器修复技术中的一个重要环节，是修复破碎青铜器、复原器形的较理想的一种方法。由于青铜器的年代、种类、性质、残破和腐蚀情况不同，焊接的难易也不同，所以在焊接过程中采取的方法、措施也是多种多样的。

近代工业上焊接方法有四十多种。作为文物焊接主要应用的是“锡焊法”，焊接学上叫“鼠接”，是比较原始的焊接方法。还有一种“镉锌钎焊法”，此方法焊接强度比锡焊高。

1. 锡焊法

锡焊法的优点是设备简单，操作方便，容易掌握；焊接所需的温度低（在 250°C ~ 450°C ），所需温度对焊件的影响小，对铜器保养来说，这无疑它是它的最大优点。缺点是焊接强度小，不能承担过重的物质或物体，不耐压力和冲击力，在较大外力作用下容易脱焊，同时由于焊锡熔点低（ 183°C ）而不耐高温。但是，一般来说这个缺点对于文物是不存在的，因为铜器在博物馆受到高度重视和细心保护，受外界影响小，所以用锡焊法来焊接破残的青铜器，仍是修复青铜器的好方法。

焊接所用材料和工具：

焊接“焊锡”是锡和铅的合金。锡占62%和铅占38%的焊锡，称作“点锡”。这种“点锡”对于铜器焊接有两个方便条件：①熔点低，易熔解，焊接温度无需太高；②焊锡在常温下凝固快，可以及时固定焊接，所有铜器焊接最好使用这种“点锡”作为焊料。

焊剂：松香、镪水。松香：是使用最早的焊剂，因为松香液体能够清洁焊件和焊锡，增强焊锡的流动性，在使用盐酸之前，松香一直是锡焊的焊剂。镪水：就是氯化锌溶液，在盐酸内加锌，即可获得。氯化锌的作用是清洗干净被焊接部位，可以保持焊接强度耐久。所以氯化锌溶液是铜器焊接的良好焊剂。

焊接的主要工具——烙铁：分电烙铁、火烙铁。火烙铁用厚约1厘米的红铜板裁成，长短、宽窄可根据需要决定，一般用的烙铁长约15厘米，宽约4厘米，一端锉成斧刀形状，刃部角度为 50° ~ 55° 。做法：用台钳倾斜地夹住裁好的红铜，用板锉锉成烙铁刃即可，然后在烙铁刃部分镀上焊锡。其他工具有：长柄火钳、扁嘴小钳、尖嘴钳、台钳、各种规格的钢锉和两头忙锉、细木锉等。

焊接前对铜器的整理：由于铜器大小、形状、薄厚和破残情况不同，对所修的铜器应首先查清它的块数，是多少块，是否短缺，破碎程度和腐蚀情况，然后再根据每一碎块的位置按对接顺序编号，缺少部分，将考虑补配复原。具体焊接工艺应根据器物壁厚设计焊口。在保证焊接强度的前提下，焊口越小越好。