

青铜器修复补配材料使用历史调查

蔡毓真 温建华

(北京大学考古文博学院, 北京, 100871)

摘要 青铜器修复历史悠久, 其中补配材料的使用也随时代发展而多样化, 文物修复概念萌芽阶段——20世纪90年代初期, 为补配材料使用的分水岭, 在这之前以补铸、旧铜器等为主要补配材料, 在这之后使用铜皮、铜合金与合成树脂等材料作为补配主要材料, 最后总结国内外古代到现代青铜修复补配材料的使用年代, 为文物保护人员再次修复时提供参考依据。

关键词 青铜器补配 补配材料历史 青铜器修复

引言

作为文物保护修复师, 文物修复的历史是必修课程, 我国从古代便有青铜器修复的工艺技术, 可以在出土文物上得到印证, 晚清至今仍有相当多的技术流传。现代青铜器保护修复技术随着材料科学发展, 材料使用相当多元, 特别是在清洁、补配、缓蚀与封护等修复步骤中都有新材料或技术的运用。

青铜器修复师不仅要修复考古出土不久的器物, 还要解决前人所使用的修复材料经过漫长岁月发生老化以及其对文物本体造成的新病害。因此除了对青铜本体腐蚀情况进行研究外, 对已使用过的修复材料与技术的了解也相当重要, 尤其是青铜器存在历史悠久, 其修复方法与材料的使用历史也随之发展, 其中又以补配材料发展最长久, 因此对古代青铜器的修补材料与方法及现代的修复材料与技术均需要有一定认识。

补配的意义除了恢复历史样貌与器物造型以彰显文物价值之外, 还能稳定结构, 对文物缺损处补配需要有依据, 不可臆测。青铜器补配材料发展研究中前人已有一些文献报道, 如说明修复历史与材料使用的专文——《青铜文物保护修复技术的中外比较研究》一文等进行青铜文物保护修复技术发展梳理^[1]、刘新德从材料性能的角度讨论如何选择并说明常用的补配方法^[2]、刘彦琪则对薄壁青铜器补全方法进行探究^[3], 更多文献则着重于修复应用等^[4-9]。

本文将针对青铜器补配材料进行文献梳理, 归纳过去至今在青铜器修复中使用的补配材料, 了解过去使用的材料种类以及使用时间, 说明材料性能与优缺点, 为修复人员提供参考。

1 青铜器补配材料的发展

1.1 商时期至20世纪初



图1 小口鼓腹鼎（足为后补）^[14]

青铜器最早的修补概念始于弥补铸造缺陷的熔补或补铸，在一些青铜器上都能观察到补铸痕迹，补铸工艺可分成嵌入式、单面突起式、双面补铸^[10]。另外也有案例是对缺损构件直接进行二次铸造，如战国中晚期的小口鼓腹鼎，足部外观和颜色均与器身不同，明显是后来铸造的（图1）。

最早用于青铜器修补的材料出现在商代盘龙城杨家嘴遗址出土一件青铜罍足内部，经检测分析后确认其成分为碳酸钙（方解石相），研究认为当时人们已知道烧制生石灰且加水后成为熟石灰，能够用于修补破损罍足^[11]，然而这样的例子只有一件，因此是否在商代就使用这样的材料修补青铜器仍待探究。

秦代铜车马、青铜水禽上则有“铜片镶嵌补缀工艺”（或铜片补缀工艺），其与补铸明显不同，使用硬质工具先在需要补缀处的缺损处周围凿出2~3mm的方形或长方形凹槽，接着镶嵌与凹槽大小、文物厚度一致的铜片，必要时可能进行捶打^[12]。

汉代薄壁青铜器的修补则是较明确的例子，薄壁青铜器长时间使用后出现裂隙的修补——使用铜皮从内外铆上，铜皮铆钉的修补方法目前已知最早从汉代开始使用，如西汉南越王墓出土铜甬（小盆或盆形有环的温器）就使用这样的方法，在器物底部铆钉葫芦型铜片^[13]（图2）。

在明万历高濂撰《遵生八笺·燕闲清赏笺·上卷·论新铸伪造辨》中提到：

“……若用铅补并冷焊者，悉以法蜡填饰器内，以山黄泥调稠遮掩，作出土状态。……”

“……以古壶盖作肚，屑凑古墓碎器飞龙脚焊上，以旧鼎耳作耳，造成一炉……”

由此可知，当时使用铅这种低熔点的金属补配，或者以旧铜器补配进而拼凑成一件新器。

到了近现代，约从清末至解放时期，民间出现补锅技术，使用工具有坩埚、火炉、风箱、煤块、砧凳、小锤、钻子和棉布卷等，首先利用连着风箱的小炉子填入焦煤作为燃料，在小坩埚内放生铁与古铜钱，拉风箱升温使之熔化，补锅匠人一手拿着棉布卷，上方放一些谷糠，另一手往谷糠浇铜水，谷糠遇热着火就迅速将其往破洞处补上。如果有裂缝直接上铁水，最后使用粗砂轮打磨、细砂纸整平即可^[15]。

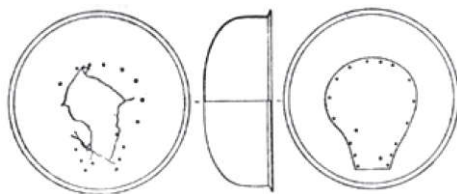


图2 铜皮铆接修补^[13]

1.2 20世纪初至今

文物修复的概念出现后不再使用旧铜器补配，而是使用另外的材料补配，根据使用材料性质可分为金属材料、树脂材料、无机材料、有机材料等。

补配技术则依据使用材料的不同而有不同方式，如选择铜皮补配则需要通过钣金工艺将铜皮敲打符合器物造型的铜片（图3和图4），合金材料铸造则采用翻模技术，将纹饰从相对位置以石膏等材料翻模后再浇注合金材料，另外还使用失蜡法^[16]与电铸法^[5]进行铜质文物的补配和修复。



图3 打制补配材料及工具



图4 打制补配工具

树脂材料除了能使用翻模技术进行补配外，也可用泥胎法，方法为先将器物外形以雕塑泥制作出来，之后逐一贴上残片，先以树脂黏接，缺失处再补上树脂与玻璃纤维布，固化后将胶料调和填料并涂敷于玻璃纤维布表面，最后打磨做旧^[17]。

1.2.1 金属

金属材料补配可分为铜皮打制补配与合金铸造补配，其中合金铸造补配种类在过去的报道中有：低温锡铅合金翻模铸造补配、铅锌合金翻模铸造补配、青铜合金翻模铸造补配、轴承合金（铍、铋）翻模铸造补配与镓铜合金补配（34%镓，56%铜）等，配合做旧手法，使青铜器恢复完整样貌。

1.2.1.1 红铜皮

红铜延展性高、塑性好，在大气、盐酸、稀硫酸等非氧化性、碱、盐与有机酸等环境下耐腐蚀性好，维氏硬度为85.2HV，为中国传统青铜器修复补配材料，铜皮打制补配多用于没有纹饰的器形，将铜皮捶打出符合器形的弧度以配缺^[18]，有的采用焊接方式固接，有的直接使用树脂黏接。

1.2.1.2 合金系列

（1）锡铅合金：熔点低，含锡60%与含铅40%的铅具有最低的共熔点（183℃）、流动性好、收缩性小，补配多用于纹饰复制、构件缺失情况，一般以硅橡胶、石膏或蜡翻模后再以铸造或失蜡法制作^[1, 2, 19]。

(2) 铅锌合金：也曾用于修复，通过浇铸制作缺失处，以焊接方式固接，由于质地与青铜文物不同、机械性能较低，现在较少使用，此外在锌合金中，铅元素为杂质元素，会使锌合金产生严重的晶间腐蚀、降低机械性能，如果铅含量过高，会造成表面鼓泡^[5]。

(3) 青铜合金：古代青铜器为铜锡或铜锡铅合金，与纯铜相比，硬度提高，熔点降低至800℃，耐磨性、耐腐蚀性提高，现代青铜则是由不同元素组成的铜基合金，如锡青铜（Sn 6~7，Pb≤0.02，P 0.1~0.25……）、铝青铜、铍青铜、硅青铜和磷青铜等，掺杂不同元素而使金属有不同的性能。青铜器修复中将青铜合金作为铸造配缺与复制材料^[20]。

(4) 轴承合金：为一种软基体上分布硬颗粒相的低熔点轴承合金，文献中使用于铜镜的补配，将轴承合金熔化后加入少量铋、铈以增加其流动性、脆性与光滑度^[6]。

(5) 镓铜合金：补配配比为34%镓56%铜，由R. M. Organ提出，作者认为有潜力作为补配材料，制备方法为将新鲜的脱氧的铜粉末倒入已经熔化、温度高于30℃的镓中，形成软质的块状物后放入一个模型或者空腔中，保持25℃的温度，4h后硬化^[21]。然而镓在地壳中含量极少，提取困难，使用成本过高，此外其虽然对人体皮肤无害，但进入体内会造成肾脏毒性^[22]，因此不适合用于修复。

1.2.2 合成树脂及其混合物

除了以金属材质进行补配外，合成树脂也成为青铜器的补配材料的选择，特别是对于矿化严重、无铜质且无法焊接的青铜器，合成树脂除了具备黏接功能外，也能根据文物结构的强度而调制出较相近的硬度，避免补配处强度大于原文物，导致文物有新的断裂。树脂材料补配多以翻模复制纹饰，依不同树脂再分为环氧树脂、不饱和聚酯树脂、酚醛树脂、丙烯酸树脂、氰基丙烯酸酯等^[23, 24]；无机材料为石膏、金属丝网+水泥+金属粉末，有机材料为纸浆/纸纤维。

1.2.2.1 聚乙烯醇缩醛（polyvinyl acetals）

聚乙烯醇缩醛于1930年被发现，用于工业黏接与涂料领域，聚乙烯醇缩甲醛、聚乙烯醇缩丁醛、混合缩醛等均属于此类树脂，其中前二者应用范围较广，能够用于黏接陶瓷、橡胶、纸张等材料^[25]。R. M. Organ于1961年报道中提到AJK面团即是使用聚乙烯醇缩醛、黄麻纤维、高岭土混合制成，由伦敦考古学院研制，用于铁质修复^[21]，其为热塑性材料，收缩率大。

1.2.2.2 聚乙酸乙烯酯（polyvinyl acetate）

聚乙酸乙烯酯又称聚醋酸乙烯酯，软化点为38℃，熔点为60℃，与乙醇、乙酸、丙酮、乙酸乙酯互溶，可用水稀释，但潮湿环境中容易水解或发生皱缩^[26]，耐候性能差^[27]。H. J. Plenderleith在《古物及艺术品的保养（处理、整修与复原）》中提到将毛毡捶成与所需补配部位大致相仿的形状，在聚乙酸乙烯酯中浸透，半干可捏塑时，塑造成形^[28]。

1.2.2.3 不饱和聚酯树脂（unsaturated polyester resin）

不饱和聚酯树脂简称聚酯树脂（polyester resin），英文缩写为UP，是二元醇或二元酸或多元醇和多元酸缩聚而成的高分子化合物总称。特点为室温固化，固化速度快，黏度低，易渗透，黏接强度高，耐摩擦、耐热性能佳，操作方便，力学性能介于环氧树脂与酚醛树脂；缺点是固化体积收缩率大，容易开裂，脆性大而耐冲击性能差^[29, 30]（图5）。国内于1958年开始生产不饱和聚酯树脂，20世纪70年代民间开始发展玻璃钢制品^[31]。1980年有文献对不饱和聚酯树脂玻璃钢的耐候、耐水、耐酸、耐油等四种性能进行老化研究报道，试验结果显示通过自然暴晒、冷热水浸泡、强酸浸泡、汽油浸泡等分别测试其吸水性、弯曲强度，191#与196#型不饱和聚酯树脂表现较好^[32]。

由于树脂内添加苯乙烯，使用时味道极大，对人眼、气管、黏膜有刺激，需要在通风良好的场所操作，避免对使用人员的健康造成影响。图6为不饱和聚酯树脂产品的补配效果。



图5 不饱和聚酯树脂



图6 不饱和聚酯树脂补配范例

Organ曾使用双组分聚酯材料+矿物填料“Bonda-filler”作为补配材料^[21]；现代青铜器修复中常用补配材料产品——云石胶的组成有两种，其中一种是不饱和聚酯树脂加云石粉制成，多用于石材、建筑行业，对石材间的黏接或修补、处理石材表面裂缝、断裂等效果良好，透明性好、容易着色，缺点是胶体韧性低、强度小，固化剂比例过高会降低黏接强度，导致脆性提高，此外，不饱和聚酯树脂耐候性差，在潮湿环境中容易水解、老化^[33]。

1.2.2.4 环氧树脂 (epoxy resin)

国内在1958年开始工业生产环氧树脂，环氧树脂种类多样，分子中含有两个或两个以上的环氧基团的有机化合物都称为环氧树脂，分子量不高。环氧树脂分子链中的环氧基团能够与多种固化剂发生交联反应，形成不溶的三维网状结构的高聚物，属于热固型树脂，键结力强以达到黏接效果。按分子结构大致可分为缩水甘油醚类环氧树脂、缩水甘油酯类环氧树脂、缩水甘油胺类环氧树脂、环氧烷烃环氧树脂、脂环族类环氧树脂以及其他新型环氧树脂^[34]，最常使用的是缩水甘油醚类环氧树脂这一大类中的双酚A型环氧树脂，国内称为E型环氧树脂^[35]。环氧树脂抗剪力强度高^[36]、收缩率小，耐介质腐蚀等，但大部分的环氧树脂产品耐紫外差，容易黄化^[37]。青铜器修复中使用过的环氧树脂种类或产品大致有以下7类。

(1) 618型 (E51) / 聚酰胺：双酚A二缩水甘油醚类，具有高环氧值 (>0.40)，固化快但强度稍低，适合用于浇注；莫鹏等修复青铜器使用的瑞士金钱万能胶即属于此类^[38]。图7与图8为尝试使用不同填料加入环氧树脂中，固化后观察其补配效果。

(2) 云石胶：云石胶的另一种组分为环氧树脂，陈琦曾使用环氧树脂型云石胶作为青铜器修复的补配材料^[9]。邓任生在汉代青铜马的修复上使用了云石胶补配^[39]。云石胶多用于石材黏接与表面缝隙修补，能够在潮湿环境中固化，收缩率小，耐热与耐化学药品性，机械性能强、流动性较差。

(3) UHU PLUS：UHU PLUS为德国品牌，成分为环氧树脂双组分材料，不吸湿、强度大，青铜器修复中乃是将环氧树脂加入硅粉，使之消光与增稠，并以矿物颜料调色^[40]，或者将UHU PLUS加入环氧颜料作为青铜器修复补配材料^[41]。



图7 环氧树脂+金属粉



图8 不同填料补配效果

(4) Araldite2020 双组分: Araldite为美国品牌,为双组分环氧树脂,室温固化、黏度低、耐化学介质、抗冲击性能好,无毒,崔丽娟等将其作为铜镜修复的补配材料,为加强补配强度,在树脂内加衬^[42]。

(5) AAA超能胶与石粉: AAA超能胶为环氧树脂双组分型,黏接强度与硬度高,通常加入石粉(石膏粉、石英粉、滑石粉),或按补配需要加入铜筋、玻璃布增加强度^[43-45]。

(6) 普施QUICKCOPPER速成铜胶棒: 为胶泥状双组分同芯胶棒的加固型修补产品,对铜与铜合金有强烈的黏接效果,无毒、不溶解、强度强,固化快。青铜器修复中经常使用此产品补配,可以翻模补配、捏塑补配,运用范围广,固化后可直接进行打磨修整^[7, 8, 23](图9)。除了速成铜产品外,还有速成木、速成钢、水中补等产品,产品之间的差异在于操作时间、硬度强度等不同,如速成木可操作时间长,硬度与强度比速成铜低^[8]。

(7) 安特固: 为速干型环氧树脂,近年来用于青铜器焊接后灌缝、黏接与补配中,固化后坚硬^[46](图10)。



图9 速成铜补配范例



图10 速干型环氧树脂补配范例

1.2.2.5 丙烯酸酯

1) 改性丙烯酸酯胶黏剂

改性丙烯酸酯胶黏剂是以过氧化氢型的过氧化物为引发剂, Du Pont 808醛胺缩合物为促进剂的胶黏剂,固化后带有些微韧性,剥离强度与冲击强度性能明显提高。优点在于室温环境固化快,低

温环境也可固化，对于黏接面处理要求不严格，双组分调配比例要求也不严格。缺点则是气味大、有毒性，对产品有腐蚀性，固化时大量放热不适合大面积黏接、大间隙的黏接和灌封，耐热与耐候性不佳，不适用于紫铜、黄铜的黏接^[47]。此类产品用于青铜器修复中的有哥俩好，味道非常强烈、大量放热。

2) 氰基丙烯酸酯 (cyanoacrylate)

成分以 α -氰基丙烯酸甲酯为主，又称快干胶、三秒胶、瞬间胶、502胶，为单组分、流动性高的透明液体，胶黏剂涂布后溶剂会蒸发，通过与微量水分（氢氧离子）催化，使单体进行阴离子聚合反应（anionic polymerization）形成长且强的链，进而起到黏接作用^[48]（图11）。目前市售产品除了氰基丙烯酸酯，如502胶，还有乙基型，固化速度和强度稍微强于氰基，如乐泰401。其优点为固化快、透明度高，但脆性高、耐碱性、耐热与耐水性差，高温下耐湿性更差^[49]，固化过程遇到大量水分容易发生雾白情况并造成黏接强度降低。



图11 氰基丙烯酸酯

青铜器修复中多用于黏接，在补配上则为小缝隙、小孔、局部缺损处的快速填补，将青铜锈粉、土粉等填入小缝隙、小孔、局部缺损处，再以氰基丙烯酸酯滴加以达到补配效果。

1.2.2.6 酚醛树脂 (phenol-formaldehyde Resin)

酚醛树脂又称电木粉，发展年代相当早，国内于1946年开始生产。其由酚类化合物与醛类化合物缩聚而成，其中以苯酚和甲醛缩聚的酚醛树脂最为重要，为无色或黄褐色透明物，可分成热塑型与热固型两种，耐弱酸和弱碱、耐高温，不溶于水，溶于丙酮、乙醇等，常用于保温、防火、隔热产品。酚醛树脂黏接强度高、化学性质稳定，但长期使用后发现其强度性能明显下降，耐湿热老化差，原因在于其分子链上有活泼的羟基和亚甲基，容易被氧化，其中酚羟基不稳定，在一定温度下容易断裂^[50]。

1.2.2.7 复合类型产品

1) 玻璃钢+树脂

玻璃钢又称玻璃纤维增强塑料（FRP或GRE），一般将合成树脂作为胶黏剂，玻璃纤维布为增强材料，密度小、强度高、质地硬、耐腐蚀性能好、操作简单，依基体树脂可分为环氧玻璃钢、不饱和聚酯玻璃钢、酚醛玻璃钢与呋喃玻璃钢等^[51]；依纤维种类分为玻璃纤维、碳纤维、硼纤维等。优点是质量轻、耐腐蚀，但其刚性不足、不耐长期高温、不耐紫外光、剪切强度低。用于青铜修复密度不足，手感欠佳，需要加入青铜粉作为填料，增加重量与降低收缩率^[52]。

2) 原子灰

原子灰（poly-putty base）可分为水性原子灰与油性原子灰，水性原子灰以丙烯酸共聚物为基底，加入填料、颜料等，不需要固化剂，多用于木质家具、墙壁补缝、模型制作等；油性原子灰多用于汽车钣金修理，近20年来发展快速，主要成分为不饱和聚酯树脂，配入钴盐引发剂、阻聚剂，并加入各种填料（如滑石粉、轻质碳酸钙、苯乙烯等），用过氧化物作为固化剂。主剂与固化剂在常温下互相交联固化且固化快，形成坚硬固体，容易打磨、附着力强，耐热温度达120℃^[53]。青铜器修复中一般使用油性原子灰，通常与铜皮补配，用来赋平与文物壁厚之间的落差，或直接翻模补配^[54-56]。

3) 铜质修补剂

铜制修补剂由合金粉末与改性增韧耐热树脂复合调配制成,适用于黄铜、青铜铸件和铸造缺陷的修补,强度高,耐磨与耐老化性能强,固化不收缩。在常温下固化时间为1天,若加温80℃则可以使固化时间缩短成1~2h,完全固化需要一天半,最高耐温180℃^[23]。贾文熙等使用美国Devcon铜质修补剂作为青铜器黏接、补配材料,对矿化严重的青铜器有良好的黏接性,固化后不收缩、固化快(固化时间2h)、硬度高^[57]。



图12 石膏补配范例

1.2.3 石膏

石膏主要成分为硫酸钙水合物,依其成分、物理特征、用途外观,其名称与应用范围也不同,如建筑石膏、脱硫石膏、 α 高强石膏、生石膏、熟石膏、无水石膏、模具石膏、齿科石膏、玻璃纤维增强石膏(GRG)等^[58-59]。石膏由于操作方便、不变形、强度高特性而曾被运用于青铜器补配,但其易碎且作旧后的质感仍与青铜器有差异,但其材料因取得、操作便利等特性仍持续在使用,胡家喜等^[60]、李瑾^[23]等都使用石膏补配过。图12为使用石膏补配的效果。

1.2.4 铜丝网、水泥与金属粉

使用时间不明,目前仅知上海博物馆一件商晚期兽面纹簋过去使用金属网丝为基体,加入水泥与金属粉末作为补配材料,表面还有环氧树脂与金属粉末,二次修复时不易移除^[61]。

1.2.5 纸浆/纸纤维

纸浆/纸纤维补配青铜器使用时间大约在民国初年,迄今已知使用案例为“台湾中央研究院”历史语言研究所一批青铜器,然而现代工艺制作中却有这样的案例,一位北京通州区的马艺华就利用纸浆制作青铜器,纹饰、腐蚀质感等都能仿制^[62],图13与图14为尝试使用纸浆制作铜镜。



图13 制浆



图14 纸浆制作范例

2 结 论

由前人研究中梳理出青铜器修复曾使用的补配材料相当多,大致可分成三大类:金属、树脂与其他材质,金属与树脂是目前修复中使用的主流材料,除了过去青铜器修复传统传承下来的材料外,新材料也由于其操作便利而广泛被接受。

从时间脉络来看,金属材料作为补配是最早也是使用最久的补配材料,至今能持续使用,原因在于其与原材料的性质极度相似;中间有一段时间出现不同材料的尝试(纸浆、呋喃树脂),尔后高分子材料的开发也促使各种类的树脂用于青铜器补配,经过时间考验与使用者的需求,部分树脂材料被淘汰不再使用。

目前常使用的材料有铜皮与锡铅合金、环氧树脂,其中对于补配材料相关研究较多的是针对树脂材料进行耐候性能研究,树脂材料的耐候性能是使用的一大考虑重点,相比金属补配材料则无此考量,反而在焊药使用上是否会对器物造成影响,这是需要注意的。

参 考 文 献

- [1] 梁宏刚,王贺. 青铜文物保护修复技术的中外比较研究[J]. 南方文物, 2015, (1): 81-88.
- [2] 刘新德. 浅谈青铜鼎配补修复[J]. 文物修复与研究, 2016: 79-82.
- [3] 刘彦琪. 薄壁残缺青铜器的补全工艺研究[J]. 文物修复与研究, 2016: 127-132.
- [4] 张海滨,刘新德,王雪梅,等. 克黄升鼎铸造技术考察及其修复补铸[J]. 文物春秋, 2017, (2): 51-57.
- [5] 罗夜起. 用电铸法进行铜质文物的补配和修复[A]//中国文物保护技术协会第二届学术年会论文集[C]. 2002: 83-84.
- [6] 易泽林,易锋戈. 残缺故事纹饰青铜镜补配修复[J]. 文物修复与研究, 2016: 20-22.
- [7] 赵晓伟. PSI在速成铜胶上青铜豹镇修复中的应用[A]//文物保护研究新论(三)[C]. 北京: 文物出版社, 2012: 101-105.
- [8] 王金潮. 美国P.S.I公司生产的速成胶在文物修复中的应用[J]. 东南文化, 1995, (4): 67-68.
- [9] 陈琦. 浅谈文物修复中补配材料的应用[J]. 文物修复与研究, 2014: 98-100.
- [10] 胡东波. 文物的X射线成像[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 78-80.
- [11] 李洋,黎骥,童华. 盘龙城杨家嘴遗址M26出土青铜罍足内壁白色物质的初步分析[J]. 江汉考古, 2016, (2): 114-117.
- [12] 邵安定,梅建军,杨军昌,等. 秦始皇帝陵园出土青铜水禽的补缀工艺及相关问题初探[J]. 考古, 2014, (7): 96-104.
- [13] 李洋. 炉捶之间: 先秦两汉时期热锻薄壁青铜器研究[M]. 上海: 上海古籍出版社, 2017: 123.
- [14] http://www.capitalmuseum.org.cn/jpdc/content/2011-01/19/content_23807.htm.
- [15] 夏启平. 补锅铜碗的旧事[J]. 文史博览, 2008, (12): 62.
- [16] 贾文忠. 文物修复与复制[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 24-25.
- [17] 王海阔,姚志新. 应用玻璃钢修复文物[J]. 考古与文物, 1986, (3): 107-110.
- [18] 贾文忠. 文物修复与复制[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 22-23.
- [19] 潘慧琳. 青铜器修复复制中低熔点金属与化学镀铜的应用[A]//全国考古与文物保护化学学术会议论文集[C]. 2002.
- [20] 周宝中. 文物修复与辨伪[M]. 郑州: 大象出版社, 2007: 56.
- [21] Organ R M. The consolidation of fragile metallic objects[J]. Studies in Conservation, 1961, 6 (4): 135-136.
- [22] 金属百科<http://baike.asianmetal.cn/metal/ga/ga.shtml>.
- [23] 李瑾. 浅谈文物修复黏接剂的配适性[J]. 文物修复与研究, 2009: 443-450.
- [24] 贾文忠. 青铜器修复程序[A]//李震,贾文忠. 青铜器修复与鉴定[M]. 北京: 文物出版社, 2012: 166-177.
- [25] 汤显玉. 聚乙烯醇缩醛类树脂应用新领域[J]. 辽宁化工, 1984, (1): 31-36.
- [26] 李实,李云鹤,向晓梅,等. 聚乙烯醇和聚醋酸乙烯在特殊环境中的光照老化试验[J]. 敦煌研究, 1992, (4): 61-77, 124.

- [27] 契尔尼纳 D3, 武雅茹. 聚酯酸乙烯酯胶粘剂 [J]. 粘接, 1980, (3): 27-31.
- [28] 作铭. 古物和艺术品的保存方法 [J]. 考古, 1958, (2): 82-83.
- [29] 枫轩. 不饱和聚酯树脂胶粘剂 [J]. 热固性树脂, 1990, (2): 58-60.
- [30] 李玲. 不饱和聚酯树脂及其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 6.
- [31] 张小苹. 不饱和聚酯树脂及其新发展 [J]. 纤维复合材料, 2008, (2): 23-30.
- [32] 建材二五三厂老化组. 不饱和聚酯玻璃钢老化试验报告 [J]. 玻璃钢, 1980, (2): 13-16, 44.
- [33] 何冬梅, 陈炳耀, 毛秋燕, 等. 浅析云石胶与干挂胶的区别和应用 [J]. 建材发展导向, 2017, 15(24): 39-41.
- [34] 陈平, 刘胜平, 王德中. 环氧树脂及其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 3-5.
- [35] 李建宗, 徐晓鸣. 国内环氧树脂发展概述 [J]. 热固性树脂, 1986, (4): 44-57.
- [36] 史磊, 杨新建. 青铜器修复中焊接与黏接工艺的现状与展望 [J]. 文物修复与研究, 2003: 24-26.
- [37] 王菊琳, 席鹏, 陈青. 金属文物用黏接材料物理化学性能及应用效果分析 [A] // 中国考古与文物保护化学学术研讨会论文集 [C]. 2006: 289-292.
- [38] 莫鹏, 许方强. 广州象岗南越王墓出土青铜器的保护与修复 [J]. 文物修复与研究, 1995: 25-35.
- [39] 邓任生. 浅谈汉代青铜马的修复 [J]. 文物修复与研究, 2009: 50-51.
- [40] 张恒金, 于晓靖. 文物修复理论在青铜敦修复中的应用 [A] // (意) 马里奥·米凯利, 詹长法. 文物保护与修复的问题 (第2卷) [C]. 北京: 文物出版社, 2009: 10-14.
- [41] 张奎, 张俊才. 晋侯墓青铜盘的修复 [J]. 文物世界, 2007, (2): 70-72.
- [42] 崔丽娟. 一批古铜镜保护修复及体会 [J]. 文物修复与研究, 2016: 157-162.
- [43] 肖磷, 曾帆. 彭州宋代铜琮修复 [J]. 文物修复与研究, 2003: 22-23.
- [44] 贾文忠. 青铜器修复程序 [A] // 李震, 贾文忠. 青铜器修复与鉴定 [M]. 北京: 文物出版社, 2012: 171.
- [45] 李园. 一件清代牛形铜(?)的保护与修复 [A] // 博物馆学文集(8) [C]. 长沙: 岳麓书社, 2013: 264-266.
- [46] 许玲, 江化国, 葛洪, 等. 传统与现代保护修复方法在一件战国铜鼎上的契合 [A] // 文物保护研究新论(三) [C]. 北京: 文物出版社, 2012: 111.
- [47] 改性丙烯酸酯胶黏剂. <https://baike.baidu.com/item/%E6%94%B9%E6%80%A7%E4%B8%99%E7%83%AF%E9%85%B8%E9%85%AF%E8%83%B6%E9%BB%8F%E5%89%82/9786171?fr=aladdin>.
- [48] 刘万章, 张在新. 氰基丙烯酸酯胶黏剂的发展现状和动态 [J]. 中国胶粘剂, 2004, (2): 40-45.
- [49] 聂聪, 刘洁, 黄海江. α -氰基丙烯酸酯胶黏剂的耐湿热老化性能研究 [J]. 中国胶粘剂, 2013, 22(1): 9-11.
- [50] 胡玉静, 邹文俊, 彭进. 酚醛树脂耐湿热老化性能研究进展 [J]. 塑料工业, 2014, 42(4): 7-11.
- [51] 张俊生. 文物复制中玻璃钢技术的应用 [J]. 文物修复与研究, 2007: 342-344.
- [52] 卢燕玲. 礼县大堡子山出土垂鳞纹秦铜鼎的保护修复 [J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24(2): 95-101.
- [53] 刘文彬. 原子灰在文物修复中的利用 [A] // 耕耘录: 吉林省博物院学术文集 [C]. 长春: 吉林人民出版社, 2010: 200-203.
- [54] 王志强, 赵家英, 陈仲陶, 等. 甘肃平凉地区明代铜佛的修复保护和科学分析 [J]. 文物修复与研究, 2007.
- [55] 陈振耀. 河南信阳黄国贵族墓出土青铜鼎的保护研究与修复 [J]. 文物修复与研究, 2016: 192-197.
- [56] 陈仲陶. 红铜镶嵌鸟兽纹铜壶的修复——兼谈文物保护修复原则的灵活运用 [J]. 中国文物科学研究, 2007, (3): 72-75.
- [57] 贾文熙, 郭移洪. 美国Devcon铜质修补剂在修复青铜器中的应用 [J]. 文物保护与考古科学, 1996, (1): 51-54.
- [58] 李青. 模型石膏的制备、性能及应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [59] 张欢. α 高强度石膏的发展和探析 [N]. 中国建材报, 2017-06-29(007).
- [60] 胡家喜, 丁国荣. 古代青铜器腐蚀后的加固和修复 [J]. 江汉考古, 1987, (3): 92-93, 104.
- [61] 钱青. 兽面纹簋的修复 [A] // 中国文物保护技术协会第六次学术年会论文集 [C]. 北京: 科学出版社, 2009: 30-33.
- [62] 北京通州“巧手匠”用薄纸造出“青铜器”上春晚 [EB/OL]. http://www.bjwmb.gov.cn/jrd/qhxw/20160112_764179.htm.