

# 越王勾践剑为什么千年不锈

□ 邹晓川 张欢 杨明燕

寒假参观湖北省博物馆,一定不能错过被誉为“天下第一剑”的越王勾践剑。

这把剑最惊人之处是,尽管在地下沉睡了两千多年,出土时却依旧寒光闪闪、锋芒不减,几乎不见锈蚀。

为什么一把剑能跨越千年时光“青春永驻”?答案就藏在一场精妙的化学反应中。

## 剑身裹致密铜绿“铠甲”

要解开越王勾践剑的不锈之谜,首先要明白金属腐蚀的本质。大多数金属在自然界中并不稳定,它们倾向于和周围环境中的水、氧气等发生反应,变回更稳定的化合物状态,这个过程就是“生锈”。

然而,“生锈”与“锈”大不相同,这正是问题的关键。

生活中常见的铁器,其铁锈的主要成分是水合氧化铁。这种物质结构疏松多孔,像一块海绵,无法隔绝外界的空气和水分。因此,一旦开始生锈,腐蚀就会持续向内深入,直到整个器物瓦解。这是一个彻底的破坏过程。

而越王勾践剑是青铜剑身,表面那层锈是名为碱式碳酸铜的化合物,俗称“铜绿”。它的结构非常致密、均匀,像一层高质量的漆,紧密附着在剑身表面,将剑身内部与外界腐蚀环境隔开,减缓了金属的腐蚀。

## 环境与材质作用下的化学反应

这层“铠甲”的形成,本质是环境与材质共同作用下的一场化学反应。

越王勾践剑所在的望山一号楚墓墓室棺椁保存完好,内部环境密封完整,避免了剧烈的温度、湿度波动,以



越王勾践剑 新华社记者 程敏 摄

及氯离子等对铜剑的持续侵袭。

研究表明,在中性或弱碱性且富含腐殖酸的环境中,更有利于铜器表面形成致密的“铜绿”保护膜。化学反应方程式为:  $2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ 。

科研人员利用X射线荧光光谱仪等现代化学分析仪器,确认越王勾践剑为铜、锡、铅合金,并含有微量的其他元素。

其中锡含量较高,约占20%,显著提高了铜合金的硬度与强度。此外,适

当的锡含量能促进青铜表面生成更致密、更稳定的腐蚀产物层。而铅的分布呈不均匀的颗粒状,有利于在铸造时改善金属液的流动性,减少缩孔,但不会过多影响整体的耐蚀性。

这种“化学智慧”,也为现代金属防腐技术,尤其是在文物保护领域的应用,提供了宝贵的灵感。

(作者邹晓川系重庆第二师范学院生物与化学工程学院教授,张欢、杨明燕均系重庆第二师范学院生物与化学工程学院化学专业本科生)

## “深海勇士”号伸出机械手,在1500米海底精准“抓娃娃”

# “黑科技”打捞的明代沉船珍宝亮相北京

□ 科普时报记者 李诏宇



蓝色灯光在地面营造出水波粼粼的效果,海浪声和幽远的鲸啸回荡在展厅,1500米深的海底世界被“搬”到了北京大运河博物馆。“向海而行——中国南海西北陆坡海域深海考古特展”现场,377件(组)明代珍宝诉说着500年前海上丝绸之路的故事。展览持续至3月15日。

这些文物来自南海西北陆坡一号、二号沉船。这两艘沉船于2022年10月被发现于南海海底,遗址水深约1500米,其年代分别为明朝正德、弘治年间。一号沉船满载景德镇外销陶瓷,二号沉船则装满了从海外运回的乌木。这一发现填补了我国关于海上丝绸之路进口贸易回航的历史记录空白,见证了古代海上丝绸之路双向贸易的繁荣。

## 文物反映明代高超制瓷工艺

展厅里陈列着一号沉船出水的精美瓷器。青花鱼跃龙门应龙纹大盘纹饰布满整个盘面,颇具气势;青花八仙人物故事图罐体量较大,造型敦实;装饰着缠枝花卉、莲池鸳鸯、双狮戏球等纹样的青花瓷,体现了中国传统艺术的雅致风格,传递出吉祥美好寓意。

独立展柜中,珐华贴金镂空孔雀牡丹纹大罐、珐华贴金镂空应龙云海纹梅瓶等珐华器绚丽夺目。

造型生动的素三彩象形执壶、鹭形执壶、螺形执壶……琳琅满目的文物反映了明代制瓷工艺的高超水平。

## 深海考古应用多种“黑科技”

这些精美文物是如何被考古人员从1500米深的海底找

到,并完好提取出来的?

要知道,1500米深的海底终年黑暗,水温仅3℃-4℃,静水压力是海平面的150倍,远远超过潜水员所能承受的极限。没有科技的支撑,深海就是一片考古盲区。这两艘明代沉船遗址深海考古,应用了多种深海技术和装备。

例如,考古人员使用三维激光扫描仪和高清相机,完成沉船遗址分布区域的全景摄影拼接和三维激光扫描,初步掌握文物分布状况;使用潜载抽泥、吹泥装置对计划提取的文物和部分重要区域进行了抽泥、吹泥作业;调用我国自主研发、国产化率超过95%、最大下潜深度达4500米的载人潜水器“深海勇士”号,开展水下作业——考古人员乘坐着“深海勇士”号,下潜至1500米海底,深度调查、记录、研究遗址,提取文物和样品。

在提取文物环节,“深海勇士”号更是功不可没。按照计划路线下潜触底瞬间,“深海勇士”号潜水器灯随之亮起。载人舱外,两条机械臂的末端连接

着机械手,其中一只机械手套上了柔性材料,小心翼翼地提取沉睡了数百年的文物。这个动作看似“抓娃娃”,实则科技含量十足:外置高清摄像机记录载人潜水器的工作场景;高定位精度、高分辨率的影像数据,三维扫描数据和物探扫描数据的采集、拼接与渲染,可以帮助考古学家绘制出沉船遗址平面图……

## 多重保护修复让文物获新生

文物出水后环境剧变,如果不经恰当处理,很快就会“生病”,甚至酥解。

深海盐分浓度较高,陶瓷空隙里满是氯离子,出水后由于温度和湿度的急剧变化,便会反复结晶和溶解。所以对于刚出水的文物,当务之急就是进行清洗和脱盐。

清洗不仅需要工作人员细致入微,还需要根据文物材质、釉色和污染状况,综合运用物理刷洗、化学溶剂浸泡等手段,确保在清洗污垢的同时,不损害文物的历史信息和艺术价值。

完成清洗后,紧接着是脱盐。文物保护人员将其浸泡于去离子水中,利用脱盐技术使渗入陶瓷内部的盐分逐渐析出。这一过程往往需要持续数月,甚至更长时间。

展览现场,一个模拟文保实验室里,浸泡着两件2025年从南海海底提取的陶罐,它们正在进行脱盐处理。观众可以亲眼看到,这些“国宝”如何在文保人员的精心呵护下,进行清洗、脱盐、加固,从而“延年益寿”,重获新生。



图①:素三彩象形执壶。 新华社记者 蒲晓旭 摄

图②:青花鱼跃龙门应龙纹大盘。 新华社记者 蒲晓旭 摄

图③:珐华贴金镂空孔雀牡丹纹大罐。 李诏宇 摄

图④:珐华孔雀绿釉莲池纹瓶梅。 新华社记者 杨冠宇 摄

图⑤:文物工作者使用深潜设备提取水下文物。

新华社发 国家文物局供图