

“青铜之冠”，并在2016年被中国科学院自然科学史研究所推选为“中国古代重要科技发明创造”之一。

假说相伴的发现 青铜长剑

也许因为兵马俑自带的神秘色彩，有一些流言广为流传。比如传说1974年挖掘时，有一把青铜剑剑柄陷泥，剑尖被一尊重达150公斤的陶俑死死压住，致使剑身弯曲近45度。离奇的是，当考古专家们将陶俑搬开，这把又窄又薄、被压弯了两千两百多年的青铜剑，竟在一瞬间反弹平直，自然恢复。

虽然这是未经证实的传言，但兵马俑的青铜剑本身也足够特别。因为青铜材料容易折断，所以青铜剑普遍宽而短。最负盛名的越王勾践剑，全长不过55.6厘米。而兵马俑出土的青铜剑，剑身呈柳叶状，又细又长又尖，剑长均在81-94.8厘米。

要知战国诸国已经淘汰青铜兵器，配备铁兵器，而偌大的兵马俑坑只出土了很少的铁器，秦国的虎狼之师竟然是用已经落后时代的青铜兵器吗？

检测数据表明，兵马俑青铜剑表面含锡量为31%，内部含锡量为21.4%。有学者认为，根据铜锡二元合金的机械性能与含锡量的关系，含锡19%以上的高锡青铜合金很脆，不适宜制作兵器剑。兵马俑青铜剑在使用中极易折断，实战中很难派上用场，所以它们只能是随葬品。另有学者认为秦兵马俑青铜剑既坚且韧，长度惊人，利于实战。自2010年以来，英国剑桥大学、伦敦大学考古所及秦始皇陵博物馆采用新仪器对秦兵马俑青铜剑进行了全新金属分析；2011年，由北京大学考古文博学院主持，发表在美国《材料研究学会》（MRS）上的研究论文显示，新测试的一批青兵马俑青铜剑，尽管仍然是高锡青铜，但全部采用了铸造后淬火或退火的工艺。经淬火处理后具有良好性质的金相结构马氏体保留下来，使青铜的抗拉强度有极大增加，提高延伸率，也就是说，兵马俑青铜剑因淬火工艺而能成为良好的实战兵器。

2019年4月4日，英国剑桥大学的马科斯·马提依·托雷斯（Marcos Martinon-Torres）在《Scientific Reports》（科学报告）发表了一篇研究秦兵马俑兵器防锈原因的论文，否认了一种长期存在的假说——秦代兵器匠人在两千多年前就掌握了涂铬防锈技术。

这种假说起因是兵马俑大量青铜剑出土时兵刃依然锋利闪亮，于是考古人员用现代科学方法检测分析，一些青铜剑表面，竟有一层厚约10微米的氧化膜，其中含铬约2%，很像近代才掌握的铬盐氧化处理防锈工艺。该工艺需在比较复杂的设备和工艺流程下才能实现，德



1978年兵马俑一号坑出土的三年吕不韦戈

国、美国分别在上世纪30年代和50年代才发明这种先进工艺并申请专利，且这种工艺的防锈功能一般只能保持六十年左右。生活在公元前200多年的秦代工匠怎么就掌握了这种工艺？还能防锈两千多年？成了兵马俑的谜团之一。

托雷斯等人的研究团队分析了464件兵马俑兵器，只在37件中发现了铬，“说明铬元素在金属表面并不是普遍存在的”。同时，研究人员在88%的弓把、剑柄、剑鞘等兵器配件周围检测到了铬，但只在2%或更少的箭头或剑身的样本上发现了铬。他们认为，出现这种分布，是因为这些含铬的金属部位更靠近处理木制元素的生漆，这些木制部分已经受到了腐蚀，但生漆中的铬元素沉积到了金属上。也就是说，铬的存在可能是生漆污染的结果，而非秦代工匠有意为之。

透物见人的发现 铭文

兵马俑出土的青铜兵器上都有较长的铭文，记录了兵器的生产年代、生产作坊（寺工）、督造者以及工匠的名字，也有些兵器比如矛和镞上仅刻有“寺工”二字。这些兵器上的铭文一直被专家们认为是“物勒工名，以考其诚”的体现，是当时标准化生产的一种质量监督手段。

《礼记·月令》载：“物勒工名，以考其诚，功有不当，必行其罪，以穷其情。”“物勒工名”是指器物的制造者要把自己的名字刻在器物上面，以方便管理者检验产品质量。它可以说是我国最早的问责制，出现在春秋战国时期。

1978年兵马俑一号坑发掘时，就清理出20多件带有铭文的青铜兵器，其中有一件青铜戈，正面刻有“三