龙头山渤海墓地出土有色金属文物浅析

李辰元　宋玉彬　李 强　李延祥

内容提要　作为唐代北方边疆的重要地方势力，渤海国在其存续的两个多世纪中创造了“海东盛国”的灿烂历史。本研究借助参与渤海国龙头山墓地阶段性发掘整理工作之机，对龙海墓区和石国墓区出土的金属遗物进行了系统性取样，并利用超景深显微镜、便携式 XRF、SEM-EDS 以及金相分析等科技手段，对出土的金属遗物进行了综合检测分析。研究发现，遗物中红铜制品与青铜制品在物料成分与生产工艺组合上有明显的差别，从侧面反映了唐朝与渤海国的物质交流。本研究积累了详实的遗物成分和工艺信息基础数据，为从矿冶生产材料角度开展的综合性研究提供了参考，亦有助于深入探讨渤海国社会经济发展和文化演进。

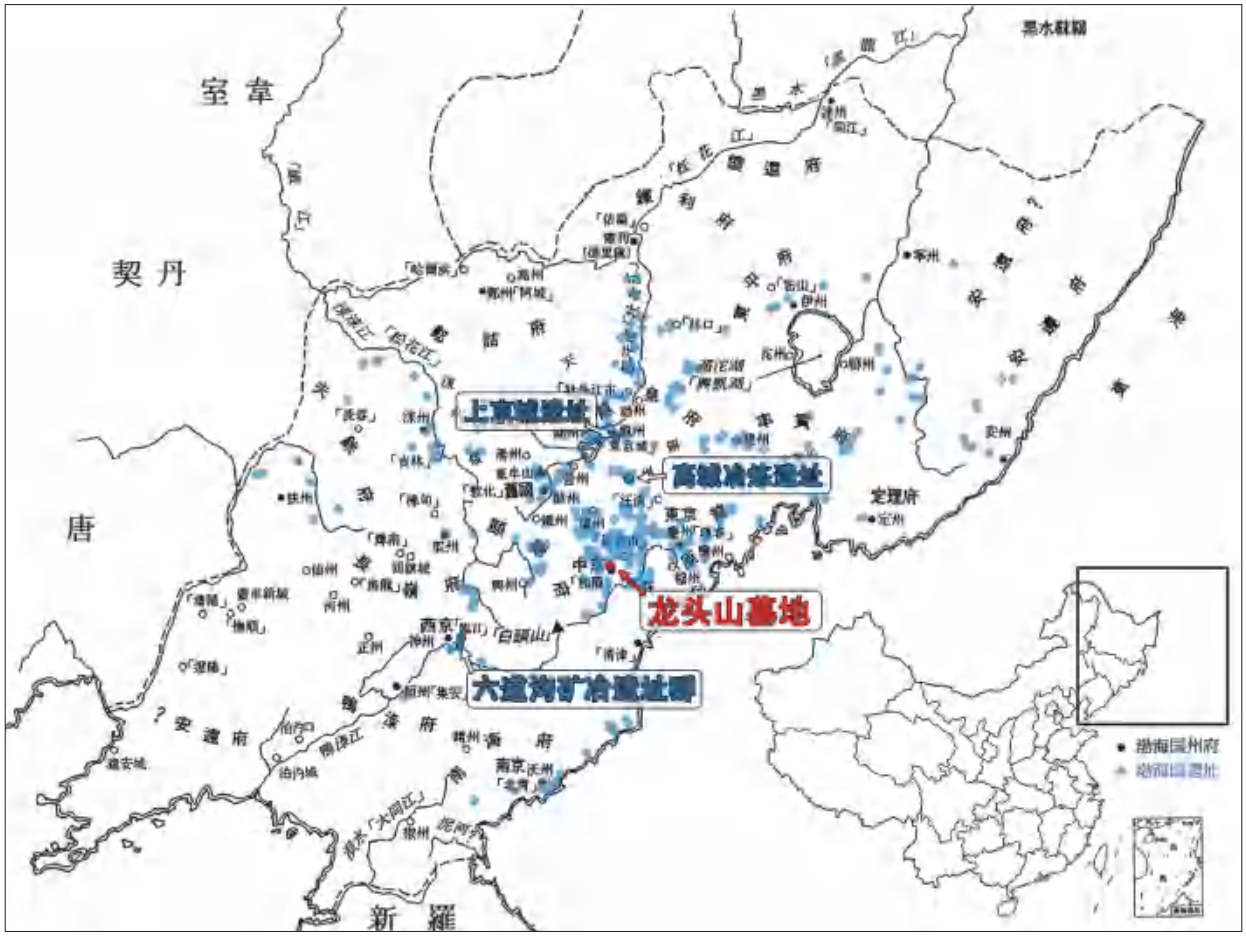
关键词　唐渤海国　龙头山墓地　矿冶考古　铜器　金银器

存国于7—10世纪的渤海政权(698—926)不仅是影响东北亚地区政治格局的重要角色，也是推动该地区社会进步的重要力量。就此意义而言，渤海国境内发现的有色金属类遗存是诠释渤海文明进程的重要物质化表征。基于田野调查、考古发掘，学术界在渤海遗存中不仅获取了数量丰富的金属类遗物标本，而且也确认了一些重要的青铜冶炼生产遗迹。基于吉林省文物考古研究所、延边朝鲜族自治州文物保护中心、延边朝鲜族自治州博物馆、东北师范大学和吉林大学等单位的协力合作，笔者对延边朝鲜族自治州境内及周边地区出土的渤海时期有色金属类遗物标本进行了较为系统的科技检测分析。在此基础上，结合吉林省境内宝山六道沟遗址群、汪清高城遗址等矿冶遗存的研究成果，以龙头山渤海墓地出土的有色金属遗物标本为切入点(相关遗址位置见〔图一〕)，从技术遗产的角度对矿冶考古材料进行综合探讨‹1›，旨在透过工艺技术演进审视社会生产关系变化；通过丰富的手工业考古基础数据，深化史料信息匮乏的渤海国有色金属制品的考古学术解读‹2›。

‹1›　潜伟《技术遗产论纲》，《中国科技史杂志》2020年第3期，第467—473页。

‹2›　白云翔《手工业考古论要》，《东方考古》第9集，2012年，第561—578页。

〔图一〕渤海国行政疆域及遗址分布略图
采自梁会丽《吉林省渤海遗存调查概述》,《边疆考古研究》2019年第1期



一　取样及检测

1997—2008年，吉林省文物考古研究所等单位联合对位于吉林省延边朝鲜族自治州和龙市头道镇的龙头山墓地进行了考古清理[1]。龙头山墓地包括龙湖、龙海、石国三个墓区，在整理遗物期间，笔者对石国墓区4座墓（M1B、M1C、M2A、M2B）、龙海墓区2座墓（M10、M13）出土的有色金属遗物（包括红铜、青铜、金银器）进行了科技检测。根据遗物的保存状态，同时为获取有效数据，我们对标本采取了无损、有损两种不同的检测取样策略。一是对211件表面锈蚀较少且保存较好的有色金属样品进行了便携式XRF数据检测和超景深显微观察，使用THERMO公司的便携式NITON系列便携式XRF检测设备T2-500对表面无腐蚀或腐蚀较轻的部位进行无损成分检测；二是为了更好地获取有关其原料产地及产品工艺信息，对一些表面附着物较厚、影响无损检测效果的遗物标本进行了有限度的介入性测试。其中，对60件残损器

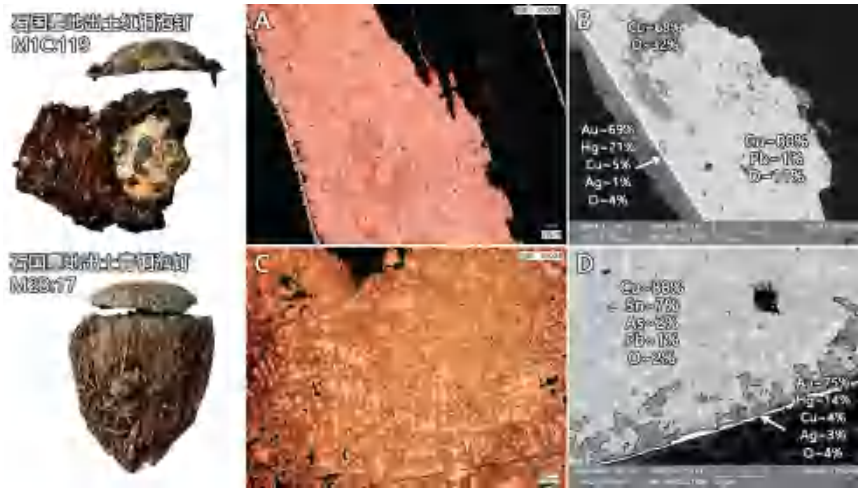
‹1›　李强《吉林和龙市龙海渤海王室墓葬发掘简报》,《考古》2009年第6期，第23—39页。

物进行取样，开展了进一步的观察分析；使用TROJAN公司的树脂冷镶材料，对标本进行常温镶嵌；使用LEICA公司的DM400M型显微镜进行了金相分析。此外，为获得更为准确的成分和形貌表征，对抛光好的标本器表进行了真空碳膜喷涂处理，使用TESCAN公司的钨灯丝光源VAGA3-XMU扫描电子显微镜配合BRUKER公司的XFLASH-DETECTOR系列610M能谱分析仪。

［表一］ **检测金属样品统计（单位：件）**

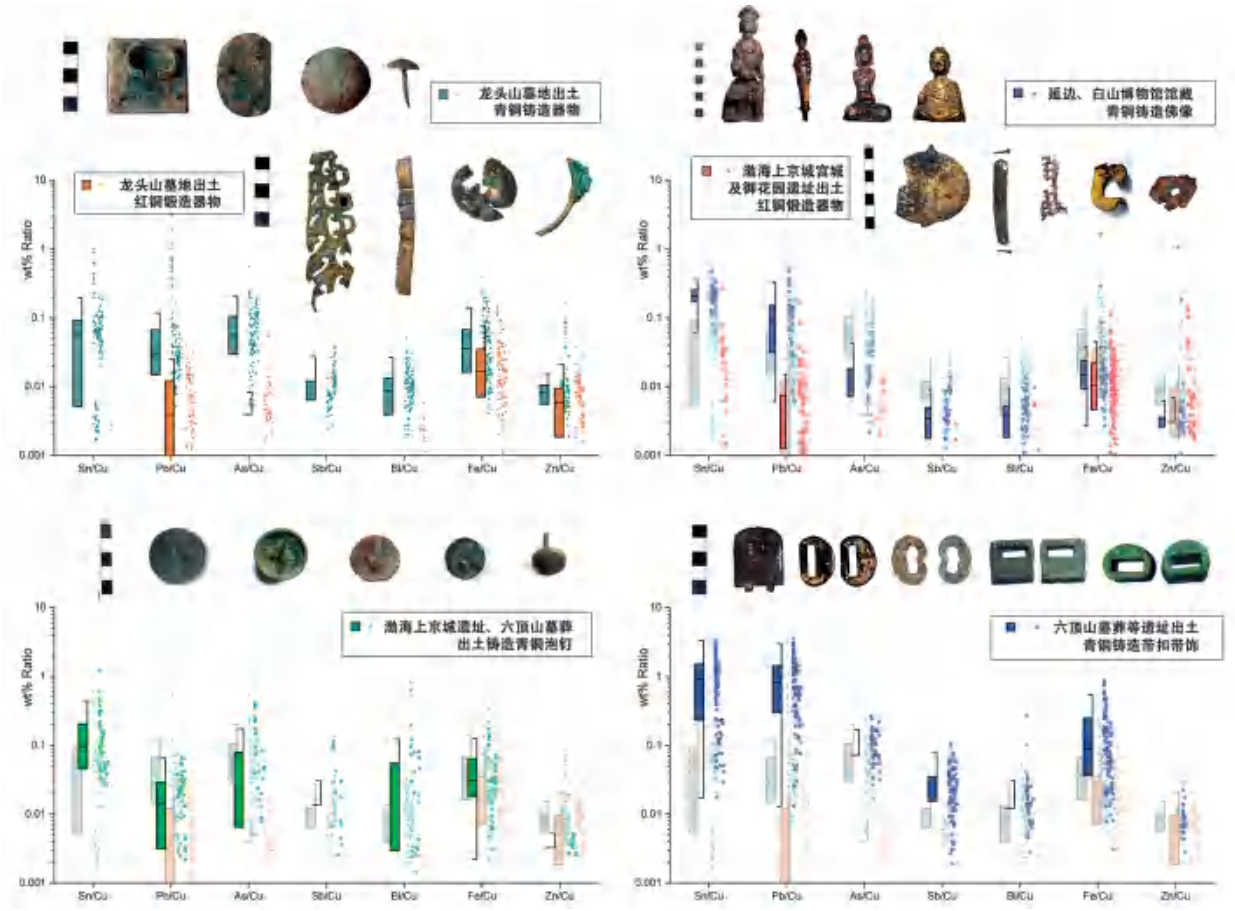
墓葬单位 样品类型	石国M1B	石国M1C	石国M2A	石国M2B	龙海M10	龙海M13	合计
泡钉	65	26	44	2	12	45	194
带饰	3	13	19	0	0	1	36
棺环	0	2	3	0	0	3	8
饰片	1	0	0	0	31	1	33
红铜	2	26	0	0	43	50	121
青铜	67	15	66	2	0	0	150

〔图二〕**两类典型鎏金铜泡饰金相与背散射能谱图**
（上排为红铜锻造铜泡钉，下排为青铜铸造铜泡钉）



在本次检测分析的有色金属标本中，鎏金铜泡饰数量最多，约占检测样本总量的72%，余者以棺环、带铐、带扣及薄片饰件为主[表一]。p-XRF数据显示，铜质遗物标本的化学成分多为含有金、汞、砷、锡、铅的铜合金，部分铜器含有微量的银、铋、锑元素。通过电镜能谱分析发现，器物表面检测XRF数据与基体的能谱结果相比，数据一致性较好，在一定程度上，无损成分检测能够代表遗物的基体成分。但需要注意的是，其所残留的汞元素主要赋存于表面鎏金层之中，其他合金元素则主要赋存于青铜基体中，汞元素与鎏金工艺直接相关〔图二：B、D〕。因此，不将金、汞作为铜料成分分析的对象。由于便携式荧光设备本身的精度不足以进行精细化的量化研究，因此本研究以合金元素与铜元素的比值作为分析对象，观察其元素分布趋势，可以更好地关注基体的铜料成分比例，便于开展横向的数据对比分析，从而减少鎏金层、锈蚀层等因素的影响。同时本研究整理参考了渤海国时期出土及馆藏的多件青铜器物，对包括六顶山遗址、渤海上京城遗址出土有色金属遗物以及延边博物馆、抚松博物馆、白山市博物馆馆藏渤海时期有色金属器物（包括虹鳟鱼场、北大墓地、新城遗址等）用相同的仪器及检测条件进行了p-XRF数据检测，以作为参考〔图三：左上〕。

〔图三〕本次取样p-XRF数据（左上）与其他遗址数据分布比较



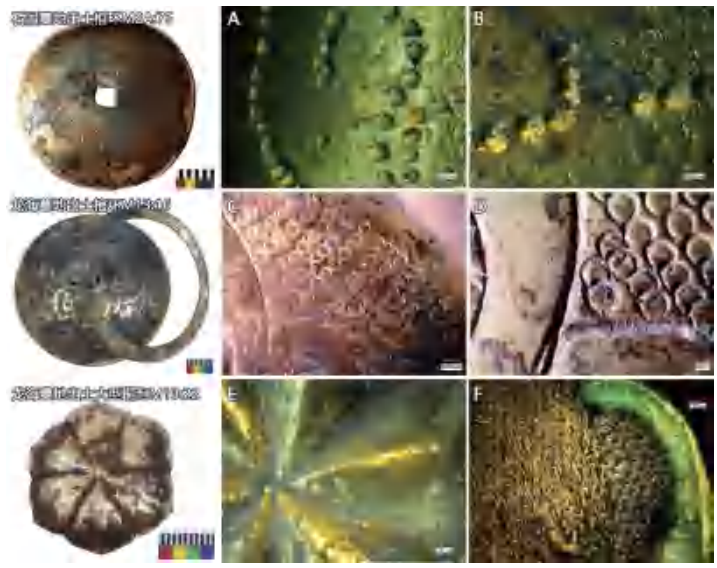
（一）鎏金青铜及红铜器检测

无损检测数据能够发现铜质器物元素分布存在一定的分布规律，根据所涉有色金属技术进行分析可初步将样本分为红铜与青铜两类，与部分前序研究数据进行对比[1]，发现两者基体成分中锡、铅、砷、铋、锑元素的分布差距较大，而铁、锌分布差异较小〔图三〕。出土的铜泡钉与铜棺环（类似辅首）主要用于装饰棺椁，大多为素面鎏金，上述两类成分都有发现。而同为片状的带饰和饰片则分别以青铜和红铜为主[表一]。通过介入取样开展的遗物标本金相组织观察表明，制作有色金属类器物的工艺类型较为简单。龙海墓区M10、M13出土的铜制品遗物以红铜制品为主，在其多数标本的金相结果中都观察到夹杂物拉伸严重，再结晶晶胞多见孪晶组织，故判定它们应使用热锻工艺制作而成。类似的工艺也见于石国墓区M1C出土的铜泡钉〔图二：A、B〕。根据器表观察推断，其制作流程是先预制出大小相同的铜片，然后再将其置于模具上锻打成型。此类泡钉存在宽约3—5毫米的帽檐状边缘，以便于使用细小的铜钉将其固定在木板上〔图二：左上〕。石国墓区M1B、M2A、M2B出土的标本则鲜见锻造金相组织，出土的有色金属

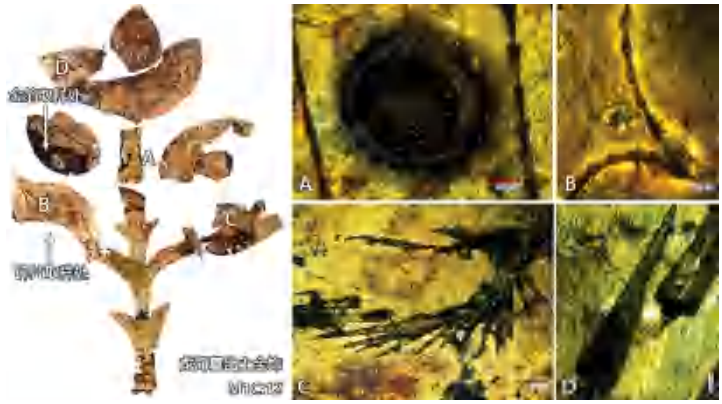
‹1› 李辰元《渤海国铜铁矿冶技术研究》，北京科技大学博士学位论文，2019年，第182—194页。

类遗物标本以铸造金相为主。器物标本可见明显（α＋δ）共析组织形成枝晶偏析，偏析组织均未见形变，夹杂物较为稀少〔图二：C、D〕，应为直接铸造成型。其形制类似于现代图钉，利用铸造成型的尖端将其直接钉在木板之上〔图二：左下〕。在进行介入性测试的60件样本中，虽然前者数量较多，但相对于锻造红铜制品而言，铸造的青铜器的质地更为厚重。并且，由于只能选取残损的青铜器标本进行介入性检测，对于基本结构保存较好且鲜见加工缺陷的铸造产品，能够进行介入性检测的样本数量明显少于锻造产品。基于统计数据，上述两种工艺制品的标本数量大体持平。

〔图四〕大型鎏金铜器表面工艺超景深图
（由上至下为针状刻刀点纹棺环、管状刻刀环纹棺环、花瓣状大型钉泡）



〔图五〕叶状饰表面錾刻超景深图

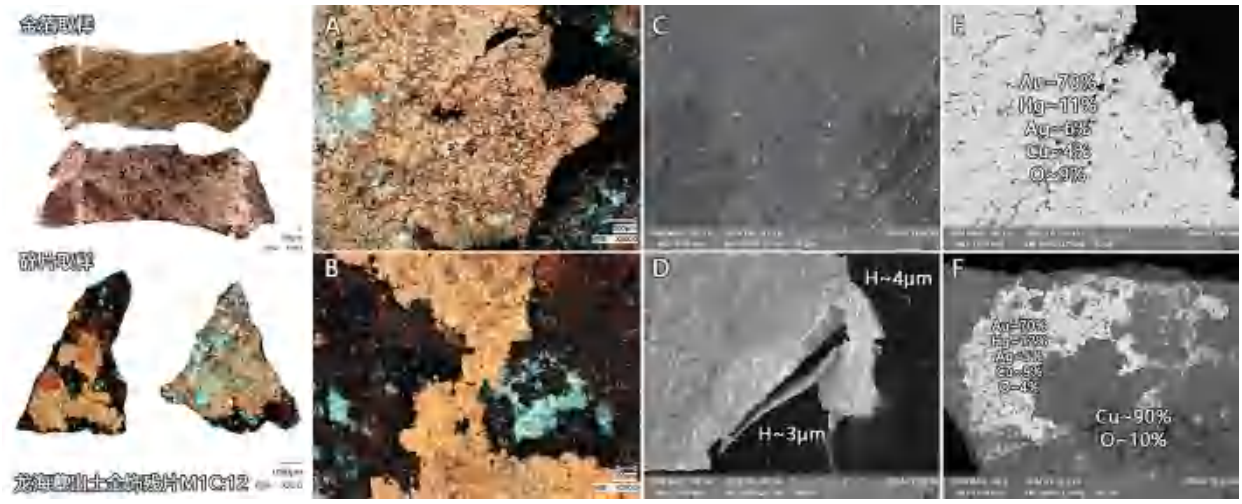


由于相当一部分有色金属遗物标本使用了鎏金工艺，因此本次检测对此类标本的器表鎏金层进行了扫描电镜观察和能谱分析。结果发现，大多数标本的铜、金结合部位含有10%以上的汞元素以及1%—8%的银元素残留。据此推断，其鎏金工艺为“金汞齐”的火镀金‹1›。虽然一些遗物标本的表面鎏金层被锈蚀物所覆盖，但在电镜背散射图中仍能清楚地观察到，其鎏金层不仅非常均匀，而且与铜质基体保持着很好的结合〔图二：B、D〕。即使是鎏金层已经严重脱落的部分标本，依然能从其残存部位观察到紧密结合的鎏金层与基体，显示出其成熟的工艺水平。对于保存较好的鎏金青铜器标本，通过进行器表超景深放大观察得以发现，大型鎏金饰物的器表多进行錾刻或艺术化处理〔图四〕；小型器物则以素面为主，通过多个泡饰个体组合成大型图案。大型器物多是用刀錾刻出流云纹、缠枝纹等精美纹样，其凹痕细腻、均匀。并且，其所使用的刻刀也略有不同，除了普通刻刀形成的针状组合纹饰〔图五〕，还见有利用较为特殊的针状刻刀〔图四：A、B〕用于青铜棺环、管状刻刀形成的细密鱼籽纹饰〔图四：C、D〕，或用于红铜棺环、铜镜及金冠。由于施纹的刀锋处刻划痕迹明显且凹陷处不见鎏金层，故推测其工艺是先进行鎏金处理、再实施錾刻。

由于石国墓区M1C出土的叶状鎏金饰片、金箔片标本（M1C:12）破损较为严重，在修复过程中对其进

‹1› 吴元康、储荣邦《中国古代青铜器表面鎏镀技术(一)》，《材料保护》2011年第8期，第78—81页。

〔图六〕叶状饰脱落金箔与碎片超景深与电镜图



行了残片取样。通过超景深显微镜得以观察其錾刻痕迹，利用不同力道、刻刀刃部的角度变化，工匠在鎏金铜器上完成了叶脉、褶皱等不同纹样的刻画。其用刀精准稳健、线条平顺流畅，体现出高超的技巧与丰富的艺术表现力。刻划部分的锈蚀较其他位置更为严重，这意味着錾刻时破坏了原本的鎏金层。即与前述錾刻工艺类似，制作流程为先鎏再刻。

此外，我们还对同一单位出土的金箔片进行了能谱检测〔图六：A〕。结果发现，其成分与基体上残留的金层〔图六：B〕以及其他鎏金铜泡饰的鎏金层成分基本相同〔图六：E、F〕。该器物鎏金层的厚度为6微米（金箔层3－4微米，残留金层1－2微米），相较其他器物厚约1－2微米的鎏金层，该标本黄金使用更为厚重。该器物铜基体锈蚀较为严重，与鎏金结合界面已生成粉状锈蚀物。由于鎏金层较厚且未腐蚀，机械强度及结构相对完整，从而导致其金箔整片脱落。因此该金箔有别于包金工艺所使用的金箔片，应判定为鎏金工艺。该标本厚重的鎏金层表明，由于其红铜基体轻薄，加之器表复杂的纹饰设计，制作时采用了加厚鎏金工艺。据其器表留存的精细打磨痕迹推断，该件器物还使用了细致的抛光处理工艺〔图六：C、D〕。

通过对遗物进行超景深及电镜形貌工艺观察，无论是铸造的青铜饰件，还是热锻的红铜饰件，均采用了相似的鎏金制作工艺。其鎏金层的厚度较为均匀，规格介于1－3微米之间，工艺较为成熟稳定。相对于未进行鎏镀工艺处理的普通铜器，鎏金铜饰件保存状态更为完好。检测标本的统计数据表明，各类有色金属饰件至少使用了包括铸造、锻打（包括冷锻和热加工）、鎏金在内的多种制造方法对器物进行成形加工。对不同质地（红铜与青铜）的遗物标本使用了不同的制作工艺组合。

（二）银背铜镜及金银丝检测

本次检测的遗物标本中，虽包括大量的鎏金铜器标本，但鲜见纯贵金属质地的手工制品，因此将具有单独使用贵金属制造工艺的复合器物归入此类别。本研究对龙海墓区M13出土的一件银背菱花造型的

珍禽瑞兽铜镜(M13:168)〔图七〕，进行了无损的成分和工艺分析。从金属加工工艺角度来看，该器物属于典型的唐代银背铜镜，其镜身主体使用高锡青铜(约含锡32%，铅6%)铸造具有浓厚佛教艺术特点的八出菱花造型，银质镜背施捶揲錾刻纹饰(银含量超过97%)。镜体镜背分别

〔图七〕龙海墓区M13出土银背铜菱花形珍禽瑞兽镜



〔图八〕金银丝超景深与电镜图



制造后通过镶嵌工艺进行组合，可能使用了有机胶结物，同时铜镜边缘锈蚀物含有较高的铅锡(含铅约35%，锡22%)也表明镜背、镜体也可能使用了锡镴焊接而成。虽然铜镜正面存在少量的锈蚀痕迹，但其整体保存状况良好，甚至依然可以清楚地映照使用。鉴于镜体表面尚可观察到抛光打磨痕迹，据其细部的磨损情况判断，这件器物应是墓主人生前使用之物。铜镜背面施有纷繁的缠枝纹以及瑞兽、珍禽等典型的中原文化纹样，整体设计流畅而不失细节。镜钮的拱腰蟾蜍，围绕雌雄凤鸟狻猊，之间以枝蔓相隔，菱花凸出部位饰有四只小凤鸟和四枝缠枝花，空白处则在银片錾出鱼籽底纹。类似工艺及纹样在何家村窖藏出土的龙凤纹银碗、孔雀纹方盒等也有出现‹1›。其艺术特点与流行于武后(690)至开元(741)年间流行的金银背铜镜纹样相吻合，出土很少，十分珍贵‹2›。

本次检测的其他贵金属遗物还包括龙海墓区M13出土的金丝(M13:165)、银丝(M13:36)〔图八〕。初步判断，龙海墓区出土的金银丝标本与同时代中原地区出土的捻金丝的制作工艺基本一致‹3›，是通过对芯线加捻，在芯线旋转过程中将金箔条自动捻绕在芯线外而制成。除了未见法门寺出土金丝制品的刻划

‹1› 赵青《何家村唐代窖藏金银器的装饰纹样》，《文物天地》2020年第8期，第15—23页。

‹2› 胡薇《馆藏唐代银背镜》，《文物天地》2016年第6期，第56—58页。

‹3› 路智勇《法门寺地宫出土唐代捻金线的捻制工艺研究》，《华夏考古》2018年第2期，第106—113页。

线工艺之外，其他技术细节如出一辙。因此，这些金银丝很可能是中原地区输入的舶来品[1]。基于能谱检测，金丝为几乎不含其他有色金属成分的纯金，遗物保存状况较为理想。对遗物进行取样时发现，除了其表面附着有少量泥土，未发现锈蚀痕迹。该标本仍然具有良好的延展性与弹性，其上还留存有有机质的丝线纤维。通过超景深观察，金丝的工艺稳定性很高，其直径均匀纤细。除了测量过程中的外力延展及埋藏、发掘过程的挤压扭曲形变等影响因素，其与同时期中原地区出土的遗物标本工艺不相上下。银丝成分为纯银〔图八〕，遗物保存状况同样较为理想。虽然其表面附着深色的锈层，但仍然具有良好的延展性和弹性，并残留有丝线芯〔图八：C、F〕。此外，本研究不仅对多组金银丝线标本进行了超景深观察，还统计测量了两种质地丝线的长度、条带的宽度和厚度以及裸露丝线（双股）的直径。获取的大量比对数据显示，标本的制作工艺稳定成熟，包裹丝线的金属条带粗细、薄厚均匀。

二　分析及讨论

通过比较龙头山墓地与其他遗址的p-XRF数据分布，可以看到龙头山墓地出土的有色金属制品差异与其成品的类别有明确的对应关系。龙头山墓地两类铜器，一类是以龙海墓区M10、M13为代表的红铜质地遗物，石国墓区M1C出土的红铜泡钉也属于同类遗物。此外，此类红铜制品另见于渤海上京城的东廊、御花园等遗存地点。相对于其他青铜质地的制品标本，此类遗物的化学成分较为单一纯净。虽然红铜的硬度较低，但其具有良好的延展性，大多数此类遗物标本均进行过较为复杂的工艺加工。例如，在出土数量最多的铜泡钉中，红铜、青铜两类制品的金相与背散射能谱图显示二者存在明显的工艺差别。基于良好的延展性，相较于青铜泡钉，红铜质地的铜泡更加轻薄，制作同样大小的泡钉，红铜能够节省最多70%的铜料。相对于青铜质地的棺环，鎏金的红铜棺环制作工艺更加精致复杂。在比对相关数据时，渤海上京城东廊遗址出土的铜钉、铜饰件，北大墓地出土的铜质彩饰、耳环、剪刀，贞孝公主墓出土的云饰、花饰、流云饰等铜质遗物标本，均与上述红铜质地的器物有着类似的化学组分，因此红铜材料被大量施用精致复杂的表面工艺，用于制造高等级的工艺品。出土鎏金红铜棺环的M13中还出土了中原生产的三彩俑[2]、利用金银平脱技术及微观毛雕技术制作的方形漆盒（M13:160）、银背铜菱花形珍禽瑞兽镜（M13:168）。不难看出，上述器物是墓主人高贵身份的佐证。漆盒、铜镜等的制作工艺中同样包含大量针对薄片状金属材料的加工，对比同时期的类似器物可以推断，它们皆与中原地区顶级的工艺品制作技术有关[3]。作为唐朝羁縻体制下的忽汗州，渤海国的行政建制与社会生活均因“宪象中国制度”而深受唐文化的影响[4]，根据记载，渤海国利用皮毛、玳瑁、宝石等特产作为朝贡物品以获取唐朝回馈的精致金属

‹1› 杨军昌、张静、姜捷《法门寺地宫出土唐代捻金线的制作工艺》，《考古》2013年第2期，第97—104页。

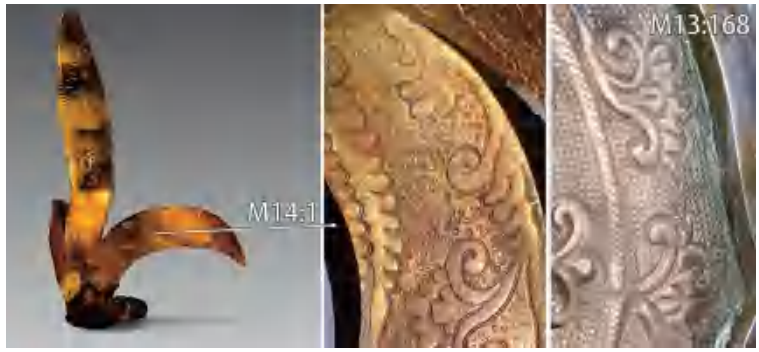
‹2› 常东雪《渤海国釉陶的产地研究》，南京大学硕士学位论文，2019年，第150页。

‹3› 齐东方《唐代金银器研究》，中国社会科学出版社，1999年，第144页。

‹4› 董丽娜《封贡体制：渤海国与唐朝的朝贡册封关系》，《北方文物》2014年第4期，第55—58页。

器、丝绸锦缎等物资。渤海遗存出土的一系列中原地区输入的有色金属制品便是渤海与唐之间朝贡及贸易往来的见证[1]。仅在龙头山王族墓地和上京城大量出土此类遗物不仅反映出渤海国统治阶层对中原艺术品的美学认同，也意味着只有其统治集团可以享用具有极高工艺水平和艺术价值的器物。

〔图九〕龙海墓区出土金冠与铜镜工艺细节对比



相较于红铜制品，渤海遗存中出土的青铜制品标本主要包括带铐带饰、铸造成型的泡钉。其中，石国墓区取样的此类器物较多，在其他墓葬单位中此类遗物也更为普遍存在。其元素组分中，除了含锡、铅等合金元素外，还含有砷、锑、铋等次要组分。综合对比前序研究中的p-XRF检测数据〔见图三〕，龙头山墓地青铜遗物延边及白山博物馆藏渤海铜佛、孝公主墓出土素面铜泡、北大墓地出土带扣、东清墓地出土铜钗等类遗物的数据接近，此外，还另与虹鳟鱼场、六顶山等墓葬，白山、抚松等地区遗址中出土的带铐、泡钉等素面的青铜质铸造器物的元素分布具有较好的一致性[2]。此外，类似成分的青铜制品还见于俄罗斯远东地区境内的渤海遗存之中。此类器物不仅标本数量众多，而且结构简单、形制单一。虽然青铜制品中也出现了少量的表面处理工艺，如石国墓区M2A出土的青铜鎏金大铜泡钉（M2A:75），其利用刻刀錾刻的纹饰虽与龙海墓区M13出土的鎏金铜棺环（M13:27）上的纹饰和线条相近，但刻刀和刀法迥异。对比龙海墓区M13出土施纹的器物标本，其工艺细节也见于同墓出土的铜镜（M13:168）以及该墓区M14出土的金冠（M14:1）〔见图四、图九〕。同样，石国墓区M1C出土的叶状鎏金铜冠饰（M1C:12），其金属基体为纯净的红铜，其纯熟多变的刀法、流畅丰富的线条也与金冠的錾刻工艺类似〔见图五〕。因此在青铜器物上所使用的表面处理工艺与红铜具有明显区别，可能与材料的机械性能差异有关。

考虑到渤海国境内铜矿为含有上述组分元素的多金属共生矿[3]，此类含较多共生金属元素的青铜制品在东北地区青铜时代出土器物中也占有主要地位[4]，因此青铜遗物可能与渤海国本土的铜矿冶生产有关。根据田野调查，临江宝山六道沟铜矿遗址群、汪清高城遗址等矿冶遗存的考古发现表明，渤海国对其境内的多处铜矿资源均进行了较为系统的开采。史料信息表明，唐文宗开成年间，渤海曾向唐输出熟

‹1› 王旭《渤海国与唐朝经济往来述论》，《黑龙江省社会主义学院学报》2016年第4期，第54－56页。

‹2› 贾莹、高秀华《六顶山渤海墓葬出土有色金属及合金性质研究》，敦化市文物管理所、吉林省文物考古研究所《六顶山渤海墓葬——2004－2009年清理发掘报告》，文物出版社，2012年，第229－237页； 哈尔滨工业大学分析测试中心《虹鳟鱼场墓地出土有色金属器测试报告》，黑龙江省文物考古研究所《宁安虹鳟鱼场 1992－1995年度渤海墓地考古发掘报告（下册）》，文物出版社，2007年，第565－570页。

‹3› 佘宏全、李红红、李进文等《内蒙古大兴安岭中北段铜铅锌金银多金属矿床成矿规律与找矿方向》，《地质学报》2009年第10期，第1456－1472页。

‹4› 刘函、李延祥、王立新《吉林大安后套木嘎遗址AⅣ区出土铜器的科学分析》，《有色金属(冶炼部分)》2019年第7期，第91－96页。

铜，淄青节度使奏报朝廷“请不禁断”[1]。经测试，此类器物与上述遗址冶炼炉渣中采集的金属颗粒、矿石的化学成分相近，这些大规模的铜料生产遗迹，在冶炼过程中，以筛选出来的高品位的矿石作为原料，通过火法炼锍直接获得了品位较好的高冰铜、白冰铜以及粗铜制品。在此基础上，通过鼓风吹炼将其转化为“熟铜”[2]。另外，上京城也发现了制作此类青铜器所产生的炉渣等遗物[3]，理论上可以利用这些遗物对渤海国生产进行溯源。但在匠造遗址还同时出土了各类器物残件，并在合金炉渣中发现了明显的铜料回收迹象，且青铜器物中铅含量从0.3%至42%不等，因此无法确认铅同位素数据表征的是铜料还是铅料信息，传统的铅同位素溯源方法在本研究中无法提供准确的指向性，因而需要进一步的综合研究才能够给出更为明确的判断。

三　结论及展望

本研究通过对龙头山渤海墓地有色金属遗物的检测，发现金属饰件至少使用了包括铸造、锻打、鎏金在内的多种制造方法进行成形加工，对红铜与青铜材料使用了不同的制作工艺组合。同时，对比其他遗址出土的渤海国有色金属遗物，发现成分较纯净的红铜遗物大多具有精致的工艺特点。且此类红铜遗物仅大量出土于该王族墓地，而鲜见于其他的渤海国墓葬和遗址遗迹之中。从工艺和艺术风格中可以确认如银背铜镜、金银丝等部分遗物为与唐帝国朝贡交流获得，由这些物质生产和物料交流的见证物可以看到中原对东北亚地区政治格局的影响。而墓地出土的形制简单并以素面为主的铸造青铜遗物中含锡、铅、砷、锑、铋等组分，该组分广泛见于渤海国其他遗址之中，可能与渤海国本土开采、冶炼生产“熟铜”有关。通过有色金属制品的成分、工艺和出土数量分布情况，本研究对龙头山渤海墓地所蕴含的社会关系信息进行了初步探索。在未来的研究中，还可以进一步了解唐代中国北部地区有色金属手工业生产的供需关系[4]。在本研究的基础上，结合遗迹遗物的地理分布和矿产线索，在渤海国境内松花江、牡丹江、鸭绿江、大同江等流域的有色金属矿脉分布区域内，寻找更多的、规模更大的矿冶类遗存迹象，以期为田野考古工作提供矿冶类遗存的数据支撑，进而为阐释渤海国手工业生产及其区域文明的演化进程拓展学术视野。

[作者单位：李辰元，北京科技大学科技史与文化遗产研究院；
宋玉彬，黑龙江大学渤海研究院；李强，延边朝鲜族自治州文物保护中心；
李延祥，北京科技大学科技史与文化遗产研究院]

（责任编辑：郭洋梦莎）

‹1› 程妮娜《唐朝渤海国朝贡制度研究》，《吉林大学社会科学学报》2013年第3期，第138—148页。

‹2› 前揭李辰元《渤海国铜铁矿冶技术研究》，第14—16页。

‹3› 李辰元、李延祥、赵哲夫《渤海上京城出土金属及冶炼遗物科技分析》，《北方文物》2018年第2期，第45—53页。

‹4› 钟兴龙《唐代“铜贵”问题》，《古籍整理研究学刊》2013年第6期，第67—69页。