

绍兴印山越国王陵墓室主体结构的加固与保护

杨隽永 万 俐 范陶峰 陈五六 金柏创

摘要：印山越国王陵木质结构墓室，采用了两面斜坡顶结构，在全国尚属首次发现。年代久远以及盗墓严重，使得其保存状况堪忧。通过合理安排施工计划，科学制定了现场施工方案，顺利完成本次保护工程，为合理保护类似墓室结构提供了宝贵的施工经验。

关键词：绍兴印山 斜撑木纠偏与修复 木炭加固 垫木顶升替换

一、引言

绍兴印山越国王陵墓室选用 107 根斜撑木构建而成。其中，南侧 54 根，北侧 53 根。墓室南北两侧墙用两排紧密排列的竖向斜撑木顶端相互支撑而成，从而构成横断面呈等腰三角形的人字形斜坡窝棚式木椁结构。墓室顶面中脊即相互支撑的南北两侧斜撑木的顶端，用粗壮的半圆木东西纵压其上^[1]。墓室分前、中、后三室。其中，前室长 9.15m、宽 4.98m，中室长 13.85m、宽 4.78m，后室长 9.1m、宽 4.88m。墓室底木长 6.7m，斜撑木长 5.9m，截面宽度在 0.5~0.8m 之间，并且加工极为平整光滑，棱角方正。斜撑木表面覆盖树皮层，厚度约 20~40cm，有 140 层之多。树皮层上方以及墓室底部为木炭层，厚度超过 1m。树皮和木炭层具有吸水防潮的功能。墓室底部是由 65 根粗大的枋木南北向平铺而成，其下部木炭层已经被清除，改用矩形型钢支撑。

经考古资料分析和论证，该墓为春秋晚期越王勾践之父允常的陵墓。该墓是迄今发现的第一座越国王陵，其独特的三角形两面坡木结构在全国尚属首次发现，具有极高的研究和史料价值。

二、墓室结构主要病害及原因分析

该墓于 1998 年 4 月由浙江省考古研究所主持考古发掘，至今已逾十年。年代久远及盗墓严重，造成墓室结构斜撑木、木炭层和树皮层出现多处病害。

（一）斜撑木倾斜、断裂与缺失

多数斜撑木向内侧倾斜，甚至已经相互交叉。此外，墓室被盗严重，损毁比较厉害，多数盗洞已打破墓室顶部，盗洞部分的斜撑木上段被盗墓者破坏，顶部横搭木缺失。墓室仅在中室后段及后室保存有相互支撑的斜撑木，但多处断裂。墓室内部用脚手架临时支撑斜撑木，此次保护工程需要更换和加固。

（二）木炭堆积层坍塌

墓室内仅存西部和中部两堆木炭，其顶部存在多处裂缝，两侧坍塌散落。在木炭堆积层与斜撑木之间存在一层树皮层。通过剖面来看，该层树皮层也已经开裂、粉化，散落在木炭层表面，手轻捏即碎。

（三）斜撑木失水收缩变形

墓室内斜撑木脱水不均匀，造成木材收缩和开裂，对墓室现场保护不利。埋在木炭层和青膏泥内的斜撑木，脱水情况存在差异，刚开挖青膏泥后斜撑木表面用手摸上去还比较潮湿。

（四）青膏泥开裂

墓室南北两侧为青膏泥填筑。青膏泥失水收缩，造成内部应力不均匀，出现多处纵向和横向裂缝。裂缝宽度 5~10cm，深度 30~50cm。

（五）白蚁侵蚀

墓室内白蚁病害严重。南北两侧过道踏步及其栏杆已经被白蚁侵蚀腐烂，部分斜撑木内也发现有白蚁蚁患，墓室底部型钢上的垫木为后期增加，但仍被白蚁蛀蚀。

鉴于以上诸多原因，墓室保护迫在眉睫。因此从 2007 年 12 月至今，南京博物院文物保护与科学技术研究所专门组织人员对墓室及其周围环境进行了整体保护和改造。本文仅对墓室主体结构加固及保护过程做一介绍。

三、施工步骤及工艺过程

本次保护工程我们严格遵循国家文物局的批复和湖北省文物保护技术研究中心的设计方案，并结合施工现场实际情况，及时调整和修改。通过分析制定了详尽的施工方案，合理安排了各施工工序的步骤，科学的完成了墓室结构的加固与保护。

（一）木炭层清理

木炭层和树皮层的清理是为了能够对斜撑木进行纠偏、脱水加固以及修复，并且在完成斜撑木保护之后按原状进行复原。

在木炭层周围搭设脚手架，自上至下逐步清理木炭层。为保护树皮层，在接近树皮层时暂时保留一定厚度（约 15cm）的木炭层，待加固树皮层后再清理。

（二）树皮层加固与揭取

树皮层的加固材料经过现场试验后选择水性环氧树脂。水性环氧树脂主剂为宜兴市太湖防渗加固修缮工程有限公司生产，固含量为 10%，固化剂为宜兴市太湖防渗加固修缮工程有限公司生产的水性胺类固化剂，水为普通自来水。水性环氧树脂主剂：固化剂：水的体积比为 3:1:4。

不同部位的树皮层采用不同的施工工艺：对于两侧的树皮层先在顶部钻细孔，并在钢管上吊上

盐水瓶，慢慢将加固材料从上至下滴入树皮层；对于剖面处和墓室两侧水平状的树皮层，用喷壶喷洒进行加固（图1）。

待加固材料固化4~6天后，才开始揭取树皮层。揭取树皮层采用电链锯切割（图2），然后人工分离。对墓室中部和西部的两处树皮层，切割首先从椁木顶部开始。树皮层被切割成大小50cm×50cm的块体，然后一端用钢板小心插入，另一端用钢板慢慢挪动树皮层。待树皮层移到钢板上之后，抬到墓室内指定地方进行存放。

考虑到树皮层复原时需在原木炭层的两端展示出其剖面形态，因此对木炭两端树皮层先铺设塑料薄膜，两边用木板固定，然后浇筑发泡材料进行保护。发泡材料为双组分配方，A组分为聚氨酯类树脂，B组分为发泡助剂。现场施工时将两种组分混合，由下至上分段浇筑。



图1 滴灌加固树皮层



图2 切割树皮层

（三）青膏泥开挖

采用凿岩机凿开墓室两侧青膏泥，然后用铁锹、铁铲挖掘青膏泥，并用板车运到墓道外平台处。青膏泥需一直开挖到墓室型钢底部，深度超过4m，考虑安全因素并结合斜撑木纠偏搭设龙门架的需求，施工过程采用分段台阶式开挖。

（四）墓室底部垫木顶升替换

墓室垫木共4条。其中，南侧两条垫木长度分别为34.97m，北侧两条垫木长度分别为34.91m，共需替换槽钢总长度为139.76m。垫木替换采用16#槽钢。两块槽钢之间用扁铁焊接在一起，同时在扁铁内侧还焊接了一根短钢筋增加强度。焊接好之后，对槽钢喷涂两遍防锈漆。根据实际情况，每段槽钢纵向长度3~4m。扁铁之间间距约1m。每段槽钢的距离由原先墓室底部每段垫木长度和布置方式决定。

施工前，为防止墓室局部抬升造成墓室不平衡和斜撑木滑塌，每隔一定距离设置一根连杆。连杆用钢筋制作，两端穿过斜撑木，并用铁板固定在木板上。垫木替换分段进行，每次更换南侧和北侧的两段垫木，长度3~4.5m。根据现场情况，千斤顶有的布置在垫木底部的钢架上，有的放在地面上。地面上的千斤顶在底座放置一块钢板以确保平稳。

顶升前需再次对千斤顶就位、固定情况检查，确保其在同一直线上。按设计标高进行顶升，顶升到位后，马上进行偏位和水平监测，确保没有发生偏位及两端标高相同。为确保上部墓室能承受千斤顶的压力，当千斤顶顶升墓室之后和更换型钢之前，在墓室底部与千斤顶之间临时放置一段槽

钢。随后拆除基底垫木，清理槽钢与垫木的接触面，按先前准备好的槽钢放入原垫木的位置并固定，替换后撤回千斤顶。重复上述步骤直至整个墓室垫木替换完成。

（五）斜撑木纠偏

1. 搭设龙门架

为方便安装和运输，将龙门架切割成分段后运至现场，并在施工现场进行组装。待两侧墓道开挖至槽钢底部后，将龙门架运至墓室内指定位置。在墓道内安放槽钢作为龙门架基础，然后竖立下段龙门架，并将其底端滑轮置于槽钢内。在龙门架两侧搭设脚手架，吊装上段龙门架及横梁，并先用六角螺栓紧固。待全部吊装完毕后，在现场进行焊接。最后，在龙门架上安装手动葫芦。其中，顶部为 5t 葫芦（2 个），南北两侧为 3t 葫芦（各 5 个）。

2. 制作不锈钢支撑架

不锈钢钢管支架采用工业用不锈钢钢管，厚度 5mm，外径 60mm。钢管在墓室外分段切割、制作。

3. 斜撑木纠偏（图 3、图 4）

纠偏前先对斜撑木进行拍照，测量其尺寸、倾斜角度等准备工作。纠偏工作分为前室、中室和后室三部分进行。其主要步骤如下：

- （1）检查斜撑木保存状况，绑上吊带，挂上葫芦；
- （2）拆掉原有钢管，焊接好墓室底板处不锈钢钢管底座；
- （3）同时吊起两侧葫芦。纠偏到足够角度后放下不锈钢钢管支架，固定住葫芦，抬入不锈钢钢管支架，放在事先连接好的不锈钢钢管底座上，临时点焊固定；
- （4）缓慢放下斜撑木，靠在不锈钢钢管支架上；
- （5）焊接牢固不锈钢钢管支架；
- （6）检查纠偏结果，确认无误后松开葫芦；
- （7）移动龙门架。



图3 龙门架纠偏斜撑木



图4 纠偏后的斜撑木

（六）斜撑木脱水加固

将斜撑木上的树皮层全部揭取后，及时进行了脱水加固试验。材料为木质文物专用脱水剂。该试剂由专用复合剂和乙醇组成。由于木材脱水需要一定时间，故该项工作目前仍在实施中。

（七）断裂斜撑木修复

根据印山越国王陵斜撑木的实际情况，最后考虑选用纤维增强塑料（fiber reinforced plastic, FRP）材料修复断裂斜撑木。FRP 是利用长纤维通过一定的制作工艺编织成束或成布，再与树脂材料浸润复合，形成 FRP。经过观察，总共有 17 根断裂斜撑木需用 FRP 加固。

首先将断裂斜撑木表面剔凿，清理至结构坚固层，用铲刀将此范围内的朽烂的部分铲除。然后对斜撑木注射加固剂，裂隙充填加固。将断裂斜撑木对接，施胶，在其表面黏结玻璃纤维布。在局部不影响外观的地方利用扒钉固定，增加修复后斜撑木的强度。

（八）墓室内排水措施

为防止岩壁渗水对墓室影响，在墓室两侧型钢底部铺设塑料盲沟，岩壁表面挂设膨润土防水毯。塑料盲沟是将热塑性合成树脂加热融化后通过喷嘴挤压出纤维丝，叠置在一起，并将其相接点融结而成的三维立体多孔材料，具有抗压强度高、耐压性能好、使用寿命长、集排水性能好以及适应土体变形等特点，被广泛应用于隧道防渗排水、软基筑堤、挡土墙反滤、坡面与坡内排水、地下建筑的排水防潮等各类工程。此外，在墓室东侧设置一个集水井，两侧与盲沟相连，顶部利用水泵和地面相连，以便墓室内出现大量渗水后可以及时排出。

（九）青膏泥回填和木炭层复原（图 5、图 6）

斜撑木纠偏后，由东向西分层回填岩壁和斜撑木之间的青膏泥，每层填筑时用机器振捣夯实。在盗洞两侧以及原有木炭堆积层剖面处，还按原状复原树皮层，以达到保持原状的效果。

木炭层原先为松散状，故复原时必须加固。经现场以及实验室试验后选择用水性环氧树脂进行加固。配置材料中水性环氧树脂主剂的浓度约 40%~60%，实际水性环氧树脂固含量低于 5%。复原木炭堆积层时：首先，在外围按原尺寸搭设模板；其次，分层回填，并用机器夯实；最后，对木炭堆积层表面作旧。



图 5 复原后的木炭和树皮层



图 6 复原后的木炭和树皮层

四、结 论

绍兴印山越国王陵保护工程最大限度地保存了文物信息，其一期项目已经顺利通过专家评审，并得到浙江省文物局、绍兴县文化发展中心以及设计单位的认可。该项工程牵涉范围较广，既包括了工程防排水措施、木质文物脱水加固以及岩壁加固的保护，还涉及斜撑木纠偏、木炭和树皮层加固与复原的保护。因此，本次保护工程的顺利完成为合理保护类似墓室结构提供了宝贵的施工经验。

致谢：在保护工程实施过程中，得到了南京博物院文物保护科学技术研究所领导和同仁的关心和支持，同时也得到了浙江省文物局、绍兴县文化发展中心、湖北省文物保护技术研究中心等单位专家、领导的大力协助，在此表示感谢！

参 考 文 献

- [1] 浙江省文物考古研究所，绍兴县文物保护管理所. 印山越王陵. 北京：文物出版社，2002

作者单位：杨隽永、万俐、范陶峰，南京博物院

陈五六、金柏创，绍兴县文化发展中心

联系方式：江苏省南京市中山东路321号，邮编210016

浙江省绍兴县柯桥明珠路398号，邮编312030