

南京明代宝船厂遗址出土舵杆结构特征研究^{*1}

王军^{1、2} 龚德才¹

(1. 中国科学技术大学安徽合肥 230026

2. 南京市博物总馆江苏南京 210004)

【内容提要】：南京明代宝船厂遗址的发掘及船舶构件的出土，为研究郑和下西洋活动，尤其是郑和船队的相关信息提供了宝贵的资料。宝船厂遗址中出土的舵杆是船舵的重要组成部分，也是复原船舵的主要依据。通过对舵杆本体特征部位与古代不平衡舵的比较研究，对舵首、舵身、舵尾特征部位的结构、功能进行了深入、细致的分析研究，初步完成了船舵的结构、功能和操控系统的复原。

【关键词】：明代；南京；宝船厂；舵杆；结构；复原

【中图分类号】：K871.45；K875.3 **【文献标识码】**：A

一、宝船厂遗址

宝船厂遗址位于南京市西北部的中保村，原为长江南岸长期冲击而成的河漫滩，地势低洼平坦，西侧紧邻长江之夹江，背面为秦淮河，周围分布众多水道和水塘。遗址内现存三条长方形船坞遗迹（“作塘”），分别编号为四作塘、五作塘及六作塘，呈东北—西南走向，由北向南依次排列^[1]。

2003 年，为了配合宝船厂遗址公园的建设，经国家文物局批准，由南京市博物馆考古队对其中的六作塘进行了抢救性发掘。六作塘长 421、宽 41 米，属中等大小的作塘。

二、宝船厂遗址出土舵杆基本信息

南京宝船厂遗址范围内共出土船用舵杆 4 根。最早出土的舵杆是 1957 年由当时的南京市文管会发现的，舵杆长达 11.07 米^[2]；2003 年的考古发掘出土完整舵杆 2 根（图一），半成品舵杆 1 根，长度分别为 10.06（编号 BZ6：701）、10.925（编号 BZ6：702）、12 米。这四根舵杆均系整棵树木打造而成，造型完整，表面虽有裂纹，仍然质地坚硬、强度尚佳。从结构上看，三根成品舵杆大小相近，形制相同，可大致分为三段，上段为方柱形舵首，中段为圆柱体舵身，下段为扁平状舵尾，三段间以曲面弧形平滑过渡，方形、圆形、扁形融合其中，造型流畅，结合巧妙，内凹、外凸、各式孔洞、子母榫卯设计别出心裁，功能多样，像一件设计精巧的超大艺术品。

¹ 收稿日期：2016-06-21

作者简介：王军（1981—），男，中国科学技术大学硕士研究生、南京市博物总馆下属南京市文化遗产保护研究所馆员，主要研究方向：文化遗产保护与研究。龚德才（1960—），男，中国科学技术大学科技史与科技考古系教授，主要研究方向：文物保护与研究。



图一// 宝船厂遗址六作塘出土两根成品舵杆
(左侧为BZ6:702,右侧为BZ6:701)

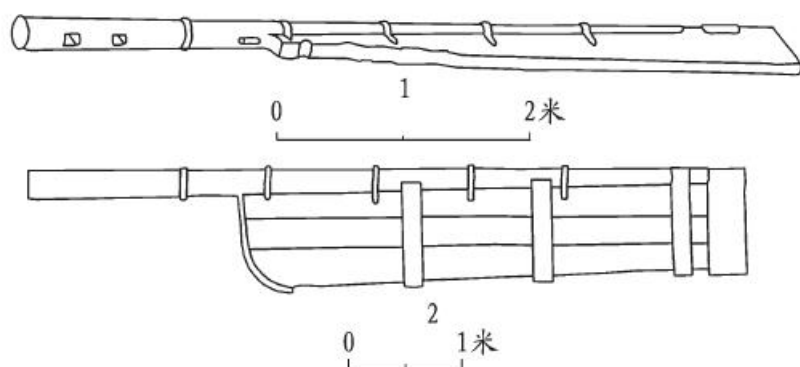
本研究拟选取 2003 年由南京市博物馆考古队考古发掘出土的编号为 BZ6:702 的舵杆为主要研究对象。

三、考古出土不平衡舵比较研究

宝船厂遗址出土舵杆为不平衡舵，体型庞大、结构精巧，代表了古代不平衡舵的最高水平，其舵杆营造的法式必然源于前代经验成果的总结，并对后世产生影响，通过考古出土较为完整的海船不平衡舵研究成果的比较分析，将有助于宝船厂遗址出土舵杆结构的深入研究。

1. 江苏太仓元代古舵

1989 年，在太仓县城盐铁塘岸边发掘出一根古代海船舵杆（图二）。舵杆上端直径 0.24、下端直径 0.1 米。距舵杆上端 0.3 米处，有相距 0.25 米的 0.12×0.13 米方孔 2 个，为安装操舵舵柄连接口，孔与舵杆轴线呈直角；舵杆上设 5 道宽 4 厘米的铁包箍，包箍间距为 0.8 米，第 1 道包箍距舵杆上端 0.13 米，用于包住舵杆，第 2、3、4、5 包箍用于加强舵叶与舵杆连接强度，残存舵叶与舵杆为一个整体^[3]，这与宝船厂遗址舵杆结构极为相似。



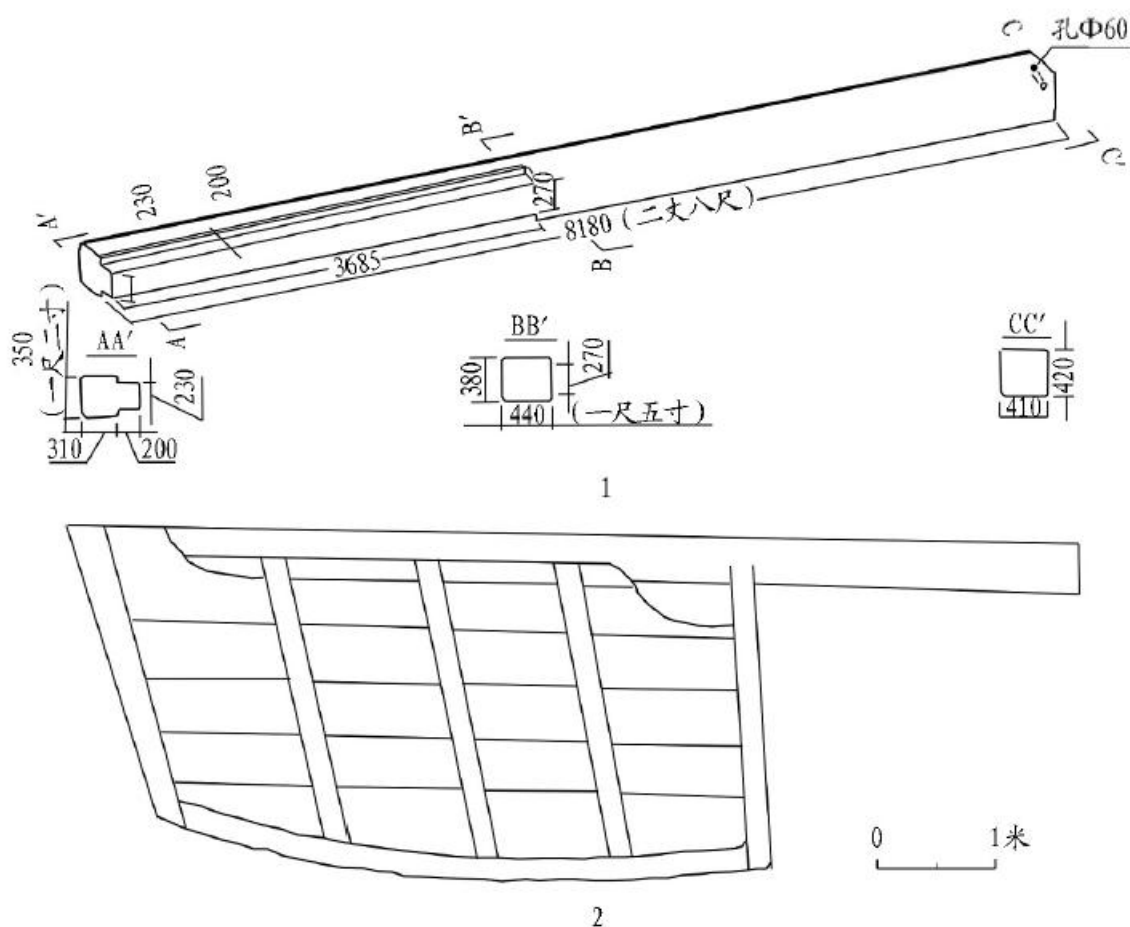
图二// 太仓元代舵杆及复原线图

1.复原前 2.复原后

太仓元代古舵的铁包箍增强了舵杆主体结构的稳定性，三块加强筋板则增强了舵杆尾部与舵叶的连接强度。拖泥与舵杆主轴基本保持垂直，说明这很可能是一根垂直升降的不平衡舵。

2. 山东蓬莱明代古舵

1984 年，在山东蓬莱水城清淤过程中发现了古船与古舵。顿贺在对蓬莱古舵考查和测量的基础上开展了复原研究（图三）^[4]。舵杆上半部分挺直，下半部分微弯曲，舵杆前缘无加工痕迹，后缘加工成长 3.685 米的凸面，应为与舵叶的连接部位。



图三// 蓬莱明代古舵复原前后

1.复原前(注:图中标识的数字单位为毫米) 2.复原后

从蓬莱古舵的结构上看,舵杆上半部分无安装舵牙的榫孔,似为舵杆半成品;复原后的船舵舵杆与舵叶板以三根木条(加强筋板)连接固定,能够有效提高船舵整体的强度和稳定性,这种加强筋板的连接方式在太仓元代古舵中已有应用,应作为一种较为成熟的固定技术,对宝船厂舵杆舵尾浅槽的研究有一定的参考价值。

此外,蓬莱古舵舵尾的拖泥与舵杆未保持垂直而是形成一个斜角,拖泥与舵杆轴的斜角设置更加确定了此舵为不平衡非垂直舵,即船舵在安装时拖泥保持水平,舵杆主轴与拖泥形成“ $\angle$ ”形,这是不平衡非垂直舵的实物例证之一。

3. 上海金湖木舵

2005 年,金湖木舵出土于上海长江口牛皮礁水域(图四),是迄今发现的最为完整也极具研究价值的古舵。何国卫先生认为坚硬粗大的舵杆以及相当完整厚实的舵叶都属罕见,古舵上吊舵孔的发现也表明了这是一个升降舵,而勒肚孔更是在实物上的首次发现,也佐证了史籍对古代航海关于勒肚孔的记载^[8]。木舵下方的拖泥部分破损较为严重,这也说明拖泥是船舵中最易磨损的部位,且金湖木舵所属船舶应多在浅水水域航行。



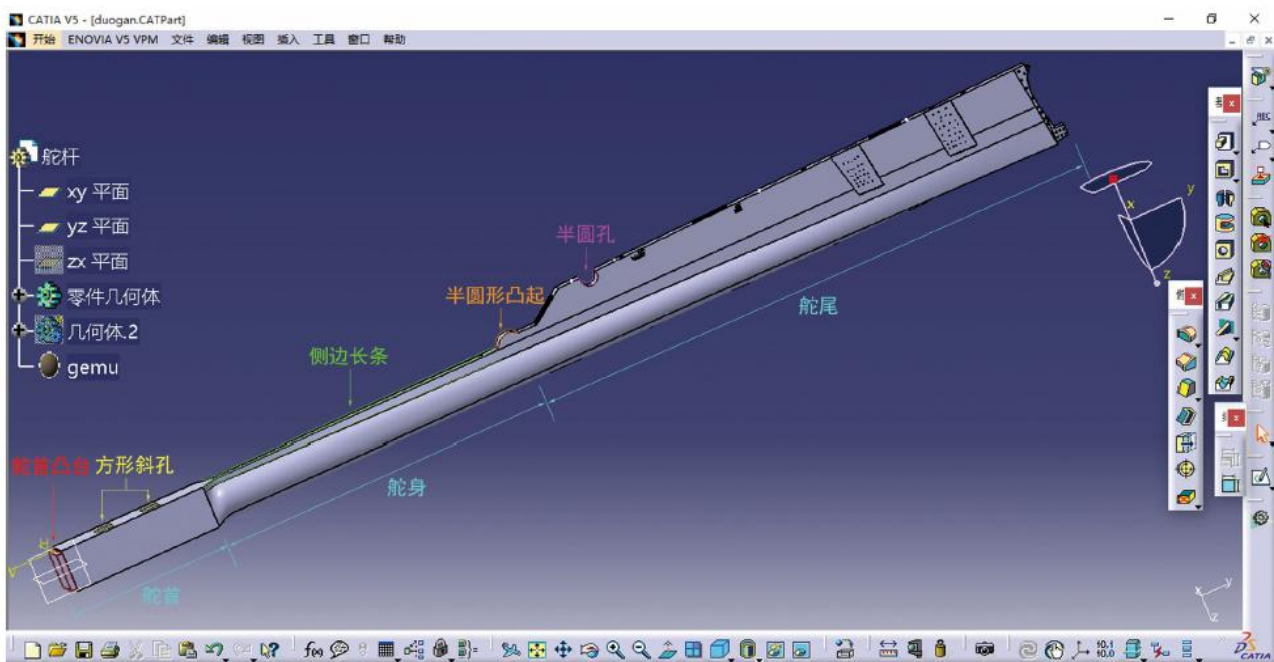
图四// 金湖木舵

金湖木舵沿用了太仓元代古舵的铁包箍结构，加强了舵杆及其与舵叶的连接强度。此外，四块舵叶长条板内部由多根穿心龙骨连接，这一舵叶板拼接方式很好地说明了宝船厂遗址出土舵杆舵尾侧面孔洞的用途。从残存的舵叶长条板的形状来看，似为平行四边形板材，船舵底部的拖泥应与舵叶上部的横梁平行，整个舵叶呈菱形，这一舵叶特征与宝船厂舵杆舵叶板样式极为相似；金湖木舵拖泥与舵杆亦呈“ $\angle$ ”型，为海船不平衡非垂直舵的又一例证。

四、BZ6：702 舵杆结构研究

中国科学院自然科学史周世德先生曾对 1957 年宝船厂遗址出土舵杆进行了鉴定和结构研究，他将船舵结构复原为舵牙、舵杆、上川、拖泥、舵叶五大部分^[6]，为本文舵杆的细节特征研究打下了良好的基础。

本文通过实地采集测量舵杆结构、尺寸信息，运用三维软件（CATIA）绘制了舵杆三维模型（彩插七：1），以此为基础，分别对舵首部分的舵首凸台、方形斜孔，舵身部分的侧边长条、半圆凸起，舵尾部分的半圆孔、孔洞、浅槽、钉孔、拖泥榫口进行专门分析与研究。



1. 舵杆三维模型

1. 舵首结构及特征研究

方形舵首由两部分组成：一为主体方形舵首，一为顶部尺寸略微缩小、高约 4 厘米的凸台。主体方形舵首尺寸为 $0.4 \times 0.43 \times 1.54$ 米，方形凸台的尺寸为 $0.34 \times 0.38 \times 0.04$ 米。

(1) 舵首凸台

舵首凸台从舵杆结构位置上分析，处于舵杆顶端，本身与舵首连为一体，其次是尺寸较舵首略小了 4~5 厘米，边角经倒圆角处理，表面光滑，无钉孔、榫卯接口等特征，推测凸台由四边形金属箍条紧固，能够防止舵首变形、开裂，同时具有一定的装饰效果。这种采用金属构件加固船舵的方式，在太仓元代古舵和金湖木舵上都有发现，不同的是后二者的铁包箍结构，既有利于舵杆本身防裂紧固的铁箍，又用于加强舵杆与舵叶连接的铁箍，而且铁箍数量较多，这也从侧面说明该舵杆所用木材格木 (*Erythrophloeum fordii*)^[7] 较太仓古舵 (榆木) 和金湖木舵 (未知) 具有更加优良的机械性能。

(2) 方形斜孔

舵首中部有两个方形斜孔。两孔大小、结构相同，孔长 18、宽 15、深 46 厘米，两孔相距 33 厘米，两个孔洞与舵首顶部平面夹角为 20.77° ，且靠近舵叶一侧的洞口较另一侧的高。从古代船舵的结构特征来看，这两个方形斜孔是用来安插操控船舵方向的舵牙之用，推测上端舵牙孔主要用于空仓或者轻仓航行时使用，下端舵牙孔主要用于满仓或者重仓航行时使用。

2. 舵身结构及特征研究

舵身是由直径缓慢收窄的圆柱、侧边长条及半圆形凸起组成，圆柱部分直径为 $0.34 \sim 0.4$ 米，侧边长条部分由倒“八”字快速收窄，同时厚度增加，形成长柄铲形长条。

（1）侧边长条（彩插七：1）

舵杆舵身侧翼的侧边长条设计只在宝船厂遗址出土的三根舵杆中存在，也系首次在宝船厂遗址出土舵杆研究中对其进行单独研究。首先，经过测量，侧边长条长度为 3.046 米，其下沿、上沿为船舵升降的区间；其次，在舵身圆柱直径和舵承孔直径一定的情况下，侧边长条设计有利于增加舵身的抗折强度，提高结构的稳定性，最大化的利用木材。

（2）半圆形凸起

半圆形凸起位于侧边长条下方，笔者认为，此半圆形凸起的主要作用为限制船舵吊起的最高位置，防止舵叶上沿与舵承发生碰撞。

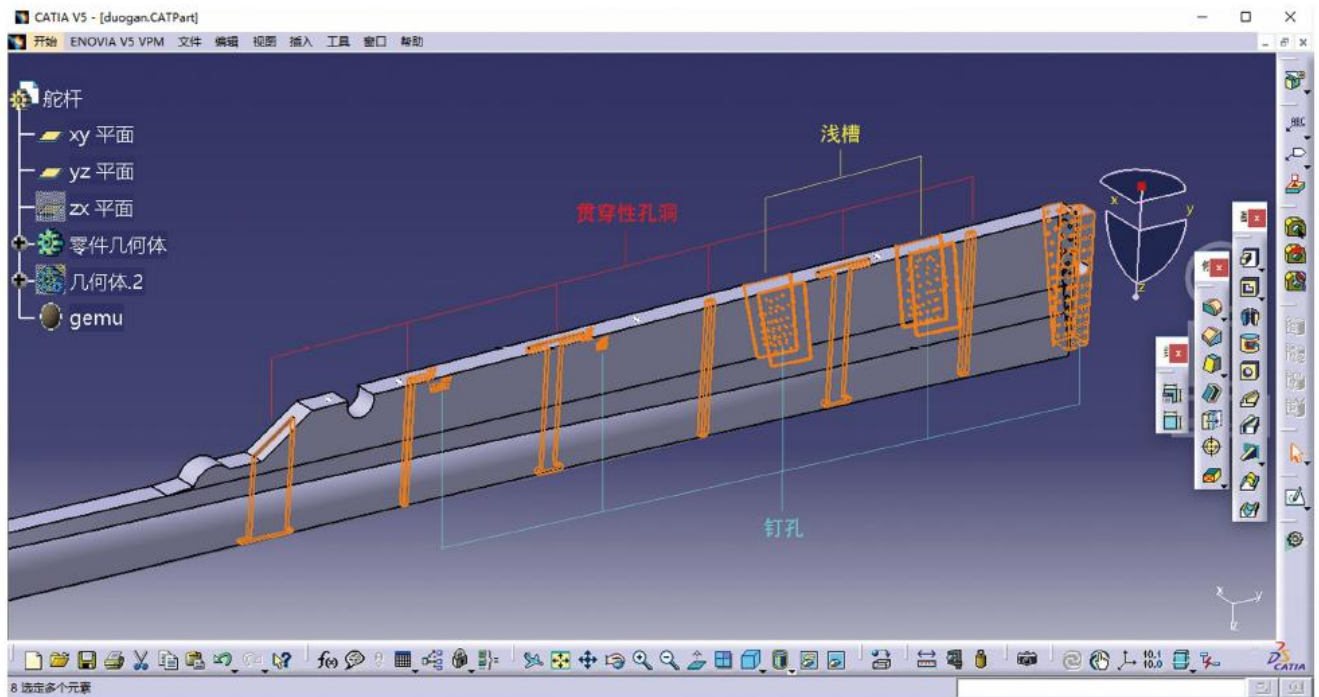
3. 舵尾结构及特征研究

（1）半圆孔

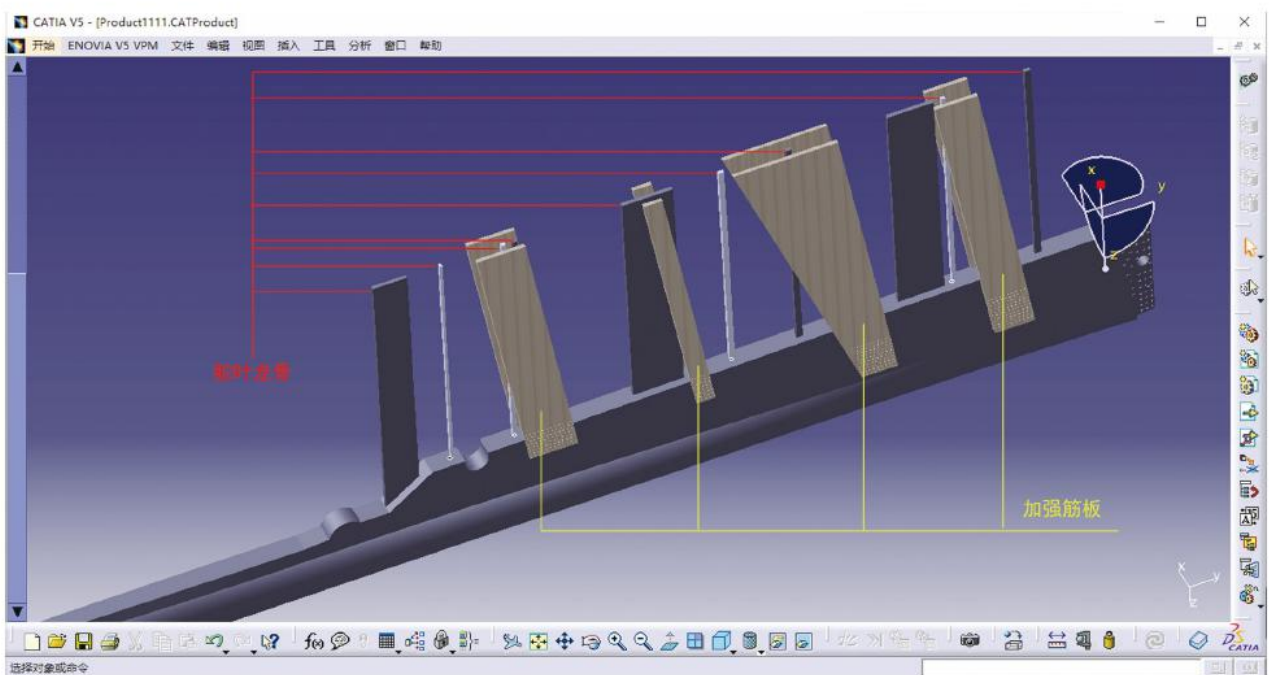
宝船厂出土舵杆舵尾上段靠近舵叶一侧有一半圆孔，此半圆孔是整根舵杆唯一的一处可清晰辨认的半圆形凹槽。从其位置特征来说，位于舵杆的中段，舵尾的上段，半径为 8.823 厘米，与舵杆靠近舵叶一侧边沿相交割，形成以优弧和割线组成的耳形结构。

江苏太仓元代古舵杆形制与宝船厂舵杆一致，其吊舵孔位置即位于舵尾上段；金湖木舵，保留了较为完整的舵杆和舵叶，吊舵孔形状、位置清晰可见，是由两个相交割圆弧形成的耳形吊舵孔。这两例吊舵孔位置与形制的实物资料具有非常重要的参考价值。推测宝船厂遗址出土舵杆半圆孔为吊舵孔局部，吊舵孔为对称耳形结构，与金湖木舵的吊舵孔属于同一类型。吊舵孔的对称耳形设计不但能够增加吊舵绳索的组数，提升吊舵索的拉升重量，而且能够均匀分散绳索的拉力点，减少绳索之间的相互磨损。

（2）孔洞、浅槽、钉孔（彩插七：2；彩插八：1）



2. 孔洞、浅槽三维图

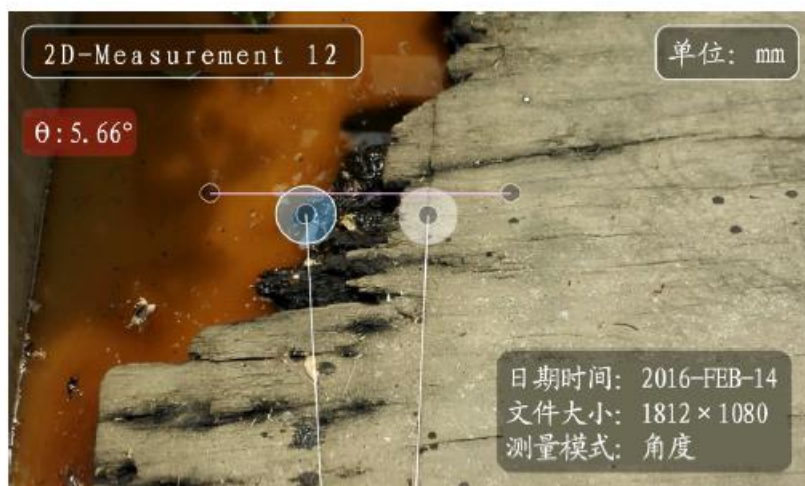


1. 舵叶龙骨、加强筋板样式

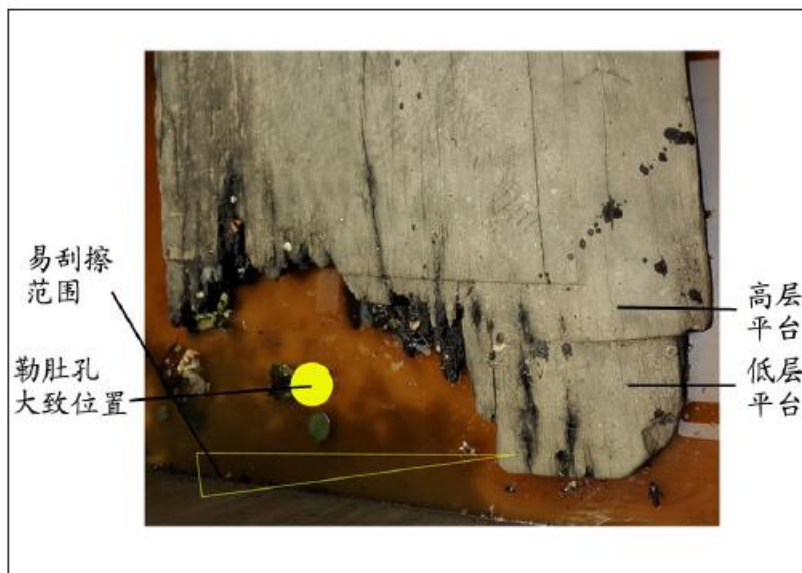
舵首以下，共计开凿贯穿舵尾的贯穿性孔洞 6 个，非贯穿性方孔 4 个。贯穿性孔洞 3 个横截面为扁方形，3 个横截面为方形，非贯穿性方孔均在舵叶延伸一侧，边长约为 3 厘米；舵尾表面共计开凿浅槽 4 个，正面、反面各 2 个，浅槽为近似平行四边形或者梯形，槽内保留较为密集的铁钉痕迹。

舵尾的 10 个孔洞，推测为连接舵尾和舵叶板的舵叶龙骨；舵尾正反两面 10 处片状铁钉钉孔痕迹，其中 4 处位于扁平舵尾上中段，4 处位于扁平舵尾下中段斜向浅槽内，2 处位于舵尾底端与拖泥樯口交接处，推测舵尾上方的 8 处钉孔为船舵的加强筋板位置痕迹。

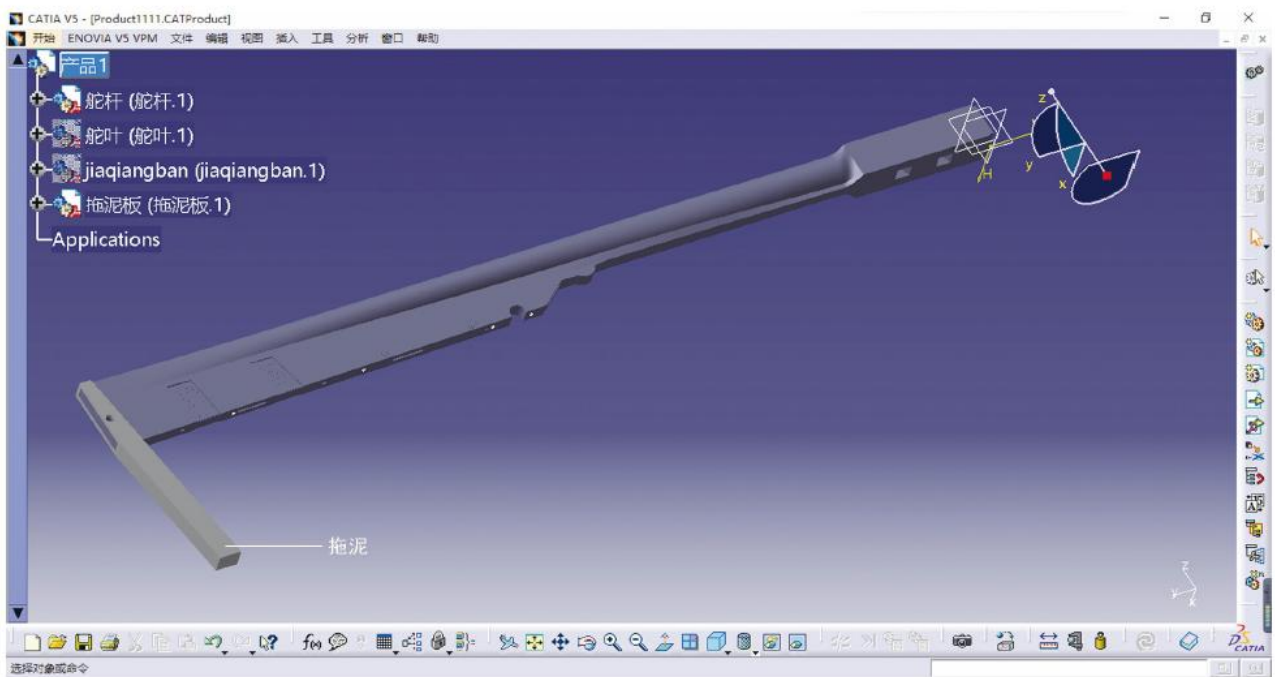
拖泥樯口处可见明显的二层平台，平台边界明显，低层平台边界线与舵杆主轴近似垂直，高层平台边界线与低层平台边界线夹角为 5.66° （图五、图六），推测拖泥一头与拖泥樯口垂直套合后，由铁钉固定，拖泥杆沿高层平台边界线延伸，整个拖泥呈高尔夫球杆样式（彩插八：2）。



图五// BZ6:702拖泥樯口二层平台界线夹角示意图



图六// BZ6:702拖泥樯口缺损原因分析示意图



2. 拖泥样式(浅色构件)

(3) 拖泥榫口缺损

舵尾下端为拖泥榫口，拖泥榫口呈近似方形，越靠近榫口边沿尺寸越小，榫口凸出长度为 25.5、宽度最小为 77.94、平均厚度 11.77 厘米。出土实物中，榫口靠近舵叶一侧糟朽腐蚀，靠近中心部位残损严重，残余部分保留铁钉钉孔痕迹。从缺损的形状和位置来看，1957 年宝船厂遗址出土的舵杆以及 2003 年与研究对象同期出土的编号为 BZ6：701 舵杆在拖泥榫口位置都有同样的缺损，即迎水的一侧保持完好，中后部开始缺损，而且是靠近舵叶部分缺损较多，缺损呈近似三角形。这样的缺损绝非偶然。对于拖泥榫口部位的残缺原因，分析如下：一、由于其位置处于舵杆的最下端，在航行时与水域中的礁石、凸起河床发生接触，造成物理损伤是有一定可能性的，当拖泥杆保持水平时，拖泥榫口背水一侧的直角区域在水平线以下，最容易受到刮擦而缺损；二、如果仅仅是刮擦引起的缺损，缺损面应该呈水平方向，而实际的情况是缺损继续向上扩展，因此在三角形缺损的顶端有人工预先挖凿孔洞的可能，这样缺损形状才有可能向上延伸（图六）。宝船厂遗址出土舵杆除了吊舵孔外，并无其他可勒舵的孔洞，金湖木舵的勒肚孔位置也位于拖泥榫口处，因此拖泥榫口的残缺位置为勒肚孔位置的推测更加可信。

从整个舵杆的营造来说，如此巨大的船舵仅靠吊舵索、舵承很难保证在大风大浪情况下的横向稳定性，而勒舵装置就有保持船舵位置稳定、减小抖动、同时平衡航行过程中水流对船舵纵截面的推力的作用，对大型海船船舵极为必要。

五、结论

通过将宝船厂遗址出土 BZ6：702 舵杆放入到古代不平衡舵的发展序列中，与太仓元代古舵、蓬莱明代古舵、金湖木舵进行比较研究，合理地解释了宝船厂舵杆的结构功能特点。归纳如下：

1、宝船厂遗址出土舵杆为古代不平衡非垂直升降舵，即船舵舵叶位于舵杆一侧，舵叶由舵尾与舵叶板纵向拼接而成，舵杆主轴倾斜悬挂，由舵首向船尾方向倾斜 5.66° ，船舵具有升降功能，升降区间为舵身侧边长条的下沿和上沿，升降范围为 3.046 米。

2、舵尾表面的钉孔、浅槽为船舵加强筋板位置，舵尾侧面的贯穿性与非贯穿性孔洞为舵叶龙骨位置，宝船厂船舵舵尾与舵叶板采用了 8 块加强筋板和 10 根舵叶龙骨复合连接固定的方式，系首次将这种内芯串联固定与外表辅助增强固定方式融合在一起，弥补了单一固定方式结构强度和稳定性上的不足。

3、确认了宝船厂船舵吊舵孔的位置与形制，吊舵孔位于舵尾上部半圆孔处，为对称耳形结构；推断了勒肚孔的位置，位于舵尾底部榫口残缺处中部；对于大型船舵来说，勒肚孔的设置非常必要，它通过与系在船首的绳索相连，能够有效地保证船舵的横向稳定性，减少船舵尤其是舵叶部分的摇摆。

4、以舵杆结构特征为依据，通过三维模型初步展示了复原船舵的结构样式，为进一步依据船舵研究船舶提供了支撑。

[1] [7] 南京市博物馆：《宝船厂遗址——南京明宝船厂六作塘考古报告》，文物出版社 2006 年，第 1—3、241 页。

[2] 韩毓萱、叶庙梅：《三汊河发现古代木船舵杆》，《文物参考资料》1957 年第 12 期。

[3] 顿贺：《江苏太仓出土的古舵的研究》，《武汉水运工程学院学报》1993 年第 1 期。

[4] 顿贺、罗世恒：《蓬莱明代古舵杆研究》，《船海工程》1993 年第 3 期。

[5] 何国卫：《初探长江口外出土的古船木舵》，《中国航海文化之地位与使命》，上海书店出版社 2011 年，第 9—20 页。

[6] 周世德：《从宝船厂舵杆的鉴定推论郑和宝船》，《文物》1962 年第 3 期。