文章编号: 1006 - 2343(2019)04 - 210 - 05

依据《三国志·作木牛流马法》复原木牛流马

曹励华[1], 邹慧君[2]
(1. 上海市青少年校外活动营地东方绿舟,上海 200050,E-mail: 819094704@qq.com;
2. 上海交通大学,上海 200030)

摘 要: 木牛以形造,流马以尺造。在符合历史文献记载的基础上,复原模型参考分析了其它相关的约束要素,例如容积要求、功能要求、制作技艺、结构坚固程度、不跨越历史等,完整地表达了复原思路,解剖了与历史记载相对应的结构形态,完成了木牛流马表达模型的复原研究过程。

关键词: 木牛流马; 古代机械; 复原
中图分类号: K236.2 **文献标识码:** A

Restoration of Wooden Cattle and Horses Within the Framework of Documentation

CAO Lihua[1], ZOU Huijun[2]
(1. Shanghai Oriental Green Boat, Shanghai 200050, China;
2. Shanghai Jiaotong University, shanghai 200240, China)

Abstract: Cattle are made by shape deduction and horses are made by prescribed size. On the basis of historical documents, the recovery model quotes and analyses other relevant constraints, such as capacity demand, functional demand, production process, structural robustness, non - cross - history, etc. It fully expresses the idea of recovery, dissects the corresponding structure of historical records, and completes the research process of the expression model of Trojan Bull and Horse.

Key words: Wooden cattle and horses; ancient machinery; restoration

此前的文章已经表述了木牛和流马设计指导性文本的产生过程[1-5]。文本以现代语给出了一个符合历史文献的器具框架描述[6-9],之后的复原工作以此为依据,结合当初技术的实现可能,进行了结构上的细化表达[10]。

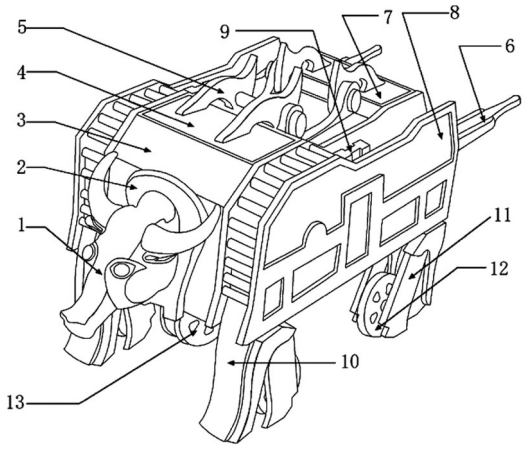
复原作品的主体件完全依据文献的描述,反映了原设计的全部关键。作品需要完整成型,按需增加了文献省略的、依据常识应有的常规件、紧固件和用于连接的榫卯。

木牛和流马是两件器具,以下分别阐述。

1 木牛的复原设计

"牛头向下弯曲,牛足四只装有助行的脚轮,牛颈上套着领圈,牛脚一只着地装置是双轮,牛腹为方形米箱,牛背有箱盖,舌根松弛地安装于米箱,米箱侧板外还有护板,形成两侧有夹层的结构,牛肋位于夹层内,刻有牛齿,装有牛角,牛鼻孔上的那根称为'鞦轴'的木棍控制着缰绳,木牛以双辕操纵。木牛具备步行功能,步幅为一尺五寸左右,一牛行日数十里,群牛行日二十里。木牛可装一名士兵吃一年的粮食。"

关于木牛,文献采用的是象形描述。因此首先可以确定其总体和局部两级形制的象形设计原则,主体件至少应抽象表达,不应对此有忽略或过于细腻的超越。



▲图 1

木牛的"一脚四足"构造、"牛舌机关"传说和轮步行双功能的特征,都在复原作品上提供了符合性的设计。

1.1 整体外观形制的设计

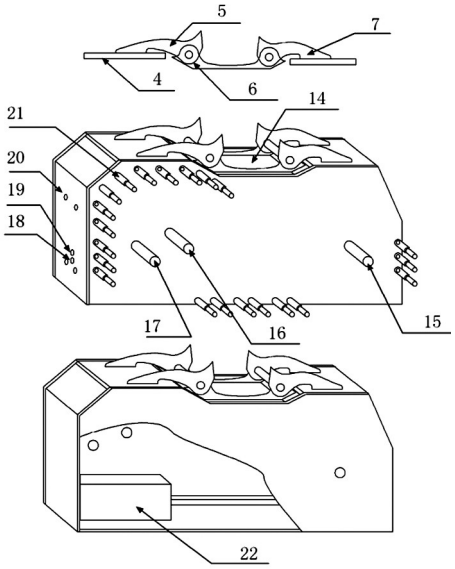
真牛躯干三维比值、躯干与四肢、头面部比值依照各类资料获取平均近似区间值,确保作品看上去像牛; 步幅依靠

收稿日期: 2019 - 03 - 29

设定足的摆动角度来实现; 四只足带有助行的足轮且具备步行功能,就不可能完全象形,可以做到的是牛足与牛身的比值正确; 依照牛身的三维比例制作的模型,缩放以后达到围空容积可以存放 300 kg 粮食。这些是设计在外观形制上首先需要实现的。

复原的木牛模型,如图 1 所示。模型包括牛头 1、牛领 2、牛身 3 和牛足 10,牛头 1 取低平姿势、设置在牛身 3 的前端且其内部设置有缠绕控制结构(并非闲置) ; 牛身 3 由两侧的护板 8 和设置在牛身(米柜的柜体) 底部的托架组成; 牛身 3 与护板 8 牛身之间设有两级仿步行杠杆结构 9、向后伸出的杠杆 6 和向下伸出的牛足 10 四只,牛足 10 上装有复足 11 和足轮 12,牛身 3 的下部设置有可以收放的中央脚 13 一只。

图 2 补充了部分细节: 牛身 3 的顶部中央为顶板 14,顶板 14 上固定安装有铰链座 6,铰链座 6 的两端均通过铰链轴分别铰链有前活页 5 和后活页 7,前活页 5 和后活页 7 均固定连接有柜盖 4; 柜体 3 的两侧边缘均设置有用于连接护板 8 的柱销 21; 柜体 3 侧面穿有前足轴 17、后足轴 15 和杠杆轴 16; 柜体 3 前端的面板 42 上开设有 4 个牛领圈安装孔 20、1 个牛舌安装孔 19 和 1 个缰绳通孔 18; 柜体 3 内部中央的前方设置有下空的用于中央脚 13 收起的储轮箱 22。



▲图 2

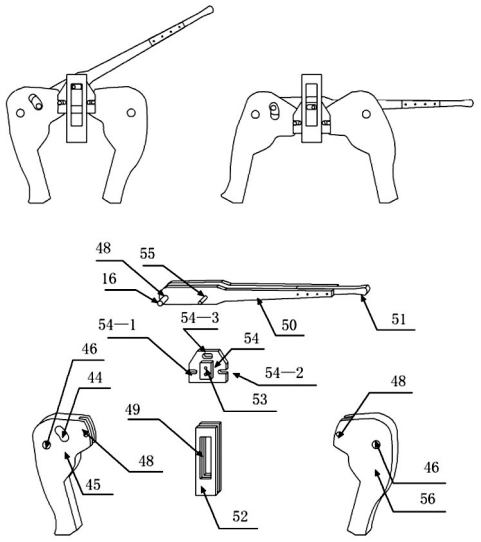
1.2　一脚四足的设计

木牛的一脚四足名闻遐迩。四足的稳定性和一脚的灵活性集于一体,增强了对路面路况的适应能力。

1.2.1　两级杠杆仿步行结构的设计

如图 3 所示,两级仿步行杠杆结构 10 由杠杆 50、滑道组件、前足中心板 45 和后足中心板 56 组成。

滑道组件包括滑座 52、呈角位分布的 4 根滑道 49、滑块 54 和位于滑块两面中央的导向块 53; 杠杆 50 通过杠杆 - 滑块轴 55 穿过滑块 54 上的通孔 54 - 3 连接; 杠杆 50 的前端设有杠杆孔 48 与柜体穿出的杠杆轴 16 对应,杠杆 50 的尾端连接有手柄杆 51,当手柄杆 51 上下的时候,滑块 54 作相应的上下运动; 前足中心板 45 和后足中心板 56 上均设有主轴孔 46 分别与柜体穿出的前足轴 17 和后足轴 15 对应,前足中心板 45 和后足中心板 56 上穿有滑块轴 48,滑块的两侧开设有横向缺口 54 - 1、54—2,滑块轴 48 分别位于对应的横向缺口 54—1、54—2 内与滑块 54 联动,随着滑块 54 的上下移

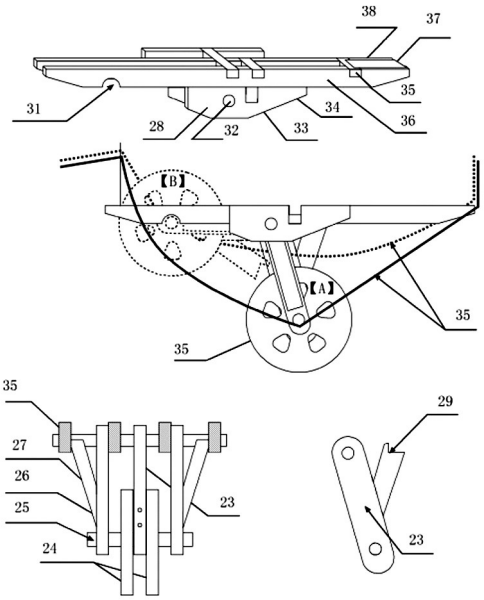


▲图 3

动,两侧的前后足各自同步进行围绕足轴的往复摆动,具体表现为前后足远端分开与靠近相交替。前足中心板 45 上还开设有供杠杆轴穿过的豁口 44。

1.2.2　托架和中央一脚的收放结构

如图 4 所示,托架包含 2 根直梁 35、长横梁 33、短横梁 36、顶梁 34、4 块伏兔 28、卸粮口滑板 38 和限位梁 37。



▲图 4

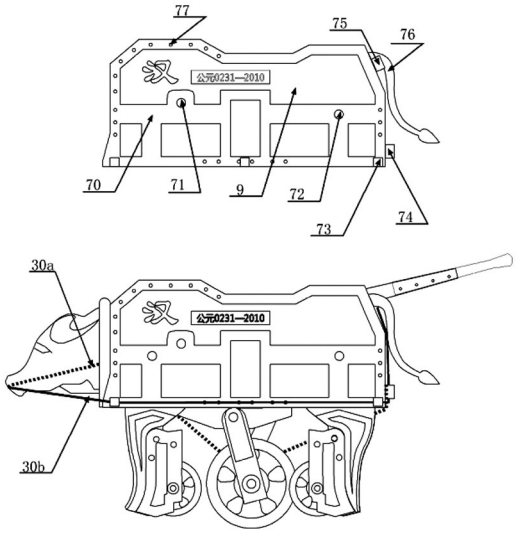
每块伏兔 28 通过脚轴 32 与中央脚 13 穿连; 中央脚 13 包括中心支撑杆 23、外侧立撑杆 26、外侧斜撑杆 27 和中央轮 24,中心支撑杆 23、外侧立撑杆 26 和外侧斜撑杆 27 通过轮轴 25 与中央轮 24 穿连。其中,直梁 35 的前部均设有半圆缺口 31,当缰绳向前拉时,中央脚收起(处于图 4 中 B 位) ,轮轴 25 正好卡入半圆缺口 31 内,用以提高中央脚收起位; 中心支撑杆 23 的一侧固定连接有斜杆,斜杆的顶部设有直角缺口 29,当缰绳向后拉紧时,中央脚放下(处于图 4 中 A 位) ,直角缺口 29 正好顶住顶梁 34,增加了受力能力。

1.3 牛舌机关的设计

牛舌机关的故事来源于小说三国演义，虽然不能成为复原设计依据，但是原文献关于牛舌和牛缰绳、牛鞦轴的多处描述却显得对控制系统描述的十分重视，而依据这些相关的描述确实可以完成一种依靠牛舌翻转实现的、隐蔽的缠绕控制设计。

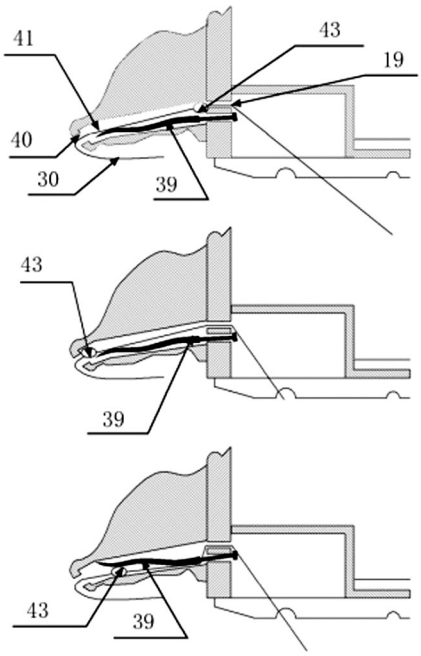
1.3.1 护板、系缆柱和缰绳走向

如图5所示，两侧护板9在对应位置上分别设有柱销连接孔77、前足轴孔70、后足轴孔72和杠杆轴孔71。



▲图5

其中一个护板的下方还设有缰绳穿孔柱73，在两个护板之间后部中上方的柜体上设有牛尾76和系缆柱74、75。图5下图中的缰绳30a、30b是一整根，虚线部分的30a从内部经牛舌39上方穿过牛身前板上的缰绳穿孔19至中下方通过，连接中央脚13继续向后，到了后端折向上；实线部分的30b走侧面绕向后方折向中间再向上。当中央脚13着地时，虚线后半部分必然抽紧拉长，系于系缆柱75上，而实线部分此时放松缩短，最后系于较低的系缆柱74上。



▲图6

1.3.2 牛舌缠绕控制机关的设计

缠绕控制结构包括牛舌39、缰绳30和固定于缰绳上的小球(牛鞦轴)43。牛头1内部的中下方设有空心通道41，牛舌39设置于空心通道41内且自身可以翻转，缰绳30从空心通道41前端的牛口40穿入、缰绳通孔19中穿出。小球43固定于缰绳口腔内段上一点，与该点同步，如图6所示。

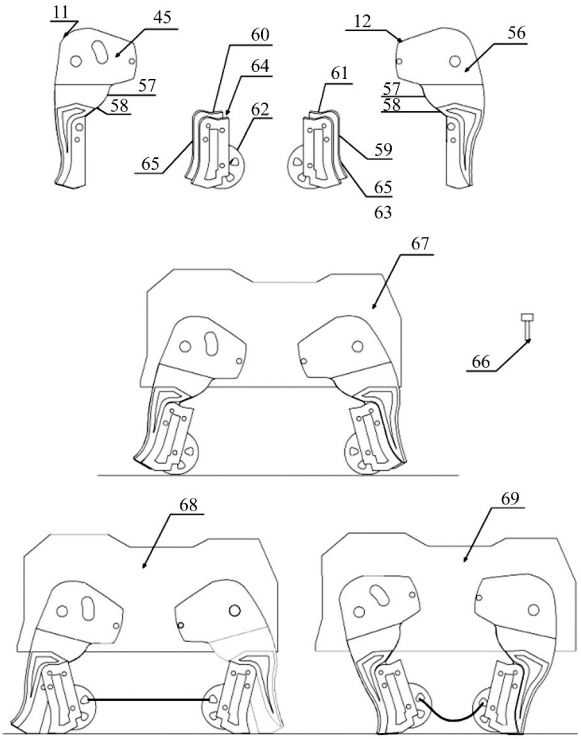
图6表达了3种情况：情况Ⅰ：牛舌39不翻转，缰绳30向后抽的时候小球43在缰绳通孔18的一端，此时中央脚13着地，参见图4A；情况Ⅱ：牛舌39不翻转，缰绳30向前收的时候小球43在牛口40的一端，此时中央脚收起，参见图4B；情况Ⅲ：牛舌39翻转180°，将缠绕缰绳30，并改变空心通道41的通行状况，此时小球43被卡住无法移动，中央脚无法着地即失去转向能力。

栈道多转，失去转向能力意味着丧失了前行的能力。

在隐蔽机关获得验证的时候，它支持了以下的理解：这有可能是将运粮工具设计为牛型的关键原因之一。

1.4 轮步行双功能足的设计

如图7所示，牛足包括2个前足11和2个后足12。



▲图7

前足中心板45和后足中心板56的两侧均安装有增厚板57和限位板58；4个足上均装有复脚组，每个复脚组包括2块复脚板60、64和脚轮62，复脚板上设有与足相连的连接轴孔59、用于一组2块复脚板自连的自连轴孔61、脚轮轴孔63和锁孔65，锁孔65内插设有锁销66。复脚组与足相连后，在锁孔65中插入锁销66，使复脚组不活动，此时应始终使杠杆处于下压状态，就是脚轮62着地的轮行状态67，拔去锁销66使复脚组活动，并用弹性索连接前后脚轮62，此时杠杆上下压抬，四足的脚轮62就不再着地，每侧的前后足始终在一定尺寸内进行拉开状态68和内合状态69的切换。

“四肢”与“躯干”属高位连接，柜体重心位于连接点以下，局部形成悬吊状态。在制作原大实样时，需要在脚轴 15、17 与牛身托架(见图 4)之间增加悬吊杆承重。

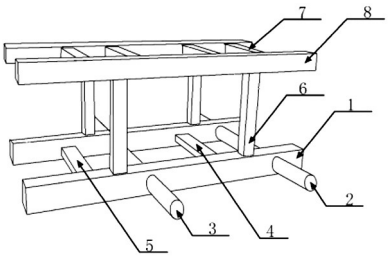
2　流马的复原设计

流马包括框架轮轴与落杆制动组件(三脚杠)、马身组件、马鞍车辖组件和箱体组件。框架与落杆制动组件设于马身组件的内部，马鞍及车辖组件设于马身组件的外侧，马鞍及车辖组件上承托有箱体组件[6]。

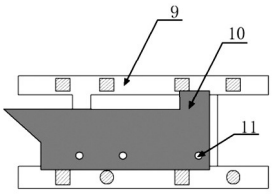
2.1　框架、轮轴与落杆制动组件

2.1.1　框架与轮轴

框架组成马体的内部骨架。其上下两层均为两纵四横的水平框形件。图 8 可见，下层有两轴 2、3 两杠 4、5 平行排列，与左右主梁 1 连为整体; 上层对应有四根横杠 7，同样平行排列，以各开有四个上杠安装孔的两根上梁 8 连接为整体。上下两层之间有称为“脚”6 的四根立柱，前后左右对称排列，以方榫方式连接上下两层。



▲图 8

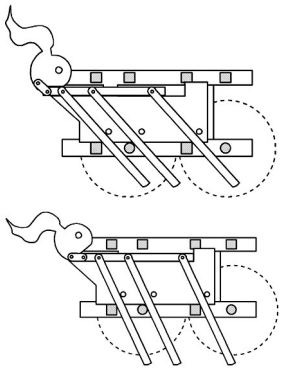


▲图 9

在框架 9 的纵向中央竖有立板 10，立板上沿是三脚杠的滑道，立板上有一些限位柱 11，和下层的两轴两杠共同承担三脚杠收放的限位，如图 9 所示。

2.1.2　落杆制动组件(三脚杠)

行进中按下马尾，车辆即制动，抬起马尾结束制动。落杆制动的组件——“三脚杠”隐蔽于马体之内，表达了国之重器不示于人的原则，如图 10 所示。



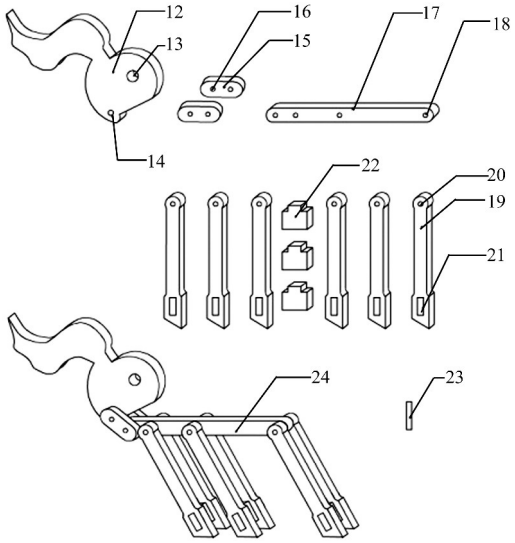
▲图 10

三脚杠组件由马尾 12、推杆 17 和 6 根垂杆 19 组成，如图 11 所示。马尾 12 和推杆 17 通过连接块 15 穿入柱销 23 连接，垂杆 17 两根一组且每组之间通过连榫块 22 穿连，每组垂杆 19 的上端与推杆 17 连接形成三脚杠 24。

其中，马尾 12 上设有尾孔 13 和连接孔 A(14)，连接块 15 上前后设有连接孔 B(16)，推杆 17 上设有连接孔 C(18)，垂杆 19 上设有榫孔 21 和连接孔 D(20)，连接孔 A、连接孔 B、连接孔 C 和连接孔 D 均与柱销 23 对应适配，榫孔 21 与连榫块 22 相适配。

2.2　马型罩组件

前述三脚杠制动系统在当初是一个关键发明，马型罩掩

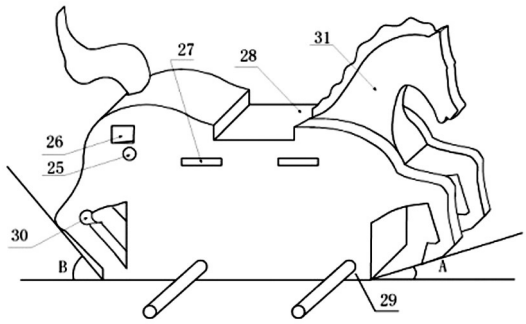


▲图 11

护了这项技术。同时，马型罩使流马获得一个高位指示件——马头，如果在水中漂运，将会露出水面，保障了下游不失认领。

出于框架高度尺寸的限制，选择马形罩屈曲四腿的奔跑姿势。而奔跑时因为视野的关系马的头部是略向下低的，这样，仰脖颔首的姿势就被推出。其前后小腿的收拢瞬间状态则正好形成前防撞 A、后防踢 B 的留空角度。

如图 12 所示，马形罩 31 组件单一。马型罩上开有尾轴孔 25、马鞍缺 28、马身攀孔 27、前后车轴孔 29、膝窝孔 30 和把手缺 26。



▲图 12

2.3　马鞍与轮、辖组件

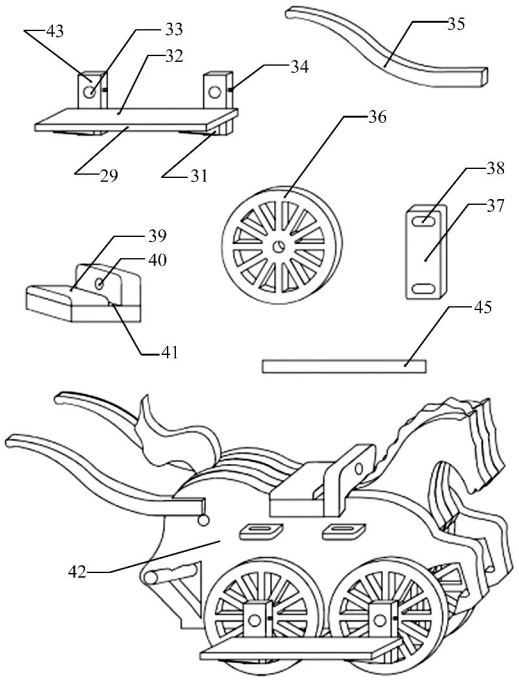
马鞍及车辖组件由四个车轮 36、马鞍 39、辖板 32、把手 35、马身攀 37 和踩杠 45 组成，如图 13 所示。

车轮 36 套入车轴 27 的两侧，车轴 27 继而套入辖孔 33，辖板 32 的辖块 43 侧面插有辖销 34，马鞍 39 安装于马鞍缺 28 内，马身攀孔 27 中穿入马身攀 37，把手 35 安装于把手缺 26 内，膝窝孔 30 内穿入踩杠 45(平衡杆)。

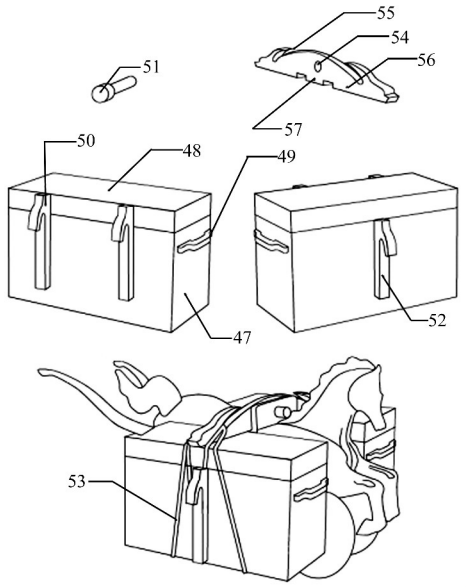
2.4　箱体组件

箱体即米箱，原文献中称为‘板方囊’。如图 14 所示。

箱体组件由箱体 47、箱盖 48、箱攀 49、箱勾 50、绳勾 52、扁担 56 和绳索 53 组成。箱勾 50 挂于两侧的马身攀 37 上，箱体 47 的底部落于辖板 32 上，扁担 56 上设有安装凸 57 按



▲图 13



▲图 14

入马鞍 39 上的扁担缺 41，扁担 56 上设有锁孔 54 且锁孔内插入锁杆 51 并从马鞍上的鞍孔 40 中穿出，绳索 53 穿过辕板斜撑块 42 的绳孔 44、绕过扁担上的绳缺 55、箱体上的绳勾 52 完成捆扎固定。

3 结 论

古代机械有多种信息状况。当文字信息完整的时候，关键的复原障碍是对文字的准确解读。在此基础上才有意义去分析其他影响复原的约束要素。

木牛以形造，流马以尺造。在符合历史文献记载的基础上，本复原模型参考分析了其它相关的约束要素，例如容积要求、功能要求、制作技艺、结构坚固程度、不跨越历史等，完整地表达了复原思路，剖述了与历史记载相对应的结构形态，完成了木牛流马从历史记载到表达模型的研究过程。

参考文献

[1] 卢弼. 三国志集解 [M]. 北京: 中华书局，1959.
[2] 陈寿. 三国志 [M]. 北京: 中华书局，1982.
[3] 王先谦. 补释名疏证补 [M]. 第一版. 北京: 中华书局，2008.
[4] 张玉书. 康熙字典 [M]. 第一版. 上海: 上海书店出版社，1985..
[5] 许慎. 说文 [M]. 第一版. 北京: 中华书局，1963.
[6] 曹励华，邹慧君. 作木牛流马法版本选择与解读 [J]. 机械设计与研究，2019，35(3)：210－213.
[7] 曹励华，吴巧静. 木牛流马结构与功能的再现 [J]. 机械设计与研究，2009，25(3)：121－125.
[8] 曹励华，吴巧静. 诸葛亮木牛流马对古代机械的四点贡献 [J]. 机械设计与研究，2009，25(增) 202－204.
[9] 曹励华，吴巧静. 作木牛流马法疑难字句的破译方法 [M]. 技术: 历史与遗产. 第一版. 北京: 中国农业科学技术出版社，2010.
[10] 邹慧君，梁庆华. 坚定文化自信，创建有中国特色的设计科学理论与方法初探 [J]. 机械设计与研究，2019，35(1)：1－6.
[11] 刘仙洲. 我国独轮车的创始时期应上推到西汉晚年 [J]. 文物，1964(4)：1－5.
[12] 刘洁. 从褒斜道路况探“流马”功能 [J]. 四川文物，2003(4)：80－83.
[13] 何驽. 文献考古方法论刍议 [J]. 华夏考古，2002(1)：107－112.

作者简介: 曹励华(1952－)，男，中教一级; 主要研究方向: 古代机械，已发表论文 4 篇。

《现代设计理论与方法进展论坛》预告

为推动现代设计理论与方法的应用和发展。我们将定期召开论坛，加强设计界的学术活动。本次论坛同时举行《机械设计与研究》创刊 35 周年纪念活动。

本次论坛初步商定在 2019 年 10 月下旬举行，具体内容将另行通知。