诸葛亮木牛流马对古代机械的四点贡献

曹励华[1]，吴巧静[2]
（1.上海市青少年校外活动营地——东方绿舟，上海 201713，E-mail：c-l-h@hotmail.com；
2.宁波大学，宁波 315211）

摘要：诸葛亮的木牛流马是中国最早的仿生机械，其“牛脚的双结构和双功能”和“后载剋”的技术，“一足四脚”和“三脚杠”，以及流马的低密度措施，对古代中国的仿生机械、四轮运输、四轮车的机械制动和两栖车辆的发展作出了巨大贡献。

关键词：木牛流马，仿生机械，四轮运输，机械制动，两栖车辆
中图分类号：T18　　**文献标识码：**A

Fur Contribution of Zhu Geliang's Muniuliuma to Mechanical Development

Cao Lihua[1] ， Wu Qiaojing[2]
（1.Shanghai Teenagers Extra-Curricular Activities Campsite—ORIENTAL GREEN BOAT，Shanghai 201703，China；
2.Ningbo University，Ningbo 315175，China）

Abstract: Zhu Geliang's Muniuliuma are the earliest biosimulation machinery of china，the technology of which has made a great contribution to the development of biosimulation machinery, four-wheel transportation, mechanical braking for four-wheel vehicles and amphibious vehicle in ancient China. The technology includes the double structure and double function, the backward load countermeasure, four leg with one foot, three-bar and low-density measures

Key words: Muniuliuma, biosimulation machinery, four-wheel transportation, mechanical braking, amphibious vehicle

1. 引　言

中国是世界上机械发展最早的国家之一。中国古代在机械方面有许多发明创造，在动力的利用和机械结构的设计上都有自己的特色。许多专用机械的设计和应用，如指南车、地动仪以及诸葛亮设计的木牛流马等，均有独到之处。

木牛和流马是诸葛亮全力贯彻仿生象形的战略、战术意图，汇集当时多种机械技术合理布局，对复杂路况有较强适应能力的两种运输车辆。木牛流马的设计应用了杠杆省力原理，首次出现了一些机械构造的新特征，在古机械史上留下了浓墨重彩的一笔。

2. 木牛、流马在古机械史上的四项贡献

木牛和流马具备的多种具体的实用结构、创新功能与技术在机械发展史上具有重大的意义。其对中国古代机械发展的贡献涉及仿生机械、四轮运输、机械制动、两栖运输等领域。

2.1 仿生机械

人类自古以来通过观察自然与物种，学习、模仿其优势，制作相应机械的努力虽然一直没有间断过，但大批量在战场上成功使用仿生机械，木牛流马是首屈一指的范例。

在《造木牛之法》中，诸葛亮使用“十二牛”具体规定了木牛的仿生机械结构。（图 1）

解密资料对“十二牛”的解释如下：

牛头是向下弯曲的；牛脚则具备双结构与双功能；紧贴车厢前横板的、套在牛颈上的称为牛领；牛足一只，主司转弯；整车上方的车箱盖子好比是牛背；牛腹部位呈方形；牛舌的安装必须是松弛可活动的；处于车厢外侧板和车厢内侧板之间夹层内，有一个曲线形的部件，由于它所处的位置，称它为牛肋；牛的牙齿是刻上去的；牛角竖直安装；细皮做的是牛缰绳；牛鞦轴是缰绳的联结处。

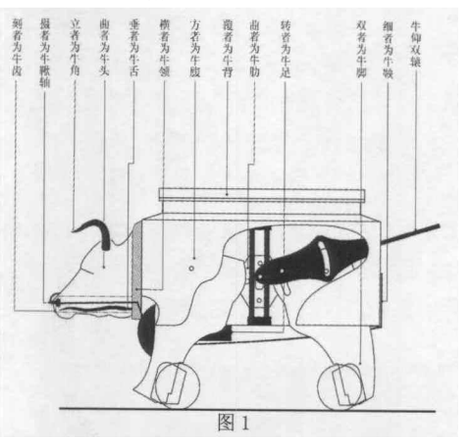

图 1

按照诸葛亮“十二牛”的仿生规定，人们可以完整地制作出这样一辆运输车。（如图 2）这辆车在双辕同时下压的时候，就是四轮车。按照原著“双者为牛脚”的设计描述，牛车可以使车轮离开地面，中止轮行功能，实施步行功能，表达出诸葛亮的仿生设计。

操作时，双辕左右交替上下摆动，木牛开始对角线式步

行；双辕同时上下摆动，木牛就开始牛奔式前进。此外，木牛还可以完成一些其它的步法，在此不一一赘述。

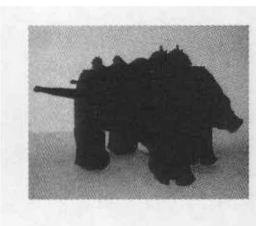

图 2

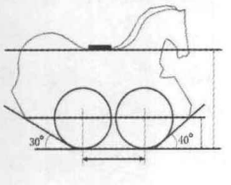

图 3

牛车上的“一足”作用非同小可。诸葛亮完全效仿实际生活中对牛的控制方式完成了对一足的操控设计，并设置了秘密机关。原文中以“细者为牛鞅，摄者为牛鞦轴”、“垂者为牛舌”、“牛仰双辕”等，为车辆规定了一套完全仿生的操控系统。

在《造流马之法》中，诸葛亮使用“形制如象”一词框定了流马的外貌形制。（图 3）

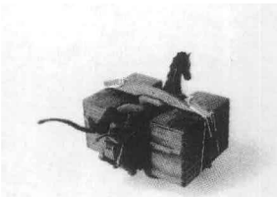

图 4

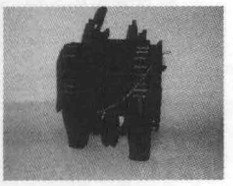

图 5

解密者严格地按照诸葛亮“形制如象”的相关数据限定，制作了一款具备象形仿生特征的运输车。（如图 4）

流马的外观，是完全按照原著描述的仿生形状。“做流马之法”的记载暗含了前后两根轴之间的距离，同时也限定了车轮的半径和车轴离地的距离，整车的长度，最终也影响限定了马身的长度。

通过原文所记载的内容，可以计算两只货箱上缘离地的高度，推知马背的高度。依次还可计算出马身的宽度，并按照比例推算出马的全部外形数据。

在此基础上，运用运输机械设计中的必然规则限制的相关知识，可以进一步确认流马的姿势。

首先是流马前轮前面的留空角度。根据史料记载，流马面临的艰难路况应当不小于 40 度，这限制了流马的马型在前轮前方的表达空间。

其次是后轮后面的留空角度。流马的工作任务和驾车人与车辆后部的相对位置应当不小于 30 度，这个角度限制了流马的马型在后轮后面的表达空间。

此外，流马效仿真马而做。从真马的实际情况判断：马在快速前进的时候，由于视角的关系，它的头部必然是略低的，否则他看不见正前方的一块区域。

根据上述条件，流马形成了这个屈曲四腿、昂脖低首、暴发瞬间的姿势。它正好位于被规定的有限空间之内，而且阳刚气盛，威严逼人。

诸葛亮以木牛、流马的设计、制作和大批量使用的历史事实，首创了仿生机械成功应用于军事活动的范例。

2.2 四轮货运

古机械史的研究认定，三国时期的四轮不能转弯，说明在此之前的四轮不能装运货物。而诸葛亮在《做木牛之法》中说：“每牛载十人所食一月之粮”；在《做流马之法》中说：“板方囊两枚，...每枚受米二斛三斗”。这些描述说明：木牛、流马已经解决了四轮转弯的问题，是可以承担货运的机械。

能否解决转向问题是四轮车是否可以承担货运的关键。木牛和流马分别采用了两种不同的转向方式：

1）一足四脚：

木牛以“一足四脚”的分工解决了四轮转弯的难题，凸现其“五轮车”的形象。（图 5）

2）后载剋：

诸葛亮以车辆重心靠后的设计设定了流马空车时可以轻松翘起前轮转弯（图 6），同时又以“后载剋”平衡块的独创技术，使得流马满载时也可以轻松翘起前轮转弯（图 7）。

诸葛亮使用这种独特的方式为自己的军队解决了四轮转向问题，使其具备四轮货运的条件，完成战时的运输粮草的任务。当初由于是在战争年代，统治者必然对影响大局的机械先进技术实施保密，不让敌对方使用这一先进技术。因而这些技术更没有理由在民间流传。

《三国演义》描述诸葛亮制造的木牛、流马“搬运粮米，甚是便利，牛马皆不水食，可以昼夜（转运）不绝”。司马懿闻报，派人去抢了数匹，命巧匠仿制二千余匹，并让军士驱驾木牛、流马，到大本营搬运粮草，往来不绝。诸葛亮派人以魏军打扮混入运输队，暗中将木牛流马口中舌头扭转，牛马便不能行动。由于《三国演义》描绘得太过离奇玄妙，以致于不少人认为，所谓木牛、流马纯系小说家的杜撰。而机械史研究者亦未能就木牛流马的存在性问题提供确凿的证据。

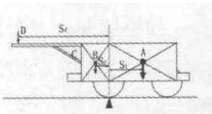

图 6

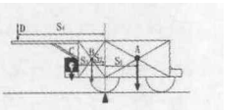

图 7

此次解密结果证明“诸葛亮以解决了转弯技术的木牛和流马开了四轮货运的先河”是不争的事实。

2.3 机械制动

在四轮车还没有解决转向问题，仅仅用作仪仗车辆的时候，没有设置机械制动的必要，机械史也没有对此做记载。随着四轮货运的开发，预防惯性力量可能造成的危害，解决车辆的制动问题势必提上日程。解密资料证实，诸葛亮在开发四轮货运时，同步解决了四轮车的机械制动问题。

在木牛结构上，轮式前行随时可以变为四脚着地以实现制动。在《做流马法》中，诸葛亮更是完全有意识地进行了机械制动设计。“三脚杠”的设计为后世留下了四轮车最早使用机械制动的方式和实用原理的历史印迹。

《做流马法》中说：“孔径中三脚杠，长二尺一寸，广一寸五分，厚一寸四分，同杠耳。”

这里的“孔径”二字绝非 “一个圆形的直径”，而是“孔内的通径”。流马的后部开有一孔，马腹内有一个通径，“三脚杠”置于其中，可以前后抽动，实现所带之“三脚”的落地与收起变化。这个变化，就是制动与取消制动的动作变化。所谓“三脚杠”，就是带有三个可落地支撑的竖杆的横杠。（图 8）“三脚杠”制动的主要原理是：重力相等的前提下，物体与地面的平面摩擦力大于滚动摩擦力。

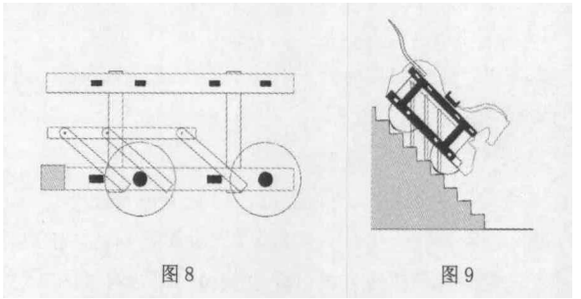

图 8　　图 9

“三脚杠”是流马上陡坡的保证。在上阶梯途中，流马随时停下，都会得到“三脚杠”反向支撑的保护而留在原地。如（图 9）所示，流马在上阶梯的时候，是调转车身拉车而上的。

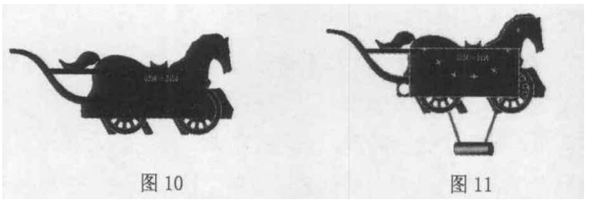

图 10　　图 11

平地行进，只要推入“三脚杠”，流马仍然可以有效制动。（图 10）

流马“三脚杠”的设计，奠定了诸葛亮四轮车机械制动结构的开创者的地位。

2.4 两栖车辆

诸葛亮在《做流马之法》中以独特的车架、车轮和储物箱、制动器的特征完成了流马陆上运输功能的设计，又以“形制如象”的设计，使流马大幅度降低了密度，具备了水上漂流的功能。

《做流马之法》使用了一系列古朴、离奇的概念，解密资料的诠释如下：

“流马是这样一件运输车辆：

他象其他运输工具一样，有车架、轴、平衡器、货柜、车罩壳、定型部件、制动器通道、制动器。

车架组成车身的内部骨架。结构中的上下两层均为两纵四横的水平框架，下层有两轴两杠平行排列，以左右主车梁连为整体；上层对应有四根横杠，同样平行排列，以各开有四孔的两根纵向木料连接为整体。上下两层之间有四根竖料，前后左右对称排列，以方榫方式连接上下两层。轴有前后两根，用以安装四轮。车的后端配有平衡器，方便整车翘起前轮转弯。就像马驮物品一样，整车配有左右两个储物箱。车的外观形状，就是马驮物的样子。这个马的作用首先不是用来迷惑敌人的，他是一个密封罩，给流马带来一定程度的封闭空间。陆上运输道路不好的时候，可以走水路，那时由于有这个密封罩，车辆可以多浮在水面上一点。马背上的载货鞍是一个象形件，他是制作安装车罩的定位定型部件。

马的后孔内有一个通道。负责刹车的制动器就装在里面。”

马型车罩壳带来了一定程度的封闭空间。木制品密度一般小于 1，再增加一些封闭空间，会使整车的密度再次降低。经过计算并结合其他研究者的相关研究，首先可以断定整车满载后密度小于 1。

要实现水中漂运，除了整体密度要符合条件外，还要满足一个必要条件，即解决漂流器械在水中的稳定性问题。流马一旦入水，“后载剋” 即成为失去其原来作用的部件。如果安排“后载剋”定位下沉，可以使整车在水中形成不倒翁的结构，这恰好就构成了流马可漂流运行的充要条件。（图 11）

流马是否使两栖车辆之争，由来已久。但对流马以前没有两栖车辆的结论，历史上基本没有争论。解密资料证明流马的结构具备水上漂运功能，诸葛亮也又成为了水陆两栖运输工具的开创者。

3. 结束语

木牛流马，累世评价甚多，但大多仅限于对两者结构的猜想，且未能对原著进行彻底解密。根本原因在于中国古汉语演绎至今天的白话，许多字词的古今含义相差甚远，诸葛亮的原文未能得到精确解读，木牛流马的真实性受到怀疑。

诸葛亮的《作木牛之法》和《作流马之法》是两篇准确记载木牛流马制作技术的科学文献。2009 年上海出现的解密资料，纠正了 4 个字的流传谬误，对诸葛亮原文进行了精确的文字解密。解密者还根据解密文件制作出了完全符合原著描述，实现木牛流马在结构与功能上再现的样机和模型。这些解密工作使得木牛流马的身份得以确认，诸葛亮对我国古代机械发展的地位和作用得以承认，具有划时代的意义。在三国科技欠发达的时代，诸葛亮能造出如此先进的交通工具，确实是个奇迹。