

诸葛亮的木牛、流马千古之谜！

[作者]：诸葛亮文化传媒网

[单位]：诸葛亮文化传媒网

[摘要]：《三国演义》第一百零二回中，有诸葛亮制造木牛、流马的描述，说这种运输工具“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。谁知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。正当魏兵疑为怪时，诸葛亮又派五百军士扮作神兵，鬼头兽身，以五彩涂面，边燃放烟火，边驱牛马而行。魏兵目瞪口呆，以为诸葛亮有神鬼相助，不敢追赶，诸葛亮轻而易举地获得许多粮草。这么神奇的运输工具，在当时可算是巧思绝作了，因而有诗赞曰：“剑关险峻驱流马，斜谷崎岖驾木牛。后世若能行此法，输将安得使人愁？”由于《三国演义》描绘得太奇妙，以致于不少人认为，所谓木牛、流马纯系小说家的杜撰。

[关键词]：诸葛亮，木牛，流马，运输工具

《三国演义》第一百零二回中，有诸葛亮制造木牛、流马的描述，说这种运输工具“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。谁知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。正当魏兵疑为怪时，诸葛亮又派五百军士扮作神兵，鬼头兽身，以五彩涂面，边燃放烟火，边驱牛马而行。魏兵目瞪口呆，以为诸葛亮有神鬼相助，不敢追赶，诸葛亮轻而易举地获得许多粮草。这么神奇的运输工具，在当时可算是巧思绝作了，因而有诗赞曰：“剑关险峻驱流马，斜谷崎岖驾木牛。后世若能行此法，输将安得使人愁？”由于《三国演义》描绘得太奇妙，以致于不少人认为，所谓木牛、流马纯系小说家的杜撰。

查考史书，可见诸葛亮确实制造过木牛、流马。《三国志·诸葛亮传》记载：“（建兴）九年（231），亮复出祁山，以木牛运，粮尽

退军……十二年春，亮悉大众由斜谷出，以流马运，据武功五丈原，与司马宣王对于渭南。”上述记载没有《三国演义》描绘得那么神奇，但从中可见诸葛亮以木牛、流马运粮的历史事实。

木牛、流马究竟为何物？《诸葛亮集》中的一段文字，应是可靠的资料：“木牛者，方腹曲头，一脚四足，头入领中，舌著于腹。载多而行少，宜可大用，不可小使；特行者数十里，群行者二十里也。曲者为牛头，双者为牛脚，横者为牛领，转者为丰足，覆者为牛背，方者为牛腹，垂者为牛舌，曲者为牛助，刻者为牛齿，立者为牛角，细者为牛鞅，摄者为牛鞭轴。牛仰双辕，人行六尺，牛行四步。载一岁粮，日行二十里，而人不大劳。”这段记载，虽对木牛形象作了描绘，下文还对流马的部分尺寸作了记载，但因没有任何实物与图形存留后世，多年来，围绕着木牛、流马，人们作过许多猜测。

一种意见认为，木牛、流马是经诸葛亮改进的普通独轮推车。这种说法，源自《宋史》、《后山丛谈》、《稗史类编》等史籍，意

谓木制独轮小车在汉代称为鹿车，诸葛亮加以改进后称为木牛、流马，北宋才出现独轮车之称。此说还以四川渠县蒲家湾东汉无名阙背面的独轮小车浮雕等实物史料为佐证，认为这些东汉的独轮车，都再现了木牛、流马的模样。

一种意见认为，木牛、流马是新颖的自动机械。《南齐书·祖冲之传》说：“以诸葛亮有木牛流马，乃造一器，不因风水，施机自运，不劳人力。”这是指祖冲之在木牛流马的基础上，造出更胜一筹的自动机械。以此推论，三国时利用齿轮制作机械已为常见，为后世所推崇的木牛流马，不可能是汉代已有的独轮车，而是令祖冲之感兴趣的、运用齿轮原理制作的自动机械。

第三种意见认为，木牛、流马是四轮车和独轮车，但是何者四轮，何者独轮却观点截然相反。宋代高承《事物纪原》卷八说：“木牛即今小车之有前辕者；流马即今独推者是，而民间谓之江州车子。”而范文澜则认为，木牛是一种人力独轮车，有一脚四足。所谓一脚就是一个车轮，所谓四足，就是车旁前后装四条木柱；流马是改良的木牛，前后四脚，即人力四轮车。完全相左的论断，真叫人无所适从。

还有一种争论，更有意思，即木牛和流马究竟是一物，还是两物。如谭良啸认为，木牛和流马是一回事，是一种新的人力木制四轮车；王开则认为，木牛与流马是两种东西，前者是人力独轮车，后者是经改良的四轮车。王湍也认为，二者同属一物，并制造出一种具有牛的外形、马的步态的模型。陈从周等则勘察了川北广元一带现存古栈道的遗迹、宽度、坡度及承重等数据，认为二者乃二物：木牛有前辕，引进时有人或畜在前面拉，后面有人推；流马与木牛大致相同，但没有前辕，不用人拉，仅靠推力行进，外形似马。

上述种种，不一而足，究竟何说最符合木牛流马的原貌，至今仍难评说。诸葛亮若泉下有知，定会后悔当初未曾留下详细的制作图解。

木牛流马揭秘

根据古籍能够制造木牛流马。笔者根据《三国志通俗演义》及有关资料记载的木牛流马造法，经考证认定：这些资料是真实可信的，根据原文即可制造木牛流马。本文对《三国志通俗演义》记载的木牛流马造法的原文逐句作了译注，并根据原文提供的名称和数据绘制了木牛流马轮廓图、名称图、尺寸图和行走示意图（另外制作了模型）。

木牛与流马是同一种运输工具，以称作木牛较为适宜。它是由人力推动的四足行走的木质运输工具，自重约 50 公斤，载重约 200 公斤。利用杠杆原理省力，人肩负重在 0-75 公斤左右有规律地变化。它能在山地和泥泞路面等真牛可以通行的路面上行走，这是圆轮车不能相比的。在路况较好时，圆轮车比木牛流马要实用得多，这是木牛流马不能普遍使用以至失传的一个主要原因。

1.木牛流马概述

木牛流马是否存在，古籍记载的木牛流马是否真实，对此争论颇多，笔者以《三国志通俗演义》卷之二十一记载的木牛流马造法为主，结合《三国志》和《三国演义》等有关资料进行研究，提出了自己的见解，绘出了图纸并造出了模型。认定木牛流马真实可信。笔者自己已揭开了木牛流马之谜。请有关专家学者等同志给予审阅鉴定，欢迎赐教。

1.1 根据古籍记载可以制造出真正的木牛流马

笔者根据《三国志通俗演义》卷之二十一“孔明造木牛流马”原文，可以造出木牛流马，而且有大同小异的几种模式。本文优选一种模式，根据原文提供的名称和数据绘制了木牛流马轮廓图、名称图、尺寸图和行走示意图，另外制作了模型。这个模型可以载重并进退自如。

这个木牛流马模型是根据《三国志通俗演义》原文描绘的外貌和提供的数据制造出来的，各主要部分名称和尺寸完全出自原文，只为本文说明的需要增添了几个名称，并推算出几个尺寸。模型与原文的吻合，有力地证实了木牛流马的真实性。请参见图 1《木牛流马外貌示意图》，图 2《木牛流马步行示意图》，图 3《木牛流马部件名称图》，图 4《木牛流马尺寸图》，图 5《木牛流马脚孔轴孔尺寸图》。

1.2 木牛流马有实际应用价值

本模型的木牛流马是四足行走的酷似真牛的运输工具。由于是四足行走，用于不平坦路面和泥泞路面都能行进，这是圆轮（独轮或四轮）车难以行进或不能行进的路面，由于是四足行走，不易滑倒，在坡上停住后可以自动“刹车”，这些优点使它适宜于山地运输。

木牛流马的使用能做到“牛不饮食”是又一大优点，在战争中运输粮草，真牛真马要消耗粮草，使得运输的粮草没有运到目的地，就消耗了一部分。而且真牛真马在没有运输工作时照常消耗粮草，这是真牛真马运输粮草的一大缺点。运输时间越长则耗粮越多，这个缺点更为突出。用木牛流马运输粮草，它本身不消耗粮草，很好的克服了真牛真马这方面的缺点，

这是木牛流马取代真牛真马运输粮草的又一依据。

由于木牛流马靠人力驱使，驾牛人是要消耗粮草的，这是人力运粮草的一个缺点。但人力运粮有其优点：一是驾牛人也是战士，可以保护粮草，减少专门的护粮队伍。二是驾牛人在没有运粮任务时可以调往战斗部队；三是利用休闲的战斗部队去运粮，非常经济合算。

木牛流马能使“人不大劳”，是又一优点。木牛流马的设计应用了杠杆省力原理，驾牛人肩负重量为总重量的 0-30%。当总重量为 250 公斤时，驾牛人肩负重量为 0-75 公斤。这个负重量对于古人来说是不难的，的确是“人不大劳”。但相对于圆轮车在平地行进的负重量来说，还是显得过重，这是木牛流马不能普及以至失传的又一原因。

以上说明，木牛流马在山地运输粮草能够“进退自如”、“人不大劳”、“牛不饮食”。因此在山地运输方面有实际应用价值。

1.3 木牛流马是一种而不是两种运输工具

理由之一是，在古籍中很少单独提到木牛或流马，多是合称木牛流马。理由之二是，原文中单独列出了造木牛之法和造流马之法，但造木牛之法只描绘了木牛的外貌，没有提到制造数据。正好相反，造流马之法只有制造用的数据，而没有外貌的描绘。如果将它们合二为一，正好组成一个整体，既有外貌的描绘，又有制造的数据。也只有将木牛和流马的造法看成是同一种运输工具的造法，才能证实木牛流马的真实性。《三国志》有“流马尺寸之数”一句，更能说明后段只是“尺寸之数”。

在造木牛之法的原文中，提到了牛的特征--牛角，加之行进速度如牛之慢而无马之快，可以认为原始设计为木牛，只是后来才称为流马。

为何称为流马而且还有单独的流马造法？第一种可能是以“流马”为“六码”或“陆码”的谐音。“六码”可能是指造木牛的 6 个主要数据，如肋长、前后轴孔、前后脚孔、前后杠孔、板方囊、前杠长等等。将“六码”称作“流马”既能形象地表达木牛的性质--像马一样奔驰，又能将“六码”的真实意义隐去，增加神秘感，给外人留下一个难解之谜。第二种可能是，流马为木牛改进后的一个新的型号，所以合称木牛流马。第三种可能是，头部外形似牛称木牛，似马则称流马。

1.4 木牛流马模式的缺点

一是转弯的问题没有解决，古籍只提到“进退自如宛如活的一般”，没有提到转弯问题。也许原设计没有解决这个问题，以至木牛流马转弯不灵活而无法推广应用。本模式设想的转弯方法是，两后足（或两前足）着地，扭转身子而转弯。这里显得有些勉强。

缺点之二是木牛流马在步行时的震动较大，使木质结构使用寿命不长，它的震动使人的手和肩容易劳累，这是木牛流马的一大缺点。

缺点之三是它在平地运输方面不如圆轮车等运输工具，因此不能广泛应用以至失传。

限于条件，笔者没有制成实物进行实际应用，可能存在未考虑到的问题。只是推测可以进行实际使用，能够经得起实践的考验。木牛流马是木质制品，实物容易腐烂而难以流传。

2.木牛流马造法译注

为译注方便，特将罗贯中著《三国志通俗演义》（卷二十一，孔明造木牛流马）中关于木牛流马造法之原文转录如下，并根据译注的需要分句编号：

原文 1：造“木牛”法曰：

译文 1：造木牛流马的方法是：

注文 1：笔者认为木牛和流马是同一种运输工具的两个名字，应当合称木牛流马，而以统称木牛为宜。理由之一，在原文中极少单独提到木牛或流马的功用。假如是两种运输工具，应当优胜劣汰只选用一种。理由之二，原文前部分“造木牛之法”只介绍概貌而无数据，后部分“造流马之法”只介绍数据而无概貌。两部分都不完整，只有将前后两部分合为一个“造木牛流马之法”才是完整的。《三国志通俗演义》原文第 24 句是“造流马法云”，这句在《三国志》写成“流马尺寸之数”，说明后段是“造木牛流马之法”的数据。

除前述理由外，也有可能木牛和流马是两种有细微区别的同一种运输工具。也许其中一种是另一种的改进型号，可能木牛在先，因原文介绍的都是牛头、牛角之类牛身上的部位名称。也许以后将木牛改造后速度稍快，便称作流马了，或许只是头面部的装饰物是牛头便称木牛，是马面便称为流马。

制造木牛的数据中有 6 个较重要的数码，如肋长、前后轴孔、前后脚孔、前后杠孔、板方囊和前杠长等等。将“6 码”按谐音读作“流马”，既有实际意义又增加神秘感。也许就是这种神秘感使后人以为是两种运输工具，因而难以研究仿制出木牛流马。

原文 2：方腹曲胫。

译文 2：牛腹是方形的，牛胫是弯曲的。

注文 2：后文介绍的板方囊是方形的，板方囊置于牛腹内，故牛腹应为方形，牛胫呈弯曲形状，是为了与真牛形似，可能是整条牛脚从上至下呈上大下小形状，这样的结构才稳定牢固。

原文 3：一股四足。

译文 3：牛屁股 1 副，牛足 4 只。

注文 3：1 副牛屁股可能是个装饰物。也可能作挡风雨用。置于牛腹后部，可能装饰有牛尾。如果制成盾牌，则可兼作兵器。牛足为 4 只，不论是什么形状都能排除独轮车的可能。

原文 4：头入颌中。

译文 4：牛头装入牛颈中。

注文 4：牛头本来与牛颈相连，根据“舌着于腹”和“垂者为牛舌”句推断，牛头是紧连牛腹的，牛颈的长度不大。为了转弯的灵活性，牛颈宜短不宜长。

原文 5：舌着于腹。

译文 5：牛舌紧靠着牛腹。

注文 5：另有记载，牛舌扭转后，牛足则不能转动。可见牛舌是一个机关，看似平常的装饰物，一经扭转即能制动。其形状应与牛舌形似。扭转后制动的设计并不难，只要牛舌扭转后能卡住“前足”，前足不动则牵连后足不能动。这牛舌是“刹车”装置，也是防止外人抢夺的一种秘密机关。司马懿仿制成木牛流马，却没有发现牛舌的功能，可见其设计是很巧妙的。牛舌的长度应在 6 寸 7 分以上，参见注文 27。

原文 6：载多而行少，独行者数十里，群行者二十里。

译文 6：木牛载重量较大，但行进速度较慢。单独行进每天几十里，成群行进每天约二十里。

注文 6：后文有“每牛载十人所食一月之粮”句，以及根据 2 枚板方囊的尺寸计算，估计每牛载粮草约 200 千克。古代一里相当于 434 米。日行 20 里的速度不算快。不论山地还是平地，木牛流马行走的速度都比独轮车慢得多，木牛流马只适合山地而不适合平地，这也是木牛流马失传的一个原因。

原文 7：曲者为牛头。

译文 7：木牛的头部模仿真牛拉重物时的弯曲形状。

注文 7：结合“垂者为牛舌”句，牛舌既垂，牛头则不能平视前方，只能是两眼朝地。真牛在拉重物时必弓肩，两眼朝下。木牛就是模仿这一姿势。同时为安装牛舌这个秘密机关作掩护（见注文 5）。

原文 8：双者为牛脚。

译文 8：牛脚分为前后两双。

注文 8：笔者研制的木牛，左右两只前脚是一个整体，同时进退。左右两只后脚也是一个整体，同时进退。这点与真牛步行有很大区别。如果要设计像真牛一样四只脚分别进退，用现代的钢材作材料是可以办到的，在古代用木材可以制造，但不宜负重。

此句可以理解为，牛脚是固定在两根辕木尾端的着地的支柱，这支柱在停止时可以支撑

木牛的后部，防止向后倾倒。如果作这样理解，“脚”和“足”就有区别了。但笔者认为设这样的支柱没有必要，因而将足和脚看成是同一概念。如果不这样，后文的脚杠和脚孔等概念就不好理解。

牛脚的长度后文未提及，考虑到人体高度等因素，牛脚长度（从脚孔至下端）以 2 尺 5 寸为宜。（参见注文 20）

原文 9：横者为牛颈。

译文 9：示意图上横杠即为牛颈。

注文 9：结合“头入颈中”和“舌着于腹”可以说明，牛颈的长度不大。为的是缩短木牛的总长度，以便重心后移，转弯灵活。

原文 10：转者为牛足。

译文 10：牛足可以转动。

注文 10：以往有木牛流马即圆轮车（独轮车或四轮车）之说。笔者则认为木牛流马不是圆轮车。理由是：三国以前即有圆轮车，不管怎么改革都不值得千古流传；二是在“难于上青天”的蜀道上，圆轮车上坡下坡都很难制动，平路也因地面不平难以行进，如果圆轮车能适用，就用不着发明木牛流马了；三是原文中有“牛行四步”句，显然是指木牛象真牛一样一步一步地前进；四是原文中“前后四脚广二寸，厚一寸五分”句，明白指出木牛脚是四方的木杠，而不是圆轮；五是笔者研制的木牛流马模型，四足是木杠式的，已经很好地利用原文的数据，也是一种印证。

可以设想，在四足的模式上，于四足之中心装一圆轮，平坦地用圆轮行进，圆轮不能转动时，再以四足着地行进。这样做，行进速度快，转弯也灵活，有许多优点。但原文没有依据，暂不讨论。

原文 11：覆者为牛背。

译文 11：覆盖在牛腹上方的部分是木牛的背部。

注文 11：牛背的作用是遮太阳挡风雨。其材料可以用竹片、木板、油布等材料。照理说，牛腹两侧也应有遮阳避雨之物。

原文 12：方者为牛腹。

译文 12：牛腹呈方形。

注文 12：牛腹呈方形，内装 2 枚板方囊。牛腹内空的前后长度不大于“肋长三尺五寸”，上下高度为“上杠孔去肋下七寸”加“上杠孔去下杠孔分墨一尺三寸”，共 2 尺。牛腹的左右宽度是下列数字之和：前杠长 1 尺 8 寸；左右辕、左右脚和左右鞅革由共 6 层木板，每层厚 1 寸 5 分，计 9 寸；两数之和为 2 尺 7 寸。

以上说明，牛腹长 3 尺 5 寸，宽 2 尺 7 寸，高 2 尺，这个空间可以供 2 枚板方囊前后平排放置。这样放置占长 3 尺 2 寸（“广一尺六寸”的 2 倍），占宽 2 尺 7 寸（板方囊的长），占高 1 尺 6 寸 5 分（板方囊的高）。牛腹内装下 2 枚，略有空余，以方便板方囊的装卸。

如果将 2 枚板方囊上下迭放或左右平排放置都是不妥的。假如上下叠放会增加牛腹的高度，使重心上移而不稳定，牛腹的高度 2 尺也不够用。假如两枚板方囊平排左右放置，会增加牛腹的宽度至 3 尺 2 寸，不利窄路行走，也会使左右稳定性较差；若两枚板方囊载重量不相等时会影响左右平衡；这样放置会使板方囊容易滚落。

原文 13：垂者为牛舌。

译文 13：牛舌向下垂。

注文 13：牛舌在木牛身上是个看似不重要而实际上很重要的部件，它的设计是巧妙的。牛舌的功能一是装饰作用；二是作“制动”的秘密机关；三是在停止工作时作“刹车”以防滑倒。笔者将牛舌设计成沿横轴自由摆动的短木杠，将其沿前上方向旋转 270 度，舌尖顶住前脚两轴孔间的横杆（连轴杆），这样就使前脚不能运动，前脚又牵制后脚不能运动。

原文 14：曲者为牛肋。

译文 14: 牛肋是弓曲的形状。

注文 14: 根据“肋……左右同”句, 牛肋位于牛背, 左右各一, 纵向并列, 弓背向上。

原文 15: 刻者为齿。

译文 15: 牛齿用木板雕刻而成。

注文 15: 牛齿可能只有装饰作用, 也可能有掩盖牛舌的特殊作用。

原文 16: 立者为牛角。

译文 16: 牛角呈上立状。

注文 16: 牛角呈上立状, 则牛舌下垂状较为自然。牛角用木质制造, 可作装饰, 亦可挂物。牛角若用钢铁制造, 更兼作兵器。有牛角一物, 足以证明是木牛而非流马。牛耳、牛眼和牛鼻等部未载入原文, 可能是刻绘而成。

原文 17: 细者为牛鞅。

译文 17: 画得较细的是牛鞅。

注文 17: 牛鞅本是牛拉车时架在脖子上的器具。笔者研制的木牛流马, 连接两前脚上端前轴孔的横杆, 相当于牛鞅的位置, 此横杆可称为牛鞅, 它又是一根连轴杆。牛鞅前抵牛头, 后抵牛腹, 能限制两前脚摆动的幅度, 也牵制两后脚摆动的幅度, 这样实际上限制了牛脚步行的幅度(步幅)。

根据后文“前轴孔分墨去头四寸”句, 可以推测牛鞅前后移动的距离在 4 寸以上。假定为 4 寸 5 分, 又假定脚以下长度为 2 尺 5 寸(从脚孔至下端), 按相似三角形计算, 前脚的最大步幅为 2 尺 5 寸, 按“人行六尺, 牛行四步”计算, 平均每步 1 尺 5 寸, 这说明木牛的最大步幅为 2 尺 5 寸。平均步幅为 1 尺 5 寸。

牛鞅可以解释为捆绑板方囊的绳子, 也可以解释为套在人脖子上以肩部用力上抬的绳子, 也可以解释为牛前面有人拉木牛前进用的绳子。这都是从“细”字考虑的。但又考虑这些用途都不值得载入原文。

对牛鞅为何物尚难确定, 但这不是重要部分。为慎重起见, 后文注 27 中称连接两前轴孔的木杠为前轴杠。

原文 18: 摄者为牛鞅革由。

译文 18: 有牵拉作用的木杆是牛鞅革由。

注文 18: 牛鞅的本意是套车时拴在驾辕物品牲口屁股周围的皮带、帆布等。如果把牛鞅革由解释为皮带之类的东西, 则不好解释“摄”字, 同时这类东西不必在原文中记载。

笔者根据木牛模式, 将连接同侧前后脚的可以转动的木杠(相当于现代机械上的连轴杆)叫做牛鞅革由, 其理由是, 这根连轴杆是重要部件, 必须在原文记载, 而原文没有更合适的名称。这根连轴杆的位置也与牛鞅的部位差不多。它具有“推和拉”的功能, 合符“摄”字之意。

原文 19: 牛仰双辕。

译文 19: 木牛的双辕作一仰一俯运动。

注文 19: 结合木牛模式, “仰”字解作一仰一俯的运动姿势较合适。双辕越长越省力, 手柄起落的幅度越大, 转弯半径越大。反之亦然。因此要求辕长适度, 估计辕长 7 尺(从前脚到手柄)较为适度。按辕长 7 尺计算, 手柄起落幅度约 1 尺。手柄处上抬力最大为总重量的 30%, 最小为零或负值。按总重 250 千克计算, 手柄处最大上抬力为 75 千克。原文未记载辕长这个重要数据, 有待研究确定。

辕长可以定得稍长些, 实际使用时可以将手(肩)的用力点前后移动, 以改变实际使用的辕长。

原文 20: 人行六尺, 牛行四步。

译文 20: 人前进 6 尺左右, 木牛前进 4 步。

注文 20: 此句将人和木牛的行走相联系, 说明人和木牛是同时前进的。木牛不能离开人

而自行前进，即木牛的动力是人力。

木牛的平均步幅是1尺5寸。从木牛模式上看，木牛前脚孔距前轴孔4寸5分，后脚孔距后轴孔3寸5分，这样使得后脚的步幅比前脚步幅大。设脚孔以下的脚长为2尺5寸，经计算后得知，后脚平均步幅为1尺7寸，前脚的平均步幅为1尺3寸。这样设计是为了省力。按杠杆原理，前脚着地时的阻力比后脚着地时的阻力要大得多。前脚向前的步幅越大，阻力更大。因此有必要适当减少前脚步幅。

此句写“牛行四步”而不写“牛行两步”，据此可考虑木牛是4只脚分别前进的，但证据不足。确有证据说明木牛两前脚与后脚是分别并排前进的，后文载“孔径中三脚杠……同杠耳”，表明左右脚是以3根脚杠连成整体的，只能同时前进，若设计成4脚分别前进，用现代的钢铁作材料尚可，在古代以木材制作，则不宜载重。

木牛转弯问题尚未很好地解决。在大半径转弯时，两前脚（或两后脚）着地稍扭转，即可使牛头转向。在小半径转弯时，可照前法“原地踏步”多次转弯。如此转弯显然不大灵活。如果将本模式改成增加一个独轮的模式，以轮转弯即可，但无据可查。在四脚下部各装一轮，转弯自然灵活，但与后文足底包“革干”不符。

把现代的汽车结合木牛流马结构设计成“铁牛车”，前中后三组“脚”底装轮子，可以像真牛一样步行还可以像汽车一样行驶。

原文 21：每牛载十人所食一月之粮。

译文 21：每牛载粮可供10人吃1个月。

注文 21：根据后文记载板方囊的尺寸，算出2枚方囊的容积共0.156立方米。共载大米约200千克（按1300千克/立方米估计）。每人的月口粮约20千克。

原文 22：人不大劳。

译文 22：驾木牛的人不会很累。

注文 22：木牛运用杠杆原理省力，驾牛人肩上负重为木牛载重量的30%以下，最小值为零或负值。木牛重心点在牛腹中心即后杠孔处。动力点是手柄处。支点分别在前脚着地处和后脚着地处，当以前脚着地并处于最前位置时，阻力臂长约3尺，动力臂约9尺，动力约为阻力的30%。当以后脚着地并处于最后位置时，阻力臂为零或负值（重心在支点之前）。动力臂与阻力臂之长度是有规律地变化的。驾牛人所费力量也会有规律地变化。估计木牛总重约250千克，驾牛人费力最大约75千克。这不会使古代战士觉得太累。

原文未提及驾牛人的数量，按本模式，1人肩抬手推，木牛即可前进。必要时另加1人在牛头前牵拉，速度会快些。

原文 23：牛不饮食。

译文 23：木牛不会消耗粮草。

注文 23：用真牛运送粮食，它本身要消耗大量粮食。真牛空闲时也要消耗粮草，并要人力照看和保护。这些于战事是不利因素，木牛的使用能很好地解决这个问题，这是制造和使用木牛的根本原因。孔明用计欺骗司马懿以夺取粮草也可能是个原因。

使用木牛虽然要消耗战士的体力，但战士一方面运送粮食，同时又保护粮食，空闲时还可以调作他用，其利大于弊。

原文 24：造流马法云：

译文 24：制造木牛的尺寸如下：

注文 24：此句原文与译文差异很大。笔者研究后认为这句的意思应是如此。详见注文1。

原文 25：肋长三尺五寸，广二寸，厚二寸二分。

译文 25：肋长3尺5寸（1寸=24.12毫米），宽2寸，厚2寸2分。

注文 25：肋长可能是指木材两端的总长度。也可能是指牛腹内空的长度，即肋长在3尺5寸以上，以后者为佳。如果肋长只有3尺5寸，减去两端连接部长度后不足3尺，无法容下2枚宽1尺6寸的板方囊。

三国时代的 1 尺折合 24.12 厘米（徐元贞等《中医词释》113 页，河南科技版 1983），可作参考。后人根据所处时代的度量衡予以换算也有可能。本文为防止引起混乱，对原文尺寸不作换算，只在此提醒制作实物时予以注意。

原文 26：左右同。

译文 26：左右两根牛肋的尺寸相同。

注文 26：这里的左右是相对木牛体位而言。即木牛左耳这边为左，右耳这边为右。后文所指前后左右均同此意。

从这句可知牛肋是左右各一根，位于牛背的位置，它们的排列应是左右并列式，不会是真牛的肋骨那样排列。

原文 27：前轴孔分墨去头四寸，径中二寸。

译文 27：前轴孔距牛头 4 寸，孔的直径 2 寸。

注文 27：前轴孔的位置在前脚最上端。左右前轴孔以圆木杠贯穿其中。此木杠笔者称它为前轴杠（在注文 17 中称此为牛鞅）。它向外还贯穿左右鞅革由。前轴杠与牛鞅革由的连接是固定连接。前轴杠与前脚的连接是滑动连接。（各滑动处可加某种润滑油）。前轴杠长 2 尺 7 寸以上（前杠长 1 尺 8 寸加辕厚、脚厚、鞅革由厚等 6 层共 9 寸，外加前轴杠两端外露部分），直径 2 寸。

前轴杠前距木牛头 4 寸，后距牛腹 2 寸 7 分，运动距离是 6 寸 7 分。这个距离限制前脚的步幅，通过鞅革由再限制后脚的步幅。

参见注文 5，牛舌转动后顶住前轴杠不动，前后脚都不能动，牛舌的长度应在 6 寸 7 分以上。

原文 28：前脚孔分墨二寸，去前轴孔四寸五分，广一寸。

译文 28：前脚孔长 2 寸宽 1 寸，距前轴孔 4 寸 5 分。

注文 28：前脚孔与前轴孔的距离，是指孔边缘之间的最近距离（原文所载各种距离都作如此理解）。假若指孔中心距，则两孔距离太近，制作时换算较麻烦。

必须有一木杠连接左右前脚孔，这根木杠，笔者称它为前脚杠。前脚杠直径 2 寸，长 2 尺 4 寸（前杠长 1 尺 8 寸加辕厚，脚厚共 4 层计 6 寸）。前脚杠与前脚是固定连接，穿辕部分是滑动连接。此处易磨损，用材要坚实。

原文 29：前杠孔去前脚孔分墨二寸七分，孔长二寸，广一寸。

译文 29：前杠孔距前脚孔 2 寸 7 分，孔长 2 寸宽 1 寸。

注文 29：前后各杠孔、轴孔和脚孔的位置没有在原文中注明。笔者对各种可能进行比较，选取最佳位置用于本模式，即：前后杠孔在辕上，分别位于腹的前后端；前后脚与辕连接的部位定作前后脚孔；前脚孔以上 4 寸 5 分定作前轴孔；后脚孔以下 3 寸 5 分定作后轴孔。

当前脚处于垂直位时，前轴孔后移的最大距离是 2 寸 7 分，这个距离决定了前脚最下端前移的最大距离。估计前脚孔离地的最佳距离为 2 尺 5 寸，已知前轴孔距前脚孔 4 寸 5 分。按相似三角形可得知前脚最下端前移的最大距离为 1 尺 5 寸。前脚后移与后脚前移相碰，前脚后移加后脚前移的距离受前后脚孔距 1 尺的限制。前脚后移的距离约为 3 寸 5 分，后脚前移的距离约为 4 寸 5 分，两者之和 8 寸，在前后脚孔距 1 尺（见注文 30）限内。

原文 30：后轴孔去前杠分墨一尺五分，大小与前同。

译文 30：后轴孔距前杠孔 1 尺 5 分，孔径与前轴孔相同。

注文 30：前轴孔的直径为 2 寸，后轴孔的直径也是 2 寸。

后轴孔在后脚上，而前杠孔（或前杠）在辕上。要标定这个距离，后脚必须处垂直于地面的位置。这样就构成一个直角三角形。直角位于后脚孔。后脚孔距后轴孔 3 寸 5 分，后轴孔距前杠孔 1 尺 5 分，可算出后脚孔距前杠孔 9 寸 9 分，取近似值 1 尺。

为什么原文不直接标明 1 尺这个数字，可能是原文作者故意留下一个谜，以增其神秘感。也可能是笔者误解。笔者之所取后轴孔到前杠孔的距离为 1 尺，是因为这个数加上后脚孔距

后杠孔 4 寸 5 分（见注文 33），加上后脚孔宽度 2 寸，再加后杠孔中心点距前边 1 寸，共计 1 尺 7 寸 5 分，正好使后杠孔中心点位于肋长 3 尺 5 寸的中心。也即后杠孔位于牛腹的中心。这里可作为木牛重心点的标志。

原文 31：后脚孔分墨去后轴孔三寸五分，大小与前同。

译文 31：后脚孔距后轴孔 3 寸 5 分，孔径与前脚孔相同。

注文 31：前脚孔长 2 寸宽 1 寸，后脚孔同此尺寸。

前轴孔距前脚孔 4 寸 5 分，而后轴孔距后脚孔 3 寸 5 分。这 1 寸之差是为了使前脚的步幅小于后脚的步幅，使前脚向前移时与木牛重心点的距离比较小些，以达到省力的目的（见注文 22）。

原文 32：后杠孔去后脚孔分墨二寸七分。

译文 32：后杠孔距后脚孔 2 寸 7 分。

注文 32：前杠孔距前脚孔 2 寸 7 分。后杠孔与后脚孔也是这个距离，看来是正确的，但后句“后载克去后杠孔分墨四寸五分”对此句有否定的可能，详见注文 33。

原文 33：后载克去后杠孔分墨四寸五分。

译文 33：后来记载后脚孔与后杠孔的距离必须是 4 寸 5 分。

注文 33：此句的“克”字当“严格限定”、“必须”解释。“后载”一词可以解释为“后面装载的粮食”，此解释似难理解。“后载”一词最好的解释是“后来有文记载”。取此义则此句译成“后来记载后脚孔与后杠孔的距离必须是 4 寸 5 分”。如果这是正确的，那么此句是个批注。是纠正前句“二寸七分”这个数字的。

如果此句是作批注用的，那么它的理由是要使后杠孔位于牛腹及牛肋的中点。（详见注文 30）将后杠孔装在牛腹中点，是将后杠孔作为重心点的一个标志。在装载粮食时将 2 枚板方囊置于标志的左右，这便于木牛的重心位置大致固定，有利于木牛的稳定运动。

如果把“后载”理解为“重心”，也能说得过去。但“重心”的解释比较抽象，驾木牛者很难掌握。

此句的解释，总的说来比较勉强。“2 寸 7 分”与“4 寸 5 分”之争并不很重要。在人民文学出版社 1975 年版《三国志通俗演义》卷之二十一文中，前句的“二寸七分”写作“四寸七分”，有 2 寸之差。看来这两句历来有争议。笔者认为，在“2 寸 7 分”、“4 寸 7 分”和“4 寸 5 分”这三个数字中，以“4 寸 5 分”为佳。后 2 个数字相差 2 分，应无必要，可能是笔误。“七”和“五”的古文写法分别是“×”和“+”形（约斋编著《字源》一六七页，上海书店 1986）。这两个字形极易笔误。

后杠孔的尺寸，推测是“大小与前同”长 2 寸宽 1 寸。

后杠的实际位置在木牛腹的中部，推测其后方至少有 1 根“最后杠”。后杠是相对前杠而言。

原文 34：前杠长一尺八寸，广二寸，厚一寸五分

译文 34：前杠长 1 尺 8 寸，宽 2 寸，厚 1 寸 5 分。

注文 34：前杠是连接左右两辕上前杠孔的木杠。前杠长 1 尺 8 寸，不包括两端出榫部分。榫子不应露出辕外侧，以免碰撞木牛脚。前杠宽 2 寸厚 1 寸 5 分，与前杠孔长 2 寸宽 1 寸相适应。

前杠长 1 尺 8 寸，加两侧辕厚、脚厚和鞅革由厚共 6 层，各厚 1 寸 5 分，共厚 9 寸。木牛左右总宽为 2 尺 7 寸，这与板方囊的长 2 尺 7 寸相等，有效的利用了横向空间。

与前杠同尺寸的有后杠和“最后杠”。“最后杠”可以出榫并以竹楔穿过，以作加固用。有可能有 1 根同样的“最前杠”，与“最后杠”共同加固两辕。

原文 35：后杠与等。

译文 35：后杠与前杠的尺寸相同。

注文 35：后杠的长为 1 尺 8 寸，宽 2 寸，厚 1 寸 5 分。后杠的两端出榫，榫的尺寸为宽

2寸厚1寸，与后杠孔相符。榑的两端不外露，以免妨碍后脚的运动。

原文 36：板方囊二枚，厚八分，长二尺七寸，高一尺六寸五分，广一尺六寸。

译文 36：板方囊 2 枚，木板厚 8 分，长 2 尺 7 寸，高 1 尺 6 寸 5 分，宽 1 尺 6 寸。

注文 36：2 枚板方囊是方形的有盖箱子。所列尺寸是外形尺寸。如果是内空尺寸，则牛腹容积不够用。内空应减去板厚 8 分，内空尺寸是：长 2 尺 5 寸 4 分，宽 1 尺 4 寸 4 分，高 1 尺 4 寸 9 分。按三国时期 1 寸折 2.412 厘米计算，每枚板方囊的容积是（0.61265 米×0.34733 米×0.35939 米）0.07648 立方米。按大米每立方米 1300 千克估计，每枚板方囊能装大米 99.4 千克。2 枚板方囊能装大米约 200 千克。设木牛自重 50 千克，木牛满载时总重约 250 千克（此为估计数）。

2 枚板方囊的排列有 4 种形式。本模式取横向并列的形式。这种形式重心低，运动平稳，便于装卸。其宽度正好与木牛总宽相等，是最佳选择。如果上下叠放，则重心高，装卸不便。如果纵向并列，当两侧载重量不相等时，易向较重侧倾倒。

原文 37：每枚受米二斛三斗。

译文 37：每枚板方囊可装米 2 斛 3 斗（约重 100 公斤）。

注文 37：查《新华字典》“古代以十斗为斛”，“以十升为斗”。推算 2 斛 3 斗为 230 升。

《中医词释》载三国时每升约合现代 200 毫升。2 斛 3 斗约合现代的 46 升。按每升装米 1.3 千克估计为 60 公斤。以此数计每人每月的口粮为 12 千克。这显然不够用。还是取注文 36 所算每枚板方囊装米 100 千克这个数为宜。此处存疑。

原文 38：从上杠孔去肋下七寸，前后同。

译文 38：上杠孔距肋下 7 寸，前后上杠孔位置等高。

注文 38：笔者将本模式上肋与辕相连的 4 根竖立的木柱称为立柱，分别称左前柱、右前柱、左后柱和右后柱。立柱上端与肋相连，下端与辕相连。上杠孔在立柱上，前上杠连接左右前柱，后上杠连接左右后柱。上杠的长度与前杠长 1 尺 8 寸相等。上杠孔长 1 寸 5 分宽 7 分（见注文 39）。

原文 39：上杠孔去下杠孔分墨一尺三寸，孔长一寸五分，广七分，八孔同。

译文 39：上杠孔与下杠孔相距 1 尺 3 寸；上杠孔和下杠孔共 8 个，尺寸相同，孔长 1 寸 5 分，宽 7 分。

注文 39：下杠的方位可有几种。一是与上杠平行，如此定位，下杠紧邻前杠且与上杠等三杠在同一平面，似无必要。果如此，则前句不必写“前后同”，而应写“上下同”。二是下杠与辕平行连接同侧前后柱，本模式取此方位。下杠与辕相隔一定距离，以托起板方囊，并防止板方囊与牛脚上端碰撞。推测下杠与辕相距 5 至 10 寸为宜，要尽可能小，以降低重心。下杠与辕之间的空间可容纳行李、武器等物。下杠的长应为 3 尺 5 寸，宽 1 寸 5 分，厚 1 寸 5 分。此数据以木材能负重为宜。上杠的宽和厚应与此同。立柱的宽和厚也以此为原则。与上杠和下杠相接的 8 个孔长 1 寸 5 分，广 7 分。

上杠距肋下 7 寸，下杠距上杠 1 尺 3 寸，加上杠占高 1 寸 5 分，下杠距肋下为 2 尺 1 寸 5 分。板方囊高 1 尺 6 寸 5 分，上方尚有 5 寸空间，便于装卸并可置放物品。

原文 40：前后四脚广二寸，厚一寸五分。

译文 40：前后 4 脚，宽 2 寸，厚 1 寸 5 分。

注文 40：“前后四脚”说明木牛是 4 脚行走，且 4 脚是宽 2 寸厚 1 寸 5 分的四方形。圆轮车之说与此不符。

原文 2 有“曲胫”字样，说明木牛脚是曲线形的。推测是上宽下窄近似真牛脚的形状。其宽 2 寸厚 1 寸 5 分是木牛脚下部的尺寸。如果上半部也是这个尺寸，则上部不能有方圆 2 寸的脚孔和轴孔，木牛脚下半部应有 3 个“脚杠孔”与“三脚杠”相连，这“脚杠孔”在原文 43 记载为“孔径”。其尺寸可能与上杠孔相同，长 1 寸 5 分，宽 7 分。脚的长度推测为 2 尺 5 寸（从脚孔至下端）。这要根据人体高度和牛辕长度等因素来决定。

原文 41：形制如象。

译文 41：牛脚的形状见图。

注文 41：这里的“象”可以解释为“图像”、“示意图”。这说明原书有 1 幅以上示意图。现已无原图，只根据“方腹曲胫”句推测木牛脚是曲线形，上大下小，厚度为 1 寸 5 分，上宽估计为 5 寸多，下宽为 2 寸，脚长（自脚孔至下端）推测为 2 尺 5 寸，脚的上部有脚孔和轴孔，下部有 3 只“脚杠孔”。下端包裹坚硬的皮革（见注文 42）。前脚的脚孔以上有轴孔，后脚的脚孔以下有轴孔，因此前脚比后脚要长 7 寸左右。

此句“象”字可解释为“大象的脚”。如是，则此句要译为“木牛脚形似大象的脚”。大象脚粗壮有力，接近方形，容易制作，取此形也不错。只是木牛装象脚，有些不妥。

原文 42：革干长四寸，径面四寸三分。

译文 42：包裹牛脚底部的皮革长 4 寸，宽 4 寸 3 分。

注文 42：木牛脚底部包裹皮革，显然是为了保护木质并防滑。这种作用相当于马蹄，凭这点颇似“流马”。皮革的尺寸略大于牛脚下端（宽 2 寸、厚 1 寸 5 分），便于包裹固定，可能用铁钉或竹钉固定。用粘合剂（如生漆）的可能性不大。所用皮革可能是牛皮或马皮。

原文 43：孔径中三脚杠，长二尺一寸，广一寸五分，厚一寸四分，同杠耳。

译文 43：木牛脚上有 3 个孔，分别与 3 根脚杠相连，脚杠的长 2 尺 1 寸，宽 1 寸 5 分，厚 1 寸 4 分。这 3 根脚杠是同装在木牛脚上的。

注文 43：这里的“孔径”在注文 40 被称为“脚杠孔”，是与脚杠相连的。左右前脚以 3 根脚杠相连；左右后脚同样以 3 根脚杠相连。这样使得 2 只前脚和 2 只后脚各为一个整体。2 只前脚或 2 只后脚必须同时运动。3 根脚杠的位置在原文未写明，这要视实际情况而定。位置偏高则可能上撞牛辕，偏低则易与地面障碍物（石块、树桩等）相撞。这 3 根脚杠是用作加固牛脚的。

3 脚杠不是指连接左右脚孔或左右轴孔的木杠。因其尺寸不相符。

3 脚杠长 2 尺 1 寸，比前杠长 1 尺 8 寸多 3 寸。这 3 寸正好是左右辕的厚度，说明牛脚在牛辕外侧。牛脚外侧是牛鞞革由。脚杠长 2 尺 1 寸，加左右牛脚和牛鞞革由的厚度共 6 寸，牛腹总宽为 2 尺 7 寸，与板方囊的长相等。

“同杠耳”释为“三根脚杠同与牛脚相连接”较为妥当。而释为“3 根脚杠的尺寸相同”则有重复之嫌，不可取。“耳”当语气助词，表示全文结束。