

云南省几种传统水力机械的调查研究*

张柏春

中国历史上创造了多种多样的机械及有关工艺，这些机械和工艺在20世纪中叶以前，发挥了不可替代的巨大作用，其中不少机械和工艺延用至今，其原理、构造和制作工艺基本上没有变化，为便于与现代机械区别，我们称之为“传统机械”。

有关古代机械的记载，散见于多种古籍之中，并且，大多文字记述或图过于简略。为了搞清古代机械的详细构造原理、制作工艺，一个可行的办法是调查研究现存的传统机械。1993年6月，笔者到云南省调查了若干种传统农业机械，得到了不少宝贵的第一手资料。本文将从机械工程角度，初步分析在云南测绘的水碾、水磨和水碓。

一、大理南涧水碾

东汉桓谭《新论》称，杵臼发展为碓，再演进为“役水而舂”的水碓。东汉孔融的《肉刑论》记载：“水碓之功胜于断木掘地。”^①可见，中国的水力农业机械，最晚出现于西汉末或东汉初。文献还记载，南北朝时已有水碾水磨了。《魏书·崔亮传》说：“亮在雍州，读杜预传，见为八磨，嘉其有济时用，遂教民为碾。及为仆射，奏于张方桥东堰谷水造水碾磨数十区，其利十倍，国用便之。”^②唐代起，由于农业的发展，水力在机械方面的利用更加广泛。^③元明两代，对水力机械的具体记述，不仅反映了当时机械技术的高水平，而且为后人的研究提供了十分宝贵的史料。

笔者调查云南大理州南涧县南涧镇安定大队营盘生产队(现称安定办事处营盘社)的一部水碾，其工作原理和大致构造与明代徐光启《农政全书》中的水碾图^④的构造相近(见图1)。

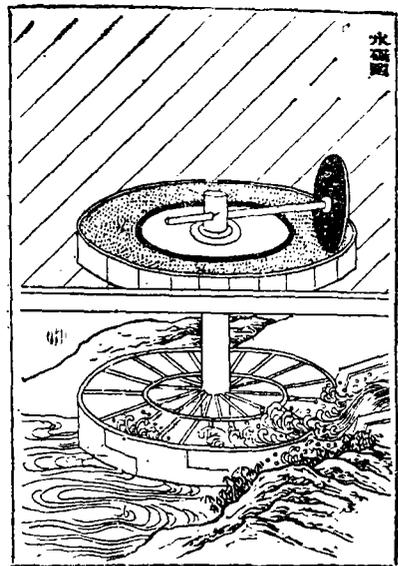
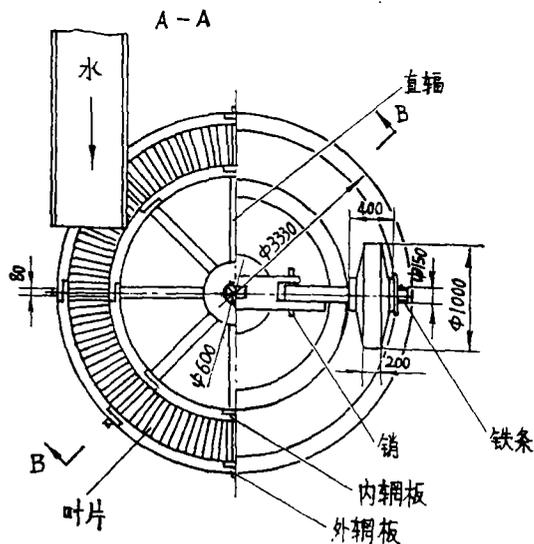
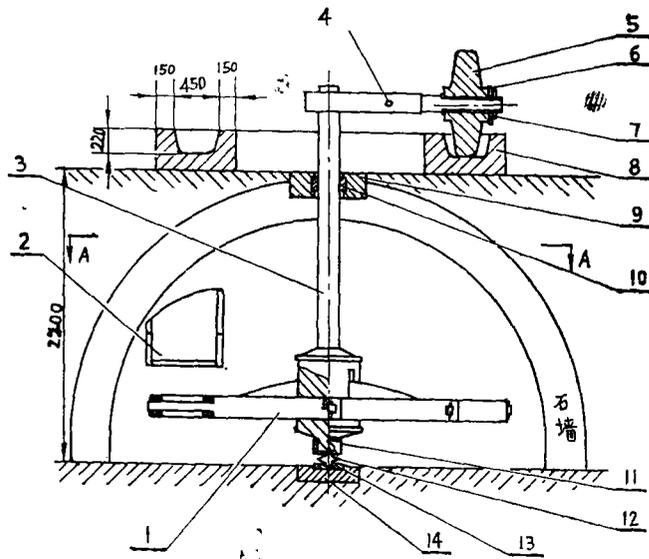


图1 水碾

营盘生产队的水碾现已被拆除。沈朝相老先生在六七十年代一直担任该生产队队长，并管理过队里的水碾。根据沈朝相和他儿子沈如贵工程师的描述，笔者画出了营盘队水碾的构

*笔者在云南调查工作中，承有关同志及单位的大力支持，在此一并致谢！

造图(见图2和图3),其工作原理及结构特点如下:由水槽流出的水(落差2米多)直接冲击到叶片上,使水轮和立轴转动,立轴通过碾杆驱动碾轮在碾槽内滚动,碾轮碾压稻谷。每碾槽可装稻谷120公斤,平均24小时可碾15槽。通过水闸调节水流的流量,来控制水轮的停、转、转速。整个水碾系统中,除图注说明及图中文字指明的石、铁零件外,其余均选用强



- 1.斜击式水轮(伞盘), 2.水槽, 3.立轴(将军柱), 4.碾杆(天平木), 5.石碾轮, 6.铁盘片, 7.销, 8.石碾槽, 9.石环; 10.铸铁环, 11.碗形铁轴座, 12.六角铁轴承, 13.铁板轴座, 14.石座,

图2 南涧水碾主视图和俯视图

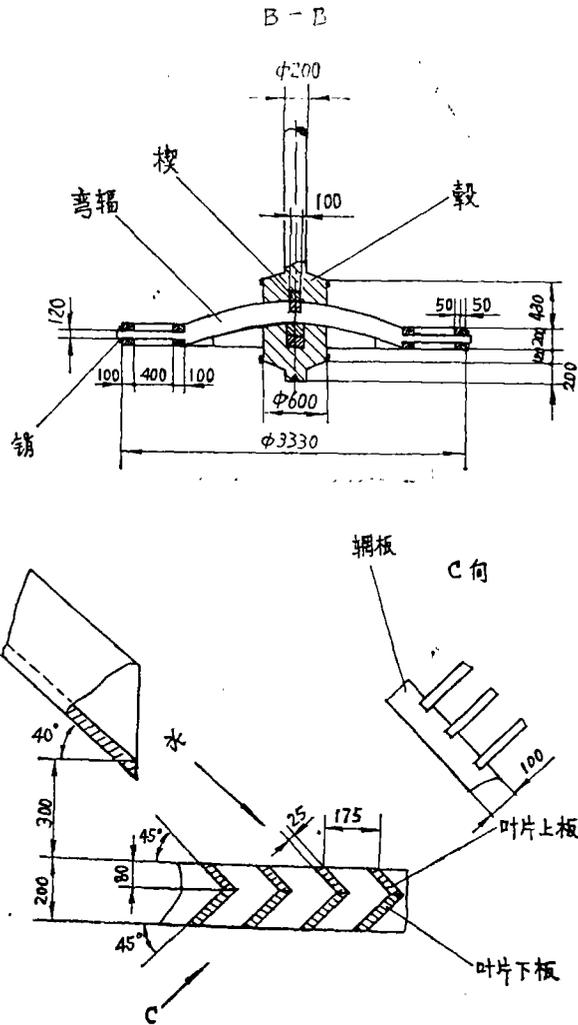


图3 南涧水碾水轮及其叶片视图

度、刚性、耐腐蚀性较佳的木材制作，连接方法包括榫、销、楔。水槽可用一圆木挖成，也可用木板拼成。立轴用一根圆木制成，粗的一端制成轮毂。在轮毂上开两组十字交叉方孔，一组方孔内穿直辐，一组方孔内穿弯辐，共形成8根辐。每4根辐与毂的连接关系如图4所示。辐的外端穿装内碾板和外碾板，用销固定。内、外碾板各8块，形成了两个板环。内、外碾板之间镶装（榫接）叶片（见图3下），每个叶片都由上、下板构成。立轴下端固定了一个碗形铁轴座，带一个孔。地面石座上有带孔的铁板轴座。有一铸铁的六角轴承，相当于三根两头尖的小铁杆交叉在一起，形成三角。其中一对相对角，一个插入碗形铁轴座的孔内，另一个插入铁板轴座的孔内。这样就构成了摩擦阻力较小的运动副。当一对铁角磨损严重时，就换一对。三对都磨损得不能用时，就换新的六角铁轴承。从水轮上流下的水在轴承处起冷却润滑作用。立轴上部由一个铸铁环固定，并形成滑动轴承。铸铁环被两块有半圆凹面的石环块卡住。石环块被固定在拱形剖面的石墙上。立轴上端固定了一个碾杆，碾杆由两根杆铰接而成。这样，碾轮可绕此销随碾槽内谷物面的高低而上下移动，实现自由滚动。显然，

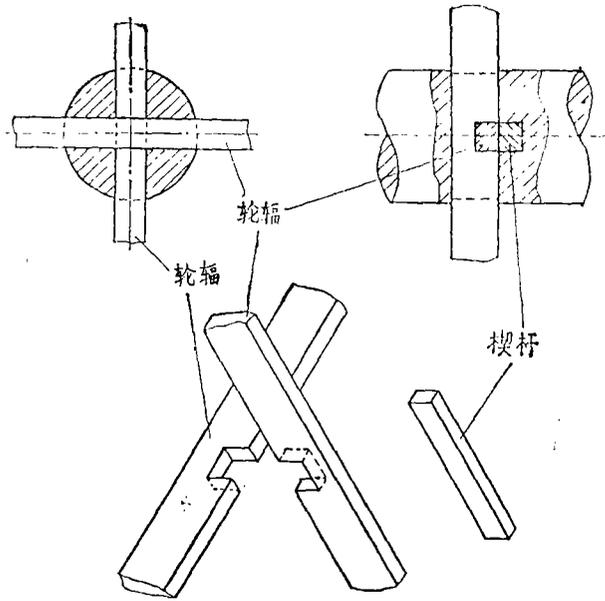


图4 四根辐与毂的连接方法

这种结构要比碾轮轴（即碾杆的外半部）与立轴刚性连接好。为了增加碾轮轴的耐磨性和寿命，在轴上镶4至5根铁条，铁条与碾轮孔面直接摩擦。轮轴外端装了内有圆孔的方铁垫，它也是耐磨件。整个碾槽是由4块弯石槽拼接成的。

二、丽江石鼓水磨

南北朝以后，有关水磨的记载渐多。图5为《农政全书》中的水磨图。^⑤

丽江地区丽江市的石鼓镇，位于金沙江（即长江第一湾）边。笔者在距该镇10多里远的松坪子村测绘了一部水磨，见图6和图7。与古籍记载相比，石鼓水磨的水轮、粮斗很特殊。

石鼓水磨的工作原理及构造特点如下：

圆木挖成的水槽将水引至水轮处，水流冲击叶片，使水轮和立轴转动。T形铁键插入立轴上端，刚性连接。T形铁键的上部为截面5厘米×5厘米、长20厘米的长铁，顶在上磨盘孔处的键槽里。这样，上磨盘与水轮以相同的角速度转动。升降水槽上方的闸板调节水的流量，来控制水轮的停、转、转速。当槽中有一半水时，水轮转速为每分钟30转。水轮上的水落到地面，流出房外。轮毂与立轴是用一根圆木制成的。轮毂下部的轴承与大理南涧水碾的

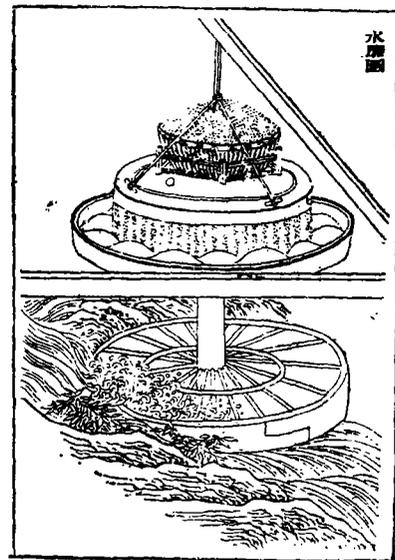
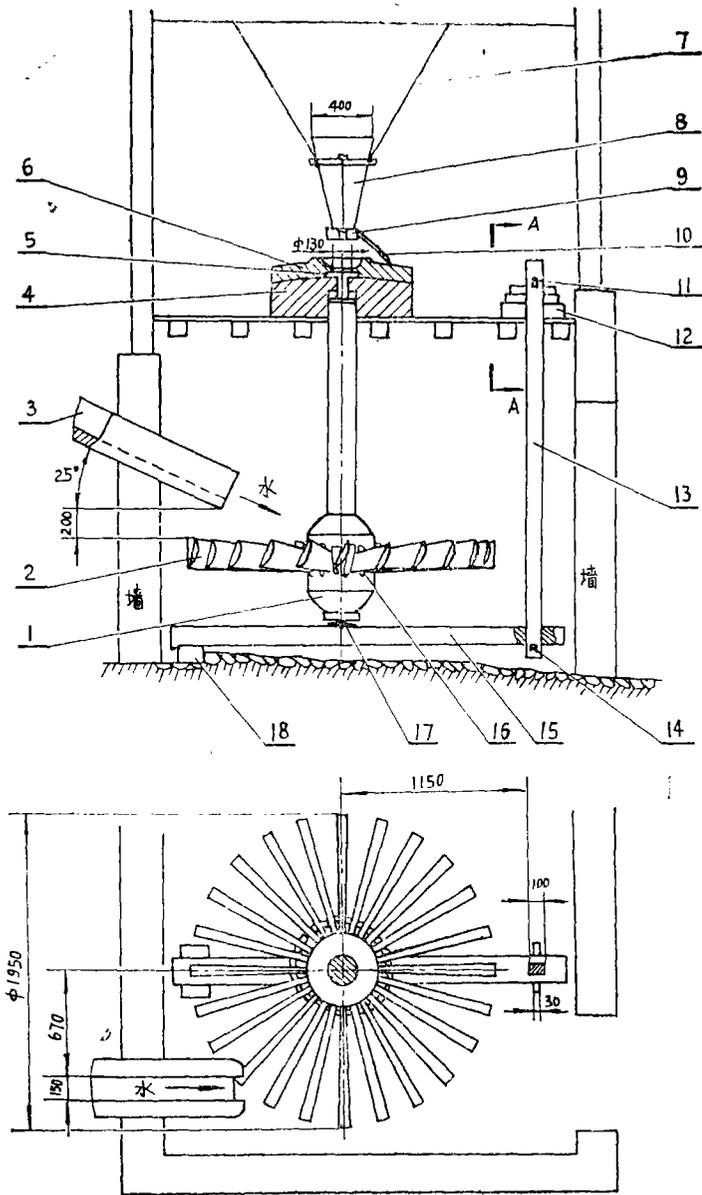


图5 水磨

相同。固定不动的下磨盘的孔成了立轴的轴承。在石磨的上方，用4根绳吊起一个粮斗，斗



- 1.立轴（将军柱），2.斜击式水轮的叶片，3.水槽，4.下石磨盘，5.T形铁键，6.上石磨盘，7.绳，8.粮斗，
9.斗托，10.振动棒，11.销杆，12.楔，13.拉杆，14.销，15.底梁（千斤），16.楔块，17.六角轴承，
18.石座。

图6 石鼓水磨主视图和水轮俯视图

阳村、腾冲县打苴乡云河村都有。云河村用这种水轮驱动双碾轮槽碾。各地水轮的结构参数不完全相同。叶片的数量取决于水轮的直径。直径大，叶片就多。直径过大时就采用南涧水碾式水轮。当石鼓水磨式水轮直径较小时，叶片与立轴的夹角（锐角） α 也较小（图7中 α 为 82° ），使水轮呈明显的伞状。笔者认为，这样可以使直径小的水轮具有较长的叶片。水流先冲击到叶片的外端，再沿叶片向下流，增加了水流对叶片的作用面和时间。假设立轴轴心线与叶片底缘构成的平面为A，水流冲击到的叶片面为B，那么A面与B面夹一个锐角 β 。 β 角使水流更有效地冲击到B面，也使沿叶片向下流的水的重量产生部分动力。有时叶片的B面不是平面，而是个微凹的面，使水轮的动力性能进一步改善。

本来叶片是榫接在轮毂上的，为了增加水轮的强度和刚性，通常要在每对叶片的根部之间（轮毂外）加楔块，还在叶片中部和立轴之间拉上绳或铁丝。整个水磨系统中，除了石磨盘和少数铁零件外，其余均为木制。水磨下方被石墙围着（留一门），上方是一个人字顶的木房，房长4.2米、宽2.6米、高2.7米。

三、丽江石鼓水碓

有趣的是，在石鼓水磨的下方二三十米远又装置了一个水碓，从水磨那里流下来的水冲击到水碓的水轮叶片上。水轮转速也靠水闸控制。除石杵、石臼外，其余零部件均为木制。以轴的木质为最佳。

图9为石鼓水碓的结构总图。在中国古籍中，我们尚未发现有关这种结构布局和水轮构造的文字描述和绘图。常见的水碓布局是，碓杆的回转平面与水轮的轴垂直，但在石鼓水碓中两者是平行的。显然，在石鼓水碓中，轴上的凸板对碓杆产生垂直方向的力和水平方向的力，前者压下碓杆，后者可能使碓杆水平摆动。因此，支轴和支架应当能防止碓杆在水平方向摆动过大，否则，碓杆另一端的杵就不能准确地落在臼的中部。

石鼓水碓的冲击式水轮构造较简单。作为叶片的木板直接榫接在轴上，就形成了水轮。水轮直径越大，叶片数就多。当直径大到一定尺寸时，水轮的构造将复杂化，即由轮辐、轮辋、叶片组成，叶片宽而密。叶片夹在轮板之间，通常形成叶片斗，使水轮的受力情况大大改善。对于上冲击式水轮，叶片斗内水的重量还增加了水轮的力矩。有轮辋的水轮功率较大，一般都带动两个以上的碓。石鼓水碓的水轮功率小，仅带动一个碓。笔者认为，石鼓水碓式水轮的发明应在卧轴有轮辋冲击式水轮之前。关于卧轴有轮辋水轮，笔者将另文详述。

四、结 语

实地调查表明，中国传统技术的内容要比古籍的记述丰富得多。调查上述几种传统水力机械，我们才系统地了解到：

1. 整个机械系统的重要尺寸、参数；
2. 机械的详细结构及制作工艺，如各种连接方式；
3. 石鼓斜击式水轮和冲击式水轮的构造及参数；
4. 水力机械的控制方法；

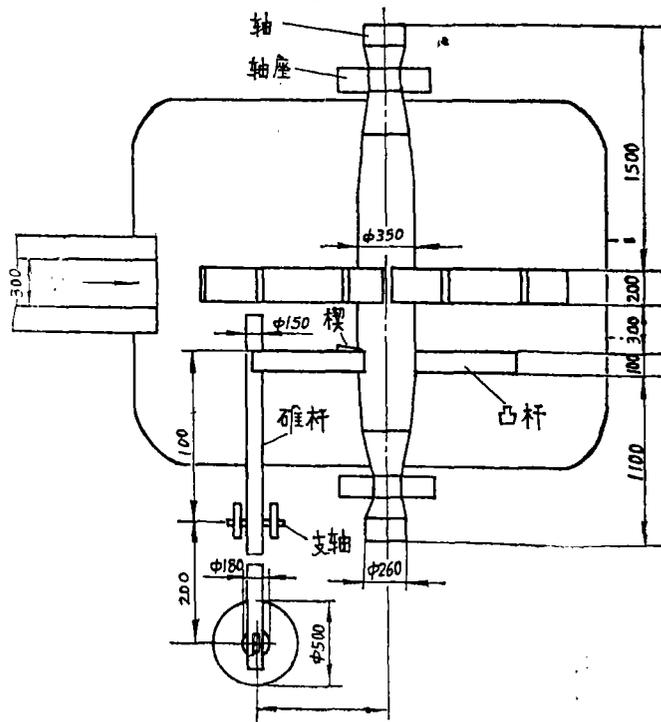
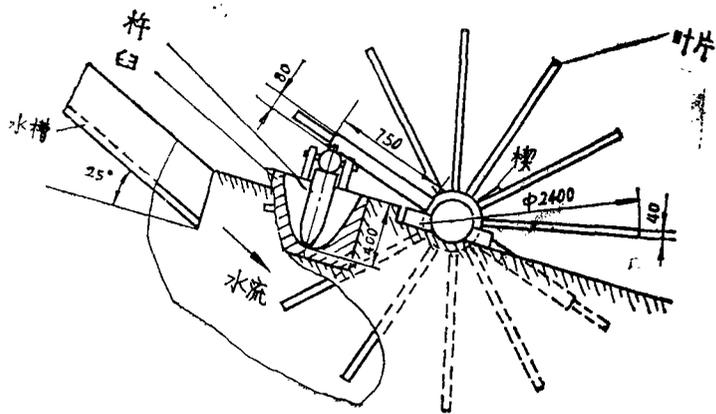


图9 石鼓水碓的主视图和俯视图

5. 轴承的构造及冷却润滑方法。

这些都是古籍中很少描述或根本没有的。可见，现存传统机械及其它传统技术是十分宝贵的活史料。经济和科技的现代化使一些传统技术逐渐被淘汰，而无详细记述的技术一旦消失，就难以挽回损失。看来，抢救传统技术，特别是抢救濒于消失的技术，的确刻不容缓了！

作为科技和历史工作者，我们感激前人记述了古代科技成就，更有责任去调查、研究、保护现存的传统科技，为后人保留优秀的遗产。中国农业博物馆在调查征集传统农机具方面做了大量的工作，中国丝绸博物馆、苏州丝绸博物馆调查征集了不少传统纺织机械，1990年台湾学者在筹划研究台湾的农具。他们的工作令人敬佩！笔者盼望有更多的同仁来调查、测绘、研究传统机械，推动技术史的研究。

（作者工作单位：中国科学院自然科学史所）

注释：

- ①清华大学图书馆科技史研究组：《中国科技史资料选编——农业机械》。清华大学出版社，1985年，第266—268页。
- ②同①，第294页。
- ③闵宗殿：《水力在中国古代农业上的应用》，杭州：中国科学技术史国际学术讨论会论文，1992年。
- ④同①，第296页。
- ⑤同①，第292页。

（上接66页）

积每亩产量标准划分，低产田（<200公斤）占22.8%，中产田（200~300公斤）占49.8%，高产田（>300公斤）占27.4%，低中高产田比例约为2：5：3。因此，建设高产高效农田的重点应放在占耕地70%以上的中高产田，使中产变高产，高产再高产。高产高效农田的标准要高一些。例如扩大成建制（即以村、乡、县为单位）吨粮田开发就可以作为未来20年部分地区粮食作物高产的奋斗目标。成建制吨粮田开发需具备以下4个条件：（1）土地平坦，土层适宜，有一定的土壤肥力基础；（2）热量充足，全年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温在3000~4000 $^{\circ}\text{C}$ 、无霜期130天（一熟）或170天（两熟）以上的地区；（3）有良好的排灌条件或年降雨在1000毫米以上；（4）每亩需投入氮30~40公斤、磷15~20公斤和钾8~10公斤。当然，还需要有比较健全的社会化农业服务体系和农业技术推广体系。到2010年，我国建成5亿亩高产高效农田（到2000年3亿亩，2010年达到5亿亩）是完全可行的。

（参考文献从略）

（作者工作单位：中国农业科学院）