

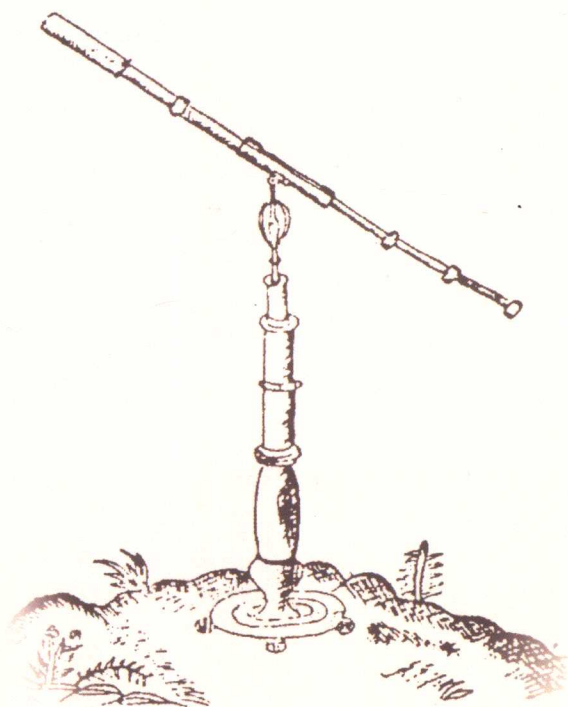
戴念祖文集

主编 戴念祖 白欣

细润沉思

科学技术史

一



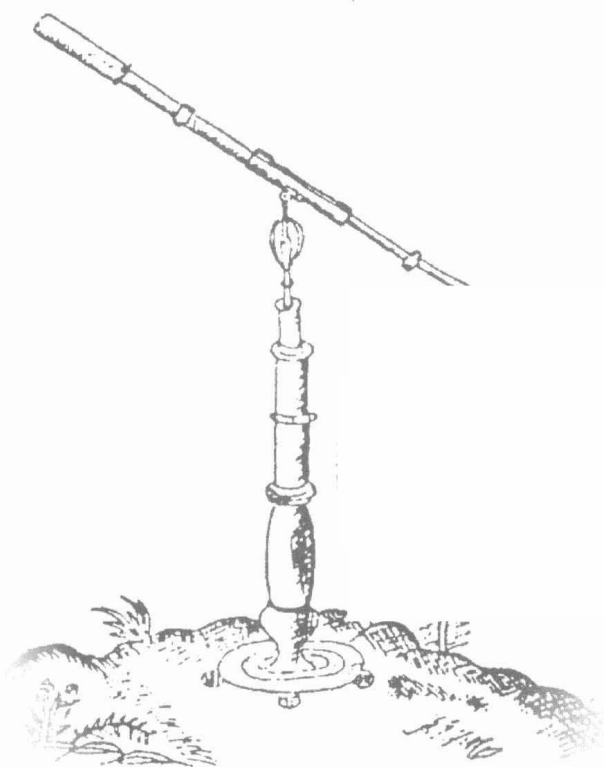
中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

戴念祖文集

主 编 戴念祖 白 欣

细 润 沉 思

科学技术史



中国科学技术出版社
· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

戴念祖文集：细润沉思·科学技术史：全三册 /
戴念祖，白欣主编. —北京：中国科学技术出版社，
2019.3

ISBN 978-7-5046-7889-8

I. ①戴… II. ①戴… ②白… III. ①自然科学史—
世界—文集 IV. ① N091-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 003222 号

策划编辑	王晓义
责任编辑	王晓义 方朋飞
装帧设计	中文天地
责任校对	焦 宁
责任印制	徐 飞

出 版	中国科学技术出版社
发 行	中国科学技术出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-62173865
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	1400 千字
印 张	72.75
版 次	2019 年 3 月第 1 版
印 次	2019 年 3 月第 1 次印刷
印 刷	北京虎彩文化传播有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-7889-8 / N · 240
定 价	198.00 元 (全三册)

(凡购买本社图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责调换)

戴念祖简介

戴念祖（1942—），福建长汀县人。1964年毕业于厦门大学物理系。此后一直在中国科学院自然科学史研究所从事学术研究，先后为助理研究员、副研究员、研究员。曾任该所物理学史和化学史研究室主任，所学术委员会委员、学位委员会委员；中国科学技术史学会常务理事，物理学史专业委员会主任委员。2002年退休。2003—2010年，为首都师范大学特聘教授；2005—2013年，为中国音乐学院音乐科技系特聘教授。1992年起享受国务院颁发的政府特殊津贴。1995年被授于“中国科学院有突出贡献的中青年专家”称号。撰有《中国声学史》《中国力学史》《中国光学史》《中国电和磁的历史》《中国物理学史》《朱载堉——明代的科学和艺术巨星》《天潢真人朱载堉》等著作，是中国科学院原院长卢嘉锡主编的《中国科学技术史》27卷本大书的常务编委之一。



白欣简介

白欣，（1975—），内蒙古科右中旗人，首都师范大学初等教育学院教授，博士生导师。从事中国物理学史研究，担任中国科学技术史学会物理学史专业委员会秘书长，中国物理学会科普工作委员会委员，中国自然辩证法研究会理事，中国力学学会力学史与方法论专业委员会委员，中国物理学会、中国光学会终身会员等社会兼职。入选青年燕京学者培育对象。主持多项国家自然科学基金项目，担任国家自然科学基金评审专家。



目 录

喷水鱼洗起源初探	1
明代徐有贞的水箱放水实验	11
中国古代的风箱及其演变	15
试论东西方关于飞矢运动观的差异	22
中国近代机械计时器的早期发展（一）	27
中国近代机械计时器的早期发展（二）	34
中国的陀螺	40
漫话中国古代的飞行	53
中国古代的飞行器械	58
中国力学史札记：螺旋与横梁高宽比	67
明代姚广孝及其隔声建筑	71
徐弘祖——科学考察大自然的首创者	78
释谭峭的“四镜”	88
明清之际望远镜在中国的传播及制造	108
明清之际汤若望的窥筒远镜	129
用显微镜观察昆虫的中国文献	137
邹伯奇的摄影地图和玻板摄影术	140
中国古代的原子观念	149
中国古代地动说的相对性论证及其科学史意义	153
中国古代关于电的知识和发现	158
亦谈司南、指南针和罗盘	170
再谈磁性指向仪“司南” ——兼与孙机先生商榷	191

指南针	202
“针迷舵失”试探	
——中国 14—15 世纪初航海的地磁影响	216
垛积术和晶体密堆积概念	223
中国古代对潮汐的观察及近距作用的观念	228
隋代的科技集团	233
一个未被重视的科学发展的辉煌时期	
——评明嘉靖后期开始的百年间我国科学技术的成就	241
朱载堉和明代一场改历风波	252
以物理学观点评中国古代数学著作	262
三本物理名词书	277
为了忘却的怀念	
——回忆晚年的叶企孙	279
叶企孙及其对科学和教育的贡献	289
一代宗师叶企孙的晚年	
——戴念祖回忆恩师	311
访科学史学家戴念祖：如何培养下一代科研主力军	318
重拾文化自信机不可失	322
文化沁阳之我见	324
物理与诗歌同行	327
治学方法与经验	336

喷水鱼洗起源初探 *^①

在杭州、大连和重庆等地的博物馆里，展出一种类似现今洗脸盆一样的古代铜盆，盆内刻有四条鱼（图1）。因在摩擦它的两弦（一般称为“双耳”）时，盆内的水能喷射到空中，故人们或称它有喷水现象的古铜盆，或名曰古铜鱼盆、鱼洗或喷水鱼洗。在摩擦它的两弦时，它能产生四道喷水流，水面形成美丽的浪花，使人感到神奇莫测。因此，它成为博物馆中引人注目的展品之一。英国的中国科学技术史专家李约瑟博士在抗日战争期间于重庆参观这种鱼洗后，思索不已。1958年又特地到重庆博物馆对它进行研究^②。1956年英国法官代表团访华时，在杭州参观了喷水鱼洗，回国后还在他们的访华报告中作了专门的叙述^③。虽然喷水鱼洗闻名中外，但近半个多世纪来，人们对它的起源年代一直处在猜测阶段。本文就此作一初步探讨。

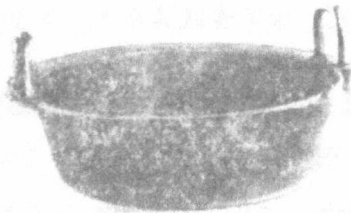


图1 喷水鱼洗（浙江省博物馆藏）

* 承蒙浙江省博物馆提供鱼洗照片，中国科学院图书馆郭永芳、浙江省文物考古所刘军、新华通讯社肖扬、中国科学院自然科学史研究所赵承泽等同志予以帮助，特此致谢。

① 原载于《自然科学史研究》，1983年第2卷第1期，第16—23页；类似一文又见《喷水鱼洗的起源及其物理试析》，台北《科学月刊》，1989年第20卷第1期，第58—61页。

② Joseph Needham, *Science and Civilisation in China*. Vol. 4, Part 1, pp. 35—37.

③ L C B Gower, *Looking at Chinese Justice, Mimeographed Report Privately Circulated after the Visit of a Delegation of Jurists to China*, April 1956, 转引自李约瑟著作，书名见注②。

一、从 1923 年的一张广告谈起

1923 年，在北京城南游艺园曾展出一个喷水鱼洗，每观玩一次，交铜元十枚^①。这次展览还贴出了一张颇具文采的广告。它对喷水鱼洗的描述非常形象。我们不妨引述如下：

盖闻鼎可铸奸，盛传禹代；镜可照胆，艳说秦宫；双鱼称汉瓦之奇；五鹿考晋砖之字；舞丰城之剑，龙气冲霄；燃温峤之犀，妖魔敛迹。此皆著名之宝，希世之珍，古人所争夸，今人所罕见者也。乃有古盆者，铜质烂斑，篆文残缺，中有四鲤，鳞尾俱全，外附两弦，手痕未灭。试盛于水，徐按其弦，其盆也则铿尔有声，其鱼也则跃然欲活，移而珠光四溅，俨如瀑布之形，电气迸流，大有飞泉之妙。是盆也得自南阳，传由汉代，如此寿世之品，勿徒韞椟之藏，爰列广场，用公同好。赏奇之彦，应一试而咸惊；博古者流，曷先睹以为快。^②

有意思的是，抄录这张广告的张寿康继续写道：

余偕友人三五参观。其器围三尺，径尺余，高五寸，外廓广二寸余，状若今之面盆，而廓内两弦耸起，又如火盆提拟形，色黝黑，虎铸四鱼隆起，鳞尾毕肖，虎外似有铭文，（因）磨灭，一字莫辨。器中盛水，壮丁以两手掌摩擦两弦，初则铿然而作声，水起波澜，继则器边水向上喷激，摩擦愈速，喷愈烈，声愈响；至高尺余，则声达户外矣。观者奇之，莫穷其术，询之物主，云：“尝仿造之，终不活敏。”并云：“历南北都市，经赏鉴家不知凡几，皆不能激其究竟，洵至宝也。”……^②

这篇写于 20 世纪初期有关喷水鱼洗的文献，清楚地叙述了鱼洗的形状、结构和振动起浪情形。这里，值得注意的有以下几点：

1. 鱼洗的外廓上有两个一般称为“耳”的东西。它的功能是便于提动鱼洗，将所装的水倒掉。因此，通常称它为“双耳”。但它的主要功用在于它跟手掌摩擦时会发出声音，正如以弓拉弦能产生声音一样，故此又称它为“两弦”。笔者以为，鱼洗的“两弦”一词比俗称“双耳”确切。该鱼洗得自南阳，可能是古代南阳人所造，也不能排除是流传到南阳的历史文物。至于它现在传到何处，不得而知。它的两弦尚存“手痕”，可见，该鱼洗造成后不知有多少人在其上进行过摩擦喷水的实验游戏。

2. 关于鱼洗的起源问题，该文献指出，“传由汉代”。但是否为汉代物尚未证实。李约

① 蔡堡，《双鱼古铜盆说》，见《科学》1923 年第 8 期，第 1122—1225 页。

② 张寿康，《击缶庐日札》卷二（稿本，藏于中国科学院图书馆）。

瑟在他的《中国科学技术史》中，就他所看到重庆博物馆鱼洗的铜质颜色判断，“可能是唐代或宋代的”^①。笔者也曾认为，至迟在唐宋时期当已经出现^②。因为缺少有关证据，许多人只好暂且相信传说，如我国声学技术专家马大猷在他的有关文章中写道：“相传创制于近两千年前的汉代”^③。但这些都是传说或猜测，它到底起源于何时是值得探讨的。

二、汉代的洗非喷水鱼洗

就洗这种器物而言，据史籍记载，它的出现要早于汉代。宋代王黼《博古图》、明代刘绩《三礼图》中都有周洗的记述。

在周、汉两代的典章制度中，洗用作祭祀天地、祖宗的必备器具之一。根据各人地位的尊卑贵贱，洗的品种和大小也各不相同。《仪礼·士冠礼》中曾对几种礼式中洗的安放位置作了记述，如“夙兴设洗，直于东荣南北，以堂深，水在洗东”。郑玄对此注道：“夙，早也；兴，起也。洗，承盥洗者弃水器也，士用铁。荣，屋翼也。周制自卿大夫以下，其室为夏屋，水器尊卑皆用金，盥及大小异。”

郑玄在此认为，洗是“承盥洗者弃水器”，即人们在盥洗后盛污水之器。关于洗的用途，在历史上曾有过异议。宋代王黼并不像汉代郑玄那么肯定，而是认为：“洗，贮水之器”，又说：“洗，盥手之器”^④。这就是说，既用它贮水，又用它洗手。他所描述的洗的形状类似今天的洗脸盆。宋代黄伯思仅叙述“以洗为盆，以盥为缶”^⑤。明代刘绩认为，若一人洗，“则一人奉匱水，一人奉盘”；若众人洗，“则以盥盛水于洗东，临时以抖挹水于洗”。他还指出：“不止盥手而又洗爵，故曰洗。”他认为，郑玄等人“以洗为盛水之器，以匱为盥手，皆非也”^⑥。

当然，洗的上述用法，恐怕只在一定等级、地位的人中流行。在普通人那里，笔者以为，洗这种器物可能大部分是木质、陶质的；即使有铁洗、铜洗，也可能作为洗手、洗脸、洗爵，以至洗衣服之用。

由上可见，在汉代或汉以前，洗无疑是一种极普通的用器。但是，迄今笔者尚未见到有确凿的文字记载，表明在汉或汉以前已发现洗的喷水现象。值得注意的是，已发现的大量汉洗或周洗，都没有“两弦”这一结构部件。《博古图》中，有周洗三件、汉洗三件；在

① Joseph Needham, *Science and Civilisation in China*. Vol. 4, Part 1, pp. 35—37.

② 戴念祖，《中国古代力学》，见《中国古代科技成就》，中国青年出版社，1978年，第151页。

③ 马大猷，《我国声学工作综述》，见《自然杂志年鉴》（1979年），上海科学技术出版社，1980年，第111页。

④ 王黼，《博古图》卷二十一。

⑤ 黄伯思，《东观余论·周盥周洗说》。

⑥ 刘绩，《三礼图·洗》。

清乾隆十四年编撰的《西清古鉴》中，有周洗两件；汉洗三十八件（其中有泉洗一件、双鱼洗六件），还有汉代的“双鱼盆”。在所有这些器物中，有的洗底有足，可见它们不能用以摩擦喷水；有的两耳在腰部，这显然纯属为提挈而设置。不仅全部图画没有“两弦”结构，而且所有的文字说明也都没有讲到它们中的哪一个具有喷水现象。可以与此作对比的是，汉代的透光镜曾被许多古籍所记述。在《西清古鉴》中，就明确指出有些镜的透光效应，如“汉长生鉴”一件，“此镜迎日照之，则背文透出”^①。由此可知，从汉代到清乾隆的1500年间，人们发现了许多汉洗、周洗，如果其中有个别的能产生喷水现象的话，那么，它是不可能不被发现、不被记载下来的。

在各种关于汉洗的文字记载中，可以怀疑汉洗有喷水现象的证据是下面引文中的一句话：

汉双鱼洗。右高三寸四分，深三寸三分，口径七寸八分，容四升有半，重二斤三两，无铭。其器类阳嘉洗。然中饰以二鱼，笔画不繁缛而简古，真汉物也。且鱼与水相须之物，于是洗皆旌以鱼，而汉之姜诗尝有双鲤之祥，当时颇高其行，得非用为雅制耶。昔人于动作间无所不致，其义岂特于此见之^②。^③

这段文字对汉代一个双鱼洗的记述可谓详细。乍一看来，最后一句话确会使人误认为用手摩擦它之后会有喷水现象。但是，对洗的大小、容量、重量、铭文甚至连所画鱼的笔画繁简都作了一一记述的该书作者王黼，不可能不记述到起喷水现象的鱼洗必定具有的“两弦”部件。尽管可能有某些技术高超的人也许会使没有“两弦”的洗喷水，正如当今摩擦一种玻璃杯会出现水花现象一样，但是，在没有“两弦”结构的情况下，要使比玻璃杯大得多的洗喷水，毕竟是不方便的，何况它的水浪也不会有规则。再则，这段引文的最后一句话，实在是太含糊了，任何人都不敢武断地认为，它是在描述喷水现象。

顺便指出，这段引文为我们揭示了鱼洗所以画鱼的古代哲理。

笔者在见到确凿的文字记载或实物以表明汉或汉以前有喷水鱼洗之前，暂且不认为汉及汉以前有此类器物或发现了此类现象。

笔者在对喷水鱼洗进行调查研究的进程中，发现福建长乐施景琛于1924年著的《泉山古物编》一书中，将其所见的一个喷水鱼洗断定为“周朝之物”，其理由是，该洗底部有“齿痕”，“查周时制器先制铜柱连于器底，煅成则去其柱，故有齿痕也”^④。又因该洗有“大

① 《西清古鉴》卷三十三。

② 重点号是笔者加的。

③ 王黼，《博古图》卷二十一。

④ 施景琛，《泉山古物编》，1924年，线装铅印本。

富”二字，施即命其曰“周大富四鱼洗”。其实，施景琛并不明白古代铸造铜器的方法和过程，他将该洗断为周代之物的论据是肤浅的，且不合鱼洗铸造实际，而“大富”二字的笔画是否可断为周代文字，他却只字不提。至于一些根据此书来断定喷水鱼洗起源年代文物说明书或报刊文章，更不足为凭。

三、喷水鱼洗的起源年代

究竟何时喷水鱼洗？它的演变情形如何？

在《挥麈前录》中有段文字记载道：

韩似夫与先子言，顷使金国，见虜主所系犀带，倒透，中正透，如圆镜状，光彩绚目。似夫注视久之。虜主曰：此石晋少主归耶律氏者，唐氏所宝日月带也。又命取磁盆一枚示似夫，云：此亦石主所献，有画双鲤存焉，水满则跳跃如生，覆之无它矣。二物诚绝代之珍也。盆盖见之范蜀公记事矣。^①

公元1118年，宋朝派武义大夫马政去金朝探听虚实。此后，宋、金使者往来联络，共议攻取辽之事。韩似夫、范蜀公似曾出使金国。“虜主”指金朝皇帝。石晋少主即晋出帝石重贵，他于946年向辽太宗耶律德光投降，日月带和瓷盆或许是他投降时献给辽太宗的贡品。1115年，金太祖建立金朝后，立即向辽朝进攻，在达鲁古城大败辽军，掳掠而回。同年九月，又攻占了辽朝北边重镇黄龙府城。辽天祚帝在护步答冈与金朝决一死战，结果辽又大败，金军又掳掠了大批财物。这日月带和瓷盆两件珍宝似在此时又落到了金朝手里。由此可以断定，引文中描述的瓷盆当在946年以前制成。引文中明确讲到日月带为唐朝国宝；而该盆是否属于唐朝（618—907年）物品，可惜引文中没有交代。

该引文并不对这个瓷盆的形状、大小、结构作具体描述，而只是笔述它的重要特点：盆底画有双鲤，装满水后，双鲤跳跃如生。我们知道，在两手摩擦鱼洗过程中，洗内的水会因洗壁的振动而喷射起来，恰似洗内的水被鱼搅得水花飞溅一般。因此，虽然这段引文并未述及该瓷盆的结构规范，然而只要亲眼见过鱼洗喷水现象的人就能认定它是类似喷水鱼洗的瓷盆。

《挥麈录》一书，虽有些版本所署撰者不一，但四库全书本认定是宋代王明清撰。据该书所载“绍兴丙辰明清甫十岁时”^②一语，可知王明清生于1136年，卒年不详。《挥麈前录》完成于1116年。《四库全书提要》写道：“明清为中原旧族，多识见闻，要其所载，较委巷

① 王明清，《挥麈前录》卷三。

② 王明清，《挥麈前录》卷四后记。

流传之小说，终有依据也。”^①王明清在该书卷四后的“自跋”中也述及自己“弱龄过庭，前言往行，探寻旧事，晷夕剽聆”，“偶及昔闻，间有可记，随即考而笔之”^②。据此，上述记载可以认为是可信的。

瓷盆与铜洗有否联系呢？

宋代何薳在所著《春渚纪闻》中写道：

余又记《虜庭杂记》所载，晋出帝既迁黄龙府，虜主新立，召与相见，帝因以金盃、鱼盆为献。金盃半犹是磁，云是唐明皇令道士叶法静治化金药，成，点磁盆试之者。鱼盆则一木素盆也，方圆二尺，中有木纹，成二鱼状，鳞鬣毕俱，长五寸许。若贮水用，则双鱼隐然涌起，顷之，遂成真鱼；覆水，则宛然木纹之鱼也。至今句容人铸铜为洗，名双鱼者，用其遗制也。^③

《虜庭杂记》一书似已佚。《春渚纪闻》转引《虜庭杂记》所载与《挥麈录》的记载分明是一回事。《春渚纪闻》关于鱼盆“双鱼隐然涌起”的描写，正如《挥麈录》的描述一样，也是有据的，只不过这两本书的作者都未提及需要有人用手摩擦一事。这大概是因为，在他们看来，瓷盆是个“神物”，而表演者的摩擦只是“小技”罢了，是不值得一提的。再则，将这个“神物”和常人的技术并提，也降低了瓷盆的神秘性。

在这里，需要明确的是，到底这个盆是什么质料？是木盆、金属盆还是瓷盆？

何薳关于木盆的记述，是以鱼纹类似木纹为据的。其“木素盆”“木纹”“宛然木纹”三词表明该盆可以排除为木质的可能。既然何薳所记晋出帝石重贵献给金朝皇帝的盆，就是王明清所记金朝皇帝拿给贾似夫看的盆，而后者明明说是瓷盆，那么何薳引自《虜庭杂记》的木盆说，显然是错误的。我们说它是错误的，因为木盆不可能有因震动而喷水的作用，而传世的实物也确实没有木制的。古人对喷水的现象无法解释，视为神秘之物，有一些传闻失实的说法是不奇怪的。

《四库全书提要》就《春渚纪闻》的作者写道：“薳，浦城人，自号韩青老农。”“薳父曰去非，尝以苏轼荐得官，故记轼事特详。”^④既然苏轼（1036—1101年）曾推荐何薳的父亲做官，何薳的生活年代当比苏轼晚，估计在11世纪下半叶到12世纪上半叶之间。可见，何薳当比《挥麈录》的作者年长。但是，出自何薳著作的上述引文却出了错误，似乎令人不可理解。其实，这是因为他的书在一段时间里几乎失传的缘故。直到明代，陈继

① 《四库全书提要》子部·小说家类二。

② 王明清，《挥麈前录》卷四后记。

③ 何薳，《春渚纪闻》卷九“纪研”。

④ 《四库全书提要》子部·杂家类五。

儒（1558—1639年）根据别人的发现刊其杂记五卷，此后又寻得蕙著旧本，补其脱遗，才有今天的《春渚纪闻》这本书。这样，书中个别条目出现内容矛盾或错误、失实之处，乃“或传写之讹，非蕙之旧也”^①。

还要强调的是，第一，上述引文中的最后一句话，即“至今句容人铸铜为洗，名双鱼者，用其遗制也”，它明确地道出了喷水铜洗的起源。在何蕙生活的年代（11世纪下半叶到12世纪上半叶），即北宋后期，在今江苏西南部即南京、句容县一带已有人能制造喷水的铜质鱼洗，而它的“祖先”正是晋出帝的瓷鱼盆。它的名称最初称为盆，而后才曰铜洗或双鱼铜洗。起初洗底刻画两条鱼或称双鱼，而刻画四条鱼的洗应是比较晚的时候才出现的。从双鱼到四鱼的变化过程，表明人们对鱼洗振动的认识加深了。因为喷水鱼洗最基本的是喷起四道水柱。四条鱼配四道水柱，既符合构思技巧，又使艺术美的形式更加完整。第二，唐代人是否发现了洗的喷水现象？上述引文中有“唐明皇令道士叶法静”点瓷成金的记述，似乎这个瓷盆也可以追溯到唐代，但毕竟文字十分模糊。唐代道教流行，唐高祖李渊、唐太宗李世民都曾实行兴道抑佛的方针，唐朝的几个皇帝都曾吃过道士炼制的长生不老药，有的中毒而死。道士的点铁成金术在唐代也流传甚广。宋代何蕙把他所记述的喷水鱼盆归结到唐代，正是以唐代的这一历史背景为依据的。然而我们要根据这不确实的文字作出结论，显然是草率的。但是，我们也不能完全肯定唐末未曾发现某些洗类器物的喷水现象，因为唐末（907年）距石晋朝（936—946年）不过是二三十年。

除了瓷、铜一类的洗外，人们是否还发现用其他材料做成的器物也有喷水现象呢？有。

在王明清的《挥麈后录》中有一段记载，它叙述了宣和年间（1119—1125年）广南转运使郑良管辖下的一个富翁，“蓄一玛瑙盆，每盛水则有二鱼跃其中”。于是，郑良等贪官为了获取这一珍宝，依仗权势、奸利不法。现把此段记载转录如下，供参考。

宣和中，有郑良者，本茶商，结交阉寺以进，至秘阁修撰、广南转运使。恃恩自恣，部内有巨室，蓄一玛瑙盆，每盛水则有二鱼跃其中。良闻之，厚酬其价，不售。乃为一番舶曾訥者所得，良遣人经营，云已进御矣。初，未尝也。良即奏以谓訥厚藏宝货服用，僭拟乘舆。得旨，令究实。良即以兵围其家，捕其妻孥，械系而搜索之。訥之弟谊方醉卧，初不知其由，仗剑而出，遂至纷敌。良即以谊拒命杀人闻奏。奏下谊伏诛，訥配沙门岛。靖康初元，訥以赦，得自便至京师。知时事之变，击鼓讼冤。初蔡攸窜海外，继遣监察御史陈述明作追，路诛之。述度岭而攸授首，就以述为广漕代良，并往鞠治之。述入境，良往迓之，就坐，擒下枷讯，施以惨酷，良即承罪，铜

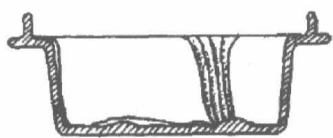
^① 《四库全书提要》子部·杂家类五。

押往英州听敕。敕未下，而良死，旅殡僧寺。述复奸利不法，为人所讼，制勘得情，诏述除名英州，编管至郡。寓僧舍，纵步廊间，覩良旅榱在焉，惊悸得疾而卒。攒室相并，至今犹在。贪暴吞噬，何异酷吏之索铁笼耶。

这故事中记载的喷水器具是玛瑙质的，它比起铜质来就更为稀罕了。它从另一方面证明，在北宋后期人们确已发现了有喷水现象的鱼洗一类器物。

四、喷水鱼洗的喷水原理

鱼洗为何能喷水？有人以为，“观者奇之，莫穷其术”，有多少鉴赏家都“不能澈其究竟”^①。20世纪20年代，有人从物理意义上作了简单的解释^②。李约瑟在其名著中虽曾正确地猜想到，它的振动波节与波腹相当于钟，但又以为，鱼洗金属在摩擦其两弦时发生形变，类似“奇镜”（即透光镜），又以为“它与不均匀电场的影响非常相似”^③。关于鱼洗喷水现象的解释，他对中国学术界寄托着希望。他说：“无论如何，这种现象值得中国具有历史观点的物理学家们的注意。”^④1964年，在马大猷的指导下，中国科学院电子学研究所一位研究生曾对鱼洗振动作过详细研究。该论文从鱼洗振动得到启发，探讨更广义的侧壁振动的问题^④。由于该论文纯属理论研究，又未曾指明鱼洗的有关问题或从历史角度谈及鱼洗，因此并未引起文博界和科技史界的注意。本文在此对鱼洗喷水原理作一简单叙述。



(1) 侧壁



(2) 底面图

图2 鱼洗^③

此并未引起文博界和科技史界的注意。本文在此对鱼洗喷水原理作一简单叙述。

1980年冬，笔者到杭州浙江省博物馆参观，该馆宋瑞茜作了鱼洗喷水的表演。她的精彩表演证实了1923年那张广告的描述是真实的。

鱼洗喷水的过程是这样的：把鱼洗放在垫有软质料（如布、棉花）的小桌上，注进鱼洗容量一半以上的水，表演者用手摩擦洗的两弦。由于洗盛水多少和表演者摩擦技术高低的不同，水面能呈现各种不同的波纹。在水面出现四节线驻波时，如果摩擦得法，洗不仅发出震耳的嗡嗡声，而且四个波腹处，即四条鱼的口沟处（图2），水珠四溅，喷射的水柱高达二尺以上。

① 张寿康，《击缶庐日札》卷二。

② 蔡堡，《双鱼古铜盆说》，见《科学》，1923年第8期，第1222—1225页。

③ Joseph Needham, *Science and Civilisation in China*, Vol. 4, Part 1, pp. 35—37.

④ 李沛滋，《侧壁振动所产生的表面波》，见《声学学报》第1卷第1期（1964年），第14—21页。

洗的振动属于壳振动，而且是一种规则的类似圆柱形壳的振动。就这一点而言，李约瑟博士说它类似于钟（教堂寺庙钟）的振动是对的。由上述过程可知，洗的底部不发生振动，整个洗只有其周壁发生横向振动，即垂直于洗内水平面的振动。手掌和两弦的摩擦就是洗发生振动的激励源。我们把洗的振动简称为摩擦壳振动。通过摩擦，赋予洗周面振动的能量。又因手掌和两弦的长期接触，使该处总是处在振动波节位置。弦的长度相对于洗的周长要短得多，理论上可以把弦的中心垂线看作波节线。洗的实际振动也表明如此。由于洗的对称性，因此它的振动只能是偶数节线（如 4、6、8 节线）的振动，其振动情形如图 3 所示。

在洗周面对称振动的拍击下，洗内的水发生相应的谐和振动。马大猷在研究鱼洗水面振动原理并做模型实验时发现，盆壁振动不但可以激起盆中水的喷注，在一定条件下还将产生次谐波^①。在洗的振动波腹处，水的振动也最强烈，甚至由于受到波腹的拍击而喷起水柱，并在水面形成定向波浪；在洗的振动波节处，水不发生振动。因此，浪花停止在波节线上，水面气泡和水珠也停泊在这些不振动的水面径线上（图 4）。这样，通过水珠和气泡的停泊线，就可以看出水面不振动的节线，也就可以推测出洗周面的节线位置。盛水的鱼洗就使弯曲板的振动情形成为可见的了。因此，在科学史上喷水鱼洗的确是一件了不起的发明。



图 3 鱼洗周壁 4、6、8 节线振动示意

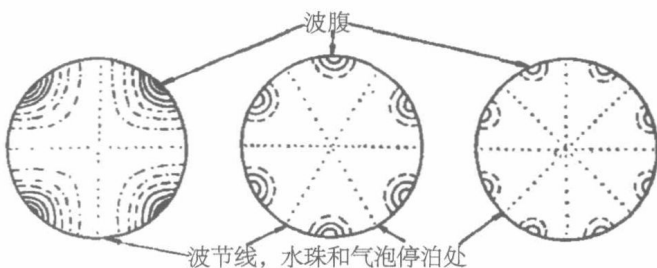


图 4 鱼洗作 4、6、8 节线振动的水面模式

在 18 世纪下半叶，被誉为“声学之父”的近代声学第一流的实验科学家、德国的克拉尼（Ernst Florens Friedrich Chladni, 1756—1827 年），在一个玻璃杯内盛半杯水，用一弓弦在杯口轻轻一拉，发现杯在发声的同时，水也呈现出波浪纹。但由于杯结构不如鱼洗复杂，波浪纹较简单。克拉尼在研究金属板振动时，为了使振动变为可见，并使他自己在板

^① 马大猷，《我国声学工作综述》，见《自然杂志年鉴》（1979 年），上海科学技术出版社，1980 年，第 1.11 页。

不振动时慢慢地画出振动图形，他想出了一个巧妙的办法：在板上撒一薄层细砂。当他敲击金属板而使它振动时，板上细砂就都移动到那些不振动的波节线上。他所画下来的各种板振动图形，就成为现在科学上闻名的“克拉尼砂图”。当克拉尼在19世纪初把他的图形拿到法国展览并进行表演时，受到法国科学家拉普拉斯（P. S. Marquis de Laplace, 1749—1827年）等人的极大赞赏，拿破仑还赏给他6000法郎^①。

中国的喷水鱼洗比克拉尼振动板早7个世纪。如果当年克拉尼见到中国喷水鱼洗的表演，他当会用这个办法去研究规则的和无规则的弯曲板的振动。今天，我们可以毫不过分地把这种根据鱼洗振动的水面所画下来的图（图4）称为“中国水图”。但是，在中国古代，鱼洗只停留在供人欣赏的水平，而未曾上升到科学理论的高度。这也许是近代科学和工业诞生以前与诞生以后科学技术的最大差别吧！

末了，要指出两点：①在摩擦鱼洗的两弦时，一定要把手掌蘸上水。这既可以减轻因摩擦发热而造成的手掌疼痛，以延长摩擦时间，又能使手掌和两弦接触紧密。为了增大摩擦力，还必须把手掌上的油脂洗净。②水是鱼洗振动的负荷体，为使鱼洗产生不同数量的波浪和水花，必须适当地控制注水量。根据浙江省博物馆所藏喷水鱼洗的情形来看，约鱼洗容量 $9/10$ 、 $7/10$ 和 $1/2$ 的水，会使鱼洗分别产生4、6、8个驻波（图4）；而 $9/10$ 的水，即4节线（对应于水面4个驻波）的振动，是鱼洗的基频振动。自然，它激起的水柱最高，浪花最大。

突出地表现了古代人聪明才智的是，鱼洗中4条鱼的口和喷水沟必须分别刻在对准4节线振动的波腹位置。这既在科学技术上证明古代工匠了解圆柱形壳的基频振动的波腹和波节位置，又在实际效果上能使人们产生一种错觉，以为刻画鱼在水中搅动，从而供人们欣赏娱乐和驰骋自己的想象。这样，在一个小小的鱼洗器物中，把科学技术、艺术欣赏和思辨猜测三者结合在一起，这种深邃的智慧和精湛的技艺，不能不令人为之惊叹。

① M. v. 劳厄著，范岱年、戴念祖译，《物理学史》，商务印书馆，1978年，第27页；F. 卡约里著，戴念祖译，范岱年校，《物理学史》，内蒙古人民出版社，1982年，第283页。

明代徐有贞的水箱放水实验^①

摘要：徐有贞是明代一位历经正统、景泰、天顺三朝的大臣，在政治上多被史家列为奸臣。但他又是一位学者。他在山东治黄成功并在西方之前近 400 年做水箱放水实验，是科学史上的一大事件。

关键词：水箱放水实验；水力学；徐有贞；明代

两个完全相同的等容水箱，盛满同质同量的水；一个水箱底开一大孔，另一个水箱底开数小孔，令所有小孔面积之和等于大孔面积。如此做放水实验，哪个水箱的水先放完？这是 19 世纪为流体力学家关注的一个水力学实验。法国数学家和工程师彭赛列（Jean-Victor Poncelet, 1788—1867 年）和洛斯布罗斯（Losbros）于 1827—1835 年，美国矿业工程师和流体力学家史密斯（Hamitton Smith, 1840—1900 年）于 1885 年，以及其他人在不同的时间都做了这样的实验。他们的实验目的是要测定小孔的放水系数。当小孔为方形孔时，小孔出水的流量 Q 为

$$Q = CA\sqrt{2gh} = 0.61A\sqrt{2gh}$$

式中， C 和 0.61 为放水系数，它是从开孔面积与其理想流速中计算而得的放水量和实际放水量之比值； A 是小孔面积， h 为水箱内水面高度。实验发现，当小孔直径小于 1 英寸时，放水系数会随孔径的减小而稍有增加^[1]；当两箱的 h 与 A 相同时，孔口形状与孔缘的锐利程度也会影响放水系数，而且放水系数随以下几种孔口形状而依次增大：圆形、正方形、三角形、矩形^[2]。这就是说，矩形小孔的放水系数最大，当先将水箱内的水放完。

大约比欧美的这些实验早 400 年，明代水利专家徐有贞做了相同的水箱放水实验，并得到了类似的结论。徐有贞于景泰三年（1452 年）官左佥都御史，赴山东治理黄河，在今

^① 原载于《力学与实践》，1999 年第 3 期，第 74—76 页（合作者张旭敏）。