

中国近代水轮机的早期自主设计及制造考略

史晓雷

(哈尔滨师范大学科技与社会发展研究所, 黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要: 2014年, 黄源芳撰文称吴震寰是中国近代水轮机设计第一人。经考证, 在1942年吴震寰设计、重庆民生机器厂制造 2×1000 马力水轮机之前, 中国已另有他人设计、制造了近代水轮机。他们分别是: 纪廷洪, 1940年前为福建顺昌白龙泉水电站等设计了多台近代水轮机; 韩子揆, 1935年为四川金堂玉虹桥水电站设计了40千瓦混流式水轮机; 上海机器厂, 1941年前已生产多种型式的近代水轮机。此外, 中央机器厂第四分厂王守泰等人设计近代水轮机的时间也早于吴震寰, 但其系列产品的生产则晚于1942年。本文是对现有研究的更正与补充, 是对中国近代水轮机历史发展的进一步考证及梳理。

关键词: 水轮机; 自主设计; 吴震寰

中图分类号: T09

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2016)03-0307-09

引言

2014年12月29日,《中国能源报》刊载了原三峡集团副总工程师黄源芳先生的一篇文章《谁是中国近代水轮机设计第一人》(以下简称黄文)^[1]。黄文称, 过去有的文章和图书将为福建早期水电做出突出贡献的南平纪廷洪称为“研制我国水轮机第一人”并非事实, 因为“从历史史实看, 纪廷洪所受的教育、掌握的知识、技术工作经历, 他都没有设计制造真正意义上的水轮机的实力。”经过考证, 他认为1941年由吴震寰设计制造、位于四川龙溪河下碛水电站的1000马力(750千瓦)水轮机是我国第一台近代意义上的水轮机, 因此吴震寰应该是中国近代水轮机设计的第一人。然而, 事实并非如此, 有史料表明, 在吴震寰之前, 已有其他中国人设计、制造了近代水轮机。本文试图对我国早期自主设计、制造近代水轮机的历

史作一番考察。

考证之前, 需要对近代水轮机或者说近代意义上的水轮机做一个限定说明。黄文已经指出: 近代水轮机通常指迄今仍被广泛应用的水轮机, 即包括了1827年法国工程师富尔内隆(Benoît Fourneyron)制成的反击式水轮机, 1849年美国工程师弗朗西斯(James B. Francis)设计改进成的混流式水轮机, 1880年美国工程师培尔顿(Lester Allan Pelton)发明的冲击式水轮机, 1912年奥地利工程师卡普兰(Viktor Kapla)设计的轴流转桨式水轮机, 以及20世纪40~50年代相继出现的贯流式和斜流式水轮机, 和用于抽水蓄能电站的水泵水轮机。本文讨论的近代水轮机是属于上述范畴的水轮机。

黄文说, 在新中国成立前我国正规的水电站中, 除了日本侵华期间在东北建设的丰满水电站、镜泊湖水电站外, 其余小水电站的水轮机组设备

收稿日期: 2016-04-05; 修回日期: 2016-05-04

基金项目: 中国科协老科学家学术成长资料采集工程项目(编号: 2013-G-Z-HLJ03); 哈尔滨师范大学应用对策项目(编号: SYD-2014-01)

作者简介: 史晓雷(1979-)男, 讲师, 主要研究方向为技术史。Email: xiaolei1979@foxmail.com

大多数是从欧美进口的近代水轮机组。我国境内最早的龟山水电站, 是日本占领台湾时于 1905 年修建的, 所用水轮机是美国摩根·史密斯公司制造的两台反动式(即反击式)水轮机, 发电机使用的是美国西屋公司生产的两台 250 千瓦电机。^{[2][3]} 1912 年, 中国自主修建的第一座水电站——云南石龙坝水电站, 采用了两台奥地利福伊特公司生产的反击式水轮机和两台德国西门子公司生产的 240 千瓦发电机。^[4]即使是在日本侵华期间在东北修建的水电站中, 也有购自欧美的水电设备, 比如丰满水电站, 在 1945 年二战结束时, 除了还未安装的日本日立公司生产的机组外, 其他机组中的水轮机由瑞士爱雪维斯公司和德国福伊特公司生产, 发电机则由美国西屋公司和德国通用电气公司生产。^[5]

本文主要探讨我国早期自主设计、制造的近代水轮机, 时间范围是在 1912 年石龙坝水电站之后, 吴震寰设计下碛水电站 2×1000 马力水轮机之前。这里的“自主设计”, 是指中国人主导设计, 无外国人参与。对于早期的水轮机设计而言, 会有测绘国外水轮机后的仿制、根据国外资料的改进设计以及独立性较强的自主设计三种情况, 本文尽可能就每种情况做出交代, 将其均归于自主设计范畴。因此, 本文对全部采用国外生产机组的电站不予考证, 而如果水轮发电机组中的发电机由国外生产, 水轮机在国内设计、制造, 这种情况则在我们考察的范围以内。

1 下碛水电站水轮机的设计与制造

下碛水电站, 即四川长寿(现属重庆)龙溪河上的下清渊碛水电站, 是新中国成立前我国自行设计的单机容量及总装机容量最大的水电站, 此电站的建设便与吴震寰有关。

吴震寰是老一辈革命家吴玉章的独子, 于 1901 年生于四川荣县, 1917 年入留法预备学校保定德育中学, 1919 年赴法勤工俭学, 入恩鲁布尔(Grenoble)电科专科学校, 毕业后在法国边境任

水电工程师从事水电建设, 1933 年到苏联国家计划局任工程师, 1938 年与父亲一起回国, 任长寿龙溪河水力发电工程处工程师兼工务长。^[6]

吴震寰到达长寿后, 最先投入了同在长寿的桃花溪水电站的设计和施工的工作。该电站装机容量为 3 台 292 千瓦的水轮发电机组, 横(卧)轴冲击式水轮机向英国古柏公司订购, 发电机和配电盘向美国西屋公司订购。桃花溪水电站建成之前, 1939 年 10 月下碛水电站开工, 其原计划安装四台机组, 总容量为 2880 千瓦, 计划分别向英国和美国订购立轴辐向轴流式水轮发电机各两台, 每台水轮机容量为 1000 马力, 发电机容量为 900 千伏安(720 千瓦)。据朱成章的访问调查, 向国外订购机组事宜发生了变化:

“日本帝国主义发动太平洋战争后, 侵占了越南, 滇越铁路也被切断了, 由于日本帝国主义的封锁, 向美、英两国订购的机组滞留海防, 无法运抵现场。当时昆明中央机器厂……没有条件制造下洞(碛)机组, 面临的抉择是停止建设下洞(碛)水电站, 或者自力更生制造水轮发电机组。吴震寰当即决定主动挑起自己设计制造水轮发电机(组)的重任。……吴震寰首先利用已损坏报废的一台变频器, 交由昆明电机厂改制为 1940 千伏安的发电机, 糜即亲自设计完成, 交由重庆民生实业公司所属民生机器厂于 1942 年制造出了卧轴混流式双转轮 2×1000 马力水轮机。……下洞(碛)从 1944 年 1 月正式发电。^[7]”

此事件的关键时间节点是太平洋战争的爆发, 导致了吴震寰决心自己设计, 而太平洋战争于 1941 年底爆发, 因此吴的设计至少是在 1942 年完成的。再根据“1942 年重庆民生机器厂按照龙溪河水力发电工程处设计图纸制造出 1000 马力双轮混流式水轮机和 200 千瓦混流式水轮机”的记载^{[8][65]}, 与吴设计的 1000 马力双轮混流式发电机完全能对应上, 因此可以确定吴震寰的 2×1000 马力水轮机是在 1942 年设计完成, 并在同年由重庆民生机器厂制造完成, 1944 年 1 月投入发电。

抗日战争胜利后，滞留海防的两台 720 千瓦机组才被找到并运回国内，1948 年 3 月投入发电，这样下碇水电站的总装机容量为 2990 千瓦，单机最大容量 750 千瓦，均是新中国前自行设计水电站中的最大容量。

需要说明的是，下碇水电站的 1550 千瓦发电机是由中央电工器材厂工程师朱仁堪利用国内一台闲置的 1940 千伏安变频器改装而成。^[9] 尽管不能算是独立设计，但这仍是新中国前我国自行设计的水电站中单机容量最大的电机。有资料称这台水轮机是由吴震寰、朱仁堪设计的^[10]，显然，该说法是把水轮机和发电机混为一谈了。

2 1942 年前自主设计制造的水轮机

据黄文统计，1912~1949 年间全国共建有正规水电站 42 座，但戴庆忠统计的数目是 73 座（除台湾省）^[11]，其中贵州修文水电站和重庆小坑岩水电站新中国后才开始发电，另有 18 座水电站机组情况不明，剩余 53 座水电站的第一台机组均在新中国前就开始发电。下面仅考察 1942 年首台机组被制造完成并发电的水电站（西宁电厂除外，后文将另作分析），而且水轮机必须明确由国内生产制造，这样可以保证其设计制造时间早于吴震寰的 1942 年。遴选之后得到的 10 座水电站见表 1。

如前所述，由于本文考察的是近代意义上的水轮机，而夏道水电站、吕家碾水电站的水轮机均为木质水轮机，故不作讨论；福建政和水电站和浙江太平汛水电站目前无法核实到更详细的信

息，因此，下文将逐一考察剩下的 6 座水电站，其中有 3 座与纪廷洪有关，分别是白龙泉、西芹和磨面坑水电站。

2.1 纪廷洪早期设计制造的水轮机

纪廷洪是我国水电事业早期发展史上的一位奇才，1900 年生于福建南平夏道白叶山村，小时候家境贫寒，8 岁那年利用水碓捣烂竹丝时不幸被碓头砸烂右臂，从此成了独臂人。后来受南平教区外国教师的影响学习了文化知识。1921 年美国苏雅各在福建永安筹办永安电灯公司时，纪廷洪已任技师，负责具体施工及机器安装。此后他又进入美国人负责的福州教会系统协和建筑部，在那里参与编写工程说明书、制图、晒图等。早在 1928 年，他便改造夏道一处水碓的木质水轮，利用皮带增速牵引一台直流发电机发电。到了 1930 年，纪廷洪又为福建顺昌县白龙泉电站设计制造成铸铁蜗（涡）壳、转轮直径 280 毫米的混流式水轮机，出力为 75 千瓦。^{[12]75} 如果说夏道的水轮机还不是近代意义上的水轮机，那么白龙泉的混流式（弗朗西斯式）水轮机就属于近代水轮机了。只是当时设计制造的细节，已无从考究。

至于纪廷洪主持的西芹水电站，1931 年第一台机组开始发电时，所用的水轮机购于国外（挪威），同年冬天，因电量供不应求，他就地仿铸了一台。既然是仿铸，纪廷洪仿照的应该是挪威进口的那台水轮机，也属于近代水轮机。1932 年秋，两台机组开始同时发电。^[13]

审稿专家指出上碇水电站原计划设计 1 万千瓦水轮发电机组，吴震寰根据水量季变化，提议改装为 3 万千瓦和 7 万千瓦水轮发电机组各一台，其中前者于 1949 年前完成设计，制造于解放后完成。经核实，上碇水电站 3000 千瓦水轮机由俞炳元在美国摩根-史密斯公司（1945~1948）已经开始设计，但并未完成，直到解放后 1952 年 9 月在东北电工四厂（哈尔滨电机厂前身）和东北电工十五厂（沈阳高压开关厂）完成设计、制造，并进行了总装试验，1954 年 1 月并网发电。第二台 7500 千瓦机组到 1957 年才发电。见：《哈尔滨电机厂志（第一卷）》（内部资料）第 334 页；王述羲，方庆江，水轮机专家俞炳元[M]//常熟市政协文史工作委员会，常熟文史（第三十五辑），内部资料，2005，10-11；杨永年，江河纪事——中国水电建设百年实录[M]，成都：四川科学技术出版社，2013：357-358。

有资料说该发电机是由中央电工器材厂第四厂的孟庆元、朱仁堪等人改装而成。见：《中国水力发电史》编辑委员会，中国水力发电史（1904~2000）第二册第一稿[M]，北京：中国电力出版社，2007，340-341。

参考文献[12]处误把纪廷洪写作了“纪建洪”，引用时已改正。

见：福建经济年鉴编辑委员会，福建经济年鉴（1985）[M]，福州：福建人民出版社，1985，127。

表 1 1942 年以前开始发电的水电站（按第一台机组发电时间排序）

序号	电站名称	所在地	台数×机组功率 (kw)	开工 日期	第一台机组 发电日期	机组制造情况/水轮机 (T); 发电机 (G)	备注 (为笔者纠正内容)
1	夏道	福建南平	1×3	1927	1928	自制设备 (纪廷洪)	上击式水轮机 戴误写作纪延洪
2	白龙泉	福建顺昌	1×75	1930	1930	自制 (T); 美国 (G)	
3	西芹院口	福建南平	2×40	1930	1931	挪威 (T), 国产 (T); 瑞典 (G)	即西芹水电站, 戴误作 1928 年 开工, 1935 年第一台发电
4	吕家碾	四川崇庆	1×4		1933	自制木质水轮机	戴误作 1938 年开工
5	玉虹桥	四川金堂	1×40	1933	1935	自制 (T); 德国 (G)	戴误作玉虹水电站
6	政和	福建政和	1×29	1937	1937	自制 (T); 瑞典 (G)	
7	桂口	福建永安	2×132	1938	1940	进口 (T), 自制 (T); 华通电器厂 (G)	自制的水轮机由福建铁工厂 (南 平后谷铁工厂仿制) 制作
8	磨面坑三级	福建南平	1×5 1×9		1940	自制 (T)	立轴混流式, 广福利铁工厂制造
9	西宁	青海西宁	2×200		1947 (1941)	上海机器厂 (T); 华生电器厂 (G)	卧式混流 1941 年为其设计制造 完成时间
10	太平汛	浙江丽水	1×14	1940	1941	浙江铁工厂 (T); 上海永安公司 (G)	

抗战爆发后，位于福州的建华火柴厂和广福利机器厂迁到福建南平。为了解决工厂用电，1940 年纪廷洪利用南平西郊磨面坑溪涧，梯级筑坝设置水轮机组发电，由他设计、广福利机器厂制造的立轴混流式（转轮直径 18 英寸）水轮机两台，分别带动 5 千瓦和 9 千瓦直流发电机发电。^{[14][15]}

前面已经提及，自主设计可分为仿制、改进设计以及独立设计，区别为“自主”程度的不同。我国近代许多的重大技术，其自主设计的道路大致都要经过从仿制、改进到独立设计这一过程。黄源芳认为，纪廷洪所受的教育、掌握的知识以及技术工作经历表明，他没有设计制造真正意义上的水轮机的实力。然而本文认为，纪廷洪早年所受教育的确实不足，但技术工作完全可以靠后天的实践经验和不断的学习加以弥补，这一点已经由纪廷洪在闽北一系列的小水电建设工作得到了证明。夏道电站的水轮机不能算近代水轮机无可非议，但白龙泉电站的水轮机应属于自主设计的近代水轮机，只是自主的程度可能较低而已（仿制或改制）。

2.2 金堂玉虹桥水电站的水轮机

四川金堂县玉虹桥水电站是泸州洞窝、崇庆

吕家碾之后四川的第三座水电站，前两座水电站最初的水轮机分别购自德国西门子公司和由木质水轮改造而成。金堂玉虹桥水电站水轮机的设计者是留日归国的韩子揆。

韩子揆，四川江油人，早年毕业于日本东京工业大学机械科，专攻水利机械。归国后曾任教于四川省立工业学院（至 1935 年）、四川省立成都高级工业职业学校、四川大学工学院。他主持设计了玉虹桥水电站并亲自设计了水轮机。据严志尧记载：

“（玉虹桥水电站）地属玉虹乡玉龙村，距玉虹桥上十米即为发电厂房，1933 年动工，到 1935 年建成发电，装机容量四十千瓦。……它的水头为二米，正常流量为三个秒立方，发电机为德国西门子厂造，水轮机二台均为法兰西斯混流式，是成都高工校附属工厂产品。有民国 23 年造的字样。^[16]”

《四川省志·机械工业志》也有记载称，1934 年成都高工校试制成功 40 千瓦水轮机。^{[8]165}

这两项资料均称成都高工校制造了水轮机，该校前身是创办于 1913 年的四川职业学校，1934 年改名为四川省立成都高级工业职业学校，简称

“成都高工校”，后来演变为现在的成都电子机械高等专科学校。^[17]但据描述，韩子揆具体设计的两则史料记载地点均不是成都高工校，而是四川省立工业学院。

“先生设计制造的水涡轮机等水力机械，在吾川水电建设方面是很得用的。如金堂县水电站所安装的重量仅三千斤的水涡轮机，即先生亲自设计，并是在学道街省立工业学院执教时，利用工院实习工场设备一次浇铸制造成功的。……其水轮机的水轮系法兰西斯式水涡轮。其传动部分的大伞齿轮的齿盘，直径近两米，约两千斤重，也是在学道街工业学院浇铸的，轮齿系苦柘木制作，用机械连接法固定在齿盘上。^[18]

全国最早的小水电站之一——金堂县水电厂，即由他（韩子揆）担任工程师兼工务部主任，其勘测、设计、施工、调试、投运，先生皆全力以赴。其中仅水轮机涡轮一件，重 1.5 吨，便是他亲自设计制模后在省立工业学院一次浇铸成功的。当时，钢材缺乏，加工设备差，制作机组传动部分大伞齿的齿盘，困难很大，他使用硬杂木作齿，以螺钉螺帽固定在齿盘上，磨损后也可单齿更换，诚为在困难条件下就地取材的代用办法。^[19]”

这里明确说，水轮机是在四川省立工业学院实习工场制造的，而上述还有提到“民国 23 年造”的字样，1934 年韩正好在省立工业学院任教，因此可以确定韩子揆于 1934 年设计完成了玉虹桥水电站 40 千瓦的水轮机。

再回到黄源芳对纪廷洪所受教育、所学知识及工作经历的质疑上，这些对韩子揆而言完全不存在。韩子揆毕业于东京工业大学，专攻水利机械，受教育程度及所学知识满足独立设计近代水轮机的条件，在其回国后于四川省立工业学院任教期间，设计完成了玉虹桥电站的混流式水轮机。

2.3 桂口水电站的水轮机

由表 1 可知，桂口水电站的情况较为特殊，其首台机组发电时间列有两个年份，分别是 1940 年和 1943 年。抗日战争爆发后，1938 年福建省政府从福州迁到永安，同年便计划在桂口建水电站，因技术问题暂缓，先用柴油机发电，1939 年从瑞典进口了水轮机，从英国进口了 132 千瓦发电机，于 1940 年 1 月投产发电。后来，供电不能满足永安需求，准备装第二台水力发电机组，但国外渠道已被封锁（注：显然也是由于太平洋战争爆发），发电机由上海华通公司制造，水轮机是国产仿制，由南平后谷铁工厂制造，并于 1943 年 7 月投入发电。^[20]桂口水电站直到解放前都是福建省最大的水电站。从第二台机组的发电时间看，这台国产水轮机略早于吴震寰设计的那台，由于催生国产的原因与吴震寰一样，因此大致可以判断这台水轮机的仿制时间是在 1942~1943 年。

2.4 迁渝的上海机器厂生产的水轮机

抗战爆发后，上海的工厂纷纷内迁到重庆，其中上海机器厂成了当时生产水轮机的中坚。在经理颜耀秋的带领下，上海机器厂在渝期间已经能够生产多种型式的近代水轮机，其中最早的一台是 1938 年为乌江流域生产的水轮机^[21]，其详细信息暂时不明。颜耀秋于 1915 年考入同济大学，攻读机械专业。1930 年，颜耀秋与同学筹集资金在上海创办了上海机器厂，他担任经理，期间先后设计制造出 4 马力发动机，6 寸口径水泵和小型碾米机。到 1936 年，上海机器厂已成为上海民族机器工业中的佼佼者。^[22]抗战时期，上海机器厂迁到重庆后，为了开发川康两省的水力资源，他们从（民国）二十八年专业制造发电用的水轮机，彼时有三套形式可选，高级的用派儿吞式，

该校在 1931 年由四川大学的工学院独立而出。

据肖冠英回忆，省里责成企业公司铁工厂按原机测绘仿制一台，但因转轮的空间曲面，当年不能测绘，仿制不像，加上电机改用三角带增速 1000 转/分，致仿制机组只能发电 90 千瓦。见：肖冠英. 我所知道的解放前我省几个水电站的情况[J]. 福建水利史志资料, 1987(9): 75.

中级的用法朗西式, 小水头用旋桨式。派儿吞式为彭县铜矿设计过一套。法朗西式装成一部时, 曾请中央水工试验所试验, 认为效率达百分之七十五, 大型者可达百分之八十五以上, 此后便给綦江制造两部, 导淮委员会大常电厂六十马力自动调节角度旋桨一部, 资源委员会三部, 万县水电厂一部。在制造中的有西宁电厂、天水电厂、西昌电厂各一部, 陕西武功水利试验处六十马力旋桨式一部, 其余小马力者不计。这些发动机, 全按德国伏依特厂式样设计, 用者都表示满意, 今后他们的工作也就以此为中心。^[23]

从上述史料可知, 在西宁电厂水轮机制造完成之前, 上海机器厂已经能够生产近代三种主要的水轮机形式: 培尔顿(派儿吞)式、法朗西斯(法朗西)式、转桨(旋桨)式。那么西宁电厂的水轮机是何时生产的呢?

“1937年, 受抗日战势所迫, 沿海、宁、汉不少工厂, 迁蜀迁渝。从沪、汉迁渝的上海机器厂、恒顺机器厂, 均分别于1938年、1939年生产出铁质水轮机……国民党政府一方面继续扩大重庆电力公司(大溪沟发电厂), 另一方面则积极开发长寿龙溪河和綦江的綦江河, 开办了水力发电站。正是这种气候, 上述的上海机器厂, 在留德归来已任厂长、经理的颜跃(耀)秋、黄若周(注: 颜耀秋是经理, 黄若周为厂长)的指导下, 着手设计研制新的水轮机, 为此先设计制造了一台小转轮反击式水轮机模型, 并建了一座落差为10公尺的蓄水池, 进行试验。该装置1940年获国民政府中央水工试验室、资源委员会等机构认可。随后研制出2台300马力法兰西式水轮机, 装于青海西宁市和四川万县让渡水电站, 该电站是我国著名水利专家张光斗和电力专家童舒培等人设计的第一个试验性水电站。投入运行后, 颇受欢迎, 先后共生产了17台。^[24]

1939~1940年, 重庆上海机器厂杨增新在留德的经理言(颜)耀秋和厂长黄若周指导下, 根据原重庆中央大学水工试验室的一台进口混流式水

轮机模型, 设计制造一台直径150mm的模型, 利用厂内山区地形建成10m高的蓄水池, 进行了试验, 开始了样机设计研究, 于1941年制成第一台功率为300hp(221kW)水头52.8m卧轴混流式水轮机, 装于青海西宁电厂。该机为“五福牌”。他还为四川万县让渡水电站制造2台同型水轮机。^{[12]76}”

后面两则史料对西宁电站水轮机的数据描述是相同的, 而且也说明了西宁电站的水轮机在先, 让渡的在后, 只是为让渡制造了1台还是2台有分歧, 此处暂存疑。

以上可以说明, 1938年上海机器厂(重庆)已经开始设计制造水轮机, 1939~1940年间已经可以生产近代三种主要类型的水轮机, 并展开相关模型试验研究, 1941年研制出第一台300马力水轮机。西宁电厂是1940年资源委员会与青海省共建的, 可能最初已经向上海机器厂订购了水轮机, 但直到1945年2月才完成安装, 1947年2月才与上海华生电器厂制造的200千伏安发电机配套, 开始发电^[25]。

3 中央机器厂第四分厂的水轮机设计和制造

1939年9月9日, 中央机器厂在云南昆明成立, 最初下设五个分厂, 其中第四分厂为电机厂, 制造大型发电机、电动机及相关器件, 兼制水轮机, 厂长为王守泰。^[26]王守泰1930年毕业于北平大学电机系, 1932年到英国电气公司实习, 1933年在德国柏林通用电气公司任工程师, 1937年回国。^[27]1990年5月, 张柏春对王守泰有过一次访谈, 其中谈到了该厂水轮机设计制造情况:

“四分厂搞成水轮机, 是我负责的。后培养了几个帮手, 其中有张遐昌。水力学设计是我自己搞的, 在我的指导下, 张遐昌搞具体的机械设计。这不是我灵机一动想起来搞的。1939年或1940年, 王志超在西康雅安搞水力发电, 找我搞水力发电机。他是留德的。他说: ‘你照葫芦画瓢也能

搞出来。你中央机器厂不搞谁来搞？’王守竞也极力支持这一工作。

在王志超、王守竞的支持鼓励下，我就从书本入手，研究水轮机的理论和设计方法。当时昆明有个水力发电厂（有几百或上千马力），张遐昌带人去该厂测绘。我们搞成第一台是 80 马力水轮机，配 60 千瓦的发电机。发电机完全是自己设计的，机壳是焊接的。

后来，我们搞水轮发电机定型问题，我还在西南联大的杂志上发表了一篇文章（大概是在 1942 年或 1943 年）。主要是先调查国内水文情况，决定式样（中低水头反动式或高水头的冲击式），我们决定制造中低水头反动式的，并使之系列化。这个系列化是很复杂的。外界具体水文条件很复杂，还要考虑到容量的大小。我们在容量方面定型为 150 千瓦、300 千瓦、600 千瓦三种，每种容量还要适应不同条件。在这方面我们搞出了产品的定型设计。我在厂时，具体生产过两台 150 千瓦的，一台在云南还用着。我又搞了一种 60 千瓦螺旋桨式（立式，螺叶可调）的，这有点新的设计。

……

水轮机制造最难解决的是转子加工问题，主要是叶片成形问题，因为叶片是三维的。经过反复试验，我们解决了这个问题。约在 1940 年，我们搞第一台（给西康），是我和吴学蔭一起解决的。转子是用青铜铸造的。搞出第一台后，我们自己觉得不满意。叶片角度的精度要求高，而铸工却没有这个概念。后来，与吴学蔭研究之后，我们用钢板锻出叶片，再把叶片焊到轮鼓（毂）上，然后在外面浇铸铸钢（不铸叶片），最后进行车削加工。后来就采用这种办法搞转子。雅安的那一台也换成了这种转子。在调速器方面，雅安的那台是靠工人来控制水轮机的转速，后来的两台 150 千瓦水轮机配备了王守竞从美国买的调速器。由

于技术数据不全，是大材小用。我还没搞完设计，就买了美国的调速器（由于太平洋战争，不得不快买）。在买调速器时，我已在厂里设计小型调速器，有吴恕三帮助我。我离开厂子时，设计已经搞好了。^{[28]8-10}”

这里王守泰提到的“我们搞成第一台是 80 马力水轮发电机，配 60 千瓦的发电机”是一个关键节点，后面谈到水轮机制造时说时间“约是在 1940 年”。另有记载称，“王守泰参考一些德文资料，于 1941 年 5 月主持设计制造成 80 马力水轮机，配 60 千瓦发电机，装用在西康协康电厂。”^[29]但此说法与他人的回忆相抵牾，协康电厂最初的水轮机是购自国外的，而且发电机容量为 50 千瓦，而非 60 千瓦。与王守泰回忆能吻合上的是，协康水电工程处最初的负责人是王志超。张遐昌曾回忆他在中央机器厂参与水轮机设计的情况：

“我去中央机器厂三、四分厂时，王守泰正在开发水轮机。水轮机从设计、制造都是我们自己搞。他领导我和居秉琦、刘士雄等工程师做设计、制造工作。他找来了一些德国的资料，指导技术工作，审定设计。我们用焊接方法制作模型，做动平衡试验，试验各种水头下的技术参数。我们曾与西南联大的施嘉炀教授搞合作研究，此人是王守泰的朋友。我们主要设计几十马力的小型水轮机，在 1943~1944 年间制成模型。实际制造水轮机产品时，我去西康了。具体在现场负责制造的技术人员姓周。

在研制水轮机时，发生了一件事。西康省会康定的电厂从国外（大概是美国）进口了水轮发电机，经印度运到中国。为便于向国内运输，先拆开机器，用飞机把零部件运到康定。然而，零部件到厂后却不能组装成整机。于是，电厂的技术负责人找王守泰帮助安装发电机组。这时我们搞的水轮发电机已试验成功。我记得，1944 年 4~5

引者注：王守泰于《中国电工》1943 年第 1 期发表《关于制定我国电器标准规范之管见》，其中谈到水轮发电机的定型问题。

月间我和电气工程师贺霖及两个工人师傅一起去康定。我们把进口的水轮发电机安装、调试成功的时间是1944年中秋节后。1944年10月,我们从西康回到昆明,11月参加了出国留学考试,同年底请假去重庆。我在重庆时,王守泰调到宜宾机器厂当厂长,想调我到宜宾厂,并在重庆当办事处主任。^{[28]40-41}”

从张遐昌的回忆可知,1943~1944年,中央机器厂第四分厂在研制小型水轮机的模型,在1944年4~5月期间他去西康时,该厂正在制造水轮机产品。他后面回忆的康定电厂应当指的是康定大升航电站,因为从美国订购的器材几经辗转于1944年夏抵达康定,张遐昌回忆中的他们安装、调试成功是当年中秋节后,10月从西康返回昆明,而大升航电厂发电是在1944年12月^[30],时间次序相符。

综上所述,我们采用张遐昌的回忆时间节点:中央机器厂第四分厂王守泰等至少从1940年年底已经开始研制水轮机,早于吴震寰,但直到1944年夏才开始生产水轮机系列产品,从水轮机成品时间看,晚于吴震寰为长寿下碛设计的2×1000马力水轮机。

4 结论

1912年4月,位于云南螳螂川上的石龙坝水电站运行发电,这是我国自行修建的第一座水电站。电站使用的两台240千瓦机组购自国外,水轮机由奥地利福伊特公司制造,发电机由德国西门子公司制造,那时我国还没有能力生产水轮发电机组。1944年1月,位于四川长寿(今属重庆)龙溪河上的下碛水电站开始发电,2×1000千瓦双转轮混流式水轮机是吴震寰在1942年设计、重庆民生机器厂制造的,1550千瓦的发电机是由位于昆明的中央电工器材厂第四分厂朱仁堪等改装一台变频机而成,其中的水轮机是我国新中国前单机容量最大的水轮机。

在吴震寰设计完成下碛电站的水轮机之前,

已有其他中国人自行设计、制造了小型的近代水轮机。1930年纪廷洪为福建顺昌白龙泉水电站设计了一台75千瓦混流式水轮机,1931年他为福建南平西芹水电站仿制了一台32千瓦的水轮机(型式不详),1940年他为福建南平磨面坑水电站设计了两台分别为5千瓦和9千瓦的立轴混流式水轮机。1934年,韩子揆为四川金堂玉虹桥水电站设计了40千瓦混流式水轮机,由四川省立工业学院铸造而成。1938~1940年间,位于重庆的上海机器厂已能够生产近代三种主要型式的水轮机,1941年颜耀秋、黄若周、杨增新设计制造的300马力卧轴混流式水轮机,后来被安装于西宁水电站。此外,从1940年底,位于昆明的中央机器厂第四分厂王守泰、张遐昌等已经开始设计水轮机,尽管其系列产品的生产已经到了1944年的夏天。

致谢

作者对审稿专家、王佩琼编审的修改意见表示感谢。

参考文献

- [1] 黄源芳. 谁是中国近代水轮机设计第一人[N]. 中国能源报, 2014-12-29(22).
- [2] 刘智渊. 老龟山发电所——探访台湾第一座水力电厂[J]. 台电月刊, 2007(539): 38.
- [3] 林炳炎. 龟山水力发电所——台湾第一[EB/OL]. [2016-3-20] <http://pylin.kaishao.idv.tw/?p=121>.
- [4] 云南省地方志编纂委员会. 云南省志(卷三十八水利志)[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1998: 523.
- [5] 中国水力发电年鉴编辑委员会. 中国水力发电年鉴(1949-1983)[M]. 北京: 水力发电杂志社, 1984: 456.
- [6] 四川省荣县志编纂委员会. 荣县志[M]. 成都: 四川大学出版社, 1993: 585.
- [7] 朱成章. 记水电建设先驱者吴振寰[M]//四川省水利电力厅. 四川省水利志(第五卷篇). 1989: 76-277.(内部资料)
- [8] 四川省地方志编纂委员会. 四川省志·机械工业志[M]. 成都: 四川辞书出版社, 1993.
- [9] 四川省电力工业志编纂委员会. 四川省电力工业志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 440.

- [10] 张庭焯. 长江流域建国前的水电建设[J]. 长江志季刊, 1992(3): 47.
- [11] 戴庆忠. 电机史话(十九)[J]. 东方电机, 2004(2): 87-90.
- [12] 中国电器工业发展史编委会. 中国电器工业发展史(专业卷)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [13] 陈必珍. 南平电气公司西芹水电站[M]//南平市政协文史资料研究委员会. 南平文史资料(第五辑). 1985: 65. (内部资料)
- [14] 纪向良口述, 吴文整理. 纪廷洪传略[M]//中国人民政治协商会议福建省南平市委员会文史资料委员会. 南平文史资料(第十二辑). 1991: 129-130. (内部资料)
- [15] 薛玉官, 张则金, 林捷孝. 誉称福州唯一机器厂的广福利机器厂史略[M]//中国民主建国会福州市委员会, 福州市工商业联合会. 福州工商史料(第一辑). 1984: 92-93. (内部资料)
- [16] 严志尧. 川西北最早建成的水电站(1935-1972)——玉虹桥水电厂兴废记略[M]//徐德勋. 金堂文史. 成都: 巴蜀书社, 1990: 312.
- [17] 中华人民共和国教育部发展规划司. 中国高等学校(2001年版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 548.
- [18] 李维先. 四川小水电创建人韩子揆[M]//成都市西城区政协文史资料委员会. 少城文史资料(第三辑). 1990: 134-135. (内部资料)
- [19] 萧慎行. 忆韩子揆先生[M]//中国人民政治协商会议四川省江油市委员会文史资料委员会编. 江油市文史资料选辑, 1988: 116. (内部资料)
- [20] 陆超虎. 永安电力工业发展简史[M]//中国人民政治协商会议福建省永安市文史研究委员会. 永安文史资料(第五辑), 1986: 46-48. (内部资料)
- [21] 项玉章. 重庆之最[M]. 重庆: 重庆出版社, 2008: 432.
- [22] 张连红, 严海建. 民国财经巨擘百人传[M]. 南京: 南京出版社, 2013: 236.
- [23] 徐盈. 当代中国实业人物志[M]. 台北: 文海出版社, 1978: 115-116.
- [24] 刘定福. “三叶”座布江河[M]//中国人民政治协商会议重庆市委员会文史资料委员会. 重庆文史资料(第四十辑). 重庆: 西南师范大学出版社, 1993: 139-140.
- [25] 陈秉渊. 从西宁电厂到西宁水力发电厂[M]//中国人民政治协商会议青海省委员会文史资料研究委员会. 青海文史资料选辑(第十六辑). 1987: 133. (内部资料)
- [26] 中国人民政治协商会议云南省昆明市委员会. 昆明文史资料集萃(第七卷)[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2009: 60-73.
- [27] 沈根才. 中国电力人物志[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992: 31.
- [28] 王守泰等口述, 张柏春整理. 民国时期机电技术[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2009.
- [29] 张柏春. 中国近代机械简史[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1992: 127.
- [30] 李万均. 我对康裕公司的回忆[M]//政协四川省甘孜藏族自治州委员会. 甘孜州文史资料选辑(第三辑). 1985: 93. (内部资料)

An Investigation into the Early History of Independent Design and Manufacture of Hydroturbines in China

Shi Xiaolei

(Institute for Science, Technology and Society, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

Abstract: In 2014, Huang Yuanfang wrote an article and claimed that Wu Zhenhuan designed the first modern hydroturbine in China, which was 2×1000hp and was made by Minsheng Machine Factory in Chongqing. In fact, several Chinese or factories had designed and manufactured some hydroturbines independently before Wu did. Ji Tinghong devised four or more hydroturbines before 1940 in Fujian province, including Bailongquan hydropower station in Shunchang county. In 1935, Han Zikui finished the 40 kW hydroturbine for Yuhongqiao hydropower station in Jintang county of Sichuan. Shanghai Machine Factory had already made three kinds of modern hydroturbines until 1941. Furthermore, Wang Shoutai and his colleagues began to design earlier than Wu, but their hydroturbines had been produced after 1942.

Keywords: hydroturbine; independent design; Wu Zhenhuan