

国内外机电工业基本情况介绍

国内外水轮机概况

第一机械工业部技术情报研究所编

(内部资料 注意保存)



机械工业出版社

編者的話

在党的总路綫的光輝照耀下，我国机电工业正在一日千里的向前飞跃發展，机电工业的技术水平在許多方面已接近或者已經达到了国际的先进水平。为了便利各級領導同志和技术人員及时了解这方面的發展情况，我們搜集了一些資料，按專業編写了“国内外机电工业基本情况介紹”。在編写过程中由于時間倉促和我們的政治与业务水平的限制，其中有的情况和数字可能有出入甚至有錯誤，因而这些資料作为內部文件發行，仅供参考。不当之处，請予指正。

第一机械工业部
技术情报研究所

目次

一 概論	1
二 各国的水輪机發展情况	2
1 苏联	2
2 捷克	3
3 美国	4
4 英国	6
5 法国	7
6 瑞士	8
7 意大利	10
8 瑞典	11
9 日本	12
10 中国	14
三 水輪机的發展方向	15
四 参考文献	15

一 概 論

一般水輪機有三種主要形式：

- 1) 轉葉式 (卡普蘭式)；
- 2) 輻向軸流式 (法蘭西斯式)；
- 3) 沖斗式 (配爾登式)。

轉葉式水輪機一般適用於落差不大，約 35 公尺以下的水頭。但近年來，它在水頭範圍方面有了很大的發展。法國包特 (Bort) 水电站的水頭 69 公尺轉葉式水輪機已在運轉中；捷克奧爾立克水电站的水頭 71 公尺轉葉式水輪機正在製造中；并聞捷克在研究設計中的還有水頭高達 190~240 公尺轉葉式水輪機。這種水輪機由於排水能力強，適宜安裝在流量大的地方。

輻向軸流式水輪機一般適用於 20~350 公尺落差的地方；目前最大水頭為 455 公尺，安裝在瑞士費昂內 (Fionnay) 水电站。在小型農村水电站上，這種水輪機也可安裝在落差較小的地方。

沖斗式水輪機，一般安裝在落差大 (200~1500 公尺) 而流量小的地方最為合適。目前最大水頭為 1750 公尺的，安裝在奧國雷賽克 (Reisseck) 水电站。

這三種水輪機的一般效率為：轉葉式 93%，輻向軸流式 92%，沖斗式 91%。

目前世界上已在運轉中的最大水輪機如表 1。

表 1

水輪機型式	容 量	水 頭	轉 速	安 裝 地 點
卡普蘭式	126000瓩	22.5公尺	68	蘇聯古比雪夫水电站
卡普蘭式	94500瓩	24.7公尺	85.7	美國大列士水电站
法蘭西斯式	131000瓩	73公尺	120	瑞典斯丹福水电站
法蘭西斯式	130000瓩	150公尺		美國大古里水电站
配爾登式(一個噴咀)	150000馬力	727公尺		意大利其美戈水电站
配爾登式(四個噴咀)	150000馬力	760公尺		加拿大開曼諾水电站
蓄能抽水機	110000馬力			英國泛斯汀諾水电站

目前正在製造中的世界最大水輪機：

法蘭西斯式 204000瓩 蘇聯布拉茨克水电站，

目前已在設計中的世界最大水輪機：

法蘭西斯式 300000瓩 蘇聯克拉斯諾雅爾斯克水电站

正在發展中的還有兩種變型的新式水輪機：

1) 活動葉片法蘭西斯水輪機 [德里阿茲 (Deriaz) 式] —— 它的葉片軸綫與機組軸綫成一斜角，兼有法蘭西斯和卡普蘭兩種水輪機的優點。因而在不同水頭下，仍能有良好的效率，其最大效率可達 94%。看來，它將成為卡普蘭水輪機往高水頭方面發展的繼續。同時，它也有很好的條件作為可逆泵式水輪機來利用。

2) 管型水輪機 —— 這是最近發展的一種經濟價值很低的低水頭水輪機。它具有輻射形的導水機構，卡普蘭或螺旋槳式的轉子和直的或稍微彎曲的擴散吸出器；它的布置總是採用橫軸

或与水平稍微傾斜（約 $15 \sim 20^\circ$ ）的型式。由于这种水輪机的形状像一条水管，所以叫做管型水輪机；在苏联，也把它叫做貫流式水輪机，因为它的水流是沿着軸綫貫穿整个水輪机的。这种水輪机是德国人費舍（Arno Fischer）于 1936 年發明的。因它所占的空間很有限，适宜在水下或壩內建筑，由于国防上的优点，在第二次大战以后，其他各国才逐漸采用。

这种水輪机具有許多优越的經濟指标，近十余年来，無論在結構上或型式上，都有着重大的發展，并在西欧获得了广泛的应用。潮汐水电站所用的机組，也就是这种管型水輪机的一种發展。在目前，它虽然还有一些缺点，如結構复杂，單机容量小等等；但将来，很快就能得到适当的解决。

二 各国的水輪机發展情况

1 苏联

苏联的水力資源很丰富；总計达 4.2 亿瓩，占全世界总蘊藏量的 11.4%。至 1965 年苏联水电年产量将达 5000~5200 亿度。在技术上苏联可能開發的为 17000 亿度，約为美国和加拿大总和的两倍以上。

目前，苏联大型水电站的装机容量在 900 万瓩以上。其中 700 万瓩以上的设备，是由列宁格勒金屬工厂制造的。其余的由哈尔科夫水輪机厂及賽茲勒水輪机厂制造的。这些工厂拥有寬闊的場地、巨大的设备和專門的联合机床，生产能力是非常高的。

苏联現有最大的水电站是古比雪夫水电站，其装机容量为 210 万瓩。正在建設的有：斯大林格勒水电站，装机容量为 253 万瓩；布拉茨克水电站，装机容量为 360 万瓩；克拉斯諾雅尔水电站，装机容量为 420 万瓩。

古比雪夫水电站的水輪机（列宁格勒金屬工厂制造）是目前世界上最大的轉叶式水輪机，轉子直徑为 9.3 公尺，轉子重量 420 吨，座环外徑 14 公尺，重量 166 吨，机器总重为 1500 吨。在水头为 22.5 公尺，轉速为 68.2 轉/分时，其容量为 126000 瓩。这种水輪机具有組合式調速器，全部控制过程，起動，停車和事故防护完全是自动化的；其通流部分非常完善，水輪机的效率达 94%，空蝕系数为 0.72~0.75。

苏联已投入運轉的最大的法兰西斯式水輪机是德聶伯和石山水电站的 85000 瓩水輪机，水头 40 公尺，轉子直徑 5.45 公尺。

列宁格勒金屬工厂正在为布拉茨克水电站設計制造世界上容量最大的法兰西斯式水輪机，每台容量达 204000 瓩，設計水头 96 公尺，轉速 125 轉/分。該厂与不少單位配合进行了和正在进行着一系列的試驗研究工作和理論計算工作，以便使这个巨型机組在運轉性能、節約金屬和結構工艺性方面获得更新的技术成就。此外，該厂还正为克拉斯諾雅尔水电站設計更大型的法兰西斯水輪机，其容量为 300000 瓩，轉速 100 轉/分。

苏联目前还没有大型配尔登式水輪机。列宁格勒金屬工厂，正在为达利雅尔斯克設計容量为 65000 瓩的四噴嘴立式冲斗式水輪机，其水头为 630 公尺。

除了上述几种主要型式的水輪机外，苏联还試制了許多管型轉叶式水輪机，并研究了可逆式水輪机，以及在結構上具有反应式和冲斗式水輪机特点的西芬捷克斯（Сфиндекс）水輪机等。

在苏联已形成了一个全国性的水轮机科学研究网。其中包括四个工厂、六个研究机构、七个高等学校和六个设计机构。他们为了充分发挥和合理组织这些科学研究力量，组成了一个全国性的协调委员会，是由 13 个有代表性的单位组成。以金属工厂和全苏水力机械研究院为主体，有国家计委及技委的代表参加。每年开三次会，研究各部门的需要及生产分配、设计计划、科学研究计划及其协调与分工等事宜。

水轮机的研究工作附设在斯大林金属工厂内。有三座模型试验台，专为三种水轮机做模型试验用；另有一台专试空蚀。试验室曾为古比雪夫水电站做了 24 个模型，在其中选取最合适的一个。模型试验中功率的测定，完全用自动控制，以保证模型测定效率的可靠性。应力测定是采用电阻丝及示波法，并且还到现场去测定应力及空蚀。

工艺上采用溶渣电焊法，一方面可以节约钢材，同时还解决了大型设备问题。法兰西斯式 20 万瓩水轮机的转子，采用铸焊联合法。

叶片加工采用专用机床，使叶片型线可以按照计算的结果用最经济的方法制造出来。设计中除了发展管式、半平流式的水轮机外，还要发展一种 22 级卡普兰转子，尚在模拟试验阶段。调速系统中的油泵，结合大机组改用螺旋式的，提高压力至 125 大气压。推力轴承经过研究，在工艺上改进后可承受 70 公斤/公分²。通过一系列的研究和改进工作，拟将现有的 20 万瓩机组提高到 30 万瓩，将来可能提高到 50 万瓩。

苏联水轮机的发展是符合世界趋势的，表现在提高单位出力容量，提高效率、提高比速方面，每一种水轮机向高水头发展，改进材料，采用电焊方法，降低机组高度，采用新结构，节约钢材，改进推力轴承设计，改善调节系统，减低飞逸速度和发展新品种等各方面。

2 捷克

捷克的水力资源约有 96 亿度（全年），其中多瑙河（25 亿度），瓦格河（20 亿度）和乌尔塔瓦河（15 亿度）占 60% 以上。

到 1950 年末，全捷克已经拥有 97 个水电厂，发电量为 8.5 亿度；如果包括 200 瓩以下的小型水电厂在内，发电量将超过 9 亿度。

到 1970 年，开发的水力预计将达到全部水力资源的 75%。那时，将被利用的有瓦格河的水力资源（将占 90%）和乌尔塔瓦河的水力资源（将占 70%）。

由于水力资源有限，水力发电量的比例仍然不高，1955 年水力发电量只占全部发电量的 12.8%。

捷克的水轮机是统一由布兰斯可的季米特洛夫工厂生产的。产品质量非常优良。许多老电站的水轮机在长期运转中都很正常。最近拆卸了 1935 年制成的什捷何维则电站水轮机来检查，发现所有的机件虽已运转了二十多年，但依然很良好。

捷克在 1934 年已制成一万以上的卡普兰机组。近期完成的斯拉匹水电站的卡普兰水轮机，每台容量为 50000 瓩，水头 56 公尺。正在制造中的奥尔立克水电站机组，水头 71 公尺，容量将达 96000 瓩。

在卡普兰水轮机制造方面，捷克占世界第一位。它的精度高、效率大，已经达到国际水平。而在空蚀及高水头利用方面也超过了其他国家。

捷克在 1928 年已经制成水头 100 公尺，容量 13000 马力的法兰西斯水轮机。现在为李卜

諾水电站所制的机組已达 85000 馬力，水头 160 公尺。

在法兰西斯水輪机方面，捷克也居世界最前列。当水头为 70~120 公尺时，其效率为 94%。

配尔登水輪机由于受自然条件的限制，过去生产不多。但是过去曾为保加利亞制造过 2 台 5000 瓩、水头 500 公尺的机組。現在正为朝鮮民主主义人民共和国修配水头 470 公尺，轉子直徑 3.5 公尺的水輪机。捷克制造的配尔登水輪机的最高水头为 1500 公尺。

水輪机的材料使用：捷克每一吨水輪机产品需用金屬 1.28 吨，金屬使用率为 78%。鉄的耗量为鋼的 0.22。

捷克的水輪机發展方向与苏联基本上相同。

工艺方面，特別在电焊技术研究上有独到之处。如在不銹鋼板与中碳鋼鑄件的焊接問題上，用低碳層間接叠焊法就能保証質量。空蝕試驗是将試片放在水內，用电磁高頻率振荡的方法研究材料空蝕——这是比較特出的方法。自动潤滑型的推力軸承，承受單位压力可达 65 公斤/公分²。

3 美国

美国水力資源估計約为 8200 万瓩：西部地区占 57%；北部 22%；南部 21%，但是都沒有充分被利用。例如哥倫比亞河流域，就有 3000 万瓩的水力資源未被利用。由此可見美国的无計划發展和抛弃資源情况的严重了。美国 1956 年水电占总發電量的 18%。

美国水輪机的生产情况：

1) 轉叶式水輪机 (卡普兰式)

一般認為，轉叶式和固定螺桨式水輪机同时安装在一个电站中，在經濟性上是不适当的。但是近来建設的一些水电站却同时安装了固定螺桨式和轉叶式水輪机，后者起着調整作用。美国別耳得温公司，为新的克宾乃特-高尔兹水电站制造的四台水头为 31.6 公尺，轉速为 120 轉/分，功率为 66000 瓩的水輪机中，就有三台为固定螺桨式，一台为轉叶式。这个电站証实，由于其效率高，在經濟性上是合理的。

为了尽量减少电站的建筑費用，可在电站中考虑安置具有相反轉向的水輪机。在彼尔得克-布魯格水电站，装有水头为 14.7 公尺，功率为 23000 瓩的两台轉叶式水輪机，其中一个向右轉，一个向左轉。虽然它們中間有很多零件不相同，但就电站整体來說，还是經濟的。

美国目前最大的卡普兰水輪机是安装在大列士水电站上，1953 年投入運轉的 14 台立式水輪机。当轉速为 85.7 轉/分，水头为 24.7 公尺时，額定容量为 123800 馬力，最高容量为 130000 馬力，每台的最大耗水量为 453 公尺³/秒。

紐波特-紐斯公司于 1953 年制造了两台轉叶式水輪机。当水头为 18.3 公尺时，其容量为 18200 瓩；其轉子叶片的軸頸上装有滚动軸承；經過連續運轉后檢驗其中一台水輪机时，認為軸承情况正常。

摩尔根斯密斯公司在最近两年生产了容量为 111300 馬力的卡普兰水輪机，水头为 24.4 公尺。在試驗过程中，当水头为 27.1 公尺时，容量曾达 138000 馬力。

該公司为中部馬烟拉烏爱尔水电站也制造了在轉叶軸頸处具有滾柱軸承的轉子。該公司还采用在轉子的叶片表面上，鑲上不銹鋼的方法来防止侵蝕。

美国較早就广泛地采用了碳素鋼鑄造的轉子，只在轉子产生空蝕現象的地方，焊上不銹鋼。最近轉叶式水輪机的轉子，都广泛地用不銹鋼鑄成；这样，虽然价值較貴，但根据爱里斯、查

尔麦斯制造公司試驗的結果，它的運轉性能要比以往的高得多。

这个公司在水輪机中，广泛采用焊接的零件和部件。这些零件和部件都是由鋼板、型鋼、鑄鋼件和鍛鋼件制成的。

2) 法兰西斯水輪机 (輻向軸流式)

美国大古里水电站的法兰西斯水輪机，容量为 123000 瓩，最大水头为 100.6 公尺，轉速 120 轉/分，是在 1940~1951 年投入運轉的。

美国的鮑得溫-萊美-汉米尔頓公司为西埃特的罗水电站制造了三台功率为 88000 瓩的法兰西斯水輪机，水头为 122 公尺，轉速为 150 轉/分。其結構特点是：可以适用于两个阶段，就是可以在两种不同水头情况下運轉——这是为了使小电站能早日投入運轉。这种水輪机当将来堤壩增高到 134 公尺水头，水輪机的功率增加到 102000 瓩时，可以更换比速較低的轉子。

鮑得溫-利瑪-哈密利頓公司曾制造三台 88000 馬力的法兰西斯式水輪机，有效水头为 45.7 公尺，轉子是整体鋼鑄件，最大外徑是 5.64 公尺，重 86 吨。

摩根公司正在生产及安装六台單位容量为 100000 馬力，水头为 50.3 公尺；四台單位容量为 39500 馬力的，水头为 57.9 公尺；四台容量为 56400 馬力的，水头为 45.7 公尺的法兰西斯水輪机。

最近，在美国差不多所有的水輪机制造公司都改用焊接結構来代替整体鑄造的或組合鑄造的法兰西斯水輪机轉子。

有些水輪机的轉子、定子等都是由鋼鑄件焊成的，这样可靠性更大了，并減輕了造型及鑄造工作。

輪壳、輪緣和叶片也可經過个别地鑄造和个别地加工后，再焊接起来。为了尽量避免在焊接过程中的变形，这些零件在焊接前，要进行預热。

由于在低速法兰西斯水輪机轉子上的狹長通道需要仔細加工，所以不論进行焊接或鑄造都是特別困难。

洛克-斯努水电站的法兰西斯水輪机采用了这种全焊接的轉子，水头为 246.8 公尺，轉速为 428 轉/分，容量为 33500 瓩。这种轉子是这样設計的：使大部分焊接工作都能在外面工地进行。

3) 冲斗式 (配尔登式) 水輪机

美国阿里斯、查梅斯公司曾为加拿大开曼諾 (Kemano) 水电站設計和生产了四噴咀冲斗式水輪机，当水头为 762 公尺时容量为 150000 馬力，于 1954 年 7 月投入運轉。經過試驗后証明其最大效率为 92%，而在全負荷至 48% 負荷的变化范围中效率为 90%。这种水輪机的冲斗是經模鍛后焊接在轉子輪緣上的。

为墨西哥的聖巴尔多罗水电站制造的立式六噴咀冲斗式水輪机，当水头为 376 公尺时，容量为 22000 瓩。

配尔登公司也曾为加拿大开曼諾水电站制造了立式四噴咀單輪机组，当水头为 762 公尺时，容量为 140000 馬力，額定轉速为 327 轉/分。这种水輪机也采用了焊接轉子。冲斗由鋼板冲成后，在上面焊接鍛制的分水莖。整个冲斗再焊接在两个鋼板制成的輪子上，然后再焊上輪轂。分水莖是用不銹鋼焊条焊制的。

制造大型冲斗式水輪机时，在工艺上最困难的便是轉子。最近，冲斗式水輪机采用三种轉

子結構，即整體鑄造、焊接及組合的（將沖斗用螺栓固定）結構。

4) 可逆泵式水輪機組

這種機組目前正在逐漸廣泛使用；在尖峰負荷時間內，它們作為水輪機使用，在電網有動力盈餘時便作為電動水泵來充滿水庫。阿里斯、查爾梅斯公司於1955年曾為霍華西水電站製造了一台相當大的可逆泵式水輪機組。當機組作為電動水泵時，功率為102000馬力，功率因數為95%，轉速為135.9轉/分；當作發電機時，功率為59500/68425瓩（70000/80500千伏安），功率因數85%，轉速為155.9轉/分。機組推力軸承的荷重是620噸。為了減小起動時的力矩，採用了高壓潤滑系統。

這台可逆泵式水輪機組的結構與法蘭西斯式水輪機相似。其轉子直徑為266吋（6756公厘）。轉子和定子都分為三塊運輸，轉子重量超過300噸。

4 英國

英國是一個具有悠久歷史的老牌工業國，一般的工業水平相當高。但是自從第二次大戰以後，就發展來說，進步是相當緩慢的。

在水輪機方面，英國由於本國內的水力資源有限，並且已經開發利用了40%，所以產品大部分是出口的。但近年來出口方面逐漸受了西德、日本等的影響，日趨下降；1953年的產量約為55萬瓩，1956年約為13萬瓩，1957年也約在50萬瓩左右。

英國製造水輪機的工廠有英國電氣公司，馬克姆廠，哈蘭特廠，蓋白脫蓋茲哥登廠，阿姆非特廠，博文公司等等。

在技術方面，英國曾為北蘇格蘭的英孚格麗水電站製造過水頭為55公尺，容量為28000馬力，轉數為250轉/分的卡普蘭水輪機。轉子直徑是2870公厘，有8個不銹鋼轉葉片，在轉子的內腔裝著一個接力器。為了得到最大的精密度，配壓閥裝在輪殼接力器內。蔽復著不銹鋼的轉子外殼是球面形的，位於槳葉中心綫的上下。當槳葉在所有的各種不同開度時，在槳葉整條邊緣與外殼之間都保持著很精密的間隙，這樣避免了間隙的空蝕。

加拿大貝西密斯水電站（Bersimis Power Station）的4台水輪機，是英國電氣公司設計而由加拿大音格力斯公司（John Inglis Co. Ltd）協作製造的。它的最高水頭為875呎（266.7公尺），轉速為277轉/分，容量為175000馬力——僅次於瑞典斯丹福水電站的131000瓩水輪機。這批機器在試驗過程中，當淨水頭為840呎（256公尺）時，曾發出200000馬力——這是目前世界上的最高紀錄。

英國曾經製造過的配爾登水輪機，最高水頭為580公尺，最大出力為58000瓩，最高效率為91%。

英國電氣公司曾為加拿大亞當、別克爵士水電站（Sir Adam Beck-Niagara Pumping Generating Station）製造6台德里阿茲可逆泵式水輪機。在水頭為83呎（25.3公尺）時，每台機器作為水輪機可發出45500馬力。當作水泵用時，它在不同的水頭，每秒鐘可輸送4000~5000呎³（113.3~141.6公尺³）的水量。

抽水蓄能電站在英國，直到最近才開始注意。在北威爾士和英格蘭計劃中的抽水蓄能電站的總容量有75萬瓩。英國曾製造過最大水頭為100公尺，最大出力為83000瓩，最高效率為92.5%的機組。

英国在制造工艺方面，也大量采用焊接结构。例如上述在貝西密斯水电站的机组，其蜗壳、顶盖和调速环等都是采用焊接的。英夫格兰水电站的 28000 馬力卡普兰水轮机，除轴承、主轴以外，几乎全部都是焊接的。希拉庫德 52000 馬力的卡普兰水轮机，也是大部分用焊接的零件。

模型試驗方面，英国也在进行一系列的努力。最近计划进行的有 20 吋的整套模型試驗場两所：可以安置明槽式、水泥蜗室和任何形状的吸出管，以研究轉子、蜗輪和尾管三者对整个效率的影响；应用的水头，一般是 14 呎，但也可接用 70 呎的高水头。又有两个气蝕試驗場：一个可試 12 吋轉子，一个可試 16~20 吋轉子，可以在 95 呎水头下作連續試驗。另有两个冲斗式水轮机模型試驗場：一个是立式的，一个是臥式的，使用水头可达 160 呎。还有一个試驗場，是为試驗轉子直徑 12 吋的高水头可逆泵式水轮机之用。此外，还有用电气模拟设备进行调速器試驗和电动调速器的研究工作；用高压气体試驗設備以試驗水轮机和閘門结构的强度和变形，防漏装置的设计性能和合金轴承的特性，以及各种不同金屬的耐磨性能等等。

5 法国

法国的水力资源曾作过調查，能装备起来的全部能量估計約有 1000 余亿度，其中已装建完成的只有四分之一。1957 年在新建和扩建原有水电站上，所增加的机组总容量为 2.2 万瓩。

法国南尔力克公司 (Ets Neyrpic, Grenoble) 制造的 32000 馬力卡普兰水轮机，水头高 69 公尺，是世界最高水头的卡普兰水轮机，安装在法国包特水电站 (Bort-Les-Orgues Power Plant)。

該公司曾为包特水电站制造 150000 馬力法兰西斯水轮机，但为加拿大貝西密斯水电站 (Bersimis) 制造的比它还大，是 176000 馬力。在资本主义国家中，已是最大容量的法兰西斯水轮机了。

該公司所制造的法兰西斯水轮机，最高水头为 380 公尺，装在墨西哥挺茄巴托水电站 (Tingamfato Power Plant)，有 3 个机组，各 72000 馬力。

这种水轮机的工作效率，一般在 93% 以下。但装在巴西布格雷水电站 (Bugres Power Plant) 的 15750 馬力水轮机的实际工作效率，高达 94.6%，——这是超过世界水平的。

法国所制造的最大容量的配尔登水轮机，是 109000 馬力，装在法国拍拉格納斯水电站 (Pragneres power Plant)。水头 1224 公尺，轉数 420 轉/分，也是南尔力克公司的产品。

法国对于水轮机的研究工作，不論在理論、结构和工艺上，都在不遗余力地进行中。世界上第一座具有 38 台机组的潮汐发电站出现在法国兰斯河口，就是其明証。該潮汐发电站所用的机组是包括一台橫軸卡普兰水轮机，和一台位于泡形箱內的发电机；泡形箱也放在水流中。这种机组的工作是很特殊的。当潮漲时，海面水位提高，海水經過水轮机流入水庫。机组以水輪发电机的形式運轉。当水位差降低至不能繼續发电时，水轮机的所有进水閘和桨叶就軸向地大开，讓潮水尽快地流进水庫。这时机组并不进行工作，只是作为进水的通路。当水位差接近于零时，机组需要以电动水泵的形式进行運轉，将海水繼續送进水庫中。这样送入水头很低的水量，在潮退后即将得到很高的水头，这是很經濟合算的。当潮落后，水庫中的水位高于海面，机组就从逆流方向进行運轉。当潮水逐漸漲至水位差不能繼續发电时，机组又先經放水，再以电动水泵排水的形式向海中进行排水。这种排水的消耗电能，在以后发电中同样地能够得到几倍的补偿。

在乔沙和明刻罕即将建立容量达 1000~1500 万千瓦的潮汐发电站。

法国卡斯台特 (Castet) 水电站的新型机组是全部淹没在水中的整体型式的。水轮机是轴流旋桨式的，配水导叶是固定的，转叶是活动的，在 7.5 公尺水头下发出能力为 1100 马力，转速是 254 转/分。全部的发电机和水轮机的机件都浸在油内，由一个与转子装在一起的离心泵保证油环绕着发电机的主要部分循环，特别是线圈的顶部，油料沿着金属界壁冷却。由于油可以比在大气压下的空气带出更匀的热量，就可以改善在突出情况下的电机冷却问题。转叶的伺服马达装在转子内，电机与转轮之间的轴承装在锥形衔接部分。

6 瑞士

瑞士是一个工业高度发展的国家，但是因为它缺乏煤炭、天然气和石油，所以瑞士的工业用电，主要是依靠水电来解决。

瑞士在很久以前就知道利用水力发电了。现在的年发电量已达 170 亿度，约占全部可开发的水电量的一半。水电在全国年发电量中的比重：1955~1956 年为 98.42%，1956~1957 年为 98.8%。

瑞士不仅为了自己的需要，必须研究、设计和制造许多水轮机；由于它是一个依靠工业产品的输出以维持国家经济平衡的国家，所以更须生产各种优良的水轮机以供应世界各国的需要；因而瑞士自己虽然不需要很大型的水轮机，但对于大型水轮机的设计制造技术水平，还要比其他资本主义工业先进的国家为高。

世界上最高水头的配尔登水轮机，是瑞士查梅尔斯公司 (Ateliers des Charmilles S. A. Genive) 制造的。水头 1767.8 公尺，容量 31000 马力。这台水轮机安装在奥国雷赛克 (Reisseck) 水电站。

目前世界上最高水头的法兰西斯水轮机，是瑞士佛汉斯公司 (Escher wyss A. G. Zürich) 制造的，水头 455 公尺，容量 63000 马力。该水轮机安装在瑞士费昂内水电站 (Fionnay Power Station)。

瑞士制造最大容量的 140000 马力配尔登水轮机，是费舍公司 (Georg Fischer A. G. Schaffhausen) 为加拿大开曼诺 (Kemanò) 水电站制造的。

资本主义国家中最大容量的高压蓄能水泵，是瑞士苏尔穿兄弟公司 (Gebrüder Sulzer, A.G., Winterthur) 制造的，水头 305 公尺，流量 21100 公升/秒，需要功率平均 94600 马力，最大 110000 马力，安装在英国北威尔斯的泛斯汀诺 (Ffestiuiog)。

其他著名的水轮机制造工厂还有：波佛里公司 (即皮皮西公司，Brown Boveri & Cie, Baden)，倍尔机器制造公司 (Bell maschinenfabrik A. G., Kriens/Luzern)，凡佛机械制造公司 (Ateliers de Constunions mechaniques de Vevey S. A.) 等等。

至于各种水轮机的技术水平，分别介绍如下：

1) 卡普兰水轮机

佛汉斯公司为法国勃朗达尔水电站 (Audrè Blondel Power Station, Rhoue) 制造的水头 25 公尺。70000 马力卡普兰水轮机，其推力轴承可以承受 1500 吨的压力。

1954 年该公司为瑞士皮尔斯佛尔屯水电站 (Birsfelden Power Station, Basle) 制造的 30000 马力卡普兰水轮机，流量达 300 公尺³/秒。

埃及尼罗河上阿斯旺水电站的 65000 馬力卡普兰水輪机，也是該公司承制的，水头为 8~35.5 公尺。

瑞士制造的最高水头卡普兰水輪机，安装在巴西斯 (Barcis) 水电站，水头为 63.5 公尺，已經投入运转。

2) 法兰西斯水輪机

1938 年，佛汉斯公司曾为我国吉林的小丰满水电站制造了 115000 馬力的法兰西斯水輪机，水头 69 公尺。

該公司还制造了许多高水头的法兰西斯水輪机。在瑞士国内使用的便有：

柴芬潑拉茨水电站 (Safienplatz) 的 60000 馬力水輪机，水头 422 公尺，轉数 750 轉/分。

費昂内水电站 (Fiornnay) 的 63000 馬力水輪机，水头 455 公尺，轉数 750 轉/分。

正在制造中的西尔斯水电站 (Sils) 的 88000 馬力水輪机，水头高 412 公尺，轉数 600 轉/分。

此外，現在該公司还与查梅尔斯公司合作制造世界最高水头 520 公尺的 100000 馬力法兰西斯水輪机，轉数 750 轉/分。

3) 配尔登水輪机

查梅尔斯公司曾經制造许多高水头的配尔登水輪机，其中最为突出的如表 2：

表 2

使 用 地 点	水輪机 套 数	水 头 高 呎 (公尺)	每套水輪机 馬力	附 注
奥国雷赛克水电站 (Reisseck)	3	5800(1767.8)	31000	世界最高水头
瑞士提克斯斯水电站 (Dixence)	5	5700(1737.4)	50000	
瑞士富雷水电站 (Fully)	4	5400(1645.9)	3000	
瑞士米维尔水电站 (Mièville)	3	4700(1432.6)	47500	
法国玻铁龙水电站 (Portillon)	1	4280(1404.5)	53500	
美国落斯摩尔斯水电站 (Losmolles)	2	3700(1127.8)	6325	美国最高水头

佛汉斯公司也制造配尔登水輪机，其中比較大型的有：

法国芒配柴脱 (Montpezat) 地下水电站的 81250 馬力水輪机，水头 625 公尺，主軸两端各有轉子一个，每个轉子各有两个噴水咀。

瑞士音納寇申水电站 (Innertkirchen Plant of the Oberhasli Power Supply Co. Berne) 的 65000 馬力水輪机，水头也是 650 公尺，但只有一个轉子，两个相交成 180° 的噴水咀。

瑞士盧森达罗 (Lucendro) 水电站的 40000 馬力水輪机，水头高 1000 公尺。

在瑞士，冲斗的材料是用含有鉻 12~14% 和鎳 1.5~2% 的不銹鋼来澆鑄的。

4) 管型水輪机

佛汉斯公司从 1936 年就开始制造管型水輪机了。截至 1951 年止，已有 75 台投入生产，总功率为 143000 馬力。最近几年制造的管型水輪机計有以下各种：

在拉文斯堡 (Ravensburg) 的佛汉斯公司自己工厂用的 180 馬力水輪机，1956 年 5 月制成，水头 4 公尺，流量 3.8 公尺³/秒，轉数用行星式齿輪从 280 变速至 1000 轉/分。

西德 RWE 电气公司 (Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk AG.) 为奧斯貝格

豪森水电站 (Osberghausen power station) 訂購的 530 馬力水輪机, 是 1956 年 7 月投入生产的。水头 7.25 公尺, 流量 6.5 公尺³/秒, 轉数从 312 轉变至 1015 轉/分。

瑞士畢希兄弟公司 (messrs. Böhi AG.) 在褒格倫 (Bürglen) 的 610 馬力水輪机, 是 1956 年 10 月投入運轉的。水头 3.06 公尺, 流量 19 公尺³/秒, 轉数 113 轉/分。

奥国吐罗尔 (Tyrol) 萊許河上 (Lech River) 勞推水电站 (Reutte power station) 的 1690 馬力水輪机, 水头 6.07 公尺, 流量 24 公尺³/秒, 轉数 165 轉/分。

5) 蓄能發電用的水泵

为了弥补冬季枯水时期水电供应的不足, 瑞士正在大量發展抽水蓄能式水力發電站。从下列的全国蓄能水庫每年最高蓄能量統計数字, 就可見瑞士近年来蓄能式水力發電站發展的速度了。

1947~1948年	9.20亿瓩时
1951~1952年	12.80亿瓩时
1955~1956年	18.00亿瓩时
1956~1957年	19.90亿瓩时
1957~1958年	23.60亿瓩时

再根据瑞士联邦电业經濟局 1955/56 和 1956/57 的电力平衡統計数字, 得知瑞士的冬季蓄能發電量所占全国全年总的水电产量的百分比, 1955/56 年为 11.4%, 1956/57 年为 10.6%, 也可見其重要性了。

表 3 瑞士各厂所造 50000 馬力以上的蓄能水泵計有:

表 3

每台蓄能水泵需要功率 (馬力)	安 装 地 点	装用台数	制 造 工 厂
110000	英国北威尔斯的泛斯汀諾 (Ffestiniog)	4	苏尔穿
85000	奥国林伯格 (Limberg)	2	佛汉斯
62700	意大利帕羅維丹察 (Provvideuza)	2	佛汉斯
57600	奥国呂納湖 (Lünersee)	2	佛汉斯
55500	奥国呂納湖 (Lünersee)		苏尔穿

近年来因电焊技术的大步發展, 瑞士水輪机的制造已多采用电焊方法。尤其是水輪發電机座的制造, 已全部采用电焊方法。这种方法不仅节省材料、降低成本, 而且式样美观。

7 意大利

意大利的水輪机制造工业, 早在十九世紀末叶就已經有了; 并且, 在第二次大战以后, 在技术方面也有很多的成就。例如制造大型卡普兰和法兰西斯水輪机方面的进步, 关于軸承的簡化, 結構高度的减少, 以及自动潤滑的軸承等等。

今将各种水輪机的情况, 簡略地介紹如下:

1) 卡普兰水輪机

由于意大利境内沒有大流量的河流, 所以意大利制造的卡普兰水輪机沒有很大容量的。它的特点只在于新的装置和高的水头。

多瑞港水电站的 16000 馬力卡普兰水輪机, 水头 7.3 公尺, 流量 187 吨/秒。其特点是构造

紧凑。它只有两个自动上油的导轴承，米切尔式推力轴承是装置在水轮机顶盖上。并且，它的轮叶旋转机构之伺服马达缸体被利用作为推力轴承的一部分。这样使得机组在轴线方向上不致过于拥挤。发电机的转子是装在第二个导轴承的上方，所以发电机上部的十字头只需支撑转子配油器的重量。一个金属的襯壁将发电机的重量，通过水轮机的座环而传到下方的基础上，使中部的混凝土结构不需要承载固定部分和转动所产生的动压力和静压力。

法布尔西水电站的水头是 60 公尺，那門比亞水电站是 68 公尺。这两个水电站的机器大小虽然并不出奇，但是其水头对于卡普兰水轮机来说，是特别高的。

2) 法兰西斯水轮机

阿根廷山水电站的 30900 馬力法兰西斯水轮机，水头 51.5 公尺，流量 50.5 吨/秒。它的结构非常簡單而紧凑，只有两个导轴承；电机下面的轴承已经被省去。

戴芒地峡 (Stura di Demonte) 水电站的 41700 馬力水轮机，水头 383 公尺，流量 9130 升/秒。桑布拉果 (Somplago) 水电站的 75400 馬力水轮机，水头 286 公尺，流量 22 吨/秒。

3) 配尔登水轮机

其美戈水电站 (Cimago Hydro-Electric Power Station) 的两台 150000 馬力双輪配尔登水轮机組，是目前世界上最大的配尔登机组，同时也是最大的單輪單噴咀配尔登水轮机，水头 727 公尺，流量 17500 升/秒。

普雷馬地水电站的两台 105000 馬力双輪配尔登水轮机組。每輪也是一个噴咀，水头 680 公尺，流量 13100 升/秒。

聖瑪桑查 (St. Massenza) 水电站有四台机组。每台两个轉輪，每輪两个噴咀，水头 590 公尺，流量 14800 升/秒，容量 102000 馬力。

維丕林水电站有两台双輪机组。每輪一个噴咀，水头 966 公尺，流量 8420 升/秒，容量 96200 馬力。

聖佛里昂諾水电站的三台 88400 馬力双輪机组，每輪两个噴咀，水头 564 公尺，流量 13220 升/秒。

阿維斯水电站的一台 80000 馬力双輪机组，每輪一个噴咀，水头 1030 公尺，流量 6500 升/秒。

意大利的配尔登水轮机结构方面值得注意的，每个轉輪大多数只用一个噴咀。噴咀作直綫形，使射流集中而不分散。

意大利对于水轮机的研究工作，也很注意。对高水头和中水头卡普兰水轮机的研究，在實驗室中曾进行了一系列的五叶片和八叶片轉輪的試驗。为了要制造更高速度、更經濟的法兰西斯机组，實驗室曾利用实验来实现一些高强度的轉子，同时保证一个最低限度的反压力，以避免空蝕的發生。

8 瑞 典

据估計瑞典可以開發的水电資源約为 800 亿度/年，目前已開發的將近 $\frac{1}{3}$ 。預計到 1980 年左右水力資源將全部開發。瑞典水电的比重为 90%。

瑞典現在 50 瓩以上的水电站有 1150 个。1957 年全部装机容量为 703 万瓩。其中水电为 558 万瓩；火电为 145 万瓩。發電量 288 亿度。其中水电占 93.7%，火电占 6.3%。

瑞典已經制成運轉的世界上最大水轮机是裝在瑞典司丹諾福斯水电站 (Stornorfors) 的

法兰西斯式水輪机 (Nohab厂制造, 容量为 13.1 万瓩, 轉子直径 5.2 公尺, 水头 73 公尺, 轉速 125 轉/分。

瑞典对卡普兰水輪机研究較多, 已在瑞典利格埃水电站 (Liga) 使用了水头 40.5 公尺, 容量 105650 馬力, 在拉賽来水电站使用了水头 54 公尺, 容量 63000 仟伏安的卡普兰水輪机。正在設計的水头为 70 公尺, 据說瑞典正在研究水头为 100 公尺的水輪机。

他們用三种材料做水輪机轉子; 小型的用銅或生鉄, 中型的一般用不銹鋼, 大型的用銅或不銹鋼, 因之尺寸較小。对不銹鋼的焊接技术掌握較好。轉子叶片多用焊接。轉子分三塊在厂內焊好, 运到工地只用梢子拼接, 不用再退火。

水輪机用的电力液压調速器体积很小, 灵敏度高, 通过它可以对流量轉速进行調整, 可将周波調整到正負 0.1。

鋼材質量的好坏, 对水輪机的重量尺寸和容量有很大影响。据說他們用的不銹鋼 (含鉻 13%) 比普通碳素鋼的屈服点强度約大 50% 左右。

瑞典最大的两个水电站, 一个是 1953 年完工的哈尔斯潑郎盖特 (Hanspranget) 水电站。在这个水电站內裝有三台机組, 总容量为 35 万瓩, 水头 108 公尺。另一个是正在施工中的斯篤尔芬福遜 (Storfinnforsen) 水电站。該站也裝有三台机組, 总容量为 37.5 万瓩, 水头 73 公尺 (單位容量为 115000 瓩和 125000 瓩)。

9 日 本

日本的水力資源已开發 50%。到 1955 年 3 月止, 日本水电站总数达 1450 个, 总容量为 8244000 瓩。

1) 卡普兰水輪机

在 25 公尺以下的有效水头範圍內已被广泛地采用; 但近几年来, 迅速地一个接一个地制成了許多較高水头的轉叶式水輪机, 并投入了運轉。如: 神通第 2 水电站的 21500 瓩机組, 水头为 30.2 公尺, 轉速为 200 轉/分; 本名水电站的 30000 瓩机組, 水头为 36.1 公尺, 轉速为 167 轉/分; 角岡水电站的 13000 瓩的机組, 水头为 36.5 公尺, 轉速为 300 轉/分; 武田水电站的 7500 瓩的机組, 水头为 40.7 公尺, 轉速为 360 轉/分; 以及姬川第 3 水电站的 13000 瓩的机組, 水头为 55 公尺, 轉速为 333/400 轉/分。日本制造的卡普兰水輪机, 最高效率为 93%。

2) 无导叶的轉叶式水輪机

住染水电站装有一台 2320 瓩, 13.3 公尺水头, 225 轉/分无导叶的轉叶式水輪机。該水电站系利用琵琶湖的徑流, 它的流量只降低了 20%。虽然固定螺桨式水輪机制造費用較低, 但仍使用了轉叶式水輪机, 因它具有較高的年平均效率。其轉叶式水輪不但沒有导叶, 同时也沒有进水閥与調速器, 因此降低了制造費用 20%。如果將轉子叶片轉到与正常運轉时相反的方向并調節至某一适当角度, 水輪机就可在两分鐘內停車, 而使剩余水量在上閘門切断。其最高效率为 91%, 同时飞逸轉速不超过額定轉速 250%。

3) 法兰西斯式水輪机

最大的法兰西斯式水輪机是 150000 馬力的, 裝于印度巴克拉水电站 (Bahkra Power Plant)。佐久間水电站有 96000 瓩法兰西斯水輪机 4 台, 水头 133.5 公尺, 轉数 200/167 轉/分。新三菱重工业株式会社 (神戶) 于 1958 年 5 月制成 10.8 万瓩的法兰西斯水輪机, 有效水头为

118.2公尺，流量为 $100.7 \text{公尺}^3/\text{秒}$ 。日本法兰西斯式水輪机的最高效率达94%——已达世界最高水平。

4) 配尔登水輪机

日本在过去，一般采用卧式配尔登水輪机。1954年第一次設計了立式四噴咀机组。其中一台为白根水电站的12000瓩，206.8公尺水头，300轉/分的机组，另一台为石井水电站的28000瓩，161.5公尺水头，450轉/分的机组。这种转变是由于多方面的原因。立式比卧式占用厂房面积少，因此挖掘費用低20~40%。此外，在进水弯管中的水头损失以及轉子風損都較小，这样便使效率略为提高，特别是在負荷减低到20%时，效率仍很好。因而，就是在与卧式造价相同时，采用立式也是經濟的。

5) 抽水蓄能式水电站，日本已开始重視。1952年东北电力公司建成了—个大型的沼澤抽水蓄能式水电站。当發電时，該水电站在有效水头215.5~183.0公尺，使用流量 $24 \sim 234 \text{公尺}^3/\text{秒}$ 下，出力为43600~34800瓩。当抽水时，用电36000~40200瓩，提升高度226.2~194.8公尺，提升水量 $13.9 \sim 17.7 \text{公尺}^3/\text{秒}$ 。水的全年利用率是63%。但是如果把下游各电站因上游抽水蓄能而增产的电能也算在內，則水的总的有效利用率竟高达106%。

在日本，水輪机制造厂备有相当大規模的模型試驗設備，經常地对轉子叶片形状、空蝕現象、使用材料的磨損与腐蝕，进行一些基本的研究与試驗。

在已定有效水头範圍內尽量提高比速極限，可以获得較高轉速，減輕重量，以及降低制造成本。不过这样会使效率下降，并由于在这种情况下，經常發生的空蝕現象，使叶片某部分产生腐蝕以至振动。考虑到由模型轉子的空蝕試驗与从实际經驗所获得的結果，一般的趋势是采用比在JEC-117（日本电工协会标准）中所規定的極限还高一些的比速。这特別对轉叶式或固定螺旋式水輪机是如此。

日本在提高水輪机的可靠性，減輕重量与降低制造成本方面，曾做了不少努力。当然，鑄鋼，鍛造与焊接技术的發展，对达到以上的結果是起了作用的。特別是13Cr鑄鋼件与具有良好的不銹鋼鑄件的發展，以及非破坏性探伤試驗器如磁力探伤器、超音波探伤器、爱克司光或同位素鈷60探伤法的应用。

由于采用特殊鋼以后，增加了耐用性。某一电力公司所做的調查指出：水輪机在安装后的头一年中效率平均下降2%。如果轉子与导叶系由13Cr鋼整鑄，或在鑄鋼件上部分堆焊以18~8鉻鎳鋼及采用13Cr鋼的襯壁，便可以获得更好的耐久性。这在目前已被实际采用。

在某些場合，冲斗式水輪机的冲斗通常采用具有高度耐磨損性能的低錳鑄鋼。

采用焊接結構：——近來由于鋼板焊成的蜗壳、环座及主閥与鑄件比較，可使总重量減輕20~30%。这样制造成本可以下降，即使在較高的水头下，也可采用。

由于在运输上受到載貨車輛尺寸的限制，环座与蜗壳有时分成几段，以便运到現場。环座用螺釘連接，而蜗壳則可用螺釘或鉚釘連接。

对于有效水头为80公尺或80公尺以下的水輪机，常常取消主閥来降低造价。在这种情况下，导叶必須起主閥的作用。但應該加添下述那样的結構，使接力器中工作油压可以突然降低或者完全消失：导叶可由于水压所产生的不平衡力矩很平稳地并自动地关闭；同时，如有必要，也可借助于彈簧或重量的作用；这样既避免了压力突然的上升，同时也不至于使水輪机陷于飞逸轉速。

对于导轴承的潤滑，采用了油浸自行潤滑系統来代替用油泵或高处油箱潤滑系統，因前者結構簡單，作用可靠。这种潤滑系統在实际使用中，即使在軸承內徑为 1350 公厘与軸徑为 880 公厘情况下，也很滿意。

10 中 国

中国的水力資源非常丰富，据估計有 5 亿多瓩，居世界首位。在水力資源分布上，中国有着非常有利的条件，几乎所有的工业区都可以利用水力發電(在西南一带較多，約占 73%)。中国可開發的电站大都是中水头的，水电站造价低廉，如刘家峡火电和水电投資 比为 1:1.5~1.8。

中国水輪机制造业是非常年青的。解放以前只做过一些 200~300 馬力的，最大的只有 750 瓩。在关内所有水电站的容量总和不及一萬瓩。

解放后到 1956 年已能制造 15000 瓩的机組。現在正試制 72500 瓩机組。即將制造的有配合三門峽、刘家峡、五强溪等电站的 10~21 万瓩的机組。不久还将制造長江三峡大电站所用的 45~60 万瓩机組，这将是世界水輪机制造的最高峰。

表 4. 我国已制成的和正在設計制造的水輪机規格表

电站名称	單位机 組容量 (瓩)	水 头 (公尺)				水 輪 机				制 造 厂	备 注
		最大	最小	設計	平均	型 式	直徑 (公尺)	轉 速 (轉/分)	逸 速 (轉/分)		
青銅峽	36000	21.2	16	19.3	20.2	ΠJ1510-BE	5.5	107		哈爾濱电机厂	正在設計
回龙寨	8000	21.7	17.4	20.5		ΠPK587-BE	3.3	187.5	287	哈爾濱电机厂	已运行
大伙房	16000	34	13.7	25.2	25.2	ΠJ1587-BM	3.3	214	459	哈爾濱电机厂	正在安裝
南灣	1300	29	16	20		K-3	1.26	300		重慶水輪机厂	正在安裝
模式口	3000	31	29	30		PO313-BM	1.543	300	543	哈爾濱电机厂	已运行
上硃	7500	26.7	18.7	26		PO365-BM	2.3	187.5	367	哈爾濱电机厂	已运行
黃壇口	7500	30.8	26.1		27.7	PO365-BM	2.3	393	265	哈爾濱电机厂	已运行
佛子岭	3000	48	20	35	38	PO263-BM	1.34	273	660	哈爾濱电机厂	已运行
官厅	10000	41	28.8	35.4	39.8	PO263-BM	2.35	187.5	350	哈爾濱电机厂	已运行
潘水	21000			35.5		PO123-BM	3.0	150		哈爾濱电机厂	正在設計
梅山	10000	65	37	41	46.5	PO211-BM	2.0	214	≈500	哈爾濱电机厂	正在安裝机組 反时針旋轉
响洪甸	10000	63.5	38	42		PO211-BM	2.0	214	≈495	哈爾濱电机厂	正在制造
上犹	15000	52.9	39	48.2		PO211-BM	2.25	214	385	哈爾濱电机厂	已运行
磨子潭	16000	60	36	48.2	51.6	PO211-BM	2.25	214	≈425	哈爾濱电机厂	正在制造
紫坪鋪	72500	69	40	≈60	65	PO211-BM	4.1	125		哈爾濱电机厂	正在設計
獅子滩	12000	71.5	45	64.3		PO216-BM	2.0	273	490	哈爾濱电机厂	已运行
水槽子	9000	79	71	77.5		PO82-BM	1.4	428	750	哈爾濱电机厂	正在安裝
下馬岭	65000	105	94	95		PO662-BM	3.2	214	380	哈爾濱电机厂	正在設計
新安江	72500	84.3	63.8	73	77.5	PO662-BM	4.1	150	≈276	哈爾濱电机厂	正在制造
刘家峡	210000	114	75	95	100	PO82-BM	5.5	125	232	哈爾濱电机厂	正在設計
古田一級一期	6000	127	90	91		E-2	1.63	428		哈爾濱电机厂	已运行
古田一級二期	12500	127	90	102		PO638-BM	1.4	500	965	哈爾濱电机厂	正在制造
六郎洞	12000	117	100	105	113	PO638-BM	1.4	500		哈爾濱电机厂	正在制造
流溪河	10500	112.1	84.3	96	105	PO638-BM	1.4	500	≈960	哈爾濱电机厂	正在安裝
可可托海	3000	82.2	67	67	87.7	PO638-BM	1.0	600	1100	哈爾濱电机厂	正在制造
龙池	2160	267		260		ΠΓ-125-140	1.25	500	900	哈爾濱电机厂	已运行
百丈潭	12000	356.5	330	345	341	ΠΓ146/2-140/1		500 600	900	哈爾濱电机厂	正在設計

三 水輪机的發展方向

綜合上述各国的水輪机發展情况，可以看出水輪机的今后發展方向，应有下列几方面：

1) 增加單位容量——不論在工作效率上，或基建投資上，都是經濟合理的。近年来，由于制造工艺的高度發展，尤其是熔渣电焊的創造，使大型水輪机的制造有了可能。

2) 扩大各种水輪机的水头范围——从机器的結構和一般达到的效率来看，都是很經濟的。从前一般認為是關鍵問題的制造工艺，如軸承、密封等，現在已經基本上解决了。所以，70公尺以上水头的卡普兰水輪机和500公尺以上水头的法兰西斯水輪机之設計，已具备了条件。

3) 提高比速——在同等水头和流量的条件下，机器的轉速愈快，則轉子的直徑就可愈小；同时，高轉速的發电机也要比低轉速的發电机便宜得多。所以，从經濟观点来看，这是十分必要的。

4) 在結構上，减少軸承数目，减低机組高度，采用自动潤滑軸承，增加遙控、半自动和全自动操作調节装置等等。

5) 在材料上，改善材料性能，節約貴重鋼材，如轉子使用炭素鋼鑄成，只在其上嵌鑲或堆焊一層不銹鋼以防蝕。

6) 在工艺上，采用焊接結構，以減輕机器重量，提高材料利用率，以及节省大型的加工设备。

7) 在机种方面，值得注意而有广泛發展前途的有：

(1) 管型水輪机——这是为利用低水头和潮汐發電的關鍵設備。在目前，潮汐能基本上还没有利用，低水头的利用系数也很小，并且这些都是世界各地到处都有，真所謂取之不尽，用之不竭；因而这种水輪机的發展前途，是不可限量的。

(2) 可逆泵式水輪机——水力發電的唯一缺点是冬、夏两季的發電量太不平衡。为了弥补这个缺点，各国早已有蓄能水泵水电站的建設。但使用两种机器——水泵和水輪机——来达到这一目的，总不如利用一种机器更为經濟合理，并且效率也高。虽然不必要全部使用这种机器，但为每一水电站添备几台这种机器，实在是必要的。何况这种机器还可以如前所述，作为卡普兰水輪机往高水头方面發展的繼續，更可想像到这是有广大發展前途的。

四 参考文献

1. 从第五届世界动力會議看世界动力發展趨勢

(《动力机械》1957年，第2期)

2. 水輪机發展趨勢

(俞炳元工程师于技术报告会上講稿)

3. 苏联現代的水輪机制造业

(苏联技术科学副博士，列宁格勒金屬工厂 副总設計师
C. A. 格腊諾夫斯基在訪問哈尔滨电机厂时做的报告)

4. 水力机組生产考察团赴苏考察綜合报告

5. 苏、德、捷三国在动力机械制造方面的現有水平及發展趨勢

(《机械工业技术报导》1958年，第2期)