

0062807

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许多方面已接近或者已經达到了国际的先进水平。为了便利各級领导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) 水電站的水頭 69 公尺轉葉式水輪機已在運轉中；捷克奧爾立克水電站的水頭 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) 水電站。在小型農村水電站上，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) 水電站。

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	蘇聯古比雪夫水電站
卡普蘭式	94500 瓩	24.7 公尺	85.7	美國大列士水電站
法蘭西斯式	131000 瓩	73 公尺	120	瑞典斯丹福水電站
法蘭西斯式	130000 瓩	150 公尺		美國大古里水電站
配爾登式 (一個噴咀)	150000 馬力	727 公尺		意大利其美戈水電站
配爾登式 (四個噴咀)	150000 馬力	760 公尺		加拿大開曼諾水電站
蓄能抽水機	110000 馬力			英國泛斯汀諾水電站

目前正在製造中的世界最大水輪機：

法蘭西斯式 204000 瓩 蘇聯布拉茨克水電站

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電站

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, 其他各国才逐渐采用。

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決。

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。

苏联现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昂伯和石山口水电站的 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。许多老电话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

諾水电站所制的机组已达 85000 馬力，水头 160 公尺。

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

配尔登水轮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亚制造过 2 台 5000 瓩，水头 500 公尺的机组。现在正为朝鲜民主主义人民共和国修配水头 470 公尺，轉子直径 3.5 公尺的水轮机。捷克制造的配尔登水轮机的最高水头为 1500 公尺。

水轮机的材料使用：捷克每一吨水轮机产品需用金属 1.28 吨，金属使用率为 78%。铁的耗量为钢的 0.22。

捷克的水轮机发展方向与苏联基本上相同。

工艺方面，特别在电焊技术研究上有独到之处。如在不锈钢板与中碳钢铸件的焊接问题上，用低碳管間接叠焊法就能保证质量。空蚀試驗是将試片放在水内，用电磁高频率振荡的方法研究材料空蚀——这是比較特出的方法。自动潤滑型的推力轴承，承受单位压力可达 65 公斤/公分²。

3 美国

美国水力资源估計約为 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。例如哥伦比亚河流域，就有 3000 万瓩的水力资源未被利用。由此可見美国的无計劃發展和抛弃资源情况的严重了。美国 1956 年水电占总发电量的 18%。

美国水轮机的生产情况：

1) 轉叶式水轮机 (卡普兰式)

一般認為，轉叶式和固定螺桨式水轮机同时安装在一个电站中，在經濟性上是不适当的。但是近來建設的一些水电站却同时安装了固定螺桨式和轉叶式水轮机，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 36000 瓩的水轮机中，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築費用，可在电站中考虑安置具有相反轉向的水轮机。在彼尔得克-布鲁格水电站，装有水头为 14.7 公尺，功率为 23000 瓩的两台轉叶式水轮机，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轮机是安装在大列士水电站上，1953 年投入運轉的 14 台立式水轮机。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 130900 馬力，每台的最高耗水量为 453 公尺³/秒。

紐波特-紐斯公司于 1953 年制造了两台轉叶式水轮机。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轴承；經過連續運轉后檢驗其中一台水轮机时，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 馬力的卡普兰水轮机，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。

該公司為中部馬烟拉烏愛爾水电站也制造了在轉叶軸頸处具有滾柱轴承的轉子。該公司还採用在轉子的叶片表面上，鑲上不锈钢的方法来防止侵蝕。

美国較早就广泛地採用了碳素鋼鑄造的轉子，只在轉子产生空蝕現象的地方，焊上不锈钢。最近轉叶式水轮机的轉子，都广泛地用不锈钢鑄成；这样，虽然价值較貴，但根据愛里斯，查

东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。

美国的鲍得温-莱美-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。这种水輪机当将来壩壩增高到 134 公尺水头，水輪机的功率增加到 102000 瓩时，可以更換比速較低的轉子。

鲍得温-利瑪-哈米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裝六台單位容量为 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較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鑄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鋼

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制遺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瓩，轉速為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。覆蓋著不銹鋼的轉子外殼是球面形的，位於葉片中心綫的上下。當葉片在所有的各種不同開度時，在葉片整條綫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查格力斯公司（John Inglis Co. Ltd）協作製造的。它的最高水頭為875.1（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，每分鐘可輸送40~5000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。例如上述在贝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 马力卡普兰水轮机，除轴承、主轴以外，几乎全部都是焊接的。希拉库德 52000 马力的卡普兰水轮机，也是大部分用焊接的零件。

模型试验方面，英国也在进行一系列的努力。最近计划进行的有 20 吋的整套模型试验场两所，可以安置明槽式、水泥蜗室和任何形状的吸出管，以研究转子、蜗轮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。又有两个气蚀试验场：一个可试 12 吋转子，一个可试 16~20 吋转子，可以在 95 呎水头下作连续试验。另有两个冲斗式水轮机模型试验场：一个是立式的，一个是臥式的，使用水头可达 160 呎。还有一个试验场，是为试验转子直径 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试验和电动调速器的研究工作；用高压气体试验设备以试验水轮机和阀门结构的强度和变形，防漏装置的设计性能和合金轴承的特性，以及各种不同金属的耐磨性能等等。

5 法国

法国的水力资源曾作过调查，能装备起来的全部能量估计约有 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 万千瓦。

法国南尔力克公司 (Ets Neyrpic, Grenoble) 制造的 32000 马力卡普兰水轮机，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)。

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

该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 马力。

这种水轮机的工作效率，一般在 93% 以下。但装在巴西布格雷斯水电站 (Bugres Power Plant) 的 15750 马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 马力，装在法国拍拉格纳斯水电站 (Pragneres power Plant)。水头 1224 公尺，转速 420 转/分，也是南尔力克公司的产品。

法国对于水轮机的研究工作，不论在理论、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，就是其明证。该潮汐发电站所用的机组是包括一台横轴卡普兰水轮机，和一台位于泡形箱内的发电机；泡形箱也放在水流中。这种机组的工作是很特殊的。当潮涨时，海面水位提高，海水经过水轮机流入水库。机组以水轮发电机的形式运转。当水位差降低至不能继续发电时，水轮机的所有进水阀和桨叶就轴向地大开，让潮水尽快地流进水库。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运转，将海水继续送进水库中。这样送入水头很低的水量，在潮退后即得到很高的水头，这是很经济合算的。当潮落后，水库中的水位高于海面，机组就从逆流方向进行运转。当潮水逐渐涨至水位差不能继续发电时，机组又先经放水，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。水轮机是轴流螺旋桨式的，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高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均匀的热量，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81000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(Kemano)水电站制造的。

资本主义国家中最大容量的高压蓄能水泵，是瑞士苏尔寿兄弟公司(Gebrüder Sulzer, AG, 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(Festiniog)。

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 Constunitions 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(Audré Blouzel Power Station, Rhone)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公升/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：

柴芬撒拉茨水电站（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
奥国雷塞克水电站(Reisseck)	3	5800(1767.8)	31000	世界最高水头
瑞士提克生斯水电站(Dixence)	5	5700(1737.4)	50000	
瑞士富雷水电站(Fully)	4	5400(1645.9)	30000	
瑞士米维尔水电站(Miéville)	3	4700(1432.6)	47500	
法国波铁龙水电站(Portillon)	1	4280(1404.5)	53500	
美国洛斯特摩尔水电站(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。

瑞士香納窠申水电站（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第12~14%和錳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，轉数用行星式齒輪从280变速至1000轉/分。

西德RWE电气公司（Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk AG.）为奥斯貝格

豪森水电站 (Osberghausen power station) 訂購的 530 馬力水輪機, 是 1956 年 7 月投入生產的。水頭 7.25 公尺, 流量 $6.5 \text{ 公尺}^3/\text{秒}$, 轉數從 312 轉變至 1015 轉/分。

瑞士畢希兄弟公司 (messrs. Böhi AG.) 在褒格倫 (Bürglen) 的 610 馬力水輪機, 是 1956 年 10 月投入運轉的。水頭 3.06 公尺, 流量 $19 \text{ 公尺}^3/\text{秒}$, 轉數 113 轉/分。

奧國吐羅爾 (Tyrol) 萊訥河上 (Lech River) 勞推水电站 (Reutte power station) 的 1690 馬力水輪機, 水頭 6.07 公尺, 流量 $24 \text{ 公尺}^3/\text{秒}$, 轉數 165 轉/分。

5) 蓄能發電用的水泵

為了彌補冬季枯水時期水电供應的不足, 瑞士正在大量發展抽水蓄能式水力發電站。從下列的全國蓄能水庫每年最高蓄能量統計數字, 就可見瑞士近年來蓄能式水力發電站發展的速度了。

1947~1948年	9.20億瓩時
1951~1952年	12.80億瓩時
1955~1956年	18.00億瓩時
1956~1957年	19.90億瓩時
1957~1958年	23.60億瓩時

再根據瑞士聯邦電業經濟局 1955/56 和 1956/57 的電力平衡統計數字, 得知瑞士的冬季蓄能發電量所佔全國全年總的水電產量的百分比, 1955/56 年為 11.4%, 1956/57 年為 10.6%, 也可見其重要性了。

表 3 瑞士各廠所造 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 裝 地 點	裝用台數	制 造 工 廠
110000	英國北威爾斯的泛斯汀諾 (Ffestiniog)	4	葛爾寧
85000	奧國林伯格 (Limberg)	2	佛漢斯
62700	意大利帕羅維丹察 (Provvidenza)	2	佛漢斯
57600	奧國呂納湖 (Lünersee)	2	佛漢斯
55500	奧國呂納湖 (Lünersee)		葛爾寧

近年來因電焊技術的大步發展, 瑞士水輪機的製造已多採用電焊方法。尤其是水輪發電機座的製造, 已全部採用電焊方法。這種方法不僅節省材料、降低成本, 而且式樣美觀。

7 意大利

意大利的水輪機製造工業, 早在十九世紀末葉就已經有了; 並且, 在第二次大戰以後, 在技術方面也有很多的成就。例如製造大型卡普蘭和法蘭西斯水輪機方面的進步, 關於軸承的簡化, 結構高度的減少, 以及自動潤滑的軸承等。

今將各種水輪機的情況, 簡略地介紹如下:

1) 卡普蘭水輪機

由於意大利境內沒有大流量的河流, 所以意大利製造的卡普蘭水輪機沒有很大容量的。它的特点只在於新的裝置和高水頭。

多瑞港水电站的 16000 馬力卡普蘭水輪機, 水頭 7.3 公尺, 流量 $187 \text{ 公尺}^3/\text{秒}$ 。其特点是構造

湊。它只有两个自动上油的导轴承，米切尔式推力轴承是裝置在水輪机頂盖上。并且，它的叶片旋轉机构之伺服馬达缸体被利用作为推力轴承的一部分。这样使得机组在軸綫方向上不致于拥挤。发电机的轉子是裝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轉子油器的重量。一个金属的襯壁將发电机的重量，通过水輪机的座环而傳到下方的基础上，使基部的混凝土結構不需要承载固定部分和轉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輪机來說，是特別高的。

2) 法兰西斯水輪机

阿根托山水电站的30900馬力法兰西斯水輪机，水头51.5公尺，流量50.5吨/秒。它的結構非常簡單而緊湊，只有两个导轴承；电机下面的軸承已經被省去。

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

3) 配尔登水輪机

其美戈水电站 (Cimigo Hydro-Electric Power Station) 的两台150000馬力双輪配尔登水輪机组，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輪机，水头727公尺，流量17500升/秒。

普雷馬地水电站的两台105000馬力双輪配尔登水輪机组。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。

意大利的配尔登水輪机結構方面值得注意的，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。

意大利对于水輪机的研究工作，也很注意。对高水头和中水头卡普兰水輪机的研究，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，同时保証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。发电量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輪机是裝在瑞典司丹諾福斯水电站 (Stornorfors) 的

法兰西斯式水轮机 (Nohab厂制造, 容量为 13.1 万千瓦, 转子直径 5.2 公尺, 水头 73 公尺, 速 125 转/分。

瑞典对卡普兰水轮机研究较多, 已在瑞典利格埃水电站 (Liga) 使用了水头 40.5 公尺, 量 105650 马力, 在拉赛来水电站使用了水头 54 公尺, 容量 63000 千瓦的卡普兰水轮机。正设计的水头为 70 公尺, 据说瑞典正在研究水头为 100 公尺的水轮机。

他们用三种材料做水轮机转子: 小型的用铜或生铁, 中型的一般用不锈钢, 大型的用铜和不锈钢, 因之尺寸较小。对不锈钢的焊接技术掌握较好。转子叶片多用焊接。转子分三块在厂内焊好, 运到工地只用梢子拼接, 不用再退火。

水轮机用的电力液压调速器体积很小, 灵敏度高, 通过它可以对流量转速进行调整, 可周波调整到正负 0.1。

钢材质量的好坏, 对水轮机的重量尺寸和容量有很大影响。据说他们用的不锈钢 (含 13%) 比普通碳素钢的屈服点强度约大 50% 左右。

瑞典最大的两个水电站, 一个是 1953 年完工的哈尔斯登郎盖特 (Hanspranget) 水电站, 在这个水电站内装有三台机组, 总容量为 35 万千瓦, 水头 108 公尺。另一个是正在施工中的斯图尔芬福逊 (Storfinnforsen) 水电站。该站也装有三台机组, 总容量为 37.5 万千瓦, 水头 73 公尺 (单位容量为 115000 瓦和 125000 瓦)。

9 日本

日本的水力资源已开发 50%。到 1955 年 3 月止, 日本水电站总数达 1450 个, 总容量 8244000 瓦。

1) 卡普兰水轮机

在 25 公尺以下的有效水头范围内已被广泛地采用; 但近几年来, 迅速地一个接着一个地制成了许多较高水头的转叶式水轮机, 并投入了运转。如: 神通第 2 水电站的 21500 瓦机组, 水头为 30.2 公尺, 转速为 200 转/分; 本名水电站的 30000 瓦机组, 水头为 36.1 公尺, 转速为 167 转/分; 角间水电站的 13000 瓦的机组, 水头为 36.5 公尺, 转速为 300 转/分; 武田水电站的 7500 瓦的机组, 水头为 40.7 公尺, 转速为 360 转/分; 以及姬川第 3 水电站的 13000 瓦的机组, 水头为 55 公尺, 转速为 333/400 转/分。日本制造的卡普兰水轮机, 最高效率为 93%。

2) 无导叶的转叶式水轮机

住染水电站装有一台 2320 瓦, 13.3 公尺水头, 225 转/分无导叶的转叶式水轮机。该水电站系利用琵琶湖的径流, 它的流量只降低了 20%。虽然固定螺旋式水轮机制造费用较低, 但仍使用了转叶式水轮机, 因为它具有较高的年平均效率。其转叶式水轮机不但没有导叶, 同时也没有逆水阀与调速器, 因此降低了制造费用 20%。如果将转子叶片转到与正常运转时相反的方向并调节至某一适当角度, 水轮机就可在两分钟内停车, 而使剩余水量在上闸门切断。其最高效率达 91%, 同时飞逸转速不超过额定转速 250%。

3) 法兰西斯式水轮机

最大的法兰西斯式水轮机是 150000 马力的, 装于印度巴克拉水电站 (Bakra Power Plant)。佐久间水电站有 96000 瓦法兰西斯水轮机 4 台, 水头 133.5 公尺, 转速 200/167 转/分。新三菱重工业株式会社 (神户) 于 1958 年 5 月制成 10.8 万千瓦的法兰西斯水轮机, 有效水头 73

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

4) 配尔登水轮机

日本在过去，一般采用卧式配尔登水轮机。1954年第一次设计了立式四喷嘴机组。其中一台为白根水电站的12000瓩，206.8公尺水头，300转/分的机组；另一台为石井水电站的28000瓩，161.5公尺水头，450转/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，因此挖掘费用低20~40%。此外，在进水管中的水头损失以及转子风损都较小，这样便使效率略为提高，特别是在负荷减低至20%时，效率仍很好。因而，就是与卧式造价相同时，采用立式也是经济的。

5) 抽水蓄能式水电站，日本已开始重视。1952年东北电力公司建成了一个大型的沼泽抽水蓄能式水电站。当发电时，该水电站在有效水头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内，则水的总的有效利用率竟高达106%。

在日本，水轮机制造厂备有相当大规模的模型试验设备，经常地对转子叶片形状、空蚀现象、使用材料的磨损与腐蚀，进行一些基本的研究与试验。

在已定有效水头范围内尽量提高比速极限，可以获得较高转速，减轻重量，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，经常发生的空蚀现象，使叶片某部分产生腐蚀以至振动。考虑到由模型转子的空蚀试验与从实际经验所获得的结果，一般的趋势是采用比在JEC-117（日本电工协会标准）中所规定的极限还高一些的比速。这特别对转叶式或固定螺旋式水轮机是如此。

日本在提高水轮机的可靠性，减轻重量与降低制造成本方面，曾做了不少努力。当然，铸钢、锻造与焊接技术的发展，对达到以上的结果是起了作用的。特别是13Cr铸钢件与具有良好的不锈钢铸件的发展，以及非破坏性探伤试验器如磁力探伤器、超声波探伤器、爱克司光或同位素钴60探伤法的应用。

由于采用特殊钢以后，增加了耐用性。某一电力公司所做的调查指出：水轮机在安装后的头一年中效率平均下降2%。如果转子与导叶系由13Cr钢整铸，或在铸钢件上部分堆焊以18~8铬镍钢及采用13Cr钢的衬壁，便可以获得更好的耐久性。这在目前已被实际采用。

在某些场合，冲斗式水轮机的冲斗通常采用具有高度耐磨损性能的低锰铸钢。

采用焊接结构：——近来由于钢板焊成的蜗壳、环座及主阀与铸件比较，可使总重量减轻20~30%。这样制造成本可以下降，即使在较高的水头下，也可采用。

由于在运输上受到载货车辆尺寸的限制，环座与蜗壳有时分成几段，以便运到现场。环座用螺钉连接，而蜗壳则可用螺钉或铆钉连接。

对于有效水头为80公尺或80公尺以下的水轮机，常常取消主阀来降低造价。在这种情况下，导叶必须起主阀的作用。但应该加添下述那样的结构，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，也可借助于弹簧或重量的作用；这样既避免了压力突然的上升，同时也不至于使水轮机陷于飞逸转速。

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 公厘情況下，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发电（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一万瓩。

解放后到 1956 年已能制造 15000 瓩的机組。現在正試制 72500 瓩机組。即将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	HTJ510-BB	5.5	107		哈尔滨电机厂	正在設計
周龙寨	8000	21.7	17.4	20.5		HPK587-BB	3.3	187.5	287	哈尔滨电机厂	已运行
大伙房	16000	34	13.7	25.2	25.2	HTJ587-BM	3.3	214	459	哈尔滨电机厂	正在安裝
南河	1300	29	16	20		K-3	1.26	300		重庆水輪机厂	正在安裝
模式口	3000	31	29	30		PO313-BM	1.543	300	543	哈尔滨电机厂	已运行
上硯	7500	26.7	18.7	26		PO365-BM	2.3	187.5	367	哈尔滨电机厂	已运行
黄壇口	7500	30.8	26.1		27.7	PO365-BM	2.3	393	265	哈尔滨电机厂	已运行
佛子岭	3000	48	20	35	38	PO263-BM	1.34	273	660	哈尔滨电机厂	已运行
宣厅	10000	41	28.8	35.4	39.8	PO263-BM	2.35	187.5	350	哈尔滨电机厂	已运行
洛水	21000			35.5		BO123-BM	3.0	150		哈尔滨电机厂	正在設計
梅山	10000	65	37	41	46.5	PO211-BM	2.0	214	≈500	哈尔滨电机厂	正在安裝机新 反时针旋轉
喻洪甸	10000	63.5	38	42		PO211-BM	2.0	214	≈495	哈尔滨电机厂	正在制造
上犹	15000	52.9	39	48.2		PO211-BM	2.25	214	385	哈尔滨电机厂	已运行
磨子潭	16000	60	36	48.2	51.6	PO211-BM	2.25	214	≈425	哈尔滨电机厂	正在制造
紫坪鋪	72500	69	40	≈60	65	PO211-BM	4.1	125		哈尔滨电机厂	正在設計
獅子潭	12000	71.5	45	64.3		PO216-BM	2.0	273	490	哈尔滨电机厂	已运行
水槽子	9000	79	71	77.5		PO82-BM	1.4	428	750	哈尔滨电机厂	正在安裝
下馬岭	65000	105	94	95		PO662-BM	3.2	214	380	哈尔滨电机厂	正在設計
新安江	72500	84.3	63.8	73	77.5	PO662-BM	4.1	150	≈276	哈尔滨电机厂	正在制造
刘家峡	210000	114	75	95	100	PO82-BM	5.5	125	232	哈尔滨电机厂	正在設計
古田一級一期	6000	127	90	91		E-2	1.63	428		哈尔滨电机厂	已运行
古田一級二期	12500	127	90	102		PO638-BM	1.4	500	965	哈尔滨电机厂	正在制造
大鄣洞	12000	117	100	105	113	PO638-BM	1.4	500		哈尔滨电机厂	正在制造
流溪河	10500	112.1	84.3	96	105	PO638-BM	1.4	500	≈960	哈尔滨电机厂	正在安裝
可可托海	3000	82.2	67	67	877	PO638-BM	1.0	600	1100	哈尔滨电机厂	正在制造
龙池	2160	267		260		HT-125-140	1.25	500	900	哈尔滨电机厂	已运行
百丈潭	12000	356.5	330	345	341	HT146/2- 140/1		500 600	900	哈尔滨电机厂	正在設計

三 水輪机的發展方向

綜合上述各國的水輪机發展情況，可以看出水輪机的今後發展方向，應有下列几方面：

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。近年來，由於製造工藝的高度發展，尤其是熔渣電焊的創造，使大型水輪机的製造有了可能。

2) 擴大各種水輪机的水頭範圍——从機器的結構和一般達到的效率來看，都是很經濟的。从前一般認為是關鍵問題的製造工藝，如軸承、密封等，現在已經基本上解決了。所以，70公尺以上水頭的卡普蘭水輪机和500公尺以上水頭的法蘭西斯水輪机之設計，已具備了條件。

3) 提高比速——在同等水頭和流量的條件下，機器的轉速愈快，則轉子的直徑就可愈小；同時，高轉速的發電机也要比低轉速的發電机便宜得多。所以，从經濟觀點來看，這是十分必要的。

4) 在結構上，減少軸承數目，減低機組高度，採用自動潤滑軸承，增加遙控，半自動和全自動操作調節裝置等等。

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) 在工藝上，採用焊接結構，以減輕機器重量，提高材料利用率，以及節省大型的加工設備。

7) 在機種方面，值得注意而有廣泛發展前途的有：

(1) 管型水輪机——這是為利用低水頭和潮汐發電的關鍵設備。在目前，潮汐能基本上還沒有利用，低水頭的利用系數也很小，並且這些都是世界各地到處都有，真所謂取之不盡，用之不竭；因而這種水輪机的發展前途，是不可限量的。

(2) 可逆泵式水輪机——水力發電的唯一缺點是冬、夏兩季的發電量太不平衡。為了彌補這個缺點，各國早已有蓄能水泵水電站的建設。但使用兩種機器——水泵和水輪机——來達到這一目的，總不如利用一種機器更為經濟合理，並且效率也高。雖然不必要全部使用這種機器，但為每一水電站添備幾台這種機器，實在是必要的。何況這種機器還可以如前所述，作為卡普蘭水輪机往高水頭方面發展的繼續，更可想像到這是有廣大發展前途的。

四 參考文獻

1. 从第五屆世界動力會議看世界動力發展趨勢

(《動力機械》1957年，第2期)

2. 水輪机發展趨勢

(俞炳元工程師于技術報告會上講稿)

3. 蘇聯現代的水輪机製造業

(蘇聯技術科學副博士，列寧格勒金屬工廠副總設計師
G. A. 格騰諾夫斯基在訪問哈爾濱電機廠時做的報告)

4. 水力機組生產考察團赴蘇考察綜合報告

5. 蘇、德、捷三國在動力機械製造方面的現有水平及發展趨勢

(《機械工業技術報導》1958年，第2期)