

第一机械工业部

水力机组生产考察团

赴苏考察综合报告

1958年5月

目 錄

赴苏考察綜合报告	俞宗瑞
专业报告(一)——水輪机設計部分	王述羲
专业报告(二)——水輪机的水力模型試驗部分	許耀銘
专业报告(三)——水輪机金工装配工艺部分	蘆 堃
专业报告(四)——焊接工艺部分	毛用賓、田錫唐
专业报告(五)——水輪发电机設計部分	吳天霖、周貝隆
专业报告(六)——水輪发电机工艺部分	梁維燕
专业报告(七)——汽輪发电机部分	周貝隆

一、序 言

1. 我們水力机組生产考察团的考察目的是學習苏联在制造大型水力机組（包括水輪机、水輪发电机及其輔助设备等）方面的經驗及新技术成就，着重學習几个大型机組（如布拉茨克水电站机組等）的設計、金工裝配及鐸接工艺等，借以研究和解决我國在生产大容量机組（如刘家峡水电站机組等）中的技术問題。

我們在苏联考察了近四个月（从一九五七年十二月月上旬至一九五八年三月底），其中分別去列宁格勒斯大林金屬工厂（ЛМЗ）和基洛夫电力厂（Электросила）各两个月另二十天（是我們考察的重点单位），全苏水力机械研究院（Вигм）五周，电工研究院（Нии）两周，中央工艺机械制造科学研究所（ЦНИИТМАШ）十天，諾沃克拉瑪托尔工厂（Нкмз）九天。

在水輪机方面，金屬工厂正在进行世界上最大容量的法蘭西斯式水輪机（即布拉茨克水輪机）的設計工作。該机容量每台20.4万瓩，設計水头96公尺，轉速125轉/分。該厂与不少单位相配合进行了和正在进行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、節約金屬以及結構工艺性方面获得更新的技术成就。看来，这将标志着苏联水輪机制造业的重大躍进。由于試驗研究工作的繁重，目前还跟不上設計工作的需要。因此，該机的設計工作虽在一九五三年年底完成技术設計后早已进入到施工設計階段，但若干重大技术問題如轉子选型、轉子制造方案等尚未作出最后結論。預計施工設計將於五八年九月完成。在我們考察期間，虽不能獲得这些問題的結論，但通过对他們各种方案的提出、試驗、比較、分析等全部过程的学习，收獲很大。

此外，我們还學習了达利雅里斯克电站（Дарьяльская гЭС）冲击式水輪机的技术設計和齐尔由尔斯电站（Чир-юрская гЭС）卡布蘭水輪机的技术設計。前者是苏联第一个大型冲击式水輪机，每台容量6.5万瓩，設計水头630公尺，轉速500轉/分；后者是苏联第一个高水头卡布蘭水輪机，每台

容量3.6万瓩，設計水头42.5公尺，轉速187.5轉/分。

金屬工厂已經生产了古比雪夫水电站卡布蘭式水輪机20台，正在車間制造与其結構相同的斯大林格勒水輪机，故大型卡布蘭式水輪机制造的工艺文件和現場資料均很丰富。至于法蘭西斯式水輪机制造，我們學習了丰滿和石山口电站的水輪机工艺文件（后者轉子是分半結構）。該厂在大部件的划綫、測量、金工方面積累了丰富的經驗，我們也着重进行了學習。

鐸接工艺也是我們考察重点之一。除學習了布拉茨克、达利雅里斯克、齐尔由尔斯等水輪机主要部件的鐸接結構方案外，着重學習了大部件鐸接工艺方法，特別是防止厚鋼板鐸接变形和包鐸不銹鋼飯的經驗。此外，在中央工艺机械制造科学研究所和諾伏克拉瑪托耳厂學習了大軸鐸接的試驗研究總結、抗汽蝕材料的試驗以及电渣鐸接工艺方法等。

在水輪机試驗室方面，我們除重点在金屬工厂和全苏水力机械研究院进行學習外，并去列宁格勒工业大学的水輪机試驗会和空气动力学實驗室以及全苏水工研究院（ВНИИГ）作短期內參觀學習，學習到水力模型試驗各种裝置的設計和試驗方法，听取了他們對我們建立工厂水輪机試驗室的各種重要建議，并且，了解到苏联水輪机試驗研究工作的近況及今后方向。

在水輪发电机方面，設在电力厂的电工研究院分院正在进行布拉茨克发电机的設計。我們看到了关于这个电机整个設計过程全部來往公文的卷宗，在里面詳細記載了有关单位对各个問題的不同意見，對我們启示很大。該电机电力厂曾作了不下三十个电磁方案，对其容量，作了詳細比較，对其主要部件的結構作了多次改进。我們在該厂看到了烏拉爾电器厂为該电机所做的技术建議書，在不少重要技术問題上，兩厂各有不同意見（如选型和磁極、推力軸承結構等問題）。这种百家爭鳴的做法，正促使該发电机的設計日趨完善，也使我們能更加深

入地學習到他們的經驗。

高速水輪發電機，電力廠過去很少製造，橫式的還未做過。目前正在設計赫拉姆發電機（5.5萬瓩，立式，428轉/分），我們只作一般性的了解。

在水輪發電機工藝方面，我們除着重對該廠正在生產的斯大林格勒發電機進行學習外，還對半滿（CB $\frac{850}{190}$ —43），久姆什（CB $\frac{465}{210}$ —16）發電機等不同結構的工藝方法進行學習。該廠在解決超出設備條件的大型電機的結構工藝問題、縮短生產循環期、減少占用作業面積、減輕體力勞動等方面採取了許多措施，對我們很有啟發。

此外，我們在“電力”工廠了解了汽輪發電機方面的新成就並在電工研究院重點學習了關於通風的試驗研究問題，學到了他們在這方面的經驗和最新的通風計算方法。

總的來說，通過此次考察，在蘇聯同志的熱情、無私的幫助下，我們學到了蘇聯製造大型水力機組的豐富經驗和最新技術成就，使我們更加有信心、有把握地去製造祖國建設所需要的大型水力機組。我們相信，在今後實際工作中去運用和貫徹此次考察所學到的蘇聯先進經驗，必定會加速祖國水力發電設備製造事業的發展。

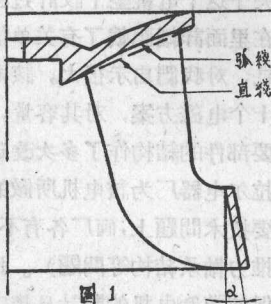
二、關於大型水輪機的設計

（一）布拉茨克水輪機的水力設計及初步試驗結果。

水力設計的主要任務為：
①設計出符合電站條件，效率高，汽蝕系數低而工作穩定的轉子；
②找出挖深度小而效率高的泄水管；
③找出外形尺寸小而水流均勻、效率好的渦殼。這些任務對於象布拉茨克這樣容量巨大的電站來說，顯得更加重要了。

在研究比較了各種現有型式的轉子後，證明P082型在效率、汽蝕系數方面是比較好的，但是在工作穩定性方面則較P0638型為差。為此，吸取了上述兩種轉子的優點，設計了幾種新的轉子，經試驗證明P0662型在各方面都是比較優越的。汽蝕系數低，效率高；穩定工作區域大，泄水管內最大壓力波動值僅為P082型的 $1/3$ 強。這是目前初步確定採用的型號。由於該電站在建設初期較長時期內水位較低，故需繼續研究在此情況下運轉是否適合的問題。

他們試驗了轉子各部分的形狀對於轉子性能的影響。上冠形狀如為弧綫（見圖1）則較直綫形（圖中虛綫）的過水量略大，汽蝕系數 σ 也略低。下環錐度 α 角（如圖）金屬工廠的使用範圍為 $3^\circ \div 13^\circ$ ， α



角增大對增加流量、降低 σ 有利，但如太大又將使效率降低，故此角應根據各電站要求來確定。泄水邊割短，最初可以使 σ 降低，流量增加（至多增加流量10%）但如切割過多又將使 σ 在低負荷區增大，效率降低。此外，葉片厚度的增加，對汽蝕也是不利的。

不穩定現象為法蘭西式水輪機的一個特殊問題，此現象系指水輪機在非最優工作條件下工作時，轉子下面水流波動的现象，是該型式水輪機所普遍具有的；當情況嚴重時，就將引起這個機組的震動，甚至不能運轉。此問題雖存在已久，但其他國家尚未做過系統的研究。

不穩定現象是在模型試驗裝置上作試驗的。尾水管用透明的有機玻璃做成，通過測量泄水管管壁上的壓力脈動及以高速攝影拍攝水流情況來進行研究。試驗中發現，在非最優工作條件時，轉子下產生旋渦，作螺旋狀向下運動。此種旋渦造成壓力波動，影響到水輪機工作機構的穩定，當旋渦轉動區域逐漸擴大而直接碰到泄水管管壁或底面時，就會使機組發生更大的震動。產生的原因據初步分析為：
①非最優工作條件下，轉子泄出的水流具有較大的切向速度，造成旋渦；
②葉片斷面尾部尖端太厚；
③葉片斷面曲率變化劇烈使水流有脫離趨勢。

改進葉片的形狀是可以減少或減弱此種現象的，但不能得到徹底的解決。最近全蘇水力機械研究院及金屬工廠正在研究的對角式水輪機（其葉片是能轉動的）是個徹底的辦法。現用的法蘭西式

水輪機消除不穩定現象的辦法仍為補入空氣。需注意的是在大多數情況下補入空氣都要或多或少降低水輪機的效率。經過各種試驗證明由轉子中心向轉子室補氣是最有效的辦法，影響效率也較少。至於補氣量多少的問題，則尚在研究中。布拉茨克水輪機技術設計中所採用的補氣方式為通過一可調節開口面積的窗口向軸中心孔通入空氣，窗口開度由調速器控制，而其調節的規律則需於裝機後試驗得出，找出其不穩定情況，補氣與效率的關係等，以作最後確定。

泄水管的形狀也與水流不穩定現象有關係，試驗中證明泄水管的高度（即挖深度）減小不致影響水輪機效率太多，但如小於 $h=2.6D_1$ （ h 為由底環至泄水管底部高度， D_1 為轉子標稱直徑）則不穩定現象較嚴重。泄水管的錐角以 $8^\circ \div 10^\circ$ 為宜。角度太小則斷面減小，摩擦損失大；太大則發生液流脫離管壁現象。

渦殼水力設計中首先考慮進口流速的問題，太高則損失大，太低又將加大尺寸。設計中按流速系數 $\alpha=0.6, 0.8$ 及 1.0 等不同情況進行試驗，試驗結果證明 $\alpha=0.8$ 時最合適。同時又按水流運動力矩等於常數（ $Cu r = \text{const.}$ ）及平均切向流速等於常數（ $Cu = \text{const.}$ ）的不同設計方法所製成的模型渦殼進行試驗，結果證明同一渦殼的尾部按後者設計，而其餘部分按前者設計效率較好。他們認為，這種形式也不致引起水流不對稱的後果。渦殼形狀必須與固定水瓣及導水瓣的形狀相適應，經過配合試驗，認為非對稱的正曲綫型的標準導水瓣是合適的。

（二）布拉茨克水輪機的強度計算及試驗

在布拉茨克水輪機部件特別是轉子、軸、渦殼、頂蓋的強度研究中都採用了理論計算、模型試驗、與實際部件試驗相結合的方法，以便弄清楚部件受力和應力分布情況，從而達到節約金屬，改進結構工藝性的目的。

法蘭西斯式轉子過去使用的強度計算方法僅考慮離心力的作用。但嚴格說來轉子葉片是具有混合的邊緣條件的（即葉片上冠端固定，下環端半固定）不等厚度容器，並且承受的是變動負荷。精確的計算是極困難的。近似的計算方法是按彎曲柱原理制訂的，所得結果與試驗及實際測量接近。計算及測量證明葉片接近上冠的泄水邊處應力最大，並且

一般說上冠為弧形的較直綫形的對此處應力更有利些。下環的應力很低，因此可以大大減薄，給銲接轉子下環創造了有利條件。

在轉子的應力試驗中，採用有機玻璃作模型的材料，此種材料可在不大的受力情況下產生較大的變形，使觀測容易，其製造較金屬便利得多，而波桑系數值又與鋼鐵差別不大，給應力研究工作帶來很大方便。此法已使用於許多部件的應力研究上。

由於模型試驗難與實際完全相似，故在的該機設計的同時實際測量了德聶泊水電站的水輪機轉子應力，給計算結果以有力的驗證。轉子強度及使用應力的研究現在蘇聯中央機械科學研究院（Имаш）繼續進行中。大軸為薄壁圓筒與鑄造的法蘭銲接而成的。設計時，考慮到以下三個問題：①薄壁至法蘭過渡段內的彎曲應力問題。過去在軸身強度計算時未考慮法蘭本身的彎曲及螺絲剛度的影響。通過實驗證明，該處應力較過去計算的為低。②軸的扭轉穩定性問題。試驗結果表明實際穩定性較計算值為低，但目前所使用的軸筒壁厚與其外徑的比值 $\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{16}\right)$ 仍是十分安全的。至於法蘭過渡段最有利的形狀尺寸則仍在列寧格勒工業大學中進行研究。③銲縫疲勞強度問題，根據蘇聯中央工藝機械製造研究院試驗結果）證明電渣銲縫彎曲的疲勞強度幾不低於母體金屬；同時，一般地說，軸的負荷變化幅度也很小，故認為是沒有問題的。

考慮到試樣與實際軸的尺寸差別很大而可能產生的影響，他們還繼續在哈爾科夫水輪機廠作大型模型（與實物比為 $1:2$ ）的強度試驗；並且還在古比雪夫，斯大林格勒電站作銲接軸實際運轉試驗。但即使如此，在今年二月由中央工藝機械製造研究院召開的全國大軸銲接會議上已決定採用銲接的結構。

鋼板銲接的渦殼過去均按無彎矩的環形容器（Тор）計算，嚴格講只是接近座環處才接近於環形容器，其外周則為多邊形的容器。現在研究了有彎矩的環形容器理論，根據新理論及試驗結果證明，在渦殼與座環相接處的應力較無彎矩原理計算的要大，為此鋼板許用應力不能再提高（原3號鋼板使用 1200 公斤/公分²）。新的計算理論尚待在實際部件上進行驗證後方可應用。

頂蓋強度的計算方法過去是極其粗略的，不能

計算出各个部分特别是内部径向筋上的应力。經過多次实际部件及模型的測量，証明筋上的应力是最大的，容易发生裂紋。現采用按双向桁架（Две Контурная Рама）方法計算，可求出筋中应力，其值与試驗結果相符合。

（三）布拉次克水輪机的結構选择。

1. 轉子主要問題有：①毛坯制造（要求可靠，經濟、生产周期短）；②材料选择（要求有必要的强度及抗空蝕性）；③两半的結合（轉子尺寸过大，必須分半制造方能运输）。

毛坯制造有下列几个主要方案：①轉子上冠下环分別鑄造，叶片則用硬模鑄造，然后用銲接方法將上冠下环与叶片联接起来；②叶片与上冠下环的各一扇形段組成一体，分別鑄造，然后再將各单元銲接起来；③上冠用鋼板銲成，其他部分同方案①；④分半鑄造。以上諸方案中鑄造方案造价最高，且使協作单位負担过重不宜采用。各銲接方案中以第一个为最佳，在鑄件工艺上并無困难，叶片的精确度高，可避免或减少机械加工，成本較低，故准备采用这一方案。

材料选择方面有下列方案：①叶片外面包銲 1X18H9T 奧斯田体鋼；②叶片外面堆銲不銹鋼；③叶片及下环用合金鋼鑄成，再与低合金鋼的上冠相銲接；④全部轉子用合金鋼鑄成。以上各方案中全部合金鋼鑄造方案工艺上困难多，成本高。叶片全部用合金鋼方案成本虽稍低，但不同鋼种間的銲接尚待掌握。包銲比較簡單，工艺上已完全掌握，但可靠性不如堆銲，不能象堆銲一样地自动化（带状鋼条堆銲）故一般傾向于堆銲方案。

两半結合有下列方案：①上冠用法蘭联结，下环用兩銲縫在安裝工地銲接；②上冠、下环均用綁环联结，綁环分半制造，在中間站銲接并进行最后机械加工；③上冠用法蘭，下环用綁环联结；④上冠、下环全部用銲接联结。以上諸方案中，方案④最貴，必須在电站附近建立一座加工厂，配备昂贵的大型设备（基建費用达1500~2000万卢布）。利用綁环則加工費大，費金屬，且需要中間加工站。方案①最好，在工地不需要特殊设备即可完成，故准备采用这一方案，并按此进行試驗工作。

2. 大軸。主要問題有：①材料选择；②工艺方案。

材料选择方面已決定采用 20ГC，此种鋼具有过去所用中碳鋼相类似的强度，但可銲性高，冶炼

及鑄造均簡單。

工艺方案有三：①全鍛；②軸筒用空心鑄件鍛成，法蘭用硬模鑄造，然后用电渣銲銲成；③軸筒用两个厚鋼板弯成的半筒形电渣銲銲接而成，其他与方案②相同。

全鍛方案必需巨大的鑄造及鍛造设备才能制造，而且質量不容易保証，金屬的消耗量和机械加工量都很大。②及③两銲接方案都沒有上述缺点。成本低廉。两方案的經濟效果相等，方案②的生产周期更短，而方案③的机械加工量更小。但目前由于厚板压延的質量尚不够理想（有夾层现象）故宜采用方案②。此外，哈尔科夫水輪机厂曾为某电站設計过把軸分成兩段，都用硬模鑄成，中間用电渣銲接起来的方案，尚在試驗中。

3. 渦殼。主要問題是材料选择。如用低碳鋼，則鋼板厚度将达50公厘以上，造成制造上的困难和材料的浪费。現在已決定采用 CxЛ-4 低合金鋼（1—19 环，20—23 环仍用 MCT-3）。这种鋼在造船业中已广泛采用，可銲性好，强度也較高，銲接接头可保証下列机械性能： $\sigma_s \geq 32$ 公斤/公厘²， $\sigma_b \geq 45$ 公斤/公厘²， $\sigma_k \geq 8$ 公斤/公厘²。本鋼种适合于冷弯，在渦殼的曲率情况下，可不用热处理。采用这种鋼后，可較采用 MCT-3 鋼每台水輪机节省鋼材80~90吨。

此外，为了獲得渦殼与座环碟形边接縫的等强度，提出了下列接縫方案：①加大銲縫；（如图 2 a）②座环采用强度較高的低合金鋼 20ГC-Л（如图 2 b）現在尚未最后肯定采用那一方案。

4. 主軸承：采用水潤滑橡胶互軸承，并正試驗采用新的密封結構，即將軟墊与軸的摩擦面移至軸上附加的金屬盘与軸承的固定金屬盤之間。这样可以减少摩擦力的同时也避免了主軸摩擦修理的困难。准备在古比雪夫电站試驗成功后即采用。

5. 頂蓋采用銲接結構。座环采用銲鑄結構，上下环及固定水瓣分別鑄出后銲成整体。

此外，頂蓋內積水的排除和导水机构的密封等

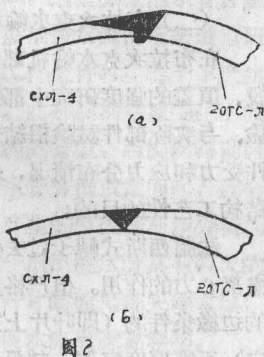


圖 2

3. 轉子室。其結構方案有如下七種:

① 3H-496不銹鋼及CT-3 双层鋼板冲壓鉚接結構, 分上下兩段制造而成; (圖5) ②室体用

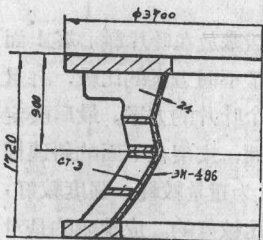


圖5

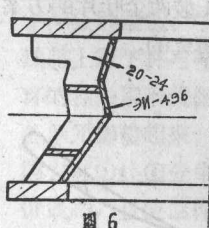


圖6

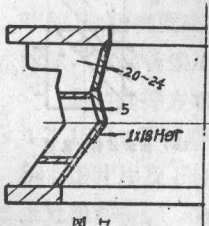


圖7

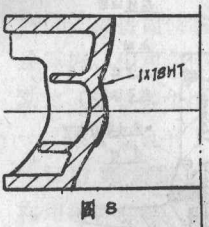


圖8

不銹鋼板滾圓 鉚接而成, 法蘭及加筋板則採用低碳鋼; (圖6)

③分上下兩段。上段採用方案②的結構, 下段要求精確度不高, 採用方案①。④全部用CT-3, 在室体易受

汽蝕處包鉚不銹鋼 1×18 H9T 鋼板; (圖7) ⑤合金鋼20×13 H-Л 或 1×14 HD-Л 鑄成; ⑥碳鋼鑄成, 里面包鉚 1×18 H3T 不銹鋼; (圖8) ⑦分上下兩段制造, 上段用 20×13 H-Л 或 1×14 HD-Л 鑄成, 下段用双层鋼板鉚成。

以上諸方案中; 鑄造方案⑤、⑥、⑦比較費金屬, 成本高, 工藝上不易掌握。方案①因為双层金屬的不銹鋼層很薄不够內圓加工, 如要減少鉚接變形, 則必須採用昂貴的夾具, 這點在产品數量不大時是不合算的。方案②不需要專門昂貴的壓模, 容許在鉚接后加工, 保證必要的尺寸, 故準備採用此方案。

4. 渦殼系混凝土制造, 這是目前應用混凝土渦殼水頭最高的电站。渦殼內壁全部衬以薄鋼板, 作為保護混凝土免受冲刷之用, 并不承担水压力的全部作用力, 為此节省了上百吨的鋼板。

5. 轉子的安裝方法, 考慮到本机組重量不大而採取轉子、頂蓋、軸承在裝配平台上裝配好后一次吊入机坑的办法, 这样可以大大加速安裝进度。这种安裝方法也为結構帶來有利条件, 如頂蓋内外圈可制成整体的; 轉子叶片由于不需在轉子室拆裝也

可不需開孔, 以避免由于開孔而产生汽蝕。

此外, 由于該电站水流含砂較多, 其軸承採用巴氏合金軸瓦以干油潤滑的方法。

(六) 关于达里雅尔斯克冲击式水輪机的設計。

1. 金屬工厂对冲击式水輪机曾进行了一系列的試驗研究工作, 并取得了一定的成果。例如为吉賽頓电站所設計制造的冲击式水輪机其新轉子效率达89%。为达里雅尔斯克設計的轉子 K-461 模型效率最高达87.5%, 估計其实际效率当不低于90%。但由于其最高效率区在部分負荷处, 而滿負荷处效率較低, 故尚在研究改进中。对轉子該厂創造了按相对运动設計無撞击損失的背面形状的方法, 提高了效率。另外, 也提供了較方便的水斗數目選擇图表。

2. 高压进水管的形状也进行了試驗, 初步認為噴咀与主管不在一平面上較为合适, 如此可縮小高压进水管的外周尺寸, 且因針閥桿不通过高压进水管, 仅穿过分叉的噴咀支管, 其效率可能会高一些, 此点尚待試驗証实。

至于外殼的形状, 还没有理論計算的方法, 主要靠試驗来解决。

3. 轉子受力情况在該厂已試驗过静止状态水斗所受水压力的分布情况, 还准备在赫拉姆电站的冲击式水輪机上試驗运动状态中水斗所受压力的分布情况, 这对于水斗强度計算是很有意义的。

4. 关于选用折向器的问题, 通过試驗証明了轉子距噴咀过远, 則水柱分散, 效率降低, 但在一定距离以內, 其影响很小, 而这个距离是够容納折向器的, 因而选用分流器的必要性就不大了, 分流器一般所需轉动力矩大, 磨損也大, 且招致水花飞溅影响效率。

5. 轉子結構曾考慮过二个鉚接方案, 二个鑄造方案和一个机械联結方案。

(甲) 鉚接方案 (用低合金鋼, 在水斗面堆鉚耐磨合金)。

① 水斗用模鍛制成再鉚在輪轂上 (圖9)。

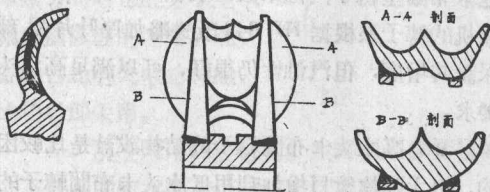


圖9

② 水斗鑄成，其根部與一圓盤相聯，兩側再加鉚兩圓盤（圖10）。

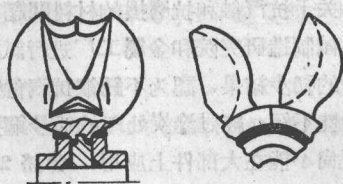
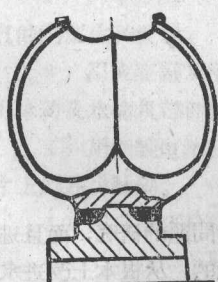


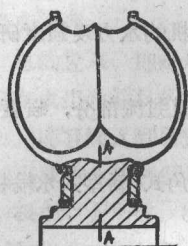
圖 10.

③ 水斗直接鉚接到輪轂上（圖11）。



④ 每个水斗各联一段輪轂鉚成一整图，然后再热压两环，加鉚兩圓錐縫（圖12）。

← 圖 11



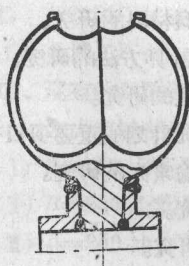
A-A 剖面



B-B 剖面

圖 12.

⑤ 水斗之間按方案④联接，兩側加兩環（圖13）。

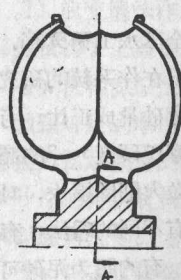


A-A 剖面

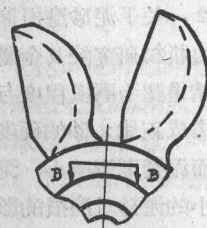


圖 13

⑥ 水斗與⑤用同樣方法昇接，但不用環（圖14）。



A-A 剖面



B-B 剖面

圖 14.

（乙）鑄造方案：

① 用20 ГС 鑄造，再堆焊耐磨金屬。

② 用2×13鑄成。

（丙）水斗用機械联接。

比較以上各方案得下列結論：

① 機械連結方法有可能產生鬆動，因此這個方案在運轉時是不可靠的。

② 鑄造方案中以全合金方案最可靠，但掌握的過程較長。可焊性差不能在工地修補。低合金鋼鑄造表面堆焊耐磨合金方案不能消除鑄造上的困難，並且堆焊不方便。

③ 鉚接方案較容易做到，在該方案中以第⑥方案為最好：可靠性高，裝配鉚接簡單，可利用自動鉚接。

工廠準備在試驗研究2×13全鑄轉子的同時，試驗鉚接第5方案。

（七）汽蝕與泥砂磨損問題。

1. 關於汽蝕問題，蘇聯科學院力學研究所及全蘇水力機械研究院正在深入系統地進行研究。他們正在研究轉子下的旋渦與汽蝕的關係，汽蝕與泥砂的關係，汽蝕與流速的關係，汽蝕與雷諾數的關係以及汽蝕的周期性變化等等。

汽蝕現象的發生，在水輪機性能上表現為效率的急劇降低。但實際上，汽蝕的發生遠在水輪機效率急劇降低以前。金屬工廠及哈爾科夫工業大學用聲波及超聲波方法找出了汽蝕的發生點；不過，如依此點設計水輪機，則又嫌過於浪費，因為此時汽蝕對於水輪機部件沒有明顯的破壞作用。所以現在

又在进一步研究汽蚀对金属有显著破坏作用的开始点。

2. 关于泥砂磨損問題, 全苏水工研究院、全苏水力机械研究院及金属工厂正在作系统的研究。試驗結果認為磨損程度与水中含砂量成正比; 与流速立方成正比; 砂的硬度超过摩氏硬度5~7的磨損大, 而泥漿則影响小; 泥砂顆粒大則磨損大, 对于顆粒小的泥砂对磨損的影响則有不同的看法, 有的認為0.1公厘以下的磨損不大, 有的認為泥砂可能是形成汽蚀的核心, 会助長汽蚀的产生。此外, 全

苏水力机械研究院还正在研究从改进水輪机的結構方面, 来减少磨損的产生。

3. 关于抗汽蚀和抗磨損的材料問題, 正在中央工艺机械制造研究院和金属工厂进行試驗研究。根据試驗的初步結果, 認為不銹鋼抗汽蚀性最好, 但抗磨損性不好; 經過渗炭处理的25号鋼抗磨損性很好, 但尚不能在大部件上应用; 含鉻20%, 鎳3%的鋼兼有良好的抗汽蚀性和抗磨損性, 但价格高、工艺性不好, 还不适宜在生产中应用。

三、关于水輪机試驗研究工作及試驗室

(一) 苏联在水輪机的試驗研究工作方面的情况。

由于水輪机的水力計算和强度計算理論至今仍不很完善, 因此必須有模型試驗加以驗證, 修改, 作不同方案的比較, 以求得到在水力及强度質量上較好的水輪机。

苏联是極其重視試驗研究工作的, 如为古雪夫电站水輪机, 金属工厂进行了三年的研究工作, 仅轉子方案就作了十八个, 此外还与其他研究机关和学校協作进行了不少試驗研究工作; 又如对布拉茨克水輪机, 其研究工作已开始了一年多, 試驗过多种轉子, 渦殼和尾水管的方案, 試驗研究工作目前仍在繼續中; 同时, 为该机进行試驗研究工作的, 还有全苏水力机械研究院, 列宁列宁格勒工业大学等单位。

在苏联已形成了一个全國的水輪机的科学研究的網, 包括四个工厂、六个研究机关、七个高等学校和六个設計机关等。他們为了充分發揮和合理組織这些科学研究力量, 組成了一个全国性的協調委员会。

由有代表性的13个单位的代表組成, 以金属工厂和全苏水力机械研究院为主体, 有國家計委及技委的代表參加, 每年开会三次, 研究各部門的需要及生产分配, 設計計劃, 科学研究計劃及其協調与分工等事宜。

另外, 从苏联正在进行的研究項目及全苏水力机械研究院的1959~1965年研究計劃来看, 他們不

仅从事于当前生产上所存在的問題的研究, 而且进行着或准备进行很多帶远景性的, 从根本上改进水輪机質量的研究工作。

目前正在进行的有关水輪机的水力及强度研究的較大項目有:

1) 布拉茨克 PO 式水輪机过流部分, 强度工艺的研究。

2) 克拉斯諾雅尔斯克对角式(新型式水輪机)的研究。

3) 达尔雅里斯克冲击式水輪机的过流部分及强度研究。

4) 薩拉脫夫及赫拉姆第二电站水輪机的过流部分及强度研究。

5) 三門峽水輪机过流部分的研究。

6) 关于汽蚀問題的研究。

7) 关于式水輪机在非最优工况时不稳定现象的研究。

8) 关于泥砂磨損及抗磨材料的研究。

9) PO式轉子三元理論計算方法的研究。

10) 高水头 ПЛ 式水輪机的研究。

列入 ВИГМ 59~65年研究計劃的重要項目有:

1) 可逆式水輪机(水輪泵)的研究。

2) 对角式水輪机的研究。

3) 潮水发电水輪机的研究。

4) $H=120\sim 200M$ 徑向轉叶片式、50 万瓩水輪机的研究。

5) $H<40M$, $H>40M$ ПЛ 式水輪机标准轉子的

研究工作。

在上述研究工作中，他們日益广泛地采用着近代先进的儀器設備和研究方法，茲就其主要者列举如下：

1) 光学方法：

① 用 Стробоскоп 法进行轉子內液流的观察和拍照。

② 用高速电影机(6000張底片/秒)进行液流过程的拍摄。

2) 声学方法——用声波及超声波的方法研究汽蚀的发生和发展。

3) 用应变儀及示波器法研究轉子后液流的压力脉动及水輪机部件的应力。

4) 用無綫电法在空气动力裝置上測量轉子叶片上的压力脉动。

5) 用机械測量法測量轉子叶片上的压力分布。

6) 用各式測速管測量是水輪机过流部分的速度分布規律。

总的說來，即对水輪机的試驗确定工作早已不停留在求出水輪机的外特性(如效率 η 及汽蚀系数 σ)，而且深入到研究液流的內部結構从而从根本上找出改进水輪机質量的途徑。

根据以上所述，已可看出苏联在水輪机的理論及試驗研究方面的强大的基地(實驗室)和强大的科学隊伍，正在用日益完善的試驗設備进行着大規模的深入的研究工作。

实验基地与科学隊伍，是我国水輪机制造业走上独立設計并将这门科学推向前进的最关键和迫切的問題。这是不少苏联負責同志的建議，也是我們深刻的体会。

二、关于工厂實驗室建設及其步驟

I. 苏联工厂試驗室的情况：

1) 金屬工厂：

① 现有的試驗裝置

水力实验部分：

I) $D=400$ 大能量裝置 1 台

II) $D=250$ 小能量裝置 1 台

III) $D=250$ 冲击式裝置 2 台

IV) $D=400$ 冲击式裝置 1 台

V) 泥砂对金屬磨損裝置 1 台

VI) 用射流法研究汽蚀的裝置 1 台。

强度試驗室部分：

I) 应变儀法作应力試驗部分——試驗水輪机各部件及轉子上蓋等的应力。

II) 机构試驗部分——包括研究銅瓦的代用材料，軸頸等处的摩擦力矩及摩擦系数的測定，橫式橡膠推力瓦水潤滑的磨損及摩擦力矩情况，ПЛ式轉子叶片的轉动机构的試驗，导水办的橡皮密封結構的試驗研究等。

III) 震动試驗裝置——主要測量部件形状与震动頻率的关系，此工作才在开始階段。

試驗室共有工程师 64 人，技術員 22 人，職員 42 人，工人 62 人，共計 153 人。

② 计划新建的實驗室

水力試驗室部分。

I) $D=460$ 大能量裝置 2 台

II) $D=250$ 小能量裝置 2 台

III) $D=400$ 大汽蚀裝置 1 台

IV) $D=250$ 小汽蚀裝置 1 台

V) $D=350$ 可逆式汽蚀裝置 1 台

VI) $D=700$ 空气动力裝置 1 台

VII) 风洞裝置 1 台

VIII) 水洞裝置 1 台

IX) 冲击式裝置 2 台。

强度試驗室部分：

I) 应力儀試驗組，包括：

表面塗膠法应力試驗台

应变儀試驗台

三向負荷强度試驗台

非金屬模型試驗台

立式飞逸轉速試驗坑

II) 机构試驗組，包括：

臥式推力軸承試驗台

軟墊材料試驗台

軸瓦負荷試驗台

轉子叶片軸瓦試驗台

导水机构密封試驗台

轉子操作机构試驗台

射流浸蚀試驗台。

III) 震动試驗組包括：

小、大模型試驗台

靜水中震动試驗台

水流震动試驗台

防震試驗台

非对称震动試驗台

計劃中試驗工作人員將比現在增加一倍。目前水力試驗室部分已部分開始技術設計，強度試驗室部分尚未進行。據說計劃尚未經上級批准。

2) 哈爾科夫水輪機廠計劃建立的試驗設備：

水力試驗室部分。

I) $D=460$ 大能量裝置 1 台

II) $D=250$ 小能量裝置 1 台

III) $D=250$ 汽蝕裝置 1 台

IV) $D=460$ 空氣裝置 1 台

V) $D=450$ 沖擊式裝置 1 台。

強度試驗部分：

I) 應變儀應力試驗部分

II) 震試驗裝置

計劃中試驗室工作人員：工程師及技術員 126 人，行政人員 12 人，工人 32 人，勤雜人員 3 人。

I. 蘇聯有關負責同志對我國工廠建立試驗室問題的意見。

關於我國工廠如何正確地確定試驗室的規模和建設步驟問題，曾先後徵求了金屬工廠水輪機總設計師，Ковалев，金屬工廠水輪機實驗室主任 Аносов 和全蘇水力機械研究所水輪機實驗室主任 Иванов 同志等人的意見。

他們都認為工廠必須有具有一定規模的模型試驗室，這是工廠能否進行水輪機的獨立設計的關鍵。

關於實驗室的規模，他們認為須視工廠的試驗研究的負荷量及技術力量而定。但只少下列一些試驗裝置是必要的：

$D=250$ 的小能量裝置

$D=460$ 的大能量裝置

$D=250$ 的汽蝕裝置

$D=450$ 的沖擊式裝置

$D=460$ 的空氣動力裝置

應變儀法強度試驗設備

機構試驗設備。

汽蝕及泥砂磨損試驗設備

震動試驗設備

如試驗研究負荷量很大，則有些裝置要作二套，針對我國試驗研究工作剛只開始的情況來說，

每樣建一套已足夠了。將來如有需要，可進行擴建。

在上述各試驗設備中，根據我們的技術力量和幹部條件，他們都談到分期建設是必要的，即廠房可一次建成，而試驗裝置則分二期逐步建立。一般的意見是：

第一期： $D=250$ 的小能量裝置

$D=460$ 的大能量裝置

$D=250$ 的汽蝕裝置

$D=450$ 的沖擊式裝置

基本的應變儀法應力試驗設備

第二期： $D=460$ 的空氣動力裝置

$D=460$ 的汽蝕裝置

汽蝕及泥砂磨損試驗設備

機構試驗設備

震動試驗設備。

在第一期建設中，仍然須要分輕重緩急逐步建立。這兒有不同的看法：Ковалев 同志提出先建小能量、小汽蝕裝置，原因是簡單易作，投入運轉快；Аносов 同志主張先作大能量，小能量及基本的應變儀設備，理由是大能量裝置能給出較準確的試驗結果，因此須及早投入運轉，汽蝕裝置慢一步建，是因為目前哈工大已建成一台汽蝕裝置可以利用，且可吸取他們的建設中的經驗教訓。Ivanov 同志則提到可先建大能量，小汽蝕裝置。至於沖擊式裝置，他們認為可視我國當前的試驗研究需要而決定其建設的先后，甚致可移至第二期去。

在第二期的建設中，關於 $D=460$ 的汽蝕裝置是否必要建立，上述同志的看法是不一致的。金屬工廠擬建的新試驗室中有 $D=460$ ， $H=70m$ 的大汽蝕裝置，因此 Ковалев 和 Аносов 建設我們在第二期中也建立這一裝置。認為此裝置可減少尺寸校正的影響，可模擬水中空氣含量。但 Иванов 同志不主張在工廠建立這種大直徑高水頭的汽蝕裝置，認為加大直徑除了可在汽蝕狀況下測量轉子葉片的壓力分布及轉子葉片的應力外，不會有更好的結果。至於水中空氣含量的模擬問題，認為金屬工廠所作的結論尚為時過早，而且全蘇水力機械研究所却未得到實驗的驗證。因此他認為採用大直徑、高水頭雖是一種傾向，但這本身就是個科學研究題目，效果究竟如何尚不清楚，而這種裝置的功率都達到 1000 瓩左右，故是否值得作是須要慎重考慮的。

关于能量与汽蚀装置的合并问题，金属工厂的同志们都主张分开的，认为能量装置在能量试验上比汽蚀装置准确，方便，经济。全苏水力机械研究所有一部分同志认为可以合并，但 Иванов 同志认为对工厂来说分开还是必要的。关于这一问题的详细分析，请参见专业考察总结。

关于我国将新建水轮机厂是否须要建立模型试验室问题，曾在全苏水力机械研究所征求了 Иванов 同志的意见，他认为，像我国这样水力资源丰富，水电建设远景很大的国家，至少要有两个厂具有上述规模的实验室，才能满足生产需要；同时，由于厂际竞赛也会更有力地推动技术的进步。

关于实验室的第三期建设，Ковалев 同志曾提到建立 $D=1000\text{mm}$ 能量装置问题。目前在苏联，属水工设计院有一 $D=1000\text{mm}$ 的电站试验装置，但据 Иванов 同志说，这种大装置耗能大，安装拆卸困难，测量设备（如测流量，功率）难以保证精度，因此利用率不高，效果也不大。我们曾去参观，确实有上述问题存在，详细分析请见专业总结。

关于水洞、风洞装置，在上述同志的建议中未提出要建，而金属工厂新实验室的初步设计中却包括此二装置的。为此曾着重征求了全苏水应机械研究所 Иванов 同志及该所流体力学实验室主任 Насилов 同志的意见，他们认为此二者主要对翼型及叶栅进行流体动力学的研究，这种研究工作适合于在科学研究机关或高等学校中进行，在工厂进行这类研究工作的必要性是不大的。特别在我国工厂技术力量薄弱的条件下，这种装置更不需要建立。

II. 苏联的水轮机实验室建设中的几点经验：

1) 实验室及实验装置的布置问题。

① 实验室的大型装置在暂时不建立的情况下最好别先盖好厂房，因为装置本身随科学进步而不断改变，先建厂房很可能将来不适用，同时大装置部件大，在厂房已建成情况下往往设备很难安装。

有效的办法是：在已造实验室周围应留出必要的空地，以备将来要增设某些新装置的扩建。

② 每个试验装置要求有很好的通用性，各部分要作得尽可能灵活些，使易于拆卸替换，为此宜少用混凝土结构。

③ 每一试验装置应有自己的水车，以免各装置公用水车的互相影响。

2) 试验研究干部的培养问题

按照苏联的情况，平均每台装置需要工程师二三人，技术员四五人（两班制），工人三四人。其中对装置长及研究人员要求有很好的理论基础，要求熟悉试验研究方法，要求热爱试验研究工作。

3) 实验室内有专门的“仪器科”

金属工厂和全苏水力机械研究所都有专门的“仪器科”拥有一二十名学无线电的，电子的，仪器制造方面的技术干部，这是由于近代水轮机的研究工作，广泛地采用无线电的，光学的，声学的仪器，而这些仪器又往往没有专门的工厂生产，而依靠自己想办法购买各种另件来装配，对先进仪表的使用和掌握，往往成为提高试验研究水平的极重要的条件。

4) 实验室有自己的机械加工车间

试验研究要求作出很多的模型方案，苏联的经验证明，要保证迅速制造出这些模型以满足试验研究需要，必须有独立的属于实验室的车间。同时模型的制造工艺与实际水轮机有很大的差别，要求有专门的技术工人，这也是须要有独立的车间的原因。

5) 各装置的调整问题：

由于试验装置的复杂性和其本身带有的科学研究性，要求装置在安装好以后进行多方面的调整和检验工作，然后才能开始作正式的研究工作。按照金属工厂的同志谈，调整工作往往需要半年至一年的时间，而且也有很多具体经验，因此对这一工作必须加以重视，不能匆忙投入运转。

四、关于大型水輪机的金工和裝配工艺

(一) 金屬工厂水輪機車間簡况

金屬工厂水輪機車間是在1934年开始建立的,除了一部分水輪机大型园部件如座环,上环等由另一車間加工(該車間有19公尺立車,可加工24公尺直径的部件);埋入部分由鉚接車間加工以外,全部水輪机,調速器,和油压裝置等皆在本車間加工。車間面積共約23700平方米。生产工人共300人,平均等級在4.8級到5級。主要设备有:立車三台,最大可加工直径14公尺。立柱式大型床三台,最大为 $\Phi 300$;吊車150吨。在制造古比雪夫水輪机组时,为了滿足生产需要,增添了专用机床8台,如导水瓣、卡不蘭轉子叶片的加工和銼磨专用机床等等大大提高了劳动生产率。目前車間年产量已达到200万瓩以上,超过原設計一倍。

(二) 大型水輪机主要部件的工艺过程特点

1. 大軸加工:

大軸粗加工是在重型机械制造厂进行的。整体鍛軸的內孔加工,是深孔鑽床上两头打孔后,用深孔鑽桿搗5次;为了消除內应力,在搗两次后要进行一次热处理。至于鉚接軸,其法蘭和軸筒需在粗加工后进行鉚接和打中心孔。粗車裝置随机床不同而定;机床尾部裝有卡盤的,使用卡盘来裝夹,否則就采用特殊塞塊法。

在水輪机制造厂,大軸裝夹,因为在重型机械制造厂已作好找正段和架支架位置,故用倒个找正的方法。法蘭精車前先鑽孔以防止其变形。为了保証法蘭孔位置的准确度采用定孔中心的样板,或找正样板。法蘭孔加工是用套料鑽来进行的;不仅节省了材料,也提高了生产效率。减少了工人体力劳动。

水輪机与发电机大軸同徑,是采用拉絃法找正,并以伏特表来測量精确度,可达到0.005公厘。支架是采用特殊的滾輪胎架,轉动方便磨擦力小。絞孔使用沒有浮动接头的長搪桿,中間設有一个支架,用环刃絞刀进行粗精絞,質量达到 $\nabla\nabla\nabla$ 。

2. 法蘭西斯式轉子

$\Phi 4$ 公尺整体鑄造轉子引水鋼板和迷宫环皆在

工地最后裝配,以免在運輸和裝配中碰坏。引水鋼板表面是不进行加工的。迷宫环是在全部加工后套裝到轉子上去的。这样不但可換,而且縮短了制造周期。轉子进水边采用臥裝,用成型銑刀銑。叶片表面和泄水边皆采用人工銼磨,但光潔度較高。

轉子平衡采用立式,平衡球和平板材料选用 $5 \times \text{HM}$,硬度 $R_c \geq 57 \sim 61$ 。平衡的方法是采用水平儀校正其在水平位置后,在轉子的相对位置上加相同的小塊重量,測量其傾斜角度是否相同来确定其是否平衡;而不是采取將轉子体轉动 90° 后再加以平衡的方法。这样既保証平衡質量,又避免工具磨損。

整体轉子粗加工后不进行热处理,但分半轉子为防止变形需作中間热处理。綁环結構的分半轉子,轉子和綁环配合公差和錐度要求很严格,在加工时需要使用样板,測量时要考慮温度的誤差,特别是綁环的加工,为了消除残余应力要进行多次的热处理(石山口电站的轉子綁环热处理三次)以后才进行最后精加工,否則会影响配合緊量。

3. 卡布蘭轉子

卡布蘭轉子叶片划綫,是采用剛度很大的样板,以叶片曲面为基准来确定轉动中心。軸頸法蘭的加工是在特殊机床上进行的,或者使用特殊叶片夹具在立車上进行。叶片邊緣是采用鑽、銑、銼磨的方法;銼磨是按样板校正的。叶片法蘭孔采用套料鑽套孔,至于不通孔的套扣,則是在机床上套扣后,用专用滾压螺紋工具滾压的。轉子叶片定重心,利用特殊夹具,只需要一个平衡孔即可完成。这样不仅少加工一个孔,同时减少了安裝的工作量和叶片气蝕的机会。

轉子体六个孔的加工,如何保証其分度准确,是个較困难的問題,由于專用机床尚未裝好,目前仍在立車上进行;利用直角弯板,和平面划規,將平台上 60° 等分綫,投到轉子体窗口,并且使用找正样板和检查样板进行找正和检查分度。轉子体外园球面,是用模板分两半进行加工的。轉子体压瓦采用落錘的方法。为了減少研瓦的工作量,在加工

軸瓦時，先將銅瓦內圓車大，待壓入後，銅瓦收縮，正好得到要求的尺寸。他們關於銅瓦收縮量的經驗數字，為其配合緊量60%左右，（詳細要進行計算），轉子體在總裝前，高壓部份：活塞，接力器缸，要一齊作水壓試驗，試驗壓力40 Kg/cm²維持10小時。

轉子裝配使用風動搬子，風動液壓搬子，和特殊專用裝配工具。其中風動液壓搬子，為其最新設計的，利用壓縮空氣推動高壓油泵活塞，單位壓力可達到100Kg/cm²，能搬動M100~M200的大螺絲，這是一般風動工具作不到的。

轉子在總裝配以後要作操作和密封試驗，時間為一晝夜，要求漏油量不超過0.15立升/24小時，葉片從全閉到全開最大誤差為±1°，葉片間彼此角度誤差允許±1/2°裝配工作較法蘭西式轉子複雜的多。

轉子平衡，除了操作架，操作桿，和活塞安在臥式平衡架分兩次平衡外，轉子體，葉片，樞軸，底板，泄水錐要先分四次進行立式平衡，故比較法蘭西式轉子為複雜。

4. 導水機構

古比雪夫導水機構中心圓達Φ10800公厘。其座環最大外徑達Φ1400公厘。如何保證其閉合間隙和開口大小，作到運轉自如，是很困難的，尤其是座環和埋入部份要求先運到工地進行接裝，要求大部件必須單獨加工，彼此互換，更加增加工藝上的困難。但是金屬工廠12台導水機構都在用一個座環上分別進行裝配，能作到互換；而且間隙和開口皆達到要求，分析其主要工藝特點如下：

① 在結構上擴大了孔與螺絲的配合間隙，由5公厘改大到15公厘，擴大了部件的調整量。

② 在圓型部件的外圓連接法蘭孔，採用在車床上劃孔的中心圓綫，（或用靠型劃規孔的中心圓綫。）用劃綫方法劃十字綫或等分度綫，以後用扇形鑽模（或劃綫樣板）鑽孔，這樣，保證了分度的準確度。

③ 導水瓣定中心是利用那個特殊樣板來劃綫的，精車是在AP-61特殊機床上進行的。切削時由於部件不轉動，不會產生不平衡振動。這樣，就提高了表面的質量，保證了軸心的一致。

④ 導水瓣臂的定位肖是利用特殊夾具，一次定好角度，固定住夾具位置，其他組的導水瓣的瓣柄皆按此位置裝夾和同鑽絞；因此保證了整台的

導水瓣和連桿的角度相同，使開口和閉合間隙一致。

⑤ 座環，頂蓋，上蓋，底環等圓形分半結合面和孔的加工，是在搪床上銑平面以後，在搪床上劃基準綫，用樣板定分半面連接孔，進行鑽搪，這樣不僅減少了輔助工時和作業面積，而且不需要部件彼此號孔劃綫，縮短了生產周期，使這些部件能提前運到工地。

⑥ 底環的導水瓣軸孔是按頂蓋導水瓣軸孔號孔的。號孔後，再將底環分半按劃綫搪孔以保證導水瓣上、下軸孔中心一致。

⑦ 在結構上，將座環與底環、頂蓋的外圓配合間隙加大，便於調整。

此外，轉子室的上環法蘭是與座環的下環上平面相配合的，座環的下環下平面就不需要加工，座環也不用翻身，其上下內度圓可一次加工完成。這樣，不僅同心度好，而且可以用移動轉子室上環來調整中心，安裝方便。

③ 蝴蝶閥和調速器

大型Φ5300蝴蝶閥閥體軸孔加工，是採用單鑽的方法，中間利用兩個大平尺定兩個軸孔中心。活門為三半結構，中間一塊圓弧面使用模板進行加工。

調速器衬套窗口，是使用鑽銑和成型銑刀加工，小孔加工是採用鑽搪，絞，研磨的方法，目前正在研究用滾壓的方法。螺旋油泵衬套的加工，為了保證其三個孔的公差，光潔度和孔的中心綫平行，使用組合拉刀拉孔。即在內孔粗加工以後，先拉中間孔，再以中間孔為引導，用組合拉刀一次把三孔拉到所需尺寸，這樣大大提高了產品質量。

（三）劃綫工藝和測量

金屬工廠劃綫的主要特點：首先是劃綫工具剛度大，誤差小。如大形劃規採用兩個平行鋁管的結構，可以保證其剛度，同時又輕便，誤差在0.3公厘以內。此外有8000公厘的大平尺，4000公厘彎尺，以及採用硬質合金頭的劃綫規，和靠型劃綫規等大型的先進工具，保證劃綫的準確度。另外在劃綫方法方面，他們往往選擇部件最適當的位置穩妥地放在平台上，然後一次劃好所有各面的綫，再加以反復找正，以減少誤差。同時，他們廣泛使用樣板劃綫；如分半面孔，圓周孔，曲面部份等都如此，既節省工時，又準確可靠。

在大部件测量方面，一般大直径公差要求不严格时用鋼带直接测量。对于要求較严格的，外径应用固定式桿狀外圆量規測量，內徑則采用雪加式量棒（長3公尺）超过5公尺長度則采用間接測量方法。目前在苏联中央工艺机械制造科学研究院正在进行大尺寸光学測量方法的研究。

(四) 切削工艺

金属工厂的切削用量是很高的，一般都是超过全苏工艺設計院，和中央工艺机械制造科学研究院所制定的國家标准。列表如下（1957年水平）。

机 床	平增速度	最大速度	最大走刀	最大切削深度
車 床	80~110公尺	262公尺	18公厘	35公厘
銑 床	50~ 70公尺	203公尺	0.4公厘	30公厘
鑽 床	25~ 35公尺	38公尺	0.4公厘	—

在切削工具方面，普遍采用硬質合金，在小型机床多采用陶瓷刀具。一般陶瓷刀比硬質合金刀提高速度30%，多为机械固定刀片的結構。

刀具結合方面，金属工厂用着色法检查刀具刃磨和結合的質量；他們发现由于硬質合金刀片桿导热系数不同而产生裂紋的现象。根据試驗研究的結果，在硬質合金刀片的結合面，电镀一层鉄，可以提高結合質量，使刀具的废品率由65%降低到20%。

在精車方面，除了过去使用寬刀大走刀精車以外，目前在金属工厂和諾沃克拉瑪托尔工厂普遍使用滾压的方法。根据試驗証明，滾压方法可以使工

件表面精度达到 $\nabla\nabla\nabla 7 \sim \nabla\nabla\nabla 9$ ；只要压力不超过500公斤尺，不仅不会破坏金属表面組織，而且会大大提高表面强度和使用壽命。滾压方法不仅可使用在剛性較好的軸类工件上；而且可以在細長桿狀工件上采用，对工件的大小內孔，都可用不同結構的滾压具，达到絞刀所不能达到的光潔度。如液压起重机的接力器缸就是使用此方法加工的。

在絲扣加工方面，金属工厂对外螺紋采用高速挑扣的方法，而对 M 100 以上的內螺紋則采用具有三个滾輪的滾压絲扣工具，大大提高生产效率，和絲扣的質量。至于在諾沃克拉瑪托尔工厂 M 46 以下的外螺紋則用旋风挑扣的方法，質量和效率亦很高。

在孔的加工方面，他們都普遍使用套料鑽，扩絞刀，及环刀絞刀等先进工具。在中央工艺机械制造科学研究院推荐一种新型絞刀；齒数比一般減少一半，齒距为等分距，沒有倒錐部份，切削刃为环刃的，已在諾沃克拉瑪托尔工厂作为工厂标准使用，大大縮短了刀具制造周期，提高了刀具使用壽命。

在断屑方面除了采用断屑槽和断屑器以外，目前在金属工厂試成一种采用两个边刃倒角結構的刀具，不仅刃磨方便，而且在不同的走刀量都可以得到很好的断屑。

此外为了减少大型刀具裝夹輔助工时，他們采用机械固定刀具，可換刀头刀具，以及风动夹具等。

五、关于大型水輪机的鐸接工艺

(一) 大軸鐸接工艺

大軸的材料在1958年大軸鐸接會議上決議推薦采用20Гс鋼，此种低合金的冶煉和鑄造都很簡單并具有良好的可鐸性，在鑄造及鍛造状态下均能保証最低机械性能 $\sigma_B = 50$ 公斤/公厘² $\sigma_s = 28$ 公斤/公厘²， $\sigma = 16\%$ ； $\psi = 35\%$ ； $\alpha_K = 6$ 公斤/公厘²。鐸接大軸的結構方案原有两个：空心鍛造軸筒十硬模鑄造法蘭；厚板鐸接軸筒十硬模鑄造法蘭。两方案具有同样的經濟效果，前者生产周期略短，而后者

更节省金属。但由于目前鋼板压延質量还不能令人滿意，故宜采用前一方案。

鐸接20Гс鋼为保証鐸接与母材等强度，最好采用 ЭИ—581 鐸絲其化学成分如下：

C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Ti
0.12	0.98	0.59	0.028	0.021	0.02	0.33	0.11

鐸药可采用 $\Phi u-7$ 或 AH—8，鐸絲亦可用 10Г2 + 10Гс。这种鐸接成分与母材接近，能保証必要的机械性能。

环焊缝可按两种方法进行：HKM3 法或 JM3 法。

HKM3 法：——利用旧车床的夹盘通过两个方向接头来转动大轴，大轴本身放在几个带滚子的支架上。焊接设备采用专门的 A-401 环焊缝电渣焊机。起焊处采用袋形起焊钎，焊缝的收尾处则采取边转动边焊的方式，因此在开始及收尾处焊条摆幅及焊条数目都有改变（图15）。

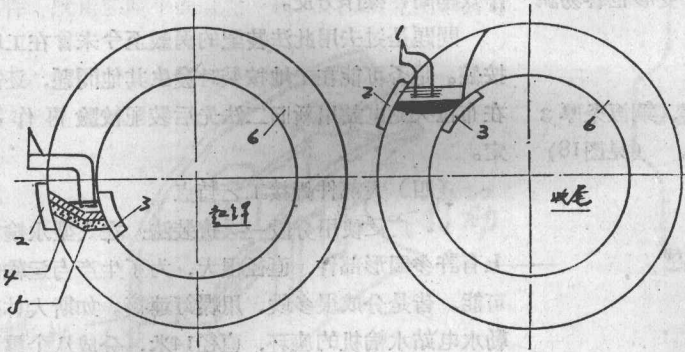


图 15

1. 机头；2. 外滑块；3. 内滑块；4. 起焊袋；5. 焊焊袋；6. 工件。

JM3 法：——利用一般的转架来转动大轴，焊接设备采用改装的 A372-M（改装部分很多，亦可仅作少量改装）其起焊钎系一平面，收尾处采用一个收尾钢模，收尾时大轴不转动，整个过程中焊条数目及摆动幅度不改变（图16）。

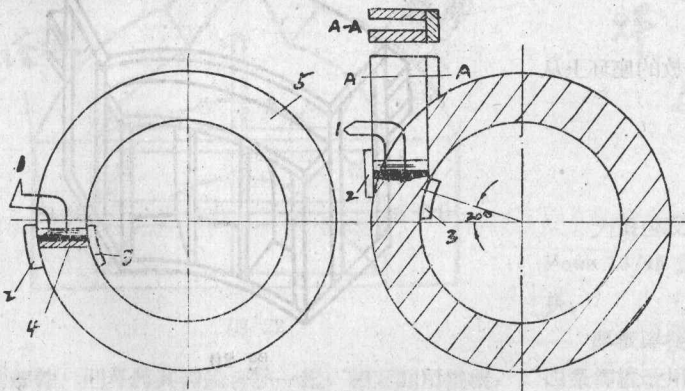


图 16

1. 机头；2. 外钢滑块；3. 内钢滑块；4. 起焊钎；5. 工件。

两种方法作一比较，可看出，后一方法的操作比较容易掌握，但收尾平面较长在切割厚壁时有困

难。后一法的收尾钢模可利用作为见证焊缝，而前一法必须有专门的见证环。后一法在焊接钢模部分时铁水及熔渣容易漏出，因为外滑块原来是弧形的而钢模则是直的。前一法则无此缺点。

焊缝的质量用超声波检查，机械性能在见证焊缝上取样进行试验之。

(二) 布拉次克转子装配焊接工艺：

① 半个转子的装配和焊接方案（图17）：

第一方案：

I. 将转子上环反置于平台上，然后利用胎夹具或按划线将叶片装在已加工好的凸缘上并用拉桿

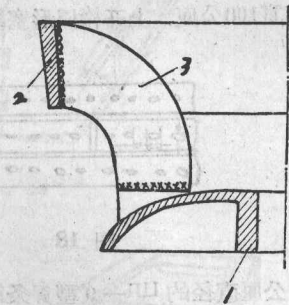


图 17

1. 上环；2. 下环；3. 翼片。

固定之，为增加刚度可在叶片之下缘加焊型钢环。

II. 焊接叶片与上环间的焊缝，焊接可在水平位置，或垂直位置进行，可能用手工焊或者电渣焊。采用何种方式尚未最后肯定。

III. 焊接完毕后，在立车上加工叶片下缘。

IV. 装配下环。

V. 焊接下环与叶片之间的焊缝。

VI. 再加工下环。

第二方案：

基本上与第一方案相同，区别在于本方案中上环，下环，叶片系一次装毕，然后再进行焊接。

两方案各有优缺点：第一方案可保证叶片下缘与下环间的精确焊缝间隙，第二方案则较困难，第二方案中下环在焊接后的变形较大，第一方案中上环与叶片间的焊缝变形不影响下环。第二方案可利用下环来限制叶片的变形。金属工厂倾向于第一方案。