

第一机械工业部
水力机组生产考察团

赴苏考察专业报告

(三)

水轮机金工装配工艺部分

1958年5月

水輪机金工裝配工艺專業考察总结

一 情况概述

水輪机金工裝配专业艺考察目的，主要在学习苏联大型机组（如布拉茨克，等）工艺方案和制造經驗，重点在几个主要部件的金工和装配工艺，借以解决我国在制造新安江水輪机的工艺問題，并为我国生产三門峽，刘家峽，以礼河和

岷江等大型水輪机創造条件。

根据以上目的，在苏歷經四个月（1957年11月27日出国至1958年3月31日回国）按下表所列重点和步骤进行各项考察工作。

日 期	考 察 單 位	考 察 重 点
1957年12月8日至1958年3月4日 約三个月	斯大材金属工厂	①大型水輪机工艺方案 ②主要部件金工和装配工艺
1958年3月6日至1958年3月17日 共十天	中央机械制造工艺 科学研究院	①法兰西式轉子硬模鑄造 ②切削工艺了解
1958年3月19日至1958年3月27日 共八天	克拉馬托重型机械厂	①了解鑄鍛工艺 ②大部件粗加工

基本完成考察提綱所列項目，并收集部分有关制造大型机组工艺文件，初步总结收获如下：

①经过考察明确结构工艺分析的重要性，以及工艺方法的作法，为我们制作大型水輪机作好工艺分析打下基础

②学习了苏联大型卡布兰式水輪机主要部件主要工序工艺过程和工具，初步考察提綱中所列疑难問題得到解决。

③学习了水力模型試驗轉子的技术要求和制造方法，为我们开展試驗室工作創造有利条件。

④学习了划线，测量，装配，切削等苏联先进工艺方法和工具。以及工艺实验室工作，

⑤参观和了解了有关水輪机大型部件毛坯制造的鑄鍛工艺。

总之通过考察，明确金工装配薄弱环节，对进一步制造大型水輪机树立了信心。为了进一步总结收获，以下按①金属工厂工艺工作特点②产品工艺（按产品部件划分）③专业工艺三方面进行总结。

二 金屬工厂工艺工作特点

金屬工厂是苏联有一百周年的老工厂，它从1924年开始自行制造水轮机，到现在已有三十四年历史，在工艺工作上有很多丰富經驗。①首先在組織上，在設計科設有工艺組，由既懂工艺，又懂設計的强有力的工程师来担任（其中有两名获得斯大林奖金），从設計人員划第一个零件开始，即参加工艺人員意見，进行产品工艺分析。防止設計人員对工艺經驗少，对新工艺不了解，应付生产有困难：作出圖紙不結合实际造成反工。他們有了此組專門会签产品圖紙，到車間基本不发生問題，同时此組可以考虑一些先进的工艺方法和先进結構，改进車間当前生产，他們的主要任务有以下三方面：

1、保証設計的工艺性。

2、提出新的工艺。

3、和車間、和設計師联系，以及对科学研究机构如巴頓科学研究院，等單位联系，在未投入生产以前进行一系列工艺試驗項目，待正式投入生产以后，基本上不会发生更大的原則性工艺

問題。

这是金屬工厂工艺工作一个主要特点，至于他們工艺分析，是从以下九个方面着手

1、金屬的消耗量

2、机械加工的劳动量

3、鉗工的劳动量

4、特殊設備的占用量

5、生产周期

6、装配与安装的劳动量

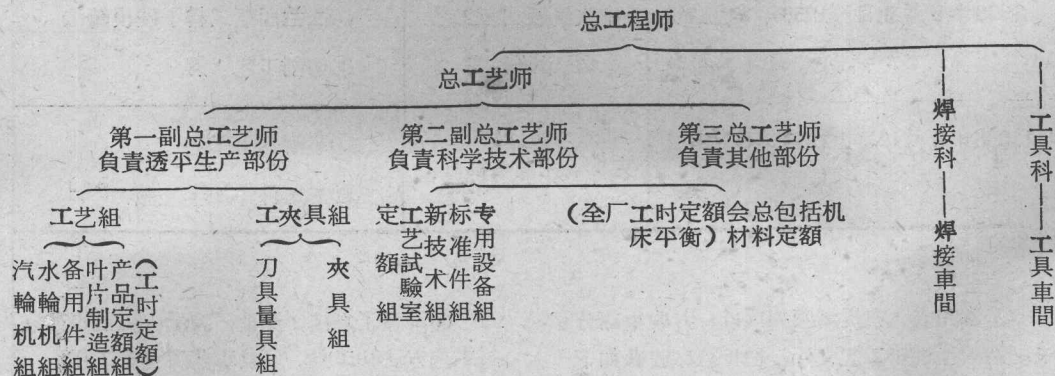
7、安装工作周期

8、結構的經濟性（成本降低）

9、制造的可能性和运轉的安全可靠

他們在制作大型水轮机，进行工艺分析工作，取得很大的效果。如在古比雪夫水轮机中，经过工艺分析采用了焊接結構，每台水轮机节省了金屬四十七吨半，减少立車負荷八百五十小时，鏜床負荷一百五十小时，降低成本九十萬盧布。

②总工艺师科組織和工艺文件編制；总工艺师科組織如下表；



他們的工艺文件編制是金工装配全部由科室作好交到車間。而在焊接部份，是由焊接車間自己編制

焊接科只对重大部件試制和研究加以領導，在焊接車間有大的机械加工设备，因此焊接毛坯板料加工的工艺文件也在焊接車間編制。金工装配車間只从焊接毛坯开始加工。因此他的文件編制形式分工是一部份集中上面，一部份集中在下

面，而由設計科的工艺組編制分車間明細表加以区别分工。

③总工艺师科定額組，标准組和工艺試驗室：

在总工艺师 能除了有很 强的工艺組和工夾具設計組作 工艺准备工作以外，产品 工时定額亦屬总工艺师領導，与編制工艺文件一起編制技术定額和估計定額，加以控制。此外有很 强的工

艺标准組,进行工艺規程典型化,工夾具标准化工作,大大縮短了生产准备時間。并且有很强的工艺試驗室領導改进金工装配工艺工作对新工艺的推行和改进工作取了很大成績,如套料占的使用,不仅节约了原材料,而且提高了生产率三至四倍,在工具成本降低了百分之二十,并且减少了輔助工时,如Φ180公厘的孔使工人在两小时内至少上下装卸两吨重的工具。

④、水輪機車間:水輪機車間是在1934年建立,37年大设备增添完毕,除了21車間有十九米立車加工一部分大型圓部件如座环上环等,以及埋入部分由焊接車間加工外,全部水輪机和調速器,油压装置,皆在本車間进行加工装配。設計容量年产量一百万瓩,目前已送到二百瓩(可生产古比雪夫类型机組十二台)。車間平均工人等級四点八級到五級。老技术工人很多;有工作二十五年的老吊車工,和三十年工龄老划綫工,在生产上創作很多成績。在1957年車間共提出一百八

十項合理化建議,三分之二得到采納,最大建議节省一百五十万盧布。工人技术水平很高,85吨的轉子体4—5分鐘就可翻过身来,15米直徑的轉子体銅瓦,不足十分鐘就压入(包括装工具)切削水平很高,硬質合金普遍使用,車床最高速度达到二百六十二公尺/分,平均皆超过ВПТИ和ЦНИИТАШ規定国家标准定額。

⑤水輪機車間工段划分和机床布置:車間主要划分金工、装配、鏟磨、机修四个工段。金工装配亦可以划分重金工、輕金工,水輪装配,和調速器装配。最大吊車一百五十吨,有主軸三百公厘鏟床(具有十二米长导轨),十二米立車最大可加工14米直徑工件,高5米;21車間有19米立車;可以加工24米工件(高6米)。車間面积为79×300=23700平方米。主要工艺路綫第一弄为加工导水瓣、叶片及其零件,第二弄主要为大型环 形件加工和总装。第三弄 調速器和輕金工,第四弄 为标准件。具体 布置如下表:

吊 轉 和 工 段 划 分 簡 图

26米	25/15	30/7	50 100/40 30/10	重金工段	10T 10T	装配工段	
33米	露天吊轉	鏟磨工段	150/30 100/20	重金工段	20/5 20/5 20/5 20/5	装配工段	10T 工段
12米			輕金工	10T 5T 10T 5T	調速器装配 和金工加工	調速器試驗站 强度試驗室	机修
8米			手动,2T, 3T,2T, 輕金工	倉庫 工具庫 办公室			
	240米 300米						

⑥在生产古比雪夫水輪机时,为了满足国家生产要求,年产十二台世界最大的Φ9300公厘的轉子的卡布兰水輪机,在工艺上采取了一系列措

施。如改进导水机构加工作业面积,提高互换性。而且为了提高劳动生产率;进行了设备专业化工作,如导水办和轉子叶片的加工和鏟磨,是最

繁重的工作，通过设备专用化工作，采用了特殊机床，不仅提高生产效率和質量，而且以机磨代手磨大大降低了体力劳动詳細見下表：总计在 8

台特殊设备当中平均降低劳动量百分之五十，使車間的劳动生产率平均每年提高百分之十五。

编号	机 床 型 号	机 床 名 称	老工艺方法	新工艺方法	劳动量减低
1	ЛП—61	导水办軸頸和叶片端面加工特殊机床	1088 小时 / 台	512 小时 / 台	56%
2	ГФ—259	导水办叶片表面磨光特殊机床	192 "	112 "	42%
3	ЛП—86	卡布兰轉子叶片法兰加工特殊机床	312 "	240 "	23%
4	ЛП—60	卡布兰轉子叶片鑽孔和大軸法兰占孔等特殊机床	702 "	303 "	53%
5	ГФ—188	卡布兰叶片表面靠模特殊銑床	3750 "	690 "	82%
6	XIII—152	叶片表面磨光特殊机床	840 "	360 "	57%
7	KV—11	鑽搪套扣特殊机床	180 "	96 "	47%
8	ЛП—85	轉子体孔加工特殊机床	204 "	150 "	26%

三 产 品 工 艺

①主軸加工

1、主軸的工艺分析

在制造大型水輪机使用鍛軸存在以下几方面問題

A、容量大，因此軸的重量亦要加大，軸淨重与鑄造鋼錠之比为 1：2，因此鑄件亦要大。

B、鍛造法兰，机械强度和金相組織不好有时外为鍛造組織，內为鑄造組織。

C、鍛造設備負荷过大，需要使用 10000 吨水压机。

因此在苏联研究采用焊接軸，硬模鑄造法兰与鍛造軸筒，或鋼板焊接軸筒，进行电渣焊接。采用此結構优点：

A、可采用大直徑薄壁結構。强度相同，而本身重量大大減輕

B、可减少加工余量，节省金屬

C、可采用优質鍛件，使用应力可以提高

具体經濟效果可参看下表：古比雪夫鍛筒焊接軸与鍛軸的技术經濟比較，以及布拉茨克不同方案結構的工艺分析表。

古比雪夫鍛筒焊接軸与鍛軸的經濟比較

項 目	鍛 軸 (旧 法)	焊 接 軸 (新 法)	备 注
1、金屬消耗量	1 0 1 吨	4 1 吨	
2、金屬利用率	3 2 %	5 1 %	
3、生产周期	4 8 晝夜	3 5 晝夜	
4、一万吨水压机工作量	要用一万吨	比前者减少五倍 可用三千吨代替	
5、加工机床工作量		比前者减少23%	
6、劳 动 量	1842人时	195 人时	节省熔煉人工二倍 鍛 造 3.7倍 加 工 1.5倍
7、节 約：重 油 电 力 技术用水 蒸 汽 煤 汽 压縮空气 氧 气		12.6 吨 2.5 万瓩 2390米 ³ 248 МГКал 8 5 МГКал 多增加2.4万米 ³ 多用706米 ³	
8、成本分析	盧 布	盧 布	計 省 盧 布
克拉馬托工厂成本	124280 100%	87680 70.6%	36551 29.4%
金屬工厂成本	333000 100%	221400 67.5%	111600 32.5%

水輪機焊接軸工藝方案分析

軸 件 式 型	軸 體 直 徑	名 稱	數 量	元 件 材 料	重 量 數 據			機 床 負 荷 (台時)	造 價 (盧布)	焊 接 軸 造 價		軸 淨 重	元 件 毛 重	金 屬 消 耗	全 部 機 床 負 荷	總 造 價 (加 附 費)	金 屬 切 削 機 床 負 荷		車 去 金 屬	材 料 利 用 系 數
					淨 重	毛 重	材料 消耗			成 本	車 去 金 屬						全 部	中 心 車 床		
鍛軸標準尺寸	1500 / 850	全 鍛 造		鋼 號 40	64.0	124.0	22305	590	514000		75.0	64.0	124	223	660	550000	1250	950	160	0.29
鍛軸加大尺寸	1800 / 150	"		"	43.7	110.0	200	720	464000		54.0	43.7	111	200	680	550000	1400	1100	156.0	0.22
鍛造軸筒與法蘭 焊接的軸	1800 / 1500	軸筒 法蘭	1 2	20TC鋼鍛成 20TC—JI	30.5 13.2	66.0 19.8	105.0 27.0	480 200	25000 56000	318000	51.0	43.7	86	132	650	353000	1330	850	90.0	0.33
鋼板軸筒與法蘭 焊接的軸	1800 / 1500	軸筒 法蘭	1 2	22K鋼板 20TC—JI	30.5 13.2	53 19.8	75.0 27.0	140 200	160000 56000	230000	51.0	43.7	73	102	650	265000	1000	480	58.0	0.43
鍛造軸筒與法蘭 焊接的軸	2100 / 1900	軸筒 法蘭	1 2	20TC鋼成 20TC—JI	24.6 13.6	70.0 20.0	112.0 27.0	590 210	264000 54000	331000	48.0	38.2	90	140	650	366000	1450	1015	100	0.27
鋼板軸筒與法 蘭焊接軸	2100 / 1900	軸筒 法蘭	1 2	2 2 K鋼板 20TC—JI	24.6 13.6	45 20.0	63.0 27.0	160 210	135000 54000	202000	48.0	38.2	65	900	650	237000	1020	540	52	0.43
實軸筒焊法蘭軸	1500 / 850	軸筒 法蘭	1 2	鋼 號 4 0 20TC—JI	72.0 26.0	113.0 38.0	181.0 52					151	233							

在焊接軸生产方面存在着疲劳强度, 稳定性, 工艺性問題(指材料, 焊接工艺, 鍛筒板技术等), 最近在金属工厂, НКМЗ, ЦНИИТМАШ等單位共同研究試制成功已得出結論, 可以大量进行生产, 詳細見焊接和水輪机設計专业报告, 此处簡略。

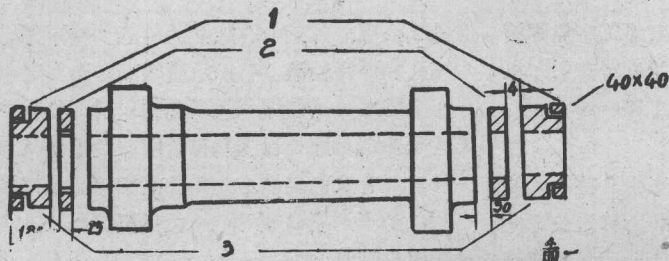
2、主軸粗加工

主軸粗加工主要在重型机械厂, 但第一根鋼

板焊接軸是在金属工厂进行粗加工, 現分鍛軸, 焊接軸, 軸孔加工工具叙述如下:

A、鍛軸粗加工:

一般大型鍛軸, 鍛造热处理以后, 进行粗加工, 首先划綫, 打中心孔, 以頂針和夾盘裝夾进行第一次粗加工外圓, 精車出架中心架和找正段以后在深孔車床进行鑽、搪軸中心孔。搪孔以前, 都要先搪 $L=400-600$ 一段导正段, 然后用深孔鑽或深孔 搪刀一次占搪到底, 如搪 $\Phi 250$ 內孔时, 先搪 $\Phi 250$ 圓400长一段, 以后一次把全长都搪到 $\Phi 250$, 一般要搪孔五次, 在第二次搪孔后, 要进行內孔檢查, 和热处理消除残余应力。(如有缺陷亦在此前修补), 热处理后如图一車試驗环:



NO 1——残余应力試驗环

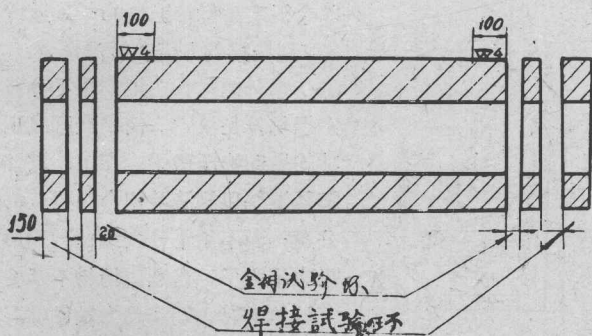
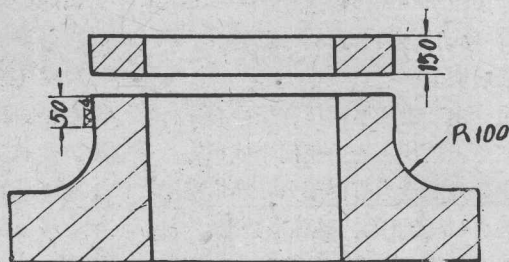
NO 2——金相試驗环

NO 3——机械性能試驗环

試驗合格按重复以前工序粗車外圓精車架中心架和找正段部分以及作硫印和腐蝕試驗部份, 最后精搪內孔达到 $\nabla \nabla 6$ 。一般要搪三次, 要求光潔度高的要搪四次。

B、焊接軸粗加工

法兰加工如下圖



切下 150 圓环与軸筒端环作电渣焊試驗环, 两端要精車作硫印試驗, R地方作腐蝕試驗, 50 公厘为电渣焊放滑塊用。

焊接軸筒加工如图三:

方法与鍛軸加工类似, 但沒有中間热处理, 粗加工裝夾方法有三种。

①在大車床上尾頂針帶有夾盘, 可以采取两端都为夾盘裝夾。

②打塞塊法, 先搪內圓止口, 而后压入塞塊加工后, 从另一端打出塞塊。(HKMЗ按此法)

3、可以調整的塞塊: 在金属工厂規程采用此法但实际为了赶任务而用图(6)的方法。

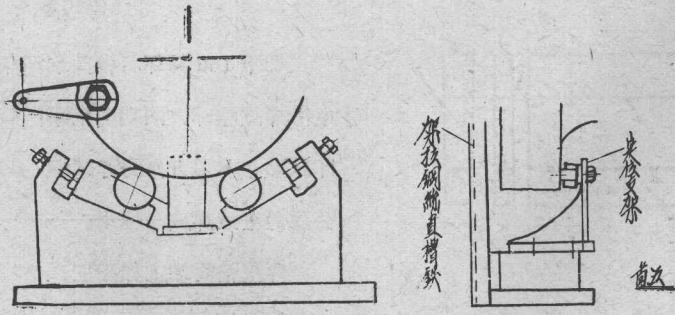
軸筒內孔加工克拉馬托重機廠在深孔機床進行，用搪深孔刀具進行。金屬工廠因無深孔機床而是在一般車床加工。用100×150刀杆長1800從兩頭進行加工。質量只能達到▽3，在金屬工廠全部粗加工余量為35公厘（指焊接以前）內圓加工余量為5公厘。電渣焊工序見焊接專業報告，焊接熱處理後，除法蘭進行套料作機械性能檢查外，其他與一般軸加工程序相同。

C、軸孔加工工具

主要是鑽搪刀具，和搪頭，刀具特點因要加工長孔因此要有很長的刀杆，刀杆過長彎曲振動都會給加工表面一定影響。因此刀具頭部具有導向木塊。另外機床外有專門支持架，一般根據撓度考慮支架個數，專用機床一般為2—3個（實際使用一個亦可）加工時由搪杆尾部打入乳化冷卻液，壓力10k2/cm²工件轉速在4—5轉/分走刀量（刀杆移動）1.7—1.8公厘/轉。

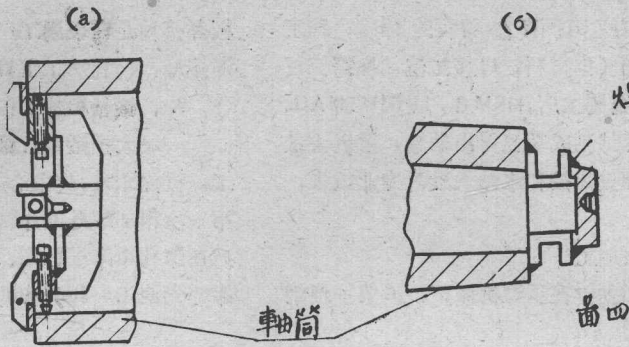
3、主軸的最后加工：

主軸最后加工，由于粗加工時已有架中心支架，找正段精車部分，故找正皆採用倒個找正方法。殘余應力環是取外圈最大直徑部分，殘余應力標準為4公斤/公分²是設計的經驗標準數據。為了防止法蘭變形，是採取先鑽孔后精車。在規程內規定在焊不銹鋼板以前軸的兩端面 and 止口留余



主軸同鉸孔是採用硬性長搪杆，一個中心支架，使用環刃鉸刀粗精鉸兩次，用量如表。

亦有時發生橢圓和錐度在0.02公厘—0.05公厘，而用刮刀修整，不光用砂布研磨，孔只是要求精度和圓，孔的尺寸不重要，螺絲是按孔配車



量3公厘；外架中心架法蘭外圓要精車好，在鑽完孔和焊好軸襯以后採取磨端面。而實際車間為了節省工時是在焊不銹鋼軸襯以前即將轉了端法蘭全部精車好；也就是轉子端法蘭是先精車后鑽孔，只有發電機端是先鑽孔后精車。根據操作經驗，焊不銹鋼軸襯時對法蘭並沒有影響。車間在發電機端端面加工時是採取精車，而未用磨輪磨。（因磨輪夾具使用不方便）

外圓精車是採用寬刀大走刀精車，法蘭孔分度是採用划綫樣板或找正樣板，以套料占套孔。不銹鋼焊接是先以卡箍固定軸襯位置，然后繞上鋼絲以吊車吊，靠自重箍緊。並應用着色法檢驗焊接質量（詳見焊接專業報告）。

大軸同鉸是採用拉鋼絲方法找正，以電壓表測量。精確度能達到0.005公厘。軸的支架是應用如下圖所示的滾輪支架，在水輪機軸端部有定位支架，可以防止軸向串動。在發電機端的滾輪支架下有導軌，可以徑向移動。此支架優點：摩擦阻力小，調整方便，當用吊車搬法蘭連接螺絲時即會很容易將軸調轉90°。比固定的V型托架要方便靈敏得多。

螺絲把緊在工地要用千分表測定螺絲伸長拉力。使用最近試制成功的風動液壓搬子。在工廠鉸孔時把緊螺絲只測法蘭把合間隙<0.02公厘；而不用千分表測拉力，只當吊車吊搬子，當螺絲帽轉不動將軸開始擰轉時，即認為力量已够。

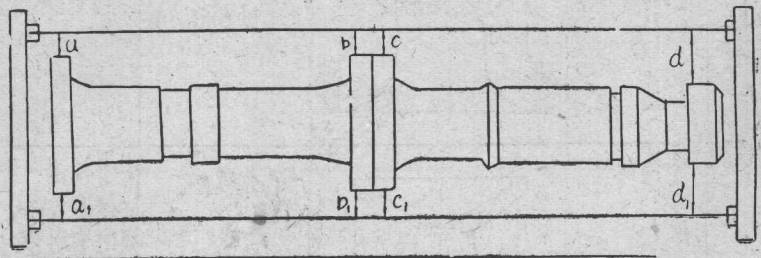
次 數	n	s	t
粗 鉸	10轉/分	1.5公厘/轉	2~3公厘
精 鉸	10/轉分	1.5	0.4~0.5

小于0.01公厘。

主軸找正标准是按大型水力透平制造工艺学

上的标准 $D_{max} = \frac{2D_1}{D\phi}L + \frac{\Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4}{L}$ 車間

一般考虑不超过最大主軸承間隙即可，下表为在車間实际观测第三台斯大林格勒主軸的记录。

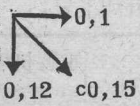


角度 \ 位置	a	b	c	d
0	89.01	89.01	89.13	384.25
90	89.01	89.00	89.09	384.25

圖六

角度 \ 位置	a	b	c	d
0	89.01	89.01	89.17	384.45
90	89.005	89.01	89.16	384.48

- 5、允許最大偏差为0.15公厘
实际在0°时偏0.1公厘，在轉90°时偏0.12公厘
- 6、使用三个支架，两个固定的，一个可以左右移动。



雪夫第二台机组曾发生轉子振动到0.6公厘，絕大部分是由于水力机组中心綫弯曲而产生，电力厂与金属工厂曾专门組織工作组进行检查并对改进主軸制造提出从①设备精准度。②机械加工。③主軸驗收。④装配前准备工作。⑤軸的运输保管。

主軸找正和鉸孔工作是重要的工作，在古巴

- 备注1、找鋼絲与水輪机軸平行，（偏差<0.01公厘）然后测发电机軸上导軸承軸頸
- 2、鋼絲与平台間用划綫盘找水平偏差<0.5公厘
- 3、鋼絲繩用φ0.5公厘重錘φ130×250四个。
- 4、用7.5伏特表来测偏差，蓄電池4.5伏（測量誤差0.005公厘）

①毛坯制造問題不同結構工艺分析

表 6

編號	結構形式	簡 图	优 点	缺 点
1	上、下环分半鑄造中間焊叶片		1、簡化鑄造过程 不使用大設備 2、叶片与用硬模鑄造，可获得精确的表面	1、焊接量大 2、上冠焊縫受力大环 3、下环焊縫不易检查
2	叶片与上冠下环合鑄成工字形分直分和斜分两方案		1、上冠焊縫移到移有利的位置 2、下环的焊縫多于检查	1、鑄造复杂 2、装配焊接控制变形困难 3、上冠各扇形段之間焊縫焊接較复杂

⑥用临时螺栓装配和检查中

心线。⑦用永久螺栓检查中心线⑧安装方面以及其他等九个方面改进意见。详细请见苏联资料。

②法兰西式转子加工:

1、转子工艺分析(布拉茨克电站)

制造大型法兰西式水轮机转子主要存在以下三方面问题:

①毛坯制造问题:如何作到可靠,经济而生产周期短。

②用什么材料制造:能够抗气蚀和抗磨损。

③两半如何结合起来:因为尺寸大,必须分半制造便于运输;但最后如何装配成型保证可靠

和经济。

在设计布拉茨克水轮机转子时,进行了广泛的试验研究和不同方案的工艺分析工作,现列表简述如下:

关于毛坯具体经济分析如下表

表 7

方 案	毛坯性质	重 量 (吨)			重要机床负荷(台时)		成本(卢布)
		毛 重	净 重	熔化金属	立 车	搪 床	
第一方案	铸 造	154	125	1.6	800	1000	730000
第二方案	铸 造	154	125	3.0	680	650	815000
第三方案	铸和碾压	124	110	10.0	400	1000	700000
第四方案	铸 造	140	125	—	680	400	840000

结论:采用第一方案

②材料问题:不同方案分析如下表:

表 8

编号	方 案	优 点	缺 点 和 问 题
1	用IX18H9T不锈钢板包于20ГCЛ钢叶片	1 已有成熟经验	1、水头高,流速大,在运转时易剥落 2、翼面曲率大,钢板与翼片接触紧密困难,需采用较窄的板条,这样增加了工作量 3、需在转子焊好热处理后再包焊,否则由于奥氏体钢与叶片材料的膨胀系数不同,可能产生内应力,这样不能在焊前分别包焊
2	叶片用奥氏丁体或用奥氏丁体与纯铁体混合的不锈钢与20ГCЛ上冠下环焊接	1、不必包焊或堆焊 2、较可靠防汽蚀好	1、成本高 2、不同金属焊接困难 3、存在如何焊,焊完如何进行热处理,热处理以后会不会产生残余应力的问题现正在进行研究

編號	方 案	优 点	缺 点 和 問 題
3	全部用不銹鋼	1、不必包焊或堆焊 2、可靠汽蝕好 3、沒有焊接問題和缺點	1、成本高 2、鑄造困難
4	用寬帶電渣焊	1、質量好表面光滑 2、可成為一整體，不會脫離較可靠	新技术現正在研究掌握 質量好，而操作快，成本低。

結論：採用第四方案

③兩半結合問題工藝分析如下表

表 9

編號	方 案	优 点	缺 点
1	上面用法蘭，下用焊接連接	1、在安裝不需大型昂貴加工設備 2、不需要綁環，減輕重量	1、焊接變形，熱處理等問題需進行試驗
2	上下均用綁環，加工綁環，分半鑄造，在中間站機械加工	1、可靠，過去製造過	1、綁環用合金鋼構成上環重8000公斤下環重15700公斤貴金屬 2、加工費大 3、需要中間站加工
3	上用法蘭連接、下用綁環	同上（僅較上方方案省一綁環）	同 上
4	全部焊接	1、省金屬	1、要建24M×96M的車間，要有8米立車，大退火爐，200噸起重機，大平台總造價1500~2000萬盧布 廠房造價300~400萬盧布 2易變形

注：本方案根據在於：下環剛度小，上環鋼度大，下環焊接不致影響上環，內應力可採用局部回火來處理，焊後下環的變形不大，在迷宮環處可用簡單設備加工。此外在連接結構方面尚有小綁環和冑子等連接結構，因不可靠，金屬工廠設計科看法尚未一致故未列入。

具體經濟比較如下表：

表10

方 案	毛 坯 名 稱	材料性質	重 量(噸)		主要機床負荷台時		成 本	工 地 工 作
			毛 坯	淨 重	立 車	搪 床		
第一方案	兩半上下冠 螺絲	鑄 件	149	127	650	400	970000	上冠螺絲把
		鍛 件						合下環焊接
第二方案	分半轉子 上綁環 下綁環	鑄 件	145	125	680	250	950000	焊接和套兩個
		鍛 件	193	139	1000	400	1235000	綁環
第三方案	分半轉子 下綁環 螺 絲	鑄 件	180	135	900	400	1160000	固緊上半螺絲 焊接和套裝 下綁環

結論：採用第一方案

总之大型法兰西 斯式分半 轉子趋向 采用上冠, 下环, 叶片 用 20Гс 材料 分別鑄造后焊接結構上半螺絲把合, 下半用焊接, 以寬帶电渣焊堆焊, 具体問題有的已得結論, 有的正向在进行研究。五八年金屬工厂进行第一个焊接轉子試作, 具体在焊接中有直斜縫問題, 装下环不装下环問題, 用手工焊还是电渣焊問題, 以及焊下环的退火热处理等問題詳見焊接专业报告。

2、大型整体鑄造轉子的加工

苏联曾为我国制造了 $\Phi 4320$ 公厘的丰满水电站整体法兰西斯式鑄造轉子。其加工主要与我們不同的地方如下:

A、引水鋼板和迷宫环加工問題, 苏联引水鋼板表面不加工, 这样即省金屬和焊条, 而且焊縫小不会使轉子变形。迷宫环是单独全部加工好而后进行装配, 这样可换性好, 节省工时, 生产周期短; 而且大型轉子迷宫环与引水鋼板規定在工地装焊, 这样可以防止运输安装装吊时弄坏。迷宫环是分半結構; 是利用夾具先把合好后配鑽套絲。在工地可先焊引水鋼板, 后装止漏环, 用螺絲把好后, 焊对縫, 这样可能焊縫收縮时对螺絲有影响, 但根据他們經驗, 焊縫改小一些, 沒有多大影响, 而且迷宫环本身还有定位釘。这点在設計單位与工艺方面有不同看法, 認為迷宫环套紧要靠焊縫收縮。螺絲把紧应为次要, 因此要先焊, 然后把螺絲; 但实际是按前者方法进行的。又迷宫环与引水鋼板焊成未加工前皆作热处理消除应力, 防止加工变形。

B、进水边 泄水边 加工: 泄水边是 采用鏟

磨, 进水边是在立車用模板进行加工斜錐面, 如图 7。

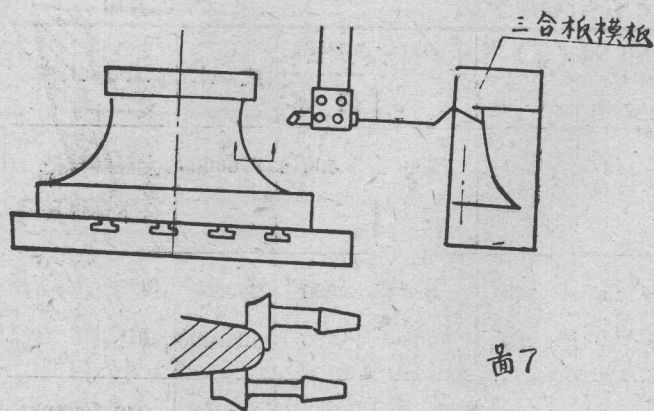
进水边 圓曲面是 采取臥銑, 用两个 支架支持, 便于調整。用两把成形銑刀銑两次, 并用样板檢查。

C、粗加工后不作中間热处理

D、法兰孔是用划綫样板或找正样板分度, 用套料占孔, 是先精車后占孔, 根据金屬工厂經驗法兰变形很少, 影响不大。古比雪夫二十台轉子上盖法兰都是先精車而后占孔, 对机組沒有影响。此与主軸发电机端法兰不同, 因其稍有一点变形, 会影响整个軸綫偏斜和振动。主軸与軸法兰孔同鉸亦是立裝, 和从轉子端鉸孔。

E、轉子平衡是采用立式平衡, 平衡球直徑是按 $D = \sqrt{\frac{P}{50}}$ 公式。球和平板材料选用鉻鎳鉬鋼 5ХНМ, 硬度 НЯс $\geq 57-61$, 工具結構是螺絲調整式 (平衡方法不是用千分表測量, 轉 90° 的方法。而是用在 90° 位置放水平仪的方法) 在大型水輪机轉子不平衡重量达几吨以上, 故对水平仪本身重量可忽略不計。对小型轉子, 可在相对水平仪位置加一相等平衡力距。最后平衡标准, 是在两个相对称位置, 加同样重量, 看其傾斜角度是否一致而定其是否平衡。这样即节省平衡時間, 同时亦会保护工具球面, 平板接触, 不会因平衡轉动 90° 而使工具磨損。但工具要制造很好誤差很小。

F、轉子外圓測量使用間接測量, (詳見后測量专业报告)

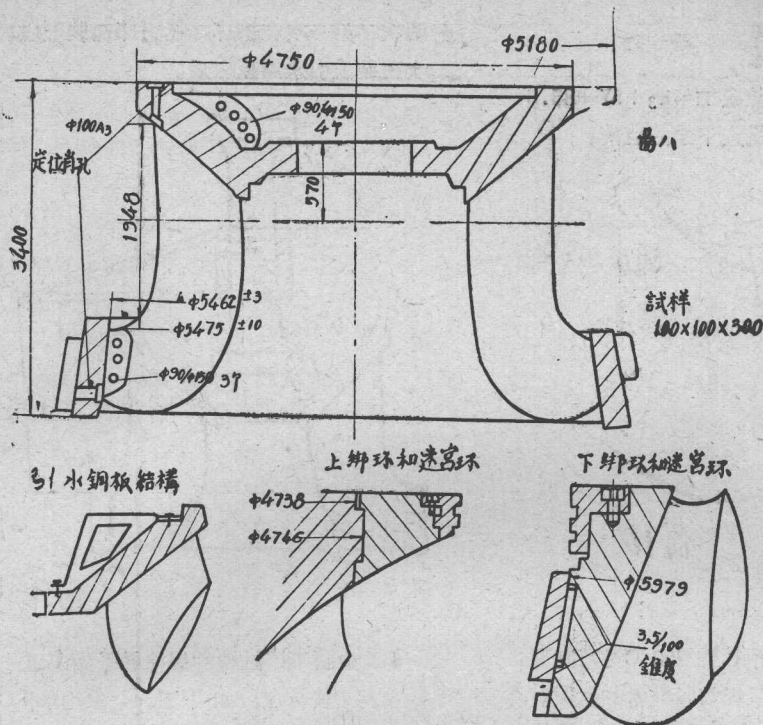


G、另外在加工中非常仔細, 所有上冠、下环、进水边, 泄水边, 錐度和曲面, 都使用样板和模板檢查, 工艺文件規定很詳細如毛坯檢查, 取試样, 打标记, 去毛刺, 套料 编号送倉庫都有明确分工, 而且除了金工工艺卡外, 尚有很詳細的轉子装配工艺卡, 規定詳細装配工步工时。

3、大型分半轉子綁环結構的加工

a、結構特点和要求

苏联制造法兰西斯式分半綁环



轉子最大的是德聶泊爾水电站和石山口水电站，圖八為石山口轉子結構，（德聶泊爾結構較老一些）

主要特点

1、上冠、下環採用綁環，但為了加工方便上冠和下環都鑄有臨時把合螺釘孔，下環在裝配後去掉，上冠保留。

2、止漏環上冠在綁環上，下環在分半轉子

3、引水鋼板是採用螺絲把合，

式工地焊四塊D₅對接縫

4、分半接合面間隙要求0.1/100公厘

5、凸出葉片最後焊接，焊縫間隙不大於3公厘為X焊縫

6、配合緊量上冠為 $\begin{matrix} -3.5 \\ -4.5 \end{matrix}$ ，下環為 $\begin{matrix} -5.5 \\ -6.5 \end{matrix}$ 并具有錐度3.5/100公厘

7、兩半定位採用上冠為兩軸向肖子定位，下環為兩徑向肖子定位

8、法蘭孔要在裝配後最後同鉸孔。

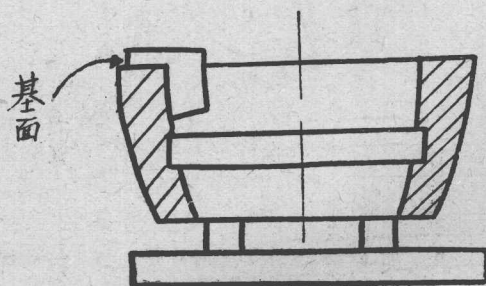
9、轉子材料CTΠ30，14個葉片，重88.2噸，綁環材料40H

b、加工特点：

A、轉子：轉子本身粗加工後要作熱處理消除應力，防止變形。粗加工餘量，結合面7公厘孔留20公厘，上端面留20公厘，直徑留40公厘，粗加工後熱處理要整體進行，分半時要用特殊夾具夾住，防止走形。結合面在克拉馬托重機廠粗加工是在銑床上，精加工在刨床上進行。由於尺寸大、過重、故採取分半運輸，分半裝夾，在機床把合劃綫，分半翻身。測量使用間接測量方法，因為配合緊度要求較嚴，除錐度用樣板檢查外，測量時要考慮溫度誤差。

B、綁環加工：綁環材料為40H，應力大，要求嚴格，在未加工以前要進行高溫回火，在爐

內緩慢冷卻消除內應力，第一次粗加工以後要進行熱處理，第二次加工後同樣進行熱處理，直到徑向變形沒有了為止。也就是最後消除了內部應力，方可進行最後加工。在石山口轉子綁環實際進行熱處理三次。方精加工。又因綁環與轉子配合緊量變化允許是很少。（石山口下環配合為 $\begin{matrix} -5.5 \\ -6.5 \end{matrix}$ 上冠為 $\begin{matrix} -3.5 \\ -4.5 \end{matrix}$ ）故要按轉子進行實際尺寸配車。綁環的圓錐度面按一定樣板進行，裝置基面在上端平面如下圖，誤差0.10公厘（全長）



圖九

C、轉子裝配：在工地進行，先套裝上（未压紧），測直徑兩邊間隙 δ_1 ，和 δ_2 代入公式

$$h\gamma = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \times \frac{100}{9.5}$$

由 $h\gamma$ 求出最后压入位置 $H = h_3 + h\gamma - 85.5$

注85.5为按要求紧量应下来的距离,

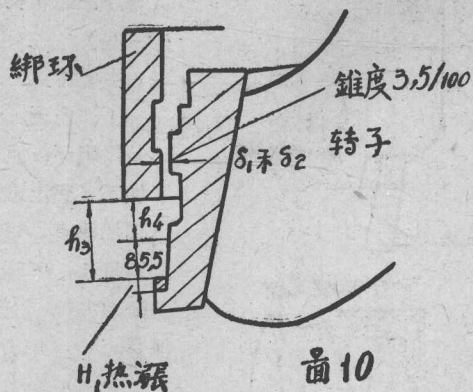
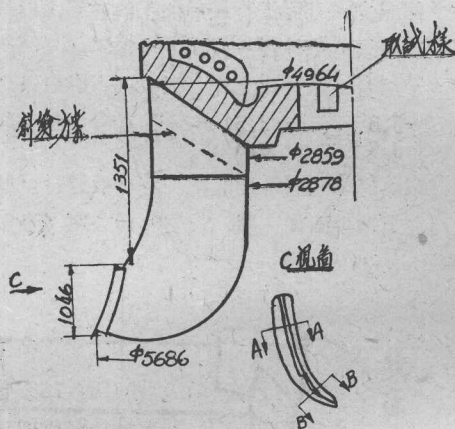


图10

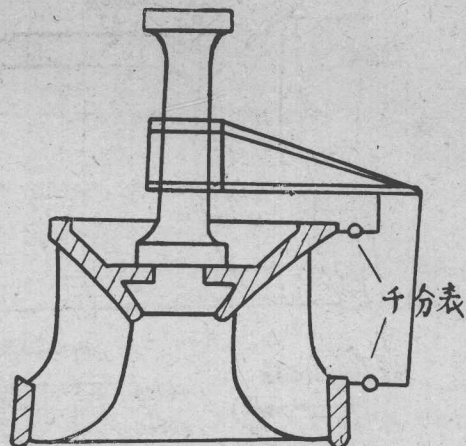
测定好后, 绑环要预热到 200°C 进行套装, 为了便于绑环压入, 可以焊临时敲击的打板。在装迷宫环时要测与轴的同心。利用图11结构工具, 转动着千分表检查同心, 平衡在工地进行,



b、加工特点: 主要是叶片是先加工好后焊接, 装焊方面有①直口、斜口, ②装下环不装下环③电渣焊或手工焊三方面不同方案。(详见焊接专业总结) 焊接时采用焊接夹具定位并可测量收缩变化情况。分半面留10公厘余量, 分半面孔加工采用号孔的办法, 用特殊工具铰孔。

3 卡布兰式水轮机转子加工:

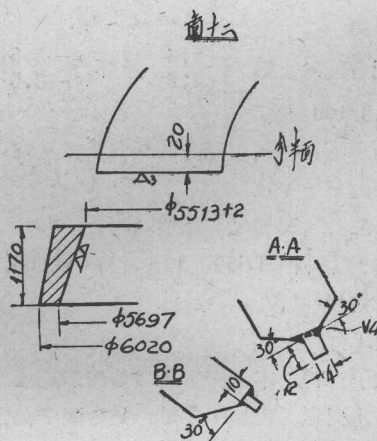
分两次, 第一次在绑环, 迷宫环都装上以后, 第二次在装上引水钢板以后。



图十一

4、金属工厂试验的焊接转子加工工艺

a、结构特点: 如下图: 是采用 20ГСЛ 材料, 含锰量多, 强度高, 可焊性好。叶片为硬模铸造, 曲面质量好。结构如下图:

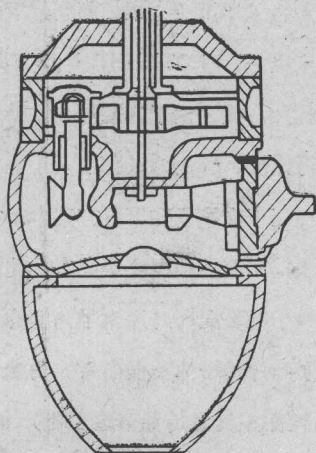


1、转子工艺分析:

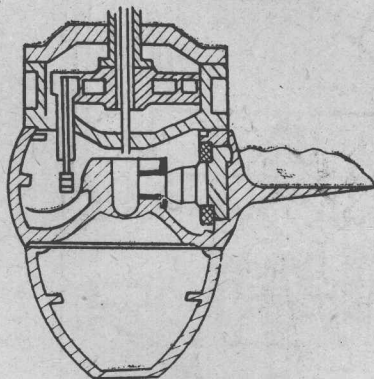
卡布兰式水轮机转子在结构和工艺上在苏联都是有很丰富的经验, 这里仅就在古比雪夫和齐尔尤斯克电站(高水头卡布兰式水轮机)结构作一般介绍:

a、古比雪夫转子主要有四个方案, 如图十三

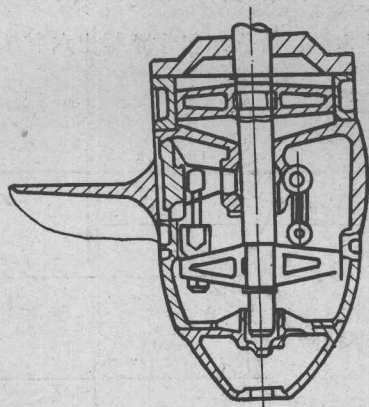
第一方案



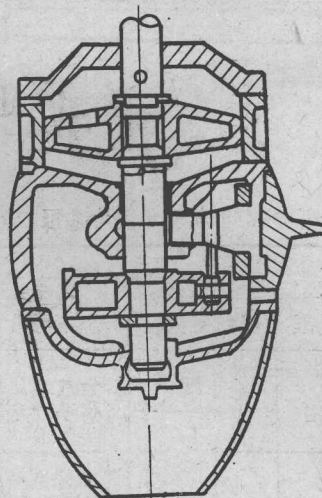
第二方案



图十二



第三方案

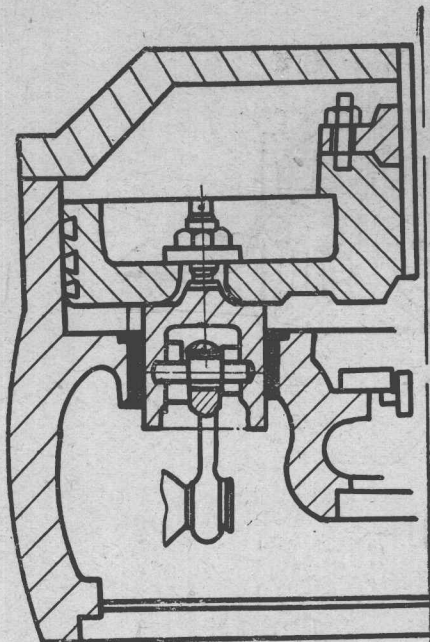


第四方案

第 I、II 方案在工艺上认为是最合适的，主要是操作架和活塞连成一体，活塞上固定滑动套筒，而套筒与连杆连接，带动臂柄而转动叶片，但为了防止漏油在滑套与配合孔的间隙要求在保证活塞移动条件下达到最小。因此给工艺上带来复杂的条件。但从经济上比较，由于去掉了操作架和操作杆等另件，因此比第 III、IV 方案在转子重量减少为 25—30 吨。机械装配工作量减少 1500—1800 工时，并且减少了大型机床负荷 300—350 小时。

在 I、II 两方案中，由于第一方案利用转子

体中间金属部分作套筒滑动的轴承；因此减少了接力器缸的结构，同时在重量上和机械加工量方面都有所节省。但是在像 I、II 两方案经试验证明为了防止滑套不发生夹紧现象；在可拆接力器缸式的转子体刚度，必须要很高，也就是当接力器缸与转子体铸造一起时；产生此危险可以被消除。同样铸在一起尺寸重量加大，又会增加铸造和运输的困难。但铸造一起对工艺是非常合适的，不仅可节省材料消耗和制造毛坯的劳动量，机械加工可减少 250—300 小时，卧式插床负荷减少 100—120 小时。



圖十四

由于以上原因，和試驗来不及，故在古比雪夫仍将采用第四方案，直到最近制造布德金斯卡亞水电站（ВОТКИНС КаЯ ГЭС）方采用，其結構如右图，由于活塞加大，油压可减少，漏油量可减少。

至于在第Ⅲ和第Ⅳ方案中，第Ⅲ方案在連杆与操作架連接中多4个叉头，此优点可以調解弥补轉子在装配时叶片水平角度的差别，相反的放大了叶片轉子体及操作架的角度公差，但增加了六个鍛造叉头（每个重4吨）使轉子結構复杂化，如采用夾具和样板，能够达到叶片角度公差，故第Ⅳ方案結構最为紧凑簡單。

在高水头卡布兰水輪机最新設計的齐尔尤斯克电站，轉子 工艺分析 提出六个方案 簡况如下表：

（詳細的設計分析見設計专业报告）表11

方案	結構特点					优缺点
	活塞位置	操作架位置	上下导轨形式	連杆形式	叶片数	
I	在上端	在下端	为八塊，导正 肖子固定在轉 子体上	傾斜45° 連杆傳动	8个	簡單可靠
II	在上端	在下端	齿輪式导正 D=840, Z=60 齿寬500	傾斜45° 为滑塊傳动	8个	1、受力好，結構簡單 2、齿輪大工艺麻煩
III	操作架与活塞成为 一体放在上面		活塞上放导正 定位銷	同1方案	8个	1、油压不高， 密封簡單 2、加工装配皆 困难
IV	活塞与連 杆連接放 到上部	操作架放 在下端作 导正用	同1方案	傾斜45° 同1方案	8个	1、油压不高， 密封簡單 2、結構复杂， 制造困难
V	活塞在下 端	操作架在 上端	同1方案	"	"	制造按裝都不好
VI	在上端	在下端	齿輪导正	傾斜45° 滑塊傳动	双叶片結構（两个 叶片在一个轉軸 上）	1、机构簡單， 直徑可以減 小但重量大 2、气蝕好，初 步試驗效率 并不低 3、工艺上困难