

農村电站技術叢書

4174

小型水电站工作經驗

四川省水利電力廳 編



四川人民出版社

Nov 1973

TM6

水利电力厅中心试验室

農村电站技術叢書

小型水電站工作經驗

四川省水利電力廳編

四川人民出版社

1959年·成都

農村电站技術叢書
小型水电站工作經驗

四川省水利电力廳編

☆

四川人民出版社出版

成都款元街20号

四川省書刊出版業營業許可証出字第一号

四川省新华書店發行

四川人民印刷厂印刷

开本787×1095 1/32·42頁·2 5/8印張·65,800字

1958年3月第一版

1958年3月第一次印刷

印数：1—6,000

定价：(5) 1角9分

統一書号：T15118·176

前 言

在总路綫的光輝照耀下，我省農村電力建設正以大躍進的步伐突飛猛進。為促進農村電氣化高潮更快地到來，加快速度、節約原材料、降低成本，貫徹“小型為主，社辦為主，生產為主”的方針，以提前實現我省農村電氣化，我們特收集了兩年來我省各地在農村電力建設中的一些先進技術經驗，編寫成農村電氣化叢書，供各地參考。

本叢書的各分冊，將陸續與讀者見面。其中所選的技術經驗，有一部分已經過生產實踐的考驗，并作技術鑒定，效果比較良好，值得推廣；有一部分還存在一些問題或缺點，有待在生產實踐中加以改進和提高；還有一部分僅屬於技術理論的探討，供各地研究試行。

由於我們現在收集的資料不多，僅是羣眾所創造、改進、建議中的一小部分，可能還有很多寶貴的資料未有得到介紹，難于充分地滿足客觀形勢的要求。因此，我們衷心地希望讀者，將你們工作中創造的經驗等，隨時介紹給我們，以便編寫成書，供大家研究改進，進一步推動我省農村電氣化事業。同時，希望你們對這套叢書提出批評和改進意見，使我們更好地為農村電氣化服務。

四川省水利電力廳

1958年12月

目 錄

一、雅安水电厂自同期并车試驗.....	1
二、水輪發電机并列運轉使用自同期的方法.....	9
三、馬家碾水电站使用感應电动机作異步發 电机的研究.....	13
四、幸福一社水电站試用低壓大地代零三相 送電供电动机電源.....	19
五、遂寧農具厂制成了水力發電船.....	20
六、廣安縣興河水电站利用發電机充蓄电瓶的作法.....	32
七、木制旋槳式水輪机的木軸制作.....	38
八、低水头立軸旋槳式水輪机的开離式水輪机室和尾水室.....	51
九、遂寧电厂的几种簡單自动控制設備.....	61
十、石質弯曲尾水管.....	69
十一、360°包圍角蜗壳形水輪机室的簡單放样方法.....	72
十二、再生膠傳動帶.....	73
十三、土法制平膠傳動帶.....	75
十四、竹制傳動帶.....	77

雅安水电厂自同期并車試驗

原省工業廳机电局試驗室会同成都电業局人員，协助雅安水电厂解决該厂兩部水輪發電機組推行苏联先進經驗采用自同期并列运行試驗完全成功。

茲將此次試驗工作情况介紹如下：

一、該厂設備情况

1. 第一發電所：臥式水輪機一台容量670馬力，每分鐘600轉，人工調速。發電容量450千伏安三相，50周波，电压6.3千伏，額定電流41.3安。非密閉型顯極式，各極有端部互相連接的阻尼繞圈，發電機與水輪機直接連接，并帶有小型飛輪。勵磁系統有軸上直接自帶的直流并激勵磁機，容量為11.5瓩，在勵磁機磁場內裝有手動斷接開關、滅磁電阻及界磁可變電阻器，發電機方面無电压調整器，經過油開關，對長約5公里之6.6千伏輸電綫路進行直配。油開關二次交流脫扣，有反時限過流繼電器兩具保護。

2. 第二發電所：臥式水輪機一台，容量550馬力，每分鐘375轉，人工調速，發電機容量375千伏安，三相，50周波，电压400伏，額定電流54.1安，非密閉型顯極式，各級有端部互相連接之阻尼繞圈，發電機與水輪機直接連接并帶有飛輪（該發電機原系用柴油機帶動），勵磁系統有軸上直接自帶的直流并激勵磁機，容量9.3瓩。

在勵磁機磁場內，裝有界磁可變電阻器。在發電機轉子回

路內，裝有手動斷接開關及泄放電阻。發電機方面，無電壓調整器。發電機通過油開關，與400千伏安的升壓主變壓器連接，通過變壓器將電壓由380伏升到6.6千伏。經長約7公里之輸電綫供电，油開關為交流二次直接自動脫扣，無繼電器保護。

該廠運行綫方式，如圖1所示：

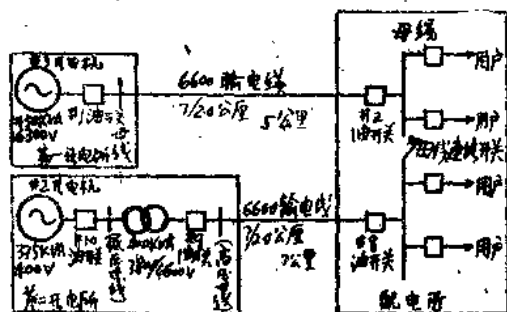


圖 1

二、試驗准备工作

自同期并車，在苏联已有十余年的历史，从各种类型的水輪机以及汽輪發電機，容量从数十瓩以至五万瓩的机組，采用自同期合閘，結果非常良好。

近年來，这一先進經驗，在華北各地，已逐漸試驗進行。單是1956年內，在北京、天津、太原等地進行了中小型容量的汽輪發電機和水輪机的自同期并車合閘達數十次，都很成功。不过，在我省範圍內，以前，总是用所謂准同期的方法進行發電廠之并車的，其間虽也有个别廠試用自同期并車成功，但範圍很小，也未進行推廣。在1956年底至1957年初，原電力工業部重慶電管局举办了旋轉电机學習班。从理論方面出發，介紹了这些先進經驗，并組織推廣。雅安電廠人員學習同廠后，結合該廠運行方面的要求（單機組運行負荷調配困難和用戶較大電動機起動時負荷驟，加以短时过载与电压降低引起机組不安全

和用戶不便），提出採用自同期併列運行的計劃。但該廠過去全無併列運行的經驗，機組在自同期合閘過程中，是否會發生沖擊電流過大和電壓恢復緩慢引起多數用戶掉閘的問題，各發電機的殘壓是否過高不能用自同期法合閘等問題，都需要先得到充分的解決。因此，進行了如下的一些試驗準備工作。

1. 決定試驗目的：該廠配電板儀表簡單，無足夠的電壓變成器可供准同期併車之用。因此決定：

為了採用自同期為正式的併車方法，而進行試驗。

2. 決定試驗時的結綫方式：如圖 1 所示。該廠兩發電所間，並無連絡綫，因此決定併車試驗時，由一個發電所作為運行系統，將電通過輸電綫路送至配電所，帶上當時的負荷，再由配電所搭上母綫連絡開關，將電倒送回至另一發電所（待併機母綫）用待併機的主油開關進行自同期合閘，並決定先以 450 千伏安水輪機（一所 3 號機）作為待併機，併入 375 千伏安水輪機（二所 2 號機）之運行系統內。

3. 計算沖擊電流值：計算沖擊電流值的公式如下：

$$\text{靜子繞組沖擊電流} = \frac{\text{系統額定電流}}{\text{系統阻抗} + \text{電機瞬間阻抗}}$$

一般規定不應超過 3.5 倍額定電流，根據雅安情況，因系統阻抗較大（包含約 12 公里之輸電綫路和升壓變壓器一具），故雖用次瞬間電抗之一般值（水輪機有阻尼繞圈）。計算沖擊電流在 3.5 倍以下，因此決定不必測電機參數（試驗設備缺乏），即可進行併車試驗。

其次考慮系統在併車瞬間之電壓降，估計在 60% 左右，為了不在試驗中影響用戶用電，對雅安廠最大動力用戶雅安造紙廠進行了電動機低壓釋放試驗為 58%。其他小廠多在 70% 左右，考慮沖擊電流衰減很快，電壓也將很快恢復，問題不大，不必對用戶有所措施。

4. 測定相序校對周率表和轉速表：兩機並列相序是要求完全相同的，又合閘時，兩機的周率不能相差過遠（一般3—5%），必有較準確的表計指示控制雙方轉速。該廠在兩所交替供電時，用戶電動機未發生反轉現象，雖說明相序的相同。但為謹慎起見，在試驗前，仍用相序計分別校對了相序。又為了系統周率表和轉速表指示相符合起見，用試驗室的攜帶式之周率表校驗了該廠配電板周率表，並與攜帶式轉速表進行校對（該廠兩機車頭均無轉速表，在待并機未勵磁時，周率表無指示，用手提式轉速表控制待并機之周率）。

5. 殘壓之測定和減磁電阻之改接：待并機未勵磁前之殘余電壓如過高，會產生同步轉矩，因而影響兩機之同時，一般規定殘壓在0.1至0.2額定電壓以上時即不許合閘。

該廠3號機不能在發電機轉子回路內減磁，原結綫方式系在勵磁機磁場串入電阻減磁，經數次測量，殘壓高達26%，乃研究把勵磁機磁場減磁電阻改接，使其并激繞圈可在磁場開關拉開時與電源斷開，而通過減磁電阻短路減磁，再量發電機殘壓，降到12—13%。

該廠2號機能在發電機轉子回路內，通過泄放電阻短路減磁量出殘壓僅有1—2%以下。

6. 界磁可變電阻器之位置測定：為了在自同期合閘後能及時投入適當分量之勵磁，使待并機之電壓適當升起來，測定了在額定轉速下空載時電壓能升至額定之磁場變阻器位置，作出記號，在試驗時比此位置放置稍高（約10%），使待并機略有過激，并決定在自同期合閘後隨即手動投入勵磁。因勵磁投入時間早晚，間隔不大，又兩開關相距很近一人次聯操作，不致有誤。

7. 試驗轉差率之決定：根據經驗資料，沖擊電流衰減之過度歷程，決定于轉差率。轉差率越大時，衰減越慢，且可能產生

多次之振蕩，故一般建議須在 $\pm 2\%$ 以內，此次試驗為慎重起見且為該廠今後之運行自同期并車，有較大範圍，操作控制較易，決定先在轉差率為零時試并第一次，轉差率約為 $+2.5\%$ 時（待并機周率48.6）試并第二次，轉差率約為 -2.5% 時（待并機51.4周率）試并第三次。

8. 試驗前之設備檢查工作：在試驗前組織了專門人力，對水輪機發電機，勵磁機，配電板儀表結線等進行了外貌形態之詳細檢查記錄，并用1000伏及500伏搖表，分別搖測靜子轉子回路之絕緣，試驗後再重複檢查一次，互相對照。

9. 試驗前試驗回路內繼電保護裝置之校準與調整：雅安電廠系統保護裝置是比較簡陋的，各個油開關多由瞬動交流二次直接操作脫扣的，為了滿足試驗要求在瞬間沖擊電流下不致動作脫扣使試驗失敗，同時使系統中各個設備不致失去保護，我們在試驗前對整個試驗回路內的各油開關進行了必要的調整，茲將調整前後情況表列于下：

油開關 編號	操作方式	所屬機組	額定	整定電流		整定時間		調整辦法
			電流	原來	調整	原來	調整後	
1	兩相，及時限 過流繼電器， 交流二次操作	3機 (一所)	41.8 安	9	8.5 8.0	1秒	0.5" 3"	調整過流 繼電器
2	掉兩相電交流 二次直接操作	3機 (配電所)		6.5	5.6	0.10	1.3"	操作機械 方面加緩 沖油重
8	同 上	2機 (配電所)	34.5	5.5	5.7	0.10	2.0"	同 上
9	同 上	2機 (二所 升壓器)	34.5	—	—	瞬動	不使 掉兩	掉兩相電 銅絲短路
10	同 上	2機 (二所)	541	8.5	6.0	瞬動	7"	掉兩相電
				—	9.0	—	2.2	24保險絲
				—	12.0	—	9.5"	板寬

10. 試驗操作規程之拟定与現場劳动組織：为了避免在并車試驗时現場忙乱引起事故，在試驗前二日即由电厂指定專門人員，⁶⁶拟出詳細的試驗操作規程，內容包含：1. 試驗前檢查事項。2. 并車試驗操作順序。3. 試驗过程中各所注意事項与緊急措施。4. 試驗时操作人員与監护人員指定表等。

除上述各点外，我們还作了兩机励磁系統內的各个电阻值的測定，又作了兩机磁場繞圈升磁減磁時間常数的測定。在*3机方面，減磁時間为3.4秒，升磁時間为4.0秒。在*2机方面，減磁僅0.45秒，升磁3.2秒。我們也用停表和轉速表試測在調速器一定开度下由靜止升到額定轉速的时间，作成机械轉速对時間的曲線，作試驗时的參考。

三、試驗过程和結果

把上述工作基本完成后，拟好規程和人員組織措施，并組成臨时的調制司令部，組織試驗操作人員，學習并交待規程。趁全厂負荷較輕时，停下*3机待并先穩定系統周率在50周不变，將待并机在不励磁情況下开至額定轉速（轉速表每分590轉时）并穩定后，即在轉差率为零时進行合閘，在合閘后立即（相差約1秒時間）投入励磁。發電机几乎在未励磁时即依靠非同期力矩拉入同期，情形很平穩，机械無異声，冲击电流数值約僅額定电流的1.08倍，母綫电压降約至62%，但隨即恢复了額定值，用戶方面無反应。第一次試驗合閘成功后，任兩机并列运行無1小时之久，并試行將系統負荷大部轉至*3待并机（約180瓩），以后又將所帶負荷緩緩轉回*2机，在負荷及电流約接近于零时，進行掉閘解列，⁶⁷准备第二次試驗，第二次用轉速表 580 轉为待并机轉速進行合閘，即轉差率为+1.7%时合閘，在1秒后投入励磁，發電机仍迅即拉入同期運轉平穩，冲击电流值約为額定电

流之1.7倍，無振蕩現象，电压亦迅即恢复。

第二次并列运行約数分鐘后，即轉移所帶負荷及电流，掉開解列，然后又將#3机在轉速表600轉时，即轉差率为-1.7%时合閘，仍迅即拉入同期，無振蕩現象，冲击电流約額定电流之1.66倍，电压迅即恢复，在三次試并成功后，將待并机停下，作絕緣及綫圈外形之詳細檢查，毫無異狀，恢复該机之正常生產运行。

随即又用#3机作为运行系統，以#2机作为待并机進行，轉差率为零，±2.8%進行了三次自同期合閘，情形仍然很順利。發电机在更短時間內拉入同期，电压降約在至69%，迅即恢复，冲击电流数值平均約为額定电流之1.47倍，系統負荷几达#3机之滿載（800瓩），在試帶負荷，運轉穩定后，漸轉移負荷至接近零时，掉開解列，停机檢查，無異狀，結束全部試驗，恢复該厂之正常运行。

并車試驗之各个記錄表列如下：

試驗順序	待机并組	轉差率 %	冲击电流	系統电压降 %	衰減時間	拉入同期時間	有無振蕩	其 它
第一次	3	0	1.08IH	62	2"	2"以下	一次	—
	2	0	1.42IH	61	4"	2"以下	無	—
第二次	3	+1.7	1.7 IH	53	4"	2"以下	無	—
	2	+2.8	1.37IH	69	4"	1.5"以下	無	电机有变速声音
第三次	3	-1.7	1.66IH	48	5"	2"以下	無	—
	2	-2.8	1.62IH	77	1"	1"以下	無	电机有变速声音

注：IH=額定电流、衰減時間是由冲击最高值衰減至零之時間。

$$\text{系統電壓降 (\%)} = \frac{\text{合閘瞬間去系統實際電壓}}{\text{系統額定電壓}} \times 100$$

四、通過試驗對自同期並車方法的體會

雅安電廠兩套水輪機組的自同期並車試驗工作，在電廠職工一致的要求並積極熱情從事，及成都電業局同志的努力工作下，順利地完成了。在六次試并中，全部並列操作，平均在半分鐘內即可完成，故同期電機的自同期合閘並列無疑的比准同期方法為優，通過這次試驗，有下列一些初步體會：

1. 自同期法不需准同期法所需較複雜的設備和結綫。

2. 在完全手動操作情況下操作也極為簡單，不需要十分熟練的技術，且不致有錯誤合閘損壞電機的危險。

3. 只需在一定的轉差率下（即待并機轉速與系統轉速比較）合閘，不必有任何其他的調整，可以使合閘十分迅速。這在事故處理情況下很重要，即在系統周率及電壓嚴重下降時，亦可合閘（如用准同期便不可能）。

4. 沖擊電流數值不致太大衰減也是很快的，尤其在通過綫路和變壓器並車時更安全。

5. 系統電壓降即使在待并機容量大於系統，恢復也是極快的，一般不致引起嚴重的用戶掉閘，如有強行勵磁或自動電壓調整的當然更好。

6. 老舊機器，小容量機器均可用此法並列，雅安#2機即是曾使過水的柴油發電機改的。

7. 轉子方面的阻尼回路產生非同期力矩，對拉入同期有很好的作用，即使轉差率較大，也可合閘。

8. 殘壓的降低最好能在交流機轉子回路內斷開勵磁電源，短路，減磁如在勵磁機範圍內減磁，減磁電阻需要要有十倍磁場

繞圈電阻的範圍調節。

水輪發電機并列運轉使用自同期的方法

蘇聯專家 凱凱揚尼

要使水輪發電機投入并列運轉，建議使用自同期的方法。在投入自同期的時候，被投入的發電機是不勵磁的，並且使它的轉速達到同期轉速，頻率的差額可以等於甚至大於2赫芝/秒。用手工的方式，也可以使發電機自同期。用手工自同期時，起動和加速機組時，要使用水輪機的手動調速器，把水輪發電機投入電網時，同樣也可以採用手工。

400/230伏的低壓發電機，不需要任何其他附屬設備，使用自同期的方法就可以把它投入并列運轉。

發電機在頭一次投入并列運轉之前，一定要檢驗它的剩餘電壓。低壓發電機的電壓，用裝在電站控制盤上的電壓表來測量。在被投入電網的發電機，在額定轉速和空載情況下工作的發電機上，測量剩餘電壓。在測量時，把分激變阻器的手輪擺在“減”側的最終端，然後發電機勵磁并把分激變阻器的手輪轉向“增”側。等到電壓升到額定數值時，把這個位置划上記號。用手工的方法，把發電機投入并列運轉按下列程序：

機組在起運之前，要把分激變阻器的手輪擺在“減”側的最終端，並且接通燈光系統。

啓動原動機後機組慢慢地就轉動起來，觀察控制盤上的電壓表 and 同期燈光的明暗度，等到燈光明暗變化的頻率降低到每秒等於1—2次的時候，根據電壓表證明，發電機並未勵磁（在電壓表上表示剩餘電壓），把發電機與母線相連的開刀開

关接通。这时匯流排（母綫）上的电压等于運轉的电压。

閘刀投入之后，很快地把分激變阻器的手輪轉到有記号的位置上。这时被投入的發电机具有的是額定电压。从这以后，被投入的發电机就被拖入同期，然后，再按照一般的程序使發电机担任有功和無功負荷。

發电机在投入的时候，虽然是未被励磁，但是在它的引出端上仍然帶有一些所谓的剩余电压。

發电机在自同期前，它的剩余电压应当不超过一定的数值，以便使發电机在投入并列運轉时，定子上的电流不会出现大的跳动。

發电机在投入的时候，定子繞組的引出端上剩余电压不当超出額定电压的0.2—0.25。

剩余电压的所需要数值，多半可以利用分激變阻器來取得，在某些情况下可以利用特制的減磁器。

發电机的剩余电压一共不过是几十伏，可以利用它來确定自同期投入發电机的時間，为此，利用电站上为了實現准同期用的灯光系統。

灯光系統的灯泡受到匯流排电压和發电机剩余电压的作用（圖2），因此，被投入發电机和电网的頻率差可以根据灯光

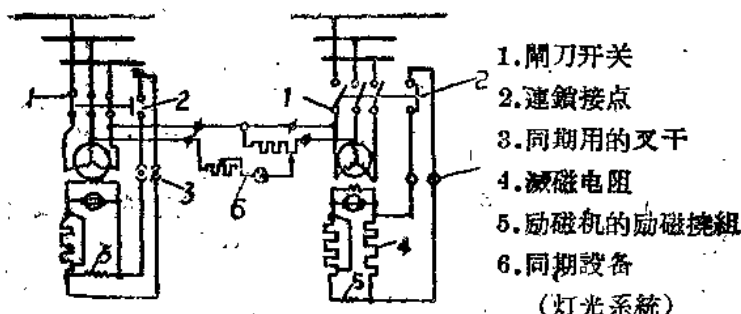


圖2 發电机手动自同期的示意图

在一秒鐘內的明暗次數來確定。

如果被投入的發電機尚未和正在工作着的發電機達到同期，則燈光上的電壓將周期地變化。其數值的範圍將由它們的差額到它們的總值。燈光上電壓的變化將隨着被投入發電機和工作發電機的頻率的差額變化而變化。當這些頻率達到可以用自同期方法投入的數值的時候，即是等於 $\pm 1 - 2$ 赫芝，在故障情況下等於 ± 5 赫芝的時候，燈光周期性的變化就很明顯了。

在發電機有勵磁的正常情況下，滅磁電阻是被連鎖接點短路的。連鎖接點應當許可接受長期通過的電流和等於勵磁額定電流 $5 - 10\%$ 的遮斷電流。如果沒有專門用的結綫圖在監視被投入發電機和電網的頻率，則建議使用裝在被投入機組上的轉速表和匯流排上的頻率表。匯流排上的頻率表，也可以用工作發電機上裝的頻率表或者轉速表來代替。在轉速表上，除去應刻的轉速刻度之外，還應當刻上以赫芝為單位的頻率。

當異步發電機和同步發電機並列運轉時，同步發電機必須供給異步發電機所需之無功功率，這就會使功率因數降低，相應地也降低了同步發電機所發出之有功功率。同時，電網負荷的特點也起着很大的作用，也就是說電網中的動力負荷與照明負荷之間的比例，以及它們最大負荷的組合性質。

由於在問題中這些資料沒有提出，也可能暫時還提不出來。然而利用下列表格可以在各種不同的動力負荷和照明負荷的關係下，來確定異步和同步發電機在功率上所佔的比重。

這裡，異步電動機的功率因數採取 $\cos\varphi$ 異步為 0.91 ，即是異步發電機的容量採用 100 瓩也就是問題中採用的容量。同步發電機的功率因數採取的是正常值即是 $\cos\varphi$ 同步為 0.8 。

P 电动机, 有功 (电网的动力负荷%)	100	75	50	25	0
P 照 明 (电网的照明负荷%)	0	25	50	75	100
$\frac{a}{C}$	0	0.182	0.447	0.882	1.61

式中: a ——异步发电机的有功功率。

C ——同步发电机的有功功率。

有了这张表格, 并知道各种负荷的利用小时数, 可以确定他们所要求的容量, 并可得出各种发电机在容量上最合适的比重。

当电网上动力负荷和照明负荷的关系是另一种时, 则可以利用下面公式:

$$\frac{a}{C} = \frac{tg\varphi_{\text{同期}} - tg\varphi_{\text{电网}}}{T_g C_{\text{允许}} + T_g C_{\text{电网}}}$$

式中: $tg\varphi_{\text{同期}} = 0.8$

$tg\varphi_{\text{允许}} = 0.486$ (因为电动机的容量为100
瓩, $\cos\varphi_{\text{异步}} = 0.91$)

$$T_g C_{\text{电网}} = \frac{0.75 \cdot P_{\text{电动机有功}}}{100}$$

如果把这些值代入 $\frac{a}{C}$ 公式中, 即可以使电网中的动力负荷

与照明负荷在任何数值下都可能求出 $\frac{a}{C}$ 之值。

(1966年四川省农村水电机械提水工作座谈会上解答问题的报告)