

列車电站出力鑑定

水利电力部列車电业局編

水利电力出版社

580
.M32.02
4

內 容 提 要

本書綜述列車車站鍋爐、汽輪機、發電機以及附屬設備出力試驗鑑定。着重介紹了出力試驗的步驟和方法，對原有設備的若干改進，以及試驗中得出的結果。

本書供列車車站運行人員使用，亦可供火力發電廠運行人員參考。

列車車站出力鑑定

水利電力部列車電業局編

*

2113 Z 141

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印

新華書店北京科技發行所發行 各地新華書店經售

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 開本*2 $\frac{1}{2}$ 印張*56千字

1959年8月北京第1版

1959年8月北京第1次印刷(0001—1,640冊)

統一書號：15143·1689 定價(第9類)0.29元

出版者的話

发电設備提高出力运行，对緩和目前电源緊張形势，是有一定作用的。列車电业局对列車电站所作的出力鉴定試驗，是以严肃認真的态度，慎重从事的，其步驟和方法，是科学的，因此，把它編輯刊印出来。

但是，提高出力毕竟是一个复杂而細致的工作，因設備来源、构造、性能不同，应该根据具体情况，慎重从事，經過一系列的鉴定和試驗，才能得出正确的結論；在这方面，还没有千篇一律的公式可以套用。

本書的出版，只是希望在方法上，能供各有关单位参考，至于实际工作当中，还应根据具体情况，經過縝密研究进行。

目 录

緒言.....	3
一、第十四列車站出力鑑定.....	5
(一)汽輪機組.....	6
(二)鍋爐機組.....	24
(三)發電機組.....	39
二、一些新的体会.....	53
(一)綜合部分.....	53
(二)汽機部分.....	55
(三)鍋爐部分.....	56
(四)电气部分.....	57
三、附件.....	
(一)汽輪機末段热力計算表.....	58
(二)汽輪機末段叶片弯曲应力計算和速度三角形校驗表.....	65
(三)扩大西門子式流量表量限的經驗介紹.....	69
(四)鍋爐水循环及測量.....	71

緒 言

遵照水利电力部“开展提高设备发供电能力缓和电源紧张局势”的指示，我局在1958年12月，指派汽机、电气、锅炉和热工仪表人员以及第十列车电站组成出力试验工作组，对该站17号机进行了设备出力鉴定试验。试验结果证明该捷克2,500瓩列车电站可提高出力到3,400瓩、0.95力率运行（进口风温 35°C ）；因为当时受汽轮机第二道隔板和电气方面变流器的限制，出力未能进一步提高。本着水利电力部发电设备提高出力会议“逐步提高，遇有问题研究解决后再提高”的指示精神，试验结束后，我局对如何解决这两项问题进行了专门研究。搜集到汽机隔板制造的设计资料和上海汽轮机厂铸钢隔板的允许压力差和应力资料，进行了比较和分析，认为在不影响安全的条件下，该段隔板允许压力差可以由2.35公斤/公分²提高到3.0公斤/公分²。电气方面：变流器问题，采取换用苏联机600/5变流器（捷克机300/5变流器拆下，另行改造）或临时采用开放瓷盖、加油及强力通风措施，以求得暂时解决。发电机静子线卷及铁芯温度安全极限根据水利电力部“香山会议”精神和制造厂的规定，可以放宽到 120°C 。经过分析和推算，捷克2,500瓩列车电站有可能进一步提高到4,000瓩出力。我局在进行上述两项研究的同时，第十四列车电站在当地永荣矿务局的支持和全体职工的努力下，已作了提高到3,550瓩的出力试验。根据该站已有的试验基础，并考虑到当地矿务局大力支持的极为重要有利

条件，我局决定第二次派遣出力試点工作組，与第十四列車电站領导干部及工人，并邀請永荣矿务局領导干部共同組成“第十四列車电站提高出力委员会”，进行了設備出力試驗鉴定工作。

試驗的工作方式及步驟，均遵照水利电力部“香山會議”上程副部长指出的“党、羣、宪、查、辯、試、稳、定、立、件”十字口訣进行，并吸取了第十列車电站試点及第十四列車电站上次进行試驗的經驗。整个試驗的进行是順利的，除了鍋炉在水循环試驗中，因測速管中途損坏，无法測到鍋炉10吨以上运行的流速数据外(根据已測到9.5吨的数据进行推算，在11吨时，无大問題，已由我局另行指定第九列車电站完成該項試驗)，其它均正常，但由于矿区負荷过低，最高仅到3,870瓩，历时1小时，故未能做到預計的4,000瓩試驗。

应当提到的是，在試驗过程中，有关各单位，無論在人力或物力上都給予了很大支持和鼓励，为試驗創造了有利的物質基础，謹此表示謝意。

根据目前掌握的情况和試驗数据推断，第十四列車电站在解决汽輪机調速系統迟緩率較大、軸向繼动器动作位移过小、冷水塔風扇馬达1台損坏、鍋炉安全門泄洩漏动作压力过低、过热器积灰和換装600/5变流器等各項問題后，从設備可能來說，可以允許由原銘牌出力2,500瓩提高到下列运行方式运行：

一、发电机进口風温 20°C

3,750瓩、0.9力率連續运行

4,000瓩、0.9力率运行1小时

二、发电机进口風温 40°C

3,250瓩、0.9力率連續运行

3,500瓩、0.9力率运行 1 小时

但提高到上述出力后，运行操作水平需有相应提高方能适应设备提高出力后的新要求，因此第十四列車电站應該先在3,000~3,500瓩、力率0.8~0.95运行条件下运行一段时期，取得运行經驗并通过解体檢查証明内部正常以后，再过渡到上述二种运行条件。

从鍋炉汽鼓压力、汽輪机配汽机构通汽能力和发电机温升来看，第十四列車电站在今后出力工作上應該是把重点放在巩固成果上，應該从改进运行操作和各項規程制度，以及延长設備寿命和夏季少降低出力等几方面来研究如何保証設備在提高出力后能长期安全經濟运行的措施。

一、第十四列車电站出力鑑定

第十四列車电站出力試驗，分2,500、3,000、3,500、3,750和3,870五級进行。預定的4,000瓩的試驗，因系統无負荷，最高仅达3,870瓩故未进行。試驗持續時間如下：

順序	負荷(瓩)	試驗持續時間(小时)	試驗日期
1	2,500	4	1月30日
2	3,000	4	1月30日
3	3,500	4	1月31日
4	3,750	2	1月31日
5	3,780	1	1月31日

总的鑑定意見是，第十四列車电站最大綜合連續出力可以根据气候不同情况，改在下列运行条件运行。

1. 进口风温 20°C 时, 3,750瓩、0.9力率連續运行; 4,000瓩、0.9力率允許运行 1 小时。

2. 进口风温 40°C 时, 3,250瓩、0.9力率連續运行; 3,500瓩、0.9力率允許运行 1 小时。

力率无法达到 0.9 时, 瓩数需根据力率情况, 相适应降低。在上列运行条件运行时, 鍋炉煤种, 应将受到一定限制, 最好能达到下列要求:

1. 低位发热量 > 5000 大卡/公斤

2. 灰份 $< 30\%$

3. 揮发份 $20 \sim 30\%$

4. 灰熔点 $> 1,250^{\circ}\text{C}$

5. 水份 $< 10\%$

6. 煤块比例: 最大 30 公厘, 5 公厘以下者不多于 50%, 2 公厘以下者不多于 15%。

机动电的主要技术规范可按表 1 修改。

力率不能按一般的 0.8 来考虑, 主要是由于发电机本体的容量較汽輪机鍋炉为小, 这个問題在夏季时暴露得更突出, 有待进一步研究解决。

茲将鉴定意見分汽輪机、鍋炉、电气三部分分別叙述如下:

(一) 汽輪机組

1. 主要规范

制造厂	捷克列宁工厂
最大連續出力	2,500 瓩
最大短时出力	2,750 瓩, 1 小时
型式	冲动軸流凝汽式

表 1

设备分类	项 目	单 位	技 术 规 范	
			原 来	新
汽轮机組	最大連續出力	瓩	2500	3750
	最大短时出力(1小时)	瓩	2750	4000
	新蒸汽压力	絕對压力	38	38
	新蒸汽温度	°C	425	425
	排汽压力	絕對压力	0.10	0.10
	循环水温	°C	34	34
鍋爐机組	最大連續出力	吨/小时	8.5	11.0
	短时最大出力	吨/小时	8.9(4.5小时) 9.5(1.5小时)	12.0(1小时)
	汽鼓工作压力	絕對压力	43	45
	过热器出口汽压	絕對压力	40	40
	过热蒸汽温度	°C	450	450
	排烟温度	°C	220	220
	給水温度	°C	105	105
发电机組	(一)进口风温40°C 时			
	最大連續出力	千伏安	3125	3610
	最大連續出力	瓩	2500	3250
	短时最大出力	瓩	2750	3500
	力率	%	80	90
	靜子电压	伏	6300	6300
	靜子电流	安	287	331
	周波	赫芝	50	50
	(二)进口风温20°C 时	千伏安	—	4160
	最大連續出力	瓩	—	3750
	短时最大出力	瓩	—	4000
	力率	%	—	0.9
	靜子电压	伏	—	6300
	靜子电流	安	—	382

段数	9
轉速	3,000轉/分
額定汽压	37aru(允許最高39aru)
額定汽温	425°C(允許最高445°C)
額定背压	0.10aru(允許最高0.65aru)
額定运行条件下汽耗率	5.4公斤/瓩
排汽方式运行最大連續出力	1,000瓩
循环水温(凝汽器入口)	34°C
抽汽	一段(調整段后)

2. 試驗前准备工作

根据上次試点經驗和发现的問題，除了对全部热工仪表进行校驗外，并重点进行了下列准备工作：

(1) 通汽部分应力在4,000瓩时的事前估算。

根据第十四列車电站17号机在3,400瓩运行时的蒸汽流量为17.8吨/小时，估算在4,000瓩时的流量約为22吨/小时。

$$17.8 \times \frac{4000}{3400} \times (1 + 5\%) = 22 \text{ 吨/小时}$$

以22吨/小时推算4,000瓩时通汽部分的应力为：

1) 末段动叶弯曲应力 80公斤/公分²

2) 第二段隔板压力差 30公斤/公分²

第二段隔板应力 432公斤/公分²

第二段隔板撓度 0.74公厘

搜集了原制造厂設計資料，上海汽輪机厂提高出力資料以及水利电力部技术改进局出力“驗算导則”进行比较，認為通汽部分应力在出力提高到4,000瓩后，仍在安全限度以

內。具体比較見表 2 和 3：

表 2

摘 要	隔 板			
	材料牌号	压力差 (公斤/公分 ²)	应 力 (公斤/公分 ²)	挠度(公厘)
2,500 瓩允許低真空 实测計算值	CT.30(優質)	2.35	322	0.58
3,400 瓩运行实测 計算值	CT.30(優質)	2.35	322	0.58
4,000 瓩运行推算 值	CT.30(優質)	3.00	432	0.74
制造厂提供最大 允許值	CT.30(優質)	3.40	—	—
AK-6 出力試驗允 許最大值	30MA	3.40	946	1.20
技术改进局驗算 導則	CT.30	—	700~800	$\frac{1}{3} \times 3.00$ (軸向間隙)

表 3

摘 要	末段动叶弯曲应力(公斤/公分 ²)
2,500 瓩运行实测計算值	25.6①
4,000 瓩运行推算 值	80.0②
技术改进局驗算導則	320~380

①尚未考虑动叶复环的因素，实际弯曲应力还要小。

(2) 第 3、4 段后加装压力表

为了使通汽部分应力驗算更接近实际起见，利用原有汽缸疏水管在 3、4 段后加装两个压力表，装置方法如图 1：

(3) 加大主汽門行程，减小主汽門压力降

第十四列車站出力試驗結果指出，当負荷升高到 3,550 瓩，調速汽門前新蒸汽压力降低到 32 表压力，調速汽門和噴

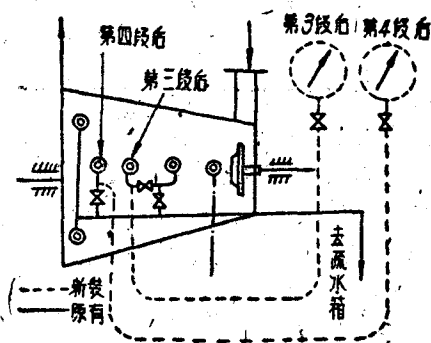


图 1

阻的通汽能力已不能进一步再提高，只有提高调速汽门前汽压方能进一步提高出力（第一次出力试点经验证明，每提高汽压1公斤/公分²出力，可以相应提高约100~150瓩）。第十四列車电站試驗又指出，调速汽门前汽压降低的原因，

主要是由于主汽門前后压力降随着負荷的上升而增大（2,500瓩压力降只有1.5公斤/公分²，3,550瓩时上升到3.5公斤/公分²）。因此，設法减小主汽門压力降，是提高调速汽门前汽压的有效措施，根据当时条件，采取比較容易做到“增大主汽門开度”的办法来增加主汽門通汽面积。

具体的做法是：在不影响部件安全强度的条件下，車去

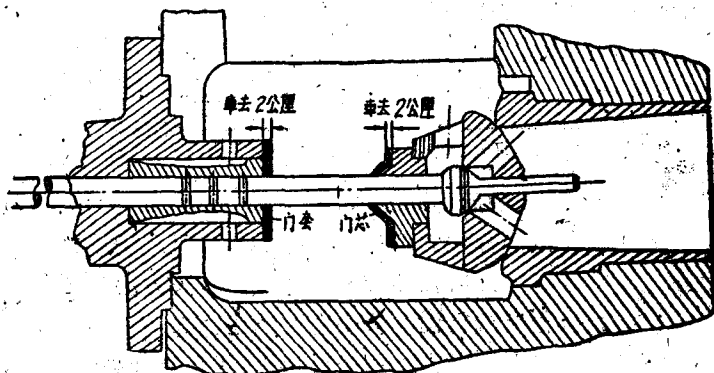


图 2 主汽門行程加大示意图

主汽門門套和門芯上蓋的厚度各 2 公厘，使主汽門開度增大 4 公厘，并車小門套和門芯上蓋間的圓錐形接合面的頂部角度，使汽門開度又增大了 2 公厘，共計增大 6 公厘，如图 2 所示：

經試驗后証明其效果良好，当負荷增大到 3,870 瓩，主汽門壓力降只有 2 公斤/公分²，調速汽門開度距離高限尚有 9.5 公厘(15%)。

(4) 加裝轉子相對膨脹指示器

在汽缸低壓端加裝相對膨脹指示器，借以測定汽輪機在不同工况下和變動負荷時的轉子相對膨脹情況，裝置如图 3 所示。

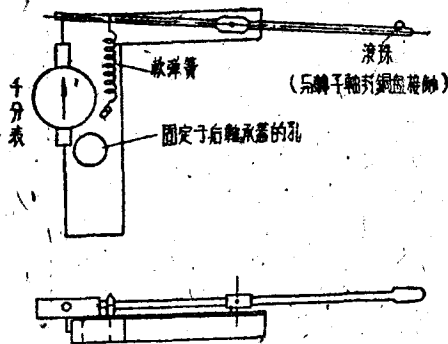


图 3 相對膨脹指示器結構圖

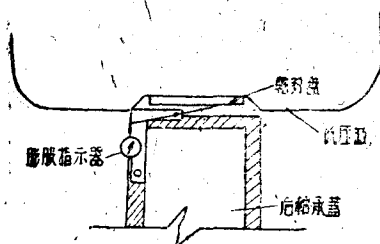


图 4 膨脹指示器安裝示意圖

(5) 改變蒸汽流量表刻度

汽機蒸汽流量表的最大刻度值原為 20 噸/小時，隨着出力的增大，流量也必定增高。試驗前按 4,000 瓩推算，流量不會超過 22 噸/小時，為了適應新的流量，把蒸汽流量表的最大刻度改為 22 噸/小時(詳見本書附件三)。

(6) 調整速度變動率

运行数据

表 4

顺序	出力 瓦	流量 吨/小时	伺伏马达开度		汽温 °C	真空度 %	周波 c/s	循环水温 °C	轴承油温 °C	主汽门后压力 ata	主汽门前压力 ata	调整段压力 ata	第 3 段后压力 ata	第 4 段后压力 ata
			公厘	%										
1	2500	13.5	35.5	58.02	402	90	50.5	32.5	37.5	35.8	37	5.7	2.4	1.5
2	3750	19.8	49	80.4	425	90	50	32.5	38	36	38	8.25	3.7	2.3
3	3870	20.8	51.5	84.4	425	90	51.0	32.5	38	36	38	8.4	3.85	2.40
4	4000	21.5	54	88.5	425	90	50	32.5	38	35.5	38	8.9	3.98	2.48

主汽门前后	压力降 (公斤/公分 ²)					推力瓦温升 °C	振 动 公厘	相 对 膨 胀 公厘	排 汽 温 度 °C	循环水出 °C	入口水温差 °C	复水与循环 °C	循环水台 台	冷开水塔风机数 台
	主汽门—调整段	调整段—第 3 段后	第 3 段—第 4 段前	第 4 段—第 5 段前	第 5 段—第 6 段后									
1.2	31.1	3.3	0.9	1.4	1.4	2.5	0	0	46.5	10.5	1.5	1.5	2	8
2.0	28.75	4.55	1.4	2.2	2.2	2.5	0	0.12	49	11	3	3	3	11
2.0	28.6	4.55	1.45	2.3	2.3	2.5	0	0.18	49.5	11	3	3	3	11
2.5	27.6	4.92	1.5	2.38	2.38	2.5	0	—	56	11.5	3.1	3.1	3	11

核算数据

表5

顺序	出力	核算原始数据			各级理想降									各段压降								
		喷汽阻	蒸汽排压	流量	第2段	第3段	第4段	第5段	第6段	第7段	第8段	第9段	第2段	第3段	第4段	第5段	第6段	第7段	第8段	第9段		
	瓦	ata	°C	吨/小时	大卡/公斤	大卡/公斤	大卡/公斤	大卡/公斤	大卡/公斤	大卡/公斤	大卡/公斤	大卡/公斤	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²		
1	3750	36	425	0.119	819.0	19.0	20.0	19.8	19.8	18.1	31.0	2.65	1.8	1.4	0.90	0.57	0.36	0.20	0.17			
2	4000	36	425	0.121	819.75	19.75	20.0	19.6	19.6	17.7	35.0	2.86	2.06	1.50	0.93	0.63	0.38	0.21	0.23			

末段动叶	弯曲应力	发生效率	应				各力				隔				板				度			
			第2段	第3段	第4段	第5段	第6段	第7段	第8段	第9段	第2段	第3段	第4段	第5段	第6段	第7段	第8段	第9段	第2段	第3段	第4段	第5段
公斤/公分 ²	瓦		公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²	公斤/公分 ²
70.64	602		381	249	201	161.5	114.5	93.6	72.4	69.6	0.665	0.697	0.562	0.452	0.351	0.344	0.288	0.266				
76.3	736		411.5	287	216	167	127	98.7	76	94.2	0.717	0.797	0.602	0.467	0.376	0.363	0.290	0.360				

調速系統速度變動率原為 5.2%，提高出力後，由於調速汽門開度增大，不但使用負荷時關閉時間延長，並使速度變動率也將相應增加（調速系統試驗中測得，當出力提高至 4,000 瓩時，速度變動率為 7.2%），如果不進行調整，一旦發生用負荷時，不能確保危急保安器不動作。為了保證出力提高後的正常用負荷性能起見，因此通過改變及調整連杆和同步器活動聯結點位置（向錯油門側移動 12 公厘），把速度變動率由 7.2% 調整到 4.5%。

3. 汽輪機組運行及核算數據

試驗分為 2,500、3,000、3,500、3,750 和 3,870 瓩五級負荷進行，原計劃擬帶負荷到 4,000 瓩，由於地區負荷不足，當負荷提高到 3,870 瓩時已不能進一步再提高。因此 4,000 瓩的核算數據，是根據 3,870 瓩運行實測數據再進行推算的。

4. 試驗結果分析

(1) 汽輪機本體部分

甲、配汽機構的通汽能力

1) 主汽門：在採取了加大主汽門行程和提高鍋爐汽鼓壓力措施後，在 3,870 瓩試驗中實測的主汽門前後壓力降為 2.0 公斤/公分²，按 4,000 瓩推算，這一壓差也不會超過 2.5 公斤/公分²，如果主汽門前新蒸汽壓力提高到 37 atu，則調速汽門後壓力可以保持在 34.5~35 atu 範圍內，可以滿足出力 4,000 瓩時進汽量的需要。

2) 調速汽門：調速汽門的全開度為 61 公厘，同樣在汽壓 37 atu 汽溫 425°C 條件下，帶額定負荷運行時開度實測為 33

公厘；带负荷3,750瓩运行时，开度实测为49公厘；带负荷3,870瓩时，开度实测51.5公厘；推算4,000瓩运行时，开度约为54公厘，距离高限尚有7公厘（其中有3~5公厘由于受到喷嘴通汽面积限制系无效行程，有效开度还有2~4公厘）。因此，调速汽门的通汽能力对提高机组出力到3,750和4,000瓩来说是沒有問題的。

乙、通汽部分的应力問題

1) 隔板

第2和3段隔板由CT.30優質鑄鋼制成，以应力最大的第2段隔板为例：

压差：

3,750瓩实测計算值 2.65公斤/公分²

4,000瓩推算值 2.86公斤/公分²

沒有超过原制造厂設計最大值34公斤/公分²。

应力：

3,750瓩实测計算值 381公斤/公分²

4,000瓩推算值 411.5公斤/公分²

沒有超过技术改进局“驗算导則”CT.30鑄鋼規定最大值700~800公斤/公分²。

3,750瓩实测計算值 0.665公厘

4,000瓩推算值 0.717公厘

沒有超过隔板和出汽侧叶輪軸向間隙的1/3。

第4到9段隔板是CQ21-40鑄鉄材料制成，以应力最大的第4段隔板为例：

应力：

3,750瓩实测計算值 201公斤/公分²

4,000瓩推算值 216公斤/公分²