

动力机械工业的新技术

(内部资料·注意保密)

中华人民共和国国家技术委员会编印

目 次

动力机械工业的新技术	1
------------------	---

附件

一、参观苏联科学院动力研究所的报告	45
二、参观苏联列宁格勒中央鍋爐汽輪机研究院及莫斯科分院的报告	49
三、参观苏联列宁格勒金属工厂的报告	69
四、参观苏联加罗斯卡亞热电厂的报告	81
五、参观捷克斯洛伐克热工研究所的报告	83
六、参观捷克斯洛伐克勃良斯克水輪机厂及研究所的报告	90
七、捷克斯洛伐克重型机械工业部內燃机研究所所長的談話記錄	94
八、参观捷克斯洛伐克列宁工厂的报告	98
九、参观捷克斯洛伐克蔡卡名——斯大林格勒工厂的报告	104
十、参观捷克斯洛伐克布尔諾克列門特哥特瓦尔德第一工厂的报告	108
十一、参观捷克斯洛伐克布拉格附近的斯拉比水电站的报告	112
十二、参观民主德国汽車研究所的报告	116
十三、参观民主德国威維高城霍希汽車厂的报告	119
十四、参观民主德国目尔曼鮑尔工厂的报告	123

十五、参观民主德国卡尔·李卜克内西重型机器厂 的报告	129
十六、参观民主德国德累斯顿高等工业学校的报告 ...	133

动力机械工业的新技术

印 均 田

一、世界动力制造的水平及发展趋势

1956年6月在維也納召开了第五届世界动力会议，我国曾派代表参加。根据会上的了解，世界动力制造的发展趋势如下：

一、世界动力事业的发展水平

根据会议的綜合报导，1954年全世界的煤产量为16.6亿吨，原油6.6亿吨，天然气無綜合統計（目前全世界生产天然气最多的是美国，1954年的产量为2670亿立方米，輸气管道长达201,168公里，按热值計算占該国原料生产的25%）。

1954年全世界用电量为13,450亿度，其中水电站占4500亿度，火电站占8950亿度（未包括我国用电量的数字在內）。

1950至1954年五年来世界資本主义国家动力資源生产的增長为：

烟煤（折合为热量計算占燃料总产量的52%）每年平均增長1.1%。

原油（折合为热量計算占燃料总产量的30%）每年平均增長8%。

天然气（折合为热量計算占燃料总产量的12.8%）每年平均增長9.8%。

全世界用电量每年平均增長10.8%。

火电方面增長6~7%。

1953年全世界烟煤、褐煤、石油、天然气以及水力發電的总产量，按热值折成电量为205,000亿瓩小时。这种統計折算方法至今沿用于动力資源的生产統計上，但由于缺少在世界动力事業中占很大比重的苏联、中国和东欧人民民主国家，因而統計尚不够全面。在电力生产的統計方面虽比較完整，但仍缺少中国的数字。統計数字中尚存在另一些缺点，如燃料在化学上的利用价值未表現出来。

二、热力發電方面

1. 提高热力發電的主要措施。

由于煤的開發赶不上發電的增長，除積極開發其他能源外，在热力發電方面尽力利用低值煤，减低煤耗，即提高总的热效率。例如1950年蒸汽發電中的最高效率为33.5%，到1954年就有了很显著的提高，最高效率接近40%，这主要是由于采用了高溫高压蒸汽，再过热，多次抽汽，提高給水溫度、运用流体力学原則改善汽流通道、尽可能利用高真空度、改进燃燒室、降低廢汽溫度、采用大机組等八項主要措施的結果，现就主要的几項分述如下：

(1) 提高蒸汽参数及增大單机出力对提高效率所起的作用：如將蒸汽参数80气压、500℃，提高至140气压、600℃，不用中間过热法，出口湿度保持14%以下，則热耗可由2700大卡/瓩小时降至2500大卡/瓩小时，如用超高溫及超高压351气压、648℃，功率325MW及二次过热，則热耗可降至2140大卡/瓩小时。效率的增長一般有下一公式里所表示的关系：

$$\mu = a - b \left(\frac{P_1 - P_0}{DH_0} \right) P_1$$

——进气压力 D——通过的蒸汽量
 P_0 ——出气压力

增加压力必然要增加单机容量，这是一方面，另一方面大机组不仅效率上可以提高，而且在基建方面也可节约投资，例如30万千瓦的电厂，用二台15万千瓦的机组，较用三台10万千瓦的机组节省投资10%。

(2) 多次过热对提高效率所起的作用: 蒸汽参数提得很高后, 必需与两次过热相结合, 不然当最后出汽的湿度提高到超过14%时, 则不能应用。多次过热如选择恰当, 可以帮助提高效率2~4%, 美国奇异公司(G.E.C.) 1954~1955年所生产的机组中, 83%是属于用多次过热法。

(3) 多次抽气提高給水溫度的目的: 多次抽气提高給水溫度, 是一种接近理想循环[加諾循环] (Carnot-Process) 的办法。在高参数大功率的机組中, 用多次抽汽法, 也能帮助解决在最后数級叶片間除去湿蒸汽中的凝水滴問題, 以及便利低压部分的設計。因为只有約75%的蒸汽通往凝汽器, 而其中25%由抽汽管中逸出。但抽汽次数不宜太多, 最多只能抽7~9次, 用抽汽預热給水溫度与鍋爐中沸点的比例, 最好为0.6~0.7。

2. 已經運轉，已在生產，以及正在試驗中并已獲得結論的機組見第4頁各表。

3. 制造高参数高效率大容量机组所遭遇的困难及其解决的办法。

(1) 鍋爐及其結構: 170大気压以下的鍋爐目前大部分采用自然循环單汽包或双汽包型式, 这种型式仍有一定的好

已經運轉的機組

制造国家	功 率 (瓩)	蒸 汽 参 数	过热次数 及温度	軸数	投入运行 日期
美奇異公司 (G.E.C.) 西屋公司	200,000	126公斤/厘米 ² 565°C 140公斤/厘米 ² 566°C	一次 565° 一次 566°	單軸	1952
苏 联	150,000	170公斤/厘米 ² 550°C	520°	單軸	1953
西 德	150,000	110公斤/厘米 ² 525°C	—	單軸	1955
西 德	(未及时記 录下来)	330公斤/厘米 ² 620°C	(未及时記 录下来)	單軸	1955

正在生产的機組

制造国家	功 率 (瓩)	蒸 汽 参 数	过热次数 及温度	軸数	投入运行 时期
美 国	340,000	351公斤/厘米 ² 648°C	二次 565° 565°	双軸	1959
瑞 士	250,000	140公斤/厘米 ² 565°C	一次 565°	單軸	
苏 联	200,000 ~300,000	130~300公斤/厘米 ² 565°~650°	565°	單軸	
英 国		166公斤/厘米 ² 560°C	538°	單軸	1959

在試驗中已获有成就的鍋爐

制 造 国 家	蒸 汽 参 数	附 注
瑞士(Sulzer苏 尔寿)	400公斤/厘米 ² 650°C	为协助美国制造 340 MW 机組而 作的試驗鍋爐
苏 联	300公斤/厘米 ² 600°C	試驗鍋爐已运行至25,000小时

处。但如果再增大压力，則自然循环中的上升力就会漸感不够。如果增大蒸發容量，則汽包的制造在材料上及工艺上又会遇到極大的困难。在理論上汽包鍋爐也只能做到临界压力为止。为解决这些問題，苏联的“蘭母斯”、德国的“朋生”、瑞士的“苏尔寿”都各自創造了各种不同类型的直流鍋爐，試

驗証明采用直流鍋爐較汽包鍋爐可以节省很多鋼材，而且起動升火更为迅速。已在制造中的直流鍋爐最大蒸發量为1108噸/小时。

(2) 鍋爐用料：在高溫高压状态下，材料上会产生六个問題，即蠕变、冲击值、降低結晶裂化、在应力下的腐蝕、表面氧化、焊接中的材料及工艺問題。

鉻鋼加鉬、鈮、鎢、鈷或鉭可提高蠕变能力，但加鎢、鉬、鈮、鈷在高溫时会减低冲击值。例如鈮对提高抗張强度虽然很好，但在650°C时不能抵抗表面氧化。对結晶裂化及应力下的腐蝕，鉬、鉭、鈷起稳定作用，但鈷对稳定也有一定范围。

在550~580°C的范围内适用的鋼材如下：

苏 ЭИ534、ЭИ257(ЭИ1Т, ЭИ257 到 600°C)

德 16/13N、16/13/2N

美 Croloy 15-15N(Babcox-Wilcox 厂)

650°C以及650°C以上用鉭鈷鋼以及鉭鈮鈷鋼，尚在試驗，加工很不容易。

(3) 焊接：奧斯田体鋼与珠光体鋼的焊接問題尚未完全解决，用10%鉻和50%鎳的焊条尚在試驗阶段。目前不同的鋼料在結構設計上是不用焊接方法来接联的。奧斯田体鋼件的焊接所用焊条，内含16~18%鉻，8%鎳，2%鉬+鉬，这种比例是最为有效的。

(4) 鍋爐的燃燒室：随着高溫高压大机組的出現，在燃燒設計方面要求在小的單位容量上發出更多热量，提高鍋爐效率。

采用低值煤，則灰的处理大成問題，溶液爐膛是解决此問題的一条途徑，特别是采用其中的旋風式爐膛。橫式旋風爐

膛用粗粒粉煤，每立方米每小时能發热 4,500,000 大卡，立式旋風爐膛用細粒粉煤發热 1,000,000 大卡。在空气过量5~10%的情况下，橫式旋風爐尚能保証灰份为3~35%，灰熔点为150℃。揮發份为8~40%的煤粉在爐內燃燒，也只有用小量的空气过量才能阻止在燃燒室中产生三氧化硫（SO₃），从而有条件將廢气溫度下降，不产生腐蝕作用。如使用熔点高的褐煤，則应混用各种性質的原煤及其他能降低熔点的混合物，来解决熔灰問題。一般在溶液中能除去90%的灰粉，熔液热能的利用也很有發展前途。使用水份过多的低值煤，一般用廢气或汽輪机抽汽加热干燥法，根据西德报导最高效率达93%。

使用溶液爐膛在西德發展很快，几年內的变化情况如下表所示：

年 度	一 般 爐 膛	粉 煤 爐 膛	溶 液 爐 膛
1948	19.6%	57.6%	22.8%
1954	7.9%	27.1%	65%

苏联也在積極推广旋風式爐膛。

（5）鍋爐給水問題：在高参数蒸汽下的鍋爐，其水垢的熔解点有的低于爐壁溫度，这便更加速了对高級合金鋼的腐蝕作用，因此对給水的要求更为严格。超高压的汽包鍋爐的給水，除一般化学处理外，再用逐級蒸發，如减低水汽进入汽包速度，汽包內部安裝离心分离器的办法，汽中溶解的硅酸鹽則用給水洗清法，汽輪机的再热蒸汽采用水分分离法等措施。临界压力以上的超高压高溫鍋爐，主要經高酸性陰离子交換器、高碱性陽离子交換器、除气器及混合過濾器等处理方法处理后，每公升水的鹽分不会超过0.1毫克，硅酸鹽低于0.05毫克。

(6) 汽輪機的結構: 限制汽輪機的功率有兩個方面的原因: 一个是汽輪機本身的, 另一个是發電機轉子的。汽輪機本身的原因是由于離心力及震動的作用而使末級葉片及葉輪的材料抗張強度受到一定限制, 以及最小損耗的出口汽流的通道面積有一定限額, 因而影響汽輪機的功率。電機方面的原因是由于受轉子鍛造能力的限制, 因而也影響汽輪機的功率。在電機方面由于採用空心導綫及高壓氬氣冷卻後結合的方法, 瑞士 BBC 廠認為目前世界鍛造能力最大可達 400MVA(320MW)。

保持出口氣流最小損失為 1~3% 總熱耗的條件下, 出口最大通道不要超過 5 米²。

已運用的葉片最大周速為 477 米/秒, 葉片長 660 毫米, 轉速 3600 轉, 其通道面積為 3.75 米² (最大 4.9 米²)。

1800 轉最大葉片長 1170 毫米, 周速 415 米/秒。

由于有上述限制, 美國的 340MW 的汽輪機目前採取了雙軸并聯法, 一軸 3600 轉/分, 一軸 1800 轉/分。

根據各方面的計算, 蘇聯將設計 500MW 的機組, 美國西屋公司認為完全有可能設計 600MW 的機組。

(7) 汽輪機的材料: 奧斯田體鋼的導熱性差, 熱脹度較珠光體鋼高, 在汽溫 650°C 以上則非用不可, 一般汽輪機在 545~585°C 範圍內尚可用珠光體鋼。565°C 時汽缸閥門、轉子一般採用鉻、鉬、鈮、鎢的合金鋼, 葉片用 13% 的鉻鋼加鉬、鈮及鎢。

蒸汽參數 600~650°C 時用奧斯田體鋼, 一般以鉻、鎳為主加鈮或鉬鈮, 也用鈦 (或加微量的硼)。

葉片材料見下表。

C	Si	Mn	Co	Cr	Mo	N ₂	Ni	Ta/Nb	W
0.08	0.8	1.1	—	16	2	0.15	13	1	—
0.4	0.8	—	10	13	2	—	13	3Nb	2.5

紧固件如螺釘、螺母用奧斯田体鋼会發生粘住現象，可用硫化鋁作为塗料或在設計上設法避免，如德国已運轉的320气压、620°C机組高溫部分根本就沒有中分面，因而不用螺釘。

鍛造的或焊接的轉子和叶輪，在工艺上及檢查上都要特別注意。美国在1950~1955年中又一次發生轉子飞逸事件，所以美国在最近二年来推行了全速热稳定处理，即將荒車轉子置于电热箱內，在蒸汽参数相等的条件下用全速試轉。此外20~25%的超速、超声波探伤、Betatron 探伤等都是—部分必要的工艺过程。德国蔡司厂（Zeiss）在超音波探伤显真的研究上有突出的成就，目前虽不了解其將來对大鍛件的精密度如何，但还是值得加以注意。

（8）汽輪机的冷凝器：高参数大机組对冷凝器提出两个新的要求：一个是不能滲水，否則影响給水的鹽量；另一个是要大量的冷却水，因为电站容量增大及工業用水增多后，普通冷却水也感到有問題了。如果銅管二端粘一層非常牢的薄橡皮膜，就更能保証不漏水。

匈牙利正在試制32000 瓩汽輪机用的空气冷却器，它是累积了小型机組的經驗之后而設計的，其优点是：絕对不会有不良的杂质进入給水，可以在缺水地区应用，我国西北少水地区对此問題更应着重加以研究。

英、德都在这方面进行研究，根据西德的报导：当凝結

量为40吨/小时，在室外温度为 12° 的情况下，真空至0.075公斤/厘米²。原發明人海洛（Heller）拟在32000瓩机组上提高热交换的效率，使真空达到0.05公斤/厘米²。待热交换問題彻底解决后，就有条件用于大机组中。

4. 电站和热的综合利用及其他

（1）火电站：机组在日趋扩大中，电站的发电容量也日趋增大，已运转中的最大火电站为1400000瓩（美）。苏联也计划于第六个五年计划建立1000000~1500000瓩的火电站，单机容量为300000瓩。

面积指标以蒸发量计算，则每米锅炉宽度应产蒸汽40吨/小时，以瓩计算则每平方米建筑面积为50瓩。

随着高温高压过热蒸汽的采用，自动控制的发展，及锅炉制造工业的进步，多认为备用锅炉很不必要。因为增加备用锅炉，势必增加管道及阀门，而高温高压阀门的安全可靠性，在整个电站中也算是薄弱的一环；其次，采用备用锅炉后如用蒸汽再过热管道，将更为复杂，自动控制也更麻烦。新的方向是采用一机、一炉、一电、一变的单机组。

电站中的辅助设备，一般只有电动的（苏联1955年8月19日的电站部公报中更具体的决定了改善设计，在电力系统中的电站不设备用锅炉及汽动给水泵）。300气压的机组中厂用电约等于发出量的8~10%。

（2）热电站：将背压蒸汽的余热加以利用，则背压式汽轮机的效率可达80%。热电站有背压式、抽汽式等型式，水力发电多的国家则热电站趋向于用背压式机组，以火力发电为主的国家则多用抽汽式。

（3）热的综合利用：根据苏联的报导，全苏发电量11%

用于冶金工業，而冶金工業中的高爐煤氣尚沒有很好利用，如使它發揮作用，則可以滿足冶金工業所需電量的半數。其中蒸汽煤氣聯合循環是綜合利用中的一項，此將在燃汽輪機方面再詳述。

關於熔渣熱的回收問題，目前情況是投資多而收益少。但溶渣經水沖後，可用為建築材料，這不但改進了灰的處理問題，而且很有經濟意義，英國的混凝土建築中有20%的水泥是用渣來代替。熔渣除改進了灰的處理外，還減輕了一般電氣或機械的除塵負擔。

電站廠房設計有露天式的，但要看氣候情況而定，美國已有露天式的，但歐洲國家認為這並不合適。

(4) 發展方向：高壓方面最近將發展500氣壓、700°C，不久的將來可發展到600大氣壓、800°C，單機容量為600MW，蒸汽燃氣聯合循環有很大發展前途。

三、水 力 發 電

1. 水輪機方面的情況及發展趨勢

水力發電全世界都著重於綜合利用，由於土建工程、爆破方法、材料性能等的配合，水輪機的利用面更寬了。現在三種基本型式的水輪機的平均效率為：

卡布蘭式 (Kaplan)	93%
法蘭斯式 (Franzis)	92%
貝爾登式 (Pelton)	91%

根據各方面的報告，水輪機近幾年來的發展情況可歸納為：提高比速 ns ($ns = \frac{n\sqrt{N}}{H^{5/4}}$ ， n = 轉數/分， N = 功率以馬力為計算單位， H = 水頭以米為計算單位)；擴大各種水輪機的水

头范围（例如已在运转中的法国布尔特电站中的卡布蘭式水輪机为69米，捷克在设计中的为71米，瑞士飞翁奈水电站法蘭斯式水輪机的水头已升高到450米，奥国雷賽克水电站的貝尔登式水輪机的水头已升至1750米）；結構上减低机组高度，采用焊接法尽量減輕結構重量，减少軸承数目，采用自动潤滑軸承，改善材料性能，采用电子管調速機構。

目前世界上已运行中的最大机组容量如下表。

卡布蘭式水輪机	111000馬力，美国麦納列
	120000千伏安，苏联古比雪夫（叶輪直徑为9.3米，是世界上最大的）
法蘭斯式	160000馬力，大庫列
貝尔登式（一个噴嘴）	150000馬力
（四个噴嘴）	150000馬力
蓄能水泵	102000馬力

正在设计中的世界最大机组，为苏联的法蘭斯式水輪机，200000瓩。

新發展的水輪机有两种，一种是叶片可以調节的法蘭斯式水輪机，它是丹列亞斯（Deriaz）創造性的設計，它在水头下仍能維持比較好的效率，如將它用为蓄能水泵則更为便利。另一种是管式及半平流式水輪机，它是一种臥式的卡布蘭水輪机，是从極低水头的河底电站發展起来的，將在海潮利用方面起莫大的作用。

2. 制造大容量、高效率水輪机的几个基本环节

（1）提高功率方面：采用高效率的叶片型綫，先进行空气及电气的模拟試驗，然后做模型試驗，再經過空蝕試驗，以取得效率最好的叶片型綫、叶片数目、轉速及尾水管式样。貝尔登式水輪机的射水比例原在11至15时效率最高（射水

比例 $m = \text{轉子节徑: 射水直徑}$; 或 $m = \frac{250}{Ns}$), 瑞士在研究和改进匙形叶斗的型綫后, 比例数現达34, 仍維持最高的效率。

在空蝕方面, 北欧国家利用放射性砒的同位素AS76的办法, 在現場进行試驗, 以补模型試驗的不够。

(2) 在提高單位机組出力方面: 首先在筑壩方面用光学应力測定法, 在水壩模型上进行应力分析, 以及閘門振动的分析。

大容量机組本身的推力軸承、鍛件及电机的飞逸速度, 是限制大容量机組發展的主要因素。

捷克的推力軸承用自动潤滑法, 推力盤的金工加工要保持較薄油膜更小的容差, 結合結構設計, 可使單位压力达到70公斤/厘米²。瑞典建議, 在結構上用尾管进水, 蜗壳出水的办法, 一方面以縮短土建壩下工程, 另一方面也可減少推力軸承的压力。

200000瓩法蘭斯式水輪机的結構, 苏联介紹了熔渣电焊的方法, 根本解除了鍛件的限制。

比速增高后, 飞逸速度的比例也增大了, 西德介紹了电子控制的調速器, 其不灵敏度为0.03%; 轉速發生变化后直接在导叶上起啓閉作用。結合其他措施, 有条件將飞逸速度比降低。

(3) 水輪机用材料方面: 1750米水头的管子最后数段, 瑞士采用鋁合金鋼, 管子壁不厚, 用紅套的箍逐节分段套上, 使管子增加强度。这样既有彈性, 又能承受压力。水輪机的匙形叶輪材料为不銹鋼, 含有12~14%的鉻, 1.5~2%的鎳。

比速高的卡布蘭式、法蘭斯式水輪机轉子經各国長期試驗, 确定不銹鋼最能抗空蝕。大型机器的叶輪或叶片, 瑞士、

苏联采用了不銹鋼板焊接結構，并以中炭鑄鋼为底，外用不銹鋼板貼焊的結構。

目前世界上最大單机容量为 20 万至 30 万瓩，最大叶輪直徑为 9.3 米。随着熔渣电焊的推广，整速機構的改进（以控制飞逸速度），和全机設計的改进，使推力軸承上的总压力降低，或者运用新的潤滑法来提高軸承的承压力，單机容量有条件提高到 50 万瓩。困难的是大机組的成品运输問題。

3. 水力发电站的型式及内部裝置

除一般高、中、低水头的水电站外，近年来蓄能电站發展很快，用水蓄能平衡尖鋒負荷很經濟，目前在煤产不多的国家發展最快，將來大規模原子能电站及火电站發電后更是一个調整負荷的措施。

（1）地下电站：机組主要用法蘭斯式及貝尔登式。目前最大的是加拿大的克孟諾（Kemano）电站，基建完成后可出 240 万馬力。由于蓄水池的水向下直通，通道短，損耗小，在国防上更具有重大意义。有条件的国家都在發展。

（2）潮汐电站：法国利用管狀水輪机已在聖馬罗河（St.Malo）試驗，不久即有 38 个机組在 Rance 河口进行安裝，發電量为 9000 瓩。英国计划在塞文河（Serpen）河口設电站，采用半流式水輪机。

法国認為潮汐發電最多時間恰巧是一般办公時間，也是用电最多的時間，在 Chausey 及 Les Minguiers 二地，根据远景設計估計有發電 1000 万至 1500 万瓩的可能。

苏联的管式水輪机及半平流式水輪机亦在設計中。水輪机討論報告總結發言中，認為利用潮汐是最近科技的一个进步。在原子时代前夕，如基本負荷为原子电站所担負，則水

力蓄能及潮汐利用將占更重要地位。

四、燃汽輪机

燃汽輪机是將燃料直接由化学能变为旋轉机械能的动力机器，不經介質，它能在短時間中开动，基本上不需要水，可利用其他工業的各种廢热作动力，整个机器占用空間小，因之需用材料少。由于上述优点，燃汽輪机發展很快，基本上有三种系統：开口循环、封閉循环及半开口循环。瑞士在这方面最有成績。

1. 已运行或正在設計的机器見下表

型 式	功 率 (瓩)	进口温度 °C	效率	軸数	用 途	国家
开口	27,000 瓩	650°C	25%	2 軸	發電	瑞士
开口	12,000 瓩	650°C	27%	3 軸	發電	苏联
开口	* 25,000 瓩	700°C	—	2 軸	發電	苏联
开口	6,500 瓩	650°C	19.5%	單軸	列車电站	瑞士
半开口	8,000 匹馬力	650°C	26%	3 軸	船用	瑞士
开口自由活塞	6,000 瓩	—	34.7%	單軸	發電	法国
开口自由活塞	* 12000 匹馬力	—	—	單軸	發電	法国
封閉	10,000 瓩	700°C 50 气压	至 34%	單軸	發電	瑞士
开口自由活塞	250 匹馬力	—	—	單軸	汽車	美国

[注] 表中*号代表正在設計中的机器

开口式燃汽輪机的燃料，目前用油及天然气；用固体燃料尚处在半工業性試驗阶段，还不十分成熟。

2. 提高燃汽輪机效率的問題及其解决办法

首先必須提高压縮机的效率，然后再注意下列兩方面：

(1) 提高进气温度：在封閉循环中提高进气温度，因空气爐的热交换关系，在材料上有一定期限制。

在开口循环中，提高进气温度比較有条件，因只有首数