

《国外机械工业基本情况》参考资料

# 工业汽轮机

杭州汽轮机研究室编著

第一机械工业部情报所

1.28/HI  
中国科学院图书馆

# 目 录

一、概述 .....	1
二、国外工业汽轮机的发展水平 .....	3
(一) 综述 .....	3
(二) 产品系列化水平 .....	6
(三) 在主要工业部门中的应用 .....	33
三、国外工业汽轮机主要厂商的生产水平 .....	30
(一) 重要产品的生产情况 .....	30
(二) 生产过程和质量控制 .....	31
(三) 独特工艺和关键设备 .....	33
四、国外工业汽轮机科研及发展动向 .....	36
(一) 系列化方法的研究 .....	36
(二) 提高系列适应范围的动向 .....	36
(三) 元件及系统的研究 .....	37

# 一、概 述

工业汽轮机是指除公用电站外的其它工业企业采用的汽轮机，其中包括：带动各类泵、风机、压缩机等驱动用汽轮机，及工业企业自备电站（工业动力站）用汽轮机☆。工业汽轮机的特点，是在一个企业里考虑了蒸汽的综合利用，有较高的综合热效率。所以，机组的型式上有：背压式、抽汽背压式、抽汽冷凝式及冷凝式等种种不同的设计。图 1 为上述四种型式汽轮机在一个热—电—动力系统中使用的示意图。来自中压锅炉的蒸汽进入抽汽背压式汽轮机，蒸汽在汽轮机内膨胀做功到 6~13 绝对大气压后，抽出一部分供给另一低压驱动汽轮机和作生产上工艺需要蒸汽之用；其余部分，仍在原汽轮机内膨胀做功后，达到 2~4 个绝对大气压的低压蒸汽仍可供作工业生产工艺用汽。图中的抽汽背压汽轮机，用来带动发电机。低压驱动汽轮机有背压式、抽汽冷凝式、冷凝式三种。

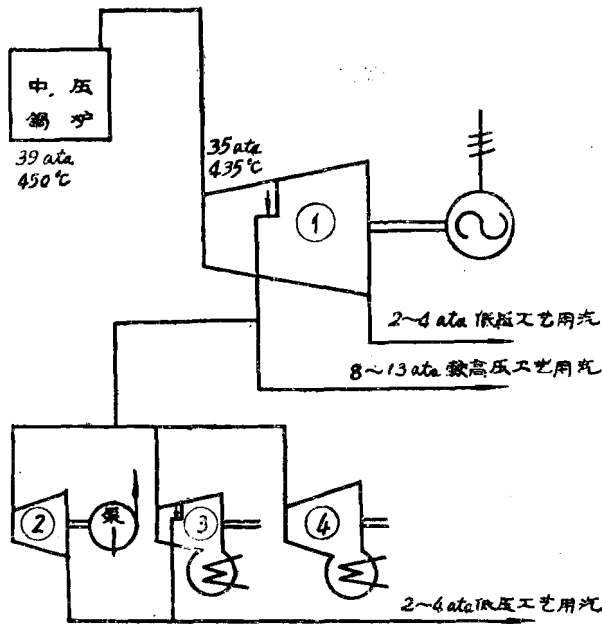


图 1 各种型式工业汽轮机在热-电-动力系统中使用示意图

①抽汽背压式 ②背压式 ③抽汽冷凝式 ④冷凝式

采用工业汽轮机驱动具有下列特点：

1. 比用电动机安全可靠，机组能很好地满足防爆、防火要求；一般可以连续运行二年不用检修；小型驱动汽轮机作为备用动力时，在电源一旦有事故时，能迅速投入运行，而使整个装置不致遭到重大损失。

☆注：有些公司，例如日本的新日本造机（前称广造机），英国的ALLEN，以及荷兰的WS等公司，把船用辅助汽轮机也列入工业汽轮机系列。

2. 使用性能好,表现在:

(1) 起动升速平稳。

(2) 可变转速运行,使被驱动机组的适用范围较大。这种变转速的优越性对工况变动较为频繁的场所(例如高炉)十分重要;同时,由于工业汽轮机可变转速,还可在一定程度上补救被驱动的泵、风机等计算误差所造成特性参数的偏差。

(3) 可直接与被驱动机械相连,不用变速装置,维护方便,可使被驱动机械选取理想的转速。特别是在六十年代中期发展起来的大型化肥、石油化工装置中所用的高速(最高达15000~20000转/分),大功率(最大至50000~60000千瓦)离心式压缩机,广泛采用工业汽轮机来驱动。

(4) 经济性好。用工业汽轮机能最恰当地利用工艺副产蒸汽,有较高的综合热经济性。国外大型合成氨厂由于绝大部分机泵采用工业汽轮机驱动,因而生产每吨氨的电耗降到40度以下。

在工艺上有副产蒸汽,或是需要用蒸汽,或两者兼有的工业企业中,建立自备电站是十分经济合理的,在大型化肥及石油化工等装置中,还有利用工业锅炉汽源来设置企业电站的,国外供企业发电(工业动力站)用的工业汽轮机,在全部工业汽轮机产量中占相当大的比例。例如,西德西门子公司韦泽尔(WESEL)工厂1966~1970年五年总共生产了428台多级工业汽轮机,其中供各类企业带发电机用的有195台,占45.7%。

## 二、国外工业汽轮机的发展水平

### (一) 综 述

工业汽轮机的发展大体上经历了以下几个阶段。

1. 在四十年代前后, 中参数以下的单级转子以及转子为套装结构的多级机组的系列在一些国家中已基本定型。<sup>①</sup>

2. 在五十年代, 发展了能适应高参数的小型工业汽轮机系列, 能满足最高进汽参数为100大气压, 500°C以下的各种需要。

3. 在六十年代, 为了适应高转速被驱动机械的需要, 逐步发展了用整体转子的、较广变速范围(25%以及更多)的多级工业汽轮机系列;<sup>②</sup>其中高转速高出力机组系列是六十年代中期以后为适应化肥、石油化工装置向大型化发展需要而发展起来的。

4. 六十年代后半期至今, 各主要生产厂商进一步完善了多级工业汽轮机系列, 根据“积木块”原理, 进一步提高了产品的三化程度, 以满足用户的广泛选择, 少用基本部件。目前各主要工业国都有完整的单级、多级工业汽轮机系列, 能充分满足下列参数范围的各种需要:

1. 最高进汽参数: 一般为140大气压, 540°C, 企业自备电站用工业汽轮机参数则为240大气压, 565°C;

2. 最大功率: 10万~11万5千千瓦;

3. 最高转速: 多级机组为20000转/分; 单级机组为33000转/分。

简单型工业汽轮机其产品本身几十年来变化不大。目前各生产国都有数家以至十多家专业公司(车间)。例如, 英国有十家公司生产这类产品(见表1)。各国生产的这类产品的结构大体类同, 有的甚至全同。例如, 美国西屋公司在四十年代基本定型的E116、E120、E125型<sup>③</sup>单级双支点机组, 日本三菱重工业公司的神户造船及原动机工场, 加拿大的西屋子公司, 法国的SCHNEIDER等均在生产。

表1 英国生产简单型工业汽轮机的厂商及产品范围

序号	厂 商 名 称	产 品 范 围
1	ATLAS DANMARK	C300~C700T型80~1600马力小型机组(陆用及船用)
2	ALLEN	HES型13800马力以下工业汽轮机
3	A. E. I	中小型背压式工业汽轮机
4	DANIEL ADAMSON	中小型工业汽轮机
5	GREENWOOD & BATLEY	0.5~5000马力小型工业汽轮机
6	G&J WEIR	HG型立式、卧式小型工业汽轮机
7	HAYWARD TYLER	Z1, ZS1型5~200马力泰勒式汽轮机
8	JAMES HOWDEN	HOWDEN牌小型工业汽轮机
9	MIRRLIES WATSON	FA型、FEA型1000马力以下小型工业汽轮机
10	PETER BROTHER HOOD	200~5000马力各种小型工业汽轮机
11	YORKSHIRE	小型工业汽轮机

注①: 这类机组以及单级整体转子工业汽轮机, 称为简单型工业汽轮机。

注②: 这类机组称复杂型工业汽轮机。

注③: 型号中末二位数字表示这些机组叶轮直径分别为16吋、20吋、25吋。

图 2~5 为国外所产的有代表性的单级工业汽轮机纵剖面图。

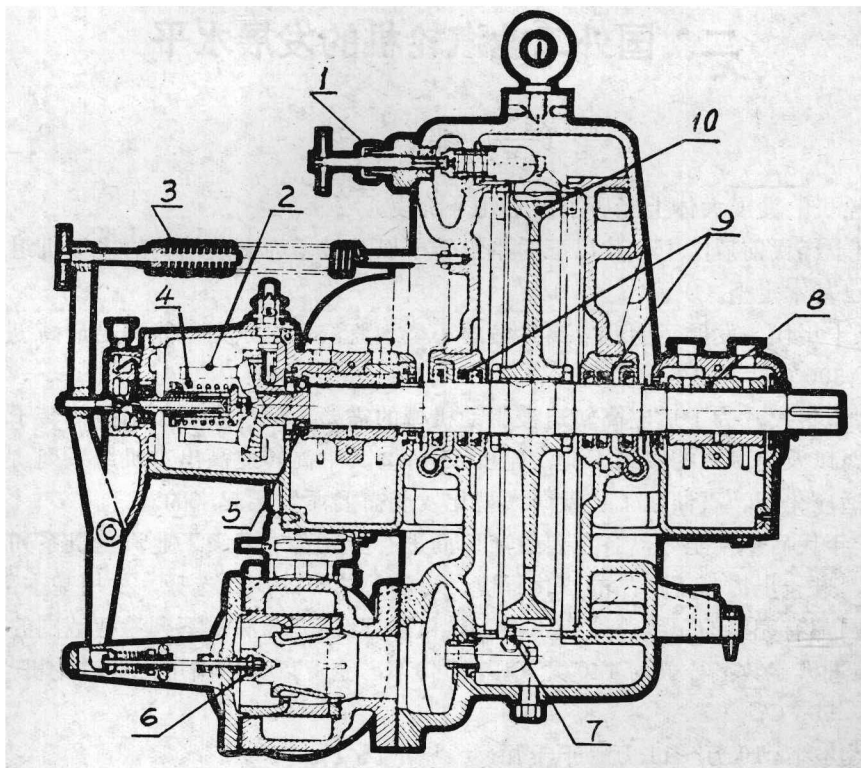


图 2 最“古老的”泰勒式汽轮机

1—手动阀；2—调速器飞锤；3—调速器调节弹簧；4—调速弹簧；5—推力轴承；  
6—调速器蒸汽阀；7—蒸汽喷咀；8—轴承；9—碳精轴封环；10—叶轮

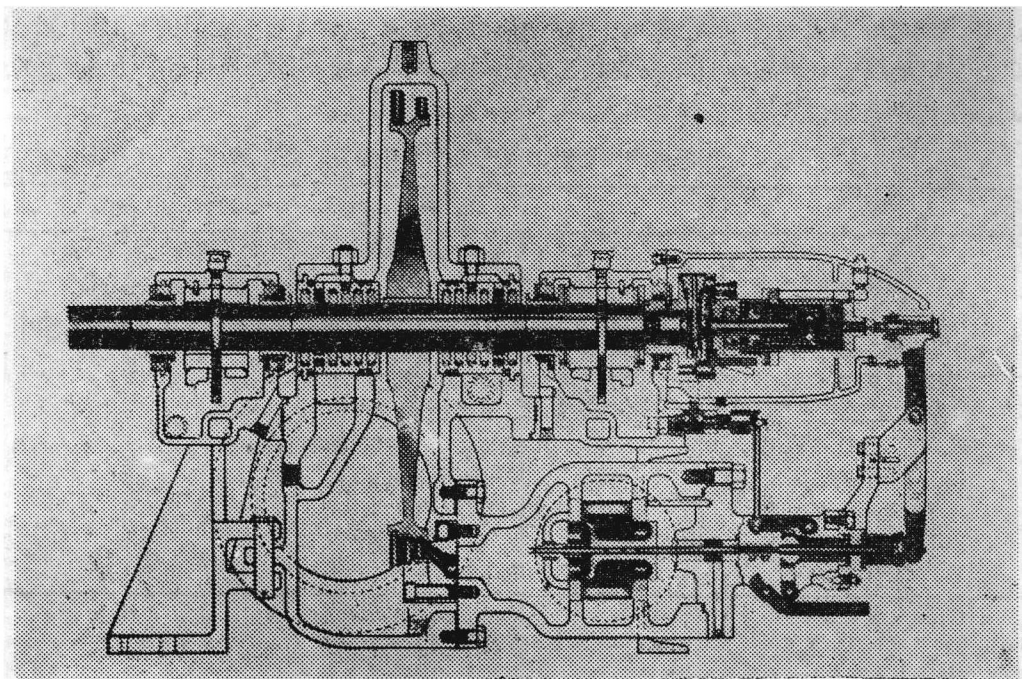


图 3 单级双支点式汽轮机

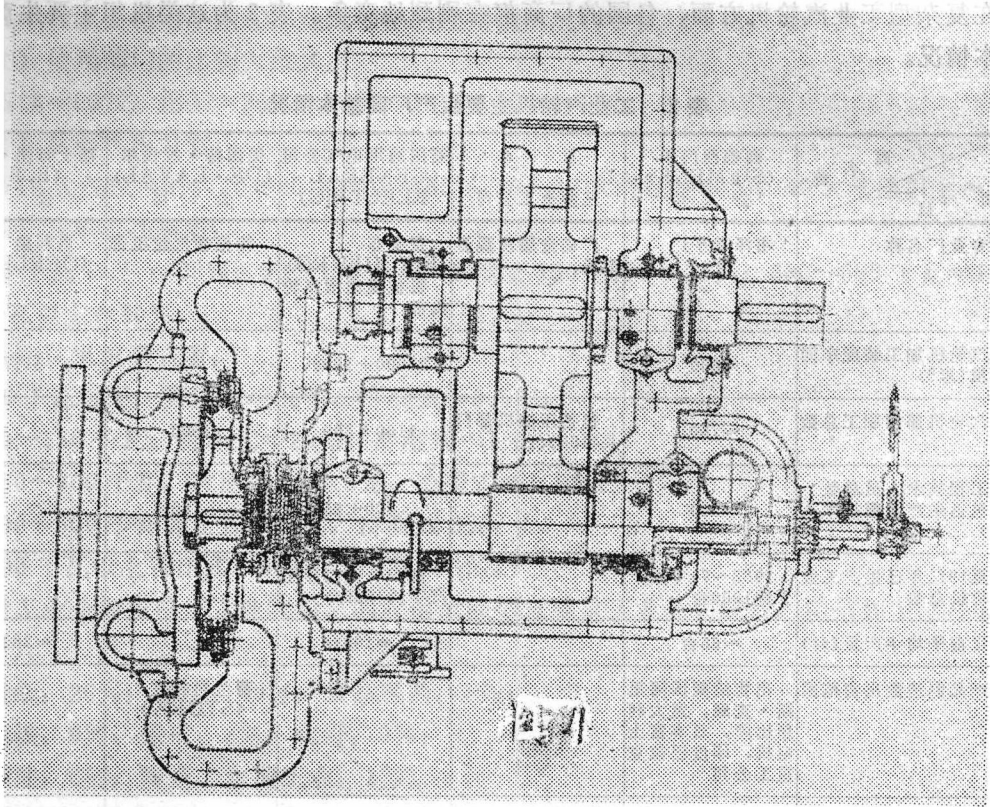


图 4 悬臂式汽轮机

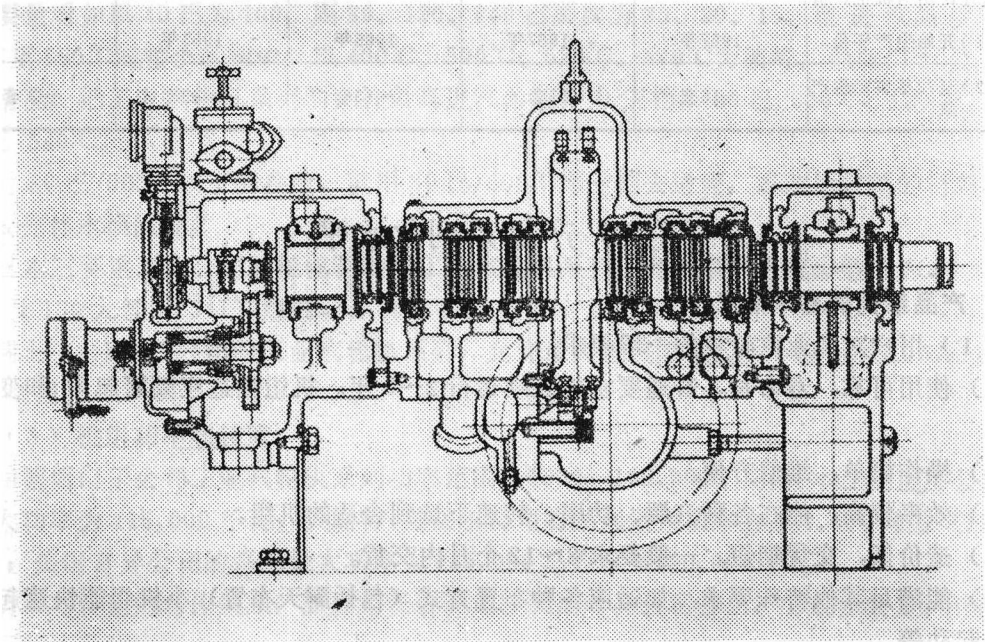


图 5 整级转子的单级汽轮机

在复杂型工业汽轮机方面，各国的厂商都在剧烈地竞争。表2为这类机组主要生产厂商的基本情况。

表2 工业汽轮机主要生产厂商基本情况

序号	厂 商 名 称 项 目	西德西门子 (SIEMENS) 公 司	日 本 三菱重工公司	美国通用电气公司 (GENERAL ELECTRIC)	美国特·拉伐尔 (DE·LAVAL) 公 司	瑞士布朗·鲍维尔 (B. B. C) 公 司
1	专业厂名称	韦泽透平厂	广岛造船所观音 工场	费契布 (FITCHBURG) 机械驱动用汽轮 机部	特伦顿汽轮机部	奥利康 (OERLIKON)
2	汽轮机加工装配车间 面积(米 <sup>2</sup> )	9000		28000+10000		11177
3	汽轮机部门职工总数	≈750	包括压缩机部门 共4168人	1100+300	1500	
4	工程技术人员总数 (包括生产管理技术人 员)	≈250		400+25	185	
5	至1971年已生产工业 汽轮机总数	1958~71年生产 了约1000台		1954~1971年生 产了约1520台		
6	目前平均年产量(台)	≈65台		≈100台		≈20套
7	产品制造数出售范围	出售给美国阿里 斯·查摩，意大利 新比隆，日本富士 电机，印度巴拉克 重工公司			荷兰司托克 (STORK)	
8	产品情况系列范围	100000 千瓦以 下，140大气压540 °C以下，20000转/ 分以下	115000瓩以下， 130大气压541°C以 下，20000转/分以 下	100000千瓦以下	150000马力以下	150000千瓦以下
9	高速高出力机生产情 况 (1)开始生产年份	1967年	1967年	1965年	1963年	
	(2)至72年实际生产 数	≈16套	17套	≈13套	≈42套	≈3套

## (二) 产品系列化水平

### 1. 产品系列的基本情况

(1) 用户对工业汽轮机的一般要求:

- 1) 使用可靠，寿命长。普通要求能连续运行2~3年。机组能适应频繁起动和变工况运行。
- 2) 操作简单，维修方便。
- 3) 效率较高，能在各种汽源、功率、转速下选到合适的机组。
- 4) 造价低，交货期短。一般要求8~12个月内交货。
- 5) 能满足其他特殊要求，如适应各种布置方式(包括露天布置)，小机组能快速起动或快速自起动等。

(2) 产品型式和蒸汽参数:



日本日立公司对小型①工业汽轮机的应用情况进行了统计分析, 结果如下:

1) 使用部门的比例大致为:

石油 $\approx 60\%$ ; 化工 $\approx 25\%$ ; 一般 $\approx 10\%$ ; 其他 $\approx 5\%$ 。

2) 从蒸汽压力看:

$\sim 10$  大气压 $\approx 8\%$ ;  $10\sim 20$  大气压 $\approx 55\%$ ;  $20\sim 40$  大气压 $\approx 30\%$ ;  $40$  大气压以上 $\approx 7\%$ 。

3) 从单机功率看:

50 千瓦以下 $\approx 28\%$ ;  $50\sim 150$  千瓦 $\approx 27\%$ ;  $150\sim 300$  千瓦 $\approx 18\%$ ;  $300\sim 500$  千瓦 $\approx 17\%$ ; 500 千瓦以上 $\approx 10\%$ 。

4) 从机组型式看:

50 千瓦以下, 背压式 $\approx 28\%$ , 冷凝式 $\approx 0.5\%$ ;

$50\sim 150$  千瓦, 背压式 $\approx 26\%$ , 冷凝式 $\approx 1\%$ ;

$150\sim 300$  千瓦, 背压式 $\approx 16.5\%$ , 冷凝式 $\approx 1.5\%$ ;

$300\sim 500$  千瓦背压式 $\approx 14\%$ , 冷凝式 $3\%$ ;

500 千瓦以上背压式 $\approx 6.5\%$ , 冷凝式 $3\%$ 。

对工业企业发电用工业汽轮机的应用范围据三菱重工业公司统计, 结果如下(按装机容量统计):

造纸:  $26\%$ ; 化工:  $40\%$ ; 食品医药:  $5\%$ ;

钢铁:  $9\%$ ; 采矿:  $3\%$ ; 化纤:  $9\%$ ;

炼油:  $6\%$ ; 陶瓷、水泥工业:  $2\%$ 。

西德西门子公司在 1970 和 1971 年曾对用户询价情况作过分析得出: 背压式、冷凝式、抽汽冷凝式、抽汽背压式各类工业汽轮机的需要, 大致比例为  $1:0.8:0.3:0.15$ 。在蒸汽参数方面就进汽压力看, 用户所需要的 10 至 140 巴②中的 40、80、120、140 巴是较多的四个波峰; 从需要量看如以 40 巴为 100, 则 80、120、140 巴顺次为 25、20、15。就进汽温度看, 在  $200^{\circ}\text{C}$  至  $550^{\circ}\text{C}$  的整个区间中, 以  $400^{\circ}\text{C}$ 、 $500^{\circ}\text{C}$ 、 $520^{\circ}\text{C}$ 、 $540^{\circ}\text{C}$  为波峰。经西门子公司综合上述情况, 把工业汽轮机系列的允许最高进汽参数分为三档: 80 巴/ $500^{\circ}\text{C}$ , 120 巴/ $520^{\circ}\text{C}$ , 140 巴/ $540^{\circ}\text{C}$ 。

对 80 巴/ $500^{\circ}\text{C}$  以下的参数, 就用 80 巴/ $500^{\circ}\text{C}$  那一档去适应, 或改用较差的材料, 以减少主要壳体木模品种。

日本三菱重工业公司的机械驱动用工业汽轮机系列, 允许最高进汽参数分为 80 大气压/ $480^{\circ}\text{C}$  及 130 大气压/ $541^{\circ}\text{C}$  两档。

瑞士 B、B、C 公司的工业汽轮机系列, 允许最高进汽参数分为 89 巴/ $510^{\circ}\text{C}$ 、130 巴/ $530^{\circ}\text{C}$  两档。

### (3) 机组功率和转速

西德西门子公司工业汽轮机系列功率范围为  $1000\sim 100,000$  千瓦; 日本三菱重工公司的系列最大功率为 115,000 千瓦; 美国特·拉伐尔公司的系列最大功率为 150,000 马力 ( $112,000$  千瓦); 美国奇异公司的系列最大功率为 135,000 马力 ( $\approx 100,000$  千瓦)。

功率与转速的对应关系, 随应用场合而定。美国奇异公司指出, 合成氨装置、甲醇装置、

注①: “小型”包括的功率范围, 在国际上没有明确的界线, 该公司是指 1000 千瓦以下。

注②: 1 巴 = 0.9869 大气压, 西欧在 1971 年将压力单位统一改用“巴”。

合成天然气装置的管线升压都需要高转速工业汽轮机来驱动，今后发展需要采用 80000~100000 马力 11000 转/分的高转速工业汽轮机；乙烯和天然气液化装置、大型风机（压缩机）、炼油厂、钢厂及煤气化装置，则需要中等转速的工业汽轮机。如乙烯装置的发展，将需要 100,000 马力、4000 转/分（中等转速）的抽汽冷凝式工业汽轮机；天然气液化装置的发展需要 80,000 马力、4000 转/分工业汽轮机。

西德西门子公司调查分析指出，对高转速工业汽轮机其功率与转速有如图 6 曲线所示的对应关系。该公司把各个领域所需的工业汽轮机功率与转速范围绘成了曲线（见图 7），由图 7 看出，合成氨（以及甲醇）装置中合成气压缩机驱动用工业汽轮机，其转速水平最高，被称为高转速高出力机组。

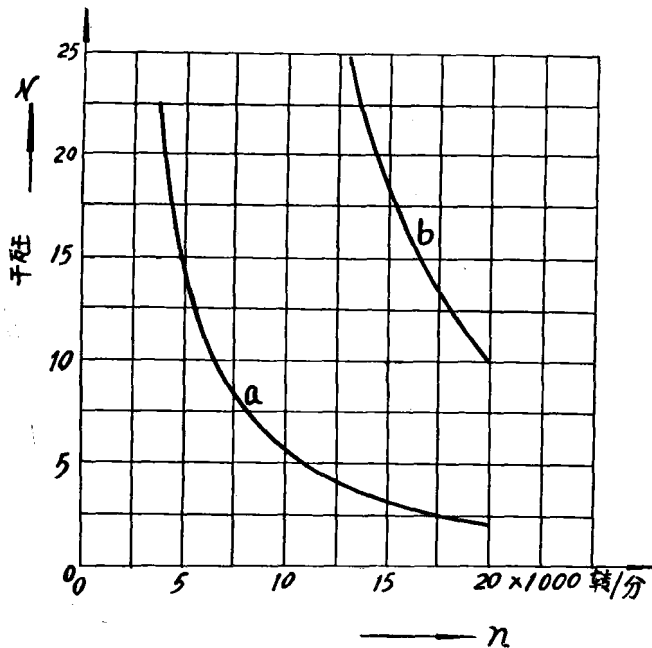


图 6 工业汽轮机功率与转速对应关系

a —— 已达到的；  
b —— 要求达到的。

日本三菱重工公司指出，这类高转速高出力工业汽轮机应达到如下的转速水平，

1. 15000~25000 千瓦机组转速应为 15000~16000 转/分；
2. 25000~35000 千瓦机组转速应为 12000~13000 转/分；
3. 30000~40000 千瓦机组转速应为 11000~11500 转/分；
4. 50000~60000 千瓦机组转速应为 5000~6000 转/分

## 2. 系列化方法

美、英、日本、西德、瑞士等工业汽轮机的主要生产厂商，都是按主要结构尺寸来安排工业汽轮机系列的。系列内的每种尺寸基型在变换少量零部件下，便能适应一定的性能参数（蒸汽参数、功率、转速等）范围的需要。图 8 表明了这一概念。图中汽缸、蒸汽室、转子、调节连杆等，属于这种基型固定不变的基本件；主汽门、调速器、轴承座、轴承、汽封、末二级叶片等，为标准部件；汽阀、喷咀、动静叶片等，是按具体热力参数确定的零部件；这样，对每种尺寸基型，在只改变第三类零件下，可适应一定区间的性能参数范围的需要，如

图9 实线方框表示的说明在某一特定进汽参数下，一种尺寸基型的功率、转速适应范围，图中虚线表示在进汽参数提高下，这一尺寸基型的功率、转速适应范围。

为了减少基本零部件品种，一些公司60年代末期研究采用区段系列，其基本原理为“积木块”法，即把产品再分段，然后，按一定的规律，安排这些分段的结构尺寸系列，再用这些区段，组合成各种类型的尺寸基型。图10为西门子公司的小区段系列方案。根据这一方案，用二种进汽缸区段（每种用一种尺寸），四种背压排汽区段（每种用一种尺寸），三种冷凝排汽区段（每种也用一种尺寸），再配上相应的法兰段、延长段、缩节段等，就可组合成四十一一种基型机组（冷凝式十六种，背压式二十五种）。如用规划好的各种尺寸的区段（积木块），加以排列组合，则可得到几百种尺寸的基型机组。瑞士B.B.C公司从1973年，也用类似的区段系列化方法；美国奇异公司也按“积木块”原理设计工业汽轮机。

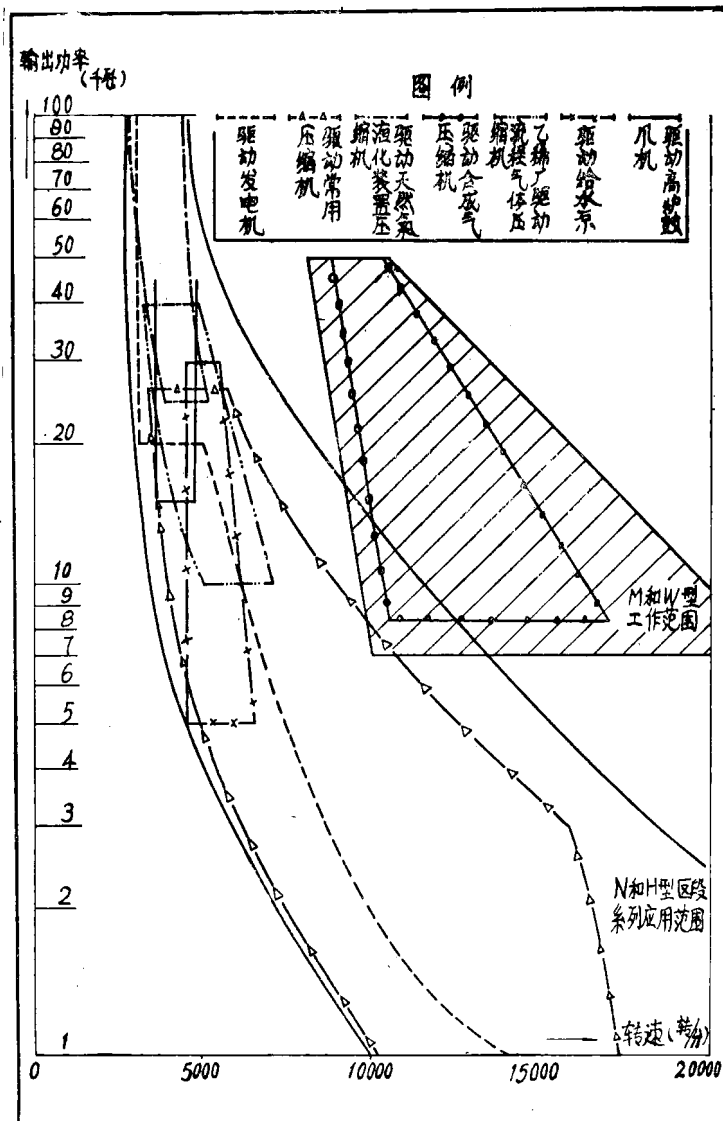


图7 各种装置所用的工业汽轮机功率-转速关系曲线

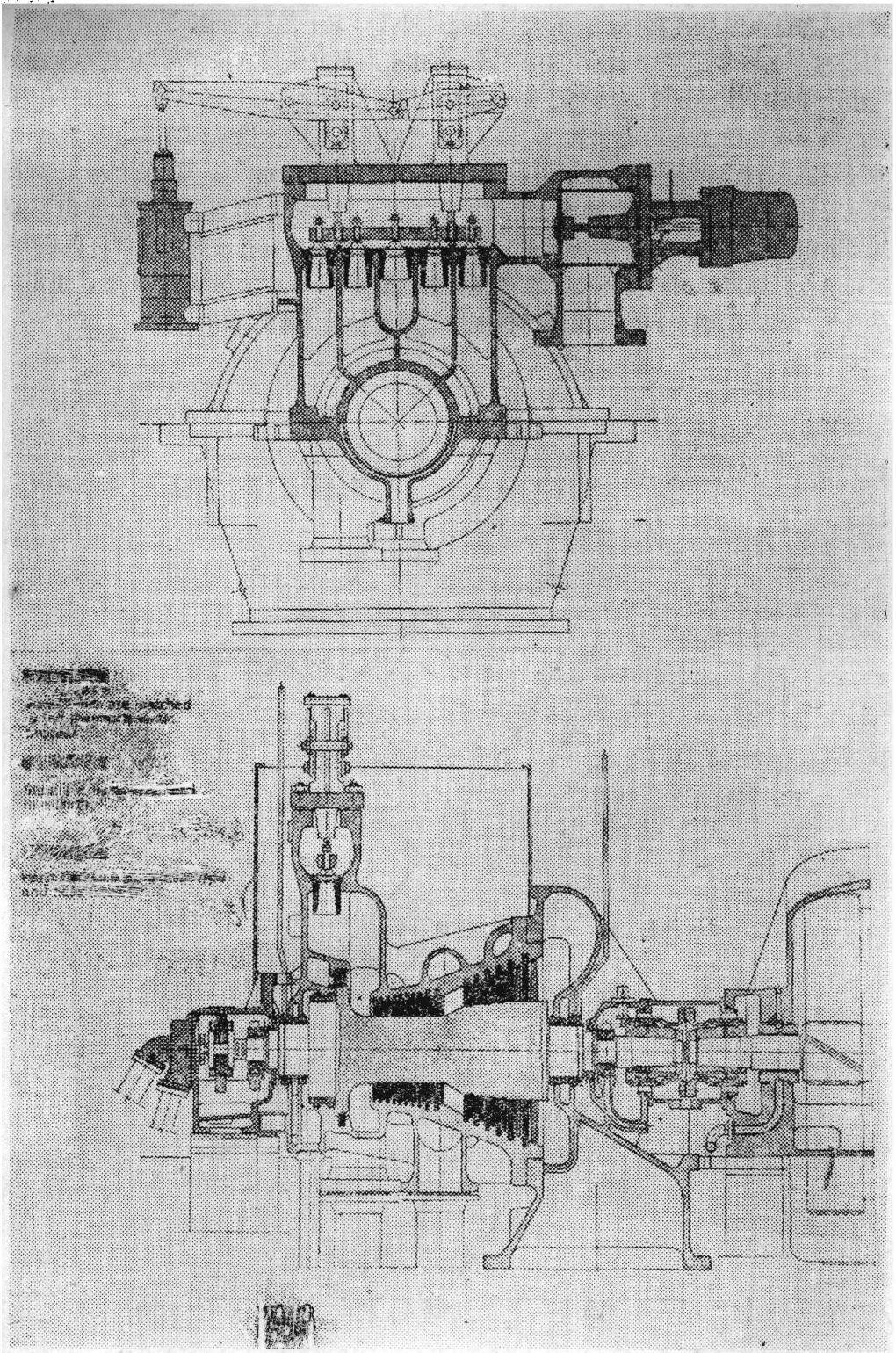


图 8 尺寸基型机组的构成

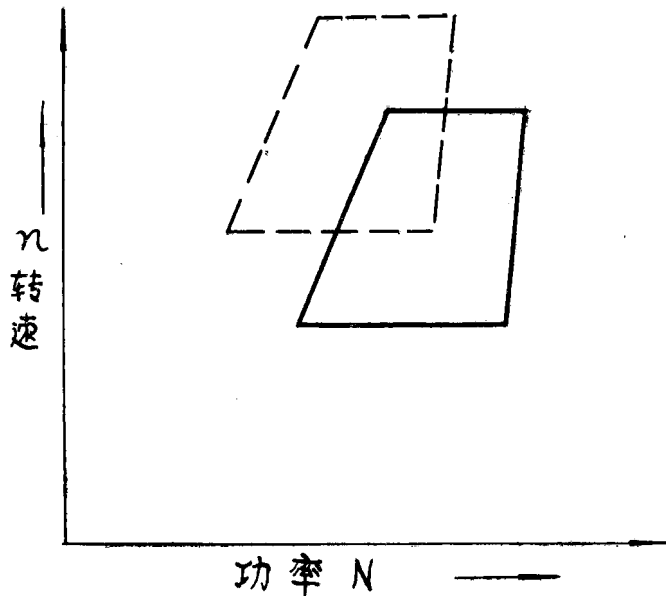


图9 工业汽轮机尺寸基型功率、转速适应范围方框图

### 3. 主要厂商的产品系列及特点

#### 西德西门子公司

西门子公司1927年生产工业汽轮机，在1927~1956年间，基本按用户的具体需要进行设计生产。其后，考虑以主要结构尺寸安排系列，1958年后，逐步发展形成了完整的工业汽轮机，能满足进汽参数140大气压、540℃以下，功率10万瓩以下，转速20,000转/分以下的各种需要。产品包括背压、抽汽背压、冷凝及抽汽冷凝四类，共有G（背压），EG（抽汽背压），K（冷凝），EK（抽汽冷凝），HG（高压背压），MG（即SG，高速背压），EMG（即SEG，高速抽汽背压），WK（即SK，高速冷凝）八个系列，每种系列又有几种尺寸基型。其中HG，EMG，MG及WK系列是1965后才发展的。1969年后，又发展了区段系列，用来代替原来的G、EG、K及EK系列。表3为该公司工业汽轮机系列的主要特性参数。

表3 西门子公司工业汽轮机系列主要参数

第一部分：1958~1965年发展的尺寸基型（今后逐步用区段系列替代）

基型型号	最大出力① (千瓦)	转速范围② (转/分)	最高进汽参数		最高调整 抽汽压力 (大气压)	最高排汽压力 (大气压)	进汽口尺寸 (毫米)	排汽口尺寸 (毫米)
			压力 (大气压)	温度 (℃)				
G200V	2500	10000~15000	80	500	—	15	100	200
G250	3900	10000~12000	80	500	—	15	100	250
G300V	7200	9000~13500	80	500	—	15	150	300
G300	7200	8000~10000	80	500	—	15	150	300
G400	10000	6000~8000	80	500	—	15	200	400
G500	16500	5000~6500	80	500	—	15	250	500
EG250	3900	1000~12000	80	500	20	15	200	250
EG300	9300	9000~10000	80	500	20	15	150	300
EG400	12500	7000~8000	80	500	20	15	200	400
EG500	16500	5500~6500	80	500	20	15	250	500

注①：标称出力值根据蒸汽参数及转速而定；②：这是机组有较高效率的转速范围。

(表 3 续)

基型型号	最大出力 (千瓦)	转速范围 (转/分)	最高进汽参数		最高调整 抽汽压力 (大气压)	最高排汽压力 (大气压)	进汽口尺寸 (毫米)	排汽口尺寸 (毫米)
			压力 (大气压)	温度 (°C)				
K600/601③	4000	9000~12000	80	500	—	凝汽器真空度	100/150	600
K800/801	9000	6000~9000	80	500	—	凝汽器真空度	150/200	800
K1000/K001	9000	6000~9000	80	500	—	凝汽器真空度	150/200	1000
K1100/K1101	13500	6000~7000	80	500	—	凝汽器真空度	200/250	1100
K1400/K1401	22000	4500~5000	80	500	—	凝汽器真空度	250/350	1400
EK600	4000	9000~10000	80	500	16	凝汽器真空度	100	600
EK800	9000	7000~8000	80	500	16	凝汽器真空度	150	800
EK1000	9000	7000~8000	80	500	16	凝汽器真空度	150	1000
E1100	16000	5500~6500	80	500	16	凝汽器真空度	200	1100
EK1400	25000	4500~5000	80	500	16	凝汽器真空度	250	1400

注③: K601~1401最高新汽参数为40大气压、400°C

第二部分: 1965年后发展的尺寸基型(今后继续应用)

基型型号	最大出力① (千瓦)	转速范围② (转/分)	最高进汽参数		最高调整 抽汽压力 (大气压)	最高排汽压力 (大气压)	进汽口尺寸 (毫米)	排汽口尺寸 (毫米)
			压力 (大气压)	温度 (°C)				
HG25/16③	5000	8800~16000	140	540	—	46	80/100	250
HG32/20	8000	7000~12500	140	540	—	46	100/150	300
HG40/25	12500	5600~10000	140	540	—	46	150/200	400
HG50/22	20000	4500~8000	140	540	—	46	150/250	500
MG25/20	9000	16000~26000	140	540	—	46	2×80/100	250
MG32/25	14000	13000~16000	140	540	—	46	2×100/150	300
MG40/32	22500	10000~12500	140	540	—	46	2×150/200	400
MG50/40	36000	8000~10000	140	540	—	46	2×150/250	500
EMG25/20	14000	16000~20000	140	540	46	15	2×80/100	300
EMG32/25	22500	13000~16000	140	540	46	15	2×100/150	400
EMG40/32	36000	10000~12500	140	540	46	15	2×150/200	500
EMG50/40	56000	8000~10000	140	540	46	15	2×150/250	600
WK32/28	10000	13000~16000	15	450	—	凝汽器真空度	2×200	2×0.5M <sup>2</sup>
WK40/36	16000	10000~12500	15	450	—	凝汽器真空度	2×250	2×0.8M <sup>2</sup>
WK50/45	25000	8000~10000	15	450	—	凝汽器真空度	2×300	2×1.26M <sup>2</sup>
WK63/56	40000	6500~8000	15	450	—	凝汽器真空度	2×400	2×2.0M <sup>2</sup>
WK80/71	63000	5000~6300	15	450	—	凝汽器真空度	2×500	2×3.2M <sup>2</sup>

注: ①: 标称出力值根据蒸汽参数及转速而定;  
 ②: 这是机组有较高效率的转速范围;  
 ③: 尺寸分挡大致以公比“1.25”的数系来安排。

图 11~14 顺次为 HG、MG、EMG、WK 系列的纵剖面图。对各系列的主要特点概述于下。

(1) HG 系列

这一系列实质是对“G”系列的补充和发展。“G”系列适应的最高进汽参数为 80 大气压、500°C, 而“HG”系列则为 140 大气压、540°C。

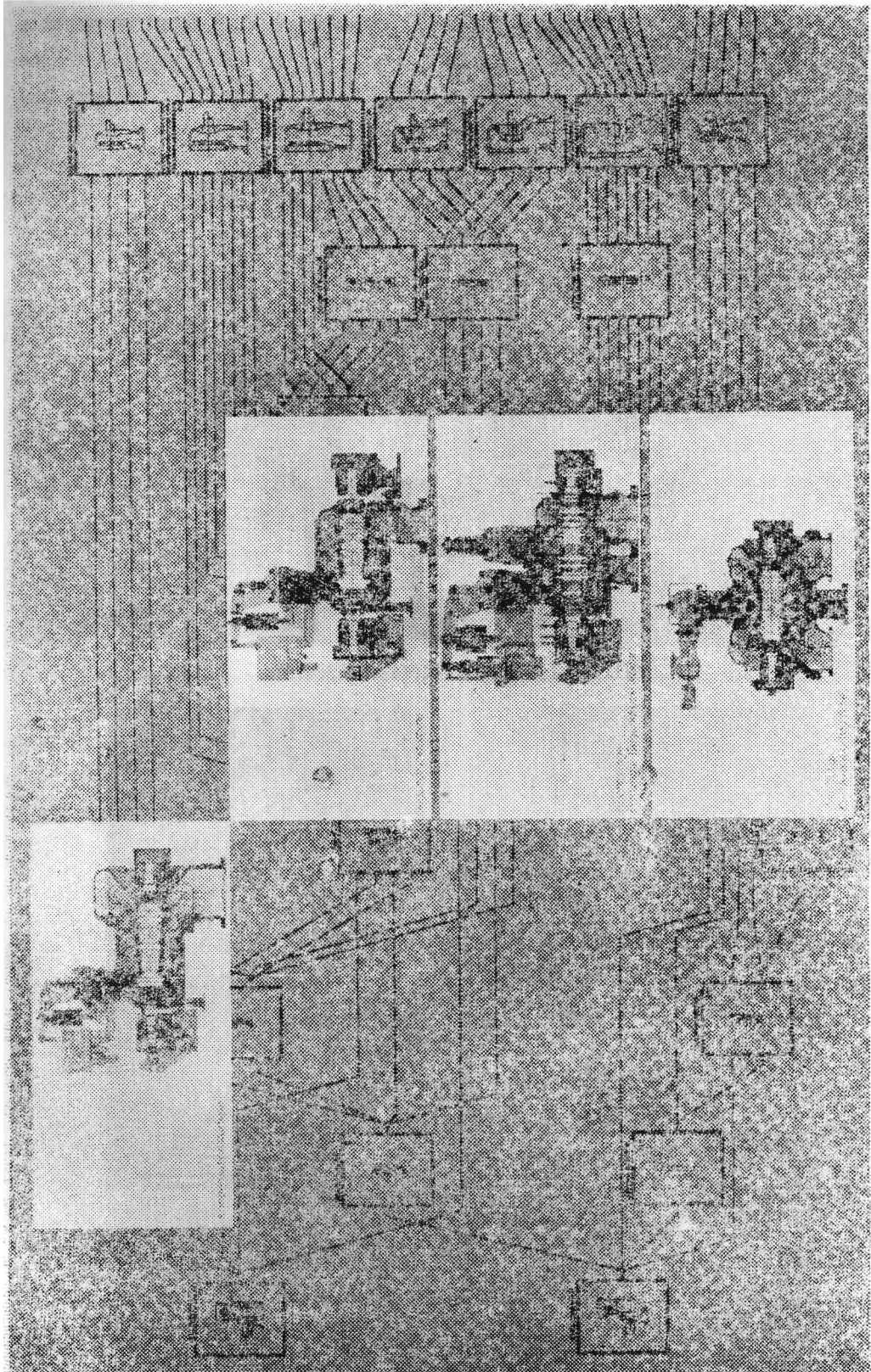


图10 西门子公司的工业汽轮机区段系列

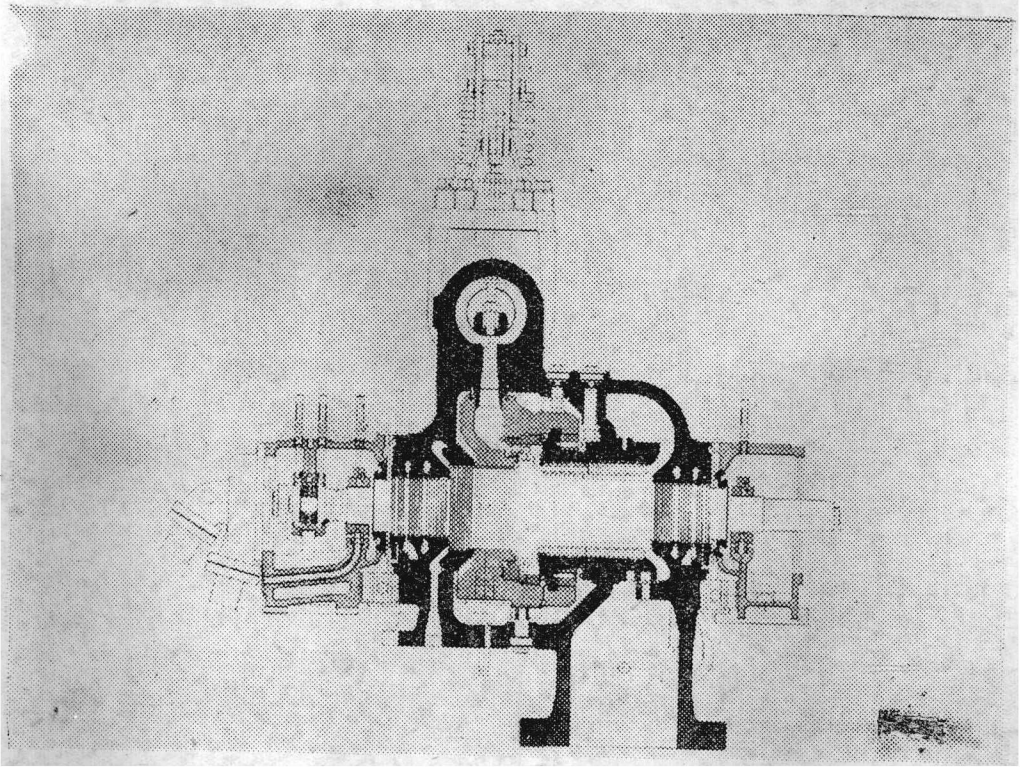


图11 HG型高压背压式汽轮机纵剖面图

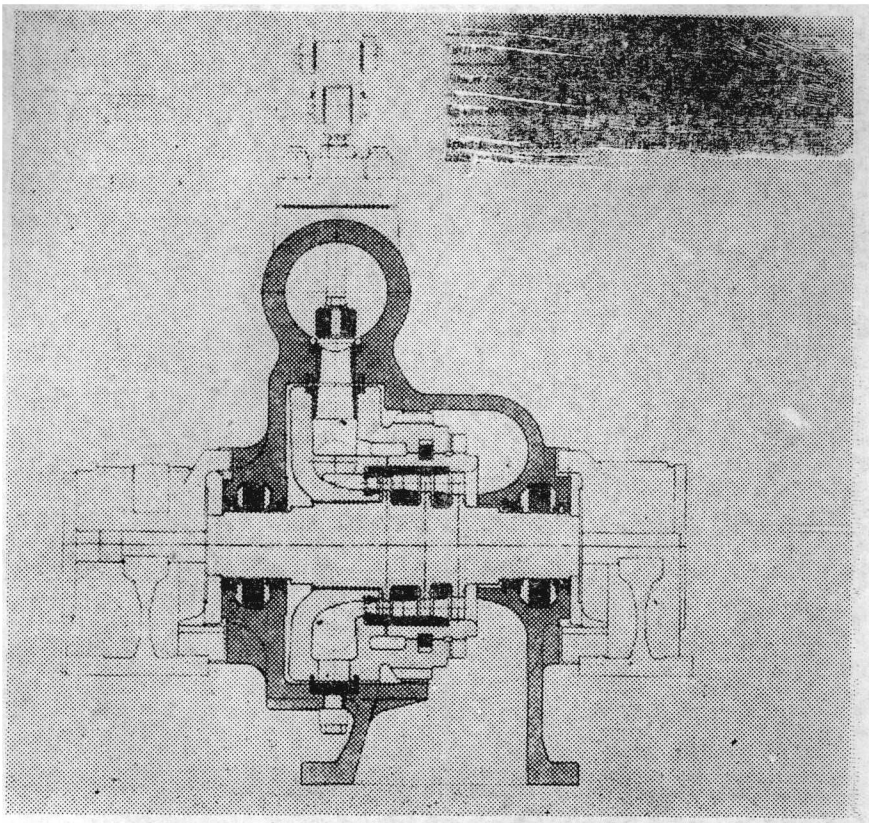


图12 MG型高压高转速背压式汽轮机纵剖面图



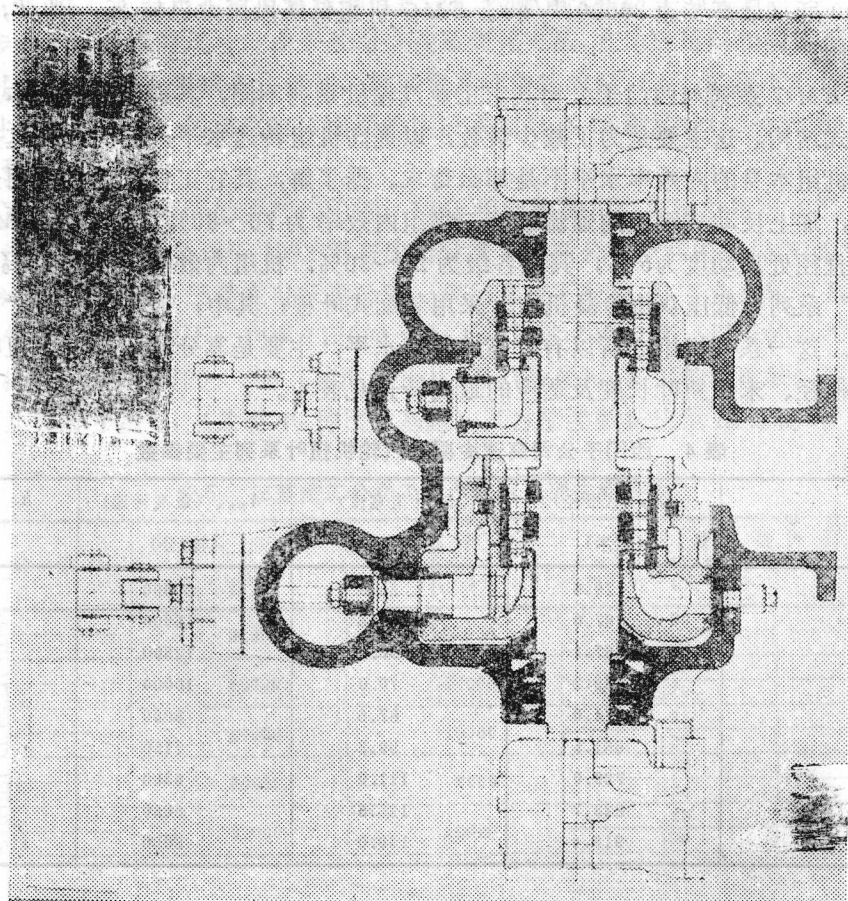


图13 EMG型高速抽汽背压式汽轮机纵剖面图

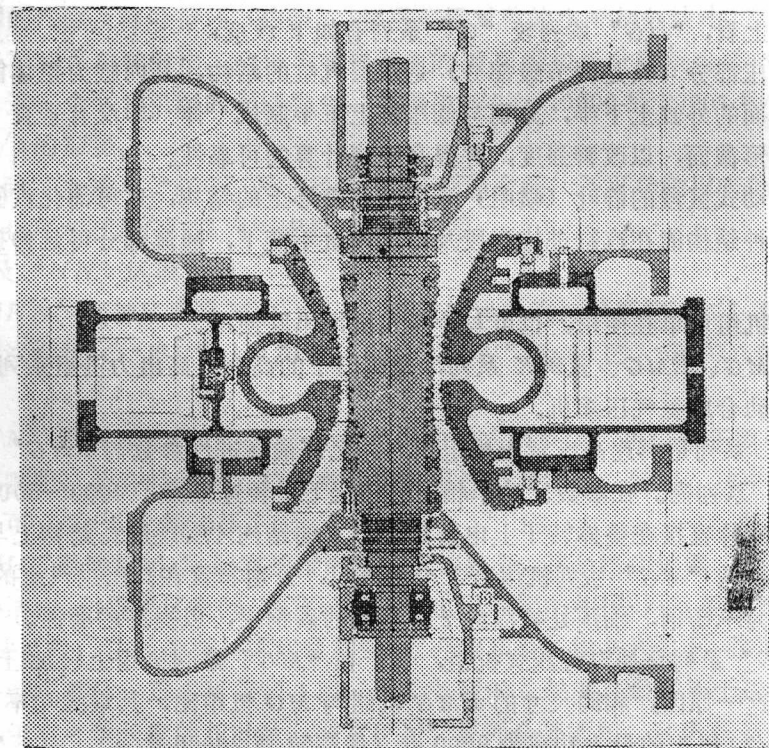


图14 WK型高速凝汽式汽轮机纵剖面图