

自由活塞式发气机

〔苏联〕И. А. 舍列斯特 著 耿惠彬等 译

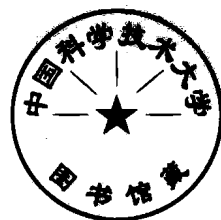
上海科学技术出版社

自由活塞式发气机

〔苏联〕И. А. 舍列斯特 著

耿惠彬 高国权 曾德尧 金守仁 合译

何延林 張长仁 高国权 王鴻飞 合校



上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书阐述自由活塞式发气机的结构、理論及計算。这种发气机的效率很高,单位馬力重量却很小。对于某些經濟部門而言,它比現代柴油機更有发展前途。

本书論述了自由活塞式发气机的工作过程、主要尺寸的決定方法、个别零件的结构,并有主要部件的算例。

本书供从事內燃机方面工作的工程技术人员使用,同时还可供高等工业院校的学生参考。

БЕЗВАЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ГАЗОВ

П. А. Шелест

Машгиз • 1960

自由活塞式发气机

耿惠彬 高国权 曾德尧 金守仁 合譯

何延林 張长仁 高国权 王鴻飞 合校

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出093号

商务印书館上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印張 12 30/32 插頁 5 排版字數 342,000

1964年8月第1版 1964年8月第1次印刷 印數 1-3,500

統一书号 15119·65 定价 (科六) 2.00 元

目 录

第一篇 自由活塞式发气机理論

第 1 章 緒 論	1
§ 1 自由活塞式发气机的产生过程及其工作原理	1
§ 2 自由活塞式发气机的分类及其应用范围	7
§ 3 从經濟方面論証自由活塞式发气机的发展前途	29
第 2 章 自由活塞式发气机的理想循环	33
§ 4 理論示功图	33
§ 5 理想循环参数	34
§ 6 自由活塞式发气机裝置理想循环的热效率	35
第 3 章 自由活塞式发气机的工作过程	41
§ 7 工质的比热	41
§ 8 空气的压縮过程和压气缸示功图的繪制	49
§ 9 自由活塞式发气机动力缸的充气过程	71
§ 10 自由活塞式发气机动力缸中空气的压縮	75
§ 11 燃料的燃烧过程	79
§ 12 燃烧产物的膨胀过程	103
第 4 章 自由活塞式发气机功的平衡	112
§ 13 功的平衡方程式	112
§ 14 保証动力缸与压气缸功平衡的燃烧过量空气系数	117
§ 15 所发生燃气温度与动力裝置效率	121
§ 16 热力計算示例	125
第 5 章 自由活塞式发气机活塞的运动	132
§ 17 活塞的运动方程式	132
§ 18 确定循环次数的图解法	140
§ 19 确定循环次数的近似公式	146
第 6 章 自由活塞式发气机动力缸的换气过程	155
§ 20 自由活塞式发气机换气的流动过程	155
§ 21 换气系統中各主要結構間的关系	158
§ 22 气体流动过程的基本公式	165

§ 23	换气正时及折合时间-截面值	172
§ 24	利用诺模图计算自由排气阶段	180
§ 25	动力缸中的扫气过程	186
§ 26	自由活塞式发气机动力缸的换气计算实例	189
第 7 章	自由活塞式发气机主要尺寸的决定	195
第 8 章	自由活塞式发气机的特性	202
§ 27	压气缸在各种工况下的工作	202
§ 28	动力缸扫、排气口中的压力损失	213
§ 29	改变活塞行程长度时自由活塞式发气机的特性	222
§ 30	所发生燃气压力改变时的发气机特性	230
§ 31	自由活塞式发气机低负荷时提高工作效率的方法	239
§ 32	自由活塞式发气机特性曲线的修正	243

第二篇 自由活塞式发气机的零件结构及其强度计算

第 9 章	现有自由活塞式发气机的主要特性	247
第 10 章	自由活塞式发气机的活塞	267
§ 33	活塞的结构	267
§ 34	动力活塞的计算	271
§ 35	压气活塞的计算	273
§ 36	活塞环的计算	276
第 11 章	自由活塞式发气机的气缸	280
§ 37	动力缸的结构	280
§ 38	气缸套的计算	282
§ 39	压气缸	285
第 12 章	自由活塞式发气机的机身	288
§ 40	机身的结构和材料	288
§ 41	机身的计算	292
第 13 章	自由活塞式发气机的气阀	295
§ 42	气阀对自由活塞式发气机的影响	295
§ 43	直流阀的计算	305
第 14 章	活塞运动的同步机构	311
§ 44	同步机构的说明	311
§ 45	同步机构的计算	314

第15章 自由活塞式发气机的起动系统	317
§ 46 起动系统装置	317
§ 47 起动系统的计算	322
第16章 自由活塞式发气机的稳定器	327
§ 48 稳定器的用途和结构	327
§ 49 稳定器的静力计算	331
§ 50 稳定器的动力计算	333
第17章 自由活塞式发气机的燃油供给系统	340
§ 51 燃油供给系统的结构	340
§ 52 燃油供给设备主要尺寸的决定	348
§ 53 喷油过程的主要阶段	350
§ 54 燃油泵柱塞传动装置的设计	354
§ 55 燃油供给系统内的弹性振动	358
§ 56 И. Б. 阿斯塔霍夫的喷油过程计算方法	361
第18章 自由活塞式发气机的冷却系统	369
§ 57 自由活塞式发气机冷却系统的结构特点	369
§ 58 冷却系统中热损失的确定	371
第19章 自由活塞式发气机的润滑系统	385
参考文献	389
译后记	392
人名索引	393
专业学校、工厂、公司索引	394

第一篇 . . .

自由活塞式发气机理論

第一章 緒 論

§1 自由活塞式发气机的产生过程及其工作原理

机械式发气机是在 1913 年 A. H. 舍列斯特教授提出的,当时他还在莫斯科包烏曼高等工业学校求学。在 1913 年 11 月 22 日发給他的第 20 类 28189 号专利証中写着:此項建議之实质是使內燃机与压气机联合工作,但取消了它与机車車輪之間的机械运动联系,而使其能量以被壓縮的燃气(温度不很高)形式送入燃气儲箱,此后再引入膨脹机作功……。在所建議的机車說明书中,叙述了采用液体燃料、具有活塞式压气机的单作用式四冲程发动机。显然,其他型式之內燃机也完全适用。

图 1 所示为 A. H. 舍列斯特教授設計的装有机械式发气机的內燃机車示意图。发气机活塞上段的直徑作得小一些,用以密封燃燒室。活塞的下段与机体盖之間的环形腔构成压气机。

空气預先在压气机 1 內被压到若干大气压力后进入扫气箱 2。充气时,空气由扫气箱 2 經进气閥进入动力缸 3。气缸 3 內充气完成后,空气即沿 $a-c$ 曲綫(图 2)受到压缩。当活塞移至上止点附近时,噴油器开始噴入燃油,沿曲綫 $c-z'-z$ 进行燃燒。到 z 点燃油的显著燃燒終止,燃燒产物即开始膨脹。当活塞移至下止点附近时,压出閥打开,燃气被动力缸活塞排入燃气儲箱 4(图 1)內。燃气由此进入膨脹机 5,再带动內燃机車車輪。

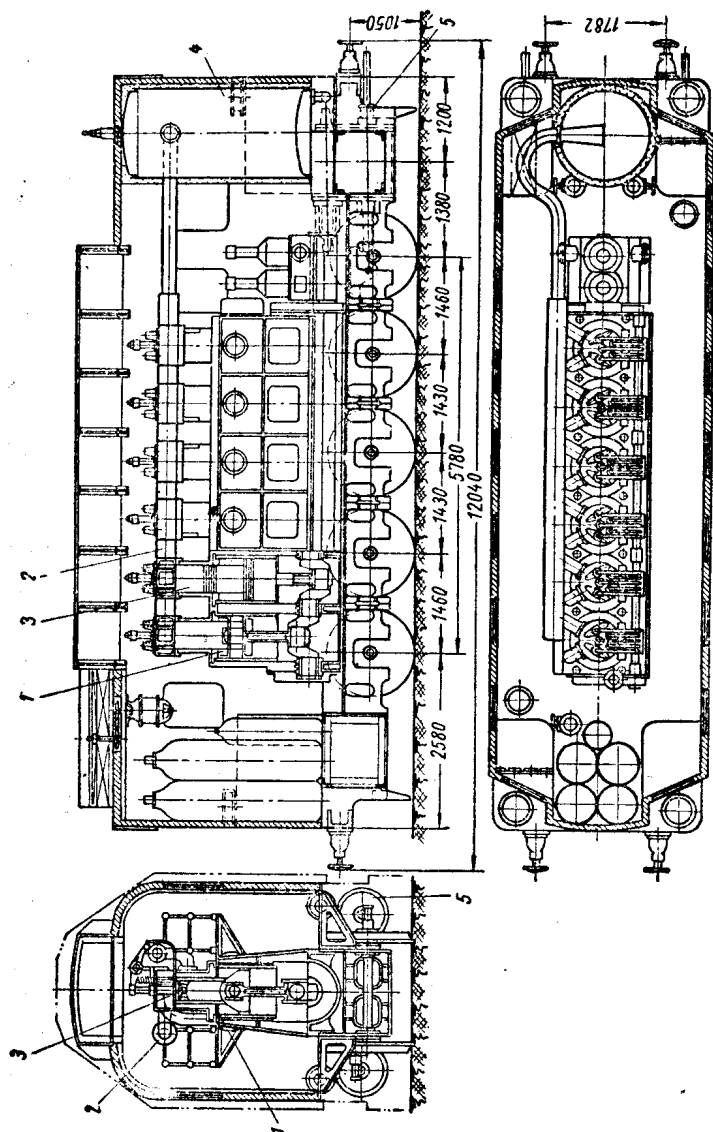


图 1 A. H. 舍列斯特教授设计的带有四冲程机械式发气机的内燃机

装有机械式发气机动力装置的显著特点是：燃气的产生与燃气在往复活塞式或回轉輪机式膨脹机內的作功分开了。这样，就使动力机更符合于工作机的需要。例如，在运输装置中，使膨脹机能在发气机的燃气发生量恒定情况下，获得良好的牵引性能。

根据图 2 所示的四冲程机械式发气机示功图可作出如下結論：有效功用用来带动压气机及用来提高压气机后空气的压力至所发生燃气的压力。

1933 年在瑞典制成了一台二冲程机械式发气机。这台发气机具有一根曲軸，用来实现动力活塞与压气活塞之間的运动联系。此发气机也是供內燃機車用的。試驗結果表明整个装置的效率为 33%。

1937 年法国工程师 R. P. 彼斯卡拉制成了一台二冲程自由活塞式发气机。现在，自由活塞式发气机已在法国成批生产。

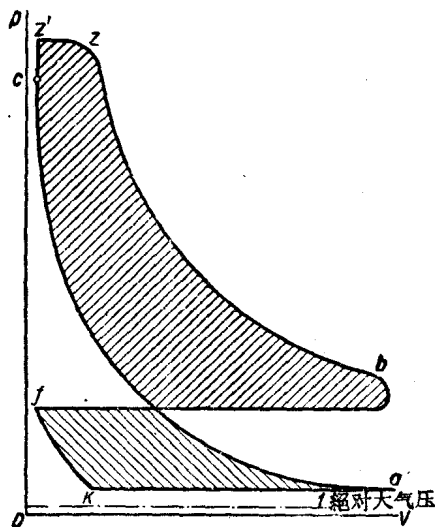


图 2 四冲程发气机示功图

美国和英国制造的发气机是由法国 S. I. G. M. A. 公司轉让制造的。

自由活塞式发气机动力装置效率高，当发气机效率为 43% 和燃气輪机效率为 90% 时，整个动力装置的总效率可达 38.7%。但还可能获得更高的效率。而目前广泛使用的 2Д100 型柴油机效率仅約 36%。就外形尺寸而言，自由活塞式发气机动力装置与燃气輪机动力装置相近，但其效率却高于后者。

图 3 所示为自由活塞式发气机簡图。自由活塞式发气机是一台高增压二冲程柴油机与一台供增压用的活塞式压气机所組成的联动机。在該结构中仅仅保留了柴油发动机的燃燒室，但在工作时压缩比是可以改变的。

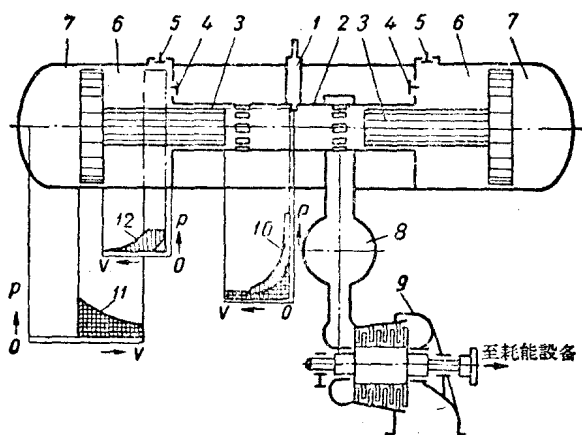


图3 自由活塞式发气机简图

自由活塞式发气机内有两个阶梯形活塞3，它们形成了发动机中部的动力缸2。压气缸6的活塞还用来压缩气垫缸7中的空气。气垫缸的作用是：当动力缸2内的膨胀行程结束后，使两个活塞返回至内止点位置。

自由活塞式发气机的工作过程如下：启动发气机之前，利用专门装置使活塞分开。然后使压缩空气由启动空气瓶同时通入两个气垫缸7内，以使发气机两活塞相互移近并压缩动力缸内的空气。当活塞临近内止点的一瞬间由喷油器1喷入燃油。燃油燃烧后燃烧产物随即膨胀。这时，发气机活塞由中心向外移动，新鲜空气由大气经进气阀5充入压气缸，而气垫缸内的空气则受到压缩。当活塞移近外止点位置时，气垫缸内的空气迫使活塞再次相互移近。这时压气缸内的空气受到压缩并经阀4压入位于动力缸进气口之前的扫气箱。当活塞相互移近时，动力缸的扫气口是关闭着的，空气只能压入扫气箱的密闭容积内，因而其中的压力一直上升到压出行程终点的压力。当活塞向两端运动时，排气口首先打开，燃烧产物受高压作用冲入膨胀机9前的燃气包8。当扫气口打开时，动力缸内的压力低于扫气箱内的空气压力，因此，空气自扫气箱进入动力缸内，并将剩余燃烧产物挤出排气口。此时扫气箱内的空气压力

隨即降低。壓氣缸壓出的空氣量多於動力缸充氣所必需的空氣量。多餘的空氣通過排氣口進入燃氣輪機進行膨脹作功。這樣，在壓氣缸內壓縮多餘的掃氣空氣所消耗的功，在燃氣輪機中進行膨脹時得以部分地回收。這種情況使有可能在自由活塞式發氣機中，採用比在二沖程柴油機中更多的過量空氣來為動力缸掃氣與充氣。

圖 3 也給出了自由活塞式發氣機各缸的示功圖。氣墊缸的示功圖 11 是密閉在氣墊缸內的空氣壓縮和膨脹的曲綫。在沒有損失的情況下，壓縮曲綫與膨脹曲綫重合，如圖 3 所示。

壓氣缸的示功圖 12 與一般活塞式壓氣機的示功圖差別不大。當活塞自中心向兩端移動時，壓氣缸余隙容積內空氣膨脹至大氣壓力，然後新鮮空氣再經進氣閥 5 開始充入壓氣缸。當活塞反行程時，壓氣缸中的空氣受到壓縮，在其壓力等於掃氣箱內的壓力時，壓出閥 4 打開，從而進行壓出行程。

動力缸示功圖 10 與二沖程柴油機的示功圖近似，其差別僅在於充入動力缸內新鮮空氣的壓力取決於壓氣缸壓出空氣的壓力。在自由活塞式發氣機中此壓力達數個大氣壓。

自由活塞式發氣機的基本特點在於：每個工作循環（動力缸中每壓縮和膨脹一次）中動力缸的功與壓氣缸的功相等。若考慮到氣墊缸內的損失和發氣機各部分的摩擦損失，則動力缸的指示功應該略高於壓氣缸的指示功。

自由活塞式發氣機得到了日益廣泛的採用。目前，自由活塞式發氣機應用在航空、海運、汽車和內燃機車上，同時也大量應用在各種固定動力裝置中。此外，自由活塞式發氣機所發生的燃氣還可在目前使用壓縮空氣的各種風動設備中利用。此種設備改用燃氣可使工作效率提高約近一倍。

自由活塞式發氣機比一般曲柄連杆機構的內燃機具有許多重大的優點。其一，結構簡單而效率高。自由活塞式發氣機動力裝置的效率不低於現代最優良的柴油機動力裝置的效率，而其結構卻比柴油機大為簡單。由於自由活塞式發氣機動力缸不受壓力限制，可使其壓力達到 150~200 大氣壓。這對於現代柴油機來說，

实际上是达不到的，因为柴油机内燃烧的最高压力受到作用在连杆和曲轴轴承上单位压力的限制。

其二，自由活塞式发气机-燃气轮机动力装置能使所发生的燃气膨胀至大气压力，而在内燃机中燃气实际上是不能充分膨胀的，因为燃气自内燃机排入大气时尚达数个大气压力。

再者，由于自由活塞式发气机有两个对称运动的活塞，而使其处于完全平衡，因而不需要特别的机座来安装。在运输用装置中，自由活塞式发气机工作时，不致引起車身或船体振动，这是它的最大优点。1956年全苏工业展览会上曾展出了一台自由活塞式压气机，这台机器悬吊在两根绳索上，而工作时却毫不振动。

另外，自由活塞式发气机中没有曲柄连杆机构，从而消除了活塞对缸壁的侧压力，这就减轻了摩擦面的磨损。

最后，自由活塞式发气机动力缸中的平均指示压力大大超过一般柴油机的平均指示压力。这就可能在同样外形尺寸的条件下使发动机发出更大的功率。

自由活塞式发气机与内燃机比较的另一重大优点是自由活塞式发气机具有很大的功率范围。目前大家都知道这种装置的功率可以由数百到数千马力。还设计了一艘横渡大西洋的輪船，它装有数台机械式发气机，其总功率达200000马力。

由于燃油燃烧期间的高温和高压，使自由活塞式发气机可能采用廉价的油类。现代自由活塞式发气机不仅可用柴油工作，而且还可以用重油或含硫量高(4%以下)的燃油工作^[12]。

现代自由活塞式发气机能迅速起动，也是其重大优点之一。实际上自由活塞式发气机在起动之后，5~10个循环内即可达到任何工况。

表1列出了柴油机、自由活塞式发气机和燃气轮机装置的主要数据。这些动力装置均用在机车上。经自由活塞式发气机与燃气轮机的比较证明，自由活塞式发气机在单位马力重量方面次于陆用燃气轮机装置，但其单位耗油量却少一半(计算自由活塞式发气机装置耗油量时，膨胀机的效率取为85%)。

表1 自由活塞式发气机动力装置与柴油机及燃气轮机动力装置的比較

参 数	2I100 型 柴 油 机	GS-34型自由 活塞式发气机	Alco 公司 燃 气 轮 机
每分鐘轉數	830	613	6700
功率,有效馬力	2000	1100	4500
气缸直徑,毫米	207	340	—
活塞行程,毫米	254	443	—
气缸數	10	1	—
活塞平均速度,米/秒	7.2	9.05	—
耗油量,克/有效馬力·小时	180	170	370
总重,公斤	19000	8000	11340
单位重量,公斤/有效馬力	9.5	7.25	2.5
进入燃气轮机前的燃气温度,°C	—	437	750

自由活塞式发气机动力装置还有一个重要的优点,即所发生的燃气温度不高。这是由于燃油燃烧的部分能量在自由活塞式发气机中用以驱动了压气缸。当燃气在动力缸中膨胀时,燃气的温度也随着降低。結果,燃气在进入膨胀机前的温度約为 450~500°C。在固定和运输用的燃气轮机装置中,燃气进入气轮机前的温度約为 750°C,而在航空装置中却达到和超过 1200°C,这样高的温度要求燃气轮机的叶片采用耐热鋼制造,从而大大增加了燃气轮机的造价。

最后,在燃气轮机装置中由于需要消耗相当多的能量以带动压气机,所以燃气轮机的功率比装置的有效功率大 1~2 倍。而在自由活塞式发气机动力装置中,燃气轮机仅仅发出有效功率,因此它比能发出同样有效功率的燃气轮机装置的燃气轮机尺寸为小。

自由活塞式发气机动力装置比其他动力装置具有一系列优点,这对許多工业部門和运输部門都是非常有意义的。

§2 自由活塞式发气机的分类及其应用范围

自由活塞式发气机可按下列特征分类:按压气缸、气垫缸和动力缸的布置;按活塞同步机构的結構型式;按工质在动力缸内的着

火方法;按所用燃料的种类;按压气缸的工作特性;按膨胀机的型式;按循环次数。现分别讨论如下:

压气缸、气垫缸和动力缸的布置

目前,大家都知道自由活塞式发气机构件有几种不同的布置型式。图4a所示的自由活塞式发气机系由动力缸、压气缸和两个对称运动的活塞所组成。当活塞由两端向发气机中心运动时,压气缸余隙容积中的空气进行膨胀,同时动力缸内的空气受到压缩。当活塞运动至内止点附近时,向动力缸喷入燃油。燃油燃烧时,活塞向两端移开,这时空气在压气缸内受到压缩并排入扫气箱中。当活塞向两端止点位置运动时,动力缸的扫气口打开,空气由扫气箱

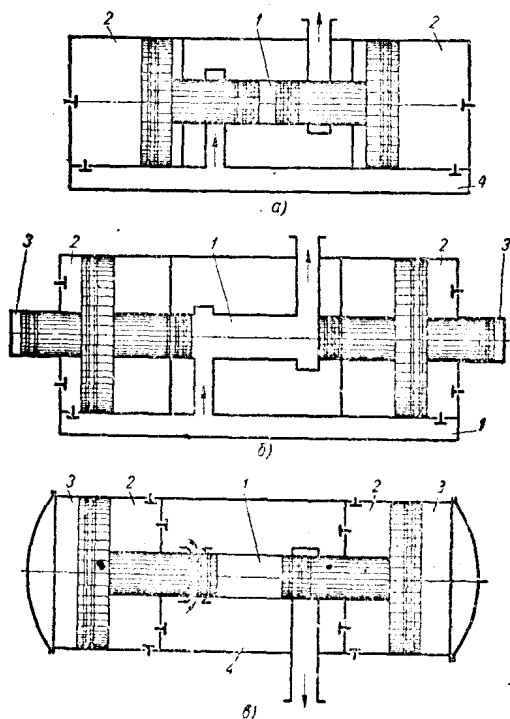


图4 各种型式的自由活塞式发气机简图
1—动力缸; 2—压气缸; 3—气垫缸; 4—扫气箱

經掃氣口進入動力缸,其餘部分則與燃燒產物一起排入燃氣輪機。這種型式的自由活塞式發氣機,利用壓氣缸余隙容積中壓縮空氣的能量使活塞返回,即利用余隙容積中所剩餘空氣的膨脹使兩活塞相互接近。

這種型式的自由活塞式發氣機的缺點是:為了儲存供活塞反行程所必需的能量,壓氣缸的余隙容積須相當大,因而影響了壓氣缸的容積效率。這種型式的自由活塞式發氣機曾在1939年為 R. P. 彼斯卡拉的第一台裝置所採用。經過十八年對自由活塞式發氣機的研究,人們放棄了這種型式。

圖46所示的自由活塞式發氣機具有動力缸、壓氣缸和氣墊缸這三個現代發氣機的構件。當活塞由中心向兩端移動時,燃氣在動力缸內膨脹,而空氣在壓氣缸內受到壓縮並壓入掃氣箱內。在壓氣缸作這樣的布置時,空氣是當動力缸掃氣口打開時壓入掃氣箱的,因此,掃氣箱中的壓力波動很小。為了使活塞向發氣機中心返回,特設兩個專門的氣墊缸,空氣在氣墊缸中進行壓縮和膨脹。

由於有了氣墊缸,壓氣缸就不再兼負使活塞返回發氣機中心的任務了。這樣一來,由活塞行程範圍所決定的余隙容積就可以留得最小。

這種型式的自由活塞式發氣機的缺點是:具有一個三級階梯形活塞,並且氣墊缸活塞的面積很小。由於後一原因,氣墊缸內的空氣壓力則須很大。現在,製造這種型式的自由活塞式發氣機是美國的 B.L.H. 公司。

目前最廣泛流行的是圖46所示的自由活塞式發氣機型式。這種自由活塞式發氣機具有動力缸、壓氣缸和氣墊缸。它的突出特點是:壓氣缸和氣墊缸共用一個活塞。當活塞由發氣機中心向兩端移動時,壓氣缸余隙容積中的空氣膨脹和壓氣缸吸入新鮮空氣,氣墊缸內的空氣受到壓縮。活塞的反行程則借氣墊缸中空氣膨脹而致。因為氣墊缸活塞的面積較大,其中的空氣壓力也就不必太高。活塞反行程時,壓氣缸內的空氣受到壓縮,並在活塞關閉動力缸掃氣口時壓入掃氣箱。由於空氣壓入封閉的掃氣箱容積

中,使得空气在整个压出过程中压力不断升高。这是此种自由活塞式发气机美中不足之处。

两台或两台以上发气机联合工作时,能够避免扫气箱中的压力升高。这是因为它们共用一个扫气箱(或是两个单独的扫气箱,但用管路彼此联通),所以当其中一台向扫气箱压入空气时,另一台却进行着动力缸的扫气。

制造最后一种型式的是法国的 S.I.G.M.A. 公司 (GS-34 型) 和我国(指苏联——譯者)的魯干斯克機車制造厂。

图 4 所示的自由活塞式发气机的共同特点是:发气机各缸与发动机中心的位置是对称的。但也有非对称的型式,如图 5 所示。

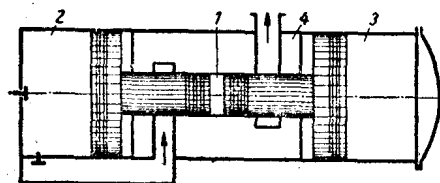


图 5 气缸非对称布置的自由活塞式发气机

1—动力缸; 2—压气缸; 3—气垫缸;
4—扫气箱

当活塞自发气机中心向两端移动时,空气在压气缸内受到压缩并压入扫气箱中,而在发气机右端,空气在气垫缸内受到压缩。右端活塞受气垫缸内空气的作用返回发气机中心;左端活塞则受压气缸余隙容

积中压缩空气的作用返回发气机中心。这种型式的发气机缺点是:在发气机的尺度一样时,非对称式发气机的功率较低。这是由于对称式的发气机用两个压气缸输气,而非对称式的发气机却只用一个压气缸输气。

活塞同步机构的结构型式

在自由活塞式发气机中,活塞是在发气机各缸气体压力作用下产生运动的。如果发气机是对称式的且两个活塞的重量相等时,活塞的运动是同步的。实际上,由于自由活塞式发气机各缸的密封情况不同,活塞重量不同,以及活塞与缸壁间的摩擦不同,而影响着活塞的同步运动性能。

为了防止自由活塞式发气机中两个活塞的非同步工作,采用

了各种型式的同步机构。

图 6 所示是一种齿条-齿輪式同步机构。在发气机的两个活塞上各装有与齿輪啮合的齿条。当活塞来回运动时，齿輪产生摇摆运动，用以拖动燃油泵和潤滑油泵。

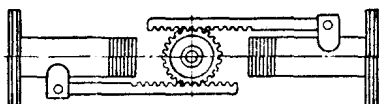


图 6 齿条-齿輪式同步机构簡图

图 7 所示是一种連杆-絞鏈式同步机构。它由一个摆杆和两个連杆組成。連杆分別連接在活塞上。

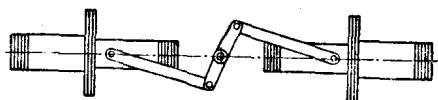


图 7 連杆-絞鏈式同步机构簡图

第三种型式的同步机构如图 8 所示，它是一种平行四連杆式同步机构。

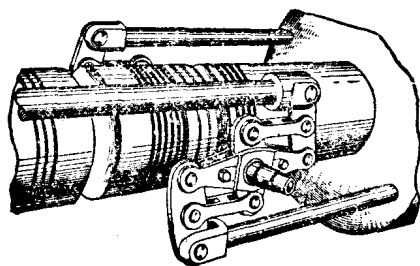


图 8 平行四連杆式同步机构

所有的同步机构，除本身重量引起的慣性力之外，在理論上是不傳遞任何力的，因此，可以作得相当輕便。

工质在动力缸內的着火方法

以上所討論的各种型式的自由活塞式发气机，都是將燃油直