

內 燃 机 全 集

〔德国〕李斯德 主編

——第四卷——

內 燃 机 的 充 量 更 換

第 一 部

发动机中不稳定流动过程計算研究的基础

〔德国〕H. 李斯德 G. 雷伊尔 著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本卷全面地探討了內燃机的充量更換过程,共分三部:第一部为发动机中不稳定流动过程計算研究的基础;第二部为二冲程过程;第三部为四冲程过程与廢气能量供充量更換的利用。

本书系根据第一部譯出,主要内容有以下三个方面:1. 闡述了內燃机充量更換的各种概念的定義,并推导出其基本規律;2. 介紹了在充量更換期間发动机中流动过程逐步計算的方法;3. 利用开启槽道中的水波来模拟发动机中流动过程的模型方法,詳細地敘述了理論基础与模型設計时所必需的关系式。

本书可供专业的設計研究人員及高等学校师生参考。

內 燃 机 全 集

主 編 (德国) Hans List

第 四 卷

內燃机的充量更換

第一部

发动机中不稳定流动过程
計算研究的基础

Grundlagen Die rechnerische
Behandlung der instationären
Strömungsvorgänge am Motor

原 著 者 (德国) Hans List, Gaston Reyl

原出版者 Wien Spring Verlag 1949 年版

譯 者 培 坤

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

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海厂印刷

开本 787×1092 1/16 印張 15-4/16 字數 298,000

1961年12月第1版 1961年12月第1次印刷

印數 1—5,000

統一書号: 15119·1638

定 价: (十四) 2.15 元

第四卷 原 序

在內燃机全集第四卷中,将初次全面叙述我与我的协作者在二十余年中所从事的一项工作。

我们的工作从开始时起就具有这样的目的:得出配气的特性参数与表征充量更换效果的参数间的关系。在工作时也曾努力过,将它们之间的关系区分为两类:一类可以用计算方法来求得,另一类必须经过实验来求得。通过这一区分,就为合理综合利用计算与实验方法来预先确定充量更换效果,奠定了基础。

我利用目前我们研究工作中的一个暂时的静止时期,将迄今所得的结果予以综合,并完整地写出来。同时,我也知道,目前的成就,在许多方面还只是一个开端,必须大大地予以发展,予以完整,最后达到原来的目的。但无论如何,今日总算成功地在充量更换过程的研究与预先计算方面,创造了完整的、即使还不是尽善尽美的系统。这里,特别注意的是二冲程发动机。

很遗憾的,这方面有许多已经开始的或尚在准备的工作,由于时代环境,未能实行或未能完成。特别是 G. Reyl 与 H. F. Reynst 在 Dresden 城为导管中不稳定流动过程的基础研究实验所作的规模很大的准备工作。

关于充量更换的研究工作,开始于我在吴淞同济大学(中国)的工作期间,当时正在作关于二冲程发动机扫气过程的较大规模研究。如果这一个实验给我指出充量更换这样一个只有用实验方法可以解决的问题,是如何加以系统处理的,那么通过随后的关于使用吸气管提高曲轴箱扫气泵的输气度的研究,出我初料之外,可以证明发动机中的流动过程也可以通过逐步计算方法相当精确地计算出来。由于这两个研究,奠定了继续工作的方向。在这些研究中,有不少人参加了工作。其中一些人当我在吴淞(中国)、Graz 与 Dresden 城工作时,曾大力帮助解决一些问题,应在此特别提出。

在吴淞(中国),徐赞贤与张翊璐曾参与在模型与发动机中确定各种气孔配置的扫气度的研究工作。

在 Graz, E. Niedermayer 参加了关于扫气过程的试验与所得结果的热力复算工作,对二冲程发动机充量更换中心问题的阐明有很大帮助。

A. Pischinger 通过关于气体柱运动过程的研究,特别是二冲程机器的排气过程与扫

气过程的研究,創造了按照声学理論計算发动机中流动过程的基础;并通过机器实地試驗証实,充量更換时的流动情况与用他的方法所計算的,在大多数情况下,能很好地符合,足够实际应用的需要。

G. Reyl 将 Pischinger 所发展的方法予以扩展,在应用上予以簡單化,并通过对实际生产的二冲程与四冲程发动机許多充量更換的复算,提供出系統地应用此方法的意見。用他的方法,即使是困难的情况,例如多气缸发动机分枝导管中的流动,也可以化不太多的時間来进行計算。在特性曲綫法,以及在发动机导管中振动过程的矢量处理中,他开辟了新的途徑。

当我在 Dresden 城工作时,我那过早去世的协作者 K. Ullmann,曾提出将发动机中流动过程逐步計算的方法应用于四冲程机器配气設計实践中,通过 Stuttgart 的 Daimler Benz 公司与 München 的 Bayrisch 发动机公司的协作,証明由于采用此方法,在确定配气时可以节省很多昂貴的試驗工作。在参加这一工作的很多人中,特別应当提出 G. Zenker,他曾在研究所中領導充量更換过程計算小組。此外,还有 R. Stier,他在一台用发生炉煤气运轉的 Lanz-Bulldog 发动机上进行了充量更換的研究,并且按照我們的方法,系統地应用計算与試驗,大大地提高了发动机功率。

我代表所有参加此項工作的人,将本书提供給本专业的人們,并希望对他們有所裨益。

H. 李 斯 德

Graz 1949

第四卷 第一部 原序

在第一部的第一篇中,包括有以后所应用的各种概念的定义,以及完善机器充量更换的研究。

正如工作过程的热力学研究那样,在充量更换中,也可以通过完善机器的研究,推导出基本的规律。这种规律,是在实际机器中使过程顺利进行所必须予以注意的。

在第二篇中,包括有发动机中流动过程逐步计算的方法;这些方法,在本卷的其余各部中将加以利用。此方法成为迄今尚很少加以注意的研究机器中的过程的工具,而这种研究,对于机器的运转效果是有决定性意义的。所需要的计算是基本的,并不需要任何高深的数学知识。因之,即使在理论上未受过特别训练的发动机工程师,也完全可以应用,只要他们努力熟悉这些公式的使用。

由于计算是繁复的,所以从两方面予以简化:一方面使计算步骤尽可能简化,以便由辅助人员来完成;另一方面是本身完整的概念系统,可以减轻工程师确立计算假设中的这种困难,即每一解答须从原始的假定来导出。因此,对于最常发生的情况,也给出直接可用的公式。

由于难于完全符合实际地掌握在机器中彼此牵连的各种影响,历来机械工程师往往只满足于简短的近似计算,而将尚未解决的问题留待试验来解答,此时,在时间、人力与费用上的巨大耗费,亦认为是不可避免的。反之,在工程实践中,在某些能用可靠的计算方法达到目的的领域内,则不怕使用费时的计算方法,如结构静力学那样。

某些地方,它的原理已经足够清楚,而计算工程师亦已能与试验工程师那样可靠地得出结论时,则至少可允许他们有相当于进行试验所必需的一部分时间与人力;此时,试验准备工作的耗费应计入。

但对于不稳定流动所算出的压力变化与速度变化,迄今尚待继续试验予以证实,所以对于所发展的计算方法的可靠性,只要将结果加以评判观察,也可认为已经证明可以应用。这种评判对于测定结果也是避免错误结论所必需的。

因此,当在那些扫气过程与混合过程有巨大影响时,例如在汽化器式机器中,必须十分小心。此处除了能很好掌握空气分配之外,吸气系统中的燃料运动也很有关系,而后者还服从于很多尚未明瞭的规律。同样地,用作计算基础的稳定流动时的阻力系数,它决定

于剥离现象,仍然必须通过试验来肯定。

在所有的情况中,充量更换过程的通盘计算指出各个影响的范围,可对某些现象获得较深入的概念,这些可以免除盲目探索而只作必需的试验。

本部中的许多图,特别是计算的时间分段图,也应当有助于发动机中流动过程的技术探索。

一个在 1944 年已经基本完成的工作 [42],使得此处所讨论的与导管中前进波的理论相结合的气缸的逐步计算法过渡到立波理论,特别是 Lutz [37、38] 所扩展的,因而使假定巨大简化与一般化。方法是将简谐振动用复矢量来表示,它可以进行完全结合实际的计算,并将导管系统尺寸改变的影响,很好地表明出来,故对于发动机的设计极有价值。在本书中原来已将此方法列入,但由于不愿使书的篇幅过于增多,以及为了避免超出其余的完整范畴和略为抽象的叙述方式,故将它删除。

本书是用开启槽道中的水波来模拟发动机中流动过程的模型方法作为结尾。这一方法,有可能将发动机中在充量更换期间的流动过程,以低廉的试验费用,在它的模型中予以缓慢化,使观察者能很方便地来处理。著者们认为这方法在内燃机充量更换过程的试验研究,以及其他机器的不稳定流动过程的试验研究方面,会获得更广泛的应用。因此,详细地叙述了理论基础与模型设计时所必需的关系式。

H. 李 斯 德

G. 雷 伊 尔

Graz 1949.1

目 录

第四卷 原序

第四卷 第一部原序

第一篇 一般原理 1

第一章 定义 1

第二章 充量更换、效率与功率間的关系 4

第一节 充量更换对效率的影响 4

(一) 气缸中的充量更换功 4

(二) 扫气泵与增压器的功率消耗 6

(三) 利用废气能量的功率回收 6

(四) 充量更换对效率的总影响 7

第二节 充量更换功对功率的影响 7

第三章 完善机器的充量更换 8

第一节 充量更换的效果与充量消耗 8

第二节 充量更换对效率的影响 8

(一) 气缸中充量更换功的影响 8

(二) 增压器与扫气泵的功率消耗 10

(三) 利用废气能量的功率回收 13

(四) 完善机器在顾及充量更换功、增压器功率与废气机器功率时的总效率 18

第三节 充量更换对功率的影响 21

(一) 不利用废气的非增压四冲程发动机 21

(二) 不利用废气的增压四冲程发动机 21

(三) 二冲程发动机 21

(四) 利用废气能量的非增压四冲程发动机 21

(五) 利用废气能量的增压四冲程发动机 21

(六) 利用废气能量的二冲程发动机 22

第四节 非标准外界状态时的完善机器——高空发动机 22

第五节 推論 27

第四章 充量更换的效果与功率間的一般关系 27

第一节 非增压的四冲程发动机、二冲程发动机	27
第二节 增压的四冲程发动机	31
第五章 充量更换时各项损失的分配	31
第二篇 充量更换时流动过程的计算	33
第一章 导言	33
第二章 无导管的系统	35
第一节 不变的外界压力时向气缸流入	35
(一) 概述	35
(二) 外界状态与加热系数改变时对输气度的影响	45
(三) 吸入期间所输入的热量	46
(四) 流入过程的能量平衡	47
第二节 自气缸中流出	48
(一) 概述	48
(二) 压力改变与温度改变对流出的影响	51
第三节 同时流入与流出	54
(一) 概述	54
(二) 一般状态有改变时的影响	63
(三) 扫气过程的能量平衡	63
第四节 在流入系统与流出系统中插装容器	64
(一) 概述	64
(二) 当废气排入大气中或排入很大的消声器中时, 气缸自扫气容器的扫气	64
(三) 曲轴箱扫气	67
(四) 具有后置消声器时, 自气缸中流出 (四冲程的总排气, 二冲程的早期排气)	69
(五) 气缸有前置扫气容器及后置消声器时的扫气	71
第三章 充量更换时通流的通道系统中的过程	72
第一节 导管中不稳定流动概述	72
第二节 在导管不连续处波的反射与通过	88
(一) 无压力降的不连续处——导管分枝	88
(二) 具有压力降的不连续处	93
(三) 直线化边界条件时, 压力波动的重迭	121
第三节 特殊情况	138
(一) 一侧具有扩大的导管	138
(二) 锥形管	139
(三) 在废气涡轮处的反射	145
(四) 在增压器处的反射	146
(五) 气体中温度突变时, 分界面处的反射	148
第四节 具有短管的通道系统	150
(一) 概述	150
(二) 应用于扫气系统	150

第四章 应用所导出的关系式计算充量更换期间的流动过程	156
第一节 概述	156
第二节 计算前的准备	157
第三节 举例	158
(一) 四气缸单列式发动机吸入过程的计算研究	158
(二) 八气缸 V 型二冲程柴油机排气导管中压力波动的研究, 及其对每个气缸的空气消耗量与输气度的影响	169
第五章 关于具有大振幅的压力波理论的展望	183
第六章 经压力波的能量传递	188
第三篇 由具有自由液体表面的通道中流动来模拟气体柱中的不稳定流动	197
第一章 引言	197
第二章 理论基础	197
第一节 气体柱中与开启槽道中波的传播	197
第二节 节流过程	203
第三节 导管中插装具有不变容积的容器	204
第四节 非绝热状态变化对模型比例的影响	205
第五节 具有可变容积的容器——气缸	206
第三章 模型的设计	213
第四章 应用模型相似性来解释气体动力学问题	216
第五章 综合	216
参考文献	217
附录: 数表与图表	219
经常采用的符号表	228

第一篇 一般原理

第一章 定 义

为了掌握充量更换过程的效果,及其对机器的功率与燃料消耗量的影响,应该确定一些定义。

充量更换的效果,主要决定于气缸中充量的量,及其含有上一工作循环的废气含量。对于能量转换来说,在充量更换終了时,充量的压力、温度、层次与运动情况,亦具有次要的意义。

认为合适的是以容积来表征充量的量,亦即是决定它相当于一定的根据状态时的容积。为了使特性数值不受气缸尺寸的影响,将不给出绝对的容积值,而以机器工作容积的分数来表示。

对于活塞式机器,用气体容积代替气体重量作计算,具有许多的优点。机器中气体充量在容积改变时的功,将决定于容积,而与气体重量无关。废气含量,特别是气体的成分,亦是在奥萨仪器中按容积测定的。即使是燃烧的计算,亦以引用完全燃烧时的理论空气需要量,作为在一定状态(例如标准状态或外界状态)时的容积来进行容积的计算,更为方便。

四冲程的充量更换是由活塞运动实现的。对于非增压充气的机器,作为充量更换效果值的根据状态是外界状态。对于增压的机器,增压器是增设的机构,它的效果影响必须与活塞所实现的充量更换效果分别研究。因此,对于增压的四冲程发动机,选择进气机构前的状态作为根据状态,因为充量是以这一状态供气缸使用的。

在二冲程中,若不计算某些为充量更换所必需的特种构造时,充量更换由扫气泵实现。因此,二冲程机器的根据状态是扫气泵前的状态,通常是外界状态。

在实际的机器中,一般不可能在充量更换时将废气彻底排除,通常在气缸中总留存着上一工作循环的剩余气体。因之,必须区别为新鲜充量(在柴油机中为空气,奥托发动机中为混合气)与总充量,后者就是新鲜充量与残余废气的总和。

新鲜空气量,主要决定了气缸中能够燃烧的燃料量,并因之决定由燃烧而产生的热量。此项热量分布在整个工作的气体内,它的一部分按第二卷中所谈的工作过程转变为机

械功。

充量更换的效果可借助于下列諸数值来掌握：

将充量更换后存留在气缸內的，以根据状态表示的新鲜充量容积与工作容积作比例，即得輸气度 λ_l 。

令充量中按容积計算的廢气含量为 α ，則在根据状态时的总充量，可作为工作容积的分数：

$$\lambda_g = \frac{\lambda_l}{1-\alpha}$$

或在扫气的发动机中，取 $(1-\alpha) = \lambda_s$ 作为扫气度：

$$\lambda_g = \frac{\lambda_l}{\lambda_s}$$

倘若不加以专门的說明时，則研討时所取的标准外界状态，假定为具有状态参数

$$p_0 = 1 \text{ 公斤/厘米}^2, T_0 = 288^\circ\text{K}$$

的干燥充量。若同时采用标准的以及与此相异的外界状态的参数时，則下面对标准外界状态 (1 气压、 288°K) 的参数用 n 表示。取 T_0 、 p_0 作为已知的外界状态， p_d 作为充量內水蒸汽的蒸汽压力时，則对于非增压充气的四冲程机器：

$$\lambda_{in} = \frac{288}{T_0} \cdot \frac{p_0 - p_d}{1.0} \cdot \lambda_l \quad (1)$$

与

$$\lambda_{gn} = \frac{288}{T_0} \cdot \frac{p_0 - p_d}{1.0} \cdot \frac{\lambda_l}{1-\alpha} \quad (1a)$$

此两参数表征着气缸內所存在的新鲜充量与总充量的量，但不再表示充量更换的优良度；后者单独决定于 λ_l 、 λ_s 与 λ_g 。

在增压的四冲程发动机中，充量进入气缸之前，先由一增压器加以压缩。在此情况中，取进气阀前比重与增压器前比重的比例值为增压系数 λ_a 时，則增压机器相当于外界状态的輸气度：

$$\lambda_{l0} = \lambda_a \cdot \lambda_l$$

相当于外界状态的总充量：

$$\lambda_{g0} = \lambda_a \cdot \frac{\lambda_l}{1-\alpha} \quad \text{或} \quad \lambda_{g0} = \lambda_a \cdot \frac{\lambda_l}{\lambda_s}$$

此处充量更换的优良度，也单独由 λ_l 与 λ_g 或 λ_s 来表征。

当外界状态 (p_0 、 T_0) 与 1 气压及 15°C 相异时，可由下式得出換算到标准状态时的特性参数：

$$\lambda_{in} = \lambda_a \cdot \frac{288}{T_0} \cdot \frac{p_0 - p_d}{1.0} \cdot \lambda_{l0} \quad (2)$$

$$\lambda_{gn} = \lambda_a \cdot \frac{288}{T_o} \cdot \frac{p_o - p_d}{1.0} \cdot \frac{\lambda_{to}}{1-a} \quad (2a)$$

λ_{in} 或 λ_{gn} 能直接表示出气缸中所存有的气体重量。由于在初步近似的估计时,发动机的指示功率与工作的气体重量成比例,故上列数值极为重要。

在二冲程中,废气将由新鲜充量或由位于它以前的扫气空气所排挤。此项扫气过程从来未能彻底进行,常遗留下残余废气 a 。为了表征总充量的纯净性,亦即扫气的质的效果,可应用扫气度 $\lambda_s = 1 - a$ 。

总充量的量仍由 λ_g 表示,气缸内新鲜充量的量仍由输气度 $\lambda_l = \lambda_g \cdot \lambda_s$ 来决定。与四冲程相同,总充量与输气度均根据总的工作容积,并不顾及气孔所引起的有效行程容积的减少。

增压的与非增压的二冲程发动机间的界限,是不加明确规定的,这是由于二冲程机器排气孔处的节流,使得压缩开始时的压力通常略高于外界压力所致;但有时也可以由于排气管中的波动,引起低于外界压力的压力。因此,对于增压的与非增压的机器,采用相同的符号是合理的。 λ_g 与 λ_l 通常均根据扫气泵前的状态,亦即外界状态。就这一点来说,高空发动机属于例外。

当外界状态与标准状态不同时,仍可应用关系式 (1、1a),以期获得工作气体重量的数值。

具有余气容积扫气的二冲程发动机与增压的四冲程发动机,扫气泵或增压器所吸入的充量,将大于充量更换之后存留在气缸内作为新鲜充量的量;因为在扫气期间,一部分的新鲜充量将作为扫气损耗随着废气流出。在这种情况下,应该区分为空气消耗量或通称的充量消耗量 Δ_o (在外界状态时) 或 Δ (在气缸前的状态时),它是以工作容积分数表示的充量的量,是必须输入的总的量,以及输气度 λ_l ,也是存留在气缸内新鲜充量的量。

在航空发动机中,高空飞行的充量更换效果值,可根据两种状态,即:

- (1) 根据高度为 H 公里时的外界状态 (p_H, T_H);
- (2) 根据标准的地面状态 ($p_o = 1.033$ 气压, $t_o = 15^\circ\text{C}$)。

外界状态是按照高度给定的。

假定海平面的地面状态平均为 $p_o = 1.033$ 气压及 $T_o = 288^\circ\text{C}$, 它与高空中的状态间,存在着密度比值:

$$\delta_H = \frac{\rho_o}{\rho_H}$$

在四冲程中,引用超充系数 λ_u 作为充量在气缸前状态与 0 公里高度处外界状态 (地面状态) 时密度的比值,若增压系数 λ_a 仍作为相当于充量在气缸前状态与外界状态的密度的比值时,则

$$\lambda_a = \delta_H \cdot \lambda_{ii}$$

相当于外界状态的输气度 λ_{IH} 将为:

$$\lambda_{IH} = \lambda_a \cdot \lambda_i$$

相当于地面状态的输气度为:

$$\lambda_{lo} = \lambda_{ii} \cdot \lambda_i$$

根据以前所给出的理由,使二冲程中的 λ_g 与 λ_i 仍根据扫气泵前的状态,亦即外界状态时,则一般采用来计算、根据地面状态的充量更换的特性参数为:

$$\lambda_{go} = \frac{\lambda_g}{\delta_H} \quad \text{与} \quad \lambda_{lo} = \frac{\lambda_i}{\delta_H}$$

由于地面状态是固定不变的,所以 λ_{lo} 可以作为直接衡量气缸中工作的新鲜气体量,因之也可近似地衡量发动机的指示功率。

第二章 充量更换、效率与功率间的关系

第一节 充量更换对效率的影响

就广义来说,充量更换包括了废气自气缸中开始流出到气缸中开始压缩之间的全部过程。当求得在此过程中所产生的与所消耗的机械能量以后,就可以得到充量更换对机器效率的直接影响。充量更换对效率尚有间接的影响,因为充量在压缩开始时的开始状态 (p_1 、 T_1) 决定于充量更换,而此项开始状态再度影响到效率。

充量更换对效率的间接影响将在第二卷中深入讨论,故下面的说明只限于直接影响。

(一) 气缸中的充量更换功

为了确定气缸中充量更换所吸收的功或所产生的功,可取完善的或实际的机器与某一机器作比较,后者实现着如图 1 所示的无充量更换的循环过程。具有充量更换的实际

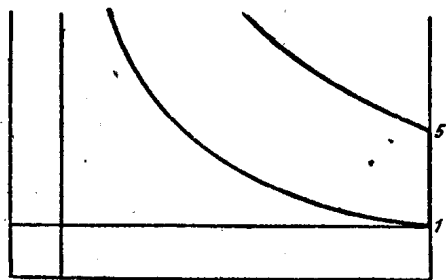


图 1 无充量更换的图形

机器的图形,相对于具有如图 1 所示图形的机器间工作面积的差值为 L_i 。充量更换的相应效率的影响,则作为附加项 $\Delta\eta_i$ 。完善机器的相应参数为 L_{lv} 与 $\Delta\eta_{lv}$ 。倘若不另外加以说明时,则 L_i 与 L_{lv} 均以燃烧前 1 摩尔的工作充量为基础。

1. 四冲程

(1) 无增压: 在完善的机器中,充量更换的

工作面积收缩到如图2所示的直线 $12'$ 。若为实际的机器,而在排气导管中又非例外地经有利的振动产生无损耗的或产生功率的充量更换时,则工作面积通常如图3所示为负值。

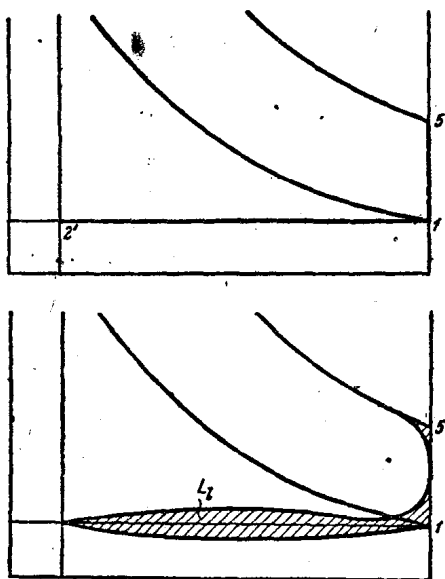


图2与3 完善的与实际的无增压四冲程发动机的充量更换图

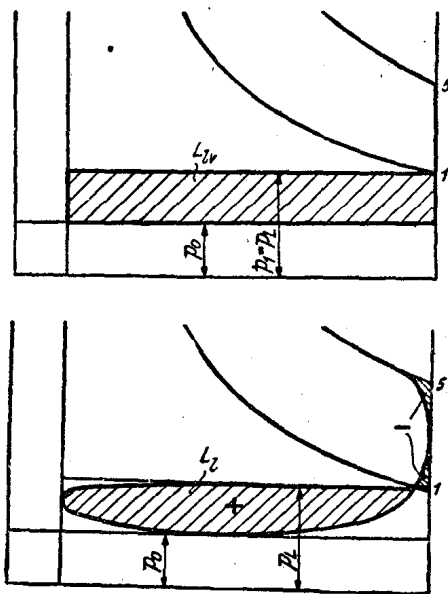


图4与5 完善的与实际的增压四冲程发动机的充量更换图

此时

$$\Delta\eta_l = -\frac{AL_l}{B_M H_u} \quad (3)$$

B_M 为燃烧前每1摩尔总充量中以公斤计的燃料量; H_u 为每重量单位中的热值。

负值的面积通常是不大的,但在有节流的吸入时,例如具有充量调节的机器在部分载荷时,此面积即行扩大。因而充量更换的效率损失大为增加。

(2) 有增压: 在完善的机器中,预先加以压缩的充量,以充气压力 $p_L = p_1$ 流入,而废气则以压力 p_0 自机器流出。因此,可得如图4所示正值的工作面积。在实际的机器中,由于配气截面中的节流,此工作面积将按图5减少。

2. 二冲程

如第四卷第二部中所述,对于功率的计算,更合理的是取图6a所示的气缸关闭时(压缩开始时)的容积来作为二冲程发动机的根据工作容积。就正常的气孔配气来说,根据工作容积应为 $V_h(1 - \sigma_a)$ 。 σ_a 为相对排气孔长度。若为增压配气时,如取 σ_{ab}

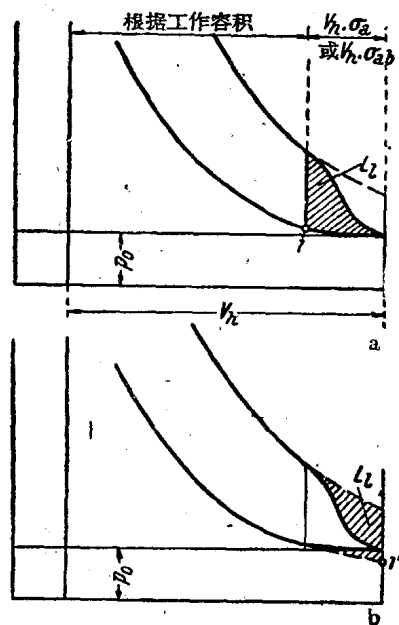


图6a与6b 实际二冲程发动机的充量更换图

作为气缸关闭时自下止点起算的活塞行程,则根据工作容积为 $V_h(1-\sigma_{ab})$ 。这样,可得相当于图 6a 中斜线面积所示的充量更换功。

为了比较四冲程的与二冲程的图形,充量更换功 L_i 根据图 6b 所示的整个工作容积,因之,压缩线与膨胀线将绝热地延长到下止点。

(二) 扫气泵与增压器的功率消耗

作为二冲程发动机扫气泵的驱动与增压四冲程发动机增压器的驱动,或者分出机器一部分的机械功(机械驱动),或者利用废气中的能量(废气驱动)。增压器的功率消耗可在机器通至增压器的传动机构处,或在增压器与废气涡轮的连接处测定。预先加以压缩的充量的量,相当于空气消耗量或充量消耗量 Δ_o 。

取每 1 摩尔预加压缩空气或混合气的增压器功为 L_{La} 。相当于 1 摩尔气缸中留存总充量的增压器功则为:

$$\frac{\Delta_o}{\lambda_{go}} \cdot L_{La}$$

因此所产生的效率损失为:

$$\Delta\eta_{La} = \frac{\Delta_o}{\lambda_{go}} \cdot \frac{A \cdot L_{La}}{B_M \cdot H_u} \quad (4)$$

上式既可适用于增压的四冲程,也可适用于二冲程。

(三) 利用废气能量的功率回收

当排气截面开启时,内燃机的废气尚具有可观的压力。在膨胀到外界压力时,它尚可以产生功。为此,可以接装一个第二气缸(联合作用),或使它产生运动能;也可在废气涡轮中或在其他的设备,例如飞机上的尾喷管之类中转换为机械功。

若由于此一措施,使燃烧前 1 摩尔的工作充量产生机械功 L_{ab} 时,可使效率得到改善:

$$\Delta\eta_{ab} = \frac{A L_{ab}}{B_M H_u} \quad (5)$$

利用废气能量时,与自由排气相比较,活塞多半将在排气过程时克服增高的背压力,因为废气受到堵塞。在此情况中, $\Delta\eta_i$ 的变化将较不利用废气能量的机器时倾向于减少其效率。

迄今最适用的利用废气能量的形式为废气涡轮增压器。在这一装置中,增压器是被废气涡轮所驱动的。除此之外,在理论上,同时也在经过适当措施的实际机器上,废气涡轮尚能输出多余的功能,因此可以大大提高机器的功率。

(四) 充量更换对效率的总影响

相应于第二卷,令 η_{i-l} 为无充量更换机器的指示效率时,则机器的总效率:

$$\eta_{t ges} = \eta_{i-l} + \Delta\eta_i - \Delta\eta_{La} + \Delta\eta_{ab} \quad (6)$$

或取 $\eta_i = \eta_{i-l} + \Delta\eta_i$, 则

$$\eta_{t ges} = \eta_i - \Delta\eta_{La} + \Delta\eta_{ab} \quad (7)$$

在不利用废气能量的具有机械驱动增压器的机器时,此式将为:

$$\eta_{t ges} = \eta_i - \Delta\eta_{La} \quad (8)$$

在具有由废气涡轮驱动增压器的机器时,由于 $L_{La} = L_{ab}$, 故:

$$\eta_{t ges} = \eta_i$$

此时,当在用作比较的情况下,应该顾及废气涡轮的堵塞作用对 $\Delta\eta_i$ 的影响,以及因之对 η_i 的影响。

经过这样的分析,可以将充量更换对效率的影响分为几个部分的影响。因之可以很明显地观察到各个细节。

第二节 充量更换功对功率的影响

取气缸中充量更换过程的功为 L_i , 增压器的功为 L_{La} , 废气机器的功为 L_{ab} , 均以公斤米/摩尔计,可得相应的换算到气缸工作容积的平均压力:

$$p_i = \frac{L_i}{V_1} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot 10^{-4} \quad \text{公斤/厘米}^2 \quad (9)$$

$$p_{La} = \frac{L_{La}}{V_1} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot 10^{-4} \quad \text{公斤/厘米}^2 \quad (10)$$

$$p_{ab} = \frac{L_{ab}}{V_1} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot 10^{-4} \quad \text{公斤/厘米}^2 \quad (11)$$

式中,在下止点时,对于1摩尔总充量的气缸容积 $V_1 = V_h \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}$ 。 ε 为压缩比。利用上式与机械摩擦的平均压力 p_r , 可得到有效压力的关系式如下:

四冲程无增压:

$$p_{e ges} = p_{i-l} + p_i - p_r + p_{ab} \quad \text{公斤/厘米}^2 \quad (12)$$

四冲程有增压与二冲程:

$$p_{e ges} = p_{i-l} + p_i - p_r - p_{La} + p_{ab} \quad \text{公斤/厘米}^2 \quad (13)$$

p_{i-l} 为无充量更换功的指示压力,可由气缸中工作过程的热力关系式与优良度来得出。

第三章 完善机器的充量更换

正如在工作过程的研究中一样,在研究充量更换时,更合理的是从完善机器中过程的研究开始,并因之确定它的效果的限值,尽管这一限值是不可能达到的,但应尽可能地争取。

第一节 充量更换的效果与充量消耗

第二卷中所描述的完善机器的定义,假定在充量更换时废气是毫无遗留地被排除掉,而气缸中完全被根据状态的新鲜充量所充满;同时,也认为压缩容积中的废气亦被新鲜充量所挤去。非增压的四冲程机器与二冲程机器的根据状态是外界状态;增压的四冲程机器则为等温压缩到充气压力时的终了状态。

在增压的二冲程机器中,可以假定气缸在压缩开始时,系被等温压缩到扫气压力的充量所充满。

在所有的情况中,废气的排出均作为在不损失新鲜充量的条件下进行的。对于非增压的四冲程机器与二冲程机器:

$$\lambda_{ov} = \lambda_{gv} = \lambda_{lv} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}$$

对于增压的四冲程机器,可得:

$$\lambda_{ov} = \lambda_{gov} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \lambda_a$$

流入的充量均存留在气缸内,并等于工作的气体量。

第二节 充量更换对效率的影响

(一) 气缸中充量更换功的影响

1. 四冲程

在非增压、无节流的四冲程中,按照第4页所述, $\Delta\eta_{lv} = 0$ 。

增压的四冲程中,充量更换可以按照各种方式进行:

【方式1】 当压缩容积的扫气与吸气系在正常的压力下进行,且充量只在下止点开始被压缩时,则按图7a, $\Delta\eta_{lv} = 0$ 。此项增压情况的先决条件是在自然吸气终了之后,由气缸