

M. A. 馬蒙托夫著

气流的某些問題

上 册



國防工業出版社

中央人民政府高等教育部推薦 高等學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國高等學校院系調整後的一項重大工作。在我國高等學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：‘蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯系實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。’我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地大量翻譯蘇聯高等學校的各科教材，並將繼續向全國推薦，作為現階段我國高等學校教材的試用本。

我們希望：使用這一試用本及今後由我們繼續推薦的每一種試用本的教師和同學們，特別是各有關教研組的同志們，在教學過程中，對譯本的內容和譯文廣泛地認真地提出修正意見，作為該書再版時的參考。我們並希望各有關教研組在此基礎上逐步加以改進，使能結合中國實際，最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府高等教育部

52.86

465

11

气 流 的 某 些 问 题

上 册

M. A 馬 蒙 托 夫 著

王 新 濤 等 譯

≡ 592 / 67



新 華 出 版 社

內容簡介

本書研究氣體在管道、噴嘴和流動容器內的流動情況，這些問題與武器有密切關係，在一般氣體動力學中很少談到。本書原文為全一冊，中譯本分上、下兩冊出版。上冊包括原書的前言及第一、二、三、四、五章，內容為介紹上述流動情況的基本關係式，討論封閉和半封閉的彈後空間的氣流，以及氣體經過大孔的流動情況。

本書供從事武器計算與研究的工程技術人員閱讀，也可供大專院校有關專業教師及高年級學生參考。

*

*

*

本書圖樣鮮版在國務院公布統一的計量單位名稱之前已制妥，故其中單位名稱與正文不一致，特此說明，請讀者原諒。

蘇聯М. А. Мамонтов著‘Некоторые случаи течения газа (上半部)’(Оборонгиз 1951年第一版)

*

*

*

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第074號
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

787×1092^{1/25} 印張8^{24/25} 179千字

1950年12月第一版

1950年12月第一次印刷

印數：0,001—1,250冊 定價：(11) 1.40元

NO. 3046

目 录

前言	4
第一章 气体沿管道、喷嘴和流动容器流动的基本关系式	9
§1 传热的基本原理和关系式	9
§2 气体运动的主要方程式	21
§3 計及摩擦和热损失时气体沿管道或喷嘴稳定流动的关系式	27
§4 圆柱腔内非稳定气流的关系式	54
§5 变量气体的热力学关系式	63
第二章 气体在封闭弹后空间内的流动	95
§6 由活塞离气体方向移动所引起的圆柱腔中气体流动的精确解	95
§7 比例膨胀的假說	126
§8 腔底不动时压力在圆柱形封闭弹后空间沿长度的分布	134
§9 腔底活动时压力沿封闭式圆柱形弹后空间长度的分布	148
§10 腔底不动时压力沿封闭式圆柱阶梯形弹后空间长度的分布	157
§11 計及封闭弹后空间内燃烧生成物的运动时弹丸質量換算系数的确定	167
§12 装藥沿弹后空间长度开始不均匀分布时气体及燃烧藥粒在弹后空间的运动	169
第三章 气体經等于容器横截面的孔的流出	177
§13 后效时期中腔口处火藥气体的速度	177
§14 在后效时期的开始阶段火藥气体在武器腔内的运动	183
§15 在后效时期基本阶段武器腔内的平均压力之变化	189
§16 后效时期基本阶段压力沿武器腔长度的分布	192
§17 后效时期压力冲量的确定	198
§18 后效时期腔内气体多变膨胀指数的确定	207
第四章 半封闭弹后空间内的气体流动	211
§19 气体經大孔从定容容器内的流出	211
§20 半封闭弹后空间内压力的分布	217
第五章 气体由容器中經两个大孔的流出	221
§21 后效时期内在具有底孔的武器腔内平均压力的变化	221
§22 后效时期内有底孔的武器腔内之压力分布	223

01886

前 言

1. 本書的目的是詳細研究下列几种气体流动的情况, 这些情况在工程气体动力学中談得很少:

- 1) 气体在封閉的和半封閉的彈后空間內的流动;
- 2) 气体从定容积的容器中經大孔流过, 特别是通过与容器橫断面面积相等的孔流出;
- 3) 气体从变容积的容器中流出;
- 4) 在导热和摩擦很大时管道中气体的流动;
- 5) 噴嘴的最初橫断面面积与流出气体的容器橫断面面积相等时噴嘴中气体的流动;
- 6) 当气体突然膨脹时噴嘴中气体的流动;
- 7) 活动容器中气体的流动。

在分析上述气体流动的情况时, 除要确定气体参数随時間和空間的变化規律外, 也要研究气体对管道表面、噴嘴表面及活动容器表面的机械作用。

2. 火藥气体的机械作用是射击武器主要部分(推彈装置)工作的基本因素, 推彈装置是一种热机, 火藥就是它的燃料, 而火藥气体就是工質。

各种类型武器自动机的工作也是由于火藥气体的机械作用而完成的。

根据所做工作的用途和物理本質在以后把射击武器各种类型的推彈装置簡称为彈道原动机。同样, 在以后把武器各种类型的热力装置(利用它的火藥气体才能使武器的自动机工作)称为自动机的原动机或自动机的主动机构。

可以将武器中火藥气体机械作用的不同情况分为以下两类:

- a) 火藥气体在彈道原动机的工作空間中所产生的机械

作用；

6) 火藥气体在彈道原动机的工作空間外所产生的机械作用。

以后将更詳細地研究火藥气体在火炮和自动武器中的机械作用。

火藥气体在任一火藥射击武器中除了对炮弹彈底产生机械作用的主要功用外，在火炮中还对炮膛膛底产生机械作用。由于这个作用就产生后座冲量，并产生武器后座的现象，即武器后座部分与炮弹运动方向相反的移动。因为在后座冲量值很大时，后座部分的移动大得不能允許，則在某些射击武器中，靠火藥气体在彈道原动机工作空間之外的特殊工作空間中的机械作用来减小火藥气体对膛底机械作用的不良后果。这是利用炮弹在膛内运动时期火藥气体所获得的动量，以及炮弹从炮膛飞出后火藥气体的气流速度大小和方向的改变来达到的。

利用火藥气体的机械作用来减小后座部分速度的装置在以后将叫作排气式制退器。

在自动武器彈道原动机的工作空間内火藥气体的功用是多样的。在很多类型的自动武器中利用火藥气体对膛底的机械作用所引起的后座部分的移动来使武器自动机工作。因此在这些型式的武器中彈道原动机的工作空間同时也是自动机原动机的工作空間。同样，充滿上述工作空間的火藥气体既是彈道原动机的工質又是自动机的工質。在这种情况下，膛底或彈壳底是这自动机原动机的工作表面。在彈道原动机和自动机原动机有共同的工質和工作空間的条件下，可能有这种方案，即自动机的原动机之工作表面，不是彈壳底而是炮膛表面的其他部分。有时用火藥气体对坡膛或藥筒斜肩的机械作用来保証武器自动机的工作。当炮管和炮門不連結时上述火藥气体的作用引起炮管沿炮弹运动方向的移动及带动自动机的其他构件。

有时局部利用火藥气体对彈底的机械作用来使自动机工作。

这时，火藥气体对炮彈彈底作用力的一部分經炮彈傳給膛綫的导轉面，而当炮身与炮門不連結时，引起炮身在炮彈运动方向的移动。因此，这里彈道原动机及自动机原动机不仅有共同的工作空間和工質并且工作表面也是共同的。

在自动武器中由彈道原动机的工作空間流入特殊工作空間的火藥气体有以下的功用：

a) 把动能傳給自动机的特殊构件；

6) 当武器的后座件是自动机的主动构件时以及由于火藥气体对膛底机械作用所获得的后座件速度不足以保証自动机的工作时，增加武器后座部分的速度；

b) 当武器的后座部分的速度太大时，减小后座件速度。

在彈道原动机的工作空間之外用来保証火藥气体机械作用的装置，以后称作排气装置。

排气装置工作过程的特性和結構的确定，在很大程度上是由火藥气体从彈道原动机的工作空間排至排气装置的工作空間的条件来决定。只有在后效期內火藥气体才由于炮彈从膛內飞出后由膛口流出的火藥气体气流的膨脹流入位于膛口外的排气装置中；火藥气体流的速度超过音速。火藥气体流入位于膛中部的排气装置是在燃烧动力学时期內开始的，并且一般在膛內导气孔处气流速度是低于音速的。上述火藥气体由膛內流入排气装置工作空間的特点是这二种装置工作过程的决定因素，所以以后将区分为两种特殊的排气装置。火藥气体由膛內經膛口流入的排气装置下面称为膛口排气装置。火藥气体由膛內經膛壁上側孔流入的排气装置称为側排气装置。

3. 分析火藥气体对射击武器不同热力装置工作表面的机械作用，可以确定这种作用的三种形式：

a) 火藥气体与工作表面直接接触而与此表面沒有相对速度；此时武器的这种热力装置所产生的运动力或制退力是火藥气体对工作表面的靜压力作用的结果；

6) 火藥气体与工作表面直接接触而在接触瞬时相对于工作表面有相当大的速度; 此时工作表面所承受的运动力或制退力是火藥气体对这表面的动压力作用的结果;

B) 一部分火藥气体先进入工作空间内是不动的, 而在工作过程的瞬时进入工作空间的另一部分火藥气体相对于工作表面有较大的速度; 此时工作表面所承受的运动力或制退力由二部分组成: 静止部分火藥气体的静压力的作用产生的力及运动部分火藥气体的动压力作用产生的力。

談到第一种形式火藥气体的机械作用, 必須指出在武器中火藥气体对于工作表面沒有相对运动, 可能是由于那部分气体与工作表面一起有较大的速度。除此之外, 还应指出, 紧贴于工作表面的火藥气体的相对静止, 并不限制在工作空间内其他部分火藥气体的显著运动。詳細分析彈道原动机和排气装置的工作过程表明, 一般这种过程是在火藥气体的运动很快时进行的, 这就是上述过程的主要因素。

4. 彈道原动机和排气装置的工作过程的重要特点是这些过程是在工作空间中火藥气体变量条件下进行的。引起工質变量的因素如下:

a) 在装藥的燃烧过程中新的火藥气体进入彈道原动机的工作空间;

6) 火藥气体由炮膛流入排气装置的工作空间;

B) 火藥气体由工作空间經各种孔和間隙流出;

r) 火藥气体流入工作空间的同时又从工作空间流出。

5. 彈道原动机和排气装置工作过程的特点是傳热对这些过程的影响很大。虽然上述过程很短促, 但火藥气体与工作空间壁之間的溫度差非常大, 这就使傳热对上述过程的进行影响很大。同时在工作过程的主要阶段中火藥气体有很大的密度, 这情况也加强了傳热的影响。

6. 俄罗斯学者和苏联学者对火藥气体动力学问题的研究作

出了巨大的貢獻。俄罗斯学者 В. М. 特罗菲莫夫 (Трофимов) 是第一个研究火炮气体动力学的卓越学者。

苏联学者 А. А. 勃拉貢拉沃夫 (Благонравов) 院士在他有名的气推式自动武器研究的著作中奠定了自动武器气体动力学的基础。勃拉貢拉沃夫院士对射击武器的膛口制退器也进行了大量的实验研究并拟定了膛口制退器的第一种分类法。

И. П. 格拉夫 (Грав)、В. Е. 斯魯霍茨基 (Слухоцкий)、М. Е. 謝列伯梁可夫 (Серебряков) 及 А. А. 托罗契柯夫 (Толочков) 教授等在火藥气体动力学方面也作了許多工作。

本書的基本原始材料是上面提到的 А. А. 勃拉貢拉沃夫院士的研究結果。在勃拉貢拉沃夫院士的研究中关于自动武器气体动力学今后工作的方法和方向的指示和想法是特別寶貴的。在写本書的过程中作者多次得到 А. А. 勃拉貢拉沃夫对于工作方法和方向的寶貴指示。

作者向帮助本書編排，解决本書主要問題，精神上援助和多次促使順利完成工作的老师安拉托里·阿尔卡基耶維奇·勃拉貢拉沃夫表示衷心的感謝。

同时作者对为帮助更深入的研究許多問題而提出批評意見的 М. Е. 謝列伯梁可夫教授表示最大的感謝，根据他的指示曾补充編写了本書的某些問題。

作者对在編写本書和准备出版本書过程中給予莫大帮助的本書科学編輯 В. М. 苏洛夫 (Суров) 講師表示衷心的感謝。

同时作者对为本書作圖的 Н. И. 柯尔幸耶聶耶夫 (Архиереев) 講師及很好地进行許多圖表和例題計算的 М. И. 齐齐洛娃 (Чичилова) 工程师、Н. А. 道尔給赫 (Долгих) 工程师、С. А. 切尔罗帕托娃 (Чернопятова) 工程师、Е. И. 米哈依洛娃 (Михайлова) 工程师和 З. С. 加里宁柯娃 (Калиникова) 工程师表示感謝。

第一章 气体沿管道、喷嘴和 流动容器流动的基本关系式

§1 傳热的基本原理和关系式

1 直接接触的傳热定律

牛頓所确定的直接接触傳热定律为:

在單位時間內由溫度 T_r 的物体經過 dF 表面傳給溫度 T_c 物体的热量与溫度差和接触表面面积成正比。

根据此定律可以把通过很小接触表面的每秒热傳导写成:

$$\frac{dQ_r}{dt} = \int_F \alpha (T_r - T_c) dF, \quad (1)$$

式中 α ——傳热系数;

$T_r - T_c$ ——接触物体的溫度差。

将接触表面各部分的 α 及 $T_r - T_c$ 值取得相同时, 由公式 (1) 得

$$\frac{dQ_r}{dt} = \alpha (T_r - T_c) F. \quad (2)$$

假若除上述条件外, 傳热过程的进行在接触表面不变时, 則由公式 (2) 得

$$dQ_r = \alpha (T_r - T_c) F dt,$$

由此对于很小一段时间得

$$Q_r = \alpha (T_r - T_c) F t. \quad (3)$$

由 (3) 式得在采用公斤·厘米·秒單位制时傳热系数 α 的因次为

$$[\alpha] = \text{千卡} / \text{厘米}^2 \cdot \text{度} \cdot \text{秒}.$$

2 直接接触傳热定律表达式的第二种形式

現在研究一下气体与固体間的热交换。

假定溫度等于气体平均溫度，气体每一質点在对壁撞击时变为壁的溫度，亦即气体的溫度下降 $T_r - T_c$ 。在这种假定下，重量 dj 的气体質点在 dt 時間內放出的热量为

$$dQ_r = c (T_r - T_c) dj,$$

式中 c —— 气体的热容量。

相应地，單位時間放出热量

$$\frac{dQ_r}{dt} = c (T_r - T_c) \frac{dj}{dt},$$

式中 $\frac{dj}{dt}$ —— 在單位時間內与壁撞击的气体質点重量。

如果設想气体質点像气流一样不断冲击固体表面的某一部分，則在單位時間內与固体表面相接触的气体体积将等于 vF ，式中 v —— 与物体表面成法綫的方向上气体質点的平均撞击速度。在單位時間內撞击的气体質点之重量为

$$\frac{dj}{dt} = vFY,$$

式中 γ —— 气体的比重。

最后得秒热損失为：

$$\frac{dQ_r}{dt} = cv\gamma(T_r - T_c)F. \quad (4)$$

比較方程式 (3) 与 (4)，得

$$\alpha = cv\gamma, \quad (5)$$

$$\text{或設} \quad \alpha_0 = c'', \quad (6)$$

$$\text{得} \quad \alpha = \alpha_0 \gamma_0. \quad (7)$$

假若考虑到 γ 表示对固体單位表面面积撞击的气体質点数量，則根据公式 (4)，气体与固体間的傳热定律可如下述：

气体与固体直接接触时，經單位表面面积所傳导的热量，与气体的热容量、对物体表面冲击的气体質点数及气体与固体的溫度差成比例。

除傳热系数与气体的比重成正比例关系外，由公式 (5) 亦可确定， α 也决定于气体的溫度，因为气体質点的平均速度 v 和气体的热容量 c 是溫度的函数。但是，由于上述假設不精确和計

算很复杂，不可能得出温度与传热系数的关系式。

至于比重与传热系数的关系式，则对于武器中的传热过程和对于一般热工学课程中所研究的过程不同，这一因素有着极重要的意义。

上述情况可用以下两个原因来说明：

- 1) 在武器工作过程的主要时期内火药气体的密度很大；
- 2) 在上述过程中火药气体的密度变化很大。

3 传热系数与气体运动速度的关系

前面曾提到，气体质点对固体表面的冲击是气体与固体直接接触传热的基本因素。

因为对表面冲击后气体质点的速度减低，结果在气体与固体表面间产生运动较小的质点层，此质点层给气体〔新〕质点接近固体表面以及经过此层的传热造成阻力。

当固体对气体传热时，情况亦相似。与固体表面相邻近的气体质点，由于和固体质点相互冲击，温度增高，接近于固体的温度。这样，固体和邻近固体表面的气体层之间温度差比固体温度与气体平均温度之间的差值小得多，即小于用在传热定律公式中的计算温度差。由于上述情况传热过程的强度显著地减小。

根据以上所述，很容易说明由实验得到的事实，即随着气体相对于冷却表面的运动速度的增加，传热也显著增加。气体相对于冷却表面的运动速度愈大，则邻近固体表面的气体层之〔换新〕进行得亦就愈快，由气体到固体或由固体到气体传热的阻力也愈小。

根据现有实验数据及某些武器传热过程的计算，用以下特殊乘数的传热系数关系式（7）可以近似地计算气体的速度对传热过程的影响

$$\alpha = \alpha_0 (1 + \alpha_1 \sqrt{v}) \gamma, \quad (8)$$

式中 v ——在冷却表面所研究区段上气体的速度；

α_1 ——輔助經驗系数。

4 直接接触傳热定律表达式的其他形式

用下式来代替溫度差 $T_r - T_c$ 是合适的:

$$T_r - T_c = v_r T_r, \quad (9)$$

式中
$$v_r = 1 - \frac{T_c}{T_r}. \quad (10)$$

将 (8)、(9) 式中之 α 及 $T_r - T_c$ 值代入 (1) 式并考虑到

$$\dot{Y} = \frac{p}{RT},$$

得

$$\frac{dQ_r}{dt} = \frac{\alpha_0}{R} \int_F (1 + \alpha_1 \sqrt{v}) v_r p dF. \quad (11)$$

如果取冷却表面的所有区段 v 、 v_r 及 p 值都相同, 則得

$$\frac{dQ_r}{dt} = \frac{\alpha_0}{R} (1 + \alpha_1 \sqrt{v}) v_r p F; \quad (12)$$

采用 $v = 0$ 时,

$$\frac{dQ_r}{dt} = \frac{\alpha_0}{R} v_r p F. \quad (12a)$$

由此在很小一段时间內傳热公式得:

$$Q_r = \frac{\alpha_0}{R} \int_0^t v_r p F dt, \quad (13)$$

假若取上述一段时间內的 v_r 及 F 为常数, 則得

$$Q_r = \frac{\alpha_0}{R} v_r F \int_0^t p dt. \quad (13a)$$

(13a) 式可用以决定测压器中的热損失。此时

$$\int_0^{t_k} p dt = \frac{e_1}{A},$$

因而

$$Q_r = \frac{\alpha_0}{R} \frac{e_1}{A} v_r F. \quad (14)$$

对于彈丸在膛內运动时彈道原动机傳热过程将方程式(11)的右端积分。

在一定时期內 v_r 值变化不大, 可取为不变的平均值。至于气体的运动速度 v , 首先, 对于不同膛切面其值不同, 其次, 在炮彈运动过程中其值变化。

为了简化問題, 取与膛表面相接触的所有气体的平均速度值 v_{op} 等于炮彈速度 v 的一半。

根据上述假定并考虑到可取沿膛的全長压力 p 都相同, 得

$$\frac{dQ_r}{dt} = \frac{\alpha_0}{R} v_r (1 + \alpha_2 \sqrt{v}) p F_0. \quad (15)$$

用彈丸行程来表示 F , 最后得

$$\frac{dQ_r}{dt} = \frac{\alpha_0}{R} v_r F_0 \left(1 + \frac{\pi d}{F_0} l\right) (1 + \alpha_2 \sqrt{v}) p, \quad (16)$$

式中 F_0 ——藥室表面面积。

5 輻射傳热定律

成为导体的物体除原子內的电子外, 还有所謂自由电子, 这些自由电子的运动与焦耳效应有关。因为热綫与光綫都是电磁波, 所以热綫和光綫在导体中的傳导是由于自由电子的加强运动和热能及光綫能轉变为吸收这些綫的物体的热能而引起的。因此輻射傳热过程是用电磁波来轉移能量的一种特殊情况。

根据斯蒂芬-波次曼定律, 为不吸收介質所分开的固体表面間每秒輻射热交换为

$$\frac{dQ_n}{dt} = \int_F c \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] dF, \quad (17)$$

式中 c ——灰色物体的輻射系数。

假如輻射表面 F 各部分的物体表面溫度 T_1 及 T_2 都是相同的, 則 (17) 式为

$$\frac{dQ_n}{dt} = c \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F. \quad (17a)$$

当 $T_2 \ll T_1$ 时得

$$\frac{dQ_R}{dt} = c \left(\frac{T_1}{100} \right)^4 F. \quad (17b)$$

灰色物体的辐射系数为

$$c = \varepsilon c_s,$$

式中 c_s ——绝对黑色物体的辐射系数;

ε ——灰色物体黑色度 ($\varepsilon < 1$)。

在数量上系数 $c_s = 4.9 \text{ 大卡/米}^2 \cdot \text{小时} \cdot \text{度}^4 = 0.136 \times 10^{-6} \text{ 大卡/厘米}^2 \cdot \text{秒} \cdot \text{度}^4$ 。

ε 系数的大小不仅决定于物体的性质, 此外还决定于物体表面的状况; 随着物体温度的变化, 它的改变很大。气体辐射的现有实验数据证明: 在系数 c 选择适当时, 可以采用同样 (17) 式来进行气体与固体间辐射热交换的实际计算。

在对气体与固体间的辐射传热过程要求分析得更完整时, 必须考虑气体辐射的某些特点, 这些特点是:

1) 选择吸收的能力以及 (根据克希荷夫定律) 选择放射的能力 [气体吸收频率 (吸收带) 的范围比固体大];

2) 气体形状和大小的影响, 因为气体的透热度比固体大;

3) 气体压力的影响, 因为在气体体积相同压力不同时, 影响气体的吸收和放射的分子数量不同;

4) 气体混合物组成的影响, 因为辐射能量应按各吸收带确定, 而混合物的组成不同时吸收带亦不同。分子为对称结构的气体 (氧、氮、二氧化碳等) 在技术上遇到的温度下显示不出可供计算的吸收带。

一氧化碳、碳氢化合物、水蒸汽、二氧化碳及氨等这些气体具有相当宽的吸收带。

根据沙克 (Шак) 确定二氧化碳和水蒸汽的辐射传热可以根据以下关系式来进行:

$$\begin{aligned} \left(-\frac{dQ_R}{dt} \right)_{\text{CO}_2} = & -\frac{c}{c_s} \left[\varphi_1 (k_1 - k'_1) \left(1 - \frac{1 - e^{-16 p_s}}{16 p_s} \right) + \varphi_2 (k_2 - k'_2) \right. \\ & \left. + \varphi_3 (k_3 - k'_3) \left(1 - \frac{1 - e^{-80 p_s}}{80 p_s} \right) \right] F. \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{dQ_H}{dt}\right)_{H_2O} = & \frac{c}{c_s} \left\{ \varphi_1(W_1 - W'_1) \left(1 - \frac{1 - e^{-8ps}}{8ps}\right) \right. \\ & + \varphi_2(W_2 - W'_2) \left[1 - \frac{0.66}{5ps}(1 - e^{-5ps}) - \frac{0.34}{22ps}(e^{-5ps} - e^{-27ps}) \right] \\ & \left. + \varphi_3(W_3 - W'_3) \left(1 - \frac{1 - e^{-45ps}}{45ps}\right) \right\} F, \end{aligned} \quad (18a)$$

式中 p —— 部分气体的压力 (公斤/厘米²);

s —— 气体光线发射层的厚度 (米);

k, k', W, W' , —— 决定于气体本性的系数, 而

k, W —— 按气体的温度取的;

k', W' —— 按光线接受面的温度取的;

φ —— 气体形式系数;

c —— 光线接受面的辐射系数。

对于发射时在武器膛内产生的条件我们将辐射的秒热损失与直接接触的秒热损失作一下比较。

原始数据

根据现有的数据, 一公斤火药气体的克分子组成如下:

CO₂——2.36

O₂——0.10

CO——20.81

H₂——7.99

N₂——3.84

H₂O——7.84

假若在发射时间内膛内的平均压力为 $p_{cp} = 1500$ 公斤/厘米², 在火药气体中的 CO₂、CO 及 H₂O 的局部压力将等于 $p_{CO_2} = 98$ 公斤/厘米²; $p_{CO} = 868$ 公斤/厘米²; $p_{H_2O} = 326$ 公斤/厘米²。

火药气体的其余组成元素——O₂、H₂及 N₂未加以计算, 因为这些气体的吸收带可以忽略。

其次取:

在发射时期内火药气体的平均温度

$$T_{cp} = 1500^\circ \text{K}.$$