

自动武器动力学原理

B. C. 普加契夫著



国防工业出版社

3

99

12

自动武器动力学原理

B. C. 普加契夫著

王新濤译



国防工业出版社

內容簡介

本书叙述自动武器动力学的一般原理。全书共分三章：第一章简单分析自动武器中的作用力，论述傳速比与效率的計算，介绍自动武器机构运动的一般方程式之推导，并对各构件参与机构工作的冲击情况进行了討論。第二章研究設彈帶为只傳遞拉伸应力的彈性綫时彈帶的运动，并推导从彈帶方面作用于机构构件的力的表达式。第三章叙述武器机构运动方程式的积分法。

本书的主要讀者对象为自动武器設計研究人員及国防工业高等学校教师和学生。

苏联 В. С. Пугачев 著 'Основы динамики автоматического
оружия' (А. Н. СССР 1946 年第一版)

* * *

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 印張 $3\frac{11}{16}$ 92 千字

1960 年 7 月第一版

1960 年 7 月第一次印刷

印数：0,001—2,341 册 定价：(11-8)0.71 元

NO. 3302

目 录

緒論	5
第一章 自动武器机构的运动方程式	7
1 自动武器中的作用力	7
2 自动武器中的傳速比和傳动效率的确定	11
3 自动武器机构运动方程式的推导	23
4 自动武器机构中的冲击	27
5 自动武器机构中能量的摩擦損耗活力方程式	31
6 非理想約束情况的第二类拉格朗日广义方程	35
7 非理想約束情况的阿伯尔广义方程	40
8 推导自动武器机构的运动方程式时第二类拉格朗日广义方 程和阿伯尔广义方程的应用	44
第二章 彈带的运动	47
9 引言	47
10 彈带的运动方程式	48
11 彈带运动方程式的解	51
12 作用于彈带上的摩擦力的計算	57
13 供彈对武器机构运动的影响	61
第三章 自动武器机构运动方程式的积分	64
14 自动武器机构运动方程式的一般形式	64
15 当作用力与時間无明显的关系时, 自动武器机构运动方程 式的积分	66
16 自动武器机构的运动諸元用波維特金近似法的計算	70
17 自动武器机构的运动諸元用胡佳柯夫解析法的計算	73
18 主动件向最后位置运动的最后路段上自动武器机构运动諸 元的計算	75
19 在初速等于零的路段上武器机构运动諸元的解析計算法	77
20 自动武器机构运动諸元用胡佳柯夫第二种方法的計算	83
21 用函数标度法进行自动武器机构的运动方程式的图解积分	86
22 自动武器机构运动諸元的計算举例	100
参考书目	113

12

自动武器动力学原理

B. C. 普加契夫著

王新濤译



国防工业出版社

內容簡介

本书叙述自动武器动力学的一般原理。全书共分三章：第一章简单分析自动武器中的作用力，论述傳速比与效率的計算，介绍自动武器机构运动的一般方程式之推导，并对各构件参与机构工作的冲击情况进行了討論。第二章研究設彈帶为只傳遞拉伸应力的彈性綫时彈帶的运动，并推导从彈帶方面作用于机构构件的力的表达式。第三章叙述武器机构运动方程式的积分法。

本书的主要讀者对象为自动武器設計研究人員及国防工业高等学校教师和学生。

苏联 В. С. Пугачев 著 'Основы динамики автоматического
оружия' (А. Н. СССР 1946 年第一版)

* * *

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

850 × 1168 1/32 印張 3¹¹/16 92 千字

1960 年 7 月第一版

1960 年 7 月第一次印刷

印数：0,001—2,341 册 定价：(11-8)0.71 元

NO. 3302

目 录

緒論	5
第一章 自动武器机构的运动方程式	7
1 自动武器中的作用力	7
2 自动武器中的傳速比和傳动效率的确定	11
3 自动武器机构运动方程式的推导	23
4 自动武器机构中的冲击	27
5 自动武器机构中能量的摩擦損耗活力方程式	31
6 非理想約束情况的第二类拉格朗日广义方程	35
7 非理想約束情况的阿伯尔广义方程	40
8 推导自动武器机构的运动方程式时第二类拉格朗日广义方 程和阿伯尔广义方程的应用	44
第二章 彈带的运动	47
9 引言	47
10 彈带的运动方程式	48
11 彈带运动方程式的解	51
12 作用于彈带上的摩擦力的計算	57
13 供彈对武器机构运动的影响	61
第三章 自动武器机构运动方程式的积分	64
14 自动武器机构运动方程式的一般形式	64
15 当作用力与時間无明显的关系时, 自动武器机构运动方程 式的积分	66
16 自动武器机构的运动諸元用波維特金近似法的計算	70
17 自动武器机构的运动諸元用胡佳柯夫解析法的計算	73
18 主动件向最后位置运动的最后路段上自动武器机构运动諸 元的計算	75
19 在初速等于零的路段上武器机构运动諸元的解析計算法	77
20 自动武器机构运动諸元用胡佳柯夫第二种方法的計算	83
21 用函数标度法进行自动武器机构的运动方程式的图解积分	86
22 自动武器机构运动諸元的計算举例	100
参考书目	113

緒 論

自动武器动力学的基础是由А. А. 勃拉崗拉沃夫(А. А. Бла-
гоправов) 院士的著作[1、2]所奠定的, 在这些著作中, 第一次
研究了射击时自动武器零件的运动計算。自动武器动力学的基本
的和最困难的問題, 就是确定作用在自动武器中的各个力的問
題。要完滿地研究作用在自动武器中的全部力, 需要化很长的时
間和运用許多資料。所以, 为了能为設計师們提供各种那怕是可
以用来粗略近似地計算自动武器机构运动的方法, А. А. 勃拉崗
拉沃夫院士在自己的著作中仅限于叙述利用总冲量和在导气式武
器中确定此总冲量的各項基本实验, 来考虑运动力——作用于各
机构构件上的火药气体压力——的近似計算法。

Е. Л. 勃拉文(Е. Л. Бравин)教授首先企图来考虑作为時間函
数的作用于机构主动构件上的火药气体压力和当此力作用时所发
生的有連結质量的情况[3, 4]。Е. Л. 勃拉文教授研究了导气式机
枪活塞杆的运动, 而且在当时沒有任何关于气室内火药气体压力
与時間关系的資料的情况下, 他提出了对于这种关系的經驗公式。

以后, 关于自动武器各个机构的运动計算問題, 在Э. А. 戈
洛夫(Э. А. Горов) [20], Р. Д. 波維特金(Р. Д. Поветкин)
[5], 和И. В. 胡佳柯夫(И. В. Худяков) [6]等人的著作中
研究过。Р. Д. 波維特金和И. В. 胡佳柯夫发展了解析法。这种
方法的基础是将运动方程的积分式展开成为按時間的整正幂排列
的級数(Р. Д. 波維特金)或按主动件的行程排列的級数(И. В.
胡佳柯夫)。但这种方法仅限于当主动件行程被分成若干区段, 而
在每一区段当中其轉化质量保持为常数的情形。此外, И. В. 胡
佳柯夫还提供了一种方法, 这种方法的基础是将每一区段上的全
部力和轉化质量加以平均并且采用等加速运动的公式。

大家都知道, 自动武器中最为重要的机构是供彈机构。所以,

很自然地，設計供彈机构和考虑它对自动武器机构主动件运动的影响問題，在上面所列举出的所有著作中几乎都占着很显著的位置。前几种关于供彈机构的計算和設計的見解是由A. A. 勃拉崗拉沃夫院士[2]所提出的，他們根据的假設是彈帶为絕對剛性的。以后，这个問題由И. В. 胡佳柯夫[6, 7]进行了研究，他发展了对于絕對剛性彈帶的供彈机构的設計方法。同时，B. E. 魯德涅夫(B. E. Руднев)研究了彈帶可能被当作只傳遞拉伸力的彈性綫(或同样地可当作彈簧)的情况下供彈机构的工作，并且提出了有关設計彈帶及供彈机构的一些見解。此外，B. E. 魯德涅夫还对某些具体形式的武器，用試驗証明了將彈帶看作为彈性綫的可能性。

本书叙述自动武器动力学的一般原理。

在第一章內，在簡單地分析了有关自动武器中的作用力的現有資料以及关于計算傳速比和效率的引导性論述之后，建立了自动武器机构的一般运动方程式，研究了各构件在冲击情况下参与机构工作的情形。

在第二章內，在彈帶为只傳遞拉伸应力的彈性綫的假設下研究它的运动，并推导出从彈帶方面作用于供送彈鏈机构构件的力的表达式。

在第三章內叙述了武器机构各种运动方程式的积分法。在这一章內研究应用在武器机构运动最一般方程式中的各个解法：用总冲量来考虑火药气体压力的方法(勃拉崗拉沃夫的方法的推广)；运动方程式按時間幂排列的积分法(波維特金的方法的推广)；运动方程式按位移幂排列的积分法(胡佳柯夫的方法的推广和作者的用于初始部分行程的方法)和函数标度的图解法(Графический метод функциональных шкал)。最后一种方法——函数标度法是計算自动武器机构运动諸元时最为方便而簡單的方法。并且它所能保証的准确度要比所研究过的其它方法要高。所以，我們建議在自动武器的設計實踐中广泛地利用这种方法。为了闡明这种方法，在第三章內引入了自动武器机构运动諸元的計算实例。

第一章 自动武器机构的运动方程式

1 自动武器中的作用力

正如在序言中所指出的，为了全面研究自动武器动力学，必须透彻了解作用在自动武器机构内的力。只有从理论上和用实验的方法全面地研究这些力，才能够获得这些知识。而在这里，实验的研究具有决定性的意义，因为在自动武器内发生的物理过程十分复杂，不可能找到适当的理论方案，来简便地而又精确地进行理论研究。因此，甚至当已经找到适当的理论方案并且已经得到作用于武器机构的主动件上的某一力的理论公式时，还必须提出试验性的研究，以检查此公式的准确性和应用范围，或者检查所采用的理论方案的许可性。最后，可以利用试验研究来求出理论公式中的系数和引入附加的实验校正系数。

作用在机构构件上的火药气体压力是使自动武器机构工作的主要力。这个力随武器之类型和结构的不同而有不同的规律。在枪管后座式或枪机后座式的武器中，弹丸在膛内运动时和后效期火药气体对膛底的压力使机构产生运动。在导气式的武器中，机构由作用于气室内的活塞上的火药气体压力而产生运动。

由内弹道学中可以十分精确地知道弹丸在膛内运动时火药气体对于膛底的压力。英国学者勒夫和貝狹克根据射击时对火药气体的膛内运动方程的积分，对此作用力进行了比较精确的理论研究，这时假设装药是瞬间燃尽的。

至于在后效期内火药气体对武器膛底的压力，到现在为止无论在理论上或实验上都还没有进行十分详细的研究。现在有许多不同的后效作用的理论，但各人所得的公式之间差别很大。这种情况之所以产生是因为各种理论以不同的假设为基础，而所有这

些假設都与真实情况相差很远。这些理論都以气体从有孔的容器中单量地流出的热力学理論为基础。只是在В. Д. 捷林切耶夫 (В. Д. Терентьев) [9] 的不久以前的著作中才注意到了气体的徑向流动，而这也是粗略近似的，是用与平行于角的一边的平面平层流或直角流动的麦业尔 (Майер) 公式 [10] 的方法及用加入相应的实验修正量的方法求出的。至于В. Д. 捷林切耶夫的理论与从膛内流出的气体作用之真实情形接近程度如何，則依然是个悬而未决的問題。

我們注意到，檢查气体后效作用的所有理論都只用比較武器的自由后座的最大速度之理論值与实验值的方法来进行。这只能使火药气体的总冲量的理論值与实验值相符合，而不可能确定火药气体对膛底的压力随時間而变化的規律。

在自动武器中，为了增大和减小火药气体压力的作用，常常采用不同的膛口装置，这种情况使自动武器在气体后效作用期內火药气体对膛底的压力問題复杂化了。在枪管后座式通常口徑 (6~8毫米) 的机枪內，火药气体对膛底的压力不足以带动武器的全部机构动作，因此为了增大火药气体的冲量，設置專門的枪口罩，而枪口端面則作成与活塞相似的特殊形状。相反地，在大口徑自动机枪和火炮中，火药气体作用于膛底的压力过大，为了减小它对身管的作用，一般裝置膛口制退器。

帶膛口装置时火药气体的后效作用問題完全沒經過研究。現有膛口制退器的理論 [17] 是十分粗淺的，而实际上对每一种型式的武器，只得用实验的方法来决定气体后效期內火药气体的压力。

在导气式武器中火药气体对活塞的压力也研究得很少。А. А. 勃拉崗拉沃夫院士 [1, 2] 根据气流理論作出下述結論：火药气体对开式导气室的活塞之压力冲量与气体对膛底的冲量成比例，他还作了决定比例系数的实验。这是研究导气式武器中火药气体对活塞的压力的唯一重大的工作。Е. Л. 勃拉文教授 [3, 4]

提出用下面的經驗指数公式表示彈丸通过导气孔后，膛內压力的变化規律：

$$P = P_s e^{-k(t-t_s)} \quad (1.1)$$

式中 P_s ——彈丸通过导气孔 t_s 瞬时膛內的压力；

k ——經驗系数，它是根据彈丸通过导气孔瞬时起膛內压力的真实冲量与利用公式 (1.1) 計算出的冲量相等的条件而选定的。

此后，E. Л. 勃拉文教授作出如下的論述：假若气体是理想的而且沒有慣性，則在每一瞬間內作用于活塞上的压力等于导气孔附近的膛內压力，但是，气体流入导气室的过程不是瞬間完成的，因而气体的一部分能量将損失掉；为了考虑这些損失，E. Л. 勃拉文教授在公式 (1.2) 中引入了补充項并对于火药气体作用于活塞的压力采用經驗公式：

$$P = P_s e^{-k(t-t_s)} [1 - e^{-\alpha k(t-t_s)}], \quad (1.2)$$

式中 α ——系数。它应当根据用試驗方法求出的气体作用于活塞的压力冲量与利用公式 (1.2) 計算出的冲量相等的条件来选定。

从质的方面来看，公式 (1.2) 正确地反映了导气室內火药气体对活塞的压力的变化規律。至于公式 (1.1)，它沒有考虑彈丸由膛內飞出瞬間导数 $\partial p / \partial t$ 的間断，E. Л. 勃拉文教授自己也指出了这一点。

以上所述表明，对火药气体作用于自动武器机构之件上的作用力研究得多么不够，我們对于这个力所知道的多么不足。可以說，对这个力的研究刚刚开始，因而，我們只能对每一种型式的武器用实验法决定这个力，实际上不可能在武器設計过程中預先精确地計算导气室或膛口装置。因此，为了使自动武器設計工作建立在可靠的科学基础上，完全有必要广泛地开展关于火药气体对武器机构构件的作用力的研究工作。

火药气体作用结束后，复进簧力是使自动武器机构运动的主

要力。通常应用圆柱螺旋弹簧作为武器的复进簧。一般认为复进簧作用于武器机构构件上的力和整个弹簧的绝对变形成比例。这等于考虑了一个基本振动的频率，或换句话说，等于假设弹簧是没有质量的。为了补偿在这种情况下所产生的某些误差，在武器机构的主动件质量中加上三分之一的弹簧质量。

我们对由这些假设所产生的误差作了评价，同时证明，当弹簧准确地符合虎克（Гук）定律时，即假设弹簧的特性为线性时〔11〕，这些误差小得可以略而不计。但是，圆柱螺旋弹簧是否符合于虎克定律的问题现在尚未研究清楚，特别是在高射速的武器中，弹簧变形到几乎完全被压缩的程度的情况。已有许多著作阐述弹簧的动力学问题。但是，自动武器中弹簧的工作情况还远未得到充分的研究。特别是关于多股弹簧研究的不充分，而它在自动武器中常常被用作复进簧。因此，弹簧的动力学问题是自动武器动力学中急待解决的问题。

为了吸收自动武器机构从火药气体所得到的多余能量，常采用液压制退器。通常根据炮架理论公式来计算液压制退器所产生的制动力。但是这些公式是很粗略的，对于火炮实践虽已相当精确，但却完全不足以表明液压制退器对自动武器动力学的影响。因此，液压制退器的动力学问题也是自动武器动力学中急待解决的问题。

最后，研究武器零件的摩擦力问题是自动武器动力学中最复杂和最重要的问题。在自动武器中所存在的不稳定平移运动条件下的摩擦力完全没有经过研究。此外，可以预料，这些力在很大程度上是偶然的，它决定于这样一些可变的因素：武器零件的润滑质量和性质，武器温度，武器零件的加工精度，各种污垢和机械损伤。所有这些使得研究自动武器内的摩擦问题成为非常复杂的事。但是，为了全面研究自动武器动力学，完全有必要对这个问题进行研究。

以上所述表明，自动武器动力学的基本问题——确定自动武

器各机构内的作用力的问题——还完全没有研究清楚。因此，自动武器动力学正处在一种萌芽的状态，并且现时还不是一种有力的工具，可以像在其他技术部门中那样在自动武器从设计到制成试验样品的过程中用来完全地控制自动武器的质量。在这一方面，学者们面临着既困难而又饶有兴趣的繁重的任务。但是，除去专门性的研究以外，在这里，从对现有各种型式武器的作用的分析中也可以得到很大的益处。所以，完全有必要具备一种理论工具，以便用来整理对武器各机构的作用进行试验性研究所得的结果。自动武器动力学中研究自动武器机构在任意给定力的作用下的运动的那一部分，便可给我们提供这种理论上的工具。这个部分的基础是建立在理论力学和机械原理的一般方法上。对自动武器动力学中这个部分的系统的叙述，便是本书的基本内容。

2 自动武器中的传动比和传动效率的确定

为了研究自动武器机构的运动，必须知道由主动构件到机构各构件的传动比及传动效率。

构件 B 位置参数的无穷小的变化对构件 A 位置参数的无穷小变化之比，或构件 B 位置参数的变化速度对构件 A 位置参数的变化速度之比叫作构件 A 到构件 B 的传动比。同时，当某一构件的位置不决定于一个参数，而决定于数个参数时，将该构件看成是由数个构件组成，这些构件中的每一个构件的位置由一个参数来决定，这是比较方便的。

构件 B 在无限小的位移内所作出的单位有效功与构件 A 在相应无限小的位移内所消耗的单位功之比，叫作由构件 A 到构件 B 运动传动效率。

假若构件 B 使构件 A 的运动受到阻力（即假若构件 A 是主动件），则构件 A 位移所消耗的功大于构件 B 所作的功，在这些情况下传动效率小于 1。相反，假若构件 B 带动构件 A （即构件 B 是主动件），则消耗在构件 B 位移上的功比构件 A 所作的功大，在这

种情况下由构件 A 到构件 B 的传动效率大于 1。

在自动武器中机构的运动是不稳定的，而在运动过程中各种不同的构件都可能成为主动件。因此，在开始时这构件起主动件的作用，以后可能成为从动件，而只在表面上称为主动件。然而，当研究自动武器机构的运动时，承认这种假定性并将所研究的武器机构的某一构件在全部运动时间内都当作是主动件。因此，在某些情况下效率大于 1，这种情况使自动武器动力学与机械动力学有很大差别。

自动武器动力学与一般机械动力学的另一差别是在运动的某些时期内自动武器机构可以分成数个独立的机构，这些独立机构中的每一机构有自己的主动构件。换句话说，自动武器机构在运动的某些时期内可以形成具有数个自由度（一般是两个）的运动链。可用某些枪管短后座武器作为例子来说明这种情况。在这种武器中，枪管与枪机脱离后继续运动并带动与它相连的机构，而与枪机不发生联系。可以想像，在自动武器中有这样的一些机构，虽然它们连结成一个统一的运动链，但却具有数个自由度。

传动比和效率可用机械原理的一般方法——分析法或图解法来确定。

分析法适用于任何的机构，虽然在某些情况下利用它要进行繁复而令人厌烦的计算。但是，对于在自动武器内所遇到的那些机构，用分析法可得出比较简单的结果。

对于平面机构以及可转化成平面机构的机构（例如圆柱形的），应用图解法来决定传动比及效率是很方便的。

为了用分析法确定由机构的主动件对此构件的传动比，应当给出主动件的无限小位移 δx ，并确定从动件的相应位移 δx_1 。则主动件对此构件的传动比 i 等于 $\delta x_1 / \delta x$ 的比：

$$i = \frac{\delta x_1}{\delta x} \quad (2.1)$$

在平面机构或可转化成平面机构的机构中这个问题可用图解

● x 和 x_1 是构件的广义坐标，在个别情况下可以是直线位移或旋转角。

法解决,其方法为作出速度平面图。实际上,假若 $v = \dot{x}$ ——主动件的速度; $v_1 = \dot{x}_1$ ——从动件的速度(更准确一些说是构件位置参数 x 及 x_1 的变化速度),而 δt ——一般无限小的时间,则构件的位移(更准确一些说是决定构件位置的参数之变化)等于

$$\delta x = v \delta t; \quad \delta x_1 = v_1 \delta t, \quad (2.2)$$

公式(2.1)变为:

$$i = \frac{v_1}{v}. \quad (2.3)$$

因此,作出此机构的速度平面图并取主动件的速度为1,我们就可以直接从速度平面图上得出所求的 i 值。

为了用分析法决定由主动件至该从动件的运动传动效率,应当给出使主动件运动的力 P , 作出使该构件与主动件相连的各构件的平衡方程式,此时须将各连接件的反力(其中包括摩擦力)计入。这些方程对于决定各连接件反力和力 P_1 是必要的并且是够用的,力 P_1 是为了使整个传动系平衡而应当加于此从动构件的。带动主动件运动的力 P 之单位功将等于 $P \delta x$, 而所研究从动件之力 P_1 的单位功等于 $P_1 \delta x_1$ 。因而,效率 η 等于:

$$\eta = \frac{P_1 \delta x_1}{P \delta x} = \frac{P_1 i}{P}. \quad (2.4)$$

在平面机构或可转化成平面机构的机构中,效率可用图解法来决定。为此,只须作出力的平面图和相应的索多角形,而取带动主动件的力 P 为1。此时,直接从力的平面图上可取得 $\frac{P_1}{P}$ 的值。将此值乘传动比即得出 η 。

当计算传动比,特别是计算效率时,常常将不同的构件当作主动件,然后,将求得的传动比及效率的值对作为整个机构的主动构件进行换算。

为了推导由所选择的主动件换算到另一构件作为主动构件时的换算公式,我们来研究三个构件机构:一个主动件及二个从动件。将机构的所有从动件编上号,而主动件注为零号。用 $i_{\mu\nu}$; $\eta_{\mu\nu}$

● P 及 P_1 是广义力,在个别情况可能是名符其实的力,也可能是力矩。

分别表示第 v 个构件对第 μ 构件的傳速比和效率 (即第 v 个构件作为主动件时)。設所研究从动件的編号为 P 与 q 。当主动件 (零号构件) 移动 δx 时, 这些构件得到的位移相应地等于:

$$\delta x_p = i_p \delta x, \quad \delta x_q = i_q \delta x (i_v = i_{v_0}). \quad (2.5)$$

由这些等式求出:

$$\frac{\delta x}{\delta x_p} = \frac{1}{i_p}, \quad \frac{\delta x_q}{\delta x_p} = \frac{i_q}{i_p}, \quad (2.6)$$

由此, 注意到按照傳速比的定义:

$$\delta x / \delta x_p = i_{op}, \quad \delta x_q / \delta x_p = i_{qp}$$

可以写出:

$$i_{op} = \frac{1}{i_p}, \quad i_{qp} = \frac{i_q}{i_p} \quad (2.7)$$

或

$$i_p = \frac{1}{i_{op}}, \quad i_q = i_{qp} \cdot i_p \quad (2.8)$$

假若已知傳速比 i_{op} , i_{qp} , 可以按这些公式計算出傳速比 i_p 和 i_q 。它們相当于将 P 构件看作为主动件的情形。

为了推导出各效率間的相互关系, 假設除了作用于主动件 (零号构件) 的力 P 和作用于 q 构件的使机构平衡的力 P_q 外, 在机构上不作用有其他任何的外力。我們用 P_p 表示作用于 P 构件的内力 (即当 $P = 0$ 时为了使机构平衡必須附加于 P 构件的力)。則考虑公式 (2.4) 可写出:

$$\left. \begin{aligned} \eta_p = \eta_{p0} &= \frac{P_p i_p}{P}, & \eta_q = \eta_{q0} &= \frac{P_q i_q}{P} \\ \eta_{pq} &= \frac{P_q i_{qp}}{P_p}, & \eta_{op} &= \frac{P i_{op}}{P_p} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

由此考虑公式 (2.8) 可求出

$$\eta_p = \frac{1}{\eta_{op}}, \quad \eta_q = \eta_{qp} \eta_p \quad (2.10)$$

这些公式于公式 (2.8) 是一致的。

在我們的任务中不包括詳細叙述机构原理的方法。因此, 在这里我們只研究計算傳速比和效率的二个例子。

我們將 MG-81 机枪枪管开鎖和枪机加速运动时机头的工作