

鱼雷动力学及控制

骆传丽等 编译



0.12

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是根据美国有关资料编译的。书中对空投鱼雷的空中及水下弹道各阶段中鱼雷上诸力及力矩进行了分析计算；阐述了鱼雷控制系统在水下的试验情况。书中以美国MK13-2空对舰鱼雷为例，分析研究了鱼雷由飞机发射后的空中飞行、入水及过渡到水下稳态航行的总体、流体及控制等系统的设计工作。本书对从事鱼雷设计、试验、研究及教学的科研人员及老师有参考价值。

鱼雷动力学及控制

杨传藩等 编译

国防工业出版社出版

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

850×1168 $\frac{1}{32}$ 92张 231千字

1983年1月第一版 1983年1月第一次印刷 印数：0,601—1,000册

统一书号：N15034·1976 定价：1.20元

编译说明

本书原名是Torpedo Study, 内容为空投鱼雷的空中弹道、入水, 以及水下弹道等各个阶段中鱼雷上诸力及力矩的分析计算。但是, 这本书里缺少战斗部、制导及动力等系统的内容, 水下弹道及控制部分讲得较简单, 雷头线型分析、螺旋桨设计等重要内容均未谈到。所以, 它还不能算一本完整的鱼雷研究方面的书, 我们编译后取名为《鱼雷动力学及控制》。

本书中的举例以美国MK13-2及MK25鱼雷为主; 我们把这两种鱼雷的性能诸元列入附录 I。为了帮助理解, 书中提到的几种雷头形状的简介列为附录 II。原书中同一代号在不同章节中的含义不完全相同。如 R 通常代表旋回半径, 但在第一章中却代表航行距离 (Reach); 希腊字母 ρ 在大部分章节中是作为密度的, 但在第十一章中却作为旋回半径, 在第十二章中又代表阻尼系数。角标英文小写字母 e , 在大部分情况下代表入水 (entry), 但有时又代表横舵 (elevator)。这是因各章系由不同作者执笔所致。鉴于在同一章中并无重复, 不会发生误解, 编译时也没强求统一。

还需指出的是, 文中的俯仰角 (Pitch angle) 与我们的习惯理解法不同, 往往含有攻角 (Attack angle) 的意思, 但有时确也是俯仰角。又偏航角 (yaw angle) 也是如此, 往往含有侧滑角 (Sideslip angle) 的意思, 但有时也确是偏航角。

在编译过程中, 对某些章节我们作了删减, 所发现的原文错误, 也作了更正, 同时将原文在页末注出, 以便查考。书中公式中各系数、常数均用英制单位, 编译时未折算成公制的。

参加本书编译审校工作的有: 骆传驱、陶武哲、高启云、周俊忠、殷妙春、吴志余、周连弟、吕桐生、庄宏业等同志。

目 录

第一篇 一般性讨论	1
第一章 鱼雷的一般要求	1
第二章 鱼雷的组成	5
第三章 基本原理	11
第二篇 水动力学和空气动力学	22
第四章 水动力及空气动力诸力和力矩	22
第五章 鱼雷的空中飞行	26
第六章 入 水	81
第七章 水下航行	205
第三篇 控制系统	218
第八章 控制概论	218
第九章 比例式控制	229
第十章 两位式控制	237
第十一章 航向控制	241
第十二章 深度控制	251
附录 I 美国MK13-2鱼雷及MK25鱼雷性能诸元表	262
附录 II 美国鱼雷雷头形状简介	264
参考文献	275

第一篇 一般性讨论

第一章 鱼雷的一般要求

鱼雷，在近代战争史的各个时期均被当作装有高能炸药的一种武器。在过去的五十年海战中，“鱼雷”一词差不多全是指自动鱼雷，它是自行推进，自行驾驶的水下航行器，携带着大量炸药用以袭击敌人舰船的水下部分。因此，鱼雷设计的主要问题应包括鱼雷的发射、推进、航向控制及炸药起爆装置等有关项目。

鱼雷的目的是以其所携带的炸药致敌人于死地，鱼雷的其它部分，如动力装置和控制机构，其设计制造十分费劲费钱，但如果用一条鱼雷就能命中并足以击沉一艘敌舰的话，则从经济价值来考虑，这是合算的。实际上，炸药在鱼雷重量中的比例通常只占0.2~0.3之间，然而，为把炸药运到目标处所需的装置，却要比炸药和起爆机构复杂得多。

近年来，因所有的大型舰船和许多小型舰艇都采用了防雷措施，所以用单发鱼雷去击沉一艘舰船的可能性就不很大。另外，即使是对于有隔舱的货船来说，仅用单发鱼雷也不足以将其击沉。看来极大地增加炸药量，可能大大提高单发命中击沉率，因此用两条或多条自动鱼雷去击沉即使是一艘商船，在经济上也是合算的。但这种推想是不现实的，因为，为了运载破坏力稍有增加的炸药，就会使鱼雷结构的设计大为复杂化。

鱼雷的另一个特点是，它所炸的是敌舰艇的水下部分。这无疑地较之炸舰艇的水上部分损坏得更厉害，因为敌舰艇吃水线下被炸成的洞不仅能使舰艇减少浮力，而且水的存在还会增大爆炸效果。现代战舰沿吃水线及吃水线以下的某些部位都有防护装

甲，这就使鱼雷击穿这些部位的效果大为降低。鱼雷在这些装甲部位一次击中所引起的破坏也很小。但是因为浮力的缘故，不可能使整个舰艇体都装上这种装甲。因而用严格调整好的鱼雷攻击舰艇的装甲以下部位，便可使舰艇遭受严重的破坏。所以，鱼雷对任何舰艇来说，仍然是一种可怕的武器。

自动鱼雷一般是在距目标有一定距离的地方发射的。正常情况下，鱼雷在水中的航行速度要比最快的舰艇的速度为大。尽管如此，这样的速度欲使鱼雷到达航行中舰艇某个时候的提前位置，仍嫌太低。假如鱼雷以45节的速度航行，四分钟约前进6000码。在这段时间里，舰艇如以30节的速度航行，将前进4000码。这时鱼雷的发射如果被发现，目标舰艇就很可能作急剧转向而免被击中。但是在不少场合发射鱼雷可不被发现，而用得更多的办法是将一组鱼雷几乎同时发射，这样，目标舰艇想避开全部鱼雷是很困难的。

对于在海战中使用的鱼雷，常常要求有较长的航程，有些鱼雷的航程需20000码。很明显，除非目标舰艇在鱼雷的航行过程中不改变航向，否则，单发瞄准的鱼雷很难奏效。鉴于这一原因，必须尽可能地缩短鱼雷航行的时间。要做到这一点，最有效办法是增大鱼雷的航速，但是这是很难达到的，所以还必须注意缩短鱼雷在水下航行的距离。

1.1 潜艇和驱逐舰发射的鱼雷的航程和航速

鱼雷是潜艇的理想武器。潜艇可在没有被敌人发现的情况下发射鱼雷。电动鱼雷或者其它没有航迹的鱼雷，只是在其爆炸之后，敌舰才发现自己遭到了攻击。在这种情况下，长航程是有用的。当然，鱼雷的高速对提高瞄准精度更为有利。在其它条件相同时，高速鱼雷较之低速鱼雷命中率更高。另一方面，鱼雷速度的提高，只能靠牺牲一些其它方面的指标，诸如缩短航程，增大尺寸或增加重量来达到。因此，仔细地估算从鱼雷发射点起算的

最小有效航程并强调其应用，是很重要的。由于缩短了航程，减少了瞄准角度误差的影响，同时从所携带的燃料获得最大的航速，这样就能提高瞄准精度。

1.2 空投鱼雷的航速和航程

空投鱼雷与其它鱼雷的情况有所不同。空投鱼雷在一般情况下是能被目标发现的，因而目标舰艇可采取适当的方式来回避。如果鱼雷必须具有较长的水下航程，则企图用产生足够大的水下航速使这种回避动作失效是不实际的。由于鱼雷是从飞机上投下来的，它可借助飞机的速度和投射高度，来完成一段较长的空中航程。其空中段速度远远超过了在水下航行的速度。所以，从投放点到目标这一段距离中的绝大部分是空中飞行距离。因此对空投鱼雷发展的主要要求是，能在飞行高度较高和飞行速度很大的飞机上投放，并且有足够的动力，使鱼雷能在水下以中等航速航行一段较短的距离。这种鱼雷必须配备适当的鱼雷指挥仪。

如果一条鱼雷从6400英尺高处以350节之速度投落，在距目标500码处入水，那么它在空中仅用约20秒钟时间便飞行4000码。假如它的水下航速为40节，则500码的距离约需23秒钟，总共约43秒钟完成近4500码的全部航程。在这么短的时间内，目标舰是不可能作多少机动的。

1.3 航向和深度控制的要求

鱼雷的航向及深度控制要根据鱼雷的使用方式来确定。深度控制的要求，就是要使鱼雷在所期望的目标水下部位爆炸。当使用的是触发引信且目标是战舰时，深度控制机构一定要确保鱼雷击中舰艇的装甲带以下的部位，但须防止鱼雷从舰底穿过。当使用感应引信时，控制深度的要求就不一定很高，因为这种引信可在龙骨下方一定距离内的任意深度上起爆。

航向的准确性取决于鱼雷在水下航行的远近。这里主要的是

鱼雷航向设定偏差不能太大而影响其它，但没有必要要求航向控制机构保持其航向的时间超过鱼雷航行所需要的时间，其精度也没有必要比可能的瞄准精度大很多。一般说来，航程长的鱼雷所需的精度，要比航程短的鱼雷所要求的为大。一条由潜艇发射的鱼雷，它在水下航行约 5000 码所要求的航向精度约是一条空投的、在水下航行 1000 码的鱼雷的 5 倍。不管怎样，远航程鱼雷攻击时，目标舰是有可能回避的，即使采用远程鱼雷齐射，航向的高精度值也会降低。可是航向精度的要求却给鱼雷的制造和保养带来一些麻烦，所以重要的是，把这些要求限定在那些对鱼雷的有效性确实有用的条件内。

从高空投射的水下短航程鱼雷需具备以下几点：

1. 鱼雷不应入水很深以致撞到海底而损坏；
2. 鱼雷在到达目标之前要回复到预定深度和处于待爆状态。

这两个条件只部分地取决于深度控制机构的工作，故设计鱼雷时必须对入水现象作全面的分析理解。入水性能在相当大的程度上取决于鱼雷的外形、质量分布以及入水姿态。

本书所述内容是各种鱼雷的共性问题，但特别着重于阐述空投鱼雷的空中飞行，入水以及鱼雷的控制问题，尤其是 MK25 空投鱼雷的设计。

第二章 鱼雷的组成

鱼雷是一种由若干或多或少具有独立性而互相平衡得很好的部件所组成的武器。为便于讨论，这些部件的一般原理和基本特性将分别加以叙述。

2.1 外 形

鱼雷的外形通常都是圆柱形的。头部常被做成半球形的或是尖头的，尾部装有鳍使鱼雷稳定，直舵与横舵用作航向及深度控制。

所采用的外形非常适宜于提供足够的空间来安置炸药、动力装置及控制系统，同时它具有水中所需的动稳定性和最小的阻力。后面这些要求将在第四章及第七章中详细讨论。

这些外形要求，对于从潜艇发射的鱼雷是适宜的，在绝大多数情况下，对于水面舰艇发射的鱼雷也是适宜的。而空投鱼雷的外形，还必须适宜于空中飞行及入水的过程，一般说来，空投鱼雷的三个阶段：空中飞行，入水以及受控的水下航行段所要求的外形是不同的。空中飞行的稳定性由在鱼雷上加装某种轻质木制附件而获得，这种木制附件在鱼雷入水时碎裂脱开。这些空中稳定装置有各种各样的型式，有些是装在尾部的，有些则装在头部，如阻力环或者俗称为“泡菜桶”（Pickle barrel）的，就装在雷头上。

在多数情况下可以选择一种既适宜于入水又适宜于水下航行的外形。然而，还是试用了多种的附件，诸如在头部装扰流环与唐纳德式延长部，这些附件的设计应保证在入水时留在鱼雷上，而当鱼雷开始定常航行时即脱离鱼雷。有可能入水状态最佳控制要

求在雷尾上装有如同在雷头上试过的那种附件。不过，在某种情况下，利用适合于定常航行的外形，也可能获得满足要求的性能。

2.2 炸药及爆发器

鱼雷的装药量及其性能，在相当程度上应视所对付的目标而定。绝大多数鱼雷的装药最大约为600~800磅托必克斯[⊖] (Torpex)。这些炸药装药量可给一艘战列舰以相当大的破坏，也足以使那些较轻型级的舰艇受到严重摧毁。实际情况表明，增加几百磅炸药并不会产生明显的不同，除非装药量增至3~5倍以上，否则增加药量几乎没有什么意义。

鱼雷战斗部的一个重要组成部分是爆发器装置。现在所采用的、接近目标即起爆的爆发器较之撞到目标才起爆的爆发器更为有效。这样，可以使鱼雷采用较大深度发射，以减少撞在主力舰装甲上的机会。

2.3 动力装置

动力装置占了鱼雷容积及重量的大部分，总体尺寸在很大程度上取决于航速及航程的要求。为了在给定重量的条件下得到最高的航速及最大的航程，动力装置必须尽可能地高效率运转。若推进效率与速度无关，则推动鱼雷所需的功率近似地与航行速度的三次方成正比。这对于常规的以螺旋桨推进的鱼雷说来是可以的，但对于某些计划中的推进方式来说，效率则随着航速很快增加，这样，所要求的功率就不必按航速的三次方那样来增长了。

一条鱼雷所需要的总能量与航速的二次方成正比，并与航程成正比。因此，所需的燃料量也同这些量成正比。鱼雷与水面舰艇不同之处在于，不仅要携带常规燃料，同时必须携带氧化剂。在大多数鱼雷中，这些氧化剂就是压缩空气。其实，原始的鱼雷

⊖ 一种混合炸药：41RDX/41TNT/18Al

就是由压缩空气推动的。后来加上一点燃料用以加热空气使之更有效，最后才演变成完全燃烧的过程。对于燃烧来说，显然压缩氧气要比压缩空气优越得多，因为空气中只含30%的氧。但是，压缩氧气所固有的危险性妨碍了其广泛的使用。

无论使用压缩氧气还是使用压缩空气，都必须有一个很重的气舱。实际上大约要4磅重的钢才能贮存1磅压缩空气。鉴于这一点，所携带的氧化剂是液态的将会更好些。因为，液态的氧化剂与所需的容器重量之比是1:1。这将使燃料的重量和它们的贮存器的重量减少60%，这对改进鱼雷动力装置是十分有利的。现在这种系统正在发展。在鱼雷中使用液体过氧化氢作为氧化剂可能是最先进的。过氧化氢在燃烧室里被分解成氧和水，氧与燃料化合，水用来将燃气冷却至燃气轮机可以工作的某一温度。

燃料及燃料容器重量的任何改进都可直接转化为鱼雷航程的增加。如果使用过氧化氢能使燃料及其容器的重量减少60%的话，那末在不增加鱼雷总重量的情况下，航程可以增大到原来的2.5倍。究竟是增大鱼雷的航程还是增大其爆炸威力，这要视那一个更重要而定。

2.4 控制机构

常规自动鱼雷在预定的深度按预定的航向航行。深度控制装置与航向控制装置在很大程度上是互相独

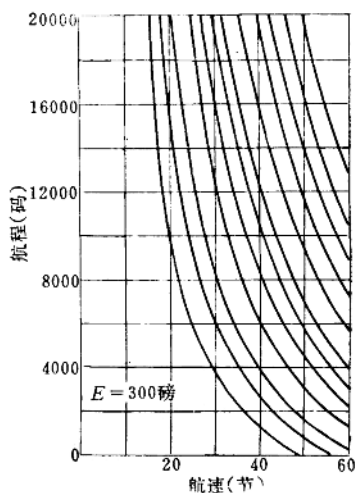


图2-1 对鱼雷总重不同、炸药装药为300磅情况下所能达到的航速与航程的估算曲线(自左向右图上曲线的W值顺序为: 1000; 1331; 1728; 2744; 4096; 5832; 8000; 13824; 21952; 32768; 46656; 74088)

立的。

这两个装置的工作与鱼雷的水动力学紧密相关。关于摆锤，特别值得注意的是其自然摆动周期尽量不要太靠近鱼雷在深度上趋向于振荡的周期。另外，鱼雷的控制稳定性不仅依靠控制装置本身，同时和雷体的流体动力常数有关。

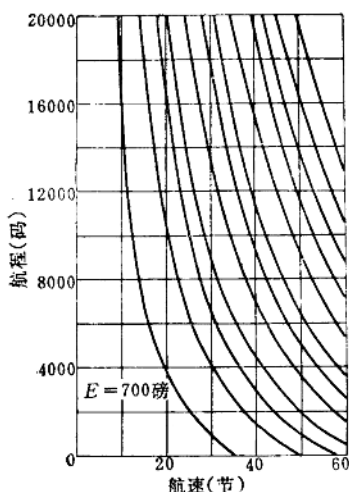


图2-2 对鱼雷总重不同和炸药，装药为700磅情况下所能达到的航速与航程的估算曲线(自左向右图上曲线的W值顺序为：1331；1728；2197；2744；4096；5832；8000；13824；21952；32768；46656；74088)

鱼雷控制机构的研究可分为两部分来考虑。第一部分重要的是测定鱼雷的流体动力常数，然后确定在所希望的状态中工作所需的控制特性。尤其重要的是确定控制装置的启动到横舵和直舵的最后动作之间所许可的最大时间滞后。它与速度成反比，且对于任一已知鱼雷，其值取决于水动力常数。

第二部分是关于符合性能要求的机构设计问题。本书只作理论分析。其进展情况在第176号设计方案中结合MK25鱼雷的深度和航向控制装置作了说明。

2.5 鱼雷的重量和尺寸

与鱼雷有关的主要诸元为：(1)航程；(2)航速；(3)炸药重量及(4)总重量。这四个量是相互关联的，并在设计鱼雷时应综合考虑到装上最大限度的炸药、最高的航速和最远的航程与希望有最小的总重之间的互相协调。

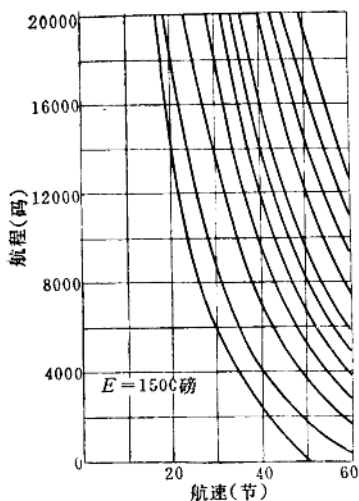


图2-3 对鱼雷总重不同, 炸药装药为 1500 磅
炸药情况下所能达到的航速与航程的估
算曲线 (自左向右图上曲线的W值顺序
为: 3375; 4096; 5832; 8000;
10648; 13824; 17576; 27000; 39304;
54872; 74088)

鱼雷的重量大致分成四部分: 炸药重量 E , 外壳重量 S , 燃料及其容器重量 F , 燃气轮机、齿轮组及推进系统的重量 P 。壳体重量同鱼雷的外表面积约成正比。因而可认为与总重量的 $\frac{2}{3}$ 次方成正比。这样, 可令 $S = \gamma W^{\frac{2}{3}}$ 。 γ 是一常数, 这个常数根据壳体所用之材料、厚度及鱼雷的外形来确定。

所需燃料量应与下列各项成正比: (1) 鱼雷的航程; (2) 航速的平方; (3) 外表面积。燃料量同雷壳外表面积成正比, 是因为阻力与雷壳外表面积成正

比, 即与重量的 $\frac{2}{3}$ 次方成正比: $F = \alpha V^2 R W^{\frac{2}{3}}$ 。常数 α 的值取决于所使用的燃料系统, 当使用过氧化氢时, 这个常数要比使用压缩空气时小得多。

我们可令动力装置与速度的三次方成正比, 并与鱼雷的外表面积成正比, 这样可以认为 $P = \beta V^3 W^{\frac{2}{3}}$ 。

因为鱼雷的总重为这四部分的总和, 因而可以把总重与炸药量、航速及航程联起来写出方程

$$W = E + (\gamma + \beta V^2 + \alpha V^2 R) W^{\frac{2}{3}}$$

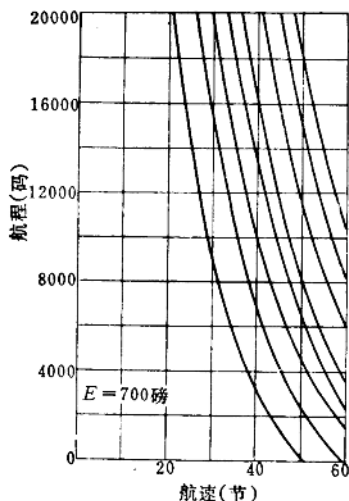


图2-4 对鱼雷总重不同，使用液体氧化剂及700磅炸药情况下所能达到的航速及航程的估算曲线(自左向右图上曲线的W值顺序为1728；2197；2744；3375；4096；5832；8000；10648)

燃料及动力装置却占总重的绝大部分。假如鱼雷的直径增大，那么装药也可以增加，而总重量只略为增加一点，可是想使航程及航速增大一倍，则鱼雷将产生很大的变动。

常数 α 、 β 及 γ 必须由已知的鱼雷条件来决定，就 MK 25 来说这些值分别近似为

$$\alpha = 7.00 \times 10^{-7}$$

$$\beta = 2.45 \times 10^{-5}$$

$$\gamma = 4.00$$

利用这些常数，可以作图来表示方程中各个量的关系。图2-1、2-2及2-3所示是在已知总重量条件下可能达到的航速及航程。这些数据的其他曲线是用稍为不同的方式来表示的。

这些曲线清楚地指明了获得高速和大航程的代价。在绝大多数鱼雷中炸药重量只占总重的很小一部分，而

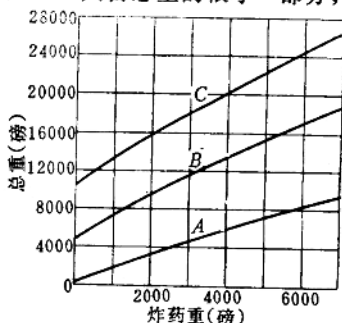


图2-5 总重量和炸药重量的关系曲线(动力装置假设与MK25相似)；

$$A \quad V = 20, R = 50000$$

$$B \quad V = 40, R = 10000$$

$$C \quad V = 60, R = 5000$$

第三章 基本原理

3.1 空中飞行

空投鱼雷是从高速飞行的飞机上投下的，因而这种武器的最重要的发展方向总是与增加投雷的速度及高度有关。鱼雷在空中的初始飞行段与其水下航行段一样重要，这不仅因为大部分的航程要在空中完成，并且因为鱼雷的空中飞行结束时还必须正确地入水。正确入水的重要性可通过鱼雷与跳水运动员之间的相似性来了解。我们知道，如果跳水运动员是正确入水的，即使高度达100英尺，也是安全的，否则，即使在很低高度上平着入水，他仍将遭受严重损伤。

飞机投射鱼雷的早期经验仅限于低空（30~50英尺）和低速（小于100节）。这些经验强调了结构要非常坚固，才能承受入水时的冲击。然而，鱼雷的严重损毁只能靠保证良好的入水才能减小到最低限度。事实上某些证据已证明，经常用作试验性发射的15英尺高度平投鱼雷所造成的损毁，超过了200节以上速度良好入水的鱼雷所造成的损毁。

为了达到良好的入水的要求，鱼雷在击水时必须以平行于其轴线的姿态飞行，这就要求鱼雷在空中时稳定性良好。由于空气动力的影响，简单圆柱体总是使其本身受力垂直于飞行方向，鱼雷也多少有点这样的趋势。如果某种裸鱼雷从一相当大的高度投射，它将平着入水并造成严重的损毁。为了克服这种缺点，需有一个大的雷尾。因为这样大的雷尾不适于在水下航行，所以可用轻质木材制造，并使其在碰到水时即碎掉。

曾试过各种稳定器。目前美国海军实际使用的是与雷头上的

阻力环或“泡菜桶”相配合的 MK 2-1 型稳定器。MK 2-1 稳定器是一种简单的木箱子，套在雷鳍上。MK 1 阻力环是一个短的木制圆筒，套在雷头上。这两个辅助装置的配合能使鱼雷在平行于空中弹道飞行时趋于稳定。这两个稳定装置产生足够大的阻尼力，使得鱼雷在空中飞行期间围绕其平衡位置振荡的振幅递减。因此，如果空中飞行段很长，由于投放条件造成的初始扰动可以被阻尼掉，则鱼雷即可平稳地入水。鉴于这一事实，建议宁愿从高空投雷而不从低空投雷，以便有较长的时间受这种阻尼作用。

更为重要的事实是，这两个稳定装置的阻尼效应是随着速度的增加而增加的，因此高速投雷比之低速更为有利。阻尼与速度成正比，但下落时间仅随高度的平方根变化。因而在无风时高度及大高度两者都能达到良好入水的目的。这两个稳定装置也产生一定的阻力，因而在根据投放速度而定的某些高度上，鱼雷入水的总速度比初始投放时的速度要小。对于低速投雷，只能在低高度上进行，但对于高速投雷，则不妨在超过 2000 英尺的高度上进行。

其它一些稳定器曾用于更为精确的鱼雷上。英国的 M.A.T. IV 型稳定器在鱼雷击水时能使雷头相对于弹道略微抬起。只要尾部零件的形状适当，这就很容易达到，但必须防止在空中横滚。为此，英国的 M.A.T. IV 型稳定器设计得十分精巧。它用一台陀螺仪及活动副翼来制止任何横滚倾向。这种完善性对于鱼雷不平行于弹道的其它方向入水也很为必要。可是，看来可以建造适合平行于弹道入水的鱼雷，那末采用简单的稳定装置就足够了。

显然，上文所提的稳定附件，只有在相对于空气使鱼雷轴线平行于弹道时才有效。如果有了风，对应于空气的弹道将与从地面上看到的弹道不同，而正是从地面看到的弹道决定入水条件。结果，在弹道上稳定且顺风飞行的鱼雷，趋向于实际上低头入水。在逆风中这种鱼雷飞行趋向于实际上抬头入水，而鱼雷在横风中飞行时，入水将有某些偏航量。风的影响不能简单地用空中

稳定器来克服，而且也不能忽略不计，因为它将显著地影响鱼雷的水下弹道性能。然而，它们是可以被认识与了解的，并在采用的战术方法中可以对它们进行适当考虑。

除了使鱼雷在其弹道上稳定之外，稳定器还产生了一定量的阻力，当 MK 2-1 稳定器及 MK 1 阻力环用于 MK 13 鱼雷上时，引起了足够大的空气阻力，所以鱼雷入水时的速度多少小于投雷时的速度。大部分阻力来自阻力环而不是来自雷尾稳定器。分析证明，鱼雷的合速度，首先由于空气阻力而减少，其次由于重力加速度而增加，所以它经过一个最低值。这种增加并非无限地连续着，因为终点速度是在 800~900 英尺/秒之间。在这样的速度下空气阻力正好等于重量，因此不会进一步加速。由于有空气阻力，鱼雷的水平飞行距离将比不计空气阻力时计算得到的值要小很多，并且入水角也不相同。这就意味着为了预测空中飞行段，必须作更为完整的计算。

显然，稳定器可以设计成阻力是增加的，以减少入水速度至某一较低的值。然而，这将造成空中水平航程较短。

空中弹道的详细计算在第五章中提及，该章对稳定器的性能也作了必要的分析。

3.2 入 水

空投鱼雷弹道的入水阶段与空中飞行段及水下航行段相比，理论分析较少。在本问题研究开始时，对于在这一阶段鱼雷性能的基本特点几乎没有什么资料可用。空中弹道已进行过相当全面的理论分析，只要验算所需的某些常数就可将这套理论应用于任何具体情况。对于水下航行也是如此。然而，入水问题由于存在着水表面以及空气与水在性质上的巨大不同而增加了复杂性。因此，只能或多或少地对鱼雷性能作一些感性叙述，提出一些便于应用的术语来说明初始水下弹道，这些对于解决 MK 13 型及 MK 25 型鱼雷的入水问题是够用了，并对其它相似的雷型也够用了。