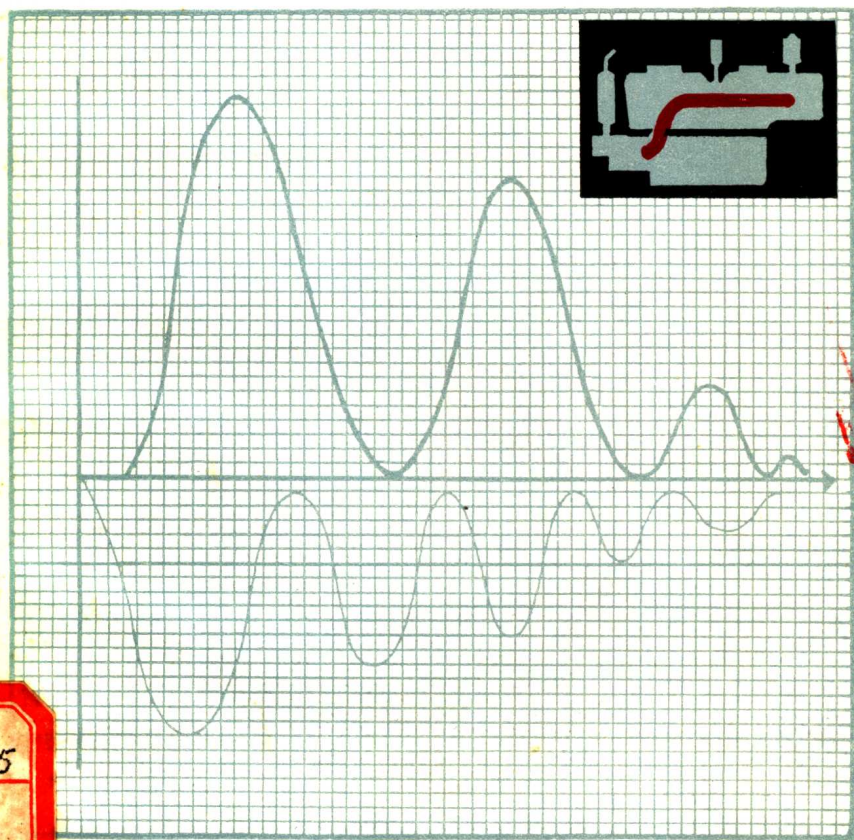


小型高速柴油机

惯性增压



23.5

人民交通出版社

小型高速柴油机惯性增压

人民交通出版社

1980·北京

内 容 提 要

本书主要介绍小型高速柴油机惯性增压的原理及其应用。内容有惯性增压原理，惯性增压措施，进气管的制造、安装与使用，以及对寿命的影响和惯性增压的经济效果。

本书内容深入浅出、通俗易懂。可供陆用、船用小型高速柴油机使用单位的工人、司机、轮机人员、拖拉机手和有关技术人员参考。

本书由武汉水运工程学院刘元诚、湖南衡阳航运公司编写。

小型高速柴油机惯性增压

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：3.25 字数：69 千

1980年2月 第1版

1980年2月 第1版·第1次印刷

印数：0001—8,900册 定价：0.27元

目 录

小型高速柴油机惯性增压

武汉水运工程学院 刘元诚

一、柴油机的工作原理和提高功率的方法	1
二、惯性增压的基本概念	5
1. 气体压力波的简单规律	5
2. 气体压力波的伴随速度	9
3. 气体压力波的反射	10
4. 气体压力波的叠加和相交	11
三、惯性增压和脉冲增压	13
1. 柴油机的惯性增压	13
2. 柴油机的脉冲增压	18
3. 最佳管长的计算公式及计算举例	22
4. 几种小型高速柴油机最佳进气管的长度	24
四、影响惯性增压效果的主要因素	24
1. 转速的影响	24
2. 进气阻力的影响	25
3. 管道截面变化的影响	26
4. 分歧管的影响	27
5. 进气管材料的影响	28
6. 气温的影响	28
7. 进气管安装的注意事项	28
五、排气管内的波动效应及其影响因素	28

六、惯性增压的试验和应用	31
1. 台架试验	31
2. 在拖拉机上的试验	53
3. 在内河船舶上的试验	54
4. 各地的应用情况	55
七、惯性增压与柴油机的寿命问题	61
1. 290 柴油机增压后的耐久试验	61
2. 东方红-24 拖拉机的使用耐久试验	63
3. 其他情况	65

小型高速柴油机惯性增压原理与应用

湖南衡阳市航运公司

一、惯性增压原理	67
1. 提高柴油机功率的方法	67
2. 惯性增压原理	72
二、惯性增压的措施	82
1. 进气管的计算	82
2. 排气管的计算	89
三、进气管的制造、安装与使用	93
1. 制造中应考虑的因素	93
2. 进气管安装、使用中的注意事项	94
四、惯性增压的经济效果	96

小型高速柴油机惯性增压

武汉水运工程学院 刘元诚

几年来，我院为了支援农业和发挥内河航运部门的营运潜力，曾应用惯性增压方法对一些小型高速柴油机进行了提高功率的试验，并先后到湖南、江西、河北、广东、四川、广西和安徽等省市自治区的部分内河航运部门或农机单位进行推广，取得了一些效果。本文就是为了更好地配合推广工作而编写的。

为了适应广大内河航运部门和农机方面的机务工作者的需要，编写内容力求通俗易懂，并能解决实际问题。所以，涉及到的理论问题，为了便于读者理解，也只是作一些简单的、形象化的说明，不做过多的理论分析。由于笔者水平有限，难免会有错误和不足之处，希望读者批评指正。

本文曾经我院高孝洪等审阅，并提出了宝贵意见，在此表示感谢。

一、柴油机的工作原理和提高功率的方法

柴油机是一种以柴油为燃料的动力机械。它是将柴油直接喷到气缸内进行燃烧，发出热能而进行作功。柴油机每作一次功必须经过以下几个过程：

- ①气缸内吸入足够的空气，以供燃料燃烧；
- ②将空气压缩到相当高的压力，提高气体的温度，使燃料喷入后能够自行着火；

③燃料燃烧和燃烧产物膨胀，推动活塞做功；

④将膨胀做功之后的废气排出气缸外。

以上几个过程，也就是一般所说的吸、压、爆、排四个过程。在柴油机中，凡是以四个冲程完成这四个过程的称四冲程柴油机；凡是以两个冲程完成这四个过程的称二冲程柴油机。对一般四冲程柴油机来说，吸气过程是由于活塞下行，使空气通过进气阀、进气管和空气滤清器吸入气缸；压缩过程是由于曲轴旋转通过连杆带动活塞上行而将气体压缩；燃烧膨胀过程是由于燃料喷入到气缸内的高压高温气体中自行发火燃烧，使气体膨胀推动活塞下行做功；排气过程是由于活塞上行将废气经排气阀和排气管排出气缸外。

通过对柴油机做功过程的分析可以知道，柴油机的功率主要是靠柴油燃烧后放出的热量，加热气体膨胀，推动活塞-连杆-曲轴机构而获得的。因此，在转速一定的条件下，要提高柴油机的功率，就得每次多喷入柴油。但是光柴油加多还不行，因为柴油燃烧需要空气，所以就得多吸进新鲜空气才行。否则尽管有多的柴油喷入气缸，但由于不能完全燃烧，发生“消化不良”，使柴油机冒黑烟，功率还是不能提高。因此，在上述情况下，能不能提高柴油机功率的关键，是如何增加进入气缸内的空气量。

从柴油机所能发出的有效功率 N_e 的计算公式中也可以分析得出：

$$N_e = \frac{V n i p_e}{0.225 m} \quad (1)$$

式中： V ——气缸的工作容积；

n ——柴油机的转速；

i ——气缸的数目；

p_e ——作用在活塞上的平均有效压力；

m ——与冲程数有关的系数。

如果柴油机已定，那么 V 、 n 、 i 和 m 都是一定的，因此，

$$N_e = \text{常数} \times P_e \quad (2)$$

而
$$P_e = K \frac{\eta_V}{\alpha} H_U \quad (3)$$

式中： K ——常数；

η_V ——充气系数；

α ——过量空气系数；

H_U ——单位燃料的低发热量。

当柴油机和所使用的柴油已定，则

$$P_e = K' \eta_V \quad (4)$$

由公式(2)和(4)可以看出，已定柴油机的功率主要取决于充气系数 η_V ，也就是说随进入气缸内空气量的多少而定。因此，要增加已定柴油机的功率就得增加它的进气量。

怎样才能使柴油机的气缸内多进一些空气呢？这可以在柴油机上设置一个压气机，把空气预先压缩使其压力提高后再送入气缸。这样，进入气缸的空气由于压力提高，使空气密度增大，即在同样气缸容积内的空气量增加了，就可以多喷入一些柴油进行燃烧，从而发出更大的功率。这种用提高柴油机进气压力来增加功率的办法，叫做“增压”，带有增压设备的柴油机叫做“增压柴油机”。

柴油机增压的方法是多种多样的，目前用得最多的是所谓“废气涡轮增压”，它是利用柴油机排出的废气来驱动废气涡轮，再由废气涡轮带动压气机，把新鲜空气压缩后送入气缸，如图1所示。由于废气涡轮增压是利用废气的能量，所以不用消耗柴油机的有用功率，即在提高柴油机功率的同时还提高了柴油机的经济性。这种增压方式用得极为广泛，

而且已成为大、中型柴油机结构中不可分割的一部分。在部分小型高速柴油机上也已采用了废气涡轮增压，例如我国的6135柴油机。但是废气涡轮增压在缸径较小以及缸数较少的柴油机上应用时，效果不大，而且有时还存在着困难，造价也大。

另一种增压方式，是所谓“机械增压”，它是直接由柴油机曲轴通过传动机构来带动增压器，如图2所示。这种增

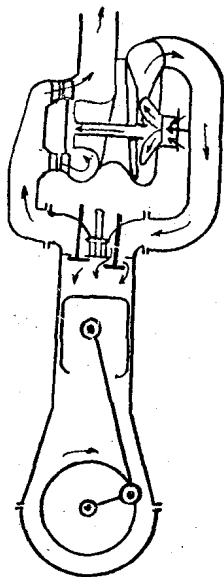


图 1

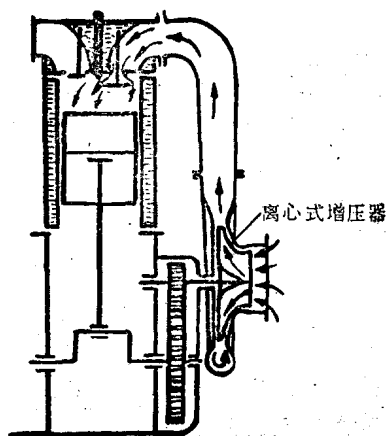


图 2

压方式要消耗柴油机的一部分功率，影响了柴油机的经济性。而且增压愈高，消耗的有用功率愈多。因此，目前很少采用。

第三种增压方式，即本文所要介绍的所谓“惯性增压”。这种增压方法不需要专门的增压设备，没有运动部件，对柴

油机本身的结构也不必作什么改动，只需将柴油机的进气管适当地加长并和进气歧管适当地组合（多缸机），就能利用进气管内气流的惯性效应和脉冲效应增加柴油机的进气量，提高柴油机的功率。这种增压方法适宜于小型高速柴油机。

二、惯性增压的基本概念

柴油机新鲜空气的吸入和废气的排出都是间歇性地进行的。所以，在进、排气管内的气体压力和速度等不是稳定的，而是压力忽高忽低、速度忽快忽慢。利用这种进、排气管内气体的波动效应来增加吸入气缸的空气量，从而达到柴油机功率的增加，这就是所谓的“惯性增压”。因此，要了解惯性增压的原理，就应该先了解一下波动效应是怎么回事。

1. 气体压力波的简单规律

首先我们从一些波动现象谈起，在日常生活中，我们经常碰到一些波动现象，比如水的波浪，田野里的金黄色麦浪以及突然打开或关闭房门时，使关着的窗户发生振动和响声、窗帘发生飘动等等。

图3所示的也是一种波动现象，称为“声波”。它是由于音叉的振动而使空气发生疏密变化，产生疏密波。这种波

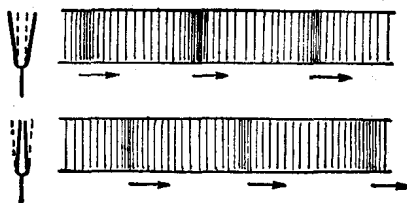


图 8

在管内传播时，便可在管子的另一端听到嗡、嗡的声音。

声波的传播有一定的速度，这个速度称为声速，一般以符号 a 表示。

通过上述分析，可以知道波动现象是一种客观存在的自然现象，有它们各自产生的原因和规律。

设在如图 4 所示的一个装置中，将活塞突然推动一小段距离（以 ΔX 表示）。那么，在这一瞬间，与活塞邻近的气体会受到压缩，使压力升高。但活塞这一突然的移动，不会

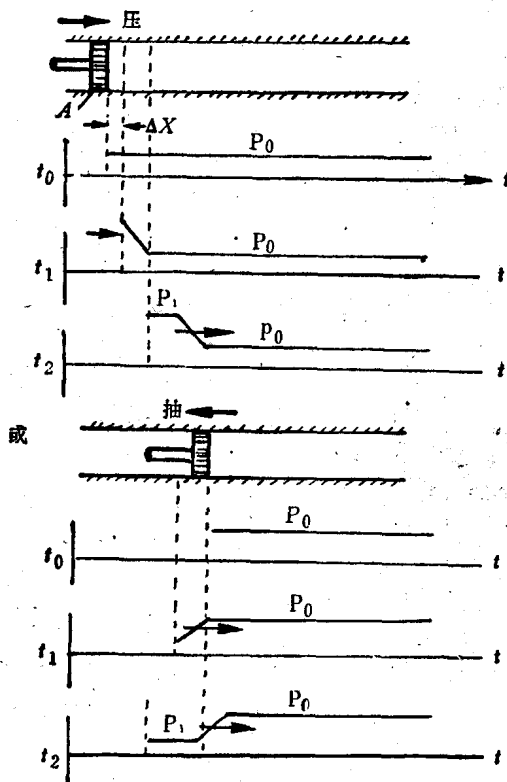


图 4

在同一瞬时传遍或影响到整个管内的气体，而是首先压缩与活塞直接接触的那一层气体，使这一层气体的压力先行提高，出现一个压力波，然后再依次向前推进。如果按时间先后来看，那么在时间 t_0 以前，活塞未动，管内气体的压力为 P_0 ，而时间 t_0 到 t_1 这一瞬间，活塞加速推动，使活塞邻近的气体压力增高。由时间 t_1 到 t_2 ，活塞作等速前进，压力波向前传播。

这种由于压缩而形成的压力波，称为压缩波或称稠密波。压缩波到达时，该处气体的压力升高。

反之，在图 4 中，反向抽动活塞或者活塞作正向减速移动。那么，活塞邻近的气体就变得稀疏，使压力下降，形成膨胀波或称稀疏波。同样，这个膨胀波也在管内逐渐向前传播（见图 4 的下方）。膨胀波到达时，该处气体的压力降低。

这种由于活塞的移动而产生的扰动，与一般爆炸的扰动相比，微弱得很，因此也称为弱扰动或称小扰动。

压力波在静止的介质中是以声速 a 传播的，而声速的数值与传播介质的性质和温度有密切的关系。例如在大气中，当温度为 15°C 时，声速 a 等于 340 米/秒；在 500°C 的废气中， a 等于 545 米/秒。根据空气动力学原理得知声速：

$$a = \sqrt{KgkT}$$

式中： K ——绝热指数；

g ——重力加速度；

k ——气体常数；

T ——绝对温度，等于 $273^{\circ} + t^{\circ}\text{C}$ 。

在不同的温度下，柴油机进气管内的声速可用下式计算：

$$a = (332 + 0.6 \times t^{\circ}\text{C}) \text{米/秒} \quad (5)$$

柴油机排气管中声速的大小可用下列公式计算：

$$a_p = 19.6\sqrt{T} \text{ 米/秒} \quad (6)$$

如果气体本身不是静止的，而是以速度 u 在流动，那么压力波相对于管壁的传播速度就不是 a 了。在顺着气流方向时，传播速度等于 $(a+u)$ ；在逆流方向时，传播速度等于 $(a-u)$ 。但是对于小扰动来说， u 一般远小于 a ，所以常可忽略不计，近似认为波的传播速度就等于 a 。

气体压力波可以用压力波曲线来表达其变化和传播的情况。图 5 所示的即为一压力波曲线，它描绘出一容器内某处的气体压力随时间而变化的规律。例如如图 6 所示的在进气管

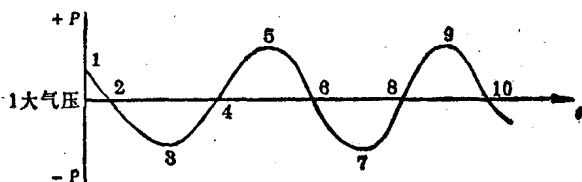


图 5

某一位置安装一个压力感受器（能测量压力大小的仪器），再通过示波仪和记录装置就可测出该处的压力变化规律。

根据测得的压力波曲线；可以知道管内某处压力增加或降低的规律和性质。由图 5 所示的压力波曲线可以看出，在曲线的 1-2-3 和

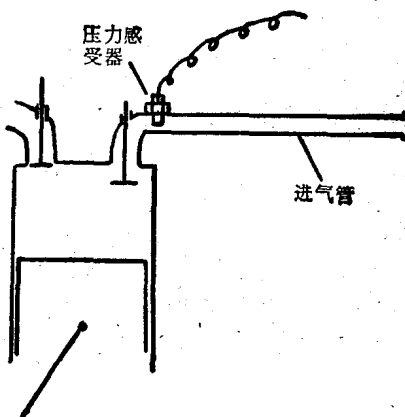


图 6

5-6-7等处为膨胀波（因为压力渐降），在曲线的3-4-5和7-8-9处为压缩波（因为压力渐增）。另外，如果横坐标表示一个大气压，那么在横坐标上方的压力线所表示的压力大于一个大气压，称为正压力，而在横坐标下方的压力线所表示的压力小于一个大气压，称为负压力。例如图中1-2、4-5-6和8-9-10处即为正压力，2-3-4和6-7-8处为负压力，相应的压力波也就称为正压力波和负压力波。

根据某一处的压力波曲线并不能确定压力波的传播方向。如果要讨论压力波的传播方向，可以应用特徵线方法。

2. 气体压力波的伴随速度

实际上，压力波形成的同时，总是有速度波和密度波等相应产生。在这里，仅为了简单地说明下面所要提到的压力波的反射现象，提出一种所谓伴随速度的概念。

如图7 a)所示，如果管内有一压缩波由截面1向截面2传播，那么当压缩波到达截面2时，则截面2处的压力便增加。在没有热量交换的情况下，压力增加就意味着气体的密度增加，这是因为有一

股气体流来了。伴随压力波而来的气流，称为压力波的伴随速度，即图7中所示的 u 。显然，压缩波到达时，压力升高，这说明压缩波的伴随速度的方向与波的传播方向相同；反之，膨胀波到达时，压力降低（即密度减小），这说

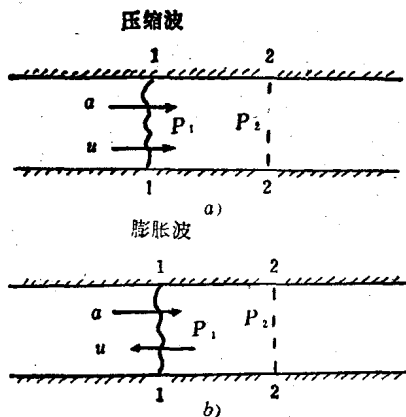


图 7

明有一股气流流走了，如图 7 b) 所示。所以，膨胀波的伴速度的方向与波的传播方向相反。

3. 气体压力波的反射

对某一边界而言，传向边界处的压力波称为入射波，而自边界处反射回去的压力波称为反射波。

1) 压力波在管道封闭端的反射：

柴油机当气阀关闭时，其进气管或排气管的气阀一端是封闭端。气流到达封闭端边界时其流速为零。因此，如图 8 所示，如果传向封闭端的波（即入射波）为压缩波，则当它抵达封闭端边界时，由于气体的流速一定为零，所以反射波的伴随速度应该与入射波的伴随速度大小相等，方向相反。只有这样，一来一往才能抵消，保证封闭边界处的流速为零。因此，反射回来的波也只能是压缩波，因为压缩波的伴随速度与波的传播方向相同。

同样，膨胀波反射回来的波仍为膨胀波。只有这样，才能保持封闭边界处的速度为零。

总之，在封闭端压力波反射的特点是：压缩波反射回来仍为压缩波；膨胀波反射回来仍为膨胀波，即反射波的性质与入射波相同。因而这种反射常称为正反射或全反射。

2) 压力波在管道开口端的反射：

开口端的特点是开口端边界外的压力保持恒定的大气压力。其反射情况将受到这一恒定压力的影响。当气体压力波到达管子开口端时，一方面向管口外传出，同时又会激

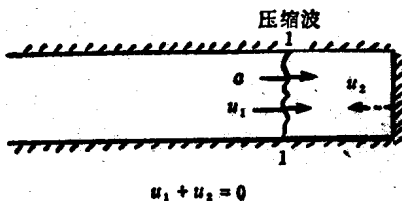


图 8

起一压力波传向管内。这一反回管内的压力波称为管道开口端的反射波，见图9。

假如有一个压缩波传到开口边界，由于其伴随速度与波的传播方向一致，当压缩波传出口外时，必然伴随有高密度的气流冲出口外，这样，在管口处将产生一个抽空现象，从而激发一膨胀波反回管内，向另一端传播。

反之，如果有一膨胀波传到开口端，由于其伴随速度与波的传播方向相反，那么，在膨胀波传出口外的同时，会有一股来自外界大气的气流冲入管口，形成一个压缩波，在管内传播。

总之，开口端压力波的反射特点是：压缩波的反射波为膨胀波；膨胀波的反射波为压缩波。即反射波与入射波的性质相反。因此这种反射称为负反射。

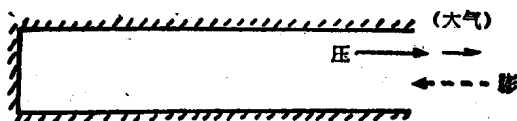


图 9

其他，气波在动壁、分支管和管路变截面处等的反射，可以基于以上两种反射的特点来理解。这里就不一一赘述了。

4. 气体压力波的叠加和相交

实际管道里的气体波动都不是一种简单的波，而是两族传播方向相反的波，即在某一端部边界发生的波和从另一端反射回来的波之相交与合成的结果。气体波相交时，与平常所见的水波相交的情况一样，具有能相互独立穿过和叠合的

性质，如图10所示。

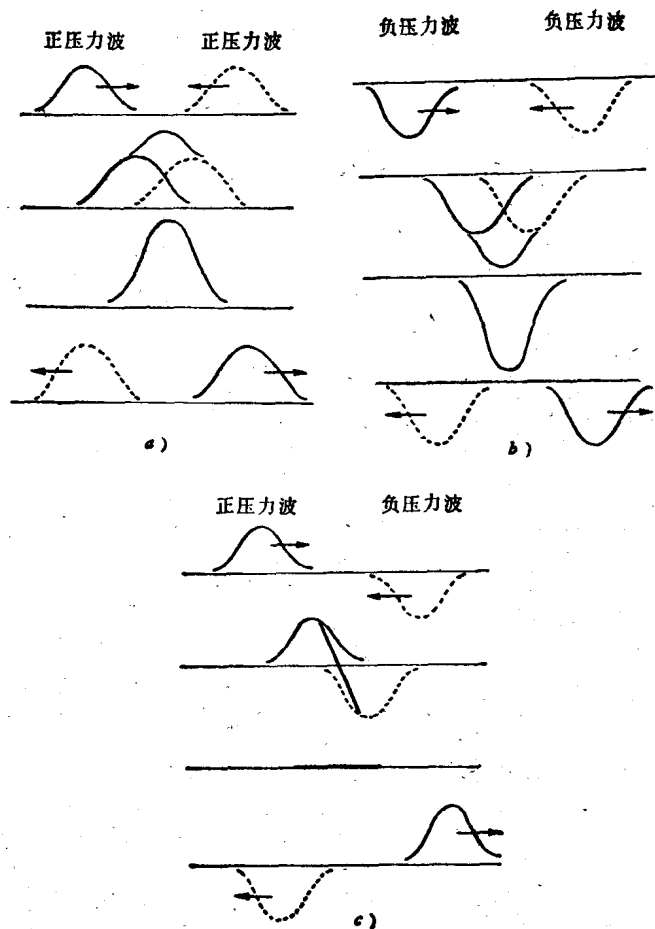


图 10

两族波相交时以及相互穿过后有如下的特性：

(1) 相交时，其总的波幅等于两个波的波幅之和，