

An illustration of a laser device, possibly a laser cutter or welder, with a large cylindrical body and a smaller component on the side. A bright, multi-rayed beam of light emanates from the bottom of the device, directed towards a circular object below. The background is dark and textured.

激光

在工业上的应用

上海人民出版社

73.7519

783

激光在工业上的应用

《激光在工业上的应用》编写组

上海人民科技出版社

激光在工业上的应用

《激光在工业上的应用》编写组

上海人民广播电台出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张4 字数84,000

1972年12月第1版 1972年12月第1次印刷

印数1-60,000

书号: 15·4·308 定价: 0.23 元

31520/15

毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

激光器作为一种新颖的光源，一出现就受到各方面的注意。伟大领袖毛主席教导我们：“任何一种东西，必须能使人民群众得到真实的利益，才是好的东西。”激光，由于它具有一系列优异的特性，而被广泛地用于军事、工农业生产和科学研究的许多领域中。近几年来，由于广大工人、干部和技术人员的努力，激光在工业上的某些应用已日趋成熟。激光技术对工业的发展将产生越来越大的作用。

激光器应用于工业，主要是在微型机械加工和精密测量两个方面，在通讯事业中也有若干重要的应用。激光由于其亮度高、方向性好，经聚焦后可获得极高的能量密度，这就为机械加工开辟了广阔的前景。如对高硬度材料加工小而深的孔、对脆性易碎材料划片等，更有其独特的优点；又如用激光调整微型电阻的阻值、刻蚀电路以及利用激光辐射的加热或退火效应来改变已完成的薄膜集成电路的电学性质等——这些都为电子工业提供了新的工艺。激光又由于其单色性高、相干性强，作为一种廉价的高质量相干光源而用于工业测量方面，也是大有作为的。比如，用激光干涉测长，测量误差在1微米以下，而可测距离达数米；利用激光的衍射效应测量细丝的直径（可测量的最小直径为2微米左右），测量时无需机械接触，这为拉制细丝时控制其直径提供了方便而可靠的手段；利用激光衍射来进行准直，同样也引起了人们的广泛兴趣。此外，激光测距和激光雷达也是激光在测量方面比较成

熟的一项应用。至于激光在通讯事业中的应用,则早就受到人们的重视,因为这对于中距离(几公里以至十几公里)对话,城市间的通讯等是非常经济的,而且保密性很强。在宇宙通讯中,激光通讯机因其轻巧有效而受到欢迎。

为普及激光应用知识,我们编写了这本小册子,以供推广激光技术时参考。本书仅就目前工业(包括通讯事业)上比较成熟的几项应用作一些介绍,书中对各项应用涉及到的有关激光器和光学系统的问题,尽可能详细地进行定性的说明。但由于激光在工业上的应用非常广泛,激光技术的发展又很迅速,而编者从事激光工作实践不多,因此书中所述,难免挂一漏万,所选材料,亦可能有不当之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

《激光在工业上的应用》编写组

目 录

前 言

第一章 激光打孔	1
第一节 激光打孔机的装置	2
第二节 二氧化碳脉冲激光器	3
第三节 排气充气系统	4
第四节 二氧化碳激光器电源	6
第五节 聚焦、瞄准用光学系统	6
第六节 激光打孔的一些技术问题	9
第七节 二氧化碳激光器的选模方法	10
第八节 激光打孔的机理	12
第二章 激光切割	14
第一节 切割用固体激光器	15
第二节 固体激光器电源	19
第三节 切割机的光学、机械系统	21
第四节 固体激光器工作物质棒的加工	23
第三章 激光准直	28
第一节 准直用氦-氖激光器	29
第二节 氦-氖激光器用直流电源	33
第三节 发射望远镜	36
第四节 四象限光探测器	37
第五节 用波带片提高准直仪的对准精度	39
第四章 激光检查平面	47
第一节 光的干涉现象	47
第二节 激光平面干涉仪的结构	50
第三节 激光平面干涉仪的使用	51

第五章 激光测长	54
第一节 光波干涉测长原理	54
第二节 氦-氖激光器的单模输出	57
第三节 氦-氖激光器的稳频技术	60
第四节 激光光强的稳定	63
第五节 激光比长仪的结构	63
第六章 激光测距	68
第一节 测距对光脉冲的要求	68
第二节 激光测距仪的结构	70
第三节 激光巨脉冲的产生——Q 突变技术	71
第四节 距离显示器	75
第五节 消除干扰脉冲的方法	76
第七章 激光通讯	79
第一节 砷化镓半导体激光器	80
第二节 电源调制	82
第三节 激光通讯的发射与接收	85
第四节 光电探测器	86
第五节 大气传输	89
第八章 激光电视	93
第一节 激光彩色电视机的结构	93
第二节 离子激光器	95
第三节 电光调制器	100
第四节 激光电视机的光学系统	106
第九章 二氧化碳激光器的设计问题	109
第一节 流动式与封闭式之选择	109
第二节 放电管的设计	110
第三节 谐振腔的设计	111
第四节 冷却问题	114
第五节 混合气体的配制	114
第六节 供电方式的选择	115
第七节 激光模式的控制	117
第八节 关于二氧化碳脉冲激光器设计的两个特殊问题	117

第一章 激 光 打 孔

将单色性好,又能在一个狭小的方向角内集中高能量(高功率)的激光束聚集后,对各种材料进行烧蚀和打孔,这是激光器在工业、科研领域中一项较有成效的应用。

为什么要用激光束来打孔呢?因为在近代工业技术中,越来越多地使用硬质、耐熔的材料,并常常需要在这些材料上打出又小又深的孔穴,例如压制化学纤维的喷丝头、火箭或柴油机中的燃料喷嘴、钻石拉丝模具、钟表及仪表中宝石轴承等等。这一类的加工任务很难甚至不可能采用常规的机械钻孔的方法来实现;而激光器出现后,人们很快使用它来承担起此项难题。在生产实践中,激光打孔这一项技术应用获得了迅速发展。它与机械钻孔相比有一些难得的优点,主要表现为如下四个方面:

(1) 几乎所有的材料都可以用激光器来打孔,不管是金属或非金属(例如陶瓷材料,石英,玻璃,金刚钻石等)都能用激光很方便地打出直径仅几丝的小孔。例如一个20孔的金刚钻拉丝模,用传统的方法需加工24小时,而采用激光只需10分钟就够了。

(2) 打孔时不必用“钻头”,这就避免了“钻头”的磨损、断裂和调换等问题,所以很适宜于自动操作。

(3) 打孔的速度极快(仅千分之一秒左右),这样不仅工作效率极高,而且非常方便,可以在工件的移动过程中进行打孔。同时这么短的作用时间也减少了对孔的邻近区域的热影

响。

(4) 可透过玻璃(如采用可见的或近红外的激光束)对工件进行打孔,这在某些特殊情况下(例如工件须在真空的环境中加工)是十分便利的。

第一节 激光打孔机的装置

激光打孔机的装置如图 1-1 所示。用于打孔的激光器,一般均以单脉冲或多次重复脉冲的方式进行工作。每次脉冲可打出一孔。在打深孔的情况下,则可采用多次脉冲重复进行,即若一次脉冲不能把材料打穿,可连打几次,逐步加深,最后把孔打穿。实践证明,这样比采用较大能量的激光一次把孔打穿效果更好。光学系统由瞄准系统和聚焦系统构成。在大量生产的情况下,则须用控制系统来实现工件的送料、出料与光脉冲之间的协调动作。

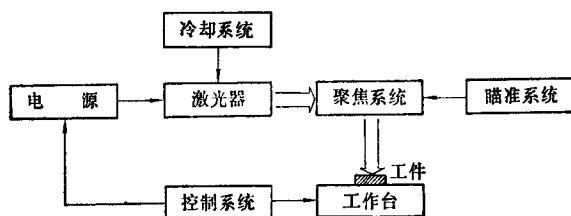


图 1-1 激光打孔机结构方框图

激光打孔机的种类很多,但它们的基本原理和结构是相似的。遵循伟大领袖毛主席关于“普遍性即存在于特殊性之中”的教导,我们对一种二氧化碳(CO_2)脉冲激光器的打孔情况进行具体的分析,从中可以得到一些关于激光打孔规律的认识。对二氧化碳激光打孔机,我们将介绍其激光器件、电源电路和光学系统的结构,至于控制系统就从略了。

第二节 二氧化碳脉冲激光器

打孔用的脉冲激光器一般最常见的是固体激光器，如红宝石激光器，钕玻璃激光器等。这类激光器的器件和技术已比较成熟，其优点是输出能量大，可打较大较深的孔，但成本较高，制作较难，能量的转换效率目前还比较低。而二氧化碳激光器较之前者却有造价便宜，结构简单，生产成本低，工作效率高等优点，同时，二氧化碳激光器输出的激光比固体激光器方向性更好，因而打孔质量也更高。我们这里单就一种低能量的以脉冲方式工作的二氧化碳激光器作些介绍。这种激光器各工厂均可自己制造。用这样的激光器已在半毫米厚的金属薄片或半毫米厚的钟表宝石毛坯上打出直径为 $0.03 \sim 0.20$ 毫米的小孔。故可以在类似的加工领域中应用。

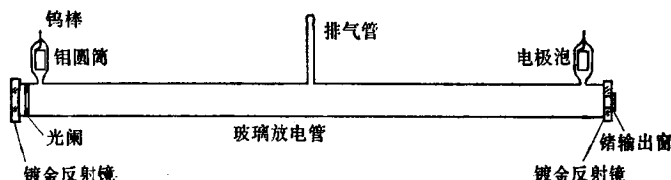


图 1-2 脉冲二氧化碳激光器

脉冲二氧化碳激光器的典型结构如图 1-2 所示。管子长取 3 米左右，管的内径为 $5 \sim 8$ 厘米，管体由硬质玻璃（如 GG17，九五料等）吹制而成。电极用铂片或镍片点焊成筒状，用镍丝作过渡与钨棒相焊，钨棒引出电极泡外。

激光器的两端用反射镜封合。这两块反射镜就构成谐振腔。封合的要求是在封接处不漏气。两反射镜相互平行且与管轴相垂直。这就要求在玻璃吹制好以后将管口仔细地磨平，并使管口与管轴垂直。反射镜与管子之间的粘合可采用真空

封蜡或环氧树脂。

反射镜的制作过程是这样的：取两块直径比激光器玻璃管的管径稍大，厚度约 10 毫米以上的平板光学玻璃，进行研磨加工，使反射镜的光洁度和平整度的误差均在 5 微米以内（相当于 5~10 只光圈），反射面上用真空蒸镀的方法镀一层金膜（亦可用铝膜）。这样反射率可达 97~98%，其余 2~3% 的光线被反射镜所吸收或散射了。为了使激光能够输出腔外，就必须在一块反射镜上开一个输出孔，光线就从这个孔透射出去。输出孔的直径从 5 毫米起到管径的一半都可以，根据实际需要而定。一般地说，开孔越大，输出激光的能量也越大。

为保持激光器的密封性，在开孔处必须贴上一块输出窗片，它一方面要能起到密封的作用，另一方面又能很好地透过二氧化碳激光器输出的 10.6 微米的红外光。因此就不能用玻璃、石英等材料来作输出窗片，它们对波长 10.6 微米的红外光是不透明的。而需采用氯化钠 (NaCl) 晶体、KRS-5 玻璃或锗单晶等红外材料制成厚度为 2~3 毫米的平片作为输出窗片。由于锗单晶不象氯化钠 (NaCl) 晶体那样地容易潮解，也较容易获得，所以一般在中、小功率的二氧化碳激光器中都用锗单晶作为输出窗片。为了增加锗片对红外光的透明程度（透过率），锗片两个表面都需用真空镀膜的方法，蒸镀一层硫化锌 (ZnS) 材料作为增透膜，增透膜的厚度约为 1.2 微米左右。

第三节 排气充气系统

在 CO_2 激光器中，除以 CO_2 作为工作物质外，尚需充以多种辅助气体，以达到增加能量输出和延长器件寿命的目的。

的。对于封闭式的以脉冲方式工作的 CO_2 激光器，一般以氮气(N_2)和氧气(O_2)作为辅助气体。加 N_2 是为了帮助 CO_2 吸收放电能量，加 O_2 则可减少 CO_2 的分解。

当将 CO_2 激光器放电管之管口磨好、清洁、烤干、封上反射镜以后，就可把它接上排气充气系统。图 1-3 为 CO_2 激光器的排气充气系统。整个系统均可由玻璃管接成。 CO_2 激光器对排气的要求不高，排至 10^{-3} 托的真空度就可以了，因此用一台抽速较大的机械真空泵即已足够。排气后需封闭 24 小时，若无漏气现象，即已符合要求。充气的气压可用充硅油的 U 形压强计来显示。 N_2 和 O_2 的比例可按 4:1 来配制，而 CO_2 与 N_2 及 O_2 的混合气体的比例可取 1:1 到 1:9 之间。总的气压在 4~8 托之间，应按具体情况灵活掌握，以既能获得最大的激光输出又能较长时间地进行工作(即寿命长)为原则。 CO_2 ， N_2 ， O_2 的纯度都只需工业纯就可以了，即用钢瓶装的气体。

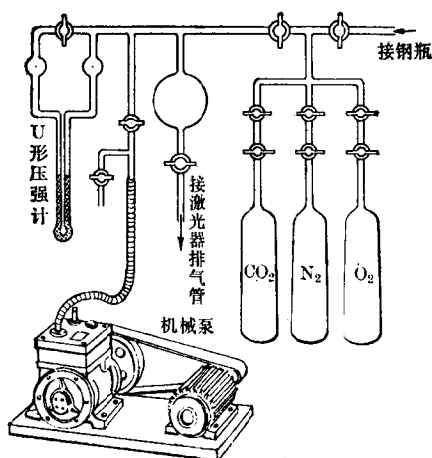


图 1-3 排气充气系统

工作一段时间以后应进行定期换气，以避免其输出功率（能量）的降低。

第四节 二氧化碳激光器电源

脉冲 CO_2 激光器的电源是比较简单的，见图 1-4。其中高压变压器能输出 35 千伏，用型号为 E_1 或 E_2 的高压整流管或硅柱进行整流（这部分可直接采用现成的 X 光机中的高压直流电源）。整流后通过低频扼流圈（或电阻）向高压电容器充电。由一对空心金属球所构成的间隙起高压自动开关的作用。因为其中一球通过泄放电阻 R 而接地，所以当另一球之电压达到足够高时，球隙间空气就会被高压所击穿。此时高压电容器中所储蓄的电就能穿过球隙向激光器及电阻 R 泄放，引起激光管脉冲放电。激光管在放电时内阻很小，大部分电能便从激光管中通过，并转换成激光能，从而输出一个激光脉冲。

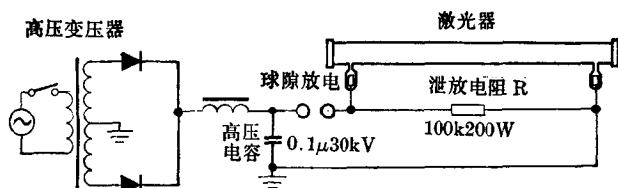


图 1-4 脉冲二氧化碳激光器的电源线路

第五节 聚焦、瞄准用光学系统

这里所介绍的光学系统也是为 CO_2 激光器输出波长为 10.6 微米的红外光而设计的，见图 1-5，它与固体激光打孔机的光学系统的结构大致相同（参阅第二章第三节）。

聚焦系统是由一块镀金的平面反射镜和一块锗透镜所组成。镀金反射镜将水平方向射来的激光束偏转 90° 成垂直的

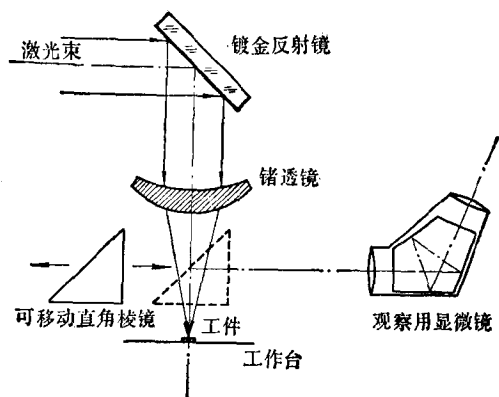


图 1-5 打孔机光学系统装置简图

光束,然后再用锺单晶磨制的透镜(焦距 f 取 $20\sim 30$ 毫米)将激光束聚焦成细小的一点,落在工件上形成功率密度极高的光斑来进行打孔。为增加对激光的透射率,锺透镜亦须镀 ZnS 增透膜。

瞄准系统是由一可移动的 45° 直角棱镜和显微镜所组成。当将直角棱镜移入聚焦光路中即可通过显微镜观察工件的位置,并进行适当的调整,使工件欲打孔的位置正好处在激光的焦点上,然后移去直角棱镜,即可进行打孔。

锺透镜的焦距一般取稍短些为宜,并为了减少球差,总是使一面为凹曲面,另一面为凸曲面(见图 1-5 所示)。表 1 列出在磨制时可供参考的几组数据。

表 1 锺透镜数据 (单位:毫米)

焦 距	凸 面 曲 率 半 径	凹 面 曲 率 半 径
20.0	20.0	30.0
25.0	25.0	37.5
30.0	30.0	45.0

现在我们来估计一下, 激光焦点处的功率密度。前面说过激光束的方向性很好, 其发散角很小, 如图 1-6 所示。我们

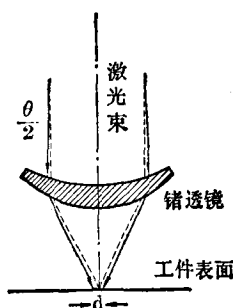


图 1-6 激光束之聚焦

们以符号 θ 来表示激光束的发散角。正由于发散的存在, 使激光束聚焦以后不可能是一个几何点, 而必然是一个极小的光斑, 光斑的直径

$$d = \theta \cdot f$$

f 是锗透镜的焦距。假使输出激光的平均功率为 P (P = 一次激光脉冲所输出的能量/激光脉冲的持续时间), 则在光斑上所承受到的功率密度

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{1}{4}\pi d^2} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{P}{(f\theta)^2}$$

设一次激光脉冲输出的能量为 1 焦耳, 脉冲的持续时间为 1 毫秒, 而锗透镜的焦距 f 取 20 毫米, 发散角 θ 为 10^{-3} 弧度, 那末,

平均功率

$$P = \frac{1 \text{ 焦耳}}{10^{-3} \text{ 秒}} = 10^3 \text{ 瓦}$$

光斑面积

$$S = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{\pi}{4}(f\theta)^2 = \frac{\pi}{4}(2 \times 10^{-2})^2 = 3.14 \times 10^{-6} \text{ 厘米}^2$$

所以功率密度 $I = P/S = 3 \times 10^8$ 瓦/厘米², 这个功率密度是相当大的。一般当功率密度为 $10^5 \sim 10^6$ 瓦/厘米² 时, 已足以把各种材料(包括硬质难熔的金属和非金属材料)熔化或汽化了。故用激光来打孔, 其能量是绰绰有余的。

第六节 激光打孔的一些技术问题

打孔不只是把孔打穿就行了，还必须符合一系列的质量指标，如孔的大小，孔的深度，孔的准直度，孔的几何形状（圆度和锥度）等等都要有一定的规格。下面我们就以 CO_2 激光脉冲打钟表中的宝石轴承为例来说明激光器及光学系统对打孔质量的影响。

1. 孔的大小（孔径） 它主要取决于激光器的输出能量，一次脉冲输出的能量越大，则孔也可打得越大。从 $I=P/S$ 这个式子中可以看出，较大的输出能量（功率）便可在较大的光斑面积上得到足够高的功率密度，从而打出较大的孔来。反之若须打小孔，则需要使激光的输出能量适当减小。

2. 孔的深度 它主要取决于三个因素：（1）孔深正比于激光脉冲能量。（2）孔深与聚焦透镜的焦距 f 有密切的关系，一般地说，当激光能量不变时，短焦距透镜打出的孔要比长焦距透镜打出的孔来得深些，其原因可能是短焦距透镜更易于把激光能量聚于小的光斑面积上。另外，透镜调焦的好坏对孔深影响极大，调焦很差时，甚至根本打不出孔来，而只能打出一个很浅的“坑”。（3）孔深还与激光的模式密切相关，在其他条件相同的情况下，纵向模激光打出的孔比横向模激光打出的孔要深得多。这一点我们将在下一节中着重说明。

3. 孔的准直度 除特殊需要外，一般总要求孔的轴线和工件表面垂直。要做到这一点，除了需要保证工件表面与锩透镜焦平面平行外，还要求激光束垂直地通过锩透镜的中心。要达到这一要求，对于波长为 10.6 微米的红外光来说是比较困难的。因为它是不可见的，对普通的照相纸也不能感光。一种简单而有效的办法是用一张蓝色复写纸来显示由激光的热

• • •