

激光在建筑工程中的应用

欧 阳 立

中国建筑工程工业出版社

前 言

激光自1960年出现以来,在短短的二十余年间获得了巨大的、迅速的发展,成为一门举世瞩目的新兴科学技术。它为各个科研部门提供了认识自然和改造自然的崭新的手段,在国防、工业、农业、卫生及文教部门的应用,加速着现代化的进程。

激光在建筑工程中的应用是多方面的。早期是激光测距,六十年代中期可移动的工程激光设备问世以后,准直、导向技术首先在各种地下工程、特殊工程中得到应用。它改变了拉钢尺测距、吊线锤测铅直、张线找平的落后工艺,提高了检测的精度与速度,减轻了劳动强度,保证了工程质量,加快了工程进度,提高了生产效率。因此,受到工程技术人员的重视。随着建筑用激光仪器的发展,激光技术的应用范围从高耸的、大面积的、大跨度的、高标准的特殊工程,逐步扩大到一般工程、基础工程、结构工程、装修工程及设备安装工程。在滑升模板施工中,激光自动测量铅直误差、水平误差、扭转误差以及自动控制技术,具有其他技术手段无法比拟的效果。七十年代初期兴起的激光平面法技术,为大面积工程测量、作业机具自动化奠定了基础,展示了提高生产效率的前景。除此之外,激光测试技术在建筑结构的研究、设计与试验方面也将有重要的应用。可以预计,随着激光技术的发展,它在建筑工程中的应用范围也会不断扩大。

激光在建筑工程中的应用范围的发展,使建筑用激光仪器装置在品种与数量上得到迅速发展。国际市场上的销售量,每年增长20%以上,各种类型的装置多达数十种。仪器的功能已从单束激光发展到平面激光,从人工安平发展到自动安平、超差自动报警,从一机单用发展到一机多用,仪器的使用率大大提高,经济效益与技术效果获得统一。现在,人们期待着多功能的、轻巧的、廉价耐用的激光仪器。显然激光仪器设备的普及,将引起工程测量工具及方法的大变革。

本书向广大建筑工程技术人员介绍激光的基本知识、激光应用技术的基础知识,并广泛介绍激光在建筑工程中的各种应用。其中,着重介绍横向光束、纵向光束、激光平面的应用。以作者负责研制的自动安平激光平面仪为重点,介绍仪器结构、原理、性能及维护技术,在各种工程中的应用,并相应介绍国外激光平面装置的结构、性能与应用概况。尽管本书所介绍的应用技术,有的比较成熟,有的还不很成熟,有的还处于研究或探索阶段,但是,对读者都会有所启发和借鉴。

由于作者的学识与实践的局限性,书中定有谬误之处,诚恳欢迎读者批评指正。

本书共五章，第一章介绍光与激光的基本知识，激光应用技术基础知识。第二章、第三章介绍横向、铅直激光束的应用技术及工程实例。第四章为本书重点，介绍了七十年代兴起的激光平面法工程测量、自动测量及自动控制的概念、应用技术、工程实例。第五章简介激光测距、激光全息术和其他应用。

本书以作者的科研实践成果为基础，广泛收集了国内外有关资料，是一本介绍激光在基本建设部门应用的专著。本书适于具有高中文化水平的基建部门工人、技术人员、科研人员学习，也可供从事激光应用、激光仪器、光学精密仪器、光电子学专业的科技人员及有关院校师生参考。

激光在建筑工程中的应用

欧 阳 立

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：14 字数：339千字

1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷

印数：1—6,800册 定价：1.45元

统一书号：15040·4608

目 录

第一章 激光的基本知识	1
第一节 光的基本知识	1
1-1-1 光的产生	1
1. 光源	1
2. 原子能级	1
3. 原子的激发与跃迁	2
4. 光的发射	2
1-1-2 光的传播	3
1. 光的电磁波本质	3
2. 光的速度	3
3. 光的反射、折射及全反射	4
4. 光的干涉	5
5. 光的衍射	7
6. 光的偏振	7
1-1-3 光对物质的作用	8
1. 光热效应	8
2. 光的化学效应	8
3. 光压	9
4. 光电效应	9
5. 光发光效应	9
1-1-4 光的波动—微粒二象性	10
第二节 激光的特性及产生	10
1-2-1 激光的特性	10
1. 亮度极高	10
2. 方向性强	11
3. 单色性好	11
4. 相干性强	12
1-2-2 激光的产生	12
1. 原子能级的正常状态分布	12
2. 受激吸收与受激辐射	13
3. 受激辐射过程	13
4. 能级平均寿命	14
5. 工作物质的原子能级反常分布——粒子数反转	14
6. 光学谐振腔	15
第三节 激光器及其应用技术基础	16
1-3-1 激光器	16

1. 氦-氖激光器	17
2. 固体激光器	26
3. 半导体激光器	27
1-3-2 激光束发散角的控制	29
1. 改善激光管的设计	29
2. 采用发射光学系统	30
1-3-3 激光束的漂移及其控制	31
1. 引起激光束漂移的原因	32
2. 抑制激光束漂移的措施	33
1-3-4 激光束的探测	33
1. 直视探测——目测	33
2. 激光束的光电探测	34
3. 激光束的其它探测方法	38
4. 提高信噪比的措施	39
5. 抗日光饱和和干扰措施	41
1-3-5 大气对激光束传输的影响及其控制	43
1. 大气衰减效应	43
2. 大气湍流效应	44
3. 对大气影响的控制措施	45
1-3-6 激光的防护	46
1. 激光对有机体的作用因素	46
2. 激光对眼睛的损害	46
3. 激光防护标准	47
4. 对激光的防护措施	48
第二章 横向激光束的应用	49
第一节 激光导向	49
2-1-1 激光导向的设备	49
1. 激光导向仪	50
2. 靶标	51
3. 自动导向机构	52
2-1-2 应用举例	54
1. 地下掘进	54
2. 顶管施工	57
3. 水上打桩	57
4. 管道敷设	60
5. 水下管道敷设	61
第二节 激光准直	63
2-2-1 激光准直仪	63
1. 激光水准仪	63
2. 高稳定、高精度激光准直系统	67
3. 衍射式激光准直系统	67
2-2-2 应用举例	72
1. 抄平与放线	72

2. 高级饰面板安装	72
3. 铁轨校正	73
4. 大型机械设备安装	73
5. 跑道与道路施工	74
6. 混凝土桩的冲击沉降观测	74
7. 工程结构位移测量	75
8. 路面磨损及沉降观测	76
9. 桥梁测振	76
10. 大坝变形观测	77
11. 精密水准测量	78
第三章 铅直激光束的应用	79
第一节 施工导向	79
3-1-1 导向用激光铅直仪	80
1. 串联式激光铅直仪	80
2. 折叠式激光铅直仪	81
3-1-2 应用举例	81
1. 烟囱滑模定中(导向)	81
2. 双曲线冷却塔定中	83
3. 双曲线拱坝滑模导向	93
4. 竖井施工	93
第二节 铅直测量	94
3-2-1 铅直测量用激光仪器	94
1. ZPJP-77型自动安平激光平面仪做激光铅直仪使用的特点	94
2. JQ-1型激光铅直仪	94
3-2-2 应用举例	96
1. 检校毛主席纪念堂廊柱模板铅直度	96
2. 自动化仓库天轨与地轨共铅直面校正	96
3. 发射塔电梯导轨校正	97
4. 电梯导轨安装质量的自动检测	97
5. 325米气象塔铅直度测量	98
6. 高耸建筑风荷载位移测量	99
第三节 烟囱滑模激光自动控制铅直度	102
3-3-1 烟囱滑模激光自动控制系统的构造和原理	102
3-3-2 自动纠偏系统	103
1. 激光铅直仪	103
2. 激光接收靶——中心靶	103
3. 调偏机构	104
3-3-3 自动纠扭系统	105
1. 激光铅直仪	105
2. 纠扭靶	105
3. 纠扭机构	106
3-3-4 自动调平系统	107
3-3-5 基本电路	108

1. 差分放大器	108
2. 整形电路	108
3. 逻辑门与开关单元电路	108
4. 间隙开关电路	108
5. 稳压电源	109
3-3-6 工程实例	109
第四节 反射式多点铅直激光导向	109
3-4-1 仪器与设备	109
1. 基准激光束发射器	110
2. 铅直反射器	110
3. 测尺——靶标	112
4. 现场校正设备	113
3-4-2 观测方式	114
1. 静态光斑观测	114
2. 动态扫描光迹观测	114
3. 反射式铅直测量的精度	115
3-4-3 应用举例	115
1. 宿舍楼滑模施工	115
2. 盐仓群滑模施工	116
第四章 激光平面的应用	117
第一节 激光平面的概念	118
4-1-1 静态激光平面	118
1. 静态激光平面的形成	118
2. 静态激光平面的度量	120
4-1-2 扫描激光平面	121
1. 扫描激光平面的形成	121
2. 扫描激光平面的度量	121
第二节 激光平面仪	123
4-2-1 静态扇型激光平面仪	123
1. 构造	123
2. 性能	123
4-2-2 扫描式人工安平激光平面仪	124
1. 基本构造与原理	124
2. 《ROTOLITE》激光平面仪	127
3. 西门子(baulaser)TT-80型建筑激光平面仪	127
4-2-3 扫描式重力自动安平激光平面仪	128
1. 构造与原理	128
2. 主要性能	137
3. 操作要领	138
4-2-4 扫描式电子自动安平激光平面仪	140
1. 激光信标——3000型	140
2. 945型激光平面仪	140
3. 红外激光平面仪	142

第三节 激光平面的探测	142
4-3-1 静态激光平面的探测	142
1. 目测	143
2. 光电探测	143
4-3-2 扫描激光平面的目测	144
1. 适当提高激光器输出功率	144
2. 半透射式测尺	144
3. 倍频式直接目测	145
4-3-3 扫描激光平面的光电探测	145
1. 扫描激光的脉冲信号	145
2. 光电探测元件的选择	147
3. 背景光干扰	148
4. 脉冲放大	149
5. 脉冲-直流变换电路	152
6. 指示	156
7. 几种激光平面光电探测器	156
第四节 激光平面在测量方面的应用	162
4-4-1 激光水准面的应用	162
1. 大面积平整度控制	162
2. 天花板龙骨起拱定基准面	164
3. 大面积抄平线	164
4. 控制预制地板安装的水平误差	167
5. 其它	167
4-4-2 激光铅直面的应用	168
1. 结构安装工程	168
2. 室内地面放线	168
3. 其它	169
第五节 激光平面法自动测量与自动控制	169
4-5-1 平地机械刀具高度自动检测与自动控制	169
1. 激光平面仪的设置	169
2. 接收器的设置	170
3. 显示器的设置	171
4. 控制箱与电磁阀	172
5. 操作过程	172
6. 在大面积农田改良机械化作业中的应用	174
7. 在大面积土方、地坪机械化作业中的应用	174
4-5-2 滑模平台水准自动测量及自动控制	175
1. 激光平面法自动同步的基本概念	175
2. 激光平面发射系统	176
3. 激光平面接收(测控)系统	178
4. 中央控制台	179
5. 应用举例	180
第六节 激光圆锥面的应用	186

4-6 1 激光圆锥面发生器	187
1. 重力自动安平激光铅直仪	187
2. 自动补偿变仰角扫描器	187
4-6-2 激光圆锥面的应用	188
第五章 激光的其他应用	189
第一节 激光测距	189
5-1-1 脉冲式激光测距	189
1. 工作原理	189
2. 脉冲式激光测距仪的构造原理	189
3. 精度	192
4. 应用	193
5-1-2 相位式激光测距	194
1. 相位式测距原理	194
2. 相位式激光测距仪的主要构造	197
3. 操作 (参见图5-7)	199
第二节 激光全息术	200
5-2-1 激光全息术的基本概念	201
5-2-2 激光全息摄影	201
5-2-3 激光全息图象的再现	202
5-2-4 激光全息干涉计量	203
1. 全息干涉计量的原理	203
2. 全息干涉测量方法	203
3. 全息干涉计量术的应用	204
5-2-5 激光全息存储	207
第三节 其他	208
5-3-1 激光标杆	208
5-3-2 激光测定土壤密实度	208
5-3-3 激光探测火灾	208
5-3-4 激光探测地下管道缺陷	208
5-3-5 激光遥测钢材锈蚀	209
5-3-6 激光艺术与造型	210
5-3-7 其他	211
结束语	212
主要参考资料	213

第一章 激光的基本知识

激光是一门崭新的科学，也是光学领域的新分支，应用激光技术于工程实践，首先应该具备激光的基本知识。本章将从光的基本知识出发，介绍激光的产生，激光器件，激光的检测、激光的防护，以及有关应用技术知识，以便读者不需借助其他参考书籍就可以理解全书内容。

第一节 光 的 基 本 知 识

光 and 气体、液体、固体、等离子体一样，是物质，是运动着的物质。它以波的形式运动，又以一份、一份的能量作用于其他物质。

当它在空间传播时，引起了反射、折射、色散、散射、干涉、衍射、偏振等现象。

当它与其他物质相作用时，引起光电效应、光压效应、光热效应、光化效应、光发光效应、以及生物效应。

1-1-1 光的产生

1. 光源

我们知道，光通常是由炽热的物体发出来的，这种光源是热辐射光源。如太阳、燃烧的火柴、通电的白炽灯泡。然而，发光的物体并不都是炽热的，如萤火虫、日光灯、就其发光原理而言，它们不是热光源，它们的温度都不高，可以视其为冷辐射光源。冷光源的例子还有电视机的荧光屏， x 光透视荧光屏、小型计算器上的荧光数码管。不论是冷光源还是热光源，它们发出来的光，都是来自原子内部，是原子内部电子运动发生变化的表现。激励电子运动变化的方式有“冷”与“热”的不同，这就是冷光源与热光源的区别。

2. 原子能级

原子由带正电的原子核及带负电荷的电子组成。原子核的正电荷与核外电子总负电荷相等。在原子内部，电子绕原子核不停地旋转着。电子与原子核之间存在着静电引力，此引力与两者电量乘积成正比，与两者间距离平方成反比，静电引力使电子有向核靠近的趋势。

理论及实验表明，电子与原子核之间还存在着相互斥力，当距离再进一步缩小时，静电引力的增长不及斥力增长快。在一定条件下，原子内部原子核与电子间的引力与斥力达到相对平衡，电子绕原子核运动的半径确定，在不受外界作用时，此半径不变。

电子绕原子核转动具有一定动能，同时，由于引力作用还具有一定位能，两者之和称为原子的内能。在不受外界因素作用时，一个原子的内能保持不变。当受到外界作用，电子与原子核间距加大时，原子内能加大；电子与原子核间距缩小时，原子内能减小。

研究表明，电子在原子中是分布在若干壳层上的。各壳层的电子数按一定规律分布。这些壳层的半径不是任意值，不是连续值。因此，原子内能也不是连续值，而呈某种不均

匀的阶梯值，通常把不连续的、非均匀阶梯状的能量值称为原子的能级。图1-1是氢原子能级图。纵坐标表示能量，以电子伏特为单位。一个电子伏特等于 1.6×10^{-19} 焦耳。图中 E_1 能量最低——基态， E_2 、 E_3 、 E_4 、为高能级——激发态。

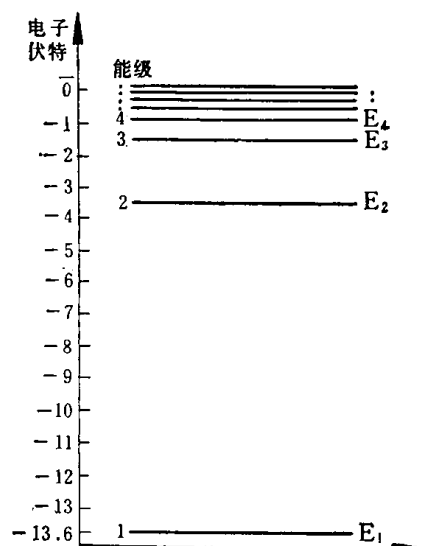


图 1-1 氢原子能级

其他原子的结构比较复杂，因而原子能级数目较多，但是每个能级都有确定的能量值。能级之间仍然是不连续的。

3. 原子的激发与跃迁

当原子受到外界的作用，如由于物体温度升高，原子运动加剧，彼此发生激烈的碰撞，处于基态的原子受到其它原子的碰撞，或受到其它粒子如电子的碰撞或光的照射，原子的能量就增加，从基态变为激发态。原子的这种能量变化过程称为激发跃迁过程。

处于激发态的原子是不稳定的，它具有释出一部分能量回到基态的趋势。当它释出一部分能量回到基态或较低的激发态时，这一过程称为辐射跃迁过程。

在激发跃迁过程及辐射跃迁过程中，能量的吸收值与释出值等于这两个能级间的差值，即 $\Delta E = E_{\text{高}} - E_{\text{低}}$ 。显然，不同能级间的差值是不同的。

4. 光的发射

发光体——光源的原子受到外界作用，增加了能量，处于受激状态，但是，它们总是力图要释放出能量回到基态去。所释出的能量一部分成为原子热运动的能量，另一部分就是电磁波的“基本脉冲”——光子。前者称为无辐射跃迁，后者称为自发辐射跃迁。在外界不断供给能量的情况下，基态原子不断受到激发到高能级上去；同时，激发态原子不断跃迁到低能级，放出光子来。

前已述及，原子跃迁过程辐射的光子能量决定于这两个能级的差值，

$$\Delta E = E_{\text{高}} - E_{\text{低}} = h\nu$$

其中 h ——蒲朗克常数， 6.62×10^{-27} 尔格·秒；

ν ——光的频率（赫兹）。

可见，在不同能级间的跃迁辐射过程中，释放出来的能量不同，光子的频率也不同，光的波长不同，颜色不同，性质也不同。

一种光源，如果由某一种原子发光，由于它的能级是确定的，因而，它所发生的光具有确定的一种频率或多种频率，即它的辐射光具有特色。如果光源由多种原子发光，它辐射出的光波频率的成分就更复杂。或者说，它的颜色不单纯，单色性不好。

在自发辐射跃迁过程中，普通光源中原子的辐射跃迁是自发地、独立地进行，彼此没有联系。因此，它们所发射的电磁波基本脉冲——光子，在时间上和空间上均杂乱无章，它们的初始相位不同，方向不同。或者说，步伐不一致，没有统一方向，即方向性不好，相干性不好。因而，普通光源不能作为相干光源。由于它们的方向不一致，即使会聚成束，也不能得到理想的平行光束。随着距离增大，光束直径显著扩展，能量密度降低，作为准直

光源则工作距离太短。

激光器——激光源与普通光源的发光过程不同，因此，激光与普通光的性质截然不同。

1-1-2 光的传播

1. 光的电磁波本质

前已述及，光是受激原子内电子从高能级轨道跃迁到低能级轨道的过程中辐射出来的，可以看成是电子绕原子核旋转运动的变化，这种变化也可以理解为一种最微小的电磁振荡——基本单元电磁振荡，它辐射的电磁波可理解为最小的电磁波脉冲——电磁波基本脉冲。

研究表明，光与无线电波、红外线、紫外线、 α 射线、 γ 射线一样，都是电磁波，只是它们的波长、频率不同。按照波长的顺序可以列出电磁波谱，如图1-2所示。

从电磁波谱可看出，仅仅由于波长或频率的不同，各波段的电磁波有着各自的特性，可见的与不可见的，穿透力强的与穿透力弱的。在可见波段内，红、橙、黄、绿、靛、蓝、紫绚丽多彩的颜色，这一事实很好地证明辩证唯物主义关于物质的量变引起质变的论述。

从电磁波谱还可以看出，可见光的波长在7600埃(10^{-10} 米)~3800埃之间。红光波长最长、频率最低；紫光波长最短，频率最高。根据光子能量公式：

$$E=h\nu$$

可知，紫光光子频率高，能量大；红光光子频率低，能量小。

2. 光的速度

光传播的速度就是电磁波的速度。在自然界，光的速度是所有物质运动的最高速度，通常简略地确定为 3×10^{10} 厘米/秒，或 3×10^5 公里/秒。

光在不同介质中的速度是不同的。空气中的光速略小于真空中的光速，水中光速约为真空中光速的0.75；水晶中的光速约为真空中光速的0.67。而且，不同波长的光从真空进入另一介质时，速度变化值不同。

关于光速的实际测量值，随着科学技术的发展而越来越精确，1957年国际大地测量与地球物理学会所确定的真空光速值为 299792.5 ± 0.4 公里/秒。最近，利用激光测定的真空光速值为 299792.4562 ± 0.018 公里/秒。

一般情况下，将光速看作一个常数，以C表示。从速度、波长(λ)、频率(ν)、周期(T)的概念出发，可以得出下式：

$$C = \frac{\lambda}{T} \text{ 或 } C = \lambda \nu$$

在已知波长 λ 条件下，可以方便地计算出 ν 。

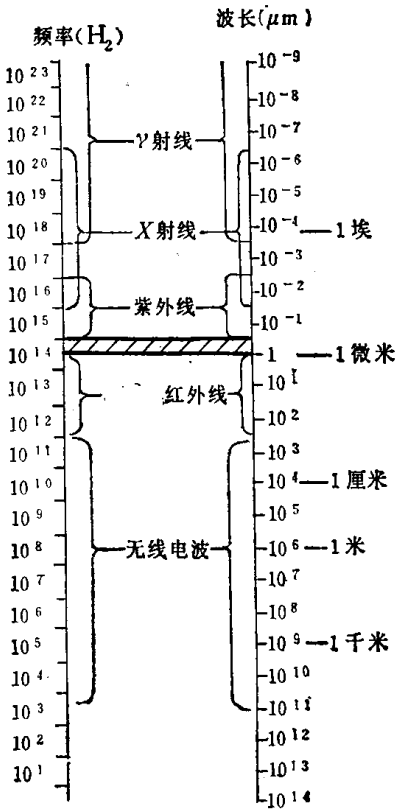


图 1-2 电磁波谱

在精密的激光测距作业时，必须考虑到由于大气气压、温度、湿度的差异，所引起的光速变化，并且加以改正。

3. 光的反射、折射及全反射

光从一种介质进入另一种介质时，在边界上，一部分光返回原来的介质，另一部分进入新介质，但传播的方向可能发生变化，前者称为光的反射，后者称为光的折射。

(1) 光的反射

试验证明，入射光线与反射光线分列于法线两侧、三线共一平面；入射角 α 与反射角 β 相等（图2-3）。这就是光的反射定律。

在光学仪器中，经常利用反射元器件。为了获得高反射率，往往将反射面增镀反射膜层。但是，在另一种情况下，需要减少光学器件的反射率，往往在器件表面镀增透膜，提高透射率，如照像机镜头透镜表面的蓝色增透膜。现代镀膜技术可以按照需要，准确控制光学器件表面的反射率，制成半透射半反射器件，从而将一束光分成能量相当的两束光。

(2) 光的折射

光进入另一种介质后，由于传播速度的变化，引起传播方向的改变，发生折射。

试验研究证明，入射线与折射线分别位于法线两侧，三线共一平面；入射角 α 与折射角 γ 有下列关系（图1-3）：

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{C_1}{C_2} = \text{常数}$$

式中 C_1 为光在第一种介质中的速度， C_2 为光在第二种介质中的速度。

证验表明，不同的介质之间有不同的常数，此常数表示光传播方向变化的程度，通常称为折射率，当 C_1 为真空中光速时，此常数称为该介质的绝对折射率。

应该指出，同一种介质中，各部分的温度、压力的不一致，也会引起光传播方向的变化。光束通过非均匀介质的路径，将会偏离直线发生曲折。

在光学仪器中，各种透镜、棱镜的设计都是根据上述折射定律进行的。

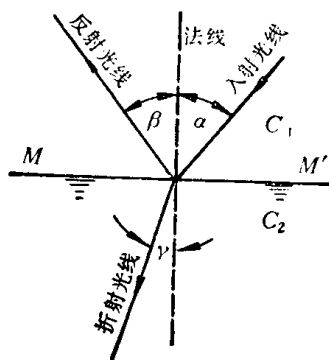


图 1-3 光的反射与折射

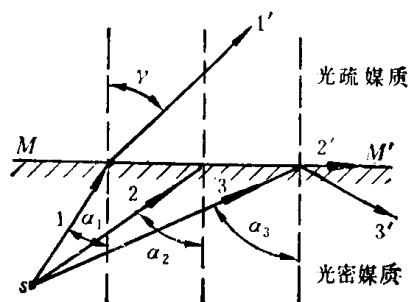


图 1-4 光的全反射

(3) 光的全反射

当光束从“低速介质”——光密介质进入“高速介质”——光疏介质， $\alpha < \gamma$ ， α 增大时， γ 也随着增大，当 γ 达到 90° 后， α 再加大，折射现象消失，光束全部被反射回原来介质中去。这种现象就是光的全反射。见图1-4。

光学仪器中的全反射棱镜、激光测距用的合作目标——逆向反射镜都是利用这一原理

做成的，近年来发展的光纤通信技术所使用的光导纤维也是利用全反射原理制成。见图 1-5。

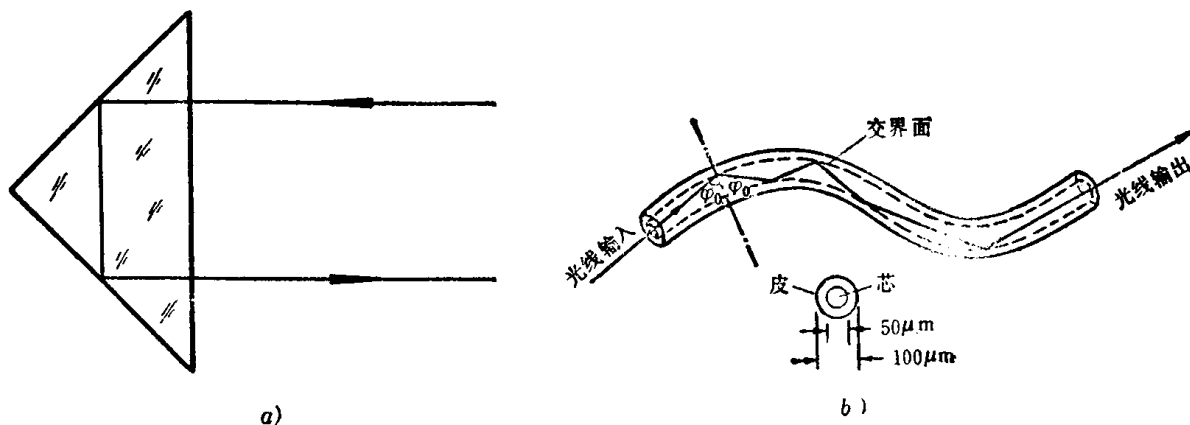


图 1-5 光的全反射应用

a) 全反射棱镜的逆向反射； b) 光在光学纤维中的全反射传输示意图

4. 光的干涉

光的干涉是光学精密测量、激光测量、全息技术中的重要概念，它是一种光波叠加现象。光波是电磁振荡的传播，因而，光波的叠加实质上是空间传播着的电磁振荡的叠加。电磁振荡中的磁场与电场同时变化，然而，在光学现象中，电场的变化是起主导的作用。下面，通过简单的机械振动叠加说明电场的叠加。

(1) 振动的叠加

一个悬挂的弹簧振子在外力作用下可以上下振动，它具有一个确定的周期，在无能量损耗的条件下，它还有一定的振幅。为了分析它在一个周期内不同时刻的运动状态，引用相位的概念。相位用角度来度量时，称为相位角。相位角可用 0° 、 45° 、 90° 、或 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ 、 2π 表示，也可以间接以周期数表示。

图1-6表示弹簧振子上下振动的位移随时间变化的关系。图中 a 与 e 相位之差为 360° ，即 2π 或 T ，振子的位移、速度等参数相同，因而，它们同相。 b 与 f 、 c 与 g 也同相。 a 与 c 两点，相位之差为 π ，位移相同而运动方向却相反，所以它们反相， b 与 d 、 c 与 e 、 d 与 f 也是反相。

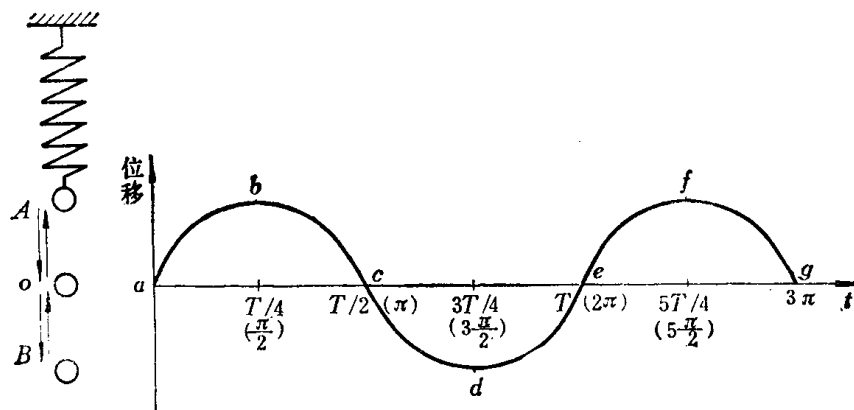


图 1-6 弹簧振子位移与时间的关系曲线

图1-7表示某种弹性介质中两列完全相同的波相交。各点介质处于两列波传播的振动作用下。这时，各点的振动状况决定于两列波传播的振动在各点的叠加结果。当两列波传播的振动是同相时，振动相加，振幅变大。反相时，振动相减，振幅变小，甚至为零。

(2) 波的叠加

波是振动的传播。当两列波在同一介质中传播时，介质各点的振动是两列波所传播的振动的合成。合成的结果可能加强，也可能削弱（图1-8）。而且，随着波的传播，介质中某一固定点的叠加结果是随着时间变化的。此外，介质中各点的叠加振动状态也各不相同，也随时间变化。

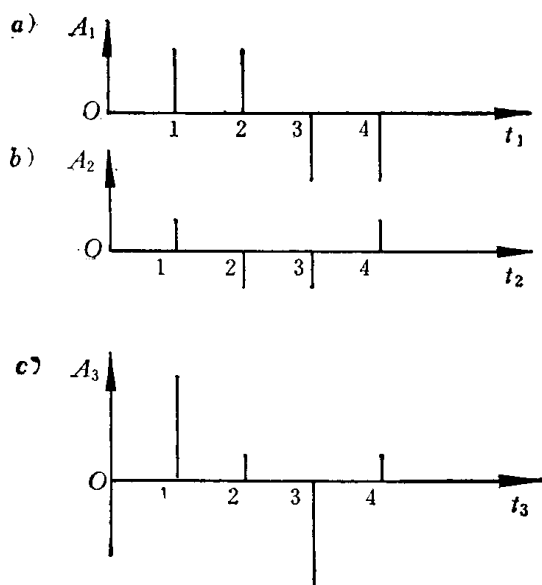


图 1-7 弹性介质中两列振动波
a)与b)叠加成c)

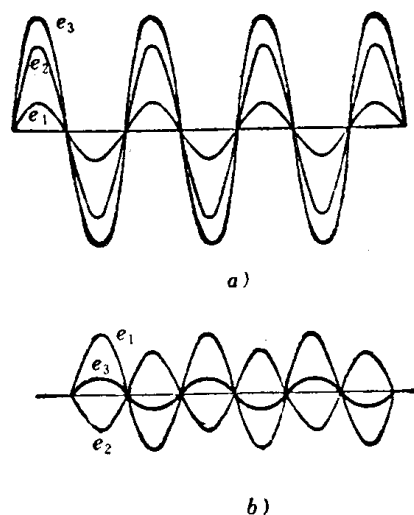


图 1-8 光波叠加
a)同相位时产生加强效果；b)反相位时产生减弱效果

应该指出，整个介质的振动状态主要决定于两列波的参数。当它们的波长、周期、频率、振幅、初始位相完全相同时，介质中将出现一批振动总是被加强的点及一批振动总是被减弱的点。加强的点与减弱的点有规律地间隔地排列分布，形成某些特殊的花纹。这就是波的干涉现象。两个完全相同的石子同时落入平静的水面所激起的两列水波，在水面上将形成图1-9所示的干涉条纹。

光是电磁振荡的传播，两列完全相同的光波在同一空间中传播时，也将产生干涉现象，在适当的屏幕上，可以观察到明暗相间的条纹。雨后马路上油膜的五彩条纹及阳光照射下肥皂泡呈现的彩色条纹，都是光的干涉现象。见图1-10、1-11。

应当指出，只有完全（波长、频率、初始位相）相同的两列光波相叠加，才能产生干涉条纹。否则，光波虽然叠加，但不会产生有规则的、稳定的干涉条纹。要实际获得两列完全相同的光波是困难的，往往采用分光技术，将

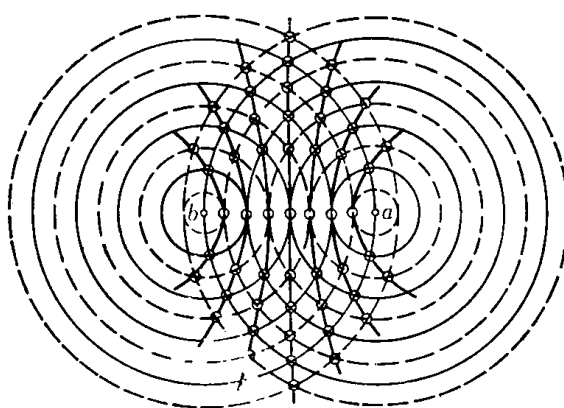


图 1-9 两列水波叠加，水面上振动加强的各点，形成的干涉条纹

一束光分成两束光，让这两条光束叠加，获得干涉现象。

普通光束极难获取有价值的干涉条纹。激光正是由于具有极好的相干性，因此，在精密测量、计量及全息摄影技术中获得重要的应用。后面还要介绍的干涉滤光片也是利用光的干涉原理制成的。

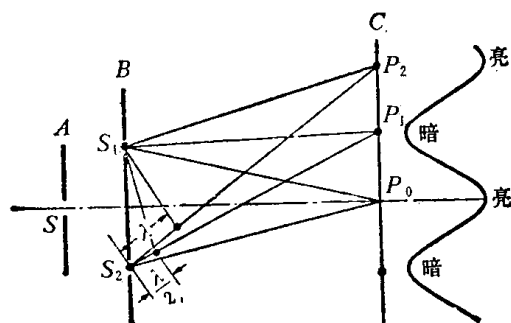


图 1-10 光的干涉原理示意



图 1-11 单色光的干涉条纹

5. 光的衍射

波在行进过程中，遇到大小与波长相近的障碍物或缝隙、小孔时，改变直进性的现象称为波的衍射。声波遇到楼房时，仍能传送到楼房背面的听众耳中，是由于声波衍射的结果。光波遇到细小的障碍物或狭缝，而其尺寸又接近波长时，也能改变直进性，从而在适当距离的屏幕上出现明暗相间的条纹，这就是光的衍射。

当光束通过孔径与波长相近的小孔A时，在适当距离的屏幕P上，将获得明暗相间的同心环状花纹。实验表明，改变孔A的直径，P上明暗相间的条纹将互相转换。这些明暗相间的条纹是通过小孔的不同部位的光波，在屏幕上叠加形成的。当光束到达孔A时，a处的光波与b处的光波同时到达P上O点，相互叠加时相位差为零，振动加强，出现亮点。a、b处的光波到达P上O₁点时，由于行程aO₁与bO₁不相等，有行程差，故有相位差。当行程差为半波长时，相位差为 π ，两波叠加结果互相抵消成暗点，对P上O₂点，若行程差等于波长，相位差为 2π ，两波叠加结果互相加强成亮点（图1-12）。

显然，改变孔A直径，ab间距变化，对P上O₁点的行程差也变化，以至引起明纹与暗纹的转换。正是根据这一原理，可以设计出衍射波带板，在激光精密准直技术中，提高对激光光斑中心的分辨率，提高测量精度。在一般的激光准直系统中，由于光在物镜边缘部位的衍射，也将在相当距离上产生衍射环。此外，激光光学器件上的尘粒、气泡，也会产生明显的衍射花纹。在某些激光准直系统中，利用常规光学经纬仪望远镜中十字分划线产生衍射，获取衍射频谱成象的亮十字丝象。

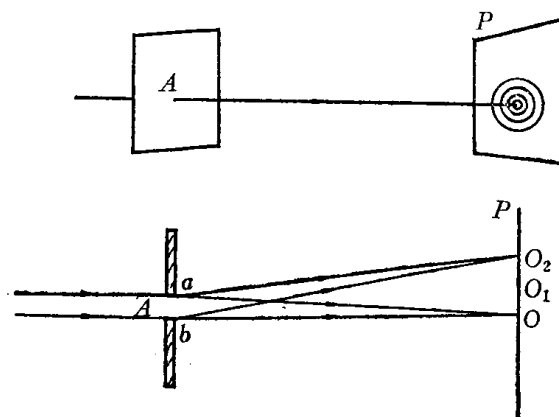


图 1-12 光的衍射

6. 光的偏振

光波是电磁振荡的传播，沿着传播方向，电场的强度与方向按一定规律变化着。对于某个原子发出的光波“脉冲”，电场矢量是在过传播方向的平面上变化的。普通光源在自

发辐射过程中，许多原子都各自独立地发出自己的光波“脉冲”，而各自的光波电场矢量与传播方向所共的平面也各不相同。即使这些光波在同一方向上传播，这些光波“脉冲”的电场矢量也是均匀分布在各个方位。由许多各不相关的光波“脉冲”集合而成的，在各个方向上电场矢量均等的光波称为自然光。见图1-13。

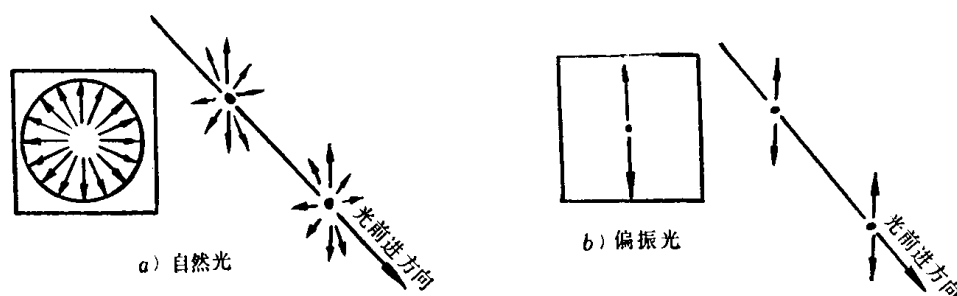


图 1-13 自然光与偏振光

电场矢量不均匀分布在各个方位的光称为偏振光。通常，自然光经过反射、折射后，电场矢量 E 在各方向一致的性质发生变化，出现某一方向上 E 矢量较强的情况，这个过程称为起偏。在光学系统中，往往用偏振片——偏振光学元件起偏。偏振片具有这样的功能，它允许某一方向的电矢量通过，阻止其他方向的电矢量通过。其中一部分被反射，被反射的这一部分也具有偏振性能。

当偏振光通过旋转着的偏振片时，光的强度随偏振片的转角变化。其中某一角度上最强，设此角度为 0° ，当偏振片旋转 90° 时，光强最弱，旋转 180° 时，光又变为最强。利用偏振片可以检测出偏振光的偏振角。立体电影院观众所戴的眼镜镜片就是两片偏振片，它们的偏振方向互相垂直，左右两眼各自观察从银幕上漫反射来的两种偏振光构成的画面，形成立体感。在工程技术上，偏振片用于光弹性力学试验，精密激光测距。

1-1-3 光对物质的作用

光——电磁波——一种运动着的物质，必然对它所遇到的物质产生作用，引起各种效应。

1. 光热效应

光在介质中传播及对目标照射时，光的能量将发生转移，介质及目标的分子、原子将获得一部分光能。而部分能量中有一部分增加分子、原子热运动的动能，导致介质及目标温度升高。这就是光的热效应。

在激光的应用中，光的热效应应用是极重要的一个方面。功率极大的激光脉冲会聚于微米级的细小范围内，可以在一瞬间，将坚硬的红宝石烧蚀，形成 $\phi = 25$ 微米的细孔。激光手术刀的强大光束通过烧蚀、汽化作用使肌体分离，同时将血管创口封闭，从而加快手术进程，激光对金属材料的切割、焊接、淬火处理也是应用光热效应。此外，军事用途的高能激光器正是利用热效应将高空、远程的飞行器烧毁。

在激光测试技术中，利用碳斗吸收激光的能量，测定激光束的功率、能量。图1-14为测量激光能量用的碳斗接收器。

2. 光的化学效应

光的能量传输给被照射的分子后，可能引起原子外围电子的重新组合，导致化学变