

理疗机械学

LI LIAO JI XIE XUE

谢永林 王溶泉 编著
熊满贞 徐爱华



人民军医出版社

内 容 提 要

全书共分六章，第一章理疗机械的基础理论；第二章光疗治疗机；第三章低频治疗机；第四章中频治疗机；第五章高频治疗机；第六章理疗机械常见故障的分析和检修。

理疗机械品种繁多，结构千差万别。本书偏重于原理的阐述，对各类理疗机械力图归纳一些有共性的内容，以利读者举一反三；并尽可能收集了较新的各类理疗机械，作为电路分析的范例；结合常见故障的分析、判断，进一步开阔眼界，增长知识，启发思路。

本书对各类理疗机械作了详细的电路分析，并有适当篇幅的常见故障检修，内容通俗易懂。可供初中以上文化程度，或具有一定的电工学、电子学的基本知识、并从事理疗专业的技术人员参考。也可作为理疗机械学教学的试用教材。

理 疗 机 械 学

Li Liao Ji Xie Xue

谢永林 王溶泉 编著
熊满贞 徐爱华

责任编辑 姚 磊

※

人 民 军 医 出 版 社 出 版

(北京市复兴路22号甲3号)

新华书店北京发行所发行

中国人民解放军三二〇九工厂印刷

全国各地新华书店经销

※

开本：787×1092毫米1/16 印张：19.5 插页：6 字数：468千字

1985年4月第1版

1985年4月北京第1次印刷

印数：0,001—5,000册

统一书号：14281·014 定价：(精) 5.60元



前 言

应用各种物理因素作用于人体，以达到治疗疾病的目的，称为理疗。用作理疗的设备，叫做理疗机械。随着科学技术的发展，特别是电子技术广泛应用于医学以后，理疗机械日新月异，发展迅速。从作用的物理因素上分有光疗、热疗、电疗、磁疗、声疗等等；从频率上分有直流、低频、中频、高频。几乎所有的理疗设备都是将电能转换为其它各种形式的能量，然后应用于治疗。《理疗机械学》就是研究由电能转换为各种治疗能的一门应用科学。

理疗机械品种繁多，结构千差万别。本书偏重于原理的阐述，对各类理疗机械力图归纳一些有共性的内容，以利读者举一反三；并尽可能收集了比较新的各类理疗机械，作为电路分析的范例，结合常见故障的分析、判断，进一步开阔眼界，增长知识，启发思路。

理疗机械的生产厂家繁多，电路元件的符号不可能统一。本书收集的技术资料基本上与原机一致，以方便读者参考。

编写本书的目的，在于帮助理疗技术人员掌握理疗机械的基础理论，了解和把握理疗机械内在的变化规律，以便达到合理地使用和有效地维修保养各种理疗机械，使之在医疗上发挥更大的作用。

在本书的编写过程中，始终受到我校领导的关怀和重视，并得到了广州市岭头疗养院理疗科，广东省人民医院理疗科，中山医学院第一附属医院理疗科，广州军区总医院理疗科，197医院理疗科，广州空军医院理疗科等单位的大力支持和帮助，提供了很多宝贵的资料；梁德先副主任审阅了全部文稿，提出了不少宝贵意见；蔡韶萍同志绘制了全部插图；本教研室的同志热情支持，协助做了很多工作。对以上的单位和个人，我们表示衷心的感谢。

本书虽然经过反复校正，但由于我们业务水平不高，加上时间仓促，难免有错误之处，敬请读者批评指正，以便更好地为人民服务。

作者 1984年3月

于广州军区军医学校

序 言

由人民军医出版社出版的这本《理疗机械学》，是建国三十五年来国内出版发行的第一本理疗机械方面的书，这是我国理疗学界的一件大好事。

理疗机械种类繁多，各地生产的型号也不尽相同。随着我国四化建设的发展，各种新型的理疗机械相继出现，为进一步发展理疗工作提供了物质基础。广大理疗技术人员越来越需要电工学、电子学和机械学等方面的知识，渴望能有一本关于理疗机械的基础理论、各种理疗机械的结构和工作原理以及检查维修方法的专业书籍，《理疗机械学》将能满足大家的需要。

谢永林、王溶泉等同志长期从事电子医疗器械的研究、维修和教学工作，有丰富的实践经验，并且在电子学理论方面亦有一定的造诣，他们曾多次在广州部队理疗军医训练班和理疗技术员训练班讲授理疗机械学，深知对理疗机械学专著的迫切需要及目前国内短缺的情况，经过较长时间的酝酿和准备，在原来编写的几期学习班教材的基础上，适应现代理疗学的发展，充实新的内容，编写成这本《理疗机械学》。

本书比较详细地阐述了理疗机械的基础理论，对各类理疗机械作了详细的电路分析，并有适当篇幅的常见故障的检修介绍，理论联系实际，内容深入浅出，扼要实用。可供各级理疗技术人员和医疗器械维修人员参考，也适合于作为理疗机械学的基本教材。

谢永林、王溶泉等同志致力于我国理疗工作的发展和普及，他们的辛勤劳动是值得赞赏的。

在此，我向理疗界的同行们推荐这本书，我相信，这本书的问世，一定能为大家在了解、保养和维修理疗机械上带来很大的帮助和方便。

广州军区总医院理疗科主任军医 李维礼

1984年4月

目 录

第一章 理疗机械的基础理论..... (1)	七、单稳态触发电路..... (51)
第一节 光疗治疗机的基础知识..... (1)	(一) “集-基”耦合基极定时
一、医用治疗光波分析..... (1)	单稳态触发电路..... (51)
二、光的产生..... (3)	(二) 射极耦合基极定时单稳态
三、光波的有关因素..... (3)	触发电路..... (54)
四、红外线和紫外线的产生..... (4)	八、变频、调制和差频的基本原理
五、激光的产生..... (5)	和电路..... (58)
第二节 低、中频治疗机的电路基础	(一) 电子器件的非线性..... (59)
..... (6)	(二) 变频原理..... (60)
一、电容、电感元件及其对阶跃电压	(三) 调制原理..... (61)
的响应..... (6)	(四) 差频原理..... (68)
(一) 电容、电感的性质..... (6)	(五) 常见的几种医用调制电路
(二) RC、RL电路对正阶跃电压	 (68)
的响应..... (10)	第三节 高频治疗机的基本原理..... (69)
(三) RC、RL电路对负阶跃电压的	一、振荡的概念..... (69)
响应..... (12)	(一) 机械振荡和电振荡..... (69)
二、微分电路和积分电路..... (14)	(二) 理想的自由振荡..... (70)
(一) 微分电路..... (14)	(三) 实际电路中的自由振荡..... (72)
(二) 积分电路..... (17)	(四) 强迫振荡和谐振..... (72)
三、RC振荡器..... (20)	(五) 谐振电路..... (73)
(一) 振荡的条件和稳定..... (21)	二、自激式电子管振荡器..... (79)
(二) RC反馈网络的频率特性	(一) 自激式电子管振荡器的基
..... (22)	本电路..... (79)
(三) RC相移振荡器..... (26)	(二) 自激式振荡电路维持振荡
(四) 文氏电桥式振荡器..... (28)	的基本条件..... (79)
四、自激多谐振荡器..... (30)	三、振荡器的分类..... (80)
(一) 基极定时多谐振荡器..... (31)	(一) 根据振荡器输出波形分类
(二) 射极定时多谐振荡器..... (33)	 (80)
五、自激间歇振荡器..... (36)	(二) 根据振荡的频率分类
(一) 脉冲变压器..... (37)	 (80)
(二) RC定时自激间歇振荡器	(三) 根据振荡电路和反馈方式
..... (39)	分类..... (81)
六、双稳态触发电路..... (41)	四、关于振荡器的能量..... (81)
(一) 集-基耦合双稳态触发	五、高频治疗机常用的振荡电路..... (81)
电路..... (41)	(一) 调屏电感反馈式振荡电路
(二) 射极耦合双稳态触发电路..... (49)	 (81)

(二) 调栅电感反馈式振荡电路	(84)
(三) 三点式电感反馈振荡电路	(84)
(四) 三点式电容反馈振荡电路	(85)
(五) 调频调栅式(屏栅电容反	
馈) 振荡电路	(86)
(六) 推挽式振荡电路	(87)
六、振荡器的耦合输出与负载	(89)
(一) 电感耦合谐振式输出	(89)
(二) 电容耦合式输出	(89)
(三) 关于负载阻抗的匹配	(89)
七、振荡电路的波形和电源供电关系	(90)
第二章 光疗治疗机	(91)
第一节 红外线治疗机	(91)
一、红外线发光原件	(91)
(一) 电灯泡(又称白炽灯泡)	(91)
(二) 红外线灯泡	(91)
(三) 电炉丝式红外线辐射器	(92)
二、红外线治疗机的分类	(92)
(一) 按使用光源分类	(92)
(二) 按治疗要求分类	(92)
三、红外线治疗机的构造	(92)
四、HL-1、HL-2型远红外线	
治疗机	(94)
(一) 技术规格	(94)
(二) 电路分析	(94)
(三) 使用时的几点注意事项	(95)
第二节 紫外线治疗机	(96)
一、紫外线发光元件	(96)
(一) 气体放电现象	(96)
(二) 高压水银石英紫外线灯管	
的构造	(97)
(三) 高压水银石英紫外线灯管	
工作过程	(97)
(四) 低压水银气体石英紫外线	
灯管	(98)
(五) 高压水银石英紫外线灯管	
的光谱分析	(98)
(六) 高压水银石英紫外线灯管	
使用时间和相对强度关系	(98)

二、紫外线治疗机的分类	(99)
(一) 按使用光源可分为三类	(99)
(二) 按治疗要求可分为四类	(99)
(三) 按其构造可分为三类	(99)
三、紫外线治疗机的构造	(99)
(一) 机械部分	(99)
(二) 电器部分	(100)
四、84型手提式(台式)紫外线	
治疗机	(101)
(一) 技术规格	(101)
(二) 电路分析	(101)
五、YZD-500型紫外线治疗机	(101)
(一) 技术规格	(101)
(二) 电路分析	(102)
六、CHIRANA-S500型紫外线	
治疗机	(103)
(一) 技术规格	(103)
(二) 电路分析	(103)
七、HANAV-S500TPL10型红紫	
合用治疗机	(103)
(一) 技术规格	(103)
(二) 电路分析	(104)
八、HANOVIA-10型水冷式体	
腔紫外线治疗机	(106)
(一) 技术规格	(106)
(二) 机器的组成	(106)
(三) 电路分析	(106)
(四) 使用注意事项	(111)
九、GGZ-500型集体紫外线治疗机	(112)
(一) 技术规格	(112)
(二) 电路分析	(112)
十、双管集体紫外线治疗机	(112)
(一) 技术规格	(112)
(二) 电路分析	(113)
十一、YS-1型冷光紫外线治疗机	(113)
(一) 技术规格	(113)
(二) 电路分析	(113)
十二、YS-2型冷光紫外线治疗机	(113)
(一) 技术规格	(113)
(二) 电路分析	(114)

十三、高频冷光紫外线治疗机	(115)	二、几种常见的低频脉冲治疗机	(151)
(一) 技术规格	(115)	(一) C63-1型间动电流治	
(二) 电路分析	(115)	疗机	(151)
十四、直流电源冷光紫外线治疗机 ...	(116)	(二) 推广式626-Ⅱ型半导体	
(一) 技术规格	(116)	综合治疗机	(159)
(二) 电路分析	(116)	(三) 双波同步交替输出式晶体	
第三节 激光治疗机	(117)	管脉冲治疗机	(164)
一、氦-氖激光管	(117)	(四) C64-2型多波形治疗机	(164)
二、氦-氖激光治疗机	(118)	(五) TUR-RS2型多形波刺激	
(一) 技术规格	(118)	治疗机	(173)
(二) 电路分析	(118)	第三节 磁疗机	(177)
第三章 低频治疗机	(120)	一、MCL-1型脉冲磁疗机	(177)
第一节 直流、感应治疗机	(120)	(一) 技术规格	(177)
一、对直流、感应治疗机的基本要求		(二) 电路分析	(177)
.....	(120)	二、CL-B磁感应综合治疗机.....	(179)
(一) 对直流输出的要求	(120)	(一) 技术规格	(179)
(二) 对感应输出的要求	(121)	(二) 电路分析	(180)
二、产生直流、感应输出的基本方法		三、CS403型磁疗机	(183)
.....	(121)	(一) 技术规格	(183)
(一) 直流输出	(121)	(二) 电路分析	(183)
(二) 感应输出	(124)	第四章 中频治疗机	(185)
三、几种常用的直流、感应治疗机 ...	(128)	第一节 音频治疗机	(185)
(一) 551A型直流、感应治疗机		一、NY-Z型音频治疗机	(186)
.....	(128)	(一) 技术规格	(186)
(二) 12A11型直流、感应治疗		(二) 电路分析	(186)
机	(130)	二、YL-3型音频治疗机	(193)
(三) 宇宙厂直流、感应治疗机		(一) 技术规格	(193)
.....	(130)	(二) 电路分析	(193)
(四) GF101型直流、感应		(三) 技术参考	(197)
治疗机	(133)	(四) 使用注意事项	(198)
(五) DL-3型698点送治疗机		第二节 正弦波调制治疗机	(198)
.....	(134)	一、技术规格	(199)
(六) ZGL-1型直流、感应		二、电路分析	(199)
治疗机	(139)	第三节 脉冲波调制治疗机	(206)
(七) 75-1型直流、感应治疗		一、技术规格	(206)
机	(139)	二、电路分析	(207)
第二节 低频脉冲治疗机	(143)	第四节 干扰电治疗机.....	(213)
一、脉冲波形的产生和控制	(143)	一、干扰电流的形成	(214)
(一) 弧形波发生电路及其控制		二、“静态”干扰电治疗机	(215)
原理	(143)	(一) GD-3A型干扰电治疗机	
(二) 矩形波发生电路及其控制			(216)
原理	(148)	(二) CD-1型干扰电治疗机	
(三) 多波形发生电路	(150)		(217)

三、“动态”干扰电治疗机	(221)	(一) 技术规格	(242)
(一) 技术规格	(221)	(二) 电路结构	(242)
(二) 电路分析	(221)	(三) 电路分析	(242)
第五章 高频治疗机	(224)	四、CDL-1型超短波治疗机	(244)
第一节 共鸣火花治疗机	(224)	(一) 技术规格	(244)
一、技术规格	(225)	(二) 电路结构	(244)
二、电路构造	(226)	(三) 电路分析	(244)
三、电路分析	(226)	五、LDT-CD-31型超短波治疗机	
四、电路主要元件技术参数	(226)		(246)
第二节 中波治疗机	(227)	(一) 技术规格	(246)
一、1520型中波治疗机	(227)	(二) 电路结构	(246)
(一) 技术规格	(227)	(三) 电路分析	(246)
(二) 电路结构	(227)	第五节 微波治疗机	(248)
(三) 电路分析	(227)	一、微波治疗机的主要结构	(248)
二、15A20型中波治疗机	(230)	二、磁控管原理	(248)
(一) 技术规格	(230)	三、WL-751型微波治疗机	(252)
(二) 电路结构	(230)	(一) 技术规格	(252)
(三) 电路分析	(230)	(二) 电路分析	(252)
第三节 短波治疗机	(232)	四、WB-74型微波治疗机	(254)
一、552型短波治疗机	(232)	(一) 技术规格	(254)
(一) 技术规格	(232)	(二) 电路分析	(254)
(二) 电路结构	(232)	五、ALOKO MW-3(2C)微波	
(三) 电路分析	(233)	治疗机	(255)
二、SANITAS Undala 11/400型短		(一) 技术规格	(255)
波治疗机	(234)	(二) 电路分析	(257)
(一) 技术规格	(234)	六、12S201/9型微波治疗机	(257)
(二) 电路结构	(234)	(一) 技术规格	(257)
(三) 电路分析	(234)	(二) 电路分析	(257)
三、DB-1型短波治疗机	(236)	第六节 超声波治疗机	(260)
(一) 技术规格	(236)	一、超声波发生器	(260)
(二) 电路结构	(236)	二、CZ-1型超声波治疗机	(262)
(三) 电路分析	(236)	(一) 技术规格	(262)
第四节 超短波治疗机	(238)	(二) 电路分析	(262)
一、五官科用小型超短波治疗机	(238)	三、CSY-25型超声波治疗机	(264)
(一) 技术规格	(238)	(一) 技术规格	(264)
(二) 电路结构	(238)	(二) 电路分析	(264)
(三) 电路分析	(238)	四、SIEMENS Sonostat 631型超声	
二、ULTRATHERM型超短波治		波治疗机	(266)
疗机	(240)	(一) 技术规格	(266)
(一) 技术规格	(240)	(二) 电路分析	(266)
(二) 电路结构	(240)	第六章 理疗机械的安装和维修	(269)
(三) 电路分析	(240)	第一节 理疗机械的安装	(269)
三、55-2型超短波治疗机	(242)	一、安装方法和步骤	(269)

二、安装工作中的几点注意事项	(270)	失真	(285)
第二节 理疗机械故障的检查和 修理方法	(270)	(五) 示波监视部分的故障	(285)
一、故障的检查方法	(270)	四、调制治疗机常见故障和检修	(286)
二、故障的修理方法	(272)	(一) 一般故障的检修方法	(286)
第三节 光疗治疗机常见故障和检修	(272)	(二) 正弦调制治疗机的故障分 析举例	(287)
一、红外线治疗机	(272)	(三) GD-3 A型干扰治疗机 的故障分析举例	(288)
二、紫外线治疗机	(272)	(四) MTZ-A型脉冲调制治 疗机的故障分析举例	(289)
(一) 使用注意事项	(272)	五、磁疗治疗机常见故障和检修	(291)
(二) 常见故障及检修	(272)	第五节 高频治疗机常见故障和检修	(292)
(三) 紫外线管技术资料	(275)	一、共鸣火花治疗机	(292)
三、激光治疗机	(277)	(一) 使用注意事项	(292)
(一) 使用注意事项	(277)	(二) 常见故障和检修	(292)
(二) 常见故障和检修	(277)	(三) 共鸣火花治疗机技术资料	(293)
第四节 低、中频治疗机常见故障 和检修	(277)	二、中波、短波和超短波治疗机	(294)
一、直流、感应治疗机常见故障和检修	(277)	(一) 使用注意事项	(294)
(一) 直流部分的常见故障	(278)	(二) 常见故障和检修	(294)
(二) 感应部分的常见故障	(279)	(三) 高频治疗机的测量	(296)
二、音频治疗机常见故障和检修	(281)	三、微波治疗机	(297)
(一) 振荡器的故障	(281)	(一) 磁控管的安装	(297)
(二) 放大器的故障	(281)	(二) 使用注意事项	(298)
(三) 电源的故障	(281)	(三) 常见故障和检修	(298)
(四) YL-3型音频治疗机常 见故障的分析和维修	(281)	四、超声波治疗机	(299)
三、脉冲治疗机常见故障和检修	(282)	(一) 使用注意事项	(299)
(一) 无脉冲输出	(282)	(二) 超声波声头常见故障	(299)
(二) 输出脉冲幅度太小	(284)	(三) 关于修理	(299)
(三) 部分脉冲波没有输出	(285)	附录 本书出现的常见符号表	(300)
(四) 脉冲波的参数失调或波形			

第一章 理疗机械的基础理论

本章介绍光疗治疗机的基本知识；低、中频治疗机的电路基础；高频治疗机电路的基本原理等。目的在于帮助读者掌握理疗机械的基础理论，了解和把握理疗机械内在的变化规律，以利于电路分析和故障的检修。

第一节 光疗治疗机的基础知识

光疗治疗机，是利用人工方法，产生可见光和不可见光的辐射能，进行预防和治疗医疗设备。

一、医用治疗光波分析

现代物理学已将光辐射列入电磁波频谱系统之中，所以光辐射又称“光波”。红外线、紫外线和激光等都是电磁波，只是它们的波长不同而已。

人们肉眼所能感受到的光波波段称“可见光”，波长在400~760nm之间。其中，感受到620~760nm左右的光波时，就有红光色觉；感受到380~450nm左右的光波时，就有紫光色觉。

可见光是红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等7色光波。它们的两侧还有不可见光波，一侧是比红色光的波长更长的“红外线”，另一侧是比紫色光的波长更短的“紫外线”。医疗上广泛应用的红外线治疗机和紫外线治疗机，所要产生的光波，就是这两种不可见光波。

白炽灯泡，辐射出的大多是波长为390nm~300μm的“近红外线”。红外线专用灯泡则多辐射出波长为2~5μm的“远红外线”。红外线有较强的穿透力，在医学治疗中，主要是利用它的热效应。

高压(气压)水银紫外线灯管，多辐射出波长为303~365nm的紫外线。其中290~320nm波长的紫外线，是产生红斑的主要波段。

低压(气压)水银紫外线灯管，多辐射出254nm左右波长的紫外线，这一波段的紫外线光波，杀菌能力最强。

激光管可以发射出“激光”。激光器是“受激辐射式光频放大器”的简称，这是近年来发展起来的一门尖端科学。

激光具有色纯、能量高度集中、方向性好等一般光源没有的特性，几乎是一束很小的平行光源。因此激光能在千分之几秒，甚至更短的时间内，使物质溶解、气化。也可在百分之几毫米的范围内，产生几百万度的高温，几百个大气压力，每厘米几千万伏特的强电场。

由于激光的这些独特之处，而十分引人注目，现已被广泛地应用在工农业生产、通讯、国防建设、科学研究和医疗等各个领域。

医疗上应用的激光，主要是“气体激光器”，工作物质为“氦-氖”、“氩”、“氪”和二氧化碳等气体。它们所辐射的激光波长，因不同的工作物质而各异。

氦-氖激光器：多产生632.8nm波长的红色激光。

氩激光器：多产生514.5nm波长的绿色和488nm的蓝色激光。

氪激光器：多产生647.2nm波长的红色激光。

上述激光器，一般输出功率较小，在医疗中多用于治疗。常用的是氦-氖激光治疗机。

二氧化碳激光器，多产生10.6nm波长的红外激光。输出功率可以很大，在医疗中多用于组织焊接，裂缝封闭以及用作“光刀”等方面。

光波借助光谱分析，可知光辐射所占有电磁波频谱范围，见表1。

表1		光 波 频 谱 表					
波 的 产 生	电磁振动		原子分子振动	原子内电子状态转移	原子核的变化		
	m ~ μm		810 ~ 180nm	430nm—	10~0.001Å		
波 的 名 称	电磁波	光			X 射 线	γ 射 线	宇宙射线
		激 光					
		红外线	可 见 光		紫外线		
			红橙黄绿青蓝紫				
波 长			450~390 480~450 510~480 550~510 580~550 620~580 760~620				
							0.001~ 0.0001Å
	$3 \times 10^8 \text{m/s}$	400nm 760nm		400nm 100nm			
			← 光疗应用范围 →				
			30000 ~ 200nm				

光波（电磁波）的传播速度C，波长λ，频率f三者的关系，列式如下：

$$C = \lambda \cdot f$$

C = 3 亿m/s空气中传播速度

λ = 波长单位m/T

f = 频率单位T/S常用Hz表示

光波波长很短，测量和计算时，常采用微米、纳米和埃作单位，它们的关系如下：

1 厘米 (Cm) = 10毫米 (mm)

1 毫米 (mm) = 10³微米 (μm)

$$1 \text{ 微米 } (\mu\text{m}) = 10^3 \text{ 纳米 } (\text{nm})$$

$$1 \text{ 纳米 } (\text{nm}) = 10 \text{ 埃 } (\text{\AA})$$

$$1 \text{ 埃 } (\text{\AA}) = 10^{-10} \text{ 米}$$

二、光的产生

原子是由带正电的原子核与若干围绕核旋转的带负电的电子组成的。原子核又由中子、质子等基本粒子组成。原子的构造决定着各元素的性质。

原子核外的电子就象行星一样在核外旋转。这种旋转并不是任意的，而是沿着一定层次的轨道进行。这种多层的轨道，叫作电子的壳层。半径最小的壳层，叫K层，依次向外为L、M、N、O、P、Q。

壳层上的电子具有一定的能量，这种能量是相对的量。在正电荷的电场中，通常规定静止在无限远处的正电荷所具有的能量为0，离建立电场的正电荷越近，这个正电荷所具有的能量就越大。而对于处在原子核电场中的电子来说，情况恰好相反。这是因为它们带的是负电荷，所以电势能总是负的，而且离核越近，电势能负的越大，能量就越小，每一壳层中的电子能量都有差别，但在正常状态下，每一壳层的能量差是一定的。这种原子中电子能量的不连续性，称为电子的能级。

据丹麦物理学家玻尔的研究，当电子在某一轨道上运动时，处于稳定状态，并不向四周辐射能量，这种状态称为原子的基态。当原子中的电子受到某一外界力的作用（如电子的撞击、光的照射等等），而作用的能量，等于某两个可能轨道的能量差的能量被电子吸收时，它便由原来的能级跃升到较高的能级上，这种现象称为原子的激发。

原子在激发状态下，不能保持持久，通常约为 10^{-7} 秒，就会回复到较低能级或原基态。这时多余的能量便以电磁波的形式辐射出来，属于光波波段的便是“光波”。

三、光波的有关因素

光波辐射的频率（f）与电子原能级的能量（ E_1 ），激发后的能量（ E_2 ）有关，它们间的关系和下式：

$$f = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (1-1)$$

h = 普郎克常数 (6.62×10^{-27} 尔格/秒)

E_2 与 E_1 间的差就是电子跃迁所得能量 E ， E 如下式：

$$E = E_2 - E_1 \quad (1-2)$$

若能量用电子伏特 V_e 来表示，则：

$$f = \frac{V_e}{h} \quad (1-3)$$

根据光波的波长（ λ ）、波速（ C ）、频率（ f ）三者的关系（ $f = C/\lambda$ ），（1-3）式可改成下式：

$$\begin{aligned} C/\lambda &= \frac{V_e}{h} \\ \therefore \lambda &= \frac{hC}{V_e} \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中的 h 、 C 都是常数，所以 λ 取决于 V_e 的数值。就是说，一个原子中某一壳层电子能级的电子伏特数值，决定着这个电子被激发后，回复到基态所辐射出光波的波长。

物理学中已指出，一个电子伏特值为 1.6×10^{-12} 尔格，因此可将(1—4)式变成下式，

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{6.62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{18}}{1.6 \times 10^{-12} V_e} \text{ \AA} \\ &= \frac{6.62 \times 3 \times 10^{(-27+18+12)}}{1.6 V_e} \text{ \AA} \\ &= \frac{6.62 \times 3 \times 10^3}{1.6 V_e} \text{ \AA} \\ &= \frac{12412}{V_e} \text{ \AA} \quad (1-5)\end{aligned}$$

($C = 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒， $= 3 \times 10^{18}$ \AA /秒)

(1—5)式中可知，要想得到一定波长的光波，就必须选择一定元素(物质)和一定能级的跃迁。

四、红外线和紫外线的产生

从公式(1—5)可知，原子被激发所辐射的光波波长，仅取决于这个原子壳层电子的能级的伏特值。现今，各种元素的结构和它的能级分布电子伏特值，都是已知数，因此按光谱要求得到一定波长的红紫外线已不成问题了。

经理论计算和科学实践证明，用水银气体进行激发，便易得到紫外线光波。例如水银原子中的第四壳层(N)的能级为6.71电子伏特，将其代入公式(1—5)在受激后辐射的光波波长应是：

$$\lambda = \frac{12412}{6.71} \approx 1850 \text{ \AA}$$

$1850 \text{ \AA} = 185 \text{ nm}$ ，是紫外线的频谱范围。其它各壳层的电子能级所辐射的光波，除紫外

线外，还有可见光，其中大部分是紫色和蓝色光。

红外线光波的产生：若在真空内将耐高温的金属丝通以电流，电流在金属丝内作功而使金属丝温度上升。温度上升的结果是金属物质原子外的电子运动加强。当温度上升至其临界值以上时，原子壳层电子产生能级的“跃迁激发”，并以光的形式辐射出所得能量。辐射光波的波长与温度成反比，温度越高波长越短，否则反之。按理论计算红外线发光元件，经加热辐射出光波的波长，亦符合公式(1—5)。

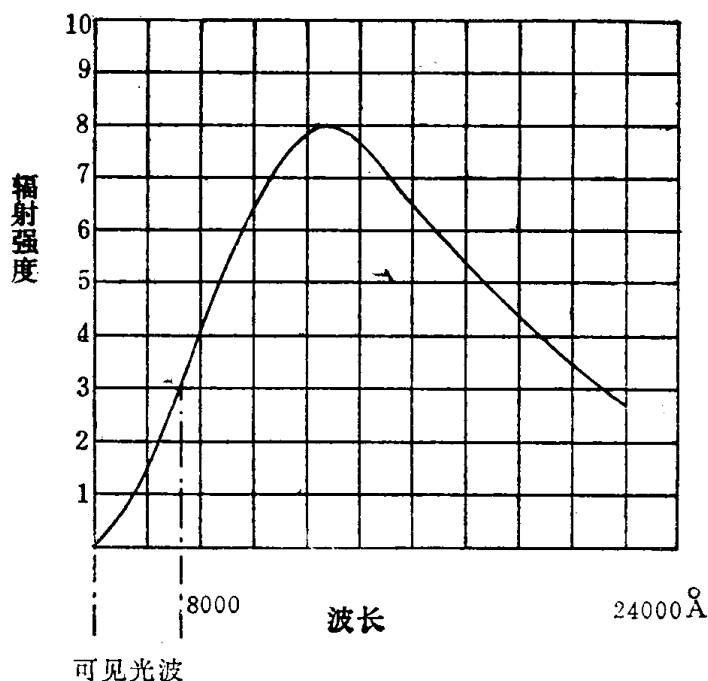


图 1 钨丝在运用温度下辐射波长和强度

经理论计算和科学实践证明“钨

丝”最适于做红外线发光元件。电灯泡、特制红外线灯泡、电炉丝等都有大量红外线辐射出来。

图1 是一个典型的钨制灯丝，在运用温度下所辐射出来的光波和辐射程度。

图中曲线明显的表示出，钨丝辐射强度中绝大部分（95%）是以红外线（热能）表现出来，可见光极少。这就说明普通电灯泡也可做红外线光源。

这种辐射光波，还可以通过各色玻璃片加以滤过，而得到医疗上能有效的用于某种疾病治疗的光波，如蓝色、紫色光等。

五、激光的产生

前面我们讲到了光波的产生是原子被激发，当恢复到低能级或原基态时，以辐射形式将多余能量释放出来的电磁波，即是光波。但这还不是激光。

“激光”按其波长来看，也属光波波段。但它有普通光源所没有的特性，这是因为激光产生于光频放大器之中。

原子被激发后自动过渡到原基态而发光的现象叫做“自发辐射”。但不是所有原子或分子被激发后都会自动过渡还原，还会有少数能量状态寿命较长，不产生自发辐射而存在下来的粒子，处于这种状态的粒子，叫做“亚稳态”。

激光工作物质的粒子（原子或分子），吸收外界能量后，就会从基态跃迁到亚稳态相近的高能态。因为这种状态不稳定，所以它能自发地经过非辐射跃迁（粒子从高能级过渡到低能级时，能量不是以光的形式辐射，而是以热或其它非辐射的形式放出），回到一个亚稳态。若外界激发功率足够大，亚稳态的寿命又较长时，就造成亚稳态的粒子数目大量积累增多。当处于较高能量的亚稳态的粒子多于处在基态粒子数时（所谓粒子数反转），再受到波长相当于亚稳态和基态的能量差的电磁波（光波）的刺激，粒子就会从亚稳态回到基态，而放出同一波长的光子。这种受同一波长光的刺激而发生的光波现象叫做受激辐射。

当一个粒子受激辐射放出光子时，这种光子又激发其它粒子也回到基态，释放出同一波长的光子，就会引起光的“放大作用”。这种现象要反复作用于一个光谐振腔里，便形成光的“振荡”、并发出同一波长的强光——“激光”。

普通光和激光的区别，就在于发光的微观机制不同。普通光源的光以自发辐射为主，各个发光中心发射出来的光波，在方向上、位相和偏振态上都各不相同。而激光则以受激辐射为主，各个发光中心发射出来的光波都具有相同的频率、方向、偏振态和严格的位相关系。所以激光能具有普通光源所没有的特性，即强度高，单色性、相干性、方向性好。

按产生激光作用能级的本质，可把气体激光器分为三种：

氦—氖激光器的激光，发生于没有电离的原子之间的跃迁。

氩和氪激光器的激光，发生于电离状态间的跃迁。

而二氧化碳激光器的激光，则发生于分子的转动和振动能级。

由于作用能级的本质不同，所以它们的波长不同，颜色也不同。

气体中原子激发到较高能态，最重要的机理是两类碰撞（在微观粒子间，只要粒子足够靠近，互相间明显影响，就可看作是碰撞）。

第一类是指高能电子与基态原子碰撞。通过碰撞，电子与原子交换部分能量，使得原子激发。这个过程可用下式表达：

$$A + e_1 = A^* + e_2 \quad (1-6)$$

A = 基态或低能态的原子能量

A^* = A 的受激态的原子能量

e_1 = 碰撞前电子能量

e_2 = 碰撞后电子能量

第二类是指处于亚稳态的受激原子与另一种元素的未受激原子相碰撞，结果是能量由亚稳态的原子转移给未受激原子，而使它激发，前者则失去能量而回到低能态。这个过程可用下式表示：

$$A_1 + A_2^* = {}_1A_1^* + A_2$$

A_1 = 元素 1 未受激原子的能量

A_2 = 元素 2 未受受激子的能量

气体激光器，波长的选择范围宽，受环境条件影响较小，而输出接近于理想的相干光源。

激光于1960年发现，现已发展成一门尖端科学。这里所介绍的只是一般知识，供了解激光治疗机时参考。详情请参考有关书籍。

第二节 低、中频治疗机的电路基础

一、电容、电感元件及其对阶跃电压的响应

一个电路中，如果只包含电源和电阻元件，则电路中电压和电流的关系可以用一个线性方程来表示。某时刻的电流仅仅由这一时刻的电压所决定，与过去的情况无关。这种电路是“即时的”，或说是无记忆的。但是在许多实际情况下，往往只用电阻不能实现电路的某种功能，不可避免地要使用电容元件和电感元件；更何况在脉冲电路中，由于讯号的快速变化，一些实际部件已不能再用电阻性模型来表示，而应在模型中增添电感、电容等元件。当电路出现电容、电感元件时，电路中电压和电流的关系就不能用线性方程表示，而要用微分的 u （电压）— i （电流）关系来表征，因而把电容、电感称为动态元件。

电容、电感元件有许多与电阻不同的特殊性质。电路中含有电容、电感元件时，即使输入已不再作用了，但仍然可以有输出，因为输入曾经作用过，也就是说，输出不仅与当时的情况有关，而且还能反应过去的历史。所以说，电容、电感元件具有“记忆”的本领。

为了更好地理解和分析脉冲电路，必须掌握电容、电感元件的特殊性能，和由它们构成的RC电路、RL电路对快速变化的讯号的响应。

（一）电容、电感的性质

1. 电容元件

（1）基本概念

把两片金属板用介质隔开就可构成一个简单的电容器。由于介质是不导电的，在外电源的作用下，极板上便能分别聚集等量的异性电荷。当外电源撤走后，极板上的电荷仍能依靠

* 标志受激状态的原子

电场力的作用互相吸引，又为介质所隔而不能中和，这种电荷长久地聚集下去。因此，电容是一种能聚集电荷的部件。电荷的聚集过程也就是电场的建立过程，在这过程中，外力所作的功应等于电容器中所贮藏的能量。因此，可以说电容器是一种能够贮存电能的部件。

实际的电容器还有一些漏电现象，这是因为介质不可能是理想的，多少有一些导电的缘故。如果略去漏电现象，实际电容器可用一个理想电容元件代替。用字母C表示，在电路图中用图2所示的符号表示。

当电容元件的极板处于不同电位时，极板上便能聚集一定量的电荷。就是说，在任一时刻极板上聚集的电量 q 取决于同一瞬间电容元件两端的电压 u 。所以，定义电容器的

容量 C 为： $C = \frac{q}{u}$ 。

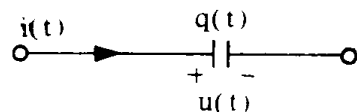


图2 电容

C 的单位为法拉(F)、微法(μF)或微微法(nF 或 PF)。

实际电容器，除了标有它的电容量外，还标明它的额定工作电压。每一个电容器允许和承受的电压是有限的，电压过高，介质就会击穿。一般电容器被击穿后，它的介质就从原来不导电变成导电，从而丧失了电容器的作用。因此，使用电容器时，不应超过它的额定工作电压。

(2) 电容的电压——电流关系

电容器是聚集电荷的元件，它的端电压发生变化时，聚集的电荷也相应发生变化，这时才有电荷在电路中移动，形成电流。设电容器的电压 u 和电流 i 的参考方向一致，如图2所示，并设 q 为电流参考方向箭头所指极板上的电荷。根据电流的定义：某时刻的电流即为该时刻

电荷对时间的变化率。得出： $i = \frac{dq}{dt}$ 又由电容定义 $q = cu$ 代入得出：

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(cu)}{dt} = c \frac{du}{dt} \quad (1-8)$$

这就是电容器电压 u 与电流 i 的关系式。上式表明：在某一时刻电容器的电流取决于该时刻电容器电压的变化率，而与该时刻的电容器电压或电压过去的历史无关。如果电压不变，虽有电压，电流也为零。电容器电压变化越快，电流也越大。该式还表明了电容器另一个重要性质：如果在任何时刻，通过电容的电流 i 只能为有限值（实际电路总是如此，电源只能供给有限的电流），那么，电压对时间的变化率（即 $\frac{du}{dt}$ ）也必须为有限值，这就意味着电容器两端的电压不可能发生跃变。比如电压由零伏一跃而变为100伏，则电压对时间的变化率为无限大，这就要求电流也为无限大，这显然不符合实际情况。

电容器电压不能跃变，这是分析脉冲电路一个很有用的概念。

(3) 电容器的贮能

电容器是一个贮能元件。电容器两极板上电荷的积累，就在两极板之间建立了电场。电场具有能量，这能量是电容器在充电过程中，由直流电源供给。直流电源对电容器充电，要克服异性电荷相吸的作用力，把电容器一个极板上负电荷（电子），移到电容器另一个极板上作了功，这个功就转变为电容器的电场能量。设电容器的电容为 C ，两极板间电压为 u ，则该电容器中所贮藏的电场能量 W_c 可按下式计算：

$$W_c = \frac{1}{2} C u^2$$

(1-9)

式中, W_c 以焦耳为单位, C 以法拉(F)为单位, u 以伏(V)为单位。

此式表明: 电容器中贮藏的电场能量与电容器的电容 C 和电容器两极板之间的电压平方成正比, 即电容器的容量越大, 端电压越高, 它所贮存电场能量就越多。

电场能量总是大于或等于零。当电容器两端电压增加时, 电容器便从外界吸收能量贮存在电场中, 而当电容器两端电压降低时, 便把原来贮存电场能量释放出来, 即电容器本身只进行能量吞吐, 而并不消耗能量。

一个充电的电容器贮存电能正象一个被压缩的弹簧贮存机械能一样。以后我们就会看到电容的贮能性质是非常有用的。如果一个充电的电容器与一个电阻相联通, 电容器的贮能就会在电阻中转化为热能。

2. 电感元件

(1) 基本概念

导线中有电流时, 其周围即有磁场。为了增强线圈内部的磁场, 通常把导线绕成线圈的形式, 称为电感线圈。磁场也贮存能量, 因此电感线圈是一种贮存磁能的部件。

实际的电感线圈虽具有贮存磁能的主要性质, 但也要消耗一些能量, 这是因为线圈是由导线绕制而成的, 而导线总有一定电阻, 有电流时就要消耗能量。如果消耗的能量忽略不计, 实际的电感线圈可用一个理想电感元件代替, 在电路图中用图3所示符号表示。在需要考虑耗能或其它现象时, 再增添等效电阻等元件。

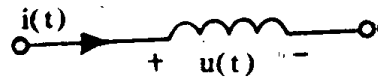


图3 电感

当电感元件中有电流通过时, 便产生磁通 ϕ 。磁通 ϕ 在线圈中与 N 匝线圈相交链, 则磁链 ψ 为: $\psi = N\phi$

磁链 ψ 是电流 i 的函数。当元件周围的媒质为非铁磁物质(如空气)时, 磁链 ψ 与电流 i 成正比关系。即: $\psi = Li$

式中的常量 L 叫做电感线圈的电感。 L 的单位是亨利(H)。一个线圈通以1 A电流, 线圈中的磁链正好是1 Wb时, 此线圈的电感就是1 H。此外还可以取毫亨利(mH)、微亨利(μ H)做电感的单位。它们之间的关系是:

$$1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$$

$$1 \mu\text{H} = 10^{-3} \text{ mH} = 10^{-6} \text{ H}$$

一个实际的电感线圈, 除了标明它的电感量外, 还应标明它的额定工作电流。电流过大, 就使线圈过热或使线圈受到过大电磁力的作用而发生机械变形, 甚至烧毁线圈。

为了使每单位电流所产生的磁场增加, 常在线圈中加入铁磁物质, 其结果可以使同样电流所产生的磁链比起不用铁磁物质成百成千倍地增加。但 ψ 与 i 的关系变为非线性的。

(2) 电感的电压——电流关系

虽然电感是根据磁链 ψ 与电流 i 的关系来定义的, 但实际问题中, 我们更要研究的是电感的电压 u 和电流 i 的关系。

当通过电感的电流发生变化时, 磁链也相应地产生变化。根据电磁感应定律, 线圈中将产生感应电动势 e_L , 即: