

医学仪器

X射线机

第一册

云南省卫生干部进修学院

放射仪器教研组编

施廷华 主编

云南省卫生干部进修学院印刷

一九八五年六月

前 言

这套书是根据我校《医疗仪器专业》(招收应届高中毕业生三年制)的教学需要而编辑的。全套书包括《X射线机》五册共26章;《医用电子仪器》四册共22章;《理疗仪器》二册共19章。主要内容为各类仪器的结构原理、线路分析和安装修理。

因目前医学仪器种类繁多,更新换代很快,从而技术资料十分广泛。在处理不断出现的新仪器和基本内容的矛盾时,我们采取了以收集目前我国各医院最普遍应用的仪器为主,并加入适当先进仪器的编辑方法。

鉴于医学仪器所涉及的基础知识很广,在处理基础知识广而篇幅不能过大的矛盾时,我们只有让教材在学完理工科中等专业以上的数理、化、电工和电子技术基础的课程之后采用,使该书在涉及基础部分的篇幅尽量从简。

本教材《X射线机》部分由施廷华同志主编;《医用电子仪器》部分由上官绍武、刘辉和施廷华同志主编;《理疗仪器》由罗树华同志主编。

特别提出的是,本教材除收集了编者整理,翻译的国内外大量技术资料外,还整理收编了国内前辈和同行编著中的不少资料,在此对有关作者深切致谢。

本书除可供医疗仪器专业作为大专、中专教材试用外,尚可供生物医学工程技术人员,医疗卫生人员和医学管理人员学习参考。

由于我们对医学仪器的知识了解有限,又缺乏一定的教学实践,书中必然存在不少缺点和错误,殷切希望批评指正。

编 者

一九八五年六月 于 昆 明

目 录

绪 论	1
第一章 X射线和医用X射线机概述	6
第一节 X射线的发现与发生	6
第二节 X射线的性质	15
第三节 X射线在物质中的作用	16
第四节 X射线的量与质	19
1. 在诊断方面X射线量与质的应用	19
2. 在治疗方面X射线量与质的应用	22
第五节 X射线在医学上的应用	26
1. X射线在诊断方面的应用与发展	27
2. X射线在治疗方面的应用	37
第六节 X射线的防护	42
1. X射线防护的意义	42
2. 防护物质	45
3. X射线透视工作中的防护	47
4. X射线摄影工作中的防护	49
5. X射线深部治疗工作中的防护	51
6. X射线机维修工作中的防护	53
第七节 医用X射线机分类	54
1. 诊断用X射线机	54
2. 治疗用X射线机	56
第八节 医用X射线机的基本组成	57
1. X射线管	57
2. 高压发生器	58
3. 操纵台	58
4. 辅助设备	59

第二章 X 射线管

第一节	X射线管的构造	59
1、阴 极		60
2、灯丝丝		62
3、焦 点		62
4、聚焦罩		65
5、阳 极		68
6、阳极罩		73
7、X射线管管壁上的电位分布		74
第二节	旋转阳极X射线管	76
1、旋转阳极X射线管的结构		77
2、旋转阳极X射线极管靶面的焦点功率		78
3、旋转阳极的转数		80
第三节	X射线管管壁及其真空度	80
1、二次电子作用于玻璃壁上的物理现象		81
2、X射线管管壁的形状及其防护套		81
3、X射线管的真空度		82
4、冷发射的危害		83
第四节	X射线管的种类	85
1、诊断用X射线管		85
2、治疗用X射线管		86
第五节	X射线管的特性	87
1、阳极特性($I_a - U_a$)曲线		87
2、实际阳极特性曲线		88
3、空间电荷		89
4、灯丝发射特性曲线		92
第六节	X射线管灯丝加热特性曲线和应用	93
1、灯丝($V_f - I_f$)曲线		93
2、灯丝特性曲线的应用		94

第七节	灯丝蒸发率和 X 射线管的灯丝寿命	95
1.	灯丝温度和蒸发率的关系	95
2.	管电流调整的目的	96
第八节	X 射线管的容量	96
1.	决定容量的因素	96
2.	X 射线管容量的计算	97
3.	X 射线管的代表容量	99
4.	比容量	100
5.	X 射线管负载特性曲线图的应用	101
第九节	X 射线管的冷却与冷却曲线	102
1.	X 射线管的散热方法	102
2.	阳极热容量的计算	103
3.	冷却曲线及其冷却时间的计算	104
第十节	综合机头和管室	108
1.	综合机头	108
2.	静止阳极 X 射线管管室	110
3.	旋转阳极 X 射线管管室	112
4.	深部治疗 X 射线管管室	113
第十一节	高压整流管	115
1.	高压整流管的结构	115
2.	高压整流管的功率	116
第十二节	半导体整流管	119
1.	整流原理	119
2.	伏安特性曲线	122
3.	硒整流器参量	123
4.	高压整流管与整流器的特点	125
第十三节	X 射线管的检验	126
1.	X 射线管外观检查	126
2.	灯丝检查	127
3.	X 射线管的真空度检查	129
4.	焦点检查	132

第十四节	X射线管的故障分析	133
1、	X射线管灯丝断路	133
2、	X射线管灯丝温度不够	134
3、	X射线管管电压不够	136
4、	X射线管阳极靶面损坏	136
5、	X射线管阳极靶脱落	137
6、	X射线管真空度降低	138
7、	X射线管玻璃壁裂纹或破碎	140
8、	旋转阳极X射线管阳极转动问题	141
9、	X射线管质量问题	142
10、	X射线管管室	142
第十五节	更换X射线管	146
1、	更换X射线管	146
2、	X射线管管室的清洁处理	148
3、	将X射线管装进管室时应注意以下几点	149
4、	管室或机头密封	151
5、	注入变压器油	152
6、	排气	153
7、	X射线管灯丝断线的修理方法	156

第三章 变 压 器 157

第一节	变压器的工作原理	157
1、	变压器的工作原理	157
2、	变压器的能量守恒定律	159
3、	变压器计算的基本公式	159
4、	励磁电流	161
第二节	X射线机的高压变压器	163
1、	X射线机高压变压器的特点	163
2、	高压变压器的结构	164
3、	高压变压器的铁芯	166

4. 高压变压器的线圈	171
5. 高压线圈的匝数的确定	171
6. 高压变压器的调节方法	176
第三节 高压变压器的绝缘问题	181
1. 绝缘材料的介质强度	181
2. 绝缘介质性能的影响	182
3. 变压器与地之间的绝缘问题	182
4. 高压变压器的层间绝缘问题	186
5. 高压线圈与铁芯之间的边距	187
6. 高压变压器线圈层间短路和匝间短路	187
第四节 高压变压器的清洁和烘干处理	188
1. 高压变压器的清洁处理	188
2. 烘干	188
第五节 高压变压器的试验	191
1. 试验前的准备工作	191
2. 试验的程序	191
第六节 灯丝变压器	195
1. 灯丝变压器的结构	196
2. 灯丝变压器的绝缘材料	196
3. 灯丝变压器线圈安匝的确定	199
4. 灯丝变压器的故障	199
5. 变压器的额定技术数据	202
第四章 高压电路元件和变压器油	203
第一节 高压电缆	203
1. 高压电缆的功用和结构	203
2. 高压电缆的检验	206
3. 高压电缆的插头和插座	207
第二节 高压电缆的常见的故障	207
1. 高压电缆插头(或插座)击穿	207

2、高压电缆两端靠近插头的根部击穿	208
第三节 高压电缆的修理	209
1、拆卸高压电缆插头	209
2、对高压电缆进行加工	209
3、充填用绝缘混合物	211
4、充填用绝缘混合物的灌注	212
第四节 高压电阻和高压电容器	214
1、高压电阻	214
2、高压电容器	214
第五节 高压交换闸	215
1、用继电器交换台次	215
2、用电动机交换台次	217
第六节 变压器油	218
1、变压器油的功用及化学性质	218
2、变压器油内含有水份时的危害性和检查方法	219
3、变压器油的过滤法	220
4、变压器油的除酸	221
第七节 绝缘材料的电气性质	222
1、绝缘电阻	222
2、电容量及介质常数	223
3、介质损耗	224
4、击穿电压及耐压强度	224
5、绝缘材料与温度及湿度	225

第五章 自 变 压 器 227

第一节 自 变压器的基本原理	227
第二节 自 变压器的形式和结构	230
第三节 电源电压选择及调节	231
1、电源电压的选择	231
2、电源电压的调节	233

3、电源电压的自动补偿	234
第四节 自耦变压器的电源输入	243
1、KE-200型X射线机的电源电路	243
2、KB-400型X射线机的电源电路	244
3、带有三相保护装置的电源电路	246
- 1型深部治疗X射线机的电源电路	248
第五节 自耦变压器的输出	250
1、抽头式变压器的输出调节	250
2、滑动式自耦变压器的输出调节	253
第六节 电源电路的故障修理	253
1、故障的分析判断	253
2、故障的检查和修理	254
 第六章 X射线管灯丝电路元件	 257
第一节 磁饱和式稳压器	257
1、磁饱和现象	257
2、磁饱和稳压器的原理	258
第二节 电路结构	262
1、双铁芯稳压器(一个铁芯饱和;另一个铁芯不饱和)	262
2、单铁芯稳压器(有饱和及不饱和铁芯)	263
3、铁壳式稳压器(不用磁分路的稳压器)	264
第三节 X射线管灯丝初级电路调节电阻	266
第四节 磁放大器	268
1、磁放大器的工作原理	268
2、磁放大器电路	271
3、磁放大器在X射线机中的应用	274
第五节 稳压器(磁饱和谐振式)的故障	275
第六节 磁饱和稳压器的调整	277
1、调整稳压器需要的设备	277
2、调整稳压器的步骤	278

第七章 继电器 280

第一节 继电器的基本原理 280

1、继电器的结构 280

2、继电器的铁芯 281

3、交流继电器的分磁环 281

4、继电器的线圈 284

5、继电器的接触点 285

6、继电器接点的熄弧装置 285

第二节 X射线机中常用继电器的种类 291

1、电源继电器 292

2、中间继电器 292

3、高灵敏继电器 293

4、保护用电流继电器 294

5、保护用电压继电器 294

6、差动继电器 294

7、过流继电器 294

8、极化电磁继电器 295

9、延时继电器 296

10、曝光继电器 299

第三节 继电器故障的修理 300

1、继电器通电后有啸叫声 300

2、继电器吸合之后切断电源但衔铁不落下 305

3、线圈两端有电压但继电器不动作 306

4、接触点的修理 306

医 用 X 射 线 机

绪 论

自1895年德国物理学家伦琴(W. C. Röntgen)发现X射线后, X射线在医学领域的应用至今已有80余年的历史。由于X射线有与其它光线完全不同的性质而具有穿透作用, 这就使医学家首先开始使用较低级的技术手段——用混合荧光物质制成的荧光屏用来透视或用胶片进行摄影, 以观察人体某些组织部位——主要是骨骼的正常形态、自然位置、异常病变和金属异物等情况。当时, X射线机的结构非常简单, 如使用效率很低的含气式冷阴极X射线管; 笨重的感应线圈发生高压, 更没有精确的控制装置; 裸露式的高压机件等。X射线机装置容量小, 效率低, 穿透能力微弱, 影象清晰度不高, 缺乏防护。据资料记载, 当时拍摄一张骨盆X射线象, 即需长达40~60分钟的曝光时间, 结果照片拍成了, 被检查者的皮肤也被X射线烧伤了。这是X射线在医学领域应用的初始阶段。

随着电磁学、高真空技术及其它学科的发展, 于1910年由美国物理学家库里治(W. D. Coolidge's)试制成功高真空热阴极X射线管, 1913年开始应用, 相继运用交流变压器代替感应线圈的高压装置, 使X射线管的工作性能大大提高, 穿透力增强, X射线机效率随之提高。之后, 造影剂的逐渐应用, X射线在医学诊断的应用范围不断扩大, 它不再是一件单纯拍摄骨骼影象的简单工具, 而是对人体组织器官中那些自然对比较差(对X射线吸收差小)的胃肠道、支气管、血管、脑室、肾、膀胱等也能检查的重要的医学诊断设施了。与此同时, X射线在治疗方面也开始应用。但X射线影象质量、检查方法、X射线效率和控制、机械结构等方面仍处于较落后初级阶段。

30年代初, 出现旋转阳极X射线管, X射线机在医学诊断方面的应用得到迅速发展。由于这种X射线管具有焦点面积小而实用功率大的双重优点, 使X射线机的容量功率大为提高, X射线影象质量和

检查技术得到改善，并能在曝光时间很短的情况下，拍摄某些运动器官进行病变检查和细微结构的放大摄影，出现了由静态转为动态X射线检查的初步迹象。随着医疗实践对X射线诊断技术更高的要求，X射线机的结构也日趋复杂精密：在电路上向着大容量、短时间、高电压方向发展，这就使机器在控制系统中，出现出调制三大曝光参数（mA、KVP、Sec）的主电路以外的种种辅助电路，如预示、预置电路；稳压电路；X射线管过荷保护电路等等。高压发生装置开始由单相单峰普遍改用单相双峰，高压波形得到改善；高压电缆由裸露式改为防电击式；在机械结构上也出现很多适于特殊检查的外围设备和辅助装置：如筒式断层、多隙式记波、荧光缩影、滤线器摄影等。这种日新月异的发展状况，促进了X射线诊断技术和效果不断提高。尽管如此，在X射线检查方式、成像原理、显示手段等诸方面，仍然没有摆脱传统的形态观察；即仍在自动化程度很低的情况下，放射科医生以主观操作为主，并要求与被检查者的配合，进行以人体解剖学的变异为主的常规检查；机械结构还是以手动为主。主机系统几乎仍是由电工电路所组成。这种状态一直延续了大约50余年。这是X射线在医学应用中的第一代情况。

50年代初，随着电子工业、化学工业、光学工业的迅速发展，影象增强器和闭路电视系统与X射线机配套使用，对X射线机的性能和诊断效果的提高是一个有力的推进，X射线影象显示方法发生了根本变化，突破了传统的直觉观察，开始运用图象转换、模拟信息处理等先进技术，由暗室操作逐步向明室操作过渡。这对医学上某些重要的手术如心导管、骨科整形、复位；摘除异物，手术监视等具有重要的技术意义。其次，由于能利用电视系统进行间接快速摄影，可进一步便于运动器官的动态检查；由于X射线影象的再现，可进行影象信息的储存，录象或拍摄动态电影。同时，因X射线电视比荧光屏的亮度提高数千倍，则大大减低X射线的使用量，并能实现遥控、遥测检查，从根本上消除了X射线对放射科医生的辐射危害。另外，从电视屏上显示的X射线影象可供多人同时观察，便于X射线会诊和教学。这种以出现影象增强器和X射线电视为转机的X射线医用装置。可称

为X射线在医学诊断技术方面应用的第二代情况。

60年代以来，X射线主机系统和以诊断床（台）为主的外围设备、辅助装置都相应地有了飞跃的发展：

主机系统——泛指由各种电路元件组成的各电路系统，主要集中在控制台、高压发生装置和X射线管组件三个部份。主机发展的主要趋向是追求大功率、高毫安、高千伏，尽量缩短曝光时间；电路结构由电工电路逐步向电子电路过渡，以实现控制与操作的自动化，以及保证机组正常运行的各种保护装置等。各国生产的X射线主机，规格系列花样翻新，变型之多不胜枚举，至今尚没有统一的系列规范，但从X射线临床诊断的需要来看，这个时期X射线机设计、制造和发展的具体情况是：

1. 由于高压发生装置广泛采用高压硒—硅整流元件，出现三相六峰、三相十二峰和双倍压整流电路，使高压波形的脉动幅值更为减小，高压发生器的输出功率和X射线质进一步提高，并与新型高效能的X射线管配套，先后生产出高达2000~3000毫安的大容量X射线机，管电压已高达150KVp；为保证运动器官的X射线摄影容许模糊度，曝光时间最短已缩为10秒量级。目前我国也已初步试制出1000mA、150KVp多用途的诊断用X射线机。

2. 控制系统由早年采用多层调节闸主要是调节mA、KVp、Sec三个曝光参数的三扭制调节(Three—Spot Setting)而改为两扭制调节(Two—Spot Setting)系统，即在X射线摄影前只预选KVp值和代表X射线总辐射量的mAs值。随着单机多管，一机多台和主机容量的增大，以及自动选台、快速遥控、自动曝光等技术要求，在70年代出现了单扭制调节(Single—Spot Setting)控制系统。这是在摄影操作过程中，只需选定KVp值，曝光即可在X射线管允许的最大功率范围内，通过X射线管负载自动降落系统，在极短的时间内和充分发挥X射线管效率的情况下进行，使X射线摄影时曝光参数的调节和操作规程大为简化。但由于某些摄影条件搭配的灵活性的需要，三扭制仍被普遍采用。

3. 在出现单扭制调节系统不久，由于广泛采用大面积电离室；

自动曝光和胶片自动密度控制，X射线电视亮度自动稳定等装置，又出现采用零扭制调节 (Zero-Spot Setting) 控制系统和逻辑程序操作电路，按人体脏器分类，设置部位按钮，摄影前，只要按动相应的部位按钮，被摄部位的曝光参数即自动选好，操作程序进一步简化。

4. 由于心血管及循环系X射线摄影，需配备高压快速注射器，快速换片机、多体位诊断床，以及其它专科摄影的需要。有的X射线机采用高压开关管，高压调整管，栅控X射线管等次级高压控制部件；在控制系统中则开始采用数字技术、固体集成电路、印刷电路、自动监视和检测装置。尤其在心导管系统中，首先采用程卡控制，用小型电子计算机系统，由静态控制穿孔卡片来预选曝光参数和协调电路准备工作；用动态控制卡片完成曝光的全部过程。

5. 为适应于X射线综合检查的需要，X射线机已趋向一机多台（管）的生产。一种独立系统的主机，可与多种用途的诊断床（台）或其它辅助装置相配套，既能从事于X射线常规检查技术，又能完成某些特殊造影的任务。

6. 为改善放射科的工作环境和强调X射线防护，近年来各厂都在努力研制包括透视、摄影、病人监视等全部过程的遥控、遥测系统，并通过电视进行录象，拍摄电影，达到图象储存、再现。

7. 由于控制系统电路的复杂程度日益增加，各种过载保护电路，时控、程控电路，相互联锁，交叉控制，除大量的电子组件外，所使用的控制继电器有的超过300个之多，故大型控制台都装有电路故障指示、预示或警报信号系统。

8. 治疗用X射线机生产由超软线治疗的管电压20KVp到深部治疗的最高管电压400KVp。但由于C_o-60治疗机电子加速器等高能射线疗法的发展，X射线治疗机发展速度较为缓慢，新产品也不多见。

诊断床（台）——泛指进行X射线检查的各种透视床、摄影床、摄影架及管球立柱等，为X射线机主要机械部件。其结构形式、简繁程度、工艺精度等，随着机械制造、金属加工工业的发展，也是经过

由低级向高级，由一般简易手动、随动结构，向多种体位、多种运动轨迹和自动操作发展的阶段。但由于这种诊断床（台）是以人体为运转对象，其结构的几何尺寸受到局限，故其特征性的结构变化不大。近代X射线机诊断床（台）结构发展状态主要是：

1. 根据现代临床X射线诊断的需要，出现了能观察人体多方向体位的胃肠检查床、多轨迹断层床。某些结构已由手动改为电动，由外平衡改为内平衡，出现某些自动化组件：如X射线电视和光学系统的配合下，点片暗盒、压迫器、细格滤线器的自动进退；电动缩光器、床面的电动移位、床身倾转角度的加大等。

2. 生产出一系列专科X射线检查的诊断床（台）：如泌尿床、血管造影床、乳腺检查台、手术摄影床、胃肠集体检查床，以及急诊、牙科、儿科等专用X射线检查床（台），并配合X射线电视进行遥控操作。

3. 摆脱受机房建筑高度限制的天、地轨联合结构，出现全落地式为主的综合诊断床（台），而X射线管或增强器的支持结构却采用各种内平衡天井式悬吊型机械装置，既减少了地面的占用面积，又给工作带来方便，特别是心血管造影插管时的方便。

70年代以来，由于电子计算机和信息技术的快速发展，1972年由英国工程师G. N. Hounsfield设计，英国EMI公司首次生产出用X射线束作横断层扫描、检测记录、再经电子计算机处理后显示图象的电子计算机横断层扫描装置，简称CT (Computer Tomo-graph)。这种以信息数字技术为主来显示那些对X射线吸收差值很小的人体组织中的真实图象的设备，由于它与传统的X射线成象手段有本质上的区别，并具有无可比拟的优越之处，故一开始引起世界医学界极大的关注。CT装置目前在性能和效率方面不断得到改进，应用范围不断扩大。这是在X射线诊断技术上的一次重要突破，重大的改革，使医用X射线机再也不是一种简单的机电产品，而是一个具有现代化多学科综合性技术的生物医学工程设备了。

第一章 X射线和医用X射线机概述

第一节 X射线的发现与发生

X射线是德国物理学家伦琴在研究阴极射线时发现的。伦琴作阴极射线试验时，是用一个嵌有两个板形金属电极的玻璃管（如图1-1）这两个电极一个叫阴极，另一个叫阳极。当在这两级板间加上几万伏的高电压，并对玻璃管进行抽气至管内气体达到一定稀薄程度时，从阴极发射出来的电子受阳极高电压的吸引，电子沿直线向前进行撞至玻璃壁上而产生阴极射线。后来在一次试验中，用一层黑色纸遮住玻璃管，当加上高压后，发现放在附近的涂有铂氰化钡的纸屏上出现一可见荧光。再进一步试验，发现这种光线能穿透过纸板、衣服、甚至页数很多的书本；同时，在用手掌置于玻璃管附近时，其手的骨骼影像便映在荧光屏上。但因当时没有弄清这种射线的性质，尚不能全面地、正确地解释它发生的原理。故以数学中的未知数“X”来命名。后来，有的人为纪念发现者，又称这种射线为伦琴射线。

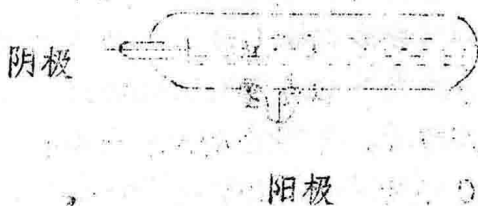


图1-1

科学实验总是不断发展的。经过数十年的研究、实践，对X射线有了一定的认识，证明它是一种电磁波放射，是物质在一定条件下的放射作用所产生的。它具有微粒放射与电磁波放射的双重性质。它的波长比可见光线的波长短得多，它的光子能量比可见光的光子能量大几万乃至几十万倍。

世界上一切物质都是由分子所组成；分子是物质中保持原有的一切化学性质的最小的粒子。如将分子再行剖开，则是由更小的粒子原子所组成。原子和分子在物质中不停的运动是物质发生变化的基本因素。一定种类的原子，具有相同的化学性质的，称为“元素”。

一个分子可由一种元素或几种元素组成。

在原子结构中，有电子、质子、中子等这些基本颗粒；它们决定着各个元素的性质，也是物质的最基本的组成因素：

1. 电子 带有负电荷，彼此相斥，其相斥力与距离平方成反比。这些电子象太阳系中的行星一样，在一定的轨道上围绕着原子核进行旋转，并有其质量，占有空间。

2. 质子 带有正电荷，彼此相斥，但与电子则相吸引。质子的质量比电子的质量约大1835倍，它也占有空间并集中于原子核内，核象太阳系的太阳一样。

3. 中子 不带电性或者说它的负电量与正电量完全相等，是一种中性粒子，也占有空间，与质子的质量几乎相等（ 1.66×10^{-27} 克）也集中于原子核内。

元素的性质，完全由于电子、质子、中子的数目与安排的不同而异。一个原子的核（氢除外）是由一个或更多的质子和中子所组成，而外围轨道的电子则由于受原子核的吸引，只能在轨道上旋转而不离开轨道，只有外力才可能破坏原子的这种稳定的运动状态而使电子脱离轨道，或从一层轨道移向另一层轨道；但这种现象是暂时的，这些原子很快又会恢复原状。这些在核外围沿轨道不断运行的电子，在放射线中是很重要的。在物理学中原子核外围的电子数目称该物质原子的原子序数，而原子核中的质子、中子之总数称该物质原子的原子质量（简称原子量）。

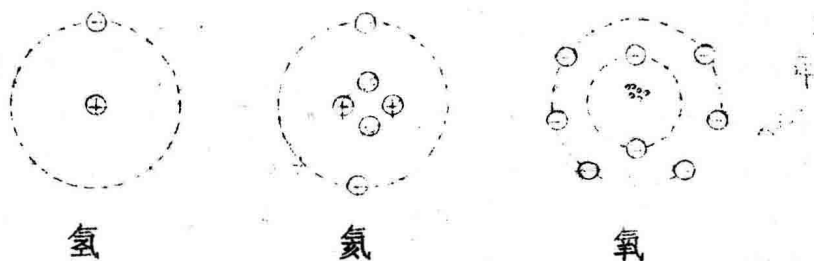


图 1-2