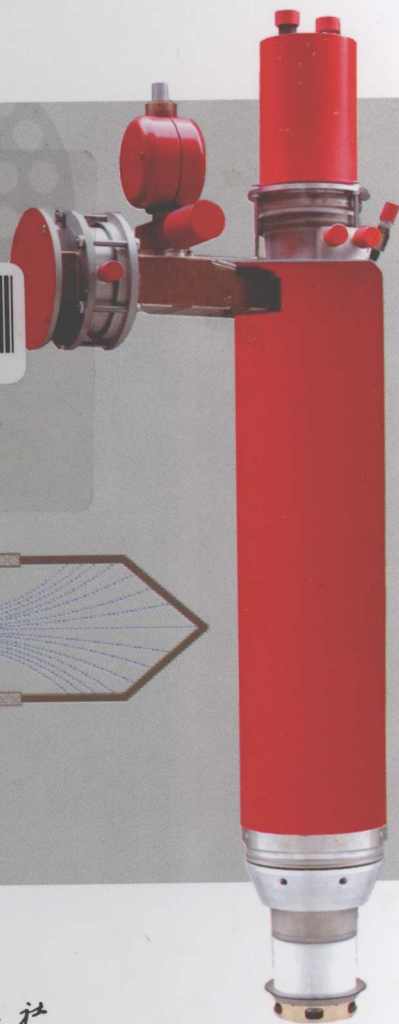
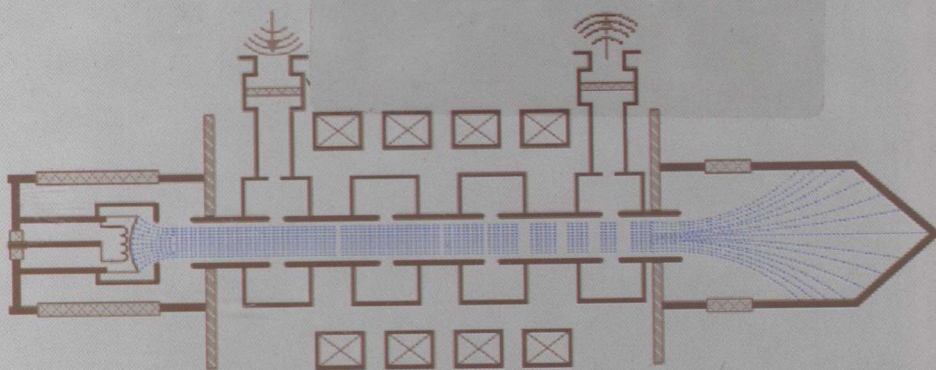


大功率速调管的设计 制造和应用

Design, Manufacture and Application of
High Power Klystron

丁耀根◎著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内容简介

大功率速调管的设计 制造和应用

Design, Manufacture and Application of
High Power Klystron

丁耀根 著



YZLI 0890092159

国防工业出版社

发行所: (010) 68411324 · 北京 · (010) 68432384
地址: (010) 68432453

内 容 简 介

大功率速调管是一种高功率微波真空电子器件,作为高功率微波电子系统发射机的末级功率放大器,广泛应用于雷达、通信、电视广播、电子对抗、粒子加速器、等离子体加热装置等领域,是军用和民用微波电子系统的关键电子器件。本书吸取国内外相关单位在研制大功率速调管方面取得的研究进展,对速调管的总体和关键部件的设计、速调管结构和制备工艺、速调管测试和使用等方面作比较系统的论述。

本书适用于从事大功率速调管研究、开发和生产以及大功率微波电子系统的研制和使用、真空电子学领域的科研和教学人员以及相关专业的研究生。对从事其他类型大功率微波真空电子器件、粒子加速器和等离子体加热装置研究和应用的相关人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

大功率速调管的设计制造和应用 / 丁耀根著.

北京:国防工业出版社,2010.12

ISBN 978-7-118-07212-9

I. ①大… II. ①丁… III. ①大功率-速调管
IV. ①TN122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 237304 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 31½ 字数 571 千字

2010 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 98.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

大功率速调管是一种基于速度调制原理将电子注能量转换成微波能量的微波真空电子器件。在大功率速调管中,由于电子注的产生和形成、电子注与微波场的相互作用,电子剩余能量的耗散和微波能量的输出是在相互分离的空间中进行的,而且其高频互作用系统是分离的谐振腔,因而它具有高功率、高增益、高效率和高稳定性等优点,是微波真空电子器件中脉冲功率和平均功率最高的器件。

速调管自 20 世纪 30 年代发明以来,已有 70 多年的历史。在实际应用的推动下,通过速调管理论和技术的发展,特别是近 30 多年来计算模拟技术的发展,大功率速调管在功率、效率、带宽和寿命等方面不断提高,在雷达、通信、电视广播、电子对抗、工业辐照和医疗加速器、高能粒子加速器、可控热核聚变等离子体加热装置和微波加热与处理系统等领域获得了广泛应用,成为最重要的微波真空电子器件之一。我国从 20 世纪 50 年代起,开始发展大功率速调管,经过 50 多年的发展,在速调管的理论、设计和计算,材料、工艺和技术,新型速调管的研发等方面取得了显著成绩,为我国军用和民用微波电子系统提供了多种新型器件。

作者所在单位中国科学院电子学研究所从 20 世纪 50 年代末起开始大功率速调管的研究和发展,是我国最早开展大功率速调管研究和发展的单位之一。50 多年来,结合我国国防、科学研究和国民经济的需求,发展了各种类型速调管 100 多种,获得了包括国家科技进步奖、国防科技奖和中国科学院科技进步奖在内的各种奖励 30 多项,为我国军用和民用大功率微波电子系统的发展作出了重要贡献,推动了我国大功率微波真空电子器件的发展。

在 20 世纪 70 年代,作者作为主要编写人员参加了《大功率速调管设计手册》部分章节的编写和全书的整理工作。该书比较系统地总结了从 60 年代至 70 年代我国在速调管的设计、制造和应用等方面取得的成果和经验,基本反映了当时国际上速调管的设计水平,该设计手册于 1979 年由国防工业出版社出版,成为我国大功率速调管方面的主要参考书之一。

作者在 2008 年出版的《大功率速调管的理论和计算模拟》一书中,全面总结了大功率速调管在理论和计算模拟方面取得的研究成果,以计算模拟为主要手段,系统地论述了大功率速调管中电子注的产生和形成、电子注与高频电场的相互作用,以及高频系统中微波的建立和传输等方面的物理机制和数学描述方

法,并结合典型的实例给出速调管整管性能和部件参数的计算模拟方法。

本书在《大功率速调管的理论和计算模拟》和《大功率速调管设计手册》的基础上,比较全面地总结作者和他的同事们40多年来在研制速调管方面取得的成果和实际经验,同时吸取国内外相关单位在研制速调管方面取得的成果,对大功率速调管的总体和关键部件的设计、速调管结构和制备工艺、速调管测试和使用等方面作比较系统的论述,期望为大功率速调管的设计、制造和使用,以及新型速调管的研发提供有一定价值的参考。

本书共分14章。第1章和第2章介绍速调管基本原理、技术特点、基本参数和主要性能,速调管的技术现状和发展趋势等;第3章介绍速调管的总体设计,并给出典型速调管的设计举例;第4章和第5章介绍阴极、电子枪和聚焦系统的设计和制备;第6章、第7章和第8章介绍谐振腔、输出电路和输出窗等高频部件的设计和制备;第9章介绍速调管的冷却系统的设计;第10章介绍速调管的结构和工艺;第11章介绍速调管的大功率测试;第12章介绍速调管中可能存在的振荡和不稳定性问题;第13章介绍速调管的故障模式、可靠性和寿命等问题;第14章给出几种典型速调管的图片和主要特性。

阴和俊研究员和吴一戎院士对本书撰写给与了热情的鼓励 and 大力支持,刘濮鲲、张兆传和王勇研究员等阅读了本书,顾孟平、刘铁山、殷岫龄、俞世吉、张永清、阴生毅、沈斌、丁海兵、王小霞和王国建等同志阅读了部分章节,他们对本书提出了许多宝贵的修改意见。谢家麟院士、刘盛纲院士、徐承和教授、张克潜教授、顾孟平研究员、廖复疆研究员等国内著名专家,多年来一直对作者的研究工作给予热情的指导、鼓励和帮助。在此,作者对他们的鼓励、支持和帮助表示衷心的感谢。

本书的出版也与作者一起工作多年,从事速调管研发工作的黄国祥、彭钧、赵永翔、陆孝厚、钮得录、吴尔生、朱允淑、刘铁山、符春玖和张世昌等研究员;从事阴极制备的廖显恒等研究员;从事大功率测试设备研发的刘雁云、殷岫龄等高级工程师;以及从事速调管制备工艺、测试等其他同事的帮助分不开。他们为我国大功率速调管的发展做了大量卓有成效的工作,是本书撰写和出版的重要基础。此外,作者还要感谢近年来与作者一起工作的沈斌、丁海兵、顾红红、王彩英、曹静、孙小欣、缪亦珍等年轻同志在实际工作中对我的帮助。沈斌和高冬平博士参加了本书编辑和参考文献的校对工作。本书的出版还得到国防工业出版社的余敬春副总编辑,肖志力编审和宋序一编辑的大力支持和帮助。在此,作者对他们的帮助一并表示由衷的感谢。

作者:丁耀根

中国科学院电子学研究所
E-mail:dingyg@mail.ie.ac.cn

目 录

第1章 绪论	1
1.1 基本工作原理	2
1.2 速调管的分类	5
1.3 速调管的技术现状和发展趋势	6
参考文献	18
第2章 速调管的特性和工作参数	21
2.1 速调管的性能指标	21
2.1.1 速调管的主要特性	21
2.1.2 速调管的副特性	23
2.2 速调管的工作方式	26
2.2.1 调制方式	26
2.2.2 聚焦方式	27
2.2.3 冷却方式	28
2.2.4 高频输入和输出方式	29
2.2.5 安装方式	29
2.3 速调管的工作参数	29
2.4 典型速调管的性能和工作参数	31
参考文献	33
第3章 速调管的总体设计	34
3.1 微波电子系统对速调管性能的要求和总体设计考虑	34
3.1.1 宽带雷达系统用宽带速调管(高脉冲功率应用场合)	35
3.1.2 宽带雷达系统用宽带速调管(中等脉冲功率应用场合)	36
3.1.3 窄带雷达系统用速调管	37
3.1.4 中能粒子加速器用速调管	38
3.1.5 高能粒子加速器用速调管(特高脉冲功率应用:正负电子对撞机,同步光源)	38
3.1.6 长脉冲和连续波微波电子系统用速调管	39
3.1.7 通信、广播系统和照射雷达用速调管(连续波应用)	40

3.1.8	导弹导引头雷达用速调管(脉冲应用)	41
3.2	影响速调管性能的主要因素	41
3.2.1	输出功率	41
3.2.2	效率	42
3.2.3	瞬时带宽	45
3.2.4	增益	48
3.3	速调管总体设计计算	49
3.3.1	电子注参数	49
3.3.2	电子枪和聚焦磁场参数	52
3.3.3	电子注群聚参数和谐振腔参数	54
3.3.4	速调管群聚段的设计计算	58
3.3.5	速调管输出段的设计	60
3.3.6	速调管的冷却设计	61
3.3.7	速调管环境适应性和可靠性的设计	61
3.4	宽带速调管的设计	61
3.4.1	电子注和谐振腔参数的选择	61
3.4.2	宽带群聚段的设计	66
3.4.3	宽带输出段的设计	68
3.4.4	典型宽带速调管实例	68
3.5	高效率速调管的设计	73
3.5.1	速调管的二次谐波群聚	74
3.5.2	典型高效率速调管	80
3.6	多注速调管的设计	82
3.6.1	影响多注速调管性能的主要因素	83
3.6.2	多注速调管的设计考虑	86
3.6.3	多注速调管的设计举例	90
	参考文献	102
第4章	阴极和热子	105
4.1	引言	105
4.2	阴极的发射和蒸散特性	106
4.3	氧化物阴极	108
4.4	浸渍阴极	111
4.4.1	浸渍阴极的发展历史	111
4.4.2	浸渍阴极的技术水平	113
4.4.3	影响浸渍阴极性能的因素	116

4.5	热子和热子组件	117
4.6	阴极在大功率速调管中的应用	121
4.6.1	阴极在大功率速调管中的应用情况	121
4.6.2	阴极发射不均匀性对电子注特性的影响	124
4.6.3	阴极使用需要注意的一些问题	124
	参考文献	126
第5章	电子枪和聚焦系统	129
5.1	引言	129
5.2	电子枪的调制方式	131
5.3	电子枪的耐压	133
5.3.1	真空中电极间的耐压	133
5.3.2	电子枪陶瓷绝缘段的耐压	137
5.3.3	电子枪的打火和损坏	143
5.3.4	电子枪耐压的计算模拟	145
5.4	电磁聚焦系统	146
5.5	均匀永磁聚焦系统	148
5.5.1	筒形永磁聚焦系统-1	148
5.5.2	筒形永磁聚焦系统-2	149
5.5.3	修正筒形永磁聚焦系统	150
5.5.4	马鞍形(yoke)永磁聚焦系统	152
5.5.5	永磁材料	152
5.6	周期反转永磁聚焦系统	154
5.7	周期永磁聚焦系统	156
	参考文献	161
第6章	谐振腔	163
6.1	引言	163
6.2	谐振腔的优化设计	164
6.2.1	谐振腔几何形状对特性阻抗的影响	164
6.2.2	漂移管头的形状和尺寸的选择	166
6.2.3	谐振腔特性的计算模拟	168
6.3	谐振腔与外电路的耦合	169
6.3.1	谐振腔与同轴线的耦合	169
6.3.2	同轴窗的设计	172
6.3.3	滤波器加载输入腔的设计	173
6.3.4	谐振腔与波导耦合的计算	173

6.3.5	谐振腔与波导的耦合方式	175
6.4	谐振腔特性的测量	176
6.4.1	谐振频率和品质因子的测量(中间谐振腔)	176
6.4.2	输入和输出谐振腔外观品质因子 Q_{ext} 的测量	177
6.4.3	谐振腔特性阻抗的测量	181
6.5	谐振腔的加载	184
6.5.1	谐振腔腔壁涂覆微波衰减材料	184
6.5.2	外接同轴负载	185
6.5.3	外加吸收谐振腔	186
6.6	谐振腔的调谐	188
6.6.1	电容调谐	189
6.6.2	电感调谐	190
6.6.3	复合调谐	191
6.6.4	调谐机构对输出腔外观品质因子 Q_{ext} 的影响	191
6.7	谐振腔的散热	191
6.7.1	输出腔的高频损耗	192
6.7.2	漂移管头散热的分析	193
6.7.3	漂移管头温度的测量	195
6.8	谐振腔的高频击穿	196
	参考文献	198
第7章 输出电路		200
7.1	引言	200
7.2	滤波器加载宽带输出电路	202
7.2.1	滤波器加载宽带输出电路的设计方法	203
7.2.2	滤波器型宽带输出电路间隙阻抗—频率特性的计算	208
7.2.3	滤波器型宽带输出电路的设计举例	208
7.3	重叠模双间隙耦合腔宽带输出电路	212
7.3.1	设计方法	212
7.3.2	设计举例	216
7.3.3	滤波器加载重叠模双间隙耦合腔输出电路的设计	218
7.4	滤波器加载双间隙耦合腔宽带输出电路	221
7.4.1	耦合方式	221
7.4.2	设计考虑和设计步骤	223
7.4.3	设计举例—1	225

7.4.4	设计举例-2	227
7.5	多模宽带输出电路	229
7.5.1	径向耦合多腔输出电路	229
7.5.2	双频谐振腔输出电路	231
7.6	高峰值功率速调管的输出电路	233
7.6.1	双间隙耦合腔输出电路	233
7.6.2	无耦合双腔输出电路	235
7.6.3	行波输出电路	236
7.7	输出电路阻抗—频率特性测量和调试	237
7.7.1	滤波器加载宽带输出电路的间隙阻抗—频率特性的测量原理	237
7.7.2	双间隙耦合腔输出电路的间隙阻抗—频率特性的测量原理	239
7.7.3	宽带输出电路阻抗—频率特性的测量和调试方法	242
7.7.4	采用矢量网络分析仪测量宽带输出电路的阻抗—频率特性	244
	参考文献	246
第8章	输出窗	249
8.1	引言	249
8.2	输出窗的设计计算	251
8.2.1	盒型输出窗的设计计算	251
8.2.2	半波长盒型窗(厚窗)的设计计算	256
8.2.3	矩形波导窗的设计计算	257
8.3	输出窗的材料	259
8.4	输出窗损坏和机理分析	262
8.4.1	窗表面污染引起的输出窗击穿	264
8.4.2	输出窗谐振模式引起的输出窗损坏	265
8.4.3	输出窗结构和工艺问题引起的输出窗损坏	266
8.5	二次电子倍增效应及其抑制	267
8.5.1	二次电子倍增效应	267
8.5.2	抑制窗片二次电子倍增的方法	269
8.6	输出窗的功率容量	272
8.6.1	峰值功率的限制	272
8.6.2	平均功率和连续波功率的限制	273
8.7	输出窗的高功率试验	274
8.7.1	行波谐振环的基本原理	274
8.7.2	采用谐振腔法进行输出窗高功率试验	277

8.7.3	输出窗高功率试验实例	279
8.8	提高输出窗功率容量的方法和新型输出窗	281
8.8.1	长盒型窗	281
8.8.2	TE_{01} 模行波输出窗	283
8.8.3	TE_{11} 模喇叭形输出窗	284
8.8.4	TWC(Traveling Wave in Ceramic)型窗	285
8.8.5	圆极化波盒型窗	286
8.8.6	复合模行波窗	287
8.8.7	TM_{01} 模输出窗	288
	参考文献	290
第9章	收集极和冷却系统	294
9.1	引言	294
9.2	计算流体与发热面间热交换的基本公式	296
9.3	风冷收集极的设计	300
9.4	水冷收集极的设计	304
9.5	蒸发冷却收集极的设计	311
9.5.1	蒸发冷却的基本原理	311
9.5.2	蒸发冷却收集极的设计计算	313
9.5.3	速调管蒸发冷却系统	316
9.6	速调管冷却系统	317
9.6.1	冷却液和水净化系统	317
9.6.2	速调管冷却表面和冷却回路的腐蚀和污垢	318
9.7	降压收集极	319
9.8	收集极绝缘陶瓷的微波泄漏	323
9.9	收集极冷却结构的计算模拟	324
	参考文献	326
第10章	速调管的结构和工艺	328
10.1	引言	328
10.2	电子枪结构和制备工艺	329
10.3	高频相互作用电路的结构设计和制备工艺	332
10.4	谐振腔和调谐机构的结构	335
10.4.1	调谐机构的结构	336
10.4.2	信道调谐机构	338
10.4.3	速调管的调谐步骤	339

10.5	输出窗的结构和制备工艺	340
10.6	钛泵和吸气剂	343
10.6.1	钛泵	343
10.6.2	吸气剂	346
10.7	微波衰减材料和涂覆工艺	347
10.8	速调管材料及其特性	348
10.8.1	常用金属材料及其物理特性	349
10.8.2	焊接材料	352
10.9	速调管烘烤和排气工艺	354
10.10	速调管的加工和制备工艺	358
10.10.1	速调管零件的设计和加工	358
10.10.2	速调管部件的装配和焊接工艺	361
10.10.3	阴极和热子的制备工艺	363
10.10.4	速调管总装配和烘烤排气工艺	365
10.10.5	纯铁的防腐工艺	366
10.11	真空卫生	366
	参考文献	368
第11章	速调管的测试、老练和使用	370
11.1	速调管测试系统	370
11.2	电源和调制器	371
11.2.1	线性调制器	371
11.2.2	刚管脉冲调制器	373
11.2.3	浮动板脉冲调制器和调制阳极脉冲调制器	374
11.2.4	固态开关调制器	376
11.2.5	高压直流电源	377
11.3	速调管直流特性的测试	378
11.3.1	低压发射特性的测量	378
11.3.2	冷高压老练	379
11.3.3	热高压老练和直流特性的测试	380
11.3.4	多注速调管高压老练和直流特性的测试	382
11.4	速调管高频特性的测试	384
11.4.1	输出功率、效率和增益特性的测试	384
11.4.2	相位噪声的测量	387
11.4.3	相位灵敏度的测试	388
11.4.4	微波包络和输出频谱特性的测量	390

11.5	微波大功率测量和大功率负载	391
11.6	负载失配对速调管性能的影响	395
11.6.1	负载失配对输出电路间隙阻抗的影响	397
11.6.2	负载失配对速调管效率的影响	398
11.7	速调管的使用	400
11.7.1	速调管的安装和连接	401
11.7.2	速调管工作参数和工作状态的设定	402
11.7.3	速调管的保护和加电程序	403
11.7.4	速调管的工作环境和贮存条件	405
11.7.5	典型速调管的说明书	405
11.8	X 射线辐射和微波泄漏的防护	409
11.8.1	X 射线辐射的防护	409
11.8.2	微波泄漏的防护	411
	参考文献	412
第 12 章 速调管的振荡和不稳定性		414
12.1	引言	414
12.2	电子枪区的二极管振荡	415
12.2.1	主要实验现象	415
12.2.2	振荡的机理分析	417
12.2.3	实验现象的分析	419
12.2.4	二极管振荡的计算机模拟	420
12.2.5	二极管振荡的抑制方法	421
12.3	宽带速调管中的谐振腔高次模振荡	422
12.3.1	主要物理现象	422
12.3.2	振荡原因的分析	424
12.3.3	消除振荡的途径	425
12.3.4	高次模式振荡对速调管输出频谱特性的影响	426
12.4	双间隙耦合腔宽带输出电路的振荡	427
12.4.1	π 模双间隙耦合腔的振荡问题	427
12.4.2	2π 模双间隙耦合腔中的振荡和杂谱	428
12.4.3	抑制振荡和降低杂谱电平的方法	430
12.5	漂移管振荡和相邻谐振腔耦合引起的振荡	435
12.5.1	漂移管振荡	436
12.5.2	相邻谐振腔耦合引起的振荡	437
12.6	二次电子和反射电子引起的杂谱和振荡	438

12.6.1	多注速调管中的杂谱	438
12.6.2	收集极电子返流引起的振荡	441
12.7	速调管的离子噪声和不稳定性	443
	参考文献	444
第 13 章	速调管的可靠性和寿命	446
13.1	速调管故障类型	446
13.2	速调管可靠性和寿命的评估	447
13.3	速调管的故障模式和寿命	449
13.4	速调管故障模式分析	455
13.5	速调管可靠性设计和试验	459
13.5.1	速调管稳定性	459
13.5.2	环境适应性的设计	460
13.5.3	可靠性试验	461
13.6	速调管的贮存故障	463
13.6.1	故障的描述	463
13.6.2	故障的分析和解决方法	464
	参考文献	465
第 14 章	典型速调管	467
14.1	高峰值功率速调管	467
14.2	连续波和高平均功率速调管	469
14.3	雷达用大功率速调管	471
14.4	多注速调管	474
14.5	通信广播用连续波速调管	476
14.6	电视广播用速调管	477
14.7	感应输出管	478
	参考文献	479

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Basic principle of klystron	2
1.2 Types of klystron	5
1.3 The state art and development of klystron	6
References	18
Chapter 2 Characteristics and parameters of klystron	21
2.1 The specifications of klystron	21
2.1.1 Main characteristics	21
2.1.2 Other characteristics	23
2.2 The operating manner	26
2.2.1 Modulation manner	26
2.2.2 Focusing manner	27
2.2.3 Cooling manner	28
2.2.4 RF input and output manner	29
2.2.5 Assembling manner	29
2.3 Operating parameters	29
2.4 Specifications and parameters of typical klystrons	31
References	33
Chapter 3 General design of klystron	34
3.1 The requirement of klystron specifications for microwave electron system and general design considerations of klystron	34
3.1.1 Broadband klystrons for wide band radar system with high peak power	35
3.1.2 Broadband klystrons for wide band radar system with mediate peak power	36
3.1.3 Klystrons for narrow band radar system	37
3.1.4 Klystrons for particle accelerator with mediate energy	38
3.1.5 Klystrons for particle accelerator with high energy (Very high	

111 peak power application: $e^+ - e^-$ Collider, synchro-accelerators) ...	38
111	3. 1. 6 Klystron for long pulse and CW applications	39
111	3. 1. 7 Klystron for communication, broadcast and irradiation illuminator	
111 radar system (CW application)	40
111	3. 1. 8 Klystron for missile radar system (pulse application)	41
151	3. 2 Main factors affecting the specifications of klystron	41
151	3. 2. 1 Output power	41
	3. 2. 2 Efficiency	42
151	3. 2. 3 Instantaneous bandwidth	45
151	3. 2. 4 Gain	48
151	3. 3 Calculation of general design of klystron	49
151	3. 3. 1 Electron beam parameters	49
151	3. 3. 2 Parameters of electron gun and focusing magnetic field	52
151	3. 3. 3 Parameters for electron bunching and cavities	54
151	3. 3. 4 Design and calculation of klystron buncher	58
151	3. 3. 5 Design of klystron output section	60
151	3. 3. 6 Design of cooling system	61
151	3. 3. 7 Design of environment adaptability and reliability of klystron	61
151	3. 4 Design of broadband klystron	61
151	3. 4. 1 Choice of the parameters of electron beam and cavities	61
151	3. 4. 2 Design of broadband buncher	66
151	3. 4. 3 Design of broadband output section	68
151	3. 4. 4 Examples of typical broadband klystron	68
151	3. 5 Design of high efficiency klystron	73
151	3. 5. 1 Second harmonic bunching of klystron	74
151	3. 5. 2 Typical high efficiency klystrons	80
151	3. 6 Design of multi-beam klystron	82
151	3. 6. 1 Main factors affecting the performance of multi-beam klystron ...	83
151	3. 6. 2 Design consideration of multi-beam klystron	86
151	3. 6. 3 Design examples of multi-beam klystron	90
151	References	102
	Chapter 4 Cathode and heater	105
151	4. 1 Introduction	105
151	4. 2 Emission and evaporation characteristics of cathode	106
151	4. 3 Oxide cathode	108

8E	4.4	Impregnated cathode	111
9E	4.4.1	History of Impregnated cathode	111
	4.4.2	The state art of Impregnated cathode	113
0A	4.4.3	The factors affecting the characteristics of Impregnated cathode	116
1A	4.5	Heater and heater module	117
1A	4.6	The applications of cathode on high power klystron	121
1A	4.6.1	The application situation of cathode on high power klystron	121
5A	4.6.2	The influence of emission inhomogeneity of cathode on	
7A		characteristics of electron beam	124
8A	4.6.3	Notice items of cathode application	124
9A	References		126
	Chapter 5	Electron gun and focusing system	129
5E	5.1	Introduction	129
6E	5.2	Modulating manner of electron gun	131
8E	5.3	Voltage-withstand of electron gun	133
0D	5.3.1	Voltage-withstand of among electrodes in vacuum	133
1D	5.3.2	Voltage-withstand of ceramic insulator of electron gun	137
1D	5.3.3	Breakdown and destroy of electron gun	143
1D	5.3.4	Calculation and simulation of voltage-withstand of electron gun	145
1D	5.4	Electro-magnetic focusing system	146
0D	5.5	Permanent magnetic focusing system	148
8D	5.5.1	Barrel permanent magnetic focusing system - 1	148
8D	5.5.2	Barrel permanent magnetic focusing system - 2	149
5E	5.5.3	Modification barrel permanent magnetic focusing system	150
4E	5.5.4	Yoke permanent magnetic focusing system	152
0E	5.5.5	Permanent magnet material	152
5E	5.6	Periodic reverse permanent magnetic focusing system	154
6E	5.7	Periodic permanent magnetic focusing system	156
0E	References		161
	Chapter 6	Cavity	163
5D1	6.1	Introduction	163
7D1	6.2	Optimum design of cavity	164
7D1	6.2.1	Influence of shape of cavity on characteristics impedance	164
0D1	6.2.2	Choice of the shape and size of drift tube head	166
8D1	6.2.3	Calculation and simulation of characteristics impedance of cavity	168