

編 号: (76) 004

內 部

出国参观考察报告

美国若干自然科学情况介绍

科学技术文献出版社

出国参观考察报告

美国若干自然科学情况介绍

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

开本787×1092· $\frac{1}{16}$ 13印张 332千字

统一书号：13176·7 定价：1.10元

1977年4月出版

毛主席语录

搞社会主义，不知道资产阶级在那里，就在共产党内，党内走资本主义道路的当权派。走资派还在走。

千万不要忘记阶级和阶级斗争。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业、干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

美国若干自然科学情况介绍

中国科学技术代表团

前 言

中华人民共和国科学技术协会代表团一行十四人应美国“与中华人民共和国学术交流委员会”的邀请于一九七五年九月二十五日至十月二十六日访问了美国。在美逗留三十一天，参观访问了华盛顿、普林斯顿、纽约、波士顿、橡树岭、圣地亚哥、洛杉矶、旧金山等九个城市和地区的十五所高等学校，二十一个研究机构，四个公司的实验室，一个油田和气田共四十二个单位。另外还参观了天文馆、科学馆和水族馆。

现将代表团所了解到的有关受控热核聚变、海洋科学、环境科学、天体物理、空气动力学和石油勘探等六个专业的研究现状和发展趋势分别整理成几个专题报告，供有关同志参考。

由于所考察的机构、时间和范围不同，各学科了解的情况也不尽一致。报告难免有不足之处，欢迎读者批评指正。

N 1772
K 252

目 录

前 言

第一章 受控热核聚变研究	(1)
一、概况.....	(1)
二、托卡马克型装置.....	(4)
三、磁镜实验.....	(18)
四、角向收缩.....	(22)
五、聚变堆的设计.....	(22)
六、超导磁体.....	(26)
七、理论研究.....	(27)
第二章 海洋科学	(31)
一、海洋调查研究机构的基本情况.....	(31)
二、海洋生物学.....	(38)
三、海洋化学.....	(51)
四、海洋地质、地球物理学.....	(62)
五、几点体会.....	(95)
第三章 环境科学	(97)
一、概况.....	(97)
二、全国性重点研究工作.....	(103)
三、全国性环境背景值的研究和监测工作.....	(110)
四、有关能源方面的环境工作.....	(117)
五、海洋环境有关的研究.....	(120)
六、新技术的应用.....	(123)
七、大学的环境工作.....	(124)
第四章 天体物理学	(127)
一、太阳物理学.....	(127)
二、日地关系及天文应用.....	(134)
三、行星物理学.....	(137)
四、恒星物理学.....	(141)
第五章 空气动力学	(157)
一、主要设备和简要情况.....	(157)
二、专题介绍.....	(163)
三、综合小结.....	(173)
第六章 石油勘探及开发	(177)
一、石油和天然气资源的现状及发展潜力的估计.....	(177)
二、用板块构造的基本理论来解释各种地质构造现象及认识成矿规律.....	(183)
三、采油技术方面的某些发展动向.....	(185)

第一章 受控热核聚变研究

这次代表团参观了十个等离子体物理学和受控热核聚变的研究单位，其中五个单位有较大的实验装置，并有进一步的发展计划。它们是普林斯顿 (Princeton) 大学等离子体物理研究所、橡树岭 (Oak Ridge National Laboratory) 国家实验室热核聚变部、通用原子公司 (General Atomic Company) 热核聚变研究部、劳伦斯利弗莫尔 (Lawrence Livermore Laboratory) 实验室热核聚变部和麻省理工学院强磁场研究室。这五个单位是美国受控热核聚变的研究中心。尚有洛斯阿拉莫斯 (Los Alamos) 科学实验室热核聚变部也是受控热核聚变研究中心之一，这次没有安排参观。

美国在近几年内在磁约束方面，致力于性能较优的托卡马克装置的发展。他们各个单位根据各自的特点和技术基础，建造了不同类型的托卡马克。这次我们参观的实验装置也以托卡马克类型居多，其次是磁镜和角向收缩。我们也看到一些小型的激光设备。利弗莫尔有较完备的激光设备，这次没有参观。现在我们将参观中了解到的实验室概况、托卡马克型装置、磁镜装置、角向收缩、聚变堆的设计、超导技术、理论研究七个方面分述于后，供参考。

一、概 况

普林斯顿大学等离子体物理研究所

该所在1951年仅有研究人员10人，现有工作人员700人，其中200人是物理和工程方面的人员，其余是车间和机房中的人员。该所近年经费增长情况见表 I—1 所示。

表 I—1

1973	1974	1975	1976
700	1400	2100	3000

注：单位一万美元。

目前，他们还在绝热环形压缩装置ATC (Adiabatic Torus Compression) 和FM-I这两个装置上做实验。在ATC上除了应用中性束次级加热外，也试用低频混杂波加热。他们认为，加热不再是一个严重问题，问题在于那一种加热方法更有效。FM-I是一个普通托卡马克型装置，装有一个超导漂浮环，用来研究一些基本问题。这两个装置上的实验在1976年四月份以前结束。当前，他们正在完成普林斯顿大环PLT (Princeton Large Torus) 的建造，1975年年底即可在这装置上进行实验。PLT的实验目的是为了验证定标关系，并

探求新的损失机制。另一个装置PDX (Poloidal Divertor Experiment) 的设计已经完成。这个装置的规模与PLT差不多, 其实验目的是用偏滤器控制杂质, 寻求最佳的位形, 更严格地验证定标定律, 并对实验反应堆提出较精确的大小要求。下一个大装置是TFTR (Thermonuclear Fusion Test Reactor), 其中将用氖为靶等离子体, 而注入中性氖束, 故又称两成份环TCT (Two-Component Torus)。这个装置将成为一个初步的聚变堆, 预计将在五年内建成, 经费需2—2.5亿美元。他们的远期计划是1985年建实验功率堆EPR (Experiment Power Reactor), 1995年建原型堆。

(一) 橡树岭国家实验室热核聚变部

该室创建于1943年。当时的研究项目是化学、铀的分离和裂变堆的建造。现在该室已扩展到5000人, 分好几个部。在另一处的武器部是他们的主要部门。热核聚变部利用以前制铀的一些大建筑做实验场所。近几年内该部的进展情况可见1—2表知其大概。

表 1—2

年 度	经费 (一万美元)	人 员 数	占地面积 (平方呎)
1974	700	70	250,000
1975	1500	100	260,000
1976	2000	140—320	360,000

该部的环形装置有两个, 一个是托卡马克型的Ormak, 另一个是EBT (ELMO Bumpy Torus)。该室在研制中性束注入器方面有独特的思想和技术, 是美国研制离子源的重点单位之一。在Ormak上他们进行中性束注入加热, 很有成效。EBT是一个环形的磁镜装置, 目前它的参数仅略高于仿星器的参数, 但橡树岭的研究人员对它评价很高。他们认为, 如果发展EBT, 可以使之成为较好的反应器。该部在聚变堆设计方面的工作纳入EPR的计划中, 参加设计的人员有40人。

(二) 通用原子公司热核聚变研究部

该部现有工作人员180人, 以后将逐渐增加到800人。该部又分实验物理组、理论物理组、工程组和核工程组四个分组。这个研究部第一个提出非圆形截面等离子体位形, 用来改进托卡马克型装置的性能。他们建造了一系列等离子体截面为胎儿形的Doublet装置。目前正在进行实验的Doublet II A是早期Doublet的改进。它的位形用外部线圈控制。Doublet III正在建造中, 建造经费为6千万美元。后一个更大的装置Doublet IV已开始进行概念设计。他们的远期计划也纳入EPR的计划中。将来EPR究竟采用何种位形, 将决定于Doublet III和TFTR上的实验结果。

(三) 劳伦斯利弗莫尔实验室热核聚变部

该室共有5000人。热核聚变部的人员占百分之十, 其中有科学家60人, 工程师60人, 技术员120人。这实验室在磁约束方面主要有两个装置, 即2X II和垒球II。最近一、二年内, 他们作了两项大的改进, 一是采用高功率中性束加热提高装置中等离子体的参数; 二是决定改

变垒球 II 中产生等离子体的方法，利用激光打靶技术产生高密度的靶等离子体，然后用强流中性束加热。改装的 2X II 实验叫做 2X II B，改装的垒球 II 叫做垒球 II T。该部对于磁镜约束这个途径很有信心。他们认为磁镜装置的体积可以比托卡马克小，而获得的中子通量相等，从经济上看，也许更为可取。他们有计划建造一个大型磁镜装置 MX。热核聚变研究在劳伦斯利弗莫尔实验室的比重可从表 1—3 知其大概。

表 1—3

1976 年的 总 经 费	198.4 百万美元
受控热核聚变	16.4 百万美元
受控用计算机	2.5 百万美元
激光	29.3 百万美元
武器	108.3 百万美元
能源研究	11.0 百万美元
其它	

这个实验室有规模较大的激光设备，这次未参观。

(四) 麻省理工学院强磁场研究室

该室的研究工作有固态、等离子体、激光和磁体四个方面。关于等离子体和受控聚变方面的研究，他们有一个中型装置 Alcator (ALTO Campus Torus)，这是一个具有强磁场和强等离子体电流的托卡马克型装置。除这个装置外，还有一些小装置，其中 Rector 是一个长方截面的小型托卡马克，用来研究等离子体的平衡和稳定。该室有两台大飞轮发电机，为 Alcator 供电之用。一台的功率为 10 兆瓦，另一台的功率为 30 兆瓦。Alcator 的近期计划是继续增大磁场和等离子体电流，并采用低频混杂波加热。它的远期计划是建造更大的装置，并采用非圆截面位形。

此外，该室有不少 CO₂ 激光器供研究生使用。有一台称做激光螺线管 (Laser Solenoid)，其上用 CO₂ 激光聚焦于毕特 (Bitter) 线圈中的气体。以产生等离子体，另有一台激光器系统，其上用 CO₂ 激光激发 CH₃F 使产生波长为 496 微米的激光。

(五) 其它单位

马利兰 (Maryland) 大学物理系在等离子体物理和受控热核聚变研究方面有四个主要装置，即研究非中性等离子体用的热电子磁镜装置，产生热核离子温度的角向收缩，Q-装置 (未参观) 和正在安装的一个中型角向收缩装置。此外他们还有一个环形长方截面的角向收缩和其它十个以上的较小实验配合主要装置进行研究。

布鲁克海文国家实验室 (Brookhaven National Laboratory)，除了加速器方面的研究外，也进行聚变堆的参考设计，并掌握着负离子源和超导方面的技术。

圣地谷 (San Diego) 加州大学物理系正在试验一台红外等离子体诊断仪，准备在 PLT 上使用。

加州理工学院物理系正在安装一台小型托卡马克，它的磁场线圈都用电缆绕成。

纽约工业大学物理系有一些激光设备和电子回旋共振加热的设备。

二、托卡马克型装置

自从1969年英国卡拉姆(Calham)实验室激光测试小组到苏联进行测量,证实了TM—3上曾经发表的实验结果,世界上各个受控热核聚变研究单位先后建立了十几个托卡马克型的实验装置。美国在二、三年内先后建成六个不同设计思想的装置,即ST (Symmetrical Tokamak), Ormak, Doublat II, Alcator, ATC 和 TTT (Texas Tokamak Torus)。ST装置是从1969年9月开始;共用了八个月的时间由普林斯顿的仿星器—C改装而成。现在这个装置已拆掉,原有场所已安装上PLT。半年后该ATC和FM—I也将拆掉,以备安装PDX。Doublet III和Alcator B即将次第建成。点火装置TCT正在设计中。以上这些托卡马克型装置的主要参数见表1—4,图1—1~1—9。

(一) 托卡马克装置中的三个问题

受控热核聚变研究的近期目标是要使离子温度 T_i 为5千电子伏以上的等离子体在氘氚反应中,其粒子密度 n 与能量约束时间 τ_E 的乘积达到 10^{14} 厘米 $^{-3}$ 秒。这就是点火条件或劳森(Lawson)判据。从现有托卡马克装置的参数来看,其中较好的是法国的TFR、苏联的T-4、

表

装置名称	地点	建成日期	主		
			R (厘米)	r (厘米)	B _z (千高斯)
ST	普林斯顿	1970	109	14	50
Ormak	橡树岭	1971	80	23	25
Doublet-II	海湾	1971	59	20/50*	10
ATC	普林斯顿	1972	90—36**	17—11	20—50
Alcator	麻省	1972	54	10	100
TTT	德克萨斯	1973	50	10	3.5
PLT	普林斯顿	1975	145	46	50
PDX	普林斯顿	1977	145	46	25
Doublet-III	海湾	1978	275	100/300	26
TCT	普林斯顿	1980	270	85	52

*表示非圆截面; **表示绝热

表 1—5

装 置 名 称	T_i (千电子伏)	n (厘米 ⁻³)	τ_E (毫秒)
T—4	1	5×10^{13}	20
TFR	1	5×10^{13}	20
Alcator	1.2	2×10^{14}	15
ATC	1.2	2×10^{14}	10

美国的ATC和Alcator(见表 1—5)。但它们的离子温度仅在 1 千电子伏左右, $n\tau_E$ 仅为 10^{12} 厘米⁻³秒的量级, 距劳森判据还差两个数量级, 距点火条件还远。为了达到点火条件, 并建造聚变堆, 必需解决等离子体约束、加热和杂质控制这三个重要问题。现在我们将美国在这三方面的研究情况分述如下。

1. 等离子体的约束

从现有的定标定律来看, τ_E 与等离子体半径的平方成正比, 与纵向磁场的四次方成正比。因此要提高约束性能, 增大 τ_E , 加大装置的尺寸或加强纵向磁场, 是必要的。另一方面, 提高等离子体温度到几个千电子伏, 等离子体将处于无碰撞区。这时可能出现新的不稳定性和新的损失机制。当等离子体尺寸增大时, 趋肤效应的存在也可能产生新的不稳定性。目前这

1—4

要 参 数					
I_p (千安)	T_e (千电子伏)	T_i (千电子伏)	n (厘米 ⁻³)	τ_E (毫秒)	备 注
120			5×10^{13}		
200	0.8	0.35	$3-5 \times 10^{13}$		
200					现已改成Doublet-II A
90—220	1.7	1.2	2×10^{14}	10	
200	1.8	1.2	2×10^{14}	15	
100					
1.0 (兆安)				100	
500		2—4	$4-8 \times 10^{13}$	100	
5 (兆安)		5	2×10^{14}	1000	
2.5 (兆安)		6	4×10^{13}		

压缩。

些问题还未能从理论上予以解决。建造更大的托卡马克，一方面可以验证已有的定标定律，另一方面可以探索新的损失机制，同时又可以推动理论工作进一步发展。将于1975年年底运转的PLT图1—10(1)和1—10(2)比ATC大三倍，其主要参数已见表1—4。

供PLT用的电源是1959年就开始运行的飞轮机组，共有三组，每组四台发动机。重96吨。输出功率共为200兆瓦，储能共为800兆焦耳。直流供电达5千安，脉冲供电可达22千安。并联使用时，可供电44千安，产生50千高斯的磁场。

PLT的真空室用不锈钢环叠合焊接，共分16节，并用陶瓷环密封。实验证明，用陶瓷环并不影响真空程度。真空室不用烘烤，采用连续放电清洗。真空室的孔栏可以调节，可在1/10秒内动作。调节的方法是将孔栏的一块装在伸入真空室的波纹管一端，改变波纹管内的气压，即可调节孔栏。孔栏是由奥地利进口的钨粉压成。孔栏由四个月牙形钨块组成。普林斯顿的研究人员曾对钨和钼作了比较。钨的熔点高。在放电实验中，未发现钨的谱线，可见用钨做孔栏，对真空是有利的，但其缺点是韧性较差。钼的熔点低。在放电中出现钼的谱线，这是对

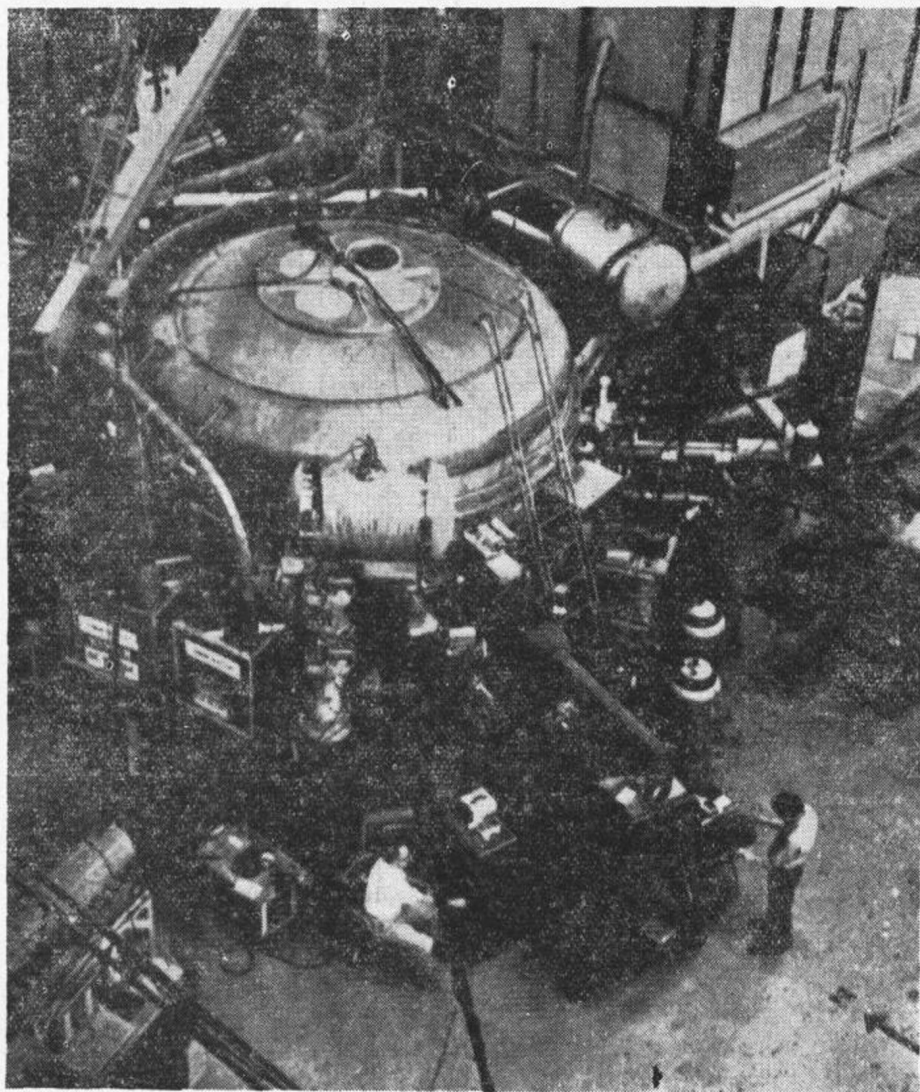


图1—1 ORMAK装置

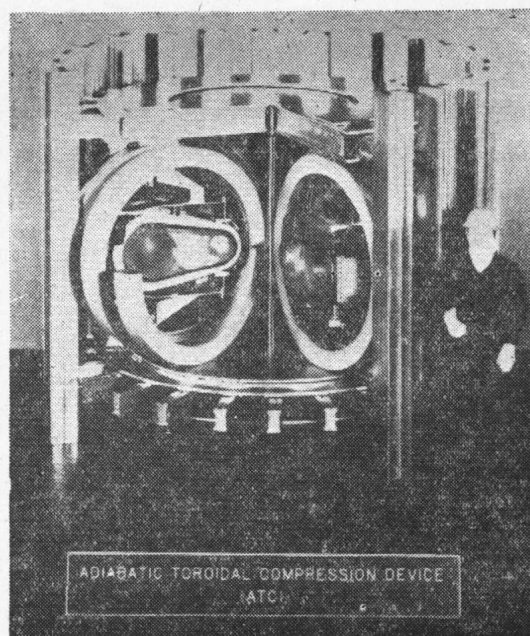


图 1—2 ATC模型

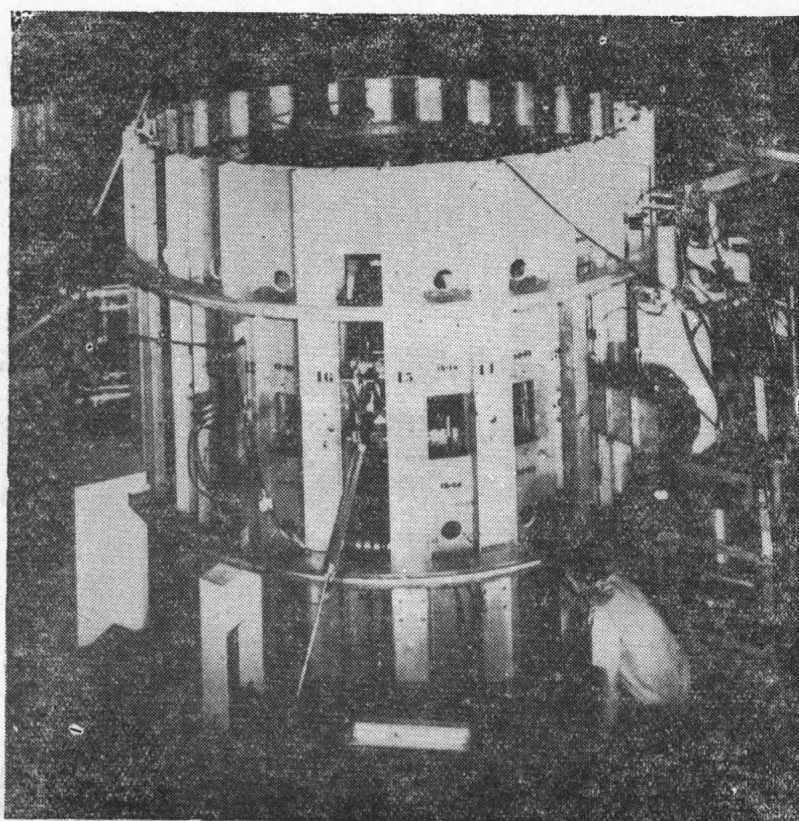


图 1—3 ATC装置

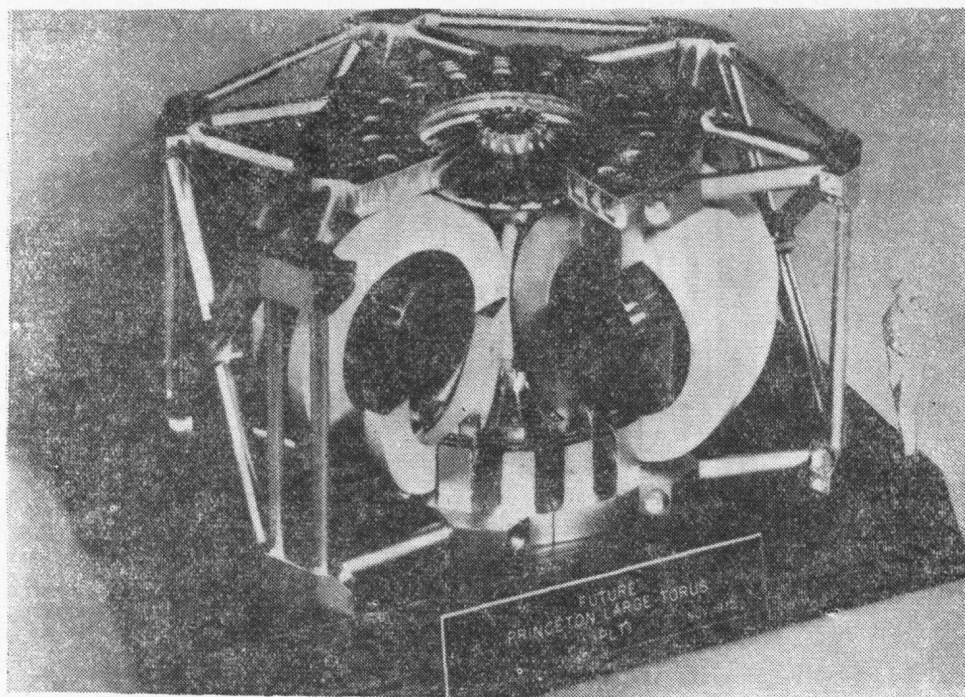


图 1—4 PLT模型

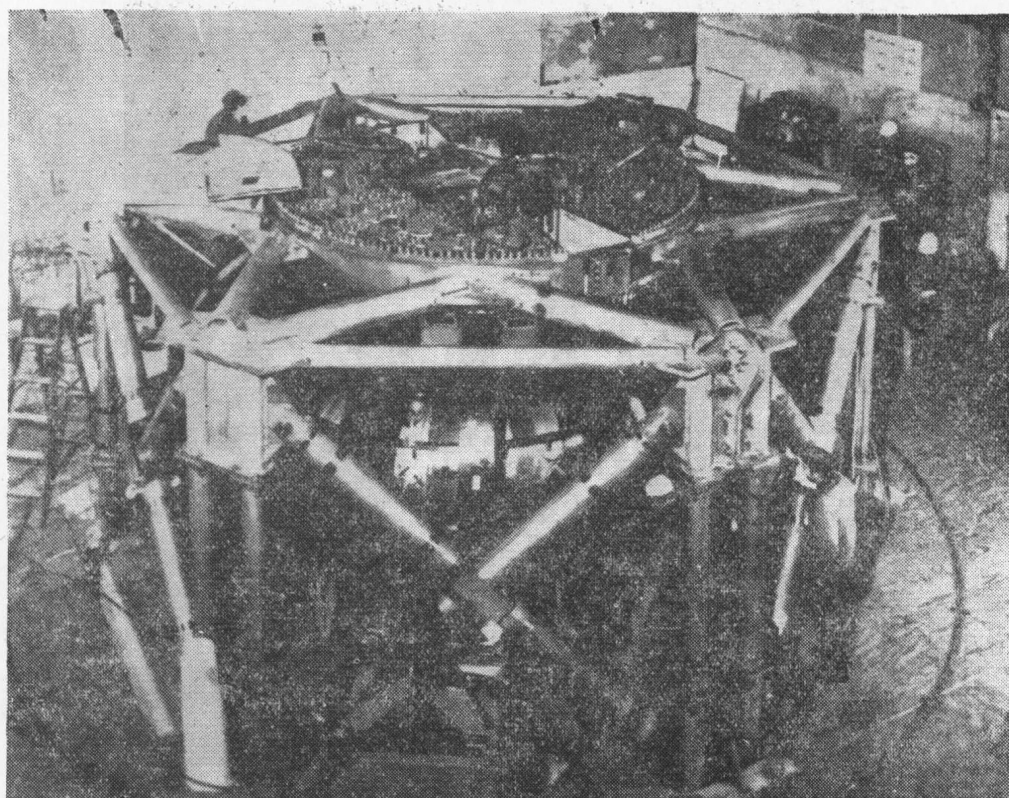


图 1—5 PLT装置

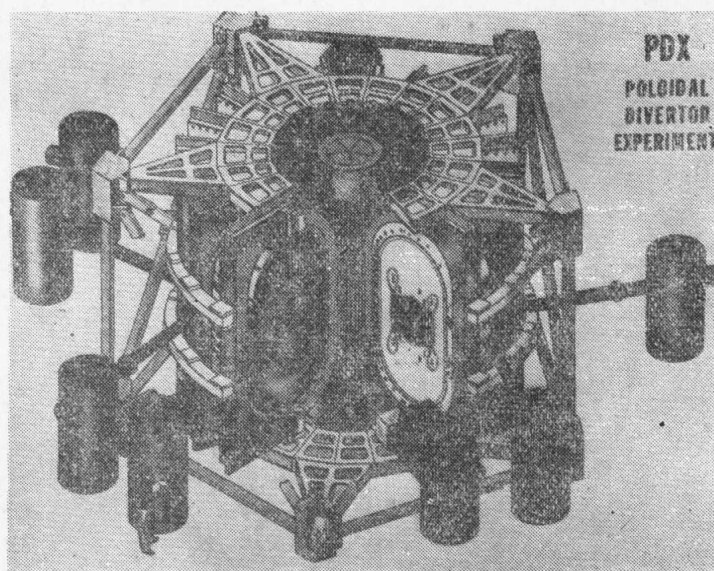


图 1—6 PDX模型

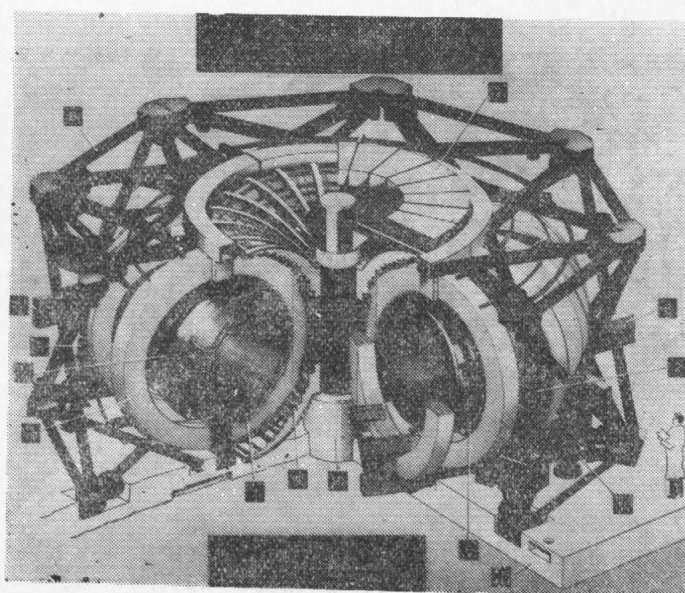


图 1—7 TCT模型

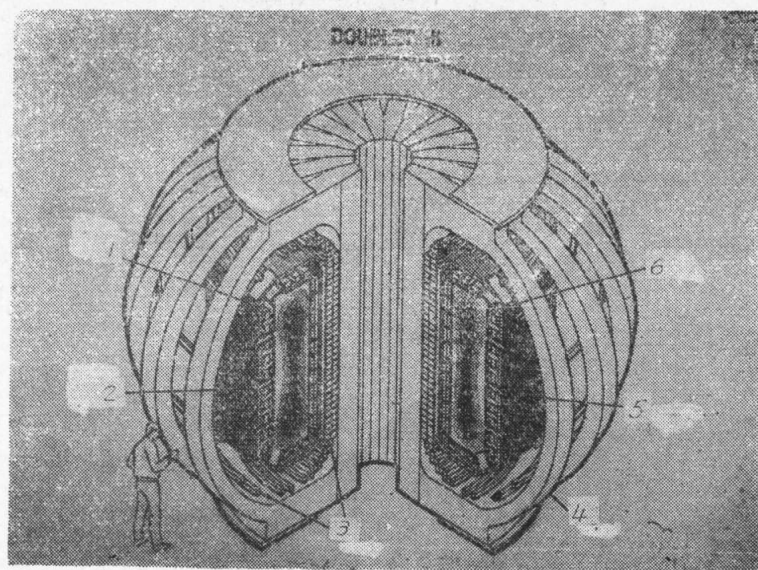


图1—8 Doublet III装置

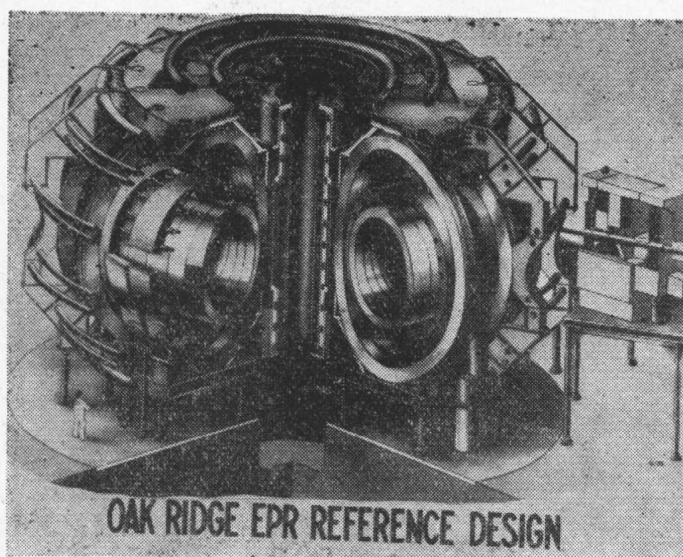


图1—9 EPR橡树岭国家实验室实验功率堆(Experimental Power Reactor)设计模型

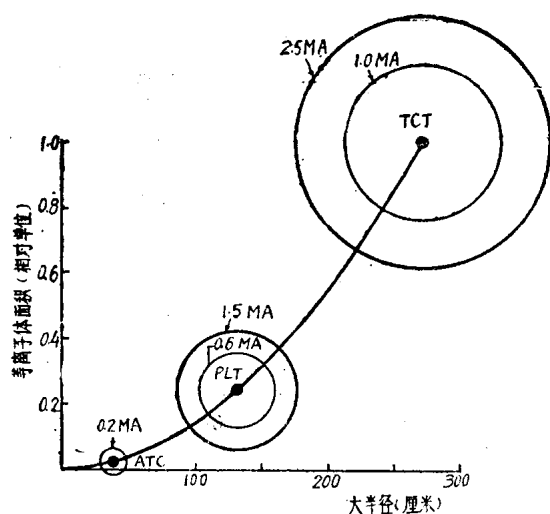


图 1—10(1)

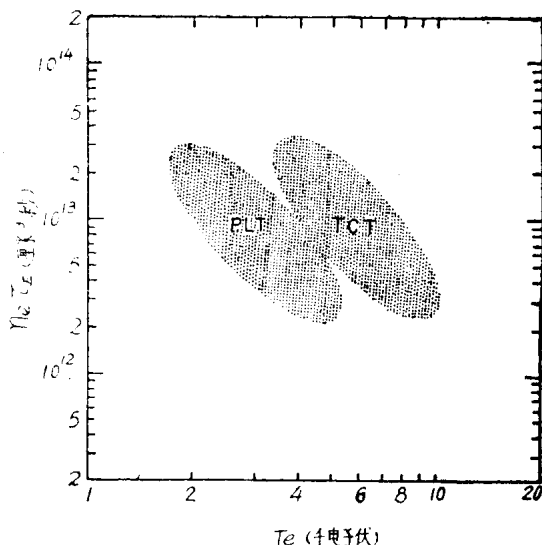


图 1—10(2)

真空不利的。PLT上的抽空系统是水银扩散泵。根据他们的经验，对于PLT那样的大装置，水银蒸气不会妨害真空。

另外在加州理工学院正在安装一台小型托卡马克装置，其参数为：大半径46厘米、小半径15厘米、纵场强度5—12千高斯。磁场绕组是用现成的电缆绕成。真空室是现成的工业用不锈钢管，壁厚0.5厘米，不用孔栏。空芯变压器绕组也是用电缆绕成。

2. 辅助加热

在托卡马克装置中用焦耳加热，只能把温度提高到3千电子伏左右，再提高就受到了限制，这是因为等离子体的电阻随温度升高而下降。为了使等离子体有可能加热到点火条件所需的温度，必须进行辅助加热。辅助加热的方法很多。目前在托卡马克上采用的方法有：中性束注入，高频电磁波、绝热压缩和湍流加热等。下面着重介绍两种效果较好的加热方法，即中性束注入加热和电磁波加热（即低频混杂波加热）。

(1) 中性注入加热：这种方法是用加速器把质子或氘离子加速到一定能量，然后使它们通过中性气体变为中性原子（即中性化）。经中性化的原子可不受磁场影响，进入等离子体，并在那里电离后为磁场捕获。

橡树岭国家实验室和劳伦斯贝克莱 (Lawrence Berkeley Laboratory) 室是美国研制中性注入器的两个重点单位。这两家采用不同类型的离子源，而各有其特点。橡树岭采用的是双潘宁放电源 (Duopigatron)。因为它是多孔的，也可称之为多孔离子源。它的特点是脉冲宽度长，现在已达到0.1秒的水平。功率可达100千瓦。缺点是电流较小（目前小于10安）。贝克莱采用的是多丝源或称为大面积源，目前所用灯丝多至20个。其特点是电流大，但脉冲宽度仅为0.01秒。功率可达1兆瓦。近几年贝克莱实验室离子源的发展如表1—6所示。

这些指标离目前的实际需要，还有一定的距离。各个托卡马克型装置对中性注入的要求见表1—7。

在ATC和Ormak上都进行了中性注入加热的实验。由于中性注入加热，ATC的离子温度提高了30—40%，相当于1千瓦的功率使温度增高1电子伏。现在将ATC的实验结果列于下表（表1—8）。

表 1—6

年 份	电 流 (安)	能量 (千电子伏)	脉冲宽度 (毫秒)
1974.9	2—50	20	10
1975.1	50	40	10
1975.9	50	60—80	10
1976.1	25	40—80	720

表 1—7

装 置 名 称	电 流 (安)	加速器电压 (千伏)	脉冲宽度 (秒)	注入功率 (兆瓦)	备 注	建 成 日 期
ATC	3—4	15	0.01	230千瓦		
Ormak	4—8	40	0.1	500千瓦		
PLT	100	40	0.3	4	8个注入器	1976
PDX	100	40	0.3	4	8个注入器	1977
Doublet-III	50	50	0.3—1.0	6—10	8—14	1978
TCT	70	120	0.5	20	12	1980
EPR-I		200		50	16	1985
EPR-II		300—400		100		

表 1—8

n_e (厘米 ⁻³)	T_e (千电子伏)	T_i (千电子伏)	加 热 条 件
2×10^{13}	0.85	0.2	压缩前
1.2×10^{14}	1.75	0.6	压缩后
3.7×10^{13}	0.80	0.4	压缩前中性注入
2×10^{14}	1.70	1.2	压缩后中性注入

从表 1—7 可见，随着装置的尺寸加大，所需的注入功率增高。对于两分量环，所需注入离子的能量很高（在100千电子伏外上）。

图 1—11表示，正离子的中性化效率随离子的能量升高而下降，而负离子的中性化效率比正离子的中性化效率为高。近年来橡树岭、贝克莱（Berkeley）、布鲁克海文等实验室都

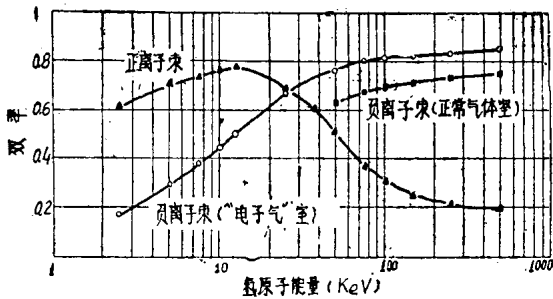


图 1—11

进行了负离子源的研制。布鲁克海文采用磁控管来做强流负离子源，其上有六个发射缝，可以产生1安的电。脉冲宽度为10毫秒，功率为150千瓦。今后他们准备将电流增大到几个安培，脉冲宽度增大到100毫秒以上，输出功率提高到1兆瓦。

产生强流负离子束的方法有两种。一种是使质子或氦核穿过气体靶时捕获电子而成负离子。另一种是用等离子体源来产