

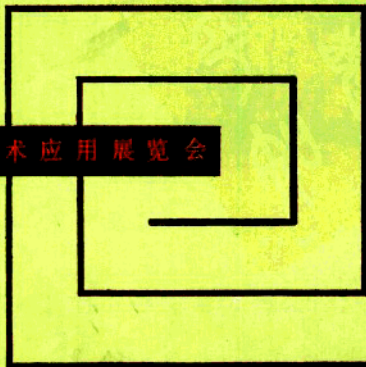
核技术成果选编



1983 · 北京



全国原子核科学技术应用展览会



内 容 提 要

本书以《全国原子核科学技术应用展览会》的参展项目为基础，选编了191项核技术成果。全书分四个部分：核技术在工业和科研上的应用（83篇），核技术在农业及消毒保鲜中的应用（40篇），核技术在医学上的应用（36篇），同位素及核检测仪表（42篇）。各篇自成体系，介绍了该项技术的原理、性能、指标、应用范围、应用效果和技术经济分析，文中附有照片和图表。本书对专业人员有一定参考价值，也将帮助一般读者开阔眼界、增长知识。

核 技 术 成 果 选 编

前 言

原子核科学技术是当代科学技术的重要组成部分。核能技术、同位素与射线技术在国民经济各领域和人民生活当中已经获得广泛的应用并取得明显的经济效益和社会效果，成为在世界各国迅速发展的一门新型技术。

在党的领导下，我国建成了世界少数国家才拥有的比较完整的核工业和核科研体系，核技术的应用取得了很大的成绩。当前我国原子能事业正按照：“在保证军用的前提下，把重点转移到为国民经济服务上来”的方针发展，这标志着我国的原子能事业已进入了新的发展阶段。在我国四化建设中，为解决能源和加快国民经济技术改造，核技术将有广阔的应用领域。

由于核技术长期以来主要为军事服务，人们对它的应用缺乏应有的了解。为了大力普及核知识，推广核技术应用，加强核技术的科研、生产、应用部门之间的联系，加快我国原子能和平应用的步伐，中国科协、国家科委、国防科工委、核工业部联合举办了首届“全国原子核科学技术应用展览会”。

《核技术成果选编》是以这个展览会为基础、收选了近几年来核技术成果而编就的，目的是为核技术交流提供一个园地，为寻求核技术应用的技术人员提供一个索引。这些资料是参展单位提供的，因此，它一方面体现了我国核技术研究、应用的繁荣景象，同时也必然是不完整的。一定会有不少优秀的有价值的成果没有编进去。又由于我们水平有限，经验不足和时间紧迫，这些成果又涉及了十分广泛的学科和专业，因此这本书一定会有很多缺点或错误，欢迎批评指正。

本书的编印得到科学普及出版社的大力支持，特此致谢！

需要说明的一点是本书各篇后的署名，有的是执笔者；有的是供稿人。

目 录

核技术在工业和科研上的应用

高通量工程试验反应堆及其应用.....	2
铀氢锆-脉冲反应堆	6
屏蔽试验反应堆及其应用.....	11
袖珍型中子源堆.....	13
四十五万千瓦(热功率)核热电站.....	16
低温核供热站.....	18
行波反馈电子直线加速器.....	21
工业辐照电子加速器和离子注入机及其应用.....	22
工业辐射加工用强流电子加速器.....	25
EF-300型中子发生器.....	26
便携式密封中子发生器及其在工农业生产中的应用.....	28
ZJ-10医用电子直线加速器	31
钴源辐照装置.....	33
220型高效通用 ^{60}Co - γ 射线辐照装置	34
放射生物学研究用 ^{60}Co 辐照装置.....	35
Cs- γ 射线蛋卵辐照装置	37
辐射聚合法制造聚丙烯酰胺干粉.....	38
丙烯酸酰胺辐射聚合研究与应用.....	39
γ -射线辐照接枝法制备离子交换纤维.....	42
γ -射线辐照接枝法合成阴、阳离子交换膜.....	43
NF系列优质均相离子交换膜的辐射化学制备及其应用.....	44
辐射接枝制备DISE扩散渗析膜.....	46
乙烯与三氟氯乙烯辐射共聚物(F30)	48
聚四氟乙烯辐射接枝丙烯酸离子交换膜的性能.....	50
辐射交联聚乙烯泡沫塑料.....	52
聚乙烯发泡片材的电子辐射交联.....	53
辐射高分子电池隔膜.....	55
辐射接枝的聚四氟乙烯及其在机床上的应用.....	57
辐射合成水凝胶软接触镜.....	58
辐射硫化医用硅橡胶制品.....	60
辐射法制备医用硅橡胶导管.....	62
辐射化学在生物医用高分子上的应用—辐射法制备亲水凝胶.....	63

辐射交联聚乙烯热收缩膜和热收缩管	65
亲水性聚丙烯毡隔膜	68
稳定性同位素 ^{15}N 及其标记化合物	69
光辉牌长周期发光粉	72
新型辐射固化R-1木器涂料	73
离子源	74
离子注入技术的应用	75
离子束刻蚀技术的应用	76
单晶硅中子嬗变掺杂——核反应堆应用新工艺	79
半导体工业中子嬗变掺杂技术	82
用离子注入工艺处理提高拉丝膜使用寿命	84
电子辐照在电力半导体器件制造中的应用	85
瞬发中子活化分析及其应用	87
堆中子活化分析的应用	88
中子活化分析法测定各种高纯材料中的痕量杂质元素	90
半导体材料、金属及合金中轻元素的分析	91
14MeV中子活化分析技术在岩石、矿物分析中的应用	92
中子照相技术的原理和应用	94
康普顿散射无损检测	95
穆斯堡尔谱仪及其应用	96
铯原子束时间频率基准	98
镭基准监测量热计	100
射线显影——核乳胶及固体径迹探测器	102
低水平放射性测量技术	103
低水平 $\beta(\alpha)$ 放射性绝对测量装置	106
^{14}C 年龄测定及其应用	107
穆斯堡尔效应及正电子湮没效应在冶金学中的应用	109
利用 $^7\text{B}(\alpha, n)^{10}\text{Li}$ 核反应,研究硼在材料中的行为	110
放射性同位素在黑色及有色冶金中的应用	112
冲天炉底焦高度同位素自动检测的试验研究	114
利用 ^{85}Kr 对高炉内煤气流运动的研究	116
利用放射性同位素 ^{45}Ca 研究硅铁中钙对铝镇静钢水口结瘤的影响	118
^{85}Kr 检漏设备	120
地下输油管线放射性示踪检漏	122
^{90}Sr -标记钉螺及其应用	122
^{131}I 测吸水剖面在油田开发工作中的应用	123
用放射性同位素 ^{131}I 和 ^{198}Au 示踪原子标记法研究与防治白蚁	125
利用“示踪原子”法研究盛钢桶内衬材料对钢质的影响	126
γ 射线焦炉三车联锁装置	127

同位素在管道爬行探伤仪上的应用.....	129
放射性同位素料位计在石油化工中的应用.....	130
γ 射线矿浆密度计在氧化铝生产中的应用.....	133
核技术在水利水电工程上的应用.....	135
核子含沙量计的应用.....	137
γ - γ 地密密度计的应用.....	138
寻找地下水源的 γ 微伦计及其应用.....	139
γ -探伤技术在220kV带电线路上的应用.....	141
同位素检测高速并条机自调匀整装置.....	142
抗菌素菌种的快中子辐射诱变.....	143
γ 射线辐照提高苕干酒的质量.....	145
氮化技术在材料研究方面的应用.....	146

核技术在农业及消毒保鲜中的应用

γ 辐照育成“鲁棉一号”、“原武02”和“山农辐63”新品种.....	150
牟糯一号新品种.....	152
水稻新品种——“原丰早”.....	153
早稻双科1号.....	154
豫原一号小麦.....	155
鄂麦6号小麦.....	156
南阳75-6小麦新品种.....	157
龙辐梁一号.....	158
蔬菜辐射育种.....	160
甘兰型油菜甘油五号的性状和栽培特点.....	162
甜椒辐射育种的研究.....	163
利用放射性同位素对苹果高接抗寒丰产技术的研究.....	165
^{14}C 标记法研究棉花乙烯利催熟生理作用.....	167
应用放射免疫分析法进行奶牛妊娠早期诊断的研究.....	169
快中子辐射在家蚕生产上的应用.....	170
^{60}Co - γ 射线辐射桑蚕卵的增产效应.....	171
小菜蛾辐射不育.....	172
利用示踪技术研究双季稻氮肥一次全层基施法.....	173
应用 ^{15}N 对尿素在土壤中移动、损失和利用的研究.....	174
放射性同位素示踪技术在农药残留研究中应用.....	176
放射性核素标记农药合成的研究.....	178
^{60}Co 辐照羊毛消毒.....	178
^{60}Co - γ 射线在辐射皮革防霉变上的应用.....	180
流通货币 γ 辐射消毒.....	182
档案图书 γ 辐射保藏.....	184

粮食辐射保藏.....	186
马铃薯、洋葱、大蒜辐射贮藏.....	188
辐射保藏鲜猪肉.....	189
香肠辐射保藏新工艺.....	191
酒糟、豆腐粉等辐射保藏.....	193

核技术在医学上的应用

现代医学的一个重要分支——核医学.....	196
^{60}Co 医疗源	201
AH-II型高剂量率 ^{60}Co 后装腔内治疗机	202
FYC-50H回转式 ^{60}Co 放射治疗机	204
LLH-803型后装腔内放射治疗装置.....	205
高比度医用 ^{113}Sn - $^{113\text{m}}\text{In}$ 同位素发生器.....	207
SWY-3型直读式甲状腺功能测定仪	210
FT-613型自动计算 ^{125}I 放射免疫测量仪	212
低本底全身计数室.....	214
环磷酸核苷放射免疫测定药盒.....	217
放射性 ^{32}P 治疗真性红细胞增多症	218
放射免疫分析技术在传染病诊断中的应用研究.....	220
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ —脂质体淋巴结显像	222
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ —硫化锑淋巴显影剂	223
用放射性同位素示踪法筛选中草药促进骨折愈合作用的方法.....	225
甲亢患者口服 ^{131}I 后染色体的畸变	226
用 ^{131}I 治疗甲状腺机能亢进症引起永久性甲状腺机能低下的分析.....	229
体外放射分析法对血吸虫病的诊断.....	231
人血浆皮质醇的放射免疫测定.....	232
苯妥英钠放射免疫分析法及应用.....	234
呋苄青霉素放射免疫测定.....	235
放射性同位素标记药物的合成示踪技术及代谢研究.....	237
辐照物中自由基检测.....	239
辐照加工物吸收剂量测定.....	240
钍的促排药物——811.....	242
放射性铯促排药物——S186	243
袖珍射线指示仪.....	244
阈值射线指示仪.....	245
YZ-1型放射性沾染测量仪	246
FJ-407型个人剂量检查仪	247
KCY-1型空气总氮采样器的研制.....	249
PP-K ₂ 型丙纶(超细)过滤材料.....	250

高效粒子空气过滤器.....	251
无纺布防护工作服.....	253
湘劳78-甲(乙)型防放射性气溶胶口罩.....	254
辐射消毒灭菌.....	255

同位素及核检测仪表

稳定同位素及其应用.....	258
放射性静电消除器.....	259
半导体探测器系列产品.....	260
FH-456型小型256道脉冲幅度分析器.....	261
KF-601氡钍仪.....	263
YF-1型轻便X荧光分析仪.....	264
FJ-391型同位素活度计.....	265
XYF-B型放射性同位素荧光分析仪.....	268
FJ-377型热释光剂量计.....	270
FT-620携带式环境X-γ照射率仪.....	272
FT-1型γ含沙量计.....	273
石油产品铅/硫分析仪.....	274
MZ-3/4型中子管.....	276
FZ-781型地面中子发生器.....	278
⁶ Li闪烁体探头插入式中子土壤水分仪.....	279
固定插入型中子水分计.....	280
放射性含水率-密度计.....	281
FXF-1903型矿浆密度计.....	282
JSHM-1型γ射线密度计.....	282
NNF-214型核辐射密度计.....	284
ZG-1型水分密度计.....	284
FD-8型γ射线密度计.....	285
NP-8型C/O能谱测井仪.....	286
FC-731型中子寿命测井仪.....	290
小口径钾盐能谱测井仪.....	292
放射性测井仪系列.....	292
JXY-1型X射线荧光测井仪 HYX-1型轻便X射线荧光仪.....	295
HHF-213型核辐射厚度计.....	296
X射线膜厚分布测量仪.....	297
空气等效法α测厚仪.....	298
ScS-35型β射线测厚仪.....	300
YF-4磁带磁层测厚仪.....	301
HAF-113型纸页定量连续测量仪.....	302

FB-80型γ射线管壁测厚仪.....	303
STH-1 型数字式低能γ射线测灰仪及其应用.....	304
FTH-1A型同位素灰分仪	305
WAR粉尘自动监测仪.....	306
LWJ-77型γ射线料位计	307
UFZ-101型核辐射物位指示仪	308
FGL-3 型γ射线料位计	309
UFK-201型核辐射物位控制器	310
重碱煅烧炉γ射线料位计	311

核技术在工业和科研上的应用

高通量工程试验反应堆及其应用

西南反应堆工程研究设计院

依靠我国自己的技术力量设计建造的高通量工程试验反应堆(HFETR)已于1979年12月27日达到了首次临界,1980年12月16日实现了功率运行。到1983年6月25日,该堆已安全地运行了6炉。

一、高通量工程试验反应堆简述

这座高通量工程试验反应堆是压壳型反应堆,它采用高浓铀多层厚壁套管型燃料元件,水作慢化剂和冷却剂,铍作反射层。堆的主要参数列于表1。

堆本体结构:压力壳高11830mm,上部内径3200mm,下部内径2150mm。封头上有4个450×600mm的椭圆操作孔。压壳中部侧壁有1个与保存水池相通的φ350mm的卸料斜孔道。堆芯部件由1个直径1400mm的导流围桶所环抱,通过栅板和支架座落在压壳底板上。一次水入口处设置有分配水箱,以免水流直接冲击辐照孔道。控制棒传动机构布置在压壳下部,以使压壳上部有较大的空间。

反应堆的主要参数

表1

堆 功 率	125 MW	额定功率堆芯装载	13kg ²³⁵ U
燃料内最大热中子通量	$6.2 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$	燃料内最大快中子通量 ($E_n > 0.625 \text{ eV}$)	$1.7 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$
燃料平均比功率	9.6 MW/kg 235v	堆芯平均功率密度	610 kW/l
K_{∞}	1.78	K_{eff}	1.226
运 行 期	30d	²³⁵ U平均燃耗	34%
燃料元件最大表面热负荷	$3.06 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$	燃料元件包壳最高表面温度	195°C
燃料元件内冷却剂流速	10 m/sec	反应堆入口压力	16.8 kg/cm ²

该反应堆的堆芯布置比较灵活。栅板有313个栅格孔,其中18个为控制棒所占用,燃料元件、铍块、铝块及非导管型的辐照罐可在堆芯灵活布置。125MW的堆芯装载见图2,各辐照孔道的通量水平见表2。实际启用的辐照孔道可多可少,不用的辐照孔道在装入堵塞块后,使恢复成一般的栅格孔。小样品可利用燃料元件、铍块及铝块的中心孔进行辐照,其通量水平见表3。

燃料元件由8层同心套管所组成。内、外层分别为内径12mm、厚1mm和外径63mm、厚1.5mm的305铝合金管。中间6层为燃料管,均为0.5mm厚的铀铝合金芯体,两侧包以0.5mm厚的305铝合金包壳。活性段长度为1000mm,²³⁵U浓度为90%,芯体合金中铀重

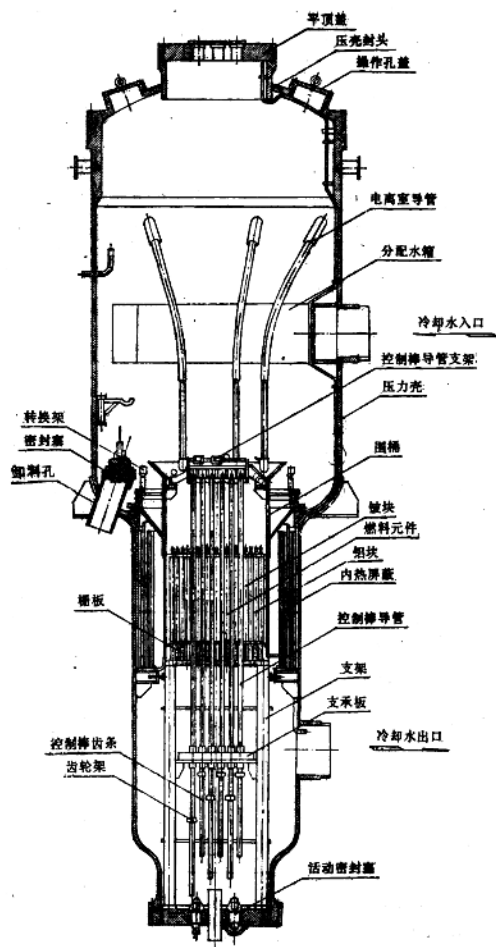


图1 堆本体结构

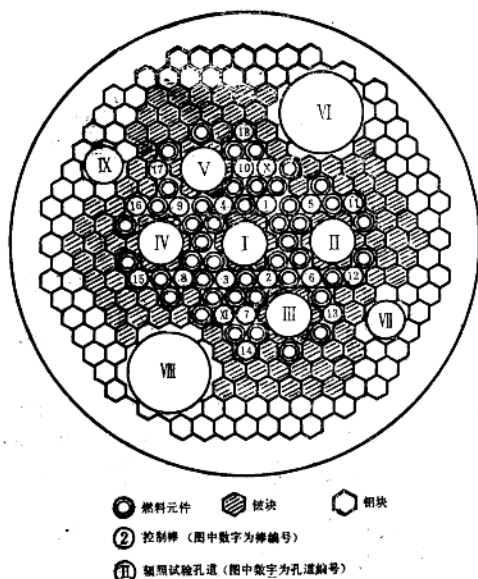


图 2 125MW的堆心装载

125MW装载下各孔道的通量水平

表2

孔道号	尺寸 (mm)	热中子通量 ($n/cm^2 \cdot sec$)	快中子通量 ($E_n > 0.625 eV$) ($n/cm^2 \cdot sec$)
I	$\Phi 150$	4.2×10^{14}	1.6×10^{15}
II、III、IV、V	$\Phi 150$	2.9×10^{14}	1.0×10^{15}
VI、VII	$\Phi 230$	1.2×10^{14}	0.32×10^{15}
VIII、IX	$\Phi 122$	1.2×10^{14}	0.25×10^{15}
X、XI	$\Phi 63$	3.1×10^{14}	1.2×10^{15}

量百分比为25.4%，每盒元件中 ^{235}U 含量为270克。燃料管及内套管的外壁均有互成 120° 的纵向肋条，以保证间隙为2mm的冷却水流道。

铍块是对边距62.5mm的正六角形柱体，铍柱长1100mm，中心有 $\Phi 20\text{mm}$ 的孔，中间插 $\Phi 17\text{mm}$ 的铍棒，形成了一个环形的冷却流道。

不同辐照位置的通量水平

表2

位 置	热 中 子 通 量	快 中 子 通 量
	($n/cm^2 \cdot sec$)	($E_n > 0.025 eV$) ($n/cm^2 \cdot sec$)
燃料元件中心孔	$3.0 \sim 4.5 \times 10^{14}$	$1.2 \sim 1.5 \times 10^{15}$
内铍反射层	4.5×10^{14}	0.3×10^{15}
外铍反射层	2.2×10^{14}	1.2×10^{14}
铝反射层	$0.5 \sim 1 \times 10^{14}$	$0.3 \sim 0.8 \times 10^{14}$

控制棒的吸收体为外径47mm、厚5mm的辐照银合金芯体，内外包以厚0.5mm的不锈钢包壳。吸收体下面带有跟随元件或跟随铍块。

堆的主冷系统采用5台离心式主循环泵和10台固定管板列管式主热交换器，组成5个并联单元。总流量为5600T/h。

二、高通量工程试验反应堆的应用

按照国家规定，高通量工程试验反应堆以动力堆燃料元件和材料的辐照研究为主，兼顾同位素生产等其他任务。

1. 燃料元件和堆材料的辐照研究 高通量工程试验堆的建成为我国发展核电站、开展燃料元件和堆材料的辐照研究提供了强有力的工具。本堆照射空间多，热中子通量和快中子通量水平高，因而可以加快辐照研究的步伐。堆内设置九条试验回路，将建成功率为500kW和2000kW的高压高温两条试验水回路。有配套的辐照技术实验室、热室、半热室、物理和放射化学实验室，可以开展燃料元件及堆材料在辐照过程中行为的研究和进行辐照后的无损检验、物理和机械性能的检验、金相研究，燃耗测定等工作。

2. 放射性同位素生产 高通量反应堆有利于生产高比度的放射性同位素。本堆能生产比度大于100ci/g的 ^{60}Co 和比度大于150mc/g的 ^{113}Sn 以及比度大于50mc/mm的 $Ba^{14}CO_3$ 等等，结束我国高比度放射性同位素长期依赖进口的局面。

3. 生产超铀元素 由于本堆堆芯元件区域的中子能谱较硬，中心设置水腔时，可得到热中子通量超过 $1 \times 10^{15} n/cm^2 sec$ 的辐照空间，有利于超铀元素的生产。

4. 开展中子活化分析 为了开展中子活化分析工作，将在本堆安设“跑兔”装置，气送样品时间为2~3sec，并配备Ge(Li) γ 谱仪和计算机等，使分析工作尽量自动化。

5. 进行单晶硅中子嬗变掺杂 本堆装设有单晶硅掺杂辐照装置，备有循环水冷却系统，自动旋转机构和自给能测通量仪表等。已进行了试照射和热处理。

吕光全

铀氢锆-脉冲反应堆

西南反应堆工程研究设计院

脉冲堆是由美国通用原子公司（简称GA）研究和发展起来，并为其垄断的一种有独特性能的，有前途和生命力的研究堆，简称为TRIGA堆，其发展趋势是：1.功率和通量

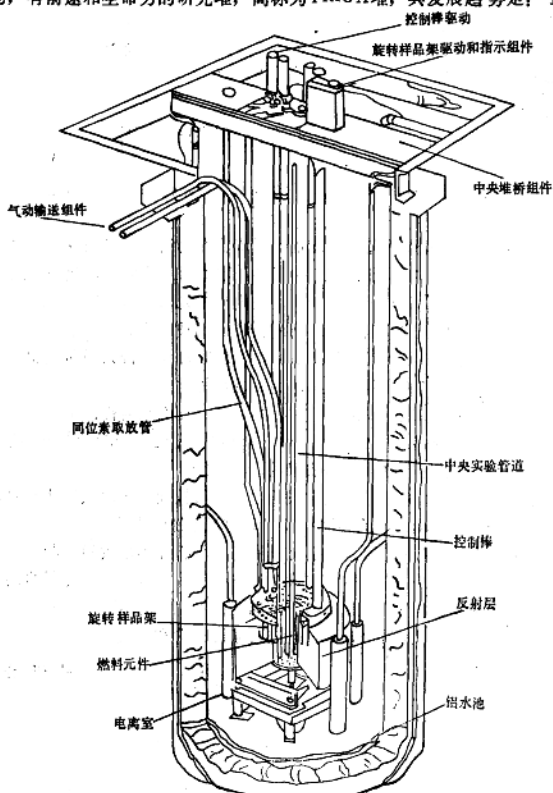


图 1 铀氢锆堆透视图

不断提高；2.脉冲运行能力不断增强；3.堆芯寿期不断延长；4.型号不断增加，用途不断扩大，造价不断降低。现在已在全世界二十多个国家和地区建造了六十多座，而且还在继续建造中。

为了填补我国空白，核工业部第一研究设计院正在建造自己设计的我国第一座脉冲堆。预计1985年建成，耗资约350~400万元。

一、我国设计的脉冲堆简介

1.堆结构 我国设计的脉冲堆相当于TRIGA-II型，其结构如图1、2、3所示。堆芯装在一个直径2米、深7米的铝制水池内，堆芯上方以5米水层作防护，水池四周浇灌有2.5米厚的混凝土防护层。该堆采用丰度20%，重量百分比8.5%的铀氢锆作燃料元件，并以石墨作反射层，轻水作载热剂，自然循环冷却。堆芯采用同心圆排列形式。

该堆的主要实验设施有：一个热柱，一个热化柱及辐照水池，三个径向束孔，一个切向束孔，三根垂直实验孔道。

2.堆主要参数

主 参 数 表

序 号	名 称	单 位	数 值	备 注
1	稳态额定功率	千 瓦	1000	
2	稳态加强功率	千 瓦	1500	
3	堆芯平均热中子通量	中子/厘米 ² ·秒	1.4×10^{12}	
4	堆芯平均快中子通量	中子/厘米 ² ·秒	2.4×10^{13}	
5	脉冲运行可引入最大反应性	元	3	
6	脉冲峰功率	兆 瓦	2800	
7	脉冲峰通量	中子/厘米 ² ·秒	6×10^{16}	
8	每次脉冲能量释放	兆瓦·秒	32	
9	瞬态周期	毫 秒	3	
10	脉冲半宽度	毫 秒	11	
11	脉冲间隔时间	分	5	估计值
12	堆芯装载量	公斤 ²³⁵ U	9.45	
13	堆芯寿期	兆瓦·天	150	

二、脉冲堆特点及工作原理

我们知道，一般反应堆只能稳态运行，其 β 倍周期一般不得小于10秒，更不允许反应性增长超过缓发中子份额，如果发生这种情况，就将达到“瞬发临界”，可能在一秒钟内使功率上升千百倍，就很危险。这些堆虽然也有一个负温度系数，可以抑制反应性的增长，但它是缓发的，并不能迅速降低堆功率。而脉冲堆却完全不一样，它可以迅速引入一个很大的正反应性（如：在0.1秒内引入3元反应性），使堆功率迅速上升几千倍（如：1兆瓦的堆可上升到2800兆瓦，瞬态周期可达3毫秒），而没有任何危险，即可以安全地脉冲运行。这就是它的最大特点。由于这一特点而使堆的功能和用途大大地扩展了，可以从事一般反应堆不能进行的工作。

该堆可以脉冲运行的根本原因就是采用了特殊的铀钚铈燃料元件，因而产生了一个很大的瞬发负温度系数（约 $1.1 \times 10^{-4} \Delta k/k^{\circ}C$ ，比一般游泳池堆大一个数量级）。这里关键的一点是瞬发。为什么是瞬发呢？就是因为该元件的燃料和减速剂（氢化铈）是均匀混合

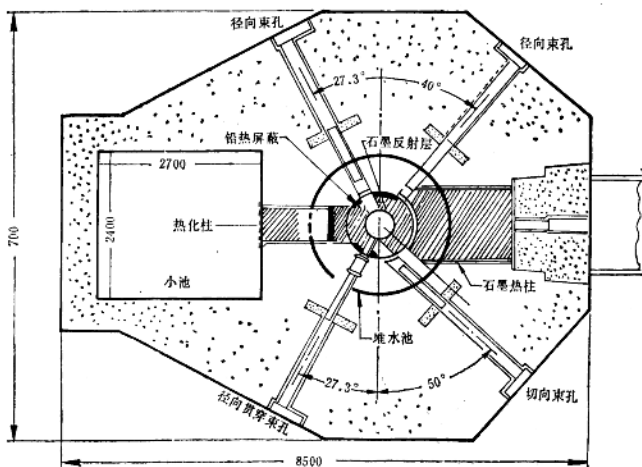


图2 铀钚铈堆横剖面图

在一起的，这就意味着功率的任何增加，都将同时加热元件内的燃料和减速剂，并立即使反应性下降，因而自动地调整其功率，使堆安全运行。

怎样实现脉冲运行呢？这是依靠迅速提升堆芯内的脉冲棒来实现的，一般可在0.1秒内将棒全部抽出堆芯。该棒采用电动—气动联合驱动装置，即靠压缩空气推动气缸内的活塞来提升控制棒，靠电机—减速箱—滚珠丝杠来调节行程，从而改变引入的反应性大小。因而也改变脉冲峰功率和通量。图3表示了脉冲运行工况下功率或通量与时间的关系。