

目 录(附图部分)

附录一 图 目 录

图10.1.1	燃料装载布置图	1
图10.1.2	重同位素的产生与消耗	2
图10.1.3	首次循环时临界硼浓度随燃耗的变化—有和没有可燃毒物棒	3
图10.1.4	燃料组件中可燃毒物棒的布置	4
图10.1.5	可燃毒物的装载图案	5
图10.1.6	归一化的功率密度分布—寿期初, 无棒, 热满功率, 无氙	6
图10.1.7	归一化的功率密度分布—寿期初, 无棒, 热满功率, 平衡氙	7
图10.1.8	归一化的功率密度分布—寿期初, D组插入30%, 热满功率, 平衡氙	8
图10.1.9	归一化的功率密度分布—寿期初, D组插入30%, 短棒插入, 热满功率, 平衡氙	9
图10.1.10	归一化的功率密度分布—寿期中, 无棒, 热满功率, 平衡氙	10
图10.1.11	归一化的功率密度分布—寿期末, 无棒, 热满功率, 平衡氙	11
图10.1.12	典型组件(组件G—9)内功率按棒的分布—寿期初, 热满功率, 平衡氙, 无棒	12
图10.1.13	典型组件(组件G—9)内功率按棒的分布—寿期末, 热满功率, 平衡氙, 无棒	13
图10.1.14	寿期初的典型轴向功率形状	14
图10.1.15	寿期中的典型轴向功率形状	15
图10.1.16	寿期末的典型轴向功率形状	16
图10.1.17	组件轴向功率分布与堆芯平均轴向功率分布的比较—棒组稍插入, 短棒在中间平面	17
图10.1.18	强化模型(spike model)的流程图	18
图10.1.19	预计的由单个间隙在相邻燃料棒内引起的功率尖峰	19
图10.1.20	作为轴向位置函数的功率强化因子(power spike factor)	20
图10.1.21	首次循环初正常运行时的峰值因子范围	21
图10.1.22	首次循环末正常运行时的峰值因子范围	22
图10.1.22a	首次循环时预计的静态功率分布与峰值因子包络线的比较	23
图10.1.22b	首次循环时预计的静态功率分布与峰值因子包络线的比较	24
图10.1.23	首次循环时为确定保护定值所使用的峰值线功率与通量偏差间的关系	25
图10.1.24	计算的与测量的燃料组件相对功率分布的比较	26
图10.1.25	计算的与测量的轴向功率形状的比较	27
图10.1.26	满功率时棒各种布置之下的 F_0 的测量值	28
图10.1.27	首次循环寿期初和寿期末的多普勒温度系数	29

图10.1.28	首次循环寿期初和寿期末的功率系数中的多普勒效应	30
图10.1.29	首次循环寿期初和寿期末的功率反应性损失中的多普勒效应	31
图10.1.30	首次循环寿期初无棒时的慢化剂温度系数	32
图10.1.31	首次循环寿期末的慢化剂温度系数	33
图10.1.32	首次循环寿期初无棒时作为硼浓度函数的慢化剂温度系数	34
图10.1.33	首次循环中临界硼浓度之下热态满功率时的慢化剂温度系数	35
图10.1.34	首次循环寿期初和寿期末的总功率系数	36
图10.1.35	首次循环寿期初和寿期末的总功率反应性损失	37
图10.1.36	棒束控制组件的布置图案	38
图10.1.37	事故地同时抽出两个控制组时的棒的微分当量—寿期末, 热态零功率, B 组和D组运动在同一平面中, 短棒在140步处。	39
图10.1.38	设计的棒下落曲线	40
图10.1.39	除一个外所有的棒组件都插入时, 归一化的棒当量随插入百分比的变化	41
图10.1.40	365cm 高121个组件的压水堆堆芯中, 轴向偏移 随时间的变化	42
图10.1.41	X—Y 氙实验中热偶响应的象限倾斜差 随时间的变化	43
图10.1.42	堆芯121个组件365cm高的二回路电厂, 寿期初计算的和测量的多普勒反 应性损失和反应性系数	44
图10.1.43	堆芯121个组件365cm高的二回路电厂, 计算的和测量的硼浓度的比较	45
图10.1.44	堆芯121个组件365cm高的二回路电厂, 计算的和测量的硼浓度的比较	46
图10.1.45	堆芯157个组件365cm高的三回路电厂, 计算的和测量的硼浓度的比较	47
图10.2.1	在燃料棒寿期间最大燃料平均和表面温度随 线功率的变化	48
图10.2.2	在燃料棒寿期间最大燃料中心温度随 线功率的变化	49
图10.2.3	UO ₂ 的导热率	50
图10.2.4	燃料棒运行的线性功率为178.5W/cm时, 包壳平均温度的轴向变化	51
图10.2.5	对典型栅元的所有“R” 格架数据的比较	52
图10.2.6	对导向管栅元的所有“R” 格架数据的比较	53
图10.2.6a	17×17栅元的所有DNB数据的比较	54
图10.2.7	概率分布曲线	55
图10.2.8	66cm 格架间距的TDC与雷诺数的关系	56
图10.2.9	在1.20m 高度上的归一化径向流 量和焓的分布	57
图10.2.10	在2.40m 高度上的归一化径向流 量和焓的分布	58
图10.2.11	堆芯出口的归一化径向流 量和焓的分布	59
图10.2.12	气泡含量随热力学品质的变化	60
图10.2.13	压水堆 (PWR) 自然循环试验	61
图10.2.14	典型西屋公司两回路反应堆堆芯内部热偶测量结果与THINC—IV预计 结果的比较	62
图10.2.15	典型西屋公司三回路反应堆堆芯内部热偶测量结果与THINC—IV预计 结果的比较	63

图10.2.16	汉福特(Hanford)子管道温度数据与THINC—IV数据的比较	64
图10.2.17	汉福特(Hanford)子管道温度数据与THINC—IV数据的比较	65
图10.2.18	HYDNA结果表明的出现流量振荡时的功率水平	66
图10.2.19	流体动力学流量不稳定性的研究, 正常功率 = 3250MW	67
图10.2.20	并联管道试验台架	68
图10.2.21	实验的流量稳定性数据	69
图10.2.22	堆芯内仪表的分布	70
图10.2.23	DNB峰值试验的试验段截面	71
图10.2.24	具有 20%尖峰值的轴向热量分布图, 棒长4.27m	72
图10.2.25	有尖峰的混合翼格架数据与无尖峰的混合翼格架数据的比较(根据无尖峰模型预计 DNB 热通量)	73

附录二 图目录

图11.3.2.1	ΔT 超温和 ΔT 超功率保护的图解	1
图11.3.2.2	反应堆紧急停堆时, 负反应性引入随时间的变化	2
图11.3.2.3	归一化的棒束控制组件的反应性当量与棒插入深度的关系	3
图11.3.2.4	紧急停堆后, 归一化的棒束控制组件(RCCA)组的反应性当量随时间的变化	4
图11.3.2.5	用于事故分析的多普勒功率系数	5
图11.3.2.6	剩余衰变热	6
图11.3.2.7	输入到BLKOUT程序中的紧急停堆后的核功率	7
图11.3.3.1	从次临界状态棒失控抽出时, 中子通量随时间的变化	8
图11.3.3.2	从次临界状态棒失控抽出时, 热流随时间的变化	9
图11.3.3.3	从次临界状态棒失控抽出时, 温度随时间的变化	10
图11.3.3.4	从满功率状态棒失控抽出时, 被中子通量过高停堆所终止的过渡过程响应	11
图11.3.3.5	从满功率状态棒失控抽出时, 被中子通量过高停堆所终止的过渡过程响应	12
图11.3.3.6~11.3.3.7	从满功率状态棒失控抽出时, 被 ΔT 超温停堆所终止的过渡过程响应	13~14
图11.3.3.8	从100%功率状态棒抽出事故时, 反应性引入率对最小烧毁比的影响	15
图11.3.3.9	从60%功率状态棒抽出事故的反应性引入率对最小烧毁比的影响	16
图11.3.3.10	从10%功率状态棒抽出事故的反应性引入率对最小烧毁比的影响	17
图11.3.3.11~11.3.3.12	棒束控制组件下落的过渡过程响应	18~19
图11.3.3.13	初始硼浓度(10^{-6})	20
图11.3.3.14	所有回路运行, 一个回路惯性停下	21
图11.3.3.15	所有回路运行, 一个回路惯性停下时, 烧毁比随时间的变化	22
图11.3.3.16	除一个回路外, 所有回路运行, 一个回路惯性停下	23

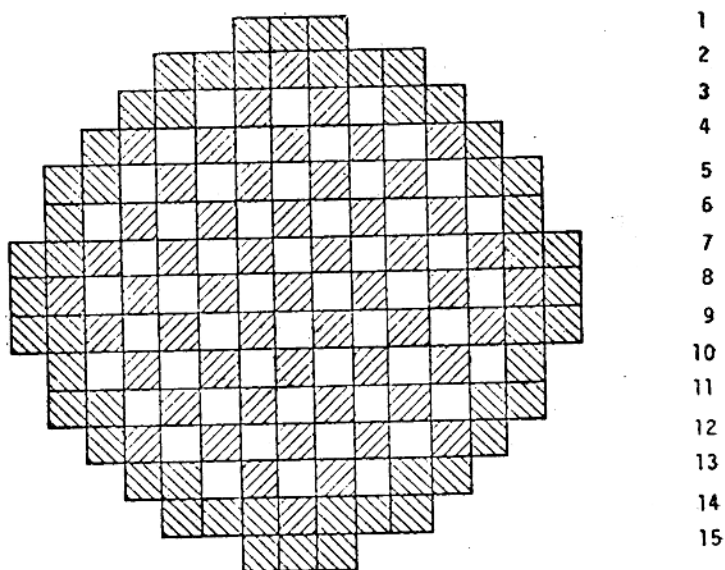
图11.3.3.17 除一个回路外,所有回路运行,一台泵惯性停下,没有回路被隔离时的烧毁比随时间的变化	24
图11.3.3.18~11.3.3.19 起动暂停回路	25~26
图11.3.3.20~11.3.3.22 寿期开始阶段的失去负荷事故—稳压器喷淋和卸压阀动作	27~29
图11.3.3.23~11.3.3.24 寿期末的失去负荷事故—稳压器喷淋和卸压阀动作	30~31
图11.3.3.25~11.3.3.27 寿期开始阶段的失去负荷事故—稳压器喷淋和卸压阀不动作	32~34
图11.3.3.28~11.3.3.30 寿期末的失去负荷事故—稳压器喷淋和卸压阀不动作	35~37
图11.3.3.31 失去正常给水事故时,堆芯平均温度、蒸汽发生器水位和稳压器水位随时间的变化	38
图11.3.3.32~11.3.3.35 寿期初,没有棒控制时的过量负荷增加	39~42
图11.3.3.36~11.3.3.38 寿期初,有棒控制时的过量负荷增加	43~45
图11.3.3.39~11.3.3.40 寿期末,有棒控制时的过量负荷增加	46~47
图11.3.3.41 失压事故的通量过渡过程	48
图11.3.3.42 失压事故的稳压器压力过渡过程	49
图11.3.3.43 失压事故时烧毁比的过渡过程	50
图11.3.3.44 K_{eff} 随堆芯温度的变化	51
图11.3.3.45 有外电源时,蒸汽管道破裂后的过渡过程响应,破裂量相当于在76巴绝对压力下404吨/小时	52
图11.3.4.1/A1/1 小破裂过渡过程中,SLAP程序模型的方框图	53
图11.3.4.1/A1/2 冷段破裂时蒸汽流道示意图	54
图11.3.4.1 小破裂分析中的压力过渡过程	55
图11.3.4.2 安全注入系统的供水特性	56
图11.3.4.3 破口的当量直径为0.0635m时,反应堆冷却剂体积随时间的变化	57
图11.3.4.4 破口的当量直径为0.0762m时,反应堆冷却剂体积随时间的变化	58
图11.3.4.5 破口的当量直径为0.0889m时,反应堆冷却剂体积随时间的变化	59
图11.3.4.6 破口的当量直径为0.1016m时,反应堆冷却剂体积随时间的变化	60
图11.3.4.7 破口的当量直径为0.1524m时,反应堆冷却剂体积随时间的变化	61
图11.3.4.8 对最坏破裂时,反应堆堆芯蒸汽流量率变化(三回路)	62
图11.3.4.9 对最坏破裂时,热点流体温度的变化	63
图11.3.4.11 对最坏破裂时,包壳峰值温度的变化	64
图11.3.4.12 用于小破裂分析中的堆芯轴向功率形状曲线	65
图11.3.4.13 对最坏破裂情况,反应堆功率的过渡过程	66
图11.3.4.14 区域1和区域3组件互换	67
图11.3.4.15 区域1和区域2组件互换,可燃毒物棒保留在区域2的组件中	68
图11.3.4.16 区域1和区域2组件互换,可燃毒物棒被转移到区域1的组件中	69
图11.3.4.17 浓缩度错误,区域2的组件装进堆芯中心位置	70

图11.3.4.18	区域2的组件装进靠近堆芯边缘的区域1位置上	71
图11.3.4.19	所有回路运行, 所有回路惯性停下	72
图11.3.4.20	所有回路运行, 所有回路惯性停下时烧毁比随时间的变化	73
图11.3.4.21	除一个回路外, 全部回路运行, 所有回路惯性停下	74
图11.3.4.22	除一个回路外, 所有回路运行, 所有回路惯性停下时, 烧毁比随时间的变化	75
图11.3.5.1	当堆芯平均温度不变时, 反应性随功率的变化	76
图11.3.5.2	有安全注入和厂外电源时(情况-a), 位于流量测量管咀下游的蒸汽管道破裂的过渡过程响应	77
图11.3.5.3	有安全注入和厂外电源时(情况-b), 位于流量测量管咀下游的蒸汽管道破裂的过渡过程响应	78
图11.3.5.4	有安全注入和无厂外电源时(情况-c)位于流量测量管咀下游的蒸汽管道破裂的过渡过程响应	79
图11.3.5.5	有安全注入和没有厂外电源时(情况-d), 位于蒸汽发生器出口的蒸汽管道破裂的过渡过程响应	80
图11.3.5.6~11.3.5.7	所有回路运行, 一台泵转子卡住时, 压力随时间的变化	81~82
图11.3.5.8	所有回路运行, 一台泵转子卡住时, 堆芯流量随时间的变化	83
图11.3.5.9	所有回路运行, 一台泵转子卡住时, 通量过渡过程随时间的变化	84
图11.3.5.10	所有回路运行(除一个回路外), 一台泵转子卡住时(没有被隔离的回路)堆芯流量随时间的变化	85
图11.3.5.11	除一个回路外, 所有回路运行, 一台泵转子卡住时, 通量的过渡过程随时间的变化	86
图11.3.5.12	所有回路运行, 一台泵转子卡住时, 包壳温度随时间的变化	87
图11.3.5.13	在寿期初, 热态满功率情况下的棒射出事故时, 核功率的过渡过程	88
图11.3.5.14	在寿期初, 热态满功率情况下的棒射出事故时, 燃料和包壳的热点温度随时间的变化	89
图11.3.5.15	在寿期末, 热态满功率情况下的棒射出事故时, 核功率的过渡过程	90
图11.3.5.16	在寿期末, 热态零功率情况下的棒射出事故时, 燃料包壳的热点温度随时间的变化	91
图11.3.6.2.F1	冷段破裂蒸汽流程平面图	92
图11.3.6.2.F2	冷段破裂蒸汽流程纵面图	93
图11.3.6.2.F3	再充水一再淹没计算的方框图	94
图11.3.6.2.F4	冷段双端破裂(断裂)	95
图11.3.6.2.F5	0.6×冷段双端破裂(断裂)	96
图11.3.6.2.F6	冷段双端破裂(裂开)	97
图11.3.6.2.F7	0.6×冷段双端破裂(裂开)	98
图11.3.6.2.F8	0.279m ² 冷段破裂(裂开)	99
图11.3.6.2.F9	0.046m ² 冷段破裂(裂开)	100

图11.3.6.2.F10	热段双端破裂(断裂)	101
图11.3.6.2.F11	冷段双端破裂(断裂)	102
图11.3.6.2.F12	0.6×冷段双端破裂(断裂)	103
图11.3.6.2.F13	冷段双端破裂(裂开)	104
图11.3.6.2.F14	0.6×冷段双端破裂(裂开)	105
图11.3.6.2.F15	0.279m ² 冷段破裂(裂开)	106
图11.3.6.2.F16	0.046m ² 冷段破裂(裂开)	107
图11.3.6.2.F17	冷段双端破裂(断裂)	108
图11.3.6.2.F18	冷段双端破裂(断裂)	109
图11.3.6.2.F19	0.6×冷段双端破裂(断裂)	110
图11.3.6.2.F20	冷段双端破裂(裂开)	111
图11.3.6.2.F21	0.6×冷段双端破裂(裂开)	112
图11.3.6.2.F22	0.279m ² 冷段破裂(裂开)	113
图11.3.6.2.F23	0.046m ² 冷段破裂(裂开)	114
图11.3.6.2.F24	热段双端破裂(断裂)	115
图11.3.6.2.F25	冷段双端破裂(断裂)	116
图11.3.6.2.F26	0.6×冷段双端破裂(断裂)	117
图11.3.6.2.F27	冷段双端破裂(裂开)	118
图11.3.6.2.F28	0.6×冷段双端破裂(裂开)	119
图11.3.6.2.F29	0.279m ² 冷段破裂(裂开)	120
图11.3.6.2.F30	0.046m ² 冷段破裂(裂开)	121
图11.3.6.2.F31	热段双端破裂(裂开)	122
图11.3.6.2.F32	冷段双端破裂(断裂)	123
图11.3.6.2.F33	0.6×冷段双端破裂(断裂)	124
图11.3.6.2.F34	冷段双端破裂(裂开)	125
图11.3.6.2.F35	0.6×冷段双端破裂(裂开)	126
图11.3.6.2.F36	0.279m ² 冷段破裂(裂开)	127
图11.3.6.2.F37	0.046m ² 冷段破裂(裂开)	128
图11.3.6.2.F38	热段双端破裂(断裂)	129
图11.3.6.4.T1	输送中的质量和能量平衡	130
图11.3.6.4.F1	泵吸入管双端破裂时的安全壳压力	131
图11.3.6.4.F2	0.6×泵吸入管双端破裂时的安全壳压力	132
图11.3.6.4.F3	冷段双端破裂时的安全壳压力	133
图11.3.6.4.F4	热段双端破裂时的安全壳压力	134
图11.3.6.4.F5	泵吸入管双端破裂时的破裂质量流量	135
图11.3.6.4.F6	泵吸入管双端破裂时的破裂质量流量	136
图11.3.6.4.F7	泵吸入管双端破裂时,水和蒸汽—空气混合物的温度	137
图11.3.6.4.F8	泵吸入管双端破裂时,壁吸收的能量和喷淋系统带走的能量	138

图11.3.6.4.F9	泵吸入管双端破裂时,再循环阶段的安全壳压力	139
图11.3.6.A2.1	再充水—再淹 没计算的方框图	140
图11.3.6.A2.2	冷段破裂 蒸汽流 程平面图	141
图11.3.6.2.F2	冷段破裂 蒸汽流 程纵面图	142
图11.3.6.A6.2	典 型 安全壳壁的截面	143

K I N M K J H G F E D C B A



	第1个堆芯 FIRST CORE	再装载堆芯 RELOAD CORE
	REGION 1 第1区	ONCE OR TWICE BURNED FUEL 用过一或二次的燃料
	REGION 2 第2区	ONCE OR TWICE BURNED FUEL 用过一或二次的燃料
	REGION 3 第3区	FRESH FUEL 新燃料

Figure 10.1.1 Fuel Loading Arrangement
(Three Loop)

图 10.1.1. 燃料装载布置图
(三回路)

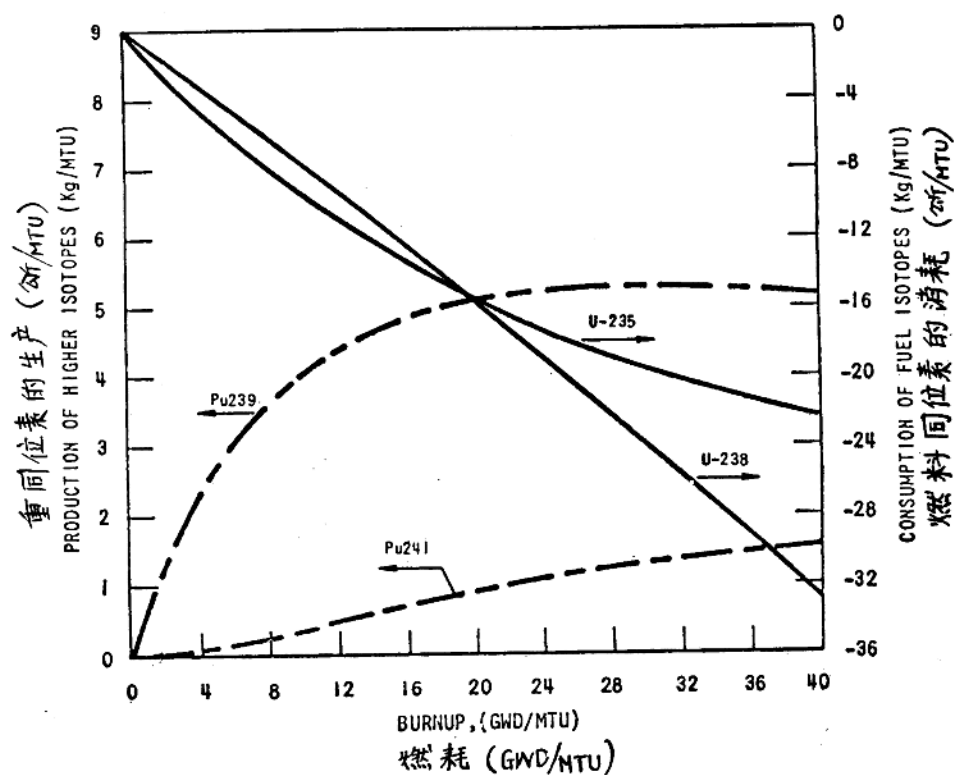


Figure 10.1.2 Production and Consumption of Higher Isotopes (Three Loop)

图 10.1.2. 重同位素的生产与消耗
(三回路)

临界硼浓度 CRITICAL BORON CONCENTRATION (ppm)

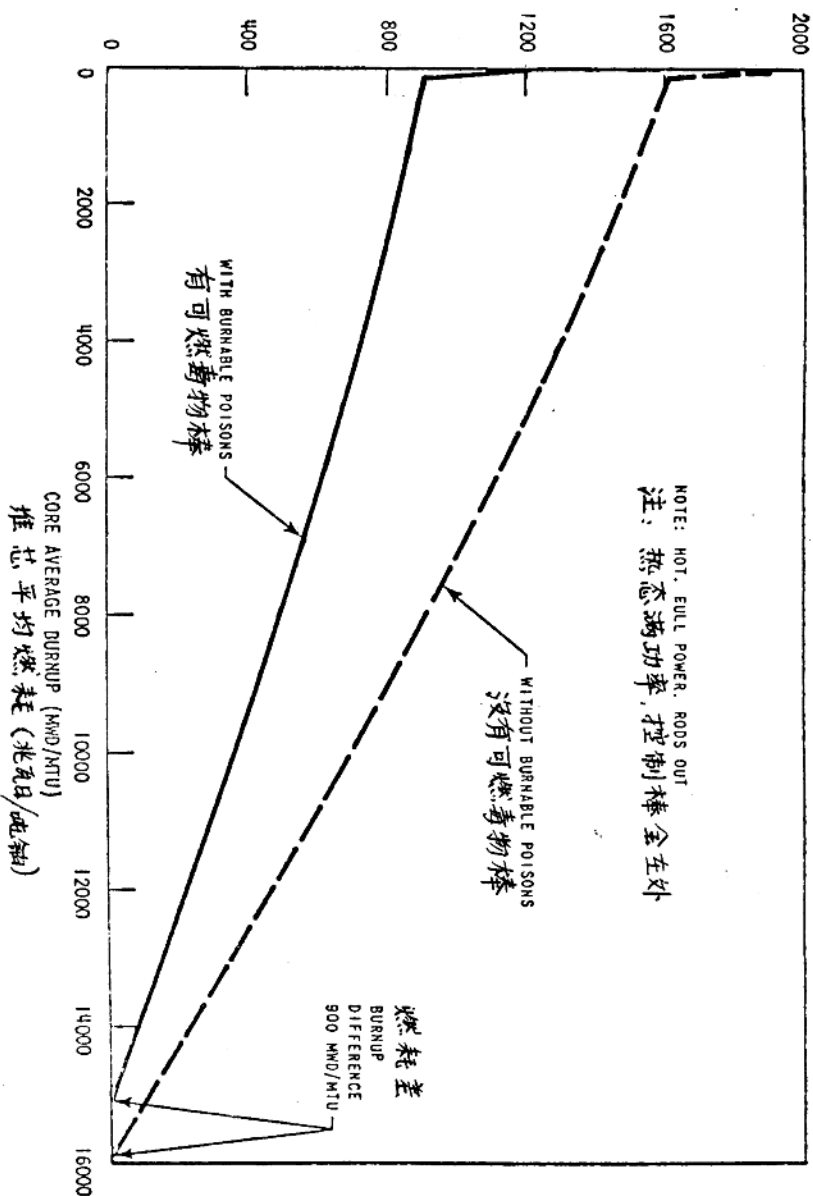
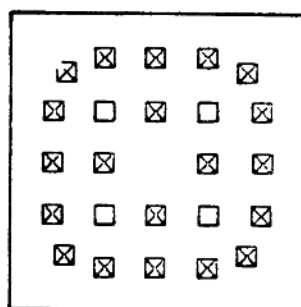
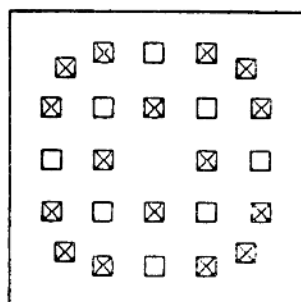


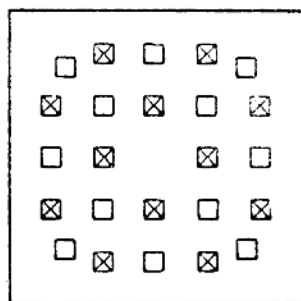
Figure 10.1.3 Boron Concentration versus First Cycle Burnup With and Without Burnable Poison Rods (Three Loop)
图10.1.3 首次循环时临界硼浓度随燃耗的变化——有和没有可燃毒物棒 (三回路)



20 BP'S
20根可燃毒物棒



16 BP'S
16根可燃毒物棒



12 BP'S
12根可燃毒物棒

Figure 10.1.4 Burnable Poison Rod Arrangement Within an Assembly (Three Loop)

图 10.1.4. 燃料组件中可燃毒物棒的布置
(三回路)

NUMBER INDICATES NUMBER OF BURNABLE POISON RODS

S INDICATES SOURCE ROCKS

S 代表 中子源棒

Figure 10.1.5 Burnable Poison Loading Pattern (Three Loop)

图 10.1.5 可燃毒物的装载图案
(三回路)

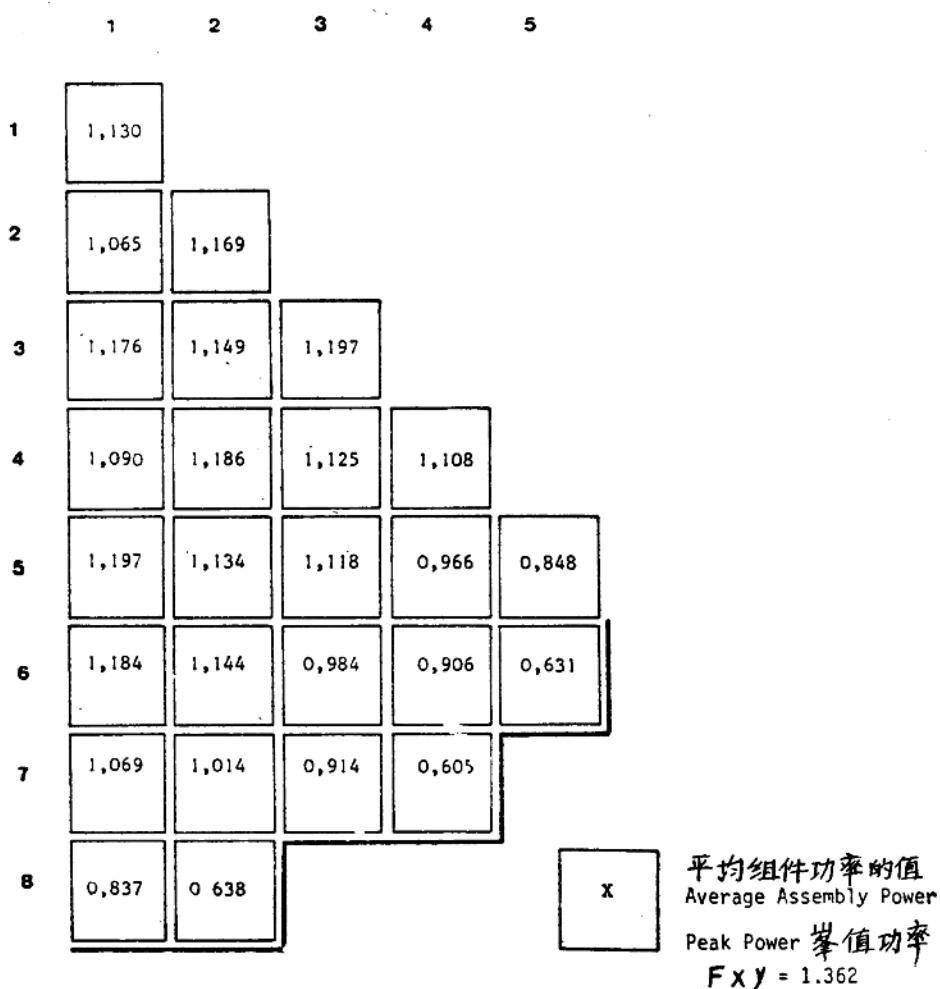


Figure 1 ...6 Normalized Power Density Distribution Near Beginning of Life, Unrodded Core, Hot Full Power, No Xenon (Three Loop)

图 10.1.6. 归一化的功率密度分布
—— 寿期初, 无棒, 热态满功率, 无氙 (三回路)

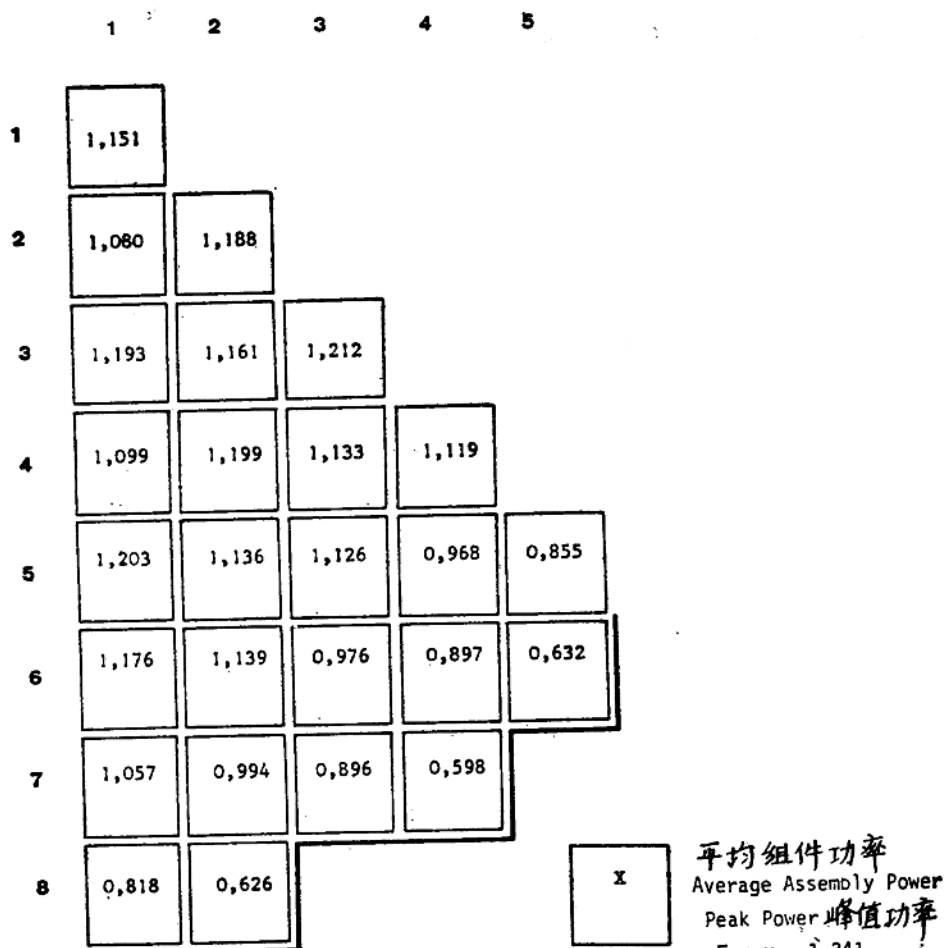


Figure 10.1.7

Normalized Power Density Distribution
Near Beginning of Life, Unrodded Core,
Hot Full Power, Equilibrium Xenon
(Three Loop)

图 10.1.7. 归一化的功率密度分布
—— 寿期初, 无棒, 热态满功率, 平衡氙 (三回路)

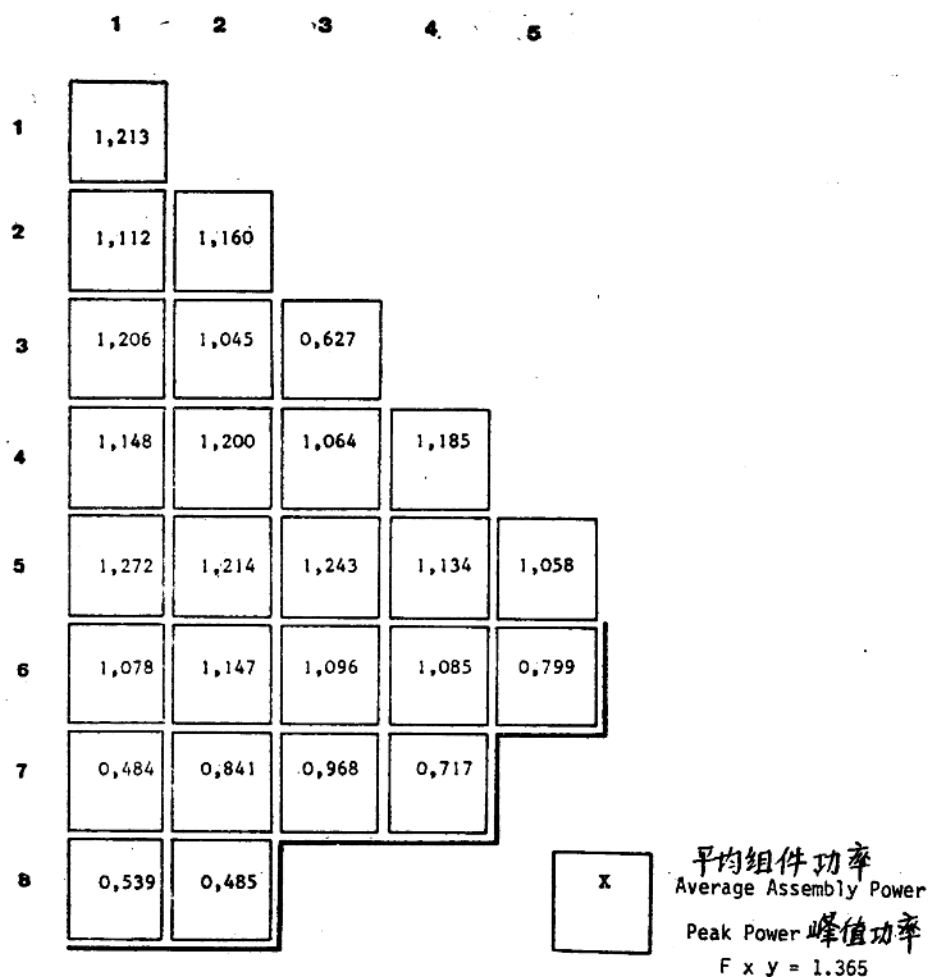


Figure 10.1.8. Normalized Power Density Distribution
 Near Beginning of Life, Group D 30°
 Inserted, Hot Full Power, Equilibrium Xenon
 (Three Loop)

图 10.1.8. 归一化的功率密度分布

—— 寿期初, D组插入 30%, 热态满功率, 平衡氙(三回路)

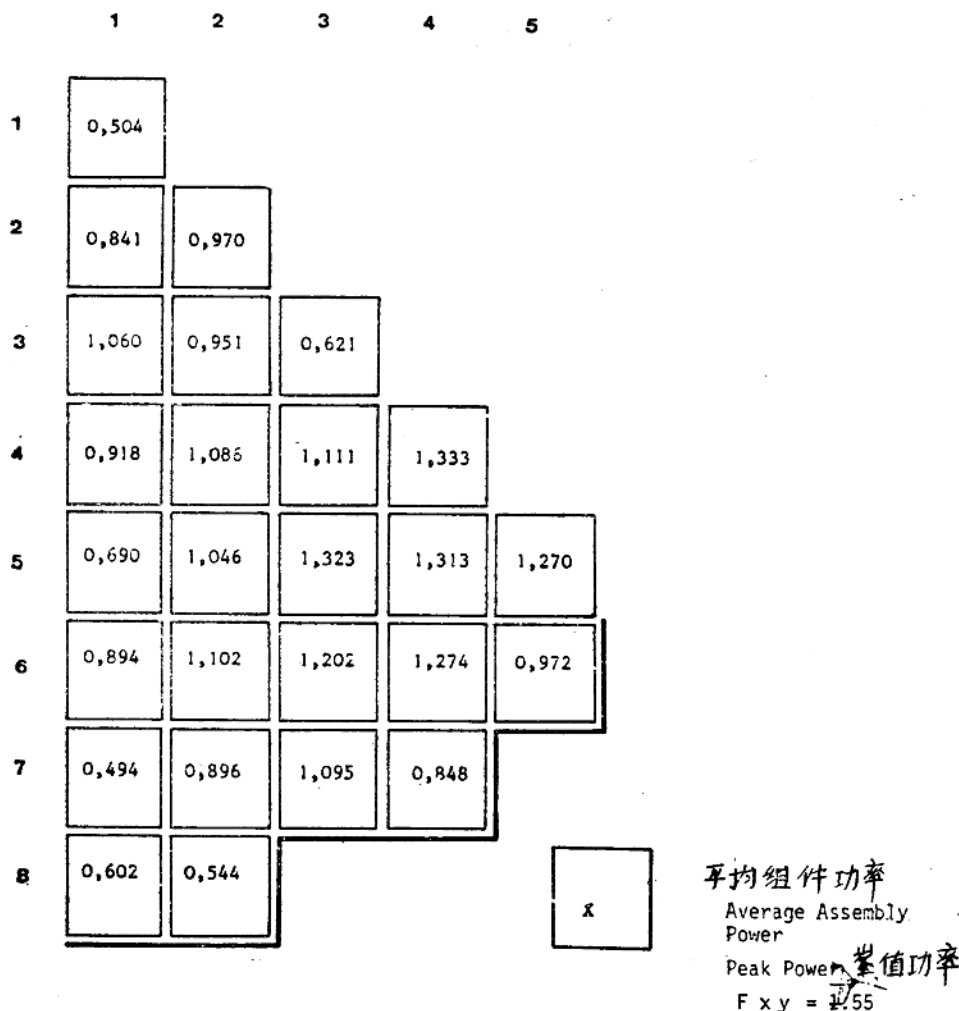


Figure 10.1.9 Normalized Power Density Distribution Near Beginning of Life, Group D 30% Inserted, Plus PL Inserted, Hot Full Power, Equilibrium Xenon. (Three Loop)

图 10.1.9 归一化的功率密度分布
— 寿期初 D组插入30%, 控制棒插入,
热满功率, 平衡氙 (三回路)

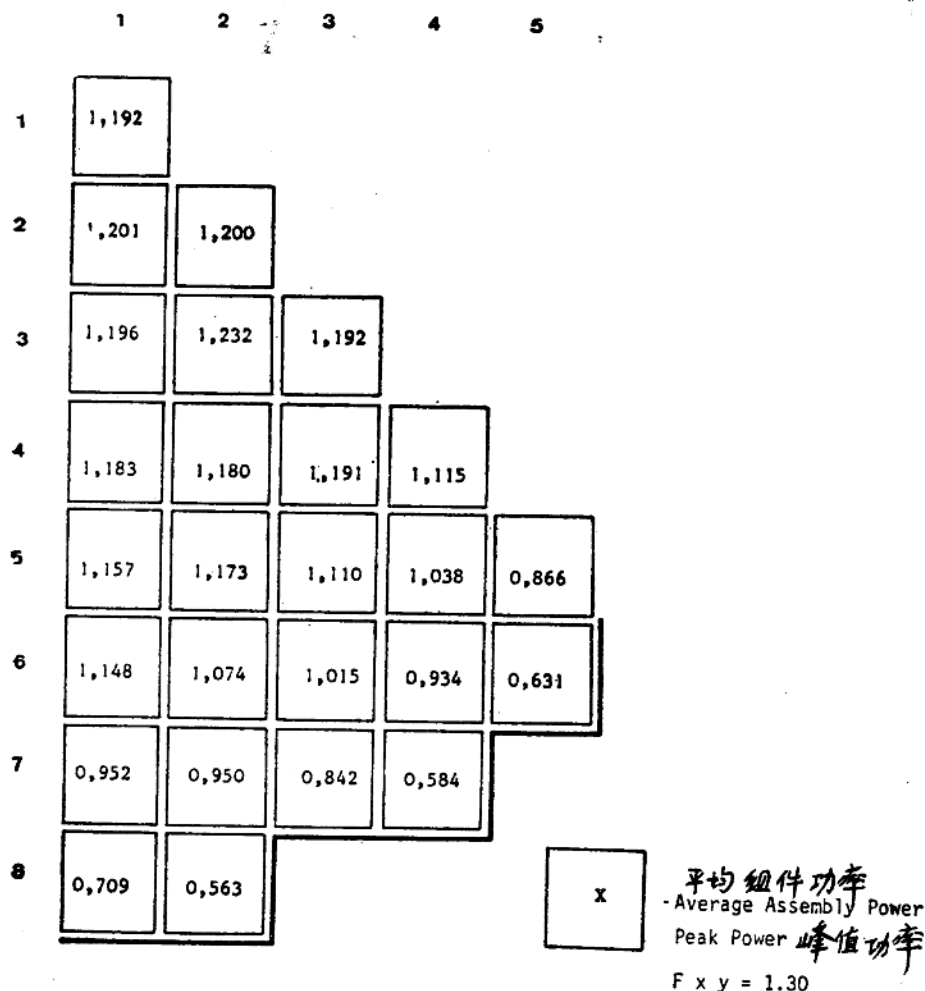


Figure 10.1.10 Normalized Power Density Distribution:
Near Middle of Life, Unrodded Core,
Hot Full-Power, Equilibrium Xenon
(three Loop)

图 10.1.10 归一化功率密度分布
——寿期中, 无棒, 热满功率, 平衡氙(三回路)

934