

553293

382
3235

科學圖書大庫

核 燃 料

潘 家 寅 譯

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

核 燃 料

潘 家 寅 譯

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鏜

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十八年三月二十日再版

核 燃 料

基本定價 6.00

譯 者 潘 家 寅

台北市立工業專科學校化工系教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 財團 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
法人 7815250

發行者 財團 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 1 5 7 9 5 號
法人

承印者 大興圖書印製有限公司三重市三和路四段一五一號 電話9719739

目次

佛郎西斯·貝蘭序	1
亨利·畢亞傑序	3
著者序	9
譯者序	12

第一章 核能

第一節 物質之組成	15
1.1-1 原子	15
1.1-2 同位素	17
1.1-3 質量之欠缺	18
第二節 熔合	20
第三節 裂變	22
1.3-1 連鎖反應	22
1.3-2 臨界質量	26
1.3-3 裂變之產物	27
1.3-4 鈾	31
1.3-5 鈾-233	32
第四節 核子反應爐之原理	34
1.4-1 連鎖反應之控制	35
1.4-2 緩速劑	36
1.4-3 冷卻劑	36
1.4-4 反射劑	37
1.4-5 均質及非均質反應爐	37
第五節 核能之應用	39
1.5-1 轉變為電力	40
1.5-1.a 由渦輪為中介之轉變	40

1.5-1. b 直接轉變	40
1.5-2 熱能之直接應用	41
1.5-2. a 推進力	41
1.5-2. b 工業用熱能之產生	42
1.5-2. c 海水之脫鹽	43
1.5-3 新同位素之產生	44
1.5-3. a 銻	44
1.5-3. b 放射性元素	44
1.5-3. c 鐳元素	46
1.5-4 核子爆炸之工程應用	46

第二章 核子反應爐

甲、反應爐之結構材料

第一節 燃料	47
2.1-1 裂變物料之成份	47
2.1-2 純度	48
2.1-3 成份	50
2.1-3. a 金屬鈾	50
2.1-3. b 合金	50
2.1-3. c 反射成份	52
2.1-4 型狀	54
第二節 緩速劑	56
2.2-1 普通水	57
2.2-2 重水	57
2.2-3 鈹	58
2.2-4 石墨	59
2.2-5 有機的緩速劑	60
2.2-6 氫化物	61

第三節	冷却劑	62
2.3-1	氣態冷却劑	63
2.3-2	水	64
2.3-3	有機液體	64
2.3-4	液態金屬	65
第四節	反射劑	67
第五節	防護	67
第六節	結構之材料，鞘套	68
2.6-1	鋁及其合金	69
2.6-2	鎂及其合金	70
2.6-3	鈳及其合金	71
2.6-4	不銹鋼	72
2.6-5	鞘套之其他材料	72
2.6-5.1	鈹	73
2.6-5.2	石墨	73
2.6-5.3	金屬及各種合金	73
第七節	控制桿	74

乙、反應爐之分類

第八節	以石墨緩速及以氣體冷却之反應爐	6
2.8-1	古典反應爐系	76
2.8-1.1	英國反應爐	77
2.8-1.2	法國反應爐	79
2.8-2	“改進”的反應爐系	83
2.8-2.1	“溫熱式”反應爐	84
2.8-2.2	“炙熱式”反應爐	85
第九節	以石墨緩速及以水冷却之反應爐	88
第十節	以石墨緩速及以金屬或熔鹽冷却之反應爐	89
2.10-1	熔融金屬	89
2.10-2	熔融鹽類	91

第十一節 重水反應爐	92
2.11-1 以重水冷却之反應爐	93
2.11-2 以輕水冷却之反應爐	97
2.11-3 以有機液冷却之反應爐	97
2.11-4 以氣體冷却之反應爐	98
第十二節 輕水反應爐	101
2.12-1 研究用反應爐	101
2.12-2 動力反應爐	104
2.12-2.1 水壓式反應爐	105
2.12-2.2 沸水式反應爐	111
2.12-2.3 變動緩速反應爐	116
2.12-3 均質型反應爐	116
第十三節 有機緩速劑反應爐	118
第十四節 用氫或氫化物緩速或冷却之反應爐	119
第十五節 快中子反應爐	121
2.15-1 快中子系統之特殊性	121
2.15-2 增殖作用	122
2.15-3 燃料	125
2.15-4 實行及計劃	126
2.15-4.1 美國	127
2.15-4.2 蘇聯	129
2.15-4.3 英國	130
2.15-4.4 法國	131
2.15-4.5 德國	133
2.15-4.6 比國	133
2.15-4.7 瑞士	133

第三章 燃料單元

第一節 濃集程度	137
----------	-----

3.1-1	天然鈾	-----	137
3.1-2	低度濃集鈾 (< 5%)	-----	137
3.1-3	中度濃集鈾 (5~80%)	-----	139
3.1-4	高度濃集鈾 (> 80%)	-----	140
3.1-5	貧鈾	-----	140
第二節	組成	-----	140
3.2-1	金屬鈾及其合金	-----	140
3.2-2	金屬分散體	-----	141
3.2-3	二氧化鈾	-----	142
3.2-4	碳化鈾	-----	142
3.2-5	鹽類	-----	142
第三節	鞘套	-----	142
3.3-1	鞘套之材料	-----	143
3.3-1.1	鎂及其合金	-----	143
3.3-1.2	鋁及其合金	-----	143
3.3-1.3	Zircaloy 合金及不銹鋼	-----	144
3.3-1.4	其他材料	-----	144
3.3-2	燃料-鞘套聯接之型式	-----	146
3.3-2.1	機械地接觸	-----	146
3.3-2.2	冶煉地接觸	-----	146
3.3-2.3	有一中介體之接觸	-----	146
第四節	鞘套之型狀及結構	-----	147
3.4-1	實心棒及管狀棒 (空心棒)	-----	148
3.4-1.1	僅在外層加鞘套之燃料單元	-----	148
3.4-1.2	環狀燃料單元	-----	151
3.4-2	“束”組	-----	152
3.4-2.1	金屬針狀燃料	-----	152
3.4-2.2	陶瓷質針狀燃料	-----	154
3.4-2.3	“緩速劑-燃料”組合	-----	155
3.4-3	版片	-----	161

3.4-3.1 鈾塊製版片 ----- 161
 3.4-3.2 燃料分散體之版片 ----- 161
 3.4-4 球體 ----- 165
 3.4-5 液態燃料 ----- 165

第四章 饋入反應爐以前之鈾

前 言——鈾之化學 ----- 167

第一節 鈾礦 ----- 169
 4.1-1 礦石 ----- 170
 4.1-1.1 原鈾礦 ----- 170
 4.1-1.2 二級鈾礦 ----- 171
 4.1-1.3 有鈾分散在內的礦石 ----- 172
 4.1-2 礦脈 ----- 173
 4.1-2.1 加拿大 ----- 173
 4.1-2.2 美國 ----- 174
 4.1-2.3 阿根廷 ----- 174
 4.1-2.4 非洲 ----- 174
 4.1-2.5 澳洲 ----- 176
 4.1-2.6 歐洲 ----- 176
 4.1-2.7 蘇聯 ----- 180
 4.1-2.8 亞洲 ----- 180
 4.1-3 探勘及開採 ----- 180
 第二節 由礦石至濃縮 ----- 182
 4.2-1 物理法預濃縮 ----- 183
 4.2-1.1 手選法 ----- 184
 4.2-1.2 輻射計選礦法 ----- 184
 4.2-1.3 重力選礦法 ----- 184
 4.2-1.4 浮沫選礦法 ----- 185

4.2-2	化學法濃縮	-----	185
4.2-2.1	將鈾製成溶液	-----	185
4.2-2.1.a	煅炙	-----	187
4.2-2.1.b	酸浸取	-----	187
4.2-2.1.c	鹼浸取	-----	189
4.2-2.2	鈾之濃縮	-----	190
4.2-2.2.a	沉澱	-----	190
4.2-2.2.b	在離子交換樹脂上固着	-----	192
4.2-2.2.c	有機溶液之萃取	-----	196
4.2-2.3	濃縮之準備	-----	199
4.2-3	世界各地濃縮之生產情形	-----	202
4.2-3.1	濃縮工廠	-----	202
4.2-3.2	濃縮之成本(製造費)	-----	205
4.2-3.3	鈾之市價	-----	206
第三節	由濃縮鈾至金屬鈾	-----	207
4.3-1	鈾之純製	-----	209
4.3-1.1	硝酸溶液之製取	-----	210
4.3-1.2	用溶劑之萃取	-----	210
4.3-1.2.a	方法	-----	211
4.3-1.2.b	溶劑	-----	213
4.3-1.2.c	設備	-----	214
4.3-2	最後成品之調配	-----	216
4.3-2.1	三氧化物之製造	-----	217
4.3-2.1.a	鈾酸鉍之沉澱及煅炙	-----	217
4.3-2.1.b	硝酸鈾鹽之熱分解	-----	217
4.3-2.2	二氧化鈾之製取	-----	220
4.3-2.2.a	為氟化反應之二氧化鈾	-----	221
4.3-2.2.b	為烘烤之二氧化鈾	-----	222
4.3-2.3	四氟化鈾之製取	-----	223
4.3-2.4	金屬鈾之製取	-----	228

4.3-2.4.a	二氧化鈾之還原反應	-----	228
4.3-2.4.b	四氟化鈾之還原反應	-----	229
4.3-2.4.b.1	鈣熱反應	-----	230
4.3-2.4.b.2	鎂熱反應	-----	230
4.3-3	世界各國金屬鈾之生產情形	-----	233
4.3-3.1	精製工廠	-----	233
4.3-3.2	鈾之價格	-----	235
第四節	天然鈾至濃集鈾	-----	236
4.4-1	濃集法	-----	236
4.4-1.1	電磁分離法	-----	237
4.4-1.2	熱擴散法	-----	238
4.4-1.3	超遠心分離法	-----	238
4.4-1.4	風管中膨脹法	-----	239
4.4-1.5	氣態擴散法	-----	239
4.4-2	六氟化鈾之製造	-----	240
4.4-3	由氣態擴散法濃集	-----	243
4.4-3.1	濃集之階段	-----	243
4.4-3.2	瀉瀑	-----	245
4.4-3.3	工場	-----	247
4.4-4	由六氟化物轉變為濃集鈾	-----	249
4.4-4.1	濃集鈾之危險	-----	249
4.4-4.2	由六氟化物轉變為二氧化鈾	-----	252
4.4-4.3	由六氟化物轉變為金屬鈾	-----	252
4.4-5	濃集鈾之價格	-----	255
4.4-5.1	美國濃集鈾	-----	255
4.4-5.2	法國濃集鈾	-----	257
4.4-5.3	化學轉變之費用	-----	258
第五節	燃料單元之製造	-----	259
4.5-1	均質金屬的燃料	-----	259
4.5-1.1	鈾之成型	-----	259

4.5-1.1.a	鑄型	-----	260
4.5-1.1.b	塑造	-----	265
4.5-1.1.c	粉末之冶煉	-----	267
4.5-1.1.c.1	鈾粉末之製備	-----	268
4.5-1.1.c.2	製成塊狀	-----	268
4.5-1.2	加鞘套前之處理	-----	269
4.5-1.2.a	熱處理	-----	269
4.5-1.2.b	加工精修	-----	269
4.5-1.2.c	終結處理	-----	270
4.5-1.3	鞘套	-----	270
4.5-1.3.a	棒狀燃料加鞘套	-----	271
4.5-1.3.b	針狀燃料加鞘套再與鈉聯合	-----	272
4.5-1.3.c	針狀燃料加鞘套再做冶金的結合	-----	272
4.5-2	分散體燃料	-----	273
4.5-2.1	“心”之製造	-----	273
4.5-2.1.a	熔融法	-----	273
4.5-2.1.b	粉末冶金法	-----	273
4.5-2.2	鞘套操作	-----	274
4.5-3	陶瓷質燃料	-----	275
4.5-3.1	氧化鈾	-----	275
4.5-3.1.a	燒結法	-----	275
4.5-3.1.b	燒結成件之入鞘套	-----	278
4.5-3.1.c	未經預燒結之入鞘套	-----	278
4.5-3.1.c.1	均衡壓縮法	-----	278
4.5-3.1.c.2	振盪堆積法	-----	278
4.5-3.1.c.3	槌擊法	-----	279
4.5-3.1.c.4	共同擠壓法	-----	279
4.5-3.2	鈾之碳化物	-----	280
4.5-3.2.a	碳化鈾之製法	-----	280
4.5-3.2.b	成型	-----	282

4.5-4	燃料單元之控制	282
4.5-4.1	成份之控制	283
4.5-4.2	型狀及尺寸之控制	283
4.5-4.3	密封之控制	284
4.5-5	燃料單元之研究及完成	284
4.5-5.1	熱循環	285
4.5-5.2	機械試驗	285
4.5-5.3	化學試驗	285
4.5-5.4	在反應爐中之試驗	285
4.5-6	燃料單元之價格	286
4.5-6.1	石墨—碳酸氣冷却反應爐族系用之單元	286
4.5-6.2	重水反應爐族系用之單元	286
4.5-6.3	輕水反應爐族系用之單元	287

第五章 在反應爐中之鈾

第一節	裂變物料品質之改變	289
5.1-1	鈾-235之消失	289
5.1-1.a	被裂變而消失	289
5.1-1.b	由捕獲中子而消失	290
5.1-2	銻之生成	291
第二節	新元素之出現	293
5.2-1	裂變之產物	293
5.2-2	繼鈾元素	298
第三節	物理狀態之改變	300
5.3-1	金屬燃料	301
5.3-1.a	尺寸之改變	301
5.3-1.b	性質之改變	302
5.3-2	陶瓷質燃料	302
5.3-3	在鞘套上輻射線的作用	303

第四節	輻射作用的限制	-----	304
5.4-1	中子性的限制	-----	304
5.4-2	技術性的限制	-----	305

第六章 在反應爐中輻射後之鈾 輻射後燃料之處理

	輻射後燃料自行減弱其放射性	-----	309
	輻射後燃料之試驗	-----	310
	輻射後燃料之運輸	-----	311
第一節	天然鈾金屬燃料之處理，鈾之提煉	-----	313
6.1-1	棒狀燃料之脫除鞘套	-----	313
6.1-1.1	機械地脫除鞘套	-----	314
6.1-1.2	化學地脫除鞘套	-----	314
6.1-2	棒狀燃料之溶解	-----	315
6.1-3	用溶劑之萃取法	-----	316
6.1-3.1	脫除污染之問題	-----	316
6.1-3.2	鈾/鈾分離之問題	-----	318
6.1-3.3	方法	-----	320
6.1-3.3.a	用巳酮之萃取法 Redox法	-----	320
6.1-3.3.b	用磷酸三丁酯之萃取法 Purex法	-----	320
6.1-3.3.c	用二乙二醇二丁基醚之萃取 Butex法	-----	321
6.1-3.4	設備	-----	323
6.1-3.5	溶出液之問題	-----	323
6.1-4	鈾之精製及調配	-----	327
6.1-4.1	純製及濃縮	-----	327
6.1-4.1.a	以三月桂胺之萃取法	-----	328
6.1-4.1.b	在離子交換樹脂上之固着	-----	328
6.1-4.2	沉澱	-----	329

6.1-4.2.a	草酸鹽	-----	329
6.1-4.2.b	氟化物	-----	329
6.1-4.2.c	過氧化物	-----	329
6.1-4.3	轉變為金屬	-----	330
6.1-4.3.a	四氟化物之製取	-----	330
6.1-4.3.b	鈣熱法	-----	330
第二節 低度濃集鈾陶瓷質燃料之處理			332
6.2-1	燃料之製取	-----	332
6.2-1.1	化學的脫除鞘套	-----	332
6.2-1.1.a	Zircaloy 合金	-----	332
6.2-1.1.b	不銹鋼	-----	333
6.2-1.2	切段操作	-----	334
6.2-2	溶解	-----	335
第三節 高度濃集鈾分散體燃料之處理			335
6.3-1	燃料之溶解	-----	336
6.3-1.1	鈾-鋁合金	-----	336
6.3-1.2	鈾-鋅合金	-----	337
6.3-1.3	UO ₂ -不銹鋼分散體	-----	337
6.3-2	用溶劑之萃取	-----	340
6.3-3	鈾之調配	-----	341
第四節 輻射後燃料之處理工場			341
6.4-1	世界各國對輻射後燃料之處理情形	-----	342
6.4-2	工場之概念	-----	345
6.4-2.1	結構	-----	345
6.4-2.2	管理方式	-----	346
6.4-2.3	控制	-----	348
第五節 輻射後燃料之特殊處理法			349
6.5-1	濕法	-----	350
6.5-1.1	沉澱分離法	-----	350
6.5-1.2	交換樹脂分離法	-----	350

6.5-1.3	水溶液燃料處理法	351
6.5-2	乾法	351
6.5-2.1	揮發法	352
6.5-2.1.a	液相的處理	353
6.5-2.1.b	氣相的處理	354
6.5-2.1.b.1	鞘套之處理	354
6.5-2.1.b.2	燃料之處理	355
6.5-2.1.c	銻之性能	357
6.5-2.2	冶煉炙灼法及化學炙灼法	360
6.5-2.2.a	氧化法	360
6.5-2.2.b	液相萃取法	361
6.5-2.2.c	分部結晶法	361
6.5-2.2.d	揮發法	361
6.5-2.2.e	熔融帶	362
6.5-2.2.f	電氣精煉法	362
6.5-2.2.g	氧化及還元之循環	363
6.5-2.3	E B R - 2 之燃料處理法	365
第六節	輻射後燃料之處理費用	369

第七章 銻

第一節	在反應爐中銻之利用	376
7.1-1	“就地”消費	376
7.1-2	萃取後再利用之可能性	377
7.1-2.1	熱反應爐之再循環	379
7.1-2.1.a	石墨—氣冷式反應爐	381
7.1-2.1.b	重水反應爐	381
7.1-2.1.c	輕水反應爐	382
7.1-2.1.d	推進器	383
7.1-2.2	快中子增殖爐之饋飼	383

第二節	銻之性質	385
7.2-1	化學性質	385
7.2-2	物理性質	386
7.2-2.1	金屬及其合金	386
7.2-2.1.a	純金屬	386
7.2-2.1.b	合金	387
7.2-2.2	難熔化合物	389
第三節	銻之技術問題	390
7.3-1	銻之危險性	391
7.3-1.a	α 射線	391
7.3-1.b	γ 射線	391
7.3-1.c	中子之放射	392
7.3-1.d	臨界質量	392
7.3-1.e	火警	392
7.3-2	燃料單元之製取	393
7.3-2.a	合金燃料之製取	393
7.3-2.b	陶瓷質燃料之製取	393
7.3-2.b.1	混合氧化物 UO_2-PuO_2	393
7.3-2.b.2	混合碳化物 $UC-PuC$	394
7.3-3	被輻射燃料之處理法	397
7.3-3.a	濕式處理法	398
7.3-3.a.1	用磷酸三丁酯之萃取法	398
7.3-3.a.2	用三月桂胺之萃取法	399
7.3-3.a.3	在離子交換樹脂上的吸着	399
7.3-3.b	乾式處理法	399
7.3-3.b.1	揮發法	399
7.3-3.b.2	炙灼冶煉法	400
7.3-3.b.3	炙灼化學法	400
7.3-3.b.4	電解精煉法	400
第四節	銻之價格	400