



反应堆 运行题解

[苏] B. И. 弗拉基米罗夫 著

原子能出版社

内 容 简 介

本书阐述核反应堆运行中的物理热工问题。每章内都列出了为求解习题所必需的基本计算关系式、图表、典型例题及求解方法，並附有自习题。

本书着重阐述下列问题：反应堆燃烧周期内储能的确定，启动前控制棒临界位置的计算，安全启动方式的选择，由反应堆中毒所决定的允许停堆时间及被迫停堆时间的确定等。此外，还阐述了反应堆降功率及临时停堆时的变动工况。

本书供从事核反应堆动力装置运行工作的工程技术人员使用，也可供准备参加这一工作的人员作参考。

В. И. Владимиров

Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов

М., Атомиздат, 1976. Изд 2.

反应堆运行题解（第二版）

[苏]В. И. 弗拉基米罗夫 著

王奇卓 杨水泉 徐及明 译

原子能出版社出版

（北京 2108 信箱）

北京印刷一厂印刷

（北京市西便门）

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $10 \frac{1}{8}$ ·字数224千字

1981年5月第一版·1981年5月第一次印刷

印数001— ·统一书号：15175·283

定价：1.45元

前 言

核动力这个新兴技术领域的蓬勃发展，要求在研究核反应堆动力装置的理论、计算与设计问题的同时，总结和研究核反应堆运行中的工程技术问题。反应堆及其整个核动力装置工作的稳定性、经济性、可靠性及安全性，均依赖于对运行中产生的许多物理、热工问题的正确解决。例如，属于这类问题的有：反应堆在运行周期中不同时刻的后备反应性及其储能的确定，在已知后备反应性条件下反应堆功率允许改变范围的选择，由停堆后中毒所决定的允许停堆时间及被迫停堆时间的确定，反应堆带功率运行前控制棒临界位置的计算，反应堆安全启动方式的选择，剩余释热计算及停堆后反应堆冷却工况的选取，各种事故情况下反应堆安全性的评价及其他。

目前有关核反应堆动力装置的文献虽然很多，但在这些文献中对上述问题却很少从实际运行角度予以重视。

本书阐述核反应堆动力装置运行中所遇到的一些物理、热工基本问题，并加以系统化。书中习题是根据几种类型核反应堆的运行经验编成的。全书共分三章，每章又分几节。在各节内都列出了基本计算关系式、图表和解题所必需的定义，给出了运行中有实际意义的例题（第一章的个别例题除外）及例题求解方法，同时还附有自习题。

假定有这样一个热中子反应堆，它以文献[1、2、4、5、6、8、20、21]内所给出的基本数据的平均值作为原始物理参数，我们称这个堆为TP反应堆。当然对于每个具体反应堆来说，其原始参数与TP堆不可能完全相同，但在大多数情况下是

非本质的，只是数量上的差异。若例题是针对具有特定技术参数的反应堆而编的，则在习题的条件中附有说明。

第一章把运行时的反应堆作为能源和放射性源，加以扼要的阐述。

第二章阐述与确定反应堆功率有关的问题以及燃耗、结渣、中毒等效应。这些效应影响反应堆的运行工况、储能及它的运行灵活性。

第三章研究反应堆的功率调节、启动、停堆及冷却等问题。同时，还就保证反应堆核安全问题求解一些习题，并分析这些事故情况的可能后果。

研究变动工况的一些习题，对于移动式反应堆、试验堆及固定的核动力装置（譬如：并入电网运行并根据电网负荷曲线来调节功率的原子能电站）来说，都是具有代表性的。这个问题对于核电站的意义越来越大。在一些电力工业比较发达的国家，电力负荷的年不均匀性及每一天的负荷波动都很大，而且越来越严重。有些国家1970年夏季电力最大负荷与冬季最大负荷之比达0.6，而夜间最小用电量与白天最大值之比竟达0.4左右。目前对原子能电站提出了参与电网负荷调节的要求，以适应电力负荷大幅度波动的条件。这样，要求核反应堆具有相应的机动灵活性，即在停堆后的任何时刻都能带负荷运行，并能在很大的范围内改变功率而不致掉入碘坑。如果后备反应性有限，而又不便于估计反应性随运行功率变化的特性时，就不能适应上述运行要求。在反应堆发生故障而需要降功率或短期停堆时，也同样出现变动工况。

本书在第一版发行后，作者听取了各方面的意见，在第二版中增补了一些具有实际意义的例题，在每节之后增附了自习题，并扩充了解题所必需的手册性资料。

本书供从事核反应堆动力装置运行工作的工程技术人员及准备参加该项工作的人员使用。对于核能问题感兴趣的有关人员，均可参阅，会有收益。

目 录

前 言

第一章 作为能源和电离辐射源的核反应堆 (1)

§ 1 原子、原子核、原子能 (1)

§ 2 链式反应、增殖系数、反应性 (7)

§ 3 电离辐射 (16)

第二章 反应堆的功率、运行周期、储能 (38)

§ 4 活性区的释能、反应堆的功率 (38)

§ 5 燃料的燃耗、结渣、再生产和中毒 (47)

§ 6 反应堆的钐($^{149}_{62}\text{Sm}$)中毒 (63)

§ 7 反应堆的氙($^{135}_{54}\text{Xe}$)中毒 (79)

§ 8 温度效应 (132)

§ 9 反应堆的储能 (139)

第三章 反应堆控制 (160)

§ 10 反应堆的次临界和临界状态 (160)

§ 11 反应堆的超临界状态 (178)

§ 12 反应堆的调节机构 (190)

§ 13 反应堆的启动及带功率运行 (223)

§ 14 停堆及停堆冷却 (246)

§ 15 确保核反应堆安全运行的一些问题 (263)

自习题答案 (289)

附 录 (292)

参考文献 (316)

第一章 作为能源和 电离辐射源的核反应堆

§ 1 原子、原子核、原子能

基本定义和计算关系式

1. 近似球形、质量数为 A 的原子核半径为:

$$R_{\text{核}} = 1.2 \times 10^{-13} A^{1/3} \text{ 厘米}$$

核的相互作用半径稍微大一些, 即

$$R_{\text{核作用}} = 1.4 \times 10^{-13} A^{1/3} \text{ 厘米}$$

2. 电荷 Z_1 和 Z_2 彼此相距 r (厘米), 它们之间的相互作用力, 按库仑定律确定:

$$F_c = \frac{Z_1 e Z_2 e}{r^2} \text{ 达因}$$

其中 $e = 4.8 \times 10^{-10}$ C G S 制静电单位——基本电荷。

3. 两个质量分别为 m_1 和 m_2 (克) 的物体, 彼此相距 r (厘米), 它们之间的引力, 按牛顿定律确定:

$$F_n = f \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ 达因}$$

其中 $f = 6.67 \times 10^{-8}$ 厘米³/(克·秒²)——万有引力常数。

4. 具有频率 ν (秒⁻¹) 和波长 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ (厘米) 的电磁辐射能为

$$E = h \nu \text{ 尔格}$$

其中 $h = 6.62 \times 10^{-27}$ 尔格·秒——普朗克常数； $c = 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒——在真空中的光速。

5. 具有速度 v (厘米/秒)、质量 m (克) 的粒子的平均动能为

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k T = \frac{1}{2} \frac{h^2}{m \lambda^2} \text{ 尔格}$$

其中 $k = 1.38 \times 10^{-16}$ 尔格/开*——玻耳兹曼常数； T (K) = t (°C) + 273——摄氏温度 t 所对应的用开氏温标表示的绝对温度； $\lambda = h / m v$ ——在量子力学中描述粒子的德布罗意波长。

6. 具有质量 m (克)、在麦克斯韦速度分布中对应于最可几速度 v_B (厘米/秒) 的粒子，其动能为：

$$E_K = \frac{m v_B^2}{2} = k T \quad \text{尔格} = 8.6 \times 10^{-5} T \text{ 电子伏 (符号}$$

见 §1-5)。

7. 质量 m (克) 与其相应的能量 E 之间的关系，按爱因斯坦定律确定：

$$E = m c^2 \quad \text{尔格}$$

其中 $c = 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒——在真空中的光速，若质量以原子质量单位表示 (1 原子质量单位 = 1.66×10^{-24} 克)，则

$$E = 931 m \text{ 兆电子伏}$$

8. 由 A 个核子 (Z 个质子和 N 个中子) 组成的核的质量亏损为

$$\Delta m = Z m_p + N m_n - m_{\text{核}}$$

其中 m_p 、 m_n 、 $m_{\text{核}}$ ——相应为质子、中子和核的质量。

9. 核的结合能——由单独的核子在形成核时所释放出来的能量；换言之，亦即将核分裂为组成它的单独的核子时所

* 原文为尔格/度。

必须消耗的能量。

$$E_{\text{结合}} = 931 \Delta m \text{ 兆电子伏}$$

其中 Δm ——质量亏损(见§1-8), 原子质量单位。结合能可以通过中性原子的质量, 即初始原子的质量 M 和氢原子的质量 M_H 来表示:

$$E_{\text{结合}} = 931 [Z M_H + (A - Z) m_n - M] \text{ 兆电子伏}$$

使用这个公式更为方便, 因为查表时通常给出的是原子质量, 而不是原子核的质量。包含在公式中原子内电子的质量会自动地抵消掉, 因为它们在反应前后各取不同的符号。

10. 比结合能——在质量数为 A 和总结合能为 $E_{\text{结合}}$ 的核中, 每一个核子的平均结合能 (见 § 1-9) 为

$$\epsilon = \frac{E_{\text{结合}}}{A} \text{ 兆电子伏}$$

11. 利用中子使重核分裂为两个碎片时的质量变化为

$$\Delta m_f = M + m_n - [M_1 + M_2 + (2 - 3) m_n]$$

其中 M 、 m_n 、 M_1 、 M_2 ——相应为初始原子、中子和裂变碎片原子的质量。

12. 重核裂变为两个碎片时放出的能量为

$$E_f = 931 \Delta m_f \text{ 兆电子伏}$$

其中 Δm_f (见 § 1-11) 用原子质量单位表示。

习 题

1.1 试估算核物质的密度

解答: 核物质的密度 $\gamma_{\text{核}} = m_{\text{核}} / V_{\text{核}}$ (克/厘米³), 其中 $m_{\text{核}}$ ——核的质量, 克; $V_{\text{核}}$ ——核的体积, 厘米³。考虑到 $m_n = m_p = 1.67 \times 10^{-24}$ 克, 得到:

$$m_{\text{核}} = m_n N + m_p Z = 1.67 \times 10^{-24} A \text{ 克};$$

$$V_{\text{核}} = \frac{4}{3} \pi R_{\text{核}}^3 =$$

$$\frac{4}{3} \pi (1.2 \times 10^{-13})^3 \text{ A} = 10^{-38} \text{ A 厘米}^3。$$

因而，

$$\rho_{\text{核}} = \frac{1.67 \times 10^{-24} \text{ A}}{10^{-38} \text{ A}} = 10^{14} \text{ 克/厘米}^3 =$$

$$100 \text{ 百万吨/厘米}^3$$

1.2 若已知：

1) 两个质子相距 $r = 10^{-10}$ 厘米；

2) 两个中子彼此也分开同样的距离，试计算它们相互作用的能量各等于多少？

解答：1) 按照库仑定律 (§1-2)，质子相斥飞出时，带有的动能为

$$E_K = F_c r = (4.8 \times 10^{-10})^2 / (10^{-10} \times 1.6 \times 10^{-12})$$

$$= 1.4 \times 10^3 \text{ 电子伏} = 1.4 \text{ 千电子伏}$$

其中 1.6×10^{-12} 尔格 = 1 电子伏 (见附录 4)。

2) 在该种情况下，中子之间的距离大于核力作用的半径 (§1-1)，因此不发生相互作用。

1.3 若 ^{235}U 的核分裂为碎片锶核 $^{95}_{38}\text{Sr}$ 和氙核 $^{139}_{54}\text{Xe}$ ，求当它们相距为二者半径之和时，碎片以多大的能量飞出？

解答：带电粒子在相距 $R_{\text{Sr}} + R_{\text{Xe}} = 11.6 \times 10^{-13}$ 厘米 (见 §1-1) 时，相斥的能量等于

$$E_K = \frac{38 \times 54 \times (4.8 \times 10^{-10})^2}{11.6 \times 10^{-13} \times 1.6 \times 10^{-12}} = 2.55 \times 10^8 \text{ 电子伏}$$

$$= 255 \text{ 兆电子伏}$$

1.4 试求质子的静电斥力比它们的万有引力大多少倍？

解答：根据库仑定律 (§ 1-2) 和牛顿定律 (§ 1-3)，可得

$$\frac{F_c}{F_n} = \frac{e^2}{fm_p^2} = \frac{(4.8 \times 10^{-10})^2}{6.67 \times 10^{-8} \times (1.67 \times 10^{-24})^2} = 10^{36}$$

由此可见，核内的万有引力可以忽略不计。

1.5 试求 1 克物质相当于多大的能量？

解答：按 § 1-7 的公式，利用附录 4 和 5 的单位换算关系，可得

$$\begin{aligned} E &= 9 \times 10^{20} \text{ 尔格} \\ &= 25 \times 10^3 \text{ 兆瓦} \cdot \text{小时} \\ &= 21.5 \times 10^9 \text{ 千卡} = 56.2 \times 10^{25} \text{ 兆电子伏} \end{aligned}$$

1.6 试求一个 100 瓦的灯泡在工作 1000 小时之后，其灼热灯丝的电磁辐射消耗了多少质量？

解答：按照 § 1-7 的公式，利用附录 3 的数据，求得 $\Delta m = 10^5 / (9 \times 10^{20} \times 2.78 \times 10^{-11}) = 4 \times 10^{-6} \text{ 克} = 2.4 \times 10^{18} \text{ 原子质量单位}$ 。

1.7 试问氧的同位素 $^{16}_8\text{O}$ 的总结合能和比结合能各等于多少？

解答：按照 § 1-8 至 § 1-10 和附录 11，对 $^{16}_8\text{O}$ 可得： $\Delta m = 0.13696 \text{ 原子质量单位}$ ； $E_{\text{结合}} = 127 \text{ 兆电子伏}$ ； $\varepsilon = 8 \text{ 兆电子伏}$ 。

1.8 试问自由核子聚合成氦核 ^4_2He 时释放出多大的能量？氦核子的比结合能等于多少？

解答：根据 § 1-8 和 § 1-9 及附录 11，我们得到：氦核形成时的质量亏损 $\Delta m = 0.03037 \text{ 原子质量单位}$ ；结合能（也就是自由核子聚合成氦核时所释放出来的能量） $E_{\text{结合}} = 28 \text{ 兆}$

电子伏；比结合能 $\varepsilon = 7$ 兆电子伏。

1.9 ^{235}U 核吸收一个中子后，分裂为2个碎片，并放出3个中子。如果碎片在衰变后成为稳定的同位素钇 $^{89}_{39}\text{Y}$ 和钕 $^{144}_{60}\text{Nd}$ ，试问 ^{235}U 裂变时释放出多大能量？

解答：根据 § 1-11、§ 1-12 和附录11， $E_f = 193$ 兆电子伏——与习题1.3所得的结果相近。

1.10 求1公斤氦聚变时所释放出来的能量与1公斤铀裂变时所释放出的能量相比约大多少倍？

解答：由习题1.8和1.9的解答看出，当氦聚变时每一个核子释放出 $28/4 = 7$ 兆电子伏的能量，而当铀裂变时则为 $193/236 = 0.82$ 兆电子伏。因此当相同数量（按质量）的氦和铀分别产生聚变和裂变时，它们所释放出的能量，前者为后者的 $7/0.82 = 8.5$ 倍。

实际上目前氦不是由自由核子而是由氢的同位素（氘、氚）聚合而成，这时每一个核子释放出3.5—6兆电子伏的能量。当铀裂变时考虑到各种碎片的产额，每个核释放出约200兆电子伏的能量，即每一个核子释放出0.85兆电子伏的能量。由此可见，在氦聚变反应中可能释放出的能量为同样数量（按质量）铀的同位素裂变时所释放出的能量的4至7倍。

自 习 题

1.11 估算水分子和二氧化铀分子（二氧化铀的密度 $\rho_{\text{UO}_2} = 10.2$ 克/厘米³）的质量（以原子单位和克表示）及尺寸大小（体积和半径）。

1.12 试估算 $^{235}_{92}\text{U}$ 核的体积比氢核 ^1_1H 的体积大多少倍？

1.13 若已知中子的能量分别为0.025、0.1、1电子伏、1千电子伏和2兆电子伏，试求相对应的中子波长、速度及温

度。

1.14 当 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 对称裂变时,试问在裂变瞬间其碎片大约以多大的速度飞出?

1.15 若氘和氚的总质量为 1 公斤,试问聚变时 (${}_1^2\text{D} + {}_1^3\text{T} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n} + \Delta m$) 释放出多少能量?

1.16 若核反应堆的功率为 100 兆瓦,试问当其运行一年所发出的能量相当于多大的质量亏损?

§ 2 链式反应、增殖系数、反应性

基本定义和计算关系式

1. 具有质量数 A 和密度 γ (克/厘米³) 的物质的核密度为

$$N_{\text{核}} = \frac{N_A}{A} \text{核/克} = \gamma \frac{6.02 \times 10^{23}}{A} \text{核/厘米}^3$$

其中 $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ 核/(克·原子)——阿伏伽德罗常数。

2. 相互作用的宏观截面——粒子与 1 立方厘米物质的核在单位路程中相互作用的几率的量度,它等于:

$$\Sigma = \sigma N_{\text{核}} \text{厘米}^{-1}$$

这里 $\sigma = \sigma_a + \sigma_s$ ——相互作用的总的有效微观截面,厘米²。其中 $\sigma_a = \sigma_f + \sigma_\gamma$ ——吸收截面 (σ_f ——裂变截面; σ_γ ——辐射俘获截面); σ_s ——散射截面; $N_{\text{核}}$ ——核密度,核/厘米³。靶是测量微观截面的单位, 1 靶 = 10^{-24} 厘米²。

3. 中子的自由程长,即中子在两次相互作用之间所经过的平均距离,与相互作用的宏观截面成反比,即

$$\lambda = \Sigma^{-1} \text{厘米}$$

(1) 散射长度——中子通过两次散射作用之间的平均距离,即

$$\lambda_s = \Sigma_s^{-1} \text{ 厘米}$$

(2) 迁移长度(散射输运长度)——考虑了各向异性散射的散射长度, 即

$$\lambda_{tr} = \Sigma_{tr}^{-1} = \frac{\lambda_s}{1 - \overline{\cos \theta}} = \frac{1}{\Sigma_s(1 - \overline{\cos \theta})} \text{ 厘米}$$

其中 $\overline{\cos \theta}$ ——散射角的平均余弦 (对质量数 $A > 2$, $\overline{\cos \theta} = \frac{2^*}{3A}$)。

(3) 吸收长度——中子从产生点到被吸收点所经过的总的平均路程, 即

$$\lambda_a = \Sigma_a^{-1} \text{ 厘米}$$

4. 中子年龄 τ (厘米²)——中子从能量为 E_0 的产生点, 慢化到能量为 E 点所经过的直线平均距离($r_{慢化}$)的量度, 对点源介质来说, 关系式为

$$\tau = \frac{1}{6} \bar{r}_{慢化}^2 = \ln \frac{E_0}{E} / 3 \xi \Sigma_s^2 (1 - \overline{\cos \theta}) \text{ 厘米}^2$$

其中 ξ ——见 § 1-7; $\overline{\cos \theta}$ ——见 § 1-3。

5. 中子扩散长度 L (厘米)——中子从它成为热中子的点, 到被吸收的点所经过的直线平均距离的量度, 对点源介质来说, 计算式为

$$L^2 = \frac{1}{6} \bar{r}_{扩散}^2 = 1/3 \Sigma_a \Sigma_s (1 - \overline{\cos \theta}) \text{ 厘米}^2$$

其中 Σ_a , Σ_s , $\overline{\cos \theta}$ ——见 § 1-3。

6. 中子徙动长度 M (厘米)——中子从产生点到被吸收点所经过的直线平均距离的量度, 其表达式为

$$M^2 = (\tau + L^2) \text{ 厘米}^2$$

* 原文误印为 $\overline{\cos \theta} = \frac{3}{2A}$ 。——译者

7. 当中子与核碰撞时，用中子的平均对数能量缩减来表征中子从碰撞前(具有能量 E_1)到碰撞后(能量为 E_2)的能量损失，其表达式为

$$\xi = \ln \frac{\bar{E}_1}{E_2} \approx \frac{2}{A + \frac{2}{3}}$$

其中 A ——核的质量数。

8. 在具有对数能量缩减 ξ (见 § 1-7)的慢化剂中，裂变中子从能量 E_0 慢化到能量 $E < E_0$ 所需的平均碰撞次数，其计算关系式为

$$Z = \xi^{-1} \ln \frac{E_0}{E}$$

由平均裂变能 $E_0 = 2$ 兆电子伏慢化到热能 $E_T = 0.025$ 电子伏的碰撞次数为

$$Z = \frac{18.2}{\xi}$$

9. 中子的慢化系数表征物质慢化中子及保存中子(不被吸收)的能力，其值

$$K_{\text{慢化}} = \frac{\xi \Sigma_s}{\Sigma_a} = \frac{\xi \lambda_a}{\lambda_s}$$

其中 $\xi \Sigma_s$ ——慢化剂的慢化能力，厘米⁻¹。

10. 中子的慢化时间($t_{\text{慢化}}$)是由裂变能 E_0 (速度 v_0) 慢化到热能 E_T (速度 v_T) 的时间，而扩散时间 $t_{\text{扩散}}$ 是热中子到被吸收的时间，分别等于

$$t_{\text{慢化}} = \frac{2}{\xi \Sigma_s} \left(\frac{1}{v_T} - \frac{1}{v_0} \right) \approx \frac{2}{\xi \Sigma_s v_T} \text{秒};$$

$$t_{\text{扩散}} = \frac{\lambda_a}{v} = \frac{1}{v \Sigma_a} \text{秒}$$

11. 中子场的基本特性 (按照苏联1974年国家标准)*

(1) 中子密度 n (中子/厘米³) ——在体积为 dV (厘米³) 的单元球体中的中子数 dn' (中子) 与该体积之比值, 即

$$n = dn' / dV \text{ 中子/厘米}^3$$

(2) 中子流量 Φ (中子/秒) ——在 dt (秒) 时间间隔内, 投射在给定表面上的中子数 dn' (中子) 与该时间间隔之比值, 即

$$\Phi = dn' / dt \text{ 中子/秒}$$

(3) 中子通量密度 ϕ [中子/(厘米²·秒)] ——穿过单元球体积的中子流量 $d\Phi$ (中子/秒) 与该球的横截面面积 dS (厘米²) 之比, 即

$$\phi = d\Phi / dS \text{ 中子/(厘米}^2 \cdot \text{秒)}$$

在物理上, ϕ 可以理解为在单位体积内速度为 v (厘米/秒) 的所有中子在单位时间内 $\left[\left(\text{中子/厘米}^3 \right) \frac{1}{\text{秒}} \cdot \text{厘米} \right]$ 走过的总行程:

$$\phi = n v \text{ 中子/厘米}^2 \cdot \text{秒}$$

(4) 中子注量 F (中子/厘米²) ——穿过单元球体的中子数 dn' (中子) 与该球的横截面面积 dS (厘米²) 之比, 即

$$F = \frac{dn'}{dS} \text{ 中子/厘米}^2$$

(5) 中子流 $\vec{Q}$ (中子/秒) ——矢量, 数量上等于在单位时间内沿正反两个方向穿过单位表面积的中子数之差。

* 这里所引用的一些名称与西文及我国习惯通称有点不同。如: 中子通量密度 ϕ (中子/厘米²·秒) 通常就直接称为中子通量。该书中也有同时引用这两个名称的情况。——译者

(6) 中子流密度 $\vec{j}$ [中子/(厘米²·秒)]——矢量, 数量上等于相反方向上的中子通量密度之差。

12. 在单位时间单位体积内的核反应数目为

$$\omega = \phi \Sigma = n v \sigma N_{\text{核}} \text{厘米}^{-3} \cdot \text{秒}^{-1}$$

13. 热中子反应堆的临界方程式为

$$K_{\text{有效}} = K_{\infty} P_{\text{慢化}} P_{\text{扩散}} = K_{\infty} \frac{e^{-B^2 \tau}}{1 + B^2 L^2} = 1$$

有时临界方程可写为

$$1) \text{ 若 } L^2 > \tau, \text{ 则 } B^2 = \frac{K_{\infty} - 1}{M^2}$$

$$2) \text{ 若 } L^2 < \tau, \text{ 则 } B^2 = \frac{\ln K_{\infty}}{M^2}$$

在这些公式中, $K_{\text{有效}}$ ——中子的有效增殖系数, 是燃料核在这一代中的裂变数与直接存在于前一代中的裂变数之比; τ, L, M ——见 § 1-4, 5, 6; K_{∞} ——不考虑中子泄漏的增殖系数, 即对无限大介质而言(见 § 1-14); $P_{\text{慢化}} = e^{-B^2 \tau}$ ——在慢化过程中的不泄漏几率; $P_{\text{扩散}} = (1 + B^2 L^2)^{-1}$ ——在扩散过程中的不泄漏几率; B ——几何参数, 对半径为 R (厘米)、高度为 H (厘米)的圆柱形活性区, 由下式确定:

$$B^2 = \left(\frac{\pi}{H + 2\delta_{\text{有效}}} \right)^2 + \left(\frac{2.405}{R + \delta_{\text{有效}}} \right)^2 \text{厘米}^{-2}$$

对半径为 R (厘米)的球形活性区

$$B = \frac{\pi}{R + \delta_{\text{有效}}} \text{厘米}^{-1}$$

其中 $\delta_{\text{有效}}$ ——反射层有效节省, 即由于存在中子反射层而减少的活性区线性尺寸, 厘米。

14. 无限大介质的热中子反应堆(即不考虑中子泄漏)的