

Chapter6-栅格的非均匀效应 (Lamarsh 中文版第11章)

主讲人：王侃



清华大学
反应堆工程计算分析实验室

6. 栅格的非均匀效应

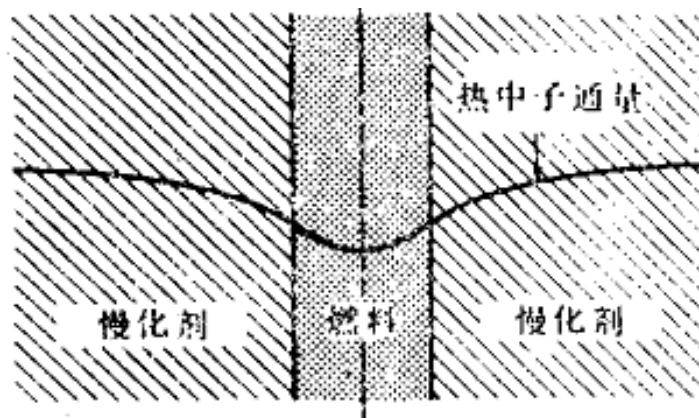
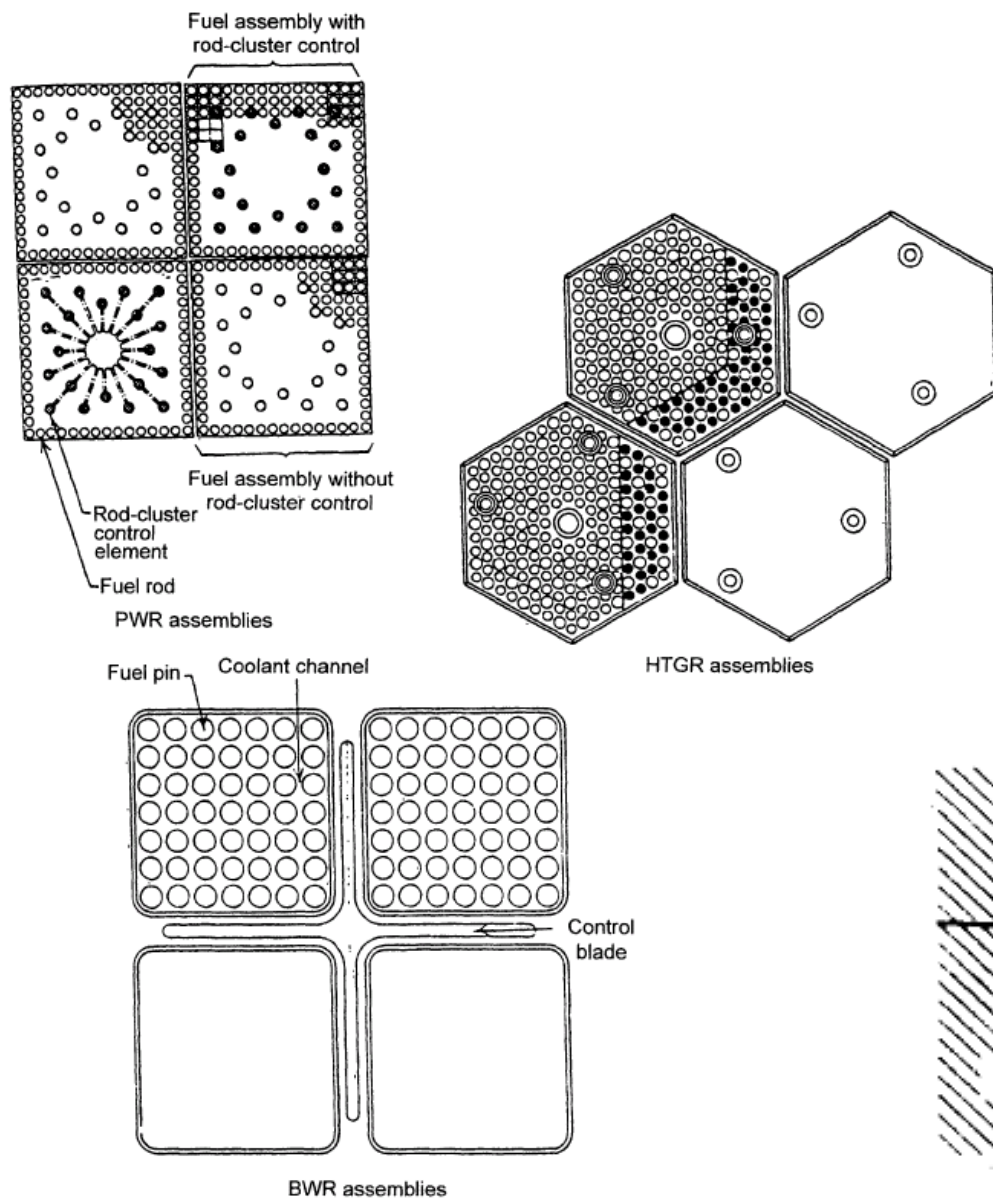


Fig. 3.5 Heterogeneous nuclear reactor fuel assemblies. (From

6. 栅格的非均匀效应

几点说明:

- **反应堆栅格(Lattice):**在非均匀反应堆中, 按照某种有规则的图形布置的燃料和其它材料的阵列。新教材图6-1。
 - **栅元(Cell):** 反应堆栅格中具有相同材料组成和几何形状的单元。
 - 实际反应堆绝大多数为非均匀布置 (为满足热工设计、机械设计和反应性控制的要求) 。
 - 燃料棒尺寸与堆芯内中子平均自由程相比:
 - 1) 轻水堆: 中子平均自由程约1厘米, 与棒径相当, 必须细致考虑非均匀效应;
 - 2) 快堆: 中子平均自由程约为几十厘米, 可粗略处理非均匀效应。
- 准均匀堆

6. 栅格的非均匀效应

热堆 k_{∞} 与非均匀效应的关系(定性分析)

- 世界上第一个反应堆(CP-I)是非均匀结构；若均匀混合：
 - 1) Natural uranium: $\eta=1.33$, $\epsilon=1.05$;
 - 2) NU与C均匀混合: $fp \leq 0.59$;
 - 3) $K_{\infty} \leq 0.83$, 无法达临界;
- 参照新教材图6-2, 考虑分析:
 - 1) 非均匀布置对 p 的影响: 空间自屏效应使得 p 变大。 $I_{eff}(Homo.) = 280b$, $I_{eff}(Hete.) = 9b$; K_{∞} 上升至1.08;
 - 2) 非均匀布置对 f 的影响: f 变小(亦为自屏), 但此效应小于上面 p 的效应。非均匀布置对 ϵ 的影响: 略有上升。
 - 3) 非均匀布置对 η 的影响: 稍有变化, 不明显(能谱受到影响, 计算可得知)。

6. 栅格的非均匀效应

4) 总结论：新教材图6-14(a、b)。注意最佳栅格、慢化不足栅格、过分慢化栅格等概念。

5) 图6-14：对于不同温度，参数变化曲线的物理分析。

6) 图6-15（含硼与无硼），对热中子利用系数 f 的影响不同。

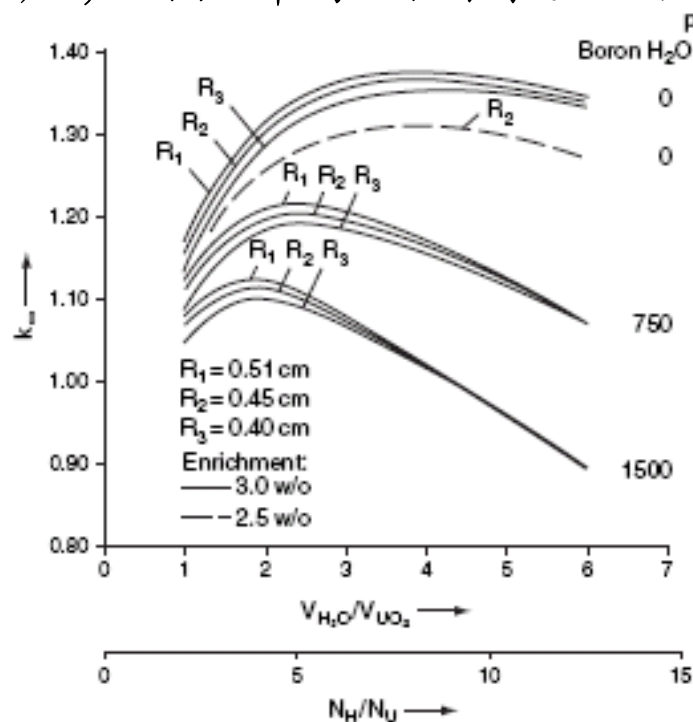
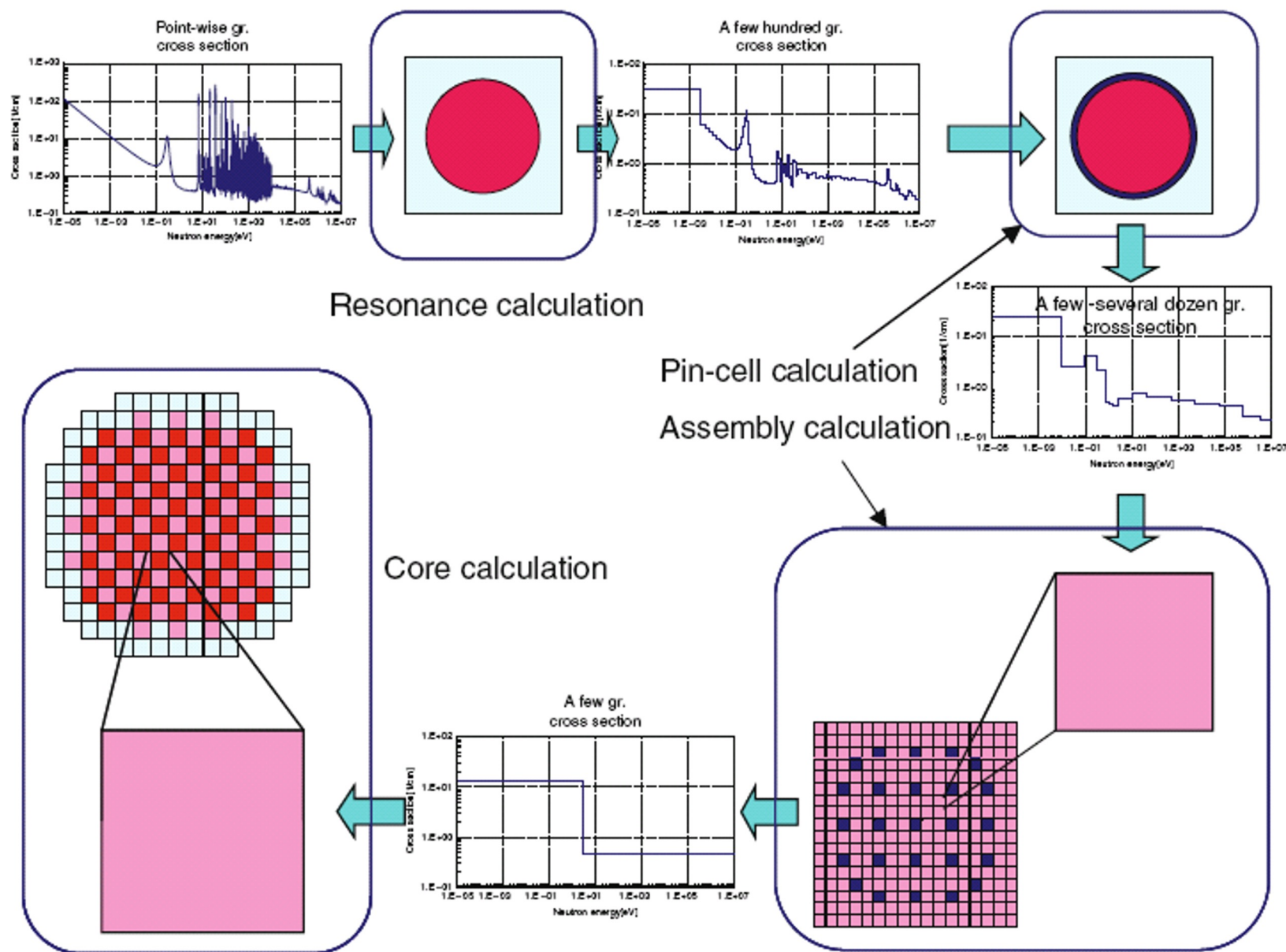


FIGURE 4.7 k_{∞} for pressurized water lattices vs moderator to fuel volume ratios with different rod radii, boron concentrations, and enrichments [adapted from *Theorie der Kernreaktoren*, 1982, by D. Emendorfer and K. H. Hocker, by permission of VGB, Essen].

6. 栅格的非均匀效应（第三代方法——分步均匀化）



6. 栅格的非均匀效应

栅格均匀化

- 栅元均匀化

1) 对于热堆，热中子不利因子(thermal disadvantage factor) $\zeta = \Phi_m / \Phi_f$ 。另，fast advantage factor, $\zeta_f = \Phi_f / \Phi_m$ 。用单群列方程和边界条件，计算 ζ （书后习题）。

2) 栅元边界净流为零(假设堆芯为由相同栅元构成的无限阵列);

3) 保持体积份额不变，方到圆，图6-4，2D到1D。

4) 在保持核反应率密度不变的原则下，用中子通量密度分布(含空间和能量)作权重函数，求出等效的平均核截面（群常数）。

5) Theory of discontinuity factor (Interface current conservation)

均匀化界面流连续
中子通量密度不连续

通量密度连续了，
但其分布变了，反
应率不守恒了！

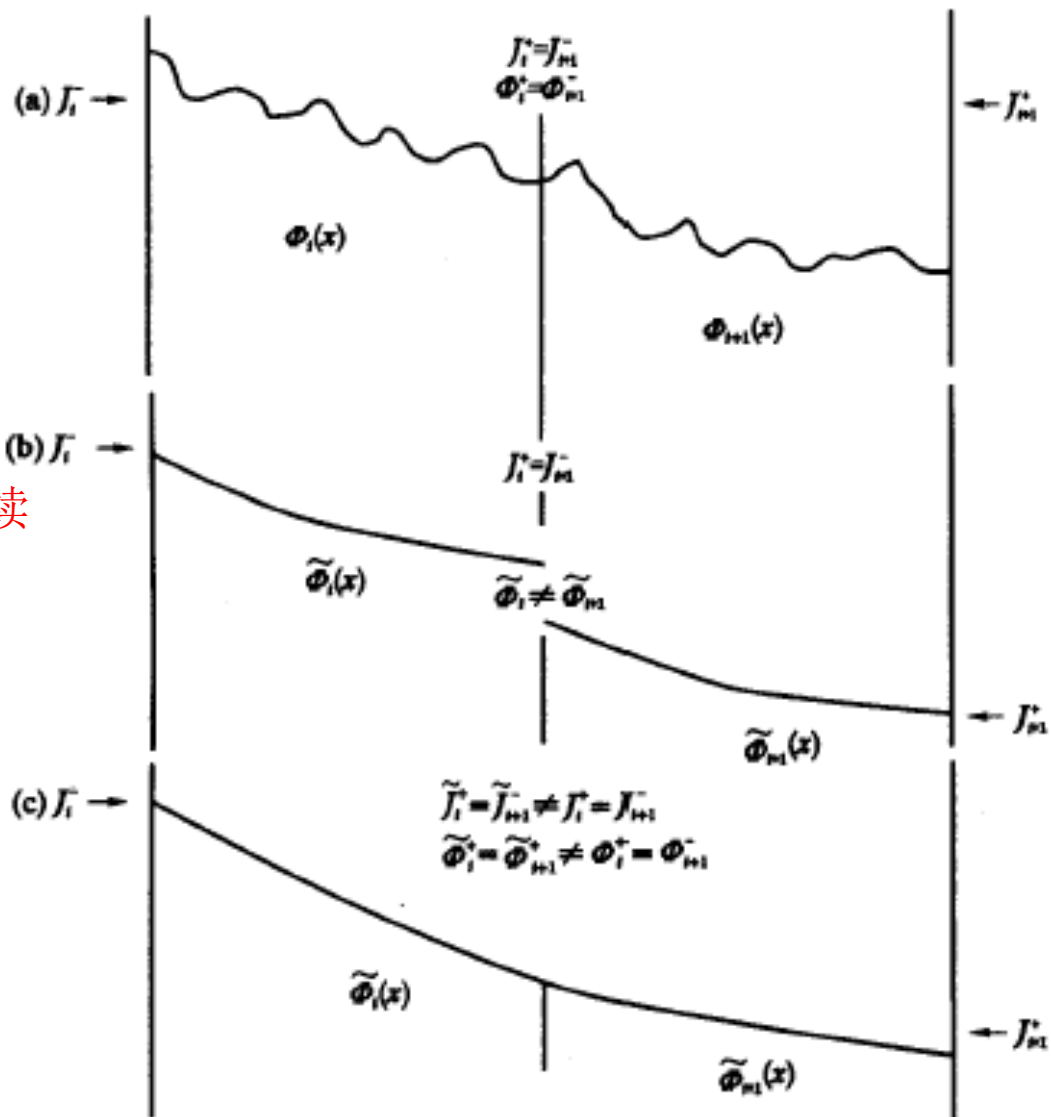


图 6-1 一维节块中子通量密度分布

- (a) 非均匀反应堆的真实通量密度分布；(b) 净流守恒下均匀化节块的通量密度分布；
(c) 界面上中子流与中子通量密度连续条件下相邻均匀节块的通量密度分布

6. 栅格的非均匀效应

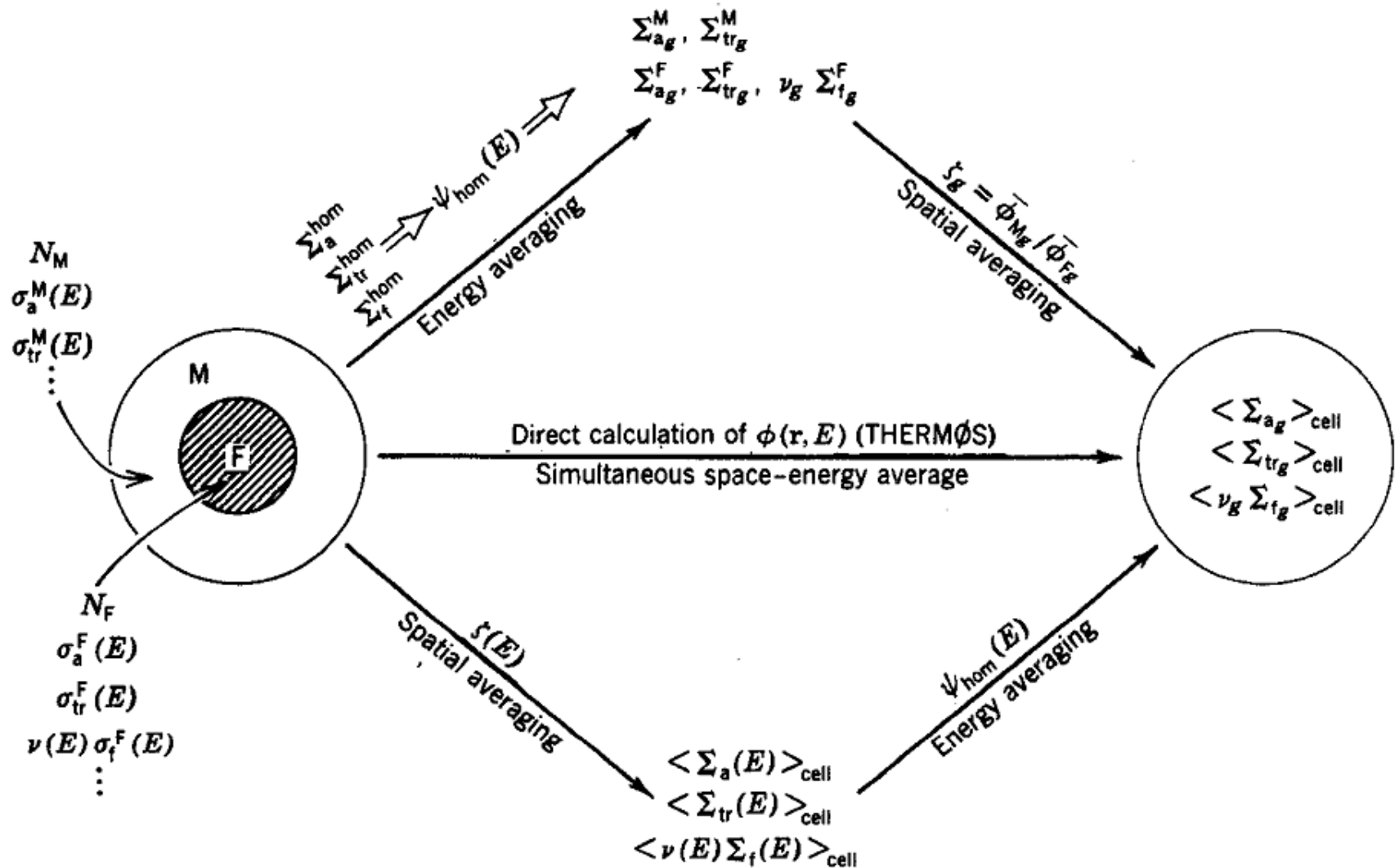


FIGURE 10-7. Various schemes for computing cell-averaged group constants.

6. 栅格的非均匀效应

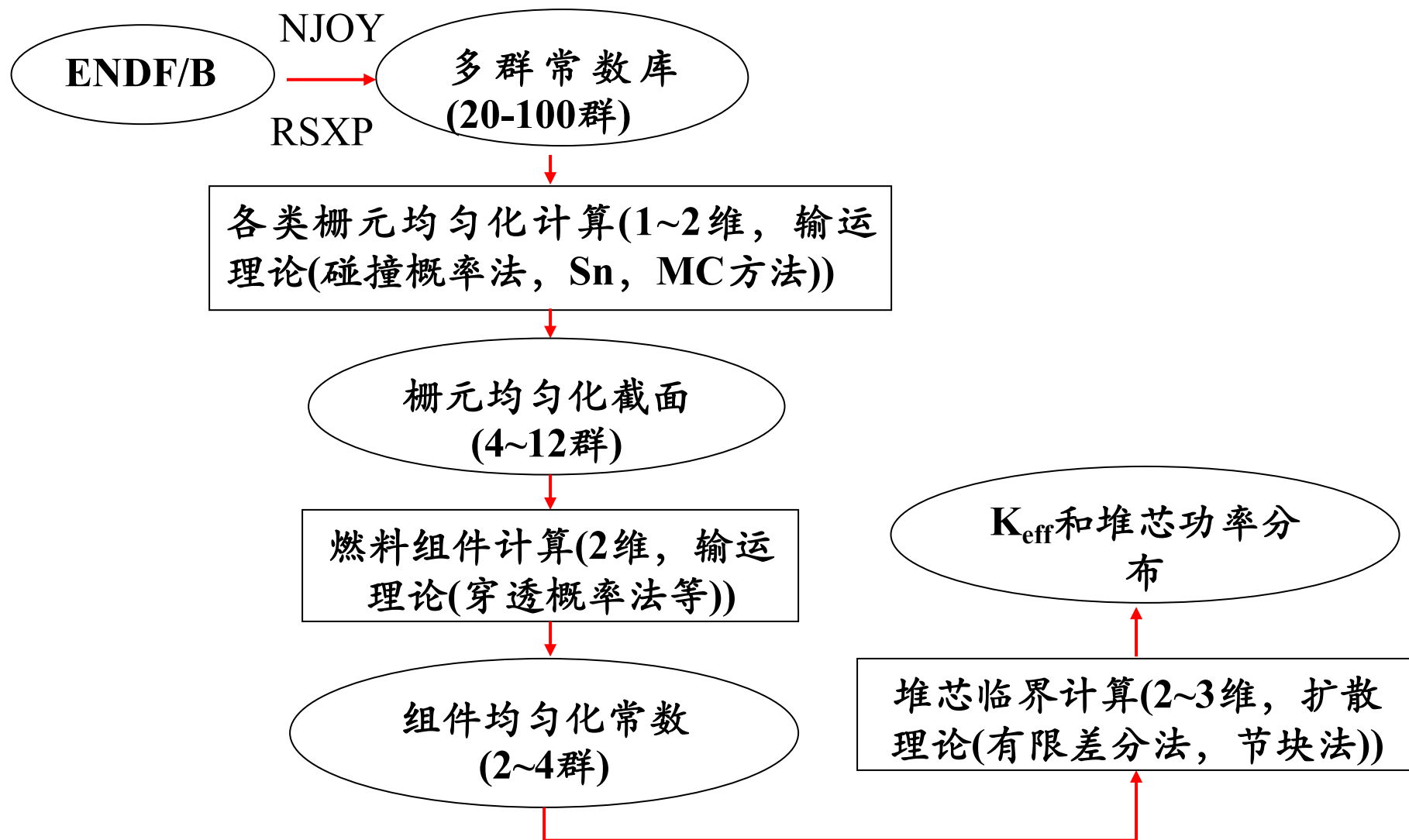
- 组件均匀化

用组件均匀化得到的群常数，作全堆芯计算。少数情况下，作堆芯均匀化，以便做粗略的估算。

因此，精细尺度的栅格非均匀化效应是通过影响群常数而反映到反应堆计算中的。

6. 栅格的非均匀效应

非均匀堆(轻水堆)计算流程示意图



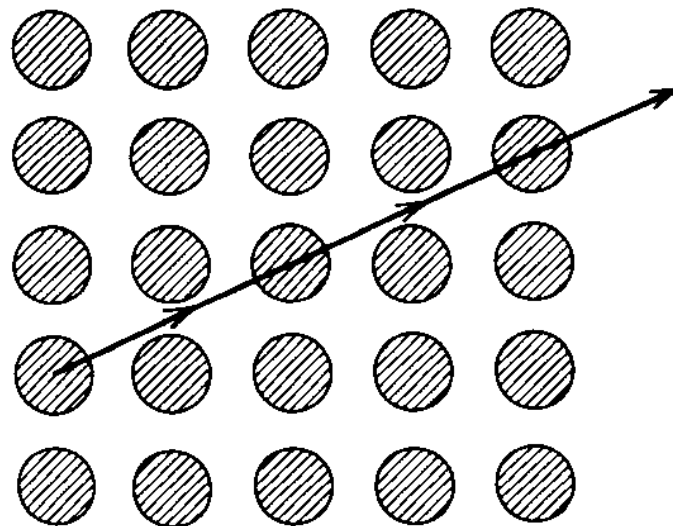
6. 栅格的非均匀效应

温度效应：当燃料温度升高时，由于Doppler展宽效应，使得能量自屏效应和空间自屏效应均减弱，从而使共振吸收增加。热堆负反馈（固有安全特点）

互屏效应：

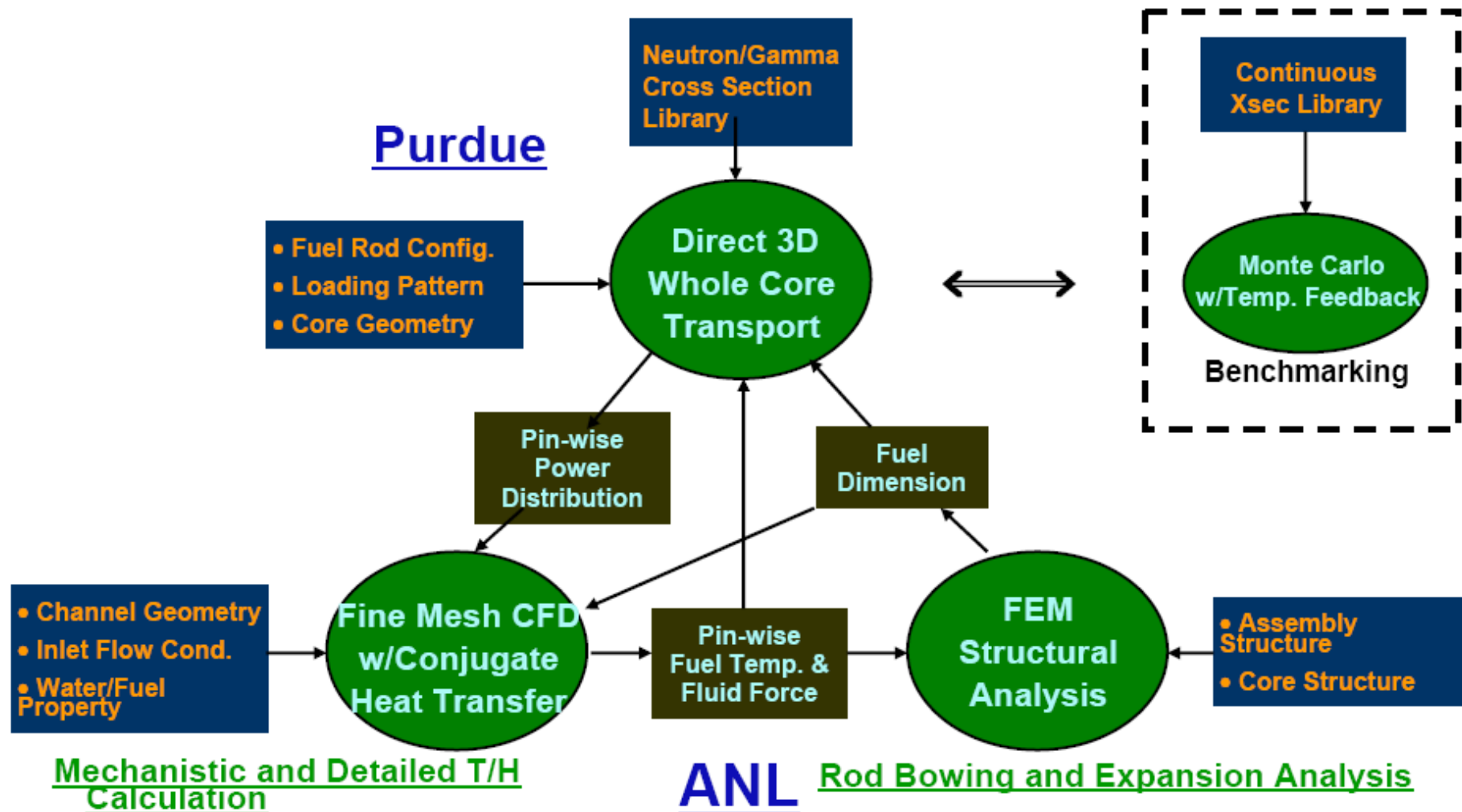
对于稠密栅格（燃料棒之间的距离小于中子在慢化剂内的平均自由程或相当），从燃料内逸出的中子有可能不经任何碰撞而进入邻近的燃料棒内发生碰撞，这会导致总的共振吸收增加。称**互屏效应**，或称Dancoff effect, Rod shadowing。

而对于孤立栅元，中子逸出燃料必定在慢化剂内发生下一次碰撞。



6. 栅格的非均匀效应（一步法直接计算）

Numerical Nuclear Reactor



6. 栅格的非均匀效应

- For purposes of coupling fuel/fluid/neutronic models, the important considerations can be broken down into two categories:

□ Quantities the neutronic model requires from the fuel/fluid models:

- • The radial distribution of fuel temperature within each ring of each pellet
- • The average clad temperature adjoining each pellet
- • The coolant density and temperature distribution in the channel adjoining each pellet

□ Quantities the neutronic model must provide to the fuel/fluid model:

- • The radial pellet distribution of fuel burnup (fuel conductivity is very sensitive to burnup)
- • The radial pellet/channel distribution of heat generation (fission, neutron capture, gamma interaction)
- • The radial pellet distribution of nuclides (actinides concentrate near the outer pellet surface, “the rim”)
- • The radial pellet distribution of fission product generation (isotopes migrate from the pellet, affecting fuel conductivity and plenum pressure)

Q&A



谢谢聆听

Thanks for Listening



王侃

WANG, Kan

wangkan@tsinghua.edu.cn

