

辅助给水系统可靠性研究

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 韩晓峰 指导教师 薛大知

辅助给水系统是压水堆核电站重要的安全系统，其可靠性直接关系到整个电站的安全。本文采用故障树分析法对六个选择的辅助给水系统设计进行了可靠性研究，其中包括正在我国广东省兴建的大亚湾核电站的辅助给水系统。在失去主给水（LMFW）、失去主给水与失去厂外交流电源（LMFW/LOOP）、失去主给水与失去全部交流电源（LMFW/LOAC）三种工况下，给出了每个系统的无效度、主要最小割集，并进行了可靠性评价。文中对系统无效度的影响因素进行了分析和比较，提出了保证辅助给水系统的可靠性的一般要求。本文作者希望这一工作将有利于加深对辅助给水系统的了解。

答辩日期 1987 年 6 月 2 日

低温供热堆断电事故分析

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 牟晓霞 指导教师 王大中

断电事故为低温核供热堆最有可能发生的事故之一。断电事故发生后确保余热发热的逸出是反应堆安全考虑的重要问题之一。5MW 低温核供热堆采用自然循环冷却的方式将余热散入大气。

断电事故涉及堆内整个主回路系统、余热载出系统及有关的外回路系统。本文根据低温堆的特殊性，建立了包括二回路及余热载出系统的数学模型，并在该模型和 DACOL 程序（核能所一室编制）的基础上编制了相应的计算机程序，对断电事故发生后反应堆和余热载出系统的热工动态特性进行了计算、分析和研究。

答辩日期：1987 年 6 月 4 日

低温供热堆控制特性分析

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 何 榕 指导教师 王大中

在低温供热堆的设计中，控制棒传动机构采用了一种新型设计：水力步进传动机构。它和常用的反应堆控制系统相比有很多不同之处。

DACOL 程序是低温堆系统回路动态分析程序,由清华大学核能所编制。为了分析低温堆的控制系统,本文根据 PID 控制原理和串级调节原理,建立了控制模型并使其成为 DACOL 程序的一部分。本文用 DACOL 程序计算了低温堆一回路在控制系统作用下的动态过程,分析控制系统能否满足低温堆的功率控制要求。

计算结果表明,用水力步进机构驱动的控制棒能克服堆芯中的扰动,满足低温堆的功率控制要求。

答辩日期:1987 年 6 月 4 日

失效率概率分布的计算方法

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 王 群 指导教师 奚树人

本文是一篇探讨数据分析方法的文章。在核电站安全分析中,常常要通过分析失效数据来了解系统或部件的失效规律。本文从数学角度出发,运用数理统计方法,给出了部件失效情况的描述。作者针对核电站中失效数据的特点提出求柴油发电机失效率的新方法,并指出原有方法的缺陷。另外,作者研究了双重失效问题,引入条件概率和 β -因子的概念,将双重失效问题转化为“单个失效”和“单个失效与双重失效的关系”这样两个问题,这样有利于处理数据稀少的问题。最后的失效率概率分布的计算结果均在计算机与实现。

答辩日期:1987 年 6 月 6 日

厚壁圆柱壳的弹性静力分析

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 张志军 指导教师 熊敦士

本文研究了弹性圆柱厚壳的静力问题,考虑了横向剪切的影响。假定横向剪切应变沿径向二次分布。利用变分原理得到平衡微分方程组与相应的边界条件。将这个平衡微分方程组归并成一个高阶的微分方程,并用数值法求得它的特征根,从而得到问题的解答。

最后给出一个算例。将本文的结果同用三维有限元程序和薄壳理论的公式算出的结果进行了比较。

答辩日期:1987 年 6 月 9 日

低温供热堆剩余发热冷却瞬态分析

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 杨孟嘉 指导教师 高云鹏 徐元辉

为了在我国开发、利用低温核供热这种实用、经济、清洁的新型能源,清华大学核能所于 1981 年开展低温供热堆的研究,并设计和着手建造一座热功率为 5 兆瓦的模式堆。该模式堆一回路采用自然循环、一体化布置。二回路未设置备用电源,余热载出系统采用自然循环工作方式。

本文通过建立简化的数学模型,编制相应的计算机程序,对该模式堆剩余发热冷却系统的动态过程进行模拟分析,研究在失去热网负荷的情况下模式堆的余热载出系统的动态特性。

一、数学模型

在下面的假设条件下,对模式堆的余热载出系统建立数学模型:

1. 流动是一维的,沿流道截面流速是均匀的;
2. 只考虑由外界传热使冷却剂发生的变化,无源通道作为绝热,等焓流动;
3. 一回路计算中,不考虑压力变化对物性及饱和热力参数的影响;
4. 用集总系统和分离流模型处理两相流问题;
5. 堆芯区用单通道模型;
6. 堆芯区沿轴向的释热率为余弦分布;
7. 二回路流体始终为单相流体。

基本方程组:

$$\text{连续性方程} \quad \frac{dM}{dt} = W_{in} - W_{ex} \quad (1)$$

$$\text{动量方程} \quad \sum_i \frac{L}{A} \frac{dW}{dt} + \sum_i (\Delta p_f + \Delta p_k + \Delta p_l) = \Delta p \quad (2)$$

$$\text{能量方程} \quad \frac{d(MH)}{dt} = W_{in} H_{in} - W_{ex} H_{ex} + Q \quad (3)$$

$$\text{状态方程} \quad \rho = \rho(p, H) \quad (4)$$

$$T = T(p, H) \quad (5)$$

$$\text{汽化方程} \quad x = \frac{H - H_{fs}}{H_{fg}} \quad (6)$$

$$\frac{dx}{dE} = \frac{q'' P_H}{W H_{fg}} e \quad (7)$$

用下面的方程组描述活性区熔场和燃料元件表面与流体的换热:

$$Q_d = Q_u + W \Delta H + mc \frac{dT_f}{dt} \quad (8)$$

$$Q_u = C_u V_u \rho_u \frac{dT_u}{dt} \quad (9)$$

$$C_u V_u \rho_u \frac{dT_u}{dt} = Q_d - A_+ K_+ \frac{dT_+}{dr} + A_- K_- \frac{dT_-}{dr} \quad (10)$$

$$(T_{zr} - T_f) \alpha A = W \Delta H + mC \frac{dT_f}{dt} \quad (11)$$

$$\left. \frac{dT_u}{dr} \right|_{r=0} = 0 \quad (12)$$

$$\left. \frac{dT_u}{dr} \right|_{r=R} = \frac{\alpha(T_{zr} - T_f)}{-K_{zr}} \quad (13)$$

用下面的方程组描述热交换器一次侧·金属管壁·二次侧的传热:

$$W_1(H'_1 - H'_0) - h_1 A_1(\bar{T}_1 - \bar{T}_m) - m_1 c_1 \frac{d\bar{T}_1}{dt} = 0 \quad (14)$$

$$h_1 A_1(\bar{T}_1 - \bar{T}_m) - h_2 A_2(\bar{T}_m - \bar{T}_2) - \rho_m c_m V_m \frac{d\bar{T}_m}{dt} = 0 \quad (15)$$

$$h_2 A_2(\bar{T}_m - \bar{T}_2) + W_2(H''_2 - H''_0) - m_2 c_2 \frac{d\bar{T}_2}{dt} = 0 \quad (16)$$

$$\bar{T}_1 = 0.5 \times (T'_1 + T'_0) \quad (17)$$

$$\bar{T}_2 = 0.5 \times (T''_2 + T''_0) \quad (18)$$

为描述水泵断电后惰转时扬程随时间的变化, 先作两个假定:

1. 流量和泵转速以同一相对速度下降, 即有:

$$\frac{W}{W_0} = \frac{\omega}{\omega_0}$$

2. 断电后泵的效率不变, 仍等于稳态运行时的效率。

在动力电源中断的情况下, 泵的有效功率 N_p 是由转子动能的减小给出的, 即有

$$N_p = -\eta_0 \frac{d\left(\frac{1}{2} I \omega^2\right)}{dt} = -I \omega \eta_0 \frac{d\omega}{dt} \quad (19)$$

又 N_p 和扬程 h_p 存在如下关系:

$$N_p = W g h_p \quad (20)$$

$$\therefore h_p = -\frac{I \eta_0 \omega}{g W} \frac{d\omega}{dt} = -\frac{I \eta_0 \omega_0^2}{g W^2} \frac{d\omega}{dt} \quad (21)$$

对二回路中的阀门, 假定它们的开闭过程与泵的惰转同步, 则对水泵支路的阀门, 有:

$$VK = \frac{h}{D} = 1.0 - \frac{t}{t_e} \quad (22)$$

对冷却塔回路的阀门,有:

$$VK = \frac{h}{D} = BV + (1.0 - BV) \frac{t}{t_e} \quad (23)$$

二、求解

1. 在轴向上将活性区分为若干个体元,在径向上将燃料元件分为若干区,分别对各体元和各区列方程(8)~(13),并求解之,可得燃料元件温度和活性区通道中流体焓场分布。

2. 由能量方程(3)求解无源通道焓场分布。

3. 求解热交换器能量方程组(14)~(18),可得 T_1 、 T_2 等。

4. 将各体元流体密度代入式 $-\oint \rho g \frac{dz}{dx} dx$,沿闭合回路分段积分,求出自然循环压头,然后由动量方程(2)求出 W 。

含水泵的支路,自然循环压头由 ρgh_p 取代。

三、计算结果:

在上述数学模型的基础上,编制相应的计算机程序,并用该程序对5兆瓦(热)低温供热模式堆发生断电事故时自然循环余热移出系统进行模拟计算。

结果表明,该模式堆余热移出系统的设计是安全的,留有裕量的。

答辩日期 1985年12月28日

肋化表面局部放热分布的研究

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 贾海军 指导教师 马昌文 徐元辉

实际工程问题中存在大量要求对流换热的场合,在这些场合下,如何强化对流换热过程是非常重要的,如高效紧凑型换热器的设计及气冷反应堆燃料元件的设计就是如此。目前,肋化是强化对流换热较常用的一种手段,肋化不需要消耗太多的材料,但能使换热面积和放热系数均得到很大的提高。研究肋化表面的局部放热系数分布是非常重要的,因为:

1) 局部放热系数的分布是我们对肋化表面进行近似计算(如取平均放热系数)的基础;

2) 局部放热系数分布是我们进行肋化表面最佳化设计的基础;

3) 局部放热系数分布也是我们进行肋化表面放热机理研究的基础。

从已发表的资料看,国内外对肋化表面的研究不外实验研究和解析计算研究两种方法,实验研究虽然能较全面地反映出各因素的综合影响,但实验设备一般较复杂、实验费用较高,而且研究的周期较长,参数改变不灵活等。理论计算方法目前都是采用数值

计算的方法,计算方法能克服实验方法的不足。许多研究者采用上述方法之一,对肋化表面的放热和阻力特性等进行了广泛的研究,但目前还没有发现有把这两种方法密切结合起来研究肋化表面放热的文献。

本文就是试图在这方面做些工作,我们通过把这两种方法密切结合起来,研究了肋化表面局部放热系数的分布。根据马昌文导师在瑞士 EIR 的 CO_2 气体试验回路“AGATHE”上所作的实验,我们已经知道了几组不同工况下肋化表面的温度分布,根据肋化表面的温度分布和传出的总热流,我们用以二维有限元导热程序 CONDU 为基础的程序 MAIN 计算了相应各种工况下的肋化表面上局部放热系数的分布。我们并不是单纯地把实验结果和最终的计算结果进行比较,我们在计算的过程中就考虑了实验结果,并把它们作为计算的约束条件来控制计算。

程序 CONDU 仅适用于已知温度和已知放热情况的边界条件。但实际问题中我们较易知道的是已知热流的边界条件。如反应堆燃料元件棒,我们就较易根据堆物理计算求得其线功率密度,从而得到内壁的热流边界条件,而包壳内壁的温度和放热系数是不易准确确定的,因而完善程序 CONDU 使之适用于给定热流的边界条件是必要的。

新编程序 MAIN,在给定肋化表面的温度分布和传出的总热流值后,可自动调整任给的一组肋化表面局部放热系数分布值,从而得到一组新的局部放热系数分布值,在这组放热系数分布值下,计算所得到的肋化表面温度分布趋近于给定的肋化表面温度值,而且各测点的计算温度与给定的温度的均方误差为最小,热流边界条件也满足一定的误差要求。

在自动调整放热系数分布的子程序 SUB 3 中,我们做了一个假设,认为肋化表面的温度与相应表面上的局部放热系数成反比。这一假设适用于肋片表面温度变化范围及放热系数变化范围较小的情况,计算结果证明我们所做的这一假设是合理的,因为对于同一工况来说,对任意给定的不同肋化表面局部放热系数分布值,通过计算都能得到大致相同的结果。

通过计算我们已经得到了几组不同实验工况下的肋化表面局部放热系数分布值,分析表明平均放热系数随流量的增加而增加,并大致成线性关系;平均放热系数随 Re 数的增加而加大,并且可由经验公式:

$$Nd = 0.0374 Re^{0.7} Pr^{0.42}$$

来表示,这些都与其他研究者的结论基本一致。

我们的计算还表明:肋片效率是随平均放热系数的增加而下降的。我们认为这主要是由于肋片材料内热阻的影响而造成的。因为实际肋片材料的导热系数都有一定的限度,在我们常见的材料及所使用的工况下,其导热系数不可能无穷大,因而内热阻的影响限定了流到肋片表面各处的热流。所以随平均放热系数的增加,肋片表面的平均温度就要下降,从而造成肋片效率的下降。

对于肋化表面局部放热系数分布的研究表明:肋化表面局部放热系数的最大值在肋片迎流表面的肋尖处,而最小值在肋片背流表面的肋根处。在肋片的迎流表面上,从肋根到肋尖,局部放热系数是逐渐增大的,在靠近肋尖处有一急剧的增加,在肋片的整个迎流表面上,局部放热系数的值都是比较大的。在肋顶表面上,从迎流面的肋尖到背流

面的肋尖处,局部放热系数是逐渐下降的,但总的平均值仍是较高的。从肋片背流表面的肋尖到肋根,局部放热系数是逐渐下降的,没有什么太大的变化,在此表面的整个表面上,局部放热系数的值相对于肋片迎流表面来说都要小许多。从上游肋片背流表面的肋根沿管壁到下游肋片迎流表面的肋根,局部放热系数的值有较大的变化,总的趋势是增加的,开始增加较慢,当到达肋片之间空间的中部时,局部放热系数有一较大的增加,而后增加较慢,一直维持较高的值到下游肋片的肋根处。

上面这种局部放热系数分布可以认为主要是由于在肋片之间空间中所形成的旋涡而造成的。旋涡使肋片迎流表面受到较大的从上向下的冲刷,结果使边界层的扰动加大,因而此表面上的局部放热系数也较大。肋片迎流表面肋尖处所受流体的冲刷最大,因而这里的局部放热系数也最大。肋片背流表面及靠近此表面的管壁部分,由于受旋涡的作用较小,因而局部放热系数的值都较小。这里旋涡作用较小的原因可以认为是由于背流表面阻碍了旋涡的运动,而使流入肋片之间空间中的流体大部分并不到达肋片背流表面而直接从肋间空间的中部向上运动,所以管壁表面靠近下游肋片迎流表面部分上的局部放热系数其值仍是较大的。

另外,我们还研究了局部放热系数随 Re 数的变化,分析表明:肋片迎流表面和肋片顶部大部分表面上的局部放热系数对平均放热系数的贡献是随 Re 数的增加而增加的,而其他表面上的局部放热系数对平均放热系数的贡献则是随 Re 数的增加而减少的,但它们的绝对值是增加的。

除上面的分析研究外,我们还研究了肋片表面温度测量误差对局部放热系数分布计算误差的影响。我们首先同时改变各个测点的温度一个相同的值,结果表明这基本上不影响我们所得到的局部放热系数分布值。然后,我们在保持其他测点给定温度不变的情况下,每次仅改变某一个测点的温度并进行计算。计算表明此时的局部放热系数有很大的变化。如对于 $NO.17$ 来说,我们取各测点的温度每次变化约为肋化表面最大温差的 10% 时,肋片背流表面和肋根管壁上靠近肋片背流表面的部分上的局部放热系数变化可达约 200% (应注意这些表面上局部放热系数其值本身都较小),这说明为了较精确地由计算得到肋化表面局部放热系数的分布,必须精确地测量出肋片表面的温度分布(尽管肋片表面温度测量的系统误差对肋化表面局部放热系数分布计算的影响不大)。这里需要指出:由于测量肋化表面温度分布的实验,要求有高度的实验技巧和精密的测量手段,因而这方面的实验很少有成功的报道。

我们的研究结果表明:

1) 可增加肋高和增加肋宽,以充分利用局部放热系数较大的表面来强化放热(这一结论没考虑肋间距的影响);

2) 增加 Re 数可使局部放热系数较大的肋片迎流表面和大部分肋损表面得到“双重的”强化,即不仅使这些表面的局部放热系数绝对值得到增加,而且使这些表面的局部放热系数对平均放热系数的贡献也增大;

3) 必须提高实验的精度,以便准确地测量出肋化表面的温度分布,从而通过计算得到更准确的局部放热系数分布值。

答辩日期: 1986 年元月 8 日

低温供热堆失水事故的分析 and 研究

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 王 俊 指导教师 马昌文 郑文祥

本文运用热工水力学瞬态分析程序 RETRAN—02 对清华大学核能所正在建造的 5 MW 供热堆的小破口失水事故进行分析。在分析中, 考虑了不同破口位置的事故工况, 并对破口发生后, 失去二回路给水以及安全壳散热对系统响应特性的影响作了研究。分析结果表明该供热堆确实具有良好的固有安全性。在建立输入模型过程中, 进行了某些敏感性研究。

低温供热堆 失水事故 RETRAN

答辩日期: 1986 年 12 月 11 日

自然循环稳定性实验研究

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 姜胜耀 指导教师 吴少蝠

两相流不稳定性将会引起系统的运行和安全问题, 它的存在使系统的经济性下降, 并影响系统的控制。

自然循环在低干度下的稳定性实验, 正在我所进行, 并取得了一批实验结果。实验回路以水为介质, 由两个平行通道组成。用模拟反应堆元件束的电加热棒加热, 其长度为 580mm 上升段长为 3m, 实验压力为 8, 10, 12, 15bar, 过冷度为 5—30℃, 最大加热功率为 350kw。

系统压力, 进口过冷度, 进口阻力系数, 回路阻力系数, 加热功率对单通道及双通道稳定性的影响规律已经由实验得出。实验还研究了管间的联通对稳定性的影响。

理论预测与实验结果的比较也已给出。

答辩日期: 1986 年 12 月 11 日

低温供热堆失水事故下安全壳内参数分析

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 王玉华 指导教师 马昌文

本论文是分析失水事故期间低温供热堆安全壳内温度、压力的响应问题。在对美国核管会编制并作为安全标准的多流道联接、多容积系统的瞬态计算机程序 [COMPARE]

进行了热容方面的改进以后, 将其应用于清华大学核能所 5 MW 低温供热堆, 研究了失水工况、破口面积和容积划分对安全壳内温度、压力变化的影响, 得出了一些初步结论, 为研究低温供热堆的安全性提供了依据。

COMPARE 程序 低温供热堆 失水事故

答辩日期: 1986 年 12 月 11 日

广东核电站安全壳分析

反应堆工程和反应堆安全专业研究生 邢建华 指导教师 奚树人

本文就核电站两个常见的事故序列(断电事故和小破口失水事故)对广东电站的反应堆压力壳、安全壳及一些工程安全设施的响应做了详细的描述。文中还配有较多的基于很小时间步长的各个参数的响应曲线, 有助于读者直观地了解各部分发生的物理过程。本文还对个别安全因素的影响深度做了评价。此外, 做为分析工具, MARCH-2 程序的主要模型也在文中得以介绍。程序在分析中暴露出的一些缺陷也在文中提到。本文在最后一章用比较的方法给出了广东电站对于前述事故序列的敏感程度的结论, 认为单从敏感程度来讲, 广东电站具有很好的安全性。

答辩日期: 1986 年 12 月 12 日

S_bCl_5 -石墨纤维层间化合物导电性和力学性能研究

核材料专业研究生 童晓华 指导教师 李恒德 田杰谟

用高石墨化程度的石墨纤维制备了混合级的 S_bCl_5 -石墨纤维层间化合物。用四点法测量了样品的电阻率。石墨纤维层间化合物的电阻率低于石墨纤维的电阻率。纤维的石墨化程度对层间反应的效果影响较大, 原纤维的石墨化程度越高, 层间的效果越好, 层间化合物样品的电阻率越低。

在空气中放置一定时间的石墨纤维层间化合物样品的电阻率会增大, 但仍然低于石墨纤维的电阻率。层间的结构没有改变, 因此是稳定的。

经层间反应后, 石墨纤维的力学性质变差, 石墨化程度对层间纤维样品的力学性能有较大的影响。

答辩日期: 1987 年 5 月 29 日

氢对沉积速率及涂层性能的影响

核材料专业研究生 郑楠溪 指导教师 马绍川 李恩德

本文采用空心阴极方法沉积氢化钛薄膜,为了搞清在沉积过程中导入氢气对其沉积速率及涂层性能的影响,进行了六十多炉次的不同工艺参数的镀膜实验。摸索出充氢镀膜的最佳工艺参数,并发现了充氢镀膜使沉积速率提高的各种原因。同时对充氢后涂层的硬度、粘着力、成分、形貌、涂层结晶择优取向以及基体的冲击韧性进行了测量与观察分析。实验证明在镀膜过程中导入适量的氢气,不仅会使沉积速率从 $0.04\mu/\text{min}$ 提高到 $0.09\mu/\text{min}$,而且还会使涂层的硬度增加 21%,涂层的成分均匀,并改变了涂层的结构,使涂层结晶择优取向从 (111) 变为 (220)。同时对膜与基体之间的粘着力和基体的冲击韧性也没有损害。为此工艺进一步推广提供了依据。

答辩日期:1987 年 5 月 29 日

核子皮带秤实验研究

核物理专业研究生 周立业 指导教师 安继刚

本文从原理上说明了核子秤的工作过程,比较系统地 from 理论和实验上探讨了物料形状和位移对核子秤精度的影响,并把理论计算与实验结果进行了比较。讨论了动态定标的原理及方法。对一些工作的改进提出了一点建议。

文章有关理论计算的部分是从放射射线穿过物质的基本性质——指数性质出发,考虑到积累因子的影响,得到了电离室输出电流与物料重量的关系。讨论了物料的形状及位移对输出电流的影响,且形状的影响较位移为大。实验上验证了这些结论,还初步探讨了颗粒度对输出电流的影响。

本文还从实验上讨论了电离室对剂量场的均匀性;为了提高测量的精度提出了吸收片技术。

答辩日期:1986 年 12 月 5 日

粗网三维多项式展开法

反应堆物理专业研究生 郭平均 指导教师 罗经宇

现代粗网节块方法的普遍缺陷是不能直接获得有关节块内部的信息。本文讨论的粗网多项式展开法,可以得到节块内部通量近似分布,因而具有广泛的前景。文中首先从

理论角度分析了这种方法。对二次多项式展开法在很大的步长范围内 (1cm~20cm) 进行了数值计算, 研究了它的精度和收敛性, 并比较了二次多项式展开法的两种不同格式: “和”法与“积”法。通过对 IAEA 三维基准问题的校算, 得到了具有实用性的粗网展开法程序 QUAXYZ, 它具有二次多项式展开法和有限差分计算双重功能。最后, 提出了本方法在有燃料问题中进一步应用的可能性。

答辩日期: 1987 年 6 月 4 日

非接触线材在线测量

核物理专业研究生 陈宏宙

指导教师 王泽民

非接触线材在线测量, 使用 γ 源平行入射。当线材从辐射场通过时产生吸收, 射线衰减强度与线材直径有关, 可以通过对指数吸收求积分的办法求得这个函数关系。由于这函数不是初等函数, 要求单板机用二分法求解线材直径值。

放射源选 360mCi 的 ^{137}Cs , 电离室用充 25 个大气压的氩气, AD 转换器使用 $4\frac{1}{2}$ 数字电压表, 前置放大器使用 310J 运算放大器。

整个系统由 E-80 单板机做主机控制, 系统误差小于 0.1mm, 置信度为 0.95 时, 相对精度 1.6%, 综合精度为 $\pm 0.25\text{mm}$ 。系统能实现闭环控制, 因此这套系统可用于线材、盘条等热轧的在线测量。

答辩日期: 1986 年 12 月 5 日

在部分除盐系统中, 用 CO_2 再生离子 交换树脂新工艺的研究

环境工程专业研究生 孟俊城

指导教师 云桂春

本文介绍了对淡水型地下水部分除盐, 使之用于工业循环冷却水的除盐、再生系统中, 用 CO_2 作再生剂, 再生离子交换树脂的新工艺。用 CO_2 再生离子交换树脂的实质是依据离子交换反应的可逆平衡原理, 利用在一定分压作用下, CO_2 溶于水后生成的碳酸的电离产物 H^+ 和 HCO_3^- , 来代替酸或碱电离提供的 H^+ 或 OH^- 的置换反应, 使树脂恢复到初始状态。在对 CO_2 再生离子交换树脂机理探讨的基础上, 对除盐、再生过程中的平衡状态进行了理论计算。通过对 CNP-80 D101 和弱酸阳树脂、D251 强碱阴树脂以及由 CNP-80 弱酸阳树脂与 D251 强碱阴树脂组成的混合树脂床的实验研究, 给出了再生循环的主要工艺参数, 并阐明了用 CO_2 作再生剂再生离子交换树脂这一新工艺的优、缺点。

答辩日期: 1987 年 5 月 25 日

场控晶闸管研制

半导体物理与器件专业研究生 张月明 指导教师 顾廉楚

国外在七十年代末期发展了一种新的电力半导体开关器件,这就是场控晶闸管。与其他电力半导体器件相比,场控晶闸管有许多优点,首先是这种器件具有普通可控硅所没有的自关断能力,其次它的工作频率也比普通可控硅高得多,另外这种器件还能耐高温。由于这些优点,所以人们估计场控晶闸管将在电力电子技术领域中发挥很大的作用,它的出现可以把电力电子技术推向一个新的领域。

场控晶闸管在国外已发展到比较高的水平,特别是美国和日本,据报导日本已研制出最大正向阻断电压达到 2500 伏,最大平均通态电流为 300 安,阻断增益达到 460 的隐栅场控晶闸管。

本论文通过研究管子的工作原理、结构特点和工艺特点,设计并研制出了具有场控晶闸管特性的管芯。

场控晶闸管的结构比较简单,它是在一个 $p-i-n$ 整流二极管的阴极区加上一个纵向结型场效应管制成的。所以这种器件既具有纵向结型场效应晶体管的特性,也具有 $p-i-n$ 整流二极管的特性。场控晶闸管的工作原理也比较简单,当它的阳极相对于阴极加负电压时器件总是处于反向阻断状态;当阳极相对于阴极加正电压时管子可以处于正向阻断或正向导通状态,这就取决于栅电压的极性和大小,若栅电压为负时栅 PN 结处于反向偏置,在两栅之间的沟道处就形成耗尽层使沟道夹断,器件就处于正向阻断状态,反之器件就处于正向导通状态。

本论文主要讨论了场控晶闸管的版图设计和工艺设计。在版图设计中参考了国外已报导的这类器件的尺寸以及一些工艺上的可行性和集成电路的某些设计规则。第一次设计了由几个不同尺寸的单管组成的版图,通过实验检测在这几个不同的尺寸中选择一个最佳尺寸,然后进行第二次版图设计,这一次设计的版图是比较满意的。

工艺设计中主要考虑的是氧化、光刻扩散这三步工艺。氧化中关键是改进氧化层质量和选取最佳氧化层厚度,这些关系到器件是否可以耐高压及光刻线条的精度等问题。光刻中主要考虑的是光刻质量的问题,因为在扩硼过程中扩散时间长,表面浓度高,要在表面形成硼硅玻璃,扩磷要在表面形成磷硅玻璃,这些都是很不好光刻的,需要把光刻和扩散结合起来考虑。扩散工艺中关键是硼的扩散,要求精确控制好扩散结深和表面浓度,只有这样管子才能有比较好的静态特性和动态特性。本论文主要考虑的是管芯的研制工艺,这里的合金化工艺没有很好地解决。

最后对所研制的管芯进行了一些基本测试,主要是静态参数的测试,结果证明这种管子已基本具有场控晶闸管的特性,它的正向阻断电压可以达到 300 伏,阻断增益可以达到 10。论文提出了今后继续工作的方向。

答辩日期:1986 年 5 月 27 日

新疆农作物单产预测

管理工程专业研究生 赵 学 指导教师 邱大雄

本论文是国家科委下达的《新疆大农业规划模型》课题的一部分，其任务是对新疆自治区 12 个地州、6 个市、80 个县的粮食、杂粮平均单产以及水稻、小麦、高粱、玉米、大豆、棉花和油料进行 1985 到 2000 年的长期预测。它对于整个规划模型的研究以及农业生产计划的制定具有重要意义。

论文中对新疆各地农作物单产在进行了政策影响分析、发展趋势分析之后，对单产的历史数据序列进行了数据模式分析，将数据模式分为指数型、递增型、递减型、随机型和突变型，并分析了它们形成的原因。在这些工作的基础上，我们发展和应用了非线性动态模拟法（NDS）、受限自回归指示模型法（LARI）、层次预测模型法（HFM）以及灰色模块模型法（GBM）等预测方法。通过计算、比较，我们认为这些方法较传统方法的优点在于它们较好地、将定性分析和定量计算结合起来，既考虑到历史数据的规律性又结合其发展趋势，使预测结果尽量符合其发展规律。

非线性动态模拟模型的主要根据是：农作物单产在整个发展过程中呈 S 形曲线形式。即从某种作物开始种植时技术不熟练到技术逐步掌握，单产增加速度递增，到技术成熟并普及后，其增产速度逐渐减小，最后趋于平衡达到其最大生产潜力 K 这样一个过程。进一步的分析表明 K 具有阶段性，它是与每个时期的技术水平、投入水平相关的。这样，我们把农作物单产发展过程看作诸多时段内小 S 曲线的包迹而组成的大 S 曲线。因此，我们建立了下列模型： $y = s$ 形趋势项 + 残差辨识项。其中后面一项代表单产在趋势项上的随机波动。该模型引入了时变参数，实现了动态模拟。将预测分为两层次：在用动态辨识方法进行参数估计以后，得到各参数的时间序列值，再根据这些序列值来对参数进行分析、构模、预测。然后由参数的预测值和上述模型结合进行单产预测。

受限自回归指示模型主要考虑到作物单产受政策、技术进步等的影响而引起单产突变这一事实。首先用自回归模型对增（减）产量进行时间序列外推，然后用指示变量表示上述原因引起的突变。这样，我们就在模型中反映了作物单产历史上的阶段性发展这一特性。同时，由于农作物单产增产的潜力是与产量水平成反比的，我们用受限因子来对预测值进行修正，从而得到模型： $Z_{t+1} = \left(\sum_{i=1}^p a_i Z_{t-i} + \Delta \cdot IND_t \right) \left(1 - \frac{y_t}{k} \right)$ 。其中 Z_t 为单产增减量， $1 - y_t/k$ 为受限因子， y_t 为作物单产。论文中对受限因子进行了较详细的讨论，认为 $1 - y_t/k$ 较好地模拟了作物单产的发展规律。

层次预测模型主要建模思想是将农作物单产看作在时变均值上的波动。这样，就将预测分为两层次：首先对均值和单产在均值上的波动进行预测，然后进行单产预测。得到下列模型：

$$\begin{cases} y_t = \mu_+ + Z_+ + e_+ \\ \mu_+ = \mu_{+,-1} + \Delta Q_t + \gamma_r \\ Z_t = (a + bt)(1 - y_t/k) + v_t \end{cases}$$

用有限信息估计法对模型参数进行估计。预测结果表明, 该模型具有概念清晰、能克服随机影响等优点。

灰色模块模型主要以灰模块为“原料”建立自回归模型, 然后再用受限因子进行修正, 我们得到下列模型:

$$\begin{aligned} \text{灰模块:} \quad & x(t) = \sum_{i=1}^t y(s) \\ \text{预测:} \quad & x(t+1) = \sum_{i=1}^p a_i x(t-i) + e_t \\ \text{单产:} \quad & y(t+1) = x(t+1) - x(t) \\ \text{增产:} \quad & \Delta' y(+) = y(t+1) - y(+) = x(t+1) - 2x(t) \\ & \quad + x(t-1) \\ \text{修正:} \quad & \Delta y(+) = \Delta' y(+) (1 - y_t/k) \\ \text{预测值:} \quad & y(+ + 1) = y(+) + \Delta y(+) \\ & \quad = y(+) + (x(t+1) - 2x(+) + x(+ - 1))(1 - y_t/k) \end{aligned}$$

用灰模块构模, 将随机变化的序列变为趋势较强的序列, 具有模型形式简单、可行等优点。

上述模型较好地结合了定性分析和作物的生物学特性, 从拟合和预测结果看, 它们对各种数据模式都有较好的适应性, 同时预测结果符合定性发展趋势。

本文应用各种预测方法包括三次指数平滑法、自适应过滤法和上述四种方法等对每种数据模式进行了拟合和预测, 然后对其拟合优度及预测效果进行分析比较、选择预测模型进行预测。结果分析表明, 上述四种方法的拟合效果很好, 由于结合了定性分析使预测结果比传统方法能更好地反映其发展趋势, 可靠性较强。

从预测结果看, 到 2000 年自治区大部分地区的粮食单产都翻一番; 总产值按 83 年农业产业结构算, 翻不到一番。这说明要使农业总产值到 2000 年达到自治区设想的翻两番半的目标, 还需较大幅度地调整农业产业结构, 这是大农业规划模型所要解决的问题。

总之, 本预测根据数据模式、结合定性分析建立预测模型, 对新疆各地、县农作单产进行了符合定性趋势分析的预测。可为当地制定农业发展规划, 进行农村产业结构等决策研究提供科学的依据。此外, 本论文还发展了包括多种预测方法的中文人机对话预测系统, 可在新疆各地区及全国范围内推广应用。

答辩日期: 1986 年 1 月 10 日

生产力合理布局模型研究

管理工程专业研究生 周维强 指导教师 孙永广

本文建立的是一个静态、多地区、多目标线性规划型的生产力布局模型，主要用来制定国民经济的发展计划。

在制定国民经济发展计划时，使用本模型可得到各省、自治区、直辖市在计划期末年的主要工农业产品产量，各部门的产值，大宗物资的调入和调出量，以及生产成本和运输成本。对各地区上报的生产能力进行综合平衡，以对各地区的生产能力做中期的合理布局。

本模型主要考虑以下几个方面的因素：

(1) 在制定了国民经济和社会发展规划之后，提出了计划期末全国工农业各部门的产值指标，以此作为生产力布局所追求的目标。

(2) 根据国家提出的发展目标，以全国工农业总产值作为国民经济的度量和追求的目标。

(3) 参考各部门的发展目标，以各部门的产值作为各部门发展的度量和所追求的目标。

(4) 参考各地区的发展目标，以各地区的工农业总产值作为各地区经济发展的度量和追求的目标。

(5) 以产值成本率指标作为各部门经济优势的度量，在实现全国总体发展规划的前提下，力争使全社会的总成本（生产成本加运输成本）尽可能降低。

(6) 各地区土地资源的限制和合理利用。

(7) 各地区水资源的限制和合理利用。

(8) 在各部门和各地区对规划期间的建设项目、规模和投资进行了初步安排的基础上，估计出各地区到规划期末所能达到的生产能力，以此作为生产力布局的主要依据。

(9) 各地区人口的增长和生活水平的提高。

(10) 各地区对大宗物资的需求以及地区之间大宗物资的调运。

(11) 各地区运输能力的限制。

模型中的目标按其考虑的优先顺序分成三个层次：

(1) 全国工农业总产值目标。

(2) 各部门产值和各地区工农业总产值目标。

(3) 全社会总成本目标。

模型中的多目标问题采用我们称之为满意优先顺序目标规划方法求解。

本文以我国第七个五年计划作为试算的实例，得到了七·五计划期末年的国民经济主要指标，并对七·五期间的经济发展趋势，以及影响经济发展的主要因素做了简单地

分析。

七·五期间，全国经济建设的重点将逐渐由东向西转移。经济落后地区的发展速度将高于经济发达地区的发展速度，但是落后地区的工农业产值在全国占的比重仍然很低。

七·五期间，各工业部门的发展速度快慢不等，2000年实现全国工农业年总产值翻两番，各部门不应该同步地翻两番。

七·五期间，各地区经济发展的重点不应该完全相同，而应该发挥各自的经济优势，以下列出的是各地区在七·五期间将重点发展的部门：

华北地区：煤炭工业、钢铁工业、电力工业、有色金属工业、纺织工业和农业。

东北地区：化学工业、机械工业、食品工业和农业。

华东地区：电力工业、石油工业、食品工业和纺织工业。

中南地区：有色金属工业、电力工业、化学工业、机械工业和纺织工业。

西南地区：黑色金属工业、电力工业、机械工业和食品工业。

西北地区：黑色金属工业、有色金属工业、化学工业、机械工业和食品工业。

七·五期间，大城市的工农业生产的发展速度放慢，但由于它们第三产业的大力发展，其社会总产值的增长速度并不因此而放慢。

七·五期间，全国的农业比重趋于降低，各地区的农业朝着工、农业比例协调的方向发展。中南、西南、西北三个农业比重偏大的地区，比重将减小。七·五期间，全国农作物播种面积结构将发生一定变化，粮食和棉花的播种面积逐年减少，油料和糖料的播种面积将适当增加。

七·五期间，电力供应仍将严重不足，它是影响经济发展的主要障碍之一。电力工业发展的最大障碍在于电站建设的周期太长，因此缩短电站的建设周期将有助于经济的发展。

七·五期间，各地区的货运量，尤其是山西煤炭的外运量将大幅度增大，造成交通运输吃紧。因此，大力发展交通运输事业，提高运输能力，是七·五期间需要重点解决的问题之一。山西煤炭外运的顺利解决，则是缓和整个运输紧张局面的关键。

答辩日期：1986年3月12日

国家级能源需求中长期预测

管理工程专业研究生 李同越 指导教师 吴宗鑫

本文的目的是研究到本世纪末在工农业总产值比一九八〇年翻两番的条件下的中国能源问题。其中，以能源需求量预测为主，包括了节能、替代、进出口产品结构对能源需求平衡的影响等重大问题的研究。

为了达到这样的研究目的，我们构造了一系列模型。首先，运用动态投入产出方法构造了宏观经济模型，用来预测到二〇〇〇年各部门的产值、投资等宏观经济参数。宏