

科学技术成果报告

反应堆成果报告

—— 提要汇编 ——

中国科学院原子能研究所

一九八〇年三月

说 明

一九七九年一季度我所召开了第三届成果报告会。现在核反应堆报告会的基础上，收集了有关文章的提要汇编出版，供有关科研人员参考。

汇编中所列提要 148 篇，分为六个部分：堆运行与堆技术；堆控制技术及核电子仪器；堆物理；元件材料；热工水力；堆化学与堆腐蚀。

如果需要了解和交流各提要所述工作的详细情况，可与有关工作人员联系。对编印中的缺点和错误，欢迎读者提出宝贵意见。

编 者

一九七九年十一月

目 录

一、反应堆运行与反应堆技术

1. 从元件壁面温度测量看 49-2 反应堆的热工潜力
2. 101 反应堆大修改建工程概述
3. 101 重水堆辐照同位素经验
4. 沉子式水位计在重水反应堆上的应用
5. 重水反应堆生产同位素的运输工具——旋臂吊车的革新
6. 反应堆棒束元件波纹架的模具设计与工艺
7. 直流螺管式电磁执行器的工程简易计算方法及其应用
8. 电阻式钠液位计的研制
9. 液态金属钠直流电磁泵试验总结
10. SNAP 型空间反应堆
11. γ 测量装置对反应性的扰动
12. 对 49-2 回路系统现状的评价及其改进意见
13. 49-2 堆内压水试验回路的改建
14. 49-2 堆内元件考验回路运行分析
15. 49-2 反应堆安全运行的几点经验
16. 屏蔽泵的性能与使用维护

二、反应堆控制技术及核电子仪器

17. 在高电阻介质中研究金属腐蚀性能的恒电位仪
18. 集成电路化零功率堆控制仪器
19. BF_3 中子计数管密封集成电路探头的设计
20. 无线电控制的 101 大厅吊车
21. 热功率表简介
22. 全晶体管周期保护装置
23. 自动切换量程数字式功率表
24. 49-2 反应堆集成电路控制保护系统研制报告
25. 电离室孔道内 γ 辐照强度测量
26. DWT-702 仪表改装小结及检修说明
27. 补偿中子电离室 DS 的质量鉴定和使用中的一些问题

28. 100 点自动巡回检测系统
29. 49-2 功率保护放大器技术革新总结

三、反应堆物理

30. 铍反射层堆的动态计算
31. 含铍反射层堆的动态方程和解
32. 铍的光激缓发中子产额计算
33. 49-2 堆几个常用垂直实验孔道 1[#]、3[#]、4[#]、5[#] E5 内 γ 剂量率测量
34. 用非裂变阈活化箔探测器测定 49-2 反应堆内快中子通量谱
35. 中心单根控制棒计算
36. 元件考验回路内中子通量测量
37. 测量快中子能谱的阈探测器的选择
38. 通量展平
39. 核数据宏观检验的概况
40. 计算热中子反应堆群常数 QCS-1 的解析和半解析方法
41. 脉冲中子源法实验数据的双指数符合
42. 用分析系统稳定性的方法研究增殖介质系统的增殖性
43. 101-2 重水栅格精细分布测量
44. 用锰活化方法刻度 101-2 重水零功率堆的绝对通量
45. 用 Ge(Li) 探测器测量 101-2 重水栅的相对转化比
46. ZrH_{1.7-2} 零功率堆及其物理特性的初步测定
47. 方波加权法测量控制棒效率的原理及其应用研究
48. 东风 3[#] 零功率堆 H 方案中子通量绝对测量
49. 源倍增法测量负反应性
50. 有限单元法在中子扩散问题上的应用
51. 高浓铀重水零功率净堆实验
52. 用脉冲中子源技术测定临界反应堆中的 L_{eff} 和 β_{eff}
53. 脉冲中子源方法及其在 101-2 重水零功率堆的应用
54. 极化相关研究的进展
55. 101-2 重水栅格能谱参数测量
56. 方差——平均法测堆动态参数的研究
57. 重水堆三维非均匀问题数值解
58. 101 重水堆超铀元素生产能力的初步设想

四、反应堆元件材料

59. 铀、铝合金元件设计研究

60. 银、铟、镉控制棒设计
61. 金属铀元件高功率加深燃耗考验
62. 铀、铝合金元件考验小组件设计
63. 铀、铝合金元件堆外实验小结
64. 金属铀元件加强热负荷考验后的检验
65. 国产 S271、S272、A508 钢的辐照脆化效应
66. 低合金钢的辐照脆性研究
67. 电渣熔铸 645-3 钢辐照性能的研究
68. S271 钢焊缝辐照实验总结
69. OCr18Ni10Ti 不锈钢的辐照性能研究
70. 热离子能量转换器材料与铯的相容性
71. 铀、铝合金燃料管及铝包壳蠕变性能
72. 堆内热离子转换器
73. 单节热离子二极管堆内试验
74. 金属陶瓷封接件辐照的堆内测量
75. 铯热离子二极管中应用的冷焊技术
76. 镍铬-镍铝、镍铝-镍硅的套管热偶辐照试验
77. 铯自给能探测器测量考验元件的热中子通量
78. 高温高压元件考验装置设计
79. 结构材料高温辐照装置总结
80. GH-169 材料辐照用高温辐照装置设计
81. 方形辐照装置
82. 堆内测量 UO_2 燃料元件的有效热导
83. 二氧化铀辐照效应调研报告
84. 核材料辐照效应研究的调研报告
85. 国外重水堆及锆合金
86. 断裂力学调研报告
87. 元件破损探测调研报告
88. 研究氢脆的表面分析核技术的调研报告
89. 活性区测量仪表的发展和在燃料元件性能研究上的应用
90. 元件材料热试验室的设计建造
91. 金相热室屏蔽实验
92. CtS-20 万能试验机调试
93. 低速金刚砂轮切割机及热铀切割
94. 金相热室设备
95. 用 γ 扫描法测定金属铀元件径向相对燃耗分布
96. 罩式小电流自动氩弧焊机的研制及焊接工艺
97. 热室 x 光衍射仪方案设计

98. 金属铀元件切割后的剂量监测
99. 金属铀元件包壳端厚检测仪的研制
100. 光电远传水位计
101. 液膜式静电沉降器及其改进设计
102. UO_2 陶瓷燃料元件堆外检测系统方案设计

五、反应堆热工水力

103. 定位肋条、偏心度、双面加热和长度对套管元件临界热负荷的影响
104. 硅光电池在传热临界监测技术中的应用
105. 低压套管临界热负荷试验研究
106. 流体在平板与套管内的湍流换热
107. 欠热水在套管内的表面沸腾与压降
108. 非圆形通道内的湍流换热
109. 矩形流道内定位肋条附近的放热系数测量
110. 带肋铝元件氧化膜形成对温度场的影响
111. 热管试验研究
112. 多层带肋燃料元件的热点温度计算
113. 高压欠热水在带定位隔架的十根束棒临界热负荷试验研究
114. 两相流动中蒸汽体积分数的测定和计算
115. 水在表面沸腾状态下摩阻压降的实验研究
116. 重水反应堆工艺管振动试验
117. 重水反应堆工艺管水力特性
118. 堆用泵惯性流量试验及计算
119. 反应堆事故停电时流量衰减测量方法研究
120. 压力壳式反应堆活性区流量分布
121. 水纵向流过有限棒束流道时在紊流条件下的速度分布实验与计算
122. 实验堆金属铍构件热工设计
123. 改建后的重水反应堆压力室流量分配实验
124. 液态金属钠在同心套管内的湍流放热
125. 低贝克列数区液态金属钠在圆管内的放热实验研究
126. 反应堆热工水力试验中的测量技术及其进展
127. 七根棒元件盒内冷却剂混合试验
128. 水纵向流经棒束通道时的湍流放热
129. 用直接通电加热试样法测铀铝合金导热率
130. 铠装碳化硅热敏电阻的堆内试验
131. 多层带肋元件偏心对温度分布的影响
132. 五根棒束临界热通量实验研究

六、反应堆化学与腐蚀

133. 控制棒材料 Ag-In-Cd 合金腐蚀试验总结
134. 工艺管铝合金动水腐蚀试验总结
135. 堆用燃料包壳铝合金在中、高温水中耐腐蚀研究
136. 环氧玻璃钢 γ 辐照及水腐蚀试验报告
137. 1Cr₁₈Ni₉Ti 不锈钢和 CAB-1 铝合金在几种去污剂中的腐蚀
138. 反应堆中汞污染重水的净化
139. 反应堆中重水除铀净化
140. 铬酸钡悬浮液——分光光度法测定微量硫酸根
141. 4,7-二苯基-1,10-邻菲罗啉分光光度法测定水中微量铁
142. 硫氰酸汞分光光度法测定一回路水中微量氯离子
143. 49-2 反应堆水化学问题调查报告
144. 采用动力学法测定水溶液中的微量银
145. 钠冷堆用材料动态腐蚀筛选研究
146. 高温燃烧法钠中总碳量的测定
147. 真空蒸馏法测定钠中氧含量的工作报告
148. 高温高压多头应力腐蚀仪的设计

一、反应堆运行与反应堆技术

1. 从元件面温度测量看49-2反应堆的热工潜力

本报告首先阐述水堆的热工设计准则：1.堆内不允许出现沸腾；2.在最大超功率和可以预计的瞬态情况下，计算的局部偏离泡核沸腾比值DNBR的设计下限为1.30—2.00；3.燃料芯部的最高温度低于 UO_2 的熔点或芯部与包壳之间不发生不相容的现象；4.水力学稳定；5.燃料包壳表面温度及腐蚀速率的限制。其次提出了计算冷却剂轴向温度分布、燃料元件包壳表面温度、放热系数、燃料芯棒温度等的基本计算公式。然后根据49-2堆现在的运行条件，对包壳表面温度、芯棒中心温度等进行了计算，并与实验测定值作了对比。结果表明：1.计算结果与实测结果基本上符合；2.现在运行的功率，已经达到原设计要求，包壳表面温度不超过 $93^{\circ}C$ 这一极限；3.如果允许热管元件出现局部的表面沸腾，则在现有的基础上，反应堆的名义功率再提高70%，对设计安全准则，仍能基本满足。

本文所阐述的方法，也可用于其他类似的水堆的设计和计算。

(作者：刘汉洲)

2. 101 反应堆大修改建工程概述

101 实验性重水反应堆 1958 年9月投入运行。二十年来承担了我国大部分堆照同位素辐照生产、物理实验、考验燃料元件等任务。

按原设计，这个堆的使用寿命 15 年。从七十年代初起，陆续发现内壳微漏，主热交换器管子中约 4% 有较严重腐蚀，工艺管插座重水漏流量增大，重水泵主叶轮有严重汽蚀及裂纹等。根据部、所领导指示，进行大修改建，其原则是：

1. 重水堆今后的任务是辐照放射性同位素，物理实验和燃料元件考验。为此，建立元件考验回路。

2. 改建后燃料元件仍沿用低浓铀，不另研制新元件。

3. 充分发挥原有厂房和辅助设施的作用，并加以必要的更新和检修。

4. 注意防护工作，防止对环境和地下水的污染。

根据以上原则，经审查确定的方案要点如下：

趁更换反应堆内壳的机会，将活性区栅格由 13 cm 改为 9.2 cm，将 ^{235}U 的浓度从 2% 提高到 3%。在活性区中央和外围重水反射层形成热中子高峰（15 MW 时，中央 $\Phi_{th} = 1.8 \times 10^{14}$ ，外围 $\Phi_{th} = 9.2 \times 10^{13}$ ），以便更好地辐照燃料元件和同位素。更新主热交换器，增添了列管数目，由原每台 253 根增添到 447 根，热交换面积由原 58 平方米增加到 102 平方米。对重水管路作局部修改，并改为三台重水泵并列运行，同时二次

水管路也作局部改动，也以三台水泵并列运行，挖掘热工水力潜力。这样可使冷却回路带出 15MW 的热功率（较原来增加 50%）。

改建后的收益：可使热中子最大通量提高一倍左右，同位素产量可增加 2—3 倍，燃料元件考验功率可提高一倍。栅格变密后，活性区内中子能谱显著变硬，可向用户提供更高通量的快中子，增加了利用不同能量中子的灵活性。由于在重水反射层内设有 24 根垂直管道，固而使靶料辐照环境温度可由原来石墨层的 200—300°C 降到 70°C。

在重水零功率装置上进行了 2%、3%（浓缩铀重水栅格实验，得出：1）栅格功率分布及相对热中子通量分布理论计算与实验在 5—10% 之内符合。2）2% 浓度的元件有效倍增因子的理论计算与零功率实验结果在 ~ 1% 之内符合。

利用大厅北侧，标高 ± 0 米以下的空地，建成 269 平方米的新地下室，包括：考验回路间，旧内壳永久性埋藏井，干燥井。

扩建通风系统，增设 3 台抽风机，并新设高效过滤器及活性炭过滤器。

引进控制机，执行运行参数巡检，反应堆功率调节及元件考验回路的部份控制，同位素生产，改造主控制室。

进行了回路去污的研究，确定了去污方法和强放内壳和回路的远距离操作方案。

1978 年底已开始大修改建，预计在设备加工保证的前提下，一年可以完成。

（执笔人 马福邦）

3. 重水堆辐照同位素经验

重水堆二十年来承担了国内堆照医用放射性同位素、多种放射源及活化样品等堆内辐照工作，辐照靶料种类达一百多种。

根据二十年来的实际管理情况和辐照过程中发生的事及及各种异常情况，总结了同位素靶料入堆辐照的安排和运筹管理经验，总结了同位素靶料物理化学状态，靶料包装形式，辐照场及泄漏监测等方面的辐照安全经验。对同位素辐照的管理工作，对同位素靶料罐取放运输设备的进一步改进提出了初步设想。

（执笔人：张存贤）

4. 沉子式水位计在重水反应堆上的应用

重水反应堆活性区重水水位是重要的物理参数之一。为保证正常运行，监督重水泄漏，要求对水位做自动精密连续监测。对重水水位计的基本要求：灵敏度 $\pm 1\text{mm}$ ；附加误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ；跟踪速度不小于 10mm/sec ；测量范围 0—2000mm。

重水水位计原设备为苏联设计的电阻接触式水位计。其一次仪表系一根用真空橡皮做密封材料的铝制探针。由于探针工作于活性区强辐照场中，使橡皮密封在短时间内被辐照破坏。另外，探针与水面接触处在短时间内产生污垢状绝缘物致使接触电阻由正常值 $50\text{K}\Omega$ 增至 $1\text{M}\Omega$ 以上。因此一根探针的正常使用寿命一般为几个月，维修频繁，工作量大，极不适应运行要求。为改善探针寿命曾更换了探针材料（改用石墨），并对各种

密封材料做了辐照损伤对比试验，实用效果均不甚满意。

我们研制了一件基于称重原理的沉子式水位计替代了上述探针式水位计。其一次仪表仅为一用细钢丝绳牵引的铝制小饼。这从根本上解决了辐照破坏问题及接触问题。

现场运行五年表明，这种水位计具有一次仪表耐辐照寿命长，系统结构简单，测量精度较高，维修周期长等优点，是一种能适应强辐照场密封条件下使用的较理想的水位测量装置。

(作者 韦永年)

5. 重水反应堆生产同位素的运输工具——旋臂吊车的革新

在重水反应堆的活性区和石墨反射层里的垂直孔道内放进了铝制的样品罐，罐里放了靶材料，经过中子辐照后，将靶材料取到同位素车间制备成放射性同位素。在环形水箱上部沙层里的备用孔道用来存放已辐照或未辐照的样品罐。

在反应堆顶部防护水箱构成的堆小室里有一台旋臂吊车，原苏联设计是用来吊装垂直孔道塞子的，不能用来取放同位素样品罐。苏联为这座反应堆提供辐照同位素的设备非常落后，一是每根垂直孔道内只能放一个样品罐。二是取放样品罐时必须停堆，就地手动操作。

从1959年起对吊车进行改进，在吊车上增加了一个抓取样品罐的电磁抓钩，后来又改为更可靠的真空抓钩。吊车定位在1973年底改装成随动系统，能自动对准垂直孔道，可以在远距离操纵台上通过工业电视监视，并在不停堆的情况下远距离取放孔道内的样品罐。

革新前要有2—3个人在反应堆大厅里取放同位素样品罐，革新后的吊车操作简便、效率高，只要1—2人操作，操作人员不受放射性辐照。

(执笔人 陈国舜)

6. 反应堆棒束元件波纹架的模具设计与工艺

重水堆拟用二氧化铀棒状元件取代现在使用的金属铀元件。形为“齿轮圈”的波纹架，将12根一束的 UO_2 元件按一定的技术要求固定于工艺管内，保证装配精度，而又能经受住一定压力和流速的冲刷。

波纹架这样一个“畸形”另件尺寸公差，角度形位公差要求都较严，它非一般工作母机、车铣等工艺可以制造的。为保证棒束元件实验按时进行，我们设计制造了波纹架成形模具。成形原理是，波纹架毛坯是车制的簿壁圈(其圆周长略短于波纹架展开长)，毛坯装入模具后，12个滑块沿模体上的向心槽径向同步运动压向毛坯外圆使变形，直至毛坯圈变形到与阳模附贴并得到适量的拉延(防离模后回弹)。模体、滑块、阳模等模具的关键另件是靠一定的工艺措施达到其技术要求的。试压出的波纹架产品经工具显微镜测量，达到了设计要求。模具精度稳定，可随时为重水堆棒束元件生产波纹架。

(作者 陈荣范)

7. 直流螺管式电磁执行器的工程简易计算方法及其应用

我们在重水零功率堆上试制成了口径 $\Phi 110\text{mm}$ ，行程 30mm 的常开电磁伐门。此伐是常时通电，瞬时开启，以及口径 $\Phi 50\text{mm}$ ，行程 20mm 的常闭电磁伐门。此伐在结构上首次采用先导环和杠杆组合机构，通电时间可长达几小时，而电磁部分结构很小。这些电磁伐在回路上使用，对堆的安全操作是很有益的。

电磁执行器的电磁部分的设计计算，是个繁重的任务，目前已发表的计算方法较繁琐，对工程上的应用带来不便，本文介绍小行程约 0.5mm 和大行程 $1-30\text{mm}$ 直流螺管式电磁铁的计算方法。

(作者 杨大华)

8. 电阻式钠液位计的研制

钠冷快堆和各种不同的液态金属钠试验回路内钠液位的测量，是主要的测量技术之一。文中首先对钠液位的测量提出了技术要求，接着对钠液位测量中几个主要电测技术（电感法、电阻法和电接触法等）作了介绍和对比，并对这些方法作了扼要的评论。本文着重对电阻式钠液位计进行了分析，认为它结构简单可靠，制造方便，仪表读数与液位之间很好地符合直线关系。文中还对此液位计的刻度方法作了描述，即用容器内钠液位的直测法来校正电阻液位计的读数，对 250 毫米和 300 毫米两种长度的液位计进行了刻度试验，结果得出很好的直线关系。刻度试验数据如下：

钠液面高度（毫米）	电阻液位计读数（毫伏）
0.0	10.4
50.0	8.5
101.0	6.5
151.0	4.5
200.0	2.4
249.0	0.2

电阻式钠液位计的精度为 $\pm 3\%$ 。

(作者 李治宇 邢桂媛 浦纯霞 周明耀)

9. 液态金属钠直流电磁泵试制总结

直流电磁泵是液态金属钠热工实验室的主要设备之一。当时国内还没有。我们试制成功了一台串激型直流电导式电磁泵，并在使用中作了改进。在输入功率为 9400 安培、 1.26 伏特时，泵的运行参数实测结果如下：

压头—— 5.3 公斤/厘米²，流量—— 20 米³/小时，

效率—— 24% （不包括热效率）。

经过长期使用，证明该泵性能稳定，且与国外同类泵的性能基本相同。使用方便。在没有任何冷却设备的情况下，在 450°C 高温下运行良好。

在试制过程中，我们发现采用苏联丘京的方法计算结果，比实测结果低得多。我们使用的计算方法与实测结果相符。

该总结中介绍了设计计算的方法，并对试制中出现的汽蚀现象进行了探讨，提出了排除的措施。

(作者 张振灿 石双凯 张永积等)

10. SNAP 型空间反应堆

(调研报告)

本调研报告介绍美国 SNAP (核辅助动力系统) 计划中的几个空间反应堆及其热电转换系统的研制情况。SNAP 计划中的 SNAP-2, SNAP-8, SNAP-10A 等空间系统的反应堆采用铀氢锆型反应堆，这些系统的反应堆结构大致相同，但元件尺寸和功率大小不同。为探讨铀氢锆堆物理性能，专门建造了 SER、S₈ER 等实验堆。研究结果表明，铀氢锆堆的物理性能很稳定，在所有功率水平下都有大的负温度系数，适合于空间使用。以后又建造了一系列地面装置和地面堆，用于研究反应堆结构、热工、水力、控制等方面的问题和考验反应堆在模拟的空间条件下长期运行的能力。SNAP-2, SNAP-8 的热电转换系统采用兰金循环。反应堆一回路 Na·K 载热剂在热交换器内加热 Hg，产生的 Hg 蒸气则用于推动透平发电机组，产生交流电。SNAP-10A 系统采用热电元件把热能转变成直流电。1965 年 SNAP-10A 的一个飞行系统发射到地球轨道上做飞行试验。在空间运行了 43 天。本调研报告重点介绍 SNAP-10A 系统的研制过程，飞行情况及其改进的设想，并介绍与空间反应堆安全问题有关的反应堆瞬态性能试验，空间处理反应堆试验，有关反应堆运输和火箭发射事故方面的试验。

本调研报告介绍了研制一个空间反应堆需要开展那些方面的试验研究工作，需要建造那些类型的地面装置和地面堆，空间环境条件对反应堆设计有那些特殊要求，反应堆与其热电转换系统之间的相互要求，以及反应堆在空间的安全后处理问题。本报告收集了一些技术资料，列出较详细的参考文献目录，可供参考。

(作者 郑忠信)

11. γ 测量装置对反应性的扰动

在 49-2 反应堆上的一系列实验中，经常有些实验装置或样品需要放在活性区中进行。这必然会引起对堆内中子通量的扰动，致使堆内反应性有较大的变化。特别是堆在运行中这些装置或样品在活性区中的移动会影响堆的安全运行。本文对 γ 测量装置在活性区的不同高度时，利用临界棒栅位置的差别，对堆内反应性扰动情况及造成堆功率波动的原因进行了分析。从分析的结果得出，如果此装置在活性区中快速移动，就会引起

自动调节棒超速提升或超临界短周期事故，这将危及堆运行的安全性。

(作者 林玉质)

12. 对49-2堆回路系统现状的评价及其改进意见

本文主要对49-2堆回路系统的现状，进行了调查、分析，并根据运行和检修经验，对该系统、设备及其运行中存在的问题，提出了相应的改进意见。它主要包括：在提高一次水流量的同时，需要考虑热交换器和活性区支架的振动问题；改善热交换器运行方式及其酸洗配方问题；二次水处理问题；净化系统中新型过滤器的研究、净化系统的改进和净化树脂再生处理的可能性；堆游泳池底悬浮物和沉积物的消除问题。文中还对停止屏冷却系统的运行、通风系统的设备和运行方式及其它问题提出了改进方案。

(作者 唐道助)

13. 49-2堆内压水试验回路的改建

49-2堆内试验回路于1969年10月16日发生被考验燃料元件烧毁事故，致使回路严重沾污。经过剂量普查与清洗去污后，将原回路拆除。由于可拆开清洗的设备全部保留，所以回路改建速度较快。49-2事故处理与改建的全过程，反映了一个堆内试验回路发生事故后所进行工作的全貌。

在改建设计中总结了以往的运行经验。消除了管系中的不安全因素与薄弱环节。取消了主热交换器。将一台电加热器改为可调，用来细调回路温度。对排水系统的改进增加了事故排水的安全性和灵活性。合并了净化与破损探测系统。用电气联锁代替安全阀。这些改进加快了改建速度，增强了回路的调节性能与安全性，使运行检修条件得到改善。

试验回路与堆回路相比有较大的灵活性。在设计中宜采用积木式结构。在发生严重沾污事故后，由于很难达到破损探测等方面的要求，故清洗回路的目的是为了拆除，而不是为了继续使用。

施工高压回路的复杂性，在于保证实现技术条件的要求。拟定合理的技术条件并认真执行是保证回路安全的第一个重要环节。

49-2堆内试验回路没有危急冷却系统。整个回路没有实现自动化。回路间内缺乏清洗去污的设备和场地。这些缺点在设计一个新回路时是应当解决的。

(作者 曹质彬)

14. 49-2堆内元件考验回路运行分析

49-2反应堆以考验元件为主要任务。运行期间，由于试验回路运行不正常，造成事故停堆的次数约占总事故停堆次数的三分之二。为了提高49-2反应堆的运行质量，本文综述了1965年4月至1970年4月，49-2堆内高、中、低压试验回路在调试、运行

及事故处理过程中，所出现的大量事故，并从设计、设备、责任、管理诸方面详细地分析了产生事故的原因，总结了经验教训，对现有回路上尚存的不安全因素也进行了探讨，提出了今后改进的意见。

(作者 马起衍)

15. 49-2 反应堆运行的几点经验

本文从运行叙述了有关 49-2 反应堆安全的三个问题：第一，叙述 49-2 反应堆怎样推临界，(1) 反应堆临界的基本原理和公式；(2) 49-2 反应堆推临界的方法和测量元件的布置，以及在推临界过程中的几点注意事项；(3) 49-2 反应堆的临界质量和扩大装载量；(4) 由于辐照试验样品对反应堆反应性有较大影响，因此在开堆过程中，必须严密监视短周期事故的发生。第二，叙述 49-2 反应堆控制系统对安全运行的重要性，并用数字说明控制系统存在的问题。第三，叙述 09 号元件的烧毁事故原因及其分析。

(作者 王留贵)

16. 屏蔽泵的性能与使用维护

屏蔽泵是把电机和泵体两部分组成一个封闭整体，成功地解决了轴封泄漏问题，因而广泛应用于不含颗粒的易燃易爆剧毒放射性和贵重液体的输送。

屏蔽泵按结构分为立式卧式两种，目前各工业部门中采用立式较多，这主要是因为立式屏蔽泵具有占地面积小，利于排气等优点。立式泵又分为立式下泵和立式上泵。这两种结构形式各有不同优缺点，应根据使用要求来决定。立式下泵由于便于排除固体杂质，使屏蔽泵的使用寿命延长，因而应用较多。

屏蔽泵按使用压力和温度范围又可分为：常温常压型，中温中压型，高温高压型。

屏蔽电机的结构特点是在电机的定子腔内表面和转子外表面焊有一非磁性保护套。转子套和定子套间要保持较高的同心度和最小间隙，一般在 1 毫米左右。在保证强度和腐蚀裕量的情况下，屏蔽套的厚度越簿越好，此处是加工制造的关键，也是使用运行中最易损坏和需要特别加以注意的地方。

由于屏蔽泵是封闭系统，所以轴承通常采用自润滑型石墨轴承。石墨材料要求有良好自润滑性能，和较高的耐磨性能。石墨轴承的性能好坏直接影响屏蔽泵的使用寿命和检修周期。国产屏蔽泵由于石墨轴承使用寿命较短，磨损较快，往往是造成屏蔽泵损坏的主要原因。

我们在 09 和 49-3 堆外回路以及腐蚀回路中，曾先后采用了几种类型的国产屏蔽泵，在近几年运行中，积累了点滴经验，本文将对屏蔽泵的安装、使用、维护，以及出现故障的原因作简单介绍。并对屏蔽泵的改进提出我们不成熟的看法。

(作者 陈立霞)

二、反应堆控制技术及核电子仪器

17. 在高电阻介质中研究金属腐蚀性能的恒电位仪

本文内容有两部分。第一部分介绍了高电阻介质（如重水、纯水）中的金属材料的电化学腐蚀的特点和一般的研究方法。同时结合反应堆的特殊性，简述了近年来发展起来的线性极化技术，直接应用于反应堆结构材料腐蚀性能研究和现场的腐蚀直接监控的一般概况。第二部分介绍了腐蚀电化学研究中目前用于高电阻介质中的恒电位仪。为了提高腐蚀电化学的研究水平和为现场直接监控提供手段，我们试制成功了GH-1型集成电路恒电位仪。它的特点是输出电压高， $0 \pm 200\text{V}$ ；输出电流大 $0 \pm 2\text{A}$ ；输入阻抗高 $\geq 10^{13}\Omega$ ；能自动消除 $1\text{M}\Omega$ 的溶液电阻。另外，自动扫描和七个量级的电流对数变换单元和主机一体，所以它既适用于实验室又适用于现场。

（作者 田丰亮 张雪娇 夏晏平 李文清）

18. 集成电路化零功率堆控制仪器

由于零功率堆工作的特殊性，要求其控制仪器具有高灵敏、高稳定和控制保护可靠的特点，因此我们在原来晶体管化控制仪器的基础上，总结了多年来制作、使用的经验，试制了一整套集成电路化控制仪器。主要分二类：（1）启动装置，由前放、主放、甄别、定标计数、显示、对数计数率变换、控制、音响、低压、高压等组成。仪器之分辨时间为1微秒，灵敏度为1毫伏，容量为十万，定时自动循环测量；（2）功率测量、保护、周期数字直读装置，采用特殊高输入阻抗场效应管及高增益线性组件组成高稳定弱电流放大器；用低漂移线性组件作成高灵敏比较触发器；用石英晶振作时间基准刻度，数字直读周期。仪器之测量电流灵敏度为1微微安，零点漂移每小时小于1毫伏，线性好于百分之一，周期测量精度为十分之一秒。

用二台启动装置和二台功率测量、保护、周期数字直读装置组成了一个零功率堆控制台，就能控制堆的运行。由于每台装置功能多、体积小，而因控制台可作得很小。此外我们考虑到零功率堆在启动过程中的危险性，所以这次特增设了二套脉冲计数率保护系统以确保安全。我们在这次设计中特别采取了防潮措施，因此现在仪器及前置探头在北京夏天最潮湿环境下仍能正常工作。仪器还具有操作简便，指示清晰，数字直读，自动测量等特点。

（八室 宋銮等）

19. BF₃中子计数管密封集成电路探头的设计

轻水零功率反应堆因处于堆大厅平面以下三米多深的坑里，夏季气温高，湿度大，BF₃中子计数管探头往往受潮漏电，乱计数而无法工作，因此只好拆掉探头以更换干燥剂——硅胶，清洗及用热风机吹干，大大增加了检修工作量，影响试验工作的进行。

本设计着重解决数根电缆穿过探头处的密封问题，采用了多层真空橡皮圈压紧密封式结构，取掉了硅胶干燥剂，在34°C饱和相对湿度的模拟试验条件下考验十天，无受潮漏电现象。

此探头的前置放大器包括两部分：(1)由线性集成电路7×CID组成的放大器；(2)由结型场效应管3DJ7自举放大电路组成的输出极，线路简单，性能稳定，结构紧凑，检修方便。

探头全长375mm，仅为北综生产的KY54探头长度(1100mm)的三分之一。

由于集成电路品种缺乏，有待于采用频带更宽的集成电路来取代现用的7×CID。如采用多芯电缆，则对密封更为有利。

(作者 何承尧)

20. 无线电控制的重水堆大厅的吊车

重水反应堆大厅内的吊车用来吊取反应堆零部件和防护设施等等，其主要操作都是在放射性条件下进行的。吊车上设有驾驶室。由于该大厅南北长约40米，在大厅里设有南北二个操作台来开动吊车，吊车开动时，至少需要二个工作人员。一个开吊车，另一个打手势指挥。在吊堆顶小室内的物件和地下室的设备时，就要二个人打手势指挥。

1978年3月我们从上海科技大学引进了一套DP6-3型双音频调频遥探装置。它由一超短波发射机和一接收机组成。发射机内有4个音频发生器，可以组成6种不同的双音频，适合一般吊车的升降、东西和南北方向移动六个动作。接收机接收到发射机发出的调制有双音频的超短波电波后，通过译码器将发射机发出的指令转变为继电器动作，然后继电器再接通吊车电路使吊车开动。原装置可以同时使吊车进行二个不发生矛盾的动作，但实践证明在同时进行二个动作时易产生误动作，这在有放射性操作时是根本不允许的。我们结合现场情况将接收机的译码器改为只能接收一个动作，如发射机同时发出二个动作的指令时，接收机即停止一切动作，以保证安全，防止事故发生。

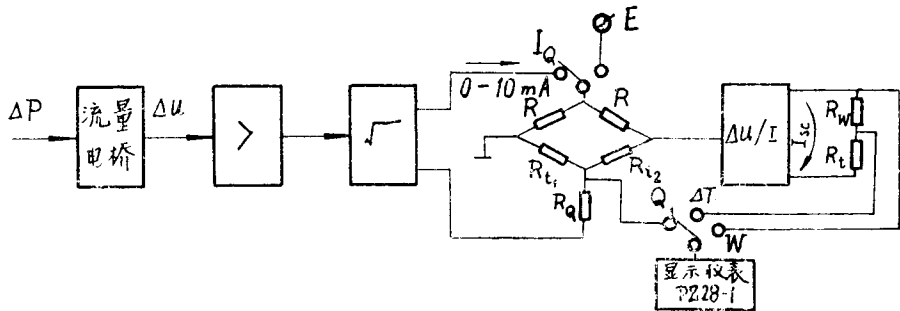
吊车利用无线电控制后，在发射机和接收机之间的直视距离100米内都能可靠地操作，并且节省了人力、时间、提高了工作效率和安全性。

(作者 陈国舜 黄克)

21. 热功率表简介

101 反应堆运行功率大小和燃耗计算均以热功率值为准，因此，热功率是反应堆运行的重要参数，本热功率表是根据重水堆运行需要研制的。

反应堆的热功率决定于一次回路总流量和总温差的乘积，即 $W = KQ\Delta T$ ，热功率表即根据此原理设计的，其方框图如下。



热功率表方框图

图中流量电桥的输出电压 Δu 与差压变送器的压差成正比，而与流量成平方关系，开方后输出的 $0-10\text{mA}$ 电流 I_Q 则和流量成正比，电流 I_Q 向功率桥供电，功率桥的两个桥臂接入重水总管的进出口电阻温度计，根据电桥原理可知，电桥输出的不平衡电压 Δu_w 基本上和 $I_Q (R_{t1} - R_{t2})$ 乘积成线性关系，由此实现功率测量。

电路经适当变换，用一块 PZ28-1 电压表即可对热功率，总流量和总温差实现数字显示。

由于仪表采用了线性集成运算放大器和集成稳压电源，仪表体积较小，经二年连续运行考验仪表指示稳定，从校验数据和运行参数比较，功率测量误差不超过 2%，满足了运行要求。

(作者 杨学文)

22. 全晶体管周期保护装置

周期保护是测量并限制反应堆周期的一个重要保护装置。

重水堆上原用的周期保护装置的最大缺点是它保护的最小电流要大于 10^{-7}A 。而实际上电流小于 10^{-7}A 时，周期保护的意義更大，因为此时距功率保护较远，负温度效应也不明显；功率表的指示中， γ 电流的影响也大。这时正需要按周期控制反应堆，可是周期保护装置却不起作用。

全晶体管周期保护装置是由对数放大器和微分放大器、继电器、稳压电源等组成。放大器的第一级采用了结型场效应管，它比静电计数管的跨导大，使用简单。对数元件用的是硅二极管，虽然它比电子二极管的工作范围窄、温度影响大，但它可以串联使