

东北师范大学

文库

中子管及其应用技术

魏宝杰 钟海明 编著

东北师范大学出版社

ZHONGZI GUAN JI QI YING YONG JI SHU

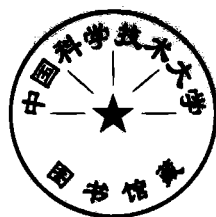
53.83139
845

东北师范大学文库

+52.93222

中子管及其应用技术

魏宝杰 钟海明 编著



东北师范大学出版社
1997·长春

(吉) 新登字 12 号

东北师范大学文库

中子管及其应用技术

ZHONGZIGUAN JIQI YINGYONG JISHU

魏宝杰 钟海明 编 著

责任编辑: 王忠山 封面设计: 魏国强 责任校对: 方 军

东北师范大学出版社出版 东北师范大学出版社发行

(长春市人民大街 138 号) 东北师范大学出版社激光照排中心制版

(邮政编码: 130024) 吉林省吉新月历公司印刷分公司印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 1997 年 3 月第 1 版

印张: 13 1997 年 3 月第 1 次印刷

字数: 300 千 印数: 001—600 册

ISBN 7 - 5602 - 1967 - 5/ TL · 1 定价: 21.00 元

内 容 简 介

本书内容包括密封中子发生器结构原理, 自成靶陶瓷中子管设计和制作, 中子石油测井, 中子照像, 中子辐照育种, 刺激生物体的生长, 中子教学实验和中子辐射的剂量与防护等部分。本书可供从事原子核物理、反应堆物理、辐射化学、中子石油测井、中子照像、中子探矿、中子活化分析、中子医疗诊断、中子防护材料研究以及教学中子实验等方面的科技和教学人员参考, 也可作为高等学校有关专业的研究生和本科生的教学参考书。

本书系东北师范大学
图书出版基金项目

前 言

中子管已在工农业生产、国防科研、教学实验等领域有广泛应用，特别是在石油测井技术中发挥了重要作用；社会需要又促进了中子管技术的迅速发展，中子管技术将原子核技术、加速器技术、电真空技术和电子技术融合在一起，形成一门近乎独立的技术分支。目前尚未见有讨论中子管的技术专著。本书系统地讨论有关中子管的基础问题和应用技术问题。根据我们 20 余年的实践经验，并搜集整理有关资料，形成一本较为完整的技术专辑，可供原子核物理、反应堆物理、辐射化学、加速器物理、石油测井、海产养殖、医疗诊断和高校教学实验人员参考，也可作为有关专业研究生或本科生的教学参考书。

我校中子管研究是在王琳教授主持领导下开始起步的，经几代人 20 余年艰辛努力，至今已粗具规模，完成一批高层次项目，有高水平文章发表，荣获多项高级别奖励，研究成果经实际应用多年，取得社会公认，产生了明显经济效益和社会效益。本书的主要目的是将我们的多年工作体会介绍给读者，抛砖引玉，以促进中子管技术进一步发展。

本书兼顾通用性和专业性，力求做到内容新，充分考虑实用性，并注意全书的系统性。为使读者更方便地开展中子管及其应用研究，本书介绍了有关基础知识和研究前沿问题，引用搜集了有关著作文献和技术资料，作者在此谨向有关著作者表示衷心的感谢。

本书的主要内容是东北师范大学辐射技术研究所多年集体工

作的结晶，各章作者和主要内容如下：

第一章，魏宝杰，自成靶陶瓷中子管的技术特点。

第二章，魏宝杰、卢洪波，密封中子发生器技术。

第三章，赵子勤、孙世儒（吉林油田测井公司），中子石油测井原理和方法。

第四章，马维超，中子照相研究成果。

第五章，董艾平，一种特殊中子管的研究进展。

第六章，钟海明，中子辐射在农业上的应用。

第七章，钟海明，中子教学实验的研究进展和多年实际应用效果。

第八章，钟海明、刘善贵，有关中子管的剂量与防护问题。

附录，钟海明、马维超，搜集有关技术资料数据，以增强本书的实用性。

最后，全书由魏宝杰、钟海明二位同志统稿。

当前，中子辐射技术不仅对国防工程和基础科学研究有重要意义，而且在工、农、医等领域有广泛应用，已走出实验室，进入实际应用阶段，人们正在致力于各种类型中子源的研究，以适应不同应用场合的需要。与其他类型中子源相比，中子管的主要特点是：适于现场辐照，成本低，便于推广。对某些应用场合，例如中子脉冲测井，是其他类型中子源所不能替代的。因此，中子管已受到人们的普遍关注，成为当前原子核应用技术研究的热门课题之一。希望本书能有助于中子管的推广应用，促进中子管技术的发展。对本书的缺点错误和不妥之处，恳请同行专家和广大读者不吝赐教。

编著者

1997年1月于长春

目 录

第一章 自成靶陶瓷中子管原理和制作	(1)
§ 1.1 NT802 型自成靶陶瓷中子管	(2)
一、中子管原理和用途	(2)
二、NT802 型中子管研制方案	(3)
三、NT802 型中子管性能特点	(8)
§ 1.2 靶接地中子管	(11)
一、靶接地中子管的优点	(11)
二、靶接地中子管技术方案	(12)
三、靶接地中子管性能测试	(13)
§ 1.3 NT601 自成靶陶瓷测井中子管	(18)
一、测井中子管的特殊难点	(18)
二、NT601 型中子管性能	(19)
三、NT601 型中子管参数和应用	(22)
第二章 密封中子发生器	(23)
§ 2.1 MZ-9 型密封中子发生器	(24)
一、高压电源	(24)
二、控制箱和操作方法	(31)
§ 2.2 NG-90 型靶接地密封中子发生器	(32)
§ 2.3 NG-8 型便携式密封中子发生器	(34)

一、NG-8 型便携式密封中子发生器结构	
原理	(34)
二、NG-8 型便携式密封中子发生器的性能	(37)
三、操作和使用	(37)
§ 2.4 石油 C/O 测井中子发生器	(38)
一、主要技术指标	(39)
二、结构概述	(39)
三、井下中子发生器电路原理	(40)
四、高压绝缘	(46)
五、地面专用电源	(47)
六、和 2727 C/O 测井仪对接的工作参数	(49)
七、使用操作	(50)
第三章 中子石油测井	(53)
§ 3.1 测井技术概述	(53)
一、发展概况	(53)
二、测井仪器	(54)
§ 3.2 中子源	(57)
一、同位素中子源	(57)
二、脉冲中子发生器	(58)
§ 3.3 中子与地层的相互作用——中子测井	
方法原理	(58)
一、快中子在岩石中的非弹性散射	(59)
二、快中子在岩石中的活化	(60)
三、快中子在岩石中的弹性散射	(60)
四、热中子在岩石中的扩散和俘获	(61)
§ 3.4 补偿中子测井	(63)

一、方法原理	(63)
二、仪器原理	(63)
三、补偿中子测井的应用	(65)
§ 3.5 活化测井.....	(66)
一、方法原理	(66)
二、快中子铝活化测井	(66)
三、热中子铝活化测井	(67)
§ 3.6 碳氧比能谱测井.....	(68)
一、方法原理	(68)
二、仪器电路原理	(70)
三、MSI C/O 测井曲线	(70)
四、影响 C/O 的因素	(76)
五、测井质量控制	(79)
六、应 用	(79)
§ 3.7 中子寿命测井.....	(80)
一、测井原理	(80)
二、测井仪器	(84)
三、应 用	(85)
第四章 中子照像	(86)
§ 4.1 中子照像的基本原理.....	(87)
§ 4.2 中子照像的种类、中子源.....	(89)
一、以密封中子发生器为源的小型中子照像 装置	(89)
二、中子束的准直与引出	(90)
§ 4.3 像 探 测 器.....	(95)
一、几种成像技术概述	(95)

二、直接成像技术	(98)
三、用于弱中子流的电子学成像技术	(105)
第五章 特种中子管及其应用	(106)
§ 5.1 基本结构和性能	(106)
§ 5.2 α 粒子探测器	(108)
§ 5.3 应 用	(109)
第六章 中子辐照育种、刺激生物体的生长	(112)
§ 6.1 辐照育种、刺激生物体的生长的基本原理 ...	(113)
§ 6.2 中子和其他射线辐照生物体的比较	(114)
第七章 中子教学实验	(116)
§ 7.1 热中子感生的 ^{128}I 放射性的生长和衰变规律 的研究	(116)
一、测量原理	(117)
二、测量装置	(118)
三、测量方法	(119)
四、测量结果	(120)
§ 7.2 人工放射性核素半衰期测量	(121)
一、测量原理	(122)
二、测量装置	(125)
三、测量方法	(125)
四、测量结果	(127)
§ 7.3 中子活化测 ^{62}Cu 的半衰期	(127)
一、测量原理	(128)
二、测量装置	(129)

三、测量方法.....	(129)
四、测量结果.....	(130)
§ 7.4 热中子注量率的测量	(131)
一、测量原理.....	(131)
二、测量装置.....	(133)
三、测量方法.....	(133)
§ 7.5 热中子注量率分布的测量	(136)
一、测量原理.....	(137)
二、测量装置.....	(138)
三、测量方法.....	(139)
四、测量结果.....	(140)
§ 7.6 快中子强度的测量	(142)
一、测量原理.....	(142)
二、测量装置.....	(143)
三、测量方法.....	(143)
四、测量结果.....	(145)
§ 7.7 D-T 中子发生器快中子注量率的空间分布	(145)
一、测量原理.....	(146)
二、测量装置.....	(147)
三、测量方法.....	(147)
四、测量结果.....	(148)
§ 7.8 热中子活化法测量 ⁵¹ V 的俘获截面	(150)
一、测量原理.....	(150)
二、测量装置.....	(151)
三、测量方法.....	(152)
四、测量结果.....	(153)

§ 7.9 快中子全截面、原子核半径的测量	(154)
一、测量原理	(154)
二、测量装置	(156)
三、测量方法	(156)
四、测量结果	(160)
§ 7.10 氘结合能的测量	(161)
一、测量原理	(161)
二、测量装置	(161)
三、测量方法	(162)
四、测量结果	(164)
§ 7.11 用硼吸收法测量 Ag 共振中子能量	(165)
一、测量原理	(165)
二、测量装置	(169)
三、测量方法	(169)
四、测量结果	(171)
§ 7.12 ^{25}Mg 核能级测量	(171)
一、测量原理	(171)
二、测量装置	(172)
三、测量方法	(173)
四、测量结果	(175)
§ 7.13 反射系数 (反照率) 的测量	(175)
一、测量原理	(175)
二、测量装置	(176)
三、测量方法	(177)
四、测量结果	(178)
§ 7.14 BF_3 正比计数管特性的测量	(179)
一、测量原理	(179)

二、测量装置	(184)
三、测量方法	(185)
四、测量结果	(185)
第八章 中子辐射的剂量和防护	(186)
§ 8.1 中子与物质的相互作用和中子辐射对人体的影响	(186)
一、中子与物质的相互作用	(186)
二、中子与生物组织的相互作用	(189)
三、中子辐照对人体的影响	(189)
§ 8.2 中子辐射的剂量	(190)
一、与中子剂量有关的几个基本概念	(190)
二、中子注量与吸收剂量、剂量当量的关系	(193)
三、中子剂量的计算	(195)
四、中子剂量的测量	(197)
§ 8.3 中子辐射的防护	(200)
一、最大容许剂量当量	(200)
二、中子的屏蔽	(201)
三、几个需要注意的问题	(231)
附 录	
附录一 小型中子照像装置慢化体的研究	(233)
附录二 小型中子源 14MeV 中子慢化体结构的研究 (I)	(239)
附录三 小型中子源 14MeV 中子慢化体结构的研究 (II)	(246)
附录四 用密封中子发生器为源的小型中子照像装置	

	的研究·····	(254)
附录五	中子照像闪烁增强屏的研究·····	(259)
附录六	弱束流中子照像低温成像特性的研究·····	(265)
附录七	低强度中子流电视摄像系统·····	(270)
附录八	中子照像计算机图像处理技术的研究·····	(277)
附录九	教学中子实验仪·····	(283)
附录十	中华人民共和国法定计量单位·····	(287)
附录十一	热中子截面·····	(290)
附录十二	共振中子截面·····	(322)
附录十三	法定单位和传统专用单位换算表·····	(330)
附录十四	14MeV 中子核反应数据 ·····	(332)
附录十五	用 14MeV 中子反应激发正电子辐射的核 数据·····	(351)
附录十六	实验灵敏度数据·····	(354)
附录十七	各种混凝土的中子注量率张弛长度 (cm) ·····	(360)
附录十八	对裂变中子源的各种混凝土的总中子剂量 率张弛长度 λ_{nd} 和快中子剂量率张弛长度 λ_{fd} ·····	(362)
附录十九	各种材料对各向同性单能点源和 (d, n) 点源的中子的张弛长度 r/p ·····	(364)
附录二十	各种混凝土对 Po- α -Be 源谱的中子注 量率减弱截面 Σ 和热中子减弱截面 Σ_{th} ·····	(367)
附录二十一	特种混凝土成分·····	(368)
附录二十二	几种材料对中能中子源的张弛长度 (cm) ·····	(370)

附录二十三	各种中子源的剂量换算因子.....	(372)
附录二十四	各种能量的 γ 射线的 $t-\mu_{eff}t$ 曲线	(373)
附录二十五	各向同性点源 γ 射线减弱 K 倍所需的水、 混凝土、铁、铅和铅玻璃 FZ ₀ 厚度 (cm)	(375)
附录二十六	几种屏蔽材料对以不同入射角入射的 0.5MeV、1MeV、2MeV、3MeV、5MeV、 14MeV 能量的中子剂量减弱因子 $F(t)$	(380)
附录二十七	垂直入射混凝土板的裂变中子束和 14MeV 能量的中子束的剂量当量率 以及中子加俘获 γ 辐射的剂量当量率 转换减弱因子 $K_H F$ 曲线	(386)
附录二十八	几种含氢材料对 ²⁵² Cf、Pu-Be 和 Sb-Be 源的中子剂量当量率转换减弱因子 $K_H F$ 曲线.....	(387)
附录二十九	²⁵² Cf 点源在聚乙烯内形成的快中子、热 中子、俘获 γ 辐射以及一次 γ 辐射的剂 量当量转换减弱因子 $K_H F$ 曲线	(388)
附录三十	各向同性裂变中子点源中子在各种材料内 的吸收剂量率减弱曲线 $K_D F$	(389)
参考文献		(390)

第一章 自成靶陶瓷中子管 原理和制作

原子核是由中子和质子组成的，平时中子不能单独存在，只有通过原子核反应，才能从原子核中释放出来，形成中子射线。中子射线对于原子核物理、放射化学等基础科学的发展起着重要作用，对于反应堆工程和国防工程也有着重要意义。中子在核能释放中起着关键作用。

中子辐射不仅对于基础学科研究和军事工程有重要作用，而且在工农医等各个领域也有比较广泛的直接应用，例如中子探矿、石油中子测井、中子辐照养虾、中子辐照养蚕、中子照像、中子水分测量、中子活化分析、中子医疗诊断等等。

目前，上述工作大多是利用反应堆或加速器中子源进行的。由于反应堆或加速器中子源投资巨大，设计复杂，故此国内仅有少数单位有条件购置，而且难于进行现场辐照或流动辐照。

为了推广中子辐照技术，迫切需要一种成本低、重量轻、操作维护简单、防护容易，适于现场或流动辐照的中子源。

中子管是一种适于推广应用的中子源。我们从1973年开始从事中子管研究。本书总结20余年工作结果，介绍中子管结构原理及其应用。不同应用场合，对中子管的性能要求亦有所不同，我们先后研究试验出多种类型中子管。本章首先以NT802型自成靶陶瓷中子管为例，介绍中子管的结构原理、制作方法及性能特点，