

γ 辐照装置及其应用

γ IRRADIATION FACILITIES AND IT'S APPLICATION

王传祯 等编著

中国原子能出版社

C14009074

TL99
07

γ 辐照装置及其应用

γ IRRADIATION FACILITIES AND IT'S APPLICATION

王传祯 等编著



中国原子能出版社



北航

C1698014

TL99
07

图书在版编目(CIP)数据

γ 辐照装置及其应用/王传祯等编著. —北京:中国原子能出版社,2013.10
ISBN 978-7-5022-6001-9
I. ① γ … II. ①王… III. ① γ 射线源—辐照装置 IV. ①TL99
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 192509 号

内 容 简 介

本书全面介绍了王传祯教授和他领导的团队几十年取得的研究开发成果,特别着重介绍了他们领导的北京三强核力辐射工程技术有限公司对 γ 辐照装置产品的设计、加工制造、安装调试、运行操作等多年的设计理念和实践经验。本书既有理论的系统介绍,也有实践的实际产品的系统介绍,对从事辐射加工的技术人员、管理与运行人员以及核技术的研究生、大学生都非常有参考价值。

γ 辐照装置及其应用

出版发行	中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)		
责任编辑	付 真		
装帧设计	崔 彤		
责任校对	冯莲凤		
责任印制	潘玉玲		
印 刷	保定市中画美凯印刷有限公司		
经 销	全国新华书店		
开 本	787 mm×1092 mm 1/16		
印 张	19.125		
字 数	624 千字	彩 页	8
版 次	2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷		
书 号	ISBN 978-7-5022-6001-9	定 价	80.00 元

网址:<http://www.aep.com.cn>
发行电话:010-68452845

E-mail:atomep123@126.com
版权所有 侵权必究



2011年7月22日，中国核学会、中国同位素与辐射行业协会在人民大会堂为王传祯获得劳伦斯奖举行庆祝会，王传祯教授在庆祝会上



2011年6月12日，在第16届国际辐射加工大会上IIA主席J. Mashfield（右）给王传祯（中）颁奖，左为IIA亚太区负责人Yves Henon先生



中国工程院院士、中国核学会理事长李冠兴（右）向王传楨教授表示祝贺



王乃彦院士（左）、IIA亚太区负责人Yves Henon先生（右）同王传楨合影



王传祯在国际辐射加工大会上发言



2012年5月，王传祯与三强核力辐射工程技术有限公司部分职工在越南胡志明市辐照装置安装现场



王传祯（右）同各国劳伦斯奖获得者合影



原核二院院长刘国明教授（右）、书记郭喜军（左）向王传祯表示祝贺

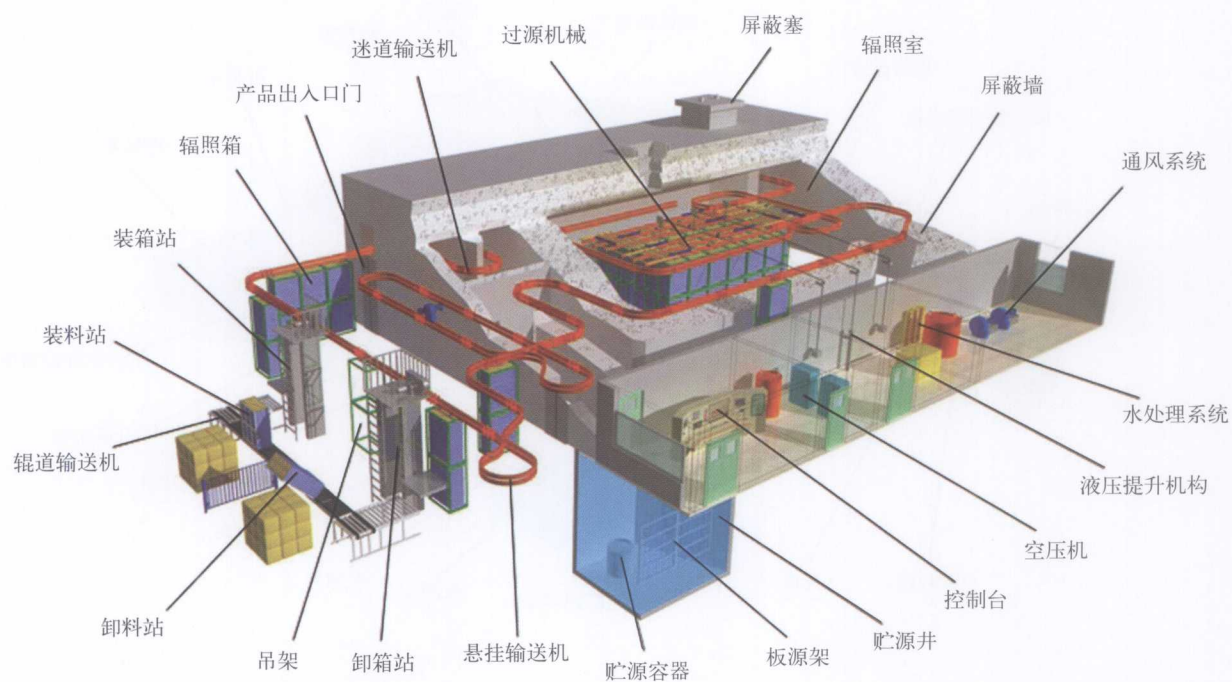


图3.4-6 SQ(F)系列工业 γ 辐照装置

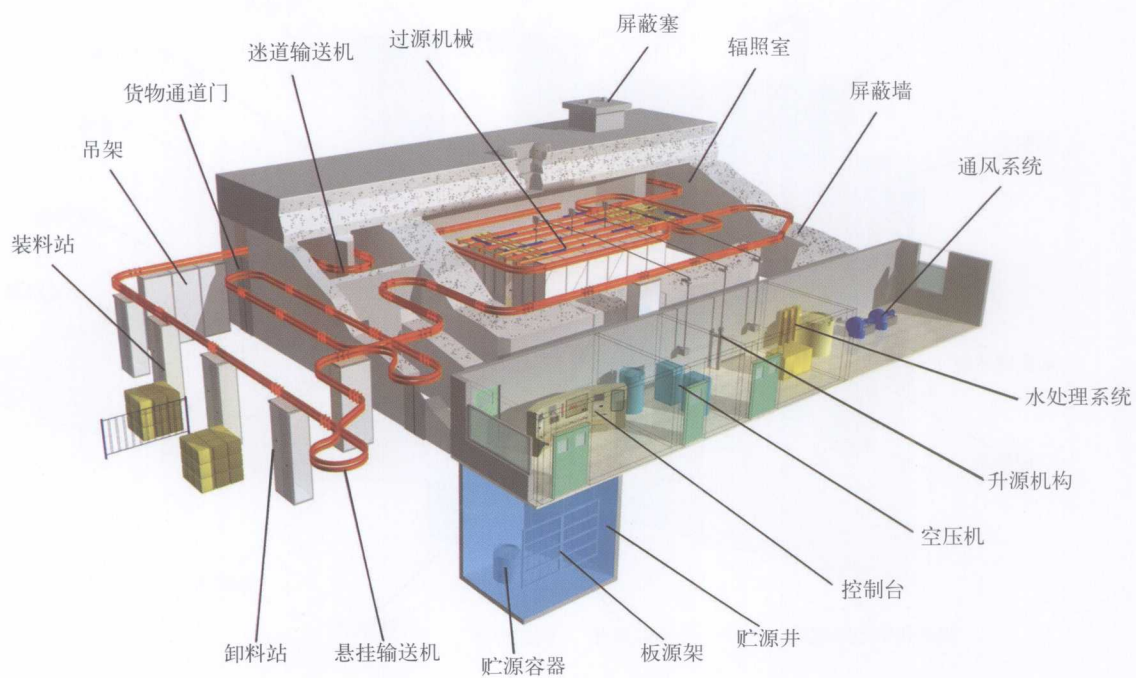


图3.4-7 SQ(H)系列工业 γ 辐照装置

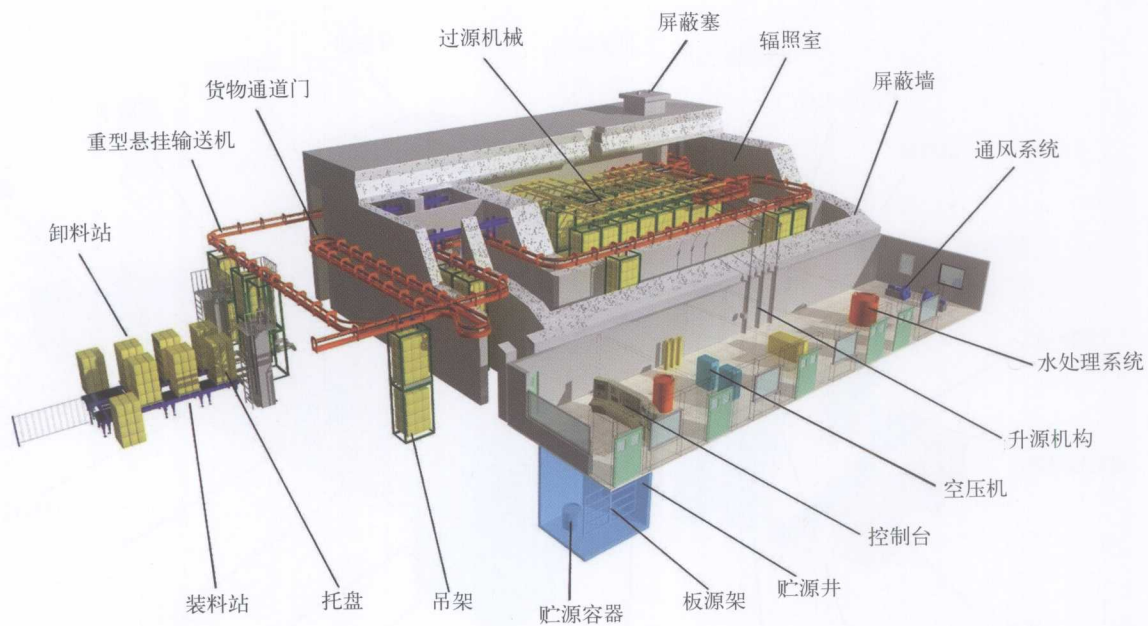


图3.4-8 SQ(T)系列工业 γ 辐照装置

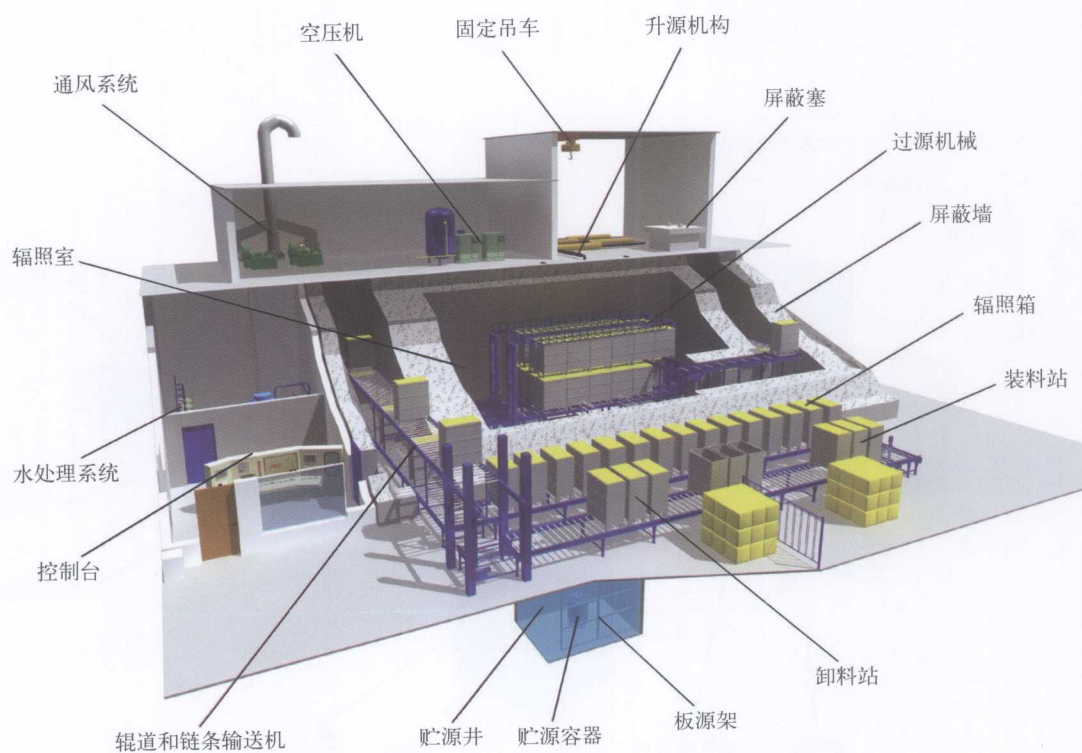


图3.4-9 SQ(G)系列工业 γ 辐照装置

C14009074

《 γ 辐照装置及其应用》编委会

主 任:王传祯

编 委:张赫瑚 刘秋蓉

程敦嫻 范深根

序

辐射加工技术是民用核技术的一个重要部分。由于 γ 射线具有穿透力强、效率高、杀虫灭菌彻底、工艺过程简单、操作方便、低耗能、高效益、高度机械化、自动化、无污染公害、无残留等特点,近年来发展迅速,已完成了从研究开发阶段向产业化阶段的过渡并进入高速发展的成熟期,成为低碳、绿色、安全的新兴加工技术。在美国、日本、欧洲等工业发达国家已经成为蓬勃发展的新兴独立产业。2009年,IAEA在一份核技术评价报告中指出:“同位素与辐射是正在为全世界的社会经济发展做出宝贵贡献的领域”。美国核学会原主席 Alan E. Walter 先生在《射线在宇宙一开始就存在了》一书中说:辐射技术是一项多功能多用途极重要的能源技术,在农业、医学、发电、现代工业、运输、公共安全、环境保护、空间发射、考古学、艺术等方面广泛应用。2004年美国辐射加工年产值4200亿美元,提供440万个就业岗位。占美国GDP的4.7%,年增长率为20%~25%,效益成本比平均为5~10,而且在逐年增长。

近几年来,亚洲、非洲和南美等地的发展中国家如泰国、越南、马来西亚、巴基斯坦、印度等国,辐射加工发展迅速。随着辐射加工技术的发展,辐射加工的技术装备: γ 辐照装置和加速器辐照装置,也得到了较快的发展,特别是 γ 辐照装置。目前,全世界设计装源能力50万Ci以上的 γ 辐照装置250多座(不包括中国),总设计装源能力达 11.1×10^{18} Bq(3亿Ci)。我国现有各类 γ 辐照装置200多座,已经退役、关停并转的超过60座,得到许可正在运行的约140座。设计装钴-60源能力超过 3.7×10^{18} Bq(1亿Ci)。

王传祯教授和他领导的团队,为了推动这项核技术在中国的应用与发展,经过40多年的艰苦研究开发,研制出小型科研型 γ 辐照装置、移动车型 γ 辐照装置、大型工业化 γ 辐照装置并在全中国乃至国际上推广应用,已经在辐照食品、辐照消毒、辐射化工、新材料开发和辐射育种等方面获得广泛应用。他还领导编制了GB 17568—2008《 γ 辐照装置设计建造与使用规范》、GB 10252—2009《 γ 辐照装置的辐射防护与安全规范》、《 γ 辐照装置的退役准则》等国家强制性标准,成为环保部国家核安全局执法的标准和依据。王传祯和他的团队先后在郑州、南京、北京、苏州、无锡、南通、张家港、上海、杭州、深圳、兰州、西安、咸阳、哈尔滨、成都、昆明、绵阳、大连、唐山等地建起了几十座工业化辐照装置,他们还把自己开发的 γ 辐照装置销售到泰国、越南等国家,成为我国第一家出口 γ 辐照装置的单位。为此,王传祯和他的团队取得10多项国家专利,获得了多项国家级、省部级和国防科工委科技进步奖。王传祯教授本人还在2011年获得国际辐射加工最高奖——劳伦斯奖,这是1978年设立该奖项以来第一位中国获奖的科学家。

本书全面介绍了王传祯教授和他领导的团队几十年取得的研究开发成果,特别着重介绍了他们领导的北京三强核力辐射工程技术有限公司的四大系列 γ 辐照装置产品的设计、

加工制造、安装调试、运行操作等。本书既有理论的系统介绍,也有实践的实际产品的系统介绍,对从事辐射加工的技术人员、管理与运行人员以及核技术的研究生、大学生都非常有参考价值。

李冠兴 王乃彦

2013年8月16日

FOREWORD

Yves HENON

Industrial Irradiation Association

It will be eighty years in early 2014 since Frédéric and Irène Joliot-Curie, in a memorandum to the French Academy of Science, announced that they had obtained a radioactive atom that did not exist in nature. The discovery of artificial radioactivity, in fact the re-creation of short-lived radioactive atoms that had disappeared not long after the universe was created, was to have a major impact in medicine, biology, various fields of research, non destructive testing but also in industry. Cobalt-60 and to much lesser extent cesium-137 that produce gamma radiation have been increasingly used for more than half a century to sterilize healthcare products, enhance the properties of materials, sanitise packaging, preserve cultural artifacts, prevent the introduction of pests with imported fresh fruits and vegetables or improve the quality of food.

Nowadays, the plants where these sources of gamma irradiation are used, or gamma irradiators, do not radically differ from those built by the pioneers of this technology but they are better and even safer. Lessons were drawn from experience and the introduction of computers has rendered the control and the monitoring of the plants deeper, more effective and more user-friendly. It is remarkable that after 50 years of service some of the early commercial gamma irradiators are still in operation today.

The excellent safety record of the gamma irradiation industry, whether for cobalt-60 transportation, for the operation of the plants or for the irradiated products has proven that the instinctive concern of the general public is not justified.

When I first visited China in 1986, the radiation processing industry was still in infancy. It is now the largest and most dynamic in the world. The achievements of the Chinese scientists and engineers like the author of this book, Pr. Wang Chuanzhen, must be commended. Few people in the world would be more qualified than him to write so comprehensively about the gamma technology and its applications. His involvement in the industry started in 1972 and he has since designed and built tens of irradiators, traded millions of curies of cobalt-60, published several books and articles and authored ten patents. He received a number of national and international awards for his contribution including the prestigious award from the International Irradiation Association in 2011 in

recognition of his leadership in advancing the business of radiation processing. For many years he has been the ambassador of the Chinese radiation processing industry across the world and he has worked tirelessly to promote the technology and establish international cooperation.

An already long history has proven that gamma irradiation technology is useful, robust and safe. The quantity of cobalt-60 installed and the volume of gamma irradiated products have dramatically grown over the past decades and there is no doubt that they will continue to do so. This book will be a reference for anyone already involved in gamma processing or with a desire to learn more about it.



Yves Henon

International Irradiation Association

前言

科学家在 1896 年发现射线,直到 1964 年英国第一个辐照消毒装置投入使用,1974 年日本第一个食品辐照装置投入运行,辐射加工开始进入工业化应用。由于辐射加工技术具有穿透力强、效率高、杀虫灭菌彻底、工艺过程简单、操作方便、低耗能、高效益、高度机械化、自动化、无污染公害、无残留等特点,近年来发展迅速,已完成了从研究开发阶段向产业化阶段的过渡并进入高速发展的成熟期,成为低碳、绿色、安全的新兴加工技术。

目前已经产业化应用的有辐照食品、辐照消毒、辐射化工和辐射育种等几大类。正在向产业化转移的有涂层辐射固化、辐射法生产新材料、辐射处理污染物(“三废”)等方面。美国、日本、欧洲等工业发达国家已经成为蓬勃发展的新兴独立产业。2009 年,IAEA 在一份核技术评价报告中指出:“同位素与辐射是正在为全世界的社会经济发展做出宝贵贡献的领域”。

根据美国“管理信息服务公司”公布的调查结果,1995 年美国同位素辐射技术产品的非动力应用对美国经济的贡献达到 3 310 亿美元,为核电(902 亿美元)的 3.67 倍,占美国 GDP 的 4.7%,并提供了 395 万个就业岗位。日本同位素协会 1997 年开始了 3 年调查,同位素辐射技术的经济规模为 714 亿美元,是核电(606 亿美元)的 1.18 倍,占日本 GDP 的 1.7%。美国核学会原主席 Alan E. Walter 先生在《射线在宇宙一开始就存在了》一书中说:辐射技术是一项多功能多用途极重要的能源技术,在农业、医学、发电、现代工业、运输、公共安全、环境保护、空间发射、考古学、艺术等方面广泛应用。2004 年美国辐射加工年产值 4 200 亿美元,提供 440 万个就业岗位。年增长率为 20%~25%,效益成本比平均为 5~10,而且在逐年增长。1997 年美国的辐照消毒年产值超过 1 200 亿美元,占全国消毒总量超过 70%。仅美国 Raychem 公司的辐照交联电线电缆辐照热收缩材料年产值就达 5 亿美元。

近几年来,亚洲、非洲和南美等地的发展中国家,如泰国、越南、马来西亚、巴基斯坦、印度等国辐射加工产业发展迅速。

随着辐射加工技术的发展,辐射加工的技术装备:γ 辐照装置和加速器辐照装置,也得到了较快的发展,特别是 γ 辐照装置。目前,全世界设计装源能力 50 万 Ci 以上的 γ 辐照装置有 250 多座(不包括中国),总设计装源能力达 11.1×10^{18} Bq(3 亿 Ci)。我国现有各类 γ 辐照装置 200 多座,已经退役、关停并转的超过 60 座,得到许可正在运行的约 140 座。设计装钴-60 源能力超过 3.7×10^{18} Bq(1 亿 Ci)。并先后在郑州、南京、北京、苏州、无锡、南通、张家港、重庆、上海、杭州、深圳、广州、济南、兰州、天津、西安、长沙、咸阳、哈尔滨、武汉、昆明、绵阳、大连、唐山等地建起了 100 多座工业化辐照装置。至 2012 年底总装源超过 1.665×10^{18} Bq(4 500 万 Ci)。现有工业加速器 200 多台,总功率超过 10 000 kW。

我们根据几十年从事辐射加工技术的研究和辐照装置设计研制工作的经验,并先后同加拿大、美国、欧洲、俄罗斯等国家和地区的同行合作并查阅了国内外的大量资料,编写成本书。本书可供从事辐射加工的科研设计人员和教学人员参考,也可作为对辐射加工从业人员技术培训教材之用。

本书共分4篇18章。第一篇共2章主要论述辐射加工技术的基础知识。由王传祯编写。第二篇共5章主要阐述 γ 辐照装置。其中第三章、第四章由张赫瑚、王传祯编写;第五章由程敦娴编写;第六章由张赫瑚、刘秋蓉编写;第七章由刘秋蓉编写。第三篇共6章主要阐述 γ 辐照装置的设计建造与运行。其中第八章、第九章、第十章、第十一章由张赫瑚、王传祯编写;第十二章由范深根编写;第十三章由刘秋蓉编写。第四篇共5章主要论述 γ 辐照装置的应用,由王传祯编写。

北京三强核力辐射工程技术有限公司部分年轻技术人员廖爱莲、李春松等也做了许多工作,对本书的出版作出了许多贡献,在此一并致谢。



2013年7月

目 录

第一篇 辐射加工技术基础知识

第一章 绪论	3
1.1 原子能的发现及核技术的应用	3
1.1.1 原子能的发现	3
1.1.2 军用核技术	3
1.1.3 民用核技术	3
1.2 辐射加工及其特点	4
1.2.1 什么是辐射加工	4
1.2.2 辐射加工技术的特点	4
1.3 辐射加工技术的国际发展概况	5
1.3.1 辐射加工的起步	5
1.3.2 应用领域广泛	5
1.3.3 国际交流十分活跃	5
1.3.4 亚太地区发展情况	5
1.4 辐射加工技术的国内发展概况	6
1.4.1 我国辐射加工技术的发展历程	6
1.4.2 我国辐射加工工业化现状	7
1.4.3 影响辐射加工技术产业化的主要问题	11
第二章 辐射加工技术要点	13
2.1 辐射加工的基本原理	13
2.1.1 放射性同位素与射线	13
2.1.2 射线的种类	13
2.1.3 射线与物质的相互作用	13
2.2 放射源	14
2.2.1 辐射加工中选择放射源的原则	14
2.2.2 钴-60 放射源	14
2.2.3 铯-137 放射源	16
2.2.4 钴-60 源和铯-137 源的比较	19
2.2.5 其他放射源	21
2.3 辐射加工工艺	21
2.3.1 辐射加工工艺研究的现状	21
2.3.2 辐射加工工艺的主要物理参数	21
2.3.3 辐射加工工艺研究中需要研究的其他参数	22
2.4 辐射加工装置	23
2.4.1 工业 γ 辐照装置	23