

核电站火灾扑救 与事故应急

仇九子 连旦军 编著



HEDIANZHAN HUOZAI PUJIU
YU SHIGU YINGJI



化学工业出版社

核电站火灾扑救 与事故应急

仇九子 连旦军 编著



化学工业出版社

北京

本书主要介绍了核能、核反应堆、核电站、核辐射与防护以及核电站消防设施、火灾扑救与事故应急响应的基本知识。重点介绍了轻水压水堆核电站的主要设备和安全系统、消防设施、火灾危险源、火灾报警与扑救方法以及核事故应急准备工作、应急响应行动组织指挥程序和处置措施等。

本书可供消防部队的指战员、核电站的工作人员、其他从事灭火与应急救援工作的人员以及高等院校的教师和学生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

核电站火灾扑救与事故应急/仇九子, 连旦军编著.

北京: 化学工业出版社, 2014.9

ISBN 978-7-122-21357-0

I. ①核… II. ①仇…②连… III. ①核电站-防火
②核电站-突发事件-应急对策 IV. ①TM623.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 161387 号

责任编辑: 张双进

文字编辑: 糜家铃

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 9½ 字数 179 千字 2014 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

| 前言 |

| FOREWORD

核能是人类可利用的主要能源之一。核电作为核能利用的主要形式, 约占全世界总发电量的 16%。目前, 我国大陆地区已有 7 座核电站的 14 台机组投入商业运行, 装机容量为 $1188.8 \times 10^4 \text{ kW}$, 约占全国电力总装机容量的 1.8%; 在建机组 27 台, 装机容量为 $2979 \times 10^4 \text{ kW}$ 。随着我国经济发展对能源需求的不断增长, 大力发展核电已成为我国能源建设的基本方向, 到 2020 年, 预计我国核电占全国总电量的比重将达到 6% 左右。我国是目前世界上在建核电规模最大的国家, 我国的核电事业正处于蓬勃发展阶段。

与核电发展相伴随的是, 发生核电站火灾和核泄漏事故的风险也在不断增大。在国际上, 核电站火灾事故和核泄漏事故屡见不鲜。例如, 1957 年 10 月 10 日的英国温德斯格尔核电厂火灾、1979 年 3 月 28 日的美国三哩岛核泄漏事故、1986 年 4 月 26 日的苏联切尔诺贝利核事故和 2011 年 3 月 11 日的日本福岛核事故, 这些事故造成了严重的人员伤亡和环境污染。到目前为止, 我国虽然没有发生过核泄漏事故, 但核电站火灾事故也时有发生, 火灾事故直接威胁着核安全。火灾扑救和事故救援是核安全的最后一道屏障, 要确保核安全, 就必须要加强核电消防力量和应急救援队伍建设、提高核电消防人员和应急救援人员的业务水平, 以确保在事故发生后能快速有效地扑灭火灾、成功处置核事故, 防止或减轻核泄漏, 将灾害造成的损失降到最低程度, 最大限度地保护人民群众的生命和财产安全。

目前, 我国无论是核电事故救援力量还是事故处置水平都严重滞后于核电发展。消防人员和其他救援人员缺乏基本的核电和辐射防护知识, 反过来核电站的工作人员又缺乏基本的消防知识。因此, 核电消防和事故救援队伍的整体素质尚不能满足核电发展对灭火与应急救援工作的实际需要, 同时也缺乏相关的书籍和参考资料。为此, 我们编写了《核电站火灾扑救与事故应急》一书, 希望对核电站的工作者以及从事核电消防和事故应急的人员能有所帮助。

本书主要介绍了核电发展的现状、核能、核电站、核辐射与防护、核电站消防设施、火灾扑救以及核事故应急救援等方面的基本知识, 可供消防队的指战员、核电站的工作者、学校的师生以及从事灭火与应急救援工作的有关人员参考。

本书由中国人民武装警察部队学院灭火救援技术公安部重点实验室仇九子教授

(编写第一章、第二章、第三章和第四章)和连旦军教授(编写第五章、第六章、第七章和第八章)联合编著,由仇九子教授统稿。

由于编写时间仓促,水平有限,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2014年5月

目 录	CONTENTS
第一章 绪论	001
第一节 核电发展现状	002
第二节 我国核电消防应急救援现状	004
第二章 核电基础知识	006
第一节 核能	007
一、原子核	007
二、原子核的裂变反应和聚变反应	007
三、链式反应和临界	008
四、中子的吸收和链式反应的控制	009
第二节 核反应堆	009
一、核反应堆类型	010
二、停堆后反应堆的热功率	012
第三节 核电站的类型	012
一、压水堆核电站	012
二、沸水堆核电站	013
三、重水堆核电站	014
四、石墨气冷堆核电站	015
五、快中子堆核电站	016
第四节 核电站的安全保证	016
一、核电站的三道安全屏障	016
二、纵深防御策略	018
三、核安全保障体系	019
第三章 压水堆核电站主要设备和安全系统	020
第一节 堆芯和一回路	022
一、堆芯	022
二、一回路	023
第二节 稳压器和卸压箱	025

一、稳压器	025
二、卸压箱	026
第三节 蒸汽发生器以及二回路和三回路	026
第四节 汽轮发电机和输电变压器	027
第五节 化学和容积控制系统	028
一、容积控制	028
二、化学控制	029
三、反应性控制	029
第六节 余热排出系统	030
一、系统功能	030
二、系统流程及工作原理	030
三、余热排出系统运行	032
第七节 设备冷却水系统	032
一、系统的结构及流程	032
二、系统的运行	034
第八节 厂用水系统	035
一、系统的结构及流程	036
二、系统的运行	036
第九节 专设安全设施	036
一、安全注入系统	037
二、安全壳喷淋系统	037
三、辅助给水系统	038
四、安全壳	039
五、安全壳通风系统	041
第四章 核辐射与防护	044
第一节 放射性及其衰变规律	045
一、放射性	045
二、放射性衰变规律	045
第二节 射线与物质的相互作用	046
一、带电粒子与物质的相互作用	047
二、 γ 射线与物质的相互作用	048
三、中子与物质的相互作用	049
第三节 射线的探测	050
一、气体探测器	050

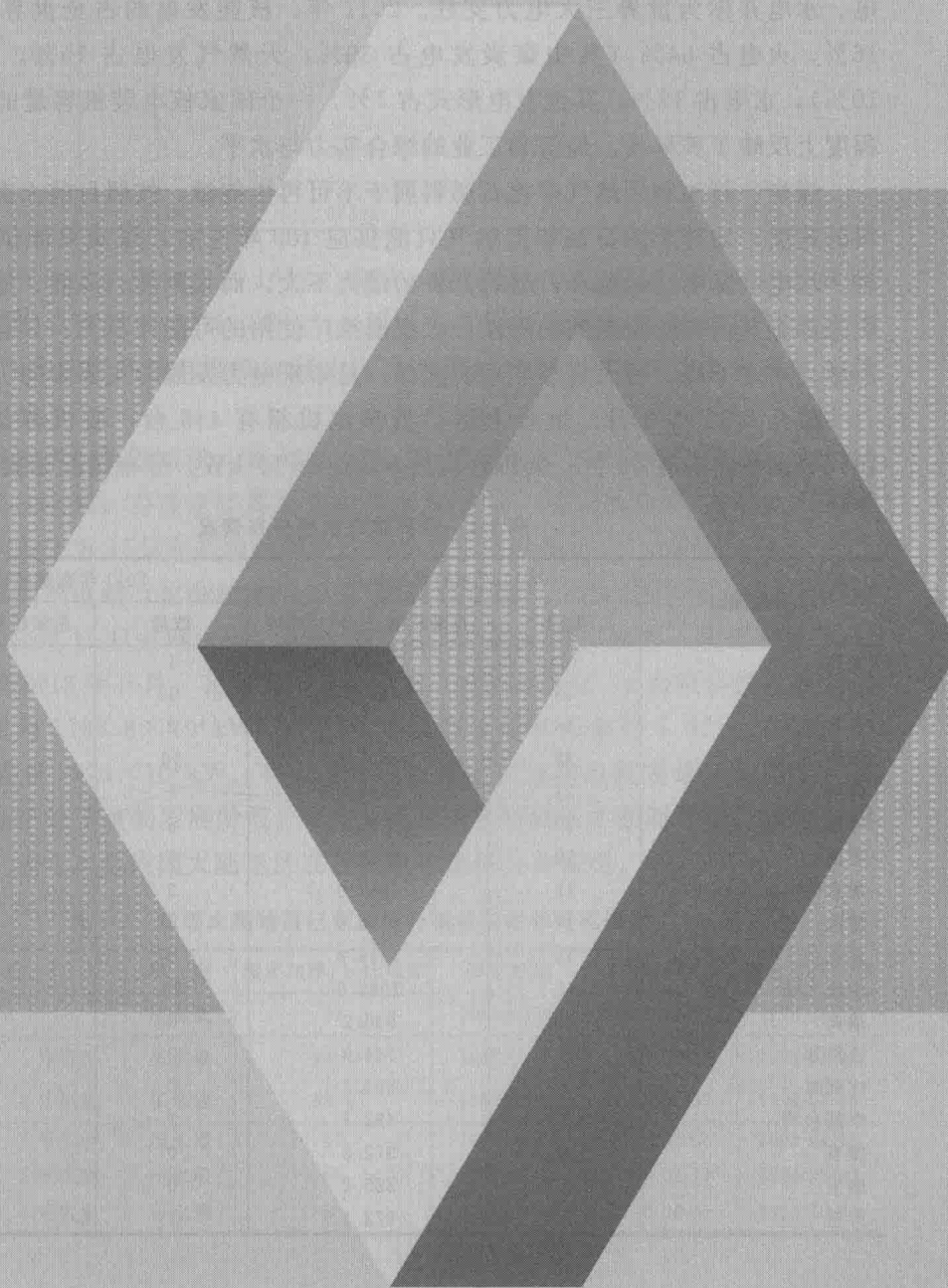
二、闪烁探测器	053
三、半导体探测器	055
四、三种探测器性能比较	056
五、其他探测器	056
第四节 辐射剂量	059
一、吸收剂量与吸收剂量率	059
二、当量剂量与当量剂量率	059
三、有效剂量	060
四、天然核辐射和人为核辐射	061
第五节 核辐射对人体的效应	061
一、辐射生物效应	062
二、辐射对人体的损伤	063
三、影响核辐射生物效应的因素	064
第六节 辐射防护的原则和措施	065
一、辐射防护的原则	065
二、当量剂量限值	065
三、辐射防护的措施	066
四、表面污染的防护	067
五、辐射防护监测	068
第五章 核电站消防设施	070
第一节 防火区	071
一、防火区的布置	071
二、防火分隔物	071
第二节 火灾自动报警系统	072
一、火灾自动报警系统的组成	072
二、火灾监控	074
第三节 消防供水系统	075
一、消防水生产系统	075
二、消防水分配系统	076
第四节 固定灭火系统	076
一、核岛固定灭火系统	076
二、常规岛固定灭火系统	078
三、辅助厂房固定灭火系统	079
第五节 半固定灭火设施和移动式灭火器材	080

一、核岛半固定灭火设施和移动式灭火器材	080
二、常规岛半固定灭火设施和移动式灭火器材	080
三、辅助厂房半固定灭火设施和移动式灭火器材	081
第六章 核电站火灾扑救	082
第一节 核电站火灾危险源及其特点	083
一、核电站火灾危险源	083
二、核电站火灾的原因	087
三、核电站火灾的特点	087
第二节 火灾报警与扑救	088
一、火灾报警和受理	088
二、使用灭火器和消火栓灭火	089
三、快速行动消防组灭火	090
四、专职消防队和公安消防部队灭火	091
第三节 人员疏散与火场逃生	092
一、人员疏散	093
二、火场逃生	093
第七章 核事故应急	095
第一节 国际核事件分级	096
第二节 我国核应急工作	098
一、我国核应急工作的任务、方针和原则	098
二、我国核应急组织体系	098
三、我国的核应急法规	100
四、核应急预案	100
五、核应急计划区	101
六、核应急状态分级	102
七、核应急防护措施	102
第三节 核应急培训和演习	104
一、核应急培训	105
二、核应急演习	107
第四节 核灾害事故应急响应的组织指挥	111
一、应急待命、厂房应急和场区应急等核事故的组织指挥	111
二、核事故场外应急的组织指挥	114
第五节 核灾害事故的应急去污技术	115

一、核灾害事故地区去污方法	116
二、核灾害事故人员去污方法	117
三、人员洗消站的设置	118
第六节 公安消防部队在核灾害事故中的应急响应	118
一、公安消防部队核事故应急响应的基本任务	119
二、公安消防部队核事故应急响应行动的实施	119
三、消防部队在核电站火灾扑救及事故应急救援中应注意的问题	121
第八章 核电站场区内应急计划与准备	123
第一节 场区内应急计划与准备的目的和任务	124
一、场区内应急计划与准备的目的	124
二、场区内应急计划与准备的任务	124
第二节 核电站应急响应组织及其职责	124
一、核电站应急响应组织	124
二、核电站应急指挥部及其职责	125
第三节 核电站应急设备与设施	127
一、主控制室和应急停堆盘	127
二、核电站应急指挥中心	128
三、核电站应急行动中心	128
四、核电站职业医疗中心、核电站医疗中心、场区实验室、环境实验室	129
五、撤离人员临时安置点	129
六、应急网络系统	129
七、气象与环境监测系统	130
八、其他相关的系统和设备	130
第四节 核电站事故应急响应	130
一、核电站应急响应基本程序和响应活动	130
二、核电站应急值班制度及其相关要求	132
三、核电站应急状态下的应急响应行动	132
四、应急状态下的应急防护行动	134
五、应急状态的终止	135
六、终止应急状态后的恢复行动	136
第五节 核电站应急培训与演习	136
一、应急培训的目的和要求	137
二、应急演练、演习的目的和周期要求	137
三、应急演习总结和后续行动	138

第六节 核辐射测量仪器及装备	138
一、便携式监测仪器及防护装备	139
二、核辐射应急监测车	140
三、移动实验室应急监测车	140
参考文献	142
第七节 核辐射应急响应	143
一、核辐射应急响应原则	143
二、核辐射应急响应程序	144
三、核辐射应急响应措施	145
参考文献	146
第八章 核辐射事故调查	147
第一节 核辐射事故调查概述	147
一、核辐射事故调查的目的和意义	147
二、核辐射事故调查的原则	148
三、核辐射事故调查的组织	149
四、核辐射事故调查的程序	150
五、核辐射事故调查的方法	151
六、核辐射事故调查的报告	152
七、核辐射事故调查的总结	153
参考文献	154
第九章 核辐射事故预防	155
第一节 核辐射事故预防概述	155
一、核辐射事故预防的目的和意义	155
二、核辐射事故预防的原则	156
三、核辐射事故预防的组织	157
四、核辐射事故预防的措施	158
五、核辐射事故预防的总结	159
参考文献	160
第十章 核辐射事故处理	161
第一节 核辐射事故处理概述	161
一、核辐射事故处理的目的和意义	161
二、核辐射事故处理的原则	162
三、核辐射事故处理的组织	163
四、核辐射事故处理的程序	164
五、核辐射事故处理的方法	165
六、核辐射事故处理的总结	166
参考文献	167
第十一章 核辐射事故调查	168
第一节 核辐射事故调查概述	168
一、核辐射事故调查的目的和意义	168
二、核辐射事故调查的原则	169
三、核辐射事故调查的组织	170
四、核辐射事故调查的程序	171
五、核辐射事故调查的方法	172
六、核辐射事故调查的报告	173
七、核辐射事故调查的总结	174
参考文献	175
第十二章 核辐射事故预防	176
第一节 核辐射事故预防概述	176
一、核辐射事故预防的目的和意义	176
二、核辐射事故预防的原则	177
三、核辐射事故预防的组织	178
四、核辐射事故预防的措施	179
五、核辐射事故预防的总结	180
参考文献	181
第十三章 核辐射事故处理	182
第一节 核辐射事故处理概述	182
一、核辐射事故处理的目的和意义	182
二、核辐射事故处理的原则	183
三、核辐射事故处理的组织	184
四、核辐射事故处理的程序	185
五、核辐射事故处理的方法	186
六、核辐射事故处理的总结	187
参考文献	188

第一章 绪论



第一节

核电发展现状

电力是人类利用能源最重要的形式，为社会经济发展和人类进步发挥了巨大作用。可以说没有电，就没有现代文明。核电作为核能和平利用的最主要形式，与火电、水电并称为世界三大电力支柱。2011 年，核能发电约占全世界总发电量的 16%，火电占 64%（其中煤炭发电占 39%，天然气发电占 15%，石油发电占 10%），水电占 19%，其他发电形式占 1%。一个国家核电装机容量的多少，很大程度上反映了其科技、经济和工业的综合实力与水平。

煤炭、石油和天然气等化石燃料属于不可再生能源，按照目前人类消耗化石燃料的速度，地球上的石油和天然气只能供应 100 年左右，煤炭只能供应 200 年左右。水电已基本达到饱和，继续开发的潜力不大。而太阳能、风能、地热能和生物质能都有其内在的缺点和局限性，大规模推广使用的可能性不大。只有核能是取之不尽、用之不竭、可大规模利用的能源，是未来电力发展的主要方向。

截至 2011 年 3 月，世界上运行的核电机组有 443 台，装机容量 $37832.4 \times 10^4 \text{ kW}$ ；在建的有 63 台，装机容量约 $6545.4 \times 10^4 \text{ kW}$ 。分布情况如表 1-1 所示。

表 1-1 世界核电机组分布情况

国家或地区	2011 年运行核电机组		2011 年在建核电机组	
	数量	总装机容量/ $\times 10^4 \text{ kW}$	数量	总装机容量/ $\times 10^4 \text{ kW}$
美国	104	10122.9	1	121.8
法国	58	6313	1	172
日本	55	4734.8	2	275.6
俄罗斯	32	2308.4	10	896
韩国	21	1867.5	5	580
印度	20	438.5	5	390
英国	19	1096.2	0	0
加拿大	18	1267.9	2	150
德国	17	2033.9	0	0
乌克兰	15	1316.8	0	0
中国大陆	13	1080.8	28	3087
瑞典	10	939.9	0	0
西班牙	8	744.8	0	0
比利时	7	594.3	0	0
中国台湾	6	492.7	2	270
捷克	6	372.2	0	0
瑞士	5	325.2	0	0
芬兰	4	272.1	1	170

续表

国家或地区	2011 年运行核电机组		2011 年在建核电机组	
	数量	总装机容量/ $\times 10^4$ kW	数量	总装机容量/ $\times 10^4$ kW
斯洛伐克	4	181.6	2	88
匈牙利	4	188	0	0
巴西	2	190.1	1	140.5
保加利亚	2	190.2	0	0
墨西哥	2	160	0	0
南非	2	180	0	0
罗马尼亚	2	131	0	0
阿根廷	2	93.5	1	74.5
巴基斯坦	2	40	1	30
斯洛文尼亚	1	69.6	0	0
荷兰	1	48.5	0	0
亚美尼亚	1	37.6	0	0
伊朗	0	0	1	100
合计	443	37832	63	6545.4

核电在世界电力供应中约占 16%。美国、法国和日本三国的核电装机容量占全世界核电装机总容量的 57%。有 15 个国家的核能发电超过其本国总发电量的 1/4，其中美国和法国的核电量超过其本国总电量的 3/4，日本的核电量占其本国电力供应总量的 1/3。

当前，我国水电资源有限，风电受成本、储能技术及并网制约，太阳能发电又面临成本较高的问题。要改变以煤电为主的能源结构，实现到 2020 年非化石能源占一次能源消费比重 15% 左右的目标，必须大力发展核电。

我国最早的核电站（也称核电厂）——秦山核电站于 1985 年 3 月 20 日开工建设，1991 年 12 月 15 日并网发电，1994 年 4 月 1 日投入商业运营，装机容量 31×10^4 kW。截至 2013 年 6 月，我国大陆地区已有 7 座核电站的 14 台机组投入商业运行，装机容量为 1188.8×10^4 kW，约占全国电力总装机容量的 1.8%；在建机组 27 台，装机容量 2979×10^4 kW。我国是目前世界上在建核电规模最大的国家，我国的核电事业正处于蓬勃发展阶段。表 1-2 是我国大陆地区已经商业运行核电机组的分布情况，表 1-3 是我国大陆地区在建核电机组的分布情况。

表 1-2 我国大陆地区已商业运行核电机组的分布情况

名 称		堆 型	额定功率/ $\times 10^4$ kW	开工日期	首次并网日期	商业运行日期
秦山核电站		压水堆	31	1985-03-20	1991-12-15	1994-04-01
大亚湾核电站	1 号机组	压水堆	98.4	1987-08-07	1993-08-31	1994-02-01
	2 号机组	压水堆	98.4	1988-04-07	1994-02-07	1994-05-06
秦山第二核电站	1 号机组	压水堆	65	1996-06-02	2002-02-06	2002-04-15
	2 号机组	压水堆	65	1997-04-01	2004-03-11	2004-05-03
	3 号机组	压水堆	65	2006-04-28	2010-08-01	2010-10-21

续表

名 称		堆 型	额定功率/×10 ⁴ kW	开工日期	首次并网日期	商业运行日期
岭澳核电站	1号机组	压水堆	99	1997-05-15	2002-02-26	2002-05-28
	2号机组	压水堆	99	1997-11-28	2002-09-14	2003-01-08
	3号机组	压水堆	108	2005-12-15	2010-07-15	2010-09-20
秦山第三核电站	1号机组	重水堆	70	1998-06-08	2002-11-19	2002-12-31
	2号机组	重水堆	70	1998-09-25	2003-06-12	2003-07-24
田湾核电站	1号机组	压水堆	106	1999-10-20	2006-05-12	2007-05-17
	2号机组	压水堆	106	2000-09-20	2007-05-14	2007-08-16
宁德核电站	1号机组	压水堆	108	2008-02-18	2012-12-28	2013-04-15
合计			1188.8			

表 1-3 我国大陆地区在建核电机组的分布情况

名 称	机组数	堆 型	额定功率/×10 ⁴ kW	开工日期
岭澳核电站	1	压水堆	108	2006-06-15
秦山第二核电站	1	压水堆	65	2007-01-28
红沿河核电站	4	压水堆	108×4	2007-08-18
宁德核电站	3	压水堆	108×3	2008-02-18
福清核电站	3	压水堆	108×3	2008-11-21
阳江核电站	3	压水堆	108×3	2008-12-16
秦山核电站扩建项目(方家山核电工程)	2	压水堆	108×2	2008-12-26
三门核电站	2	压水堆	125×2	2009-03-29
海阳核电站	2	压水堆	125×2	2009-09-24
台山核电站	2	压水堆	170×2	2009-11-18
昌江核电站	2	压水堆	65×2	2010-04-25
防城港核电站	2	压水堆	108×2	2010-07-30
合计	28		2979	

第二节

我国核电消防应急救援现状

我国核电处于快速发展时期，大力发展核电是我国能源建设的基本政策，为了应对可能发生的核电厂各类事故，最大限度地控制和减轻事故的危害，抢救生命、保护公众、保护环境，政府要求在国家、省、核电厂建立应急组织，制订应急计划，并做好应急准备。2008年新颁布实施的《中华人民共和国消防法》明确规定：“公安消防队、专职消防队依照国家规定承担重大灾害事故和其他以抢救人员生命为主的应急救援工作”；“公安消防队、专职消防队应当充分发挥火灾扑救和应急救援专业力量的骨干作用”；“按照国家规定，组织实施专业技能训练，配备并维护保养装备器材，提高火灾扑救和应急救援的能力。”这些规定明确了公安消防部队是

抢险救援的专业队伍和骨干力量,扑救火灾、应急救援、拯救生命是消防队伍的法定职责。消防部队只有做好应急响应的准备工作,积极组织实施专业技能训练,配齐装备器材,不断提高灭火与应急救援的技战术水平、增强应急救援能力,才能在事故发生时忠实履行职责,圆满完成灭火与应急救援任务。

1986年4月26日发生的苏联切尔诺贝利核事故和2011年3月11日发生的日本福岛核事故,都造成了严重的环境污染和人员伤亡。在这些事故处置中,消防部队作为骨干力量,发挥了重要作用。这些事故的发生,充分说明了加强核事故应急救援准备工作的必要性和重要性。由于核能和核辐射的特殊性,建立一支专业的核电事故应急救援队伍,对保障核电厂的正常运行乃至核安全都具有十分重要的意义。然而,由于我国的核电事业起步比较晚,发展又比较快,我国核电消防队伍建设整体滞后于核电事业发展,还不能满足核电事业快速发展的实际需要。

目前,我国核电厂内部成立有企业专职消防队,规模一般在50人左右,配备5台左右的消防车辆;在核电站所在地区成立有公安消防特勤大队,规模一般在50~100人不等,配备有5~10台消防车辆。从核电厂企业消防队及其周边地区公安消防队伍的现状来看,我国消防队伍处置核电厂火灾事故及核事故的技术力量还比较薄弱,缺乏专业人才,缺乏必要的装备和器材,培训和演练还不够,战斗力普遍比较弱。伴随着我国公安消防部队职能的拓展和核电事业的快速发展,公安消防部队作为灭火与应急救援的专业队伍和骨干力量,需要加强核电专业消防队伍建设,拓展知识面,了解核电、辐射防护以及核事故应急的基本知识,加强处置核事故的专业人才培养、补充所需装备和器材、加大训练和培训力度,掌握处置核电厂火灾以及核泄漏事故的基本技能,不断提高处置核电厂火灾和其他事故的技战术水平,增强灭火与应急救援能力。

第二章

核电基础知识

