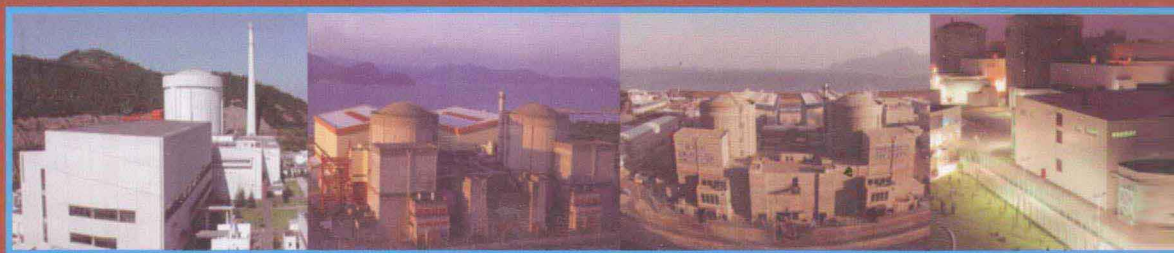


中国核电厂运行事件 综合报告 (2012 版)

环境保护部核与辐射安全监管二司 编
环境保护部核与辐射安全中心



中国核电厂运行事件综合报告

(2012 版)

环境保护部核与辐射安全监管二司 编
环境保护部核与辐射安全中心



中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核电厂运行事件综合报告 (2012 版)/环境保护部核与辐射安全监管二司,环境保护部核与辐射安全中心编. —北京:中国环境科学出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-5111-1218-7

I. ①中… II. ①环… III. ①核电厂—事故—研究报告—中国
IV. ①TM623.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 295081 号

责任编辑 刘璐
责任校对 扣志红
封面设计 金喆

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 12 月第 1 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787 × 1092 1/16
印 张 18
字 数 390 千字
定 价 150.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《中国核电厂运行事件综合报告》

编委会

主	编：	王中堂	李宗明				
副主	编：	汤搏	陶书生	孙国臣			
执行主	编：	侯伟	陶书生	孙国臣			
编委：	陶书生	孙树海	周红	李华升	孙国臣	张增庆	
	陈睿	肖志	毛开红	张浩	焦峰	许友龙	
	王娅琦	张加军	吴彦农	郑丽馨	侯秦脉	车树伟	
	赵力	褚倩倩	胡江	杨未东	刘时贤		

序

核能作为目前唯一可大规模发展的替代能源，对于确保我国能源安全、优化能源结构、加强环境保护、应对气候变化、推动生态文明建设，都具有十分重要的意义。确保安全的前提下高效发展核电，是中国政府作出的战略抉择。

但是必须看到，人类利用核能的短短几十年中，全球已发生三起严重核事故，这证明了核安全是核能发展的生命线，核能的开发利用必须以安全为基础和前提，既为当前和未来的能源供应增添保障，又使生态环境安全免受放射性危害。

我国长期的核安全工作实践表明，核安全监管必须按照“严之又严、慎之又慎、细之又细、实之又实”的要求不断推进。其中，严是核安全监管的理念核心；慎是核安全监管的基本态度；细是核安全监管的职业素养；实是核安全监管的工作作风。福岛核事故后，核安全监管事业面临空前的机遇和挑战，要求我们进一步贯彻“安全第一、质量第一”的根本方针，坚持纵深防御等安全理念，采用最先进的成熟技术和有效的管理措施，落实最新的安全要求，保障核安全，不断提升我国在役核电厂的安全性能。

“前车之覆，后车之鉴”。核电厂运行事件集中反映了在役核电厂的设备缺陷、质量控制、人因失误、管理松懈等方面的问题。国内外核电厂运行事件及其经验教训表明，不论是严重事故还是一般事件，绝大部分在事发前都有一系列先兆，如果能及时发现并适当处理，就可以预防严重事故发生。

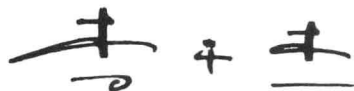
及时和深入地开展运行事件评价与经验反馈工作，已成为核安全工作中的一项基本安全原则。收集、统计安全相关的运行事件，对事件的根本原因进行详细分析，正确认识事件的性质和根源，并制定纠正措施，将分析处理的结果及时反馈到核电厂运行和核安全监管部门的工作过程中，有利于提前发现征兆，迅速采取纠正措施，解决核电厂存在的共性问题，最大限度地避免事件重发，从而保障核电厂安全运行，提升运行核电厂整体的安全水平。

国家核安全局高度重视运行核电厂事件评价及其经验反馈，开展了大量卓有成效的工作。1995年，制定并发布了《核电厂营运单位报告制度》，对运行阶段事件报告的准则、程序、内容和格式作出明确规定，并依据该制度开展了核电厂运行事件数据收集工作。2004年修订的《核动力厂运行安全规定》，对运行事件分析及经验反馈工作提出了明确要求。目前，国家核安全局已经初步建立了核电厂经验反馈体系，并在核与辐射安全中心组建了专门的技术支持队伍，为今后进一步提高事件评价与经验反馈工作水平奠定了良好基础。

《中国核电厂运行事件综合报告》收集了我国运行核电厂1991年至今的所有运行事件，是我国第一部介绍核电厂运行事件评价与经验反馈的专业读物，内容丰富，实用性强，汇聚了我国核电运行安全监管20余年的优秀成果，反映了核电厂和核安全监管系统

的期待，体现了我国在福岛核事故后对运行事件评价工作的特色。该书的出版，是核能发展和核安全监管的共同财富，凝聚了国家核安全局系统特别是核与辐射安全中心相关工作人员的心血，是集体智慧的结晶！

核能在发展，安全在进步。我相信，在核电营运单位安全从业人员和国家核安全监管人员的共同努力下，加上“核电厂经验反馈信息平台 and 运行事件数据库”的即将建成，事件评价与经验反馈的新成果将会不断充实和丰富《中国核电厂运行事件综合报告》的内容，使之真正成为核电运行和核安全监管工作者的良师益友。



2012 年 12 月 19 日

前言

本报告主要对我国核电厂所发生的运行事件进行统计和趋势分析，对国内核电厂发生的典型事件进行分析和梳理，对福岛核事故后目前国内热点和难点的技术问题进行专题分析，为核安全监管当局提供技术支持，为核电厂提供信息共享，为核电从业人员提供参考。

1984 年国家核安全局成立后，广泛收集、仔细研究了核电发达国家的核安全法律、法规，并参照 IAEA 的核安全规定及导则，逐步确立了中国的核安全法规体系，对民用核设施实施了独立的核安全审评和监督。针对运行核电厂的法规体系主要包括《民用核设施安全监督管理条例》及其实施细则、《核动力厂运行安全规定》及其导则等。特别是在《核电厂运行单位报告制度》中给出了运行阶段事件报告准则。截至 2011 年年底，我国运行核电厂共发生 662 起运行事件，其中 0 级运行事件 532 起，1 级运行事件 130 起，未发生 2 级及 2 级以上运行事件。

我国核电厂发生的运行事件所涉及的范围很广，包括仪控、电气、机械设备、常规岛等与核安全相关的各个系统；导致这些运行事件发生的原因主要集中在人员差错、安装质量、设备缺陷、设计不周和规程不完善等。而国内和国际上所发生的事件还表明，有些事件是重复发生的。通过对所发生过的运行事件进行分析，以实现有价值经验反馈信息的共享，最大限度地避免事件重发，有利于核安全监管部门加强对运行核电厂的监管，解决各核电厂存在的共性问题；有利于促进和加强运行核电厂之间的技术交流，提高核电厂的核安全水平。

本报告在编写过程中得到国家核安全局、地区监督站、秦山核电厂、秦山第二核电厂、秦山第三核电厂、大亚湾核电厂、岭澳核电厂、田湾核电站、核动力运行研究所、苏州热工研究院有限公司等单位的大力支持和帮助，也得到了环境保护部核与辐射安全中心领导和总工团队给予的大力支持和指导。参与本报告编写的人员主要有陶书生、孙树海、周红、李华升、孙国臣、张增庆、陈睿、肖志、毛开红、张浩、焦峰、许友龙、王娅琦、张加军、吴彦农、郑丽馨、侯秦脉、车树伟、赵力、褚倩倩、胡江、杨未东、刘时贤。

由于我们的学识水平有限，报告中难免存在诸多不足，深切希望广大从事核安全监管和核电设计、建造及运行的读者和专家批评指正。

编者

2012 年 12 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 编写本报告的目的	1
1.2 核电厂营运单位报告制度	1
1.3 国家核安全局经验反馈体系	3
1.4 运行事件原因分析方法	4
1.5 主要内容	6
第 2 章 运行核电厂介绍	7
2.1 秦山核电厂	7
2.2 大亚湾核电厂	9
2.3 秦山第二核电厂	10
2.4 岭澳核电厂	12
2.5 秦山第三核电厂	13
2.6 田湾核电站	15
第 3 章 运行事件统计和趋势分析	18
3.1 核电厂总体运行事件统计和趋势分析	18
3.1.1 1991—2000 年核电厂运行事件统计和趋势分析	19
3.1.2 2001—2011 年核电厂运行事件统计和趋势分析	24
3.1.3 1991—2011 年核电厂全部运行事件统计和趋势分析	28
3.1.4 统计和趋势分析小结	31
3.2 各核电机组运行事件统计和趋势分析	32
3.2.1 秦山核电厂	32
3.2.2 大亚湾核电厂 1、2 号机组	36
3.2.3 岭澳核电厂 1、2 号机组	41
3.2.4 岭澳核电厂 3、4 号机组	45
3.2.5 秦山第二核电厂 1、2 号机组	48
3.2.6 秦山第二核电厂 3、4 号机组	51
3.2.7 秦山第三核电厂 1、2 号机组	53
3.2.8 田湾核电站 1、2 号机组	57
3.3 运行事件原因统计分析	59
3.3.1 设备缺陷统计分析	59
3.3.2 人员差错统计分析	64

3.3.3 设计不周统计分析	64
3.4 结论与建议	67
第4章 典型运行事件分析	70
4.1 大亚湾核电厂1号机组T5典型事件分析	70
4.1.1 事件描述	70
4.1.2 事件后果	70
4.1.3 事件处理过程	71
4.1.4 原因分析	73
4.1.5 应对措施及纠正行动	73
4.1.6 经验反馈	74
4.2 秦山核电厂反应堆堆芯吊篮事件分析	74
4.2.1 事件描述	74
4.2.2 事件后果	75
4.2.3 事件处理过程	75
4.2.4 原因分析	75
4.2.5 应对措施及纠正行动	77
4.2.6 经验反馈	78
4.3 秦山第二核电厂1号机组部分核辅助管道焊缝缺陷的事件分析	78
4.3.1 事件描述	78
4.3.2 事件后果	79
4.3.3 事件处理过程	79
4.3.4 原因分析	79
4.3.5 纠正行动	80
4.3.6 经验反馈	84
4.4 田湾核电站1号机组3号主泵电机烧毁事件分析	84
4.4.1 事件描述	84
4.4.2 事件后果	87
4.4.3 事件处理过程	88
4.4.4 原因分析	89
4.4.5 应对措施及纠正行动	91
4.4.6 经验反馈	92
4.5 田湾核电站1号机组主变A相故障导致反应堆自动保护停堆事件分析	92
4.5.1 事件描述	92
4.5.2 事件后果	94
4.5.3 事件处理过程	94
4.5.4 原因分析	95
4.5.5 应对措施及纠正行动	95
4.5.6 经验反馈	96

4.6 大亚湾核电站 2 号机组发电机定子 100% 接地保护动作导致反应堆 自动停堆及操作失误导致稳压器安全阀动作的事件分析	97
4.6.1 事件描述	97
4.6.2 事件后果	98
4.6.3 事件处理过程	98
4.6.4 原因分析	99
4.6.5 纠正行动	103
4.6.6 经验反馈	103
4.7 岭澳核电站 4 号机组主控室工作站短时停运事件分析	104
4.7.1 事件描述	104
4.7.2 事件后果	105
4.7.3 事件处理过程	105
4.7.4 事件原因分析	105
4.7.5 应对措施及纠正行动	110
4.7.6 经验反馈	111
4.8 泰山第三核电站装卸料机故障事件分析	111
4.8.1 事件描述	111
4.8.2 事件后果	113
4.8.3 事件处理过程	113
4.8.4 原因分析	114
4.8.5 应对措施及纠正行动	119
4.8.6 经验反馈	121
第 5 章 专题报告	122
5.1 丧失厂外电	122
5.1.1 概述	122
5.1.2 我国运行核电站的厂外电情况	124
5.1.3 典型的丧失厂外电事件	131
5.1.4 经验反馈及建议	145
5.2 与人因类相关运行事件分析	145
5.2.1 概述	145
5.2.2 人因类运行事件分类	148
5.2.3 人因类运行事件的趋势分析	150
5.2.4 结论和建议	156
5.3 燃料组件相关运行事件分析	158
5.3.1 概述	158
5.3.2 运行核电站燃料组件的基本情况	159
5.3.3 燃料组件相关的运行事件统计	165
5.3.4 燃料组件相关的异常统计	166

5.3.5	原因与结果分析	168
5.3.6	结论和建议	169
5.4	控制棒组件及其驱动机构相关运行事件的分析	170
5.4.1	概述	170
5.4.2	控制棒组件及其驱动机构相关运行事件的统计	171
5.4.3	控制棒组件及其驱动机构相关运行事件的分类	174
5.4.4	分析与讨论	177
5.4.5	建议	178
5.5	核电厂数字化仪控系统	179
5.5.1	概述	179
5.5.2	国外 DCS 系统的发展	180
5.5.3	国内 DCS 应用状况	181
5.5.4	核电厂数字化仪控系统 DCS 简介	182
5.5.5	数字化仪控系统相关的运行事件	186
5.5.6	结论	193
5.6	与压水堆一回路相连接管段热工现象分析	194
5.6.1	前言	194
5.6.2	锅炉效应	194
5.6.3	死管段现象	201
5.6.4	Farley - Tihange 现象	204
5.6.5	总结	212
参考文献		213
附录 1991—2011 年中国核电厂运行事件统计表		215

第 1 章 概述

我国自 1983 年秦山核电厂开工建设以来，截止到 2011 年年底运行核电机组达到 15 台，装机容量为 1 257.8 万 kW，约占全国发电装机总量的 1.04%。目前我国运行核电厂主要有以下堆型：我国自主研发的秦山核电厂 300 MWe (CNP300)、基于法国技术的 M310、CPR1000、CNP1000，我国自主设计建造运行的秦山第二核电厂 CNP650，加拿大 CANDU-6 重水堆以及俄罗斯 WWER-1000/B-428 (AES-91)。我国核电经历 20 多年的发展，运行和在建机组已达到 43 台，核电机组数已进入世界前列。

1984 年国家核安全局成立后，广泛收集、仔细研究了核电发达国家的核安全法律、法规，并参照 IAEA 的核安全规定及导则，逐步确立了中国的核安全法规体系，对民用核设施实施了独立的核安全审评和监督。针对运行核电厂的法规体系主要包括《民用核设施安全监督管理条例》及其实施细则、《核动力厂运行安全规定》及其导则等。特别是在《核电厂运行单位报告制度》中给出了运行阶段事件报告准则。

截至 2011 年年底，我国运行核电厂共发生 662 起运行事件，其中 0 级运行事件 532 起，1 级运行事件 130 起，未发生 2 级及 2 级以上运行事件。

1.1 编写本报告的目的

本报告主要对我国核电厂所发生的运行事件进行统计和趋势分析，对国内核电厂发生的典型事件进行分析和梳理，对目前国内热点和难点的技术问题进行专题分析，为核安全监管当局提供技术支持，为核电厂提供信息共享，为核电从业人员提供参考。

我国核电厂发生的运行事件所涉及的范围很广，包括仪控、电气、机械等与核安全相关的各个系统；导致这些运行事件发生的原因主要集中在人员差错、安装质量、设备缺陷、设计不周和规程不完善等。而国内和国际上所发生的事件还表明，有些事件是重复发生的。通过对所发生过的运行事件进行分析，以实现有价值经验反馈信息的共享，最大限度地避免事件重发，有利于核安全监管部门加强对运行核电厂的监管，解决各核电厂存在的共性问题；有利于促进和加强运行核电厂之间的技术交流，提高核电厂的核安全水平。

1.2 核电厂营运单位报告制度

根据《中华人民共和国民用核设施安全监督管理条例实施细则之二——核设施的安全监督》第二十三条的规定，1995 年国家核安全局颁布了《核电厂营运单位报告制度》，规范了营运单位向国家核安全局报告的形式和内容，包括建造阶段事件报告、运行阶段事件

报告和核事故应急报告等。

营运单位必须在事件发生后 24 小时内口头通告国家核安全局和所在地区监督站。口头通告的内容包括核电厂名称、机组编号、事件名称、事件发生时间、报告依据、事件发生前机组状态和功率水平、事件对运行的影响和事件后功率水平、放射性后果、涉及的系统和设备、事件是否已经结束、紧急程度、摘要和报告人。

营运单位应在事件发生后 3 天内向国家核安全局和所在地区监督站递交书面通告。

营运单位应以公函形式在事件发生后 30 天内向国家核安全局和所在地区监督站递交事件报告。事件报告内容包括：核电厂名称和机组编号、事件报告编号、事件通告编号、事件名称、始发事件、事件发生时间和结束时间、报告日期、报告人、报告准则、事件发生前机组状态和功率水平、事件对运行的影响和事件后功率水平、放射性后果、安全评定、报告摘要和报告正文。

在核电厂试验和运行期间，发生下列各类事件时，营运单位应该向国家核安全局和所在地区监督站报告。

(1) 违反核电厂技术规格书的事件；

(2) 导致核电厂安全屏障或重要设备的性能受到严重损害或出现下列工况的事件：

- 1) 明显危害安全的没有分析过的工况；
- 2) 超出核电厂设计基准的工况；
- 3) 在核电厂运行规程或应急规程中没有考虑的工况。

(3) 对核电厂安全有现实威胁或明显妨碍核电厂值班人员完成安全运行的自然事件和其他外部事件；

(4) 导致专设安全设施和反应堆保护系统自动或手动触发的事件（预先安排的这类试验除外）；

(5) 任何可能妨碍构筑物或系统实现下列安全功能的事件：

- 1) 停堆和保持安全停堆状态；
- 2) 排出堆芯余热；
- 3) 控制放射性物质释放；
- 4) 缓解事故后果。

(6) 导致多个独立的具有下列功能的系统、序列或通道同时失效的共因事件；

(7) 放射性释放失去控制的事件；

(8) 对核电厂安全有现实威胁或明显妨碍值班人员安全运行的内部事件；

(9) 其他事件：上述 8 类所不包括的，由国家核安全局和营运单位根据事件的性质及其后果确定为对安全有影响的重大事件以及公众普遍关注的事件。

对于下列情况，应该提交运行事件报告的补充报告：

(1) 在原事件报告需要补充或修订的情况下，应该提交相应的补充报告；

(2) 对复杂的事件，如果核安全局认为原事件报告不够详细，营运单位应该根据所指定的范围和内容提交补充报告。

对于秦山第三核电厂的重水堆，国家核安全局通过对重水堆核电厂运行监管情况表明，由于重水堆核电厂在设计和运行方面均与压水堆核电厂存在较大差别，现行《核电厂营运单位报告制度》中的运行事件报告准则对重水堆核电厂有一定的局限性，必须对现行

运行事件报告准则进行适当的修订和补充。在国核安发〔2008〕94号文中发布了《重水堆核电厂运行事件判定准则》（试行），描述了重水堆运行事件判定准则，其中前面8条准则与《核电厂营运单位报告制度》中相类似，在第9条增加如下准则：

（1）一次事件中重水损失超过100 kg；

（2）主热传输系统与应急堆芯冷却系统之间的隔离阀失效或误操作，导致堆芯冷却剂流量被旁通的事件；

（3）装换料错误事件；这类事件报告在装换料过程中将燃料棒束装入错误的燃料通道，或装入燃料通道的燃料棒束富集度不正确，或燃料通道换料方式错误。

1.3 国家核安全局经验反馈体系

在2004年国家核安全局发布的《核动力厂运行安全规定》2.4节“运行经验反馈”中明确要求：

（1）营运单位必须系统地评价核动力厂的运行经验。必须调查研究安全重要的异常事件以确定其直接原因和根本原因。调查必须向核动力厂运行管理者提出明确的建议，核动力厂运行管理者必须及时地采取恰当的纠正行动。这些评价及调查所得的信息必须反馈给核动力厂工作人员；

（2）营运单位必须获得并评价其他核动力厂的运行经验和教训，以作为借鉴。为此，应十分重视与国内和国际机构的经验交流及信息共享；

（3）必须指定胜任的人员认真研究运行经验，以发现不利于安全的先兆，从而在出现严重情况之前采取必要的纠正行动；

（4）必须要求所有的核动力厂工作人员报告所有的事件，并鼓励报告与核动力厂安全有关的“几乎要发生的事件”；

（5）必须收集和保存运行经验的数据，以用作核动力厂老化管理、核动力厂剩余寿期评价、概率安全评价和定期安全审查的输入数据。

核电厂运行经验反馈工作是保证核电厂安全运行的一个重要手段，有助于核安全监管部門抓住监管的重点，提高监管的有效性和时效性。国际上，各国核安全监管部門、IAEA和其他国际组织及研究机构之间关于运行经验反馈的合作和交流日益密切和频繁，运行经验反馈已经成为了国际交流和合作的重要组成部分。

当前我国现行的经验反馈监管主要是基于营运单位根据《核电厂营运单位报告制度》要求而报告的执照运行事件（LOE），监管部門审查LOE报告纠正行动的执行情况。我国目前运行的核电机组不断增加，不同机组、不同堆型存在设计和运行方面的差异，因此对核电厂的监管能力提出了更高的要求。现行的监管方法很难统一成具有较强操作性的标准来进行监管，急需高效的信息化监管手段，以提高监管能力与效率。为了规范我国运行核电厂经验反馈工作的管理，指导、监督并促进经验反馈活动的有效开展，增进核电厂运行经验和信息的交流、共享与应用，我国的核安全监管部門也开展了运行核电厂经验反馈应用的研究工作以提高核电安全监管的技术能力。为此，2012年国家核安全局发布了《运行核电厂经验反馈管理办法》。

国家核安全局“运行核电厂经验反馈体系”由文件体系、信息平台建设和经验反馈专

家库组成，并有相应的导则或指南作为技术支持文件，而工作程序和技术文件共同构成了运行核电厂经验反馈的文件体系。信息平台建设是将经验反馈文件体系的主要内容信息化。通过建立运行核电厂经验反馈体系，对国内外运行核电厂的运行事件及状态报告的（内部运行事件）信息进行收集、统计、分析、评价和发布，并对各类信息进行分析、归纳和总结，将分析处理的结果反馈到核电厂运行及监管过程中，以利于提前发现危及核电厂运行安全的征兆，从而在出现严重情况之前采取必要的纠正措施，保障核电厂安全运行，提升我国运行核电厂整体的安全水平。

1.4 运行事件原因分析方法

运行事件原因分析的主要目的是通过正确地应用根本原因分析方法准确地找到事件发生的根本原因及促成因素，并通过纠正行动对原因及其他可能的影响加以纠正，从而避免事件重发，并改进核电厂相关工作的质量。有效的事件根本原因分析工作要有正确的根本原因分析方法来指导，只有掌握了根本原因分析方法并加以灵活运用才能使事件根本原因分析工作起到事半功倍的效果。

由于事件的性质、分析的范围和可用资源的不同，可能会采用不同的运行事件原因分析方法。目前，各个国家及国际组织开发了许多运行事件根本原因分析方法。

世界核营运者协会（WANO）根本原因分析方法起源于美国，由美国电力公司与美国核电运行研究所（INPO）共同创立。该方法的重点是人员因素分析，但同时也适用于组织、管理或设备、设计方面的分析。WANO 根本原因分析方法主要有：任务分析、变化分析、屏障分析和事件原因因素图。

IAEA 根本原因分析方法是一项从经验中发展而来用于发现具体原因或影响因素的分析方法。根据最佳实践，多个分析方法的组合使用可提高调查质量。如：事件和影响因素图表、因果分析、采访、任务分析、变化分析、屏障分析、故障树分析、事件树分析和机组运行经验回顾等。

NRC 推荐的根本原因分析方法是美国 Energy 公司采用的分析法，主要包括：确定事件和偏差、事实调查、结果分析、确定根本原因、验证根本原因、制订建议的纠正行动和记录发现项。

下面介绍几种根本原因分析方法。

（1）变化分析法

变化分析的目的是找出可能引起的事件和有潜在后果的变化。分析过程包括：

①事件前后的情况比较和存在的差异；②分析包含不恰当行为的情况；③分析与上述相对应的没有不恰当行为的情况；④将包含不恰当行为的状态与参考状态进行比较、列出所有的差异，不管是看似相关或无关的差异，因为表面上无关紧要的差异可能共同作用导致事件；⑤分析差异对事件产生的影响；在分析过程中综合考虑有关原因的信息，并由此形成对事件有关人员访谈时需要提出的问题。

（2）屏障分析法

屏障是用来保护设备和人员，提高安全和人机系统绩效的实体或行政管理措施。设立屏障是为了统一电厂人员行为和保证设备系统能满足设计要求。通常屏障具有多样性和多

重性，符合纵深防御的概念。当进行屏障分析时，对所有适用的实体、行政管理屏障，调查人员要确定哪些屏障是有效地保护了人员、设备或系统；哪些屏障是失效的，导致了事件发生。然后，调查人员分析研究这些屏障为什么会失效以及怎样失效的。

（3）事件原因因素图法

事件原因因素图（ECFC）是将整个事件分解为多个按逻辑次序发生的事件，每一个事件都用准确的信息加以描述。在构造事件时序图时不限于单一事件主线，可以有分支，可以使用变化分析、屏障分析的结论，并要考虑影响事件进展的环境条件，用事件周边相关或存在的状态确定事件的原因。

（4）因果分析法

因果分析法的目的在于通过分析因果关系来确定根本原因，实施方式为不断询问出现的结果和发生的原因，并从最后一次故障/缺陷开始往前追溯，以找出原因。因果分析的特点在于：不断追问和回答“为什么”；何时停止，找到可在运营机构内予以纠正的最深层原因；以非常直接的方式找出事件发生的根本原因；与故障树分析相似，但只显示实际发生的故障分支。因果分析在调查由人员差错和设备缺陷共同激发的事件时经常使用。但是，大多数由设备缺陷引发的事件都需通过更为详细的因果分析也就是故障树分析来找出根本原因。故障树分析是基于布尔代数来创建分析图的。故障树会列出所有可能的缺陷机制并利用科学研究以确定或否定可能的原因，直到最终确定真实的引发机制。

（5）故障树分析法

故障树分析按从上到下的图形结构陈述可能的故障原因，从一般原因到具体原因进行论证。故障树分析帮助确定事件可能的故障模式、其中哪些因素可能出现故障以及为降低发生的可能性而可以增加/修改的内容，还可以通过使用逻辑符号（例如与/或）将各种活动连接起来，从而以图形的方式显示事件的基本原理。故障树分析工具的特点在于：顶部事件为主要事件；树形图展示了事件的结构；通常用于以图形的形式来陈述有许多可能场景的复杂问题；有利于开展风险研究和改善/改造系统。故障树分析主要确定关键路径和发生顶部事件各路径的相对重要性。

（6）事件树分析法

事件树分析法目的在于确定初始事件可能导致的潜在后果。事件树分析帮助确定防御层次正常时出现的情况和防御层次有故障时出现的情况。事件树分析法的特点在于：从初始事件开始，非最终事件；说明防御层次正常或故障时出现的情况；确定找到重大后果或关注点时可停止分支分析过程；在知道每条防御层次的可能性后帮助定量确定不同后果出现的概率；得以获得很难在故障树上建模的相互性和多米诺骨牌效应；若采用拟定的纠正措施来防止事件再发生，得以通过定量分析未来可能发生的故障来确定可能的纠正措施之有效性。事件树分析主要应用于评估事件的安全重要性。

1.5 主要内容

第1章综述本报告的编写目的、核电厂营运单位报告制度、国家核安全局经验反馈体系和运行事件原因分析方法等。

第2章对我国运行核电厂进行简单描述，包括每个核电厂的设计、建造，调试和运

行，以及主要系统等。

第3章对运行事件进行统计分析和趋势分析，针对每个运行核电机组所发生运行事件的特点进行分析和总结，提出应该重点关注的内容。

第4章对我国发生的典型运行事件进行剖析，包括大亚湾核电站1号机组T5事件、秦山核电厂反应堆堆芯吊篮事件、秦山第二核电厂1号机组部分核辅助管道焊缝缺陷的事件、田湾核电站1号机组3号主泵电机烧毁事件、田湾核电站1号机组主变A相故障导致反应堆自动保护停堆事件、大亚湾核电厂2号机组发电机定子100%接地保护动作导致反应堆自动停堆及操作失误导致稳压器安全阀动作的事件、岭澳核电厂4号机组主控室工作站短时停运事件和秦山第三核电厂装卸料机故障事件，分析存在的问题，强调应该关注的内容。

第5章对当前重点和热点技术进行专题分析，包括丧失厂外电、人因类运行事件、燃料组件相关事件、控制棒组件及其驱动机构异常事件、核电厂数字化控制系统（DCS）相关事件、与压水堆一回路相连接管段热工现象等。

本报告还包含相关图表和附录，将进行定期升版和修订。