

双色版

DIANLI GONGCHENG SHIGU
RENYIN FENXI FANGFA YU ANLI

电力工程事故 人因分析方法与案例

黄志坚 袁周 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANLI GONGCHENG SHIGU
RENYIN FENXI FANGFA YU ANLI

电力工程事故 人因分析方法与案例

黄志坚 袁 周 编著



 中国电力出版社

内 容 提 要

本书共分 12 章。第 1 章主要论述现代电力系统的基本特征、电力生产事故与危害性以及事故防范基本措施。第 2 章论述电力事故人因失误分析的基本概念、基本理论与基本方法。第 3~6 章结合大量实例对电力工程各主要环节(设计制造、建设施工、运行、维修)的人因失误现象、引起的事故作了详细的分析。第 7~12 章运用人因分析理论、企业领导及管理理论、安全心理学、危险点分析与安全评价方法、企业文化理论、“人—机”系统可靠性理论等从不同的角度分析了电力生产人因事故案例,系统地提出了预测与防范人因事故的措施。

本书适合电力行业的工程技术人员、一线工人、电力安全管理人员,电力学院的师生,以及相关行业安全生产管理与科研人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程事故人因分析方法与案例/黄志坚,袁周编著.
—北京:中国电力出版社,2014.8
ISBN 978-7-5123-5921-5

I. ①电… II. ①黄…②袁… III. ①电力工程-人为失误-工
程事故-事故分析 IV. ①TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 108684 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 453 千字

印数 0001—3000 册 定价 49.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

现代化电力工业是用现代科学技术装备的行业，是电力能源资源转换、传输、分配高度集中统一的社会化联合大生产系统，是涉及多种因素的动态复杂系统。随着电网的发展，电网覆盖的范围越来越广，大电网一旦发生事故且不能迅速排除时，很可能导致稳定破坏和不可控连锁反应，造成大范围、长时间的停电，后果更严重，这是其他行业的事故难以比拟的。稳定发供电是国民经济发展的重要因素，事关国家安全，相关电力部门必须引起重视。

在电力系统，人的失误导致的事故占很大的比重。国际核电界的共同经验表明，60%~75%的安全生产事件归因于人的行为失效（简称“人因失效”）。人因分析对人—机系统的设计、评价以及对电力系统的可靠性、安全性具有重要意义。电力生产事故的人因分析与预防是一项重大任务，它是技术与管理结合，人、物、环境的结合，是典型的人文学科与工程技术学科交叉的边缘学科课题。目前，人因分析的理论、方法、技术尚不完备，面临诸多课题，需广大专业人员积极探索与实践。随着我国电力工业向电力市场化改革推进，电力企业生产终究要靠本单位自己承担，企业的安全管理更加独立。电力安全生产这一严峻而重大课题对于企业的广大工程技术人员和安全管理人员的综合素质提出了更高的要求。为帮助广大电力从业人员提高电力人因事故分析、防范能力，从而进一步保障我国电力生产的安全运行，特编写了这本书。

本书以系统论作指导，对电力系统人因事故分析预防作了多角度、较深入的分析，在一些领域还作了独到的探索。本书主要特点是跨学科、跨专业，并密切结合现场实例，因此对广大读者尤其是电力工程一线人员具有较好的参考借鉴作用。

本书第1~第10章由黄志坚编写，第11、第12章由袁周编写，全书由黄志坚统稿。



目 录

前言

第 1 章

电力工业与电力事故	1
1.1 现代电力工业概述	1
1.1.1 电力工业的基本特征	1
1.1.2 电力企业的分类	2
1.1.3 中国电力工业的发展	4
1.2 电力生产事故	7
1.2.1 电力生产事故的分类	8
1.2.2 电力事故的危害性	12
1.3 电力事故的防范	15
1.3.1 电网事故的防范	15
1.3.2 电力生产人身事故的防范	17

第 2 章

人因失误理论及应用	35
2.1 事故致因理论	35
2.1.1 事故致因概述	35
2.1.2 用流行病学方法分析事故	36
2.1.3 基于系统理论的人因素模型	36
2.1.4 能量转移论	38
2.1.5 事故因果论	40
2.1.6 轨迹交叉论	44
2.1.7 扰动起源事故模型	45
2.1.8 以人失误为主因的事故模型	47
2.2 人因失误的基本特征及分析	48
2.2.1 人因失误的基本特征	49
2.2.2 人失误的原因	49
2.3 人因失误分析的必要性	50
2.3.1 人因失误是事故发生的主要原因	51
2.3.2 人的心理特点、行为与事故发生有复杂的联系	51
2.3.3 系统（组织）中的人因失误问题	53
2.4 人的不安全行为	53

2.4.1	个体心理与行为的关系	54
2.4.2	人不安全行为的相关原理	54
2.4.3	工业生产中人的不安全行为	56
2.4.4	人的不安全行为起因	57
2.5	人因失误的分类	59
2.5.1	操作者失误和系统失误	59
2.5.2	按人因失误的对象分类 (HIF 分类)	60
2.5.3	按人为失误的内容分类及 PSTE 分类法	61
2.5.4	根据一般和具体的对立统一来分析人为失误	61
2.5.5	以行为、任务以及系统分类	62
2.6	人因失误分析相关课题	63
2.6.1	人因分析基础研究	63
2.6.2	人因分析应用研究	64
2.7	电力生产事故中的人因失误	65
2.7.1	人因失误与电力系统特征的关系	65
2.7.2	人因失误与系统安全的关系	66
2.7.3	电力生产事故人因失误类型	69
2.8	电力系统人因失误分析方法	70
2.8.1	基于 REASON 模型的人因事故分析	70
2.8.2	基于 CREAM 追溯法的人因失效分析	72
2.8.3	基于层次分析法的人因失误分析	77
2.8.4	人因失误的动态灰色关联分析	80
2.9	电力系统人因失误控制对策	83
2.9.1	主要对策	83
2.9.2	核电厂的人因失误防范体系案例	84
第3章	电力工程设计制造人因失误	87
3.1	电力工程设计人因失误概述	87
3.1.1	设计人因失误与安全生产的关系	87
3.1.2	设计人因失误的分析	87
3.2	工程设计常见人因失误	89
3.2.1	忽略重要因素导致失误	90
3.2.2	相关因素判断错误导致失误	93
3.2.3	对不明因素持侥幸态度导致失误	97
3.2.4	分析处理或措施不当导致失误	99
3.2.5	减少设计失误的措施	100
3.3	设备制造中的人因失误	102
3.3.1	设备制造中的人因失误概述	102

第4章

3.3.2 制造失误案例	102
电力建设施工工人因失误	105
4.1 电力建设施工工人因失误概述	105
4.1.1 电力建设施工的特点	105
4.1.2 建设施工工人失误的原因	106
4.1.3 电力建设施工工人因失误对安全的影响	107
4.2 电力建设施工各类人因失误引起的事故	107
4.2.1 高处施工工人因失误引起的事故	107
4.2.2 起重吊装人因失误引起的事故	108
4.2.3 施工用电人因失误引起的事故	110
4.2.4 爆破施工工人因失误引起的事故	114
4.2.5 工程质量控制不严引起的事故	115
4.2.6 工程管理不善引起的事故	117

第5章

电力系统运行人因失误	121
5.1 运行人员行为特征分析	121
5.1.1 电厂运行人员行为特点	121
5.1.2 核电厂运行人员的心理特质和行为绩效相关性分析	122
5.2 信息传递失误	124
5.2.1 关于信息沟通的认识	124
5.2.2 信息沟通的障碍与解决	128
5.2.3 信息沟通不良导致的事故案例	130
5.3 判断失误	136
5.3.1 判断失误概述	136
5.3.2 判断失误案例	136
5.4 操作失误	139
5.4.1 影响操作人员失误的因素	139
5.4.2 操作失误的主要表现	140
5.4.3 误操作事故案例	141
5.4.4 操作票应用失误	146
5.4.5 防止误操作事故对策	151
5.5 电力运行重大事故案例	154
5.5.1 巴西大停电事故	154
5.5.2 福岛核事故中的人因失误	156

第6章

电力设备维修人因失误	158
6.1 设备管理维修概述	158
6.1.1 设备管理体系的进展	158
6.1.2 电力系统设备管理与维修	159

6.2	设备检修人员的素质	160
6.2.1	检修人员素质与现代化设备维修管理	160
6.2.2	检修人员的失误与设备管理	161
6.3	习惯性违章与预防对策	162
6.3.1	习惯性违章心理现象	162
6.3.2	习惯性违章人员的特点	165
6.3.3	习惯性违章案例	165
6.3.4	习惯性违章预防对策	168
6.4	维修作业人因失误引起的事故	171
6.4.1	专业知识缺乏引起的事故	171
6.4.2	工艺技能差及经验不足引起的事故	172
6.5	故障诊断中的失误	174
6.5.1	故障误诊分析	174
6.5.2	降低误诊率的基本途径	176
6.6	检修管理不善引起的失误	178
6.6.1	常见问题	178
6.6.2	典型案例	179
6.6.3	检修工器具及安全工器具管理问题	182
6.7	电力设备维修安全管理的探索与实践	184
6.7.1	核电厂维修人因失误分析及预防	184
6.7.2	水电站设备精益检修体系	188
6.7.3	安全管理责任到岗设备管理责任到人——三峡电站责任体系建设	194
第7章	电力生产事故调查与分析	196
7.1	正确分析事故信息	196
7.1.1	事故信息特点	196
7.1.2	安全信息管理	197
7.1.3	隐瞒事故案例	198
7.2	事故统计分析	199
7.2.1	事故统计分析的重要意义及注意事项	199
7.2.2	事故统计方法	200
7.3	事故原因的追溯	202
7.3.1	事故分析的主要途径	202
7.3.2	事故分析的基本原则	204
7.3.3	因果分析图法	210
7.3.4	逻辑链分析法	215
7.3.5	假设—验证分析法	216
7.4	电力事故综合分析案例	218

	7.4.1 110kV 输电线路铁塔倒塌事故分析	218
	7.4.2 电网瓦解事故分析	222
	7.4.3 35kV 并联电容器组群爆事故原因分析	225
第 8 章	领导行为与事故预防	228
8.1	关于领导的认识	228
8.1.1	领导与其职责	228
8.1.2	领导与安全	229
8.2	领导者的影响力分析	231
8.2.1	领导者的影响力	231
8.2.2	从影响力分析领导过程	232
8.3	领导行为的理论分析	233
8.3.1	特性理论	233
8.3.2	作风理论	234
8.3.3	行为理论	235
8.3.4	权变理论	236
8.4	领导行为与事故发生	237
8.4.1	领导能力与事故率	237
8.4.2	降低领导安全管理失误的措施	238
8.4.3	领导安全管理绩效评价	242
8.5	安全管理人才素质要求	243
8.5.1	安全管理者应具备的专业技能	243
8.5.2	安全管理者的素质	245
8.5.3	技术人员从事安全领导工作要注意的问题	247
第 9 章	安全文化与安全管理	251
9.1	安全文化概论	251
9.1.1	安全文化的定义	251
9.1.2	企业安全文化的作用	252
9.2	电力企业的安全管理	254
9.2.1	安全管理概述	254
9.2.2	电力生产安全管理的任务与传统做法	255
9.2.3	电力生产安全管理工作的重点	259
9.2.4	企业安全文化与安全管理	259
9.3	企业安全文化建设	260
9.3.1	企业安全文化建设的意义	260
9.3.2	电力企业安全文化建设的实施	261
第 10 章	安全性评价与危险点分析	263
10.1	安全性评价	263

第 11 章

10.1.1	安全性评价的意义	263
10.1.2	安全性评价与人因分析	264
10.1.3	电力企业安全性评价模式	265
10.1.4	电力企业安全性评价定量计算	266
10.1.5	模糊理论在电力安全评价中的运用	267
10.2	危险点分析	270
10.2.1	危险点的含义及分类	270
10.2.2	危险点的特点	271
10.2.3	危险点与事故	273
10.2.4	危险点分析预控理论与方法	279
10.3	安全性评价与危险点分析的比较	287
10.3.1	安全性评价与危险点分析的理论基础	287
10.3.2	安全性评价和危险点分析的比较	287
10.3.3	安全性评价和危险点分析应该同时开展	288
11	安全心理学与电力人因事故预防	290
11.1	安全心理学概述	290
11.1.1	安全心理学主要内容与研究方法	290
11.1.2	各种心理现象	291
11.2	事故原因的安全心理学分析	293
11.2.1	事故原因与心理因素之间的因果关系	293
11.2.2	导致事故的心理因素	294
11.2.3	事故临界时的心理状况	296
11.3	用安全心理学指导电力人因事故预防	297
11.3.1	运用安全心理学搞好安全管理	298
11.3.2	运用安全心理学进行安全教育	299
11.3.3	电气作业人员安全心理与岗位适应性问题	299
11.3.4	运用安全心理学建设企业安全文化	303

第 12 章

“人一机”	系统可靠性分析与电力事故预防	306
12.1	“人一机”系统可靠性理论与方法	306
12.1.1	“人一机”系统理论要点	306
12.1.2	“人一机”系统的可靠性	307
12.1.3	人的可靠性分析 (HRA)	308
12.1.4	人的工作可靠性预测	310
12.2	“人一机”系统可靠性理论对电力事故预防的指导	311
12.2.1	“人一机”系统可靠性设计	311
12.2.2	加强对电力作业过程中人员与设备的安全管理	312
12.2.3	采用数字化人机界面提高“人一机”系统的可靠性	313
参考文献		320

1.1 现代电力工业概述

电力工业是国民经济的基础行业，是实现社会经济持续稳步发展和现代化的战略重点。电力工业是用现代科学技术装备的行业，它是电力能源资源转换、传输、分配高度集中统一的社会化联合大生产系统。它既有现代化一般工业社会化生产的共同点，又有区别于其他工业的自身基本特征。

1.1.1 电力工业的基本特征

电力生产流程如图 1-1 所示。

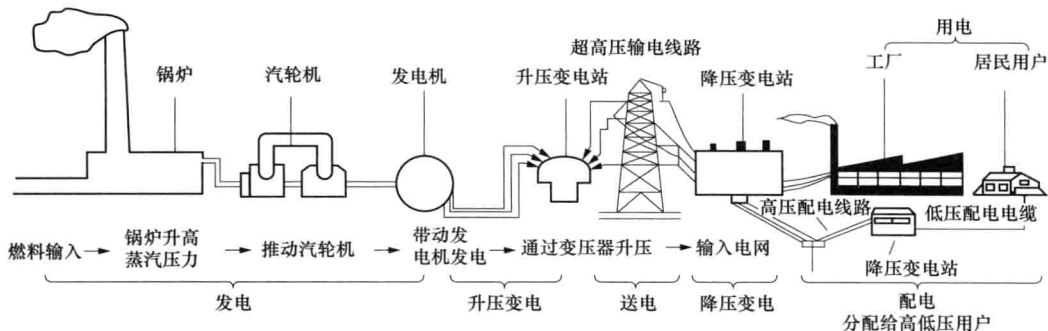


图 1-1 电力生产流程

电力工业的基本特征是：电能生产、流通和消费与电网的发电、供电和用电环节紧密相连，随发随用，随用随发，瞬间同时连续进行；每时每刻，电力生产、转换、输送、分配和使用在功率和能量上必须严格保持相对平衡。为此，电网必须具有一定数量和质量的备用发电生产能力和发电能源资源，以随时保持这种功率和能量的相对平衡。这是电力企业充足、合格和廉价地向电力用户供电的基本条件。

电力工业基本特征的表述，充分地揭示了电力生产经营活动的客观规律，它是搞好电力企业管理，不断提高管理水平和推行电力企业管理现代化必须遵循的科学依据。

根据电能国民经济中的地位和作用及其本身的发展规律，电力工业的主要性质表现在以下几个方面。

1) 电力需求平均增长速度超前于国民经济平均增长速度的客观规律，决定了电力工业是一种具有先行发展性质的基础产业。只有这样，才能保证向国民经济提供充足的电力，促进国民经济持续稳步的发展。

2) 电力应用的广泛社会性和不可缺少性,决定了电力工业是一种具有社会公用服务性质的公用事业行业。因此,要认真贯彻“人民电业为人民”的宗旨,搞好用电服务,不断改善和提高服务质量,充分发挥电能的社会经济效益。

3) 电能是一种无形的、不能储存的优质二次能源,电能的生产与消费瞬间同时进行,决定了电力工业是一种具有与电力需求直接对应性质的供需一体产业。

4) 电网将一次能源转换成为电能,并直接将电能输送、分配和销售给分散的大量的各种类型电力用户,决定了电力工业是一种具有转换性质的能源转换产业,为能源联合生产提供了条件。

5) 电能生产、输送、分配工艺技术复杂,自动化程度高,需要庞大的高效率的先进发电、输变电和配电设备和设施,需要大量资金,决定了电力工业是一种人因技术和资金密集性质的设备产业。因此,要用先进科学技术装备电力企业。

6) 同一个供电地区不允许设置重复的发供电设备和实行多家经营、多头供电,决定了电力工业是一种具有地区独家经营供电性质的地方专营行业。

1.1.2 电力企业的分类

电能的生产、流通和消费过程是一个不可分割的有机体。电能的生产、传输、变换、分配和销售与电网的发电、输电、变电、配电和用电紧密相连。电网中的各种类型发电厂集合为电源子系统,各种类型的输变电设备和配电设备分别集合为输变电子系统和配电子系统,这三个子系统组成电网的主体,称为电网的主系统。电网除了主系统之外,为了调整、监督和控制电网的正常安全经济运行,还要装备和配备各种保护、监测、控制、远程通信与调度等设备和设施,它们分别集合为相应的若干个子系统。电网的基本组成包括各种类型的发电厂、不同电压等级的输电线路、变电站、配电站、配电线路以及电力用户。

1. 电源系统

自然界存在的能源种类繁多。目前广泛用于发电的能源有河水或湖水所具有的位能以及煤炭、石油、核燃料等所产生的热能等。利用这些能源发电大致可分为水力发电、火力发电和核能发电几种方式。

(1) 水力发电。简称水电,是将高处的河水或湖水通过适当的方法导流,引至下游的水电站下,利用落差推动水轮机旋转,从而驱动发电机发电。水电站通常根据落差方法和用水方法的不同分类。

按落差方法分类,有以下几种。

1) 引水式水电站。是指利用河流的坡降,通过引水道获得落差的发电方式。

2) 大坝式水电站。是指拦河建高坝获得落差的发电方式。

3) 混合式水电站。是指引水和大坝两种方式结合的发电方式。

4) 抽水蓄能式水电站。是指具有上部蓄水库和下部蓄水库,利用夜间或节假日等剩余电能通过水泵将水抽到上部蓄水库,在用电高峰时间利用上部蓄水库的水发电方式。

按用水方式分类,有以下几种。

1) 径流式水电站。是指不调节河水流量,利用原状河水的发电方式。

2) 调节水池式水电站。是指根据一昼夜或一周内的负载变化调节河水流量的发电



方式。

3) 水库式水电站。是指根据季节变化调节河水流量的发电方式。

4) 抽水蓄能式水电站。是指用水泵抽水蓄能的发电方式。

(2) 火力发电。简称火电，是将煤炭、石油、天然气等燃料燃烧所得的热能通过适当的动力机械转换为机械能，再通过发电机将机械能转换为电能的发电方式。

按动力机械分类，有以下几种。

1) 蒸汽发电。是指燃料在锅炉内燃烧，利用其热能产生高温高压蒸汽，进入汽轮机转换为机械动力，再通过发电机转换为电能的发电方式。这种发电方式在火力发电中占主导地位，通常所说的火力发电多指蒸汽发电。

2) 内燃机发电。是指使燃料进入内燃机，将燃料所具有的热能直接转换为机械动力，驱动发电机发电的一种方式。所采用的内燃机有柴油机、汽油机和燃气轮机等，内燃机发电由于单机出力不大，多用于尖峰供电电源，以及作为紧急电源。

按使用燃料分类，有以下几种。

1) 燃油火电厂。是指燃烧重油、原油、粗汽油等石油燃料的火电厂。由于石油是极其宝贵的化工材料，所以燃油火电厂的发电比重将逐年减少，不用或少用石油作为发电燃料。

2) 燃煤火电厂。是指燃烧煤炭的火电厂，目前我国火电厂中占据主导地位。

3) 燃气火电厂。是指利用液化天然气和液化石油气等地下资源，也有的利用钢铁厂高炉的副产品——高炉煤气等燃料的火电厂。

4) 混烧火电厂。是指能够将煤炭与石油或石油与煤气混合作为燃料的火电厂。

此外，内燃机火电厂常使用重油、柴油作燃料。

按发电供热分类，有以下几种。

1) 气式火电厂。是纯发电的火电厂，其发电量取决于燃料供应和负载需要情况。它的热效率比较低，一般为25%~35%。在夏季，由于火电厂循环水温升高有时可能限制机组出力，降低其经济性，它可以燃烧各种燃料，是我国火电厂中的主体。

2) 供热式火电厂。一般称为热电厂，即发电兼供热。热电厂的汽轮机按其供热方式分为背压式和抽汽式两种，背压式机组的发电量和工作容量完全取决于热负载的需要，效率很高，可达70%。抽汽机组，有比较灵活的电力容量，在满足热负载的同时，可以按着电负载的方式改变工作容量，可灵活降低其热效率，当热负载在80%以上时，效率可达40%~50%，当热负载很小时，效率可能下降到25%左右。

(3) 核能发电。就是用核反应堆来代替火力发电厂的锅炉。不用燃烧煤炭、石油等燃料产生蒸汽，而代之以在反应堆内使核燃料有控制地发生裂变，利用裂变时产生的热来生产蒸汽，用蒸汽驱动汽轮机，带动发电机旋转发电。目前，根据铀燃料的浓缩度、缓化剂和冷却介质的不同可以分为天然铀石墨气冷堆、压水型轻水堆和沸水型轻水堆和重水堆等。

(4) 其他发电方式。除水电、火电和核电之外，还有规模较小但已实际应用的地热发电；尚未达到实用化程度的发电方式，有太阳能发电、风力发电、海水波力发电、潮汐发

电、磁流体发电和核聚变发电等。

2. 输变配电系统

电网中的输电、变电、配电系统，是电能输送、变换、供应和分配系统。其基本功能是将电源生产的电能可靠地、高效率地送到用电地区并分配给电力用户使用。它具有般物资流通领域类似的大量输送、集合、分散和分配的组合功能。

为适应用户与电源不同地理分布并可靠、高效地满足发供电需要，输变配电子系统一般有若干集合和分散过程。在横向具有按电源、电力用户分布的广阔地域布局；在纵向具有按电压等级的分层功能结构。

(1) 电网的上层结构。是指从电源到区域或枢纽变电站的输变电子系统，一般由升压变电站和输电线路组成。其功能是向供电地区输送或汇集电能，为电网的上层，是电网的主干“骨架”，有 750kV、500kV、330kV 等电压等级。

(2) 电网的中层结构。是指由区域或枢纽变电站向负荷地区分散送电的线路和变电站，为电网的中层，其电压通常为 220kV、110kV。

(3) 电网的下层结构。是指配电子系统，电网的末端向电力用户直接供电的电能分配子系统，由配电站和配电线路组成，为电网的下层。根据用户不同用电需要，分为高压配电子系统和低压配电子系统。高压配电子系统的高压等级一般有 35kV、10kV、6kV。为了提高供电能力，简化配电子系统，降低线损，大城市高压配电子系统逐渐采用 220kV、110kV 电压等级供电，低压配电子系统一般采用 220V、380V 电压供电。

(4) 变电站。变电站在电能的传输与分配过程中起着很重要的作用。变电站在电网中除了起到变换电压的作用外，还有调整电压、集中和分配电能、控制电能和输送方向等作用。

变电站的型式很多，可以按不同的方法进行分类，如按变电站的升降电压的作用，可以分为升压变电站或降压变电站；按变电站的规模大小，可以分为枢纽变电站、地区变电站、厂用变电站等；按变电站的结构型式，可以分为屋外式变电站、屋内式变电站、地下式变电站及移动式变电站；按变电站主变压器高压端的电压等级，可分为 220kV 变电站、110kV 变电站等。

1.1.3 中国电力工业的发展

1. 发展概况

中国电力工业从 1882 年上海创建第一个 12kW 发电厂至今，已有 130 余年历史。1949 年，全国发电装机容量 185 万 kW，年发电量 43 亿 kW·h，分别名列世界第 25 位和 21 位。中华人民共和国成立后，用了 30 年时间，使全国发电装机容量达到 5712 万 kW，年发电量达到 2566 亿 kW·h。自 1978 年改革开放以来，只用了 10 年时间，发电装机容量和年发电量就翻一番。1990 年，全国发电装机容量达 13789 万 kW，年发电量达 6213 亿 kW·h 均列世界第 4 位。1994 年，全国发电装机容量为 19990 万 kW，其中火电占 74%，水电占 24.8%，核电占 1.2%，年发电量为 9279 亿 kW·h。2001 年，全国发电装机容量达 33861 万 kW。2013 年底全国发电装机容量首次超越美国位居世界第一，达到 12.5 亿 kW，其中非化石能源发电 3.9 亿 kW，占总装机比重达到三成二，同比提高 2.4



个百分点。全年发电量 5.35 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，同比增长 7.5%，发电设备利用小时 4511h，同比降低 68h。全国火电机组供电标煤耗 $321\text{g}/\text{kW} \cdot \text{h}$ ，提前实现国家节能减排“十二五”规划目标，煤电机组供电煤耗继续居世界先进水平。

在输电线路方面，随着电力工业的发展和电力技术的不断进步，1972 年建成了刘一天—关 330kV 输电线路，接着 1981 年建成了第一条姚—双—武 500kV 输电线路。1990 年，第一条葛洲坝至上海、南桥±500kV 直流输电线路投入运行。我国第一条世界上海拔最高的“西北 750kV 输变电示范工程”——青海官亭至甘肃兰州东 750kV 输变电工程，于 2005 年 9 月 26 日正式投入运行。“1000kV 交流特高压试验示范工程”——晋东南—南阳—荆门 1000kV 输电线路工程，于 2006 年 8 月 19 日开工建设。该工程起自晋东南 1000kV 变电站，经南阳 1000kV 开关站，止于荆门 1000kV 变电站，线路路径全长约 650.677km。2009 年 1 月 6 日正式投入商业运行，实现了世界上运行电压等级最高、输电能力最大，代表国际输变电最高水平，在我国和世界电力发展史上都具有里程碑意义。同时，也标志着我国在远距离、大容量、低损耗的特高压输电核心技术和设备国产化方面取得了重大突破。此外，还有±500kV 高压直流输电线路、±800kV 特高压直流输电示范工程。±500kV 主要有葛洲坝—上海南桥线、天生桥—广州线、贵州—广东线、三峡—广东线。向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程是我国首个特高压直流输电示范工程。这些工程由我国自主研发、设计、建设和运行，是目前世界上运行直流电压最高、技术水平最先进的直流输电工程。

1975 年，我国自行设计制造的第一台 30 万 kW 汽轮发电机在姚孟电厂投入运行。21 世纪初，国内运行最大机组是 60 万 kW 汽轮发电机和 90 万 kW 核电机组。到 2014 年，由哈尔滨锅炉厂有限责任公司制造的国内单机容量最大的褐煤机组——信发集团新疆农六师煤电公司 4×110 万 kW 超超临界 1 号机组成功通过试运行，正式投入商业运营，锅炉各项参数均达到设计值。该项目树立了我国大容量电站机组新的里程碑。

2. 电力工业发展方向

当前，全球能源短缺、资源紧张、气候变化等问题日益突出，我国在能源安全、能源效率、能源环境等方面也面临严峻挑战。要从根本上解决这些问题，必须走创新发展道路，大力转变能源发展方式。

我国将深入研究世界能源电力发展的趋势与方向，紧紧围绕建设“一强三优”现代公司，创建世界一流电网、国际一流企业的奋斗目标，大力实施“一流四大”（建设一流队伍，实施大科研、创造大成果、培育大产业、实现大推广）科技发展战略，坚持自主创新，发挥协同优势，抢占电力科技制高点，在特高压、智能电网领域取得一大批国内外领先的创新成果，掌握了拥有自主知识产权的核心关键技术，走出了一条中国特色的电网企业创新发展之路。做到了明确发展战略、健全创新体系、加大科技投入、全力攻坚克难。

我国能源资源与生产力逆向分布，能源结构以煤为主，能源开发加速向西部和北部转移，风电、太阳能发电等大规模、集约化发展，决定了全国优化能源配置的重要性和加快发展特高压的必要性。加快发展特高压，实现“以电代煤、以电代油、电从远方来”，是解决我国能源问题的必然选择。经过深入研究、反复论证，提出了加快建设“三华”特高

压同步电网,构建强交强直、紧密耦合、优势互补,实现“西电东送”“北电南供”输电格局。计算结果表明,“三华”特高压同步电网潮流转移能力强,安全稳定水平高,能够抵御重大自然灾害和各类严重故障的冲击。特高压的全面突破,对于解决中国能源乃至世界能源可持续发展问题,意义十分重大。

我国将努力超越、追求卓越,推动电网创新发展。建设世界一流电网是一个与时俱进、不懈奋斗的过程。特高压的成功,标志着国家电网发展进入了以特高压为引领,以智能化为方向,全面创新发展的新阶段。当前,世界科技进步日新月异,巩固和保持技术领先更为艰难,创新步伐一刻也不能停止。面向未来,要实现十八大提出的“两个一百年”宏伟目标,我国能源需求仍将保持刚性增长。要加快建设以“三华”特高压同步电网为核心,以西北、东北电网为送端,交直流协调发展,网架坚强、安全高效、经济环保的现代电网体系,实现全国能源优化配置。这是转变能源发展方式、保障能源安全、保护生态环境的必然选择。

下一步,我国将积极加快特高压发展,服务清洁能源发展,建设智能电力系统,推进电能替代,建好“三个中心”[电网调控中心、公司运营监测(控)中心、客户服务中心],加强基础研究储备。在基础研究、技术攻关、工程建设、人才培养等领域,全面加强交流与合作,共享创新成果,促进我国能源和电力可持续发展。

3. 发电技术的发展

随着新材料、新技术的不断出现和一次能源转换成电能的比重不断提高,提高能源利用效率、保护环境,不断开发利用新的能源发电技术装备,将成为我国电力技术新的发展方向。

(1) 继续提高火力发电技术。以大容量化和高参数化为核心,继续研究超临界、超超临界等高效率发电技术,整体煤气化联合循环(IGCC)和循环流化床技术,提高我国机组制造和运行水平,实现节能降耗。循序渐进地开展自主燃气轮机整机的研究,并以此为基础发展燃氢的燃气轮机,发展燃氢的燃气轮机与燃料电池一体化发电技术。重点研究高效除尘和脱硫技术以及高效、低成本的脱氮技术等污染物排放控制技术,以及二氧化碳捕获、处理等应对气候变化的控制技术。

(2) 提高核电装备国产化率。发展核能是优化能源结构、减排温室气体和保护生态环境的有效措施。尽管目前引进的都是国际上最先进的核电技术,但消化、吸收与再创新能力亟待增强。由于在核电工程中,设备费用约占总投资的一半,因此自主设计、自产设备是推动核电国产化,进而有效降低电价、大规模发展核电的关键。当前将重点研发第三代先进压水堆、先进核燃料循环等关键技术,形成系统化、标准化的百万千瓦级核电机组。自主研发发高温气冷堆、固有安全压水堆和快中子增殖反应堆技术等,形成先进、高效、清洁、安全的核能技术。

(3) 研究大型水力发电的建设和运行技术。进一步提高和完善水电勘测、设计、施工、管理和设备制造技术水平,重点加强300m级高坝及复杂地质条件下高坝筑坝技术、大型地下洞室及高边坡锚固技术、高水头大流量泄洪消能关键技术等技术研究;继续推进大型常规水电机组和抽水蓄能机组的国产化,在消化吸收国外先进技术的同时,



强化自主创新,加强技术改造,开展6万kW以上贯流式、百万千瓦级混流式水轮发电机组和30万kW以上抽水蓄能机组的设计、制造技术研究,形成具有自主知识产权的水电设备制造技术。开发水电建设环境保护技术,提出环境友好的水电设计施工技术和环境保护措施,解决好水电建设的生态用水、低温水、鱼类洄游、野生动植物保护等问题。研究老电站更新改造技术和流域优化调度技术,开展老电站更新和技术改造工作,进行流域优化调度政策研究,制定流域电站的优化调度机制,提高水电运行的经济效益和社会效益。

(4) 研究可再生能源和新能源发电技术。充分利用水电、沼气、太阳能和地热能等技术成熟、经济性好的可再生能源,加快推进风力发电、生物质发电、太阳能发电的产业化发展,逐步提高优质清洁可再生能源在能源结构中的比例。继续促进已批量生产的国产化风电机组的规模化应用,并实现向兆瓦级风电机组的升级换代;在初步形成国内制造装备能力的基础上,采用技术引进、联合设计、自主创新等方式,掌握1.5MW及以上风电机组集成制造技术,并开发3MW级的海上风电机组。提高太阳能热水器效率,重点发展高纯度多晶硅材料的生产技术和工艺,以及太阳能热发电关键技术。抓好秸秆生物质气化、沼气发电技术和生物质固体成型燃料技术的研发与示范,通过技术创新,形成以生物质能为核心的资源利用新模式,建立生物质能工程研发与技术集成平台,研究开发适合农村用能特点的可再生能源设备。

(5) 继续研究电力环保关键技术。重点研究适合我国国情的烟气脱硫技术,发展完善面向大机组的主流湿法脱硫技术、面向中小机组的高性价比脱硫技术,开发高效除尘技术及设备,加快脱硫产业和低氮燃烧技术的发展,发展碳的捕捉与封存技术(CCS技术),开发应用火电厂废水零排放技术,研究水电开发流域和库区生态保护技术等。

4. 输配电技术的发展

电网技术的发展方向应该是更可靠、更有效、更安全,以及与环境更友好。重点研究开发大容量远距离直流输电技术和特高压交流输电技术与装备,间歇式电源并网及输配电技术,电能质量监测与控制技术,大规模互联电网的安全保障和防御体系,西电东输工程中的重大关键技术,电网调度自动化技术,高效配电和供电管理信息技术和系统。

1.2 电力生产事故

电力企业安全生产是各项工作的基础与前提,电力安全关系到国民经济的发展、社会秩序的稳定和人民群众的正常生活。在一个电力系统内,发电、供电和用电设备在电磁上相互连接,相互耦合。因此,任何一点发生故障或任何一个设备出现问题,都会在瞬间影响和波及全系统,如果处理不及时和控制措施不恰当,往往会引起连锁反应,导致事故扩大,在严重情况下会使系统发生大面积停电事故。电力系统的一点点故障,都会给社会带来巨大损失,主要原因有两方面:①电力工业服务面广,在当现代社会里工业、农业、国防、人民生活都离不开电力;②电力生产企业本身就是资金、技术、风险高度密集的企业。