

国际电工委员会（IEC） 著
国家电网公司国际合作部
国家电网公司运维检修部 译
国网北京经济技术研究院

电网资产 战略管理

STRATEGIC ASSET MANAGEMENT
OF POWER NETWORKS

（中英文版）



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电网资产 战略管理

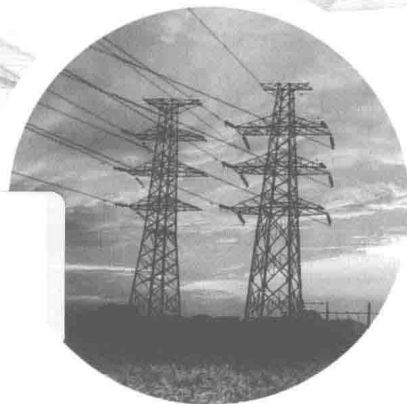
STRATEGIC ASSET MANAGEMENT
OF POWER NETWORKS

(中英文版)

主审 舒印彪

翻译 徐玲玲 齐立忠 徐 珊 王晓刚 姜 欣 张宇驰

审校 朱光超 于 军 文卫兵 范建斌



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

This version is a Chinese translation of the official version of the IEC White Paper. The IEC is not responsible for the translation. In case of discrepancy the original English version must be consulted.

本版本是国际电工委员会白皮书官方版本的中文版。国际电工委员会不对本翻译版负责。若有差异，请参考原英文版。

图书在版编目 (CIP) 数据

电网资产战略管理：汉英对照 / 国际电工委员会 (IEC) 著；国家电网公司国际合作部，国家电网公司运维检修部，国网北京经济技术研究院译．—北京：中国电力出版社，2017.7

书名原文：Strategic asset management of power networks

ISBN 978-7-5198-0895-2

I. ①电… II. ①国… ②国… ③国… ④国… III. ①电力工业-工业企业管理-资产管理-汉、英 IV. ①F416.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 148965 号

北京市版权局著作权合同登记

图字：01-2017-3823

出版发行：中国电力出版社
地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）
网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>
责任编辑：陈 丽（010-63412348）
责任校对：朱丽芳
装帧设计：郝晓燕 赵姗姗
责任印制：邹树群

印 刷：北京瑞禾彩色印刷有限公司
版 次：2017 年 7 月第一版
印 次：2017 年 7 月北京第一次印刷
开 本：880 毫米×1230 毫米 16 开本
印 张：10.75
字 数：172 千字
印 数：0001—1000 册
定 价：86.00 元

版权专有 侵权必究
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

前言

本白皮书由国际电工委员会（IEC）市场战略局（MSB）下属电网资产战略管理项目组编写，成员来自各国的电网企业、研究机构和设备供应商。为完成本书，项目组分别在东京、华盛顿和巴黎举办了三次研讨会，并开展了两次国际性调查。《电网资产战略管理》白皮书英文版于 2015 年 10 月正式出版。

本白皮书主要论述了大多数电网企业面临的设备资产管理方面的挑战，第 1 部分为概述，第 2 部分至第 6 部分为主要内容，第 7 部分为结论和建议。其中，本书第 2 部分从寿命因素、财务因素、主要挑战等方面论述了发达国家和发展中国家电网资产的现状。第 3 部分描述了资产管理实践，包括资产的监控与维护、对故障和重大事故的管理、寿命周期成本和经济分析、数据库的管理等。第 4 部分描述了风险分析的方法，以及如何对资产管理方案进行优先级排序。第 5 部分描述了资产所有者应采用包括可靠性、财务、安全、用户影响、员工影响等指标和评价标准，来做出长期有效的投资决策。第 6 部分介绍了 ISO 55000 系列和 PAS 55 标准，以及其他相关的 ISO、IEC 标准。

目前电网企业缺少资产管理通用方法、指标和最佳实践案例，在本白皮书的基础上，IEC 标准管理局（SMB）第 155 次会议决定设立特别工作组（ahG65），讨论成立电力系统资产管理相关技术委员会的可行性和必要性，国家电网公司代表中国担任该特别工作组联合召集人。ahG65 工作组于 2016 年 6 月 10 日在 IEC 日内瓦总部召开会议，并于 6 月 27 日和 8 月 22 日召开两次网络会议，包括中国在内的 6 个工作组成员国同意在 IEC 设立新的技术委员会。最终，电力系统资产管理标准化技术委员会（TC123）于 2016 年 11 月 4 日成立，成员国包括中国在内共 15 个国家。

近年来，中国电网企业的资产规模持续增大，投资效益和资产利用效率日益受到关注，国家电网公司一贯重视资产管理工作，先后引进 PAS 55 标准和 ISO 55000 系列标准，探索寿命周期成本管理，研究资产管理技术方法，建设资

产管理体系。截至 2015 年 6 月，在所有省级电网公司建立了资产全寿命周期管理体系并实现常态化运行。

为更好地推动电网设备资产管理在中国的发展，经 IEC 同意，现将英文版白皮书翻译成中文出版。

译者

2017 年 1 月

执行摘要

从分布式发电装置（如太阳能屋顶发电）的大规模投入，到控制和通信设备在电网中的大量使用，世界各国的电网正面临着“前所未有”的挑战。发达国家的电网正致力于解决设备老化问题，发展中国家的电网则在努力探索适应自身运营模式的最佳管理实践。面对这些挑战，伴随着越来越大的监管和融资压力，电网企业必须证明其管理行为和投资决策是合理的。

在这些挑战中，各国电网公司解决他们首要挑战（即大型电网设备的设计、维护和运行）的做法千差万别。电网公司通常会采用不同的方法开展设备试验、计算设备寿命和维护成本、进行系统设备评估。这种差异并不是各电网公司的主观意愿，其根本原因在于电网行业在资产管理方面缺少国际公认的标准或导则。

缺乏电网资产管理的国际标准或导则，将对电网的可靠性和未来发展造成重大影响。

尽管如 ISO 55000 系列标准提供了关于最佳资产管理流程的通用导则，但是并未针对现有输配电的运营方法与面临的挑战提供行业指导。现状表明：

- 各国的电网企业使用不同的标准来衡量和评估电网绩效。由于没有公认的方法计算故障率等参数，不同组织或地区的电网间很难进行对标。
- 在具体设备健康状况检测及资产管理优选方法等方面缺少通用做法和最佳实践，使得各利益相关方沟通困难，造成了许多电网企业大量时间和资源的浪费。这种情况在发展中国家或小型电网企业中尤其严重，他们原本可以通过借鉴最佳实践方法即可受益。

• 由于在衡量和发布电网资产管理流程和绩效方面没有统一的全球性标准，很难使更多的利益相关方参与其中。当一家电网企业不能与同行进行绩效对标，或者不能证明其采用了行业认可的最佳实践时，利益相关方（例如监管方或融资机构）很难信赖该电网企业的管理决策，也很难了解电网企业面临的各种困难。

本白皮书对该问题进行了深入探讨，对电网行业的资产管理实践进行了研究，并提出了可受益于国际标准的资产管理实践。具体包括：

- 如果发布资产寿命和状态时有通用的标准，各国的电网企业在根据设备寿命申请资金升级设备时，就更能获得监管者、政府和公众的信任。

- 如果具有标准化的资产管理实践，能够极大地增强电网行业内所有利益相关方对资产管理和投资决策的信赖，提高资产管理和投资决策的透明性，这些独立编制的资产管理最佳实践导则可供每个人查阅参考。

- 资产管理标准使得电网企业可以与不同管辖区域或地理位置的其他组织进行对标。

- 资产管理标准可作为沟通和培训工具，分享发达国家和发展中国家进行资产管理的最佳实践。

我们在行业内广泛征求意见后编写了本白皮书，并在全球举办了三次国际性研讨会，参会者包括电网企业、设备制造商、研究机构和其他标准化组织。这些研讨会的重点是确定电网行业内现在采用的资产管理实践，并就标准的适用范围咨询业内重要人士。另外还向电网企业发出了两份调查问卷，调查他们当前的资产状态（如设备组成、寿命等）以及它们目前如何对这些要素进行管理。

许多发达国家电网面临的重大挑战是设备老化。在许多国家，电网于 20 世纪 40~80 年代集中投入运行，但近些年来这一速度已经减缓。目前，许多重要设备已接近甚至超过了它们的预期退役年限。

在众多发达国家，老化设备基数大，更替速度慢，更新所有资产预计需要花费几百年的时间。因而带来了严重的可靠性问题。

设备老化问题不仅是设备损耗问题，同时也表现为人力资源问题，因为在许多情形下，具备维护技能和专业知识和具备资产管理经验的人员已经退休。由于大量设备接近寿命末期，且缺少维护设备的部件和管理设备的人员，许多发达国家的电网可靠性问题非常严峻。

尽管设备老化对发展中国家或者其他新建电网较多的国家可能还不构成挑战，但在当前具有严格的监管或融资环境下，从众多技术和管理方案中找出最佳方案也存在诸多困难。

检测和维护流程

国际标准发挥作用的第一个领域是确定电网企业在电网管理中应采用哪些检测和维护的方法。各国的电网企业采取各种不同的方法来检测变压器的状态，进而决定需要遵循何种维护策略（例如基于时间或基于风险的维护）。标准不应该强制限定某种具体方法，因为电网企业需要能够按照自身实际情况确定其运营方式。但是，标准应该能够协助电网企业从各种不同的检测和维护方案中确定最佳

方法。

确定绩效指标和可靠性等级

尽管各国的电网企业使用类似的绩效指标，例如用系统平均停电持续时间（SAIDI）衡量电网服务于每个用户的平均停运时间，但这些指标的实际计算方法却并不相同。在衡量非技术性影响（例如用户满意度）时，使用的指标千差万别，所以这一问题更为突出。标准规定一系列绩效指标（包括技术性和非技术性）及其计算方法。为衡量、评估电网绩效和各种资产管理实践提供了统一的尺度，这正是标准可直接发挥作用的地方。

标准还可用于评定电网的不同可靠性等级，以及实现该可靠性等级需要的检测和维护手段。例如，标准可规定“1级”为高可靠性电网（用于敏感性负荷，例如医院或半导体制造厂）以及实现该等级的要求，这些要求可能不同于“3级”低可靠性电网的要求，对于“3级”低可靠性电网，一定程度的停电是可以接受的。

在国际标准规定了实现特定可靠性等级的前提下，电网企业及其利益相关方才能够对实现这些绩效目标所需的管理实践和投资达成共识。

资产管理——评估和优选

有了设备健康状况数据和可选的维护方案后，资产管理的一项重要工作就是在有限的财力、物力、人力等资源条件下，对每一个备选方案进行风险、收益等方面的评估，并确定最终的优选方案。基于风险的评估方法（即评估某个设备发生故障的可能性和后果）是世界范围内普遍采用的一种对各种资产管理方案进行优先级排序的方法。该通用方法具有普遍性，但其应用手段在全世界范围内各有不同——有很多种用于计算风险矩阵的方法，使用风险评估方法确定优先级的方式更是多种多样，一些更加复杂的方法还考虑了基于历史数据的剩余寿命计算方法、不同管理方案对未来的财务影响等。如何应用这些方法并计算它们的各种指标也是各有不同。在这一背景下，标准就显得尤为重要，但它不一定指定某种具体方法，而是提供多方案对比，并对每种方案提供标准化计算方法，使得各个企业能用统一的方式进行对标。

缺陷数据库和应对方案

成熟的电网企业会维护设备的综合历史数据库，记录已发生故障的类型和数量。然而，不同电网公司数据库的内容深度和广度差异很大。另外，电网企业很

难有渠道获得同类企业的相关信息，并且许多小型企业可能也没有足够的设备，以获取有价值的统计信息。

一个统一的国际化电力设备故障与历史数据库能够实现多方共赢，带来巨大的效益。

这种历史数据库可方便地进行长期故障跟踪，使本行业能够对特定的设备或在特定的使用情景下确定设备的故障趋势。航空业已使用类似的数据库，以确定具体设备的系统性问题并防止灾难性故障的发生。标准在规定应保存历史记录的类型和方法方面起到了重要作用。

标准还可用于提供对具体设备故障进行各种响应的范例。利用新技术或创新性的设备维护方法，许多以前从未考虑过的方案都可以成为电网公司的备选。通过明确共性问题以及解决这些问题的各种最佳实践方法，标准能够确保电网企业了解它们的方案，并有助于电网企业向广大利益相关方证明他们遵循最佳实践。

新标准的利益相关方

新资产管理标准对电网行业的各种相关组织意义重大。尽管电网企业以及与其相关的融资、监管组织是主要的受益方，但主要设备供应商也会从中受益。主要电网设备的制造商和维护承包商（下文中统称为制造商）自身也面临着许多资产管理挑战，因为电网行业的采购模式极为严格，制造商必须跟上快速变化的技术，保证所需的设备和人力，以对可能已经使用了几十年的老化设备提供支持，还必须确保设备能够被终端用户使用。另外，制造商在做到上述要求的同时还必须兼顾自身的运营。应对这些挑战的关键是制造商与其用户之间保持密切联系，以便制造商能够预测未来的需求，规划好自己的业务。

通过为资产管理模式、故障率和历史设备性能制定统一的标准和数据库，资产管理标准以及国际公认的导则能够为电网设备的制造商提供帮助。

新标准的范围

在本项目的整个调查阶段，电网企业、制造商和其他电力行业利益相关方都非常支持编写有关资产管理的新标准，但同时也表达了对这些标准范围的顾虑。各国的电网企业业务各不相同，包括运营和对性能的预期。在这种情况下，电网企业明确表示标准的规范性不应过强，电网企业应可自由选择适合其自身情况的运营方式。

标准不应为电网资产管理指定某种具体做法。相反，标准或导则应向电网企业提供各种明确的方案，使他们能够选择最适合其自身情况和要求的方案。

总之，在电网行业的资产管理方面，可能需要编制各种新的标准或导则。这些标准涵盖的领域包括：

- 主要设备的检查和诊断方法与标准
- 设备故障和故障数据的监测与报告
 - 主要设备的故障分析方法以及常见性能不足或故障
 - 主要设备补救措施（全部更换、部分更换或改造）的最佳实践实例
- 主要设备的寿命的监测与报告
- 寿命周期成本计算
- 风险评估方法
- 主要设备的健康指数计算
- 资产管理的优先级排序方法
- 系统绩效指标 [用户平均停电持续时间指标（CAIDI）、系统平均停电持续时间指标（SAIDI）、系统平均停电频率指标（SAIFI）等]

电网行业正在发生深刻变化，资产管理仍然是世界上大多数电网企业的首要挑战。目前只有极少数国际标准规定了电网行业资产管理的通用方法和指标，或者提供了最佳实践范例以指导电网企业和他们的利益相关方。编制上述建议领域内的新标准将是一个漫长且富有挑战性的工作，因为目前使用的资产管理实践在不同的地区间差异显著。尽管如此，这项工作仍然意义重大，建议国际电工委员会（IEC）尽快启动。

鸣谢

本白皮书由 IEC 市场战略局（MSB）下属电网资产战略管理项目组编写。项目组来自世界各地的电网企业、研究机构和设备供应商。为获得来自更多利益相关方的信息，IEC 还分别在东京（2014 年 12 月）、华盛顿（2015 年 2 月）和巴黎（2015 年 4 月）专门举办了三次研讨会。电网企业、设备制造商、研究机构和标准化组织获邀参加了这些研讨会，详细介绍了他们当前如何进行资产管理，以及他们认为哪些电网资产管理标准或导则可以使其受益。最后，作为本项目的一部分，IEC 项目组还开展了两次国际性调查，收集世界各地的电网公司现有资产的数据，并请其提供当前的资产管理信息。

研讨会发言人和成员

埃德梅亚·阿黛尔女士 (Edmea Adell), ASSETSMAN 公司总裁, 国际标准化组织 (ISO) 代表, 法国

埃里克·安德烈尼 (Eric Andreini) 先生, 资产管理高级顾问, 法国输电公司, 法国

吉姆·迪特尔 (Jim Dieter) 先生, ISO 资产管理项目委员会 (ISO/PC 251) 美国代表团 (ISO 55000) 团长, 美国

德里克·邓克利 (Derrick Dunkley) 先生, 新技术专家, 国家电网, 英国

池田久利 (Hisatoshi Ikeda) 博士, IEC 输配电技术顾问委员会主席, 日本

贝恩德·凯勒 (Bernd Keller) 先生, SAP 公司决策管理负责人, 德国

罗伯·曼宁 (Rob Manning) 先生, 美国电力科学研究院 (EPRI) 输电副总裁, 美国

松村博文 (Hirofumi Matsumura) 先生, SAP 日本公司高级总监, 日本

约翰·麦克唐纳 (John McDonald) 先生, GE 数字能源总监, 电气和电子工程师协会 (IEEE) 会员, 美国

迈克尔·莫伊 (Michael Moy) 先生, 联邦爱迪生公司 (ComEd) 资产绩效和投资战略总监, 美国

冈本达希 (Tatsuki Okamoto) 博士, 电力工业中心研究所 (CRIEPI) 研究执行专家, 日本

杰拉尔德·桑吉 (Gerald Sanchis) 先生, 国际大电网委员会 (CIGRE) 工作组 C1.25 法国成员, 法国输电公司, 法国

多田泰之 (Yasuyuki Tada) 博士, 日立公司, 日本

上原京一 (Kyoichi Uehara) 先生, 东芝公司 T&D 系统部首席专家, 日本

马克·沃尔德伦 (Mark Waldron) 先生, CIGRE 技术委员会主席, 英国

贡献者 (对调查作出答复, 对早期初版报告提出意见)

香港中电集团

美国杜克能源

法国电力集团 (EDF)

日本电力公司联合会

芬兰电网公司

美国第一能源公司

美国波特兰通用电气公司

美国盐河项目

德国和荷兰 TenneT 公司

意大利 Terna 公司

项目组成员

竹部敏郎 (Toshiro Takebe) 先生, 项目组组长, IEC 市场战略局成员, 东京电力株式会社

格林·普拉特 (Glenn Platt) 博士, 项目合作方, N. OGEE 顾问

皮特·兰克托特 (Peter Lanctot) 先生, IEC 秘书

麻美芳郎 (Yoshiro Asami) 先生, 东京电力株式会社

帕·朗德·克里斯 (Per Lund Christer) 博士, DNV GL 公司

阿希姆·克鲁格 (Achim Krueger) 先生, SAP 公司

Bess Yi Fung Ng 博士, DNV GL 公司

佐尔坦·诺查德 (Zoltan Nochta) 先生, SAP 公司

重次弘树 (Hiroki Shigetsugu) 先生, 东京电力株式会社

艾伦·索思豪尔 (Alan Southall) 先生, SAP 公司

马桥吉光 (Yoshimitsu Umahashi) 先生, 东京电力株式会社

缩略语一览表

技术与科学术语

ACRM	适配、能力、资源、动机
APC	可用率百分比
CAIDI	用户平均停电持续时间指标
CBM	状态检修
CIM	通用信息模型
CM	故障检修
EBITDA	息税折旧摊销前利润
FMEA	故障形式和影响分析
IROL	互联可靠性运行限值
NEL	非初级
OHL	架空线路
PAS	公共可用规范
PCB	多氯联苯
RCM	以可靠性为中心的检修
SAIDI	系统平均停电持续时间指标
SAIFI	系统平均停电频率指标
SOL	系统运行限值
TB	技术手册
TBM	定期检修
XLPE	交联聚乙烯

组织、机构与企业名称

BCTC	不列颠哥伦比亚输电公司
CEER	欧洲能源监管机构理事会
CIGRE	国际大电网委员会
ComEd	联邦爱迪生公司

EDF	法国电力集团
GFMAM	国际维护和资产管理论坛
IAM	资产管理协会
IEC	国际电工委员会
IEEE	电气与电子工程师学会
ISO	国际标准化组织
KEMA	阿纳姆荷兰电力试验所
MSB	国际电工委员会市场战略局
NGET	英国国家电网输电公司
OFGEM	英国天然气和电力市场管理局
SMRP	美国维修与可靠性专业学会

术语表

(译者注：以下术语和定义只适用于本白皮书)

资产 (asset)

主要的电网设备，例如断路器、架空线路、变压器或地下电缆。

电缆 (cable)

地下敷设的用于输电或配电的大容量电力导线，可替代架空线路。

断路器 (circuit breaker)

自动动作的电气开关，用于保护电网段免受电气故障引起的损坏。

注：常见类型的断路器包括空气、油或气体断路器，所有断路器的最终功能相同，但断开电流的原理不同。

导线 (conductor)

通过电流的单股线或互相不绝缘的多股线组成的绞线。

分布式发电 (distributed generation)

一种发电方式，通常规模较小，发电后就近接入供电系统。

配电 (distribution)

除另有定义外，指在输电供应点（通常为变电站）与各用户之间输送电力。

电网 (electrical network)

电气设备的互联。在本白皮书中，电网是由多种设备组成的系统，包括连接发电机与负荷（例如厂房、建筑物和工厂）的架空线路、电缆、变压器和断路器。

高压 (high voltage)

69~230kV 或高于传统限值的任何电压。

注：例如大电力系统中使用的电压上限值。

网络 (network)

参见电网。

电网企业 (network business) / 电网公司 (network company) / 电网企业 (network operator)

负责电网运行和维护的组织。

停电 (outage)

发电机、输电网络等退出运行。

架空线路 (overhead line)

用于长距离输送电能的设备，由导线与杆塔架设而成。

光伏 (photovoltaics) /PV

将太阳能直接转换成电能的技术。

电力系统 (power system) /电力网络 (power network)

参见电网。

开关设备 (switchgear)

断路器等设备的通用术语。

变压器 (transformer)

在电网中升高或降低电压的设备。

输电 (transmission)

将高压电从发电侧输送到负荷中心，转换为低电压供配送或供应给用户的过程。

电网公司 (utility)

见电网企业。

电压 (voltage)

电气设备的一个关键参数，电位差的表征值。

目 录

前言

执行摘要

缩略语一览表

术语表

第 1 部分	概述	1
第 2 部分	现状	3
2.1	市场概况	3
2.2	寿命因素	6
2.3	财务因素	7
2.4	资产管理的主要挑战	7
2.5	传统资产管理和未来展望	8
第 3 部分	资产管理指标	10
3.1	资产监测与维护	11
3.2	故障和性能降低	14
3.2.1	使用寿命的定义	15
3.2.2	应对措施的制订	17
3.3	寿命周期成本和经济分析	18
3.4	设备和故障数据记录	19
第 4 部分	风险分析和优先级排序	21
4.1	风险分析	21
4.1.1	风险矩阵（影响评估）	21
4.1.2	风险矩阵（频率分析）	27
4.2	健康指数	27
4.3	电网分析	28
4.4	优先级排序	28
4.4.1	使用健康指数进行优先级排序	29
4.4.2	使用风险矩阵进行优先级排序	30