

变电精益检修试验

实用手册

BIANDIAN JINGYI JIANXIU SHIYAN
SHIYONG SHOUCHE

欧居勇 / 主 编
付东丰 龙 辉 郭颖奇 / 副主编



四川大学出版社



作者简介

欧居勇，1963年生，四川广安人，高级工程师（全国注册职业高级电气工程师），国网四川省电力公司变电检修大师，国网四川省电力公司优秀管理人才（享受地市级特殊津贴），四川电力系统“优秀技术能手”，四川省劳动模范，四川省有突出贡献的优秀专家，四川省电机工程学会理事，中国高级专家学者联合会会员，四川大学、电子科技大学企业工程硕士生导师，获省部级科技进步二等奖1次，获地市级科技进步一等奖2次、管理创新一等奖2次、科技进步二等奖3次，荣立地市级一等功1次，获国家授权发明专利2项、实用新型专利5项。出版专著2部，在国家和省级刊物上发表论文34篇（中国科技核心期刊2篇）、技术报告4篇。论文《数字化变电站技术综述》获2007年中国管理科学研究院人文科学研究所优秀创新成果一等奖，论文《电缆绝缘故障与雷电过电压分析及对策》获2014年中国社会发展研究院学术研讨成果一等奖。

变电精益检修试验

实用手册

BIANDIAN JINGYI JIANXIU SHIYAN
SHIYONG SHOUCHE

欧居勇 / 主 编
付东丰 龙 辉 郭颖奇 / 副主编



四川大学出版社

责任编辑:唐 飞
责任校对:蒋 琦
封面设计:墨创文化
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

变电精益检修试验实用手册 / 欧居勇主编. —成都:
四川大学出版社, 2016. 3
ISBN 978-7-5614-9327-4

I. ①变… II. ①欧… III. ①变电所—电气设备—设备检修—技术手册 IV. ①TM63-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 048565 号

书名 变电精益检修试验实用手册

主 编 欧居勇
出 版 四川大学出版社
地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行 四川大学出版社
书 号 ISBN 978-7-5614-9327-4
印 刷 四川永先数码印刷有限公司
成品尺寸 165 mm×240 mm
印 张 16.75
字 数 283 千字
版 次 2016 年 5 月第 1 版
印 次 2016 年 5 月第 1 次印刷
定 价 47.00 元

版权所有◆侵权必究

- ◆读者邮购本书, 请与本社发行科联系。
电话: (028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码: 610065
- ◆本社图书如有印装质量问题, 请
寄回出版社调换。
- ◆网址: <http://www.scupress.net>

序

我认识欧居勇同志，是2008年在国网资阳供电公司校企合作座谈会上。他平易近人，我们亲切地称他老欧。他说“不怕做不到，只怕想不到，办法总比困难多”，给我留下了深刻印象。前不久，他送了我一本2012年由中国电力出版社出版的《变电运行与检修精益化管理典型案例》，在我表示祝贺之余，他又特邀我参与正在编写的《变电精益检修试验实用手册》。受邀参与如此重要的工作，颇感荣幸，我与老欧有多年亦师亦友的情谊，也有许多敬佩之情，便借此序略述一二。

老欧曾就读于邓小平的母校广安中学，学生会干部，大学文化，高级工程师，四川省劳动模范，第十二批四川省有突出贡献的优秀专家，国网四川省电力公司变电检修大师，四川省职工技能人才（劳模）及国网四川省电力公司创新工作室领军人，他的先进事迹曾入选《中国工人》2015年劳动模范《共和国的脊梁》特刊；“5·12”汶川特大地震时，成功地解决了110 kV宝林变电站、220 kV棉孙西线重大缺陷；主管的电网运行同业对标连续3年成为四川电力系统标杆；国家人力资源和社会保障部电气工程及其自动化专业人才，国家能源局四川电力应急管理专家，四川省电机工程学会“先进个人”，四川电力系统“优秀技术能手”“首届优秀青年”，四川省电力公司优秀管理人才（享受地市级特殊津贴）；获省部级科技进步二等奖1次，地市级科技进步一等奖1次、二等奖4次，安全生产特殊贡献奖1次，管理创新一等奖2次，荣立地市级一等功1次；获国家授权发明专利2项、实用新型专利5项；出版专著2部，发表论文34篇（中国科技核心期刊2篇，省部级论文一等奖2篇），发表重要技术报告4篇。

半个世纪以来，变电设备检修试验经历了计划检修试验和状态检修试

验的过程，而现在我们追求的是变电设备精益检修试验。为了适应其需要，提高检修试验水平和效率，长期在一线工作的老欧通过多年的探索、实践、归纳与总结，把他宝贵的经验和心得都如涓涓细流般汇入这本《变电精益检修试验实用手册》。

在我看来，本书是源自计划检修和状态检修，又高于计划检修和状态检修，旨在固化精益，杜绝浪费，具有较高的实用价值。我相信本书的出版，能让更多电力行业的从业人员了解变电设备检修试验规律，共同加快推动电力事业的建设与发展。特别值得一提的是，这部著作不同于通常的理论专著，它将理论与实践紧密结合，这种从工作实践中总结提炼而供同行借鉴的做法，为一线的工程技术人员开拓出一条新的思路，与当前大力推行的创新精神不谋而和。能为此书做序，荣幸而忐忑，唯望能因我的陋文，而多一些同行因本书受益，我心足矣。

四川大学电气信息学院实验秘书 郭颖奇

2016年1月

前 言

精益管理是指通过优化业务流程和资源配置，强化细节和过程管理，追求持续改进，推动企业不断适应内外环境的变化，提高核心竞争力和创新能力的自我完善的管理过程。其核心理念是“杜绝一切耗费了资源而不创造价值的活动，以最优的企业生产成本，创造最佳效益”。在国家推进电力体制改革和国家电网公司深化“三集五大”体系建设的今天，电网企业要想实现科学发展就一定要提高管理水平，提升精益化程度。近年来，国家电网公司以国际同业对标为载体，以建设特高压国际标准为目标，基层供电企业以确保电网安全和优质供电为目的，以推进专业精益管理为导向，以可靠性管理为核心，以标准化作业为手段，以管理创新、技术创新为动力，在规范管理、标准化作业的基础上全面提升变电设备检修试验精益管理水平，保障电网安全、可靠、不间断供电。

多年来，变电设备检修试验经历了计划检修试验和状态检修试验的过程，而我们追求的是变电设备精益检修试验。为了适应变电设备精益检修试验的需要，提高检修试验水平和效率，作者通过近三十年的探索与实践，在中国电力出版社出版的《变电运行与检修精益化管理典型案例》一书的基础上，对国网四川省电力公司范围内的变压器、互感器、断路器、电力电缆及氧化锌避雷器的精益检修试验进行了归纳总结，编写了本书。全书共分两部分十二章，第一部分为精益概述与变电检修精益管理实践，共两章；第二部分为变电检修与试验，共十章。本书由欧居勇担任主编，负责全书大纲的拟定、第一部分内容的编写和全书的统稿。第三章至第八章内容由付东丰编写，第九章至第十二章内容由龙辉编写，第二部分内容由郭颖奇审定。在编写过程中，我们也参考了国内外近二十年来变电检修试验精益管理方面的典型经验及相关的行业标准，特别增加了变电设备状

态检修有关内容和新的检修试验方法，具有较高的实用价值。希望本书的出版能够让更多的电力行业从业人员了解变电设备检修试验规律，共同加快推动电力事业的建设与发展。

变电精益检修试验管理是一个系统，也是一个过程，涉及每项制度、每道工序和环节、每名管理者和员工，只有把精益管理工作做到可操作、可评估，把每个阶段、每个环节、每个步骤抓扎实，从根本上转变观念，才能真正实现变电设备检修试验从状态检修试验提升到精益检修试验上来。

本书的部分插图由国网资阳供电公司张伟、王兰、黄胜、文磊提供，编者在此表示衷心的感谢！

由于实践经验还有待于进一步积累，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2016年1月

目 录

第一部分 精益概述与变电修试精益管理实践

第一章 精益概述	(3)
第一节 精益溯源	(3)
第二节 精益思想在电力行业的应用	(7)
第二章 变电修试精益管理实践	(15)
第一节 变电修试精益管理	(15)
第二节 变电修试精益实践	(23)

第二部分 变电检修与试验

第三章 变压器检修	(79)
第一节 铁芯检修	(81)
第二节 绕组及引线检修	(84)
第三节 套管检修	(87)
第四节 有载分接开关检修	(93)
第五节 风扇电动机检修	(100)
第六节 气体继电器检修	(102)
第七节 温度计检修	(104)
第八节 储油柜检修	(108)
第九节 吸湿器检修	(111)
第十节 压力释放阀检修	(112)
第十一节 渗漏的检修处理及注意事项	(115)

第四章 变压器试验	(118)
第一节 直流电阻试验.....	(118)
第二节 绝缘电阻试验.....	(123)
第三节 变比试验.....	(127)
第四节 频率响应法测绕组变形试验.....	(131)
第五节 介质损耗试验.....	(135)
第六节 短路试验.....	(139)
第七节 空载损耗和空载电流测量.....	(145)
第八节 交流耐压试验.....	(148)
第九节 套管试验.....	(152)
第十节 分接开关试验.....	(156)
第十一节 变压器油中气体分析及判断.....	(163)
第五章 断路器检修	(177)
第一节 断路器本体的检修.....	(178)
第二节 断路器弹簧机构的检修.....	(180)
第三节 常见故障及处理方法.....	(181)
第六章 断路器试验	(186)
第一节 绝缘测试.....	(186)
第二节 回路电阻测试.....	(187)
第三节 特性测试.....	(190)
第四节 交流耐压试验.....	(193)
第七章 互感器检修	(194)
第一节 电流互感器检修.....	(194)
第二节 电压互感器检修.....	(198)
第八章 互感器试验	(200)
第一节 绝缘电阻测试.....	(200)
第二节 电流互感器电容量和介质损耗测量.....	(203)
第三节 互感器变比、极性测试.....	(217)
第四节 励磁特性测试.....	(222)
第九章 电力电缆检修	(226)
第一节 检修项目及质量要求.....	(226)

第二节	常见故障分析及处理	(229)
第十章	电力电缆试验	(232)
第一节	绝缘电阻试验	(232)
第二节	交流变频谐振耐压试验	(237)
第三节	直流耐压和泄漏试验	(239)
第十一章	氧化锌避雷器检修	(242)
第一节	检查项目及质量要求	(242)
第二节	常见故障与原因分析	(244)
第十二章	氧化锌避雷器试验	(245)
第一节	绝缘电阻测试	(245)
第二节	$0.75U_{1mA}$ 下泄漏电流测试	(246)
第三节	放电计数器试验	(248)
第四节	带电检测阻性电流试验	(250)
参考文献		(257)

第一部分

精益概述与变电修试精益管理实践





第一章 精益概述

第一节 精益溯源

一、精益生产

精益生产的理念起源于“丰田生产方式”。20世纪50年代，日本丰田汽车公司开始了一种新的生产方式的探索，逐步形成了“适应小批量、多品种”市场的“丰田生产方式”（TOYOTA Production System, TPS）。与传统的大批量生产方式相比，“丰田生产方式”表现出以下一些特点：

（1）以少量通用设备和快速换模技术为基础，采用轮番小批量生产，摒弃大批量连续生产。传统的大批量生产方式专注于提高流水线的运行效率，以尽可能低的成本和价格向市场推销它们的产品（典型的“推”式生产）。丰田公司却另辟蹊径，将关注的重心投向客户需求，按照客户需求来设计和生产产品（“拉”式生产）。由于客户需求的个性化差异很小，小批量生产势在必行，这就促使丰田公司想方设法地提高快速换装模具的技术并保证它的设备通用性更强。

（2）加强现场管理，提高现场效率和设备可靠性。丰田公司非常注重生产现场的整理、整顿和清洁，强化设备的维护保养，这些做法发展至今已经是理论和实践都比较完备的5S和TPM体系。

（3）生产现场组织“团队化”，充分授权直接作业的团队和员工。丰田公司认为生产现场的员工最了解实际情况，也相信他们最可能拿出行之有效的改进措施，因而从上到下充分授权。这既激发了员工的创造力，使他们能够直接欣赏到自己的改进成果，同时又提高了员工技术，为打造高

素质的员工和团队创造条件。

(4) 强调协同、合作和全企业的流程连贯性。丰田公司强调公司利益高于一切，部门之间不得各自为政，互相推诿。公司遇到难题，所有相关部门都有义务共同参与，并寻求最佳解决方案。

(5) 采用“看板”指令的准时化生产（Just In Time, JIT）。准时化生产最核心的内容就是只有在接到客户的订单后才能开始生产。为了满足客户的交货周期，生产节奏必须安排得非常紧凑。

(6) 与协作企业建立紧密联系和合作的新型关系，增加沟通和信息交流。丰田公司在实施准时化生产的过程中，逐步认识到供应链的战略重要性，建立了供应商的评估机制和信息交换平台，将供应商的管理纳入到企业的战略管理层面上来。与协作企业新型合作关系的建立，减少了丰田公司的运营风险，也有效降低了丰田公司的采购成本，增强了产品竞争力。

(7) 打破设计与制造的分工和分离，实行为制造/组装而设计（DFM/DFA）。设计与制造分离，以及设计部门的专业分工，都会导致装配件和连接件过多，并容易引起装配困难；实行为制造而设计后，产品的无效功能被剔除，装配件数量大幅减少且易于装配，在降低成本的同时大大提高了生产效率。

(8) 按订单组织生产，销售成为生产系统中的一部分。实施准时化生产后，销售与生产不再具有严格的传统意义上的职能划分，而是渐渐融合起来，因为销售要为生产提供即时的客户订单，只有这样才能从源头上拉动生产；而生产计划的安排和生产的组织实施都完全依赖于销售，及时满足客户的需求是他们唯一的共同目标。

与传统的大批量生产方式相比，丰田生产方式的优势主要在于以下几点：

(1) 节约生产成本。生产过程中的在制品库存与成品库存都将大为降低，成品库存最低可降至大批量生产方式下平均库存水平的 1/4，而在制品库存则更低，达到大批量生产方式下相同水平的 1/10 左右。与此相对应的，工厂占用空间随之大为减少，工厂运营所需的人力资源（如产品开发团队、生产系统或工厂的其他部门等）都将大量减少，整个工厂运营资金成本也随之大幅度降低。

(2) 缩短产品交货与开发周期。产品交货周期及新产品的开发周期都

将大大缩短，最低可降至大批量生产方式下的 1/2。

(3) 提高生产效率。与大批量生产方式相比，生产效率能够提高 50% 以上。

(4) 提高产品质量。与大批量生产方式相比，产品的质量水平至少能够提升 3 倍。

20 世纪 70 年代，丰田公司采用“丰田生产方式”，在当时爆发石油危机、世界经济低速增长的形势下表现出优异的经营业绩和强劲的增长势头，引起了国际社会和同行的关注。90 年代初期，美国麻省理工学院的詹姆斯·P. 沃麦克（James P. Womack）和丹尼尔·T. 罗斯（Daniel T. Jones）等在对 14 个国家的汽车行业进行长达 5 年的研究后，于 1990 年推出了《改变世界的机器》（the Machine that Changed the World）一书，并在 6 年之后出版了《精益思想》（Lean Thinking）一书。两本书以“丰田生产方式”为蓝本，详细描述了这一生产方式的理念、原则、方法、工具以及企业应用实例，并把这一生产方式命名为“精益生产方式”（Lean Production）。随后，企业界、研究界、咨询界和政府机构联合在一起，通过持续的实践和研究应用，不断丰富着精益理论与应用领域。这期间出版了大量关于精益应用的原则、方法与案例的优秀著作，对后来企业的精益实施产生了重要影响。精益中的“精”表示少而精，不投入多余的生产要素，只在适当的时间生产必要的市场产品（或下道工序需要的产品）；“益”表示所有经营活动都有效。“精益”一词就此被认可并广泛传播开来，精益生产方式也从汽车业拓展到航空航天、零售、医疗、金融、信息服务、邮政等众多领域，成为真正影响全球生产与管理体的生产方式。

二、精益管理

精益管理的基本理念：每一个企业都是要追求利润的，而利润来源于对降低成本的不追求。企业的利润取决于价格、数量、成本三要素。价格和数量越高，成本越低，利润额也就越高。在以上三要素中，价格要素由市场决定，数量要素取决于市场的容量和进出同一市场的企业的竞争态势，相对而言，企业最能控制的是因企业内部行为而发生的成本要素。精益管理的目的就是要通过不断地排除浪费来赢得利润，创造价值。

精益管理的核心是消除一切浪费，具体包含以下五个基本原则。

1. 精确定义产品价值

产品的价值最终由客户来确定。确定价值就是从客户的视角确定企业从设计到生产再到交付的全部过程，实现客户需求的最大满足。从客户的视角确定价值必须将生产全过程的多余消耗减至最少，不将额外的花销转嫁给客户。精益的价值观将企业和客户的利益统一起来，而不是过去那种对立的观点。从客户的视角来审视企业的产品设计、制造过程、服务项目就会发现太多的浪费，这些浪费既包括不能满足客户需求，也包括过分的功能和多余的非增值消耗。当然，消除这些浪费的直接受益者既是客户也是企业本身。

2. 识别出每种产品的价值流

对某一特定产品而言，从原材料到成品，以及到最终的产品交付给客户的全部活动即构成了它的价值流。对于电网企业来说，从购电、输变电到最终的给客户供电即构成了其电力供应的价值流。精益思想识别价值流的含义是在价值流中找到那些真正增值的活动，去掉那些可以立即去掉的不增值的活动。识别价值流就是发现浪费和消灭浪费，浪费就是所有业务过程中消耗了资源而不增值的活动。识别价值流的方法是“价值流分析”——首先以产品为单位画出当前的价值流图，再从客户的视角分析每一个活动的必要性。价值流并不是从自己企业的内部开始的，多数价值流都向前延伸到供应商，向后拓展到向客户交付的多个活动。按照最终客户的观点全面地考察价值流，寻求全过程的整体最佳，特别是推敲部门之间的衔接，往往会发现很多的浪费。

3. 使价值不断地流动

如果确定价值是精益思想的基本观点，识别价值流是精益思想准备的话，流动（Flow）和拉动（Pull）则是精益思想实现价值的中坚。精益思想要求创造价值的各个活动（步骤）流动起来，强调的是不间断地“流动”。“价值流”本身的含义就是“动”的，精益将所有的停滞视为企业的浪费，号召“所有的人都必须和部门化的、批量生产的思想做斗争”，用准时化生产、单件流（One-piece flow）/持续改进等方法在任何批量生产条件下创造价值的连续流动。