

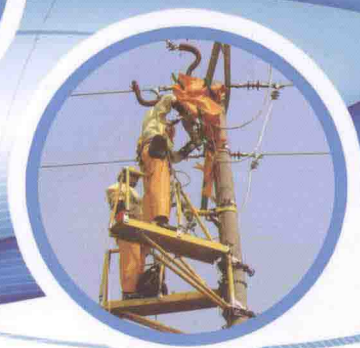


国家电网公司
电力科技著作出版项目

PEIDIAN BUTINGDIAN ZUOYE JISHU

配电不停电作业技术

李天友 林秋金 陈庚煌 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国家电网公司
电力科技著作出版项目

配电不停电作业技术

李天友 林秋金 陈庚煌 编著



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

随着经济发展和人民生活水平的提高,用户对供电可靠性的要求也越来越高。开展配电不停电作业是提高供电可靠性的最直接、最有效的措施。本书系统介绍不停电作业方法及其技术、技能,详细阐述作业技术基础和作业原理,紧密结合现场实践和管理经验,融入了当今实用的应用技术、工具和作业方法,力求理论联系实际,具有很强的实用性。

本书共 10 章,第 1 章和第 2 章介绍配电网的组成及其不停电作业的基本概念,使读者对中低压配电网及不停电作业技术有基本的了解。第 3~6 章介绍了带电作业技术的基础理论、相关工器具、绝缘斗臂车及其测试方法,是不停电作业技术的基础部分。第 7~9 章介绍了不停电作业的基本方式、作业程序以及作业技术,是不停电作业技术的核心内容。第 10 章介绍了作业安全生产管理与应急措施,为不停电作业管理人员和作业人员提供作业的必备知识。

本书可作为电网企业、工矿企业从事配电不停电作业的技术人员、技能人员和管理人员的工作指导书和业务培训书,也可供高等职业技术学院相关专业的师生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

配电不停电作业技术/李天友,林秋金,陈庚煌编著. —北京:
中国电力出版社, 2013.8

ISBN 978-7-5123-3571-4

I. ①配… II. ①李… ②林… ③陈… III. ①配电线
路一带电作业 IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 236538 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

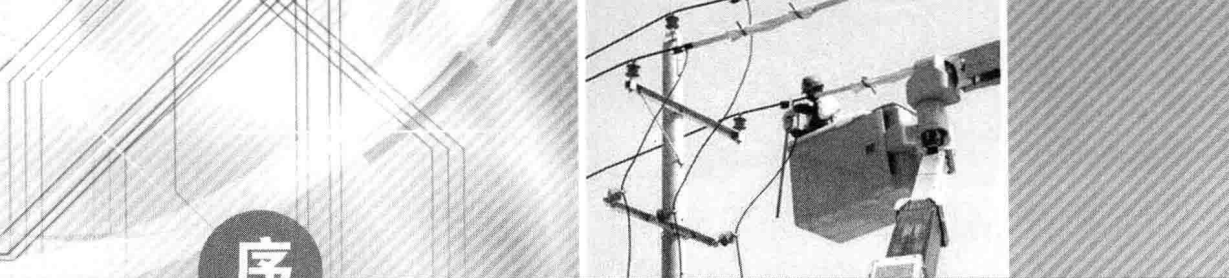
*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷
710 毫米×980 毫米 16 开本 15.75 印张 276 千字
印数 0001—3000 册 定价 39.00 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

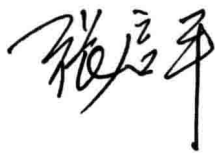


序

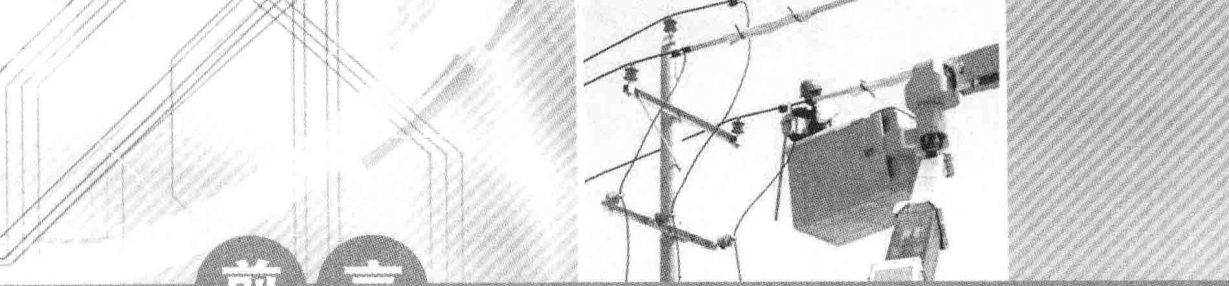
电网供电可靠性是由高压电网和中低压配电网的安全可靠水平决定的。我国高压电网经过改革开放以来 30 多年的发展,网架结构日臻完善,运行管理不断改进,安全可靠性和大幅提高。中低压配电网直接服务于电力用户,不论是网架结构还是运行管理均需进一步加强。在运行管理方面,提高中低压配电网安全可靠性的措施是实施状态检修和带电作业。配电不停电作业拓展了带电作业的内涵,可以进一步提高供电可靠性。

《配电不停电作业技术》全面系统地介绍不停电作业技术及其操作要领,实践性很强。书的作者有长期从事配电技术研发与运行管理工作,也有具体从事配电不停电作业的班组长,既有配电技术的理论基础又有现场工作经验。该书汇集了丰富详实的现场图片、图文并茂的现场全景案例展示,独具特色。相信能为从事配电不停电作业的广大工程技术人员和相关教学、科研工作者提供系统的技术指导和有益的参考借鉴。

有感于此,权以为序。



2013 年 2 月 8 日于北京



前言

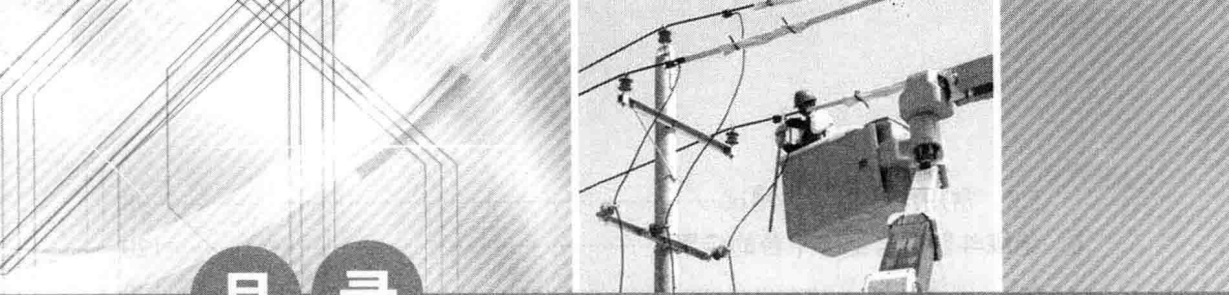
现代社会和人民生活对供电质量的要求越来越高,供电企业必须采取技术和管理措施来不断提高供电可靠性。国内外的电网运行资料表明,目前用户遭受的停电绝大部分是由于配电系统环节造成的,其中因中低压配电网造成的停电约占总停电的 90%。又据国内多年的供电可靠性统计分析,目前用户停电原因中有 70%来自配电网的网络改造、业扩接电、计划检修等,而这些配电作业通过实施配电不停电作业技术可以大幅度减少用户的停电。

配电不停电作业是指在配电网络上采用的用户不停电对配电线路或设备进行测试、维修和施工的作业方式,一种方式是直接在带电的配电线路或设备上作业,即配电带电作业;另一种方式是将配电线路或设备停电作业,但对用户采用旁路或移动电源连续供电。随着带电作业技术的日益发展与完善,配电带电作业的项目逐步覆盖了停电作业的项目,同时伴随着旁路和移动电源作业技术的广泛应用,某些类型的作业如配电变压器的调换、迁移杆线等,在不能采用直接带电作业的情况下,先将配电线路及设备采用旁路或者引入移动电源对工作区域的负荷进行临时供电,再将工作区域的线路进行停电作业,实现了对用户保持连续供电。由此,配电网作业方式就从传统的停电作业向以停电作业为主、带电作业为辅进一步向不停电作业的方式转变,这将是电网作业技术领域的一场新的革命,必将带来供电可靠性的大幅提升,同时具有良好的经济效益和社会效益。编撰本书的目的是为这场作业技术革命添砖加瓦,书中系统介绍了不停电作业的理论基础和作业工器具,阐述了作业的基本原理、作业程序以及典型项目的作业技术,概括了现场作业的生产组织与安全管理实践经验,突出系统性、实用性,便于阅读自学,期待能对配电网运行管理特别是从事配电不停电作业的工作者有所裨益。

本书在编写过程中得到肖兰、朱良镭老师的悉心指导,陈效杰教授级高级工程师提出了宝贵意见,张振裕高级技师提供了大量的低压带电作业现场资料,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促再加上作者的水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者

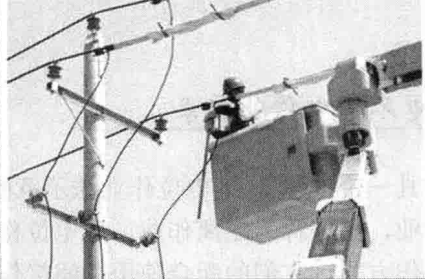


目 录

序 前言

1 概述	1
1.1 不停电作业的基本概念	1
1.2 作业技术的发展	3
1.3 供电可靠性与停电损失	8
1.4 作业技术的功效分析	12
2 配电网及其作业技术	15
2.1 配电网的基本概念	15
2.2 配电网的基本构成	17
2.3 配电不停电作业的技术原理	36
2.4 配电线路杆型与带电作业	40
3 作业技术的理论基础	45
3.1 电对人体的影响分析	45
3.2 作业过程的过电压	47
3.3 电介质特性	51
3.4 绝缘配合与安全间距	58
4 常用作业工器具及其使用	64
4.1 绝缘工具	64
4.2 防护用具	71
4.3 其他作业器具	77
4.4 作业工器具的制作	81
4.5 作业工器具的使用管理	86
5 作业工器具的测试技术	95
5.1 测试的项目内容	95

5.2 常用绝缘工具的测试	98
6 绝缘斗臂车与绝缘平台的应用	120
6.1 绝缘斗臂车	120
6.2 绝缘平台	133
7 中压配电带电作业技术	139
7.1 作业基本程序与方式	139
7.2 简单常规项目的作业技术	146
7.3 复杂综合项目的作业技术	163
8 低压配电带电作业技术	192
8.1 作业技术要点	192
8.2 作业项目和方法	194
9 旁路和移动电源作业技术	200
9.1 旁路作业的基本方法	200
9.2 移动发电作业技术	207
9.3 EPS 应急电源作业技术	213
9.4 移动箱式变压器作业技术	219
10 作业生产管理与应急措施	224
10.1 作业生产管理	224
10.2 作业人员培训与管理	229
10.3 作业应急措施	231
附录 配电不停电作业指导书（范本）	236
参考文献	243



概 述

本章介绍不停电作业的基本概念及作业技术的发展,介绍和分析了供电可靠性指标,阐述不停电作业技术的功效,使读者基本了解开展不停电作业的意义。

1.1 不停电作业的基本概念

电网线路及设备的施工或检修作业一般有两种作业方式。

(1) 停电作业方式。即对需要检修作业的线路或设备停电隔离后再进行施工、检修,作业完成后再恢复供电的作业方式,这是传统的作业方式。

(2) 不停电作业方式。即采用对用户不停电而进行电力线路或设备测试、维修和施工的作业方式。不停电作业方式主要有以下两种。

1) 直接在带电的线路或设备上作业,即带电作业。

2) 先对用户采用旁路或移动电源等方法连续供电,再将线路或设备停电进行作业。

一、带电作业的基本方法

带电作业是指作业人员直接接触带电线路(或设备)的作业或作业人员利用专用作业工具、设备(或装置)在带电线路(或设备)上的作业,实现在不停电的电力线路(或设备)上进行检修、测试等的一种作业方式,是避免检修停电,保证正常供电的有效措施。

根据作业人员与带电体的相互关系,也就是按人体直接接触带电部位与否来划分,带电作业的方法可分为直接作业法和间接作业法两种基本方式;而根据作业人员的人体电位来划分,可分为地电位作业法、中间电位作业法、等电位作业法三种。

1. 地电位作业法

地电位作业法是指作业人员始终处于与大地(杆塔)相同的电位状态下,通过绝缘工具接触带电体的作业。这时,人体与带电体的关系是“大地—人体—



绝缘工具—带电体”，地电位作业法示意图如图 1-1 所示。地电位作业也叫做零电位作业，国外称为距离作业。地电位作业可分为“支、拉、紧、吊”四种基本的操作方式，它们的配合使用是间接作业的主要手段。这种方法的关键是人体与带电体之间有足够的距离，绝缘工具应满足其有效绝缘长度。

2. 中间电位作业法

中间电位作业法是指作业人员始终处于接地体和带电体之间的中间电位状态，通过绝缘工具间接接触带电体的作业。这时，人体与带电体的关系是“带电体—绝缘体—人体—绝缘体—大地”，中间电位作业法示意图如图 1-2 所示。由于人体通过两段绝缘体分别与接地体和带电体隔离，故这两段绝缘体起着限制流经人体电流的作用，同时人体与接地体和带电体的两段空气间隙，还具有防止带电体通过人体对接地体发生放电的作用。这两段空气间隙的和就是通常所说的组合间隙，用 S_z 表示。采用中间电位作业法时，必须满足组合间隙（ $S_z=S_1+S_2$ ）的要求，有关组合间隙的概念在后面章节详细介绍。

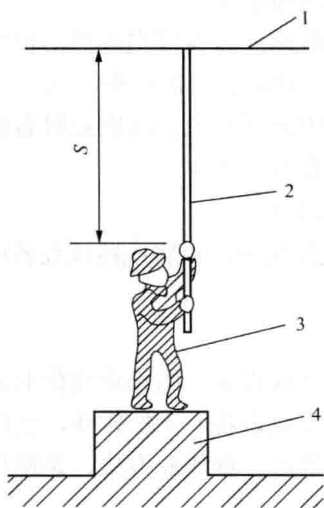


图 1-1 地电位作业法示意图

1—带电体；2—绝缘体；3—人体；4—接地体

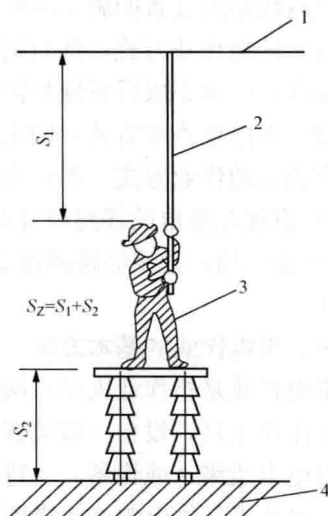


图 1-2 中间电位作业法示意图

1—带电体；2—绝缘体；3—人体；4—接地体

3. 等电位作业法

等电位作业法是指作业人员的体表电位与带电体电位相等的一种作业方法，作业过程中作业人员直接接触带电部位。等电位作业法也叫做直接作业法，国外称为徒手作业。这时，人体与带电体的关系是“带电体—人体—绝缘体—



大地（杆塔）”，等电位作业法如图 1-3 所示。

二、旁路和移动电源作业法

1. 旁路作业法

旁路作业法是指应用旁路电缆（线路）、旁路开关等临时载流的旁路线路和设备，将需要停电的运行线路或设备（如线路、断路器、变压器等）转由旁路线路或设备替代运行，再对原来的线路或设备进行停电检修、更换，作业完成后恢复正常接线供电方式，最后拆除旁路线路或设备，实现整个过程对用户不停电的作业。

旁路作业法是在常规带电作业中注入了新的理念，它是将若干个常规带电作业项目有机组合起来，实现“不停电作业”。由此也可看出，只要将旁路作业和常规带电作业灵活地组合起来，可以彻底改变现在电网作业以停电作业为主、带电作业为辅的局面。

2. 移动电源法

电网的很多作业，如配电变压器的更换（增容）、迁移杆线、更换导线等作业项目无法直接采用带电作业来实现。但是，如果采用把需检修的线路或设备从电网中分离出来，利用移动电源形成独立网而对用户连续供电，作业完成后再恢复正常接线的供电方式，最后拆除移动电源，实现整个过程对用户少停电（停电时间为倒闸操作时间）或者不停电。这是移动电源法的基本思路，而移动电源可以是移动发电车、应急电源车或者移动箱式变压器等。

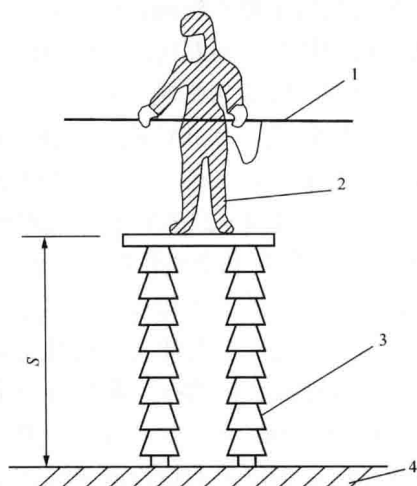


图 1-3 等电位作业法示意图

1—带电体；2—人体；3—绝缘体；4—接地体

1.2 作业技术的发展

一、带电作业的发展历程

1. 国内发展历程

我国的带电作业起步于 20 世纪 50 年代，当时正处于百业待兴的国民经济恢复和发展时期，由于当时发电量迅速增长，而供电设施明显不足，大工业用



户对连续供电要求较高,因而常规的停电检修受到了限制,为了解决线路或设备停电检修与不间断向用户供电的矛盾,带电作业便应运而生。1953年,当时的鞍山电业局成功研制了带电清扫、更换和拆装配电线路或设备及引线的简单工具。1954年,3.3kV 配电线路带电更换横担、木杆和绝缘子的作业项目取得成功。1956年,又进一步发展到更换44~66kV 的木质直线杆、横担和绝缘子。1957年底,154~220kV 输电线路带电更换绝缘子的全套工具研制成功,3.6~66kV 线路的全套带电作业工具也得到了进一步完善。1958年,当时的沈阳中心试验所又开始了人体直接接触带电线路或设备检修的研究工作,并首次成功地在试验场完成了人体直接接触220kV 带电线路的等电位试验。所有这些尝试,为带电作业在我国的推广和发展奠定了物质和技术基础。

1959~1966年,带电作业在我国进入了普及阶段,各地大、中型供电单位相继开展了带电作业项目的开发和工具的研究工作。检修方法从间接作业、等电位作业向带电水冲洗等迈进。检修工具从最初的支、拉、吊杆等硬质工具向组合化、绳索化、轻便化发展,作业项目也拓展到带电更换导线、避雷线等领域。

1968年,鞍山电业局又成功地完成了沿220kV 输电线路耐张双串绝缘子进入电位的试验。

1977年,原水利电力部将带电作业纳入部颁《电业安全工作规程》,进一步肯定了带电作业技术的安全性。20世纪80年代后期,我国带电作业又进入了一个新的发展时期。

然而,20世纪90年代初期,我国社会经济蓬勃快速持续发展,电力需求急剧增大,电源侧和电网的结构性问题致使电力供需矛盾较为突出,多数地区出现了限电的局面,因而大量中低压配电的检修施工采用结合停电的方式进行,仅输变电设施还持续开展带电作业,中低压配电带电作业的开展中断了好几年的时间。到20世纪90年代末,随着电网和电厂的建设发展,电网和电源结构趋向合理,电力供需矛盾呈现缓和,为了提高供电可靠性,中低压配电带电作业又开始逐步推广,带电作业的技术和工具又迅速发展,作业项目和应用次数也逐年上升,目前几乎所有的供电单位都开展了中低压配电带电作业,并向配电不停电作业方向发展。

2. 国外发展情况

从国外先进国家带电作业的发展情况来看,俄罗斯的带电作业开展的最为广泛,作业项目也较多,几乎遍及6~1150kV 的所有电压等级的输、配电网,已经形成了一整套完善的带电作业体系。美国的带电作业发展史最长,作业方



法和作业工具最先进。目前, 直升飞机和机械手已成为美国带电作业的主要工具。其他诸如法国、英国、加拿大、德国、意大利、丹麦的带电作业在作业工具和方式上也各具特色, 自动化、机械化程度也较高, 但在作业项目上各有侧重。

与世界各国相比, 我国带电作业在作业项目和作业手段上还比较单一, 作业工具远不及国外先进, 特别是中压配电线路的带电作业还相对落后。与我国相毗邻的日本, 带电作业虽然起步较晚, 但发展较快, 尤其在配电线路上的带电作业, 自动化程度较高, 作业工具也很先进。目前在日本普遍采用人在绝缘斗臂车的绝缘斗内操作机械手的作业, 机械手的传动方式有电动方式和液压方式两种, 同时已向机器人的方向发展。技术比较领先的九州电力公司已经开始采用第二代机器人的方法, 机器人站在地面上进行作业操作, 其操作十分灵活和安全。

二、带电作业向作业机器人方向发展

带电作业技术的发展经历了绝缘保护、绝缘工具、绝缘斗臂车乃至现正研发的带电作业机器人四个阶段, 前三个阶段的带电作业方式都可以说是手工的带电作业, 即操作人员作业时都时刻处于高电压、强电场的环境之中, 研发使用带电作业机器人进行带电作业是这技术领域的发展方向。

1. 国外带电作业机器人发展状况

为了提高带电作业的安全性和可靠性, 许多国家都开展了电力应用机器人的研究, 并投入带电作业实际应用中。20 世纪 80 年代, 美国研制生产了一种称之为 Tom Cat 的遥控操作机器人, 同期日本九州电力公司也研制出了称为第一代的主从控制带电作业机器人, 并在电力生产中得到了一定范围的应用。纵观近 30 年来带电作业机器人的发展历史, 可将其分为三代。

(1) 第一代为主从控制机器人。这也是国外正在使用的形式, 采取主从控制, 有两个作业机械臂, 人在操作斗内控制机械臂的动作来完成带电作业工作。

(2) 第二代为半自主机器人。操作人员在地面控制机器人作业, 应用了一些视觉、激光测距等传感器, 能识别作业目标的大体位置, 通过人机交互来精确定位, 但不能识别较为复杂的环境。

(3) 第三代为全自主机器人。目前尚处于研制阶段, 具有较高的智能、三维空间识别、自身控制以及自主作业决策的功能。

2. 国内带电作业机器人现状

在我国, 很多供电单位都充分认识到了带电作业的重要性, 因此对带电作业机器人的需求也越来越强烈。但是, 由于国外带电作业机器人的价格太高(如日本第一代机器人在其本国的价格是 8 千万日元、第二代价格为 1 亿日元), 再



者,由于国外电力系统的配电电压等级设置与我国有所不同,国外带电作业机器人适用的电压等级也不能满足我国的需要。因此,我国已有不少电力部门和科研单位在很早以前就提出了带电作业机器人的研制问题。

在 20 世纪 90 年代初,国防科技大学等单位就提出研制带电作业机器人的技术报告,但由于当时许多条件不具备而搁浅。几年以后,随着科学技术的发展和人们对供电可靠性以及带电作业安全性需求的提高,研发我国自主知识产权的带电作业机器人时机逐渐成熟。1999 年,山东省电力集团公司在国内首次对带电作业机器人项目进行了立项。同年底,又被原国家电力公司列为 1999 年第二批科研项目,委托山东电力研究院进行我国首台带电作业机器人样机的研制。2002 年 3 月,研制出了我国具有自主知识产权的带电作业机器人样机。该作业机器人样机是根据我国电网的实际情况,在大量调研和论证的基础上,选择了主从控制操作带电作业机器人的研发路线,该样机的性能介于国外带电作业机器人第一代和第二代之间,即操作人员在绝缘斗内进行操作,采用局部人机交互智能控制技术。2005 年完成产品化样机的研究,在山东济宁和山西长治通过了试用,其主要使用范围是:作业电压等级 10kV 及以下,绝缘防护标准 45kV,作业高度达 19m 等。

三、直升飞机的带电作业

直升飞机的带电作业主要应用于超高压输电线路,开展的项目主要有:

(1) 直升机带电水冲洗。随着输电电压升高和远距离输电的发展,直升机带电水冲洗(见图 1-4)得到广泛应用,尤其适用于超高压、特高压交直流输电线路绝缘子的清洗,有效降低了污秽造成的工频污闪,提高了电网的绝缘水平和运行可靠性。北美、欧洲、澳大利亚、以色列和日本等国家和地区都广泛采用了直升机带电水冲洗。我国台湾和香港采用直升机带电水冲洗也已开展了几年,南方电网公司 2004 年底进行了直升机带电水冲洗的演示。近几年来,在华北电网、三峡送出的超高压直流湖南线路段等都相继开展了直升机带电水冲洗。

带电水冲洗用水一般采用水阻为 $10000\Omega \cdot \text{cm}$ 的去离子水,去离子水可购买也可自行过滤加工。绝缘水枪有短管、长管两种,水冲洗流量约为 30L/min,喷头水压约 7~10bar。

(2) 直升机等电位带电作业。1979 年,美国的 Michael Kurtgis 首先进行了直升机等电位带电作业的尝试。20 世纪 80 年代,美国、加拿大和澳大利亚相继由输电线路巡线、检修发展到直升机等电位带电作业,使直升机电力作业技术又向前迈进了一大步,如图 1-5 所示。直升机等电位带电作业一经推广应用,就具有很强的生命力,采用直升机等电位带电作业可以进行的工作包括:零距离



离检测设备缺陷,包括金具、导地线、绝缘子等缺陷;检修更换金具、间隔棒、绝缘子;补强、更换部分导地线和导地线爆破压接等。一般采用边相进行等电位作业,而中相则用吊绳将作业人员送入工作部位的作业方法。

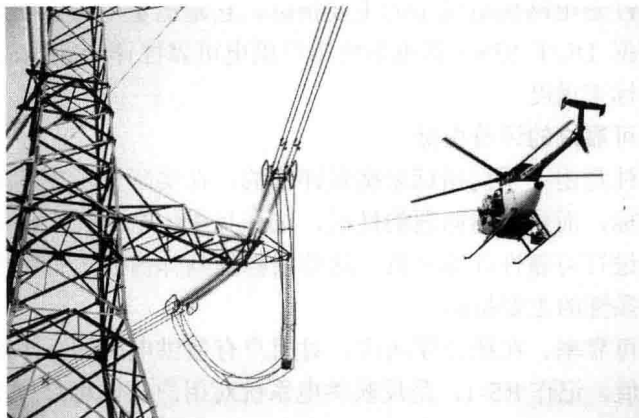


图 1-4 直升机带电水冲洗

四、由带电作业向不停电作业发展

随着带电作业技术的迅速发展以及作业项目的不断完善,带电作业的项目正在逐步覆盖停电作业的项目,同时,随着旁路和移动电源作业技术的广泛应用,某些类型的作业,如变压器的调换、迁移杆线等,在不能采用直接带电作业的情况下,先采用将配网线路及设备采用旁路或者引入移动电源等方法对工作区域的负荷进行临时供电,再将工作区域的线路进行停电后作业,实现对用户保持连续供电。这样,电网作业方式就从停电作业向以停电作业为主、带电作业为辅进一步向不停电作业的方式转变,这将是电网作业技术领域的一场新的革命,必将带来供电可靠性的大幅提升,同时具有良好的企业效益和社会效益。



图 1-5 直升机等电位带电作业



1.3 供电可靠性与停电损失

供电可靠性是电网供电质量的主要指标,它是衡量电力系统对用户的持续供电能力。根据 DL/T 836《供电系统用户供电可靠性评价规程》,供电可靠性可由一系列指标来量度。

一、供电可靠性的评价指标

供电可靠性是由一系列指标来衡量评价的,在实际分析表达时往往不是固定使用一个指标,而是根据问题的性质,选择其中一个或几个指标,并且在针对不同的环节进行可靠性计算分析。这些指标的具体内涵也有所区别,这里介绍衡量供电可靠性的主要指标。

(1) 供电可靠率。在统计期间内,对用户有效供电时间总小时数与统计期间小时数的比值,记作 RS-1,是反映供电系统对用户供电可靠度的指标。其公式为

$$\text{供电可靠率} = \left(1 - \frac{\text{用户平均停电时间}}{\text{统计期间时间}} \right) \times 100\% \quad (1-1)$$

若不计外部影响,则记作 RS-2; 不计系统电源不足的影响,记作 RS-3。

(2) 用户平均停电时间。在统计期间内用户的平均停电小时数,记为 AIHC-1。其公式为

$$\text{用户平均停电时间} = \frac{\sum(\text{每次停电持续时间} \times \text{每次停电用户数})}{\text{总用户数}} (\text{h/户}) \quad (1-2)$$

若不计外部影响,则记作 AIHC-2; 不计系统电源不足的影响,记作 AIHC-3。

(3) 用户平均停电次数。在统计期间内供电用户的平均停电次数,记作 AITC-1,是反映供电系统对用户停电频率的指标。其公式为

$$\text{用户平均停电次数} = \frac{\sum(\text{每次停电用户数})}{\text{总用户数}} (\text{次/户}) \quad (1-3)$$

若不计外部影响,则记作 AITC-2; 不计系统电源不足的影响,记作 AITC-3。

(4) 平均停电用户数。在统计期间内,平均每次停电的用户数,记作 MIC,是反映了停电的平均停电范围大小的指标,其公式为

$$\text{平均停电用户数} = \frac{\sum(\text{每次停电用户数})}{\text{停电次数}} (\text{户/次}) \quad (1-4)$$

(5) 故障停电平均持续时间。在统计期间内,故障停电的每次平均停电小时



数, 记作 MID-F, 主要反映了平均每次对故障停电恢复能力的水平, 其公式为

$$\text{故障停电平均持续时间} = \frac{\sum(\text{故障停电时间})}{\text{故障停电次数}} (\text{h/次}) \quad (1-5)$$

常用的指标是供电可靠率、用户平均停电时间和用户平均停电次数。

供电可靠性指标是采用统计方法计算的。我国目前还是以中压配电变压器作为用户统计单位 (35~110kV 高压大用户另作一类统计分析), 国际上发达国家大多是以覆盖至低压的每个终端受电用户 (装有计量表计) 作为统计单位。

二、供电可靠性指标分析

我国 20 世纪 80 年代中期开始进行供电可靠性统计工作, 每年由国家电力可靠性管理中心发布供电可靠性指标, 下面以国家电力可靠性管理中心发布年度供电可靠性指标进行分析。

1. 用户停电原因分析

国内外统计数据均表明, 用户经历的停电事件, 绝大部分是由中低压配电网的原因引起的, 如图 1-6 所示。我国输电系统造成的用户停电仅占 5%, 高压配电也仅占 5% 左右, 而中低压配电网占了 90%。

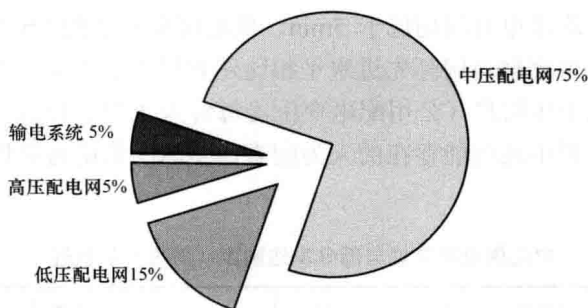


图 1-6 用户停电原因分布图

根据国家电力可靠性管理中心发布 2010 年供电可靠性指标情况, 我国 10kV 城市用户平均供电可靠率为 99.92%, 达到历史最好水平; 用户平均停电时间从 2005 年的 20.49h 减少到 6.72h, 比 2009 年减少了 2.389h。2010 年全国城市各类停电原因见表 1-1。

表 1-1

2010 年全国城市各类停电原因简况

停电原因	次数/次	占总停电次数的百分比 (%)	影响户数 / 户	停电时户数 / (h · 户)	占总停电的百分比 (%)
故障停电	62117	37.19	1030930	2305568	25.53



续表

停电原因		次数/次	占总停电次数的百分比 (%)	影响户数 /户	停电时户数 / (h·户)	占总停电的百分比 (%)
预安排停电	限电	3220	1.93	79985	239239	2.65
	非限电	101674	60.88	1220646	6487170	71.82
各类停电合计		167011	100	2331561	9031977	100

由表 1-1 可见, 非限电的预安排停电, 停电时户数占总停电的 71.82%, 故障停电时户数占总停电的 25.53%。由此可见, 用户的停电主要原因是预安排停电, 即网改、业扩接电、计划检修等, 而这些配电作业恰恰可以大量采用不停电作业来完成。

2. 与部分发达国家 (城市) 的比较

表 1-2 给出了我国 2010 年供电可靠性与部分发达国家 (城市) 的比较, 我国城市用户 AIHC-1 值高达 403.2min, 供电可靠率达到 “3 个 9” (99.92%); 用户年平均停电时间小于 2h 的有上海电力公司 (RS3 为 99.981%, AIHC-3 为 1.647h) 和北京电力公司 (RS3 为 99.978%, AIHC-3 为 1.931h)。而香港、东京、新加坡用户年平均停电时间均低于 5min, 供电可靠率达到 “5 个 9” 的水平。可见, 我国供电可靠性与国际先进水平相比还有很大的差距。考虑我国供电可靠性统计只是以中压用户 (公用配电变压器每台为 1 户) 作为一个 “用户” 统计单位, 统计过程中还可能存在的人为因素, 实际的供电可靠性比统计的指标可能还要低些。

表 1-2 中国供电可靠性与部分发达国家 (城市) 的比较

国家/地区	AIHC (min/户)	年度	数据来源
中国城市用户	403.2	2010	中国电力可靠性管理中心
中国上海	98.82	2010	中国电力可靠性管理中心
中国香港	2.7	2009	中华电力公司网站 (www.clp.com.hk), 2009
英国伦敦	45.6	2008/2009	Ofgem, UK. 2008/2009 Electricity Distribution Quality of Service Report. 2009
新加坡	0.69	2008	新加坡电力 (SP) 年度报告, 2008
日本东京	4	2008	东京电力公司网站 (www.tepco.co.kr), 2009

我国供电可靠性指标偏低, 虽然有用电增长速度快、电网基建与改造任务重的缘故, 但很大程度是由于配电网结构薄弱、作业方式和技术装备的相对落