

全数字化变电站二次系统的全生命周期成本管理分析

魏勇¹, 王锐²

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 河南省电力公司, 河南 郑州 450001)

摘要: 从目前国内电网建设所倡导的全生命周期成本管理的视角, 分析了全数字化变电站二次系统的全生命周期成本及综合效益, 给出了实用的成本模型和计算公式, 并对各项成本因素进行了分解说明, 并结合某实际数字化工程改造前后的效益对比情况, 说明全数字化变电站是变电站自动化的技术发展方向。

关键词: IEC61850; 全数字化变电站; 二次系统; 全生命周期成本管理 (LCC)

Brief analysis of total life cycle costs management of secondary system of digital substation

WEI Yong¹, WANG Rui²

(1. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China; 2. Electric Power of Henan, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The paper analyzes total life cycle costs and the comprehensive benefits in secondary system of digital substation from the view of total life cycle costs (LCC) management which is promoted in power system construction, gives the practical LCC model and formula, and also explains LCC element. It presents that digital substation is the trend of substation automation using benefit contrast of an actual digital substation project.

Key words: IEC61850; digital substation; secondary system; LCC

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)04-0078-06

0 引言

随着厂网分离及电力市场化的深入推进, 当前, 电网运营企业逐步从以往的重安全生产、轻经营管理的以安全生产管理为中心的管理模式, 过渡到了把经济和社会综合效益摆在同等位置的管理模式, 成本及综合效益管理工作受到了前所未有的重视。以高可靠性需求为主导目标的传统的电力成本管理着眼于一时一事, 常常以忽略成本, 或者只是关注短期设备投资成本为结果, 从而导致整体成本支出居高不下 (甚至是国外发达国家的十几倍), 造成大量的电力投资浪费, 影响到了电力企业的安全生产效益^[1]。

在当前节能及市场经济的大环境下, 为促使电力需求与资源和费用分配相协调, 国网公司开始倡导开展设备全寿命周期成本研究^[2], 企业将从系统最优的角度考虑问题, 在设备寿命的各个阶段坚定地树立寿命周期成本这个全面综合的成本观念, 以达到以尽可能少的成本确保国家电力供应的总目标。

文献[3]从产品生命周期管理的视角对传统变

电站综合自动化系统进行了较全面的成本及综合效益分析, 这对于变电站综合自动化系统的经济运行管理起到了一定的理论指导作用。国际大电网会议 CIGRE 2007 也在 “WG B3.21 Turnkey substations” 技术专题部分对产品生命周期 (LCC) 做了重点强调^[4-5], 有专家对变电站一次系统不同类型开关设备进行了 LCC 方面的研究^[6-7]。

以 IEC61850 通信建模技术、光电互感器及智能开关技术、计算机通信网络技术为技术引擎的数字化变电站技术研究及工程应用目前在国内外得到蓬勃发展, 显示出强大的生命力^[8]。数字化变电站中网络化的二次系统是其最有代表性的部分^[9]。运用全寿命周期成本概念和技术对以网络化为特征的数字化变电站二次系统进行经济效益分析, 是电力企业管理理念上的极大进步, 同时也是将全寿命周期成本概念和技术运用于二次系统设备的一次极具现实意义的探索^[10], 希望对拉动变电站二次系统设备投资效益分析起到一定的促进作用。

本文围绕数字化变电站二次系统的典型特征及主要应用功能, 采用全生命周期的评价方法对其成本和综合效益进行了研究, 主要研究内容包括:

(1) 变电站二次系统采用 LCC 的必要性分析。

(2) 采用 LCC 技术方法估算从购买至报废各阶段的成本组成部分, 在此基础上提出适用于该项目各成本组成部分的成本估算方法, 并建立数学模型。

(3) 采用“成本-效率分析法”这一 LCC 常用的评估方法, 并利用应用成本-效益分析的具体公式和方法, 对数字化项目设备生命周期成本的效益进行分析。

(4) 采用相同方法, 根据某实际数字化改造工程对数字化变电站与常规综合自动化站二次系统的全生命周期进行比较分析, 以供决策和管理之需。

1 全生命周期成本 (LCC) 基本概念

产品全生命周期成本管理最早由美国国防部在 20 世纪 60 年代提出来, 并最先实际应用于高精尖武器装备的研制。它克服了传统企业成本管理只注重降低初始制造成本的局限性, 将产品成本延伸到设计、研发、培训、维护、甚至报废等整个生命期过程当中。最终达到产品生命期内的成本最小化, 综合效益最优化。LCC 方法非常适合于设备和资产密集型产业, 电网运营企业属于典型的设备及资产密集型企业, 所以在电网企业中推行 LCC 的管理方法很有现实意义。

2 变电站二次系统采用 LCC 的必要性

变电站是电网的重要结点, 变电站运行安全可靠关系国计民生, 非常重要。目前变电站的二次系统设备仅完成设备本身功能, 普遍缺乏设备从采购到更换各阶段相关信息以及设备运行维护信息。由于对二次设备从采购到更换整过周期的成本投入没有统计, 导致变电站二次设备投资没有科学完整的预算途径, 没有办法详细分析变电站的经济运行效益。二次设备没有该设备的运行维护信息, 如果想知道设备的状态就必须进行停电检查, 二次设备接线复杂、定检项目多且复杂, 造成变电站停电时间过长, 降低了作为衡量电网企业服务的一个关键指标: 供电可靠性及可用性, 同时某些定检项目属于破坏性试验, 影响了设备的安全运行或使用寿命; 甚至有时由于操作不当给电力系统带来事故, 所以二次设备定期检修不仅增加了设备的运行维护成本, 而且影响设备正常运行和使用寿命, 给电力系统安全稳定运行带来不便。

随着我国电力系统的迅速发展, 变电站数目成级数增加, 对二次设备安全运行、使用寿命、定期检修都提出更高的要求, 缩短设备检修时间、延长设备的使用寿命、降低设备整过生命周期的投资成

本、提高变电站安全稳定运行的经济效益已经是电力相关部门追求目标, 变电站二次设备的全生命周期管理势在必行。

当今由设计来驱动以客户为中心的企业需要生产大量定制和个性化的产品, 而产品结构的不同部分又在全球的不同地方进行设计和制造。面对这种情况, 产品生命周期管理 (PLM) 为这些企业提供了针对性的解决方案。当把大量的具有创造性的思想放到一起的时候, 创新就可能发生。并且, 当今世界竞争日益加剧, 需求不断增加, 那些保持不断创新的公司肯定在竞争中能占据明显的优势。

当今追求社会效益 (服务型企业第一名, 供电可靠性、减少意外停电) 和追求经济效益 (净资产收益率和净利润指标) 的国家电网公司面临着变电站数目不断增多而运行维护人员无法同步增长导致的运行维护压力大的矛盾, 如果解决不好这个矛盾, 就会影响设备的可靠性, 并进一步威胁到供电可靠性, 对社会效益和经济效益双重挑战。

在整个寿命周期管理中的总成本中, 运行维护成本占 60% 以上。所以变电站二次系统设备做到自诊断, 少维, 甚至免维将大大降低运行维护成本, 要做到这些很大程度上需要依赖于对新技术的挖掘和应用。

3 变电站二次系统经济效益分析

变电站二次系统设备投入成本包括设备的采购、安装、调试、运行、维护、更换以及其相对应的所有活动劳务成本的投入, 其中采购、安装、调试是设备的初期投入成本, 也即是一次性投入成本, 设备的运行维护或更换成本是设备在使用阶段的投入成本, 该投入受设备质量、维护周期、设备使用寿命制约, 不同设备该项投入成本都不一样, 降低设备投入成本主要是降低设备运行维护和更换成本, 提高设备质量, 延长设备使用寿命, 延长设备定期检修时间, 二次设备由定期检修过渡到状态检修是减少设备运行维护成本最佳手段, 也是提高二次设备经济效益最佳途径。

变电站系统安全稳定运行时间由电力系统故障率、设备寿命、设备平均无故障时间、以及各种干扰所造成故障时间决定。提高变电站的经济效益必须缩短由于各种原因引起的停电时间, 二次设备缺陷引起的停电时间已经逐渐缩短, 目前由于干扰引起事故导致停电时间比较长, 由于干扰问题不确定, 不能对问题进行迅速定位, 不能够迅速排除故障, 如果强行恢复供电可能再次故障, 提高设备抗干扰能力, 尤其是消除设备干扰是目前保证变电站系统

安全稳定运行时间的主要矛盾，也是提高变电站经济效益要解决的主要问题。

变电站二次系统如果需要通过实现 LCC，就必须满足以下几个条件：

(1) 设备支持状态检修功能，所有设备对该装置输入、输出、智能元件器进行自检，并根据自检信息和状态提出是否进行检修要求。

(2) 设备具备自我检修和维护功能，缩短维护和检修时间。

(3) 设备简化输入输出回路和缩短输入输出的距离，有效避免电磁兼容干扰，延长设备和电力系统平均无故障时间。

(4) 设备做到使用、维护、更换简单方便，缩短设备维护时间。

(5) 设备具备网络通信功能和远程维护功能，实时将设备运行状况上送到后台集中管理器，集中管理器根据设备的状态进行部分远程维护功能。

(6) 设备之间信息交换尽可能取消硬接线方式，具备信息网络交互功能。

在数字化变电站技术没有推出之前，要想满足上面的条件是非常困难的，但是随着变电站自动化进入数字化变电站时代后，很多方面都发生了根本的变化，比如 IEC61850 通信建模体系实现了二次设备的信息自我描述和设备间的互操作、甚至达到互换，这使得变电站自动化系统的工程配置大大简化，不同制造厂商的 IED 设备实现了无缝集成，系统调试周期和功能升级、系统维护变得更加快捷；基于电子互感器技术的过程层采样值数字化传输技术，解决了二次保护由于传统 CT 易饱和、线性范围窄等原因导致的误动，使得供电可靠性大幅提高；智能化开关技术又使得一次设备能够实现设备的自诊断，将传统的设备检修模式逐步从任务重、效率低的定检模式转化为状检模式，提高了安全生产效率；光纤高速工业以太网技术及信息安全监视技术使得传统综自系统大量存在的二次电缆大幅减少，控制屏体大幅减少，从而根本上避免了系统中由于二次回路电缆故障导致的各种严重事故的发生，原本较困难实现的全局性、综合性的二次应用功能在数字化系统中也可以非常灵活地实现；所以说数字化变电站二次系统可以很好地满足前述的几个条件。

4 数字化变电站二次系统 LCC 分解

数字化变电站网络化保护等二次应用功能的实现，使其二次系统具有了减少系统硬件配置、网络化软功能、免维护等特点。其寿命周期费用中，设

备投资及运行维护成本均不同于常规变电站，因此，其寿命周期费用具有一定的特殊性。

数字化变电站网络化二次系统 LCC 指的是网络化二次系统经济寿命周期内所支付的全部费用，由以下四部分组成：一次投资成本 (IC)、运行成本 (OC)、故障引起的中断供电损失成本 (FC)、以及报废成本 (DC)。因此，二次系统全生命周期成本可以写成：

$$LCC=IC+OC+FC+DC$$

4.1 投资成本 IC

二次系统的一次性投资成本主要包括二次系统购置费用 (IC1)、安装调试费用 (IC2)、场地及辅助设备投资费用 (IC3) 等至可投产使用前的所有投资。这部分包含的内容较多，涉及的范围也较广，因此，我们采用工程法对各项费用进行估算，然后逐项叠加，以此来估算其一次投资成本。

为了便于分析比较，我们采用某实际运行的数字化改造工程作为样本，并取其实际运营数据作为样本数据。

$$IC=IC1+IC2+IC3$$

(1) 设备购置成本 (IC1)

为分析比较方便，取全数字化二次系统中各项设备与常规综自系统相对应。包括有：保护测控、监控系统、五防、控制电缆、二次反措、站用电源、互感器等七类设备，各项设备购置费用按实际取值，进行累加，得出网络化二次系统总的一次性投资成本。见表 1。

(2) 安装调试成本 (IC2)

二次系统设备规模参照该变电站综自系统设备配置规模。各设备安装调试成本计算见表 2。

数字化变电站网络化二次系统使全站二次回路及保护端子排大大简化，减轻了电缆敷设、接线工作量，最大程度地避免了二次回路误接线、断线的可能，极大地减轻了安装调试过程中二次回路查线工作量，缩短了设备安装调试时间，提高了安装调试的效率。

网络化二次应用功能的采用，取消了常规的专用装置，减少了全站装置调试的工作量。

本文对网络化二次系统中二次设备调试工时按常规综自站的 65% 计算，对取消专用装置的网络化保护不计算装置调试费用。

数字化变电站采用的光电互感器基本为免维护设备，绝缘结构简单，无油、无气，减轻了安装、试验工作量。二次方面，现场无需作伏安特性、极性等试验，没有二次回路开路、短路的危险，极大地减轻了现场安装调试工作量。

表 1 设备购置投资成本对照表

Tab.1 Investment cost comparative table of equipment purchase

设备类别	设备名称	常规综合系统		网络化二次系统		节约投资	节约投资百分比
		配置(屏、km)	投资	配置(屏、km)	投资		
保护及测控	4 条 110 kV 线路及母联保护	4 面	33.0	2 面	17.0	16.0	48%
	3 台主变保护	3 面	45.0	2 面	27.0	18.0	40%
	10 母线保护	1 面	20.0	软功能	0.0	20.0	100%
	110 kV、10 kV 备自投	2 套 1 面	7.5	软功能	0.0	7.5	100%
监控系统	系统	1 套	40.0	1 套	45.0	-5.0	13%
	交换机	2 台	4.0	8 台	40.0	-36.0	-900%
五防	专用系统	1 套	13.0	软功能	0.0	13.0	100%
电缆	控制电缆及辅料	28 km	95.2	1.5 km	5.1	90.1	95%
反措	接地铜牌、专用接地网等		30.0		0.0	30.0	100%
站用电源系统	交流、直流、通信、照明、逆变	8 面屏	48.0	5 面屏	30.0	18.0	38%
蓄电池	操作蓄电池、通信蓄电池独立配置	2 组	25.0	1 组	13.0	12.0	48%
互感器	CT、PT	65 组	97.5	65 组	97.5	0.0	0.00

表 2 二次系统安装调试成本对照表

Tab.2 Installment and debugging cost comparative table of secondary system

设备名称	设备配置	常规综合系统				数字化变电站二次系统			节约投资
		工时	元/工时	数量 (套、km)	安装 调试费	配置	数量 (套、k)	安装 调试费	
保护及测控	110 kV 线路及母联保护	60	250	5	7.50		5	4.88	2.63
	主变保护	80	250	3	6.00		3	3.90	2.10
	10 kV 间隔保护	4	250	55	5.50		55	3.85	1.65
	备自投	34	250	2	1.70	软功能		0.00	1.70
	10 kV 母线保护	75	250	1	1.88	软功能		0.00	1.88
监控系统	监控系统及联调	540	250	1	13.50		1	13.50	0.00
五防系统	专用系统及联调	40	250	1	1.00	软功能		0.00	1.00
互感器	CT、PT	24	250	65	39.00	电子型	65	3.90	35.10
电缆敷设	电缆、电缆头等	2 130		28	10.81		1.5	0.32	10.49
二次反措	接地铜牌、专用接地网等				4.00			0.00	4.00
电源系统	交流、直流、通信、照明、逆变				5.00	一体化		3.25	1.75
蓄电池	交流、直流、通信、照明、逆变				4.00	一体化		2.60	1.40
二次系统设计	包括电源、互感器等				13.00			5.20	7.80
合计					112.88			41.39	71.49

本文对光电互感器的调试费用按常规电磁型设备的 5% 计算。

(3) 场地及辅助设备投资费用 (IC3)

数字化变电站一次设备普遍采用 PASS/GIS 等

组合电器, 与原来的常规设备相比, 其结构紧凑、占地面积小, 样本变电站改造后 110 kV 设备区面积比原来减少了约 1 500 m²。保守估算, 改造后该站变电站节约土地费用 400 万元。

数字化变电站网络化二次系统采用了简约式集中组屏的方式,减少了保护控制室二次屏体的数量,同时节约了保护控制室的占地空间。样本变电站网络化二次系统建设由于是旧站改造项目,利用原有的控制室,因此本文不计算由于二次屏体减少而节约的控制室建设和占地费用。

施工设计方面,网络化数字化变电站二次系统极大地减少了施工设计的工作量,与常规综合自动化变电站相比,由于取消了控制电缆,用 GOOSE 网络代替了常规的控制电缆构成的二次回路,每个间隔端子箱、机构箱、保护屏端子排只有交直流电源,变得非常简单,一个间隔只用一组光纤网络即可实现所有的设备连接,实现各项功能。施工设计出图量仅为常规综合自动化变电站的1/3。从施工设计所花费的时间看,同等规模常规综合自动化变电站施工设计至少需要一个月时间,而网络化数字化二次系统施工设计的时间则可以大大缩短,所需时间不超过 20 天。

4.2 运行维护成本 IC

设备全寿命周期内运行维护成本为设备定期检验(OC1)、日常巡视(OC2)、现场操作(OC3)等费用。

(1) 设备定期检验费用(OC1)

取二次系统中常规设备生命周期为 12 年计算,按照规程要求,在整个生命周期内设备检验次数为新安装、投运一年、投运第七年共三次,其中新安装时调试费用已计入安装调试成本(IC2),本处只计算两次定期检验的费用,在设备生命周期内节约的定检费用为 $2 \times 96.31 = 192.62$ 万元。

(2) 日常巡视费用(OC2)

由于数字化变电站网络化二次系统具备完善的设备运行状态监视及网络监视功能,集控中心监控人员可以随时方便地查看现场二次设备的运行状态,这就相当于实现了变电站二次设备的远方巡视,即在集控中心对变电站二次系统设备及网络的运行状态进行巡视。在现场二次设备或网络故障时,同样集控中心监控人员能够在第一时间发现故障,并准确地对故障设备或网络节点进行定位。

目前常规无人值班变电站日常巡视周期为每 3 天巡视一次,数字化变电站可以通过集控中心的远方巡视代替现场巡视,从而提高日常巡视效率,大大降低无人值班变电站的日常巡视工作量,具备二次网络可视化安全监控的数字化变电站可以由原来的巡视周期 3 天延长为 2 周或者更长。

数字化变电站现场巡视周期以 2 周计算,在一年内巡视次数为 26 次,每次巡视需 2 人 4 个小时,

则一年内变电站日常巡视所需耗费的工时为 208。

常规无人值班变电站巡视周期按目前执行的 3 天计算,在一年内巡视次数为 121 次,每次巡视需 2 人 4 个小时,则一年内变电站日常巡视所需耗费的工时为 968。

由此可以看出,数字化变电站二次系统与常规无人值班变电站相比,可以大大减少日常运行巡视工作量。

(3) 现场操作费用(OC3)

数字化变电站二次系统的智能化操作能够大大降低运行人员现场操作的劳动强度和提高工作效率。拿变压器倒闸操作来讲,常规的倒闸操作需要运行人员依次进行变压器各侧断路器和隔离开关等多项操作,且每操作一次均需进行设备位置的确认及五防逻辑的校验。完整的一次变压器倒闸操作一般需要半个小时。而采用智能操作进行变压器倒闸操作时,用一个综合命令代替原来的多个单项操作,完整的变压器倒闸操作仅需要不到 1 min 时间,大大提高了运行人员倒闸操作的效率。

4.3 故障成本(FC)

故障成本主要统计设备在正常运行过程中突然出现故障或异常,需要临时处理而引起的人工费、材料费、交通费等,以及由于设备故障导致设备停运时造成的其他损失。

本文所采用的样本数字化变电站工程 2008 年共发生 10 个缺陷,其中涉及网络化二次系统的缺陷为 6 个。进一步分析可以发现 6 个缺陷主要集中在两个装置,对缺陷原因的分析均为温度过高导致设备异常,在更换故障插件后,缺陷已消除并经过了夏季高温季节的考验。经过厂家对故障插件的进一步分析,发现故障的原因为部分元器件质量问题,在高温下运行不稳定,此为个别问题,经更换后二次系统没有发生过缺陷。

从以上的二次系统缺陷情况可以看出,该样本数字化变电站投运以来没有发生过二次回路缺陷,这也说明了网络化数字化二次系统的高可靠性。而常规综合自动化变电站由于二次回路复杂,二次回路缺陷发生的概率极高,特别是在恶劣天气情况下,二次回路直流接地、回路断线、节点接触不良等缺陷频发,缺陷处理成本远远高于网络化数字化变电站。

5 数字化变电站二次系统 LCC 分析评价

5.1 购置成本分析

由表 1 比较可见,在数字化变电站二次系统各项设备中,高于常规综自站投资费用的设备是网络交换机和监控系统。

其中, 网络交换机费用是常规综自系统的 10 倍, 主要原因是, 为保证 GOOSE 数字信息在系统网络中传输的通信速率和可靠性, 数字化变电站二次系统采用了国外进口的网络交换机所致, (08 年以来, 设备有大幅降价); 同时为保证网络的可靠性, 110 kV 间隔每个间隔均配置了独立的交换机, 导致与常规配置相比, 交换机配置较多。

其次, 监控系统的购置成本也较常规综自站高出 12%, 原因由于网络化系统因包含有网络化二次应用功能 (还在系统中增加了一些二次智能应用功能) 所致。由于网络化数字化变电站系统目前处于研发试运行阶段, 设备的研发费用较高, 在大规模推广后, 二次系统设备购置成本将大大降低。

低于常规综自系统投资的设备依次为控制电缆、反措和网络化保护设备。

其中, 控制电缆较常规综自站节约 95%, 减少单项购置费用 90 万元; 其次, 常规综自站原来高昂的二次回路反措成本也下降为零; 此外, 网络化软功能代替了母线保护等装置硬件, 也节约了相当的购置费用。

由表 1 可见, 数字化变电站二次系统设备购置成本较常规综自站下降了 59%。大大节约了设备投资成本。

5.2 安装调试成本分析

由表 2 可以看出, 数字化变电站安装调试成本仅为常规综自系统的 37%, 大量节约安装调试费用的原因有以下几点:

(1) 取消了常规变电站的控制电缆二次回路, 使得二次回路的调试工作量几乎降低为零。而常规变电站安装调试时二次回路的调试与查线工作高于装置本身的调试工作量。

(2) 网络化二次应用功能的使用, 减少了常规装置调试工作量。

(3) 全数字化变电站二次系统实现了系统配置、通信协议、元件模型等的标准化, 使得变电站的安装调试工作变得更加简单, 大量的调试工作在设备出厂联调时均已完成, 现场的联调工作主要是验证性试验, 使得系统的调试工作变得非常简单。

5.3 运行维护成本分析

通过前面的分析可以看出, 全数字化变电站在运行维护方面的优势显得尤为突出。由于二次系统应用了可视化网络安全监视技术, 可以在集控中心对变电站二次系统进行远程巡视, 从而延长现场巡视的周期, 大大降低运行人员日常巡视的工作量。在运行操作方面, 智能操作功能大大提高了倒闸操作的效率, 提高了运行管理水平。

5.4 故障损失成本分析

由于网络化数字化变电站取消了常规综合自动化变电站的二次电缆, 二次回路用光缆代替了传统的电缆, 解决了电磁干扰问题, 使得变电站二次回路的运行环境得到了改善, 几乎消除了二次回路的缺陷, 极大地降低了设备缺陷处理的成本。

6 结论

基于 IEC61850、光电互感器、计算机网络通信技术的数字化变电站二次系统解决了传统综自二次系统的诸多问题, 大大提高了供电可靠性, 减少了调试、配置、运行、维护等成本。本文采用 LCC 的技术方法对全数字化变电站的成本和综合效益进行了评估, 并将实际运行的数字化工程的运营数据作为样本数据, 进行了量化分析, LCC 结果表明全数字化变电站在保证供电可靠性的基础上, 较传统的综自系统的全生命周期成本大幅降低, 全数字化变电站必然是变电站自动化的发展趋势; 同时也用实际数据说明了国网公司在电力系统建设中所倡导的全生命周期管理的发展策略是科学的。

参考文献

- [1] 张怡, 滕乐天, 凌平. 浅析 LCC 管理在上海电力系统的应用[J]. 上海电力, 2004(3): 5-7.
- [2] 推动跨区电网科学发展[N]. 国家电网报.2008-09.
- [3] 张俊. 基于全寿命周期成本_LCC_的变电站建设的决策分析(硕士学位论文)[D]. 重庆: 重庆大学, 2007. ZHANG Jun. Decision-making Analyse of Electric Substation's Construction Based on Life Cycle Costs, Thesis[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.
- [4] 2007 Activity Report for Study Committee B3 (Substations)[R]. CIGRE, 2007.
- [5] ACTION PLAN 2008 - 2010 Of CIGRE Study Committee B3: "Substations" [R]. CIGRE, 2008.
- [6] Decision Making Process for Cost Effective and Reliable Distribution Substation Solutions[R]. CIGRE, 2007.
- [7] Brown R E, Taylor T M. Modeling the Impact of Substations on Distribution Reliability[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999,14(1): 349-354.
- [8] 变电站网络化二次系统研究及应用社会效益报告[Z]. 河南省电力公司, 许继集团公司, 2008.
- [9] 变电站网络化二次系统研究及应用技术报告[R]. 河南省电力公司, 许继集团公司, 2008.
- [10] 金谷园数字化站全寿命周期分析[Z]. 许继电气技术中心技术文档, 2008.
- [11] 基于变电站二次设备全生命周期管理的方案[Z]. 许继电气技术中心技术文档, 2008.

(下转第 87 页 continued on page 87)

- 院学报: 自然科学版, 2004, 18 (1): 31-34.
- LIU Wei. Study on a Method of Optimally Substation Position[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry: Natural Science Edition, 2004, 18 (1): 31-34.
- [6] 王成山, 魏海洋, 肖俊, 等. 变电站选址定容两阶段优化规划方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 29 (4): 62-66.
- WANG Cheng-shan, WEI Hai-yang, XIAO Jun, et al. Two-phase Optimization Planning Approach to Substation Locating and Sizing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 29 (4): 62-66.
- [7] 陈根军, 李继洸, 王磊, 等. 基于 Tabu 搜索的配电网络规划[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (7): 40-44.
- CHEN Gen-jun, LI Ji-guang, WANG Lei, et al. Distribution System Planning by Tabu Search Approach[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (7): 40-44.
- [8] Migue E, Diaz-Dordo E, Cidras. An Application of an Evolution Strategy in Power Distribution System Planning[A]. in: IEEE Congress on Computational Intelligence[C]. Alaska(USA): 1998. 241-246.
- [9] 黄小隼, 陈星莺. 基于负荷转移的中压配电所综合规划[J]. 电力自动化设备, 2005, 25 (4): 62-64.
- HUANG Xiao-shu, CHEN Xing-ying. Integrated Planning of Mid-voltage Distribution Substation with Load Transfer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25 (4): 62-64.
- [10] 冯涛, 顾洁. 基于粒子群算法的变电所优化布点研究[J]. 供用电, 2006, 23 (6): 16-19.
- FENG Tao, GU Jie. Study on Substation Optimal Allocation Based on Particle Swarm Optimization[J]. Distribution & Utilization, 2006, 23 (6): 16-19.
- [11] 徐珍霞, 顾洁. 离散粒子群优化算法在变电站选址的应用[J]. 电气应用, 2006, 25 (4): 36-38.
- XU Zhen-xia, GU Jie. Application of Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm to Substation Location[J]. Electrotechnical Application, 2006, 25 (4): 36-38.
- [12] 高炜欣, 罗先觉. 基于蚂蚁算法的配电网网络规划[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (9): 110-114.
- GAO Wei-xin, LUO Xian-jue. Improved ant Algorithm for Distribution Network Planning[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (9): 110-114.
- [13] 林敏. 配电网优化规划中变电站站址及站间连接的选择[J]. 江苏电机工程, 2001, 20 (3): 6-9.
- LIN Min. Selection of Substation Position and Substation Connection Scheme in Distribution Net Optimum Projection[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2001, 20 (3): 6-9.
- [14] 高炜欣, 罗先觉, 朱颖. 贪心算法结合 Hopfield 神经网络优化配电站规划[J]. 电网技术, 2004, 28(7): 73-76.
- GAO Wei-xin, LUO Xian-jue, ZHU Ying. A New Distribution Substation Planning Algorithm Based on Greedy Algorithm and Hopfield Neural Network[J]. Power System Technology, 2004, 28 (7): 73-76.
- [15] 王琦, 张程学, 吴雁. 一种用于变电所优化规划的新算法[J]. 高电压技术, 2005, 31 (8): 69-71.
- WANG Qi, ZHANG Cheng-xue, WU Yan. New Methodology Applied to Optimization of Transformer Substation[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31 (8): 69-71.

收稿日期: 2009-02-10; 修回日期: 2009-03-18

作者简介:

王艳松(1965-), 女, 博士, 教授, 研究方向为配电网优化规划、配电网故障诊断和电能质量分析。E-mail: hdjd@hdpu.edu.cn

(上接第 83 页 continued from page 83)

- [12] 董涛. 基于价值链的电力设备全寿命周期成本管理(硕士论文)[D]. 北京: 华北电力大学, 2007.
- DONG Tao. Total Life Cycle Costs Management Research of Electric Power Equipment Based on Value Chain, Thesis[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2007.
- [13] 吴凯. 核电站工程项目全过程成本管理研究(硕士学位论文)[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- WU Kai. Study on Whole Course Costs Management for Nuclear Power Construction Project, Thesis[D]. Beijing: Beijing Jiao Tong University, 2007.
- [14] 曾庆禹. 变电站的寿命周期成本与新技术发展分析[J]. 中国电力, 2000, 33(12): 38-41.
- ZENG Qing-yu. The Life Cycle Cost Evaluation and Technical Development for Substation[J]. Electric Power, 2000, 33(12): 38-41.
- [15] Atanackovic D, McGillis D T, Galiana F D. The Application of Multi-Criteria Analysis to Substation Design[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(3): 1172-1178.
- [16] Substation Automation Handbook[Z]. ABB Corporation.
- [17] Implementation, Operation and Extension of Substations with Modular Compact Gas Insulated Switchgear (GIS)[R]. CEPSI, 2008.
- [18] Operational Excellence: Taking Full Advantage of Automation[A]. in: SCADA & Industrial Automation Conference[C]. 2008.

收稿日期: 2009-02-26; 修回日期: 2009-03-20

作者简介:

魏勇(1973-), 男, 硕士, 研究方向为电力信息化、数字化变电站系统方案及相关产品研发。E-mail: yongw@xjgc.com