

系统工程方法论在省网运行辅助决策系统设计中的应用

冯永青¹, 孙宏斌¹, 张伯明¹, 林鄂华², 杨志新³, 鲁庭瑞³, 苏大威³

(1. 清华大学电机系, 北京市 100084; 2. 清华同方软件股份有限公司, 北京市 100084)

(3. 江苏电力调度通信中心, 江苏省南京市 210024)

摘要: 为进一步加强电力调度中心的建设以实现未来的现代能量控制中心, 切实可行的发展路线是先建设运行辅助决策系统(OASDS)。在设计江苏省 OASDS 时, 设计人员需要与多个部门进行合作, 遇到的主要困难包括: ①设计人员极易陷入电力部门海量的规程等资料之中; ②电力专业人员对新信息技术的期望给设计人员带来很大压力; ③设计方案难以同时为各方同时接受。文中提出运用国防、航天等领域中的系统工程方法论来进行 OASDS 设计, 基于整体性理论设计了 OASDS 逻辑架构和物理架构, 基于综合评价原理进行了方案分析, 基于动态策略程序制定了技术方案和实施方案, 基于递阶分层分解和综合协调原理设计了各子系统, 这些应用说明了运用系统工程方法论对于设计江苏 OASDS 的适用性。

关键词: 电力系统调度自动化; 控制中心; 运行辅助决策系统(OASDS); 系统工程方法论; 系统工程

中图分类号: TM734

0 引言

在北美“8·14”大停电事故过程中^[1], 调度自动化系统的不正常运行影响了对事故的及时准确处理, 对事故的蔓延扩大起到了负面的作用, 这进一步促使电力部门下决心加强对调度中心的建设工作。而在建设过程中, 不应再重蹈覆辙, 走 1996 年北美 WSCC 大停电和 2000 年加州电力危机反思过程中头痛医头、脚痛医脚的老路, 而应当采用综合防御的思想进行综合性建设^[2]。电网调度自动化奠基人 Dy-Liacco 在 1997 年提出, 未来的调度中心应当是由“人类调度员”和“机器调度员”联合构成“系统调度员”^[3]。他在 2002 年进一步指出, 尽管受到电力市场改革等因素的影响, 但由于电力运行的特殊性, 调度中心的核心地位绝不能够动摇^[4]。文献[5]对 Dy-Liacco 抽象的建设思想进行了具体化的阐述。对于实际调度部门而言, 实现文献[5]中的现代能量控制中心无法一蹴而就, 将是一个长期的发展过程。切实可行的发展路线是: 先建设运行辅助决策系统(OASDS——operational auxiliary strategic decision system), 然后再建设全面信息化、智能化、集成化和自动化的现代能量控制中心。文献[6]基于信息理论与技术设计了浙江省杭州市地区电网辅

助决策系统。

从 2003 年开始, 清华大学电机系调度自动化研究室、江苏电力调度通信中心和清华同方软件股份有限公司三方联合对江苏省网 OASDS 进行了规划设计工作。设计工作的初衷是运用文献[6]中的信息理论与技术, 在继承江苏省调能量管理系统(EMS)等信息系统原有功能的基础上, 向 OASDS 平滑过渡。但是在实际的设计过程中发现, 相对于地调而言, 省网 OASDS 需要开发的功能、遵循的规范以及所涉及的相关厂家和部门都要复杂得多, 单纯依靠文献[6]所述的信息理论与技术, 很难克服所遇到的新困难。本文首先对这些新的困难进行了总结, 然后提出利用国防、航天等领域中的系统工程方法论来进行江苏省网 OASDS 的设计工作, 最后给出了应用系统工程方法论的部分示例以说明其适用性。

1 OASDS 设计过程中遇到的主要问题

在实际的设计过程中, OASDS 设计人员需要与电力、科研和计算机公司等相关单位中的至少十几个不同部门进行良好的合作。部分关系如图 1 所示。

如图 1 所示, 设计人员既要与调度中心各部门的专业人员进行沟通, 在设计中反映出他们的不同需求, 又要与后续建设 OASDS 的人士准确交流, 保证后续工作的顺利实施。另外, 设计方案还必须被省电力公司机关决策者所理解和接受。如何能使各

方面专业人员相互磨合后再加以融合,从没有共同语言到互相“心领神会”,是相当困难的。下面介绍在 1 年的实际设计工作中遇到的主要问题。

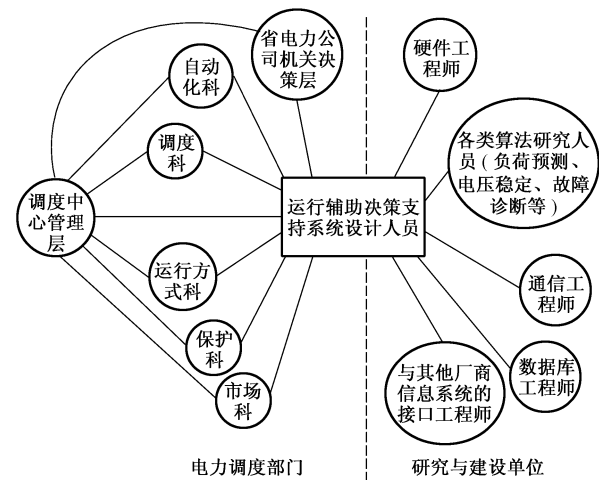


图 1 系统设计人员与其他专业人士的合作关系
Fig. 1 Diagram of cooperation relationship between the designer and other professionals

1.1 OASDS 设计人员易陷入电力部门海量资料中
为了进行省调度中心的信息集成工作,设计人员需要分析现有的信息系统,这样就必须了解调度中心各科室的主要工作。但是,由于电力调度的复杂性,各生产科室往往会提供数量极为庞大的电力运行规范等资料,使得设计人员眼花缭乱。

1.2 电力专业人员对信息技术的期望使设计人员产生巨大压力

与其他行业不同,电力专业人员对计算机等技术并不陌生,许多电力专业人员都期望 OASDS 能够提供新颖、高效而且维护工作量小的功能,但是数据挖掘等新兴计算机技术并不能照搬其他行业而直接在电力系统中应用。对自己的业务工作非常熟悉的电力人员提出的需求要由系统设计人员来理解,并与计算机专业人员、算法研究人员等协调,确定哪些是完全可行的,哪些是算法上可行但原始数据上不可行或需要积累,哪些是算法和原理上都可行但在当前行政管理体制下不可行等。

1.3 系统设计方案难以同时被各方面所接受
理想中的 OASDS 设计方案,应当是被图 1 中所示的各部门同时认同,但在实际工作中要完成这一任务相当困难:如果将调度中心各科室分别需要的功能机械地累加到一起,那么它对于计算机工程师和通信工程师来说会是一个无法完成的设计。与此相反,从计算机工程师出发,完全按照面向对象等软件工程所给出的设计,又会充满了计算机特定的专业术语和图形符号,难以让对软件工程不熟悉

的电力专业人员所接受。更为重要的是,以上这两种从还原论出发、堆砌式的设计结果很难让调度中心和省电力公司的高层决策管理者所接受。

2 系统工程方法论简介

面对设计过程中所暴露出来的问题,本文提出运用系统工程方法论^[7~11]来进行设计。系统工程方法论一方面是按系统论的观点和方法来解决工程问题,另一方面是从工程角度来看待系统,用工程方法去建立和改造系统,推动了系统论思想的广泛应用。系统工程方法论在多个领域内的应用取得了成功,出现了大量经典性的成功应用案例。

a. 国外公认的最经典的是美国的阿波罗登月计划。在历时 11 年耗资 300 多亿美元的计划中,利用系统工程方法将 2 万多家企业、120 所研究机构和 400 多万工作人员成功地组织起来实现了人类首次登月。阿波罗登月计划的总指挥韦伯说过:“阿波罗登月计划中没有一项新发明的自然科学理论和技术,它全都是现成技术的运用,关键在于综合。”

b. 国内较早成功地运用系统工程的领域也主要是在航天部门,在 20 世纪 60 年代就建立了总体设计部。随后自 70 年代起,钱学森等人开始在国内推广系统工程方法,并开始对系统学进行深入研究,目前已经在军事、经济、农业、水利等领域得到了应用。

系统工程方法论的理论基础是系统学,本文将钱学森^[7~9]阐述的系统工程与其相关学科之间的关系进行归纳,如图 2 所示。

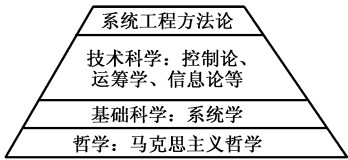


图 2 系统工程方法论及其相关学科之间的关系
Fig. 2 Relationship between system engineering methodology and other subjects

需要指出的是,从近 40 年的发展来看^[7~11],作为系统工程方法论基础的系统论本身也在不断发展之中,尚未形成一个完整的共识框架,在系统论指导下的系统工程方法论也有待逐步深化与完善。本文侧重的是利用已有的系统工程方法论来解决江苏省电网 OASDS 设计中的困难。

3 基于系统工程方法论的设计工作

从系统工程方法论来进行 OASDS 设计,就是要将 OASDS 看成一个整体,将其内部的各个环节

与其他调度中心已有的信息系统、乃至整个电力系统的普遍联系和永恒发展运动看成是一个总体过程,对它进行全面把握,综合探索其中各要素之间的相互作用和变化规律。系统工程方法论包含了一系列辨识环境、价值量度、系统综合和开发求解方案等理论。下面给出的是在 OASDS 设计中所运用的部分理论示例,用以说明系统工程方法论对 OASDS 设计的适用性。

3.1 基于整体性理论的 OASDS 架构

整体性理论是系统工程方法论中最重要的原则,从它出发考虑,应当把所要建设的 OASDS 与调度中心已有的信息系统看做是一个普遍联系的整体,它们的作用是共同管理好电力系统这个已经客观存在的物理系统。从这一思想出发,本文采用了“逻辑架构与物理架构设计辩证统一”的思路进行设计,最后设计的 OASDS 简图如图 3 所示。限于篇幅,没有给出与图 3 对应的各部分详细的逻辑结构图与物理架构图。

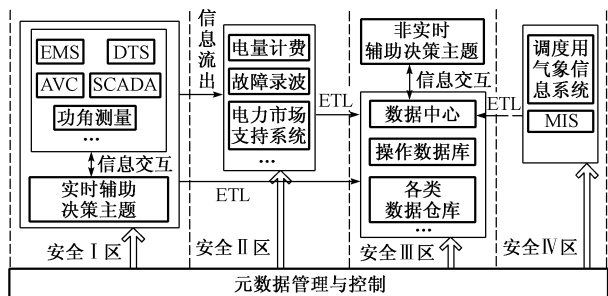


图 3 OASDS 结构简图

Fig. 3 Architecture of OASDS

图 3 中实时辅助决策主题包括:在线智能暂态稳定分析;在线智能电压稳定分析;基于信息论的拓扑检错;基于信息论的故障诊断;运行风险评估;智能无功电压控制;可视化安全域。

非实时辅助决策主题包括:面向省调的数据仓库和 OLAP;广域负荷预测;智能电网操作票;基于数据挖掘的参数估计;元件可靠性统计;输电线路故障预测。

本文采用图 3 所示的整体架构代替设计初期的集中式架构,解决了与江苏省调度中心“信息安全示范工程”之间的配合关系,使整个 OASDS 动态地分布在物理隔离装置分开的 4 个安全区中,符合《全国电力二次系统安全防护总体方案》的要求。

3.2 基于递阶分层分解和综合协调原理的子系统设计

从图 3 可以看出,OASDS 包含多个子系统,形成了多层次的等级。设计时要对各子系统进行功能

上的完善(“化整为零”),又要使小系统之间相互协调一致,使得整体目标在实际工作中达到最优(“集零为整”)。本文从递阶分层分解和综合协调原理出发,对于各子系统的设计采用了演绎与归纳法辩证统一的发展思路。在创新性强的子系统中运用“演绎为主、归纳为辅”的设计理念,而在工程性强的子系统中则运用“归纳为主、演绎为辅”的设计理念。

前一种思路对应的是基于信息论的智能故障诊断子系统:电网发生故障后,调度中心会收到大量报警信息,该功能可以给出依概率降序排列的、若干种可能性高的故障组合^[12]。该子系统是由演绎法在假设各种原始数据都充分的情况下给出的,但是在设计中由归纳法考虑,所需的省级电网中一次和二元件的可靠性统计数据并不一定详实准确,这会对结果的可信度产生重要的影响。因而,此子系统的实施一方面可以实现故障诊断,另一方面也促使元件可靠性统计工作的进一步加强。

后一种思路对应的是元件可靠性数据统计子系统。除了上述的故障诊断功能外,元件可靠性数据是大型电力系统可靠性评估^[13]、紧急控制与预防控制之间的协调^[14]和电力市场风险管理^[15]所需要的原始数据。近年来,中国电力规划设计总院等单位进行全国发电系统可靠性研究时,曾经发现国内发电设备可靠性统计数据 EFOR 甚至比北美电网还低(与我国检修水平等不相符^[16])。经过调查,本文认为部分原因在于长期以来国内可靠性原始数据的统计工作主要依赖手工进行,所以容易发生错误。如果一直不进行准确的可靠性原始数据的自动化统计工作,那么可靠性评估等研究成果就难以在实际电力部门中推广应用。由归纳法的思路出发,与元件可靠性数据相关的资料除了 SCADA 历史数据库中含有元件的停电信息外,其他的数据来源还包括:①备用状态来源于变电所值班日志、操作票;②计划停运状态来源于工作票、停电申请书、操作票;③计划停运状态来源于操作票记录和跳闸记录;④非计划停运来源于操作票、工作票、缺陷单、设施停役申请。可通过数据中心的信息集成工作,实现可靠性数据的自动统计,否则,这些珍贵的历史数据就会被当做垃圾而被摒弃。从演绎法出发,在自动统计可靠性数据的基础上,可在广域负荷预测收集充分的气象信息后,进而进行输电线路故障预测工作。

3.3 基于综合评价原理的方案分析

对系统的评价在整个 OASDS 设计中最为重要,但又是最为困难的一项工作,本文将造成其困难的原因归纳为 3 点:

a. 无样本性。由于 OASDS 本身具有创新性

质,因而没有成型的产品可供参照。

b. 出发点不同。各专业人员看待同一个问题具有不同甚至相反的意见。

c. 需要考虑多种因素。其中有些可以进行定量评估,有些只能进行定性评估。

综合评价原理最根本性的思想有两个:一是合理地选择评价因素;二是将系统评价指标“价值”化。下面以江苏省网 OASDS 中是否要建数据中心这一问题为例来介绍对该原理的运用,最主要的工作由以下两部分构成:

a. 评价指标的选择。从综合评估原理出发,在选择系统评价的考虑因素时,不应把所有的指标都考虑进去,而应当选择最主要的指标进行衡量。对于 OASDS 这样一个没有经验可借鉴的系统而言,主要采用的是对相关专家的意见进行统计处理、归纳综合,通过多次信息反馈,使专家意见逐步收敛以寻找真正反映方案优劣的评价指标。

b. 系统评估指标确定后,各类指标要利用“价值”统一尺度以便衡量,而“价值”本身也采用一个定量与定性综合评估的方式。经过这样的过程之后,可以得到综合评估表以供决策之用。

表 1 给出的是在 OASDS 中是否建设数据中心的综合评估表。其中:方案 1 是采用如图 3 所示的“数据中心+数据仓库”两层的架构方式;而方案 2 是不建设数据中心,直接建设数据仓库,并在数据仓库上进行相关的数据挖掘等工作。

表 1 是否建设数据中心的综合评估表
Table 1 Synthetic evaluation on whether to build data center

方案	建设时间	投资	辅助决策功能效率	对其他信息系统的 影响	其他业务系统变化时的影响	信息安全度	...
1	长	多	高	小	小	高	...
2	短	少(约为方案 1 的 3/4)	低	大	大	低	...

通过类似表 1 的方案对比工作,设计人员可以在广泛征求各方意见的基础上给出最后的规划设计方案。经过决策,江苏省网 OASDS 采用方案 1。

3.4 基于动态策略程序制定技术方案与实施方案

动态策略程序是系统工程方法论正确运用的保证。价值开发和行动程序是该原则的重要产物,前者用以解决设计工作中的技术方案,而后者则用以解决设计工作中的实施方案问题。从动态策略程序出发,不能把 OASDS 看成是孤立、静止的“死系统”,而应当是一个动态发展的“活系统”。因而在实际设计工作中要将技术方案和实施方案分别给出(而不是搅在一起),还要考虑到它们动态的发展过

程。下面以江苏广域负荷预测子系统为例来进行说明。

对于广域分布的江苏省电网,同一时间不同地区的气候情况不同,从而造成了各地区之间负荷变化规律的不同。另外,江苏省调在近年夏、冬季等用电高峰期采用了分区分轮拉闸限电措施,这样在负荷预测的原始数据中就必须要将各地区的负荷与气象数据分别给出,并去除拉闸限电时段的负荷信息,这就需要分地区将负荷与气象因素进行关联性分析以进行负荷预测,这对于没有水电资源的江苏省调来说是相当有价值的。但是在实际中,电力部门并没有所需要的分地区的详细气象信息,即使是采用向气象部门直接购买数据的方式,部分地区的气象部门还需要针对电力部门的要求进行重新收集工作。考虑到动态发展过程,在技术方案中应给出分地区负荷与气象因素进行关联性分析研究的技术路线,同时在实施方案中要进行气象信息等原始数据收集工作的具体准备工作。

4 结语

本文旨在提出应用系统工程方法论来进行江苏省网 OASDS 的设计工作,相关的建设工作在近二三年内将陆续开展。

北美“8·14”大停电发生之后,电力研究人员和实际生产部门迫切需要走到一起开展综合预防大停电的工作,在进行相关的新系统设计建设时,系统工程方法论可能是其中一个较为有益的工具。由于笔者对于系统工程方法论的应用只是略窥门径,所以希望本文能起到抛砖引玉的作用,以供同行参考。

感谢清华大学电机系相年德教授、吴文传博士、宋云亭博士、戴仁昶博士、汤磊博士以及调度自动化研究室的同志、清华同方公司苏红宇、林夏、焦隽对本文的贡献。

参考文献

1 US-Canada Power System Outage Task Force. Interim Report: Causes of the August 14 Blackout in the United States and Canada. <http://www.nerc.com/>, 2003

2 薛禹胜(Xue Yusheng). 综合防御由偶然故障演化为电力灾难(The Way from a Simple Contingency to System-wide Disaster). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(18):1~5

3 Dy-Liacco T E. Enhancing Power System Security Control. IEEE Computer Applications in Power, 1997, 10(3): 38~41

4 Dy-Liacco T E. Control Centers Are Here To Stay. IEEE Computer Applications in Power, 2002, 15(4): 18~23

5 张伯明(Zhang Boming). 现代能量控制中心概念的扩展与前景展望(Concept Extension and Prospects for Modern Energy

- Control Centers). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(15): 1~6
- 6 冯永青, 孙宏斌, 朱成骥, 等 (Feng Yongqing, Sun Hongbin, Zhu Chengqi, et al). 基于信息理论与技术的地区电网辅助决策系统设计 (Design of an Auxiliary Decision-making System for Sub-transmission Power Network Based on Information Theory and Techniques). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2004, 28(4): 58~62
 - 7 杜 玠, 陈庆华 (Du Jie, Chen Qinghua). 系统工程方法论 (System Engineering Methodology). 长沙: 国防科技大学出版社 (Changsha: National University of Defense Technology Press), 1992
 - 8 陈来安, 陆军令 (Chen Laian, Lu Junling). 系统工程原理与应用 (Principle and Application of System Engineering). 北京: 学术期刊出版社 (Beijing: Scientific Periodical Press), 1988
 - 9 钱学森 (Qian Xuesen). 创建系统学 (Creation of System Theory). 太原: 山西科学技术出版社 (Taiyuan: Shanxi Science and Technology Publishing Press), 2001
 - 10 郑哲敏 (Zheng Zhemín). 钱学森手稿 (Manuscripts of Qian Xuesen). 太原: 山西教育出版社 (Taiyuan: Shanxi Education Publishing Press), 2000
 - 11 王勇领 (Wang Yongling). 系统分析与设计 (System Analysis and Design). 北京: 清华大学出版社 (Beijing: Tsinghua University Press), 1991
 - 12 汤磊 (Tang Lei). 信息理论在电网智能调度决策中的应用: [博士学位论文] (Application of Information Theory to Intelligent Dispatch Decision of Electric Power System, Doctoral Dissertation). 北京: 清华大学 (Beijing: Tsinghua University), 2002
 - 13 杨苻百, 丁 明 (Yang Shibai, Ding Ming). 大型电力系统可靠性技术 (一)~(四) (Bulk Electric Power System Reliability Technology). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1993, 17(10~12); 1994, 18(1)
 - 14 薛禹胜 (Xue Yusheng). 暂态稳定预防控制和紧急控制的协调 (Coordination of Preventive Control and Emergency Control for Transient Stability). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(4): 1~4, 9
 - 15 赖业宁, 薛禹胜, 王海风 (Lai Yening, Xue Yusheng, Wang Haifeng). 电力市场稳定性及其风险管理 (Electricity Market Stability and Its Risk Management). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(12): 18~24
 - 16 电源规划可靠性研究工作组 (Generation Planning Reliability Analysis Task Force). 电力系统电源规划可靠性研究 (Generation Planning Reliability Analysis). 北京 (Beijing), 2002
-
- 冯永青 (1976—), 男, 博士研究生, 主要从事信息理论在电力系统中的应用及电力系统可靠性研究。E-mail: fyq02@mails.tsinghua.edu.cn
- 孙宏斌 (1969—), 男, 博士, 副教授, 从事调度自动化、配电网自动化和电力市场的研究、开发和教学工作, 目前主要研究信息理论在电力系统中的应用。
- 张伯明 (1948—), 男, 教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 主要从事电力系统运行、分析和控制的研究和教学工作。

APPLICATION OF SYSTEM ENGINEERING METHODOLOGY IN THE DESIGN OF PROVINCIAL NETWORK OPERATIONAL AUXILIARY STRATEGIC DECISION SYSTEM

Feng Yongqing¹, Sun Hongbin¹, Zhang Boming¹, Lin Ehua²,

Yang Zhixin³, Lu Tingrui³, Su Dawei³

(1. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

(2. Tsinghua Tongfang Software Co Ltd, Beijing 100084, China)

(3. Jiangsu Power Dispatching and Communication Center, Nanjing 210024, China)

Abstract: In order to construct modern energy control centers in the future, it is practical to build an operational auxiliary strategic decision system (OASDS) first. Because the designers of Jiangsu Provincial OASDS have to cooperate with the personnel from a wide range of departments such as the electric bureau, universities and computer companies, some difficulties have been encountered: ① designers are apt to get trapped in a huge amount of electric power criteria; ② designers have got a lot of pressure from electric engineers who have great expectations on the new information technology; ③ it is very difficult for all the personnel to accept an OASDS blue print at the same time. The system engineering methodology that has been used successfully in some departments such as aviation is applied to design the OASDS. The logical framework and the physical structure of OASDS are contrived based on the holistic theory; the scheme analysis is carried out based on the synthetic evaluation method; the technical scheme and implementation scheme are established based on the dynamic programming strategy; subsystems of OASDS are set up based on the hierarchy decomposition and coordination method. These applications show that the system engineering methodology can effectively be applied in OASDS design.

This work is supported by National Key Basic Research Special Fund of China (No. G1998020322) and National Natural Science Foundation of China (No. 50107005).

Key words: dispatching automation of electric power systems; control center; operational auxiliary strategic decision system (OASDS); system engineering methodology; system theory