

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.02.003

城市户内变电站设计综述

夏泉

(北京电力经济技术研究院, 北京 100055)

摘要: 总结了国内外户内变电站的设计经验和实践, 提出了城市户内变电站的设计原则, 即必须坚持节约集约用地, 与当地区域总体规划和城镇规划相协调, 积极采用新技术、新设备、新材料、新工艺, 符合消防、节能及环境保护的要求, 为城市户内变电站工程设计提供有益的参考。

关键词: 户内变电站; 设计; 城市

中图分类号: TM63

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)02-0016-05

Review on Urban Indoor Substations Design

XIA Quan

(Beijing Electric Power Economic Research Institute, Beijing 100055, China)

Abstract: Based on the summarization of the design experience and practice on urban indoor substation, this paper presents the design principals of urban indoor substations, including continuous land conservation, coordination with the local regional planning and town planning, active adoption of new technology, new equipment and new materials, meeting the requirements of fire fighting system, energy-efficient and environmental protection, which will benefit the construction of urban indoor substation in the future.

Key words: urban indoor substation; design; city

城市电力负荷增长迅速, 大量高电压等级变电站需要建设在城市中心, 变电站建设对城市的规划与景观产生很大影响。和常规户外变电站相比较, 城市户内变电站具有占地省、建筑外观与周围环境协调的优势, 特殊建设条件下还能与其它建筑物结合建设, 综合利用土地资源, 因此, 城市户内变电站在城市建设和发展中应用愈来愈广泛。

本文通过对国内外户内变电站设计经验和实践进行总结, 提出了城市户内变电站的设计原则: 必须坚持节约集约用地, 与当地区域总体规划和城镇规划相协调, 积极采用新技术、新设备、新材料、新工艺, 符合消防、节能及环境保护的要求, 以期建设“资源节约型、环境友好型”绿色环保变电站工程。

1 国内外城市户内变电站建设现状

根据《35 kV ~ 110 kV 户内变电站设计规程》(DL/T 5495—2015)^[1]和《220 kV ~ 500 kV 户内变电站设计规程》(DL/T 5496—2015)^[2], 户内变电站包括全户内变电站和半户内变电站, 其建筑可独立建设, 也可与其它建(构)筑物结合建设。全户内变电站所有电气设备包括主变压器和其它高低压电气设备均布置在户内。半户内变电站部分电气设备布置在户内, 主变压器或部分高压电气设备布置在户外。

国内的城市户内 110 kV 变电站出现在七十年代末八十年代初, 如北京的前门变电站等。当时, 主要是把户外常规电气设备户内布置, 安装在建筑物之内, 主变压器露天布置, 中间加防火隔墙。通过电气设备多层布置增加综合楼土建的投资达到减少用地, 同时, 变电站的外立面大为改观。由于将户外高压电气设备布置在室内, 设备安装检修比较困难, 对电气设备要定期停电进行人工清洗, 增加

收稿日期: 2016-05-26

作者简介: 夏泉(1966), 女, 河南唐河人, 北京电力经济技术研究院副院长, 教授级高级工程师, 硕士, 主要从事电网规划及电网工程设计工作(e-mail) xiaquan001@sina.com。

了运行维护工作难度。建筑物体型受设备布置限制，变电站综合楼象一座大厂房。

80年代中期，借鉴国内外电力建设的经验，北京首次在环铁 110 kV 用户变电站中，经过技术经济比较论证，110 kV 配电装置采用了户内 SF₆ 全封闭组合电器(GIS)装置。这种生产厂家成套供应的高压电气设备，具有安装简单，维护简便，与常规电气设备相比，GIS 布置紧凑，体积小、节省土地面积，具有无静电感应，电晕干扰和噪声低等优点。之后，在天竺、龙山、阜成门、新发地、中关村、东直门等 110 kV 变电站设计中推广采用。建筑物体型大大减小，变电站外形与城市景观协调，如图 1 和图 2 所示。



图 1 北京某户内 110 kV 变电站示例一
Fig. 1 A 110 kV Indoor Substation in Beijing



图 2 北京某户内 110 kV 变电站示例二
Fig. 2 Another 110 kV Indoor Substation in Beijing

国内的城市户内 220 kV 变电站出现在九十年代初，如北京的左安门变电站、上海的华山变电站、天津的海光寺变电站、广州的金贸变电站等。当时，出于技术经济的原因，主要有两种类型：一种类型是把户外常规电气设备户内布置，安装在建筑物之内，主变压器露天布置；另一种是采用户内 SF₆ 全封闭组合电器(GIS)。

譬如，深圳市 220 kV 东湖变电站位于东海公园，220 kV 户外电气设备布置在一幢相当于两层高的楼内，110 kV 户外电气设备布置在另一幢多层楼

内，三台主变压器露天布置，变电站占地仅一万平方米左右，是常规户外变电站的三分之一，变电站建筑为两幢仓库型的工业厂房。1991 年，北京左安门 220 kV 变电站(如图 3)首次采用 220 kV 户内全封闭组合电器 GIS，此后在太阳宫、西直门等 220 kV 变电站逐渐采用。2004 年以后，SF₆ 全封闭组合电器(GIS)逐渐国产化，价格逐步降低，户内 220 kV SF₆ 全封闭组合电器(GIS)大量应用，城市户内 220 kV 变电站发展迅速，国家电网公司^[3]和南方电网公司都推出了典型设计的户内变电站。



图 3 北京左安门 220 kV 变电站
Fig. 3 Zuo Anmen 220 kV Indoor Substation in Beijing

城市全户内 500 kV 变电站出现在 2008 年，图 4 是国内第一座全户内 500 kV 变电站。为减少配电装置的占地面积，提高设备运行可靠性，500 kV、220 kV、66 kV 配电装置均采用 SF₆ 全封闭组合电器(GIS)，变电站的占地大大减少。设计采用“立体化、协调型”理念^[4-5]，尽量压缩建筑面积和体积，节省建设用地并控制工程造价。将 500 kV、220 kV、66 kV 气体绝缘金属封闭组合电器(GIS)置于变电站二层，以便于架空线路的引入和引出，主变压器、并联电抗器、并联电容器放在一层，有利于设备运输和安装。按照此立体化设计实施后，变电站占地面积 11 094 m²，比同规模的变电站节省 57%。



图 4 我国第一座全户内 500 kV 变电站
Fig. 4 The First 500 kV Indoor Substation in China

为更大程度节约用地，城市中心的户内变电站

建设往往采用联合建筑,不仅节约城市的占地面积,而且有利于建设造型美观新颖的建筑物,并与周边环境融为一体。例如北京前门 110 kV 变电站与办公楼一体化建设,深圳 220 kV 新洲变电站与高 120 m 的深圳市供电信息中心楼结合成为一座联合体建筑,上海 220 kV 复兴变电站与高层住宅楼合建。

国外的城市户内变电站建设也比较普遍,如日本、新加坡等。新加坡 400 kV、275 kV、66 kV 变电站均采用户内布置型式,与新加坡花园城市建设相适应,各电压等级配电装置采用多层布置在一幢综合楼中,有的变电站还与其他建筑构成联合建筑。图 5 所示的 275 kV 变电站就是与 66 kV 变电站、22 kV 配电站相结合建设的。



图 5 新加坡 275 kV 变电站

Fig. 5 275 kV Indoor Substation in Singapore

2 户内变电站设计的基本原则

为了达到安全可靠、先进适用、经济合理、节能环保的要求,户内变电站的设计应坚持“可持续发展”的理念,综合考虑“每个设备选择的合理性、每个布置尺寸的合理性、每项优化和改进的合理性、每个问题解决方案的合理性”^[6],做到设备户内化、小型化、智能化,布置空间化,建筑绿色化、协调型,以期建设“资源节约型、环境友好型”变电站工程。

在开展户内变电站设计时,一般按照如下原则进行:

1) 户内变电站设计必须坚持节约集约用地的原则。

城市土地资源极其宝贵,节约集约用地是变电站设计的重中之重。户内变电站的设计应依据电网结构、变电站性质等要求,设备应注重小型化、无

油化、自动化、免维护或少维护,尽量压缩建筑体量,兼顾面积和体积,变电站可独立建设,也可结合其它工业或民用建(构)筑物共同建设,以节约建设用地并控制工程造价。

影响户内变电站占地面积的因素很多,如电气主接线形式、设备选型、变电站站址选择、总平面布置、与其它建筑联合设计等。总结以往的建设经验,当一个变电站单独建设时,其建筑容积率也仅为 1.0 左右,但是,与其它建筑联合设计时可大大提高。国家电网公司 110 kV 变电站典型设计^[6]方案 B 均为户内独立建设的变电站 5 个推荐方案(见表 1),虽然对户内变电站各方案进行了优化工作,但建筑容积率仅为 1.0 左右。图 6 为 90 年代建设的 110 kV 户内变电站与办公楼合建的典型案例,其建筑容积率达到 2.0,大大提高了土地的使用价值。

表 1 国网 110 kV 变电站典型设计推荐方案的主要指标

Table 1 Recommended Design Parameters of 110 kV Indoor Substation from State Grid Co., Ltd.

110 kV 变电站 设计方案	围墙内占地面积 /hm ²	总建筑面积 /m ²
B-1	0.16	665
B-2	0.20	1 271
B-3	0.23	2 126
B-4	0.24	2 580
B-5	0.27	2 811



图 6 90 年代建设的 110 kV 户内变电站的联合建筑

Fig. 6 110 kV Indoor Substation Combined Building in 1990s

2) 户内变电站设计与当地区域总体规划和城镇规划相协调。

户内变电站一般建设在城市繁华区域内,其设计必须与城市规划和地上建筑总体规划紧密结合、统筹兼顾,充分考虑与周围环境的协调,达到实用性与艺术性的统一。户内变电站作为工业建筑,其

建筑设计应根据特定的环境，充分发挥想象力和创造力，综合考虑工程规模、变电站总体布置、建筑通风、消防、设备运输以及环境保护等因素，将变电站的工艺特点、空间要求和形象特征与环境相结合，运用色彩、材料等建筑元素，使变电站与环境达到完美统一。

户内变电站设计与当地区域总体规划、城镇发展相协调，应做到如下几个方面^[7]：

第一，站址选择上应与城市市政规划部门紧密协调，统一规划地上建(构)筑物、地面道路、地下管线、电缆通道等，以便于变电站设备运输和电缆线路的引入与引出等。城区变电站站址和线路通道的选择除了考虑与城市发展规划相衔接和当地负荷增长相适应外，还充分考虑周边的人居环境因素、环境影响报告、项目评审手续等。

第二，户内变电站的总布置应力求布局紧凑，在满足工艺要求的前提下，兼顾设备运输、通风、消防、安装检修、运行维护及人员疏散等因素综合确定。站区建筑高度的限值应满足所在区域城市规划的规定和要求。站区室外地坪高程应按城市规划控制标高设计，宜高出邻近城市道路路面标高。当变电站由多幢建筑组成时，不仅要考虑各单体建筑的功能空间的布置，还要处理好它们之间的相对位置、体量和形态的关系对城市街景产生的影响。当变电站与其它建(构)筑物合建时，还应充分利用其建(构)筑物进行统筹设计。

第三，立面设计是建筑的空间、体量、比例关系的外在表现。分析户内变电站建筑的功能要求、周边的环境特性、城市的文脉等，找到恰当的表达方式，将相互矛盾的各个方面统一在一起，以取得与周围特定环境的平衡，并尽量体现出符合变电站使用性质的稳健理性的美感^[8]。譬如，北京某220 kV变电站采用灰白色相间的建筑风格，体现了北京的城市灰色基调，增加了白色，体现了城市的活泼性，和北京规划取得协调。

第四，注重环境的综合设计。变电站的通风口等体量较小的构筑物，运用园林小品的设计手法，或通过材料、色彩的选用，使其后退到城市环境之后，成为城市背景的一部分。户内变电站站区的场地绿化应按城市规划要求进行，合理选择绿化树种以免影响变电站的安全运行。

3)结合工程特点，采用新技术、新设备、新材

料、新工艺，促进技术创新。

在满足电网规划和可靠性要求的条件下，城市户内变电站宜减少电压等级和简化接线，采用桥形、单母线、单母线分段等简单接线型式。户内变电站宜采用低损耗、低噪声、自冷电力变压器，主变压器与散热器宜采用分体布置型式。户内变电站的高压配电装置宜选用小型化、免维护和智能型设备。户内变电站计算机监控系统应采用分层、分布、开放式结构。

城市户内变电站的平断面设计宜采用“空间化”的布置理念，有效衔接与各级电压等级进出线的联系；各层平面的各个房间宜按功能划分分区布置。主变压器等较重的电气设备、10 kV~35 kV配电装置电缆出线较多宜布置在一层。

4)户内变电站设计符合消防、节能、环境保护的要求。

户内变电站消防设计是在设计中满足建筑防火的各项规定，遵守防火间距和防火分隔，“预防为主”，一旦发生火情，应有效控制，及时灭火，以防火情蔓延而危及变电站其他部分和周边建筑。第一，当单台油浸变压器容量为125 MVA及以上时应设置固定灭火系统。固定灭火系统可采用水喷雾、细水雾或气体等灭火系统。第二，户内变电站应设置火灾自动报警系统，并应具有火灾信号远传功能。火灾探测报警装置应与固定灭火系统及通风设备联动。第三，户内变电站与其它建筑联合建设时，应采用防火分区隔离措施。户内变电站中电缆隧道入口处、电缆竖井的出入口处、电缆头连接处、二次设备室与电缆夹层之间，均应采取防止电缆火灾蔓延的阻燃或分隔措施。

为推动我国绿色工业建筑的发展，住房与城乡建设部下发“关于印发《绿色工业建筑评价导则》的通知”(建科[2010]131号)^[9]，包括“可持续发展的建设场地”、“节能与能源利用”、“节水与水资源利用”、“节材与材料资源利用”、“室外环境与污染物控制”、“室内环境与职业健康”、“运营管理”共七类指标。因此，在设计阶段，要开展设计技术优化，最大限度地节约资源(节能、节地、节水、节材)，保护环境和减少污染，建设绿色建筑，采用低噪声、低耗能的绿色设备和模块化、预制式设计新技术。户内变电站宜选用电磁环境影响小的低噪声电气设备。可利用建筑物、绿化物等站内设

施减弱噪声对环境的影响,也可采取隔声、吸声、消声等噪声控制措施。对运行时产生振动的电气设备和大型通风设备宜设置减振技术措施。

3 结论

鉴于国内城市户内变电站大量的建设,根据国家能源局要求,北京电力经济技术研究院主编、上海电力设计院有限公司和广东省电力设计研究院参编制订了《35 kV~110 kV 户内变电站设计规程》(DL/T 5495—2015)、《220 kV~500 kV 户内变电站设计规程》(DL/T 5496—2015),总结了国内户内变电站的设计经验,并借鉴国外的实践,提出了建设户内变电站在站址选择、站区布置、电气接线、土建设计、节能与环境保护等方面的技术特点及发展趋势。

城市户内变电站在设备户内化的基础上,采用户内小型化、组合型设备,立体化布置设计,进出线采用地下电缆,做到智能化、空间化、绿色化、协调型,解决了城市节地与环境协调问题,减少了输变电设施对城市土地的占用,提高了土地资源利用率,必将在城市的建设和发展中发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] DL/T 5495—2015, 35 kV~110 kV 户内变电站设计规程[S].
- [2] DL/T 5496—2015, 220 kV~500 kV 户内变电站设计规程[S].
- [3] 刘振亚. 国家电网公司输变电典型设计—220 kV 变电站分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [4] XIA Quan, ZHANG Anlin. Review on the Construction of Underground Substation in China [C]. The 5th International Conference on Power Transmission and Distribution Technology, Beijing, 2005: 892-896.
- [5] XIA Quan. New Practice of Beijing Transmission & Substation Design [C]. The 6th International Conference on Power Transmission and Distribution Technology, Guangzhou, 2007.
- [6] 刘振亚. 国家电网公司输变电典型设计—110 kV 变电站分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [7] 夏泉, 李树恩. 《35~220 kV 地下变电站设计规定》主要技术特点[J]. 电气应用, 2009, 28(29): 34-37.
- [8] 蓝毓俊. 现代城市电网规划设计与建设改造[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [9] 住房与城乡建设部. 关于印发《绿色工业建筑评价导则》的通知[L]. 建科[2010]131号.

(责任编辑 林希平)

(下接第 130 页 Continued from Page 130)

- [3] 胡兰还, 杨宝林. 锅炉炉底部加热系统改造[J]. 河北电力技术, 2004, 23(2): 16-18.
HU LanHuan, YANG Baolin. Modification of Adjacent Boiler Bottom Heating System [J]. Hebei Electric Power, 2004, 23(2): 16-18.
- [4] 韩志成, 陈丽, 杨凯. 锅炉底部加热系统改造与应用[J]. 电力建设, 2009, 30(6): 32-18.
HAN Zhicheng, CHEN Li, YANG Kai. Modification and Execution of Boiler Bottom Heating System [J]. Electric Power Construction, 2009, 30(6): 32-18.
- [5] 夏静. 600 MW 超临界机组邻机加热启动技术[J]. 电力安全技术, 2014, 16(7): 15-17.
XIA Jing. Adjacent Boiler Heating System of 600 MW Supercritical Unit [J]. Electric Power Safe Technology, 2014, 16(7): 15-17.
- [6] 焦体华. 邻机蒸汽加热系统在 1 000 MW 锅炉应用的可行性[J]. 城市建设理论研究, 2012, 10(29): 100-102.
JIAO Tihua. Feasibility Study of Adjacent Boiler Heating System on 1 000 MW Type Bolier [J]. Urban Construction Theory Research, 2012, 10(29): 100-102.
- [7] 郝云冯, 廖晶杰. 邻机加热系统改造[J]. 热电技术, 2014,

9(1): 36-38.

- HAO Yunfeng, LIAO Jingjie. Modification of Adjacent Boiler Heating System [J]. Heat and Electric Power Technology, 2014, 9(1): 36-38.
- [8] 郑文广, 司顺勇, 朱良松, 等. 1 000 MW 机组启停节油技术研究[J]. 中国电力, 2014, 47(4): 38-42.
ZHENG Wenguang, SI Shun Yong, ZHU Liangsong, et al. Investigation of Saving Oil Measure of 1 000 MW Units' Start up [J]. Electric Power, 2014, 47(4): 38-42.
- [9] 邢希东, 马成伟, 吴宝忠. 大容量火电机组启停过程中节能措施[J]. 热电技术, 2011, 13(1): 21-25.
XING Xidong, MA Chengwei, WU Baozhong. Saving Energy Measurers in the Process of Large Capacity Thermal Power Units [J]. Heat and Electric Power Technology, 2011, 13(1): 21-25.
- [10] 冯伟忠. 外高桥三期工程 1 000 MW 超超临界机组调试期的节能减排与技术创新[J]. 华东电力, 2008, 36(6): 1-5.
FENG Weizhong. Technical Innovation of Energy-Saving and Emission-Reducing during Debugging of 1 000 MW Ultra-supercritical Units of Waigaoqiao III-stage Engineering Project [J]. East China Electric Power, 2008, 36(6): 1-5.

(责任编辑 郑文棠)