

DIXIA BIANDIANZHAN
SHEJI JISHU

地下变电站设计技术

夏泉 主编



 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIXIA BIANDIANZHAN
SHEJI JISHU

地下变电站设计技术

夏 泉 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是总结地下变电站多年工程实践经验,介绍地下变电站设计、建设和运行技术的图书,主要内容包括站址选择与站区布置,电气主接线和电气布置,电气设施,继电保护与控制,建筑与结构,建筑设备以及工程设计实践等。全书突出技术实用性和可操作性,是作者多年工作经验的积累和凝炼,书中对国内外地下变电站建设现状进行介绍,表述了地下变电站的技术特点,展望了未来的发展趋势,具有很强的针对性和实践指导意义。

本书可供从事地下变电站规划设计、建设运行及相关工作的人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

地下变电站设计技术 / 夏泉主编. —北京: 中国电力出版社, 2019.1

ISBN 978-7-5198-2508-9

I. ①地… II. ①夏… III. ①变电所—地下建筑物—建筑设计 IV. ①TU923

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第236222号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 吴 冰(010-63412356)

责任校对: 黄 蓓 闫秀英

装帧设计: 左 铭

责任印制: 石 雷

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2019年1月第一版

印 次: 2019年1月北京第一次印刷

开 本: 787毫米×1092毫米 16开本

印 张: 15.75 插页8

字 数: 409千字

定 价: 90.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换

编写组

主编 夏 泉

成 员 孙国庆 杨然静 郭庆宇 吴培红

谢 冬 高 蓉 郭治锋 王 骥

杨秀兰 李 潇

序

党的十九大报告明确提出生态文明是中华民族永续发展的千年大计，形成绿色生活方式和生活方式，坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路，建设美丽中国，为人民创造良好生产生活环境。随着城市现代化的发展和人们环保意识的不断增强，城市规划和城市面貌越来越受到重视。城市电网作为城市重要的公共服务性基础设施，供电状况直接关系到整个城市的形象，因此，合理布局电力基础设施，打造坚强可靠的城市电网，是构建城市生态文明建设的重要内容。

北京是我国的政治中心、文化中心、国际交往中心、科技创新中心。作为国际性的大都市，北京电力负荷总量大，密度高，变电站布点多，而城市中心区“寸土寸金”的土地资源难以为建造变电站提供宽敞的空间。《北京城市总体规划》（2016~2035年）中坚持先地下后地上、地上地下相协调的原则，鼓励变电站向地下发展。国家电网公司“两型一化”变电站设计建设导则中也提出了“环境友好型”的技术要求。而地下变电站可与体育场馆、绿地公园和非居建筑相结合，既能为人居环境腾出更多的地面空间，又易于与城市环境相协调，使得变电站建设的内在“素质”与现代化城市相匹配，有利于构建和谐社会，实现人与自然的和谐共生。

国网北京市电力公司是国家电网公司的子公司，前身是1905年创建的京师华商电灯股份有限公司。作为首都电力最大的公用事业单位，负责北京地区1.64万平方千米范围内的电网规划建设、运行管理、电力销售和供电服务工作，先后圆满完成了第29届北京奥运会、新中国成立60周年庆典、APEC供电保障、抗战胜利70周年纪念等重大活动电力保障任务。至2017年底，北京电网运行的110kV及以上变电站508座，其中，地下变电站65座，数量在国内居于首位，在北京城市建设中发挥了重要作用。在习近平新时代中国特色社会主义思想的引领下，国网北京市电力公司将北京市新总规为遵循，以首都核心区、城市副中心、新机场、冬奥会等重点项目为带动，努力将首都电网建设成为安全、可靠、优质、绿色、智能的国际一流现代化城市电网。

北京电力经济技术研究院有限公司服务于北京电网建设60多年，在地下变电站的设计研究领域有着40多年的历史，参加《地下变电站设计技术》编写的作者都是亲历了地下变电站工程实践的工程技术人员，他们对地下变电站的经验和研究成果进行了总结，理论结合实际，阐述了地下变电站在规划设计方面的原则和要点，内容涵盖站址选

择与布置、电气设计、建筑结构、暖通空调、给水排水、消防设施等方面，同时也介绍了大量的地下变电站典型工程案例，为电力行业的从业人员提供了很好的参考和借鉴。本书的出版将对我国提高城市地下变电站的设计和建设水平，促进电网发展和城市现代化建设进程发挥有益的作用。

李同智

2018年5月2日

前言

目前,我国已进入全面建成小康社会的决定性阶段,正处于经济转型升级、加快推进新时代中国特色社会主义现代化强国建设的重要时期。中国共产党第十九次代表大会提出:“我们要建设的现代化是人与自然和谐共生的现代化,既要创造更多物质财富和精神财富以满足人民日益增长的美好生活需要,也要提供更多优质生态产品以满足人民日益增长的优美生态环境需要。必须坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式,还自然以宁静、和谐、美丽。”生态文明建设功在当代、利在千秋。随着资源环境瓶颈制约日益加剧,主要依靠土地等资源粗放消耗推动社会发展的模式不可持续。

城市土地资源十分宝贵,在城市中心区域,利用地下空间建设地下变电站以提高土地利用效率,同时又能够较好地改善城市景观,使变电站与城市环境相协调,为此,国内外几个国际大都市已经建成一定数量的500kV及以下电压等级地下变电站。这些工程实践为地下变电站的规划、建设及运行积累了较为丰富的经验。鉴于国内外城市地下变电站大量的建设,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参编在2005版DL/T 5216规程的基础上,修订出版了DL/T 5216—2018《35kV~220kV城市地下变电站设计规程》。总结了国内地下变电站的设计经验,并借鉴国外的实践,提出了建设在城市的地下变电站在站址选择、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。

本书正是针对当前中国能源形势和城市变电站建设的长期快速发展,在新颁布电力行业规程DL/T 5216—2018《35kV~220kV城市地下变电站设计规程》的基础上,总结了国内外地下变电站的设计经验和建设实践,城市地下变电站在设备户内化、地下化的基础上,采用小型化、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,一体化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。本书涉及了城市地下变电站应用现状、站址选择、站区布置、电气设计、继电保护、辅助控制、建筑结构、暖通空调、给水排水、消防设施等各个方面,并给出了220kV、110kV地下变电站设计实例,尽可能以详尽的表述展示地下变电站的技术特点及发展趋势,供读者参考借鉴,希望对读者有所帮助,并对促进我国电网发展和城市现代化建设进程发挥积极的作用。

全书共八章,全面总结了国内外地下变电站的设计经验和建设实践,提出了建设在

城市的地下变电站在站址选择、站区布置、电气接线、平面布置、土建设计、基坑支护、通风消防等方面的技术特点及发展趋势。第一章描述了地下变电站的定义、建设类型、国内外城市地下变电站建设现状和基本要求；第二章综合分析城市地下变电站站址选择考虑的因素，站区的优化布置，厂房的火灾危险性分类及其耐火等级、防火间距，与站外电缆通道的连接以及大型设备运输与吊装等，列举了融入城市环境的典型实例；第三章描述了适用于地下变电站的国内外电气主接线，电气布置基本设计原则、电气设备房间布置、各层平断面布置，三维数字化设计技术；第四章介绍适用于地下变电站的主变压器、高压配电装置、接地系统、站用电系统等电气设施；第五章阐述地下变电站各类继电保护、安全自动控制装置的配置及优化接线，计算机监控系统构成，视频监控、环境监测与控制、SF₆及含氧量监测、火灾自动报警及主变消防等分布式辅助控制系统，以及智能辅助监控系统的新技术，控制电缆、光缆的选择、“即插即用”及可视化敷设等；第六章包括建筑设计基本原则、设计要点、建筑装修、建筑防火及工程实例，结构设计可靠性、地下建筑的结构设计，建筑防水，地下结构逆作法，基坑支护结构设计方法、结构选型及设计，地下水控制等；第七章内容包括采暖与空气调节，通风系统及工程实例，防、排烟系统，地下变电站噪声特性、消声、吸声技术，噪声仿真计算，给排水设计，主变压器灭火方式及工程实例等；第八章列举了国内外 500kV 地下变电站、220kV 地下变电站和 110kV 地下变电站及 110kV 半地下变电站设计实例。

本书第一、八章由夏泉编写；第二章第一、三节由夏泉编写，第二节由夏泉、李潇编写；第三章第一节由夏泉编写，第二节由孙国庆、夏泉编写，第三节由郭治锋编写；第四章第一节由夏泉编写，第二、三、四节由孙国庆编写；第五章第一、二节由杨然静编写，第三节由杨秀兰编写；第六章第一节由高蓉编写，第二节由吴培红、郭庆宇编写，第三节由郭庆宇编写；第七章第一、二节由谢冬编写，第三节由王骥编写。全书由夏泉担任主编和审查工作。

本书在编写过程中得到了许多同志的帮助，参考了很多资料和文献，在此一并表示感谢！

本书作者把写好本书视为重要的社会责任，但由于作者水平所限，错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正！

编者

2018年4月于北京电力经济技术研究院有限公司

目 录

序
前言

>>第一章	国内外地下变电站建设现状及基本要求	1
第一节	地下变电站的定义及建设类型	2
第二节	国内外地下变电站建设现状	7
第三节	地下变电站设计的基本要求	14
>>第二章	站址选择与站区布置	17
第一节	站址选择	17
第二节	站区布置	22
第三节	设备运输与吊装	33
>>第三章	电气主接线及电气布置	38
第一节	电气主接线	38
第二节	电气布置	47
第三节	三维数字化设计	58
>>第四章	电气设施	71
第一节	主变压器	71
第二节	高压配电装置	85
第三节	站用电系统	99
第四节	接地系统	104
>>第五章	继电保护与控制	112
第一节	继电保护及安全自动装置	112
第二节	监控系统	120
第三节	控制电缆与光缆	132

>>第六章	建筑与结构	144
第一节	建筑设计	144
第二节	结构设计	158
第三节	基坑支护	172
>>第七章	建筑设备	189
第一节	采暖通风与空气调节	189
第二节	噪声控制技术	196
第三节	给排水与消防灭火系统	212
>>第八章	工程设计实践	222
第一节	110kV 半地下变电站设计实例	222
第二节	110kV 全地下变电站设计实例	228
第三节	220kV 地下变电站设计实例	232
第四节	500kV 地下变电站设计实例	236
>>参考文献		241

国内外地下变电站建设现状及基本要求

城市供电设施主要包括城市的架空线路、电缆线路、变电站、配电站及通信设施等。在城市规划和建设中，城市供电设施的建设是重要的组成部分。为满足城市建设和城市电网规划设计的要求，并与市容环境相协调，城市供电设施的发展方向应是占地少、小型化、阻燃或不燃、自动化、标准化、环境融合等。变电站是电力网中的线路连接点，用以变换电压、交换功率和汇集分配电能的设施。变电站对于电力系统的电网安全、供电可靠性和电能质量起着重要的作用，根据变电站电气设备布置型式，一般可划分为户外变电站、户内变电站和地下变电站。

随着我国经济的发展和城市建设进程的加快，城市对电力建设的依存度越来越高，主要带来两个方面的问题：一是随着城镇化建设步伐的加快和人民生活水平不断提高，电力需求持续增长，电力负荷不断提高，用电负荷更加密集。例如，北京和上海电力需求均保持较高的增长速度，在 2004 年，北京电网、上海电网最高用电负荷分别达到 939.7 万 kW 和 1500.6 万 kW。在 2016 年，北京电网、上海电网最高用电负荷均多次被刷新，分别达到 2082.8 万 kW 和 3119.6 万 kW。这就需要建设更多深入城市市区的变电站以满足不断增长的负荷需求，而这些变电站需要占用大量的城市土地资源。二是城市市区土地资源极为宝贵，景观要求和工程建设环境要求严格，在稠密的城市市区选择变电站站址越来越困难。即使能够征得变电站建设用地，占地面积也比较小，而且土地昂贵，征地拆迁费用高，致使设计建设难度大、要求高。而城市户内变电站和地下变电站的建设将较好地解决这些矛盾，不仅能与大型建筑物相结合建设，对城市环境影响较小，而且能综合利用土地资源，特别是地下变电站选址上更具有特殊的优势。

目前，国内外地下变电站建设成功案例很多，500kV 及以下电压等级已建成一定数量的地下变电站，主要分布在为数不多的几个国际大都市，如北京、上海、日本东京和欧洲部分大都市等。国内外各地区根据所在地区实际电力需求和电网发展情况，地下变电站在建设规模和建设形式上有所不同，但最终的发展建设都是向与周边环境相协调、提高土地利用效率的方向发展。然而，地下变电站由于工程造价高，运行、设备检修维护相对不便，制约了地下变电站的建设和发展。因此，地下变电站是在城市电力负荷集中但户内变电站建设受到限制的地区进行建设的，必须经过充分的技术经济论证，达成

各方共识，以取得较好的社会效益、经济效益和环境效益。随着我国城镇化的不断推进，城市建设规模不断扩大和发展，地下变电站由于具有综合利用土地资源等特殊建设优势和特点将发挥更大的作用，其建设数量将愈来愈多，建设应用区域亦将越来越广。

第一节 地下变电站的定义及建设类型

变电站 (substation) 顾名思义，就是指改变电压的场所。变电站是电力系统中对电能的电压和电流进行变换、集中和分配的场所。为保证电能的质量以及设备的安全，在变电站中还需要进行电压调整、电流控制以及输配电线路和主要电工设备的保护。在 GB 50053—1994《10kV 及以下变电所设计规范》里面规定的术语定义是“10kV 及以下交流电源经电力变压器变压后对用电设备供电”，符合这个原理的就是变电所。这一定义虽然指的是 10kV 电压等级，但对其他电压等级也同样适用。变电站按照作用分类有：升压变电所、降压变电所或者枢纽变电所、终端变电所等；按照管理形式分类有：有人值班的变电所、无人值班的变电所；按照结构形式室内外分有：户外变电所、户内变电所、地下变电所。

在 DL/T 5216—2017《35kV—220kV 城市地下变电站设计规程》行业标准出台之前，没有查阅到地下变电站的定义。因此，DL/T 5216—2005《35kV—220kV 城市地下变电站设计规定》给出了规定：

地下变电站包括全地下变电站和半地下变电站。

全地下变电站是指变电站主建筑建于地下，主变压器及全部电气设备均装设于地下主建筑内，地上只建有变电站通风口和设备及人员出入口等少量建筑（建筑也可与地上其他建筑结合建设）以及引上至地面的大型主变压器的冷却设备和主控制室等。例如上海的人民广场 220kV 变电站、北京的王府井和朝阳门 220kV 变电站即属此类型。

半地下变电站是指变电站以地下建筑为主，部分建筑在地上，主变压器及其他电气设备分别置于地上或地下建筑内。例如北京的西大望 220 kV 变电站即属此类型。

国家电网公司编制企业标准时，重新考虑了相关影响因素，进行了更为精准的界定，在 Q/GDW 1783—2013《城市地下变电站设计技术规范》中，对地下变电站的定义进行了调整。

地下变电站：全部或部分主要电气设备装设于地下建筑内的变电站。地下变电站包括全地下变电站和半地下变电站，其建筑可独立建设，也可与其他建（构）筑物结合建设。

全地下变电站：变电站主建筑物建于地下，主变压器及其他主要电气设备均装设于地下建筑内，地上只建有变电站通风口和设备、人员出入口等少量建筑，以及有可能布置在地上的大型主变压器的冷却设备和主控制室等。

半地下变电站：变电站以地下建筑为主，主变压器和高压电气设备部分装设于地上或地下建筑内。

这一定义界定清楚了地下变电站主要电气设备针对主变压器和高压电气设备，如果变电站主变压器和高压电气设备在地上，其他电气设备位于地下的，不属于地下变电站范畴。例如，某变电站的无功补偿设备或/和中低压开关设备安装在地下一层，主变压器和高压电气设备均布置在地上，则该变电站不是地下变电站。

2016年，修订 DL/T 5216—2017《35kV—220kV 城市地下变电站设计规定》时，借鉴了国家电网公司企业标准的定义，但对半地下变电站给出了更为清晰的定义。具体为：

地下变电站：全部或部分主要电气设备装设于地下建筑内的变电站。

地下变电站包括全地下变电站和半地下变电站，其建筑可独立建设，也可与其他建（构）筑物结合建设。

全地下变电站：变电站主建筑物建于地下，主变压器及其他主要电气设备均装设于地下建筑内，地上只建有变电站通风口和设备、人员出入口等少量建筑，以及可能布置在上的大型主变压器的冷却设备和主控制室等。

半地下变电站：变电站主变压器和高压电气设备其中之一装设于地下建筑内。

一般地，根据与地下变电站建设相关联的土地性质或联合建筑的关系，进行建设类型划分。综合分析国内已建成投运的地下变电站的空间及平面布置情况，将地下变电站划分为五种类型：一是利用主建筑物一侧地上部分的建筑面积及其关联的地下空间，如图 1-1①所示；二是变电站全部置于建筑物地下空间内，如图 1-1②所示；三是一部分利用建筑物地下空间，另一部分利用建筑物外的绿地或广场，如图 1-1③所示；四是变电站全部放置在绿地或公园下，如图 1-1④所示；五是主变压器置于地上，包含高压电气设备的其他设备置于地下，如图 1-1⑤所示。

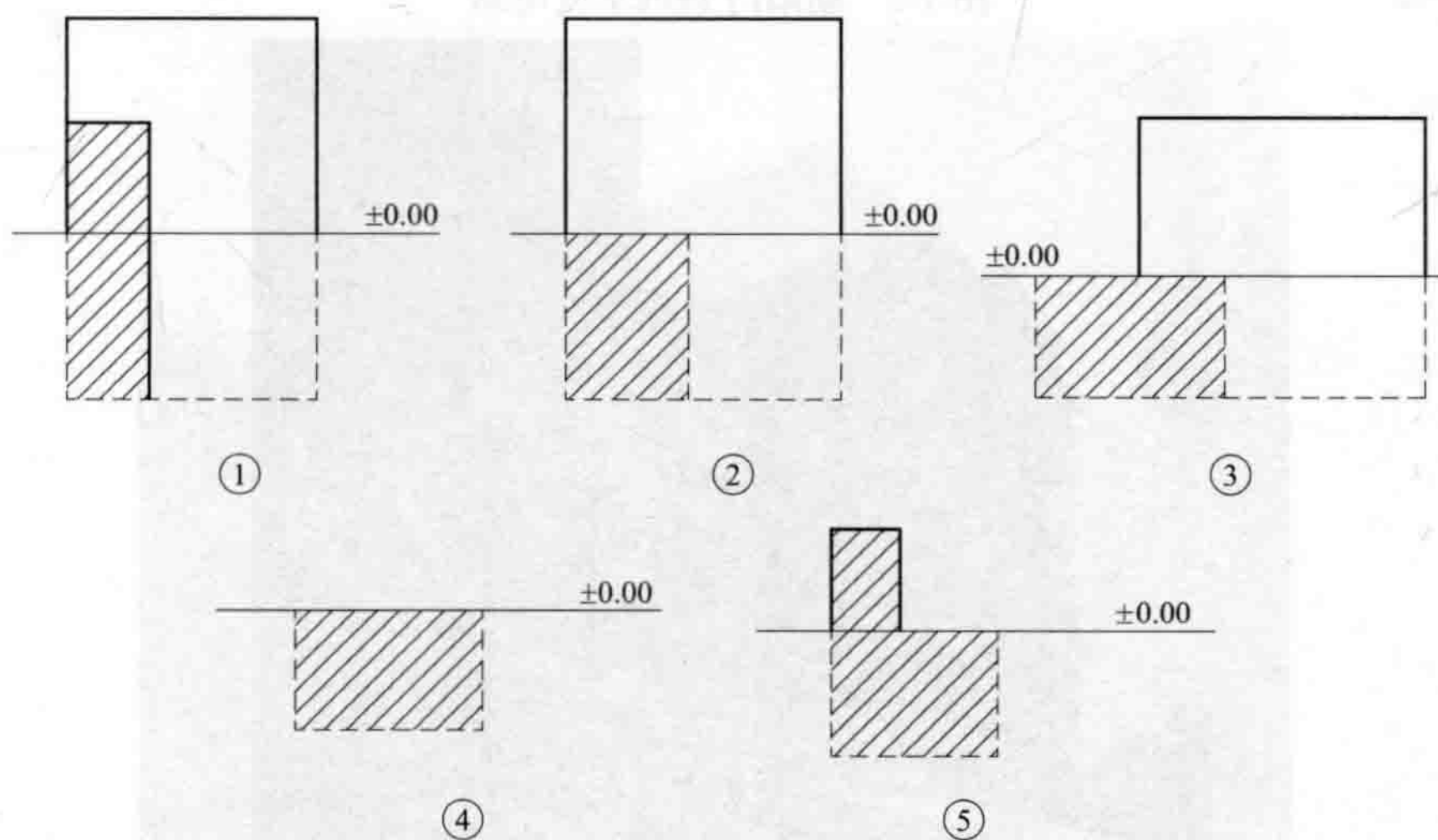


图 1-1 地下变电站与相邻建（构）筑物的关系

注：阴影部分为地下变电站建（构）筑物。

在已投运的地下变电站工程实践中,各种类型都有实际建设案例。属于第一种类型的有朝阳门 220kV 变电站(如图 1-2 所示)、新东安 110kV 变电站等;属于第二种类型的有西单 110kV 变电站、白家庄 110kV 变电站等;属于第三种类型的有复兴门 110kV 变电站(如图 1-3 所示)、广安门 110kV 变电站等;属于第四种类型的有静安 500kV 变电站(如图 1-4 所示)、人民广场 220kV 变电站、王府井 220kV 变电站、慈云寺 110kV 变电站等;属于第五种类型的有西大望 220kV 变电站、成寿寺 110kV 变电站(如图 1-5 所示)和兴隆 110kV 变电站(如图 1-6 所示)等。

从地下变电站建设外形来看,一般有圆形、矩形、不规则地形等,但圆形相对较少,上海静安 500kV 变电站、东京新丰洲 500kV 变电站、人民广场 220kV 变电站(如图 1-7 所示)等为圆形,大部分独立建设的工程为矩形,如地安门 220kV 变电站、慈云寺 110kV 变电站、北太平庄 110kV 变电站等,但由于变电站选址的多样性,与其他建筑结合建设和城市用地限制,不规则地形也占相当的比重,如王府井 220kV 变电站(如图 1-8 所示)、复兴门 110kV 变电站(如图 1-3 所示)等。



图 1-2 朝阳门 220kV 变电站



图 1-3 复兴门 110kV 变电站



图 1-4 静安 500kV 变电站



图 1-5 成寿寺 110kV 变电站



图 1-6 兴隆 110kV 半地下变电站



图 1-7 人民广场 220kV 变电站



图 1-8 王府井 220kV 变电站

经过近些年的实践，地下变电站的分类逐步清晰，按照规程 DL/T 5216—2017《35kV—220kV 城市地下变电站设计规程》的分类方式已经可以概括，即将地下变电站分为两类：半地下变电站（如图 1-9 所示）和全地下变电站（如图 1-10 所示）。每类地下变电站有两种型式，一种是独立建设的地下变电站，另一种是与非居建筑合建的地下变电站。

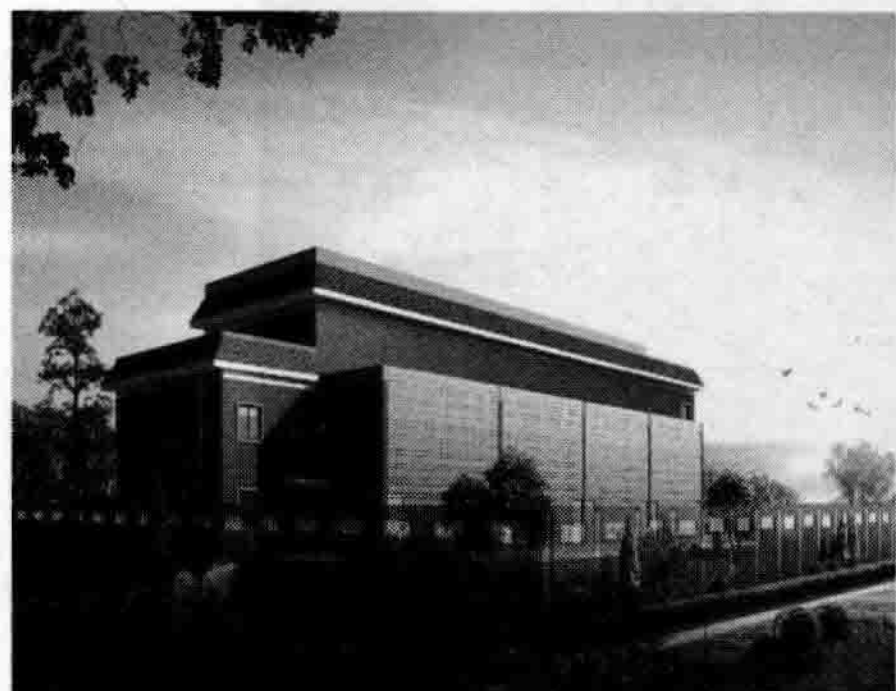


图 1-9 半地下 110kV 变电站实例



图 1-10 全地下 110kV 变电站实例

第二节 国内外地下变电站建设现状

目前,在城市中心区域,利用地下空间建设地下变电站以提高土地利用效率,同时又能够较好地改善城市景观,使变电站与城市环境相协调,为此,国内外几个国际大都市已经建成一定数量的 500kV 及以下电压等级地下变电站,如北京、上海、日本东京和欧洲部分大都市等。这些工程实践为地下变电站的规划、建设及运行积累了较为丰富的经验。

一、国内地下变电站建设现状

我国的城市地下变电站建设^[1]较为缓慢,初期建设数量较少,近些年,110kV 及以下地下变电站建设有一定数量的增长。目前,国内地下变电站大部分集中在北京、上海等大城市。至 2015 年 12 月底,国内已投运地下变电站 500kV 1 座、220kV 17 座、110kV (66kV) 104 座,其建设数量统计如表 1-1 所示。

表 1-1 截至 2015 年年底的地下变电站数量统计表

地区	500kV 变电站		220kV 变电站		110kV (66kV) 变电站		合计
	全地下	半地下	全地下	半地下	全地下	半地下	
北京市			7	1	33	19	60
上海市	1		5	2	26	6	40
重庆市					1		1
广东省				2	5	2	9
山东省					3		3
辽宁省					2	1	3
湖南省					1		1
内蒙古					1		1
甘肃省					1		1
陕西省					2		2
福建省					1		1
小 计	1		12	5	76	28	122

北京 1969 年东城 35kV 战备用地下变电站建成投运,1989 年国贸 110kV 地下变电站投运,从 1996 年开始,复兴门、新东安、神路街、广安门、航华、西单、北京电视台等 110kV 地下变电站相继建成投运^[2]。1999 年位于王府井东方广场地下的王府井 220kV 变电站建成投运。此后,西大望 220kV 半地下变电站、朝阳门 220kV 全地下变电站相继建成投运。四十多年来,共建成地下变电站 60 座,其中 220kV 全地下变电站 7 座,半地下变电站 1 座;110kV 全地下变电站 33 座,半地下变电站 19 座。如图 1-11 所示的 220kV 地下变电站为开放式可参观变电站,如图 1-12 所示的全地下 220kV 变电站位于河边的绿地内。如图 1-13 所示的全地下 110kV 变电站位于建筑群内。