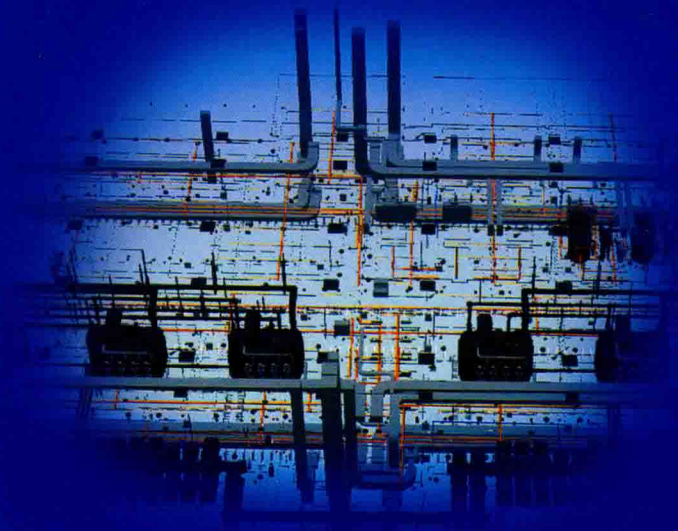


500kV地下输变电工程 数字化设计

500kV DIXIA SHUBIANDIAN
GONGCHENG SHUZHUIHUA SHEJI

国网上海市电力公司经济技术研究院 王固萍 祝瑞金 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

500kV 地下输变电工程 数字化设计

500kV DIXIA SHUBIANDIAN
GONGCHENG SHUZHUA SHEJI

国网上海市电力公司经济技术研究院 王固萍 祝瑞金 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以国网上海市电力公司 500kV 虹杨输变电工程为案例,详细介绍了超高压地下输变电工程建设过程。

本书共分为 6 章,第 1 章为超高压地下输变电工程概述,第 2 章为超高压地下输变电工程数字化设计实例概况,第 3 章为基于 IFC 标准的超高压地下输变电工程数字化设计,第 4 章为基于云端大数据和移动终端的超高压地下输变电工程设计,第 5 章为超高压地下输变电工程建设关键技术,第 6 章为 500kV 地下输变电工程总结。

本书可作为超高压地下输变电工程相关建设人员的参考资料,也可作为相关工程的研究资料。

图书在版编目(CIP)数据

500kV 地下输变电工程数字化设计/王固萍,祝瑞金主编. —北京:中国电力出版社,2017.10
ISBN 978-7-5198-1152-5

I. ①5… II. ①王… ②祝… III. ①数字技术—应用—地下工程—输电—电力工程—
工程设计②数字技术—应用—地下工程—变电所—电力工程—工程设计 IV. ①TM7-39
②TM63-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 225593 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:岳 璐(010-63412339) 安鸿

责任校对:朱丽芳

装帧设计:赵丽媛 左 铭

责任印制:邹树群

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司

版 次:2017 年 10 月第一版

印 次:2017 年 10 月北京第一次印刷

开 本:710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张:10.25

字 数:170 千字

印 数:0001—1000 册

定 价:58.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

编 委 会

主 编 王固萍 祝瑞金

副 主 编 李宾皑 陈超杰 朱琦锋

参编人员（按姓氏笔画排名）

马 黎	王建军	王晓锋	吕征宇	朱 涛
郭振武	杨 威	肖俊晔	何 仲	何真珍
忻渊中	张 勇	张雪梅	陆小龙	季彤天
季蓉平	周 亮	孟 毓	赵艳粉	金 仕
柏 扬	顾万里	徐 骏	曹 祯	蒋声婴



前言

近年来,随着城市开发建设的加快,使得城市建设用地日趋紧张。上海作为国际大都市,中心城区负荷密度急剧上升,使超高压变电站不得不向纵深发展。500kV 虹杨输变电工程就是一个面对新形势、适应大都市发展的工程。

输变电工程设计技术经历了图版制图、计算机制图和计算机辅助设计三个阶段。特别是近十年,以三维数字化设计技术为代表的新设计技术在输变电工程中不断得到应用,作为一项发展中的技术,需要根据目前应用情况进行系统的研究,有序推动和引导技术的发展。三维数字化设计技术是建模技术、信息技术、网络技术在设计领域的集成创新,其成果能够三维虚拟展示,并包含地理信息、设备属性信息、过程信息,具备关联性、溯源性等特征,是一次设计技术的革命。

在超高压地下输变电工程建设过程中,设计的重要性一直体现在工程实施的每一个角落,主要表现在变电站数字化设计和电力电缆隧道数字化设计。本书以国网上海市电力公司 500kV 虹杨输变电工程为例,在变电站数字化设计中,通过基于 IFC 的三维数字化平台研究,采用三维空间地理信息系统+建筑信息模型(3DGIS+BIM)信息融合和技术集成这一国际前沿技术,形成一套完善的电力基础设施三维可视化综合应用系统;在电力电缆隧道数字化设计中,基于云端大数据、移动终端的电力隧道全寿命管理平台的研发目标,实现对工程项目安全、进度、质量的信息化管理与协调,优化整体工程的资源配置,提高工程实施效果和管理效率。另外,超高压地下输变电工程的关键技术很多,重点对超高压地下输变电工程接地技术和超高压地下变电站防火技术进行研究,为 500kV 虹杨输变电工程高标准、高质量、高效率地完成提供了技术保证。

本书共分为 6 章,第 1 章概述了超高压地下输变电工程的意义、研究重点及其关键技术,第 2 章介绍了超高压地下输变电工程数字化设计实例,第 3 章介绍了基于 IFC 标准的超高压地下输变电工程数字化设计,第 4 章介绍了基于

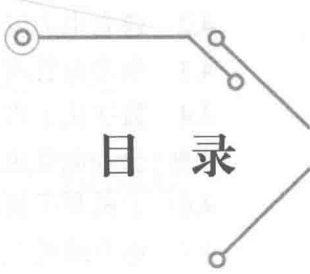
云端大数据和移动终端的超高压地下输变电工程设计，第5章介绍了超高压地下输变电工程建设关键技术，第6章总结了500kV地下输变电工程。

在本书编写过程中，500kV虹杨输变电工程参与单位提供了很多参考资料，在此表示感谢。

由于时间和水平有限，书中难免有疏漏与不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年7月

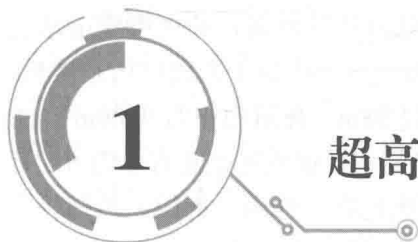


目 录

前言

▶▶ 1	超高压地下输变电工程概述	1
1.1	超高压地下输变电工程的建设意义	1
1.2	国内外超高压地下输变电工程建设实例	1
1.3	超高压地下输变电工程的研究重点及关键技术问题	3
▶▶ 2	超高压地下输变电工程数字化设计实例概况	5
2.1	工程必要性	5
2.2	工程概况	6
2.3	数字化设计必要性	9
▶▶ 3	基于 IFC 标准的超高压地下输变电工程数字化设计	11
3.1	设计背景	11
3.2	采用 IFC 标准和 BIM 技术的技术路线和技术难点	12
3.3	BIM 理论与 IFC 标准介绍	14
3.4	标准化数字平台的构架设计	19
3.5	大数据三维场景生成及渲染显示技术	21
3.6	三维 GIS 与 BIM 信息集成技术	27
3.7	基于 B/S 架构的网络平台实现	28
	本章小结	29
▶▶ 4	基于云端大数据和移动终端的超高压地下输变电工程设计	31
4.1	设计背景	31

4.2	建立电力隧道全寿命管理平台的技术内容与技术难点	31
4.3	全寿命管理平台架构研究	32
4.4	数字化工程管理系统功能模块的开发	49
4.5	全寿命健康监测系统功能模块的开发	51
4.6	手机和平板电脑终端应用软件开发	53
4.7	电力隧道全寿命管理平台的关键技术研究	56
4.8	全寿命管理平台产品研发与测试和应用	58
	本章小结	59
▶▶ 5	超高压地下输变电工程建设关键技术	60
5.1	超高压地下变电站防火技术研究	60
5.2	超高压地下输变电工程接地技术	110
▶▶ 6	500kV 地下输变电工程总结	149
▶▶	参考文献	151



超高压地下输变电工程概述

1.1 超高压地下输变电工程的建设意义

随着社会经济的迅速发展，各行各业对电力的需求都在不断增长，上海城市中心区用电负荷更加密集。为了保证城市中心区安全可靠的用电，妥善解决此类地区用地紧张、站址选择困难、土地昂贵、征地拆迁费用较高带来的建设问题，结合地区规划整体要求，为提高土地利用率、改善城市景观、优化城市环境，地下变电站应运而生。

超高压地下输变电工程建设可提高大型、特大型城市中心城区的受电能力，满足中心城区负荷增长的需要；将极大地改善该地区相对薄弱的电网结构，同时简化中心城区的电网结构；使得中心城区的终端变电站易于接受来自不同方向的电源供电，以适应地区负荷增长的需要，提高供电可靠性。因此，对超高压地下输变电工程建设的研究具有非常重要的意义。

本书以国网上海市电力公司的虹杨 500kV 输变电工程为例，对基于建筑对象的工业基础类（industry foundation class, IFC）数据模型标准的超高压地下输变电工程数字化设计、基于云端大数据和移动终端的超高压地下输变电工程设计、超高压地下变电站防火技术、超高压地下输变电工程接地技术 4 个方面进行研究，这 4 个方面问题的解决将为城市电力电缆隧道工程建设提供科学的理论依据和经验。

1.2 国内外超高压地下输变电工程建设实例

1. 国内超高压地下输变电工程建设实例

由于大型地下变电站的特殊性，一些大型城市已拥有 220kV 和 550kV 地下变电站。

（1）上海随着 20 世纪 80 年代末 220kV 变电站进市区的需要，在人民广场

建设了 220kV 地下变电站。人民广场地下变电站是举世瞩目的大型变电站之一，也是我国第一座超高压、大容量城市地下变电站，其位于人民广场东南角，为 5 层钢筋混凝土筒体结构，底深 18.6m，内径 58m，建筑面积为 9400m²，主要设备均安装于此。地面仅设 300m² 的中央控制室。该变电站总容量为 72 万 kVA，安装三台 24 万 kVA 变压器，主设备从奥地利、法国、德国、美国等引进，在技术上具有国内一流水平。该变电站通过接受 220kV 电网电力，向黄浦、卢湾、静安等区的 110kV 及 35kV 变电站提供电源。该变电站主要供电给上海地铁、南京路商业街、外滩金融街、市政府，各大报社、电台、电视台，以及部分国家驻沪领事馆等一大批重要用户。人民广场地下变电站总投资达 2.5 亿元，它的建成使上海市中心电网的运行质量得到了改善，同时也为我国在大城市建造地下变电站提供了有益的经验。

(2) 2010 年，上海结合静安区绿地（雕塑）公园建设 500kV 世博地下输变电工程，其立面图如图 1-1 所示。该 500kV 地下变电站位于上海市中心北京西路、成都北路、山海关路、大田路合围的区域内，其作为 500kV 地下输变电工程进入市中心，可以解决上海浦西内环线以内中心城区电力供应日益紧张的局面；满足 2010 年世博会的供电需要；改善中心城区电网结构；增加降压容量；优化中心城区供电模式；提高供电可靠性。

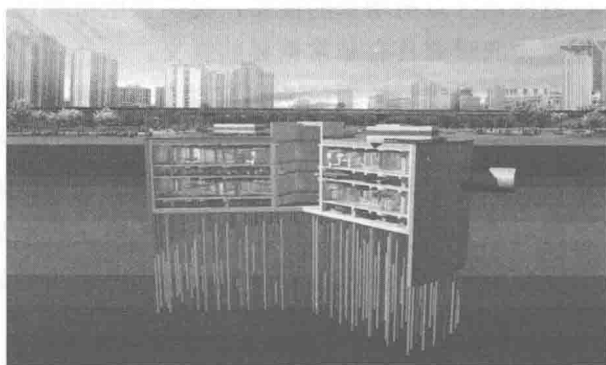


图 1-1 500kV 世博地下输变电工程立面图

2. 国外超高压地下输变电工程建设实例

随着特大型城市市中心电力负荷的进一步集中，对于更高电压等级的城市中心地下变电站也开始出现在一些特大型都市中。21 世纪初，日本已经拥有了一座 500kV 地下变电站——东京 500kV 新丰洲变电站。该变电站位于东京市区南部，占用原“新东京火力发电厂”场地，为地上 1 层、地下 4 层（局部隔为

5 层)钢筋混凝土筒体结构,中央控制室设于地面,底深 33.8 m(包括基础总深约 75m),内径 144 m,建筑面积约 4.5 万 m²。设计变电总容量(终期)为 648 万 kVA,共安装 500/275kV、50 万 kVA 变压器 3 台,275/66kV、30 万 kVA 变压器 6 台,66/22kV、6 万 kVA 变压器 3 台。主设备由东芝公司总承包。该变电站通过接受 500kV 电网电力,为东京市区东南部提供电力。该地下变电站于 1993 年开工建设,至 2001 年 5 月一期工程建成投运。

1.3 超高压地下输变电工程的研究重点及关键技术问题

1. 超高压地下输变电工程的研究重点

超高压地下输变电工程设计的重要性在工程建设的过程中均有体现,主要表现在变电站数字化设计和电力电缆隧道数字化设计两个方面。

(1) 在超高压地下输变电工程的变电站数字化设计中,通过基于 IFC 的三维数字化平台研究,采用三维空间地理信息系统+建筑信息模型(3D GIS+BIM)信息融合和技术集成这一国际前沿技术,基于 B/S 架构搭建建筑信息模型(building information modeling, BIM)应用网络环境,整合空间地理信息资源、电力基础设施 BIM 模型与属性数据资源,实现电力设施的展示、查询、检索、定位、安全管理等功能,形成一套完善的电力基础设施三维可视化综合应用系统。

(2) 在超高压地下输变电工程的电力电缆隧道数字化设计中,基于云端大数据、移动终端的电力隧道全寿命管理平台的研发目标,以解决工程项目在施工过程中,因工程施工工序复杂,参与建设单位众多,各种信息类型复杂、数据量大等导致的工程信息管理难度大、效率低,工程施工安全隐患大,运营难度大等问题,实现对工程项目安全、进度、质量的信息化管理与协调,优化整体工程的资源配置,提高工程管理效率,使工程实施效果良好。

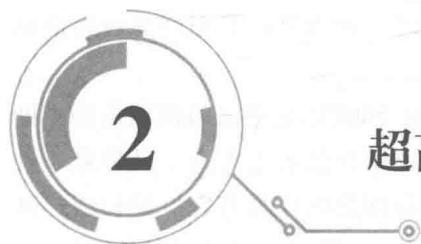
2. 超高压地下输变电工程的关键技术问题

超高压地下输变电工程关键技术的研究内容很多,在建设初期重点对超高压地下输变电工程接地技术和超高压地下变电站防火技术进行研究。

(1) 着眼于 500kV 地下变电站工程接地技术研究,首次全面研究分析了 500kV 地下变电站工程接地系统性能,给出了相关分析的基本流程、方式方法以及注意事项等内容。随后结合在建的虹杨 500kV 地下变电站工程,全面评价了该变电站 3D 复合接地系统的性能及其安全可靠性能,分析中采用了分块土壤

结构模型；基于变电站进出线全部是电力电缆的情况，创建了实际故障电流分布计算模型，得到了变电站发生短路故障时流入接地系统的故障电流值。最后根据实际情况创建了考虑环流的 3D 复合接地系统模型，全面评价了该变电站接地系统的性能，评估的主要参数包括接地电阻、地电位升（GPR）、接触/跨步电压等参数，分析中考虑了故障情况下站内 GIS 系统对周边人身的安全影响以及评估了站内人员接触 GIS 金属管壁的接触电压安全性；同时在项目中定量探讨了将地下桩基作为主接地网的可行性以及周边商用民用技术设施安全性与变电站接地系统安全性的相互影响。

（2）基于对已建和在建的地下变电站的调查研究，对国内外变电站发生火灾事故进行了归纳和总结；并对地下变电站不同设备房间的火灾危险性进行了分析；进而对变电站中的重要危险源（设备中大量含油的主变压器室和电抗器室）进行了计算机火灾模拟，找出了地下变电站火灾的特点及相应的应对措施；同时分析了地下变电站与结合建设的非居建筑之间相互关系和影响；并从消防安全角度，对主要设备类型选择、建筑总平面布局、变电站单体平面布置、安全疏散、建筑防火构造、内装修、通风系统和潜在的爆炸风险几个方面进行了研究和分析，提出了相应的解决方案。基于前述的研究成果，从而对 500kV 地下变电站防火设计提出整体建议方案。



超高压地下输变电工程数字化 设计实例概况

2.1 工程必要性

上海电网处于华东电网的受端,是华东地区乃至全国负荷密度最高的地区。上海电网是我国最大的城市电网,供电范围覆盖上海全境(包括崇明、长兴、横沙三岛)。500kV 电网为上海的主干电网,目前已建成徐行—杨行—外高桥二厂—顾路—远东(杨高)—三林—南桥—泗泾—黄渡—徐行双环网,是上海电网电力吞吐的主网架。此外,上海电网与华东主网间通过 6 回 500kV 线路相连,另有 2 回±500kV 直流线路(葛沪直流和宜华直流,总输送能力为 4200MW)同华中电网相连。220kV 电网是上海的高压输电网,从大型电厂和 500kV 变电站受电,降压后转送至 110kV 或 35kV 高压配电网。根据上海电网负荷密集的特点,在中心城区,部分 500kV 和 220kV 变电站采用了深入负荷中心送电的方式。

上海电网是一个分层分区运行的电网。目前以 500kV 枢纽变电站和大型电厂为核心分成杨行、徐行、黄渡、泗泾、南桥、亭卫、杨高、顾路、远东、静安 10 个供电区运行,正常情况下各个供电区之间通过 500kV 电网进行电能交换,各区之间其他电压等级上的电网基本独立,在事故情况下有一定的相互支援能力。

目前,上海浦西中心城区电网仅一座 500kV 地下变电站——静安变电站,所供负荷较轻。网内用电仍主要由市郊主力电厂和 500kV 变电站通过 220kV 架空线路送入市区 220kV 中心或中间变电站,再通过电缆线路以辐射型电网送入市中心的 220kV 终端站供给。现已形成以 220kV 万荣、西郊、长春为中心站,蕴藻浜、森林为中间站的辐射型供电网络。此外,浦西中心城区电网的部分 220kV 变电站由浦东的中心站通过 220kV 过江电缆供电。为满足安全供电需要,中心站一般通过 4 回 220kV 大截面架空线路由主力电厂和 500kV 变电站供电。2009 年浦西中心城区的古美、长春、蕴藻浜、西郊、瑞金、民和、泸定、广场和钢铁等 220kV 变电站主变压器负荷率超过了 70%,另外还有新江湾、复兴、武威等 220kV 变电站均不满足“N-1”标准。

随着上海浦西中心城区负荷和城市建设的进一步发展,其电网建设将面临以下问题:

(1) 随着外环线以外负荷的迅速增长,原有 500kV 变电站的供电范围不断缩小,中心城区缺少足够的电源容量,迫切需要增加新的电源点。受地理条件限制,上海中心城区难以建设新的发电厂,只有闸北电厂具有较好的机组扩建条件,将 2 台 125MW 的燃油机组退役后,可扩建成装机容量为 $3 \times 400\text{MW}$ 的闸北丙站燃气电厂。由于受短路电流限制,新增的发电装机难以接入附近的 220kV 电网。因而,根据中心城区负荷分布情况,迫切需要建设 500kV 变电站以满足该片区域的电力需求。

(2) 随着上海经济的高速发展和旧城区改造工作的逐步深入,上海中心城区的负荷将快速发展,相应需要建设多座 220kV 变电站以满足负荷增长的需要。同时,根据上海市中心城区 220kV 变电站的布点安排,从电源间隔来看,即使在现有电源点的能力都基本用尽的情况下,黄浦江以西、内环线内的地区和杨浦虹口地区仍缺少大量电源间隔。同时这些 220kV 中心站的供电能力已基本达到设计规模,无余力再向新建的 220kV 终端站供电。

此外,220kV 中心站由于进出线较多,占地面积较大,使得在中心城区建设 220kV 中心站难度越来越大,而浦东现有和规划的 220kV 中心站向浦西供电的能力有限,且供电电缆需要穿越黄浦江,实施难度和投资较大。

(3) 由于城市建设发展的需要,要求外环线内的架空线逐步入地,因而架空线路将被电缆所替代。如果继续保持原有的输电方式,则由于 220kV 电缆的送电能力较小,为满足负荷发展的需要,市郊的电力将需要通过多回路大截面电缆向市区负荷供电,加大了工程量和施工难度。

因此,为了满足上海市中心东部地区日益增长的供电负荷和解决杨行分区电网的短路电流,必须尽早在浦西东部靠近市中心地区建设一座 500kV 变电站。为了解决中心地区用地紧张、站址选择困难、土地昂贵、征地拆迁费用较高等问题,结合地区规划整体要求,为提高土地利用率、改善城市景观、优化城市环境,需要建设 500kV 地下变电站。

2.2 工程概况

2.2.1 站址概况

500kV 虹杨地下变电站站址位于上海市区东北部逸仙路以东、小吉浦河以

西、三门路以南、政立路以北，紧贴三门路的一块基地上，行政区域为杨浦区，南面与虹口区交界，北面毗邻宝山。

本站址西侧贴邻上海市区东北部南北向主干道逸仙路高架桥，且有淞沪铁路与逸仙路相隔，东邻正文花园小高层住宅小区；南面为上海海螺水泥销售有限公司仓储分公司及江湾搅拌站，内有零星单层至三层砖混结构房屋、水泥筒仓、铁路专运线、水池、龙门吊车等；北侧隔三门路是非贸物品监管中心，分布有单层到四层房屋。另外小吉浦河靠近本站址的东北侧，河道边线离东侧用地界线最近处约为 13m。变电站围墙中心线向东退让淞沪铁路铁轨轨道线中心 10m，建筑物向北退让规划三门路红线约 8.7m。变电站用地范围南北方向长 172m，东西方向临三门路基地北端较大处约为 151m，南端较小处约为 138.9m，用地面积 24570m²。站址区域鸟瞰图如图 2-1 所示。



图 2-1 站址区域鸟瞰图

根据上海电网规划和中心城区负荷发展以及本站地理位置条件，经过经济技术比较，500kV 虹杨变电站建设规模推荐如下。

主变压器：500/220/66kV、1500MVA，本期 2 组，远景 3 组；500kV 进线：本期 2 回，远景 3 回均为电缆进线；220kV 进出线：本期出线 14 回，远景 21 回均为电缆出线；66kV 无功补偿：每组变压器按 3×60Mvar 电抗器和 2×80Mvar 电容器组设置（远景）。

经过经济技术比较推荐 500kV 虹杨变电站本期 2 台主变压器采用 2 回 500kV 全电缆线路接入 500kV 杨行变电站。

电缆线路部分：1×2500mm²交联电缆；线路长度：2×16.6km。全线电缆隧道敷设。

变电站工程建设规模如表 2-1 所示。

表 2-1 变电站工程建设规模

	最 终 规 模	本 期 规 模
主变压器容量	3×1500MVA	2×1500MVA
电压等级	500/220kV	500/220kV
500kV 接线	线路变压器组接线	线路变压器组接线
220kV 接线	双母线三分段，21 回出线	双母线双分段，14 回出线
无功补偿	3×（3×60Mvar 电抗器+2×80Mvar 电容器）	2×（3×60Mvar 电抗器）

2.2.2 水文地质及水源条件

站址区域地下水丰富，潜水水位随河水的变化而变化，一般为 1.00~1.50m，其腐蚀性需要在下一阶段工作时做出评价。站区下卧深处有五个承压含水层，第一承压含水层埋深 20m 左右，对基坑的开挖有较大影响。因此对变电站的底板进行设计时，针对底板抗渗以及底板与地下连续墙交界面位置防渗漏需进行专项设计。此外由于基坑开挖较深，开挖时自身无法抵抗承压水的压力，施工过程中需采取有效措施保证基坑安全。另外，二、三、四承压含水层均具有开采价值，但由于变电站需水量甚小，可方便地从附近市政管网中取得，因此地下水的开采并无实际价值，只需注意区域内地表水位的变化及性质即可。

2.2.3 站址工程地质

1. 地形地貌

根据 DGJ08—11—2010《地基基础设计规范》，本站所处区域为滨海平原类地貌。

本站址地势平坦。站前道路三门路标高由西向东为 3.41~4.91m，为吉浦河三门路桥的上坡段，西侧与三门路相接处的逸仙路标高为 3.70m 左右（吴淞标高）。

2. 地层概况

该站址自然地坪以下 50m 深度范围地层状况如下：

(1) 层杂填土：上部为水泥地坪，下部以黄黏性土为主，常见厚度约 2.70m。

(2) 层褐黄-灰黄色黏土：很湿，可塑或软塑，含氧化铁斑点，顶板埋深约为 1.60~2.40m，厚约 1.70m。

(3) 层灰色砂质粉土：松散到稍密，含云母、夹薄层黏性土，土质不均，可产生流砂现象，厚约 3.40m。

(4) 层灰色淤泥质粉质黏土夹黏质粉土：很湿、流塑，含云母，土质不均，厚约 2.20m。

(5) 层灰色淤泥质黏土：饱和、流塑，局部夹薄层黏性土，此层均布，厚约 5.30m。

(6) 层灰色黏土：很湿、流塑，夹砂质粉土，均布，厚度约 4.90m。

(7) 层灰色砂质粉土夹粉质黏土：饱和、稍密到中密，夹黏土，均布，厚度约 12.30m。

(8) 层粉质黏土：饱和，中密，含云母碎片，厚度约 5.80m。

(9) 草黄-灰色黏质粉土：中密到密实，含云母，夹薄层状黏性土，中/低压缩性，厚度约 20.30m。

(10) 灰色粉质黏土夹粉性土：可塑或中密，含云母、腐殖质，具交错层理，夹砂互层呈“千层饼”状，厚度约 10.40m。

(11) 青灰色粉细砂：中密到密实，砂粒自上而下变粗，低压缩性，强度高，厚度约 14.50m。

(12) 青灰色粉细砂：密实，夹砾石及黏性土透镜体，低压缩性，厚度未知。

2.3 数字化设计必要性

通过对工程概况的分析可知，由于是地下施工，地质结构复杂，该 500kV 地下输变电工程在施工中建设难度较大。为更好地实现对 500kV 地下输变电工程建设的管理，电力设计由传统二位设计转变为三维数字化协同设计是很有必要的。

(1) 在 500kV 地下输变电工程设计施工中，提出 BIM 技术的思路，借助三维数字化设计平台，可以解决传统二维设计仅依靠设计师的空间想象力和基本制图技能完成空间设计的局限性，突出体现了使用三维数字化平台，对于变电站设计尤其是大型地下变电站详细布置方面的经济性和合理性。在协同设计