

Key Technology of Super-deep Foundation Pit Construction for Substructure of Cast-in-place Bridge of Upper Span Planning River Channel

Wenlong Zhang Xuefeng Yang Zhihui Lou Jiajia Wan Hailiang Yu

Beijing Urban Construction Zhongnan Civil Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 100124, China

Abstract

The deep foundation pit of the substructure of the prestressed cast-in-place bridge of Qinhuai East River is planned to span somewhere on Nanjing intercity ningju line, with a length of 14.75m, a width of 11m and a depth of about 27m. Because it is close to Nanjing Hangzhou Expressway, the excavation face is limited, so the form of retaining pile + internal support + mesh shotcrete anchor between piles is adopted for support excavation. This paper comprehensively analyzes the key technologies of ultra deep foundation pit construction from the processes of enclosure support, earth excavation, drainage and monitoring, and has achieved good results.

Keywords

intercity subway; ultra deep foundation pit; key technology

上跨规划河道现浇桥下部结构超深基坑施工关键技术

张文龙 杨雪峰 娄志会 万佳佳 于海亮

北京城建中南土木工程集团有限公司, 中国 · 北京 100124

摘 要

南京城际宁句线某处上跨规划秦淮东河预应力现浇桥下部结构深基坑长14.75m, 宽11m, 深达约27m, 因紧邻宁杭高速, 开挖工作面受限, 因而采用围护桩+内支撑+桩间挂网喷锚形式进行支护开挖。论文从围护支撑、土方开挖、排水、监测等工序全面分析了超深基坑施工关键技术, 并取得了良好的效果。

关键词

城际地铁; 超深基坑; 关键技术

1 引言

规划秦淮东河处现状地面高程约 29m 左右, 规划河底高程 3.0m, 河底宽 40m, 顶宽约 185m。两侧河坡 1 : 2~1 : 2.5; 其上跨预应力混凝土连续箱梁, 主跨跨越有混凝土护坡的主河槽, 主墩立于主槽坡顶马道以外, 边墩立于规划断面边滩坡顶, 两岸坡面各设三处平台(马道)。根据规划, 需待宁句城际施工运营后, 后期再开挖规划秦淮东河断面。因此, 合理的施工方案对保证超深基坑的开挖安全及周边环境尤为重要^[1,2]。如图 1 所示。

2 工程概况

2.1 水文地质情况

根据工程地质剖面图和结合现场施工钻孔灌注桩钻

孔情况, 地面以下地质结构层次是杂填土和素土厚度大约 3.5m; 黏土、粉质黏土部分厚度大约为 11.91m; 强风化泥质砂岩厚度约为 6.6m; 中分化泥质砂岩约为 5.5m。由于地下水较深, 不考虑地下水对建筑及基坑支护结构的影响^[3]。

2.2 施工重难点

基坑尺寸小、深度大, 随着基坑开挖深度增加地质情况不断发生变化, 强风化岩层和中风化岩层强度等级 8.05~56.7MPa, 土方开挖过程中, 不能直接取土, 需要进行破除后, 才能再挖土, 工程复杂的地质条件对超深基坑施工提出了更高的要求。

3 深基坑施工关键技术

3.1 深基坑施工工艺

管线改移、场地平整→围护桩施工→桥梁桩基施工→第 1 层基坑开挖→冠梁及第 1 道混凝土内支撑施工→第 2 层基坑开挖→第 1 道钢支撑安装→重复以上步骤直至第 3 道钢支撑安装→开挖至基坑底标高→施作承台及高墩施工。

【作者简介】张文龙(1991-), 男, 中国江西吉安人, 硕士, 工程师, 从事轨道交通与地下工程施工与管理研究。

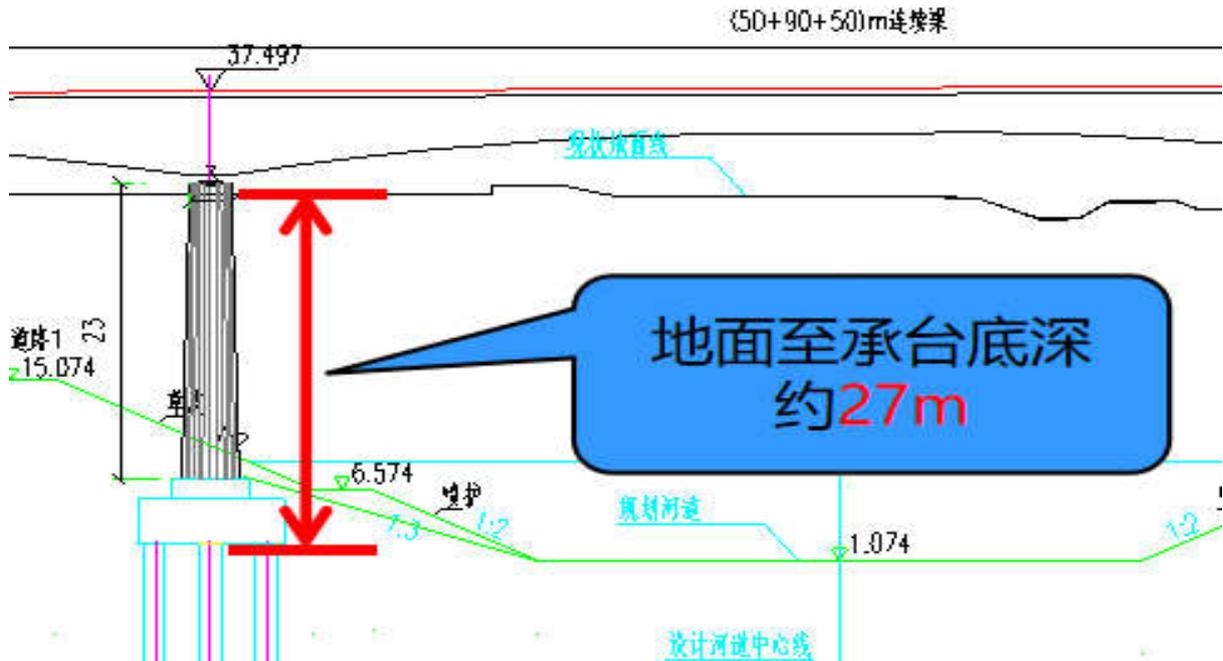


图 1 基坑开挖区域平面示意图

3.2 围护结构施工

根据桥梁基坑防护的工程特点及地质条件施工。基坑采用 $\Phi 1200@1600$ ，桩长 29.8m 钻孔灌注桩，进行规划秦淮河深基坑的围护工作。基坑竖向第 1 道采用砼冠梁及混凝土支撑，第 2~4 道采用钢支撑、角部设置角撑。

3.2.1 冠梁、挡墙及混凝土支撑施工

基坑冠梁：1400×800mm（宽×高），第一道砼支撑 800×800mm（宽×高），挡墙采用钢筋砼结构；挡墙宽度 200mm，高度 1.5m，采用 C35 混凝土进行浇筑。

3.2.2 基坑排水方法

本工程根据基坑特点和开挖方式采用分区段设纵横向汇、排水沟槽和集水坑的坑内水平排水系统，边开挖边设置汇水沟、排水沟，及时将明水集结于集水坑内，再由潜水泵抽出坑外，防止基底受水浸泡而受到破坏，并利于下部工序施工。

3.2.3 网喷混凝土施工

①网喷支护施工工序。

网喷支护施工工序：土方开挖施工→桩体处理→挂设钢筋网片→喷射 100mm 厚 C25 砼支护。

②喷射混凝土施工。

土方开挖施工：土方开挖严格技术交底施工分层开挖，每层喷锚土方开挖高度控制在 2m 范围之内。依次按照施工工序进行施工，直到基坑底标高。

桩体处理：对于凸出的桩体，应将凸出部分凿至与喷

射后混凝土面相平。对于凹进去的桩体，应尽可能保留桩外土，采用人工铲平到网喷前的位置，减少喷射混凝土数量。

挂设钢筋网片：桩处理完成以后应立即铺挂钢筋网片，采用 $\Phi 8@150 \times 150$ 钢筋网片与 $\Phi 16$ 固定筋焊接，固定筋的施工可根据现场实际情况进行施工，桩间喷锚钢筋网片固定示意图见示意图。围护桩间挂钢筋网采用 $\Phi 8@150 \times 150$ ，网片之间搭接 100mm，钢筋应双向搭接，锚固钢筋采用直径 16mm， $L=0.6m$ ，竖向间距 2m，预埋入桩内；钢筋网片外增设 2 根横向拉筋，采用钢筋直径 16mm 通长布置，竖向间距 2m。如图 2、图 3 所示。

④喷砼施工：喷射砼厚度为 100mm，强度等级为 C25 早强砼。喷混凝土前按照测量交底进行挂线控制喷砼厚度保证结构净空尺寸。与上部混凝土接茬处应清理干净，保证接茬密实。喷混凝土后及时进行喷混凝土面的表观修整，使喷混凝土表面观顺直。喷射混凝土应密实、平整、无裂缝、脱落、漏喷、漏筋、空鼓、渗漏水等现象。平整度允许偏差为 30mm。为利于后期防水施工，喷射混凝土在终凝前使用大灰板进行初步搓平。

3.2.4 土方开挖施工

①基坑土方开挖施工方法。

地质勘探揭示：地表以下约 10m 范围为杂填土或黏土，采用普通长臂挖机即可开挖。10m 以下为强风化岩和中风化岩，强度在 8.43~56.1MPa。采用炮锤破碎，吊斗垂直提升至基坑外，装运输车外运。如图 4 所示。

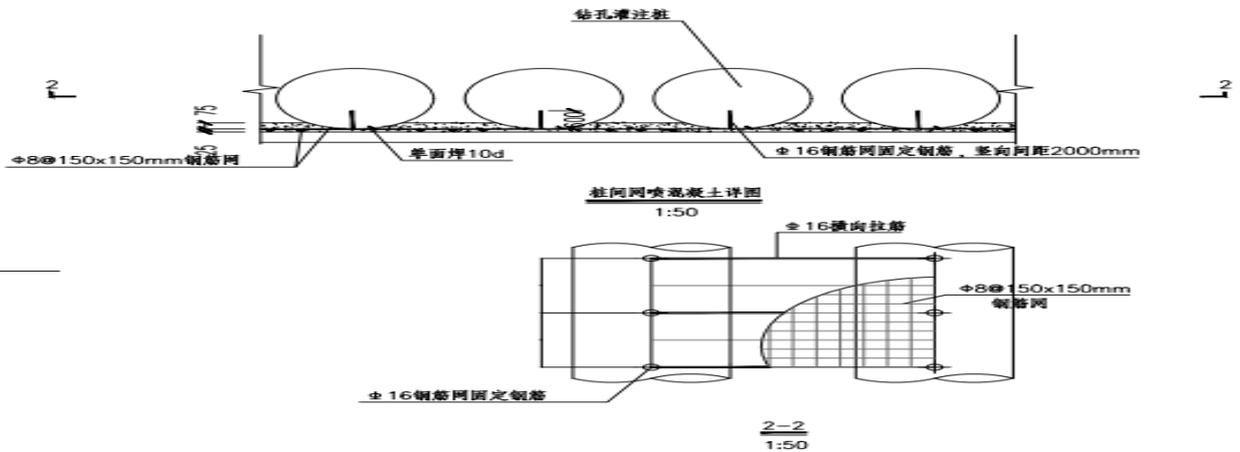


图2 桩间喷射混凝土

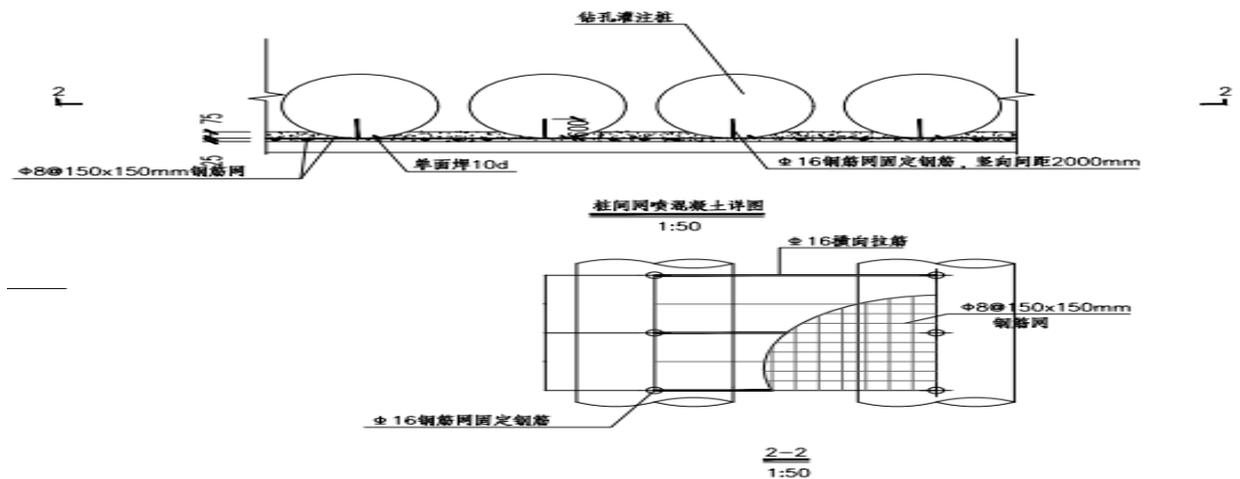


图3 桩间钢筋布置



图4 基坑开挖平面示意

基坑分层开挖，钢支撑及时支护并施加预应力，分层开挖见下表1。

②土方开挖区域划分。

具体开挖分层和开挖顺序详见开挖区域平面图。如图5所示。

对于桩基周围岩石用空压机进行破除，已避免采用机械破除对围护桩的影响。

③土方开挖安排。

第一层土方开挖地质情况为杂填土，开挖长度为17.15m，宽度为13.4m，深度为1.9m，本层土方量为436.6m³。挖机进入基坑范围内开挖、装车。开挖至冠梁以下0.15m后即完成第一层土方开挖，施工冠梁及第一道内支撑。

第二层土方开挖地质情况为素土和黏土、粉质黏土，开挖长度为：14.75m，宽度为11.0m，深度为6.75m，本层土方量为：1095.2m³。本层土方开挖在第一道钢筋砼支撑梁砼强度达到设计要求后进行。采用竖向分层、平面分区进行土方开挖，开挖顺序为先进行支撑中间区域1平面土方开挖，每层开挖厚度不超过2m，然后在进行基坑四周边角区域平面2土方的开挖工作，平面中间区域1范围采用卡特短尾328D型号挖机进行土方开挖，平面四周四角范围2采用15型微挖机挖出大挖机不能取土的部位，使得围护桩基工作面达到可以进行挂网喷锚要求；同时，坑随着开挖深度的逐渐加深，坑内挖机无法将土弃于坑外，此时坑内挖机负责

表 1 土方分层开挖表

层数	开挖层厚 (m)	累计开挖深度 (m)	备注
第一层	1.9	1.9	开挖至冠梁底标高以下 0.05m
第二层	6.75	8.65	开挖至第二道钢支撑底面标高以下 0.5m
第三层	6.7	15.35	开挖至第三道钢支撑底面标高以下 0.5m
第四层	6.3	21.65	开挖至第四道钢支撑底面标高以下 0.5m
第五层	4.8	26.45	开挖至设计底板标高

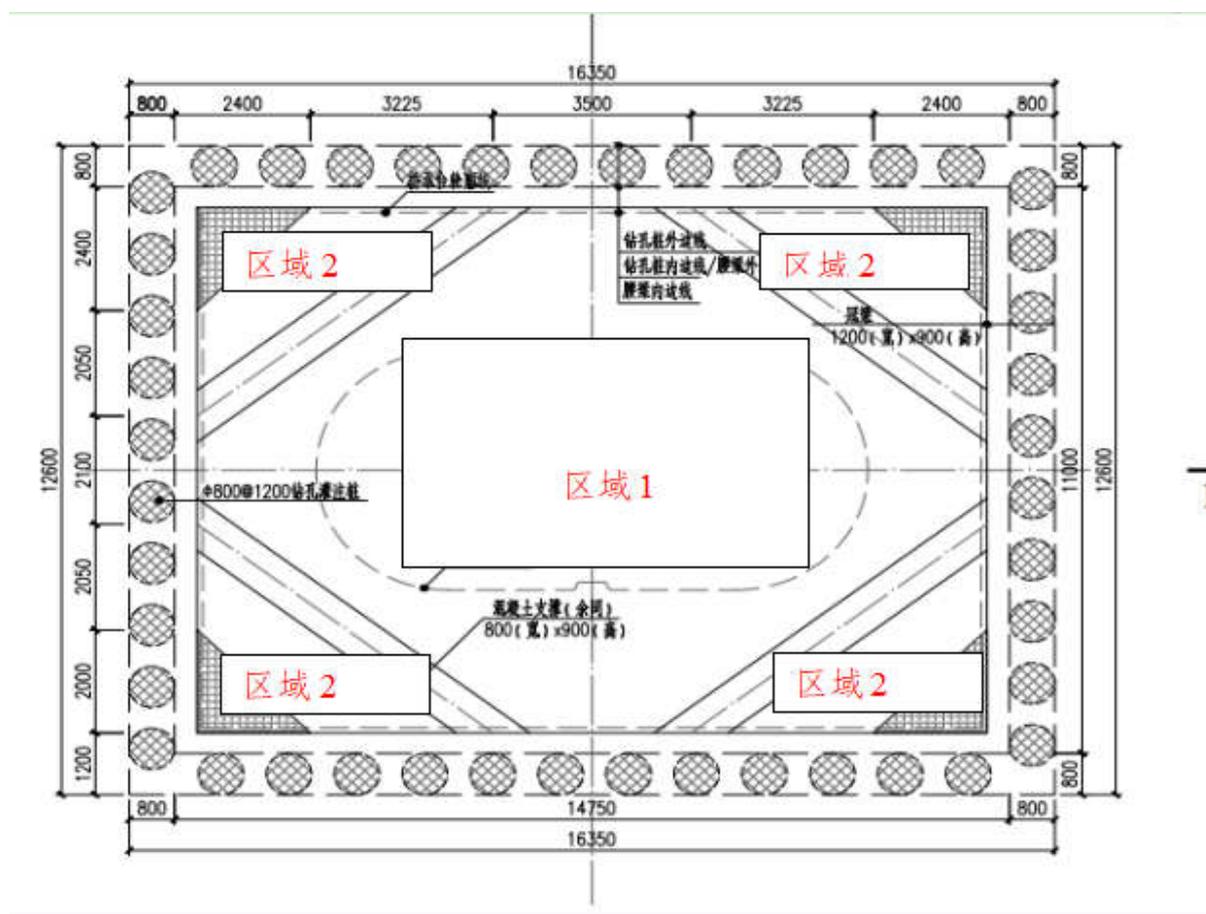


图 5 基坑开挖区域平面示意图

挖、堆积土，采用地面液压抓斗取土。开挖深度达 10m 后，地层进入强风化，坑内挖机加装炮锤破碎岩石并堆积破碎石，由坑外抓斗继续取土。直至本层土方开挖完成到第二道钢筋混凝土支撑底面标高以下 0.15m，施工第二道内支撑。

第三层至第五层，按照同样的方法，完成所有土方开挖。

3.2.5 基坑钢支撑架设

①钢支撑布置及构造。

基坑共设 4 道钢支撑，其中一道为钢筋混凝土支撑，

第二至第四道为钢支撑，支撑采用 $\Phi 800\text{mm } t=20\text{mm}$ ，腰梁为双拼工 63c 型钢。

②施工工艺流程。

施工准备→材料准备（材料进场检验、钢支撑加工）→设备进场（进场设备报验）→测量放样→腰梁托架安装→腰梁安装→钢支撑安装→施加预应力→楔块锁定→拆除千斤顶→安装完成。如图 6 所示。

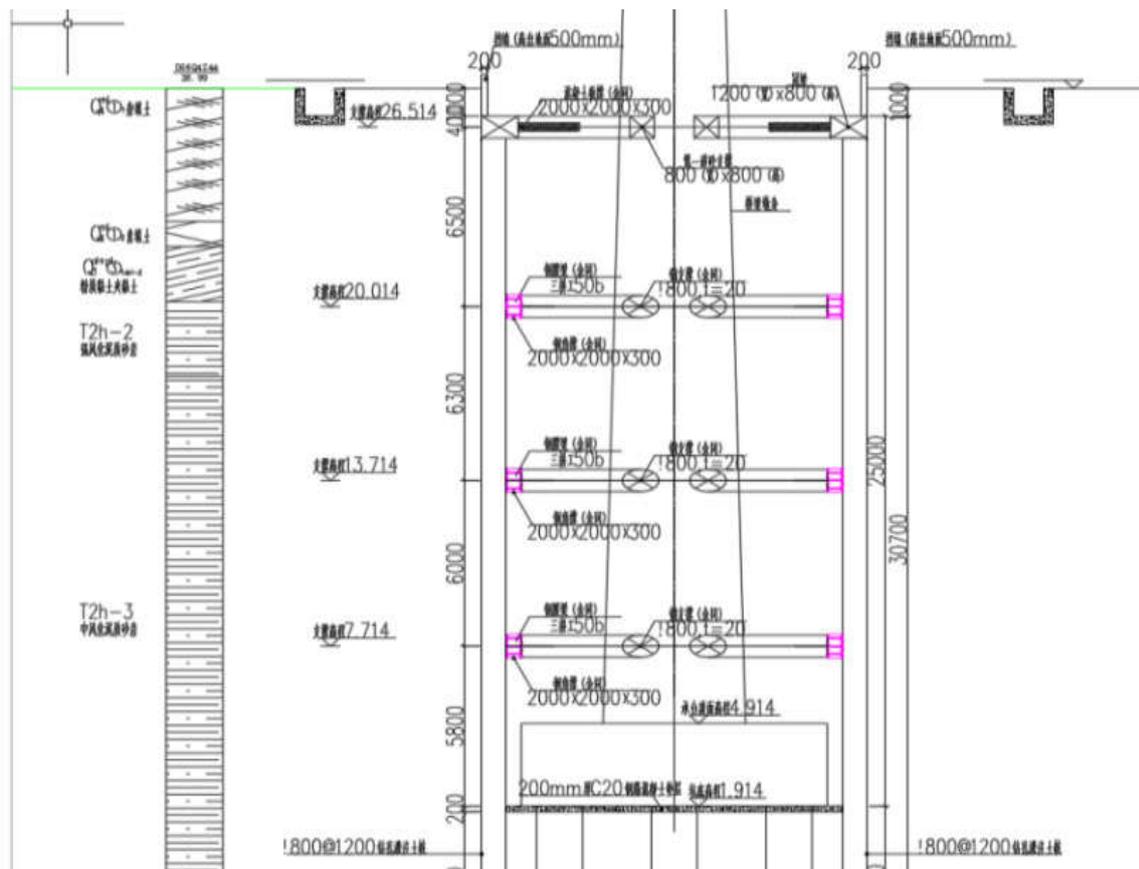


图6 钢支撑布置断面图

3.2.6 基坑监测技术

基坑工程主要影响区为基坑周边 0.7H 范围内，一般影响区为基坑周边 0.7~2.0H 范围内，可能影响区为基坑周边 2.0H 范围外，H 为基坑设计深度（m）。基坑工程监测范围应根据工程影响分区，结合设计要求、施工工法、支护结构形式、地质条件、周边环境条件等综合确定，并包括主要影响区和一般影响区。综合考虑，该深基坑监测范围取值为 3.0H（H 表示基坑深度）。

依据当地规程及设计文件，深基坑开挖深度超过 20m 属于一级监测等级。如表 2 所示。

表 2 监测项目

监测项目	数量	控制值 (mm)	单日控制值 (mm)
地表沉降	56	30	3
桩顶竖向位移	4	20	2
桩顶水平位移	4	30	2
深层水平位移	4	40	3
支撑轴力	8	/	/

3.3 基坑开挖安全控制

基坑施工期间的组织安排和施工过程控制、基坑围护结构的变形与稳定性监测十分重要，但安全开挖的措施也是

基坑安全顺利施工的关键。

基底 30cm 采用人工开挖时，2 人操作的间距应大于 3m，不得对头挖土，挖土面积较大时，每人的工作面积应不小于 6m²；基坑挖土严禁无关人员进入场地，挖掘机工作半径范围内不得站人或进行其他作业，必须确保支撑体系的安全可靠性，再向下开挖，以确保基坑稳定。在基坑内进行电焊作业时，应做好个人的绝缘防护工作，严禁将电线盒用电设备浸泡在水中，以防漏电。基坑顶部严禁堆放重物，作业人员进场必须登记，开挖过程中，随时观测周围建筑物及路面。开挖过程中设 1 处逃生通道，设 1 处应急爬梯。

4 实施效果

①基坑在施工中没有出现明显的渗水现象，表明实施上述关键技术的可靠性。

②施工监测表明施工中未出现预警，地表沉降、桩顶竖向位移、桩顶水平位移、建筑物沉降、支撑轴力、深层水平位移等监测数据在整个开挖期间处在可控范围内，证明基坑变形和施工工况密切相关。

5 结论

①根规定超过 5m 的基坑属于危险性较大的深基坑，本
(下转第 144 页)

械式电气设备发展为智能化的电气设备,让电气设备在技术的影响下逐渐发展并转型,让电气设备更加适应计算机技术下的自动化管理,推动行业技术的进步。

对于工作人员而言,PLC技术应用后,所有设备的操作逻辑都在不断被优化,过去复杂的操作流程都在被PLC技术逐步简化,使工作人员不再需要了解复杂的电气设备操作逻辑,更简单地完成设备的控制与交互。

5 结语

如今,PLC技术凭借自身控制稳定性较高、操作难度较低、可发展性较强的优势,已经成为电气设备自动化发展过程中,使用范围最广的一种技术,为电气设备技术的发展

提供了重要的推动力量。但因为中国在这一技术的使用上还处于摸索的状态,所以相关的研发部门与工作人员也需要根据国家的需求积极探寻PLC技术的发展方向,不断完善这一技术,从而推动中国电气设备技术的深入发展。

参考文献

- [1] 程林.研究PLC技术在电气设备自动化控制中的应用[J].建材与装饰,2020,4(41):76-77.
- [2] 李永健.基于PLC技术在电气设备自动化控制中的应用分析[J].决策与信息,2019,12(1):123-124.
- [3] 苏鹏.PLC在电气自动化控制中的应用[J].产业与科技论坛,2019,8(5):88-90.

(上接第141页)

基坑深约27m,因此深基坑开挖的安全性是首要考虑的,特别是对于本工程超深基坑,施工关键技术的选择直接决定了开挖的风险,本基坑第一道采用砼支撑+3道钢支撑+桩间喷锚的关键施工方案选择,通过实践证明须技术可行性和安全性可靠。

②通过城际地铁上跨规划河道现浇桥下部结构超深基坑施工关键技术的综述,以南京城际地铁宁句线为例,从围护支撑、土方开挖、排水、安全控制等方面分析超深基坑施工的关键技术,可为城际地铁施工超深基坑的施工提供新的思路。

③该超深关键技术的施工实施,通过过程监测和施工

安全得到了检验上述方案的实施,保证了施工过程中的安全。基坑施工期间的组织安排和施工过程控制、基坑围护结构的变形与稳定性监测、安全开挖的措施是基坑安全顺利施工的关键。

参考文献

- [1] 吴双武,李辉,许焯霜,等.深圳上软下硬地层中超深基坑的性状分析[J].地下空间与工程学报,2016,12(2):330-335.
- [2] 卢文红,陈俊杰.超深基坑地下结构综合施工技术[J].建筑技术,2020,51(11):1322-1325.
- [3] 李志通,梁向前,袁晓文.超大深基坑工程设计与施工[J].建筑技术,2017,48(3):263-265.