

钢管桩预应力锚索复合土钉墙支护技术应用

邢健民

中铁北京工程局集团有限公司

摘要: 基坑工程在我国进行广泛的研究是从80年代初开始的, 高层建筑不断涌现, 基础埋深不断增加, 基坑开挖也就不断加深; 尤其是到了90年代, 在繁华的城区内进行基坑开挖给这一古老课题提出了新的内容和挑战, 那就是如何控制基坑开挖产生的环境效应问题, 从而进一步促进基坑开挖技术的研究与发展, 由此产生了许多先进的设计、计算方法, 众多新的施工工艺也不断付诸实施, 出现了许多技术先进的成功工程实例。钢管桩作为一种“微型”支护桩, 其施工平台小、施工快速、方便等优点越来越受工程人员的青睐。

关键词: 钢管桩; 预应力锚索; 复合土钉墙; 支护技术

一、概述

山西运城某建筑小区西侧紧邻已建成住宅区, 南邻供销社棉花加工厂, 东邻玻璃厂及民房, 北侧为果品批发市场。本次基坑拟建建筑物为41#、42#住宅楼及其地下车库; 41#楼为地上17层, 地下2层, 42#楼为地上10层, 地下2层, 筏形基础, 剪力墙结构, CFG桩和灰土挤密桩复合地基; 地下车库为地下一层, 独立基础, 框架结构。拟开挖基坑整体形态呈正方形, 周长406.0m, 南北长约103.3m, 东西宽约102.20m。从现场整平后地面算起, 基坑开挖深度为4.85~7.95m。

根据基坑周边建筑物的荷载与基坑之间的距离, 结合基坑开挖深度, 本基坑支护结构的安全等级可划分为: 一级、二级和三级; 基坑东侧DA段为一级、西侧BC段为二级, 拟采用螺旋焊接钢管桩+锚索支护; 基坑南北两侧(AB段、CD段)为三级, 拟采用1:0.3土钉墙支护。基坑支护属临时性支护, 设计使用期限为1年。

二、工程特点

本工程原状地面在基坑东侧为一个深4~6m的取土坑, 坑边距离既有建筑(单层厂房、二层民房)2~5米, 基坑开挖边线距离既有建筑1.5m, 基坑西侧为既有小区道路, 靠近基坑开挖边有排污管线及化粪池, 距离开挖边最近的化粪池为0.3m, 在施工时需保证不影响既有建筑的安全、保证地下管线构筑物不被破坏又要保证基坑的开挖宽度及安全性。在狭窄的工作面以及与既有建筑的超近距离的基坑支护施工是本次支护施工的难点。

三、工程地质及水文地质条件

(一) 地形地貌

拟建场地位于运城盆地腹部, 属运城冲湖积平原地貌单元。地基土主要由填土、湿陷性粉土、湿陷性粉质黏土、粉质黏土、粉土组成。

(二) 地层岩性

该拟建场地主要由填土(Q_4^{ml})、湿陷性粉土(Q_4^{al+1})、湿陷性粉质黏土(Q_4^{al+1})、粉土(Q_4^{al+1})、粉土(Q_3^{al+1})构成。据土性及力学性质差异, 该场地与基坑开挖及支护有关的土层如下:

①号土层-填土(Q_4^{ml}): 层厚0.5~2.07m。主要成分为粉土, 不均匀, 应挖除。

②号土层-湿陷性粉土(Q_4^{al+1}): 层厚0.80~3.60m, 平均厚度2.49m。平均压缩系数为0.313MPa⁻¹(探井指标), 属中压缩性土; 平均锥尖阻力为2.70MPa; 平均标贯击数12.4击/30cm。该层

具湿陷性, 湿陷系数为0.047~0.143, 湿陷性中等~强烈, 为自重湿陷性, 且湿陷等级为III级, 主要分布于拟建场地西侧。

③号土层-湿陷性粉质黏土(Q_4^{al+1}): 层厚0.60~2.50m, 平均厚度1.48m。平均压缩系数为0.263MPa⁻¹(钻孔指标), 属中偏低压缩性土; 平均锥尖阻力为2.34MPa; 平均标贯击数11.2击/30cm。该层具湿陷性, 湿陷系数为0.048~0.124, 湿陷性中等~强烈, 为自重湿陷性, 且湿陷等级为III级。

④号土层-湿陷性粉土(Q_4^{al+1}): 层厚1.80~4.90m, 平均厚度3.01m。平均压缩系数为0.268MPa⁻¹(探井指标), 属中压缩性土; 平均锥尖阻力为1.86MPa; 平均标贯击数16.5击/30cm。该层具湿陷性, 湿陷系数为0.015~0.098, 湿陷性轻微~强烈, 为自重湿陷性, 且湿陷等级为III级。

⑤号土层-粉土(Q_4^{al+1}): 层厚1.90~3.10m, 平均厚度2.48m。平均压缩系数为0.224MPa⁻¹(钻孔指标), 属中偏低压缩性土; 平均锥尖阻力为4.12MPa; 平均标贯击数17.4击/30cm。

⑥号土层-粉土(Q_3^{al+1}): 层厚11.20~15.10m, 平均厚度12.81m。平均压缩系数为0.181MPa⁻¹, 属中偏低压缩性土; 平均标贯击数29.6击/30cm。

(三) 水文条件

勘察工作揭露的地下水类型为孔隙潜水, 勘察期间实测地下水位埋深约11.0m。勘察期间为丰水季节, 地下水补给主要为大气降水补给, 其排泄类型以蒸发排泄为主。本次基坑开挖可不考虑地下水的影响。

四、设计参数

(一) 岩土物理力学参数

根据勘察报告和周边岩土工程经验, 与基坑支护有关的岩土参数基坑支护设计取值如下:

第①层, 填土, 层厚2.07m, $\gamma=18.0\text{KN/m}^3$, $C=10\text{kPa}$, $\Phi=20^\circ$

第②层, 湿陷性粉土, 层厚2.49m, $\gamma=18.9\text{KN/m}^3$, $C=18.5\text{kPa}$, $\Phi=20.7^\circ$

第③层, 湿陷性粉质黏土, 层厚1.48m, $\gamma=19.4\text{KN/m}^3$, $C=22.2\text{kPa}$, $\Phi=20.9^\circ$

第④层, 湿陷性粉土, 层厚3.00m, $\gamma=19.7\text{KN/m}^3$, $C=17.8\text{kPa}$, $\Phi=26.5^\circ$

第⑤层, 粉土, 层厚2.48m, $\gamma=20.3\text{KN/m}^3$, $C=21.1\text{kPa}$, $\Phi=23.9^\circ$

(二) 基坑支护工程安全等级: 基坑东侧DA段桩锚支护为一级, 基坑西侧BC段桩锚支护为二级, 基坑南北两侧AB、CD段土钉墙支护为三级。基坑支护设计使用期限12个月。

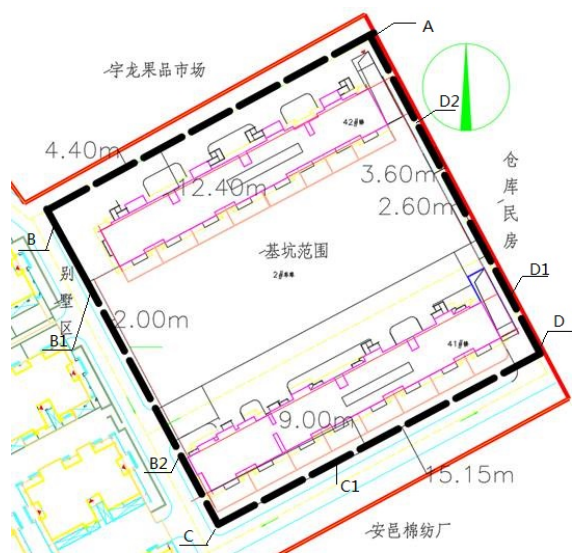
(三) 支护桩: 整体稳定性安全系数: 东侧DA段为1.35/西侧BC段为1.3; 抗倾覆安全系数: 东侧DA段为1.25/西侧BC段为1.2; 土钉墙: 整体稳定性安全系数: 1.25。

五、基坑支护方案

基坑根据开挖深度及支护结构形式可分为: 天然放坡开挖、螺旋焊接钢管桩桩锚支护、1:0.3土钉墙支护段(具体见平面布置图)。

(一) 螺旋焊接钢管桩桩锚支护

适用于基坑东西两侧距建筑物和小区内部道路及污水管线段



平面布置图

较近段。本次钢管桩均采用Q235螺旋焊接钢管，直径219mm，壁厚不小于6mm。

基坑东侧D-A段桩间距采用0.75m，锚索水平间距1.5m，两桩一锚。D-D1、D2-A段开挖深度4.85-5.0m，设计桩长7.5m，嵌入深度2.5m，设1排预应力锚索，规格为1860 MPa级钢绞线，长度为11m；D2-D1段开挖深度7.35m，设计桩长11m，嵌入深度3.65m，设2排预应力锚索，规格为1860 MPa级钢绞线，长度分别为13m和12m。桩间土表层挂钢筋网喷射砼封闭；

基坑西侧B-C段桩间距采用0.9m，锚索水平间距1.8m，两桩一锚。B-B1、B2-C段开挖深度5.45-5.6m，设计桩长8m，嵌入深度2.4m，设1排预应力锚索，规格为1860 MPa级钢绞线，长度为13m；B1-B2段开挖深度7.95m，设计桩长12m，嵌入深度4.05m，设2排预应力锚索，规格为1860 MPa级钢绞线，长度分别为14m和16m。靠近化粪池处，钢管桩紧贴化粪池外墙施工。另因化粪池和污水管线埋深2.5m，本段桩锚支护的第一道锚索设置在-3.0m处，锚索施工应避开污水管线及化粪池。桩间土表层挂钢筋网喷射砼封闭；

(二) 土钉墙支护段

适用于基坑北侧及南侧，基坑坑顶外侧场地较开阔，本方案拟采用1:0.3土钉墙支护，从上至下设置3排土钉，土钉长度分别为5m、4m、3m，土钉水平间距1.5m，垂直间距为1.4m，土钉倾角15°。土钉采用HRB400级Φ20钢筋，基坑侧壁表层设置钢筋网，喷射混凝土封闭。

六、基坑排水

基坑内排水方式采用集水明排，在基坑坑顶外侧及坑底内侧设置排水沟和集水坑；基坑外侧设置防水围挡，围挡外进行C15混凝土硬化，硬化厚度100mm，硬化宽度1.5m，并设置5%逆坡防止地表水流入基坑内。由于地下水埋深超过基坑开挖深度大于3m，本次基坑排水不考虑地下水，仅考虑雨水。

七、施工要求

(一) 钢管桩及桩间支护

1. 钢管应间隔成孔，管内充填C20混凝土。
2. 桩间采用喷射混凝土与钢筋网组成的钢筋混凝土板结构型式，网筋采用Φ6.5@200*200，设置桩间。挂网钢筋直径16mm，竖向间距1.5m。

3. 喷射混凝土分初喷和复喷两道工序。初喷在人工修正壁面后立即进行，厚度3cm；复喷在钢筋网铺设后，加强筋与钢管焊接后进行，厚度7cm。喷射混凝土强度等级为C20。

4. 喷射混凝土。在喷射混凝土施工之前，清除坡面杂土，喷射距离控制在0.8m-1.2m，喷射角度α=90°为最佳。施工时严格按试验配合比执行，根据喷射混凝土施工的具体情况，必要时加入速凝剂。施工过程中作好混凝土的检查工作，喷射厚度为100mm。在喷射混凝土施工终凝2h后，定期对已完成的护壁面进行喷水养护，养护时间不少于7d。

(二) 锚索施工

1. 预应力锚索通过槽钢腰梁，直接作用于桩间，成孔直径150mm，成孔倾角15°。
2. 锚索施工前，应精确调整锚索方向及倾角，水平方向孔距误差不得大于50mm，垂直方向孔距误差不得大于100mm。采用锚杆钻机进行成孔施工。
3. 锚索采用标准s15.2钢绞线（1860MPa），锚索预留1.5m张拉段。

4. 锚索灌浆材料为M30纯水泥浆，一次灌浆压力不小于0.5MPa，二次灌浆压力不小于2.0MPa。锚索施工10-15天后，同时灌浆体强度达到设计强度75%后，进行张拉锁定。

5. 腰梁采用双拼18a槽钢制作，安装腰梁时应使其与喷射砼面层结合紧密，不得脱空。

(三) 土钉墙施工

1. 施工工艺流程

测量放线→钻机就位→钻进成孔→清孔→土钉制作→土钉安装→压力注浆→土钉抗拔试验→验收。

2. 钻机安装。根据测量放出的孔位，调整主轴角度，设计钻孔与水平面夹角成15°，使之对准孔位，且与设计倾向一致，钻机安装水平、周正、稳固。

3. 钻进成孔。设计孔径为Φ110mm，且采用无水成孔工艺进行施工。钻孔终孔深度比设计超深500mm，孔位和孔深的允许偏差均为50mm，偏斜率不应超过3%，孔距误差<50mm。

4. 清孔。成孔达到设计要求深度后，采用机械清孔，将孔内沉渣清除干净，确保孔底沉渣厚小于5cm。

5. 土钉制安。土钉钢筋用前要调直，表面无损伤。下料应采

用砂轮机切割。土钉安装时外露端应满足设计要求，设计外露端预留长度为150mm，做一L形弯钩与横向加强筋双面焊接，焊接长度150mm。将坑壁面人工修平整，再进行土钉施工，土钉用Φ20钢筋为材料，入孔前，先在土钉上绑扎Φ10注浆管，作为灌浆的出浆通道。

6. 灌浆。灌浆用M20水泥浆，水泥材料采用P.042.5，水灰比宜为0.4~0.5。注浆前应将孔内清理干净，注浆管插入孔内管口距孔底100mm；由于土钉焊接钢筋支架在插入土钉后如孔内有空洞或孔口处缺浆应在45min内及时补浆，保证注浆的饱满和密实。灌浆前应检查注浆管是否畅通，发现堵塞应起拔重新下灌浆管。水泥浆浆液搅拌均匀，随拌随用，浆液应在初凝时用完。注浆作业前，先用稀水泥浆润滑注浆泵和管路然后压力注浆。为防止孔内溢出的浆液流到下排孔内凝固后阻塞，注浆应从下往上注，边注浆边拔注浆管直至孔口泛浆为止。

7. 挂钢筋网。钢筋网根据设计采用Φ6.5钢筋，应先对钢筋进行调直、除锈，然后才能根据实际情况对照现场进行计算下料长度。钢筋网安装时应从上至下逐级施工，钢筋网格间距严格按照设计要求200mm×200mm进行控制。钢筋网应按规范要求对各网

格进行绑扎牢固，使其网片钢筋交接处不产生位移现象为准。钢筋网应随受喷面起伏铺设，钢筋网的喷射混凝土保护层厚度不小于3cm，钢筋网与土钉相接处土钉应锚入钢筋网内与加强筋焊接牢固，使其喷射混凝土后边坡整体性能良好。

(四) 土方开挖施工过程中必须遵守先支护后开挖原则

每层挖土深度控制在1m~2m，严禁超挖。平面上分段开挖长度控制在20~30m。开挖第一排土钉（锚索）设计位置下方0.5m处，封闭开挖面。进行土钉（锚索）施工，待上排土钉（锚索）抗拉强度达到设计的值80%及以上时，进行下排土钉（锚索）施工。土方开挖应注意保护已完成的支护结构。

八、结语

钢管桩支护预应力锚索复合土钉墙支护施工技术，在场地受限垂直开挖深基坑支护中，施工便利、工期短、低噪音、低污染，能够极大的节约成本跟工期。在周边有建筑、管线的基坑支护中，具有常规土钉墙跟护坡桩无法相比的优势。

参考文献

[1] 《东星卡纳溪谷三期岩土工程勘察报告》山西省第六地质工程勘察院，2018

(上接第59页)

(三) 钢结构加工制作和运输

由于此工程中的屋面主网架采用的是“正放四角锥”式的螺栓球节点网架形式，而且对这些杆件的加工精度有着较高的要求，通过BIM技术中XSTEEL软件的应用来对杆件开展三维建模，在保证其加工精度的同时，降低安装时的定位难度，同时也保证其结构受力与设计相同。而针对加工制作完成的构件，可以通过BIM技术来模拟运输路线，以及综合分析车辆数量、运输方式、现场所用的吊机型号和数量等内容，保证所设计制造的构件单元便于进行运输和吊装。

(四) 钢结构拼装和安装

在对上述“正放四角锥”式的网架进行拼装的过程中，通过BIM技术的应用可以开展对此网架管件的下单工作以及对合用的杆件进行订制，在制作完成之后在工厂中进行预拼装，在运输到现场之后在地面上进行组装，通过BIM模型来对网架进行布置，以及进行胎架支撑的安装和调整，最后对高强螺栓进行拼装和拧紧。对于拼装完成的构件，利用BIM技术进行模型的构建并模拟仿真整个施工过程，尤其是其中关键部分的施工状况，在此过程中可以发现其中的问题并对施工任务进行合理安排，保证施工过程中各项施工任务分派的合理性。

(五) 施工质量和安全监控

通过BIM技术的应用可以发挥其模拟作用来快速寻找其中的危险源，有效保障施工安全。同时在结合模型对拼装定位线进行定位之后进行整体网架的拼装，然后测量网架的起拱曲度和外观

几何尺寸，通过与模型的对比来保证拼装数据和设计数据的一致性，从而保证施工质量。

六、结语

针对目前数量不断增多的大跨度钢结构工程，在其设计和施工整个过程中应用BIM技术也比较常见，并且表现出良好的优势。通过本文中的实际案例介绍BIM技术在其中的应用，表现出在施工之前的设计阶段通过BIM技术的应用可以进行设计优化和合理规划，而且在施工中进行模拟仿真并监控施工质量和安全，合理安排施工进度，有效节省施工成本，在施工管理中也发挥着重要作用。

参考文献

[1] 陆伟. 大跨度钢结构施工技术及BIM应用研究[J]. 建筑技术开发, 2017(44):13.
 [2] 夏生生. 大跨度钢结构施工技术及BIM应用研究[J]. 建材与装饰, 2017(39).
 [3] 杨柳. 大跨度钢结构施工技术及BIM应用研究[J]. 中国室内装饰装修天地, 2019, 000(014):183.
 [4] 马金生. 大跨度钢结构施工技术及BIM应用研究[J]. 建材与装饰, 2019(35).
 [5] 卜学宝, 张红, 杜传金. BIM技术在大跨度钢结构施工管理中的应用分析[J]. 中国室内装饰装修天地, 2019, 000(001):262.