

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2014.06.005

一种钢桁架式基坑支护结构

林海, 简洪钰, 朱俊向

(福建工大建筑设计院, 福建 福州 350014)

摘要: 桁架式结构因可提供较大的抗弯刚度, 常常是大跨度结构的首选。基坑工程的围护桩是一种需要提供较大抗弯刚度用于承受横向力的受弯构件, 桁架结构则是一种最合理的选择。液压高频振动锤可以提供较高的振动频率和激振力可确保在软土、砂砾和卵石层中将装配好的长方形空间桁架振动沉入地基中, 使钢桁架桩在软土基坑中得以实施。与现今流行的支护结构相比, 钢桁架桩可回收满足节能环保要求, 结构受力明确, 构件可在工厂进行标准化制作现场拼装, 其质量可控, 施工工期短, 同时还可重复使用基坑监测测试原件。因此具有较高的经济与社会效益。

关键词: 基坑支护; 钢桁架桩; 环保节能; 对比分析

中图分类号: TU94

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2014)06-0531-05

A supporting structure for steel truss excavation

Lin Hai, Jian Hongyu, Zhu Junxiang

(Architecture Design Institute, Fujian Industrial College, Fuzhou 350014, China)

Abstract: Truss structures usually serve as long-span structures due to their large anti-bending stiffness. The truss structures are chosen, because the retaining piles of foundation pit engineering require flexural members that can provide large anti-bending stiffness and bear horizontal force. But it is difficult to construct the truss structures before the excavation of the basement and to ensure that the truss structures only bear nodal loads. High-frequency hydraulic vibration hammers can provide high vibration frequency and vibration force for sinking the assembled rectangular space truss into the soft soil, gravel and pebble bed to complete the steel truss piles construction. Compared with the traditional supporting structures, the steel truss piles can be recycled and meet the requirement of energy conservation and environment protection. The results show that the stresses of the structures are definite, that the quality of the steel truss structures can be controlled with short construction period, and that the test components in the foundation monitoring can be recycled.

Keywords: foundation pit supporting; steel truss pile; environmental protection; contrastive analysis

深基坑支护工程是一种特殊的工程构筑物, 具有复杂、可变和临时性的特点^[1]。目前, 我国支护结构型式主要有挡墙和支撑(锚)2部分。支护型式分为支挡型支护和加固型支护2大类。支挡型支护常用的有板桩支护、排桩挡墙、地下连续

墙支护等几种型式, 在这些支护系统中, 常辅以止水防渗、支撑拉锚、降水排水、挖土卸载等技术措施, 使支护结构满足挡土、止水的要求。

加固型支护多采用深层水泥搅拌桩或旋喷桩等, 既可挡土又可形成隔水帷幕, 目前用于开挖深

收稿日期: 2014-09-28

基金项目: 基于高频振动锤的岩土工程成套施工工艺及配套产品研发(E2b00007)

第一作者简介: 林海(1989-), 男(汉), 福建福州人, 助理工程师, 硕士, 主要从事岩土工程设计和研究工作。

度 7 m 以内的基坑支护,适用于软土地基。但施工质量很难控制,止水效果不够理想,基坑变形较大,不少地方对此类型支护都有较严格的限制。

已有的基坑支护结构型式除钢板桩支护外都浪费大量资源,最为经济的钢板桩也没有一个很好的止水措施,并且由于受型钢尺寸和施工设备的限制,该支护型式需要多道水平支撑,基坑变形大,工序较多,工程隐患大。基坑工程是一个风险性较大的工程,由于到目前为止还没有一种理想的基坑支护结构型式,因此常出现工程事故,造成城市管网破坏和邻近建筑物的开裂和不均匀沉降等。基于对现有基坑支护技术材料浪费、工序多、质量难以控制、施工周期长的缺陷深入研究,本文提出一种钢桁架式基坑支护结构^[2]。

1 钢桁架式基坑支护结构

1.1 结构体系

该结构由单个方形空间钢桁架围护桩按一定的间隔布置,每相邻 2 个空间钢桁架围护桩通过桩间挡土板连接形成支护桩墙。钢桁架式围护桩呈方形空间桁架,该方形空间桁架包括 4 根钢管,4 根钢管形成的 2 个相对侧面由焊接在钢管上的固定腹杆形成桁架,另外两相对的侧面分布有可拆卸腹杆。固定腹杆形成的桁架 2 个挡土侧面的桁架节点上通过螺栓连接有荷载转换板,可以将挡土板上的土压力转换成集中力传至桁架各节点,由此组成抵抗水平土压力的空间桁架体系,如图 1 所示。

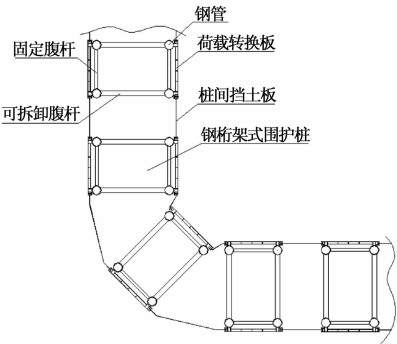


图 1 钢桁架式基坑支护结构俯视图
Fig. 1 The vertical view of steel truss excavation supporting structures

图 2 和图 3 为方形钢桁架式围护桩基坑支护结构与围护墙平行和垂直的剖面图。靠近基坑墙

体一侧的固定桁架从上至下横置、斜置间隔设置。其余两侧面分布的可拆卸腹杆也是从上至下横置、斜置间隔设置。可拆卸腹杆的长度可调,这样就可以通过调节可拆卸腹杆的长度来调节支护墙的厚度。如图 3 所示,钢桁架式围护桩靠基坑侧可连接一空间平面桁架作为基坑围护结构的冠梁或围檩以增加桁架桩抵抗水平位移的能力。

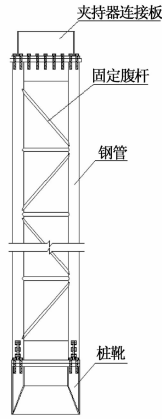


图 2 钢桁架式基坑支护结构与围护墙平行的剖面图
Fig. 2 The profile of steel truss excavation supporting structures parallel to the retaining wall

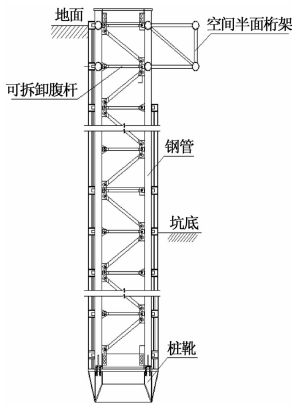


图 3 钢桁架式基坑支护结构与围护墙垂直的剖面图
Fig. 3 The profile of steel truss excavation supporting structures perpendicular to the retaining wall

当需要比较高的支护墙时,钢桁架式围护桩可以通过法兰连接加长。钢桁架式围护桩最底部通过螺栓连接桩靴,设置桩靴可避免沉桩施工过程中方形空间桁架遇障碍物时连接构件发生变形影响重复使用,同时可增强沉桩时的穿透能力并减轻挤土效应。

钢桁架式围护桩中荷载转换板与桩间挡土板

的连接如图4所示。荷载转换板通过螺栓与固定在桁架节点上的固定螺母连接,其主要作用是挡水、止水,同时还起到将主被动土压力由面荷载转换成作用在节点上的集中荷载的作用,以满足桁架各杆件为二力杆的受力要求,这也是桁架可以作为基坑支护桩的关键所在。

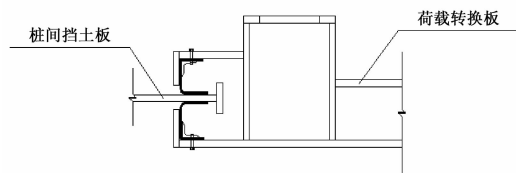


图4 荷载转换板与桩间挡土板连接图

Fig. 4 The connection between load conversion plate and soil retaining plate

1.2 工艺流程

桁架顶部的可拆卸夹持器连接板与液压振动锤或其他振动沉桩设备的夹持器连接,通过振动将桁架桩沉至设计要求深度,施工顺序如下:

根据设计要求开挖导向槽并准确定位方形桁架桩的位置→现场拼装桁架桩并将荷载转换板、夹持器连接板和桩靴与桁架桩连接形成主体→振动沉入桁架桩→振动沉入桩间挡土板→根据设计要求安装桁架式支撑冠梁→开挖坑内土方→地下室底板施工→地下室外墙施工→外墙与围护桩之间回填土施工→振动拔出桩间挡土板→振动拔出桁架桩→拆去桁架桩中的荷载板、桩靴、可拆卸连接腹杆等。

1.3 优越性

(1) 施工方便

钢桁架式基坑支护结构施工需要的大型设备是振动锤和较大吨位的履带式带车,其余均为小型施工设备,操作简便,施工快捷,适用范围广。钢桁架式围护桩和围护支撑构件可以根据受力要求任意组合,有关构件加工成标准件,装配灵活。施工时首先进行测试桩的沉桩施工,以便及时获得各土层的静止土压力,并以此分析桁架的受力情况,以调整设计,实现信息化设计与施工。

(2) 环境影响小

振动锤打入围护桩时,中高频振动消散快,对周边建筑物的振动影响小,可在建筑物密集的城市内施工。

(3) 安全可靠度高

可以将应力传感器埋置在固定桁架和荷载转换板的节点上,还可以配套分析软件,动态显示出桩的受力状态,发现问题及时进行修改补救,避免潜在的安全隐患,安全可靠度高。通过大量工程实践和测试结果的回归与分析,可以获得更加合理的土压力计算模型,为区域性地方规范的修改提供可靠的理论和实践依据。

(4) 节源环保

支护结构主要以钢材为主,虽然一次性投资较大,但均可回收重复使用,其施工耗材除了施工时所消耗的动力之外,基本上不会把材料留在地下,也不留下任何垃圾,这是地下连续墙支护、钢筋混凝土桩加内支撑支护所无法比拟的。就是采用SMW工法也无法与之相比较。所有构件工后可回收重复利用,符合国家环保节源的战略要求。

2 钢桁架技术与经济指标分析

2.1 技术分析

钢桁架式基坑支护结构每相邻两个钢桁架式围护桩之间通过桩间挡土板连接形成支护桩墙,荷载转换板将支护桩墙上的主被动土压力由面荷载转换成作用在节点上的集中荷载作用传递至钢桁架,满足桁架各杆件为二力杆的受力要求。

钢桁架结构受力明确,通过计算得到支护桩墙上的主被动土压力,即可进一步计算求得钢桁架各个杆件所受内力。分析桁架杆件的受力特性,将受力大的杆件单独取出来进行重点处理;将受力小的杆件,在满足计算和规范要求的情况下适当优化变小^[3]。

为分析钢桁架的受力情况和经济指标,将钢桁架式基坑支护结构作为文献[4]中的基坑工程支护型式,通过该基坑工程的土层与开挖条件,分析钢桁架的受力与变形情况,并与原设计采用的现浇薄壁灌注桩进行技术经济指标对比。

该基坑设有2层地下室,开挖深度约10 m,其中放坡开挖2 m,原设计采用现浇薄壁灌注桩加一道内支撑的方法。桩长15 m,入土深度7 m,桩外径1.5 m,内径1.1 m,间距2.76 m。基坑开挖深度范围内主要土层如表1所示。

现考虑钢桁架式基坑支护结构作为基坑支护型式,采用桩长15 m,入土深度7 m,截面尺寸为1.5 m×1.8 m,间距3 m。通过理正深基坑支护设计软件进行计算,满足整体稳定性和抗倾覆稳

定性要求^[5],将得到的支护桩主被动土压力计算钢桁架结构杆件内力与变形。单元计算简图见图 5。

表 1 土层主要物理力学性质指标

Tab. 1 Main physical and mechanical properties of soil layers

层号	土类 名称	层厚/ m	γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	c / kPa	φ / ($^{\circ}$)
①	杂填土	2.30	16.0	8.0	15.0
②	淤泥	8.37	15.8	15.0	1.4
③	粉质粘土	1.67	18.1	19.6	25.0
④	中砂	4.27	18.0	0.0	20.0
⑤	粉质粘土	0.70	16.2	18.4	30.0
⑥	粗砂	2.80	20.0	0.0	28.0

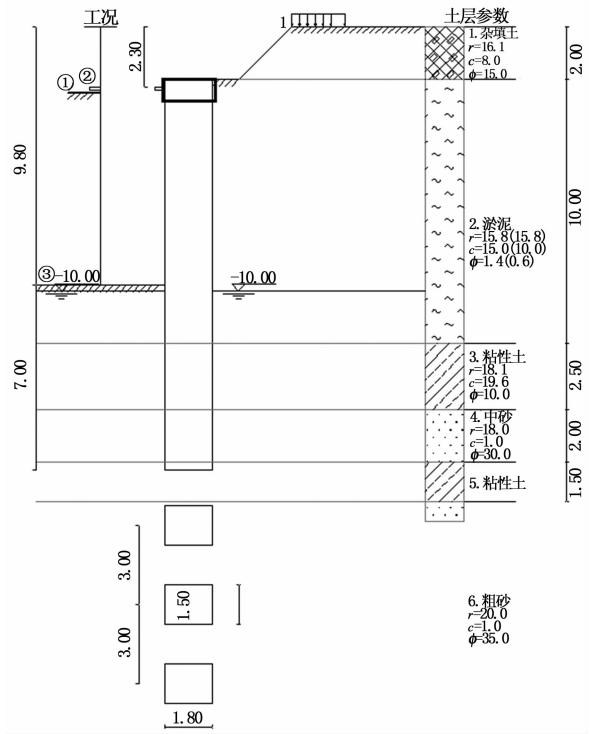


图 5 荷载转换板与桩间挡土板连接图(单位:m)

Fig. 5 The connection between load conversion plate and soil retaining plate (unit:m)

图 6 所示为理正软件计算得到的支护桩主动和被动土压力。钢桁架式支护桩间距 3 m,每榀桁架承受宽度 1.5 m 支护桩墙上的荷载。将荷载转换板看作是多跨连续梁,土压力为作用在梁上的线荷载,根据多跨连续梁上的线荷载计算得到节点上的集中荷载。钢桁架杆件内力与桁架结构

变形采用 Mathcad 软件进行编程计算,将钢桁架尺寸和节点荷载导入,即可计算得到钢桁架内力与变形结果。图 7 为钢桁架结构开挖前后变形图,最大位移发生在接近坑底位置,最大值为 22.9 mm,远小于薄壁灌注桩的最大位移 32.1 mm。

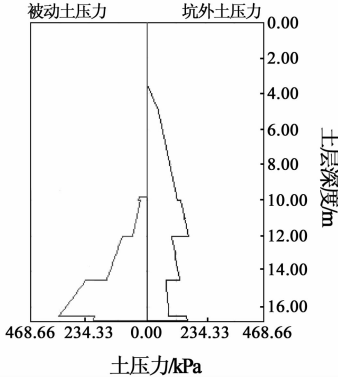


图 6 支护桩主被动土压力图

Fig. 6 The active and passive soil pressures of retaining piles

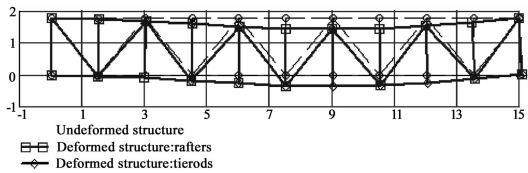


图 7 开挖后结构变形图

Fig. 7 The deformation of steel truss structures after excavation

2.2 技术与经济指标分析

设计钢桁架杆件时,将两侧钢管设计为较大尺寸,中间水平腹杆和斜腹杆直径和厚度相同,但长度不同。两个挡土侧面上的固定腹杆所受轴力较小,采用较小钢管厚度,各杆件尺寸和数量见表 2。经 Mathcad 软件编程计算,设计的杆件满足承载力要求。

表 2 杆件尺寸及数量

Tab. 2 The size and number of steel piles

杆件名称	直径/ mm	厚度/ mm	截面面积/ cm^2	长度/ m	数量/ (根 $\cdot \text{m}^{-1}$)
两侧钢管	150	10	43.98	15.00	2
斜腹杆	100	10	28.27	2.34	10
水平腹杆	100	10	28.27	1.80	11
固定腹杆	100	5	14.92	2.12	10
				1.50	11

表3为钢桁架式基坑支护结构与原设计采用的现浇薄壁灌注桩的技术经济指标对比结果。对比分析中加入了钢桁架式基坑支护结构作为悬臂基坑支护结构时的技术经济指标,悬臂钢桁架桩桩长22.5 m,截面尺寸为1.5 m×1.8 m,间距2 m。

1)钢桁架式基坑支护结构有一道内支撑的情况下,最大水平位移小于现浇薄壁灌注桩的最大水平位移,这是由于钢桁架式支护结构截面尺寸大,提供了较大的抗弯刚度。

从表3的材料用量对比可以看出,薄壁灌注桩使用的混凝土和钢筋均为不可回收资源,造成资源浪费,灌注桩钢筋混凝土单价按2 000元/m³计算,工程造价为8 760元/m(不含内支撑)。钢桁架式支护结构不需要使用混凝土,虽然钢管使

用量较大,但是均可回收使用,材料费用仅为钢管的租赁费用,钢管和钢板单价按2 200元/t计算,工程造价5 095元/m(不含内支撑),远低于已经是比较经济的薄壁灌注桩。

2)本实例开挖深度达10 m的软土地区基坑工程,采用悬臂式钢桁架桩进行基坑支护,其桩顶的最大水平位移仅为28.4 mm,仍小于薄壁灌注桩的最大位移,因此在场址允许的条件下,可实现在软土地区的两层地下室采用悬臂式支护。

3)虽然悬臂钢桁架桩支护型式钢材用量较大,费用较高,但由于不需要设置内支撑,节约内支撑所需工程造价。当基坑面积较大,设置内支撑所需费用较高时,采用悬臂型式更为经济。因而桁架式围护桩支护型式具有很高的经济和社会效益。

表3 技术经济指标对比结果								
Tab.3 Comparison of technical and economic indicators among different piles								
围护桩 桩型	桩径/ mm	桩距/ m	支撑 道数	最大变形/ mm	混凝土用量/ (m ³ ·m ⁻¹)	钢筋(管)用量/ (kg·m ⁻¹)	钢板用量/ (kg·m ⁻¹)	造价/ (元·m ⁻¹)
薄壁灌注桩	1 500(1 100)	2.76	1	32.1	4.38	546	0	8 760
钢桁架桩	1 500×1 800	3.00	1	22.9	0.00	1 625	691	5 095
钢桁架桩	1 000×1 800	2.00	0	28.4	0.00	3 477	1162	10 206

3 结论

1)钢桁架式基坑支护结构是一种新型基坑支护结构,具有施工方便、环境影响小、安全可靠度和节源环保的特点,结构中所有构件工后可回收重复利用,符合国家环保节源的战略要求。

2)钢桁架构件可以加工成标准件,现场拼装。施工时可先进行测试桩的沉桩施工,以便及时获得各土层的静止土压力,并以此分析桁架受力情况,进而调整设计,实现信息化设计与施工。

3)通过与现浇薄壁灌注桩的技术经济指标

对比可以看出,均有一道内支撑情况下,钢桁架式支护结构最大水平位移小于现浇薄壁灌注桩最大水平位移。

4)钢桁架式支护结构不需要使用混凝土,虽然钢材用量较大,但均可回收重复使用,消耗的材料和能源较少,实现在较低材耗、能耗和工程造价的前提下,满足支护体系的安全可靠。

5)当基坑面积较大,设置内支撑所需费用较高时,如场址周边允许,在软土地区两层地下室,也可采用悬臂型式的钢桁架基坑支护结构,且更为经济。

参考文献:

[1] 刘国彬,王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
[2] 简洪钰. 钢桁架式基坑支护结构:中国,201110192811.2[P]. 2011-12-21.
[3] 李强,何玉平,侯迎霞. 钢桁架栈桥大内力杆件分布及在设计中的应用[J]. 煤炭工程,2008(9):86-89.
[4] 简洪钰,陈福全,朱俊向. 现浇薄壁灌注桩在某基坑支护中的应用[J]. 福建工程学院学报,2008,6(1):1-7.
[5] 中华人民共和国建设部. JGJ120-2012 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.