

“桩（墙）—撑—锚”联合支护技术的工程应用 与变形协调探讨

冯申铎^{1, 2}, 姜晓光^{1, 2}, 杨志银^{1, 2}, 张俊^{1, 2}, 卓志飞^{1, 2}

(1. 中国京冶工程技术有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518054, 2. 深圳冶建院建筑技术有限公司, 广东 深圳 518054)

摘要: “桩（墙）—撑—锚”联合支护是在“桩（墙）—撑”和“桩（墙）—锚”两种支护技术的基础上, 扬长避短, 研发的一种具有综合优越性的新型联合支护形式。它既可有效地控制基坑周边变形, 又为土方和地下结构施工创造了方便条件。这种新型支护在3个深基坑工程 ($H=11\sim 20.9$ m) 中应用效果良好。论文还对“桩（墙）—撑—锚”联合支护形式的变形协调问题进行了探讨, 认为技术关键是加大锚杆的刚度和变形控制能力。在分析比较这种新型支护与“桩（墙）—撑”支护在基坑施工和使用三阶段变形特点后, 认为在采取适当的技术措施的基础上, 基坑深层总变形量达到两者相当的水平是可能的, 并就提高基坑深层变形控制能力提出了5条措施。

关键词: 桩（墙）—撑—锚联合支护; 变形协调; 变形控制

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)S0-0456-05

作者简介: 冯申铎(1939-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事岩土工程研究、设计、施工和咨询。E-mail: zgjy2009@163.com。

Application and deformation compatibility of combined support of pile (wall)-bracing-anchor

FENG Shen-duo^{1, 2}, JIANG Xiao-guang^{1, 2}, YANG Zhi-yin^{1, 2}, ZHANG Jun^{1, 2}, ZHUO Zhi-fei^{1, 2}

(1. Shenzhen Branch of China JingYe Engineering Corporation Limited, Shenzhen 518054, China; 2. Shenzhen YJY construction engineering technology corporation limited, Shenzhen 518054, China)

Abstract: The combined support of pile (wall)-bracing-anchor, a new supporting type, has been developed based on pile (wall)-bracing and pile (wall)-anchor and has more advantages. It can effectively control the surrounding deformations of excavations and facilitate the excavation and construction of underground structures. The application of the new supporting type in three projects has achieved good results. Based on the studies on the deformation compatibility of the combined support of pile (wall)-bracing-anchor, increasing the stiffness and the ability to deformation control of anchors is the key technique. It's believed that deep displacements of the new supporting type and the pile (wall)-bracing support can achieve the similar level by taking some measures through analyzing the deformation characters of these two types during three stages of foundation construction-use-bracing substitution, and five technical measures of enhancing the ability to control deep displacement are provided.

Key words: combined support of pile (wall)-bracing-anchor; deformation compatibility; deformation control

0 引言

近20多年是我国深基坑工程及其支护技术的快速发展期, 基坑数量迅猛增加, 规模愈来愈大, 深度愈来愈深; 与此同时, 深基坑支护技术不断进步, 日臻完善, 形成了一套配套比较齐全、能适应不同地层条件、不同基坑规模、不同技术要求的深基坑支护体系。归纳起来, 目前工程应用最为普遍的深基坑支护类型大致可分为: 排桩(悬臂桩、双排桩、钢板桩等)、

护墙(地下连续墙、土钉墙、复合土钉墙、水泥土墙等)、桩—撑、墙—撑、桩—锚、墙—锚等十余种基本的支护形式。然而, 综观各类深基坑工程和基坑支护技术规范, 发现有一种很重要的支护形式至今在“正册”中尚无名分, 那就是“桩（墙）—撑—锚”联合支护技术。这种现状的存在, 一方面与其工程应用较少有关; 另一方面, 与岩土界对其关注不够, 或者说

对其存在“看法”有关。为此, 本文介绍一些已有的工程实例和使用效果, 并对推广应用这一新型支护技术的一些相关问题进行分析和探讨, 以期引起岩土工程界同仁的关注, 进而在工程应用中发展和完善, 使这种特点鲜明、优点突出的新型支护在深基坑支护技术的百花园中占有一席之地。

1 一种理想的支护形式

众所周知, 桩(墙) - 撑和桩(墙) - 锚是目前深基坑工程中两种应用非常广泛的强力式支护型式, 在维护基坑稳定方面二者都发挥了出色的和可靠的作用。近年来, 随着城市建筑、市政道路、地下空间等开发利用的进一步发展, 新建基坑周边条件更加复杂、更加困难, 除要求安全稳定外, 往往还必须满足周边环境的变形要求。为此, “桩(墙) - 撑”支护目前有增加趋势。

“桩(墙) - 撑”支护在确保基坑稳定和控制周边变形方面的作用是显著的, 但也存在着一些明显的缺点, 主要表现在: ①挖土工程施工困难, 效率低, 特别是在一些小而深的超深基坑中, 一个几千平方米的基坑, 深度超过 20 m, 布置 4~5 道水平支撑, 出土坡道布置非常困难; ②基坑深层变形控制存在薄弱环节和不利因素, 例如: 支撑竖向间距较大, 支撑结构和施工较复杂, 造成土方开挖、支撑施作时间长; 支撑施作过程中基坑暴露范围大, 难以实施分段控制变形; 拆撑还会造成附加变形; ③地下室结构施工工序多, 速度慢; ④工程造价较高。

桩(墙) - 锚与桩(墙) - 撑的优缺点正好相反, 它克服了桩(墙) - 撑支护的上述缺点, 但也存在着两个明显的不足: ①对基坑顶部周边变形控制能力相对较弱, 对变形要求严格的工程难以胜任; ②对软弱地层和有布有管道、基础、构筑物的地层使用受限制。

根据多年的工程实践经验, 从深基坑工程实际需

要出发, 我们在工程中尝试采用桩(墙) - 撑 - 锚联合支护技术。这种新型支护体系是将上述两种实用技术结合起来, 强强联合, 取长补短, 从而达到安全可靠、方便施工、加快施工速度、合理控制工程造价的综合效果。

“桩(墙) - 撑 - 锚”联合支护技术与上述两种支护型式的优缺点比较见表 1。

2 工程应用效果良好

(1) 长城春风花园基坑工程^[1]

长城春风花园位于深圳市罗湖区, 北侧和东侧紧邻交通干线春风路, 路下各种管线密集; 西侧和南侧密布 6~8 层居民楼。基坑东西长约 160 m, 南北宽约 62 m, 开挖深度约 11 m。场地地质条件复杂, 基坑开挖范围内的地层有回填土、淤泥质黏土、厚层砾砂层(厚约 4~6 m), 粉质黏土等。

基坑支护采用“地下连续墙+组合钢管内支撑+预应力锚索”联合支护, 水平支护共设两排, 第一排内支撑和预应力锚索混合布置, 内支撑布于居民楼的对应位置, 其他位置布置预应力锚索; 第二排为单一预应力锚索。基坑建成后形成了一个空旷舒服的地下施工空间。

长城春风花园由深圳长城地产公司于 1997 年开发, 基坑工程由中国船舶九院深圳分院、冶金部建筑研究总院深圳分院、上海基础公司深圳分公司联合设计和施工。在开发单位主要技术人员的支持下, 在地下连续墙设计和预应力锚固技术方面力量雄厚和经验丰富的两个设计单位技术人员立足优势、敢干创新, 在国内较早地尝试采用了这种新型支护, 并在相关四方的密切配合下, 顺利地、高质量地完成了深基坑支护工程。至基坑回填, 水平位移和沉降值均小于 15 mm, 整个施工期间基坑稳定状态良好, 保证了周边建筑、道路和管线安全。

表 1 三种联合支护比较

Table 1 Comparison among three combined supporting types

比较内容	支护形式		
	桩(墙) - 撑	桩(墙) - 锚	桩(墙) - 撑 - 锚
对基坑周边变形的控制能力	强	较弱	强
基坑周边变形量	小	大	小
顶部第一层支护结构施作条件	方便	受管线、基础和地下构筑物限制	方便
基坑土方工程施工	困难, 尤其小而深基坑	方便	方便
支护结构施作	较复杂	较简单	较简单
竖向间(排)距	大	小	小
分层分段支护条件	不利	有利	有利
地下室结构及工程桩施作条件	影响较大	方便	方便
支护施作期间各工况深层变形量	大	较小	较小
支护运行期间深层变形	小	较大	较大
拆撑引起的附加变形	有	无	可忽略
工程造价	较高	较低	一般

(2) 深圳中航城 D1 地块基坑^[2]

中航城 D1 地块位于华富路以东、振中路北, 周边环境复杂, 东、南、北 3 面为多层或高层建筑及小区道路, 道路下布有各种管线, 密而近。地层结构有填土、含有机质粉质黏土、坡洪积黏土、残积砂质粉质黏土, 下伏基岩为燕山晚期花岗岩。基坑开挖深度 18.1~20.9 m。

该基坑选用桩-撑-锚联合支护方案的理由有:

①周边建筑、道路、管线密集, 特别是振中路下开挖影响范围内有各种管线 9 条, 对变形要求严格; ②基坑南、北侧建筑地下室距基坑较近, 加之周边密集的管网, 上部锚杆布置有困难; ③工期要求较紧, 为加快工程进度, 必须为土方工程和地下室施工创造方便条件。

具体支护方案为: 护坡桩采用钢筋混凝土灌注桩, 桩径 1.2 m, 间距 1.7 m, 桩间加单管旋喷桩止水。顶部布置一层钢筋混凝土支撑, 下部 4 排预应力锚索, 单根锚索设计拉力 400 kN。

该工程地下室已于 2011 年 8 月完工。在基坑开挖、支护及地下室施工期间, 基坑运行正常, 安全稳定。坡顶位移最大值 16.95 mm, 深层变形最大值 21.73 mm, 典型坡体位移曲线见图 1。

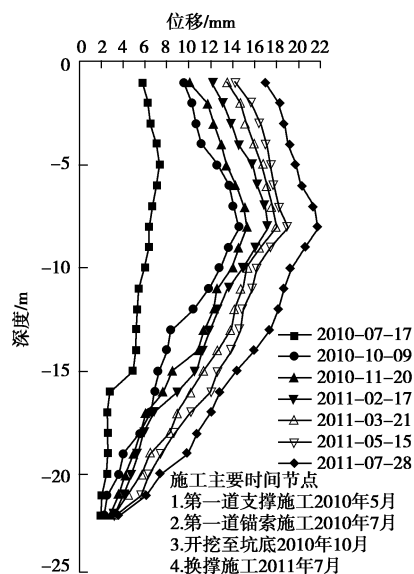


图 1 典型深层变形曲线

Fig. 1 Typical curves of deep lateral movement of soils

(3) 郑州道路改扩建基坑^[3]

郑州道路改扩建工程两侧建筑物和地下管线密集, 道路下设有隧道, 开挖深度较深, 必须采用可靠的支护技术。地层结构除上部为杂填土外, 下部基本上是多粉土和粉质黏土相间分布。扩建标段长 2.1 km, 基坑深度随着隧道埋深变化, 代表性开挖断面深

约 12 m, 采用“钻孔灌注桩+一排钢筋混凝土顶撑+两排预应力锚索”联合支护。根据介绍, 桩-撑-锚联合支护结构对深基坑侧壁变形控制效果十分显著。该基坑顶部水平位移只有 5 mm 左右, 而深层最大变形只有 18.8 mm。另外, 从测斜曲线可以看到一个明显的现象: 凡是布置锚索的位置 (第一排在 -4 m, 第二排在 -8 m 处) 变形曲线均有一个向内凹槽, 说明预应力锚索对坡体变形起到了明显的约束作用。详见图 2。

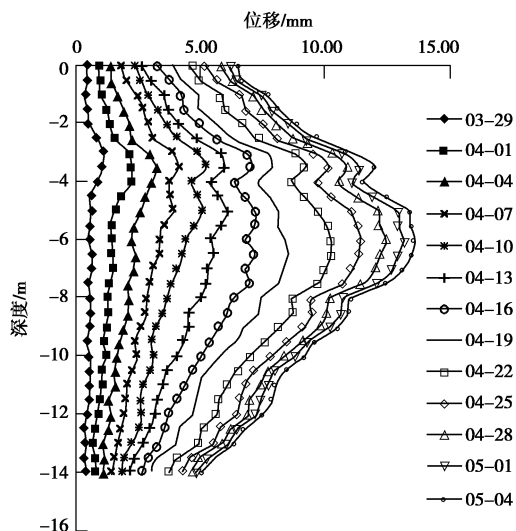


图 2 C14 累计测斜位移曲线

Fig. 2 Cumulative curves of deep lateral movement of soils of C14

3 适用条件

(1) 周边环境条件

桩(墙)-撑-锚联合支护对基坑周边环境条件无特殊限制, 凡是可以采用桩(墙)-撑或桩(墙)-锚的基坑, 桩(墙)-撑-锚联合支护均可使用, 而且其综合优越性会比二者更加突出。

(2) 工程地质条件

桩(墙)-撑-锚联合支护技术对地层条件的要求是: 锚杆锚固段所处地层要能够提供可靠的锚固作用, 如果基坑中下部有厚层淤泥、淤泥质土或新近填土, 一般不宜采用。但应说明, 厚层砂层并不影响使用, 上部的软弱土层也不影响其应用。

(3) 基坑深度

适于桩(墙)-撑-锚联合支护的基坑深度与周边环境条件和工程地质条件有关, 既有工程已有 20 m 深的使用实例, 更多的经验尚待进一步实践和积累。笔者认为, 对于基坑深度在 15~20 m, 且周边环境比较复杂的基坑, 采用“一道水平支撑+多道预应力锚索”联合支护最为适宜。对于深度超过 20 m 的基坑,

可根据地质条件灵活决定: 如果基岩已经露头, 那么下部可继续使用预应力锚索或喷锚支护; 如果基岩较深, 则可考虑采用二道支撑(顶部一道, 下部一道)加多排预应力锚索的支护方案。桩(墙) - 撑 - 锚联合支护体系中, 支撑立柱的安全要满足规范和计算要求。

4 变形协调分析

在桩(墙) - 撑 - 锚联合支护体系中, 所谓“变形协调”是指顶部布置支撑部位的位移与下部布置锚杆部位的位移不要过于悬殊, 并在其允许的范围内确保支护体系共同工作和基坑安全, 其技术关键是如何加大锚杆的刚度和变形控制能力。

在基坑整个施工和使用阶段, 其变形过程基本上可以分为 3 个阶段, 即土方开挖和支护结构施作阶段(下称“开挖施作阶段”)、运行(使用)阶段、换(拆)撑阶段。

在开挖施作阶段, 基坑深层水平位移随着开挖深度的增加会有一个明显的加速过程, 在特定基坑和地层条件下, 开挖方法和开挖深度是决定变形量的主要影响因素。一般而言, 支撑的竖向间距比预应力锚杆的排距要大(例如, 深圳地区普通地层中, 预应力锚杆排距一般在 3~4 m 左右, 而钢筋混凝土支撑的竖向间距一般在 5~6 m 左右, 甚至更大), 加之支撑结构施工工期长, 基坑暴露面积大, 因此, 桩(墙) - 撑 - 锚联合支护比桩(墙) - 撑支护能更有效地控制深层变形。

在运行(使用)阶段, 支撑结构完成后, 支撑的控制变形能力要明显大于锚杆支护, 所以该阶段桩(墙) - 撑支护体系的深层变形量要小于桩(墙) - 撑 - 锚的变形量。减小桩(墙) - 撑 - 锚联合支护深层变形的有效途径是增大预应力锚杆的刚度和变形控制能力, 详见后述。

在拆(换)撑阶段, 特别是受力较大的下部支撑的拆除和更换, 基坑将产生一定的附加变形, 而桩(墙) - 撑 - 锚支护体系拆撑的影响要小得多。

由以上分析可知, 在下挖施作阶段和后期的拆(换)撑阶段, 桩(墙) - 撑 - 锚联合支护体系的变形量要小于桩(墙) - 撑支护体系; 而在运行(使用)阶段, 桩(墙) - 撑支护体系具有比桩(墙) - 撑 - 锚更大的变形控制能力和较小的变形量。就基坑开挖和使用的全过程而言, 如果适当增大锚杆(必要时包括护坡桩)的结构刚度和变形控制能力, 基坑深层的总变形量达到二者相当的水平是完全可能的。

5 提高基坑深层变形控制能力的措施

(1) 确保锚杆(索)的设计锁定拉力

目前, 采用预应力锚杆(索)的基坑工程, 有相当大一部分变形偏大, 其中原因之一就是预应力锚杆(索)的锁定拉力值多数达不到设计规定值。造成这一状况的原因与锚杆施工质量、张拉锁定方法、张拉设备及锚具等均有密切关系。很多施工单位未按规范规定进行超张拉; 另外, 根据工程经验, “卸荷至锁定荷载设计值进行锁定”也往往难以保证达到锁定荷载设计值, 起始锁定值适当提高是必要的; 锚杆材料、锚具等不可贪图便宜, 正式使用前必须张拉检验; 现场的防腐蚀保护也是非常必要的。

(2) 适当提高锁定拉力设计值

目前, 与预应力锚杆(索)有关的不同版本的技术标准对预应力锁定值有不同规定。采用桩(墙) - 撑 - 锚联合支护的基坑, 周边环境条件比较复杂, 而且要考虑内支撑与锚杆之间的变形协调, 所以锁定拉力设计值应按上限确定, 一般可按 0.9~1.0 倍设计拉力标准值确定锁定拉力值。

(3) 增加围护结构刚度

增加围护结构桩、墙的刚度和预应力锚杆的刚度, 并保证桩、墙足够的嵌固深度, 对减少基坑中深部变形及传递和均衡坡体变形具有重要作用, 小尺寸、大间距的竖向围护结构在桩(墙) - 撑 - 锚联合支护体系中不宜采用。

(4) 提高预应力锚杆的承载力

普通拉力型锚杆目前在深基坑支护中应用最普遍, 如因地质原因或锚固段长度限制达不到足够的锚固力时, 可采用荷载分散型锚杆或扩大头锚杆, 并采用较高的设计拉力值和锁定拉力值, 以增大锚杆控制变形的能力。

(5) 纠正预应力监测“重大轻小”的偏向

目前深基坑支护设计图纸关于锚杆预应力的监控要求往往只规定最大控制值和警戒值。监测预报也只报最大应力值, 而很少关注最小应力值。锚杆拉力值太高时固然会关系到锚杆和基坑的安全, 拉力过小也会造成锚杆约束力的降低和基坑变形的加大, 并威胁基坑安全。所以, 建议预应力锚杆的监控应对最大值和最低值均提出明确的要求。

6 结 论

(1) 桩(墙) - 撑 - 锚联合支护技术较之目前广泛采用的桩(墙) - 撑和桩(墙) - 锚支护, 在安全

可靠、经济合理、方便施工等方面有较突出的综合优越性,是一种理想的基坑支护新形式。

(2) 桩(墙)-撑-锚联合支护技术经工程应用效果良好,值得进一步扩大推广应用。

(3) 关于桩(墙)-撑-锚联合支护体系的协调工作和变形控制问题,本文提出了几条技术措施,今后有待进一步通过工程实践检验和改进,并进行作用机理和计算方法的研究。

参考文献:

[1] 冶金部建筑研究总院深圳分院. 长城春风花园基坑支护工程设计施工图[R]. 1997. (Shenzhen Branch of General Building Research Institute of Ministry of Metallurgical

Industry. Construction plans of pit supporting design for Changcheng Chunfeng Garden[R]. 1997. (in Chinese))

[2] 中国京冶工程技术有限公司深圳分公司. 中航城 D1 地块基坑支护设计施工图[R]. 2009. (Shenzhen Branch of China Jingye Engineering Corporation Limited. Construction plans of pit supporting design for D1 District of Caticity[R]. 2009. (in Chinese))

[3] 邱洪志, 甄西刚, 乐金朝. 桩锚-撑联合支护结构在深基坑中的应用[J]. 河南城建学院学报, 2011, 20(5): 5-9. (QIU Hong-zhi, ZHEN Xi-gang, LE Jin-zhao. The application of pile-anchor-brace combined supporting in deep foundation pit[J]. Journal of Henan University of Urban Construction, 2011, 20(5): 5-9. (in Chinese))

(本文责编 李运辉)