

预应力鱼腹梁在上海致远中学基坑工程中的应用

石教豪

上海澄域环保工程有限公司

摘要：拟建工程位于上海市奉贤区东至金碧路、南至齐贤雅苑小区、西至金钱路、北至南行路。致远中学地下占地面积约10185m²，教学楼区域南北长约133m，东西宽约61m，宿舍楼区域东西长约93m，南北宽约21m，基坑开挖深度6.25m。根据勘察报告说明，拟建场地在65.00m深度范围内的地基土属第四纪全新世(Q4)及上更新世(Q3)滨海~河口相、滨海~浅海相、滨海、沼泽相、河口~湖泽相和河口~滨海相沉积层，影响范围以内的土层自上而下依次为：填土、粉质黏土、淤泥质粉质黏土、粘质粉土、淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土、黏土。

关键词：围护结构；预应力；钢支撑；水泥土重力式墙

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.23.028

一、设计方案比选

围护结构的设计不仅关系到基坑开挖及周边保护建(构)筑物的安全，而且直接影响着土方开挖以及地下室结构施工等施工成本。基坑支护结构是个系统工程，不仅要保证受力合理，而且要施工方便、工期节省。首先要保证基坑开挖侧壁的安全，存在重大安全隐患的方案实际上是没有任何现实意义，而且可能带来巨大的经济损失；然后尽量节省造价，过于安全但太浪费的方案也不符合市场需求；最后考虑施工的方便性，施工的方便性可以在施工中节省工期、降低施工造价。

(一) 水泥土重力式墙围护方案

水泥土重力式围护墙兼具支护与止水作用，施工工艺成熟，操作简单、成桩周期较短，造价较低。基坑开挖时空间宽敞，方便土方开挖和后期结构施工。

重力坝围护的缺点是墙体占地面积大，对临近建筑物或地下设施影响较大，与内支撑结构相较，围护结构体系变形较大。适用于开挖深度不超过7米左右的基坑，基坑深度过大不宜采用重力式水泥土墙^[1]。

本方案采用Ø700@500双轴水泥搅拌桩，开挖深度6.2m，计算墙宽5.7m，桩长为16m，插入深度10.8m，卸土放坡1.0m。

(二) SMW工法桩钢支撑围护方案

SMW工法是利用专门的多轴搅拌机就地钻进切削土体，同时在钻头端部将水泥浆液注入土体，经充分搅拌均匀后，再将H型钢或其他型材插入搅拌桩体内，形成地下连续墙体，利用该墙体直接作为挡土和止水结构。其主要特点是构造简单，止水性能好，工期短，造价低，环境污染小。

SMW工法的主要特点：

- 1) 施工不扰动邻近土体，不会产生邻近地面下沉、房屋倾斜、道路裂损及地下设施移位等危害；
- 2) 钻杆具有螺旋推进翼相间设置的特点，随着钻

掘和搅拌反复进行，可使水泥系强化剂与土得到充分搅拌，而且墙体全长无接缝，它比传统的连续墙具有更可靠的止水性；

3) 可在粉质黏土、淤泥质粉质黏土等土层中应用。

钢支撑采用与钢筋砼相似的平面布置型式，钢支撑的刚度相对较小，其控制基坑整体变形和保护周边环境的能力较弱，尤其对于工程地质较软的情况下，常规钢支撑支护变形控制难度较大。为了控制基坑变形，往往需要布置较密的对撑和角撑，造成施工空间狭小，不利于土方开挖。

本方案采用双排Ø700@500双轴水泥土搅拌桩，桩长15.0m，H型钢为500*300*11*18，长度15.0m，跳一插一，钢筋混凝土冠梁1100*800，内支撑体系采用Ø609*16钢管支撑。

(三) SMW工法桩混凝土支撑围护方案

钢筋混凝土内支撑通过刚度较大的对撑+角撑能够有效控制基坑的变形，减少基坑对周围环境的影响。而且混凝土形式的支撑独立性较强，可根据基坑的开挖形状，浇筑成各种形式的混凝土构件支撑体系。但钢筋混凝土自重大、施工工期较长，拆除时产生噪音、大量粉尘污染及建筑垃圾，不利于绿色环保，费时费力。

本方案采用双排Ø700@500双轴水泥土搅拌桩，桩长15.0m，H型钢为500*300*11*18，长度15.0m，跳一插一，钢筋混凝土冠梁1100*800，在支撑体系上采用C35钢筋混凝土作为内支撑，截面尺寸为800*700。

(四) SMW工法桩预应力钢支撑方案

装配式预应力鱼腹梁(简称IPS)结构基于预应力原理采用标准化构件形成的装配式张弦结构的钢支撑体系，该体系由鱼腹梁、腰梁、横梁、钢绞线、三角形连接杆、预压顶紧装置、角撑、对撑、立柱和牛腿等构件组成^[2、3]。其工作方式通过对鱼腹梁上弦钢绞线施加预应力组合成具有一定跨度的受力结构，以此来控制支护结构的变形，在整个基坑平面支撑体系中，与角撑、对撑和三角连接杆共同作用，形成一个具有高冗余度平面预应力支撑系统，与传统的钢支撑相比，极大地提高了支撑系统的整体刚度和稳定性^[4]。

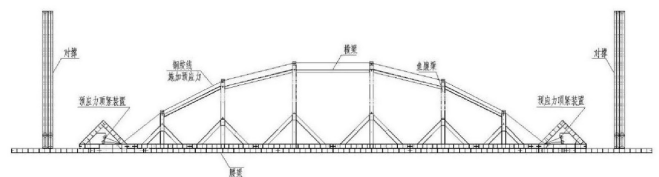


图1 鱼腹梁构造示意图

主要优点：

- 1) 型钢回收率在95%以上，绿色环保；
- 2) 通过施加预应力有效地控制基坑的变形；

表1 基坑围护方案的特点对比

基坑围护方案	水泥土重力式墙	SMW工法桩+钢支撑	SMW工法桩+砼支撑	SMW工法桩+预应力鱼腹梁
基坑位移大小	大	较大	较小	小
施工工期	较短	短	较长	短
施工工艺	简单	较简单	较简单	复杂
工程造价	较低	较高	高	低
对周围环境的适应性	周边环境相对简单，空间足够开阔	周边环境相对简单，不受场地空间限制	周边环境相对复杂，需较好的控制基坑位移	周边环境相对复杂，能较好的控制基坑位移

- 3) 通过预应力形成大空间，方便挖土；
- 4) 整体刚度大、稳定性高。

缺点：1) 对工艺的要求较高，施工难度大。

本方案采用双排 $\phi 700@500$ 双轴水泥土搅拌桩，桩长15.0m，H型钢为500*300*11*18，长度15.0m，跳一插一，钢筋混凝土冠梁1100*800，采用350*350*12*19型钢装配式预应力鱼腹梁作为内支撑结构。

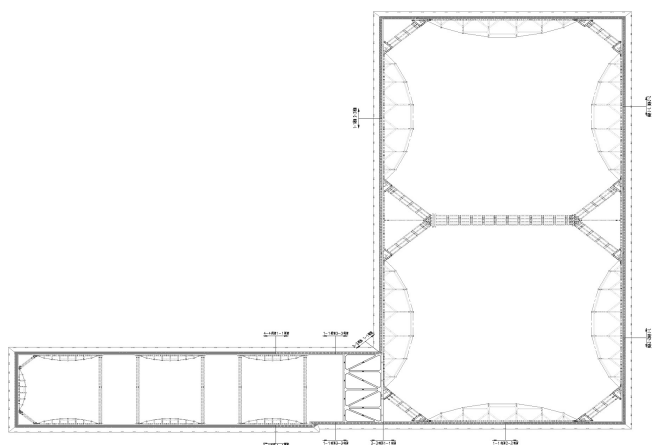


图2 预应力鱼腹梁方案平面图

综上所述，在确保基坑安全、较好控制基坑位移的前提下，SMW工法桩方案具有施工工期短、造价低的优点，且本基坑工程教学楼及宿舍楼区域坑深相对较浅，SMW工法桩可以满足位移设计要求，同时SMW工法桩可兼做止水帷幕，具有较好的止水效果并能够节约造价。因此教学楼及宿舍楼区域基坑推荐采用SMW工法桩作为基坑的竖向围护受力结构。预应力鱼腹梁结构因其自身优势，在保证基坑安全的前提下可以达到节约成本、缩短工期的目的，因此本工程最终确定的合理方案为SMW工法桩结合装配式预应力鱼腹梁方案。

三、预应力鱼腹梁钢支撑的施工要点

- 1、材料采用无变形、无裂纹的结构专用材料。
- 2、冠梁混凝土浇筑前，应设置预埋件，并设置测量点。
- 3、设置牛腿时，牛腿的仰角应为90~95度，不应小于90度。
- 4、施加预应力时，为了围檩和周围挡土墙更好的连接，先施加20T的预应力。
- 5、钢绞线张拉首先施加70%设计土压力，张拉钢绞线时要检测钢绞线的伸长率。

6、对撑和钢绞线施加预应力之后，再次拧紧松弛的螺栓。

7、预应力工具式组合内支撑在围檩安装后要要进行变形量监测，首先在施加预应力之前进行监测，然后在施加预应力之后进行监测，监测频率为至少每周一次。

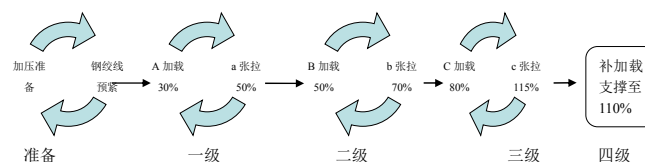
8、预应力工具式组合内支撑的拆除首先螺栓拧松之后，卸载钢绞线预应力，然后卸载对撑的预应力。

9、钢支撑预应力施加流程：

(1) 钢支撑预应力施加顺序：角撑、对撑→钢绞线。

钢支撑预应力施加原则：分区、分级、循环加压。

预应力施加的施工流程如下图：



上图中：A、B、C为对撑、角撑加载，a、b、c为钢绞线张拉。

(2) 钢支撑拆除前必须对拆除区域的支撑进行预应力释放，其单次预应力释放顺序：钢绞线→对撑、角撑。对拆除区域的预应力释放遵循分级循环释放的原则，采用4级（均匀）进行预应力释放。

四、结论

本工程方案的确定是基于预应力鱼腹梁内支撑体系的自身特点和优势，通过该方案将以往基坑支护结构进行对比分析，总结得出在适宜的基坑规模条件下，预应力鱼腹梁内支撑能满足基坑安全、高效和绿色施工的要求，有低成本、能增加钢材回收率，减少资源浪费优势，是一种具有应用推广价值的基坑支护体系。

参考文献

- [1] 刘建航, 侯学渊. 《基坑工程手册》[M]. 北京: 中国建筑出版社, 2009.
- [2] T/CCES3-2017预应力鱼腹式基坑钢支撑技术规范[S].
- [3] 张衡. 装配式预应力鱼腹梁钢结构支撑对深基坑变形的控制技术与方法研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2014.
- [4] 刘发前, 卢永成. 装配式预应力鱼腹梁内支撑系统的利与弊[J]. 城市道桥与防洪, 2013(7): 117-118, 125, 12.