

DOI: 10.7672/sgjs2025080103

# 既有结构钢管斜撑基坑加固施工技术\*

王士董,杨广德,徐青露,卓世华,杨永福

(中建三局集团有限公司,江苏 苏州 215100)

[摘要] 为在保护地下室外墙及底板的同时对基坑支护体系进行加固,提出了一种在既有结构上采用钢管斜撑配合外墙内侧混凝土腰梁的新型基坑加固施工技术。其原理是在地下室外墙内侧施工与传力带同宽的腰梁,既保证了基坑支护加固的效果,又有效保护了地下室外墙,防止其因承受水平侧压力而产生开裂或变形,从而避免了后期外墙渗漏的风险。同时,在既有底板上施工混凝土抗剪槽,以承受基坑支护通过钢管斜撑传递的水平力,从而使基坑支护承载力满足设计要求。相比于传统基坑支护加固技术,该技术具有施工速度快、操作方便、造价低等优点,且不会影响后续地下室结构施工。

[关键词] 基坑;加固;斜撑;外墙;渗漏;施工技术

[中图分类号] TU753

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)08-0103-05

## Construction Technology of Existing Steel Pipe Diagonal Bracing Foundation Excavation Strengthening

WANG Shidong, YANG Guangde, XU Qinglu, ZHUO Shihua, YANG Yongfu

(China Construction Third Engineering Bureau Group Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215100, China)

**Abstract:** In order to strengthen the foundation excavation support system while protecting the outer wall and bottom plate of the basement, a new foundation excavation strengthening construction technology is proposed, which adopts steel pipe diagonal bracing and concrete waist beam inside the outer wall on the existing structure. The principle is to construct a waist beam with the same width as the force transmission belt on the inner side of the basement exterior wall, which not only ensures the effect of foundation excavation support strengthening, but also effectively protects the basement exterior wall and prevents it from cracking or deformation due to horizontal lateral pressure, thus avoiding the risk of later exterior wall leakage. At the same time, the concrete shear groove is constructed on the existing floor to withstand the horizontal force transmitted by the foundation excavation support through the steel pipe diagonal brace, so that the bearing capacity of the foundation excavation support meets the design requirements. Compared with the traditional foundation excavation support strengthening technology, this technology has the advantages of fast construction speed, convenient operation and low cost, and will not affect the subsequent basement structure construction.

**Keywords:** foundation excavation; strengthening; diagonal bracing; external wall; leakage; construction

### 0 引言

在当前众多项目建设过程中,由于前期设计不合理、业态调整、结构加固、城市更新政策导向等各种原因,需拆改既有地下室结构。传统基坑支护体系加固方式有增加内支撑、施工混凝土挡土墙等,

但这些做法均存在造价高、施工工期长、影响后续施工等缺点。因此,总结了一种钢管斜撑与混凝土腰梁相结合的支护体系,拆除作为基坑支撑传力体系的地下室梁板,保留外墙及底板,同时在外墙内侧施工混凝土腰梁、配合 $\phi 609 \times 16$ 钢管斜撑及牛腿对基坑支护体系进行加固,此做法不仅造价低、工期短,而且对后续结构施工影响很小。

### 1 方案比较

1) 与采用混凝土内支撑相比,钢管斜撑在基坑

\* 中建三局集团华东建设有限公司科研课题:城市有机更新中的工业遗存改扩建设计与建造技术(CSCEC3BSH-2023-04)

[作者简介] 王士董,助理工程师,E-mail:735077430@qq.com

[收稿日期] 2024-10-20

加固中安装与拆卸更加方便快捷,能迅速发挥支撑作用,有效减小时间效应对基坑稳定性的影响。

2)混凝土内支撑自重大,材料不易回收,拆除时对环境的影响较大;而钢管斜撑材料可反复利用,自重小,施工方便,且更环保。

3)在地下室施工过程中,与混凝土内支撑相比,采用钢管斜撑进行加固能提供更大工作面,方便材料垂直运输。

## 2 工程概况

苏州现代服务广场项目位于苏州工业园区现代服务产业园中的核心区域,北临娄江大道、西临扬绣路、南临扬富路、东临扬明路。基坑开挖深度9.7~11.7m,周长799.7m,属于超深超大基坑,基坑侧压力大,支护结构安全等级为一级。

当基本拆除完成混凝土支撑时,拆除地下1层梁板会破坏原基坑支护的传力体系。经验算,原结构基坑承载力不满足设计要求,需对基坑支护进行加固。由于地下室外墙和底板需保留,因此采用本施工技术对基坑支护进行加固。底板顶标高为-9.400m,基坑外环路标高为-0.600~-0.400m,原基坑支护换撑体系为地下1层梁板及与地下1层梁板在同一标高的传力带,传力带宽2.5m,每隔5m设置1个。

## 3 理论依据

通过打凿地下室外墙,在其上施工1道与传力带同宽的钢筋混凝土腰梁,以传递基坑的轴向压力。地下室外墙内侧不在钢管斜撑支撑范围的腰梁两端是利用混凝土自身抗剪能力抵消传力带传递至外墙上的压力,从而防止外墙被挤压开裂或变形;而与钢管斜撑接触的中间部分腰梁则将传力带传递至腰梁上的力转移至钢管斜撑,最终,钢管斜撑将轴向力传递至底板上的混凝土牛腿,而牛腿通过在底板上凿毛、设置混凝土抗剪槽,利用混凝土自身的抗剪力,将基坑内侧的侧压力传递至底板。受力分析如图1所示。

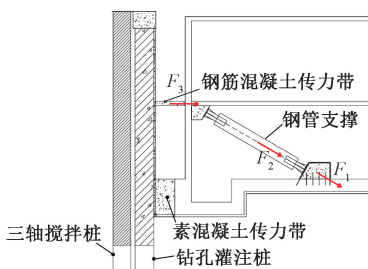


图1 受力分析简图

Fig. 1 Stress analysis

撑加固的基坑进行整体稳定性计算,稳定性系数最小的滑动面即为最危险的滑动面,且其稳定性系数需满足规范要求。

各土条对圆心的滑动力矩如式(1)所示。

$$M_s = \sum_{i=1}^n T_i r \quad (1)$$

各土条由底面的抗剪强度形成的抗滑力矩如式(2)所示。

$$M_r = \sum_{i=1}^n (c\Delta l_i + N_i \tan\varphi) r \quad (2)$$

式中: $T_i$ 为第*i*个土条重力的切向分力; $r$ 为土条重心到圆心距离; $c$ 为黏聚力; $l_i$ 为第*i*个土条弧长; $N_i$ 为第*i*个土条重力的法向分力; $\varphi$ 为内摩擦角; $n$ 为土条数量。

整体稳定性系数如式(3)所示。

$$K = \frac{M_r}{M_s} \quad (3)$$

此外,还对基坑抗倾覆稳定性、支撑刚度系数、中楼板传力块刚度系数、底板牛腿植筋抗剪强度、钢管斜撑稳定性及斜撑上端梁受力等进行了计算。通过验算可知,强度、刚度及稳定性均满足设计要求。

中楼板拆除完成后,基坑监测数值未达到预警值,且基坑变形处于稳定状态,这表明钢管斜撑对基坑加固具有显著效果。

## 4 施工技术

### 4.1 施工工艺流程

拆除地下室梁板前需施工钢管斜撑基坑支护加固体系,流程如图2所示。

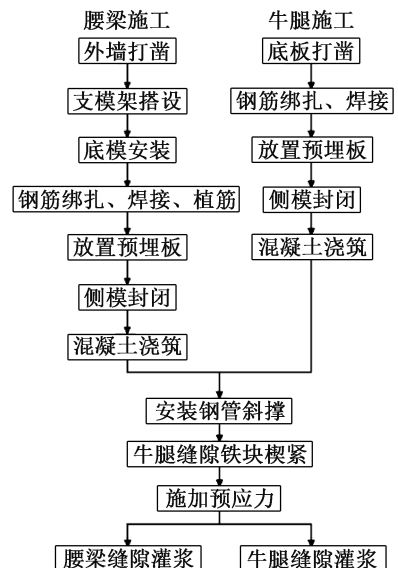


图2 施工流程

Fig. 2 Construction process

选取若干点位,对采用瑞典条分法结合钢管斜

## 4.2 施工技术要点

### 4.2.1 腰梁施工

根据斜撑上部梁板后期是否保留、腰梁两侧是否有梁等因素,腰梁施工可分为5种情况。

1)当腰梁两边均无结构梁时,腰梁两边施工850mm宽悬挑段,如图3所示。

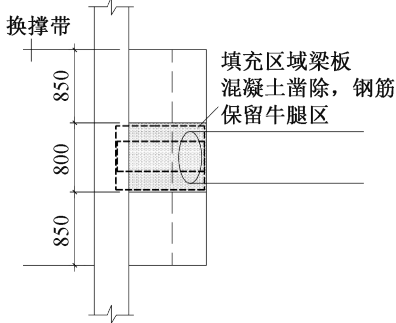


图3 腰梁两边悬挑

Fig. 3 Cantilevering on both sides of waist beam

2)当腰梁一侧存在结构梁时,梁侧凿毛,将腰梁纵筋植入梁中,如图4所示。

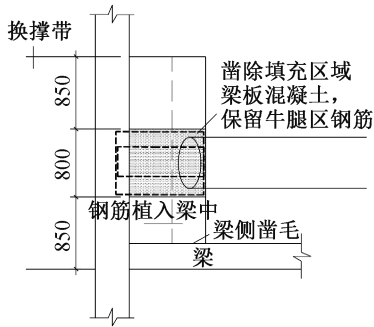


图4 腰梁一侧有梁

Fig. 4 Beam on one side of waist beam

3)当腰梁两侧均存在结构梁时,两侧梁侧均凿毛,将腰梁纵筋植入梁中,如图5所示。由于传力带宽度均为2.5m,因此腰梁宽度均为2.5m、中间800mm+两侧850mm,中间800mm为钢管斜撑支撑区域,需预埋钢板M,M尺寸为750mm×750mm×10mm,如图6所示。

4)后期中楼板保留。存在中楼板时,上部腰梁剖面为上底宽900mm、下底宽500mm、高700mm的直角梯形,如图7a所示。施工要求为:①严格控制腰梁与地面,保持为45°,以保证预埋钢板M与钢管斜撑的完美贴合;②做好放线定位工作,确保腰梁与传力带在水平方向重合;③严格控制水平箍筋与外墙水平筋、拉钩与外墙纵筋间的焊接质量。

5)后期中楼板拆除。无中楼板时,上部腰梁剖面为不规则的多边形,如图7b所示。施工要求为:

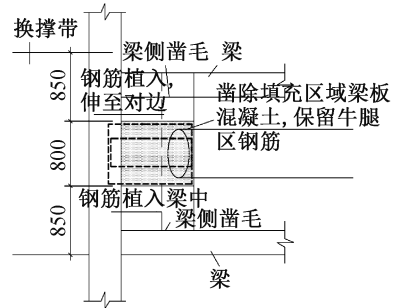


图5 腰梁两侧有梁

Fig. 5 Beams on both sides of waist beam

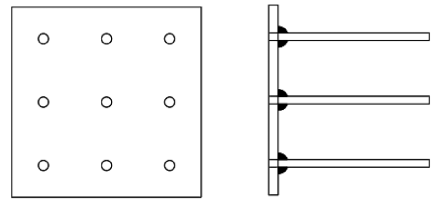


图6 预埋钢板M详图

Fig. 6 Embedded steel plate M

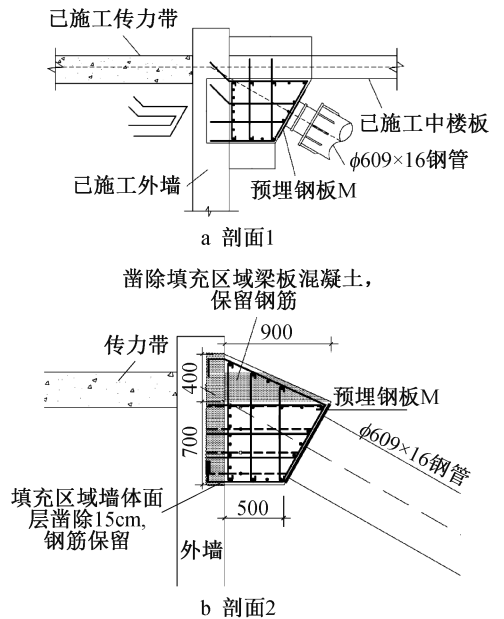


图7 腰梁剖面

Fig. 7 Cross section of waist beam

①严格控制腰梁与地面的角度,保持45°,以保证预埋钢板M与钢管斜撑的完美贴合;②做好放线定位工作,确保腰梁与传力带在水平方向重合;③严格控制纵向箍筋与外墙纵筋间的焊接质量。

### 4.2.2 牛腿施工

牛腿为等腰梯形,上底宽600mm、下底宽1500mm、高920mm,底部设置8个120mm×120mm×150mm(深)抗剪槽,如图8所示。施工要求为:①严格控制牛腿与地面保持45°,以保证预埋

钢板 M 与钢管斜撑的完美贴合;②严格按照要求凿出 8 个  $120\text{mm}\times 120\text{mm}\times 150\text{mm}$  (深) 抗剪槽;③严格控制牛腿纵向箍筋与底板钢筋间的焊接质量。

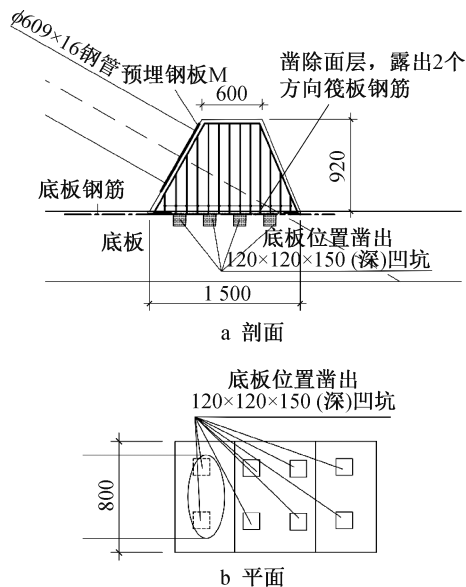


图 8 牛腿

Fig. 8 The corbel

#### 4.2.3 钢管斜撑安装

钢管斜撑包括  $\phi 609\times 16$  钢管、固定端、活络头、钢托架等。

##### 4.2.3.1 施工流程

机械设备进场→钢支撑场外预拼装→焊接牛腿搁置点→钢支撑吊装→检查栓紧螺母→施加预应力→固定焊接钢支撑与托板和钢牛腿接触面→钢支撑安装质量验收→完成。

##### 4.2.3.2 施工方法

1) 支撑测量定位。根据设计图纸中的钢支撑平面图,确定支撑中心位置线,并标出支撑两端的中心点位置,以确保支撑轴心受力。随后,测量两端接触点的实际长度,根据实测长度进行  $\phi 609\times 16$  钢管的下料和拼接。根据已计算出的每根支撑中心标高及按腰梁顶面标高换算的垂深,采用钢尺重锤法分别测量出支撑安装中心位置,并在预埋钢板安装部位做好标记,以便进行活络头与预埋钢板的焊接及支撑安装。

2) 钢支撑安装。根据图纸尺寸,配齐所需的支撑及垫块等材料,并将钢管装配至设计长度,待混凝土强度达到 80% 设计强度后进行安装。钢支撑采用  $\phi 609\times 16$  钢管,钢管间采用法兰螺栓连接。钢支撑先预拼至设计长度,每根支撑设置 1 个活络头,根据顺序分段架设钢支撑。利用 4t 叉车吊装整根钢支撑进行拼装;对于叉车无法到达的死角区域,

则采用手拉葫芦进行施工。

3) 预应力施加。钢支撑吊装到位后暂不松开吊钩,将活络头拉出并顶紧腰梁。随后,将 1 台 100t 液压千斤顶放置于活络头顶压位置,接通油管后开泵施加预应力。待预应力施加到位后,在活络头中楔紧垫块并用电焊固定。接着回油松开千斤顶,解开起吊钢丝绳,完成该根支撑安装。预应力施加流程为:先按设计轴力值 50% 施加轴力→检查栓紧螺母→停顿 3~5min 后(应力损失)再施加应力达到设计值的 100%。

##### 4.2.3.3 支撑应力复加

支撑应力的复加以环境监测数据为主、人工检查为辅。环境监测主要通过测量支撑轴力的变化进行判断,若轴力值减小,应及时复加预应力。人工检查的目的是控制支撑在每一单位控制范围内单根松动的轴力(以榔头敲击无控制点的支撑活动端钢楔,视其松动与否决定是否复加)。复加位置应主要针对正在施加预应力的支撑上的 1 道支撑及暴露时间过长的支撑,监测支撑轴力某一阶段连续低于预应力值的支撑,应复加预应力。根据支撑轴力监测数据,对于需复加预应力的支撑,复加应力的值应以不超过设计上限为准。

##### 4.2.3.4 施工要求

1) 钢支撑安装工程是支护加固的重要环节,其安装质量直接关系到整个基坑安全。

2) 混凝土腰梁及牛腿施工完成并达到设计强度 80% 后方可安装钢支撑。

3) 每根钢支撑施加的预应力按设计要求执行。

4) 钢支撑标高允许偏差为 30mm,水平偏差为 50mm。

5) 支撑中心标高及同层支撑顶面标高偏差为 30mm。

6) 支撑挠曲度不大于支撑长度的 1/1 000。

#### 4.2.4 支撑拆除

##### 4.2.4.1 支撑拆除顺序

钢支撑拆除顺序为:利用手拉葫芦固定钢支撑→将其挂在钢支撑正上方预埋吊钩上→割除其与预埋钢板的焊接→拆除钢支撑法兰螺栓→通过小型翻斗车将其运出基坑→装车运出工地。

##### 4.2.4.2 支撑拆除注意要点

1) 待地下室结构完成并达到设计强度 80% 后隔一跳一拆除。

2) 拆除钢支撑过程中,必须加强监测,一旦发现监测数据超过预警值以致影响周边建筑及管线安全,应立即会同有关各方协同处理。

3)将需要拆除的支撑节点清理干净。

4)在进行结构施工时,应注意对钢支撑的成品保护。特别是在钢筋吊装、混凝土浇筑等作业中,应避免野蛮操作碰撞钢支撑;同时,混凝土浇筑时洒落在支撑上的混凝土必须及时清理干净。

## 5 技术特点

1)施工速度快、造价低。在既有结构中采用钢管斜撑、上部腰梁和下部牛腿的加固方式,不仅最大限度地保护了地下室外墙,避免了因外墙结构破坏或渗漏而导致的修复工作,还加快了施工进度。钢管斜撑可周转使用,与传统的增加混凝土内支撑或混凝土挡土墙等方式相比,不仅材料投入少、建筑垃圾产生量低,而且施工速度更快,对地下室结构施工无任何影响,具有显著的经济效益。该施工技术节约打凿及外运费用 57.6 万元;混凝土内支撑混凝土用量  $400\text{m}^3$  (30 万元)、模板支拆  $2\ 400\text{m}^2$  (19 万元)、钢筋 80t (40 万元),而钢支撑共花费 45 万元,节约 44 万元。因此,共节约 101.6 万元。

2)技术成熟可靠。在项目基坑支护体系加固中,全部采用了此做法,共使用了 122 根钢管斜撑。该做法施工便利,工人操作简单且工效高,在后续的基坑监测中未出现任何预警情况,122 根钢管斜撑有效地发挥了基坑支护的加固作用。肥槽回填后,地下室外墙仅出现极少量裂缝,这表明腰梁对地下室外墙起到了良好的保护作用。

3)技术水平先进。目前,国内在如此大规模的深基坑项目中,能够在保留地下室外墙的同时,选择一种经济、施工速度快且不影响后续施工的基坑支护加固体系的情况极为少见,这对加固体系的要求极高。采用本施工技术不仅能有效保护地下室外墙,还能将基坑的侧压力传递至底板,从而实现基坑支护加固的目的。

## 6 结语

苏州现代服务广场项目采用了既有结构钢管斜撑基坑加固技术,通过钢管斜撑传递地库外墙与地下室底板间的相互作用力,对地下室外墙进行加固。该技术受力原理简单明确,施工方便快捷,为地下室外墙结构加固提供了一种新的解决方案。施工完成后,斜撑工作状态良好,基坑未出现预警,有效避免了后期外墙渗漏风险,取得了一定的经济效益,同时具有良好的社会效益和推广价值。

### 参考文献:

[1] 刘燕,刘俊岩,汪黄东. 济南恒隆广场深基坑斜撑支护体系分

段先拆后撑施工技术[J]. 施工技术,2011,40(13):20-23.

LIU Y, LIU J Y, WANG H D. Construction technology of slant support support system for deep foundation excavation of Jinan Henglong Plaza[J]. Construction technology, 2011,40(13): 20-23.

[2] 贾飞. 邻近地铁深基坑钢管斜撑支护与土方开挖技术[J]. 施工技术(中英文),2023,52(22):87-91.

JIA F. Steel pipe bracing and earth excavation technology for deep foundation pit of adjacent subway [J]. Construction technology, 2023, 52(22): 87-91.

[3] 丛驿骏,贾贤文,张彬,等. 临近建筑物基坑钢管斜撑支护与换撑技术应用[J]. 福建建筑,2023(7):50-53.

CONG Y X, JIA X W, ZHANG B, et al. Application of steel pipe diagonal bracing and support replacement technology in foundation pit adjacent to buildings [J]. Fujian architecture & construction, 2023(7): 50-53.

[4] 邓宇,周文灏,何平,等. 预应力钢管斜撑在深基坑支护中的应用[J]. 四川建材,2023,49(5):88-89,92.

DENG Y, ZHOU W H, HE P, et al. Application of prestressed steel tubular diagonal bracing in deep foundation excavation support [J]. Sichuan building materials, 2023, 49(5): 88-89,92.

[5] 汪国元. 基坑支护钢管斜撑桩施工关键技术[J]. 江苏建材, 2022(5):99-100.

WANG G Y. Key construction technology of steel pipe diagonal bracing pile for foundation excavation support [J]. Jiangsu building materials, 2022(5): 99-100.

[6] 曹应腾,李大贵,孟珊,等. 反压土台结合钢管斜撑支护技术在基坑变形加固中的应用[J]. 建筑安全,2022,37(12):31-34.

CAO Y T, LI D G, MENG S, et al. Application of anti-pressure soil platform combined with steel pipe inclined bracing support technology in foundation excavation deformation reinforcement [J]. Construction safety, 2022,37(12): 31-34.

[7] 张程宝,潘伟峰,鲍军武,等. 深基坑中的双排 PC 工法组合钢管桩和型钢斜撑支护[J]. 建筑施工,2022,44(5):875-877,884.

ZHANG C B, PAN W F, BAO J W, et al. Double row PC method combined steel pipe pile and steel oblique bracing support in deep foundation excavation[J]. Building construction, 2022, 44(5): 875-877,884.

[8] 孙辉,朱桂春,马如军. 深基坑钢管斜撑支护施工技术[J]. 建筑,2016(18):71-72.

SUN H, ZHU G C, MA R J. Construction technology of steel pipe diagonal bracing support for deep foundation excavation[J]. Construction and architecture, 2016(18): 71-72.

[9] 陈永顺. 钢管斜撑在基坑支护中的应用[J]. 中国设备工程, 2018(23):177-178.

CHEN Y S. Application of steel tube diagonal bracing in foundation excavation support [J]. China plant engineering, 2018(23): 177-178.