

地铁车站深基坑支撑下方中立柱设置优化研究

周群立¹ 王 斌² 孙宏斌²

(1. 合肥城市轨道交通有限公司,230001,合肥;
2. 安徽省综合交通研究院股份有限公司,230001,合肥//第一作者,高级工程师)

摘 要 在地铁车站深基坑支撑下方设置中立柱,一方面提高了支撑稳定性;但另一方面,基坑开挖会带动中立柱隆起,进而造成支撑承载力下降。结合合肥市轨道交通 5 号线云谷路站深基坑立柱隆起的实测数据,计算分析立柱隆起对支撑体系的影响。通过设置中立柱与取消中立柱两种情况的对比分析,提出可通过加大支撑截面尺寸等措施取消中立柱。建议地铁车站深基坑围护结构支撑采用取消中立柱的优化设计。

关键词 地铁车站;深基坑;支撑;中立柱

中图分类号 U231.3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.07.004

Design Optimization of Supporting Neutral Pillar for Deep Foundation Pit at Metro Station

ZHOU Qunli, WANG Bin, SUN Hongbin

Abstract The setting up of neutral pillars beneath the supporting structure of station deep foundation pit improves the stability of the support on the one hand, and on the other hand, it drives the uplift of neutral pillars and decreases the bearing capacity of the support. In this paper, the influence of pillar uplift on supporting system is calculated and analyzed based on the measured data of a deep foundation pit at Yungu Road Station on Hefei rail transit Line 5. Through comparative analysis of the setting up and removing of neutral pillars, it is proposed to increase the cross-section size of the support so as to achieve the optimal design by removing the neutral pillars.

Key words subway station; deep foundation pit; support; neutral pillar

First-author's address Hefei Urban Rail Transit Co., Ltd., 230001, Hefei, China

地铁明挖基坑主要采用排桩或地下连续墙加内支撑的围护结构型式。当支撑长度超过 20 m 时,在支撑下设置格构式临时立柱,作为竖向支撑,用以减小支撑计算长度,提高支撑稳定性。在基坑开

挖过程中,坑底回弹会带动立柱桩和立柱发生向上隆起,因此:当立柱与围护桩(墙)之间存在差异沉降时,支撑会产生附加内力;当附加内力累计到一定程度时,支撑会失稳或被破坏,严重影响基坑安全。文献[1-2]研究了立柱竖向位移对支撑稳定性的影响。

本文根据某地铁车站基坑开挖过程中立柱和围护桩的竖向位移实测数据,分析中立柱隆起对支撑体系的影响,研究地铁基坑工程中取消中立柱情况下增大支撑承载力或减小支撑内力的措施。

1 工程概况

1.1 基坑工程概况

合肥市轨道交通 5 号线云谷路站主体基坑总长 145.85 m,标准段宽 22.3 m,深约 24.8 m;盾构工作井宽 26.0 m,深约 26.0 m。基坑开挖范围及坑底均位于硬塑状黏土层中。地层物理力学参数见表 1。

表 1 云谷路站主体基坑地层物理力学参数				
层号及地层	天然密度/(g/cm ³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	压缩模量/MPa
①素填土	1.75	10	8	
②黏土	1.98	47	13	11
③黏土	1.98	50	13	12
④黏土	2.01	52	13	14
⑥全风化泥质砂岩	2.05	25	20	25

车站主体结构采用明挖顺作法施工,围护结构采用 ϕ 1.2 m 钻孔灌注桩+内支撑支护体系,竖向共设 5 道支撑+1 道换撑。其中,第 1 道支撑为钢筋混凝土支撑,其余均采用外径为 609 mm、壁厚 16 mm 的 Q235 钢管支撑。支撑设钢格构式临时立柱,立柱下设 ϕ 1.2 m 立柱桩兼抗拔桩,桩长 20 m,桩底位于⑥全风化泥质砂岩层中。基坑围护结构横剖面如图 1 所示。

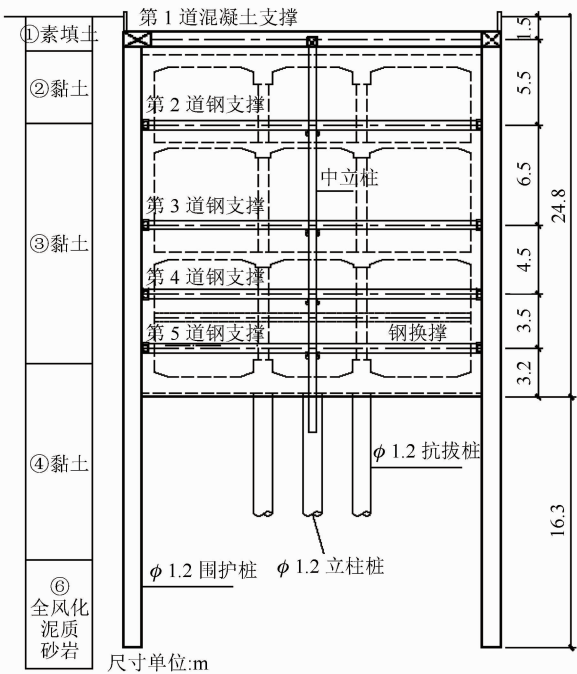
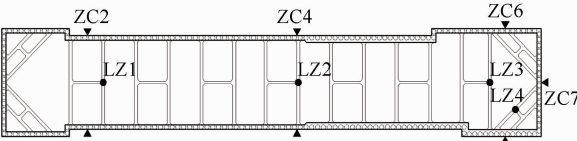


图1 云谷路站主体基坑围护结构横剖面图

基坑开挖遵循“先撑后挖、分层开挖”的原则，依次开挖至各道支撑底再架设支撑直至开挖至坑底，最后浇筑底板。

1.2 中立柱、围护桩及支撑的竖向位移监测数据分析

在中立柱及支撑两端围护桩顶布置竖向位移监测点，如图2所示。该基坑于3月2日开始开挖，10月15日完成最后一块底板浇筑。中立柱与围护桩竖向位移监测数据变化曲线如图3~4所示。



注：ZC表示围护桩竖向位移监测点；LZ表示中立柱竖向位移监测点

图2 中立柱与围护桩竖向位移监测点布置图

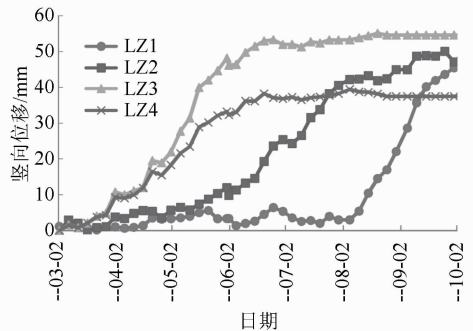


图3 中立柱竖向位移监测数据变化曲线图

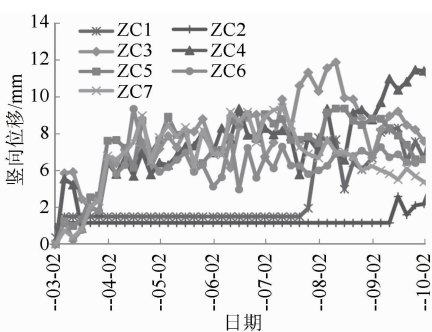


图4 围护桩竖向位移监测数据变化曲线图

由图3~4可见，基坑开挖导致围护桩及中立柱均产生了向上隆起位移。围护桩隆起位移相对较小，开挖一段时间后隆起量趋于稳定，最大隆起量为9.8 mm；中立柱隆起位移相对较大，随着基坑开挖深度的增加，隆起量亦不断增长，底板浇筑完成后略有回落，之后隆起放缓并逐渐趋于稳定；LZ3 测点最大隆起量达到了55 mm，远超过了20 mm的监测报警值。

2 中立柱隆起对支撑的影响

2.1 内支撑竖向位移

混凝土支撑直接支承在中立柱上，钢支撑通过钢连系梁支承在中立柱上。计算分析时，可将中立柱视为内支撑的中间支座，中立柱隆起相当于内支撑中部发生了位移。在研究中立柱隆起对内支撑的影响时，应采用中立柱围护桩的相对位移进行分析，在不同工况条件下，各道支撑中支座位移为各工况相对位移减去架设时的相对位移。

本文选取最具代表性的标准段 LZ2 中立柱进行分析。考虑支座位移的相对性，对监测数据进行处理后，得到在不同工况条件下各道支撑的中间支座相对围护桩的竖向位移，如表2所示。

表2 在不同工况条件下各道支撑的中间支座相对围护桩的竖向位移表

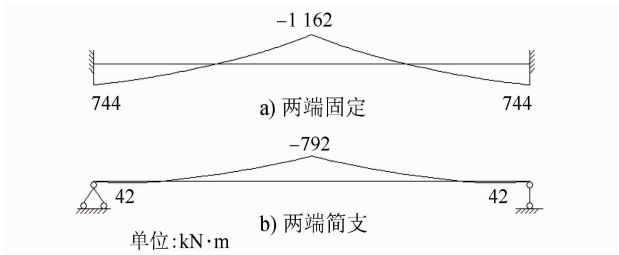
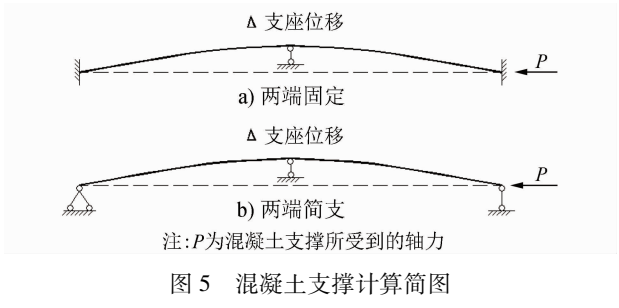
支撑道数	不同工况时各道支撑中支座相对围护桩竖向位移/mm				
	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5
第1道	3.1	12.8	19.5	27.5	37.0
第2道		9.8	16.5	24.5	34.0
第3道			6.7	14.7	24.2
第4道				8.0	17.5
第5道					9.5

注：表中工况1为基坑开挖至第2道支撑位置时，工况2~4依次类推；工况5为开挖基坑底部时

2.2 混凝土支撑影响分析

由表2可见，第1道混凝土支撑对内支撑中间

支座相对位移在工况 5 时最大,达到 37.0 mm。为研究中立柱隆起对混凝土支撑的影响,分别计算混凝土支撑两端为固定和简支边界条件下,内支撑中间支座发生 37.0 mm 隆起时的混凝土支撑内力,计算简图见图 5。混凝土支撑截面尺寸为 0.8 m×1.0 m,混凝土强度等级为 C30,支撑截面上、下排主筋均配置 8 根 ϕ 25 mm HRB400 级钢筋。工况 5 时单根混凝土支撑轴力为 400 kN。混凝土支撑受弯刚度根据 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》第 7.2 节中的相关规定进行计算,计算结果见图 6。



由图 6 可见,在两端固定或两端简支边界条件下,混凝土支撑最大弯矩均发生在内支撑中间支座位置。由弯矩计算的混凝土支撑受力状态见表 3。

表 3 混凝土支撑受力计算结果

边界条件	最大弯矩/(kN·m)	钢筋应力/MPa	最大裂缝宽度/mm
两端固定	1 162	328	0.52
两端简支	792	219	0.23

由表 3 可知:在两端固定或两端简支边界条件下,混凝土支撑内钢筋的最大应力均小于钢筋强度设计值 360 MPa,满足受力要求;在两端固定时,最大裂缝宽度为 0.52 mm,超过了 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》第 3.4 节中最大裂缝宽度限值 0.3 mm;两端简支时最大裂缝宽度满足规范要求。由于混凝土支撑实际边界条件是介于两端固定与两端简支之间,故混凝土支撑承载能力满足规范要求,但最大裂缝宽度可能会超限。

2.3 钢支撑影响分析

钢支撑计算长度为 21.3 m,与钢围檩相交处可视为简支。根据轴力监测数据,第 2~5 道钢支撑单根最大轴力分别为 1 810 kN、2 230 kN、1 453 kN 和 743 kN,综合考虑钢支撑轴力和表 2 中的相对位移值,分别选取第 2、第 3 道钢支撑,计算该相对位移产生的附加弯矩,并根据 GB 50017—2017《钢结构设计标准》第 8.2 节中的相关规定进行偏心受压时的钢支撑稳定性验算,得到工况 5 时中间支座相对围护桩的最大竖向位移情况下钢支撑的计算结果(见表 4)。

表 4 中间支座相对围护桩最大竖向位移情况下钢支撑计算结果

支撑道数	中间支座位移/mm	中间支座弯矩/(kN·m)	稳定性计算结果	钢支撑状态
第 2 道	31.3	258	0.77	安全
第 3 道	21.5	237	0.81	安全

由表 4 可知,第 2、第 3 道钢支撑的中支座发生竖向位移后,经计算钢支撑稳定性均小于 1.0,满足规范要求,且存在一定富余量。因本工程钢支撑轴力实测值比理论计算值小,故稳定性计算结果偏小。

3 取消中立柱对比分析

设置中立柱是为了提高支撑的竖向稳定性,但另一方面中立柱隆起又降低了支撑稳定性。为研究设置中立柱的利弊,针对本基坑,进行了取消中立柱对混凝土支撑及钢支撑的影响对比分析。

3.1 混凝土支撑内力及变形

混凝土支撑下设置立柱主要是为了减小由自重引起的弯矩和挠度。JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》规定:混凝土支撑截面高度不宜小于竖向平面内计算长度的 1/20,故一般当支撑长度大于 20 m 时,应在支撑下设置立柱。

若 LZ2 位置处混凝土支撑下不设中立柱,计算得到本基坑混凝土支撑在两端固定条件下的最大弯矩为 836 kN·m,满足结构受力及最大裂缝宽度限值要求,在两端简支条件下混凝土支撑的最大弯矩为 1 254 kN·m。因此,适当加大混凝土支撑截面高度或下排配筋面积可满足结构受力要求及最大裂缝宽度限值要求。

3.2 钢支撑内力及变形

若取消中立柱,经计算,长 21.3 m 的钢支撑由自

重产生的跨中挠度为 20.4 mm,弯矩为 130 kN·m,钢支撑承载力约为 1 700 kN,小于第 2、第 3 道钢支撑轴力监测值。可见,若取消中立柱,由于长细比增大,钢支撑承载力降低,不能满足该基坑的受力要求。

在取消中立柱情况下,可采取措施增大支撑承载力或减小支撑内力,以满足受力要求。增大支撑承载力的措施有加大钢支撑直径或壁厚、采用高强度钢支撑、选用混凝土支撑等;减小支撑内力的措施有减小支撑水平间距、调整支撑竖向布置等。

对于本基坑工程,若选用外径为 800 mm、壁厚 16 mm 的 Q235 钢支撑,经计算,长 21.3 m 的钢支撑由自重产生的跨中挠度为 13.4 mm,弯矩为 172 kN·m,钢支撑承载力约为 3 250 kN,可满足受力要求。因此,不仅可以不设中立柱及立柱桩,还可以优化取消换撑。经初步测算,优化取消中立柱后基坑支护体系造价可节省约 85 万元。

4 结语

本文结合某地铁站深基坑立柱隆起实测数据,计算分析了立柱隆起对支撑体系的影响,通过

对比分析设置与取消中立柱这两种情况,得到主要结论及建议如下:

1) 基坑开挖卸载和竖向荷载作用产生的中立柱竖向位移会对支撑产生不利影响,因此设计时应予以考虑,必要时可采取增加立柱桩长或桩径、控制竖向荷载等措施以减小中立柱竖向位移。

2) 对于地铁车站深基坑,可通过加大支撑截面尺寸、提高支撑材料强度等级、调整支撑体系及调整支撑间距等措施,优化施工方案取消中立柱。这不仅能提高施工效率,而且还可以避免因中立柱竖向位移造成的安全风险。

参考文献

[1] 冯虎,刘永辉,徐春蕾. 立柱隆起对地铁深基坑钢支撑体系稳定的影响[J]. 中国科技论文,2014(11):1301.

[2] 江娟,刁鹏. 软土区深基坑施工立柱桩的研究[J]. 施工技术,2007(1):27.

[3] 操小兵,金文,李镜培,等. 基坑开挖卸荷引起立柱桩的隆起位移计算[J]. 结构工程师,2018(1):131.

(收稿日期:2019-01-26)

(上接第 12 页)

市轨道交通线网效益。已开通的武汉轨道交通 21 号线,因沿线用地复合利用度不高,用地开发现状滞后于规划,以及现状人口和用地布局与线路走向分离,致使线路开通以来客流量偏低(日均约 6 万人次),未达到预测水平。后续建设新城区线路应协调城市轨道交通线网建设与城市规划的衔接关系,增强线路与人口和规划用地的耦合,使城市轨道交通线网建设促进新城与主城人口和资源的流动,从而带动新城发展。

4 结语

通过对武汉市前 3 期城市轨道交通建设规划的实施评估可以看出,前 3 期建设规划批复线路工程进展顺利,项目实施时序与批复规划基本一致,工程总投资控制趋于合理,执行情况良好,并且积累了丰富的及具有武汉特色的建设、运营和管理经验,为城市轨道交通可持续发展奠定了稳固基础,但同时也存在需要改进的问题。本文旨在全面总结武汉市城市轨道交通建设规划实施情况和实施

经验,为武汉市后续城市轨道交通建设规划提供指导,同时可为国内其他城市轨道交通规划建设提供有益借鉴。

参考文献

[1] 武汉市人民政府. 武汉市城市快速轨道交通建设规划(2006—2012 年) [R]. 武汉:武汉市人民政府,2006.

[2] 武汉市人民政府. 武汉市城市轨道交通近期建设规划(2010—2017 年) [R]. 武汉:武汉市人民政府,2010.

[3] 武汉市人民政府. 武汉市城市轨道交通近期建设规划(2015—2021 年) [R]. 武汉:武汉市人民政府,2015.

[4] 周楠森. 北京市轨道交通建设总结及规划调整建议[J]. 都市快轨交通,2011(2):16.

[5] 梁创优. 苏州市城市轨道交通规划建设经验总结[J]. 隧道建设,2014(3):259.

[6] 武汉市交通发展战略研究院. 武汉市前三期建设规划实施中期评估[R]. 武汉:武汉市交通发展战略研究院,2016.

[7] 武汉市交通发展战略研究院. 武汉市城市轨道交通第四期建设规划(2018—2024 年) 报批稿[R]. 武汉:武汉市交通发展战略研究院,2014.

(收稿日期:2019-01-08)