

深大基坑分区作业换撑板墙施工案例研究

郝肇轩 马浩伟 俞水情

上海建工四建集团有限公司 上海 201103

【摘要】以某项目深基坑工程为实例背景，研究分析大面积基坑分区作业工况下，换撑板墙在基坑换撑体系中的作用。基坑面积大，原定基坑分为A、B、C、D四个小基坑，A、D基坑先行对角开挖，直至完成地下室顶板结构，而后B、C基坑进行二层土方开挖。由于B、C基坑施工计划发生调整，需要提前开挖，此时A、D基坑引进具有较大侧向刚度约束的换撑板墙作为中隔墙后的支座，以满足B、C基坑土体卸荷后整个基坑内支撑体系的安全。换撑板墙施工完成后，通过对换撑板墙位移、内力进行监测，结果表明换撑板墙随着B、C区土体开挖、支撑施工，逐渐形成明确的基坑传力体系，同时换撑板墙达到了预期效果，保证了工程进度，相关经验可以供其他工程参考。

【关键词】深基坑；中隔墙；分区作业；换撑板墙

引言

当基坑面积较大时，考虑到场地、基坑安全、工期等原因，常采用分区分期施工，以控制基坑风险。文章研究工程，采用地下连续墙将基坑分为A、B、C、D四个小基坑，A、D先行施工至地下室顶板结构后B、C再进行土方开挖施工，采用五道钢筋混凝土水平内支撑以确保基坑整体性、安全稳定性。在地下室回筑过程中往往面临支撑拆除与转换的问题，且是在相邻基坑所处施工阶段不同，如何保证基坑在换撑施工阶段安全、稳定意义重大。文章以实际基坑工程换拆撑为背景，对中隔墙换撑板墙在换撑阶段以及后续阶段的效果进行讨论、分析，以期对其他类似项目提供参考。

1 工程概况

1.1 围护支撑体系

工程基坑总面积约5.32万 m^2 ，外周长925m，基坑开挖深度22m，局部落深1.5~6.7m，采用五道水平钢筋混凝土支撑。施工前自然地面平整至相对标高-0.75m，基坑底相对标高-22.75m，基坑开挖深度22m，局部落深1.5~6.7m，采用五道水平钢筋混凝土支撑。支撑立柱采用钻孔灌注桩加钢格构柱的形式，部分利用工程桩，及增打部分 $\Phi 850mm$ 立柱桩。基坑安全等级为一级，环境保护等级三级（实际按二级控制）。

工程采用分坑顺作，基坑周边采用“两墙合一”地下连续墙作为围护体，地下连续墙既作为基坑开挖阶段的挡土、止水、防渗围护体，且为永久使用阶段时地下室结构外墙。

地下连续墙普遍厚度1000mm，局部深坑位置墙厚1200mm，采用十字钢板接头，接缝采用 $\Phi 1000mm$ 高压旋喷桩止水。地连墙外侧采用800mm厚TRD水泥土搅拌墙作止水帷幕，兼作槽壁加固。地连墙内侧采用 $\Phi 850@600$ 三轴搅拌桩作槽壁加固。坑内被动区土体加固采用 $\Phi 850@600$ 三轴水泥土搅拌。对局部深坑采用 $\Phi 700mm$ 钻孔灌注桩围护，高压旋喷桩加固。

1.2 基坑换撑施工方案

工程基坑面积大，中隔墙（地下连续墙）将基坑分为A、B、C、D四个单体基坑。原定先施工A、D基坑，待A、D单体基坑地下室顶板施工完成并达到一定强度后，方可进行B、C单体基坑第二层土方开挖与第二道基坑内支撑施工。

由于地下一框层高9.1m，为保证基坑围护结构的整体稳定性、安全性，拆除A、D区第二道支撑后，需沿A、D基坑围护结构B1层设置斜换撑，图1工况为A、D单体基坑第二道内支撑拆除后，沿四周设置斜换撑后，对A、D单体基坑首道内支撑进行拆除。图2为A、D基坑首道内支撑拆除且顶板结构施工完成后B、C区开始第二层土方开挖与第二道基坑

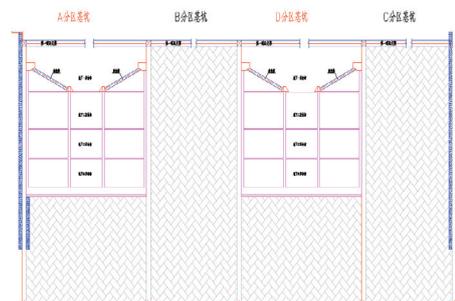


图1: 工况1

内支撑施工。此时，A、D基坑顶板与B1层斜换撑将共同承担由于B、C基坑土体开挖、土体卸荷后传递至A、D基坑的压力，并保证A、D基坑中隔墙的侧向刚度。

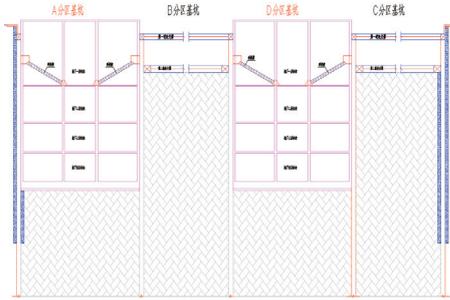


图2: 工况2

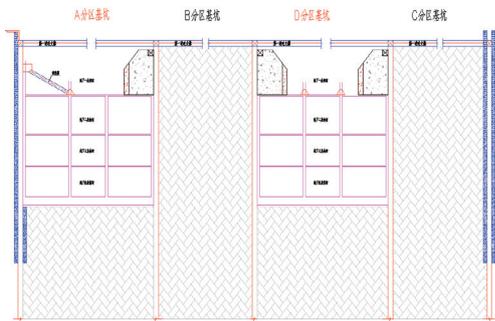


图3: 工况3

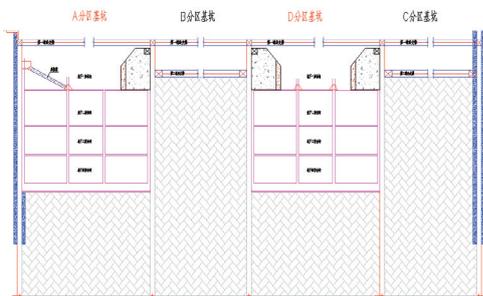


图4: 工况4

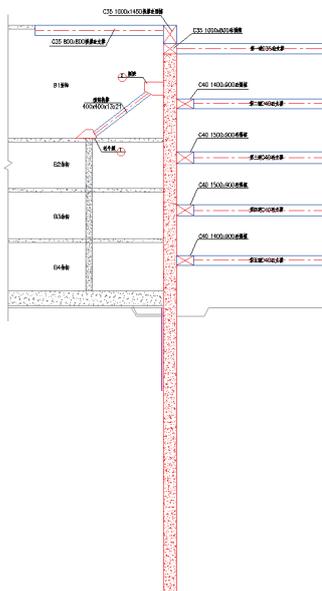


图5: 原中隔墙换撑剖面

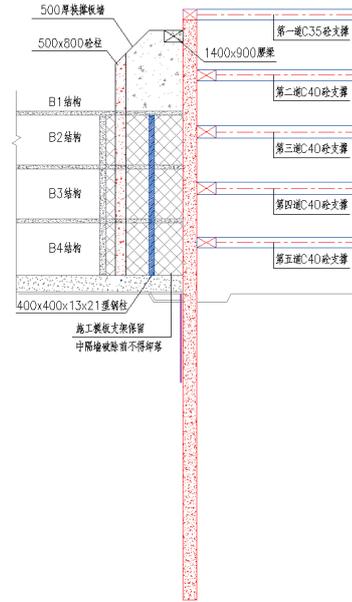


图6: 调整后中隔墙换撑剖面

由于实际施工过程中，B、C单体基坑施工计划发生调整，将于A、D区顶板施工完成前进行第二层土方开挖。由于B1层净高较大，B、C基坑土体开挖后传递至中隔墙荷载将引起中隔墙较大变形。仅依靠B1层斜换撑无法保证中隔墙具有足够的侧向刚度抵抗B、C区基坑传递至A、D区的水平荷载，使B1层具有较为合理的传力体系。

经过分析，B1层中隔墙换撑由斜换撑改为具有较大侧向刚度的板墙结构，通过顶部设置圈梁，形成沿中隔墙分布的整体侧向约束体系。图3为A、D基坑B2顶板施工完成、二道撑拆除后，外侧地墙开始斜换撑施工、中隔墙开始板墙换撑施工。待A、D基坑B1层换撑达到强度要求后，如图4，A、D基坑向上施工拆除首道撑，B、C基坑向下施工开挖第二层土、施工第二道支撑。图5为A、D基坑换撑平面布置图。如图5、6为A、D区中隔墙调整前后换撑结构剖面图。

2 换撑技术

2.1 换撑板墙设计

如图7，A、D基坑外围依旧沿地下连续墙设置斜换撑，换撑规格为H400X400X13X21型钢，Q235B，型钢两端与主体结构、换撑腰梁通过M1埋件连接。

为保证中隔墙具有足够的刚度以抵抗B、C基坑土体卸荷后的水平荷载，B1层中隔墙换撑形式调整为图8所示。换撑板墙厚度为500mm，墙体顶部设置圈梁，形成整体墙后支座。其中圈梁、换撑板墙通过植筋的形式与地墙进行锚固，与B1层板连接处预留插筋。换撑板墙端部下方设置结

构500X800钢筋混凝土临时柱，墙体中部设置400X400型钢柱，柱脚通过螺栓与底板预埋件连接。B4、B3、B2中隔墙一跨柱距范围内楼板区域施工排架保留。

墙体平面沿主体结构主梁及柱位布置，如图9所示，平均间距8m一幅换撑板墙。若局部遇主体结构柱，便可利用主体结构柱作为换撑板墙竖向立柱。

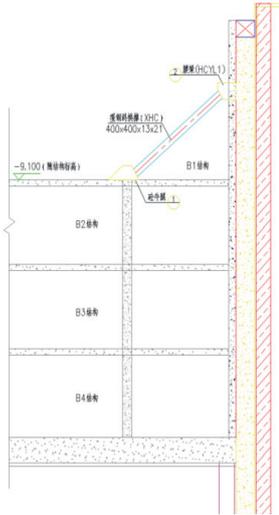


图7：基坑外围换撑剖面示意图

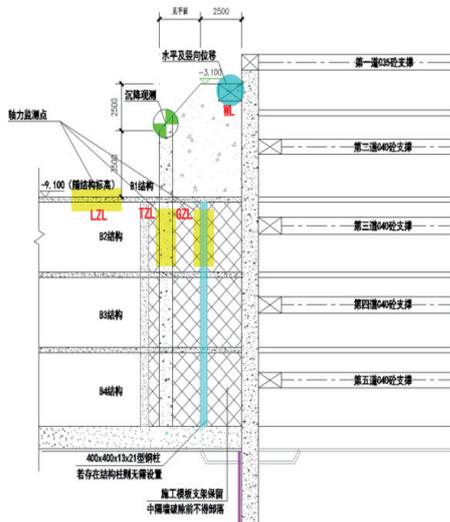
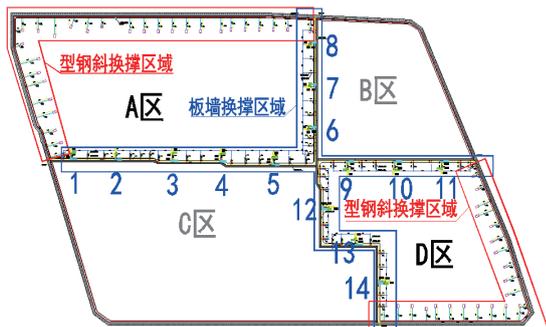
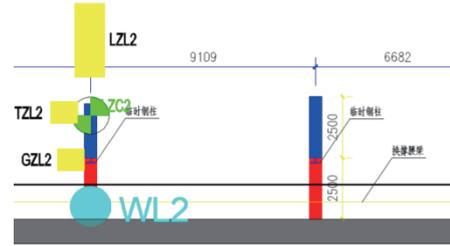


图8：换撑板墙监测剖面示意图



(a) 整体布置图



(b) 局部示意图

图9：换撑平面布置图

2.2 换撑板墙相关参数

换撑板墙底标高同局部B1层板结构标高，顶标高为-3.100m。换撑板墙水平、竖向钢筋采用C25@200，墙顶围檩1400X900，上下设置7C32，前后C32沿换撑腰梁通长设置，箍筋C14@200六肢箍，支座处4m（左右各2m）范围内@100进行加强。墙体中部设置的400X400X13X21型钢柱（若存在结构柱则无需设置）通过6C22螺栓与主结构底板进行连接，锚固深度大于300mm。钢材强度为Q355B，换撑板墙、柱强度为C40，换撑墙、临时柱、围檩保护层厚度为30mm。



图10：现场换撑板墙施工图

3 工艺特点与施工要点

换撑板墙工艺流程主要为：板墙定位→墙端临时柱、墙中临时钢柱施工→板墙、换撑围檩植筋→形成换撑体系、布置监测点。

表1：监测内容

监测项目	数量	布置原则	报警限制
围檩顶部水平、垂直位移	14	沿围檩顶部设置	20mm或3mm/天（连续3日）
支撑梁、柱轴力	14+28	轴力较大区域、重点梁柱区域	8000kN（主梁）/6000kN（砼柱）

表2: 围檩位移最大值 (mm)

编号	WL1	WL2	WL3	WL4	WL5	WL6	WL7
数值	20.82	23.28	26.64	25.34	24.39	/	24.27
编号	WL8	WL9	WL10	WL11	WL12	WL13	WL14
数值	21.88	20.08	/	28.31	27.33	26.71	20.80

表3: 结构支撑梁轴力最大值 (KN)

编号	LZL1	LZL2	LZL3	LZL4	LZL5	LZL6	LZL7
数值	6587.49	6583.71	6266.53	6733.38	6139.56	7247.17	6528.46
编号	LZL8	LZL9	LZL10	LZL11	LZL12	LZL13	LZL14
数值	5735.97	6895.09	6552.88	6746.98	6629.34	6717.72	7278.53

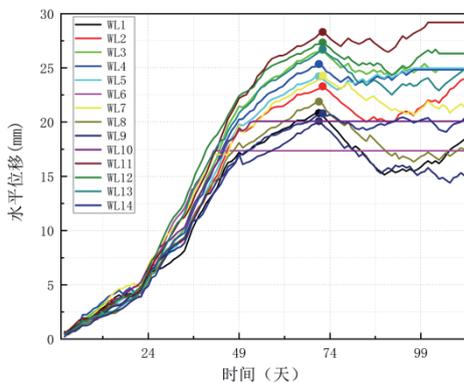


图11: 换撑板墙监测点水平位移曲线

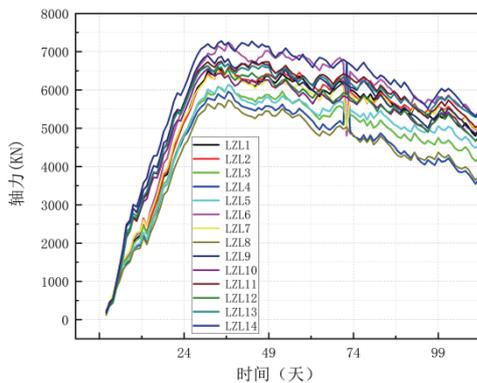


图12: 换撑板墙支撑梁轴力曲线

为确保B、C坑提前开挖的荷载有效传递至A、D区主体结构,板墙、换撑围檩植筋施工质量尤为关键,现场施工应严格控制成孔质量、植筋数量。

4 换撑板墙监测与分析

4.1 板墙监测点布设

图9 (a) 为板墙监测区域,监测点的布设应采取整体布设原则,以便对基坑变形、受力有一个比较全面的认识。图9 (b) 为监测点布设局部平面图,结合换撑结构特

点,在A、D基坑换撑围檩顶部布置位移监测点,共布设14个顶部位移监测点,编号WL1-WL14;在A、D区B1结构支撑梁布设14个轴力监测断面,编号LZL1-LZL14;B2层砼结构柱布设14轴力断面,编号TZL1-TZL14;在B2层型钢柱布设14轴力断面,编号GZL1-GZL14,详见表1。其中,A、D区交界面布设监测点编号为1-5;A、B区交界面布设监测点编号为6-8;B、D区交界面布设监测点编号为9-11;C、D区交界面布设监测点编号为12-13,具体各监测点位置详见图9 (a)。

4.2 换撑板墙监测分析

A、D基坑换撑体系形成后开始板墙监测、首道栈桥支撑拆除、B、C基坑二层土方开挖等相关工作。在B、C区土方开挖、二至五道支撑向下施工过程中,基坑支撑体系内力不断重分布。A、D基坑分别施工437和421天完成地下室结构顶板施工,此时B、C基坑传递至A、D基坑时已形成明确的传力路径,B、C基坑五道支撑已经施工完成。现对各监测点数据进行分析,综合评价换撑板墙形式在分区施工换撑体系中的作用。

4.2.1 换撑板墙位移、结构梁轴力监测分析

图11为换撑板墙水平位移曲线图,通过分析,围檩各位移监测点分别在换换撑板墙施工完成后60天达到最大值,后开始趋于平缓,其中WL6、WL10两处监测点受到破坏。此时底板B区单体基坑第六层土开挖完成、C区单体基坑大面积开挖。围檩位移各监测点处最大值详见表2,单侧位移数值最大最小值分别为20.08mm、28.31mm,均超过限制20mm,分别在WL9、WL10两处监测点。

通过分析支撑梁轴力,轴力值分别在施工完成后29、35天内形成峰值,轴力峰值详见表3,最大值出现在LZL14处,数值为7278.53KN,在轴力允许限制之内。

表4: 结构柱轴力最大值 (KN)

编号	TZL1	TZL2	TZL3	TZL4	TZL5	TZL6	TZL7
数值	4876.78	4760.12	6119.13	5487.68	5001.43	5626.23	6639.32
编号	TZL8	TZL9	TZL10	TZL11	TZL12	TZL13	TZL14
数值	6052.63	5260.71	5095.36	5198.71	5275.84	5120.30	4905.19

表5: 钢柱轴力最大值 (KN)

编号	GZL1	GZL2	GZL3	GZL4	GZL5	GZL6	GZL7
数值	752.01	794.65	793.20	798.94	785.05	791.37	613.86
编号	GZL8	GZL9	GZL10	GZL11	GZL12	GZL13	GZL14
数值	581.16	744.79	792.32	755.34	799.70	749.03	779.59

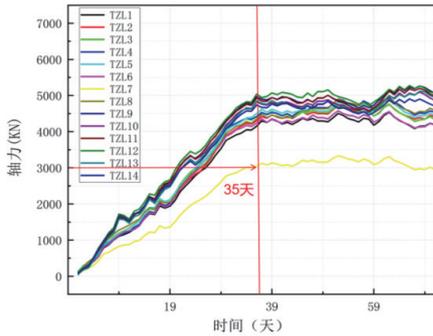


图13: 换撑板墙结构柱轴力曲线

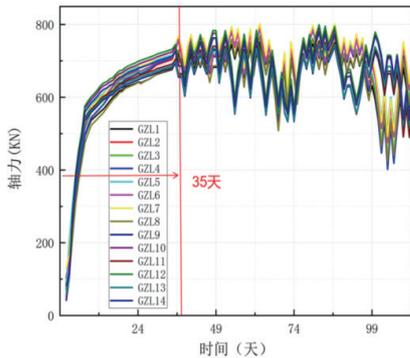


图14: 换撑板墙钢柱轴力曲线

通过图11、12换撑板墙位移、结构支撑梁轴力监测曲线可以看出,轴力率先达到峰值,而后结构支撑梁轴力下降的过程中,位移到达峰值点。随着A、D基坑顶板的形成,逐步分担B、C基坑传递的水平荷载,结构支撑梁轴力呈明显的下降趋势,板墙位移趋于平缓。由支撑梁轴力曲线表明,结构梁在换撑体系中同样扮演着重要作用。由于换撑板墙位移超过一定限制,因此需要结合结构柱、钢柱轴力

监测结果综合分析。

4.2.2 结构柱、钢柱轴力监测分析

表4为换撑板墙结构柱各测点轴力最大值,表5为换撑板墙钢柱各测点轴力最大值,两者数值基本在轴力限制之内。由图13、14结构柱、钢柱轴力监测曲线,结构柱轴力监测曲线开始趋于平缓,钢柱轴力曲线开始呈现震荡性变化,时间节点均在换撑板墙完成后35天附近。且在此节点之后支撑梁轴力值减小,结合图11换撑板墙位移趋于平稳,图13换撑板墙结构柱呈现出受到B、C基坑卸压而传递来的荷载数值趋于稳定,表明换撑板墙在此节点之后发挥着较为稳定的中隔墙后支撑作用。

5 结语

通过超过规模基坑分区施工的换撑板墙应用,结合相关监测数据分析,得出以下结论:

基坑施工时,结构本身在参与换撑施工过程中起着尤为重要的作用。

对于临时采用的换撑板墙结构,位移数值超过了既定限制,但其垂直度在相应允许值范围之内。

分析位移、轴力监测曲线表明,在基坑形成明确传力路径之后,换撑板墙发挥着较为稳定的支撑作用,合理地节省了工期,同时达到了预期效果。

参考文献:

[1]陆献荣.深基坑中隔墙换撑拆除施工技术[J].建筑施工,2015,37(11):1254-1255.

[2]周圣平,邱承双,周嘉斌等.深基坑肋墙换撑施工技术[J].建筑施工,2020,42(03):329-331.

[3]张宾文,刘雄华,冯龙飞.软土地区深基坑优化设计及分区拆换撑技术[J].广东土木与建筑,2018,25(01):16-18,50.

作者简介:

郝肇轩(1982-),男,汉,山西人,工学硕士,高级工程师,从事建筑结构施工研究及相关管理工作。