

高层建筑深基坑半逆作法施工技术应用

刘荣君

(江苏广宇建设集团有限公司 江苏 靖江 214500)

摘要 随着城市建设的发展,高层建筑在建筑密集市区出现,其地下室越建越深,当遇到周边施工场地狭窄,周围环境复杂,安全生产要求高以及最大限度地缩短工期等一系列施工难题时,采用逆作法施工技术是首选,该方法在城市建设中具有良好的经济效应和实用价值,本文结合工程实例在此对逆作法施工技术及其要点进行详细分析。

关键词 深基坑; 基坑支护; 半逆作法; 钢格构柱; 防水节点

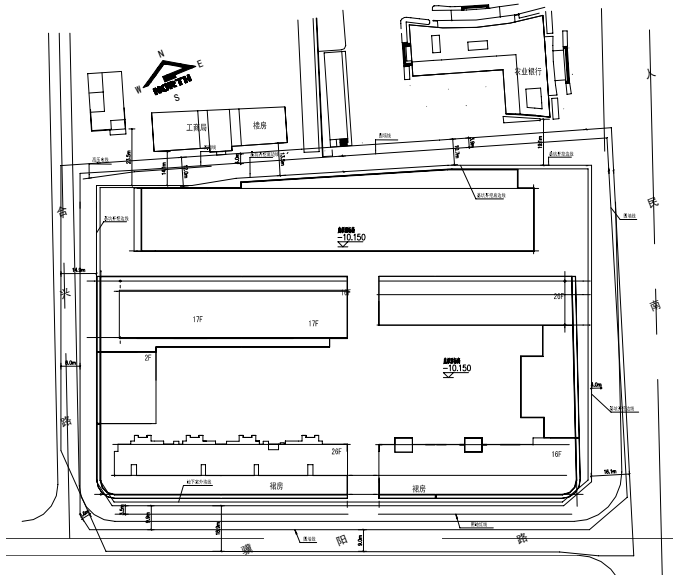
现阶段,随着我国建筑业的大力发展和施工技术水平的提高,建筑物地下工程日益为人们重视的一环。在地下空间越来越深,越来越大的条件下,半逆作法施工技术发展起来,一般在进行基坑开挖时,结合地下室结构所具备的抗水平力、抗滑能力及竖向承载力,三位一体的优势,施工效果较为理想。

1、工程概况

某国际广场工程共分南北两部分:南部布有四幢高层建筑,1~2层为商业用房。四幢高层中三幢为住宅(两幢为27+1F一幢为16+1F),一幢为公寓式酒店(16+1F),裙房2层;北部为一幢1层商业大卖场。总建筑面积为180322.95m²,地下部分为二层大底盘地下室,地下一层为地下商场,层高为5.5m,地下二层为车库,层高为4.5m。南部高层建筑为钢筋混凝土剪力墙结构,北部商业大卖场地上和地下为框架结构。

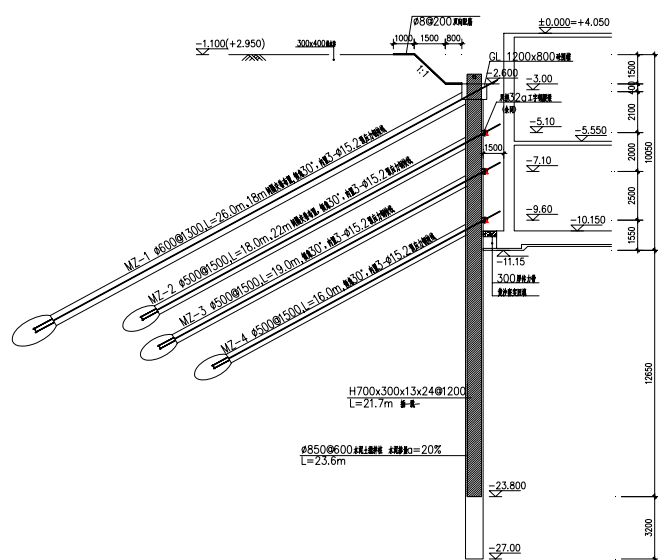
依据工程实际情况、周边环境情况及业主招标文件,基坑侧壁安全等级定为一类,重要性系数 $\gamma_0=1.10$ 。

施工总平面布置图及周围相邻建(构)筑物平面布置图如下:



图一 总平面布置图

2、地下室深基坑支护方案



图二 顺做法基坑支护工况图

本工程基础形式为混凝土灌注桩上片筏基础,基坑总延米长约576m,长、宽分别约207m、140m,基坑底面积约为28308m²。基坑开挖深度为10.2m—10.7m。

工程四周情况:开挖边线距离道路红线最近处约为东侧8.5m、南侧4.2m、西侧5.3m、北侧9.3m且有一东西向的高压电线,距离已有房屋距离最近处约12m左右。

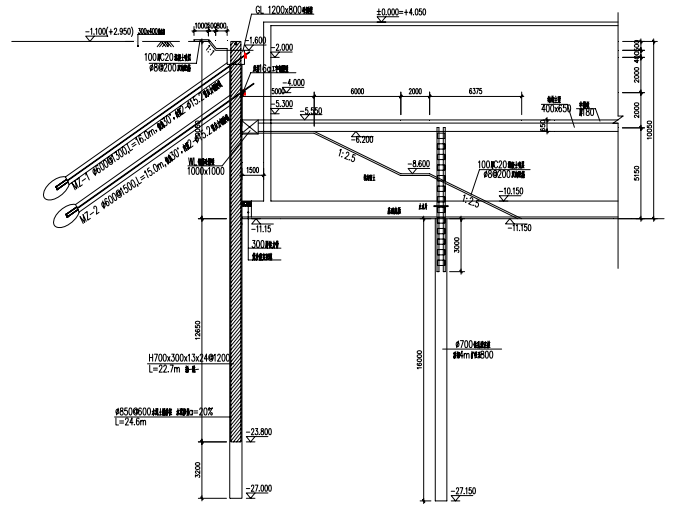
2.1. 基坑顺做法施工支护方案

基坑四周围护结构采用SMW工法桩+加劲桩支护,SMW工法桩同时作为止水帷幕,阻断四周地下水,SMW工法采用 $\Phi 850@600$,内插 $700*300*13*24$ 的型钢,搅拌桩长 $23.60\sim 24.10m$,型钢长 $21.7\sim 22.9m$ 。加劲桩设上下四道,倾角 30° ,第一道为 $\Phi 600@1300$ 长为 $26m$,第二道至第四道均为 $\Phi 500@1500$,长分别为 $18m, 21m, 19m$ 等不同长度,内置3根 $\Phi 15.2$ 预应力钢绞线。腰梁采用双拼工字钢,与工法桩形成整体共同承受外侧水土压力。基坑支护如下图:

2.2. 基坑部分逆作法施工支护方案

西北侧大卖场的地下室开挖基坑边缘与北侧已有房屋最近距离为12m,同时了解到该房屋基础为钢筋混凝土灌注桩上承台基础形式,如采用加劲桩形式,加劲桩的设计长度将伸至北侧房屋灌注桩桩头处,在加劲桩旋喷施工过程中以及预应力施工均会影响到该房屋基础结构,如取消加劲桩而采用钢质内支撑,内支撑面积很大,内支撑的南北向的长度将伸至南侧主楼范围,且土方开挖的难度将会加大,影响南侧主楼的施工进度,所以决定在西北侧东西向大约125m,南北向大约19m的基坑范围内采用半逆作法的基坑围护设计方案,保证四栋主楼可以同时施工,半逆作法处的地下室及一层大卖场单独施工,不影响整个工程的施工工期。

具体做法为在负二层顶板(-5.55)至地面(-1.10)的高度内设加劲桩二道,均为 $\Phi 600@1300$,长度分别减至 $14m, 12m$,倾角为 30° 。地下负一层开挖采用顺做法,开挖至地下负二层土方时,先施工地下负二层顶板的梁板结构,地下负二层顶板的梁内预埋H型钢延伸至围护桩处,与围护桩的钢筋混凝土腰梁整体浇筑,利用地下负二层顶板的梁板结构作为水平内支撑体系,与外围的SMW工法桩形成支护结构体系。半逆作法区域施工阶段竖向支撑体系采用钢格构立柱,钢格构立柱在施工阶段承受逆作法全部竖向结构自重和施工荷载,顶部与结构框架梁整体浇筑连接。由于钢格构柱与原有框架柱位置不符,因此临时借用地下负二层顶板的结构作为支撑,结构受力状态有所改变,由主体结构的设计单位根据支撑的受力状态,对梁板的配筋作了调整,以达到承受侧向土体压力、施工荷载及永久荷载的要求。半逆作法区的施工工况如下图:



图三 半逆作法区的施工工况图

3、半逆作法施工

3.1. 半逆作法施工顺序

- (1) 施工地下室钻孔灌注桩、逆作法区域钢格构立柱。
- (2) 基坑土方全面开挖至地下负二层顶板处,逆作法区域地下负二层土方开挖采用二级放坡,放坡坡度为1:2.5,坡顶标高处(-6.20m)先施工用于顶撑SMW工法桩的钢筋混凝土腰梁,预埋焊接H型钢顶撑用的钢板,然后施工逆作法区域地下负二层顶板结构,利用H型钢与围护桩形成支撑。
- (3) 待地下负二层顶板结构混凝土达到设计强度后,开挖逆作法区域土方至基坑底标高-11.15m处,施工逆作法区域的地下室底板。

(4) 施工地下室负二层外墙和框架柱，待外墙和框架柱强度达到设计强度后，割除钢格构立柱。

3.2. 钢格构立柱的施工

钢格构立柱的施工在土方开挖前施工，具体做法为钻孔灌注桩内插钢格构立柱作为地下负二层顶板的竖向支撑构件，钢格构立柱位置避开承台位置单独设置。钢格构立柱采用4根 L160mm×12mm制作，截面为460mm×460mm，钢材型号为Q345B钢，角钢格构柱插入Φ700钻孔灌注桩中3.0m，逆作法区共设置29根钢格构立柱，每根长7.95m，柱顶标高为-5.55m，格构柱顶距地面为4.45m。钢格构立柱必须挺直，连接应牢固，立柱在底板范围内应设置止水片。

钢立柱及立柱桩施工要求：护筒中心与桩位中心偏差小于30mm，成桩中心与设计桩位中心偏差小于20mm，桩身垂直度应不大于1/200，立柱桩顶标高与设计顶标高偏差小于30mm，角钢格构柱垂直度不应大于1/200，施工中设置钢立柱时，应采取必要的措施保证钢立柱各边与主撑杆方向严格垂直或平行。

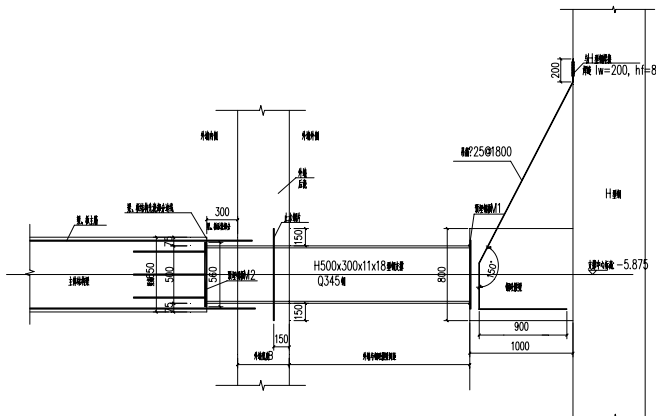
3.3. 基坑土方的开挖顺序

本工程基坑土方开挖属于基坑大面积开挖，且深度较深，根据基础平面尺寸结合后浇带位置将基坑分为周边区域和中央区域，分段、分层、分区开挖，土方开挖完毕及时浇筑垫层进行地下室底板的施工。逆作法区域的地下负一层土方开挖按顺做法施工，开挖地下负二层的土方时，采取二级放坡，每级的放坡系数为1:2.5，在能够利用地下负二层顶板结构作为水平支撑前，以达到抵抗外侧围土压力的效果。

开挖逆作法区域负二层土方时采用暗挖法，由于受到层高、钢格构柱的位置及轻型井点降水的影响，只能采用小型挖掘机进行挖掘，同时运土车辆也只能采用载货量较少的农用车运输，本工程土方的运输方向为从西向东运输，东侧地下室土方待逆作法区域土方开挖完毕后再开始施工。由于施工逆作法区域时南侧的基础底板已施工完毕，土方开挖为了对施工缝处预留的钢筋尽可能不进行扰动和破坏，采取人工挖掘和清理，因此土方开挖相对来说难度还是比较大的。

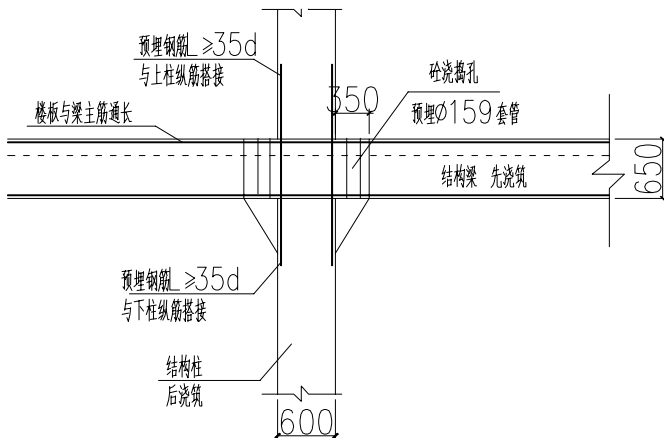
3.4. 地下负二层顶板钢筋混凝土结构的施工

当开挖至地下负二层顶板的标高处时，主要完成的工程是本层的钢筋混凝土梁板结构，并利用H型钢伸至外围围护桩形成力的水平支撑。具体做法为结构梁板首先施工至外墙内侧300mm处，并预留锚入外墙的钢筋，在结构梁端部通过预埋钢板与穿外墙的H型钢(H 500×300×11×18)支撑连接起来，型钢支撑的另一端通过与钢筋混凝土梁中的预埋钢板焊接，实现力的传递，钢筋混凝土梁通过焊接在围护桩上的吊筋予以固定。地下负二层顶板结构梁和钢砼梁、围护桩的相互连接节点如下图：



图四 地下负二层顶板结构梁和围护桩的相互连接节点图

地下负二层顶板的模板在-6.20m的标高处夯实土方，采用砖胎膜的形式，在斜坡处采用钢管满堂脚手支撑，上铺多层板和木楞作为混凝土梁板的底模和侧模，



图五 地下室负二层柱预埋钢筋示意图

确保支撑稳定牢固，混凝土浇筑过程中不得出现下沉。

3.5. 地下负二层柱与地下负二层顶梁板结构连接处的钢筋和混凝土施工

在施工负二层顶梁板结构的时候，应在柱位处预留负二层框架柱的钢筋，上层和下层柱钢筋预埋的长度必须满足钢筋的搭接长度要求。地下负二层柱的砼浇筑应保证柱顶砼的密实，因此在柱的四周楼板的位置留设4个Φ159套管作为混凝土的浇筑孔，浇筑孔兼做振捣孔使用，Φ159振捣孔可采用预埋PVC管成孔。柱顶做成倒锥形，有利于砼下料及振捣。

3.6. 钢格构立柱与框架梁的节点施工

钢格构立柱共有29根，采用4根角钢160×16制作，在地下负二层柱及地下负二层顶板结构强度到达设计要求前，临时承受了逆作法区域的上部结构自重和施工荷载。由于钢格构柱的位置与结构设计中框架柱的位置不同，梁的跨度及受力点发生了改变，因此，征求了原结构设计院的同意，逆作法区域的框架梁的配筋经过重新设计和验算，作了相应的修改，以使得框架梁的受力形式不但满足临时的受力特点，也符合原有框架结构的受力要求。

地下负二层顶板的框架梁截面基本都是400mm宽，钢格构柱的宽度为460×460mm，原框架梁纵向钢筋较多，为了保证在不过分损伤角钢的情况下将框架梁钢筋全部穿过钢格构柱，在与设计单位沟通后框架梁纵向钢筋直径22的调整25以减少钢筋根数，将框架梁每排钢筋最大根数调整为不超过5根，中间3根纵向钢筋从两角钢之间空隙穿过，两侧两根在钢格构柱角钢上适当钻孔以穿过梁钢筋，保证纵向钢筋全部穿过钢格构立柱，这样避免节点处通过加腋的方式改变梁的外观尺寸。在浇筑砼前，将钢格构柱中空心的部分用细砂填满，避免砼漏浆。负二层顶板结构框架梁与钢格构柱浇筑成形后如下图所示：

3.7. 地下负二层顶板与地下负二层外墙交接处防水节点处理

逆作法中已完成的水平构件与外墙等竖向构件的交接点的防水处理显得尤为重要，本工程的负二层顶板的施工缝控制在外墙以内300mm处，负二层梁板钢筋预留伸至外墙中。由于框架梁上的H型钢经过外墙轴线伸至围护桩上的腰梁上，因此在梁板与外墙交接的墙身中心线处的H型钢上焊接止水钢板，止水钢板的尺寸应宽于H型钢四周150mm，起到止水的作用。止水钢板焊接如下图所示：



图七 负二层梁处的止水钢板焊接照片

4. 半逆作法区域基坑监测情况

该区域监测项目包括北侧建筑物沉降、基坑顶水平位移、基坑深层土体位移、相邻地面沉降、地下水水位监测等，监测频率基本控制在5—6天监测一次，遇到连续雨天、土方加深开挖的特殊时期时进行每天不间断的监测。

工程施工至地面处，监测结果表明基坑围护桩的各项监测数据基本控制在理想范围内未对周边的环境及房屋造成过大的影响。

5. 结语

该国际广场工程地下室基坑属于大型深基坑工程，根据工程特点，西北侧部分地下负二层结构采用半逆作法的施工方法，实施及监测结果表明，整个过程安全可控，利用地下负二层顶板替代水平内支撑梁，节省了内支撑体系造价，而且减免了内支撑拆除施工，同时未影响南侧主楼的施工进度，由此降低了造价，缩短了工期，取得了很好的经济效益。



图六 负二层顶板结构梁与钢格构柱浇筑成形照片