

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.04.038

# 厦门国际中心地下室切割加固

徐超, 商昊江

(福建省建筑科学研究院, 福建 福州 350025)

**摘要:** 随着社会、经济的发展,地下室的改造加固和深基坑的支护问题不断出现。厦门国际中心主塔楼结构平面布置改变,故需对已施工结束的地下三层结构进行切割改造。采用 Sap2000 有限元软件建立了地下室模型,计算分析了地下室开大洞时结构的受力情况,发现外墙在水土压力作用下内力超过其承载力,故需对外墙进行支护加固。而后分析对比了钢结构交叉撑与混凝土剪力墙支护的可行性与合理性,最终确定了采用降低水位并在主梁位置设置剪力墙的方案,随后计算设计了新增的剪力墙、洞口加腋的梁板结构,并对施工顺序进行说明。该项目施工完成后的结果表明本文所采取的切割加固方案是安全、合理、可行的。

**关键词:** 地下室;切割;支护;加固

中图分类号: TU91

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2015)04—0188—07

## The Cutting and Strengthening of Xiamen International Center Basement

XU Chao, SHANG Haojiang

(Fujian Academy of Building Research, Fuzhou, Fujian 350025, China)

**Abstract:** With the social and economic development, the problems of transformation and reinforcement of basements as well as the supporting of deep foundation pits occur frequently. Because of the structure layout changing of Xiamen International Center main tower, the already constructed basement of 3 floors should be transformed accordingly. The finite element software Sap2000 was adopted to establish the basement model, and then the structural stress of the basement during excavation was calculated and analyzed. It was found that under the pressure of soil and water, the internal forces exceeded its bearing capacity, so the external walls needed reinforcement. According to this situation, the feasibility and applicability of steel cross bracing and concrete shear walls reinforcement were analyzed and compared, and the program of setting shear walls around the main beams and lowering the water level at the same time was put forward, followed by the calculation and design of the shear walls and the slab-beam connection with haunch at the entrance of the excavation, meanwhile the construction sequence was described. The condition of the project after the completion of construction indicate that the program of cutting and strengthening mentioned in this paper is safe, reasonable and feasible.

**Keywords:** basement; cutting; supporting; strengthening

随着社会、经济的发展,对地上空间和地下空间的需求呈爆发式增长,因此高层及超高层建筑不断涌现,多层地下室随之出现,地下室的改造加固和深基坑的支护问题也不断出现。基坑支护结构一般为临时性结构,一旦基础施工完毕即失去作用,将其作为地下室外墙的一部分结构,使之成为永久的受力体系,可减少资源浪费,文献[1-4]阐述了其理论研究、设计计算及工程应用。地下室外墙由于温度应

力、混凝土收缩及沉降等因素易产生裂缝,且多层地下室外墙往往容易触及地下水,产生渗漏,影响结构耐久性,文献[5-7]阐述了地下室外墙裂缝的综合控制手段。文献[8-9]介绍了几种地下室外墙加固的方案:(1)保留原墙厚度和配筋不变,在地下室外墙的每一层顶端加一道暗梁以减少外墙的计算长度;(2)保留墙厚度和配筋不变,在外墙外侧楼盖处加钢筋混凝土悬臂板,作为支护桩的水平支承,使得

收稿日期:2015-02-03

修稿日期:2015-04-17

作者简介:徐超(1978—),男,福建南平人,高级工程师,硕士,主要从事大跨度结构研究和建筑结构改造加固。

E-mail: 33630368@qq.com

外墙与支护桩共同受力;(3) 在外墙内侧加厚墙体,增加补强钢筋,使其达到承载力要求;(4) 在地下室外墙内侧粘贴碳纤维以满足承载力要求。本工程由于地下室较深,侧向压力大,在对地下室切割开洞时不允许外墙开裂,考虑外墙加固后结构需有较大的侧向刚度以控制结构的变形和外墙的内力,因此本工程将在外墙内侧进行加固并形成较刚、较强的结构体系,以下将对厦门国际中心地下室切割加固方案进行选析并对相关的措施进行设计。

### 1 工程概况

厦门国际中心为原厦门邮电通信枢纽大厦的续建工程,原设计方案为:总建筑面积 170 138 m<sup>2</sup>,建筑高度 249.7 m(其塔顶高度 342.2 m),地下 3 层、地上裙楼 8 层、塔楼 66 层;其中地下三层的层高分别为地下一层 6.5 m,地下二层 5 m,地下三层 5.5 m;地下室的基本柱网尺寸为 9 m×9 m,原设计地下水位为 -1.86 m,基础形式为平板式筏板,塔楼底板厚 3.5 m,裙房底板厚 1.5 m,支承于中分化岩层。

切割前原邮电大厦的地下室及裙房部分已按原设计方案施工完成,地下室以上的塔楼部分未建。裙房屋顶建有一钢结构装饰屋架,目前一至六层作为邮政生产场所已投入使用,七层至八层作为办公场所出租。停工 2 年后建设方拟对该项目进行续建,进行整体商业开发。根据调整后的建筑方案,该项目塔楼重新布置,总高改为 270 m,原塔楼平面由原先直径为 44 m 的圆形调整为 52 m×40 m 的近长方形,竖向构件布置改变,故需对已施工结束的地下结构进行切割改造。新旧塔楼位置如图 1 所示,切割范围如图 2 所示。

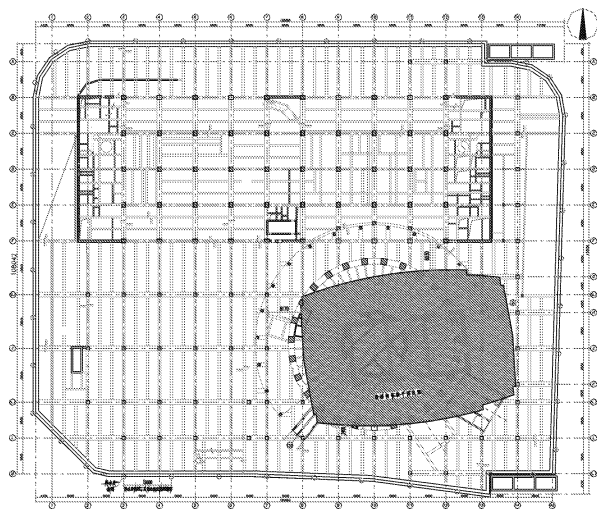


图 1 新旧塔楼位置

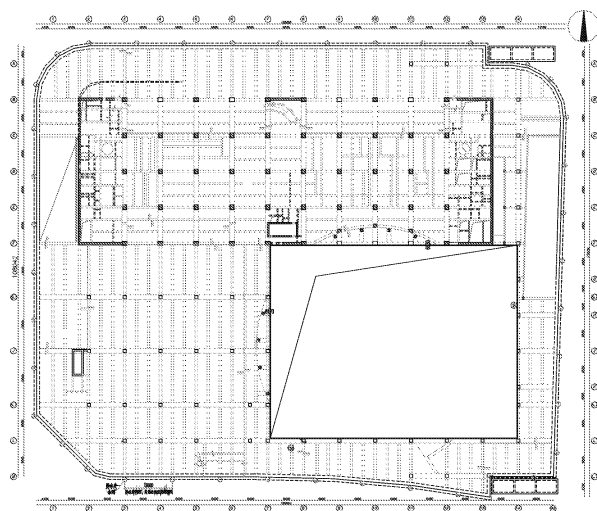


图 2 切割范围平面示意图

### 2 结构计算模型及切割方案

#### 2.1 有限元模型的建立

本工程主要采用 Sap2000 有限元软件进行计算,地下室外墙厚 750 mm,筒体部分剪力墙厚 300 mm~800 mm;裙房部分框架柱截面为 800 mm×800 mm 和 1 000 mm×1 200 mm,筒体部分框架柱截面为 1 500 mm×1 500 mm;裙房部分较大跨度框架梁截面为 1 200 mm×950 mm,较小跨度框架梁截面为 600 mm×800 mm,筒体部分框架梁为 300 mm×1 000 mm;负二层~一层楼板厚 220 mm。剪力墙与柱的混凝土强度为 C50,梁板的混凝土强度为 C45,采用空间杆系单元模拟框架梁、柱,采用壳单元模拟剪力墙与楼板,模型如图 3 所示。

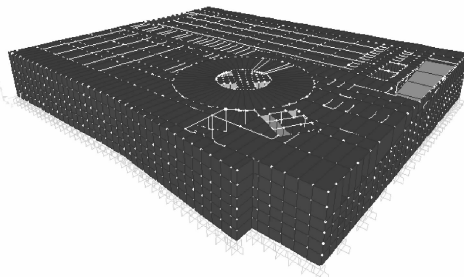


图 3 地下三层结构模型

#### 2.2 荷载条件及荷载组合工况

本工程所采用的楼面活荷(LL):首层(结构模型三层)为 20 kN/m<sup>2</sup>,负一层(结构模型二层)和负二层(结构模型一层)均为 5 kN/m<sup>2</sup>;恒荷(DL),主要包括结构自重及水、土压力<sup>[10]</sup>。

本工程未考虑降水措施时,水土压力如下:  
水压力:10.0×17=170 kN/m<sup>2</sup>;

土压力:  $0.65 \times 8.0 \times 11.5 = 60 \text{ kN/m}^2$ 。

考虑工程降水措施时,水土压力如下:

水压力:  $10.0 \times 6.0 = 60 \text{ kN/m}^2$ ;

土压力:  $0.65 \times 18 \times 11.5 = 138 \text{ kN/m}^2$ 。

采用的荷载工况组合如下: (1) 1.35DL; (2) 1.35DL + 0.98LL; (3) 1.0DL; (4) 1.0DL + 1.4LL; (5) 1.2DL + 1.4LL。

### 2.3 结构切割计算方案

以结构逐步进入受力不利为原则,将结构分为几部分进行切割,由于地下室的北侧和西侧分别有 5 跨和 6 跨框架结构抗侧并进行内力传递,而南侧和北侧仅剩 1 跨框架,因此将切割从结构西北角逐步延至东南角,即切割 A 块、切割 B 块、切割 C 块和切割 D 块,其中, D 块为新塔楼与原地下室结构连接的狭长块(梁板结构),在较大切割之后(即 A、B 切割后)结构在东侧和南侧仍然有两跨框架受荷,因此在 A 块、B 块切割之后保留 C 块切割,以使结构充分传递侧向力,结构最终形成大切割,如图 4 所示。因此,计算方案亦考虑这个过程。在结构进行切割之前,在切割范围的四角设置加腋梁,以避免四角力的集中且有利于结构内力的传导,并可减小结构大切割处南侧和东侧类似深梁的单跨结构的计算长度。

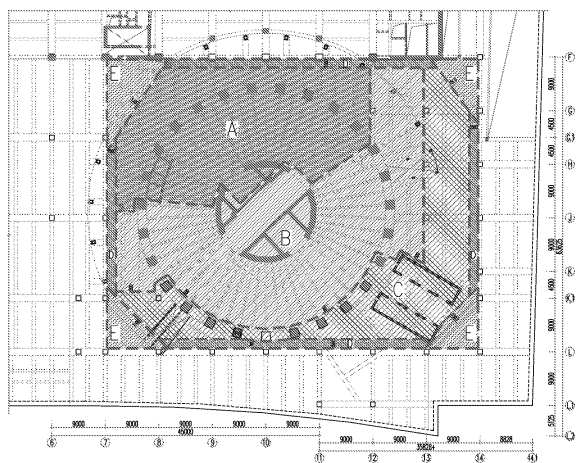


图 4 结构切割块平面示意图

计算分析主要关注的区域为:轴线 7—轴线 14.1 和轴线 F—轴线 L.2 区域(即仅剩 1 跨的结构),主要考虑结构切割后对该区域的外墙、梁、柱的承载力的影响,并校核结构相应主要传力构件的承载力。限于篇幅,计算结果仅给出包络值。

#### (1) 切割 A 块

结构进行切割块以后,结构的变形如图 5 所示,关注区域的变形最大值为 1.75 mm,变形集中在结构第二层(以结构建模层数为准,即为原结构的负一

层位置,余同)。结构切割 A 块后,地下室外墙弯矩如图 6 所示。关注区域的挡土墙根部弯矩最大值为  $-1\,384 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ 。

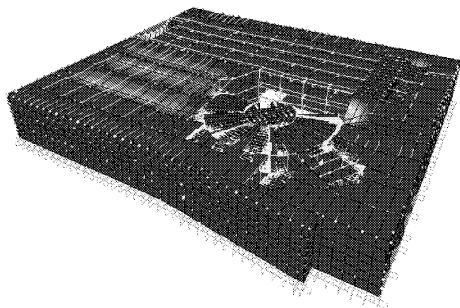


图 5 切割 A 块后结构的变形(单位:mm)

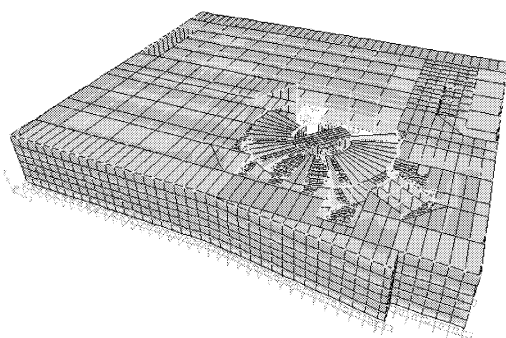


图 6 切割 A 块后外墙的弯矩(单位: $10^3 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ )

#### (2) 切割 A 块、B 块

切割 A 块、B 块后,结构的变形如图 7 所示,关注区域的变形最大值为 11.3 mm。切割 A 块、B 块后,结构的挡土墙面外弯矩如图 8 所示,关注区域的外墙弯矩达到  $-1\,882 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ 。

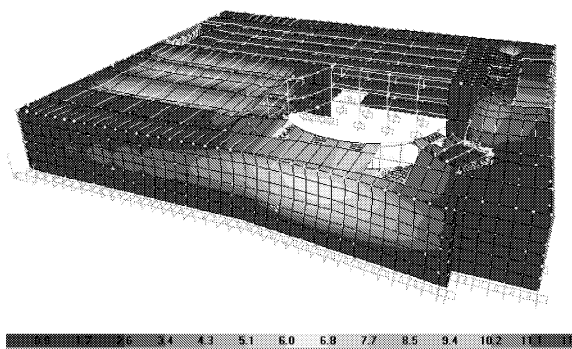


图 7 切割 A 块、B 块后结构的变形(单位:mm)

通过以上计算可知,结构在切割 A 块后,所关注区域的外挡土墙的面外弯矩为  $-1\,384 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ ,最大变形值为 1.75 mm。当进行切割块二时,外挡土墙的面外弯矩已经达到  $-1\,882 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$ ,最大变

形值为 11.3 mm,而按原设计相同位置外墙的按弯强度为 777 kN·m/m,因此外墙的抗弯承载力已严重不足,必须进行支护加固处理。

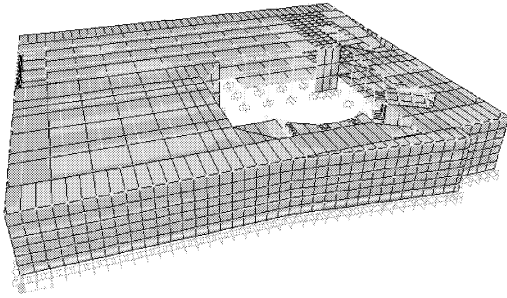


图8 切割A块、B块后外墙的弯矩(单位:  $10^3$  kN·m/m)

### 3 结构大切割块加固计算分析

以上初步分析了切割A块和切割A块、B块的原有结构承载能力,但为了满足新核心筒及新框架构件的施工,结构最终不可避免形成大切割块(即切割A块、B块、C块、D块)。因此,此大切割块模型为结构最不利的受力状态,为本工程加固考虑的重点。结构大切割块有限元模型如图9所示。加固方案主要考虑设置钢结构交叉撑或增设钢筋混凝土剪力墙,并进行对比分析,以确定最终方案。

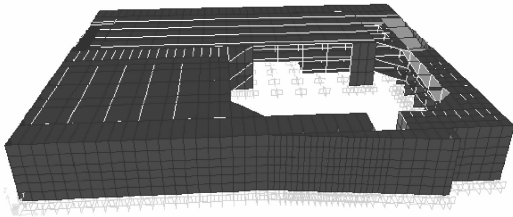


图9 结构大切割块模型

#### 3.1 主次梁位置均设置交叉撑

为能最大程度承受侧向荷载,控制地下室外墙的平面外变形以减少其内力,可利用结构原有的框架体系,在内部设置交叉撑以形成桁架体系。由于结构下部的侧向压力较大,在结构负三层和负二层主框架内设置交叉撑,并在次梁位置设置交叉支撑和钢立柱,形成桁架体系,即3 m间距设置一道交叉撑,负一层侧向荷载较小,仅在其主梁位置设置交叉撑,交叉撑采用圆管,截面为 SPWSP377 × 9,钢柱采用 H 型钢,截面为 HM300 × 200 × 8 × 12,材料均为 Q345<sup>[11]</sup>。局部有限元模型如图10所示。

设置支撑后的结构变形最大值为 9.3 mm,弯矩最大值为 -1 925 kN·m/m,外墙承载力严重不足。

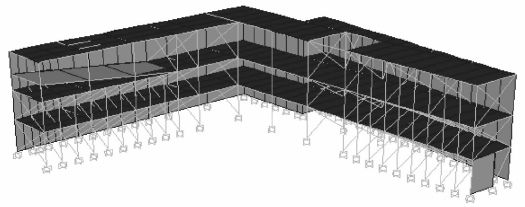


图10 结构主次梁位置设置交叉撑局部模型

#### 3.2 主次梁位置加密设置交叉撑

结构一层和二层主次梁位置均设置交叉支撑之后承载力仍然不足,因此在次梁中间增设一道交叉撑,即每 1.5 m 间距设置一道交叉撑,截面及材料属性同上,局部有限元模型如图11所示。

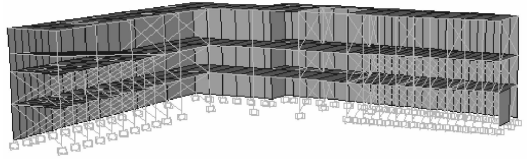


图11 结构加密设置交叉撑局部模型

加密设置支撑后的结构变形最大值为 9.2 mm,弯矩最大值为 -1 389 kN·m/m。显然,加密的作用并不明显,外墙承载力仍然不足。

#### 3.3 主梁位置设置钢筋混凝土剪力墙

加密设置交叉支撑及内跨加设斜撑后挡土墙的抗弯承载力仍然不足,为能最大程度承受侧向荷载,加强控制地下室外墙的平面外变形以减少其内力,考虑施工方便,利用结构的原有框架体系在其主框架位置增设钢筋混凝土剪力墙(9 m 间距),初步选择各层剪力墙厚度为 300 mm,材料强度为 C50,局部有限元模型如图12所示。

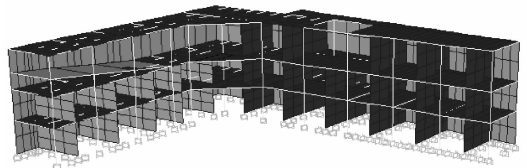


图12 结构设置钢筋混凝土剪力墙局部模型

设置剪力墙后结构变形最大值为 3.3 mm,弯矩最大值为 -678 kN·m/m,外墙面外抗弯承载力满足要求。

虽然挡土墙的抗弯承载力能够满足要求,但是考察剪力墙(部分)的受剪,内力见表1,经计算可得剪力墙的剪压比为 0.3(规范限值为 0.25)<sup>[12]</sup>,不满足要求,需要加大剪力墙截面,或者考虑继续增设剪力墙。

表 1 部分剪力墙内力

剪力墙位置	轴力 $P$ /kN	剪力 $V$ /kN	弯矩 $M$ /(kN·m)
-3F-10-(L-L1)	11140.3	-20508.3	-83724.8
-3F-11-(L-L1)	11309.9	-20348.7	-96774.9

注: -3F 表示负三层, 10-(L-L1) 表示轴线位置。

### 3.4 主梁及其中间设置钢筋混凝土剪力墙

由于加设剪力墙后, 剪力墙抗剪承载力不足, 在结构负三层主梁中间位置再增设一道钢筋混凝土剪力墙(即间距 4.5 m 一道), 初步选择各层剪力墙厚度为 600 mm, 材料强度为 C50, 局部有限元模型如图 13 所示。

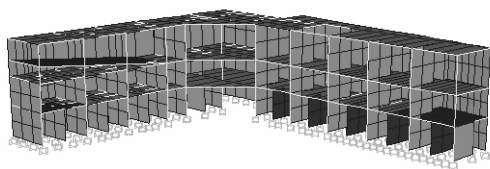


图 13 结构负三层增设钢筋混凝土剪力墙局部模型

设置剪力墙后结构变形最大值为 1.8 mm, 外墙弯矩最大值为 -659 kN·m/m, 抗弯承载力满足要求。

虽然挡土墙的承载力能够满足要求, 但剪力墙分布太过密集。

### 3.5 采用降水措施在主梁处设置剪力墙

由上分析可知, 增设剪力墙可以妥善解决大开洞问题, 但是考虑加设剪力墙过多过密, 且不易于日后拆除。因此本工程需考虑降水措施, 以减少结构侧向压力。

降水后考虑的加固支护措施仅在主梁位置设置剪力墙, 结构负三层和负二层的剪力墙厚度为 700 mm, 负一层剪力墙厚度为 500 mm, 材料强度为 C50, 水位降至 -11.5 m 处(即负二层楼板处), 结构变形最大值为 1.7 mm, 弯矩最大值为 264 kN·m/m, 远小于外墙的抗弯承载力。

显然, 结构进行降水处理并设置剪力墙后, 结构的变形和内力均可以得到有效的控制, 而且剪力墙的配筋适当, 新增各剪力墙的内力见表 2。

表 2 新增剪力墙的内力

剪力墙位置	$P$ /kN	$V_2$ /kN	$M_3$ /(kN·m)
-3F-10-(L-L1)	12359.03	-9764.84	-60412.04
-3F-11-(L-L1)	5876.09	-8471.23	-67390.92

本节阐述了结构形成大切割后的支护加固方案分析, 对比了各加固方案的可行性及合理性(见表 3), 最终确定了本工程的加固方案, 即进行降水处理, 并在结构的框架位置设置剪力墙。

表 3 加固方案可行性对比

加固方案	最大变形/mm	外墙弯矩/(kN·m)	可行性	备注
主次梁位置均设置交叉撑(3 m 一道)	9.3	-1925	否	外墙承载力不足
主次梁位置加密设置交叉撑(1.5 m 一道)	9.2	-1389	否	外墙承载力不足
框架位置设置剪力墙(9 m 间距)	3.3	-678	否	剪力墙承载力不足
框架及其中间加设剪力墙(4.5 m 间距)	1.8	-659	是	剪力墙设置较密集
结构降水处理, 并于框架位置设置剪力墙	1.7	264	是	合理可行并采用

## 4 新增构件设计及相关措施

### 4.1 新增剪力墙设计

采用大切割块得到的内力为新增剪力墙配筋, 并在新增剪力墙两端设置暗柱, 为增加新增剪力墙与原结构的整体性, 并增加其平面外稳定性, 在两者相交处设置水平加腋。加厚原地下室外墙, 以增加外墙抗弯承载力, 并增强新旧墙体共同工作的整体性<sup>[13-14]</sup>, 详见图 14。

### 4.2 洞口四角加腋及变形观测

为了将部分水平力传递给保留的结构, 避免力的集中, 在洞口的四角设置斜梁, 并在斜梁上设置轴向应变观测, 如图 15 涂黑部分所示。将阴影区域的

楼板加厚 150 mm, 以形成洞口三角大腋, 如图 2 所示。在主要关注区域的南侧和东侧设置外墙的水平位移观测, 测点布置如图 15 中的黑圆点所示。

### 4.3 施工顺序说明

各施工阶段顺序及内容如图 16 所示。

切割在相应支护补强施工完成、混凝土强度、粘胶强度等达到要求后进行。切割需分阶段逐步进行<sup>[15]</sup>, 执行“先上、后下, 先小口、后大口, 先板梁、后柱子”的原则, 使支护结构的受力为逐步缓慢支顶的一个过程。切割施工前须进行坑外降水处理, 为保守起见, 将水位降至地下室底板以下, 不考虑地下室底板的抗浮, 底板排水孔位置如图 17 所示。

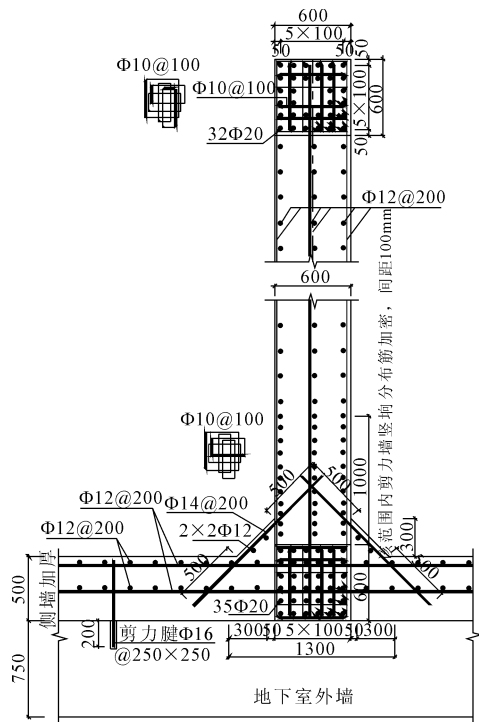


图 14 新增剪力墙做法

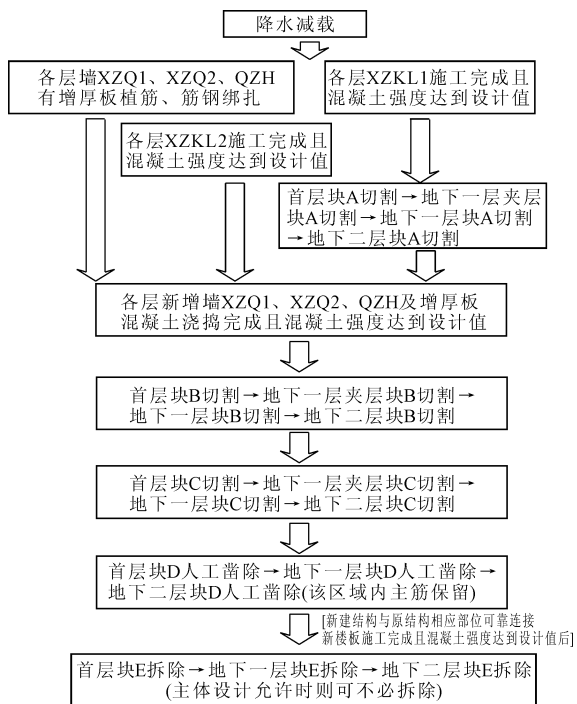


图 16 切割施工顺序

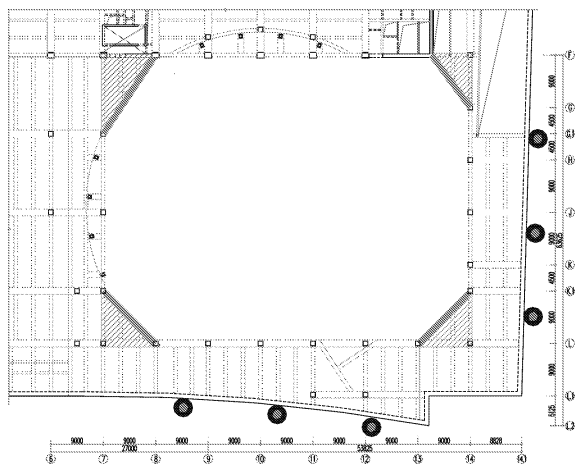


图 15 洞口加腋及变形观测示意图

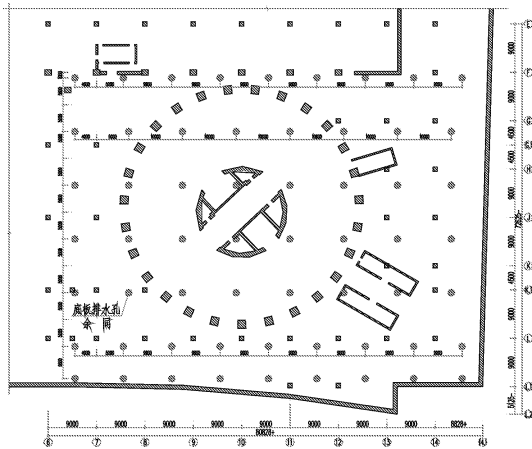


图 17 地下室底板排水孔布置示意图

排水孔的基本间隔约 10 m,排水有困难,则可以按 5 m 的间隔加密增设排水孔(施工时无加密),最外围排水孔可先作为降水观测井,当排水较多时另设钻孔观测降水。

## 5 结 论

(1) 类似三层地下室的大开洞结构在水土压力作用下,外墙的内力远超其承载力,须加设支撑体系以承载外力效应。

(2) 桁架形式的钢结构支撑体系由于抗侧刚度太小,在水土压力下侧向位移太大,无法满足类似三层地下室的大开洞支撑要求。

(3) 该工程经施工及变形观测表明,外墙的变形最大仅为 1.2 mm,且现已进入上部超高层结构的施工。因此本文所采取的切割方案及相应的支护加固措施是安全可靠、合理可行的,可作为类似工程的参考。

### 参考文献:

[1] 蔡北海. 喷锚支护作为地下室外墙的应用研究[J]. 广州大学学报:自然科学版, 2003, 2(2): 160-163.  
 [2] 陈波, 黄杰, 彭科. 浅析排桩支护作为地下室外墙结构的设计与计算[J]. 四川建筑, 2012, 32(4): 167-168.  
 [3] 李万有, 陈立龙. 基坑支护中挡土桩作为地下室外墙及

- 工程桩的应用[J]. 民营科技, 2011(4): 333.
- [4] 姜广才, 程振宇, 王亚东. 关于高层建筑地下室外墙与基坑支护结构为一体的思路[J]. 黑龙江冶金, 2006(2): 40-41.
- [5] 侯卫青. 控制地下室外墙混凝土收缩裂缝的技术措施[J]. 建筑施工, 2007, 29(3): 186-187.
- [6] 蔡志勇, 陈 李, 袁韶山, 等. 超长地下室外墙防渗抗裂综合施工技术[J]. 建筑施工, 2008, 30(11): 980-981.
- [7] 经 验. 地下室外墙混凝土裂缝问题的探讨[J]. 安徽建筑工业学院学报: 自然科学版, 2008, 16(6): 32-34.
- [8] 沈黎元. 某工程地下室外墙加固方案比较分析[C]//第 22 届全国结构工程学术会议论文集, 第 III 卷. 北京: 中国力学学会结构工程专业委员会、中国力学学会《工程力学》编委会, 2013.
- [9] 黄明山. 地下室外墙的补强方案[J]. 工程建设与设计, 2001(4): 59-60.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50009 - 2012 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50017 - 2003 钢结构设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ3 - 2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50010 - 2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB50367 - 2013 混凝土结构加固设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [15] 陈建光, 刘文解, 张 帆. 混凝土结构无损切割技术的应用与研究[J]. 建筑施工, 2014, 36(2): 150-153.

(上接第 167 页)

## 4 结 论

(1) 本文以 Visual Modflow 软件为平台, 建立了该试验区地下水模拟模型, 经率定和验证, 模型参数能够很好的反映试验区的实际情况, 可用于对灌区的地下水位进行预测。

(2) 结合地下水模拟模型和渠井用水优化配置模型, 计算得出了最优渠井用水比例为 2.1, 作物种植比例为 0.9, 灌区经济效益最大为 1 205 万元。建议本地区经济作物与大田作物种植面积比为 0.9, 渠井用水比为 2.1, 使地下水保持在生态安全埋深 1.8 m ~ 3 m 以内。

### 参考文献:

- [1] 周维博, 曾发琛. 井渠结合灌区地下水动态预报及适宜渠井用水比分析[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(1): 6-9.
- [2] 代峰刚, 蔡焕杰. 利用地下水模型模拟分析灌区适宜井渠灌水比例[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 45-51.
- [3] 贺 屹, 祝田多娃. 基于随机 - 确定模型的渠井结合灌区用水优化配置[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 421-426.
- [4] 周维博, 施桐林, 杨路华. 地下水利用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [5] 张志杰, 杨树清, 史海滨, 等. 内蒙古河套灌区灌溉入渗对地下水的补给规律及补给系数[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 61-65.
- [6] 樊自立, 陈亚宁, 李和平, 等. 中国西北干旱区生态地下水埋深适宜深度的确定[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2): 1.
- [7] 岳卫峰, 贾书惠, 高鸿永, 等. 内蒙古河套灌区地下水合理开采系数分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2013, 49(2/3): 239-242.
- [8] 郑春莲, 曹彩云, 李 伟, 等. 不同矿化度咸水灌溉对小麦和玉米产量及土壤盐分运移的影响[J]. 河北农业科学, 2010, 14(9): 49-51.
- [9] 万书勤, 康跃虎, 王 丹, 等. 华北半湿润地区微咸水滴灌对番茄生长和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 30-35.
- [10] 毕远杰, 王全久, 雪 静. 灌溉水矿化度对油葵根系生长及产量的影响[J]. 华北水利水电学院学报, 2007(4): 9-11.