

某地下室上浮事故原因分析与加固处理方法

陆东良

上海名亭建筑设计有限公司

摘要：本文以上海某生产用房地地下室上浮的事故为例，对地下室上浮的原因、现场应急施工处理方案和加固处理方法等展开探究分析。结合现场施工资料、质量检测报告和抗浮设计计算复核，得出了该地下室上浮事故的原因，是由于地下室顶板和底板后浇带封闭后，施工单位对施工阶段抗浮水位认识不足，在没有进行地下室顶板覆土的情况下，擅自取消了施工过程中的降水措施。经过二次加固处理，该地下室已经恢复到正常使用状态，至今状态良好。

关键词：地下室施工阶段上浮；破坏；抗浮应急措施；加固方法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.02.036

引言

城市化建设一定程度上激化了有限土地空间资源和持续增长开发需求间的矛盾，使得地下空间的开发使用越来越受到重视，普遍地出现了地下工程项目的抗浮设计需求，特别是在施工阶段，抗浮问题更加显著。在施工阶段，地上建筑施工任务没有完全完成，上部荷载压重没有到位，当地下水位过高，而周边降水条件与设计要求不符合时，容易出现水浮力大于建筑自重和抗浮承重力之和的情况，从而出现地下建筑整体或者局部上浮

的问题，破坏了其抗浮稳定性。因此，需要切实有效地增强对地下室抗浮问题的重视意识。

一、工程概况

(一) 建筑结构概况

本项目位于上海市松江区，主要由一层地下车库和五栋5~10层生产用房组成。该工程的总建筑面积为124410.24平方米，地上建筑面积为91827.64平方米，地下建筑面积为32582.60平方米，生产用房建筑高度为29.8m~42.8m。平面、剖面布置如图一、二所示，上浮区域为2#和3#生产用房之间阴影区域。

本工程的地基基础采用的是独立承台桩基与防水板相结合的结构，主楼承压桩采用 $\Phi 500$ 预应力混凝土管桩，纯地库抗拔桩采用350mm \times 350mm预应力混凝土实心方桩，桩长为14m，基础防水板厚度为500mm，地下车库层高3.7m，基础底板面标高为：-5.500m，顶板覆土1.5m。主要柱网尺寸为8.1m \times 8.1m，柱截面为600mm \times 600mm，梁截面为500mm \times 850mm，顶板采用大板形式，厚度为350mm~400mm。设计要求停止降水的条件是多层结构主体封顶、高层结构主体施工至5层后，地下室顶板覆土填至设计标高、车库底板地面面层做完、车库后浇带浇完并达到设计强度，且场地排水系统能正常工作，方可停止降水。

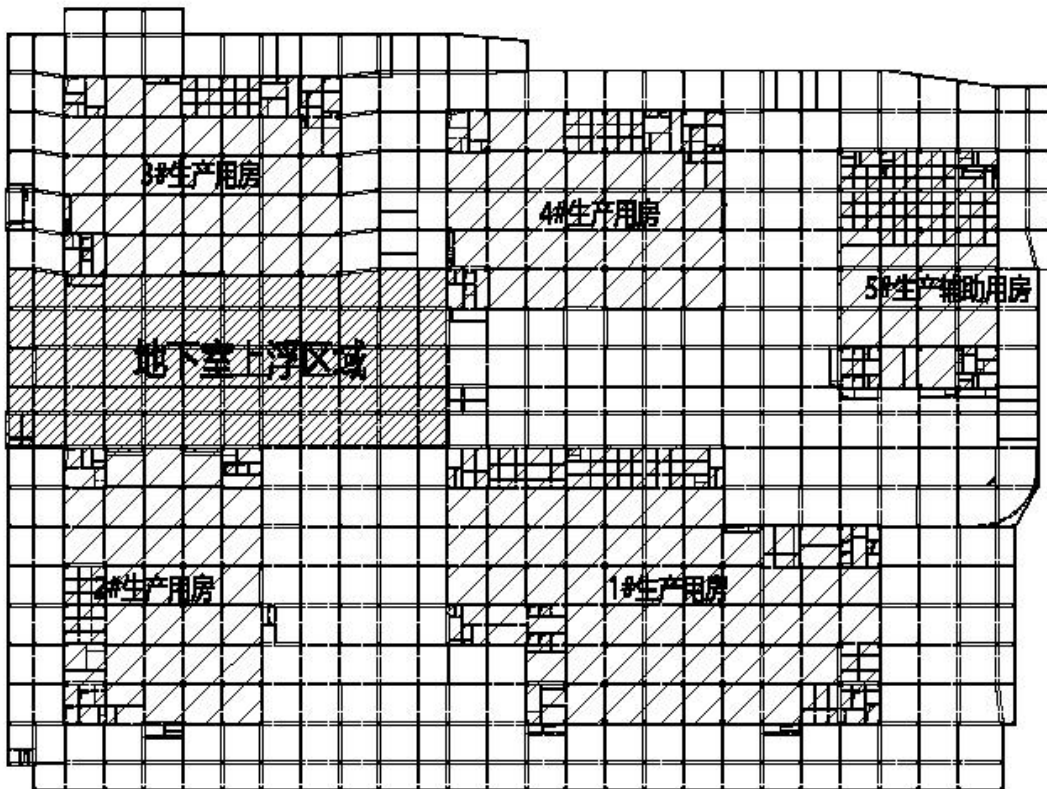


图1 地下室上浮区域平面示意图

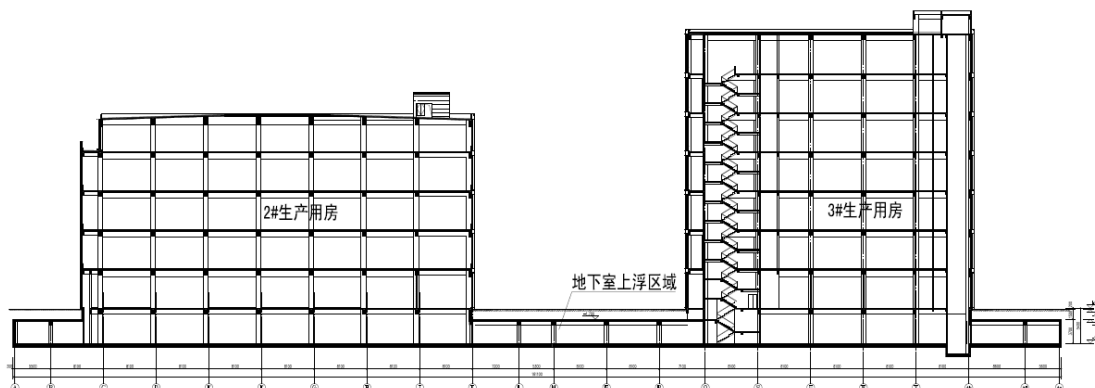


图2 地下室剖面示意图

(二) 工程水文和地质条件

从地质条件来看，该工程的场地自地表向下深入60.3m范围内的各地基土层分别为第四纪全新世Q4至晚更新世Q3沉积物，地基土主要土层组成和物理性质，详见图三、表一。

从水文条件来看，该工程场地的浅部土层地下水为潜水类型，地下水位的变动不受地下河和岩层水的影响，而是主要受大气降水、地表水和地面蒸发的控制。通过对该场地水文情况的勘察发现，取土孔内的地下水静止水位埋深大约在(0.30m, 0.70m)的区间内波动。潜水位离地表面约0.3~1.5m，受到大气降水、地表河流湖泊等地表水蒸发和潮汐的影响而发生相应的变化，年平均潜水位埋深区间为(0.5m, 0.7m)，高水位埋深取室外地坪下0.5m，低水位埋深取现地表水以下1.5m。

二、事故概况

项目施工期间，主体结构已经封顶，基坑四周均已回填土，地下室后浇带封闭完，施工单位在顶板覆土前取消井点降水措施。2022年8月，受台风轩岚诺多日降雨影响短期内造成地下水位急剧上升，导致1~12轴/L~P轴地下室区域出现上浮现象，根据现场监测结果，底板最大上浮高度达240mm，结构柱最大上浮高度达210mm，并造成部分地库梁、板、柱出现不同程度的裂缝和损坏。柱受损位置集中于根部或顶部节点区域附近，角部混凝土崩落，受拉区混凝土开裂，部分构件角部钢筋裸露。该地下室部分靠近支座梁底和梁侧的位置出现混凝土开裂和保护层崩落的问题，地下室底板局部后浇带开裂和拱起，导致钢筋裸露在外。

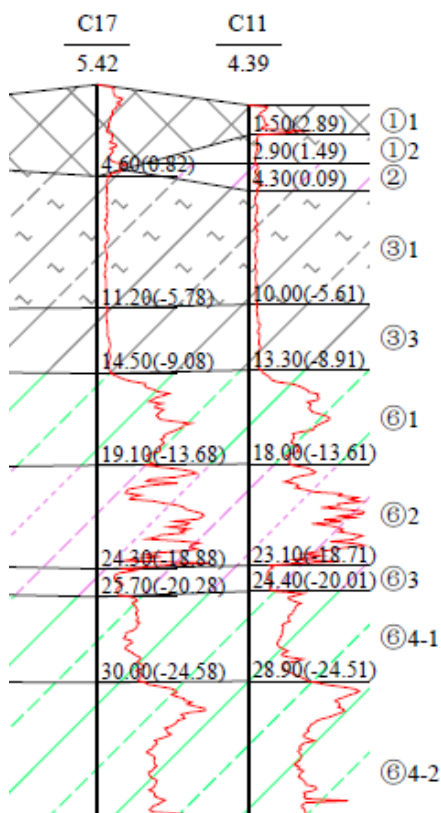


图3 地质剖面图



图4 地下室柱裂缝图

三、上浮原因

(1) 根据原有设计要求，施工阶段地下室施工现场降水应保持地下水顶面在最深基底以下不小于0.5m的深度。施工单位在地下室顶板覆土完成前就停止了基坑的降水工作，而此时恰逢雨季，连续多日的下雨使地下水位逼近抗浮设计的最高水位，总水浮力大于全部抗浮力之和，从而导致地下室上浮事故的发生。

(2) 该场地地下室底板下有很厚的③1层淤泥质粉质黏土和③1层黏土，渗透性差，工程建设时易形成浅层滞水，而且建筑地下室外轮廓距离用地红线近，基坑围护与地下室外墙之间的肥槽宽度非常小，基本都在800mm宽左右，回填难度较大，机械夯实设备没有操作空间，人工分层夯实的密实度无法达到设计要求，使肥槽回填土的渗透性大，无法形成止水层，不能满足不允许地表水下渗的要求，在强降雨后地表水快速渗入，与基坑内地下水贯通而连成一片，形成“脚盆”效应。

四、应急处理措施

(1) 2022年9月7日召开紧急研讨会议，采取降水

表一 土层主要物理力学性质参数表

图层序号	图层名称	桩侧极限摩阻力标准值 f_s (Kpa)	桩端极限端阻力标准值 f_p (Kpa)	渗透系数 (cm/sec)
①1	素填土	-	-	-
②	粉质黏土	15	-	5.0E-06
③1	淤泥质粉质黏土	15/20	-	8.0E-06
③3	黏土	25	-	8.0E-07
⑥1	粉质黏土	65	2400	4.0E-06
⑥2	砂质粉土	45	2500	4.0E-04

卸压处理技术措施，在上浮范围间隔一跨均匀钻孔进行泄压，同时钻孔设置位置尽量利用原有集水井，钻孔直径6cm，共开4个孔，为避免出水泄压过快，每个钻孔安装直径5cm的钢管并安装阀门，阀门上端安装三通、弯头并用水带将四根钢管连接统一排水至集水坑。第一个孔钻孔完，水源喷射高度最高达到1.5米左右，且伴有硫化氢气体味道，喷射中出现细沙等现象。因地下水积攒过快，钢管与孔洞之间存在漏水点无法彻底封堵，故在4个孔周围砌50cm高连通挡水墙，并在末端砌筑50cm高集水井，将孔洞及周围水集中到集水井，集水井中设置抽水泵并安装配电箱、浮球，设置自动排水装置。

(2) 同时对地下室底板上浮区域采用堆载加压的方式控制地下室上浮，堆放荷载方式为水池加压，即搭设常规内径空间5.4m×4.8m的盘扣式600mm×600mm间距连通排架搭设，设扫地杆，步距1m，主体立杆采用2m搭设，后期用6m钢管连接，上铺设脚手板为后期加固使用，用10m×10m的加厚防水布加固在排架上，加固搭接长度各个边分别为1m，第一次注水的高度为0.7m。为不影响结构柱加固，柱脚四周50cm范围内不堆放荷载，为保证足够荷载加压，预留配备蓄水桶以便及时增压。

(3) 对地下室基础底板和柱标高进行监测，设置沉降观测点36个，当日降雨量小于25mm（中雨及以下）时，每天监测2次，当日降雨量大于等于25mm（大雨及以上）时，每天监测4次，结构回落趋于稳定后每月二次。经过5天的降水泄压处理后，底板最大上浮量由原来的240mm降为40mm左右，结构柱最大上浮量由原来的210mm降为20mm左右，结构上浮数据趋于稳定，得到了较好的控制，见表二。

表二 地下室上浮区域主要柱上浮数据统计汇总表

序号	柱编号	上浮量 (mm)				
		2022.9.7	2022.9.8	2022.9.9	2022.9.10	2022.9.11
1	5-M	95	10	10	8	9
2	5-N	110	18	17	18	20
3	6-M	125	18	10	10	8
4	6-N	130	17	22	22	20
5	7-M	155	21	19	19	17
6	7-N	150	25	15	19	13
7	8-M	190	15	15	15	14
8	8-N	210	22	21	24	18

五、地下室损伤情况与原因分析

(一) 裂缝概况

(1) 框架柱的损伤:

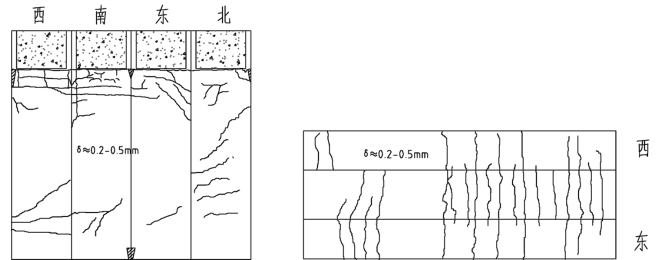
多数地下室框架柱顶部和柱脚部存在水平裂缝，部分柱身存在水平及斜向裂缝，裂缝宽度在0.2mm~0.5mm之间，少数框架柱顶角部混凝土表面碎裂，个别框架柱柱脚混凝土碎裂。

(2) 框架梁的损伤:

框架梁的裂缝主要在主楼与地下室相连的梁端区域，主要为自下而上的竖向裂缝和少量呈约45°斜裂缝，主楼周围后浇带处，由于上浮变形大，此处的梁也呈现大量的竖向裂缝，裂缝宽度在0.2mm~0.5mm之间。

(3) 底板和顶板的损伤:

地下室底板局部后浇带处拱起、开裂，钢筋裸露，顶板裂缝较无明显规律，部分裂缝从柱角沿着楼板对角线呈发散状，裂缝宽度在0.1mm~0.5mm之间，部分为贯穿裂缝，存在渗水现象。



柱损伤情况展开示意图

梁损伤情况展开示意图

(二) 裂缝原因分析

根据地下室上浮事故现场的检测数据和结果来看，开裂、渗水等情况仅存在于2#和3#生产用房之间的纯地下室部分和主楼周边的后浇带处。这主要是因为地上主楼建筑的荷载较大，远大于水浮力，从而导致差异变形小，没有出现开裂和渗水的问题。两楼之间地下车库和主楼周边的后浇带主要因为较大的位移差产生的附加应力使柱、梁、板均产生了不同形式和程度的损坏。主楼区域自重较重，并未出现上浮，纯地下室在水浮力作用下发生整体上拱，形成类似于两侧主楼为支座，地下室底板、框架柱和顶板梁组成的“空腹桁架”空间结构变形体。上浮使地下室柱产生附加剪力和弯矩，柱附加剪力等于上下端弯矩之和除以净高，整个柱高范围内剪力相等。由于纯地下室的底板刚度较小，而梁板式结构的顶板梁刚度较大，使柱反弯点靠近柱下端，柱下端弯矩小于柱上端弯矩，因此导致大量的损坏往往发生在柱上端，即柱上端的损坏通常比柱下端严重。框架柱端出现弯矩后，为了平衡柱端弯矩，会导致与框架柱相连的框架梁也出现附加的弯矩和剪力，从而导致框架梁端也容易出现开裂，通常表现为自下而上的垂直裂缝和斜裂

缝。在地下室整体抵抗水浮力时，后浇带处的混凝土由于浇筑时间短，未达到设计的强度，在后浇带处产生薄弱部位，出现受拉破坏。

地下室上浮导致柱损伤变形，开孔泄压后，基底水压力小于结构主体重力，地下室整体变形慢慢恢复，柱重新受压，此时发生变形的柱受力状态为偏心受压，且剪切裂缝两侧出现错动后裂缝无法完全闭合，导致部分混凝土被压碎，柱再次受损。

六、地下室抗浮与加固处理

(一) 地下室抗浮加固

(1) 地下室抗浮验算

依据地下室上浮测量结果，地下室的 最大上浮量 达240mm，容易出现原有抗拔桩失效的情况，因而在处理上浮事故时不应计入桩抗拔的有利因素，须做使用阶段抗浮稳定性验算：

地下室抗浮水位设计室外地坪标高以下0.50m考虑，室外标高为-0.200m，因此抗浮水位可以取-0.700m（相对标高）。地下室地下一层建筑标高为-5.400，建筑面层为100mm，防水板的厚度为500mm，则地下室的水头高度为 $(5.400+0.1+0.5)-0.7=5.300\text{m}$ ，即： $\text{水浮力 } F_f=53 \text{ KN/m}^2$ ，地下室顶板板厚为400mm，1.5m覆土时： $\text{结构重量 } G=【0.5（底板厚度）+0.4（顶板厚度）+0.073（一层梁柱折算为0.073\text{m}）】\times 25+0.9\times 1.5\times 18（覆土厚度）+0.1\times 20（地下室的面层厚度）=50.625\text{KN/m}^2$ 。 $G/F_f=50.625/53=0.955<1.05$ ，由上式计算说明抗浮稳定性无法满足要求，需做抗浮加固处理。

(2) 地下室抗浮治理

地下室抗浮治理的重点应当考虑抗浮方法的合理和适用性上，常用的一些方法有设置抗浮锚杆或抗浮桩，增加底板和顶板荷载的压重抗浮法、设置抽水井和排水井降低水位的排水限压法等。由以往的经验可知，设置抗浮桩，能够使地下室结构受力合理，不影响建筑功能，后期维护简单。根据该地下室治理要求、考虑对周边环境的影响、施工条件等因素，进行技术经济比较后，最终确定采用抗浮桩进行抗浮治理。

在地下室设置抗浮桩，选择锚杆静压钢管桩，因为锚杆静压桩所需要用到的设备和工具简单，适合在狭窄的地下室施工与操作。钢管桩截面选用E273x8，桩身钢材强度为Q235B级，采用内衬圈接桩，为提高抗拔桩侧摩阻力，每隔两米设置一道钢筋环箍桩身。由于压桩孔为后开孔，无法预埋止水钢板，为满足防水要求，在压桩孔周边孔壁设置遇水膨胀止水条。抗拔桩对桩节点见图5。

(二) 地下室结构加固

地下室的柱、梁和板各种构件都以不同的形式存在着不同程度的损坏，因此需要针对不同的构件损坏情况来采取多种加固处理方法及措施，主要加固工艺和方法如下所述：

(1) 混凝土裂缝的封闭处理。当裂缝宽度 $\omega\leq 0.2\text{mm}$ ：选择具有较强渗透性的专用修补胶液来对混凝土裂缝表面进行封闭处理。当裂缝宽度 0.2mm

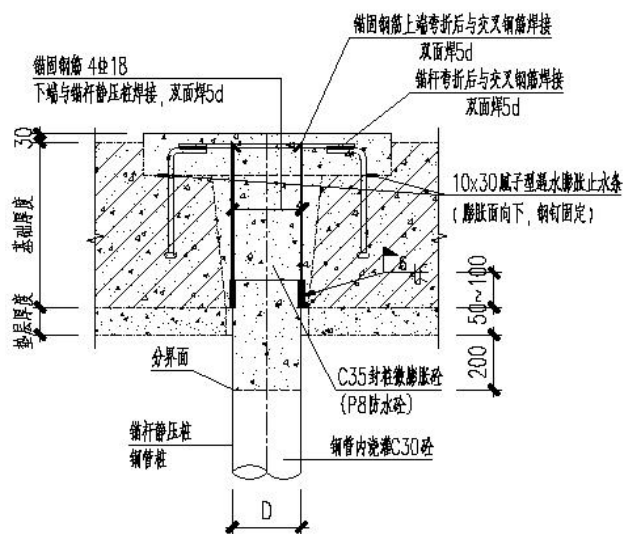


图5 锚杆静压桩封桩节点图

$< \omega \leq 1.5\text{mm}$ ：采用压力化学注浆法进行处理，注浆材料采用渗透性能较好的改性环氧树脂类修补胶液。当宽度 $\omega > 0.2\text{mm}$ ，形成贯穿裂缝时，除了可以按照以上方法进行修补封闭处理外，还应当在贯穿缝隙两侧粘贴1层100mm宽碳纤维布来加固表面，且沿裂缝走向垂直裂缝粘贴碳纤维布1T-100@300。

(2) 地下室柱

对于上拱变形导致混凝土压碎，且露筋的框架柱，属于严重损坏，采用置换混凝土法，见图6，并粘贴碳纤维布进行加固。较多开裂，柱顶或柱底部混凝土压碎的框架柱，属于局部严重损坏，采用外包钢加固法，见图7。其余有较多开裂，裂缝在 $0.1\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 的框架柱均采用粘贴碳纤维加固法。

(3) 地下室梁

在后浇带处裂缝和变形严重的梁采用外包钢加固法，见图8。开裂数量较多、长度较长和深度较深的裂缝则选择采用粘贴碳纤维加固法，见图9。

结论

该地下室按照以上的加固方法处理后，在后续的使用期间没有出现上浮和混凝土开裂的事故。证明所使用的加固方法有效，地下室抗浮设计满足使用要求。基于本次工程项目积累的经验，得出以下几点结论和建议：

(1) 设计方面：施工阶段的抗浮水位和降排水要求及终止降水的条件应对施工单位做好明确的交底。在图纸设计时应充分考虑地表水流入基坑肥槽产生的抗浮问题，在基坑肥槽回填材料选择时，可采用灰土、黏性土，分层夯实，并且保证压实系数 ≥ 0.94 ，或者可以采用素混凝土、预拌流态固化土等弱透水性材料。

(2) 施工方面：1) 施工单位需要加深对地下工程上浮危害的认识，了解抗浮设计，保持谨慎的施工态度。2) 清楚地下室停止降水的条件，尽可能在雨季来临前完成地下室顶板覆土的工作。3) 雨季来临时，增强对基坑及地下室结构的检查，观察梁、柱等表面是否有开裂现象，并且在察觉到初步上浮特征显现时，及

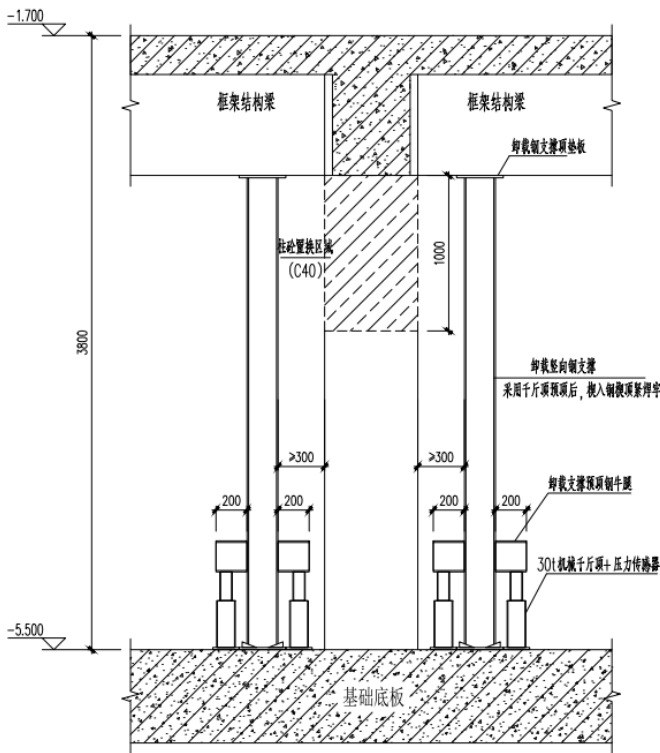


图6 柱置换混凝土加固

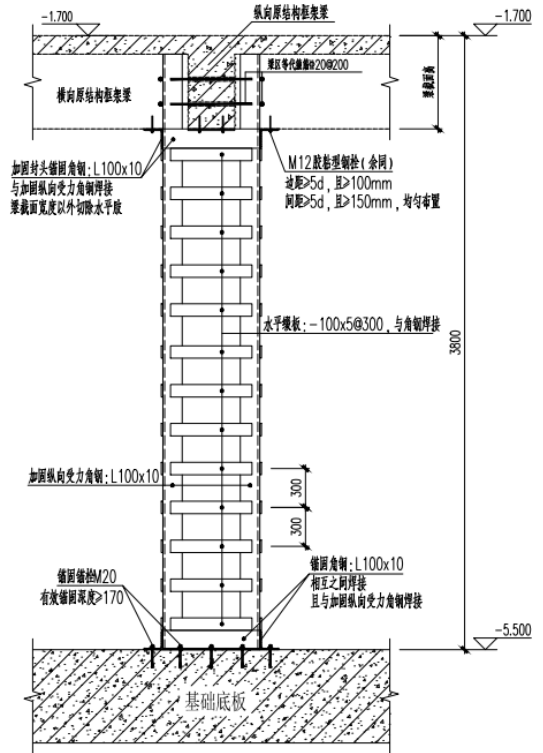


图7 柱包钢加固

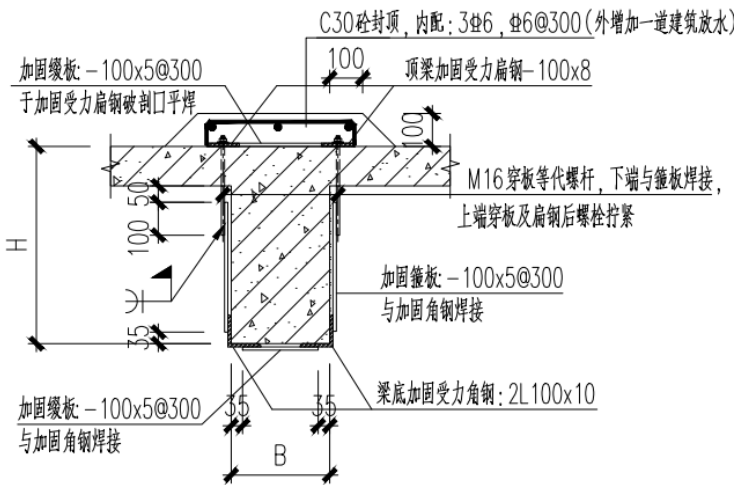


图8 梁外包钢加固

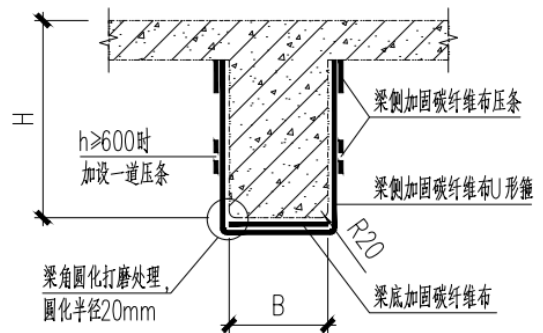


图9 梁碳纤维加固

时采取应急应对措施。4) 严格控制肥槽回填材料, 保障回填材料的弱透水性, 避免不合格回填材料而形成“水盆”效应; 并且需要优化压实工艺, 保障回填土压实紧。5) 后浇带应当要选择合适的时间封闭, 并非越早封闭越好, 以避免雨季来临之际导致地下室成为蓄水“脚盆”。

参考文献

[1] 宗钟凌, 吕凤伟. 地下室上浮事故原因分析与加固处理方法[J]. 建筑技术, 2014, 44 (11): 992-998.
 [2] 向畅, 宋明亮, 何海健等. 某结构地下室加固工程实例[J]. 建筑结构, 2016, 46 (S1): 904-907.

[3] 于贵, 李星, 舒中文等. 高层建筑地下室上浮变形特征及处置措施研究[J]. 地下空间与工程学报, 2020, 16 (1): 211-218.

[4] 贾益纲, 费逸, 吴光宇等. 某大型地下室结构上浮拱起工程事故分析与处理[J]. 施工技术, 2016, 45 (16): 48-52.

[5] JGJ 476-2019 建筑工程抗浮技术标准[S].

[6] GB 50367-2013 混凝土结构加固设计规范[S].

作者简介: 陆东良 (1979.12-), 性别: 男, 籍贯 (上海市), 学历: 本科, 职称: 中级, 研究方向: 建筑设计。