

抗浮锚杆联合叠合板复合加固法在既有建筑物基础加固中的应用

The application of anti floating anchor rod combined with laminated plate composite reinforcement method in the reinforcement of existing building foundations

蔺青涛^{1,2}, 古伟斌^{1,2}, 张坤杰¹

Lin Qing-Tao^{1,2}, Gu Wei Bin^{1,2}, Zhang Jun Xing¹

(1.中科院广州化灌工程有限公司, 广东 广州 510650;

2.广东省化学灌浆工程技术研究开发中心, 广东 广州 510650)

(1. Guangzhou Chemical Grouting Engineering CO.LTD, Chinese Academic of Science, Guangzhou 510650, China;

2 Guangdong Chemical Grouting Technology Research Centre, Guangzhou 510650, China)

摘要: 既有建筑物由于施工等原因导致桩基础受到影响, 基础抗浮力不足而造成底板隆起、开裂以及渗漏等问题, 工程实际中往往需要首先对基础抗浮进行加固修复, 确保结构的安全稳定, 以满足结构在地下水位浮力作用下的抗浮要求。本文结合工程实际案例, 采用抗浮锚杆联合叠合板复合加固技术对建筑物抗浮力进行修复处理, 进而再进行地下室底板隆起的找平处理、裂缝修复及注浆堵漏。对相似工程具有一定的借鉴价值。实践证明抗浮锚杆联合叠合板复合加固法在类似工程中, 能够满足修复建筑抗浮力和解决地下室底板开裂渗漏水治理的要求, 同时还具有应用工期短、加固效果好、环境友好, 具有实际应用推广价值。

关键词: 抗浮锚杆; 底板隆起; 既有建筑物; 叠合板;

1 引言

抗浮锚杆技术是目前建筑行业中普遍采用的一种抗浮措施, 当地下水位较高或建筑物自重不足以抵抗地下水的浮力时, 结构物的抗浮措施通常有配重类, 锚固类及地下水永久泄压等措施。近些年, 随着建筑行业的快速发展, 抗浮锚杆技术已经在房屋建设中得到了广泛的应用。无论在设计阶段还是施工阶段, 抗浮锚杆技术已经非常的成熟, 但目前抗浮锚杆技术主要还是集中在新建项目中, 对于已施工完成的建筑物, 当下部的抗浮措施因为施工等原因而遭到破坏时, 原结构的抗浮验算不满足设计要求, 地下室底板因抗浮不足开裂渗漏等问题, 采用抗浮锚杆技术修复建筑物抗浮力的方法还是比较少见的。本文结合工程案例, 深入研究一种抗浮锚杆联合叠合板的复合地基加固技术, 在已建工程中提高建筑物抗浮力的应用。

2 工程实例

2.1 工程概况

本工程为广州江门某小学地下车库, 地下车库为单层钢筋混凝土框架剪力墙结构, 基础采用高强预应力混凝土管桩, 工程位于学校校区内, 地下车库局部顶板为露天篮球场。地下室按后浇带共分为 5 个区, 5 个区结构的施工顺序为: 1 区→2 区→3 区→5 区→4 区。目前地下室已经封顶, 经过现场勘察, 主要的工程问题为地下室底板渗漏水、柱根冒水、底板开裂以及底板隆起等问题, 地下室分区图详见图 1。

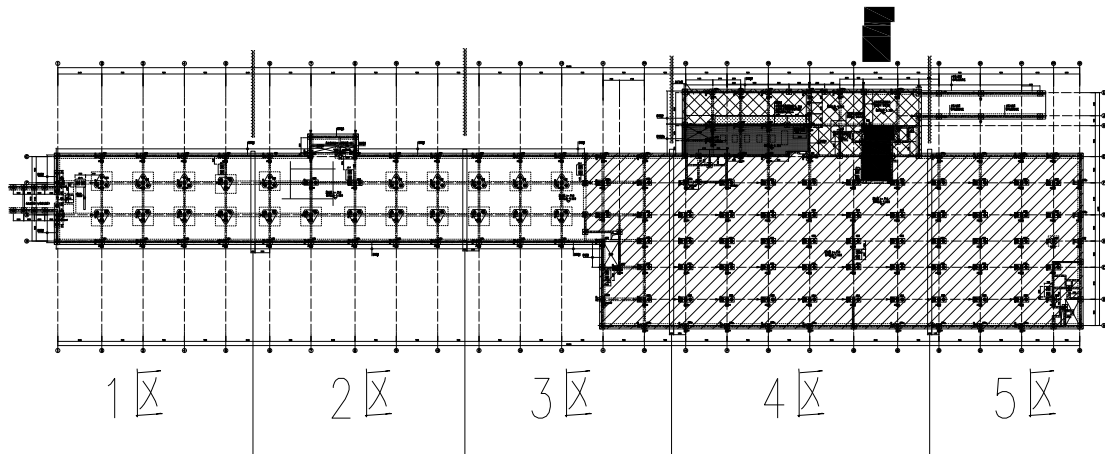


图1 地下室结构分区图

2.2 地质条件

本场区地势较低，总体较平坦，局部起伏较大，原场地为鱼塘，地表多被植被覆盖，勘察期间鱼塘多被回填，仅局部剩余小水塘。根据钻孔揭露，场地之地层由素填土（Q4ml）、冲积层（Q4al）、残积层（Q4el）及基岩（K1b）等组成。素填土主要由人工堆填的黏性土组成，冲积层由淤泥质土、粉质黏土、粉细砂等组成，残积层由粉质黏土组成；基岩由全风化泥质粉砂岩、强风化泥质粉砂岩等组成。典型地质剖面图如图2：

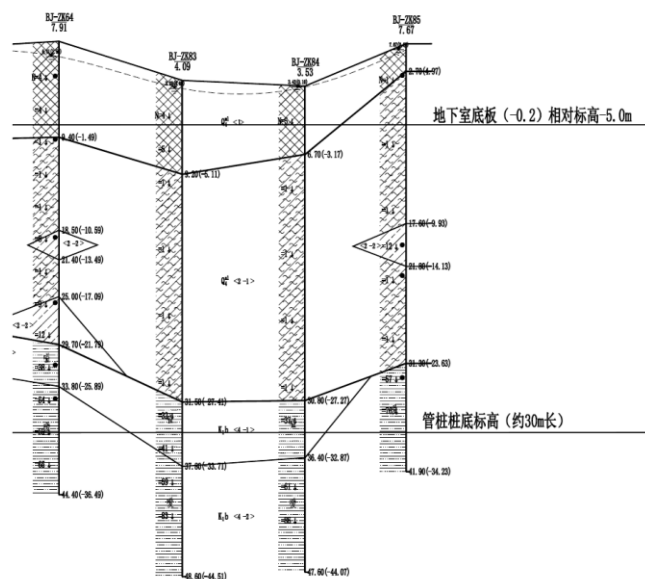


图2 五区车库地质剖面图

2.3 原因分析

通过现场勘察，地下室主要为底板渗漏水、柱根冒水、底板开裂以及底板隆起等问题，通过分析施工过程资料发现，地下室是按1区→2区→3区→5区→4区先后顺序分批次浇筑，当3区，5区结构施工完毕后，准备浇筑4区闭合时，5区东侧因附近临时填土堆载过多，下部地质条件很差，原先场区为池塘，地层主要为巨厚淤泥质土，导致5区整体结构向西发生偏移约70cm，带动下部管桩发生了偏移，管桩设计抗拔力受到影响，5区地下室在地下水浮力作用下出现隆起、开裂、柱根冒水等问题。此外，通

过现场底板钻芯，发现底板混凝土浇筑质量差，不密实等问题。通过综合分析，1区、2区、3区、4区底板渗漏水问题主要是由于底板混凝土浇筑质量差引起，5区底板出现隆起及柱根冒水等问题主要是因为整体抗浮力不够引起。本文重点探讨5区地下室抗浮的修复措施及底板渗漏水问题的处理。

2.4 基础加固设计

2.4.1 加固思路

5区地下室隆起及渗漏水问题，首先要解决地下室抗浮力不够的问题，等结构受力安全后，再解决底板渗漏水的问题。**第一步**，验算5区整体地基承载力及抗浮设计，考虑到5区工程桩施工过程中，因偏桩补了大量的工程桩，且废桩、新增桩均和现在的底板、承台有连接，整体稳定性较好，一层地下室荷载较轻，结合地勘底板下淤泥质土的承载力，整体5区地基承载力问题不大。在5区整体抗浮验算过程中，因下部工程桩偏位，并未作检测，不考虑抗拔桩的抗拔力，通过下节计算，发现5区抗浮验算不够，需补充抗浮措施。**第二步**，对5区进行抗浮修复设计及施工，总体按照缺多少补多少的原则，选用抗浮锚杆措施对基础抗浮力进行补强。**第三步**，解决地下室底板渗漏水及隆起问题，5区底板隆起最高处达30cm且能看到混凝土底板保护层破碎后面层钢筋。地下室底板隆起后，底板面至顶板下设备管道底面净高最小值为2.3m且后续不再减小，净空满足使用要求。为降低施工难度、缩短施工周期及减少对原地下室底板结构的破坏，拟采用对隆起部位以“表层局部置换、深部灌浆补强”的修复方法。在隆起部位及周围浇筑一层钢筋混凝土叠合板并进行放坡处理以满足地下车库使用要求，在叠合板施工前先对起拱底板范围的板底进行低压水泥化学浆充填注浆、再对其进行查漏水并进行灌浆堵漏，然后把破碎的保护层凿除清理。最后施工上部叠合板。

2.4.2 5区整体抗浮验算过程

5区原结构设计如下图3：本工程±0.000相对于绝对高程为4.800m。抗浮设防水位相对高程为-0.6m。地下室底板标高为-5.35m，底板宽度（B）为32.80m，长度L为29.5m，底板厚度 W_1 为0.35m，顶板厚度 W_2 为0.25m，侧墙高度H为3.95m，侧墙厚度0.30m。5区柱子尺寸为0.7mX0.5m，共计20根，覆土厚度为1.1m。混凝土强度等级为C30， $f_c = 14.3N/mm^2$ ，抗渗等级P6级。钢筋采用HPR400级， $f_y = 360N/mm^2$ 。地下车库基础采用高强预应力混凝土管桩，直径Φ500PHC（AB型），壁厚125mm。管桩端持力层为（4-2）强风化泥质粉砂岩，极限端阻力标准值为3500KPa，单桩竖向承载力特征值 $R_a=1900KN$ ，抗浮250KN。因管桩发生偏移，计算过程不考虑桩的抗拔力。整体抗浮验算过程如下：

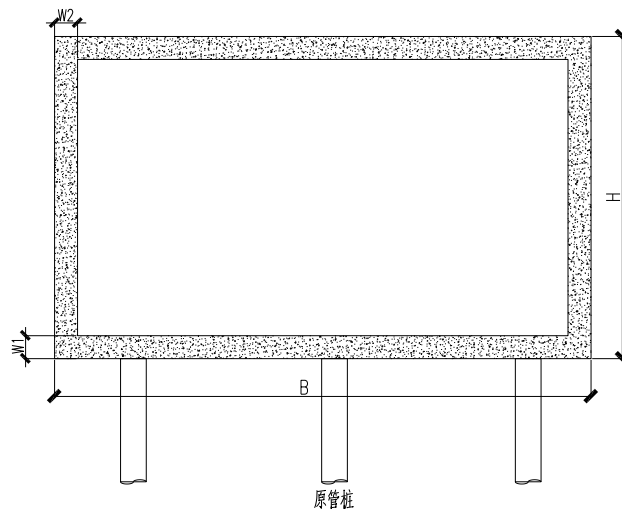


图3 五区结构简易图

(1) 地下室结构自重

车库底板自重: $B \times W_1 \times L \times 25 = 32.8 \times 0.35 \times 29.5 \times 25 = 8466KN$

车库顶板自重: $B \times W_2 \times L \times 25 = 32.8 \times 0.25 \times 29.5 \times 25 = 6047KN$

车库侧墙自重: $(H - W_1 - W_2) \times 0.30 \times L \times 25 \times 2 = 3.4 \times 0.30 \times 29.5 \times 25 \times 2 = 1504KN$

柱子自重: $0.7 \times 0.5 \times 3.95 \times 25 \times 20 = 691KN$

地下室结构自重: $\Sigma = 8466KN + 6047KN + 1504KN + 691KN = 16708KN$

(2) 覆土自重

覆土自重: $1.1 \times 18 \times 32.8 \times 29.5 = 19158KN$

(3) 地下水浮力

地下水浮力: $(\text{抗浮设防水位}-\text{底板底标高}) \times B \times L \times \gamma_0 = (5.35 - 0.6) \times 32.8 \times 29.5 \times 10 = 45961KN$

(4) 整体抗浮验算

$$\frac{\text{结构自重} + \text{覆土自重}}{\text{水浮力}} = \frac{16708KN + 19158KN}{45961KN} = 0.78 < 1.05 \text{ (不满足要求)}$$

(5) 需补充的抗浮力

$F = 45961KN \times 1.05 - (16708KN + 19158KN) = 12393KN$ (标准值)

(6) 抗浮锚杆根数

抗浮锚杆单根承载力特征值取 **300KN**, 共布置 **22 根**。

实际补充的抗浮力 $N = 300KN \times 22 \times 2 = 13200KN > F = 12393KN$ (满足要求)

(7) 抗浮锚杆设计

抗浮锚杆采用 1 根 $\phi 32$ (PSB1080) 预应力螺纹钢筋, 锚杆孔径 150mm, 有效锚杆长度 45m, 锚杆需进入强风化泥质粉砂岩层不小于 8m, 单根锚杆抗拔承载力特征值为 300KN。

钢筋锚杆杆体验算: $N_{ak} = f_y \times \frac{A_s}{K_b} = (770 \times 32 \times 32 \times \pi \div 4 \div 1.8) / 1000 = 343KN > 300KN$ (合格)。

锚杆地层摩阻力验算:

根据地勘强风化泥质粉砂岩锚杆极限粘结强度标准值为 f_{mg1} 150kPa, 深度 8m, 淤泥质土粘结强度标准值为 f_{mg2} 16kPa, 深度 37m。

$$N_d = \pi \times D \times (f_{mg1} \times 8 + f_{mg2} \times 37) / 2.0 = 422KN > 300KN \text{ (合格)}$$

2.4.3 基础加固设计

5 区地下室基础加固设计: 抗浮锚杆+板面叠合板方法。先施工抗浮锚杆解决地下室抗浮力不够的问题, 再施工叠合板进行底板隆起部位找平以及解决原底板渗漏问题。

1.抗浮锚杆设计：本工程的新增锚杆为永久性抗拔锚杆，单根锚杆的抗拔承载力特征值

为 300KN，抗拔锚杆有效长度约为 45m,总锚杆数约 22 根。锚杆需入强风化泥质粉砂岩(<4-2>层)不少于 8.0m。锚杆成孔直径 $\phi 150$ ，锚筋为一根直径 32(PSB1080)预应力螺纹钢筋；锚筋锚入叠合板(200mm)通过钢板螺栓连接。锚固体采用 M30 水泥砂浆（水灰比为 0.4~0.6）或 C30 细石砼，锚孔注浆压力为 1.0MPa。锚杆完成后应按广东省标准《建筑地基基础设计规范》DBJ15-31-2003 附录 J 进行抗拔承载力试验.试验数量不少于 3 根且不少于锚杆总数的 5%,验收应同时符合当地地质部门的相关规定。锚杆的平面布置详见图 4。

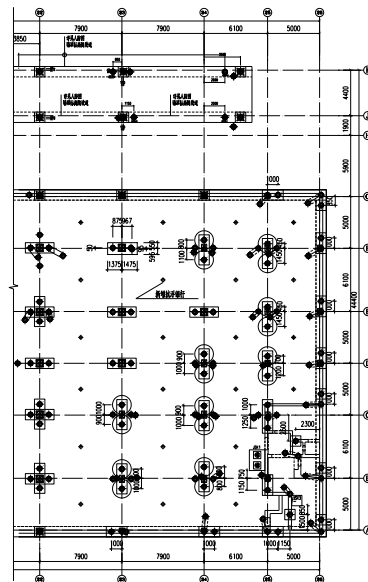


图 4 新增抗浮锚杆平面布置图

2.叠合板设计：

叠合板厚度 200mm，材料为 C40 混凝土，抗渗等级 P8，叠合层厚度为 200mm。钢筋 $\phi 14@200$ 单层双向布置。抗浮锚杆锚头深入叠合板，采用两条槽钢 16a 和锚垫（Q345 钢材）板做锚头。叠合板的做法及与抗浮锚杆的连接大样详见图 5、图 6。

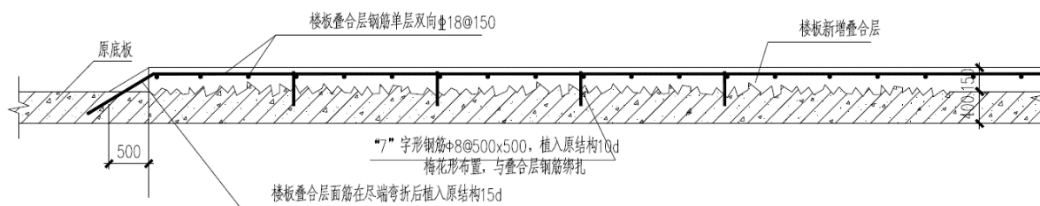


图 5 底板隆起部位新增叠合板做法示意图

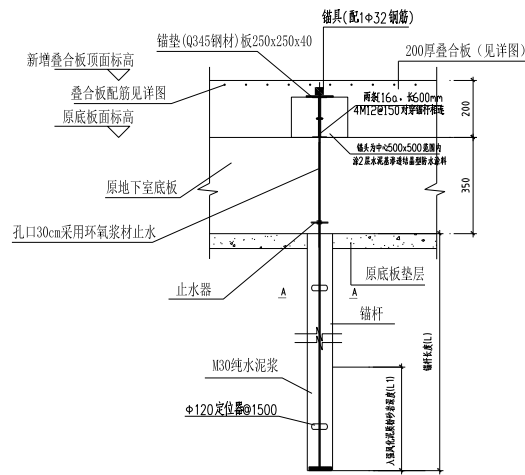
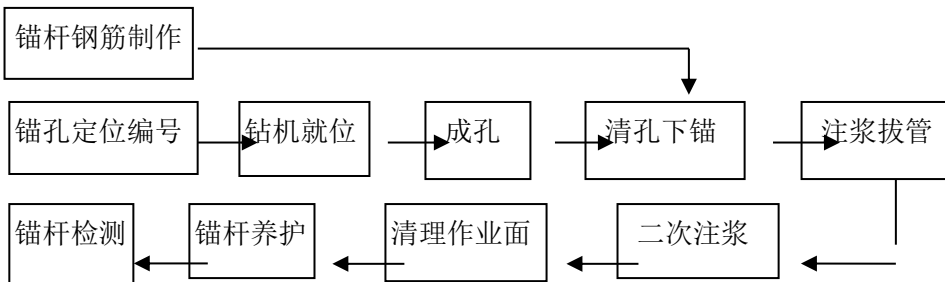


图 6 抗浮锚杆与底板、叠合板连接做法

2.5 施工工艺流程

2.5.1 施工流程



2.5.2 抗浮锚杆施工工艺及方法

1、制作锚杆

(1) 工程锚杆钢筋设计为 1 根 $\Phi 32$ (PSB1080) 预应力螺纹钢筋。钢筋接长采用直螺纹套筒连接, 根据锚固长度以及设计要求, 并考虑叠合板的锚固段长度下料加工。

(2) 锚杆顶部与底部设定位支架, 中间沿锚杆长度方向均匀布置, 间距 2 米, 全长不少于 2 个。钢筋定位支架制作应平顺, 焊接牢固。锚筋锚入叠合板通过钢板螺栓连接。

(3) 锚杆头部 (按设计尺寸) 出垫层 200mm 高处设置 $\phi 60$, 防水橡胶套环。

(4) 锚杆受力钢筋需采用锌基涂液对钢筋表面进行防腐处理:

a) 所有抗浮锚杆中的受力钢筋, 均先进行手工除锈 St3.0 级;

b) 采用锌基涂液 (不应采用热浸锌) 进行防腐时, 要求涂层厚度不得小于 $35\mu\text{m}$, 要求干膜锌含量为 94~97%;

c) 锚杆钢筋防腐涂层, 应覆盖锚杆全长, 并自锚杆顶深入板底 300mm。

2、放线定位

(1) 锚杆按设计或自行统一编号, 根据施工桩位平面布置图用全站仪测放出各施工区抗浮锚杆的桩位, 用木桩或钢筋头做出标记, 技术人员进行复核;

(2) 桩位误差控制在规范要求之内;特殊情况需移位必须经设计与业主单位同意后适当移位。

3、潜孔钻机锚孔钻进施工

(1) 潜孔钻机、调平、调直、稳固;

(2) 锚孔成孔孔径为 $\Phi 150\text{mm}$, 孔径偏差不大于 2cm , 深度偏差不大于设计深度 1% , 成孔深度达到设计要求;

(3) 根据本工程地质情况, 选用潜孔钻机配合空压缩机进行干作业成孔, 钻头直径应符合设计要求;

(4) 锚孔钻进经常检查钻头尺寸, 保证锚孔孔径不小于设计锚孔直径 3mm ;

(5) 掌握锚孔中心度, 防止锚孔偏斜, 锚孔轴线的偏斜率不应大于锚杆长度的 2% 。跑斜后应采取措施, 重新成孔。

(6) 每根锚杆都必须详细做好整个成孔的原始记录。

4、清孔

(1) 锚孔成孔后, 将联接空压机的高压风管置入孔内底部, 用高压空气浮渣, 清孔时间不小于 3 分钟;

(2) 做好孔口维护, 及时清理渣土, 防止孔口渣土落入孔内。

5、下锚杆

(1) 锚杆制作完成后, 下锚前检查注浆管有无破裂或堵塞, 接口处是否牢固。

(2) 结合设计的杆体长度和现场实际, 本工程采用塔吊将锚杆吊入孔中, 安放时避免锚杆扭曲、弯折及部件松脱。下锚过程中若遇杆体无法下至孔底时, 应将杆体拔出并用钻机重新扫孔后再下锚。

(3) 杆体下至孔位后, 应测量顶部标高, 并做记录, 保证整体平整, 以防杆体在混凝土底板中的锚固长度不够或影响混凝土底板受力钢筋的安放。

6、注浆

(1) 浆液配制: 注浆体设计强度为 M30 , 注浆体为微膨胀纯水泥浆, 水灰比 0.5 , 水泥使用普通硅酸盐水泥 42.5R 。

(2) 水泥浆搅拌均匀, 具有可靠性, 低泌浆性;

(3) 注浆采用孔底返浆法, 导管一端与杆体注浆管连接, 另一端与压浆泵连接, 导管采用 $\Phi 30\text{mm}$ 的胶管。采用常压泵送方法注浆, 注浆前不得拔出注浆管, 以保证锚杆底端注浆充实。

(4) 首次注浆量以注满孔为准, 充盈系数达 1.2 以上;

(5) 注浆作业应连续进行, 注浆管要边注边拔, 拔管高度不超出孔内浆液面;

7、二次注浆

(1) 待一次注浆 4 小时后, 即可进行二次压力注浆。

(2) 本工程锚杆采用简易二次注浆, 一次注浆压力参考值可为 0.5MPa , 二次注浆压力参考值可为 $0.5\sim 1\text{MPa}$ 。注浆时, 当见到浆液从孔口外溢时, 即可将注浆管逐步外拔, 但应保持浆液外溢孔口直至拔出。

8、清理作业面

注浆完成后及时清理作业面周边残留的渣土、溢出的水泥浆体。

9、锚杆养护、检测

锚杆施工完成后应养护 15 天，养护期内严禁外力触碰外露锚头钢筋。养护期后及时进行锚杆拉拔验收，应取工程锚杆总数的 5%，验收拉拔力为 2.0 倍锚杆抗拔承载力特征值。

10、水泥浆体试块制作。按规范要求制作试块，规格 $70.7\text{mm}\times 70.7\text{mm}\times 70.7\text{mm}$ ，取 28d 抗压强度值；基本试验则取同条件养护下试块强度。

11、施工注意事项：

(1) 锚杆应无损伤，并应调直、除锈。同一孔的锚杆必须等长，切断后的锚杆两端应用铁丝捆扎牢固。

(2) 锚杆的试验，质量的要求以及锚杆的拉拔力检测等，应严格按有关规范、规程进行，禁止盲目操作，以免发生危险。

(3) 锚孔内的水泥砂浆应有足够的养护时间，在养护期内不得移动锚杆。

(4) 锚杆施工完后，外露锚头用防锈漆涂封。

2.6 质量检验

抗浮锚杆施工完毕后，选取典型锚杆进行了抗拔试验，根据《建筑地基基础检测规范》，在各级荷载作用下锚杆上拔位移均达到验收标准，如图 7 所示，加载至最大试验荷载 620kN 时,累计上拔位移为 9.84mm，U- δ 曲线平缓，无明显陡降段，如图 8 所示，s-lgt 曲线呈平行规则排列。综合分析，抗浮锚杆的抗拔极限承载力均 $Q_u \geq 620\text{kN}$ ，抗拔承载力特征值（检测值）为 $R_a=310\text{kN}$ 。

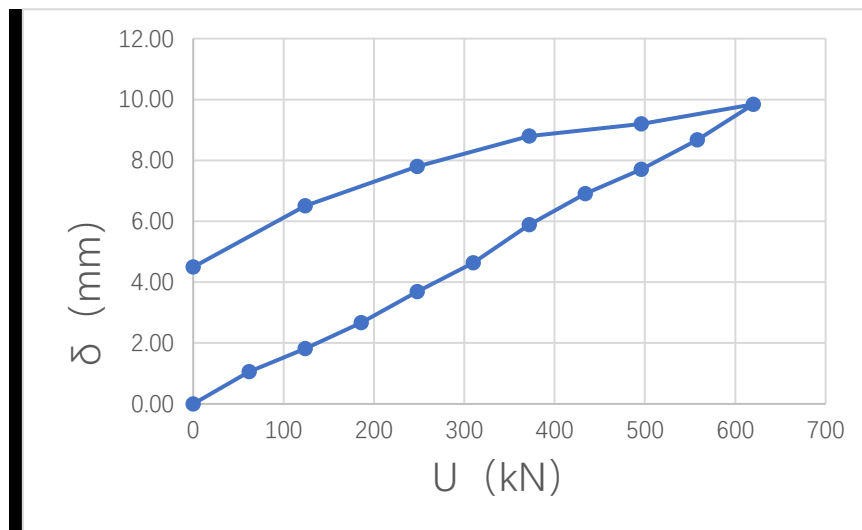


图 7 典型抗浮锚杆加载沉降曲线

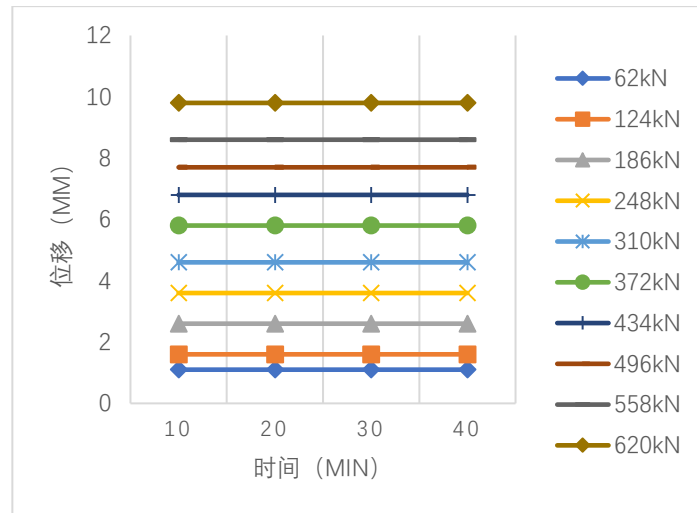


图 8 典型抗浮锚杆位移-lgt 曲线

3 结论

本文通过具体工程实例，采用在既有建筑物基础底板上开孔施作抗浮锚杆+上部叠合板协同受力的复合加固方法，方便快捷、加固效果理想，达到了预定目的，采用抗浮锚杆联合叠合板复合加固法在既有建筑物地基基础抗浮补强加固中行之有效，可在同类工程中加以推广，对类似工程具有借鉴意义。

参考文献

- [1] 薛炜,古伟斌,胡文东.建筑工程灌浆技术及应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2022:98.
- [2] 邵浩祥.地下室抗浮问题分析及处理措施研究[J].视角研究: TU354 ,2021-11.
- [3] 周长喜.抗浮锚杆在建筑地下室工程施工中的应用[J].江西建材, 1006-2890 (2022) .
- [4] 汪梅,吴炯.地下工程抗浮设计[J].建筑结构 (TU92), 2022.12, Vol.52 No.S2.
- [5] 华昆, 胡小兵.地下结构上浮原因分析及加固施工技术[J].建筑技术,2015 (12) .
- [6] 侯正国.地下室抗浮锚杆节点防水施工技术[J].建筑安全,2017,12.
- [7] 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.GB 50007-2011, 建筑地基基础设计规范[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2012, 16-21
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 123-2012, 既有建筑地基基础加固技术规范[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2013, 49-53