

新型全黏结预应力抗浮锚杆施工技术的研究与应用

夏宗军¹, 陈志飞², 刘春利¹, 王金凤¹, 王宜飞¹

(1. 中铁十五局集团城市建设工程有限公司, 河南 洛阳 471000; 2. 中铁十五局集团有限公司, 上海 200070)

摘要:为降低地下水浮力对建筑物造成的危害, 结合非预应力全长黏结抗浮锚杆和预应力抗浮锚杆的特点, 提出一种新型全黏结预应力抗浮锚杆施工方法。该方法采用预应力钢筋、筏板预应力段结构、防水层及以下全黏结段结构, 并结合二次注浆技术。筏板中的锚杆段为预应力段, 预应力筋张拉后锚入筏板; 防水层及以下的锚杆段为全黏结段, 在全黏结段采用二次注浆技术; 筏板底板防水在抗浮锚杆位置采用五道防水密封。与传统抗浮锚杆相比, 该方法可以减少钢筋用量、节约人工成本、提高施工效率, 并极大地缩短施工工期, 因此特别适用于地下水位较低但抗浮要求高的建筑结构。通过实践证明, 该方法在上述条件下表现出色, 可为此类工程提供有益的借鉴。

关键词:抗浮锚杆; 全黏结; 预应力; 二次注浆; 五道防水密封

中图分类号: TU478

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)03-0050-05

doi: 10.13402/j.gcs.2025.03.036

Research and application on construction technology of new fully bonded prestressed anti-floating anchor

XIA Zongjun¹, CHEN Zhifei², LIU Chunli¹, WANG Jinfeng¹, WANG Yifei¹

(1. China Railway 15th Bureau Group Urban Construction Engineering Co., Ltd., Luoyang 471000, Henan, China;

2. China Railway 15th Bureau Group Co., Ltd., Shanghai 200070, China)

Abstract: In order to reduce the harm caused by groundwater buoyancy to buildings, a new construction method of fully bonded prestressed anti-floating anchors is proposed by combining the characteristics of non-prestressed full-length bonded anti-floating anchors and prestressed anti-floating anchors. In this method, the prestressed steel bar, the prestressed section structure of the raft, the waterproof layer and the following fully bonded section structure are adopted, and the secondary grouting technology is combined. The anchor rod section in the raft is a prestressed section, and the prestressed tendon is anchored into the raft after tensioning; The anchor section below the waterproof layer is a fully bonded section, and the secondary grouting technology is adopted in the fully bonded section; The bottom plate of the raft is waterproof, and five waterproof seals are used at the position of the anti-floating anchors. Compared with the traditional anti-floating bolts, this method can reduce the amount of reinforcement, save labor costs, improve construction efficiency, and greatly shorten the construction period, so it is especially suitable for building structures with low groundwater level but high anti-floating requirements. It has been proved that this method performs well under the above conditions, which can provide a useful reference for such projects.

Key words: anti-floating anchor; full bonded; prestressing; secondary grouting; five-channel waterproof seals

随着国民经济的迅猛发展和城市化程度的不 断提高, 建设用地日益紧张。超高层建筑结构不

收稿日期: 2024-01-27

基金项目: 2024 年度河南省住房城乡建设科技计划资助项目(HNJS-2024-SF12)

作者简介: 夏宗军(1980—), 男, 高级工程师, 从事超高层施工研究。

通信作者: 王宜飞(1997—), 男, 助理工程师, 从事房建施工技术研究。

仅能够节约地上用地,还可通过地下停车库和多层地下室拓展地下空间,从而有效缓解大型城市土地资源紧缺的问题。然而,随着建筑物地下深度的增加,地下水浮力引起的建筑危害亟待解决^[1]。一方面,地下水浮力可能导致建筑物局部破坏,如地下室局部隆起、开裂,进而引发漏水问题;另一方面,它可能造成建筑物整体上浮,导致地下室底板破坏,甚至引起桩体受拉断裂,最终导致结构整体失稳^[2]。目前,建筑物抗浮方法主要包括隔水法、降排地下水法、压重法、抗浮桩和抗浮锚杆等,其中,抗浮锚杆因具有抗浮能力强、布置方式灵活、造价低、施工便捷等优点,被广泛应用于工程实践中^[3]。

地基抗浮工程通常采用将抗浮锚杆一端与车库底板相连,另一端锚固在岩土层地基中的方式。根据是否对受拉钢筋施加预应力,抗浮锚杆可分为非预应力抗浮锚杆和预应力抗浮锚杆。预应力锚杆又分为拉力型和压力型^[4]。全长黏结型抗浮锚杆由受拉钢筋作为杆件,并与四周的注浆体组成锚固体,利用锚固体与岩土层之间的锚固力抵抗浮力。当锚杆受到外力后,通过锚固体与周围土体的相互作用将外力传递给岩土层^[5]。拉力型预应力抗浮锚杆为部分黏结锚杆,分为筋体黏结段和自由段,以黏结段作为锚固段,以自由段作为张拉段,施加预应力^[6]。压力型抗浮锚杆需在锚杆底部设置承载体,通过张拉预应力筋或预应力钢绞线将所受外力转化为圆形垫板的压力,使锚固体整体受压,确保锚固浆体在荷载标准组合下不产生拉应力。因此,压力型抗浮锚杆适用于抗浮设计等级要求高的工程中^[7]。非预应力全长黏结型抗浮锚杆施工方便、构造简单,但当地下水位较高、浮力较大时,锚固体会在较大拉应力的作用下产生裂缝,降低锚固体与周围土体的摩擦力,影响锚杆的抗浮性能。相比之下,预应力抗浮锚杆虽然施工工艺复杂,但其控制地层与结构变形的能力更强,且经张拉锁定后的抗拔承载力更高,在水泥浆体中不易产生裂纹,适用于抗浮要求高的结构中^[8]。

本文结合非预应力全长黏结抗浮锚杆和预应力抗浮锚杆的特点,提出一种新型全长黏结型预应力抗浮锚杆的施工方法,并结合信阳某双创产业园项目,检

验锚杆抗拔性能,以期为类似项目提供借鉴与参考。

1 工程概况

信阳某双创产业园项目,占地面积约为3.97万平方米,总建筑面积约为21.75万平方米。项目基础形式为干作业成孔灌注桩+筏板基础,结构体系为钢管混凝土框架+钢筋混凝土核心筒结构体系,建筑高度为180m。项目地处垄岗斜坡地带,地层以粉质黏土与基岩为主,不存在稳定的潜水含水层。场地地下水主要为填土中的上层滞水、黏性土中的孔隙水及基岩中裂隙水。勘察期间,场地内测得混合静止地下水位为0.40~8.30m,地下水位标高为90.26~96.42m,水位年变幅 ≤ 3.0 m。根据场地设计标高,结合场区地下水类型,场地抗浮水位标高取附近场地室外最低设计标高,即98.75m。根据勘察资料、野外钻探揭露、标准贯入试验等原位试验结果,结合室内土工试验成果,对场地各岩土层按岩性及力学特征分层(从上到下),结果如表1所示。项目 ± 0.000 相对于绝对标高为100.35m,场区内自然地面标高相对绝对高程为91.48~103.68m。基础顶板标高为-9.970m,底板厚度为600mm,混凝土垫层厚度为100mm,防水层为(4.0+3.0)mm厚SBS改性沥青防水卷材,防水保护层为50mm厚细石混凝土。基槽低标高为-10.790mm。

2 全黏结预应力抗浮锚杆构造及受力原理

2.1 锚杆构造

新型全黏结预应力抗浮锚杆的设计参数如表2所示,构造图如图1所示。全黏结预应力抗浮锚杆直径为200mm,抗浮锚杆有效长度为13.2m,锚杆杆体材料采用1根直径为32mm的PSB1080级预应力精轧螺纹钢,全黏结段沿预应力筋每隔2m设置1个定位支架,定位支架采用塑料材质。预应力段在预应力钢筋外设套管,为防止封锚区混凝土局部压力过大而造成筏板混凝土破碎,在预应力段设置直径为10mm的HRB400@50mm螺旋箍筋,其环直径为150mm,放置不少于4环。

2.2 受力原理

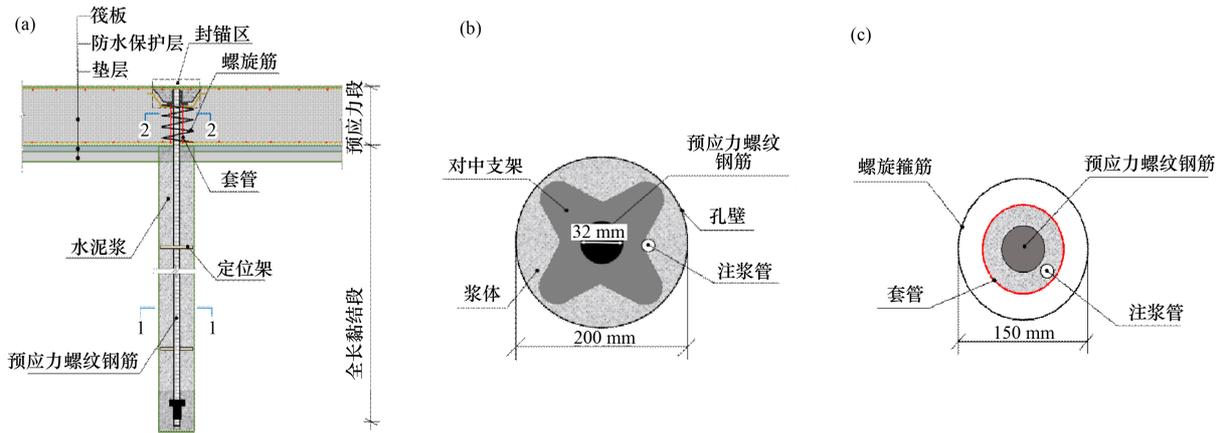
新型全黏结预应力抗浮锚杆受力原理如表3所示,其中: T_{ps} 为施加在预应力筋上的预拉力,N;

表 1 地层特征

层序	岩土名称	层底标高	层底深度	厚度	岩土描述
1	杂填土 (Q ^{4ml})	87.66 ~ 98.91	0.50 ~ 9.20	0.50 ~ 9.20	黄褐色,松散-稍密,稍湿,成分以风化岩碎屑和黏性土为主,局部夹少许桩头、植物根系。原始地貌为冲沟,平整形成填土边坡,均匀性差。
2	粉质黏土 (Q ^{4al+pl})	91.29 ~ 92.30	3.00 ~ 3.80	2.00 ~ 2.20	灰色-灰黑色,软塑状,干强度低,韧性差,切面欠光泽。厚度偏小,均匀性差,受扰动后强度明显降低。
3	粉质黏土 (Q ^{4dl+pl})	81.54 ~ 92.31	1.20 ~ 15.40	1.20 ~ 11.30	黄褐色,可塑,干强度中等,韧性一般,切面有光泽,土中含黑褐色铁锰质结核及灰白色高岭土矿物,底部偏软,无摇振反应。
4	粉质黏土 (Q ^{4dl+pl})	80.99 ~ 94.29	0.80 ~ 14.60	0.70 ~ 13.80	黄褐色,硬塑,干强度高,韧性强,切面光滑,有光泽,土中含黑褐色铁锰质结核及灰白色高岭土矿物,无摇振反应。
5	全风化泥质 细砂岩(K ₂)	77.50 ~ 92.91	3.80 ~ 23.00	1.60 ~ 12.60	褐红、褐黄等色,顶部已风化呈坚硬黏土状,原岩结构基本破坏,但仍可见微层理,水环循钻进进尺较快,采取原状岩芯比较困难,干钻进尺稍慢,岩芯采取率亦较低。
6	风化泥质 细砂岩(K ₂)	72.30 ~ 92.66	3.80 ~ 23.00	1.60 ~ 12.60	褐红、褐黄等色,主要成分为粉细砂,砂质结构,块状构造,强风化程度,岩芯呈碎块状或短柱状,锤击声哑,为极软岩,岩体破碎。
7	中风化泥质 细砂岩(K ₂)	—	—	48.70	褐红、褐黄等色,主要成分为粉细砂,砂质结构,块状构造,岩芯呈碎块状或短柱状,锤击声哑,为较软岩,岩体较破碎,岩体质量等级为V类。

表 2 锚杆设计参数

锚杆杆径/mm	受力钢筋直径/mm	锚杆抗拔承载力特征值/kN	试验最大加载量/kN	锚杆锁定拉应力/kN
200	32	302	453	271



(a) 整体构造; (b) 1-1 横截面; (c) 2-2 横截面

图 1 全黏结预应力抗浮锚杆构造及截面

p_c 为筏板上部产生压应力, MPa; δ_1 为形成初始向下的位移, mm; τ 为土体作用在锚固体上的切应力, MPa; t_{c1} 为筏板上部产生拉应力, MPa; δ_2 为形成向上的位移, mm; f_b 为结构受到的上浮力, N; t_{c2} 为筏板上边缘产生拉应力, MPa; δ 为产生的挠度, mm。筏板以下的全黏结段中, 预应力筋与四周的注浆体组成锚固体, 利用锚固体与

岩土层之间的锚固力来抵抗浮力。筏板内的预应力段通过后张法对预应力筋施加拉力, 从而对筏板施加预压力, 使其产生一定的初始沉降。当底板受到上浮力时, 筏板顶部会承受拉力。如果浮力较小, 筏板顶部的预压力可以抵消或显著较小这种拉力, 防止筏板顶部产生过大拉力, 减少筏板开裂的风险, 从而提高筏板的耐久性。

表3 全黏结预应力抗浮锚杆受力原理

作用类型	受力简图	受力特征
预应力作用		在预应力作用下,筏板上部产生压应力 p_c ,形成向下的初始位移 δ_1
外荷载作用(相当于全长黏结抗浮锚杆)		在外荷载(浮力)作用下,筏板上部产生拉应力 t_{c1} ,形成向上的位移 δ_2
预应力+外荷载作用		在预应力及外荷载作用下,筏板上边缘产生应力 $t_{c1} = t_{c2} - p_c$,产生挠度为 $\delta = \delta_2 - \delta_1$

3 全黏结预应力抗浮锚杆施工技术

3.1 防水层以下黏结段施工技术

项目注浆材料选用P·O42.5R普通硅酸盐水泥,水泥浆的注浆体强度不低于30 MPa,水灰比为0.5。在施工过程中,水泥浆需搅拌均匀,且确保其具有良好的流动性和低泌浆性。杆体注浆采用二次注浆施工技术,第一次注浆为常压注浆、第二次注浆为压力注浆。通过二次压力注浆,可以显著提高锚固体周边土体的抗剪强度、锚固体与土体间的黏结摩擦力及周边土体的力学性能,从而显著增强锚杆的锚固力。

3.1.1 一次注浆

第一次注浆采用水泥浆灌注法,注浆管采用黑色PE塑料管,长度约为15.0 m,并在管上钻8个劈裂注浆孔。注浆管深入到预应力筋以下200 mm处。首次常压注浆应连续注浆,确保浆体完全充满注浆孔,如图2所示。注浆作业施工前,先将预应力钢筋轻拿轻放入锚杆孔洞内,避免碰撞孔壁。为提高注浆体的早期强度,可在水泥浆中适量掺入早强剂。

3.1.2 二次注浆

第一次注浆浆体达到初凝强度后,方可进行



图2 全黏结段注浆

第二次压力注浆,两次注浆时间间隔应控制在4~8 h。第二次压力注浆采用劈裂浆法,利用注浆管上的小孔洞通过压浆泵将水泥浆注入浆体内。当注浆压力达到1.5 MPa以上时,应稳压5 min。第二次注浆完毕后,应记录初始压力及注浆量,按设计要求,压力不应小于1.5 MPa。为保证注浆质量,施工过程中应严格按照配合比试验确定的各种材料用量进行操作,并对每个孔的水泥浆留置试块。注浆体应高出设计标高200 mm,成型后待强度达到设计值的75%时,将其切割以保证注浆体的强度和密实度。

3.2 筏板区预应力段施工技术

3.2.1 预应力筋锚入筏板施工

在基础筏板钢筋施工前,将预应力筋外的套管和螺旋箍筋安装到位。环筋上部放置直径为100 mm、厚度为44 mm的圆形钢板,钢板下面双向设置两根直径为16 mm的HRB400,间距为200 mm的吊筋,详细做法如图3所示,其中 d 为吊筋的直径,mm。

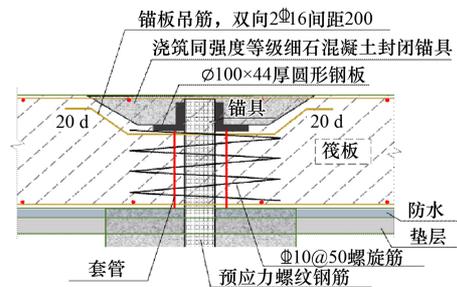


图3 抗浮锚杆与筏板锚固细部做法 mm

3.2.2 预应力筋张拉及封锚

采用手动液压千斤顶对筏板内的预应力筋进行分级张拉作业时,需注意底板钢筋布置应避免让张拉设备,以确保张拉操作空间充足。在筏板混凝土浇筑前,在预应力筋处设置130 mm深的凹槽,待筏板混凝土浇筑完成且强度达到设计值的75%时,在凹槽处架设40 mm厚的钢板,并通过卡具卡将液压千斤顶固定在预应力筋上,利用人工按压压力装置

对预应力筋施加应力。当施加的应力达到预应力筋的特征值后,开始对预应力筋进行锁定,锁定值为特征值的 90%,然后截断预应力筋。最后,通过注浆管对张拉完成的预应力段进行注浆,并在预留洞处进行封锚,封锚位置浇筑与筏板同等级的细石混凝土封闭锚具,具体做法如图 4 所示。

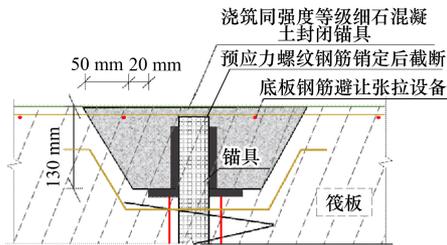


图 4 封锚位置细部做法

3.3 综合型防水施工技术

抗浮锚杆防水节点是筏板渗漏的重大隐患部位。为降低此处的渗漏风险,防水节点应遵循“预防为主、防堵结合、多道设防、综合治理”的原则。施工质量要求:1) 基层须清理干净,项目基层含水率应控制在 5% 以内,以保证防水施工质量;2) 铺贴卷材时应反复按压,确保粘贴密实,无空鼓现象;3) 卷材搭接时,用热熔机加热卷材,以边缘溢出沥青为宜,确保防水层黏接牢固;4) 通过合理设计形成 5 道防水措施,避免抗浮锚杆渗漏风险。具体防水做法如图 5 所示。

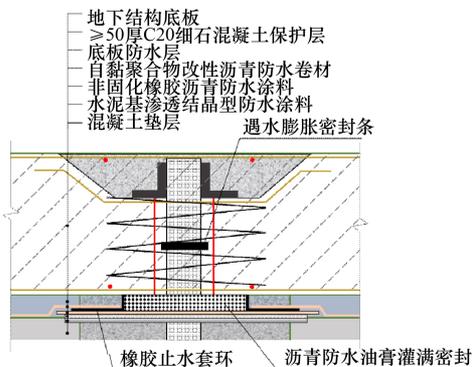
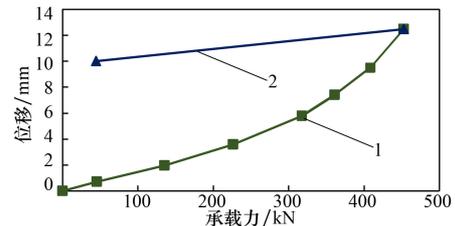


图 5 抗浮锚杆底板防水做法

3.4 抗浮锚杆验收试验

项目抗浮锚杆共计 5 088 根。施工结束后,按锚杆总数的 5% 且不少于 6 根的要求,对 255 根锚杆进行多循环张拉验收试验。工程最大加载量为 453 kN,为锚杆设计承载力特征值的 1.5 倍,荷载分 7 级施加,分别为试验最大荷载值的 10%、30%、50%、70%、80%、90%、100%,试验结果如图 6 所示。

由图 6 可知:验收锚杆的最大上拔量为 12.45 mm,最大回弹量为 2.50 mm,回弹率为 20.08%,位移稳定,符合验收合格标准及设计要求。



1—加载;2—卸载。

图 6 静载抗拔试验

4 结 语

本文针对项目地下水位较低但抗浮要求高的建筑结构特点,结合非预应力全长黏结抗浮锚杆和预应力抗浮锚杆的优点,创新性地提出了一种新型全黏结预应力抗浮锚杆施工方法。该方法通过采用预应力钢筋、筏板预应力段结构、防水层及以下全黏结段结构,并结合二次注浆技术,实现了高效、经济的抗浮效果。与传统抗浮锚杆相比,该方法可以显著减少钢筋用量,节约人工成本,提高施工效率。工程实践证明,该方法适用于地下水位较低但抗浮要求高的建筑结构,可为类似工程的设计与施工提供参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 姜英冬. 地下结构抗浮设计探讨[J]. 安徽建筑, 2013,20(4):116;157.
- [2] 蒋继宝. 抗浮锚杆力学特性研究与工程应用[D]. 贵阳:贵州大学,2015.
- [3] 冀智,许宁,王自伟,等. 预应力抗浮锚杆施工技术创新与应用[J]. 建筑技术,2022,53(2):142-144.
- [4] 柳建国,杨宝森,陈国强,等. 压力型预应力抗浮锚杆逆作施工技术及其在腐蚀性承压水地层中的应用[J]. 工业建筑,2011,41(5):134-138;83.
- [5] 张忠义. 软弱围岩隧道开挖中预应力及全长黏结锚杆的支护效果研究[J]. 广东水利水电,2023(2):75-79.
- [6] 马迅,熊正朝,周茜,等. 全长黏结型抗浮锚杆的受力分析与应用研究[J]. 建筑技术,2022,53(6):745-748.
- [7] 王惠芳. 预应力抗浮锚杆在地下室工程实际应用中的问题分析[J]. 建筑技术开发,2021,48(1):90-91.
- [8] 黄小岗. 压力型预应力抗浮锚杆的设计问题探析[J]. 四川水泥,2021(8):159-160.