

地下室主动抗浮技术措施探讨及工程应用

陈 辉¹, 周 义²

- (1. 湘潭市建筑设计院集团有限公司, 湖南 湘潭 411100;
2. 湖南中核岩土工程有限责任公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:随着城市地下空间开发不断深入,地下室抗浮问题直接影响建筑安全性与稳定性。文章旨在探讨主动抗浮技术措施的原理与应用,为抗浮设计提供理论依据和实践指导。通过分析排水限压法、泄水降压法和隔水控压法的技术特点,结合具体工程案例,阐述了排水限压法和泄水降压法等抗浮措施在实际项目中的应用实践;详细介绍了抗浮设计思路、设计方案和设计流程;同时提出了抗浮工程维护的相关要求。研究表明:在具备自排水条件的工程中,采用主动抗浮措施可有效降低抗浮水位,利用结构自重及覆土抵抗浮力,兼具经济性与可靠性;同时,需通过定期监测与维护保障系统长效运行,未来可结合物联网技术实现实时预警,进一步提升抗浮工程的安全性。

关键词:主动抗浮; 抗浮措施; 排水限压法; 泄水降压法; 抗浮工程维护

中图分类号: TU93; TU318⁺. 2

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)04-0068-06

doi: 10.13402/j.gcjs.2025.04.051

Discussion and engineering application of active anti-floating technology measures of basement

CHEN Hui¹, ZHOU Yi²

- (1. Xiantan Architectural Design Institute Group Co., Ltd., Xiangtan 411100, Hunan, China;
2. Hunan China Nuclear Geotechnical Engineering Co., Ltd., Changsha 410000, Hunan, China)

Abstract: With the continuous development of urban underground space, the issue of basement anti-floating directly affects the safety and stability of buildings. This paper aims to explore the principles and applications of active anti-floating technical measures, providing theoretical and practical guidance for anti-floating design. By analyzing the technical characteristics of water drainage pressure limitation, water relief pressure reduction, and water isolation pressure control methods, combined with specific engineering cases, the practical application of anti-floating measures is elaborated such as water drainage pressure limitation and water relief pressure reduction in actual projects. It introduces in detail the anti-floating design ideas, schemes, and processes, and simultaneously proposes relevant requirements for the maintenance of anti-floating engineering. Research shows that in projects with self-draining conditions, adopting active anti-floating measures can effectively reduce the anti-floating water level, utilizing structural self-weight and overburden soil to resist buoyancy, with both economic and reliable benefits. Meanwhile, regular monitoring and maintenance are required to ensure the long-term operation of the system. In the future, the integration of Internet of Things (IOT) technology can achieve real-time early warning, further enhancing the safety of anti-floating engineering.

Key words: active anti-floating; anti-floating measures; drainage pressure limiting method; discharge depressurization method; anti-floating engineering maintenance

收稿日期: 2024-05-30

作者简介: 陈 辉(1983—),男,高级工程师,一级注册结构工程师,从事结构及岩土工程设计与技术管理方面的工作。

随着城市高层建筑与地下空间开发的不断推进,地下工程的结构设计面临着越来越多的挑战,其中,地下室的抗浮问题尤为突出。在工程实践中,由于水文参数的不确定性、设计或施工原因,以及极端气候事件(如暴雨、洪水)等因素,均可能导致地下室在建成后出现整体上浮或底板隆起等工程事故^[1-4]。这些事故往往引发地下室底板开裂和梁柱节点破坏,进而影响结构的使用功能,缩短结构使用寿命,严重时甚至危及建筑的安全性。

在以往的工程实践中,地下室抗浮设计主要依赖于增加结构抗力的被动抗浮技术措施,例如压重抗浮、抗浮锚杆抗浮和抗浮桩抗浮等。刘京城^[5]在国家体育馆项目中,利用高容重的钢渣混凝土对底板房心进行压重回填(回填深度达2.4 m,回填材料平均容重为2.5 kN/m³),有效解决了地下室的抗浮问题。孙宁等^[6]在海口国际免税城项目(地块五)中,采用嵌岩抗拔锚杆进行地下室整体抗浮,通过锚杆基本抗拔试验确定锚杆刚度取值,并结合整体模型协同分析优化锚杆布置,成功解决了地下室整体抗浮水头高达10.3 m的技术难题。胡玉银等^[7]在深圳世茂中心项目中,则采用桩径800 mm的注浆扩孔灌注桩作为抗拔桩,试验桩的单桩抗拔承载力特征值高达6 000 kN,成功解决了四层地下室的抗浮问题。

然而,随着各种复杂地形及水文地质条件的地下工程项目不断涌现,单一的被动抗浮技术措施已难以满足工程需求,且在环境保护和成本控制方面面临挑战。本文在总结既有抗浮技术措施的基础上,详细阐述主动抗浮技术措施的原理、特点及应用条件。同时,通过分析湖南某高层住宅小区地下室周边场地标高和水文地质情况,提出采用排水限压法和泄水降压法等主动抗浮技术措施以降低地下水位,从而实现结构自重及覆土重量有效压重抗浮的技术方案,以期类似工程项目提供有益的参考和借鉴。

1 主动抗浮技术措施介绍

地下室抗浮技术措施基于其抗浮机理的不同,分为主动抗浮措施与被动抗浮措施两大类。被动抗浮措施主要是通过增加结构自身的重量或设置

专门的抗浮构件来提高结构的承载能力,以应对地下水的浮力作用。主动抗浮措施则通过采取不同的技术手段,有效降低地下室抗浮水位标高,从而减少甚至消除地下室所承受的水浮力效应,以达到抗浮的目的。根据具体措施的不同,主动抗浮主要有排水限压法、泄水降压法和隔水控压法等^[8-10]。

1.1 排水限压法

排水限压法是通过在地下室外墙外侧及底板下方设置集排水井、抽水井、排水盲沟、排泄沟和水压释放层等组成的排水系统,将地下水以有组织的方式自流排放至市政管网,从而减小或消除地下水对地下室的浮力影响。排水限压法适用于具有地下自排水条件或允许设置永久性降排水设施且配置自动控制降排水系统的地下室抗浮工程。排水限压法可与隔水控压法结合使用,以提高抗浮效果。采用排水限压法作为抗浮措施时,需要进行长期的运行控制和维护管理,以确保排水系统的稳定性和有效性。

1.2 泄水降压法

泄水降压法通过在地下室侧墙或底板上设置泄水孔和泄水减压装置,将地下水有组织地引入室内排水系统,再通过自流或提升设备将汇集的水排放至市政管网,从而降低地下水位,减小地下水对地下室的浮力影响,达到抗浮目的。泄水降压法适用于地下室处于弱透水地基的情况,可在基础底板下方设置可使压力水通过透水或导水系统汇集到集水系统排出的抗浮工程;采用泄水降压法抗浮措施也和排水限压法一样需要长期运行控制和维护管理,以确保系统的稳定性和有效性。

1.3 隔水控压法

隔水控压法通过在地下室周围构建隔水帷幕或隔水层,将地下水与地下室结构隔离,防止地下水进入地下室范围内,从而避免地下水浮力对地下室的影响。隔水控压法特别适用于那些位于弱透水地层中的地下工程,或者在地下水头差相对较小、且易于设置隔水帷幕或具有隔水功能的围护结构的项目。该方法通过有效地阻隔地下水,从而控制水压力对结构的影响,确保地下工程的结构安全和稳定。

2 工程概况

2.1 项目概况

项目位于湖南省湘潭市，地上由九栋 24~33 层的高层住宅楼组成，整体设一层地下室。地下室平面整体呈长方形，南北向长度约为 240 m，东西向长度约为 124 m，地下室层高为 4.1 m。地下室顶板和底板绝对标高整体呈南高北低，北侧地下室底板顶标高为 49.400 m，南侧地下室底板顶标高为 50.700 m，地下室顶板和底板从南至北放坡处理。场地周边最高点位于用地东南侧，道路中线绝对标高为 55.200 m，最低点位于场地西北角，市政道路中线绝对标高为 48.830 m。综合分析周边场地标高，地下室属于西侧和北侧全敞开，南侧半敞开，东侧挡土的状况。本工程主楼及地下室基础均采用长螺旋钻孔压灌桩基础，桩径为 600 mm，桩长度为 18~30 m，混凝土强度等级为 C35；地下室顶板为 250 mm 厚加腋大板结构，底板采用 350 mm 厚无梁防水板。项目场地标高如图 1 所示。

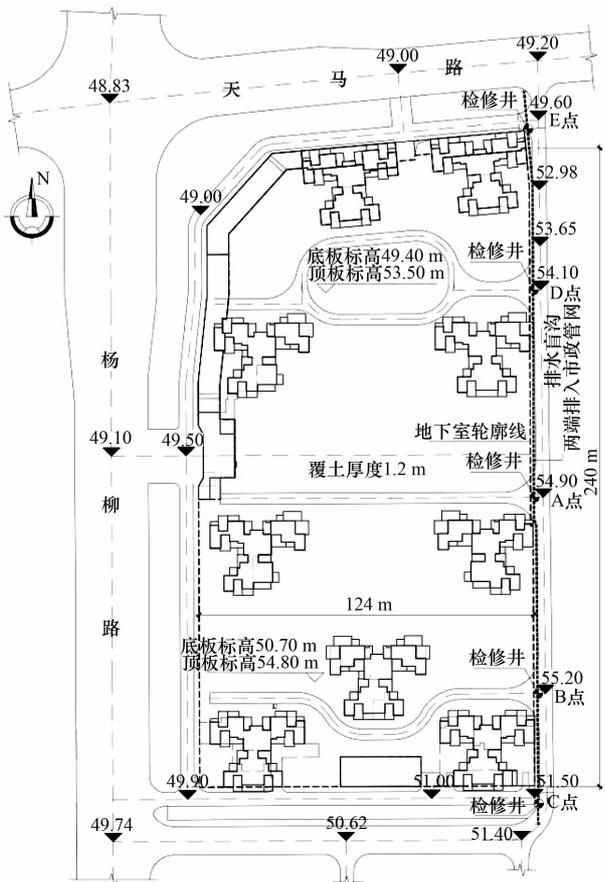


图 1 项目场地标高 m

2.2 工程地质条件

根据本工程地质勘察报告，场地原始地貌单元属剥蚀残丘，在勘察范围及勘探深度内，典型地质剖面如图 2 所示，组成场地地层自上而下依次分别描述如下。

(1) 素填土：红褐色，稍密，稍湿，主要成分为粉砂岩碎块，间隙充填黏性土，新近堆填，初步经过压实，尚未完成自重固结，该层场地局部分布，层厚为 0.30~7.40 m。

(2) 粉质黏土：黄褐色，可塑，稍湿，土质较均匀，手搓稍有砂感，无摇振反应，干强度及韧性中等，勘察场地内局部分布，层厚为 1.70~4.50 m。

(3) 全风化泥质粉砂岩：暗红色，原岩结构构造基本已破坏，大部分矿物已风化变质，干强度及韧性中等，岩芯呈土状，遇水易冲散崩解，风化不均匀，局部夹强风化，勘察场地内普遍分布，层厚为 0.90~30.90 m。

(4) 强风化泥质粉砂岩：暗红色，原岩结构、构造已大部分被风化破坏，手捏易碎，岩芯呈短柱状，碎块状，属极软岩，勘察场地内全场分布，层厚为 1.60~23.30 m。

(5) 中风化泥质粉砂岩：暗紫红色，粉砂泥质结构，层状构造，以泥质成分为主，石英粉砂为次，岩石裂隙发育较少，岩芯较完整，多呈短-长柱状，岩面较光滑，岩石遇水易软化，干燥易碎裂，该层全场分布，本次勘察最大揭露厚度为 12.90 m。

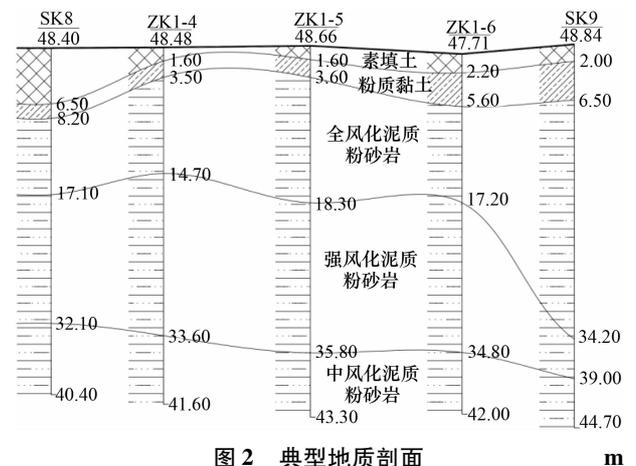


图 2 典型地质剖面 m

2.3 水文地质条件

根据勘察报告，场地内的地下水根据其含水层性质及埋藏条件分别为赋存于人工填土层中的上层

滞水及白垩系地层中的基岩裂隙水。上层滞水主要受大气降水及地表水的补给,以蒸发或逐渐向下渗透的形式排出,水位随季节性变化,无统一水面,勘察期间测得其稳定水位埋深为1.80~3.20 m,相当于标高43.83~47.38 m,水位年变化幅度为1.0~2.0 m。基岩裂隙水主要赋存于下伏基岩泥质粉砂岩中,其补给来源主要为其上覆盖层的渗透,水量贫乏,水位呈季节性变化,其排泄方式主要为侧向迳流,勘察深度范围内未揭露该层地下水。

结合场地地形地貌、地下水补给、排泄条件,地下室四角及东、西侧中间位置抗浮设计水位标高均根据室外地坪标高取室外地面以下0.50 m,中间位置抗浮水位标高按水力梯度根据插值计算。

3 抗浮设计

3.1 抗浮方案选择

根据《建筑与市政地基基础通用规范》(GB 55003—2021)第6.1.3条规定:“受地下水浮力作用的建筑与市政工程应满足抗浮稳定性要求。”同时根据文献[8],该工程地下室抗浮设计等级为甲级,使用期间抗浮稳定系数取1.10。传统地下室抗浮一般采用被动抗浮措施,即采用压重法、抗拔桩或抗浮锚杆来抵抗地下水浮力的作用。根据本项目地下室结构方案及顶板覆土厚度,反算出结构自重及覆土重能承担的水浮力标准值为 32.4 kN/m^2 ,相当于抗浮水头3.2 m。该工程东侧中间位置地下室抗浮水头为5.6 m,水浮力标准值为 56.0 kN/m^2 ,远远超过了结构自重及覆土重量所能承载的水浮力。地下室东侧部分区域需设置抗拔桩或抗浮锚杆来满足整体抗浮稳定的要求。

结合工程场地周边条件,地下室东侧及北侧市政道路标高基本与地下室底板标高持平,南侧市政道路最高标高仅高于地下室底板标高0.8 m,场地具有地下自行排水条件。故本项目地下室采用排水限压法和泄水降压法将地下水位降低到一定的高度,从而确保结构自重及覆土重量能够有效抵抗地下水产生的浮力,达到抗浮的目的。

3.2 主动抗浮设计思路

要实现排水限压法主动抗浮的方案,外部需采用先“堵”住地表雨水下渗路径,同时快速“排”

掉地表雨水,再采取措施内部“疏”排掉少量下渗地表水及地下水,以达到降低抗浮水位,减小地下室水浮力,从而利用结构自重及覆土重量达到压重抗浮的目的。该工程抗浮设计思路参考文献[11],具体从以下3个方面进行综合考虑。

(1) 外部“堵”水措施:在满足施工条件的基础上,尽量减小基坑开挖尺寸;肥槽回填选用优质的微透水或不透水的回填材料,并分层压实处理;肥槽回填区不种植根系发达的大树;肥槽回填区尽量采用硬质铺装地面。

(2) 外部“排”水措施:场地内及场地四周应具备完善的截排水系统,靠道路一侧设置截水沟,排路面雨水;场地内采用景观坡地或有组织排水,排场地雨水。

(3) 内部“疏”水措施:地下室外侧肥槽内设置疏排水盲沟,疏排掉肥槽内潜水及下渗地表水;地下室底板设置泄水孔,疏排掉底板下渗出的地下水。

3.3 疏排水设施位置的确定

综合考虑该工程的结构特点、场地周边环境条件、场地标高情况、工程地质条件和周边市政管网分布情况,针对肥槽内潜水及下渗地表水,沿地下室东侧外墙肥槽回填区设置疏排水盲沟,两端自流至市政排水管网。在疏排水盲沟各节点及汇水处设置5个检修井,如图1所示,检修井兼水位观测井和降水井。同时针对基岩裂隙水和下渗的地表水,在地下室底板设置泄水孔,水流汇入底板集水坑,由底板排水沟自排至市政排水管网。

3.4 肥槽回填区雨水流量计算

考虑肥槽回填施工质量的影响,即使外部采用“堵”水和“排”水的技术措施,地面雨水仍会以绿地、道路裂缝、排水沟裂缝等位置下渗。雨水流量根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2021)相应要求计算,计算公式见式(1):

$$Q_s = q\Psi F \quad (1)$$

式中: Q_s 为雨水设计流量, L/s; q 为当地设计暴雨强度, $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{hm}^2)$,根据《湖南省雨水控制与利用工程技术标准》(DBJ43/T390—2022),湘潭地区设计暴雨强度根据式(2)计算; Ψ 为综合径流系数,场地区域情况主要为市政道路及原始地貌,综合径流系数取0.4; F 为汇水面积, hm^2 ,根据原地形图

量取, AB、AD 段区域场地汇水面积均为 0.5 hm^2 , BC 段区域场地汇水面积 0.8 hm^2 , DE 段区域场地汇水面积 1.0 hm^2 , 区段示意如图 1 所示。

$$q = \frac{8\,844.178(1 + 1.038 \lg P)}{(t + 29.872)^{1.02}} \quad (2)$$

式中: P 为设计重现期(a), 取 50 a 一遇; t 为降雨历时, min, 其中雨水管渠降雨历时按式(3)计算。

$$t = t_1 + t_2 \quad (3)$$

式中: t_1 为地面集水时间, min, 根据汇水距离、地形坡度和地面种类综合确定, 宜采用 5 ~ 15 min, 该工程取 10 min; t_2 为管渠内雨水流行时间, min, 根据各段管渠长度和管渠内水流流速综合计算。

根据以上公式计算, 各区段设计暴雨强度及雨水设计流量计算结果如表 1 所示。

表 1 各区段雨水设计流量

区段	设计暴雨强度/ ($\text{L} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	雨水设计流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
AB	561.20	0.112
BC	556.52	0.178
AD	557.94	0.112
DE	548.90	0.220

3.5 疏排水设施设计

3.5.1 外墙外侧排水盲沟

根据表 1 的计算结果, 该工程地下室东侧外墙外侧肥槽雨水设计最大流量为 $0.220 \text{ m}^3/\text{s}$ 。为保证工程疏排水技术措施的可靠性, 需在外墙外侧肥槽回填区内设置足够断面的排水盲沟, 将肥槽内下渗的地表水及潜水自排至南北两端市政排水管网。疏排水盲沟选用 HDPE 双壁波纹管, 管道最小坡度取 0.4%, 最大设计充满度取 0.70 时, $\text{D}500 \text{ mm}$ 管径的设计过水流量为 $0.301 \text{ m}^3/\text{s}$, 即地下室外墙外侧疏排水盲沟选用 $\text{D}500 \text{ mm}$ 管径的 HDPE 双壁波纹管可满足排水限压法主动抗浮的要求。

根据第 4 节计算, 该工程如需达到结构自重及覆土重量所能抵抗的水浮力, 东侧中间位置地下室抗浮设计最大水头高度为 3.2 m, 抗浮设计水位标高需降至地面以下 2.45 m。故地下室外墙外侧排水盲沟管底标高设置在室外地坪以下 3.0 m 标高位置, 剖面大样图如图 3 所示。同时, 为避免极端情况下, 地下水排出不及时, 保证场地安全, 对每口降水井配备抽水泵, 抽出的水流及时

排至已建好的市政排水系统。

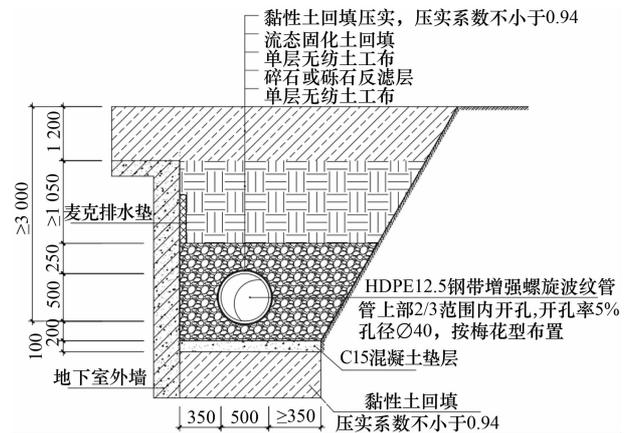


图 3 排水盲沟剖面大样图 mm

3.5.2 底板泄水孔

根据地勘报告, 本次勘察深度范围内未揭露基岩裂隙水, 但考虑上层滞水在地下室底板下的渗流及基岩裂隙水可能的出现。在地下室东半侧 65 m 宽度范围内, 地下室底板每隔一个柱网, 且不大于 20 m 设置泄水孔。底板泄水装置如图 4 所示, 泄水孔底部设置配套滤水包, 防止微细颗粒被水流带走, 泄水孔出口设置倒 U 形钢质排水管^[3,12], 将相应位置的地下水位限定在特定标高。各泄水孔位置的地下水位控制标高, 根据东侧疏排水措施降低后的抗浮水位标高, 取按水力梯度进行计算的水位标高低 1.0 m, 预留一定的安全富余, 防止地下水位瞬间上升。为了保证泄水装置不影响地下室空间, 泄水装置应紧邻地下室结构墙、柱设置, 倒 U 形钢质排水管端部连接至相邻的集水坑, 水流汇入集水坑后可自流至场地西侧市政排水管网。

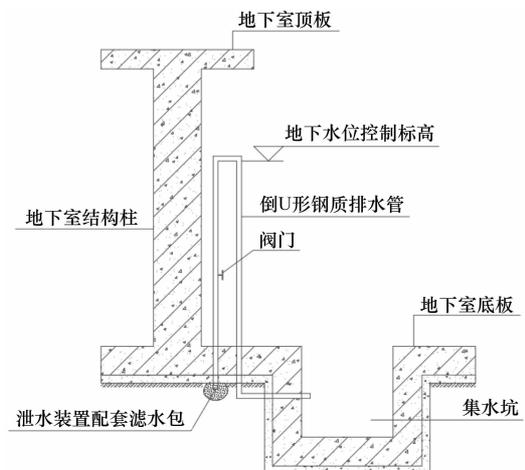


图 4 底板泄水装置示意

4 抗浮工程维护

采用排水限压法和泄水降压法抗浮措施来解决地下室的抗浮问题,相比于被动抗浮措施更经济且施工便捷,但采用此抗浮措施,需要长期运行控制和维护管理。抗浮工程的维护主要包括内容如下^[13]。

4.1 工程维护

地下水控制工程维护应包括施工阶段和工程使用阶段,主要有以下内容:1)应建立定期检测、维修制度,定期检查工程监测与检测结果,并判断工程安全状况;2)应有正常检查制度和设计工作年限内的常规检测计划,每5a宜进行一次常规检测;3)构件表面的防护层应按规定维护或更换,出现影响耐久性缺陷时应及时进行处理;4)应进行地下水监测,当监测数据出现异常或发现影响正常使用现象时,应及时维修,必要时采取治理措施。

4.2 设施维护

抗浮工程设施维护主要包括以下内容:1)应对检修井及其设施进行经常性维护,设施一经损坏必须及时修复;2)每个监测井应建立基本情况表,监测井的撤销、变更情况应记入原监测井的表内,新换监测井应重新建表;3)抽水设备安装以后每个月应对电路及抽水设备进行维护,定期对集水井滤水管中的沉渣进行清理;4)如抽水水质浑浊,应检查过滤层是否失效导致水土流失,并及时维护;5)如盲沟水流量明显异常,可于检修井中采用高压水对盲沟进行冲洗。

5 结语

(1)对于地下室部分敞开且具备自行排水条件的工程,采用主动抗浮措施,能保证地下水有效排至市政管网,从而降低地下室抗浮水位,确保结构自重及覆土重量能够有效抵抗地下水产生的浮力,有效保证地下室的抗浮稳定性,同时具有明显的经济优势。

(2)排水限压法的设计思路是将地下水及地

表水采取措施外“堵”、外“排”、内“疏”相结合,疏排水设施设计的关键点是疏排水设施位置的确定和基坑回填区雨水流量的计算。

(3)地下室采用主动抗浮技术措施,需要长期运行控制和维护管理,目前常用的监测手段仍是以人工监测为主,未来可结合物联网技术,实时监测地下水位与设施状态,构建预警系统,进一步提升抗浮工程的安全性及智能化水平。

参考文献:

- [1] 刘勇,梁玉国.某地下车库上浮事故鉴定分析及处理[J].工程建设,2024,56(8):79-84.
- [2] 宋丽娟,裴佳佳,梁玉国.某地下人防工程上浮事故处理分析[J].工程建设,2022,54(7):74-78.
- [3] 高明宇,谭光宇,方伟明,等.采用排水限压法的既有工程抗浮治理研究[J].建筑结构,2021,51(21):11-14,105.
- [4] 朱东风,曹洪,骆冠勇,等.截排减压抗浮系统在抗浮事故处理中的应用[J].岩土工程学报,2018,40(9):1746-1752.
- [5] 刘京城.国家体育馆钢渣混合料回填施工[J].施工技术,2007,36(9):78-80.
- [6] 孙宁,孙建超,李金钢.海口国际免税城项目(地块五)基础设计[J].建筑科学,2024,40(9):179-186.
- [7] 胡玉银,包联进,陈建兰,等.注浆挤扩钻孔灌注桩在深圳世茂中心地下室抗浮中的应用[J].建筑结构,2023,53(增刊1):2583-2587.
- [8] 建筑工程抗浮技术标准:JGJ 476—2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [9] 黄天.地下室泄水减压抗浮法的应用研究[D].武汉:华中科技大学,2021.
- [10] 朱东风.地下结构截排减压抗浮法渗控关键问题研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [11] 曹彦凯,袁雪芬,张敏,等.某坡地建筑地下室疏水降压减浮设计分析[J].建筑结构,2022,52(7):105-110.
- [12] 谭光宇,贺卫宁,贺文.一种控制地下室抗浮设防水位的装置:ZL2020 2 2873713.2[P].2021-09-03.
- [13] 地下工程抗浮主动疏导调压技术规程:T/CECS 1828-2025[S].北京:中国建筑工业出版社,2025.