

建筑工程抗浮设防的勘察设计要求及分析

李培妍¹, 洪波², 王涛³

(1.核工业(天津)工程勘察院有限公司,天津 301800;

2.天津华北地质勘查局核工业二四七大队,天津 301800; 3.天津市武清区水利技术服务中心,天津 301700)

摘要:近年来建筑工程上浮事故屡见报道,相关已有司法判例判罚结果差异巨大,对勘察和设计单位极为不利。本文从抗浮的原理出发,在分析既有判例的基础上,结合相关标准规范的要求和实践中存在的问题,就勘察和设计文件在抗浮问题上的应有关切点提出了建议。本文首次对“水盆效应”作了动态的、过程上的解释说明,提出了“盆中盆”技术措施,并提出大型基坑配备自动监测与报警系统等建议。本文旨在明确勘察、设计条件,避免工程事故、案件争议及由此引发的不利结果,可供勘察设计单位参考借鉴。

关键词:建筑工程;抗浮设防;勘察设计;水盆效应;“盆中盆”技术措施

中图分类号:TU4 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)08-0103-07

Requirements and analysis on investigation and design of anti-flotation fortification in building engineering

LI Peiyan¹, HONG Bo², WANG Tao³

(1.Nuclear Industry (Tianjin) Engineering Survey Institute Co., Ltd., Tianjin 301800, China;

2.Tianjin North China Geological Exploration Bureau Team No. 247 of Nuclear Industry, Tianjin 301800, China;

3.Water Conservancy Technical Service Center in Tianjin Wujing District, Tianjin 301700, China)

Abstract: In recent years, floating accidents in building engineering have been reported frequently, and the existing judicial precedents are extremely unfavorable to the investigation and design units. Starting from the principle of anti-floating, based on the analysis of existing cases, combined with the requirements of relevant standards and problems in practice, this paper puts forward suggestions on the concerns of investigation and design documents on anti-floating. The dynamic and process explanation of “basin effect” is given for the first time in this paper. The basin-in-basin technical measures have been put forward for the first time. Automatic monitoring, alarm systems, among others are suggested for large-scale foundation pits. This paper is intended to clarify the investigation and design conditions, avoid engineering accidents, legal disputes and the adverse results caused by them, which can be used for reference by investigation and design units.

Key words: building engineering; anti-flotation fortification; investigation and design; basin effect; basin-in-basin technical measures

0 引言

地下工程存在隐蔽性强、复杂性高的特点,众多影响因素中尤以地下水的不确定性影响最为严重。工程师对地下水作用的理解不够深入,导致建

筑工程的抗浮设防长期以来被忽略。随着地下工程的不断深入,抗浮设防问题逐渐暴露的同时也越发受到业界重视。

抗浮设防水位直接关乎工程的安全和成本,其

收稿日期:2021-03-31; 修回日期:2021-05-17 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.08.016

作者简介:李培妍,女,汉族,1988年生,工程师,地下工程专业,硕士,主要从事地下工程方面的工作,天津市宝坻区钰华街地质路2号,liyanshenxian@sohu.com。

引用格式:李培妍,洪波,王涛.建筑工程抗浮设防的勘察设计要求及分析[J].钻探工程,2021,48(8):103-109.

LI Peiyan, HONG Bo, WANG Tao. Requirements and analysis on investigation and design of anti-flotation fortification in building engineering[J]. Drilling Engineering, 2021,48(8):103-109.

确定比较复杂。王军辉等^[1]就抗浮水位分析技术作了简要总结与评述。游庆等^[2]结合不同地貌地质和水文地质等条件探讨并总结了如何合理确定地下室的抗浮水位,强调抗浮水位的分析要具体翔实。王海东等^[3]以长沙某住宅小区超地下室短时间内连续发生2次抗浮事故为例,分析抗浮机理,得出事故发生的主要原因,建议在设计中按不同地质情况不同施工状态确定抗浮设防水位,并提出结合BIM技术与实时地下水位监测结果建立施工期地下水位预警机制。王绪勇等^[4]结合青岛某基坑抗浮锚杆工程,开展了数值模拟试验,在综合考虑受力和施工成本的情况下,得到了抗浮锚杆优化方法。

相关研究均意识到需根据施工状态进行设计,且抗浮设计的方案选择也多辅以数值模拟进行,但是对于所谓施工状态的适用条件及其与事故工况并无完整系统的区分和说明。

近年来建筑工程上浮事故屡见报道^[5-7],由于对地下水及抗浮问题认识的不足,已有司法判例对此类案件的判罚结果差异巨大,这对勘察和设计单位极为不利。

本文从抗浮的原理出发,在分析既有判例的基础上,结合相关标准规范的要求和实践中存在的实际问题,就勘察和设计文件在抗浮问题上的应有关切点提出了建议。旨在明确勘察、设计条件,避免工程事故、案件争议及由此引发的不利结果,以期给予勘察设计单位参考借鉴。

1 抗浮的原理及其工程应用

(1)阿基米德原理:浸入静止流体(气体或液体)中的物体受到一个浮力,其大小等于该物体所排开的流体重力,方向竖直向上并通过所排开流体的形心。

(2)有效应力原理:非饱和土是一个由土颗粒、水、气体共存的三相体系,土中应力均由土骨架承担。饱和土仅由土颗粒、水二相组成,土中应力(总应力)由土骨架(有效应力)和水(孔隙水压力,表现为浮力)共同承担^[8]。

(3)抗浮的原理:因水具有流动性和远低于土骨架的压缩性(可认为相对于土骨架水不可压缩),当建筑物对基底的压力小于饱和土中孔隙水压力时,总应力由水一方承担,且浮力大于建筑荷载,将导致建筑上浮。

抗浮即抵抗建筑物上浮,使建筑物不致上浮,实质上是对阿基米德原理的反向应用。抗浮包括减小基底单位浮力(孔隙水压力)和增加建筑荷重2个方向。

(4)抗浮原理的工程应用:目前,抗浮措施主要有抗浮板法、压重法、水压控制法(排水限压法、隔水控压法与泄水降压法)、锚杆法及锚桩法^[9]。此外,高文生等^[10]介绍了复合锚杆基础抗浮技术。

2 抗浮失效的既有判例

通过中国裁判文书网检索“抗浮设防水位”和民事案由,截至2021年3月30日,上载的公开文书10项,其中4项仅提及该术语,其余6项为与抗浮失效事故直接相关的判例,判例概况如表1所示。

从裁判年份看,除1件为2013年判决外,其余5件均为近5年的生效判决。从事故发生年份看,除2008年和2017年分别发生1起,其余4起均集中于2012—2014年间。从事故发生的月份看,基本集中于5—8月,即各事发地相应的暴雨季节。从破坏形式和部位看,基本为地下室开裂、隆起、渗水,柱、梁、板等地下室结构出现裂损。从破坏主因看,主要是实际水位超过勘察建议的抗浮设防水位,其中3起(占比50%)甚至在勘察期间未见地下水。

虽然从上述各角度观察,这6起抗浮失效事故均表现出出奇的一致性,但是从判罚结果看,五方责任主体所承担的责任大相径庭。其中,勘察或设计单位承担的责任比例从0~90%不等,赔付金额从15万元到1700余万元不等,是勘察设计收费的几倍甚至几十倍,损益不相当。

3 抗浮实践中存在的问题(失效原因)

3.1 长期以来对抗浮工程的忽视

由于一般的抗浮工程仅就稳定时的地下水静水位进行设计,由勘察单位根据长期观测和勘察期间实测水位,提供设计期内可能的地下水最高水位,称之为建议抗浮设防水位。设计单位据此作为抗浮设防水位,在现行国家和行业标准、技术规范指导下,进行抗浮设计。而抗浮失效属于一个事故状态,在事故状态时实际水位是高于(建议)抗浮设防水位的,其发生需要管控失效、暴雨泡槽、地表水下渗等一系列条件,且往往具有滞后性。工程师们可能终其一生也不会遇到这样的事故。但事故发生的后果

表 1 抗浮失效事故既有判例

Table 1 Existing cases of anti-floating failure accidents

案 号	上浮简况	鉴定简述	判罚结果	备注
(2013)浙民提字第 133 号	2008 年 5 月 28 日暴雨,地下室局部起拱及部分结构构件受损	地表水渗入基坑,地下水位上升,地下室自重不足以抵抗水浮力	设计单位承担损失的 90%,约 37 万元	设计费不足 20 万元,地勘未见地下水
(2017)川 01 民终 13064 号	纯地下室部分上拱,部分柱、梁、板结构出现不同程度的裂缝及损伤	2013 年 7—8 月多场暴雨后形成的地表水涌入地下室,水头压力超过原设计	施工单位承担 25%,赔偿金约 263 万元	损失费用共计约 1054 万元
(2018)皖 1202 民初 5887 号	2017 年 1 月,非人防地下室上浮,填充墙体粉刷层开裂;2017 年 6 月 10 日暴雨,室外水位高出覆土面 500 mm,虽机械排水、打孔泄压,但外排水回流渗透,最终人防地下室上浮,部分墙柱出现裂缝	外排水不畅,抗浮设防水位取值 29.00 m 偏低(加固时采用 29.8 m),配重未完成、覆土未达设计要求便停止降水	施工单位承担 30%,勘察单位承担 15%,设计单位承担 10%,监理单位承担 5%	损失费用共计约 1368 万元
(2019)川 1102 民初 1434 号	2013 年 7 月 28 日,地下室水位超高、局部隆起;业主委托鉴定并重新进行抗浮(水位提高 3 m)及构件破损加固设计	基坑支护、降水专项施工方案未提出施工期间的抗浮措施、停止降水条件及地下水监测要求。抗水板、挡土墙和地下室承载力、整体抗浮能力不足	五方责任主体承担比例:1%(图审);2%(勘察);7%(监理);10%(设计);80%(施工)	加固工程费用约 766 万元
(2020)鲁民终 2572 号	2012 年 7 月主体竣工,8 月地下室底板开裂、隆起、渗水;2013 年 5 月加固,同年 11 月,底板再次开裂、隆起、涌水	勘察报告未提供地下水位变化幅度,部分框架柱基础附近未连续浇筑,防水底板厚度偏小,未作抗浮设计	勘察单位承担 25%,设计和施工单位各承担 10%	维修费和租金损失共约 6924 万元,本身无地下水
(2020)黔 05 民终 1975 号	2014 年 6 月 19 日,地下车库部分梁、板、柱在雨后裂开。每年 6 月均属于丰水期,对比所提供的降水数据,当日降水量是降水期可预期水量	地下水位高于抗浮设计水位,未进行抗浮设计,未采取疏排水措施,未采取有效的应急预案,雨水倒灌地下水位急剧升高,且覆土还未加载	损失共计约 109 万元,勘察单位承担 80%,施工单位承担 20%	一审按不可抗力判施工单位承担 80%,其余四方各承担 5%,本身无地下水

严重,足以影响工程的质量、安全,维修加固费用加之于勘察、设计单位则过高。

地基基础分项工程中,对工程质量、安全有同等影响的基坑支护与降水工程、土方开挖工程早已作为危大工程进行重点管理,而在《建筑工程抗浮技术标准》(JGJ 476—2019)颁布前,抗浮工程甚至连一个分部工程都不是。该抗浮技术标准颁布以前,抗浮工程在地基基础设计中进行,执行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《地下防水工程技术规范》(GB 50108—2008)等国家标准及《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《高层筏形与箱形基础技术规范》(JGJ 6—2011)等行业标准。该

抗浮技术标准吸收了抗浮事故的教训,总结了抗浮设计的经验,调和了各标准间在抗浮问题上的矛盾,使抗浮设计有了统一的遵循标准,正在终结长期以来业界对抗浮工程的忽视。

3.2 理论的不完善及对地下水认识的不足

理论的不完善主要表现在浮起机理的问题上,还有待研究。业内均认可强透水性土体中地下水与纯水无异,浮力按阿基米德原理计算是合理的,而在粘土、粉质粘土之类的弱透水性土体中,是否有折减及折减程度有多大的问题,依然有争议^[11]。而弱透水性土体,本身渗透性微弱,受扰动后的测试结果不具代表性,因此无法在天然土体中进行测试,而专门

设计装置进行室内试验的结果也同样不能排除其它因素。

但是,该理论的不完善,对于解决建筑工程实际问题并无过大影响。一方面是因现有研究结果得出这个折减程度并不大,另一方面是因工程仍旧按阿基米德原理考虑并进行抗浮设防是偏于安全的。

笔者也支持按阿基米德原理进行抗浮设防。笔者认为,水压力的产生和各向同性是基于水的自重和水的流动性,水对浸入其中物体的浮力是其水压力的宏观表现,是物体四周水压力作用抵消后对物体上下底面上水压力之差的作用效果;水对物体的浮力,以其能作用于物体底部为前提,更以水的相互连通为前提,水体相互连通压力才能得以传递;强透水性的土体中水压力与纯水无异,是因连通性不受土骨架的影响能自由流动,渗透性微弱的粘性土层中之所以能产生超孔隙水压力,是因其连通性差,孔隙水压力传导需要时间,而最终归于消散(固结完成)是因为孔隙中的水体仍然连通。试想一下,一滴不连通(完全密闭)的孔隙水,受压后水压也会突然变大,然后逐渐转移到周围材料,但是最终的状态是与周围材料变形协调,而不会回到静孔隙水压力。但这样完全密闭的材料恐怕要在微观层面上去寻找边界,到底是按土骨架还是按强结合水之间的孔隙去算,是通过水分子的能力还是通过其它结合物的能力。给足够的时间总会消散回归静压力,何况工程活动中各种钻孔的连通作用还会加速这个消散。

尽管如此,业界对于地下水的认识仍然不足。以《建筑工程抗浮技术标准》(JGJ 476—2019)为例:

(1)其6.1.1条计算对地下结构底板的浮力所取水压力中第2款“承压水压力扣减承压水层顶面与地下结构底板间隔水层浮重度自重差压力”,若把隔水层看作完全不透水应减其天然重度,若把隔水层按最终回归静压力考虑应减水重度,无论如何也不是减浮重度;

(2)同时6.1.1条还主张将以上承压水压力同静水压力及稳态渗流形成压力相加,据此形成6.2节浮力公式,很难想像这三者同时存在时能相加的情况,如若水压力已经连通,只需要按照最高水位(使设计工程偏安全)来取即可;

(3)6.2.5条的条文说明更进一步详细罗列了10种情况进行浮力标准值计算,其中仅第1、2、5种情况计算无争议,比如第3种在计算基底处于潜水以

下的不透水层时,将浮力(实质是水压力) F_f 表达为进入不透水层深度 d 的一个二次函数,但现有研究并无进入隔水层后所受水压先减小而后再增大的定论;

(4)6.3.5条静止土压力标准值的确定缺乏依据,条件说明也未作解释,且不说其各符号的单位间不对应,也不管其用土体内部摩擦系数替代其与外墙间的摩擦系数,单是静止土压力标准值计算中0.35的系数就来历不明,即使0.35是按0.94压实土填土的侧压力系数,计算的是墙底处的静止土压力标准值,假设自地面开始按三角形分布,则在计算每延米侧摩阻力平均值时还应乘1/2,此认识的不足将导致计算结果偏危险,使得抗浮工程的安全度与其它工程不相匹配。

3.3 对“水盆效应”定性和定量认识的缺乏

既有判例中抗浮事故无一不是归因于地下水位超过(建议)抗浮设防水位,其中的勘察单位也无一不是当地有名的从业年限较长的单位,这些单位会故意提供一个错误的地下水位吗?勘察期间连地下水都未见到,需要提(建议)抗浮设防水位吗,进而又需要进行设计吗?

其实质是对“水盆效应”^[5]认识的缺乏。“水盆效应”为业界形容基坑(槽)大量积水时,整个地下建筑工程犹如处于一个充满水的水盆中,而受到水盆中水的浮力作用的效应。工程师的认识多仅停留在静态的事故后的水位或当日降雨量上,而未作动态的、过程上的深入思考。

正常情况下的建筑工程活动中,为建造地下室而降水、开挖形成基坑,地下岩土层的天然结构遭受破坏,地下室建起后肥槽回填,并上覆土层或其它荷重,直至抗浮配重满足设计要求方停止降水。在护坡、围护等作用下,基坑形成了一个“盆”,地下室是“盆”中的待浮起物,在暴雨工况下,本应均匀降落于基坑的降水,全部渗入地下室与基坑间的肥槽,使水位迅速升高,浸入地下室底部的雨水一旦和上部连通便对地下室产生强大的浮力,产生抗浮失效破坏:将底板顶起,进而引起柱心偏移,柱由上部荷载下的中心受压状态,转变为上部荷载与下部浮力对柱的压剪作用而破坏,最终引起结构体系的破坏,甚至由于浮力过大出现开裂渗、冒水的现象。

以肥槽宽度2 m,长×宽为100 m×100 m的基坑为例,作一个定量计算,坑内水位的上升幅度将为

降水量的 $100^2/[100^2-(100-2\times 2)^2]=12.75$ 倍。若暴雨日降水量为 300 mm,则因“水盆效应”基坑内水位将上涨 3.83 m,这还仅是假设回填土不占体积(未按回填土的孔隙度计算水位上涨,如若按孔隙比 $e=1$ 计,则水位上涨量应再翻 1 倍,即为 7.66 m)且排除坑外地表水侵入基坑的结果。如果对“水盆效应”欠缺认识,施工中未采取预案有效应对,勘察单位即使能寻列出过去 100 年的水位记录也无济于事。这个由地表暴雨引起的坑内水位异常上涨属于事故,并不是严格意义上的地下水位,勘察单位提(建议)抗浮设防水位时是不可能考虑的。因此,在工程实践中出现了勘察单位按历年降雨量或最高水位并依照经验和规范提出的抗浮设防水位,却产生了事故的情况。

4 勘察和设计文件的抗浮要求及分析

工程建设必须严格执行基本建设程序,坚持先勘察、后设计、再施工的原则,五方责任主体需恪尽职守,方能保证工程的安全和质量。在“水盆效应”逐步为大家所认识的过程中,勘察和设计作为建筑工程中技术性较强的两大先行程序和主体,应尽力推广这个概念和认识。应在勘察设计文件中明确其所出具的(建议)抗浮设防水位的适用条件,严格与事故工况进行区分,说明出现何种情况为异常情况,并提请施工和使用单位注意。

4.1 勘察文件的抗浮要求及分析

4.1.1 建议抗浮设防水位的确定方法

《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001,2009 年版)并未明确抗浮水位的具体确定方法。各地方规范对此有所补充。如《湖北省建筑地基基础技术规范》(DB 42/242—2014)^[12]将地下建筑物抗浮设计单独成 11.5 节。又如《天津市岩土工程勘察规范》(DB/T 29-247—2017)^[13]第 12.3.5 条规定:拟建场地抗浮设防水位的综合确定应符合下列规定:(1)当场地地下水类型为潜水,并有长期地下水位观测资料时,场地抗浮设防水位可采用实测最高水位;如缺乏地下水位长期观测资料时,可按勘察期间实测最高稳定水位并结合场地地形地貌特征、地下水补给、排泄条件及地下水位年变化幅度等因素综合确定;对地下水位埋藏较浅的滨海地区和市内低洼地区,抗浮设防水位可取室外地坪标高。(2)当场地有承压水且基础底板置于承压水中时,应实测承压水

水位并考虑其对抗浮设防水位的影响。(3)当地下水与地表水发生水力联系时,应考虑采用地表水的最高水位作为抗浮设防水位。(4)重大工程项目,应对抗浮设防水位进行专项分析。

勘察单位应结合地方规范,按要求提出抗浮设防水位。

4.1.2 勘察文件中应说明的抗浮问题

值得注意的是,由于勘察阶段并未确定设计和施工工况,此时的抗浮设防水位仅为建议值,即建议抗浮设防水位,是指在维持原水文地质条件的情况下在一定时期内地下水位基本不会超过的水位。设计时实际采用的抗浮设防水位,应在建议值的基础上,进一步综合考虑场地的施工条件、施工方案、施工工况(如基坑开挖和回填)及所采取的抗浮措施(如水压控制法)等一切改变原水文地质条件的情况进行确定。

此外,勘察文件应根据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》第六条“勘察单位应当根据工程实际及工程周边环境资料,在勘察文件中说明地质条件可能造成的工程风险”,在勘察文件中增加有关“水盆效应”造成抗浮失效的风险提示,提请设计和施工单位注意。这对于地下水位较低,且存在暴雨季的地区尤为重要。

4.2 设计文件的抗浮要求及分析

4.2.1 专项设计要求

设计单位应在摒弃部分错误认识(详见本文第 3 部分)的前提下,按照《建筑工程抗浮技术标准》(JGJ 476—2019)的规定就抗浮工程进行专项设计。

4.2.2 设计文件中应说明的常规抗浮措施

总体来说,设计文件中应明确肥槽回填要求,地表水的截排措施,地下水位控制范围,降水井开启、关闭、预留条件,水位监测点布置、监测频率和监测报警值等要求,并应通过设计交底会等方式强调肥槽回填和水位控制的重要性,特别要提请施工单位就暴雨等特殊工况采取相应防止措施和编制应急预案。

其中,肥槽的回填质量不仅关系到施工安全,也关系到后期使用安全,设计中务必将建筑四周的地面硬化、封闭,从地面切断雨水下渗通道,并有组织地排走。

4.2.3 理论上可采取的其它抗浮措施

如条件允许,可按“水盆效应”可能产生的最高

水位进行设计,不过这会增加项目造价,需要经济技术条件达到一定程度时才能普遍适用,届时将是另一个规范化的体系。这种设计思路,目前可在局部低洼地区使用,这些地区在暴雨工况下地下水可能和地表水直接连通,“水盆效应”所引起的水位上涨量有限,可按地表最大雍水水位进行设计。

在暴雨地区的纯地下室顶部可进行蓄水设计,蓄水高度可参考历年最大连续暴雨降雨量进行,成为“盆中盆”,达到后盆(蓄水结构)利于前盆(基坑或基槽)抗浮的效果。除地面排水设施外,蓄水结构顶部和内部的回填土透水性应强于四周肥槽内的回填土,这样不仅能杜绝由坑内雨水汇集于肥槽,还能利用本可能降落于肥槽的雨水优先渗入蓄水结构辅助抗浮,变不利为有利。按这一设计思路,可在基坑底上下一定高度范围内采用素混凝土或预拌流态固化土等新型抗渗材料,从地下切断雨水继续下渗至基坑底的通道,成为多个“盆中盆”。

此外,对于重要或大型基坑及地下室必需设置坑内地下水位观测装置,并应配备自动监测与报警系统,并制定严格的报警和处置程序。该措施应作为永久措施,写入建筑(住宅)使用说明书,保证地下室建成后的正常使用。

4.3 抗浮失效事故中勘察、设计单位的责任

建设工程勘察、设计合同纠纷具有其特殊性和复杂性,其审判常需借助鉴定机构等的专业人员。一方面是无法律经验的勘察、设计、施工人员和鉴定人员等工程专业人士,另一方面是无工程专业知识的律师和司法人员等法律专业人士,如果无法有效沟通和正确理解,往往出现以鉴代判的现象。在对一个问题缺乏行业共识的情况下,鉴定机构专业人员基于自己朴素的情感,就某一专业问题的鉴定意见往往具有强烈倾向性,而让不懂工程专业知识的法律专业人士忽略了对鉴定意见的关联性的质证,将审判带向不公正的判罚结果。

暴雨如非显著超过预期达到不可抗力的程度,则是一个有经验的施工单位应当合理预见的情况。施工单位应当在编制施工组织设计时作专门性考虑,并在雨季到来前配备应急物资、组织应急演练,杜绝事故的发生、减小事故的损失。勘察和设计文件不可能将千变万化的施工事故工况都考虑在内。

法律专业人士虽然不懂工程上的专业问题,但是应当牢牢把握判据和侵权要件。业主在主张索赔

时,应当就勘察、设计单位的过错、损失大小、过错与损失之间的因果关系承担举证责任。

在业界整体对相关问题认识充分的情况下严格按照规范进行建设是能够杜绝事故发生的。由于建设工程具有时序性,应先勘察再设计后施工,如果前一主体尽到了义务,那责任就向后一主体转移。监理单位应就施工质量监管承担相应的监理责任。建设单位在事故项目中如果存在违规的明示或暗示降低设防水位的情形,则应承担相应的过错责任。勘察、设计单位若已严格按照规范和经验进行勘察、设计,尽到了自身的注意义务,则对此类事故并无主观过错,与工程损失间并不构成因果关系。

5 结语

(1)本文受实际工程建设中抗浮失效案例的启发,从抗浮的原理出发,首次对“水盆效应”作了动态的、过程上的解释说明。

(2)本文从勘察和设计单位角度出发,指出勘察单位有向设计和施工单位作出抗浮风险提示的义务,设计单位有明确抗浮措施和提请施工单位编制应急预案的义务,创造性地提出了“盆中盆”技术措施,并提出大型基坑配备自动监测与报警系统等建议。

(3)本文同时就抗浮失效事故中勘察、设计单位的责任作了分析,强调勘察、设计单位应严格按照规范和经验进行勘察、设计,并应恪尽自身的注意义务。

本文旨在明确勘察、设计条件和应当注意的义务,避免工程事故、案件争议及由此引发的不利结果,可供勘察、设计单位参考借鉴。本文所提出的“盆中盆”技术措施仅是基于理论和工程概念而提出,具体的实施办法和实施效果,还有待实际工程案例加以验证。

参考文献(References):

- [1] 王军辉,陶连金,韩焯,等.我国结构抗浮水位研究现状与展望[J].水利水运工程学报,2017(3):124-132.
WANG Junhui, TAO Lianjin, HAN Xuan, et al. Research status and progress of groundwater level against floating of structures in China[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(3): 124-132.
- [2] 游庆,陆有忠.地下室抗浮设防水位标高取值的讨论以及抗浮措施[J].地质与勘探,2019,55(5):1314-1321.
YOU Qing, LU Youzhong. Discussion on the value of base-

- ment's anti-floating water level elevation and the anti-floating measures [J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55 (5) : 1314-1321.
- [3] 王海东, 罗雨佳. 超大地室施工期抗浮破坏机理分析与应对思考[J]. *铁道科学与工程学报*, 2019, 16(10): 2538-2546.
WANG Haidong, LUO Yujia. Analysis of the mechanism of anti-floating damage and its countermeasures during construction period of oversized underground garage [J]. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2019, 16(10): 2538-2546.
- [4] 王绪勇, 杨蕾, 王会军, 等. 青岛星雨华府基坑抗浮锚杆方案设计与优化[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(1): 75-80.
WANG Xuyong, YANG Lei, WANG Huijun, et al. Design and optimization of the anti-floating anchor bolt for a foundation pit project in Qingdao [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(1): 75-80.
- [5] 李健生, 张洒. 地表水入渗引起工程抗浮问题及对策[J]. *岩土工程技术*, 2020, 34(2): 97-101.
LI Jiansheng, ZHANG Sa. Anti-floating problems caused by surface water infiltration and countermeasures [J]. *Geotechnical Engineering Technique*, 2020, 34(2): 97-101.
- [6] 李昕, 贺静南, 彭晟. 某地下构筑物上浮事故分析及处理[J]. *江苏建筑职业技术学院学报*, 2019, 19(2): 15-18.
LI Xin, HE Jingnan, PENG Sheng. Analysis and dispose of floating accident of a underground structure [J]. *Journal of Jiangsu Jianzhu Institute*, 2019, 19(2): 15-18.
- [7] 席锋仪, 席宁中, 于海成. 压力注浆树根桩在某地下车库上浮事故地基基础加固中的应用[M]//高文生. 桩基工程技术进展. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 156-160.
XI Fengyi, XI Ningzhong, YU Haicheng. Application of root piles with pressure grouting in foundation reinforcement for an underground garage floating accident [M]//GAO Wensheng. *Development of Pile Technology*. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019: 156-160.
- [8] 李广信. 关于有效应力原理的几个问题[J]. *岩土工程学报*, 2011, 33(2): 315-320.
LI Guangxin. Some problems about principle of effective stress [J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2011, 33(2): 315-320.
- [9] JGJ 476—2019, 建筑工程抗浮技术标准[S].
JGJ 476—2019, Technical standard for building engineering against uplift [S].
- [10] 高文生, 梅国雄, 周同和, 等. 基础工程技术创新与发展[J]. *土木工程学报*, 2020, 53(6): 97-121.
GAO Wensheng, MEI Guoxiong, ZHOU Tonghe, et al. Innovation and development of foundation technology [J]. *China Civil Engineering Journal*, 2020, 53(6): 97-121.
- [11] 宋林辉, 王宇豪, 付磊, 等. 软黏土中地下结构浮力测试试验与分析[J]. *岩土力学*, 2018, 39(2): 753-758.
SONG Linhui, WANG Yuhao, FU Lei, et al. Test and analysis on buoyancy of underground structure in soft clay [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2018, 39(2): 753-758.
- [12] DB 42/242—2014, 湖北省建筑地基基础技术规范[S].
DB 42/242—2014, Technical code for building foundation in Hubei [S].
- [13] DB/T 29-247—2017, 天津市岩土工程勘察规范[S].
DB/T 29-247—2017, Code for investigation of geotechnical engineering in Tianjin [S].
- (编辑 周红军)