

地下工程结构抗浮设计水位取值误区分析

余林辉

中铁第六勘察设计院集团有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i4.6696

[摘要] 结合浮力原理、相关规范要求, 对抗浮水位取值中的一些不当作法进行分析, 建议规范取值, 避免潜在安全隐患。

[关键词] 浮力; 基底水压力; 抗浮力; 抗浮系数; 混合水位; 抗浮水位折减

Analysis of Misunderstandings in Selecting Water Level Values for Anti floating Design of Underground Engineering Structures

She Linhui

China Railway Sixth Survey and Design Institute Group Co., Ltd

[Abstract] Based on the principle of buoyancy and relevant regulatory requirements, this paper analyzes some improper practices in determining the value of anti floating water level, and suggests standardizing the value to avoid potential safety hazards.

[Key words] buoyancy, base water pressure, anti buoyancy, anti buoyancy coefficient, mixed water level, anti buoyancy water level reduction

1、前言

地下工程结构抗浮措施是工程安全的重要组成部分, 相关规范中均有抗浮设防水位取值办法。但抗浮设计水位影响因素多而复杂, 各规范对抗浮的描述存在一定差异。《高层建筑岩土工程勘察标准》JGJ-T72-2017 8.6.2 条文说明提到岩土工程师根据场地条件和当地经验预测的、未来可能出现的一个水位。

岩土工程师对规范理解不同, 导致勘察抗浮水位取值存在较大差异, 设计应用勘察水位也有一定差异。目前取值方式很多, 主要取值有场坪下 0.5m、场坪标高、场坪低值、防内涝水位、依据勘察期间水位和搜集相关水位适当提高取值、完整岩层和黏性岩土打折取值等等。本文结合浮力原理、相关规范要求、浮力有关影响因素, 对抗浮水位取值的一些误区进行分析。

2、相关基本理论与基础数据

1) 浮力定义: 浮力指物体在静止的流体中, 表面受流体压力的合力; 因水平向分力的合力为 0, 浮力等于物体受到向上压力减去向下压力的差, 其大小等于物体排开流体的重量。

2) 太沙基有效应力原理中水压力计算的假设前提是饱和土。不考虑非饱和土的水压力。

3) 土壤中的水分强结合水、弱结合水、自由水。其中水分子直径约 0.4nm, 强结合水厚约 2nm, 弱结合水厚约 2~6nm, 因此传递压力的自由水通过孔径在 8.5~16.5nm 的级别。黏土黏粒(粒径小于 5 微米)含量大于 30%, 粉质黏土黏粒含量 10%~30%, 孔隙比一般为 45%~60%; 黏土黏粒孔径大多在微米级以上, 饱和土及其与基础之间空隙理论上能传递压力的。这是黏性土中有效应力适用的前提, 实际应用中黏土中实测水压力值与理论相符。

4) 非饱和带的地下水运动非常复杂, 在非饱和土中短时间水流速度受其相应饱和时土的渗流速度、水表面张力、粘滞

阻力、空气压缩所需压力等影响; 在生活中, 我们常见毛细水悬挂于土壤中, 带滤网的茶杯接水, 有时水悬浮在滤网以上, 因此短时间水流可能无法顺利通过非饱和带达到含水层, 形成有效水压。一般而言, 非饱和土中, 土壤中孔隙大于 100 微米的通气孔隙, 有通气、排水作用; 100~30 微米的中孔隙, 有导水性, 毛管水运动快; 30~3 微米的小孔隙, 有持水性, 毛管水运动慢。

3、误区分析

3.1 误区一: 当抗浮水位高于结构顶板后取值变化对工程无影响

有些岩土工程师认为浮力等于物体排开流体的重量, 因此当抗浮水位高于结构顶板以后, 结构受到的浮力量值不变, 抗浮水位取值变化对工程影响不大。

1) 当结构受潜水浮力时, 浮力等于物体排开流体的重量符合定义的要求, 如右图。

图 3-1 中结构的浮力 $F = \rho g V_{排} = \rho g S (h_{w上} - h_{w下})$ ρ 是水密度, g 为重力加速度为定值, S 为顶底板面积, $h_{w上}$ 、 $h_{w下}$ 为顶板与水位差。高于结构顶板以后 V 也为定值, 因此浮力保持不变。

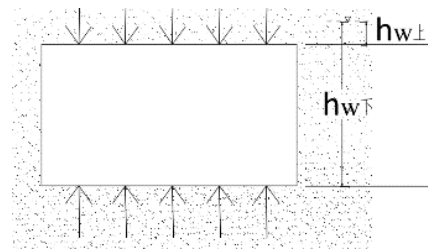


图 3-1 潜水作用于顶底板

①但水位高于结构顶板低于地面时, 随着水位上升, 上覆

土层(包括压顶梁上土层)对顶板压力由天然重度变成了浮重度,影响结构抗浮。

②此外依据《建筑工程抗浮技术标准》(JGJ476-2019)规范(以下简称《抗浮标准》),规范6.4条规定:

$$K_f = \frac{\sum W}{A \sum F_f}$$

其中 $\sum W$ 为计算区域总抗浮力标准值(kN); A 为计算区域的底板面积(m^2); $\sum F_f$ 为计算区域地下结构底板所承受的浮力标准值总和(kN/m^2)。可以看出规范将结构底板受到的水压力定义为浮力,而顶板收到的水压力属于抗浮力范畴。因此当水位高于地面时,水位上升结构顶板和底板所受的压强变化值相等即总抗浮力($\Delta \sum W$)和总浮力($\Delta A \sum F_f$)的增加量相等,设为 x 。

$$K_{wi} = \frac{\sum W + \Delta \sum W}{A \sum F_f + \Delta A \sum F_f} = \frac{\sum W + X}{A \sum F_f + X} = 1 + \frac{\sum W - A \sum F_f}{A \sum F_f + X}$$

依据《抗浮标准》抗浮稳定性系数按表6.1.3判定,使用期稳定性系数抗浮设计等级甲、乙、丙级分别取 ≥ 1.10 、 ≥ 1.05 、 ≥ 1.00 。抗浮设计等级为甲、乙时要求 $\sum W - A \sum F_f > 0$,则 K_{wi} 为变量 x 的减函数,即当水位高于地面时,水位上升,抗浮稳定性系数下降,结构抗浮存在风险。

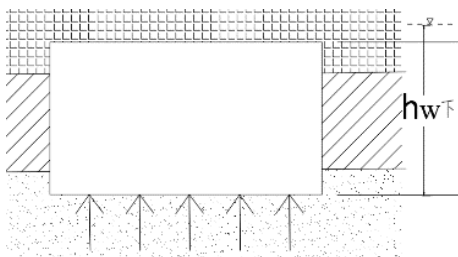


图3-2 承压水作用于底板

2)当结构承压水浮力时,承压水水压可能只作用于底板。

①如图所示:结构所受浮力 $F = \rho g s h_{w下}$,浮力随 h 增大而增大。②此外,承压水水压增大,压顶梁下伏隔水层重量少于承压水水头压力时,压顶梁上覆土层作为抗浮力的一部分需相应减少以弥补其抵抗承压水水头压力的不足,增加结构抗浮风险。

综上所述:抗浮水位高于结构顶板以后,水位取值仍然影响重大;应按要求提取抗浮水位,依据规范条款计算。

3.2 误区二:取勘察孔中混合水位

有些岩土工程师考虑场地存在上层滞水、潜水和多层承压水,各层地下水虽然具有各自的独立水位,但若相对隔水层已属饱和状态,说明各类地下水具有水力联系,且由于场地勘察孔打穿了所有含水层,桩基施工时也将场地可能存在的多个含水量连通起来,甚至地下室肥槽回填未处理好也可能引起地下水各层互相连通,因此地下室使用期间,各类地下水实际上是相互连通的。因此直接通过勘察水文孔采取混合水位,考虑年变幅后作为抗浮水位。

1)《高层建筑岩土工程勘察标准》(JGJ-T72-2017)(以下简称《高层勘察》)8.6.2条第3款规定:“场地具多种类型地下水,各类地下水虽然具有各自的独立水位,但若相对隔水层已属饱和状态、各类地下水有水力联系时,宜按各层水的混合最高水位确定”。其条文解释说明“场地具多种类型地下水,各类地下水虽然具有各自的独立水位,但若相对隔水层已属饱和状态、各类地下水有水力联系时,宜按各层水的混合最

高水位确定”

《抗浮标准》5.3.4条规定“取下列地下水水位的最高值”,其中第5款是“多层地下水的独立水位、有水力联系含水层的最高混合水位”。

因此按混合水位取值是有其规范出处的。那么混合水位如何取值,勘察水文孔采取混合水位是否可行?

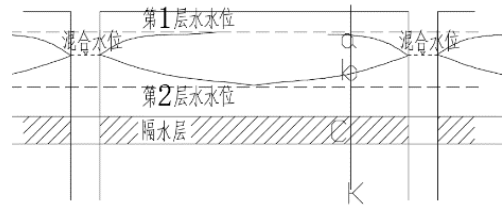


图3-3 孔中混合水位

2)余孟信在《关于混合水位问题的探讨》中提到,水文孔中的“混合水位不能代表各含水层的共同水位,也不等于任一含水层单独水位。混合时,地下水由水位高的一层通过井流向水位低的一层,高水位含水层排出水量,低水位含水层被生入水量,对高水位含水层拟抽水试验,对低水位含水层拟进行压水试验”。如图3-3我们看到,场地存在一些水位联通点后,不同位置处的水位可能不同。结构深度不同,水位也有差异,如 K 所在里程位置,承压含水层范围取承压水水位 b ,而潜水范围,取潜水水位 b ,隔水层中水压根据达西定律求取,其水压在 a 到 b 之间,水力梯度 $I = (a-b)/m$ (其中 m 为含水层厚度)。此外既有水位联通点的位置、导水能力、后续施工可能产生的水位联通点和肥槽的导水能力,水位最高时各层水位可能所在的位置等都是影响最终混合水水压的影响因素。

3)《工程勘察通用规范》(GB55017“对工程有影响的”多层含水层的水位量测,应采取分层隔水措施,将被测含水层与其他含水层隔开。”

由图3-3,我们可以看到实际分层测到的各层水位,可能是受既有联通影响后的混合水位,具体影响与否,影响大小可以通过多孔测量予以研究。

综上所述,通过勘察水文孔采取混合水位,考虑年变幅后作为抗浮水位是不妥的。应①取混合水位作为抗浮水位的作法是有据可依的,但应取多层水位不利组合下最高混合水位。②混合后的水位仍然是分层测量水位得到;③混合水位不同位置不同含水层位可能不同;④混合水位应考虑施工的影响。

3.3 误区三:依地区经验取值场坪附近某值

目前场坪下0.5m、场坪低值、场坪、防内涝水位等这些与地表地形有关的抗浮水位提法使用较多。

《抗浮标准》5.3.4条规定“特殊条件场地抗浮设防水位宜为本标准第5.3.2条、第5.3.3条确定水位与下列高程的最大值:地势低洼、有淹没可能性的场地,为设计室外地坪以上0.50m高程;地势平坦、岩土透水性等级为弱透水及以上且疏排水不畅的场地,为设计室外地坪高程;……”。

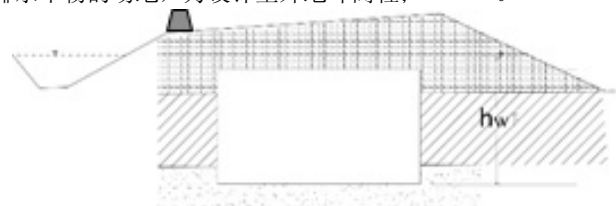


图3-4 承压水水位

《高层建筑岩土工程勘察标准》(JGJ-T72-2017)(以下简称《高层勘察》)8.6.2条规定“对于城市中的低洼地区,应根据特大暴雨期间可能形成街道被淹的情况确定,对南方地

下水位较高、地基土处于饱和状态的地区,抗浮设防水位可取室外地坪高程“。

1) 两标准意思基本相同,有取地坪相关数据为抗浮水位的提法。但条款使用前提是南方雨水丰富,相应的低洼地、透水性等级差的场地;且仅仅为取值因素之一,需比较其它因素取高值。实际工作中存在未对应分析的情况。

2) 承压水水位与场地局部地形起伏的关系

如图 3-4,单论承压水水位的产生与地坪关系,其值往往与地表河流,含水层整体分布等情况有关,与局部地形起伏无关。应依据承压水水源可能达到的最大值,场地所在与水源地的关系进行取值分析。如场地临近地表河流,基底位于承压水中,则分析逻辑是地表河流 100 年一遇洪水水位,洪水可能持续时间,所在地与河流的距离,相应地层中场地所在洪水可能持续内水压力能达到的高度研究、分析,还有其它影响基底承压水位的补充研究。总之可能存在部分地段承压水水头高于场坪的情况,此时根据地坪取抗浮水位,存在较大风险。

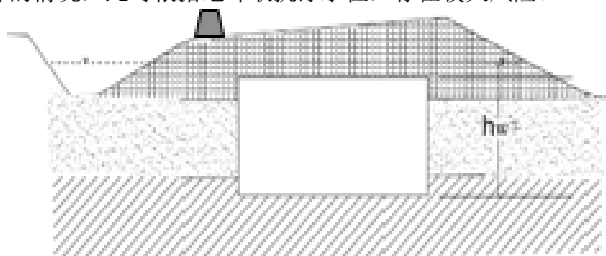


图 3-5 潜水渗透性较好

3) 潜水水位与场地局部地形起伏较小

潜水水位的产生往往与地表河流,含水层整体分布等情况有关,与局部地形起伏较少。

如图 3-5,当含水层渗透性较好时,即使地面积水下渗补给,按以上混合水水位计算方法,潜水水位受局部地形起伏基本无影响。这种情况,抗浮水位按地坪取值,则各场地抗浮稳定系数高低不同,从而可能部分地段浪费,部分存在风险。

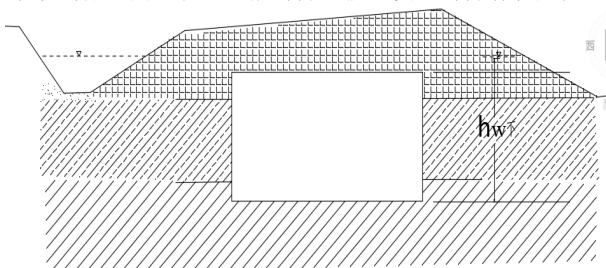


图 3-6 潜水渗透性差

如图 3-6,当含水层渗透性较差,上部填土局部渗透性较好,且场地周边地表面层无硬化,地面降雨下渗补给,按以上混合水水位计算方法,潜水水位可能受局部地形起伏影响。具体影响需据实核算。这种情况,按地表取值,不考虑其它因素影响,则可能存在浪费。

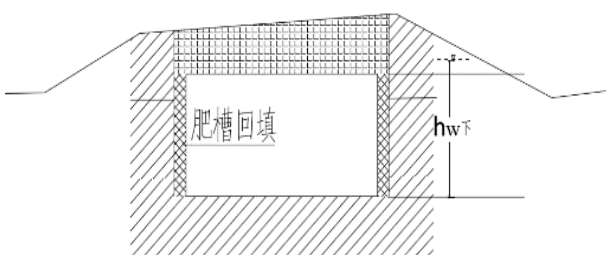


图 3-7 肥槽中上层滞水

4) 上层滞水

如图 3-7:当基底位于透水性等级差的场地,建筑工程处于不透水地层且场地排水不畅时,基坑肥槽采用透水性较强的土回填、密实度较差、地表封闭效果较差等,降雨等地表下渗将储存在肥槽中,由于无排泄条件而形成水头差。此种情况降雨下渗在肥槽中形成局部滞水,水位受肥槽顶标高、肥槽顶层隔水、肥槽回填情况等诸多因素影响较大。是否可达地坪尚待具体研究。

3.4 误区四:进行抗浮水位折减

有些工程师认为黏性土及黏土岩在水位地质中是相对隔水层,实际工程中,勘探孔内,一些黏土、黏土岩中实测无水,开挖基坑也没有水,由此判定无地下水,从而不需抗浮,或考虑肥槽渗水对抗浮水位取以 0.5~0.7 不等的折减系数,依此抗浮设计并成功节约了造价。

1) 黏性土层及黏土岩中水位实测很难测到:实测时地下水位,可能受临近工程降水影响;勘探孔内可能因采用泥浆护壁,或渗透系数小而观测时长等原因影响测量结果,而基坑开挖无水可能是渗透系数小而蒸发快。因此水位的确定,需要结合区域地质条件、参考土样饱和度、静力触探水压测量等方法综合确定。

2) 《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ/T 72-2017) 8.6.5 条的条文说明,明确指出抗浮水位“即使在黏性土地基或地下室底板直接与基岩接触的情况下也不宜折减。”，“如因暴雨等因素产生临时高水位,如果该水位持续时间较短,在黏性土中不能形成有效浮力,根据当地经验可以适当折减”。

3) 根据饱和土有效应力原理,非饱和地下水流动的复杂性。长期水位部分不可折减,非饱和土上临时高水位宜折减。

4) 非饱和土受降雨入渗补给时,临时水位折减,还需考虑地面积水时间、地面降水入渗能力、非饱和地层渗透能力、肥槽渗水和储水能力等综合确定。因其渗透系数小,结构变形产生的储水孔间也可能影响其折减。

综上粘性土及黏土岩中,水位测量宜慎重;不可对抗浮水位折减,只对临时高水位高出长期水位部分折减;水位折减宜结合实际情况依据经验确定。

4、结束语

抗浮设计水位影响因素多而复杂,岩土工程师根据场地条件和当地经验预测的,往往存在较大差异。我国国土辽阔,地区气候、地质条件差异大,抗浮水位取值,无法统一具体标准,建议各地区可以进一步统一要求。重要的地下工程建设前,宜进行区域抗浮研究,进行初步抗浮水位分区,为后续建设提供基础,或指明后续抗浮水位需要做的工作,统一方法和思想,避免不同的理解和做法。实施时岩土工程师应进行严格的理论分析,不能简单的采用“地区经验”。对于已经完成的地下工程,人流可能聚集的,若未曾经受极端恶劣天气的考验的,则宜进行一定的评估,研究前期抗浮水位的合理性,调查工程施工和临近工程建设对水文地质条件的影响,分析抗浮措施的可靠性。必要时进行相应抗浮治理。

【参考文献】

- [1]《高层建筑岩土工程勘察标准》(JGJ-T72-2017)
- [2]《建筑工程抗浮技术标准》(JGJ476-2019)
- [3]余孟信《关于混合水位问题的探讨》1986
- [4]袁广坤《临江地区地下结构抗浮设计水位与浮力分析》2019
- [5]张欣海《深圳地区地下建筑抗浮设计水位取值与浮力折减分析》2004