

地下室顶板覆土荷载取值

徐珂/古拉格

20230330

最近在做一个长江沿岸的项目，紧邻金沙江，规模不大一万多平米，架不住地上小房子很多，全都落在地下室顶板上导致柱网很零碎，夸张地说没有一个柱网尺寸是相同的，以为很快就能完成的项目，变成不知道啥时候能最终完成的项目。

刚开始做的时候，没有地勘资料，甲方就把一期项目的地勘报告和设计图纸电子版发给我们看，我们是二期，两项目地下室中心的直线距离不到 100 米，感觉做地下室设计参考应该差别不大。

一期工程是当地设计院做的，地勘报告显示，两期都是一层地下室落在场地第 2 层，考虑局部离 3-1 层较近，一期结构设计选取地基承载力特征值按 300kPa 计算，应该说是个稳妥操作。

层号	土层名称	重度 γ (kN/m ³)	压缩模量 E_s (MPa)	变形模量 E_o (MPa)	粘聚力 C (kPa)	内摩擦角 ϕ (°)	承载力特征值 f_{ak} (kPa)	岩石天然单轴抗压强度 f_{rk} (MPa)	岩石饱和单轴抗压强度 f_{rk} (MPa)
1	素填土	19.0*	/	/	/	/	/	/	/
2	中密卵石	22.0*	/	54*	5*	35*	400	/	/
3-①	强风化泥岩	23.3	/	/	55*	28*	300	1.22	/
3-②	中风化泥岩	25.5	/	/	500	35.4*	800	5.34	/

继续看一期地勘报告内容，对地下室抗浮问题的描述是：“勘察期间未测得稳定统一的地下水，结合上部荷载情况及地下室底标高 280.55m，最高洪水位 278.8m 分析，虽然场地地下水不会对上部有建筑物的地下室产生上托(浮)力，但纯地下室地段需考虑地表水汇集、渗透对地下室上浮的影响，基底以上需注意临时强排水，地下室侧壁外缘设置排水沟并根据水量大小选择适当的排水管径；

基底以下需设置沟槽或其它有助于防止地表水的渗透措施,避免地表水因基坑积水或基础渗透对地下室造成的上浮影响。考虑到同类型水文地质条件工程经验,由于未有效阻断地表水、周边上层滞水汇集至地下室底板导致出现地下室底板开裂渗水等工程问题,应根据排水技术措施谨慎考虑是否采取抗浮措施。若需考虑抗浮设防,本工程地下建筑抗浮设防水位建议按室外地面标高取值。”对于这个情况,按以往的工程设计经验,项目需要进行抗浮设计。计算一期地下室标高情况,地下室底板板底水压荷载在 70~80kPa,地下室水浮力在 55kPa 左右,不过奇怪的是,一期结构设计包括图纸总说明和基础设计没有相关抗浮设计内容,基础形式就是柱下独立基础加 300~350 厚抗水板。我当时也没太多想,二期设计方法跟一期差别很大,没必要去参考,毕竟要根据二期的特点和条件来做设计,后来我还对了一下这套图纸中结构设计总说明和基础设计说明中关于场地描述的情况,跟地勘报告所写内容完全对不上。

先做初步设计,出来后送交有关部门进行评审,很快评审意见出来,其中有一条是关于抗浮设计这样写的:“该区域金沙江 50 年一遇防洪水位低于地下室底板高程,本项目按室外地面高程为抗浮水位进行抗浮设计不妥,请与勘察单位对接沟通,按合理的抗浮水位优化地下室设计。”,这个意见的出现,我理解一期结构图纸中为什么不做抗浮设计,应该是当地长期结构设计经验的结果,于是让建设单位联系地勘单位就这个问题出一个合理的抗浮设计建议。

接着开始准备做施工图设计,二期地勘报告电子版出来了,虽然两期报告是两家单位分别完成,好巧不巧的是,关于抗浮水位的建议,两份报告的内容完全一样,也就是前面下划线内容。我想也正常,对于同一块场地、同种地质分布、同一个结论,用不同的文字书写能证明什么?像结构设计时,大家属于不同的设

计单位，每家结构设计总说明还有很多地方内容是一致的，属于正常情况。况且一期地勘报告是经过设计审查并盖章，从这点可以推测岩土专业的人士认为，这个项目所在地局部局时的地下水变化会引起浮力问题。除此之外，二期地勘报告很多土力学参数与一期相差加多，特别是结构设计关心的持力层卵石层承载力特征值定为 220kPa，只有一期的 55%，这个差异值至少证明两家地勘单位对土层质量的判断是存在较大差异的，后者认为卵石层样品的密实程度不足以达到 400 kPa 水平。

建设单位觉得初步设计评审专家提过这个问题，当然要找地勘单位协商一下，我们一起开会讨论这个抗浮水位是否可以降低，结果是岩土工程师坚决不同意修改建议，从他的坚持态度来看，当地可能发生过地下室局部浮起问题。后来我回想各地地下室浮起案例，很多都是瞬时水造成的安全事故，很少发生直接放在水里的安全事故，比如在南方水乡建一个地下室，只要挖坑就有水，水浮力是真实存在的，抗浮计算是必须进行的设计内容，反倒是很多看上去没有抗浮问题的结构，真遇到水，结构计算安全假定就不存在，意外就会发生。

后续我们该干什么还是干什么，将图纸拿去当地进行图纸审查，结构意见就抗浮问题如下：“本工程地下建筑抗浮设防水位建议按室外地面标高取值，不妥。持力层卵石土层无地下水，且不存水，不需做抗浮设计。”同时要求“说明地下室顶板覆土厚度及设计荷载”。

为什么要说明覆土荷载选取原则，我想了想估计是审查人想看看地下室承载力计算以及抗浮计算的荷载取值是否合适，毕竟计算书很多时候只是把结果罗列在上面，取值原则并没有详细说明。

很早以前我曾经就地下室荷载取值做过一些功课，有些是别人的经验，有些是自己的理解。简单说就是，地下室顶板覆土在不考虑浮力是取 $18\text{kN}/\text{M}^3$ ，在考虑浮力时取 $14\text{kN}/\text{M}^3$ 。我在写完这个答复后，忽然觉得不太妥，很大的原因是，这个数值至少是我 15 年前的看法，放到今天是否合适，有点吃不准，况且审图人员对这个项目做抗浮设计存疑，那我的荷载取值还是要有依据的。

荷载规范里关于土的自重建议值如下：

腐植土	15.0 ~ 16.0	干, $\phi = 40^\circ$; 湿, $\phi = 35^\circ$; 很湿, $\phi = 25^\circ$
黏土	13.5	干, 松, 空隙比为 1.0
黏土	16.0	干, $\phi = 40^\circ$, 压实
黏土	18.0	湿, $\phi = 35^\circ$, 压实
黏土	20.0	很湿, $\phi = 25^\circ$, 压实
砂子	12.2	干, 松
砂土	16.0	干, $\phi = 35^\circ$, 压实
砂土	18.0	湿, $\phi = 35^\circ$, 压实
砂土	20.0	很湿, $\phi = 25^\circ$ 压实
砂土	14.0	干, 细砂
砂土	17.0	干, 细砂

我的设计说明中基坑回填、地下室顶板覆土都是要求采用黏土回填，按上表中就是黏土，这里面一共有 4 种状态，描述上分为：干松、干实、湿实、很湿实，如果是景观类覆土，也有可能是表中第一栏腐殖土，从指标描述，也分为干、湿、很湿三种情况，其自重变化很小，这点我是有所怀疑的，现在有一些种植土图集中，自重标称 $7.0\sim 8.0\text{kN}/\text{M}^3$ ，我在实际设计时，都要考虑来水后的荷载。土是由三相组成的，即—土粒、土中水、土中气，也称土的固相、液相、气相。黏土的净重也就是不包含土中水、土中气的重量，大概是在 $25\sim 27\text{kN}/\text{M}^3$ ，比结构使用的素混凝土 $24\text{kN}/\text{M}^3$ 还要高，不过自然的土体因为土中水、土中气的存在，单方重量就降下来。

假如说土很干，不存在土中水，则土就是由土粒和土中气组成，像表中黏土第一行 13.5 kN/M³ 的描述，空隙比为 1.0（这很有意思，土力学都是孔隙比，规范为啥要写空隙比），很显然就是土的净重 27 kN/M³ × 0.5 = 13.5 kN/M³ 的结果，假如现在来水并完全充满孔隙，这种状态下土的自重就应该是：

$$27 \text{ kN/M}^3 \times 0.5 + 10 \text{ kN/M}^3 \times 0.5 = 18.5 \text{ kN/M}^3$$

这个数值就跟表中黏土第三行 18.0 kN/M³ 的数值接近，不相符有两个区别，表中黏土第三行的描述是“湿、压实”，一是表中黏土第一行的压实状态不同，二是这时候的湿不是完全充满状态，还有土中气存在，继续压实土的自重还是会上升。

以表中黏土第二行数值来分析，假如这这种土也没有土中水，其自重 16 kN/M³ 占据的体积就是 16/27 = 0.6，假如现在来水并完全充满孔隙，这种状态下土的自重就应该是：

$$27 \text{ kN/M}^3 \times 0.6 + 10 \text{ kN/M}^3 \times 0.4 = 20.2 \text{ kN/M}^3$$

这个数值就跟表中黏土第四行 20.0 kN/M³ 的数值接近，它的描述是“很湿、压实”，这与表中黏土第一行的压实状态不同，这里“很湿”或许就是没有土中气极端状态。

没有土中气这种状态很难在工程中实现，两方面原因，一是工程压实工作不可能 100% 实现，否则我们设计说明会将压实系数定为 1.0，而不是大于 0.9；二是土壤中存在有机物，无时无刻不在产生气体，最简单的就是植物根系在土壤中进行光合作用。

所以表中黏土四行土自重值实际上是不同应用场景的荷载，大概理解一下：

1、 如果覆土不要求压实，没有来水可能性（来水不是特指下雨），那么就

可以选择第一行作为重力荷载和未完工情况下抗浮计算压重荷载。但这种情况应该很少，只要明白压实作用，就知道不压实的土会带来很多工程问题。

- 2、 既然压实,土的自重就会上升,没有来水可能性(来水不是特指下雨),那么就可以选择表中黏土第二行作为重力荷载,这里为什么强调来水不是特指下雨,分地方,比如鄂尔多斯,年平均降雨量 350mm,假如当地土都是第一行类型,不考虑蒸发量,350mm 的雨一次性降下来,也就填满 700 厚的覆土,大部分工程覆土深度超过 1 米,也就是说顶多算表中黏土第三行的类型荷载。
- 3、 既然是 2 条的原因,以及压实土的土占比是 60%,也就是说水占比是 40%的极限状态,这里引用“2022 年郑州市的每月实际降水量分别为:1 月为 14.2 毫米,2 月为 25.3 毫米,3 月为 45.4 毫米,4 月为 64.2 毫米,5 月为 120.2 毫米,6 月为 153.7 毫米,7 月为 168.3 毫米,8 月为 122.2 毫米,9 月为 87.2 毫米,10 月为 50.2 毫米,11 月为 25.2 毫米,12 月为 14.2 毫米。”考虑日常还有蒸发量,只考虑 6/7/8 三个月降雨量一次下来充满土体,三月合计 450 毫米,相当于覆土深度 1.2 米填充量。如果是 2.0 米深覆土,其单方重 $=2.0 \times 60\% \times 27 + 0.45 \times 10 = 36.9$ kN,折合自重是 18.5 kN/M³,如果是 2.5 米深覆土,其单方重 $=2.5 \times 60\% \times 27 + 0.45 \times 10 = 45.0$ kN,折合自重是 18.0 kN/M³。再以广州的降雨量,2022 年 5 月 283.7 毫米,6 月 276.2 毫米,7 月 232.5 毫米,三月合计 795 毫米,相当于覆土深度 2.0 米填充量。从这个对比可以看出,土自重选择跟覆土

深度、来水填充量有一定关系。

覆土荷载选择跟土体压实状态以及是否有来水有很大关系，另外也跟场地是否进行有组织排水有关系，毕竟土体充满水是需要长时间泡在水里才能达到极端状态，夏天雨再大迅速排走也不会对大体积土体产生过多含水量影响，实际工程怕的是莫名其妙来的地下水还排不走，引起土体自重增加以及抗浮问题。

所以我的结论是：

地下室顶板覆土之上没有建筑直接作为地面时如景观公园种植地面，向下设计时，按表中黏土第四行荷载 20 kN/M³ 是稳妥取值，向上设计时，按表中黏土第一行荷载 13.5 kN/M³ 是非常稳妥的取值。

地下室顶板覆土之上有建筑或有组织排水地面如景观广场，向下设计时，按表中黏土第三行荷载 18 kN/M³ 是低限值，向上设计时，按表中黏土第二行荷载 16kN/M³ 是高限值。

覆土一定要压实，压实的作用在于提高土体的密实度，降低土体的透水性。

归根结底，你的人生经历是你自己所独有的。