

岩溶区地下室抗浮水位问题讨论

——以贵州省安顺市西秀区城区某建筑物地下室为例

王诗扬, 卢天丕

(贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550004)

[摘要]针对近代岩溶山区城镇建设中频发的地下室底板突水问题,以发生了突水的贵州省安顺市西秀区城区某建筑物地下室为研究对象,采用对场区相关资料的分析、水动力计算,以及实地钻孔水位验证等手段进行综合研究。结果表明,地下室建设导致建设场区地下水动力条件改变增加“附加水头”,是造成建筑深基坑底板突水的主要原因。在此基础上,指出了传统岩土勘察对地下室底板抗浮水位确定存在的问题,提出了工程建设“附加水头”的概念,以及“抗浮水位”和“附加水头”预测计算方法。

[关键词]地下室;抗浮水位;岩溶地区;贵州

[中图分类号]P641.73;P642.253 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2018)01-0044-05

“地下抗浮水位”是地下室结构设计的依据,是带有地下室的工业与民用建筑岩土勘察报告必须提供的重要参数。抗浮水位提供合理与否,直接影响着未来地下室甚至建筑物的安全。建筑地基岩土勘察报告通常按照现行《岩土工程勘察规范》(中华人民共和国建设部,2001)、《高层建筑岩土工程勘察规范》(中华人民共和国建设部,2004)、《建筑地基基础设计规范》(中华人民共和国建设部,2001)以勘察中测得的场区地下水位为基础,结合场区及相邻地带地下水位动态变幅增加来提供地下室底板的抗浮水位值。应该说,这样的方法并没有违反我国现行规范相关规定。但近年来,在岩溶区的城市建设中频繁发生了高层建筑地下室底板突水的问题,对建设工程安全造成了危害,也给勘察、设计和建设单位造成了严重的损失。客观的现实给工程水文地质工作者提出了“勘察报告提供的抗浮水位为什么与地下室底板实际承受的水压力出现较大差异?”“岩土勘察工作应如何合理提供坑抗设计浮水位?”等关键问题。本文以发生了基坑底板突水的贵州省安顺市西秀区城区某建筑物地下室为研究场地,以岩溶水文地质学、地下水

动力学、岩土工程学理论为指导,通过对建设场区工程水文地质、建筑工程结构资料的采集、分析,以及实际的钻孔水位的验证,开展引发地下室底板突水的原因研究,探讨合理确定地下室抗浮地下水位确定方法。研究成果对岩溶区工业与民用建筑地基岩土勘察中抗浮水位的确定、地下室突水事故预防,以及对岩溶区工程水文地质学理论的充实,都具有一定的意义。并请同行斧正。

1 研究场区概况及代表性分析

1.1 研究场区基本概况

1.1.1 建设工程概况

研究场区位于贵州省安顺市西秀区中心城区,周边建筑物、街道紧邻,环境条件较复杂。区内处在一个规模较大的溶蚀盆地中,地势平坦,地面原始标高1 370.0 m。拟建建筑物为一地下4层、地面30层、总高124 m、总建筑面积18 721 m²的高层建筑。地下室底板标高1 350.5 m,基坑深度19.5 m(图1)。

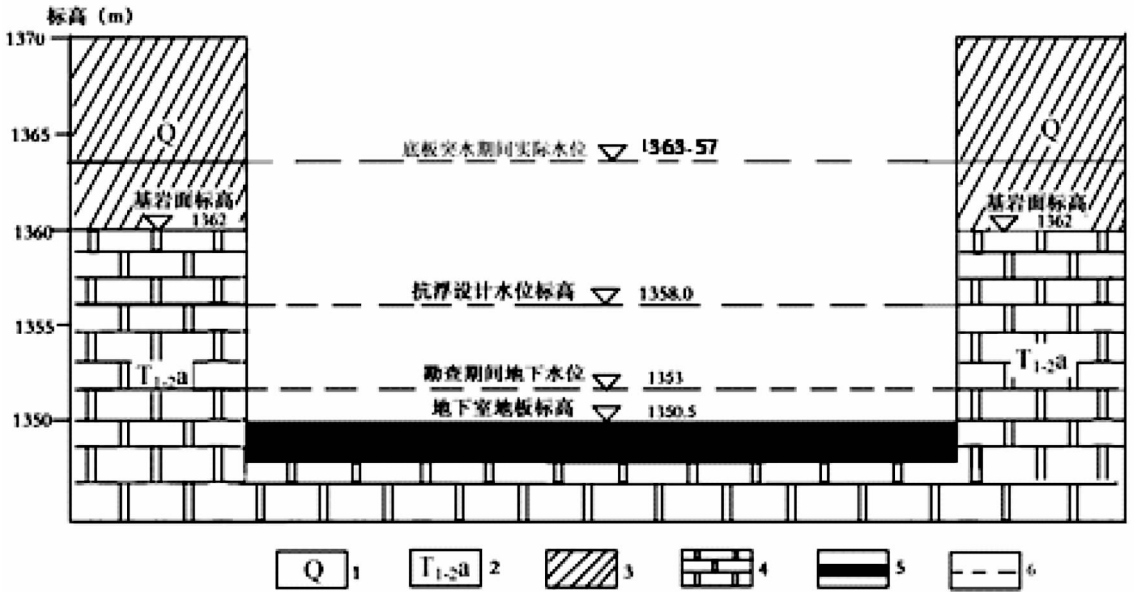


图 1 建设项目地下室水文地质结构示意图

Fig. 1 Hydrogeological structure diagram of basement in the program

1—第四系;2—三叠系安顺组;3—红粘土;4—白云岩;5—地下室底板;6—地下水

1.1.2 工程水文地质概况

在大地构造上,研究区处在扬子准地台黔北台隆遵义拱断贵阳复杂变形区,场地区岩层呈单斜产出,产状 $120^{\circ} \angle 12^{\circ}$,无断裂通过。地表以下依次为厚 8~10 m 的红黏土层,下伏三叠系安顺组(T_{1-2a})浅灰色中厚层白云岩,含岩溶孔洞裂隙水。建设场区处在一个分散排泄岩溶地下水系统中,水力性质为潜水,岩层含水性总体上较均匀并具有良好的富水性和透水性。钻孔单孔抽水试验成果估算出含水层渗透系数 $K=0.908 \text{ m/d}^{[1]}$ 。

1.1.3 地下室设计及底板涌水概况

地下室底板按照岩土勘察报告提出的抗浮水位+135.7 m(设计采用 135.8 m)进行了设计和施工,2016年4月在地下室施工基本完成后,发现地下室底板上浮开裂,涌水量 $2\,720 \text{ m}^3 \sim 4\,960 \text{ m}^3/\text{d}$,平均 $3\,840 \text{ m}^3/\text{d}^{[2]}$ 。

1.2 研究场地的代表性分析

贵州省主要城市和集镇多位于地势较平缓、地下水位埋藏较浅的岩溶盆地或谷地中,近代城镇建设以分布密集、地面高层与多层地下室为主要特点,近代发生了较多的地下室基坑突水事故。本研究场区无论在工程水文地质条件还是在工程建设特征上,以及在岩溶区高层建筑地下室底板突水案例中,均具有较好的代表性。

2 研究方法及数据采集

2.1 研究方法

研究工作以岩溶水文地质学及地下水动力学理论为指导、实际的岩土和工程水文地质勘察资料为基础、地下室设计及底板突水数据为依据,研究工程建设对场区地下水动力条件的影响程度,估算由此可能造成地下水对地下室底板压力的增加值,并采用钻孔验证理论分析和估算结果的合理性。在其基础上,剖析建筑物地下室底板突水的成因、提出地下室抗浮水位确定的方法和建议。

2.2 数据采集

2.2.1 建设场区水文地质条件资料

收集建设场区岩土工程勘察单位提交的岩土、水文地质勘察报告,获取建设场区地层岩性、地质构造、地下水位、岩层含水性及渗透性资料。

2.2.2 建筑物地下室设计资料

收集建筑物地下室施工图设计,取得地下室基坑设计深度、底板标高、抗浮设计标高及地下室底板抗浮压力值。

2.2.3 地下室底板突水资料

建设单位在地下室地板突水后的实际排水量记录数据。

2.2.4 地下室建成后场地区地下水位

对地下室施工5口卸压排水井,通过对排水井测压观测取得工程建成后建设场区实际的静止水位及地下室底板承受的水压力值。

3 结论与分析

3.1 结论

(1) 勘察报告推荐地下室抗浮水位

勘察期间实测场区地下水位标高1353 m,勘察报告参考安顺市中心城区地下水位动态最大变幅小于4 m的情况,推荐采用+1357.0 m作为地下室抗浮设计标高(贵州地质工程勘察院,2012)。

(2) 地下室设计抗浮水位

设计单位在勘察报告推荐的抗浮水位+1357 m的基础上,从安全的角度增加了1 m,以+1358.0 m进行了抗浮设计,高于设计的地下室底板(标高1350.5 m)7.5 m,即设计地下室底板承受水头压力0.075 Mpa。

(3) 地下室突水量(Q)

地下室底板突水量采用对地下室卸压排水的实际抽水量表征。根据排水记录,地下室底板开孔泄水减压,水位降至地下室地板的条件下,排水量2720~4960 m³/d,平均3840 m³/d(贵州地质工程勘察院,2016)。

(4) 地下室建成后场区实际水位

将地下室中施工的卸压排水井井口封闭并安装测压管,对地下室建成后底板突水期间场地区地下水位进行静止水位测量(图2),测量结果,建设场区5口井平均地下水位标高+1363.57 m(贵州省黔美基础工程公司,2016)。

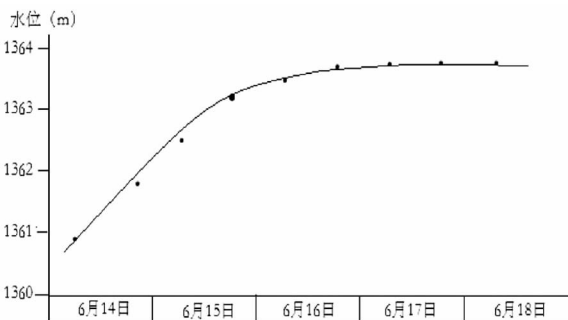


图2 地下室静止水位观测历时曲线

Fig.2 Observation duration curve of static water level in the basement

3.2 分析

(1) 地下室底板设计与实际承受压力差异分析

对地下室建成后建设场区实际水位观测结果表明,场区地下水实际水位+1363.57 m,高于岩土勘察报告建议的抗浮水位(+1357 m)6.57 m,高于设计抗浮水位(+1358 m)5.57 m;底板实际承受的水头压力(P')为0.131 Mpa,超过底板设计承受压力0.056 Mpa,为设计的底板抗浮压力(P)的1.75倍。

(2) 地下室底板突水成因分析

研究区处在一个分散排泄岩溶地下水系统中,该类地下水系统中含水层“有效饱水带”厚度一般为80 m左右(图3)(王明章等,2011)。地下室修建基坑周边混凝土防水边墙的设置造成含水层“有效饱水带”厚度(M)减少13.1 m,地下水含水层渗流断面面积(W)减少了16.38%。

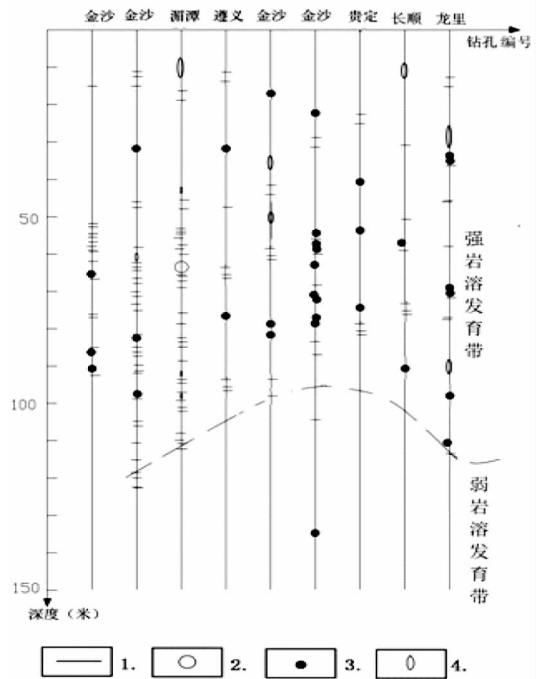


图3 贵州白云岩含水层垂向岩溶发育分带图

Fig.3 Zonation of water-bearing vertical karst development of dolomite in Guiyang

1—裂隙;2—溶洞;3—溶孔;4—溶隙

根据达西定律(H. -P. -G 达西,1852—1855年),在一个渗流场中,地下水在含水层中的渗流运动服从 $Q=KJw$ 。式中Q为流经含水层断面的地下水量;渗透系数K是含水层本身的属性;J为渗流场中地下水的水力坡度,W为渗流场的过水

断面面积,二者之间呈反比关系。地下室建设造成场区含水层过水断面(W)减小,则必然导致场区上游来水壅堵,渗流场中水力坡度(J)加大,在原有水力坡度 J 的基础上增加 ΔJ ,有:

$$Q/K = J \cdot W = (J + \Delta J) \cdot (W - \Delta W)$$

在单宽渗流断面 H 上:

$$Q/(K \cdot B) = J \cdot M = (J + \Delta J) \cdot (M - \Delta M)$$

式中: J 、 M —分别为地下室修建前渗流场中地下水水力坡度、含水层厚度;

ΔJ 、 ΔM —分别为地下室建设造成的渗流场中地下水水力坡度增加值、含水层厚度减少值;

B —地下室迎水断面的宽度

因水力坡度增大而增加的水头(ΔH)在数值上等于 $\Delta J \cdot L$ 。本研究称为工程“附加水头(ΔH)”, ΔH 的形成,人为增大了地下室底板的扬压力,是造成地下水底板破坏突水的主要原因。

(3)地下室抗浮水位(H)及“附加水头”确定的方法探讨

a. 抗浮水位(H)取值方法探讨

地下室边墙混凝土防水墙封闭,底板的突水可近似视为“平底板进水的承压非完整井”。并可以根据基坑底板突水后的实际排水量、采用平底板进水的承压非完整井公式(地质部水文地质工程地质技术方法研究队,1978)反算地下室基坑排水疏干水位降深(S)。

$$Q = 4kr_2S \text{ 或 } S = Q/4\pi kd$$

式中: r_w —基坑引用影响半径(m),地下室平面面积 $18\,721\text{ m}^2$,利用公式 $r_w = \sqrt{F/\pi}$ 计算得出 77.2 m ;

Q —地下室平均突水量, $3\,840\text{ m}^3/\text{d}$;

k —含水层渗透系数, 0.908 m/d 。

$$S = 3\,840\text{ m}^3 / (4 \times 77.2 \times 0.908\text{ m/d}) \\ = 13.70\text{ m}$$

计算结果,地下室建成后场区地下水位将高出地下室底板 13.7 m (水位标高 $1\,350.5 + 13.7 = 1\,364.2\text{ m}$),与工程验证的实测水位标高 $+1\,363.57\text{ m}$ 非常接近。预测计算结果表明采用该方法预测地下室抗浮水位总体可行。

该降深在数值上代表了地下室底板突水期间,建设场区内实际的地下水静止水位与地下室底板标高之间的水头差(或保证地下室安全条件下地下室底板需要承受的最低水头值)。据此,地下室的抗浮水位(H)标高等于地下室底板标高

(h)与预测排水疏干降深(S)之和,即:

$$H = h + S$$

b. “附加水头(ΔH)”确定的方法探讨

地下室抗浮水位(H)标高为勘查期间实测地下水水位(h_1)标高、地下水水位动态变幅(Δh),以及“附加水头”(ΔH)之和。因此,“附加水头”为:

$$\Delta H = H - (h_1 + \Delta h)$$

4 结论与讨论

4.1 结论

4.1.1 不合理的抗浮设计水位取值是导致地下室底板突水的主要原因

传统的地下室抗浮水位取值更多注重工程建设前期的水文地质条件,而忽略工程建设对水文地质条件改变产生的“附加水头(ΔH)”,是导致地下室底板突水的主要原因。岩土工程勘察中应该综合考虑工程建设前、后场地水文地质条件的变化,合理取值。

4.1.2 抗浮水位预测计算方法

以场地工程岩土勘察取得的含水层渗透系数(K)、地下室基坑预测涌水量(Q),以及地下室基坑面积为依据,采用以下公式预测计算地下室抗浮水位(H):

$$H = h + S$$

$$S = Q/4\pi kd$$

采用下式预测计算地下室修建引起的“附加水头”:

$$\Delta H = H - (h_1 + \Delta h)$$

式中各项意义同前。

4.2 讨论

4.2.1 关于地下室抗浮设计中“附加水头”的重要性

现行的国家和地方岩土工程勘察规范对地下水的勘查,均主要针对天然状态下的工程水文地质条件条件提出相关要求,而实际上地下室工程建成后造成的“附加水头”应经成为影响地下室工程安全的隐患。因此,在地下室工程勘察中应高度重视地下室建设对地下水动力条件影响,在地下水抗浮水位的确定及设计中充分考虑“附加水头”。

4.2.2 关于本文推荐的“抗浮水位”及“附加水头”方法的适宜性问题

本文推荐的地下室底板“抗浮水位”及“附加水头”的预测方法,是以工程实例为依据,通过理论计算和实际工程检验提出的,可以作为相同条件工程的借鉴。但是,预测计算公式是基于均质、各向同性的均匀含水层条件,对位于含水性和透水性相对均匀的白云岩分散排泄系统、以及基岩裂隙含水层中的建设工程适宜性可能较好,而对位于以石灰岩溶洞管道含水介质为主的地下河系统中,提出的预测方法的适用性可能不佳。

4.2.3 关于地下室“抗浮水位”及“附加水头”计算结果的影响因素问题

地下室“抗浮水位”及“附加水头”计算结果直接影响到建设工程的安全,计算结果合理与否,除了与计算公式的选择有关,更与计算参数的可信度有关。参与计算的参数除了地下室基坑平面面积外,含水层的渗透系数(K)、建筑基坑的预测涌水量(Q)都来自岩土勘察。因此,在场地的岩土勘察中,应根据场区含水介质组合类型、含水和透水的均匀性,在数量上布置足以控制场区的水文地质孔和水文地质试验,取得有效可行的水文地质参数,并采用合理的计算公式计算基坑的涌水量,为地下室“附加水头”预测提供可靠的依据。

[参考文献]

地质部水文地质工程地质技术方法研究队. 1978. 水文地质手册 [M]. 北京:地质出版社.

贵州地质工程勘察院. 2012. 安顺塔山小区(一期)9号楼岩土工程勘察报告[R].

贵州地质工程勘察院. 2016. 贵航塔山小区(一期)场地地下水水位复核报告[R].

贵州省黔美基础工程公司. 2016. 安顺塔山小区一期工程5、6、8号楼地下室水文地质勘察报告[R].

刘冬柏,王璇. 2010. 地下室抗浮设计中几个问题探讨[J]. 中国建筑, (2):42-44.

王明章,等. 2011. 贵州省岩溶区地下水及地质环境[R].

袁正如. 2007. 地下工程抗浮设计中的几个问题[J]. 地下空间与工程学报, (3):135-137.

中华人民共和国建设部. 2001. 岩土工程勘察规范[S] GB50021-2001. 北京:中国建筑工业出版社.

中华人民共和国建设部. 2004. 高层建筑岩土工程勘察规范[S]. JGJ72-2004. 北京:中国建筑工业出版社.

中华人民共和国建设部. 2001. 建筑地基基础设计规范[S]. GB50007-2001. 北京:中国建筑工业出版社.

张旷成,丘建金. 2007. 关于抗浮设防水位及浮力计算问题的分析讨论[J]. 岩土工程技术, 21(1):15-20.

张国才. 2010. 坡地地下结构浮力计算方法的研究[J]. 水运工程, (10):88-92.

Discussion on Problem of Anti-floating Water Level of Basement in Karst Area

WANG Shi-yang, LU Tian-pi

(Guizhou Institute of Geo-environment Monitoring, Guiyang 550004, Guizhou, China)

[Abstract] As the basement water-inrush problem which happen frequently in modern urban and rural construction, in Anshun city of Guizhou province, a basement in Xixiu district in where water-inrush happened was taken as a example, by relevant information analysis, hydrodynamic calculation, field drilling water level verification and other methods, basement construction caused groundwater hydrodynamic condition changed and additional water head added, it's the major reason caused deep excavation water-inrush of building. On the basis, it's point out the traditional geotechnical investigation has certain problems in basement anti-floating water level, the concept of 'additional water head' in engineering construction and predicted calculation method of 'anti-floating water level' and 'additional water head' were taken out.

[Key words] Basement; Anti-floating water level; Karst area; Guizhou