

胡 政,陈再谦. 基于长观水位及历史降雨量的建筑抗浮水位取值研究[J]. 中国岩溶, 2018, 37(2): 245-253.

DOI:10. 11932/karst20180211

基于长观水位及历史降雨量的建筑抗浮水位取值研究

胡 政,陈再谦

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵阳 550081)

摘 要:以贵阳市地铁 2 号线三桥站主体结构基坑抗浮为研究对象,根据长观孔 3~5 年地下水位与降雨量关系对地下水位动态变化进行分析,提出一种定量计算抗浮水位的取值方法:抗浮水位值包括三个部分,勘察期间场区地下水最高水位(H_{kmax})、可能的意外补给造成该层地下水位的上升值(ΔH_0)及该层地下水相对勘察时的最大变幅值(ΔH_c);长观孔地下水位呈雨季升高、枯季下降的变化规律,最高水位出现在 6、7 月份;通过对 4、5、6 月份的降雨量与观测孔水位进行线性拟合,得到地下水位变化量与月降雨量变化量的线性变化关系;结合历史降雨量推测场区地下水位的最大升幅为 2.26 m,进而计算场区的抗浮水位为 1 128.46 m。

关键词:抗浮水位;降雨量;地下水动态

中图分类号:TU93; P641

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2018)02-0245-09

0 引 言

近年来,全国各地大兴土木,高层建筑越来越多,地下建筑的数量和层数也显著增多。地下空间的广泛开发,使得地下水对建筑地基基础的影响越来越突出,尤其当地下水位较高时,地下水对建筑的浮托力作用必须纳入工程建设需要考虑的范围,因地下水浮力导致建筑抗浮失稳破坏的工程事故时有发生。科学合理确定工程建筑物的抗浮设防水位值,保证构筑物在施工和运行过程中的安全性和有效性,是工程建设中不可忽视的。

诸多学者做了有关抗浮设防水位取值及抗浮设计的研究^[1-9],对抗浮设计原理、抗浮水位取值方法、抗浮水位取值的影响因素进行了探析,但大都是基于区域水文地质资料、勘察钻孔水位进行取值,主观性、随意性较大。

目前规范关于抗浮水位取值有较为明确的规定,但未进行具体说明,实际操作性较差。《岩土工程勘

察规范》(GB50021-2001)提出了较为具体的孔隙水压力测定要求,要求把握“勘察时的地下水位、历史最高水位、近 3~5 年最高地下水位、水位变化趋势和主要因素”。第 7.3.2 条规定了地下水力学作用的评价内容,强调“对基础、地下结构物和挡土墙,应考虑在最不利组合情况下,地下水对结构物的上浮作用,原则上应按设计水位计算浮力,对节理不发育的岩石和黏性土且有地方经验或实测数据时,可根据经验确定”。《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ72-2004),单独列出“地下水”章节。条文 5.0.2 条对地下水的性质及规律,专门列出 5 项调查内容,规定调查“地下水的类型、主要含水层及其渗透性”、“历史最高、最低地下水位及近 3~5 年水位变化趋势和主要影响因素”等。《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》(DBJ11-501-2009)针对防水要求严格的地下室或地下构筑物,提出其设防水位按历年最高地下水位设计,对防水要求不严格的地下室或地下构筑物,其设防水位可参照近 3~5 年内的最高地下水位及勘

资助项目:山区岩溶地基抗浮水位取值研究(GYY-KY-2015-14)

第一作者简介:胡政(1988-),男,工程师,主要从事工程地质、水文地质方面的生产和研究。E-mail:507970643@qq.com。

通信作者:陈再谦(1981-),男,高级工程师,注册岩土工程师,主要从事岩土工程方面的生产和研究。E-mail:48300187@qq.com。

收稿日期:2017-05-10

察时的实测静止地下水位确定。

最近颁布的相关规范已对地下水的浮托作用引起了足够重视,但是仍采用最高设防水位下的静水压力计算浮力,这涉及到最高设防水位取值的合理性问题,并且按最高设防水位下的静水压力计算的浮力与现场实测的孔隙水压力存在很大的出入,按此评价的浮力作用因素对设计单位而言也很难把握。

针对建筑地下结构浮力计算以及现行规范中存在的问题,不少学者进行了相关研究。宋林辉、张在明、庄旭峰、孙保卫等^[10-14]采用室内模拟试验、现场实测、数值模拟以及地理信息系统(GIS)分析等手段,系统地分析了“建筑场地孔隙水压力测试方法、分布规律及其对建筑物地基的影响”,内容涉及到:(1)地下水赋存状态的特征分区;(2)从近 50 年地下水位变化历史过程中,研究影响地下水位的主要因素;(3)地下水位的预测预报;(4)典型渗流特征及其对建筑物场地孔隙水压力分布规律的影响,其认为以上 4 个方面才是合理确定基底浮力的基础。他们还提出了影响北京市地下水设防水位取值的 3 个人为干扰因素,包含开采量变化的影响、官厅水库放水影响以及南水北调的影响。而徐梦瑶^[15]根据长观资料、历史水位等资料综合分析,提出可采用以下动态分析法:动态曲线比拟法、水量均衡法和频率分析法。

本文以贵阳市轨道交通 2 号线建设为研究背景,通过对近 3~5 年水位观测资料与历史降雨资料的统计分析,得到该场区地下水在勘察时的变幅值,定量计算得到场区历史最高水位值,作为场区抗浮水位取值,有效克服由于勘察人员人为因素导致的抗浮设防水位取值的不合理和随意性,提供了一种具体的、可实现的抗浮水位计算方法。

1 研究区概况及长观孔信息

1.1 研究区概况

贵阳市为贵州省省会,位于贵州省中部,地处云贵高原的东部,属全国东部向西部高原过渡地带,总地势西南高,东北低;属于以山地、丘陵为主的丘原地区,其中丘陵面积为 2 842 km²,中部层状地貌明显,主要有贵阳一中曹司向斜盆地和白云—花溪—青岩构成的多级台地及溶丘洼地地貌。贵阳市属北亚热带,属冬春半干燥夏季湿润型季风气候,据 1960—2009 年统计资料,年平均温度为 14.6℃,极端最高

温度为 35.2℃,极端最低温度为-8.3℃;年平均降水量为 1 138.2 mm,多年平均蒸发量为 1 325.5 mm,陆面蒸发量为 650~700 mm;属长江流域乌江水系,百花湖区、红枫湖、黔灵湖、阿哈湖水库、南明河为本区主要地表水体。

1.2 长观孔布设情况

研究场区位于一微盆地,所选 5 个长观孔位于微盆地的不同地段,依此综合判定该微盆地地下水与降雨量的关系。此次统计了各个长观孔 2010—2014 年地下水位动态观测资料,观测孔信息如下表 1 所示,布置图及场区水文地质如图 1。

表 1 5 个长观孔信息

Table 1 Five long-term observational boreholes information

观测孔 编号	监测孔 位置	地层	井口高程/ m	水文地质 单元
5201010181	威清路小 厂宿舍	T _{1d}	1 072.78	碳酸岩类岩 溶含水层
5201010184	瑞金北路八中	T _{1a} ²	1 066.32	碳酸岩类岩 溶含水层
5201010211	解放路昆后	T _{1a} ²	1 072.18	碳酸岩类岩 溶含水层
5201030158	三桥蛋禽仓库	T _{2g} ³	1 116.93	碳酸岩类岩 溶含水层
5201030168	二桥	J	1 084.81	碎屑岩类裂 隙含水层

2 长观孔地下水位动态变化规律

2.1 观测孔地下水位随季节变化规律

从图 2 可看出,地下水位标高随着季节呈动态变化,除 e 图观测孔,其他长观孔地下水位有在雨季升高、枯季下降的规律变化:1—3 月份出现下降趋势,4—6 月份呈现激增并达到最大值,整体地下水位最高出现在 6—7 月份,7—10 月份则出现波动变化,11—12 月份又呈现下降趋势直至出现最低水位。地下水位取决于多种因素,通过对 e 图出现的不规律变化因素进行分析,位于黔灵湖排泄径流——市西河附近的 5201030168 号观测孔,可能受地表径流影响并被控制地下水位变化。

由此可得知,6—7 月为贵阳市区出现最高地下水位的月份,12 月为最低地下水位的月份。

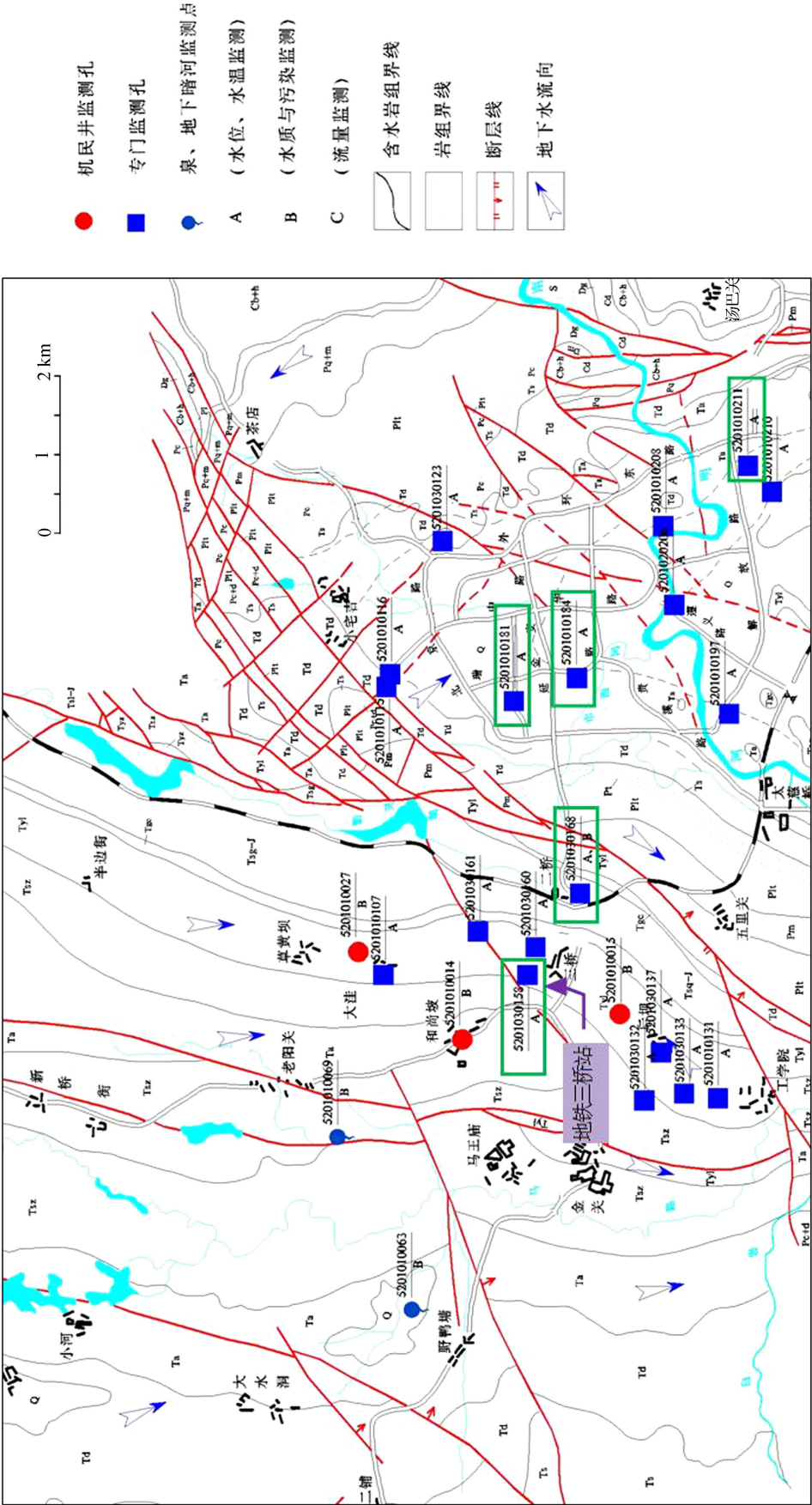


图 1 场地长观孔位置图

Fig. 1 Location of long-term observational boreholes

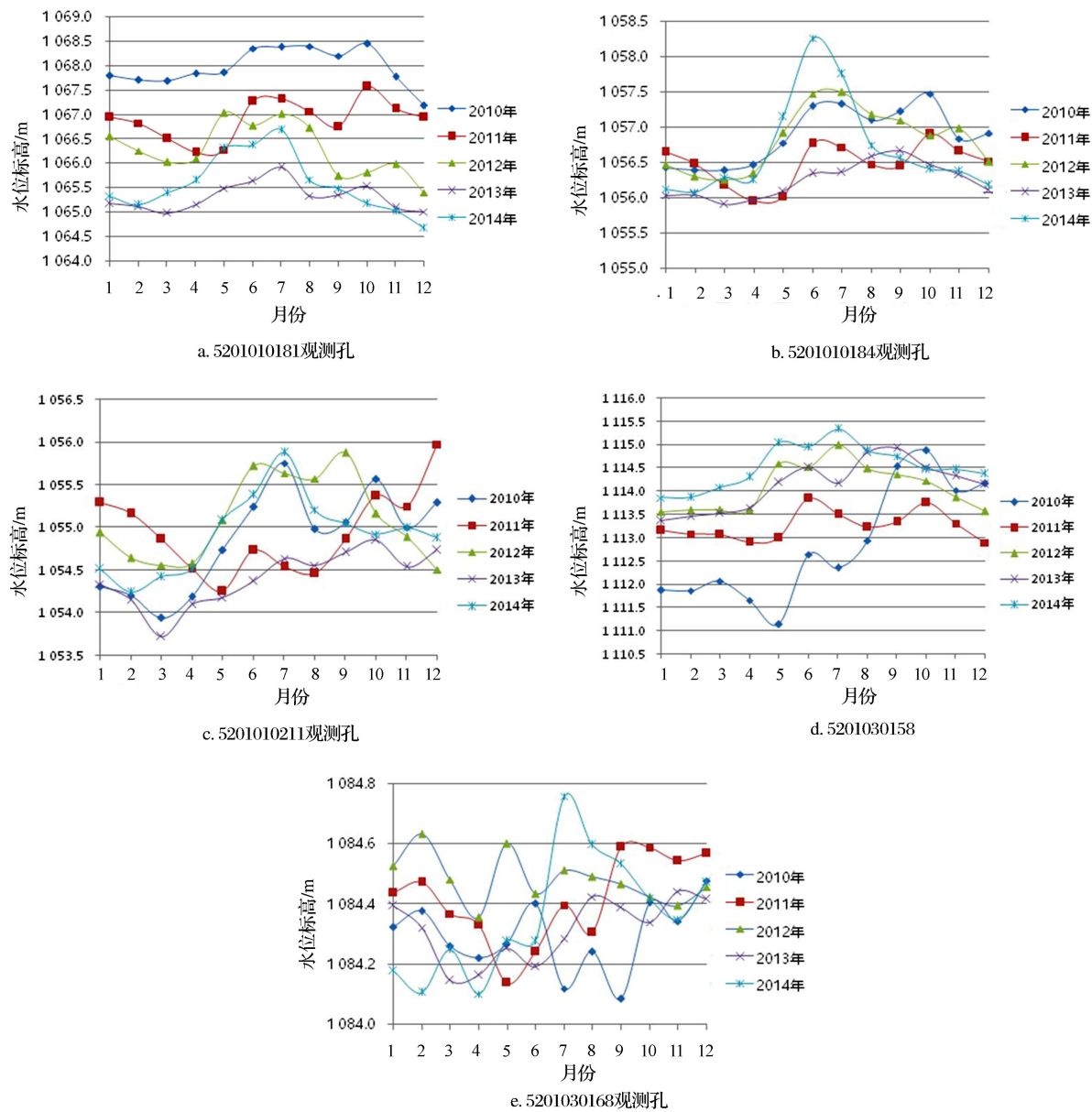


图 2 地下水观测动态曲线

Fig. 2 Dynamic curve of groundwater observation

2.2 观测孔近 3~5 年地下水位变化趋势

表 2、图 3 为近 5 年 6、7 月份(雨季)地下水位变化。从图表中可看出,6、7 月份地下水位近 5 年变化曲线大致相同,均呈现出波动特征,未有一致上升或下降的规律;从波动值($H_{\max} - H_{\min}$)可看出,5201010181 和 5201030158 孔波动值最大,其中,6 月份最大值出现在 5201010181 孔,为 2.71 m,7 月份最大值出现在 5201030158 孔,为 2.99 m;从整体变化趋势来看,5201010181 孔整体呈下降趋势,5201010211 孔为波动趋势,其他三个孔整体呈上升趋势。

表 2 近 5 年 5 个长观孔 6、7 月份水位变化特征

Table 2 Water level variational characteristics in June and July in recent five years

观测孔 编号	6 月 ($H_{\max} - H_{\min}$)/m	7 月 ($H_{\max} - H_{\min}$)/m	整体变 化趋势
5201010181	2.71	2.47	下降
5201010184	1.92	1.40	上升
5201010211	1.36	1.35	波动
5201030158	2.31	2.99	上升
5201030168	0.24	0.64	上升

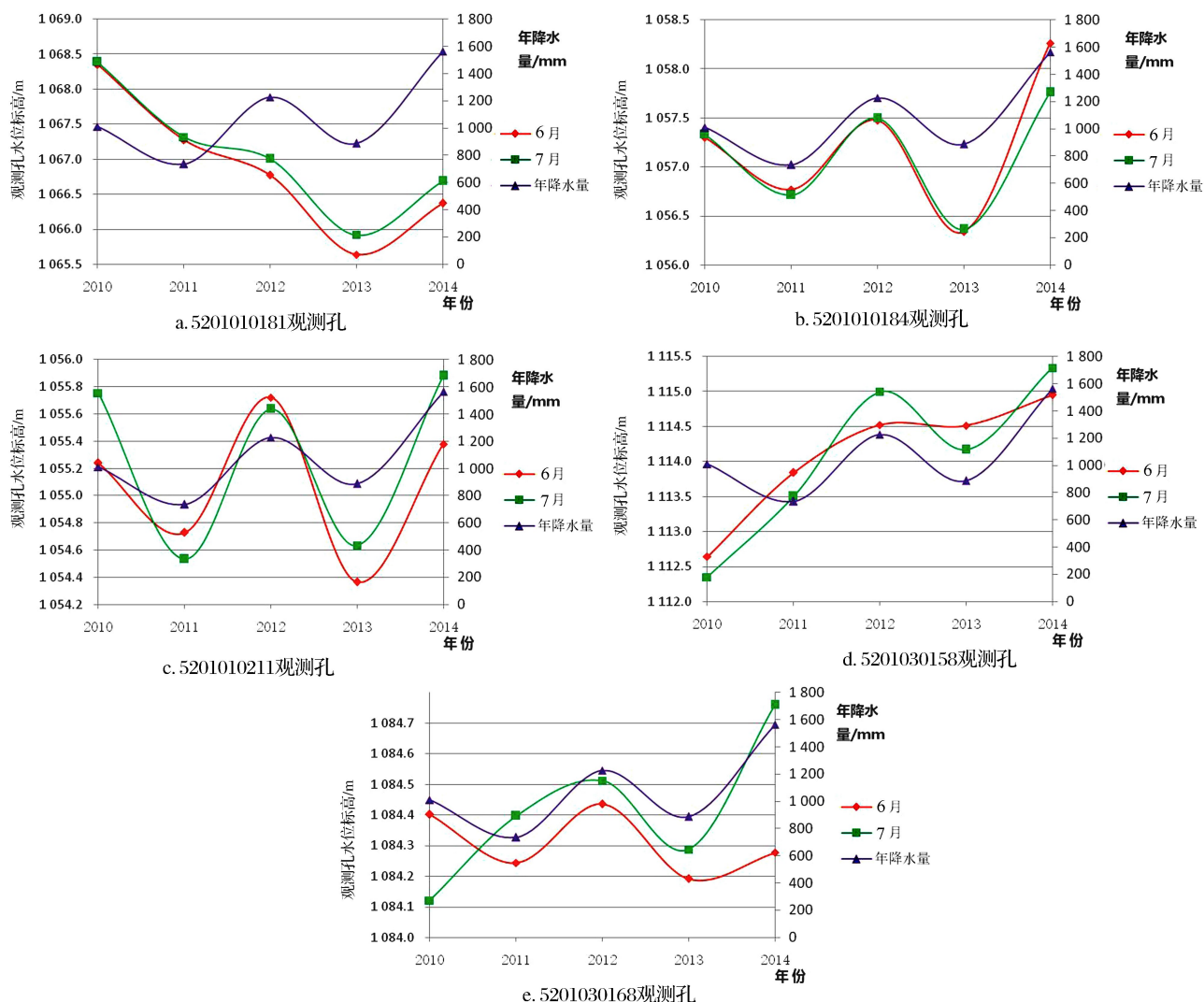


图 3 近 5 年 6、7 月份地下水位及年降雨量变化曲线

Fig. 3 Variation curves of underground water level and annual rainfall in June and July in recent five years

2.3 观测孔地下水位与降水量变化规律

图 4 为 5 个观测孔地下水位与降雨量的关系曲线图。从图可看出,除 5201030168 孔外,其他观测孔地下水位变化曲线与多年平均降雨量曲线及最大日降雨量曲线特征相似,并在 6、7 月份达到最大值,在 12、1 月份达到最小值。由前述分析,5201030168 孔地下水位受地表径流控制,所以出现不规律变化。

从此分析可知,不考虑地表径流、地下暗河及人为作用等因素影响,地下水位与降水量呈正相关,雨季地下水上升,旱季地下水下降。

图 5 为 5 个观测孔地下水位与降雨量的拟合关系曲线,通过对多年降雨量的调查发现,4、5、6 月这 3 个月份(呈相对稳定的上升趋势)的降雨量变化较为均匀一致,基本呈直线上升趋势,且这几个月地下水开采等人为影响大致相同,为此采用这 3 个月份的降

雨量与地下水位进行线性拟合,其中 a 为各长观孔地下水位标高与月降雨量的线性拟合,b 为各长观孔地下水位变化量与月降雨量变化量的线性拟合。

通过图 5a 可得出各长观孔拟合关系(y 为地下水位标高, x 为月降水量值)为:5201010181 孔, $y = 0.005x + 1\ 065.698$;5201010184 孔, $y = 0.008x + 1\ 055.396$;5201010211 孔, $y = 0.005x + 1\ 053.878$;5201030158 孔, $y = 0.007x + 1\ 112.517$;5201030168 孔, $y = 0.001x + 1\ 084.140$ 。

通过图 5b 可得出各长观孔拟合关系(y 为地下水位变化量, x 为月降水量变化量,增加量为正,减小量为负)为:5201010181 孔, $y = 0.031x$;5201010184 孔, $y = 0.045x$;5201010211 孔, $y = 0.031x$;5201030158 孔, $y = 0.039x$;5201030168 孔, $y = 0.007x$ 。

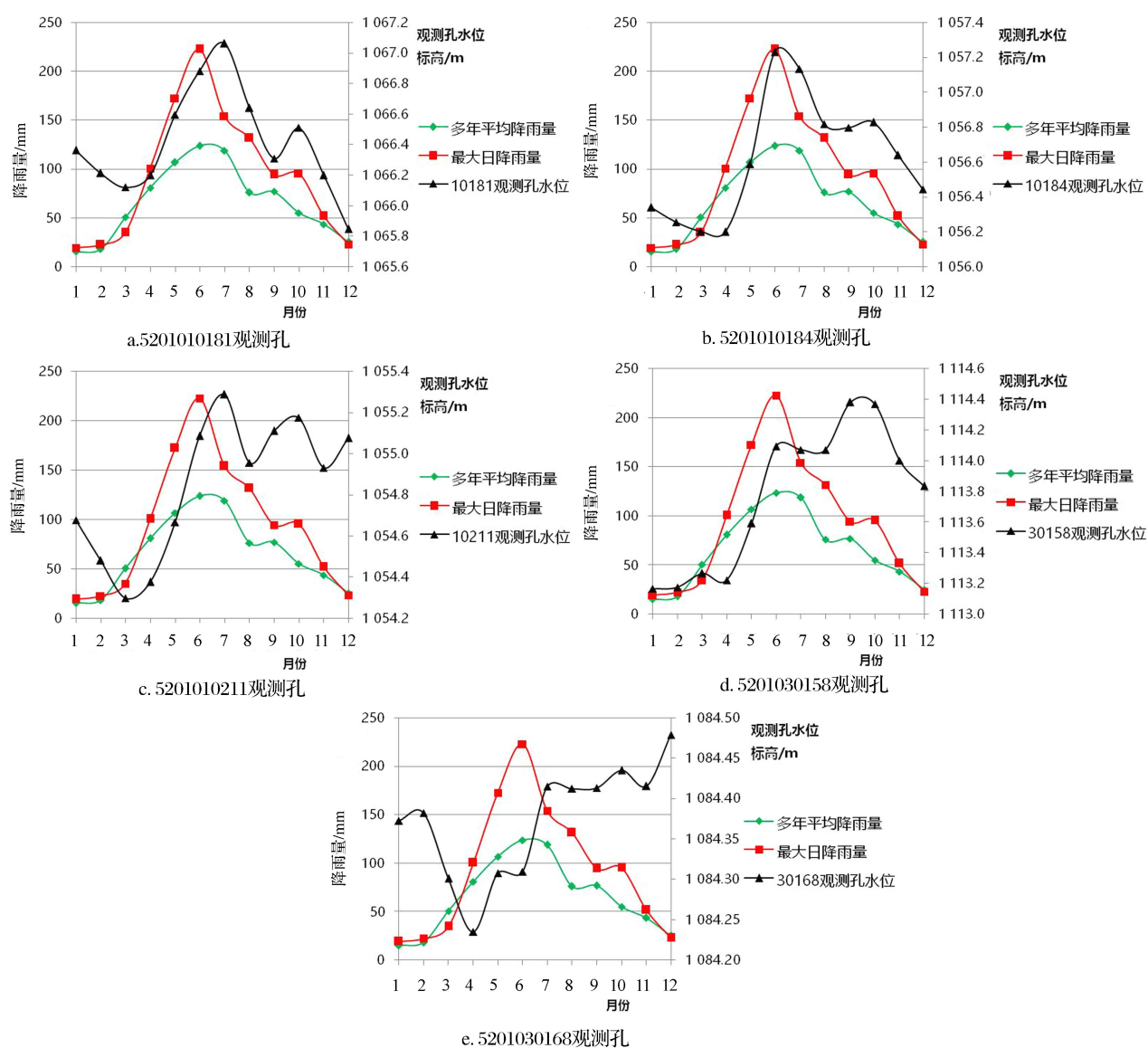


图4 观测孔地下水位与降雨量关系曲线

Fig. 4 Relation curves of underground water level in long-term observational borehole and rainfall

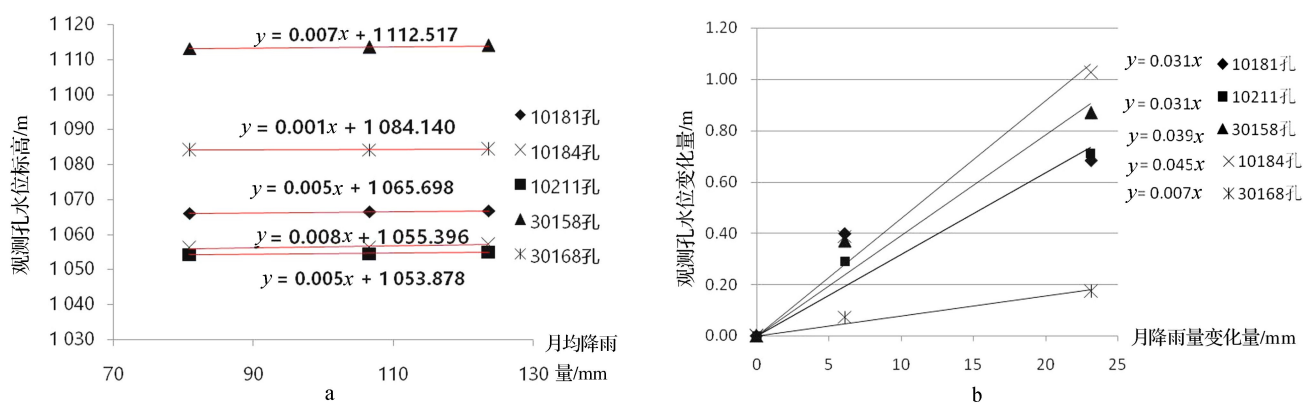


图5 各观测孔地下水位与降雨量值拟合线性关系

Fig. 5 Linear fitting of underground water level and rainfall in each observation borehole

3 基于 3~5 年长观水位及降雨量资料的抗浮水位取值

依据近 3~5 年的场区长观水位及降雨量资料,得到长观水位随降雨量的变化规律及函数关系,然后根据勘察期间最高水位、勘察期间降雨量及历史最高降雨量资料,计算得到场区的最高历史水位值,作为场区的抗浮设防水位值。建筑物的抗浮水位值可通过下式求得:

$$H = H_{k\max} + \Delta H_0 + \Delta H_e \quad (1)$$

式中: H 为场区的抗浮水位取值(m); $H_{k\max}$ 为勘察期间场区地下水最高水位(m),现场技术人员实测场区稳定水位最大值; ΔH_0 为可能的意外补给造成该层地下水位的上升值(m),根据场地环境条件及水文地质条件进行判定; ΔH_e 为该层地下水相对勘察时的最大变幅值(m),可根据场区近 3~5 年长观水位及历史降雨资料获得。

ΔH_e 可按以下步骤求得:

①利用收集到的场区 3~5 年长观水位及历史降雨量资料,统计分析得到近 3~5 年观测孔水位升降随降雨量变化的函数关系(图 6), $\Delta H = k\Delta X$,针对某一特定场地, k 为一确定常数。

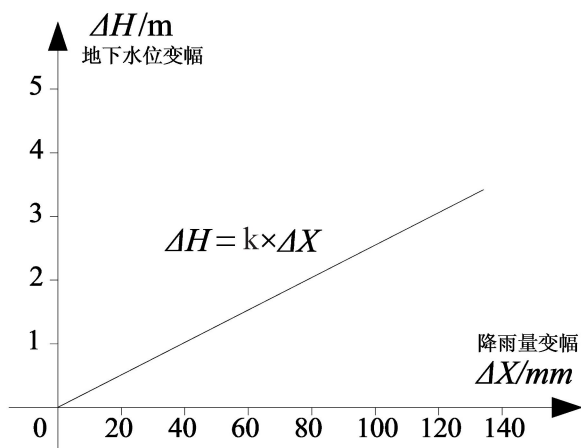


图 6 地下水位随降雨量变幅

Fig. 6 Groundwater level varies with rainfall

②根据降雨资料,勘察期间当月的月均降雨量为 X_1 (mm),历史最高月均降雨量为 $X_{\max}$ (mm),那么场区地下水勘察时的变幅值 $\Delta H_e = k(X_{\max} - X_1)$ 。

求得 ΔH_e 后,式(1)可改写为:

$$H = H_{k\max} + \Delta H_0 + k(X_{\max} - X_1) \quad (2)$$

式中: k 通过该场地观测孔 3~5 年观测水位及历史降雨量资料拟合求得, $X_{\max}$ 和 X_1 通过查阅历史降雨量资料获得。

4 抗浮设防水位取值实例

结合长观孔的位置及贵阳市城市轨道交通 2 号线的布设,选择离长观孔较近、水文地质条件相似的工点进行分析,为此以三桥站(5201030158 孔附近)为例进行抗浮水位取值分析。

4.1 勘察期间水位

对勘察期间(2015 年 6 月份)的 11 个钻孔地下水位统计如下表 3 所示,钻探结果显示,场区地面高程为 1 130.4~1 136.1 m,地下水位埋深为 4.5~10.5 m,地下水静水位标高为 1 124.7~1 126.2 m,该水位为汛期水位。

表 3 三桥站勘察期间地下水位

Table 3 Underground water level of Sanqiao station during survey

钻孔编号	地面高程/m	水位埋深/m	水位标高/m
M2Z3-31-06	1 131.4	5.2	1 126.2
M2Z3-31-07	1 131.4	5.6	1 125.6
M2Z3-31-09	1 130.7	5.2	1 125.5
M2Z3-31-10	1 130.4	4.5	1 125.9
M2Z3-31-11	1 130.5	4.8	1 125.7
M2Z3-31-12	1 130.9	5.6	1 125.3
M2Z3-31-15	1 131.8	6.3	1 125.5
M2Z3-31-16	1 130.6	5.2	1 125.4
M2Z3-31-17	1 130.6	5.5	1 125.1
M2Z3-31-18	1 130.7	6.0	1 124.7
M2Z3-31-19	1 136.1	10.5	1 125.6
平均		5.9	1 125.5
最大值		10.5	1 126.2
最小值		4.5	1 124.7

4.2 地表径流

鸭江寨溪沟位于车站东侧约 45 m,河水位为 1 115.0~1 127.0 m,为区内最低排泄基准面,车站场地地下水主要通过裂隙密集带、层面以及地下溶洞

向北西江寨溪沟方向排泄。故地表径流不会增加其最大水位,对抗浮水位无益。

4.3 近3~5年历史水位

三桥站附近长观孔 5201030158 孔口高程为 1 116.93 m,丰水期月份(6、7月)近5年最高水位为 1 115.34 m。长观孔地下水位变化量与月降雨量变化量的线性拟合公式为: $y=0.039x$ (y 为地下水位变化量, x 为月降雨量变化量)。月降雨历史最高量出现在 1996 年 7 月(查自贵州统计年鉴^[16]),为 354.5 mm,高于勘察期间降雨量(296.6 mm)57.9 mm,因此水位变化量 $y=0.039 \times 57.9 \approx 2.26$ m。

4.4 抗浮水位取值

场区勘察期间的最高水位为 1 126.2 m,地表径流低于场区位置,不会增加其最大水位,对抗浮水位无益,历史最高水位变化量为 2.26 m,因此历史最高水位推测为:

$1\ 126.2 + 2.26 = 1\ 128.46$ m,因此,建议取 1 128.46 m作为场区的抗浮水位值。

5 结 论

本文以贵阳市轨道交通 2 号线为研究对象,对场区地下抗浮水位取值进行研究,通过分析近 3~5 年长观孔地下水位动态变化及其与降雨量关系,结合勘察期间钻孔水位、地表径流的影响推测场区可能出现的最高水位,并将其作为抗浮水位,得到如下结论:

(1)微盆地场区地下水位标高随季节呈动态变化,各年份出现类似的变化规律,即 1—3 月份出现下降趋势,4—6 月份呈现激增并达到最大值,整体地下水位最高出现在 6—7 月份,7—10 月份则出现波动变化,11—12 月份又呈下降趋势直至出现最低水位。

(2)6、7 月份地下水位近 5 年变化曲线大致相同,均呈现出波动特征,未有一致上升或下降的规律;6 月份最大波动值为 2.71 m,7 月份最大波动值为 2.99 m。

(3)调查发现 4、5、6 月的降雨量变化较为均匀,基本呈直线上升趋势,且这 3 个月地下水开采等人为影响大致相同,为此采用这 3 个月份的降雨量与地下

水位进行线性拟合,得到长观孔地下水位变化量与月降雨量变化量的关系,并以此作为地下水位最高值推测的依据。

(4)贵阳市地铁 2 号线三桥站勘察期间(汛期)水位为 1 124.7~1 126.2 m,地表径流对抗浮水位无益,推测历史最高水位变化量为 2.26 m,因此历史最高水位推测为 1 128.46 m,建议取 1 128.46 m 作为场区的抗浮水位值。

参考文献

- [1] 邹成杰.岩溶地区地下水位动态分析[J].中国岩溶,1995,14(3):261-269.
- [2] 袁正如.地下工程抗浮设计中的几个问题[J].地下工程与工程学报,2007,3(3):519-521.
- [3] 余良刚.岩体基坑地下室抗浮设计水头合理取值研究[D].青岛:青岛理工大学,2013.
- [4] 陈萍.基于地下水开发的岩溶地下水系统类型划分方案探讨[J].中国岩溶,2015,34(3):234-237.
- [5] 贾朋涛.无地下水场地基坑抗浮水位取值[J].工程设计与研究,2010(2):38-39,48.
- [6] 郑伟龙.北京地区地下结构上的浮力作用机理试验研究[D].北京:中国地质大学(北京),2005.
- [7] 颜蒙蒙,周洲,王济,等.喀斯特地区土壤水分随降雨的动态变化研究:以贵阳市花溪区为例[J].中国岩溶,2016,35(4):446-452.
- [8] 安振东,刘贯群,张焘,等.建筑物场区地下水位预测与抗浮水位确定:以青岛啤酒城改造为例[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2015,45(4):103-109.
- [9] 孔令琳,刘春,何建勇.浅析北京地区建筑抗浮设防水位的影响因素[J].岩土工程技术,2014(2):88-91.
- [10] 宋林辉,梅国雄,宰金珉.黏土地基上基础抗浮模型试验研究[J].工程勘察,2008(6):26-30.
- [11] 张在明,孙保卫,徐宏声.地下水赋存状态与渗流特征对基础抗浮的影响[J].土木工程学报,2001,34(1):73-78.
- [12] 庄旭峰.实例分析隧道建设对岩溶水的影响[J].中国岩溶,2016,35(6):681-687.
- [13] 孙保卫,徐宏声,张在明.孔隙水压力测试与建筑抗浮水压力的确定[J].工程勘察,1998(3):31-35.
- [14] 张在明.北京地区高层和大型公用建筑的地基基础问题[J].岩土工程学报,2005,27(1):1-13.
- [15] 徐梦瑶.长春市地铁一号线典型车站抗浮设防水位研究[D].长春:吉林大学,2012.
- [16] 陈勇明.贵阳市降雨量趋势研究及预测[D].贵阳:贵州民族学院,2006.

Research on the water level of anti-floating of building structure based on long-term boreholes and rainfall observations

HU Zheng, CHEN Zaiqian

(Power China Guiyang Engineering Corporation, Ltd., Guiyang, Guizhou 550081, China)

Abstract This paper studies anti-floating groundwater level of main body structure foundation pit, with a case study of the metro line 2 at Sanqiao station, Guiyang. The relationship between long-term groundwater level monitoring data and rainfall data was analyzed. On this basis, a method for the calculation of anti-uplift water level values was put forward. Main result shows that, (1) anti-uplift water value consists of three parts, i. e. the highest groundwater level during the site investigation, the groundwater level rise by unexpected recharge and the maximum groundwater fluctuation rate compared to that of the site exploration period; (2) The groundwater levels monitored fluctuate seasonally which commonly increase in rainy season and decline in dry season, with the highest water levels appear in June and July; (3) The linear relationship between the change of the groundwater level and the change of monthly rainfall was obtained by the linear fitting of the rainfall in April, May and June; (4) Combined with the historical rainfall, the maximum increase of the groundwater level in the field area is 2.26 m, and the anti-floating water level in the field area is 1,128.46 m.

Key words water level of anti-floating, rainfall, dynamic change of underground water

(编辑 黄晨晖)