

不同岩溶形态场地抗浮水位取值研究^{*}

胡政,田茂中,陈再谦,王平易,汪东

(中国电建集团 贵阳勘测设计研究院有限公司,贵阳 550081)

摘 要:本文针对贵州岩溶场地,对4类不同岩溶形态下抗浮水位取值进行了研究,得到如下结论:①当场地潜水含水层厚度大于地基基础设置深度时,场地的最高地下水位与抗浮水位相同,当场区处于四周高、中间低的低洼地带及承压含水层分布区时地下水位低于抗浮水位;②抗浮水位取值可通过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变幅值(ΔH_0)和该层地下水相对勘察时的最大变幅值(ΔH_e)三者之和进行求得;③大型岩溶洼地场区对有地下工程分布的建筑物应重点考虑抗浮影响,这与场区的历史水位、将来环境条件改变后可能存在的最高水位密切相关;基础下部发育大型空腔溶洞场地需要认真分析溶洞水环境特征;浅埋型岩溶暗河管道发育场地地下建筑物底板基础可能存在置于暗河顶部附近或穿过暗河管道两种情况,两者对抗浮水位取值均有不同程度的影响;承压含水层场地应通过水位变化线性图确定场地抗浮水位变化范围,整体地下建筑物按高值确定抗浮水位,分段地下建筑物区间高值确定。本文研究对岩溶地区工程建设有一定的指导意义。

关键词:抗浮水位;岩溶形态;地下水位

中图分类号:U25

文献标识码:A

文章编号:1673-0836(2018)05-1322-09

Study on Valuing of Anti-floating Water Level in Different Karst Forms Site

Hu Zheng, Tian Maozhong, Chen Zaiqian, Wang Pingyi, Wang Dong

(Guiyang Engineering Co. Ltd., PowerChina, Guiyang 550081, P.R. China)

Abstract: Aiming at karst site in Guizhou, four different karst forms anti-uplift water level values are studied and the following conclusions are got: (1) If the spot to unconfined aquifer thickness is greater than the depth of the foundation, the space of the underground water level and construct water level are the same, if the spot area around in high, middle low low-lying areas and underground water level below the anti-uplift water level when confined aquifer distribution area. (2) Anti-uplift water level values can be obtained by the sum of the following three: the highest groundwater level during the investigation of ground (H_{kmax}), the possible accident supplies to cause the layer of the underground water level amplitude value (ΔH_0) and the maximum amplitude of the layer groundwater relative prospecting (ΔH_e). (3) In large karst depressions, it is important to consider the impact of anti-floating on underground buildings, which is closely related to the historical water level of the site and the possible max-level after the change of environmental conditions. The site of large cavity cavern with large cavity should be carefully analyzed. The site of the development of shallow buried karst underground river pipeline underground building mat foundation may exist in the rivers near the top or through underground river pipes, the value of anti-uplift water level are the influence of different level. Confined aquifer field should be determined by the water level change linear figure site scope of anti-uplift water level changes, the whole underground building determined according to the high value of

^{*} 收稿日期:2018-04-17(修改稿)

作者简介:胡政(1988-),男,湖南辰溪人,硕士,工程师,主要从事工程地质、岩土工程方面的生产及研究。

E-mail:1163631187@qq.com

通讯作者:田茂中(1966-),男,贵州遵义人,教授级高级工程师,主要从事工程地质、水文地质方面的生产及研究。

E-mail:1228941658@qq.com

anti-uplift water level, the piecewise interval high value to determine underground buildings. This paper has some guiding significance for engineering construction in karst area.

Keywords: anti-floating water level; karst form; underground water level

0 引言

贵州多为山区岩溶地貌,可溶岩地层分布广,地下水位变化大,岩溶相对较为发育,形态各异,就地表岩溶形态而言,大的有峰林、天窗、天坑、岩溶洼地、落水洞,小的有溶沟、溶槽、溶蚀裂缝;而地下岩溶形态有岩溶暗河(规模小的为岩溶管道)、大型空腔溶洞、充填型溶洞,小的有溶裂等,呈直立、倾斜、水平状发育,规模大小不一,岩溶洼地大的长几百米甚至上千米、宽几十米至几百米,小的一般有一米至十几米不等,有的地下岩溶长年过水、集水,有的受侵蚀基准面下移影响,枯期无水,汛期为地表、地下水汇集、排泄通道。由此可见,岩溶发育离不开地下水的活动影响,双方是既充分又必要的关系。因此,在岩溶地区进行地下工程建设,岩溶的发育规模、发育深度与地下水侵蚀活动基准面密切相关,只有了解、查明了相互间关系,才能正确研究场区抗浮水位。

诸多学者做了有关抗浮设防水位取值^[1-6]、抗浮试验模型^[7-10]及抗浮设计方面^[11-12]的研究,对抗浮设计原理、抗浮水位取值方法、影响抗浮水位取值的影响因素进行了探析,这些方法大都是针对平原地区、非可溶岩场地,场地土相对均匀,与岩溶场地差别较大。地下水动态变化是研究抗浮水位取值的重点,目前关于地下水位动态变化的研究较多^[13],但对岩溶区抗浮水位取值方面的研究较为少见,主要是通过水文地质工程地质进行分析取值,不同岩溶形态下抗浮水位取值方面的研究尚为空白,本文探索不同岩溶形态下场地的地形地貌、地层岩性、水文地质特征,综合进行场地抗浮水位取值,对工程建设有一定的指导意义。

1 抗浮水位与地下水位的关系

在对建筑场地进行岩土工程勘察前,设计单位在委托书或技术要求中大都要求查明场区地下水位,对存在地下抗浮的地区还需提供抗浮设防水位,这就必须了解两者间的区别与联系。

从定义上分析,地下水位是指场区地下水埋藏深度的高低,是一个变值,随季节、降雨量变化而

变,一般枯水季节水位低、汛期水位高,且随降雨量增大而升高;抗浮水位是工程建设及工程运行期场地的最高水位,是一个定值,两者的关系是抗浮水位大于或等于地下水位,也就是说勘察期间所测得的地下水位还不能直接用作抗浮水位,还需收集场地附近及周边长期气象、水文、水位观测资料,结合场地所处的地形、地质条件综合分析,最终确定抗浮设防水位,所以,两者间存在既区别又联系的关系。

1.1 地下水位与抗浮水位相同的情况

当场地潜水含水层厚度大于地基基础设置深度,场区附近或周边存在低于场地标高的地表水、地下水排泄基准面时,场地的最高地下水位与抗浮水位相同,如图1所示。

1.2 地下水位低于抗浮水位的情况

地下水位低于抗浮水位有两种情况,一是当场区处于四周高、中间低的低洼地带时,汛期期地表水排泄不畅,至整个场水位升高,此时,抗浮水位高于地下水位,如图2所示;二是在承压含水层分布区,当地下建筑物或基础揭穿了上部隔水地层后,抗浮水位高于地下水位。

1.3 抗浮水位取值

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以通过下式求得:

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

式中: H 为场区的抗浮水位取值,m; H_{kmax} 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变幅值,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,可以根据场区近3~5年长观水位及历史降雨资料获得。 ΔH_e 可以按以下步骤求得:

(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3), $\Delta H = k\Delta X$,其中 k 为对每一个场地为一确定常数。

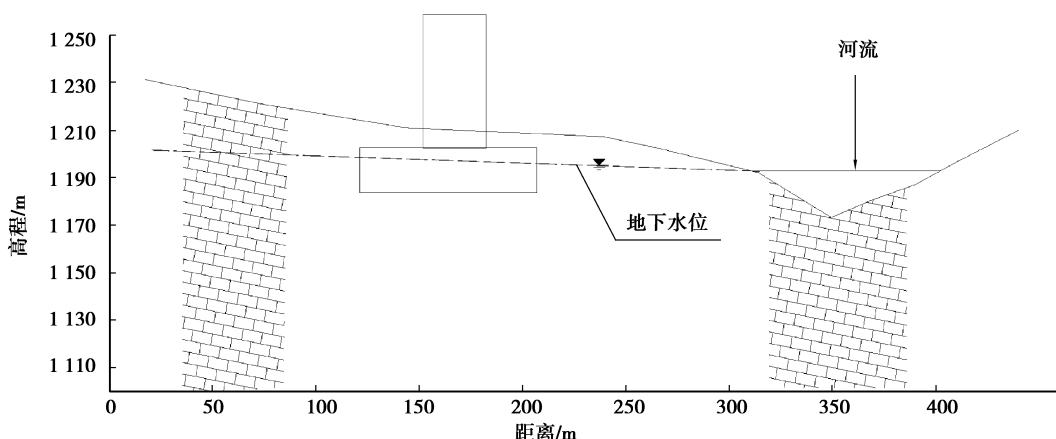


图1 场区地下水位与抗浮水位一致地质剖面图

Fig.1 The geological profile showing the same situation of water table and anti-floating water level

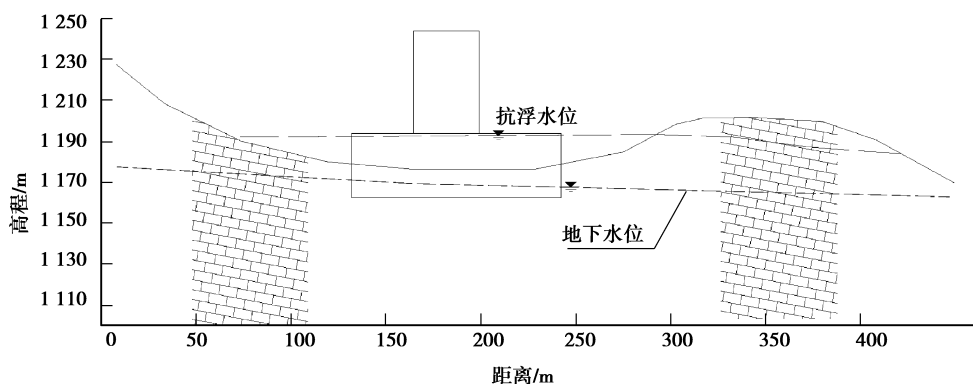


图2 地形低洼区暴雨期地下水位低于抗浮水位地质剖面图

Fig. 2 The geological profile showing the underground water level lowers than the anti-floating water level in the low-lying area

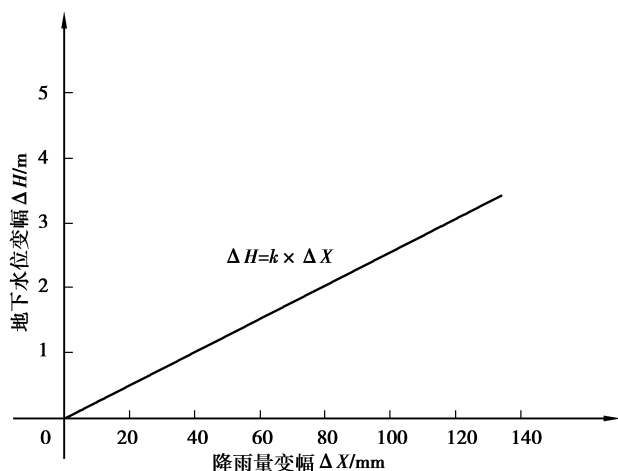


图3 地下水位随降雨量变幅

Fig.3 The groundwater level vs. 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), 则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:

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

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。

2 不同岩溶形态空间对抗浮水位影响及取值

不同的地表、地下岩溶形态特征、空间分布规模在工程建设过程中对地基基础影响较大, 就地下水位而言, 溶洞形态、空间分布、导水性对基础抗浮影响较大, 在贵州山区岩溶场地, 因抗浮水位资料不准确而导致抗浮失效, 基础底板隆起、开裂, 导致地下室进水的工程案例不少, 如何认识、了解不同岩溶形态的水文地质特征在枯汛期地下水位变化规律、地表水与地下水的关系对工程区抗浮水位取值较为重要, 下面结合一些典型岩溶形态对抗浮水位影响及取值进行分析。

2.1 大型岩溶洼地分布场地

2.1.1 地形地貌特征

从地形上分析,岩溶洼地大多为四周高、中间低的封闭型负地形区域,一般呈槽谷形、圆形、椭圆形分布,对于大型洼地大多长数百米至几千米,宽数百米至千米,中部地形平缓,周边地面高程高出洼地中部数十米至百米,地形坡度 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 不等;从地貌上分析贵州大型岩溶洼地大多位于地势相对较高的剥夷面上,如贵州安龙、册亨境内发育的大型槽谷型岩溶洼地,分布高程大多在 1 000~1 200 m 高程,区域内最低排泄基准面 750~770 m 高程,在洼地中部或末端大多分布 1 个至多个竖向型落水洞。

2.1.2 岩性特征

根据贵州境内发育的大型溶洞、岩溶洼地出露的地层岩性分析统计,发育区地层岩性基本上为中至厚层灰岩、白云岩地层,泥质白云岩地层出露区虽

有发育,但规模相对较小。

2.1.3 水文地质特征

从水文地质方面分析,岩溶洼地一般都为一区域范围内地表水、地下汇集排泄区,位于高一级夷平面上岩溶洼地枯期大多无地表明流,部分大型槽谷岩溶洼地有少量地表明流,水量大小不一,一般 $2 \sim 40 \text{ L/s}$,在洼地末端逐渐消失或通过落水洞转入地下暗流;汛期水量较大、几立方米至几十立方米不等,主要取决于汇流面积及降雨量,明流汇集后主要通过落水洞最终向区内最低侵蚀基准面排泄。

对于岩溶洼地,最普遍的水文地质特征是汛期排水能力不足,这主要与排水相关的落水洞长期受冲洪积充填、堆积,至排水不畅,造成洼地汛期水位升高几米至十几米不等,降雨结束后需几天甚至十几天才能排泄积水,如图 4 所示。

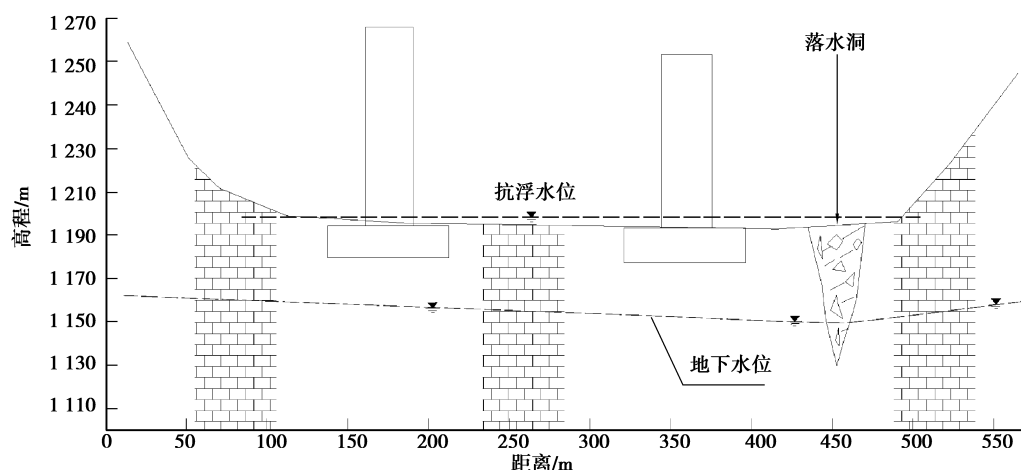


图 4 岩溶洼地抗浮水位分析剖面图

Fig. 4 Analysis section of the anti-floating water level in karst depression

2.1.4 抗浮水位取值研究

综上所述,在大型岩溶洼地内进行工程建设,除了要考虑岩溶发育对地基基础的稳定影响外,对有地下工程分布的建筑物还应重点考虑抗浮影响,这与场区的历史水位、将来环境条件改变后可能存在的最高水位密切相关,对于前者大多数工程勘察技术人员都理解、掌握,对后者则相对较为困难,因后期建筑周边环境条件改变对场区抗浮水位可能造成两种变化,一种是场地水位变高,随着大规模的城镇发展建设,大量的工程开挖弃渣往地势相对较低的落水洞区域回填,导致排水通道堵塞,汛期地表水大量汇集后使场地内水位升高,高出历史水位,如图 4 所示;另一种情况是水位降低,为解决防洪、防涝,有效提高土地资源利用,若后期设置引排

水工程处理,则场地汛期水位就会降低。

上述两种情况对场地内抗浮水位取值影响均较大,取值低了安全风险大,高了会增加工程投资,如何合理、有效地给设计单位提供场地抗浮水位,建议从以下几个方面进行研究:

(1) 勘察期间通过钻孔对场地内地下水位进行观测,时间 5~10a(有条件时可设置 2~3 个长观测孔),水位观测孔最好选择有大型、或串珠发育的无充填型溶洞内进行,若不具上述条件,也应选择岩体完整性相性对差的孔位,查明场地勘察期间真实地下水位。

(2) 了解场地及周边有无长期水文观测钻孔,收集 5~10 a 长观钻孔水位资料,了解枯汛期场内水位变化幅度,将勘察期间所测钻孔水位与长观资

料进行分析对比,查明历史最高水位,通过水力比降计算分析,初步确定场抗浮水位。

(3)收集场地所在地区5~10 a(有条件的最好10~20 a)汛期降雨量资料,筛选出3~5个具有代表性最大降雨时段向当地长期住户进行走访调查,查明场地内暴雨期最高历史水位、近3~5 a以来每年汛期水位。

(4)了解、收集当地城镇规划建设方案,查明近期有无可改变当地水文地质环境的工程施工方案,并分析可能对当地水文地质环境带来的影响。

通过上述4个阶段的调查、研究,场地抗浮水位基本可以确定,若场地及周边近期无有利改变水文地质环境的方案措施,场地内抗浮水位应以最高历史水位作为抗浮水位,若存在有利于水文地质环

境改变的规划方案,可采用近3~5 a汛期水位作为抗浮水位。

2.2 基础底部或周边存在大型空腔溶洞场地

2.2.1 岩溶发育特征

在岩质较纯的灰岩、白云岩地层分布区进行工程建设,基础底部发育大型溶洞是较为普遍的事,从定义上分析,大型溶洞一般是指水平延伸长度50~300 m,高5~10 m的溶洞,按充填情况可分为粘土充填(简称充填型)、半充填型、空腔型3类,从储水能力、过水空间方面分析,空腔型大、半充填型次之。

本节主要分析大型空腔溶洞发育场地地下水对基础抗浮的影响,如图5、图6所示。

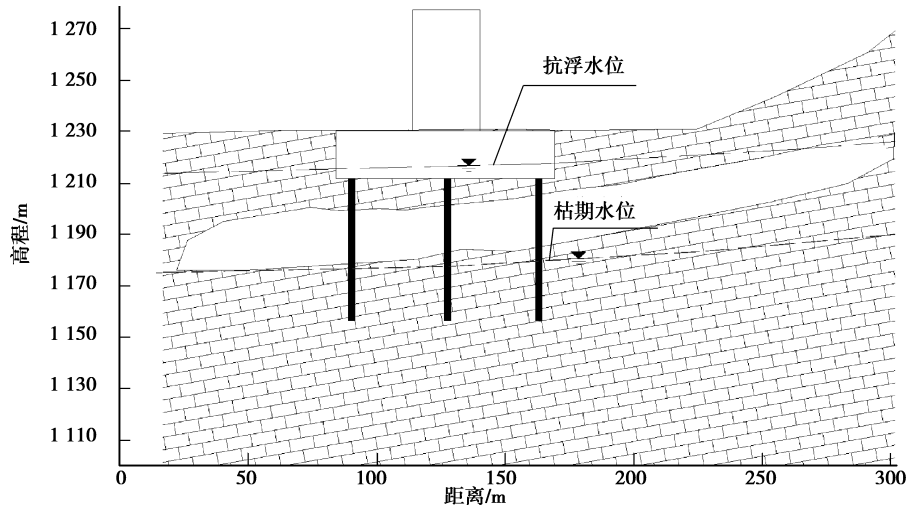


图5 基础底部发育溶洞抗浮水位分析剖面图

Fig. 5 Analysis section of the water level at the bottom of foundation

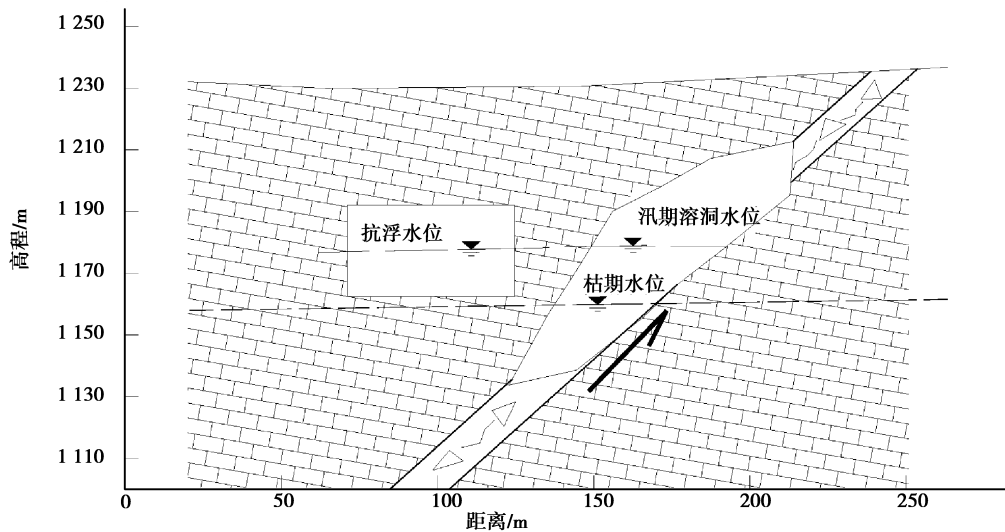


图6 基础周边发育溶洞抗浮水位分析剖面图

Fig. 6 Analysis section of the anti-floating water level of the foundation karst caves around

2.2.2 水文地质特征

从岩溶发育的必要条件方面来分析,溶洞发育离不开地下水的作用,但溶洞内是否有水和区域内侵蚀基准面有关,一般情况下,位于高高程剥夷面上的早期溶洞在枯期大多无水,为干溶洞,汛期部分可成为过水溶洞,但水量不大。一般为 5~100 L/s 不等;对于侵蚀基准面附近发育的溶洞,基本上都存在地下水长期活动,枯期水量小,汛期水量大,水流量大小不一,这主要与地下水汇流面积及降雨入量数有关;位于基准面附近发育的浅表层溶洞,其地下水量、水位随季节变化影响较大,这主要与表层岩体发育的陡倾溶蚀裂隙、落水洞及汛期降雨入渗量有关,最为明显的特征是水位升降变化较快,一般降雨后 0.5~1.0 h 溶洞水位迅速升高,结束后 1~2 h 水位下降。

2.2.3 抗浮水位取值

根据上述分析,对位于侵蚀基准面附近、浅表层溶洞发育、地下水活动较为频繁的建筑工程场地,若基础下部发育大型空腔溶洞,其基础的稳定性可以通过工程措施进行处理,但对抗浮水位的取值则需要进行认真的分析研究,由于基础底板与溶洞间岩体大都发育溶蚀裂隙,透水性好,溶洞水位的高低直接影响到基础抗浮水位的取值,如何进行抗浮水位取值,对溶洞水环境研究较为重要,建议从以下几方面进行考虑:

(1)岩溶水文地质调查:结合区域岩溶水文地质图,在建筑场地及周边进行认真的岩溶水文地质调查,查明溶洞在地表出露情况;地表水、地下水汇流面积及与溶洞的补排关系。

(2)收集当地近 5~10 a 大气降雨(特别是汛期)资料、降雨入渗系数,通过降雨入渗量计算,初步分析汛期场地溶洞水位抬升情况。

(3)对场地钻孔进行地下水位观测,特别是揭露溶洞钻孔,在有条件的情况下设置 1~2 个长期观测孔,进行至少一个水文年地下水位观测,查明不同降雨情况下期场地及溶洞地下水位及其变化幅度,绘制长观曲线,通过长观曲线与近 5~10 a 降雨量曲线进行分析对比,可基本确定溶洞在最大降雨情况下最高水位,即场地抗浮水位。

(4)若无长观测资料,勘察期场地水位观测是基础,但不能作为抗浮水位,应与场区地形地貌特征、岩溶水文地质条件,结合当地历史降雨量资料进行综合分析确定,但存在一定误差,需要地区经验丰富的专家共同分析论证。

综上所述,在地下建筑物基底、周边发育大型空腔溶洞时,其抗浮水位的取值要有科学性,至少需要一个水文年的溶洞水位长观资料及近 5~10 a 的降雨量资料,才能准确判定抗浮水位,其他方法均次之。

2.3 岩溶暗河管道发育场地

2.3.1 岩溶形态特征

在山区可溶岩地层分布区,岩溶暗河管道是地下岩溶形态特征之一,一般发育于侵蚀基准面附近或河流一、二级阶地面上,长 0.5 至数公里不等,洞径 1.0~5.0 m,埋深 5.0~100 m,其地面形态大都发育串珠状落水洞,底部多与岩溶暗河相连,如图 7 所示。

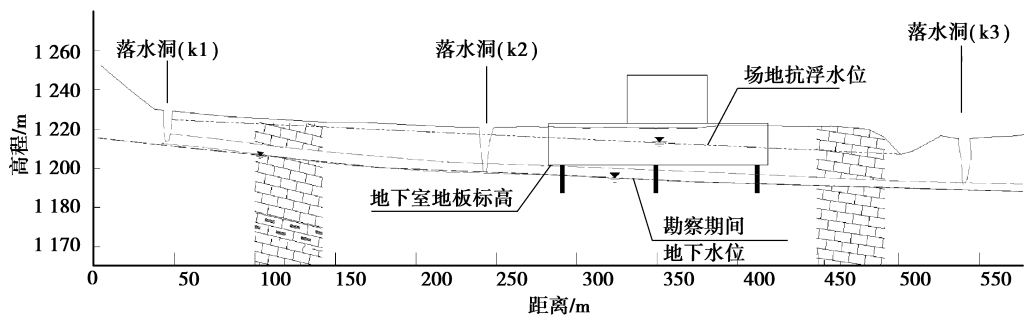


图 7 岩溶暗河管道发育区抗浮水位分析剖面图

Fig. 7 Analysis section of the anti-floating water level of karst river pipeline area

2.3.2 水文地质特征

从定义上分析,岩溶暗河管道一般是指具有长年性过水能力的地下岩溶管道。因此,常年性过水、枯期水量小、汛期水量大是其最主要的共同水文地质特征,不同之处是过水能力、径流途径、水力比降因场地位置不同而各异,一般情况下前两者与岩溶管道空间规模、发育方向有关,部分场地因受后期地下建筑物、桩基础施工影响,导致暗河管道受阻,存在过水能力受限或径流途径改变现象;水力比降则主要受场区地形条件、侵蚀基准面控制,一般情况下在地形平缓地区,岩溶暗河水力比降为1%~2%,山区地带水力比降一般为3%~7%。

2.3.3 抗浮水位取值

在浅埋型岩溶暗河管道发育区进行工程建设,其地下建筑物底板基础可能存在置于暗河顶部附近或穿过暗河管道两种情况,两者对抗浮水位取值均有不同程度的影响,具体分析如下:

(1)岩溶管道位于基础底部:当地下建筑物底板基础位于岩溶暗河管道顶部时,在确定抗浮水位前需考虑以下几个影响因素:①勘察期间应查明岩溶暗河管道空间规模、地下水位、补排关系及过水能力;②查明岩溶暗河管道地表、地下水汇流面积,计算暴雨工况条件下场地可能产生的涌水量;③现场调查暴雨期(最大降雨工况)场地沿岩溶管道发育的落水洞水位变化情况;④了解场地及周边汛期地表水排泄通道、水位高程;⑤了解场地内有无地下水位长观资料,若有应收集近3~5 a观测资料及当地5~10 a降雨量资料,并进行分析对比,绘制长观水位与降雨量关系曲线。

通过上述5个方面的分析调查,其抗浮水位取值可通过以下几个方面进行确定:①利用暴雨期沿岩溶暗河管道发育的落水洞水位高程,确定汛期最高地下水位线及水力比降,采用内插法或比降法计算可确定场地最高地下水位,即抗浮水位;②根据暴雨期落水洞水位,结合现场收集的场地汛期临时排泄基准面水位,按上述方法可确定抗浮水位;③对有地下水位长观资料的场地,可按收集的水位与降雨量资料绘制的长观水位与降雨量关系曲线确定抗浮水位。

(2)基础穿过岩溶暗河管道:当地下建筑物基础穿过了岩溶暗河管道,抗浮水位的取值应从以下几个方面进行分析考虑:①基础穿越地下岩溶管道

后可能对地下排水通道造成堵塞,导致场地地下水位升高,勘察期间应查明场地内有无其它分支型地下岩溶管道及渗流途径;②根据设计提供的基础资料、结合场区岩溶管道分布位置、高程,查明地下建筑物底板基础与暗河管道间相互关系、影响范围;③查明场地可能存在的最低排泄基准面位置、高程及排水能力,结合前述场地暴雨工况条件下可能产生的涌水量,分析场地地下岩溶暗河管道堵塞后可能抬升的最高水位;④与设计单位共同分析暗河管道是否具备引排条件及可能的方案措施。

通过上述分析研究,场地抗浮水位取值可按下列方法确定:①若地下建筑物或基础完全切断了暗河管道,设计方案中无相应的地下水引排措施,抗浮水位应按暴雨工况条件下场地可能抬升的最高水位取值;②地下建筑物或基础虽切断了暗河管道,但设计方案中有针对性强的地下水引排措施,抗浮水位取值应参照前述“暗河管道位于基础底部”综合确定;③地下建筑物或基础虽切断了主要的暗河管道,但其他分支型管道仍具有一定排水能力时,抗浮水位应分析支管道渗流途径及过水能力的基础上在上述两者之间取值。

2.4 地下建筑物位于承压岩溶含水层场地

在城市建设发展过程中,最主要地下建筑如地铁、地下商场、大型地下车库等,底板基础一般埋深10~30 m,其中基础揭穿上部隔水地层,基底置于下部具有承压型岩溶含水层的地下建筑物普遍存在,其水文地质条件较为复杂,本节主要从承压含水层特征、地下水径流条件、勘察方法等方面入手对场地抗浮水位进行研究。

2.4.1 承压型岩溶含水层分布特征

(1)从地层结构上分析,承压型岩溶含水地层是指上下均为具有一定厚度的隔水或弱透水地层、中部为含水性较好的可溶性灰岩、白云岩地层分布区;

(2)从地质构造上分析,承压含水层分布区大多为向斜构造,如向斜槽谷或向斜盆地;

(3)从水文地质特征方面分析,承压水是指地下水充满上下两隔水层之间的可溶岩含水层中、且具有一定水头压力的地下水,如图8所示。

2.4.2 地下水径流特征

在承压型可溶岩含水地层中,地下水主要通过层间结构面、顺层发育的溶洞、溶裂由高势能区沿

向斜核部向低势能区排泄,在可溶性含水层与隔水层接触带常伴有上升型泉水出露,如图8所示。

2.4.3 承压水勘察方法

(1)通过现场地质调查,查明场地及周边泉水类型、流量、位置及分布高程;

(2)在现场勘察过程中,为查明场区承压水位,一般情况下应沿地下水径流方向在场进出口两端、中部位置各布置一个观测钻孔,测定承压水水头压力、水位高程,观测至整个外业工作结束,有条

件的情况下观测一个汛期,查明承压水变化情况。

2.4.4 抗浮水位取值

通过上述现场地质勘察、承压水性状特征分析研究,抗浮水位取值可通过以下方法确定:

(1)通过观测孔测量的承压水水位高程、泉水出露高程,绘制场区、场地水位变化线性关系图;

(2)通过水位变化线性图确定场地抗浮水位变化范围,整体地下建筑物按高值确定抗浮水位;分段地下建筑物区间高值确定。

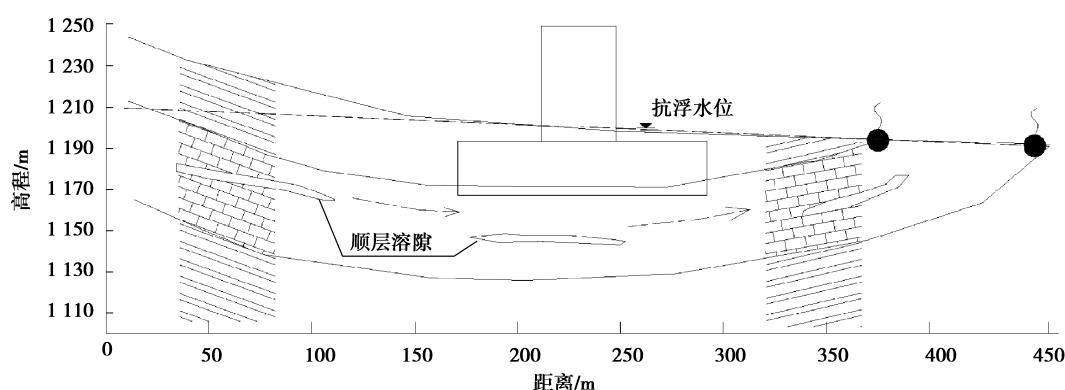


图8 基础位于承压岩溶含水层抗浮水位分析剖面图

Fig. 8 Analysis section of the anti-floating water level of confined karst aquifer

3 结论

(1)岩溶发育深度主要受地下水侵蚀基准面控制,一般情况下地下水径流排泄基准面就是岩溶发育底界面,岩溶发育规模则主要受侵蚀基准面下切速度控制,一般下切速度越慢、水平侧向溶蚀时间长,溶洞发育的空间、规模相对较大;深岩溶主要分布于向斜谷、向斜盆地的承压含水层中,深度主要受含水层埋深控制。

(2)当场地潜水含水层厚度大于地基基础设置深度时,场地的最高地下水位与抗浮水位相同;地下水位低于抗浮水位有两种情况,一是当场区处于四周高、中间低的低洼地带时,二是在承压含水层分布区。

(3)大型岩溶洼地场区抗浮水位取值除了要考虑岩溶发育对地基基础的稳定影响外,对有地下工程分布的建筑物还应重点考虑抗浮影响,这与场区的历史水位、将来环境条件改变后可能存在的最高水位密切相关。

(4)基础下部发育大型空腔溶洞场地抗浮水位的取值需要认真分析溶洞水环境特征;在浅埋型

岩溶暗河管道发育区进行工程建设,其地下建筑物底板基础可能存在置于暗河顶部附近或穿过暗河管道两种情况,两者对抗浮水位取值均有不同程度的影响。

(5)承压含水层场地应通过水位变化线性图确定场地抗浮水位变化范围,整体地下建筑物按高值确定抗浮水位,分段地下建筑物区间高值确定。

参考文献 (References)

- [1] 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. (Yu Lianggang. Analysis on reasonable value for anti-floating design head of the rock foundation pit basement [D]. Qingdao: Qingdao Technologic University, 2013. (in Chinese))
- [2] 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. (in Chinese))
- [3] 刘德龙,武钰华.抗浮水位确定方法的探讨[J].城市

- 地理,2015(24):110-113. (Liu Delong, Wu Yuhua. Discussion on determination method of anti-floating water level [J]. Global City Geography,2015(24):110-113.(in Chinese))
- [4] 张金纯,唐合岗,张晨富.岩溶区漓江河流阶地建筑场地地下水抗浮设防水位的确定[J].山东国土资源,2013,29(10):50-51. (Zhang Jinchun, Tang Hegang, Zhang Chenfu. Determination of anti-floating fortification groundwater level in karst areas in Lijiang River terrace construction site[J]. Land and Resources in Shandong Province,2013,29(10):50-51. (in Chinese))
- [5] 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. (Xu Mengyao. Research on water level for prevention of up-floating of topical station in metro line one of Changchun [D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese))
- [6] 董雪妍,丁坚平,段先前,等.黔中地区岩溶深基坑抗浮水位及涌水量预测[J].贵州大学学报(自然科学版),2017,34(1):119-122. (Dong Xueyan, Ding Jianping, Duan Xianqian, et al. Prediction of anti-floating water level and inflow water content in karst region in middle Guizhou Province [J]. Journal of Guizhou University(Natural Science Edition), 2017,34(1):119-122. (in Chinese))
- [7] 李伟伟,张明义,白晓宇,等.GFRP与钢筋抗浮锚杆承载特性试验研究[J].地下空间与工程学报,2015,11(1):108-114. (Li Weiwei, Zhang Mingyi, Bai Xiaoyu, et al. Experimental research on anchorage performance of GFRP and steel anti-floating anchors [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2015,11(1):108-114. (in Chinese))
- [8] 黄忠辉,季倩倩,林家祥.超大直径泥水平衡盾构隧道抗浮结构试验研究[J].地下空间与工程学报,2010,6(2):250-254. (Huang Zhonghui, Ji Qianqian, Lin Jiaxiang. Experimental study on the anti-uplift of super-large diameter slurry balance shield tunnel structure [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2010,6(2):250-254. (in Chinese))
- [9] 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. (Zheng Weilong. Experimental study on action mechanism of uplift on the underground structure in Beijing [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005. (in Chinese))
- [10] 牛亚强,王旭,蒋代军,等.西宁火车站地下空间抗浮桩抗拔承载力试验研究[J].地下空间与工程学报,2014,10(4):799-803. (Niu Yaqiang, Wang Xu, Jiang Daijun, et al. Study on in-situ test of uplift capacity for anti floating pile in xining railway station underground space [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2014,10(4):799-803. (in Chinese))
- [11] 袁正如.地下工程抗浮设计中的几个问题[J].地下空间与工程学报,2007,3(3):519-521. (Yuan Zhengru. Problems in design of anti-uplift in underground engineering [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2007,3(3):519-521. (in Chinese))
- [12] 蔡洪伟.抗浮锚杆在某工程设计、施工与验收中的应用[J].地下空间与工程学报,2014(增2):1926-1929. (Cai Hongwei. The application of anti-floating bolt in the design, construction and acceptance of a project [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2014(Supp.2):1926-1929. (in Chinese))
- [13] 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. (Zhang Zaiming, Sun Baowei, Xu Hongsheng. Effect of characteristics of ground water distribution and seepage on anti-uplift analysis of building foundations [J]. China Civil Engineering Journal, 2001,34(1):73-78. (in Chinese))