

呈块状、短柱状,岩芯采取率85~95%,岩石质量指标(RQD)为75~90。岩石天然密度 $2.65\sim 2.68\text{g/cm}^3$,饱和单轴抗压强度为 $8.71\sim 99.32\text{MPa}$,平均值为 31.70MPa ,标准值为 27.10MPa ,属于较软岩,软化系数为 0.962 ,为不软化岩石。岩体完整性指数为 0.608 ,岩体较完整,岩体基本质量等级为II级。如下图2



图2 灰岩典型岩芯照片

1.3 岩溶发育及充填特征

本工程勘察时采用钻探和物探相结合的方法,对岩溶的分布规律进行研究。场地覆盖层主要为填土层、黏性土层,碳酸盐岩类覆盖率100%,属覆盖型岩溶。岩溶个体形态主要有溶洞、溶沟溶槽、溶蚀裂隙、溶孔等,本场地内岩溶形态以溶洞为主。根据钻探资料,在车站平面范围内,有16个钻孔揭露有溶洞,揭露典型溶洞有21处,遇洞隙率20.8%,线岩溶率3.3%,判定该场地岩溶发育程度为岩溶中等发育^[1]。溶洞大小、发育深度、充填情况具有明显的空间不均匀性。部分溶洞为空洞,部分充填黏性土或碎石,充填程度不一,这直接影响了岩溶含水介质的渗透性能。

2 地下水特征

2.1 地下水类型

本工程影响范围内的地下水主要为上层滞水和裂隙岩溶水。

(1) 上层滞水:赋存于人工填土层、耕植土中,无统一水位,分布不均匀,水位不连续。

(2) 裂隙岩溶水:赋存于泥盆系的石灰岩中,岩面埋深起伏较大,岩石裂隙发育,渗透性中等,富水性中等,出水量一般为 $15\sim 25\text{t/h}$ 。裂隙岩溶水的水位受基岩裂隙及溶蚀作用的影响,裂隙及溶蚀裂隙弱发育时水位相对较高,反之则相对较低。勘察期间量测的裂隙岩溶水稳定水位埋深 $14.2\sim 22.05\text{m}$,水位标高为 $64.55\sim 72.53\text{m}$ 。

2.2 地下水的补给、径流及排泄

上层滞水的主要补给来源于大气降水及地下管线的垂直渗漏,排泄主要为大气蒸发。裂隙岩溶水的补给来源丰富,可分为垂直渗流补给、线性集中渗流补给、向

心集中渗流补给、外源集中流补给、越流补给等5种类型。大气降雨通过地表覆盖层孔隙及基岩裂隙渗流地下形成垂直渗流补给;通过岩溶沟谷形成地表线性流,再经落水洞渗流形成线性集中渗流补给;通过岩溶洼地等封闭负地形形成向心流,再经落水洞渗流形成向心集中渗流补给;非岩溶区地表线性流入强岩溶区经落水洞渗流形成外源集中流补给;一个岩溶含水层的水通过非可溶岩中断层、裂隙渗流补给另一岩溶含水层形成越流补给。裂隙岩溶水的排泄方式主要为沿岩溶通道向河流以地下径流排泄,本场地总体沿岩溶通道向东北方向向邕江排泄。本工程地下水总体流向为山区向邕江方向^[2]。

3 水文地质参数的获取

3.1 抽水试验

抽水试验的主要层位为泥盆系灰岩层,抽水孔的成孔直径为 $\phi 200\text{mm}$,灰岩段顶部往上设置实管,灰岩段设置滤管,长度 12m ,实管及滤管直径均为 160mm 。在实际应用中,根据介质水力相似性采用等效介质方法,将渗透性相似的孔隙-裂隙-溶隙系统均看作孔隙介质,按承压水非完整井水文地质学原理计算渗透系数。

(1) 承压水稳定流单孔抽水试验

依据《水电水利工程钻孔抽水试验规程》(SL 320-2005),采用吉特尔特公式计算影响半径,采用承压水非完整井渗透系数计算公式。根据抽水试验资料计算,抽水孔灰岩层的渗透系数三次降深结果分别为 13.93m/d 、 10.72m/d 、 10.76m/d ,平均值为 11.80m/d 。

(2) 承压水稳定流多孔抽水试验

依据多孔抽水试验数据,采用裘布依公式计算影响半径,采用相应的渗透系数计算公式。计算得到三次降深的渗透系数分别为 16.43m/d 、 8.40m/d 、 22.27m/d ,平均值为 15.70m/d 。

根据当地经验,碳酸盐岩的渗透性具有不均匀性分布的特征,渗透系数的差异与灰岩的裂隙、岩溶的发育及充填情况关系密切。综合单孔和多孔抽水试验结果,本场地裂隙岩溶水综合渗透系数 k 取两者平均值 13.75m/d 。

(3) 地下水流速流向

利用三点法测定地下水流速及流向,根据绘制的等水位线综合分析,岩溶裂隙水的流向为东偏南 60° 。结合渗透系数 13.75m/d 和水力坡度 0.032 ,计算地下水流速为 0.44m/d 。

3.2 声纳法测定地下水渗透系数及流速流向

现场测量在人工抽水试验完成之后、水位完全恢复到天然渗流场条件下进行,测量地下水渗流场的流速、流向、流量与渗透系数,以可视化成像成果在三维地理

坐标位置展示^[3]。

声纳渗流探测技术利用声波在水中的优异传播特性,实现对水流速度场的测量。如果被测水体存在渗流,则必然在测点产生渗流场,声纳探测器阵列能够精细测量声波在流体中能量传递的大小与分布,依据阵列测量数据的时空分布,显示渗流声源发出的方向。

现场测量成果显示,三个测孔的平均流速分别为 1.38×10^{-4} cm/s、 1.71×10^{-4} cm/s、 1.25×10^{-4} cm/s,渗透系数分别为 4.08×10^{-2} cm/s、 5.06×10^{-2} cm/s、 3.71×10^{-2} cm/s,折算后分别为35.3m/d、43.7m/d、32.0m/d。如下图3

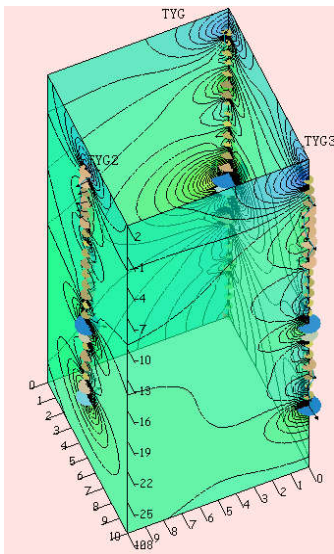


图3 表面流速等值线分布图

3.3 两种方法的对比验证

通过对抽水试验成果和声纳法测定成果进行比对,两种试验测得的流速流向基本一致,平均渗透系数均为一个数量级。抽水试验综合渗透系数为13.75m/d,声纳法测得的渗透系数在32.0~43.7m/d之间,两者存在一定差异,这反映了岩溶介质的高度非均质性——抽水试验反映的是较大范围的等效渗透性,而声纳法反映的是钻孔附近局部渗透性。两种方法相互补充、相互验证,提高了参数获取的可靠性。进一步分析表明,抽水试验获取的渗透系数代表含水层的宏观平均特性,适用于区域地下水场分析和整体涌水量预测;而声纳法能够精细刻画钻孔周围不同深度处的渗流速度分布,可有效识别溶洞、裂隙带等优势渗流通道的位置和强度。两种方法结合使用,既可把握整体又可定位局部,克服了单一方法的局限性^[4]。本工程中,声纳法测得的渗透系数普遍高于抽水试验结果,说明钻孔附近存在局部高渗透带(如溶蚀裂隙或小型溶洞),而抽水试验将其平滑处理为等效均值,二者结合为后续止水帷幕设计和降水方案优化提供了更全面的依据。

4 参数获取方法适用性分析与建议

4.1 不同方法的适用条件

基于本工程实践,三种水文地质参数获取方法各有其适用条件。单孔抽水试验操作简便、成本较低,适用于初步勘察阶段对含水层渗透性的粗略评价,但受井周水力条件影响较大,降深次数和稳定时间需严格把控。多孔抽水试验可获得更可靠的渗透系数和影响半径,适用于详细勘察阶段的关键工点,但需布置观测孔,成本和工期要求较高。声纳法能够精细刻画钻孔周围渗流场的垂向分布,有效识别溶洞、裂隙带等优势通道的位置和强度,适用于需要掌握局部渗流特征的复杂岩溶区段,但该方法反映的是钻孔附近局部渗透性,需结合抽水试验进行宏观校准。

4.2 综合获取策略建议

针对岩溶发育区水文地质参数获取,建议采用“宏观+微观、整体+局部”的综合策略。勘察初期以单孔抽水试验为主,快速掌握区域渗透性大致范围;详勘阶段在关键工点开展多孔抽水试验,获取可靠的等效渗透系数;对于岩溶强烈发育区段,补充声纳法探测,精细刻画局部渗流场特征^[5]。三种方法相互验证、互为补充,可有效提高参数获取的可靠度。本工程实践证明,该综合策略能够为基坑涌水量预测、降水方案设计和止水帷幕选型提供准确的水文地质参数支撑。

结束语

通过对南宁盆地岩溶发育区水文地质参数获取方法的系统研究,得出以下结论:岩溶水属管道流,参数获取需采用综合手段;抽水试验可获得宏观等效渗透系数,声纳法可精细刻画局部渗流场特征,两者结合可有效提高参数可靠性。建议勘察初期以单孔抽水试验为主,详勘阶段开展多孔抽水试验,岩溶强烈发育区段补充声纳法探测。研究成果可为类似地质条件下的水文地质参数获取提供参考。

参考文献

- [1]陈立根.广东省某灰岩矿区岩溶水文地质特征与防治水对策研究[J].四川有色金属,2025(3):37-41.
- [2]贺宏涛.基于岩溶发育特征的某水库坝址区地下水文监测分析[J].水电与新能源,2025,39(8):70-73.
- [3]陈鹏.贵州省董当隧道岩溶区水文地质特征研究[J].资源信息与工程,2022,37(2):23-25.
- [4]李宏飞.岩溶地区水文地质条件勘察的重要性研究[J].西部探矿工程,2022,34(10):9-10.
- [5]李亚津,巫锡勇,蒲大攀,等.西南山区岩溶水文地质结构类型及地下水动力特征分析[J].路基工程,2020,(6):13-18+24.