

关于桩基工程施工中针对岩溶地层分析方法的研究

谭新飞 葛鹏 王凌超 周迪

江苏地质基桩工程公司

摘要：在岩溶地区进行桩基工程施工时往往会遇到地层中含有溶洞等情况，此时需要技术人员预先对工程项目所在地层中的溶洞情况及其产生的影响进行分析，以确保后续施工的正常进行。目前常采用的分析方法存在一些欠缺之处，通过采取有针对性的编程措施，能够有效地改善这些欠缺之处，从而进一步提升效率与准确率，并达到溶洞情况直观化显示的目的，也方便了后续对单桩承载力的验算工作。

关键词：桩基施工；溶洞；编程；承载力验算

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.24.027

在岩溶地区进行桩基工程施工时，为了提升工程综合质量水平，避免后续施工活动中的意外因素，需要对地层中的溶洞情况进行预判分析，目前常采用将桩位坐标信息水平投影至工程勘察报告中的平面图上的方法，虽然可以对后续工作起到一定的参考作用，但是这种传统方式存在一些欠缺之处。现在对欠缺之处进行具体分析。

一、传统方式存在的欠缺之处

(一) 反映的地质信息往往易局限于俯视方向，其他方向的往往信息不足

将桩位点坐标信息水平投影至工程勘察报告中的平面图上，得到的地质信息往往十分平面化（只反映了俯视方向的地质信息），剖面方向的地质信息反映的较少或直观化程度很低，且在遇到溶洞情况复杂、规模较大时，溶洞的厚度值无法批量自动地在平面图上进行原位标注。

(二) 当地质情况复杂时，用时较长，容易出现分析失误

虽然可以手动地对1.1中存在的问题进行解决，但当地质情况较为复杂时，绘制相关分析图的时间较长，且在项目的实际实施中，节奏较快，当分析工作的强度较大时，技术人员容易出现失误。

二、弥补传统方式欠缺之处的思路

要弥补以上欠缺之处，必须从以下两方面来制定解决思路。

(一) 丰富剖面方向的地质信息

为了丰富剖面方向的地质信息，可以将各详勘点位置处溶洞的厚度值标注在分析图上（其示意图如下，其中上下两个椭圆分别代表了溶洞的俯视图和剖面图，A、B、C、D四个点代表落在溶洞中的四个详勘点，详勘点旁边的数值代表溶洞的厚度，如A点旁的0.9代表A

点处的溶洞厚度为0.9m，其他点，以此类推），用以分析桩位周边的溶洞情况。

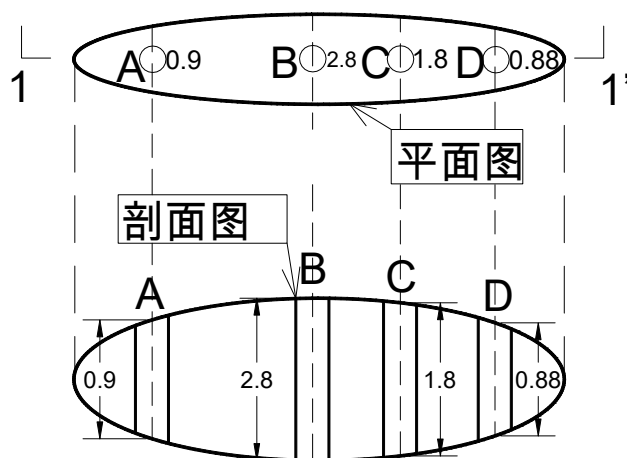


图1 溶洞厚度标注示意图

(二) 缩短绘制分析图的用时

在实际操作中，技术人员面对的地质情况分析总量是一定的，要缩短这方面的用时，必须将这部分工作往自动化、批量化方面靠拢，因为目前的地质信息常存储于在Excel表格中，故可运用与Excel表格交互程度较高的visual basic语言进行编程（可增强Excel表格的智能化程度），以制作批量化处理数据的程序来节约用时。同时为了提高数据的直观性，计划以色阶的不同来表示数值的大小。

三、根据制定的思路进行实施

(一) 在Excel中存储各详勘点处的溶洞厚度值等参数信息

首先建立一个工作簿，接着建立若干个工作表用以存放“各详勘点处的溶洞厚度值”或“桩位点的参数”（此参数可以是桩的任意值，本例中为了方便演示统一设为0.1），让这部分工作表的L15单元格位置显示“各详勘点处的溶洞厚度值”或“桩位点的参数值”，再专门建立两个工作表（名为“坐标点信息”和“平面图”）用于存放“各详勘点、桩位点的坐标信息列表及对应的参数值”以及“桩位与溶洞情况示意图”。本例中四个详勘点和三个桩位点的平面坐标分别为：A（5，5）、B（10，5）、C（13，5）、D（16，5）、Z1（13，6）、Z2（7，3）、Z3（16，9），为了方便演示，此时暂不考虑每个点位所在圆的直径等因素。与此同时，“平面图”工作表需要提前建立好“横、纵坐标系”（即在此工作表的第二行的第一列输入所有详勘点

以及桩位点纵坐标数值中的“最大值”并手动开始向下递减以建立纵坐标轴；在第一行的B列输入所有详勘点以及桩位点横坐标数值中的“最小值”并手动开始向右递增以建立横坐标轴，如图3所示）。

(二) 将各详勘点处的溶洞厚度值等参数批量自动呈现在 Excel 表格中

至此，开始使用visual basic语言进行编程，先根据目标功能建立用于采集参数的窗体。本程序的功能为：首先将各详勘点处的溶洞厚度值（以及桩位点的参数值）批量自动汇总到“坐标点信息”工作表中的F列，最终形成含“各详勘点号/桩位点号、坐标信息、各详勘点处的溶洞厚度值/桩位点参数值”的明细表，然后通过运行程序形成最后的平面信息图。平面图预期的显示效果为：各详勘点以及桩位点按照其坐标信息自动分布在“平面图”工作表中（为了保证有效信息的优先显示，无点位的空单元格，自动缩小，以防过多地占用幅面），并在对应的坐标点位置以“点号”加“此处溶洞厚度值/参数值”的形式来显示（例如“B加2.8”代表“B详勘点处溶洞厚度值为2.8m”）。同时把溶洞各处的厚度值按照大小以色阶的形式显示出来，因图 1 中详勘点较少，为了增加显示效果的直观性，故进行如下设置：若厚度值大于0.5m，小于等于1m，则色阶的显示范围为淡蓝色到黑色（即厚度值越小，显示的颜色越接近于淡蓝色，厚度值越大，显示的颜色越接近于黑色）；当厚度值大于1m，小于等于3m时，则色阶的显示范围为淡黄色到红色（即厚度值越小，显示的颜色越接近于淡黄色，厚度值越大则颜色越趋近于于纯红色）。同时桩位点在“平面图”工作表中显示的时候，为了方便与详勘点加以区分，进行如下设置：若参数值大于0m，小于等于0.5m，则色阶的显示范围为绿色到淡绿色（即厚度值越小，显示的颜色越接近于绿色，厚度值越大，显示的颜色越接近于淡绿色，桩位点的参数值在本例中，暂不用以色阶的形式展示，上文中提到所有桩位点的参数值取值均为0.1，故最终的“平面图”工作表中所有的桩位点均会以接近于纯绿色的颜色来显示）。综上所述，窗体的最终设置情况如下图所示（其中的“按权重模式标色”代表数值在按照色阶显示时，先用数值减去“色阶区间的最小值”后的值再除以“色阶区间的最大值与最小值的差值”，最终得到一个百分比，再用这个百分比乘以“色阶中两端颜色RGB值的差值”，即根据百分比来确定最终要显示的颜色，百分比越小，越接近于某区中色阶的“下限色”，百分比越高，越接近于某区中色阶的“上限色”，此种方式可以很好地将不同厚度处的详勘点加以区分，当需要根据某项参数的排序情况来显示颜色时，可选择“按排位模式标色”）。

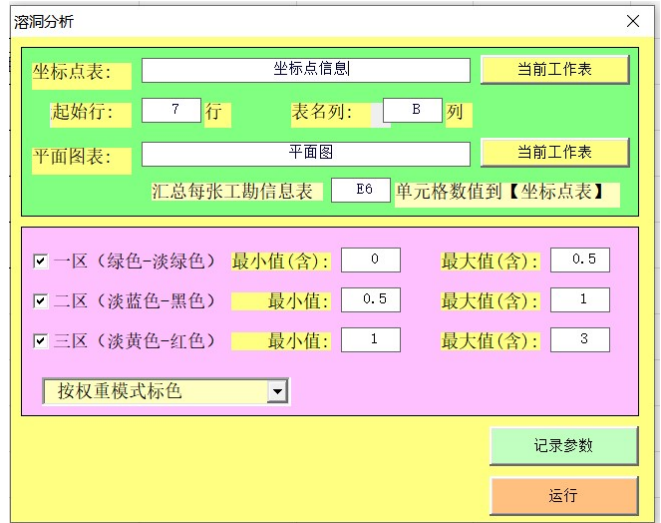


图 2 溶洞分析窗体的最终设置情况图

程序运行后，最终的效果如下图所示（绿色单元格均为桩位）。从图中可以很直观地看出：在桩基工程施工中，哪些桩位是位于较厚的溶洞附近的，从而在施工这些桩时，提前做好相应的准备并给予足够的重视。在实际项目中，因详勘点和桩位点是以一个圆的形式存在的，若单纯以点的方式在平面图中呈现，会对分析精度有一定的影响（本例仅是为了方便演示，而暂不考虑这点）。为了增加分析精度，在第一次运行完程序后，就可以将“所有离较厚溶洞的桩位”的范围缩小，此时可以在桩位点和详勘点的圆上取多个子坐标点，将这些新点位再次交由程序形成一张新的平面图后，即可更加精准地表达出桩位与溶洞之间多维度的位置关系。因为是程序自动执行，节省了大量的分析时间，与此同时也避免了人工绘图分析时容易产生的失误，故在提高效率的同时也提高了准确率。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	横坐标		5 6		7 8 9		10 11 12			13 14 15			16;
2	纵坐标	10											
3		9										Z3加0.1	
4		8											
5		7											
6		6								Z1加0.1			
7		5	A加0.9				B加2.8			C加1.8			D加0.88
8		4											
9		3					Z2加0.1						

图 3 桩位与溶洞相对位置分析图

(三) 对溶洞影响范围内的单桩承载力标准值进行计算

因为溶洞的出现可能会对桩的承载力产生一定的影响，所以在容易找出受溶洞影响的所有桩位后，保险起见，需要对这些桩的承载力标准值进行预先计算，常用的计算方法如下：①确定所有需要进行承载力标准值计算的桩位。②若工程项目在工程勘察时并非采取“一孔一勘”的做法，则需要根据桩位附近合适的详勘

点来对桩位处的各种地层厚度 (l_i) 情况进行估算。为了方便演示, 下面以江苏某一项目举例来进行说明: 通过程序自动分析发现某根受溶洞影响的桩位, 再根据工程勘察报告分析出此位置的桩身段地层依次为: 1-2素填土层 (6.27m)、4粉质黏土层 (12.45m)、4-1粉土层 (4.71m)、5-1粉质黏土层 (9.59m)、10中风化石灰岩层 [3.9m (其中穿过2.21m的溶洞)], 其剖面示意图如下图所示。③根据工程勘察报告来确定各个地层的“极限侧阻力标准值 q_{sik} ”, 本例中的“极限侧阻力标准值 q_{sik} ”依次为: 1-2素填土层 (不计)、4粉质黏土层 (52kPa)、4-1粉土层 (43kPa)、5-1粉质黏土层 (54kPa)。④根据工程勘察报告来确定桩端持力层的“岩石饱和单轴抗压强度标准值 f_{rk} ”: 本例中“10中风化石灰岩层”的“岩石饱和单轴抗压强度标准值 f_{rk} ”为23Mpa。⑤计算桩身周长: 此项目中桩的直径为600mm, 则其周长为: $3.14 \times 0.6 = 1.884\text{m}$ 。⑥将以上参数代入“单桩竖向极限承载力标准值”的公式: $Q_{uk} = Q_{sk}$ (土的总极限侧阻力) + Q_{rk} (嵌岩段总极限阻力) = $u \sum q_{sik} l_i + \zeta_r f_{rk} A_p$ (其中 u 代表桩身的周长, A_p 代表桩端面积, ζ_r 代表“嵌岩段侧阻和端阻综合系数”), 则此桩的“单桩竖向极限承载力标准值”为: $(3.14 \times 0.6) \times (52 \times 12.45 + 43 \times 4.71 + 54 \times 9.59) + 0.88 \times 23 \times 1000 \times 3.14 \times 0.3 \times 0.3 = 8296.74\text{kN}$, 其中关于 ζ_r 的取值依据相关规范 (即《建筑桩基技术规范JGJ

94-2008》) 的要求而定 (规范中的表5.3.9规定当 h_r (桩身嵌岩深度)/ d (桩的直径) = $0.6/0.6 = 1$ 时, ζ_r 的取值为0.81至0.95, 当岩体为极软岩、软岩时取0.95, 当岩体为较硬岩、坚硬岩时取0.81, 若岩体的 f_{rk} 小于等于15Mpa则为极软岩、软岩, 若岩体的 f_{rk} 大于30Mpa则为较硬岩、坚硬岩, 本例中的 $f_{rk} = 23\text{Mpa}$, 则根据线性插值的方法可知: $\zeta_r = 0.95 - (23 - 15) \times [(0.95 - 0.81) / (30 - 15)] = 0.88$ 。同时易得单桩竖向极限承载力特征值为: $8296.74 \times 0.5 = 4148.37\text{kN}$, 其大于2500kN (此值为本项目的设计单桩抗压承载力特征值), 至此, 此根受溶洞影响的桩的单桩竖向极限承载力特征值, 满足要求。

四、结语

为了提升对地层中的溶洞情况进行预判分析的效果, 通过在传统方法的基础上一定的编程工作, 可快速形成“桩位与溶洞相对位置分析图”, 既丰富了剖面方向的地质信息, 也缩短了绘制分析图的用时。使得桩基工程施工中桩位与溶洞关系分析工作的直观化程度有了一定程度的提升, 同时可快速找出受溶洞影响较大的桩, 并对其单桩承载力进行验算, 相较于用传统方式而言, 其准确率也有了强力的保障。

参考文献

[1] 张泽平、刘光华、丁武保.《岩溶工程地质勘察技术研究》[M]. 黑龙江省哈尔滨市: 哈尔滨出版社, 2023. 01.

[2] 裴鹏飞、邹县芳等.《Excel VBA实战应用一本通》[M]. 北京市: 机械工业出版社, 2023. 01.

[3] 刘炎火.《Visual Basic程序设计职业技能训练》[M]. 北京市: 北京理工大学出版社有限责任公司, 2023. 08. 01.

[4] 段新胜、顾湘、魏光琼.《桩基础工程》[M]. 湖北省武汉市: 中国地质大学出版社, 2023. 02. 28.

[5] 胡励耘, 赵建, 谭本兴.《地质勘察与岩土工程》[M]. 吉林省长春市: 吉林科学技术出版社, 2023. 05.

[6] 中华人民共和国建设部.《建筑桩基技术规范JGJ 94-2008》[M]. 北京市: 中国建筑工业出版社, 2008. 10. 01.

[7] 住房和城乡建设部.《岩溶地区建筑地基基础技术标准GB/T 51238-2018》[M]. 北京市: 中国计划出版社, 2018. 11. 01.

作者简介: 谭新飞, 1987.06, 男, 汉族, 籍贯: 江苏镇江, 最高学位: 硕士, 职务职称: 项目经理、工程师, 主要研究方向: 岩土工程、工程管理, 主要从事工作: 岩土工程施工及管理。

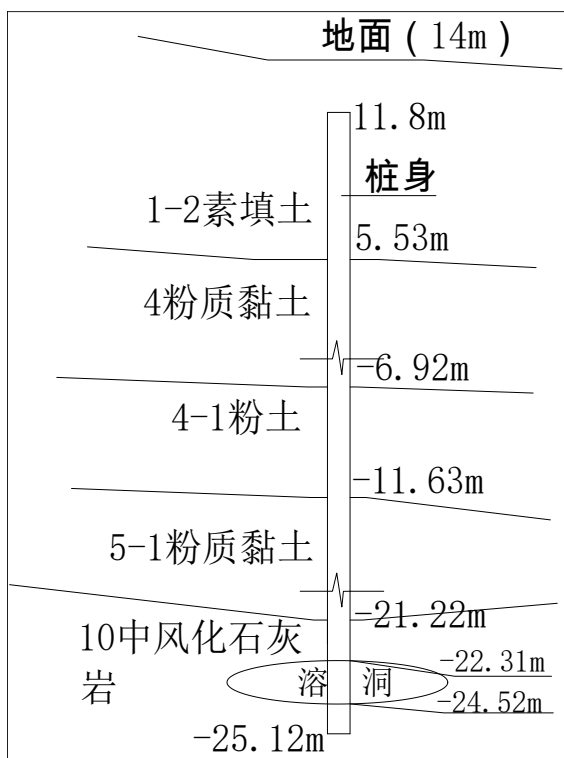


图4 桩身段地层情况示意图
(图中数字为相应部位的绝对高程)