

覆盖型岩溶塌陷临空面形态特征及计算方法研究

Research on the Morphological Characteristics and Calculation Method of Free Surface of Overburden Karst Collapse

符锋毅¹ 吴迪¹ 李艾文¹ 吴建建¹
Fengyi Fu¹ Di Wu¹ Aiwen Li¹ Jianjian Wu¹

(1. 桂林电子科技大学建筑与交通工程学院, 广西 桂林 541004)

(1. School of Architecture and Transportation Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China)

摘要: 近年来, 岩溶区塌陷事故致灾严重。采用跨越法治理覆盖层塌陷时, 塌陷临空面形态特征的不确定, 导致塌陷宽度及范围无法得到准确计算, 从而无法开展有针对性的治理方案设计。因此, 如何确定塌陷临空面的形态特征及建立相应的计算方法成为跨越法治理覆盖型岩溶塌陷的关键性设计问题。本文通过建立水力条件下的覆盖型岩溶塌陷概化模型, 结合模型试验及数值模拟对岩溶塌陷临空面形态特征进行分析, 并基于相关力学理论探讨临空面形态计算方法。研究成果为塌陷抢险治灾提供可靠的临空面信息, 对工程上的治灾方案提供理论指导。本文的研究工作及主要结果如下:

(1) 分析水力作用下的岩溶塌陷临空面形成机理可知, 水是塌陷的主要诱发因素。在外界作用下, 土洞壁不断剥落, 导致土洞临空面从初始土洞开始逐级扩展, 最终形成具有地表开口的塌陷临空面。

(2) 本文采用自主设计的装置进行了覆盖型岩溶塌陷试验。通过对塌陷坑采用“充填发泡胶-拍照建模-Matlab 数据处理”的方式, 实现了塌陷临空面的数字化建模。分析临空面形态可知, 覆盖层初始含水率对形态的影响最大, 能决定盖层是否塌陷并形成不同的形态; 覆盖层水位高度直接决定塌陷体坛身位置; 覆盖层厚度主要通过改变厚跨比而改变水位线上部临空面曲率; 而岩溶洞口因素一般对临空面形态影响不大。分析临空面形成过程中的水力作用可知, 塌陷临空面形成机理为潜蚀-气压吸蚀/冲爆-渗流效应的复合作用, 但水位波动对坛形和类直筒形两种临空面形成过程的影响在于过程中气压作用与潜蚀作用的占比不同。通过拟合曲线可知, 类直筒形临空面采用一次函数时拟合效果更好, 而坛形塌陷临空面拟合用二次函数和对数螺旋线更适合。

(3) 运用 Plaxis3D 进行了数值模拟, 由此发现在塌陷时的位移云图中, 临空面形成过程主要表现为土洞拱脚以“椭圆形”的拱圈逐级向上扩展直至地表的形式。在基于 30mm 位移等值线绘出的二维数值塌陷临空面形态中, 已塌组别的数值临空面主要呈坛形, 小部分呈直筒形。相较于试验临空面, 数值临空面的规模更小, 但在覆盖层含水率等四种因素对塌陷临空面的影响规律方面, 与前者相同。

(4) 在形态计算方法方面, 基于改进的芬纳公式确定水位处坛身尺寸, 得出用于描述类直筒塌陷临空面的一次函数式; 同时结合弹塑性及极限平衡理论, 借助坛身尺寸值, 得出用于描述水位线上部坛形临空面的二次函数或对数螺旋线计算式; 三种式子适当组合即可表征全临空面。此外, 将本文临空面表达式结合已有的加筋跨越法治理塌陷设计方法, 获得任意埋深下的材料锚固长度, 为实际治灾工程提供理论指导。

关键词: 覆盖型岩溶塌陷; 临空面; 形态特征; 水力致塌; 跨越法