

# 浅析桥梁桩基施工中的溶洞影响及对策研究

单石亮<sup>1</sup> 吴伟弘<sup>1</sup> 曾振华<sup>2</sup>

1. 湖南中大检测技术集团有限公司; 2. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司

**摘要:** 岩溶地区的桥梁桩基施工是至关重要的一个环节, 要想确保工程的整体质量, 需不断完善和优化桩基础的设计方案和施工技术。通过分析岩溶地区桥梁桩基础施工过程中的问题, 提出相应的措施来解决问题。

**关键词:** 岩溶特性; 桩基承载力; 填充物; 冲孔

## 前言

我国地貌多样, 具有广泛的岩溶地质, 由于部分道路工程选线不可避免地要穿越岩溶地区。岩溶区的桩基础, 施工过程中存在塌孔、埋钻、漏浆等风险。溶洞的存在, 也可能造成桩基承载力不足, 从而引起桥梁结构的破坏。因此, 对于岩溶发育地区的桥梁基础, 在地基持力层承载力的确认、施工过程中保证基础工程质量的措施, 是非常有必要的。

## 一、桥梁桩基设计

对于大跨径桥梁, 为满足较大承载力和横向稳定性要求, 要求各桩受力均衡, 一般设计要求桩底须在同一岩层上, 桩底需嵌入微风化基岩一定的深度。当溶洞分布较浅, 无法满足嵌岩桩的要求, 桩基需穿过溶洞群时, 可按摩擦桩计算桩基长度<sup>[1]</sup>。此时, 假定桩身混凝土与岩石完好接触, 并根据岩石的抗剪强度, 推算出岩石的极限摩阻力, 且不计桩端抗力的作用。

对于岩溶地区的桥梁桩基础, 一般认为应尽量穿过上部岩溶发育带和溶洞层, 选择溶洞下部微风化基岩作为桩端持力层, 即采用“见洞就穿”原则。笔者认为, 在基桩的竖向应力作用下, 节理裂隙间的岩体、岩块相互嵌挤, 会产生不同方向的分力, 从而达到新的平衡状态。进行桩基设计时应利用基岩的稳定条件, 保持其应力平衡状态, 桩尖不必硬性穿越溶洞<sup>[2]</sup>。

假设一桩基的顶部竖向荷载为5000kN, 下覆土层厚度为4m, 若不计强风化和破碎带厚度, 桩建立在微风化石灰岩上, 取其 $f_{ak}=2.5\text{MPa}$ , 土层为均质且侧摩阻力极限值 $q_{sk}=60\text{kPa}$ , 以1.5m直径的嵌岩桩为例, 分有无岩溶情况进行计算。

①无岩溶: 按嵌岩段0.5m计算, 单桩轴向受压承载力容许值 $[R_a]$ 可按下式计算:

$$[R_a] = c_1 A_p f_{rk} + u \sum_{i=1}^m c_{2i} h_i f_{rki} + 0.5 \zeta_s u \sum_{i=1}^n l_i q_{ik}$$

其中, 端阻发挥系数 $C_1=0.43$ , 岩石侧阻发挥系数 $C_2=0.0425$ , 土层侧阻发挥系数 $\zeta_s=0.5$ 。桩端面积 $A_p = \pi d^2 / 4 = 1.7663\text{m}^2$ , 桩周长 $u = \pi d = 4.71\text{m}$ 。可得出:

$$[R_a] = 0.43 \times 1.7663 \times 2500 + 4.71 \times 0.0425 \times 0.5 \times 2500 + 0.5 \times 0.5 \times 4.71 \times 4 \times 5000 = 30409\text{kN}$$

所得单桩承载力特征值为 $0.5[R_a]=15205\text{kN}$ , 其值远大于桩端竖向荷载5000kN, 有3倍以上的承载力安全储备。

②有岩溶: 若在溶洞顶板上建立桩基, 则应当计算顶板稳定性, 但参考无岩溶的计算中, 单桩承载力特征值绝大部分取决于岩石的饱和单轴压缩强度 $f_{ak}$ , 即只要石灰岩没有因溶洞丧失强度超过60%, 那么该桩的单桩承载力特征值在理论上仍可被视为安全值。

若经分析溶洞顶板抗压强度已无法满足设计要求, 应做成摩擦桩, 现以长度为60m的摩擦桩为例, 设溶洞顶板以下仍存在数层岩层, 总计厚度为4m, 所有溶洞由黏土全充填, 摩阻力极限值 $q_{ik}=60\text{kPa}$ , 桩端土层承载力基本容许值 $[f_{ak}]$ 取240kPa。根据式:

$$[R_a] = 0.5u \sum_{i=1}^n q_{ik} l_i + A_p q_r$$

$$q_r = m_0 \lambda \{ [f_{ak}] + k_2 \gamma_2 (h-3) \}$$

根据规范估测取得相关参数的值: 清底系数 $m_0=0.85$ ; 修正系数 $\lambda=0.72$ ; 容许承载力修正系数 $k_2=2.0$ 。

$$q_r = 0.85 \times 0.72 \times [240 + 2.0 \times 1.2 \times (60-3)] = 230.6\text{kPa}$$

$$[R_a] = 0.5 \times 4.71 \times (60 \times 50 + 10 \times 200) + 1.7663 \times 230.6 = 12182\text{kN}$$

则单桩承载力特征值为 $0.5[R_a]=6091\text{kN}$ , 仍可满足承载需求, 但与无溶洞的情况相差甚远。而由此可推测出, 若使得摩擦桩的承载力刚好满足需求, 其桩长应为60~65m, 若击穿溶洞顶板后仍找不到可靠的持力层, 可以做成摩擦桩。

## 二、不同岩溶类型的处理措施

不同类型溶洞有泥浆护壁方法、向孔内抛填片石、回填素混凝土等不同施工工艺<sup>[3]</sup>。

### (一) 穿越溶洞填充物

桩基冲孔过程中, 将对溶洞中的填充物有冲击作用, 使这些可塑性的填充料发生变化, 易造成泥浆流失甚至有塌孔的危险。因此, 应采取有效的措施确保安全通过溶洞。进行造壁处理, 然后在钻孔中倒入黏土、片石等, 再灌注混凝土, 形成人工填充物护壁, 随后, 通过冲孔、回填和再冲孔的反复操作, 形成桩孔。

### (二) 穿越溶洞空穴

如果溶洞缺少良好的填筑材料, 会给后期的施工带来困难。在冲孔过程中, 当接近顶板岩层时, 泥浆可能会渗漏, 使得泥浆循环流动困难。在这种情况下, 需将混凝土和黏土混合作为填充材料, 及时注入孔中形成固体填充, 再进行冲孔工作。同时, 以填充料作为护壁, 可以防止泥浆流失, 确保冲孔能顺利开展。如果溶洞内没有任何填充料, 只有岩溶顶部的软层土质, 则孔壁容易坍塌; 此时, 必须采用护筒护壁的保护方法用于冲孔施工。冲孔时, 在冲掉岩溶顶层后, 再把岩溶底部的岩层冲平, 在孔中岩溶底部的周围填入高于1米的黏土, 并将护筒插入黏土中, 以确保护筒不会漏泥浆, 在泥浆能顺利循环后继续冲孔。

### (三) 穿越溶洞顶板

当钻孔靠近顶板时, 钻头易发生摆动, 对护筒和孔壁有冲击作用。在冲孔过程中, 当离溶洞顶部小于1.5m时, 钻头容易发生钻卡事故。遇到溶洞在钻头穿过顶板底时, 无论泥浆是否渗漏, 均应向钻孔一定量的1:1片石、黏土混合物, 然后用小冲程钻头冲击混合填料, 使填充料进入裂隙和溶洞空隙内, 如此反复至溶洞顶部被击穿。

## 结语

1) 在岩溶地区修建的桥梁工程, 由于岩溶和岩溶裂隙的发育, 地质条件极其复杂, 施工前应进行详细的地质勘查, 应详细了解岩溶的发育情况, 针对不同地质条件, 采用泥浆护壁方法、向孔内抛填片石、回填素混凝土等不同施工工艺来解决施工中的问题。2) 目前基桩的设计, 一般过于保守, 基桩设计的长短、嵌岩深度都按经验取值。工程实施时要根据工程实际地质情况及时调整设计参数, 实行动态设计, 当嵌岩有困难时, 可遵循摩擦桩的设计原则, 避免产生巨大的浪费。地质报告提供的桩侧摩阻力系数为经验值, 建议通过试桩, 获得较为准确的桩侧摩阻力。

## 参考文献

- [1] 张建新. 岩溶地区桥梁桩基础设计与施工-[J]. 桥梁隧道, 2013(2).
- [2] 朱方睿. 江西岩溶地区桥梁桩基承载性能数值分析研究[D]. 南昌大学, 2015.