

# 基于ANSYS的岩溶地区桥梁桩底持力层厚度分析

李 炼

(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510000)

**摘 要:**在岩溶发育地区桥梁设计和施工过程中,经常遇到端承桩桩端持力层厚度不足的问题。目前交通部有关规范及各个地方标准中,有对桩端持力层厚度进行相应要求,但并无统一标准,同时也没有给出持力层厚度计算的有效方法。通过实际的工程案例,对桩端持力层厚度与溶洞跨度以及桩基入岩深度之间的关系进行分析,为以后类似工程有关桩底持力层厚度的判定提供一些思路和借鉴。

**关键词:**岩溶地区;桩端;持力层;应力;位移

**中图分类号:** U443.15

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2022)12-0105-03

## 0 引 言

在广东西北部地区进行桥梁建设时,经常会碰到岩溶发育地段。岩溶作为一种十分不良的地质情况,给桥梁工程设计和施工带来了极大困扰<sup>[1]</sup>。目前,为了探明桩底岩溶分布情况,在进行勘察时,一般按照“一桩一孔”或“一桩多孔”的原则进行。可是对于很多大直径桩基,按照一桩多孔,在后续施工完抽芯验桩时,经常出现桩底有孔洞,或者持力层厚度不满足要求的情况。如何采用安全、经济、合理的桩基设计形式,如何合理地确定桩端持力层的厚度,在目前实际桥梁设计和施工中是普遍关注的问题<sup>[2]</sup>。

## 1 工程概况

某项目位于广州市白云区,属于城市次干路,包含一座跨铁路高架桥、三座跨河涌中小桥。跨线桥和跨河涌中小桥上部结构均采用预制小箱梁结构,下部结构均采用桩基础。

根据前期勘察资料来看,该区域岩溶发育,内见洞率约45%,属于岩溶强发育地段。部分地段还存在串珠溶洞,各类溶洞规模不一,形态各异,分布杂乱。同时由于沿线土体覆盖层较浅,很多桩基不具备做摩擦桩的条件,需要按照端承桩设计。故进行桩基设计时,在参照规范要求的基础上,采用ANSYS有限元的方法,分析桩端持力层厚度与溶洞跨径、嵌岩深度之间的关系,对桩基设计具有一定的指导意义。

## 2 计算建模

### 2.1 桩土作用建模

采用ANSYS建立桩基和土体以及岩体的三维有限元模型。

ANSYS建模时,土体和岩体的本构采用Drucker-Prager屈服准则(简称“DP准则”)。DP准则的屈服面不随材料的屈服而改变。该准则的屈服强度随着侧限压力的增加而增加<sup>[3]</sup>。

土体与混凝土结构共同作用时,一般采用接触单元来模拟界面之间的变形协调。建模时,土体和桩基均采用solid45实体单元,接触面单元采用CONTA173,目标面单元采用TARGE170单元<sup>[4-5]</sup>。

本次计算以跨河涌桥为例,选取其中 $\phi 1.2$  m桩径的桩基。建模计算时,由于桩基本身受力基本上是竖向力,水平力和弯矩都很小,故根据对称性取1/4模型进行分析。土体尽可能选取一定范围内大的土体,本次土体平面尺寸选取8 m $\times$ 8 m。同时由于河涌桥桩基岩层覆盖较浅,大部分桩基穿过3~4 m淤泥软弱层覆盖层后就进入到岩层,故在岩土层模拟时,不考虑软弱层参与作用,仅模拟岩层参与受力。桩土相互作用有限元模型如图1所示。

### 2.2 计算参数选取

#### (1)边界条件

a. 桩基与土体之间采用接触单元连接。

b. 土体底面和外侧面采用全约束,土体内侧面采用镜像约束。

#### (2)桩基参数选择

a. 桩顶竖向力2 000 kN,按照面荷载施加在桩基

收稿日期: 2022-03-23

作者简介: 李炼(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

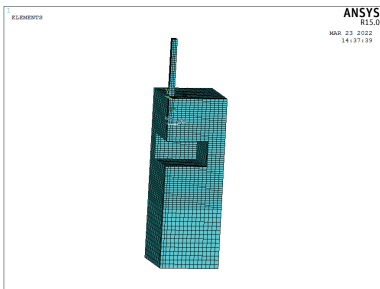


图 1 1/4 模型网格划分图

顶部。

b. 桩基自身参数,C30 混凝土,弹性模量 31.5 GPa,容重 25 kN/m<sup>3</sup>。

(3)土体的黏聚力和内摩擦角

土体黏聚力和内摩擦角按照勘察报告中选取(见表 1)。

| 表 1 土体参数 |       |           |      |                                        |                |                      |
|----------|-------|-----------|------|----------------------------------------|----------------|----------------------|
| 编号       | 土层名称  | 压缩模量 /MPa | 泊松比  | $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$ | $c/\text{kPa}$ | $\varphi/(^{\circ})$ |
| 5        | 强风化灰岩 | 10        | 0.35 | 20                                     | 24             | 20.5                 |
| 6        | 中风化灰岩 | 100       | 0.35 | 21                                     | 35             | 30                   |

(4)桩基与土体之间侧摩擦系数

由于是端承桩,主要靠端承力和嵌岩段的摩擦力发挥作用,桩基与岩层之间侧摩阻系数按照 0.4 取<sup>[6]</sup>。

2.3 计算工况

为了分析桩基持力层厚度、持力层溶洞顶板跨径及桩基入岩深度之间的关系,分析时按照以下 3 个工况来进行:

- (1)工况 1 :嵌岩深度一定、溶洞顶板厚度一定,持力层溶洞顶板随跨径变化的应力和变形分析。
- (2)工况 2 :溶洞顶板跨径一定、溶洞顶板厚度一定,持力层溶洞顶板随嵌岩深度变化的应力和变形分析。
- (3)工况 3 :嵌岩深度一定、溶洞顶板跨径一定,持力层溶洞顶板随自身厚度变化的应力和变形分析。

3 分析结果

在桩顶力作用下,桩基和岩体共同作用,产生变形和应力。

由图 2、图 3、图 4 可知,岩体层变形主要发生在桩底与岩体接触处。第一主应力最大发生在桩底周边,是由桩与岩体之间侧摩阻力而产生的。第三主应力最大值发生在桩底,是由桩底的直接轴向力而导致的。下面针对工况 1~3,将岩体竖向变形和应力进行汇总比较分析。

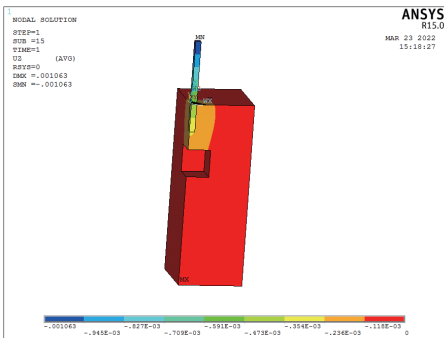


图 2 桩土作用岩体竖向变形云图(单位:m)

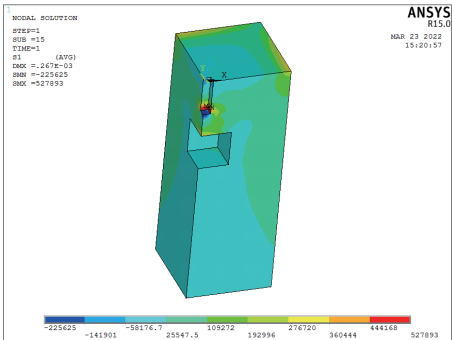


图 3 桩土作用岩体第一主应力(主拉应力)云图(单位:Pa)

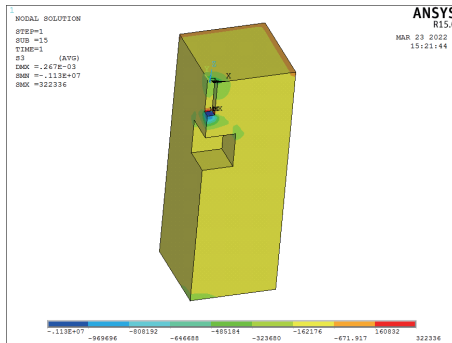


图 4 桩土作用岩体第三主应力(主压应力)云图(单位:Pa)

3.1 工况 1

工况 1 时,不同持力层顶板跨径下,岩体位移和应力见表 2。

| 表 2 岩体应力变形随溶洞跨径变化 |           |           |         |                                |                 |                 |
|-------------------|-----------|-----------|---------|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| 编号                | 桩基嵌岩深度 /m | 溶洞顶板厚度 /m | 溶洞跨径 /m | U <sub>z</sub> -持力层顶土体竖向位移 /mm | S1-土体第一主应力 /MPa | S3-土体第三主应力 /MPa |
| 1                 | 3         | 2         | 5       | -0.267                         | 0.53            | -1.13           |
| 2                 | 3         | 2         | 6       | -0.276                         | 0.53            | -1.11           |
| 3                 | 3         | 2         | 7       | -0.286                         | 0.53            | -1.1            |
| 4                 | 3         | 2         | 8       | -0.296                         | 0.53            | -1.09           |
| 5                 | 3         | 2         | 9       | -0.307                         | 0.53            | -1.08           |
| 6                 | 3         | 2         | 10      | -0.318                         | 0.53            | -1.07           |

注:位移负表示往下,应力正表示拉应力,负表示压应力。

由表 2 可以看出:

- (1)溶洞顶板岩体变形随着溶洞跨径的增大而增大,基本上呈线性趋势。

(2) 溶洞顶板岩体的第三主应力(主压应力)随着跨径的增大而减小。

(3) 溶洞顶板岩体的第一主应力(主拉应力)未见明显变化。

3.2 工况 2

工况 2 时,不同嵌岩深度下,岩体体位移和应力见表 3。

| 表 3 岩体应力变形随嵌岩深度变化 |           |           |         |                    |                  |                  |
|-------------------|-----------|-----------|---------|--------------------|------------------|------------------|
| 编号                | 桩基嵌岩深度 /m | 溶洞顶板厚度 /m | 溶洞跨径 /m | Uz- 持力层顶土体竖向位移 /mm | S1- 土体第一主应力 /MPa | S3- 土体第三主应力 /MPa |
| 1                 | 3         | 2         | 10      | -0.318             | 0.53             | -1.07            |
| 2                 | 4         | 2         | 10      | -0.288             | 0.53             | -1.04            |
| 3                 | 5         | 2         | 10      | -0.269             | 0.53             | -1.01            |
| 4                 | 6         | 2         | 10      | -0.255             | 0.53             | -0.969           |
| 5                 | 7         | 2         | 10      | -0.243             | 0.53             | -0.932           |
| 6                 | 8         | 2         | 10      | -0.235             | 0.53             | -0.897           |

注:位移负表示往下,应力正表示拉应力,负表示压应力。

由表 3 可以看出:

(1) 溶洞顶板岩体变形随着嵌岩深度的增大而减小,但减小幅度越来越小。

(2) 溶洞顶板岩体的第三主应力(主压应力)随着嵌岩深度的增大而减小。

(3) 溶洞顶板岩体的第一主应力(主拉应力)未见明显变化。

3.3 工况 3

工况 3 时,不同溶洞顶板厚度下,岩体位移和应力见表 4。

| 表 4 岩体应力变形随溶洞顶板厚度变化 |           |           |         |                    |                  |                  |
|---------------------|-----------|-----------|---------|--------------------|------------------|------------------|
| 编号                  | 桩基嵌岩深度 /m | 溶洞顶板厚度 /m | 溶洞跨径 /m | Uz- 持力层顶土体竖向位移 /mm | S1- 土体第一主应力 /MPa | S3- 土体第三主应力 /MPa |
| 1                   | 3         | 2         | 10      | -0.318             | 0.53             | -1.07            |
| 2                   | 3         | 3         | 10      | -0.283             | 0.523            | -1.13            |
| 3                   | 3         | 4         | 10      | -0.266             | 0.519            | -1.16            |
| 4                   | 3         | 5         | 10      | -0.256             | 0.518            | -1.18            |
| 5                   | 3         | 6         | 10      | -0.25              | 0.517            | -1.2             |
| 6                   | 3         | 7         | 10      | -0.247             | 0.517            | -1.21            |

注:位移负表示往下,应力正表示拉应力,负表示压应力。

由表 4 可以看出:

(1) 溶洞顶板岩体变形随着顶板厚度的增大而减小,但减小幅度越来越小。

(2) 溶洞顶板岩体的第三主应力(主压应力)随

着顶板厚度的增大而增大。

(3) 溶洞顶板岩体的第一主应力(主拉应力)随着顶板厚度的增大而减小。

5 结 语

本文以实际工程中的桥梁岩溶桩基实例为研究对象,从桩端持力层溶洞顶板厚度、跨径和桩基入岩深度 3 个方面进行了对比分析,得出以下结论:

(1) 由工况 1 发现,溶洞顶板的变形和岩体第三主应力(主压应力)与溶洞跨径有比较大的关系,岩体第一主应力(主拉应力)发生在桩底岩体侧与溶洞顶板跨径基本无关,只要有一定的顶板厚度,跨径对岩体的拉应力的影响不大。

(2) 由工况 2 发现,桩基嵌入岩层深度越深,桩周侧摩阻力参与越多,对桩底的力也越小,溶洞顶板变形也越小。这说明适当增加嵌岩深度,有利于岩体受力。

(3) 由工况 3 发现,溶洞顶板厚度越厚,第三主应力(主压应力)越大,第一主应力(主拉应力)越小,桩端参与的受力越多,桩侧参与受力减少。这说明桩端持力层只有达到一定的厚度,才能保证主拉应力较小,才更有利于持力层的受力。

(4) 由工况 2 和工况 3 对比分析可知,在桩基嵌岩深度和桩端持力层之和不变的情况下,持力层厚度越大,变形和第一主应力(主拉应力)越小,越有利于岩体受力。故桩基设计时,在保证受力满足要求的基础上,不可盲目增加嵌岩深度,应以持力层厚度满足要求为先。

上述分析为以后岩溶地区桩基持力层厚度的设计提供了一点思路和借鉴。

参考文献:

[1] 唐明裴,梁小聪,宁平华.广东清远北江四桥工程岩溶地区桩基设计及施工关键技术[J].城市道桥与防洪,2016(7):195-198.

[2] 梁宪莹.广西岩溶地区市政桥梁工程桩基设计分析[J].工程技术研究,2019(2):149-150.

[3] 王瑞芳. ANSYS 分析灌注桩的桩土共同工作机理[J].武汉科技大学学报(自然科学版),2006,29(3):293-296.

[4] 罗战友,王伟堂,刘薇.桩-土界面摩擦对静压桩挤土效应的影响分析[J].岩土力学与工程学报,2005(18):3299-3304.

[5] 赵法锁,俞剑勇,等.灌注桩桩土相互作用试验及有限元模拟研究[J].工程地质学报,2001,9(1):87-92.

[6] 钱家欢,殷宗泽.土工数值分析[M].北京:中国铁道出版社,1991.