

文章编号: 1674—8247(2012)06—0036—04

# 哈大铁路客运专线岩溶区桥梁柱桩基础 顶板安全厚度分析

龚宝中

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300142)

**摘 要:**文章结合哈大铁路客运专线工程岩溶地区的桥梁柱桩基础设计,利用有限元分析软件 Midas,计算了岩溶区柱桩基础下岩石应力分布情况,分析了不同桩径下溶洞顶板的最大剪应力及最大主拉应力,确定了岩溶区桥梁柱桩基础下溶洞顶板的安全厚度设计原则,解决了岩溶地区桥梁多层溶洞柱桩基础设计难题。其内容可作为今后铁路客运专线岩溶区桥梁柱桩基础设计的参考。

**关键词:**岩溶地区;铁路桥梁;柱桩基础;顶板安全厚度;哈大铁路客运专线

中图分类号:U443.15 文献标识码:A

## Analysis of Safety Thickness of Column Pile Foundation Roof of Bridge in Karst Area on Harbin-Dalian Passenger Dedicated Line

GONG Bao-zhong

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300142, China)

**Abstract:** In this paper, combined with the bridge column pile foundation design in the karst area of Harbin-Dalian Passenger Dedicated Line and using finite element analysis program Midas, a calculation on the rock stress distribution under column pile foundation in the karst area is made, an analysis is made on the maximum shear stress and the maximum main tensile stress of cave roof under the condition of different pile diameter, the safety thickness design principle of karst cave roof under column pile foundation of the bridge in the karst area, and the design problem of column pile foundation in multilayer karst caves is resolved. The paper can be used for column pile foundation design of bridge on passenger dedicated line project in karst area for reference in the future.

**Key words:** karst area; railway bridge; column pile foundation; safety thickness of roof; Harbin-Dalian passenger dedicated line

### 1 前言

岩溶地质在我国分布广泛,探明地质情况是岩溶地区桥梁基础设计的最重要前提。哈大铁路客运专线大连段部分桥梁正处于石灰岩岩溶发育段落。哈大铁路客运专线采用的地质勘探方法是以钻探法为主,结合遥感勘探法和物探法。对于岩溶区桥梁桩基础至少一桩一孔;对于复杂的溶洞每桩需要布置多个钻孔。通过对地质情况进行详细勘探,确保地质资料准确可靠,为基础设计提供充足的依据。

### 2 问题的提出

对于岩溶发育、有多层溶洞并且每层溶洞的顶板厚度不均匀的地基,大多采用钻孔桩基础。目前,钻孔桩基础已成为解决多层岩溶发育地基桥梁基础的一种行之有效、稳定可靠的形式。但当桩尖下伏溶洞较大,埋藏较深,是否应使桩基穿过溶洞,就需要对桩尖以下完整基岩顶板厚度进行安全分析。

由于实际岩溶洞体的形状、大小、受力状况、围岩应力场的演变都十分复杂,要确定洞体破坏的形式和取得符合实际的岩体力学参数比较困难;同时受到勘探手段的局限,很难查清洞体与围岩的边界条件与性

收稿日期:2012-04-23

作者简介:龚宝中(1979-),男,工程师。

能指标。因此还要结合工程实践经验,根据每个岩溶区基础的实际情况,通过综合分析,有针对性地确定岩溶区桥梁桩基础顶板安全厚度。若分析后,判定顶板厚度安全,则桩尖下伏溶洞可不做处理,相反则只能增加桩长穿过溶洞或调整桥梁孔跨布置,避开大的溶洞位置。为此正确判定持力层岩石的安全厚度是岩溶地区多层溶洞柱桩基础设计的关键。主要的理论分析方法<sup>[4]</sup>有荷载传递线交汇法、双向板分析法、厚跨比分析法、成拱分析法、有限元分析法等。本文采用有限

元分析法<sup>[8]</sup>,对哈大客运专线岩溶区桥梁桩基础顶板安全厚度进行理论分析。

3 建立模型

对哈大铁路客运专线岩溶区所采用的 12 根直径为 1.0 m、12 根直径为 1.25 m、12 根直径为 1.5 m 的柱桩基础进行受力分析,分别建立有限元模型。

3.1 3 种桩基础布置形式

3 种桩基础布置形式如图 1 所示。

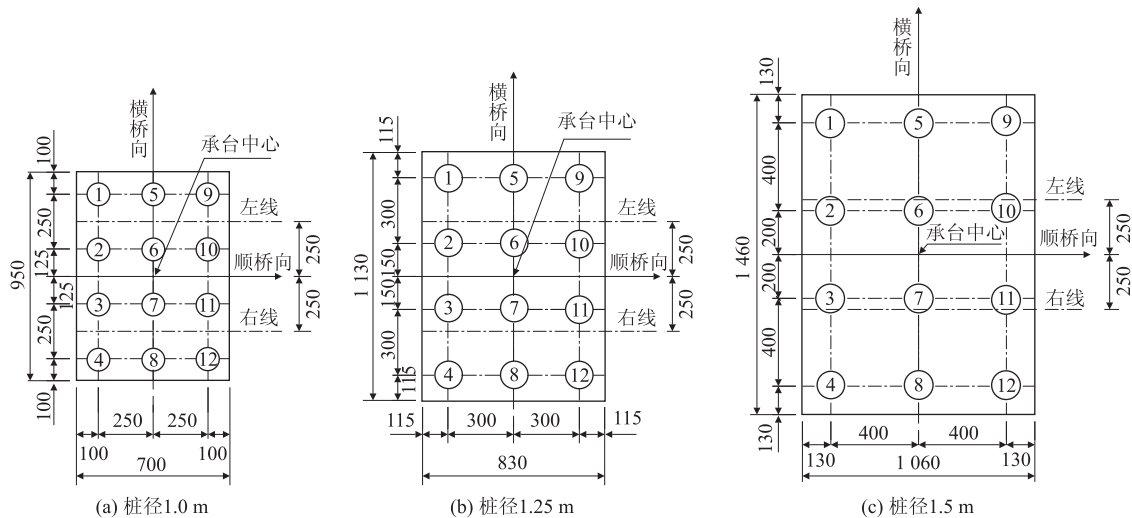


图 1 3 种桩基础布置形式图(单位:cm)

3.2 模型材料特性<sup>[2]</sup>

弱风化石灰岩岩石:  
弹性模量(2.1e+004 MPa);密度(23.5 kN/m<sup>3</sup>);泊松比(0.25)。

3.3 模型的边界条件

同一个计算模型中各桩的桩顶内力相同、覆土均布压力相同,计算模型为对称结构,取 1/4 部分进行计算。其中的约束条件为:底部为固定约束,对称截面位置采用对称平面约束,由于实际计算中取用的岩石尺寸为有限实体,而实际桩周岩石为半无限体,因此模型侧面约束其水平位移。

3.4 溶洞顶板弱风化完整石灰岩厚度取 5 倍桩径(如表 1 所示)

表 1 溶洞顶板弱风化完整石灰岩厚度表	
桩径(m)	石灰岩厚度(m)
1.0	5.0
1.25	6.25
1.5	7.5

3.5 受土层及岩层影响均布荷载值

3.5.1 岩溶区土层厚度的确定

哈大铁路客运专线岩溶区一般上覆土层厚 30 m

即可以考虑做摩擦桩,为此岩溶区柱桩基础土层厚度取 30 m,对计算是偏于安全的,如表 2 所示。

表 2 受土层及岩层影响均布荷载表

桩径(m)	土层厚度(m)	岩层厚度(m)	受土层及岩层影响均布荷载(kN/m <sup>2</sup> )
1.0	30	2.0	587.0
1.25	30	2.5	598.8
1.5	30	3.0	610.5

3.5.2 嵌岩深度的确定

嵌岩桩的嵌岩深度应尽可能小,这不仅可降低造价,而且不至于过多地削弱溶洞顶板的承载能力。依据以往设计经验,当嵌入深度很浅时,桩身混凝土与其侧面岩石之间的摩擦力和黏结力难以保证,本次哈大铁路客运专线嵌岩桩设计要求:桩尖嵌入微风化基岩最小深度在满足基础受力计算的同时,不应小于 2 倍桩径。

3.6 桩基底均布荷载值

关于桩底荷载的确定是一个值得探讨的问题。规范公式忽略了盖土层摩阻力的有利影响,这对设计计算是偏于安全的,如表 3 所示。

表 3 单桩轴向力换算为桩头均布荷载表

桩径 (m)	主力控制 单桩轴向力 (kN)	地震力控制 单桩轴向力 (kN)	换算为桩头 均布荷载 (kN/m <sup>2</sup> )
1.0	4 000	5 200	6 624.2
1.25	6 000	7 800	6 359.2
1.5	8 000	10 400	5 888.2

3.7 溶洞大小

本次研究的溶洞平面大小与基础承台投影尺寸相同,如表 4 所示,通过对 8 根 1 m 柱桩基础采用 1 m、2 m、3 m、4 m、5 m、6 m、7 m、8 m、9 m、10 m 10 种不同溶洞高分别进行计算,可知溶洞高度对柱桩基础的顶板安全厚度计算结果影响不大。为此在对 12 根直径为 1.0 m、12 根直径为 1.25 m、12 根直径为 1.5 m 的柱桩基础桩尖以下岩石安全厚度进行分析时,溶洞高度取 5 m。

表 4 溶洞大小表

桩径 (m)	溶洞纵向尺寸 (m)	溶洞横向尺寸 (m)	溶洞高度 (m)
1.0	7.0	9.5	5.0
1.25	8.3	11.3	5.0
1.5	10.6	14.6	5.0

3.8 岩石尺寸

为了能够准确地查看岩石中应力的分布范围,取用的岩石尺寸应大于桩端应力分布的区域。经过调整岩石尺寸的大小,模型中取用岩石的尺寸分别为 10 m×15 m×20 m(纵向×横向×高),15 m×15 m×20 m(纵向×横向×高)和 15 m×20 m×20 m(纵向×横向×高)。从应力图中可以看出,主要应力分布区域在岩石的模型范围之内,因此选用该尺寸是合适的。

4 计算结果及分析

4.1 计算结果

4.1.1 最大剪力及应力

最大剪力及应力如图 2~图 7 所示。

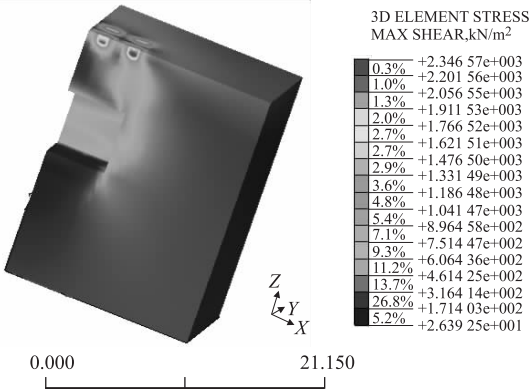


图 2 12 根直径 1 m 柱桩最大剪力图

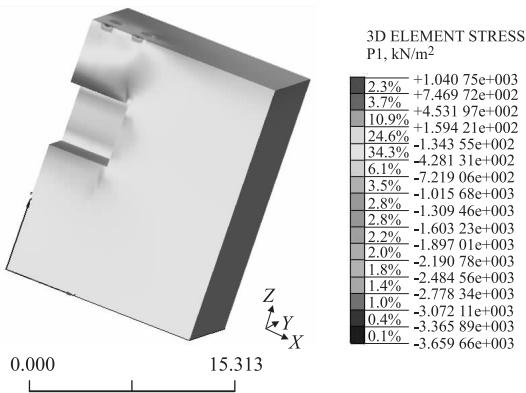


图 3 12 根直径 1 m 柱桩最大应力图

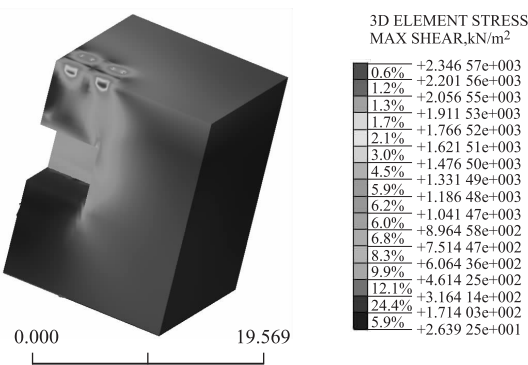


图 4 12 根直径 1.25 m 柱桩最大剪力图

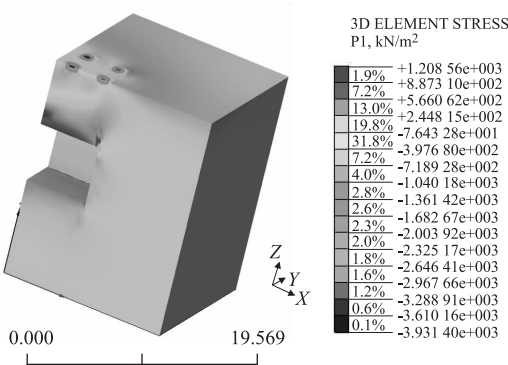


图 5 12 根直径 1.25 m 柱桩最大应力图

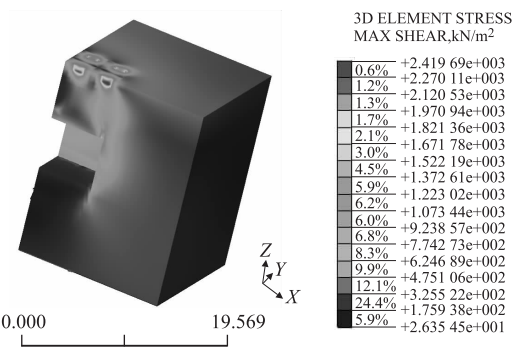


图 6 12 根直径 1.5 m 柱桩最大剪力图

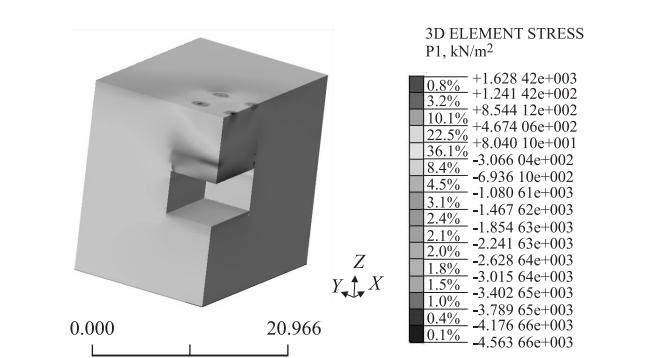


图 7 12 根直径 1.5 m 柱桩最大应力图

4.1.2 计算结果

计算结果如表 5 所示。

表 5 安全系数值计算表

桩径 (m)	计算最大剪力 (MPa)	容许 剪应力 (MPa)	安全系 数 $K_1$	计算最大 主拉应力 (MPa)	容许主 拉应力 (MPa)	安全 系数 $K_2$
1.0	2.347	3	1.3	1.041	2.4	2.3
1.25	2.420	3	1.2	1.209	2.4	2.0
1.5	2.254	3	1.3	1.628	2.4	1.5

4.2 结果分析

根据以上模拟的简化力学计算模型,从理论角度,利用有限元分析法对哈大铁路客运专线岩溶区柱桩桩尖顶板应力分布进行了分析计算。结果表明:最大剪应力出现在桩尖以下 1 m 范围内,1 m 以下剪应力值减小较为明显;剪力的安全系数  $K_1$  为 1.2 ~ 1.3,对于不同桩径对应的最大剪应力值和分布区域变化不大;最大主拉应力出现在溶洞顶板底,主拉应力的安全系数  $K_2$  为 1.5 ~ 2.3。桩径越大,计算的最大主拉应力也越大。

5 结论

通过对哈大铁路客运专线 3 种岩溶地基进行的空间受力分析,结合以往工程实践经验,基础以下溶洞尺寸在不大于基础承台投影尺寸的情况下,柱桩基础顶板安全厚度取 5 倍的桩径是安全的。这个原则已在铜九铁路、哈大铁路客运专线等多条铁路线的设计中采用,很好地解决了岩溶地区多层溶洞柱桩基础设计的难题。

参考文献:

[1] TB 1002.5-2005 铁路桥涵地基和基础设计规范[S].

TB 1002.5-2005 Code for design on subsoil and foundation of railway bridge and culvert[S].

[2] 铁道第三勘察设计院. 桥涵地基和基础[M]. 北京:中国铁道出版社,2002.

The Subsoil and Foundation Designs of the Bridges and Culverts Compiled by the Third Railway Survey and Design Institute [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002.

[3] 高歌今. 岩溶地区桥梁桩基础设计及施工技术措施[J]. 铁道标准设计,2004(12):58-61.

GAO Ge-jin. Design and Construction of Bridge Pile Foundation in Karst Area[J]. Railway Standard Design,2004(12):58-61.

[4] 郑永红. 岩溶地区桥梁基础设计[J]. 铁道标准设计,2006(10):41-43.

ZHENG Yong-hong. Design of Bridge Foundation in Karst Region[J]. Railway Standard Design,2006(10):41-43.

[5] 赵荣营. 岩溶地区桥梁基础设计[J]. 铁道标准设计,2007(2):98-99.

ZHAO Rong-ying. Design of Bridge Foundations at Karst Areas[J], Railway Standard Design,2007(2):98-99.

[6] 张景桥. 岩溶地质桥梁基础设计[J]. 铁道标准设计,2008(2):56-58.

ZHANG Jing-qiao. Design of Bridge Base in Karst Geological Areas [J], Railway Standard Design,2008(2):56-58

[7] 熊亮,尹峰. 岩溶区铁路桥梁基础设计与施工技术[J]. 铁道工程学报,2009(3):23-26.

XIONG Liang,YIN Feng. Disign of Bridge Foundation in Karst Area and Its Construction Technology[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(3):23-26.

[8] 姜贤平,王春雷. 岩溶区桥基下伏溶洞顶板安全厚度分析[J]. 铁道工程学报,2010(4):62-65.

JIANG Xian-ping,WANG Chun-lei. Analysis of Safe Thickness of Karst Cavity under Bridge Load in Karst Area[J]. Journal of Railway Engineering Society,2010(4):62-65.

[9] 赵明华,袁腾方,黎莉,等. 岩溶区桩端持力岩层安全厚度计算研究[J]. 公路,2003(1):124-128.

ZHAO Ming-hua,YUAN Teng-fang,LI Li,et al. Computation Study on Safety Thickness of Bearing Rock Strata at Ends of Piles in Karst Region[J]. Highway,2003(1):124-128.

[10] 周建普,李献民. 岩溶地基稳定性分析评价方法[J]. 矿冶工程,2003(1):4-7.

ZHOU Jian-pu,LI Xian-min. The stability Analysis and Evaluation Methods for Karst Foundation Stability[J]. Mining and Metallurgical Engineering,2003(1):4-7.

[11] 杨立华. 岩溶地区桩基础设计与施工问题讨论[J]. 北方交通,2009(7):76-77.

YANG Li-hua. Discussion of Design of Pile Foundation in Karst Area and Its Construction Issues[J]. North Traffic,2009(7):76-77.