



岩溶地区码头桩基设计溶洞预处理方法

罗胜平

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 岩溶地区工程地质条件复杂, 因此常需对溶洞进行处理, 通常采用定性的方法对溶洞特征进行分析, 以选择合适的工程措施。结合某码头工程实例, 提出定性与定量相结合的分析方法更加准确地判断岩溶特征, 从而采取更加合理的工程措施, 取得了良好的工程效果。

关键词: 码头; 溶洞处理; 分析方法

中图分类号: U 473.1

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2014)12-0211-04

Cave pretreatment method of wharf pile foundation design in karst area

LUO Sheng-ping

(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: The engineering geological condition of karst area is complex, therefore, treatment of the cave is often needed. Usually, the qualitative method is used for analyzing the karst features, to select appropriate engineering measures. Combining with an engineering example, this paper proposed measures of qualitative and quantitative analysis for karst features to judge the karst features more accurately. Thereby, more reasonable engineering measures are taken and good engineering effect has been achieved.

Keywords: wharf; treatment of karst cave; analyzing method

我国岩溶地貌区域分布较广, 广西、云南、广东、江西等省(区)均有分布。随着我国大规模的交通运输基础设施建设, 目前岩溶地貌区域嵌岩桩施工已经积累了较多的溶洞处理方法。由于岩溶地貌(溶洞、溶槽、溶沟以及石笋等)的复杂性, 仅靠在施工过程中根据经验和成孔情况选择溶洞处理方案, 往往选择了不合理、不经济的处理方案, 造成不必要的工程损失, 所以在设计过程中通过对地勘资料采取一定的分析方法事先确定溶洞处理方案, 对减少桩基工程造价、指导桩基正常施工具有十分重要的意义。

广西贵港中心港区某码头工程位于郁江水道西岸, 码头拟新建3 000吨级泊位9个, 占用岸线总长约1 000 m。码头采用灌注型嵌岩桩基础,

工程区域属于岩溶发育地区。根据规范要求, 工程桩基采取逐桩勘探以探明每一根桩基的地质情况。本文针对该工程逐桩勘探的地质资料, 采用定性分析和定量分析相结合的分析方法对溶洞进行分析, 并依此在设计文件中确定嵌岩桩的溶洞处理方案, 在施工过程中取得了良好的工程效果, 可为邻近工程以及类似工程桩基设计提供经验。

1 溶洞处理方法

根据溶洞大小、形状以及洞内填充物等情况, 目前溶洞处理方法主要有常规成孔法、抛填法、钢护筒跟进法、注浆法、帷幕注浆法、静压化学灌浆法、灌注混凝土填充法等。

收稿日期: 2014-10-10

作者简介: 罗胜平(1984—), 男, 注册土木工程师(港口与航道), 从事港口与航道工程设计与研究工作。

1.1 常规成孔法

适用于溶洞封闭、洞内填充物为可塑或软塑的亚黏土的地质情况。此时不管溶洞大小、垂直数量多少，都可以不考虑溶洞的存在，按照无溶洞的方法施工。

1.2 抛填法

适用于溶洞体积小，高度小于3 m，溶洞内无填充或半填充的情况。如遇溶洞严重漏水，护筒内水头高度不能保持时，可采用片石、黏土和整包水泥回填冲击，使回填物充分密实，等水泥初凝具有一定强度形成人工泥石护壁后可正常施工。该处理方法可以多次重复使用直至形成泥石护壁并不再漏浆为止，是目前较为常用和成熟的施工方法。

1.3 钢护筒跟进法

适用于溶洞较大、溶洞高度大于3 m、单层或者多层溶洞成垂直穿珠带状的情况。采用钢护筒跟进法施工就是一面冲孔、一面接高钢护筒，并且将其压到或震动下沉至已钻成的孔内，当桩孔穿过多个溶洞并且造壁成功后可正常施工。当溶洞高度在3~5 m时，对于多层且间距较小的溶洞采用钢护筒穿越处理——先用冲击锤进行冲孔、扩孔处理，再采用振动锤将钢护筒振动下沉至溶洞底部。当溶洞高大于5 m时，对于多层且间距较大者，可采用套内护筒法施工。

1.4 注浆法（水泥浆）

适用于溶洞层数较多、溶洞高度在0.5~3 m洞内填充物为砂、溶洞漏浆会引起坍方的情况。注浆法（水泥浆）就是预先往溶洞内压注水泥浆，待水泥浆压注完成24 h后开始钻进。

1.5 帷幕注浆法

适用于高度大于8 m的溶洞。帷幕注浆法的注浆采用水泥砂浆注浆，单管注浆，注浆范围为整个溶洞高度，帷幕的范围以桩中心以外5 m，此法常用于大型桥梁桩基施工。

1.6 静压化学灌浆法

适用于溶洞内有填充物填满或有流砂的情况。当溶洞为空洞或填充物不满且溶洞埋藏深度在1~3 m时，在成孔前先进行预处理，采用静压化学灌

浆法固结填充物和流砂或填满溶洞，在固结体达到一定强度以后再钻孔施工。

1.7 灌注混凝土填充法

适用于溶洞的高度在1~3 m、且溶洞为全填充或半填充的情况。先向溶洞内抛填片（碎）石、砂混合物和注水泥浆，然后用小冲程冲击片石挤压到溶洞边形成泥浆碎石外护壁，水泥砂浆将片石空隙初步堵塞后，停止冲击24 h后，再继续冲击，穿过溶洞。此法与抛填法类似，不同之处在于根据溶洞内填充物多少，向溶洞内填充的材料略有不同。

2 溶洞分析方法

2.1 定性分析方法

定性分析方法是以国内大量嵌岩桩工程溶洞处理经验以及相关规范为依据，首先根据地勘资料以及成孔情况对溶洞进行分类，然后根据溶洞类别采取相应工程处理措施的一种方法。溶洞可以根据大小、有无填充物、是否漏水、垂向数量等情况进行分类。溶洞按大小可分为：小溶洞（洞高小于3 m）、大溶洞（洞高大于3 m）。按有无填充物可分为：全填充（包括砂土和黏土填充，有可塑、软塑、和流塑之分）、半填充、无填充物（空溶洞）。按是否漏水可分为：全漏水（与其他溶洞相连）、半漏水、不漏水。按溶洞垂向数量可分为：单个溶洞、多个溶洞。本文根据目前溶洞处理方法以及溶洞分类情况，总结归类出溶洞处理方法的适用范围（表1）。

表1 定性处理方案

处理方法	适用范围	备注
常规成孔法	大、小溶洞、全填充、不漏水、单个或多个溶洞	填充黏土
抛填法	小溶洞、半填充、无填充、漏水、单个或多个溶洞	
钢护筒跟进法	大溶洞、半填充、无填充、漏水、单个或多个溶洞	
注浆法	小溶洞、半填充、漏水、多个溶洞	填充砂
帷幕注浆法	大溶洞（洞高大于8 m）、全填充、漏水、单个溶洞	
静压化学灌浆法	小溶洞、全填充、半填充、无填充、漏水、单个溶洞、埋藏较浅	填充砂
灌注混凝土填充法	小溶洞、全填充、半填充、漏水、单个或多个溶洞	

另外,我国相关行业规范也对不需要处理的溶洞做出了一些定性规定,例如 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》^[1]中指出:嵌岩灌注桩桩端以下 3 倍桩径且不小于 5 m 范围内应无软弱夹层、断裂带、洞穴分布,且在桩底应力扩散范围内无岩体临空面;JTS 167-4—2012《港口工程桩基规范》^[2]中指出:桩端以下 4 倍桩径或边长存在软弱土层时,应考虑冲剪破坏的可能性,同时又指出嵌岩桩桩端以下一定深度范围内存在溶洞、溶沟和溶槽等不利因素时,应采取必要的技术措施。此类规范对桩底持力层厚度要求的说明较为笼统,但是这也从侧面说明了在满足结构安全的条件下,在设计中应优先考虑不对溶洞进行处理以节省工程投资和避免增加施工难度。

2.2 定量分析方法

定性分析成功与否主要取决于设计或施工工作者经验的丰富程度,而仅仅依据经验进行溶洞预处理定性分析是不够的。以现有的地质勘探技术和资金投入要准确描述大面积区域内溶洞的形状几乎是不可能实现的目标,在此背景下本文借助有限元技术进行溶洞定量分析并结合定性分析的方法在设计过程中明确溶洞处理方案,取得了较好的工程实践效果。目前,有限元法已广泛应用于土木工程领域,有限元技术在岩溶地貌的可视化研究及塌陷预测预报等方面,将有广阔的发展前景^[3]。

定性分析方法中溶洞的大小是以溶洞的高度来定义的,而不是以溶洞的体积大小来定义的。由于溶洞形状的复杂性,显然这可能带来很大误差。目前溶洞处理定量分析尚未形成一套系统的理论。本文利用有限元技术计算出溶洞体积,根据其体积来选择溶洞处理方案,这比靠溶洞高度来选择溶洞处理方案要更加合理、可靠。

3 工程实例

3.1 工程地质

广西贵港中心港区某码头工程位于郁江水道西岸,码头拟新建 3 000 吨级泊位 9 个,占用岸线总长约 1 000 m。码头采用高桩框架结构形式,排

架间距 8 m,工程区域溶洞分布在第⑦层强风化石灰岩和第⑧层中风化石灰岩,工程选用第⑧层为桩基持力层。

强风化石灰岩⑦(C₁d):以灰色、灰白色为主,间夹深灰色;金刚石钻进,岩芯呈碎块状,敲击声脆,为较硬岩。该层部分地段有揭露,最薄处为 0.70 m,最厚处为 10.30 m,平均厚度为 2.56 m,岩体基本质量等级属Ⅳ级。

溶洞⑦₋₁:洞内充填软塑状态的黏性土及少量石灰岩碎屑。

中风化石灰岩⑧(C₁d):灰、灰褐色,中厚层状,隐晶结构构造,岩体较完整,裂隙稍发育,局部有石英质填充,岩石坚硬,锤击声清脆,有回弹,送水回转钻进,进尺较慢,岩芯多呈柱状、短柱状,少量碎块状,冲洗液少量损耗。岩石单轴饱和抗压强度平均值为 37.3 MPa,属较硬岩岩体基本质量等级属Ⅲ级。

溶洞⑧₋₁:洞内多充填软塑状态的黏性土及少量石灰岩碎屑,局部充填粉细砂,少数溶洞无充填物。

选取 1[#]码头作为溶洞预处理分析示例,1[#]码头采用高桩框架结构形式,排架间距 8 m,共 8 榀排架。1[#]码头区域 A 轴桩逐桩钻探柱状图如图 1 所示。

3.2 溶洞预处理分析

从图 1 可以看出,1[#]码头区域覆盖层较薄(基本排除桩基不嵌岩的可能性),溶洞发育,逐桩钻探显示仅 A1 和 A3 桩基下未见溶洞。A2 桩显示溶洞高仅 0.3 m,从 A1、A3 和 B2 桩基钻探柱状图中也未见溶洞(溶槽、溶沟等),由此可采用定性分析方法确定 A2 桩的溶洞处理方案。A2 桩基可根据成孔情况,优先选用抛填法施工。A4~A8 桩均显示有溶洞,因排架间距仅为 8.0 m,不排除溶洞贯通的可能,其中 A5 桩溶洞高 11.3 m、A7 桩溶洞高 4.0 m 均属于大溶洞。根据定性分析的方法,A5、A7 桩溶洞处理需用帷幕注浆法或钢护筒跟进法,显然这样会大幅增加工程投资。为将增加的工程投资减少到最小,本文利用 1[#]码头全部桩基逐桩钻探资料和有限元技术,对此进行了定量分析。

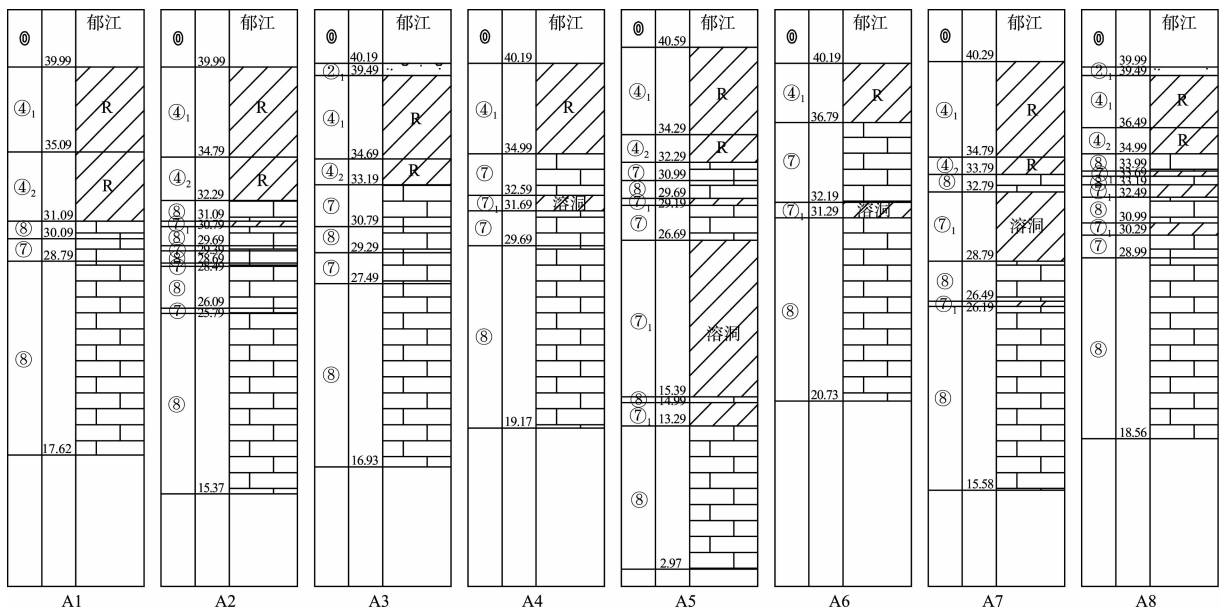


图1 A轴桩逐桩钻探柱状图

有限元第一步是网格划分。采用三角形网格以每根桩为节点(图2)。为方便查看结果,节点编号同桩基编号,xy坐标值与桩基坐标相同,z坐标值分别为溶洞顶高程和底高程,即形成2个三维网格曲面(图3),如无溶洞则z坐标值相同。利用2个三维网格曲面进行叠加,就可以计算出每个溶洞的体积。图4为2个曲面叠加后的码头桩基立面图。

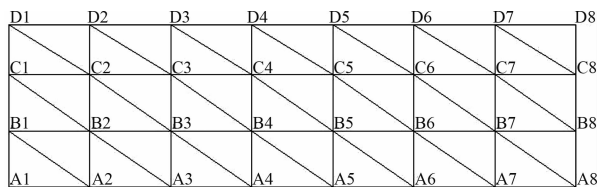


图2 1#码头网格图

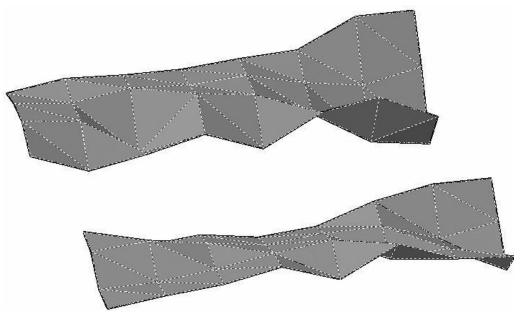


图3 三维网格曲面

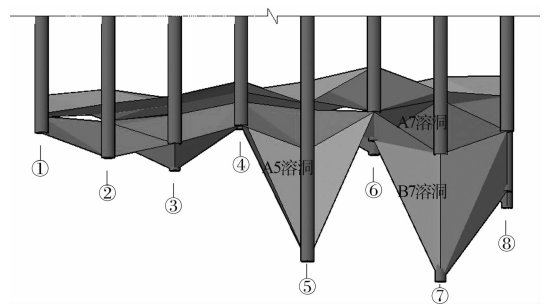


图4 曲面叠加后码头桩基立面

根据计算,A5桩溶洞高11.3 m,体积为399.4 m³,因溶洞顶高程均低于周围桩基溶洞底高程,故可判断该溶洞不漏水;A7桩溶洞洞高4.0 m,体积为616.7 m³、显然与B7桩溶洞(最大洞高6.0 m、多层溶洞)连通。A5桩溶洞处理若采用钢护筒跟进法,钢护筒需加长15 m,钢护筒桩径1.7 m,壁厚14 mm,约增加钢材8.8 t;因A5桩溶洞体积并不太大,且洞内填充有黏性土及少量石灰岩碎屑,不漏水,所以在设计文件中明确该桩溶洞采用抛填法处理,经过施工检验,该桩溶洞共抛填黏土夹片石约200 m³、42.5#水泥50包,显然采用抛填法比钢护筒跟进法更经济。A7桩溶洞洞高4.0 m,由于与B7桩溶洞连通,溶洞体积较大,故设计文件中明确该桩溶洞采用钢护筒跟进法处理。

(下转第221页)