

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.04.013

# 坡顶存在需保护建筑物的边坡防护设计与施工研究

唐文元, 谢东, 曾思坡, 何远圆

(中国市政工程中南市政设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430000)

**摘要:**当坡顶有重要建筑物需保护时,边坡防护的支护方案,除应保证边坡整体稳定外,还应特别注意控制边坡变形对坡顶建筑物产生的危害。边坡变形计算复杂,与支护结构类型及施工开挖方法等因素相关,如何通过控制变形允许值来确定最优支护方案通常只能依据地区工程经验。通过分析岩面以上均匀土体的整体下滑力来计算各支护模型的内力及变形,在均满足整体稳定性的要求下,比较多种支护结构的变形值,从而确定满足变形允许值的最优方案,并通过采用特殊施工方法,变形监测等措施保障支护方案顺利实施,经施工期间和竣工后两年观测,边坡稳定,受保护房屋安全,由此总结出将桩顶微距离位移控制值作为支护方案评价指标可行。

**关键词:**高边坡;重要建筑物;桩顶位移;水磨钻;挡土墙

中图分类号:U416.1+4

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)04-0048-04

## 0 引言

城市道路建设时路基边坡支护<sup>[1-6]</sup>是一门综合性工程技术,涉及工程地质、周边环境、岩土力学、施工工艺等诸多因素,边坡防护设计与施工方案的选择是决定道路工程质量安全的关键环节,尤其是当路基边坡坡顶有重要建筑物而道路用地受限需特殊防护时,支护方案的成败是工程重要安全风险来源。目前支护技术在不断创新尝试下已逐渐成熟,常见的支护结构方案有抗滑桩、排桩式锚杆挡墙、锚拉式桩板式挡墙等。如何考虑建筑物基础与边坡支护结构的相互影响,选取最优支护设计方案,减小边坡变形对地基承载力和基础变形的不利影响,规避建筑物施工期被扰动造成破坏的风险,是工程设计中面临的难题。由于边坡变形计算<sup>[7]</sup>复杂且不够成熟,实践中往往只能根据地区经验,采用类比方法,根据边坡条件按经验确定。

本文以福建山区某小城城区外环线项目为背景,探讨了高边坡路基受坡顶危险性建筑物限制条件下的边坡支护方案设计、计算分析过程及施工工艺流程和注意事项,通过评估待保护建筑物状况,调查各种工程地质条件,因地制宜制定设计与施工方案<sup>[4]</sup>,为类似条件下支护方案选取积累经验。

## 1 项目背景

本项目为福建省福州市某县城外环城市主干路

收稿日期:2022-05-18

作者简介:唐文元(1972—),男,本科,高级工程师,从事路桥设计工作。

新建工程,道路红线宽度为30m,设计长度约为3.1km,项目位于城区外围,道路沿线地形起伏大,局部路段存在大量挖方。由于规划控制及征地拆迁困难等因素,为减少道路建设对红线周边建筑物的影响,路基边坡需结合房屋安全性考虑,边坡工程设计是本项目的重要设计内容。

## 2 现状分析

根据道路线形设计,道路局部路段需要从现状一处5层建筑物旁(建筑高约16m)经过,由于红线受限及规划控制等各种因素,线位调整的可能性基本没有。县主管单位协调后意见为房屋拆迁困难,考虑原地保护。经现场调研发现,该处地形复杂、空间狭小,房屋前还存在一处现状干砌片石挡土墙,见图1。



图1 边坡现状

### 2.1 平面位置

道路边线外4.4m处存在一道高约8.0m干砌片石挡土墙,道路设计标高在现状挡土墙趾处需下挖约6m,挡土墙顶为混凝土平台,平台内约7.0m处

为现状5层建筑物。现状情况见图2、图3。

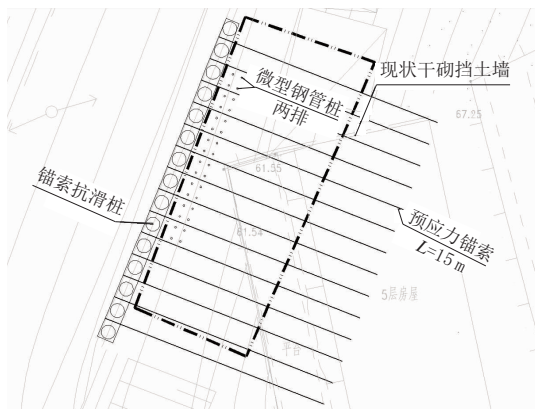


图2 平面位置图

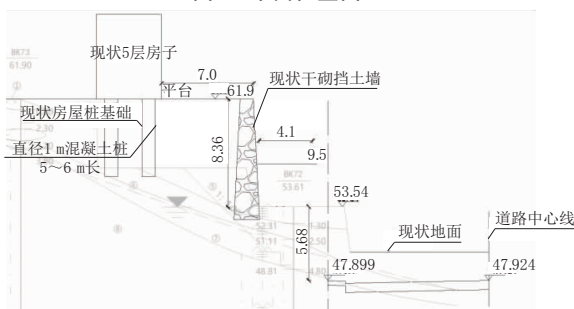


图3 边坡剖面图(单位:m)

## 2.2 现状建(构)造物情况

现状房屋为钢筋混凝土框架结构,混凝土整板基础,基础在靠近挡土墙侧设置有一排直径1m的桩基,桩基长约5~6m,房屋及混凝土平台存在多处裂缝,使用年限十余年,经管理单位组织评估,房屋裂缝不影响房屋结构安全。

## 2.3 地质、地下水、地震等情况

根据地勘报告该处地质情况从上之下依次为:0.5m素填土①,1.0m全风化凝灰熔岩⑤,1.2m散体状强风化凝灰熔岩⑥、1.5m碎块状强风化凝灰熔岩⑦,中风化凝灰熔岩⑧,场地地质情况较好。场地地下水水位埋藏较浅,主要受大气降水的补给及侧向地下水补给,向下游低洼处排泄。

本场地(基于Ⅱ类场地)的地震动峰值加速度为0.05g,反应谱特征周期为0.45s;根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(2016年版)表3.2.2及附录A,本场地抗震设防烈度为6度,设计基本地震加速度值为0.05g,设计地震分组为第三组。

## 3 防护方案设计

由于现场开挖空间狭小,地表斜率大,如采用常规方式开挖极易造成挡墙、房屋垮塌。需要选择既能保证结构安全又能不影响施工进度方案,同时应尽量减少施工对现状挡土墙及民房扰动,保证安全<sup>[7]</sup>。

### 3.1 边坡稳定分析与计算

此段路基边坡防护设计时,既要满足边坡的相关设计要求,又要尽可能减小施工对坡顶已有挡土墙及建筑物的影响,保证其正常的使用功能<sup>[6]</sup>。故设计时首先按《建筑边坡工程技术规范》中安全等级为一级的边坡要求进行边坡稳定验算,经采用理正岩土软件初步试算未设置抗滑桩情形下该处土坡一般工况边坡稳定系数为0.68,不满足规范要求,需进行加固处理(支护桩)。

#### (1)防护方案计算参数与边界条件确定:

坡顶建筑物采用桩基础,桩基持力层为中风化岩层,故边坡挡土墙计算时,不考虑建筑物结构荷载,仅考虑土体荷载。通过对地勘成果的分析,结合现状情况可以得出,该处中分化岩面坡率接近1:1,且岩面以上土层分布较均匀,设计师通过与地勘单位联合讨论磋商,计算时选取中风化以上土层计算整个土体的下滑力。在各种支护模型计算时,将通过理正岩土软件计算所得的整体下滑力,折算成支护结构的墙(桩)后剩余下滑力水平分力,当每个模型的支护结构均可以抵抗上部土体的下滑力时,便可保证其整体稳定安全最低要求<sup>[8]</sup>(稳定安全系数取1.35)<sup>[3]</sup>,并按此下滑力计算各支护结构的内力及配筋<sup>[10]</sup>。

(2)边坡变形容许值确定:在边坡稳定性满足要求下,再按《建筑基坑支护规程》中安全等级为一级的要求,通过控制支护结构顶部的水平位移,从而保证支护结构顶部干砌现状挡土墙、房屋的安全性及正常使用。按规范要求,顶部位移取抗滑桩自由端 $6\ 000\text{ mm} \times 0.002 = 12\text{ mm}$ 与30mm的较小值,因此,设计时桩顶水平位移容许值取值为12mm。

#### (3)防护方案计算

本工程采用理正岩土软件对支护结构进行设计计算,计算考虑三种支护方案模型,分别是抗滑桩+锚索、抗滑桩、桩板式挡土墙<sup>[9]</sup>。各计算模型均分两种工况进行计算分析:

第一种情况:滑坡推力作用情况。

桩身内力计算方法:m法;桩后推力分布类型为矩形,桩后剩余下滑力采用理正岩土的滑坡推力计算,按安全系数 $K=1.35$ ,自动搜索最危险滑面,搜索步长为0.500(m),分析方法为KT法。

第二种情况:库仑土压力(一般情况)。

土压力计算按库仑主动土压力,第1破裂角:30.000(°);桩身内力计算方法:m法。

统一取支护桩桩长为10m,嵌固端按4m计。在

满足整体稳定安全的前提下,对三种方案不同工况下顶部位移分别进行计算,计算结果见表1。

表1 桩顶位移及稳定系数计算表

方案比选	模型一	模型二	模型三
	抗滑桩+锚索	抗滑桩	桩板挡土墙
设计参数	桩径1.2 m、间距2 m、锚索长15 m(锚固段长9 m)	桩径1.2 m、间距1.5 m	方桩边长1.5 m、间距2 m
工况一桩顶位移/mm	滑坡推力作用 4.0	14.0	13.0
工况二桩顶位移/mm	库仑土压作用 8.0	5.0	6.0

### 3.2 防护设计推荐方案

由上述分析得出本工程防护方案的要求和结构设计控制标准,通过对抗滑桩+锚索、抗滑桩、桩板挡土墙三种方案的比选,在建设单位组织专项专家论证后最终确认采用抗滑桩+锚索方案,此方案设计思路如下:

- (1)通过计算确定合适的桩径和桩间距,桩径采用1.2 m,桩间距2.0 m。
- (2)在满足安全的前提下尽量减少桩基入岩深度,以加快施工速度,本方案桩基入岩深度设置为4.0 m。
- (3)合理确定锚索张拉力,并增加锚索入岩的深度,减少因土体变形造成锚索应力松弛<sup>[14]</sup>。本次设计锚索长15 m,自由段长6 m,抗拔力标准值为504 kN。
- (4)在桩顶冠梁上设置3 m高钢筋混凝土墙,墙内回填土既能对保护现状挡土墙又能美化环境,边坡墙面采用文化元素美化,很好的解决了该路段的施工及运营风险。
- (5)土层中设置软式透水管解决土层排水问题。整体方案见图4。

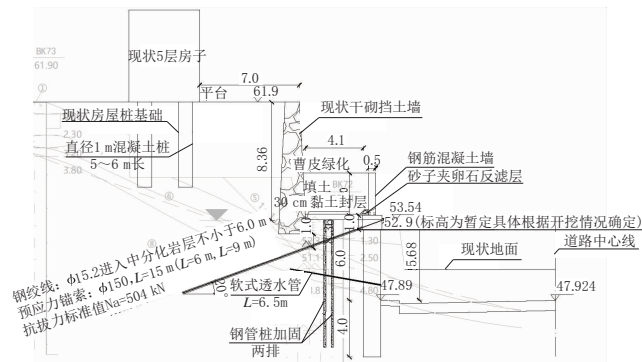


图4 支护方案设计图(单位:m)

## 4 施工方案的选择

### 4.1 桩基施工方案的选择

桩基运用(人工挖孔桩+水钻法)施工工艺,慢

工出细活,以尽最大可能减少对现状的边坡的扰动;桩基施工采取跳打方式,先施工与现状挡土墙较远的桩基,后施工较近的桩基<sup>[15]</sup>,现状挡土墙尖端位置桩基应待已施工桩基强度达到设计强度后再开挖且不能同时施工。

先采用探挖方式确定现状挡墙底标高以确定冠梁的标高,同时保证锚索离挡土墙底不小于1 m,锚索角度控制尽量较少开挖量,锚索钻孔钻进到挡墙底时应降低钻进速度,减少对基础扰动,注浆时采取同样的方式。

### 4.2 水磨桩施工工艺流程

由于桩基孔位距离现状干砌挡墙最近距离仅2.8 m,采用冲击钻和旋挖钻等一般施工方法势必对现状挡墙基础造成扰动,影响结构安全,因此选择水钻法入岩。水磨钻主要有水磨钻机、水磨钻筒和专用水泵三部分组成<sup>[11]</sup>。

水磨钻成桩施工程序:基岩到达中风化岩层→测量放样→布置取芯点→水钻钻取柱状岩芯→分裂中部岩石处渣→桩孔修正<sup>[12]</sup>。

钻取四周岩石:桩径为1 200 mm的孔桩,根据计算得出:须沿桩基孔壁布置27个取芯点,依次钻取外周的27个岩芯,平均4~5 d可钻孔进尺深度约1 000 mm。

桩基成孔后应严格清孔<sup>[5]</sup>,孔径不小于设计直径,桩基进入中分化岩不小于4.0 m,见图5。

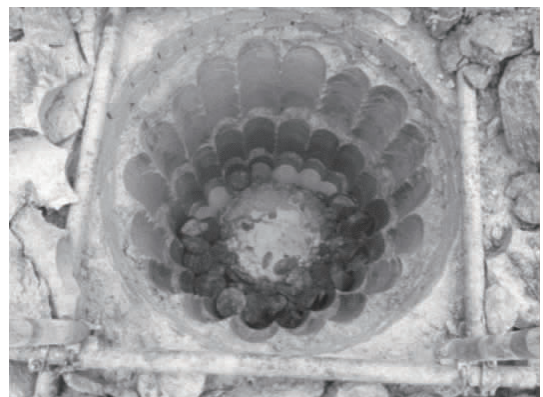


图5 岩芯取出后桩孔

当挖孔桩终孔时,桩底沉渣清理干净,孔内水抽干净后,进行终孔验收。

### 4.3 冠梁施工及要点

冠梁与锚索施工为此方案重要工序,混凝土强度等级C35。采用普通硅酸盐水泥,强度等级不小于42.5 MPa,水胶比不得大于0.50。冠梁与桩基建筑后方可施工预应力锚索。

钢筋采用HPB300级和HRB400级。冠梁截面

为 140 cm × 100 cm。钢筋保护层厚度为 10 cm。

冠梁施工工艺流程: 施工准备→测量放线→破除桩顶部混凝土→冠梁模板支设→冠梁钢筋安装→冠梁混凝土施工→养护、拆模。

#### 4.4 预应力锚索成孔施工

操作平台搭设: 抗滑桩锚索施工前, 先开挖桩前坡面土方到锚索钻孔位置, 若操作面不足时, 采用钢管搭设钻机位置加设操作平台。

施作锚孔: 锚孔在挖孔桩施工完成, 养护至能满足锚索施工要求后进行。

锚索抗拔力验收试验: 为了检验预应力锚索的施工质量, 一般现场选定工程锚索总数的 5% 且不得少于 5 根, 进行锚索验收试验。

#### 4.5 仰斜式排水管设计与施工

边坡防护设计时做好排水是关键, 为了提高边坡坡体自身稳定性, 有效疏排坡一定深度范围内地下水, 本设计在桩间设置仰斜式透水管排水, 排水管采用  $\phi 75$  PVC 管, 管壁钻  $\phi 10$  圆孔, 纵向间距 200, 小孔位错开 50, 分四排布置。施工时钻孔采用水平钻机钻进, 向上倾斜  $10^\circ$ , 钻孔直径  $\phi 110$ 。PVC 管及里端头采用土工纱窗或无纺土工布包裹, 并扎紧, 靠近出水口 1 000 mm 范围不设小孔, 穿过挡土墙部分也不设小孔, 孔口采用粘土或水泥封堵。

#### 4.6 施工前加固措施与边坡监测

为确保施工时现状挡土墙基础稳定, 考虑桩基开挖施工前在桩基和现状挡墙中间区域打入两排微型钢管桩并注浆对现状挡土墙基础进行加固, 待水泥浆达到设计强度后再开挖基坑<sup>[2]</sup>。

边坡监测设计要求:

(1) 边坡施工前应在现状挡土墙顶、房屋、抗滑桩顶等均布设不少于 3 个监测点。监测施工及运营过程中的变形情况。施工过程中应及时反馈监测数据, 当挡土墙顶水平、竖向位移大于 3 cm 时应该加强监测频率。当变形继续加大时应停止施工待查找出原因并解决后再继续施工。

(2) 边坡完工后应设置永久性监测点, 监测时间不得小于 2 a。图 6 为距离挡墙最小距离抗滑桩桩顶监测位移变化曲线, 观测两年变形情况均在容许范围内。

## 5 结 语

一直以来, 城市道路边坡工程设计与施工是关系道路使用安全的重要环节, 道路边坡支护一方面

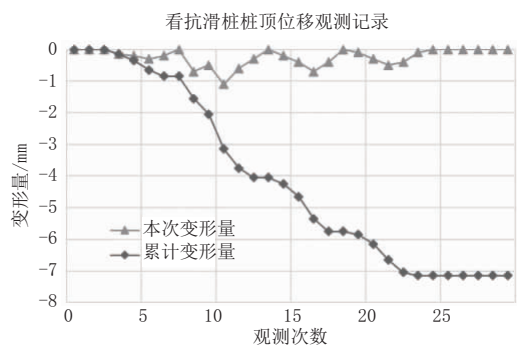


图 6 边坡桩顶位移观测曲线图

决定着道路路基的安全稳定性, 另一方面也影响着边坡附近的建(构)筑物的使用寿命<sup>[13]</sup>。道路边坡支护的方案有很多, 如何在特定的条件下选择一种高效、可行、适用、经济的方案需要结合道路工作者的长期实践经验、综合专业知识和创新思维得出。

本项目基于高边坡坡顶存在多层房屋住宅的现实条件下, 通过三种方案的比选, 提出采用桩板墙加锚索的支护方案更能满足结构的安全稳定性和耐久性, 通过理论计算和施工后监测分析得出以下结论:

(1) 设计计算过程中, 通过合理确定桩顶位移控制值, 结合多种支护措施较好的解决了该路段的安全防护, 也有效控制了施工期坡顶建筑物和挡墙的变形, 避免了施工期被扰动造成破坏的风险。

(2) 目前, 本项目已竣工运行 2 a, 监测结果显示各项数据均处在规范容许范围。进一步表明本项目推荐支护方案的可行性和安全性。

因此, 在道路路基设计时, 坡顶存在需保护建筑物的边坡防护设计与施工方案选择时, 原则是确保建筑物在施工期和运营期的变形均在容许范围内<sup>[1]</sup>。本项目通过桩顶微距离位移控制(12 mm)来作为抗滑桩 + 锚索组合支护方案评价指标, 经验证是基本可行的。

参考文献:

- [1] 雷用, 刘兴远, 吴曙光. 建筑边坡工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [2] 土木工程学会土力学岩土工程分会. 深基坑支护技术指南 [M]. 北京: 建筑工业出版社, 2012.
- [3] GB 50330—2013, 建筑边坡工程技术规范[S].
- [4] GB 50007—2011, 建筑地基基础设计规范[S].
- [5] JGJ 94—2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [6] 黄治云, 张永兴, 董捷. 桩板墙土拱效应及土压力传递特性试验研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(7):1887-1892.
- [7] 蒲建军, 梁庆国, 刘璐, 等. 桩及桩板墙加固路基边坡的对比室内模型试验研究[J]. 工程地质学报, 2017, 25(6):1583-1592.
- [8] 罗渝, 许强, 何思明, 等. 桩板墙结构加固边坡的稳定性分析[J]. 西南交通大学学报, 2014, 49(6):967-971.

(下转第 60 页)

物,实行就地取材,采用道路挖方产生的石渣料等优质筑路材料,达到节省材料、降低造价、保护环境的目的。

文昌大道沿线河流、冲沟众多,拥有良好的山体绿化,为道路排水创造了优越的自然条件。全线道路两侧 20m 绿带设计下凹式绿地形式(见图 6),截留、下渗山水,补充浇灌用水。萌山公园区域 3 km 道路范围内,不设置雨水管道,通过道路纵坡、下凹式绿地和泄水通道排入范阳河。采用排水管的路段,也充分考虑沿线众多的河流、冲沟等分段排水因素,适当减小管径。

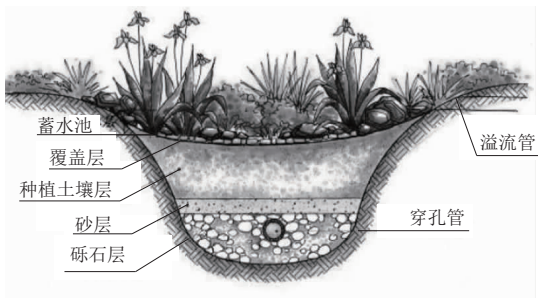


图 6 下凹式绿地设计

通过诸多低影响开发设计手段的采用,在实现环境保护的同时,总计节省工程投资近 3 000 万元。

## 2.5 BIM+GIS<sup>[2]</sup>实现可视化、数字化、信息化

文昌大道是典型的山岭旅游度假区主干路,设计过程中利用 BIM+GIS 技术,将道路设计与周边山体、公园、水域等形成实景三维模型,实现道路、桥梁平纵横联动展示效果,实现地理信息与道路设计信息的互通。

## 3 结 语

文昌湖旅游度假区文昌大道道路设计通过“带状公园”“慢行连廊”“低碳环保”等先进创新的设计理念,实现了人工创造与自然景观的和谐统一。

建成后的文昌大道线形优美流畅,功能和谐完善,环境优雅隽美,吸引了大量游客,取得了明显的社会效益和经济效益,受到了各级领导和广大居民的一致好评。

### 参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部.海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)[Z].北京:住房和城乡建设部,2014.
- [2] GB/T 51212—2016,建筑信息模型应用统一标准[S].

(上接第 51 页)

- [9] 陈雷.桩板式挡土墙在公路、市政工程中的优化研究[J].公路,2017,5(5):34-38.
- [10] 罗渝,许强,何思明,等.桩板墙结构加固边坡的稳定性分析[J].西南交通大学学报,2014,49(6):967-971.
- [11] 薛宝军.水磨钻施工工艺在路基抗滑桩基施工中的应用[J].工程科技,2017(29):175-176.
- [12] 郭兴能.水磨钻成孔施工工艺探析[J].交通世界,2017,437(23):90-91.
- [13] 刘峰.研究房屋建筑边坡设计中锚索桩板挡土墙技术的应用[J].规

- 划与设计,2017(2):122-123.
- [14] 冯雨,张少立.探析锚索桩板挡土墙技术在房屋建筑边坡设计中的应用[J].建筑设计,2018(12):78-79.
- [15] 张献兵,张明.某场地桩基施工对边坡稳定性的影响研究[J].河南建材,2018(3):133-135.
- [16] 吴敬媛.路基边坡支护结构中抗滑桩的影响因素研究[J].西部交通科技,2021(2):61-63.
- [17] 魏焕卫,孙剑平,陈启辉.基坑边坡变形的理论计算方法[J].水文地质工程地质,2006(2):75-78.