

# 锚杆-框格梁在城市道路高边坡防护中的应用

姜晓敏

(华设设计集团股份有限公司,江苏 南京 210000)

**摘要:**城市道路沿线的高边坡防护整治工程,不但要确保其安全性,还应结合经济性、美观性以及周边环境的影响因地制宜地做好设计。依托南京机场二通道项目,从定性和定量两方面分析现状道路高边坡的稳定性,模拟其危险滑动面。进一步结合项目地质、景观、造价、施工便利等多方面因素,提出以锚杆-框格梁为主的高边坡防护整治措施,并验算加固后正常工况、暴雨工况及地震状态下坡体稳定系数。最后,结合边坡监测数据检验理论计算结果,验证了锚杆-框格梁结构在城市道路高边坡防护中的优越性。

**关键词:**锚杆-框格梁;高边坡;边坡防护;稳定性

**中图分类号:** U416

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2024)05-0185-04

## 0 引言

城市道路高边坡防护整治工程不但要求安全稳定,而且应同步考虑与周边景观的融合度及生态环保的要求。锚杆-框格梁作为一种轻型结构,集绿化和防护为一体,在高边坡支护中有越来越广泛的应用,许多学者对其机理和工程应用做了大量的研究工作。吴富毅<sup>[1]</sup>、余洋<sup>[2]</sup>、吴永强<sup>[3]</sup>、谢振安<sup>[4]</sup>分别结合阳鹿、小磨、定临、大潮高速公路,刘楠<sup>[5]</sup>、苏相岗等<sup>[6]</sup>依托沿山大道、太子湾学校西校区等城市建设项目,分析了锚杆-框格梁结构的作用机理、适用条件、设计方案、施工措施等。研究表明,该结构轻盈、受力合理、设置灵活、造型美观、造价低廉、应用广泛,在边坡防护工程中取得了较好的效果。

本文依托南京机场二通道项目,针对现状路侧高边坡进行稳定性分析,结合工程地质条件、景观要求、施工难易度、工程造价等因素,推荐锚杆-框格梁结构为主要防护方案。

## 1 锚杆-框格梁结构简介

锚杆-框格梁结构通过锚杆将边坡表面浇筑的框格梁与其深处稳定岩层锚固在一起,不仅使边坡的位移和坡体内的裂缝能得到有效控制,而且使边坡更安全、更稳定,同时在框格内设置植被防护以提高其景观效果<sup>[7]</sup>。

收稿日期: 2023-04-04

作者简介: 姜晓敏(1990—),女,工学硕士,工程师,从事道路设计工作。

锚杆作为边坡和框格梁的连接结构,是主要的受力部位。根据设计规范中对框格梁尺寸的要求,截面采用矩形时,梁单元尺寸不宜小于 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ ,梁底嵌入坡面岩体内的深度不宜小于 $0.2\text{ m}$ <sup>[8]</sup>。

## 2 工程应用

### 2.1 工程概况

图1所示为南京机场二通道与凤信路西北角现状城市高边坡,坡顶为新建匝道,来往车辆频繁。FXK0+295~FXK0+380范围内边坡受连续强降雨影响,坡面发生浅层失稳,范围全长85 m,边坡高约14 m。



图1 现状高边坡

根据现场情况,滑床主要位于人工填土层,属于小型土质滑坡,边坡整体顶部局部形成竖条张拉裂缝,最大裂缝宽度5 cm,但张拉裂缝尚未贯穿形成明显滑动面,如图2所示。

### 2.2 地质情况

如图3地质剖面图所示,场地岩土层表层为杂填土、素填土,其下为新近沉积的粉质黏土,下部为上更



图2 现场坡顶裂缝

新统沉积的粉质黏土;下覆基岩为侏罗系西横山组凝灰质安山岩。

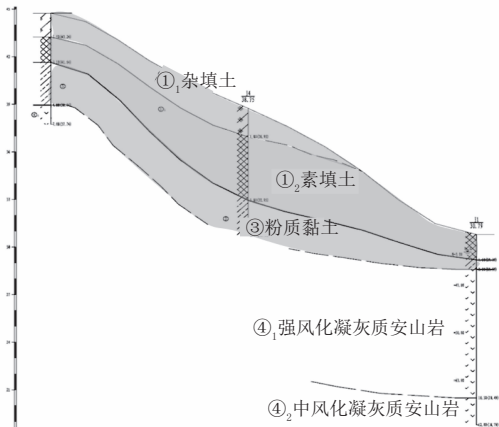


图3 工程地质图

2.3 边坡稳定性分析

项目现状为两级路堑边坡,其坡率均为1:1.3,第一级路堑坡高8 m,第二级坡高6 m,两级坡间设2 m平台。

2.3.1 定性分析

土体性质、荷载、边坡渗流条件、气候、边坡坡长、坡率和防护措施等均为影响高边坡稳定性的因素。

(1)土体性质因素:该边坡属人工边坡,岩土体上部为较厚的填土,中部为可~硬塑状粉质黏土,下部为强风化凝灰质安山岩和中风化凝灰质安山岩。坡体上部填土层自稳性差,透水性强,工程地质条件较差,强风化岩遇水浸泡后强度降低。

(2)荷载因素:坡顶为新修建的匝道,车辆荷载活动频繁。

(3)气候因素:受项目当期连续台风、暴雨等不利因素影响,雨水下渗,侵蚀边坡下层土体,降低土体强度,进而减小土体间的摩擦力,破坏边坡坡体整体稳定性<sup>[9]</sup>。

(4)坡度:根据现场踏勘调查,工程施工后,边坡坡度多在30°~45°,坡度较陡;地表植被主要为种植草皮和苗木,且施工时边坡压实度不够,导致其整体

强度较低。

2.3.2 定量分析

选取最不利横断面AK0+880(桥台位置)为研究对象进行稳定性计算分析,其最大填方高度为14 m,稳定性计算参数取值详见表1。

表1 稳定性计算参数取值

| 地层                    | 工况Ⅰ(天然工况)                      |       |       | 工况Ⅱ(暴雨工况)                      |       |       |
|-----------------------|--------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
|                       | 天然重度/<br>(kN·m <sup>-3</sup> ) | c/kPa | φ/(°) | 饱和重度/<br>(kN·m <sup>-3</sup> ) | c/kPa | φ/(°) |
| ① <sub>1</sub> 杂填土    | 18.5                           | 4.0   | 15.0  | 18.7                           | 3.5   | 14.0  |
| ① <sub>2</sub> 素填土    | 18.7                           | 8.0   | 20.0  | 18.9                           | 7.5   | 19.0  |
| ③粉质黏土                 | 19.9                           | 53.1  | 15.9  | 20.1                           | 50.0  | 13.0  |
| ④ <sub>1</sub> 强风化安山岩 | 21.5                           | 40.0  | 30.0  | 22.0                           | 35.0  | 29.0  |
| ④ <sub>2</sub> 中风化安山岩 | 25.0                           | 300.0 | 40.0  | 25.2                           | 280.0 | 35.0  |

利用简化毕肖普法,经数值计算,绘制边坡潜在滑动面如图4所示。由图可见,潜在滑动面1为浅、表层滑塌,位于素填土层,潜在滑动面2为沿深层滑动面的滑塌,位于粉质黏土层。该边坡在正常工况下最不利稳定系数为1.0,在暴雨工况下的最不利稳定系数为0.87,整体边坡下工况Ⅰ处于欠稳定状态,工况Ⅱ下处于不稳定状态,与现状暴雨下发生局部小型滑塌相符,需进行加固处理。

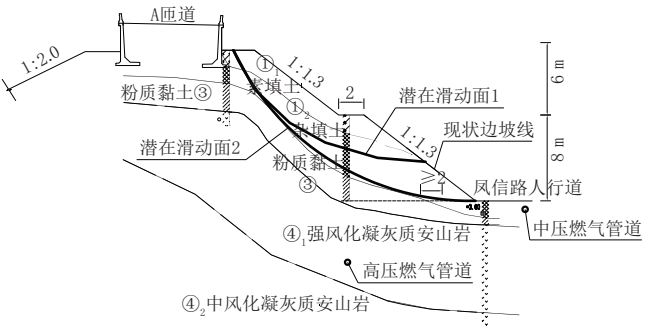


图4 边坡潜在滑动面

3.3 边坡整治工程设计

3.3.1 总体方案

项目位于南京市青奥长廊沿线,景观要求高,且边坡对面为大型居民小区,对环境影响要求高,一旦失稳危害较大。

(1)坡面防护

边坡高14 m,长度约85 m,形状规则,规模较小,同时结合经济因素,并参考周边既有边坡处置成果,该项目选用锚杆-框格梁结构为坡面防护方案。

(2)坡脚防护

边坡高且陡峭,坡顶存在车辆动荷载,经初步计算,仅采用锚杆-框格梁防护时滑动安全系数为1.03,小于规范值1.3,因此在坡脚同步设置支挡结构,进一步加强边坡的稳定性。表2从工程造价、防护规模、施工风险、环境影响等角度进行了对比。经比选抗滑桩板墙结构稳定性高,造价低廉,因此确定其为该项目坡脚防护方案。

该项目总体方案中通过锚杆-框格梁同步控制深、浅层滑动,通过抗滑桩板墙控制深层滑动。

| 表2 坡脚整治方案比选表 |                                             |                                |                                  |
|--------------|---------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 比选项目         | 锚杆防护+<br>抗滑桩板墙                              | 锚杆防护+<br>抗滑挡土墙                 | 锚杆防护+<br>挡土墙+钢管桩                 |
| 工程造价<br>/万   | 约180                                        | 约195                           | 约205                             |
| 尺寸           | 桩长8 m,圆形断面,直径1.3 m,桩中心间距4 m,地面上悬臂段2 m,埋深6 m | 上顶宽3.5 m,下底宽4.5 m,墙高3.5 m,尺寸较大 | 挡墙上顶宽2 m,钢管桩直径需达到1 m,埋深10 m,尺寸较大 |
| 施工风险         |                                             | 挡墙开挖易引起边坡滑动                    | 挡墙开挖易引起滑坡。                       |
| 环境影响         | 大型机械进场,对环境的影响大                              | 人工施工,对环境的影响小                   | 人工施工,对环境的影响小                     |
| 其他缺点         |                                             | 埋深位于土层,承载力差,需地基处理              | 钢管桩对既有地下管线影响大                    |

3.3.2 治理措施

(1)边坡加固处治设计

如图5所示,框格梁设置为4 m×3 m的网格形状,用C30混凝土浇筑,内部通过三维网植草增强边坡的美观性。

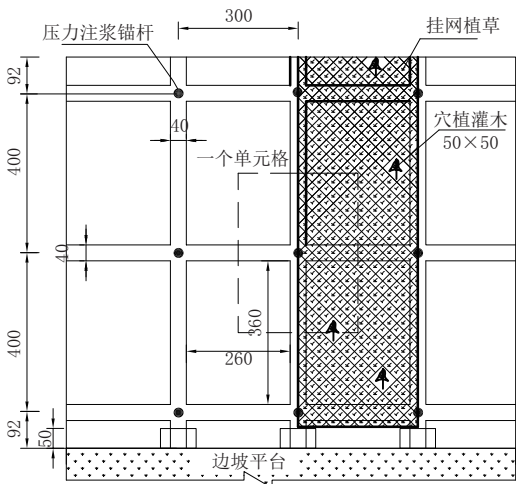


图5 3 m×4 m 框架梁立面图(单位:cm)

表3为边坡整治锚杆设计参数,图6所示为第一级边坡锚杆布置图,自下而上共设置3道压力注浆锚杆。由于此边坡下存在一条高压燃气管道,为

表3 锚杆参数一览表

| 边坡<br>分级 | 锚杆<br>长度/m | 黏结强度<br>特征值/kN | 锚杆<br>直径/mm | 倾角/<br>(°) | 压浆<br>标准 |
|----------|------------|----------------|-------------|------------|----------|
| 第一级      | 8          | 40             | Φ25         | 15°        | C25      |
|          | 15         | 140            | Φ25         | 15°        | C25      |
| 第二级      | 6          | 30             | Φ25         | 20°        | C25      |
|          | 12         | 100            | Φ25         | 15°        | C25      |

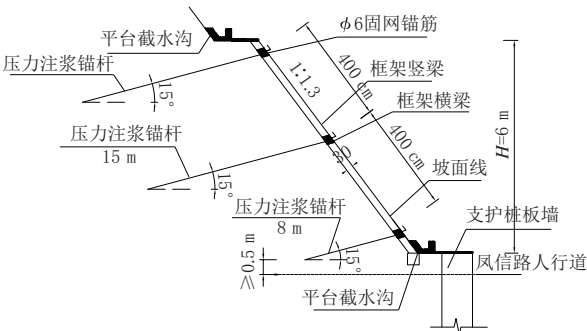


图6 3 m×4 m 框架-锚杆结构图(第一级边坡)

保证施工安全,第1道锚杆长8 m,第2、3道每根长15 m。

第二级路堑边坡由于坡顶挡土墙的限制,自下而上设置3道压力注浆锚杆,第1、2道每根长12 m,第3道每根锚杆长6 m,如图7所示。

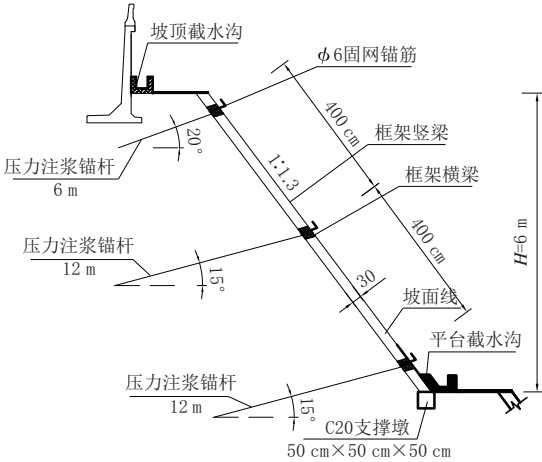


图7 3 m×4 m 框架-锚杆结构图(第二级边坡)

(2)边坡支挡设计

受高压燃气管道对锚杆长度及桩板墙位置的限制,为进一步加强边坡稳定性,在第一级边坡坡脚设置桩板墙防护,支护桩长8 m,悬臂段2 m,埋深6 m,桩间距4 m,桩身截面为圆形,直径1.3 m,如图8所示。

(3)边坡排水设计

做好边坡排水,是保障边坡稳定的重要措施。该项目在各级边坡坡脚以上1.5 m处增设一排仰斜式排水管,纵向间距3 m。在桩顶平台、边坡平台及堑顶



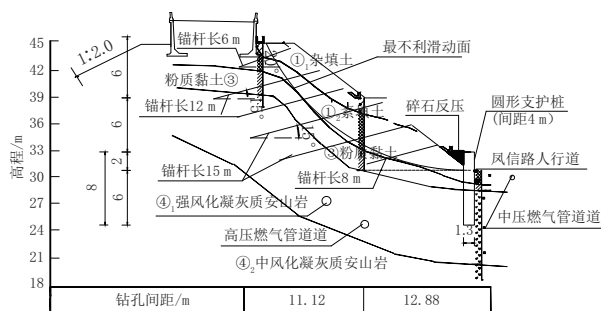


图8 路基边坡治理工程横断面布置图

平台增设截水沟,以加强排水。同时,在桩板墙内侧设置碎石盲沟,既能起到排水作用,也能反压坡脚避免隆起。

#### (4) 整治效果

采用上述边坡整治措施,正常工况下坡体稳定系数大于1.3,暴雨工况下安全系数大于1.2,地震状态下坡体稳定系数大于文献[10]中第1.1.5条的要求,均满足规范要求。图9和图10为整治后的现场照片。



图9 完工后的锚杆-框格梁防护照片



图10 完工后的桩板墙防护照片

#### 3.3.3 边坡监测

因高边坡坡体、桩板墙对变形控制的要求高,做好监测十分必要。本项目在现状边坡二级路堑、一级路堑和桩板墙顶部共设置7处监测点,按施工期每3d1次,工后每15d1次的频率观测,结果如图11和图12所示。

该项目先施工锚杆-框格梁,后施工桩板墙,总工期30d。从变形-时间图中可见,现状边坡在施工期变形逐渐增大,整治后变化率逐渐减小,在完工约

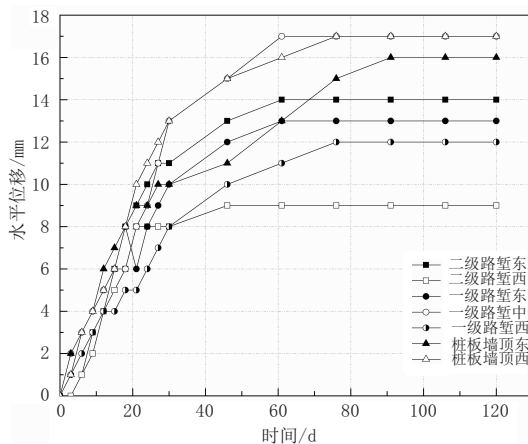


图11 边坡水平位移-时间曲线图

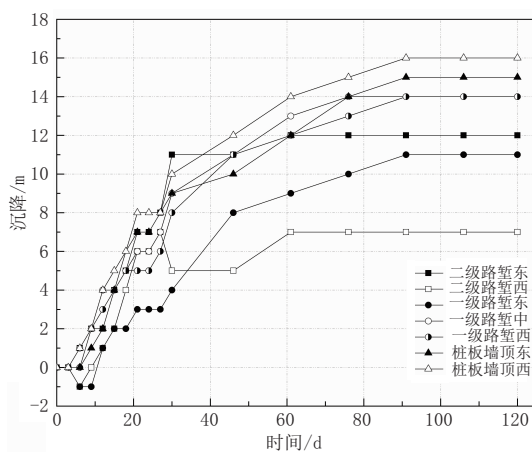


图12 边坡沉降-时间曲线图

2个月后总变形量基本维持量。各观测点总变形量均小于18mm,满足规范要求。

## 3 结语

高边坡失稳风险性大,特别当其位于城市道路沿线时,往往会造成更严重的后果。因此稳定性、经济性、工期、美观性等多方面分析论证其加固方案显得尤为重要。依托工程南京机场二通道项目,阐述锚杆-框格梁在城市道路高边坡防护中的应用。

(1)锚杆-框架梁结构在保证安全的前提下,同步治理深层、浅层滑动,同时能兼顾外形美观、造价低廉等优点。通过该项目的实施,进一步证明其为一种安全稳定、经济合理的城市道路高边坡防护形式,优越性好。

(2)在高边坡整治方案选择时,不能单纯局限某一特定方案,可根据具体建设条件和控制因素,因地制宜地选择多种方案联合整治。

(3)高边坡路段监测预报是保证边坡在施工中稳定的关键,同时也是检测计算方案的有效手段,边坡整治工程中应加强对重大不良工程工点的变形、沉降、位移监测。

(下转第199页)

3.2.4 盖梁位移

盖梁合龙后,悬臂端部竖向位移监测值见表 9。位移监测从合龙预应力开始张拉到张拉结束,实测合龙预应力产生的竖向位移 4.0 mm,有限元理论计算值为 4.5 mm,实测值和理论值吻合程度较好,误差在 -0.5 mm 以内。

表 9 盖梁合龙后悬臂端部竖向位移

| 参数名称     | 合龙预应力产生的竖向位移 /mm |     |           |
|----------|------------------|-----|-----------|
|          | 实测值              | 理论值 | 实测值 - 理论值 |
| 东侧节段悬臂端部 | 4.0              | 4.5 | -0.5      |
| 西侧节段悬臂端部 | 4.0              | 4.5 | -0.5      |

4 结 语

综合 GL1 型等多种类型的盖梁的反拉法盖梁装配施工工艺试验监测结果进行分析,得出以下结论:

(1)盖梁节段吊装时间可以控制在10~15 min,能满足座浆料施工时间控制要求,实现盖梁高效快速拼装施工。

(2)盖梁节段采用精轧螺纹钢进行反拉锚固施工,在吊装阶段反拉钢筋加载稳定,施工过程可控。

(3)反拉钢筋的预应力损失计算可以采用规范建议值,计算时主要考虑多项压缩量对预应力损失的影响,钢筋松弛损失可忽略。

(4)节段吊装施工中产生的扰动对立柱位移影响很小,几乎可以忽略,立柱垂直姿态可控。

(5)整个吊装过程中,节段安装过程稳定,采用的多阶段张拉和卸载流程可以满足预制的大偏心节段平稳就位的要求。

(6)立柱混凝土全截面受压,满足盖梁预制拼装施工过程中立柱混凝土应力状态要求。

(7)盖梁节段反拉锚固后,盖梁控制截面仅出现最大 0.05 MPa 的实测拉应力,满足盖梁施工阶段应力控制要求。

(8)盖梁合龙后,立柱底全截面受压,立柱应力水平基本对称,立柱体现出非常良好的受力状态,立柱应力实测值满足施工阶段受力要求。

(9)盖梁合龙后,悬臂根部上缘压应力实测值均大于理论值,盖梁应力实测值满足施工阶段受力要求。

(10)盖梁节段施工过程的控制指标监测值和有限元理论计算值吻合程度好,说明理论计算方法适宜。

参考文献:

[1] 王兵,万星,沈殷.基于可靠度理论的盖梁无支架反拉法设计[J].建筑结构,2021,51(增刊 1): 394-399.  
[2] 叶可炯,赵国强,沈殷,等.大悬臂盖梁节段拼装施工及应用[J].上海公路,2019,155(4): 40-45.

(上接第 188 页)

参考文献:

[1] 吴富毅.锚索框格梁施工在高边坡路基防护中的应用[J].西部交通科技,2018(9):45-59.  
[2] 余洋.浅谈锚杆框格梁施工工艺[J].黑龙江交通科技,2013,36(11): 186.  
[3] 吴永强.高边坡预应力锚索框格梁防护施工技术[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(6):52-54.  
[4] 谢振安.公路扩建工程既有高边坡防护设计[J].工程技术研究,2021,6(12):205-206.

[5] 刘楠.城市高边坡开挖稳定性分析及防护方案设计[J].黑龙江交通科技,2022,45(10):58-60.  
[6] 苏相岗,赖世民,陈振林,等.高边坡防护工艺设计与施工技术研究[J].工程建设与设计,2023(2):137-139.  
[7] 刘魏.锚杆-框架梁结构在高边坡中的应用[J].公路与汽运,2014(1):99-102.  
[8] JTG/T 3334—2018,公路滑坡防治设计规范[S].  
[9] 王二赞.公路路基高边坡防护的设计核心探究[J].河南科技,2020,39(28):118-120.  
[10] JTG D30—2015,公路路基设计规范[S].