

# 不同框架锚杆布置方式对加固边坡效果影响分析研究

谭玉强, 姬同旭, 安邦超

(贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州 贵阳 550081)

[摘 要] 俯斜式锚杆, 因其设计相对简单, 施工方便, 国内外在进行边坡防护时, 得到大规模应用, 但从其受力特性来看, 此种布置方式不能充分发挥锚杆抗拉强度大的这一特点。基于此, 本文通过数值模拟的方法对比分析研究了仰斜式、平行式、俯斜式三种不同锚杆布置形式在防治边坡时的加固效果并得到如下结论: 在相同的框架梁结构的情况下, 就单从监测点的位移变化来看, 仰斜式的布置方式要优于平行式布置方式和俯斜式布置方式, 俯斜式布置方式为最不利布置方式。当采用仰斜式锚杆进行边坡加固时, 锚杆轴力偏大, 在锚杆抗拉能力允许的情况下, 仰斜式锚杆可充分发挥锚杆的优点, 但在实际工程中需适当增加锚杆锚固段长度。采用仰斜式布置形式时, 坡面无明显滑动, 框架梁基本处于低受力状态, 边坡加固效果要明显优于平行式布置方式和俯斜式布置方式。

[关键词] 框架锚杆; 仰斜式; 布置方式; 边坡; 加固效果

[中图分类号] U418.5+2 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2020)-01-0098-05

## 1 引言

边坡防护技术中, 岩土锚固技术是运用最广泛的一种。锚杆支护技术含量高、施工成本低、支护效果好、操作简单快捷, 是现在国内外先进并且普遍支护形式。目前, 俯斜式锚杆, 因其设计相对简单, 施工和注浆很方便, 在国内外在进行边坡防护时, 得到大规模应用。但从锚杆的受力特性来看, 常规的俯斜式布置方式在实际工程中由于锚杆与边坡滑动面呈  $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$  斜交, 当边坡产生一定位移后锚杆主要承受的是剪应力, 锚杆轴力与剪应力的比值(剪轴比)很小, 所以锚杆的抗拉性能没有充分地发挥出来, 抗力不足致使坡体变形位移过大。目前对于框架锚杆布置方式的研究大多仍集中在俯斜式锚杆框架方面, 哈建超在相同工程量的基础上, 通过锚杆框架结构的参数比选, 对矩形框架进行结构优化(哈建超, 2014)。曾昌海通过数值模

拟的方法开展了菱形与矩形格构锚固形式的加固效果对比分析研究, 得出了一定成果(曾昌海等, 2018)。姜容对比分析了正方形、长方形截面下菱形锚固体系的锚固效应和受力情况(姜容, 2013)。侯小强通过对框架预应力锚杆受力进行分析, 开展框架预应力锚杆结构优化设计(侯小强等, 2015)。黄先明以江西万宜高速公路的某一膨胀土路堑高边坡为工程背景, 开展了膨胀土路堑高边坡框架锚杆支护参数优化研究。但在能充分发挥锚杆受力作用的布置方式上研究成果较少(黄先明, 2017)。董平采用数值模拟和室内模型试验的方式开展了复合锚杆支护方式的研究(董平等, 2016)。苏弦开展了复合锚杆挡墙在临河高边坡支挡工程中的应用研究(苏弦等, 2016)。苏龙、周钊采用数值模拟的方法研究了仰斜式锚杆加固挡土墙的效果(苏龙, 2015; 周钊, 2014; 周钊等, 2014)。从现有的研究成果来看, 在能充分发挥锚杆受力作用的布置方式上研究成果对工程应用的指导意义不大。鉴于此

[收稿日期] 2019-10-25 [修回日期] 2019-12-23

[基金项目] 贵州省交通运输厅科技项目(2016-123-029)。

[作者简介] 谭玉强(1981—) 山东德州人, 高级工程师, 硕士, 主要从事地质与岩土工程相关方面研究。

种背景下,本文开展不同框架锚杆布置方式加固边坡效果影响分析研究显得尤为必要。

## 2 框架锚杆布置方式

在前人研究的基础上,本文将框架锚杆的

布置方式分为俯斜式、水平式和仰斜式三类。三种布置方式如图 1 所示。三种锚杆的布置方式,锚杆的起点一致,因此三种布置方式的框架梁布置方式是一样的。考虑到工程实际,本文将仰斜式框架锚杆的第一排的锚杆倾斜角度设为  $7^\circ$ 。

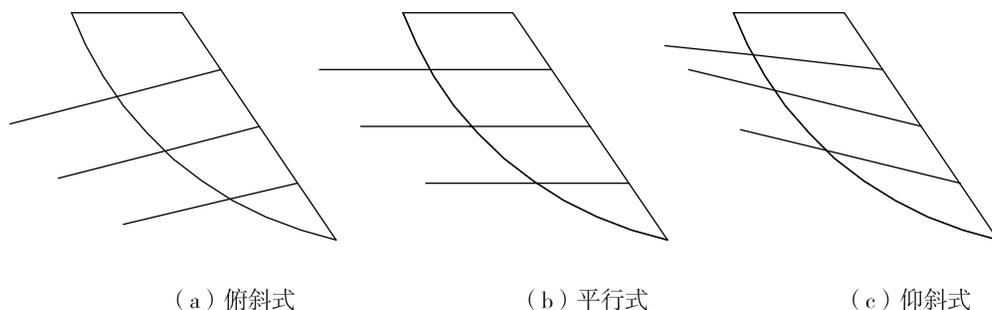


图 1 锚杆布置方式

Fig. 1 Lay-out mode of bolt

## 3 模型建立与参数确定

本文采用数值模拟的方法,在相同框架面积、相同工程量、相同框架界面的条件下开展不同框架锚杆的布置方式下的加固效果对比分析研究。其中锚杆的锚固段长度均为 5 m。框架梁的布置

方式及监测点布置情况如图 3 所示,黑色实心原点为锚杆头部,A 点、B 点和 C 点以及对应的坡脚点为监测点。框架为  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 。假定边坡为岩性较为均匀的土质边坡,模型长 32 m、高 15 m、宽 9 m,共计 18 110 个单元,模型如图 3 所示。岩土体参数如表 1 所示,框架梁结构参数见表 2,锚杆结构参数见表 3。

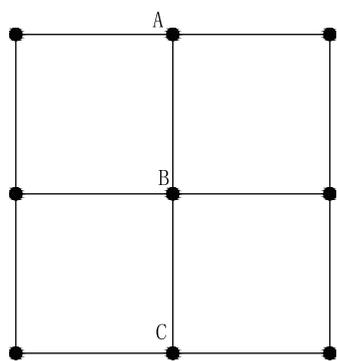


图 2 框架梁及监测点布置图

Fig. 2 Arrangement of frame beam and check points

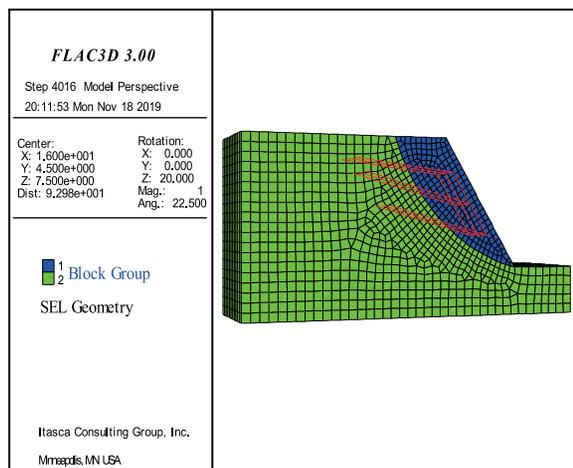


图 3 边坡模型图

Fig. 3 Diagram of side slope

表 1 岩土体参数

Table 1 Parameters of rock and earth mass

材料	弹性模量 $E(pa)$	泊松比 $\mu$	粘聚力 $c(kPa)$	内摩擦角 $\phi(^{\circ})$	容重 $r(KN/m^3)$
滑体	1e7	/	15.00	15.15	19.80
基岩	3e9	0.25	50.00	30	25.00

表2 框架梁结构参数

Table 2 Structural parameters of frame beam

材料	弹性模量 $E(pa)$	泊松比 $\mu$	横截面积 ( $m^2$ )	极惯性矩 $J$	y 轴二次矩 $J_y$	z 轴二次矩 $J_z$	外围周长 (m)
框架梁	2.55e10	0.2	0.01	1.66e-5	1.3e-5	30	0.4

表3 锚杆结构参数

Table 3 Structural parameters of bolt

材料	弹性模量 $E(pa)$	水泥浆 摩擦角 $\phi(^{\circ})$	水泥浆 粘结力 $c(pa)$	水泥浆 刚度 $K$	水泥浆 外圈周长 (m)	横截面积 ( $m^2$ )	抗拉强度 $\sigma(pa)$	容重 $r(kN/m^3)$
锚索	2e11	23	3.14e4	24e9	0.314	0.1539e-3	3.35e8	25.00

### 4 结果分析

为分析不同下滑推力下两种锚固方式的加固效果,本文选择在滑体上部依次施加 0 kPa、12 kPa、15 kPa、18 kPa、21 kPa、24 kPa、27 kPa、30 kPa、33 kPa 的荷载。根据计算结果选择从监测点水平向位移、锚索最大轴向应力、框架梁最大应力 (FZ) 及框架梁最大弯矩 (MZ) 四个方面进行对比分析。

#### 4.1 监测点水平向位移

从图 4、5 可以看出,随着上部荷载的增加,监测点的水平向位移也逐步增大,且三种布置方式监测点的水平向位移增大趋势基本相同。当采用俯斜式布置方式时,监测点水平向位移随上部荷载变化,其位移增大速率较其他方式大,当上覆荷载为 33 kPa 时,其监测点水平向位移最大可达到 518.8 mm,远大于其他两种布置方式。对于平行式和仰斜式两种布置方式来看,当滑体上部荷载小于 12 kPa 时,布置方式监测点的的水平位移基本处于同一水平;当上部荷载大于 12 kPa 时,平行式布置方式监测点的水平位移突然上升且幅度较大,在上部荷载为 33 kPa 时,水平位移最大值为 82.56 mm,而仰斜式布置方式的监测点水平位移虽有一定程度的增大但幅度相比矩形结构要小,在上部荷载为 33 kPa 时,水平位移最大值为 27.92 mm,仅为俯斜式布置方式的 5.4%,为平行式布置方式的 33.8%。由以上分析可知:在相同的框架面积下,就单从监测点的位移变化来看,仰斜式的布置方式要优于平行式布置方式和俯斜式布置方式,俯斜式布置方式为最不利布置方式。

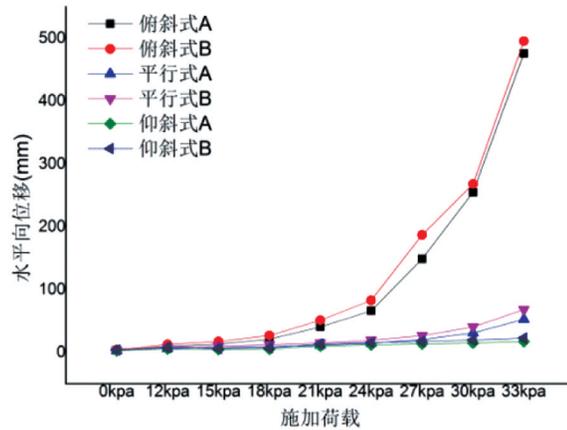


图4 同布置方式下 A、B 监测点水平向位移

Fig. 4 Horizontal displacement of A, B check point under different lay-out mode

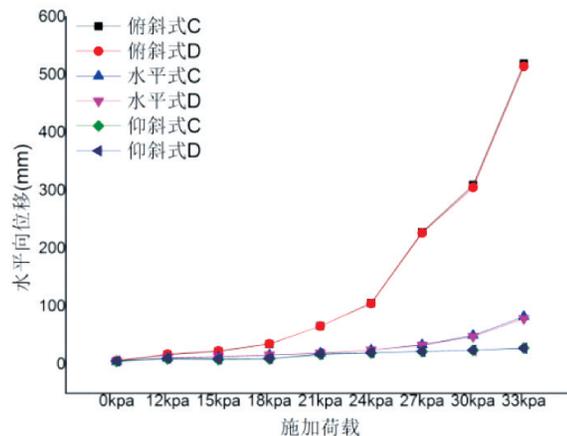


图5 不同布置方式下 C、D 监测点水平向位移

Fig. 5 Horizontal displacement of C, D check point under different lay-out mode

### 4.2 锚杆最大轴力分析

从图 6 可以看出,当滑体上部无荷载时,三种布置方式下锚杆轴力最大值基本在同一水平,当滑体上部施加荷载时,三种布置方式下锚杆轴力最大值基本均呈增大趋势,但仰斜式布置方式时,锚杆轴力最大值增加速率要大于其他两种布置方式。在上部荷载为 33 kPa 时,仰斜式锚杆最大轴力为 195.2 KN,较平行式锚杆增大 19.5%,较俯斜式锚杆增大 27.3%。由以上分析可知,当采用仰斜式锚杆进行边坡加固时,锚杆轴力偏大,而采用平行式布置和俯斜式布置方式时,锚杆轴力变化不大。考虑到锚杆抗拉性能要强于抗剪性能,在锚杆抗拉能力允许的情况下,仰斜式锚杆可充分发挥锚杆的优点,但在实际工程中需适当增加锚杆锚固段长度,以避免出现锚杆轴力过大导致锚杆断裂的情况。

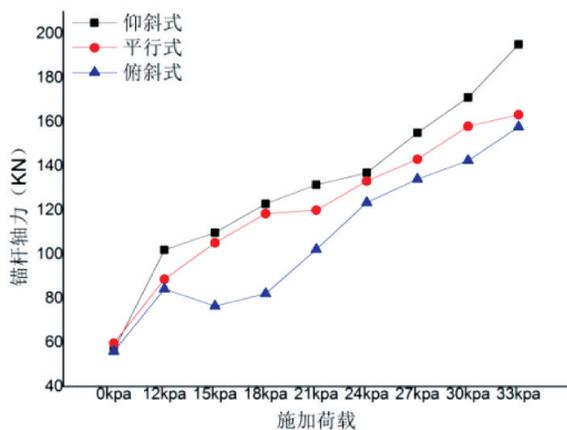


图 6 不同布置方式下锚杆最大轴力

Fig. 6 The biggest axial force of bolt under different lay-out mode

### 4.3 框架梁最大应力及弯矩

从图 7 可以看出,随着上部荷载的增加,三种布置方式下框架梁的最大 Z 向应力均呈增大趋势。当滑体上部荷载小于 15 kPa 时,三种布置方式下框架梁的最大 Z 向应力基本一致。;当滑体上部荷载大于 15 kPa 时,俯斜式布置形式下框架梁的最大 Z 向应力上升幅度较大且远大于平行式和仰斜式布置形式,在上部荷载为 33 kPa 时,仰斜式布置形式下框架梁的最大 Z 向应力值为 1.45 KN,为俯斜式布置形式的 2.5%,为平行式俯斜式布置形式的 7.7%,说明采用仰斜式布置形式时,边坡加固效果较好,坡面无明显滑动,框架梁基本处于低受力状态。

从图 8 可以看出,随着上部荷载的增加,三种布置方式下框架梁的最大 Z 向弯矩均呈增大趋势。当滑体上部有施加荷载时,俯斜式布置形式下框架梁的最大 Z 向应力上升幅度较大且远大于平行式和仰斜式布置形式,在上部荷载为 33 kPa 时,仰斜式布置形式下框架梁的最大 Z 向应力值为 1.97 KN·m,为俯斜式布置形式的 4.1%,为平行式俯斜式布置形式的 21%,说明采用仰斜式布置形式时,边坡加固效果较好,坡面无明显滑动,框架梁基本处于低受力状态。

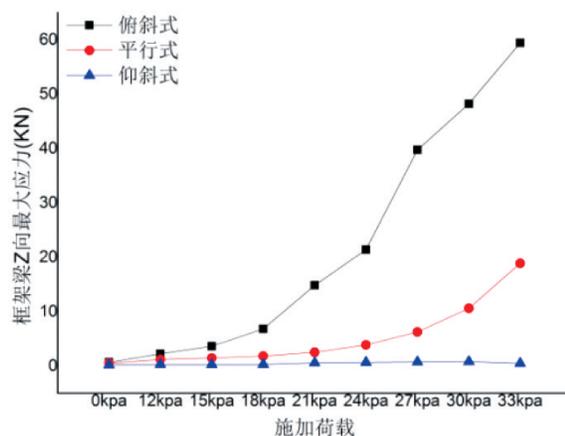


图 7 不同布置方式下框架梁最大 Z 向应力

Fig. 7 The biggest Z direction stress of frame beam under different lay-out mode

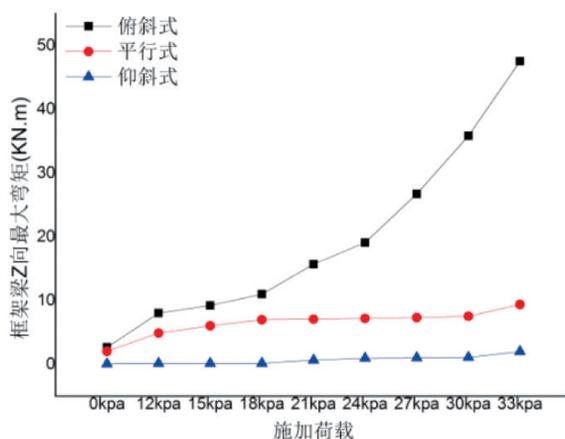


图 8 不同布置方式下框架梁最大 Z 向应力

Fig. 8 The biggest Z direction bending moment of frame beam under different lay-out mode

## 5 结论

本文通过数值模拟的方法对比分析研究了仰斜式、平行式、俯斜式三种不同锚杆布置形式在防治边坡时的加固效果。研究得到的结论如下:

(1)从三种不同锚杆布置形式下监测点的位移情况看来,在相同的框架梁结构的情况下,就单从监测点的位移变化来看,仰斜式的布置方式要优于平行式布置方式和俯斜式布置方式,俯斜式布置方式为最不利布置方式。

(2)当采用仰斜式锚杆进行边坡加固时,锚杆轴力偏大,在锚杆抗拉能力允许的情况下,仰斜式锚杆可充分发挥锚杆的优点,但在实际工程中需适当增加锚杆锚固段长度。

(3)从三种不同锚杆布置形式下框架梁最大应力及弯矩情况看来,采用仰斜式布置形式时,坡面无明显滑动,框架梁基本处于低受力状态,边坡加固效果要明显优于平行式布置方式和俯斜式布置方式。

(4)目前受仰斜锚杆注浆的限制,对于本项目提出的锚杆支护布置形式只是局限于数值分析阶段,尚缺乏相关实际工程验证,后期可进一步依托实际工程进行工程实践。

[参考文献]

董平,延兆齐,梁丹,等. 2016. 边坡复合锚杆支护技术研究[J]. 公路,9(9):135-139.

哈建超. 2014. 高陡岩质边坡崩塌病害数值模拟及锚杆框架结构优化分析[D]. 兰州:兰州交通大学.

侯小强,田树涛,姚正学. 2015. 框架预应力锚杆高边坡加固机理及优化设计研究[J]. 公路工程,8(8):81-85.

黄先明. 2017. 膨胀土路堑高边坡稳定性分析及支护参数优化研究[D]. 南昌:南昌工程学院,姜容. 2013. 边坡防治菱形格构锚固体系数值模拟及安全监测方案研究[D]. 西安:长安大学.

苏龙. 2015. 仰斜式锚杆挡土墙挡水影响数值模拟分析[D]. 太原:太原理工大学.

苏弦,王娟华. 2016. 复合锚杆挡墙在临河高边坡支挡工程中的应用[J]. 工程勘察,2(增2):97-103.

曾昌海,陈柳柳. 2018. 菱形与矩形格构锚固形式的加固效果对比分析研究[J]. 公路交通技术,4(34):6-9.

周钊,孙建生. 2014. 仰斜式锚杆挡土墙三维有限元模拟分析[J]. 水电能源科学,9(9):103-106.

**Analysis and Research on the Effect of Different Arrangement of Frame Bolt on Slope Reinforcement**

TAN Yu-qiang,JI Tong-xu,AN Bang-chao

(Guizhou Transportation Planning Survey & Design Academe CO., LTD., Guiyang 550081, Guizhou, China)

[Abstract] Because of its relatively simple design and convenient construction, the inclined bolt has been widely used in slope protection at home and abroad. However, from the perspective of its mechanical characteristics, this arrangement can not give full play to the high tensile strength of the bolt. Based on this, this paper analyzes and studies the reinforcement effect of three different bolt arrangements, i.e. oblique, parallel and oblique, in landslide prevention and control by numerical simulation. The conclusion is as follows: under the same frame beam structure, the oblique arrangement is superior to the parallel arrangement and oblique arrangement in terms of the displacement change of monitoring points The most disadvantageous layout is inclined layout. When the inclined bolt is used to reinforce the slope, the axial force of the bolt is too large. When the tensile capacity of the bolt is allowed, the inclined bolt can give full play to the advantages of the bolt, but the length of the bolt should be increased properly in the actual project. When the inclined arrangement is adopted, the slope has no obvious sliding, the frame beam is basically in a low stress state, and the reinforcement effect of the slope is obviously better than the parallel arrangement and the inclined arrangement.

[Key Words] Frame bolt; Inclined type; Arrangement mode; Side slope; Reinforcement effect