

高陡边坡脚手架的稳定性研究

魏光华,谭海亮,胡翠敏

(深圳市综合交通与市政工程设计研究总院有限公司,广东 深圳 518000)

摘要:为研究高陡边坡脚手架的稳定性,以实际工程项目为背景,借助有限元软件,研究分析立杆间距和立杆步距两个布设参数对扣件式钢管脚手架整体稳定性的影响,并引入锁脚锚杆技术优化脚手架的边界连接性能,以提高扣件式钢管脚手架整体稳定性。通过以上研究,可以合理确定脚手架结构搭设参数,加强脚手架在高陡边坡施工作业过程中的安全稳定性能,并为类似工程提供借鉴。

关键词:高陡边坡;脚手架;稳定性;锁脚锚杆

中图分类号: TU731.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)09-0292-04

0 引言

随着经济的快速发展,我国基础设施建设蓬勃发展,脚手架已被应用于各种工程的施工中,其中钢管脚手架因其架设方便、施工灵活、可重复使用等优点,在各种支撑系统中具有独特优势,成为施工过程中的关键临时设施^[1]。与常规脚手架相比,在高陡边坡安装脚手架更为复杂,脚手架作为支撑体系,工程施工的关键在于其安全性是否能得到有效保障,因此脚手架的设计尤为重要,不仅要满足强度要求,还要满足稳定性要求。由于现场施工的各种因素,发生多起因脚手架失稳导致的人员伤亡事件^[2]。对脚手架安全的影响因素方面,多位学者开展了一系列研究,如敖鸿斐等^[3]通过以脚手架的立杆步距、间距、杆件弹性模量、回转半径和连接件的转角刚度等变量,分析了单榀有连墙杆脚手架横向框架的稳定极限承载力影响。施小明等^[4]通过规范对长度系数、长度附加系数的规定及立杆计算长度计算公式的规定进行立杆间距、立杆伸出顶层水平杆中心线至支撑点的距离、步距等对计算长度影响的研究。从上述分析可知,对高陡边坡搭设脚手架的强度及稳定性研究较少。因此,对高陡边坡支护脚手架的强度和稳定性研究十分必要。

为研究高陡边坡脚手架的稳定性,以实际工程项目为背景,借助相关有限元软件科学合理地确定相关布设参数、引入新技术优化脚手架边界连结性

能;同时借助相关有限元软件对脚手架进行整体性分析,进一步验算脚手架的稳定性。

1 工程概况

新彩隧道的隧道洞口地形坡度较陡,一般在 $55^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 之间,平均坡度为 63° ,洞顶平台长约90 m,宽约18 m,地面高程约75~78 m,路面高程约63 m,洞顶台与路面高差约12~15 m;陡坡段(地面高程约172 m)顶部与洞顶平台高差为95~98 m,陡坡段(地表高程约172 m)顶部与洞顶平台最大高差为95 m,与路面最大高差约110 m,具有较大的相对高度差^[5]。边坡高程为岩石边坡,整体较为稳定,但岩石表面破碎体较多,岩石表面在降水和裂隙水作用下易发生落石灾害,对道路安全构成严重威胁,易发生严重交通事故。

2 脚手架立杆间距研究

对于高陡边坡搭设脚手架体系,顶部施工层的荷载通过水平杆传递到立杆上,立杆受到偏心受压。因为垂直于底面的立杆主要承受垂直荷载,因此,立杆间距的合理确定对脚手架的稳定性起着关键作用^[6]。在忽略其他因素的前提下,借助有限元软件,在步距一定时,分析不同的立杆间距对脚手架强度、刚度及稳定性的影响如图1所示。

2.1 模型建立

设立钢管支架步距为1.8 m,立杆间距从 $0.6\text{ m}\times 0.6\text{ m}$,以0.2 m等间距变化至 $1.6\text{ m}\times 1.6\text{ m}$,仿照新彩隧道高陡边坡搭建脚手架模型,总计6个模型。

利用有限元软件建立空间梁单元模型,研究立杆

收稿日期:2023-05-29

作者简介:魏光华(1981—),男,学士,高级工程师,从事道路及岩土工程设计与研究工作。

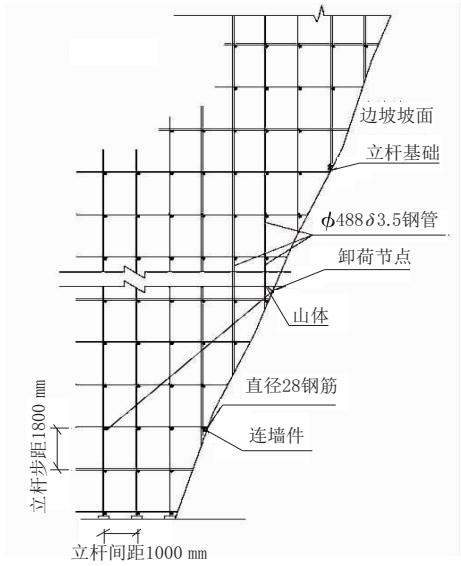


图 1 脚手架搭设示意图

间距对脚手架强度、刚度及稳定性的影响。模型高 20 m,宽 9 m,钢管截面为 $\phi 48.3 \times 3.6$ mm。计算荷载分为永久荷载和活动荷载,永久荷载为脚手架自重,由软件自动计算,脚手板自重取为 0.35 kN/m^2 ,各节段考虑 3 层脚手板自重;安全网自重取为 0.01 kN/m^2 ,栏杆自重取为 0.17 kN/m^2 ;活载取为 3 kN/m^2 ,各节段考虑 3 层施工荷载,风荷载按照规范计算取为 0.23 kN/m^2 ,纵、横杆及剪刀撑间采用刚性连接,立杆底部采用铰接,约束 x,y,z 三向位移。

模型视图如图 2 所示。

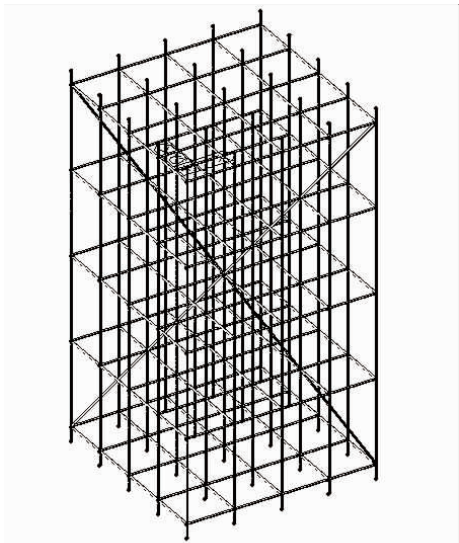


图 2 立杆间距 1.0 m × 1.0 m 三维模型图

2.2 结果分析

结果及钢管的临界荷载系数如图 3 至图 5 所示。从图 3 到图 5 可以看出,随着立柱间距的增加,钢管的最大应力值、最大变形和临界荷载系数均在不断变化。其中钢管的最大应力值与立杆间距呈现线性变化的关系;同时发现立杆间距 $1.6 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$

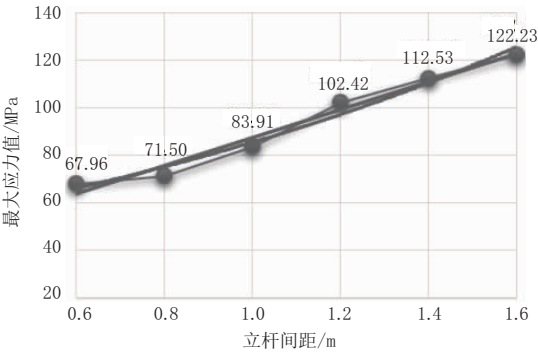


图 3 钢管最大应力结果曲线图

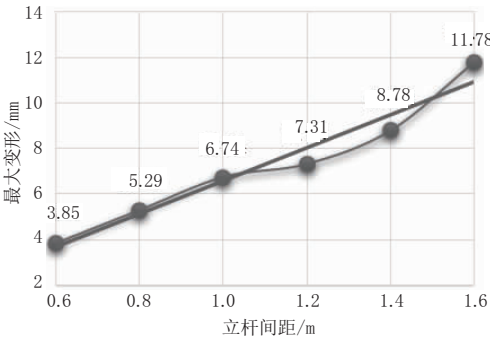


图 4 钢管最大变形结果曲线图

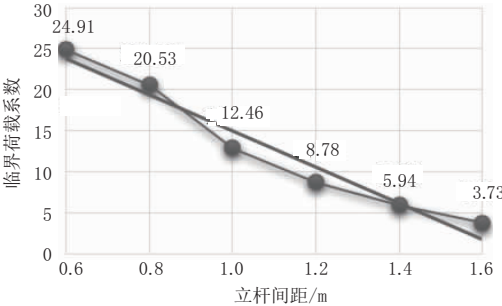


图 5 钢管临界荷载系数结果曲线图

时钢管的最大变形值是立杆间距 $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 的 3.1 倍,呈现微曲线变化。通过观察不同立杆间距下的钢管临界系数发现,随着立杆间距的变大,临界荷载系数值逐渐降低,当立杆间距为 $1.6 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$ 时,钢管最大变形大于 10 mm ,临界荷载系数为 3.73,此时表示钢管变形过大,存在不稳定性。由此表明过大的间距会导致支架变形速度过快。因此,应合理考虑脚手架的立杆间距,当立杆间距布置为 $0.8 \sim 1.2 \text{ m}$ 时,可以获得较好的强度、刚度和稳定性结果。

3 脚手架立杆步距研究

根据上文确定的合理立杆间距,当立杆间距为 1.0 m 时,分析不同的立杆步距对脚手架强度、刚度及稳定性的影响。

3.1 有限元模型建立

设立钢管支架间距为 1.0 m ,立杆步距从 1.2 m ,以 0.3 m 等间距变化至 2.4 m ,建立 4×4 跨模型,总

计5个模型。模型总体概况同2.1节。

3.2 结果分析

在立杆间距确定的前提下分析不同模型的最大应力结果、钢管最大变形结果及钢管的临界荷载系数如图6至图8所示。

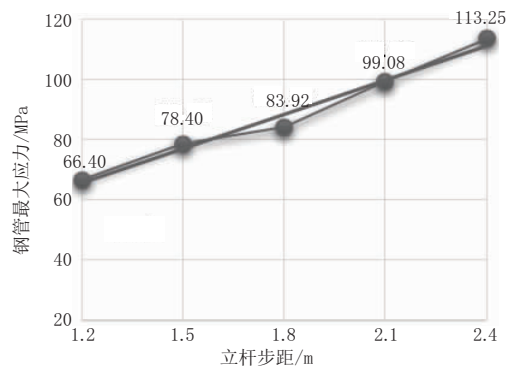


图6 不同步距下钢管最大应力结果曲线图

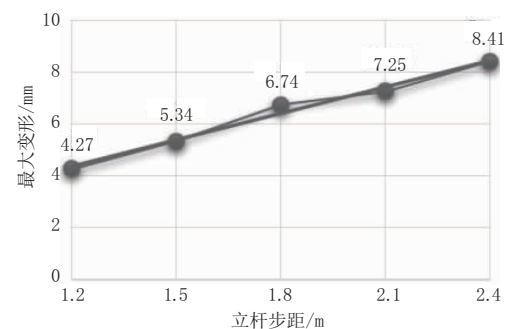


图7 不同步距下钢管最大变形结果曲线图

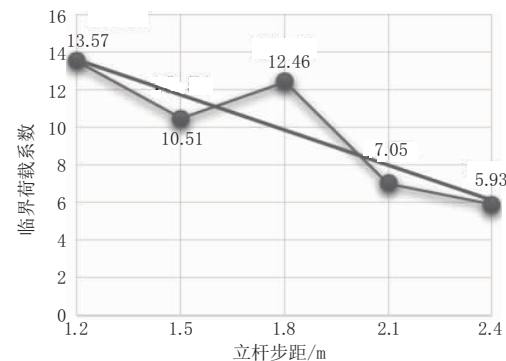


图8 不同步距下钢管临界荷载系数结果曲线图

由图6至图8可知,随着立杆步距的增大,钢管的最大应力值与立杆间距呈现线性拟合关系,当立杆间距增大至2.4 m时,应力值达到最大,为113.25 MPa;同时发现钢管最大变形值与立杆步距呈现微线性变化,但总体较立杆间距变化小,最大变形值为8.41 mm。通过观察不同立杆步距下的钢管临界荷载系数发现,随着立杆间距的变大,临界荷载系数值呈现曲线变化,随着立杆步距的增大,临界荷载系数逐渐降低,钢管容易发生屈曲变形。综合考虑立杆应力及变形结果,立杆步距在1.8 m时,可以获得较好的强度、刚度和稳定性结果。

4 脚手架层数研究

根据以上对脚手架立杆间距及立杆步距的分析,以立杆间距1.0 m、立杆步距1.8 m时,分析不同层数对脚手架强度、刚度及稳定性的影响。

4.1 有限元模型建立

设立钢管支架间距为1.0 m,立杆步距为1.8 m,脚手架层数从一层变化至四层,建立4×4跨模型,总计4个模型。模型总体概况同2.1节,其中风荷载依据规范计算确定。

4.2 结果分析

在立杆间距确定的前提下分析不同模型的最大应力结果、钢管最大变形结果及钢管的临界荷载系数如图9~图11所示。

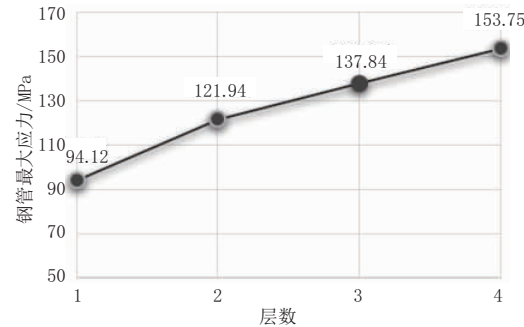


图9 不同层数下钢管最大应力结果曲线图

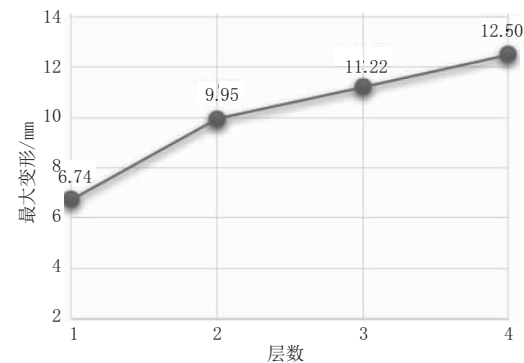


图10 不同步距下钢管最大变形结果曲线图

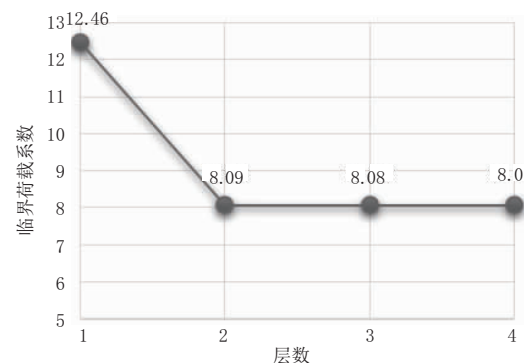


图11 不同步距下钢管临界荷载系数结果曲线图

由图9至图11可知,随着脚手架层数的增大,钢管的最大应力值与立杆间距呈现线性关系,当脚手

架为四层时,应力值达到最大,为 153.75 MPa,此时钢管最大变形值为 12.50 mm。通过观察不同层数的脚手架钢管临界荷载系数发现,当脚手架层数为 2-4 层时,临界荷载系数稳定在 8 左右,说明此时脚手架趋于稳定。

5 高陡边坡脚手架边界优化及稳定性研究

脚手架设计为 5 级, 单级最高 20 m, 总高度 95 m, 脚手架横向长度 40 m, 采用满堂扣件钢管脚手架, 脚手架侧立面如图 12 所示。

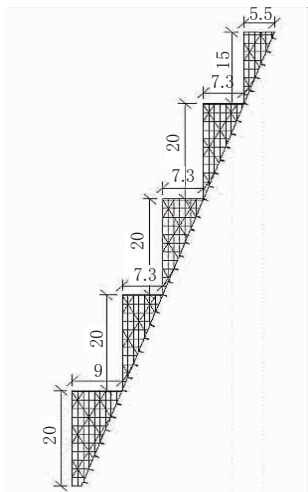


图 12 高陡边坡脚手架设计图

5.1 有限元模型建立

取最下方两级最不利的脚手架为研究对象。取横向 4 m 为一个计算单元,建立空间梁单元模型,钢管截面为 $\phi 48.3 \times 3.6$ mm,纵、横杆及剪刀撑间采用刚性连接,立杆底部采用铰接,约束 x, y, z 三向位移。

计算荷载分为永久荷载及活动荷载,永久荷载为脚手架自重,由软件自动计算,脚手板自重取为 0.35 kN/m^2 ,各节段考虑 3 层脚手板自重;安全网自重取为 0.01 kN/m^2 ,栏杆自重取为 0.17 kN/m^2 ;活载取为 3 kN/m^2 ,各节段考虑 3 层施工荷载,风荷载按照规范计算取为 0.23 kN/m^2 。建立的空间模型图如图 13、图 14 所示。

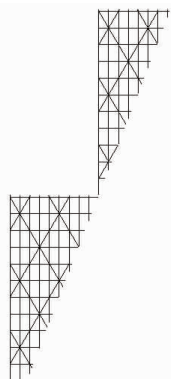


图 13 空间模型图

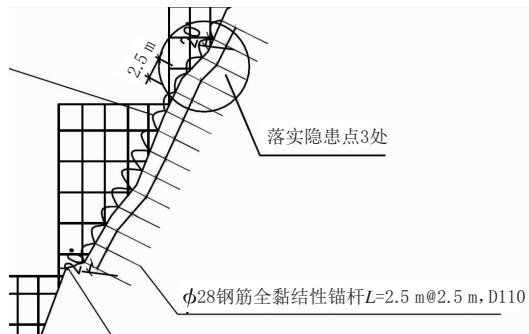


图 14 锁脚锚杆连接示意图

5.2 边坡防护施工

边坡防护施工时, 针对高陡边坡及边坡地形不规则的复杂环境下脚手架搭设困难的情况, 采用锁脚锚杆技术对脚手架边界条件进行优化, 在有限元模型中对锁脚锚杆技术的处理是将原有的立杆及横杆的铰接约束变为固结约束, 优化的结果如表 1 所列。

表 1 不同约束条件下钢管结果对比表

边界条件	最大应力 /MPa	最大变形 /mm	临界荷载系数
铰接约束	106.84	7.00	8.07
固结约束	112.25	6.74	8.87

与重新优化后的计算结果对比发现,原始模型脚手架应力最大值为 106.84 MPa,小于 Q235 钢材的设计抗拉强度。而优化后的脚手架应力最大值为 108 MPa,较铰接约束的结果稍大,这是因为约束增多,内力变大的结果导致的。

脚手架的屈曲失稳部位均为第一级中间部位，原始模型脚手架的临界荷载系数为 8.07，大于 4，满足稳定性要求。加入锁脚锚杆后的脚手架临界荷载系数为 8.87，较铰接约束大 10%，相对未优化的结果稳定性更好。

同时,以相关软件对新隧道边坡进行了稳定性分析,结果发现土体最大下滑力为 1 664.414 kN,小于抗滑力 2 757.112 kN,故边坡保持稳定。

6 结 语

综上所述,布置锁脚锚杆可优化脚手架与高陡边坡的连结性能,同时当立杆间距布置为 $0.8 \sim 1.2 \text{ m}$ 、立杆步距 $1.5 \sim 1.8 \text{ m}$,脚手架可以获得较好的强度、刚度和稳定性结果,同时边坡保持稳定性,如图 15 所示。

通过对高陡边坡的脚手架稳定性研究,较此前直接依据经验搭设脚手架而言,从研究层面有了更加科学合理的布设参数及多维度分析脚手架的结构稳定性和强度,增加了脚手架结构的保险安全系数,

(下转第 299 页)

计标准值,反算灯具的安装间距,并通过设计软件 DIALUX 进行验算,最终确定灯具布置间距见表 4。

表 4 隧道照明设计方案

项目	设计亮度 / ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	灯具	间距 / m
入口段 1	62.0	基本照明: LED20 W	7
		加强照明: LED 120 W	1.5
入口段 2	29.7	基本照明: LED20 W	7
		加强照明: LED60 W	1.7
过渡段 1	8.8	基本照明: LED20 W	7
		加强照明: LED 30 W	3.5
过渡段 2	3.8	基本照明: LED20 W	7
		加强照明: LED 20 W	10
中间段	2.2	基本照明: LED20 W	7
出口段 1	6.5	基本照明: LED20 W	7
		加强照明: LED 30 W	5.5
出口段 2	10.0	基本照明: LED20 W	7
		加强照明: LED 30 W	3

4 结 语

随着隧道在道路中的比重越来越来大,隧道的照

明的重要性日渐突出。为避免车辆开进隧道时,亮度的巨大变化,给人的视觉带来的不适应,从而可能会产生的严重后果,设计根据不同路段,采用不同的灯具布置形式,用基本照明与加强照明相结合,尽可能减小眩光,控制在规范要求范围之内。隧道照明设计较道路照明设计复杂,需要设计人员对隧道照明、供电、应急照明等方面的规范标准有较深入的了解,同时要在设计中不断的思考与学习总结,保障车辆行驶安全。

参考文献:

- [1] JTG/T D70/2-01—2014,公路隧道照明设计细则[S].
- [2] 郝锋.LED 照明灯具在高速公路隧道中的应用研究[J].陕西公路,2011(7):167-171.
- [3] 胡昭,汪珂,赖金星.LED 与高压钠灯组合使用在隧道照明中的应用[J].公路,2015(2):216-220.
- [4] 王希良,刘强,李晓寒.基于路面平均照度的隧道中间段照明节能优化[J].照明工程学报,2019,30(4):70-73.
- [5] 方坤,冉斌,李栋林,等.山区高速公路隧道照明节能控制技术研究[J].西南公路,2015(2):216-219.
- [6] 王少飞,邓欣,吴小丽.公路隧道照明控制技术综述公路[J].交通技术,2010(4):132-138.

(上接第 295 页)

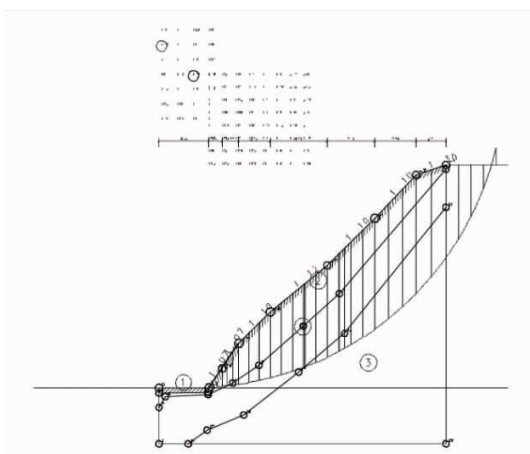


图 15 边坡稳定性计算结果曲线图

打破脚手架传统搭设思维,提高脚手架的稳定性、保障作业人员的安全及顺利推动高陡边坡的治理进

程,为高陡边坡地质灾害治理提供思路和参考。

参考文献:

- [1] 陆征然.扣件式钢管满堂支架承体系理论分析与试验研究[D].天津:天津大学,2010.
- [2] 王正清.建筑施工脚手架安全事故分析[J].智能城市,2020,6(7):107-108.
- [3] 敖鸿斐,罗兴隆.双排脚手架整体稳定极限承载力通用计算方法[J].施工技术,2005,34(3):39-41.
- [4] 施小明,王娟玲.满堂扣件式钢管支撑架立杆计算长度的探讨[J].建筑安全,2016,31(4):48-51.
- [5] 龚源.危岩崩塌稳定性分析与智能监测及治理——以深圳市新彩隧道口岩质高边坡为例[D].广西:桂林理工大学,2019.
- [6] 王超.公路高陡岩质边坡稳定性分析及支护方案优化[D].湖南:长沙理工大学,2019.