抱柱脚手架受力分析与施工要点建议

Stress Analysis of Scaffolding with Column Holding and Suggestions for Construction

付卫东

Weidong Fu

中海油惠州石化有限公司
中国·广东 惠州 516086
CNOOC Huizhou Petrochemical Co., Ltd.,
Huizhou, Guangdong, 516086, China

【摘要】根据作业层与钢柱的连接方式将抱柱脚手架分为直角扣抱柱脚手架和悬梁扣抱柱脚手架两类。文章通过受力分析,提出了作业层抱柱水平杆必须为4条及直角扣抱柱脚手架作业层不超过4层等施工要点建议。

【Abstract】According to the connection between the working layer and the steel column, the scaffold is divided into two types: right-angle latching scaffold and suspension latching scaffold. Based on the stress analysis, this paper puts forward some suggestions on the key points of construction, such as the horizontal bar of the working layer holding column must be 4 and the working layer of the right angle holding column scaffold should not exceed 4 layers.

【关键词】直角扣;悬梁扣;斜撑;抗滑承载力

【Keywords】right-angle buckle; suspension beam; diagonal bracing; anti-sliding bearing capacity

【DOI】10.36012/etr.v1i4.706

1 引言

在石化工程的钢结构管廊和框架施工过程中,抱柱脚手架是一种常用的临时措施,特别是在地坪硬化未完成时,基础回填土尚未完全固结,因此,常采用斜杆将脚手架支撑于钢柱基础顶面,从而形成有别于落地式单双排脚手架的受力体系,如图1所示。

对于这类脚手架,仅在SH/T3555—2014《石油化工工程钢脚手架搭设安全技术规范》第6.3.1.2条有简单描述^[1],以至于施工、监督都缺少依据。论文通过对使用材料的受力性能分析,提出了施工要点建议,计算时以300mm×500mm钢柱为例。

2 材料与分类

2.1 材料及其力学特性

常用材料包括钢管、冲压钢脚手板及扣件。钢管常采用 $\phi=48.3\text{mm}\times 3.6\text{mm}$,当为负偏差时 $\phi=47.8\text{mm}\times 3.24\text{mm}$,其截面

图1 抱柱脚手架图

几何特性如表 1 所示;脚手板常用 250mm×2000mm,自重标准值为 0.3kN/m²;扣件为直角扣或悬梁扣,抗滑承载力设计值为 8kN,扣件自重标准值为 0.015kN/个,常用扣件如图 2 所示。出于安全考虑,作为荷载计算时,钢管按标准件计、不同扣件按较重的计算;计算钢管承载力时按负偏差考虑。

表 1 脚手架钢管截面几何特性

外径 ϕ /mm	厚度 t /mm	截面积 A/mm^2	惯性矩 I/mm^4	截面模量 W/mm^3	回转半径 i/mm	重量 kN/m
48.3	3.6	506	127100	5260	15.9	0.0397
47.8	3.24	453	113199	4736	15.8	0.0355

图 2 常用扣件

2.2 抱柱脚手架分类

根据扣件与钢柱的连接方式,抱柱脚手架分为直角扣抱柱脚手架和悬梁扣抱柱脚手架两类,其中,直角扣也可用旋转扣替代。连接节点如图 3 所示。

a 直角扣抱柱脚手架节点 b 悬梁扣抱柱脚手架节点

图 3 抱柱脚手架连接节点图

2.3 抱柱脚手架几何尺寸

抱柱脚手架作业面一般在柱的四周每侧设置 2 块脚手板,因此,栏杆内侧到柱边距离可按 600mm 考虑,其中,水平杆和脚手板每侧伸出周边栏杆不小于 150mm。当钢柱为 300mm×500mm 时,作业面平面尺寸为 1500mm×1700mm,脚手板可采用 250mm×2000mm,水平杆长度采用 1800mm 和 2000mm,作业面有效面积为 2.4m² (1.5m×1.7m-0.3m×0.5m=2.4m²)。高度方向可根据安装需要设置若干施工作业面,从几米到几十米不等。

3 荷载

抱柱脚手架不考虑水平荷载,其水平荷载全部由相应的钢管廊或框架承担。

3.1 恒载标准值 G_{ki}

恒载主要是脚手架自重,包括立杆、水平杆、扣件、脚手板、踢脚板等,由于抱柱脚手架的脚手板存在重叠,因此,要按实际铺设量计算。

3.1.1 作业层除立杆外的恒载计算

作业平台底部水平杆纵横各 4 条:

$$4 \text{ 条} \times (1.8\text{m/条} + 2\text{m/条}) \times 0.0397\text{kN/m} = 0.603\text{kN};$$

作业平台围挡用水平杆纵横各 2 条:

$$2 \text{ 条} \times (1.8\text{m/条} + 2\text{m/条}) \times 0.0397\text{kN/m} = 0.302\text{kN};$$

作业平台铺设脚手板 8 块:

$$8 \times 0.25\text{m} \times 2\text{m} \times 0.3\text{kN/m}^2 = 1.2\text{kN};$$

作踢脚板用脚手板纵横各 2 条:

$$2 \text{ 条} \times (1.5\text{m/条} + 2\text{m/条}) \times 0.25\text{m} \times 0.3\text{kN/m}^2 = 0.525\text{kN};$$

直角扣抱柱脚手架为 20 个:

$$20 \text{ 个} \times 0.015\text{kN/个} = 0.30\text{kN};$$

悬梁扣抱柱脚手架为 24 个:

$$24 \text{ 个} \times 0.015\text{kN/个} = 0.36\text{kN}.$$

因此,不计立杆时,每个作业平台自重标准值直角扣抱柱脚手架为 2.93kN,悬梁扣抱柱脚手架为 2.99kN。立杆和爬梯另计。

3.1.2 底部斜撑上下水平杆及扣件恒载计算

水平杆纵横各 8 条(分两层):

$$8 \text{ 条} \times (1.8\text{m/条} + 2\text{m/条}) \times 0.0397\text{kN/m} = 1.206\text{kN};$$

悬转扣 4 个、直角扣共 32 个:

$$36 \text{ 个} \times 0.015\text{kN/个} = 0.54\text{kN};$$

合计共 1.746kN。

3.2 施工荷载标准值 Q_{ki}

由于作业平台主要用于轻型作业,因此,施工荷载标准值按 2kN 计,根据现场安全管理要求和实际作业习惯,不考虑多层同时交叉作业情况。

4 直角扣抱柱脚手架受力分析

直角扣抱柱脚手架每个作业平台抱柱处由于扣件与柱没有连接,钢柱只提供水平约束,不提供竖向约束,因此,所有荷载必须有底部斜撑承担,如图 4 所示。

1-基础;2-横杆;3-斜撑;4-立杆;5-横拉杆

图 4 抱柱脚手架底部示意图

显然,斜撑、立杆及图中上层横杆共同组成了空间桁架体系,斜撑与立杆间采用旋转扣件连接,立杆与水平杆采用直角扣件连接。因此,由三力平衡原理,可粗略计算出相应的受力分析,如表 2 所示。

表 2 直角扣抱柱脚手架底部杆受力分析表

与水平 夹角 θ	斜撑				旋转扣件	立杆
	长度 /mm	长细比 λ	稳定系 数 ϕ	轴向力 设计值 最大值 /kN	抗滑承载 力设计值 /kN	轴向力 设计值 最大值 /kN
60°	2260	143	0.336	31.2	8	6.93
45°	1600	101	0.58	53.9		5.66
	3600	228	0.14	13		

从表 2 看出:①受力薄弱点为旋转扣抗滑性能;②由于现场施工斜撑角度无法精确把握,因此,按斜撑水平夹角 θ 为 45°时限制上部荷载;③当钢管计算长度为 3.6m 时,其抗压承载力设计值仍大于扣件抗滑承载力设计值。因此,抱柱脚手架总竖向荷载设计值 F 最大为: $F=5.66\text{kN}\times 4=22.64\text{kN}$ 。

假定作业层间距离为 3m,那么,上层底部水平杆与下层水平杆间距离为 3m-1.1m=1.9m,不需要再另设水平杆。因此,最多允许作业层数 N 需满足下式:

$$1.2\sum G_{ki}+1.4\sum Q_{ki}\leq F \quad (1)$$

$$\text{即, } 1.2\times(4\times 3\text{m}/\text{层}\times N\times 0.0397\text{kN}/\text{m}+2.93\text{kN}/\text{层}\times N+1.746\text{kN})+1.4\times 2\text{kN}\leq 22.64 \quad (2)$$

可得: $N\leq 4.3$

所以,采用直角扣抱柱脚手架时作业层最多为 4 层。

5 悬梁扣抱柱脚手架受力分析

悬梁扣抱柱脚手架每个作业层均有 4 个悬梁扣与钢柱连接,因此,钢柱不仅仅提供侧向约束,也为每一作业层提供竖向支撑。其受力特点为各层各自承受竖向荷载,底部斜撑仅为安全储备。

5.1 作业层悬梁扣抗滑分析

作业层竖向荷载设计值 R :

$$1.2\sum G_{ki}+1.4\sum Q_{ki}=1.2\times(4\times 3\text{m}\times 0.0397\text{kN}/\text{m}+2.99\text{kN})+1.4\times 2\text{kN}=6.96\text{kN} \quad (3)$$

悬梁扣抗滑承载力设计值

$$R_c=4\text{个}\times 8\text{kN}/\text{个}=32\text{kN}>R \quad (4)$$

因此,各层扣件可以承受竖向荷载。

5.2 杆件抗弯承载力计算

单根钢管能承受的最大弯矩

$$M_k:M_k=W_x f=4736\text{mm}^3\times 205\text{N}/\text{mm}=970880\text{N}\cdot\text{mm}=0.97\text{kN}\cdot\text{m}$$

考虑脚手板、钢管的平直度及施工偏差,因此,作业层荷载传力途径假定为脚手板—四周水平杆—抱柱水平杆—钢

柱。按荷载平均分布到抱柱水平杆端部来计算弯矩,由于四周水平杆内侧与钢柱边净距为 600mm,因此,杆件悬挑长度为 600mm+48.3mm=648.3mm。

当采用两条抱柱水平杆时,即 4 点受力,水平杆最大弯矩 M 为:

$$M=0.6483\text{m}\times 6.96\text{kN}\div 4=1.12\text{kN}\cdot\text{m}>M_k=0.97\text{kN}\cdot\text{m},$$

因此,采用 2 条水平杆时,不满足承载要求,必须采用 4 条抱柱水平杆。

6 施工要点

综上所述,并结合现场经验,建议施工要点如下:①作业方案中必须明确采用的抱柱脚手架类型,不能混用;②作为空间桁架体系,底部斜撑、立杆和相应的水平杆应相交于同一点,不能偏离(见图 5);③水平杆距离应控制在 3.6m 以内;④采用 4 条抱柱水平杆,呈“井”字设置;⑤每侧脚手板铺设为 2 块;⑥作业层不超过 4 层时可采用直角扣抱柱脚手架,5 层以上时必须采用悬梁扣抱柱脚手架;⑦包柱脚手架仅适用于单人在平台上作业;⑧上下爬梯建议采用成品铝合金轻型爬梯,且设置在侧面中间位置。

a 正确

b 错误

图 5 斜撑、立杆和相应的水平杆连接示意图

7 结语

通过抱柱脚手架与钢柱连接方式的区分,将其划分为直角扣抱柱脚手架和悬梁扣抱柱脚手架两类,并分别对其受力性能进行分析,在考虑施工现场不定性的基础上,提出了作业层不超过 4 层时可采用直角扣抱柱脚手架,抱柱水平杆件必须为 4 条,底部斜撑、立杆和相应的水平杆应相交于同一点等控制要点。通过类似的分析,也可证明每侧铺设 3 块脚手板是不可行的。

参考文献

- [1]SH/T3555—2014 石油化工工程钢脚手架搭设安全技术规范 [S].