

# 扣件式钢管模板支撑体系承载力可靠度研究

陆征然,张茂胜,赵明歌,王倩倩

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

**摘要** 目的 在三点转动约束单杆模型的基础上,考虑直角扣件的初始几何缺陷和半刚性性质,对不同搭设参数下的钢管模板支撑体系承载力可靠度进行分析. 方法 利用 Matlab 软件编写程序分析了不同搭设参数条件下,管径  $D$ 、壁厚  $t$ 、转动刚度  $C_1$ 、弹性模量  $E$  等构造因素对承载力的影响,并建立承载力概率模型. 结果 随着构造因素数量的增加,承载力的分布密度呈分散趋势,同时承载力均值减小,反之亦然. 结论 采用改进一次二阶矩法对扣件式钢管模板支撑系统可靠性进行评估,得知可靠度指标  $\beta$  随着抗力系数  $\Phi$  的增大而增大.

**关键词** 扣件式;承载力;构造因素;可靠度;抗力系数

中图分类号 TU391

文献标志码 A

## Reliability Study on Bearing Capacity of Fastener-Style Steel Tube Formwork Support System

LU Zhengran, ZHANG Maosheng, ZHAO Mingge, WANG Qianqian

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

**Abstract:** Based on the model pressed pole with three-point rotation restraint, considering the initial geometric defects and semi rigid characteristics of the right angle fastener, the reliability of the bearing capacity of the steel tube formwork supports system under different setting parameters is analyzed. The effect of structure factors such as the diameter of steel tube  $D$ , the wall thickness of steel tube  $t$ , the rotational stiffness of fastener  $C_1$  and the modulus of elasticity  $E$  on the bearing capacity formwork supports system are analyzed with the Matlab software program. The probability distribution model of formwork supports bearing capacity is established. As the number of structural factors considered increases, the distribution density of the bearing capacity appears to be dispersed, while the mean value of the bearing capacity decreases, and vice versa. With the increase of structural factors, the distribution density of the bearing capacity is dispersed and decreasing. Meanwhile, the reliability of the fastener-style steel tube formwork support system is evaluated by the improved first order second moment method, and the reliability index  $\beta$  increases with the increase of resistance coefficient  $\Phi$ .

收稿日期:2018-03-19

基金项目:国家自然科学基金项目(51308255);辽宁省自然科学基金项目(20180550442, 20170540741);  
沈阳建筑大学基础学科基金项目(CXPY2017017)

作者简介:陆征然(1982—),女,副教授,博士,主要从事工程结构可靠度方面研究.

**Key words:** fastener-style; bearing capacity; structure factor; reliability; resistance coefficient

由于扣件式钢管模板支撑具有搭设灵活,方便拆除,适用广泛等特点,被广泛应用于工程中。同时,其坍塌事故发生率居高不下,虽然事故多发生在混凝土浇筑期间,但究其原因仍与设计缺陷、施工缺陷等方面是密不可分的。对此,国内外许多学者都做过一些基于确定性的理论和试验研究: H. Zhang 等<sup>[1]</sup>研究了多种不确定性因素对脚手架体系可靠度的影响,得出可靠性指标随着活恒比的增加而减小; H. Zhang 等<sup>[2]</sup>研究了不同随机变量对失效模式下结构强度变异性以及可靠性的影响,得出偏心荷载是影响结构强度的主要因素之一; 沈勤等<sup>[3]</sup>探讨了模板支撑步距、搭设高度、剪刀撑、扫地杆设置等构造参数对架体稳定性的影响; 谢楠等<sup>[4]</sup>分析搭设参数和构造措施对扣件式极限承载力的影响,并提出极限承载力的计算方法; 李维滨等<sup>[5]</sup>对常规梁板结构的扣件式钢管模板支撑在梁下支架单、双扣件连接情况下,各种搭设构造间的承载力进行了对比分析,同时提出相应的施工建议; 孙作功<sup>[6]</sup>通过一个实际工程案例,进行了扣件式模板支撑承载力的可靠性分析; 袁雪霞<sup>[7]</sup>采用非线性屈曲方法,计算不同搭设变量下的稳定承载力,并研究了在施工期人为失误发生及其对结构参数的影响; 陆征然<sup>[8]</sup>在有限元分析和满堂支撑架原型试验研究的基础上,基于三点转动模型提出了一种计算立杆稳定性的简化方法,并给出相应的计算公式。上述研究成果为扣件式钢管模板支撑体系可靠度研究打下良好的基础,而由于模板支撑的稳定承载力受各种构造因素的影响,而且模板支撑属于临时性结构,施工现场搭设随意性较大,模板支撑体系中存在的不确定性因素人为考虑尚有不足。正是由于模板支撑体系中存在着这些不确定性,才使安全隐患发生的概率大幅度增加。然而,诸多构造因素的不确定性对其承载

力的影响还未明确。基于此,笔者探讨在不同搭设参数条件下,研究各种构造因素对其承载力的影响。先基于三点转动约束单杆模型,采用蒙特卡罗法,利用 Matlab 软件,对不同搭设参数下考虑初始几何缺陷及扣件半刚性性质的模板支撑体系承载力进行了模拟分析; 考察管径  $D$ 、壁厚  $t$ 、弹性模量  $E$ 、扣件转动刚度  $C_1$  等构造因素对其承载力的影响,并建立了承载力概率分布模型; 最后,采用改进一次二阶矩法对扣件式钢管模板支撑体系可靠性进行评估。

### 1 三点转动约束单杆简化计算理论

笔者采用简化方法对立杆计算长度系数的推导过程中<sup>[8]</sup>,考虑直角扣件的半刚性性质和水平杆对立杆的约束作用,在立杆每一步距  $h$  处均采用扭转弹簧约束。当失稳波长为  $2h$  时,可利用三点转动约束的单杆模型对模板支撑体系承载力进行计算,计算简图如图 1 所示。

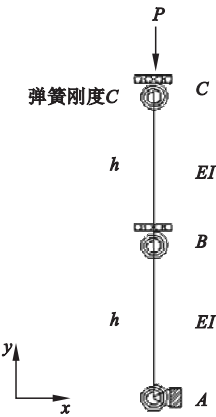


图 1 三点转动约束单杆模型计算简图  
Fig. 1 Model of pressed pole with three-point restraint against rotation

当立杆  $AC$  失稳时,  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点处扭转弹簧的转动角度分别为  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 。最后,得到每一步距  $h$  处扭转弹簧的约束刚度  $C$  为

$$C = \frac{6EIC_1}{6EI + L_b C_1} \tag{1}$$

基于三点转动约束单杆简化计算理论,在波长为  $2h$  的极限状态前提下,设  $C_c = \frac{EI}{2h}$  为立杆的线刚度,计算通过式(2)得到长度系数  $\mu$ ,进而按照欧拉公式(3)计算其承载力  $R$ .

$$\begin{aligned} & [(-\mu^3 C^3 + 20\pi^2 \mu C C_c^2) \cos^2(\frac{\pi}{\mu}) - \\ & 8\pi^2 \mu C C_c^2 + \mu^3 C^3] \sin(\frac{\pi}{\mu}) + (16\pi^3 C_c^3 - \\ & 8\pi \mu^2 C^2 C_c) \cos^3(\frac{\pi}{\mu}) + (-16\pi^3 C_c^3 + \\ & 8\pi \mu^2 C^2 C_c) \cos(\frac{\pi}{\mu}) = 0, \end{aligned} \tag{2}$$

$$R = \frac{\pi^2 EI}{(\mu h)^2} \tag{3}$$

式中: $E$  为立杆的弹性模量; $I$  为立杆的截面模量; $h$  为立杆步距.

$$I = \frac{\pi(D-d)^4}{64} \tag{4}$$

$$d = D - 2t. \tag{5}$$

式中: $D$  为立杆的管径; $t$  为壁厚.

2 构造因素对承载力的影响

由于扣件式钢管模板支撑具有搭设随意性较大,方便拆除,适用性强等特点,被广泛应用在模板支撑施工中.施工经验表明,模板支撑不仅应满足强度和刚度要求,还必须满足稳定性要求.显然,只要某一方面稍有疏忽,就会出现支架失稳、破坏或坍塌情况而造成的严重后果.因此,通过对多起坍塌事故案例的深入剖析,虽坍塌事故多发生在混凝土浇筑期间,但这与前期工作是分不开的.笔者参考文献[9]对扣件式脚手架实地调查得到的初始几何缺陷概率模型数据如表 1 所示,深入研究在不同搭设参数条件下,构造因素对模板支撑体系承载力的影响.由表 1 数据可知: $D, t$  均符合正态分布.

表 1 初始几何缺陷

Table 1 Initial geometric imperfections		
项目	$D/\text{cm}$	$t/\text{mm}$
数据	见文献[9]	见文献[9]
均值	4.805 7	2.837 7
标准差	0.054 8	0.267 8

由于模板支撑体系中不确定性因素错综复杂,笔者仅选取对承载力影响较大的“ $t$ ”,“ $E$ ”,“ $C_1$ ”,“ $D$ ”作为主要不确定性因素,将其视为随机变量,分别考察上述随机变量对钢管模板支撑体系承载力的影响.根据蒙特卡罗法基本原理,在 Matlab 软件平台编写程序循环 1 000 次,计算出不同搭设参数条件下,当各随机变量服从特定概率分布时,相应的体系承载力分布情况.考虑到直角扣件的刚度性质和钢材的材料性能,其中  $C_1$  取值为  $19 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ,  $E$  取值为  $2.06 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

2.1 弹性模量对其承载力影响

在运营过程中,由于施工单位疏于管理,钢管模板支撑未做好保护措施,露天随意堆放,徐善华<sup>[10]</sup>指出随着锈蚀天数的增加钢材在受到温度和周围介质的影响下,使钢材材料性能逐渐降低.为了获得钢材性能对模板支撑体系承载性能的影响规律,笔者共进行了 7 个不同搭设参数条件下的模板支撑体系承载力模拟分析,得到弹性模量对其承载力  $R$  影响的频率直方图,如图 2(a)~(g)所示,图名以立杆步距  $\times$  立杆横向间距  $\times$  立杆纵向间距命名(以下同).从图 2 中可看出,承载力近似服从正态分布,同时随着搭设参数的改变,  $R$  随之变化.

弹性模量对承载力的影响如表 2 所示,为了消除承载力均值的绝对大小对变异程度的影响,需要计算变异系数.当立杆纵横向间距均为  $1.0 \text{ m}$  时,在构造因素  $E$  的作用下随着步距的减小变异系数越来越大,即对其承载力分布越分散.同时,在立杆纵横向间距均为  $0.9 \text{ m}$  时随着步距变化变异系数改变较大;而在步距均为  $1.2 \text{ m}$  时随着立杆间距变

化变异系数改变较小. 因此,步距对其承载力稳定性影响较大,而立杆间距对承载力稳定性影响较小.

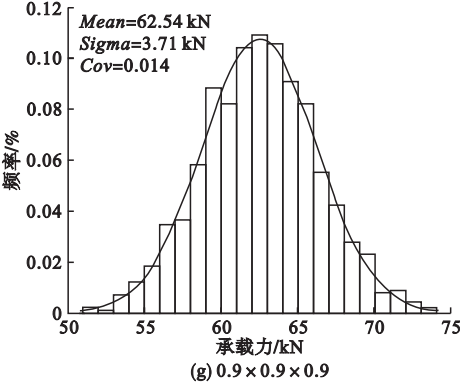
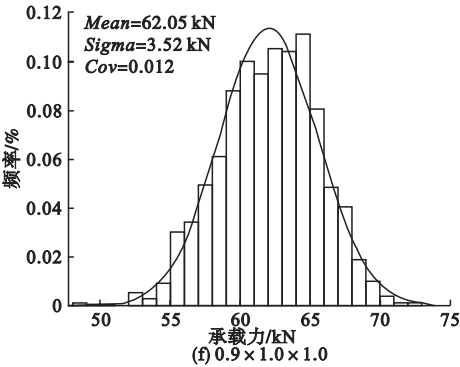
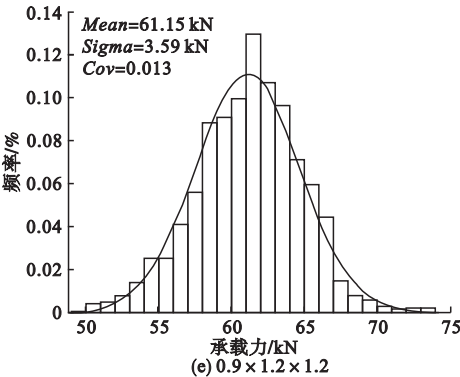
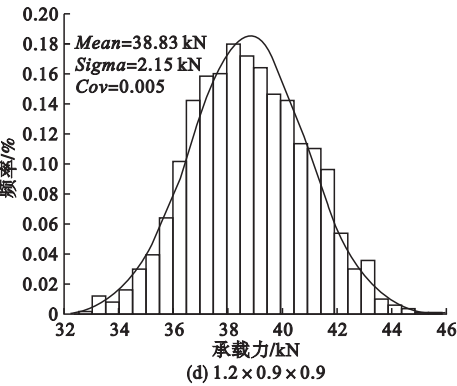
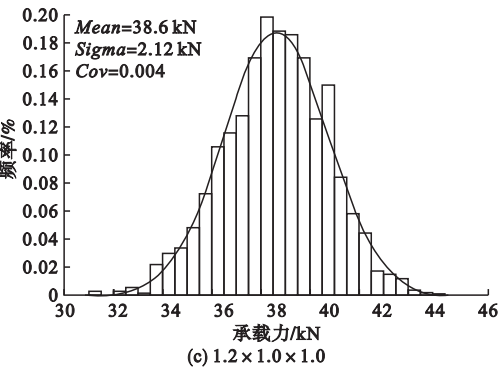
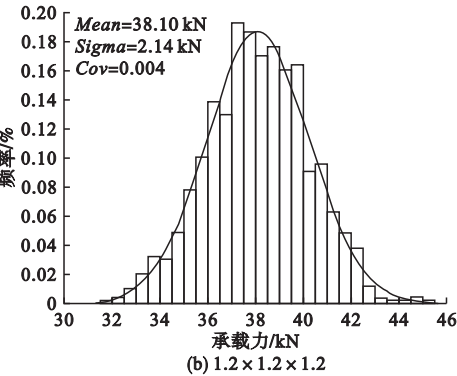
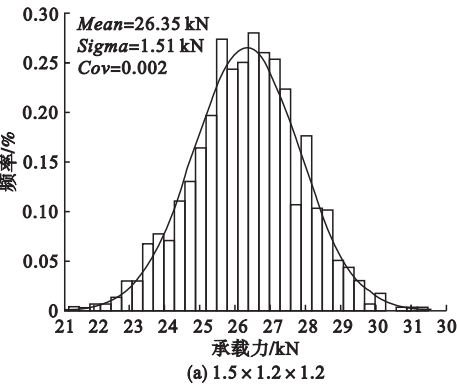


图2 不同搭设参数下弹性模量对承载力影响

Fig.2 Distribution of elastic modulus for bearing capacity under different erection parameters

2.2 多种构造因素对承载力影响

模板支撑体系下存在着诸多不确定性因素,其中错综复杂,不仅仅是某个单一构造因素使其承载力的变化,而是诸多因素相互影响,相互促进,从而量变引起质变的过程,最终导致其承载力不足发生严重的事故. 如图3所示,同时考虑4种构造参数  $E$ 、 $t$ 、 $C_1$  以及  $D$  共同作用下对承载力的影响. 图3(a)为工况1即步距1.5 m,立杆纵横向间距均为

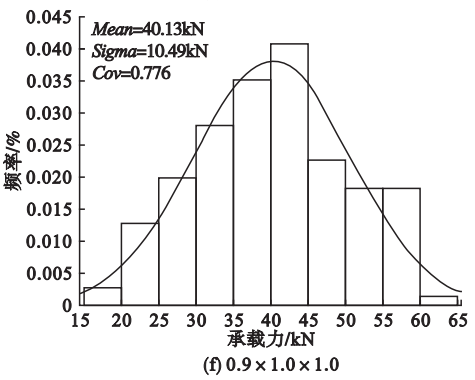
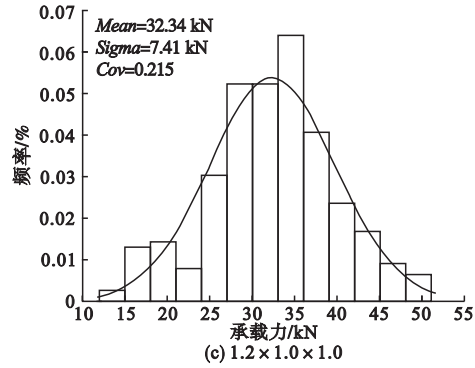
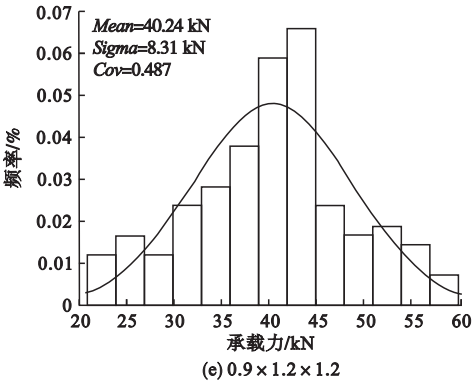
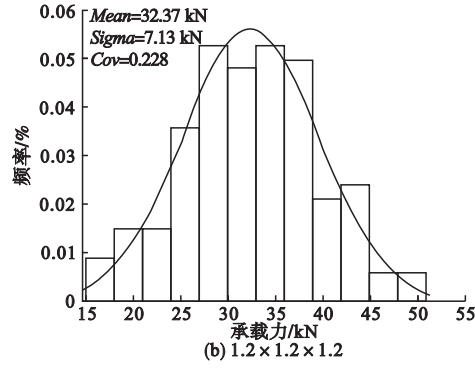
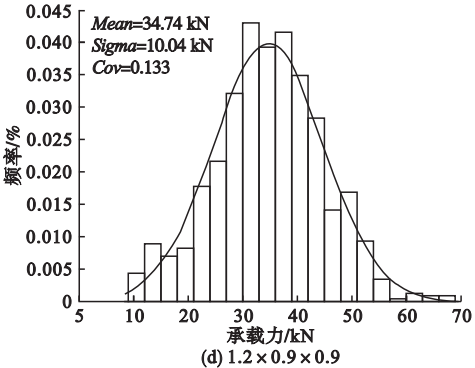
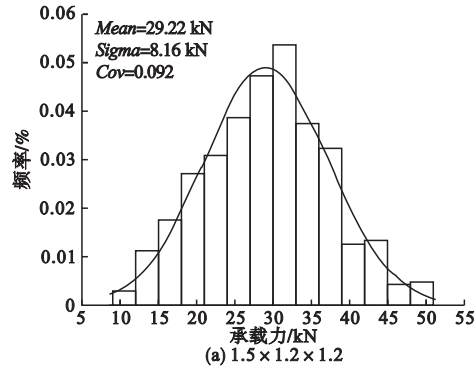
表 2 弹性模量对承载力的影响

Table 2 The effect of elasticity modulus on bearing capacity

步距/m	立杆间距(横向×纵向)/m	承载力均值/kN	标准差	变异系数	分布类型
1.5	1.2×1.2	26.35	1.51	0.057 3	正态分布
1.2	1.2×1.2	38.10	2.14	0.056 2	正态分布
1.2	1.0×1.0	38.61	2.12	0.054 9	正态分布
1.2	0.9×0.9	38.83	2.15	0.055 4	正态分布
0.9	1.2×1.2	61.15	3.59	0.058 7	正态分布
0.9	1.0×1.0	62.05	3.52	0.056 7	正态分布
0.9	0.9×0.9	62.54	3.71	0.059 3	正态分布

1.2 m条件下,承载力  $R$  在上述各因素耦合作用下的分布图,依次类推对应 7 种工况. 从

各图可看出,  $R$  均近似服从正态分布,同时随着搭设参数改变  $R$  也随之变化.





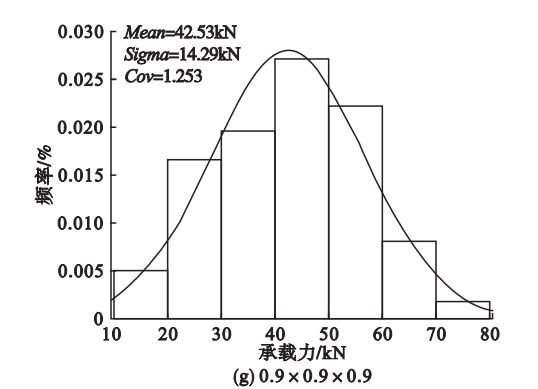


图3 不同搭设参数下4种构造因素对承载力分布图

Fig. 3 Distribution of bearing capacity of four structural factors under different erection parameters

表3 不同搭设参数下4种构造因素计算所得承载力					
Table 3 Bearing capacity calculated by four structural factors under different erection parameters					
步距/m	立杆间距(横向×纵向)/m	承载力均值/kN	标准差	变异系数	分布类型
1.5	1.2×1.2	29.22	8.16	0.279	正态分布
1.2	1.2×1.2	32.37	7.13	0.220	正态分布
1.2	1.0×1.0	32.34	7.41	0.229	正态分布
1.2	0.9×0.9	34.74	10.04	0.289	正态分布
0.9	1.2×1.2	40.24	8.31	0.207	正态分布
0.9	1.0×1.0	40.13	10.49	0.261	正态分布
0.9	0.9×0.9	42.53	14.29	0.336	正态分布

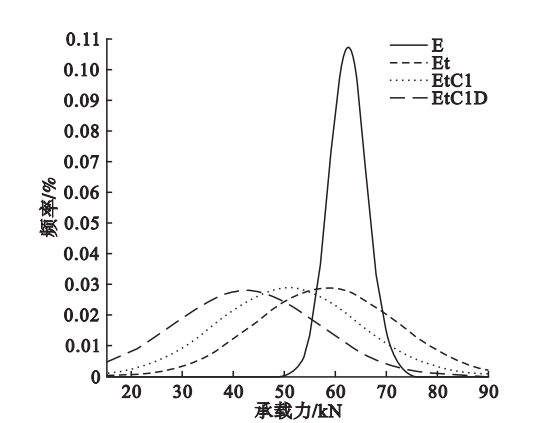


图4 构造因素影响下承载力的分布图

Fig. 4 Distribution diagram of bearing capacity under the influence of structural factors

表4为当搭设参数为0.9×0.9×0.9 m时不同种构造因素对承载力平均值的影响数

不同搭设参数下4种构造因素计算所得承载力如表3所示,当立杆间距均为1.0 m时,在四种构造因素的共同作用下随着步距的减小变异系数越大,即对其影响程度越大,承载力分布越分散;另外,与表2进行对比得出,在其他条件相同时,随着构造因素数量的增加变异系数越大.

图4为搭设参数为0.9×0.9×0.9 m时,从仅考虑一种构造因素到同时考虑4种构造因素影响下对扣件式钢管模板支撑体系承载力的影响情况.从图中可知,其承载力均近似服从正态分布.同时,随着构造因素的增加承载力的分布密度呈分散趋势,反之亦然.

据.从表4中可知,随着考虑构造因素的增加承载力近似呈减小趋势;反之亦然.例如,当仅考虑弹性模量 $E$ 作用下,其承载力均值为62.54 kN;而同时考虑三种构造因素时,其承载力均值为50.74 kN.造成此种情况正是由于随着构造因素的增加,再加上施工等方面的影响导致不确定性越多,发生风险的可能性越大.在搭设参数相同时考虑不同多种构造因素对其承载力影响分布数据中,此四种构造因素初步认定是相互促进的,从而使其承载力逐渐减小.即随着构造因素的不确定性越多使承载力减小,进而增加事故风险发生的概率.

表 4 不同随机变量下模板支撑承载力均值

Table 4 Mean bearing capacity of formwork support under different random variables

随机变量	承载力均值 $R/\text{kN}$
$E$	62.54
$E、t$	58.17
$E、t、C_1$	50.74
$E、t、C_1、D$	42.53

3 可靠度分析

以三点转动约束简化计算理论为基础,得出承载力的公式.《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ130—2011)<sup>[11]</sup>中给出了立杆不考虑组合风荷载时轴力设计值的计算公式.在此基础上,考虑抗力系数  $\Phi$  对承载力的影响,由此得到结构极限状态方程为

$$Z = R - S = \Phi \frac{\pi^2 EI}{(\mu h)^2} - (1.2 D_n + 1.4 L_n). \quad (6)$$

式中: $D_n$  为恒荷载; $L_n$  为活荷载.

据统计数据可知,绝大多数钢管模板支撑坍塌事故均发生在混凝土浇筑期间,且活荷载存在的不确定性较大,所以采取考虑活荷载与恒荷载比值方式计算可靠度指标. H. Zhang 等<sup>[1]</sup>提到活恒比  $L_n/D_n$  取值为 0.5 ~ 1.5. 此例中  $L_n/D_n$  均分别取 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4. 模板支撑上的荷载包含恒荷载与活荷载. 恒荷载  $D_n$  主要包括模板及支架的自重、浇注钢筋混凝土自重等. 活荷载  $L_n$  主要包括设备及施工人员自重、浇注混凝土产生的荷载等(见图 5). 将抗力系数  $\Phi$  值均分别取 0.7, 0.8, 0.9 时,对可靠度指标  $\beta$  的影响. 图 5(a)、(b)、(c) 分别为搭设参数不同情况下的可靠度指标图. 从图中可知,可靠度指标  $\beta$  随着  $L_n/D_n$  的增大而减小. 同时,在相同搭设参数条件下,  $\beta$  随着  $\Phi$  的增大而增大.

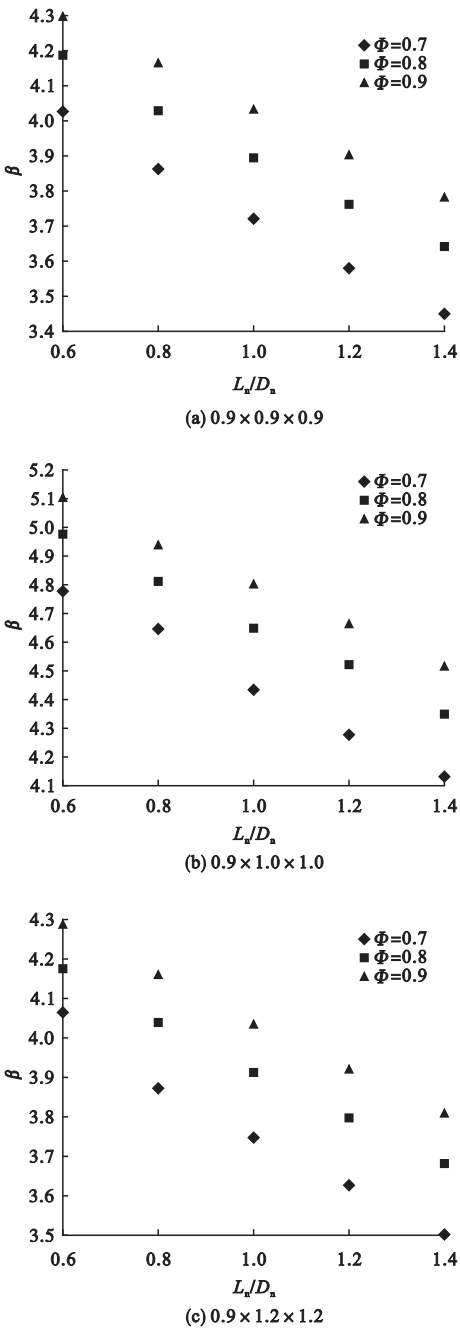


图 5 可靠度指标  $\beta$

Fig. 5 Reliability index  $\beta$

表 5 为  $L_n/D_n = 1.4$  时,  $\beta$  随着  $\Phi$  变化情况. 从表中可知, 当搭设参数为  $0.9 \times 1.0 \times 1.0 \text{ m}$  时,  $\Phi$  分别取 0.7、0.9 所对应的  $\beta = 4.13、4.53$ . 可知, 相对来说  $\Phi$  一定时搭设参数取为  $0.9 \times 1.0 \times 1.0 \text{ m}$  较为合理.

表5 可靠度指标 $\beta(L_n/D_n=1.4)$   
Table 5 Reliability index $\beta(L_n/D_n=1.4)$

搭设参数工况 (步距×立杆间距)/m	$\beta$		
	$\Phi=0.7$	$\Phi=0.8$	$\Phi=0.9$
0.9×0.9×0.9	3.45	3.64	3.79
0.9×1.0×1.0	4.13	4.35	4.53
0.9×1.2×1.2	3.50	3.68	3.81

不同工况下稳定系数对可靠度的影响如图6所示。从图6可知, $\beta$ 随着 $\Phi$ 的增大而增大。相对其他两种搭设参数,同条件下搭设参数为0.9×1.0×1.0 m的 $\beta$ 较大。由此,在选取搭设参数时,考虑 $\Phi$ 对模板支撑体系可靠度的影响是十分必要的。

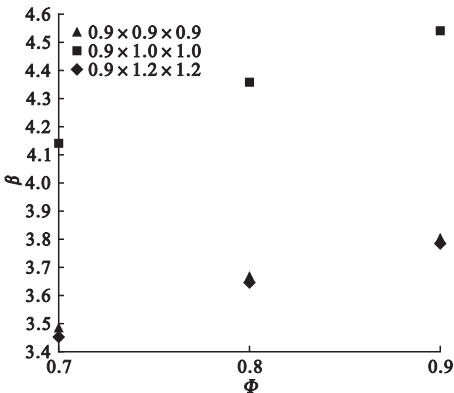


图6 不同工况下稳定系数对可靠度指标的影响  
Fig. 6 Influence of stability factor on reliability index under different working conditions

4 结 论

(1)在三点转动约束单杆模型的基础上,考虑直角扣件的初始几何缺陷和半刚性性质,对大量不同搭设参数下的钢管模板支撑体系承载力可靠度进行分析。分析了不同搭设参数条件下, $D$ 、 $t$ 、 $C_1$ 、 $E$ 等构造参数对模板支撑体系承载力的影响,并建立承载力概率分布模型。当立杆纵横向间距均为1.0 m时,在构造因素 $E$ 的作用下随着步距的减小变异系数越来越大,即对其承载力分布越分散。同时,步距对其承载力稳定性影响较大,而立杆间距对承载力稳定性影响较小,扣件式钢管模板支撑体系承载力均近似服从正态

分布。

(2)随着构造因素的增加承载力的分布密度呈分散趋势,同时承载力均值减小,反之亦然。造成此种情况正是由于随着构造因素的增加,再加上施工等方面的影响导致不确定性越多,发生风险的可能性越大。在搭设参数相同时考虑不同多种构造因素对其承载力影响分布数据中,此四种构造因素初步认定是相互促进的,从而使其承载力逐渐减小。

(3)在考虑活荷载不确定性的条件下,基于不同搭设参数工况的基础上,计算 $\Phi$ 对可靠度指标的影响,得出 $\beta$ 随着 $\Phi$ 的增大而增大。对于要达到预期的 $\beta$ ,可以通过此方法用 $\Phi$ 值进行调整。通过初步分析稳定系数对可靠度的影响,为以后的研究提供一些参考建议。

参考文献

[1] ZHANG H, CHANDRANGSU T, RASMUSSEN K J R. Probabilistic study of the strength of steel scaffold systems[J]. Structural safety, 2010, 32(6):393-401.

[2] ZHANG H, RASMUSSEN K J R, ELLINGWOOD B R. Reliability assessment of steel scaffold shoring structures for concrete formwork[J]. Engineering structures, 2012, 36:81-89.

[3] 沈勤,胡长明,车佳玲,等. 搭设参数对扣件式钢管模板支撑整体稳定性影响的数值分析[J]. 工业建筑,2010,40(2):7-11.  
(SHEN Qin, HU Changming, CHE Jialing, et al. Numerical analysis of the impact erecting parameters on overall stability of coupler steel tube falsework[J]. Industrial construction, 2010, 40(2):7-11.)

[4] 谢楠,王勇,李靖. 高大模板支撑极限承载力的计算方法[J]. 工程力学,2010,27(增刊1):254-259.  
(XIE Nan, WANG Yong, LI Jing. A calculating method on ultimate capacity of high falsework[J]. Engineering mechanics, 2010, 27(S1):254-259.)

[5] 李维滨,刘桐,郭正兴. 扣件式钢管模板支撑试验研究[J]. 建筑技术开发,2004,31(1):57-59.  
(LI Weibin, LIU Tong, GUO Zhengxing. Test study of tube-and-coupler formwork support[J]. Building technology development, 2004, 31(1):57-59.)

[6] 孙作功. 扣件式钢管脚手架应用及可靠度分析[D]. 上海:同济大学,2003.  
(SUN Zuogong. Application & reliability anal-



- ysis of steel tubular scaffold with couplers [D]. Shanghai: Tongji University, 2003. )
- [7] 袁雪霞. 建筑施工模板支撑体系可靠性研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
(YUAN Xuexia. Study on reliability of formwork-supporting system during building construction [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006. )
- [8] 陆征然, 陈志华, 王小盾, 等. 基于三点转动约束单杆稳定理论的扣件式钢管满堂支撑架承载力研究 [J]. 土木工程学报, 2012(5): 104 - 113.  
(LU Zhengran, CHEN Zhihua, WANG Xiaodun, et al. Study of the bearing capacity of fastener steel tube full hall formwork support using the theory of stability of pressed pole with three-point rotation restraint [J]. China civil engineering journal, 2012(5): 104 - 113. )
- [9] 程佳佳. 高大模板支撑体系可靠度分析与研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.  
(CHENG Jiajia. Computation and analysis of reliability on high-formwork support system [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012. )
- [10] 徐善华, 任松波. 锈蚀后钢管弹性模量与屈服强度的计算模型 [J]. 机械工程材料, 2015, 39(10): 74 - 78.  
(XU Shanhua, REN Songbo. The calculation model of elastic modulus and yield strength for corroded steel [J]. Materials for mechanical engineering, 2015, 39(10): 74 - 78. )
- [11] 中国建筑科学研究院. 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范: JGJ 130—2011 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.  
(China Academy of Building Research. Technical code for safety of steel tubular scaffold with couplers in construction: JGJ 130—2011 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011. )
- [12] 张虎. 高大模板支撑体系施工安全风险研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.  
(ZHANG Hu. The study of high-formwork support system's construction safety risk management [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012. )
- [13] 庄金平, 蔡雪峰, 吴建亮. 周转后直角扣件钢管节点抗滑性能的试验研究 [J]. 福州大学学报, 2013(3): 374 - 379.  
(ZHUANG Jinping, CAI Xuefeng, WU Jianliang. Turnover experimental research on slip performance of right-angle coupled steel pipe joints [J]. Journal of Fuzhou university, 2013(3): 374 - 379. )
- [14] 梁仁钟. 高大模板支撑的可靠性分析及安全评价 [D]. 北京: 北京交通大学, 2010.  
(LIANG Renzhong. Reliability analysis and safety evaluation of high falsework [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010. )
- [15] 陆征然, 陈志华, 王小盾, 等. 扣件式钢管满堂支撑体系稳定性的有限元分析及试验研究 [J]. 土木工程学报, 2012, 45(1): 49 - 60.  
(LU Zhengran, CHEN Zhihua, WANG Xiaodun, et al. Experimental and theoretical study of the bearing capacity of fastener steel tube full-hall formwork support system [J]. China civil engineering journal, 2012, 45(1): 49 - 60. )
- [16] 陆征然. 扣件式钢管满堂支撑体系理论分析与试验研究 [D]. 天津: 天津大学, 2010.  
(LU Zhengran. Experimental and theoretical study on fastener steel tube full hall formwork support system [D]. Tianjin: Tianjin University, 2010. )
- [17] 谢楠, 付小辉, 王立峰, 等. 扣件式高大模板支撑的概率极限状态设计法研究 [J]. 工程力学, 2016, 33(10): 68 - 75.  
(XIE Nan, FU Xiaohui, WANG Lifeng, et al. Design method of load and resistance factor for high falsework with couplers [J]. Engineering mechanics, 2016, 33(10): 68 - 75. )
- [18] 甘志明. 扣件式钢管高大模板支撑体系的施工技术与对策研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2007.  
(GAN Zhiming. Research on construction technology and management strategy in high formwork supporting system of fasten-style steel pipe [D]. Chongqing: Chongqing University, 2007. )
- [19] 刘建民, 李慧民. 扣件式钢管模板支撑架立杆承载力的影响因素分析 [J]. 工业建筑, 2005, 35(增刊1): 758 - 760.  
(LIU Jianmin, LI Huimin. Analysis of the factors influencing buckling load of steel tubular formwork support with couplers [J]. Industrial construction, 2005, 35(S1): 758 - 760. )
- [20] 范小周. 扣件式钢管高大模板支撑体系广义初始缺陷及性能分析 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.  
(FAN Xiaozhou. Analysis of generalized initial imperfection and performance test of fastener steel style high-false work support system [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012. )
- [21] 蔡江勇, 万赞, 王雪亮. 基于过失人因的模板支撑结构可靠度分析 [J]. 武汉理工大学学报, 2016, 38(12): 58 - 63.  
(CAI Jiangyong, WAN Zan, WANG Xueliang. Analysis on reliability of formwork support structures base on human factors [J]. Journal of Wuhan university of technology, 2016, 38(12): 58 - 63. )