

风荷载对扣件式钢管高支撑架承载力的影响

金国辉¹,赵焕云¹,郝增奎²

1. 内蒙古科技大学 土木工程学院, 内蒙古 包头 014010
2. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050000

摘要: 随着越来越多的高大建筑工程的建造, 施工过程中大跨度、高支撑体系的运用随处可见。目前, 扣件式钢管支模体系占据大多数, 但针对高支撑架体系的安全规定尚未有明确的规范, 针对高支撑体系的安全问题亟待解决。现有的对支撑体系承载力研究往往没有考虑风荷载的影响, 文章在分析高支撑架结构特点的基础上提出了考虑风荷载对扣件式钢管高支撑架体系稳定承载力的有限元分析, 证实了风荷载这一因素对扣件式钢管高支撑架稳定承载力的影响, 为今后搭设扣件式钢管高支撑架的设计提供有价值的参考。

关键词: 风荷载; 扣件式钢管; 高支撑架

中图分类号: TU14

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2017)02-0219-04

The Effect of Wind Load on the Bearing Capacity of High Framework Fastened with Steel Tubes

JIN Guo-hui¹, ZHAO Huan-un¹, HAO Zeng-kui²

1. School of Civil Engineering/Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China
2. School of Civil Engineering/Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050000, China

Abstract: As more and more tall building engineering construction, the construction process of large span, the use of high support s stem can be seen ever here. At present, the fastener t pe steel tube shuttering s stem make up the majorit , but for high support frame s stem safet regulations are not et have a clear standard, safet problems to be solved ith high support s stem. E isting research often bearing capacit of support s stem ithout considering the influence of ind load, based on the anal sis of high brace structure is proposed on the basis of considering the ind load of fastener t pe steel tube high brace s stem stabilit bearing capacit of the finite element anal sis, confirmed the ind load this factor for fastener t pe steel tube high brace stable bearing capacit , the influence of the set-up of fastener t pe steel tube for the future high valuable reference for the design of support frame.

Keywords: Wind load; the fastener t pe steel tube; high racks

随着我国综合国力的不断提升、现代化建设的发展, 随之而来的大跨度、大空间建筑的增多, 施工过程中所需实用的模板支撑架的安全问题也日益突出。对于模板支撑, 国内大部分使用的是扣件式钢管脚手架。施工单位对高度较低的支撑架搭设有比较成熟的经验, 但高大支撑架体系属于危险性较大的部分分项工程, 应先编制相对应的专项施工方案, 但若对此种支撑架不编制或按照一般支撑架的设计, 往往考虑有所缺失, 给施工带来重大安全隐患。因此, 对扣件式钢管高大模板支撑架承载力的研究已引起广泛的关注与探讨^[1-5]。

国内很多学者对此种支撑体系都进行了一些理论或实验方面的研究: 陆征然对扣件式钢管满堂支撑体系的整体受力性能进行了研究, 对直角扣件的转动刚度进行了有限元分析和试验研究^[6]。张永春对作用于扣件式钢管高支撑架的混凝土浇筑过程中产生的泵管脉冲力的动力反应进行了理论研究和有限元分析^[7]。在实际中, 自然因素产生的风荷载对高支撑架也有一定的影响, 而很多学者在对支撑体系研究过程中往往不考虑风荷载的作用, 因此, 有必要对风荷载作用于高支撑架的受力性能进行深入研究。

1 有限元分析参数选取

本文建立杆纵横间距 48 跨、步距 8 步的有限元模型。由于模板支架杆件之间是用扣件连接, 纵横向水平杆与立杆连接处杆件中心不在同一个节点上, 按照 JGJ130 2011 的搭设要求, 建立各个杆

收稿日期: 2016-07-14

修回日期: 2016-08-05

基金项目: 内蒙古自治区安全生产监督管理局: 矿山高大跨混凝土结构高支模体系施工重大安全事故防治关键技术研究(2013-5-2)

作者简介: 金国辉(1966-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 土木工程建造与管理. E-mail: jinguohuimba@163.com

数字优先出版: 2016-11-07 http:// .cnki.net

件对应的节点有限元模型。杆件连接处的节点具有半刚性性质，因此采用弹簧单元 Combin14 模拟扣件的半刚性性质，支撑架模型的立体图和立面图如图 1, 2 所示。

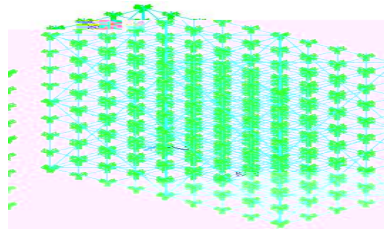


图 1 扣件式钢管支架模型

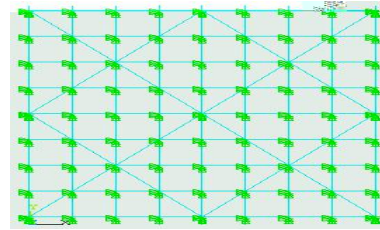


图 2 扣件式钢管支架模型的立面

Fig.1 The 3D model of fastener-type steel tubes Fig.2 The vertical model of fastener-type steel tubes

按照规范要求模型钢管截面采用外径为 48.3 mm、壁厚为 3.6 mm 的普通钢管，屈服强度为 235 MPa，弹性模量为 2.0610^5 MPa，密度为 7.810^{-6} kg/mm³，泊松比为 0.3，弹簧刚度的取值参考文献[8 10] 中对于直角扣件刚度性质的研究成果。

2 风荷载对支撑体系承载力的影响分析

根据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 130 2011 的要求，作用于脚手架上的风荷载标准值，应按下式计算： $w_k = \mu_z \mu_s w_0$

式中：

w_k 风荷载的标准值 (KN/m²)

μ_z 风压高度变化系数，按照国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定取值，本文取 1.0

μ_s 脚手架的风载体型系数，按规范本文取 0.1625

w_0 基本风压值 (KN/m²)，按照国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定取值，重现期取 $n=10$ ，按照规范本文取 0.35

故 $w_k = \mu_z \mu_s w_0 = 1.0 \cdot 0.1625 \cdot 0.35 = 0.057$ KN/m²

对支撑架承载力进行分析，首先定义模型的边界条件，结构与地面的约束为铰接，竖向荷载作用于顶端节点上，风荷载作用于一侧面的节点上，不考虑偏心的影响，然后对结构进行考虑有初始缺陷的非线性有限元分析，以立杆纵横间距为 1.0 m、立杆间距为 1.2 m、水平扫地杆设置高度为 0.3 m、立杆顶端伸出高度为 0.3 m 为基本模型得出不同搭设参数条件下支撑架的承载力，结果如下。

2.1 不同纵横间距的支撑架承载力

保持模型基本参数不变，只改变立杆纵横间距，按照规范搭设要求立杆纵横间距从 0.4 m 1.2 m 变化时考虑风荷载与不考虑风荷载的支撑架模型非线性有限元分析承载力如表 1 所示，不同搭设参数条件下支撑架承载力的变化趋势如图 3 所示。

表 1 不同纵横间距的支撑架承载力

Table 1 The bearing capacity of support framework with different distances						
纵横距(m)	0.40.4	0.60.6	0.750.75	0.90.9	1.01.0	1.21.2
承载力(kN)						
不考虑风荷载 P_1	26.69	26.87	26.70	26.15	25.99	25.52
考虑风荷载 P_2	16.78	18.50	18.50	18.90	18.91	17.93
$(P_1 - P_2) / P_1$ (%)	37.14	31.15	30.69	27.72	28.96	29.76

从表 1 可以看出，相同搭设参数条件下，考虑风荷载与不考虑风荷载相比，支撑架的承载力下降了大约 30%，结合图 1 所示，无论是否考虑风荷载的影响，支撑架承载力都随立杆纵横间距的增大而下降，但有风荷载作用时，立杆纵横间距为 0.4 m 时反而引起承载力的下降，间距为 0.6 m 1 m 时差别不大，考虑施工的方便适用、经济合理，建议搭设间距不宜大于 1.2 m。

2.2 不同步距对支撑架承载力

保持模型基本参数不变，只改变立杆步距，按照规范搭设要求立杆步距从 0.6 m 1.8 m 变化时考虑风荷载与不考虑风荷载的支撑架模型非线性有限元分析承载力如表 2 所示，不同搭设参数条件下支撑架承载力的变化趋势如图 4 所示。

表 2 不同立杆步距的支撑架承载力
Table 2 The bearing capacities of support framework with different steps

承载力(kN)	步距(m)				
	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
不考虑风荷载 P_1	62.36	37.19	25.99	19.53	15.13
考虑风荷载 P_2	44.94	28.03	18.91	13.92	8.96
$(P_1-P_2)/P_1$ (%)	27.94	24.62	27.24	28.69	40.76

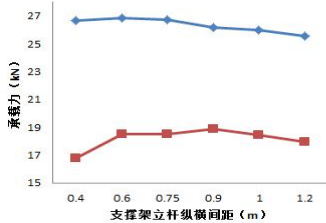


图 3 支撑架随立杆纵横间距变化的承载力
Fig.3 The change of bearing capacity with vertical and horizontal spaces

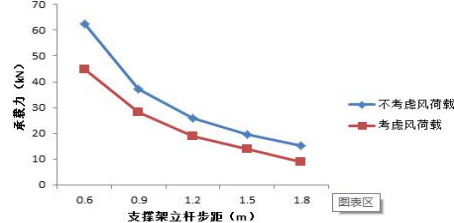


图 4 支撑架随立杆步距变化的承载力
Fig.4 The change of bearing capacity with steps

从表 2 可以看出，相同搭设参数条件下，考虑风荷载与不考虑风荷载相比，支撑架的承载力下降了大约 25% 30%，最大下降了 40.76%。结合图 4 所示，无论是否考虑风荷载的影响，支撑架承载力都随立杆步距的增大而下降，并且在有风荷载作用时，支撑架的承载力在随着步距的增大时下降的更快。因此施工搭设时不宜搭设步距过大。

2.3 不同扫地杆设置高度对支撑架承载力

保持模型基本参数不变，只改变水平扫地杆设置高度，按照规范搭设要求水平扫地杆设置高度从 0.2 m 0.9 m 变化时考虑风荷载与不考虑风荷载的支撑架模型非线性有限元分析承载力如表 3 所示，不同搭设参数条件下支撑架承载力的变化趋势如图 5 所示。

表 3 不同扫地杆设置高度的支撑架承载力
Table 3 The bearing capacities of support framework with different heights

承载力(kN)	高度(m)							
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
不考虑风荷载 P_1	26.46	25.99	25.08	24.31	23.04	21.55	20.19	18.72
考虑风荷载 P_2	19.73	18.91	17.60	16.49	15.67	15.46	13.99	12.82
$(P_1-P_2)/P_1$ (%)	25.42	27.24	29.80	32.14	31.97	28.27	30.70	31.51

从表 3 可以看出，相同搭设参数条件下，考虑风荷载与不考虑风荷载相比，支撑架的承载力下降了大约 25% 32%。结合图 4 所示，无论是否考虑风荷载的影响，支撑架承载力都随水平扫地杆设置高度的增大而下降。

2.4 不同顶端伸出长度对支撑架承载力

保持模型基本参数不变，只改变立杆顶端伸出长度，按照规范搭设要求立杆顶端伸出长度从 0.2 m 0.9 m 变化时考虑风荷载与不考虑风荷载的支撑架模型非线性有限元分析承载力如表 4 所示，不同搭设参数条件下支撑架承载力的变化趋势如图 6 所示。

表 4 不同顶端伸出长度的支撑架承载力
Table 4 The bearing capacities of framework with different stretches on tops

承载力(kN)	高度(m)						
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9
不考虑风荷载 P_1	26.86	25.99	25.05	24.38	23.758	22.52	20.00
考虑风荷载 P_2	19.40	18.91	18.79	18.21	17.60	17.44	16.08
$(P_1-P_2)/P_1$ (%)	27.77	27.24	24.97	25.30	25.91	22.56	19.62

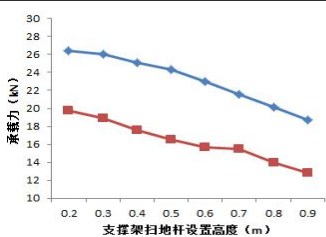


图 5 支撑架随扫地杆设置高度变化的承载力
Fig.5 The changes of bearing capacities with floor tube heights

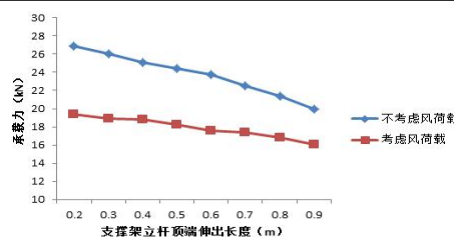


图 6 支撑架随立杆顶端伸出长度变化的承载力
Fig.6 The changes of bearing capacities with stretches on tops

从表 4 可以看出, 相同搭设参数条件下, 考虑风荷载与不考虑风荷载相比, 支撑架的承载力下降了大约 20% 27%。结合图 4 所示, 无论是否考虑风荷载的影响, 支撑架承载力都随立杆顶端伸出长度的增大而下降, 在不考虑风荷载作用时, 支撑架承载力随顶端伸出长度的增长而下降的更快, 风荷载对顶端伸出长度的变化引起承载力变化的影响较小。

2.5 不同风载对支撑架承载力

保持模型基本参数不变, 只改变风荷载作用的大小进行模板支撑架模型的非线性有限元分析, 得出相对应的支撑架承载力如表 5 所示, 相应的变化趋势图如图 7 所示。

表 5 不同风荷载作用下支撑架承载力
Table 5 The bearing capacity of framework under different wind loads

风荷载 (kN/m ²)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
承载力 (kN)	25.99	25.29	24.10	23.41	21.89	19.91	17.64	16.23	14.54	12.79

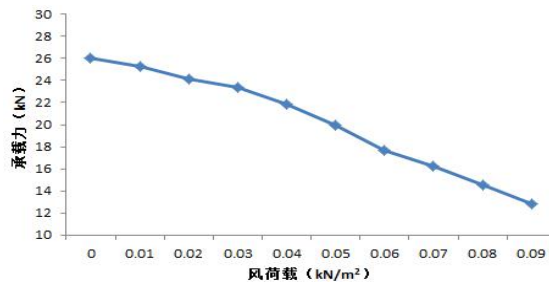


图 7 支撑架随风荷载变化的承载力
Fig.7 The changes of bearing capacities with wind loads

由表 5 和图 7 可以看出, 模型支撑架承载力随风荷载作用的增大而下降, 并且下降速度较快。综上所述, 扣件式钢管高支撑架承载力受到各种因素的影响。支撑架承载力与搭设参数、外界自然因素紧密相关, 在施工过程中由支撑架承载力引起的安全问题应引起我们的重视。

3 结论

(1) 在自然界中, 风荷载对模板高支撑架的影响是不容忽视的, 考虑具有初始缺陷的模板支撑架非线性有限元分析应该计算这一因素对模板支撑架承载力的影响。

(2) 在扣件节点半刚性的基础上, 对大量不同搭设参数条件下分别是否考虑风荷载作用的影响进行非线性有限元分析。从分析结果可以得出, 考虑风荷载的作用时, 支撑架承载力比不考虑风荷载作用时要低, 说明了忽略风荷载这一因素是偏于不安全的。

(3) 对于考虑风荷载作用的影响后, 从得到的承载力变化趋势图中可以看出, 支撑架承载力对立杆步距变化和水平扫地杆设置高度变化较为敏感, 在实际施工过程中应予以重视。

(4) 风荷载对模板高支撑架承载力的影响比较明显, 在多风季节或者多风地区施工应予以考虑。

参考文献

[1] 陈志华,王 刚,刘红波,等.扣件式钢管支撑体系承载力影响分析[J].施工技术,2015,44(2):96-101

[2] Peng JL, Yen T, Kuo CC, *et al.* Analytical and Experimental Bearing Capacities of S stem Scaffolds[J]. Journal of Zhejiang University Science A, 2009,10(1):82-92

[3] 陈园卿,章雪峰,胡威谥.水平荷载作用下混凝土结构扣件式钢管模板高支撑体系受力分析[J].建筑技术,2007,38(8):612-614

[4] 宋建学,史 瑞.脚手架扣件抗滑移试验及分析[J].建筑技术,2011,42(10):937-938

[5] 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

[6] 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

[7] 张永春.扣件式钢管模板支架动力特性及抗倒塌研究[D].西安:长安大学,2010

[8] 胡长明,车佳玲,张化振,等.节点半刚性对扣件式钢管模板支架稳定承载力的影响分析[J].工业建筑,2010,40(2):20-23

[9] 曹 深.扣件式钢管模板支架节点半刚性受扭机制试验研究[D].西安:长安大学,2011

[10] 陈志华,陆征然,王小盾.钢管脚手架直角扣件刚度的数值模拟分析及试验研究[J].土木工程学报,2010,43(9):100-108