

DOI: 10.7672/sgjs2024170067

盘扣式钢管模板支撑架高效应用技术*

郭正兴¹, 温科², 陈安英³

(1. 东南大学成贤学院, 江苏 南京 210088; 2. 江苏速捷模架科技有限公司, 江苏 无锡 214196;
3. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230009)

[摘要] 我国模板支撑钢管脚手架经历从扣件式钢管脚手架、碗扣式钢管脚手架、门式钢管脚手架到盘扣式钢管脚手架的发展历程。针对主流的盘扣式钢管模板支撑架, 结合行业标准编制, 开展包含节点和整架的试验研究, 科学解决其承载力计算和架体杆件合理布置问题。在模板支撑架下部架体构造得到合理解决的基础上, 为进一步提高盘扣式钢管模板支撑架利用效率, 提出科学解决支撑架顶部承托胶合板模板面板次楞和主楞的办法。在调研并对比国内外工具式模板支撑架上部主次楞产品的线重量、截面刚度 EI 等主要性能指标基础上, 设计出 Q355 钢异型焊管次楞和主楞, 并结合典型的地下室 400mm 厚顶板, 计算分析得出标准型盘扣式钢管模板支撑架的立杆合理间距为 1 500mm×1 800mm。

[关键词] 模板; 脚手架; 支撑架; 承载力; 稳定性; 标准

[中图分类号] TU731

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)17-0067-04

Efficient Application Technology of Disc Buckle Steel Pipe Formwork Support Frame

GUO Zhengxing¹, WEN Ke², CHEN Anying³

(1. Southeast University Chengxian College, Nanjing, Jiangsu 210088, China;
2. Jiangsu Rapid Formwork & Scaffolding Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214196, China;
3. Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: The development of formwork supported steel scaffold in China has progressed from buckle type, bowl buckle type, door type to disc buckle type steel scaffold. For the prevalent disc buckle steel pipe formwork support frame, combined with industry standards, the test research including the joints and the whole frame is carried out, scientifically solve the bearing capacity calculation and the reasonable layout of the frame. On the basis of reasonable solution to the structure of the lower part of the formwork support frame, in order to further improve the utilization efficiency of disc buckle steel pipe formwork support frame, a scientific method is put forward to solve the primary and secondary rib of the formwork supported on the top support frame. Based on the investigation and comparison of the primary and secondary rib of the tool-type formwork support frame at home and abroad, such as linear weight, section stiffness EI and other major performance indicators, Q355 steel special-shaped welded pipe primary and secondary rib is designed, combined with the typical 400mm-thick roof of basement, it is calculated and analyzed the reasonable distance between the vertical rods of the standard type disk buckle steel pipe formwork support frame is 1 500mm×1 800mm.

Keywords: formwork; scaffold; supports; bearing capacity; stability; standard

0 引言

模板支撑脚手架和作业脚手架安全是工程施

工重要的风险控制源, 2004 年被国家《建设工程安全生产管理条例》列为危险性较大的分部分项工程。

我国在 20 世纪 60 年代初开始应用源于英国的扣件式钢管脚手架, 因其通用灵活性强、价格低廉

* 2011 年住房和城乡建设部科学技术计划项目

[作者简介] 郭正兴, 教授, 博士生导师, E-mail: guozx195608@126.com

[收稿日期] 2024-06-24

等特点,一度成为国内工程施工主流。但该脚手架不能保证扣件质量和拧紧力矩,易导致架体构造不完整,影响稳固性,连年发生多起群死群伤的恶性高支模坍塌事故。20世纪80年代初,我国又先后从国外引进门式脚手架和碗扣式脚手架,但门式脚手架因产品制作质量得不到有效控制,目前已被禁用。碗扣式脚手架在桥隧工程中应用较多,但其易发生严重锈蚀,不能保证质量,施工安全得不到有效控制而被淘汰。因此,寻求搭拆效率高、承载力高、经久耐用和安全稳固的新一代施工钢管脚手架和其配套技术,成为工程施工亟待解决的重大问题。我国施工脚手架发展历程如图1所示。



图1 中国施工脚手架发展历程

Fig. 1 Construction scaffolding development history in China

针对上述瓶颈问题,研究团队以研发立杆为Q355钢的镀锌盘扣式钢管脚手架为切入点,2005年吸收台湾技术组建盘扣式钢管脚手架配件生产流水线,在大陆无此类相关安全技术标准和工程应用经验的情况下,与东南大学开展产学研合作攻关,并得到江苏省建筑业科研计划项目支持,经过项目组不懈努力,从编制盘扣式钢管脚手架的地方标准到国家标准,以标准引领创新,持续开展多领域重大工程应用,产学研合作持续18年(见图1),有效遏制高支模坍塌安全事故频发态势,为我国提供了新一代主流施工钢管脚手架,市场保有量达2800万t,65个城市工程建设主管部门主动在高支模工程施工中发文强制应用该新型脚手架,满足国家工程建设高速发展和安全施工急需。

在盘扣式钢管脚手架得到市场全面认可的情况下,结合大量基础工程建设,考虑盘扣式钢管脚手架的高效安全应用成为新关注点。

1 盘扣式钢管模板支撑架承载力的科学把控

盘扣式钢管脚手架由立杆、水平杆、斜杆及可调顶托和底托等基本构配件组成基本的模板支撑架体,梁板等水平构件的钢筋和混凝土自重及施工作业荷载通过模板面板及主次楞传力至立杆,再由立杆传力至底部基础。立杆的良好工作状态决定盘扣式钢管模板支撑架荷载安全度。由多根立杆组成的模板支撑架体系在整体受荷工作状态下,其立杆稳定性有整体稳定和局部稳定之分。

研究团队组织开展盘扣连接节点刚度与考虑盘扣式钢管支架空间结构整体多尺寸参数的反演试验研究(见图2),提出盘扣式节点刚度数值,为整架承载性能有限元分析研究提供基本的力学分析模型。

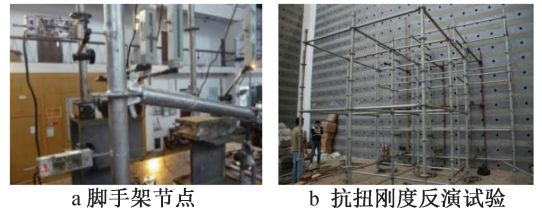


图2 盘扣式钢管脚手架的节点及整架抗扭刚度反演试验
Fig. 2 Inversion test of torsional stiffness for whole frame and joints of disc buckle steel pipe scaffold

基于随机缺陷模态分析方法,将工程现场统计得到的周转使用钢管支架初始几何与材料缺陷特征,引入盘扣钢管支架半刚性节点刚度本构模型,提出考虑初始缺陷和节点刚度影响的盘扣式钢管脚手架空间结构稳定性分析理论(见图3),并采用参数化数值模拟结果统计回归分析方法,进行大量代表性架体单元分析对比,明确立杆步距、顶部悬臂长度、架体顶层步距、支架搭设高度等因素对结构整体承载力的影响程度,基于GB 50068—2018《建筑结构可靠性设计统一标准》,通过临时工程结构的可靠度校准,对立杆稳定性进行计算简化(见图4),并与架体稳定性试验结果进行对比,图中 L 为立杆步距, a 为立杆顶部悬臂长度, P 为立杆稳定承载力, L_B 为立杆水平横距, v 为偏心距, M 为弯矩值, F 为节点支座水平反力, θ 为节点转角,建立便于工程应用的立杆承载力简化计算公式,JGJ/T 231—2021《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》的核心计算方法,作为国内模架类计算机软件的核心计算依据。架体稳定性试验如图5所示。

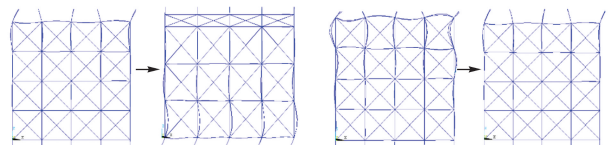


图3 盘扣式钢管脚手架空间结构稳定性分析
Fig. 3 Spatial structure stability analysis of disk buckle steel pipe scaffold

2 盘扣式钢管模板支撑架顶部主次楞选用

在解决钢管支模架下部结构盘扣式钢管支架承载力计算问题后,调研盘扣式钢管支模架实际推广应用中所遇到的主要问题,即上部模板面板主次楞不配套,直接导致架体立杆布置间距偏小,使立杆

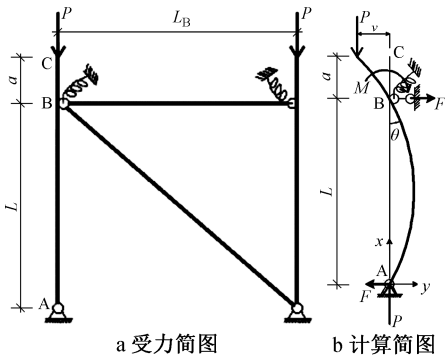


图4 立杆稳定性计算简化模型

Fig. 4 Stability calculation model of vertical rod



图5 架体稳定性试验

Fig. 5 Scaffold structural stability test

承载力得不到充分发挥,影响盘扣式钢管支模架高效应用。

目前梁板结构常用 15mm 厚木胶合板作为面板材料,将 40mm×90mm 木方作为次楞,次楞成为木胶合面板的支点,按 3 跨连续梁计算支点间距,并按 $l/400$ 挠度值进行控制 (l 为连续梁的跨度), 120~400mm 厚混凝土板通用次楞间距为 200~400mm。按木方次楞线刚度 EI 进行计算分析,其跨度一般控制在 900mm 内。

当用 $\phi 48 \times 2.7 \sim 3$ 钢管作为主楞,并将双钢管主楞搁置到盘扣式钢管支撑架立杆顶端的可调托撑内(见图 6),同样按 $l/400$ 挠度值控制,400mm 厚混凝土板通用主楞间距约 900mm,由此,盘扣式钢管支撑架主立杆间距为 900mm×900mm,作用到立杆顶部的标准荷载约 10kN,相当于把立杆承载力达 40kN 的盘扣件式钢管支模架当作传统扣件式钢管支模架使用,直接影响盘扣式钢管支模架的高效利用。

国外专业化模板脚手架公司在工具式模板支撑架顶部均有配套的专用主次楞产品,其中 ULMA, DOKA 常用 H20 木工字梁作为盘扣式钢管支撑架顶部的主次楞,RMD 等公司提供单腹板 150 型内嵌方木铝工字梁和 200mm 高双腹板内嵌木方的铝工字梁



图6 盘扣式钢管支撑架顶部用木方及双钢管作为面板主次楞

Fig. 6 Top of the disc buckle steel pipe support frame uses wooden square and double steel pipe as the primary and secondary rib

(见图 7)。国外主次楞产品共同特点是线重量小,截面设计刚度 EI 较大,能够实现主次楞 1.2~1.8m 的立杆大间距布置,从而实现盘扣式钢管支撑架高效应用。支撑架上部用铝梁做主次楞如图 8 所示。国内外模板支撑架顶部主次楞典型截面性能指标值对比如表 1 所示。



图7 支撑架上部用木工字梁做主次楞

Fig. 7 Woodworking beam used as the primary and secondary rib on the support frame

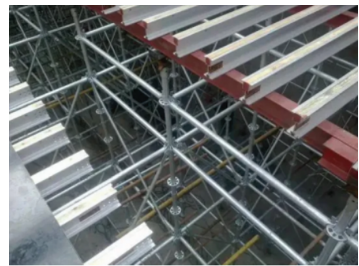


图8 支撑架上部用铝梁做主次楞

Fig. 8 Aluminum beam used as the primary and secondary rib on the support frame

1) 国内次楞以 40mm×90mm 木方和 40mm×40mm×3mm 钢管为主,这两者的设计 EI 值基本相同。即使市政桥梁和箱涵顶板采用 90mm×90mm 木方作次楞,也与国外次楞的木工字梁和铝梁抗弯刚度 EI 值差距很大,当 250~400mm 厚的混凝土板下次楞均布间距 200~300mm 时,不能实现跨度 1500~1800mm 的目标值。

表1 模板支撑架顶部主次楞截面性能指标值对比

Table 1 Comparison of performance index values for primary and secondary rib section on top of formwork support frame

材料和截面/mm	线重量/(kg·m ⁻¹)	惯性矩/mm ⁴	弹性模量/(N·mm ⁻²)	抗弯刚度 EI/(kN·m ²)
40×90 木方	2.88	2 430 000	9 000	21.87
40×40×3 钢管	3.768	101 972	2.06×10 ⁵	21
90×90 木方	6.48	5 467 500	9 000	49.21
50×80×2 钢管	4.0	450 986	2.06×10 ⁵	92.9
10 号工字钢	11.26	2 450 000	2.06×10 ⁵	504.7
50×100×3 矩形管	7.065	1 121 200	20.6	231
H20 木工字梁	5.6	4 613 000	10 000	500
L150 单腹板铝梁	3.62	417 900	70 000	292.5
175 双腹板铝梁	7.5	105 652	69 000	729
60×140×2 矩形钢管	6.5	2 032 396	2.06×10 ⁵	418.67

2) 国内房屋建筑工程主楞多采用 50mm×100mm×3mm 矩形钢管,用于浇筑 400mm 厚混凝土板时,面板下 40mm×90mm 木方次楞均布 200~300mm,按挠度控制计算,50mm×100mm×3mm 矩形钢管主楞跨度 1.5~1.8m。根据该支模条件,南京部分建筑工地形成的盘扣式钢管支撑架立杆间距为 900mm×1 500mm,计算立杆承受标准荷载为 13.8kN。南京某地铁上盖工程,大面积楼板厚 250mm,施工方采用重型 60 管的盘扣式钢管支架作为下部支模架,专业模架租赁公司模板面板仍采用 15mm 厚胶合板,使用间距 150mm 的 80mm×80mm 木方作为次楞,抗弯刚度 EI 为 34.1kN·m²。使用 L150 型单腹板铝工字梁作为主楞,抗弯刚度为 268kN·m²,按专项施工方案设计计算的盘扣式钢管模板支撑架立杆间距为 1 800mm×1 800mm,基本实现盘扣式钢管支架高效应用目标(见图 9)。分析该支架立杆支承标准荷载值为 30.4kN,只承受标准型盘扣架立杆承载力的 75%。因此,对标国际专业模架公司专用主次楞产品,研发适合我国工程建设国情的自重小、线刚度大的主次楞配套产品成为亟待解决的问题。



图9 使用 L150 型铝梁作为主楞的立杆大间距布置的盘扣式钢管支模架

Fig. 9 L150 aluminum beam used as the main vertical rod with large spacing arrangement of disc buckle steel pipe support frame

3) 使用表 1 中研发的 Q355 钢 50mm×80mm×2mm 矩形钢管作为专用次楞,其线重量 4kg/m 略大

于 40mm×90mm 木方和 40mm×40mm×3mm 钢管,但抗弯刚度 EI 值是 40mm×90mm 木方的 4 倍。因此,该次楞用于浇筑地下室 400mm 厚混凝土顶板时,15mm 厚胶合板下布置间距为 250~300mm,可实现跨度 1 500mm。Q355 钢 60mm×140mm×2mm 的矩形钢管作为主楞,其线重量为 6.5kg/m,与 50mm×100mm×3mm 的矩形钢管线重量基本相同,但抗弯刚度 EI 值是 50mm×100mm×3mm 矩形钢管的 1.8 倍。经计算分析,该主楞浇筑 400mm 厚混凝土板,可实现跨度 1 800mm。因此,采用新研发的主次楞矩形钢管浇筑 400mm 厚混凝土板,其盘扣式钢管支撑架立杆间距为 1.5m×1.8m,单个立杆承受标准荷载值为 35.6kN,在合理标准型盘扣架立杆安全承载力范围内,基本实现下部盘扣式钢管支撑架和上部主次楞承载力、变形控制协调一致,达到绿色高效应用目标。

3 结语

在盘扣架钢管模板支撑架得到普遍推广应用的场景下,为充分发挥盘扣架立杆承载力,支撑架顶部主次楞配套产品研发进入工程技术人员视野。部分单位研发内嵌木方的几字形冷弯钢板梁产品,部分研发双面或四面冲孔并压入管内木方的镀锌钢管产品,均想解决木胶合板面板与钢次楞间使用木工钉进行固定的问题。借鉴国外成熟的工字铝梁翼缘板顶面内嵌方木做法,通过分析对比,应研发线重量小、抗弯刚度大,加大盘扣式钢管支撑架立杆间距的异型焊管顶面内嵌木条主次楞,以逐步替换传统木方和扣件钢管,并结合工程应用,总结大间距立杆快速安全搭设经验,形成先进工法。

参考文献:

- [1] 谢祺,严科,谢祥宇,等. 高架桥装配式预制墩柱模板优化研究[J]. 施工技术(中英文),2023,52(10):21-24,40.
XIE Q, YAN K, XIE X Y, et al. Study on optimization of prefabricated pier column formwork for viaduct[J]. Construction technology, 2023,52(10):21-24,40.

- engineering, 2019, 27(5): 1196-1205.
- [59] SON H, SEONG H, CHOI H, et al. Real-time vision-based warning system for prevention of collisions between workers and heavy equipment[J]. Journal of computing in civil engineering, 2019, 33(5):3215-3221.
- [60] WANG X, ZHU Z. Vision-based framework for automatic interpretation of construction workers' hand gestures [J]. Automation in construction, 2021, 130:331248.
- [61] LU Y N, YOU K, ZHOU C, et al. Video surveillance-based multi-task learning with swin transformer for earthwork activity classification [J]. Engineering applications of artificial intelligence, 2024, 131:107814.
- [62] 刘文杰. 基于视觉的挖掘机铲斗智能检测与控制技术研究[D]. 北京:中国矿业大学,2023.
- LIU W J. Research on intelligent detection and control technology of excavator bucket based on vision [D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2023.
- [63] LI Y, NIU T, QIN T, et al. Machine vision based autonomous loading perception for super-huge mining excavator[C]//2021 IEEE 16th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2021.
- [64] BORNGRUND C, BODIN U, SANDIN F. Machine vision for construction equipment by transfer learning with scale models [C]//2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2020.
- [65] SUGASAWA Y, CHIKUSHI S, KOMATSU R, et al. Visualization of dump truck and excavator in bird's-eye view by fisheye cameras and 3D range sensor [C]//International Conference on Intelligent Autonomous Systems, 2021.
- [66] LEE J HWAN, LEE J, PARK S Y. 3D Pose recognition system of dump truck for autonomous excavator[J]. Applied sciences, 2022, 12(7): 3471.
- [67] CAO B W, LIU X H, CHEN W, et al. Intelligent energy-saving operation of wheel loader based on identifiable materials [J]. Journal of mechanical science and technology, 2020, 34(3): 1081-1090.
- [68] ZHANG L, ZHAO J, LONG P, et al. An autonomous excavator system for material loading tasks[J]. Science robotics, 2021, 6(55): eabc3164.
- [69] JOHNS R L, WERMELINGER M, MASCARO R, et al. A framework for robotic excavation and dry stone construction using on-site materials [J]. Science robotics, 2023, 8(84): eabp9758.
- [70] FINKBEINER M S, UCHIYAMA N, SAWODNY O. Shape recognition of material heaps in outdoor environments and optimal excavation planning [C]//2019 International Electronics Symposium (IES), 2019.
- [71] SHAKED T, BAR-SINAI K L, MELES-BRAVERMAN A, et al. Aggregate-forming planner for autonomous earth-moving [J]. IEEE access, 2023, 11: 118841-118848.
- [72] KIM I H, LIM D W, JUNG J W. Single-camera-based sand volume estimation of an excavator bucket[J]. Multimedia tools and applications, 2019, 78(5): 5493-5522.
- [73] DONG Q, MA C, ZHANG R, et al. 3D mound information perception for construction sites based on binocular vision[C]//Proceedings of SPIE: The International Society for Optical Engineering, 2022.
- [74] LU J, BI Q, LI Y, et al. Estimation of fill factor for earth-moving machines based on 3D point clouds[J]. Measurement, 2020, 165: 108114.

(上接第70页)

- [2] ZHENG Y F, GUO Z X. Investigation of joint behavior of disk-lock and cuplok steel tubular scaffold [J]. Journal of constructional steel research, 2020:106415.
- [3] 吴碧桥,郭正兴,程杰,等. 江苏省建筑施工技术发展综述[J]. 江苏建筑, 2023(S1):34-41,78.
- WU B Q, GUO Z X, CHENG J, et al. Summary of the development of building construction technology in Jiangsu Province[J]. Jiangsu construction, 2023(S1):34-41,78.
- [4] 孙伯禹,邵志兵,金蕾,等. 预制叠合板模块化盘扣式支撑脚手架试验研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(14): 140-144.
- SUN B Y, SHAO Z B, JIN L, et al. Experimental study on modular disc buckle supported scaffold with prefabricated laminated plates[J]. Construction technology, 2023, 52(14): 140-144.
- [5] 郭正兴. 模板脚手架技术发展展望[J]. 施工技术, 2018, 47(6):79-83.
- GUO Z X. Development and prospect of formwork scaffold technology[J]. Construction technology, 2018, 47(6):79-83.
- [6] 李鹏,周梓彬,郑代靖,等. 预制混凝土构件U型连接筋的单肢锚固性能试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2023(11):36-40,46.
- LI P, ZHOU Z B, ZHENG D J, et al. Experimental study on single limb anchorage performance of U-shaped joint rebars of precast concrete members [J]. China concrete and cement products, 2023(11):36-40,46.
- [7] 满建政,俞凯木,皮淑萍,等. 新型预应力夹心叠合楼板双向受力分析及应用[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(4): 94-100.
- MAN J Z, YU K M, PI S P, et al. Analysis and application of bidirectional force on new prestressed sandwich laminated floor slab[J]. Construction technology, 2023, 52(4):94-100.