

坡屋面吊篮无配重安装施工技术

张 鹏, 钟生平

(北京城建二建设工程有限公司, 北京 100039)

[摘要] 针对坡屋面支设电动吊篮施工难题,研究并对比分析各类型施工方案,最终选择取消吊篮后支腿,直接将吊篮大臂后端采用钢丝绳与坡屋面结构梁捆绑固定的吊篮支设方式。阐述该坡屋面吊篮关键技术和受力验算,关键技术包括吊篮选型、锚固端固定方式、钢丝绳防磨损措施、钢丝绳防松动措施、锚固端防晃动措施、前支腿防滑落措施等,受力验算包括荷载取值、钢丝绳承载力、支架稳定性、混凝土结构承载力等。提出完整解决方案,巧妙利用结构形式提高吊篮安拆施工效率、优化整体工期,保证全过程安全可靠。实践表明,工程实施效果良好。

[关键词] 坡屋面;吊篮;安装;承载力;稳定性;施工技术

[中图分类号] TU745

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)02-0103-05

Construction Technology of Slope Roof Hanging Basket Without Counterweight Installation

ZHANG Peng, ZHONG Shengping

(Beijing Chengjianer Construction Engineering Co., Ltd., Beijing 100039, China)

Abstract: Aiming at the construction problem of supporting electric hanging basket for slope roof, various types of construction schemes are studied and compared. Finally, the rear leg of the hanging basket is cancelled, and the rear end of the big arm for the hanging basket is directly fixed with the steel wire rope and the slope roof structure beam. The key technologies involve the selection of the hanging basket, the fixing method of the anchorage end, the anti-wear measures of the wire rope, the anti-loosening measures of the wire rope, the anti-sway measures of the anchorage end, and the anti-slipping measures of the front leg. The stress checking involves load value, wire rope bearing capacity, support stability, concrete structure bearing capacity. A complete solution is proposed, and the structural form is skillfully used to improve the efficiency of hanging basket installation and demolition construction, optimize the overall construction period, and ensure the safety and reliability of the whole process. Practice shows that the project implementation effect is good.

Keywords: slope roof; hanging basket; installation; bearing capacity; stability; construction

1 工程概况

北京市丰台区长辛店镇住宅项目位于丰台区大灰厂东路,总建筑面积约 12.01 万 m^2 ,包含 28 栋住宅楼及 2 栋公服楼,住宅楼为装配整体式剪力墙结构,地上 6~9 层,地下 1~2 层,如图 1 所示。

28 栋住宅楼屋面形式均为坡屋面+平屋面,其中坡屋面顶部开口,坡屋面与平屋面夹角为 30° ,坡顶高出平屋面 2m,檐口周围为现浇悬挑檐沟,檐沟宽度为南侧 950mm、其余侧 600mm。南立面外窗均为飘窗,局部包含凸出外墙的空调板,其余立面外



图 1 建筑实景

Fig. 1 Realistic view of the architecture

窗均为平窗,且无明显凸出外墙的结构构件或装饰。顶层及屋面建筑剖面如图 2 所示。

坡屋面板为 100mm 厚钢筋混凝土结构板,纵向

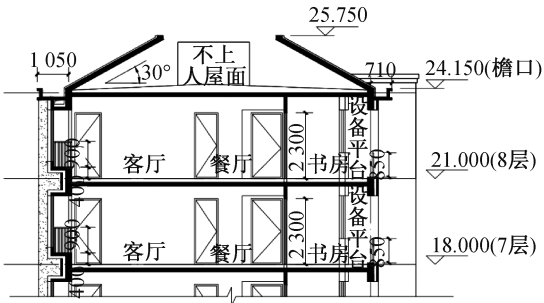


图 2 顶层及屋面建筑剖面

Fig. 2 Top floor and roof building sections

跨度 3~8m,两侧通过伸出平屋面的现浇墙垛作为固定支座,横向宽 3m,底部与檐沟内侧墙体连接,顶部为 200mm×400mm 锁口圈梁,混凝土强度等级为 C30。

2 方案比选

针对工程案例,电动吊篮搭设方案包括 4 种^[1-5]: ①加高传统吊篮前、后支腿,使吊篮后支腿跨过坡屋面板,如图 3a 所示; ②在顶层室内支设吊篮,吊篮前臂主要通过外窗口伸出外墙,如图 3b 所示; ③将钢丝绳连接在屋面女儿墙结构处,并在檐沟处固定金属沟槽,调整吊篮悬挑距离,如图 3c 所示; ④取消吊篮后支腿,将大臂后端通过钢丝绳捆绑方式与坡屋面结构梁连接固定,如图 3d 所示。4 种方案均具备可实施性,但也各有利弊,需根据工程特点进行方案比选,如表 1 所示。

经过相关受力验算,本工程选择方案 ④作为最终实施方案。

3 关键技术

1)吊篮选型。选用 ZLP630 型双吊点电动吊篮,其额定载重 630kg,篮框外型尺寸为 700mm(宽)×1 200mm(高),最大长度为 6m,最小长度为 1m,最大节数为 3 节。ZLP630 型吊篮所用提升机型号为 LTD63,额定提升力为 6.3kN,电动机制动力矩为

表 1 4 种搭设方案对比分析		
Table 1 Comparative analysis of four erection schemes		
方案	优势	劣势
①	充分利用了传统吊篮组装形式,便于寻找厂家及施工管理	影响平屋面及坡屋面装修施工,从而影响整体工期。当支设高度过大时,将降低吊篮整体稳定性,并且采用大量非标构件,会增加施工成本
②	充分利用了传统吊篮组装形式,便于寻找厂家及施工管理,吊篮施工安全风险小	影响顶层二次结构、内装修施工;吊篮支腿布置受顶层剪力墙及窗口布局影响较大;为实现外装修区域施工全覆盖,部分外墙需结构开洞,有损结构安全;无法实现吊篮以上及檐口装饰
③	不影响平屋面及坡屋面装修施工,有利于保证整体工期	对檐沟结构质量要求较高,对于悬挑结构受力不友好,可能会因局部受压破损导致吊篮整体失稳,因此存在一定的安全风险
④	不影响平屋面装修施工,有利于保证整体工期,且安全系数相对较高	需进行充分的吊篮及坡屋面结构受力验算

15.2N·m。根据方案对比分析,选用取消吊篮后支腿,将吊篮大臂后端通过钢丝绳捆绑方式与坡屋面结构梁固定的吊篮形式。外檐墙原设计为斜顶,为配合支设吊篮前支腿,经与设计沟通,将此部位浇筑为平顶,调整前、后节点如图 4 所示。最终吊篮结构如图 5 所示。

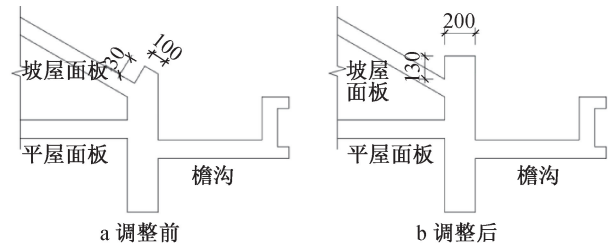


图 4 节点

Fig. 4 The joint

2)锚固端固定方式。结合坡屋面形式,调整吊篮前支腿高度,使吊篮大臂正好能水平放置于坡屋

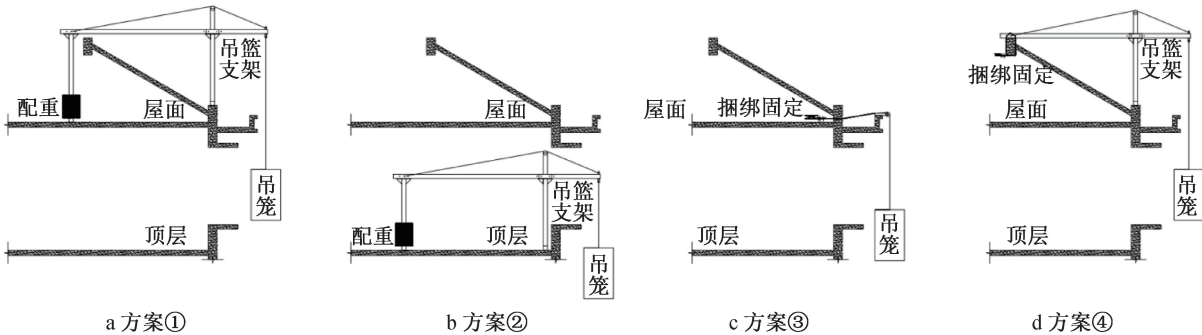


图 3 4 种搭设方案

Fig. 3 Four erection schemes

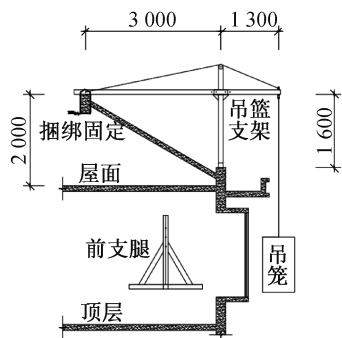


图 5 吊篮结构

Fig. 5 Structure of hanging basket

面顶部锁口圈梁,并通过钢丝绳将大臂后端与结构圈梁捆绑固定。钢丝绳规格为 4×31SW+NF 型,直径为 8.3mm,公称强度为 2 160MPa,破断拉力≥53kN。锚固前需提前在坡屋面板上开孔,锚固钢丝绳穿过大臂后端螺栓孔,然后通过坡屋面板上的开孔,兜住结构圈梁,缠绕 3 圈捆绑固定。钢丝绳收头采用 4 个 M10 卡扣固定。

3) 钢丝绳防磨损措施。钢丝绳穿过坡屋面板洞口部位及钢丝绳与结构圈梁阳角接触部位需采用橡胶管保护,且施工过程中需动态巡查,避免钢丝绳与混凝土接触部位发生磨损而降低承载力。

4) 钢丝绳防松动措施。卡扣固定后的钢丝绳与结构圈梁及吊篮支架大臂间,如仍存在间隙导致相互不贴合,须采用木楔等硬质材料楔紧间隙,并采用可靠措施防止楔紧的木楔脱落,以确保锚固端在工作状态下不松动。

5) 锚固端防晃动措施。特制 U 形大臂紧固件,通过 2 个 M8 膨胀栓固定在结构圈梁上,紧固件 U 形槽卡住吊篮大臂锚固端,防止大臂锚固端左右晃动。

6) 前支腿防滑落措施。因吊篮前支腿支设于 200mm 宽女儿墙顶部,为防止在极端情况下吊篮支架晃动导致前支腿滑落,前支腿两端亦采用 U 形紧固件控制支腿水平位移。

4 受力验算

根据吊篮结构形式、受力特点及相关规范要求,该吊篮受力分析主要验算钢丝绳承载力、支架稳定性、支架前后端支反力和混凝土结构承载力^[6-7]。主要验算依据包括 GB 19155—2017《高处作业吊篮》^[8]、GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》^[9]、GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》(2015 年版)^[10]。

4.1 荷载取值

建筑最大标高为 27.850m(不足 50m,按 50m

计算);4 根钢丝绳重 50kg;最大活动荷载(安全荷载)为 350kg;支架前悬臂端外伸最大长度为 1.3m;风荷载按《高处作业吊篮》^[8]和《建筑结构荷载规范》^[9]中相关计算规则取较大值。

4.2 钢丝绳承载力验算

根据《高处作业吊篮》^[8]规定,单作用钢丝绳悬挂系统安全系数≥8,双作用钢丝绳悬挂系统安全系数≥12。本工程吊篮系统采用 4×31SW+NF 型航空用钢丝绳,最小破断拉力为 53kN。ZLP630 型吊篮采用 LTD63 型提升机,此处按 LTD63 型提升机原极限工作荷载计算,即为 6.3kN。钢丝绳承载力验算如式(1)所示。计算可得 $Z_p=8.41\geq 8$ 。

$$Z_p = \frac{F_0}{S}$$

(1)

式中: F_0 为钢丝绳拉断力; S 为吊篮极限荷载。

4.3 支架稳定性验算

根据《高处作业吊篮》^[8]规定,在配重悬挂支架外伸距离最大、起升机极限工作荷载工况下,稳定力矩≥3 倍倾覆力矩(即在正常工作状态下,吊篮悬挂机构抗倾覆力矩与倾覆力矩比值≥3)。根据吊篮可能存在的倾覆破坏形态,推算吊篮抗倾覆力矩 = min(捆绑钢丝绳扯断力,锚固端坡屋面结构梁承载力)×前、后支架间距。其中,以 3 倍倾覆力矩推算出的锚固端钢丝绳对坡屋面结构梁的拉力,作为坡屋面结构梁承载力验算中荷载取值依据。此处,抗倾覆力矩以钢丝绳拉断力为计算依据,验算如式(2)所示。计算可得 $n=19.4\geq 3$ 。

$$n = \frac{M_2}{M_1} = \frac{F_0 l_2}{S l_1}$$

(2)

式中: M_1 、 M_2 为倾覆力矩和抗倾覆力矩; l_1 、 l_2 分别为前、后支架长度。

4.4 支架前、后端支反力计算

统计吊篮在满载状态下前端质量,结合吊篮支架自重及尺寸,即可搭建吊篮支架受力模型。通过该受力模型的力平衡和力矩平衡得到二元一次方程组,求解该方程组即可得到吊篮在满载状态下支架前、后端最大支反力。经计算,前端最大支反力为 7.5kN(压力),后端(锚固端)最大支反力为 1.9kN(拉力)。

4.5 混凝土结构承载力验算

主要包括前支腿端外檐梁混凝土局部受压承载力、锚固端结构梁混凝土受冲切承载力、锚固端结构梁混凝土受弯承载力。

1) 前支腿端外檐梁混凝土局部受压承载力验算如式(3),(4)所示。根据支架前支腿支反力计算

结果及《混凝土结构设计规范》^[10],即可验算前支腿端外檐梁混凝土局部受压承载力。

$$F_1 \leq 1.35\beta_c\beta_{f_c}A_{ln} \quad (3)$$

$$\beta_c = \sqrt{A_b/A_1} \quad (4)$$

式中: F_1 为前支腿端外檐梁混凝土局部受压荷载; f_c 为混凝土轴心抗压强度; β_c 为混凝土强度影响系数; β_{f_c} 为混凝土局部受压时的强度提高系数; A_{ln} 为混凝土局部受压净面积; A_b 为混凝土局部受压计算底面积; A_1 为混凝土局部受压面积。

2) 锚固端结构梁混凝土受冲切承载力验算。锚固端拉力荷载取值是锚固端结构承载力验算的关键。根据支反力计算结果,满载运行时,锚固端最大拉力为 1.9kN。根据支架稳定性验算原理,锚固端所需验算的拉力为 3 倍倾覆力矩所推算的拉力,如式(5)所示。计算可得 $F'_1=8.2\text{kN}$ 。

$$F'_1 = 3M_1/l_2 \quad (5)$$

因此,验算锚固端结构承载力时的荷载取值如式(6)所示。

$$F = \max\{F_1, F'_1\} \quad (6)$$

根据《混凝土结构设计规范》^[10],即可验算锚固端结构梁混凝土受冲切承载力,如式(7)~(10)所示。

$$F_{11} \leq (0.7\beta_{f_1} + 0.25\sigma_{pc,m})\eta u_m h_0 \quad (7)$$

$$\eta = \min\{\eta_1, \eta_2\} \quad (8)$$

$$\eta_1 = 0.4 + 1.2/\beta_s \quad (9)$$

$$\eta_2 = 0.5 + \alpha_s h_0/4u_m \quad (10)$$

式中: F_{11} 为锚固端支反力; β_{f_1} 为高度影响系数; f_t 为混凝土抗拉强度; $\sigma_{pc,m}$ 为临界面周长上 2 个方向混凝土有效预压应力加权平均值; u_m 为临界截面周长; η_1 为荷载作用面积形状影响系数; η_2 为临界截面周长与板截面有效高度之比影响系数; β_s 为荷载作用面积为矩形时的长边与短边尺寸比值; α_s 为板柱结构类型影响系数。

3) 锚固端结构梁混凝土受弯承载力验算。根据结构圈梁跨度及配筋等特征选择相对薄弱构件,研究该项目 28 栋住宅楼坡屋面锁口圈梁结构设计。由于该部位圈梁截面尺寸、配筋、混凝土强度等级等基本一致,选择了 1 根跨度最大的梁作为验算对象。相邻 2 个吊篮锚固端固定位置较接近,2 个吊篮锚固端各自产生 1 个集中荷载(最大为 8.2kN,拉力),将这 2 个集中荷载简化为 1 个集中荷载(取值 16.4kN)。结合所选择的圈梁构件结构设计信息,将集中荷载作用在最大跨度圈梁跨中位置,进行锚固端结构梁在极端受力工况下受弯承载力验算。

利用结构设计软件进行结构配筋计算,建立相

同尺寸、强度等级及边界条件的构件分析模型,输入常规恒荷载、活荷载及局部集中荷载,利用软件进行结构构件配筋设计,如果设计的截面配筋面积小于实际配筋,则验算通过,反之则验算不通过。通过探索者软件建立模型,根据计算得出的配筋面积进行对比。对比可知,按极端荷载工况所计算的配筋需求小于该结构圈梁实际配筋,因此,按受弯承载力计算满足要求。

由于锚固端拉力荷载取值实际考虑了 3 倍倾覆力矩所推算的拉力,因此锚固端结构梁的验算,不仅证明了锚固端结构梁混凝土受冲切承载力和受弯承载力满足要求,而且说明了按锚固端混凝土承载力验算的抗倾覆力矩满足大于 3 倍倾覆力矩的规范要求,即进一步验证了吊篮支架的稳定性。

5 实施效果

按专项方案完成了该形式电动吊篮支设,并按要求通过了专项验收。截至 2021 年 11 月,外装修施工结束,28 栋住宅楼坡屋面均采用了该形式电动吊篮,合计支设吊篮(含周转使用)557 个。吊篮支设实景如图 6 所示。



图 6 吊篮实景

Fig. 6 Realistic view of hanging basket

在使用期间,吊篮机械未发生任何安全隐患,工程进展顺利,并且由于该形式吊篮巧妙地规避了后支腿及配重,显著提升了吊篮安拆效率。同时,凭借吊篮支设与平屋面装修施工互不干涉的优势,28 栋住宅楼均实现了吊篮支设及外装修施工与平屋面防水保温等装修施工同步进行的施工部署,显著缩短了关键线路施工工期,具有良好的经济效益和社会效益。2022 年 4 月,本项目顺利通过了竣工验收,并于当月顺利完成竣工备案。

6 结语

本文基于北京市长辛店住宅项目坡屋面吊篮实践,介绍了适用于坡屋面结构形式的吊篮支设方式并进行方案对比分析,最终采用了取消吊篮后支腿,将吊篮大臂后端与坡屋面结构梁捆绑固定的形式支设吊篮。重点阐述了该形式坡屋面吊篮关键技术和受力验算,并基于工程实践证明该形式坡

屋面电动吊篮的可行性。

参考文献：

[1] 钟韧,秦海英,卢喜成. 无配重外挂吊篮在造型复杂建筑施工中的应用[J]. 建筑技术,2022,53(5):595-598.
ZHONG R, QING H Y, LU X C. Application of counterweight-free external hanging cage in complexed-shape building construction [J]. Architecture technology, 2022, 53 (5) : 595-598.

[2] 王海涛. 附着式电动升降平台在坡屋面高层住宅外墙节能改造中的应用[J]. 施工技术,2018,47(2):88-92.
WANG H T. Application of attached electric lifting platform in slope roof high-rise residential exterior wall energy saving reconstruction [J]. Construction technology, 2018, 47 (2) : 88-92.

[3] 刘云飞,段先军,雷素素,等. 爬升式吊篮系统在北京大兴国际机场航站楼核心区工程中的应用[J]. 施工技术,2019,48(14) :12-15.
LIU Y F, DUAN X J, LEI S S, et al. Application of climbing hanging basket system in beijing daxing international airport terminal building core area project[J]. Construction technology, 2019,48(14) :12-15.

[4] 晁岱圣,任坤朋,郭辉,等. 电动吊篮操作平台架在高层坡屋面建筑节能改造工程中的应用[J]. 施工技术,2019,48(4) : 125-128.
CHAO D S, REN K P, GUO H, et al. Application of electric hanging basket operation platform in energy-saving reconstruction of high-rise building with sloping roof [J]. Construction technology, 2019,48(4) :125-128.

[5] 吴小婉,钟鑫,张羽,等. 异形吊篮安装施工技术[J]. 建筑技术,2022,53(7) :800-802.

WU X W, ZHONG X, ZHANG Y, et al. Construction technique for specially-shaped lifting cage installation [J]. Architecture technology, 2022,53(7) :800-802.

[6] 王克,焦本君,朱政. 斜拉式无配重吊篮施工技术研究与应用[J]. 建筑施工,2023,45(9) :1811-1814.
WANG K, JIAO B J, ZHU Z. research and application of construction technology of cable-stayed hanging basket without counterweight [J]. Building construction, 2023, 45(9) : 1811-1814.

[7] 何培新. 附梁式吊篮优化设计及安全控制[J]. 建筑施工, 2023,45(6) :1260-1262.
HE P X. Optimal design and safety control of beam-attached hanging basket [J]. Building construction, 2023, 45 (6) : 1260-1262.

[8] 中国建筑科学研究院建筑机械化研究分院. 高处作业吊篮: GB 19155—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
Research Institute of Building Mechanization, China Academy of Building Research. Temporarily installed suspended access equipment: GB 19155—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[9] 中国建筑科学研究院. 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
China Academy of Building Research. Load codes for the design of building structure: GB 50009—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.

[10] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构设计规范: GB 50010—2010(2015 年版) [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
China Academy of Building Research. Code for design of concrete structures:GB 50010—2010(2015 edition) [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2015.

(上接第 102 页)

[4] 中冶京诚工程技术有限公司. 钢结构设计标准:GB 50017—2017[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
MCC Jingcheng Engineering Technology Co. , Ltd. Standard for design of steel structures:GB 50017—2017[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2017.

[5] 中冶建筑研究总院有限公司,中建八局第二建设有限公司. 钢结构工程施工质量验收规范:GB 50205—2020[S]. 北京:中国计划出版社,2020.
General Research Institute of Building and Construction, MCC, China Construction Eighth Bureau Second Construction Co. , Ltd. Standard for acceptance of construction quality of steel structures: GB 50205—2020 [S]. Beijing: China Planning Press, 2020.

[6] 张文元,赵琳. 外伸悬挑组合式锅炉大板梁的静力试验及有

限元模拟分析[J]. 工程力学, 2016, 33(6) : 163-170.
ZHANG W Y, ZHAO L. Static test and finite element analysis on spliced plate-girder with cantilever segment[J]. Engineering mechanics, 2016, 33(6) : 163-170.

[7] 张文元,孟宪国. 锅炉钢结构大板梁的受力分析与优化设计 [C] // 钢结构工程研究 (九) ——中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会第 13 届 (ISSF-2012) 学术交流会议暨教学研讨会论文集,2012.
ZHANG W Y, MENG X G. Stress analysis and optimization design of large plate girder of boiler steel structure [C] // Steel structure engineering research (IX) : proceedings of the 13th (ISSF-2012) Academic Exchange Meeting and Teaching Seminar of Structural Stability and Fatigue Branch of China Steel Structure Association, 2012.