

DOI: 10.7672/sgjs2022170086

大跨度超长悬挑结构贝雷架高空支模施工技术*

柯江华,牛童,黄春峰,卫星,王丽丽
(中天建设集团有限公司第四分公司,北京 101113)

[摘要] 京津冀(固安)国际商贸城项目在建筑入口处设计大跨度门厅及超长挑檐,结合项目特点及工期要求,采用贝雷架与格构柱组合的方式搭设高空支模平台,进行施工作业。在设计贝雷架时,采用等效梁法与桁架模拟分析相结合的方式计算,验算桁架承载力、杆件内力及桁架挠度,确保架体在集中荷载作用下可以有效支撑。施工时,采用地面拼装、整体吊装的方式安装贝雷架,提高施工效率并降低成本。

[关键词] 安装;高空支模;贝雷架;桁架;有限元分析;荷载

[中图分类号] TU312 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2097-0897(2022)17-0086-04

Construction Technology of High Altitude Formwork for Bailey Frame with Long-span and Long Cantilever Structure

KE Jianghua, NIU Tong, HUANG Chunfeng, WEI Xing, WANG Lili

(The Fourth Branch of Zhongtian Construction Group Co., Ltd., Beijing 101113, China)

Abstract: In the Beijing-Tianjin-Hebei (Gu'an) International Trade City project, large-span vestibules and super-long overhanging eaves are designed at the entrance of the building. Combined with the characteristics of the project and the duration requirements, a high altitude formwork support platform was built by the combination of Bailey frame and lattice column to carry out construction operations. In the design of Bailey frame, the equivalent beam method and truss simulation analysis were combined to calculate and check the bearing capacity of truss, internal force of member and truss deflection, so as to ensure the effective support of the frame under concentrated load. During construction, the Bailey frame was installed by ground assembly and integral hoisting, which improved construction efficiency, reduced cost, and ensured the realization of project objectives.

Keywords: installation; high altitude formwork; Bailey frame; trusses; finite element analysis; load

0 引言

在大跨度、大悬挑结构施工中,一般选用型钢主梁及上拉下撑措施搭设支模平台,施工难度大、高空作业多,安全性很难保证。在路桥工程中,类似结构施工一般采用贝雷架搭设施工平台,具有结构简单、运输方便、架设快捷、载重大、互换性好、适应性强、容易组装等特点,可有效提高施工效率并降低施工成本。

但是,建筑工程与桥梁工程施工工况具有很大

差别,建筑结构荷载分布不均,局部可能存在较大集中荷载,并且建筑工程空间相对狭窄,因此设计、施工时需更加细致地分析与策划,以保证顺利实施。

1 工程概况

京津冀(固安)国际商贸城一期1~4标段工程位于河北省廊坊市固安县首都环线高速东湾出口北侧,主体为混凝土框架结构,总建筑面积29.4万m²,地下1层、地上6层,总建筑高度38.4m,如图1所示。

2 工程重难点

本工程在建筑入口位置设计通高门厅及大悬挑屋檐,均为混凝土结构。其中,门厅部位进深15.4m、宽26.7m,挑檐最大悬挑长度8m,顶板支模高度38.2m,门厅位置剖面如图2所示。

该位置支模高度高、结构自重荷载大,经测算,

* 中天建设集团有限公司技术研发课题:大跨度悬挑结构施工技术
研究(ZTZY-04-2021-01)

[作者简介] 柯江华,副总工程师,高级工程师,E-mail: 187265803@qq.com

[通信作者] 牛童,研发工程师,工程师,E-mail: 136302806@qq.com

[收稿日期] 2022-04-15



图1 京津冀(固安)国际商贸城

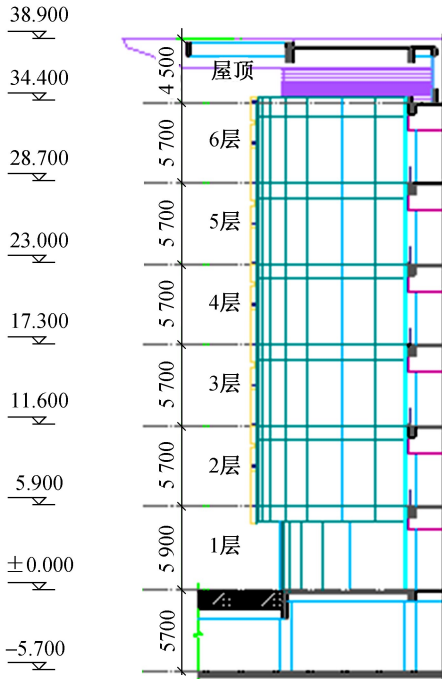


图2 门厅剖面

如采用落地脚手架进行支模,至少需要2个月工期,不能满足总进度计划要求,并占用大量劳动力及周转材料。另外,由于挑檐位于现场施工道路上方,搭设满堂架体会阻断场内交通,严重影响材料运输效率。因此,需在保证安全性的前提下进行高空支模。

3 方案设计

3.1 高空平台设计

由于本项目门厅宽度、屋檐悬挑长度均很大,传统型钢悬挑不能满足施工承载需求,因此借鉴路桥工程施工方法,结合钢管格构柱与贝雷架的方式搭设施工平台,再在平台上部铺设工字钢、搭设脚手架,运用高空支模形式施工门厅结构。

贝雷架为桁架结构,由于架体杆件较多,在受力分析时,各杆件内力计算十分复杂。支撑点位于竖杆下方的贝雷架总体呈梁的受力特性,因此在贝雷架的设计中,一般将贝雷架简化为1根梁,根据梁上作用的荷载,运用结构力学方法可计算出贝雷架在各种状态下,每个截面的弯矩和剪力值,并比较该值与容许

剪力和容许弯矩值,以核验结构安全性。

目前,贝雷架设计与施工一般参照《装配式公路钢桥多用途使用手册》(以下简称《手册》),根据《手册》规定,贝雷架容许承载力如表1所示。

表1 贝雷架容许承载力

贝雷架类型	容许弯矩/(kN·m)	容许剪力/kN
不加强 单排单层	788.2	245.2
不加强 双排单层	1 576.4	490.5
不加强 3排单层	2 246.4	698.9
加强 单排单层	1 687.5	245.2
加强 双排单层	3 375.0	490.5
加强 3排单层	4 809.4	698.9

通过计算结构自重、模架及施工荷载,综合考虑结构承载力、材料成本及施工难易程度,初步确定门厅内设置1个3排单层贝雷架,贝雷架两端搭设于主体结构上,跨中设置钢管格构柱进行支撑,使贝雷架形成跨度13m的2跨连续梁。悬挑屋檐主梁采用4根钢管格构柱进行支设,格构柱间距25m,屋檐部分主梁采用双排单层贝雷架。贝雷架、格构柱布置效果如图3所示。

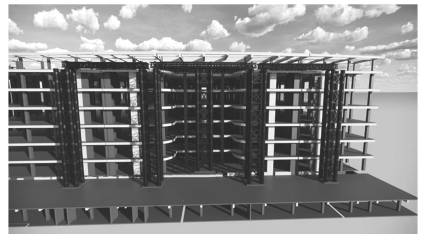


图3 贝雷架、格构柱布置效果

采用等效梁的方式验算贝雷架主梁,结合施工平台上部荷载及贝雷架自重,计算各主梁最大弯矩、剪力,如表2所示,均满足承载力要求。

表2 贝雷架承载力验算

位置	跨长/m	贝雷架类型	弯矩/(kN·m)	剪力/kN
门厅中部	13	不加强3排单层	1 032.96	581.07
挑檐中部	21	加强双排单层	1 395.16	260.11
挑檐两端	24	加强双排单层	1 336.28	273.43

在验算贝雷架承载力后,为保证上部模架搭设的稳定性,还需验算贝雷架挠度。根据《手册》规定,贝雷架等效几何参数如表3所示。据此进行计算,门厅中部贝雷架跨中挠度为9.82mm,挑檐中部贝雷架跨中挠度为33.06mm,挑檐两端贝雷架跨中挠度为26.43mm,均满足规范要求。

3.2 钢管格构柱设计

本工程格构柱设置高度为34.4m,平面尺寸为3m×3m,主体采用4根 $\phi 609 \times 16$ 钢管,钢管间由剪

表 3 贝雷架等效几何参数

贝雷架类型	截面模量 W/cm^3	惯性矩 I/cm^4	抗弯刚度 $EI/(\text{kN}\cdot\text{m}^2)$
单排单层	3 578.5	250 497.2	526 044.1
不加强 双排单层	7 157.1	500 994.4	1 052 088.2
3 排单层	10 735.6	751 491.6	1 578 132.4
单排单层	7 699.1	577 434.4	1 212 612.2
加强 双排单层	15 398.3	1 154 868.8	2 425 224.5
3 排单层	23 097.4	1 732 303.2	3 637 836.7

刀撑焊接固定,剪刀撑采用[16,布置间距 $\leq 3\text{m}$,顶部剪刀撑距柱顶、底部剪刀撑距基础距离均 $\leq 0.5\text{m}$ 。格构柱顶部设置双 I45a 连梁,利用 U 形螺栓固定于钢管格构柱顶部法兰盘上。格构柱所用钢材材质均为 Q235b。依据 GB 50017—2017《钢结构设计标准》进行验算,格构柱截面惯性矩为 $4\,383\,322.62\text{cm}^4$,当高度为 34.4m 时,计算长细比为 28.03,查表可知稳定性折减系数为 0.932。为安全考虑,格构柱总承载力不高于单根钢管格构柱承载力限值,即格构柱可承受 $5\,696.01\text{kN}$ 荷载。

根据高空平台计算结果进行验算,承受荷载最大的格构柱为门厅中部格构柱,荷载为 688.64kN ,因此设计格构柱满足施工承载力要求。

3.3 基础及回顶设计

本工程格构柱均设置于地下室顶板上,在计算格构柱自重及上部平台荷载后,格构柱基础所受荷载达 700kN ,地下室顶板不满足承载力要求,需在顶板下部设置回顶支撑以保证结构安全。

格构柱基础厚度为 300mm ,混凝土强度等级为 C35,以单根钢管格构柱直径 609mm 进行计算,可承受冲切荷载为 202.55kN ,满足抗冲切要求,基础平面如图 4 所示。车库顶板受力面积按 $9\text{m}^2(3\text{m}\times 3\text{m})$ 进行计算,荷载为 $77.78\text{kN}/\text{m}^2$,回顶架体采用轮扣架,立杆间距为 $300\text{mm}\times 600\text{mm}$,水平步距为 600mm ,回顶范围每边超出基础 $\geq 1\text{m}$,经验算,满足结构承载力要求。基础回顶剖面如图 5 所示。

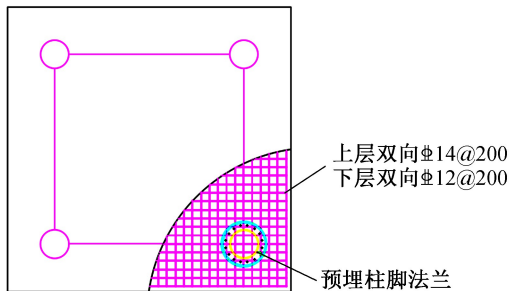


图 4 格构柱基础平面

3.4 有限元分析

在设计中,等效梁计算方法通常用作均布荷载

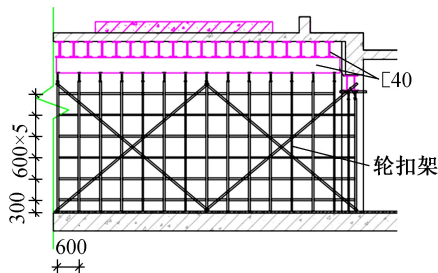


图 5 基础回顶剖面

的承载力验算,但悬挑梁位置均为集中荷载,特别是在门厅部位,贝雷架跨中位置存在 174.3kN 集中荷载,因此,贝雷架各杆件内力可能与等效梁计算模型有所差别,并且实际挠度可能大于计算挠度。

因此,采用 SAP2000 软件建立贝雷架桁架模型,对贝雷架杆件内力、挠度进行有限元分析。根据贝雷架厂家提供的资料,各杆件参数如表 4 所示。

表 4 贝雷架单元杆件参数

名称	弦杆	加强杆	竖杆	斜杆
材料	16Mn	16Mn	16Mn	16Mn
断面形式] [10] [10	18	18
截面面积/ cm^2	15.48	15.48	9.52	9.52
惯性矩/ cm^4	397	397	99	99
容许承载力/ kN	560	560	210	171.5

经分析发现,悬挑屋檐中间、两端部分贝雷架各杆件应力比均 < 0.7 ,满足承载力要求,计算挠度略大于等效梁法计算结果,中间部位为 38.5mm 、两端部位为 17.2mm ,满足施工要求。门厅部位贝雷架也可满足承载力要求,但计算部分杆件应力比达 0.9,计算结果如图 6 所示。为保证施工安全,将该部位贝雷架由 3 排单层贝雷架调整为 4 排单层贝雷架,以增大安全系数。

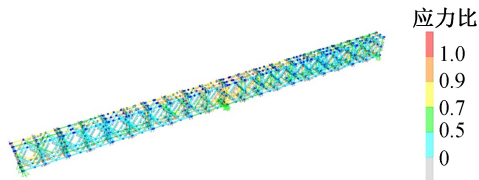


图 6 3 排贝雷架分析结果

4 施工技术

4.1 施工工艺流程

施工工艺流程如下:放线定位→基础回顶支撑搭设→基础钢筋绑扎→基础模板支设→基础浇筑→格构柱钢管吊装→搭设格构柱操作架→格构柱剪刀撑焊接→安装顶部连梁→贝雷架地面拼装→分段吊装→贝雷架拼接→铺设工字钢次梁→铺设脚手板→搭设模架→混凝土结构施工及养

护→拆除模架→拆除工字钢次梁→拆除贝雷架→拆除钢管格构柱。

4.2 回顶与基础施工

通过放线,在车库顶板上确定基础范围,并在车库顶板下部搭设回顶支撑架体。架体采用轮扣架,立杆间距 $300\text{mm}\times 600\text{mm}$,水平杆步距 500mm ,架体四周设置竖向连续剪刀撑。架体顶部铺设 $[40$,并与结构顶紧。格构柱基础尺寸为 $4\text{m}\times 4\text{m}$,在钢管格构柱安装位置预埋固定法兰,用于后期钢管格构柱安装。

4.3 钢管格构柱安装

钢管格构柱每节长度为 6m ,单根重 1.5t ,现场配备 1 台 80t 汽车式起重机进行吊装施工。钢管格构柱采用法兰盘加高强螺栓进行连接,每个连接点设置 16 个 $M24$ 螺栓。当 1 节钢管格构柱吊装完毕后,在钢管格构柱四周搭设操作脚手架,再利用操作脚手架于钢管格构柱上安装套箍、焊接剪刀撑。剪刀撑焊接完成后,继续吊装下节钢管格构柱,循环作业,直至安装至设计高度。

4.4 搭设平台及模架

在贝雷架安装完毕后,于贝雷架底部拉设安全网,作为高空作业安全防护。再在贝雷架上铺设 $[16$ 作为平台次梁,工字钢间距与立杆间距相同,使模架直接支设于工字钢上部。模架支设前,在工字钢上铺设脚手板,铺设时通过测量确定立杆位置并避开该位置。之后在确定的立杆位置安装立杆支座,以保证立杆稳定性。最后在立杆支座上支设立杆、搭设模架。

由于贝雷架跨度较大,跨中位置有较大下挠,因此除结构本身起拱要求外,还需要根据计算挠度进行额外调节,以保证结构成型质量。

4.5 架体监测

模架监测按照规范要求进行。贝雷架主梁分别在跨中及 $1/4, 3/4$ 跨位置设置监测点,监测主梁挠度。格构柱分别在柱顶设置监测点监测钢管垂直度。另外,施工期间在地下室顶板及回顶架体上设置监测点,以保证地下室顶板结构安全。

4.6 架体拆除

在混凝土结构施工完成,并养护到 100% 设计强度时,开始拆除支撑架体。模架按照先支后拆、后支先拆原则进行拆除,模板、钢管等材料先搬运至主体结构内,再利用塔式起重机吊运至地面。贝雷架拆除

时,需根据安装时的分节方法进行分解,再利用汽车式起重机分节吊至地面,并于地面进行拆除。

5 效益分析

本工程 4 个门厅,单个门厅的总面积约 635m^2 ,根据项目计划,每 2 个门厅划为 1 组同时施工。据此测算,相比传统满堂支模架,采用贝雷架、格构柱施工方案可节约工期 34d ,节约成本约 29 万元。搭设满堂脚手架需要 21d ,拆除需要 14d ,共 35d 。搭设贝雷架格构柱、贝雷架、脚手架分别需要 $5, 2, 3\text{d}$,拆除分别需要 $5, 1, 2\text{d}$,共 18d 。满堂脚手架人工费、材料费分别为 $674\ 116, 455\ 061.32$ 元,共 $1\ 129\ 177.32$ 元。贝雷架的人工费、材料费、机械费分别为 $196\ 200, 492\ 637.5, 148\ 528$ 元,共计 $837\ 365.5$ 元。

另外,采用贝雷架方案进行高空平台施工可有效释放地面空间,避免施工现场道路阻断,保证顺利实施。

6 结语

相比落地满堂脚手架支模,高空平台支模可提高工效、降低成本,并降低人工依赖,是高效的施工技术。同时,应用贝雷架有效解决传统型钢主梁自重、截面模量小、抗弯能力较弱的问题,对超大跨结构施工具有较好的指导作用。

等效梁计算方法并不能体现桁架杆件内力,当工程中存在较大集中荷载时,还需对贝雷架进行桁架分析,以保证结构安全。

参考文献:

- [1] 孙九春,卢璞.贝雷架作为桥梁承重支架应用时的理论分析与实践应用研究[J].上海公路,2010(1):42-46,15.
- [2] 黄俊,裴汉江,楚永强.大洞口贝雷架高空支模平台关键施工技术[J].施工技术,2020,49(2):84-86,109.
- [3] 钟红春,陆建新,苗凯,等.深圳国际会展中心超长单层箱形网壳施工支承体系设计及应用[J].施工技术,2019,48(10):55-59.
- [4] 程湘伟,张懿,杜晓,等.华谊兄弟电影小镇E1号楼贝雷架超高支撑体系设计与应用[J].施工技术,2020,49(8):97-100,113.
- [5] 黄绍金,刘陌生.装配式公路钢桥多用途使用手册[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [6] 江筠,金兰,熊海,等.天河机场交通中心共建体贝雷架支撑滑移体系设计与应用[J].施工技术,2018,47(5):17-20.
- [7] 邓俊峰,裴智慧.现浇筒支梁贝雷架支撑系统优化设计[J].施工技术,2012,41(12):34-38.