

悬挑脚手架在工程施工中的安全应用

陈 杰

中铁二十二局集团第二工程有限公司 北京 100043

【摘 要】随着我国城市建筑工程的不断发展,各类建筑形式的异型建筑不断涌现,以适应建筑造型优美、造型独特的特点。悬挑脚手架是一种新型的建筑工程辅助设备,它的使用范围日益扩大,以适应工程建设中的安全和方便。本文以商业中心施工工程为案例,对悬挑脚手架在工程施工中的安全应用进行了分析。首先介绍了工程概况和方案选择,确定了使用悬挑脚手架的搭设方案设计。接着详细讨论了悬挑脚手架施工控制的相关内容,包括搭设的一般要求、基础构件的安装,如地下室外架、立杆、水平杆、小横杆、脚手板和连墙件等。通过对悬挑脚手架施工过程的控制,可以保证施工安全和工程质量。本研究对于了解悬挑脚手架在工程施工中的应用以及相应的施工控制要点具有重要意义。

【关键词】悬挑脚手架; 安全施工; 应用

由于我国建筑业的迅速发展,我国某些高层建筑由于悬挑式脚手架安装不当而造成的安全隐患时有发生,因此,悬挑式脚手架的设置是保证工程的安全的关键。作为一种重要的分项目,在高层建筑中占有举足轻重的地位,其安全问题历来受到广泛关注。悬挑脚手架在施工和施工中的应用越来越受到各施工单位的重视,它不但为高层建筑的施工创造了良好的环境,同时也为工人的工作提供了一个可靠的保证。

1 悬挑脚手架在商业楼施工工程中的应用分析

1.1 工程概况

本工程为保定市清苑区大堤口项目安置区10楼位于保定市大堤口村,10#楼地下两层,地上12层。地下1层为车库、地下2层为人防工程,地上为1~3层为商场,4~12层为商业、酒店办公。本工程室内外高差0.300m,结构高度(室外地坪至主要屋面板的板顶):52.55m。设计标高±0.000相对于绝对标高为13.800m。机房层高度4.5m。根据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011、JGJ59-2011、《河北省〈建筑施工安全检查标准〉实施细则》、《建筑施工安全检查标准》和设计图等,制定了型钢悬挑脚手架的施工工艺。

1.2 方案选择

该项目从时间、质量、安全性等方面进行了综合分析,确定了该项目的总体布局,首先,框架的结构设计要保证其安全性、成本经济性;二是在特定的环境中,在一定的寿命范围之内,可以完全达到所期望的安全和寿命。三是在材料选择上,力求通用、易于使用和维护。四是在选择结构形式时,需要考虑到受力情况,确保结构正确,便于

安装拆卸、检查和验收。

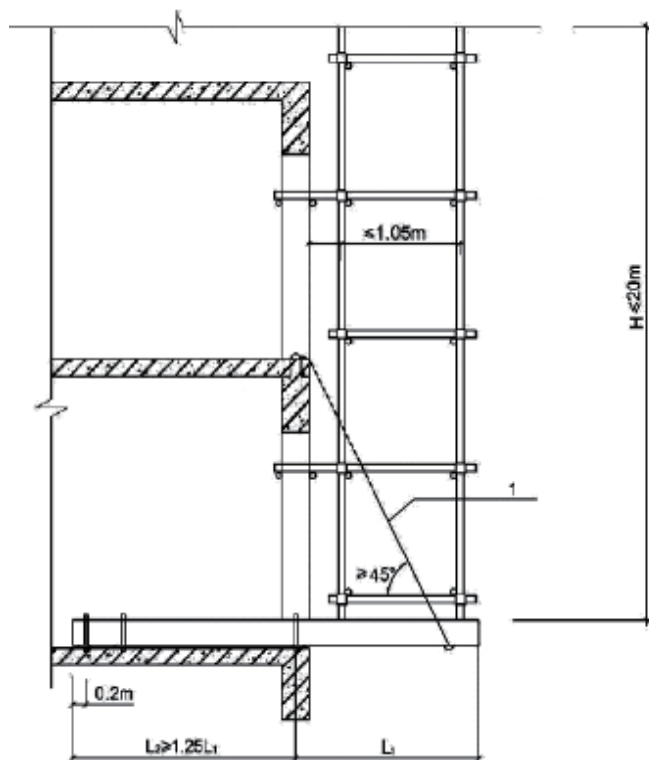


图1 悬挑脚手架

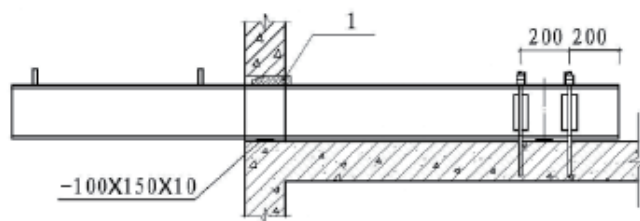


图2 悬挑钢梁穿墙构造

1.3 悬挑脚手架的搭设方案设计

(1) 材料选取

工程的脚手架有两种搭设方案：前六层使用落地式钢管悬挑脚手架（其中一些部分会在三楼的平台上搭建），从七楼开始使用外悬挑脚手架。为了考虑到高度、安全以及钢管等材料的使用，悬挑脚手架被分成2个独立段，第一段落地式钢管脚手架36.6米、第二段独立段高度为18米。

①钢管。悬挑脚手架由 $\Phi 48 \times 3.5$ 的钢管与扣构件组成，其横向间距1.05米，纵向间距1.5米，台阶间距1.8米；悬挑脚手架的下部由116型钢制的横向吊梁支撑。悬挑脚手架的施工高度为10级，共计18米；工程工作层分为2个楼层，每个楼层的活载荷为3 kN/m²，工作层设有护栏和隔离带。

②扣件。在选择支架的材质时，不能缺扣件的质保信息，并且在进场后还要取样检查其产品的性能和品质。而且不能出现任何质量问题，如裂纹，变形等。

③型钢挑梁。型钢悬挑梁应该选择双轴对称断面的型钢，例如工字钢，而不要选择单轴对称断面的槽钢等构件。钢梁的型号和锚固件应根据设计确定，钢梁的断面高度不应低于160毫米。每根悬挑钢梁的悬挑端应与卸载钢丝绳相连接，并与上层建筑结构进行拉结。

④钢丝绳。推荐使用直径为16毫米、拉伸力不低于1670 MPa的196 IFC（纤维芯），钢索选用的是纤维芯（麻芯）、直径小、高强、便于使用，但强度较高的钢索不宜选用，例如：1770 MPa、1870 MPa、1960 MPa的钢索。

⑤吊环。采用HPB235等级的钢索与施工构件进行拉结，其尺寸根据图纸规定，不得少于20毫米。也可以在建筑物的周边预先埋设一根短小的钢管，然后用钢丝将其联结起来。

(2) 悬挑脚手架计算

①负荷计算

根据规范JGJ130-2001的表A-1，悬挑脚手架的自重（包括立杆、纵、横水平杆、剪刀撑、横向斜撑和扣件）为 $N_{GLK}=18 \times 0.1248=2.2464$ kN。

结构和配件的重量

外立杆|竖直柱

脚手板：每两级设置一层，一共5层，每一级的荷载为0.10 kN/m²。

$$N_{G2K-1} = (5 \times \text{false}1.05 \times \text{false}1.5 \times \text{false}0.10) / 2 = 0.3938 \text{ kN};$$

$$N_{G2K-2} = 3 \times \text{false}0.14 \times \text{false}1.5 + 2 \times \text{false}2 \times \text{false}1.5 \times \text{false}0.0384 + 2 \times \text{false}2 \times \text{false}0.0132 = 0.9132 \text{ kN};$$

安全网： $N_{G2K-3} = 18 \times \text{false}1.5 \times \text{false}0.01 = 0.27$ kN;

$$\text{合计: } N_{G2K} = 0.3938 + 0.9132 + 0.27 = 1.577 \text{ kN}$$

内立杆

$$\text{脚手板: } N_{G2K-1} = 5 \times \text{false}1.05 \times \text{false}1.5 \times \text{false}0.10 / 2 + 0.3 \times \text{false}1.5 \times \text{false}2 \times \text{false}0.10 = 0.4838 \text{ kN};$$

纵向横杆(搁置悬挑部分的脚手板用):

$$N_{G2K-2} = 2 \times \text{false}2 \times \text{false}1.5 \times \text{false}0.0384 + 2 \times \text{false}2 \times \text{false}0.0132 = 0.2832 \text{ kN};$$

$$\text{合计: } N_{G2K} = 0.4838 + 0.2832 = 0.7670 \text{ kN}$$

施工荷载:

$$\text{外立杆: } N_{QK} = 2 \times \text{false}1.5 \times \text{false}1.05 \times \text{false}3 / 2 = 4.725 \text{ kN};$$

$$\text{里立杆: } N_{QK} = 4.725 + 0.3 \times \text{false}1.5 \times \text{false}2 \times \text{false}3 = 7.425 \text{ kN}.$$

垂直荷载组合:

$$\text{外立杆: } N_1 = 1.2 \times \text{false}(2.2462 + 1.577) + 1.4 \times \text{false}4.725 = 11.2031 \text{ kN};$$

$$\text{里立杆: } N_2 = -1.2 \times \text{false}(2.2464 + 0.767) + 1.4 \times \text{false}7.425 = 14.0111 \text{ kN}.$$

②水平悬挑梁设计

最大弯矩:

$$M = 11.2028 \times \text{false}1.45 + 14.0111 \times \text{false}0.4 + 0.205 \times \text{false}1.2 \times \text{false}1.552 / 2 = 22.144 \text{ kN/m};$$

选用I16 工字钢: $W_x = 140.9 \text{ cm}; I = 1127 \text{ cm}^4$ 自重 $q = 0.205 \text{ kN/m}$

按照CBJ17-88 《钢架结构设计规程》，一般轧制工字钢梁在弯曲荷载作用下，应考虑其整体稳定性。将这一悬臂梁跨长1.45 m折算为简支梁，它的跨度是21.45 m，使用插入法计算出 $\text{fib} = 1.37 > 0.6$ ，得到 $\Phi = 0.8514$ 。

则悬挑梁弯曲应力为

$$= 22.144 \times \text{false}106 / (0.8514 \times \text{false}140.9 \times \text{false}103) = 184.59 \text{ N/mm}^2 < f = 205 \text{ N/mm}^2.$$

挠度:

$$V = N_2 a^3 / 3EI + N_2 a^2 (3J - a) / 6EI = (11202.8 \times \text{false}14503) / (3 \times \text{false}2.06 \times \text{false}105 \times \text{false}1127 \times \text{false}104) + (14011.1 \times \text{false}4002) (3 \times \text{false}1450 - 400) / (6 \times \text{false}2.06 \times \text{false}105 \times \text{false}1127 \times \text{false}104) = 5.54 \text{ mm} < 1450 / 250 = 5.8 \text{ mm}.$$

$$16 \text{ 工字钢后部锚固钢筋设计 } N_3 = 22.144 / 1.4 = 15.817 \text{ kN};$$

锚筋选用中16圆钢，吊环拉应力为:

$\sigma = 15.817 \times 103 / (2 \times 0.785 \times 162) = 39.35 \text{ N/mm}^2$ 。

小于吊环控制应力50 N/mm²。

对于16个工字钢的悬臂梁，可以不加吊绳，在底部不加张紧力，但它的强度和变形都能达到规定的标准。

(3) 使用前安全控制

脚手架安装完毕后，为了确保更加安全，应对其冲击做一些安全检查，检查悬臂梁，确保没有松动；此外，还需要检查电气线路。验证相关杆件的安装和部分环节的施工是否可以转移到整个脚手架工程中；确保完成的悬臂式脚手架在所有细节上都能满足要求。另外，还要检查悬臂式脚手架最重要的部位，比如重要部位，或者一些隐蔽处的部位等。全程检查必须全面仔细，避免干扰，从各个环节控制悬臂式脚手架的施工安全。施工时，悬臂式脚手架在每次使用前必须进行检查，主要是确保各部分连接是否稳固，是否适合模型设计。同时，在整个悬臂式脚手架的中心和底部要注意一些，以确保脚手架的安全和稳定，并考虑到施工人员的设计，防止工程伤害。

2 悬挑脚手架施工控制

2.1 悬挑脚手架搭设的一般要求

模板、脚手架在材料的使用上应当符合具体的要求，其中钢材应当遵循GB/T700—2006《碳素结构钢》的具体标准。

在使用钢管结构的时候需要对其外观和形状等尺寸进行

严格的检查，发现有凹痕、弯曲、严重腐蚀的情况应当禁止使用。钢管脚手架的地步需要顺着纵横的方向来设置扫地杆，其离地高度应当控制在30cm左右，立杆的地步设置木方或者是模板垫板，钢管的不同方向的垂直度需要保持在20mm左右。

模板、脚手架和拱架的刚度需要进行验算，结构外表露出的模板挠度是模板构件跨度的1/400，隐蔽挠则是跨度的1/250，横梁、纵梁的弹性挠度则是跨度的1/400，钢模板的面板变形为1.5mm。

在对砼进行浇筑之前，需要对于模板进行脱模剂的涂刷，外露面的模板也需要使用脱模剂，不能将废机油等油料当做脱模剂使用，同时需要注意不能污染钢筋及砼的施工缝。由于在支顶上浇筑箱梁的时候会产生扰度，因此在施工的过程中需要对于预拱度进行增加。脚手架在使用的时候还要注意偏心荷载的产生，边浇边捣，从而避免大量的集中荷载产生，使得脚手架出现偏心荷载。另外在装卸其他物料的时候也应当避免脚手架出现偏心和冲击。

当上部分的砼结构强度已经超过了95%的时候就可以对于脚手架进行拆除，拆除的顺序应当按照从上到下，后装部分先拆，先装的部分后拆，并且先拆除非承重部分，上下部分不能进行同时拆除作业。

2.2 悬挑脚手架基础

2.2.1 地下室外架

本工程地下室施工阶段，采取落地式双排脚手架。落地

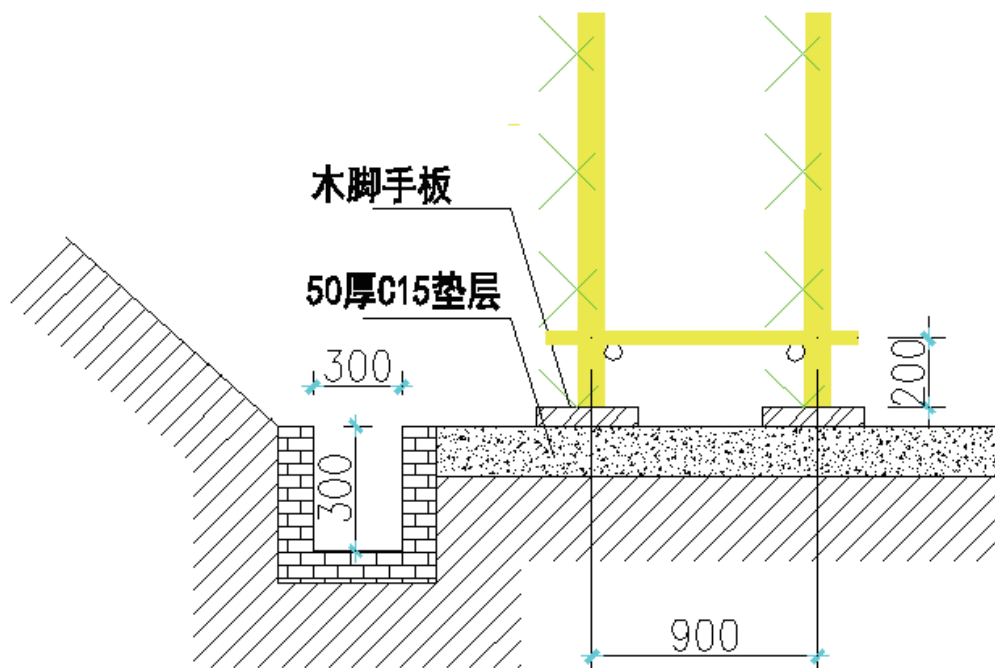


图3 脚手架搭设平面结构

架从地下室基础垫层开始起搭，垫层采用C15素混凝土50mm厚，立杆底下加设垫板，每根剪力墙的长度不得少于4跨，长度不得少于6米。剪刀杆与地板呈 $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的倾斜角度。

如图所示：（见图3）

2.2.2 立杆

1) 内立杆距离结构外墙边350mm，相邻的立杆连接处必须不同的高度处安装扣件。在底部的第一根立杆上，应该交替使用6米长和3米长的立杆，每隔一根立杆放置一根。

2) 立杆垂直度偏差不能超过架高的 $1/300$ ，且最大值不能超过75mm。

3) 立杆连接处采用对接扣件连接，连接扣件应相互交叉排列，同一跨径上不得有两个立杆连接处同时设置一个跨径。同一跨径内的立杆连接处之间的连接间距不能小于500mm，连接处的中间位置与主要结点之间的间隔不得超过 $1/3$ 。

4) 立杆搭接接头必须采用对接扣件连接。

2.2.3 水平杆

1) 将大型横梁安装在小型横梁上，在竖梁内部使用直角扣件固定在竖梁上。同时，在两个主要连接点之间设置一个大型横梁，长度不小于4.5m。

2) 外排增加一道水平防护杆，即外排水平杆步距600mm，内排水平杆步距1800mm。

3) 大横杆采用对接扣件连接，接头应错开布置，如图所示：（见图4、5）

2.2.4 小横杆

1) 小横杆两端应采用直角扣件与立杆固定，置于大横杆下。

2) 每个主要交叉点（立杆与大横杆交汇处）必须安装一个小横杆，通过直角扣固定在大横杆下方的立杆上。小横杆的轴心与主要交叉点之间的距离不能超过150毫米，伸出的长度不得低于100毫米。

2.2.5 脚手板

本工程采用预制冷轧钢筋网片脚手板，脚手板铺设采用对接平铺。脚手板端部距离墙面不大于300mm。钢筋网片与横杆连接，钢格网与大、小横杆的连接用16#钢丝紧固。每根钢丝网的锚固点不低于4处，并在每一锚固点上进行了两次交叉锚固。

2.2.6 连墙件

1) 连墙件采用焊接连接时焊缝长度单边焊不得小于 $10d$ ，双边焊不得小于 $5d$ 。

2) 连墙件的间距要求：根据实际层高选择连墙件间

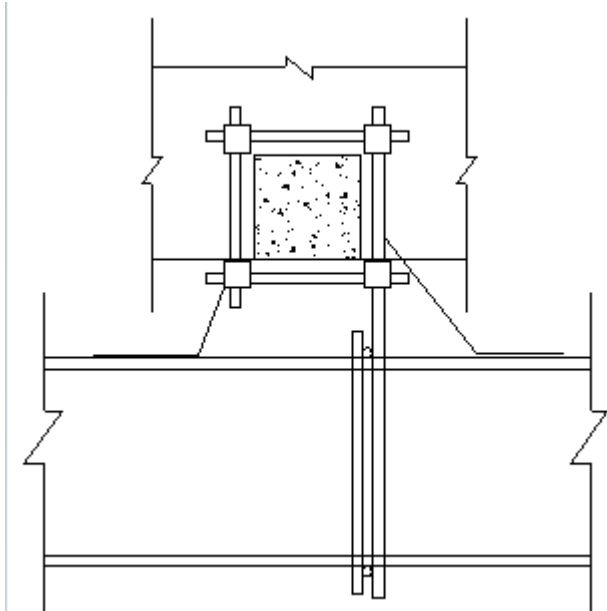


图6 连接墙结构示意图

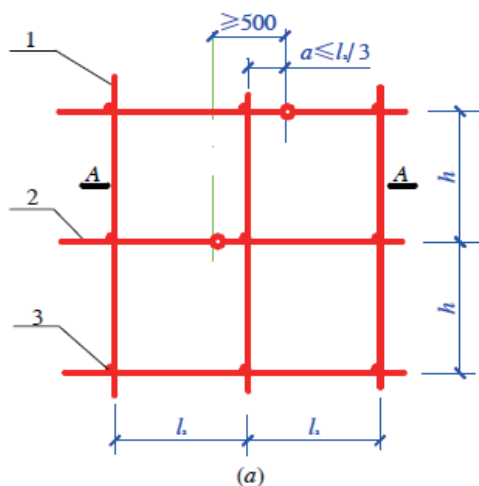


图4 水平杆搭设示意

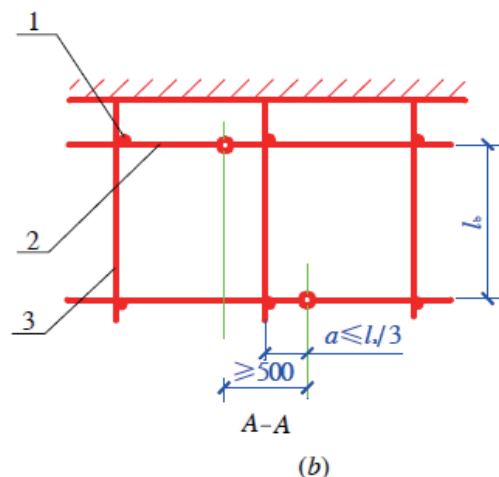


图5 大横杆搭设示意

距,连墙件竖向每层均设置,竖向间距:标准层3米,水平间距:三跨(不大于5.4米)。

3)连墙构件应紧贴主要结合部布置,且与主要结合部之间的间距不得超过300毫米。若在最下面一段纵梁上不易布置,则可采用其他方法进行加固,如采用抛撑或抱柱,并尽量采用菱形、方形或矩形布置。抛撑下口采用预埋钢筋头或者打入钢管的方式。

4)连墙件遇梁在梁内预埋圆钢,遇墙埋设穿墙套管。预埋圆钢锚固长度不小于30d,末端做180度弯钩,外露水平长度150mm,外露高底50mm,需要与立杆相应地埋下,用和钢管的双面搭接焊接与脚手架的内外立杆连接起来。如图所示:(见图6)

5)在施工过程中禁止私自拆除连墙杆。

3 悬挑脚手架的创新施工方法

使用模块化悬挑脚手架系统:传统的悬挑脚手架搭设通常需要大量的人力和时间,而模块化悬挑脚手架系统可以提前制造好标准化的模块,并通过简单的连接方式进行组装,从而减少了搭设时间和劳动力成本。

采用无人机监测技术:通过无人机的高空拍摄和监测功能,可以实时监测悬挑脚手架的搭设情况和安全状况。无人机可以提供全方位的视角和高清图像,帮助施工人员及时发现问题和隐患,以及监测脚手架的稳定性和结构安全性。

引入智能传感器技术:在悬挑脚手架的关键部位安装智能传感器,监测悬挑脚手架的负荷、倾斜度和结构状态等参数。传感器可以实时采集数据,并通过数据分析和预警

系统提供准确的安全评估和预警信息,帮助施工人员及时做出相应的调整 and 措施。

采用虚拟现实技术进行培训和模拟:利用虚拟现实技术创建悬挑脚手架施工的模拟环境,对施工人员进行培训和模拟操作。通过虚拟现实技术,可以提供真实感的体验和操作环境,帮助施工人员熟悉操作步骤和应对意外情况,从而提高施工安全性和效率。

引入自动化和机器人技术:将自动化和机器人技术应用于悬挑脚手架的搭设和拆除过程,减少人工操作,提高施工效率和安全性。例如,可以使用自动化起重机或机器人装置来协助悬挑脚手架的组装和拆除,减少人力操作和高空作业风险。

参考文献:

[1]吴德恩,杨兴龙,杜学宏,肖卡,陶碑文.高层建筑大跨度跨空斜屋面悬挑脚手架施工方案研究[J].建筑结构,2021,51(S1):2304-2309.

[2]王长胜,王庭凯,陈有松,漆勤,谢箭霄.附着式上拉悬挑脚手架安全施工措施研究[C]//.2019年全国建筑施工新技术交流会议论文集.,2019:76-78.

[3]段兴华.高层建筑悬挑脚手架搭设安全技术[J].门窗,2015(01):77.

[4]邵传成.悬挑脚手架施工安全技术的几点思考[J].科技与企业,2014(11):227.

[5]吴海洪,陆汉时.端锚上拉式悬挑脚手架应用[J].城市建设理论研究(电子版),2019,300(18):137-138.