

浙江宝佳力花篮拉杆式悬挑脚手架技术白皮书

——新型花篮拉杆组合型钢悬挑脚手架系统技术方案与工程应用

编制单位：浙江宝佳力科技有限公司

版本号：V1.0

发布日期：2026年8月

文档密级：公开

摘要

随着我国高层建筑和超高层建筑工程的快速发展，外脚手架作为建筑施工中不可或缺的临时设施，其安全性、经济性和施工效率日益受到行业关注。传统型钢悬挑脚手架采用工字钢贯穿楼板、预埋U型螺栓锚固的方式，存在钢材用量大、穿墙洞口多、防水处理复杂、施工周期长等突出问题。

浙江宝佳力科技有限公司自主研发的**花篮拉杆式悬挑脚手架系统**，采用“型钢悬挑梁+花篮螺栓可调斜拉杆+盘扣式架体”的组合结构体系，通过在建筑结构外侧设置斜拉杆承受悬挑梁端荷载，大幅降低了悬挑梁的内力和截面规格，实现了显著的节材增效效果。该系统已在 vivo 全球 AI 研发中心等多个重点工程中成功应用，并通过专家论证。

本白皮书系统阐述花篮拉杆式悬挑脚手架的技术原理、系统组成、材料规格、结构验算、施工工艺、安全管理及工程应用案例，旨在为建筑施工企业、设计单位和行业管理者提供全面的技术参考。

关键词：花篮拉杆；悬挑脚手架；型钢悬挑；盘扣式；斜拉杆；节材增效；高层建筑

目录

- [第一章 行业背景与技术发展趋势] (#第一章-行业背景与技术发展趋势)
- [第二章 产品概述与技术架构] (#第二章-产品概述与技术架构)
- [第三章 核心技术参数与材料规格] (#第三章-核心技术参数与材料规格)
- [第四章 结构设计与验算分析] (#第四章-结构设计与验算分析)
- [第五章 施工工艺与安装流程] (#第五章-施工工艺与安装流程)
- [第六章 典型工程案例] (#第六章-典型工程案例)
- [第七章 安全管理与质量控制] (#第七章-安全管理与质量控制)
- [第八章 经济效益与综合优势] (#第八章-经济效益与综合优势)
- [第九章 技术发展与展望] (#第九章-技术发展与展望)
- [附录] (#附录)

第一章 行业背景与技术发展趋势

1.1 高层建筑发展现状

近年来，我国建筑行业持续向高空化、复杂化方向发展。据住房和城乡建设部统计，全国在建高层建筑数量持续增长，其中高度超过 100 米的超高层建筑已超过万栋。在长三角、珠三角等经济发达地区，城市核心区的建筑高度不断刷新纪录，对施工技术和安全防护提出了更高要求。

外脚手架作为高层建筑施工中使用量最大、使用周期最长的临时设施，直接关系到施工安全、工程进度和项目成本。据行业统计，脚手架工程费用约占建筑工程总造价的 2%~5%，在高层建筑中占比更高。因此，外脚手架技术的创新和优化对提升建筑施工整体效益具有重要意义。

1.2 传统悬挑脚手架技术现状

目前，高层建筑外脚手架主要采用落地式脚手架和悬挑式脚手架两种形式。当建筑高度超过落地式脚手架的经济搭设高度（一般为 24~50 米）时，必须采用分段悬挑方式。

传统型钢悬挑脚手架的基本构造是：将工字钢（或槽钢）一端锚入建筑结构楼板内，另一端向外悬挑，悬挑长度一般为 1.2~1.5 米，工字钢上搭设扣件式或盘扣式钢管脚手架。其锚固方式主要有两种：

1. **U型螺栓预埋锚固**：在楼板混凝土浇筑前预埋U型螺栓，工字钢穿入U型螺栓后用压板固定。
2. **钢梁压环锚固**：在楼板上预留洞口，工字钢穿入后用钢筋压环固定。

传统悬挑脚手架在工程实践中暴露出以下突出问题：

1.2.1 钢材用量大，经济性差

传统悬挑脚手架为保证悬挑梁的抗弯刚度和强度，通常采用较大规格的型钢（如18号、20号工字钢），且锚固段长度要求不小于悬挑段长度的1.25倍，导致单根工字钢总长度达到3米以上。以一栋30层高层建筑为例，每层需设置悬挑钢梁30~50根，仅悬挑梁钢材用量就达数十吨，材料成本和租赁费用高昂。

1.2.2 穿墙洞口多，后续处理复杂

传统悬挑脚手架的工字钢需贯穿建筑外墙和楼板，每层产生数十个穿墙洞口。脚手架拆除后，这些洞口需要逐一进行封堵、防水处理，不仅增加了施工工序和人工成本，还存在渗漏隐患。据工程反馈，穿墙洞口渗漏是高层建筑外墙渗漏的主要原因之一，后期维修成本高。

1.2.3 施工工序多，安装效率低

传统悬挑脚手架的安装需要经过预埋螺栓、穿设钢梁、紧固螺栓、铺设垫板、搭设架体等多道工序，且钢梁重量大（单根18号工字钢长3米重达60公斤以上），需要塔吊配合吊装，施工周期长。在工期紧张的项目中，悬挑架的安装往往成为关键路径上的制约因素。

1.2.4 结构受力不合理，安全裕度有限

传统悬挑脚手架为纯悬臂受力体系，悬挑梁根部弯矩大，锚固点受力复杂。在风荷载和施工活荷载的组合作用下，悬挑梁的挠度和应力较大，安全裕度相对有限。特别是在阳角、转角等复杂部位，传统悬挑架的布置和受力更加复杂，容易出现安全隐患。

1.3 行业技术发展趋势

面对传统悬挑脚手架的诸多问题，行业内一直在探索更安全、更经济、更高效的悬挑脚手架技术。近年来，以下技术趋势日益明显：

1.3.1 从纯悬臂到拉撑组合体系

通过在悬挑梁端部设置斜拉杆或斜撑杆，将部分荷载传递到上部建筑结构，形成“拉（撑）-弯”组合受力体系，大幅降低悬挑梁的内力。这是悬挑脚手架技术发展的核心方向。

1.3.2 从扣件式到盘扣式架体

承插型盘扣式钢管脚手架具有承载力高、稳定性好、安装速度快、外观整洁等优势，正在逐步取代传统扣件式脚手架。住房和城乡建设部已发布《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》（JGJ/T 231-2021），为盘扣式脚手架的推广应用提供了技术依据。

1.3.3 从非标定制到标准化模块化

脚手架产品向标准化、模块化、工具化方向发展，通过标准化的构件和节点，实现快速装配和重复周转，降低对人工技能的依赖，提高施工效率和质量稳定性。

1.3.4 从经验设计到数字化验算

随着结构计算软件的普及和 BIM 技术的应用，脚手架设计从经验估算向精细化数值模拟转变。Midas Gen、3D3S、PKPM 等专业软件被广泛应用于脚手架结构验算，提高了设计的科学性和安全性。

1.4 花篮拉杆式悬挑脚手架的技术定位

在上述行业背景下，浙江宝佳力科技有限公司结合多年工程实践经验，自主研发了**花篮拉杆式悬挑脚手架系统**。该系统将“花篮螺栓可调斜拉杆”与“型钢悬挑梁”、“盘扣式架体”有机结合，形成了一套完整的、标准化的悬挑脚手架解决方案。

其核心技术定位是：

- 受力体系创新：**采用“悬挑梁+斜拉杆”的拉弯组合受力体系，将悬挑梁端荷载通过斜拉杆传递至上部结构，悬挑梁由纯受弯变为拉弯组合受力，大幅降低梁的内力和截面规格。
- 调节方式创新：**采用闭式花篮螺栓作为斜拉杆的长度调节装置，可在安装过程中精确调节拉杆长度和预紧力，确保各拉杆受力均匀，安装便捷。
- 架体体系升级：**配套采用承插型盘扣式钢管脚手架，架体承载力高、稳定性好、安装速度快。
- 锚固方式优化：**采用预埋预埋件+高强螺栓锚固方式，避免钢梁贯穿楼板，减少穿墙洞口，降低后续处理成本。

第二章 产品概述与技术架构

2.1 产品定义

花篮拉杆式悬挑脚手架是一种以型钢悬挑梁为承重基础，以花篮螺栓可调斜拉杆为上部拉结构件，以承插型盘扣式钢管脚手架为上部架体的组合式悬挑脚手架系统。

该系统通过在悬挑梁外端设置斜拉杆，将架体荷载传递到上一层建筑结构，使悬挑梁形成“一端锚固、一端受拉”的简支受力模式，而非传统悬挑梁的纯悬臂受力模式。这种受力模式的改变，是花篮拉杆式悬挑脚手架相比传统悬挑架最核心的技术优势。

2.2 系统组成

花篮拉杆式悬挑脚手架系统由以下五大子系统组成：

2.2.1 悬挑承重 subsystem

悬挑承重 subsystem 是整个系统的基础承重构件，直接承受上部架体传递的荷载，并将荷载传递至建筑结构。其主要构件包括：

构件名称	规格型号	功能说明
悬挑主梁	16 号工字钢	悬挑承重基础，外挑长度 1.2~1.5m
联梁	16 号工字钢	阳角等复杂部位的联系梁，协调多根主梁受力
锚固螺栓	8.8 级 M20 摩擦型高强螺栓	将悬挑梁锚固于建筑结构楼板
预埋钢板	200×200×10mm	预埋于混凝土楼板，提供锚固基础
定位桩	Φ 30×300mm	固定工字钢位置，防止滑移

2.2.2 斜拉杆 subsystem

斜拉杆 subsystem 是花篮拉杆式悬挑脚手架的核心创新构件，通过将悬挑梁外端荷载传递至上部建筑结构，改变悬挑梁的受力模式。其主要构件包括：

构件名称	规格型号	功能说明
钢拉杆	Φ 20 Q235 圆钢	承受轴向拉力，传递悬挑梁端荷载
闭式花篮螺栓	M20/M22，壁厚 4mm，直径 34mm	调节拉杆长度，施加预紧力
吊耳板	t=10mm 钢板，d ₀ =25mm	连接拉杆与悬挑梁/建筑结构
销轴	45 号钢，Φ 20	拉杆与吊耳板的铰接连接
上拉环	双耳拉环	预埋于建筑结构，提供上部拉结点

2.2.3 盘扣式架体 subsystem

盘扣式架体 subsystem 是脚手架的上部主体结构，为施工人员提供作业平台和安全防护。其主要构件包括：

构件名称	规格型号	功能说明
------	------	------

立杆	$\Phi 48.3 \times 3.2$, Q355	主要承重构件, 竖向传递荷载
水平杆	$\Phi 48 \times 2.5$	连接立杆, 形成水平框架
斜杆	$\Phi 48 \times 2.5$ 专用斜杆	增强架体整体稳定性
盘扣节点	8 孔圆盘	立杆与水平杆/斜杆的连接节点
脚手板	定型钢脚手板	提供作业平台, 自重 0.35kN/m^2
安全网	密目安全网	外立面封闭防护, 自重 0.01kN/m^2
挡脚板	竹串片挡脚板	防止物料坠落, 栏杆+挡脚板 0.17kN/m

2.2.4 连墙件 subsystem

连墙件 subsystem 将脚手架架体与建筑结构连接, 承受风荷载等水平荷载, 防止架体倾覆。其主要构件包括:

构件名称	规格型号	功能说明
连墙杆	$\Phi 48 \times 3$ 钢管	连接架体与建筑结构
连接扣件	双扣件	连墙杆与架体立杆的连接
锚固螺栓	M16 螺栓	连墙杆与建筑结构的锚固
连墙预埋件	预埋钢板/拉环	建筑结构上的连墙点

2.2.5 防护 subsystem

防护 subsystem 为脚手架提供安全防护功能, 包括:

- 顶部防护栏杆: 高 1.5m, 设置两道横杆
- 外立面密目安全网: 全封闭设置
- 挡脚板: 每两步设置一道
- 悬挑层硬防护: 悬挑钢梁底部设置兜底防护
- 安全通道: 架体开口处设置安全通道

2.3 受力原理

花篮拉杆式悬挑脚手架的核心受力原理可以用“简支梁模型”来描述:

2.3.1 传统悬挑梁的纯悬臂受力

传统悬挑脚手架的悬挑梁为纯悬臂构件, 梁的一端固定锚固于建筑结构, 另一端自由悬挑。在均布荷载和集中荷载作用下, 梁的固定端产生最大弯矩和剪力, 弯矩图呈三角形分布, 固定端弯矩最大, 自由端为零。

这种受力模式下, 悬挑梁的截面尺寸由固定端最大弯矩控制, 钢材利用效率低。

2.3.2 花篮拉杆式悬挑梁的拉弯组合受力

花篮拉杆式悬挑脚手架在悬挑梁外端设置斜拉杆，斜拉杆上端锚固于上一层建筑结构。这样，悬挑梁的受力模式从纯悬臂变为“一端铰支（锚固端）、一端弹性支承（拉杆端）”的简支梁受力模式。

在荷载作用下：

- 悬挑梁的弯矩图呈抛物线分布，最大弯矩出现在跨中附近，弯矩值大幅降低
- 斜拉杆承受轴向拉力，将悬挑梁端的竖向荷载转化为拉杆的轴向拉力和水平分力
- 悬挑梁锚固端主要承受剪力和部分弯矩，受力条件显著改善

以 1.4 米外挑长度为例，在相同荷载条件下，花篮拉杆式悬挑梁的最大弯矩仅为传统纯悬臂梁的约 30%~40%，因此可以采用更小规格的型钢（16 号工字钢替代传统的 18 号/20 号工字钢），钢材用量显著减少。

2.3.3 花篮螺栓的调节作用

闭式花篮螺栓是斜拉杆 subsystem 的关键部件，其作用包括：

3. **长度调节：**在安装过程中，通过旋转花篮螺栓调节斜拉杆的总长度，适应不同的悬挑长度和拉杆角度。
4. **预紧力施加：**安装完成后，通过拧紧花篮螺栓对斜拉杆施加预紧力，确保拉杆在荷载作用下始终处于受拉状态，避免拉杆松弛导致悬挑梁挠度增大。
5. **受力均匀调整：**在多根拉杆共同工作的情况下，通过分别调节各花篮螺栓的松紧程度，使各拉杆受力均匀，避免出现个别拉杆过载的情况。

2.4 技术特点

花篮拉杆式悬挑脚手架系统具有以下技术特点：

2.4.1 节材增效

采用拉弯组合受力体系，悬挑梁截面规格减小，锚固段长度缩短，单根钢梁钢材用量减少约 30%~40%。以标准层为例，每层悬挑梁钢材用量可减少 2~3 吨，一栋 30 层建筑可减少钢材用量 60~90 吨，经济效益显著。

2.4.2 无穿墙洞口

悬挑梁采用预埋钢板+高强螺栓锚固方式，钢梁不贯穿楼板和外墙，避免了传统悬挑架的穿墙洞口问题。脚手架拆除后，无需进行洞口封堵和防水处理，减少了施工工序，消除了渗漏隐患。

2.4.3 安装便捷

花篮螺栓的可调性使斜拉杆安装更加便捷，无需精确下料。盘扣式架体采用承插式连接，安装速度比扣件式快 30%以上。悬挑梁重量较轻（16 号工字钢单根约 40 公斤），可人工搬运安装，减少塔吊占用。

2.4.4 安全可靠

系统经过完整的结构验算，包括悬挑梁抗弯/抗剪/挠度、斜拉杆抗拉、花篮螺栓抗拉、吊耳板抗拉/抗剪/焊缝、锚固螺栓拉剪复合、架体立杆稳定、连墙件等全部验算项目，均满足现行规范要求，安全裕度充足。

2.4.5 适应性强

系统可适应不同的建筑平面形式，包括直线段、阳角、阴角、转角等复杂部位。通过联梁悬挑、下撑补充等方式，可解决特殊部位的悬挑架布置问题。悬挑长度可在 1.2~1.5 米范围内调节，适应不同的架体宽度需求。

第三章 核心技术参数与材料规格

3.1 架体基本参数

花篮拉杆式悬挑脚手架系统的架体基本参数如下表所示：

参数名称	符号	数值	备注
脚手架安全等级	—	I 级/II 级	架体高度≤24m 为 II 级，>24m 为 I 级
结构重要性系数	γ_0	1.1（I 级）/1.0（II 级）	按 JGJ/T 231-2021
立杆纵向间距	la	1.5 m	标准纵距
立杆横向间距	lb	0.9 m	双排布架
立杆步距	h	2.0 m	标准步距
搭设排数	—	2 排	内排+外排
离墙间距	—	0.5 m	内排立杆至墙面距离
单段搭设高度	Hs	≤24 m	超过需分段悬挑
连墙件布置	—	两步两跨	竖向 2 步×水平 2 跨
顶部防护栏杆高度	—	1.5 m	两道横杆
扫地杆距底距离	—	250 mm	底部第一道水平杆

3.2 悬挑梁参数

参数名称	数值	备注
主梁规格	16 号工字钢	Q235B
主梁截面面积	26.1 cm ²	—
主梁惯性矩 I _x	1130 cm ⁴	强轴
主梁截面模量 W _x	141 cm ³	强轴
主梁自重	0.205 kN/m	—
外挑长度 L _x	1.2~1.5 m	标准 1.4m
主梁间距	1.5 m	与立杆纵距一致
锚固方式	预埋钢板+8.8 级 M20 高强螺栓	摩擦型
混凝土强度等级	≥C30	锚固端楼板

3.3 斜拉杆参数

参数名称	数值	备注
钢拉杆规格	Φ 20 Q235 圆钢	—
拉杆截面面积	3.142 cm ²	—
拉杆抗拉强度设计值	205 N/mm ²	Q235
花篮螺栓规格	M20 闭式花篮	壁厚 4mm，外径 34mm
花篮螺栓螺纹有效直径	15 mm	—
花篮螺栓抗拉强度设计值	170 N/mm ²	—
拉杆角度范围	60° ~80°	与水平面夹角
标准拉杆角度	77.47°	4.5m 垂直距/1.0m 水平距
销轴规格	45 号钢 Φ 20	—
销轴抗剪强度设计值	125 N/mm ²	—

3.4 吊耳板参数

参数名称	数值	备注
吊耳板厚度 t	10 mm	Q235B 钢板
吊耳板宽度 b	50 mm	—
孔径 d ₀	25 mm	Φ 20 销轴+间隙
孔边距 B _e	36 mm	满足构造要求
抗拉强度设计值	205 N/mm ²	—
抗剪强度设计值	125 N/mm ²	—
焊缝高度 h _f	6~8 mm	角焊缝
焊缝强度设计值	160 N/mm ²	—

3.5 锚固螺栓参数

参数名称	数值	备注
螺栓规格	8.8 级 M20 摩擦型高强螺栓	—
螺栓预拉力 P	125 kN	8.8 级 M20
抗剪承载力设计值 Nvb	56.25 kN	$0.9 \times n_f \times \mu \times P$
抗拉承载力设计值 Ntb	100 kN	0.8P
摩擦面抗滑移系数 μ	0.45	喷砂处理
螺栓数量	每根梁 2 套	双螺栓锚固

3.6 盘扣式架体材料参数

构件名称	规格	材质	截面面积	强度设计值
立杆	$\Phi 48.3 \times 3.2$	Q355	450 mm ²	300 N/mm ²
水平杆	$\Phi 48 \times 2.5$	Q235	351 mm ²	205 N/mm ²
斜杆	$\Phi 48 \times 2.5$	Q235	351 mm ²	205 N/mm ²
连墙杆	$\Phi 48 \times 3$	Q235	424 mm ²	205 N/mm ²

3.7 荷载设计参数

3.7.1 永久荷载（恒荷载）

荷载项	标准值	备注
定型钢脚手板自重	0.35 kN/m ²	1 步 1 设
密目安全网自重	0.01 kN/m ²	全封闭
栏杆+挡脚板自重	0.17 kN/m	2 步 1 设
悬挑梁自重	0.205 kN/m	16 号工字钢

3.7.2 可变荷载（活荷载）

荷载项	标准值	备注
装修施工荷载	2.0 kN/m ²	2 层同时作业
基本风压 ω_0	0.30~0.55 kN/m ²	按地区取值，绍兴 0.30
风压高度变化系数 μ_z	1.0~2.0	按高度取值
风载体型系数 μ_s	1.0	脚手架全封闭
风振系数 β_z	1.55	按规范取值

3.7.3 荷载组合

根据《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 和《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》JGJ/T 231-2021，花篮拉杆式悬挑脚手架的荷载组合分为以下几类：

强度计算组合（5种）：

6. $1.3 \times \text{恒荷载} + 1.5 \times \text{施工活荷载}$
7. $1.3 \times \text{恒荷载} + 1.5 \times \text{施工活荷载} + 1.5 \times \text{风荷载}$ （0.6组合值系数）
8. $1.3 \times \text{恒荷载} + 1.5 \times \text{风荷载}$
9. $1.0 \times \text{恒荷载} + 1.5 \times \text{施工活荷载}$
10. $1.0 \times \text{恒荷载} + 1.5 \times \text{风荷载}$

抗倾覆验算组合（2种）：

11. $1.0 \times \text{恒荷载（抗倾覆）} + 1.4 \times \text{风荷载（倾覆）}$
12. $1.0 \times \text{恒荷载（抗倾覆）} + 1.4 \times \text{施工活荷载（倾覆）}$

刚度验算组合（3种）：

13. $1.0 \times \text{恒荷载} + 1.0 \times \text{施工活荷载}$
14. $1.0 \times \text{恒荷载} + 1.0 \times \text{风荷载}$
15. $1.0 \times \text{恒荷载} + 1.0 \times \text{施工活荷载} + 1.0 \times \text{风荷载}$

恒载分项系数取1.3，活载分项系数取1.5，人员荷载组合值系数取0.7。

第四章 结构与验算分析

4.1 验算依据与原则

4.1.1 设计规范

花篮拉杆式悬挑脚手架的结构验算严格遵循以下现行国家标准和行业标准：

- 《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》JGJ/T 231-2021
- 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 130-2011
- 《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012
- 《钢结构设计标准》GB 50017-2017
- 《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010
- 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018
- 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82-2011

4.1.2 验算原则

16. **分项系数法**：采用概率极限状态设计法，以分项系数表达的设计表达式进行验算。
17. **最不利原则**：对所有可能的荷载组合进行验算，取最不利组合控制设计。
18. **逐项验算**：对系统的每个构件和连接节点进行独立验算，确保每一环节均满足规范要求。
19. **双控原则**：对承重构件同时进行强度（应力）和刚度（变形）验算，对受压构件增加稳定性验算。

4.2 横向水平杆验算

横向水平杆承受脚手板传递的均布荷载，按简支梁计算。

计算条件：

- 横杆跨度： $l_b = 0.9\text{m}$ （立杆横距）
- 横杆规格： $\Phi 48 \times 2.5$ ，Q235
- 脚手板自重： 0.35kN/m^2
- 施工活荷载： 2.0kN/m^2
- 横杆间距： 0.75m （纵距的一半）

验算结果：

验算项目	计算值	规范限值	判定
抗弯强度	139.48 N/mm^2	205 N/mm^2	满足
挠度	1.491 mm	$\min(l_b/150, 10\text{mm}) = 6\text{mm}$	满足
盘扣节点抗剪	2.156 kN	40 kN	满足

横向水平杆的抗弯强度利用率为 68%，挠度利用率为 25%，盘扣节点抗剪利用率仅 5.4%，均有较大安全裕度。

4.3 立杆稳定性验算

立杆是架体的主要承重构件，承受竖向荷载和风荷载产生的弯矩，按压弯构件进行稳定性验算。

计算条件：

- 立杆规格： $\Phi 48.3 \times 3.2$ ，Q355， $A=450\text{mm}^2$ ， $f=300\text{N/mm}^2$
- 立杆步距： $h=2.0\text{m}$
- 立杆纵距： $l_a=1.5\text{m}$
- 连墙件布置：两步两跨
- 搭设高度： 23.5m
- 外斜杆：每隔 4 跨设置一道

荷载计算：

- 立杆最大轴力设计值： $N = 12.604\text{ kN}$ （含外斜杆的最不利立杆）
- 风荷载产生弯矩： $M_w = 0.283\text{ kN} \cdot \text{m}$

验算结果：

验算项目	计算值	规范限值	判定
长细比 λ	182.39	≤ 210	满足
稳定系数 ϕ	0.158	—	—
立杆稳定应力	260.93 N/mm ²	300 N/mm ²	满足

立杆稳定应力利用率为 87%，在规范允许范围内。长细比 182.39 小于限值 210，满足刚度要求。

4.4 连墙件验算

连墙件承受风荷载产生的水平力和附加轴向力，按轴心受压构件验算。

计算条件：

- 连墙件规格： $\Phi 48 \times 3$ 钢管，双扣件连接，M16 螺栓锚固
- 连墙件布置：两步两跨（竖向 4m×水平 3m）
- 风荷载标准值： $\omega_k = 0.35 \text{ kN/m}^2$ （基本风压）

荷载计算：

- 连墙件风荷载： $N_{lw} = 1.5 \times \omega_k \times 2h \times 2l_a = 1.5 \times 0.35 \times 4.0 \times 3.0 = 6.30 \text{ kN}$
- 附加轴向力： $N_0 = 3 \text{ kN}$
- 连墙件总轴向力： $N = N_{lw} + N_0 = 9.30 \text{ kN}$

验算结果：

验算项目	计算值	规范限值	判定
连墙件稳定应力	24.48 N/mm ²	205 N/mm ²	满足
M16 螺栓抗拉	46.25 N/mm ²	170 N/mm ²	满足
双扣件抗滑承载力	9.3 kN	10.2 kN	满足

连墙件各项验算均满足要求，其中双扣件抗滑承载力利用率为 91%，设计时应确保扣件质量和拧紧力矩符合要求。

4.5 悬挑主梁验算

悬挑主梁是花篮拉杆式悬挑脚手架的核心承重构件，按拉弯组合构件进行验算。

计算条件：

- 主梁规格：16 号工字钢，Q235B
- 外挑长度： $L_x = 1400 \text{ mm}$
- 主梁间距：1500mm

- 锚固端楼板：C30 混凝土
- 上拉支撑点距锚固点水平距离：1000mm
- 上下固定点垂直距离：4500mm
- 主梁离地高度：50m

荷载计算：

- 两排立杆传至梁上荷载：每排标准值 9.28kN，设计值 12.604kN
- 主梁自重：0.205kN/m

支座反力：

- R_1 （锚固端竖向反力）= 3.895 kN
- R_2 （拉杆端竖向反力）= 21.691 kN

验算结果：

验算项目	计算值	规范限值	判定
抗弯强度	29.67 N/mm ²	215 N/mm ²	满足
抗剪强度	16.53 N/mm ²	125 N/mm ²	满足
挠度	0.124 mm	$Lx/250 = 5.6\text{mm}$ （取 3.2mm）	满足
整体稳定	0.149（应力比）	<1	满足

悬挑主梁的抗弯强度利用率仅为 14%，抗剪强度利用率为 13%，挠度利用率为 3.9%，整体稳定应力比为 0.149。这充分说明，在斜拉杆的支承作用下，悬挑梁的受力条件得到极大改善，截面规格有很大的优化空间。

4.6 上拉杆件验算

上拉杆件是花篮拉杆式悬挑脚手架的核心受力构件，承受轴向拉力，需对拉杆本身、花篮螺栓、吊耳板、销轴及焊缝进行全面验算。

计算条件：

- 钢拉杆： $\phi 20$ Q235 圆钢， $A=3.142\text{cm}^2$
- 花篮螺栓：M20 闭式，螺纹有效直径 $d_e=15\text{mm}$ ， $f_t=170\text{N/mm}^2$
- 吊耳板： $t=10\text{mm}$ ， $d_o=25\text{mm}$ ，Q235B
- 销轴：45 号钢 $\phi 20$ ， $f_v=125\text{N/mm}^2$
- 拉杆角度： $\alpha_1 = \arctan(4500/1000) = 77.47^\circ$

荷载计算：

- 拉杆端竖向反力： $R_2 = 21.691 \text{ kN}$

- 拉杆轴向拉力设计值： $N_s = R_2 / \sin(\alpha_1) = 21.691 / \sin(77.47^\circ) = 24.443 \text{ kN}$

验算结果：

验算项目	计算值	规范限值	判定
Φ 20 钢拉杆抗拉	77.79 N/mm ²	205 N/mm ²	满足
花篮螺栓 (de=15) 抗拉	138.32 N/mm ²	170 N/mm ²	满足
吊耳板孔净截面抗拉	33.95 N/mm ²	205 N/mm ²	满足
吊耳板端部劈拉	25.29 N/mm ²	205 N/mm ²	满足
吊耳板抗剪	15.98 N/mm ²	125 N/mm ²	满足
吊耳板焊缝 (hf=8)	27.41 N/mm ²	160 N/mm ²	满足
钢拉杆与吊耳焊缝	36.37 N/mm ²	160 N/mm ²	满足
Φ 20 销轴抗剪	24.44 kN	39.27 kN	满足

上拉杆件系统的各项验算均满足规范要求。其中，花篮螺栓抗拉强度利用率为 81%，是拉杆系统中利用率最高的环节，设计和选材时应重点控制花篮螺栓的质量。钢拉杆抗拉利用率为 38%，吊耳板各项利用率均在 20% 以下，安全裕度充足。

4.7 锚固螺栓验算

锚固螺栓将悬挑梁锚固于建筑结构楼板，承受拉力和剪力的复合作用。

计算条件：

- 螺栓规格：8.8 级 M20 摩擦型高强螺栓
- 螺栓预拉力： $P = 125 \text{ kN}$
- 每根梁螺栓数量：2 套
- 摩擦面抗滑移系数： $\mu = 0.45$ （喷砂处理）
- 传力摩擦面数： $n_f = 1$

承载力计算：

- 抗剪承载力设计值： $N_{vb} = 0.9 \times n_f \times \mu \times P = 0.9 \times 1 \times 0.45 \times 125 = 50.625 \text{ kN}$ （注：实际计算取 56.25kN，按 $\mu=0.5$ ）
- 抗拉承载力设计值： $N_{tb} = 0.8P = 0.8 \times 125 = 100 \text{ kN}$

荷载计算（单个螺栓）：

- 拉力： $N_t = 5.302 \text{ kN}$
- 剪力： $N_v = 23.861 \text{ kN}$

拉剪复合验算：

摩擦型高强螺栓在拉剪复合作用下的验算公式为：

$$N_v/N_{vb} + N_t/N_{tb} \leq 1$$

代入数值：

$$23.861/56.25 + 5.302/100 = 0.424 + 0.053 = 0.477 \leq 1$$

锚固螺栓拉剪复合验算满足要求，利用率为 47.7%，安全裕度充足。

4.8 阳角联梁悬挑验算

在建筑阳角（90° 转角）部位，花篮拉杆式悬挑脚手架采用联梁悬挑体系，通过设置联系梁协调多根悬挑主梁的受力。

计算条件（阳角 B 型）：

- 阳角角度： $\beta = 90^\circ$
- 悬挑方式：联梁悬挑
- 混凝土强度：C30
- 主梁数量：5 根（16#工字钢，长 1.4m，锚固螺栓）
- 立杆排数：2 排（离墙 0.4m/0.9m）
- 外排立杆纵距：0.9/1.5/1.5/1.5/1.5m
- 立杆荷载设计值：第 1 排 11.4kN，第 2 排 14.3kN

4.8.1 联梁验算

联梁采用 16#工字钢，截面积 26.1cm^2 ， $I_x=1130\text{cm}^4$ ， $W_x=141\text{cm}^3$ ，自重 0.205kN/m 。

位置	抗弯 (MPa)	抗剪 (MPa)	挠度 (mm)	判定
第 1 排立杆处	13.15	13.55	0.091	满足
第 2 排立杆处	31.97	13.41	0.493	满足

4.8.2 主梁验算 (5 根逐根验算)

以最不利的 2 号主梁为例：

- 抗弯： $38.74\text{ MPa} \leq 215\text{ MPa}$
- 抗剪： $21.56\text{ MPa} \leq 125\text{ MPa}$
- 挠度： $0.257\text{ mm} \leq 5.6\text{ mm}$
- 支座反力： $R_2 = 27.608\text{ kN}$ （最不利）

1 号主梁：抗弯 20.79MPa ，抗剪 15.54MPa ，挠度 0.129mm 。

4.8.3 上拉杆件验算

拉杆	水平距	角度	轴向拉力	应力	判定
1 号	1.6m	70.43°	-1.658kN(受压)	—	满足
2 号	1.8m	68.20°	20.566kN	65.46MPa	满足

最大轴向拉力 20.566kN，应力 65.46MPa ≤ 205MPa，满足要求。

4.8.4 吊耳板与焊缝验算

吊耳板 t=10mm，d₀ =25mm:

- 孔净截面抗拉：28.56/39.28MPa ≤ 205MPa
- 端部劈拉：21.28/29.26MPa ≤ 205MPa
- 抗剪：13.44/18.49MPa ≤ 125MPa

焊缝验算：

- 吊耳板与主梁焊缝(hf=6，lw=120mm)：最大合应力 34.56MPa ≤ 160MPa
- 钢拉杆与吊耳板焊缝(hf=6，lw=100mm)：剪应力 48.97MPa ≤ 160MPa

4.8.5 连接螺栓与整体稳定

- 主梁与结构连接：8.8 级 M20 摩擦型高强螺栓×2，N_v/N_{vb}+N_t/N_{tb}=0.07 ≤ 1
- 上拉杆与建筑物连接：M20 螺栓，抗拉 48.04kN>7.64kN，抗剪 39.56kN>19.10kN
- 主梁压弯强度：22.51MPa ≤ 215MPa
- 整体稳定比：0.123 ≤ 1

阳角联梁悬挑体系的全部验算项目均满足规范要求，验证了花篮拉杆式悬挑脚手架在复杂转角部位的适用性和安全性。

4.9 验算结论

综合以上各项验算，花篮拉杆式悬挑脚手架系统在以下全部验算项目中均满足现行规范要求：

- 20. 横向水平杆：抗弯、挠度、节点抗剪
- 21. 立杆：稳定性、长细比
- 22. 连墙件：稳定、螺栓抗拉、扣件抗滑
- 23. 悬挑主梁：抗弯、抗剪、挠度、整体稳定
- 24. 上拉杆件：钢拉杆抗拉、花篮螺栓抗拉、吊耳板抗拉/抗剪/劈拉、焊缝、销轴抗剪
- 25. 锚固螺栓：拉剪复合受力
- 26. 阳角联梁：联梁、主梁、拉杆、吊耳板、焊缝、螺栓、整体稳定

系统结构安全可靠，各项验算均有合理的安全裕度，可应用于实际工程。

第五章 施工工艺与安装流程

5.1 施工准备

5.1.1 技术准备

- 专项施工方案编制：**根据工程设计图纸和现场实际情况，编制花篮拉杆式悬挑脚手架专项施工方案。方案应包括工程概况、架体布置、材料计划、施工工艺、安全措施、应急预案等内容。
- 结构验算：**对悬挑脚手架进行完整的结构验算，出具计算书。计算书应包括荷载计算、构件验算、节点验算等内容。
- 专家论证：**对于搭设高度超过 24m、或采用“四新”技术的悬挑脚手架，应按规定组织专家论证。专家论证通过后方可实施。
- 技术交底：**施工前，项目技术负责人应对施工管理人员和作业人员进行详细的技术交底，交底内容包括施工工艺、质量标准、安全注意事项等。交底应形成书面记录并签字确认。

5.1.2 材料准备

- 材料进场验收：**所有进场材料应具有产品合格证、质量证明书和检测报告。对工字钢、钢管、高强螺栓、花篮螺栓等主要材料，应按规定进行抽样复检。
- 材料规格检查：**检查材料的规格、型号、尺寸是否符合设计要求。16 号工字钢的截面尺寸、 $\Phi 48.3 \times 3.2$ 立杆的壁厚、8.8 级 M20 高强螺栓的扭矩系数等应符合标准。
- 外观质量检查：**检查材料表面是否有裂纹、变形、锈蚀等缺陷。钢管的弯曲度、工字钢的平面度应在允许范围内。
- 材料堆放：**材料应分类堆放，做好标识。工字钢和钢管应垫平堆放，防止变形；螺栓和花篮螺栓应存放在干燥通风处，防止锈蚀。

5.1.3 机具准备

机具名称	规格型号	用途
扭矩扳手	0~300N·m	高强螺栓紧固
活动扳手	12 寸/15 寸	花篮螺栓调节
电焊机	BX1-500	吊耳板焊接
切割机	J3G-400	型钢切割
电锤	26mm	钻孔
水准仪	DSZ2	标高测量
经纬仪	DJD2	垂直度测量
塔吊	按现场配置	材料吊装

5.2 施工工艺流程

花篮拉杆式悬挑脚手架的施工工艺流程如下：

预留预埋 → 悬挑梁安装 → 斜拉杆安装 → 架体搭设 → 检查验收 → 使用维护 → 拆除

5.2.1 预留预埋

预留预埋是花篮拉杆式悬挑脚手架施工的第一道关键工序，直接影响后续安装的精度和质量。

悬挑梁锚固端预埋：

35. 在楼板混凝土浇筑前，按设计位置预埋 $200 \times 200 \times 10\text{mm}$ 锚固钢板。
36. 锚固钢板应与楼板钢筋焊接固定，确保浇筑过程中不移位。
37. 钢板表面应与楼板混凝土面平齐，不得凹陷或突出。
38. 混凝土浇筑时，应在钢板周围加强振捣，确保混凝土密实。

斜拉杆上端预埋：

39. 在上一层结构的相应位置预埋双耳拉环或锚固钢板。
40. 拉环的位置应准确，允许偏差 $\pm 10\text{mm}$ 。
41. 拉环应与结构主筋焊接固定，锚固长度符合设计要求。
42. 拉环露出混凝土面的长度应满足拉杆连接要求，一般为 $50 \sim 80\text{mm}$ 。

预埋质量检查：

- 预埋位置偏差： $\leq \pm 10\text{mm}$
- 预埋钢板平整度： $\leq 2\text{mm/m}$
- 拉环锚固长度：符合设计要求
- 混凝土密实度：无空鼓、蜂窝

5.2.2 悬挑梁安装

43. **定位放线：**根据施工方案，在楼板上弹出悬挑梁的安装位置线，标明梁的中心线和端部位置。
44. **梁端处理：**对悬挑梁的锚固端进行钻孔，孔径与高强螺栓匹配（M20 螺栓钻孔直径 22mm ）。钻孔位置应准确，允许偏差 $\pm 2\text{mm}$ 。
45. **梁体吊装：**用塔吊或人工将 16 号工字钢悬挑梁搬运至安装位置。单根 16 号工字钢长 1.4m 重约 29kg ，可人工搬运。
46. **螺栓锚固：**将悬挑梁对准预埋钢板，穿入 8.8 级 M20 摩擦型高强螺栓，用扭矩扳手按设计预拉力紧固。M20 高强螺栓的施工扭矩为：
 - 终拧扭矩： $T_c = K \times P \times d = 0.13 \times 125 \times 20 = 325 \text{ N} \cdot \text{m}$ （K 为扭矩系数，取 0.13）
 - 初拧扭矩：取终拧扭矩的 50%，约 $160 \text{ N} \cdot \text{m}$

47. **定位固定：**在悬挑梁两侧设置定位桩（ $\Phi 30 \times 300\text{mm}$ ），防止梁体滑移。定位桩与预埋钢板焊接固定。
48. **标高校核：**用水准仪检查悬挑梁的顶面标高，允许偏差 $\pm 5\text{mm}$ 。如不满足，通过在梁底加垫钢板调整。

5.2.3 斜拉杆安装

49. **拉杆组装：**将 $\Phi 20$ 圆钢拉杆与闭式花篮螺栓组装。拉杆两端应套丝，丝扣长度不小于 50mm 。组装时，花篮螺栓应处于中间调节位置，留有足够的调节余量。
50. **下端连接：**将斜拉杆下端通过 $\Phi 20$ 销轴与悬挑梁上的吊耳板连接。销轴应穿入到位，插上开口销防止销轴脱落。
51. **上端连接：**将斜拉杆上端通过销轴与建筑结构上的预埋拉环连接。连接时应注意拉杆的角度，确保与设计角度一致。
52. **预紧调节：**用活动扳手旋转花篮螺栓，对斜拉杆施加预紧力。预紧力的大小应使悬挑梁端部略微上翘（约 $1 \sim 2\text{mm}$ ），确保拉杆在荷载作用下始终处于受拉状态。
53. **多杆协调：**对于联梁悬挑等多根拉杆共同工作的情况，应分别调节各花篮螺栓，使各拉杆受力均匀。可用扭矩扳手或手感判断各拉杆的松紧程度。
54. **防松措施：**花篮螺栓调节完成后，应在螺栓螺纹处涂抹防锈油脂，并加装防松螺母或绑扎铁丝，防止使用过程中花篮螺栓松动。

5.2.4 架体搭设

盘扣式架体的搭设应遵循“由下而上、先内后外、先杆后板”的原则。

55. **底座安装：**在悬挑梁上放置立杆底座（可调底座或固定底座），底座的中心线应对准悬挑梁的中心线。底座底面应与梁顶贴合，如有间隙用钢板垫实。
56. **立杆搭设：**
- 首段立杆应采用不同长度的立杆交错布置，使相邻立杆的对接接头错开，错开距离不小于 500mm 。
 - 立杆插入底座后，应确保立杆垂直，垂直度偏差不大于架高的 $1/500$ 。
 - 立杆接长采用对接套筒连接，套筒应位于立杆中间位置。
57. **水平杆搭设：**
- 水平杆通过盘扣节点与立杆连接。水平杆的插头应完全插入圆盘孔内，用铁锤敲击紧固。
 - 第一步水平杆（扫地杆）距底座顶面不大于 250mm 。
 - 水平杆应纵横双向设置，形成水平框架。
58. **斜杆搭设：**
- 外斜杆每隔4跨设置一道，从底到顶连续设置。
 - 斜杆通过盘扣节点与立杆连接，斜杆的插头应插入圆盘的斜杆孔。
 - 斜杆应呈“之”字形布置，相邻斜杆的方向相反。

59. 脚手板铺设:

- 脚手板采用定型钢脚手板, 铺设在横向水平杆上。
- 脚手板应满铺、铺稳, 不得有探头板。脚手板之间的间隙不大于 10mm。
- 脚手板的两端应与水平杆绑扎固定, 防止滑动。

60. 连墙件设置:

- 连墙件按“两步两跨”布置, 即竖向每隔 2 步 (4m)、水平每隔 2 跨 (3m) 设置一道。
- 连墙件一端与架体立杆用双扣件连接, 另一端与建筑结构用 M16 螺栓锚固。
- 连墙件应水平设置, 如不能水平设置, 与架体连接的一端应低于与结构连接的一端。
- 连墙件应从第一步水平杆开始设置, 严禁滞后设置。

61. 防护设施安装:

- 顶部设置 1.5m 高防护栏杆, 栏杆设两道横杆, 上杆距作业面 1.2m, 中杆距作业面 0.6m。
- 挡脚板高度不小于 180mm, 挡脚板与脚手板之间的间隙不大于 5mm。
- 外立面满挂密目安全网, 安全网应绷紧、绑扎牢固, 网间拼接严密。
- 悬挑层底部设置硬防护 (兜底网或脚手板), 防止物料坠落。

5.2.5 检查验收

花篮拉杆式悬挑脚手架搭设完成后, 应按以下程序进行检查验收:

62. **自检:** 搭设班组完成搭设后, 首先进行自检, 检查架体的垂直度、水平度、节点连接、防护设施等。
63. **互检:** 项目安全员和技术负责人组织互检, 对自检中发现的问题进行整改。
64. **专检:** 企业技术部门组织专项检查, 重点检查悬挑梁锚固、斜拉杆预紧、连墙件设置等关键部位。
65. **验收:** 由项目总监理工程师组织建设、施工、监理等单位进行联合验收。验收合格后, 签署验收记录, 方可投入使用。
66. **挂牌:** 验收合格的脚手架应在醒目位置悬挂验收合格牌, 标明搭设日期、验收日期、责任人、允许荷载等信息。

验收主要内容:

检查项目	允许偏差/标准	检查方法
立杆垂直度	$\leq H/500$, 且 $\leq 50\text{mm}$	经纬仪
步距偏差	$\pm 20\text{mm}$	钢卷尺
纵距偏差	$\pm 20\text{mm}$	钢卷尺
横距偏差	$\pm 10\text{mm}$	钢卷尺
悬挑梁标高	$\pm 5\text{mm}$	水准仪
高强螺栓扭矩	符合设计要求	扭矩扳手
花篮螺栓预紧	拉杆绷紧, 梁端上翘 $1\sim 2\text{mm}$	目测/手感

连墙件数量	符合方案要求	计数
脚手板铺设	满铺、无探头板	目测
防护设施	齐全、牢固	目测/手拉

5.3 使用与维护

5.3.1 使用要求

67. **荷载控制**：脚手架上的施工荷载不得超过设计值（ 2.0kN/m^2 ）。严禁在脚手架上集中堆放材料，严禁将模板支撑、缆风绳、泵送混凝土管等固定在脚手架上。
68. **作业层数**：同时作业的层数不得超过 2 层。
69. **人员管理**：上架作业人员必须持证上岗，佩戴安全帽、安全带。严禁酒后上架，严禁在架体上嬉戏打闹。
70. **天气限制**：6 级及以上大风、大雨、大雪、大雾等恶劣天气，禁止在脚手架上作业。雨雪后上架作业应有防滑措施。

5.3.2 日常检查

脚手架使用期间，应指定专人进行日常检查，检查频率为：

- 常规检查：每周至少 1 次
- 大风、大雨后：必须检查
- 节假日复工前：必须检查

日常检查内容：

71. 悬挑梁锚固螺栓是否松动，预埋钢板是否变形
72. 斜拉杆花篮螺栓是否松动，拉杆是否变形或锈蚀
73. 连墙件是否被拆除或松动
74. 盘扣节点是否有松动或脱落
75. 立杆是否有明显变形或沉降
76. 脚手板是否有移位或损坏
77. 安全网是否有破损或脱落
78. 防护栏杆和挡脚板是否完好
79. 架体上是否有超载堆放
80. 架体垂直度是否有明显变化

检查中发现的问题应立即整改，整改完成后方可继续使用。

5.3.3 定期维护

81. **防锈处理**：每季度对悬挑梁、斜拉杆、花篮螺栓、吊耳板等钢制构件进行防锈检查，发现锈蚀及时除锈刷漆。花篮螺栓的螺纹部分应定期涂抹防锈油脂。
82. **紧固检查**：每月对高强螺栓、连墙件螺栓、盘扣节点等连接部位进行紧固检查，发现松动及时拧紧。

83. **清洁保养：**及时清理架体上的建筑垃圾和杂物，保持架体整洁。严禁在架体上倾倒混凝土残渣等重物。

5.4 拆除工艺

5.4.1 拆除准备

84. 拆除前，应编制拆除方案，明确拆除顺序、安全措施、人员分工。
85. 对作业人员进行拆除安全技术交底。
86. 清理架体上的材料、工具和杂物。
87. 设置拆除警戒区，悬挂警示标志，专人监护，严禁非作业人员进入。
88. 检查连墙件是否与架体同步，如连墙件被提前拆除，应先恢复后再拆除。

5.4.2 拆除顺序

脚手架拆除应遵循“由上而下、先搭后拆、后搭先拆”的原则，严禁上下同时拆除。

拆除顺序：

安全网 → 防护栏杆 → 挡脚板 → 脚手板 → 斜杆 → 水平杆 → 立杆 → 连墙件 → 斜拉杆 → 悬挑梁

5.4.3 拆除要点

89. 架体拆除：

- 每拆除一步架体，应检查剩余架体的稳定性，必要时设置临时支撑。
- 连墙件应随架体逐层拆除，严禁先将连墙件整层或数层拆除后再拆架体。
- 拆除的杆件应用绳索传递至地面，严禁抛掷。
- 拆除过程中，严禁单人作业，每段架体的拆除应至少 2 人配合。

90. 斜拉杆拆除：

- 架体拆除至悬挑梁顶部后，方可拆除斜拉杆。
- 拆除斜拉杆前，应先松开花篮螺栓，消除拉杆预紧力。
- 拆除销轴时，应防止拉杆突然弹出伤人。
- 拆下的拉杆和花篮螺栓应及时清理、保养，以备周转使用。

91. 悬挑梁拆除：

- 斜拉杆拆除后，方可拆除悬挑梁。
- 先用扭矩扳手松开高强螺栓，然后将悬挑梁搬运至室内。
- 悬挑梁拆除后，应及时清理预埋钢板表面的混凝土残渣，涂刷防锈漆。
- 预埋钢板可保留在结构中，无需切除，后续用砂浆找平即可。

92. 洞口处理:

- 花篮拉杆式悬挑脚手架无穿墙洞口，仅需对预埋钢板位置进行处理。
- 预埋钢板表面涂刷防锈漆后，用水泥砂浆找平，与墙面平齐。
- 如预埋钢板位于外墙防水层位置，应在找平层上做好防水处理。

第六章 典型工程案例

6.1 案例概述

工程名称: vivo 全球 AI 研发中心

工程地点: 杭州市余杭区未来科技城

建设单位: 维沃移动通信（杭州）有限公司

施工单位: 重庆城建控股集团有限责任公司

脚手架分包: 浙江宝佳力科技有限公司

脚手架类型: 花篮拉杆式组合型钢悬挑脚手架（盘扣式）

论证情况: 超过一定规模的危险性较大分部分项工程，已通过专家论证

6.2 工程概况

vivo 全球 AI 研发中心项目位于杭州市余杭区未来科技城核心区域，是 vivo 公司在华东地区的重要战略布局项目。项目由两栋超高层建筑组成：

楼栋	功能	地上层数	地下层数	建筑高度
1#楼	混合商办	25 层	5 层	156.743m
2#楼	办公集中商业	22 层	5 层	132.338m

标准层高 4.5m，结构形式为钢筋混凝土框架-核心筒结构。

6.3 脚手架方案选型

本工程建筑高度大、结构形式复杂，外脚手架方案经过多轮比选，最终确定采用以下组合方案：

- 主核心筒: 盘扣落地式脚手架 + 全钢爬架
- 副核心筒: 花篮拉杆式悬挑脚手架（盘扣式架体）

副核心筒采用花篮拉杆式悬挑脚手架的原因：

- 93. 副核心筒平面尺寸较小，不适合爬架布置
- 94. 花篮拉杆式悬挑架无穿墙洞口，不影响核心筒外墙防水
- 95. 节材效果显著，降低项目成本
- 96. 安装速度快，满足工期要求

6.4 脚手架布置

楼号	部位	外架类型	悬挑层数	花篮架高度
1#楼	北/西副核心筒	盘扣落地+花篮悬挑	5-12 层	19.5m
2#楼	南/东副核心筒	盘扣落地+花篮悬挑	5-10 层	19.5m

架体参数：

- 立杆纵距：1.5m
- 立杆横距：0.9m
- 步距：2.0m
- 离墙间距：0.5m
- 连墙件：两步两跨
- 悬挑型钢：16#工字钢
- 斜拉杆： $\phi 20$ Q235 圆钢 + 闭式花篮（壁厚 4mm，直径 34mm）
- 锚固方式：预埋预埋件 + 螺栓固定工字钢，挑梁尾端高强螺栓 + 焊接钢板
- 局部下撑：16#工字钢（因钢拱安装部分钢梁提前接入）

6.5 计算书组成

本工程花篮拉杆式悬挑脚手架的结构验算由四段计算书组成，覆盖了不同部位和不同受力模式：

97. 第一段：花篮螺栓悬挑架（盘扣式）计算书

- 标准直线段花篮拉杆悬挑架的完整验算
- 包括架体横杆、立杆稳定、连墙件、悬挑主梁、上拉杆、花篮螺栓、吊耳板、销轴、锚固螺栓等全部验算项目

98. 第二段：花篮螺栓悬挑架（阳角整体计算）计算书

- 建筑阳角部位的联梁悬挑体系验算
- 包括联梁、5 根主梁逐根验算、上拉杆、吊耳板、焊缝、连接螺栓、整体稳定等

99. 第三段：型钢悬挑脚手架（盘扣式）计算书

- 局部采用传统型钢悬挑方式的部位验算
- 作为花篮拉杆式的补充和对比

100. 第四段：花篮螺栓悬挑架（盘扣式）下撑计算书

- 因钢拱安装部分钢梁提前接入，局部采用下撑方式补充受力
- 验算下撑杆的强度和稳定性

四段计算书均通过审核，满足现行规范要求。

6.6 施工实施情况

工期安排：

- 花篮式脚手架搭设开始：2023 年 11 月 10 日
- 花篮式脚手架拆除完成：2024 年 2 月 2 日
- 合同总工期：2022 年 4 月 1 日 - 2026 年 12 月 30 日（1736 天）

材料投入：

- Q355 $\Phi 48.3$ 立杆（ $\times 2500/\times 1000$ 各 10000 根，盘扣式）
- 16#工字钢悬挑梁
- $\Phi 20$ 圆钢拉杆
- 闭式花篮螺栓
- 8.8 级 M20 高强螺栓

施工管理：

- 设立专门的脚手架施工班组，持证上岗
- 严格执行技术交底和班前安全教育制度
- 悬挑梁锚固、斜拉杆安装等关键工序实行旁站监督
- 每段架体搭设完成后，按程序组织检查验收
- 使用期间安排专人日常巡查，发现问题及时整改

6.7 应用效果

6.7.1 安全效果

本工程花篮拉杆式悬挑脚手架从搭设到拆除，历时近 3 个月，期间经历了杭州冬季的大风、雨雪天气，架体始终保持稳定，未发生任何安全事故。

- 架体垂直度最大偏差：12mm（远小于规范限值 50mm）
- 悬挑梁最大挠度：0.3mm（远小于设计限值）
- 斜拉杆受力均匀，无松弛或变形
- 锚固螺栓无松动，预埋钢板无变形

6.7.2 经济效果

与传统型钢悬挑脚手架相比，本工程花篮拉杆式悬挑脚手架取得了以下经济效益：

对比项目	传统悬挑架	花篮拉杆式	节约量	节约率
悬挑梁规格	18#工字钢	16#工字钢	—	规格降低
单根梁长度	3.0m 以上	1.4m	1.6m+	50%+
每层钢材用量	约 5.0 吨	约 3.2 吨	1.8 吨	36%
穿墙洞口	40+个/层	0 个	40+个	100%
洞口封堵人工	3 工日/层	0	3 工日	100%
安装工期	5 天/层	3 天/层	2 天	40%

综合计算，本工程花篮拉杆式悬挑脚手架相比传统悬挑架，节约钢材约 30 吨，减少人工成本约 15 万元，缩短工期约 20 天，综合经济效益显著。

6.7.3 质量效果

- 无穿墙洞口，外墙平整度和防水质量得到有效保障
- 盘扣式架体外观整洁，节点统一，提升了项目文明施工形象
- 预埋钢板处理简单，外墙修补工作量小
- 脚手架拆除后，外墙无遗留洞口，减少了后期维修工作量

6.8 经验总结

通过 vivo 全球 AI 研发中心项目的实践，花篮拉杆式悬挑脚手架系统积累了以下宝贵经验：

- 101. **预埋精度是关键：**悬挑梁锚固钢板和斜拉杆拉环的预埋精度直接影响安装质量，应采用定型化模具定位，确保预埋位置准确。
- 102. **预紧力控制是核心：**花篮螺栓的预紧力应适中，过小则拉杆松弛、悬挑梁挠度增大，过大则拉杆应力过高、存在断裂风险。建议通过“梁端上翘 1~2mm”的直观方法控制预紧力。
- 103. **阳角部位需专项设计：**阳角等复杂部位的联梁悬挑体系受力复杂，应进行专项设计和逐根验算，不能简单套用标准段的设计参数。
- 104. **专家论证必不可少：**花篮拉杆式悬挑脚手架属于“四新”技术应用，且本工程架体高度接近 24m 限值，通过专家论证可以有效识别风险、优化方案，确保施工安全。
- 105. **过程管控不能松懈：**脚手架的安全不仅取决于设计，更取决于施工过程的质量管控。应建立从材料进场、预埋、安装、验收到使用维护的全过程管控体系。

第七章 安全管理与质量控制

7.1 安全管理体系

7.1.1 组织保障

花篮拉杆式悬挑脚手架的安全管理应建立健全项目安全管理组织体系：

- **项目负责人：**对脚手架安全负总责，确保安全投入到位
- **项目技术负责人：**负责专项方案编制、技术交底、技术指导
- **专职安全员：**负责日常安全检查、隐患排查、安全教育
- **脚手架班组长：**负责班组作业安全管理，落实安全技术措施
- **作业人员：**持证上岗，遵守安全操作规程，正确使用防护用品

7.1.2 制度保障

建立健全以下安全管理制度：

- 106. **专项方案编制与审批制度：**脚手架施工前必须编制专项施工方案，经企业技术负责人审批、总监理工程师审查后方可实施。
- 107. **专家论证制度：**超过一定规模的危险性较大的脚手架工程，必须组织专家论证。
- 108. **技术交底制度：**施工前必须进行逐级技术交底，交底内容包括施工工艺、质量标准、安全注意事项、应急措施等。
- 109. **持证上岗制度：**脚手架搭设、拆除作业人员必须取得建筑施工特种作业操作资格证书，持证上岗。
- 110. **检查验收制度：**脚手架搭设完成后必须按程序组织检查验收，验收合格后方可使用。
- 111. **日常巡查制度：**使用期间指定专人进行日常巡查，发现隐患及时整改。
- 112. **安全教育培训制度：**定期对作业人员进行安全教育培训，提高安全意识和操作技能。
- 113. **应急救援制度：**编制脚手架事故应急救援预案，定期组织演练。

7.2 危险源辨识与控制

7.2.1 主要危险源

花篮拉杆式悬挑脚手架施工和使用过程中的主要危险源包括：

危险源	可能导致事故	风险等级
悬挑梁锚固失效	架体坍塌	重大
斜拉杆断裂或松脱	架体坍塌	重大
连墙件被提前拆除	架体倾覆	重大
架体超载	架体变形、坍塌	较大
高处作业未系安全带	高处坠落	较大
物料抛掷	物体打击	较大
恶劣天气作业	架体失稳、人员坠落	较大
拆除顺序错误	架体坍塌	重大

触电	触电伤害	一般
火灾	火灾伤害	一般

7.2.2 风险控制措施

针对架体坍塌风险：

114. 严格按专项方案和计算书进行设计和施工
115. 悬挑梁锚固螺栓必须按设计预拉力紧固，并用扭矩扳手检查
116. 斜拉杆花篮螺栓必须按要求施加预紧力，使用期间定期检查
117. 连墙件必须按方案设置，严禁擅自拆除
118. 架体荷载严格控制在设计值以内，严禁超载
119. 定期检查架体垂直度和变形情况

针对高处坠落风险：

120. 作业人员必须佩戴安全帽、安全带，安全带应高挂低用
121. 脚手架外侧满挂密目安全网，作业层设置防护栏杆和挡脚板
122. 架体开口处设置安全通道或防护门
123. 严禁酒后上架，严禁在架体上嬉戏打闹
124. 恶劣天气禁止高处作业

针对物体打击风险：

125. 拆除的杆件和工具应用绳索传递，严禁抛掷
126. 架体上的物料应堆放整齐，不得堆放在边缘
127. 脚手架下方设置警戒区，禁止人员停留
128. 作业层下方设置兜底防护

7.3 质量控制要点

7.3.1 材料质量控制

129. 工字钢：

- 材质：Q235B，具有质量证明书
- 截面尺寸：16 号工字钢，高度 160mm，腿宽 88mm，腰厚 6mm
- 外观：无裂纹、无明显变形、锈蚀深度不大于壁厚的 10%
- 复检：按批次抽样进行力学性能检测

130. 钢管：

- 立杆： $\Phi 48.3 \times 3.2$ ，Q355，壁厚偏差不超过 $\pm 0.2\text{mm}$
- 水平杆/斜杆： $\Phi 48 \times 2.5$ ，Q235，壁厚偏差不超过 $\pm 0.2\text{mm}$
- 外观：无裂纹、无凹陷、无锈蚀，弯曲度不大于 1/1000

- 复检：按批次抽样进行力学性能和壁厚检测

131. 高强螺栓：

- 规格：8.8 级 M20 摩擦型高强螺栓
- 质量：具有产品合格证和扭矩系数检测报告
- 扭矩系数：0.11~0.15，标准偏差不大于 0.01
- 外观：无裂纹、无锈蚀，螺纹完整

132. 花篮螺栓：

- 规格：M20 闭式花篮，壁厚 4mm，外径 34mm
- 材质：Q235，螺纹有效直径不小于 15mm
- 外观：无裂纹、无变形，螺纹完整，调节灵活
- 承载力：抗拉承载力不低于 100kN

133. 销轴：

- 材质：45 号钢， $\Phi 20$
- 热处理：调质处理，硬度 HB220~250
- 外观：无裂纹、无锈蚀，表面光滑

7.3.2 施工质量控制

预埋阶段质量控制：

- 预埋位置：允许偏差 $\pm 10\text{mm}$
- 预埋钢板：表面平整，与混凝土面平齐，平整度偏差不大于 2mm/m
- 拉环锚固：与主筋焊接牢固，锚固长度符合设计要求
- 混凝土浇筑：钢板周围振捣密实，无空鼓、蜂窝

悬挑梁安装质量控制：

- 梁位偏差：中心线偏差不大于 5mm
- 标高偏差： $\pm 5\text{mm}$
- 水平度偏差：不大于 2mm/m
- 螺栓扭矩：符合设计要求，用扭矩扳手检查，抽检率不低于 20%
- 焊缝质量：吊耳板与梁的焊缝高度符合设计要求，无气孔、夹渣、裂纹

斜拉杆安装质量控制：

- 拉杆角度：与设计角度偏差不大于 $\pm 2^\circ$
- 花篮螺栓预紧：拉杆绷紧，悬挑梁端上翘 1~2mm
- 销轴连接：销轴穿入到位，开口销安装牢固
- 多杆协调：各拉杆受力均匀，无明显松紧不一

架体搭设质量控制：

- 立杆垂直度：不大于架高的 1/500，且不大于 50mm
- 步距偏差：±20mm
- 纵距偏差：±20mm
- 横距偏差：±10mm
- 盘扣节点：插头完全插入圆盘孔，敲击紧固，无松动
- 脚手板：满铺、铺稳，无探头板，间隙不大于 10mm
- 连墙件：按方案设置，连接牢固，无松动

7.4 应急预案

7.4.1 应急组织

成立脚手架事故应急救援领导小组：

- 组长：项目负责人
- 副组长：项目技术负责人、安全总监
- 成员：各部门负责人、班组长

应急救援小组下设：

- 抢险救援组：负责现场抢险救援
- 医疗救护组：负责伤员救治和转运
- 警戒疏散组：负责现场警戒和人员疏散
- 后勤保障组：负责应急物资和设备保障
- 通讯联络组：负责信息上报和外部联络

7.4.2 应急物资

物资名称	规格	数量	用途
急救箱	标准配置	2 个	伤员急救
担架	折叠式	2 副	伤员转运
灭火器	4kg 干粉	10 具	火灾扑救
应急照明	强光手电	10 把	夜间应急
对讲机	手持式	10 部	通讯联络
安全绳	Φ16×30m	5 根	高处救援
千斤顶	10t	2 台	架体顶撑
钢管扣件	配套	若干	临时加固

7.4.3 典型事故应急处置

架体变形或倾斜：

134. 立即停止架体上的所有作业，疏散人员

- 135. 设置警戒区，禁止人员靠近
- 136. 组织技术人员评估变形程度和发展趋势
- 137. 如变形持续发展，立即采取临时加固措施（加设斜撑、拉设缆风绳等）
- 138. 制定卸载和加固方案，经审批后实施
- 139. 加固完成后，经检查验收合格方可恢复使用

架体坍塌：

- 140. 立即启动应急预案，上报上级主管部门
- 141. 组织抢险救援组搜救被困人员
- 142. 医疗救护组对伤员进行急救，及时送医
- 143. 警戒疏散组设置警戒区，疏散无关人员
- 144. 保护事故现场，配合事故调查
- 145. 制定架体清理和重建方案

高处坠落：

- 146. 立即停止作业，保护现场
- 147. 对伤员进行急救，如伤员意识清醒，询问伤情，避免随意搬动
- 148. 如伤员昏迷或有脊柱损伤可能，用担架平稳转运
- 149. 及时拨打 120，送医救治
- 150. 上报事故，配合调查

物体打击：

- 151. 立即停止作业，查看伤员情况
- 152. 对伤员进行急救，如有出血立即止血
- 153. 如伤员意识不清或伤情严重，立即送医
- 154. 清理现场坠落物，防止二次伤害
- 155. 上报事故，配合调查

第八章 经济效益与综合优势

8.1 经济效益分析

8.1.1 直接经济效益

花篮拉杆式悬挑脚手架相比传统型钢悬挑脚手架的直接经济效益主要体现在以下几个方面：

1. 材料成本节约

以一栋 30 层、标准层面积 1000m² 的高层建筑为例，每层设置悬挑钢梁 40 根：

对比项目	传统悬挑架	花篮拉杆式	差异
悬挑梁规格	18#工字钢	16#工字钢	规格降低
单根梁长度	3.2m（锚固 1.8m+悬挑 1.4m）	1.4m（仅悬挑段）	缩短 1.8m
单根梁重量	47.4kg	20.7kg	减少 26.7kg
每层钢材用量	1896kg	828kg	减少 1068kg
30 层总用量	56.9 吨	24.8 吨	减少 32.1 吨
钢材费用（按 5000 元/吨）	28.45 万元	12.40 万元	节约 16.05 万元

2. 人工成本节约

对比项目	传统悬挑架	花篮拉杆式	差异
预埋工序	U 型螺栓预埋	钢板+拉环预埋	基本相当
钢梁安装	穿梁+紧固+压环	就位+螺栓锚固	简化
洞口封堵	40 个/层×30 层=1200 个	0 个	减少 1200 个
封堵人工	3 工日/层×30 层=90 工日	0	节约 90 工日
安装人工	5 工日/层×30 层=150 工日	3 工日/层×30 层=90 工日	节约 60 工日
人工费用（按 300 元/工日）	7.2 万元	2.7 万元	节约 4.5 万元

3. 塔吊使用费节约

传统悬挑架的 18#工字钢单根重 47.4kg，需塔吊配合吊装；花篮拉杆式的 16#工字钢单根重 20.7kg，可人工搬运。按每层吊装 40 根、每根吊装耗时 5 分钟计算：

- 传统悬挑架：40 根×5 分钟×30 层 = 6000 分钟 = 100 小时
- 花篮拉杆式：0 小时（人工搬运）
- 塔吊费（按 200 元/小时）：节约 2.0 万元

4. 防水维修成本节约

传统悬挑架的穿墙洞口是外墙渗漏的高发部位，后期维修成本高。花篮拉杆式无穿墙洞口，从根本上消除了这一隐患：

- 传统悬挑架：按 5%渗漏率、每处维修费 2000 元计算，1200 个洞口×5%×2000 元 = 12 万元
- 花篮拉杆式：0 元
- 节约：12 万元

直接经济效益汇总：

节约项目	金额（万元）
材料成本	16.05
人工成本	4.50
塔吊使用费	2.00
防水维修成本	12.00
合计	34.55

以一栋 30 层高层建筑为例，花篮拉杆式悬挑脚手架相比传统悬挑架可节约直接成本约 34.55 万元，节约率约 40%。

8.1.2 间接经济效益

1. 工期效益

花篮拉杆式悬挑脚手架安装速度快，每层可缩短工期 2 天，30 层共缩短 60 天。工期缩短带来的效益：

- 减少项目管理费用：60 天×5000 元/天 = 30 万元
- 提前竣工交付，减少财务成本：按项目贷款 1 亿元、年利率 5%计算，60 天利息约 82 万元
- 提前投入使用，产生经营收益

2. 质量效益

- 无穿墙洞口，外墙防水质量得到保障，减少业主投诉和维修费用
- 盘扣式架体外观整洁，提升项目文明施工形象，有利于创优评奖
- 脚手架拆除后外墙修补工作量小，减少收尾工期

3. 安全效益

- 系统经过完整验算，安全裕度充足，降低安全事故风险
- 无穿墙洞口，减少了洞口作业的安全风险
- 安装拆除工序简化，减少了高处作业时间

8.2 技术优势对比

花篮拉杆式悬挑脚手架与传统型钢悬挑脚手架、附着式升降脚手架（爬架）的技术对比如下：

对比项目	传统型钢悬挑架	花篮拉杆式悬挑架	附着式升降脚手架
受力体系	纯悬臂	拉弯组合	附墙支座承重
悬挑梁规格	18#~20#工字钢	16#工字钢	无需悬挑梁

穿墙洞口	有（每层数十个）	无	有（附墙支座）
架体形式	扣件式/盘扣式	盘扣式	集成式架体
搭设高度	每段 $\leq 24\text{m}$	每段 $\leq 24\text{m}$	覆盖全高
安装速度	慢	快	中（需专业队伍）
材料周转	可周转	可周转	可周转（专用设备）
适用高度	任意高度	任意高度	$\geq 80\text{m}$ 经济
初期投入	低	低	高
专业要求	一般	一般	高（需专业资质）
安全风险	中（洞口多）	低	中（升降作业）

8.3 综合优势总结

8.3.1 安全性优势

156. **受力体系更合理：**拉弯组合受力体系使悬挑梁内力大幅降低，安全裕度更高。
157. **无穿墙洞口：**从根本上消除了穿墙洞口带来的结构削弱和渗漏隐患。
158. **完整验算背书：**系统经过包括悬挑梁、拉杆、花篮螺栓、吊耳板、焊缝、锚固螺栓等全部项目的结构验算，安全可靠。
159. **盘扣式架体：**承插型盘扣式脚手架承载力高、稳定性好，节点连接可靠。

8.3.2 经济性优势

160. **节材效果显著：**悬挑梁规格降低、长度缩短，钢材用量减少 30%~40%。
161. **人工成本降低：**安装工序简化，安装速度提高 40%，减少人工投入。
162. **无后续处理成本：**无穿墙洞口，无需洞口封堵和防水维修。
163. **周转性好：**标准化构件可重复周转使用，全生命周期成本低。

8.3.3 施工性优势

164. **安装便捷：**花篮螺栓可调，无需精确下料；盘扣式连接，安装速度快。
165. **适应性强：**可适应直线段、阳角、阴角等不同建筑平面形式。
166. **拆除方便：**拆除工序简单，无洞口切割和修补工作量。
167. **文明施工：**盘扣式架体外观整洁，无散件，提升工地形象。

8.3.4 环保性优势

168. **节约钢材：**减少钢材用量，降低资源消耗。
169. **减少建筑垃圾：**无洞口封堵产生的建筑垃圾，无废弃的 U 型螺栓。
170. **降低能耗：**减少塔吊使用，降低能源消耗。
171. **可回收利用：**所有钢制构件均可回收再利用，符合绿色施工理念。

第九章 技术与展望

9.1 技术发展方向

9.1.1 智能化监测

随着物联网和传感器技术的发展，花篮拉杆式悬挑脚手架正向智能化监测方向发展。未来可在以下关键部位布设传感器，实现实时监测和预警：

172. **斜拉杆拉力监测：**在花篮螺栓或拉杆上安装拉力传感器，实时监测拉杆受力情况，当拉力超过预警值时自动报警。
173. **悬挑梁挠度监测：**在悬挑梁端部安装位移传感器，实时监测梁的挠度变化，当挠度超过限值时自动报警。
174. **架体倾斜监测：**在架体顶部安装倾角传感器，实时监测架体的垂直度变化，预防架体倾覆。
175. **锚固螺栓应力监测：**在高强螺栓上安装应力传感器，监测螺栓的预拉力损失，及时预警螺栓松动。
176. **视频监控：**在架体关键部位安装摄像头，实时监控作业情况，识别违章作业。

通过智能化监测系统，可以实现脚手架安全状态的实时感知、智能分析和主动预警，从“事后处置”向“事前预防”转变，大幅提升脚手架的安全管理水平。

9.1.2 BIM 技术应用

建筑信息模型（BIM）技术在脚手架工程中的应用日益广泛。未来花篮拉杆式悬挑脚手架的设计和施工将深度融合 BIM 技术：

177. **三维建模：**在 BIM 模型中精确建立脚手架的三维模型，包括悬挑梁、斜拉杆、架体、连墙件等所有构件，实现可视化设计。
178. **碰撞检查：**通过 BIM 模型进行脚手架与建筑结构、施工机械、材料堆场等的碰撞检查，优化脚手架布置方案。
179. **自动算量：**基于 BIM 模型自动统计脚手架的材料用量，生成材料清单和成本预算，提高算量精度和效率。
180. **施工模拟：**通过 BIM 模型进行脚手架搭设和拆除的施工模拟，优化施工顺序，识别施工风险。
181. **技术交底：**利用 BIM 模型进行三维可视化技术交底，使作业人员更直观地理解施工工艺和质量要求。
182. **运维管理：**将 BIM 模型与智能化监测系统结合，实现脚手架全生命周期的数字化管理。

9.1.3 新材料应用

材料科学的发展为脚手架技术的创新提供了新的可能：

183. **高强度钢材**：采用 Q420、Q460 等更高强度的钢材，可进一步减小构件截面，降低自重，提高承载能力。
184. **铝合金材料**：铝合金具有重量轻、耐腐蚀、美观等优点，在某些特定场景（如装饰装修阶段、室内外脚手架）可替代钢材。
185. **复合材料**：纤维增强复合材料（FRP）具有高强度、耐腐蚀、绝缘等优点，未来可用于脚手架的某些构件。
186. **防腐涂层**：开发更耐久的防腐涂层技术，延长钢制构件的使用寿命，减少维护成本。

9.1.4 标准化与模块化

花篮拉杆式悬挑脚手架将进一步向标准化、模块化方向发展：

187. **构件标准化**：进一步统一构件规格和尺寸，形成系列化标准产品，提高通用性和互换性。
188. **节点模块化**：开发标准化的连接节点模块，实现悬挑梁与建筑结构、斜拉杆与悬挑梁、架体与悬挑梁的快速模块化连接。
189. **产品系列化**：针对不同的悬挑长度、架体高度、荷载等级，开发系列化产品，满足不同工程需求。
190. **装配化施工**：提高工厂预制比例，减少现场作业量，实现脚手架的装配化施工。

9.2 市场前景

9.2.1 政策驱动

近年来，国家和地方政府出台了一系列政策，推动建筑施工安全技术的创新和升级：

191. **危险性较大的分部分项工程安全管理规定**：对超过一定规模的危大工程实行专家论证制度，促进了脚手架技术的规范化和安全化。
192. **建筑施工安全专项整治**：各地住建部门持续开展建筑施工安全专项整治，对脚手架等高危作业环节加强监管，推动企业采用更安全的技术方案。
193. **绿色施工推广**：国家大力推广绿色施工，鼓励节约资源、保护环境的施工技术，花篮拉杆式悬挑脚手架的节材优势符合政策导向。
194. **建筑业数字化转型**：国家推动建筑业数字化转型，鼓励 BIM、物联网、人工智能等技术在建筑施工中的应用，为脚手架智能化发展提供了政策支持。

9.2.2 市场需求

随着我国城镇化进程的持续推进和城市更新的加速，高层建筑和超高层建筑的建设需求依然旺盛。据预测，未来 5~10 年，全国每年新增高层建筑面积将保持在 10 亿平方米以上，外脚手架市场规模超过千亿元。

在这一巨大的市场中，花篮拉杆式悬挑脚手架凭借其安全、经济、高效的优点，具有广阔的市场空间：

195. **替代传统悬挑架：**传统型钢悬挑脚手架仍占据市场主导地位，花篮拉杆式悬挑架对传统悬挑架的替代空间巨大。
196. **中高层建筑市场：**对于高度在 50~150m 的中高层建筑，花篮拉杆式悬挑架具有显著性价比优势。
197. **复杂结构建筑：**对于核心筒结构、异形建筑等复杂结构，花篮拉杆式悬挑架的适应性优势更加明显。
198. **存量市场更新：**随着建筑安全标准的提高，既有建筑的改造和维修也需要更安全的脚手架技术。

9.2.3 行业趋势

199. **专业化分包：**脚手架工程正从总包自行管理向专业化分包转变，专业脚手架分包企业的市场份额持续提升。
200. **一体化服务：**客户需求从单纯的材料供应向“设计+供货+安装+维护”一体化服务转变，对企业的综合服务能力提出更高要求。
201. **品牌化竞争：**市场竞争从价格竞争向品牌、技术、服务等综合竞争转变，具有技术创新能力和品牌影响力的企业将获得更大的市场份额。
202. **区域化拓展：**领先企业正从区域市场向全国市场拓展，通过建立区域生产基地和服务网络，提高市场覆盖率。

9.3 浙江宝佳力的技术战略

浙江宝佳力科技有限公司作为花篮拉杆式悬挑脚手架系统的研发和推广者，将持续投入技术研发，推动行业技术进步：

9.3.1 持续技术创新

203. **产品迭代升级：**持续优化花篮拉杆式悬挑脚手架的产品设计，提高产品性能，降低生产成本。
204. **智能化产品研发：**开发脚手架智能化监测系统，实现产品的数字化、智能化升级。
205. **BIM 设计平台：**开发基于 BIM 的脚手架设计平台，提高设计效率和精度。
206. **新产品拓展：**在花篮拉杆式悬挑脚手架的基础上，拓展相关产品线，形成完整的外脚手架解决方案。

9.3.2 完善标准体系

207. **企业标准：**制定完善的企业标准，规范产品设计、生产、安装、验收等各个环节。
208. **行业标准参与：**积极参与行业标准和地方标准的编制，推动花篮拉杆式悬挑脚手架技术的规范化。
209. **工法编制：**编制省级或国家级工法，提高技术的权威性和推广力度。
210. **专利布局：**加强知识产权保护，围绕核心技术申请发明专利和实用新型专利。

9.3.3 加强工程应用

211. **示范工程建设：**在重点工程中推广应用花篮拉杆式悬挑脚手架，打造示范工程，形成标杆效应。

212. **案例库建设：**建立完善的工程案例库，总结不同类型工程的应用经验，为后续工程提供参考。
213. **技术培训：**开展技术培训和交流活动，提高行业对花篮拉杆式悬挑脚手架技术的认知和应用水平。
214. **客户服务：**建立完善的客户服务体系，为客户提供从方案设计到安装指导的全过程技术支持。

附录

附录 A 引用规范标准

215. 《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》JGJ/T 231-2021
216. 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 130-2011
217. 《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012
218. 《钢结构设计标准》GB 50017-2017
219. 《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010
220. 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018
221. 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82-2011
222. 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80-2016
223. 《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》住建部令第 37 号
224. 《建筑施工安全检查标准》JGJ 59-2011

附录 B 术语表

术语	英文	定义
悬挑脚手架	Cantilever scaffold	架体荷载通过悬挑构件传递至建筑结构的脚手架
花篮螺栓	Turnbuckle	由螺杆和螺母组成的可调节长度的连接件，用于调节拉杆长度和预紧力
斜拉杆	Diagonal tie rod	连接悬挑梁端部与上部建筑结构的受拉构件
悬挑梁	Cantilever beam	一端锚固于建筑结构、另一端向外悬挑的承重梁
盘扣式脚手架	Disk-lock scaffold	采用承插型盘扣节点连接的钢管脚手架
连墙件	Wall tie	连接脚手架与建筑结构的构件，承受水平荷载
立杆	Vertical tube	脚手架中竖向承重的钢管
水平杆	Horizontal tube	脚手架中水平连接立杆的钢管
扫地杆	Bottom horizontal tube	脚手架底部第一道水平杆
脚手板	Scaffold board	铺设在水平杆上提供作业平台的板件
高强螺栓	High-strength bolt	强度等级为 8.8 级及以上的螺栓，用于承受较大荷载的连接
摩擦型高强螺栓	Friction-type high-strength bolt	依靠接触面摩擦力传递剪力的高强螺栓
预拉力	Pretension	高强螺栓或拉杆在安装时施加的初始拉力

吊耳板	Lug plate	焊接在构件上用于销轴连接的钢板
销轴	Pin shaft	用于铰接连接的圆柱形销
联梁	Connecting beam	在阳角等部位连接多根悬挑主梁的联系梁
下撑	Bottom brace	设置在悬挑梁下方的受压支撑杆件
基本风压	Basic wind pressure	当地比较空旷平坦地面上离地 10m 高统计所得的 50 年一遇 10min 平均最大风速为标准, 按基本风压=最大风速的平方/1600 确定的风压值
风振系数	Wind vibration coefficient	考虑风荷载脉动效应的增大系数
荷载组合	Load combination	按极限状态设计要求, 对同时出现的各种荷载进行的组合
分项系数	Partial coefficient	荷载或材料性能的设计值与标准值的比值
长细比	Slenderness ratio	构件计算长度与截面回转半径的比值
稳定系数	Stability coefficient	考虑受压构件初始缺陷和二阶效应的折减系数
挠度	Deflection	构件在荷载作用下产生的竖向变形

附录 C 花篮拉杆式悬挑脚手架检查验收表

序号	检查项目	检查内容	允许偏差/标准	检查结果	备注
1	悬挑梁	规格型号	16#工字钢, Q235B		
2		安装位置	中心线偏差 $\leq 5\text{mm}$		
3		标高	$\pm 5\text{mm}$		
4		水平度	$\leq 2\text{mm/m}$		
5	锚固螺栓	规格型号	8.8 级 M20 摩擦型		
6		扭矩	符合设计要求		扭矩扳手
7		数量	每根梁 ≥ 2 套		
8	斜拉杆	规格型号	$\Phi 20$ Q235 圆钢		
9		花篮螺栓	M20 闭式, 调节灵活		
10		拉杆角度	与设计偏差 $\leq \pm 2^\circ$		
11		预紧力	梁端上翘 $1\sim 2\text{mm}$		目测/手感
12		销轴连接	销轴到位, 开口销牢固		
13	吊耳板	厚度	$\geq 10\text{mm}$		
14		焊缝	$h_f \geq 6\text{mm}$, 无缺陷		
15	架体	立杆垂直度	$\leq H/500$ 且 $\leq 50\text{mm}$		经纬仪
16		步距	$\pm 20\text{mm}$		钢卷尺

17		纵距	±20mm		钢卷尺
18		横距	±10mm		钢卷尺
19		盘扣节点	插头插入到位，无松动		目测/手拉
20	连墙件	布置	两步两跨，无遗漏		计数
21		连接	双扣件，螺栓紧固		目测/手拉
22	脚手板	铺设	满铺，无探头板		目测
23		固定	两端绑扎牢固		手拉
24	防护设施	防护栏杆	高 1.5m，两道横杆		目测/钢卷尺
25		挡脚板	高≥180mm，牢固		目测
26		安全网	满挂，绷紧，无破损		目测
27		兜底防护	悬挑层底部封闭		目测
28	荷载	施工荷载	≤2.0kN/m²		目测/估算
29		作业层数	≤2 层		计数
30		集中堆放	无超载集中堆放		目测

验收结论：

- ☐ 合格，同意使用
- ☐ 不合格，需整改后重新验收

验收人员签字：

施工单位：_____ 日期：_____

监理单位：_____ 日期：_____

建设单位：_____ 日期：_____

编制说明：

本白皮书由浙江宝佳力科技有限公司技术部编制，内容基于公司花篮拉杆式悬挑脚手架系统的研发成果和工程实践经验。白皮书中的技术参数和验算数据来源于实际工程计算书，仅供

参考。具体工程应用时，应根据工程实际情况进行专项设计和验算，并遵守国家和地方现行的规范标准。

版权声明：

本白皮书版权归浙江宝佳力科技有限公司所有，未经书面许可，不得以任何形式复制、转载或传播。

联系方式：

浙江宝佳力科技有限公司

地址：浙江省绍兴市柯桥区绍兴科大产业园

电话：+86-13336064501

邮箱：dyh998@qq.com

官网：<https://www.mybojali.com>

本白皮书最终解释权归浙江宝佳力科技有限公司所有