

蓬莱碧桂园一期三标段总承包工程

受控文件

编号：

悬挑、落地外脚手架工程

（安全）专项施工方案

建设单位：蓬莱碧桂园房地产开发有限公司

监理单位：山东德林工程项目管理有限公司

施工单位：烟建集团有限公司

项目负责人：

技术负责人：

编制人：

编制日期： 年 月 日

施工组织设计、施工方案审核表

鲁建 JJ-004

工程名称	蓬莱碧桂园一期一标段总承包工程	日期	年 月 日	
现报上下表中的技术管理文件，请予以审核。				
类别	编制人	审核人	册数	页数
施工专项方案	刘建业	乔俊勇	1	
申报简述： 蓬莱碧桂园一期三标段总承包工程悬挑、落地外脚手架专项施工方案已编制完成，现报上，请审批。 申报部门（分包单位或项目部）：烟建四公司蓬莱碧桂园一期一标段总承包工程项目部 申报人：刘建业				
总承包单位审核意见： 审批合格。 ☐ 有 ☐ 无 附页				
总承包单位名称：烟建集团有限公司 审核人： 审核日期： 年 月 日				
监理单位（建设单位）审批意见： 审批结论： ☐ 同意 ☐ 修改后报 ☐ 重新编制				
审批部门（单位）： 审批人： 审批日期： 年 月 日				

注：附施工方案。

目 录

1、编制依据.....	1
2、工程概况及材料要求.....	1
3、脚手架工程方案.....	3
4、施工署.....	9
5、施工准备.....	10
6、分部分项施工方法.....	10
7、监测监控方案.....	15
8、应急预案.....	16
9、保证措施.....	17
10、安全计算.....	20
10.1 落地式扣件钢管脚手架计算书.....	20
10.2 脚手架计算书(4m 长主梁, 悬挑长度 1.5m)	30
10.3 脚手架计算书(4m 长主梁, 悬挑长度 1.5m, 带联梁)	43
10.4 脚手架计算书(5m 长主梁, 最大悬挑 2.2m)	58
10.5 脚手架计算书(7m 长主梁, 悬挑长度 1.5m, 带联梁)	71
10.6 脚手架计算书(转角处联梁、悬挑主梁)	86

1 、编制依据

- 1.1 蓬莱碧桂园一期总承包工程招标文件、蓬莱碧桂园一期三标段总承包工程建设工程施工合同、投标施工组织设计；
- 1.2 蓬莱碧桂园一期三标段总承包工程施工图纸、勘察资料和设计说明、图纸会审资料；
- 1.3 现场情况（施工现场水、电、道路及周边调查资料）；
- 1.4 现行国家及行业有关标准规范；
- 1.5 与本工程类型相似工程的施工经验及施工资料；
- 1.6 《钢结构设计规范》GB50017-2003 ；
- 1.7 《建筑结构荷载规范》GB50009-2012；
- 1.8 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011；
- 1.9 《混凝土结构设计规范》GB50010-2010；
- 1.10 《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011；
- 1.11 《建筑施工安全检查标准》JGJ59-2011；
- 1.12 《建筑工程施工临时支撑结构技术规范》JGJ300-2013。

2.1工程特点

蓬莱碧桂园一期板房区（三标段）总承包工程为蓬莱碧桂园房地产开发有限公司开发，位于蓬莱市蓬莱阁街道，海滨路以南、北关路以北，南河路以东，沙河西路以西。总建筑面积 99729.00 m²。

高层住宅楼 9a#、9b#及 10#楼结构形式均为框剪结构，采用预制混凝土管桩筏板基础，主体地上为 32 层，建筑物耐火等级为一级，框架结构抗震等级为二级，抗震设防烈度 7 度，设计使用年限为 50 年。

2.2所用材料

2.2.1 脚手架钢管采用现行国家标准《直缝电焊钢管》（GB/T13793-2008）

或《低压流体输送用焊接钢管》(GB/T3091-2008)中规定的3号普通钢管,其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》(GB/T700-2006)中Q235-A级钢的规定。

2.2.2 钢管选用外径48mm,壁厚3.6mm的焊接钢管。立杆、大横杆和斜杆的最大长度为6m,小横杆长度1.5m。

2.2.3 本工程扣件式钢管脚手采用的可锻铸铁扣件,应符合国家现行标准《钢管脚手架扣件》GB15831-2006的规定,由有扣件生产许可证的生产厂家提供。根据《可锻铸铁件》(GB/T 9440-2010)的规定,扣件采用机械性能不低于KTH330-08的可锻铸铁制造。铸件不得有裂纹、气孔、缩松、砂眼等锻造缺陷,扣件的规格应与钢管相匹配,贴和面应干整,活动部位灵活,夹紧钢管时开口处最小距离不小于5mm。钢管螺栓拧紧力矩达65N.m时不得破坏。

2.2.4 脚手架采用扣件,螺栓拧紧扭力矩不小于40N.m且不大于65N.m,不得发生破坏,扭力与钢管的贴合面必须严格整形,应保证与钢管扣紧时接触良好,当扣件夹紧钢管时,开口处的最小距离应不小于5mm,扣件活动部位应能灵活转动,旋转扣件的两旋转面间隙应小于1mm,扣件表面应进行防锈处理。

2.2.5 脚手板应采用落叶松木制作,厚度不小于50mm,宽度大于等于200mm,长度为3m,其材质应符合国家现行标准《木结构设计规范》(GB 50005-2003)中对II级木材的规定,不得有开裂、腐朽。脚手板的两端采用直径为4mm的镀锌钢丝各设两道箍或铁片固定。

2.2.6 外架钢管采用黄色,栏杆采用红白相间色,扣件暗红色防锈漆。

2.2.7 连墙件采用钢管,其材质应符合现行国家标准《碳素钢结构》(GB/T700-2006)中Q235-A级钢的规定。

2.2.8 其他

麻绳，绳径10mm，主要用于固定各种脚手架上的脚手板；聚丙烯密目网，采用每平方米不低于2000目的安全网(GB 5725-2009)，规格1.8×6m，绿色，主要用于外脚手架立面的防护；尼龙安全网，网眼50×50mm左右，尼龙绳径9mm，主要用于架设水平安全网。

2.3 施工条件：拟建场区位于蓬莱市，蓬莱地处中纬度，属暖温带季风区大陆性气候，年平均气温 11.7℃，年平均日最高气温 28.8℃，年平均日最低气温－2.3℃，极端最高气温 38.8℃，极端最低气温－14.9℃，年平均降水量 664mm，年平均日照量 2826 小时，无霜期平均 206 天，相对湿度 65%，年均风速 5.2 米/秒，无洪水，不受台风影响。

表 1-1 蓬莱各向风特征值统计表（1999~2008 年）

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WS W	W	WN W	NW	NNW	C
频率(%)	5	8	6	5	4	4	4	4	5	13	12	5	7	6	5	3	6
平均风速(m/s)	4.0	4.5	4.0	3.6	3.2	2.8	2.3	2.5	3.2	5.3	4.8	3.8	3.8	4.4	4.0	3.7	
最大风速(m/s)	12.7	13	11	10.6	10	9.2	8.2	10	13	16	16	13	11	15	11	15.1	

3、脚手架工程方案

3.1 总体构思

本工程考虑到施工工期、质量和安全要求，故在选择方案时，应充分考虑以下几点：

- 3.1.1架体的结构设计，力求做到结构要安全可靠，经济适用。
- 3.1.2在规定的条件下和规定的使用期限内，能够充分满足预期的安全性和耐久性。
- 3.1.3选用材料时，力求做到常见通用、可周转利用，便于保养维修。
- 3.1.4结构选型时，力求做到受力明确，构造措施到位，搭拆方便，便于检查验收。
- 3.1.5综合以上几点，脚手架的搭设，还必须符合JCJ59-2011检查标准要求。

3.1.6结合以上脚手架设计原则，同时结合本工程的实际情况，综合考虑到工期较紧，为尽快完成室外回填，采用双排落地脚手架与悬挑式脚手架两种支设方法：

9#楼自车库顶板支设至主楼5层顶（相对标高17.285）采用落地式双排外脚手架，于5层顶（相对标高17.285）、11层顶（相对标高35.285）、17层顶（相对标高53.285）、23层顶（相对标高71.285）、29层顶（相对标高89.285）支设型钢悬挑式脚手架，支设高度分别为：18m、18m、18m、18m、10.6m；10#楼自车库顶板支设至主楼5层顶（相对标高14.885）采用落地式双排外脚手架，于5层顶（相对标高14.885）、11层顶（相对标高32.885m）、17层顶（相对标高50.885m）、23层顶（相对标高68.885m）、29层顶（相对标高86.885m）支设型钢悬挑式脚手架，支设高度分别为18m、18m、18m、18m、10.6m。

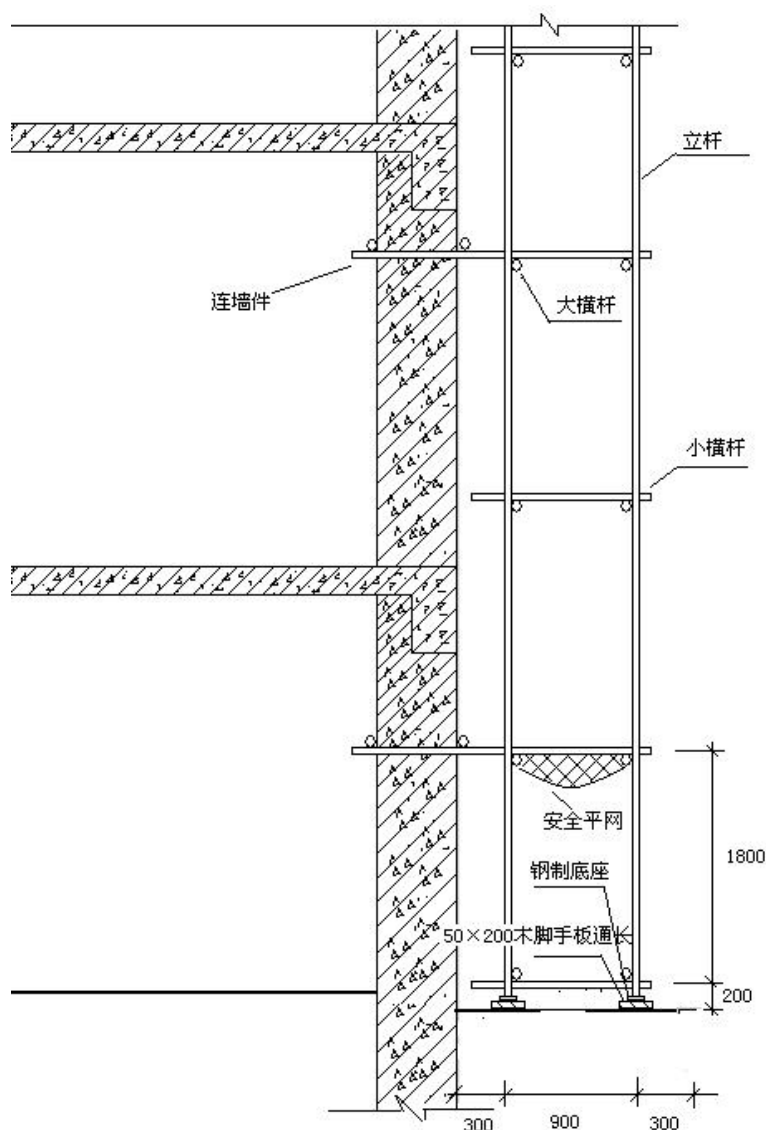
详见下表

悬挑楼层及高度明细表										
楼号	第一挑		第二挑		第三挑		第四挑		第五挑	
9#楼	5层顶	18m	11层顶	18m	17层顶	18m	23层顶	18m	29层顶	10.6m
10#楼	5层顶	18m	11层顶	18m	17层顶	18m	23层顶	18m	29层顶	10.6m

3.2 主体工程外脚手架

3.2.1 落地式双排外脚手架：9#楼自车库板顶标高开始支设至主楼五层顶板，高度为 17.285m。10#楼自车库板顶标高开始支设至主楼五层顶板，高度为 14.885m。搭设尺寸为：立杆的纵距1.35m，立杆的横距0.9 m，立杆的步距1.80m。采用的钢管类型为 $\phi 48 \times 3.6$ ，连墙件采用2步3跨，竖向间距

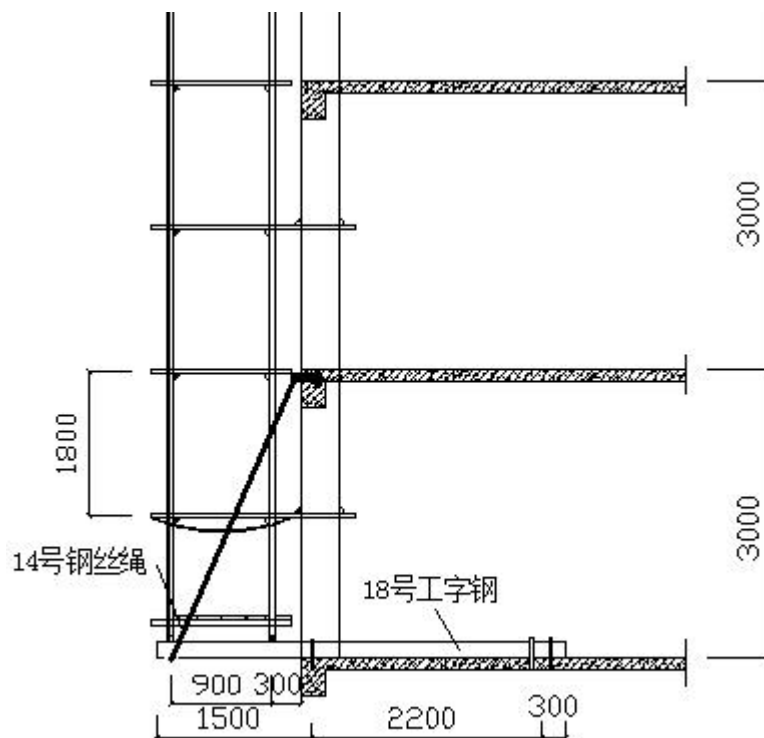
3.6m，水平间距4.05m，连墙杆均采用双扣件连接。内立杆距墙0.30m。离地面20cm设扫地杆一道，小横杆在扫地杆下，其余小横杆均在大横杆上。每道剪刀撑按四跨四步，斜杆与地面成45~60°度。立杆的垂直偏差不得大于高度的1/200。待室外达到回填条件时，拆除落地式双排外脚手架。别墅也照此方案支设落地式双排外脚手架。



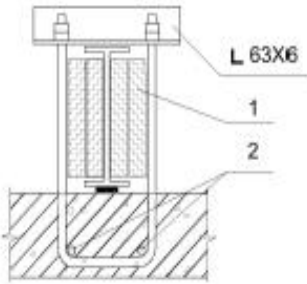
落地式双排外脚手架剖面图

3.2.2 主楼悬挑脚手架：9#、10#楼自5层顶搭设，采用18号国标工字钢进行悬挑，工字钢长4m，悬挑长1.5m，锚固长2.5米，型钢悬挑梁固定端

应采用 2 对圆钢 $\Phi 20$ U 形钢筋锚固螺栓与建筑结构梁板固定，U 形螺栓应与板筋焊接或绑扎牢固，脚手架高度为 18m，穿墙处及梁楼面构造见下图。搭设尺寸为：立杆的纵距 1.35m，立杆的横距 0.9m，立杆的步距 1.8m。采用的钢管类型为 $\Phi 48 \times 3.6$ ，连墙件采用 2 步 3 跨，竖向间距 3.6m，水平间距 4.05m，连墙杆均采用双扣件连接。离支撑 20cm 设扫地杆一道，小横杆在扫地杆下，其余小横杆均在大横杆上。每道剪刀撑按四跨四步，斜杆与地面成 $45 \sim 60^\circ$ 度。悬挑架的外立面剪刀撑自下而上连续设置，立杆的垂直偏差不得大于高度的 $1/200$ 。每道悬挑工字钢均用钢丝绳与上层梁上预留 $\Phi 20$ 吊环进行拉结，工字钢拉结点距墙 1.2m，梁上拉结点距工字钢垂直距离为 2.8m。钢丝绳直径 14mm。

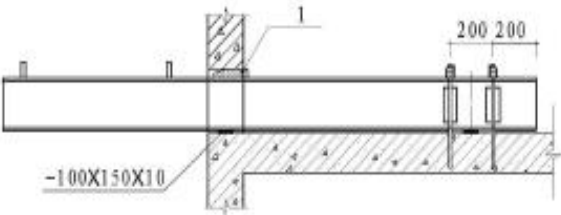


悬挑脚手架剖面图



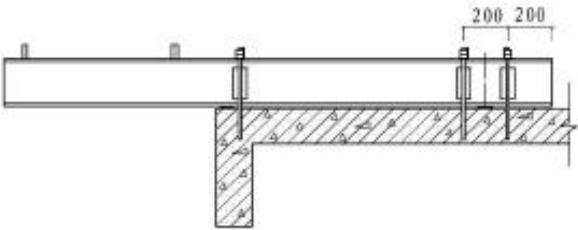
悬挑钢梁U型螺栓固定构造

1——木楔侧向楔紧；2——两根1.5m长直径18mmHRB335钢筋

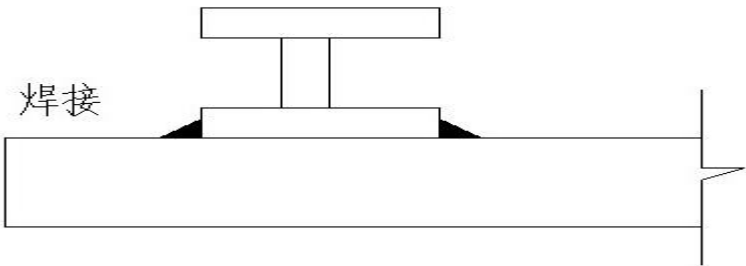


悬挑钢梁穿墙构造

1——木楔楔紧



悬挑钢梁楼面构造



工字钢悬挑端节点图

3.3 装饰装修工程施工阶段

3.3.1 外墙饰面工程等使用双排外脚手架，利用主体工程的外脚手改搭。内墙面砌筑采用双排里脚手架。

3.4 安全网及脚手板设置：

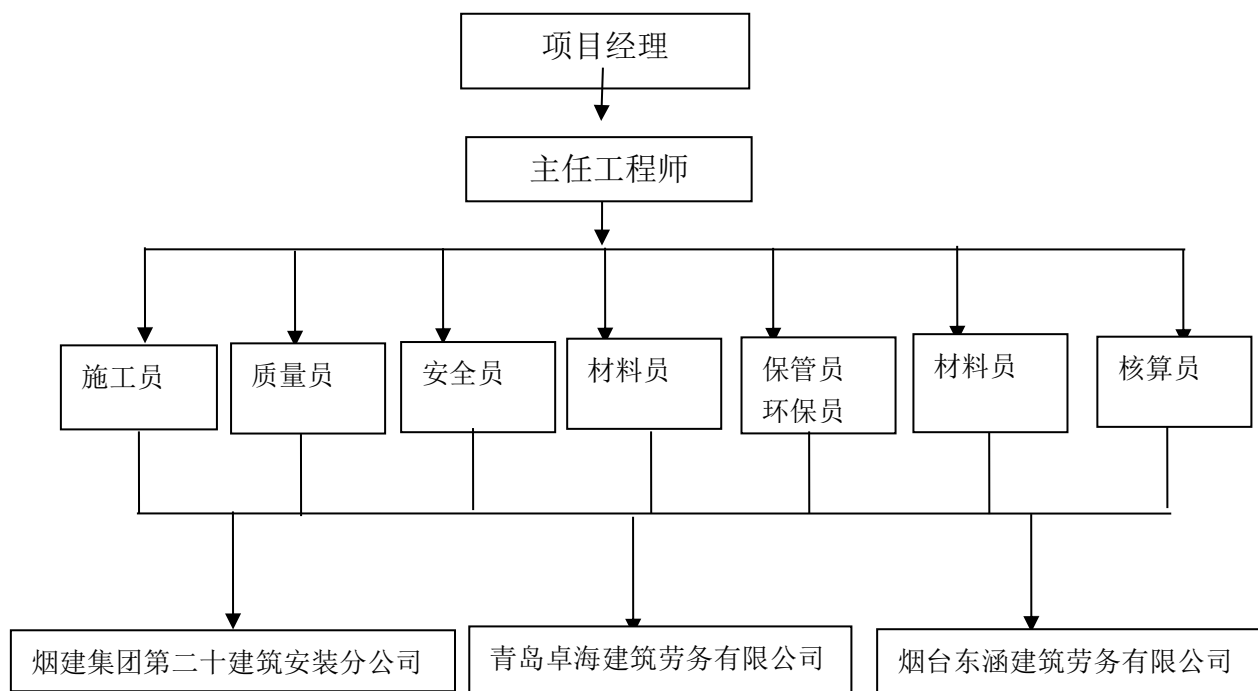
施工阶段外脚手架的立面设置聚丙烯密目网全封闭，落地式脚手架自扫地杆上方开始用聚丙烯密目网全部封闭，直至女儿墙顶加 1.5m。

脚手板采用 50mm 厚木脚手板，脚手板下小横杆在大横杆上面，且主结点间增加一根小横杆。

4 施工布署

4.1 组织机构：

项目部管理组织机构系统图：



4.2 施工顺序：搭设由下至上，一次搭设高度不应超过相邻连墙件以上二步。每搭完一步脚手架后，校正步距、纵距、横距及立杆的垂直度。

4.3 工期要求及进度计划：详见施工组织设计。

4.4 安全目标：杜绝重伤、死亡事故，负伤频率控制在6 ‰以内。

5 施工准备

5.1 技术准备：做好相关技术交底工作，严格按照方案要求进行支设。

5.2 劳动力准备：所有工人由劳务分包方提供，操作工人必需经过培训合格持证方可上岗。

5.3 材料器材准备

5.3.1 钢管表面平直光滑，不得有裂缝、结疤、分层、错位、硬弯、毛刺、压痕和深的滑道。

5.3.2 钢管外径、壁厚、端面的偏差符合规范要求。

5.4 施工环境准备

5.4.1 编制完施工方案后向施工员、安全员、施工操作人员进行交底。

5.4.2 材料员按照要求对钢管、扣件、脚手板进行检查验收，不合格的产品不得使用。

6 分部分项施工方法

6.1 纵向水平杆

6.1.1 纵向水平杆设置在立杆内侧，其长度不得小于 3 跨。

6.1.2 纵向水平杆接长采用对接扣件连接，对接扣件交错布置，两根相邻纵向水平杆的接头不宜设置在同步或同跨内；不同步或不同跨两个相邻接头在水平方向错开的距离不得小于 500mm；各接头中心至最近主节点的距离不得大于纵距的三分之一。

6.1.3 纵向水平杆应作为横向水平杆的支座，用直角扣件固定在立杆上。

6.2 横向水平杆

主节点处必须设置一根横向水平杆，用直角扣件扣接且严禁拆除。主节点处两个直角扣件的中心距不得大于 150mm，悬挑式内排脚手架的外伸长度 300mm。

6.3 脚手板

6.3.1 作业层脚手板应铺满，铺稳，离开墙面120~150mm。

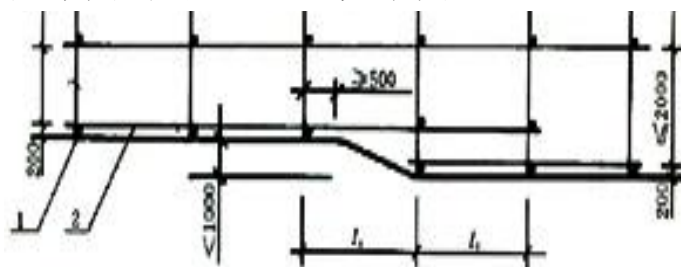
6.3.2 本工程采用木脚手板应设置在三根横向水平杆上，当脚手板长度小于2m时，可采用两根横向水平杆支承，但应将脚手板两端与其可靠固定，严防倾翻。脚手板采用对接平铺，接头处必须设两根横向水平杆，脚手板外伸长应取130~150mm，两块脚手板外伸长度的和不得大于300mm。脚手板搭接铺设时，接头必须支在横向水平杆上，搭接长度必须大于200mm，其伸出横向水平杆的长度不得小于100mm。

6.3.3 作业层端部脚手板探头长度取150mm，其板长两端均应与支承杆可靠地固定。

6.4 立杆

6.4.1 每根立杆底部设置底座，外脚手架四周通长设置架板垫板。

6.4.2 脚手架必须设置纵、横向扫地杆。纵向扫地杆采用直角扣件固定在距底座上皮不大于200mm处的立杆上。横向扫地杆采用直角扣件固定在紧靠纵向扫地杆下方的立杆上。当立杆基础不在同一高度上时，必须将高处的纵向扫地杆向低处延长两跨与立杆固定，高低差不大于1m。靠边坡上方的立杆轴线到边坡的距离不小于500mm（如下图）。



纵、横向扫地杆构造

1—横向扫地杆；2—纵向扫地杆

6.4.3 脚手架底层步距为1.8m。

6.4.4 立杆必须用连墙件与建筑物可靠连接，连墙件布置方式为2步3跨。

6.4.5立杆接长除顶层顶步可采用搭接外，其余各层各步接头必须采用对接扣件连接。对接、搭接应符合下列规定：

a. 立杆上的对接扣件应交错布置：两根相邻立杆的接头不应设置在同步内，同步内隔一根立杆的两个相隔接头在高度方向错开的距离不得小于500mm；各接头中心在主节点的距离不得大于600mm。

b. 搭接长度不小于1m，应采用不少于2个旋转扣件固定，端部扣件盖板的边缘距离不小于100mm。

6.4.6立杆顶端高出女儿墙1.5m。

6.5 连墙件

6.5.1连墙件宜靠近主节点设置，偏离主节点的距离不大于300mm。

6.5.2首层连墙杆应从底层第一步纵向水平杆处开始设置，当该处设置有困难时，应采用其它可靠措施固定。

6.5.3采用菱形布置连墙件。

6.5.4 必须采用刚性连墙件与建筑物可靠连接。

6.5.5连墙件的构造要求：连墙件中的连墙杆应呈水平设置，当不能水平设置时，与脚手架连接的一端应下斜连接，不应采用上斜连接。

6.5.6当脚手架下部暂不能设连墙件时可搭设抛撑。抛撑应采用通长杆与脚手架可靠连接，与地面的倾角为60度；连接点中心至主节点的距离不得大于300mm。抛撑应在连墙件搭设后方可拆除。

6.5.7脚手架连墙杆与楼层立杆连接时，必须用双扣件连接。

6.6 门洞处构造

6.6.1门洞采用上升斜杆，平行弦杆桁架结构型式，斜杆与地面的倾角在45度～60度之间。

6.6.2双排脚手架门洞处的空间桁架，除下弦平面外，应在其余5个平面内的图示节间设置一根斜腹杆。斜腹杆宜采用旋转扣件固定在与之相交的横

向水平杆的伸出端上，旋转扣件中心线至主节点的距离不宜大于150mm。当斜腹杆在1跨内跨越2个步距时，宜在相交的纵向水平杆处增设一根横向水平杆，将斜腹杆固定在其伸出端上；斜腹杆宜采用通长杆件，当必须接长使用时，宜采用对接扣件连接，也可采用搭接。

6.6.3 门洞桁架下的两侧立杆应为双管立杆，副立杆高度应高于门洞口1~2步。

6.6.4 门洞桁架中伸出上下弦杆的杆件端头，均应增设一个防滑扣件，该扣件宜紧靠主节点处的扣件。

6.7 剪刀撑与横向斜撑

6.7.1 每道剪刀撑宽度为4跨、高度为4步，与地面所成角度为 45° ~ 60° 。

6.7.2 落地式脚手架和悬挑式脚手架外侧立面整个长度和高度上连续设置剪刀撑。

6.7.3 剪刀撑斜杆的接长宜采用搭接，搭接长度不应小于1m，应采用不少于2个旋转扣件固定，端部扣件盖板的边缘距离不应小于150mm。

6.7.4 剪刀撑斜杆应用旋转扣件固定在与之相交的横向水平杆的伸出端或立杆上，旋转扣件中心线至主节点的距离不宜大于150mm。

6.7.5 横向斜撑的设置应在同一节间，由底至顶层呈之字型连续布置，斜撑采用旋转扣件固定在与之相交的横向水平杆的伸出端上，旋转扣件中心线至主节点的距离不宜大于150mm。当斜撑在1跨内跨越2个步距时，宜在相交的纵向水平杆处增设一根横向水平杆，将斜撑固定在其伸出端上；斜撑采用通长杆件，接长使用时采用对接扣件连接或搭接。

6.7.6 除脚手架两端、拐角应设置横向斜撑外，中间应每隔6跨设置一道。

6.9 脚手架拆除

6.9.1 应全面检查脚手架的扣件连接、连墙件，支撑体系等是否符合构造要求。

6.9.2 应根据检查结果确定拆除顺序和措施，经主管部门批准后方可实施。

6.9.3 应由安全负责人进行安全技术交底。

6.9.4 拆除作业应由上而下逐层进行。

6.9.5 连墙件必须随脚手架逐层拆除，严禁先拆连墙件整层或数层后再拆除脚手架，分层拆除，高度不应大于2步，如大于2步，应增设连墙件加固。

6.9.6 当拆至最后一根立杆高度时，应在适当位置加临时抛撑后再拆除连墙件。

6.9.7 各构配件严禁抛掷至地面。

6.10 脚手架扎设人力安排

本工程在主体框架施工过程当中为保证工程进度，架子工需要35人才能满足现场作业。进场架子工必须要持证上岗，进场后要对其进行三级安全教育，提高其安全意识。架子工在施工作业过程当中必须戴安全帽、系安全带、穿防滑鞋，安全带要高挂低用。

6.11 脚手架的验收及使用

在脚手架扎设及使用过程当中要注意重点检查地基承载力能否满足脚手架扎设要求、连墙杆是否能满足脚手架的拉结强度，连墙杆卡子是否松动；脚手架钢管的接头位置是否符合国家规范要求等。在雨后及5级以上大风过后要对脚手架重新验收后才能重新投入使用。

6.12 脚手架的搭设及拆除要求

6.12.1 脚手架的搭设要求

①悬挑支撑必须锚固牢靠，立杆根部必须焊限位钢筋。

②双排外脚手架内皮立杆距墙0.30m，外皮立杆距墙1.35m。立杆纵距1.2m。大横杆步距为1.8m，立杆的垂直偏差不得大于高度的1/200。

③双排外脚手架小横杆的间距1.05m。

④相邻的立杆或大横杆的接头不能在同一节间内，要相互错开。

⑤设连墙杆。主体工程施工时连墙杆系在柱子及楼层加设的立杆上；装饰工程施工时，连墙杆拉在窗口处，连墙杆的上下间距为二步架的高度，水平间距为3个立杆间距。

⑦注意事项

各种杆件相交时伸出的端头均必须大于150mm，以防扣件滑脱。拧紧扣件螺栓时松紧程度必须适当，扭矩不小于40N.m且不大于65N.m为宜。定时检查已搭好的脚手架的扣件松紧程度和连墙杆的可靠程度。搭设要横平竖直，不变形，不摇晃。

在支设脚手架的过程中禁止将钢管、工具等杂物放到脚手架上及安全网上，避免出现因误抓、误扶、误靠而导致的安全隐患。所有钢管必须扭紧后再进行下一道工序的施工。

6.12.2 脚手架的拆除要求

①拆除脚手架时自上而下逐根拆除逐根往下传递。每次拆下的钢管和扣件分类堆放，对扣件螺栓逐个检查并注入润滑油。

②随时校正杆件垂直和水平偏差，脚手架搭设完，经验收合格后方可投入使用。

③脚手架拆除时必须由专人负责，高空拆除人员系好安全带，上下专人指挥，统一施工，严禁将拆除钢管、扣件、脚手板等从高空抛下。

④建立严格的安全生产责任制，落实到班组及个人，由专职安全员跟踪检查，发现隐患及时纠正。

⑤在拆除脚手架的过程中禁止将钢管、工具等杂物放到脚手架上及安全网上，避免出现因误抓、误扶、误靠而导致的安全隐患。

7 监测监控方案

7.1分项工程施工前，由项目主任工程师按审批后的专项施工方案，向施工员、安全员、作业班组长，以专题会议形式进行书面交底，每位接受

交底的人员应在存档交底书上签字，并人手一份技术交底用于指导施工。项目施工员组织分项工程实施，技术员负责技术指导。项目专职安全员和质检员，现场分别监督安全专项施工方案和特殊分项工程专项方案的实施。

7.2专项施工方案实施完成后，由项目经理组织主任工程师、技术员、施工员、专职安全员和质量员等各岗位人员，在主任工程师主持下进行验收。方案编写人员应参加专项方案实施结果的验收，项目专职安全员和质检员，在参与验收活动时，应提出自己的具体意见或见解，对需重新组织验收的项目要督促有关人员限时整改。

7.3 脚手架的验收和日常检查按照以下规定进行，经安全员检查合格后，方允许使用或继续使用。搭设完毕后；施工中中途停止使用超过15d；在重新使用之前；在受到暴风或大雨、地震等强力因素作用之后；在使用过程中发现显著变形、沉降、拆除杆件和拉结及安全隐患存在的情况时。

7.4 脚手架必须经过项目部及监理方共同验收合格后方可使用，作业人员必须认真戴好安全帽、系好安全带。

7.5脚手架上严禁集中堆放不必要的施工材料或其它荷载。在架子的使用过程中，要做好日常的维护、保养工作，由安全员定期检查钢管、扣件、脚手板及安全网的使用情况，遇有问题及时解决。

8 应急救援预案

如果工地出现伤亡现象，立即启动应急预案，以下是应急救援预案。

8.1 应急组织机构

组长	乔俊勇	13361327779
副组长	刘建业	18561098060
通讯联络员	张涛	15318651579
现场疏导员	杨政文	18561016180
	盖俊刚	15553554913

8.2 岗位职责

组长职责：准确掌握事故动态，服从总指挥的指挥，控制事故蔓延发展。

副组长职责：快速反映，及时了解事故情况向总指挥汇报，并协助指挥抢险。

通讯联络员职责：快速将事故情况向总指挥汇报，及时联络求援人员、车辆和物资。

现场疏导员职责：及时、稳妥地疏散现场人员，正确快速地引导救护车辆。

救援、运输人职责：以最快的速度安全地运送伤员和救援物资、及时投入救援抢险。

现场救护人职责：加强日常演练，发生紧急情况快速到位，对伤员正确施救。

8.3 伤亡事故

8.3.1 出现事故由组长领导报告。

8.3.2 副组长抢险队伍，进入应急状态，控制事故蔓延发展。

8.3.3 联络人、车辆和物资。

8.3.4 救援、运输人员及时、稳妥地疏散现场人员，正确快速地引导救援、救护车辆。救护队对伤员正确施救。

8.3.5 保护事故现场。

8.3.6 死亡事故发生后必须及时报告公司安全管理部和公司领导。

9 保证措施

9.1 材料技术措施

9.1.1 材质及其使用的安全技术措施

扣件的紧固程度宜在40~50N.m，并不大于65N.m，对接扣件安装时其开口应向内，以防进雨，直角扣件安装时开口不得向下，以保证安全。

各杆件端头伸出扣件盖板边缘不小于150mm。

钢管有严重锈蚀、压扁或裂纹的不得使用，禁止使用有脆裂、变形、滑丝等现象的扣件。

9.2 脚手架搭设的安全技术措施

搭设过程中划出工作标志区，禁止行人进入，统一指挥、上下呼应、动作协调，严禁在无人指挥下作业。

脚手架及时与结构拉结或采取临时支顶，以保证搭设过程安全，未完成的脚手架在每日收工前，一定要确保架子稳定。

定期检查脚手架，发现问题和隐患，在施工作业前及时维修加固，以达到坚固稳定，确保施工安全。

9.3 脚手架搭拆的安全技术措施

- 1) 脚手架搭拆人员必须是经过考核的专业架子工，并持证上岗。连接点应在位于其上的全部可拆杆件都拆除之后才能拆除。
- 2) 拆架前，全面检查待拆脚手架，根据检查结果，拟订出作业计划，报请批准，进行技术交底后才准备工作。
- 3) 拆除作业必须由上而下逐层进行，严禁上下同时作业。连墙件必须随脚手架逐层拆除，严禁先将连墙件整层或数层拆除后再拆脚手架；分段拆除高差不得大于2步，如高差大于两步，应增设连墙件加固。
- 4) 拆除时应划出作业区，周围设绳绑围栏并树立警示标志，地面设专人围护，禁止非作业人员进入。
- 5) 拆除时统一指挥、上下呼应、动作协调，当解开与另一人有关的扣件时必须先告诉对方并得到允许，以防坠落伤人。
- 6) 拆架时不得中途换人，如必须换人时，应将拆除情况交代清楚后方可离开。
- 7) 每天拆架下班时，不应留下隐患部位。
- 8) 在拆除过程中，凡松开连接的杆、配件应及时拆除运走，避免误扶、误靠已松脱的杆件。拆除的杆、配件严禁向下抛掷，应吊至地面，同时做好配合协调工作，禁止单人进行拆除较重杆件等危险性作业。

- 9) 所有杆件和扣件在拆除时分离，不准在杆件上附着扣件或两杆连着送至地面。
- 10) 所有的脚手板，应自外向里竖立搬运，以防止脚手板和垃圾物从高处坠落伤人。
- 11) 脚手架验收合格后任何人不得擅自拆改，如需作局部拆改时，须经项目部技术人员同意后由架子工操作。
- 12) 非作业人员不准攀登架子上下作业面；不准推车在架子上跑动；塔吊起吊物体时不能碰撞和拖动脚手架。

1

表 8-3

， 严

项次	检查项目	安装扣件数量(个)	抽检数量(个)	允许的不合格数
1	1 连接立杆与纵(横)向水平杆或剪刀撑的扣件; 接长立杆、纵向水平杆或剪刀撑的扣件	1201~3200	50	5
1	2 连接横向水平杆与纵向水平杆的扣件(非主节点)	1201~3200	50	10

9

- 9.4.1扣件拧紧抽样检查数目及质量判定标准（详见表8-3）
- 9.4.2相邻立杆的接头位置应错开布置在不同的步距内，与相邻大横杆的距离不宜大于步距的三分之一。
- 9.4.3上下横杆的接长位置应错开布立杆的垂直偏差应不大于架高的1/300，并同时控制其绝对偏差值不大于75mm。置在不同的立杆纵距中，与相邻立杆的距离不大于纵距的三分之一。
- 9.4.4同一排大横杆的水平偏差不大于50mm。
- 9.4.5 相邻步距的大横杆应错开布置在立杆的里侧，以减少立杆偏心受力情况。

9.5 脚手架的维护

- 9.5.1 杆件的设置和连接，连墙件、支撑、门洞桁架等的构造是否符合要求；

9.5.2 地基是否积水，底座是否松动，立杆是否悬空；

9.5.3 扣件螺栓是否松动；

9.5.4 立杆的沉降与垂直度的偏差是否符合规范；

9.5.5 安全防护措施是否符合要求；

9.5.6 是否超载。

9.6 钢管的吊运

在吊运钢管至靠近电缆及配电柜的操作面时必须按照以下过程进行操作，塔吊司机吊运钢管时在吊起距离地面2.5m后，塔吊小车向塔身移动5m，然后再转动塔吊臂至卸料方向，钢管下落至离操作面的水平上方2m时停止下落，然后由操作工人通过溜绳配合塔吊卸至操作位置。塔吊司机和塔吊指挥均持证上岗。

10、安全计算

10.1 落地式扣件钢管脚手架计算书

依据规范：

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012

《钢结构设计规范》GB50017-2003

《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011

计算参数：

钢管强度为 205.0 N/mm^2 ，钢管强度折减系数取 1.00。

双排脚手架，搭设高度 27.7 米，立杆采用单立管。

立杆的纵距 1.35 米，立杆的横距 0.90 米，内排架距离结构 0.30 米，立杆的步距 1.80 米。

钢管类型为 $\Phi 48 \times 3.0$ ，连墙件采用 2 步 3 跨，竖向间距 3.60 米，水平间距 4.05 米。

施工活荷载为 3.0 kN/m^2 ，同时考虑 2 层施工。

脚手板采用木板，荷载为 0.35 kN/m^2 ，按照铺设 2 层计算。

栏杆采用木板，荷载为 0.17 kN/m ，安全网荷载取 0.0100 kN/m^2 。

脚手板下小横杆在大横杆上面，且主结点间增加一根小横杆。

基本风压 0.40 kN/m^2 ，高度变化系数 1.6700，体型系数 1.0400。

地基承载力标准值 135 kN/m^2 ，基础底面扩展面积 0.250 m^2 ，地基承载力调整系数 0.40。

钢管惯性矩计算采用 $I = \pi (D^4 - d^4) / 64$ ，抵抗距计算采用 $W = \pi (D^4 - d^4) / 32D$ 。

10.1.1 小横杆的计算：

小横杆按照简支梁进行强度和挠度计算，小横杆在大横杆的上面。

按照小横杆上面的脚手板和活荷载作为均布荷载计算小横杆的最大弯矩和变形。

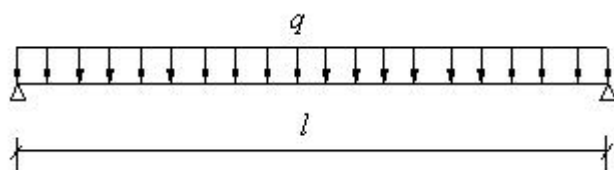
1. 均布荷载值计算

小横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038 \text{ kN/m}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.350 \times 1.350 / 2 = 0.236 \text{ kN/m}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 1.350 / 2 = 2.025 \text{ kN/m}$

荷载的计算值 $q = 1.2 \times 0.038 + 1.2 \times 0.236 + 1.4 \times 2.025 = 3.165 \text{ kN/m}$



小横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为简支梁均布荷载作用下的弯矩

计算公式如下:

$$M_{q\max} = ql^2/8$$

$$M=3.165 \times 0.900^2/8=0.320\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\sigma = 0.320 \times 10^6/4491.0=71.346\text{N/mm}^2$$

小横杆的计算强度小于 205.0N/mm^2 , 满足要求!

3. 挠度计算

最大挠度考虑为简支梁均布荷载作用下的挠度

计算公式如下:

$$V_{q\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

荷载标准值 $q=0.038+0.236+2.025=2.300\text{kN/m}$

简支梁均布荷载作用下的最大挠度

$$V=5.0 \times 2.300 \times 900.0^4/(384 \times 2.06 \times 10^5 \times 107780.0)=0.885\text{mm}$$

小横杆的最大挠度小于 $900.0/150$ 与 10mm , 满足要求!

10.1.2 大横杆的计算:

大横杆按照三跨连续梁进行强度和挠度计算, 小横杆在大横杆的上面。

用小横杆支座的最大反力计算值, 在最不利荷载布置下计算大横杆的最大弯矩和变形。

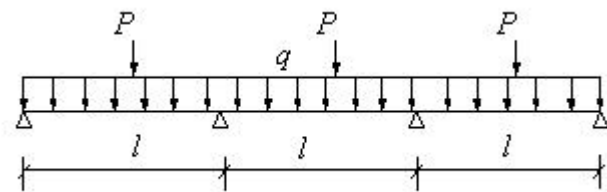
1. 荷载值计算

小横杆的自重标准值 $P_1=0.038 \times 0.900=0.035\text{kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.350 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 0.213 \text{ kN}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 1.822 \text{ kN}$

荷载的计算值 $P = (1.2 \times 0.035 + 1.2 \times 0.213 + 1.4 \times 1.822) / 2 = 1.424 \text{ kN}$



大横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的弯矩和
均布荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{\max} = 0.08q l^2$$

集中荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{P\max} = 0.175Pl$$

$$M = 0.08 \times (1.2 \times 0.038) \times 1.350^2 + 0.175 \times 1.424 \times 1.350 = 0.343 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 0.343 \times 10^6 / 4491.0 = 76.409 \text{ N/mm}^2$$

大横杆的计算强度小于 205.0 N/mm^2 , 满足要求!

3. 挠度计算

最大挠度考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的挠度和
均布荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{\max} = 0.677 \frac{q l^4}{100EI}$$

集中荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{P\max} = 1.146 \times \frac{Pl^3}{100EI}$$

大横杆自重均布荷载引起的最大挠度

$$V_1 = 0.677 \times 0.038 \times 1350.00^4 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 0.039 \text{ mm}$$

集中荷载标准值 $P = (0.035 + 0.213 + 1.822) / 2 = 1.035 \text{ kN}$

集中荷载标准值最不利分配引起的最大挠度

$$V_1 = 1.146 \times 1034.842 \times 1350.00^3 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 1.314 \text{ mm}$$

最大挠度和 $V = V_1 + V_2 = 1.353 \text{ mm}$

大横杆的最大挠度小于 $1350.0/150$ 与 10 mm , 满足要求!

10.1.3 扣件抗滑力的计算:

纵向或横向水平杆与立杆连接时, 扣件的抗滑承载力按照下式计算(规范 5.2.5):

$$R \leq R_c$$

其中 R_c —— 扣件抗滑承载力设计值, 取 8.0 kN ;

R —— 纵向或横向水平杆传给立杆的竖向作用力设计值;

1. 荷载值计算

横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038 \times 1.350 = 0.052 \text{ kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.350 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 0.213 \text{ kN}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 1.822 \text{ kN}$

荷载的计算值 $R = 1.2 \times 0.052 + 1.2 \times 0.213 + 1.4 \times 1.822 = 2.869 \text{ kN}$

单扣件抗滑承载力的设计计算满足要求!

当直角扣件的拧紧力矩达 $40 \sim 65 \text{ N} \cdot \text{m}$ 时, 试验表明: 单扣件在 12 kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 8.0 kN ;

双扣件在 20 kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 12.0 kN 。

10.1.4 脚手架荷载标准值:

作用于脚手架的荷载包括静荷载、活荷载和风荷载。静荷载标准值包括以下内容:

(1) 每米立杆承受的结构自重标准值(kN/m); 本例为 0.1072

$$N_{G1} = 0.107 \times 27.700 = 2.971 \text{ kN}$$

(2) 脚手板的自重标准值(kN/m²); 本例采用木脚手板, 标准值为 0.35

$$N_{G2} = 0.350 \times 2 \times 1.350 \times (0.900 + 0.300) / 2 = 0.567 \text{ kN}$$

(3) 栏杆与挡脚手板自重标准值(kN/m); 本例采用栏杆、木脚手板挡挡板, 标准值为 0.17

$$N_{G3} = 0.170 \times 1.350 \times 2 / 2 = 0.230 \text{ kN}$$

(4) 吊挂的安全设施荷载, 包括安全网(kN/m²); 0.010

$$N_{G4} = 0.010 \times 1.350 \times 27.700 = 0.374 \text{ kN}$$

经计算得到, 静荷载标准值 $N_G = N_{G1} + N_{G2} + N_{G3} + N_{G4} = 4.141 \text{ kN}$ 。

活荷载为施工荷载标准值产生的轴向力总和, 内、外立杆按一纵距内施工荷载总和的 1/2 取值。

经计算得到, 活荷载标准值 $N_Q = 3.000 \times 2 \times 1.350 \times 0.900 / 2 = 3.645 \text{ kN}$

风荷载标准值应按照以下公式计算

$$W_k = U_z \cdot U_s \cdot W_0$$

其中 W_0 —— 基本风压(kN/m²), $W_0 = 0.400$

U_z —— 风荷载高度变化系数, $U_z = 1.670$

U_s —— 风荷载体型系数: $U_s = 1.040$

经计算得到: $W_k = 0.400 \times 1.670 \times 1.040 = 0.695 \text{ kN/m}^2$ 。

考虑风荷载时, 立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 0.9 \times 1.4N_Q$$

经过计算得到，底部立杆的最大轴向压力：

$$N=1.2 \times 4.141+0.9 \times 1.4 \times 3.645=9.562\text{kN}$$

不考虑风荷载时，立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 1.4N_Q$$

经过计算得到，底部立杆的最大轴向压力：

$$N=1.2 \times 4.141+1.4 \times 3.645=10.072\text{kN}$$

风荷载设计值产生的立杆段弯矩 M_W 计算公式

$$M_W = 0.9 \times 1.4W_k l_a h^2 / 10$$

其中 W_k —— 风荷载标准值 (kN/m^2)；

l_a —— 立杆的纵距 (m)；

h —— 立杆的步距 (m)。

经过计算得到风荷载产生的弯矩：

$$M_W=0.9 \times 1.4 \times 0.695 \times 1.350 \times 1.800 \times 1.800 / 10=0.383\text{kN} \cdot \text{m}$$

10.1.5 立杆的稳定性计算：

1. 不考虑风荷载时，立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值， $N=10.072\text{kN}$ ；

i —— 计算立杆的截面回转半径， $i=1.60\text{cm}$ ；

k —— 计算长度附加系数，取 1.155；

u —— 计算长度系数，由脚手架的高度确定， $u=1.500$ ；

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,

$$l_0 = 1.155 \times 1.500 \times 1.800 = 3.118\text{m};$$

A —— 立杆净截面面积, $A = 4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W = 4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16 = 196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到 0.190;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f] = 205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得到:

$$\sigma = 10072 / (0.19 \times 424) = 125.353\text{N}/\text{mm}^2;$$

不考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

2. 考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_w}{W} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N = 9.562\text{kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i = 1.60\text{cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u = 1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,

$$l_0 = 1.155 \times 1.500 \times 1.800 = 3.118\text{m};$$

A —— 立杆净截面面积, $A = 4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W = 4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16=196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到 0.190;

M_W —— 计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩, $M_W=0.383\text{kN}\cdot\text{m}$;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f]=205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得到 $\sigma=9562/(0.19\times 424)+383000/4491=204.256\text{N}/\text{mm}^2$;

考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

10.1.6 最大搭设高度的计算:

不考虑风荷载时, 当立杆采用单管时, 单、双排脚手架允许搭设高度[H], 按下列计算:

$$[H] = \frac{\phi A \sigma - (1.2N_{G2K} + 1.4N_{QK})}{1.2g_k}$$

其中 N_{G2K} —— 构配件自重标准值产生的轴向力, $N_{G2K} = 1.170\text{kN}$;

N_Q —— 活荷载标准值, $N_Q = 3.645\text{kN}$;

g_k —— 每米立杆承受的结构自重标准值, $g_k = 0.107\text{kN}/\text{m}$;

经计算得到, 不考虑风荷载时, 按照稳定性计算的搭设高度 $[H] = 77.429$ 米。

考虑风荷载时, 当立杆采用单管时, 单、双排脚手架允许搭设高度[H], 按下列计算:

$$[H] = \frac{\phi A \sigma - [1.2N_{G2K} + 0.9 \times 1.4(N_{QK} + \phi A \cdot M_{WK}/W)]}{1.2g_k}$$

其中 N_{G2K} —— 构配件自重标准值产生的轴向力, $N_{G2K} = 1.170\text{kN}$;

N_Q —— 活荷载标准值, $N_Q = 3.645\text{kN}$;

g_k —— 每米立杆承受的结构自重标准值, $g_k = 0.107\text{kN/m}$;

M_{wk} —— 计算立杆段由风荷载标准值产生的弯矩, $M_{wk} = 0.304\text{kN}\cdot\text{m}$;

经计算得到, 考虑风荷载时, 按照稳定性计算的搭设高度 $[H] = 28.164$ 米。

取上面两式计算结果的最小值, 脚手架允许搭设高度 $[H]=28.164$ 米。

10.1.7 连墙件的计算:

连墙件的轴向力计算值应按照下式计算:

$$N_l = N_{lw} + N_o$$

其中 N_{lw} —— 风荷载产生的连墙件轴向力设计值 (kN), 应按照下式计算:

$$N_{lw} = 1.4 \times w_k \times A_w$$

w_k —— 风荷载标准值, $w_k = 0.695\text{kN/m}^2$;

A_w —— 每个连墙件的覆盖面积内脚手架外侧的迎风面积:

$$A_w = 3.60 \times 4.05 = 14.580\text{m}^2;$$

N_o —— 连墙件约束脚手架平面外变形所产生的轴向力 (kN); $N_o = 3.000$

经计算得到 $N_{lw} = 14.181\text{kN}$, 连墙件轴向力计算值 $N_l = 17.181\text{kN}$

根据连墙件杆件强度要求, 轴向力设计值 $N_{f1} = 0.85A_c[f]$

根据连墙件杆件稳定性要求, 轴向力设计值 $N_{f2} = 0.85\phi A[f]$

其中 ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 $l/i=30.00/1.60$ 的结果查表得到 $\phi=0.95$;

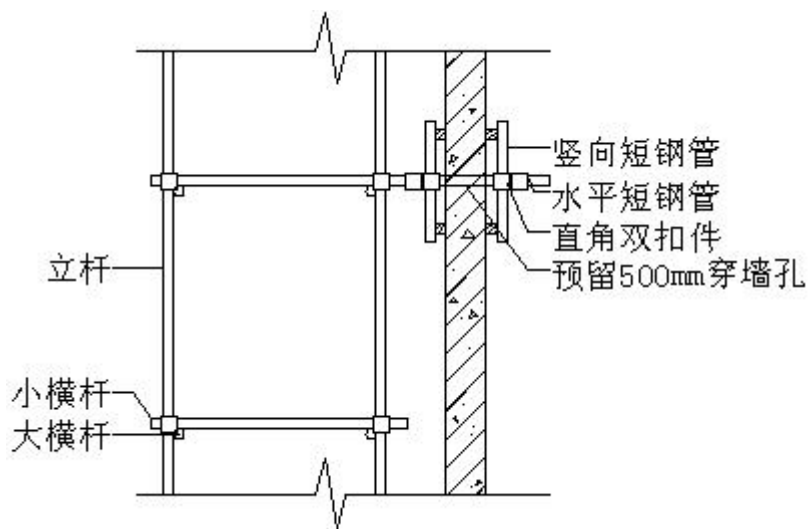
净截面面积 $A_c = 4.24\text{cm}^2$; 毛截面面积 $A = 18.10\text{cm}^2$; $[f] = 205.00\text{N/mm}^2$ 。

经过计算得到 $N_{f1} = 73.865\text{kN}$

$N_{f1} > N_1$ ，连墙件的设计计算满足强度设计要求！

经过计算得到 $N_f = 300.110\text{kN}$

$N_{f2} > N_1$ ，连墙件的设计计算满足稳定性设计要求！



连墙件双扣件连接示意图

考虑到连墙件轴向力较大，故连墙件采用双杆双扣件连接。

扣件脚手架计算满足要求！

10.2 型钢悬挑脚手架计算书(4m 长型钢悬挑梁)

依据规范：

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012

《钢结构设计规范》GB50017-2003

《混凝土结构设计规范》GB50010-2010

计算参数：

钢管强度为 205.0 N/mm^2 ，钢管强度折减系数取 1.00。

双排脚手架，搭设高度 19.6 米，立杆采用单立管。

立杆的纵距 1.35 米，立杆的横距 0.90 米，内排架距离结构 0.30 米，立杆的步距 1.80 米。

采用的钢管类型为 $\Phi 48 \times 3.0$ ，

连墙件采用 2 步 3 跨，竖向间距 3.60 米，水平间距 4.05 米。

施工活荷载为 3.0kN/m^2 ，同时考虑 1 层施工。

脚手板采用木板，荷载为 0.35kN/m^2 ，按照铺设 2 层计算。

栏杆采用木板，荷载为 0.17kN/m ，安全网荷载取 0.0100kN/m^2 。

脚手板下小横杆在大横杆上面，且主结点间增加一根小横杆。

基本风压 0.40kN/m^2 ，高度变化系数 2.2300，体型系数 1.0400。

悬挑水平钢梁采用 18 号工字钢，建筑物外悬挑段长度 1.50 米，建筑物内锚固段长度 2.20 米。

悬挑水平钢梁采用悬臂式结构，没有钢丝绳或支杆与建筑物拉结。

钢管惯性矩计算采用 $I = \pi (D^4 - d^4) / 64$ ，抵抗距计算采用 $W = \pi (D^4 - d^4) / 32D$ 。

一、小横杆的计算

小横杆按照简支梁进行强度和挠度计算，小横杆在大横杆的上面。

按照小横杆上面的脚手板和活荷载作为均布荷载计算小横杆的最大弯矩和变形。

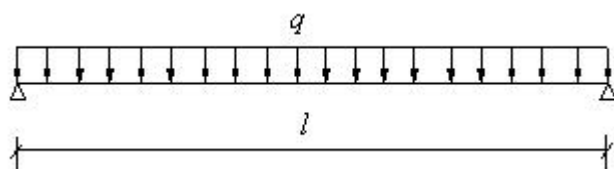
1. 均布荷载值计算

小横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038\text{kN/m}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.350 \times 1.350 / 2 = 0.236\text{kN/m}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 1.350 / 2 = 2.025\text{kN/m}$

荷载的计算值 $q = 1.2 \times 0.038 + 1.2 \times 0.236 + 1.4 \times 2.025 = 3.165\text{kN/m}$



小横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为简支梁均布荷载作用下的弯矩

计算公式如下：

$$M_{q\max} = ql^2/8$$

$$M = 3.165 \times 0.900^2 / 8 = 0.320 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 0.320 \times 10^6 / 4491.0 = 71.346 \text{ N/mm}^2$$

小横杆的计算强度小于 205.0 N/mm^2 , 满足要求!

3. 挠度计算

最大挠度考虑为简支梁均布荷载作用下的挠度

计算公式如下：

$$V_{q\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

$$\text{荷载标准值 } q = 0.038 + 0.236 + 2.025 = 2.300 \text{ kN/m}$$

简支梁均布荷载作用下的最大挠度

$$V = 5.0 \times 2.300 \times 900.0^4 / (384 \times 2.06 \times 10^5 \times 107780.0) = 0.885 \text{ mm}$$

小横杆的最大挠度小于 $900.0/150$ 与 10 mm , 满足要求!

二、大横杆的计算

大横杆按照三跨连续梁进行强度和挠度计算, 小横杆在大横杆的上面。

用小横杆支座的最大反力计算值, 在最不利荷载布置下计算大横杆的最大弯矩和变形。

1. 荷载值计算

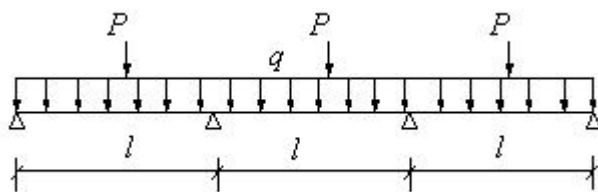
小横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038 \times 0.900 = 0.035 \text{ kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.350 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 0.213 \text{ kN}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 1.822 \text{ kN}$

荷载的计算值

$$P = (1.2 \times 0.035 + 1.2 \times 0.213 + 1.4 \times 1.822) / 2 = 1.424 \text{ kN}$$



大横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的弯矩和
均布荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{\max} = 0.08q l^2$$

集中荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{P_{\max}} = 0.175 P l$$

$$M = 0.08 \times (1.2 \times 0.038) \times 1.350^2 + 0.175 \times 1.424 \times 1.350 = 0.343 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 0.343 \times 10^6 / 4491.0 = 76.409 \text{ N/mm}^2$$

大横杆的计算强度小于 205.0 N/mm^2 , 满足要求!

3. 挠度计算

最大挠度考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的挠度和
均布荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{\max} = 0.677 \frac{q l^4}{100EI}$$

集中荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{P\max} = 1.146 \times \frac{Pl^3}{100EI}$$

大横杆自重均布荷载引起的最大挠度

$$V_1 = 0.677 \times 0.038 \times 1350.00^4 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 0.04\text{mm}$$

集中荷载标准值 $P = 0.035 + 0.213 + 1.822 = 2.070\text{kN}$

集中荷载标准值最不利分配引起的最大挠度

$$V_1 = 1.146 \times 2069.685 \times 1350.00^3 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 2.63\text{mm}$$

最大挠度和

$$V = V_1 + V_2 = 2.667\text{mm}$$

大横杆的最大挠度小于 $1350.0/150$ 与 10mm , 满足要求!

三、扣件抗滑力的计算

纵向或横向水平杆与立杆连接时, 扣件的抗滑承载力按照下式计算(规范 5.2.5):

$$R \leq R_c$$

其中 R_c —— 扣件抗滑承载力设计值, 取 8.0kN ;

R —— 纵向或横向水平杆传给立杆的竖向作用力设计值;

横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038 \times 1.350 = 0.052\text{kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.350 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 0.213\text{kN}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 1.822\text{kN}$

荷载的计算值 $R = 1.2 \times 0.052 + 1.2 \times 0.213 + 1.4 \times 1.822 = 2.869\text{kN}$

单扣件抗滑承载力的设计计算满足要求!

当直角扣件的拧紧力矩达 40—65N.m 时, 试验表明: 单扣件在 12kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 8.0kN;

双扣件在 20kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 12.0kN;

四、脚手架荷载标准值

作用于脚手架的荷载包括静荷载、活荷载和风荷载。

静荷载标准值包括以下内容:

(1) 每米立杆承受的结构自重标准值(kN/m); 本例为 0.1072

$$N_{G1} = 0.107 \times 19.600 = 2.102 \text{ kN}$$

(2) 脚手板的自重标准值(kN/m²); 本例采用木脚手板, 标准值为 0.35

$$N_{G2} = 0.350 \times 2 \times 1.350 \times (0.900 + 0.300) / 2 = 0.567 \text{ kN}$$

(3) 栏杆与挡脚手板自重标准值(kN/m); 本例采用栏杆、木脚手板挡挡板, 标准值为 0.17

$$N_{G3} = 0.170 \times 1.350 \times 2 / 2 = 0.230 \text{ kN}$$

(4) 吊挂的安全设施荷载, 包括安全网(kN/m²); 0.010

$$N_{G4} = 0.010 \times 1.350 \times 19.600 = 0.265 \text{ kN}$$

经计算得到, 静荷载标准值 $N_G = N_{G1} + N_{G2} + N_{G3} + N_{G4} = 3.163 \text{ kN}$ 。

活荷载为施工荷载标准值产生的轴向力总和, 内、外立杆按一纵距内施工荷载总和的 1/2 取值。

经计算得到, 活荷载标准值 $N_Q = 3.000 \times 1 \times 1.350 \times 0.900 / 2 = 1.822 \text{ kN}$

风荷载标准值应按照以下公式计算

$$W_k = U_z \cdot U_s \cdot W_0$$

其中 W_0 —— 基本风压(kN/m²), $W_0 = 0.400$

U_z —— 风荷载高度变化系数, $U_z = 2.230$

U_s —— 风荷载体型系数: $U_s = 1.040$

经计算得到, 风荷载标准值 $W_k = 0.400 \times 2.230 \times 1.040 = 0.928 \text{ kN/m}^2$ 。

考虑风荷载时, 立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 0.9 \times 1.4N_Q$$

经过计算得到, 底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 3.163 + 0.9 \times 1.4 \times 1.822 = 6.092 \text{ kN}$$

不考虑风荷载时, 立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 1.4N_Q$$

经过计算得到, 底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 3.163 + 1.4 \times 1.822 = 6.347 \text{ kN}$$

风荷载设计值产生的立杆段弯矩 M_W 计算公式

$$M_W = 0.9 \times 1.4W_k l_a h^2 / 10$$

其中 W_k —— 风荷载标准值 (kN/m^2);

l_a —— 立杆的纵距 (m);

h —— 立杆的步距 (m)。

经过计算得到风荷载产生的弯矩:

$$M_W = 0.9 \times 1.4 \times 0.928 \times 1.350 \times 1.800 \times 1.800 / 10 = 0.511 \text{ kN.m}$$

五、立杆的稳定性计算

1. 不考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N = 6.347 \text{ kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i=1.60\text{cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,
 $l_0=1.155 \times 1.500 \times 1.800=3.118\text{m}$;

A —— 立杆净截面面积, $A=4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W=4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16=196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到
 0.190;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f]=205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得:

$$\sigma = 6347 / (0.19 \times 424) = 78.993\text{N}/\text{mm}^2;$$

不考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

2. 考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_w}{W} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N=6.092\text{kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i=1.60\text{cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,
 $l_0 = 1.155 \times 1.500 \times 1.800 = 3.118\text{m}$;

A —— 立杆净截面面积, $A = 4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W = 4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16 = 196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到
 0.190;

M_W —— 计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩, $M_W = 0.511\text{kN}\cdot\text{m}$;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f] = 205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得到

$$\sigma = 6092 / (0.19 \times 424) + 511000 / 4491 = 189.660\text{N}/\text{mm}^2;$$

考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

六、连墙件的计算

连墙件的轴向力计算值应按照下式计算:

$$N_l = N_{lw} + N_o$$

其中 N_{lw} —— 风荷载产生的连墙件轴向力设计值 (kN), 应按照下式计算:

$$N_{lw} = 1.4 \times w_k \times A_w$$

w_k —— 风荷载标准值, $w_k = 0.928\text{kN}/\text{m}^2$;

A_w —— 每个连墙件的覆盖面积内脚手架外侧的迎风面积:

$$A_w = 3.60 \times 4.05 = 14.580\text{m}^2;$$

N_o —— 连墙件约束脚手架平面外变形所产生的轴向力 (kN); $N_o =$
 3.000

经计算得到 $N_{1w} = 18.936\text{kN}$ ，连墙件轴向力计算值 $N_1 = 21.936\text{kN}$

根据连墙件杆件强度要求，轴向力设计值 $N_{f1} = 0.85A_c[f]$

根据连墙件杆件稳定性要求，轴向力设计值 $N_{f2} = 0.85\phi A[f]$

连墙件轴向力设计值 $N_f = 0.85\phi A[f]$

其中 ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 $l/i=30.00/1.60$ 的结果查表得到 $\phi=0.95$;

净截面面积 $A_c = 4.24\text{cm}^2$; 毛截面面积 $A = 18.10\text{cm}^2$;

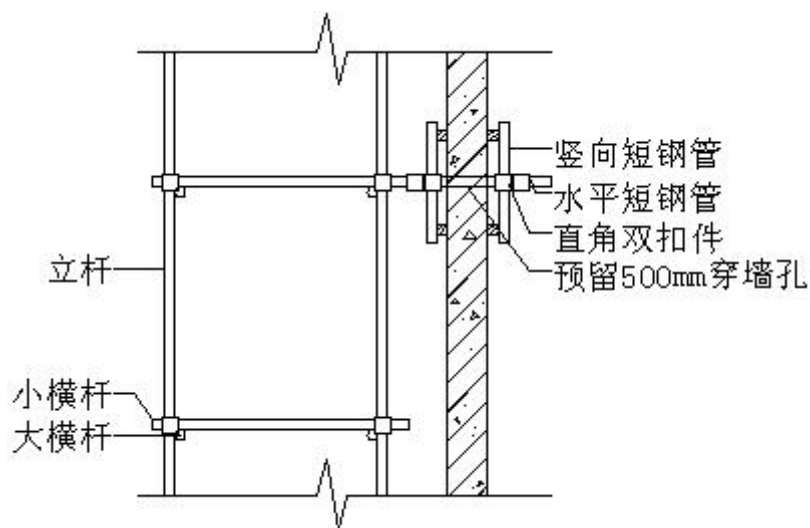
$[f] = 205.00\text{N/mm}^2$ 。

经过计算得到 $N_{f1} = 73.865\text{kN}$

$N_{f1} > N_1$ ，连墙件的设计计算满足强度设计要求!

经过计算得到 $N_{f2} = 300.110\text{kN}$

$N_{f2} > N_1$ ，连墙件的设计计算满足稳定性设计要求!

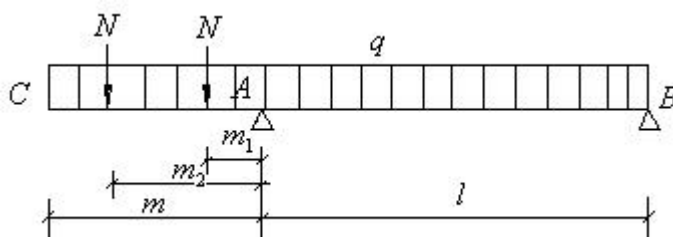


连墙件双扣件连接示意图

七、悬挑梁的受力计算

悬挑脚手架按照带悬臂的单跨梁计算

悬出端 C 受脚手架荷载 N 的作用，里端 B 为与楼板的锚固点，A 为墙支点。



悬臂单跨梁计算简图

支座反力计算公式

$$R_A = N(2 + k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 + k)^2$$

$$R_B = -N(k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 - k^2)$$

支座弯矩计算公式

$$M_A = -N(m_2 + m_1) - \frac{qm^2}{2}$$

C 点最大挠度计算公式

$$\begin{aligned} V_{\max} = & \frac{Nm_2^2l}{3EI}(1 + k_2) + \frac{Nm_1^2l}{3EI}(1 + k_1) + \frac{ml}{3EI} \cdot \frac{ql^2}{8}(-1 + 4k^2 + 3k^3) \\ & + \frac{Nm_1l}{6EI}(2 + 3k_1)(m - m_1) + \frac{Nm_2l}{6EI}(2 + 3k_2)(m - m_2) \end{aligned}$$

其中 $k = m/l$, $k_1 = m_1/l$, $k_2 = m_2/l$ 。

本工程算例中， $m = 1500\text{mm}$ ， $l = 2200\text{mm}$ ， $m_1 = 300\text{mm}$ ， $m_2 = 1200\text{mm}$ ；

水平支撑梁的截面惯性矩 $I = 1660.00\text{cm}^4$ ，截面模量（抵抗矩） $W = 185.00\text{cm}^3$ 。受脚手架作用集中强度计算荷载 $N = 6.35\text{kN}$

水平钢梁自重强度计算荷载 $q = 1.2 \times 30.60 \times 0.0001 \times 7.85 \times 10 = 0.29\text{kN/m}$

$$k = 1.50/2.20 = 0.68$$

$$k_1 = 0.30/2.20 = 0.14$$

$$k_2=1.20/2.20=0.55$$

代入公式，经过计算得到

$$\text{支座反力 } R_A=17.919\text{kN}$$

$$\text{支座反力 } R_B=-4.158\text{kN}$$

$$\text{最大弯矩 } M_A=9.845\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{抗弯计算强度 } f=9.845\times 10^6/(1.05\times 185000.0)=50.683\text{N/mm}^2$$

水平支撑梁的抗弯计算强度小于 215.0N/mm^2 ，满足要求！

$$\text{受脚手架作用集中计算荷载 } N=3.16+1.82=4.99\text{kN}$$

$$\text{水平钢梁自重计算荷载 } q=30.60\times 0.0001\times 7.85\times 10=0.24\text{kN/m}$$

$$\text{最大挠度 } V_{\max}=3.737\text{mm}$$

按照《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130-2011)表 5.1.8 规定：

水平支撑梁的最大挠度小于 $3000.0/250$ ，满足要求！

八、悬挑梁的整体稳定性计算

水平钢梁采用 18 号工字钢，计算公式如下

$$\sigma = \frac{M}{\phi_b W_x} \leq [f]$$

其中 ϕ_b —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数，查表《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录得到：

$$\phi_b=2.00$$

由于 ϕ_b 大于 0.6，按照《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录 B 其值
 $\phi_b' = 1.07 - 0.282/\phi_b = 0.929$

$$\text{经过计算得到强度 } \sigma = 9.85\times 10^6/(0.929\times 185000.00)=57.28\text{N/mm}^2;$$

水平钢梁的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

九、锚固段与楼板连接的计算

1. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓，螺栓粘结力锚固强度计算如下：

锚固深度计算公式

$$h \geq \frac{N}{\pi d [f_b]}$$

其中 N —— 锚固力，即作用于楼板螺栓的轴向拉力，N = 4.16kN；

d —— 楼板螺栓的直径，d = 20mm；

$[f_b]$ —— 楼板螺栓与混凝土的容许粘接强度，计算中取 1.5N/mm^2 ；

h —— 楼板螺栓在混凝土楼板内的锚固深度。

经过计算得到 h 要大于 $4158.00 / (3.1416 \times 20 \times 1.5) = 44.1\text{mm}$ 。

2. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓，混凝土局部承压计算如下：

混凝土局部承压的螺栓拉力要满足公式

$$N \leq (b^2 - \frac{\pi d^2}{4}) f_{cc}$$

其中 N —— 锚固力，即作用于楼板螺栓的轴向拉力，N = 4.16kN；

d —— 楼板螺栓的直径，d = 20mm；

b —— 楼板内的螺栓锚板边长，b=5d=100mm；

f_{cc} —— 混凝土的局部挤压强度设计值，计算中取 $0.95f_c = 13.59\text{N/mm}^2$ ；

经过计算得到公式右边等于 131.6kN

楼板混凝土局部承压计算满足要求！

3. 水平钢梁与楼板锚固压点部位楼板负弯矩配筋计算如下：

锚固压点处楼板负弯矩数值为 $M = 4.16 \times 2.20 / 2 = 4.57\text{kN.m}$

根据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 6.2.10 条

$$\alpha_s = \frac{M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s}$$

$$\gamma_s = 1 - \xi / 2$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_s h_0 f_y}$$

其中 α_1 ——系数，当混凝土强度不超过 C50 时， α_1 取为 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时，

α_1 取为 0.94，期间按线性内插法确定；

f_c ——混凝土抗压强度设计值；

h_0 ——截面有效高度；

f_y ——钢筋受拉强度设计值。

截面有效高度 $h_0 = 100 - 15 = 85\text{mm}$ ；

$$\alpha_s = 4.57 \times 10^6 / (1.000 \times 14.300 \times 1.4 \times 1000 \times 85.0^2) = 0.0330$$

$$\xi = 1 - (1 - 2 \times 0.0330)^{1/2} = 0.0330$$

$$\gamma_s = 1 - 0.0330 / 2 = 0.9830$$

楼板压点负弯矩配筋为

$$A_s = 4.57 \times 10^6 / (0.9830 \times 85.0 \times 210.0) = 260.6 \text{ mm}^2$$

悬挑脚手架计算满足要求！

10.3 型钢悬挑脚手架计算书(4m 长型钢悬挑主梁带联梁，悬挑长度 1.5m)

依据规范：

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012

《钢结构设计规范》GB50017-2003

《混凝土结构设计规范》GB50010-2010

计算参数:

钢管强度为 205.0 N/mm^2 ，钢管强度折减系数取 1.00。

双排脚手架，搭设高度 20.0 米，立杆采用单立管。

立杆的纵距 1.35 米，立杆的横距 0.90 米，内排架距离结构 0.30 米，立杆的步距 1.80 米。

采用的钢管类型为 $\Phi 48 \times 3.0$ ，

连墙件采用 2 步 3 跨，竖向间距 3.60 米，水平间距 4.05 米。

施工活荷载为 3.0 kN/m^2 ，同时考虑 1 层施工。

脚手板采用木板，荷载为 0.35 kN/m^2 ，按照铺设 2 层计算。

栏杆采用木板，荷载为 0.17 kN/m ，安全网荷载取 0.0100 kN/m^2 。

脚手板下小横杆在大横杆上面，且主结点间增加一根小横杆。

基本风压 0.40 kN/m^2 ，高度变化系数 2.2300，体型系数 1.0750。

悬挑水平钢梁采用 18 号工字钢，建筑物外悬挑段长度 1.50 米，建筑物内锚固段长度 2.20 米。

悬挑水平钢梁上面的联梁采用 18 号工字钢，相邻悬挑钢梁之间的联梁上最多布置 3 根立杆。

悬挑水平钢梁采用悬臂式结构，没有钢丝绳或支杆与建筑物拉结。

钢管惯性矩计算采用 $I = \pi (D^4 - d^4) / 64$ ，抵抗距计算采用 $W = \pi (D^4 - d^4) / 32D$ 。

一、小横杆的计算

小横杆按照简支梁进行强度和挠度计算，小横杆在大横杆的上面。

按照小横杆上面的脚手板和活荷载作为均布荷载计算小横杆的最大弯矩和变形。

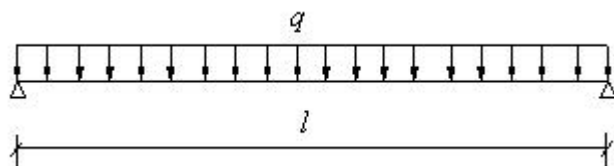
1. 均布荷载值计算

小横杆的自重标准值 $P_1=0.038\text{kN/m}$

脚手板的荷载标准值 $P_2=0.350 \times 1.350/2=0.236\text{kN/m}$

活荷载标准值 $Q=3.000 \times 1.350/2=2.025\text{kN/m}$

荷载的计算值 $q=1.2 \times 0.038 + 1.2 \times 0.236 + 1.4 \times 2.025=3.165\text{kN/m}$



小横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为简支梁均布荷载作用下的弯矩

计算公式如下：

$$M_{q\max} = ql^2/8$$

$$M=3.165 \times 0.900^2/8=0.320\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\sigma=0.320 \times 10^6/4491.0=71.346\text{N/mm}^2$$

小横杆的计算强度小于 205.0N/mm^2 ，满足要求！

3. 挠度计算

最大挠度考虑为简支梁均布荷载作用下的挠度

计算公式如下：

$$V_{q\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

荷载标准值 $q=0.038+0.236+2.025=2.300\text{kN/m}$

简支梁均布荷载作用下的最大挠度

$$V=5.0 \times 2.300 \times 900.0^4 / (384 \times 2.06 \times 10^5 \times 107780.0) = 0.885\text{mm}$$

小横杆的最大挠度小于 $900.0/150$ 与 10mm , 满足要求!

二、大横杆的计算

大横杆按照三跨连续梁进行强度和挠度计算, 小横杆在大横杆的上面。

用小横杆支座的最大反力计算值, 在最不利荷载布置下计算大横杆的最大弯矩和变形。

1. 荷载值计算

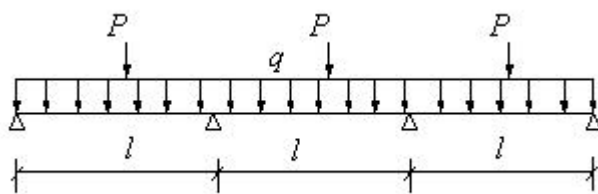
小横杆的自重标准值 $P_1=0.038 \times 0.900=0.035\text{kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2=0.350 \times 0.900 \times 1.350/2=0.213\text{kN}$

活荷载标准值 $Q=3.000 \times 0.900 \times 1.350/2=1.822\text{kN}$

荷载的计算值

$$P=(1.2 \times 0.035+1.2 \times 0.213+1.4 \times 1.822)/2=1.424\text{kN}$$



大横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的弯矩和
均布荷载最大弯矩计算公式如下:

$$M_{\max} = 0.08q l^2$$

集中荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{P_{max}} = 0.175Pl$$

$$M = 0.08 \times (1.2 \times 0.038) \times 1.350^2 + 0.175 \times 1.424 \times 1.350 = 0.343 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 0.343 \times 10^6 / 4491.0 = 76.409 \text{ N/mm}^2$$

大横杆的计算强度小于 205.0 N/mm^2 , 满足要求!

3. 挠度计算

最大挠度考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的挠度和
均布荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{max} = 0.677 \frac{q l^4}{100EI}$$

集中荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{P_{max}} = 1.146 \times \frac{Pl^3}{100EI}$$

大横杆自重均布荷载引起的最大挠度

$$V_1 = 0.677 \times 0.038 \times 1350.00^4 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 0.04 \text{ mm}$$

集中荷载标准值 $P = 0.035 + 0.213 + 1.822 = 2.070 \text{ kN}$

集中荷载标准值最不利分配引起的最大挠度

$$V_1 = 1.146 \times 2069.685 \times 1350.00^3 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 2.63 \text{ mm}$$

最大挠度和

$$V = V_1 + V_2 = 2.667 \text{ mm}$$

大横杆的最大挠度小于 $1350.0/150$ 与 10 mm , 满足要求!

三、扣件抗滑力的计算

纵向或横向水平杆与立杆连接时，扣件的抗滑承载力按照下式计算(规范 5.2.5)：

$$R \leq R_c$$

其中 R_c —— 扣件抗滑承载力设计值, 取 8.0kN;

R —— 纵向或横向水平杆传给立杆的竖向作用力设计值;

横杆的自重标准值 $P_1=0.038 \times 1.350=0.052\text{kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2=0.350 \times 0.900 \times 1.350/2=0.213\text{kN}$

活荷载标准值 $Q=3.000 \times 0.900 \times 1.350/2=1.822\text{kN}$

荷载的计算值 $R=1.2 \times 0.052+1.2 \times 0.213+1.4 \times 1.822=2.869\text{kN}$

单扣件抗滑承载力的设计计算满足要求!

当直角扣件的拧紧力矩达 40—65N.m 时, 试验表明: 单扣件在 12kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 8.0kN;

双扣件在 20kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 12.0kN;

四、脚手架荷载标准值

作用于脚手架的荷载包括静荷载、活荷载和风荷载。

静荷载标准值包括以下内容:

(1) 每米立杆承受的结构自重标准值(kN/m); 本例为 0.1072

$$N_{G1} = 0.107 \times 20.000 = 2.145\text{kN}$$

(2) 脚手板的自重标准值(kN/m²); 本例采用木脚手板, 标准值为 0.35

$$N_{G2} = 0.350 \times 2 \times 1.350 \times (0.900 + 0.300) / 2 = 0.567\text{kN}$$

(3) 栏杆与挡脚手板自重标准值(kN/m); 本例采用栏杆、木脚手板挡挡板, 准值为 0.17

$$N_{G3} = 0.170 \times 1.350 \times 2 / 2 = 0.230\text{kN}$$

(4) 吊挂的安全设施荷载, 包括安全网 (kN/m^2); 0.010

$$N_{G4} = 0.010 \times 1.350 \times 20.000 = 0.270 \text{ kN}$$

经计算得到, 静荷载标准值 $N_G = N_{G1} + N_{G2} + N_{G3} + N_{G4} = 3.211 \text{ kN}$ 。

活荷载为施工荷载标准值产生的轴向力总和, 内、外立杆按一纵距内施工荷载总和的 1/2 取值。

经计算得到, 活荷载标准值 $N_Q = 3.000 \times 1 \times 1.350 \times 0.900 / 2 = 1.822 \text{ kN}$

风荷载标准值应按照以下公式计算

$$W_k = U_z \cdot U_s \cdot W_0$$

其中 W_0 —— 基本风压 (kN/m^2), $W_0 = 0.400$

U_z —— 风荷载高度变化系数, $U_z = 2.230$

U_s —— 风荷载体型系数: $U_s = 1.075$

经计算得到, 风荷载标准值 $W_k = 0.400 \times 2.230 \times 1.075 = 0.959 \text{ kN/m}^2$ 。

考虑风荷载时, 立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 0.9 \times 1.4N_Q$$

经过计算得到, 底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 3.211 + 0.9 \times 1.4 \times 1.822 = 6.150 \text{ kN}$$

不考虑风荷载时, 立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 1.4N_Q$$

经过计算得到, 底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 3.211 + 1.4 \times 1.822 = 6.405 \text{ kN}$$

风荷载设计值产生的立杆段弯矩 M_W 计算公式

$$M_W = 0.9 \times 1.4W_k l_a h^2 / 10$$

其中 W_k —— 风荷载标准值 (kN/m^2);

l_a —— 立杆的纵距 (m);

h —— 立杆的步距 (m)。

经过计算得到风荷载产生的弯矩:

$$M_w = 0.9 \times 1.4 \times 0.959 \times 1.350 \times 1.800 \times 1.800 / 10 = 0.528 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

五、立杆的稳定性计算

1. 不考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N=6.405 \text{ kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i=1.60 \text{ cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,

$$l_0 = 1.155 \times 1.500 \times 1.800 = 3.118 \text{ m};$$

A —— 立杆净截面面积, $A=4.239 \text{ cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W=4.491 \text{ cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16=196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到 0.190;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f]=205.00 \text{ N}/\text{mm}^2$;

经计算得:

$$\sigma = 6405 / (0.19 \times 424) = 79.714 \text{ N}/\text{mm}^2;$$

不考虑风荷载时，立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$ ，满足要求！

2. 考虑风荷载时，立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_W}{W} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值，N=6.150kN；

i —— 计算立杆的截面回转半径，i=1.60cm；

k —— 计算长度附加系数，取 1.155；

u —— 计算长度系数，由脚手架的高度确定，u=1.500；

l_0 —— 计算长度 (m)，由公式 $l_0 = kuh$ 确定，

$l_0=1.155 \times 1.500 \times 1.800=3.118\text{m}$ ；

A —— 立杆净截面面积， $A=4.239\text{cm}^2$ ；

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩)， $W=4.491\text{cm}^3$ ；

λ —— 由长细比，为 $3118/16=196$ ；

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数，由长细比 l_0/i 的结果查表得到 0.190；

M_W —— 计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩， $M_W=0.528\text{kN.m}$ ；

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2)；

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值， $[f]=205.00\text{N/mm}^2$ ；

经计算得到

$$\sigma = 6150 / (0.19 \times 424) + 528000 / 4491 = 194.212\text{N/mm}^2$$

考虑风荷载时，立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$ ，满足要求！

六、连墙件的计算

连墙件的轴向力计算值应按照下式计算：

$$N_1 = N_{1w} + N_O$$

其中 N_{1w} —— 风荷载产生的连墙件轴向力设计值(kN), 应按下式计算:

$$N_{1w} = 1.4 \times w_k \times A_w$$

w_k —— 风荷载标准值, $w_k = 0.959\text{kN/m}^2$;

A_w —— 每个连墙件的覆盖面积内脚手架外侧的迎风面积:

$$A_w = 3.60 \times 4.05 = 14.580\text{m}^2;$$

N_O —— 连墙件约束脚手架平面外变形所产生的轴向力(kN); $N_O = 3.000$

经计算得到 $N_{1w} = 19.573\text{kN}$, 连墙件轴向力计算值 $N_1 = 22.573\text{kN}$

根据连墙件杆件强度要求, 轴向力设计值 $N_{f1} = 0.85A_c[f]$

根据连墙件杆件稳定性要求, 轴向力设计值 $N_{f2} = 0.85\phi A[f]$

连墙件轴向力设计值 $N_f = 0.85\phi A[f]$

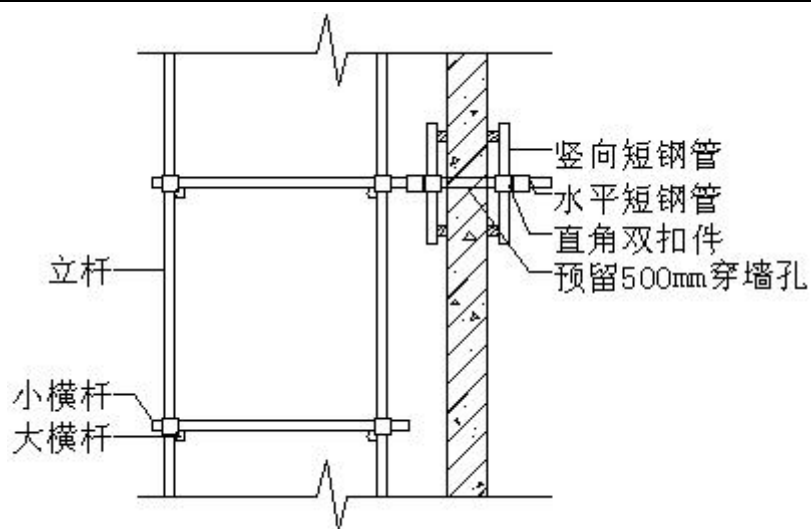
其中 ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 $l/i=30.00/1.60$ 的结果查表得到 $\phi=0.95$; 净截面面积 $A_c = 4.24\text{cm}^2$; 毛截面面积 $A = 18.10\text{cm}^2$; $[f] = 205.00\text{N/mm}^2$ 。

经过计算得到 $N_{f1} = 73.865\text{kN}$

$N_{f1} > N_1$, 连墙件的设计计算满足强度设计要求!

经过计算得到 $N_{f2} = 300.110\text{kN}$

$N_{f2} > N_1$, 连墙件的设计计算满足稳定性设计要求!



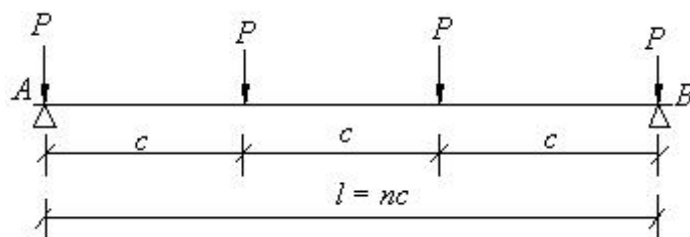
连墙件双扣件连接示意图

七、联梁的计算

按照集中荷载作用下的简支梁计算

集中荷载 P 传递力, $P=6.41\text{kN}$

计算简图如下



支撑按照简支梁的计算公式

$$R_A = R_B = \frac{n-1}{2}P + P$$

$$M_{\max} = \begin{cases} \frac{(n^2-1)Pl}{8n} & (n \text{ 奇数}) \\ \frac{nPl}{8} & (n \text{ 为偶数}) \end{cases}$$

其中 $n=4.05/1.35=3$

经过简支梁的计算得到

支座反力(考虑到支撑的自重) $R_A =$

$$R_B = (3-1)/2 \times 6.41 + 6.41 + 4.05 \times 0.24/2 = 13.29 \text{ kN}$$

通过传递到支座的最大力为(考虑到支撑的自重)

$$2 \times 6.41 + 6.41 + 4.05 \times 0.24 = 20.17 \text{ kN}$$

最大弯矩(考虑到支撑的自重)

$$M_{\max} = (3 \times 3 - 1) / (8 \times 3) \times 6.41 \times 4.05 + 0.24 \times 4.05 \times 4.05 / 8 = 9.13 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

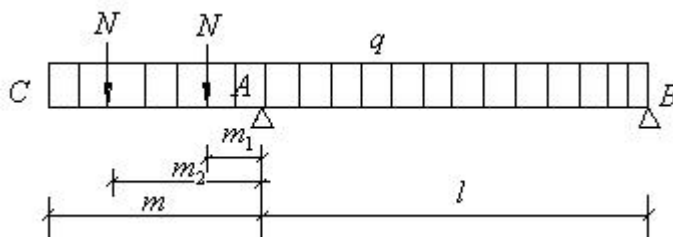
$$\text{抗弯计算强度 } f = 9.13 \times 10^6 / 185000.0 = 49.36 \text{ N/mm}^2$$

水平支撑梁的抗弯计算强度小于 215.0 N/mm^2 , 满足要求!

八、悬挑梁的受力计算

悬挑脚手架按照带悬臂的单跨梁计算

悬出端 C 受脚手架荷载 N 的作用, 里端 B 为与楼板的锚固点, A 为墙支点。



悬臂单跨梁计算简图

支座反力计算公式

$$R_A = N(2 + k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 + k)^2$$

$$R_B = -N(k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 - k^2)$$

支座弯矩计算公式

$$M_A = -N(m_2 + m_1) - \frac{qm^2}{2}$$

C 点最大挠度计算公式

$$V_{\max} = \frac{Nm_2^2l}{3EI}(1+k_2) + \frac{Nm_1^2l}{3EI}(1+k_1) + \frac{ml}{3EI} \cdot \frac{ql^2}{8}(-1+4k^2+3k^3) \\ + \frac{Nm_1l}{6EI}(2+3k_1)(m-m_1) + \frac{Nm_2l}{6EI}(2+3k_2)(m-m_2)$$

其中 $k = m/l$, $k_1 = m_1/l$, $k_2 = m_2/l$ 。

本工程算例中, $m = 1500\text{mm}$, $l = 2200\text{mm}$, $m_1 = 300\text{mm}$, $m_2 = 1200\text{mm}$;

水平支撑梁的截面惯性矩 $I = 1660.00\text{cm}^4$, 截面模量(抵抗矩) $W = 185.00\text{cm}^3$ 。

受脚手架作用传递集中力 $P=20.17\text{kN}$

水平钢梁自重强度计算荷载 $q=1.2 \times 30.60 \times 0.0001 \times 7.85 \times 10=0.29\text{kN/m}$

$$k=1.50/2.20=0.68$$

$$k_1=0.30/2.20=0.14$$

$$k_2=1.20/2.20=0.55$$

代入公式, 经过计算得到

支座反力 $R_A=54.995\text{kN}$

支座反力 $R_B=-13.584\text{kN}$

最大弯矩 $M_A=30.583\text{kN.m}$

抗弯计算强度 $f=30.583 \times 10^6 / (1.05 \times 185000.0)=157.439\text{N/mm}^2$

水平支撑梁的抗弯计算强度小于 215.0N/mm^2 , 满足要求!

受脚手架作用集中计算荷载 $N=3.21+1.82=5.03\text{kN}$

水平钢梁自重计算荷载 $q=30.60 \times 0.0001 \times 7.85 \times 10=0.24\text{kN/m}$

最大挠度 $V_{\max}=3.772\text{mm}$

按照《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130-2011)表 5.1.8

规定:

水平支撑梁的最大挠度小于 3000.0/250, 满足要求!

九、悬挑梁的整体稳定性计算

水平钢梁采用 18 号工字钢, 计算公式如下

$$\sigma = \frac{M}{\phi_b W_x} \leq [f]$$

其中 ϕ_b —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数, 查表《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录得到:

$$\phi_b = 2.00$$

由于 ϕ_b 大于 0.6, 按照《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录 B 其值

$$\phi_b' = 1.07 - 0.282 / \phi_b = 0.929$$

经过计算得到强度 $\sigma = 30.58 \times 10^6 / (0.929 \times 185000.00) = 177.95 \text{ N/mm}^2$;

水平钢梁的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

十、锚固段与楼板连接的计算

1. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓, 螺栓粘结力锚固强度计算如下:

锚固深度计算公式

$$h \geq \frac{N}{\pi d [f_b]}$$

其中 N —— 锚固力, 即作用于楼板螺栓的轴向拉力, $N = 13.58 \text{ kN}$;

d —— 楼板螺栓的直径, $d = 20 \text{ mm}$;

$[f_b]$ —— 楼板螺栓与混凝土的容许粘接强度, 计算中取 1.5 N/mm^2 ;

h —— 楼板螺栓在混凝土楼板内的锚固深度。

经过计算得到 h 要大于 $13584.07 / (3.1416 \times 20 \times 1.5) = 144.1 \text{ mm}$ 。

2. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓, 混凝土局部承压计算如下:

混凝土局部承压的螺栓拉力要满足公式

$$N \leq (b^2 - \frac{\pi d^2}{4}) f_{cc}$$

其中 N —— 锚固力，即作用于楼板螺栓的轴向拉力，N = 13.58kN；

d —— 楼板螺栓的直径，d = 20mm；

b —— 楼板内的螺栓锚板边长，b=5d=100mm；

f_{cc} —— 混凝土的局部挤压强度设计值，计算中取
 $0.95f_c=13.59\text{N/mm}^2$ ；

经过计算得到公式右边等于 131.6kN

楼板混凝土局部承压计算满足要求！

3. 水平钢梁与楼板锚固压点部位楼板负弯矩配筋计算如下：

锚固压点处楼板负弯矩数值为 $M = 13.58 \times 2.20 / 2 = 14.94\text{kN.m}$

根据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 6.2.10 条

$$\alpha_s = \frac{M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s}$$

$$\gamma_s = 1 - \xi / 2$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_s h_0 f_y}$$

其中 α_1 —— 系数，当混凝土强度不超过 C50 时， α_1 取为 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时，

α_1 取为 0.94，期间按线性内插法确定；

f_c —— 混凝土抗压强度设计值；

h_0 —— 截面有效高度；

f_y —— 钢筋受拉强度设计值。

截面有效高度 $h_0 = 100 - 15 = 85\text{mm}$;

$$\alpha_s = 14.94 \times 10^6 / (1.000 \times 14.300 \times 1.4 \times 1000 \times 85.0^2) = 0.1070$$

$$\xi = 1 - (1 - 2 \times 0.1070)^{1/2} = 0.1140$$

$$\gamma_s = 1 - 0.1140 / 2 = 0.9430$$

楼板压点负弯矩配筋为

$$A_s = 14.94 \times 10^6 / (0.9430 \times 85.0 \times 210.0) = 887.5 \text{ mm}^2$$

悬挑脚手架计算满足要求!

10.4 型钢悬挑脚手架计算书(5m 长型钢悬挑主梁, 最大悬挑长度 2.2m)

依据规范:

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012

《钢结构设计规范》GB50017-2003

《混凝土结构设计规范》GB50010-2010

计算参数:

钢管强度为 205.0 N/mm^2 , 钢管强度折减系数取 1.00。

双排脚手架, 搭设高度 20.0 米, 立杆采用单立管。

立杆的纵距 1.35 米, 立杆的横距 0.90 米, 内排架距离结构 0.30 米, 立杆的步距 1.80 米。

采用的钢管类型为 $\Phi 48 \times 3.0$,

连墙件采用 2 步 3 跨, 竖向间距 3.60 米, 水平间距 4.05 米。

施工活荷载为 3.0 kN/m^2 , 同时考虑 1 层施工。

脚手板采用木板, 荷载为 0.35 kN/m^2 , 按照铺设 2 层计算。

栏杆采用木板, 荷载为 0.17 kN/m , 安全网荷载取 0.0100 kN/m^2 。

脚手板下小横杆在大横杆上面，且主结点间增加一根小横杆。

基本风压 0.40kN/m^2 ，高度变化系数 2.2300，体型系数 1.0750。

悬挑水平钢梁采用 18 号工字钢，建筑物外悬挑段长度 2.20 米，建筑物内锚固段长度 2.50 米。

悬挑水平钢梁采用悬臂式结构，没有钢丝绳或支杆与建筑物拉结。

钢管惯性矩计算采用 $I = \pi (D^4 - d^4) / 64$ ，抵抗距计算采用

$W = \pi (D^4 - d^4) / 32D$ 。

一、小横杆的计算

小横杆按照简支梁进行强度和挠度计算，小横杆在大横杆的上面。

按照小横杆上面的脚手板和活荷载作为均布荷载计算小横杆的最大弯矩和变形。

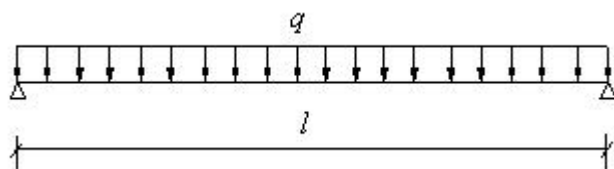
1. 均布荷载值计算

小横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038\text{kN/m}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.350 \times 1.350 / 2 = 0.236\text{kN/m}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 1.350 / 2 = 2.025\text{kN/m}$

荷载的计算值 $q = 1.2 \times 0.038 + 1.2 \times 0.236 + 1.4 \times 2.025 = 3.165\text{kN/m}$



小横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为简支梁均布荷载作用下的弯矩

计算公式如下：

$$M_{q\max} = ql^2/8$$

$$M = 3.165 \times 0.900^2 / 8 = 0.320 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 0.320 \times 10^6 / 4491.0 = 71.346 \text{ N/mm}^2$$

小横杆的计算强度小于 205.0 N/mm^2 , 满足要求!

3. 挠度计算

最大挠度考虑为简支梁均布荷载作用下的挠度

计算公式如下:

$$V_{q\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

$$\text{荷载标准值 } q = 0.038 + 0.236 + 2.025 = 2.300 \text{ kN/m}$$

简支梁均布荷载作用下的最大挠度

$$V = 5.0 \times 2.300 \times 900.0^4 / (384 \times 2.06 \times 10^5 \times 107780.0) = 0.885 \text{ mm}$$

小横杆的最大挠度小于 $900.0/150$ 与 10 mm , 满足要求!

二、大横杆的计算

大横杆按照三跨连续梁进行强度和挠度计算, 小横杆在大横杆的上面。

用小横杆支座的最大反力计算值, 在最不利荷载布置下计算大横杆的最大弯矩和变形。

1. 荷载值计算

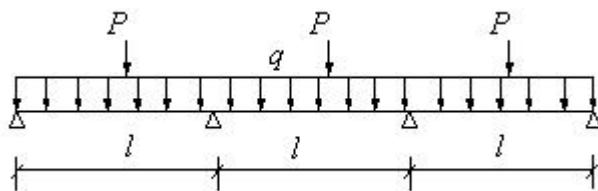
$$\text{小横杆的自重标准值 } P_1 = 0.038 \times 0.900 = 0.035 \text{ kN}$$

$$\text{脚手板的荷载标准值 } P_2 = 0.350 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 0.213 \text{ kN}$$

$$\text{活荷载标准值 } Q = 3.000 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 1.822 \text{ kN}$$

荷载的计算值

$$P = (1.2 \times 0.035 + 1.2 \times 0.213 + 1.4 \times 1.822) / 2 = 1.424 \text{ kN}$$



大横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的弯矩和均布荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{\max} = 0.08ql^2$$

集中荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{P\max} = 0.175Pl$$

$$M = 0.08 \times (1.2 \times 0.038) \times 1.350^2 + 0.175 \times 1.424 \times 1.350 = 0.343 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 0.343 \times 10^6 / 4491.0 = 76.409 \text{ N/mm}^2$$

大横杆的计算强度小于 205.0 N/mm^2 ，满足要求！

3. 挠度计算

最大挠度考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的挠度和均布荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{\max} = 0.677 \frac{ql^4}{100EI}$$

集中荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{P\max} = 1.146 \times \frac{Pl^3}{100EI}$$

大横杆自重均布荷载引起的最大挠度

$$V_1 = 0.677 \times 0.038 \times 1350.00^4 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 0.04 \text{ mm}$$

集中荷载标准值 $P = 0.035 + 0.213 + 1.822 = 2.070 \text{ kN}$

集中荷载标准值最不利分配引起的最大挠度

$$V_1 = 1.146 \times 2069.685 \times 1350.00^3 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 2.63 \text{ mm}$$

最大挠度和

$$V = V_1 + V_2 = 2.667 \text{ mm}$$

大横杆的最大挠度小于 1350.0/150 与 10mm, 满足要求!

三、扣件抗滑力的计算

纵向或横向水平杆与立杆连接时, 扣件的抗滑承载力按下式计算(规范 5.2.5):

$$R \leq R_c$$

其中 R_c —— 扣件抗滑承载力设计值, 取 8.0kN;

R —— 纵向或横向水平杆传给立杆的竖向作用力设计值;

横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038 \times 1.350 = 0.052 \text{ kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.350 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 0.213 \text{ kN}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 1.822 \text{ kN}$

荷载的计算值 $R = 1.2 \times 0.052 + 1.2 \times 0.213 + 1.4 \times 1.822 = 2.869 \text{ kN}$

单扣件抗滑承载力的设计计算满足要求!

当直角扣件的拧紧力矩达 40--65N.m 时, 试验表明: 单扣件在 12kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 8.0kN;

双扣件在 20kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 12.0kN;

四、脚手架荷载标准值

作用于脚手架的荷载包括静荷载、活荷载和风荷载。

静荷载标准值包括以下内容:

(1) 每米立杆承受的结构自重标准值(kN/m)；本例为 0.1072

$$N_{G1} = 0.107 \times 20.000 = 2.145 \text{ kN}$$

(2) 脚手板的自重标准值(kN/m²)；本例采用木脚手板，标准值为 0.35

$$N_{G2} = 0.350 \times 2 \times 1.350 \times (0.900 + 0.300) / 2 = 0.567 \text{ kN}$$

(3) 栏杆与挡脚手板自重标准值(kN/m)；本例采用栏杆、木脚手板挡挡板，标准值为 0.17

$$N_{G3} = 0.170 \times 1.350 \times 2 / 2 = 0.230 \text{ kN}$$

(4) 吊挂的安全设施荷载，包括安全网(kN/m²)；0.010

$$N_{G4} = 0.010 \times 1.350 \times 20.000 = 0.270 \text{ kN}$$

经计算得到，静荷载标准值 $N_G = N_{G1} + N_{G2} + N_{G3} + N_{G4} = 3.211 \text{ kN}$ 。

活荷载为施工荷载标准值产生的轴向力总和，内、外立杆按一纵距内施工荷载总和的 1/2 取值。

经计算得到，活荷载标准值 $N_Q = 3.000 \times 1 \times 1.350 \times 0.900 / 2 = 1.822 \text{ kN}$

风荷载标准值应按照以下公式计算

$$W_k = U_z \cdot U_s \cdot W_0$$

其中 W_0 —— 基本风压(kN/m²)， $W_0 = 0.400$

U_z —— 风荷载高度变化系数， $U_z = 2.230$

U_s —— 风荷载体型系数： $U_s = 1.075$

经计算得到，风荷载标准值 $W_k = 0.400 \times 2.230 \times 1.075 = 0.959 \text{ kN/m}^2$ 。

考虑风荷载时，立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 0.9 \times 1.4N_Q$$

经过计算得到，底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 3.211 + 0.9 \times 1.4 \times 1.822 = 6.150 \text{ kN}$$

不考虑风荷载时,立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 1.4N_Q$$

经过计算得到,底部立杆的最大轴向压力

$$N=1.2 \times 3.211+1.4 \times 1.822=6.405 \text{ kN}$$

风荷载设计值产生的立杆段弯矩 M_W 计算公式

$$M_W = 0.9 \times 1.4 W_k l_a h^2 / 10$$

其中 W_k —— 风荷载标准值 (kN/m^2);

l_a —— 立杆的纵距 (m);

h —— 立杆的步距 (m)。

经过计算得到风荷载产生的弯矩:

$$M_W=0.9 \times 1.4 \times 0.959 \times 1.350 \times 1.800 \times 1.800 / 10 = 0.528 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

五、立杆的稳定性计算

1. 不考虑风荷载时,立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N=6.405 \text{ kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i=1.60 \text{ cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,

$$l_0=1.155 \times 1.500 \times 1.800=3.118 \text{ m};$$

A —— 立杆净截面面积, $A=4.239 \text{ cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W=4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16=196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到 0.190;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f]=205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得:

$$\sigma = 6405 / (0.19 \times 424) = 79.714 \text{N}/\text{mm}^2;$$

不考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

2. 考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_w}{W} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N=6.150\text{kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i=1.60\text{cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定, $l_0=1.155 \times 1.500 \times 1.800=3.118\text{m}$;

A —— 立杆净截面面积, $A=4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W=4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16=196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到 0.190;

M_W —— 计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩, $M_W=0.528\text{kN}\cdot\text{m}$;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f]=205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得到

$$\sigma = 6150 / (0.19 \times 424) + 528000 / 4491 = 194.212\text{N}/\text{mm}^2;$$

考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

六、连墙件的计算

连墙件的轴向力计算值应按照下式计算:

$$N_l = N_{lw} + N_o$$

其中 N_{lw} —— 风荷载产生的连墙件轴向力设计值 (kN), 应按照下式计算:

$$N_{lw} = 1.4 \times w_k \times A_w$$

w_k —— 风荷载标准值, $w_k = 0.959\text{kN}/\text{m}^2$;

A_w —— 每个连墙件的覆盖面积内脚手架外侧的迎风面积:

$$A_w = 3.60 \times 4.05 = 14.580\text{m}^2;$$

N_o —— 连墙件约束脚手架平面外变形所产生的轴向力 (kN); $N_o =$

3.000

经计算得到 $N_{lw} = 19.573\text{kN}$, 连墙件轴向力计算值 $N_l = 22.573\text{kN}$

根据连墙件杆件强度要求, 轴向力设计值 $N_{f1} = 0.85A_c[f]$

根据连墙件杆件稳定性要求, 轴向力设计值 $N_{f2} = 0.85\phi A[f]$

连墙件轴向力设计值 $N_f = 0.85\phi A[f]$

其中 ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 $l/i=30.00/1.60$ 的结果查表得到 $\phi=0.95$;

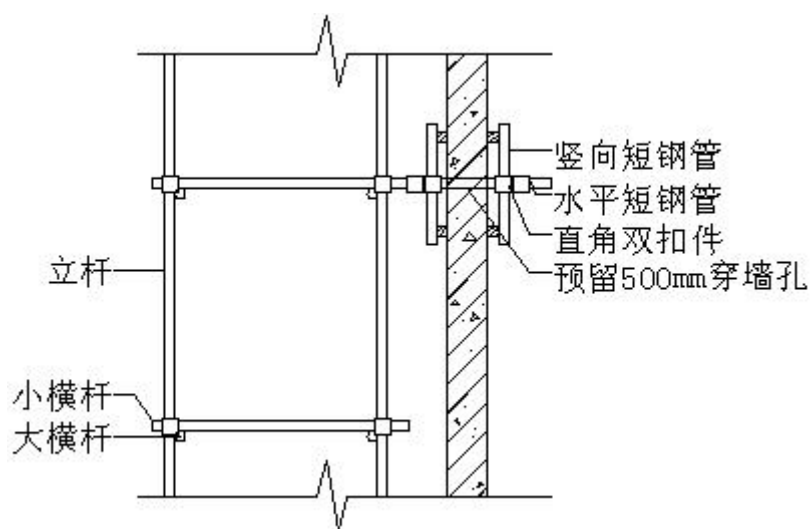
净截面面积 $A_c = 4.24\text{cm}^2$ ；毛截面面积 $A = 18.10\text{cm}^2$ ； $[f]$
 $= 205.00\text{N/mm}^2$ 。

经过计算得到 $N_{f1} = 73.865\text{kN}$

$N_{f1} > N_1$ ，连墙件的设计计算满足强度设计要求！

经过计算得到 $N_{f2} = 300.110\text{kN}$

$N_{f2} > N_1$ ，连墙件的设计计算满足稳定性设计要求！

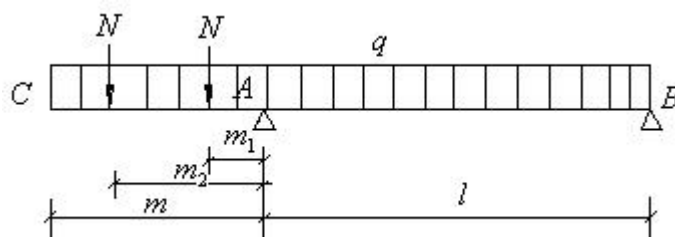


连墙件双扣件连接示意图

七、悬挑梁的受力计算

悬挑脚手架按照带悬臂的单跨梁计算

悬出端 C 受脚手架荷载 N 的作用，里端 B 为与楼板的锚固点，A 为墙支点。



悬臂单跨梁计算简图

支座反力计算公式

$$R_A = N(2 + k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 + k)^2$$

$$R_B = -N(k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 - k^2)$$

支座弯矩计算公式

$$M_A = -N(m_2 + m_1) - \frac{qm^2}{2}$$

C 点最大挠度计算公式

$$V_{\max} = \frac{Nm_2^2 l}{3EI}(1 + k_2) + \frac{Nm_1^2 l}{3EI}(1 + k_1) + \frac{ml}{3EI} \cdot \frac{ql^2}{8}(-1 + 4k^2 + 3k^3) \\ + \frac{Nm_1 l}{6EI}(2 + 3k_1)(m - m_1) + \frac{Nm_2 l}{6EI}(2 + 3k_2)(m - m_2)$$

其中 $k = m/l$, $k_1 = m_1/l$, $k_2 = m_2/l$ 。

本工程算例中, $m = 2200\text{mm}$, $l = 2500\text{mm}$, $m_1 = 300\text{mm}$, $m_2 = 1200\text{mm}$;

水平支撑梁的截面惯性矩 $I = 1660.00\text{cm}^4$, 截面模量(抵抗矩) $W = 185.00\text{cm}^3$ 。

受脚手架作用集中强度计算荷载 $N=6.41\text{kN}$

水平钢梁自重强度计算荷载 $q=1.2 \times 30.60 \times 0.0001 \times 7.85 \times 10=0.29\text{kN/m}$

$$k=2.20/2.50=0.88$$

$$k_1=0.30/2.50=0.12$$

$$k_2=1.20/2.50=0.48$$

代入公式, 经过计算得到

支座反力 $R_A=17.927\text{kN}$

支座反力 $R_B=-3.762\text{kN}$

最大弯矩 $M_A=10.305\text{kN.m}$

抗弯计算强度 $f=10.305 \times 10^6 / (1.05 \times 185000.0)=53.052\text{N/mm}^2$

水平支撑梁的抗弯计算强度小于 215.0N/mm^2 , 满足要求!

受脚手架作用集中计算荷载 $N=3.21+1.82=5.03\text{kN}$

水平钢梁自重计算荷载 $q=30.60\times 0.0001\times 7.85\times 10=0.24\text{kN/m}$

最大挠度 $V_{\max}=6.512\text{mm}$

按照《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130-2011)表 5.1.8 规定:

水平支撑梁的最大挠度小于 $4400.0/250$, 满足要求!

八、悬挑梁的整体稳定性计算

水平钢梁采用 18 号工字钢, 计算公式如下

$$\sigma = \frac{M}{\phi_b W_x} \leq [f]$$

其中 ϕ_b —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数, 查表《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录得到:

$$\phi_b = 2.00$$

由于 ϕ_b 大于 0.6, 按照《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录 B 其值

$$\phi_b' = 1.07 - 0.282 / \phi_b = 0.929$$

经过计算得到强度 $\sigma = 10.31 \times 10^6 / (0.929 \times 185000.00) = 59.96\text{N/mm}^2$;

水平钢梁的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

九、锚固段与楼板连接的计算

1. 水平钢梁与楼板压点如果采用螺栓, 螺栓粘结力锚固强度计算如下:

锚固深度计算公式

$$h \geq \frac{N}{\pi d [f_b]}$$

其中 N —— 锚固力, 即作用于楼板螺栓的轴向拉力, $N = 3.76\text{kN}$;

d —— 楼板螺栓的直径, $d = 20\text{mm}$;

$[f_b]$ —— 楼板螺栓与混凝土的容许粘接强度, 计算中取 1.5N/mm^2 ;

h —— 楼板螺栓在混凝土楼板内的锚固深度。

经过计算得到 h 要大于 $3761.84 / (3.1416 \times 20 \times 1.5) = 39.9\text{mm}$ 。

2. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓, 混凝土局部承压计算如下:

混凝土局部承压的螺栓拉力要满足公式

$$N \leq (b^2 - \frac{\pi d^2}{4}) f_{cc}$$

其中 N —— 锚固力, 即作用于楼板螺栓的轴向拉力, $N = 3.76\text{kN}$;

d —— 楼板螺栓的直径, $d = 20\text{mm}$;

b —— 楼板内的螺栓锚板边长, $b = 5d = 100\text{mm}$;

f_{cc} —— 混凝土的局部挤压强度设计值, 计算中取 $0.95f_c = 13.59\text{N/mm}^2$;

经过计算得到公式右边等于 131.6kN

楼板混凝土局部承压计算满足要求!

3. 水平钢梁与楼板锚固压点部位楼板负弯矩配筋计算如下:

锚固压点处楼板负弯矩数值为 $M = 3.76 \times 2.50 / 2 = 4.70\text{kN.m}$

根据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 6.2.10 条

$$\alpha_s = \frac{M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s}$$

$$\gamma_s = 1 - \xi / 2$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_s h_0 f_y}$$

其中 α_1 ——系数，当混凝土强度不超过 C50 时， α_1 取为 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时，

α_1 取为 0.94，期间按线性内插法确定；

f_c ——混凝土抗压强度设计值；

h_0 ——截面有效高度；

f_y ——钢筋受拉强度设计值。

截面有效高度 $h_0 = 100 - 15 = 85\text{mm}$ ；

$$\alpha_s = 4.70 \times 10^6 / (1.000 \times 14.300 \times 1.4 \times 1000 \times 85.0^2) = 0.0340$$

$$\xi = 1 - (1 - 2 \times 0.0340)^{1/2} = 0.0340$$

$$\gamma_s = 1 - 0.0340 / 2 = 0.9830$$

楼板压点负弯矩配筋为

$$A_s = 4.70 \times 10^6 / (0.9830 \times 85.0 \times 210.0) = 268.0 \text{ mm}^2$$

悬挑脚手架计算满足要求！

10.4 型钢悬挑脚手架计算书(7m 长型钢悬挑主梁，悬挑长度 1.5m，带联梁)

依据规范：

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012

《钢结构设计规范》GB50017-2003

《混凝土结构设计规范》GB50010-2010

计算参数：

钢管强度为 205.0 N/mm^2 ，钢管强度折减系数取 1.00。

双排脚手架，搭设高度 20.0 米，立杆采用单立管。

立杆的纵距 1.35 米，立杆的横距 0.90 米，内排架距离结构 0.30 米，立杆的步距 1.80 米。

采用的钢管类型为 $\Phi 48 \times 3.0$ ，

连墙件采用 2 步 3 跨，竖向间距 3.60 米，水平间距 4.05 米。

施工活荷载为 3.0 kN/m^2 ，同时考虑 1 层施工。

脚手板采用竹笆片，荷载为 0.10 kN/m^2 ，按照铺设 2 层计算。

栏杆采用木板，荷载为 0.17 kN/m ，安全网荷载取 0.0100 kN/m^2 。

脚手板下小横杆在大横杆上面，且主结点间增加一根小横杆。

基本风压 0.40 kN/m^2 ，高度变化系数 2.2300，体型系数 1.0750。

悬挑水平钢梁采用 18 号工字钢，建筑物外悬挑段长度 1.50 米，建筑物内锚固段长度 5.20 米。

悬挑水平钢梁上面的联梁采用 18 号工字钢，相邻悬挑钢梁之间的联梁上最多布置 3 根立杆。

悬挑水平钢梁采用悬臂式结构，没有钢丝绳或支杆与建筑物拉结。

钢管惯性矩计算采用 $I = \pi (D^4 - d^4) / 64$ ，抵抗距计算采用 $W = \pi (D^4 - d^4) / 32D$ 。

一、小横杆的计算

小横杆按照简支梁进行强度和挠度计算，小横杆在大横杆的上面。

按照小横杆上面的脚手板和活荷载作为均布荷载计算小横杆的最大弯矩和变形。

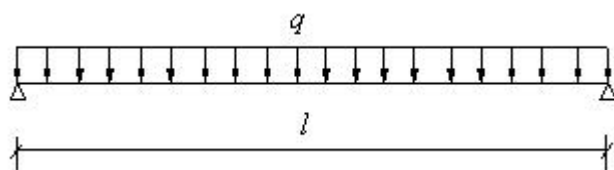
1. 均布荷载值计算

小横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038 \text{ kN/m}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.100 \times 1.350 / 2 = 0.068 \text{ kN/m}$

活荷载标准值 $Q=3.000 \times 1.350/2=2.025\text{kN/m}$

荷载的计算值 $q=1.2 \times 0.038+1.2 \times 0.068+1.4 \times 2.025=2.962\text{kN/m}$



小横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为简支梁均布荷载作用下的弯矩

计算公式如下：

$$M_{q\max} = ql^2/8$$

$$M=2.962 \times 0.900^2/8=0.300\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\sigma = 0.300 \times 10^6/4491.0=66.780\text{N/mm}^2$$

小横杆的计算强度小于 205.0N/mm^2 , 满足要求!

3. 挠度计算

最大挠度考虑为简支梁均布荷载作用下的挠度

计算公式如下：

$$V_{q\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

荷载标准值 $q=0.038+0.068+2.025=2.131\text{kN/m}$

简支梁均布荷载作用下的最大挠度

$$V=5.0 \times 2.131 \times 900.0^4/(384 \times 2.06 \times 10^5 \times 107780.0)=0.820\text{mm}$$

小横杆的最大挠度小于 $900.0/150$ 与 10mm , 满足要求!

二、大横杆的计算

大横杆按照三跨连续梁进行强度和挠度计算, 小横杆在大横杆的上面。

用小横杆支座的最大反力计算值，在最不利荷载布置下计算大横杆的最大弯矩和变形。

1. 荷载值计算

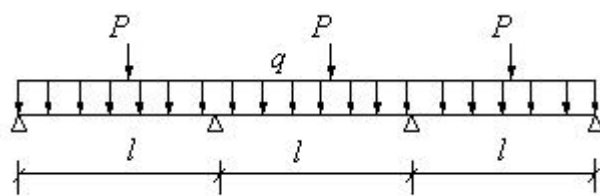
小横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038 \times 0.900 = 0.035 \text{ kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.100 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 0.061 \text{ kN}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 1.822 \text{ kN}$

荷载的计算值

$$P = (1.2 \times 0.035 + 1.2 \times 0.061 + 1.4 \times 1.822) / 2 = 1.333 \text{ kN}$$



大横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的弯矩和均布荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{\max} = 0.08ql^2$$

集中荷载最大弯矩计算公式如下：

$$M_{P\max} = 0.175Pl$$

$$M = 0.08 \times (1.2 \times 0.038) \times 1.350^2 + 0.175 \times 1.333 \times 1.350 = 0.322 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 0.322 \times 10^6 / 4491.0 = 71.615 \text{ N/mm}^2$$

大横杆的计算强度小于 205.0 N/mm^2 ，满足要求！

3. 挠度计算

最大挠度考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的挠度和

均布荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{\max} = 0.677 \frac{q l^4}{100EI}$$

集中荷载最大挠度计算公式如下：

$$V_{P\max} = 1.146 \times \frac{Pl^3}{100EI}$$

大横杆自重均布荷载引起的最大挠度

$$V_1 = 0.677 \times 0.038 \times 1350.00^4 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 0.04\text{mm}$$

集中荷载标准值 $P = 0.035 + 0.061 + 1.822 = 1.918\text{kN}$

集中荷载标准值最不利分配引起的最大挠度

$$V_1 = 1.146 \times 1917.810 \times 1350.00^3 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 2.44\text{mm}$$

最大挠度和

$$V = V_1 + V_2 = 2.474\text{mm}$$

大横杆的最大挠度小于 $1350.0/150$ 与 10mm , 满足要求!

三、扣件抗滑力的计算

纵向或横向水平杆与立杆连接时，扣件的抗滑承载力按照下式计算(规范 5.2.5)：

$$R \leq R_c$$

其中 R_c —— 扣件抗滑承载力设计值, 取 8.0kN ;

R —— 纵向或横向水平杆传给立杆的竖向作用力设计值;

横杆的自重标准值 $P_1 = 0.038 \times 1.350 = 0.052\text{kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2 = 0.100 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 0.061\text{kN}$

活荷载标准值 $Q = 3.000 \times 0.900 \times 1.350 / 2 = 1.822\text{kN}$

荷载的计算值 $R=1.2 \times 0.052 + 1.2 \times 0.061 + 1.4 \times 1.822 = 2.687\text{kN}$

单扣件抗滑承载力的设计计算满足要求!

当直角扣件的拧紧力矩达 40—65N.m 时, 试验表明: 单扣件在 12kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 8.0kN;

双扣件在 20kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 12.0kN;

四、脚手架荷载标准值

作用于脚手架的荷载包括静荷载、活荷载和风荷载。

静荷载标准值包括以下内容:

(1) 每米立杆承受的结构自重标准值 (kN/m); 本例为 0.1072

$$N_{G1} = 0.107 \times 20.000 = 2.145\text{kN}$$

(2) 脚手板的自重标准值 (kN/m²); 本例采用竹笆片脚手板, 标准值为 0.10

$$N_{G2} = 0.100 \times 2 \times 1.350 \times (0.900 + 0.300) / 2 = 0.162\text{kN}$$

(3) 栏杆与挡脚手板自重标准值 (kN/m); 本例采用栏杆、木脚手板挡挡板, 标准值为 0.17

$$N_{G3} = 0.170 \times 1.350 \times 2 / 2 = 0.230\text{kN}$$

(4) 吊挂的安全设施荷载, 包括安全网 (kN/m²); 0.010

$$N_{G4} = 0.010 \times 1.350 \times 20.000 = 0.270\text{kN}$$

经计算得到, 静荷载标准值 $N_G = N_{G1} + N_{G2} + N_{G3} + N_{G4} = 2.806\text{kN}$ 。

活荷载为施工荷载标准值产生的轴向力总和, 内、外立杆按一纵距内施工荷载总和的 1/2 取值。

经计算得到, 活荷载标准值 $N_Q = 3.000 \times 1 \times 1.350 \times 0.900 / 2 = 1.822\text{kN}$

风荷载标准值应按照以下公式计算

$$W_k = U_z \cdot U_s \cdot W_0$$

其中 W_0 —— 基本风压 (kN/m^2), $W_0 = 0.400$

U_z —— 风荷载高度变化系数, $U_z = 2.230$

U_s —— 风荷载体型系数: $U_s = 1.075$

经计算得到, 风荷载标准值 $W_k = 0.400 \times 2.230 \times 1.075 = 0.959 \text{kN/m}^2$ 。

考虑风荷载时, 立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 0.9 \times 1.4N_Q$$

经过计算得到, 底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 2.806 + 0.9 \times 1.4 \times 1.822 = 5.664 \text{kN}$$

不考虑风荷载时, 立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 1.4N_Q$$

经过计算得到, 底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 2.806 + 1.4 \times 1.822 = 5.919 \text{kN}$$

风荷载设计值产生的立杆段弯矩 M_W 计算公式

$$M_W = 0.9 \times 1.4W_k l_a h^2 / 10$$

其中 W_k —— 风荷载标准值 (kN/m^2);

l_a —— 立杆的纵距 (m);

h —— 立杆的步距 (m)。

经过计算得到风荷载产生的弯矩:

$$M_W = 0.9 \times 1.4 \times 0.959 \times 1.350 \times 1.800 \times 1.800 / 10 = 0.528 \text{kN} \cdot \text{m}$$

五、立杆的稳定性计算

1. 不考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N=5.919\text{kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i=1.60\text{cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,

$l_0=1.155 \times 1.500 \times 1.800=3.118\text{m}$;

A —— 立杆净截面面积, $A=4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W=4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16=196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到 0.190;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f]=205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得:

$$\sigma = 5919 / (0.19 \times 424) = 73.665\text{N}/\text{mm}^2;$$

不考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

2. 考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} + \frac{M_w}{W} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N=5.664\text{kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i=1.60\text{cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,
 $l_0 = 1.155 \times 1.500 \times 1.800 = 3.118\text{m}$;

A —— 立杆净截面面积, $A = 4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W = 4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16 = 196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到
 0.190;

M_W —— 计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩, $M_W = 0.528\text{kN}\cdot\text{m}$;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f] = 205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得到

$$\sigma = 5664 / (0.19 \times 424) + 528000 / 4491 = 188.164\text{N}/\text{mm}^2;$$

考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

六、连墙件的计算

连墙件的轴向力计算值应按照下式计算:

$$N_l = N_{lw} + N_o$$

其中 N_{lw} —— 风荷载产生的连墙件轴向力设计值 (kN), 应按照下式计算:

$$N_{lw} = 1.4 \times w_k \times A_w$$

w_k —— 风荷载标准值, $w_k = 0.959\text{kN}/\text{m}^2$;

A_w —— 每个连墙件的覆盖面积内脚手架外侧的迎风面积:

$$A_w = 3.60 \times 4.05 = 14.580\text{m}^2;$$

N_o —— 连墙件约束脚手架平面外变形所产生的轴向力 (kN); $N_o =$
 3.000

经计算得到 $N_{1w} = 19.573\text{kN}$ ，连墙件轴向力计算值 $N_1 = 22.573\text{kN}$

根据连墙件杆件强度要求，轴向力设计值 $N_{f1} = 0.85A_c[f]$

根据连墙件杆件稳定性要求，轴向力设计值 $N_{f2} = 0.85\phi A[f]$

连墙件轴向力设计值 $N_f = 0.85\phi A[f]$

其中 ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 $l/i=30.00/1.60$ 的结果查表得到 $\phi=0.95$;

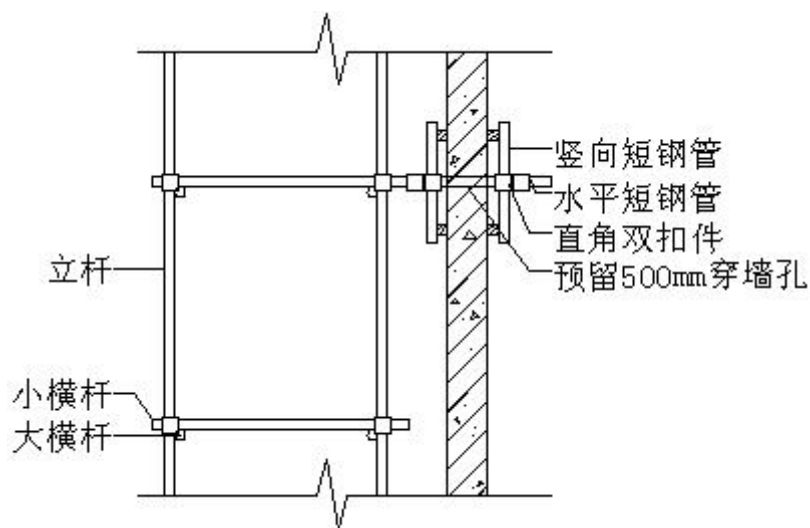
净截面面积 $A_c = 4.24\text{cm}^2$; 毛截面面积 $A = 18.10\text{cm}^2$; $[f] = 205.00\text{N/mm}^2$ 。

经过计算得到 $N_{f1} = 73.865\text{kN}$

$N_{f1} > N_1$ ，连墙件的设计计算满足强度设计要求!

经过计算得到 $N_{f2} = 300.110\text{kN}$

$N_{f2} > N_1$ ，连墙件的设计计算满足稳定性设计要求!



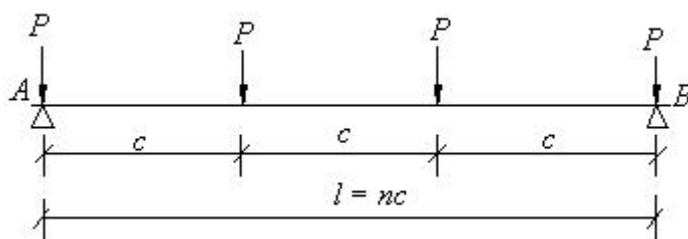
连墙件双扣件连接示意图

七、联梁的计算

按照集中荷载作用下的简支梁计算

集中荷载 P 传递力, $P=5.92\text{kN}$

计算简图如下



支撑按照简支梁的计算公式

$$R_A = R_B = \frac{n-1}{2}P + P$$

$$M_{\max} = \begin{cases} \frac{(n^2-1)Pl}{8n} & (n \text{ 奇数}) \\ \frac{nPl}{8} & (n \text{ 为偶数}) \end{cases}$$

其中 $n=4.05/1.35=3$

经过简支梁的计算得到

支座反力(考虑到支撑的自重) $R_A =$

$$R_B = (3-1)/2 \times 5.92 + 5.92 + 4.05 \times 0.24/2 = 12.32\text{kN}$$

通过传递到支座的最大力为(考虑到支撑的自重)

$$2 \times 5.92 + 5.92 + 4.05 \times 0.24 = 18.71\text{kN}$$

最大弯矩(考虑到支撑的自重)

$$M_{\max} = (3 \times 3 - 1) / (8 \times 3) \times 5.92 \times 4.05 + 0.24 \times 4.05 \times 4.05 / 8 = 8.48\text{kN} \cdot \text{m}$$

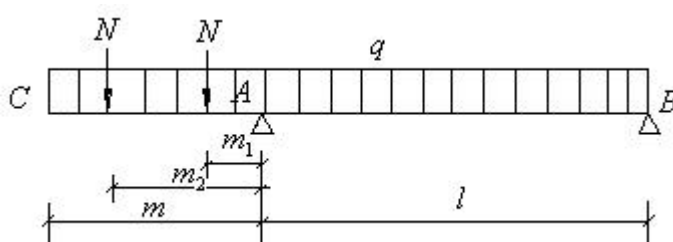
$$\text{抗弯计算强度 } f = 8.48 \times 10^6 / 185000.0 = 45.81\text{N/mm}^2$$

水平支撑梁的抗弯计算强度小于 215.0N/mm^2 , 满足要求!

八、悬挑梁的受力计算

悬挑脚手架按照带悬臂的单跨梁计算

悬出端 C 受脚手架荷载 N 的作用, 里端 B 为锚固点, A 为支点。



悬臂单跨梁计算简图

支座反力计算公式

$$R_A = N(2 + k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 + k)^2$$

$$R_B = -N(k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 - k^2)$$

支座弯矩计算公式

$$M_A = -N(m_2 + m_1) - \frac{qm^2}{2}$$

C 点最大挠度计算公式

$$V_{\max} = \frac{Nm_2^2 l}{3EI}(1 + k_2) + \frac{Nm_1^2 l}{3EI}(1 + k_1) + \frac{ml}{3EI} \cdot \frac{ql^2}{8}(-1 + 4k^2 + 3k^3) \\ + \frac{Nm_1 l}{6EI}(2 + 3k_1)(m - m_1) + \frac{Nm_2 l}{6EI}(2 + 3k_2)(m - m_2)$$

其中 $k = m/l$, $k_1 = m_1/l$, $k_2 = m_2/l$ 。

本工程算例中, $m = 1500\text{mm}$, $l = 5200\text{mm}$, $m_1 = 300\text{mm}$, $m_2 = 1200\text{mm}$;

水平支撑梁的截面惯性矩 $I = 1660.00\text{cm}^4$, 截面模量(抵抗矩) $W = 185.00\text{cm}^3$ 。

受脚手架作用传递集中力 $P=18.71\text{kN}$

水平钢梁自重强度计算荷载 $q=1.2 \times 30.60 \times 0.0001 \times 7.85 \times 10=0.29\text{kN/m}$

$$k=1.50/5.20=0.29$$

$$k_1=0.30/5.20=0.06$$

$$k_2=1.20/5.20=0.23$$

代入公式，经过计算得到

$$\text{支座反力 } R_A=44.071\text{kN}$$

$$\text{支座反力 } R_B=-4.711\text{kN}$$

$$\text{最大弯矩 } M_A=28.396\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{抗弯计算强度 } f=28.396\times 10^6/(1.05\times 185000.0)=146.180\text{N/mm}^2$$

水平支撑梁的抗弯计算强度小于 215.0N/mm^2 ，满足要求！

$$\text{受脚手架作用集中计算荷载 } N=2.81+1.82=4.63\text{kN}$$

$$\text{水平钢梁自重计算荷载 } q=30.60\times 0.0001\times 7.85\times 10=0.24\text{kN/m}$$

$$\text{最大挠度 } V_{\max}=6.069\text{mm}$$

按照《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130-2011)表 5.1.8 规定：

水平支撑梁的最大挠度小于 $3000.0/250$ ，满足要求！

九、悬挑梁的整体稳定性计算

水平钢梁采用 18 号工字钢，计算公式如下

$$\sigma = \frac{M}{\phi_b W_x} \leq [f]$$

其中 ϕ_b —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数，查表《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录得到：

$$\phi_b=2.00$$

由于 ϕ_b 大于 0.6，按照《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录 B 其值

$$\phi_b' = 1.07 - 0.282/\phi_b = 0.929$$

经过计算得到强度 $\sigma = 28.40\times 10^6/(0.929\times 185000.00)=165.22\text{N/mm}^2$ ；

水平钢梁的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

十、锚固段与楼板连接的计算

1. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓，螺栓粘结力锚固强度计算如下：

锚固深度计算公式

$$h \geq \frac{N}{\pi d [f_b]}$$

其中 N —— 锚固力，即作用于楼板螺栓的轴向拉力，N = 4.71kN；

d —— 楼板螺栓的直径，d = 20mm；

$[f_b]$ —— 楼板螺栓与混凝土的容许粘接强度，计算中取 1.5N/mm^2 ；

h —— 楼板螺栓在混凝土楼板内的锚固深度。

经过计算得到 h 要大于 $4711.23 / (3.1416 \times 20 \times 1.5) = 50.0\text{mm}$ 。

2. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓，混凝土局部承压计算如下：

混凝土局部承压的螺栓拉力要满足公式

$$N \leq (b^2 - \frac{\pi d^2}{4}) f_{cc}$$

其中 N —— 锚固力，即作用于楼板螺栓的轴向拉力，N = 4.71kN；

d —— 楼板螺栓的直径，d = 20mm；

b —— 楼板内的螺栓锚板边长，b=5d=100mm；

f_{cc} —— 混凝土的局部挤压强度设计值，计算中取 $0.95f_c = 13.59\text{N/mm}^2$ ；

经过计算得到公式右边等于 131.6kN

楼板混凝土局部承压计算满足要求！

3. 水平钢梁与楼板锚固压点部位楼板负弯矩配筋计算如下：

锚固压点处楼板负弯矩数值为 $M = 4.71 \times 5.20 / 2 = 12.25\text{kN.m}$

根据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 6.2.10 条

$$\alpha_s = \frac{M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s}$$

$$\gamma_s = 1 - \xi / 2$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_s h_0 f_y}$$

其中 α_1 ——系数，当混凝土强度不超过 C50 时， α_1 取为 1.0，当混凝土强度等级为 C80 时，

α_1 取为 0.94，期间按线性内插法确定；

f_c ——混凝土抗压强度设计值；

h_0 ——截面有效高度；

f_y ——钢筋受拉强度设计值。

截面有效高度 $h_0 = 100 - 15 = 85\text{mm}$ ；

$$\alpha_s = 12.25 \times 10^6 / (1.000 \times 14.300 \times 1.4 \times 1000 \times 85.0^2) = 0.0880$$

$$\xi = 1 - (1 - 2 \times 0.0880)^{1/2} = 0.0920$$

$$\gamma_s = 1 - 0.0920 / 2 = 0.9540$$

楼板压点负弯矩配筋为

$$A_s = 12.25 \times 10^6 / (0.9540 \times 85.0 \times 210.0) = 719.3 \text{ mm}^2$$

悬挑脚手架计算满足要求！

10.4 悬挑式扣件钢管脚手架计算书（5m 悬挑式联梁）

依据规范：

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130-2011

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012

《钢结构设计规范》GB50017-2003

《混凝土结构设计规范》GB50010-2010

计算参数：

钢管强度为 205.0 N/mm^2 ，钢管强度折减系数取 1.00。双排脚手架，搭设高度 20.0 米，立杆采用单立管。

立杆的纵距 1.35 米，立杆的横距 0.90 米，内排架距离结构 1.30 米，立杆的步距 1.80 米。

采用的钢管类型为 $\Phi 48 \times 3.0$ ，

连墙件采用 2 步 3 跨，竖向间距 3.60 米，水平间距 4.05 米。

施工活荷载为 3.0 kN/m^2 ，同时考虑 1 层施工。

脚手板采用木板，荷载为 0.35 kN/m^2 ，按照铺设 2 层计算。

栏杆采用木板，荷载为 0.17 kN/m ，安全网荷载取 0.0100 kN/m^2 。

脚手板下小横杆在大横杆上面，且主结点间增加一根小横杆。

基本风压 0.40 kN/m^2 ，高度变化系数 2.2300，体型系数 1.0750。

悬挑水平钢梁采用 20a 号工字钢，建筑物外悬挑段长度 2.35 米，建筑物内锚固段长度 2.70 米。

悬挑水平钢梁采用悬臂式结构，没有钢丝绳或支杆与建筑物拉结。

钢管惯性矩计算采用 $I = \pi (D^4 - d^4) / 64$ ，抵抗距计算采用 $W = \pi (D^4 - d^4) / 32D$ 。

一、小横杆的计算

小横杆按照简支梁进行强度和挠度计算，小横杆在大横杆的上面。

按照小横杆上面的脚手板和活荷载作为均布荷载计算小横杆的最大弯矩和变形。

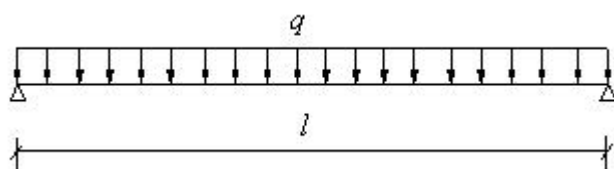
1. 均布荷载值计算

小横杆的自重标准值 $P_1=0.038\text{kN/m}$

脚手板的荷载标准值 $P_2=0.350 \times 1.350/2=0.236\text{kN/m}$

活荷载标准值 $Q=3.000 \times 1.350/2=2.025\text{kN/m}$

荷载的计算值 $q=1.2 \times 0.038 + 1.2 \times 0.236 + 1.4 \times 2.025=3.165\text{kN/m}$



小横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为简支梁均布荷载作用下的弯矩

计算公式如下：

$$M_{q\max} = ql^2/8$$

$$M=3.165 \times 0.900^2/8=0.320\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\sigma=0.320 \times 10^6/4491.0=71.346\text{N/mm}^2$$

小横杆的计算强度小于 205.0N/mm^2 ，满足要求！

3. 挠度计算

最大挠度考虑为简支梁均布荷载作用下的挠度

$$V_{q\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$$

计算公式如下：

荷载标准值 $q=0.038+0.236+2.025=2.300\text{kN/m}$

简支梁均布荷载作用下的最大挠度

$$V=5.0 \times 2.300 \times 900.0^4 / (384 \times 2.06 \times 10^5 \times 107780.0) = 0.885\text{mm}$$

小横杆的最大挠度小于 $900.0/150$ 与 10mm , 满足要求!

二、大横杆的计算

大横杆按照三跨连续梁进行强度和挠度计算, 小横杆在大横杆的上面。

用小横杆支座的最大反力计算值, 在最不利荷载布置下计算大横杆的最大弯矩和变形。

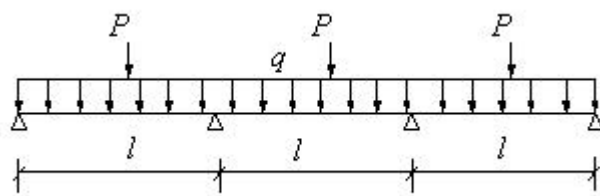
1. 荷载值计算

小横杆的自重标准值 $P_1=0.038 \times 0.900=0.035\text{kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2=0.350 \times 0.900 \times 1.350/2=0.213\text{kN}$

活荷载标准值 $Q=3.000 \times 0.900 \times 1.350/2=1.822\text{kN}$

荷载的计算值 $P=(1.2 \times 0.035+1.2 \times 0.213+1.4 \times 1.822)/2=1.424\text{kN}$



大横杆计算简图

2. 抗弯强度计算

最大弯矩考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的弯矩和
均布荷载最大弯矩计算公式如下:

$$M_{\max} = 0.08q l^2$$

集中荷载最大弯矩计算公式如下:

$$M_{P\max} = 0.175Pl$$

$$M=0.08 \times (1.2 \times 0.038) \times 1.350^2 + 0.175 \times 1.424 \times 1.350 = 0.343 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = 0.343 \times 10^6 / 4491.0 = 76.409 \text{ N/mm}^2$$

大横杆的计算强度小于 205.0 N/mm^2 , 满足要求!

3. 挠度计算

最大挠度考虑为大横杆自重均布荷载与荷载的计算值最不利分配的挠度和均布荷载最大挠度计算公式如下:

$$V_{\max} = 0.677 \frac{q l^4}{100EI}$$

集中荷载最大挠度计算公式如下:

$$V_{P\max} = 1.146 \times \frac{Pl^3}{100EI}$$

大横杆自重均布荷载引起的最大挠度

$$V_1 = 0.677 \times 0.038 \times 1350.00^4 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 0.04 \text{ mm}$$

集中荷载标准值 $P = 0.035 + 0.213 + 1.822 = 2.070 \text{ kN}$

集中荷载标准值最不利分配引起的最大挠度

$$V_1 = 1.146 \times 2069.685 \times 1350.00^3 / (100 \times 2.060 \times 10^5 \times 107780.000) = 2.63 \text{ mm}$$

最大挠度和 $V = V_1 + V_2 = 2.667 \text{ mm}$

大横杆的最大挠度小于 $1350.0/150$ 与 10 mm , 满足要求!

三、扣件抗滑力的计算

纵向或横向水平杆与立杆连接时, 扣件的抗滑承载力按照下式计算(规范 5.2.5):

$$R \leq R_c \text{ 其中 } R_c \text{ —— 扣件抗滑承载力设计值, 取 } 8.0 \text{ kN};$$

R —— 纵向或横向水平杆传给立杆的竖向作用力设计值;

横杆的自重标准值 $P_1=0.038 \times 1.350=0.052\text{kN}$

脚手板的荷载标准值 $P_2=0.350 \times 0.900 \times 1.350/2=0.213\text{kN}$

活荷载标准值 $Q=3.000 \times 0.900 \times 1.350/2=1.822\text{kN}$

荷载的计算值 $R=1.2 \times 0.052+1.2 \times 0.213+1.4 \times 1.822=2.869\text{kN}$

单扣件抗滑承载力的设计计算满足要求!

当直角扣件的拧紧力矩达 40—65N.m 时, 试验表明: 单扣件在 12kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 8.0kN;

双扣件在 20kN 的荷载下会滑动, 其抗滑承载力可取 12.0kN;

四、脚手架荷载标准值

作用于脚手架的荷载包括静荷载、活荷载和风荷载。

静荷载标准值包括以下内容:

(1) 每米立杆承受的结构自重标准值(kN/m); 本例为 0.1072

$$N_{G1} = 0.107 \times 20.000=2.145\text{kN}$$

(2) 脚手板的自重标准值(kN/m²); 本例采用木脚手板, 标准值为 0.35

$$N_{G2} = 0.350 \times 2 \times 1.350 \times (0.900+1.300)/2=1.039\text{kN}$$

(3) 栏杆与挡脚手板自重标准值(kN/m); 本例采用栏杆、木脚手板挡挡板, 标准值为 0.17, $N_{G3} = 0.170 \times 1.350 \times 2/2=0.230\text{kN}$

(4) 吊挂的安全设施荷载, 包括安全网(kN/m²); 0.010

$$N_{G4} = 0.010 \times 1.350 \times 20.000=0.270\text{kN}$$

经计算得到, 静荷载标准值 $N_G = N_{G1}+N_{G2}+N_{G3}+N_{G4} = 3.684\text{kN}$ 。

活荷载为施工荷载标准值产生的轴向力总和, 内、外立杆按一纵距内施工荷载总和的 1/2 取值。经计算得到, 活荷载标准值 $N_Q = 3.000 \times 1 \times 1.350 \times 0.900/2=1.822\text{kN}$

风荷载标准值应按照以下公式计算

$$W_k = U_z \cdot U_s \cdot W_0$$

其中 W_0 —— 基本风压 (kN/m^2)， $W_0 = 0.400$

U_z —— 风荷载高度变化系数， $U_z = 2.230$

U_s —— 风荷载体型系数： $U_s = 1.075$

经计算得到，风荷载标准值 $W_k = 0.400 \times 2.230 \times 1.075 = 0.959 \text{ kN/m}^2$ 。

考虑风荷载时，立杆的轴向压力设计值计算公式

$$N = 1.2N_G + 0.9 \times 1.4N_Q$$

经过计算得到，底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 3.684 + 0.9 \times 1.4 \times 1.822 = 6.717 \text{ kN}$$

不考虑风荷载时，立杆的轴向压力设计值计算公式 $N = 1.2N_G + 1.4N_Q$

经过计算得到，底部立杆的最大轴向压力

$$N = 1.2 \times 3.684 + 1.4 \times 1.822 = 6.972 \text{ kN}$$

风荷载设计值产生的立杆段弯矩 M_W 计算公式 $M_W = 0.9 \times 1.4W_k l_a h^2 / 10$ 其中 W_k —— 风荷载标准值 (kN/m^2)；

l_a —— 立杆的纵距 (m)； h —— 立杆的步距 (m)。

经过计算得到风荷载产生的弯矩：

$$M_W = 0.9 \times 1.4 \times 0.959 \times 1.350 \times 1.800 \times 1.800 / 10 = 0.528 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

五、立杆的稳定性计算

1. 不考虑风荷载时，立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{\phi A} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值， $N = 6.972 \text{ kN}$ ；

i —— 计算立杆的截面回转半径， $i = 1.60 \text{ cm}$ ；

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,
 $l_0=1.155 \times 1.500 \times 1.800=3.118\text{m}$;

A —— 立杆净截面面积, $A=4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W=4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16=196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到
 0.190; σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f]=205.00\text{N/mm}^2$;

经计算得: $\sigma = 6972 / (0.19 \times 424) = 86.770\text{N/mm}^2$;

不考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

2. 考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_w}{W} \leq [f]$$

其中 N —— 立杆的轴心压力设计值, $N=6.717\text{kN}$;

i —— 计算立杆的截面回转半径, $i=1.60\text{cm}$;

k —— 计算长度附加系数, 取 1.155;

u —— 计算长度系数, 由脚手架的高度确定, $u=1.500$;

l_0 —— 计算长度 (m), 由公式 $l_0 = kuh$ 确定,
 $l_0=1.155 \times 1.500 \times 1.800=3.118\text{m}$;

A —— 立杆净截面面积, $A=4.239\text{cm}^2$;

W —— 立杆净截面模量(抵抗矩), $W=4.491\text{cm}^3$;

λ —— 由长细比, 为 $3118/16=196$;

ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 l_0/i 的结果查表得到 0.190;

M_W —— 计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩, $M_W=0.528\text{kN}\cdot\text{m}$;

σ —— 钢管立杆受压强度计算值 (N/mm^2);

$[f]$ —— 钢管立杆抗压强度设计值, $[f]=205.00\text{N}/\text{mm}^2$;

经计算得到

$$\sigma = 6717 / (0.19 \times 424) + 528000 / 4491 = 201.269 \text{N}/\text{mm}^2;$$

考虑风荷载时, 立杆的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

六、连墙件的计算

连墙件的轴向力计算值应按照下式计算:

$$N_l = N_{lw} + N_o$$

其中 N_{lw} —— 风荷载产生的连墙件轴向力设计值 (kN), 应按照下式计算:

$$N_{lw} = 1.4 \times w_k \times A_w$$

w_k —— 风荷载标准值, $w_k = 0.959\text{kN}/\text{m}^2$;

A_w —— 每个连墙件的覆盖面积内脚手架外侧的迎风面积:

$$A_w = 3.60 \times 4.05 = 14.580\text{m}^2;$$

N_o —— 连墙件约束脚手架平面外变形所产生的轴向力 (kN); $N_o = 3.000$

经计算得到 $N_{lw} = 19.573\text{kN}$, 连墙件轴向力计算值 $N_l = 22.573\text{kN}$

根据连墙件杆件强度要求, 轴向力设计值 $N_{f1} = 0.85A_c[f]$

根据连墙件杆件稳定性要求, 轴向力设计值 $N_{f2} = 0.85\phi A[f]$

连墙件轴向力设计值 $N_f = 0.85\phi A[f]$

其中 ϕ —— 轴心受压立杆的稳定系数, 由长细比 $l/i=130.00/1.60$ 的结果查表得到 $\phi=0.72$;

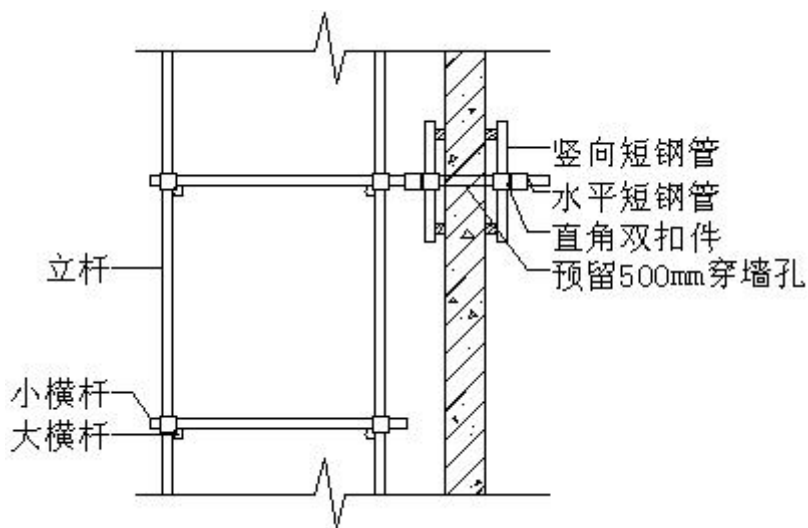
净截面面积 $A_c = 4.24\text{cm}^2$; 毛截面面积 $A = 18.10\text{cm}^2$; $[f] = 205.00\text{N/mm}^2$ 。

经过计算得到 $N_{f1} = 73.865\text{kN}$

$N_{f1} > N_1$, 连墙件的设计计算满足强度设计要求!

经过计算得到 $N_{f2} = 225.731\text{kN}$

$N_{f2} > N_1$, 连墙件的设计计算满足稳定性设计要求!

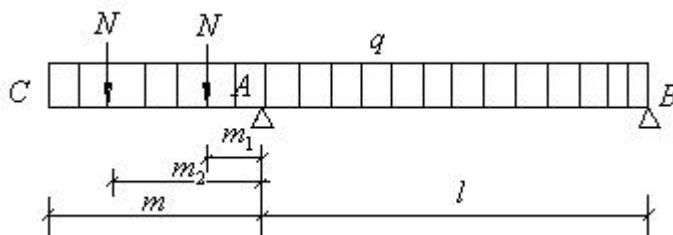


连墙件双扣件连接示意图

七、悬挑梁的受力计算

悬挑脚手架按照带悬臂的单跨梁计算

悬出端 C 受脚手架荷载 N 的作用, 里端 B 为与楼板的锚固点, A 为墙支点。



悬臂单跨梁计算简图

支座反力计算公式

$$R_A = N(2 + k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 + k)^2$$

$$R_B = -N(k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 - k^2)$$

支座弯矩计算公式

$$M_A = -N(m_2 + m_1) - \frac{qm^2}{2}$$

C 点最大挠度计算公式

$$V_{\max} = \frac{Nm_2^2 l}{3EI}(1 + k_2) + \frac{Nm_1^2 l}{3EI}(1 + k_1) + \frac{ml}{3EI} \cdot \frac{ql^2}{8}(-1 + 4k^2 + 3k^3) \\ + \frac{Nm_1 l}{6EI}(2 + 3k_1)(m - m_1) + \frac{Nm_2 l}{6EI}(2 + 3k_2)(m - m_2)$$

其中 $k = m/l$, $k_1 = m_1/l$, $k_2 = m_2/l$ 。

本工程算例中, $m = 2350\text{mm}$, $l = 2700\text{mm}$, $m_1 = 1300\text{mm}$, $m_2 = 2200\text{mm}$;

水平支撑梁的截面惯性矩 $I = 2370.00\text{cm}^4$, 截面模量(抵抗矩) $W = 237.00\text{cm}^3$ 。受脚手架作用集中强度计算荷载 $N=6.97\text{kN}$

水平钢梁自重强度计算荷载 $q=1.2 \times 35.50 \times 0.0001 \times 7.85 \times 10=0.33\text{kN/m}$

$$k=2.35/2.70=0.87 \quad k_1=1.30/2.70=0.48 \quad k_2=2.20/2.70=0.82$$

代入公式, 经过计算得到支座反力 $R_A=24.562\text{kN}$ 支座反力 $R_B=-8.929\text{kN}$ 最大弯矩 $M_A=25.326\text{kN.m}$

抗弯计算强度 $f=25.326 \times 10^6 / (1.05 \times 237000.0)=101.773\text{N/mm}^2$

水平支撑梁的抗弯计算强度小于 215.0N/mm^2 , 满足要求!

受脚手架作用集中计算荷载 $N=3.68+1.82=5.51\text{kN}$

水平钢梁自重计算荷载 $q=35.50 \times 0.0001 \times 7.85 \times 10=0.28\text{kN/m}$

最大挠度 $V_{\max}=15.029\text{mm}$

按照《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130-2011)表 5.1.8 规定：水平支撑梁的最大挠度小于 4700.0/250, 满足要求！

八、悬挑梁的整体稳定性计算

水平钢梁采用 20a 号工字钢, 计算公式如下

$$\sigma = \frac{M}{\phi_b W_x} \leq [f]$$

其中 ϕ_b —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数, 查表《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录得到: $\phi_b=1.86$ 由于 ϕ_b 大于 0.6, 按照《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录 B 其值 $\phi_b' = 1.07 - 0.282 / \phi_b = 0.918$

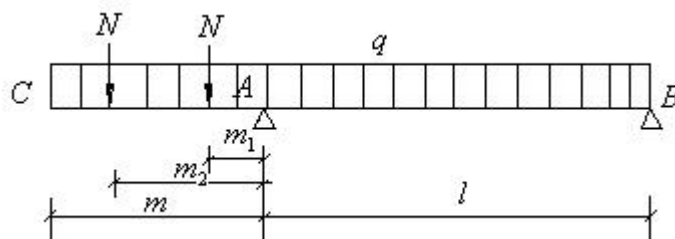
经过计算得到强度 $\sigma = 25.33 \times 10^6 / (0.918 \times 237000.00) = 116.36 \text{ N/mm}^2$;

水平钢梁的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

九、悬挑梁的受力计算

悬挑脚手架按照带悬臂的单跨梁计算

悬出端 C 受脚手架荷载 N 的作用, 里端 B 为与楼板的锚固点, A 为墙支点。



悬臂单跨梁计算简图

支座反力计算公式

$$R_A = N(2 + k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 + k)^2$$

$$R_B = -N(k_2 + k_1) + \frac{ql}{2}(1 - k^2)$$

支座弯矩计算公式

$$M_A = -N(m_2 + m_1) - \frac{ql^2}{2}$$

C 点最大挠度计算公式

$$\begin{aligned} V_{\max} = & \frac{Nm_2^2l}{3EI}(1+k_2) + \frac{Nm_1^2l}{3EI}(1+k_1) + \frac{ml}{3EI} \cdot \frac{ql^2}{8}(-1+4k^2+3k^3) \\ & + \frac{Nm_1l}{6EI}(2+3k_1)(m-m_1) + \frac{Nm_2l}{6EI}(2+3k_2)(m-m_2) \end{aligned}$$

其中 $k = m/l$, $k_1 = m_1/l$, $k_2 = m_2/l$ 。

本工程算例中, $m = 1500\text{mm}$, $l = 2200\text{mm}$, $m_1 = 300\text{mm}$, $m_2 = 1200\text{mm}$;

水平支撑梁 20a 的截面惯性矩 $I = 237.00\text{cm}^4$, 截面模量(抵抗矩) $W = 237.00\text{cm}^3$ 。受脚手架作用集中强度计算荷载和联梁传递的支座力 $N=6.35\text{kN}+24.56\text{kN}=30.91\text{kN}$

水平钢梁自重强度计算荷载 $q=1.2 \times 30.60 \times 0.0001 \times 7.85 \times 10=0.29\text{kN/m}$

$$k=1.50/2.20=0.68 \quad k_1=0.30/2.20=0.14 \quad k_2=1.20/2.20=0.55$$

代入公式, 经过计算得到支座反力 $R_A=84.052\text{kN}$ 支座反力 $R_B=-21.1471\text{kN}$

最大弯矩 $M_A=46.67\text{kN}\cdot\text{m}$

抗弯计算强度 $f=9.845 \times 10^6 / (1.05 \times 237000.0)=187.54\text{N/mm}^2$

水平支撑梁的抗弯计算强度小于 215.0N/mm^2 , 满足要求!

最大挠度 $V_{\max}=17.8\text{mm}$

按照《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130-2011)表 5.1.8

规定: 水平支撑梁的最大挠度小于 $3000.0/250$, 不满足要求!

故重新选择悬挑工字钢, 选择 25a 号工字钢, $V_{\max}=10.54\text{mm}$, 水平支撑梁的最大挠度小于 $3000.0/250$, 满足要求。

十、悬挑梁的整体稳定性计算

水平钢梁采用 20a 号工字钢, 计算公式如下

$$\sigma = \frac{M}{\phi_b W_x} \leq [f]$$

其中 ϕ_b —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数，查表《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录得到： $\phi_b=1.86$

由于 ϕ_b 大于 0.6，按照《钢结构设计规范》(GB50017-2011)附录 B 其值
 $\phi_b' = 1.07 - 0.282 / \phi_b = 0.918$

经过计算得到强度 $\sigma = 46.67 \times 10^6 / (0.918 \times 237000.00) = 214.5 \text{ N/mm}^2$;
 水平钢梁的稳定性计算 $\sigma < [f]$, 满足要求!

十一、锚固段与楼板连接的计算

1. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓，螺栓粘结力锚固强度计算如下：

锚固深度计算公式

$$h \geq \frac{N}{\pi d [f_b]}$$

其中 N —— 锚固力，即作用于楼板螺栓的轴向拉力， $N = 21.47 \text{ kN}$;

d —— 楼板螺栓的直径， $d = 20 \text{ mm}$;

$[f_b]$ —— 楼板螺栓与混凝土的容许粘接强度，计算中取 1.5 N/mm^2 ;

h —— 楼板螺栓在混凝土楼板内的锚固深度。

经过计算得到 h 要大于 $21470.00 / (3.1416 \times 20 \times 1.5) = 227.8 \text{ mm}$ 。

2. 水平钢梁与楼板压点采用螺栓，混凝土局部承压计算如下：

混凝土局部承压的螺栓拉力要满足公式

$$N \leq (b^2 - \frac{\pi d^2}{4}) f_{cc}$$

其中 N —— 锚固力，即作用于楼板螺栓的轴向拉力， $N = 21.47 \text{ kN}$;

d —— 楼板螺栓的直径， $d = 20 \text{ mm}$;

b —— 楼板内的螺栓锚板边长, $b=5d=100\text{mm}$;

f_{cc} —— 混凝土的局部挤压强度设计值, 计算中取 $0.95f_c=13.59\text{N/mm}^2$; 经过计算得到公式右边等于 131.6kN

楼板混凝土局部承压计算满足要求!

3. 水平钢梁与楼板锚固压点部位楼板负弯矩配筋计算如下:

锚固压点处楼板负弯矩数值为 $M = 21.47 \times 2.20 / 2 = 23.617\text{kN.m}$

根据《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 6.2.10 条

$$\alpha_s = \frac{M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_s}$$

$$\gamma_s = 1 - \xi / 2$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_s h_0 f_y}$$

其中 α_1 —— 系数, 当混凝土强度不超过 C50 时, α_1 取为 1.0, 当混凝土强度等级为 C80 时, α_1 取为 0.94, 期间按线性内插法确定;

f_c —— 混凝土抗压强度设计值; h_0 —— 截面有效高度;

f_y —— 钢筋受拉强度设计值。

截面有效高度 $h_0 = 100 - 15 = 85\text{mm}$;

$$\alpha_s = 21.47 \times 10^6 / (1.000 \times 14.300 \times 1.4 \times 1000 \times 85.0^2) = 0.14$$

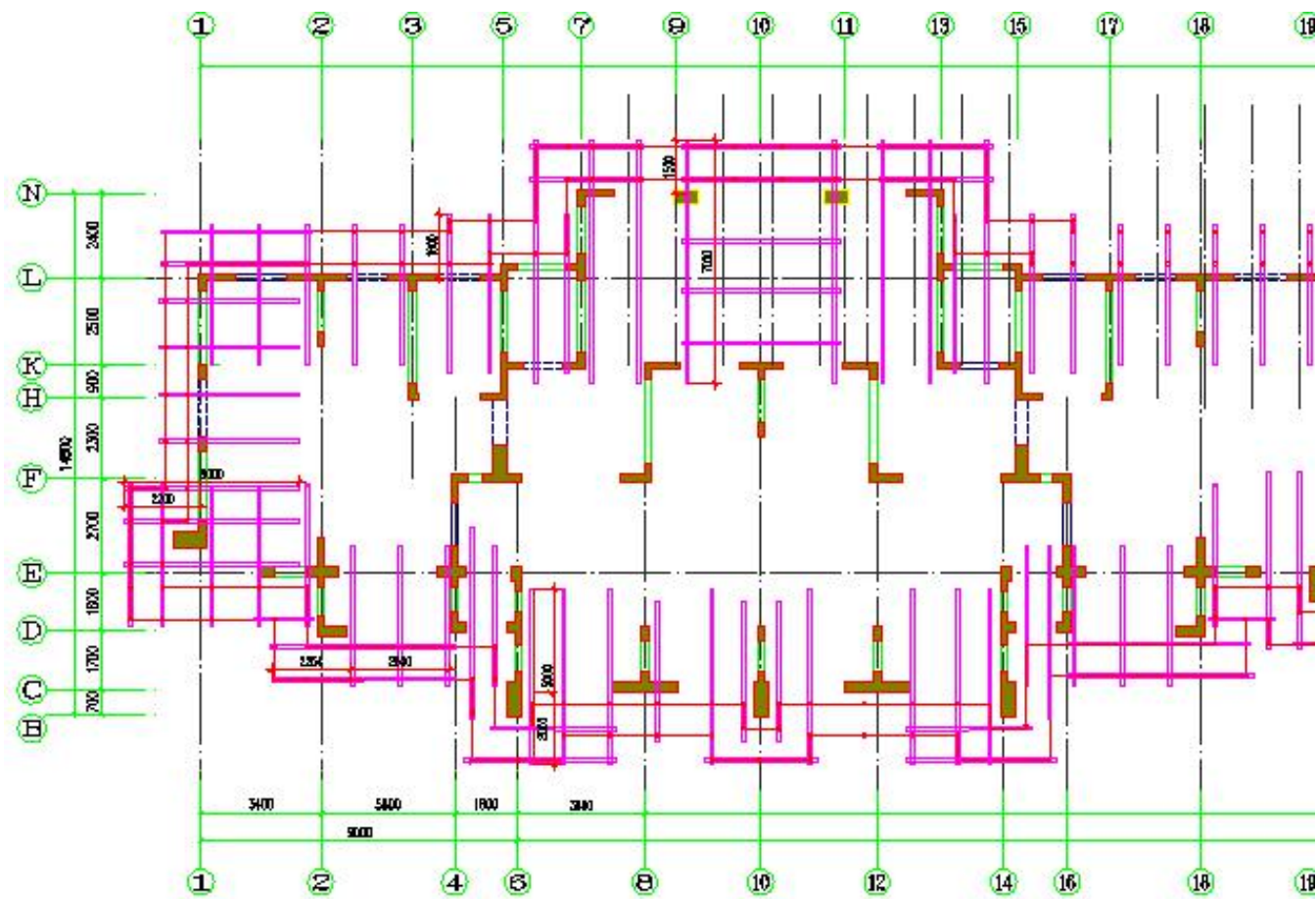
$$\xi = 1 - (1 - 2 \times 0.14)^{1/2} = 0.16$$

$$\gamma_s = 1 - 0.14 / 2 = 0.93$$

楼板压点负弯矩配筋为

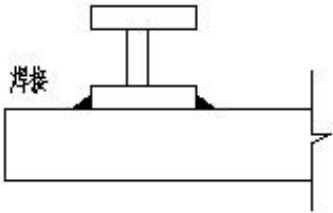
$$A_s = 21.47 \times 10^6 / (0.930 \times 85.0 \times 210.0) = 1293.33 \text{ mm}^2$$

悬挑脚手架计算满足要求!

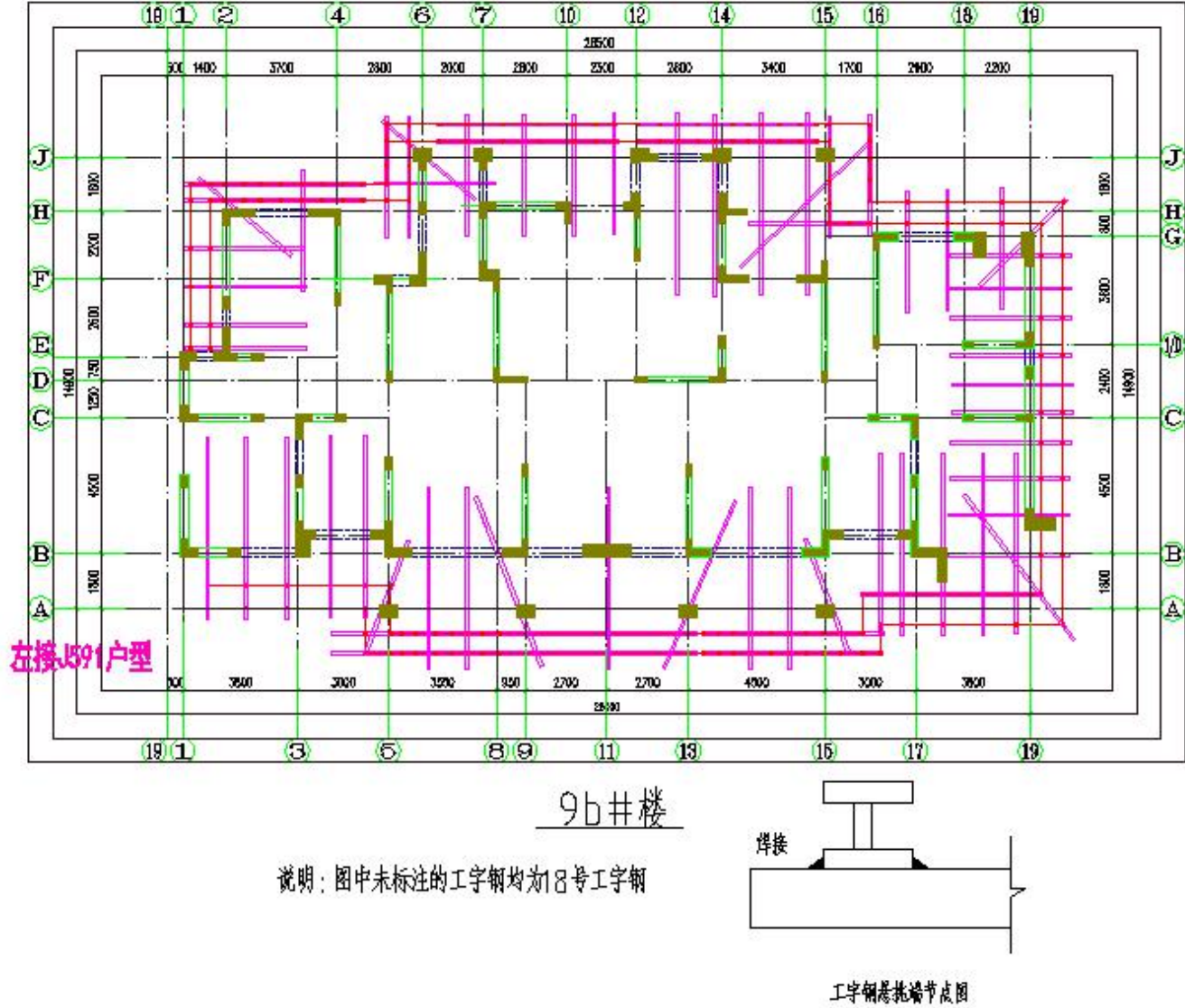


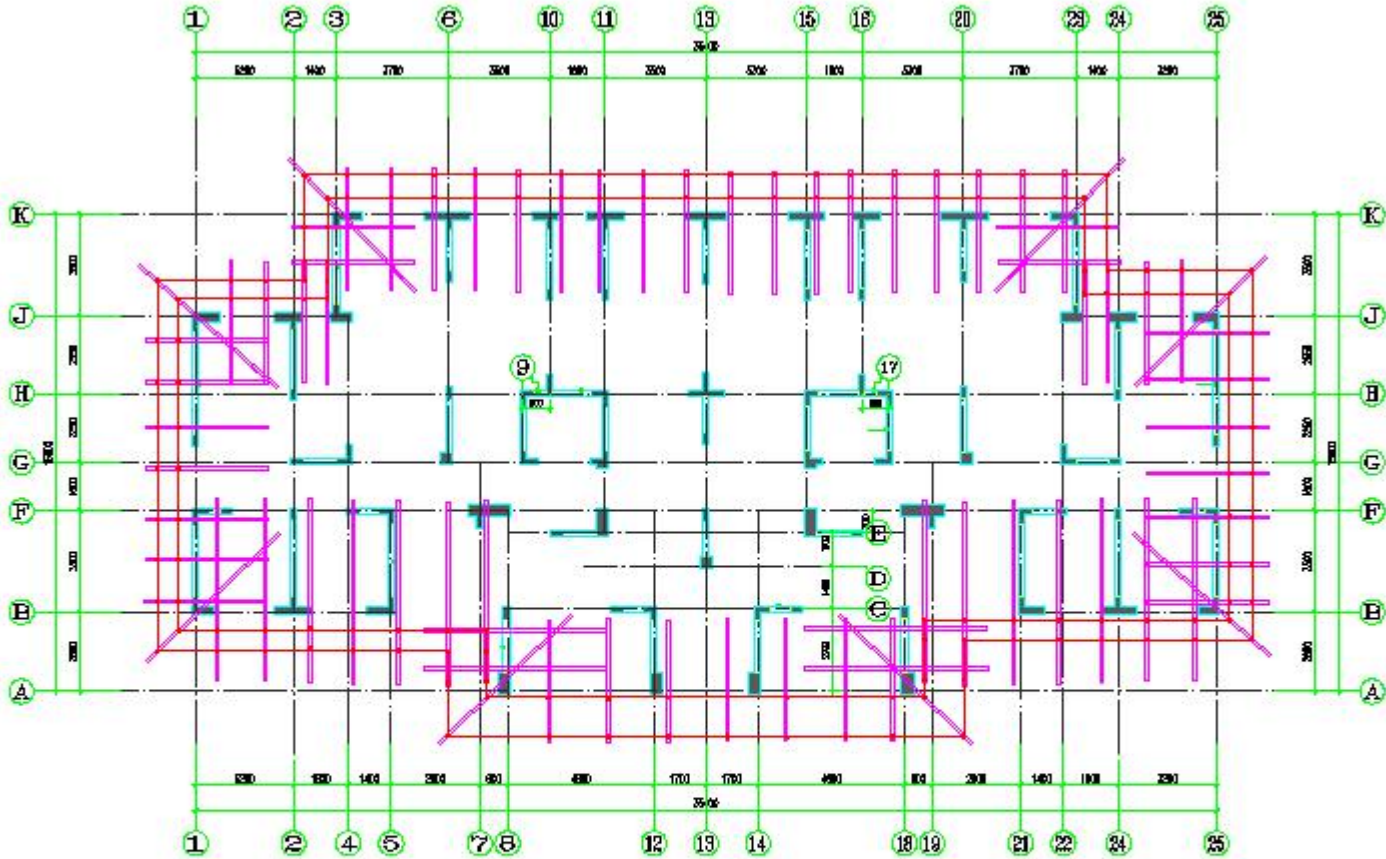
9a#楼

说明：图中未标注的工字钢均为18号工字钢



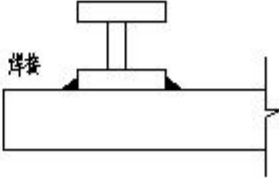
工字钢悬挑端节点图





10#楼

说明：图中未标注的工字钢均为18号工字钢



工字钢悬挑节点图

