

# 《混凝土结构工程施工规范》 宣贯培训

## 第4章 模板工程

主讲人：郭正兴（东南大学土木工程施工研究所）



# 宣贯培训内容

- 4.0 概述
- 4.1 一般规定
- 4.2 材料
- 4.3 设计
- 4.4 制作与安装
- 4.5 拆除和维护
- 4.6 质量检查

## • 4.0 概述

### 模板工程

指支承新浇筑混凝土的整个系统，包括与混凝土接触的模型或面板，也包括所有的支撑杆件和连接件以及剪刀撑等。



# 模板

多次重复使用可装拆的模板

一次使用不可装拆的永久性模板



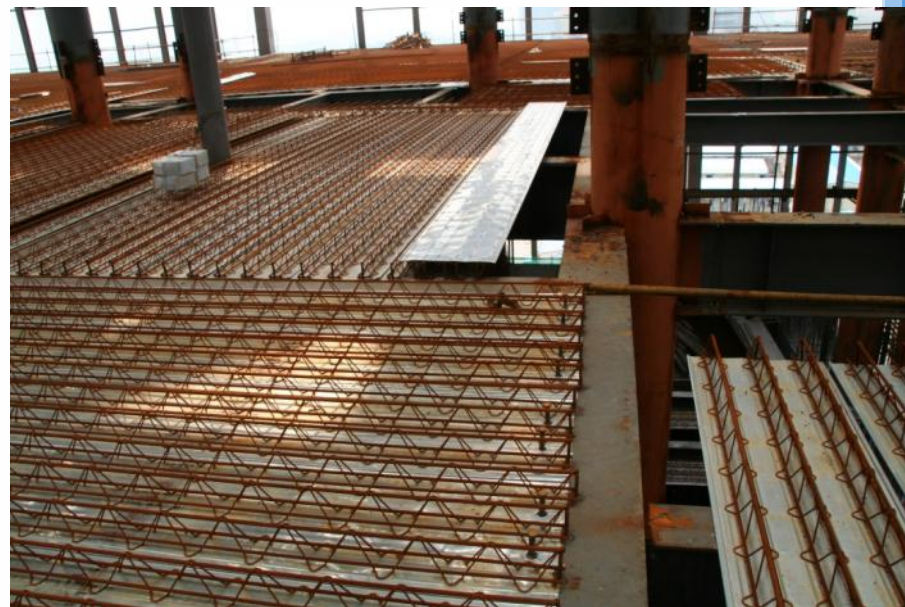
多次重复使用的工具式模板及支架



## 永久性模板



一次使用的预制混凝土叠合板



一次使用的带钢筋桁架的钢承板

## 适合人工装拆的轻型模板



胶合板、木方和钢管组成的轻型模板



63系列钢框胶合板模板



75系列钢框  
胶合板模板





## 适合起重机械装拆的重型模板



重型全钢大模板



重型台模

## 施工规范模板章节的沿革

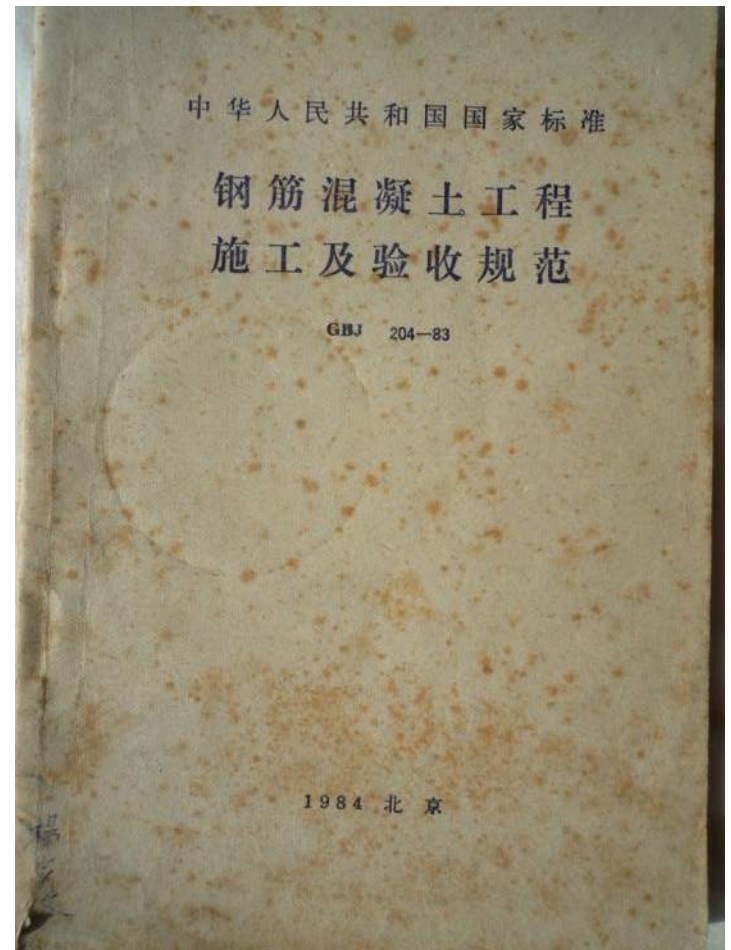
1965年编制的《钢筋混凝土工程施工及验收规范》**GB10-65**的第二章中基于木模板和木支架、金属模板及配件，规定了荷载计算、最不利的荷载组合以及安装与拆除的基本要求。

在1973年又颁布了**GB10-65**的修订版，即《钢筋混凝土工程施工及验收规范**GBJ10-65**（修订本）》，其中增加了**金属网水泥模板**、土模和砖模的规定。





自1979年5月至1983年11月又对GB10-65（修订本）进行了全面修订，形成了《钢筋混凝土工程施工及验收规范》**GBJ204-83**，修订中结合**组合钢模板、大模板和滑升模板**的推广应用，增加了相应的条文规定，特别是细化了模板拆除的具体规定。



1992年结合《混凝土结构设计规范》**GBJ10-89**的修订，对**GBJ204-83**规范进行了修订，在《混凝土结构工程施工及验收规范》**GB50204-92**中，**主要修改了模板侧压力的计算公式。**

《混凝土结构工程施工质量验收规范》**GB50204-2002**，取消了模板工程设计相关的内容，仅保留了模板工程安装与拆除的相关要求。

## 与模板工程相关的国家标准和行业标准

- 《组合钢模板技术规范》 **GB50214**
- 《液压滑动模板施工安全技术规程》 **JGJ 65**
- 《建筑工程大模板技术规范》 **JGJ 74**
- 《钢框胶合板模板技术规范》 **JGJ 96**
- 《建筑施工门式钢管脚手架安全技术规范》 **JGJ 128**
- 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》 **JGJ 130**
- 《建筑施工模板安全技术规范》 **JGJ 162**
- 《建筑施工木脚手架安全技术规范》 **JGJ 164**
- 《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》 **JGJ 166**
- 《建筑施工承插型盘扣式钢管支架安全技术规程》 **JGJ231**
- 《液压爬升模板工程技术规程》 **JGJ 195**



## 施工规范的模板工程新变化

- (1) 引入高大模板支架概念，并结合实际工程安全技术要求，提出了相应的设计与施工要求；
- (2) 根据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》**GB 50153**的有关规定，对模板及支架的设计提出了基本荷载效应组合、承载力和变形验算的规定；
- (3) 对细高形独立模板支架制定高宽比不宜大于**3**的规定，并提出了高宽比大于**3**时应增设整体稳固性措施；

## 施工规范的模板工程新变化

(4) 对模板与支架设计的永久荷载和可变荷载的荷载项重新进行了规定，包括调整了施工人员及施工设备荷载值；调整了新浇筑混凝土作用在模板面板上的侧压力计算公式；增加了考虑泵送混凝土或不均匀堆载等因素产生的附加水平荷载项；增加了施工阶段风荷载的取值规定等；

(5) 增加了对多层楼板连续支模的设计与施工规定；

(6) 对扣件钢管架、门架、碗扣式、盘扣式钢管架的制作与安装提出了统一的基本规定。

## 4.1 一般规定

### 一、专项施工方案

4.1.1 模板工程应编制专项施工方案。滑模、爬模等工具式模板工程及高大模板支架工程的专项施工方案，应进行技术论证。

(1) 国家《建筑工程安全生产管理条例》第二十六条规定了达到一定规模的危险性较大的分部分项工程应编制专项施工方案，模板工程包含在内。

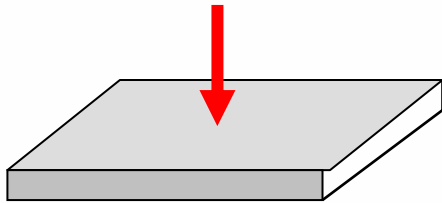
(2) 住房和城乡建设部关于印发《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》的通知（建质[2009]87号）中，规定了施工单位应当在危险性较大的分部分项工程施工前编制专项方案；对于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程，施工单位应当组织专家对专项方案进行论证。



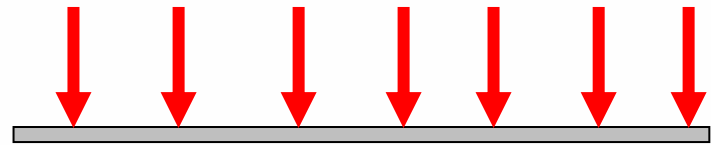
(3) 按照建质[2009]87号文件，对于模板工程，超过一定规模的危险性较大的工程范围内容：

1) 工具式模板工程：包括滑模、爬模、飞模工程；

2) 混凝土模板支撑工程：搭设高度8m及以上；搭设跨度18m及以上，施工总荷载 $15\text{kN/m}^2$ 及以上；集中线荷载 $20\text{kN/m}$ 及以上。



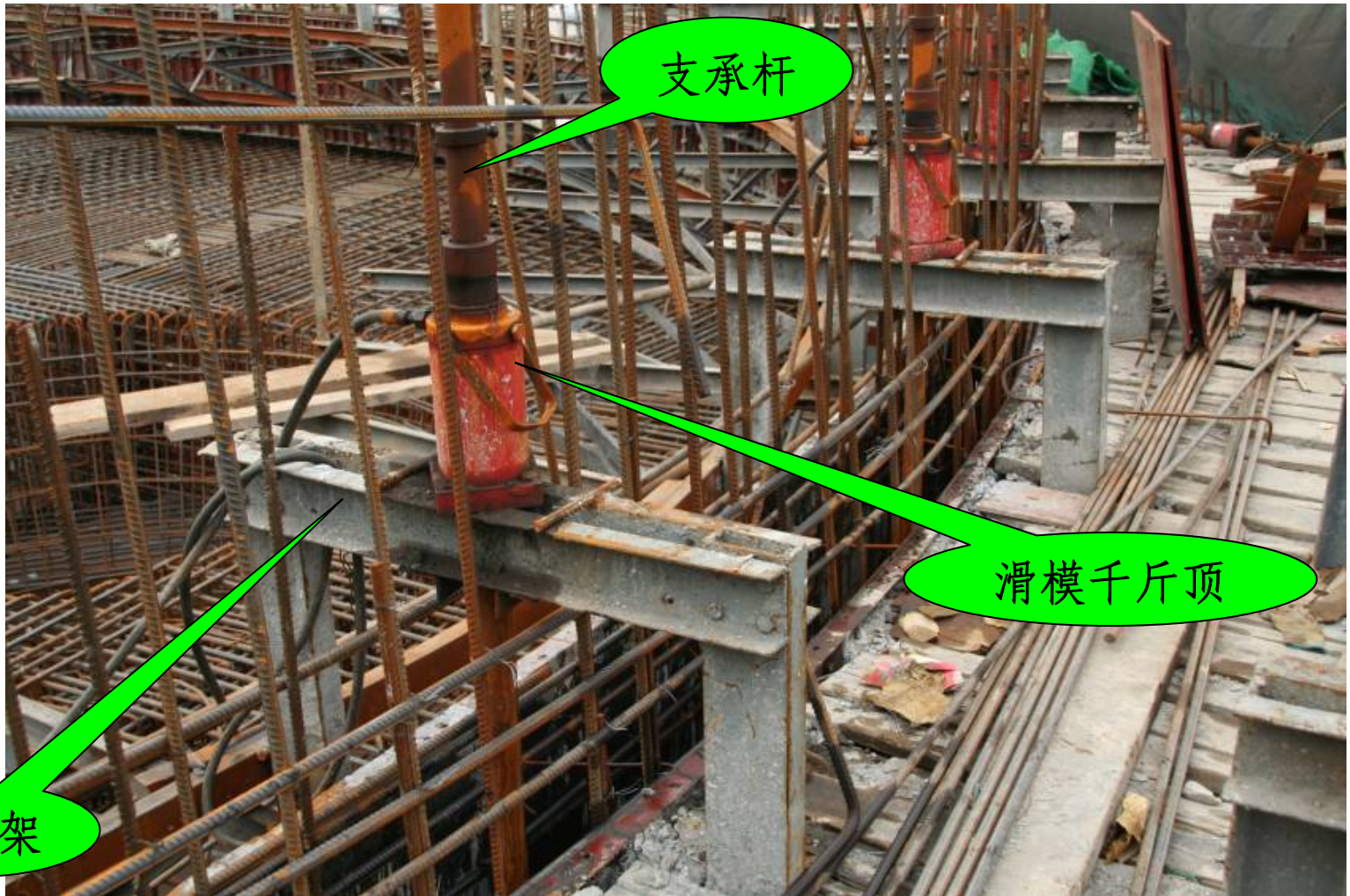
面荷载



线荷载



江苏沙钢集团储煤筒仓滑模施工



支承杆

滑模千斤顶

提升架

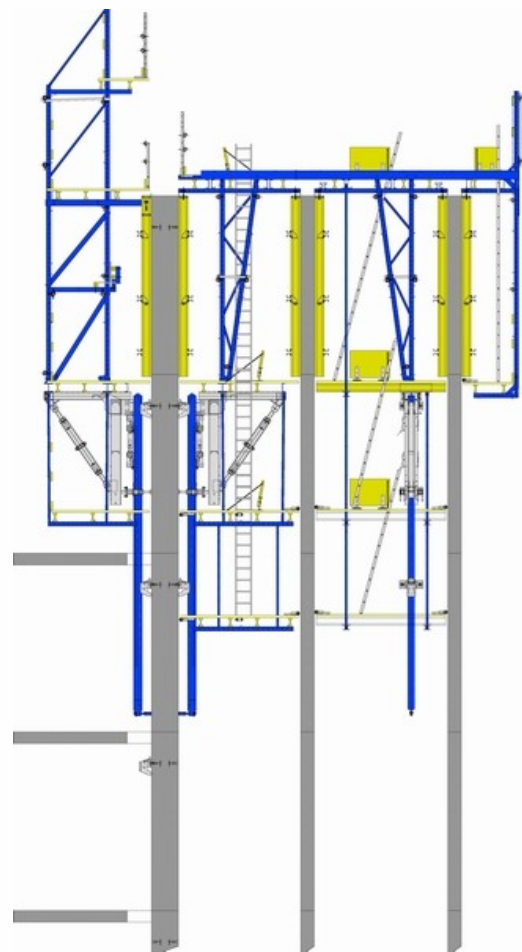






液压自爬模



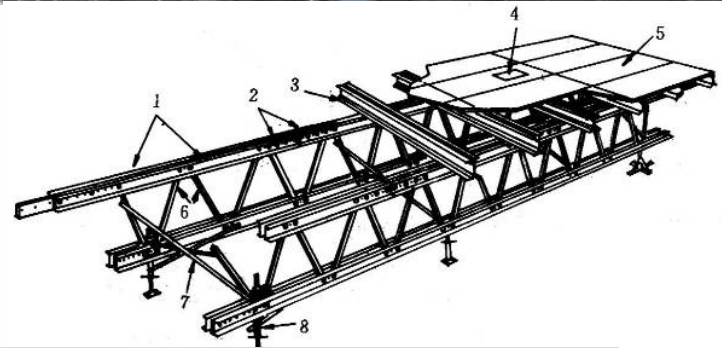


高层爬升模板施工





苏通大桥桥墩施工爬升模板



飞模主要用于国外较多的无梁的平板结构，中国为多地震国家，以梁板结构为主，飞模不适用于梁板结构支模施工。



## 二、模板工程基本性能要求

**4.1.2 模板及支架应根据施工过程中的各种工况进行设计，应具有足够的承载力和刚度，并应保证其整体稳固性。（强条）**

与以往混凝土结构施工规范相比，施工规范第**4.1.2**条新增了对模板及支架整体稳固性的要求，提出该要求是基于两点，其一为对应于国家标准《工程结构可靠性设计统一规范》**GB 50153**中所述的结构整体稳固性，其二为吸取国内多起模板支架整体坍塌事故多为构造不可理或水平支撑杆缺失的教训。



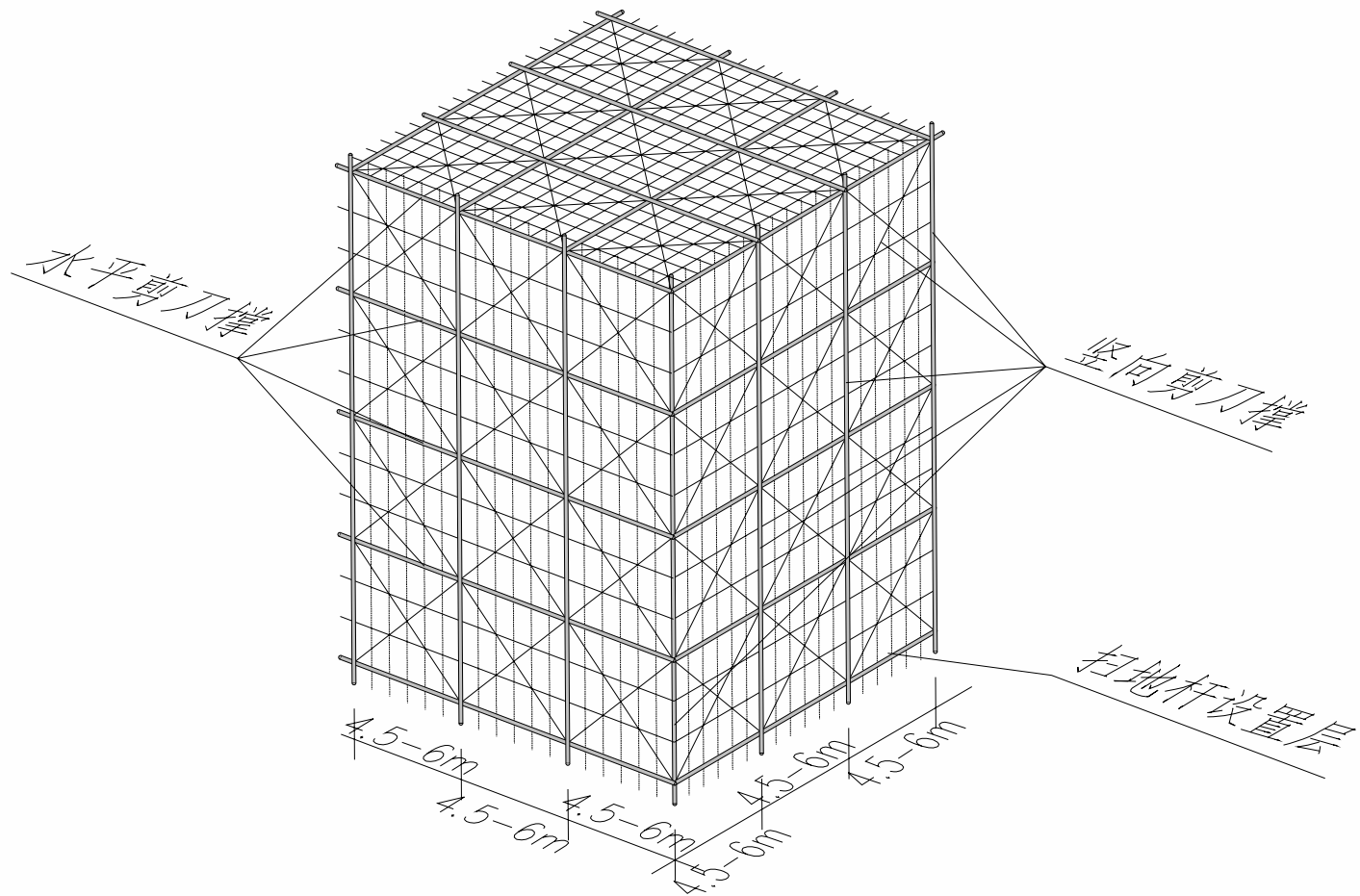
**足够的斜杆能保证支架的整体稳固性**

## 模板及支架整体稳固性的理解

整体稳固性系指在遭遇不利施工荷载工况时，不因构造不合理或局部支撑杆件缺失造成整体性坍塌。



高架桥支模架用贝雷架组拼的支撑柱间缺乏足够的连系撑而大波浪鼓曲失稳破坏



扣件钢管支架加强整体稳固性的垂直剪刀撑与水平剪刀撑设置示意



## 扣件钢管模板支架因水平连系杆缺失引发倒塌事故案例



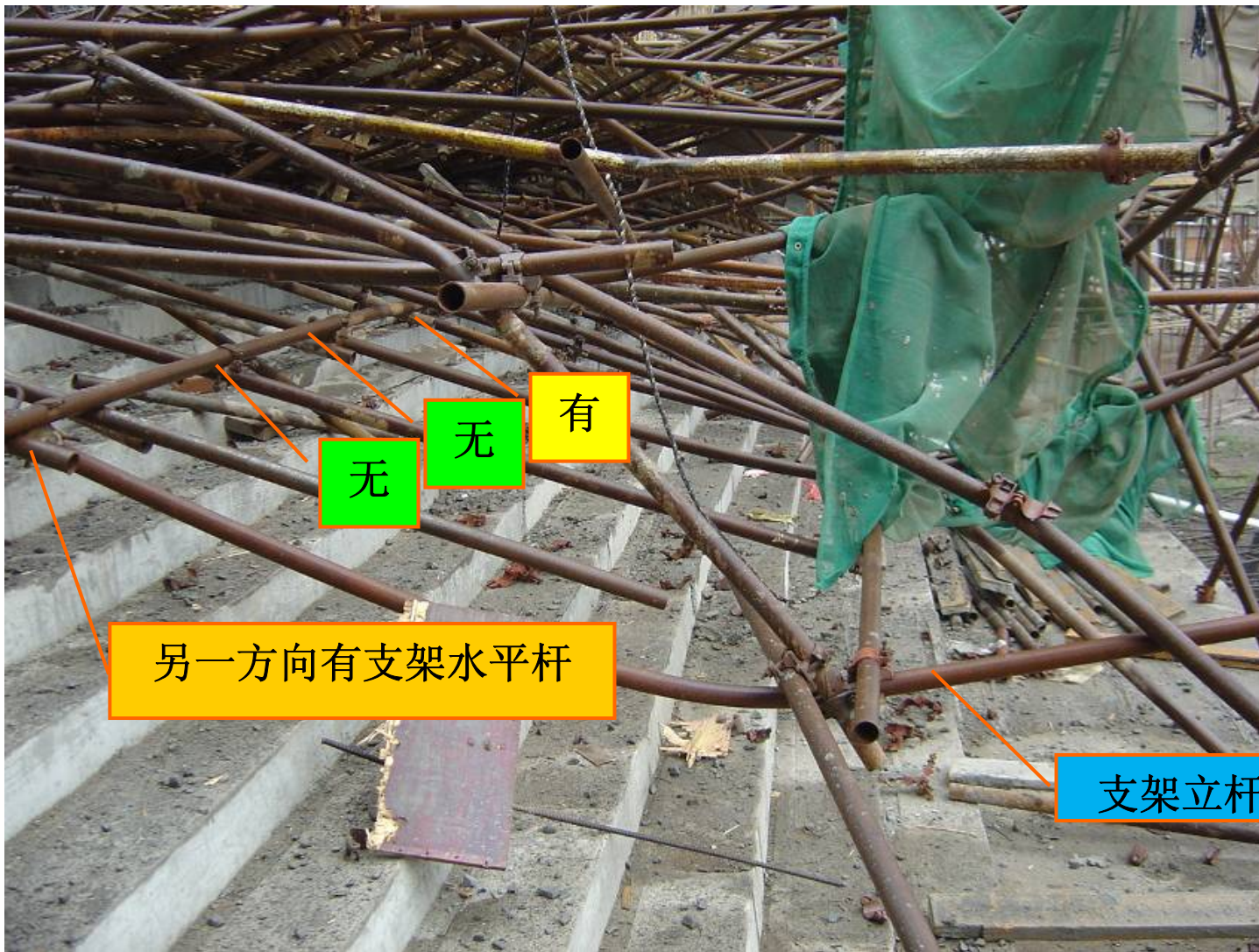
**2004年 某管理干部培训学校教学楼工程工地模板支撑整体坍塌，死5人，伤17人。**









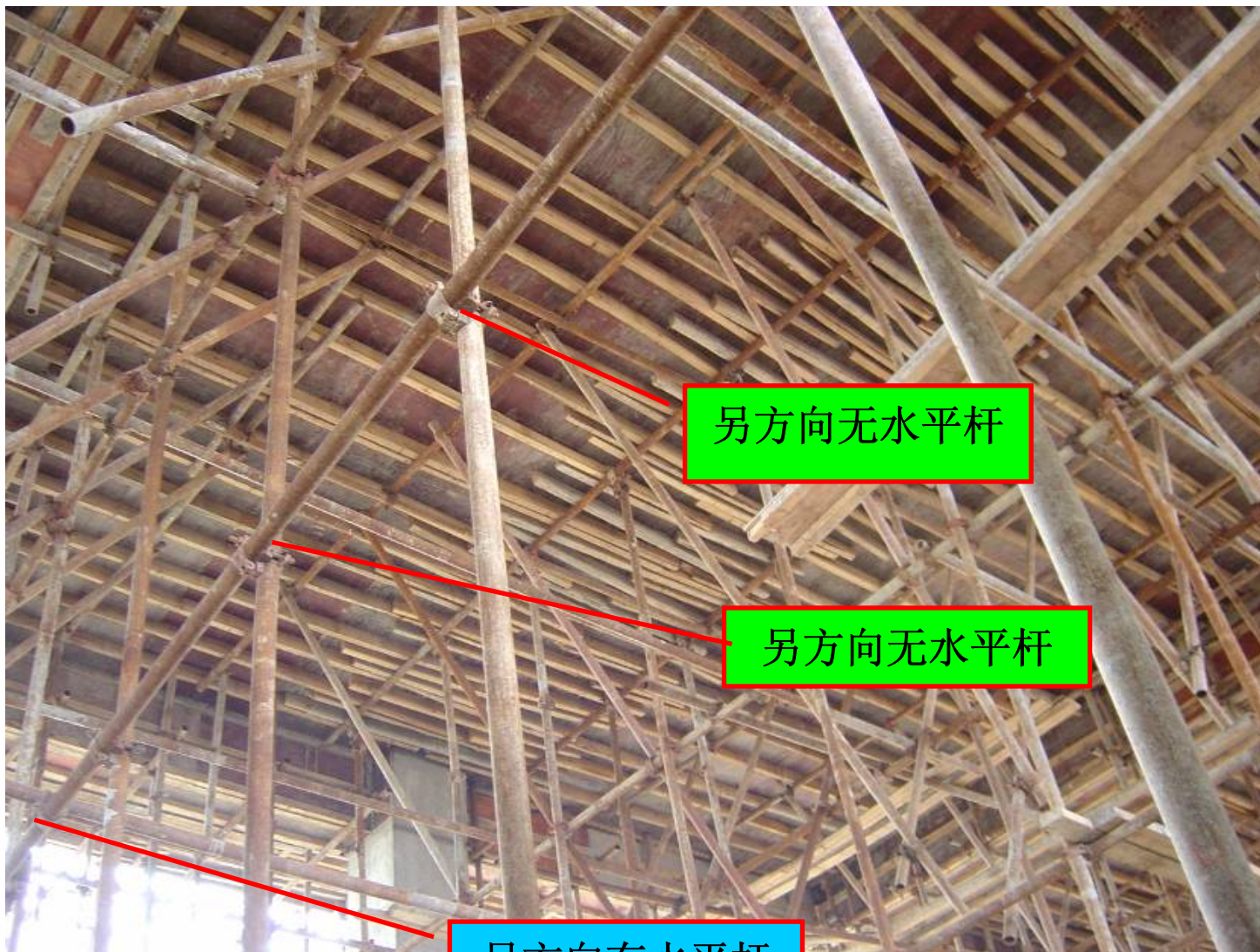


另一方向有支架水平杆

支架立杆

扣件钢管支架的立杆上每步水平杆间隔两根立杆设置，  
水平杆严重缺失





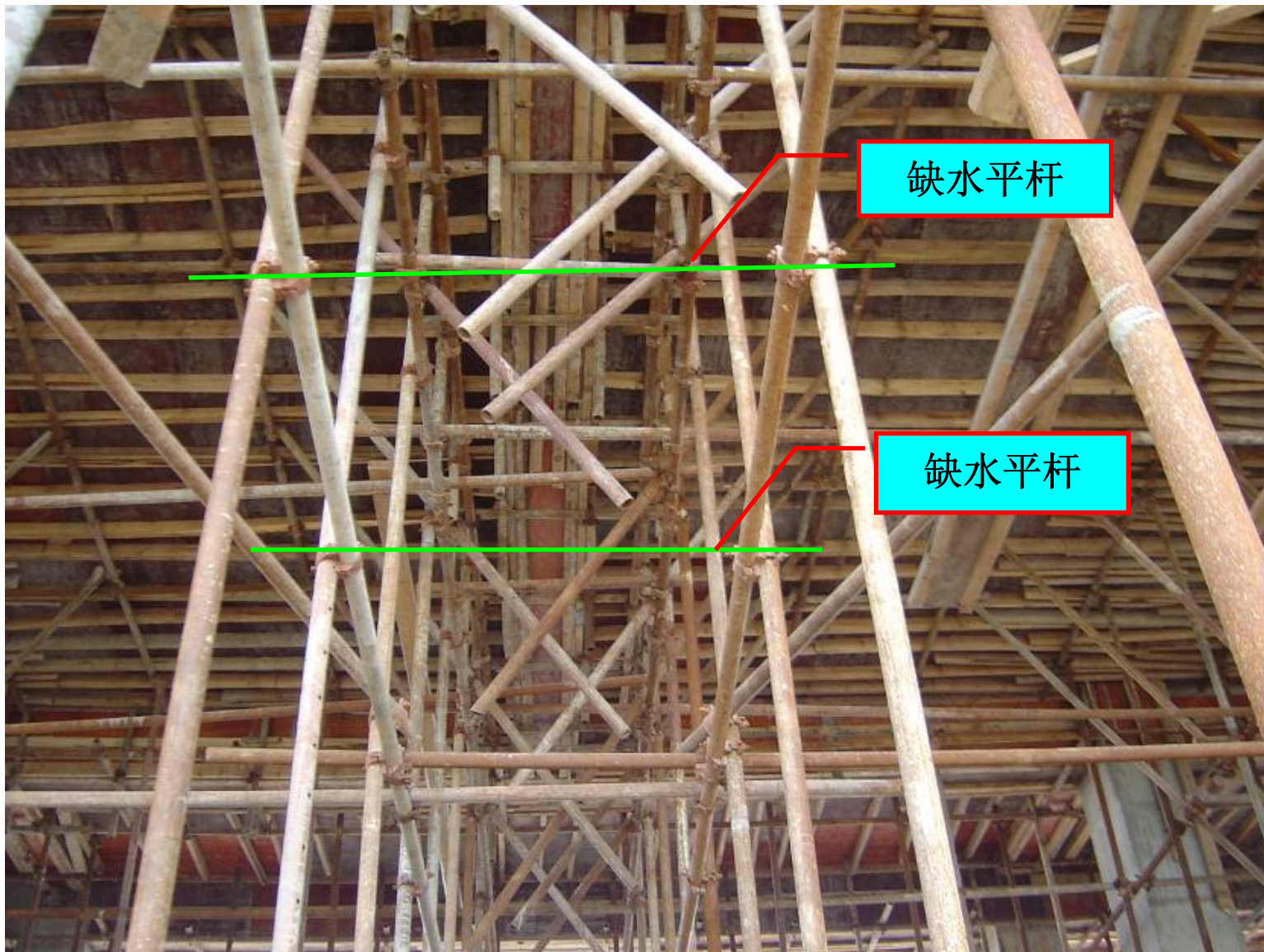
另方向无水平杆

另方向无水平杆

另方向有水平杆

水平杆严重缺失





缺水平杆

缺水平杆

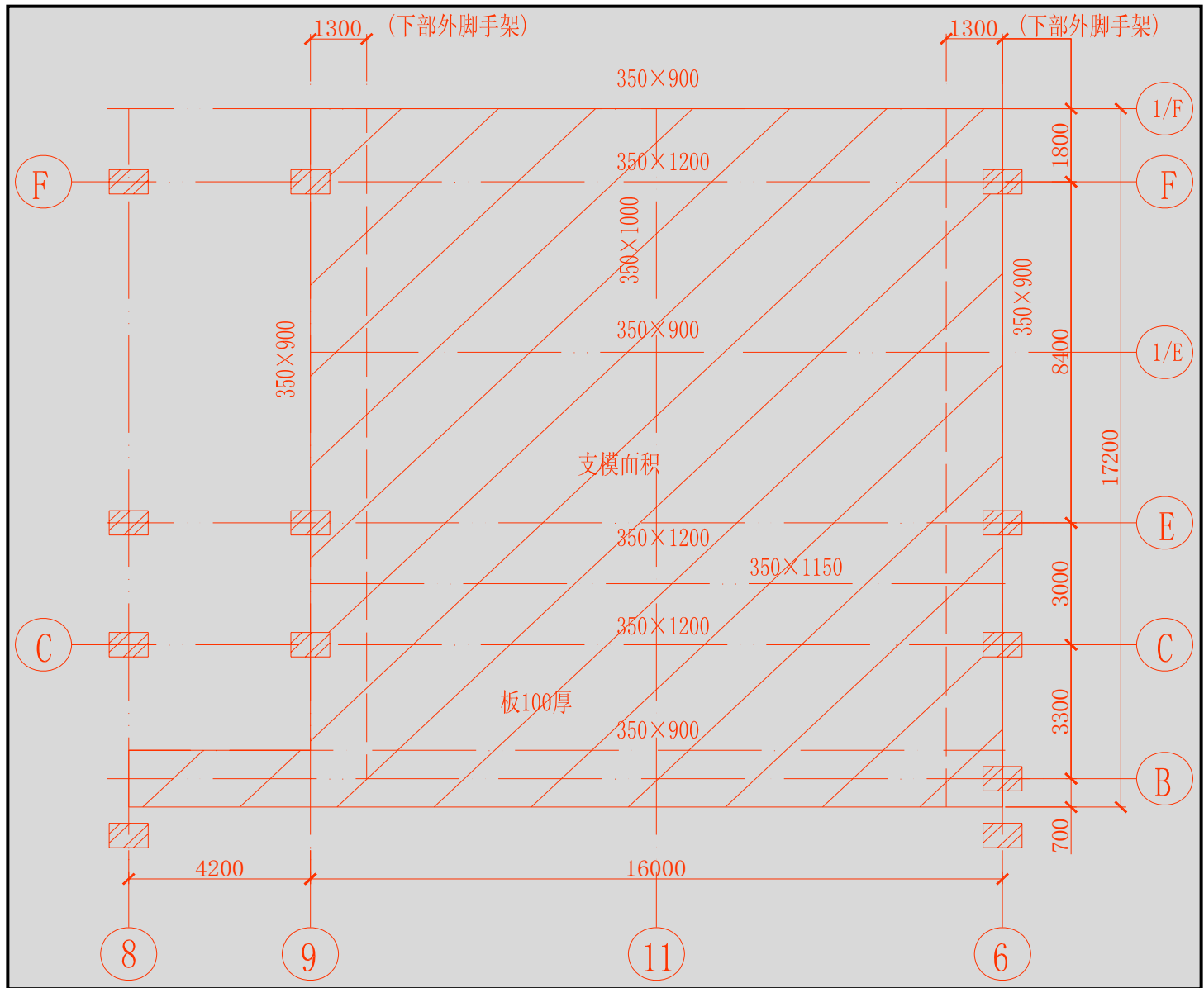


无扫地杆，水平连系杆一个方向设置，另一个方向每隔两根立杆设置



## 模板支架因水平杆严重缺失引发整体坍塌事故点评

2004年9月1日晚22时48分，某商业管理干部学现代教育中心工程，在浇筑两幢框架楼间9~13轴线廊道顶层屋面梁板混凝土时，发生了模板支架系统整体坍塌的恶性事故。造成作业人员22人伤亡，其中5人死亡（现场死亡2人，3人经医院抢救无效死亡），3人重伤，14人轻伤。





(1) 支模面积（扣除原外脚手架面积）

$$=16 \times 17.2 - 13 \times 17.2 \times 2 + 4.2 \times 1.3 = 236\text{m}^2$$

(2) 支模架高度：18m

(3) 计算扣件钢管搭设数量：

$$\text{立杆：} 236\text{根} \times 18\text{m} = 4248\text{m}$$

（基本尺寸：1m×1m方格网）水平杆：纵向18根×13m×10步  
=2340m

（隔两根立杆设置）横向4根×17.2m×10步=688m

合计：**7276m**

(4) 施工单位租用：6m管——1000根

3m管——200根

4m管——200根

**总延长米7400m**

**(5) 楼面结构自重:**

**楼板:  $27.2\text{m}^3$**

**梁:  $57.26\text{m}^3$**

**合计:  $(27.2 + 57.26) \times 2.52\text{t/m}^3 = 213\text{t}$**

## [原因分析]

### (1) 水平杆搭设

纵向每步均设置，总延  $18\text{根} \times 13\text{m} \times 10\text{步} = 2340\text{m}$

横向每隔两根立杆设置，总延米  $4\text{根} \times 17.2\text{m} \times 10\text{步} = 688\text{m}$

(按每跨均设，总延米  $13\text{根} \times 17.2\text{m} \times 10\text{步} = 2236\text{m}$ )

经技术分析，该支模系统整体坍塌的直接原因为南北向水平杆仅搭设所需用量的30%，造成有50%的立杆长细比过大，因水平杆严重缺失导致**整体稳固性**严重不足而发生整体坍塌。

## (2) 构造处理

该支架搭设不规范，查看现场无扫地杆、无剪刀撑、未与东西向主体结构有效拉结，造成造成该高支模架承载能力下降。

## (3) 工程管理

无专门施工方案、无计算书、无专家论证、无书面交底、无搭设验收、总监未发浇筑令即浇筑混凝土、监理未要求整改、发现浇筑混凝土未要求停工。

## [结论性意见]

**这是一起模板支撑系统整体稳固性严重不足而造成失稳坍塌的安全事故**



## 4.2 材料

### 一、模板及支架材料

**4.2.2**条规定：模板及支架宜选用轻质、高强、耐用的材料。连接件宜选用标准定型产品。

(1) 铝模板在国外推广应用引人注目。



近十年，模板及支架的材料变化不大，在中等以上城市模板面板以木或竹胶合板为主，由于其锯截方便，现场能实施大块模板面张快速散拼，得到施工现场项目部认可和大量应用，但也导致了周转使用次数少，木材浪费大，并产生大量建筑垃圾，不利于绿色施工。



**4.2.3 接触混凝土的模板表面应平整，并应具有良好的耐磨性和硬度；清水混凝土模板的面板材料应能保证脱模后所需的饰面效果。**

胶合板模板的表面有不作处理和覆膜处理两种方式，经覆膜处理的胶合板板面能有效提高模板表面的耐磨性和硬度，增加周转使用次数，值得提倡应用。





## 二、脱模剂材料

施工规范第4.2.4条规定了脱模剂应能有效减小混凝土与模板间的吸附力，并应有一定的成膜强度，且不应影响脱模后混凝土表面的后期装饰。

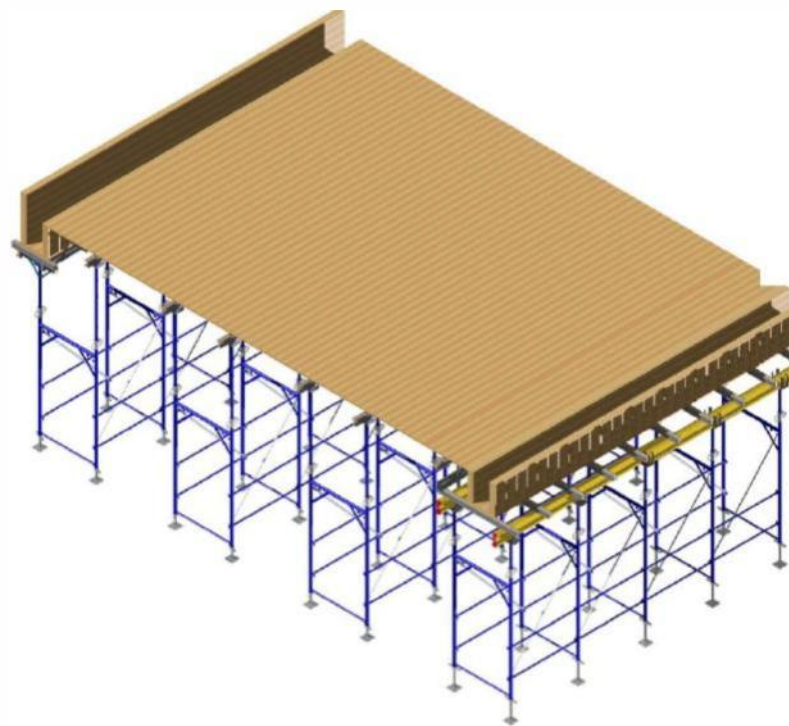


苏州园区城铁站的清水混凝土柱



## 4.3 设计

施工规范从模板及支架设计的遵循原则、设计内容、设计所采用的荷载计算、设计值所采用荷载效应组合、承载力计算和变形验算、支架抗倾覆验算、支架钢构件的容许长细比验算、支架地基基础验算、多层楼板连续支模验算、扣件钢管搭设的模板支架以及门式、碗扣式、盘扣式或盘销式等钢管架搭设的模板支架设计等提出了基本规定。



# 一、模板及支架的型式和构造

## 人工装拆的模板及支架



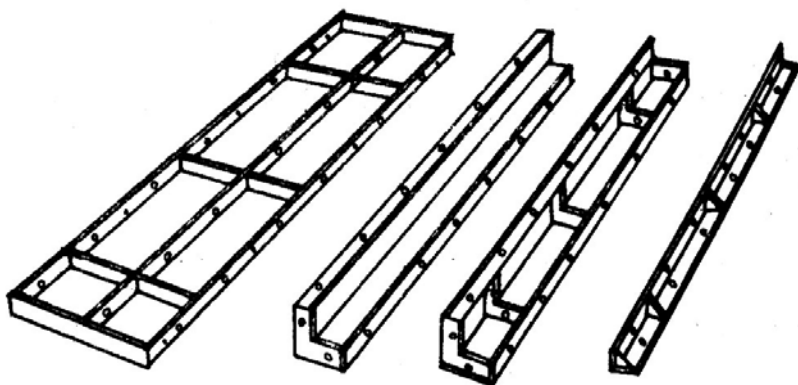
工地大量使用的便于人工散装散拆的由胶合板、木方和钢管组合成的柱、墙的模板及支架构造。



人工散装散拆的由胶合板、木方和钢管组合成的梁板模板及支架构造。

该类模板与支架的构造灵活性大，能适用于浇筑各种不同截面形状的梁板、墙和柱构件，但需要结合具体施工条件和工况进行必要的模板及支架设计，以保证混凝土构件施工质量和施工安全。

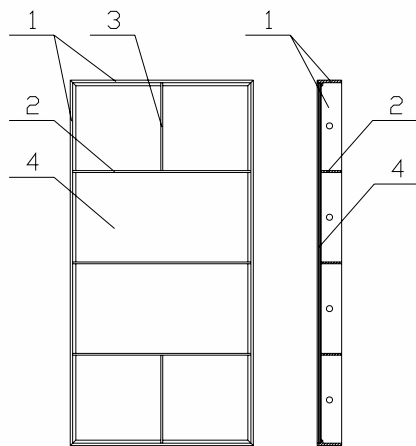




窄幅平面模板



宽幅平面模板



1—边肋；2—主肋；3—次肋；4—面板  
实腹钢框胶合板模板示意图

对于工具式轻量型模板及支架的设计，一般模板规格按产品要求选用，支架应进行相应的配套设计，并应算支架的承载力和稳定性。



## 起重机辅助装拆的模板及支架



采用起重机械辅助装拆的模板及支架属重型模板体系，代表性的型式有全钢和钢木混合的大模板、爬升模板。对于柱、墙及楼板等重型体系模板，一般由生产厂家做专门的模板产品设计，施工项目部根据产品使用说明应用。

## 二、设计原则及内容

### 设计基本方法

施工规范第4.3.3条规定：

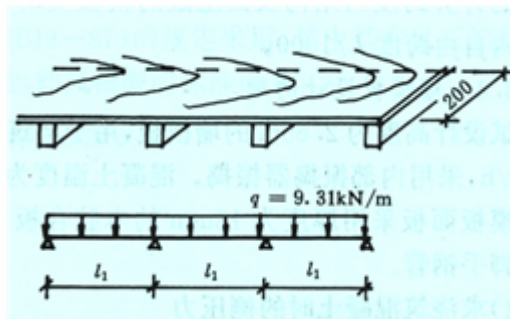
(1) 建筑工程模板及支架的设计宜采用以分项系数表达的极限状态设计方法。

(2) 对模板及支架的结构分析中所采用的计算假定和分析模型、施工期间各种**受力工况**的结构分析提出了明确的要求。

(3) **承载力**计算应采用**荷载基本组合**；**变形验算**可**仅按永久荷载标准值**计算。

## 计算模型

(1) 一般可采用等效为均布荷载及假定为等代梁单元的简化分析方法。



(2) 对于用军用梁、贝雷架以及其他型钢结构加工的复杂支架系统的结构计算分析，也可采用**sap2000**、**ansys**、**midas**等结构计算软件协助进行计算分析。

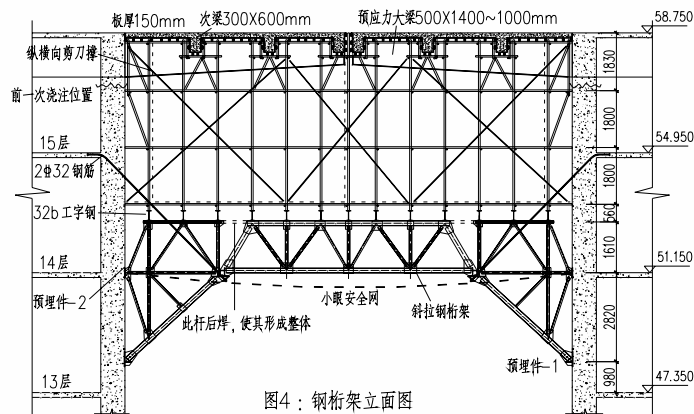
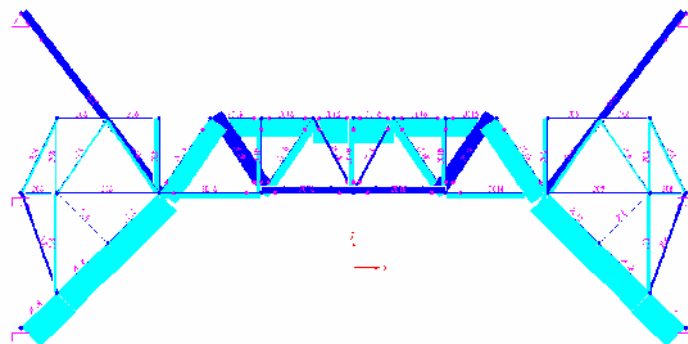


图4：钢桁架立面图



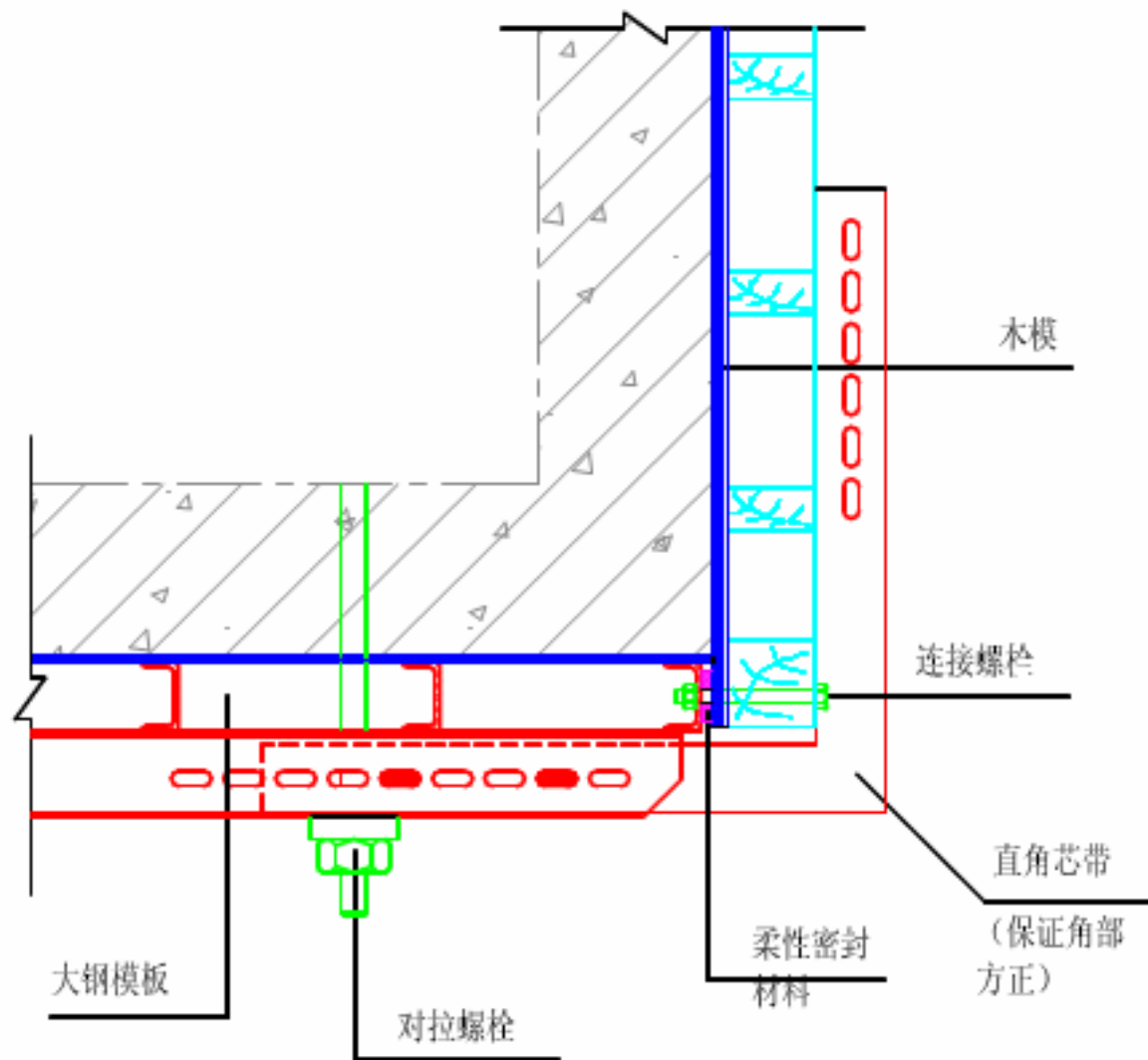
## 设计内容

### 4.3.2 模板及支架设计应包括下列内容：

- 1 模板及支架的选型及构造设计；
- 2 模板及支架上的荷载及其效应计算；
- 3 模板及支架的承载力、刚度验算；
- 4 模板及支架的抗倾覆验算；
- 5 绘制模板及支架施工图。

模板及支架设计的内容应根据工程结构的特点确定，一般应包括必要的计算书，模板和支架的施工图。对于复杂的特殊模板与支架如高大模板支架，设计的内容应全面和详尽，绘制的施工图应有模板及支架的平面布置图、立面布置图和局部节点的构造详图。





钢模板和木模板角部节点

## 三、荷载计算

### 荷载分类

#### 永久荷载项

模板及支架自重 ( $G_1$ )、钢筋自重 ( $G_2$ )、新浇筑混凝土自重 ( $G_3$ )、新浇筑混凝土对模板侧面的压力 ( $G_4$ )

#### 可变荷载项

施工人员及施工设备荷载 ( $Q_1$ )、混凝土下料产生的水平荷载 ( $Q_2$ )、泵送混凝土或不均匀堆载等因素产生的附加荷载 ( $Q_3$ ) 及风荷载 ( $Q_4$ )。

### 荷载值

- (1) 修正了新浇筑混凝土对模板侧面的压力 ( $G_4$ ) 的计算公式。

对于新浇混凝土的侧压力计算，**GB50204-92**规范的公式是以流体静压力理论为基础，考虑了不同混凝土重度、凝结时间、坍落度的影响和掺缓凝剂的影响等因素，基于**坍落度为60~90mm**的混凝土，将以往的测试数据规格化为混凝土浇筑温度为**20℃**下按最小二乘法进行回归分析推导得到的，并且**浇筑速度限定在6m/h以下，坍落度15cm以下**。

$$F = 0.22\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 V^{\frac{1}{2}}$$

$$F = \gamma_c H$$





南京仙林大学城南京大学工程新浇混凝土侧压力的现场测试



南京十四所研发大楼工程新浇混凝土侧压力的现场测试

编号	外加剂	入模温度 ℃	浇筑高度 (m)	浇筑时间 (min)	平均浇筑 速度 m/h)	最大压力 (kN/m <sup>2</sup> )
Z1	JM-8	16	4	7	34.3	92
Z2	JM-8	15	4	6.5	36.9	89
Z3	JM-8	16	4	8	30	92
Z4	JM-8	16	4	17	14.1	82
Z5	JM-8	15.5	4	7.5	32	94
Z6	JM-8/DC-11	15.8	4	6	40	92
Q1	JM-8	16	4	6	10	74
Q2	JM-8	15.5	4	15.3	15.7	78

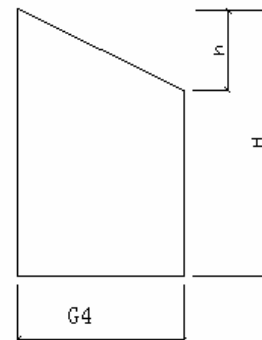
注：Z表示柱，Q表示墙



采用内部振捣器，当浇筑速度小于**10m/h**时，新浇筑的混凝土侧压力标准值**G4**可按下列公式计算，并取其中的较小值：

$$G_{4k} = 0.28\gamma_c t_0 \beta V^{\frac{1}{2}} \quad (4.3.3-1)$$

$$G_{4k} = \gamma_c H \quad (4.3.3-2)$$



式中 **G<sub>4k</sub>**——新浇筑混凝土对模板的最大侧压力 (**kN/m<sup>2</sup>**)，不超过**H**；

**γ<sub>c</sub>** ——混凝土的重力密度 (**kN/m<sup>3</sup>**)；

**t<sub>0</sub>**——新浇混凝土的初凝时间 (**h**)，可按实测确定；当缺乏试验资料时可采用**t<sub>0</sub> = 200 / (T + 15)** 计算(**T**为混凝土的温度，**℃**)；

**V**——混凝土浇筑高度 (厚度) 与浇筑时间的比值，即浇筑速度 (**m/h**)；

**H**——混凝土侧压力计算位置处至新浇筑混凝土顶面的总高度 (**m**)；混凝土侧压力的计算分布图形如图**4.3.3**所示；图中，**h**为有效压头高度。

**β**——混凝土坍落度影响修正系数：当坍落度在大于**50mm**且不大于**90mm**时，取**0.85**；坍落度大于**90mm**且不大于**130mm**时，取**0.9**；坍落度大于**130mm**且不大于**180mm**时，取**1.0**。

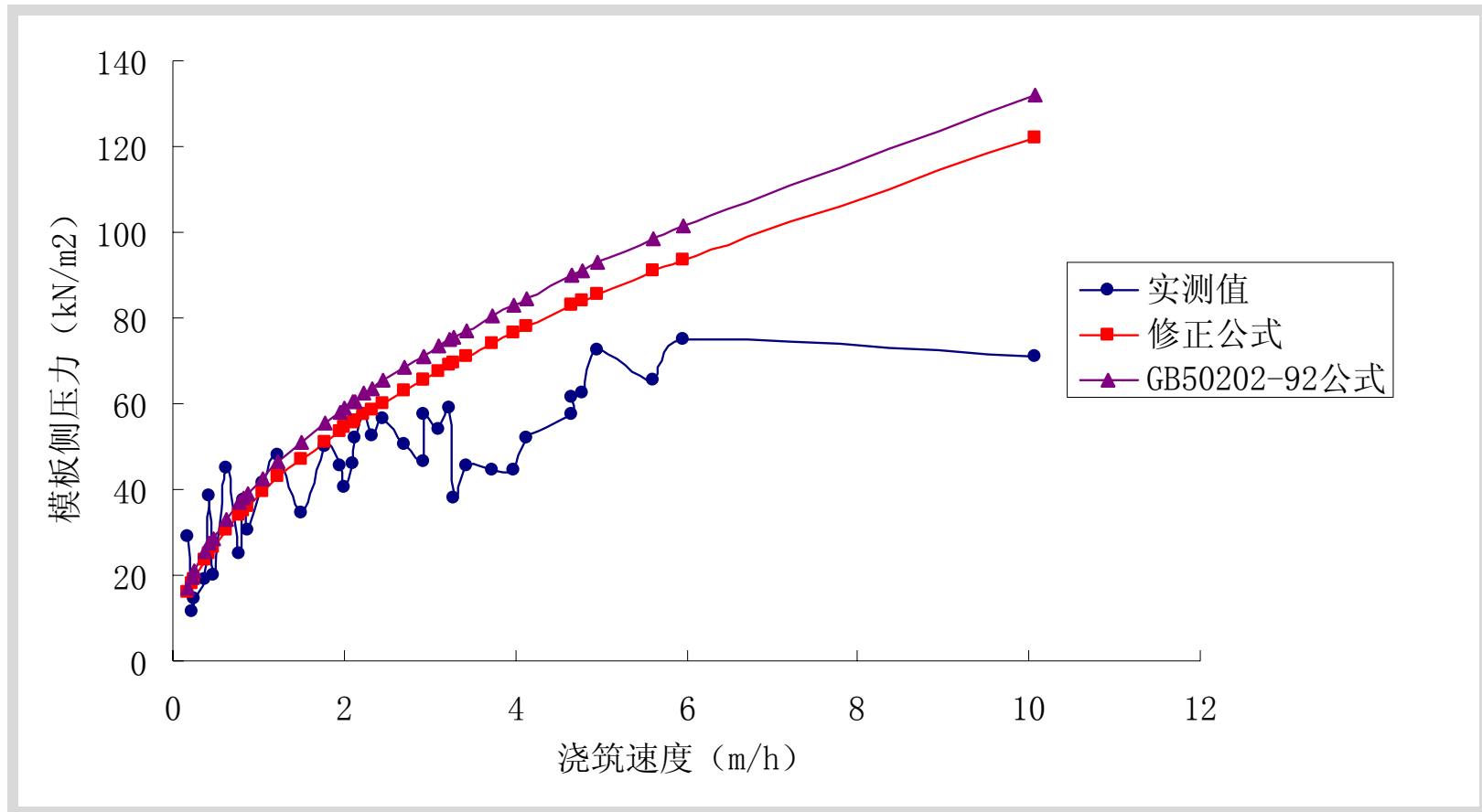
本规范给出的计算公式以原92规范的计算公式按坍落度150mm左右作为基础，并将东南大学补充的新浇混凝土侧压力测试数据和上海电建公司的测试数据重新进行规格化，推导浇筑速度限定在10m/h下的计算新公式。

施工中，当浇筑小截面柱子等，青岛建设集团和中建八局等单位抽样统计，浇筑速度通常在10~20m/h；混凝土墙浇筑速度常在3~10m/h左右。对于分层浇筑次数少的柱子模板或浇筑流动度特别大的自密实混凝土模板，建议直接采用H计算新浇混凝土侧压力。

模板侧压力调整公式与国外计算值对比(kN/m<sup>2</sup>)

浇筑速度 (m/h)	本规范 调整公式	德国DIN 18218	英国CIRIA- Report 108	美国ACI 347R	法国CIB- FIB-CEB
0.5	27.1	21.3	31.3	28.7	
1.0	38.4	27.2	38.0	28.7	35.0
3.0	66.5	51.0	54.6	57.1	110.0
6.0	94.1	86.7	96.1	94.0	150.0
10.0	121.4	134.3	100.0	94.0	150.0

\*注：混凝土的入模温度为20°C；浇筑高度H=4m。



## 施工规范修正的混凝土侧压力公式与原规范公式对比



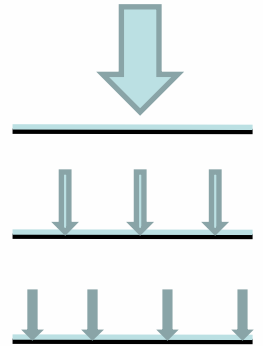
(2) 对模板设计中的施工荷载项，提出了“作用在模板及支撑上的施工人员及施工设备荷载标准值 $Q_1$ 可按实际情况计算，一般情况下可取不小于 $2.5\text{kN/m}^2$ 。”

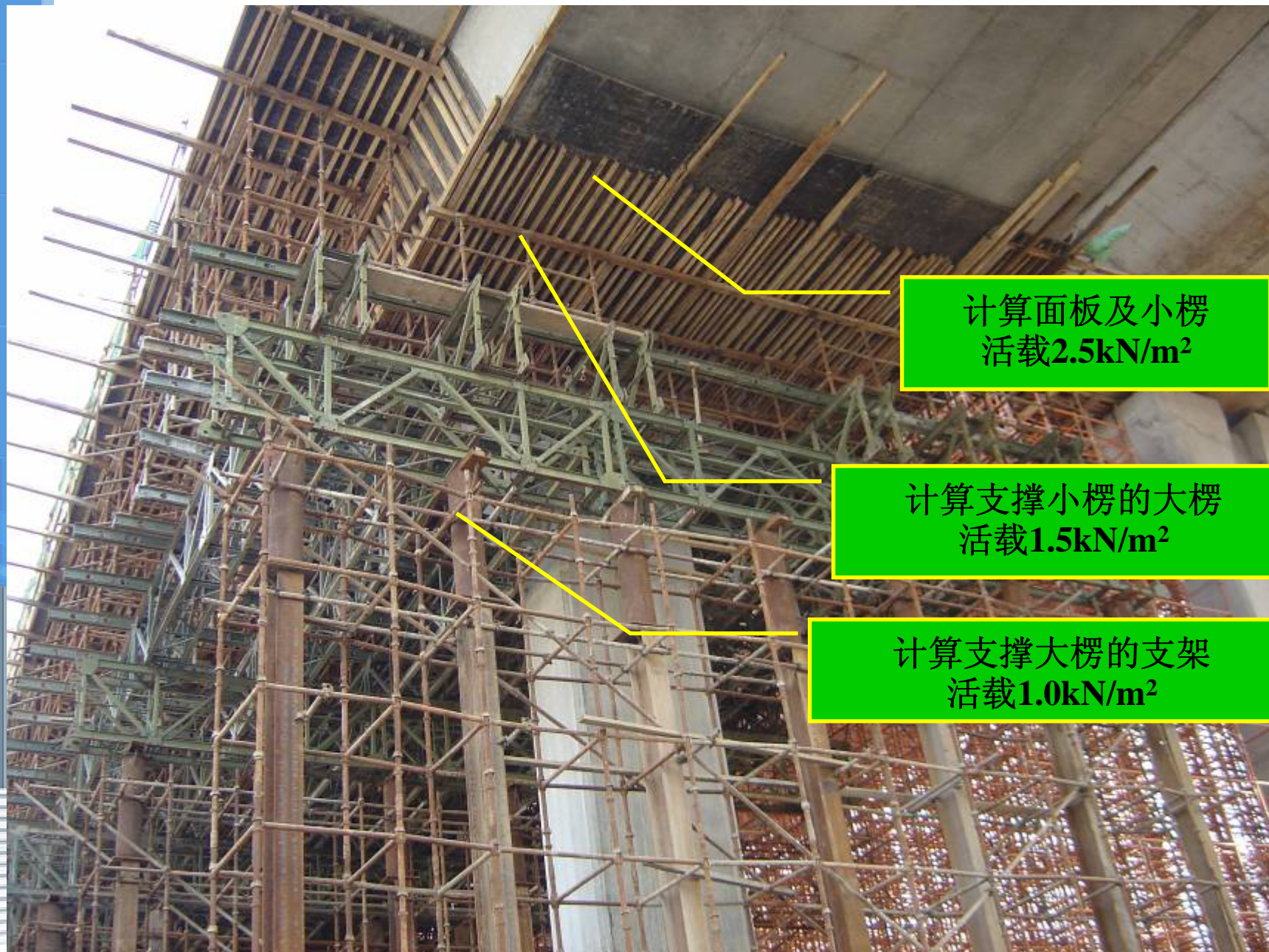
### 基于水平模板施工荷载的传递及扩散影响度测试

施工活载的计算 《混凝土结构施工及验收规范》 GB50204-92)

施工人员及设备荷载标准值 ( $Q_{1k}$ ) :

- 当计算模板和直接支承模板的小梁时，均布活荷载可取 $2.5\text{ kN/m}^2$ ，再用集中荷载 $2.5\text{ kN}$ 进行验算，比较两者所得的弯矩值取其大值；
- 当计算直接支承小梁的主梁时，均布活荷载标准值可取 $1.5\text{ kN/m}^2$ ；
- 当计算支架立柱及其它支承结构构件时，均布活荷载标准值可取 $1.0\text{ kN/m}^2$ 。





计算面板及小楞  
活载 $2.5\text{kN/m}^2$

计算支撑小楞的大楞  
活载 $1.5\text{kN/m}^2$

计算支撑大楞的支架  
活载 $1.0\text{kN/m}^2$





## 施工活载传递与影响范围测试

由于施工现场中的材料堆放和施工人员荷载具有随意性，且往往材料堆积越多的地方人员越密集，产生的局部荷载不可忽视，通过现场模拟平板浇筑时的施工活荷载的测试试验，可以看出在局部荷载作用的区域内的立杆承受了约90%的荷载，相邻的立杆承担相当少的荷载，而且由于水平杆的作用，某些杆件呈现出受拉状态，在距离两个柱距的杆件几乎不受影响，所以92规范中过多考虑了局部荷载作用下的扩散作用，从2.5 kN/m<sup>2</sup>、1.5 kN/m<sup>2</sup>扩散到1.0 kN/m<sup>2</sup>来计算立杆有失妥当，新规范规定：在计算模板，小楞，支承小楞构件和立杆时应采用相同的荷载取值不小于2.5 kN/m<sup>2</sup>。



西安建筑科技大学研究人员也对高大模板支撑体系施工期荷载的现场调查，对典型工程高支模体系的受力进行跟踪监测，对高大模板支撑体系的施工人员及设备荷载标准值，建议取**1.5 kN /m<sup>2</sup>**。对有大型浇注设备如上料平台、混凝土输送泵等，需按实际情况计算。

对比美国**ACI347-2004**规范中规定了竖向活荷载的水平投影的设计值不能小于**2.4kN /m<sup>2</sup>**，对于采用机械运输混凝土进行浇筑时该荷载设计值不能小于**3.6kN /m<sup>2</sup>**。竖向荷载中恒荷载和活荷载之和不能小于**4.8kN /m<sup>2</sup>**，在使用机械浇筑时不能小于**6.0kN /m<sup>2</sup>**。

(3) 对模板支架，提出了应验算水平荷载：“考虑施工中的泵送混凝土、倾倒混凝土等未预见因素产生的水平荷载标准值 $Q_{2k}$ ，可取垂直永久荷载的2%作为标准值，并以每延米的形式作用在模板支撑顶端边缘的水平方向上。”

未预见因素产生的水平荷载是新增荷载项，是考虑施工中的风、泵送混凝土、倾倒混凝土以及浇筑斜面混凝土等未预见因素产生的水平荷载。上海市工程建设规范《钢管扣件水平模板的支撑系统安全技术规程》（**DG/TJ08-016-2004, J10374-2004**）中规定了该项荷载（诱发荷载）一般取2.5%的垂直永久荷载标准值，并作用在支撑上端水平方向。美国**ACI347-2004**规定了风、泵送混凝土、倾倒混凝土以及浇筑斜面混凝土等产生的水平荷载取垂直永久荷载的2%，并以线荷载形式作用在模板支撑的上边缘水平方向上；或直接以不小于**1.5kN/m**的线荷载作用在模板支撑上边缘的水平方向上进行计算。日本也规定有相应的该荷载项。增加该荷载项主要是用于对独立高大模板支架进行抗倾覆计算复核。

## (4) 对风荷载的取值

在**GB50204—92**规范中，出现与风荷载相关的条文之处为验算类似于大模板等迎风面积大的模板块在风荷载作用下的抗倾覆稳定性，但风荷载如何取值未作详细规定。

风荷载计算有三种观点：

**观点一：**直接按《建筑结构荷载规范》**GB50009**的规定取值，但基本风压可按**10**年一遇的风压采用。

**观点二：**按《建筑结构荷载规范》**GB50009**的规定的**50**年一遇的基本风压乘以折减系数（**0.7**）。

**观点三：**仍按**GB50009**的规定，但基本风压按施工场地风力等级对应的风速计算。

施工规范规定风荷载（ $Q_4$ ）的标准值可按现行国家标准《建筑结构荷载规范》**GB50009**的有关规定确定，其基本风压可按**10**年一遇的风压采用，但基本风压不应小于**0.20kN/m<sup>2</sup>**。



## 四、承载力计算及变形验算

### 承载力计算

(1) 规范第4.3.5条规定了模板及支架的承载力验算基本要求及公式，引入结构重要性系数，对重要的模板及支架宜取  $\geq 1.0$ ，对于一般的模板及支架应取  $\geq 0.9$ 。规范第4.3.5条还引入承载力设计值调整系数，对周转使用的工具式模板及支架，承载力设计值调整系数可取大于1.0；对非工具式模板与支架，可取1.0。

(3) 规范第4.3.6条规定：模板及支架的荷载基本组合的效应设计值可按下式计算：

$$S = 1.35\alpha \sum_{i \geq 1} S_{G_{ik}} + 1.4 \times \psi_{cj} \sum_{j \geq 1} S_{Q_{jk}}$$

$\alpha$  ——模板及支架的类型系数：对侧面模板，取0.9；对底面模板及支架，取1.0；

## 参与模板及支架承载力计算的各项荷载

计算内容		参与荷载项
模板	底面模板的承载力	$G_1 + G_2 + G_3 + Q_1$
	侧面模板的承载力	$G_4 + Q_2$
支架	支架水平杆及节点的承载力	$G_1 + G_2 + G_3 + Q_1$
	立杆的承载力	$G_1 + G_2 + G_3 + Q_1 + Q_4$
	支架结构的整体稳定	$G_1 + G_2 + G_3 + Q_1 + Q_3$ $G_1 + G_2 + G_3 + Q_1 + Q_4$

注：表中的“+”仅表示各项荷载参与组合，而不表示代数相加。

## 变形验算

### (1) 变形验算基本要求

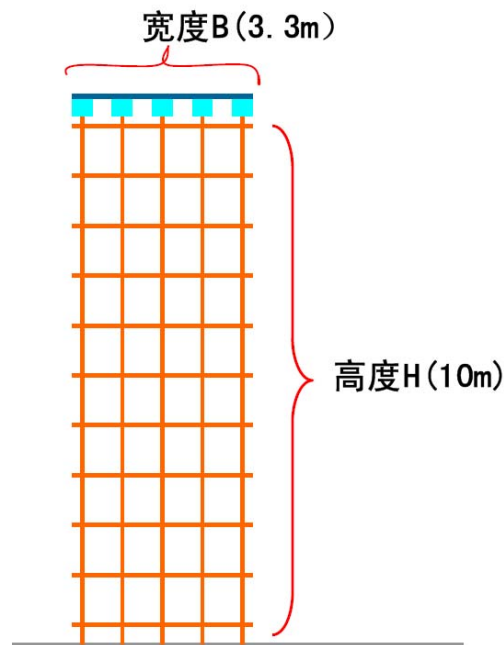
规范第4.3.9条规定了对结构表面外露的模板，挠度限值取为模板构件计算跨度的**1/400**；对结构表面隐蔽的模板，挠度限值取为模板构件计算跨度的**1/250**。必须注意到该规定未区分模板的面板、支撑面板的次梁以及支撑次梁的主梁的变形相互影响。

### (2) 变形验算荷载组合

施工规范规定模板及支架的变形验算可仅按永久荷载标准值计算。对于梁板结构底模板，永久荷载项组合的主要是模板、钢筋和混凝土的自重；但对于墙、柱和梁侧模板，参与变形验算组合的永久荷载项为混凝土侧压力。

## 五、支架稳固性及抗倾覆验算

规范第4.3.10规定了模板支架的高宽比不宜大于3；当高宽比大于3时，应加强稳固性措施。



加强稳固性措施，主要是加强与已浇混凝土构件的拉结和设置足够的纵横向竖向剪刀撑和水平剪刀撑等。

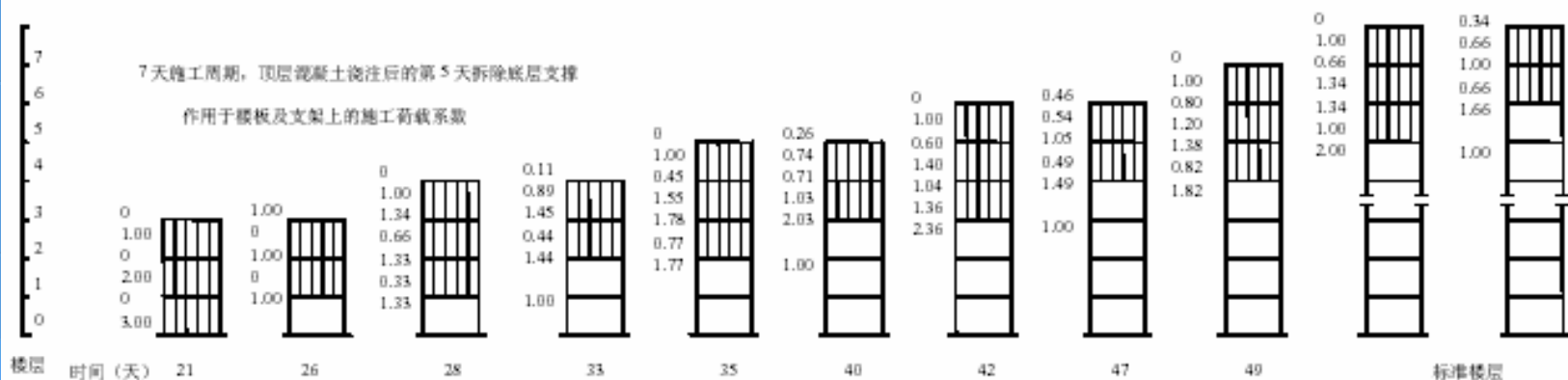


施工规范第**4.3.11**条规定支架的抗倾覆验算应考虑混凝土浇筑前和浇筑时的两个工况，要求支架的抗倾覆力矩设计值应大于支架的倾覆力矩设计值。

混凝土浇筑前工况下的抗倾覆验算，主要是针对支架顶部大块面积模板在风荷载水平荷载作用下的抗倾覆验算。混凝土浇筑时工况下的抗倾覆验算，主要是针对在不对称荷载以及泵送混凝土管抖动等引发的水平荷载作用下的抗倾覆验算。

## 六、连续支模计算

施工规范第4.3.13条规定“多层楼板连续支模时，应考虑多层楼板间荷载传递对支架和楼板结构的影响。”



楼层板施工周期为7天，3层模板，顶层混凝土浇筑后的第5天拆除底层支撑情况下，列出楼层和支架分担的荷载系数，楼层和支架分担的荷载等于该荷载系数乘以单位面积荷载值（D）

必须设置足够层数支架，以避免相应各层楼板产生过大的应力和挠度，由已浇筑好的一层或多层楼板与设置的多层模板支架共同组成施工过程中临时承载结构承担各类施工荷载。

## 七、模板钢管支架设计

### 钢管和扣件搭设的支架

施工规范第**4.3.15**条规定了对扣件钢管搭设的模板支架设计时应遵循的原则，其中，优先采用立杆顶部插入可调托座的中心传力方式。



施工规范规定对于不能实现立杆中心传力的工况，顶层立杆应按不小于**50mm**的偏心距进行偏心受压杆件验算承载力，且应考虑搭设的垂直偏差影响，还应验算水平杆与立杆的直角扣件抗滑移承载力。

施工规范第**4.3.15**条第**2**款中，限定扣件式钢管支架立杆的单根承载力不应大于**12kN**，是基于目前工地使用的钢管壁厚大部分在**3.0mm**左右，扣件的质量也不容乐观，又根据扣件钢管架传力不直接的特点，限定不大于**12kN**有利于安全，也与《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》**JGJ130-2011**的满堂支撑架的立杆稳定性计算规定基本一致。

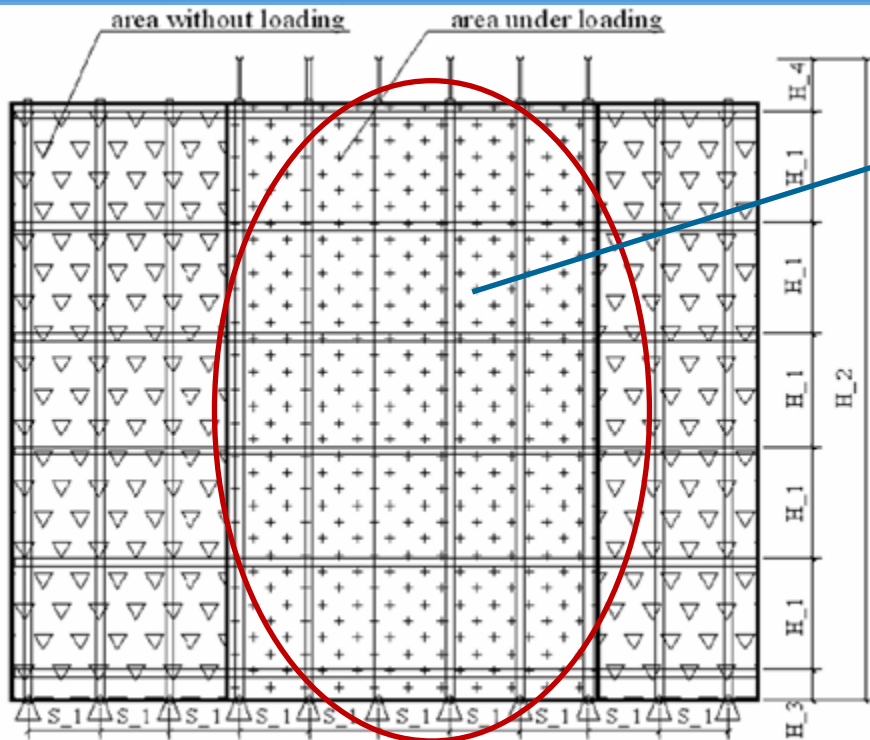






## 扣件钢管脚手架的模板支架整架承载力试验

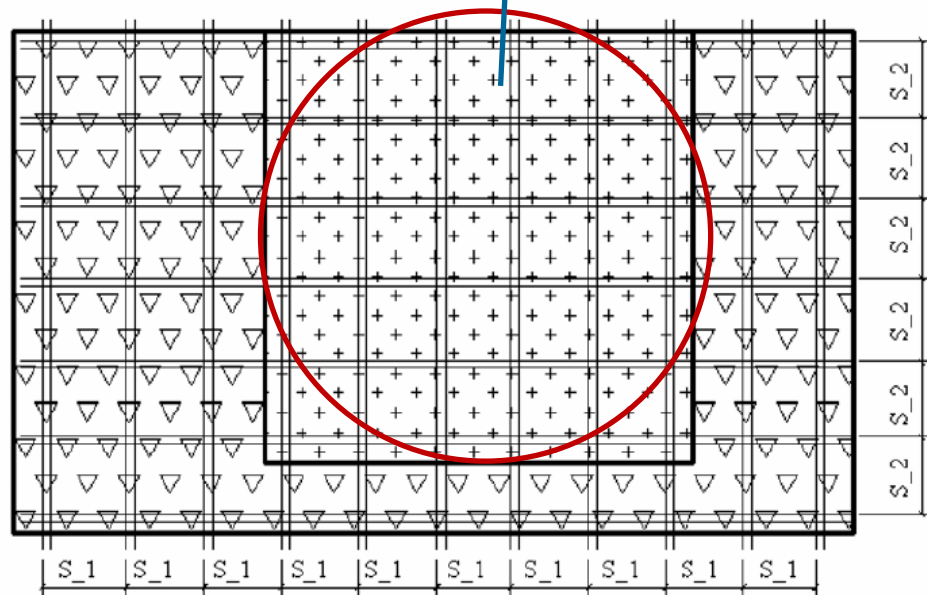
试验采用两对超高反力架(高度在**10m**左右), 利用**8**个液压千斤顶, 通过两道**H**形钢分配梁, 将荷载均匀地传至满堂支撑体系上。



(a) Elevation view of STCS.

立面图

加载区



(b) Plan view of STCS.

平面图

Parameters for the STCS full-scale specimens.

Spec #	H_1 (m)	S_1 × S_2 (m)	H_2 (m)	H_3 (m)	H_4 (m)
ST 1	1.48	0.9 × 0.94	8.15	0.2	0.55
ST 2	1.23	0.9 × 0.94	8.15	0.2	0.55
ST 3	1.23	0.9 × 0.6	8.15	0.2	0.55
ST 4	0.92	0.9 × 0.6	8.15	0.2	0.55
ST 5	0.9	0.6 × 0.6	8.15	0.4	0.55
ST 6	0.6	0.4 × 0.4	8.15	0.2	0.5
ST 7	1.47	1.2 × 1.27	8.15	0.3	0.5
ST 8	1.47	1.2 × 1.27	7.65	0.3	0
ST 9	1.8	1.5 × 1.5	7.5	0.4	0
ST 10	1.5	1.2 × 1.27	5.5	0.2	0.8
ST 11	1.5	1.2 × 1.26	5.2	0.2	0.5
ST 12	1.5	0.9 × 0.94	5.2	0.2	0.5

**H1**步高； **H2**总高； **H3**扫地杆高； **H4**可调托伸出水平杆高度





从试验过程中测得的各立杆轴向应变来看，由于上部荷载不均匀地作用于立杆，部分立杆首先发生失稳破坏，随后其他立杆发生连锁的失稳破坏。



Comparison of FEM analysis with full-scale test results.

Spec #	Critical buckling load per post $p_{cr}$ (kN)				
	$p_{cr\_test}$	$p_{cr\_E}$	$p_{cr\_NL}$	$p_{cr\_E}/p_{cr\_NL}$	Error (%)
ST1	23.22	27.837	20.54	1.355	-11.54
ST2	23.76	26.81	20.39	1.315	-14.18
ST 3	25.26	37.184	25.63	1.451	1.47
ST 4	28.76	42.301	30.33	1.395	5.46
ST 5	21.17	21.991	16.08	1.368	-23.39
ST 6	20.68	31.342	22.80	1.375	10.25
ST 7	11.80	12.21	9.86	1.238	-16.44
ST 8	12.22	15.155	10.21	1.484	-16.49
ST 9	7.6	11.255	8.25	1.364	8.55
ST 10	11.30	12.61	9.55	1.320	-15.49
ST 11	13.68	14.69	10.23	1.436	-25.22
ST 12	25.89	27.07	18.46	1.466	-28.70

Note:  $p_{cr\_test}$  = strength obtained from tests;  $p_{cr\_E}$  = critical load obtained from eigenvalue buckling analysis;  $p_{cr\_NL}$  = strength obtained from nonlinear buckling analysis; Error =  $\frac{p_{cr\_NL} - p_{cr\_test}}{p_{cr\_test}} \times 100$ .

表9 15个扣件式钢管满堂支撑体系模型承载力试验结果

Table 9 The results of test

编号	步距(m)	立杆间距 (m×m)	架高(m)	剪刀撑	扫地杆 (m)	立杆伸出顶层 水平杆长度 a (m)	加载区 (跨×跨)	承载力 (kN)
1	1.5	0.9×0.9	8.15	无	0.2	0.50	5×5	23.57
2	1.5	0.9×0.9	8.15	竖向	0.2	0.50	5×5	28.38
3	1.5	0.9×0.9	8.15	竖向+水平	0.2	0.50	5×5	36.26
4	1.2	0.9×0.9	8.15	无	0.2	0.50	5×5	23.76
5	1.2	0.9×0.6	8.15	无	0.2	0.50	5×5	25.31
6	0.9	0.9×0.6	8.15	无	0.2	0.50	5×5	26.49
7	0.9	0.6×0.6 (高宽比增加)	8.15	无	0.4	0.50	5×5	21.74
8	0.9	0.6×0.6	8.15	竖向	0.4	0.50	5×5	34.76
9	0.6	0.4×0.4	8.15	无	0.2	0.50	5×5	21.07
10	1.5	1.2×1.2	8.15	无	0.3	0.50	4×4	16.75
11	1.5	1.2×1.2	8.00	无 (满堂脚手架)	0.3	0.30	4×4	12.22
12	1.8	1.5×1.5	8.00	无 (满堂脚手架)	0.4	0.30	3×3	6.40
13	1.5	1.2×1.2	5.50	无	0.2	0.80	4×4	16.64
14	1.5	1.2×1.2	5.20	无	0.2	0.50	4×4	19.14
15	1.5	0.9×0.9	5.20	无	0.2	0.50	5×5	33.90

## 工具式模数化钢管支架体系

施工规范**4.3.16** 条规定了采用门式、碗扣式、盘扣式或盘销式等钢管架搭设模板支架的设计应结合立柱杆端插入可调托座的中心传力方式，进行其承载力及刚度的验算。



门式钢管脚手架



碗扣式钢管脚手架



盘扣式钢管支架

## 扣件钢管模板支架设计算例

(1) 工程概况：某地下车库建筑面积9700m<sup>2</sup>，地下1层，±0=4.0m，筏板基础顶-4.8m，结构层高4.8m，板厚300mm，梁截面500×900mm。

(2) 模板及支架搭设：楼板模板支撑架采用扣件式钢管脚手架，立杆间距700mm，除首步架步距1500mm外，以上水平杆步距1200mm。立杆所用材料为 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管，立杆顶部设可调顶托顶住楼板模板主楞；楼板模板主楞为 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管@700mm，次楞为50×80mm方木@150mm，铺在主楞之上；模板面板采用12mm厚多层木胶合板。

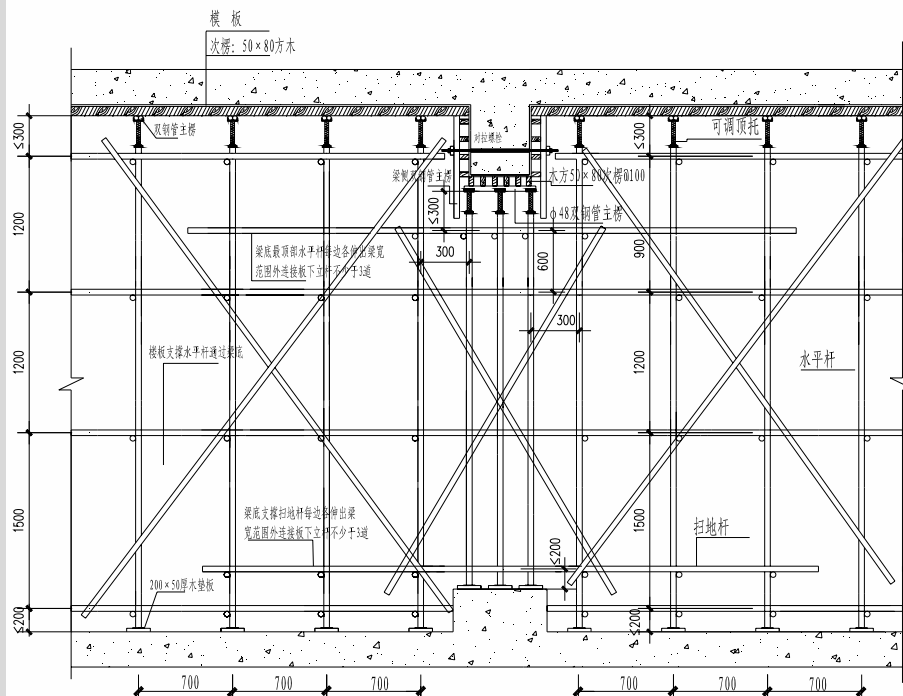


图4.3-15模板支架布置图



### (3) 荷载取值

支撑荷载标准值（即计算每平方米荷载，楼板厚300mm）

模板及支架自重标准值  $G_{1k}$ :  $0.50\text{kN/m}^2$

新浇筑混凝土自重标准值  $G_{2k}$ :  $G_{2k}=0.3\times 24=7.2\text{kN/m}^2$

钢筋自重标准值  $G_{3k}$ :  $G_{3k}=0.3\times 1.1=0.33\text{kN/m}^2$

施工人员及设备荷载标准值  $Q_{1k}$ :  $3.0\text{kN/m}^2$

（规范规定不小于  $2.5\text{kN/m}^2$ ）

### (4) 荷载组合

本例属一般性模板支架，结构重要性系数取0.9；

计算模板支架承载力：

$$0.9 \{ 1.35 \times (G_{1k} + G_{2k} + G_{3k}) + 1.4 \times Q_{1k} \} = 0.9 \{ 1.35 \times (0.5 + 7.2 + 0.33) + 1.4 \times 3 \} = 13.54\text{kN/m}^2$$

验算刚度： $G_{1k} + G_{2k} + G_{3k} = 0.5 + 7.2 + 0.33 = 8.03\text{kN/m}^2$

### (5) 各杆件验算

次楞和主龙骨的抗弯承载力、抗剪承载力和挠度验算略

## (6) 立杆的稳定性

按照三跨连续梁来计算最大支座反力：

$$q=13.54 \times 0.7=9.48 \text{ kN/m}$$

$V_{\max}=1.1ql=1.1 \times 9.48 \times 0.7=7.30\text{kN}$ ，即每根立杆所承受最大荷载为7.3kN。

按JGJ130-2011公式5.4.6-1和附录C表C-2，立杆间距按0.75×0.75m，顶部立杆段的计算长度：

$$l_0 = k\mu_1(h + 2a) = 1.155 \times 1.532(1.2 + 2 \times 0.3) = 3.185\text{m}$$

立杆计算长度的长细比为： $\lambda = l_0 / i = 3185 / 15.8 = 202$

(讨论：按JGJ130-2011第5.1.9条规定，满堂支撑架的受压构件容许长细比为210，满足要求；按施工规范第4.3.12条规定，受压构件的容许长细比为180，此时，顶部水平杆步距应减少为1000mm，方可满足要求)，得稳定性系数=0.177

$$\frac{N}{\varphi A} = \frac{7300}{0.177 \times 489} = 84.3 < f = 205\text{N/mm}^2 \text{ (可)}$$

## (7) 单立杆标准轴力复核

按施工规范第**4.3.15**条，普通扣件钢管支模架的单根立杆的轴力标准值不宜大于**12kN**，本算例的板厚**300mm**，钢筋混凝土板及模板自重的恒载标准值为 **$0.3 \times 25.1 + 0.3 = 7.83 \text{kN/m}^2$** ，单位面积的活载标准值取为 **$0.3 \text{kN/m}^2$** ，立杆轴力标准值为 **$1.1 \times 7.83 \times 0.7 \times 0.7 + 3.0 = 7.22 \text{kN} < 12 \text{kN}$** 。

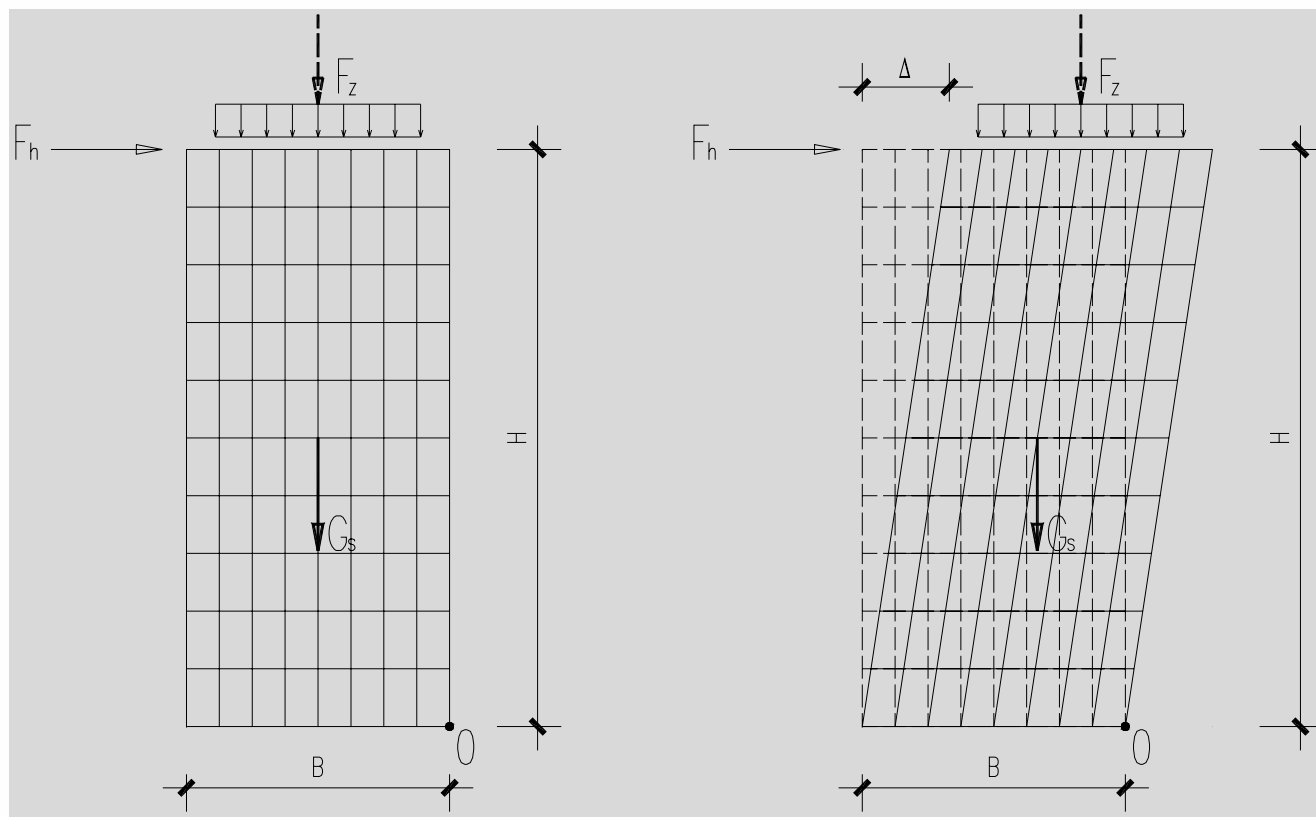
## 扣件钢管架整体稳定性和稳固性的计算分析讨论

钢管扣件式高支模架的整体稳固性是其设计计算的主要内容，也是评价高支模架安全性的重要指标，根据《混凝土结构工程施工规范》（**GB50666-2011**）可将高支模架的整体稳固性分为支架整体稳定性能和抗倾覆性能。

参考钢管扣件式脚手架抗倾覆性能的计算方法，考虑高支模架顶部的水平荷载作用效应、支模架顶部的水平位移、支架的垂直搭设偏差等，讨论钢管扣件式独立高支模架的整体抗倾覆性能计算方法。



假定支架变形表现为刚体位移，分别计算无侧移模型（图a）和有侧移模型（图b）绕O点的抗倾覆性能。架体顶部竖向荷载为 $F_z$ ，风荷载或混凝土浇筑过程中产生的水平荷载定义为广义水平力 $F_h$ ，支架和模板自重定义为 $G_s$ ，水平侧移为 $\Delta$ 。



(a) 无侧移

(b) 有侧移

扣件钢管式独立高支模架整体抗倾覆二维计算简图

规范第4.3.11条规定支架应按混凝土浇筑前和混凝土浇筑时两种工况进行抗倾覆验算。

(1) 混凝土浇筑前。支架顶部混凝土结构模板搭设完成后，由于侧模的迎风面较大，易导致风荷载在支架顶部产生较大的水平力，当架体和顶部模板自重产生的抗倾覆力矩不足以抵抗水平力产生的倾覆力矩时，在混凝土未浇筑情况下易发生独立高支模架的整体倾覆。

(2) 混凝土浇筑时。混凝土浇筑过程中，由于泵送混凝土过程中的泵管抖动、倾倒混凝土时的冲击荷载以及不均匀堆载等因素影响，易使得架体丧失整体稳定性。规范综合考虑了国内外广义水平力的取值方法和国内的实际情况，取垂直永久荷载标准值的**2%**作为广义水平力作用于架体顶部，用以综合考虑混凝土浇筑过程中上述不利因素的影响。当钢筋、混凝土、模板及支架自重等永久荷载产生的抗倾覆力矩不足以抵抗由广义水平力产生的倾覆力矩时，在混凝土浇筑过程中独立高支模架同样会发生整体倾覆。

以规范为依据，分析讨论上述两种荷载工况下的钢管扣件式高支模架抗倾覆性能计算方法。

# 无侧移支架模型的抗倾覆计算方法

当钢管扣件式高支模架采取了布置水平或竖向剪刀撑等加强措施时，在水平荷载作用下其顶部水平侧移  $\Delta$  可忽略不计，这类高支模架可定义为无侧移支架模型。

## 混凝土浇筑前：

假定风荷载作用标准值为  $\omega_k$ ，混凝土结构的侧模高度为  $h$ ，侧模和支架的纵向长度均为  $L$ ，支架高度和宽度分别为  $H$  和  $B$ 。

风荷载产生的水平荷载为： $F_h = \omega_k \cdot h \cdot L$ ，作用于支架顶部；

模板和支架自重为： $G_s = g_k \cdot L \cdot B$ ，其中， $g_k$  为每平米的模板支架自重标准值，作用于支架形心处；

取独立支架的单位长度作为计算单元，支架绕图 1 中的 O 点转动。由式： $\gamma_0 M_0 \leq M_r$  可得，其中， $M_0$  为支架的倾覆力矩设计值， $M_r$  为支架的抗倾覆力矩设计值， $\gamma_0$  取 1.0。

$$M_0 = 1.4 \cdot \omega_k \cdot h \cdot H$$

$$M_r = 0.9 \cdot g_k \cdot B \cdot B / 2$$

$$M_r - M_0 = 0.9 \cdot g_k \cdot B \cdot B / 2 - 1.4 \cdot \omega_k \cdot h \cdot H \geq 0$$

$$H / B \leq 0.32 \frac{g_k B}{\omega_k h}$$

可得，混凝土浇筑前，在风荷载作用下无侧移支模架高宽比满足上式要求时，其抗倾覆性能满足要求。

# 无侧移支架模型的抗倾覆计算方法

## 混凝土浇筑时：

假定某一浇筑期支架顶部钢筋和混凝土自重标准值为  $F_z$ ，侧模和支架的纵向长度均为  $L$ ，支架高度和宽度分别为  $H$  和  $B$ 。

广义水平力取为垂直永久荷载的 2%，即： $F_h=F_z \cdot 2\%$ ，作用于支架顶部；

模板和支架自重为： $G_s=g_k \cdot L \cdot B$ ，其中， $g_k$  为每平米的模板支架自重标准值，作用于支架形心处；

取独立支架的单位长度作为计算单元，支架绕图 1 中的 O 点转动。由式： $\gamma_0 M_0 \leq M_r$  可得，

$$M_0 = 1.4 \cdot F_z \cdot 2\% \cdot H$$

$$M_r = 0.9 \cdot g_k \cdot B \cdot B / 2 + 0.9 \cdot F_z \cdot B / 2$$

$$M_r - M_0 = 0.9 \cdot g_k \cdot B \cdot B / 2 + 0.9 \cdot F_z \cdot B / 2 - 1.4 \cdot F_z \cdot 2\% \cdot H \geq 0$$

$$H / B \leq 16 \frac{g_k B}{F_z} + 16$$

可得，混凝土浇筑过程中，在广义水平力作用下无侧移支模架高宽比不超过 16 时，其抗倾覆性能满足要求。



# 有侧移支架模型的抗倾覆计算方法

## 混凝土浇筑前:

在风荷载作用下，假定支架顶部的水平侧移为  $\Delta$ ，其余假定同 3.1。

仍取独立支架的单位长度作为计算单元，支架绕图 1 中的 O 点转动。由式： $\gamma_0 M_0 \leq M_r$  可得，

$$M_0 = 1.4 \cdot \omega_k \cdot h \cdot H$$

$$M_r = 0.9 \cdot g_k \cdot B \cdot (B/2 - \Delta/2)$$

$$M_r - M_0 = 0.9 \cdot g_k \cdot B \cdot (B/2 - \Delta/2) - 1.4 \cdot \omega_k \cdot h \cdot H \geq 0$$

$$H/B \leq 0.32 \frac{g_k (B - \Delta)}{\omega_k h}$$

可得，混凝土浇筑前，在风荷载作用下有侧移支架模型抗倾覆高宽比限值受水平侧移量的影响较大，在实际工程中应能准确估计高支模架的水平侧移，以准确判断施工过程中支模架的抗倾覆性能。

## 有侧移支架模型的抗倾覆计算方法

### 混凝土浇筑时：

在广义水平力作用下，假定支架顶部的水平侧移为  $\Delta$ ，其余假定同 3.2。

同样仍取独立支架的单位长度作为计算单元，支架绕图 1 中的 O 点转动。由式： $\gamma_0 M_0 \leq M_r$  可得，

$$M_0 = 1.4 \cdot F_z \cdot 2\% \cdot H$$

$$M_r = 0.9 \cdot g_k \cdot B \cdot (B/2 - \Delta/2) + 0.9 \cdot F_z \cdot (B/2 - \Delta)$$

$$M_r - M_0 = 0.9 \cdot g_k \cdot B \cdot (B/2 - \Delta/2) + 0.9 \cdot F_z \cdot (B/2 - \Delta) - 1.4 \cdot F_z \cdot 2\% \cdot H \geq 0$$

$$H/B \leq 16 \frac{g_k (B - \Delta)}{F_z} + 16 \left(1 - \frac{2\Delta}{B}\right)$$

可得，混凝土浇筑前，在风广义水平力作用下有侧移支架模型抗倾覆高宽比限值受水平侧移量的影响较大，在实际工程中同样应能准确估计高支模架的水平侧移，并准确判断出施工过程中高支模架的整体抗倾覆性能。

## 顶部支架水平位移取值

验算扣件钢管式独立高支模架的整体抗倾覆性能时，其支模架的顶部水平位移由两部分构成  $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$ ， $\Delta_1$  为支架垂直搭设偏差， $\Delta_2$  为水平荷载作用下的水平位移。

### (1) 支架垂直搭设偏差

规范规定高支模架立杆搭设的垂直偏差不宜大于 **1/200**，且不宜大于 **100mm**。在实际工程验算高支模架整体抗倾覆性能时，取支架垂直搭设偏差  $\Delta_1$  与水平位移  $\Delta_2$  同方向作为最不利工况。

### (2) 支架顶部水平荷载作用下的水平位移

扣件式钢管模板支撑结构中的立杆相当于框架结构中的柱，而纵、横向水平杆相当于框架结构中的梁，研究成果均表明，扣件连接节点属于典型的半刚性连接，节点抗扭刚度  $R_k$  与扣件螺栓的拧紧力矩大小有直接关系。东南大学和西安建筑科技大学的实验研究和反演计算结果均表明，在支架搭设基本尺寸和节点抗扭刚度  $R_k$  确定条件下，顶部水平荷载与支架顶部位移基本成线性对应关系，即未发生整体失稳或局部杆件失稳的支模架整体抗侧刚度  $K$  可取为常量。

# 基于反演的扣件钢管支架侧移量测定 和节点抗扭刚度试验分析（东南大

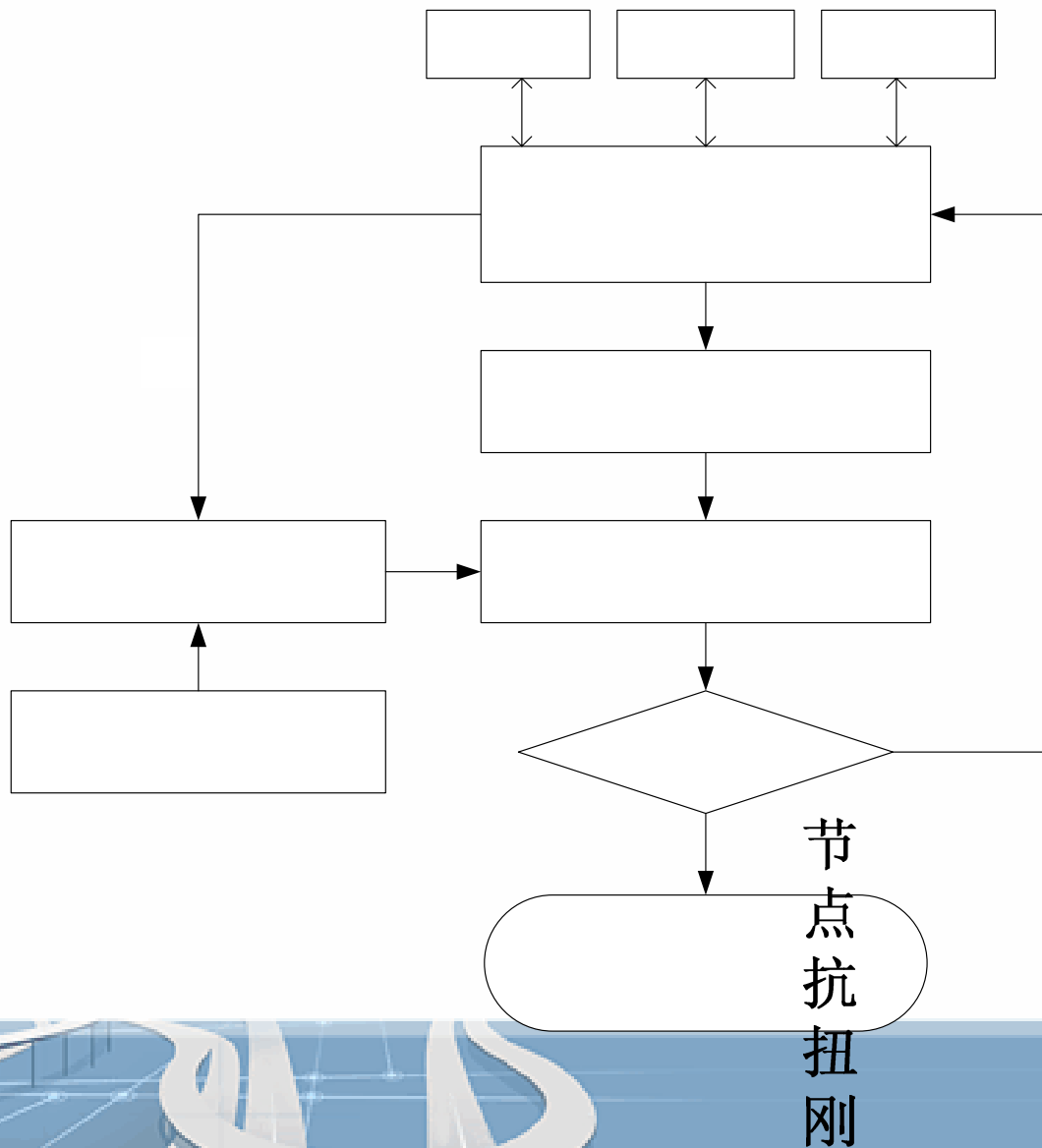




## 顶部支架水平位移取值

根据规范扣件式钢管支模架的扣件螺栓拧紧力矩不应小于**40Nm**，且不应大于**65Nm**，实际工程验算高支模架整体抗倾覆性能时，可取**40Nm**对应的节点抗扭刚度（建议取 **$R_k=80\text{kNm/rad}$** ），计算出水平荷载作用下支模架的抗侧刚度 **$K$** ，进而可分别计算风荷载或广义水平力作用下的支架顶部水平位移 $\Delta_2$ ，或直接结合有限元计算软件（**ANSYS、MIDAS**等）直接计算水平力作用下的顶部水平位移。

# 可建立钢管扣件式独立高支模架抗倾覆验算的基本计算流程



杆件强

节点抗扭刚

## 算例：

支模架基本搭设尺寸： $H=24\text{m}$ ， $B=6\text{m}$ ， $L_h=1200\text{mm}$ ， $L_a=600\text{mm}$ ， $L_b=500\text{mm}$ ，扫地杆距地面 $200\text{mm}$ 。取单位长度的支架进行验算，即 $L=1\text{m}$ 。选取混凝土浇筑前作为抗倾覆验算的荷载工况。

顶部拟浇筑混凝土板厚度为 $2\text{m}$ 。

风荷载按10年一遇基本风压计算，则

$$\omega_k=1.83 \times 1.3 \times 1.0 \times 0.25=0.6\text{kN/m}^2。$$

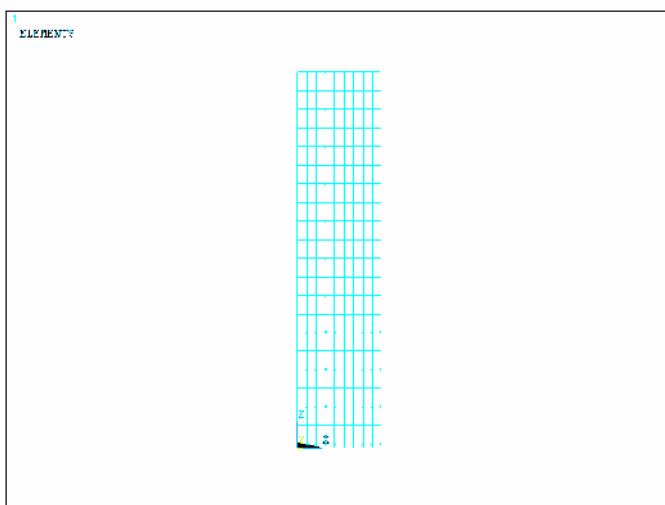
支模架钢管截面取为 $\Phi 48 \times 3.0$ ，上述搭设尺寸下模板和支架自重标准值为 $g_k=7.5\text{kN/m}^2$ 。

(1) 支架顶部无侧移模型

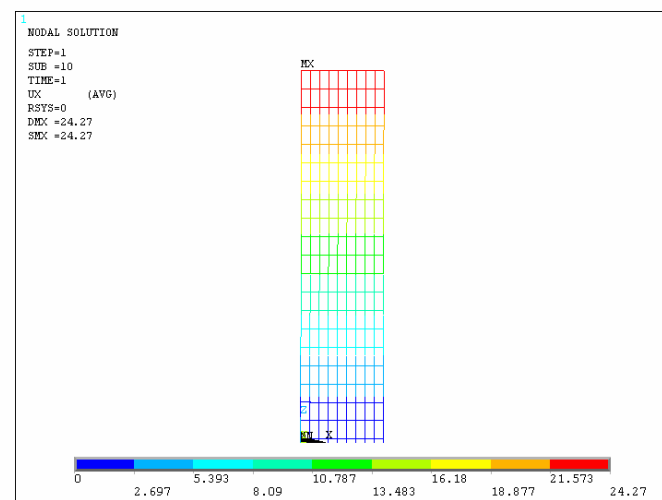
$$0.32 \frac{g_k B}{\omega_k h} = \frac{0.32 \times 7.5 \times 6}{0.6 \times 2} = 12 > H / B = 4，\text{满足抗倾覆要求。}$$

## (2) 支架顶部有侧移模型

为获取水平荷载作用下的支架顶部水平位移，参考东南大学和西安建筑科技大学等研究支架整体稳定性能的分析方法，采用大型有限元软件**ANSYS**建立上述支模架的三维模型，为考虑支架倾覆时部分支架与接触面脱离，采用只受压单元**LINK10**模拟支架顶部支座，风荷载作用下，**2m**高的侧模在支架顶部产生的水平作用力为**1.2kN/m**。



支模架有限元计算模型



水平荷载作用下支架水平位移  
(mm)



直接指定支模架的节点抗扭刚度 $R_k$ ，然后由有限元软件直接计算支架顶部的水平位移 $\Delta_2$ 。本算例中取节点抗扭刚度 $R_k=80\text{kNm/rad}$ （扣件螺栓拧紧力矩取 $40\text{Nm}$ 时），由有限元计算软件**ANSYS**可直接求得支架顶部水平位移， $\Delta_2=24.27\text{mm}$ 。

支架垂直安装偏差： $\Delta_1=\min(H/200, 100\text{mm})=\min(120\text{mm}, 100\text{mm})=100\text{mm}$ 。

$$0.32 \frac{g_k B}{\omega_k h} = \frac{0.32 \times 7.5 \times (6 - 0.124)}{0.6 \times 2} = 11.75 > H / B = 4, \text{ 满足抗倾覆要求}$$

## 整体稳定性和稳固性计算分析结论

基于刚体位移理论和脚手架抗倾覆的分析方法，研究了钢管扣件式独立高支模架的抗倾覆性能计算方法，主要结论如下：

(1) 钢管扣件式独立高支模架 $H/B \leq 3$ 时，支模架发生整体倾覆的可能性较小。

(2) 规范提出了模板支架两类计算工况，若实际工程所在地的风荷载较大（ $\omega_k \geq 1.2 \text{kN/m}^2$ ），混凝土浇筑前模板搭设完成后的工况应为最不利工况。

(3) 结合有限元软件，估算风荷载或广义水平力作用下的支架顶部水平侧移 $\Delta_2$ ，可判定支模架考虑水平侧移时的整体抗倾覆性能。

(4) 在计算支架抗倾覆性能时，将支架立杆作为理想弹性材料考虑，而实际工程中，钢管扣件式独立高支模架在竖向荷载和水平荷载共同作用下，支架整体失稳与倾覆或支架局部失稳与整体倾覆可能同时发生，因此，建议钢管扣件式独立高支模架 $H/B > 3$ 且荷载较大时，应采用有限元软件建立高支模架的弹塑性分析模型，分析其整体稳固性。

## 4.4 制作与安装

### 一、施工准备

模板支架应搭设在**坚实的地基基础**上，施工规范第4.4.4条对支架下的地基基础提出了基本要求，这是模板工程施工准备的重要内容。

楼面结构上的模板安装水平位置通常通过测量放线弹墨线标明，垂直位置通过钢尺量测和连通水平管定位。

### 二、模板制作与安装的要求

#### 一般要求

(1) 第4.4.3条提出了模板应按图加工、制作。通用性强的模板宜制作成定型模板。

(2) 施工规范的第**4.4.4**条规定了对软土地基，当必要时可采用堆载预压的方法调整模板面安装高度。

(3) 对于水平构件的模板及支架，施工规范第**4.4.5**条强调应采取支架间、模板间及模板与支架间的有效拉结措施。

(4) 竖向结构如柱、墙等浇筑混凝土时，在模板外侧设置了斜撑，由于斜撑向上分力的存在，会引起模板底部上浮，因此，施工规范第**4.4.5**条规定了应采取抗浮措施。

## 模板起拱

对于模板起拱值的规定最早见于国家标准《钢筋混凝土工程施工及验收规范》**GBJ10-65**的第二章第**16**条，规定为跨度超过**4**米及**4**米以上时，如设计无规定时，起拱高度宜为全跨长度的**0.2~0.3%**。

在**GBJ204-83**规范中起拱高度规定宜为全跨长度的**1/1000~3/1000**，**GB50204-92**规范中对模板起拱值依然同**GBJ204-83**规范。施工规范第**4.4.6**的延续了**GB50204-92**的规定，即跨度不小于**4m**的梁、板，其模板起拱高度宜为梁、板跨度的**1/1000~3/1000**。



对于模板起拱值的规定有一定争议，主要的分歧点在有些是不需起拱的。对于支承在混凝土底面，梁板的跨度不大和支架的高度不大且刚度较好，在经验的条件下，可以不起拱。一般施工单位，对梁板构件的模板安装，其起拱量取为**1/1000**。

## 支架安装的一般要求

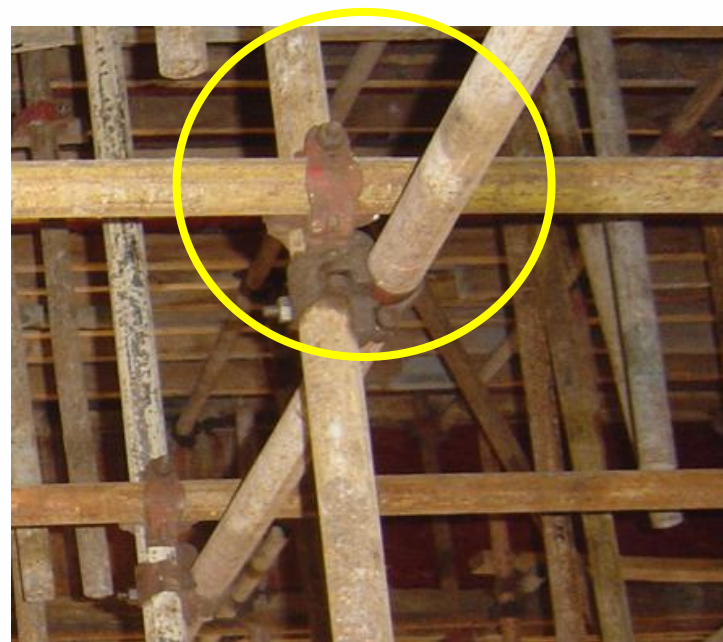
(1) 施工规范第**4.4.11**条强调了构成支架稳定性的纵横向垂直剪刀撑和水平剪刀撑应与支架同步搭设。

(2) 鉴于目前国内建筑工程梁板结构的楼板设计厚度因受单位面积用钢量的控制，板跨一般为**4m**左右，板厚度一般**120mm**左右。因此，施工规范第**4.4.12**条规定了上、下楼层模板支架的立杆宜对准。模板及支架杆件等应分散堆放。

## 扣件式钢管一般模板支架的安装

施工规范第4.4.7条增加了对扣件式钢管模板支架的具体安装规定，其中关键点有：

(1) 立杆步距的上下两端应设置双向水平杆，水平杆与立杆的交错点应采用扣件连接；双向水平杆与立杆的连接扣件之间的距离不应大于**150mm**。



扣件钢管支架的立杆每步应有双向水平杆扣结

(2) 明确细化了剪刀撑的搭设要求，即支架周边应连续设置竖向剪刀撑。支架长度或宽度大于**6m**时，应设置中部纵向或横向的竖向剪刀撑，剪刀撑的间距和单幅剪刀撑的宽度均不宜大于**8m**，剪刀撑与水平杆的夹角宜控制在**45°~60°**之间；**支架高度大于3倍步距时，支架顶部宜设置一道水平剪刀撑。**

## 扣件式钢管高大模板支架的安装

施工规范新增加了第**4.4.8**条对扣件钢管搭设高大模板支架的安装规定，提出支架搭设应完整，并应符合下列规定要点：

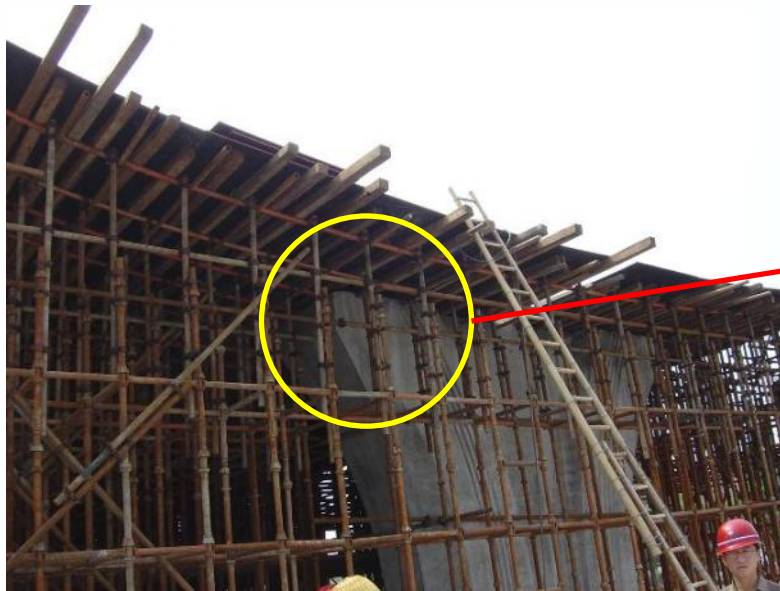
① 宜在支架立杆顶部插入可调托座，可调托座螺杆外径不应小于**36mm**，插入深度不应小于**180mm**，螺杆伸出钢管的长度不应大于**300mm**，插入立杆顶端可调托座伸出顶层水平杆的悬臂长度不应大于**500mm**；

② 立杆纵距、立杆横距不应大于**1.2m**，支架步距不应大于**1.8m**；

③ 立杆顶部接长采用搭接时，搭接长度不应小于**1m**，且不应少于**3**个扣件连接；

④ 支架宜设置中部纵向或横向的竖向剪刀撑，剪刀撑的间距不宜大于**5m**；沿支架高度方向搭设的水平剪刀撑的间距不宜大于**6m**；







⑤ 立杆纵向和横向应设置扫地杆，纵向扫地杆距立杆底部不宜大于**200mm**；

⑥ 支架立杆的搭设垂直偏差不宜大于**1/200**，且不宜大于**100mm**；

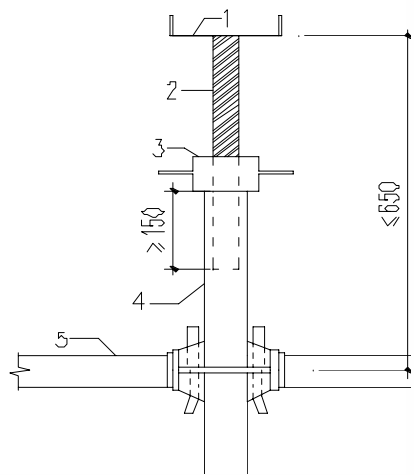
⑦ 支架应根据周边结构的情况，采取有效的连接措施加强支架整体稳固性，支架和周边结构的连接措施方案应进行技术论证。

另外对扣件钢管高大模板支架立杆的顶部插可调托座、纵向和横向间距、步距、搭设的垂直偏差、扫地杆的设置及扣件的拧紧力矩等作出了原则性的规定。

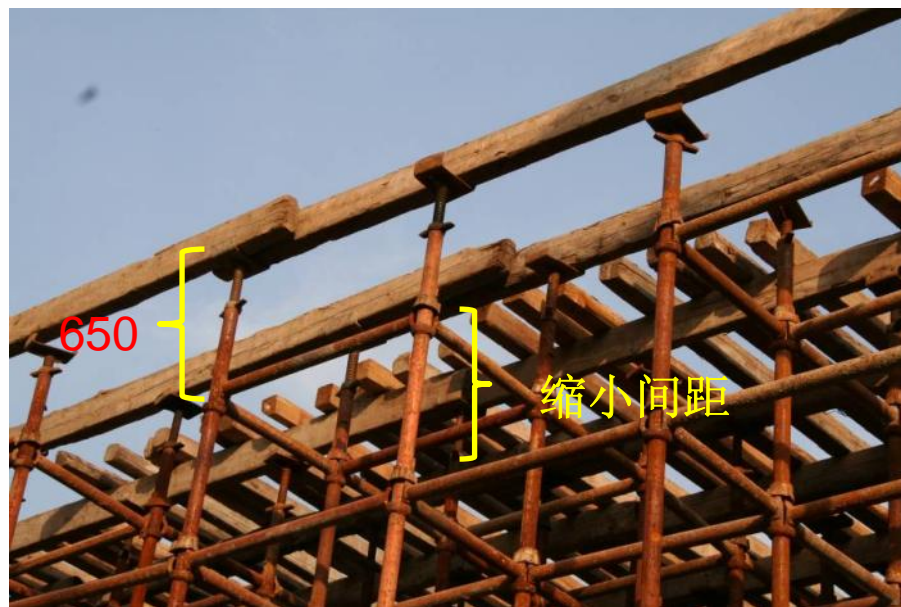
采用满堂扣件钢管支架施工的**20m**以上的高大模板支架时，在支架中间区域设置少量的或用塔吊标准节安装的桁架柱，或用加密的钢管立杆、水平杆及斜杆搭设成塔架等高承载力的临时柱，形成防止突发性模板支架整体坍塌的二道防线，经实践证明是行之有效的措施。

## 其他定型钢管架模板支架的安装

施工规范第4.4.9条对采用碗扣式、插接式和盘销式钢管架搭设模板支架作出规定，特别是对插入立杆顶端可调托座伸出顶层水平杆的悬臂长度规定不应超过**650mm**（图4.4-4），螺杆插入钢管的长度不应小于**150mm**，其直径应满足与钢管内径间隙不小于**6mm**，架体最顶层的水平杆步距应比标准步距缩小一个节点间距。



1—可调托座；2—立柱悬臂端；  
3—碗扣或盘扣架顶层水平杆





**碗扣架的现状不容乐观**

可调托杆有粗有细、钢管锈蚀严重、扣件钢管剪刀撑搭设随意





碗扣式钢管支架的高架桥支模，采用了专用的扣接在水平杆的的斜杆，保证了良好的整体稳固性



## 盘扣式钢管支架

弧面紧贴形成抗  
扭能力



经试验检测节点具有与扣件钢管架等同的抗扭转能力



盘扣式钢管支架的杆件能实现精益制造、全自动焊接、焊缝质量可靠代表先进的模板支架发展方向，值得推广应用。

## 现有钢管支架节点比较



扣件式钢管支架节点

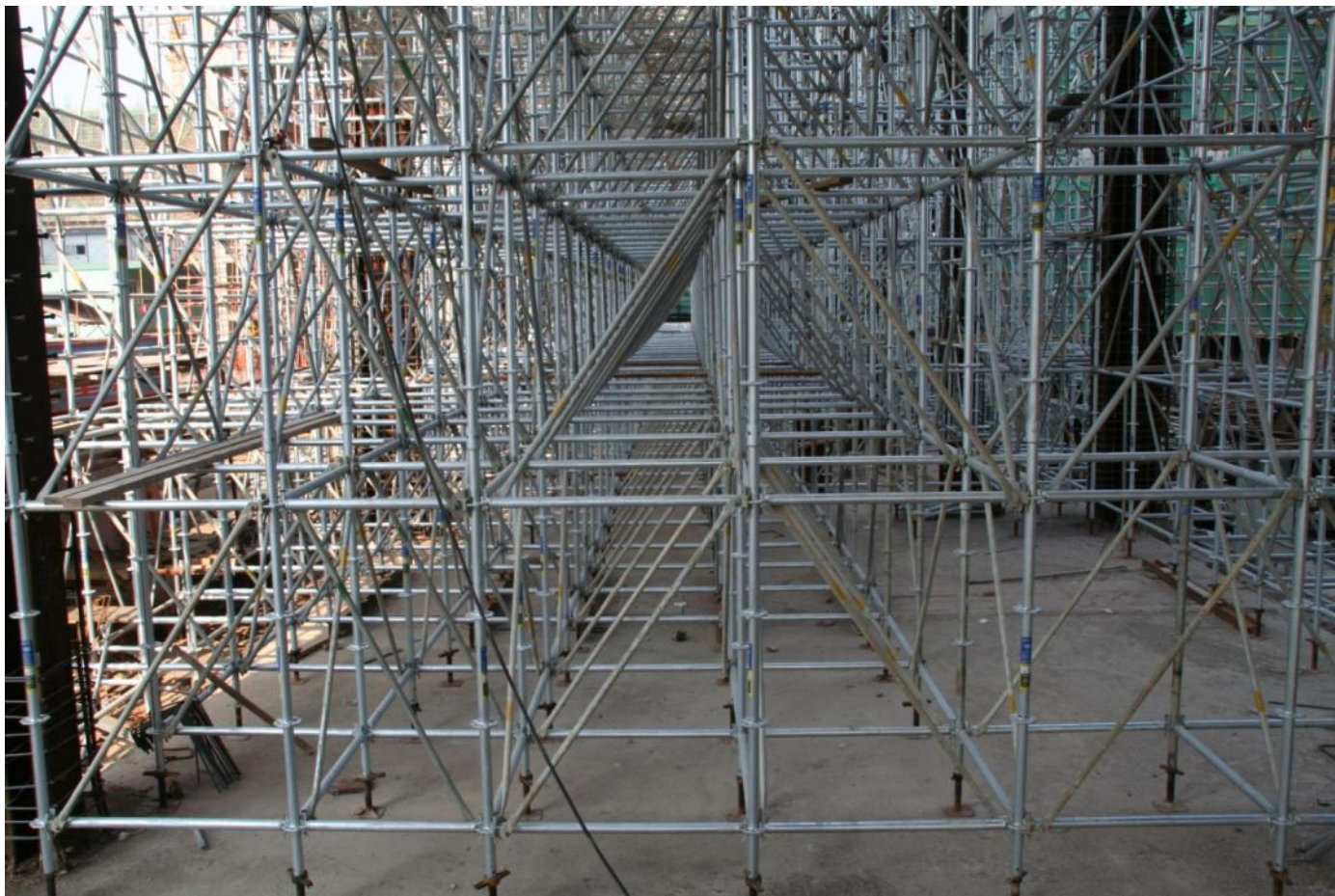


碗扣式钢管支架节点



盘扣式钢管支架节点





盘扣式钢管支架立杆和水平杆间设置斜杆方便，有利于架体的整体稳定，是一种优秀的高大支模架新形式，安全性高，值得推广使用。



## 4.5 拆除和维护

### 一、拆除原则

模板拆除时，可采取先支的后拆、后支的先拆，先拆非承重模板、后拆承重模板的顺序，并应从上而下进行拆除。

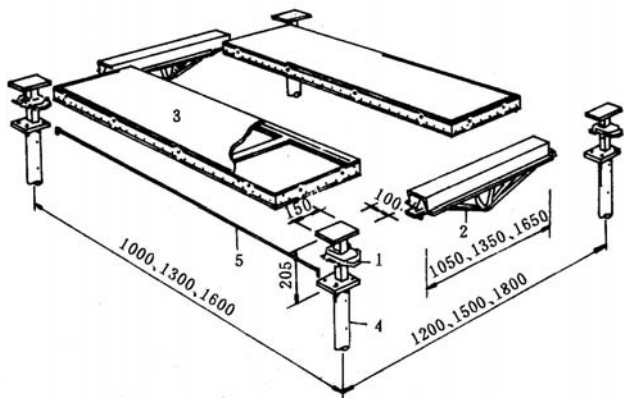
### 二、拆除模板及支架的混凝土强度要求

构件类型	构件跨度 (m)	按达到设计混凝土强度等级值的百分率计 (%)
板	$\leq 2$	$\geq 50$
	$> 2, \leq 8$	$\geq 75$
	$> 8$	$\geq 100$
梁、拱、壳	$\leq 8$	$\geq 75$
	$> 8$	$\geq 100$
悬臂结构		$\geq 100$

施工规范第**4.5.4**条新增加了对多个楼层间连续支模的底层支架拆除如何拆除的规定，并要求应根据连续支模的楼层间荷载分配和混凝土强度的增长情况确定。

### 三、快拆支架体系

施工规范第**4.5.5**条还增加了对于快拆支架体系的拆模规定。按施工规范表**4.5.2**的规定，达到混凝土设计强度的**50%**即可拆模，拆模时应保留立杆并顶托支承楼板。



## 四、模板及支架的维护

施工规范第**4.5.7**和**4.5.8**条对模板拆除过程中以及拆除后的维护作了具体规定。规定拆下的模板及支架杆件不得抛掷，模板拆除后应将其表面清理干净，对变形和损伤部位应进行修复。

### 4.6 质量检查

施工规范**4.6.3**条新增加了扣件式钢管支架的安装偏差和检查内容的规定，并要求对采用双扣件构造设置的抗滑移扣件，其上下顶紧程度应重点检查，扣件间隙不应大于**2mm**。

施工规范第**4.6.4**条新增加了对碗扣式、门式、盘扣式或盘销式钢管支架的安装偏差和检查内容的规定，强调了插入立杆顶端可调托撑伸出顶层水平杆的悬臂长度、节点连接和剪刀撑设置状况应全数检查。

## 联系方式

- 中国建筑科学研究院《规范》管理组：
- 地址：北京市朝阳区北三环东路30号；
- 邮政编码：100013；
- 电子邮箱：[concode@126.com](mailto:concode@126.com)。
- 主讲专家：郭正兴；单位：东南大学；  
电话：025－87390278；