

# 扣件式高大模板支架

## 空间结构体系失效机理及其安全性 控制理论研究

胡长明 著



科学出版社

# 扣件式高大模板支架空间结构体系 失效机理及其安全性控制理论研究

胡长明 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书基于国家自然科学基金“高大模板支架空间结构体系失稳机理及其安全性控制理论研究”成果撰写而成。本书以不同搭设情况下的真架为研究对象,通过对其进行加载至破坏,研究不同因素对架体稳定承载力的影响,并通过大型有限元计算软件 ANSYS 对上述试验进行数值模拟验算;对直角扣件进行节点试验,采用对数非线性模型进行回归分析,确定了拧紧力矩与节点初始抗扭刚度之间的关系;建立高大模板支撑体系的失效准则,基于架体稳定性和人为失误对结构可靠性的影响进行了分析研究;最后为结合实际施工情况,采用静态应变测试系统对施工过程中的高大模板支撑体系内部杆件的应力应变进行了现场监测,掌握其内在变化规律,进而对模板支撑体系的安全施工进行有效控制。

本书可供土木工程技术人员参考,也可以作为高等院校土木工程及相关专业的高年级本科生和研究生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

扣件式高大模板支架空间结构体系失效机理及其安全性控制理论研究/  
胡长明著. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-036180-6

I. ①扣… II. ①胡… III. ①建筑工程-模板-结构体系-理论研究  
IV. ①TU755.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 297567 号

责任编辑:童安齐 祝元志 袁莉莉/责任校对:王万红

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年2月第一版 开本:B5(720×1000)

2014年2月第一次印刷 印张:22

字数:430 000

定价:75.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(双青))

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135763-8228

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303



# 前 言

随着我国经济的快速发展，建筑业作为我国国民经济的支柱产业，为推动国民经济的增长和社会全面发展发挥了重要的作用。经济蓬勃发展，城市人口越来越多，高层建筑以及大跨度多功能建筑物越来越受到青睐。模板支撑体系作为建筑施工中的重要环节，显得越来越重要。但由于管理、技术及施工人员素质与建筑业发展的不平衡，模板支撑系统质量参差不齐，导致模板支撑系统坍塌事故频繁发生。每一次事故的发生，都警示我们要找出原因，解决问题，为建筑业的健康、安全、快速发展贡献力量。

本书的研究得到了国家自然科学基金“高大模板支架空间结构体系失稳机理及其安全性控制理论研究”（编号：50978219）的资助。本书以不同搭设情况下的真架为研究对象，通过对其进行破坏性试验，研究不同因素对架体稳定承载力的影响，并通过大型有限元计算软件 ANSYS 对上述试验进行数值模拟验算；对直角扣件进行节点试验，采用对数非线性模型进行回归分析，确定拧紧力矩与节点初始抗扭刚度之间的关系；建立高大模板支撑体系的失效准则，基于架体稳定性和人为失误对结构可靠性的影响进行分析研究；最后为结合实际施工情况，采用静态应变测试系统对施工过程中的高大模板支撑体系内部杆件的应力应变进行现场监测，掌握其内在变化规律，进而对模板支撑体系的安全施工进行有效控制。

本书对造成高大模板支撑体系坍塌的原因进行总结。从 5 个不同的方面（高大模板支撑体系计算模型及方法研究现状、荷载研究现状、模板与支架协同工作研究现状、整架有限元分析和试验研究现状、国外试验研究现状）对高大模板支撑体系的研究现状进行概述，并在此基础上提出本书的主要研究内容和技术思路，展望高大模板支撑体系的发展方向。

对 5 种不同工况下的高大模板支撑体系进行真架试验。试验过程中对架体加载直至整架破坏，测量加载过程中架体内部杆件（立杆、水平杆、剪刀撑）的应力大小及应力变化趋势，记录架体杆件的变形情况，判断其失稳时的模态。将试验结果同有限元计算软件所模拟的结果进行对比，更为直观地反映出高大模板支撑体系中不同杆件及不同的构造措施对架体整体稳定承载力的影响情况。

高大模板支撑体系稳定承载力从理论研究方向出发，系统阐述了杆件受压的概念，并通过公式的推导明确了初弯曲及初偏心对轴心受压构件的影响。基

于有侧移的框架柱理论,在考虑架体连接节点半刚性的条件下,采用 MATLAB 进行编程对立杆计算长度系数进行了分析,给出了计算长度系数的建议取值。通过真架试验与数值模拟计算结果的对比,提出在对高大模板支撑体系进行计算的过程中,采用 1.2%~2.5%的架体极限承载力作为假想水平力作用在支撑上端节点水平方向,能较好地模拟出整架的承载能力。对立杆稳定系数进行推导,并将推导值同我国现行规范中的规定值进行比较,发现推导值更偏安全。

分析了扣件节点半刚性对高大模板支撑体系稳定承载力的影响。直角扣件对钢管的连接,既不属于刚性连接,也不属于简单的铰接,而是介于两者之间的半刚性连接状态。因此在对高大模板支撑体系进行稳定承载力的计算时,无论采用刚接还是铰接都不能准确地反映架体的实际承载能力。本研究着眼于明确半刚性节点对架体稳定承载力的影响,通过直角扣件节点试验确定了节点处拧紧力矩与抗扭刚度存在如下关系  $M(\theta) = 2.15 \ln(1 + 8.596\theta/2.15)$ 。推导了杆件端部分别作用弯矩、扭矩、轴向力时,其与节点位移的关系。以此为基础得到半刚性连接梁单元在局部坐标系下的单元刚度矩阵,且证明了该单元刚度矩阵具有普遍性。

研究了初始缺陷对高大模板支撑体系稳定承载力的影响。对高大模板支撑体系中所存在的初始缺陷进行了系统的分类。采用一致缺陷模态法及随机缺陷法,对第二章所述的各工况进行了数值模拟,并将数值模拟的结果同实测结果进行了对比。经对比发现架体对顶部缺陷较为敏感,底部次之,中部最弱,且杂乱无章的缺陷对其承载力影响较小。为便于工程上的计算,提出了广义缺陷概念,建立了立杆稳定性计算公式。

开展了构造因素对高大模板支撑体系稳定承载力的影响研究。基于有限元数值模拟分析,从 7 个不同的构造方面(扫地杆搭设高度、立杆伸出顶层水平杆长度、架体搭设高度、剪刀撑搭设情况、纵横间距大小、步距大小、搭设跨数的多少)分析了各构造因素对高大模板支撑体系稳定承载力的影响,并给出了高大模板支撑体系搭设过程中各构造因素的建议做法。

对影响高大模板支撑体系可靠性的因素进行了分类,分别分析了初始缺陷(施加 0.5%、0.25%、0.1%的假想水平力来模拟初始缺陷对高大模板支撑体系的影响)及荷载类型对高大模板支撑体系可靠性的影响。对施工过程中可能出现的人为失误进行了系统的阐述,并采用层次分析法对各项可能出现的人为失误进行了权重分析,最终得出个人因素所占比例最大,其次是施工中的管理因素,最后是环境因素。

通过静态应变测试系统对 4 个不同情况下的高大模板支撑体系进行了施工过程中架体杆件应力的全程跟踪测量,从而得到了在施工过程中架体内部杆件

应力的变化趋势。对于高大模板支撑体系而言，在混凝土浇筑过程中，立杆为主要的承重构件，但由于立杆对接的不垂直性致使立杆极易出现偏压的现象，使得立杆在受力过程中应力发展非常不稳定。

本书内容是胡长明、曾凡奎、张化振等的学位论文和国家自然科学基金“高大模板支架空间结构体系失稳机理及其安全性控制理论研究”课题报告的系统总结。参与本课题的研究成员有曾凡奎、梅源、尹洪冰、葛召深、张化振、车佳玲、范小周、汪杰、程佳佳、宋方方、刘凤云、郭艳、付燎原。本书由胡长明执笔撰写，现场实测部分由车佳玲、范小周、汪杰共同完成，汪杰、刘凤云、郭艳参与了本书资料的整理工作。

# 目 录

## 前言

第一章 绪论 .....	1
1.1 国内高支模应用现状 .....	2
1.1.1 高支模的应用现状 .....	2
1.1.2 扣件式模板支撑体系 .....	3
1.2 扣件式高大模板支撑体系存在的问题及事故发生原因 .....	4
1.2.1 近年来国内高大模板支撑体系倒塌事故 .....	5
1.2.2 扣件式高大模板支撑体系存在的问题 .....	6
1.2.3 扣件式高大模板支撑体系倒塌事故原因分析 .....	7
1.3 国内外研究现状 .....	8
1.4 模板支撑体系的发展趋势 .....	12
1.5 本书主要研究内容和研究思路 .....	13
主要参考文献 .....	14
第二章 高大模板支撑体系及直角扣件节点的真架试验 .....	18
2.1 试验设计 .....	19
2.1.1 试验目的 .....	19
2.1.2 试验仪器及试验原理 .....	19
2.1.3 整架试验方案设计 .....	20
2.1.4 节点试验方案设计 .....	32
2.1.5 高大模板支撑体系直角扣件单榀试验方案 .....	33
2.1.6 试验注意事项 .....	34
2.2 扣件式高支模真架试验有限元模型的预分析 .....	36
2.2.1 预分析工作的重要性 .....	36
2.2.2 三维有限元模型的预分析结果 .....	36
2.3 高支模杆件受力试验现象与结果分析 .....	37
2.3.1 无剪刀撑高大模板支撑体系（工况 1） .....	37
2.3.2 仅横向端部有剪刀撑高支模（工况 2） .....	44
2.3.3 考虑对接扣件四周设置剪刀撑的高支模（工况 3-1） .....	50
2.3.4 四周都有剪刀撑的高支模（工况 3-2） .....	65

2.3.5	在工况 3 的基础上将步距改为 1148mm 的高支模 (工况 4)	75
2.3.6	在工况 4 的基础上将纵距改为 900mm 的高支模 (工况 5)	81
2.3.7	研究结果	90
2.4	支架静压变形特性试验现象及结果分析	95
2.4.1	架体顶部四角点检测结果分析	95
2.4.2	立杆变形分析	98
2.5	高支模试验初始缺陷的测量	104
2.6	小结	110
	主要参考文献	111
第三章	扣件节点半刚性对高大模板支撑体系稳定承载力的影响	112
3.1	扣件节点半刚性特点	112
3.2	扣件连接处节点性能试验分析	113
3.2.1	$M$ 与 $\theta$ 关系	113
3.2.2	框架柱半刚接计算长度系数与直角扣件螺栓拧紧力矩关系公式	117
3.2.3	刚度修正系数	118
3.3	半刚性连接数值模型	125
3.4	结构单元刚度的推导	126
3.4.1	杆端弯矩与节点位移的关系	126
3.4.2	杆端扭矩与节点位移的关系	127
3.4.3	杆端轴向力与节点位移的关系	128
3.4.4	局部坐标系下的单元刚度矩阵	128
3.4.5	半刚性连接杆件的非节点荷载处理	129
3.5	节点半刚性对高大模板支撑体系稳定性的影响	130
3.5.1	基本假设	130
3.5.2	模型建立与计算	130
3.5.3	节点半刚性及架体二阶效应对稳定承载力的影响	131
3.6	小结	132
	主要参考文献	133
第四章	初始缺陷对高大模板支撑体系稳定承载力的影响	135
4.1	初始缺陷的分类	135
4.2	考虑初始缺陷的高大模板支撑体系稳定性分析的方法	137
4.2.1	一致缺陷模态法	137
4.2.2	随机缺陷法	137
4.3	数值计算及试验研究结果的分析	138



4.3.1	扣件式钢管模板支架有限元模型 .....	138
4.3.2	仅横向端部有剪刀撑高支模 .....	140
4.3.3	四周都有剪刀撑的高支模 .....	140
4.3.4	在工况 3 的基础上将步距改为 1148mm 的高支模 .....	140
4.3.5	在工况 4 的基础上将纵距改为 900mm 的高支模 .....	146
4.4	小结 .....	151
	主要参考文献 .....	152
<b>第五章</b>	<b>构造因素对高大模板支撑体系稳定承载力的影响 .....</b>	<b>154</b>
5.1	数值模拟基本过程 .....	154
5.2	扫地杆的设置对高支模稳定承载力的影响 .....	155
5.2.1	模型的选取与建立 .....	155
5.2.2	计算分析 .....	156
5.2.3	研究结果 .....	156
5.3	立杆伸出顶层水平杆长度对高支模稳定承载力的影响 .....	157
5.3.1	模型的选取与建立 .....	158
5.3.2	计算分析 .....	158
5.3.3	计算结果 .....	159
5.4	搭设高度对高支模稳定承载力的影响 .....	159
5.4.1	模型的选取与建立 .....	159
5.4.2	计算分析 .....	159
5.4.3	计算结果 .....	160
5.5	剪刀撑的设置对高支模稳定承载力的影响 .....	160
5.5.1	水平剪刀撑的设置对高支模稳定承载力的影响 .....	161
5.5.2	竖直剪刀撑的设置对高支模稳定承载力的影响 .....	162
5.6	纵横间距对高支模稳定承载力的影响 .....	164
5.6.1	模型的选取与建立 .....	164
5.6.2	计算分析 .....	165
5.6.3	计算结果 .....	165
5.7	搭设步距对高支模稳定承载力的影响 .....	166
5.7.1	模型的选取与建立 .....	166
5.7.2	计算分析 .....	166
5.7.3	计算结果 .....	166
5.8	搭设跨数对高支模稳定承载力的影响 .....	168
5.8.1	模型的选取与建立 .....	168

5.8.2 计算分析 .....	168
5.9 小结 .....	170
主要参考文献 .....	170
<b>第六章 高大模板支撑体系稳定承载力计算理论 .....</b>	<b>172</b>
6.1 压杆稳定的概念 .....	172
6.2 轴心受压杆件极限承载力的欧拉公式 .....	173
6.3 受压杆件端部固定条件与计算长度 .....	176
6.4 初始几何缺陷对轴心受压构件的影响 .....	177
6.4.1 初弯矩对轴心受压构件的影响 .....	177
6.4.2 初偏心对轴心受压构件的影响 .....	180
6.5 基于有侧移框架柱理论的计算长度系数修正法 .....	181
6.5.1 基本假定 .....	182
6.5.2 计算长度系数的确定 .....	182
6.5.3 考虑节点半刚性的计算长度系数修正法 .....	184
6.5.4 程序编制及计算长度系数 $\mu$ 的确定 .....	185
6.6 高大模板支撑体系假想水平力的设计法 .....	187
6.6.1 钢结构三种设计分析方法 .....	188
6.6.2 高大模板支撑体系假想水平力的取值 .....	190
6.6.3 高大模板支撑体系立杆的稳定计算 .....	192
6.6.4 稳定系数 $\varphi$ 的研究分析 .....	194
6.7 作用于高支模体系上的荷载及其荷载组合研究 .....	198
6.7.1 荷载分类 .....	198
6.7.2 荷载效应组合 .....	199
6.8 小结 .....	200
主要参考文献 .....	200
<b>第七章 扣件式高大模板支撑体系可靠性与风险分析 .....</b>	<b>202</b>
7.1 基于稳定性的模板支架可靠度分析 .....	203
7.1.1 影响模板支架的不确定性因素分析 .....	203
7.1.2 初始缺陷对模板支架可靠性的影响 .....	204
7.1.3 荷载类型对模板支架可靠性的影响 .....	205
7.2 模板支架施工中人为失误的分析 .....	207
7.2.1 扫地杆的设置对模板支架安全性的影响 .....	207
7.2.2 顶端伸出长度的变化对模板支架安全性的影响 .....	207
7.2.3 步距变化对模板支架安全性的影响 .....	210

7.2.4	立杆间距变化对模板支架安全性的影响	210
7.2.5	钢管壁厚变化对模板支架安全性的影响	212
7.2.6	剪刀撑设置对模板支架安全性的影响	213
7.3	基于 AHP 的模板支架施工人为因素权重计算	217
7.3.1	层次分析法简介	217
7.3.2	模板支架施工中人为因素层次结构的确定	219
7.3.3	模板支架施工中人为因素权重计算	220
7.4	考虑人为失误时立杆失稳的可靠性计算	223
7.4.1	立杆失稳可靠性计算	223
7.4.2	算例	225
7.5	基于 AHP 法对高大模板支撑体系的风险研究	226
7.5.1	构建风险评价结构模型	226
7.5.2	高大模板支撑安全风险结构模型中各影响因素权重计算	227
7.5.3	防范措施	231
7.6	小结	232
	主要参考文献	233
<b>第八章</b>	<b>施工期间高大模板支撑体系应力实测分析</b>	<b>235</b>
8.1	卵形结构高支模应力实测分析	235
8.1.1	工程概况	235
8.1.2	架体稳定性计算	236
8.1.3	测点布置	237
8.1.4	杆件受力情况	238
8.1.5	研究结果	242
8.2	大跨 (27m) 梁板下高支模应力实测分析	243
8.2.1	工程概况	243
8.2.2	立杆稳定性计算	244
8.2.3	测点布置	247
8.2.4	杆件受力情况	249
8.2.5	研究结果	259
8.3	双向受载高支模杆件应力实测分析	259
8.3.1	工程概况	259
8.3.2	立杆稳定性计算	260
8.3.3	测点布置	261
8.3.4	杆件受力情况	262

8.3.5 研究结果 .....	279
8.4 超高模板支撑体系杆件应力实测分析 .....	280
8.4.1 工程概况 .....	280
8.4.2 立杆稳定性计算 .....	280
8.4.3 测点布置 .....	282
8.4.4 杆件受力情况 .....	285
8.4.5 研究结果 .....	308
8.5 施工现场扣件式高大模板支撑体系参数实测 .....	309
8.5.1 高大模板支撑体系中钢管壁厚的实测与分析 .....	309
8.5.2 高大模板支撑体系中钢管直径的实测与分析 .....	310
8.5.3 高大模板支撑体系中拧紧力矩的实测与分析 .....	311
8.6 小结 .....	311
主要参考文献 .....	312
<b>第九章 结论与展望</b> .....	<b>313</b>
9.1 结论 .....	313
9.2 本书的主要创新点 .....	315
9.3 展望 .....	315
<b>附录</b> .....	<b>317</b>
<b>作者主要成果目录</b> .....	<b>336</b>

# 第一章 绪 论

随着社会对建筑结构使用功能在空间上的需求，高层建筑的数量与日俱增，跨度及层高较大的现浇混凝土结构应用十分普遍，如公共建筑中的超高门厅、共享空间和多功能厅顶部楼盖大跨度混凝土梁板等。模板施工已成为建筑工程施工中的重要环节，但由于技术与管理未能跟上，工程模板支撑系统质量不符合规范要求，导致模板支撑系统坍塌事故频繁发生。因模板支撑系统坍塌造成的工程安全事故已成为近年来建筑业的一大顽疾。在建筑业中，只要涉及安全事故检查，模板工程施工安全肯定位列其中。因此，做好模板支撑系统的安全管理，确保施工安全，对提高工程安全水平、预防重大事故发生具有十分重要的意义。

近年来，高大模板支撑体系稳定性能的研究取得了长足的进步，且在研究的过程中，其定义也发生着相应的变化。20世纪90年代《广东省建筑工程高大支撑模板规定》中指出高支撑模板系统（即“高支模”）是指高度大于或等于4.5m的模板及其支撑系统，而后在《建设工程高大模板支撑系统施工安全监督管理导则》中则对高大模板支撑体系做出了新的诠释。导则中指出高大模板支撑体系是指建设工程施工现场混凝土构件模板支撑高度超过8m，或搭设跨度超过18m，或施工总荷载大于 $15\text{kN/m}^2$ ，或集中线荷载大于 $20\text{kN/m}$ 的模板支撑系统。

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》规范中并没有明确地对高大模板支撑体系进行定义，但对比2001年版和2011年版的《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》可发现部分对高大模板支撑体系的描述有所不同。在2001年版的规范6.8.2中有如下规定：高于4m的模板支架，其两边与中间每隔四排立杆从顶层开始向下每隔2步设置一道水平剪刀撑；在2011年版的规范则对脚手架及支撑架进行了区分，并就满堂搭设的支撑架在6.9.3条中做出了如下的规定：在竖向剪刀撑顶部交点平面应设置连续的水平剪刀撑。当支撑高度超过8m，或施工总荷载大于 $15\text{kN/m}^2$ ，或集中线荷载大于 $20\text{kN/m}$ 的支撑架，扫地杆的设置层应设置水平剪刀撑。水平剪刀撑至架体底平面距离与水平剪刀撑间距不宜超过8m。如果以《建设工程高大模板支撑系统施工安全监督管理导则》中对高大模板支撑体系的定义来看，2011年版的《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》实质上是认可导则中对高大模板支撑体系的定义的，也正因如

此才会通过增加水平剪刀撑的搭设来加强构造的要求。

为明确高大模板支撑体系稳定性能及空间工作性能,减少设计及施工过程中的盲目性,本书结合国家自然科学基金项目“高大模板支架空间结构体系失稳机理及其安全性控制理论研究(编号:50978219)”,以不同搭设情况下的真架为研究对象对其进行破坏性试验,研究不同因素对架体稳定承载力的影响。在此基础上通过大型有限元计算软件 ANSYS 对上述试验进行数值模拟计算,并将计算结果同试验结果进行对比,验证了试验的准确性;对直角扣件进行节点试验,确定不同拧紧力矩下,扣件式钢管脚手架节点处水平杆转角与杆端竖向位移的关系,并以此关系为基础,采用对数非线性模型进行回归分析,确定了拧紧力矩与节点初始抗扭刚度之间的关系;建立高大模板支撑体系的失效准则,基于架体稳定性,采用有限元计算软件 ANSYS 对其可靠性进行分析,并指出个人因素对架体可靠性有较大影响,通过层次分析法给出了不同人为失误的权重;采用静态应变测试系统对施工过程中的高大模板支撑体系内部杆件的应力进行了现场监测,明确了混凝土在浇筑的过程中,高大模板支撑体系内部杆件应力的变化趋势及特点。该项研究为加强施工人员对高大模板支撑体系空间工作性能的认识,减少了其在设计、施工过程中的盲目性及对经验的依赖性。

## 1.1 国内高支模应用现状

### 1.1.1 高支模的应用现状

就系统构成而言,高支模工程和一般模板工程一样,主要有面板、木檩条、支架三部分组成。就力学分析而言,各种模板面板、木檩条的受力及变形特征相差不大,而支架部分由于构造的差异,力学特征差异则比较明显。在国内,目前建筑业所使用的高支模支架体系主要由以下几种:

(1) 扣件式钢管模板支架。主要是利用  $\phi 48\text{mm} \times 3.5\text{mm}$  钢管和与之配套的扣件组合而成,具有构造灵活、方便使用等优点,在我国建筑业中占有较大的比例。

(2) 门式钢管支架。日本、新加坡、美国等太平洋沿岸国家普遍使用;我国台湾、香港等地区也普遍使用;近年来在内地也有使用,尤其是在装饰工程中。

(3) 碗扣式钢管架。由于其连接简单可靠,是“建筑业十项新技术”中推广的一种新型支架体系,但由于使用成本、构造灵活性等因素,在一般房屋建设中尚很少使用。

在上述三种模板支架中,目前和今后相当长一段时间内,扣件式钢管模板

支架仍将是建筑业混凝土结构施工的最主要支架形式，近年来国内所发生的结构工程安全事故及质量事故也都出在这种模板支架上。因此，本书主要针对扣件式模板支撑体系进行分析。

### 1.1.2 扣件式模板支撑体系

我国在 20 世纪 60 年代初开始应用扣件式模板支撑体系，因为这种支撑体系具有装拆灵活、搬运方便、通用性强、价格便宜等特点，所以在我国应用十分广泛，其使用量在 70% 以上，是当前使用量最多的一种模板支撑体系。但是，扣件式模板支撑体系的最大弱点是安全性较差，施工工效低，材料消耗量大。目前全国范围内生产的钢管及扣件不合格现象较为严重，这就使得扣件式模板支撑体系在工程应用中存在较大安全隐患。

#### 1. 扣件式模板支架搭设过程中的错误做法

在使用材料上，目前使用的模板均采用胶合板，支架形式为扣件式钢管支架，材料进场时，很多忽视了对钢管和扣件的材质进行详细的验收。

在架体搭设的过程上，立杆接头大部分在同一个水平面上，立杆间距很大程度上不符合规范要求，个别立杆接长存在搭结现象，可调托撑普遍超长，从而造成支撑架承载力不足；对扫地杆的重要性缺乏正确的认识，认为只要立杆根部不移动即可；水平杆的连接多为一个方向水平杆扣接在立杆上，另一个方向的水平杆则扣接在先搭设的水平杆上，简单地将纵横向水平杆搭设起来，不能形成有效的承载力框架体系；没有考虑直角扣件拧紧力矩对于架体承载力的影响，且施工过程中扣件拧紧程度普遍不够，有约 50% 的扣件扭矩未达到规范规定的最低值；对于超高部分的模板支架，甚至有未设置水平、竖向剪刀撑的现象。

在施工顺序上，混凝土的浇筑一般为先浇墙柱等竖向构件，再浇梁板等水平构件，浇筑水平构件（梁板等）时，墙柱混凝土已具有一定的强度，但支撑体系并没有与竖向构件进行有效的拉接。

在管理制度及程序上，只重视对模板的平整度、轴线及截面尺寸的管理，而对支架搭设的管理及验收明显不够重视。

2. 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011) 对于扣件式支撑架的搭设的要求

#### 1) 立杆构造要求

(1) 每根立杆底部宜设置底座或垫板。

(2) 支撑架底部必须设置纵横向扫地杆，纵向扫地杆应采用直角扣件固定

在距立杆底端不大于 200mm 处。横向扫地杆应采用直角扣件固定在紧靠纵向扫地杆下方的立杆上。

(3) 支撑架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, 高低差不应大于 1m。靠边坡上方的立杆轴线到边坡的距离不应小于 500mm。

(4) 满堂支撑架立杆接长除顶层顶步外, 其余各层各步接头必须采用对接扣件连接。

(5) 立杆伸出顶层水平杆中心线至支撑点的长度不应超过 0.5m, 且满堂支撑架的搭设高度不得高于 30m。

(6) 支撑架立杆的对接、搭接应符合下列规定:

① 当立杆采用对接接长时, 立杆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宜小于 500mm; 各接头中心至主节点的距离不宜大于步距的 1/3。

② 当立杆采用搭接接长时, 搭接长度不应小于 1m, 并应采用不少于 2 个旋转扣件固定。端部扣件盖板的边缘至杆端距离不应小于 100mm。

2) 纵横向水平杆的构造应符合下列规定

(1) 纵向水平杆应设置在立杆内侧, 单根杆长度不应小于 3 跨。

(2) 纵向水平杆接长应采用对接扣件连接或搭接, 并应符合下列规定:

① 两根相邻纵向水平杆的接头不应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应小于 500mm; 各接头中心至最近主节点的距离不应大于纵距的 1/3。

② 搭接长度不应小于 1m, 应等间距设置 3 个旋转扣件固定; 端部扣件盖板边缘至搭接纵向水平杆杆端的距离不应小于 100mm。

(3) 当使用冲压钢脚手板、木脚手板、竹串片脚手板时, 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; 当使用竹笆脚手板时, 纵向水平杆应采用直角扣件固定在横向水平杆上, 并应等间距设置, 间距不应大于 400mm。

(4) 作业层上非主节点处的横向水平杆, 宜根据支承脚手板的需要等间距设置, 最大间距不应大于纵距的 1/2。

## 1.2 扣件式高大模板支撑体系存在的问题及事故发生原因

模板支撑体系用来承担和传递早期混凝土结构的自重和施工荷载, 确保混



凝土结构本身的质量及强度的自然增长。如果模板支撑体系构造不合理,强度或刚度不够,施工过程中的荷载过大,地基浸水,扣件扣接不牢固,拆模不合理等原因,会造成混凝土开裂、部分构件破坏和构件变形,严重的会导致结构倒塌事故的发生。

### 1.2.1 近年来国内高大模板支撑体系倒塌事故

(1) 2000年10月南京电视台演播大厅双向预应力梁井式屋盖浇筑过程中,高大36m模架倒塌,死亡6人、重伤12人、轻伤24人。

(2) 2003年2月18日,浙江省杭州市UT斯达康杭州研发生产中心模板支架坍塌,造成13人死亡、16人受伤。

(3) 2003年10月7日,广东省江门市新会区益华广场工地中庭顶盖在浇筑混凝土施工过程中突然坍塌,造成16人死亡、5人受伤。

(4) 2005年9月5日22时左右,在北京市西城区西单地区西西工程4号地项目工地(建筑面积为205276m<sup>2</sup>),施工人员在浇筑混凝土时,模板支撑体系突然坍塌,造成6人死亡、21人受伤、2人下落不明的重大事故。

(5) 2005年10月27日,贵州省贵阳市欣盛楠苑经济适用房项目工地,发生模板支架坍塌事故,死亡4人。

(6) 2006年5月19日晚21时40分左右,开发区金石滩旅游区沈阳音乐学院大连校区教学楼工程在浇筑五层梁板混凝土时发生大面积坍塌事故,作业现场的24名作业人员随之坠落。事故共造成6人死亡、18人受伤,其中两人伤势较重。

(7) 2007年06月13日上午11时30分左右,在广州市黄埔区珠江黄埔大桥东二环第六标段(黄埔区冶炼厂旁)在建工地,在大桥预压施工时模板支架突然坍塌。事故造成施工民工2人死亡、2人受伤。

(8) 2007年2月12日15时许,广西医科大学图书馆二期工程在进行演讲厅舞台屋面混凝土浇筑时,屋面模板支撑体系突然坍塌,坍塌高度约24m,坍塌面积约450m<sup>2</sup>,14名工人从顶层坠下被埋,造成7人死亡、7人受伤。

(9) 2008年3月13日,上午9时50分左右,扶风县法门寺文化景区一期工程建设工地上,正在建设中的正圣门东A区的满堂架整体倒塌,正在模板支架上工作的十几个工人,一瞬间如自由落体般被摔向地面,造成4人死亡、5人受伤。

(10) 2008年4月30日中午12时30分左右,长沙上河国际商业广场B区东部裙楼中庭部位浇筑顶盖混凝土时,因模板支撑系统失稳,约21m高的整个支模系统坍塌,造成8人死亡、3人受伤。

(11) 2008年6月27日15时50分左右,位于常州市武进区湖塘镇长虹村