



国家自然科学基金资助出版

高大模板支撑体系的安全控制

谢楠◎著

Gaoda Moban Zhicheng Tixi De
Anquan Kongzhi

中国建筑工业出版社

高大模板支撑体系的安全控制

谢楠 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

高大模板支撑体系的安全控制/谢楠著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012.6
ISBN 978-7-112-14446-4

I. ①高… II. ①谢… III. ①模板-支撑-建筑工程-
安全技术 IV. ①TU755.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 138543 号

本书介绍了作者近年来在高大模板支撑体系安全性方面的研究成果,内容分为3篇,第1篇简要介绍了高大模板支撑体系和设计方法,分析我国模板支架的安全水平和存在的主要问题;第2篇为高大模板支架的设计理论,涉及极限承载力、荷载与设计方法三大要素,注重对混凝土浇筑期施工荷载研究成果的介绍,在承载力力和设计方法的研究中也考虑了这一时期施工荷载的特点;第3篇为高大模板支撑体系中人为过失的研究,主要包括人为过失的调查统计、对支架安全性的影响和改错效果,以及解决人为过失的对策等。本书可作为从事土建施工的施工技术人员、安全监督人员、监理人员和政府监管人员的参考书,也可供相关专业的科研人员参考。

* * *

责任编辑:郇锁林 曾 威

责任设计:陈 旭

责任校对:肖 剑 王雪竹

高大模板支撑体系的安全控制

谢楠 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:9 字数:215千字

2012年11月第一版 2012年11月第一次印刷

定价:22.00元

ISBN 978-7-112-14446-4
(22515)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

我国正在进行当今世界最大规模的基本建设，各类高大特异建筑不断涌现。在施工过程中，重大安全事故时有发生，其中支撑高度超过 8m，或搭设跨度超过 18m，或施工总荷载大于 15kN/m^2 ，或集中线荷载大于 20kN/m 的模板支撑系统(统称高大模板支撑体系)垮塌事故所占比例极高。此类事故造成群死群伤，给国家和人民生命财产安全造成严重损失，例如 2005 年“西西工程”高大厅堂顶盖模板支撑体系垮塌，造成 8 人死亡、21 人受伤。2006 年建设部按照国务院对搞好全国安全生产工作的指示，制定了《建筑施工安全专项整治工作方案》，高大模板支撑体系成为重点整治的项目。但近年来此类事故仍呈多发态势，2007 年郑州“9·6”模板支撑体系垮塌事故造成 7 人死亡、17 人受伤，2008 年发生一次死亡 3 人及以上的此类重大工程事故 7 起，2010 年第一季度就发生一次死亡 3 人及以上的重大工程事故 4 起。这些事故均由体系中主要受力结构——模板支架的失稳破坏导致。模板支撑体系垮塌事故和基坑坍塌事故一起成为建筑业的两大杀手，解决高大模板支架的安全问题已刻不容缓。住房和城乡建设部以及国家自然基金委对模板支架的安全性研究项目给予资助，本书的内容是作者科研成果的一部分。

结构的安全问题涉及承载力和荷载两大要素。在承载力方面，模板支架合理的构造措施是不可忽视的先决条件，其重要性甚至比极限承载力的计算方法更为突出；极限承载力的研究工作本着理论分析力争完善，而实用计算公式尽量简单的原则进行。在荷载方面，模板支架不同的工作阶段承受的荷载差别较大，分析事故发生的时间，可以发现绝大部分高大模板支撑体系的坍塌事故发生在混凝土浇筑期。在混凝土浇筑期内，作用在模板支架上的荷载与混凝土浇筑前和浇筑后有很大的不同，模板支架的受力复杂而特殊，不但承受了不均匀的竖向荷载，而且承受了可观的水平荷载，可以认为混凝土浇筑期是模板支架最为危险的时期，本书介绍的荷载研究主要针对这一时期的荷载特点来进行的。

国内外的设计方法和设计理论只考虑荷载和承载力两大要素，而作为由施工单位设计、搭设和使用的临时性结构，其安全性受施工技术和施工管理方面人为因素的影响十分明显，绝大部分事故由人为过失引起，考虑人为过失对安全性的影响是本书的特色之一。本书的另一主要内容是针对人为过失的研究，对人为过失的发生规律、危害以及检查验收中过失的纠正率等进行了讨论。同时提出了管理措施，以期减少人为过失的发生率。

我国高大模板支架设计体系还不完善，对此本书介绍了英国和美国相关规范的一些重要条款，同时分析了我国模板支架设计中存在的问题。

在本书的撰写过程中，得到住房和城乡建设部质量安全监管司邵长利处长、王英姿处

长、王天祥副处长和邓谦处长的大力支持，中国建筑业协会安全分会秦春芳会长和张镇华教授级高级工程师、清华大学的秦权教授、哈尔滨工程大学的徐崇宝教授和张有闻教授以及北京市建委施工安全管理处陈卫东处长在本书的撰写过程中给予了很大的帮助，中国建筑总公司、北京城建集团、北京建工集团、北京城乡建设有限公司以及四川省安监站、山东省安监站、广西壮族自治区安监站协助完成了本书介绍的试验和调研，作者指导的研究生王勇、樊宇、李靖、胡杭、梁仁钟、檀维超和王晶晶等参加部分计算和试验工作，在此一并感谢。

作者

目 录

第 1 篇 高大模板支撑体系简介和存在的主要问题

第 1 章 高大模板支撑体系的设计和验收方法	3
1.1 高大模板支撑体系的组成	3
1.2 模板支架的种类和特点	3
1.3 我国模板支架设计方法	6
1.3.1 《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ 162—2008)	6
1.3.2 《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011)	8
1.4 我国模板支架的检查验收标准	8
1.5 英美规范在模板支架安全技术方面的规定	8
1.5.1 英国规范在安全技术方面的规定	9
1.5.2 美国规范在荷载方面的规定	11
第 2 章 我国模板支架的安全水平和存在的主要问题	13
2.1 中外规范中设计安全水平比较	13
2.1.1 荷载方面	13
2.1.2 安全水准方面	13
2.1.3 检查验收方面	13
2.2 我国模板支架的实际安全水平	14
2.2.1 安全水平的分析方法	14
2.2.2 我国高大模板支架安全度的现状	15
2.3 模板支撑体系坍塌事故分析	16
2.3.1 调查范围和数据来源	18
2.3.2 调查结果	18
2.3.3 事故原因分析	21
2.3.4 我国近 12 年模板支架坍塌事故的特点	24
2.4 我国高大模板支撑体系设计和施工中存在的问题	24
2.4.1 荷载方面	24
2.4.2 极限承载力方面	25
2.4.3 设计方法和检查验收方面	25
2.4.4 人为过失的应对方面	25
本篇参考文献	26

第 2 篇 承载力、荷载与设计方法

第 3 章 扣件式模板支架极限承载力的计算方法	29
-------------------------------	----

3.1 扣件式模板支架的特点	29
3.1.1 半刚性节点	29
3.1.2 节点附近各方向杆件不对中	29
3.2 极限承载力的计算方法	29
3.2.1 临界荷载	29
3.2.2 极限承载力	30
3.2.3 节点的力学模型	30
3.2.4 荷载与约束的施加	31
3.2.5 材料本构关系	31
3.3 试验结果	31
3.4 计算模型及其精度	32
3.4.1 简化方法	32
3.4.2 失稳模态	32
3.4.3 极限承载力	34
第4章 模板支架的失稳特性和极限承载力研究	35
4.1 局部加载对模板支架极限承载力的影响	35
4.2 竖向荷载作用下构造措施对模板支架失稳特性和极限承载力的影响	36
4.2.1 构造措施对支架失稳模态的影响	36
4.2.2 构造措施对支架极限承载力的影响	39
4.2.3 竖向剪刀撑间距对支架失稳特性的影响	39
4.3 竖向荷载作用下搭设参数对模板支架失稳特性的影响	40
4.3.1 立杆步距和立杆超出顶层水平杆长度对失稳特性的影响	40
4.3.2 搭设面积对临界荷载的影响	44
4.3.3 不同立杆间距对临界荷载的影响	44
4.4 竖向荷载作用下搭设步数对模板支架极限承载力的影响	45
4.5 水平荷载和竖向荷载共同作用下搭设高度对模板支架极限承载力的影响	45
4.6 考虑水平荷载作用时构造措施对模板支架极限承载力的影响	46
第5章 模板支架极限承载力的实用计算公式	47
5.1 模板支架极限承载力的研究思路	47
5.1.1 竖向剪刀撑间距和立杆间距的考虑方法	47
5.1.2 立杆步距和立杆超出顶层水平杆长度的考虑方法	47
5.1.3 搭设高度和水平荷载的考虑方法	47
5.2 极限承载力的简化计算	48
5.2.1 1%初始弯曲率下不考虑残余应力的非线性极限承载力	48
5.2.2 1%初始弯曲率下考虑残余应力的临界荷载调整系数	48
5.2.3 竖向剪刀撑间距4跨支架的极限承载力	49
5.2.4 竖向剪刀撑间距6跨支架的极限承载力	49
5.3 极限承载力与计算长度的关系	50
5.3.1 计算长度与 a 和 h 的关系	50

5.3.2	计算长度 l_0 的简化计算公式	52
5.4	搭设高度和水平荷载的考虑方法	53
5.5	模板支架极限承载力的实用计算公式	54
第6章	混凝土浇筑期荷载效应的测试与分析	55
6.1	模板支架工作状态的静力测试	55
6.1.1	测试工程简介	55
6.1.2	测试方法和测点布置	56
6.1.3	主要测试数据	56
6.1.4	试验数据分析和模板支架的工作状态	59
6.1.5	试验中特殊现象的分析	59
6.2	混凝土的浇筑过程模拟与分析	60
6.2.1	建模的要点	60
6.2.2	浇筑过程中模板支架的受力分析	61
6.2.3	立杆不参与工作(虚搭)对结构的影响	67
6.2.4	与规范给定方法的比较	69
6.3	施工荷载动力效应测试	70
6.3.1	试验测试	71
6.3.2	测试结果和数据分析	73
6.3.3	理论分析	76
第7章	混凝土浇筑期楼面施工荷载	77
7.1	立杆轴力的影响面	77
7.1.1	影响面的特征	77
7.1.2	影响面的拟合	79
7.1.3	等效影响面高度	79
7.2	施工荷载的调查	80
7.2.1	最不利荷载的考虑方法	81
7.2.2	荷载调查	82
7.3	荷载标准值	84
7.3.1	混凝土材料荷载	84
7.3.2	施工人员和小型设备	84
7.3.3	大型设备布料机及其配重的荷载效应标准值	86
第8章	混凝土浇筑期高大模板支架的稳定性验算方法	87
8.1	设计验算方法概述	87
8.2	混凝土浇筑期的荷载标准值	87
8.2.1	永久荷载	87
8.2.2	可变荷载	87
8.3	模板支架极限承载力的计算公式	88
本篇参考文献		89

第3篇 高大模板支撑体系中人为过失及其对策

第9章 人为过失的研究现状和调查统计	93
9.1 研究现状	93
9.2 人为过失的种类	94
9.2.1 严重的结构性过失(第一类)	94
9.2.2 较为严重的结构性过失(第二类)	94
9.2.3 几何参数方面的过失(第三类)	94
9.2.4 施工操作方面的过失(第四类)	94
9.3 人为过失的调查统计	95
9.3.1 钢管壁厚、立杆初弯曲、搭设偏差和扣件螺栓拧紧力矩的统计分析	95
9.3.2 次龙骨宽度的实测数据及统计分析	97
9.3.3 典型人为过失	98
9.3.4 人为过失发生率	99
第10章 人为过失对支架安全性的影响	101
10.1 第二类和第三类人为过失的细分	101
10.2 人为过失对支架安全性影响的计算方法	102
10.2.1 承载力影响因子的定义	102
10.2.2 具有第一、二类人为过失支架的承载力计算方法	102
10.2.3 第三类人为过失影响的分析方法	105
10.3 人为过失对支架安全性的影响程度	106
10.4 考虑人为过失的结构可靠性分析	108
第11章 高大模板支撑体系施工安全的管理方法	110
11.1 专项施工方案管理	110
11.1.1 专项施工方案编制	110
11.1.2 专项施工方案审批和专家论证	111
11.1.3 专项施工方案专家论证要点	111
11.1.4 专家论证意见处理措施	112
11.2 施工安全管理	112
11.2.1 管理内容	112
11.2.2 施工安全管理检查结论及处理措施	113
11.3 搭设质量管理	113
11.3.1 搭设过程监督检查方法	113
11.3.2 搭设完毕后搭设质量检查验收方法	115
11.3.3 检查结论及处理措施	115
本篇参考文献	116
附录	118
参考文献	132

第 1 篇

高大模板支撑体系简介和 存在的主要问题

第 1 章 高大模板支撑体系的设计和验收方法

1.1 高大模板支撑体系的组成

支撑高度超过 8m，或搭设跨度超过 18m，或施工总荷载大于 15kN/m^2 ，或集中线荷载大于 20kN/m 的模板支撑系统称为高大模板支撑体系。模板支撑体系由模板、次龙骨、主龙骨、带螺杆的 U 形托、支架以及底座组成，见图 1-1 和图 1-2。荷载由模板依次传给次龙骨、主龙骨、带螺杆的 U 形托、支架和底座，其中支架是最为主要的受力结构，绝大部分坍塌事故均由支架的失稳而导致。

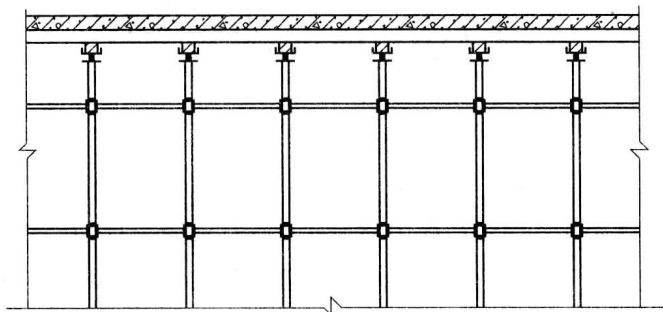


图 1-1 混凝土板的模板支撑体系立面图

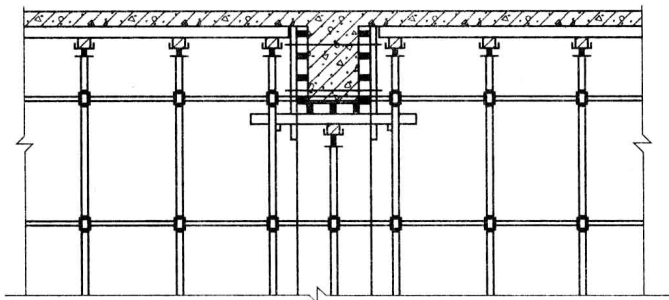


图 1-2 混凝土梁板的模板支撑体系立面图

在高大模板支撑体系中，模板、次龙骨、主龙骨等均由工人手工放置在相应的支撑构件和结构上，支点只能承受压力，这是和普通结构的主要区别之一。

1.2 模板支架的种类和特点

我国常用的模板支架有扣件式模板支架、碗扣式模板支架和门式模板支架。一些新型

结构形式如插销式模板支架和承插型盘扣式模板支架等在我国逐渐得到应用。

扣件式模板支架和碗扣式模板支架均是由钢管通过节点连接而成的临时性空间结构，一般由立杆、水平杆、剪刀撑等部件构成，如图 1-3 所示，所不同的是节点构造形式不同。

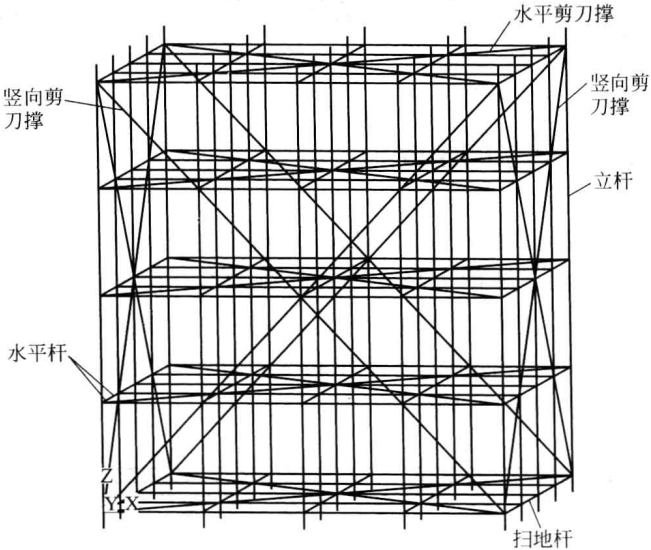


图 1-3 模板支架基本构造图

图 1-4 为扣件式模板支架的三种扣件形式，其中对接扣件用于钢管的接长，直角扣件用于立杆和水平杆间的连接，回转扣件用于斜杆和立杆或水平杆间的连接。用对接扣件连接的杆件没有偏心问题，而对于用直角扣件连接的杆件，由于图 1-5 所示的节点构造特点，立杆和水平杆的轴线不在同一平面内，存在 53mm 的偏心，对结构受力不利。

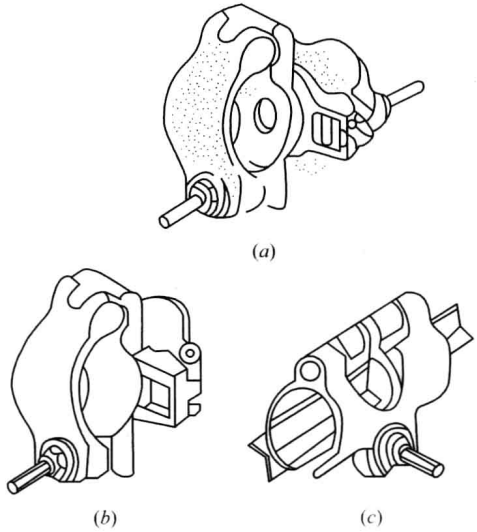


图 1-4 扣件的三种形式
(a)回转扣件；(b)直角扣件；(c)对接扣件

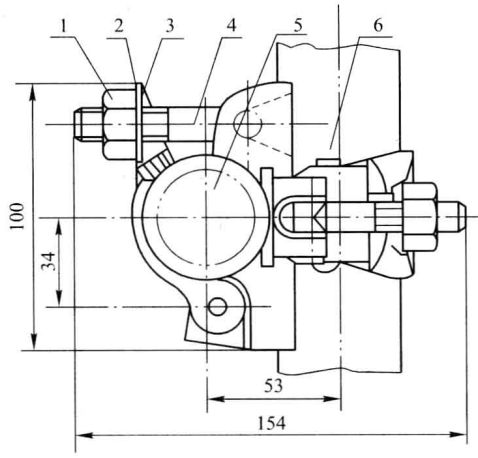


图 1-5 直角扣件构造图
1—螺母；2—垫圈；3—盖板；
4—螺栓；5—水平杆；6—立杆

对于碗扣式模板支架，连接立杆和水平杆的节点构造如图 1-6 所示，由上碗扣、下碗扣、立杆、横杆接头、上碗扣和限位销组成，碗扣节点按 0.6m 模数设置。碗扣式模板支架立杆和水平杆的轴线在一个平面内，不存在偏心问题。立杆上设有接长用套管，用于接长立杆。剪刀撑与立杆和水平杆的连接仍用图 1-4 所示的回转扣件。

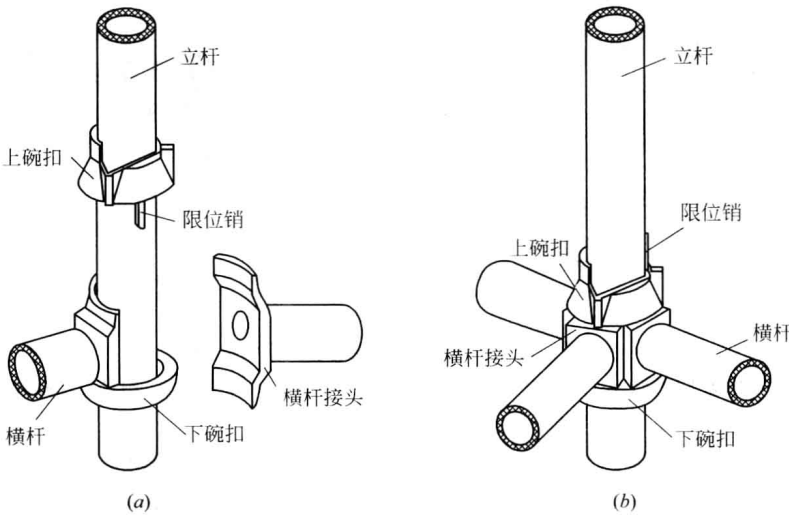


图 1-6 碗扣式模板支架节点构造图
(a)连接前；(b)连接后

门式模板支架由单樘的单层单跨门架拼装而成，门架如图 1-7 所示，结构在门架平面内刚度较大。

插销式模板支架的节点和承插型盘扣式模板支架节点如图 1-8 和图 1-9 所示。

国外多用工具式模板支架，由单樘的钢架拼装而成。美国某公路桥的模板支架见图 1-10。

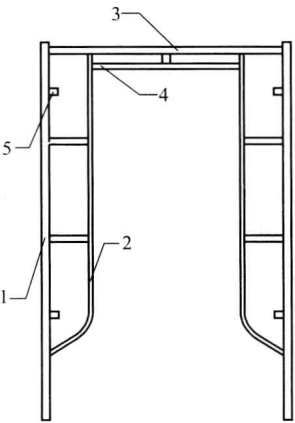


图 1-7 门架

1—立杆；2—立杆加强杆；3—横杆；
4—横杆加强杆；5—锁销

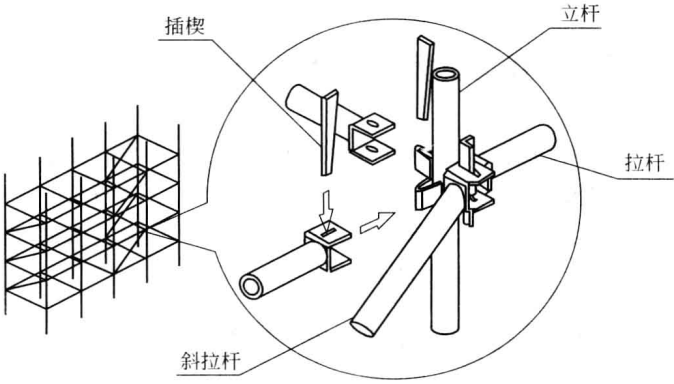


图 1-8 插销式模板支架节点构造图

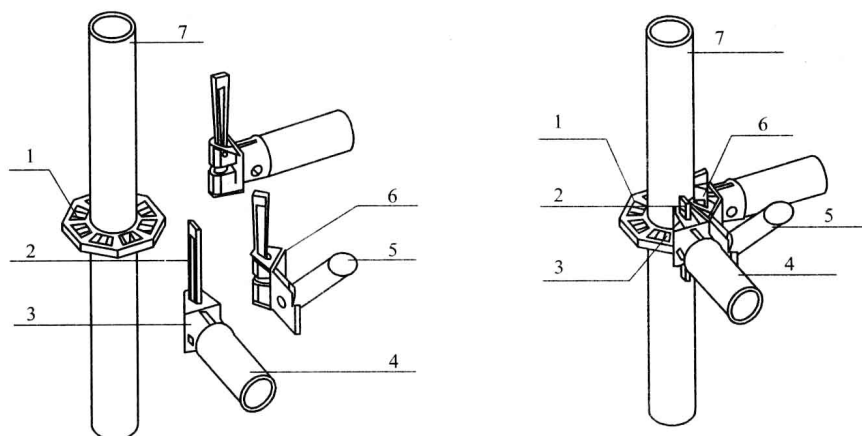


图 1-9 承插型盘扣式模板支架节点构造图

1—连接盘；2—扣接头插销；3—水平杆杆端扣接头；4—水平杆；5—斜杆；6—斜杆杆端扣接头；7—立杆

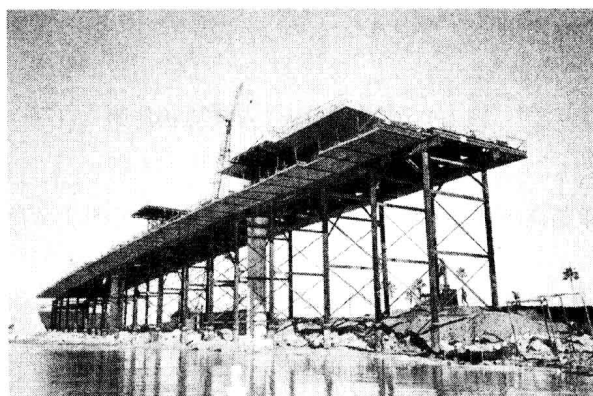


图 1-10 美国某公路桥的模板支架

1.3 我国模板支架设计方法

我国当前主要的和常用的模板支架设计规范有两个，一个是《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011)，另外一个《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ 162—2008)。内容涉及较多，其中最为重要的是稳定承载能力的设计验算方法和构造措施，下面分别介绍相关内容。

1.3.1 《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ 162—2008)

1. 极限承载力

(1) 扣件式模板支架：

当只受轴力时，极限承载力按下式计算：

$$N_u = \varphi A f \quad (1-1)$$

式中 φ ——轴心受压构件的稳定系数，应根据长细比 λ 和钢材的屈服强度，按规范附录 D 取值；

λ ——长细比， $\lambda=l_0/i$ ， l_0 为立杆计算长度，取纵横向水平杆的最大步距；最大步距不得大于 1.8m； i 为立杆截面的回转半径；

A ——立杆的截面面积；

f ——钢材的抗压强度设计值。

(2) 门型模板支架：

当只受轴力时，极限承载力按下式计算：

$$N_u = \varphi A_0 f \quad (1-2)$$

式中 N_u ——模板支架的极限承载力；

φ ——轴心受压构件的稳定系数，根据长细比 λ 按规范附录 D 取值；

λ ——长细比， $\lambda=k_0 h_0/i$ ，其中 k_0 为长度修正系数， $k_0=1.13\sim 1.22$ ； h_0 为单榀门架的高度； i 为门架立杆换算截面回转半径；

A_0 ——一榀门架两边立杆的毛截面面积；

f ——钢材的抗压强度设计值。

2. 荷载

(1) 恒载：模板及支撑体系的自重标准值 G_{1k} 、新浇混凝土的自重标准值 G_{2k} 和钢筋的自重标准值 G_{3k} ；

(2) 活载：施工人员及施工设备荷载标准值 Q_{1k} 、振捣混凝土时产生的荷载标准值 Q_{2k} 、倾倒混凝土时产生的荷载标准值 Q_{3k} 及风荷载 w_k 。

3. 设计表达式

对于支撑混凝土平板的模板支架：

$$N_u \geq 0.9[1.2(N_{G_{1k}} + N_{G_{2k}} + N_{G_{3k}}) + 1.4N_{Q_{1k}}] \quad (1-3)$$

或 $N_u \geq 0.9[1.35(N_{G_{1k}} + N_{G_{2k}} + N_{G_{3k}}) + 1.4 \times 0.7N_{Q_{1k}}]$ (以恒载为主时)

对于支撑混凝土梁的模板支架：

$$N_u \geq 0.9[1.2(N_{G_{1k}} + N_{G_{2k}} + N_{G_{3k}}) + 1.4N_{Q_{2k}}] \quad (1-4)$$

或 $N_u \geq 0.9[1.35(N_{G_{1k}} + N_{G_{2k}} + N_{G_{3k}}) + 1.4 \times 0.7N_{Q_{2k}}]$ (以恒载为主时)

式(1-3)和式(1-4)中， $N_{Q_{ik}}$ 为第 i 个活载标准值的效应； $N_{G_{ik}}$ 为第 i 个恒载标准值的效应。

4. 构造要求

(1) 可调支托底部的立杆顶端应沿纵横向设置一道水平拉杆，U 形托的螺杆伸出钢管顶部不得大于 200mm。

(2) 当建筑层高在 8~20m 时，在最顶步距两水平拉杆中间加设一道水平拉杆。

(3) 立杆接长严禁搭接。

(4) 在模板支架外侧周圈应设由下至上的竖向连续式剪刀撑，中间在纵横向应每隔 10m 左右设由上至下的竖向连续式剪刀撑，其宽度宜为 4~6m，并在剪刀撑部位的顶部和扫地杆处设置水平剪刀撑。

(5) 当建筑层高在 8~20m 时，还应在纵横向相邻的两竖向连续式剪刀撑之间增加之

字斜撑,在有水平剪刀撑的部位,应在每个剪刀撑中间处增加一道水平剪刀撑。

(6) 当支架立杆高度超过 5m 时,应在立柱周围外侧和中间有结构柱的部位,按水平间距 6~9m、竖向间距 2~3m 与建筑结构设置一个固结点。

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

1. 极限承载力计算方法

极限承载力按下式计算:

$$N_u = \varphi A f \quad (1-5)$$

式中 N_u ——模板支架的极限承载力;

φ ——轴心受压构件的稳定系数,应根据长细比 λ 按规范附录 C 取值;

λ ——长细比, $\lambda = l_0 / i$, l_0 ——立杆计算长度, i ——立杆截面的回转半径;

A ——立杆的截面面积;

f ——钢材的抗压强度设计值。

l_0 取 $k\mu_1(h+2a)$ 和 $k\mu_2h$ 中的不利值,其中 h ——立杆步距, a ——立杆超出顶层水平杆长度; k ——计算长度附加系数; μ_1 、 μ_2 ——考虑整体稳定因素的单杆计算长度系数。

2. 荷载设计值

荷载标准值的取值和组合与《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ 162—2008)一致。

3. 主要构造要求

(1) 立杆接长接头必须采用对接扣件;

(2) 立杆伸出顶层水平杆长度 a 不应超过 0.5m, 支架搭设高度不宜超过 30m;

(3) 将支架分为普通型和加强型, 设置不同的竖向剪刀撑和水平剪刀撑;

(4) 当高宽比大于 2 或 2.5 时, 支架应在四周和中部与结构柱进行刚性连接, 在无结构柱部位应采取预埋钢管等措施与建筑结构进行刚性连接。

1.4 我国模板支架的检查验收标准

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011)的检查验收标准主要针对脚手架,其中对钢管和扣件质量方面的要求可适用于模板支架。对于钢管,外径和壁厚的偏差分别不应大于 $\pm 0.5\text{mm}$ 和 $\pm 0.36\text{mm}$, 钢管外表面锈蚀最大深度不应大于 0.18mm; 对于扣件,扣件螺栓的拧紧力矩应在 40~65N·m。

《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ 162—2008)无专门的检查验收规定。

1.5 英美规范在模板支架安全技术方面的规定

英国规范《模板支架实施规范》(Code of practice for falsework(BS 5975—1995))(以下简称英国规范)在模板支架安全技术方面有明确的规定,美国规范《施工期结构设计荷载》(Design Loads on Structure During Construction(SEI/ASCE 37—02))(以下简称美国规范)在荷载的分类及数量上和我国规范有所不同,本书在本节介绍英美规范中相关条款,在第 2 章将对国外规范和我国规范进行比较。