

◆ 建筑施工现场实用系列手册



碗扣式钢管脚手架 施工现场实用手册

高秋利◎主编



中国建筑工业出版社

建筑施工现场实用系列手册

碗扣式钢管脚手架施工现场 实用手册

高秋利 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

碗扣式钢管脚手架施工现场实用手册/高秋利主编.
北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 5
(建筑施工现场实用系列手册)
ISBN 978-7-112-13952-1

I. ①碗… II. ①高… III. ①钢管-脚手架-工程施工-技术手册 IV. ①TU731.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 011151 号

建筑施工现场实用系列手册
碗扣式钢管脚手架施工现场实用手册

高秋利 主编

*

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
北京红光制版公司制版
北京世知印务有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22 字数: 546 千字
2012 年 4 月第一版 2012 年 4 月第一次印刷
定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-13952-1
(22017)

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)

序

随着我国社会经济的快速发展，各种大型复杂的工程不断涌现，如何保障建筑施工安全，关系到社会稳定大局，也关系到建筑业的持续健康发展。

建筑施工脚手架，不论其在工程施工中的成本还是保障安全的作用上都占有重要的地位。由于目前仍存在对脚手架研究不够、搭设不规范、管理缺失等问题，造成架体倒塌，人员伤亡，财产损失事故频发。

碗扣式钢管脚手架作为一种新型脚手架体系，具有受力性能好、安全可靠、施工效率高、方便管理等特点，可适用于各种落地脚手架、支撑架、提升架和爬架等，特别在高层建筑模板支撑、桥梁工程中得到大量应用。但使用多年来一直沿用的是扣件式钢管脚手架安全技术规范，这也给碗扣式脚手架的推广使用带来了隐患。

2008年由国家住房和城乡建设部颁布了《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 166—2008，在总结前人经验的基础上，确定了以节点铰接为基础、结构几何不变条件等几个关键问题是解决施工架体稳定的核心。

本手册作为《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》的配套材料，围绕规范，从材料配件、设计施工、验收管理等全过程展开了论述，帮助读者学习碗扣式脚手架相关知识，深刻理解掌握规范条文。另外对脚手架施工过程中可能遇到的和已经出现的各种常见问题及相应的预防、处理方法进行了系统阐述，并精选了脚手架施工方案及典型工程的计算实例。

本书结合《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 166—2008及编者在现场施工中的实际经验，所介绍的内容方法具有较强的实用性。希望通过本书的学习，对提高架体的安全，保障不出、少出事故起到助益作用。

住房和城乡建设部建筑市场管理司原司长
中国建筑业协会副会长



2011年7月

前 言

在 20 世纪 60 年代以前，脚手架为传统的木竹架设工具，20 世纪 60 年代至 20 世纪 70 年代为扣件式钢管脚手架、各种工具式金属脚手架与木竹架设工具兼用。自 20 世纪 70 年代后期，随着高层和大型公共建筑的迅速崛起，原有的架设工具已不能适应现代建筑施工的需要，一些建筑企业、研究单位开始引进、研究当今国内外先进的脚手架体系。

碗扣式脚手架是英国 SGB 公司于 1976 年首先研制成功的，该体系一经推出，便因其诸多不可替代的优点，在世界许多国家迅速得到推广，1986 年我国在学习英国 SGB 公司碗型脚手架的基础上，结合我国情况进行了试制，随后逐步形成定型产品。

碗扣式钢管脚手架由于其立杆轴向受力、碗扣节点构造合理、结构强度高、整体稳定性好、施工速度快等优点，迅速在高层建筑、道路桥梁、水坝等土木工程施工中得到推广应用，但目前仍存在研究不够、搭设不规范、管理缺失等问题，造成脚手架倒塌事故频发，带来了严重的后果及不良的社会影响。

2008 年由河北建设集团有限公司和中天建设集团有限公司主编的《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 166—2008（以下简称《规范》）颁布实施，确定了节点铰接为基础，结构体系几何不变分析等几个关键问题是解决架体稳定的核心；规范了碗扣式脚手架从材料配件、设计施工、验收及管理全过程的行为。

本书作为《规范》的配套材料，收集了大量的碗扣式脚手架应用实例，并择其重点进行了详细阐述。编写过程中力求紧扣《规范》，同时又将施工工艺操作要点尽量描述清楚。全书内容包括：碗扣式钢管脚手架构件制作、检验；相关试验；结构特点及力学分析；设计与计算；施工及验收；安全控制；典型工程实例及方案精选；施工常见问题及处理方法；计算实例等。

本书在编写过程中，参阅了国内外许多专家学者的论著文献，书中也凝聚了他们的真知灼见。中国建筑业协会副会长兼秘书长张鲁风同志在百忙中给本书作了序，清华大学、天津大学工学院的老师同学对架体进行了试验和力学分析，河北建设集团有限公司的工程技术人员、领导给予了大力支持，在此一并表示衷心的感谢。由于经验有限，时间仓促，书中或有不足错误，希望同行专家给予批评指正。

编者

2012 年 1 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 脚手架综述	1
1.1.1 脚手架分类	1
1.1.2 脚手架的技术管理要求	2
1.2 碗扣式钢管脚手架发展研究现状	3
1.3 碗扣式钢管脚手架结构计算理论	4
1.3.1 脚手架结构计算分析	4
1.3.2 碗扣式钢管脚手架铰接理论	5
1.3.3 碗扣式钢管脚手架规范中架体计算及成果	6
1.3.4 对脚手架计算理论的再探讨	6
1.4 碗扣式脚手架应用	8
1.4.1 产品构配件的生产质量控制	8
1.4.2 施工管理控制	8
本章参考文献.....	9
第 2 章 碗扣式钢管脚手架构件制作及检验	10
2.1 材料试验.....	10
2.1.1 试样的制备	10
2.1.2 试验方法	11
2.1.3 结构性能检验	13
2.2 构件的制作及检验.....	17
2.2.1 构件的检验	17
2.2.2 设计图纸	23
2.2.3 对料（提料、核对）	26
2.2.4 产品使用中的安全要求	27
2.2.5 生产场地布置	27
2.2.6 生产组织	27
2.2.7 生产工艺	29
2.2.8 成品矫正、检验	31
2.2.9 成品表面处理与堆放运输	32
2.2.10 产品生产企业生产能力要求	34
本章参考文献	34
第 3 章 碗扣式钢管脚手架相关试验	35
3.1 双排碗扣式脚手架极限承载力试验.....	35

3.1.1	试验内容与目的	35
3.1.2	试验方案及加载方式	35
3.1.3	试验数据及结果分析	37
3.1.4	双排碗扣式脚手架承载力试验结果	51
3.1.5	总结及建议	51
3.2	碗扣式脚手架稳定性能试验	52
3.2.1	试验目的	52
3.2.2	试验步骤	52
3.2.3	试验结果	54
3.2.4	试验结论	80
3.3	碗扣式脚手架节点性能试验	84
3.3.1	试验目的	84
3.3.2	试验方案	84
3.3.3	试验结果及分析	85
3.3.4	试验结论	88
第4章	碗扣式钢管脚手架结构特点及力学分析	89
4.1	碗扣式钢管脚手架、支撑架的构造特点	89
4.1.1	节点构造特点	89
4.1.2	与节点相关的几组试验数据	89
4.2	双排防护用碗扣式脚手架受力分析	89
4.2.1	密目网防护多层脚手架	90
4.3	普通民用模板支撑架的受力分析	91
4.3.1	普通民用模板支撑架定义	91
4.3.2	支撑架的受力体系简化	91
4.4	高、大、重型（模板）支撑架的受力分析	92
4.4.1	定义	92
4.4.2	超高承重架	92
4.4.3	大面积承重架	92
4.4.4	超重支撑架	92
4.4.5	注意事项	92
	本章参考文献	93
第5章	碗扣式钢管脚手架设计与计算	94
5.1	荷载分类	94
5.1.1	荷载分项系数	94
5.1.2	荷载组合	94
5.2	荷载标准值的确定及计算方法	95
5.2.1	双排脚手架结构杆系自重标准值	95
5.2.2	双排脚手架配件重量标准值	96
5.2.3	双排脚手架的施工荷载标准值	96

5.2.4	模板支撑架永久荷载标准值	97
5.2.5	模板支撑架的施工荷载标准值	97
5.2.6	当不组合风荷载时模板支撑架立杆轴力	97
5.3	风荷载标准值计算方法	97
5.3.1	作用于脚手架及模板支撑架上的水平风荷载标准值	97
5.3.2	单肢立杆风荷载弯矩	98
5.4	荷载效应组合	99
5.4.1	脚手架及模板支撑架荷载设计值	99
5.4.2	架体的稳定和连墙件承载力荷载组合方法	99
第6章	碗扣式钢管脚手架结构构造	102
6.1	双排脚手架构造要求	102
6.1.1	双排脚手架常用尺寸及允许搭设高度	102
6.1.2	曲线布置及拐角	103
6.1.3	立杆及横杆	103
6.1.4	确保架体为几何不变体系的构造加强措施	104
6.1.5	连墙件	106
6.1.6	其他要求	108
6.2	模板支撑架	109
6.2.1	模板支撑架基础	109
6.2.2	杆件布置原则	109
6.2.3	立杆	110
6.2.4	水平杆	110
6.2.5	模板支撑架斜杆设置应符合下列要求	111
6.2.6	模板支撑架水平剪刀撑设置	111
6.2.7	模板支撑架连墙件设置	111
6.2.8	模板支撑架高宽比要求	111
6.2.9	主次楞	112
6.2.10	采用扣件式钢管作加固件、连接件、斜撑及剪刀撑	112
6.2.11	梁、板混凝土模板起拱	113
6.2.12	早拆模板施工技术	114
6.3	其他支撑架和操作架构造措施	114
6.3.1	满堂脚手架	114
6.3.2	落地式钢管卸料平台	115
6.4	门洞设置要求	116
6.4.1	双排脚手架门洞	116
6.4.2	模板支撑架门洞	116
	本章参考文献	117
第7章	碗扣式钢管脚手架施工及验收	118
7.1	施工安排	118

7.1.1	施工部位及工期要求	118
7.1.2	劳动组织及责任分工	118
7.2	施工准备	119
7.2.1	技术准备	119
7.2.2	现场准备	119
7.2.3	人员准备	119
7.2.4	机具准备	119
7.2.5	材料准备	120
7.3	双排脚手架搭设与拆除	120
7.3.1	构造类型	120
7.3.2	施工工艺	121
7.3.3	构造要求	121
7.3.4	搭设高度的规定	121
7.3.5	脚手架的组装方法及要求	122
7.3.6	脚手架的防雷措施	122
7.3.7	脚手架搭设的一般规定	123
7.3.8	脚手架搭设的安全要求	123
7.3.9	脚手架的安全使用	123
7.3.10	质量控制与检验	124
7.3.11	脚手架的拆除	125
7.4	碗扣式满堂脚手架搭设与拆除	126
7.4.1	碗扣式满堂脚手架应用范围与特点	126
7.4.2	碗扣式满堂脚手架的搭设	127
7.4.3	碗扣式满堂脚手架施工技术要求	131
7.4.4	碗扣式满堂脚手架的拆除	134
7.5	碗扣式模架搭设与拆除	135
7.5.1	碗扣式模架应用范围与特点	135
7.5.2	碗扣式模板支架架体构造	136
7.5.3	碗扣式模架搭设	137
7.5.4	模板支撑架的拆除	141
7.6	碗扣式钢管脚手架现场管理措施	142
7.6.1	文明施工及降低噪声措施	142
7.6.2	安全管理措施	142
7.6.3	环保、节约材料措施	143
7.6.4	使用过程中的注意事项	143
7.7	检查与验收	144
7.7.1	检查验收程序	144
7.7.2	构配件进场检查与验收内容	144
7.7.3	验收记录	146

第 8 章 碗扣式钢管脚手架安全控制	149
8.1 影响碗扣式钢管脚手架安全的各种不利因素的分析	149
8.1.1 碗扣式脚手架的优点与缺点及适应性	149
8.1.2 影响碗扣式钢管脚手架安全的各种不利因素	150
8.1.3 碗扣式钢管脚手架存在的危险源及易导致的事故	156
8.2 安全技术措施控制	165
8.2.1 编制安全专项施工方案	165
8.2.2 严格执行安全技术交底制度	169
8.2.3 脚手钢管、立杆的碗扣节点、脚手板等产品质量证明	170
8.2.4 劳务队伍要求	170
8.2.5 加强脚手架构配件材质的检查,按规定进行检验检测	171
8.2.6 碗扣架体的设计计算与构造要求	172
8.2.7 碗扣架体的搭设与拆除安全技术要求	173
8.2.8 落实安全生产责任制,强化安全检查	174
8.2.9 碗扣架体的安全使用与管理	176
8.2.10 加强消防安全管理	176
8.2.11 其他注意事项	176
8.2.12 碗扣架体应急预案	177
8.3 安全组织保证及管理措施	178
8.3.1 制定安全管理目标	178
8.3.2 建立安全保障体系	178
8.3.3 脚手架施工安全管理制度	179
8.3.4 碗扣式脚手架现场保证措施	181
8.4 搭拆及使用过程中各环节重点控制	185
8.4.1 碗扣式脚手架搭设控制重点	186
8.4.2 碗扣式脚手架拆除控制重点	186
8.4.3 碗扣式钢管脚手架搭设具体要求	186
8.4.4 碗扣式钢管脚手架拆除	191
本章参考文献	191
第 9 章 碗扣式钢管脚手架典型工程实例及方案精选	192
9.1 碗扣式外脚手架工程应用实例及方案精选	192
9.1.1 实例 1: ××住宅楼工程脚手架施工方案	192
9.1.2 实例 2: ××办公楼工程脚手架施工方案	194
9.2 砖混结构顶板工程应用实例及方案精选	200
9.2.1 工程概况	200
9.2.2 架体的方案设计的基本参数	200
9.2.3 脚手架计算	202
9.3 框架(框剪)结构工程梁板脚手架应用实例及方案精选	202
9.3.1 工程概况	203

9.3.2	梁板模板及架体方案选型设计	203
9.3.3	方案设计基本参数	203
9.3.4	脚手架计算	204
9.4	桥梁结构工程脚手架应用实例及方案精选	204
9.4.1	工程概况	204
9.4.2	支撑架设计方案	205
9.4.3	支架施工	205
9.4.4	支架预压及观测	206
9.4.5	底模标高调整	207
9.4.6	支架计算(以第二跨为例)	208
9.5	大重量、大跨度结构脚手架工程应用实例及方案精选	210
9.5.1	悬挑梁板结构概况	210
9.5.2	方案确定	210
9.5.3	施工方法	210
9.5.4	施工顺序	211
9.6	大空间满堂脚手架工程应用实例及方案精选	211
9.6.1	工程概况	211
9.6.2	脚手架设计总体思路	212
9.6.3	搭设前的施工准备工作	214
9.6.4	满堂脚手架的搭设	215
9.6.5	脚手架的拆除	218
9.6.6	劳动力及材料、机具配备	218
9.6.7	质量保证措施	219
9.6.8	文明施工要求	219
	本章参考文献	220
第 10 章	碗扣式钢管脚手架在施工现场常见问题及处理方法	221
10.1	碗扣式钢管脚手架施工方案中常见的问题分析及处理方法	221
10.1.1	方案设计荷载考虑不周全, 计算不准确	221
10.1.2	方案对重点部位失去控制作用	222
10.1.3	方案内容不全面、存在原则性错误和违规	223
10.1.4	碗扣式钢管脚手架施工方案未经审批直接使用	223
10.1.5	大型脚手架方案未经专家论证	224
10.1.6	施工方案修改后未经再审批或论证	224
10.2	碗扣式钢管脚手架技术交底中存在的问题分析及处理方法	225
10.2.1	交底未按照相关规范、工艺标准和已经经过审批的方案要求进行	225
10.2.2	交底不全面, 没有针对性	225
10.2.3	交底文字繁杂, 细部构造不详细	226
10.3	施工现场脚手架材料存在的问题及处理方法	226
10.3.1	材料自身的问题	226

10.3.2	脚手架钢管材料受人为因素影响的问题	228
10.3.3	脚手架材料的日常管理维护问题	228
10.4	施工操作过程中存在的问题及处理方法	229
10.4.1	脚手架基础问题	229
10.4.2	碗扣式钢管脚手架搭设过程中出现的问题及处理方法技巧	229
10.4.3	碗扣式钢管脚手架使用过程中的问题	236
10.4.4	拆除过程中出现的问题及处理方法	237
10.5	施工现场对脚手架的日常维护管理方面存在的问题	239
10.5.1	脚手架没有按有关安全管理规定和要求进行各类相关检查	239
10.5.2	安全检查不认真	240
10.5.3	碗扣式钢管脚手架没有按照要求进行沉降观测	240
10.5.4	碗扣式钢管脚手架的日常使用管理和维护时的常见问题及处理方法	240
10.6	其他问题	241
10.6.1	碗扣式钢管脚手架避雷问题及处理方法	241
10.6.2	违规行为、不当决策和以项目经理为载体的安全工作隐患问题	242
10.6.3	抓好对项目总工的继续教育和培训工作, 杜绝以项目 总工为载体的安全隐患	243
10.6.4	施工现场不执行安全管理规定	243
10.6.5	提升碗扣式钢管脚手架的环保要求, 成立专业化的脚手架承包公司等	244
10.7	某高速现浇箱梁模板支架垮塌事故技术分析报告	245
10.7.1	工程简况	245
10.7.2	现场模板支架搭设情况	245
10.7.3	原因分析	245
10.7.4	对支架搭设的构造及稳定性验算分析	246
10.8	碗扣式钢管脚手架搭设常见问题图例	248
第 11 章	碗扣式钢管脚手架计算案例	253
11.1	外装饰脚手架计算案例	253
11.1.1	根据工程实际确定计算参数	253
11.1.2	立杆稳定性验算	253
11.1.3	外墙脚手架搭设高度计算	255
11.1.4	立网封闭双排脚手架连墙杆件计算	256
11.1.5	立杆地基承载力计算	257
11.2	现浇钢筋混凝土梁模板高支撑架计算案例	258
11.2.1	计算参数	258
11.2.2	梁底模板面板计算	259
11.2.3	梁底支撑木方的计算	260
11.2.4	立杆的稳定性计算	262
11.2.5	立杆地基承载力计算	263
11.3	现浇钢筋混凝土楼板模板及支架计算案例	264

11.3.1	基本参数	264
11.3.2	模板面板计算	265
11.3.3	支撑木方的计算	266
11.3.4	托梁的计算	266
11.3.5	立杆的稳定性计算荷载标准值	267
11.3.6	立杆的稳定性计算	268
11.3.7	立杆地基承载力计算	269
11.4	某高架路现浇支架连续箱梁碗扣式支架计算书	269
11.4.1	满堂式碗扣件支架方案介绍	269
11.4.2	碗扣式支架特性	270
11.4.3	荷载分析计算	270
11.4.4	碗扣立杆受力计算	272
11.4.5	地基承载力计算	274
11.4.6	支架立杆稳定性验算	274
11.4.7	模板受力计算	276
11.5	大跨度、高支撑碗扣式脚手架计算实例	279
11.5.1	基本搭设参数	284
11.5.2	板模板支架的强度、刚度及稳定性验算	285
11.5.3	梁模板计算书	290
	本章参考文献	299
附录	《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 166—2008 (条文部分)	300

第 1 章 概 述

1.1 脚 手 架 综 述

在建筑、安装、道路、桥梁工程施工中，为满足施工作业要求而设置的各种操作支撑架子，统称为脚手架。搭设脚手架的成品亦被称为架设材料或架设工具，它是施工企业最重要的常备施工周转材料。

1.1.1 脚手架分类

1. 按用途划分：

脚手架按用途划分为：结构工程作业脚手架、装修工程作业脚手架、防护脚手架、支撑和承重脚手架等。结构工程作业脚手架、装修工程作业脚手架是为满足结构、装修施工作业需要而设置的脚手架；防护脚手架包括作业围护用墙式单排脚手架和通道防护棚等，是为施工安全设置的脚手架；支撑和承重脚手架是为支撑模板及其荷载或为满足其他承重要求而设置的脚手架。支撑脚手架（falsework）在英国国家标准 BS 5975（1996）中的定义是：“一种临时性的结构，用于支撑尚未能用自身力量支撑起自己的永久性结构物。”典型的应用是钢管脚手架支撑模板，然后在模板上浇筑混凝土，当浇筑的混凝土达到足够强度，脚手架将被拆除。空间钢结构安装亦如此，空间钢结构常用的几种安装方法中，高空散装法和分块分条安装法是在钢结构安装之前均需搭设支撑脚手架，待空间钢结构安装、拼装完成形成稳定的空间结构后，再拆除支撑脚手架。

2. 按脚手架杆件、配件材料和连接方式划分：

在 20 世纪 60 年代以前脚手架为传统的木竹架设工具，20 世纪 60 年代至 70 年代为扣件式钢管脚手架，各种工具式金属脚手架与木竹架设工具并用，自 70 年代后期，随着高层和大型公共建筑的迅速崛起，原有的架设工具已不能适应现代建筑施工需要的问题就日渐突出，因此一些建筑企业、研究单位开始引进、研究当今国外流行的先进的脚手架，如：门式脚手架、碗扣式脚手架、插接式钢管脚手架、盘销式钢管脚手架、附着式升降脚手架、电动桥式脚手架等。

门式脚手架主要由主框、横框、交叉斜撑、脚手板、可调底座等组成。它具有装拆简单、承载性能好、使用安全可靠等特点，适用于装饰装修、大跨度空间钢结构安装、桥梁工程、建筑工程的梁板模板施工。

插接式钢管脚手架基本组件为立杆、横杆、斜杆、底座等，其特征是沿立杆壁的圆周方向均匀分布有四个 U 形插接耳组，横杆端部焊接有横向的 C 形或 V 形卡，斜杆端部有销轴。其连接方式为立杆与横杆之间采用预先焊接于立杆上的 U 形插接耳组与焊接于横杆端部的 C 形或 V 形卡以适当的形式相扣，再用楔形锁销穿插其间的连接方式，立杆与

斜杆之间采用斜杆端部的销轴与立杆上的 U 形卡侧面的插孔相连接, 根据管径不同, 上下立杆之间采用内插式或外套两种连接方式。适用于建筑结构及市政桥梁工程的脚手架及模板支撑系统、装修工程及钢结构安装工程施工等。

盘销式钢管脚手架的立杆上每隔一定距离焊有圆盘, 横杆、斜拉杆两端焊有插头, 通过敲击楔形插销将焊接在横杆、斜拉杆的插头与焊接在立杆上的圆盘锁紧。其特点是安全可靠、搭拆快、适应性强, 除搭设一些常规架体外, 还可搭设悬挑结构、跨空结构、整体移动、整体吊装、拆卸的架体等。

附着式升降脚手架是一种用于高层和超高层的外脚手架。它只需要搭设 4~5 层的脚手架, 随主体结构施工逐层爬升, 也可随装修作业逐层下降。

电动桥式脚手架是一种大型自升降式高空作业平台。它可替代脚手架及电动吊篮, 用于建筑工程施工, 特别适用于装修作业。

碗扣式钢管脚手架的特点是受力性能好, 碗扣节点构造合理, 立杆轴向受力, 结构强度高, 整体稳定性好, 力学性能明显优于扣件和其他类型的接头, 并且有可靠的自锁性能, 使用安全可靠, 施工速度快; 各扣件尺寸统一, 接头拼拆工效高, 比常规快 3~4 倍, 拼接完全避免螺栓作业, 可降低劳动强度, 功能多, 根据施工要求, 可组装成不同组架尺寸、不同曲线形状和不同施工荷载的双排脚手架、支撑架、物料提升架等施工构架; 管理方便, 由于碗扣与钢管焊接为一体, 没有零散构件, 不易丢失, 构件轻便牢固, 日常维修简单, 运输紧凑方便, 便于管理。适用于房屋建筑、道路桥梁、水坝等土木工程施工。

1.1.2 脚手架的技术管理要求

现阶段, 由于我国对脚手架承载力研究尚不深入, 搭设过程不规范, 施工管理缺失等原因, 使得脚手架事故频繁发生。根据住房和城乡建设部发布的《2009 年全国建筑施工生产安全事故分析报告》显示, 因脚手架和模板倒塌的事故造成死亡 85 人, 占建筑事故总死亡人数的 18.2%。2010 年上半年, 仅安徽芜湖、贵州福泉、云南昆明等地就发生多起脚手架倒塌事故, 共造成 28 人死亡和多人受伤。所以确保脚手架在架设、使用和拆除过程中的安全, 是对脚手架技术的首要要求, 而可靠性则是实现安全要求的前提和基础。

1. 脚手架可靠性基本要求

(1) 杆部件和节点构造合理, 受力明确, 能较好地发挥材料的承载性能, 承载能力具有适当的安全储备。(2) 结构稳定, 整体性好, 有符合要求的与建筑结构或其他稳定结构体的连接或撑拉措施, 抗失稳能力强。(3) 有可靠的安全防护设施, 能有效地控制架设、使用和拆除过程中可能发生的变形; 避免出现导致偏心载荷等不利的受力状态, 或者可以采取减小它们的不利影响, 能避免在无征兆的情况下发生突然破坏。

2. 脚手架可靠性的构造措施

(1) 确保杆部件连接点规范, 传力明确, 工作可靠。
(2) 控制扫地杆的高度及顶端竖杆的悬臂长度, 加强架体与结构拉结, 水平斜杆、竖向斜杆、剪刀撑搭设规范, 确保脚手架的几何不变及整体稳定性。

3. 确保脚手架可靠性的管理措施

(1) 高大架体需要有专项施工方案并要经过专家论证;
(2) 搭拆过程应严格按专项方案实施, 架工需经过培训持证上岗;

(3) 安全防护、安全检查按照有关脚手架安全技术规范规程执行。

4. 脚手架发展方向

(1) 提高工效、降低成本提高企业管理水平和市场竞争力。

(2) 使用方便才能提高工效，使之达到方便性和适用性要求。

(3) 杆配件的适应性强，便于搭设不同形式和要求的脚手架。

(4) 杆配件的质量轻，连接快捷，搭拆方便，扩大使用功能及其应用的灵活程度。

(5) 作为一种常备的多功能的施工工具设备，力求适应现代施工各个领域不同项目和要求的需要。

1.2 碗扣式钢管脚手架发展研究现状

碗扣式脚手架是英国 SGB 公司于 1976 年首先研制成功，该系统一经推出，便因其诸多不可替代的优点，在世界许多国家迅速得到推广。经过国外三十几年的实际应用，已经被证实为一款非常成熟优秀的产品。其力学设计和工艺设计使得该系统既可应用于脚手架领域，也可应用于荷载较大的支撑领域。

1986 年铁道部专业设计院在学习英国 SGB 公司碗形脚手架的基础上，结合我国情况，试制成了“碗扣型脚手架”，其主要特点是在下碗扣接头上加上了几个齿牙，以增强碗扣接头的自锁能力。冶金部建筑研究总院与无锡县建筑脚手架厂于 1986 年联合试制成了“碗形承插式脚手架”，在吸收了国内外脚手架经验的基础上，对脚手架的某些方面进行了改革。

碗形脚手架的关键部位是碗接头，现在通用的碗扣型脚手架是在下碗扣扣接头上都取消了齿牙，并且均采用钢板冷冲压成型，使加工工艺有所简化，上碗扣用玛钢模锻成型。下碗和插头上带齿牙对增强接头的自锁能力、约束横杆左右移动和转动具有很好作用，但是实际应用中，各碗接头都不是单独存在，而是相互连接成空间杆系，各节点通过杆件相互制约，来约束横杆的左右移动和转动，所以在下碗和插头上带齿牙是没有必要的，从而形成了现状。

碗扣式脚手架的整体稳定性，结构试验、节点性能试验、结构构造等国内研究不多。碗扣式脚手架的结构试验最早由铁道部第三工程局科研所进行，它的试验除整体结构采用了井字架试验之外，对下碗扣极限剪切强度、横杆插头抗剪强度及螺旋支座的垂直承载力等均做了比较全面的试验，为其技术开发提供了足够的科学依据。

1989 年星河机器人公司与北京住总集团在中国建筑科学研究院抗震室做了双排脚手架的荷载试验，可以说为碗扣架整体结构计算奠定了初步基础。

2007 年由河北建设集团有限公司、中天建设集团有限公司、中国建筑金属结构协会建筑模板脚手架委员会、北京建安泰建筑脚手架有限公司等与清华大学结构实验室做了双排脚手架整体结构承载力试验，通过试验确定了整体结构按铰接计算的极限承载力以及立杆挠度变形曲线，取得了理论计算和试验结果的一致性。除此之外还对双排立杆间增加斜杆的极限承载力提高效果及立杆连续性（也即节点之刚性）的作用以及顶杆承载力计算公式都进行了测定，为铰接进行计算提供了足够的依据。同时也为《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 166—2008 的编制提供了试验支撑。

2010年清华大学、北京盛明建达工程技术有限公司在清华大学做了碗扣式模板支撑架足尺试验,目的是为研究柱距和外立面斜撑因素对架载力的影响,按照工程实际搭设规格精心设计3组试验,得到极限承载力、破坏形态、荷载位移曲线、应力分布,为后续理论研究提供了验证实例。每组试验都模拟满堂脚手架,平面布置 4×4 列,共16根立杆。整体架从底板顶面到托撑顶面高8m,其中步距 \times 层数为 $0.6\text{m}+1.2\text{m}\times 5$,扫地杆高度0.7m,顶部立杆伸长段长度0.7m。试验结论是在竖向荷载作用下,碗扣式模板支撑架以整体弯曲失稳为主,并没有发生杆件局部失稳,外立面斜杆能够延缓立杆水平方向变形,显著提高支撑架承载力,但不能提高架体的竖向抗压强度,柱距变化对单杆承载力影响不明显。架体水平位移警戒值与柱距和有无外立面斜撑关系不大。碗扣式钢管支撑架在无内部斜杆的情况下,也可承受竖向荷载,但应当有足够的安全储备。

2010年河北建设集团有限公司在天津大学结构实验室做了8组碗扣式模板支撑架极限承载力试验及3组碗扣式脚手架节点性能试验,为分析剪刀撑、天杆高度、步距、高宽比对碗扣式钢管模板支撑架承载力的影响提供了验证实例,同时得到节点约束刚度对脚手架受力性能的影响,节点的铰接理论与修正系数等。

由于碗扣式钢管脚手架传力明确,安装方便并形成系列化,越来越被工程施工广泛应用,且工程的实践专家、工程师们也撰写了碗扣式脚手架支撑在桥梁施工中的计算模型,碗扣式承力架支撑在工程中的应用,碗扣式脚手架在桥梁支撑应用中存在的问题及其对策等相关文章,为进一步研究发展碗扣式脚手架提供了技术积累、实践总结。

1.3 碗扣式钢管脚手架结构计算理论

脚手架由经验性的施工工具过渡到理论计算,是由于建筑工程高大化及复杂化,使得其应用超出了已有的经验范围以及创造更合理和更经济的脚手架的需要而提出的。近年来这种趋势愈来愈明显,并引起了各方面的关注。

脚手架的结构体系与建筑结构之间具有某种相似性,但也同样具有许多不同之点。相同点有二,其一是二者都是杆系组成的结构;其二是都要满足承载力及稳定的要求。与建筑结构的不同点是:脚手架是临时结构,要求搭设与拆除简便,杆件及构件应尽量定型化与标准化,其组成的整体却要求适用多样化的使用要求条件,其构造往往不能完全满足结构规则的要求,如何纳入结构力学成为其难点。

脚手架的结构计算与建筑结构相同,目的在于通过结构计算确定整个结构的安全可靠程度。因而其结构计算必须有通用性(即对所采用的构件的不同结构形式及结构尺寸都能适用)、可靠性(譬如结构整体稳定性)、指导性(理论计算及分析可以指出结构的最薄弱环节以及提出改善的方法)。当然计算方法应力力求概念明确、方法简单,能与试验结果相一致。

1.3.1 脚手架结构计算分析

总结1980年至扣件式钢管脚手架规范颁布的2001年,在脚手架的结构计算方面主要有以下一些成果:

- 1.《建筑施工手册》最初建立的立杆承载力算法,该法认定立杆为脚手架的主要承