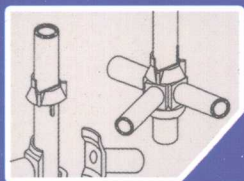


《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》 结构设计详解

余宗明 编著

JIANZHU SHIGONG WANKOU SHI GANGGUAN JIAOSHOUJIA ANQUAN JISHUGUIFAN
JIEGOU SHEJI XIANGJIE



中国建筑工业出版社

《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》

结构设计详解

余宗明 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》结构设计
设计详解/余宗明编著. —北京: 中国建筑工业出版社,
2009

ISBN 978-7-112-10958-6

I. 建… II. 余… III. ①脚手架—工程施工—安全
技术—规范②脚手架—钢管结构—结构设计—规范
IV. TU731.2—65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 071187 号

**《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》
结构设计详解**

余宗明 编著

*

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

北京华艺制版公司制版

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 3½ 插页: 1 字数: 100 千字

2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月第一次印刷

定价: 15.00 元

ISBN 978-7-112-10958-6

(18207)

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)

《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》（JGJ 166—2008）于2009年7月颁布实施，由于规范中结构计算引入了多项新概念以及规范最后定稿时文字高度浓缩，使得理解和应用难度较大。本书将编制过程中的主要结构设计原理、计算简图及结构试验的有关成果进行了详尽叙述，并对主要计算公式采用实例进行示范计算，深入浅出地解析碗扣式脚手架的结构设计，帮助施工技术人员更好地理解和使用规范，本书可作为学习规范的参考用书。

* * *

责任编辑：曾 威

责任设计：郑秋菊

责任校对：陈晶晶 孟 楠

前 言

碗扣式钢管架是一种新型的建筑施工架，它与扣件式钢管架主要区别在于节点连接方式。扣件式钢管采用的是分体式的扣件，而主体杆件就是 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管，其优点是不用单独加工，只要用扣件与钢管相扣接即可形成各种形状和尺寸的架体，达到施工要求。碗扣式钢管架的节点是碗扣，碗扣的构造是利用焊于立杆上的下碗扣和可套接的上碗扣，以及横杆上焊接的插头，插接于下碗扣之上形成节点。其显著的优点是节点的承载能力大，立杆和横杆处于一个平面之内，作为结构体来说受力更加合理。碗扣架是由铁道部专业设计院1986年研究试制，并申报了专利，至今已有20余年的历史，取得了较为丰富的经验。很多人希望早日编制出规范。1994年亦曾在建设部立项，但是这项计划一直未能实施。直至2004年才由中国建设金属结构协会建筑模板脚手架委员会申请此项规范的编制工作。规范编制工作十年无人问津，主要在于缺乏专业研究，没有很好地总结使用经验并提高到理论高度。除此而外，科研气氛不浓，不同学派缺乏交流和讨论，没有充分听取非主流意见也是原因之一。

2004年成立的规范编制小组正处在脚手架和模板支撑架倒塌事故频发之时，因而编制小组以结构计算为重点，突出分析了扣件式脚手架规范中的不足之处，接受了非主流意见，以较接基本假设为出发点，按照结构力学的理论，建立了网格式结构计算模型。首先对杆件体系的几何不变条件，进行了分析。找出了架体倒塌以及“整体失稳”的原因。近年来现场实际观察可以看到斜杆几乎被抛弃，证明倒塌的原因就是架体不满足几何不变条件。在此基础上将双排脚手架和模板支撑架实用结构加入理论分

析得到了典型的计算简图，使整个规范的编制进入了创新的道路。《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规程》（JGJ 166—2008）的正式颁布执行证明了编制小组指导思想的正确性，也会对我国建筑施工的安全提供可靠的依据。

“规范”的颁布虽然很重要，但是其贯彻执行就是规范发布后的更紧迫任务。尤其是本规范概念是全新的，其中牵涉到结构力学和计算的内容也较多，如何将规范中的理论分析和科学试验的成果变为现场人员熟知的道理？于是决定写一本解读的书，将规范编制中的科学试验和理论推导的内容以及结构计算的工程实例纳入，便于读者掌握和应用。

在理论研究方面，20世纪60年代以前结构力学的研究成果已极为丰厚，到如今已不被人所知，如杆系的稳定理论对脚手架的结构计算就有很大用途。20世纪末期结构计算的电算法取得了丰硕的成果，但是在结构力学与电算法的连接上却是原则谈的多，具体应用少。以有限元法为例，有些高等院校在做结构试验时就采用了这一方法，但是试验和电算相互并不一致，说明电算法并未与实际应用相结合。再如半刚性节点的假设也是如此，如何解决它的计算问题，仍然是这种假设实际应用的障碍。

碗扣架规范的颁布执行对工程安全提供了一个新的理念，即安全事故的发生不仅仅是个别领导重视不重视的问题，也并非是非单纯的产品质量问题，很重要的一个方面是如何正确设计施工架的技术问题。愿我们在技术上努力能为千百万建筑工人的生命安全起到足够的保证作用。

当然任何一件新生事物都不可能是完美无缺的，碗扣式钢管架结构计算也有需要完善之处，望广大读者给予批评指正。

在规范编制过程中，编制组成员提出了许多宝贵意见，也为本书的编写提供了许多珍贵的素材，作者受益匪浅，在此谨向你们表示衷心感谢！

尊敬的读者：

感谢您选购我社图书！建工版图书按图书销售分类在卖场上架，共设22个一级分类及43个二级分类，根据图书销售分类选购建筑类图书会节省您的大量时间。现将建工版图书销售分类及与我社联系方式介绍给您，欢迎随时与我们联系。

★建工版图书销售分类表（见下表）。

★欢迎登陆中国建筑工业出版社网站www.cabp.com.cn，本网站为您提供建工版图书信息查询，网上留言、购书服务，并邀请您加入网上读者俱乐部。

★中国建筑工业出版社总编室

电 话：010—58934845

传 真：010—68321361

★中国建筑工业出版社发行部

电 话：010—58933865

传 真：010—68325420

E-mail: hbw@cabp.com.cn

建工版图书销售分类表

一级分类名称 (代码)	二级分类名称 (代码)	一级分类名称 (代码)	二级分类名称 (代码)
建筑学 (A)	建筑历史与理论 (A10)	园林景观 (G)	园林史与园林景观理论 (G10)
	建筑设计 (A20)		园林景观规划与设计 (G20)
	建筑技术 (A30)		环境艺术设计 (G30)
	建筑表现·建筑制图 (A40)		园林景观施工 (G40)
	建筑艺术 (A50)		园林植物与应用 (G50)
建筑设备· 建筑材料 (F)	暖通空调 (F10)	城乡建设·市政工 程·环境工程 (B)	城镇与乡(村)建设 (B10)
	建筑给水排水 (F20)		道路桥梁工程 (B20)
	建筑电气与建筑智能化技术 (F30)		市政给水排水工程 (B30)
	建筑节能·建筑防火 (F40)		市政供热、供燃气工程 (B40)
	建筑材料 (F50)		环境工程 (B50)
城市规划· 城市设计 (P)	城市史与城市规划理论 (P10)	建筑结构与岩土工 程 (S)	建筑结构 (S10)
	城市规划与城市设计 (P20)		岩土工程 (S20)
室内设计· 装饰装修 (D)	室内设计与表现 (D10)	建筑施工·设备安 装技术 (C)	施工技术 (C10)
	家具与装饰 (D20)		设备安装技术 (C20)
	装修材料与施工 (D30)		工程质量与安全 (C30)
建筑工程经济与 管理 (M)	施工管理 (M10)	房地产开发管理 (E)	房地产开发与经营 (E10)
	工程管理 (M20)	辞典·连续出版物 (Z)	物业管理 (E20)
	工程监理 (M30)		辞典 (Z10)
	工程经济与造价 (M40)		连续出版物 (Z20)
艺术·设计 (K)	艺术 (K10)	旅游·其他 (Q)	旅游 (Q10)
	工业设计 (K20)	土木建筑计算机应用系列 (J)	其他 (Q20)
	平面设计 (K30)		
执业资格考试用书 (R)		法律法规与标准规范单行本 (T)	
高校教材 (V)		法律法规与标准规范汇编/大全 (U)	
高职高专教材 (X)		培训教材 (Y)	
中职中专教材 (W)		电子出版物 (H)	

注：建工版图书销售分类已标注于图书封底。

目 录

第 1 章 绪论

- 1.1 碗扣式钢管架的引入和发展 1
- 1.2 脚手架结构计算方法及其进展 2
- 1.3 结构试验 5
- 1.4 关于《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》 7

第 2 章 建筑施工架的结构设计及计算

- 2.1 建筑施工架的主要结构形式、计算简图及几何不变条件 ... 13
- 2.2 《建筑结构可靠度设计标准》及极限状态设计表达式 16
- 2.3 整体结构的力学分析 17
- 2.4 杆件强度计算、最不利杆和风荷载倾覆计算 18

第 3 章 荷载计算

- 3.1 架体荷载部分编制的基本原则 21
- 3.2 某些补充数据的说明 21
- 3.3 有关荷载问题的讨论 22

第 4 章 碗扣式钢管架的结构特点和力学分析

- 4.1 双排脚手架结构计算简图和力学分析 25
- 4.2 双排脚手架立杆计算长度 27
- 4.3 双排脚手架承载能力计算 28
- 4.4 模板支撑架结构计算简图 28
- 4.5 模板支撑架承载力计算 30
- 4.6 模板支撑架风荷载倾覆计算 34

第 5 章 脚手架和模板支撑架结构计算实例

- 5.1 双排脚手架承载力计算 39

5.2	首层立杆连接件距离超过 4.2m 时双排脚手架计算	42
5.3	双排脚手架允许搭设高度计算	44
5.4	模板支撑架承载力计算	45
5.5	模板支撑架风荷载倾覆计算	47
第 6 章 碗扣式钢管架荷载试验		
6.1	概述	53
6.2	双排脚手架试验方案	54
6.3	试验结果与理论计算结果对比分析	56
6.4	试验结果综合评价	66
6.5	顶杆结构试验与 $h+2a$ 公式	71
6.6	结构试验与有限元法	72
6.7	碗扣式钢管架“井字架”和“双排脚手架”试验	73
第 7 章 碗扣式钢管架的结构构造		
7.1	概述	81
7.2	双排脚手架允许搭设高度	81
7.3	双排脚手架立杆接头	81
7.4	斜杆采用八字形设置	82
7.5	关于双排脚手架斜杆设置的要求	82
7.6	模板支撑架的斜杆设置	83
7.7	水平斜杆的设置	83
7.8	碗扣架的斜杆和连墙件	84
第 8 章 构配件及建筑施工		
8.1	构配件制作技术标准和产品的质量控制	87
8.2	碗扣式钢管架安全应用的管理要求	88
8.3	技术交底	90
8.4	脚手架的检查与验收	91
8.5	关于混凝土结构拆模强度和混凝土强度推算	91
附录		
附录一 Q235 钢管轴心受压构件的稳定系数 φ		97

附录二	$\phi 48\text{mm}$ 钢管主要计算参数	98
附录三	圆钢截面积及重量表	99
附录四	各种边界条件下中心受压杆计算长度	100
附录五	全国基本风压分布图	(插页)
参考文献	101

第 1 章 绪 论

1.1 碗扣式钢管架的引入和发展

扣件式钢管架引入我国是在 20 世纪 60 年代，其特点是扣件加钢管，引入的时代主要是“以钢带木”的技术，主要目的是解决工程建设中木材（特别是杉篙）供应不足的问题，其主要应用的范围是脚手架。到了 20 世纪 70 年代末改革开放带来了新的建设高潮，脚手架技术也有了突飞猛进的发展。新型脚手架引入的就有门式架和碗扣架等。碗扣架是钢管架的另一种形式，1987 年北京星河机器人公司购买了铁道部专业设计院的碗扣式钢管架的专利。为了将专利商业化，机器人公司与北京住总集团合作，将碗扣式钢管架发展为定型专业产品在北京亚运会工程开始了工程试点和大规模推广应用。

碗扣式钢管架的明显优势是连接可靠，承载能力高。主结构中心受力无偏心，由于碗扣是焊于立管上，横插头也是焊接于横杆上，其承载力很大。对于承受竖向荷载来说远远大于扣件式连接（只靠摩擦力），可以说在通常脚手架的荷载下，节点几乎不可能破坏；其次是其节点连接除焊接外，扣件与主体连锁无丢失的可能。这就显示了它立足于建筑施工的优良条件。

1987 年碗扣式钢管架在工程运用的初期即遇到了当时脚手架技术发展的通用难题，即如何适用于高层建筑的问题。此问题已是脚手架技术的瓶颈，扣件式钢管架在 1983 年发生了北京社科院倒塌事故之后，其搭设高度已被限制在 20m 之内。为了解决高层建筑的施工，通常采用两种方法：一是低于 45m 的脚手架下部 20m 采用双管立杆；二是高于 45m 的采用分段增设挑梁的办法。后者明显的缺点是，挑梁插入各楼层，大量消耗钢材又影响楼层内外的安装及装饰工程，应当说极不理想。

北京住总 1988 年亚运会汇宾大厦工程恰恰就落入这一困境。该楼高 73m，平面为扇形。由于工期要求不能搭设悬挑梁外架。在充分考虑了碗扣架的优点后，通过结构计算，以单肢立管外架达到 73m 高度，为高层建筑采用碗扣架开了先河，这一成果的应用是在钢管架铰接计算法理论的基础上取得的。

碗扣架除了在搭设高度上取得的成绩外，在此期间还取得了应用范围的扩大，在住总集团同期施工的北新模架公司，将碗扣架应用到其模板支架中，这一结合使碗扣架不仅有脚手架的用途，而且扩展到模板支架。

碗扣式钢管架在实际应用上的发展，自然引起了现场工程师的关注，很多同志盼望着能编制规范指导现场施工，因而 1994 年在建设部立项。但是由于碗扣式钢管脚手架的结构计算存在较多争论，因而无人承担编制任务。在 2004 年由金属结构协会的模架委员会成立了编制小组，才开始了编制的实际工作。在建设部有关部门的领导下，重点突出了结构计算的理论，充分吸收各方意见，通过讨论编制出初稿，后又经专家评审和相应的结构试验，最终在 2008 年底批准付之排印并颁布执行。

1.2 脚手架结构计算方法及其进展

1.2.1 背景

脚手架竹木阶段并不存在结构计算的问题。由于天然材料性能的不均匀，以及连接方式（如麻绳与铅丝）所能承受的荷载较小等因素，始终搭设高度和承载力都是很有限的，但是竹木阶段还是注意到了其整体结构的组成问题，在这一阶段结构组成上特别注意到了“十字盖”、“压栏子”以及斜撑等斜杆的设置，保证了整体结构的稳定。使其在很长时间得到安全使用的效果。

采用 $\phi 48$ 钢管与扣件式的金属结构之后，主体杆件及扣件的力学性能有了显著提高，材质的性能也保持足够的稳定。在初期

依照木脚手架的规则来使用也保持了很好的效果。但是当脚手架的搭设高度大大超出了原有高度时，就出现了问题。最早的倒塌事故就是北京社科院外架子。对于这次事故作者曾进行了一个简单的计算，证明按照结构计算来确定高型脚手架安全的重要性。

北京社会科学院大楼为 1983 年的在施结构，全楼总高度为 54m，1983 年 9 月底完成了结构主体施工，为了能在冬期之前完成外装修，决定国庆节后抢工，采用扣件式钢管架一次搭设到顶部，并在每层全部铺设脚手板，以便全部各层同时进行装修施工。架子搭设在节前全部完成，节后 10 月 4 日开工时，只有不到十个架子工到架子上进行检查，结果脚手架突然整体倒塌，造成数人死亡的重大事故。事故检查组对该事故的倒塌原因认为：一是脚手架搭设不规矩，与建筑物的拉结（连墙件）采用 8 号钢丝与垫木拧接达不到支撑作用；二是全部满铺脚手板荷载过大，虽然这个结论是正确的，但是它没有采用具体的结构计算数据，没有认识到结构计算的关键性。本人对该结构进行了立杆强度的计算，采用强度达到屈服点 $240\text{N}/\text{mm}^2$ （现已改为 $235\text{N}/\text{mm}^2$ ）。脚手架的主参数：柱距 1.8m，排距 1.2m，步距 1.8m，连墙件间距 3.6m，其结构计算如下：

① 脚手板荷载： $350 \times 1.8 \times 0.6 \times 30 = 11340\text{N}$ ；

② 脚手架自重： $(0.8 + 0.6 + 1.8) \times 38.4 \times 30 = 3686.4\text{N}$ ；

合计： $N = 15026.4\text{N}$ ；

③ 单肢立杆承载力：长细比 $\lambda = 360/1.58 = 227.8$ ，查表折减系数 $\varphi = 0.14$ ；

$$[N] = \varphi \cdot A \cdot f = 0.14 \times 489 \times 240 = 16430.4\text{N}$$

从上述计算结果可以看出二者已很接近，实际上考虑脚手架的扣件、小横杆的挑出长度等，荷载远远超出 15026.4N，因而倒塌是必然的。说明高型脚手架结构计算的重要性。

到了 1987 年碗扣式钢管架开始出现在工地上，在北京亚运会工程上展露其技术优势，这种优势最初也只是体现在安装方便、不丢失扣件等，但随后即受到了高层建筑的考验，由北京住

总建设集团承建的汇宾大厦，平面为扇形高达73m，为了使结构施工不影响外装饰，不可能采用竖向分段设挑梁的办法，住总集团科技处从结构计算着手，解决了曲线形平面和搭设高度（单肢立管）的问题，其成果获得了北京市科技成果二等奖，又一次显示了脚手架结构计算的威力。

但是应该看到此时的结构计算仍然是很粗略的。到了20世纪90年代初，钢管架开始拓展到模板支撑架，使单纯的脚手架变成了建筑施工架，这一变化最重大的影响是架体上支撑的荷载，已由 2kN/m^2 提高到 20kN/m^2 。实际上垂直荷载提高了10倍。当然除此之外，室外的模板支撑架还要承受横向风荷载，使得其受力情况有了极大变化，但是结构计算技术却没有进展，导致了倒塌事故频繁发生。

1.2.2 脚手架结构计算的发展历程

总结1980年至扣件式钢管架规范颁布的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力杆件，对之进行计算。这种算法奠定了结构计算的初步走向，但是没考虑整体结构和立杆计算长度的关系，这是其不足之处。

(2) 无侧移钢架算法。此法实际上只提供了节点为刚性的假设，并没有给出实际应用的计算办法。

(3) 节点的铰接算法。该法视节点为铰，即与“施工手册”原来的主要基点一致，也继承了英国脚手架规范的基本假设。此法从理论上首先注意到了整体结构对立杆计算长度的影响，尤其是双排脚手架。这一分析虽然使结构计算有了重大理论依据，但并未引起广泛的重视，也未对结构整体构成形成系统的分析。

(4) 半刚性节点假设。此一假设似乎是一种可行的办法，但是这种假设最大的问题是未能与结构计算联系起来，因而只能是

一种概念，不能实际应用。但是这一假设却长期成为扣件脚手架规范的理论依据。

除去上述的一些方法之外，在模板支撑架的计算方面，有的专业公司对模板支撑架的计算采用了“单肢立杆平均承载力”的计算法，就是初步假设单肢立杆能承受 10kN 或 8kN 来进行设计。

从上述方法可以看出，脚手架的结构计算实际上极不成熟，仍然处于发展阶段。

1.2.3 本次规范中结构计算的要点

本次碗扣式钢管架规范在总结前人经验的基础上，确定了几个关键问题作为结构计算方法的要点：

(1) 特别关注了建筑施工架的整体结构设计，以节点铰接为基础，对组成施工架的网格结构静定条件进行了重点分析，确定了结构几何不变条件是解决施工架整体稳定的核心。

(2) 对建筑施工架中的两个主要体系，双排脚手架和模板支撑架确定了整体结构计算简图，为结构计算提供了形象的结构体系。

(3) 在结构内力分析的基础上，以最不利杆进行强度计算的方法保证整体结构的安全。

整体结构计算采用静定结构体系，使之简便，易操作。不采用晦涩难懂的有限元法等，达到概念清楚，易于掌握的目的。

1.3 结构试验

1.3.1 试验概况

众所周知，结构计算方法的重要验证手段是结构试验。因为任何计算方法都必须是以试验为依据才能获得实际工程应用的信心。脚手架的结构计算当然也不会脱离这一基本法则，但是由于

碗扣式钢管架应用的时间不长，只有 20 年左右，因而结构试验也只有零星试验成果。最早的试验主要是扣件式钢管架，主要是连接强度试验，验证扣件能承受的破坏力（剪切力）以及扣件拧紧程度对承载力的影响。扣件式脚手架整体结构试验 1991 年由哈尔滨工业大学进行，这也是到目前为止最为重要的结构试验。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所做。它的试验除整体结构采用了井字架结构试验之外，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数据。1989 年由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 年底由碗扣架规范编制小组与清华大学结构实验室对规范中有争议的问题再次进行了结构试验。其中以双排脚手架整体结构承载力为主，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，为按铰接进行计算提供了足够的数据，起到了充分的证实作用。

除了上述试验结果之外，最近有几个高等院校也做了一些结构试验，其中已见到试验报告的有北京某大学和西安某大学的。这些试验虽然对支撑结构计算取得了一定的成果，但是由于试验与计算之间缺乏足够的联系，因而不能取得直接应用的效果。

1.3.2 结构试验的原则和目的

从建筑结构设计经验来看，由于建筑结构都有巨大的尺寸和庞大的荷载，因而建筑结构通常是采用力学理论进行计算而无法通过试验的方法进行设计，而结构试验一般是采用模型试验或局部杆件或节点进行试验来确定计算方法是否正确。在结构试验之前首先设定理论计算方法，然后再选定试验的部位与试验的方