建筑施工架结构设计方法

余宗明◎著

JIANZHU SHIGONGJIA
JIEGOUSHEJI FANGFA

中国建筑工业出版社

建筑施工架结构设计方法

余宗明　著

中国建筑工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

建筑施工架结构设计方法/余宗明著. —北京：中国建筑工业出版社，2012.4
ISBN 978-7-112-14040-4

Ⅰ.①建… Ⅱ.①余… Ⅲ.①建筑工程-脚手架-结构设计 Ⅳ.①TU731.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 021349 号

建筑施工架包括脚手架和模板支撑架，近年来其安全问题凸显，而架体的结构设计直接影响到架体稳定性和承载力。作者凭借多年实践经验和艰苦的理论探索，建立了一套完整的建筑施工架设计方法。建筑施工架的主体是落地式立杆和交叉连接的横杆，可称之为“网格式结构”，其设计的重点在于整体结构的构成方法和结构计算方法两部分。本书结合计算简图，对施工架分别进行了杆件内力分析，提供了相应的杆件承载力计算公式和计算实例，对建筑施工架的结构试验方法也提供了实际指导，深入浅出，简单易懂，掌握了本书的设计方法，即可确保建筑施工架的安全使用。本书从理论和实践上都提供了有价值的信息，是模架专业公司、施工企业和院校的科研人员必不可少的参考书。

* * *

责任编辑：曾 威
责任设计：张 虹
责任校对：姜小莲 陈晶晶

建筑施工架结构设计方法
余宗明 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
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京云浩印刷有限责任公司印刷
*
开本：787×1092 毫米 1/16 印张：9¾ 插页：1 字数：244 千字
2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月第一次印刷
定价：**25.00** 元
ISBN 978-7-112-14040-4
（22086）

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

建筑施工架这一称谓似乎有些陌生，实际上是脚手架和模板支撑架的统称，起初的脚手架以木质、竹质为主体，近30年的发展脚手架由木质与竹质走向金属化，由简单的杉篙、竹篙发展为具有专门构造的金属构配件，由于采用的杆件连接方法的不同成为多种专利产品。技术多样性的发展使简单的施工操作变为需要理论指导的结构技术。新型脚手架的另外一个重要突破还反映在其使用范围，已由单纯的脚手架发展到以支撑结构为主体的模板支撑架。这也是建筑科学发展的必由之路。这种综合性的发展就不能再继续使用“脚手架”这一原始概念，也可以说这是我国在建筑施工技术发展中的新进展。

建筑施工架在我国的发展并非一帆风顺，虽然早期技术引进并不困难，但是由于施工技术发展的迅猛，技术要求远远超过了木脚手架时代，技术要求提高主要反映在架体的高度和承重能力两个方面：高度由20m提高到近百米；其次是荷载承载力，由原来的2～3kN/m^{2}提高到30～50kN/m^2，甚至更高。但是客观现实是施工架的技术并未达到如此高度，于是导致事故的发生。而这种状况从20世纪末延续至今，仍未得到“有效”的控制，其原因是多方面的。建筑施工架安全事故的频繁发生当然会引起有关领导的重视，2003年的杭州重大事故发生后，副总理吴仪为此专门发了通电。这个通电引起大家对这一问题的重视，同时引发了对脚手架安全使用的研讨浪潮。各高等院校、科研机构以及各大企业纷纷投入研究，2008年建设部将编制“规范”列入企业升级条件更引起了争抢规范编制权的竞争，可谓达到了“脚手架安全热”的地步。但是至今建筑施工架安全使用的问题仍未解决。其根本原因在于施工技术这门科学误入了经验主义的道路，忽视了基本理论的研究。

施工架的使用起始于实际工程，无人注意到它的理论与结构计算，这就是问题的关键所在。20世纪50年代我国的结构学和结构力学已取得相当好的成果，但在60年代政治运动的影响下这种发展成果并未得到充分的认识，60年代后期直到70年代末是科技发展的停滞期，待到80年代高等教育的恢复之后中间出现了一个断层。同时电脑应用的副作用削弱了力学计算的基础学科。近年来脚手架的研究中出现了一些反常的现象，即不用成熟的结构力学进行计算，却反而采用理论并不成熟的“半刚性”节点假设，使建筑施工架技术走进了死胡同。《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》JGJ 166—2008就是在这个历史背景下编制的，该规范从2004年开始编制，确定以结构力学为指导，辅之以建筑施工架倒塌事故的原因分析，最终认定事故发生的主要原因在于整体结构的构成没有按照杆系结构的几何不变性的要求来搭设。以此为契机，以节点“铰接”为基本假设，较完整地确定了结构计算方法和程序。

2009年颁布了《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》，这是继2001年颁布的《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》8年后在技术上的重大进展，充分展示了独

创性和先进性的成果。新规范的突破主要表现在以下三点：一是规范适用的范围由单纯的脚手架扩大到模板支撑架；二是将建筑施工架“整体”结构构成纳入结构设计和计算，填补了原有规范的重大缺失；三是将建筑施工架结构的设计系统化和完整化，做到了基础理论完整清晰，易于掌握，既便于指导施工，又可保证施工安全。

新规范颁布已经3年多了，但是至今收效并不明显，这不得不使人思考其症结所在。新规范执行的3年多时间里笔者有机会参加规范的贯彻推广会、施工架方案的技术评估、脚手架的结构试验，乃至一些新的建筑支撑架规范的编制工作。通过这些工作才逐步了解到所存在的问题。首先一个问题，“碗扣架规范”中的某些细节和插图在审查过程中被略去了，使得其完整性受到影响；其次是新规范的基础理论与“扣件架规范”是完全不同的，而后者使用已有近十年，其影响难以忽视。最重要的还在于20世纪80年代大学毕业的工民建专业学生（现在已是工作骨干）在结构力学方面基础不足，对电脑应用的认识有误解，认为电脑可以代替力学。在有关的会议上可以看出这种情况，不谈结构的具体计算，而是盲目依靠电脑软件，形成了许多模糊观念。为了澄清这些问题，本书从建筑施工架的结构设计、力学分析和结构试验三方面进行较为全面、系统的介绍，以达到理想的应用效果。

结合近年来参加有关建筑施工架的研究和讨论所牵涉的问题，希望做到统一观点，达到科学的分析和判断目的。从目前来看，影响建筑施工架规范应用和技术发展的主要问题有以下两方面：

（1）扣件式脚手架规范中的基本理论和相应的公式、系数等与碗扣式钢管架规范不同，不能套用。

（2）电脑计算法与三大力学的衔接极不清楚。电脑计算法普遍不能阐明其力学原理，软件的具体应用条件不明确，无法将实际架体计算套入软件以达到实际应用。

形成这种状况的原因很多，从大学教育中的力学课程、电脑应用，直到现场工程师对三大力学知识的掌握，都需要全面努力予以改善。

本书的编写经历了一个曲折的过程，原来只是从解读碗扣架规范的角度出发。经历了一段实践，感到与现场工程师的需要尚有差距，因而写作方向有了改变，不仅以易掌握的工具书为主要目标，而且将理论概念溶入到脚手架实际应用经验中，使具有理论基础的工程师适当复习三大力学即可牢固掌握；对于现场实际操作者，只要掌握现场工作要领即可保证架体安全。为了达到这一目的，本书重点叙述了方案编制和结构计算的具体环节，从结构计算简图到结构的机动分析，从整体结构的力学分析到具体计算公式各个步骤给以详尽的叙述，并给出大量的计算实例，给读者以解决实际问题的能力。本书还对较为重要的理论问题给予理论证明与推导，有助于更深入地了解解决问题的方法。

为了能使本书较为全面地阐述建筑施工架的方方面面，除专门一章叙述结构试验之外，在最后一章收录了几个工程的专业施工方案并对其进行点评，可能会对读者有所助益。

当然，建筑施工架的安全使用是一个牵涉面很广的问题，本人的学识也较为有限，望读者多提宝贵意见，欢迎来电探讨，联系电话（010）63046449。

余宗明

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

1　绪论 …… 1

1.1　建筑施工架技术的由来及现状 …… 1

1.2　建筑施工架的安全问题 …… 2

1.3　建筑施工架技术走入困境的历史背景 …… 3

1.4　建筑施工架与结构力学 …… 3

1.5　结构计算和电脑之应用 …… 4

1.6　建筑施工架研究中的结构试验 …… 5

1.7　基础理论与工程实践 …… 6

2　建筑施工架的结构设计 …… 8

2.1　建筑施工架的结构设计 …… 8

2.1.1　基本概念 …… 8

2.1.2　结构计算基本假设 …… 9

2.1.3　结构试验和结构设计 …… 10

2.2　结构计算简图 …… 11

2.2.1　结构计算简图是力学分析的基础 …… 11

2.2.2　结构计算简图中的节点 …… 11

2.2.3　结构计算图与立杆计算长度 …… 12

2.3　杆系结构的机动分析与几何不变性 …… 13

2.3.1　建筑施工架的模式 …… 13

2.3.2　“刚接”、“铰接”和三角形体系 …… 13

2.3.3　建筑施工架的几何不变条件 …… 15

2.4　建筑施工架的结构 …… 16

2.4.1　建筑施工架结构的特点 …… 16

2.4.2　双排脚手架 …… 16

2.4.3　模板支撑架 …… 18

2.4.4　门式钢管架的结构 …… 18

3　结构的力学分析 …… 21

3.1　结构力学分析的理论基础 …… 21

3.1.1　力学分析的基本概念 …… 21

3.1.2　理论力学与内力计算 …… 21

3.1.3　材料力学的有关基础理论 …… 22

3.1.4　压杆稳定和欧拉公式 …… 23

3.2 组合体结构和结构力学 …… 25
3.2.1 基本概念 …… 25
3.2.2 以桁架模式处理建筑施工架 …… 25
3.2.3 静定与超静定问题 …… 26
3.2.4 空间结构与平面结构 …… 27
3.2.5 斜杆与支撑的概念 …… 28
3.3 超静定结构的计算 …… 28
3.3.1 超静定结构及超静定次数 …… 28
3.3.2 超静定结构的力学计算 …… 30
3.4 多层框架的内力分析 …… 31
3.4.1 多层框架的内力分析 …… 31
3.4.2 多层框架与建筑施工架实际情况的差别 …… 32
3.5 刚架的内力分析 …… 32
3.5.1 门式钢管架与刚架 …… 32
3.5.2 刚架的特点与门式钢管架 …… 33
3.5.3 门式钢管架按刚架计算 …… 33
3.5.4 门式钢管架的机动分析 …… 36
3.6 建筑施工架力学分析的几种方法 …… 36
3.6.1 半刚性节点与框架结构计算法 …… 36
3.6.2 铰接计算法 …… 37
3.6.3 电脑计算与结构计算 …… 38
3.6.4 立杆视为连续的计算方法 …… 39
4 钢管架的结构与计算 …… 42
4.1 钢管架的结构类型及统一特点 …… 42
4.2 《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 …… 42
4.2.1 建筑施工架安全使用与 GB 50068—2001 标准 …… 42
4.2.2 极限状态设计原则和安全系数 K …… 43
4.2.3 极限状态设计表达式和钢结构强度设计值 …… 44
4.3 荷载 …… 44
4.3.1 基本规定 …… 44
4.3.2 风荷载的计算 …… 45
4.3.3 脚手架施工荷载标准值的修改意见 …… 46
4.3.4 模板支撑架荷载的补充说明 …… 46
4.4 建筑施工架的力学分析和结构计算 …… 47
4.4.1 概述 …… 47
4.4.2 双排脚手架的用途及主要结构 …… 47
4.4.3 双排脚手架的计算简图和机动分析 …… 48
4.4.4 双排脚手架作用荷载与承载力计算公式 …… 48
4.4.5 有关长细比限值的规定 …… 50
4.4.6 连墙件的计算 …… 50

4.4.7 地基承载力计算 …… 50
4.4.8 模板支撑架的力学分析和强度计算 …… 51
4.5 脚手架计算实例 …… 52
4.5.1 实例一：层高小于 3.9m 的双排外脚手架 …… 52
4.5.2 实例二：首层高度小于 4.2m 时的双排外脚手架 …… 54
4.5.3 实例三：采用廊道斜杆的双排脚手架 …… 56
4.5.4 脚手架搭设高度的计算公式 …… 57
4.6 模板支撑架计算实例 …… 57
4.6.1 模板支撑架的结构特点与计算 …… 57
4.6.2 模板支撑架承载力计算实例 …… 58
4.6.3 抗倾覆计算实例 …… 60
4.7 计算实例的应用 …… 61
5 建筑施工架的结构试验 …… 62
5.1 概述 …… 62
5.2 结构试验研究的基本原则和主要测定数据 …… 63
5.2.1 结构试验和结构的力学计算 …… 63
5.2.2 结构试验测定的主要数据 …… 63
5.2.3 建筑施工架结构试验的分类 …… 63
5.3 碗扣式钢管架的荷载试验 …… 64
5.3.1 碗扣架结构试验的理论依据 …… 64
5.3.2 整体结构试验的目的 …… 64
5.3.3 试验方案及测量数据 …… 66
5.3.4 试验结果汇总与评价 …… 71
5.3.5 从试验结果分析立杆的连续性及其影响 …… 72
5.4 碗扣式钢管架“井字架”试验 …… 72
5.4.1 概述 …… 72
5.4.2 架体结构和设计参数 …… 72
5.4.3 加载方法和变形测量 …… 72
5.4.4 试验报告汇总表及简要说明 …… 73
5.4.5 评价 …… 73
5.5 扣件式钢管架结构试验 …… 74
5.5.1 概述 …… 74
5.5.2 试验结构参数与方案选择 …… 74
5.5.3 试验结果及理论分析 …… 75
5.5.4 对试验结果的讨论与评价 …… 77
6 《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》（JGJ 166—2008）要点诠释 …… 78
6.1 概述 …… 78
6.2 碗扣架规范的主导思想和铰接计算法 …… 78
6.3 杆系结构的几何不变性与架体的倒塌 …… 79

6.3.1 建筑施工架倒塌的原因 …… 79
6.3.2 建筑施工架结构的几何不变条件 …… 79
6.4 压杆稳定和欧拉公式 …… 81
6.4.1 碗扣架规范中的压杆计算 …… 81
6.4.2 对欧拉公式的“修改”与“否定” …… 81
6.4.3 结构试验与欧拉公式 …… 82
6.5 结构构造图形与结构计算 …… 83
6.6 模板支撑架斜杆设置与剪刀撑 …… 83
6.6.1 模板支撑架斜杆设置 …… 83
6.6.2 剪刀撑设置 …… 84
6.7 模板支撑架的倾覆计算和风荷载 …… 84
6.7.1 风荷载计算的实质 …… 84
6.7.2 倾覆计算与模板支撑架的高宽比 …… 84
6.7.3 碗扣架规范中风荷载的计算 …… 85
6.8 脚手架和模板工程专项施工方案 …… 85
7 与模板技术相关的几个课题 …… 86
7.1 概述 …… 86
7.2 支撑架顶部构造与模板技术 …… 86
7.3 模板的周转与混凝土拆模强度 …… 87
7.3.1 模板的周转 …… 87
7.3.2 混凝土拆模强度 …… 87
7.3.3 混凝土强度增长规律 …… 88
7.3.4 三次幂函数曲线填补了规范空白 …… 88
7.3.5 利用强度—龄期曲线推算混凝土强度 …… 90
7.3.6 讨论 …… 92
7.4 恢复“模板翻样”工作，培训支撑架设计人才 …… 92
7.5 立杆设计的要点 …… 93
7.6 斜坡顶板及立墙斜支撑的设计 …… 93
7.7 模板侧压力计算公式 …… 93
7.7.1 墙柱模板侧压力计算问题 …… 93
7.7.2 混凝土浇筑过程及其流动性分析 …… 94
7.7.3 按混凝土的流动性和施工工艺计算模板侧压力 …… 95
7.7.4 几点讨论 …… 95
8 建筑施工架技术规范及其工程管理 …… 97
8.1 建筑施工架技术规范 …… 97
8.1.1 建筑施工架技术规范的形成及发展 …… 97
8.1.2 规范的系统化 …… 97
8.1.3 规范编制的指导思想 …… 98
8.2 关于建筑施工架的综合规范 …… 98

8.2.1 综合性规范的特点 …… 98
8.2.2 钢管架规范的主体内容 …… 99
8.2.3 新旧规范之间的衔接与调整 …… 99
8.3 建筑施工架安全问题的历史背景 …… 100
8.4 运用科学方法研究建筑施工架 …… 101
8.4.1 科研路线问题 …… 101
8.4.2 加强基本理论的研究和应用 …… 101
8.4.3 要沿着承前启后的科学道路前进 …… 101
8.4.4 要掌握专业技术的实质 …… 102
8.5 建筑施工架的施工管理 …… 103
8.5.1 建筑施工架的施工及管理要点 …… 103
8.5.2 方案编制的管理 …… 103
8.5.3 现场施工管理 …… 104
8.5.4 施工人员的培训 …… 105
9 专业施工方案实录与点评 …… 107
9.1 概述 …… 107
9.2 华能大厦工程地下室高大模板支撑方案 …… 107
9.2.1 方案原文摘录 …… 107
9.2.2 华能大厦模板支撑架专业施工方案点评 …… 112
9.3 华能大厦工程（±0.000 以上）模板支架方案 …… 112
9.3.1 方案原文摘录 …… 112
9.3.2 华能大厦（±0.000 以上）模板支架方案点评 …… 117
9.4 地下足球馆模板及支撑体系专项施工方案 …… 118
9.4.1 方案原文摘录 …… 118
9.4.2 地下足球馆模板及支撑体系专项施工方案点评 …… 123
9.5 昆明市轨道交通六号线施工设计方案 …… 123
9.5.1 方案原文摘录 …… 123
9.5.2 昆明市轨道交通六号线施工设计方案点评 …… 134
9.5.3 昆明市轨道交通六号线抗倾覆计算 …… 134
9.6 关于专业施工方案的改进意见 …… 137
附录 …… 138
附录一 Q235 钢管轴心受压构件的稳定系数 ϕ …… 138
附录二 ϕ48mm 钢管主要计算参数 …… 139
附录三 圆钢截面积及重量表 …… 140
附录四 碗扣式脚手架主要构配件种类、规格及重量表 …… 141
附录五 风荷载计算系数 …… 142
附录六 全国基本风压分布图 …… 插页
参考文献 …… 143

1 绪　论

1.1 建筑施工架技术的由来及现状

建筑施工架对大多数人来说是一个陌生的名词，大家比较习惯于把为施工服务的临时架体称之为脚手架。这个新的名称是由于建筑施工技术的发展，脚手架逐步金属化并扩大了脚手架的应用范围，由单纯的脚手架转变为两种类型：一类是用于提供施工人员操作平台的脚手架，而另一类是以支撑现浇钢筋混凝土模板为主要用途的模板支撑架。由于这两种用途不同，其结构主要形式和结构计算具有不同的方法，因而将二者整体称为“建筑施工架”（construction framework），将为操作人员提供操作台的架体称为“脚手架”（scaffolding），而将模板支撑架称为“支撑架”（supporting frame）。这样的划分有助于叙述、分析和讨论，故本书以建筑施工架作命题。

建筑施工用的脚手架应当是施工架的鼻祖，从中国的应用历史看，脚手架的应用已有2000年以上。众所周知，中国的主要建筑材料是砖，“秦砖汉瓦”就说明了秦朝时就已广泛采用砖砌体作为围护和承重结构，在我国古代，重要的防御手段就是城墙（它也主要是砖砌体）。作为砖砌体的施工没有脚手架是不可能进行的，因而脚手架的应用具有悠久的历史。

脚手架在古代以杉篙和竹竿为主，形成了竹木脚手架的施工技术。当时只是以麻绳连接，就使杉篙脚手架完成了相当高大的工程，可见其技术具有相当高的水平，这种以杉篙为主体的脚手架虽没有结构理论的指导，但是经多年实践，匠人们也积累了丰富的经验。譬如杉篙脚手架中对“十字盖”和“压栏子”等斜撑就有严格的规定，说明他们对杆件体系结构构成之一的斜杆比我们现在许多工程师的认识还要高明。这就是为什么杉篙脚手架时代，架子倒塌事故比现在少的根本原因。

杉篙脚手架的应用一直沿用到中华人民共和国成立后的20世纪50年代到80年代。虽然只有经验和技能，但在新中国早期建设中却发挥了重要作用，完成了许多高大复杂的建设工程。从20世纪70年代后期，我国建筑向高层发展，由原来的6层砖混结构转向10层以上的钢筋混凝土结构，我国的架子工贡献了极大的聪明才智，创造了插口架、挂架、吊篮架以及高耸结构特殊用途的脚手架。在这些工程中的技术创造值得我们铭记，它对今后脚手架技术的发展提供了有用的素材和经验。

金属脚手架的引入最早是20世纪60年代末到70年代初，最初是从节约木材的角度出发，最早引入的就是扣件式钢管架，随之而来的是门式架，以及后来自我开发的碗扣式钢管架等。借改革开放的大好形势，脚手架技术得到了空前的发展和繁荣，其中重要一点

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

是技术的互相渗透，将脚手架的应用扩展到模板工程中，用钢管架代替模板工程的支撑体，于是形成了现在的建筑施工架格局。

20 世纪 80 年代开始的技术引进与开发的特点是以钢管为主体杆件，但节点及构造种类繁多，技术性能各不相同，其中又多具有专利，因而缺乏统一的规范和标准，开始出现管理上不够严格的混乱状况。而在工程应用上却不断提出更高的要求，荷载由轻到重，体型由低到高，因而倒塌事故开始出现，并由偶然出现转为频繁发生，造成了安全管理上的头痛问题。

分析这段历史，其主要问题是新型施工架在构造上种类繁多，但结构可靠性和承载力都无明确的指标；规范管理和编制赶不上实际的需要。直到 2009 年，只有一个“扣件式钢管架规范”，其中还缺乏最重要的整体结构设计和力学分析方法。之后近十年的工程实践，安全事故频发，引起领导重视后于 2004 年着手编制“碗扣式脚手架规范”。该规范从 2009 年发布实施，至今虽取得一定效果，但仍不够理想。

1.2 建筑施工架的安全问题

建筑施工架自进入 21 世纪开始，不断发生多人死伤的重大倒塌事故，引起了业界的关注，当然也惊动了部委及国家领导，2003 年由国务院领导签发对事故的处理意见的通知。当时的舆论认为事故发生的原因主要归结于架体构配件质量问题，尤其集中在扣件的质量和钢管壁厚方面。当时在报纸及文件上的标题是“三个红头文件管不住一个扣件的质量”，现在看来这种认识具有很大的片面性。

对于每一次重大事故，专家们分析的原因很多，除了构配件材质之外，更多是“工人操作不当”、“没按规矩搭设”等等。在这种众说纷纭的情况下，脚手架（或支撑架）的安全似乎已成为疑案（主因并不明确），许多工程师将之视为畏途。

脚手架（或支撑架）的安全问题并非简单的一般行政管理问题，而是具有一定深度的结构技术问题，需要较深入的分析才能找出其真正的原因，找到解决的办法，单纯发几个文件或领导指示确实不能解决问题。

事故的频发也与社会发展中的瑕疵有关。譬如 20 世纪 90 年代以后的体制改革，主要科研单位纷纷企业化，建筑企业商业化，削弱了技术开发的力度，使建筑技术的理论研究陷入了低谷；理论研究中以电脑代替建筑结构理论研究的倾向也造成了巨大的负面影响。

表现最为明显的就是当时“扣件式钢管架技术规范”在结构计算中忽略了整体结构的构造，实际上只讨论了构件承载力的计算，而没有整体结构的内力分析，这是该规范的不足；由于没有讨论整体结构，因而忽略了对杆件体系组成最重要的几何不变性的分析，大多数结构的倒塌都与此有关，最后在主杆计算长度确定方法上，违背了轴心受压杆的材料力学方法，使得杆件在承载能力上产生重大隐患，说明规范编制者并没有认真对结构理论进行科学的分析，影响了其正确性。

有关脚手架（或支撑架）安全技术规范在更大程度上应是“技术”规范，而不单纯是安全规范，应当更偏重于技术性，而且在结构力学理论上的内容应成为其主要内容。

1.3 建筑施工架技术走入困境的历史背景

前面讲到了建筑施工架技术发展的历史和存在的问题。近年来由于党中央和国务院对安全问题的重视，建筑施工架的规范编制和技术研究有了一定的发展。“碗扣式钢管架安全技术规范”的颁布和执行引发了新的讨论热潮，尤其是住房和城乡建设部提出了把编制国家级规范作为进入特级企业的评级条件后，各个施工企业和大专院校、科研单位纷纷争取承担编制建筑施工架规范，形成了一股新潮流，本人除参加了碗扣式钢管架规范的编制外，又被邀请参加支撑架规范的编制。通过规范的编制和贯彻，广泛地接触规范编制者，感到以企业升级为主要目的向施工架规范进军的思想影响了科技创新的作用，主要问题是跳不出原有扣件式脚手架规范的圈子，不能用科学的世界观创造性地开展工作，因而收效甚微；此外有些新的想法缺乏现场经验，不能与实际相结合。以结构试验为例，由于目标不明确、不能抓住重点，因而也很难达到效果。笔者认为还需要对施工架的研究提出一些思想路线，避免封闭在某个小圈子内，难以前进。

为了解决这一问题，应当对我国施工技术发展的历史背景作一个回顾，以使施工架技术开创一个新局面。早在建国初期的 20 世纪 50 年代，我国技术人员在党的领导下，向科学进军的路线鼓舞着科技人员勇攀高峰，因而以结构力学为主体理论指导解决现场实际问题，取得了飞速的发展，但到了 20 世纪 50 年代末期由于政治路线的影响，使得建筑技术的研究受到极大的摧残，许多优秀的工程师和教授学者被推下历史舞台，使得结构力学的发展受到了极大的阻碍，结构力学研究走向没落，这种状况在 1966～1976 年的十年动乱中发展到了极致，建筑施工和结构专业走向停滞。改革开放以后，恢复了高考，这种状况得以扭转，但是由于这一段的空白使得建筑技术“忘记”了老一代力学家的研究成果，这种“忘记”导致新的大学教学内容纳入了电脑计算后，许多学生及老师错误地认为电脑计算可以代替结构力学，目前有关脚手架的讨论会上有很多人采用美国软件来解决脚手架结构计算问题，讨论者在相当大的程度上不能从结构力学角度谈计算问题，双方处于无法讨论的状况，这就是问题的症结。如果不克服这个症结，有可能使脚手架结构计算问题不能进入正确的轨道。

1.4 建筑施工架与结构力学

从上述讨论可以看出施工架安全的问题主要在于施工架的结构设计和结构计算，如果没有正确的结构设计，施工架承受荷载的能力也是不可能保证的。而施工架的设计必须在结构力学的理论控制下才能实现，因此施工架的安全使用就不得不依靠结构力学这门学问。

实际上结构力学的基础是理论力学和材料力学。20 世纪 50～60 年代工民建专业（或结构专业）主要基础理论课和专业理论课就是这几门，而掌握这几门课程就成为在大学中的主要任务。这种状况在 20 世纪 70 年代以后新的大学教学大纲似有很大削弱。削弱的主

要原因有二：一是增加了大量管理性课程；二是错误地认为电脑的运用可以代替力学计算或部分力学计算。这种认识对学生努力掌握重要的结构力学内容是极为有害的。20 世纪 70 年代以前的工民建专业学生可以毫不费力地解桁架的内力、计算梁应力等等，但现在的情况却恰恰相反，规范中提出的几何不变性要求，中心受压杆承载力计算以及欧拉公式很多早已被遗忘，因而掌握规范就很困难。

实际上在施工架结构设计和计算中应用的结构力学知识都是上述三大力学中的基本概念（也就是作为结构工程师能予掌握和熟练应用的内容）。核心计算只有三个：一是杆件体系结构的机动分析方法；二是中心受压杆承载能力的计算方法（包括欧拉公式），也就是稳定的计算公式；三是解算超静定杆系结构的方法，其基本原理就是材料为弹性阶段（服从胡克定律），利用变形协调条件计算结构内力（或内力分析）的方法。

鉴于上述情况，研究和编制建筑施工架的过程应当加强继承以牛顿力学为基础的结构力学，扭转目前施工架技术发展的尴尬局面。从目前来看住房和城乡建设部对编制规范的奖励措施提高了规范编制的积极性，但是规范编制人员的理论水平对规范质量有直接影响，很多脚手架模板公司或建筑企业的参加人员并不是结构工程师，其中相当一部分是机械工程师，这样编制出来的规范，许多是照抄老规范，虽然增补了一些次要内容，但并未针对原有规范之缺点和不足，因而无法达到创立新的具有理论依据又结合现场实际的目的，很难达到理论与实际都良好的目标。

1.5 结构计算和电脑之应用

在施工架结构计算中运用电脑，无疑是发展的主要趋势，但是综观近年来结构计算中电脑的应用，感到在这方面的发展并不理想。其原因是有些研究者认为力学研究本身可以用电脑来取代，实际上这是错误的，因为力学有它自己的规律，是独立的科学体系，不能被取代。正确使用电脑应当是在力学理论的基础上运用电脑的精确高速运算能力解决数学的繁难问题。就以结构力学中框架结构计算为例，往往具有几十次甚至上百次超静定，不论采用力法还是位移法，解方程的计算就是极为繁难的，而用电脑计算就变得极为容易。但是目前在施工架计算研究中，许多研究者在研究报告中，只说明采用电脑计算，把问题一带而过，既不说明力学计算原理是什么，也不说各种数据的关系是什么，以及如何从力学计算公式转化为电脑计算的，因而使别人无法讨论它的正确与错误。这种掩盖计算基本原理的作法并非科学，所提供的数值和结论也是无法被人接受的。

目前在结构研究中运用电脑的问题，主要是出现在从力学向电脑转化的这个过程，它是一个薄弱环节，大学的这两门课程是分别由电脑课程和力学课程两个不相关的教研组进行的，如何过渡成为一道鸿沟。按道理来说这个问题主要应当由力学教师加以解决，但是由于前述力学教学的发展状况，自然导致这方面的不足。从施工架结构计算发表的论文看，采用电脑计算的占 70%以上，但是所发表的论文没有一篇能够很好地解答这一问题。笔者提出一个大胆的看法，就是大多数结构工程师和教师本身并没有熟练掌握力学概念，更未能掌握转化为电脑计算的技术，因而所发表的论文才没有说服力。举例来说，笔者在

一次模架协会的年会上与一个名牌大学的硕士讨论他写的有关竹脚手架的论文，该论文是他的研究生毕业论文，问及论文中的公式和计算原理时，该硕士表示对“电脑计算也不掌握，实际上也没有足够的时间来研究，只能根据电脑老师的指导，勉强得出结果。”可以说很多论文作者对电脑计算实际上并不明白。另外还有一个大学的老师给某市设计了一个桥，在荷载试验时，卡车一开上去就垮了。最后给业主的答复是我采用的是美国软件计算的，没有问题，最终不了了之。实际上桥只不过是个桁架，运用理论力学、采用手工计算都可以很容易解决，但偏偏要采用电脑计算，造成了后果。这也说明了电脑计算中仍然存在着很多问题，有待于从高等教育方面予以加强。

施工架结构计算问题上存在着两种不同的基本路线：一种路线是坚持采用成熟的结构分析方法。由于概念清楚，便于掌握而能确保安全；另外一种是尽量采用最先进的理论而不论其是否成熟，试图创造出令人瞩目的新发现。在这两种不同路线的引导下，各自发展，产生了不同的结果。第一种路线发展并取得的成果就是“碗扣式脚手架安全技术规范”采用了节点铰接的基本假设，简化结构为静定结构，选取最不利杆作承载力计算的方法；第二种路线主要的代表是节点“半刚性”假设理论，在运算中采用电算法。但是这种方法到今天也没有达到实际应用的程度，原因是节点半刚性是钢结构的热门话题，但是尚没有达到实用的程度（至于是否能达到实用，笔者表示怀疑），因而很难被纳入规范。虽然众所周知，原来的“扣件式钢管架安全技术规范”的理论背景是“半刚性节点”，但在规范中并未能表明，而新改编的扣件式规范仍然未能将半刚性假设列入规范，可见其不成熟的程度，倡导者自己都不能自圆其说。

1.6 建筑施工架研究中的结构试验

建筑施工架来源于实际工程应用，因而对施工架进行结构试验无疑是建筑施工架研究中的重要内容，但决不应将结构试验视为独立的与结构理论无关的手段。只有正确认识理论和试验的相互关系，才能达到预期的效果。建议搞结构试验的同志很好地学习一下毛泽东同志的《实践论》，这本小册子篇幅不大，但将理论与实践的关系论述得极为透彻，了解了该文的内容将会给做试验的人带来很大收益。

试验之初，首先要了解结构试验的目的重点在于验证结构理论，如果没有结构计算的理论前提，单纯的结构试验是没有意义的。这种试验往往是花费极大而效果甚微。对这一点很多人没有清醒的认识，因而有人想通过试验来摸索承载力的规律，提出需要两千万元试验经费，其实，如果这样试验下去确实弄一个亿也解决不了问题。因为施工架试验的步距、横距、高度、荷载等参数已不可胜数，综合为试验方案更加巨大，做起试验来当然会使人头痛，就以建筑工程为例，如果依靠试验来做设计的话，恐怕根本是不可能的。因而建筑工程应采用理论计算的方法来进行设计，只对其中的特殊情况或在理论计算上有疑虑的地方采用结构试验的方法，建筑施工架也应如此。

近年来，由于施工架倒塌事故的频发引起了各级领导的重视，因而结构试验有如雨后春笋一般大量萌发，但细致分析之后可以看出这些试验具有很大的盲目性，多数并没有确

定结构计算的方法就进行试验，取得的结果很难指导结构计算。在这些试验中往往是试验者本身有一个看法（这种看法并没有经过细致的分析和探讨达到系统化和规律化）就开始试验。譬如有一个试验就是试验者从倒塌事故分析，觉得事故全部发生在混凝土浇筑过程中，因倒塌的根源是“浇筑”，因而就对“浇筑”混凝土的支撑架进行了现场应力测定并称之为“结构试验”，显然倒塌的原因绝不是混凝土的浇筑问题，当然这个试验也就毫无价值了。再如另外一个试验对扣件架搭设的模板支撑架进行荷载试验，但只是对有斜杆与无斜杆不同情况做了几个承载力试验，结果只取得概念性的结果，它的力学分析采用了美国软件，而美国软件所针对的是双向立体框架，因而无法得出可用的数据。还有一个公司做结构试验目的是证明旧的碗扣架的承载能力。试验者显然是把问题过于简化了，因为支撑架的承载能力与其结构的各项参数有关（步距、立杆间距等），因而无法得出综合性的碗扣架的承载能力。这样的实例还有很多，说明在结构试验上还需要提高基本理论的认识，否则大量的经费会浪费在这些试验中。同时这些结果还会使人们对脚手架的安全产生混乱的概念，对脚手架安全使用技术产生不良的影响。

1.7 基础理论与工程实践

建筑施工架事故频繁发生而不能制止，说明施工架安全问题缺乏可靠的规范指导。从“扣件式脚手架规范”来看，该规范没严格地按照结构力学规律来制定规范的指导性条文。譬如在结构计算中根本没有讨论整体结构的力学分析，只是引入了具体构件的承载力计算；再如中心受压杆计算长度的计算不考虑实际情况，以步距为基础等等，导致了实际上对施工和应用的错误导向。总结近十年来脚手架的研究和规范停留在较低水平上，其原因是没有运用结构力学的基本理论来指导。这种情况也符合当前我国工程技术发展的总概况，也就是说科研力量削弱，尤其是基础理论方面更为严重。这表现为结构力学在大学教学中的比重大大减少。基础理论教育的削弱对建筑施工架事故的分析以及规范的编制都产生了很大负面影响。从近年来讨论建筑施工架安全及技术问题的论文看，多数只从表面谈，不能深入到问题的实质或根本。每次事故的原因几乎都是扣件质量不好、管壁厚度不够，以及工人不按规矩操作等。一套老生常谈，影响了施工架技术问题的真正解决。

施工架基础理论上的薄弱主要表现在两个方面：一是对已有的成熟的结构力学缺乏了解；二是对新发展的电脑计算缺乏了解。首先，很多结构力学的简单原理，如杆件体系的几何不变性问题、压杆的稳定问题和计算长度系数问题等，都是含混不清；其次是结构计算的基本步骤和程序都被忽略，如何能得到正确的分析呢？从电脑计算来看，两种主要方法是：有限元法和矩阵代数法。目前大多数人只提有限元法，但是如何划分单元？各单元之间的力学和变形关系是什么？都没有解答，笔者认为对杆系结构由于有力法、位移法公式，采用矩阵代数法更合适。更多的电脑计算者会提出采用软件（大多数是美国软件），到底这软件是如何计算脚手架的无从知晓。时常是提出的结构图形为一个空间框架，而所要计算的都是“半刚性节点”，结果是文不对题。所以基础理论方面除了利用老的结构力学原理外，尚应加强对电脑计算法的研究，重点应放在力学计算与过渡到电脑计算的问

题，因为每一种结构都有各自的计算方法和特点。

此外脚手架这样一种临时结构物属于施工领域，方案是由施工的工程师编制，计算方法难度较大，不易掌握；从结构体系上没有必要按超静定框架来计算，更没有必要引进节点“半刚性”的假设，使得问题复杂化和难以理解。

鉴于施工架只是一般的杆系结构，其连接的节点又无很大刚性，因而以铰接结构计算是较为合理的（与刚接或半刚接比较，所得结果是偏于安全的），同时忽略多余未知杆作为静定结构来计算也是比较简单的，是很容易被现场工程师所接受和运用，更利于实际应用。同时以静定铰接来分析施工架的受力和判断其承载力，使得概念清晰，便于发现施工架的不安全情况，避免事故的发生，这就是写作本书的基本目的。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com