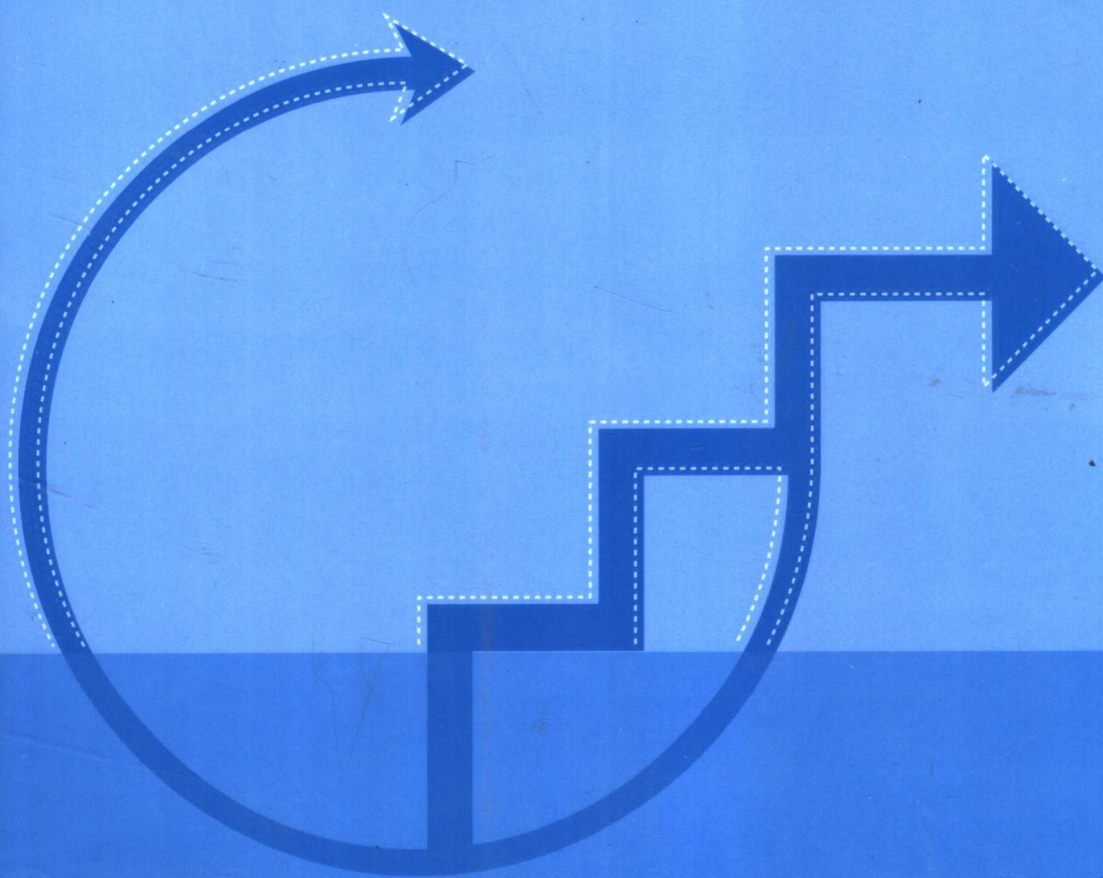


建筑施工计算及安全技术丛书

脚手架结构计算 及安全技术

■ 余宗明 编著



中国建筑工业出版社

U731.2
4

▲建筑施工计算及安全技术丛书

脚手架结构计算及安全技术

余宗明 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

脚手架结构计算及安全技术/余宗明编著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2007

(建筑施工计算及安全技术丛书)

ISBN 978-7-112-09391-5

I. 脚… II. 余… III. ①脚手架-结构计算②脚
手架-安全技术 IV. TU731.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 078928 号

建筑施工计算及安全技术丛书

脚手架结构计算及安全技术

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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10½ 插页: 1 字数: 254 千字

2007 年 7 月第一版 2007 年 7 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 18.00 元

ISBN 978-7-112-09391-5

(16055)

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)

本书是在总结了近 30 年施工实践的基础上, 收纳了脚手架技术的最新研究成果, 从脚手架结构的角度切入, 将其纳入到建筑结构规范的体系当中, 形成了理论上完整、实践上可行的新技术体系, 并为现场施工的安全提供技术指导。本书最后纳入附录 10 项, 给读者提供了完整的计算参考数据, 达到了一本书在手, 即可完成整个脚手架计算的效果, 成为技术人员的实用工具。

本书以现场工程师为主要对象, 亦可作为大学教材和相关人员的参考书, 也可成为即将发布碗扣式脚手架规范的培训教材。

* * *

责任编辑: 郇锁林 曾 威

责任设计: 董建平

责任校对: 梁珊珊 孟 楠

前 言

脚手架是建筑施工的重要工具，它以轻巧的肢体支撑着建筑者的身躯和沉重的建筑材料，完成了各项建设任务。脚手架在我国具有悠久的历史，但一直到 20 世纪 70 年代都是以传统的杉篙、竹木为主材。在 20 世纪 80 年代开始引入以钢材为主的新型脚手架，逐步成为脚手架的主体，并在 20 世纪末和 21 世纪初广泛应用。性能上的提高使脚手架可以担负高层建筑和高型模板支撑架的施工任务。但是由于对新型脚手架的性能研究不够，实践中开始出现脚手架和模板支撑架的倒塌事故，引起社会的震惊和领导的重视。脚手架的倒塌直观上来看是个安全问题，简单推理可知出现安全问题的脚手架应该主要是架子材料的质量问题，于是掀起了对钢材和扣件质量的检验和控制的行动。但是过后事故依然发生，这就说明脚手架的安全问题并非只是材料质量问题，而要进一步追究其更为隐蔽的根源。

脚手架的组成构件主要是钢管和扣件，但是由钢管和扣件组合成整体的架体却是一个简易的结构体，而此结构的组合方法不同，所得到的结构却会有很大差异，这就可知组成材料虽然合格，但组合的方法错误却会带来极大的危险，这就是解决脚手架安全使用的关键。作者经过十多年的潜心研究，通过对现场脚手架的实际观察和阅读有关文献和资料发现，已有的手册、规范等对脚手架的规定只停留在结构构件的强度计算的范围，缺乏对脚手架整体结构的研究，其结果是只见独木不见森林，导致的后果是极为严重的。此外对脚手架的结构计算缺乏理论联系实际的科学精神，盲目套用公式，也是安全事故发生的重大隐患。

脚手架也好，模板支撑架也好，不论其结构如何简易或具有多大临时性，但终究是一个“建筑结构”，因而对它必须进行严格的设计和计算，这就是脚手架技术的核心。按照建筑结构的设计程序，一是要绘制整体结构的计算简图；二是要对结构整体的几何不变性进行分析之后才能进行内力分析，从内力分析的结果才能达到杆件强度计算。其中几何不变性分析是结构计算的基本条件，结构计算简图决定立杆的计算长度都是不能忽视的。依照这一科学设计和计算的程序，本书采用了结构理论中有关的内容，使阅读者掌握结构计算的基本原理，达到举一反三之效果，在此基础上给出了钢管脚手架从荷载计算到全部分析计算的实例，可使读者达到实际运用之目的。

本书所依据的是现有国家结构规范和结构理论，因而其视角与原有的脚手架手册和规范会有很大差异。这种差异在很大程度上是无法统一的。譬如立杆的计算长度，本书的依据是结构计算简图和扣件、连墙件等不同因素，而规范却以简单的步距来确定，这是所依据基础理论的不同而产生的差异。读者在悉心分析后，可以在此基础上实际进行结构设计。

当然对脚手架的结构计算方法，原有的手册和规范具有深远的影响，决非本书能够全部解决的。本书的目的在于方便读者掌握和运用网格结构的静定结构计算，当网格式结构每层超过一根斜杆时，则结构成为超静定结构，在这种情况下如何计算的问题还需在新的碗扣式脚手架规范颁布执行后，再予深入探讨。

由于本人的学识有限，还望多提宝贵意见，使我国脚手架技术踏上一个新的台阶，为国家建设作出更大的贡献。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 脚手架技术的起源	1
第二节 脚手架技术在我国的发展	1
第三节 脚手架安全使用与其结构计算	2
第四节 脚手架技术进步的展望	4
第二章 新型脚手架构件及有关安全设施	6
第一节 多立杆式脚手架及其结构	6
第二节 扣件式钢管架	7
第三节 碗扣型脚手架	10
第四节 门式脚手架	11
第五节 其他类型脚手架	12
第六节 脚手架安全设施的辅件	14
第三章 专用脚手架及有关技术安全规定	18
第一节 砌筑用平台架	18
第二节 桥式架及防坠落安全装置	19
第三节 插口架	21
第四节 挂架	22
第五节 吊篮架	23
第六节 砖砌高耸结构用的脚手架	23
第七节 钢筋混凝土烟囱用脚手架	26
第八节 冷却塔用脚手架	27
第九节 钢管架及专用脚手架安全使用的规定	29
第四章 结构力学与脚手架结构计算	34
第一节 结构力学的基本概念	34
第二节 结构设计的步骤	35
第三节 压杆稳定理论和计算长度	38
第四节 钢管架结构分析的不同方法	41
第五章 脚手架和模板支撑架的结构计算	46
第一节 极限状态表达式和钢材设计指标	46
第二节 荷载计算	49
第三节 钢管架双排脚手架的设计与计算	51
第四节 模板支撑架的设计和计算	60
第五节 门式架的结构计算	67
第六节 吊篮架的计算	76

第七节 新型桥架的计算	79
第六章 脚手架的结构试验	83
第一节 概述	83
第二节 碗扣架的结构试验	84
第三节 扣件式钢管架的结构试验	88
第四节 门式架的结构试验	90
第七章 脚手架和模板支撑架施工安全技术	93
第一节 概述	93
第二节 脚手架和模板支撑架施工设计和安全检查	95
第三节 双排脚手架的施工安全技术	96
第四节 模板支撑架施工的安全技术	98
第五节 脚手架与模板支撑架的安全管理	99
第六节 双排脚手架的工程实例	101
第七节 脚手架安全事故分析	105
第八章 爬架	109
第一节 概述	109
第二节 手动爬架	110
第三节 电动爬架	111
第四节 液压爬架	115
第五节 爬模	117
第九章 模架业及其未来	120
第一节 脚手架技术的专业化和模架业	120
第二节 脚手架技术开发的趋向	121
第三节 脚手架的经济分析和评价方法	122
附录	127
附录一 Q235 钢管轴心受压构件的稳定系数 ϕ	127
附录二 $\phi 48\text{mm}$ 钢管主要计算参数	128
附录三 钢丝绳承载力	129
附录四 型钢表	131
附录五 冷弯型钢表	144
附录六 常用钢管规格及理论重量	151
附录七 圆钢截面积及重量表	153
附录八 碗扣架构配件参考重量表	154
附录九 钢管脚手架扣件	155
参考文献	161

第一章 绪 论

第一节 脚手架技术的起源

脚手架技术是伴随着建筑施工的要求而产生并发展的。我国古代的脚手架技术已无从追溯,但从新中国成立之后最初的建筑业中,仍可以看到一些脚手架技术的传统和做法。刚刚解放的新中国建设是依靠营造厂来进行的,其施工作业基本是手工业方式的。主要工种有瓦工、木工、油工及架子工。其中架子工是一个重要工种,因为除了瓦、木、油工的专业工作之外,其他的工作都要由架子工来完成。

架子工需要矫健的身体,有灵活进行高空作业的能力,其中一部分人出身于棚工。这个工种需要较强的专业知识,一般是需要跟师傅学习后才能操作的。可以说建筑工程中危险、艰难的工作大都要由他们来完成。其中,运输重量较大的器物是他们的职责,其次是为其他工种创造安全施工的条件,搭设操作架、操作台、运输马道等。由于这种情况,许多垂直运输设备的搭设乃至垂直运输工作本身都是由架子工完成的,如搭设高车架、两木搭、三木搭、小扒杆、檩脊抱子等。具有典型架子工工作的特点是砖混结构中空心板的安装,除了带有甩头扒杆的高车架的搭设是由架子工完成之外,吊装空心板并用杠杆车就位的起重运输工作都是由架子工完成的。由此可见架子工在手工业状态下施工中的重要性了。

随着建筑机械化的发展,到20世纪60年代,起重运输走向了完全机械化,移动式起重机在现场广泛应用,使得起重工成为一个专业工种,与架子工的职能逐步分离。架子工的职能逐渐单一化,但仍然保留了搭架子和安全防护设施搭设两项职能。

第二节 脚手架技术在我国的发展

脚手架技术在中华人民共和国成立以后在国家的建设中发挥了重要作用。其早期(20世纪50~60年代)经历了较长的自然发展阶段。称其为自然发展阶段是由于它的技术主要是架子工的传统技艺,其发展的主要推动力是建筑施工的需要。在第一、第二个五年计划期间,我国进行了大规模的工业建设。在当时的技术条件下砖石结构仍然是结构主体,跨度较大的工业厂房多采用预制柱和桁架装配式结构,只有多层的工业厂房(如电站等)采用现浇钢筋混凝土结构。其中需要脚手架的主要是砌筑工程,也就是采用传统的单排或双排外脚手架。对于现浇结构则需搭设满足支模、钢筋绑扎和浇筑混凝土的脚手架体系,这种脚手架还是有较大难度的。从高度上讲有时达到20~30m,而且混凝土的浇筑要依靠高车架提升混凝土手推车,并在上部满足手推车运输的需要。但是不论这种需要多么艰难,我国脚手架工人都能依靠传统技艺使之解决。当然,随着建设规模的不断扩大,脚手

架木的供应日趋紧张,于是出现了“以钢代木”的革新运动。同时,由于建筑机械化的发展,施工工艺改革的进行,由外脚手架逐步发展为内脚手架,于是出现了砌筑工程的平台架取代了外脚手架。工业厂房的装配化也使得脚手架的应用有所减少。

对于特殊的工业构筑物施工,我国的架子工充分发挥其技能,创造了一些专门的脚手架体系。譬如砌筑砖烟囱的挂架子及提升砖和砂浆的扒杆构成的专用脚手架,对于钢筋混凝土烟囱及冷却塔等引入了内钢架体系(用螺栓连接的钢管架)等等,可以说传统技艺发挥了不可估量的作用。

到了20世纪70年代,钢管架开始引入我国,使脚手架技术进到了一个新阶段。钢管架的引入是由于国内杉篙资源的日渐减少,不能满足建设工程需要的必然结果。但是由于我国当时钢材的生产也不能满足经济发展的需要,钢管架的使用发展过程也是极为缓慢的。但是20世纪70年代末期,我国进入建设发展的新阶段,迎来了民用建筑的建设高潮,出现了“大模板体系”、“装配式大板体系”等新型钢筋混凝土结构,建筑高度也由6层发展到10层以上。由于这些新型建筑体系的出现,对脚手架提出了一些新的要求。根据这些需要,相应开发了桥架、插口架、挂架、吊篮架等专用脚手架体系。

20世纪80年代以后,高层建筑由原有的几种体系走向全现浇结构,大型公共建筑也开始出现。脚手架技术方面,开发了碗扣架,引进了门形架,脚手架技术呈现百花齐放的局面。

20世纪90年代,适应高层建筑的发展,陆续出现了爬架、爬模等高技术脚手架体系,为我国脚手架技术的发展展现了无限美好的前景。

第三节 脚手架安全使用与其结构计算

钢管架引入我国之后,遇到住宅建设的一波高潮。20世纪70年代末住宅建筑以6层以下的砖混结构为主,其高度约为18m,此时的钢管架由于其优越性能(较木脚手架)显然是完全适用的。但是随之而来的“内浇外挂”钢筋混凝土住宅将建筑高度提到30~45m,再以经验方式搭设钢管脚手架就被提出质疑,于是脚手架的“结构计算”被纳入安全使用规定中,提出了超过18m的钢管架要进行结构计算。在这基础上,在《施工手册》及《施工结构手册》类图书中开始出现各种各样的结构计算方法。此时的计算方法开始注意到立杆成为脚手架的主要受力杆件,并采用了中心受压杆件的结构计算方式。但对立杆计算长度这一重要问题却没有给予应有的重视,一般以横杆的步距作为计算长度,此一草率的设想一直影响着脚手架结构计算的正确发展。当然脚手架整体结构的构成对结构计算的影响也是被忽略了。

20世纪80年代,随着高层建筑在我国的蓬勃发展,尤其是大型公共建筑的兴建,50m的建筑高度进一步被打破,高层脚手架的结构计算问题更加突出。但是解决其安全使用问题的结构计算却停步不前。其原因是现场施工人员对脚手架的整体结构缺乏细致的观察和分析,使得脚手架的结构计算未能纳入结构力学的基本体系。脚手架结构计算问题未能进入理论轨道,导致20世纪80年代初发生重大安全事故(北京××科学院大楼54m高脚手架的坍塌事故)。其主要原因是拉墙件采用铁丝加木块的潦草做法,再加上每层铺脚手板超过了立杆的支撑能力。事后对事故的分析主要立足于定性分析,并没对其结构计

算进行验算和分析。此事故的发生使得钢管架搭设高度限制在了 20m 左右。此后在解决高型脚手架的问题时,高度 50m 以下时多采用下部双立杆的办法;超过 50m 则采用楼板上设悬挑梁,将脚手架分段(每段 $\leq 20\text{m}$)承载的办法加以解决。

20 世纪 80 年代后期,碗扣型脚手架开始在工程中推广应用,碗扣型脚手架的结构试验第一个采用了井字架的结构进行荷载试验。该试验的缺点是未能考虑杆系结构的几何不变性问题,但已初步确定了节点为“铰”的基本概念。1989 年北京住宅建设总公司与星河机器人脚手架公司合作在亚运会工程中推广应用碗扣式脚手架,遇到了 70m 高的亚运村汇宾大厦工程。在运用“铰接”假设的基础上,对双排脚手架的结构分析中发现,落地式多立杆脚手架的主体为横立杆组成的“网格结构”。如将节点视为铰接,则全部结构构成一个平行四边形的“机构”,也即是一可变体系。经过分析得到网格结构满足几何不变性的条件是,每一层网格中有一根斜杆即可达到几何不变。除此之外,在对双排脚手架横向剖面的分析中得知,立杆在大面(纵向)中的计算长度可等于步距,但在横剖面中其计算长度为拉墙件的垂直距离。此一结果将笼统的铰接计算方法推进了一步,使脚手架组成的几何不变性条件提到了研究的日程。

为了证实铰接计算理论是否正确,同年 7 月,在中国建筑科学研究院抗震所做了碗扣式双排脚手架的荷载试验,通过两种连墙件垂直距离(1.8m 和 3.6m)证明,以连墙件的垂直距离作为双排脚手架立杆计算长度是正确的。这样初步奠定了“铰接结构”的理论和试验基础,在铰接结构的理论指导下,汇宾大厦工程以单肢立杆搭设双排脚手架高度达到了 70m,取得了搭设高度的新纪录,并获得 1989 年北京市科技成果二等奖。

进入 20 世纪 90 年代,我国的科技体制发生了重大变化,各大研究院所已由研究为主转为实用和商业化为主,使得对脚手架的理论研究有很大的削弱。脚手架结构计算的研究成为一个“烫手的山芋”。其客观条件是:问题复杂,而经济效益显然较差。但是由于施工现场对“脚手架规范”的呼声极高,于是由中国建筑科学研究院建筑机械化所组成了扣件式钢管架规范的编制小组。所编制的规范关于结构计算的部分以“半刚性”节点为结构分析的理论基础,哈工大所做的双排脚手架结构试验结果为佐证。该规范虽然使脚手架的安全使用达到了较为规范的效果,但是从结构计算角度看存在着较多缺陷。其中最主要的是,没有深入分析脚手架结构整体构成以及缺乏对杆系结构几何不变性的分析,相应的对立杆计算长度确定的方法也过于草率。规范中虽然列出了许多杆件强度计算式,但是没有提供结构分析(求内力值)的方法,又未提供足够的计算实例,使得应用者无法按结构计算方法应对各种不同情况下结构的计算。

时光荏苒,国家的建设踏入了 21 世纪,脚手架的应用已由原来的脚手架功能同时转入模板支撑架。继之楼层模板的支撑架的做法又转入到立交桥、高架桥的支撑架,也就是模板支撑架的高型化。高型化的结果当然会带来结构安全问题,其实质仍然是结构计算问题。高型模板支撑架的特点是架体高(其高度从 5~10m 提高到 20m 或 30m)、荷载大(每肢立杆重量动辄以吨计),因而对整体结构的几何不变性提出了严格的要求,承载力也提高了 5~10 倍。作为扣件式钢管架规范恰恰在这两点上存在着缺陷,因而自 2002 年到 2006 年重大架体倒塌事故不断出现,提醒人们对脚手架的使用安全重新进行审视。以结构力学的基本原理来解决脚手架的安全使用问题才成为问题的重点。架体结构的力学分析,立足点在于杆系结构的几何不变性,这是安全的根本。其次是以整体结构的计算简图

来确定立杆的计算长度,在此基础上进行的力学计算才能保证结构的承载力。

2004年,中国建筑金属结构协会模板及脚手架分会组织进行碗扣式脚手架规范的编制工作,在铰接理论的基础上将脚手架结构计算的研究提到一个新的高度,使我国的脚手架安全使用得到保证。经过编制组一年多的合作,证明以铰接理论为基础的脚手架结构设计和计算达到了理论上的完整性和实际操作的可行性,也使本书在这个基础上得以丰富和完善。

脚手架原本只是施工的工具,因而对于它的安全使用,很多人都认为主要是构配件的质量问题。殊不知随着建筑高度和支承荷载的增加,简单地将它只视为工具是不够的。脚手架搭设的方法不同,使构成的架体具有天壤之别,因而架体结构更应该成为安全使用的因素。原则上说,脚手架首先要经过结构设计,满足其基本稳定条件,之后才能进行结构计算。整个过程要严格遵守建筑结构设计的程序才能是完整的、科学的和可靠的。

第四节 脚手架技术进步的展望

回顾近代脚手架技术在我国的发展,大致可以分为三个阶段:第一阶段为竹木脚手架阶段;第二阶段为新型脚手架引入和钢管脚手架技术发展阶段;第三阶段为高型脚手架推广应用阶段。脚手架技术的发展始终伴随着国家经济建设的发展,因而都独具时代特色,同时也显示了中国人民的智慧和创造能力,各个阶段都很好地满足社会的需要,完成了其应尽的职责。

第一阶段从20世纪50年代到60年代,主要继承了中国文化传统,以师傅带徒弟的形式传授架工技艺。此阶段中国的建设以多层民用建筑、单层工业厂房、少量的多层工业厂房和高耸结构物为主。虽然受到技术条件的限制,只有杉篙及竹篙作为脚手架的主体材料,但是在发挥工人技艺条件下,仍然很好地完成了复杂的建设任务,基本上保证了脚手架的安全应用。

第二阶段以钢管脚手架为主体引进了门式脚手架等新型脚手架,此时主要是将这些新型脚手架结合中国的实际加以应用。此阶段主要在20世纪70年代末到90年代。此阶段建筑结构由砌筑为主的多层民用建筑逐步向钢筋混凝土高层住宅发展,并开始兴建超过一般高层住宅的高层公共建筑,单纯的使用多立杆脚手架已不能满足工程的需要。于是以钢管架为构配件研发了桥式架、插口架、挂架、吊篮架等多种独特的专用脚手架适应施工的需要,也使我国脚手架技术展现出多彩纷呈的局面。

第三阶段高层公共建筑以及大型体育场馆、高架桥、立交桥等高型模板支撑架使脚手架技术进入了技术发展的困难阶段。此一阶段从20世纪90年代末延续到现在,其主要表现为理论研究的不足,忽略了脚手架整体结构的分析。结构计算停留在单肢承载力上,而没有看到压杆计算长度与整体结构之间的关系,当然也忽视了斜杆的作用和整体结构几何不变性分析的重要性。理论研究只停留在定性研究的阶段而没有实用性的结构计算,因而无法通过结构计算得到安全使用的足够数字依据。在这种情况下,安全事故不断发生。惨痛的教训使人望而生畏,解决脚手架安全使用问题是否已变成不可能?本人认为并非如此。摩天大楼以及大跨度结构各种复杂的建筑结构到目前都已解决,难道小小的脚手架却成了一个拦路虎?问题在于在脚手架结构设计中投入的理论研究确实是太少了!脚手架技

术发展的过程中,理论研究始终滞后于工程应用的发展。结构力学基本理论没有得到充分的发挥。小小的 $\phi 48\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 钢管中心受压承载能力当计算长度为 1.8m 时承载力高达 5t , 而计算长度为 3.6m 时其承载力只有 1.4t , 其差别有四倍之巨。立杆的计算长度是由脚手架整体结构的构造决定的, 而脚手架架体结构是由设计人选定的, 只要经过设计人的充分思考, 可以形成多种结构方案。脚手架安全使用问题是可以解决的。

时代赋予我们的任务, 当前主要是多立杆型脚手架和模板支撑架的安全应用问题, 因而也就是脚手架技术进步的核心。而当前恰逢常用的钢管架与门式架都没有建立完整系统的结构设计规则的时刻, 我想只要下功夫终会取得成功, 使我国的脚手架技术进入世界先进的行列。随着脚手架结构设计的发展, 相应的对脚手架构配件提出新的要求。譬如扣件式钢管架如何解决扣件重叠的问题, 碗扣脚手架如何解决廊道斜杆及水平斜杆问题, 门式脚手架如何纳入门架结构计算体系的问题, 总之脚手架结构计算的发展给各种新型脚手架开辟了技术创新的广泛课题。

钢管脚手架在新取得的结构设计成果的基础上, 还应在超静定杆系的内力分析、空间结构杆系的内力分析等方面开展深入的研究, 使脚手架结构设计得到更大的发展, 而对于各种结构分析广泛配合结构试验也是极为重要的。理论联系实际将会使得脚手架的理论研究得到坚实的基础, 使脚手架的安全应用具备更可靠支持, 这也是结构技术发展的必由之路。

落地式脚手架的搭设高度问题, 始终是各级领导极为关心的问题。根据现有的结构计算证明, $\phi 48\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 钢管架搭设高度似乎不宜超过 100m , 况且从经济角度出发, 超过 50m 的落地式脚手架与爬架相比已无优越性。因而应将高度超过 50m 的脚手架作为爬架发展的空间。当然爬架、爬模等高新技术也应是沿着自己的道路取得新的进步。除去上述的发展前途之外, 于 20 世纪 80 年代所研制的各种专用脚手架近来虽然已逐渐被废弃, 但是实际上在当代还有实用的价值, 经过适当改进仍能发挥极大的技术经济效益, 很值得提起注意。就以原有的桥式架为例, 经过改进形成的新式桥架, 除延续了原有桥式架的节约钢材的特点之外, 还提高了其工具化及重复使用性能, 作为经济实用的双排外脚手架仍然具有很大的经济及使用价值。

脚手架技术发展的源泉是建筑工程, 脚手架技术半个多世纪的发展证明了这一点。建筑工程不断地提出新的要求, 而脚手架技术就要不断地满足这些要求, 脚手架技术就在整个技术发展的过程中不断的发展和丰富。现场施工人员如何跟随社会的发展完成不断更新的技术, 其最根本之方法就是掌握脚手架结构设计的基本原理, 在运用中发挥主观能动性, 解决实际工程中的问题。应做到举一反三, 而不应在对基本理论不理解的情况下盲目决策, 这是保证工作不发生重大事故的根本。

第二章 新型脚手架构件及有关安全设施

第一节 多立杆式脚手架及其结构

1. 竹木脚手架

多立杆式脚手架是脚手架的最原始形式。以杉篙和竹篙搭设脚手架采用的主体结构杆件是天然的木杆和竹竿。作为脚手架的杆件，其基本条件是要保持直线形才易于搭设，为了便于操作，杆件的直径不能太大，杆件尽量不承受弯矩或减少所承受的弯矩。立杆的间距一般控制在 2.0m 以内，这样就形成了多立杆的体系。

竹木脚手架的基本搭设方法是立杆与水平杆相互交叉，在交叉点采用铁丝扣或竹篾绑扎连接，形成十字形网格结构，然后在平面内或平面外采用斜杆，以保证其几何不变性。

2. 木脚手架的主要结构体系

杉篙搭设的脚手架主要体系有：砌筑工程用的单排脚手架和双排脚手架（图 2-1）。单排脚手架最简单，主要组成杆件是：立杆（站杆）、顺水（大横杆）和排木（小横杆）。排木上铺脚手板、堆放材料并作操作台。排木插入墙体，一端支撑在墙体上，同时起侧向支撑作用，保证单排架的稳定。

双排脚手架与单排脚手架类似，但采用双排立杆并列加强自身的稳定性，但仍需与建筑物拉结以承受水平荷载。双排脚手架可不依靠脚手眼施工，因而可适用于非砌筑工程。

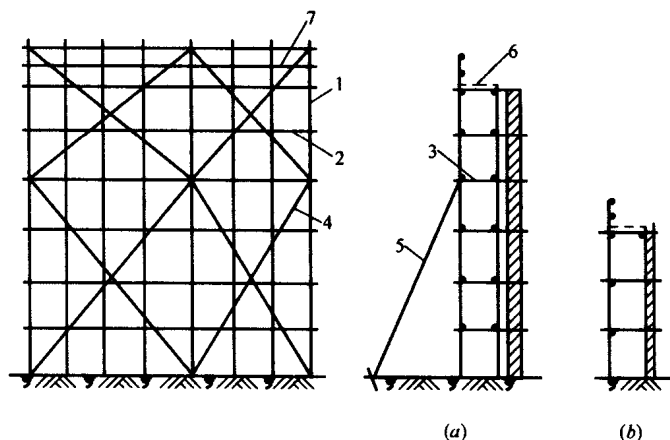


图 2-1 木脚手架结构体系

(a) 双排外脚手架；(b) 单排外脚手架

1—立杆；2—顺水；3—排木；4—十字盖（斜杆）；5—压栏子（支撑杆）；6—脚手板；7—护身栏

除此之外, 为保持脚手架结构几何不变性, 还需有十字盖(斜杆)、压栏子(支撑杆)、斜戗等斜向杆件。

除单双排脚手架之外, 还有满堂红脚手架。实际上它是双向延伸的双排脚手架, 是一般用于大厅或厂房内部施工时的脚手架。

脚手架的结构尺寸主要由架子服务对象的要求、横杆抗弯能力和架子工操作条件所决定。其主要几个尺寸是:

柱距(杆距): 沿纵向立杆之间的距离, 一般小于 2.0m;

排距: 双排脚手架两排立杆之间的距离, 一般为 0.8~1.2m;

步距: 顺水杆(大横杆)之间的垂直距离。承重架为 1.2m(砌筑操作的要求); 装修架为 1.8m。承重架由于要堆放砖、灰浆槽及承受双轮车运输, 要有较大的承载力; 装修架主要用于抹灰、饰面工程及相应的材料运输, 因而承载力要求较低。

除上述主要结构体系之外, 木脚手架还可以根据施工的需要搭设斜坡道、梯架、混凝土小车的运输架、挑架、跨越式桥架等。

木脚手架根部地面应垫实, 以使立(站)杆的荷载(如混凝土、砖等)均匀分布。此时为保证立杆根部不移位, 应绑扫地杆将其固定。当支撑地面为土地面时, 应铺垫脚手板以使地基荷载均布; 也可采用挖 50cm 深的坑, 栽入立杆的办法。

第二节 扣件式钢管架

1. 扣件式钢管架的元件及特点

扣件式钢管架是木质脚手架金属化的发展结果, 以钢管代替杉篙, 扣件代替铁丝及扎巴绳。其主要作用是将钢管连接成结构的“扣件”。连接扣件主要有三个: 横立杆连接的“直角扣件”(图 2-2)、斜杆连接采用的“旋转扣件”(图 2-3)以及杆件接长用的“对接扣件”(图 2-4)。

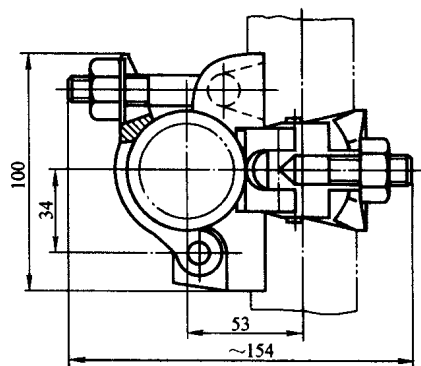


图 2-2 直角扣件

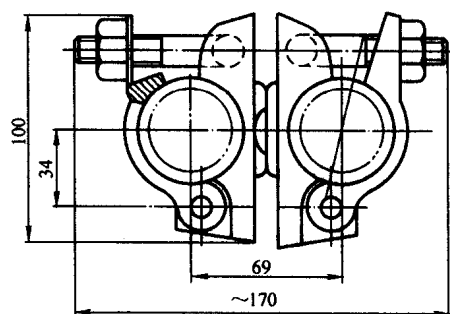


图 2-3 旋转扣件

钢管架应用的初期采用了两种管径: $\phi 51\text{mm}$ 和 $\phi 48\text{mm}$ 两种。经过近 20 年来的发展逐渐统一为 $\phi 48\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 钢管。脚手架的搭设方法与木脚手架相同, 但其连接点依靠

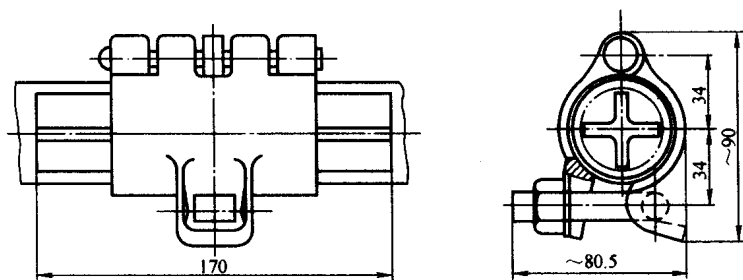


图 2-4 对接扣件

拧紧螺栓之后的摩擦力。影响其承载力的主要因素有两个：一是立杆的细长比；二是扣件的抗滑力。

钢管脚手架的优点是不用加工（ $\phi 48\text{mm}$ 钢管截成所需长度即可）；可以任意搭设（即立杆和大横杆的间距不受限制）；具有较大通用性。由于其上述优点，其他一些脚手架构件时常要用它来作辅助构件。

其缺点是：横、竖、斜杆之间有偏心，对结构有不利影响；其次是节点处的连接力受螺栓拧紧程度的影响，因而其搭设质量有人为因素影响。

钢管架除了上述主要连接件之外，其根部必须采用底座（图 2-5），以保证立杆不会插入土中而且也不能采用木脚手架“栽杆”（埋入土中）的方法。这也就使其不能搭设单皮（排）独立脚手架。

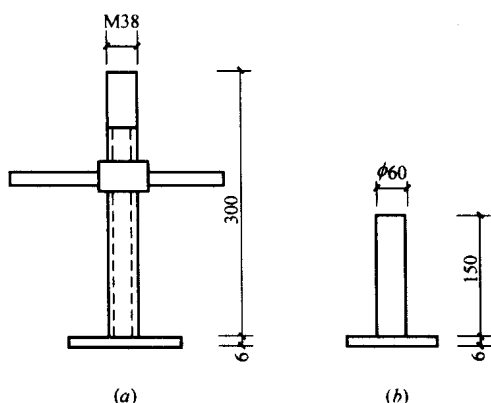


图 2-5 钢管架立杆底座

(a) 可调支座；(b) 固定支座

2. 钢管架的结构体系

钢管架的设计思路来源于木脚手架，因而其组成的结构体系与木脚手架相同。可以搭设单排、双排、满堂红脚手架，也可搭设斜坡马道、梯架、桥架等。不仅如此，它还可以组合成专用的脚手架，甚至爬架的架体，也可以用作门式架、碗扣架等的辅助构件。

应当注意的是钢管架的拉墙件与木脚手架不同，一般可采用扣件与 $\phi 48\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 管的扣接而形成，有时要考虑与混凝土结构的预埋件连接。图 2-6 所示，为采用钢管与混凝土柱的拉结和与楼板内预埋吊钩的拉结。

3. 钢管架结构尺寸的确定

钢管架结构的几何尺寸除步距按照操作需要确定之外，排距和柱距都是按照 $\phi 48\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 钢管抗弯能力所确定的。现分别计算之，以确定其适宜尺寸。计算中按钢结构及木结构规范，自重及荷载全部按荷载分项系数 $r_o = 1.4$ ，钢材抗弯强度设计值 $f_w = 205\text{N/mm}^2$ ，木材按强度等级 TC13 计，其抗弯强度设计值 $f_w = 13\text{N/mm}^2$ 。

(1) 脚手板最大跨度计算。脚手板以最通用的木脚手板计算，厚度 5cm。最小宽度

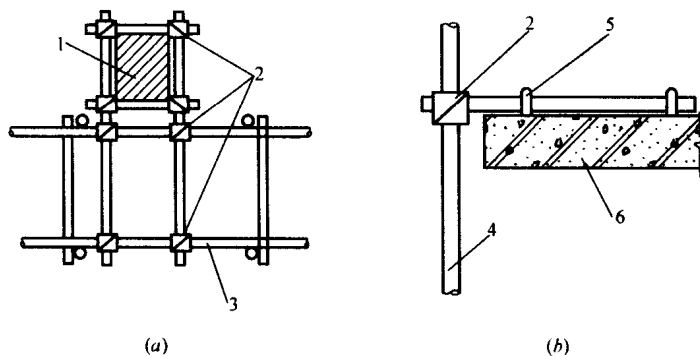


图 2-6 钢管架与结构柱及楼板拉结

(a) 与柱连接; (b) 与预埋吊钩连接

1—结构柱; 2—扣件; 3—外脚手架; 4—立杆; 5—预埋吊钩; 6—楼板

20cm, 以两排木作支点按简支梁计算。验算荷载采用施工荷载 3.0kN/m^2 和单板单个轮压集中荷载 $P=1000\text{N}$ 。

- 脚手板之抗弯矩: $W=bh^2/6=200\times 50^2/6=83.333\times 10^3\text{mm}^3$
- 施工荷载计算: $q=r_o\times 3.0\times 0.2=1.4\times 3.0\times 0.2=0.84\text{kN/m}\approx 0.840\text{N/mm}$
- 脚手板弯矩: $M=\frac{ql^2}{8}$

脚手板弯矩应力: $\sigma=\frac{M}{W}=f_w$; 而 $\frac{ql^2}{8}=W\cdot f_w$

脚手板最大跨度: $l=\sqrt{\frac{8Wf_w}{q}}=\sqrt{\frac{8\times 83.333\times 10^3\times 13}{0.84}}=3212\text{mm}$

- 轮压荷载计算: $P=1000\times r_o=1400\text{N}$

跨中最大弯矩: $M=pl/4$; 而 $\frac{Pl}{4}=W\cdot f_w$

得 $l=\frac{4Wf_w}{P}=\frac{4\times 83.333\times 10^3\times 13}{1400}=3095\text{mm}$

从以上结果可知脚手板满足抗弯能力, 其长度可达 3m, 当然由于跨度大了刚度较差, 因此跨长不应达 3m, 以控制在 2m 以内为宜。

(2) 按照排木 (小横杆) 抗弯能力计算。按照排木间距 1.8m, 排木跨距 1.2m 计算。

此时均布荷载由脚手板自重 0.35kN/m^2 及施工荷载 2.0kN/m^2 叠加乘以荷载分项系数 $r_o=1.4$, 得:

$$q=r_o(2.0+0.35)=1.4\times 2.35=3.29\text{kN/m}^2$$

按照荷载宽度 1.8m 计, 化成排木上均布荷载

$$q'=q\times 1.8=3.29\times 1.8=5.922\text{kN/m}$$

排木按 $\phi 48\text{mm}\times 3.5\text{mm}$ 钢管计, 其抗弯矩 $W=5078\text{mm}^3$

排木弯曲应力等于 $\sigma=\frac{M}{W}=\frac{ql^2}{8W}=\frac{5.922\times 1.2^2\times 10^6}{8\times 5078}=210\text{N/mm}^2$ (合格)

由此可知,根据排木的抗弯强度,当排距为 1.2m 时,排木间距应 $\leq 1.8\text{m}$ 。
这些基本数字可以用来确定搭设钢管架的基本控制尺寸。

第三节 碗扣型脚手架

1. 基本结构及特点

碗扣型脚手架是铁道部专业设计院之专利制品,曾获 1986 年“全国第二届发明展览会”铜牌奖和 1987 年“第十五届日内瓦国际发明和新技术展览会”镀金奖。该脚手架主

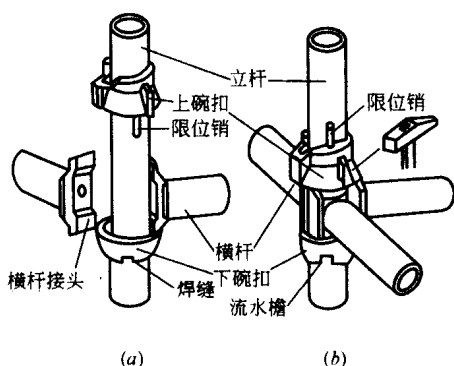


图 2-7 碗扣架节点
(a) 连接前; (b) 连接后

要杆件仍然是 $\phi 48\text{mm}$ 钢管,但是钢管的连接点采用“碗扣”。碗扣由上下碗扣构成,下碗扣焊接在立管上,上碗扣套在立管上。水平杆两端焊有“插头”,该插头插入下碗扣,然后上碗扣利用立杆上焊的“锁销”旋紧而扣住横杆插头(图 2-7)。

碗扣架与钢管架的区别是,脚手架全部需要加工。除横杆两端要焊插头外,立杆上还需焊接下碗扣及锁销。这样带来的结果是横杆与立杆的间距变成固定的,没有钢管架的灵活性好同时也提高了成本。

从受力性能方面讲,由于采用了中心线连接,因而大大提高了承载能力。其次是承受横杆垂直力的下碗扣与立杆采用焊接,因而改善了“节点”的受力性能(扣件式脚手架主要依靠扣件握紧时的摩擦力——极限承载力,约 8kN),使其达到安全可靠的程度。

从安装操作上讲,较钢管架方便,只需用小锤楔紧上碗扣即可。同时在保管上减少了扣件丢失,降低了应用的成本。

2. 碗扣架结构的几何尺寸

碗扣架与钢管架最突出的差别是前者为定型结构。也就是说其柱距、步距、排距不是任意的。其结构尺寸由构件所确定,只能以一些标准尺寸作模数进行调整。因而在选择元件的尺寸时应慎重,以便使以后的使用有更大的通用性。现以星河模架公司生产的一种较通用的元件予以介绍。

立杆:长度 3.0m ,碗扣的间距为 600mm (图 2-8a)。这种立杆配备的扣件较多,但可以选择 1.2m 和 1.8m 两种步距搭设以及斜杆的多种设置方法。

横杆长度(按中心线计)采用 1.2m 和 1.5m 两种,其目的在于适应建筑物长度的变化。以上两种长度搭配在多数情况下可以满足施工需要。

斜杆:选用柱距 1.2m ,步距 1.8m 一种。在平面布局中将 1.2m 杆配置在大角处,装斜杆可以使其规格减少到只有一种。斜杆的构造,如图 2-8(b) 所示,两端有插头插入碗扣内需要占据碗扣四个插头位置之一。