

φ48钢管扣件式支模架与 脚手架倒塌事故分析

肖备 王建宏 谢建民 (浙江省东阳第三建筑工程有限公司)

一、近几年重大安全事故案例

1. 2002年10月25日南京电视台演播中心施工过程中, 发生一起模板支撑系统整体坍塌事故, 造成6人死亡, 11人重伤, 24人轻伤。

2. 2003年2月18日, 在某研究发展中心工程施工中, 当浇筑门厅(结构高度为28.1m, 净跨24m)混凝土时, 晚上20:00左右发生支模架坍塌, 造成13人死亡, 17人受伤的重大伤亡事故。

3. 2004年2月26日, 河南省某工地在浇筑跨度15m、宽8m、高15m的办公楼大门檐顶混凝土时, 模板支撑系统发生坍塌, 造成5人死亡、9人受伤。

4. 2005年4月17日下午, 上海松江区某在建厂房的脚手架及房顶发生坍塌, 25人被埋, 造成重大伤亡……

二、倒塌事故原因分析

1. 材料原因

(1) 钢管壁厚变薄

在市场上采购钢管, 名义上是φ48×3.5钢管, 实际测量时, 不少钢管壁厚实为2.8~3.0mm, 其轴向抗压能力降低18.7%~13.3%。钢管使用多年, 局部壁厚也变薄。

(2) 钢管弯曲变形

经过多年使用后, 钢管将产生变形和弯曲, 而模板支撑系统设计时均按直线钢管来考虑, 不考虑其弯曲变形, 实际上钢管弯曲后的承载能力大为降低。某工程发生重大事故后对钢管进行检查, 其合格率仅为50%。

(3) 扣件合格率低

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2001) (以下简称《规范》) 表5.1.7规定对接扣件抗滑承载力为3.2kN, 直角与回转扣件抗滑承载力为8kN, 从现场检查发现, 很难达到此规定。某工地发生重大事故后, 对扣件进行检查,

其合格率为0。

2. 施工安全管理

(1) 不少施工现场项目部对模板支撑系统执行规范规定的技术要求观念不强, 作业人员思想松懈, 加之使用临时工较多, 未按施工组织设计和施工方案进行作业, 检查中常发现立杆间距变大现象, 简化操作程序, 未按公司规定的程序进行搭设, 未进行严格检查或检查不彻底, 致使薄弱环节未能及时发现, 检查责任又不到位。

(2) 现场管理人员更换频繁, 建筑现场一线作业人员素质较低, 存在技术交底和安全培训不到位的现象。

(3) 由于施工企业项目部多, 地点分散, 各种检查很难全面铺开。特别对于新招民工的民工培训和公司安全责任制不能及时落实, 安全措施不到位。

(4) 建筑市场竞争激烈, 压价情况严重, 在招标文件中绝大多数不提及施工安全投入费用单项。施工企业为了提高中标率, 只能采用低价投标, 施工中安全投入费用自然减少。施工安全投入费用与国外相比, 差距很大。

(5) 《规范》中表5.1.7注中规定“扣件螺栓拧紧扭力矩值不应小于40N.m, 且不应大于65N.m”, 第8.2.5条对扣件螺栓拧紧扭力检查作出规定, 但施工中实际很难做到这一点。

3. φ48钢管搭设存在问题

(1) 搭设高度较高时, 由于钢管长度限制, 立杆必需接长, 通常采用对接扣件(若技术交底不详或现场疏忽, 也有采用回转扣件连接的, 这种对接方式对立杆稳定极为不利, 理论上可以理解为一个铰接节点), 但目前规范和理论计算时, 不考虑此连接节点存在, 而按整个长立杆计算。计算立杆内力时不考虑此连接点的特殊情况, 实际上该连接点是立杆中的薄弱环节, 只要立杆稍有偏心, 该点处

变形就很大，破坏倒塌在此首先发生。搭设高度愈高，对接扣件连接节点愈多，侧向位移变形就愈明显，一旦侧向变形较大时，该节点处产生弯曲变形改变原计算力学数学模型，致使立杆钢管应力突然增大，导致整个支撑系统破坏而发生倒塌事故。

(2) 模板支撑承重架高度较高时 (如某工程净高28m, 净跨24m的门厅混凝土施工), 钢管支撑系统往往缺少侧向约束, 故侧向稳定条件较差, 在外荷作用下, 极易发生侧向倒塌事故。

4. $\phi 48$ 钢管支架计算中存在的问题

(1) $\phi 48$ 钢管立杆稳定性

对接扣件连接立杆的容许荷载 表 1

大横杆步距(cm)	$\phi 48 \times 3$ 钢管 (kN)	$\phi 48 \times 3.5$ 钢管 (kN)
100	31.7	35.7
125	29.2	33.1
150	26.8	30.3
180	24.0	27.2

回转扣件连接立杆的容许荷载 表 2

大横杆步距(cm)	$\phi 48 \times 3$ 钢管 (kN)	$\phi 48 \times 3.5$ 钢管 (kN)
100	12.2	13.9
125	11.6	13.0
150	11.0	12.4
180	10.2	11.6

铁道部编写的《组合钢模板手册》中 $\phi 48$ 钢管立杆允许轴向荷载见表1与表2, 上表说明一个对接扣件连接的 $\phi 48$ 钢管立杆承载能力为回转扣件连接立杆的2倍以上。《规范》中规定立杆稳定性不考虑风荷载情况下, 计算公式如下:

$$\frac{N}{\varphi A} \leq f \quad (1)$$

上式中, N—— $\phi 48$ 钢管立杆轴向设计值;

φ ——轴心受压构件稳定系数;

A——立杆截面面积;

f——钢材抗压强度设计值 (205N/mm²)。

若立杆步距h=1.5m, 按《规范》(5.3.3) 式计算, 计算长度为:

$$1.5 \times 1.155 \times 1.55 = 2.685\text{m}$$

$$\text{长细比: } = 2685 / 158 = 170, \text{ 查附录C得 } \varphi = 0.245$$

$$\text{由上式求得立杆允许轴向力: } N = 0.245 \times 205 \times 489 = 24.56\text{k} = N2.450\text{t}$$

从大量倒塌事故的事后检查中获知, 立杆钢管所受的轴向压力极大部分均小于2.4t, 一般均在1.0t左右, 这说明立杆钢管稳定性验算符合规范要求, 但并不一定保证能阻止倒塌事故发生。这表明支模系统立杆稳定性计算数学模型并不完善, 还需从构造上给予综合考虑。同时要有现场施工经验和加强支模系统整体稳定措施来弥补。

(2) 影响立杆稳定性因素。

1) 立杆与横杆钢管连接采用扣件, 实属于铰接方式 (其连接节点应视为半刚性——编者), 其稳定性要靠剪刀撑, 但《规范》规定剪刀撑间距又较疏。

2) 忽略支模架斜杆作用

大多数模板倒塌事故中, 并不是钢管承载能力不足造成的, 而是钢管支撑系统失稳或杆件局部失稳造成的。然而钢管支撑系统失稳是该系统侧向变形能力不足造成的, 也就是说该系统的斜杆 (剪刀撑) 数量不足或布置不合理。但《规范》中对钢管支撑系统中斜杆 (剪刀撑) 只提出构造上的要求, 未列入设计计算要求, 因此模板钢管支撑系统设计时, 不对斜杆进行力学计算。对于搭设高度较高的支模架往往存在抗侧向位移的能力不足, 特别是混凝土柱与楼层梁板一起浇筑时, 其支模架抗侧向变形较差。2002年“10.25”事件、2003年“2.18”事件等充分说明这一点。

3) $\phi 48$ 钢管立杆存在偏心荷载影响

模板支撑系统一般不按框架或排架进行计算, 剪刀撑也按规范构造要求和施工经验进行布置。《规范》第5.1.4条规定“当纵向或横向水平杆的轴线对立杆轴线的偏心距不大于55mm时, 立杆稳定性计算可不考虑此偏心距的影响”。因此, 模板支撑系统立杆通常按立杆中心受压杆件进行设计。但实际施工中, 模板支撑系统存在众多小偏心荷载, 如图1中, 施工荷载通过模板传递给方木 (如20 \times 50, @300), 再传递给横向水平连杆钢管A, 通过旋转扣件连接将荷载转递给立杆1#, 再通过旋转扣件 (2个以上) 将荷载传递给2#立杆, 1#立杆以下所有立杆, 一般采用对接扣件接长 (但也有采用旋转扣件接长的), 这是常规的支模搭设方法, 现场大量采用。由此可见, 水平钢管A承载竖向荷载, 对钢管2#有一个偏心距110mm。在计算时一般不考虑

此立杆存在偏心，实际上存在小偏心受压情况。由于φ48钢管截面模量W值较小，故抗弯能力很弱，如采用φ48×3.5(图1)，若水平杆A承载竖向力N=20kN的外力时，水平杆竖向间距为1500mm，立杆计算长度：

$$l_0 = kuh = 1.155 \times 1.60 \times 1500 = 2772 \text{mm}$$

$$\text{长细比: } = 2772 / 15.8 = 175,$$

查规范JGJ130—2001附录C得φ=0.232

$$\frac{N}{A} = \frac{20 \times 10^3}{0.232 \times 489} = 176.3 \text{N/mm}^2 < f = 205 \text{N/mm}^2$$

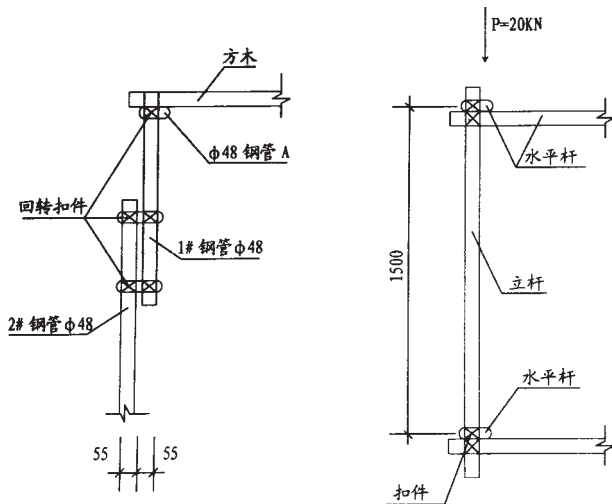


图1

图2中，荷载P对立杆产生偏心矩为55mm，故立杆的弯矩为：

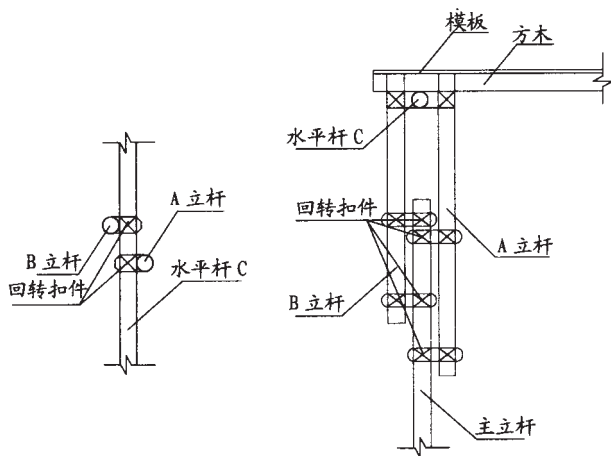


图2

$$M = 20 \times 0.055 = 1.1 \text{kN}$$

钢管由偏心荷载产生应力为：

$$\frac{1.1 \times 10^6}{5.08 \times 10^3} = 216.5 \text{N/mm}^2 > 176.3 \text{N/mm}^2$$

由以上计算可知，荷载偏心产生附加弯曲应力大于垂直荷载产生的应力，因此水平钢管通过扣件与立杆连接产生的偏心弯矩是不可忽视的因素，然而在模板支撑系统设计中往往忽视这一因素，这可能是导致立杆失稳而倒塌的原因之一。（《规范》中实际考虑了偏心的问题，并在5.3.1~5.3.4中予以修正，但k、μ值考虑得是否够，则应进一步研讨——编者）

(3) 数学模型存在欠缺

目前施工现场模板系统支撑与脚手架很大部分采用φ48钢管。φ48钢管搭设的模板支撑系统、内外脚手架，在设计计算时，其计算模型和简图与实际情况有较大不同。计算简图采用钢结构节点为铰接，各杆件交于一点。而φ48钢管搭设的模板支撑系统、内外脚手架立杆与横杆、斜杆用扣件连接，一个扣件只能连接两根杆件，故其所有杆件不能交于一个节点，这就产生偏心问题，其数学模型也无法考虑这个问题。扣件连接其锁扣能力，回转扣件《规范》定为8kN，十字扣件只有6kN，一字扣件只有2.5kN，与钢管本身强度相差较大，不相匹配。模板支撑系统与脚手架和主体进行必要的连接，在规范中一般要求做到刚性连接，设计方案中也要求这样做。而现场情况与计算或设计存在相当大的差距，施工现场实际很难达到刚性连接的要求，因此计算结果与实际误差较大。

三、预防措施及对策

1. 立杆稳定性验算按偏心受压构件计算

从以上分析可知，立杆荷载是由水平横向钢管通过扣件传递，模板支架顶层顶步采用回转扣件接（《规范》第6.3.5节）时，其偏心矩由图1可知e=10mm，故所有立杆均属于偏心受压状态，应按下列计算：

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq f \quad (2)$$

上式中，M——立杆所承受的变矩，包括水平荷载偏心 and 风荷载等产生弯矩之和；

W——钢管截面系数；φ48×3.5钢管W=5.08cm³；φ48×3.0钢管W=4.49cm³。

由上式验算立杆的稳定性。由于φ48钢管抗弯能力低，应控制支模架步高。

2. 调整扣件抗滑能力

《规范》中第5.1.7条回转扣件抗滑设计值为8kN，山东省脚手架操作规程中附表2其值为5kN，

由于现场大量使用回转扣件,从现场实际使用情况来看,回转扣件抗滑能力一般很难达到规范要求。某工地曾对扣件进行检测,其合格率为零。故模板支架设计时,回转扣件抗滑值定为5kN比较合适。

3. 减少立杆钢管偏心荷载

1) 由于回转扣件连接存在偏心问题,故立杆尽量使用对接扣件。

2) 立杆用回转扣件连接采用如下连接方案

4. 加强剪刀撑的布置

1) 适当增加剪刀撑布置数量,提高支模架和脚手架的抗变形能力。

2) 支模架高度高于8m时,应布置水平剪刀撑,并设法采用型钢支模方法。

5. 尽量增加支模架与刚性主体连接

1) 当混凝土柱先施工,楼板与梁后施工条件下,其混凝土立柱具有较大抗侧变形能力,与主体柱或墙刚性连接,提高支模架抗侧向变形能力。

2) 对于荷载较大(如转换层大梁)的支模架,必须采用对接扣件连接立杆,且立杆顶部应采用可调顶托,使荷载通过底模方木直接传递给立杆,使立杆受力均匀。

6. 减小立杆计算长度

1) 减小立杆步距和连墙杆的步距。

2) 减小立杆横距(间距)。

7. 施工管理

(1) 加强对模板支撑系统技术管理与安全管理

(2) 模板工程支架应先设计后施工。模板设计包括支撑系统稳定计算、支撑支模架的楼地面能承受的强度计算、构造措施和材料种类,使模板支撑系统具备足够的强度、刚度和稳定性;并应考虑现场各种不利条件,重视斜向支撑,增加模板支撑系统的整体稳定性。要对细部构造画出大样,包括材料选用、规格尺寸、接头方法、水平横杆布置间距和剪刀撑设置要求等。模板施工技术方案,须包括模板制作、安装、拆卸的安全措施,以及安全交底。

(3) 在模板工程实施过程中,操作人员应严格按照模板设计技术方案进行操作,不准随意更改。如存在问题,必须经模板设计人员同意或经上一级技术主管批准后方可进行修改。模板工程在使用过程中,特别是处于大风时期,必须及时进行检查和监视,一旦发现变形超过允许范围,必须停止使

用,经检查和修复后方可重新使用。此外模板拆除必须满足混凝土施工规范要求。

(4) 钢管在使用前应先进行检查,凡是变形的钢管应调直,过度变形和严重磨损的钢管不得使用。扣件应经过检查后才能使用,达不到锁扣能力的扣件不能使用。大量实践证明,因为扣件(主要是回转扣件)质量不佳,导致事故发生。使用质量不好的扣件,危害性极大。

(5) 注意事项

1) 设计时应考虑各种不利因素,如现场钢管已使用多年的实际情况,将 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管作为 $\phi 48 \times 3.0$ 来考虑。应考虑到扣件的承载能力远低于钢管承载能力。当扣件承载能力不足时,可采用双扣件。

2) 外脚手架应与施工建筑物主体连接,以提高外脚手架的整体稳定性。

3) 应重视模板工程的整体性要求,可采用剪刀撑并与主体连接的方法来提高稳定性。

4) 钢管转料平台应控制搭设高度,必须先进行严密的力学计算,经严格审批后,方可实施。

5) 技术交底必须有书面文字为依据,不能采用向一线操作工人直接口头交底,交底不能仅仅为班组长;

6) 严禁在模扳支模上集中堆放建筑材料。

7) 对支模架的构造措施应提出明确的要求,包括扫地杆的设置,剪刀撑的布设,杆件连接具体要求(如剪刀撑接长和扣件数量),门洞口加固处理,并应重点检查。

8) 支模架搭设好后应检查,在使用过程中,应采取有效监测手段,特别是杆件变形和扣件是否下滑,发现异常及时处理。

9) 支模架和脚手架拆除应作好充分准备,混凝土强度是否达到施工方案提出要求。应作详细技术安全交底。

10) 钢管支撑架拆除作业必须按施工方案由上而下逐层进行,后支的先拆,严禁上下同时作业。后浇带两侧的模板支撑架应予保留两排立杆。拆除大跨度梁的支撑架,先从跨中开始向两端对称进行,模板支撑架要随拆随运出,严禁集中堆积和随意抛掷。高空悬挑架拆除作业时,应设置警戒线和明显标志,并派人监管。

(本文收稿:2005-09-09)