

施工临时支撑结构 专项技术方案

刘东跃 主编

施工临时支撑结构 专项技术方案

刘东跃 主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

图书在版编目 (CIP) 数据

施工临时支撑结构专项技术方案/刘东跃主编. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2013. 9
ISBN 978-7-5381-8218-7

I. ①施… II. ①刘… III. ①建筑结构—支撑—设计方案 IV. ①TU323.204

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第193298号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷: 东煤地质局沈阳印刷厂

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 185mm×260mm

印 张: 34.75

字 数: 800 千字

出版时间: 2013 年 9 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 卢山秀

封面设计: 魔杰设计

版式设计: 魔杰设计

责任校对: 东 戈

书 号: ISBN 978-7-5381-8218-7

定 价: 198.00 元

联系电话: 024-23284376

邮购咨询电话: 024-23284502

E-mail: lkbjlsx@163.com

<http://www.lnkj.com.cn>

《施工临时支撑结构专项技术方案》编委会

主 编:刘东跃

副主编:王学东 张 力 侯志广 蔡君田

编 委:(按姓氏笔画排序)

于士学 卢和田 王希浩 王士成 王克明(东北大学) 王振东

孙 坤(铁三院) 刘 壮 李润伟 李文国 李 凯 李仁强 关增智

肖旭东 邵凤书 吴志寰 张文平 张 伟(中海外) 张长友 曹志国

董世艳 梁彦峰

其他未标注单位者均为中铁九局。

序 言

承蒙中铁九局集团刘东跃先生邀请，为他的《施工临时支撑结构专项技术方案》一书写前序，这是我生平首次，甚感荣幸。

回忆 1975 年初，台湾中山高速公路中段尚待发包施工时，我任职于“中华顾问工程司”，受邀参与中部末段约 60 千米西螺新营段的施工监造，斯时，需对外招募监造技术人员。约有 1400 多位应征，如何甄选适合的新进者参与监造？颇费思量！

那时，面试时的一项主题被提出，请应征者就“偷工减料”与“省工省料”的差异性，做一阐述。

前者“偷工减料”，是枉顾了学理与施工规范的要求所作的行为！后者“省工省料”，则是应用所学在技术上的理性应用。

刘东跃先生一直鼓励施工第一线，思索“技术上的理性应用”，不仅在他就职的中铁九局集团的内部培训中与年轻的同事们分享，同时也跨越藩篱，为我中华的新铁路建设，为其他同行解惑“省工省料”真正之《施工临时支撑结构专项技术方案》！

刘东跃先生也在不同的詹天佑 QQ 群组之讨论区中，向年轻的施工者提问及解说！期待施工技术，如何又好？如何又快？如何又省？刘东跃先生将其毕生经验，汇编成了《施工技术实战真功夫》一书。

如今，出版之期指日可待，借此篇幅，向刘东跃先生致敬！也替所有翘首以待的 QQ 群友们，向刘东跃致以诚挚的谢意！

珊岚基金 邱守峦 (QQ:630814812)

2013 年 03 月 18 日于台湾省台北市

前 言

在我国经济建设发展的浪潮下, 交通网络建设进入到了一个高峰期, 伴随着繁忙的施工生产活动, 各类工程事故也频频发生, 给人民的生命和财产带来了巨大损失。为此, 国家相继下发了加强专项施工技术方案管理的各项文件。2003年11月12日国务院下发了《建设工程安全生产管理条例》第393号令, 2009年06月02日中华人民共和国住房和城乡建设部颁发了《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》建质[2009]87号文。

在很多工程事故中, 并不是因为偷工减料造成的, 而是施工技术方案存在着巨大的漏洞与缺陷。主要表现在方案设计者及相关管理人员对“结构”缺乏认识, 认知不足, 存在着对结构稳定性约束不到位、实际结构与设计不一致、局部附加内力欠考虑、设计检算与实践内力不符、安全措施不完善等缺陷。有些施工技术方案虽未发生事故, 但临时工程结构用料过多、投入成本巨大, 甚至导致施工项目经营亏损。

施工技术是施工企业的第一生产力。施工企业的一切施工生产活动都是以施工技术管理为中心的, 施工技术管理的重点反映在施工技术方案上。一份优秀的施工技术方案应当符合现场条件、简单实用、经济安全。对于临时结构而言, 安全是有限的, 经济效益却是无限的, 项目管理的宗旨是力求效益最大化。一份优秀的施工组织设计、施工技术方案, 可以节省几十万、上百万, 甚至上千万的成本支出。在我国现行产业结构变革的时代下, 现行工程造价定额的调整远远落后于物价的上涨速度, 社会劳动价格猛涨, 定额工费和机械费肯定赔钱, 管理费也不够用, 主体工程费用不能省钱, 如果专项施工技术方案的临时工程再赔钱, 项目根本赚不到钱! 企业向项目要效益, 项目就该向施工技术方案要效益。

专项施工技术方案直接影响到施工安全, 关系到项目的经营结果。施工临时结构专项方案设计需要较强的基础力学知识和专业技术知识外, 还需要丰富的施工实践经验。它不同于永久结构的设计计算, 具有一次性、使用周期短、实用性强、不考虑耐久性和疲劳损失、不考虑地震影响、设计计算荷载有限、荷载分布规律大多非匀称和不对称性大、无专门规范标准可依、无准确计算软件可循、对施工安全性要求较高、临时措施费用大等特点。施工临时结构专项方案设计计算难度相对较大。很多现场技术人员理论功底不足、施工经验欠缺, 难以胜任专项施工技术方案的设计与编制工作。

本书编制内容共分六章。其中第一章为施工临时支撑结构设计计算理论, 主要介绍临时支撑结构空间三维体系的设计计算方法; 第二章为施工临时支撑结构施工方案案例, 包括悬臂浇筑连续梁0号梁段及边跨梁段现浇模板支撑架专项施工技术方案实例介绍、整孔现浇箱梁模板支撑架专项施工技术方案实例介绍、多跨连续梁现浇箱梁模板支撑架专项施工技术方案实例介绍和现浇梁模板支撑架工程实例照片展示; 第三章为悬臂浇筑连续梁墩梁临时固结专项施工方案, 包括悬浇连续梁墩梁临时固结设计计算方法和悬浇连续梁墩梁临时固结专项施工技术方案实例介绍、T构临时固结施工实例照片展示; 第四章为悬浇梁合拢段临时加劲刚性支撑专项施工方案案例, 介绍三个工程实例方案; 第五章为现浇梁满堂脚

手架倒塌事故的分析与措施,包括现浇构件支撑架常见的倒塌事故分析及安全预防措施、各类支撑架倒塌事故案例分析;第六章为施工方案相关资料,包括挂篮悬臂浇筑施工操作手册、常用静定结构与超静定结构静力计算公式、常用《结构力学》三弯矩方程几种常见荷载下的虚支点反力,以及施工方案设计相关基础资料。

《施工技术实战真功夫》——施工临时支撑结构专项技术方案,主要是以现浇钢筋混凝土连续梁所涉及各种专项施工技术方案为对象,展开所涉及的临时结构专项施工技术方案设计问题,其计算理论可扩展到所有类同支撑结构施工技术方案中去。主要是解决理论与实践的应用问题,对施工临时结构设计所遇到的复杂问题,倡导复杂问题简单处理,简单的问题认真分析。超静定的结构问题,依据结构的特性用定静的方法去解决,实现手工计算和简单处理的计算理念,是基础理论向施工实践转化的具体应用方法,是笔者多年施工实践经验的总结,也是很多同行们在施工技术方案设计中最为困惑的问题。本书为广大工程技术人员提供一些施工临时结构专项施工技术方案设计方面的简明、实用的施工计算方法和参考资料,以帮助解决一些现场施工实际计算问题,有利于提高施工技术管理水平,在保证工程质量和施工安全的基础上,力求取得最大利润率。

本书编写的对象主要是施工临时支撑结构专项施工技术方案,所涉及的工程基础力学理论性强、实践经验全面。在编写中除介绍了部分计算理论及方法外,还附有很多工程实际案例介绍、工程实例照片点评说明。使理论与实践相结合更紧密、更翔实,便于广大读者理解和实际应用,使读者在了解力学计算理论基础之上,能较快地掌握要领,举一反三,参考应用。

施工临时支撑结构的专项施工技术方案,是一门理论性和实践性要求很强的科学技术,涉及知识面广、难度较大,特别是我国现行没有统一的临时结构设计规范的条件下,各个施工企业的要求不尽相同,编制的手法也因人而异。因作者学识和水平有限,书中难免存在这样或那样的错误,敬请广大同仁批评指正,以便日后修订时加以完善。

在本书的编制过程中,得到了陕西铁路工程职业技术学院的焦胜军、郝付军和台湾省高铁整孔预制施工推广者邱守峦先生的指导与帮助,在此特别表示衷心的感谢。

目 录

第一章 施工临时支撑结构设计计算理论

第一节 压杆的稳定计算理论	1
第二节 独立支架与倚靠支架的区分与计算理论	20
第三节 现浇箱梁模板支撑架横向支撑等荷载分配计算理论	25
第四节 现浇箱梁纵向非匀称线性荷载支撑架支反力条块分割法的计算方法	34
第五节 非匀称线性荷载的挠度和分配梁计算方法	42

第二章 施工临时支撑结构施工方案案例

第一节 悬臂浇筑连续梁 0 号梁段及边跨梁段现浇模板支撑架施工方案案例	50
一、0号梁段现浇模板支撑架施工方案	50
(一) 某 (40+60+40) m 连续梁 0 号梁段现浇混凝土模板支撑架专项施工方案 - - -	50
(二) 新建铁路沈阳至丹东客运专线太子河特大桥 (32+48+32) m 连续梁 0 号梁段 现浇模板支架施工技术方案	62
(三) 新建铁路沈阳至丹东客运专线太子河特大桥 (60+100+60) m 连续梁 0 号梁段 模板支架结构施工设计方案	71
(四) 新建杭长铁路客运专线浙江段 (HCZJ-6 标段) 江山港特大桥 (75+2×135 +75)m 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁 0 号梁段模板支撑架专项施工方案	75
(五) 新建杭长铁路客运专线浙江段 (HCZJ-6 标段) 江山港特大桥 (40+64+40)m 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁 0 号和 1 号梁段模板支撑架专项施工方案	89
(六) 云南省龙陵至瑞丽高速公路四合同段老团坡 1 号特大桥 (90+160+90)m 连续刚构桥 0 号梁段现浇模板支撑架专项施工技术方案	105
(七) 新建杭州至长沙铁路客运专线浙江段 HCZJ-6 标段乌溪江特大桥 (48+80+48)m 悬臂浇筑连续梁 0 号梁段现浇混凝土模板支撑架专项施工方案	125
(八) 新建东北东部铁路前阳至庄河段 (DT2 标段) 汤池特大桥 (32+48+32)m 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁 0 号梁段模板支撑架专项施工方案	137
(九) 新建东北东部铁路前阳至庄河段 (DT2 标段) 汤池特大桥 (60+100+60)m 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁 0 号梁段现浇模板支撑架专项施工方案	155
二、边跨梁段专项现浇模板支撑架专项施工方案案例	169
(一) 某 (40+60+40)m 连续梁边跨梁段现浇混凝土模板支撑架专项施工方案 - - -	169
(二) 沈阳四环快速路新建工程跨越沈西编组站立交桥 (56+92+92+92+56)m 连续梁 10 号墩边跨梁段现浇模板支架计算书	180
(三) 新建东北东部铁路前阳至庄河段 (DT2 标段) 汤池特大桥 (32+48+32)m	

悬臂浇筑预应力混凝土连续梁边跨现浇梁段模板支撑架专项施工方案	187
(四) 新建东北东部铁路前阳至庄河段 (DT2标段) 汤池特大桥 (60+100+60) m 预应力混凝土连续梁边跨梁段现浇模板支撑架专项施工方案	205
第二节 整孔现浇箱梁模板支撑架专项施工方案案例	223
(一) 新建铁路兰州至乌鲁木齐第二双线 (甘青段) LXS-13标河口村1#特大桥 6×32m孔道岔梁现浇模板支撑架施工技术方案	223
(二) 新建铁路前阳至庄河DT2标段大洋河特大桥 (31.8+5×32.7+31.8) m双线 连续梁现浇模板支架专项施工技术方案	241
(三) 新建铁路前阳至庄河DT2标段大洋河特大桥 (31.8+4×32.7+31.8) m连续 梁现浇模板支架专项施工方案	253
(四) 新建铁路沈阳至丹东客专线本溪枢纽段崔地沟大桥40m跨钢筋混凝土 简支箱梁现浇模板支撑架专项施工技术方案	264
(五) 新建铁路沈阳至丹东客专线本溪枢纽段崔地沟大桥3孔40m跨现浇钢筋 混凝土简支箱梁模板支撑满堂脚手架专项施工方案	275
(六) 沈阳市南北二干线建设工程北塔桥 (A17~A19) 墩间钢筋混凝土现浇梁 模板支架专项施工方案	289
(七) 新建铁路东北东部铁路通道前阳至庄河段花园东路特大桥2~48m简支梁 现浇模板支架专项施工技术方案	298
(八) 新建铁路东北东部铁路通道前阳至庄河段花园东路特大桥下联2~48m单线 简支梁现浇模板支架专项施工方案	312
(九) 新建铁路东北东部铁路通道前阳至庄河段花园东路特大桥2~48m双线简支 钢筋混凝土箱梁现浇模板支撑架专项施工方案	327
第三节 多跨连续梁现浇模板支撑架专项施工方案新建吉林至珲春铁路 JHS-IV标段	344
案例: 牡丹江特大桥(40+64+40)m连续梁现浇混凝土模板支撑架专项施工方案 ...	344
第四节 现浇梁模板支撑架施工实例照片点评	365

第三章 悬臂浇筑连续梁 T 构临时固结专项施工方案

第一节 悬臂浇筑预应力钢筋混凝土连续梁桥墩梁临时固结结构的设计计算方法	395
第二节 悬浇连续梁墩梁临时固结专项施工方案案例	403
一、体内固结专项施工方案案例	403
案例1: 某 (40+64+40) m连续梁悬臂T构体内临时固结施工方案	403
案例2: 新建铁路杭州至长沙客运专线浙江段(HCZJ-6标段)江山港特大桥60+2×100 +60m悬臂浇筑预应力钢筋混凝土连续梁墩梁临时固结专项施工方案	411
案例3: 新建铁路沈阳至丹东客运专线太子河特大桥 (32+48+32) m连续梁悬臂 T构体内临时固结结构施工方案计算书	419
案例4: 新建东北东部铁路前阳至庄河段 (DT2标段) 汤池特大桥 (60+100+60) m 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁墩梁临时固结专项施工方案	424
案例5: 新建东北东部铁路前阳至庄河段 (DT2标段) 汤池特大桥 (32+48+32) m 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁墩梁临时固结专项施工技术方案	433

二、体外固结专项施工方案案例	441
案例：四川省207公路资中县沱江二桥(50m+77m+96m+77m+50m)悬浇预应力钢 筋混凝土连续梁体外临时固结施工技术方案	441
三、体内体外相结合式固结专项施工方案案例	448
案例：大连市甘南路立交桥 (38+60+60+38) m连续梁T构抗倾覆墩梁临时固结 施工技术方案	448
四、T 构临时固结施工实例照片	456
案例：悬臂浇筑连续梁墩梁临时固结工程实例	456

第四章 悬浇梁合拢段临时加劲刚性支撑专项施工方案案例

案例 1:广西沿海铁路黎塘至钦州段扩能改造工程飞龙郁江特大桥 (62+2×100 +62)m 刚构连续梁合拢段临时加劲型刚性支撑专项施工方案	463
案例 2:新建东北东部铁路前阳至庄河段 (DT2 标段) 汤池特大桥 (32+48+48) m 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁合拢段临时加劲型钢支撑约束专项施工方案 ...	472
案例 3:新建东北东部铁路前阳至庄河段 (DT2 标段) 汤池特大桥 (60+100+60) m 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁合拢段临时加劲型钢支撑约束专项施工技术 方案	480
案例 4:新建铁路杭州至长沙客运专线浙江段 (HCZJ-6 标段)江山港特大桥 75+2× 135+75m 悬臂浇筑预应力钢筋混凝土连续梁合拢段临时加劲刚支撑专项 施工方案	488

第五章 现浇梁满堂脚手架倒塌事故的分析与措施

第一节 轻型钢管(脚手架类)现浇构件支撑架常见的倒塌事故分析及安全预防措施	495
第二节 支架倒塌图片案例分析	499

第六章 施工方案相关资料

第一节 悬臂浇筑箱梁施工操作手册	519
第二节 静定结构与超静定结构静力常用计算公式	523
第三节 常用的《结构力学》三弯矩方程式	534
第四节 施工方案设计相关基础资料	536
第五节 轴心受压杆件的稳定系数表	542

第一章

施工临时支撑结构设计计算理论

第一节 压杆的稳定计算理论

一、概述

近年来,在我国工程建设中频繁发生了很多各类支架倒塌事故。这些事故对人民的生命和财产造成了极大损失,个别施工企业因事故而破产,对社会构成了很坏的影响,施工支架安全问题已经得到国家各省市政府的高度重视。

从很多支架倒塌的事故上分析,大多支架存在着偷工并不省料的情况。支架架体庞大笨重,支架总体用料普遍浪费严重。据不完全统计,一般支架用料浪费在30%以上,个别浪费50%以上,却安全稳定性很差,极易发生倒塌事故。这一点也是某些施工企业效益不佳的主要原因之一。究其支架倒塌的主要原因,主要表现在支架结构设计计算理论上,设计者对压杆稳定理论认识不足、理解不透。因此,支架设计在压杆稳定理论上,应当引起施工企业的高度重视和施工安全、经济效益列为管理的重点。

二、对压杆稳定理论的学习

(一) 【JGJ166-2008】《建筑施工碗扣式钢管脚手架安全技术规范》在压杆稳定理论上的体现

1. 总则第1.0.3条:碗扣式钢管脚手架设计应采用结构计算简图进行整体结构稳定性分析,确保架体为几何不变体系。(结构力学概念)

2. 对总则第1.0.3条的条文说明为:

本条对架体结构整体设计的规定体现以下几项原则:

①将脚手架及模板支撑架的空间体系化为平面体系(简化计算结构);

②结构计算简图中将横杆与立杆交汇处的碗扣节点视为“铰接”;

③对脚手架及模板支撑架组成的网络式结构进行机动分析,保证整体结构具备几何不变条件,选出其中的一个静定体系,当整体结构为超静定结构时须忽略多余杆件,绘制成静定的结构计算简图;

④满足整体为几何不变体系条件是:对于双排脚手架沿纵轴 x 方向的两片网络结构应每层至少设一根斜杆;对于模板支撑架(满堂架)应满足沿立杆轴线(包括平面 x 、 y 两个方向)的每行每列网络结构竖向每层不得少于一根斜杆;也可采用侧面增加链杆与建筑结构的柱、墙相连的方法。

(以上要求满堂支架体系形成空间三维网格约束结构)

3. 其他的条文解释

①一般情况下，当架体高度小于或等于10m时可不考虑架体的自重，但当架体高度大于10m时架体自重产生的轴向力不可忽略，应叠加计算。

②如果脚手架根部没有抗拉连接的措施，立杆不能出现拉力。

③斜杆及立杆中的内力值应符合力的平行四边形定理。也就是说：支架杆件内力的平行四边形，是通过斜杆、横杆及立杆相互间传递形成的，缺一不可。力的平行四边形图解如图1-1-1所示。

④第5.6.5条的解释：当架体高宽比较大时，横向风荷载作用极易使立杆产生拉力，它的力学特征实际上就是造成架体的“倾覆”。为避免架体出现“倾覆”的情况，本条规定了架体倾覆验算转化为立杆拉力

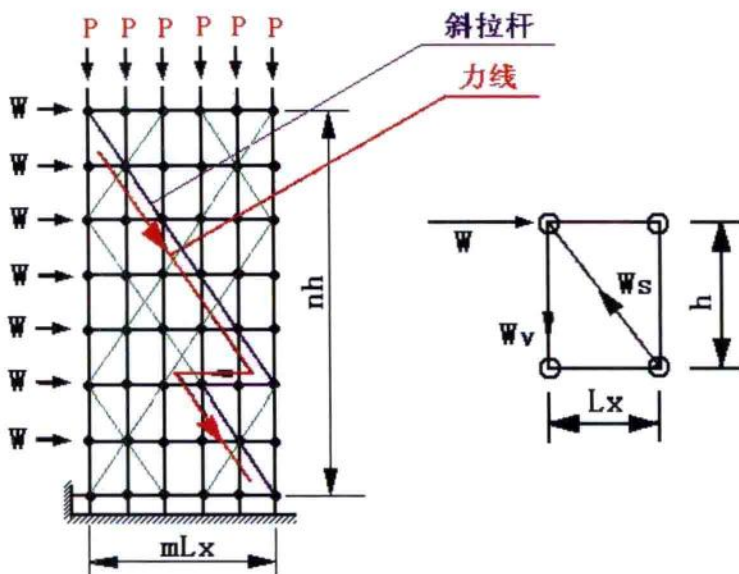


图 1-1-1 (规范中编号图 5.6.4)斜杆内力计算简图
力的平行四边形图解

计算应满足的要求和应采取的安全技术措施（警示对于较窄支架，应增设抗拉措施）。

(二) 【JGJ162-2008】《建筑施工模板安全技术规范》在压杆稳定理论上的表现

第5.1.6条款，模板结构构件的长细比应符合下列规定：

1. 受压杆件长细比：支架立柱及桁架，不应大于150；拉条、缀条、斜支撑等联系构件不应大于200。

2. 受拉构件长细比：钢构件不应大于350，木构件不应大于250。

第5.1.7条款，用扣件式钢管脚手架作支架立柱时，应符合下列规定：

3. 承重的支架柱，其荷载应直接作用于立杆的轴线上，严禁承受偏心荷载，并应按单位立杆轴心受压计算；钢管的初始弯曲率不得大于1/1000，其壁厚应按实际检查结果计算。

4. 当露天支架立柱为群柱架时，高宽比不应大于5；当高宽比大于5时，必须加设抛撑或揽风绳，保证（窄）宽度方向的稳定。

(三) 对《规范》中关于压杆稳定理论要求内容的解读

1. 立杆承载能力是建立在压杆稳定理论上，将竖杆与横杆连接点看做是“铰接”约束点，充分体现了“欧拉公式”约束的结构特征。

2. 立杆承载能力是以上下横杆间的“步高”为自由受压长度计算的。从支架整体而言，是利用局部承载能力代替整体承载能力。现行大多数施工设计方案也是这样计算的。

3. 架体的稳定和承载能力是通过其空间格构水平面、立面的空间三维约束实现的，形成了空间几何不变体系来保证稳定的。

从结构力学原理来讲，压杆失稳是由几何不变体系向几何可变体系转变的结果。铰接三角形结构视为几何不变的刚体，结构整体自由度为零。支架结构刚体稳定分析简图如图1-1-2所示。

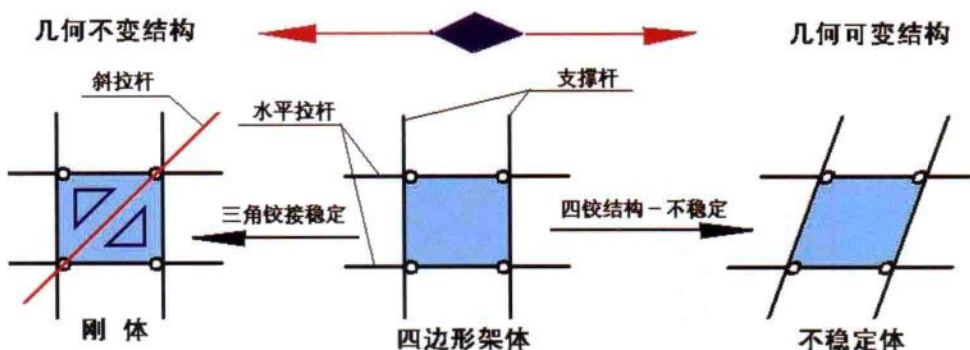


图 1-1-2 支撑架稳定分析示意图

4. 满堂模板支撑架架体高宽比不大于5是稳定支架。若高宽比大于5，属于窄支架，应当进行整体稳定验算，并采用相应的构造拉结措施。如连墙件、连墩件等最有效稳定措施。

5. 满堂脚手架整体稳定空间三维约束结构分析

①对垂直压杆轴心的水平坐标系控制（x和y坐标）不允许位移。是主要控制对象。一旦有了位移，结构约束条件将随之改变，将带来稳定性和承载能力下降。

②对压杆轴线（Z方向）的控制允许压缩有变形。其理由是立杆的铰接结构不约束轴心变形，立杆的刚度也是有限的。

满堂脚手架空间三维约束示意图如图1-1-3所示。

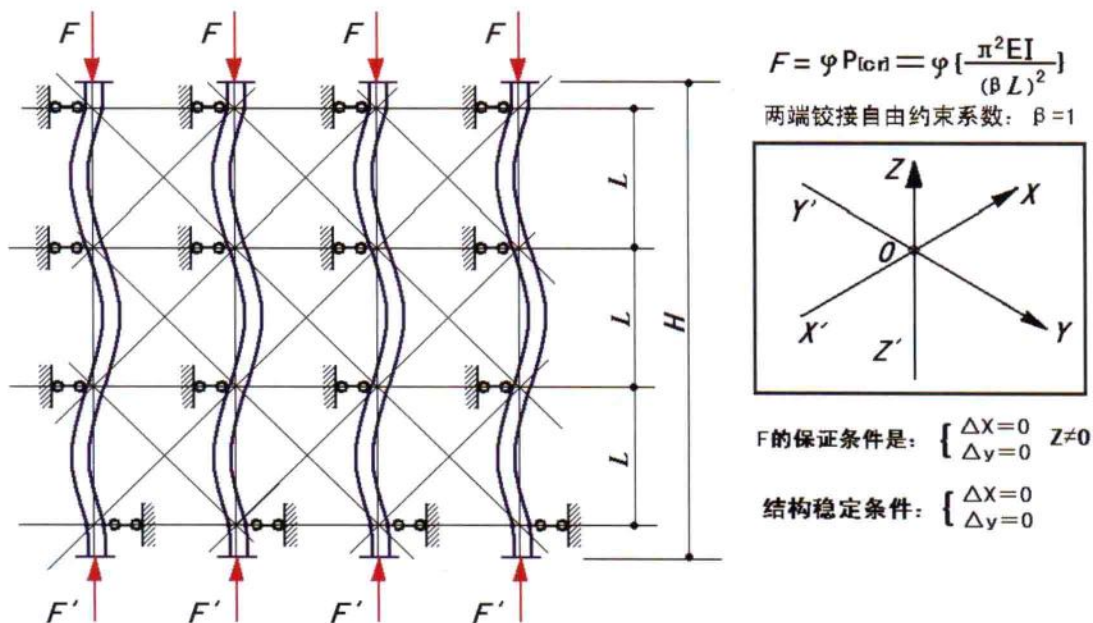


图 1-1-3 满堂脚手架空间三维约束示意图

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》对架体三维的稳定要求如图1-1-4所示。

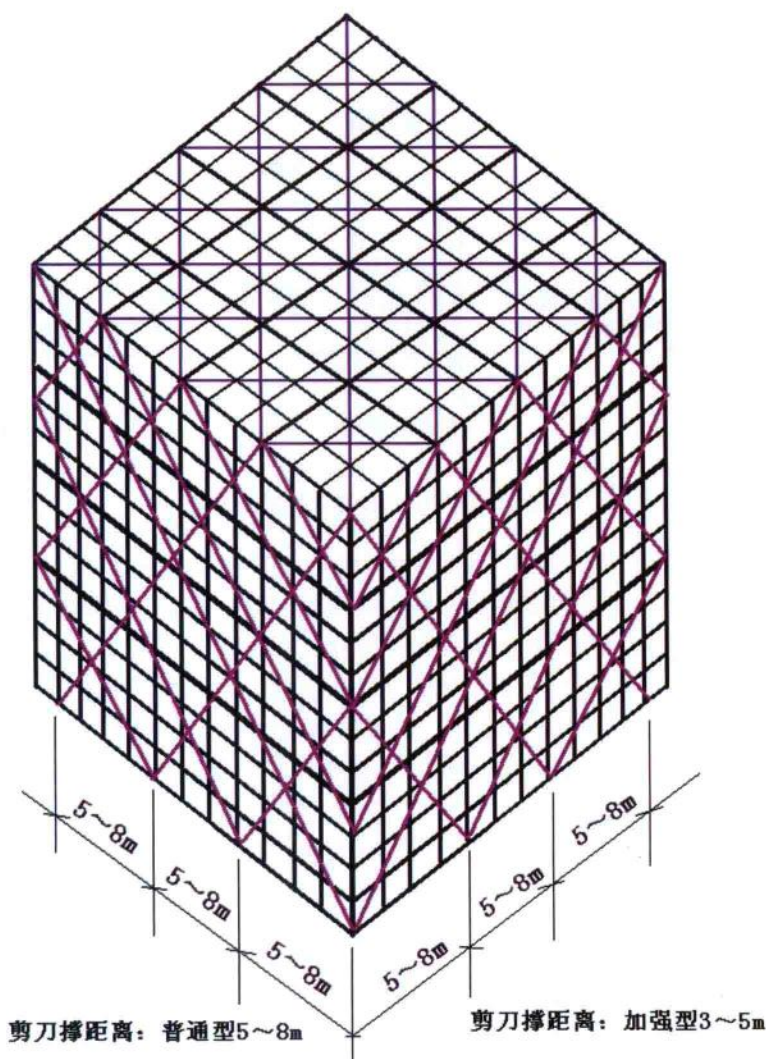


图 1-1-4 水平及竖立面剪刀撑布置示意图

档支撑高度超过 8m,或施工中荷载大于 15kN/m^2 ,或集中线荷载大于 20kN/m 的支撑架,水平剪刀撑至架体底平面距离不宜超过 8m。

三、重温材料力学中压杆稳定的概念

轴心受压构件,当压力 P 的数值不超过某一限界值时,压杆在直线形状下的平衡是稳定的平衡,而当压力增大到该限界值时,压杆在直线形状下的平衡就转化为不稳定的平衡。中心受压直杆所能承受压力的界限值习惯上称之为“临界压力”或称为“临界力”,并用 P_{cr} 表示。

“欧拉公式”是长杆受压临界值计算公式。其受压杆件失稳的条件是:当受压杆件由轴心形状变成曲轴线状态——就判定其失稳。长杆轴心受压稳定分析示意图如图1-1-5所示。

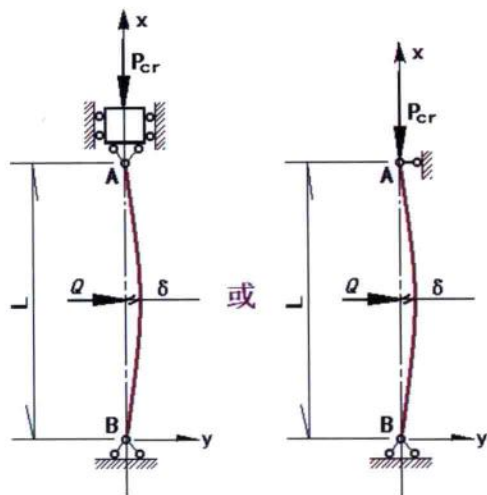


图 1-1-5 长杆轴心受压稳定分析示意图

图示说明：

- 1、轴心受压杆件的失稳条件：
 $\delta > 0$
- 2、受压构件临界承载能力：
欧拉公式： $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\beta L)^2}$
- 3、欧拉公式的可变因子： β
 β 值随着约束条件的改变而改变！

四、压杆稳定理论分析

（一）重温欧拉公式的几点体会

1. 压杆稳定状态是直轴线状态；
2. 欧拉计算公式适用于轴心受压长杆；
3. 欧拉公式结构特征取决于自由约束系数 β ，自由约束系数 β 的特征是端点位移（水平坐标 Δx 、 Δy 和转角位移 $\Delta \alpha$ ）的条件。
4. 在压杆稳定状态下，压杆承载能力与约束条件 β 相对应；
5. 承载能力的大小与自由受压长度 L 成2次方的反比例关系、与受压截面惯性矩 E 成正比关系！

通常把两拐点（约束点）之间的一段长度称为原压杆的“相对长度”，并用 βL 来表示， β 就称为压杆的长度系数。杆端约束越强， β 值就越小，相对地这种压杆的承载力也就越高；反之，杆端约束越弱时，长度系数 β 值就越大，而承载力也就越低。

（二）端点约束条件（水平坐标位移 Δx 、 Δy 和转角位移 $\Delta \alpha$ ）的分析

1. 欧拉公式自由系数 β 值

欧拉计算公式常用有五种受压约束形式，每种约束结构对应一个特定的自由系数 β ，如表1-1-1所示。

表1-1-1 压杆稳定临界承载能力欧拉计算公式及边界条件

支座形式	图示	方程式	极限荷载	
			一般式	$n=1$
两端铰支 $\beta=1$		$\frac{d^2 y}{dx^2} = a^2 \cdot y$ $y = A \cos ax + B \sin ax$ $a^2 = \frac{F}{EI}, M = F \cdot y$	$\frac{n \pi^2}{l^2} EI$	$\frac{\pi^2}{l^2} EI$

续表

支座形式	图示	方程式	极限荷载	
			一般式	$n=1$
一端自由他端固定 $\beta=2$		$\frac{d^2 y}{dx^2} = a^2 \cdot y$ $y = A \cos ax + B \sin ax$ $a^2 = \frac{F}{EI}, M = F \cdot y$	$\frac{(2n-1)^2 \pi^2}{4l^2} EI$	$\frac{\pi^2}{4l^2} EI$
两端固定 $\beta=0.5$		$\frac{d^2 y}{dx^2} + a(y - \frac{M_A}{F}) = 0$ $y = A \cos ax + B \sin ax + \frac{M_A}{F}$ $a^2 = \frac{F}{EI}, M = -F \cdot y + M_A$	$\frac{4\pi^2}{l^2} EI$	$\frac{4\pi^2}{l^2} EI$
一端铰支他端固定 $\beta=0.7$		$\frac{d^2 y}{dx^2} + a^2 \cdot y = \frac{Q}{EI} (l-x)$ $y = A \cos ax + B \sin ax + \frac{Q}{F} (l-x)$ $a^2 = \frac{F}{EI}, Q = \text{水平荷载}$	—	$\frac{2.04\pi^2}{l^2} EI$
两端固定但可沿横向相对移动 $\beta=1$			$\frac{n^2 \pi^2}{l^2} EI$	$\frac{\pi^2}{l^2} EI$

受压杆件的五种约束状态，好比人走、靠、坐、卧、蹲的五种姿势，每种姿势负重的能力各不一样，差距较大，负重的能力取决于腰腿的支撑姿势，也就是对腰杆、腿干的约

表 1-1-2 端部约束自由系数 β 对应的位移条件

类型	β 值	结构形式	上端约束条件	下端约束条件
A	1	两端 铰支	Δx 和 Δy 均 $=0$	Δx 和 Δy 均 $=0$
B	2	上端自由 下端固定	Δx 、 Δy 和 $\Delta \alpha$ 均 $\neq 0$	Δx 、 Δy 和 $\Delta \alpha$ 均 $=0$
C	0.5	两端 固定	Δx 、 Δy 和 $\Delta \alpha$ 均 $=0$	Δx 、 Δy 和 $\Delta \alpha$ 均 $=0$
D	0.70	上端铰支 下端固定	Δx 和 Δy 均 $=0$	Δx 、 Δy 和 $\Delta \alpha$ 均 $=0$
E	1	两端固定但横向相对移动	Δx 、 $\Delta y \neq 0$	Δx 、 Δy 和 $\Delta \alpha$ 均 $=0$

注：在实践中，对“铰接”点的约束方式的做法，常常是限制端点的 x 和 y 位移量，采取锚钉、栓接或桁撑等连接结构，使其 Δx 和 Δy 等于零；对“刚接”节点约束方式的做法，还有限制端点的转角位移，采取群栓、缀板或加筋板焊接等刚性连接结构，使其节点 Δx 和 Δy 、 $\Delta \alpha$ 都等于零，达到刚体约束效应。

束状态。

2. 端部约束自由系数 β 对应的位移条件（如表1-1-2所示）
- 压杆稳定理论总的要点为：一是约束稳定，二是约束保证承载力！
3. 在施工中临时支撑柱常用的结构约束形式（如表1-1-3所示）

表1-1-3 在施工中临时支撑柱常用的结构约束形式

压杆类型	压杆约束形式	图 示	实践中的结构	承载能力
A	两端铰支 $\beta=1$		脚手架和木支撑架属于此类约束,用途较多	第三位
B	一端自由他端固定 $\beta=2$		膺架支撑柱,上端不约束,属于此类结构	最小
C	两端固定 $\beta=0.5$		实践中基本没有	最大
D	一端铰支下端固定 $\beta=0.70$		膺架支撑柱,上端增加约束,类似于此类结构。由于空心管材,截面刚度有限,将底座板视为铰接	第二位
E	两端固定但可沿横向相对移动 $\beta=1$		实践中临时结构基本没有	第三位

在工程实践中，支撑柱的实际约束形式排序：两端铰接的A类最多，其次是D类和B类。在结构设计时，往往把D类也假定成两端铰接。

4. 结构约束形式的改变

在实践中。往往是按两端铰接形式设计的施工技术方案，由于偷工减料做不按方案施工，缺少剪刀斜拉杆、纵横连杆连接约束失效或加大布置间距，就会造成自由受压长度增大，造成实际支撑杆件承载能力大大降低，最后可能导致支架倒塌事故。结构约束形式的改变，只能是承载能力和稳定性降低，没有别的选择。