

# 高层建筑转换层支撑架设计及应用研究\*

姚刚, 彭志, 周忠明

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**针对高层建筑转换层施工的特点,着重论述了高层建筑转换层支撑架的结构构造,讨论了基于承载能力极限状态的支撑架设计方法,论述了转换层支撑架的多层传力方式及力学分析模型,运用了基于极限状态设计理论对重庆时代广场转换层支撑架进行了计算,并结合计算软件SAP,对支撑架受力进行了必要的分析。本文分析结果已用于重庆时代广场转换层支撑架工程。

**关键词:**支撑架; 施工荷载; 转换层; 梁板承载力

**中图分类号:**TU974

**文献标识码:**A

在高层建筑中,常设置有转换层。而高层建筑转换层施工,特别是转换层支撑架的设计愈来愈受到工程施工界的关注。随着支撑架发展的产业化、装配化,目前高层建筑转换层支撑架普遍使用WDJ碗扣式多功能脚手架,该脚手架以48×3.5 mm A3焊接钢管作主构件,具有拼拆快速省力,构造简单,安全可靠,经济适用的特点。

## 1 高层建筑转换层支撑架结构构造要求

高层建筑转换层支撑架具有其特殊性,除满足一般的脚手架搭设规范要求外,还要重点考虑其节点应具有一定的抵抗弯矩或扭矩的能力,碗扣式脚手架因其构造特点近似为刚接,能比较好的满足了此项要求。

碗扣式支撑架一般采用双排或满堂脚手架的形式。考虑到施工实际工况,转换层支撑架应满足整体稳定性以及局部和单肢承载能力要求。同时,转换层支撑架除了满足承受较大的施工荷载的强度要求外,还要在与支承它的各层已成结构的变形协调条件中考察其受力特点。

对于支撑架整体拉结杆也应有较高要求。根据规范要求应设置必要的剪刀撑,同时在薄弱部位还要增设水平加强杆,从而加强支撑架整体及局部的刚度,使支撑架形成稳定结构。

为使施工荷载传递均匀,以及方便支设木模,应在转换层大梁底模下搭设木枋以作为大横杆,让支撑架的撑托扣住。实践证明,木枋大横杆传力稳定,也给施工带来了方便。

## 2 高层建筑转换层支撑架设计计算方法

转换层支撑架由立杆、纵向水平杆、横向水平杆、剪刀撑等构成,这些杆件通过扣件或碗扣连接在立杆上,其节点受到夹紧程度和质量缺陷的影响,呈现一定的柔性,既非铰接也非刚接,属于半刚性连接结构,这给设计建立计算模型带来了困难,同时也影响了计算结果的准确性。另一方面,作为施工设计既要做到简便、安全,还要尽量满足经济的原则。

### 2.1 转换层支撑架荷载效应的组合

\* 收稿日期:2002-12-10

作者简介:姚刚(1963-),四川营山县人,博士,副教授,主要从事土木工程施工技术与管理及教学科研工作。

因转换层支撑架具有的特殊性,即楼层不高,且支撑架搭设在封闭的结构内部,因此一般都不考虑风荷载的作用。支撑架按承载能力极限状态设计,也就是说在考虑支撑架稳定的情况下,需满足各种荷载效应的强度要求。由于各有关基本变量的统计特性,为了全面反映各种因素的变异性,采用下式较为适合施工操作层(即转换层)结构支撑架的实际受力状况,其施工荷载设计表达式  $N$  为:

$$N = 0.9(C_G Q_K + C_1 Q_{1K} + C_2 Q_{2K} + C_3 Q_{3K} + C_4 Q_{4K}) \quad (1)$$

式中:0.9——结构重要性系数。

公式中各荷载标准值及荷载效应系数为:

$Q_K$ ——支撑架自重标准值(每米自重取值见规范《建筑施工脚手架实用手册》),其荷载效应系数  $C_G$  取为 1.2;

$Q_{1K}$ ——转换层结构自重荷载标准值(计算单元取转换层长度为 1m,混凝土容重 25 kN/m<sup>3</sup>),其荷载效应系数  $C_1$  取为 1.2;

$Q_{2K}$ ——模板自重荷载标准值(0.5 kN/m<sup>2</sup>),其荷载效应系数  $C_2$  取为 1.2;

$Q_{3K}$ ——振捣荷载标准值(2 kN/m<sup>2</sup>),其荷载效应系数  $C_3$  取为 1.4;

$Q_{4K}$ ——施工人员及设备荷载标准值(1.0 kN/m<sup>2</sup>),其荷载效应系数  $C_4$  取为 1.4。

## 2.2 转换层支撑架的稳定验算

### 2.2.1 转换层结构各层支撑架施工荷载计算

高层建筑的转换层结构一般都为大体积混凝土结构,其结构自重较大且施工荷载也相对较大。转换层支撑架往往需要设计成由两层或两层以上结构层来承受施工荷载。这时,可以把各结构层视为支撑架的竖向弹性支点,在考虑各层支撑架弹性压缩的前提下,通过竖向变形协调条件求算各层支撑架的受力,如图 1 所示。

按照上述假定以及刚度逐层折减的原则得下式:

$$N_i = \eta_i N_n \quad (2)$$

式中: $N_i$ ——为各层支撑钢管承担的施工荷载;

$N_n$ ——支撑架传至底层的施工荷载(假设支撑架搭设为  $n$  层);

$\eta_i$ ——为各层支撑承担的施工荷载与传至底层的施工荷载  $N_n$  的比值。

图 1 中  $N$  为转换层施工荷载,且  $N = N_1$ 。

通过变形协调及内力平衡方程,由以下两式求得:

$$\eta_i = \eta_{i+1} + \left[ \sum_{j=i+1}^n (\eta_j / G_j) \right] K_{i+1} \quad (3)$$

$$G_i = EA / L_i \quad (4)$$

式中: $\eta_{i+1}$ ——第  $i+1$  层支撑的施工荷载与传至底层的施工荷载  $N_n$  的比值;

$G_i$ ——各层钢支撑的刚度,相应  $G_{i+1}$  为第  $i+1$  层钢支撑的刚度;

$L_i$ ——第  $i$  层支撑钢管的支撑长度(横杆只看作控制钢管稳定);

$E$ ——钢管弹性模量;

$A$ ——钢管有效截面积;

$K_i$ ——各层梁板结构的刚度(转换层梁板刚度  $K_1 = 0$ );相应  $K_{i+1}$  为第  $i+1$  层梁板的刚度(可以测出)。

底层楼板承担支撑架传下的施工荷载,可设边界条件  $\eta_n = 1$ ,

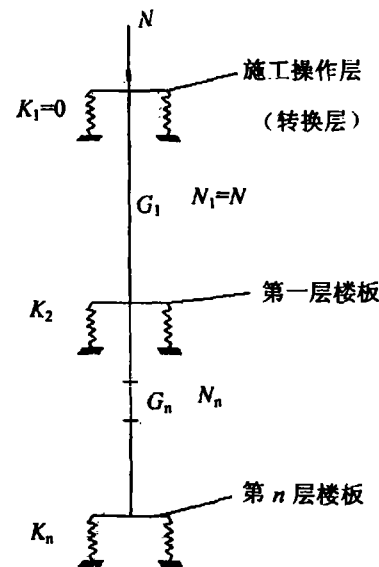


图 1 转换层多层支撑传力模型

加之转换层施工荷载  $N$  已知,可求得各楼层支撑架内力  $N_i$ ,进而可验算支撑架的稳定性及楼层的梁板承载力。重庆时代广场转换层支撑架设计时验算了转换层下层楼板的承载力,证明可以承受转换层施工荷载,因此未进行  $N_2$ (即底层支撑架)值的推导。

### 2.2.2 转换层支撑架整体稳定分析

其计算步骤为:

1) 转换层施工荷载主要由支撑架自重、钢筋混凝土自重荷载标准值、模板自重标准值、振捣混凝土时产生的振捣荷载标准值、施工人员及设备荷载标准值组成。

#### 2) 支撑架整体稳定验算

支撑架整体稳定计算较为复杂,一般按实际受力情况简化为局部单肢杆件的稳定验算。计算式根据 2.1 中的(1)式简化为:

$$N/\varphi A \leq f_u/\gamma_R \quad (5)$$

式中: $N$ ——立杆验算截面处的轴心力设计值(施工荷载分配到立杆上的最大值);

$\varphi$ ——轴心受压杆件的稳定系数,可查整体稳定性长度系数(《建筑施工脚手架实用手册》求得);

$A$ ——钢管截面积;

$f_u$ ——Q235 钢抗压强度(标准值);

$\gamma_R$ ——抗力调整系数(取值为 1.325,见杜荣军《建筑施工脚手架实用手册》)。

### 2.2.3 单肢杆件的局部稳定性分析

考虑到局部杆件受力分配不均匀,即有些单杆虽然受力相对较小,但支撑架部分立柱段在洞口情况及偏心荷载作用下,其计算长度系数  $\mu'$  比整体稳定验算的  $\mu$  取值大。查局部稳定性长度系数表(《建筑施工脚手架实用手册》),由  $\mu'$  得到稳定系数  $\varphi$  值就较小,因此还需进行单肢杆件的稳定性计算。综合了影响支撑架失稳的各种因素,由于支撑架各杆件搭设间距较小,支撑架的  $\mu'$  值小于 1.5(参考双排架的  $\mu'$  值)。由表可知,边立杆  $\mu'$  最小,所以只验算边立杆的单肢稳定即可。计算式为:  $N_i/\varphi A$ ,  $N_i$  为边立杆承受的施工荷载。

## 3 对重庆时代广场梁式转换层支撑架的设计计算

### 3.1 重庆时代广场转换层支撑架正常使用极限能力状态设计计算

重庆时代广场地下 3 层,地面 42 层,地面标高 158 m。转换层采用常见的梁式转换层,结构形式为框筒体系,转换梁的功能为托墙式,底部为大空间剪力墙结构。

在重庆时代广场工程施工中,转换层支撑架搭设是其中的难点和重点,根据工程的具体结构形式和条件,其支撑架设计采用了简便、实用的方法,并结合计算软件,对承受较大施工荷载的支撑架受力进行了分析。由于时代广场的转换层最大梁  $b \times h$  为  $2\,000 \times 2\,500$  mm,其作为承重用途的支撑架,实际作用的施工荷载超过相应规范规定,在施工时需对转换层支撑架进行设计。根据转换层大梁的实际情况,选择了大梁下承载力最薄弱的部位,作为验算对象。

在验算中,取  $2\,000 \times 2\,500$  mm 的转换层大梁支撑架作为计算模型。支撑竖杆按间距为  $450 \times 600$  mm 进行搭设,即沿梁长方向按 450 mm 进行搭设,沿梁宽方向按 600 mm 进行搭设,大、小横杆步距为 1 200 mm。搭设方式采用木枋作小横杆,支撑转换层大梁底模,用顶托支撑木枋,施工荷载通过木枋以轴向荷载传给立杆,立杆再将其传递给下层梁板,如图 2。

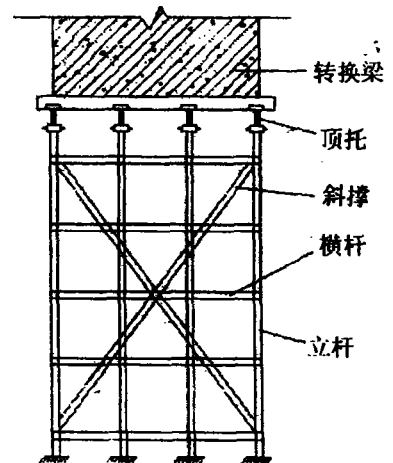


图 2 转换梁支撑架构造简图

根据 2.2.2 和 2.2.3 中转换层支撑架设计计算方法,将受施工荷载最大的第一层作为验算控制对象,得到第一层支撑架的计算结果如下表( $N/\text{mm}^2$ )。

整体稳定验算		单肢杆件稳定验算( $N_i/\varphi A$ )	
$N/\varphi A$	$f_u/\gamma_R$	$N_i/\varphi A$	$f_u/\gamma_R$
71	155	72	155

### 3.2 SAP 计算软件对重庆时代广场转换层支撑架结构分析

转换层支撑架为三维空间结构,用 SAP 程序进行分析时,建立如下图所示的计算模型,纵向取三跨,并考虑按照实际搭设情况,用了斜撑。用空间桁架建模,考虑到碗扣式脚手架节点抗剪性能强,连接可靠,各节点都近似为刚接,而把支座近似为铰接。支撑架的顶托传递施工荷载,因此,考虑在桁架顶层节点作用集中荷载。其计算模型如图 3。

经过 SAP 分析,其立杆的侧向最大挠度不超过 1 mm,其挠度能满足小于  $1/1\,000 L$  的要求。支座反力计算结果见表 1。

表 1 支座反力计算结构(单位:kN)

角点反力	边支座反力(纵向)	边支座反力(横向)	中间支座反力
23.56	21.89	21.52	22.32

SAP 分析的最大支反力与荷载效应组合设计法计算得的支反力相差不超过 6%,造成结果的微弱差异主要是荷载效应组合设计法把支撑架剪刀撑看作构造措施,及对杆件的计算长度系数  $\mu$  的取值与实际有一定差异。而 SAP 计算模型则让剪刀撑参与受力,使角点支反力的分配增大,同时,计算模型中的节点刚接假定对此差异的形成也有一定的影响;同时,重庆时代广场转换层下层楼板在设计时考虑到防止过大变形,楼板厚度设计为 250 mm,为满足施工技术设计的方便性,SAP 计算模型假定楼板无变形对计算结果有一定影响。

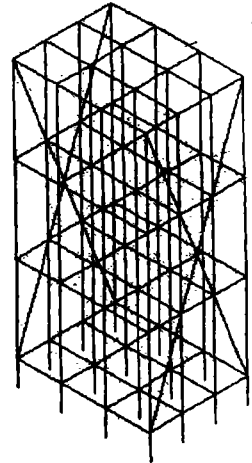


图 3 支撑架 sap 计算模型

## 4 结语

通过重庆时代广场转换层支撑架的施工实践表明,按上述两种分析方法所得结果,其转换层支撑架系统是稳固可靠的,能承受施工荷载,施工中,未出现变形超标及失稳现象;同时,梁板承载力能满足要求,梁板未出现裂缝。此设计方法对转换层支撑架施工有很好的指导作用,支撑架能有效的发挥作用,有着良好的经济效果。

## 参考文献:

- [1] 杜荣军. 建筑施工脚手架实用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [2] 手册编写组. 建筑施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [3] 姚刚. 土木工程施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [4] 魏明钟. 钢结构[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2000.
- [5] 赵志缙. 高层建筑施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [6] 同济大学, 重庆建筑大学, 哈尔滨建筑大学. 建筑施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [7] D. W. White, J. F. Hajjar, Buckling models and stability design of steel frames: a unified approach[J]. Journal of Constructional steel Research, 1997, 42(3): 3-6.

(下转第 98 页)

- [6] 江泽民. 全面建设小康社会, 开创中国特色社会主义事业新局面[M]. 北京: 人民出版社, 2002.
- [7] 江泽民. 高举邓小平理论伟大旗帜, 把建设有中国特色社会主义事业全面推向二十一世纪[M]. 北京: 人民出版社, 1997.
- [8] 中华人民共和国宪法[M]. 北京: 法律出版社, 1999.

## Virtual Shareholdings – Concept of Reform Mode for SOEs

LI An – yuan

(Financial Audit Center of Logistical Sector, Second Artillery, Beijing 100800, P. R. China)

**Abstract:** According to the requirement of "deepening SOE reform" proposed at the China's 16th National People's Congress, considering the practicality of the socialistic public ownership in China, absorbing innovatively the positive factors of capitalistic shareholding system to carry out virtual shareholding reform by using virtual share right as breakthrough point and to construct a modern corporation system with the character of socialistic public ownership. Virtual shareholding system is centered on the confirmation of corporation laborer's virtual share right, using the basic principle of shareholding system as framework and distribution of enterprise profits with state participation and to confirm distribution proportion.

**Keywords:** virtual; shareholding system; SOE; mode; concept

---

(上接第 76 页)

## Research on Design and Application of Support Frame for High – rise Building Transfer Floor

YAO Gang, PENG Zhi, ZHOU Zhong – min

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** In this paper, the support frame structure of high – rise building transfer floor is discussed and the method of design based on limited state and the method of conveying loading for multi – level are expounded. According to the design theory, the support frame of Chongqing Times Square are calculated combining the use of calculating software "SAP" to make analysis of support frame, the results are used in design of the support floor of Chongqing Times Square Project.

**Keywords:** support frame; construction loading; transfer floor; bearing capacity of beam plate