

文章编号: 1673-9469(2012)01-0015-04

## 新规范对大跨度非对称框架结构设计的影响

王宁宁

(河北工业大学 土木工程系 天津 300401)

**摘要:** 以平面、竖向多项不规则的大跨度钢-混凝土组合复杂高层建筑为背景,利用结构分析设计软件PKPM中的SATWE程序对结构模型进行抗震弹性分析,考察了抗弯钢-混凝土框架的抗震性能,并研究分析新版规范对此类结构设计带来的影响、配筋变化及引起变化的原因等。

**关键词:** 非对称; SATWE; 抗震特性; 规范; 含钢量

**中图分类号:** TU375.4

**文献标识码:** A

### The impact of new specification for structure of the framework large-span asymmetric

WANG Ning-ning

(Department of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

**Abstract:** The complex high-rise building which is a large span steel-concrete composite has some plane and vertical irregular. So that this paper uses program SATWE, which is a part of structural analysis and design software PKPM, to analyze the seismic elastic of structural model and the seismic behavior of bending steel-concrete framework. The studies presented in this paper highlight the influence of the new standards to such structure's reinforcement configuration and the reasons for any changes, etc.

**Key words:** asymmetric; SATWE; seismic response; standards; the amount of steel

某公建共5层,其中有3个夹层,主体高度为19.6 m,总高度为30.2 m,建筑面积12 800 m<sup>2</sup>,结构设计使用年限为50年(该公建要求按100年耐久性考虑结构措施)。主体结构采用钢筋混凝土框架结构,外部建筑造型采用曲线型钢架。该建筑物平面收进大于25%,局部梁悬挑大于4 m,考虑结构偶然偏心的扭转位移比大于1.2,属于扭转不规则,刚度方面,1层小于2-4层的80%,即竖向刚度有突变,此外,建筑造型钢架一端落在地面±0.00上,另一端落在建筑物顶层,最大水平跨度为32 m,为平面、竖向多项不规则的大跨度钢-混凝土组合复杂高层建筑。工程抗震设防类别为丙类,抗震等级为一级,处于8度地震区。

该工程设计施工时遵循的《建筑设计抗震规范》和《混凝土结构设计规范》为2002年发布的规

范(以下分别简称旧抗规<sup>[2]</sup>和旧混凝土规范<sup>[3]</sup>),目前我国实施的是2010年发布的新规范(以下分别简称新抗规<sup>[4]</sup>和新混凝土规范<sup>[5]</sup>)。

新规范相对于旧规范提出了许多新的要求及结构构造措施,可能造成原设计不能完全符合现行规范的要求。本文将以此工程为背景,研究新版规范对此类结构的设计带来的影响。

## 1 结构的抗震特性分析

### 1.1 SATWE 计算模型

本文所采用的模型为建筑结构空间有限元分析模型<sup>[1]</sup>。结构平面布置图(为简便起见,仅给出布置较复杂的第二层平面布置图)见图1。

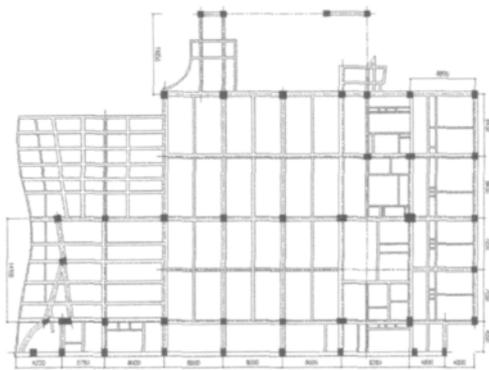


图1 结构平面布置图

Fig.1 The plane layout of structure

该结构主体层高由下向上分别为 4.4 m, 底部夹层 3.2 m, 1-2 层间夹层 3.2 m, 2-3 层间夹层 2.8 m。结构 3-5 层北侧悬挑梁大于 4 m, 图中多处出现弧形梁、曲线梁, 并存在斜撑等构件。

## 1.2 结构抗震特性对比分析

本建筑结构顶部造型钢架与混凝土主体的连接为铰接, 故以下研究使用的模型均不考虑顶部造型钢架, 只取混凝土主体部分进行分析比较。涉及到的层数包含建筑物夹层, 即, 该建筑物共 8 层。

抗震基本特性: 在结构的多遇地震反应分析中, SATWE 软件提供了振型分解反应谱法和弹性

动力时程分析两种方法, 本文采用的是前种方法。

鉴于新旧规范存在的差异, 分别使用 PK-PM2010 版(对应于 2010 年发布的新规范)和 PK-PM2008 版(对应于 2002 年发布的旧规范)对结构进行模态分析。表 1 为两种版本计算结果的对比。

从表 1 可以看出: 新旧两版 SATWE 计算下的 X、Y 方向的有效质量系数均在 95% 以上, 符合《高层建筑混凝土结构技术规程》<sup>[6]</sup> 中第 5.1.13 条之规定, 即振型参与质量不小于总质量的 90%, 说明该计算所设定的振型数是足够的。

振型: 根据结构的前三阶振型图分析该结构的动力特性: 第一、二振型主要为 X、Y 向平动, 伴随一定的扭转振动; 第三振型表现为扭转振型。由此, 结构在前三阶振型中均不同程度地表现出平动与扭转藕联的情况。

结构周期: 我国规范均规定, 质量与刚度分布明显不对称的结构, 应计算双向水平地震作用下的扭转影响。在计算地震力时, 振型个数的选取应遵循我国《建筑抗震设计规范》的规定, 按扭转耦联振型分解法计算时, 各楼层可取两个正交的水平位移和一个转角共三个自由度计算结构的地震作用和作用效应。鉴于本建筑的不规则情况, 扭转振动会对结构整体产生较大影响, 取前 15 阶振型进行计算。

表 1 2010 版和 2008 版计算的抗震基本特性比较

Tab.1 The comparison of seismic behavior calculated according to 2010 edition and 2008 edition

	2010 版	2008 版
有效质量系数	X 方向 98.62%	X 方向 98.08%
	Y 方向 98.59%	Y 方向 96.87%
周期(s)	T1 = 1.0080, T2 = 0.9869	T1 = 0.9706, T2 = 0.9524
	T3 = 0.8370, T4 = 0.384	T3 = 0.8083, T4 = 0.3732
	T5 = 0.3693, T6 = 0.3182	T5 = 0.3577, T6 = 0.3074
	.....	.....
	扭转周期/第一平动周期	0.83
最大层间位移角	X 向 1/611; Y 向 1/656	X 向 1/653; Y 向 1/679
最大层间位移角/平均位移角	X 向 1.29; Y 向 1.22	X 向 1.26; Y 向 1.14
基底总剪力(kN)	Q <sub>x</sub> = 13484kN = 6.52% W	Q <sub>x</sub> = 13079kN = 6.10% W
	Q <sub>y</sub> = 14005kN = 6.77% W	Q <sub>y</sub> = 14490kN = 6.80% W

注: W 为楼层总重量(kN)。

计算表明,X、Y方向的有效质量系数分别为98.62%和98.59%,符合《高层建筑混凝土结构技术规程》中第5.1.13条规定,即振型参与质量不小于总质量的90%,说明该计算所设定的振型数是足够的。

结构位移:利用新版SATWE进行结构多遇地震下的反应分析,结果表明:该框架结构的最大层间位移角为1/611,满足《高层建筑混凝土结构技术规程》中框架结构最大层间位移角限值1/550的要求,校核框架柱的轴压比和配筋均满足新规范要求,说明本工程在多遇地震作用下是安全的。

## 2 新规范对结构设计的影响

### 2.1 框架结构含钢量变化对比

新规范的提出必然会对结构设计造成一定程度的影响,本节将就新旧规范不同要求下大跨度非对称框架结构的钢筋用量变化作出对比,从而对新规范有一个更全面的认识。柱、梁含钢量的比较结果分别见表2、表3。

### 2.2 框架结构含钢量变化原因

柱最小配筋率:新抗规对柱截面纵向受力钢筋的最小总配筋率提出了新的要求。表4给出了框架结构的柱截面纵向钢筋最小配筋率。

表2 柱含钢量变化比较

Tab.2 The comparison of ratio of steel skeleton in column

层号	柱主筋/t			柱箍筋/t			柱含钢量 变化
	旧规范	新规范	变化	旧规范	新规范	变化	
1	20.57	23.81	15.75%	15.18	14.27	-5.99%	6.52%
2	8.91	10.13	15.06%	9.62	9.32	-3.12%	4.96%
3	9.99	10.85	8.61%	9.67	9.08	-6.10%	1.37%
4	11.96	12.15	1.59%	10.17	9.42	-7.37%	-3.34%
5	7.08	7.96	12.43%	7.91	7.21	-8.85%	1.20%
6	7	7.77	11%	7.96	7.29	-8.42%	-
7	14.29	15.21	6.44%	8.03	7.86	-2.12%	3.36%
8	11.92	13.87	16.36%	7.33	7.1	-3.12%	8.94%
总计	91.72	101.75	10.94%	75.97	71.55	-5.82%	3.35%

表3 梁含钢量变化比较

Tab.3 The comparison of ratio of steel skeleton in beam

层号	柱主筋/t			柱箍筋/t			柱含钢量 变化
	旧规范	新规范	变化	旧规范	新规范	变化	
1	36.132	33.83	-6.37%	10.119	9.865	-2.51%	-5.53%
2	80.481	78.131	-2.92%	18.858	17.675	-6.27%	-3.56%
3	21.008	19.889	-5.33%	5.372	5.012	-6.70%	-5.61%
4	75.023	72.456	-3.42%	18.136	17.062	-5.92%	-3.91%
5	19.725	18.672	-5.34%	5.24	4.85	-7.44%	-5.78%
6	53.015	51.447	-2.96%	13.218	12.68	-4.07%	-3.18%
7	47.455	45.925	-3.22%	12.495	11.731	-6.11%	-3.83%
8	43.32	43.204	-0.27%	13.18	12.842	-2.56%	-0.80%
总计	376.159	363.554	-3.35%	96.618	91.717	-5.07%	-3.70%

表4 柱截面纵向钢筋的最小总配筋率(%)

Tab.4 The minimum longitudinal reinforcement ratio in column section

	抗震等级			
	1	2	3	4
中柱和柱	1	0.8	0.7	0.6
角柱	1.1(1.2)	0.9(1.0)	0.8(0.9)	0.7(0.8)

注:表中括号内数值为旧抗规中规定的数值,未加括号的为新抗规中规定的数值;新抗规规定,钢筋强度标准值小于400MPa时,表中数值应增加0.1

对于该工程,抗震等级为一级,所用最大钢筋强度标准值为360MPa,按照新抗规的相关规定,柱截面纵向钢筋的最小总配筋率较旧抗规中柱和边柱提高了0.1%,角柱不变。

弯矩设计值增大系数:框架的梁柱节点处,柱端组合的弯矩设计值公式为

$$\sum M_c = \eta_c \sum M_b \quad (1)$$

式中  $\eta_c$  - 框架柱端弯矩增大系数。

柱端弯矩增大系数对框架结构,抗震等级为一、二、三、四级的取值,新抗规较旧抗规均有所提高,新规范分别取1.7、1.5、1.3、1.2,旧抗规分别取1.4、1.2、1.1、1.0。对于本建筑结构,柱端弯矩增大系数有1.4提高到了1.7,即柱端组合弯矩设计值提高了近22%。

此外,框架结构的底层柱下端截面组合的弯矩设计值,新抗规较旧抗规的规定也有所提高,一、二、三、四级的增大系数分别由先前的1.5、1.25、1.15、1.0提高至1.7、1.5、1.3、1.2。

剪力设计值增大系数:框架柱的剪力设计值公式为

$$V = \eta_{vc} (M_c^b + M_c^t) H_n \quad (2)$$

式中  $\eta_{vc}$  - 柱剪力增大系数。

柱剪力增大系数对框架结构,抗震等级为一、二、三、四级的取值,新抗规较旧抗规均有所提高,新规范分别取1.5、1.3、1.2、1.1,旧抗规分别取1.4、1.2、1.1、1.0。对于本建筑结构,柱端弯矩增大系数有1.4提高到了1.5,即柱端组合弯矩设计值提高了近7.2%。

此外,偏心受压构件计算公式也有所改变,这种变化通常会引起柱钢筋减少,这里不再具体分析。

### 3 结语

由以上所示框架结构含钢量变化对比及原因分析不难发现,新抗规较之旧抗规更加强调“强柱弱梁”这一概念。此外,新抗规和新混凝土规范均取消了HPB235级钢筋,将钢筋类别修订为HPB300、HRBF335、HRBF400、HRB500、HRBF500共5种,并修改了受拉、受剪、受扭、受冲切的多项钢筋强度限制规则,由此引起的梁、柱箍筋强度等级的变化必然也会引起含钢量的变化。

### 参考文献:

- [1] 多层及高层建筑结构空间有限元分析及设计软件(SATWE S-3)用户手册及技术条件[M]. 北京:中国建筑科学研究院PKPM CAD工程部,2010.
- [2] GB5011-2001,建筑抗震设计规范[S].
- [3] GB5011-2002,混凝土结构设计规范[S].
- [4] GB5011-2010,建筑抗震设计规范[S].
- [5] GB5011-2010,混凝土结构设计规范[S].
- [6] JGJ3-2002,高层建筑混凝土结构技术规程[S].

(责任编辑 刘存英)

(上接第14页)

- [2] 韩庆华,艾军. 预应力正方四角锥组合网架结构试验研究[J]. 建筑结构学报,2004,25(5): 55-5.
- [3] 韩庆华,裴波,杨志,等. 预应力组合网架结构的理论分析与应用研究[J]. 建筑结构学报,2004,25(1): 87-92.
- [4] 英明,韩庆华. 斜放四角锥预应力组合网架结构的数值分析试验研究及软件开发[D]. 天津:天津大学,2005.
- [5] 孟文清,莫宗云,田明星. 索-混凝土板预应力组合网架静力特性[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2010,27(1): 4-6.

- [6] 张春玉,韩雪,姜封国. 基于系统可靠度的预应力空间网格结构优化[J]. 黑龙江科技学院学报,2009,19(4): 306-309.
- [7] 蒋友谅. 非线性有限元法[M]. 北京:北京工业出版社,2001.
- [8] 张可乐,周立欣,董亚男. CFRP加固带裂缝双向板的计算及有限元分析[J]. 黑龙江科技学院学报,2009,19(4): 301-305.
- [9] 王勖成. 有限单元法[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

(责任编辑 马立)