

文章编号: 1009-9700(2009)04-0058-04

某空旷大跨度体育场馆的建模分析

黄杏辉

(广东省冶金建筑设计研究院, 广东 广州 510080)

摘要:针对体育场馆类空旷大跨度结构的设计特点,运用有限元程序,对某公司文化体育中心结构的整体受力性能、薄弱部位及大跨度网架屋盖对主体结构受力性能的影响与协同工作等问题进行了模拟分析.计算表明,此类结构具有扭转不规则性,薄弱部位常出现在空旷结构部位和弱连接部位;空旷框架部分存在相对变形大的现象.由于框架柱缺乏有效约束,其计算长度较大, $P-\Delta$ 效应明显;网架屋盖在水平力及地震作用下对主体结构有不可忽视的作用,应考虑网架屋盖与下部框架结构的协同工作.实际设计中可考虑将网架部分按照一定的规则等代为钢梁,来近似考虑网架的刚度进行整体设计.

关键词:空旷大跨度结构; 楼板假定; 结构性能分析; 屋盖简化设计方法

中图分类号: TP 15; TU 245.2; TU 31

文献标识码: B

A finite element analysis for a large-span open stadium structure

HUANG Xing-hui

(Guangdong Metallurgical and Architectural Design Institute, Guangzhou 510080, Guangdong)

Abstract: A simulation analysis was done for a large-span open stadium structure using a finite element software, in which the load-bearing capability and weak locations of the stadium structure were considered, and the effects of the mesh-roof of the stadium on the load-bearing performance of the stadium's main structure elaborated. It was shown that the structure had an irregularity in torsion, the weak locations usually occurred in the open structure and at the weakly joined locations, and big deformations mostly took place in the open framework structure. A relatively large calculated length of the framework pillars was yielded, and a striking $P-\Delta$ effect generated, due to the lack of effective constraints to the pillars. The large-span mesh-roof would have an un-negligible influence on the main structure if a horizontal force or earthquake takes place, therefore a cooperative load-bearing function between the mesh roof and the framework pillars must be taken into account in designing the structure. In practice, the design of the entire structure could be conducted based on the stiffness of the mesh-roof structure calculated by dividing the entire roof into several equivalent steel girders.

Key words: large-span open structure; floor hypothesis; performance analysis of structure; simplified design method of roof structure

1 工程概况

本体育馆外轮廓尺寸长为 54.5 m, 宽为 52.4 m, 主体结构为框架结构体系, 屋盖为钢网架结构, 建筑高度为 17.0 m, 其二层结构平面如图 1.

建筑功能分区如下: 场地左侧(1~7 轴)为篮球场, 高 17.0 m, 球场两侧设置斜板看台; 场地右侧(7~12 轴)为游泳馆, 高 17.0 m. 场地下侧(A~F 轴)为四层活动室, 首层层高为 4.8 m, 其余层高

为 3.6 m. 下部结构为钢筋混凝土框架结构, 屋盖采用钢网架结构, 其跨度分别为 34.2 m 及 20.3 m. 主要设计参数为: 混凝土强度等级为框架柱 C35、梁、板 C30; 钢筋采用 HPB235 级及 HRB400 级; 网架钢材采用 Q235B 钢. 主要设计活荷载标准值: 斜看台 3.0 kN/m^2 ; 活动室 4.0 kN/m^2 ; 储藏室 5.0 kN/m^2 ; 楼梯过道 3.5 kN/m^2 .

从建筑平面可以看出, 本建筑楼板大开洞, 不连续, 顶部具有大跨度, 篮球场两侧布置斜看台, 左侧

收稿日期: 2009-02-27

作者简介: 黄杏辉, (1982-), 男, 2005 年毕业于武汉理工大学土木工程专业, 助理工程师.

看台通过一过道连接,属于平面不规则结构.采用 SATWE 软件试算,结构周期 $T_1 \sim T_3$ 分别为 1.223 1, 1.053 2, 0.959 1 s.从计算结果可以看出结构具有扭转不规则性,结构竖向刚度较小,自振周期偏大,且 X 方向及 Y 方向有效质量系数难以达到 0.9,说明其结构平面布置不太合理,需要采取有效措施,以改善结构受力性能.在分析过程中也发现,楼板模型的假定及屋盖结构对整体计算结果影响很大,合理选取楼板模型和对钢屋盖结构进行简化对建模分析是非常重要的.

2 楼板模型的假定

从理论上讲,楼板可以采用平板元或壳元来

模拟.在目前设计中,楼板假定常分为刚性楼板和弹性楼板假定两种情况.刚性楼板是假定楼板平面内刚度无限大,平面外刚度为零,内力计算时不考虑平面内外变形,与板厚无关.弹性楼板则具有平面内和平面外刚度,设计计算时必需以房间为单元进行定义,与板厚有关.可分以下三种情况:弹性楼板 6:程序真实考虑楼板平面内、外刚度对结构的影响,采用壳单元.弹性楼板 3:程序假定楼板平面内刚度为无限大,而仅考虑平面外刚度对结构的影响,采用厚板弯曲单元.弹性膜:程序真实考虑楼板平面内刚度,而假定平面外刚度为零,采用平面应力膜单元.

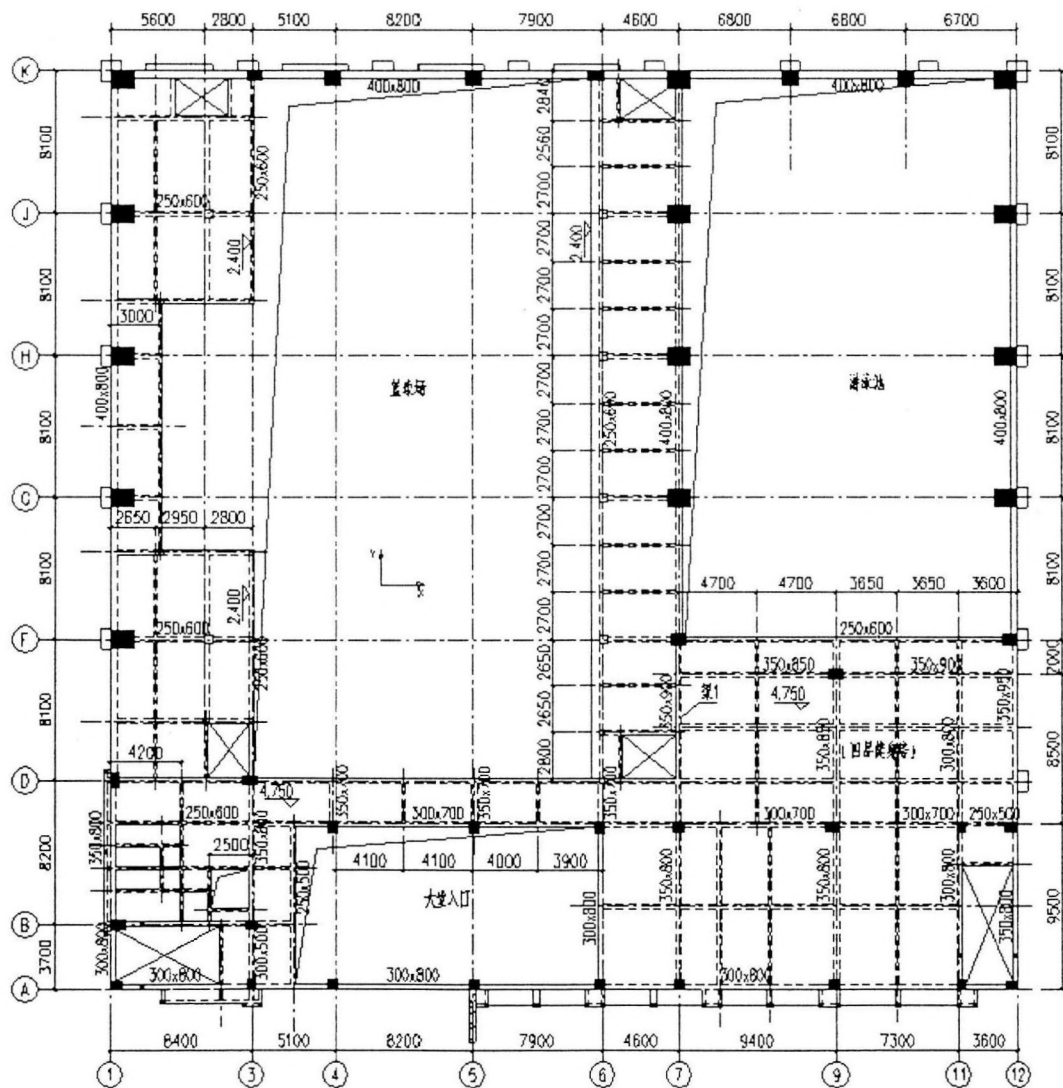


图 1 2 层结构平面

为了更好地理解不同楼板模型假定对体育馆空旷结构受力性能的影响,分别采用刚性板、弹

性膜、弹性板 6 三种模式的楼板假定进行分析计算.其周期、位移及梁 1 的内力分别如表 1、表 2、表 3.

表1 周期计算

| 周期 | 弹性板6 | 弹性膜 | 刚性板 |
|--------|---------|---------|---------|
| T1(X向) | 1.080 8 | 1.085 7 | 0.946 3 |
| T2(Y向) | 0.886 9 | 0.888 9 | 0.814 4 |
| T3(扭转) | 0.877 9 | 0.880 8 | 0.671 4 |

表2 位移角计算

| 层间位移角 | 弹性板6 | 弹性膜 | 刚性板 |
|-------|---------|---------|---------|
| X向 | 1/1 713 | 1/1 704 | 1/6 224 |
| Y向 | 1/2 002 | 1/1 988 | 1/7 487 |

表3 梁1的内力及配筋计算

| 内力与配筋 | 弹性板6 | 弹性膜 | 刚性板 |
|---------|-------|-------|-------|
| -M/kNm | -607 | -623 | -597 |
| 负弯矩 Ast | 2 200 | 2200 | 2 100 |
| +M/kNm | 536 | 556 | 534 |
| 正弯矩 Ast | 1 900 | 2 000 | 1 900 |

分析结果表明:1)与弹性板6相比,刚性板假定下的平面外刚度为0,小于弹性板6的平面外刚度,但由于程序考虑了刚性板假定下楼板的平面内刚度为无穷大和梁的刚度放大系数这两种因素,使得结构的周期和位移均比弹性板6小,这也说明刚性板假定下结构的刚度大于弹性板6假定下结构的刚度.2)由于在弹性膜假定下楼板的平面内刚度为有限刚,而平面外刚度为0,因此与弹性板6和刚性板假定相比,其结构的刚度最小,结构的位移和周期均最大.3)通过对内力和配筋的分析可以看出,三种计算模式下的梁端负弯矩和梁跨中弯矩相差并不大,但采用弹性板6和弹性膜假定下梁的跨中纵向钢筋的配筋面积明显大于采用刚性板假定下梁的配筋面积.4)由于弹性板6模式考虑了楼板的平面外刚度,其结构使梁的弯矩及配筋偏小,安全度降低.

3 结构受力分析

本结构采用SATWE软件及ETABS软件进行分析计算.计算基本条件为:抗震设防七度二级,设计地震分组第一组(0.1g),场地类别为II类,基本风压0.5 kN/m²,计算考虑扭转耦联及双向地震作用,并考虑偶然偏心的影响.

经建模分析发现,由于建筑功能的限制,结构平面布置不对称,导致了结构扭转不规则,这从初步设计时计算的前三个周期均为扭转周期可以得出.通过对前几个振型作用下结构整体受力变形的分析,发现大跨度空旷框架的变形比其它整体性较好的框架变形明显要大,节点位移相差很大;由于大跨度空

旷框架柱缺乏有效约束,其计算长度较大,P-Δ效应明显、周期较长,位移较大;从整体变形图可以看出,在某些高振型作用下,空旷框架跃层柱会产生局部振动的现象,说明其存在薄弱部位,整体性差.

为解决以上问题,在不影响建筑使用功能的前提下,采用以下方法进行加强和调整,加大空旷部分框架柱截面,适当减小四层活动室部分框架柱的截面及楼板厚度.空旷部分框架柱由原来800×800改为沿X方向1400×1000及沿Y方向800×1000,而四层活动室部分柱则由原来的700×700改为600×700,沿A轴为600×600.在与四层活动室相连的空旷框架柱之间,沿每层周边设置通长框架梁,以加强框架柱的连接,减少扭转效应.其截面为400×800,局部跨度较大处设置为350×900.修改后发现结构扭转不规则性得到了明显改善,第1扭转周期与平动周期的比值能满足规范的要求.

计算结果表明,结构可以不考虑P-Δ效应,但这是对结构整体稳定计算而言的.考虑到空旷大跨度框架部分缺乏有效约束,计算长度较大,对于某些薄弱部位的局部构件,其变形是不可忽略的,故本工程应考虑P-Δ效应.另外,对空旷部位框架柱也采用了一些加强措施,如提高框架柱纵向配筋率及配箍率,减小柱子轴压比,增强周围框架梁的抗扭能力等.

4 考虑钢屋盖与主体结构整体分析的简化方法

在目前结构设计中,对屋盖为钢网架的体育馆设计,通常会将网架部分与主体结构分开,空间网架部分由网架公司设计,并由他们提供竖向和水平内力,设计人员将由网架引起的内力输入到柱顶后,再进行主体结构的分析.由于在实际设计中,难以做到下部结构同上部钢屋盖结构整体建模分析,故经常采用一些简化的设计方法.对于网架的刚度,通常在建模时有以下几种做法:1)假设网架部分完全刚性,按刚性板假定进行设计;2)忽略网架部分刚度,按屋顶开洞口计算;3)将网架部分按照一定的规则等代为钢梁,来近似考虑网架的刚度进行整体设计.

表4列出了3种简化法的自振周期及位移.可以看出:由于钢屋盖的存在,约束了结构变形,增大了结构整体刚度,使得结构自振周期减小.从建模中发现,方法一及方法二无法考虑网架刚度对结构周期、位移及内力和配筋的影响,计算误差较大,且方法一将网架刚度扩大化,计算结果偏刚;方法二由于

忽略网架刚度,结构的周期、位移等计算结果偏柔,同时,因为没有屋面的水平约束,使顶层的框架柱会出现单方向悬臂,从而使柱计算长度系数增大.第三种方法主要计算原则是首先计算网架在竖向荷载作用下的节点位移,其次再将网架沿柱子方向等代成若干根钢梁,使这些梁的最大竖向位移与网架的竖向最大节点位移基本相同.经过等代处理后可以看出,方法三的平动振型参与系数成倍增多,且在两向较为均匀,说明等代钢梁增强了结构整体抗扭能力.

表 4 屋盖结构 3 种简化方法计算结果

| 结构类型 | 周期/s | | | 最大位移/mm | |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | T1 | T2 | T3 | X | Y |
| 刚性板 | 1.070 0 | 1.005 1 | 0.7 970 | 1/1 272 | 1/1 486 |
| 屋顶大开洞 | 1.587 9 | 1.237 7 | 1.059 9 | 1/1 242 | 1/1 408 |
| 等代钢梁 | 1.096 6 | 0.924 8 | 0.885 3 | 1/1 263 | 1/1 414 |

这也表明,大跨度钢屋盖在水平力作用下对主体结构有不可忽视的作用,设计时在有条件的前提下,应尽可能地整体建模分析计算,而实际中难以做到.一般而言,大跨度屋盖可按等代钢梁的方法考虑,其误差在工程允许范围以内.需要说明的是,钢网架受荷变形将会对支座处产生较大水平力,引起柱端弯矩成倍增加,不仅会增大柱截面和配筋,而且对基础亦有影响.因此当按铰接设计时,不管是整体建模还是按等代钢梁法,均应释放支座内力,采用铰接和滑动支座的形式.

5 结论及建议

1) 由于体育馆类空旷大跨度结构,楼板较少,

大开洞,存在大量的弹性节点和狭长板带,因此楼板按普通的刚性板假定是不太合理的,其假定可按膜单元进行.

2) 分析表明,此类空旷结构表现为扭转不规则和承载力突变特性,局部构件可能不满足规范要求,应采用不同力学模型的计算软件及有限元方法进行变形和内力对比分析,以防止出现局部破坏,影响整体结构抗震性能.

3) 根据计算结果,结构薄弱部位常出现在空旷框架部位,易发生屈服,设计时应采取加强措施,加强节点约束,适当提高构件配筋率和配箍率,提高结构的延性.

4) 大跨度钢屋盖提高了结构整体抗扭能力,使结构变形减少.在水平力及地震力作用下对主体结构有不可忽视的作用,设计时宜进行整体计算分析.在实际设计中,对钢屋盖可按照一定规则等代为钢梁,来近似考虑网架对整体结构的作用,其计算精度基本能满足工程设计的需要.

参考文献

- [1] 建筑抗震设计规范(GB50011-2001).
- [2] 网架结构设计与施工规程(JGJ7-91).
- [3] 沈蒲生. 楼盖设计原理[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 王心田. 建筑结构(概念与设计)[M]. 天津:天津大学出版社,2004.
- [5] 陈岱林,赵兵,刘民易. PKPMCAD 软件问题解惑及工程应用实例解析[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

(上接第 53 页)

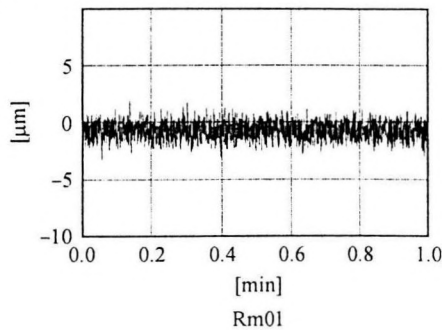


图 3 改进后的信号图

效果:实施后信号干扰基本消失,AGC 控制趋于稳定,为薄规格生产提供了基础条件.

4.6 对“停机处置”进行改进

1) 测厚仪由高压部分、精密测量和数据处理组成,而且又处于恶劣的工作环境,出现停机故障无法避免.在这种状况下继续生产会产生大量的有质量问题的产品,如果停机会造成全线停产,造成巨大损失.改进方法:板形仪也是一种测量厚度分布的仪表,将其临时转换成厚度仪继续生产.

2) 没有板型仪时,要保证系统可靠的运行.需制订应急操作方案.

效果:实施后基本消除了厚度仪异常停机故障造成的生产事故.