

某火车站上下结构共同作用对钢结构屋盖抗震性能的影响-1

某火车站上下结构共同作用对钢结构屋盖抗震性能的影响

段有恒

(中国建筑科学研究院有限公司北京构力科技有限公司 北京 100013)

[摘要] 某火车站上部屋盖是114m*152.5m的马鞍形大跨度钢结构，为双层网壳，下部为混凝土剪力墙结构。为研究下部混凝土与上部钢结构屋盖共同工作对钢结构屋盖抗震性能的影响。本文采用改变上下部结构连接刚度的整体模型和仅考虑上部钢结构与地面连接的模型进行对比分析。分析结果表明，对于钢屋盖的抗震设计应考虑上下部结构共同工作的影响，下部混凝土结构对上部钢结构屋盖的地震响应会产生放大效果。当上下部结构采用一定刚度的滑动支座连接时，不仅能够减小上部钢结构屋盖的地震响应，同时也能减小整体结构受到的地震剪力。

[关键词] 共同工作；反应谱；鞭梢效应

1 工程概况

某火车站由东西侧站房及坐落于其上的马鞍形屋盖组成(见图1)。站房结构为钢筋混凝土框架剪力墙结构，地上三层，高度为21.6m。平台上方为马鞍形钢结构屋盖。东西方向跨度为96m-114m，南北方向长度152.5m，总高度40.5m，采用双层网壳结构，最厚处为5m，最薄处为2.5m。为支撑屋盖在屋盖两侧各设置六道钢筋混凝土剪力墙。从传力途径和承力方式来看，该结构屋盖具有明显的拱形结构的受力特征，单从造型来看，又具有网壳结构的几何特征。

这种复杂结构体系由于技术难度高、工作量大，一般在进行结构分析时，较少的考虑上下部结构共同工作，从而不能反映出下部混凝土、上部钢结构与混凝土结构连接支座约束刚度对于大跨度钢结构受力状态及安全性能的影响。本文对工程进行进一步分析，考虑在地震作用下上下结构共同工作对屋盖钢结构的影响，确保结构安全，并总结规律，为其他同类工程提供参考^[1-2]。

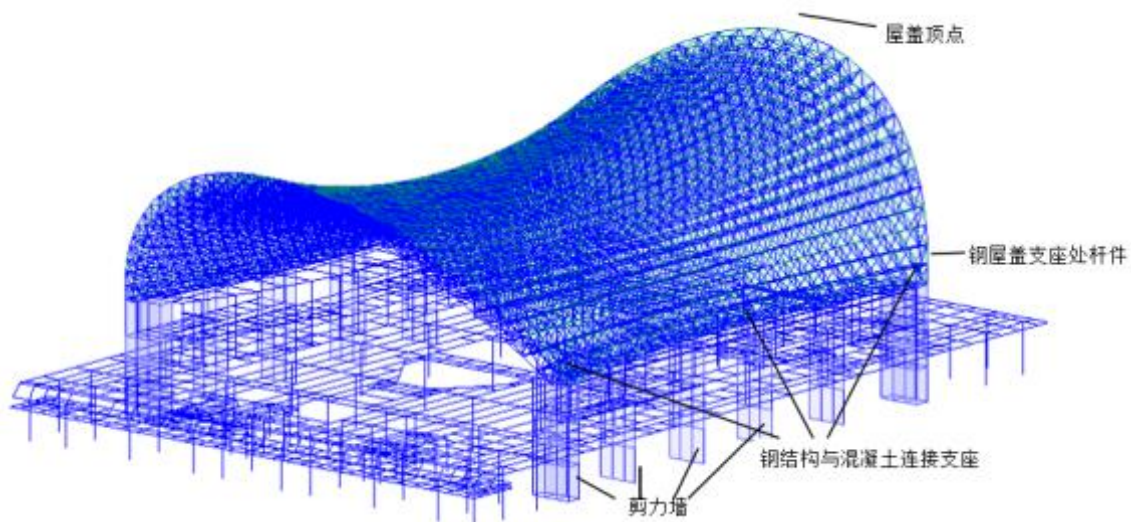


图1 整体结构计算模型

2 结构计算模型及地震动参数

整体计算模型包括了屋盖大跨度钢结构与下部混凝土结构。本文通过改变上部钢结构与下部混凝土的连接支座的约束条件对结构的进行了地震响应分析，具体电算模型如下：1) 整体计算模型，钢结构与下部混凝土结构铰接2) 整体结构计算模型，钢结构与下部混凝土结构在屋盖跨度方向采用刚度 $k=20000\text{KN/m}$ 的滑动支座连接，其他两个方向约束3) 仅有屋盖钢结构的计算模型，钢屋盖与地面使用与下部混凝土结构刚度等效的弹簧连接4) 仅有屋盖钢结构的计算模型，钢屋盖与地面铰接。

3 结构的自振特性及整体刚度

结构各阶振型及自振频率计算结果见图2及表1。本文仅列出了结构前三阶振型，不同计算模型的结构的第六阶振型均为屋盖钢结构的自振，模型1与模型2在第七阶处出现了下部混凝土结构的振型。模型1-4的结构第一阶自振频率的比值为1: 0.70: 1: 1.12。

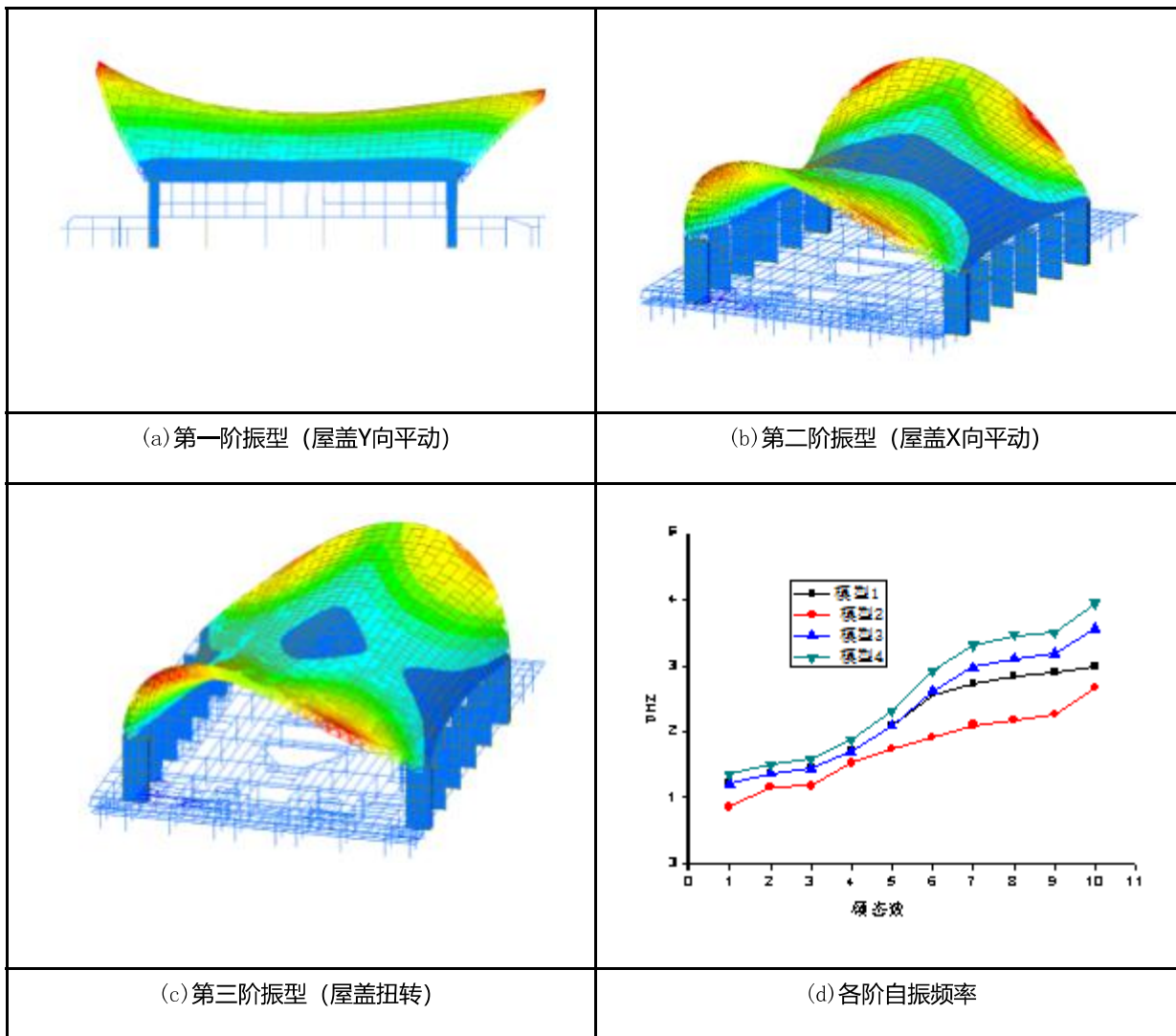


图2 结构各阶振型及自振频率

结构自振频率 表1

		模型1	模型2	模型3	模型4
自振频率/Hz	f1	1.21	0.85	1.21	1.36
	f2	1.36	1.15	1.36	1.51

f3	1.44	1.17	1.44	1.59
----	------	------	------	------

分析可知：

- (1) 模型1的一阶自振频率比模型2高30%，将上下连接处采用滑动支座能够有效减小整体结构的刚度。
- (2) 模型1与模型3的各阶自振频率相似，说明将下部混凝土结构模拟为等刚度弹簧支座的模型3刚度与模型1相似。同时第7阶振型处产生了差异，这是由于模型1的第7阶振型有下部混凝土参与引起的。
- (3) 模型4的1阶自振频率比模型1高12%，说明仅考虑上部钢结构与地面铰接的计算模型刚度大于整体计算模型。

进一步分析表明，对于此结构，下部混凝土结构刚度远大于上部钢结构刚度，同时下部混凝土结构及屋盖钢结构与下部混凝土之间的连接方式对结构整体刚度有很大的影响。

4 小震作用下反应谱分析

考虑结构的恒载及0.5倍活载，结构阻尼比取0.02，仅取单向地震作用，对结构进行小震反应谱分析。计算结构的地震剪力及屋盖顶点（见图1）的位移，计算结果见表2：

小震作用下结构主要力学性能对比 表2

主要力学响应指标		模型1	模型2	模型3	模型4
地震作用屋盖总剪力/kN	X向地震	1065	849	748	758
	Y向地震	1410	1092	822	971
	Z向地震	120	101	91	92
地震作用整体结构总剪力/kN	X向地震	14583	12567	/	/
	Y向地震	18596	15118	/	/
	Z向地震	1456	1218	/	/
屋盖结构顶点位移/mm	X向地震	7.70	9.39	6	5.96
	Y向地震	8.08	9.24	6	5.85
	Z向地震	1.44	1.89	0.87	0.82

分析可知：

- (1) 模型1~模型4的屋盖的X向地震剪力的比值为1: 0.79: 0.70: 0.71，Y向地震剪力的比值为1: 0.77: 0.58: 0.68，可以看出将上下部连接采用滑动支座时能够减小地震剪力约20%，对于构件的安全是有利的。模型3与模型4所得的屋盖地震剪力小于考虑整体模型（模型1）的计算结果。

- (2) 对比模型1与模型2整体结构的地震剪力，模型2较模型1X向地震下总剪力减小了2000KN，Y向地震下总剪力减小了3400KN。从表中可以看出，屋盖钢结构仅吸收了小部分地震力，大部分地震剪力由下部混凝土结构承担。故采用模型2会大幅度减小下部混凝土结构所承受的地震力，对于下部混凝土结构是有利的。

(3) 模型1~模型4屋盖顶点处X向地震下位移比值为1: 1.21: 0.78: 0.77, X向地震下位移比值为1: 1.14: 0.74: 0.72。上下部连接采用滑动支座时地震下结构位移会增加约20%, 同时采用模型3与模型4的计算结果与模型1相比均偏小。

进一步分析可知, 无论采用将下部混凝土结构用弹簧等刚度替代的模型3还是直接将上部钢结构与地面铰接的模型4, 所得的计算结果远小于实际情况, 对于结构的设计是不安全的。产生此现象的原因为: 当下部混凝土结构与屋盖结构通过支座连接为整体时, 屋盖结构自身具有较强的抗侧刚度, 从而分配了下部混凝土结构的地震作用。这与高层建筑结构在地震作用下被放大的“鞭梢效应”同理。屋盖钢结构的抗震设计必须考虑上下部结构共同工作的影响。

将上下部结构采用滑动支座连接时, 上部钢结构及下部混凝土结构索承受的地震剪力均有一定幅度的减小, 同时结构的位移有小幅度增加, 模型2在地震下最大位移为9.39mm小于规范要求的 $h/300=40.5\text{m}/300=13.5\text{mm}$, 故采用模型2对于结构的抗震是有利的。

5 结论

(1) 考虑下部混凝土结构的作用和改变混凝土与钢结构的连接刚度会对整体结构刚度产生一定影响, 仅考虑上部钢结构的计算模型的刚度比考虑整体结构模型的刚度大, 上下部结构通过滑动支座连接的模型刚度比上下部结构铰接结构的刚度小。

(2) 与仅考虑上部钢结构的模型相比, 考虑上下部结构共同工作的影响时, 屋盖的地震总水平剪力、顶点位移显著增大。这与高层建筑结构在地震作用下被放大的“鞭梢效应”同理, 因此进行屋盖钢结构抗震设计时必须考虑上下部结构共同工作的影响, 采用简化的仅考虑上部钢结构的计算模型的设计是不安全的。

(3) 上下部结构连接节点的约束刚度对屋盖结构的及下部混凝土结构的地震响应及安全性能产生较大的影响。上下部结构通过滑动支座连接, 上部结构地震下的位移约增加22%, 处于规范要求范围内, 同时上部钢结构的地震剪力约减小20%, 下部混凝土结构吸收的地震剪力约减小15%。因此对于此结构, 采用部分释放约束的滑动支座可有效的消能减震、对下部混凝土设计有利, 同时有效提高上部钢结构的抗震安全性能。

参 考 文 献

- [1] 曹资,薛素铎.空间结构抗震理论与设计[M]. 北京: 科学出版社. 2005.
- [2] 张拥军,陈丹,刘武华.宁夏花儿艺术馆钢结构-混凝土结构共同工作分析研究[J], 宁夏工程技术2010 (3) : 253-258