

某超限高层顶部曲柱受力性能研究

高 品

中国建筑设计研究院有限公司 北京 100037

【摘要】本文介绍了深圳（7度区）某超限复杂连接双塔结构顶部的异形曲柱受力分析情况。曲柱采用型钢混凝土截面，在盈建科模型中以多段折线模拟。文章列出了典型曲柱小震弹性、中震不屈服及大震弹塑性计算结果，并对计算结果做出了定量分析。结果表明，曲柱在目标组合工况下，受力状态符合设计之初预设的性能目标，满足承载力要求。

【关键词】曲柱；地震作用；性能目标

1 工程概况

深圳市某党校工程上部建筑包括学术塔、服务塔和裙房三个部分，其中学术塔上部结构为28层，建筑高度为148.800米；服务塔上部结构为23层，高度为99.200米。该项目为复杂连接超限工程，并已通过超限高层审查。根据建筑造型需求，两塔顶部均包含异形曲柱。其中，服务塔顶曲柱底标高为84.400m，顶标高为98.950m，总高约14.550m，最大水平投影长度约10.560m。本文选取服务塔顶部部分曲柱进行了小震、中震及大震作用下的受力性能分析^[1]，以判断其在各地震水准下的性能表现，为施工图设计提供依据。

2 结构体系

塔楼采用钢筋混凝土框架-核心筒结构体系。为减小解决服务塔顶梁悬挑长度过大，设置曲柱支撑于悬挑梁端，以达到协同受力的目的。考虑上部梁会出现较大拉应力，曲柱受力较为复杂，梁及曲柱均采用型钢混凝土截面，充分利用型钢承载力高的因素，有效减小构件整体截面，提高构件延性^[2]。设计过程中对所有曲柱均进行了性能化分析，本文主要列出服务塔顶部S-3轴、S-6轴及S-B轴处曲柱分析结果。图1为服务塔顶曲柱局部三维模型。

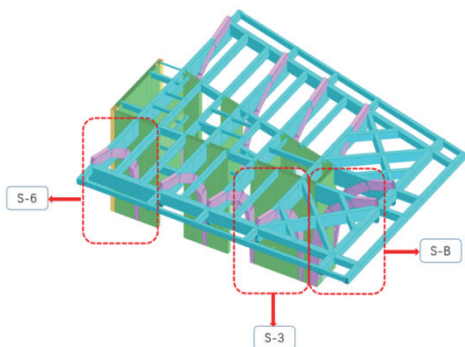


图1 服务塔顶曲柱三维模型

3 小震作用下曲柱受力性能分析

对曲柱进行了小震弹性分析，S-6轴曲柱截面为 500×1200 （含型钢 $800 \times 200 \times 30 \times 40$ ），承载力目标为弹性，其最大弯矩为 $3802 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，轴向压力为 2019 kN ，轴压比为0.08，满足小震弹性的承载力目标。

S-3轴曲柱截面为 500×1200 （含型钢 $800 \times 200 \times 30 \times 40$ ），承载力目标为弹性，其最大弯矩为 $5427 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，轴向压力为 2557 kN ，轴压比为0.09，满足小震弹性的承载力目标。

S-B轴曲柱截面为 500×1200 （含型钢 $800 \times 200 \times 30 \times 40$ ），承载力目标为弹性，其最大弯矩为 $5519 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，轴向压力为 2939 kN ，轴压比为0.11，满足小震弹性的承载力目标。

4 中震作用下曲柱受力性能分析

对曲柱进行了中震不屈服分析，S-3轴曲柱截面为 500×1200 （含型钢 $800 \times 200 \times 30 \times 40$ ），承载力目标为中震不屈服，其最大弯矩为 $4587 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，轴向压力为 1969 kN ，轴向受压承载力 35045 kN ，满足中震不屈服的承载力目标。

S-6轴曲柱截面为 500×1200 （含型钢 $800 \times 200 \times 30 \times 40$ ），承载力目标为中震不屈服，其最大弯矩为 $2569 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，轴向压力为 1464 kN ，轴向受压承载力 35045 kN ，满足中震不屈服的承载力目标。

S-B轴曲柱截面为 500×1200 （含型钢 $800 \times 200 \times 30 \times 40$ ），承载力目标为中震不屈服，其最大弯矩为 $4582 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ，轴向压力为 2413 kN ，轴向受压承载力 35045 kN ，满足中震不屈服的承载力目标。

5 罕遇地震动力弹塑性分析

本工程动力弹塑性分析采用SAUSAGE高性能结构动力弹塑性计算软件^[3]。

5.1 地震波的选用

在进行时程分析中,地震波的选择是十分关键的一步。地震波是发生地震时,从震源传播出去的振动波,反映了地震能量的传递过程。弹塑性时程分析是一种重要的地震工程分析方法,主要用于评估结构在地震作用下的反应。为了确保分析结果的准确性可靠,需要根据实际工程需求选择合适的地震波。在选取地震波时,应考虑其地震强度。地震强度是指地震波所携带的能量大小,通常用震级或地震烈度来表示。其次,地震波的选取还需要考虑其频谱特性,地震波的频谱特性反映了地震波的不同频率成分。地震波的选取还应考虑场地及建筑物特性。

根据GB50011-2010^[4],本报告采用三组强震地面运动加速度记录作为非线性动力时程分析的地震输入。在三组强震记录中,一组为与设计目标反应谱相符的人工模拟地面加速度时程。其余二组为与设计目标反应谱相符的真实强震地面加速度记录,每组地震波包括三个方向的数据:两个水平方向和一个竖直方向。

地震波基本信息如下:

(1) TH1TG040_CORINTH_GREECE_2-24-1981_CORINTH

天然波1,计算时长26.3s;

(2) TH2TG04_DARFIELD_NEW_ZEALAND_9-3-2010_SBRC,

天然波2,计算时长44.2s;

(3) RH1TG040,人工波,计算时长21.2s。

计算分析时,每一组地震记录分别进行三向输入,三个方向峰值加速度的比值为 $x:y:z=1.00:0.85:0.65$,最大峰值调整到220gal。对三组地震波分别按主计算了六种工况,具体如下:

TH1_x 1 (X向): 0.85 (Y向): 0.65 (竖向)

TH1_y 0.85 (X向): 1 (Y向): 0.65 (竖向)

TH2_x 1 (X向): 0.85 (Y向): 0.65 (竖向)

TH2_y 0.85 (X向): 1 (Y向): 0.65 (竖向)

RH1_x 1 (X向): 0.85 (Y向): 0.65 (竖向)

RH1_y 0.85 (X向): 1 (Y向): 0.65 (竖向)

5.2 弹塑性分析结果

文章分析了曲柱在罕遇地震下,受压损伤情况、钢筋塑性应变、内部型钢屈服情况等。

通过对顶部曲柱的抗震性能水平、受压损伤、受拉损伤,以及P-M承载力验算,可以得到如下结论:

顶部曲柱以轻微损坏和轻度损坏为主,少量构件出现中度损坏。

曲柱受压损伤较小,损伤主要由混凝土受拉损伤及钢筋塑性应变水平控制。

曲柱均满足抗剪承载力弹性,对产生中度损坏的曲柱绘制主要受弯方向P-M曲线,均能满足正截面承载力不屈服。

6 结束语

本项目双塔顶部存在多处型钢混凝土曲柱,通过在小震、中震及大震作用的分析,计算结构显示所选取的典型曲柱可以满足小震弹性、中震不屈服的性能目标,在大震弹塑性计算下,可满足抗剪弹性,抗弯不屈服的性能目标。柱内型钢与钢筋混凝土可达到协同受力的目标,有效减小了构件的破坏程度,同时提高了构件的承载力、耗能能力及延性。计算结果还显示,由于曲柱曲率较大,整体呈内凹形,受力形态上非典型柱受力模式,相较于普通斜柱的轴力为主,曲柱受力更加接近于异形悬挑梁,与上部被支撑的大跨度悬挑梁形成了协同受力体系。后续设计中将继续研究两方面内容,一是对水平梁与曲柱连接节点位置进行有限元分析,为节点详图设计提供计算依据^[5],二是研究不同配筋率对型钢混凝土曲柱抗震性能的影响。学术塔顶部曲柱从楼面梁上生根转换,对转换梁设计要求高,在施工图设计前将对学术塔曲柱及转换梁作专项分析。

参考文献:

[1] 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ 3-2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

[2] 陈勤, 吴晖, 严士超. 钢筋混凝土异形柱框架斜撑结构特性探讨[J]. 建筑结构, 2001 (05): 19-22.

[3] 王欣, 李志山. SAUSAGE软件动力弹塑性时程分析方法及其应用[J]. 建筑结构, 2012, 42 (S2): 7-11.

[4] 建筑抗震设计规范: GB50011-2010 [S]. 2016年版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

[5] 白国良, 赵金全, 杜宁军等. 型钢混凝土斜梁-柱边节点抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2018, 39 (01): 43-51.

作者简介:

高品, 硕士, 中级工程师, 一级注册结构工程师, 主要从事结构设计工作。