

某高层螺旋坡道变形及舒适度研究

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之间高层钢结构螺旋坡道的变形及舒适度研究。螺旋坡道采用钢桁架结构形式,并通过吊杆与两侧塔楼连接。采用 Rhino7 及 gh 参数化建模,通过 SAP2000 分析了该结构在各荷载工况下的变形,判定了其是否符合特殊定义的变形指标。根据规范要求,采用时程分析方法对其舒适度进行了分析。结果表明,该高层螺旋坡道结构方案可行,变形指标符合要求,同时可满足规范中对其竖向及横向振动舒适度的要求。

关键词: 螺旋坡道; 荷载工况; 变形; 振动舒适度

1 引言

当代建筑设计中,楼梯已经由纯功能性要素逐渐转变为功能性、装饰性兼备,甚至装饰性功能为主的建筑要素。楼梯的平面布置、楼梯的形态特点、楼梯的尺度感等等,都会影响楼梯在建筑空间中的呈现效果。这其中建筑大空间中的螺旋楼梯往往能起到眼前一亮的视觉效果。

根据平面布置的结构形式,螺旋楼梯分为封闭式楼梯和开敞式楼梯。其中,封闭式楼梯外围由墙体或玻璃封闭,根据楼梯的线型可营造出流动感。开放式楼梯则将楼梯的弧线美更加直观的呈现出来,所以,建筑师往往利用螺旋楼梯的特点去营造各种建筑物的特殊空间。

2 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。裙房以上每隔四层,两塔之间有连桥连接(强连接),连桥区域中部悬挂有钢结构螺旋坡道。坡道起点标高为 15.800m,坡道终止标高为 80.600m,总高 64.800m。本文针对该螺旋坡道进行各工况下变形及舒适度研究。

3 结构设计使用年限及安全等级

上部结构的设计基准周期为 50 年,设计工作年限 50 年,结构安全等级二级,结构重要性系数 1.0,抗震设防烈度 7 度,抗震设防类别为丙类。

4 整体结构体系

服务塔采用钢筋混凝土框架-核心筒结构,学术塔采用钢筋混凝土框架-边筒结构。螺旋坡道采用钢桁架截面,四周通过吊杆与主体结构相连,连接方式为销轴连接。塔楼主体计算时螺旋坡道以荷载形式施加于主体相应节点位置。在坡道的中部,通过踏步与主体结构相连。

5 螺旋坡道结构

螺旋坡道桁架结构宽度为 1.5m,结构厚度为 0.45m(上下弦中心距离),每隔 3 层,通过 8 根拉杆与塔楼连接;上下 3 层坡道桁架之间通过直拉杆或斜拉杆连接^[1]。

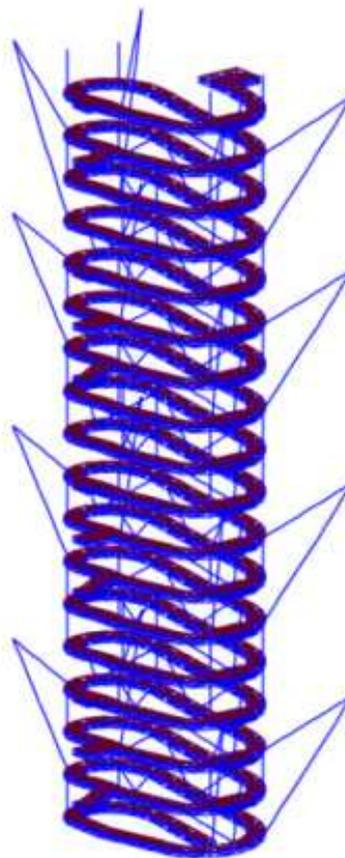


图 1 螺旋坡道结构计算模型

桁架顶面覆 5mm 厚钢板,钢桁架主要构件截面为 SSP102×7 和 SSP70×6,材料强度 Q355B。根据现有建筑做法 5mm 钢板上浇筑 50 厚的细石混凝土,面荷载取值为:1.7kN/m²,活荷载取值 3.5 kN/m²。坡道采用 Rhino7 及 gh 参数化建模^[2],计算软件选用 SAP20

00。计算模型如图 1 所示。

6 坡道变形及应力分析

螺旋坡道作为两塔楼之间重要的连接通道,必须对其结构安全性、人行舒适度进行专门分析^[5]。在分析时,可通过增大桁架杆件的截面,提高坡道的刚度,保证整体结构的安全性及人行荷载的舒适性。

6.1 变形分析结果

计算时分析了螺旋坡道在恒荷载、风荷载、人行活荷载作用下的竖向位移分析。根据现行《钢结构设计标准》(GB50017-2017)^[4],并结合螺旋坡道的特殊形式,对螺旋坡道各部位的位移控制指标作了特殊定义。

坡道挠度定义规则为: L_x 范围内点竖向最大位移为 Δa , 验算挠度 $\Delta a/L_x$; 坡道 L_{y1} 范围内点竖向最大位移为 Δb , 验算挠度 $\Delta b/L_{y1}$; 坡道左侧 L_{y2} 范围内点竖向最大位移为 Δc , 验算挠度 $\Delta c/L_{y2}$; 坡道右侧 L_{y3} 范围内点竖向最大位移为 Δd , 验算挠度 $\Delta d/L_{y3}$ 。

经过计算,在“1.0 恒+1.0 活”工况下,各区段挠度值分别为 $\Delta a/L_x=1/424$ 、 $\Delta b/L_{y1}=1/870$ 、 $\Delta c/L_{y2}=1/472$ 、 $\Delta d/L_{y3}=1/731$, 满足《钢标》(GB50017-2017)^[4]表 B.1.1 中 1/400 的要求; 在活荷载工况下,各区段挠度分别为 $\Delta a/L_x=1/1282$ 、 $\Delta b/L_{y1}=1/2564$ 、 $\Delta c/L_{y2}=1/1389$ 、 $\Delta d/L_{y3}=1/2174$, 满足钢标表 B.1.1 中 1/500 的要求。

6.2 应力分析结果

根据现有方案,计算螺旋坡道的各个部位的应力比。计算结果显示,钢结构构件的最大应力比可控制在 0.90 以下,多数桁架杆件应力比在 0.60 左右,满足承载力要求。

7 舒适度分析

根据《建筑楼盖振动舒适度技术标准》(JGJT 441-2019)^[5]第 4.2.4 条规定,不封闭连廊第一阶横向自振频率不宜小于 1.2Hz, 振动峰值加速度竖向不大于 0.50m/s^2 , 横向不大于 0.10m/s^2 。

7.1 荷载激励计算

人群荷载效应模拟时,首先计算得到螺旋坡道第一阶竖向自振频率为 3.20Hz, 第一阶横向自振频率为 2.12Hz。根据规范^[5]第 9.2 节内容,取荷载函数时长 15s,且积分步长分别不大于 $1/(72f_{11})$ 和 $1/(72f_{12})$ 。第一阶竖向人群荷载频率 \bar{f}_{s1} 取 2.50Hz 及 1.60Hz、第二阶竖向人群荷载频率 \bar{f}_{s2} 取 3.20Hz 及 2.50Hz、横向人群荷载频率 \bar{f}_{s1} 取 0.71Hz 及 0.53Hz。根据以上各阶频率值及规范要求构建荷载激励函数。

7.2 舒适度计算结果

根据上述定义的分析工况,应用模拟的荷载曲线,进行结构荷载作用下动力响应分析,计算得到,坡道竖向加速度最大值为 0.0827m/s^2 , 与第二阶竖向人群荷载频率 \bar{f}_{s2} 取 2.50Hz 时计算所得,小于规范^[5]规定的限制 0.50m/s^2 ; 坡道横向加速度最大值为 0.000045m/s^2 , 为横向人群荷载频率 \bar{f}_{s1} 取 0.53Hz 时计算所得,小于规范规定的限制 0.10m/s^2 , 舒适度满足要求。

8 结束语

本项目学术塔与服务塔通过局部楼层连桥连接,形成复杂连体结构,通过了超限审查。

(1) 螺旋坡道造型特殊,高度方向贯穿 18 个楼层,中心线展开长度约 700m,体量较大,上下层坡道之间通过竖杆连接、坡道整体通过吊杆与两侧塔楼销轴连接的结构方案可行。

(2) 因螺旋坡道造型的复杂性,本文特殊定义了变形指标。考虑恒、活、风、水平地震及竖向地震各种工况下,螺旋坡道的各项变形指标符合规范要求。

(3) 螺旋坡道作为连接学术塔和服务的重要通道,同时作为学员的休闲区域,本文对其进行了人行舒适度分析。竖向及横向振动舒适度均满足规范要求。

(4) 鉴于坡道结构造型的复杂性,为充分保证坡道的舒适性,建议在使用阶段进行实测,如果舒适度不能满足规范的要求,对每层坡道的中间位置,预留设置了 TMD 的位置^{[6][7]}。

参考文献:

- [1]陈浩恩.空间钢螺旋楼梯受力性能分析[D].济南:山东建筑大学,2018.
 - [2]祁鹏远.Grasshopper 参数化设计教程[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.
 - [3]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.
 - [4]钢结构设计标准:GB50017—2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
 - [5]建筑楼盖振动舒适度技术标准:JGJT 441—2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2020.
 - [6]张全伍,王梁坤,施卫星.TMD 在螺旋楼梯结构减振中的应用研究[J].结构工程师,2019,35(03):30-35.
 - [7]谭潜,罗小峰,徐翔鹏等.大跨度及长悬挑钢结构人致振动舒适度与 TMD 减振控制分析[J].建筑结构,2023,53(S2):894-900.
- 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。