

某山地螺旋吊桥结构分析与设计

周祥乾

(珠海市规划设计研究院, 广东 珠海 519000)

摘 要:螺旋吊桥有效地解决了陡坡段山地步道落地问题,同时结构新颖、美观。螺旋吊桥纵向计算可以理解为曲率较大的弯桥建立梁单元进行分析。为了结构有更好的人行空间和视线,采用吊杆与主梁内侧连接的方式,导致主梁在人群荷载作用下产生横向扭矩,有倾覆的趋势,横向分析不能忽视。该结构为螺旋状,有别于常规端部约束的直梁在扭矩作用下产生扭转剪应力。在均匀满布的人群荷载作用下,主梁各个位置的扭转变形一致,扭转剪应力不明显,表现出的是主梁横向受弯问题,与横向刚度息息相关。进而建立不同横隔板道数的三维板单元模型进行分析计算,以确定合理的横隔板数量,为类似工程提供参考。

关键词: 螺旋吊桥; 人行栈道; 扭转; 横隔板; 结构设计

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)10-0094-03

0 引 言

山地步道作为慢行系统的重要组成部分，拓展了城市空间，丰富了城市体验，受到市民的青睞。凤凰山山地步道项目位于香洲区凤凰山森林公园东南部，西接香山湖公园，东至海天公园，南依梅华路，北邻大镜山水库，全长约 8.6 km。项目周边已建成香山湖公园、香山驿站、石溪公园、大镜山社区体育公园、海天公园等城市公共空间，是市民重要的休闲目的地。山地步道串联起了城市景点，延伸了慢行空间，起到了良好的社会效益。

1 结构设计

山地步道项目其中一处采用了螺旋吊桥的落地方式。螺旋吊桥主梁采用钢箱梁结构,梁高 0.7 m,标准段桥梁宽 3 m,底板宽 0.65 m,箱梁顶板厚 14 mm,底板厚 12 mm,腹板厚 16 mm,箱梁内顶底板设置 5 道纵向板肋,主梁横隔板标准间距 1.5 m 布置,支点横隔板厚 10 mm。电梯竖塔由直径 6 m 的混凝土筒体组成,高度 44.5 m,螺旋吊桥共 7.5 圈,中心线直径分别为 20 m 和 15 m,坡度为 1 : 12。螺旋吊桥由水平的撑杆和斜向的拉、压杆与中间混凝土电梯塔筒相连。为了避免人行过程中结构沿环形切向的晃动,吊杆和撑杆采用星形布置。电梯塔筒壁厚 450 mm,混凝土强度等级为 C40,筒身内置型钢劲

收稿日期：2021-12-26

作者简介:周祥乾(1991—),男,工学学士,工程师,从事桥梁工程设计工作。

性骨架(见图 1、图 2)。

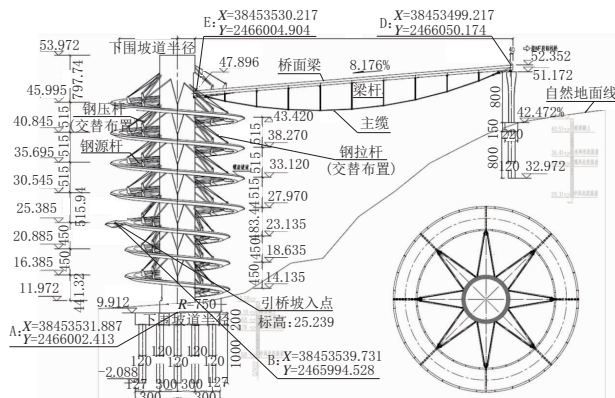


图 1 螺旋吊桥总体布置图(单位:cm)

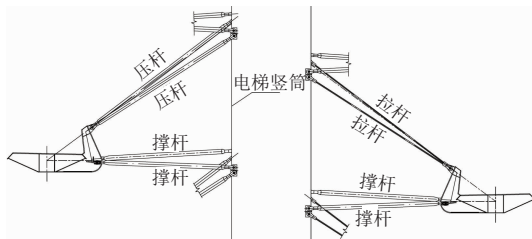


图 2 撑杆及拉压杆布置图

2 结构纵向计算

螺旋吊桥纵向计算可以理解为曲率较大的弯桥建立梁单元进行分析, 以下是相关计算和结果。

2.1 计算荷载取值

根据《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—1995)、《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)取值。

2.1.1 永久作用

结构自重、铺装、栏杆等。

2.1.2 可变作用

2.1.2.1 人行荷载效应

根据《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—1995)中 3.1.3.2 条计算人群荷载取值。

2.1.2.2 整体升、降温

珠海平均气温 21.8℃,极端最低气温 -1.3℃,极端最高气温 36.7℃。结合《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)4.3.12 条温热地区刚桥面板钢桥,最高温度 46℃,最低温度 -9℃。结构落架基准温度约 20℃,计算考虑整体升温 25℃,整体降温 -25℃。

2.1.2.3 风荷载

螺旋吊桥位于山谷,考虑向上的风吸和向下的风压作用。

2.2 荷载组合

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)4.1.5 条进行承载能力基本组合、正常使用标准组合。

2.3 计算模型

采用 Midas Civil 2020 软件建立三维梁单元模型进行结构分析,计算模型见图 3 所示。

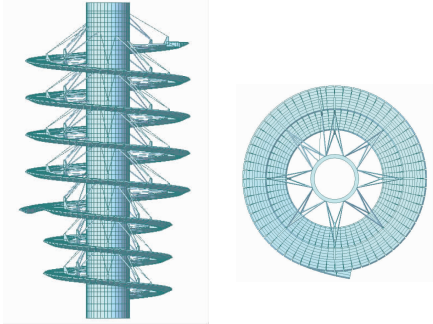


图 3 计算模型

2.4 静力计算分析

2.4.1 应力验算

基本组合下钢箱梁最大正应力为 81.1 MPa,上撑杆最大正应力为 141.2 MPa,下撑杆最大正应力为 214.4 MPa,均小于 270 MPa;上拉杆最大正应力为 199.1 MPa,小于 520 MPa。满足规范要求。

2.4.2 变形验算

在恒载、人群荷载、温度荷载和横风作用标准组合下,水平方向最大变形分别为 35.7 mm、31.1 mm,竖向最大变形为 25.5 mm。参考《高耸结构设计规范》(GB 50135—2019)3.0.11 条,水平位移角限值 1/150。该结构总高 44 m,水平位移角 35.7/44 000=1/1232,满足要求。

人群作用下,主梁最大挠度为 9.6 mm,出现在大小环过渡处(见表 1)。恒载+人群作用下,主梁最大挠度为 12.7 mm,出现在坡道顶部(见表 2)。取这两

处进行挠度验算。

表 1 大小环过渡处挠度一览表

位置		人群	恒载+人群
相邻拉索处	左	8.0	10.8
	右	5.1	5.4
	平均	6.55	8.1
大小环过渡处	整体	9.6	10.6
	跨内(整体-平均)	3.05	2.5
《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—1995)限值		7 854/600=13.1	7 854/1 600=4.9
结论		满足	满足

表 2 吊桥顶部挠度一览表

位置		人群	恒载+人群
相邻拉索处	左	7.7	11.6
	右	9.3	12.6
	平均	8.5	12.1
吊桥顶部	整体	9.2	12.7
	跨内(整体-平均)	0.7	0.6
《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—1995)限值		7 854/600=13.1	7 854/1 600=4.9
结论		满足	满足

2.4.3 频率验算

第一二阶自振频率为水平方向弯曲,分别为 4.27 Hz 和 4.33 Hz。第三阶自振频率为竖直方向,为 7.56 Hz。满足要求。图 4 为前三阶振型。

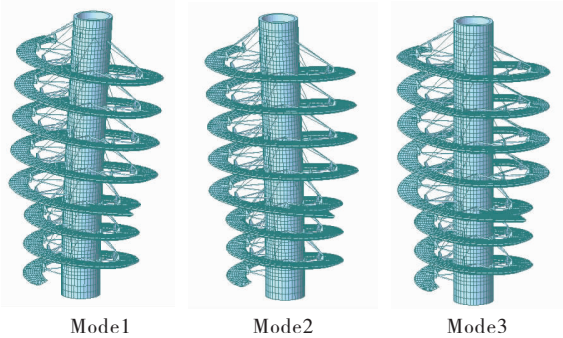


图 4 前三阶振型

2.4.4 屈曲验算

第 1 阶屈曲模态临界荷载系数为 26.15>4,结构稳定满足要求(见图 5)。

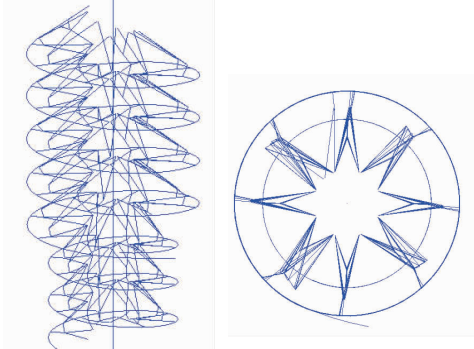


图 5 第 1 阶屈曲模态

3 结构横向分析

为了结构有更好的人行空间和视线,采用吊杆与主梁内侧连接的方式,导致主梁在人群荷载作用下产生横向扭矩,有倾覆的趋势,横向分析不能忽视。

该结构为螺旋状,有别于常规端部约束的直梁在扭矩作用下产生扭转剪应力。在均匀满布的人群荷载作用下,主梁各个位置的扭转变形一致,扭转剪应力不明显。进一步分析该结构在横向扭矩作用下的倾覆问题,表现出的是主梁横向受弯问题。在极限荷载作用下,结构破坏发生在受压构件局部失稳,进而导致整体结构横向倾覆,类似于上翘的帽檐在外力作用下突然下翻。

据此,该结构横向扭矩作用下的倾覆问题,表征为结构横向受弯状态下的受压部位失稳问题;减小该结构横向扭矩作用下的倾覆问题的关键在于增强横向刚度,如设置横隔板。

为了进一步了解横隔板数量对结构横向抗倾覆的影响,建立三维板单元模型进行对比分析(见图6)。表3为横向受力与横隔板数量关系一览表。图7为不同横隔板数量下主梁应力图示。

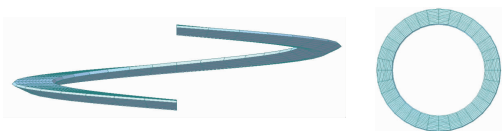


图6 三维板单元模型

根据计算结果,随着横隔板数量的增加,外侧最大竖向位移减小,屈曲临界荷载系数增大,结构刚度和稳定性增强。当不设置横隔板时,最大最小应力为57.7/-54.9 MPa,当设置4道横隔板时,由于横隔板数量较少,出现加大的应力集中现象,最大最小应力

表3 横向受力与横隔板数量关系一览表

横隔板道数	外侧最大竖向位移 /mm	最大/小应力 /MPa	屈曲临界荷载 系数
0	18.2	57.7/-54.9	18.2
4	10.1	87.2/-108.5	25.7
8	5.5	75.0/-64.3	122.4
16	4.8	73.5/-63.2	156.0

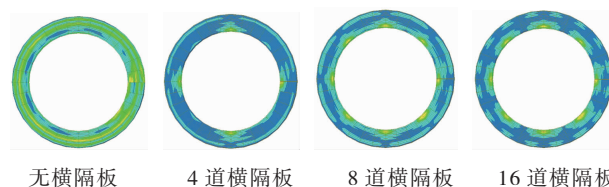


图7 不同横隔板数量下主梁应力图示

为87.2/-108.5 MPa。随着横隔板数量的增加,应力集中现象逐渐减小,当横隔板数量由8道增加至16道时,最大最小应力为变化不大趋于稳定,且主梁受力较均匀。据此,该结构设置16道横隔板结构横向受力相对理想。

4 结 语

螺旋吊桥结构新颖、曲率较大,结构计算与一般的吊索桥梁结构有所区别。通过建立三维单元模型对整体结构进行纵向分析,同时为了解决横向扭矩作用下的倾覆问题,采用三维板单元进行结构模拟和对比分析,最终确定合理的横隔板数量。为该类型螺旋吊桥结构的分析计算提供参考。

参考文献:

- [1] CJJ 69—1995,城市人行天桥与人行地道技术规范[S].
- [2] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [3] 王辉,横隔板对薄壁钢箱梁扭转效应影响分析[J],结构工程师,2013(4),29-34.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com