

某索承桁架人行景观桥的抗震可行性分析

张翔,石梓钰,奚圣宇,张贺强,孙超越
(安徽建筑大学,安徽合肥230601)

摘要:为促进现代交通科学和技术的绿色及可持续发展,山谷景观桥梁设计需以达成环境友好创新为目的。某人行景观桥主桥采用索承桁架结构,桥体两端与山体内隧道连接。为减小山谷风雨激振的影响,通过双斜钢索斜拉桥身桁架并预安装钢索减振器,创新的平衡方式合理处理了各支撑处的受力传递及转移,简化了支撑结构。在说明设计概念的形成过程,介绍了桥梁的基本信息后,对桥梁进行了合理的静力分析并进行预拱度优化,同时从反应谱分析和时程分析两方面验算了拟建桥梁的抗震可行性,希望为今后类似桥梁设计建设有所帮助。

关键词:索承桁架;减振器;抗震可行性分析

中图分类号:U443

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)08-0175-04

0 引言

近年来由于山区旅游业的盛行,越来越多的山地景观桥得以兴建,但山谷地区地质状态复杂,对桥梁的抗震稳定性有着较高的要求。基于桁架结构优良的抗风、抗震稳定性,并在其基础上增设索承结构,使整桥外观更加轻盈、简洁,得以更好的融入自然,具有较高的观赏性。相比于山谷区域传统桥墩施工,拉索结构更加经济高效,并具有很强的操作性。因此,本文以山谷景区为背景,对桥梁进行有限元分析并验算此类结构桥梁的抗震可行性,并结合当地自然环境以提供一种全新的山谷人行景观桥建设思路。

1 设计思路

本桥梁主要从材质和承力结构上进行设计。桥面材料预使用C30混凝土,同时采用MICP微生物诱导沉积碳酸钙技术促进桥梁桥面自愈修复,符合本桥梁绿色、可持续发展的设计理念。钢筋混凝土结构具有高强度的承压能力,得以更好的承受路面的设计荷载,利用悬索拉起桁架组以及上部路面。

在设计过程中,先根据人流量以及使用的任务和性质,确定结构形式。基于上述初步设计,结合周围环境与自然条件以及主要技术指标,确定材料强度。再对概念设计方案进行反复比较,形成最终的设计方案,并拟定悬索装配式的施工方案。基于MI-

DAS Civil有限元分析软件进行结构计算、反应谱分析、时程分析。本设计项目作为交通桥可以解决山区城镇间因一山之隔的基本交通需求,作为景区景观桥可以让游客置于山川之间欣赏美景,同时索承桁架结构的设计,可以避免对山谷下部地区环境产生影响。

2 工程概况

本景观桥名为云上天梯人行景观桥,桥梁的设计效果见图1。其中桥长80m,桥面宽度6m,桥面厚度为10cm,每4m设置一个桁架单元,桥面中间作为路灯排布区域,跨中桥面设置为双层钢化夹胶玻璃方便游客游览风景以及观察下部桁架结构。本桥梁设计在山势较高不便设立桥墩的峡谷地区建设,通过在桥梁1/4、1/2以及3/4处设立索承桁架结构支撑桥梁。而桁架上设有悬索承拉孔装置,悬索自两侧山峰适宜之处斜拉引出通过桥面两侧,达到受力平衡,共同承担桥与载体承重。索承桁架式受力方式将桥梁施工重心转移到桥面上部,现场选出山体两侧适宜的岩锚点。桥的两端,与两侧山峰内的隧道相连。桥体本身铺设的钢筋网应与山体隧道相连,并浇筑混凝土,以此利用山体来加固桥面。在钢索上,为防止悬索因为长时间使用以及外界因素侵蚀导致悬索锈蚀,强度减少,或风雨侵袭导致桥面结构产生不稳定现象。现在索上的靠山体终端添加类弹簧的减震装置,辅助刚拉索为桥体减震。

3 方案创新构思设计

通过对桥梁建立环境研究和探讨后,本桥梁项目



图1 桥梁设计效果图

有以下几处特点。

(1)巧妙利用山势,建立索承桁架新型结构。本桥梁设计在山势较高不便设立桥墩的峡谷地区建设,通过设立索承桁架结构支撑桥梁。它的优势之处在于不同于一般的山谷景观桥的结构模式,它是基于桥身整体搭建于山谷之间岩石的支撑和钢索拉住桥身底部的桁架柱共同承力的。桥梁自重和行人等活荷载作用于桥面之上,桥梁中部的钢索承受荷载下桥面受的压应力,而桥梁下部的钢索则平衡下部的拉应力,以达到力的平衡。

(2)通过索承受力,实现山区峡谷大跨度景观桥建立。在峡谷地区建立桥梁,由于谷底距离桥面过远难以建立桥墩支撑桥梁结构、谷底属于自然保护区、建立桥墩成本过高等客观原因,峡谷大跨度景观桥建立较为困难。而索承桁架式受力方式将桥梁施工重心转移到桥面上部,通过施工索吊装、装配式桥梁施工、预拱度桥面施工等方式降低施工难度、减少施工成本,实现山谷大跨度景观桥的设计。

(3)索上减振器的使用增强桥梁受山谷风雨振击时的稳定性。连接两座高山的索承桁架结构桥,易受产生的狭管效应影响,索上减振器的使用减少山谷风雨振击引起的震动。当桥面受穿峡谷的风和暴雨侵袭的作用时,普通桥的桥面会产生明显晃动,索上减震器具有适时弹性伸缩的功能,这一设计可使刚索具有更强的稳定性和伸缩性,达到可承受风雨、维护桥面平稳的目的。

(4)使用双斜索面斜拉实现良好的横向抗风稳定性。峡谷地形中易产生“狭管效应”,即当气流由开阔地带流入地形构成的峡谷时,由于空气质量不能大量堆积,于是加速流过峡谷,风速增大。当流出峡谷时,空气流速又会减缓。本桥设计使用双斜索面,与双铅垂索面相比,这一结构具有更加良好的横向抗风稳定性。

(5)微生物诱导沉积碳酸钙技术。微生物诱导沉积碳酸钙技术^[1]简称 MICP,是一种简单高效、绿色环

保的可持续修复技术。微生物在特定的环境条件下诱导形成沉积碳酸钙,即一种天然的、相容性较好的混凝土修补剂。本桥设计在桥梁混凝土部分使用 MICP 技术,诱导混凝土自愈合以提升桥梁使用寿命,并达到绿色环保的设计理念。

4 总体设计

4.1 桥梁桁架设计

桥梁总长 80 m,宽度为 6 m。桥面底部桁架单元设计采用长宽高分别为 4 m、3 m、2 m,见图 2、图 3。空腹管桁均采用 Q345 钢材,直径 180 mm,壁厚 16 mm。

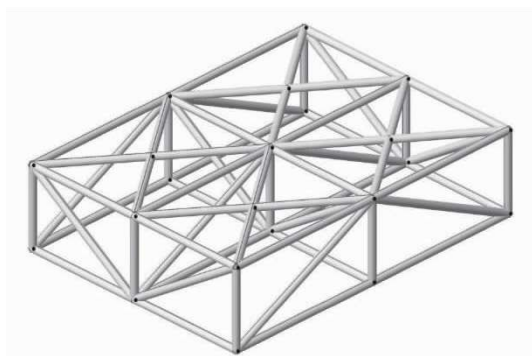


图2 桁架单元模型图

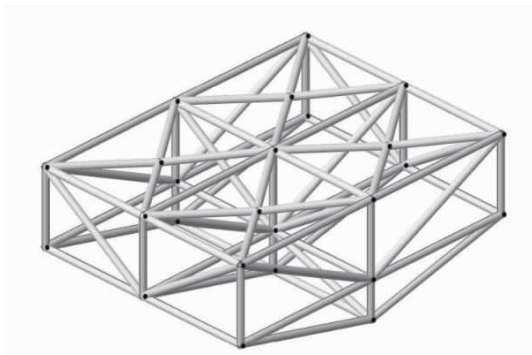


图3 索承处桁架模型图

4.2 桥梁钢索设计

本索承桁架人行景观桥设计在桥梁总长 1/4、1/2、3/4 处分别设置索承支点。钢索设计采用 1860 钢绞线,外包聚酯化合物。其中,如图 4 所示一号钢索长度 58.86 m,二号钢索长度 72.36 m,三号钢索长度 20 m。

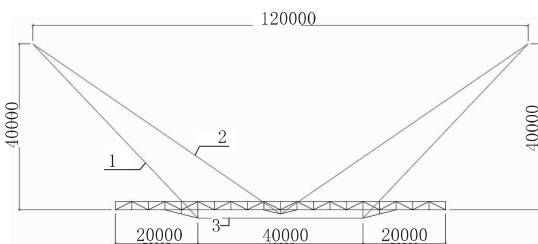


图4 桥梁立面图(单位:mm)

5 桥梁结构计算与优化

采用 Midas/Civil 进行静力计算和动力抗震分析。

5.1 建立模型

桥面下部空腹管桁单元使用桁架单元模拟;桥面采用板单元进行模拟;钢索采用桁架单元进行模拟,在桥面桁架两端和钢索岩锚端设置固定支座。全桥共划分 181 个节点、776 个单元,见图 5。

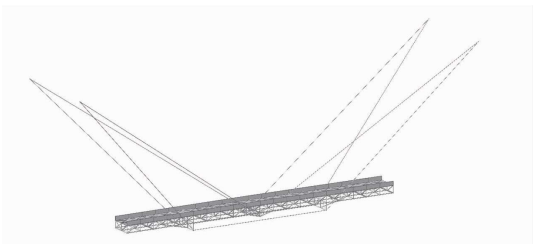


图 5 结构有限元模型图

5.2 静力计算结果

桥梁设计荷载为 2.5 kN/m² 的人群均布荷载,在静力荷载下,位移峰值为 10.11 cm,该景观桥中部挠度许用值为:80×1/600=13.33 cm 大于桥梁位移峰值,符合桥梁刚度设计要求,部分位移数据见表 1。

5.3 桥梁设计优化

为了减小在桥梁的下沉位移,现提出一种解决方案,即在桥梁施工时增加预拱度。跨中预设拱度 10 mm,结构各节点拱度见图 6。优化后模型跨中下沉相对位移为 9.971 cm,实际下沉位移较优化前大幅度减小。

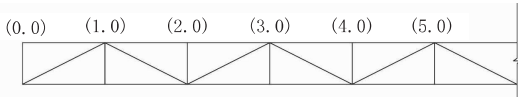


图 6 桥梁预拱度示意图(单位:mm)

6 反应谱分析^[2-3]

6.1 技术指标

- (1)根据《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01—2020)的规定^[4],本桥梁抗震设防类别为 C 类。
- (2)抗震设防烈度 0.05 g,桥梁类别为 6 度。

6.2 地震作用下地震反应分析

反应谱分析应分别进行 E1 地震作用下的结构弹性设计及 E2 地震作用下的结构弹塑性设计。根据以上参数,分别建立 E1、E2 水平向及竖向设计加速度反应谱。

(1)E1: 运用多重 Ritz 向量法求出前 30 阶振型如表二、表三数据可知,TRAN-X、TRAN-Y 两个方向的振型参与质量分别是 96.42%、98.09%,满足规范上振型参与质量达到总质量的 90% 以上的要求,结果见表 2。

(2)E2:对桥梁的一般荷载组合进行验算。根据位移等值线图判断桥梁在 E2 地震作用下还保持弹性状态,峰值位移为 2.97 mm,E2 竖直位移等值线见图 7。符合设计规范,结构安全。

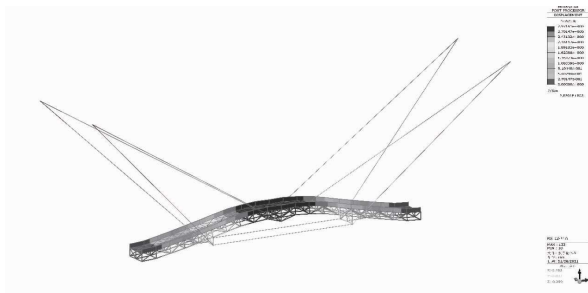


图 7 E2 竖直位移等值线图(单位:mm)

表 1 静力作用下位移表 单位:mm

节点	荷载	DX/mm	DY/mm	DZ/mm	RX/rad	RY/rad	RZ/rad
123	1	0.047 825	-0.000 001	-101.110 73	0	0.000 341	0
125	1	-0.047 825	-0.000 001	-101.110 73	0	-0.000 341	0
40	1	-0.931 037	-0.000 001	-101.026 53	0	0	0
42	1	0.931 037	-0.000 001	-101.026 53	0	0	0
103	1	0.091 875	-0.025 088	-100.633 92	-0.000 275	-0.000 615	0.000 122
104	1	-0.091 875	-0.025 088	-100.633 92	-0.000 275	0.000 615	-0.000 122
144	1	0.091 875	0.025 088	-100.633 92	0.000 275	-0.000 615	-0.000 122
145	1	-0.091 875	0.025 088	-100.633 92	0.000 275	0.000 615	0.000 122
19	1	-1.032 701	-0.000 001	-100.571 87	0	0	0
21	1	1.032 701	-0.000 001	-100.571 87	0	0	0
61	1	-1.032 701	-0.000 001	-100.571 87	0	0	0
63	1	1.032 702	-0.000 001	-100.571 87	0	0	0

表 2 振型参与质量表

模态号	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
	质量 /%	合计 /%	质量 /%	合计 /%	质量 /%	合计 /%	质量 /%	合计 /%	质量 /%	合计 /%	质量 /%	合计 /%
1	0.00	0.00	0.00	0.00	73.23	73.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	73.23	0.00	0.00	42.01	42.01	0.00	0.00
3	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	73.23	0.00	0.00	0.00	42.01	0.07	0.07
4	0.00	0.05	3.03	3.03	0.00	73.23	46.84	46.84	0.00	42.01	0.00	0.07
5	0.00	0.05	69.90	72.94	0.00	73.23	6.32	53.15	0.00	42.01	0.00	0.07
6	0.00	0.05	0.00	72.94	14.32	87.55	0.00	53.15	0.00	42.01	0.00	0.07
7	0.00	0.05	0.16	73.10	0.00	87.55	9.44	62.59	0.00	42.01	0.00	0.07
8	0.03	0.08	0.00	73.10	0.00	87.55	0.00	62.59	15.10	57.11	0.00	0.07
9	1.57	1.65	0.00	73.10	0.00	87.55	0.00	62.59	7.92	65.02	0.00	0.07
10	0.00	1.65	0.00	73.10	5.19	92.74	0.00	62.59	0.00	65.02	0.00	0.07
11	0.00	1.65	0.00	73.10	0.00	92.74	0.00	62.60	0.00	65.02	0.01	0.08
12	0.00	1.65	0.01	73.11	0.00	92.74	5.30	67.89	0.00	65.02	0.00	0.08
13	0.03	1.68	0.00	73.11	0.00	92.74	0.00	67.89	8.16	73.18	0.00	0.08
14	0.00	1.68	0.00	73.11	2.31	95.05	0.00	67.89	0.00	73.18	0.00	0.08
15	0.00	1.68	0.01	73.13	0.00	95.05	6.84	74.73	0.00	73.18	0.00	0.08
16	0.01	1.69	0.00	73.13	0.00	95.05	0.00	74.73	6.65	79.84	0.00	0.08
17	0.00	1.69	0.00	73.13	2.57	97.62	0.00	74.73	0.00	79.84	0.00	0.08
18	0.15	1.84	0.00	73.13	0.00	97.62	0.00	74.73	4.08	83.92	0.00	0.08
19	0.00	1.84	0.00	73.13	0.43	98.05	0.00	74.73	0.00	83.92	0.00	0.08
20	0.00	1.84	12.45	85.57	0.00	98.05	0.36	75.09	0.00	83.92	0.00	0.08
21	0.00	1.84	0.00	85.57	1.66	99.72	0.00	75.09	0.00	83.92	0.00	0.08
22	56.69	58.53	0.00	85.57	0.00	99.72	0.00	75.09	0.00	83.92	0.00	0.08
23	0.04	58.57	1.17	86.75	0.00	99.72	2.32	77.41	0.00	83.92	0.00	0.08
24	17.73	76.30	0.00	86.75	0.00	99.72	0.00	77.41	1.15	85.08	0.00	0.08
25	0.00	76.30	0.00	86.75	0.19	99.91	0.00	77.41	0.00	85.08	0.00	0.08
26	8.07	84.37	0.00	86.75	0.00	99.91	0.00	77.41	1.06	86.13	0.00	0.08
27	0.00	84.38	4.99	91.74	0.00	99.91	0.39	77.81	0.00	86.13	0.00	0.08
28	0.00	84.38	0.01	91.74	0.09	100.00	0.00	77.81	0.00	86.13	0.00	0.08
29	0.00	84.39	6.34	98.08	0.00	100.00	0.12	77.92	0.00	86.13	0.00	0.09
30	12.03	96.42	0.01	98.09	0.00	100.00	0.00	77.92	0.55	86.69	0.00	0.09

7 时程分析

7.1 时程工况建立

时程分析采用三个常用地震波分别建立工况一、二、三。

- (1)工况一:1952,Taft Lincoln School, Vertical
- (2)工况二:1940,El Centro Site, 270 Deg
- (3)工况三:TH035TG035_CHUETSU-OKI 7-

16—2007 JOETSU OGATAKU

时程分析工况标准见表 3。

表 3 时程分析工况标准表

分析类型	分析方法	时程类型	分析时间	分析时间步长	输出时间步长
线性	振型叠加法	瞬态	20 s	0.02 s	1

7.2 时程分析结果

经过 Maidas/Civil 时程分析,工况一下跨中三个节点处的位移分析见图 8。经过核对在三个工况中整

个地震波中变形均符合规范要求。

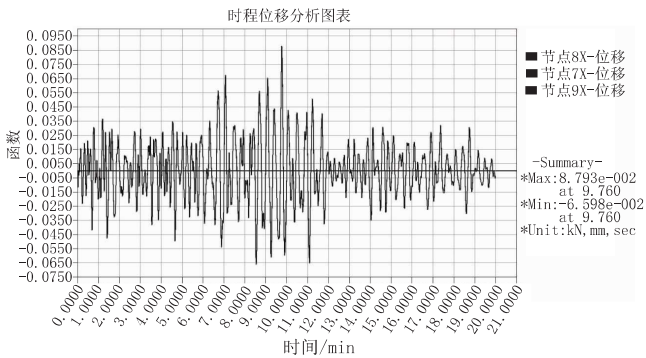


图 8 工况一时程位移分析图(单位:mm)

在三个工况下,桥梁桁架单元应力最大值分别为 21.9 MPa、24.5 MPa、73.7 MPa。如表 4 所示,均符合结构强度标准要求,工况二应力变形图例见图 9。

8 结 语

索承桁架人行景观桥作为山谷地区连接两山的元素,可作为该地区的地标性桥梁,同时改善山谷地

(下转第 206 页)

适用于出土高度不大于3 m的围堰。

7 结 语

(1)为保证抗倾覆及变形、抗弯能力分析具有代表性,同时兼顾选取的地质条件征性,本文共选取上海市境内内河水系47个地质钻孔资料。

(2)基于单排钢板桩围堰的抗倾覆分析,引入可靠度概念,得出有98%地质参数保证率的条件下,不同围堰出土高度下的临界插入比。

(3)基于单排钢板桩围堰的变形及抗弯能力分析,引入可靠度的概念,得出具有98%地质参数保证率的条件下,不同围堰出土高度下对应的钢板桩围堰所需的最小截面惯性矩。

(4)根据分析结论并结合实际工程应用中的钢板桩型式及参数,对于上海市城市内河出土高度不

大于3 m的施工围堰,单排钢板桩围堰可作为其优选型式。

参考文献:

- [1] 杨建. 浅析钢板桩围堰在水利工程中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2014, 14(10): 204-205.
- [2] 夏仲平. 水利工程施工围堰技术进展[J]. 人民长江, 2005, 36(11): 1-2.
- [3] 宋焕君. 国内钢板桩市场现状与应用前景[J]. 冶金管理, 2011(7): 32-34.
- [4] 郭显晨, 董学刚, 郭高贵, 等. 上海市城市堤防施工围堰标准化设计研究[R]. 上海: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 2017.
- [5] 曾革, 周志刚. 公路挡土墙抗倾覆稳定性设计方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2009, 40(4): 1154-1158.
- [6] 张广东, 刘雄, 熊剑. 软弱基础水中双排钢板桩围堰变形分析[J]. 城市勘测, 2015(6): 173-176.
- [7] 米特洛波尔斯基. 正态分布[M]. 上海: 科学出版社, 1959.

(上接第178页)

表4 时程分析工况单元最大应力表

工况	工况一	工况二	工况三
单元最大应力	21.9 MPa	24.5 MPa	73.7 MPa

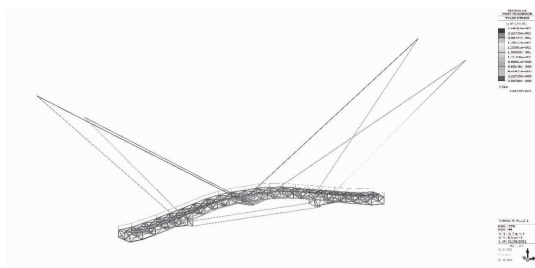


图9 工况二应力变形图例(单位:MPa)

区交通环境,积极响应乡村振兴战略。本桥梁已完成结构设计、结构静力计算和抗震可行性分析,根据分

析结果显示桥梁力学性能良好、经济指标稳定,是充分发挥桁架桥优点、环境友好、施工便利的新型桥梁。通过本桥梁的设计以及有限元分析,证明了索承桁架新型结构的合理性,验证了此类结构桥梁的抗震可行性。通过该桥设计和文章介绍,希望能为同类桥梁的发展出一份力。

参考文献:

- [1] 代光志, 徐潇航, 丁聪. 微生物诱导沉积碳酸钙机理及其在混凝土裂缝修复中的应用[J]. 混凝土与水泥制品, 2020(10): 1-7.
- [2] 姚德隆. 基于Midas/civil的公路桥梁抗震安全性分析[D]. 湖南衡阳: 南华大学, 2019.
- [3] GB 50017—2003, 钢结构设计规范[S].
- [4] JTG/T 2231-01—2020, 公路桥梁抗震设计规范[S].