

高烈度区非对称独塔斜拉桥的设计分析

李扬帆

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 西藏日喀则市樟木镇樟木大桥为110 m+151 m+32 m非对称独塔混凝土斜拉桥,位于高烈度区。以此桥为背景,介绍桥梁的总体设计。索塔采用分离式塔柱,塔高136 m;主梁采用双主肋混凝土梁,梁宽13.1 m,梁高2.65 m;拉索立面采用扇形布置,全桥共布置68根,塔上索距为2.6 m,梁上标准索距为8 m,边跨现浇段索距加密为4 m。对桥梁进行静力分析和抗震分析,采用了抗拉球钢支座和纵向横向阻尼器等抗震措施。最后介绍了施工方案,主塔采用爬模法施工,主梁悬浇段采用悬臂浇筑法施工,边跨现浇段、中跨现浇段及辅助跨采用支架法施工。结果表明,该桥的各项指标均满足规范要求。

关键词: 独塔斜拉桥;高烈度区;阻尼器;设计

中图分类号: U442.5;U448.41;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0225-05

Design analysis of Asymmetric Single-pylon Cable-stayed Bridge in High Intensity Area

LI Yangfan

[Tongji Architectural Design (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Zhangmu Bridge in Zhangmu Town, Shigatse City, Tibet is a (110+151+32)-m asymmetric single-pylon concrete cable-stayed bridge located in high intensity areas. Based on this bridge, the overall design of the bridge is introduced. The cable pylon is a separated pylon column with a pylon height of 136 m. The girder is a double-rib concrete girder with a girder width of 13.1 m and a girder height of 2.65 m. The stayed cable facade is a fan-shaped, and a total of 68 cables are arranged throughout the bridge. The cable spacing on the pylon is 2.6 m, the standard cable spacing on the girder is 8 m, and the cable spacing on the cast-in-place section of side span is encrypted to 4 m. The static analysis and seismic analysis of the bridge are carried out, and the seismic measures such as tensile spherical steel bearings and longitudinal and transverse dampers are adopted. Finally, the construction scheme is introduced. The main pylon is constructed by the climbing formwork method, and the cast-in-cantilever method is used for the cantilever casting section of the girder. The support method is used for the cast-in-place sections of the side span, the middle span and the auxiliary span. The results show that the indexes of the bridge meet the requirements of the specification.

Keywords: single-pylon cable-stayed bridge; high intensity areas; damper; design

1 工程概况

本项目位于西藏自治区日喀则市聂拉木县樟木镇,北面与聂拉木镇连接,其他三面均与尼泊尔接壤。

桥位地处喜马拉雅山南坡,属高山峡谷区,地貌类型单一,场地地势起伏较大。

拟建场地抗震设防烈度为8度。桥位横跨电厂沟,泥石流整体治理工程已完成。大桥南端位于迪斯岗崩塌下方,崩塌治理工程已完成。

新建工程为日喀则市聂拉木县樟木镇新建镇区外环连接道路,北侧接国道318,南至国道318迪斯岗社区。樟木大桥是新建道路的控制性工程。

大桥全长303.08 m,主桥为非对称独塔斜拉桥,采用半漂浮体系,在塔墩设置固定支座;跨径布置为110 m+151 m+32 m。

技术标准如下:

(1)汽车荷载:城-A级。

(2)主跨、边跨平面范围内为直线,辅助跨位于缓和曲线。

(3)抗震设防要求:地震基本烈度8度。场地类别:Ⅱ类。50年超越概率10%地震加速度值为0.28g,特征周期值为0.45 s;50年超越概率2%地震加速度

收稿日期:2025-11-19

作者简介:李扬帆(1991—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

值为 $0.52g$, 特征周期值为 0.50 s 。桥梁抗震设防分类: 甲类。

(4) 百年一遇洪水位: $2\,016.690\text{ m}$ 。

2 结构设计

2.1 总体设计

樟木大桥位于日喀则市聂拉木县樟木镇, 跨越电厂沟。该沟地形险峻, 沟口切割基岩 40 多米。结合桥位处地形, 该处可采用斜拉桥和上承式拱桥跨越。

上承式拱桥由于拱座的设置, 需大幅开挖山体, 对环境破坏较大, 岸坡稳定风险较大。拱桥施工需搭设临时塔, 施工难度较大(见图1)。



图1 樟木大桥效果(比选方案)

斜拉桥^[1]可采用爬模法施工桥塔, 采用悬浇法施工主梁, 施工难度与风险均较小, 造价相对较低。同时桥位处交通条件极差, 大体积的钢构件难以运到现场, 不适用钢主梁。

综合考虑施工难易、造价高低、环境影响等因素, 本桥推荐采用独塔双索面混凝土斜拉桥(见图2)。



图2 樟木大桥效果(推荐方案)

主桥为独塔双索面混凝土斜拉桥, 采用半漂浮体系, 跨径布置 $110\text{ m}+151\text{ m}+32\text{ m}$ 。索塔总高 136 m ; 主梁采用双主肋(π 形)断面, 中心梁高 2.65 m 。主桥立面布置如图3所示。

桥梁标准宽度: 0.25 m (栏杆)+ 1.05 m (锚索区)+ 0.5 m (防撞护栏)+ 9.5 m (机动车道)+ 0.5 m (防撞护栏)+ 1.05 m (锚索区)+ 0.25 m (栏杆)= 13.1 m 。主梁标准断面如图4所示。

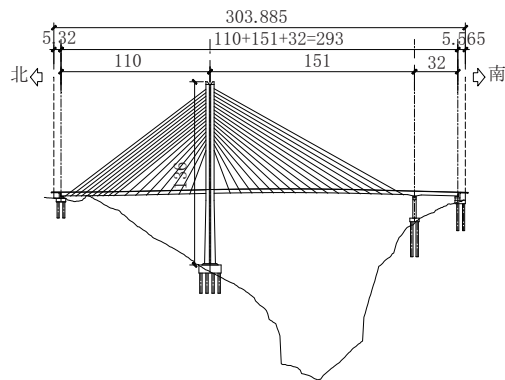


图3 主桥立面布置(单位:m)

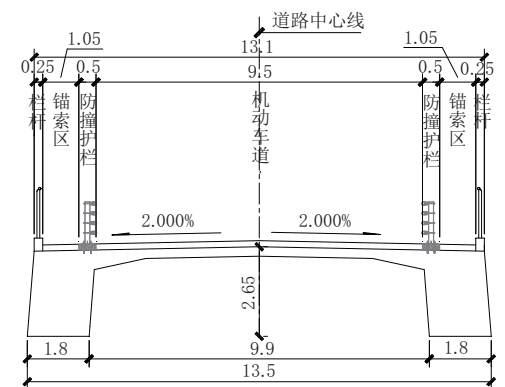


图4 主梁标准断面(单位:m)

2.2 索塔设计

(1) 索塔外形

索塔采用 C50 混凝土, 设置两根分离塔柱, 横桥向为钻石型。索塔总高度为 136 m , 桥面以上索塔高度为 80 m 。

(2) 塔柱总体布置

索塔总体布置如图5所示。

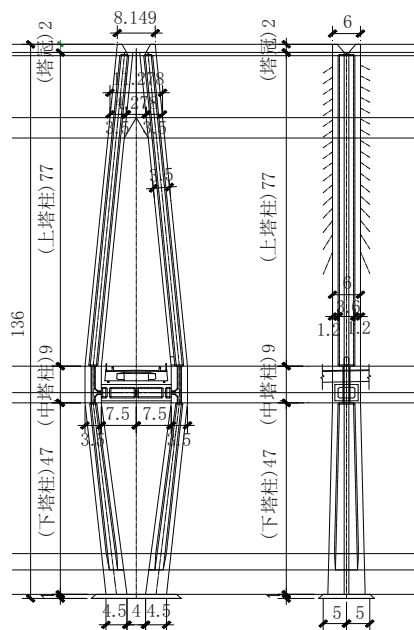


图5 索塔总体布置(单位:m)

下塔柱与主墩承台之间采用 1 m 高度的塔座。下塔柱高度为 47 m,沿高度方向,每根塔柱平面尺寸由 4.5 m(横桥向)×8 m(顺桥向)变化至 3.5 m(横桥向)×6 m(顺桥向)。

下塔柱与塔座间设置6 m实心段,其余部分采用单箱单室截面,横桥向和顺桥向壁厚分别为1 m和1.2 m;在下端4 m高度范围内设置过渡段,横桥向壁厚由1 m加厚至1.3 m,顺桥向壁厚由1.2 m加厚至1.5 m。下塔柱断面如图6所示。

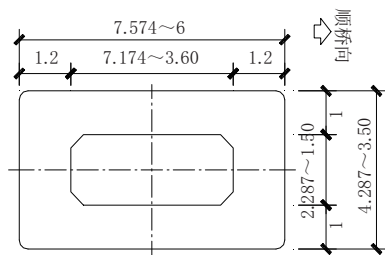


图6 下塔柱断面(单位:m)

中塔柱高度为 9 m, 平面尺寸为 3.5 m(横桥向)×6 m(顺桥向), 采用单箱单室截面, 横桥向和顺桥向壁厚分别为 1.3 m 和 2.25 m。中塔柱断面如图 7 所示。

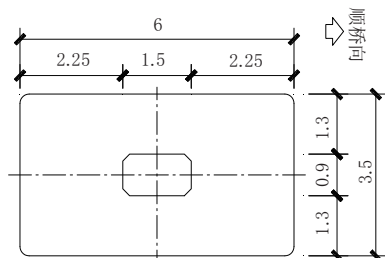


图7 中塔柱断面(单位:m)

上塔柱高度为 77 m, 平面尺寸为 3.5 m (横桥向) × 6.0 m (顺桥向), 采用单箱单室截面, 横桥向和顺桥向壁厚分别为 0.8 m 和 1.2 m。沿高度方向分为分离段和合并段, 在上端 16 m 范围内采用混凝土实心板将两个分离塔柱连为整体。上塔柱断面如图 8 所示。

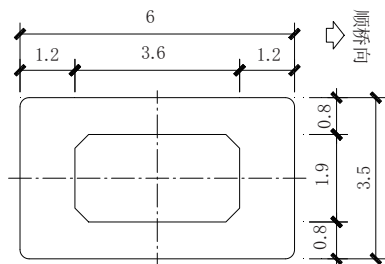


图8 上塔柱断面(单位:m)

2.3 主梁设计

(1) 主梁结构

主梁采用双主肋断面,主肋采用斜腹板,斜率为

1:0.079,主梁上缘宽度为13.1 m,下缘宽度为13.5 m。主梁中心线高度为2.65 m,在辅助墩墩顶加高至3.5 m,主梁标准段断面如图9所示。

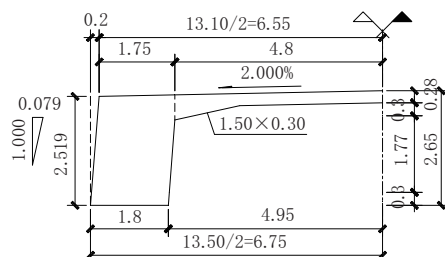


图9 主梁标准段截面(单位:m)

(2) 主梁节段划分及主要尺寸

全桥共分为 30 个节段,从 P0 至 P3 依次为:边跨现浇段长 44 m;边跨合龙段长 2 m;AB07~AB01,单个节段长度为 8 m;B0 长 16 m;MB01~ MB17,单个节段长度为 8 m;主跨合龙段长 2 m;主跨现浇段长 5 m;辅助跨段长 32 m。主梁节段划分如图 10 所示。

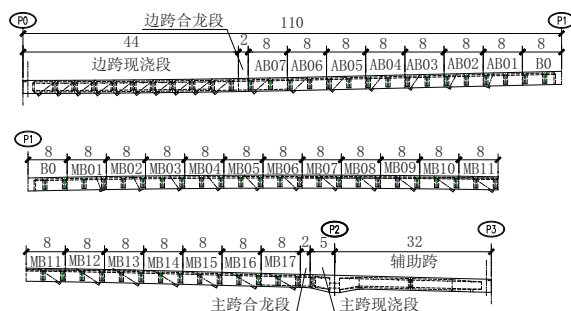


图 10 主梁节段划分(单位:m)

(3) 主梁预应力钢束布置

主梁预应力钢束布置为纵向+横向预应力体系。其中,纵向预应力体系分为节段预应力束(顶板束、腹板束、底板束)和合龙预应力束,横向预应力体系为横梁预应力束。

节段预应力束:顶板束采用 $\phi_{s15.2-4}$ 钢绞线,其中边跨现浇段设置29束,悬浇段设置25束;腹板束在每个主肋设置4束 $\phi_{s15.2-7}$ 钢绞线;底板束采用 $\phi_{s15.2-7}$ 钢绞线,边跨现浇段和辅助跨段各设置16束。

合龙预应力束:主跨、辅助跨每个主肋采用8束 $\phi_{s15.2-15}$ 钢绞线,边跨每个主肋采用4束 $\phi_{s15.2-9}$ 和4束 $\phi_{s15.2-12}$ 钢绞线。

(4) 横梁构造

悬浇段横梁:横梁厚度为 0.25 m,横梁高度为 2.35 m,横梁标准间距为 4 m。

边跨现浇段横梁:边跨现浇段横梁厚度为0.5 m, 横梁高度为2.65 m。

主墩、边墩及辅助墩位置各布置一道横梁。

根据横梁位置和种类,横梁预应力采用不同的布置方式。

2.4 斜拉索及锚固

斜拉索采用扇形布置的空间索面。全桥共68根拉索,塔上索距为2.6 m,梁上标准索距为8 m,边跨现浇段索距加密为4 m。全桥共采用4种规格斜拉索,分别是PESC7-109、121、139、163。

索塔底层3组斜拉索处设置锚块,塔壁内设置环向预应力锚固。索塔其他斜拉索处,采用钢锚梁+混凝土牛腿的锚固形式^[2]。钢锚梁构造如图11所示。

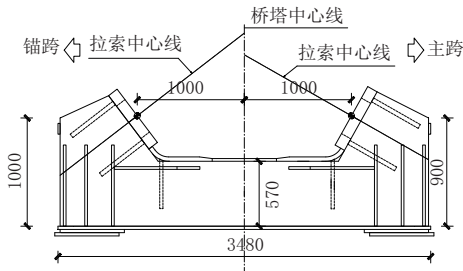


图11 塔端钢锚梁构造(单位:mm)

主梁梁底设置混凝土锚块,为斜拉索提供锚固。

2.5 基础设计

桥塔承台采用矩形截面,尺寸为20.9 m(横桥向)×16.4 m(顺桥向),厚度为6 m。采用20根 $\phi 1.8$ m钻孔灌注桩。

过渡墩采用双柱墩,立柱尺寸为2.5 m(横桥向)×2.5 m(顺桥向)。柱顶设置一道系梁,尺寸为2.0 m(宽度)×2.0 m(高度)。过渡墩承台采用矩形,尺寸为18.9 m(横桥向)×6.9 m(顺桥向),厚度为2.7 m。采用8根 $\phi 1.8$ m钻孔灌注桩。

3 静力分析

3.1 计算概况

主桥静力计算采用空间杆系有限元方法,建立全桥有限元模型,并模拟施工过程。有限元计算模型如图12所示。

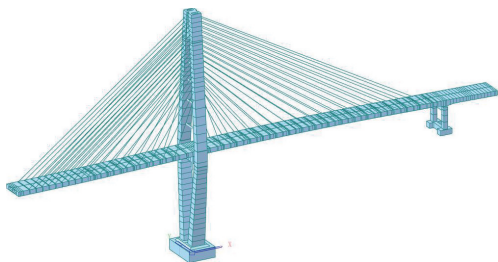


图12 主桥整体计算模型

3.2 静力计算

计算考虑的主要作用(荷载)及设计参数如下:

- (1)恒载:结构重力。
- (2)基础沉降:索塔2 cm,其他基础1 cm。
- (3)汽车荷载:城-A级。
- (4)温度荷载:整体升降温 $\pm 30^{\circ}\text{C}$;斜拉索与主梁、索塔温差 $\pm 15^{\circ}\text{C}$;塔身单侧日照左右侧温差 $\pm 5^{\circ}\text{C}$;梯度温度按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)取用。
- (5)风荷载:重现期100年设计基本风速36.2 m/s。

主梁的相关验算结果如表1所示,均满足规范^[3-4]要求。

表1 主梁结构的应力值					单位:MPa
	频遇组合拉应力	准永久组合拉应力	标准组合压应力	频遇组合主拉应力	标准组合主压应力
上缘	-0.04	-0.26	15.98	0.84	15.89
下缘	-0.11	-0.47	15.88		
限值	1.855	0	16.2	1.325	19.44
判断	满足	满足	满足	满足	满足

主塔及基础的设计主要由抗震计算结果控制,详见下节内容。

4 抗震分析

樟木大桥位于Ⅷ度区,地震风险高,为确保桥梁在地震作用下具有足够的抗震性能,满足建议的预期抗震性能目标,需对该桥开展抗震分析。

4.1 结构动力特性

桥梁结构动力特性如表2所示,分别给出第1~6阶模态频率及特征。第2阶振型为一阶主梁和桥塔纵弯,频率为0.152 Hz;第5阶振型为一阶主梁竖弯,频率为0.454 Hz;第6阶振型为一阶主梁横弯,频率为0.587 Hz。

表2 主桥动力特性分析表		
模态阶数	频率/Hz	模态特征
1	0.108	边跨横弯
2	0.152	主梁纵向+桥塔一阶纵弯
3	0.174	主跨横弯
4	0.348	桥塔总体一阶横弯
5	0.454	主梁一阶竖弯
6	0.587	主梁一阶横弯

4.2 抗震措施及抗震分析主要结果

本桥位于高烈度区,拟采用减隔震设计。依据《城市桥梁抗震设计规范》(CJJ 166—2011)^[5]要求,进行抗震设计。

4.2.1 主要抗震措施^[6]

(1)采用抗拉球钢支座。

(2)采用阻尼器,降低全桥的位移响应。全桥各墩位处纵向均设置2个FVD5 000-0.2/±300 mm-5 000 kN 阻尼器。P0横向设置2个FVD2500-0.2/±600 mm-2 500 kN 阻尼器,P1桥塔和P2过渡墩横向设置2个FVD1500-0.2/±650 mm-1 500 kN 阻尼器,P3横向设置2个FVD600-0.2/±600 mm-600 kN 阻尼器。

(3)梁端与台背间设置纵向间隙,主墩处主梁与索塔间设横向间隙,以满足E2作用下地震纵向位移;索塔横梁与主梁间设置纵向挡块,其他墩台处设置横向防落梁挡块。

4.2.2 配筋

根据内力计算结果对结构进行配筋,桩基、塔柱

在纵桥向及横桥向地震作用下的验算结果如表3所示,均满足抗弯强度要求。

(1)桥塔桩基础采用120根直径32 mm的HRB400钢筋,桥塔桩基础满足抗弯强度要求;过渡墩桩基础采用60根直径32 mm的HRB600钢筋,过渡墩桩基础满足抗弯强度要求。

(2)下塔柱底截面采用912根直径32 mmHRB600钢筋,下塔柱顶截面采用426根直径32 mmHRB600钢筋,下塔柱满足抗弯强度要求。

(3)上塔柱底截面采用198根直径32 mmHRB600钢筋;上塔柱顶截面采用426根直径32 mmHRB600钢筋;上塔柱满足抗弯强度要求。

表3 结构验算结果

验算	纵桥向地震				检验	横桥向地震				检验
	轴力/kN	需求/(kN·m)	能力/(kN·m)	能需比		轴力/kN	需求/(kN·m)	能力/(kN·m)	能需比	
桥塔桩基	-6 154	6 635	20 160	3.04	√	-18 308	7 750	14 000	1.81	√
过渡墩桩基	-11 699	8 002	12 150	1.52	√	-5 992	8 318	15 120	1.82	√
下塔柱底	53 253	561 412	1 483 000	2.64	√	-683	897 114	910 700	1.02	√
上塔柱底	43 625	212 662	408 200	1.92	√	22 328	139 847	221 800	1.59	√

5 桥梁施工

结合本桥结构特点,主塔采用爬模法施工,主梁悬浇段采用挂篮悬臂浇筑法施工,边跨现浇段、中跨现浇段及辅助跨采用支架法施工,对称挂拉斜拉索。

6 结 语

本文以西藏日喀则市樟木大桥为背景,对大桥的总体设计,以及索塔、主梁、斜拉索等主要结构进行了介绍;然后对桥梁结构进行了静力分析及抗震

分析,验算结果均满足要求;最后介绍了本桥的施工

参考文献:

[1] 周孟波.斜拉桥手册[M].北京:人民交通出版社,2004.
[2] 师少辉,赵鹏磊,欧阳泽卉.贵州凯峡河特大桥总体设计[J].桥梁建设,2023,53(增刊1):84-90.
[3] JTG 3362—2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[4] JTG/T 3365-01—2020 公路斜拉桥设计规范[S].
[5] CJJ 166—2011 城市桥梁抗震设计规范[S].
[6] 谢敏.高烈度地震区独塔斜拉桥总体设计[J].上海公路,2014(4):49-51.

(上接第214页)

[6] 刘凌.城市景观道路空间形态设计探究[J].建筑与装饰,2017(46):128-129.
[7] 陈新民.城市更新中道路与交通技术分类探究[J].城乡建设,2023(4):44-45.
[8] 樊健,蒋璐.规划引领下的道路综合整治提升探索——以上郡北路为例[J].城市建筑空间,2025(1):87-89.
[9] 马强,韦笑.街道设计导则与城市道路系统的优化提升——从通行能力到空间品质的转变[J].城市交通,2021(5):1-16.
[10] Michael R. Gallagher,王紫瑜.追求精细化的街道设计——《伦敦街道设计导则》解读[J].城市交通,2015(4):56-64.
[11] 朱凯.基于城市道路空间的全要素城市更新设计——以长沙市

三一大道—岳麓大道道路空间品质提升项目为例[J].城市道桥与防洪,2022(8):24-27.
[12] 王磊,曹黎明.街道整治全要素的技术研究与实践[J].城市道桥与防洪,2020(8):212-215.
[13] 上海市市政工程设计研究院(集团)有限公司.东方红路提质改造工程项目初步设计报告[R].上海:上海市市政工程设计研究院(集团)有限公司,2022.
[14] 廖荆威.新型科技产业园公共绿地空间复合化设计研究[D].长沙:湖南大学,2023.
[15] 莫正玺.信息时代城市功能空间演变与优化研究[D].长沙:湖南大学,2021.