ICS 93.040
CCS P 28

DB14

山　西　省　地　方　标　准

DB14/T 3236—2025

外倾双索面混凝土部分斜拉桥设计指南

2025-01-23 发布　　2025-04-22 实施

山西省市场监督管理局　　发 布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语、定义和符号 1
4　基本原则 2
5　材料 3
6　总体设计 3
7　结构分析 7
8　施工注意事项 10

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省交通运输厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省交通运输标准化技术委员会（SXS/TC37）归口。

本文件起草单位：山西省交通规划勘察设计院有限公司、山西交通科学研究院集团有限公司。

本文件主要起草人：关伟、李群锋、宋磊、吴佳佳、王奎涛、潘会滨、郭月哲、刘冠廷、郭华筝、闫博华。

外倾双索面混凝土部分斜拉桥设计指南

1 范围

本文件提出了公路外倾双索面混凝土部分斜拉桥的基本要求、材料、总体设计、结构分析以及施工注意事项。

本文件适用于山西省范围内桥梁跨径在100m～300m之间的公路外倾双索面混凝土部分斜拉桥设计指导，其他行业同类桥梁可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 714 桥梁用结构钢

JTG B01 公路工程技术标准

JTG C30 公路工程水文勘测设计规范

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

JTG/T 2231-01 公路桥梁抗震设计规范

JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范

JTG/T 3360-01 公路桥梁抗风设计规范

JTG/T 3360-02 公路桥梁抗撞设计规范

JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG 3363 公路桥涵基地与基础设计规范

JTG/T 3365-01 公路斜拉桥设计规范

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

JTG/T 3650-01 公路桥梁施工监控技术规程

QX/T 330 大型桥梁防雷设计规范

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

外倾双索面

斜拉索布设在两个索平面中，且两个索平面向桥面外侧倾斜。

3.1.2

混凝土部分斜拉桥

主梁为预应力混凝土结构并承担全桥主要受力荷载，斜拉索辅助主梁承担受力荷载的桥梁结构体系。

3.1.3

主梁

由斜拉索和支座支承，直接承受由桥面传递的交通荷载的构件。

3.1.4

索塔

用于锚固或支承斜拉索，并将其索力传递给下部结构的构件。

3.1.5

斜拉索

承受拉力并支承主梁的构件。

3.1.6

部分斜拉桥结构体系

包括塔梁墩固结体系、塔梁固结体系、塔墩分离体系。

3.1.7

桥梁景观

桥梁与其所在地区环境共同带来的视觉效果与心理感受。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

l——计算跨径；

M——弯矩值；

M_{h}——横桥向弯矩值；

M_{z}——纵桥向弯矩值；

N——轴力值；

V——剪力值；

T——斜拉索的轴向拉力值；

f——汽车荷载（不计冲击力）引起的竖向挠度。

4 基本原则

4.1 本文件采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，按分项系数的设计表达式进行设计。

4.2 应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，并应考虑结构构件的耐久性设计要求与结构稳定安全系数。

4.3 设计时应考虑结构抗风、抗震、抗撞等减灾防灾设计要求。
4.4 应注重桥梁造型设计，改善、丰富桥位环境及桥梁景观。
4.5 设计时，在确保结构安全的前提下，应对斜拉索的更换提出相应的技术要求。同时应设置相应的检修通道、工作平台及安全护栏，确保桥梁所有构件可达、可检、可更换或维修。
4.6 桥梁设计时应积极、稳妥推广应用新材料、新技术、新工艺和新设备。

5 材料

5.1 混凝土

5.1.1 外倾双索面混凝土部分斜拉桥各构件的混凝土材料，其强度、弹性模量、剪切模量和耐久性设计要求等应符合 JTG 3362、JTG/T 3310 的规定。
5.1.2 外倾双索面混凝土部分斜拉桥主梁结构混凝土强度等级不应低于 C50，索塔结构混凝土强度等级不应低于 C40。

5.2 钢材

5.2.1 钢筋混凝土及预应力混凝土构件所采用的普通钢筋与预应力钢筋的种类、强度和弹性模量应按 JTG 3362 的规定取用。
5.2.2 结构用钢材的力学及化学指标应满足现行 GB/T 714、JTG D64 的要求。
5.2.3 斜拉索设计应满足现行 JTG/T 3365-01 的规定。

6 总体设计

6.1 一般原则

6.1.1 外倾双索面混凝土部分斜拉桥应根据桥梁使用功能、技术标准、建设条件、景观、环保、斜拉索养护及更换等要求，统筹考虑安全、耐久及全寿命周期经济性进行总体设计。
6.1.2 总体设计应对桥梁跨径布置、横断面布置、结构体系、施工方法以及主梁、斜拉索、索塔和基础等进行综合比选。
6.1.3 设计时应明确可更换部件的设计使用年限。主要可更换部件的设计使用年限不应低于表 1 的规定。

表1 主要可更换部件的设计使用年限

部件	设计使用年限（年）
斜拉索	20
斜拉索外置式阻尼装置	20
盆式橡胶支座	25
伸缩装置、栏杆	15

6.1.4 纵断面设计各项技术指标应符合路线布设的规定，主桥、主跨宜布置在凸曲线或单坡曲线内，便于桥梁排水。
6.1.5 横断面布置应符合现行 JTG B01 的相关要求，同时应在桥面两侧设置拉索区及检修道。
6.1.6 跨越河流时，应根据 JTG C30 对桥位处进行水文计算，保证结构设计满足排洪防灾、通航等要求。

6.1.7　桥梁设计采用的结构重要性系数、作用及其组合应符合 JTG D60、JTG/T 3365-01 的相关要求。
6.1.8　主梁的专用检修道，人群荷载可取 1.5kN/m^2。

6.2　结构体系

6.2.1　外倾双索面混凝土部分斜拉桥宜采用塔梁墩固结体系。
6.2.2　全桥边跨与主跨比采用 0.5～0.76。

6.3　主梁

6.3.1　外倾双索面混凝土部分斜拉桥主梁宜布置成连续体系，主梁应设置纵向预应力，竖向及横向预应力应根据需要设置。
6.3.2　主梁应做到传力顺畅，主塔根部无索区梁段宜设置为变高箱梁，有索区及其外侧无索区梁段、边跨现浇段及合拢段宜设置为等高箱梁。主梁段落区域示意图见图 1。

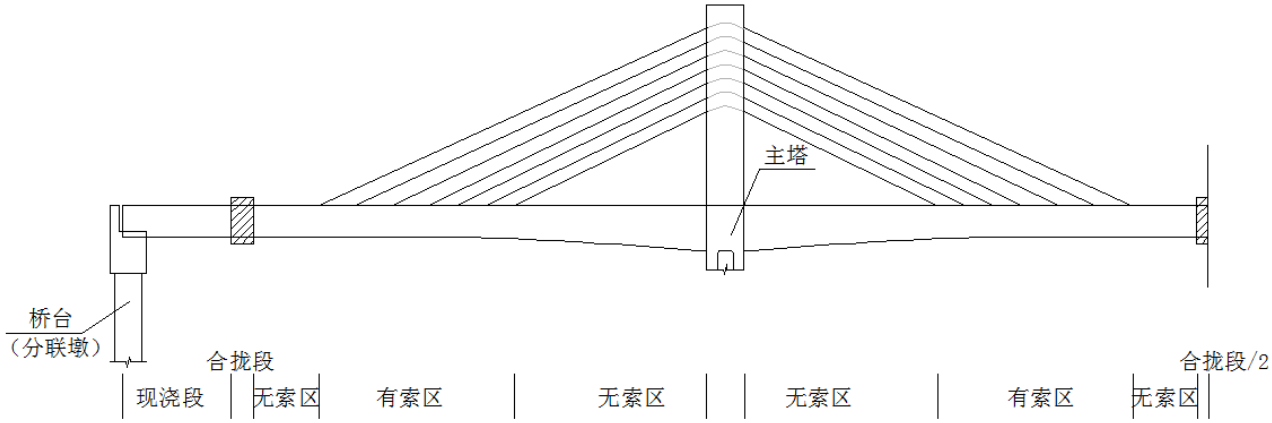


图1　主梁段落区域

6.3.3　主梁上的无索区长度，索塔附近采用 0.15～0.20 倍主跨跨径；中跨跨中采用 0.20～0.35 倍主跨跨径；边跨采用 0.20～0.35 倍边跨跨径。
6.3.4　主梁合拢段长度宜取 1.5 m～3.0 m，可采用劲性骨架作为临时固结措施，必要时可施加预应力。
6.3.5　主梁节段浇筑时混凝土相对龄期及强度应满足设计要求；当设计无要求时，混凝土龄期不应低于 7d，混凝土强度不应低于设计强度的 90%。
6.3.6　应根据主梁整体受力、抗风稳定性及抗震性能要求，合理选择主梁截面型式，主梁截面可采用箱型断面或其他适宜的断面型式。
6.3.7　主梁采用箱形截面时，横桥向分室应根据桥梁跨径、桥面宽度等确定。主梁箱室宽不宜大于桥面全宽的 1/2，且箱梁横截面的长边与短边之比不宜大于 4，否则应设置为多箱室。
6.3.8　对于箱形截面主梁，采用等截面时，梁高与主跨跨径比采用 1/35～1/45；采用变截面时，根部梁高与主跨跨径比采用 1/25～1/30，跨中梁高与主跨跨径比采用 1/55～1/65。
6.3.9　箱型截面主梁采用大悬臂形式时，除剪力滞效应外，应考虑活载在悬臂板中引起的挠曲效应对主梁结构的影响。
6.3.10　主梁斜拉索锚固区应设置横向连接构造，并根据主梁横向刚度、桥面板的跨径及索距适当加密布置。
6.3.11　主梁通过孔构造应满足下列要求：

a) 过人孔应保证施工及检修人员能够通过。一般设置在箱室中部贯通的横隔板上或桥台(分联墩)处箱梁底板上，设计时应对过人孔附近梁体结构进行受力验算，加强构造配筋设计；
b) 通气孔设计为直径 10cm 的圆形，设置在箱梁腹板上，以减小箱梁内外侧的大气温差，间距约 5m,应避开主梁横隔梁且均匀布置。

6.3.12 主梁防水构造要求应符合下列要求：

a) 主梁顶面混凝土与桥面铺装层之间的防水层设置应满足相关规范要求；
b) 主梁斜拉索锚固区横向连接构造预应力钢束张拉后应及时注浆封锚；
c) 主梁翼缘外侧宜设置斜挡板，并在斜挡板外侧最低缘设置滴水檐构造；
d) 伸缩缝处桥面系及栏杆、防撞护栏处应设置防水措施和排水装置。

6.4 索塔

6.4.1 外倾双索面混凝土部分斜拉桥索塔结构设计应满足施工及运营阶段结构强度、刚度、稳定性等要求外，还应满足经济合理、施工方便、造型美观及便于维修养护等要求。

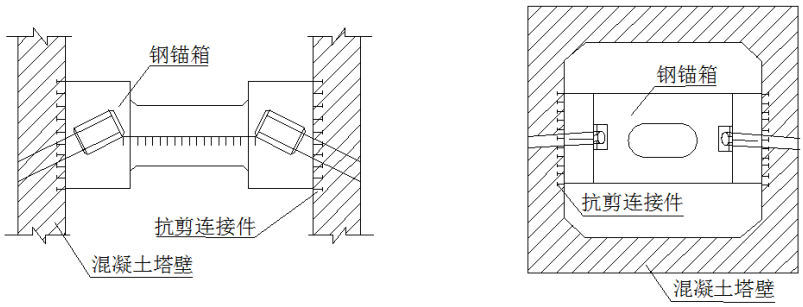
6.4.2 斜拉索在索塔上的布置应避免索塔受扭。

6.4.3 桥面以上塔高与主跨跨径比采用 1/6～1/10。

6.4.4 横桥向主塔塔肢轴线与桥面中心线交叉角度采用 20° ～23° 。

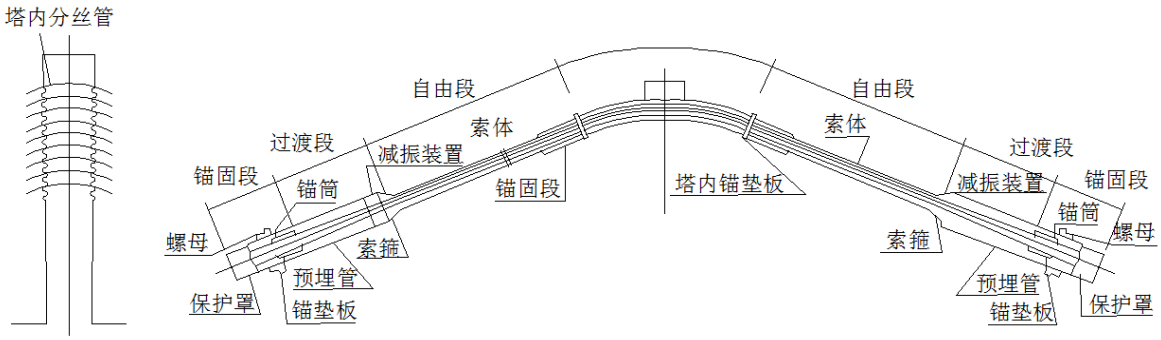
6.4.5 斜拉索与桥塔的锚固宜采用钢锚箱锚固或骑跨式鞍座锚固。

a) 钢锚箱锚固，由锚垫板、承压板、锚腹板、套筒及若干加劲肋构成，钢锚箱用剪力连接键使之与混凝土塔身连接，宜采用内置式。混凝土索塔内置式钢箱锚固示意见图 2。
b) 骑跨式鞍座锚固，斜拉索穿过索塔顶部的鞍座后，在索塔两侧对称锚固于主梁上，鞍座内构造宜采用便于更换斜拉索的分丝管。混凝土索塔骑跨式鞍座锚固示意见图 3。

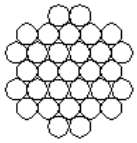


a)立面图　　b)平面图

图2　混凝土索塔内置式钢箱锚固



a)立面图　　b)单根斜拉索



c)分丝管构造

图3　混凝土索塔骑跨式鞍座锚固

6.4.6　钢锚箱索塔截面宜为空心矩形截面形式，索塔锚固区斜拉索的间距，应满足受力及构造要求外，还要保证张拉及调索的空间，以满足斜拉索套管、管道及千斤顶行程与移动需要的高度要求。

6.4.7　骑跨式鞍座锚固索塔截面应为实心矩形截面形式，锚固区内的构件截面尺寸应满足设置穿索管道及锚下垫板的需要，锚下局部区段内应增设加强钢筋网或螺旋钢筋。索塔无索区空心截面宜与桥墩截面形式统一考虑。

6.4.8　混凝土索塔的钢筋构造应符合下列规定：

a)　竖向受力钢筋的直径不宜小于 25mm；

b)　竖向受力钢筋的截面积不宜小于混凝土截面面积的 1%；

c)　箍筋直径不应小于 16mm，间距不应大于竖向受力钢筋直径的 10 倍，且不大于 200mm。索塔底部的箍筋直径宜适当增大，间距可减小。

6.4.9　混凝土索塔应根据施工需要在索塔内配置型钢作为劲性骨架。

6.4.10　设置钢锚箱的索塔应设置养护及检修用的爬梯与简易停歇台等。索塔采用空心塔柱时，爬梯、停歇台宜在塔柱内部设置，并配有照明及良好的通风设备。

6.4.11　索塔顶部应设置能覆盖全桥的防雷安全设施，应按现行 QX/T 330 的相关规定设置防雷设施。

6.5　斜拉索、锚具

6.5.1　外倾双索面混凝土部分斜拉桥用斜拉索应结合生产、运输和安装等条件选用平行钢丝斜拉索或钢绞线斜拉索。

6.5.2　斜拉索索端与锚具的结合部应设置完整可靠的密封防护构造。

6.5.3　斜拉索应便于张拉、检查、更换。

6.5.4　斜拉索索端应考虑施工期及运营期的排水、防潮措施。

6.5.5　桥面以上斜拉索应设置有效防护，其竖向高度不应小于 2.5m。

6.5.6　宜采用能承担高应力变幅的斜拉索、锚具，减少斜拉索的疲劳影响。

6.5.7　对锚具外露部分宜设防护罩，锚具防锈可采用聚乙烯、玻璃钢、防锈涂料及防锈酯等材料作为防护层。

6.5.8　应明确斜拉索传感器的布设要求，对索力进行实时监控，确保斜拉索、主梁受力安全。

6.6　主墩

6.6.1　外倾双索面混凝土部分斜拉桥主墩墩身可采用单肢或双肢空心薄壁框架结构。应满足在各种荷载作用下桥墩强度、刚度和稳定性的要求；主墩墩身应适应塔梁墩固结体系由于混凝土收缩、徐变和温度变化等引起的纵向位移。

6.6.2　双肢空心薄壁框架结构的主墩塔肢横向联系应根据主墩墩高情况进行设置。

6.6.3　主墩墩底宜设置实心段，使承台和墩身区域的应力分布平顺均匀。

6.7　基础

6.7.1　基础形式应根据桥位处地形、地质条件选用群桩或沉井的基础形式，并应符合现行 JTG 3363

的规定。

6.7.2　当基础采用群桩基础时，桩基应根据桥位处工程地质条件选择合适的桩基形式，当桩基采用摩擦桩且地质条件较差时，应进行试桩。

7　结构分析

7.1　一般原则

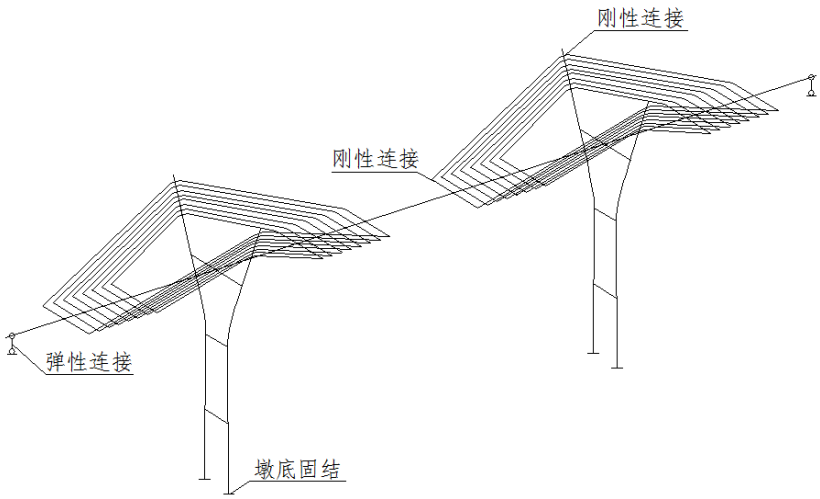
7.1.1　外倾双索面混凝土部分斜拉桥应进行结构的静力分析、动力分析和稳定分析。

7.1.2　应对施工阶段和成桥状态下结构的强度、刚度和稳定性采用不少于两种计算软件进行对比分析。

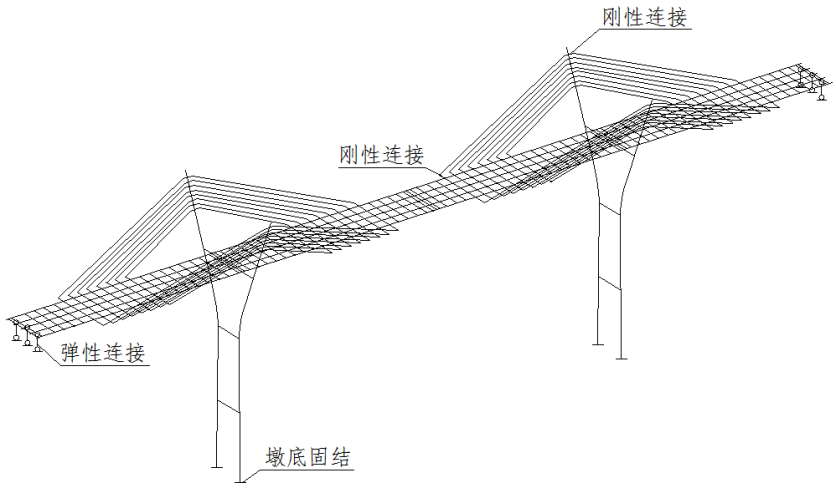
7.2　结构建模

7.2.1　结构整体计算宜采用空间杆系单元模型进行分析，局部受力复杂的构件宜采用空间实体单元进行分析。

7.2.2　结构整体计算模型的几何特性、边界条件、荷载施加等应能够真实反映桥梁的实际整体受力状况，索梁、索塔等锚固区应做等效模拟。当主梁断面为单箱多室或多箱多室时，结构整体计算宜采用空间杆系梁格模型。结构计算模型示意见图 4。



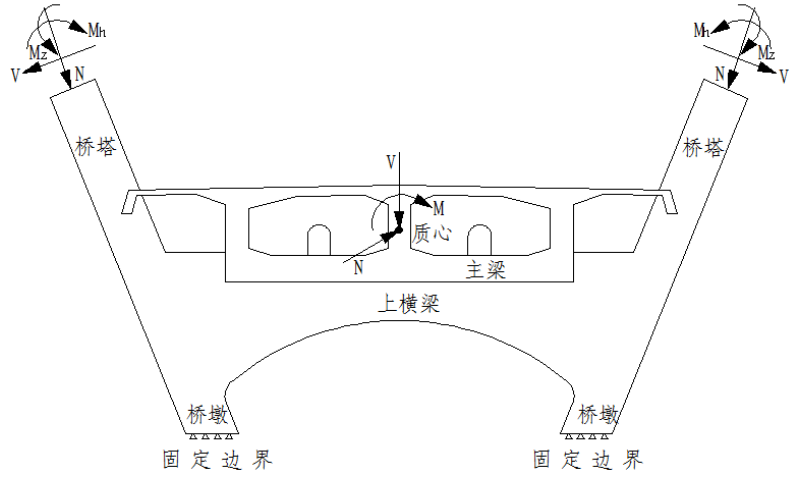
a）单梁模型



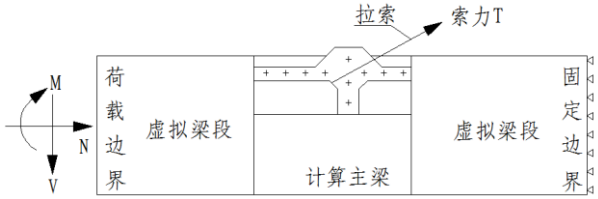
b）梁格模型

图4　结构计算模型

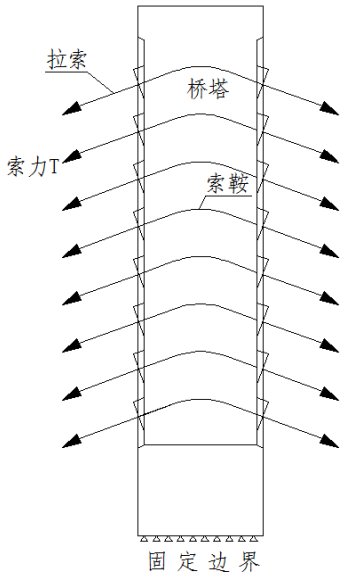
7.2.3　局部构件实体计算模型的材料特性、边界条件、荷载施加应与实际桥梁构件受力情况相符，实体计算模型端部的荷载边界条件应从结构整体模型计算结果中选取，并考虑局部构件实际施加的荷载。应重点加强对塔梁固结部位、斜拉索锚固区、塔底以及其他截面变化处的局部应力分析。局部构件计算模型示意见图 5。



a）塔梁墩连接区



b）索梁锚固区



c）索塔锚固区

图5　局部构件计算模型

7.3 成桥状态静力分析

7.3.1 外倾双索面混凝土部分斜拉桥的成桥状态静力分析包括总体静力分析及局部静力分析。

7.3.2 总体静力分析包括主梁、桥塔、分联墩及斜拉索等主要受力构件的内力、应力及变形分析。应对主要受力构件的抗弯、抗剪、抗扭、抗压等进行持久状况承载能力极限状态验算；应对主梁挠度、设计预拱度等进行持久状况正常使用极限状态验算。

7.3.3 主梁的刚度应按公式（1）进行计算：

$$f \leqslant l/500 \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

f ——汽车荷载（不计冲击力）引起的竖向挠度。

注：当汽车荷载作用于一个跨径内引起该跨径正负挠度时，f 取正负挠度绝对值之和。

7.3.4 局部静力分析包括塔梁墩连接区、索梁锚固区、索塔锚固区等关键性局部受力构件的内力、应力及变形分析。

7.3.5 在单根斜拉索更换并封闭临近更换斜拉索车道交通的正常换索工况下，索塔、主梁和斜拉索应满足成桥状态的强度、刚度和稳定性要求。

7.4 施工阶段静力分析

7.4.1 外倾双索面混凝土部分斜拉桥的施工阶段静力分析应模拟实际桥梁施工过程，在进行施工计算时，应考虑施工中可能出现的施工荷载，包括施工机具和材料、施工人群、桥面堆载、临时配重、风荷载等，以保证施工安全性。

7.4.2 施工阶段构件应力应按现行规范 JTG 3362 的有关规定进行验算。

7.4.3 施工阶段静力分析应包括（但不限于）下列不平衡荷载因素。

a) 主梁悬臂两端设计不对称产生的不平衡荷载。
b) 因施工工序产生的不平衡荷载。
c) 因施工误差产生的不平衡荷载。
d) 悬臂施工时悬臂两端的不平衡风荷载。

7.4.4 外倾式桥塔施工过程中上塔柱应进行施工阶段静力分析，应根据上塔柱根部内力及应力计算结果确定是否采用横向拉索锚固临时施工措施。横向临时拉索的设置位置、张拉力应结合上塔柱高度、桥塔根部应力及施工节段划分等因素综合确定。外倾式上塔柱横向临时拉索设置示意见图 6。

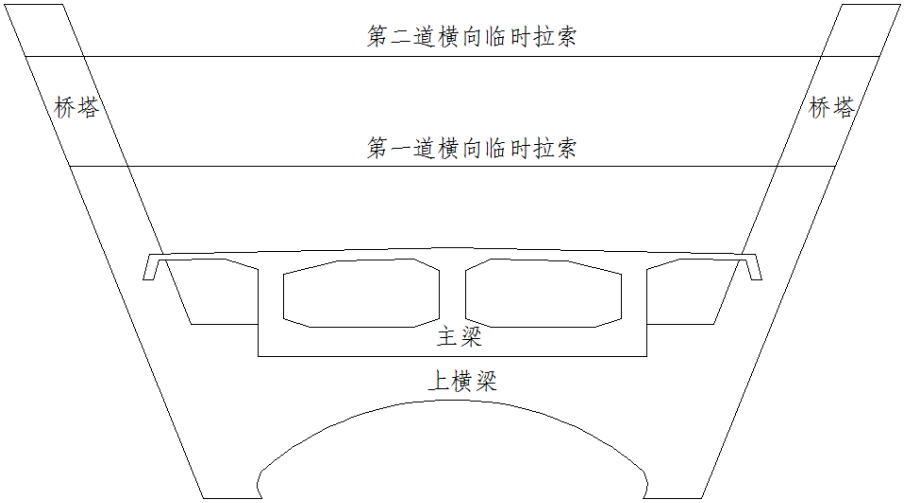


图6　外倾式上塔柱横向临时拉索设置

7.4.5　主梁索梁锚固区横隔梁预应力钢束、斜拉索张拉施工时，应对横隔梁预应力钢束及斜拉索进行分批交替张拉，同时应采用实体单元模型进行索梁锚固区施工阶段静力分析。

7.4.6　主梁悬浇梁段未设置体内预应力钢束锚固张拉端时，应采取滞后张拉锚固措施并进行施工阶段静力分析以确保悬浇梁段的施工过程安全。悬浇梁段滞后张拉装置构造示意见图 7。

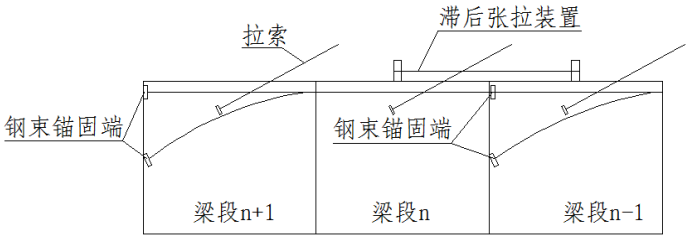


图7　悬浇梁段滞后张拉装置构造

7.5　动力分析

7.5.1　外倾双索面混凝土部分斜拉桥的结构动力特性计算，应分析结构的振型和频率等自振特性。结构计算模式应正确反映桥梁质量、刚度的实际分布，并计入非线性影响。

7.5.2　抗震分析应符合 JTG/T 2231-01 的规定，有特殊要求时应进行专题研究。

7.5.3　抗风分析应按现行 JTG/T 3360-01 或采用其他有效计算方法进行分析。

7.5.4　防船撞分析应按现行 JTG/T 3360-02 的要求进行分析。

7.6　稳定性分析

7.6.1　外倾双索面混凝土部分斜拉桥应对施工阶段及成桥运营阶段进行整体静力稳定性分析。

7.6.2　施工阶段应对结构进行第二类稳定分析，分析时应考虑材料非线性和几何非线性影响因素。

7.6.3　第一类稳定即弹性屈曲的结构稳定安全系数应不小于 4，第二类稳定即考虑非线性影响的弹塑性强度稳定安全系数应不小于 2.5。

8　施工注意事项

8.1　外倾双索面混凝土部分斜拉桥施工过程中应进行监控，保证其应力、索力及线形符合设计文件要求，桥梁监控应符合现行规范 JTG/T 3650-01 的相关要求。

8.2　主梁、桥塔及基础等结构施工技术要求应符合现行规范 JTG/T 3650 的相关要求。

8.3　施工过程中，应保证结构工程质量符合 JTG F80/1 的要求。