

团 体 标 准

T/CCTAS XXXX—2023

公路非对称斜拉桥设计与施工技术规范

Specification for Design and Construction Technology of Highway Asymmetric
Cable-stayed Bridges

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 材 料	2
4.1 混凝土	2
4.2 钢材	2
4.3 斜拉索	2
4.4 防护材料	3
5 作用	3
5.1 一般规定	3
5.2 荷载作用	3
5.3 荷载组合	3
6 总体设计	3
6.1 一般规定	3
6.2 基本结构体系	4
6.3 景观设计	6
7 构造设计	6
7.1 一般规定	6
7.2 主梁构造	6
7.3 索塔构造	7
7.4 斜拉索构造	7
7.5 斜拉索锚固系统构造	7
7.6 地锚结构构造	8
7.7 附属工程构造	8
8 结构分析计算	8
8.1 一般规定	9
8.2 成桥状态静力分析	9
8.3 施工阶段分析	9
8.4 结构稳定分析	10
8.5 动力分析	10
9 施工技术	10
9.1 一般规定	10
9.2 主梁施工技术	11
9.3 索塔施工技术	11
9.4 斜拉索安装技术	12
9.5 锚固结构施工技术	12
9.6 临时设施施工技术	13
10 施工监控	13
10.1 一般规定	13
10.2 监控内容	13

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中铁二十局集团有限公司、西南交通大学、四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司。

本文件主要起草人：.....。

公路非对称斜拉桥设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了公路非对称斜拉桥的总体设计、构造设计、结构分析计算、施工技术与施工监控。

本文件适用于新建和改建各等级公路跨径在 300m 以下的,边主跨比小于 0.6 的独塔非对称斜拉桥,以及边中跨比小于 0.4 的双塔非对称斜拉桥设计与施工。

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 3077	合金结构钢
GB 50917	钢-混凝土组合桥梁设计规范
GB/T 5313	厚度方向性能钢板
GB/T 699	优质碳素结构钢
JTG D60-01	公路桥涵设计通用规范
JTG D64	公路钢结构桥梁设计规范
JTG/T D64-01	公路钢混组合桥梁设计与施工规范
JTG/T D65-05	公路悬索桥设计规范
JTG/T 2231-01	公路桥梁抗震设计规范
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/T 3651	公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
JTG 3363	公路桥涵地基与基础设计规范
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 F80/1	公路工程质量检验评定标准
JTG/T 5122	公路缆索结构体系桥梁养护技术规范
JT/T 327	公路桥梁伸缩装置通用技术条件
JT/T 722	公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
CJ/T 297	桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 非对称斜拉桥 Asymmetric cable-stayed bridges

边主跨比小于0.6的独塔斜拉桥,以及边中跨比小于0.4的双塔斜拉桥。

3.2 双塔非对称斜拉桥 Asymmetric Cable-stayed bridges with double pylon

设置有两个索塔的非对称斜拉桥。

3.3 独塔非对称斜拉桥 Asymmetric Cable-stayed bridges with single pylon

仅设置有一个索塔的非对称斜拉桥。

3.4 无背索斜拉桥 Cable-stayed bridges without back cable

仅在主跨设置斜拉索，边跨不设置斜拉索的斜拉桥。

3.5 斜塔非对称斜拉桥 Asymmetric Cable-stayed bridges with inclined pylon

索塔沿桥纵向斜置的非对称斜拉桥。

3.6 部分地锚式斜拉桥 Partially ground-anchored cable-stayed bridges

边跨斜拉索部分锚固在地锚结构的斜拉桥。

3.7 完全地锚式斜拉桥 Fully ground-anchored cable-stayed bridges

边跨斜拉索全部锚固在地锚结构的斜拉桥。

3.8 地锚结构 Ground anchoring structure

地锚式斜拉桥中用于锚固斜拉索的结构。

3.9 端锚索 Cables anchored at the ends

锚固在边跨外端处的一根或一组截面面积较大的相对集中锚固的拉索

3.10 分丝管索鞍锚固 Cable saddle anchorage with strand-separation tube

斜拉索在塔端穿过分丝管跨索鞍的锚固结构。

4 材料

4.1 混凝土

4.1.1 用于公路非对称斜拉桥各部分构件的混凝土，其强度等级、标准值、设计值，弹性模量和耐久性设计要求等，应按 JTG 3362 的规定取用。

4.1.2 主梁和索塔所采用的混凝土强度等级宜不低于 C50，并通过合理选择原材料、优化配合比设计、添加纤维增强材料、加强施工质量控制等措施来满足抗裂要求。

4.1.3 地锚结构混凝土强度等级的确定应考虑大体积混凝土施工温控的需求，宜在 C35~C50 之间。地锚结构中为增加质量的填充材料，可选用低等级的混凝土或其他替代材料。

4.2 钢材

4.2.1 主梁和索塔所采用的钢材，应根据结构的重要性、荷载特征、应力状态、连接方式、环境条件等因素合理选用。钢材等级不应低于 Q355，其质量等级应符合现行 JTG D64 的规定。

4.2.2 对于面外受力有 Z 向性能要求的钢板，应符合设计文件和现行 GB/T5313 的规定。

4.2.3 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类别、设计强度、标准强度和弹性模量，应按现行 JTG 3362 的规定采用。

4.2.4 普通螺栓、锚栓、高强螺栓、剪力钉等的技术要求、物理性能指标及耐久性设计要求，应按现行 JTG D64 的规定采用。

4.2.5 焊接材料应与主体结构钢材的性能相匹配，应按现行 JTG D64 的规定采用。

4.3 斜拉索

4.3.1 公路非对称斜拉桥的高强钢丝斜拉索应采用 5mm 或 7mm 钢丝，其性能应满足现行 JTG/T 3365-01 的要求。

4.3.2 公路非对称斜拉桥的钢绞线斜拉索应采用高强度低松弛预应力钢绞线，其性能应满足现行 JTG/T 3365-01 的要求。

4.3.3 斜拉索用锚具材料性能应满足现行 GB/T 699 或 GB/T 3077 的要求。

4.4 防护材料

4.4.1 钢梁、钢索塔等钢结构涂装材料应符合设计文件和现行 JT/T 722 的规定。

4.4.2 斜拉索外防护材料性能应满足现行 CJ/T 297 的要求，密封材料应符合设计文件和相关产品标准的规定。

5 作用

5.1 一般规定

5.1.1 公路非对称斜拉桥设计中采用的结构重要性系数、荷载作用分类及其组合，应符合现行 JTG D60 的规定。

5.1.2 公路非对称斜拉桥设计应考虑运营阶段和施工阶段可能同时出现的所有作用，按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用组合。

5.2 荷载作用

5.2.1 计算结构重力时，应按现行 JTG D60 和 JTG/T 3365-01 的规定计算。

5.2.2 车道荷载和车辆荷载的取值，应符合现行 JTG D60 中有关规定。

5.2.3 人群荷载的取值应按现行 JTG D60 和 JTG/T 3365-01 的规定执行。

5.2.4 风荷载标准值应按现行 JTG D60 和 JTG/T 3360-1 的规定计算。在风环境比较复杂的地区，应进行专题研究。

5.2.5 温度作用需根据桥梁的地理位置、环境条件等因素确定，应按现行 JTG D60 和 JTG/T 3365-01 的规定计算。在环境温度比较复杂的地区，结构梯度温度场应进行专题研究。

5.2.6 对于跨径不大于 150m 的公路非对称斜拉桥，地震作用可按现行 JTG/T 2231-01 中 A 类桥梁的规定采用。跨径大于 150m 时应根据专门的工程场地地震安全性评价确定桥址 E1 和 E2 地震作用。

5.2.7 公路非对称斜拉桥抗震设计应考虑下列作用：

- a) 永久作用，包括结构自重、预应力、土压力等。
- b) 地震作用，包括地震动的作用和地震土压力、水压力等。
- c) 均匀降温作用。在进行支座和索塔、加劲梁间连接构件抗震验算时，应计入 50% 均匀降温作用。

5.2.8 需要考虑船舶或汽车撞击作用时，撞击作用设计值应符合现行 JTG/T 3360-02 的规定。

5.3 荷载组合

5.3.1 公路非对称斜拉桥荷载作用组合应符合现行 JTG D60 中有关作用组合的规定。

5.3.2 公路非对称斜拉桥抗震计算作用组合应按现行 JTG/T 2231-01 的规定采用。

5.3.3 公路非对称斜拉桥防船撞计算作用组合应按现行 JTG/T 3360-02 的规定采用。

6 总体设计

6.1 一般规定

6.1.1 公路非对称斜拉桥设计应遵循安全、适用、经济、耐久和美观的原则。

6.1.2 公路非对称斜拉桥总体设计时，应根据桥梁使用功能、技术标准、建设条件、景观、环保等要求，考虑全寿命周期成本进行综合设计。

6.1.3 公路非对称斜拉桥主体结构应按不小于 100 年设计使用年限进行设计。

- 6.1.4 公路非对称斜拉桥的斜拉索等可更换部件，在确保结构安全的前提下，应考虑更换的可行性。
- 6.1.5 公路非对称斜拉桥应根据其所处环境条件和设计使用年限要求加强耐久性设计。
- 6.1.6 应对公路非对称斜拉桥的跨径布置、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。
- 6.1.7 为减小不平衡荷载对墩底的作用，公路非对称斜拉桥宜采用矮墩形式。
- 6.1.8 公路非对称斜拉桥的边中跨径比对结构整体刚度的分布具有重要影响，应根据边中跨径比值合理确定结构体系。
- 6.1.9 公路非对称斜拉桥边跨辅助墩的设置应考虑桥梁的总体布局 and 结构受力特点。
- 6.1.10 公路非对称斜拉桥的重要部位和关键部件，可采用高性能材料提高结构的安全性和耐久性。
- 6.1.11 设计中应对公路非对称斜拉桥运营中的维养提出技术要求。
- 6.1.12 可积极、稳妥地推广新材料、新技术、新工艺和新设备在公路非对称斜拉桥中的应用。

6.2 基本结构体系

6.2.1 公路非对称斜拉桥主要由主梁、斜拉索、索塔、墩台及基础等构件构成，在边跨内可根据需要设置辅助墩或地锚结构。

6.2.2 根据塔、梁及墩的约束关系，公路非对称斜拉桥的结构体系可分为：塔梁墩固结体系、塔梁固结体系和半飘浮体系。

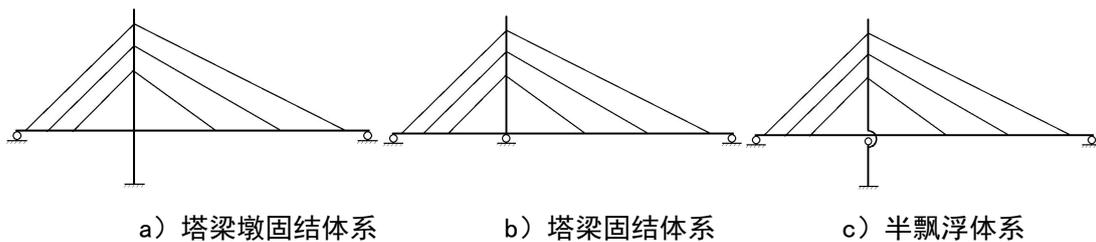


图 1 公路非对称斜拉桥基本结构体系

6.2.3 公路非对称斜拉桥边中跨比较小，存在较大的不平衡荷载，塔梁间应设置有效的支承，不宜采用漂浮体系。

6.2.4 公路独塔非对称斜拉桥宜采用塔梁墩固结体系。

6.2.5 公路非对称斜拉桥依据索塔在纵桥向布置、主梁在纵桥向布置、斜拉索索面布置可采用以下结构类型。

- a) 根据索塔在纵桥向的布置，公路非对称斜拉桥可采用独塔斜拉桥和双塔斜拉桥。
- b) 根据主梁在纵桥向的布置，公路非对称独塔斜拉桥可采用两跨（有边跨）独塔斜拉桥和单跨（无边跨）独塔斜拉桥，如图 2 所示。
- c) 根据斜拉索索面横向布置，公路非对称斜拉桥可采用单索面、双索面、多索面斜拉桥。
- d) 根据斜拉索索面纵向布置，公路非对称斜拉桥可采用有背索和无背索斜拉桥。

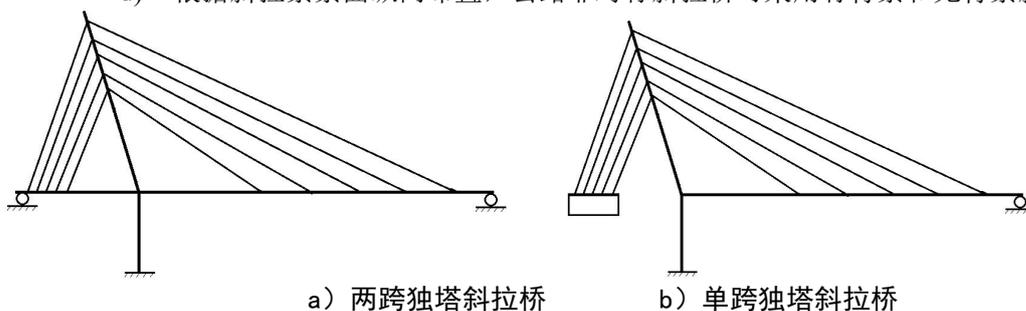


图 2 独塔斜拉索边中跨布置

- 6.2.6 公路非对称独塔斜拉桥设计中，可将边跨梁端的边索或几根索锚固在边跨支座处，形成端锚索。
- 6.2.7 公路非对称斜拉桥的边中跨比过小时，边跨压重仍不能平衡中跨主梁重力，宜采用地锚体系斜拉桥。
- 6.2.8 地锚体系斜拉桥可分为完全地锚体系斜拉桥和部分地锚体系斜拉桥，如图3所示。

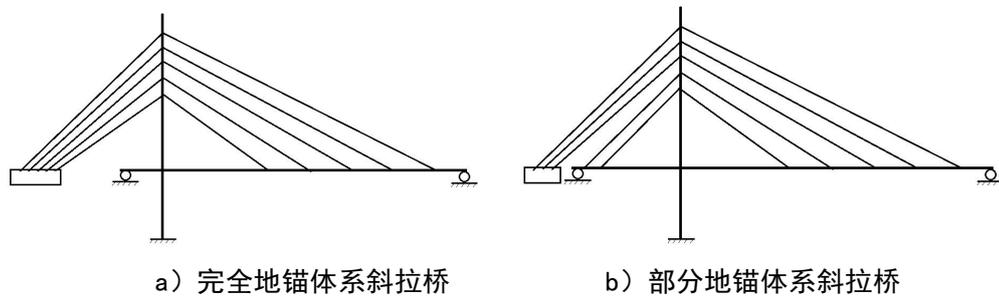


图3 地锚体系斜拉桥基本结构体系

- 6.2.9 部分地锚式斜拉桥可以分为主梁与锚碇固结、主梁与锚碇分离、两种体系，如图4所示。

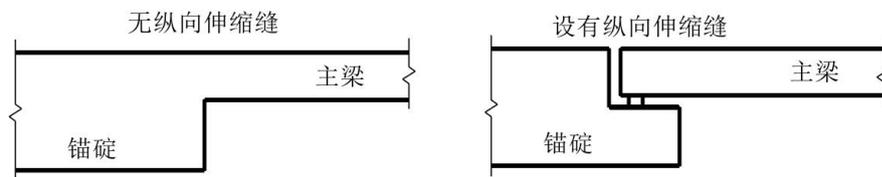


图4 主梁与锚碇的不同连接形式

- 6.2.10 主梁与锚碇分离体系中，主梁和锚碇是两个独立的结构，适用于主梁跨度较大需要释放纵向位移的情况。主梁与锚碇固结体系中，主梁和锚碇是固结在一起的，适用于主梁跨度较小、纵向位移较小的情况。
- 6.2.11 当边跨跨径较小无需设置斜拉索，可采用无背索斜拉桥。该类结构依靠索塔本身承受拉索的不平衡力，宜将索塔向边跨倾斜，用塔身重力来平衡索力。
- 6.2.12 无背索独塔斜拉桥可分为无背索独塔单跨斜拉桥和无背索独塔两跨斜拉桥，如图5所示。

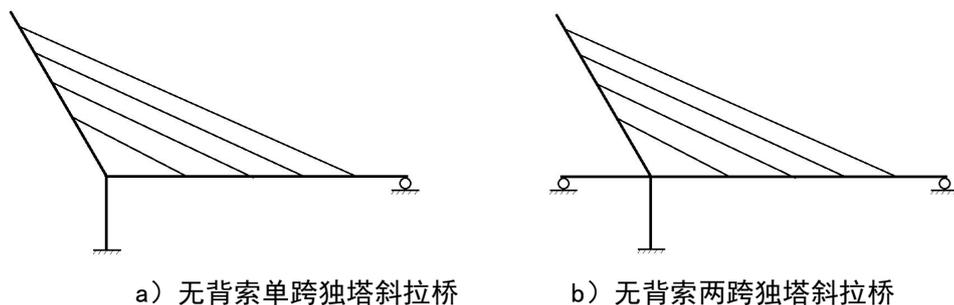


图5 无背索独塔斜拉桥孔跨布置

- 6.2.13 地锚体系非对称斜拉桥可采用岩锚、重力式锚、抗拔桩锚等可靠的地锚结构型式。

- a)岩锚利用天然岩石的抗剪能力，采用竖、斜井和岩槽的形式将锚碇埋入岩石中，对地质条件要求比较高；
- b)重力式锚是通过增大锚碇的体积和重量来平衡斜拉桥的拉力。适用于河床稳定、地质条件良好的情况；
- c)抗拔桩锚利用桩的摩擦力和嵌岩力抵抗斜拉索的拉力。适用于河床不稳定、地质条件较差的情况化。

6.2.14 为适应温度引起的梁体伸缩，双塔地锚体系斜拉桥的主跨宜采取允许梁体纵向变形的体系。

6.3 景观设计

6.3.1 公路非对称斜拉桥有专门的景观要求时，可选择一项或多项内容进行景观设计。

6.3.2 公路非对称斜拉桥总体景观设计应满足以下要求：

- a) 主梁、索塔尺寸应比例协调，力线流畅，宜突出索塔和斜拉索索面。
- b) 索塔及斜拉索的纵、横向布置应与周边环境协调。
- c) 索塔外形在桥面上下宜视觉连续。

6.3.3 公路非对称斜拉桥主要构件景观设计应满足以下要求：

- a) 索塔、桥墩的造型元素应统一。
- b) 索塔结构形式应与周围环境相协调。
- c) 对于地锚式非对称斜拉桥，应减少地锚结构外露地面的尺寸。

6.3.4 公路非对称斜拉桥附属设施景观设计应满足以下要求：

- a) 电缆线、排水管等附属设施不宜外露。
- b) 灯柱、栏杆等附属设施可进行专门的造型设计。

6.3.5 公路非对称斜拉桥宜利用构件的不同色彩，与环境协调，并宜满足下列要求：

- a) 需要突出桥梁时，宜选择对比色。
- b) 需要与环境相融合时，宜采用调和色。

6.3.6 公路非对称斜拉桥夜景照明应与交通照明相结合，并宜突出索塔和斜拉索外轮廓。

7 构造设计

7.1 一般规定

7.1.1 公路非对称斜拉桥各主要组成部分的构造，应保证结构具有足够的强度、刚度和稳定性，结构受力体系明确，减少应力集中，便于施工和养护。

7.1.2 公路非对称斜拉桥构造设计时，应考虑可更换部件的后期维护的空间和构造措施。

7.2 主梁构造

7.2.1 公路非对称斜拉桥主梁设计应符合现行 JTG D64、JTG3362 和 JTG / T D64-01 的有关规定。

7.2.2 主梁的截面形式应根据跨径、索距、桥宽、索面数等不同，并综合考虑结构受力、耐久性、抗风稳定和施工方法进行选用。

7.2.3 公路非对称斜拉桥主梁尺寸和构造应保证具有合理的抗弯、抗扭刚度。同时应满足桥面使用功能、结构受力和抗风稳定性的要求。

7.2.4 公路单索面非对称斜拉桥，应选用抗扭刚度大的箱梁以保证结构的刚度和稳定性。

7.2.5 公路非对称斜拉桥主跨侧主梁宜采用重量较轻的钢梁或者组合梁，边跨侧主梁宜采用混凝土梁。主梁的构造设计应符合现行规范的相关要求。

7.2.6 主梁采用混合梁时，钢-混结合段的位置应结合桥址建设条件、结构受力、施工和造价等因素进行综合确定，宜设置在桥塔附近。

7.2.7 未采用混合梁的公路非对称斜拉桥，宜在边跨设置平衡压重。需根据主梁的重量和斜拉索的拉力，进行主梁的配重设计，以实现桥梁的平衡和稳定。

7.2.8 主梁节段长度宜结合运输及安装条件确定。钢梁节段应采用工厂焊接方法制作，节段连接方式可采用高强螺栓连接或焊接。

7.3 索塔构造

7.3.1 应根据桥梁总体布置要求和地形条件，设计合适的索塔形式，包括索塔高度、倾斜角度、截面形状等，同时考虑索塔的受力性能和美观性。

7.3.2 索塔应满足施工及运营阶段结构强度、刚度、稳定性、耐久性等要求，同时应考虑经济合理、施工方便、造型美观及便于维修养护等要求。

7.3.3 根据不同的需要，索塔可采用混凝土索塔、钢索塔及钢-混组合索塔。当桥梁位于地震区时，宜优先选择适应变形能力较强的结构型式及材料。

7.3.4 索塔的高度应根据斜拉索角度、索塔倾角、主梁高度及桥面线形、通航净高及航空限高等确定。

7.3.5 索塔的纵桥向形式和横桥向形式应结合桥跨布置和横断面布置，参照 JTG/T 3365-01 的相关原则进行选取。

7.3.6 对于地震区域或大风气候条件下的桥梁，应选用具有较好抗风、抗震性能的索塔形式，如 H 形、A 字形、钻石形等。

7.3.7 在城市或风景区等对桥梁美学要求较高的地方，索塔的选型也需要考虑其外观和造型，以满足城市规划或风景区保护的要求，索塔可采用拱形、环形等异型形式。

7.3.8 公路非对称斜拉桥异形索塔构造复杂宜采用钢结构，设计应充分考虑钢结构的制造和连接方式。

7.3.9 混凝土索塔塔柱的横截面可采用实心或空心，截面形式可采用矩形、工字形、箱形或多边形。应根据施工需要在索塔内配置型钢作为劲性骨架。钢筋构造应符合现行 JTG D62 和 JTG/T 3365-01 规定。

7.3.10 钢索塔宜设计成空心截面形式。箱室各壁板应设置竖向加劲肋，箱室水平横隔板间距不宜大于 4.0m。钢索塔壁板的厚度根据受力需要可沿索塔内分段取用不同的厚度。

7.3.11 为满足景观和结构受力要求，公路非对称斜拉桥桥塔可以做成倾斜的。斜塔宜向边跨倾斜，边跨可以设置背索。

7.3.12 公路非对称无背索斜拉桥索塔结构应采取向边跨倾斜形式。

7.3.13 公路非对称斜拉桥采用有背索斜塔设计时，索塔倾斜方向应进行综合比选，索塔倾角不宜太大，以 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 为宜。采用无背索斜塔设计时，索塔应向边跨倾斜，索塔倾角宜取 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 。

7.4 斜拉索构造

7.4.1 斜拉索应结合生产、运输和安装等条件选用整体安装的平行钢丝斜拉索或分散安装的钢绞线斜拉索。

7.4.2 斜拉索应具有可靠的密封防护系统，尤其是索端与锚具的接合部。斜拉索索端应考虑施工期和运营期的排水、防潮措施。斜拉索应便于张拉、检查和更换。

7.4.3 为抑制斜拉索过大的振动，斜拉索索端宜根据需要设置内置式减振装置或外置式阻尼器。

7.4.4 公路非对称斜拉桥端锚索承受的索力比其它拉索大，且应力幅度变化明显，为提高索的刚度和承载能力，应采用较大的截面尺寸。

7.4.5 平行钢丝斜拉索和钢绞线斜拉索的基本构造、规格型号、技术要求等应符合现行 JTG/T3365-01 规定。

7.5 斜拉索锚固系统构造

7.5.1 公路非对称斜拉桥斜拉索与索塔的锚固系统基本构造应符合现行 JTG/T 3365-01 相关规定。

7.5.2 公路非对称斜拉桥斜拉索与主梁的锚固系统基本构造应符合现行 JTG/T 3365-01 相关规定。

7.5.3 为满足公路非对称斜拉桥索塔两侧拉索索力不同的使用需求，斜拉索在塔端可采用分丝管索鞍锚固。

7.6 地锚结构构造

7.6.1 公路非对称斜拉桥地锚结构设计应能安全可靠地承受斜拉索拉力，并充分考虑经济合理、施工可行、维护方便、景观协调和美观等要求。

7.6.2 地锚结构设计应根据地形、地质、水文、斜拉索拉力、施工条件、经济性等选择地锚形式及合理的基础型式。

7.6.3 地锚结构的位置应根据地质勘察报告和桥梁设计要求进行综合分析，选择在地质条件较好、地基稳定的地方。

7.6.4 岩锚的设计需要充分考虑锚固区域的地质条件，包括岩层的类型、产状、风化程度、裂隙发育情况等。需要根据地质勘察资料进行详细的分析和研究，以确定锚固方案和施工工艺。

7.6.5 应根据岩层的具体情况选择合适的钻孔位置、深度和直径，同时采取有效的锚固措施保证岩锚的可靠性。

7.6.6 重力式地锚结构可分为实体重力式锚和空腔式箱形锚。

7.6.7 重力式地锚结构大体积混凝土施工应进行温度控制专题研究。

7.6.8 重力式地锚结构的基础分为扩大基础、沉井基础、地下连续墙基础及复合基础，宜遵循下列原则进行选择：

- a) 基岩埋深较浅、地形地质条件良好的陆地或浅水区宜采用扩大基础。
- b) 表层地基土承载力不足但在一定深度下有较好的持力层或平坦的基岩，可采用沉井基础。
- c) 在陆地或浅水区、基岩埋深较深，对地面变形有严格要求或防洪要求高时，可采用地下连续墙基础。
- d) 当地质条件复杂，采用单一基础形式不能满足要求时，可采用复合基础。

7.6.9 重力式地锚结构的基础设计除应符合现行 JTG D63 的规定外，尚应满足下列要求：

- a) 扩大基础的平面尺寸应大于地锚体外轮廓尺寸，宜设置 1.5~3.0m 的襟边。襟边与厚度的关系应满足刚性角要求，刚性角不宜大于 45° 。
- b) 箱形基础顶板厚度不宜小于 80cm，底板厚度不宜小于 100cm。墙体间距不宜大于 10m，外墙厚度不宜小于 50cm，内墙厚度不宜小于 30cm。
- c) 沉井基础井壁厚度宜为 0.8~2.5m，沉井顶面盖板厚度不宜小于 1.5m。

7.6.10 抗拔桩锚的设计时，应根据锚固力要求及地质条件，对桩身材料、桩身长度、桩身直径、锚固段长度进行优化设计。

7.6.11 地锚结构设计除应符合本规范规定外，尚应符合现行 JTG D63、JTG 3362 的有关规定。

7.7 附属工程构造

7.7.1 桥面铺装可采用沥青混凝土、钢筋混凝土、防渗钢筋混凝土、纤维钢筋混凝土，混凝土强度等级不应低于 C40。

7.7.2 公路非对称斜拉桥应合理选择支座类型、限位装置及伸缩装置，应符合现行 JTG/T3365-01 要求。

7.7.3 应结合地震、风和制动力等动力荷载，根据需要合理选择布置阻尼器。阻尼器可布置在主梁与索塔、主梁与过渡墩或辅助墩连接处。阻尼器安装位置处应设置相应的预埋装置，并对结构进行局部加强。

7.7.4 公路非对称斜拉桥设计时，防雷、航空、通航的要求应符合现行 JTG/T3365-01 要求。

7.7.5 公路非对称斜拉桥应设置检修设施，主梁、主塔、辅助墩以及交界桥墩宜设置检查平台、通道、围栏、扶梯、内照明、入口井盖等专门供检查和养护用的设施。

8 结构分析计算

8.1 一般规定

8.1.1 公路非对称斜拉桥应进行强度、刚度、稳定验算和动力性能分析，施工阶段和成桥状态下结构的强度、刚度、稳定性和动力性能应满足要求。

8.1.2 公路非对称斜拉桥的整体分析可采用单主梁模型、双主梁模型、三主梁模型与梁格模型，局部分析应采用实体模型或板梁组合模型。

8.1.3 公路非对称斜拉桥结构计算图式、几何特性、边界条件应能反映实际结构状况和受力特征。

8.1.4 公路非对称斜拉桥边跨采用地锚结构时，应对地锚结构强度、稳定性进行计算。

8.2 成桥状态静力分析

8.2.1 公路非对称斜拉桥结构分析宜计入几何非线性的影响，考虑斜拉索垂度效应、P- Δ 效应、大位移效应。斜拉索垂度效应可采用 JTG/T3365-01 中斜拉索换算弹性模量的方法。

8.2.2 公路非对称斜拉桥属多次超静定结构，结构分析时宜考虑基础变位对结构的影响。

8.2.3 公路非对称斜拉桥主梁若包含钢和混凝土两种材料组合，应考虑主梁的两种材料不一致而引起的结构刚度变化及内力分配，主梁为箱形结构时，应考虑扭转翘曲影响。

8.2.4 公路非对称斜拉桥的混凝土主梁、混凝土索塔，应按施工过程，根据现行 JTG 3362 的规定计算混凝土收缩、徐变效应。

8.2.5 公路非对称斜拉桥结构的局部分析和应力计算宜采用空间有限元方法，其计算模型边界条件和荷载作用应能真实反映实际结构的受力状况。

8.2.6 应对公路非对称斜拉桥的塔梁连接区、斜拉索锚固部位及钢-混结合部等受力复杂部位开展局部分析。

8.2.7 异形索塔的构造及受力复杂，应根据具体的结构形式进行局部分析，评估异性索塔的强度、刚度及稳定性。

8.2.8 确定斜拉桥合理成桥状态包括合理的成桥内力分布和成桥线形。

8.2.9 部分地锚式斜拉桥在理想恒载状态下，边跨及中跨自锚段主梁重力对塔梁相交位置的力矩应平衡，边中跨斜拉索索力在桥塔处的总水平分力应平衡。

8.2.10 公路非对称斜拉桥基础计算应符合现行 JTG 3363 的规定。重力式地锚计算应包括抗倾覆、抗滑移，其安全系数应不小于 2.0。

8.2.11 应根据桥梁的荷载要求和岩层的具体情况，计算分析确定岩锚的承载能力，并采取相应的构造措施，以确保岩锚的安全性和稳定性。

8.2.12 公路非对称斜拉桥索塔和主梁的强度计算应符合下列规定：

- a) 混凝土索塔、混凝土主梁的强度计算，应符合现行 JTG 3362 的规定。
- b) 钢索塔、钢主梁的强度计算，应符合现行 JTG D64 的规定。

8.2.13 公路非对称斜拉桥斜拉索的强度计算和疲劳计算应符合现行 JTG/T3365-01 规定。

8.2.14 持久状况下，公路非对称斜拉桥的过渡墩和辅助墩支座宜处于受压状态。

8.3 施工阶段分析

8.3.1 公路非对称斜拉桥施工阶段划分及计算分析应符合 JTG/T3365-01 的规定。

8.3.2 公路非对称斜拉桥的施工阶段不平衡荷载应考虑下列因素：

- a) 主梁悬臂两端设计不对称恒载产生的不平衡荷载；
- b) 主梁悬臂施工时两端不对称风荷载；
- c) 因施工工序或施工误差产生的不平衡荷载；

d) 一侧桥面吊机滑落，单侧桥面吊机加载。

8.3.3 进行施工过程计算时，应根据非对称斜拉桥结构的特点、施工方法和工艺等，计入施工中可能出现的施工荷载，包括架设机具和材料、施工人员、桥面堆载、临时配重以及施工期间风荷载等。

8.3.4 公路非对称斜拉桥施工阶段各构件验算应遵照现行 JTG 3362 和 JTG D64 的有关规定执行。

8.3.5 公路非对称斜拉桥施工过程中存在较大的不平衡荷载，可在不影响通航的范围内设置临时墩。临时墩参与施工过程中的结构计算。在有漂浮物的河流，临时墩应考虑漂浮物的撞击。

8.3.6 公路非对称斜拉桥的墩梁临时锚固应满足施工各阶段的受力要求，宜考虑下列工况：

- a) 最大竖向不平衡受力工况：主梁不平衡荷载+不对称风荷载。
- b) 最大纵向不平衡受力工况：索塔两侧不对称的斜拉索张力+纵向风荷载。
- c) 最大横向不平衡受力工况：索塔两侧不对称横向风荷载作用。

8.3.7 对施工中的临时结构，应进行专项设计和安全性复核算。对特别复杂的大型临时受力结构，应委托第三方进行复核算。

8.4 结构稳定分析

8.4.1 应对公路非对称斜拉桥施工及运营期间的稳定性进行分析和计算，以确保结构安全性。

8.4.2 公路非对称斜拉桥的稳定分析应包括结构整体稳定和构件局部稳定，稳定分析应涵盖主要体系转换过程和主要作用组合。主要体系转换过程和主要荷载组合的选取应符合现行 JTG/T3365-01 的规定。

8.4.3 公路非对称斜拉桥的整体稳定分析应符合下列规定：

- a) 整体稳定分析时应计入斜拉索垂度的影响。
- b) 结构弹性稳定（第一类稳定）安全系数应不小于 4.0；
- c) 结构计入材料非线性影响的极限承载力分析（第二类稳定）的安全系数，应不小于 2.0。

8.4.4 公路非对称斜拉桥的局部稳定分析应符合下列规定：

- a) 钢主梁、钢索塔的受压板件局部稳定验算应符合现行 JTG D64 的规定。
- b) 板件局部稳定性验算时，应计入局部荷载引起的应力。

8.4.5 索塔的稳定性和是影响公路非对称斜拉桥稳定性的关键因素之一。在公路非对称斜拉桥设计中，需要对索塔的面内和面外稳定性进行分析和计算，以确保索塔的稳定性和安全性。

8.5 动力分析

8.5.1 公路非对称斜拉桥的结构动力特性计算，应包括结构的振型和频率。计算模型应能正确反映桥梁结构的质量、刚度的实际分布特征，并计入非线性、基础弹性的影响。

8.5.2 公路非对称斜拉桥的抗震设计应采用基于性能的两水准抗震设防方法，其抗震分析流程、抗震性能目标应符合现行 JTG/T3365-01 的规定，有特殊要求时应进行专题研究。

8.5.3 公路非对称斜拉桥的 E1 地震作用效应分析可采用反应谱法或线性时程法，E2 地震作用效应分析可采用非线性或线性时程法。各类分析方法应符合现行《公路工程抗震规范》（JTG B02）和《公路桥梁抗震设计规范》（JTG/T 2231-01）的规定。

8.5.4 公路非对称斜拉桥的抗震性能检验应取基础、辅助墩、过渡墩、索塔以及支承连接装置等重点部位，验算准则应符合现行 JTG/T3365-01 的规定，有特殊要求时应进行专题研究。

8.5.5 非对称斜拉桥的主墩、辅助墩防船撞设计宜按现行《公路桥梁抗撞设计规范》（JTG/T 3360-02）的要求执行。

9 施工技术

9.1 一般规定

- 9.1.1 公路非对称斜拉桥的边中跨径比较小，施工阶段桥塔和主梁受到较大的不平衡荷载，其受力及变形需满足安全性要求。
- 9.1.2 公路非对称斜拉桥施工前应正确理解设计图纸和设计计算的施工顺序。根据其结构受力特点和设计成桥状态，制订合理的索塔、主梁、斜拉索专项施工方案。
- 9.1.3 公路非对称斜拉桥可根据结构特点、受力行为、工期安排等，采用先塔后梁或塔梁同步的施工方法。
- 9.1.4 桥梁施工过程中应进行安全风险管理，对作业活动、设备、人员、环境、设施和材料进行安全危险源辨识和风险评估，采取安全风险防控措施，制定应急预案，保证施工安全。
- 9.1.5 公路非对称斜拉桥施工中应注重对环境的保护和节能减排，减少对周边环境和生态的影响。
- 9.1.6 公路非对称斜拉桥的施工除应符合本规范的规定外，尚应符合现行 JTG/T 3650、JTG/T 3651、JTG/T D64-01、《公路工程施工安全技术规范》（JTGF90）的相关规定。

9.2 主梁施工技术

- 9.2.1 钢主梁的制造与运输应符合现行 JTG/T 3651、JTG/T D64-01 的规定。
- 9.2.2 钢梁工地连接形式可采用全焊连接、高强螺栓连接、焊接与高强螺栓组合连接。钢-混组合梁混凝土桥面板宜采用预制拼装，现场宜采用湿接缝与钢主梁连接。
- 9.2.3 钢梁安装可采用支架上分段安装、分段顶推及悬臂拼装等。钢梁安装应符合现行 JTG/T 3651、JTG/T D64-01 的规定。
- 9.2.4 主梁采用支架上分段安装时，支架计算荷载应考虑桥面吊机、卷扬机或临时材料堆放等施工荷载；支架宜与桥塔等永久结构进行临时连接，增强稳定性。
- 9.2.5 公路非对称斜拉桥主梁结构不对称，主梁采用悬臂安装时应严格控制两侧悬臂不平衡重量，不平衡重量应控制在设计的允许范围内，最不利工况抗倾覆安全系数应大于 1.3。
- 9.2.6 公路非对称斜拉桥采用转体施工时，应保证桥塔和主梁体系保持平衡状态，需要考虑在主梁边跨设置压重以达到平衡状态。应分析不同的压重方式对斜拉桥内力和线形的影响。
- 9.2.7 应避免在不利的大风或台风季节进行长悬臂状态下的施工；当无法避开时，应对主体结构采取临时支撑、增设风缆等稳定措施，保证结构施工过程安全。
- 9.2.8 混凝土桥面板预制、运输与安装应符合现行 JTG/T 3650、JTG/T D64-01 的规定。
- 9.2.9 混凝土桥面板现场浇筑施工和混凝土湿接缝施工应符合现行 JTG/T 3650、JTG/T D64-01 的规定。
- 9.2.10 钢混结合段施工时，应注意保证各构件的位置和连接精度，混凝土浇注时应选择合适的配合比和浇注方法，确保混凝土的强度和质量，预应力张拉时应选择合适的张拉设备和张拉方案，确保预应力的施加符合设计要求。
- 9.2.11 压重混凝土容重应进行试验验证，计入混凝土收缩的影响。压重混凝土尺寸应严格控制，压重块位置应固定，防止边角损坏缺失，确保压重混凝土重量和位置在施工期和运营期均满足要求。压重混凝土布置时，应留出养护维修通道。

9.3 索塔施工技术

- 9.3.1 根据设计图纸和技术要求，采用合适的施工方法进行公路非对称斜拉桥塔体结构施工，确保结构稳定、安全可靠。对于复杂的索塔结构形式，应进行详细的力学分析和试验验证。
- 9.3.2 采用精确的定位和测量方法，对塔体进行定位和测量，确保塔体位置和尺寸符合设计要求。在施工过程中，应进行反复的定位和测量，以保证施工的准确性。
- 9.3.3 公路非对称斜拉桥索塔施工方法宜根据结构构造、施工环境和设备能力等综合确定，设置必要

的起重设备、工作电梯和安全通道。

9.3.4 混凝土塔柱模板系统应具有足够的强度、刚度、稳定性，宜进行抗风稳定性验算。塔柱施工期间，应预防风的不利作用。

9.3.5 混凝土塔柱可采用爬模、翻模、滑模、滑翻模结合等施工方法，应结合塔柱倾斜情况、截面形状和尺寸、索塔锚固构造、风速、机具设备等，合理选定索塔施工方法。

9.3.6 混凝土塔柱宜设置施工用的型钢劲性骨架，劲性骨架自身应为稳定可靠的承重结构。

9.3.7 混凝土塔柱浇筑混凝土前，应对模板、钢筋、斜拉索预埋导管等进行仔细的定位和固定，确保它们的位置和精度符合要求。

9.3.8 混凝土塔柱施工应采取适当的措施来保证混凝土质量和均匀性，并且需要按照设计和规范要求，进行养护和加固，以确保塔柱的稳定性和耐久性。

9.3.9 应采取措，保证混凝土塔柱竖向钢筋间距，满足混凝土浇筑和振捣要求。预埋的索塔锚固构件，应定位准确。

9.3.10 混凝土斜塔施工较复杂，宜考虑搭设临时支架或设置临时拉索。倾斜塔柱的悬臂施工高度应进行控制，塔柱根部混凝土拉应力限制在 1MPa 以内。

9.3.11 钢斜塔施工时可根据需要增设横撑、拉杆等临时结构，保证塔柱线形和结构安全。

9.3.12 异形塔的施工精度要求较高，应采取精确的测量和定位方法，确保塔身轮廓尺寸、斜拉索定位精度等关键参数的准确性。

9.3.13 钢索塔采用节段提升拼装施工时，应符合现行 JTG/T 3651 的规定。

9.3.14 钢索塔采用转体施工时，应符合现行 JTG/T 3650、JTG/T 3651 的规定。

9.4 斜拉索安装技术

9.4.1 施工前，应根据斜拉索类型、结构构造、设计和施工监控要求，编制斜拉索专项施工方案。千斤顶、油泵等机具设备以及测力设备应按有关规定配套标定。在作业工作面，应设置安全可靠的施工作业平台，全面检查预埋拉索套管是否符合要求。

9.4.2 应按照设计图纸和技术要求，进行斜拉索的安装，确保其位置和角度正确。在安装过程中，应注意保护斜拉索不受损伤。

9.4.3 在塔体和桥面施工完成后，根据设计要求和技术标准，应对斜拉索进行调整，使其受力均匀、稳定可靠。在调整过程中，应注意监测斜拉索的张力和位移。

9.4.4 斜拉索索力测定应采用可靠方法和仪器，宜设置压力传感器校核斜拉索的索力。

9.4.5 塔柱顺桥向两侧设计拉力不同的斜拉索，应按设计和施工监控规定的索力分级同步张拉，各千斤顶同步之差不得大于油压表读数的最小分格。斜拉索张拉的顺序、级数、次数和量值应符合施工监控的规定。张拉以索力控制为主，伸长值校核。

9.4.6 斜拉索施工时，应保护斜拉索护套，损伤的护套部位应进行修补。钢绞线斜拉索整体防护套管单独安装时，套管应与塔柱、主梁可靠连接。套管起吊过程中，其下方严禁站人。

9.4.7 斜拉索张拉完成后，应临时封堵预埋套管，保护外露钢绞线和锚具，防止雨水腐蚀斜拉索和锚具。

9.5 锚固结构施工技术

9.5.1 锚固结构施工前应开展充分的地质勘察，了解锚固地层的土质、地下水位等情况。

9.5.2 重力式锚固结构基坑开挖深度和规模应根据桥梁工程要求和地质条件进行设计，应注意开挖过程中的安全和稳定性。

9.5.3 抗拔桩锚的施工时，应确保桩身垂直度、锚固段地质处理良好、灌浆质量可靠。

9.5.4 抗拔桩锚施工完成后，应对锚杆进行抗拔力检验，以确保锚杆的施工质量符合设计要求。

9.6 临时设施施工技术

9.6.1 公路非对称斜拉桥采用悬臂拼装施工时，为减小桥塔两侧不平衡力矩，应采取适当的不平衡弯矩约束控制措施，如：塔梁临时固结、主塔墩旁支架、边跨桥台旁现浇支架和临时支墩等。

9.6.2 塔（墩）梁分离的斜拉桥主梁采用悬臂施工时，应采取对塔（墩）梁进行临时固结，待主桥合龙后拆除。当悬臂较大时，可设置临时墩来减小不平衡荷载对塔（墩）梁的影响。

9.6.3 临时设施包括施工支架、施工便道、施工围堰、水上作业平台等，应满足施工需要和安全性要求，同时也应考虑环保和循环利用等因素。

9.6.4 应根据非对称斜拉桥施工条件、构件特点合理选择安装设备及配套机具。安装设备和配套机具应具有较好的适用性和足够的安全性，满足安装施工的需要。

10 施工监控

10.1 一般规定

10.1.1 公路非对称斜拉桥应进行施工监控，保证结构施工全过程始终处于容许误差范围内，使桥梁结构的内力和线形符合设计要求。

10.1.2 公路非对称斜拉桥施工过程中产生的内力和变形不对称，应采取更加精确的施工控制方法和技术来确保施工安全。

10.1.3 公路非对称斜拉桥应编制专项施工监控实施方案指导桥梁施工监控。

10.1.4 施工前，应根据设计图纸和审批后的桥塔、主梁、斜拉索专项施工方案，结合非对称斜拉桥受力特点，编制施工监控方案，校核设计计算的预拱度，确定结构设计线形、索力对应的基准温度。

10.1.5 应建立一套完整的监控系统，包括数据采集、分析、处理和反馈机制。该系统应能够实时监控桥梁的结构状态，以及施工过程对桥梁的影响。

10.1.6 根据施工监控数据分析结果，应对施工控制参数进行调整和优化，以保障桥梁的施工质量和安全。同时，还应考虑桥梁的美观和功能性要求。

10.1.7 采用现代测量技术、无损检测技术、数据采集与分析技术等，对公路非对称斜拉桥施工过程中的各种参数进行监测和数据处理。

10.2 监控内容

10.2.1 施工监控中，要求监测数据可靠，施工监控指令准确。测试条件宜满足下列要求：

- a) 宜选择在无风或微风的天气测试，减小风的影响。
- b) 宜在气温相对稳定的时段测试，减小温度变化的影响。
- c) 测试持续时间尽可能短，避免测试条件发生较大变化。
- d) 测试时，应停止桥上机械振动作业，避免振动及不平衡荷载的不利影响。

10.2.2 桥塔的监控参数主要包括塔顶以及控制截面的平面位置、纵向偏位、横向偏位、倾斜、沉降、应力、受压稳定性、裂纹、温度等。由于结构非对称，应注意比较塔顶纵向位移实测值和计算值，控制纵向偏位，减小桥塔弯矩。

10.2.3 主梁的监控参数包括主梁控制截面的高程、平面位置、应力、受压稳定性、温度以及节段重量、桥面施工临时荷载等。

10.2.4 斜拉索的监控参数包括索力、温度等。

10.2.5 支座的监测参数包括支座反力、位移等，验证压重混凝土重量。

- 10.2.6 应对桥址处环境温度和湿度、风速和风向、基础冲刷等进行监测。
 - 10.2.7 在重力式锚固结构施工过程中，应对锚固结构的位移、沉降等进行监测。
 - 10.2.8 对于非对称斜拉桥的关键施工步骤应进行特别监控。应特别注意非对称斜拉桥结构的不对称性以及由此可能产生的不平衡受力及变形等问题。
 - 10.2.9 斜塔施工时，应对索塔平面位置、倾斜度、变形等参数进行监测和控制，以确保施工质量和安全。
 - 10.2.10 斜塔施工时，应对塔身、锚固结构等关键部位的应力应变进行监测，确保施工过程中结构的受力状态符合设计要求。
 - 10.2.11 施工中，应严格管理各类施工临时荷载，严格执行施工监控指令。
-