

城市轨道交通矮塔斜拉桥斜拉索施工关键技术研究

况立民

中铁十一局集团第二工程有限公司

摘要：城市轨道交通矮塔斜拉桥是一种新型的桥梁结构形式，由于其具有结构新颖、外形美观、施工方便、适应性强等特点，因此城市轨道交通工程中得到了广泛应用。斜拉索是矮塔斜拉桥的重要构件之一，其施工精度和安全性对整个桥梁的质量和性能具有重要影响。本文主要对城市轨道交通矮塔斜拉桥斜拉索施工关键技术进行研究，旨在为类似工程的施工提供一些参考。

关键词：桥梁工程；斜拉桥；矮塔斜拉桥；斜拉索；施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.23.014

引言

随着城市化进程的加快，城市轨道交通的需求不断增加，轨道交通桥梁作为城市轨道交通的重要组成部分，其设计与施工技术也得到了广泛关注。矮塔斜拉桥作为一种常用于城市轨道交通的桥梁结构，具有跨度大、造型美观、施工简便等优点，但在施工过程中也面临着许多技术挑战。

一、矮塔斜拉桥结构概述

（一）矮塔斜拉桥结构特点

（1）塔身矮小：矮塔斜拉桥的桥塔相较于传统斜拉桥更为矮小，使得整个桥梁结构更为紧凑，节约了材料和空间。同时，矮塔斜拉桥的塔身更接近于梁体，使得结构受力更加合理，提高了桥梁的稳定性和安全性。

（2）跨径布置灵活：矮塔斜拉桥可设计成单塔双跨、双塔三跨和多塔多跨等不同的结构形式。这种灵活的跨径布置为桥梁设计提供了更大的自由度，可以根据实际工程需要选择最合适的结构形式，提高桥梁的经济性和实用性。

（3）结构性能优越：矮塔斜拉桥的结构性能相较于传统斜拉桥有明显的优势。由于矮塔斜拉桥的塔身较矮，使得斜拉索的倾角较小，从而提高了斜拉索的抗弯性能，降低了索的疲劳程度。同时，由于塔身接近梁体，使得梁塔之间的协同作用更强，整体结构性能更优。

（4）施工简便：矮塔斜拉桥的施工相较于传统斜拉桥更加简便。由于塔身较矮，施工过程中对于支架、模板等辅助设施的需求较低，从而降低了施工难度和成本。同时，矮塔斜拉桥的斜拉索布置较为简单，有利于提高施工效率和质量。

总之，矮塔斜拉桥的结构特点主要表现在塔身矮小、跨径布置灵活、结构性能优越、适用范围广泛和施

工简便等方面。这些特点使得矮塔斜拉桥成为一种具有广阔应用前景的新型桥梁结构。

（二）矮塔斜拉桥结构设计原则

（1）结构安全原则：结构安全是设计的首要原则，设计过程中需要考虑各种可能的不利因素，如地震、风、温度变化等，以确保桥梁在使用过程中的稳定性和安全性。

（2）功能适用原则：设计应满足桥梁的基本功能，如通行能力、行车舒适性、维护方便等。在设计过程中，应充分考虑桥梁的使用需求，以满足不同交通条件下车辆和行人的通行需求。

（3）结构经济性原则：在确保桥梁安全、功能满足要求的前提下，设计应追求经济效益。这包括降低建设成本、减少维护费用、提高材料利用率等方面。

（4）结构美观原则：桥梁作为公共建筑，其外观美感也是设计的重要方面。设计过程中应注重桥梁造型和色彩的搭配，使之与周围环境相协调，提升城市的整体形象。

（5）结构可施工性原则：设计应充分考虑施工过程中的技术可行性和施工便捷性。这包括结构形式的选择、施工方法的设计、施工顺序的安排等，以确保桥梁能够顺利施工并按时完成。

总之，设计矮塔斜拉桥时需要综合考虑结构安全、功能适用、经济性、美观性、施工性和规范要求等多个方面，以实现桥梁设计的优化和提高桥梁的使用价值。

（三）矮塔斜拉桥结构施工流程

（1）施工准备：施工准备是矮塔斜拉桥施工的重要环节，主要包括施工图纸的审查、施工场地的平整和施工设备的检查和调试。施工图纸的审查是为了确保施工的质量和安

全，施工场地的平整是为了保证桥梁基础的稳定，施工设备的检查和调试是为了保证施工的顺利进行。

（2）基础施工：基础施工是矮塔斜拉桥施工的关键环节，主要包括桩基施工、承台施工和墩身施工。桩基施工是基础施工的重要环节，它关系到桥梁的稳定性和安全性。承台施工是桩基施工的后续环节，它主要是为了将桩基连接起来，形成一个稳定的结构体系。墩身施工是承台施工的后续环节，它主要是为了形成桥梁的支撑结构。

（3）塔柱施工：塔柱施工是矮塔斜拉桥施工的重要环节，主要包括塔柱的模板施工、钢筋施工和混凝土施工。模板施工是塔柱施工的重要环节，它主要是为了保证塔柱的形状和尺寸。钢筋施工是模板施工的后续环

节，它主要是为了增强塔柱的抗弯性能。混凝土施工是钢筋施工的后续环节，它主要是为了形成塔柱的结构实体。

(4) 拉索施工：拉索施工是矮塔斜拉桥施工的重要环节，主要包括拉索的安装和张拉。拉索的安装是为了形成桥梁的支撑体系，拉索的张拉是为了调整桥梁的受力状态。

(5) 桥面施工：桥面施工是矮塔斜拉桥施工的最后一环节，主要包括桥面的模板施工、钢筋施工和混凝土施工。模板施工是桥面施工的重要环节，它主要是为了保证桥面的形状和尺寸。钢筋施工是模板施工的后续环节，它主要是为了增强桥面的抗弯性能。混凝土施工是钢筋施工的后续环节，它主要是为了形成桥面的结构实体。

二、斜拉索施工关键技术

(一) 斜拉索选型与设计

(1) 斜拉索材料选择：斜拉索的材料选择主要取决于其所需的力学性能、抗腐蚀性能以及施工工艺。目前，常用的斜拉索材料主要有以下几种：①高强度低合金钢丝：具有较高的强度和良好的韧性，适用于中小跨度的桥梁。但它的耐腐蚀性能较差，需要进行防腐处理。②镀锌钢丝：具有较好的耐腐蚀性能和一定的强度，适用于一般跨度的桥梁。但它的强度相对较低，需要更多的拉索来满足设计要求。③不锈钢丝：具有较高的强度、良好的韧性和优异的耐腐蚀性能，适用于大跨度、高腐蚀环境的桥梁。但它的价格较高，成本较其他材料高。④预应力钢绞线：具有较高的强度和良好的韧性，适用于各种跨度的桥梁。但它的耐腐蚀性能较差，需要进行防腐处理。在选择斜拉索材料时，需要综合考虑桥梁的跨度、使用环境、成本等因素，选择性能和成本相匹配的材料。

(2) 斜拉索截面形状与尺寸：斜拉索的截面形状主要有圆形和矩形两种。圆形截面具有较好的抗弯和抗扭性能，但制造工艺较复杂；矩形截面具有较好的抗压性能，但抗弯和抗扭性能较差。在实际工程中，通常根据桥梁的具体受力特点和施工条件选择合适的截面形状。斜拉索的尺寸主要取决于其所需的力学性能和施工工艺。在设计过程中，需要根据桥梁的跨度、荷载、材料性能等因素，合理确定斜拉索的直径、截面面积等参数。同时，为了保证斜拉索的安全性能，还需要考虑其在施工和使用过程中的安全系数和工作应力。

(3) 斜拉索布置与锚固方式：斜拉索的布置方式主要有平行布置和交叉布置两种。平行布置适用于中小跨度的桥梁，结构简单；交叉布置适用于大跨度的桥梁，可以有效减小斜拉索的弯矩和剪力，提高桥梁的稳定性和刚度。斜拉索的锚固方式主要有直接锚固和间接锚固两种。直接锚固是将斜拉索直接锚固在桥墩上，结构简单，但需要大量的锚固装置；间接锚固是通过专用的锚具将斜拉索锚固在桥墩上，可以节省锚固装置的数

量，但结构较为复杂。总之，在设计斜拉索的布置与锚固方式时，需要综合考虑桥梁的跨度、受力特点、施工条件等因素，选择合适的布置方式和锚固方式，以保证桥梁的安全性能和使用性能。

(二) 斜拉索施工工艺

(1) 斜拉索架设方法：斜拉索的架设是斜拉桥建设中的重要环节，其质量直接影响到桥梁的安全和耐用性。目前，我国常用的斜拉索架设方法主要有以下几种：①地面组装法：在地面上对斜拉索进行组装，然后通过起重设备将其整体吊装至预定位置。这种方法的优点是施工简单，安全系数高，但需要较大的施工场地。②空中组装法：在斜拉桥的塔顶或桥面上进行斜拉索的组装。这种方法的优点是节省施工场地，但施工难度较大，对施工技术要求较高。③整体提升法：在地面上对斜拉索进行组装，然后通过液压提升设备将其整体提升至预定位置。这种方法的优点是施工速度快，但对设备要求较高。④悬臂法：在斜拉桥的塔顶设置悬臂梁，通过悬臂梁将斜拉索吊装至预定位置。这种方法的优点是施工精度高，但施工难度较大。

(2) 斜拉索张拉与调整：斜拉索的张拉与调整是斜拉索施工中的关键环节，其质量直接影响到桥梁的线形和受力性能。目前，我国常用的斜拉索张拉与调整方法主要有以下几种：①预应力钢束法：通过预应力钢束对斜拉索进行张拉，使斜拉索达到设计强度。这种方法的优点是施工简单，但需要专门的预应力设备。②千斤顶法：通过液压千斤顶对斜拉索进行张拉，使斜拉索达到设计强度。这种方法的优点是施工速度快，但对设备要求较高。③悬垂法：在斜拉桥的塔顶设置悬垂梁，通过悬垂梁将斜拉索吊装至预定位置，然后通过预应力钢束或千斤顶进行张拉。这种方法的优点是施工精度高，但施工难度较大。在斜拉索张拉与调整过程中，需要对斜拉索的线形、应力、应变等进行实时监测，以确保斜拉索的施工质量。

(3) 斜拉索锚固与防护：斜拉索的锚固与防护是斜拉索施工中的重要环节，其质量直接影响到斜拉索的使用寿命和安全性。目前，我国常用的斜拉索锚固与防护方法主要有以下几种：①锚具法：通过锚具将斜拉索固定在混凝土中，以承受桥墩的荷载。这种方法的优点是施工简单，但需要专门的锚具设备。②黏结法：通过黏结剂将斜拉索固定在混凝土中，以承受桥墩的荷载。这种方法的优点是施工方便，但对黏结剂的性能要求较高。③灌浆法：通过灌浆将斜拉索固定在混凝土中，以承受桥墩的荷载。这种方法的优点是施工精度高，但施工难度较大。④防护套管法：在斜拉索周围设置防护套管，以保护斜拉索不受外部环境因素的影响。这种方法的优点是防护效果好，但施工难度较大。

(三) 斜拉索施工质量控制

(1) 斜拉索施工质量检查：斜拉索施工质量检查主要包括原材料质量检查、施工过程质量检查和成品质

量检查。原材料质量检查主要包括钢丝、锚具、套管等材料的质量检查，确保其符合设计要求和相关标准。施工过程中质量检查主要关注施工工艺、操作规范和施工环境等方面的质量问题，保证施工过程中质量的可控性。成品质量检查主要针对已安装完成的斜拉索进行力学性能、外观质量和耐久性等方面的检查，确保其满足设计要求和标准。

(2) 斜拉索施工质量评估：斜拉索施工质量评估主要依据施工质量检查的结果，对施工质量进行定性和定量分析。定性评估主要通过观察、检查和试验等方法，对斜拉索施工质量进行好、一般、差等评价。定量评估主要通过斜拉索的力学性能、外观质量和耐久性指标的检测数据，对施工质量进行量化评价。

(3) 斜拉索施工质量改进措施：针对斜拉索施工质量检查和评估中发现的问题，采取相应的质量改进措施。首先，加强原材料质量控制，选用合格的原材料，对进场的原材料进行严格把关。其次，优化施工工艺和操作规范，提高施工人员的操作技能和质量意识，加强施工现场的管理。再次，完善质量检查和评估体系，加强对施工过程的监督和控制，确保施工质量满足设计要求和标准。最后，建立质量改进的长效机制，对施工过程中的问题进行及时总结和反馈，不断提高斜拉索施工质量。

三、矮塔斜拉桥斜拉索施工案例分析

(一) 工程概况

本文所分析的矮塔斜拉桥位于我国某地，全长约280米，主跨长约180米，箱梁顶面宽12m，梁底面宽8.5m。主桥采用矮塔斜拉桥结构，跨径布置为(100+180+100)米。桥梁上部结构采用预应力混凝土箱梁，下部结构采用独立式桥墩。该桥的主要承重结构是斜拉索，由高强度不锈钢丝组成，斜拉索的施工质量对整个桥梁的质量和使用寿命具有重要影响。

(二) 斜拉索施工方案

根据工程特点和设计要求，本工程斜拉索施工采用悬臂施工法。具体施工方案如下：(1) 先进行主塔和主梁的施工，完成主梁的混凝土浇筑和预应力张拉。

(2) 在主梁上设置斜拉索的锚固点，并进行预埋件的安装。(3) 安装斜拉索，并进行张拉和调整，使斜拉索的索力满足设计要求。(4) 在斜拉索上安装保护套管，以保护斜拉索免受外部损伤。

(三) 斜拉索施工过程及控制要点

(1) 施工准备：根据设计图纸和施工方案，对施工人员进行技术培训，并准备好施工所需的材料和设备。

(2) 锚固点安装：在主梁上设置斜拉索的锚固点，并进行预埋件的安装。这一步骤需要精确测量和定位，确保锚固点的准确位置。

(3) 斜拉索安装：采用悬臂施工法，将斜拉索从主塔顶部逐根安装到主梁上。在安装过程中，需要对斜

拉索进行张拉和调整，使斜拉索的索力满足设计要求。同时，要确保斜拉索的水平和垂直偏差在允许范围内。

(4) 保护套管安装：在斜拉索上安装保护套管，以保护斜拉索免受外部损伤。在安装保护套管时，要注意套管的质量和安装位置，确保套管与斜拉索之间的间隙符合要求。

(四) 斜拉索施工效果与评价

通过以上施工过程的实施，本工程斜拉索施工取得了良好的效果。斜拉索的安装质量和索力满足设计要求，桥梁结构稳定，行车舒适。同时，施工过程中严格控制施工质量和安全，未发生安全事故。总体来说，本工程斜拉索施工效果良好，达到了预期目标。

结束语

在本文中，我们主要探讨了城市轨道交通矮塔斜拉桥斜拉索施工的结论。通过分析和研究，我们认为这种施工方法具有以下优点和不足。首先，斜拉索施工在矮塔斜拉桥中起到了关键性的作用。通过合理设置斜拉索，可以有效提高桥梁的稳定性和承载能力，同时减小塔柱和基础的受力，降低工程造价。此外，斜拉索施工过程中采用了预制索股和现场安装相结合的方法，大大提高了施工效率，缩短了工期。然而，斜拉索施工也存在一些问题。例如，在施工过程中需要严格控制斜拉索的安装位置和角度，以保证斜拉桥的稳定性。此外，在施工过程中还需要注意斜拉索与塔柱、基础的连接方式，确保连接牢固可靠。综上所述，城市轨道交通矮塔斜拉桥斜拉索施工在实际应用中具有一定的优点和不足。因此，在今后的设计和施工过程中，需要充分考虑斜拉索施工的优缺点，综合运用各种施工方法，以达到最优的工程效果。同时，随着我国城市轨道交通建设的不断推进，斜拉桥斜拉索施工技术也将不断完善和发展，为城市轨道交通建设提供更加优质、高效的服务。

参考文献

- [1] 许磊, 匡志新, 张海伟. 双矮塔斜拉桥斜拉索施工关键技术研究[J]. 安徽建筑, 2023, 30(04): 32-34.
- [2] 李健. 矮塔斜拉桥斜拉索施工技术分析[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(07): 121-123.
- [3] 朱强, 艾华, 张美玲. 某宽幅矮塔斜拉桥Y形桥塔施工方案优化[J]. 世界桥梁, 2023, 51(02): 47-52.
- [4] 侯俊先, 熊佳雯. 矮塔斜拉桥单侧双向抗滑斜拉索钢绞线轮胎式穿索施工技术[J]. 企业科技与发展, 2023(03): 49-52.
- [5] 李存阳. 连续体系PC矮塔斜拉桥建造关键技术及工程应用[D]. 长安大学, 2022.
- [6] 李进州. 大跨度高铁矮塔斜拉桥施工控制与动力特性研究[D]. 兰州交通大学, 2022.