

大跨度桥梁结构体系的选型与设计要点研究

石朋¹ 石清扬² 石巧云³

1. 湖北交投建设集团有限公司; 2. 武汉市育才行知小学; 3. 津格建设(武汉)有限公司

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11617

[摘要] 随着交通事业的蓬勃发展,大跨度桥梁的建设需求日益增长。本文深入探讨了大跨度桥梁结构体系的选型原则和常见类型,分析了不同结构体系的特点和适用范围,并详细阐述了大跨度桥梁设计的关键要点,包括荷载分析、稳定性设计、耐久性设计等,旨在为大跨度桥梁的合理选型与科学设计提供参考。

[关键词] 大跨度桥梁; 结构体系选型; 设计要点

引言

大跨度桥梁作为现代交通基础设施的关键组成部分,其结构体系的选型与设计对于确保桥梁的安全性、经济性和耐久性具有至关重要的意义。随着科技的不断进步和工程实践的积累,大跨度桥梁的结构形式日益多样化,设计理念也在不断更新。本文将对大跨度桥梁结构体系的选型与设计要点进行深入研究。

一、大跨度桥梁结构体系的主要类型

(一) 悬索桥

1. 结构特点

悬索桥主要由主缆、加劲梁、桥塔和锚碇等部分组成。主缆是悬索桥的主要承重结构,通过吊杆将荷载传递到主缆上,再由主缆传递到桥塔和锚碇。加劲梁主要作用是承受局部荷载和提供桥面的刚度,使桥梁在活载作用下保持稳定。桥塔用于支撑主缆,承受主缆传来的巨大拉力,锚碇则将主缆的拉力传递到地基中。悬索桥适用于跨越宽阔的河流、海峡、海湾等大跨度的场合,如图1。例如,日本的明石海峡大桥,主跨达1991米,是世界上最长的悬索桥之一,它成功地跨越了明石海峡,连接了本州岛和四国岛。



图1 悬索桥

2. 优缺点

优点: 跨越能力大,能适应各种地形和地质条件;结构轻盈,对基础的要求相对较低;可以充分利用材料的强度。
缺点: 主缆和锚碇的构造复杂,施工难度大;抗风稳定性相对较差,需要采取特殊的防风措施;后期维护成本较高。

(二) 斜拉桥

1. 结构特点



图2 斜拉桥

斜拉桥由索塔、斜拉索和主梁组成。斜拉索一端锚固在索塔上,另一端锚固在主梁上,通过斜拉索将主梁的荷载传递到索塔上,再由索塔传递到基础。主梁在斜拉索的作用下,受力状态得到改善,其弯矩和剪力相对较小。索塔的高度和形状根据桥梁的跨度和受力要求而定。斜拉桥适用于中等跨度到较大跨度的桥梁工程,如图2。例如,中国的苏通长江

大桥,主跨1088米,是世界上跨度最大的斜拉桥之一,它有效地连接了长江南北两岸。

2. 优缺点

优点: 结构造型美观,具有较强的视觉冲击力;梁体的受力性能好,可减少梁体的高度和自重;施工相对简便,施工周期较短。
缺点: 斜拉索的耐久性问题需要关注,如索的疲劳、腐蚀等;对索塔的材料和施工要求较高;在强风作用下,斜拉索可能会发生振动,需要采取相应的减振措施。

(三) 拱桥

1. 结构特点

拱桥主要由拱圈、拱上结构、桥墩和桥台等部分组成。拱圈是拱桥的主要承重结构,它通过拱脚将荷载传递到桥墩和桥台。拱上结构用于支承桥面系和传递荷载。拱桥的受力特点是在竖向荷载作用下,拱圈主要承受压力,能充分发挥圬工材料的抗压性能。拱桥适用于跨越中小跨度的河流、山谷等地形。在山区,由于地形条件的限制,拱桥具有较好的适应性,如图3。例如,中国的赵州桥,是世界上现存最古老的单孔敞肩石拱桥,它以其独特的设计和精湛的工艺闻名于世。



图3 拱桥

2. 优缺点

优点: 结构形式美观,具有较高的艺术价值;能充分利用圬工材料,造价相对较低;耐久性好,维护成本低。
缺点: 由于拱圈的受力特点,对基础的要求较高;施工难度较大,特别是大跨度拱桥的施工技术要求更高;跨越能力相对有限。

(四) 连续梁桥

1. 结构特点



图4 连续梁桥

连续梁桥是一种超静定结构体系,由多个连续的梁段组成。它通过在支点处设置连续的结构,使梁体在荷载作用下能够共同受力,减少了梁体的弯矩和变形。连续梁桥的受力特点是在恒载和活载作用下,梁体的内力分布比较均匀,支点处的负弯矩可以减小跨中弯矩,从而提高梁体的承载能力。连续梁桥适用于中等跨度的桥梁工程,特别是在城市桥梁和

高速公路桥梁中应用较为广泛,如图4。例如,许多城市的跨江、跨河桥梁采用了连续梁桥的结构形式。

2. 优缺点

优点: 结构受力合理,内力分布均匀;行车舒适性好,梁体的变形较小;施工方法多样,可根据具体情况选择合适的施工方法。缺点: 对基础的沉降要求较高,不均匀沉降可能会导致梁体产生附加内力;结构体系较为复杂,设计和施工难度相对较大。

二、大跨度桥梁结构体系选型的影响因素

(一) 跨度要求

悬索桥的跨越能力最强,理论上可以实现超大跨度。这是因为主缆主要承受拉力,能够充分发挥钢材的高强度特性,有效地将荷载传递到桥塔和锚碇上。例如,日本的明石海峡大桥,主跨达1991米,凭借悬索桥的结构优势,成功跨越了宽阔的海峡。斜拉桥的跨越能力次之,一般适用于较大跨度的桥梁。斜拉索将主梁的荷载传递到索塔,合理分担了结构受力,使主梁的弯矩减小,从而可以实现较大的跨度。如中国的苏通长江大桥,主跨1088米,是斜拉桥在大跨度桥梁中的杰出代表。拱桥和连续梁桥的跨越能力相对较小,主要适用于中小跨度的桥梁。拱桥依靠拱圈的受压来承受荷载,随着跨度的增大,拱圈的受力和稳定性问题会变得更加突出;连续梁桥虽然内力分布较为均匀,但过大的跨度会导致梁体的弯矩和变形难以控制。

(二) 地形地质条件

在山区,地形起伏较大,可能存在深谷、悬崖等复杂地貌。这种情况下,悬索桥和拱桥具有一定的优势。悬索桥可以利用其跨越能力强的特点,避免在复杂地形中进行大量的基础施工;拱桥则可以根据山区的地形特点,合理布置拱圈,与周围环境相融合。例如,一些山区的峡谷桥梁采用悬索桥或拱桥的结构形式,能够很好地适应地形,减少对山体的破坏。连续梁桥在山区可能会受到地形的限制,因为需要设置较多的桥墩,可能会遇到地基处理困难、施工场地狭窄等问题。斜拉桥在山区的应用也需要考虑索塔的基础稳定性和施工难度。

(三) 气候环境因素

1. 风荷载

在风荷载较大的地区,如沿海地区、高原地区等,桥梁结构的抗风稳定性是选型时需要重点考虑的因素。悬索桥和斜拉桥在风荷载作用下可能会出现振动问题,如涡激振动、颤振等。因此,在这些地区建造悬索桥或斜拉桥时,需要进行详细的风洞试验,研究桥梁的气动特性,并采取相应的防风措施,如设置风嘴、阻尼器等。

2. 温度变化

在温度变化较大的地区,桥梁结构会受到温度应力的影响。不同的结构体系对温度变化的敏感性不同。例如,连续梁桥由于结构的连续性,在温度变化时会产生较大的温度应力,需要在设计中采取相应的措施,如设置伸缩缝、采用温度补偿装置等。

悬索桥和斜拉桥的结构相对较为灵活,对温度变化的适应性较强,但也需要考虑温度对主缆、斜拉索等构件的影响。

(四) 经济因素

1. 建设成本

不同结构体系的建设成本存在差异。一般来说,拱桥的造价相对较低,因为其结构形式相对简单,材料用量较少。连续梁桥的造价也较为适中,施工技术相对成熟。悬索桥和斜拉桥的造价较高,主要是由于其结构复杂,需要大量的钢材和特殊的施工设备。例如,悬索桥的主缆制造和安装、斜拉桥的斜拉索张拉等都需要较高的技术和设备投入。

2. 施工难度和周期

施工难度和周期也会影响经济成本。拱桥和连续梁桥的施工相对较为简单,施工周期较短。悬索桥和斜拉桥的施工难度较大,需要较高的施工技术和管理水平,施工周期也较长。例如,悬索桥的主缆架设、斜拉桥的索塔施工等都需要严格的施工工艺和质量控制,施工过程中还可能受到天气、水文等因素的影响。

(五) 美学要求

1. 与周边环境的协调性

桥梁作为一种大型的公共建筑,其美学要求不容忽视。不同的结构体系具有不同的造型特点,应根据周边环境和城

市规划的要求进行选型。例如,在历史文化名城或风景区,可能更适合选择具有古朴典雅风格的拱桥,以与周围的建筑和自然景观相协调;在现代化的城市中,悬索桥或斜拉桥的轻盈、现代的造型可能更符合城市的整体风貌。

2. 城市景观的塑造

大跨度桥梁往往是城市的标志性建筑之一,对城市景观的塑造具有重要作用。一些具有独特造型的桥梁,如悉尼海港大桥,不仅成为了城市的象征,也吸引了大量游客,促进了旅游业的发展。因此,在选型时,需要考虑桥梁的美学价值和城市景观的影响。

三、大跨度桥梁结构设计要点

(一) 结构强度设计

准确分析大跨度桥梁在使用过程中可能承受的各种荷载,包括恒载(自重、桥面铺装等)、活载(车辆荷载、人群荷载等)、风荷载、地震荷载等。对于不同的荷载,需要根据相关规范和标准进行合理取值和组合。根据结构的受力特点和环境条件,选择合适的材料。对于大跨度桥梁,高强度钢材、高性能混凝土等材料应用较为广泛。例如,在悬索桥的主缆和斜拉桥的斜拉索中,通常采用高强度钢丝或钢绞线;在主梁和桥墩等部位,可采用高性能混凝土,以提高结构的强度和耐久性。采用先进的结构分析软件和计算方法,对桥梁结构进行精确的内力分析和变形计算。考虑结构的几何非线性、材料非线性等因素,确保结构在各种荷载组合下的强度和稳定性满足设计要求。

(二) 结构稳定性设计

对于大跨度桥梁,风荷载是影响结构稳定性的重要因素之一。通过风洞试验等手段,研究桥梁结构在风荷载作用下的气动特性,采取合理的结构措施和防风装置,在桥梁结构上设置风嘴、导流板等气动措施,改变气流的流动形态,减小风对桥梁的作用力;安装阻尼器等机械装置,抑制桥梁的振动响应。根据桥梁所在地区的地震活动情况,进行抗震设计。采用合理的抗震构造措施,如设置减震支座、加强结构的连接等,提高结构的抗震能力。同时,加强桥梁的基础和下部结构,提高其抗震能力;设置抗震支座、阻尼器等减震装置,减小地震对桥梁的破坏。大跨度桥梁的结构几何形状对其稳定性有重要影响。在设计过程中,需要合理确定结构的几何参数,如拱圈的矢跨比、斜拉索的索距等,确保结构具有良好的几何稳定性。

(三) 耐久性设计

大跨度桥梁长期暴露在自然环境中,容易受到腐蚀的影响。对于钢结构部分,采取防腐涂层、镀锌等防腐措施;对于混凝土结构部分,控制混凝土的质量,添加外加剂,提高混凝土的抗渗性和抗腐蚀性。考虑桥梁结构在反复荷载作用下的疲劳问题。对于承受动荷载较大的部位,如斜拉索、吊杆等,进行疲劳强度验算,采取合理的构造措施,避免疲劳破坏的发生。制定合理的维护管理计划,定期对桥梁结构进行检测和维护。及时发现和处理结构的病害和损伤,确保桥梁结构的耐久性和安全性。

结论

大跨度桥梁结构体系的选型与设计是一个复杂的系统工程,需要综合考虑跨度要求、地形地质条件、气候环境因素、经济因素和美学要求等多方面的因素。在设计过程中,要注重结构的强度、稳定性和耐久性设计,采用先进的设计理念和技术手段,确保桥梁结构的安全性和可靠性。随着科技的不断发展和工程实践的不断积累,大跨度桥梁的结构体系与设计方法将不断创新和完善,为现代交通基础设施建设提供更加有力的支持。

【参考文献】

- [1] 王小飞. 超长跨度公铁合建桥梁结构体系研究[J]. 铁道标准设计, 2024, 68(01): 87-95.
- [2] 杨广安. 市政双层交通桥梁结构体系选型[J]. 城市道桥与防洪, 2021(06): 85-89.
- [3] 肖汝诚, 陈红, 魏乐永. 桥梁结构体系的研究、优化与创新[J]. 土木工程学报, 2008(06): 69-74.
- [4] 王宗伟, 李志雷. 浅谈桥梁结构体系的变化与创新[J]. 四川水泥, 2017(10): 14.
- [5] 吴新元. V型支撑桥梁结构体系分析与比较[J]. 运输经理世界, 2022(03): 100-102.