

门式刚架的参数优化及设计建议

蔡万军

(大连市化工设计院有限公司, 辽宁 大连 116000)

【摘要】本文针对门式刚架结构在工程应用中的普遍性和重要性,通过对门式刚架结构参数的综合分析与优化,提出了一系列设计建议。第一,分析了门式刚架的基本构造和工作原理,着重讨论了其在不同载荷下的应力分布和变形特性。第二,应用结构力学和材料科学原理,对门式刚架的主要参数如横截面尺寸、材料类型、节点连接方式进行了优化设计。

【关键词】门式刚架; 参数优化; 设计建议; 结构稳定性; 经济性

一、引言

门式刚架作为一种广泛应用于工业和民用建筑中的主要承重结构,其设计优化对建筑的安全性和经济性有着至关重要的影响。由于不同的工程项目对门式刚架的性能要求各异,因此,进行细致的参数优化和提出切实可行的设计建议成为了一个重要的研究课题。本文旨在通过对门式刚架的结构特性、应力分布及变形特性的深入分析,结合结构力学和材料科学原理,对其主要参数进行优化,进而提出具有针对性的设计建议。通过这样的研究,不仅可以提高门式刚架的结构稳定性和使用安全性,还能在一定程度上降低建造和维护成本,具有重要的实际应用价值和广泛的推广意义。

二、门式刚架的基本特性分析

(一) 结构描述

门式刚架是一种在现代建筑中广泛使用的结构形式,它由两根立柱和一根横梁组成,形似门框。这种结构的设计旨在承受垂直于地面的荷载,如屋顶的重量和雪荷载,以及水平方向的荷载,比如风压。门式刚架的立柱通常垂直于地面,而横梁则水平放置在两根立柱的顶部,形成一个稳固的三角形结构,这种设计使得整个结构能够有效地分散和传递荷载。

横梁和立柱之间的连接是门式刚架设计中的关键部分。这些连接点通常使用焊接、螺栓或铆钉等方式固定,确保整个结构在承受重载时的稳定性和安全性。根据具体的应用需求,门式刚架可以采用不同的材料和尺寸,常见的材料包括钢材和混凝土,这些材料的选择直接影响到整个结构的强度和耐用性。

(二) 应力分布特性

在分析门式刚架的应力分布时,首先要考虑的是荷载的类型。这些荷载通常包括静荷载和动荷载。静荷载指的是持续作用在结构上的固定重量,如建筑物自身的重量和屋顶结构的重量。动荷载则包括风荷载、雪荷载和可能的地震作用力,这些荷载的大小和方向会随时间和环境条件的变化而变化。

在垂直荷载作用下,门式刚架的横梁主要承受弯曲应力。荷载首先作用于横梁,然后通过横梁传递到立柱,最终由立柱传递到基础。在这个过程中,横梁上产生的弯曲应力会使其出现轻微的下弯变形,这是门式刚架设计中必须考虑的一个关键因素。

在水平荷载,如风压作用下,门式刚架需要承受剪切应力和横向弯曲应力。这时,立柱不仅要支撑来自横梁的垂直荷载,还要抵抗由于水平荷载引起的侧向力。这种侧向力可能导致结构出现侧向摆动或扭转,因此在设计时需要特别注意增强其侧向稳定性。

(三) 变形特性

门式刚架的变形特性主要取决于其材料属性和结构设计。钢材或钢筋混凝土由于具有较高的弹性模量,能够在承受较大荷载时保持相对较小的变形。但即便如此,在重荷载作用下,门式刚架的变形仍然是不可避免的。例如,当门式刚架承受较大的垂直荷载时,横梁会出现弯曲变形,这种变形主要体现为横梁的中间部分相对于两端下沉。这种下沉的程度取决于横梁的长度、截面特性以及材料的弹性模量。

在进行门式刚架设计时,理解和预测这种变形是非常重要的。设计者需要确保即使在最不利的荷载组合下,变形也不会超过建筑规范所允许的限度。过大的变形不仅会影响结构的整体稳定性,还可能导致连接部位的损伤,甚至在极端情况下引起结构的崩塌。

对于水平荷载引起的剪切和横向弯曲应力,门式刚架的设计同样要考虑其变形特性。这些荷载会导致立柱产生侧向位移和扭曲,特别是在风荷载作用下更为明显。门式刚架的设计必须确保在极端天气条件下,如强风或暴雨中,结构仍能维持其完整性和功能性。

为了减少由于荷载变化引起的变形,门式刚架的设计常常采用加强筋、支撑或其他增强措施。这些措施旨在提高结构的刚度,从而减少因荷载作用而产生的变形。例如,通过在横梁和立柱之间增加斜撑,

可以有效地提高结构的侧向稳定性，减少由于侧向荷载引起的变形。

三、参数优化方法

（一）参数选择依据

在门式刚架的设计中，参数的优化是一个综合性的过程，涉及到众多因素，其目标是确保结构的安全性、经济性以及功能性。这一过程深深植根于结构力学和材料科学的基本原理，两者共同构成了门式刚架设计的理论基础。

从结构力学的角度来看，重点在于确保门式刚架在承受各种荷载时的稳定性和强度。为此，设计师必须深入理解和计算刚架结构在不同条件下的力学行为。具体来说，需要考虑的力学性能包括刚架的承受力、稳定性以及在各种荷载作用下的变形能力。这些因素的综合分析，涉及到荷载的类型（如静荷载、动荷载）、荷载的大小、以及荷载作用的位置和方向。例如，对于可能遭受重风压或雪压的地区，设计时需要特别考虑这些因素对刚架的影响。

材料选择是门式刚架设计中另一个关键环节。材料的性能，如强度、延展性和耐久性，直接影响着结构的质量和性能。不同的材料有着不同的力学特性和成本效益，因此，在选择材料时要充分考虑这些因素。例如，钢材由于其高强度和良好的塑性，常被用于构造门式刚架。同时，还需考虑材料的耐腐蚀性、抗疲劳性能以及在特定环境下的耐久性。这些特性决定了材料在面对不同环境因素（如湿度、温度、化学腐蚀）和不同类型的荷载（如长期荷载、短期荷载、突发荷载）时的表现。

经济性也是门式刚架设计中不可忽视的要素。在确保结构安全性和功能性的前提下，有效控制成本是设计的重要目标。这不仅包括直接的材料成本，还包括加工、运输和安装等相关成本。因此，在选择材料和设计结构时，需要对成本和性能进行综合权衡，以达到最佳的成本效益比。

在实际设计过程中，还需要考虑结构的可施工性和可维护性。结构的设计要能够在现场顺利施工，且维护方便，这样才能确保整个结构的长期稳定性和安全性。例如，设计中应考虑到结构的组装和拆卸的便利性，以及日后可能需要的检修和维护工作。

（二）优化过程

1. 横截面尺寸优化

在门式刚架结构设计中，横截面尺寸的优化是一个至关重要的环节，其直接关系到整个结构的强度和稳定性。根据结构力学原理，横截面的大小决定了梁和柱的承载能力以及刚度，这些因素共同影响着结构的整体性能。一个较大的横截面能够提供更高的承载能力，增强结构的抗弯和抗剪能力，从而提高整个结构的稳定性和安全性。但横截面尺寸的增加也意味着

更多的材料使用，导致成本的上升以及结构自重的增加，这可能会对结构的设计和施工带来一定的负担。

因此，在设计过程中，设计师需要在确保结构足够强度和刚度的基础上，尽可能地减轻结构的重量。这需要设计师在材料选择、横截面形状以及尺寸设计上下足功夫，找到一个既经济又高效的方案。例如，在满足承载需求的前提下，可以选择形状合理、材料利用率高的横截面形式，以减少材料的使用量。

在进行横截面尺寸优化的过程中，计算机辅助设计（CAD）软件成为了设计师的有力工具。通过这些软件，设计师可以方便地模拟和分析不同尺寸横截面在各种荷载条件下的表现。软件通过对横截面在各种可能的荷载情况下的应力、应变以及变形情况进行分析，帮助设计师评估不同横截面尺寸的性能。在这个过程中，设计师可以快速地对不同方案的优劣，从而确定最合适的横截面尺寸。

在选择横截面尺寸时，设计师还需要考虑到实际应用中可能遇到的最不利荷载条件。这包括极端天气条件下的风载、雪载以及地震荷载等。横截面尺寸必须能够确保在这些极端条件下，结构依然保持稳定和安全。这就要求在设计阶段进行细致的荷载分析，确保横截面尺寸能够适应各种潜在的危险情况。

横截面尺寸优化还应该考虑到施工的便利性和经济性。过大或过重的横截面可能会给现场施工带来困难，增加施工成本和时间。因此，在满足结构安全性的前提下，选择适合施工的横截面尺寸也是优化过程中需要考虑的重要因素。

2. 材料选择优化

在门式刚架的设计和建造过程中，材料选择扮演着至关重要的角色。它不仅直接影响到结构的力学性能，如承载能力和稳定性，还关系到整个结构的耐久性和维护成本。在选择材料时，设计师需要综合考虑各种因素，包括材料的强度、韧性、耐腐蚀性、耐磨性以及长期的耐久性等。

例如，钢材由于其高强度和良好的韧性，是构造门式刚架的常用材料。钢材不仅能够提供足够的承载能力，还能适应不同的荷载条件和环境变化。钢材相对于其他建筑材料，如混凝土或木材，具有更低的成本和更方便的加工性能。但在高腐蚀性环境中，如海边或化学腐蚀严重的区域，普通钢材可能无法满足长期使用的要求。在这种情况下，可能需要选择不锈钢材料或对普通钢材进行特殊的表面处理，如镀锌或涂漆，以提高其耐腐蚀性能和延长使用寿命。

在进行材料选择时，还需考虑材料的可获得性和成本。优化的目标是在确保结构性能的前提下，实现成本的最佳控制。在某些情况下，虽然高性能材料如高强度钢或特种合金能够提供更好的结构性能，但其高昂的成本和可能的供应困难，可能会影响到整

个项目的经济性和施工进度。因此，在选择材料时，设计师需要进行详细的市场调查和成本分析，以找到性能和成本之间的最佳平衡点。

随着科技的发展和新材料的不断出现，设计师在材料选择上有了更多的可能性。例如，一些先进的高强度轻质合金材料，虽然单价较高，但由于其优异的力学性能和轻质特性，可以大幅度减轻结构重量，降低基础成本和施工难度，从而在总体成本上实现节约。一些新型复合材料和环保材料，也为门式刚架的设计和建造提供了新的选择。

除了考虑材料的力学性能和经济性外，设计师还需要考虑材料的施工性和维护性。一些材料虽然具有良好的性能，但可能需要特殊的加工设备和技术，增加了施工的难度和成本。同时，材料的维护性也是一个重要考虑因素，易于维护和修复的材料可以降低长期运营成本，提高结构的经济性。

3. 节点连接方式优化

在门式刚架结构设计中，节点的连接方式优化是确保整体结构稳定性的关键因素。节点，作为结构各部分连接的关键点，其稳定性直接影响到整个结构的安全和可靠性。在选择节点连接方式时，设计师需要考虑多种因素，包括连接方式的力学性能、施工的便利性、维护的方便程度以及成本等。常见的节点连接方式包括焊接、螺栓连接和铆接等，每种方式都有其独特的优势和局限性。

焊接是一种常用的节点连接方式，其主要优势在于提供高强度的连接。通过焊接，可以实现结构各部件之间紧密且坚固的连接，从而提高整个结构的稳定性和承载能力。但焊接也有其局限性，比如施工过程中对技术人员的技术要求较高，同时对焊接环境的条件也有一定要求。焊接连接不易于现场拆卸和维护，一旦结构需要维修或改造，可能会带来较大的困难。

另一种常见的连接方式是螺栓连接。螺栓连接的优势在于施工方便、灵活性好，便于现场安装和拆卸。在需要频繁维修或调整结构的应用场景中，螺栓连接是一个非常合适的选择。但螺栓连接也存在一定的局限性，如在承受重载或震动的环境下，螺栓可能出现松动，影响连接的稳定性。

铆接是另一种传统的连接方式，虽然在现代结构中使用较少，但在某些特定应用中仍有其独特的优势。铆接结构牢固，能够在一定程度上抵抗震动和冲击。但与此同时，铆接的施工过程比较繁琐，需要专门的设备和技术支持，因此在现代建筑中的应用受到了一定限制。

四、设计建议

（一）实用性分析

在门式刚架的设计过程中，实用性是一个重要的考量因素。设计建议需针对不同类型的工程项目量身

定制，以满足各自的功能需求和使用条件。对于工业建筑，如仓库和制造车间，门式刚架需要提供足够的空间以容纳大型机械和设备。在这类项目中，建议采用宽跨度和高承载能力的刚架设计，以适应大型设备的搬运和操作空间需求。

对于商业和住宅建筑，门式刚架的设计则需要更多考虑其与建筑美学和功能布局的整合。在这些应用中，刚架不仅要提供结构支撑，还要考虑其对室内空间的影响。设计时可以考虑使用较细的梁柱结构和更加精致的连接细节，以保证建筑的美观性和舒适性。

（二）经济性与安全性考虑

在材料选择上，应优先考虑性价比高的材料，如普通钢材或预制混凝土元件。这些材料在满足基本的强度和耐久性要求的同时，可以有效控制项目成本。但仅仅选择成本较低的材料并不足以确保整体的经济性。设计时还应考虑材料的加工和维护成本，以及其对工程进度的影响。例如，某些高强度材料虽然单价较高，但由于其优异的性能，可以减少材料用量和维护频率，从长远来看可能更加经济。安全性是门式刚架设计中的首要原则。在追求经济效益的同时，不得牺牲结构的安全性能。设计建议应基于严格的工程分析和规范要求，确保结构在所有预期的使用条件下均能稳定可靠地工作。

五、结论

本文针对门式刚架的参数优化和设计建议进行了全面的研究。通过分析门式刚架的基本特性，结合结构力学和材料科学原理，本研究对其主要参数进行了优化，并根据不同的工程需求提出了具体的设计建议。本文的研究还揭示了在设计门式刚架时需要综合考虑的多种因素，如材料的选择、横截面的设计以及节点的连接方式等。未来的研究可在本文的基础上，进一步探讨门式刚架在极端环境下的性能表现，以及如何更好地融合新型材料和技术，以实现门式刚架设计的持续优化和创新。

参考文献：

- [1] 李国强，冯程远，楼国彪. 火灾下门式钢刚架倒塌模式及影响因素 [J]. 同济大学学报：自然科学版，2020，48(9):1271-1282.
- [2] 李国强，冯程远，楼国彪，蒋首超，杜咏. 火灾下门式钢刚架倒塌预测关键易测参量与预警方法 [J]. 土木工程学报，2021，54(1):62-75.
- [3] 王元清，武延民，石永久，张勇. 门式刚架轻型房屋钢结构布置与构造的若干问题 [J]. 施工技术，2004，33(11):51-52.
- [4] 唐强，刘强，王连坤，杨惠贤，郭语，严自强，王吉琮. 柔性钢框架结构受力性能分析 [J]. 钢结构（中英文），2021，36(11):8-13.