

土木工程结构设计安全性与经济性管控

艾 魏 袁星亮

中国二十二冶集团有限公司 河北唐山 063000

摘 要：在土木工程结构设计中，安全性和经济性的管控是设计时必不可少的重要因素。安全性指结构在承受荷载作用下不发生破坏或失稳而给人和财产造成危险；经济性则指在满足结构设计要求的前提下，以最小的投资，获得最大的经济效益和社会效益。因此，在土木工程结构设计中，保障结构的安全性和提高经济效益同样重要，设计人员需要在两者之间寻找平衡点。本文将探讨土木工程结构设计安全性和经济性管控。

关键词：土木工程结构设计；安全性；经济性；管控策略

一、土木工程结构设计中的安全性与经济性的的重要性

1.保障人身安全和财产安全

土木工程结构设计的首要目标是保障人身安全和财产安全。结构的意外失效可能导致严重的人员伤亡和财产损失，因此，在结构设计过程中必须充分考虑各种外部荷载、地质条件和自然灾害等因素，确保结构具备足够的安全储备，能够在各种不利条件下使用。

2.降低工程成本

经济性是土木工程结构设计中不可忽视的因素。通过合理的结构设计和材料选择，可以最大限度地降低工程成本。例如，通过采用合适的结构类型、考虑合理的荷载分布、优化结构布置等，在不牺牲安全性的前提下降低施工和维护成本，提高工程的经济效益。

二、土木工程结构安全性的评估方法和指标

1.承载力分析法

承载力分析是一种完整的结构计算方法，主要包括强度计算、变形计算和极限状态计算三个方面。

强度计算是承载力分析法中的第一个步骤。在强度计算过程中，需要对结构内部的内力和应力情况进行分析，以确定结构的强度状况。这包括计算结构的弯曲、剪切和压力等受力状态，并对不同部位的应力进行比较分析。强度计算的核心在于计算出结构最易产生破坏的位置和方向，以便在设计中减小这些破坏的可能性。变形计算是承载力分析法中的第二个步骤。通常情况下，土木工程结构在承受外部荷载时会发生不同程度的变形。在变形计算过程中，需要确定结构在变形的情况下的承载能力，并评估结构的稳定性和可靠性。通常，变形计

算会采用刚度矩阵法来分析线性结构变形，而对于非线性变形的结构，则需要采用更为复杂的方法。

极限状态计算是承载力分析法中的最后一步。目的是确定结构在极限状态下的承载能力，并保证结构在设计荷载情况下不发生灾难性的破坏。在极限状态计算过程中，需要综合考虑结构的强度、变形和位移等因素，并进行多种组合分析以确定最极端的情况。极限状态计算是承载力分析法中最为重要的一步，对结构的安全性和承载能力评估具有决定性的作用。

2.可靠度分析法

可靠度分析法是一种基于概率论和数理统计的方法，通过对结构可能的失效情况进行量化分析，以评估结构的安全性水平并找出可能存在的破坏源。其核心思想是对结构的失效状态、失效时间和失效概率进行定义和计算，从而确定结构的可靠度。在可靠度分析中，需要采用数学模型和统计方法来描述结构的失效概率分布。常见的可靠度模型有冗余度法、最小剩余度法和故障树法等。

冗余度法是一种简单易于理解和计算的可靠度分析方法。该方法通过定义结构的冗余度来评估结构的可靠度水平。冗余度可以理解结构在某个特定时间内具有多余的运行能力。通过计算冗余度，可以确定结构在特定时间内不失效的概率，从而评估结构的可靠性。

最小剩余度法是一种基于结构剩余负荷的可靠度分析方法。该方法通过评估结构在故障发生前后的剩余负荷来计算可靠度。剩余负荷是指在发生故障后，结构仍能正常工作的负荷能力。

故障树法是一种常见且广泛应用的可靠度评估方法。在故障树法中，先要确定故障树的根原因，并构造逻辑

门或关系，依次向下进行分析。通过计算故障树不同分支的失效概率，可以获得结构的可靠度水平。

在可靠度分析中，还需要考虑与安全性评估相关的指标和变量，如故障概率、设计寿命、可靠度系数等。这些指标和变量可以通过数理统计的方法和公式计算得出。

3. 损伤评估法

损伤评估法的具体应用主要包括以下几个步骤：首先，通过对结构的实测数据和监测数据进行分析，确定结构的初始损伤状态。其次，根据损伤特征和损伤扩展规律，建立结构的损伤模型，并进行定量分析。常用的损伤模型有线性弹性模型、非线性弹性模型、塑性模型等，根据具体情况选择适当的模型。然后，根据结构的受力情况和损伤模型，建立结构的损伤评价指标体系。常用的损伤评价指标包括应变、位移、裂缝宽度、损伤面积等。最后，通过对结构损伤指标的监测和分析，结合安全性评估准则，判断结构的安全等级及其使用寿命。例如，在损伤评估指标的计算中，可以使用应变计算公式，如 $\varepsilon = \Delta L/L_0$ ，其中 ε 表示应变， ΔL 表示变形量， L_0 表示原始长度。

三、土木工程结构设计的安全性管控

1. 结构设计中的风险分析与管理

首先，风险分析是在结构设计过程中对可能的威胁和危险进行全面、系统和客观的评估。这包括对各种自然灾害（如地震、风暴等）和人为因素（如施工不当、材料缺陷等）对结构造成的潜在影响的识别和分析。通过对各种风险因素的评估，可以确定结构设计中的薄弱环节并采取相应的措施进行加固和改进。例如，在设计桥梁时，需要考虑地震和风荷载对桥梁的影响，并通过结构形式的选择、材料的选用和抗震措施的加强等方式减少桥梁在灾害发生时的损害风险。其次，风险管理是将识别出的风险因素纳入到结构设计和施工管理中，通过制定相应的预防和应对策略来降低风险的发生概率和对结构造成的影响。风险管理应从结构设计的初期开始，并贯穿于整个项目的生命周期。具体来说，风险管理包括以下几个方面的工作：①风险预防措施：采用合适的设计规范和标准，确保结构在正常使用条件下的安全性。例如，在高风险地区设计建筑物时，可以采用加固措施来提高结构的抗震和抗风能力。②风险应对策略：对于已经发生的风险和可能的事故，制定相应的应对措施和紧急预案。例如，在设计大坝时，需要考虑其可能的失效模式，并制定相应的监测和应急处理措施，以保障人

民生命财产的安全。③监测与维护：定期对已建成的结构进行监测和维护，及时发现并排除潜在的安全隐患。例如，通过使用传感器和实时监测系统对桥梁进行监测，可以及时发现结构变形和裂缝等问题，并采取相应的维护和修复措施。

2. 结构材料的选取与安全性考虑

首先，刚度也是结构材料选取的重要考虑因素之一。材料的刚度直接影响结构的整体刚度，对结构的内力分布和变形控制起重要作用。选取合适的材料刚度，可以减小结构的变形和挠度，提高结构的稳定性和安全性。其次，耐久性也是结构材料选取中需要考虑的方面。长期受到环境和使用条件的影响，结构材料可能会发生腐蚀、疲劳等现象，导致材料性能下降，进而影响结构的安全性。因此，在选取结构材料时，需要考虑结构所处的环境特点，选择具有良好耐久性的材料，或采取相应的保护措施和修复方案，以延长结构的使用寿命并确保安全性。

3. 结构设计中的荷载分析和强度参数

首先，荷载分析是对结构受到的各种外部力作用进行评估和计算的过程。在荷载分析中需要考虑多种类型的荷载，包括常见的静态荷载（如自重、活载、雪荷载等）和动态荷载（如地震、风荷载等）。通过对不同荷载情况下结构的应力、变形、振动等进行分析和计算，可以确定结构的设计荷载和相应的强度要求。例如，对于设计桥梁，需要考虑不同车辆的活荷载、桥梁自重、风荷载等，通过荷载分析确定桥梁的极限状态荷载和变形限值。其次，强度参数是指结构材料和构件的力学性能参数，用于描述结构的承载能力和强度。在结构设计中，需要准确确定材料的强度参数，如混凝土的抗压强度、钢材的屈服强度等。这些参数的准确性对于结构的安全性评估和设计至关重要。通过合理的试验和测试，可以得到材料的力学性能参数，并根据结构的设计要求进行调整。同时，也需要参考国家和行业标准，确保所采用的强度参数符合相应的规范和要求。

四、土木工程结构设计经济性管控

1. 成本与效益的权衡分析

首先，成本方面的权衡分析是经济性管控的核心。在材料选取时，不同材料的成本会有差异。例如，钢材在一般情况下相对较贵，但具有良好的强度和韧性；混凝土材料相对较便宜，但在强度和刚度方面可能需要更多的材料使用。在进行材料选取时，需要比较各材料的

成本与性能,综合考虑建设成本以实现经济可行性。其次,还需要考虑结构的使用寿命和维护保养成本。例如,某些特殊材料具有较长的使用寿命,并且不需要频繁的维护,尽管初始投资较高,但整体的维护保养成本可能较低;而对于一些容易腐蚀或受外界因素影响较大的材料,需要定期维护和更换,可能导致较高的维护成本。通过综合考虑结构的预期使用寿命和维护成本,可以实现在成本和效益之间的平衡。第三,效益方面的权衡分析也是经济性管控的重要考虑因素。对于土木工程结构而言,效益主要包括可靠性和安全性。一方面,选取高强度、高刚度的材料可以提高结构的可靠性,降低事故和破坏的风险,从而减少维修和修复成本。另一方面,经济性还涉及到结构设计对自然资源的消耗和环境的影响。例如,选择可再生资源或环保材料可能会增加初期投资成本,但从长期来看却可以提高工程的环境效益。在进行经济性管控的权衡分析时,需要综合考虑建设成本、使用寿命、维护成本、可靠性、安全性和环境效益等方面的因素。通过权衡分析,可以找到最合适的材料选取与设计策略,实现在经济可行性与工程效益之间的平衡。

2. 施工方法与工期的优化

首先,施工方法的优化被认为是提高土木工程设计经济性的重要手段之一。在确定施工方法时,需要综合考虑多个因素,包括工程场地、材料和设备的供应、人力资源、环境要求等方面。通过合理地选择施工技术和方法,可以最大程度地减少工程造价。例如,在进行混凝土结构施工时,可以采用模板一体化技术、预制构件等方式来提高施工效率和减少工程材料的使用量。其次,工期的优化也是土木工程设计经济性的重要环节之一。在确定工程工期时,需要考虑到多种因素,包括材料供应、设备安装、人员调配和天气等因素。通过合理安排工期,可以缩短施工时间、降低施工成本,提高工程效率,实现设计经济性的最大化。例如,采用先期施工、分段交付等方式来缩短工期、降低工程成本。

3. 结构材料选取与成本效益分析

首先,针对不同材料的成本进行分析。以一座桥梁工程为例,假设可以选择混凝土和钢材作为结构材料。

混凝土的成本相对较低,而钢材的成本相对较高。然而,在实际设计过程中,需综合考虑结构的跨度、荷载特性、使用寿命等因素来确定材料的具体使用量。假设混凝土选取成本为每立方米1000元,钢材选取成本为每吨5000元,且桥梁设计需要混凝土3000立方米,钢材1000吨,则混凝土的材料成本为300万人民币,钢材的材料成本为500万人民币。其次,考虑结构材料选取与使用寿命的关系。不同材料具有不同的使用寿命和维护保养成本。以混凝土为例,虽然初始成本较低,但在长期使用过程中可能存在开裂、腐蚀等问题,导致维修和维护费用的增加。而钢材具有较高的强度和耐久性,可以延长结构的使用寿命,并减少后期的维修成本。因此,在结构材料选取时,综合考虑结构的预期使用寿命和维护成本,能更好地实现成本效益的平衡。另外,还需要分析结构材料选取与工程效益的关系。选取合适的结构材料能够提高工程质量和安全性,减少故障和事故的发生,从而保证工程效益的实现。以桥梁工程为例,如果选用优质的材料并进行合理的设计,可以减小结构的挠度和变形,提高桥梁的稳定性和承载能力,从而提高交通运输效率和安全性。这些因素对于综合考虑成本效益至关重要。

结语

安全性与经济性在土木工程结构设计中不可分割,在实践中需要通过合理的设计、风险分析和控制、材料选择等手段实现它们的协调与平衡。这对提高土木工程结构的安全性和经济性具有重要意义,并对工程师和设计师在实际工作中的决策提供了一定的指导。

参考文献

- [1] 尹永青. 土木工程结构设计安全性与经济性管控[J]. 砖瓦, 2023, (03): 120-122+126.
- [2] 卯颖. 土木工程结构设计中的安全性及经济性探究[J]. 中华建设, 2023, (03): 93-95.
- [3] 蔡莱萸. 土木工程结构设计中的安全性与经济性分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2022, (30): 46-48.
- [4] 牛牧华, 李倩. 土木工程结构设计中的安全性与经济性分析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(13): 197-199.