

解析土木工程结构设计抗震性能优化策略

杨 学

国能中卫发电有限公司 宁夏中卫 755000

【摘要】土木工程结构抗震设计是保障建筑安全的重要环节，其核心在于提升结构在地震作用下的抵抗能力。当前，抗震设计面临结构布置不合理、材料选择不当、构件连接薄弱及非结构构件抗震性能不足等问题。为优化抗震性能，建议采取以下策略：优化结构布局与构造以增强整体稳定性；改进材料性能以提高承载力；加强构件连接以防止薄弱环节；提升非结构构件的抗震能力以减少次生灾害。通过这些措施，可有效提升土木工程结构的抗震性能，保障人民生命财产安全。

【关键词】土木工程；结构设计；抗震性能

1 土木工程结构抗震设计的基本理论

土木工程结构抗震设计旨在通过合理的设计方法，使结构在地震作用下能满足预定的性能目标，保障生命财产安全。其基本理论涵盖以下要点。地震作用分析是基础，地震时地面运动复杂，需通过合适方法确定结构所受地震力。反应谱理论应用广泛，它根据大量地震记录，将单自由度弹性体系在地震作用下的最大反应与体系自振周期建立关系，以此计算结构地震反应。时程分析法能更真实反映结构地震反应全过程，通过输入实际地震波，对结构运动方程进行逐步积分求解。结构抗震概念设计也至关重要，强调根据地震灾害经验及工程实际，从总体上把握结构布置与构造。如选择对抗震有利的场地，避免在地震时因地效应导致结构破坏；合理规划建筑平面与竖向布置，使结构刚度、质量分布均匀，减少扭转效应；采用多道抗震防线，当某一构件或体系破坏后，其他部分仍能继续抵抗地震作用。

2 土木工程结构设计抗震性能存在的问题

2.1 结构布置不合理

在土木工程结构设计中，结构布置不合理是影响抗震性能的关键问题之一。从平面布局来看，一些建筑为追求独特的外观造型，采用不规则的平面形状，如过多的凹凸、偏心或狭长的平面布置。这种布局会导致结构的质量和刚度分布不均匀，在地震作用下，结构容易产生扭转效应。扭转会使结构的边缘和转角部位承受比其他部位更大的应力，进而率先出现破坏，严重影响结构的整体稳定性。例如，一些 T 形、L 形平面的建筑，在地震中由于扭转效应，角部的墙体和框架柱往往最先出现裂缝甚至倒塌。竖向布置方面，不合理的情况也较为常见。当楼层的刚度突变时，如底部楼层刚度过小，形成软弱层，地震力作用

下，该层的变形会显著增大，极易引发结构的整体坍塌。这是因为软弱层无法有效地将上部结构传来的地震力传递到基础，使得结构在该层出现集中变形。另外，竖向构件的截面尺寸和材料强度在竖向分布不合理，也会导致结构在地震中的受力性能恶化。例如，上部楼层柱子截面尺寸过小，无法承担上部结构传来的荷载，在地震时容易发生破坏，进而影响整个结构的竖向承载能力。同时，结构布置中构件的疏密程度也至关重要。如果柱网设置不合理，各榀框架的抗侧力刚度差异过大，刚度大的框架会承担过多的地震力，在地震中过早破坏，而其他框架又无法及时分担荷载，最终导致结构整体的稳定性遭到破坏。

2.2 材料选择不当

材料选择对于土木工程结构的抗震性能起着决定性作用，然而在实际工程中，材料选择不当的问题时有发生。部分项目为了降低成本，往往选用不符合标准的材料，这无疑为结构的抗震性能埋下了隐患。在钢材的选用上，未按照设计要求采用具有良好延性和强度的钢材，而是采用了杂质含量高、性能不稳定的产品。钢材作为结构中的主要受力材料，其延性和强度直接影响结构在地震作用下的性能。在地震过程中，良好的延性可以使钢材通过塑性变形来耗散能量，避免结构突然发生脆性破坏。而杂质多、性能不稳定的钢材在地震力的反复作用下，容易发生脆性断裂，无法有效地利用塑性变形来吸收能量，从而导致结构的承载能力急剧下降。对于混凝土材料，如果配合比不合理，水灰比过大，会导致混凝土的强度和耐久性降低。在地震的反复作用下，这样的混凝土构件容易出现开裂、剥落等现象，不仅削弱了构件的截面尺寸，还降低了其承载能力。例如，在一些地震多发地区的建筑中，由于混凝土质量问题，地震后许多梁、

柱构件表面出现大量裂缝，甚至混凝土保护层脱落，露出内部钢筋，严重影响了结构的安全性。

2.3 构件连接薄弱

构件连接是土木工程结构中确保各部分协同工作、共同抵抗地震作用的关键环节。在实际的设计与施工过程中，构件连接薄弱的问题较为突出，严重影响结构的抗震性能。以常见的框架结构为例，梁柱节点作为框架结构的关键连接部位，其设计与施工质量直接关系到结构的整体稳定性。若在设计过程中，对梁柱节点的受力分析不够准确，箍筋配置不足，那么在地震作用下，节点核心区就无法有效地约束梁柱纵筋。这会导致纵筋的锚固长度不足，进而出现纵筋滑移、拔出等现象，使得节点的承载能力和延性降低，最终破坏框架结构的整体性。在一些震害调查中发现，部分框架结构的梁柱节点在地震后出现严重破坏，节点区混凝土破碎，纵筋外露、变形，这就是由于节点连接设计不合理和施工质量问题导致的。在装配式结构中，预制构件之间的连接可靠性更是关乎结构整体性能的关键。一些工程为了追求施工进度，采用了过于简单的连接方式，并且在钢筋锚固和焊接等关键环节上质量不达标。在地震发生时，这些预制构件容易出现松动、脱落的情况，无法与其他构件协同工作，从而导致结构的整体性丧失。比如，预制墙板与主体结构的连接，如果预埋件设置不合理，或者螺栓的强度、拧紧力矩不符合要求，在地震作用下，墙板可能会脱离主体结构，不仅丧失了围护功能，还可能对人员造成严重伤害。在钢结构中，焊缝质量问题也是影响构件连接强度的重要因素。诸如夹渣、气孔、未焊透等焊缝缺陷，在地震反复荷载的作用下，会逐渐扩展，最终导致焊缝断裂，破坏结构的稳定性。

2.4 非结构构件抗震性能不足

在土木工程结构抗震设计中，非结构构件的抗震性能不足往往容易被忽视，但它们对建筑在地震中的安全性和使用功能有着至关重要的影响。非结构构件涵盖了填充墙、吊顶、各类设备以及附属设施等。虽然这些构件不承担主要的结构荷载，但在地震发生时，它们的表现却直接关系到人员的生命安全和建筑震后的可使用性。填充墙作为建筑中常见的非结构构件，如果与主体结构的连接方式不当，在地震时极易发生倒塌。例如，采用刚性连接的填充墙，由于其与主体结构的变形特性不一致，在地震作用下，填充墙与主体结构之间会产生较大的应力，导致填充墙出现斜裂缝甚至垮塌。这种情况不仅会阻碍人员的疏散，还可能对人员造成砸伤等伤害。而且，填充墙倒塌

后，还会破坏建筑的空间分隔，影响建筑的使用功能。吊顶在建筑中起到美化空间和隐藏设备管线的作用，但如果其吊杆强度不够，或者与主体结构的连接不牢固，在地震时吊顶就可能坠落，对下方的人员和设备造成损害。特别是在一些人员密集的场所，如商场、学校、医院等，吊顶坠落的危害更为严重。各类大型设备，如电梯、空调机组等，若其锚固措施不完善，在地震时可能会发生移位、脱轨等情况。电梯移位或脱轨不仅会影响震后的救援和人员疏散工作，还可能引发严重的次生灾害。例如，电梯轿厢坠落可能导致人员伤亡，而空调机组等设备移位可能会损坏管道和线路，引发停电、漏水等问题。

3 土木工程结构设计抗震性能优化策略

3.1 优化结构布局与构造

优化结构布局与构造是提升土木工程结构抗震性能的关键环节。在结构布局方面，应遵循规则、对称的原则。从平面布局看，建筑平面形状应力求简单、规整，减少凹凸和偏心，避免出现狭长或不规则的平面。例如，矩形、正方形等规则平面形状，能使结构质量和刚度分布均匀，有效降低地震作用下的扭转效应。对于复杂形状的建筑，可通过设置抗震缝将其划分为多个简单规则的结构单元。竖向布局上，要保证结构刚度沿竖向均匀变化，避免出现刚度突变的软弱层。应合理设计各楼层的柱、墙等竖向构件，使其截面尺寸和材料强度的变化平稳过渡。例如，可采用渐变的柱截面形式，随着楼层升高逐渐减小柱截面尺寸，同时合理调整混凝土强度等级，确保竖向受力体系的稳定性。在构造措施上，要注重增强结构的整体性。对于框架结构，梁柱节点的构造至关重要。应按照规范要求加密节点区箍筋，确保纵筋有足够的锚固长度，增强节点的抗剪和抗弯能力，使节点在地震时能有效传递内力，保证框架结构的整体性。在砌体结构中，要设置足够的构造柱和圈梁，并保证其与墙体的可靠连接。构造柱可增强墙体的抗剪能力，圈梁则能约束墙体，提高砌体结构的整体性和空间稳定性。

3.2 改进材料性能

改进材料性能是提升土木工程结构抗震性能的重要基础。在钢材选用上，优先采用高性能、延性好的建筑钢材。优质的钢材具有较高的屈服强度和极限强度，同时具备良好的塑性变形能力。在地震作用下，钢材能通过较大的塑性变形吸收和耗散地震能量，避免结构发生脆性破坏。例如，选用符合国家标准的低合金高强度结构钢，其化学成分经过优化，在保证强度的同时，显著提高了钢材

的韧性和可焊性。对于重要结构部位，可采用抗震性能更好的特种钢材，如具有良好低周疲劳性能的钢材，以满足结构在地震反复荷载作用下的性能要求。

混凝土材料方面，应优化配合比设计。精确控制水灰比，合理选用水泥品种、骨料级配和外加剂，以提高混凝土的强度、耐久性和韧性。例如，采用掺加矿物掺合料（如粉煤灰、矿渣粉）的方法，不仅能改善混凝土的工作性能，还能提高其后期强度和抗裂性能。在地震多发地区，可考虑使用纤维增强混凝土，通过在混凝土中均匀掺入钢纤维、聚丙烯纤维等，增强混凝土的抗拉强度和韧性，减少混凝土在地震作用下的裂缝开展，提高结构构件的延性。在砌体结构中，要提高砖或砌块的强度等级，确保其质量符合相关标准。同时，选用粘结性能良好、强度合适的砌筑砂浆，保证灰缝的饱满度和均匀性，增强砌体的整体性和抗震性能。

3.3 加强构件连接

加强构件连接是保障土木工程结构在地震中协同工作、提升抗震性能的关键要点。在框架结构里，梁柱节点连接的强化尤为重要。设计时，需精确计算节点的受力，依据计算结果合理配置箍筋。加密节点核心区的箍筋，能够有效约束混凝土，增强节点的抗剪强度，防止节点在地震作用下因剪切破坏而失效。同时，要确保梁纵筋和柱纵筋的锚固长度符合规范要求，必要时可采用机械锚固措施，如锚固板、焊接钢筋头等，增强纵筋与混凝土之间的粘结力，避免纵筋在地震力作用下发生滑移、拔出。在施工过程中，严格把控节点区混凝土的浇筑质量，保证混凝土的密实性，使节点能更好地传递梁、柱之间的内力，确保框架结构的整体性和稳定性。对于装配式结构，必须优化预制构件的连接方式。采用可靠的连接技术，如灌浆套筒连接、螺栓连接等，并确保连接部位的设计强度高于构件本身。在灌浆套筒连接中，要严格控制灌浆料的质量和灌浆工艺，保证钢筋与套筒之间的可靠锚固。对于螺栓连接，要选择合适强度等级的螺栓，并按照规定的拧紧力矩进行施工，防止螺栓松动。此外，在预制构件的连接部位设置合理的构造措施，如设置键槽、粗糙面等，增加构件之间的摩擦力和咬合力，提高装配式结构在地震作用下的协同工作能力。

3.4 提高非结构构件抗震性能

提高非结构构件抗震性能是土木工程结构抗震设计中不可或缺的部分，对于保障人员安全和建筑震后功能恢复至关重要。针对填充墙，应优化其与主体结构的连接方式。采用柔性连接，如在填充墙与框架柱、梁之间设置拉结

筋，并在墙顶与梁底之间预留一定缝隙，填充弹性材料，使填充墙既能与主体结构协同工作，又能适应主体结构在地震时的变形，减少因两者变形不协调而产生的破坏。同时，提高填充墙自身的强度和稳定性，可选用轻质、高强度的砌块，并合理设置构造柱和水平系梁，增强填充墙的整体性，防止填充墙在地震中倒塌伤人。对于吊顶，要确保吊杆具有足够的强度和稳定性。根据吊顶的重量和使用环境，合理选择吊杆的材料和规格，保证吊杆能承受地震作用下的竖向和水平荷载。加强吊杆与主体结构的连接，采用可靠的锚固方式，如膨胀螺栓、化学锚栓等，并定期检查连接部位的牢固程度。此外，吊顶的龙骨和饰面板应选用质量轻、强度高且连接可靠的材料，避免在地震时因吊顶坠落造成人员伤亡和设备损坏。各类大型设备，如电梯、空调机组等，需完善其锚固措施。根据设备的尺寸、重量和振动特性，设计专门的锚固系统，确保设备在地震时能牢固地固定在结构上。对于电梯，要加强导轨与井道壁的连接，设置抗震限位装置，防止电梯在地震时发生移位、脱轨等事故。对于空调机组等设备，采用减震垫、阻尼器等隔震措施，减少地震对设备的影响，同时确保设备与管道、线路的连接具有一定的柔性，防止因地震导致管道破裂、线路中断。

结束语：

综上所述，土木工程结构抗震性能的优化是一个复杂而重要的课题。通过优化结构布局与构造、改进材料性能、加强构件连接以及提升非结构构件的抗震能力，可以有效提高建筑物的整体抗震性能。在实际工程中，设计人员应综合考虑各种因素，灵活运用各种优化策略，以确保建筑物在地震中能够保持足够的稳定性和安全性。只有这样，才能真正实现土木工程结构的抗震目标，保障人民生命财产安全。

参考文献：

- [1] 朱志敏. 解析土木工程建筑设计中的问题[J]. 建材与装饰, 2019, (09): 128-129.
- [2] 陈松庭. 探微土木工程结构设计中的安全性与经济性[J]. 中华建设, 2020, (09): 106-107.
- [3] 尚天龙, 钟春玲. 土木工程结构设计中的抗震问题[J]. 长春师范大学学报, 2020, 39(08): 19-22.
- [4] 曾赞. 土木工程结构设计中的抗震性能分析[J]. 工程技术研究, 2018, (07): 210-211.
- [5] 吴晓建. 土木工程结构设计阶段抗震性的重要性分析[J]. 住宅与房地产, 2017, (12): 118.