

土木工程结构与地基加固技术探究

翟麦富 戚迎花

郑州中粮科研设计院有限公司 河南 郑州 450052

摘要：本文围绕土木工程结构与地基加固技术展开探究。论述结构设计安全性、适用性、经济性、耐久性四大原则，介绍弹性设计法、塑性设计法等设计方法，阐述换填垫层法、桩基础技术等地基加固技术，并分析两者协同优化要点。研究表明，合理运用相关原则与技术，实现两者协同，对保障工程质量、安全与经济性，推动土木工程可持续发展意义重大。

关键词：土木工程；结构设计；地基加固技术

1 土木工程结构设计基本原则

1.1 安全性原则

安全性是土木工程结构设计的首要原则，它直接关系到人民生命财产安全以及社会的稳定。在结构设计过程中，需要充分考虑各种可能出现的荷载作用，包括永久荷载（如结构自身重量、固定设备重量等）、可变荷载（如人员活动荷载、风荷载、雪荷载等）以及偶然荷载（如地震荷载、爆炸荷载等）。设计人员要依据相关规范和标准，精确计算结构在这些荷载组合下的内力与变形，确保结构构件具有足够的承载能力和稳定性，避免发生破坏或失稳现象。另外，安全性原则还要求结构设计具有一定的冗余度，即当结构的某一部分出现破坏时，其他部分仍能继续承载，防止结构发生连续倒塌。这种设计理念能够在意外情况下为人员疏散和抢险救灾争取宝贵时间，进一步保障生命安全。

1.2 适用性原则

适用性原则要求土木工程结构在正常使用条件下，能够满足预定的使用功能要求。不同类型的建筑，其使用功能各不相同，结构设计需要根据具体的使用需求进行针对性设计^[1]。对于工业建筑，要考虑生产设备的布置、安装和运行要求，确保结构能够承受设备的振动、荷载等作用，同时要保证厂房内有足够的空间高度和跨度，满足生产工艺的需要。民用建筑则更注重居住或使用的舒适性。在住宅设计中，要合理规划房间布局，保证良好的采光、通风条件；对于学校、医院等公共建筑，要满足人员疏散、交通流线顺畅等要求。适用性还包括结构在使用过程中的可维护性和可改造性，方便后期对建筑进行维修、改造和功能调整。

1.3 经济性原则

经济性原则是在满足安全性和适用性的前提下，尽可能降低土木工程建设的成本。这不仅包括工程建设的

直接成本，如建筑材料费用、施工费用等，还涉及到工程全生命周期内的运营成本和维修成本。在结构设计阶段，可以通过优化结构选型和布置来降低成本。例如，对于多层建筑，选择合适的结构体系（如砖混结构、框架结构等），能够在满足使用要求的同时，减少建筑材料的用量。合理选用建筑材料也是实现经济性的重要途径。在保证材料性能的前提下，优先选用本地材料和价格相对较低的材料，减少材料运输成本。采用新型建筑材料和技术，提高材料的利用效率，也能达到降低成本的目的。在工程全生命周期内，通过合理的设计提高结构的耐久性，减少后期维护和维修费用，同样体现了经济性原则。

1.4 耐久性原则

耐久性原则要求土木工程结构在规定的使用年限内，在正常维护条件下，能够保持其安全性和适用性。结构的耐久性受到多种因素的影响，如环境因素（湿度、温度、化学侵蚀等）、材料老化、荷载作用等。在环境因素方面，对于处于海边等氯离子含量较高环境中的建筑，混凝土结构容易受到氯离子侵蚀，导致钢筋锈蚀，影响结构的耐久性。因此在设计时需要采取相应的防护措施，如提高混凝土的抗渗性、增加混凝土保护层厚度、采用防腐钢筋等。对于处于严寒地区的建筑，要考虑混凝土的抗冻性能，避免因冻融循环导致混凝土结构破坏。材料老化也是影响结构耐久性的重要因素，在设计时，需要根据材料的特性，采取合适的防护和维护措施，如对钢结构进行防腐涂装，对木材进行防腐、防虫处理等。合理控制结构的荷载作用，避免结构长期处于超载状态，也有助于提高结构的耐久性。

2 土木工程结构设计方法

2.1 弹性设计法

弹性设计法是一种基于弹性力学理论的传统结构设

计方法。该方法假定结构在荷载作用下的变形处于弹性阶段,即结构的应力与应变成正比关系,且在荷载卸除后,结构能够完全恢复到初始状态。在弹性设计法中,设计人员根据结构的受力情况,运用弹性力学公式计算结构构件的内力和变形。这种方法计算相对简单,概念清晰,适用于结构受力较小、变形要求不高的情况。然而,弹性设计法也存在一定的局限性。它没有考虑结构在超过弹性阶段后的性能,实际上许多结构在破坏前会经历塑性变形阶段。在实际工程中,当结构受到较大荷载作用时,采用弹性设计法可能会导致设计结果过于保守,增加工程成本。

2.2 塑性设计法

塑性设计法考虑了结构材料在超过弹性极限后的塑性性能。该方法认为,当结构构件的某些部位达到屈服强度后,会形成塑性铰,此时结构仍能继续承载,直到更多的塑性铰形成导致结构破坏。塑性设计法的优点在于能够充分发挥材料的潜力,降低结构的用钢量等材料消耗,从而节约工程成本^[2]。在钢结构设计中,塑性设计法应用较为广泛。但塑性设计法也有其适用条件和限制。它要求结构具有良好的延性,能够在塑性铰形成后继续承载并发生较大的变形而不发生脆性破坏。同时塑性设计法的计算相对复杂,需要考虑结构的内力重分布等因素,对设计人员的专业水平要求较高。

2.3 基于性能的设计方法

基于性能的设计方法是一种以结构性能目标为导向的设计方法。该方法根据建筑物的重要性、使用功能以及可能遭遇的灾害情况,预先设定结构在不同性能水平下的目标,如正常使用、可修复和生命安全等性能目标,然后通过设计使结构满足这些性能要求。在工程领域,基于性能的设计方法得到了广泛应用。设计人员根据建筑物的抗震设防类别,确定不同的地震水准(如多遇地震、设防地震和罕遇地震)下结构应达到的性能目标。基于性能的设计方法综合考虑了结构的安全性、适用性和耐久性,能够为业主和使用者提供更明确的结构性能预期。但该方法需要更准确的荷载预测、更精确的结构分析手段以及更深入的对结构性能的理解,在实际应用中还需要进一步完善和发展。

3 土木工程地基加固技术探究

3.1 换填垫层法

置换垫层技术涉及移除基础底面下特定深度的软弱土层,随后分层回填高强度、低压缩性及无腐蚀性材料(例如砂石料、纯净土壤或灰土混合物),并通过压实达到设计规定的密度标准,构成坚固的垫层结构。此技

术主要用于加固浅层软弱及不均匀地基条件,诸如淤泥层、淤泥质土壤或湿陷性黄土。置换垫层技术的施工流程相对简洁,成本效益较高。施工期间,关键在于严格监控回填材料品质及分层回填的厚度,保证每层均达到既定压实标准。该技术能显著提升地基土的力学性能,增强地基的承载能力与稳定性,然而其加固深度受限,通常适宜处理深度不超过3米范围内的软弱地基。

3.2 重力夯实技术

重力夯实技术通过从高处释放重锤,利用其自由落体产生的巨大冲击力夯实地基土壤,旨在增强地基土的强度特性、减小其压缩潜能、优化抗液化性能及消除湿陷性问题。该技术广泛适用于碎石质土、砂性土壤、低饱和度粉质与黏性土、湿陷性黄土、混合填土及纯净填土等多种地基类型。重力夯实技术施工高效,加固成效显著。施工前,需依据地基土质特征与设计规范,精确设定夯击能量、夯击频次及总夯击轮次等关键参数。举例来说,对于质地较为疏松的地基土壤,可能需要采用更高的夯击能量及更多的夯击次数,以达成预期的加固成效。值得注意的是,重力夯实作业期间会伴随强烈震动与噪音,可能给周边生态环境带来不利影响,故在城市核心区域或对环境标准严格的场所应用时,需实施必要的减震与降噪措施。

3.3 注浆加固法

注浆加固法是通过钻孔将配制好的浆液注入地基土中,使浆液与地基土发生物理化学反应,填充土颗粒间的孔隙,胶结土体,从而提高地基土的强度、降低地基土的渗透性,改善地基土的工程性质。注浆加固法可适用于多种地基土,如砂土、粉土、黏性土等。根据注浆材料的不同,可分为水泥注浆、化学注浆等。水泥注浆材料来源广泛、价格相对较低,适用于一般地基加固;化学注浆则具有凝结时间短、加固效果好等优点,但成本较高,适用于一些对加固效果要求较高的特殊工程。在注浆施工过程中,要控制好注浆压力、注浆量和注浆速度等参数,确保浆液能够均匀地填充到地基土中,达到预期的加固效果。同时要注意避免浆液对周边环境造成污染^[3]。

3.4 桩基础技术

桩基础技术是通过将桩打入或压入地基土中,或在地基土中成孔后灌注混凝土形成桩,将建筑物的荷载传递到深部较坚硬、压缩性较小的土层或岩层上,以满足建筑物对地基承载力和变形的要求。桩基础按桩的受力方式可分为端承桩和摩擦桩。端承桩主要依靠桩端阻力承受荷载,适用于桩端持力层为坚硬土层或岩层的情

况；摩擦桩主要依靠桩侧摩阻力承受荷载，适用于软弱地基土较厚的情况。按桩的施工方法可分为预制桩和灌注桩。预制桩具有质量稳定、施工速度快等优点，但施工时对设备要求较高，且可能会产生挤土效应；灌注桩则可以根据工程需要灵活调整桩径和桩长，对周边环境影响较小，但施工质量控制难度较大。桩基础技术适用于各种复杂地质条件和大型、高层建筑等对地基要求较高的工程。在设计和施工过程中，需要综合考虑地质条件、建筑物荷载、施工条件等因素，选择合适的桩型和施工工艺，确保桩基础的承载能力和稳定性。

4 土木工程结构设计与地基加固技术的协同优化

4.1 结构设计对地基加固的需求分析

结构与地基加固密切相关，结构的类型、荷载大小和分布等因素决定了对地基承载力和变形的要求，从而影响地基加固方案的选择。不同的结构形式对地基的要求不同。例如，高层建筑由于荷载较大，对地基的承载力和稳定性要求较高，可能需要采用桩基础等较为复杂的地基加固技术；而小型低层建筑，荷载相对较小，可采用换填垫层法等简单的地基处理方法。结构的平面布置和竖向布置也会影响地基的受力状态，当建筑物的平面形状不规则、竖向荷载分布不均匀时，地基容易产生不均匀沉降，此时需要通过合理的地基加固措施来调整地基的刚度，保证地基的均匀变形。结构的抗震设计要求也会对地基加固提出特殊要求。在 seismic 区，地基加固不仅要满足承载力和变形要求，还要提高地基的抗震性能，如采用强夯法或注浆加固法改善地基土的密实度和抗液化能力。

4.2 地基加固方案的设计与选择

在进行地基加固方案设计与选择时，需要综合考虑地质条件、结构设计要求、施工条件和经济性等多方面因素。首先，要详细勘察地质情况，了解地基土的物理力学性质、土层分布等信息，为方案选择提供依据。例如，对于软弱土层较厚、地下水位较高的地基，采用桩基础可能更为合适；而对于浅层软弱土层，换填垫层法或强夯法可能是较好的选择。其次，要根据结构设计要求确定地基加固的目标。如前所述，不同的结构类型和使用功能对地基的承载力、变形和稳定性等有不同的要求，地基加固方案要能够满足这些要求。同时施工条件也是影响方案选择的重要因素。在城市中心等施工场地受限的区域，要选择对周边环境影响较小的地基加固

方法；而在施工场地开阔的区域，则可以选择施工效率较高的方法。经济性也是方案选择时需要考虑的关键因素，要对不同的地基加固方案进行成本分析，在满足工程质量要求的前提下，选择成本最低的方案。例如，在某些情况下，虽然桩基础的加固效果好，但成本较高；如果采用其他地基处理方法能够满足要求，且成本较低，则应优先选择其他方法。

4.3 施工过程中的监测与质量控制

在土木工程结构设计与地基加固技术协同实施的过程中，施工过程中的监测与质量控制至关重要。通过监测可以及时了解地基加固和结构施工过程中的实际情况，发现问题并及时采取措施进行调整和处理，确保工程质量和安全。在地基加固施工过程中，要对加固效果进行监测^[4]。例如，采用强夯法加固地基时，通过监测地基土的密实度、承载力等指标，判断强夯施工是否达到预期效果；对于注浆加固法，通过监测注浆压力、注浆量等参数，以及对加固后地基土的检测，评估注浆加固的质量。在结构施工过程中，要对结构的变形、内力等进行监测。例如，对于高层建筑，在施工过程中要监测建筑物的沉降、倾斜等情况，及时发现不均匀沉降等问题，并采取相应的措施进行调整。同时，要加强对施工材料和施工工艺的质量控制。严格控制建筑材料的质量，确保其符合设计要求；对施工工艺进行严格把关，按照规范和设计要求进行施工，保证施工质量。

结束语

综上所述，土木工程结构设计与地基加固技术相辅相成。通过明确设计原则、选择合适方法与技术，并做好协同优化，能有效提升工程综合效益。未来，随着技术进步与研究深入，二者将更紧密结合，为土木工程行业应对复杂挑战、实现高质量发展提供坚实支撑，在更多领域发挥关键作用。

参考文献

- [1]刘旭楠.土木工程结构设计与地基加固技术分析[J].工程技术研究,2022,(20):167-169.
- [2]郭祥民.土木工程结构设计与地基加固施工技术[J].建筑技术开发,2022,(14):54-56.
- [3]浦绍武.建筑结构加固设计及加固施工技术的应用[J].工程设计与设计,2020,(14):23-24.
- [4]卢玺.建筑结构加固设计及加固施工技术的应用[J].现代物业(中旬刊),2020,(06):156-157.