

土木结构在复杂地质条件下风电塔基础的应用与挑战

孟 磊

中国华电科工集团有限公司 北京 100160

摘要: 本文深入探讨了土木结构在复杂地质条件下风电塔基础的应用与挑战。阐述了复杂地质条件的主要类型、特征及其对风电塔基础的影响,包括地质灾害和结构设计挑战。介绍土木结构在风电塔基础中的应用模式,如基础结构类型与选型依据、结构优化设计方法。分析了基础设计面临的地质勘察、施工、结构稳定性与安全等挑战,并提出基础选型优化、施工技术创新、结构稳定性与安全性增强等设计优化策略。

关键词: 土木结构;复杂地质条件;风电塔基础;应用;挑战

1 复杂地质条件对风电塔基础的影响

1.1 复杂地质条件的主要类型与特征

复杂地质条件涵盖了多种地质类型,每一种都具有独特的特征。首先是软土地基,这类地基通常由淤泥、淤泥质土、松散砂土等组成,其特点是含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低。在这样的地基上建设风电塔基础,基础容易发生较大的沉降和不均匀沉降,影响风电塔的正常运行和结构安全。例如,在沿海地区,广泛分布着软土地基,风电塔基础若处理不当,可能会出现塔筒倾斜等问题。其次是岩溶地质,岩溶地区的地下存在溶洞、溶隙等地质构造。溶洞的大小、形状和分布情况各异,有的溶洞可能被充填,有的则为空溶洞。当风电塔基础位于岩溶地区时,溶洞的存在可能导致基础下方土体支撑不均匀,若溶洞规模较大且未进行有效处理,基础可能会发生突然的塌陷,严重威胁风电塔的安全。再者是山区地质,山区地形起伏大,地质构造复杂,可能存在断层、破碎带等不良地质现象。断层两侧的岩体可能存在错动和位移,破碎带内的岩石破碎、松散,强度低^[1]。在山区建设风电塔基础,需要充分考虑断层和破碎带对基础稳定性的影响,避免基础跨越断层或位于破碎带内,否则基础可能会因地质构造活动而发生破坏。另外,冻土地区也是一种复杂地质条件。冻土分为季节性冻土和多年冻土,季节性冻土在冬季冻结,夏季融化;多年冻土则常年处于冻结状态。冻土的冻胀和融沉特性会对风电塔基础产生显著影响。在冻胀作用下,基础可能会被抬起,导致塔筒产生附加应力;在融沉作用下,基础会发生下沉,同样会影响风电塔的结构安全。

1.2 地质灾害对基础的影响

地质灾害是复杂地质条件下常见的对风电塔基础造成威胁的因素。地震是一种强烈的地质灾害,地震波的

传播会使地基土体发生振动,导致基础的承载能力下降。在地震作用下,风电塔基础可能会受到水平方向的惯性力作用,若基础的抗震设计不合理,可能会出现基础滑动、倾覆等破坏形式。例如,在一些地震多发地区,风电塔基础需要严格按照抗震设计规范进行设计,以确保在地震发生时能够保持稳定。滑坡也是影响风电塔基础安全的地质灾害之一,当风电塔建设在山坡上时,若山坡的稳定性较差,在降雨、地震等因素的诱发下,可能会发生滑坡。滑坡体可能会掩埋或冲击风电塔基础,导致基础损坏,进而影响风电塔的正常运行。泥石流同样具有较大的破坏力,泥石流是一种含有大量泥沙、石块等固体物质的特殊洪流,其流速快、冲击力强。如果风电塔基础位于泥石流的流经路径上,泥石流可能会直接冲击基础,造成基础的破坏。泥石流还可能堵塞风电塔周围的排水系统,导致基础周围积水,影响基础的稳定性。

1.3 地质条件对结构设计的挑战

复杂地质条件给风电塔基础的结构设计带来了诸多挑战。在设计软土地基上的风电塔基础时,需要考虑如何减小基础的沉降和不均匀沉降。由于软土地基的承载能力较低,基础需要设计得足够大,以分散上部结构的荷载。同时还需要采取地基处理措施,如换填法、强夯法、桩基础等,来提高地基的承载能力和稳定性。然而,这些地基处理措施会增加工程成本和施工难度,对结构设计提出了更高的要求。对于岩溶地质,基础设计需要准确查明溶洞的分布情况。如果溶洞距离基础较近,需要采取相应的处理措施,如注浆加固、跨越处理等。在设计跨越溶洞的基础时,需要确保基础的跨越能力满足要求,同时要考虑溶洞可能的发展变化对基础的影响。在山区地质条件下,风电塔基础的设计需要考虑断层和破碎带的影响。基础应尽量避免跨越断层和破碎带,

若无法避开,需要采取特殊的加固措施,如采用锚杆、锚索等对基础周围的岩体进行加固,以提高基础的稳定性。此外,山区地形复杂,基础的设计还需要考虑地形高差、边坡稳定性等因素,增加了设计的难度。

2 土木结构在风电塔基础中的应用模式

2.1 基础结构类型与选型依据

在风电塔基础建设中,土木结构扮演着至关重要的角色。常见的结构类型主要包括扩展基础、桩基础和岩石锚杆基础。这些基础类型各有特色,适用于不同的地质和施工条件。扩展基础,作为一种浅基础,广泛应用于地基承载能力较好、上部结构荷载相对较小的情况。它巧妙地通过扩大基础的底面积,有效地分散了上部结构的荷载,从而确保地基的压应力始终保持在安全范围内。扩展基础的施工相对简单,成本也相对较低,因此在许多风电塔基础建设中得到了广泛应用。然而,值得注意的是,在软土地基等承载能力较低的地质条件下,扩展基础的应用会受到一定限制。桩基础则是一种深基础,特别适用于地基承载能力较低、上部结构荷载较大或存在不良地质条件的情况。桩基础能够利用桩身将上部结构的荷载有效地传递到深层稳定的地层中。桩基础的类型多样,包括预制桩和灌注桩等。预制桩具有施工速度快、质量易于控制等优势,但可能伴随较大的噪声和振动问题;而灌注桩则能够根据地质条件灵活调整桩长和桩径,虽然施工工艺相对复杂,但在复杂地质条件下具有更高的适应性和灵活性。岩石锚杆基础则更适用于地基为坚硬岩石的情况。它巧妙地通过锚杆将上部结构的荷载直接传递到岩石中,不仅承载能力强,而且施工简便快捷^[2]。在选型基础结构时,需要综合考虑多种因素。地质条件是选型的关键所在,不同地质条件对基础结构的要求截然不同。上部结构荷载的大小和分布同样对基础结构的选型产生重要影响,荷载较大时需选择承载能力更强的结构以确保安全。另外,施工条件如场地大小、施工设备可用性等也是影响选型的重要因素。

2.2 结构优化设计方法

为了提高土木结构风电塔基础的经济性和安全性,需要进行结构优化设计。结构优化设计的方法有很多,其中一种常用的方法是基于有限元分析的优化设计。通过建立风电塔基础的有限元模型,可以模拟基础在不同荷载作用下的受力情况和变形情况。在有限元分析的基础上,可以对基础的结构尺寸、配筋等进行优化。例如,通过调整基础的底面积、高度等尺寸参数,使基础在满足承载能力和变形要求的前提下,用料最少;通过优化配筋方案,提高基础的抗裂性能和承载能力。另一

种结构优化设计方法是基于遗传算法的优化设计,遗传算法是一种模拟自然选择和遗传机制的优化算法,它可以搜索到全局最优解。在风电塔基础的结构优化设计中,将基础的结构参数作为遗传算法的个体,通过选择、交叉、变异等操作,不断优化个体的适应度,从而得到最优的基础结构方案。还可以采用拓扑优化方法对风电塔基础进行优化设计。拓扑优化可以在给定的设计空间内,寻找最优的材料分布,使基础在满足性能要求的前提下,重量最轻。拓扑优化方法可以为基础结构的初步设计提供参考,然后再结合其他优化方法进行详细设计。

3 土木结构风电塔基础设计挑战

3.1 地质勘察与基础选型挑战

地质勘察是风电塔基础设计的重要前提,但在实际工程中,地质勘察面临着诸多挑战。首先,地质条件的复杂性使得地质勘察的难度较大。例如,在岩溶地区,溶洞的分布具有随机性和隐蔽性,很难通过常规的地质勘察手段准确查明溶洞的位置、大小和形状。如果地质勘察不准确,可能会导致基础选型不当,给风电塔基础的安全带来隐患。其次,地质勘察的成本较高,尤其是在一些地形复杂、交通不便的地区。为了获取准确的地质资料,需要进行大量的钻探、物探等工作,这会增加工程的投资。基础选型也面临着挑战。如前文所述,不同的地质条件适合不同的基础结构类型,但在实际工程中,地质条件往往是复杂多变的,很难找到一种基础结构类型完全适应所有的地质条件。此外,基础选型还需要考虑上部结构荷载、施工条件和经济因素等,这些因素之间相互制约,使得基础选型变得更加困难。

3.2 基础施工挑战

土木结构风电塔基础的施工面临着诸多挑战。在软土地基上施工时,由于软土地基的承载能力低,施工设备和材料难以直接进入施工现场,需要进行地基处理。地基处理施工的难度较大,如强夯法施工时,需要控制夯击能、夯击次数等参数,以确保地基处理效果;桩基础施工时,可能会遇到塌孔、断桩等问题,影响施工质量和进度。在岩溶地区施工时,需要特别注意溶洞的处理。如果溶洞处理不当,可能会导致基础施工过程中的塌陷事故^[3]。岩溶地区的岩石硬度较大,钻孔施工的难度较大,需要采用特殊的钻探设备和工艺。山区地形复杂,施工场地狭窄,施工设备的运输和安装困难。同时山区气候多变,可能会遇到暴雨、泥石流等自然灾害,影响施工安全,山区施工还需要考虑环境保护问题,避免对周边的生态环境造成破坏。

3.3 结构稳定性与安全挑战

土木结构风电塔基础的稳定性和安全性是设计的重要目标,但在实际工程中面临着诸多挑战。在地震、风荷载等动力荷载作用下,风电塔基础可能会发生振动,导致基础的稳定性下降。为了保证基础在动力荷载作用下的稳定性,需要进行动力分析,并采取相应的抗震、抗风措施。长期荷载作用下,基础可能会发生徐变和收缩,导致基础的变形增大,影响风电塔的正常运行。基础的耐久性也是一个重要问题,在恶劣的环境条件下,如海洋环境、冻土环境等,基础可能会受到腐蚀、冻融等作用,影响基础的使用寿命。

4 土木结构风电塔基础设计优化策略

4.1 基础选型优化

为了提高土木结构风电塔基础的经济性和安全性,需要对基础选型进行优化。在地质勘察阶段,应采用多种勘察手段相结合的方法,提高地质勘察的准确性。例如,综合运用钻探、物探、原位测试等方法,全面了解地质条件。同时,应加强对地质勘察数据的分析和处理,为基础选型提供可靠依据。在基础选型时,应充分考虑地质条件、上部结构荷载、施工条件和经济因素等。可以采用多目标决策方法,对不同的基础结构类型进行综合评价,选择最优的基础结构方案。例如,建立基础选型的评价指标体系,包括承载能力、变形、成本、施工难度等指标,通过层次分析法、模糊综合评价法等方法对各指标进行权重赋值和综合评价。

4.2 施工技术创新与应用

为了有效应对基础施工中所面临的各类复杂挑战,大力开展施工技术创新与应用迫在眉睫。在软土地基处理方面,传统方法可能存在处理效果有限、成本较高等问题,因此需积极研发新型地基处理技术。例如真空预压联合堆载预压技术,通过真空抽吸与堆载的协同作用,能更高效地排出软土中的水分,加速地基固结,显著提升地基承载能力和稳定性;水泥搅拌桩与高压喷射注浆联合加固技术,能充分发挥两种工艺的优势,使水泥浆液与软土充分混合,形成强度更高的复合地基。在桩基础施工方面,引入智能化施工设备和技术是关键。自动化钻孔设备可精准控制钻孔参数,提高钻孔效率和

质量;智能化混凝土灌注监控系统能实时监测灌注过程,确保桩身质量^[4]。研发新型桩型如变截面桩、螺旋桩等,可依据不同地质条件灵活调整桩的受力特性,更好地适应复杂地质。在岩溶地区施工时,运用地质雷达、超前钻探等技术提前探测溶洞,再采用注浆加固、跨越处理等特殊施工方法,能有效避免施工中的塌陷事故,保障施工安全。

4.3 结构稳定性与安全性增强措施

为了提高土木结构风电塔基础的稳定性和安全性,需要采取一系列增强措施。在抗震设计方面,应根据地震烈度和场地类别,合理确定基础的抗震等级和抗震构造措施。例如,增加基础的配筋率、设置抗震缝等。在抗风设计方面,应考虑风荷载的作用特点和分布规律,优化基础的结构形式和尺寸。可以采用加劲肋、锚杆等措施,提高基础的抗风能力。为了提高基础的耐久性,可以采用高性能混凝土、防腐涂料等材料,对基础进行防护。应加强对基础的监测和维护,定期检查基础的变形、裂缝等情况,及时发现问题并采取相应的处理措施。

结束语

土木结构在复杂地质条件下风电塔基础的应用面临诸多挑战,从地质勘察到基础选型,再到施工以及结构稳定性与安全性保障,每个环节都需谨慎对待。通过采取基础选型优化、施工技术创新与应用以及结构稳定性与安全性增强等措施,可有效提升风电塔基础的经济性和安全性。未来,随着技术的不断进步,有望更好地应对复杂地质条件,推动风电塔基础建设的发展,为风电行业的稳定运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]隋英杰.建筑设计中的隔震减震设计研究[J].新城建科技,2024,33(09):88-90.
- [2]高耀飞,向廷礼.建筑设计中的基础设计分析[J].居舍,2024,(27):120-123.
- [3]常春普,常天.深基坑支护施工技术在建筑工程中的应用研究[J].数字化用户,2024(51):103-104.
- [4]蔡新明.岩土工程在大型建筑工程中的应用与挑战[J].模型世界,2023(15):148-150.