

钢结构在复杂地形条件下土木工程设计中的应用研究

汪海波

十堰市路纬交通勘察设计有限公司 湖北 十堰 442000

摘要: 复杂地形因地形起伏大、地质水文复杂等特征,给土木工程设计带来诸多挑战。钢结构凭借强度高、自重轻、可预制拼装、绿色环保等优势,成为适配复杂地形的优选结构形式。本文阐述钢结构核心特性与复杂地形工程特征,分析钢结构在基础、主体结构、施工适配及环保节能方面的设计应用,结合西南山区工程实例验证其适用性,指出现存问题并提出优化措施,为复杂地形下土木工程钢结构设计提供理论参考与实践借鉴,助力工程建设与自然环境协调发展。

关键词: 钢结构;复杂地形条件;土木工程设计;应用

引言: 随着土木工程建设向山地、丘陵等区域延伸,复杂地形施工难度大、地基处理成本高、结构稳定性要求高的问题日益突出,传统混凝土结构已难以满足需求。钢结构以其优异的力学性能、施工便捷性及环境适配性,在复杂地形工程中应用愈发广泛。基于此,本文围绕相关设计展开研究,明确理论基础,分析应用要点,结合实例验证效果,旨在解决设计难题,推动钢结构高质量应用。

1 相关理论基础

1.1 钢结构的特性与工程优势

(1) 钢结构具备突出的材料特性,其强度与刚度远高于传统混凝土结构,能有效减小构件截面尺寸,提升结构承载效率。同时具备良好延性与韧性,受力时可通过塑性变形消耗能量,抗震性能优异,且材质均匀、力学性能稳定,施工与设计精度更易保障。(2) 在土木工程中,钢结构构件可工厂预制、现场拼装,大幅缩短施工周期,适配工期紧张的工程需求。自重较轻能降低基础荷载,减少地基处理成本,且构件可回收利用,绿色环保,在大跨度、高层及特殊结构工程中应用优势显著。(3) 钢结构常用类型包含门式刚架、网架、桁架及钢框架结构等。门式刚架适用于轻型厂房与仓库,网架与桁架多用于大跨度场馆与桥梁,钢框架则广泛应用于高层建筑与城市综合体,可根据工程规模、跨度及功能需求灵活选用。

1.2 复杂地形的界定与工程特征

(1) 复杂地形主要指地形地貌存在显著起伏变化的区域,涵盖山地、丘陵、沟壑、河流岸坡及软弱土分布区等,此类区域地形条件不规则,地质与水文环境缺乏规律性,区别于平坦开阔的常规建设场地。(2) 其核心工程特征表现为地形起伏大、场地坡度不均,岩土体类

型多样且土质差异明显,部分区域存在软弱夹层或不稳定边坡。同时水文条件复杂,地表径流与地下水分布不均,易引发冲刷、渗漏及滑坡等地质问题。(3) 复杂地形会直接增加场地平整与基础施工难度,改变结构受力分布,提升地基处理与边坡防护成本,还会限制施工机械作业空间,对结构选型、平面布局及施工方案均提出更高要求^[1]。

1.3 复杂地形下土木工程设计的核心原则

(1) 安全性原则为首要准则,需充分考量地形、地质与水文风险,确保结构承载能力、稳定性及耐久性达标,规避滑坡、沉降及失稳等安全隐患。(2) 经济性原则要求合理优化设计方案,控制场地处理、基础造价与施工成本,在保障安全的前提下提升资源利用效率,避免过度投入。(3) 适应性原则强调设计与地形环境高度适配,顺应场地走势布局结构,选用契合场地条件的基础形式与结构体系,减少大规模场地改造。(4) 可持续发展原则注重生态保护,降低施工对地形植被与水文的破坏,采用环保材料与可回收结构,实现工程建设与自然环境协调共生。

2 钢结构在复杂地形条件下土木工程设计中的应用分析

2.1 复杂地形下钢结构的基础设计应用

(1) 基础选型需严格贴合地形特征,优先选用与复杂地形适配性强的基础形式,其中斜桩基础应用最为广泛。针对山地、丘陵等坡度较大的区域,斜桩可沿地形坡度布置,无需大规模平整场地,有效减少土方开挖量,适配地形起伏特点;对于河流岸坡、沟壑等水文复杂区域,可结合桩基础与承台设计,兼顾地基承载力与抗冲刷能力,确保基础与地形、地质条件高度契合,避免因地形差异导致基础受力不均。(2) 基础抗滑移、抗倾覆是

复杂地形设计的核心要点。复杂地形多存在坡度大、岩土体稳定性差的问题,需通过验算基础抗滑移系数,合理设置抗滑桩、抗滑挡墙等构件,增强基础抗侧移能力;针对高地差、迎风面大的场地,优化基础埋深与配重设计,增大基础抗倾覆力矩,同时结合地形走势调整基础受力方向,避免因地形起伏或极端荷载导致基础失稳^[2]。(3)复杂地质条件下,需采取针对性的基础加固措施。对于软弱土、岩溶等地质区域,采用换填垫层、注浆加固等方式提升地基承载力;对于边坡附近的基础,增设锚杆、锚索与基础连接,增强基础与岩土体的整体性;对于地下水丰富区域,设置排水设施降低地下水位,防止地下水浸泡导致基础强度下降,确保钢结构基础在复杂地质条件下的稳定性。

2.2 复杂地形下钢结构的主体结构设计应用

(1)主体结构选型需兼顾地形适配性与功能需求,多曲拱、斜柱等异形钢结构应用广泛。针对山地、沟壑等地形,采用多曲拱结构可顺应地形走势,减少结构跨度压力,同时降低场地改造工程量;斜柱结构可根据地形坡度调整柱体角度,适配陡坡、高地差场地,避免大规模平整场地,且能优化结构受力传递路径,提升结构整体稳定性,适配复杂地形的不规则布局需求。(2)结构受力分析需结合复杂地形的荷载特点,进行精细化优化设计。通过有限元分析软件,模拟地形起伏、岩土体不均匀沉降等对结构的影响,优化构件截面尺寸与连接方式,减少应力集中;针对地形高差带来的荷载差异,合理分配结构受力,采用刚接、铰接结合的连接形式,确保结构在复杂受力状态下的稳定性,同时降低材料损耗,实现设计经济性。(3)极端工况下的结构设计需重点考虑抗震、抗风需求。复杂地形易形成局部强风区域,需优化结构体型,减少风荷载阻力,增设抗风支撑、阻尼器等构件,提升结构抗风性能;针对地震频发区域,利用钢结构良好的延性,优化结构抗震体系,采用消能减震设计,合理布置支撑构件,确保结构在地震作用下通过塑性变形消耗能量,避免结构整体坍塌,保障工程安全^[3]。

2.3 复杂地形下钢结构的施工适配设计

(1)施工场地适配性设计需针对狭小场地、陡坡作业等特点,制定个性化方案。对于陡坡、山地等作业场地,采用分级开挖、临时支护措施,拓宽作业空间,同时选用小型化、可移动施工机械,适配复杂地形的作业限制;对于狭小场地,优化施工流程,采用模块化施工方式,减少现场作业面积,避免施工机械与构件的相互干扰,提升施工效率。(2)构件加工与现场拼装设计需兼顾复杂地形的运输与作业条件。构件采用工厂预制,

严格控制加工精度,根据地形特点拆分构件,便于山地、沟壑等区域的运输;现场拼装采用高空拼装与地面拼装结合的方式,针对陡坡区域,设置临时拼装平台,采用吊装机械配合拼装,优化拼装顺序,减少高空作业风险,确保拼装精度与施工安全^[4]。(3)施工监测与安全控制设计是复杂地形施工的重要保障。设置沉降、位移、应力监测点,实时监测基础沉降、结构变形及岩土体稳定性,及时调整施工方案;针对高空作业、陡坡作业等危险环节,设置安全防护设施,制定应急预案,加强施工人员安全培训,确保施工过程中的人员与结构安全,规避地形因素带来的施工风险。

2.4 复杂地形下钢结构的环保与节能设计

(1)采用减少地形改造的钢结构设计策略,践行环保理念。通过优化结构布局,顺应地形走势,避免大规模削坡、填沟等场地改造,减少土方开挖量,保护地表植被;采用轻型钢结构,降低基础对岩土体的扰动,减少对地形地貌的破坏,实现工程建设与地形环境的和谐共生。(2)注重节能型钢结构材料的选用与设计,降低能耗。选用高强度、低损耗的节能型钢材,减少材料用量,同时采用保温、隔热涂层处理构件,提升钢结构的保温隔热性能,降低建筑使用过程中的能耗;优化构件连接方式,减少热桥效应,提升节能效果,兼顾环保与经济性^[5]。(3)强化钢结构与自然环境的融合设计,提升环保效益。结合复杂地形的自然景观,优化钢结构造型,使结构与山地、植被、水体等自然环境相协调,减少对自然景观的破坏;采用可回收、可循环利用的钢结构构件,降低建筑废弃物产生,同时设置雨水回收系统,利用地形优势实现水资源的合理利用,推动工程可持续发展。

3 工程实例分析与应用验证

3.1 工程实例概况

(1)本工程位于西南山区,地处丘陵与山地交界地带,地形起伏显著,坡度在 15° ~ 30° 之间,场地内存在多处沟壑与软弱土夹层,地下水分布不均,雨季易出现边坡冲刷现象,属于典型的复杂地形土木工程,主要用途为山地旅游配套服务中心,总建筑面积 8600m^2 。(2)工程设计目标是打造适配复杂地形、兼具安全性与实用性的服务建筑,满足旅游接待、休闲配套等功能需求,同时最大限度减少对地形地貌的破坏。核心难点在于地形起伏大,场地平整难度高;地质条件复杂,基础稳定性难以保障;施工场地狭小,大型机械作业受限,且需兼顾环保与工程进度。(3)钢结构应用具有极强的必要性:相较于混凝土结构,钢结构自重轻,可有效降低基础荷载,适配复杂地形的地基条件;构件工厂预制、现场拼

装,能缩短施工周期,适配狭小场地施工需求;延性与抗震性能优异,可应对山地潜在的地震风险;且可回收利用,契合工程环保要求,能有效解决复杂地形下的施工与设计难题。

3.2 实例中钢结构的设计要点

(1)基础设计采用斜桩基础与独立承台结合的方案,贴合地形坡度布置斜桩,倾斜角度与场地坡度保持一致,减少土方开挖量;针对软弱土区域,采用注浆加固处理地基,增设抗滑桩,提升基础抗滑移、抗倾覆能力,确保基础与地形、地质条件适配。(2)主体结构选用钢框架与多曲拱结合的形式,顺应地形走势设计斜柱,优化结构布局,减少场地改造;通过有限元分析优化构件截面尺寸,采用高强度钢材,降低结构自重,同时增设抗风支撑,适配山地强风工况,确保结构受力合理、稳定性达标。(3)施工适配设计采用分级开挖、临时支护的方式拓宽作业空间,选用小型可移动施工机械;构件拆分加工,便于山地运输,现场采用高空拼装与地面拼装结合的模式,设置临时拼装平台;同步布置监测点,实时监测结构变形与边坡稳定性,保障施工安全。

3.3 应用效果评价与问题分析

(1)安全性与稳定性评价:工程竣工后经检测,结构沉降、位移均控制在规范允许范围内,抗震、抗风性能达标,未出现边坡失稳、基础沉降等问题,钢结构的良好延性与适配性,有效保障了复杂地形下工程的安全稳定。(2)经济性与实用性评价:钢结构施工周期较混凝土结构缩短30%,减少了场地平整与地基处理成本,构件回收利用率达85%,兼顾了经济性与环保性;建筑功能完全满足旅游接待需求,结构布局适配地形,实用性较强。(3)现存问题:设计层面,部分斜柱与基础连接部位应力集中,优化不够细致;施工层面,狭小场地拼装精度控制难度大,部分构件拼装偏差略超规范限值,且

雨季施工对基础施工进度影响较大。

3.4 改进措施与优化建议

(1)设计层面:优化斜柱与基础的连接节点,采用圆弧过渡设计,减少应力集中;结合地形进一步细化结构受力分析,调整构件截面尺寸,提升结构适配性;增设阻尼器,进一步优化抗风、抗震性能,降低极端工况下的结构风险。(2)施工层面:改进拼装工艺,采用高精度定位设备,提升狭小场地构件拼装精度;提前制定雨季施工预案,设置临时排水设施,保护基础施工区域,减少雨水对施工进度的影响;加强施工人员培训,规范操作流程,降低施工误差。

结束语

本文系统研究了钢结构在复杂地形土木工程设计中的应用,明确钢结构凭借自身特性,能有效适配复杂地形工程需求,其科学设计可保障工程安全、经济与环保。结合工程实例可知,钢结构应用成效显著,但仍存在设计优化不足、施工精度控制难等问题。未来需细化设计、改进工艺,推动适配技术升级,为同类工程提供更完善支撑,助力土木工程绿色可持续发展。

参考文献

- [1]陶宇泽.建筑节能土木工程与施工技术及应用[J].太阳能学报.2024,45(9):709-710.
- [2]刘福明.复杂地形公路拼宽桥梁设计与施工分析[J].运输经理世界.2022,15(28):186-190.
- [3]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):211-214.
- [4]王守彪.基于复杂地形地质条件下岩土工程勘察技术的研究[J].冶金与材料,2021,41(4):99-102.
- [5]王波,魏荣华.岩土勘察技术在复杂地形地质条件的运用研究[J].工程技术研究,2023,6(3):101-104.