

复杂环境下工程技术与设计的优化策略

文 / 王田松 济南城市建设集团有限公司

马吕强 济南城市建设集团有限公司

逯柳青 济南城市建设集团有限公司

摘要：随着城市化进程的加快和各类大型工程项目的推进，工程建设所处的环境愈发复杂。复杂环境中的不确定性和多变性，对工程技术与设计提出了更高要求。从山地、海洋等特殊地理环境，到城市中密集的建筑布局和复杂的地下管线，工程面临着众多技术难题和设计限制。在这样的背景下，如何找到有效的优化策略，使工程技术适应复杂环境，设计方案满足多方面需求，成为工程领域亟待解决的问题。研究复杂环境下工程技术与设计的优化策略，有助于突破现有困境，实现工程建设的高效与可持续发展。

关键词：复杂环境下；工程技术；设计优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.09.034

引言

在当今的工程建设领域，复杂环境成为众多项目必须面对的常态。复杂环境涵盖了自然条件的多样性，如地质结构复杂、气候条件恶劣等，同时还涉及社会因素的交织，像周边居民的诉求、政策法规的限制等。这些复杂因素给工程技术与设计带来了诸多挑战，传统的技术与设计方法往往难以满足实际需求。深入探讨复杂环境下工程技术与设计的优化策略具有重要的现实意义。

一、复杂环境分析

（一）自然环境要素

地形地貌，在山区进行工程建设时，地势起伏较大，坡度超过 30° 的区域，会增加施工难度和成本。例如，开挖土石方量可能比平原地区多出50%-80%，且需要额外的边坡支护措施来确保施工安全。岩石层的分布也至关重要，坚硬岩石层的抗压强度可达100-300MPa，若在这类区域进行基础施工，传统的挖掘设备可能无法满足需求，需要采用特殊的爆破或机械破碎技术。地质条件同样不容忽视，不同的土壤类型其承载能力差异明显。黏土的承载能力一般在100-150kPa，而砂土的承载能力可能在150-300kPa。如果对地质条件勘察不准确，可能导致基础沉降不均匀，影响建筑物的稳定性。

（二）地理条件影响

地理位置的差异决定了工程面临的基础条件不同。例如，处于交通枢纽位置的工程，周边道路网络密集，交通流量大，日车流量可达数万辆。这就要求工程在建设过程中要充分考虑施工期间的交通疏导问题，否则可

能导致交通拥堵，影响周边区域的正常运转。海拔高度也是重要的地理因素，海拔每升高1000米，大气压力会降低约12%，空气含氧量降低约10%。在高海拔地区施工，机械设备的功率会下降15%-20%，施工人员的工作效率也会降低30%-40%，还需要采取特殊的高原施工保障措施，如为施工人员配备专业的高原防护设备，对机械设备进行针对性的调试和保养。工程与周边城市或居民区的距离也有重要影响。距离居民区较近，如小于50米时，施工过程中产生的噪音、粉尘等污染会对居民生活造成严重干扰，必须采取严格的降噪、降尘措施。

（三）气候因素考量

温度是重要的气候要素之一，在高温环境下，当夏季气温持续超过 35°C 时，混凝土的水化反应速度加快，可能导致混凝土出现裂缝，影响结构强度。据统计，高温天气下混凝土结构出现裂缝的概率比正常温度环境高出40%-60%。而在低温环境，如冬季气温低于 -5°C 时，混凝土的凝结时间会延长2-3倍，施工进度受到严重影响，同时钢材的韧性也会降低，增加焊接难度和结构脆性破坏的风险。降水也是影响工程的重要因素，年降水量超过1000毫米的地区，雨季施工时，土方工程的积水问题严重，导致土方坍塌的风险增加。在强降雨天气下，每小时降雨量超过50毫米时，施工现场的排水系统若不完善，可能造成大面积积水，淹没施工设备和材料，延误工期。风力对工程建设也有显著影响，在多风地区，平均风速超过 10m/s ，六级以上大风天气每年超过30天，这对建筑物的结构设计和施工安全提出了更高要求。

表1 复杂环境分析

复杂环境分类	具体要素	对工程建设的影响	应对措施
自然环境要素	地形地貌（坡度超 30° 的山区）	增加施工难度和成本，开挖土石方量比平原多50%-80%，需额外边坡支护确保安全	采取额外边坡支护措施
自然环境要素	地形地貌（坚硬岩石层）	基础施工时传统挖掘设备可能无法满足需求	采用特殊爆破或机械破碎技术
自然环境要素	地质条件（不同土壤类型）	承载能力不同，勘察不准可能导致基础沉降不均匀，影响建筑物稳定性	准确勘察地质条件

续表 1

复杂环境分类	具体要素	对工程建设的影响	应对措施
自然环境要素	地下水位（距地面不足 2 米）	增加基础施工排水成本和防水难度，可能对地下室结构产生浮力影响	加强排水和防水措施
地理条件影响	地理位置（交通枢纽）	周边道路网络密集、车流量大，施工可能导致交通拥堵，影响周边正常运转	充分考虑施工期间交通疏导
地理条件影响	海拔高度（每升高 1000 米）	大气压力降低约 12%，空气含氧量降低约 10%，机械设备功率下降 15%-20%，施工人员工作效率降低 30%-40%	为施工人员配备高原防护设备，对机械设备针对性调试保养
地理条件影响	与周边城市或居民区距离（小于 50 米）	施工产生的噪音、粉尘等污染严重干扰居民生活，增加工程成本	设置隔音屏障、洒水降尘设备等
气候因素考量	温度（夏季气温持续超 35℃）	混凝土水化反应加快，出现裂缝概率比正常高出 40%-60%，影响结构强度	/
气候因素考量	温度（冬季气温低于 -5℃）	混凝土凝结时间延长 2-3 倍，钢材韧性降低，增加焊接难度和结构脆性破坏风险	/
气候因素考量	降水（年降水量超 1000 毫米地区雨季）	土方工程积水问题严重，土方坍塌风险增加	完善施工现场排水系统
气候因素考量	降水（强降雨每小时超 50 毫米）	可能造成大面积积水，淹没施工设备和材料，延误工期	完善施工现场排水系统
气候因素考量	风力（多风地区，平均风速超 10m/s，六级以上大风超 30 天）	对建筑物结构设计和施工安全提出更高要求，强风影响施工进度，可能破坏临时建筑和脚手架	加强建筑结构设计和施工安全防护

二、工程技术要点

（一）基础施工技术

在软土地基处理方面，当土壤的承载能力低于 80kPa 时，常采用水泥搅拌桩法。这种方法通过将水泥与软土强制搅拌，形成具有一定强度的桩体，提高地基的承载能力。根据实际工程案例，经过处理后的地基承载能力可提高至 120-180kPa，有效满足一般建筑物的承载需求。对于岩石地基，当岩石的抗压强度超过 150MPa 时，常采用爆破成孔灌注桩技术。在爆破过程中，需要精确控制炸药的用量和爆破参数，以确保成孔的质量和周边岩体的稳定性。一般炸药用量根据岩石的硬度和孔深进行调整，每立方米岩石的炸药用量在 0.3-0.5kg 之间。在基础的尺寸设计方面，根据上部结构的荷载大小和地基承载能力确定。以常见的多层建筑为例，条形基础的宽度一般在 1.2-2 米之间，独立基础的边长在 1.5-3 米之间。基础的埋深也至关重要，在非冻胀性土中，基础埋深不宜小于 0.5 米；在冻胀性土中，基础埋深应根据当地的冻深情况确定，一般要大于当地的标准冻深 0.2 米以上，以防止基础因冻胀而损坏。



图 1 复杂工程基础施工

（二）结构稳固技术

在建筑结构中，框架结构的梁柱设计至关重要。梁的截面尺寸根据跨度和荷载确定，一般情况下，跨度在 6-9 米的梁，其截面高度在 400-600mm 之间，宽度在 200-300mm 之间。柱的截面尺寸则根据楼层高度和柱网间距确定，对于多层框架建筑，柱的边长一般在 400-600mm 之间。为增强结构的整体性和稳定性，需要设置合理的圈梁和构造柱。圈梁的高度一般不小于 120mm，纵筋数量不少于 4 根，直径不小于 10mm。构造柱的截面尺寸一般不小于 240mm×240mm，纵筋数量不少于 4 根，直径不小于 12mm。在钢结构工程中，钢材的强度和连接方式是关键。常用的 Q345 钢材，其屈服强度不低于 345MPa。钢结构的连接方式主要有焊接和螺栓连接，焊接时，焊缝的质量等级分为一级、二级和三级，一级焊缝要求对每条焊缝进行 100% 的探伤检测，二级焊缝探伤检测比例不低于 20%。螺栓连接时，高强螺栓的预紧力需要严格控制，以确保连接的可靠性。构的杆件截面根据受力大小确定，一般采用钢管，管径在 60-200mm 之间。

（三）防水防潮技术

在地下室防水方面，常见的做法是采用卷材防水。卷材的厚度根据地下室的埋深和防水等级确定，一般防水等级为一级的地下室，卷材厚度不应小于 4mm。卷材的铺贴应平整、牢固，搭接宽度不应小于 100mm。对于屋面防水，屋面坡度小于 3% 时，卷材宜平行屋脊铺贴；坡度在 3%-15% 时，卷材可平行或垂直屋脊铺贴；坡度大于 15% 时，卷材应垂直屋脊铺贴。屋面防水层的厚度也有严格要求，合成高分子防水卷材的厚度不应小于 1.2mm，高聚物改性沥青防水卷材的厚度不应小于 3mm。防潮方面，在湿度较大的地区，如年平均相对湿度超过 70% 的区域，墙体需要采取防潮措施。一般在墙体底部设置防潮层，防潮层采用水泥砂浆掺防水剂，厚度为

20-30mm。对于室内装饰材料，也应选择防潮性能好的材料，如防潮石膏板的吸水率应不超过 10%，以减少室内受潮发霉的风险。



图 2 复杂工程防水防潮

(四) 抗震抗风技术

在抗震设计方面，根据建筑所在地区的抗震设防烈度进行结构设计。以抗震设防烈度为 7 度的地区为例，框架结构的柱轴压比不宜超过 0.85，梁的剪压比不宜超过 0.2。结构的自振周期应满足规范要求，以保证在地震作用下结构的动力响应在安全范围内。为提高结构的抗震性能，还需要设置合理的抗震构造措施。如在框架结构中，梁柱节点的箍筋加密区长度和间距有明确规定，加密区长度一般为柱截面高度的 1.5 倍，箍筋间距不宜大于 100mm。墙体应设置拉结筋，拉结筋的数量一般为每 120mm 墙厚设置 1 根直径 6mm 的钢筋，沿墙高间距不超过 500mm。在抗风设计方面，根据建筑的高度、体型系数和所在地区的基本风压确定风荷载标准值。对于高度为 50 米的高层建筑，在基本风压为 0.5kN/m² 的地区，风荷载标准值约为 1.0-1.2kN/m²。

三、复杂环境下工程设计的优化策略

(一) 复杂环境因素剖析与工程设计基础考量

复杂环境涵盖自然环境、社会环境等多方面。自然环境中，地形地貌、气候条件等影响重大。如在山区进行建筑设计，地形坡度超过 20% 时，基础工程难度和成本会显著增加；年降水量超过 1000 毫米的地区，需着重考虑建筑防水防潮。社会环境方面，周边人口密度、文化习俗等不容忽视。人口密集区设计需考虑交通疏导，每平方公里人口超 5000 人的区域，要规划足够的公共交通设施与停车空间。

(二) 基于数据驱动的复杂环境工程设计优化

大量的历史工程数据、环境监测数据等为设计提供有力支撑。以建筑设计为例，通过收集周边建筑能耗数据，分析不同建筑结构、围护材料在不同气候条件下的能耗情况。如对 100 栋同区域建筑的监测数据显示，采用新型保温材料的建筑，冬季能耗相比传统材料降低 20% ~ 30%。利用这些数据，借助机器学习算法，可建立

能耗预测模型，为新建筑设计提供节能优化建议。环境监测数据能实时反映复杂环境变化，如空气质量、噪声水平等。基于这些数据，设计师可动态调整设计方案，优化通风系统设计，确保室内空气质量达标，噪声控制在 40 分贝以下，提升设计的科学性与合理性。

(三) 复杂环境下工程设计的创新材料与技术策略

在建筑领域，新型建筑材料不断涌现。例如，高强度、低密度的纤维增强复合材料，其强度比传统钢材高 30%，重量却减轻 40%，适用于大跨度结构，可有效降低结构自重，减少基础荷载。在防水技术方面，纳米防水涂层技术能使建筑表面形成均匀、致密的防水层，防水性能提升 50% 以上，有效抵御复杂环境中的雨水渗透。在能源利用上，太阳能光伏一体化技术，将太阳能电池与建筑材料结合，每平方米光伏板年发电量可达 150-200 度，为建筑提供部分电力，降低对传统能源的依赖。

结语

复杂环境下工程技术与设计的优化是一个持续探索的过程，随着工程建设的不断发展，新的复杂情况仍会不断涌现。未来需要工程技术人员和设计人员持续关注环境变化，不断学习和创新。加强跨学科合作，融合多领域知识来优化技术与设计；紧跟科技发展趋势，引入新技术、新方法。通过不断努力，形成更完善的优化策略，确保工程在复杂环境中顺利推进，实现工程效益与社会效益的双赢。

参考文献

- [1] 王兔龙, 张乃恭. 复杂地质条件下岩土工程勘察技术的应用 [C]//《施工技术(中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2024 年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(下册). 天津市博川岩土工程有限公司, 2024: 4.
- [2] 钟登华, 复杂条件下高坝工程智能建设关键技术与应用. 天津市, 天津大学, 2023-08-20.
- [3] 虞建. 复杂背景下工程结构表面裂缝的快速识别方法与模型化技术研究 [D]. 南昌大学, 2023.
- [4] 陈文兵. 基于振动模态与机器视觉技术的复杂索结构参数识别研究 [D]. 湖南大学, 2023.
- [5] 向阳辉, 鲁爱国, 梁锐, 等. 复杂环境下超长工程桩高效施工关键技术 [C]//《施工技术》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2022 年全国土木工程施工技术交流会论文集(中册). 中建三局科创发展有限公司, 2022: 4.
- [6] 梁蓉, 马骞, 杜连平, 等. BIM 技术在复杂市政工程造价导改中的应用 [C]//中国图学学会. 2022 第十一届“龙图杯”全国 BIM 大赛获奖工程应用文集. 中建八局第二建设有限公司; 济南城建动能转换开发建设集团有限公司; 山东金衢设计咨询集团有限公司, 2022: 6.
- [7] 孔德尘, 谢洪栋, 徐化营. 复杂地质地下工程施工中的 BIM 技术应用研究 [C]//中国图学学会土木工程图学分会,《土木建筑工程信息技术》编辑部.《第九届 BIM 技术国际交流会——BIM 助力新城建》论文集. 瑞森新建筑有限公司; 山东瑞森高性能建筑研究有限公司, 2022: 10.