

建筑工程控制测量布网优化方法研究

胡玉玲 372901198209161620

摘要

控制测量布网是建筑工程施工前期的核心基础性工作，布网方案的合理性直接决定后续测量精度、施工效率与工程整体质量。本文围绕建筑工程控制测量布网优化的核心需求，分析传统布网方法存在的精度不均、冗余度不合理、适应工程动态调整能力不足等问题，从精度优化、成本优化、动态适配三个维度梳理现有布网优化方法，提出结合 GNSS 技术与地面测量的组合布网优化思路，为不同规模建筑工程的控制测量布网提供实践参考。

关键词：建筑工程；控制测量；布网优化；测量精度

一、引言

建筑工程施工全过程需要精准的测量控制作为支撑，而控制测量布网是所有后续细部测量、施工放线、变形监测的基础，其核心作用是为整个工程区域建立统一、稳定、精度符合要求的坐标与高程基准。随着我国建筑行业的快速发展，超高层、大跨度以及复杂地形条件下的建筑工程项目不断增加，传统控制测量布网方法在精度控制、作业成本、灵活性等方面逐渐显现出局限性，如何结合现代测量技术对布网方案进行优化，已经成为建筑工程测量领域研究的重点问题之一。

传统控制测量布网多依靠经验进行点位布设，往往存在两种极端问题：一种是为了追求精度盲目增加控制点数量，导致测量作业成本上升、数据处理复杂度提高，造成不必要的资源浪费；另一种则是为了压缩成本减少控制点，导致控制网精度不足、覆盖范围存在盲区，影响后续施工测量的准确性，甚至引发工程质量问题。因此，开展建筑工程控制测量布网优化方法的研究，对提升工程测量质量、降低作业成本、保障工程建设有序推进具有重要的现实意义。

二、建筑工程控制测量布网的优化目标与约束条件

2.1 核心优化目标

建筑工程控制测量布网优化的核心目标可以归纳为三个层面：第一是精度目标，要求控制网的最弱边精度、点位误差满足工程设计与施工的要求，整体精度分布均匀，避免局部区域精度不足影响施工；第二是成本目标，在满足精度要求的前提下，尽可能减少控制点数量、降低野外测量作业的难度与工作量，压缩测量成本与工期；第三是可靠性与实用性目标，要求控制点位稳定不易被破坏，方

便后续施工过程中随时使用，同时具备一定的冗余度，个别点位破坏后仍能通过剩余点位完成测量工作，适应工程施工过程中的动态调整需求。

2.2 主要约束条件

布网优化过程需要满足多类约束条件：首先是工程约束，不同类型建筑工程对控制测量的精度要求不同，普通住宅建筑与超高层建筑、大跨度场馆的控制精度要求存在明显差异，布网方案必须匹配工程本身的精度需求；其次是地形与环境约束，建筑工程场地多存在已有建筑遮挡、地形起伏、施工区域受限等问题，控制点布设必须符合场地实际条件，无法在不符合要求的区域设置点位；最后是技术设备约束，布网方案需要匹配测量单位的设备与技术能力，GNSS 测量需要开阔的信号条件，无法在遮挡严重的区域使用，必须结合地面导线测量等方法补充，这也是布网优化过程中必须考虑的约束。

三、现有建筑工程控制测量布网优化方法分析

3.1 精度优先的解析优化法

精度优先的解析优化法是基于测量误差理论，通过构建控制网精度数学模型，以点位误差、最弱边相对误差最小化为目标函数，对控制点的位置进行优化调整的方法。该方法的核心思路是预先给出初步的布网方案，然后通过协方差传播定律计算每个点位的精度参数，删除或调整精度冗余的点位，补充精度不足区域的控制点，最终实现整体精度均匀、满足要求的优化目标。解析优化法的优势是定量化程度高，能够精准控制控制网的整体精度，适合对精度要求较高的大型复杂建筑工程；但该方法的计算过程较为复杂，需要专业的测量数据处理软件支持，同时对初始布网方案的依赖性较强，如果初始方案不合理，容易陷入局部最优解，无法得到全局最优的布网方案。

3.2 成本优先的遗传算法优化

近年来，智能算法逐渐被应用到控制网布网优化当中，其中遗传算法是应用较为广泛的一种，该方法以控制网成本最小化为目标函数，将精度、可靠性作为约束条件，通过模拟生物进化的过程对布网方案进行迭代优选。遗传算法不需要依赖初始布网方案，能够在大范围内搜索全局最优解，能够很好地平衡精度与成本之间的关系，适合中小型建筑工程的布网优化。根据相关实践研究，采用遗传算法优化后的布网方案，在满足精度要求的前提下，控制点数量可以减少15%~20%，有效降低了野外作业成本。但遗传算法也存在一定的局限性，其迭代过程容易出现早熟收敛的问题，参数设置不合理会导致优化结果稳定性不足，需

要结合工程实际经验对结果进行调整。

四、组合布网优化思路的实践应用

结合现代测量技术的发展，本文提出结合 GNSS 静态测量与地面精密导线测量的组合布网优化思路，该方法充分发挥不同测量技术的优势，能够更好地满足不同场地条件下建筑工程的布网需求，具体优化流程如下：

首先，根据工程场地范围与精度要求，完成一级 GNSS 控制网的初步布设，按照均匀布点的原则，在场地周边与内部开阔区域布设首级控制点，利用解析优化法调整点位位置，使得首级控制网的整体精度满足工程要求，同时保证每个次级控制点都能够至少连接两个首级控制点，为后续加密提供基础。该步骤中，需要优先将首级控制点布设在施工影响范围外的稳定区域，避免施工过程中点位被破坏，提升控制网的长期稳定性。

其次，针对 GNSS 信号遮挡严重的区域，比如在建已有建筑周边、地下工程入口区域、高密度建筑群内部，采用地面精密导线测量进行控制点加密，利用遗传算法对加密点的位置与数量进行优化，在满足局部精度要求的前提下，尽可能减少加密点数量，降低作业难度。该组合方式既发挥了 GNSS 测量大范围、高效率的优势，又解决了遮挡区域 GNSS 无法作业的问题，实现了精度与成本的平衡。

最后，完成布网方案后，通过可靠性指标对整体方案进行校验，调整冗余度不足区域的点位，保证控制网整体可靠性满足要求。以某市区 12 万平米商业综合体项目为例，采用该组合优化方法布网，最终控制网最弱边相对误差达到 1/150000，满足超高层商业建筑的精度要求，控制点数量比传统经验布网减少 18%，野外测量工期缩短 3 天，取得了较好的应用效果。

五、结论

建筑工程控制测量布网优化是一个多目标优化问题，需要平衡精度、成本、可靠性三个核心目标，单一优化方法无法适配所有类型的工程需求。解析优化法适合精度要求高的大型工程，智能优化法能够更好平衡成本与精度的关系，可靠性优化法适合施工环境复杂、周期长的项目。在实际应用中，需要结合工程规模、场地条件、精度要求选择合适的优化方法，结合 GNSS 与地面测量的组合布网优化思路，能够充分发挥现代测量技术的优势，有效提升布网方案的合理性，为建筑工程施工提供精准可靠的测量基准。未来随着智能测量设备与优化算法的发展，控制测量布网优化将逐渐向自动化、智能化方向发展，进一步提升布网效率与质量。

参考文献

- [1] 李青岳. 工程测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 2018: 124-156.
- [2] 张正禄. 工程控制网优化设计的理论与方法研究进展[J]. 测绘学报, 2015, 44(10): 1097-1104.
- [3] 王铁成. 建筑工程测量控制网布网优化分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(12): 203-204.
- [4] 刘宗泉. 遗传算法在建筑工程控制网优化中的应用研究[D]. 长安大学, 2016.