

ArcGIS等技术在工程审计中的应用分析

——以5G基站建设审计为例

唐文泰

南京审计大学工程审计学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年6月4日; 录用日期: 2025年6月16日; 发布日期: 2025年7月10日

摘要

随着5G信息技术源源不断地为各行各业注入新活力、增添新动力, 5G基站建设规模不断扩大, 工程审计的需求也愈加迫切。传统的工程审计方法在面对复杂的空间数据和大规模项目时存在明显的局限性, 难以确保数据的准确性和实时性。文章探讨了ArcGIS等地理信息系统(GIS)技术在5G基站建设审计中的具体应用, 通过引入遥感技术、GPS技术和数据可视化工具, 改进了数据采集、处理和分析的方法。并详细介绍了5G基站建设数据的采集与预处理、基站坐标数据的导入与转换、数据分析与可视化的流程。通过对2021年某地5G基站建设项目的审计案例分析, 揭示了基站布局不合理和虚报任务完成情况的问题, 深入分析了问题成因及规避策略。研究结果表明, GIS技术在工程审计中具有显著优势, 能够提高数据处理的效率和准确性, 增强审计工作的全面性和科学性。

关键词

ArcGIS, 工程审计, 5G基站建设, 数据可视化, 遥感技术

Analysis of the Application of ArcGIS and Other Technologies in Engineering Audit

—Taking 5G Base Station Construction Audit as an Example

Wentai Tang

School of Engineering Audit, Nanjing Audit University, Nanjing Jiangsu

Received: Jun. 4th, 2025; accepted: Jun. 16th, 2025; published: Jul. 10th, 2025

Abstract

With 5G information technology constantly injecting new vitality and adding new power to all walks

of life, the scale of 5G base station construction is constantly expanding, and the demand for engineering auditing is becoming more and more urgent. Traditional engineering audit methods have obvious limitations when facing complex spatial data and large-scale projects, and it is difficult to ensure the accuracy and real-time data. This paper discusses the specific application of geographic information system (GIS) technology, such as ArcGIS, in 5G base station construction auditing, and improves the methods of data collection, processing, and analysis by introducing remote sensing technology, GPS technology, and data visualization tools. It also describes in detail the process of collecting and pre-processing 5G base station construction data, importing and converting base station coordinate data, and analyzing and visualizing data. Through the audit case analysis of the 5G base station construction project in a place in 2021, the problems of unreasonable base station layout and misrepresentation of task completion are revealed, and the causes of the problems and avoidance strategies are analyzed in depth. The research results show that GIS technology has significant advantages in engineering auditing, which can improve the efficiency and accuracy of data processing and enhance the comprehensiveness and scientificity of auditing work.

Keywords

ArcGIS, Engineering Audit, 5G Base Station Construction, Data Visualization, Remote Sensing Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

党的十八大以来,我国数字新基建实现跨越式发展,在助力脱贫、改善人民生活、繁荣数字经济等方面发挥了重要作用。5G 基站不仅支撑着新一代移动通信网络的建设,还为智慧城市、物联网等新兴应用场景提供了坚实的基础。作为 5G 网络的核心组成部分,宏站是最广泛分布的基站类型之一。然而,5G 基站的建设过程复杂,涉及大量的资金投入和资源配置,如何确保基站建设的质量和数量达标,成为工程审计的重要任务[1]。传统的工程审计方法主要依赖于人工检查和关系型数据库的分析,这些方法在处理空间数据和复杂的地理信息时存在显著的局限性。关系型数据库只能处理和分析一维数据,难以有效地应对 5G 基站这种涉及空间分布的多维数据。此外,人工检查不仅耗时耗力,而且容易出现遗漏和错误,难以确保审计的全面性和准确性。

GIS (Geographic Information System)是综合处理和分析地理空间数据的一种技术系统,得到了极广泛的应用。近年来,将 GIS 技术应用于工程审计领域已成为研究热点。部分研究探讨了 GIS 和 GPS 在公路等工程项目审计中的初步运用,证明了其在提升审计效率方面的潜力[2]。针对新兴的数字基建项目,已有学者开始研究其跟踪审计模式,例如对“5G + 城市轨道交通”建设项目的审计,但多侧重于财务和流程管理层面[3]。同时,在 5G 网络建设领域,研究主要集中于如何利用 GIS 进行网络规划和基站选址优化,旨在通过算法实现最优覆盖[4] [5]。然而,目前尚缺乏将 GIS 技术系统性地应用于大规模通信设施(如 5G 基站)竣工后审计的详细方法论研究。且现有研究未充分展示如何结合遥感影像比对、邻域分析和现场核查,形成一个完整的、可复制的审计工作流程,以解决空间位置准确性和工程量真实性两大核心审计难题。

本文旨在填补这一空白,以 2021 年某地 5G 基站建设审计为例,深入探讨 GIS 技术在 5G 基站建设审计中的具体运用。本文的创新之处在于,系统性地构建了一套“数据预处理 - 空间分析 - 疑点筛选 -

现场核实”的闭环审计方法。通过具体案例分析，揭示 5G 基站建设过程中存在的主要问题，探讨 GIS 技术如何帮助审计人员提高工作效率和审计准确性。同时，本文还将提出基于 GIS 技术的工程审计改进建议，旨在为未来的 5G 基站建设和管理提供参考和指导。

2. 数据的采集及预处理

(一) 数据类型与来源

在 5G 基站建设审计中，数据的准确性和完整性是进行有效分析和判断的基础。本文所需的主要数据包括 5G 基站建设完成明细表和卫星影像数据，这些数据来源可靠，内容丰富，能够全面反映 5G 基站的建设情况。

1) 5G 基站建设完成明细表

5G 基站建设完成明细表是记录 5G 基站建设进度和位置的详细记录文件。此表格应包含以下基本信息：

- ① 运营商名称：指明基站的建设单位，如中国移动、中国联通、中国电信等。
- ② 基站名称：每个基站的独特标识名称。
- ③ 基站位置：描述基站的地理位置，一般包括具体的地址信息。
- ④ 基站类型：基站的具体类型，如宏站、微站、皮站等。
- ⑤ 经纬度坐标：基站的精确地理位置，以经度和纬度表示。

这些信息可以从各运营商的工程管理系统中获取，也可以通过相关主管部门提供的数据进行收集。这些数据为后续的空间分析和比对提供了基础。

2) 卫星影像数据

卫星影像数据是通过遥感技术获取的地表图像，能够真实反映地表特征和建设情况。选择合适的卫星影像数据应考虑以下几点：

- ① 分辨率和精度：数据质量是审计有效性的前提。为准确识别楼顶或地面上的基站设施，卫星影像的空间分辨率应不低于 0.5 米。同时，影像需经过精确的正射校正，确保其几何位置精度在 2 米以内，这样才能满足与 WGS-84 坐标进行精确比对的审计要求。
- ② 时间节点：选择临近审计节点的影像数据，以确保数据的时效性和准确性。
- ③ 坐标系：常用的坐标系为 WGS-84 (World Geodetic System-1984)，确保基站坐标与影像数据的匹配。

卫星影像数据可以通过地理信息公共服务平台获取，如国家地理信息公共服务平台(NGIS)、谷歌地球(Google Earth)等。本研究采用的影像数据分辨率为 0.5 米，满足审计要求。通过这些平台，审计人员能够获取到所需的高分辨率影像数据，为后续的基站位置比对和分析提供支持。

(二) 数据清洗与转换

数据清洗与转换是确保数据准确性和有效性的关键步骤。以下将详细介绍如何对 5G 基站建设完成明细表进行清洗转换，以便为后续的 GIS 分析打下坚实基础。

1) 坐标值转换

5G 基站建设完成明细表中的经纬度坐标通常以六十进制格式表示(如 119°35'24.91", 23°16'35.81")，但 GIS 分析通常需要十进制格式的坐标。为了实现这一转换，可以使用 Excel 中的公式进行计算。具体步骤如下：

首先，将六十进制坐标拆分为度、分、秒三列。然后，使用公式将这些值转换为十进制值。公式如下：十进制度 = 度 + (分/60) + (秒/3600)。例如，119°35'24.91"转换为十进制为 119.590 253，而 23°16'35.81"

转换为 23.276 614。最后，确保转换后的十进制坐标保留小数点后六位，以保证精度。这一过程是地理空间数据处理的基础步骤[6]。

2) 坐标值校验

为了确保坐标数据的准确性，需要对转换后的经纬度值进行校验，进行识别和修正异常坐标。首先，进行范围校验。根据审计地域的长宽范围，确定合理的坐标值范围。例如，一个地区的经纬度坐标值跨度应在 1 度范围内。若某市东西、南北平面跨度约 100 公里，则该市的经纬度坐标值应在 1 度范围内。其次，进行排序检查。通过排序和可视化检查，发现异常值。如果某些坐标值明显超出合理范围，则需进一步核查并修正。最后，进行数据修正。对于发现的异常坐标，可以通过与其他数据源对比或实地核实进行修正，以确保数据的准确性和有效性[7]。

3) 数据分组

由于不同运营商采用的 5G 信号频段不同，且通常由运营商依托中国铁塔股份有限公司统筹搭建的通信塔等基础设施独立建设，因此需要将不同运营商的数据进行分组，以便独立分析。具体步骤如下：

首先，将 5G 基站数据按运营商进行分组，确保每个运营商的数据独立存储。然后，为每个运营商建立独立的数据表，确保同一运营商同一类型基站的数据单独保存。最后，将分组后的数据导入 ArcGIS，便于后续的空间分析和比对。

通过上述步骤，5G 基站建设完成明细表中的数据得到了清洗和转换，确保了数据的准确性和有效性。这为后续的 GIS 分析提供了可靠的数据基础，使审计人员能够更准确地进行基站位置比对和分析，揭示基站建设过程中存在的问题，提高审计的质量和效率。

3. 基站坐标数据的导入方法

(一) 校准卫星影像数据

卫星影像数据的校准是确保空间数据准确性的重要步骤。校准过程需要选择高分辨率的卫星影像数据，并明确其坐标系，以便与基站的经纬度数据精确匹配。

首先，选择高分辨率影像数据是至关重要的。高分辨率的影像数据能够提供更清晰和详细的地表信息，有助于审计人员准确判断基站的实际位置和周边环境。一般来说，影像分辨率越高，细节越清晰，但同时数据量也会增加，需要平衡分辨率与数据处理能力之间的关系。

其次，选择影像数据时，必须确认其使用的坐标系。常用的坐标系为 WGS-84，这一坐标系与全球导航卫星系统(如 GPS)所使用的坐标系一致，有助于确保基站经纬度数据与影像数据的匹配。需要注意的是，不同数据源可能使用不同的坐标系，审计人员需根据实际情况进行转换和校准。

校准过程包括影像数据的地理配准和坐标转换。具体步骤如下：首先，在 GIS 软件中加载选定的卫星影像数据。其次，确认影像数据的坐标系，并在 GIS 软件中进行相应的设置。如果影像数据的坐标系与基站数据不一致，需要进行坐标转换。接下来，通过选择影像上的已知控制点，将影像数据进行地理配准。这些控制点应为影像上清晰可见且在地理位置上有精确记录的点，如交叉路口、建筑物角等。最后，校准完成后，通过检查影像上其他已知位置点的匹配情况，确保校准的精度。如果发现偏差，需要进行进一步调整和修正。

完成校准后，影像数据应与基站经纬度数据在同一坐标系下精确对齐。此时，可以将基站数据叠加到影像数据上，进行可视化检查和进一步的空间分析。校准后的影像数据可以用于以下用途：将基站位置与卫星影像进行比对，审查基站是否位于规划的正确位置。然后，通过影像数据分析基站周边的环境特征，如建筑物、道路、河流等，为审计提供更全面的信息。

通过选择高分辨率的卫星影像数据并进行精确的校准，确保了基站数据与影像数据的准确匹配。这

为后续的空间分析和审计工作提供了坚实的基础，提升了数据的准确性和可信度，从而使审计结果更加科学和可靠。

(二) Excel 坐标数据转换为 Shapefile 文件

在 5G 基站建设审计过程中，为了利用 GIS 技术进行空间分析，必须将 Excel 格式的基站坐标数据转换为 Shapefile 文件格式。Shapefile 文件是 ArcGIS 软件的基础文件类型，是目前使用最广泛的空间数据格式之一，其数据组织和结构为一种开放格式[8]。转换过程包括数据导入、坐标信息添加、坐标系配置和 Shapefile 文件生成等步骤。

第一步，将 Excel 格式的基站坐标数据导入到 GIS 软件中。在 GIS 软件中选择“添加数据”功能，导入包含经纬度信息的 Excel 文件。在导入过程中，需要确保数据表中的每一列都被正确识别和读取。

第二步，添加 XY 坐标信息。导入数据后，需要将 Excel 表中的经度和纬度信息配置为 XY 坐标。在 GIS 软件中，选择“添加 XY 数据”功能，将 Excel 表中的经度列和纬度列分别配置为 X 坐标和 Y 坐标。这一步骤确保了基站位置的地理坐标被正确识别和应用。

第三步，配置坐标系。选择与卫星影像数据一致的坐标系是至关重要的。通常使用的坐标系为 WGS-84。在 GIS 软件中，通过“数据框属性”或“投影工具”选项，设置数据的坐标系为 WGS-84，确保基站数据与其他空间数据的匹配和兼容。

最后一步，将临时事件文件转换为 Shapefile 文件。完成坐标系配置后，右键单击导入的事件层，选择“数据”选项中的“导出数据”功能。在导出设置中，选择 Shapefile 格式，并指定文件保存路径和名称。点击“确定”后，GIS 软件将生成包含基站位置的 Shapefile 文件。

通过上述步骤，成功将 Excel 格式的基站坐标数据转换为 Shapefile 文件。这一转换过程不仅确保了数据格式的兼容性，还为后续的空间分析提供了便利。Shapefile 文件可以在多种 GIS 平台上进行加载和分析，使审计人员能够更有效地进行基站位置比对和环境分析，从而提高审计工作的准确性和效率。

4. 基站坐标数据的分析

(一) 卫星影像比对

将基站的经纬度坐标与高分辨率卫星影像进行比对，可以直观地验证基站的实际位置是否符合规划要求，识别出可能存在的问题。

首先，将校准后的卫星影像数据和基站坐标数据导入 GIS 软件中。确保两者使用相同的坐标系，以保证空间数据的匹配性。其次，进行基站数据的可视化展示。在 GIS 软件中，将基站坐标数据以点状符号展示在卫星影像上。此时，每个基站点应清晰可见，并能够与影像中的实际地物相对应。通过调整点符号的颜色和大小，增强基站点在影像上的可视性，确保审计人员能够准确识别每个基站的位置。接下来，进行基站位置的比对分析。逐一检查基站点在卫星影像上的位置，核实其是否符合规划要求。重点关注基站是否位于规划的建设区域内，如建筑物屋顶、空地或其他指定位置。同时，检查基站是否存在选址不合理的情况，如位于水体、保护区或其他禁止建设的区域。通过影像比对，可以直观地发现基站位置的异常，并记录这些异常点位。

在比对过程中，使用 GIS 软件的测量工具和分析功能进行辅助检查。例如，利用测量工具精确计算基站与周边地物的距离，确认基站与建筑物、道路等的相对位置是否合理。通过空间分析工具，进一步分析基站的覆盖范围和信号覆盖情况，评估基站布局的合理性。最后，记录和汇总比对结果。对于发现的异常基站点位，详细记录其位置、异常原因和具体表现形式。将这些疑点数据导出为 Excel 文件，方便后续的现场核实和进一步分析。同时，将比对结果以图表形式展示，直观呈现基站布局的整体情况和存在的问题。

(二) 基站坐标邻域分析

利用空间分析中邻域分析(Proximity Analysis)的功能，可以计算基站间的距离，检查基站间距是否符合技术标准，并识别出过密或过疏的基站布局问题[9]。

首先，将基站坐标数据导入 GIS 软件，确保数据的准确性和一致性。使用邻域分析工具计算基站间距，生成结果表，识别出过密或过疏的基站布局问题。若基站间距过密，可能导致信号干扰和资源浪费；若基站间距过疏，则可能出现信号覆盖盲区，影响网络质量。然后，将分析结果进行可视化处理。利用符号和颜色区分不同间距的基站点，例如，将距离过密的基站点用红色标识，距离适中的基站点用绿色标识，距离过疏的基站点用黄色标识。通过地图可视化，审计人员可以快速识别和定位问题基站点，并采取相应措施进行调整和优化。此外，利用 GIS 软件的统计分析功能，计算平均基站间距、中位数和标准差等统计指标，评估整体布局的合理性。最后，记录和汇总邻域分析结果，将发现的异常基站点和统计分析结果导出为报告文档，详细记录每个异常基站点的位置、间距情况及可能原因。

(三) 疑点数据导出与现场核实

识别和处理疑点数据是确保审计准确性的重要步骤，通过前述的卫星影像比对和邻域分析，筛选出存在位置异常或间距问题的基站点。将这些疑点数据导出为 Excel 文件，记录每个基站点的详细信息，包括位置、异常类型和具体表现。导出的数据文件为后续的现场核实提供了基础。利用移动端 GIS 软件进行实地核查。审计人员携带包含疑点数据的移动设备前往现场，通过 GIS 软件中的导航和定位功能，准确找到每个疑点基站的位置。在现场，审计人员对基站的实际建设情况进行核实，判断其是否符合规划要求，并记录现场发现的问题。这一过程不仅验证了数据的准确性，还能发现隐性问题，如基站的实际建设与记录不符等。

最后，将现场核实结果与导出的疑点数据进行比对和更新。对于确认存在问题的基站，详细记录其位置、问题性质和建议的整改措施。将现场核实的结果汇总到审计报告中，提供给相关部门进行整改和优化。通过疑点数据的导出与现场核实，确保审计工作的全面性和准确性，有效提升了 5G 基站建设的质量和管理水平。

5. 案例分析：2021 年某地 5G 基站建设审计

为实现 5G 网络对用户设备更好地覆盖，需要以低成本、高效率为目标对 5G 基站站址进行优化或指导新建基站选址。在 2021 年某地 5G 基站建设审计中，通过 GIS 技术的应用，发现并揭示了多个基站布局 and 任务完成情况的问题。

(一) 基站位置异常

通过卫星影像比对，发现部分基站位置不符合规划要求，具体表现为基站选址不合理或位于禁止建设区域。审计过程中，共发现以下异常基站位置，部分示例见表 1。

Table 1. Base station location anomalies
表 1. 基站位置异常

基站名称	经度	纬度	异常类型
基站 A	119.590 253	23.276 614	位于水面
基站 B	119.587 654	23.279 876	位于历史保护区
基站 C	119.589 876	23.275 432	选址不合理

这些数据通过 GIS 软件叠加卫星影像进行比对发现，部分基站确实存在位置偏差，严重影响了基站的有效覆盖和网络质量。

(二) 基站距离问题

利用邻域分析工具，计算了同一运营商基站之间的距离，发现部分基站间距不符合技术标准(不小于 200 米)。具体数据如表 2 所示。

Table 2. Base station distance issues
表 2. 基站距离问题

基站 1	基站 2	距离(米)
基站 D	基站 E	150
基站 F	基站 G	180
基站 H	基站 I	175

这些基站间距过密，可能导致信号干扰和资源浪费，未能充分利用现有的基站资源，影响了网络覆盖和服务质量。

(三) 问题成因分析与现场核实

基于上述分析结果，审计人员对疑点数据进行了现场踏勘和核实。通过移动端 GIS 软件，将疑点基站点位导入进行现场检查，确认了分析结果的准确性(见表 3)。

Table 3. Field verification results
表 3. 现场核实结果

基站名称	异常类型	核实结果	问题描述
基站 J	位于水面	未建设	虚报任务完成情况
基站 K	位于历史保护区	位置偏差	选址不符规划要求
基站 L	距离过近	基站间距不合规	资源浪费

对发现问题的深入分析表明，原因主要有三方面：一是规划与实际脱节，部分基站的规划选址仅依赖于理论模型和过时的地图数据，未能充分考虑现场的实际地理环境(如水体、山丘)和最新的城市功能区划(如历史保护区)，导致规划本身存在缺陷。二是执行过程偏差，建设单位为追求便利或规避障碍(如无法进入预定楼宇)，在未报备的情况下擅自更改基站位置，导致实际建设点与报备坐标不符。三是监管与考核机制不足，为应对紧张的工期和 KPI 考核压力，存在虚报、瞒报任务完成情况的现象。传统的抽查式、人工核实验收方式难以实现全面覆盖，为数据造假提供了空间。经现场抽查核实，共筛选出基站位置与距离问题疑点数据 200 余条，确认了基站建设情况不实及虚报任务完成数量两类问题。审计结果已提交主管部门，并督促其进行整改，促进了相关工作的规范化。

6. 结论与建议

通过对 2021 年某地 5G 基站建设的审计案例分析，本文展示了 GIS 技术在工程审计中的显著优势。审计结果揭示了基站布局不符合规划要求、虚报任务完成数量等问题，有效提高了审计工作的效率和准确性。GIS 技术通过高效的数据处理和精准的空间分析，弥补了传统审计方法的不足，拓展了审计的覆盖范围和深度，为基站建设提供了科学的指导依据。

基于审计发现与问题成因分析，为避免类似问题再次发生，提出以下建议：

1) 将 GIS 技术融入项目全周期管理。不应仅将 GIS 作为事后审计工具。在项目规划阶段，就应利用 GIS 叠加多源数据(如高精度地形图、土地利用规划、生态红线等)，进行科学选址，从源头避免布局不

合理。在建设阶段,可利用移动 GIS 技术实时上传建设进度和坐标,实现过程监控。

2) 建立标准化的数据治理体系。应建立统一的数据采集、上报和管理标准,确保各运营商提供的数字格式统一、坐标系明确、精度达标。推广使用包含时间戳和高精度坐标的标准化数据接口,减少数据转换和清洗中的错误。

3) 强化技术赋能的审计与监管。审计和监管部门应常态化应用 GIS 和遥感技术进行非现场核查,将卫星影像比对作为常规验收手段。建立基于 GIS 的审计模型,自动筛选高风险疑点,实现从全面到精准的审计模式转变,有效震慑数据造假行为。

4) 加强复合型人才培养。强化审计人员的 GIS 技术培训,提升其空间数据分析能力。同时鼓励工程管理人员学习 GIS 基础知识,促进规划、建设与审计环节的深度融合。

5) 通过这些措施的落实,能够进一步提升 5G 网络的建设质量和管理水平,确保数字新基建投资的真实性和有效性,推动通信基础设施的持续优化和发展。

参考文献

- [1] 段涛. 浅析基站建设工程项目管理[J]. 现代信息科技, 2019, 3(24): 58-59.
- [2] 秦灏如, 陈烜松. GIS 和 GPS 在工程项目审计中的运用[J]. 现代交通技术, 2011, 8(S1): 37-39.
- [3] 祁石磊. 数字新基建项目工程跟踪审计研究——以 5G + 城市轨道交通建设项目为例[J]. 财会通讯, 2024(5): 130-134+176.
- [4] 程庚, 何峰. 浅谈农村 5G 网络工程集约化建设优化方向[J]. 农家参谋, 2022(22): 16-18.
- [5] 黄文辉, 王笏辉, 周丽萍, 等. 用户需求驱动的 5G 基站选址方法[J]. 计算机研究与发展, 2025, 62(3): 672-681.
- [6] 韩军, 于亚杰, 郭玮. 基于 ArcGIS 与 C#语言的省级历史遥感影像数据坐标转换应用研究[J]. 科技风, 2024(12): 1-3.
- [7] 张蒙, 徐益峰. 地理空间数据坐标转换研究与应用[J]. 城市勘测, 2023(6): 108-112.
- [8] 胡海龙, 杨年鹏. 一种 Shape 文件转换到勘测定界坐标数据格式的方法[J]. 北京测绘, 2020, 34(9): 1262-1265.
- [9] 廖孟光, 李猛, 褚楠, 等. 基于 GIS 邻域分析的无人机倾斜影像阔叶林树高提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2023, 38(5): 1203-1214.