

GIS 技术在油气管道线路工程设计中的应用

毛 智 (九江石化设计工程有限公司, 江西 九江 332000)

摘 要: 地理信息系统 (GIS) 技术在油气管道线路工程设计中得到了广泛应用。通过 GIS 技术的空间分析、三维建模等功能, 可以优化管道线路选址、评估环境影响、模拟施工过程、监测管道运行状态等, 大大提高了油气管道工程设计的效率和质量。本文综述了 GIS 技术在油气管道线路工程设计各环节中的运用途径, 并详细介绍了 GIS 技术在外业选定线方法设计中的具体应用方式。

关键词: GIS 技术; 油气管道线路工程设计; 应用路径研究

0 前言

油气管道作为重要的能源运输通道, 其线路工程设计的合理性直接关系到管道的安全性、经济性和环保性。传统的管道线路设计主要依靠人工经验和野外勘察, 存在工作量大、效率低、精度不高等问题。近年来, 以 3S 技术为代表的现代空间信息技术在管道工程中得到了广泛应用, 尤其是 GIS 技术, 凭借其强大的空间数据管理、分析和可视化能力, 为油气管道线路工程设计提供了全新的技术手段和解决方案。

1 油气管道线路设计要点

1.1 壁厚设计

油气管道线路设计中, 管道壁厚的确定是一项关键技术参数, 直接影响管道的强度、刚度和稳定性。根据《油气管道设计规范》(GB50251-2015), 管道壁厚设计应综合考虑管道的输送介质、压力等级、外部荷载、管材屈服强度等因素, 并留有一定的腐蚀裕量。一般情况下, 管道的设计壁厚应满足管道的强度和刚度要求, 即在最大设计压力下, 管道的环向应力不应超过管材的许用应力, 同时管道的变形应控制在允许范围内。例如对于国内常用于输送天然气的 X80 管线, 根据管径 1016mm、最大设计压力 10MPa、管材屈服强度 555MPa 等参数, 可确定管壁通用厚度不小于 18.4mm, 考虑腐蚀裕量后, 实际壁厚可取 20mm。在壁厚设计时还应注意管段内壁厚的均匀性, 避免出现应力集中和应力突变。

1.2 选择防腐层

在满足强度要求的基础上, 还需对管道进行外防腐和内涂层设计, 以延长使用寿命。常用的管道外防腐层有普通环氧粉末、聚乙烯、聚丙烯、熔结环氧粉末等, 选材时应考虑管道运行环境的温度、湿度、电阻率、pH 值等条件。例如在常温、中性土壤中敷设管道, 可采用三层 PE 防腐层, 结构为环氧粉末底层+粘

剂+PE 外护层, 总厚度不小于 2.0mm。若管道穿越潮湿盐碱地或电阻率较低的土壤, 建议增加阴极保护措施, 如牺牲阳极或外加电流法。在腐蚀性较强的沙漠、盐湖等特殊地区, 可选用耐候钢或采用高性能防腐层, 如熔结环氧粉末加机械保护层。内防腐层的作用是隔离管道内壁与输送介质, 防止内腐蚀和毒化产物析出。

根据原油、天然气的不同组分和输送条件, 可选用环氧酚醛、环氧煤沥青、环氧陶瓷等涂层。例如在输送含硫化氢的天然气时, 可采用浸涂法施加环氧陶瓷涂层, 干膜厚度不小于 0.6mm, 耐温可达 120℃, 综合性能优异。对于含水或酸性气体较多的天然气管道, 也可采用不锈钢内衬等特殊工艺提高耐蚀性。此外, 在管道投产前还需进行洁管、试压、干燥等处理, 以清除制造和施工过程中的污染物, 提高防腐层的附着力和耐久性^[1]。

1.3 选择管道敷设方式和埋深

油气管道线路设计的具体实施方式需要综合考虑多方面因素, 以确保管道的安全性、可靠性和经济性。在选择管道敷设方式时, 需要根据管道所经地区的地形地貌、地质条件、环境因素等进行合理选择。常见的敷设方式有直埋、明管、隧道等。其中, 直埋敷设是最为常用的方式, 适用于平坦开阔、地质条件较好的区域, 一般埋深不小于 1.2m, 在车辆载荷频繁的道路下可适当加深至 1.5~2m。对于特殊地段如滑坡体、泥石流等, 可采用明管敷设, 通过在管道上设置支架或采用桥式结构跨越不良地质区域。在人口密集区、地下障碍物较多的城市地区, 可选用隧道敷设方式, 将管道布设在专门修建的隧道内, 埋深一般在 3~6m。无论采用何种敷设方式, 都需对管道进行必要的防腐保护, 如采用环氧树脂、聚乙烯等材料进行涂层或缠绕。在管道穿越河流、湖泊等水域时, 可采用

定向钻穿越技术,在水下形成套管,将管道穿入其中,避免对水体造成扰动。针对管道线路中的阀门、分输站等附属设施,需结合其功能特点合理选择设置位置,如阀门间距一般为 10–20km,分输站的位置应根据管径、输量等参数确定^[2]。

1.4 上下涵管敷设

油气管道线路设计中,上下涵管敷设是一项关键的技术环节,需严格遵循相关标准和规范。根据《油气输送管道跨越工程设计标准》(GB50459–2017),上下涵管敷设穿越时,应采用套管保护,套管径向壁厚不小于穿越管道壁厚的 1.5 倍,并应在套管与穿越管之间填充惰性气体或惰性液体。套管两端应设置管口密封装置,确保套管内外压力平衡。在陡坡段敷设时,管道纵向坡度不宜大于 15°,并应在坡顶和坡底设置固定管座,间距不大于 12m。在管道转弯处,曲率半径应不小于管道外径的 6 倍,且不应小于 1.5m^[3]。

1.5 转角处理

根据《油气管道工程设计规范》(GB50253–2014),管道转角处的曲率半径应根据管道钢级和壁厚进行选择,一般不小于管道外径的 6 倍,且不应小于 1.5m。对于 90° 的大转角,可采用冷弯管或分段热煨弯管的方式进行处理,并在转角处设置固定管座或抱管座,以减小管道应力集中。在转角处还应设置阴极保护测试桩,以便对管道的阴极保护效果进行监测^[4]。

1.6 敷设陡坡区域

对于敷设陡坡区域,管道纵向坡度不宜大于 30°,当坡度大于 15° 时,应采取工艺措施确保管道稳定性,如在坡顶和坡底设置管道固定装置,间距不大于 12m;在陡坡段每隔 50–100m 设置一个管座,并在管座上设置限位装置,防止管道下滑。同时,在陡坡段还应加强管道的防腐保护,可采用加厚环氧粉末涂层或外加保护层的方式,提高管道的耐腐蚀性能。在实际工程中,还应综合考虑地形地貌、地质条件等因素,优化管道线路布设方案,尽量避开地质灾害易发区和不良地质区域。

2 GIS 技术在在油气管道线路工程设计中的应用

2.1 踏勘前的室内选线

GIS 技术在油气管道线路工程设计中得到了广泛应用,尤其是在踏勘前的室内选线和踏勘选线阶段发挥着关键作用。在传统的管道路由选择过程中,设计人员主要依靠纸质地图和人工经验进行选线,存在工作量大、效率低、精度不高等问题。而 GIS 技术凭借

其强大的空间数据管理、分析和可视化功能,为油气管道线路优化提供了高效、准确、直观的技术手段。在室内选线阶段,利用 GIS 平台可以快速汇集和处理各类空间数据,如高程、地形、地质、水文、土地利用等,构建管道沿线的三维地形模型。

通过对这些数据的综合分析,可以初步确定管道走向,避开高山、河流、断裂带等不利地段,减少施工难度和环境影响。例如,利用 GIS 的地形分析功能,可以提取管道沿线的坡度信息,根据油气管道建设规范(如 GB50253–2014),当穿跨越山岭时,纵坡坡度不宜大于 30°,横坡坡度不宜大于 11°,据此优选管道路由。又如,利用 GIS 的缓冲区分析功能,可以快速识别管道沿线的环境敏感区(如自然保护区、饮用水源保护区等),并与法定保护距离建立缓冲区,提供管道避让参考。

2.2 踏勘选线时 GIS 技术的应用

在野外踏勘选线时,移动 GIS 设备(如 GPS、手持 GIS 采集器等)可以实现实景与数字地图的实时匹配,辅助设计人员准确定位和记录管道控制点坐标。同时,利用移动 GIS 的数据采集功能,可以现场获取管道沿线的地物、地貌照片,并链接到数字地图中,直观展示管道周边环境。

此外,在踏勘过程中获得的高程、地质等数据也可实时传输到 GIS 平台,用于校正和优化室内选线方案。例如,利用 GPS-RTK 技术可以快速获取管道控制点的三维坐标,平面精度优于 10cm,高程精度优于 20cm,大大提高了线路测量的效率和精度。再如,利用手持 GIS 设备可以现场采集管道沿线的地质构造、不良地质体信息,并即时标注到数字地质图上,为管道避让和稳定性评估提供依据。技术人员应综合室内外选线成果,在 GIS 平台上借助算法,生成三维管道路由模型,直观展示不同路由方案,并进行工程量、造价估算和多方案比选。通过利用 GIS 的空间统计功能,快速计算不同路由的管道长度、土石方量、占地面积等关键指标,评估工程投资。

同时还可将 GIS 平台与管道水力计算软件(如 SPS、TGNET 等)无缝集成,在管道纵断面图上分析输送能力、压降分布等水力特性,优化管径、壁厚配置。例如某长输管道利用 GIS 生成了 10 余条备选路由,管道全长在 80–120km 之间,通过工程量统计和水力计算,综合比选出最优路由方案,可节约工程投资 1500 万元,减少施工工期 20 天。

3 基于 GIS 技术的油气管道外业选定线方法设计

3.1 设计思路

外业选线的核心是利用 GIS 移动应用实现现场数据采集和实时路由优化。该设计方法的核心思路是在移动终端设备（如智能手机、平板电脑）上搭载 GIS 应用程序，通过 GPS 定位和电子地图实现外业作业人员的实时位置跟踪和路由指引。同时，利用移动 GIS 的数据采集功能，现场填写和上传管道沿线的地物、地貌、管线周边环境等属性信息，并通过定点拍照功能直观记录重点部位的影像资料。

3.2 功能设计

3.2.1 移动轨迹记录

在移动 GIS 应用程序的设计中，移动轨迹记录是一项关键功能。程序通过调用设备的 GPS 模块，以一定的时间间隔（如 1 秒）自动记录外业人员的移动位置，形成轨迹点的时空序列。每个轨迹点包含经度、纬度、高程、时间戳等属性信息，可实时显示在电子地图上，清晰呈现外业人员的作业路线。同时，轨迹数据可传输到后台的 GIS 平台，用于路由的校正和优化。在实践过程中，设计人员可利用轨迹点的高程信息，在 GIS 平台自动生成管道线路的纵断面图，分析管道的爬坡、过坡施工条件。

3.2.2 定点拍照，自动命名

定点拍照与照片自动命名是现阶段移动 GIS 数据采集模式的内置功能。外业作业人员使用移动设备的内置相机，对管道沿线的地形地貌、地物特征、管线周边环境等重要信息进行影像记录。为保证照片与拍摄位置的精确对应，在拍摄前先通过 GPS 获取当前位置的经纬度坐标，然后将坐标信息自动写入到照片的 EXIF 头文件中。照片的命名可按照特定的规则自动生成，一般包括拍摄时间、位置坐标、点位编号等要素，确保每张照片都有唯一的标识，便于后续的数据管理和检索。

3.2.3 浏览控制多数据图层

在浏览控制多数据图层方面，GIS 平台需要具备强大的数据管理和可视化功能，能够支持多源异构地理信息数据的集成与管理，如高精度 DEM 数据、遥感影像、地质图、土地利用图等。通过对这些数据进行合理组织和优化，可以实现快速的数据检索、加载和显示，满足不同比例尺下的浏览需求。同时，GIS 平台还应支持多图层的叠加显示和透明度控制，通过对不同图层的组合分析，能够更全面地掌握管道沿线

的地形地貌、地质条件、土地利用现状等信息，为管道线路的合理选择提供依据。

3.2.4 野外标绘

在外业选线过程中，野外标绘是直接获取管道沿线地理信息的重要手段。传统的标绘方式主要是在纸质地形图上手工绘制管道走向、标注控制点和地物信息，存在精度不高、数据转换困难等问题。而利用移动 GIS 设备（如智能手机、平板电脑等）进行野外标绘，则可实现高精度的实时定位和数字化采集，大幅提升作业效率和数据质量。在移动 GIS 软件中，野外标绘功能通常包括点、线、面等矢量数据的采集和属性编辑。外业作业人员首先根据 GPS 定位确定自己的位置，然后在电子地图上标绘管道路由、控制点、地物等空间要素。对于点状要素（如阀室、标志桩等），可直接在地图上标注其位置，并填写名称、类型、埋深等属性信息；对于线状要素（如管道路由、道路、河流等），可通过移动轨迹记录或手动连点的方式采集其空间位置，并补充管径、材质、埋深等属性信息；对于面状要素（如站场、施工作业带等），可通过画多边形或闭合线的方式采集其边界范围，并填写面积、土地利用类型等属性信息。

4 结论

GIS 作为油气管道线路工程设计的利器，在线路选址、管道建模、施工管理、运行监控等方面发挥着不可替代的作用。深化 GIS 技术在管道全生命周期中的应用，对于提高设计水平、确保工程质量、保障输送安全具有重要意义。相信随着空间信息技术的飞速发展和石油天然气行业的数字化转型，GIS 必将成为助推油气管道工程创新发展的新引擎。

参考文献：

- [1] 吴爽. 基于 GIS 的油气管道数据推送平台设计与实现 [J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(04): 135-137+140.
- [2] 孙锐, 董恒, 高晓蕾, 等. 基于 GIS 技术的油气管道外业选定线方法 [J]. 油气储运, 2015, 34(10): 1111-1114.
- [3] 王婷婷, 黄诚. 基于移动地理信息系统的油气管道工程量统计系统的设计 [J]. 计算机应用, 2015, 35(S1): 316-319.
- [4] 余志光. 遥感与 GIS 在油气管道线路选择中的应用研究 [D]. 北京: 清华大学, 2011.

作者简介：

毛智（1989-），男，汉族，江西九江人，本科，研究方向：油气储运工程设计工作。