

多源数据融合技术在高速公路工程测量中的应用探索

孙泽达

中国十九冶集团有限公司 四川 成都 610031

摘要：文章聚焦多源数据融合技术在高速公路工程测量中的应用。先阐述高速公路工程测量定义、特点及常用技术手段，接着介绍多源数据融合技术的概念、原理、流程，并对比其与传统单一数据源方法在精度、效率和应用范围上的优势。然后探讨该技术在多源数据采集、处理与融合、三维建模与地形测量等方面的应用实践，最后展望其智能化、协同化及新技术应用等未来发展趋势。

关键词：多源数据融合技术；高速公路工程；测量；应用探索

1 高速公路工程测量概述

1.1 工程测量的定义

工程测量是工程建设中不可或缺的基础性工作，它贯穿于工程项目的规划、设计、施工和运营管理等各个阶段。具体而言，工程测量是运用各种测量仪器和测量方法，对地球表面的自然地理要素和人工设施的形状、大小、空间位置等进行测定和采集，并将这些测量成果以图形、数据等形式进行表达和处理，为工程建设的决策、设计和施工提供准确可靠的地理信息和空间数据支持。在高速公路工程中，工程测量不仅为路线的设计提供地形、地貌等基础资料，还在施工阶段确保工程按照设计要求准确实施，在运营阶段为道路的维护和管理提供必要的监测数据。精确的工程测量能够保障高速公路的线形顺畅、结构安全，提高道路的使用性能和通行能力，对于整个高速公路工程的质量和效益起着至关重要的作用。

1.2 高速公路工程测量的特点

高速公路工程测量具有诸多独特的特点。首先，测量范围广。高速公路通常跨越较大的地理区域，可能涉及不同的地形地貌，如平原、山区、丘陵等，这就要求测量工作要覆盖广阔的区域，全面获取各种地形信息。其次，精度要求高。高速公路作为重要的交通基础设施，对线路的平纵面指标、构造物的几何尺寸等都有严格的标准，测量数据的微小误差都可能影响工程的质量和安全，因此必须保证测量结果具有极高的精度^[1]。再者，测量工作受外界因素影响大。在测量过程中，天气条件（如雨、雾、强风等）、地形复杂程度、通视情况等都会对测量工作产生干扰，增加了测量的难度和不确定性。另外，高速公路工程测量还具有阶段性特点，不同阶段对测量的内容和精度要求有所不同，需要测量人员根据工程进展灵活调整测量方案。

1.3 常用工程测量技术手段介绍

在高速公路工程测量中，常用的技术手段丰富多样。传统的大地测量技术，如三角测量、导线测量等，通过在地面上布设控制网，利用经纬仪、全站仪等仪器进行角度和距离测量，为工程提供基本的控制基准。全球定位系统（GPS）技术凭借其高精度、全天候、实时定位等优势，在高速公路控制测量中得到广泛应用，能够快速准确地获取控制点的三维坐标。摄影测量与遥感技术通过航空或卫星拍摄的影像，提取地面的地形、地物信息，适用于大面积地形测绘和工程监测。激光雷达（LiDAR）技术则利用激光脉冲测量目标与传感器之间的距离，能够快速获取高精度的三维地形数据，在高速公路地形测量和三维建模中发挥着重要作用。此外，近景摄影测量、惯性测量等技术也在特定的高速公路工程测量场景中得到应用，各种技术手段相互补充，共同为高速公路工程建设提供全面的测量支持。

2 多源数据融合技术基础

2.1 多源数据融合技术的概念

多源数据融合技术是一种将来自不同数据源、具有不同特征和格式的数据进行综合处理和分析，以获得更准确、更全面、更有价值信息的技术。在高速公路工程测量领域，这些数据源可能包括传统的测量数据（如全站仪测量数据、GPS 测量数据）、遥感影像数据（如航空摄影影像、卫星影像）、激光雷达点云数据、地面调查数据等。多源数据融合技术通过对这些异构数据进行整合，充分发挥各种数据源的优势，克服单一数据源存在的局限性，从而提高数据的可靠性、完整性和可用性，为高速公路工程测量提供更优质的决策依据。

2.2 多源数据融合的原理

多源数据融合的原理基于信息论和统计学理论，其核心思想是通过对不同数据源的信息进行提取、分析和

综合，消除数据之间的冗余和矛盾，挖掘数据背后的潜在信息。具体而言，首先要对不同数据源的数据进行预处理，包括数据清洗、坐标转换、格式统一等操作，使数据具有一致性和可比性。然后，根据数据的特点和融合目标，选择合适的融合算法，如加权平均法、卡尔曼滤波法、神经网络法等，对数据进行融合计算。在融合过程中，充分考虑各种数据源的精度、可靠性等因素，合理分配权重，以确保融合结果的准确性和合理性。最后，对融合后的数据进行评估和验证，检查其是否满足实际应用的需求。

2.3 多源数据融合的技术流程

多源数据融合的技术流程通常包括数据采集、数据预处理、数据融合和结果评估四个主要环节。数据采集阶段，根据高速公路工程测量的需求，选择合适的数据源，并采用相应技术手段获取数据。数据预处理环节对采集到的原始数据进行处理，包括去除噪声、填补缺失值、坐标统一、数据格式转换等操作，以提高数据的质量和可用性。数据融合是整个流程的核心，根据融合算法对预处理后的数据进行融合计算，生成融合结果。结果评估阶段则对融合结果进行精度分析、可靠性验证等，判断融合结果是否满足工程测量的要求，如不满足则返回调整融合算法或数据预处理方法，直至得到满意的结果^[2]。

2.4 多源数据融合与传统单一数据源方法的对比

2.4.1 精度提升

传统单一数据源方法由于受自身技术特点和测量环境的限制，往往存在一定的误差和局限性。例如，GPS测量在遮挡严重的地区信号容易丢失，导致测量精度下降；传统测量方法在复杂地形下通视困难，影响测量结果的准确性。而多源数据融合技术通过综合多种数据源的信息，能够相互补充和校正，有效减少单一数据源的误差，从而提高测量结果的精度。

2.4.2 效率提高

单一数据源方法在处理复杂的高速公路工程测量任务时，可能需要多次测量和数据处理，工作效率较低。多源数据融合技术可以同时利用多种数据源的信息，减少重复测量工作，缩短测量周期。

2.4.3 应用范围扩大

传统单一数据源方法的应用受到数据特点和测量条件的限制，应用范围相对较窄。多源数据融合技术能够整合不同类型的数据，充分发挥各种数据源的优势，拓宽了工程测量的应用范围。例如，在高速公路的运营监测中，结合遥感影像数据和地面传感器数据，不仅可以监测道路

表面的损坏情况，还可以获取道路周边的地质环境变化信息，为道路的维护和管理提供更全面的支持。

3 多源数据融合技术在高速公路工程测量中的应用实践

3.1 多源数据采集

在高速公路工程测量领域，多源数据采集是应用多源数据融合技术的关键基石。依据不同的测量任务需求，必须采集丰富多样的数据类型。针对地形测量，航空摄影测量技术是获取地形信息的有力手段，它能借助飞机搭载的高性能相机，获取高分辨率的航空影像，清晰呈现地面的宏观地貌特征。与此同时，激光雷达技术通过发射激光束并接收反射信号，可精准扫描地面，生成精确的三维点云数据，详细刻画地面的微观起伏。在控制测量环节，GPS接收机发挥着重要作用，利用全球定位系统进行测量，能够建立高精度的控制网络，为整个测量工作提供可靠的基准。地面调查可深入了解局部地物的详细情况，无人机低空摄影则能快速获取特定区域的高分辨率影像。在数据采集过程中，时间和空间上的同步性与一致性至关重要。只有确保不同数据源的数据在时空上精准对应，才能为后续的数据融合处理奠定坚实基础，避免因数据错位导致融合结果出现偏差。

3.2 数据处理与融合

采集到的多源数据犹如一堆未经雕琢的璞玉，需要进行一系列精细的处理和融合操作才能发挥其最大价值。首先，由于不同数据源的数据格式千差万别，必须对它们进行转换和统一，使其能够在同一软件平台上顺畅处理。这就好比将不同国家的货币统一兑换成一种通用货币，方便进行交易。接着，对数据进行预处理是提高数据质量的关键步骤。对于航空影像，要进行几何校正，消除因拍摄角度、镜头畸变等因素导致的图像变形；进行辐射校正，修正因光照条件、传感器特性等引起的辐射差异。对激光雷达点云数据，需进行滤波操作，去除噪声点，如飞鸟、漂浮物等产生的干扰数据；进行分类处理，将地面点、植被点、建筑物点等区分开来。之后，根据数据的特点和融合目标，精心挑选合适的融合算法。以影像数据和点云数据的融合为例，采用基于特征点的匹配方法，能在空间上实现两种数据的精确配准，再通过特定的融合策略将它们有机融合，生成包含丰富地形和地物信息的综合数据，为后续的分析和应用提供有力支持。

3.3 高速公路三维建模与地形测量

多源数据融合技术为高速公路的三维建模和精确地形测量开辟了崭新的道路。通过巧妙融合航空影像、激

光雷达点云数据和地面测量数据，能够构建出高速公路及其周边环境的高精度三维模型^[3]。在这个逼真的三维模型中，道路的线形如同一条蜿蜒的丝带，清晰地展现其走向；坡度变化一目了然，为车辆行驶的安全性和舒适性评估提供依据；弯道的半径、曲率等参数精准呈现，有助于优化道路设计。同时道路两旁的山体轮廓、建筑物的高度和形状、植被的分布等信息也准确无误地呈现出来。这个三维模型宛如一个虚拟的高速公路世界，为高速公路的设计优化提供了直观的参考，施工模拟时能提前发现潜在问题，运营管理时可实时监测道路状况。另外，基于融合后的数据进行地形测量，能够获取更准确的地形参数，如高程的微小起伏、坡度的精确数值、坡向的准确方向等，为道路的排水设计提供科学依据，确保雨水能够顺利排出；为边坡稳定性分析提供可靠数据，保障道路的安全运营。

4 多源数据融合技术的未来发展趋势

4.1 智能化与自动化水平的提升

未来，多源数据融合技术必然朝着智能化和自动化方向大步迈进。当下，人工智能技术发展日新月异，机器学习、深度学习等算法不断取得新突破，这为多源数据融合提供了强大的技术支撑。在数据融合过程中，借助大量的历史数据对智能模型进行训练，模型能够自动剖析不同数据源的特征和内在规律。比如，在处理高速公路不同路段、不同时间采集的多种测量数据时，智能模型可以精准识别出各类数据的独特属性。基于这些分析，它还能自动从众多融合算法中挑选出最适合当前数据的最优算法，并确定最佳参数。如此一来，数据融合过程无需人工过多参与，实现自动化和智能化。这不仅极大地提高了数据融合的效率，缩短了数据处理周期，还能有效提升融合结果的准确性，最大程度减少人工干预带来的人为误差，为高速公路工程测量提供更可靠的数据。

4.2 协同化与集成化的发展趋势

多源数据融合技术将与其他相关技术实现更为紧密的协同化和集成化发展。与物联网技术结合是一大重要方向，物联网设备分布广泛，可实时采集高速公路上的各类数据，如车辆行驶速度、路面状况等。多源数据融合技术与物联网相连后，能将这些实时数据迅速融合，为高速公路的动态监测提供全面信息，进而实现智能管理，比如及时调整交通信号灯时长以缓解拥堵。与云计算技术集成也意义重大，云计算具备强大的计算能力和海量的存储资源，面对高速公路工程测量中大规模的多源数据，可快速进行处理和分析，提高数据处理效率的同时保障结果的可靠性。不同行业数据的融合将成为新趋势，将交通数据、气象数据、地质数据等融合，能全面掌握高速公路周边的综合情况，为道路的规划、建设、维护以及应急决策等提供更完备、准确的信息。

4.3 新技术在多源数据融合中的应用

随着科技持续进步，新的技术不断涌现并积极应用于多源数据融合领域。量子测量技术凭借其极高的精度和灵敏度，在高速公路工程测量中前景广阔。传统测量方法在某些复杂环境下可能存在精度不足的问题，而量子测量技术能够提供更精确的测量数据，为高速公路的设计、施工和维护提供更精准的依据，确保道路的质量和安全性^[4]。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术与多源数据融合结果的结合，将为工程测量人员带来全新的工作体验。通过VR和AR设备，测量人员可以身临其境地观察高速公路的三维模型，直观地看到地形、地物以及各种测量数据在空间中的分布情况。这种沉浸式的体验便于测量人员更深入地分析数据，快速做出科学合理的决策，为多源数据融合技术在高速公路工程测量中的发展开辟新的道路，同时也带来如何更好整合新技术等挑战。

结束语

多源数据融合技术在高速公路工程测量领域展现出巨大潜力与优势。通过整合多种数据源，提升了测量的精度、效率，拓宽了应用范围，为高速公路建设与管理提供了有力支持。未来，随着智能化、协同化发展以及新技术的融入，该技术将不断完善和创新，为高速公路工程测量带来更精准、高效、全面的解决方案，推动行业持续进步与发展。

参考文献

- [1] 谢勇. 新技术在公路平面控制测量中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2020 (24) : 135-136.
- [2] 吴迪军. 山区高速公路施工控制测量的技术研究[J]. 工程勘察, 2020 (07) : 78-79.
- [3] 张焕炯. 高速公路智慧养护决策及实施[J]. 中国交通信息化, 2025, (S1): 61-64.
- [4] 帅婷, 张镜威. 高速公路养护检测与管理前沿技术探究[J]. 中国交通信息化, 2024, (S2): 39-43.