

供水管网压力监测点布置的实用方法分析

水压不仅是衡量城市供水管网运行状况的重要指标,同时也是能够直接反映城市供水服务质量的标志参量。从系统运行状态的可估性上分析考虑,节点压力是相对于各节点流量变化最为敏感的状态变量。全面掌控城市供水管网的压力信息以及压力分布状态,不仅有助于实现计算机的实时优化调度、保障供水质量、提高管网运行效率、为管网改扩建提供参考依据,而且能够实时监控管网系统的运行状况和变化状态。同时采集管网稳定运行的压力数据信息有助于实现对管网模型的校准、维护,以便于更好地指导城市供水管网的规划建设。

压力监测点依托于压力监测设备,其设置不仅要考虑设备数量,而且要兼顾设备安装位置的选取,增加压力监测点设置数量虽可以提高城市压力监测准确性但无疑会增大数据分析处理的负担,不利于基于测压数据分析处理基础上的应用实施,因此应尽可能少地在具有代表性的位置安装压力监测设备。

一、测压点布置方法

1.1 经验法

经验法指依据城市供水公司及管理部门积累的多年成熟的城市供水管网运行管理经验进行测压点布置。经验法具有方便、快捷的优势,依据工作人员积累的经验,在管网低压区位置、最不利点、管网末梢控制点、供水分界线处、管网调度压力变化敏感区、大流量用户、重要国家机关单位等处设置压力监测点,及时监控管网压力监测点控制范围内的压力变化状况,进而为管网调度、模型校核、管网改扩建等提供指导信息。该方法具有不可忽视的缺陷,无法保证布置方案的准确性及合理性,甚至在分析判断上可能会出现偏差,影响整个供水管网压力监测系统运行效果的评价分析。在实际应用操作中,经验法不适合作为主导方法,

但可提供一些指导信息辅助方案的设计研究。经验法不具备一定的普适性,仅适合于管网运行时间较长、管网供水规律比较稳定、缺少水力模拟计算条件的供水管网。

1.2 理论法

理论法以一定的理论基础为依托,借助数学等其他学科作为辅助处理手段,通过分析计算得出可靠、准确的管网压力监测点布置方案,理论性强,对工作人员的水平要求较高,适用性较强。目前国内外对压力监测点优化布置的研究方法主要集中在模糊聚类分析、灵敏度分析以及遗传算法。

模糊聚类分析法指依据一定的聚类原则和模糊评判标准,将具有相似性质的对象化分为一组,进而确定聚类中心,最终确定测压点所在区域及具体安装位置。该方法较简单、应用广泛,具有一定的理论基础,分析结果准确性较高,可应用于不同的管网水力模型。但聚类方法众多,优选适合于管网压力监测点优化布置的方法显得尤为关键,有待于进一步分析研究,同时该法分析、计算工作量较大,给实际应用带来了一定的限制。

灵敏度分析法则主要根据给水管网构造理论,应用水力学和拓扑学基本原理,建立给水管网节点压力的灵敏度矩阵和方程,通过灵敏度分析完成给水管网压力监测点的布设。该方法计算比较简单,理论性较强,结果直观,通过计算灵敏度大小并排序,选择灵敏度大的节点布设压力监测点,但可能出现在高灵敏度节点相邻的几个节点处灵敏度均较大的状况,若在这些位置均设置压力监测点,则有可能造成资源浪费,而且此方法并不能明确地给出合理的压力监测点的布设位置。

遗传算法作为一种优化算法,通过建立数学模型,并利用遗传算法进行优

化求解,是人工智能领域应用比较成熟的优化算法,同时也是解决复杂组合优化问题的有效工具。给水管网压力监测点的优化布置是一个多目标决策问题,包括确定监测点的数目和位置,供水管网压力监测点布设方案直接影响到监测点监测数据的质量以及给水系统状态评估和推断。遗传算法应用广泛,但在实际应用中,当管网规模较大时,计算结果有可能是发散的,计算量大,计算时间较长,不能保证求解得到的结果为全局最优解,有可能取得局部最优解。同时遗传算法容易出现早熟的现象,需要根据具体的问题调整选择和变异的策略,通用性较差。

考虑到单纯应用经验法或理论法存在的不足以及适用性限制,针对测压点布置方法在实际应用中的不足,将理论方法中的灵敏度分析与经验法中的若干测压点布设原则相结合,通过 K 市供水管网的实例,提出了测压点布置的实用方法。

二、实例分析

2.1 供水现状

K 市具有完善的供水管网信息系统和可用以指导实践的管网水力模型,具有良好的管网基础资料信息资源。K 市以三座水库为取水水源,储水量为 2.3 亿立方米,城区供水需求为 140 万 m^3/d 。依据当前 K 市供水管网 GIS 信息系统统计,供水管网总长约 5200 km,最大管径 DN1500,供水管网现有可用压力监测点为 130 个,随着城市供水规模的扩大以及人们对于供水安全性重视度的提升,K 市原有的供水测压系统已经不能够满足全面、准确、快捷地反映城市供水管网实际压力分布的要求,其测量数据在将来实施供水管网在线调度管理时必将显示出缺陷与不足,依据此压力监测系统获取的信息做出的决策可能会出现偏差,不利于城市供水管网系统的规划建设以及在线调度管理工作的实施。因此,在原

有 K 市供水管网压力监测系统的基础上，合理增设若干压力监测点，建立科学、合理、完 善的城市供水管网压力监测系统已经迫在眉睫。

2.2 压力监测点布设实施方案

以 K 市 GIS 管网基础信息资料为基础，基于 DHI MIKE HYDRO Basin 水资源分析软件，结合 K 市规划实施的供水管网分区方案，通过在线模拟分析与实地考察相结合的方式分析决策，选取合适的压力监测点优化布置方法，统筹分析进而完成 K 市供水管网压力监测点的布置。

采取在 K 市现有供水管网压力监测系统的基础上增加若干个测压点的实施方案，测压点的布设结合现有的管网水力模型，采用经验法与灵敏度分析法相结合的分析方法。

2.2.1 测压点增设方案影响因素分析

结合经验法进行分析，依据以往压力监测点布设时的相关理论与经验，为保证布设方案的经济合理性，应遵循测压点布设的基本原则，提高工作效率。分析管网大流量用户、管网低压区及压力变化敏感区域的分布状况，结合管网分区边界计量设备 的分布状况，完成管网压力监测点的设置。

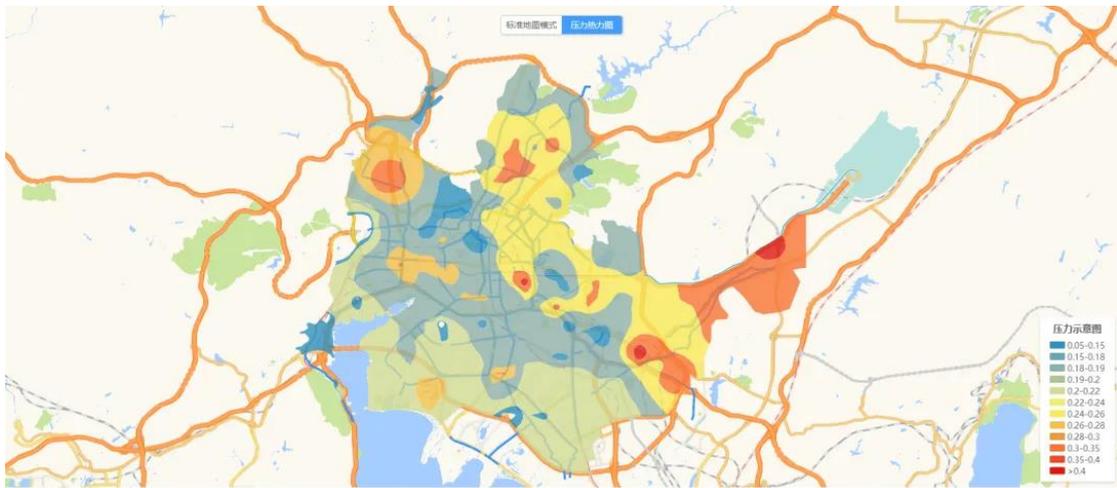
① 大流量用户

由于大流量用户节点用水量出现波动变化时对管网压力影响比较显著，因此需尽量考虑在该处或附近设置压力监测点。结合 K 市供水管网模型节点流量分配，其节点流量分配较均匀，节点流量较大处分别为模型模拟时增压泵站进水量处以及部分 集中流量处，综合考虑管网流量数据分布选取 25L/s 为大流量节点判定标准，能较好地反映 K 市分配流量较大节点的分布规律。统计结果表明管网中流量 $> 25\text{L/s}$ 的节点共有 8 个，分布如图 1 所示。



② 低压区分布

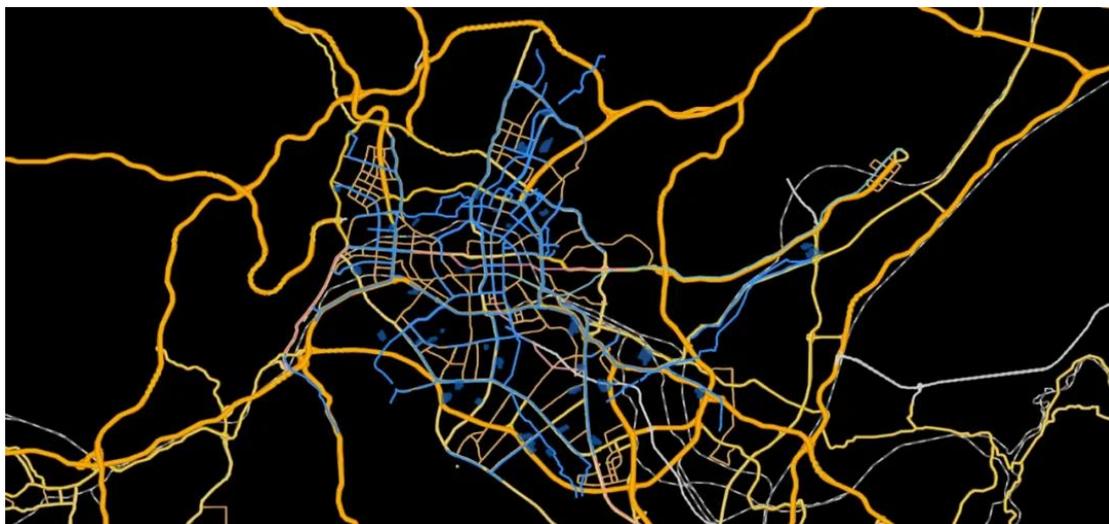
管网低压区反映了城市管网运行工况发生改变时管网供水服务质量以及供水可靠性。对 K 市管网水力模型进行压力分布模拟分析，根据 K 市供水管网压力分布图可以掌握管网整体压力分布状况，进而定位管网中低压区位置，压力监测点应尽量布设在低压区位置以便于监控该区域压力变化状况，进而为管网的在线调度提供决策信息。K 市管网模型模拟压力分布如图 2 所示。



③ 压力变化敏感区域

管网有些区域随着城市管网总用水量的变化压力出现较明显的变化，根据管网模型的动态模拟结果，统计计算分析各节点每隔 15min 的自由水压值的均方差，并由此估计各节点的压力波动幅度，均方差值越大，节点自由水压波动越明

显，该节点压力对于管网用水量变化反应越敏感。压力监测点的布设应着重考虑管网压力变化敏感区域，可有效监控管网压力随管网运行工况改变的变化状况，便于管网整体的调度分析。对 K 市管网模型动态模拟结果进行分析，计算管网全部节点均方差并排序，选取前 200 个节点得管网压力变化敏感区域分布如图 3 所示，主要集中在增压泵站附近、低压区以及管网边界处，综合考虑管网拓扑结构以及压力变化敏感点的分布设置压力监测点。

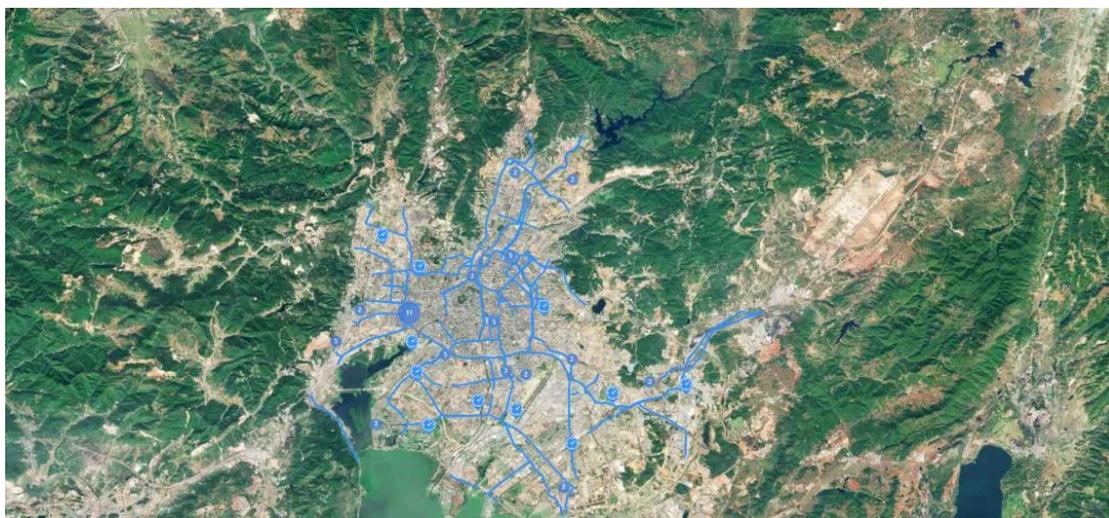


④ 管网分区边界点

依据 K 市供水管网分区计量规划方案，因分区计量需要，该市将逐步在主城区计量分区的边界管道上安装流量计量设备。一般情况下流量计量设备同时具备压力监测功能，但由于分区计量方案的实施需逐步进行，计量设备的安装也受到道路施工等条件的限制，而 SCADA 系统测压点的安装则相对容易实施，并且目前分区计量的数据中心与 SCADA 系统相互独立。因此，尽管未来的分区计量监测系统将覆盖主城区管网，但现阶段仍然需要通过增设测压点的方式对 SCADA 系统进行完善，为管网运行管理提供更充分的决策支持。

分区边界位于管网供水局部边缘区域，其对管网压力变化反应比较显著，可通过监控分区边界监测点压力进而指导管网优化调度、表征管网工况发生改变时

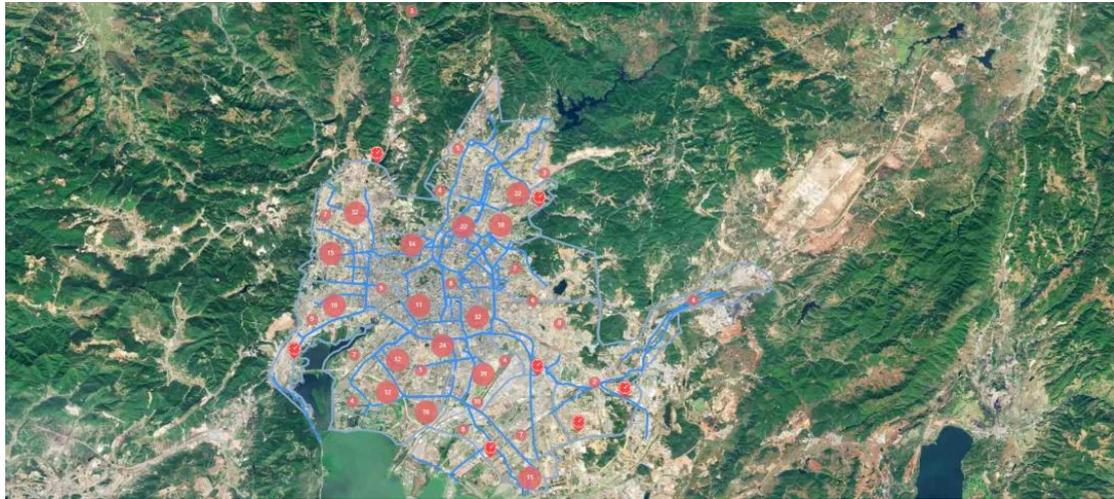
管网区域供水服务质量以及为管网局部区域分析提供便利。依据 K 市供水管网分区规划方案,现阶段在管网分区边界处应酌情根据压力监测点布设需要设置适当数量的压力监测点(见图 4)。



2.2.2 实施方案

根据上述分析结果,结合 K 市整体供水管网现状及未来运行状况,对现有管网压力监测点运行状况进行分析。综合考虑 K 市供水管网中低压区、压力敏感区、大流量用户分布区域及该市供水分区计量规划方案,并且结合实地勘察及压力监测点分布范围,依据影响因素分析结果,逐步在 K 市供水管网布设压力监测点,由于部分影响因素影响范围相互交叉(如压力变化敏感区与低压区部分交叉、分区计量边界点部分位于压力变化敏感区等),因此需综合考虑各影响因素,在充分利用管网分区边界的整体规划的基础上,结合大流量点、压力变化敏感区以及低压区节点完成布设,在现有测压点的基础上增设 16 个压力监测点,其中在分区计量边界点处设 6 个、低压区域设 1 个、大用户节点设 1 个、压力变化敏感区域设 3 个。考虑输水干管交汇点及分流点、供水边界工况校核点的监测重要性以及压力监测点分布的均匀性,在上述 11 个压力监测点的基础上在上述部位增设其他工况校核点 5 个,进而完成 K 市整体压力监测点的增设方案,压

力监测点布设分布详见图 5, 其中其他工况校核点主要是输水干管交汇点及分流点、供水边界工况校核点。



在供水管网压力监测点布设经验法中应遵循的基本原则中提到监测点布设密度, 供水区域面积较大时, 可按 1 个压力监测点/10 K m² 布设; 供水区域面积较小或不足 10 k m² 时根据实际情况设置测压点数目, 最少要布置两处, 特殊情况可适当增加。对现状压力监测点以及规划方案设计增设的压力监测点覆盖范围采用泰森多边形法分割后, 分析各压力监测点覆盖的范围, 从分布密度上看管网压力监测点覆盖范围较均匀, 覆盖范围最小可至 1 个压力监测点/2 k m², 可有效保障对整个管网运行状态的监测, 同时为管网模型的校核提供更为充分的数据支持。

五、结语

管网在线压力监测点对于城市未来发展具有重要意义, 其对于城市供水管网在线优化调度、模型校核以及管网改扩建规划的重要性随着城市供水规模的扩张越发重要。然而供水管网压力监测点的布置涉及到监测点位置与数目的选择与优化, 单纯依靠工作人员积累的经验进行压力监测点布置, 很难保证布设方案的经济合理性。将经验法与灵敏度分析法相结合, 以弥补经验法的不足, 并应用于 K

市管网，以期得到最优的测压点优化布置方案，从实例可以发现，该法较简单实用，监测点布设方案合理。