

天然气长输管线购销差产生原因及对策分析

刘 涛 (中石油昆仑燃气有限公司辽宁分公司, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 本文对全年首站和末站三个时间段即早 8 时、午 14 时、晚 23 时进行多元线性回归分析。结果可知: 压力是导致计量误差的主要影响因素, 其次是温度和瞬时流量。购销差与进站压力和瞬时流量成正比, 与进站温度成反比。此外, 当进站压力控制在 2.55MPa 时, 可降低购销差约 30%-40%。购销差的改进方案应用效果显著, 具有强大的应用潜力。

关键词: 天然气; 购销差; 长距离输送; 多元线性回归分析; 首站末站

0 引言

目前研究超声波流量计计量误差的产生, 即研究影响购销差的参数具有较强的现实意义^[1]。瓦房店-长兴岛天然气支线管道工程由某公司承建, 工程线路起点为大沈线某阀室, 终点为瓦房店末站, 线路长度 65.5km。首、末两站超声波流量计均为国家质检中心检定合格流量计, 且规格型号均一致, 投产 3 年期间已造成约 235 万方天然气购销差, 直接经济损失约 500 万, 所以找到产生购销差的主要因素和各因素的影响趋势至关重要。

1 首站和末站购销差多元线性回归分析

1.1 全年首站早 8 时数据分析

以四天为一个周期, 每四天统计一次数据, 共计统计 68 组实际生产数据, 根据多元线性回归方程的分析原理, 造成首站早 8 时购销差 (G_1) 产生影响的工艺参数分别是首站进站压力 (F_1^1)、首站出站压力 (F_1^2)、首站进站温度 (T_1^1)、首站出站温度 (T_1^2)、首站瞬时流量 (L_1^1)、管存差量 (K_1)。

构建模型: 以 G_1 为因变量, F_1^1 、 F_1^2 、 T_1^1 、 T_1^2 、 L_1^1 、 K_1 参数为自变量进行多元线性回归分析, 得到结果模型摘要, 如表 1 所示:

表 1 首站 8 时模型摘要

模型	R	R 方	调整后 R 方	标准估算的错误	德宾-沃森
数值	0.555 ^a	0.308	0.239	3291.147	1.970

在表中, 主要关注“R 方”取值, 其表达含义为 F_1^1 、 F_1^2 、 T_1^1 、 T_1^2 、 L_1^1 、 K_1 自变量参数可以解释因变量 G_1 变化的拟合度是 30.8%。统计学中 R 方值大于 30% 时表示因变量可以被自变量较好解释。

1.2 首站早 8 时独立性检验

“德斌-沃森”值为 1.97, 统计学中要求“德斌-沃森”值在 2.0 附近, 说明统计的数据中各自变量相互独立, 可以判断出以上 68 组数据是相对独立的,

不存在自相关情况, 可证明收集统计数据真实性。

1.3 首站早 8 时共线性检验

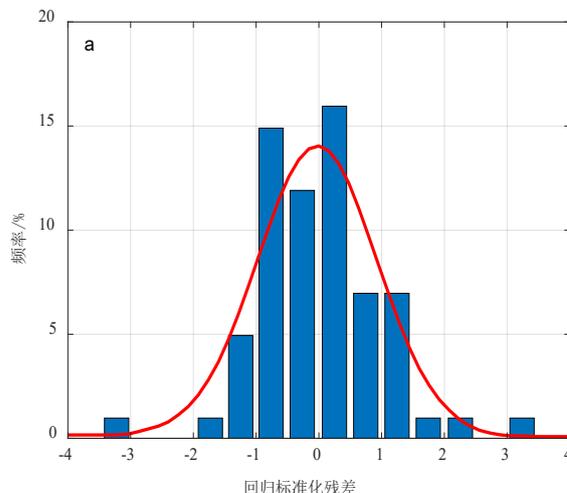
表 2 中 VIF 值小于 5, 则该项数据合格, 表示不存在各自变量的多重共线性的问题。

表 2 早 8 时多重共线性检验 (a. 应变量: G_1)

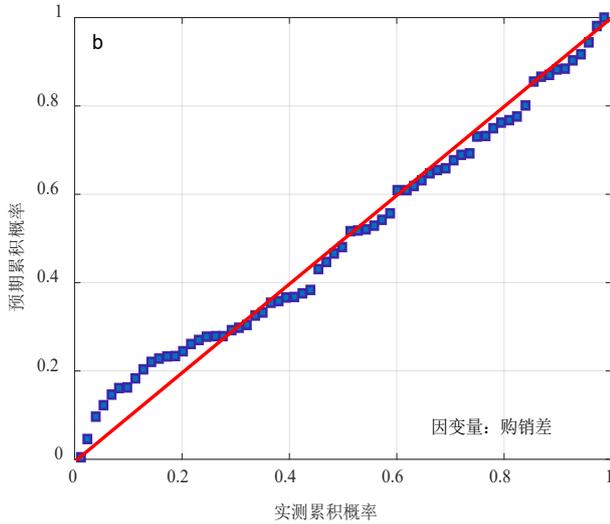
模型	未标准化系数 ^a		标准化系数 ^a		显著性	共线性统计	
	B	标准错误	Beta	t		容差	VIF
常量	-722.366	7126.181		-0.101	0.92		
F_1^1	1779.49	1205.08	0.165	1.477	0.045	0.927	1.079
F_1^2	-1093.742	1557.152	-0.109	-0.702	0.485	0.477	2.096
T_1^1	26.546	141.545	-0.5	-2.635	0.872	0.32	3.124
T_1^2	-383.705	163.655	0.033	0.162	0.011	0.279	3.58
L_1^1	0.023	0.017	0.05	0.433	0.026	0.879	1.137
K_1	0.028	0.026	0.124	0.865	0.059	0.56	1.785

1.4 首站早 8 时残差正态性问题

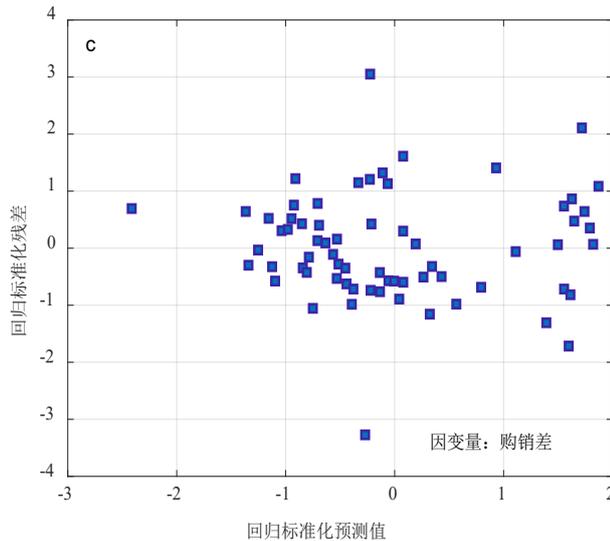
从图 1a 可以看出, 残差值在规定的正态分布曲线周围分布, 则证明此次分析的数据是服从正态分布的。由图 1b 可以看出, 残差值绝大部分分布在 P-P 图对角线附近, 根据统计学分析原理, 此次回归分析结果的残差值是服从正态分布的, 满足残差正态性问题。从图 1c 中看出, 残差是散乱分布的, 服从正态分布。



a. 残差正态分布图



b. 残差正态 P-P 图



c. 回归分析散点图

图1 首站早8时残差正态性分析

1.5 影响因素分析

依据表2中的“显著性”数值，可以推断出各自变量是否影响因变量 G_1 以及影响的大小。当自变量“显著性”小于0.05时，表示变量对 G_1 有显著影响。由表2中看出，首站早8时的数据中，有 F_i^1 、 T_i^2 、 L_i^1 显著影响因变量 G_1 。表中B列，表示各自变量对因变量的影响系数，排除无显著影响的自变量，可得到新的影响因素回归方程，其中误差用字母 ε 表示。B值为正，表示自变量对因变量 G_1 有正向影响，B值为负表示自变量对因变量 G_1 有反向影响，影响大小可以近似对应B值，可得到多元回归线性方程：

$$G_1 = 1779.49 \sum_{i=1}^{69} F_i^1 - 383.705 \sum_{i=1}^{68} T_i^2 + 0.023 \sum_{i=1}^{68} L_i^1 + \varepsilon \quad (1)$$

同上分析，得到首站午14时多元回归线性方程为：

$$G_2 = 1779.5 \sum_{i=1}^{69} F_i^3 - 383.702 \sum_{i=1}^{68} T_i^4 + 0.02 \sum_{i=1}^{68} L_i^2 + \varepsilon \quad (2)$$

得到晚23时多元回归线性方程为：

$$G_3 = 1779.51 \sum_{i=1}^{68} F_i^5 - 383.704 \sum_{i=1}^{68} T_i^6 + 0.021 \sum_{i=1}^{68} L_i^3 + \varepsilon \quad (3)$$

得到末站早8时多元回归线性方程为：

$$G_4 = 1779.46 \sum_{j=1}^{68} F_j^3 - 383.72 \sum_{j=1}^{68} T_j^2 + 0.021 \sum_{j=1}^{68} L_j^1 + \varepsilon \quad (4)$$

得到末站午14时多元回归线性方程：

$$G_5 = 1779.51 \sum_{j=1}^{68} F_j^3 - 383.67 \sum_{j=1}^{68} T_j^4 + 0.0203 \sum_{j=1}^{68} L_j^2 + \varepsilon \quad (5)$$

得到末站晚23时多元回归线性方程：

$$G_6 = 1779.504 \sum_{j=1}^{68} F_j^5 - 383.73 \sum_{j=1}^{68} T_j^6 + 0.024 \sum_{j=1}^{68} L_j^3 + \varepsilon \quad (6)$$

2 减小计量误差的对策研究

2.1 研究结果分析

根据首站和末站三个时段购销差回归方程，我们可以计算出三个时间段首、末站总的购销差(G_z)的计算公式，得到了多元回归线性方程为：

$$G_z = 1779.5 \sum_{i=1, j=1}^{68} (F_i^1 + F_i^3 + F_i^5 + F_j^1 + F_j^3 + F_j^5) - 383.7 \sum_{i=1, j=1}^{68} (T_i^2 + T_i^4 + T_i^6 + T_j^2 + T_j^4 + T_j^6) + 0.02 \sum_{i=1, j=1}^{68} (L_i^1 + L_i^2 + L_i^3 + L_j^1 + L_j^2 + L_j^3) + \varepsilon \quad (7)$$

由式7可知， G_z 受到的主要影响因素为三个时段首、末站进站压力，首、末站出站温度和首、末站瞬时流量。其中首、末站进站压力和首、末站瞬时流量表现为正向影响，首、末站出站温度表现为负向影响。根据公式参数大小，对于 G_z 来说，天然气场站首、末站进站压力，首、末站进站温度对计量精确度极为关键。

通过以上分析和归纳，可以推断出每天的首、末站总购销差(G)的多元回归线性方程为：

$$G = 1779.504 \sum_{i=1, j=1}^{68} (F_i^r + F_j^r) - 383.73 \sum_{i=1, j=1}^{68} (T_i^k + T_j^k) + 0.024 \sum_{i=1, j=1}^{68} (L_i^n + L_j^n) + \varepsilon \quad (8)$$

其中， $r, k = (1, 3, 5, \dots, 47)$ ， $n = (1, 2, 3, \dots, 24)$ 。

2.2 实际生产情况分析

2.2.1 工艺流程和设备分析

首站和末站的工艺流程基本一致，工艺流程均为

过滤、加热、计量和调压后输送至下游，唯一不同的是首站使用电加热器，而末站使用天然气锅炉换热器，天然气锅炉热效率大于电加热器热效率。首、末站使用的超声波流量计均由博思特能源装备（天津）股份有限公司提供，规格型号为 RTQ80400/63-2J，设计压力 6.3MPa，设计温度 -29~50℃，进口压力 2.0~5.5MPa，并且已通过国家质量监督机构检验，其计量准确度、量程都在国家法律法规允许范围之内。从理论上讲，排除超声波流量计自身问题后，可研究其所处的生产作业环境的物理影响因素是可行的。

2.2.2 内检测分析

由于瓦-长支线项目从 2019 年 1 月投产后其产生的购销差一直居高不下，影响公司经济效益，对应指标无法完成。加之企业全面开展管道完整性管理工作，需要识别和评价管道风险因素，采取有效风险管控措施，防范管道泄露等事故发生，所以在 2022 年 2 月份对瓦房店支线燃气管道进行了漏磁内检测。此次检测由第三方检测机构同人拓丰（北京）科技有限公司进行，并对检测数据进行了分析，本次内检测共发现：

①缺陷特征：616 处（一般金属损失 109 处、点蚀 296 处、轴向凹沟 41 处、环向凹沟 170 处）；

②管道基础特征：5269 处（阀门 4 处、三通 6 处、弯头 274、法兰 10 处、焊缝 4975 处、套管终点 0 处）；

③其他特征：14 处（管道固定装置 10 处、外支架 0 处、泄水口 4 处、外部金属 0 处）。

本次检测未发现管道斜接及金属损失或焊缝相关的凹陷。另外，根据统计结果可知，该段管线存在的主要缺陷类型为金属损失，无管线开裂、泄漏等重大危险源，金属损失占缺陷总数 99.35%。由此可知，此次管道内检测未发现管线和管线附属构件泄露情况，只存在管线金属缺失且不需要马上进行处理，缺失程度较小，对购销差产生无显著影响。

2.3 经济效益分析

根据线性回归分析得出的结论，利用站控 SCADA 系统，统计 2021 年-2022 年首、末站共计两年 730 天零时零分的进、出站压力和温度等相关数据。根据天然气公司内部管道生产管理系统的原始数据，可知 2021 年瓦-长支线项目全年共计产生了 166.62 万方的购销差，2022 年瓦-长支线项目全年只产生了 46.75 万方购销差，在温度变化不大的前提下，采用降压计量的方式使燃气企业每年减少了约 120 万方的

天然气计量损失，直接减少约 270 万的经济损失。

由实际统计数据可知：

①对比首站 2021 年和 2022 年运行参数可知，2021 年进站压力比 2022 年高约 1.22MPa，温度高约 0.15℃，从这里可以看出压力变化较大，而温度变化较小，但结果是购销差两年对比相差了约 120 万方天然气。根据本文多元线性回归分析得到的结论，压力与购销差成正比，即压力越大购销差越大，压力越小购销差越小，可知研究结果与实际产生情况基本保持一致；

②对比末站 2021 年和 2022 年运行参数可知，2021 年进站压力比 2022 年高约 1.09MPa，温度高约 -0.04℃。同理，与首站的情况基本一致，即在温度无明显变化的情况下，减小计量压力会明显降低购销差大小，从而减小企业经济损失；

③因压力正向影响购销差大小，所以可以将进站力尽量调小，在满足 2.1MPa 的报警压力前提下，应尽可能将场站运行压力调整到接近 2.1MPa。同时运行压力也需要满足下游工业用户的用气需求，考虑到首、末站 54km 管线和末站到工业用户 34km 管线的管存量和管存压力等情况，并且不能出现供气不足和负压作业的事故事件发生。所以经综合考虑和分析，应尽可能将压力控制在 2.55MPa 左右，这样既能保证减小购销差的需要也能满足末站不出现压力过低报警的情况，还能保证下游工业用户的用气需求。

3 结论

①压力是导致此次模拟分析中影响购销差的主要因素，其次是温度和瞬时流量；

②购销差与进站压力和瞬时流量成正比，与进站温度成反比，即运行压力越大会导致购销差增大，运行压力越小能使购销差减小。温度越低会导致购销差增大，温度增高可以使购销差减小。瞬时流量越大会导致购销差增大，减小瞬时流量会降低购销差大小。经分析和与实践相结合，当把进站压力控制在 2.55MPa 时，会对购销差的产生减少约 30%-40%。

参考文献：

[1] 程靖云. 油气管网体制改革后天然气计量技术的发展分析 [J]. 油气田地面工程, 2021, 40(3): 14-17.

作者简介：

刘涛（1989-），男，汉族，山东济南人，本科，工程师，主要从事天然气方面的工作。