

提高北京天然气现有管网输气能力方法探讨

北京市燃气集团有限责任公司(100035) 支晓晔 刘 燕
北京建筑工程学院(100044) 杜学平

摘要 由于城市建设的快速发展,大中型城市普遍存在着“有限的土地资源与大量的天然气基础设施建设”相矛盾的现象,随着天然气需求量的增加,这一矛盾更为突出。如何利用现有管网设施提高管网输送能力,是目前亟待解决的问题。本文结合北京市天然气管网运行现状和未来天然气发展规划,系统分析了提高管网输气能力的方法。提出了提高管网输送能力的几种方法,如升压运行,中低压转换,扩大管径,源点增设,并行干管增设,连通线增设,成环改造等。最后,用统计理论的方法得到管线长度和天然气销售量回归方程,并分析了北京天然气管网利用率。本文研究成果,可为城市燃气管网改造提供科学的依据。

关键词 天然气 管网改造 输气能力 管网利用率

Methods to Improve the Transmission Capacity of Beijing Existing Natural Gas Pipeline Network

Beijing Gas Group Co., Ltd, Beijing Zhi Xiaoye, Liu Yan

Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, Beijing Du Xueping

Abstract Due to the rapid development of urban construction, there is a contradiction between limited land resources and a large number of natural gas infrastructures, this phenomenon is common in our large and medium-sized cities. And with the increasing demand of natural gas the contradiction is becoming more evident. The urgent problem to solve is how to utilize existing gas facilities to improve the transmission capacity in natural gas pipeline network. According to both present running status and future development planning about Beijing natural gas distributing system, methods of improving pipe network transmission capacity are systemically analyzed in this paper. Such as improving the pipeline operating pressure, transferring low pressure to medium pressure, enlarging pipe diameter, adding source point, increasing parallel lines, connecting the near mainstay pipeline, making into ring pipe network, etc. Lastly in accordance with mathematic and statistic methods, the linear equation of total pipeline length and natural gas sales volume is obtained and utilization factor of gas distributing system is analyzed too. Results from this paper can serve as a scientific reference for gas distributing system alteration.

Keywords natural gas pipeline network alterations gas transmission capacity gas distributing system utilization factor

1 引言

北京燃气事业始于1958年焦化厂人工煤气向城区的供应。经过50余年的发展历程,特别是1997年陕甘宁天然气进京后的10余年,北京燃气已具有

相当的规模,拥有360万用户、管网11 000、供应量55亿 m^3/a 、压力级制5级。

随着城市建设的发展,清洁能源使用量的增加,北京天然气的发展仍具有广阔的空间。目前,北京人均天然气使用量为 $260\text{m}^3/\text{a}$,美国2006年人均天然

气使用量为 2 200m³/a,世界平均水平为 430m³/a。若按北京 2 000 万人口计算,北京天然气人均使用量达到美国 2006 年水平,天然气年消耗量为 440 亿 m³,如达到目前世界平均水平,天然气年消耗量为 86 亿 m³。根据北京城市总体规划,2020 年北京天然气需求量应为 120 亿 m³。要达到这一目标,就需要建立一套完善的保障天然气安全稳定供应的管网输配体系,而当务之急就是增加天然气输配能力以适应日益加大的天然气供应量。

众所周知,北京是千年历史古都,需要保护的历史古迹众多。但为改善首都居民生活水平,实现城市发展总体目标,加快基础设施的建设是不可或缺的。这就出现了有限的土地资源与大量的基础设施建设相矛盾的现象。为此,挖掘现有设施潜力以适应城市快速发展的需求,是专业人员积极探索的问题。

2 北京天然气管网输送能力分析

截至 2008 年,北京天然气管线总长为 10 892km,共有 5 种压力级制,高压 A(4.0MPa)管线 125km,高压 B (2.5MPa) 管线 315km,次高压 (1.0MPa) 管线 506km,中压 (0.1 MPa 至 0.4MPa) 4 100km,低压管线(小于 5kPa)5 827km。北京天然气管线中有 60%是由原人工煤气置换过来的。目前,仍有超过 100km 管线运行年限超过 20 年。

2008 年~2009 年冬季高峰日输送气量为 4 230 万 m³,小时高峰输送量为 210 万 m³。自 1997 年以来,年高峰日输送量平均增长率超过 40%。若实现北京市 120 亿 m³ 天然气供应量目标,据测算,高峰日输送量为 10 500 万 m³,高峰小时输送量为 580 万 m³。在现有管网最大运行压力下,提高输送能力的方法,一是增加进气点既建调压站,二是增加管线建设。北京天然气高压以上管线仅占总管长度的 8.6%,合理增建高压管线是有必要的,也是有条件的。但中压管线已占总管长度的 40%,中压天然气管线几乎遍布市区所有主干公路,据北京天然气管网规划,2020 年中压管网输送能力将由目前 150 万 m³ 增加到 255 万 m³。单靠增加中压管线建设提高管网输送能力即不经济也不现实。因此,如何提高现有管网的输送能力,是我们亟待解决的问题。

3 提高北京现有管网输气能力方法

3.1 提高管网运行压力

以提高管网运行压力来增大管网输送能力无疑是最便捷的方法。因此,在条件允许下,应首先给以考虑。

3.1.1 管网升压潜力分析

图 1 所示为北京市现有各级管网最大允许压力降,及提高运行压力时的最大允许压力降。根据输气

管道稳定流计算式($Q_0 = C \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2)d^5}{\lambda Z R_g T L}}$)可以得出起

点压力对流量影响的计算式,假设升压前后其它参数均不变,则输气能力的倍数关系为:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left[\frac{P_1'^2 - P_2'^2}{P_1^2 - P_2^2} \right]^{0.5} \quad (1-1)$$

$\frac{Q_2}{Q_1}$, 输气能力增加倍数;

Q_1 , 原有输气管道体积流量, m³/s;

Q_2 , 升压运行后管道体积流量, m³/s;

P_1 , 原有输气管道起点压力, MPa;

P_2 , 原有输气管道终点压力, MPa;

P_1' , 升压运行后输气管道起点压力, MPa;

P_2' , 升压运行后输气管道终点压力, MPa。

图 2 为增加现有管网运行压力, 管网输送能力提高倍数, 表 1 是其利用式(1-1)的计算参数。计算结果表明, 北京天然气管网以提高运行压力, 增加管网输送能力的潜力还是很大的。由于北京市天然气管网受历史发展情况的局限, 管网升压异常复杂, 应根据实际情况进行认真分析, 考虑旧有设施的最大允许压力与实际承压能力, 切实做好各级管网天然气升压改造方案。

3.1.2 提高管线运行压力的安全风险分析

我国在 2003 年 3 月至 2008 年 1 月发生了 67 起重大天然气管道事故, 其原因分类见表 4。从表中可知, 造成天然气管道事故的主要原因是第三方破坏, 占全部事故的 62.7%^[4],

实践证明, 管网长期低压运行, 一旦升高管网运行压力将增大由于材料缺陷和腐蚀引起天然气泄漏的机率。但是从欧洲燃气管道的统计数据来看 (图

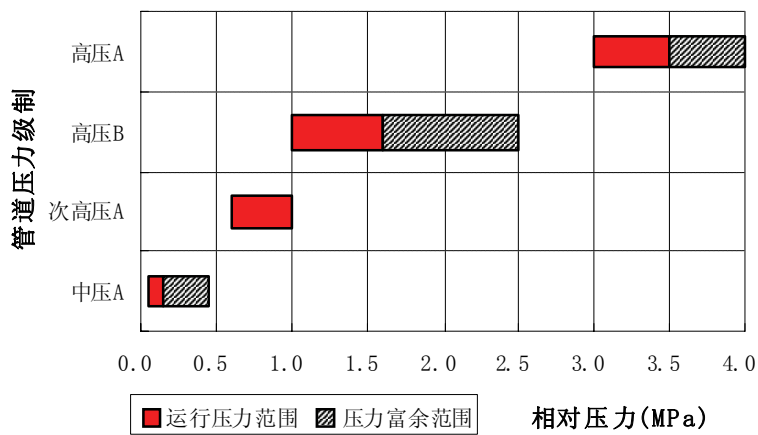


图 1 北京市天然气输配管网操作压力

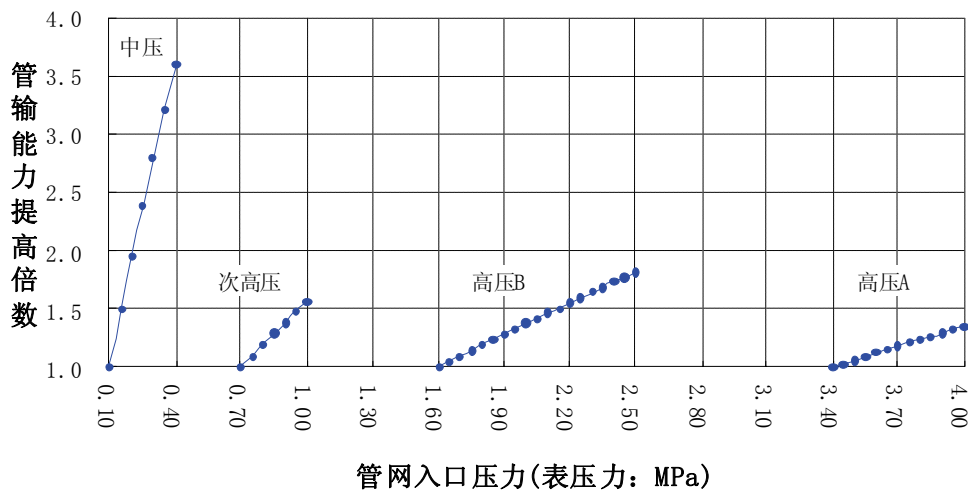


图 2 北京市中压,次高压,高压 B,高压 A 天然气配气管网升压潜力对比

表 1 北京市天然气输配管网升压分析压力参数表

	原有起点压力 P_1	原有终点压力 P_2	升压后起点压力 P_1'	升压后终点压力 P_2'	设计压力
中压	0.1	0.05	0.1-0.4	0.05	0.4
次高压	0.7	0.4	0.7-1.0	0.4	1.0
高压 A	1.6	1.0	1.6-2.5	1.0	2.5
高压 B	3.4	2.5	3.5-4.0	2.5	4.0

注：为了对比得出提升管网入口压力的影响，这里假设管网升压前后出口压力不变，均为管网

最低允许压力：中压 0.05MPa、次高压 0.4MPa、高压 B1.0MPa、高压 A2.5MPa。

3),管道自身原因导致的泄漏往往比较轻微(针孔和裂纹),发生重大事故的可能性较小。因此,升压运行带来的风险并不大,并且完全可以通过采取必要的保护措施加以规避。

3.2 中低压转换

在低压管网运行区域内,若需要建设较大规模的燃气锅炉房,此锅炉房必须使用中压管网供气,且现有区域内又确无条件敷设新的中压管线,这时可

考虑将现有带用户较少的低压管线压力升为中压。此方法首先须将此管线上低压用户接到相邻管线上,如没有条件可为低压用户安装楼前调压设施。低压管线升为中压管线一般采用旧有管道中插入新管的改造方法,即管道插入法。

由于聚乙烯(PE)管具有摩阻系数低、寿命长、经济性好等特点,在中压以下管网中被广泛使用,因此,一般新管常使用聚乙烯(PE)管。插管法与传统

表 2 2003 年 3 月至 2008 年 1 月我国天然气管道事故原因分类^[4]

事故原因分类	事故原因	起数	占事故总数的比例%	比例合计%
第三方破坏	挖掘机挖断	22	32.8	67.1
	工程施工不当	20	29.9	
	车辆撞击	3	4.5	
材料缺陷	管道故障	6	9	15
	试压	2	3	
	气温变化	2	3	
腐蚀	腐蚀	2	3	3
土体移动	塌陷	2	3	3
误操作	处理不当	1	1.5	1.5
其它	原因不明	7	10.4	10.4
合计		67	100	

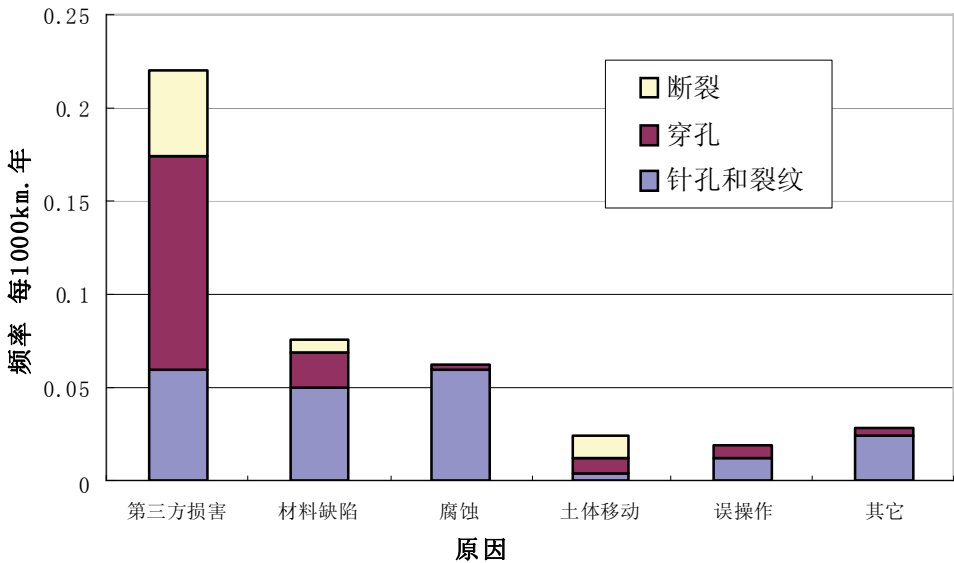


图 3 事故原因与泄漏模式(欧洲燃气管道事故数据)^[5]

的施工方法相比具有非开挖施工的优点,尤其是在旧有管道地处闹市或穿越河流、重要道路时,施工快捷,成本较低。因此,可以说插入法是利用原有管道提高输送压力有效和实际的办法之一。

3.3 增加管网气源点

增设新的气源点既增建调压站是改善目前北京天然气运行工况,提高管网输送能力的有效方法,但由于北京市人口稠密,土地资源紧张,一般在三环内很难有建设新调压站的位置,因此,可选择地下调压站方式。通过模拟冬季高峰运行工况进行管网计算,香格里拉以东三环内可建设 1 座地下调压站,以解决附近压力偏低的情况。

3.4 扩大管径

旧有的管网系统中管径较小的管道有可能是制约管网通过能力的瓶颈。通过管网计算,北京市中压管网主干线个别管段由于管径较小,严重阻碍了管网输送,应将此管段进行扩径,如香山南路管线,管径为 DN400,全长 4 000m,其中有一段 DN100,导致附近压力偏低,若将此段管线改为 DN400,附近压力由 0.04MPa,升到 0.06MPa。图 5 所示为扩大管径对管输能力提高倍数的影响,计算式:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left[\frac{d_2}{d_1} \right]^{2.53}$$

d_1 ,改造前的管内径,mm;

d_2 ,扩大后的管径,mm。

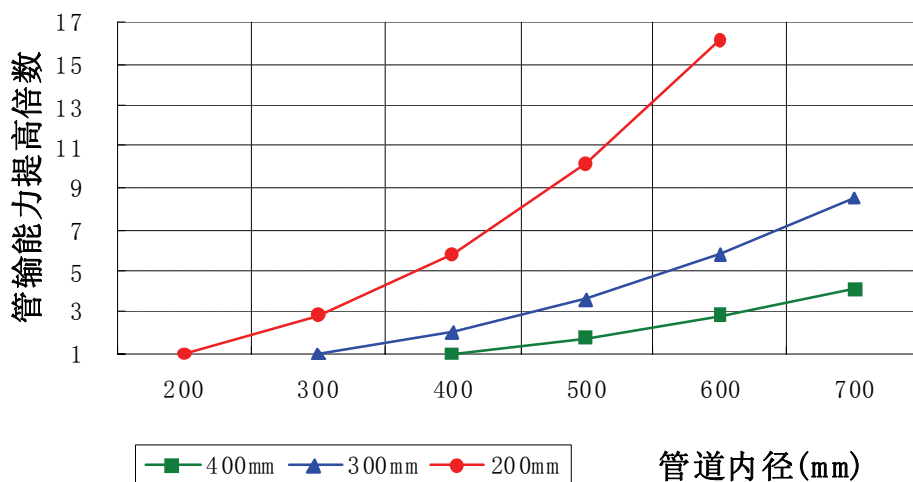


图 4 管径选择与输气能力提高倍数

假设其它参数不变,直径大 1 倍而流量为原来的 5.78 倍,这也是输气管道向大口径发展的主要原因。

3.5 管道增设

如表 3 所述,在现有管线基础上,增加管线建设来提高压力的方法有并行管线,加连通线和管网成环。但如何使建设最短的管线达到最大的效果,这就需要对管网进行模拟仿真计算。下面以某一天然气供应区为例进行分析。

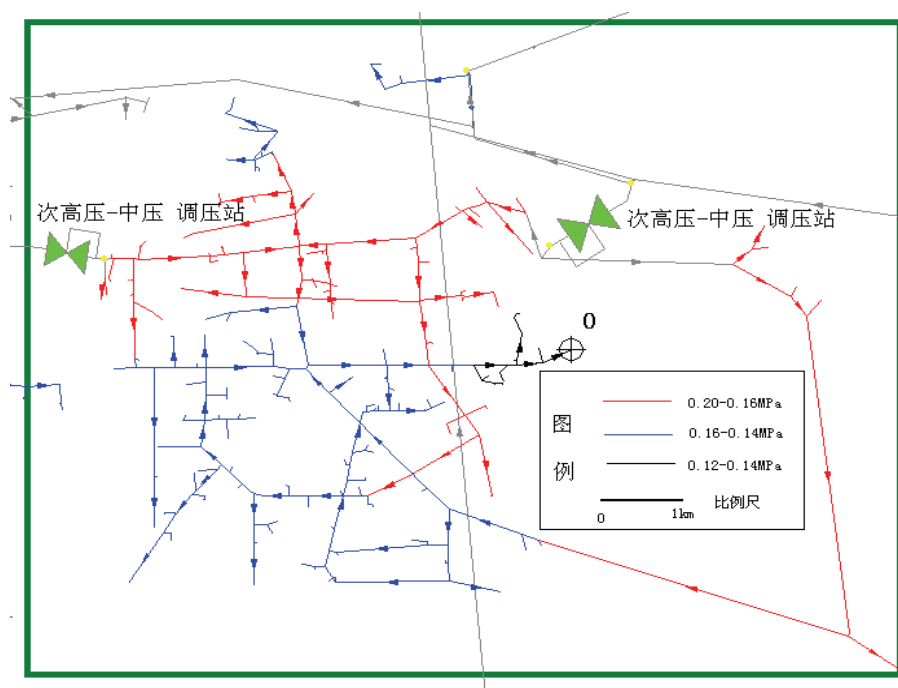
3.5.1 工程实例分析

如图 5 所示为北京市某区域天然气管网图,其

表 3 管线增加位置与要点

管 线 增 加	在旧有干管上增设并行干管	在确无其它低成本方法时采用
	在系统的主要位置增加连接管	相交或相近的干线连接起来
	将枝状系统成环,或半成环改造成全成环系统	如成环管路较短,则花费较少就能提高管网能力

供气区域约为 100km²,此区域内中压管网气源,为两座高中调压站,供应压力为 0.2MPa,高时总负荷 70 000(m³/h),负荷点 422 个,根据管网模拟软件计算可知末端压力为 0.131 MPa。处于该区域的东部(如上图黑管线)。根据规划此区域内负荷将有明显的增加,因此,必须提早做出切实可行的管网改造方

图5 北京市某 100km² 的供气区域

法。

方案 1: 增设平行干管

若沿原有供气干线增设供气管线, 如图 6 所示:
从 A 点到 B 点大约需 3km 的管线, 可使管线末端压

力增至 0.138 MPa。

方案 2: 增加连通线

把低压力管线与临近的干管连接起来, 连接管
线长为 100m。如图 7 所示, 将 B 点跨越改为连接,

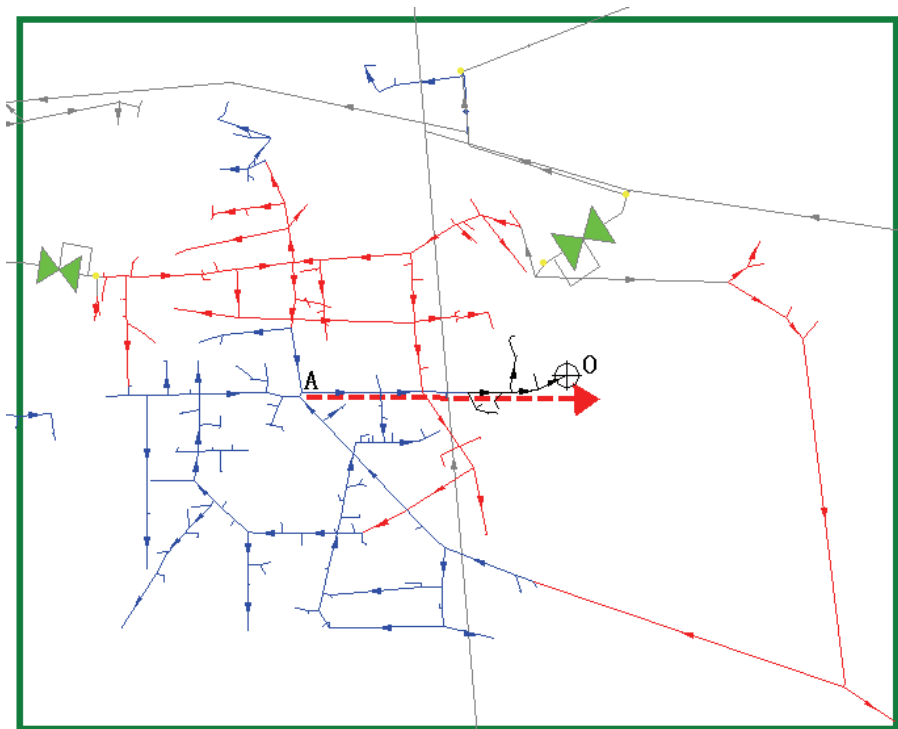


图6 增设并行干管(方案 1)

可使末端压力提高至 0.15MPa。

方案 3:成环改造

把东北部的末端连接起来,连接管线为 1.5km。
如图 8 所示,使供气干线 ABCD4 点成为环路,末端

压力可升至 0.145MPa。

通过案例分析可以看出,最好的方案是管线相交处或相邻处管线连接起来,其次是管网成环,并行干管最差。但选择哪种改造方案还要根据实际施工

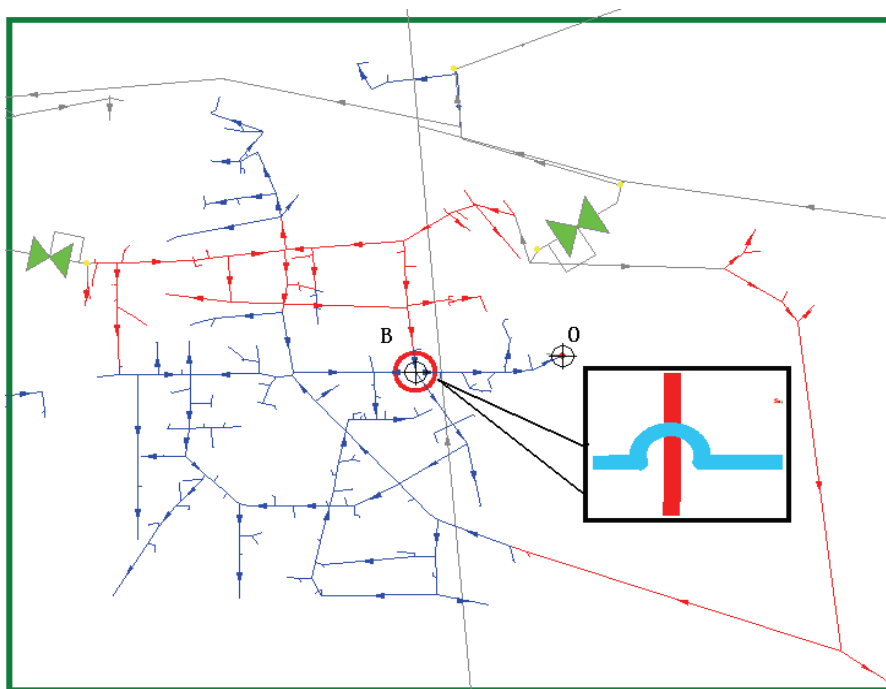


图 7 临近干管相连(方案 2)

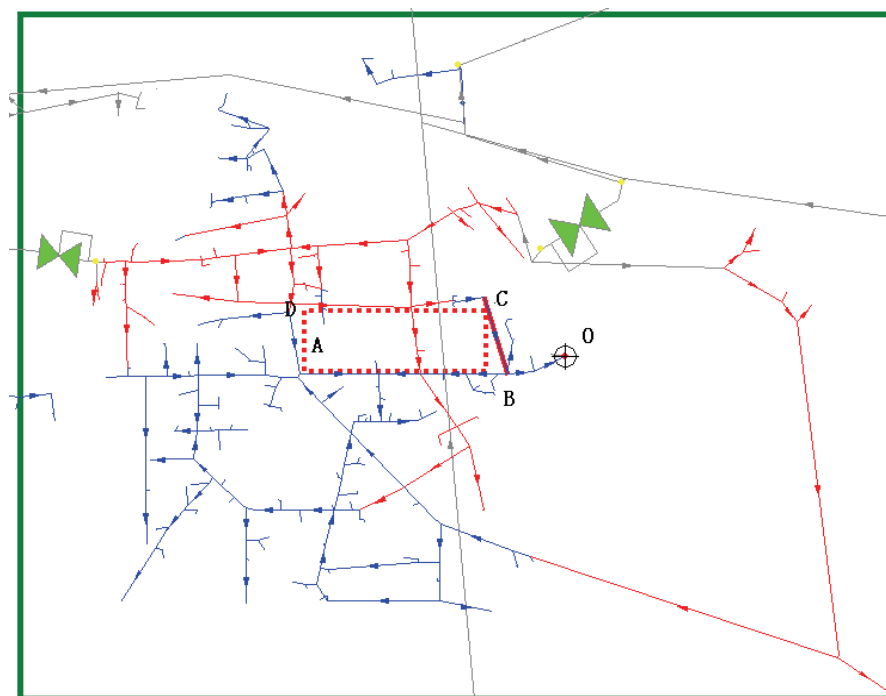


图 8 成环改造(方案 3)

条件来确定。一般来说,应首先采用连通线增设和成环改造方案,可使其效益最大化。

3.5.2 燃气输配系统的利用效率

大量的国内外资料表明,城市管网管线长度与销售量有明显的线性关系,国际上常以总销量(10^6m^3)与系统总长度(km)的比值表示——燃气输配系统的利用效率^[1]:

$$\text{系统的利用效率} = \frac{\text{总燃气销售量}}{\text{系统总长度}}$$

管道长度的增加是管网改造的主要成本之一,只有用管线总长度最小的管网销售最大的用气量,才能得到最高的系统利用效率。北京市天然气用量近年来增长很大,负荷的增加与管网建设存在一定关联,通过对1995年—2008年间北京市天然气管线长度与天然气消费量的变化进行分析,得出如下的回归方程:

$$\hat{y} = 2\,053.0 + 148.5x$$

式中 $\hat{y}$ ——燃气管道长度,km;

x ——燃气消费量,亿 m^3 。

回归系数 $b=148.5$,其意义是若当年增加1亿 m^3 的天然气销售量,需要增加建设148km 管线。北京市平均每建设1km 管线的费用约为160万元,那么每增加1亿 m^3 的天然气销售量则需要管线投资2.4亿元。

我国1986年—1998年城市燃气管道长度与销售量回归方程^[1]为:

$$\hat{y} = 19\,000 + 162.5x$$

回归系数 $b=162.5$,其意义是若当年增加1亿 m^3 的天然气销售量,需要增加建设162.5km 管线。从计算结果可知,北京天然气管网系统利用率高于全国平均水平。其主要原因应是北京天然气发展早于全国,目前已具有了相当的规模。

4 结语

提高现有管网输送能力是城市天然气管网亟待解决的问题,由北京天然气管网分析可知,提高管网运行压力、增加供气点和适当地增加连通线是提高天然气管网输送能力的有效方法,但在管网改造实际工程中,具体采取何种方法要根据管网规划负荷、路由情况、经济承受能力等综合因素分析确定。

参考文献

- 1 李猷嘉.燃气输配系统的设计与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- 2 (德)R·埃贝哈德,R·许宁(著),赖敬文(译).燃气供应技术手册—燃气输配[M].成都:四川石油管理局勘察设计研究院,1992.
- 3 严铭卿,宓亢琪,黎光华,等.天然气输配技术[M].北京:化学工业出版社,2006.
- 4 王辉.我国城市天然气管道事故统计及分析[J].安全健康和环境,2008(8).
- 5 Gerry Ferris, Jordan Severin. Pipeline Integrity Risk Assessment and Management[EB/OL]. <http://www.bgcengineering.info/>, 2007.

·····