

管网仿真技术在燃气输配中的应用

□ 北京市燃气集团有限责任公司 (100035) 李瑜仙

摘 要: 随着天然气市场国际购销化局势的加剧, 常规气源和非常规气源的混合供应时代来临。管网规模不断扩充、用户种类日趋繁多、燃气负荷不断飙升, 管网安全运营和优化运营已成为城市燃气企业面临的关键问题。管网仿真为管网规划、调度运营未来可能面临的问题提供了技术支持和解决方案。本文以北京为例, 介绍了燃气市场的供应形势和特点, 阐述了管网仿真技术在多元化供应中气源追踪、组分追踪的实际应用; 阐述了在管网分区中“子网”布局、工况模拟、管网改造等方面的实际应用, 旨在探讨管网仿真技术在智能燃气时代的引领作用, 为城市燃气企业管理人员、技术人员提供解决实际问题的技术手段。

关键词: 城市燃气 多元化 管网仿真 水力计算 调度管理

1 概述

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高, 天然气等清洁能源已成为人民生活中不可或缺的一部分。北京作为中国面向世界的窗口, 从绿色奥运到蓝天工程, 北京市加大了能源清洁转型步伐, 压减燃煤、锅炉煤改气、重工业搬迁等重大举措逐步取得成效, 天然气需求量也逐年攀升, 年平均增长率达17%, 2013年北京市天然气年消耗量达约100亿 m^3 (见图1), 相当于天津、上海的总和, 占全国天然气消费量的5.4%。据初步预测, 2015年北京市年用气量将达180亿 m^3 , 在能源结构中的比例将从13.1%提升到20%以上^[1], 高峰日用气量将超过1亿 m^3 ; 到2020年, 年用气量将达到280亿 m^3 , 高峰日用气量将达到2亿 m^3 。

伴随着需求量的节节攀升, 北京市天然气供应规模逐步扩充, 用户数量和管网里程也同步增加。2013年, 北京市天然气用户数量达488万户 (见图2), 占全国天然气用户的6.5%; 天然气管线1.54万km (见图3),

相当于绕北京六环路80圈, 管网长度在国内城市管网中位于前列。

北京运营着全国压力级制最多、管网长度最长的燃气管网, 为了有效降低供销差率、向管理要效益, 2013年北京采用分区计量管理的方式实现了部分区域的独立计量和分区管理, 2014年将全面实现管网分区计量管理。管网分区计量管理打破了“一张网”的



图1 北京燃气历年天然气消耗量



图2 北京燃气用户数量

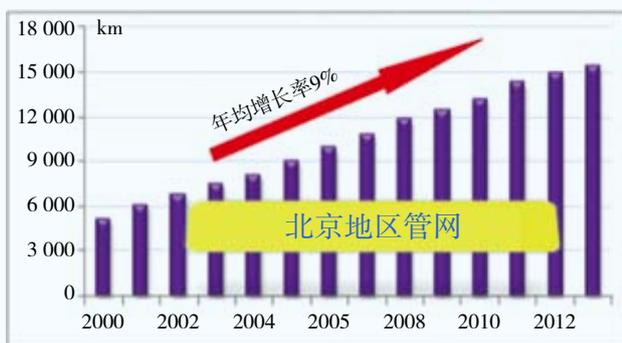


图3 北京燃气管网里程数

供应格局，管网调度管理由“大气候”转向“小工况”，需求侧也从“大盘子”转为“小计划”。

在当前大气量、大管网、多气源、多分区的复杂供应格局下，在安全性要求不容置疑的供应形势下，管网调度管理面临前所未有的挑战，管网工况分析、气量调配等技术手段和管理方法已提上日程。

2 管网仿真技术介绍

管网仿真就是模拟管网运行状况，包括压力、流量、温度等参数的变化以及对气源分布、气质组分追踪、管存变化分析等。北京燃气管网仿真系统于2003年建成并投入使用，经过10多年的开发应用，气源追踪、组分跟踪、管网超压（欠压）分析、管存及存活时间分析、压力（流量）分布等功能对实际生产起到了较好的技术支持作用。

2.1 气源追踪

实时动态监测不同的气源在管网内的分布及流向，随时掌控管网内各气源分布情况，密切关注混气区

的变化以及其压力、气质状况。由于管网中的“压力零点”（压力低点）往往发生在两个气源的交界面附近，通过气源追踪可实时关注压力零点的“漂移”情况，确保“压力零点”的运行风险处于可控状态。见图4。



图4 气源追踪示例

注：图中，不同的颜色代表不同的气源来向，灰色代表两个气源的混气区。

2.2 气质组分追踪

通过从气源点色谱仪获取的组分信息，实时动态跟踪和分析管网中某些敏感或重要站点的组分、气质变化（见图5），了解某些组分在一定条件下可能造成天然气析出或冻堵现象，提前预判并做好防范措施。



图5 组分追踪示例

2.3 管网超压、欠压分析

分析各个节点的压力情况，通过对管网中超压或欠压的管线进行彩色化定位，实现对管网中压力异常区域的全天候监控，时刻提醒管理人员管网的运行状态，确保各类运行风险在可控范围内，见图6。图6（a）中红色区域表示管网压力低于0.65MPa的区域；图6（b）为调压站的进口压力情况，管理人员根据压力变化及时采取措施确保管网处于平衡状态。



图6（a）管网欠压区域分析

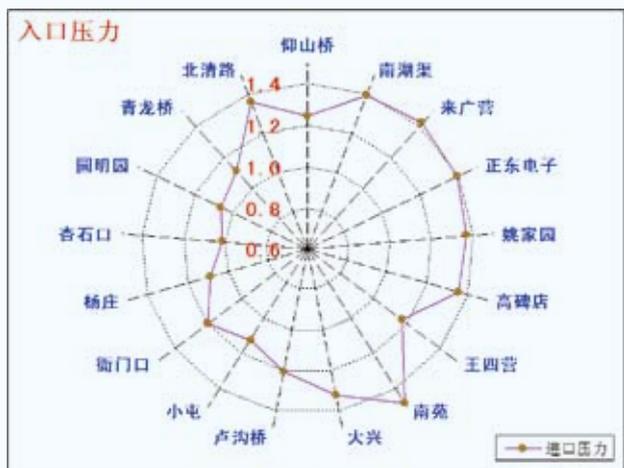


图6（b）某一压力级制管网压力分布情况

2.4 管网储气能力及存活时间分析

实时掌握管网管存量，根据下游负荷情况，分析

管存的存活时间。图7展示了在冬季高峰时段，北京燃气供应系统管存参与“削峰填谷”所起到的作用，可以看出目前北京燃气供应系统管存达710万 m^3 左右，但有效可用管存仅220万 m^3 左右。

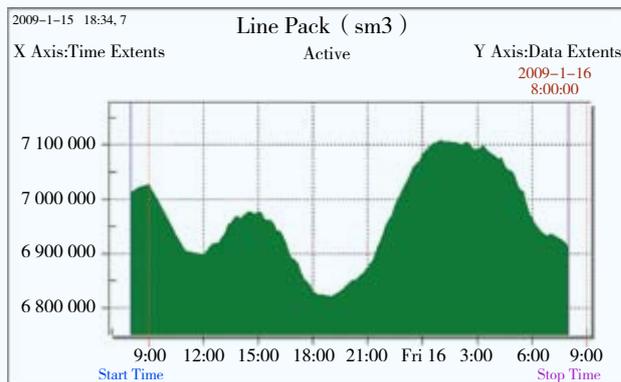


图7 管网管存变化图

3 管网仿真在多元化供应格局中的作用

3.1 北京燃气系统呈现多元化供应格局

随着北京市燃气需求量的逐年递增，国际购销一体化局势的加剧^[2]、供应渠道不断拓宽，上游长输管网和中游城市门站配套设施逐步完善，无论是气源种类还是供应渠道均呈现多元化供应趋势。

3.1.1 气源种类“多源化”

北京市天然气气源从1997年的陕甘宁气田、2009年的进口中亚气、2013年的进口LNG（曹妃甸）到内蒙古克什克腾旗（大唐国际）清洁煤制气进京，北京燃气16年间从单一气源天然气供应发展到天然气、煤制气、LNG的多气源供应，开辟了常规天然气与非常规天然气混合供应的新时代，这在国内和国际上实属首例，真正实现了气源多元化供应格局。以2013年~2014年北京市用气高峰日为例，上游陕京系统供应量11 206万 m^3/d ，北京市获取资源比例约50%，见图8。

气源种类不同，则气质组分不同。首先，常规天然气与清洁煤制气组分不同。一般情况下，常规天然气组分中不含氢和氧两种组分，而煤制气含一定比例的氢组分和微量的氧组分，如果氢组分比例波动较大，则燃气热值和华白数波动范围较大。其次，国产气和进口气（以及进口LNG）甲烷含量差别较大，热值和华白数差别较大，详见表1。

表2 上游各条供气通道相关供气参数

名称	投产时间	管径	压力等级	年输气量	日供应能力
		mm	MPa	亿m ³	万m ³
陕京一线	1997	660	6.4	30	850
陕京二线	2005	1 016	10	170	4 800
陕京三线	2010	1 016	10	150	4 300
陕京四线	待定	1 016	10	245	7 000
大唐煤制气	2013	1 016	10	40 (2016年)	1 200
唐山LNG外输线	2013	1 016	10	90	2 400

3.1.3 接收体系“多级化”

2015年城市燃气管网接收体系将形成“三种气源、六条通道（已实现五条）、两大环线、九座门站（已建成八座）、六种级制”的多源、多向、多级燃气供应格局（见图10），年接收能力超过200亿m³，门站日接收总能力达到2.4亿m³。市内管网“五环六级七辐射”的配气体系已初步建成，2013年底天然气总接收能力达到1 085万m³/h，有效地保证了四大热电中心煤改气、城区无煤化、农村地区“减煤换煤”等重点大气污染治理项目的开展。



图10 北京燃气接收体系示意图

3.2 多功能追踪确保用户安全用气

在有效地保障天然气供应的同时，天然气多元化供应格局也为管网运行、客户安全用气带了新的课题。目前各类市政燃气均符合GB17820-2012《天然

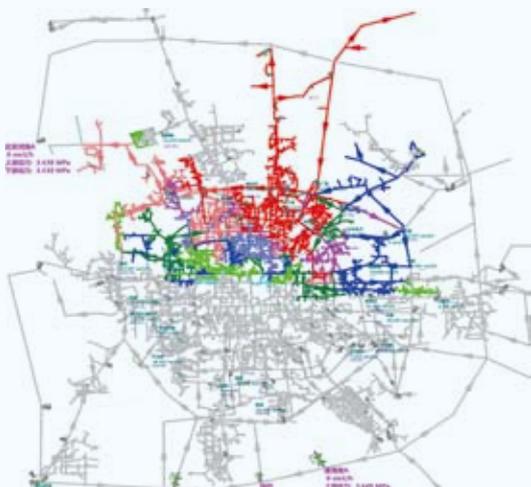
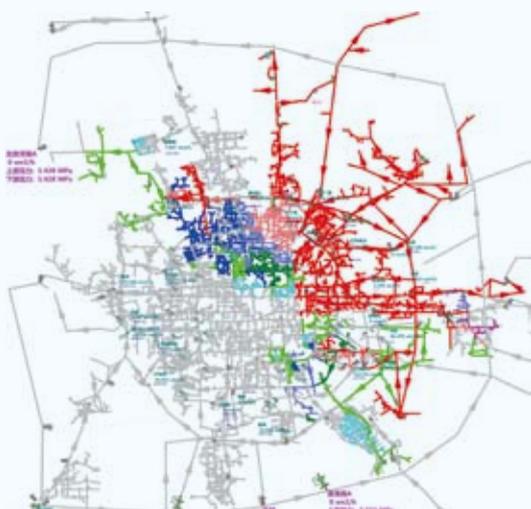
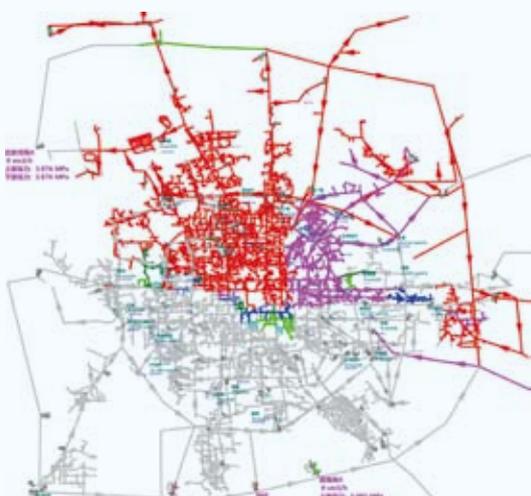
气》中所规定的[二]类及以上天然气质量，但组分不同或者组分含量变化引起热值、华白数变化，对用户燃烧器具会造成一定程度的影响，而燃气热电联产机组、燃气锅炉、CNG汽车等用户的燃烧系统是按照常规天然气组分设计，并未充分考虑其它组分（譬如O₂、H₂等）对设备的影响。因此，城市燃气运营企业亟待解决不同燃气组分在管道中的动态精准定位，并实时提供预警这一课题，确保用户安全用气、提高用户服务水平。本文以大唐煤制气为例，详细说明管网仿真技术在气源追踪、组分定位等方面的应用。

3.2.1 气源追踪，掌握气源分布范围

大唐煤制气专线供应北京市北石槽门站，进入六环管线与天然气掺混后向下游用户供气，目前主要供应北京市北部地区，根据“十二五”规划，北京市将在北六环地区新建产业园区以及大型用气项目：如未来科技城、怀密线、海淀新城等^[4]，届时大唐煤制气供应范围内的大用户数量将大幅度提升。

由于城市管网下游用户用气的不均匀性，煤制气和天然气掺混后在管网内不同地点、不同时刻的掺混比例动态变化，只有动态跟踪管网中关键节点的混气比例才能实时预警，做到提前预判。本文以2013年冬季为例（煤制气日供应量380万m³）具体说明煤制气在管网中的覆盖范围和用气量之间的关系，图11展示了不同用气负荷下，煤制气在管网中的分布范围（图中彩色部分为煤制气分布区域，灰色部分为天然气分布区）。

由图11可以看出：一是煤制气在管网中的分布范围是动态变化的，随着用户用气负荷的变化而变化；二是用户用气量越小，煤制气的分布范围越大。按照以往运行经验，每年的4月和10月大部分电厂停气检

图11(a) 日用气量4 000万m³图11(b) 日用气量3 000万m³图11(c) 日用气量1 000万m³

修,城市用户日用气量一般维持在550万m³左右,整个燃气管网进入用气低峰期,届时如果煤制气仍以400万m³/d的能力供应北京,煤制气将覆盖整个北京燃气管网,走入千家万户。

3.2.2 组分预警,确保用户安全用气

目前北京只有城市门站安装气相色谱仪,用来检测天然气的气质、组分,不同气质的气源从7个主要门站进入管网后自行混合,供应到用户端时燃气组分与门站监测到的组分已有所不同,尤其是部分敏感组分(譬如H组分)的含量以及波动情况一定程度上会对用户产生影响。另外,燃气调压器在冬季运行时受压差大小和环境温度影响,容易出现天然气析出或冻堵现象。因此,实时动态跟踪某些敏感或重要站点的组分、气质变化,提前做好预判和防范措施、确保管网用户安全显得非常必要和迫切。

本文以北京燃气为例,详细说明组分追踪在生产调度中的应用。首先,根据门站色谱仪确定各气源的组分。譬如大唐煤制气进气点(北石槽门站)的组分:甲烷C1含量93%、乙烷C2含量2%、H组分含量5%;陕京系统进气点(阎村门站)的组分:甲烷C1含量98%、乙烷C2含量2%、H组分含量0%(以上数据不代表真实情况,为了更清楚显示追踪效果而假定)。利用管网仿真系统中的组分追踪模拟以上两个气源在管网中的分布以及随着下游负荷的波动不同地点燃气组分的变化。图12列举了北京燃气供应系统不同进气点气质追踪情况。

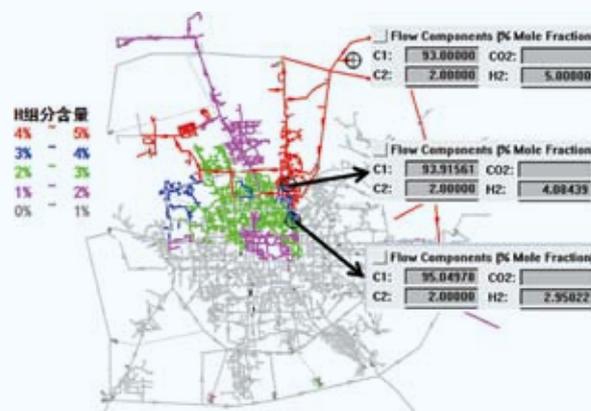


图12 组分追踪示意图

组分追踪有两个基本功能:一是彩色化显示不同

组分的分布范围。图12中，不同颜色代表不同含量H组分的分布区域，譬如红色和蓝色区域代表H含量超过了3%，而太阳宫电厂位于本区域中，如果燃机要求H组分不超过3%，则可提前为燃气供应提供预警和预判，提前采取有效措施。二是随时查询任意地点的燃气组分。实际生产中，可锁定某一敏感节点，实时动态观测其H组分含量，一旦超过报警线，立即启动相应预案。除了追踪H等特殊组分，管网仿真系统同样可以追踪微量水、重烃等组分，根据这些组分的变化预测局部地区出现冻堵、析烃的可能性，提前做出预判，为生产服务。

4 仿真模拟在管网分区管理的应用

2012年北京燃气充分调研了国内各大燃气企业在管网分区计量方面的运营经验和取得的成效，梳理了北京市燃气管网进行分区计量管理的可行性和必要性，编制并实施了《燃气管网分区计量管理方案》。分区计量管理将原来“一张大网”的运行模式打破，改为分区域分小网运行，各个“子网”从“母网”购入燃气，经输配将燃气运送至终端用户。如何将“母网”物理分割成多个“子网”、分区后的“子网”

能否安全稳定运营、工况是否优化合理等众多问题成为分区管理能否成功的关键。而管网工况仿真模拟技术在解决上述问题的过程中起到了强有力的技术支持作用。

结合北京燃气的管理现状，将城区次高压A以下“母网”分为五个二级“子网”，分别由五个分公司独立运营（见图12），高压B（含）以上管网仍为环状管网，由集团统一调度运营。本文以一分公司引入气源为例详细说明管网工况仿真技术在分区管理工作中的应用。

4.1 一分公司引入气源分析

一分公司管辖区域基本位于北京市二环以内，以中低压管线为主，需要从周边选出几个次高压A调压站作为一分公司的气源。

首先，对一分公司内的燃气负荷进行核算。一分公司现状用户约30万户，其中家庭29.6万户、公服3 653个、采暖761个、生产5个。参考高峰小时流量计算公式^[5]，依据实际生产经验，月不均系数 K_m 取值2.75，日不均系数 K_d 取值1.06，时不均系数 K_h 取值1.16，测算到2015年一分公司辖区内高峰小时流量约15万 m^3 。

其次，制定气源引入方案。经过负荷测算，在三环不同方向选择4座次高压站及中压出线，作为供应一分公司的气源点。选择气源点需要满足以下几个条件：a.现状负荷率比较低；b.中压出线管径满足要求；c.中压出线沿线用气负荷点少，可以进行用户划转。经过筛选，初步选定香格里拉、左热、老虎洞、玉林4个次高压A站作为气源引入点（见图14）。

4.2 管网水力工况校核

确定一分公司的气源点以及所带支状用户后，将一分公司所辖中低压管网从燃气管网中物理分割，对剩余管网进行工况水力校核。

4.2.1 仿真模拟边界条件

管网仿真模拟前有两个必备条件：管网负荷与边界条件设定。

（1）管网负荷。本文取冬季

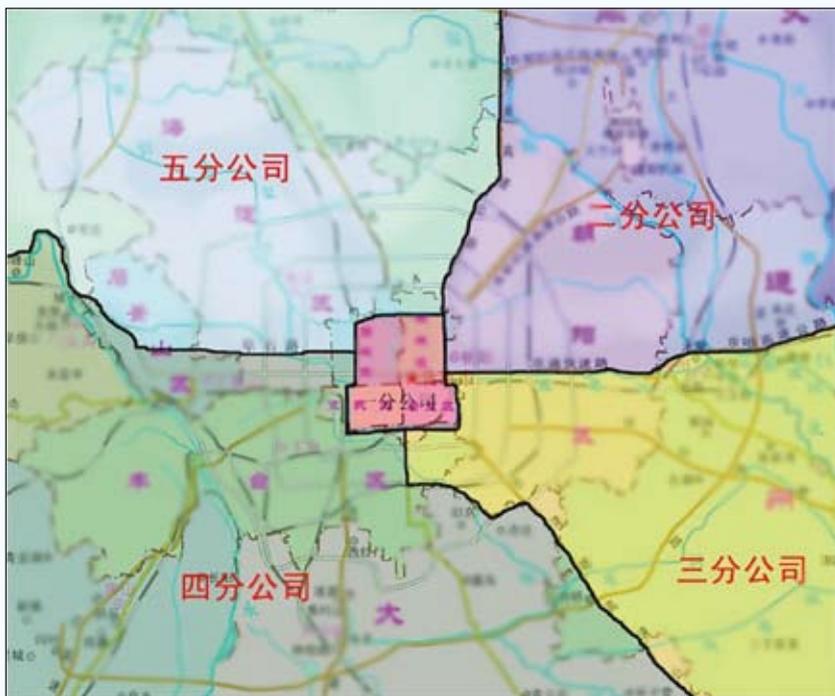


图13 北京燃气各分公司管辖区域示意图



图14 一分公司气源引入点示意图

高峰时段: 高峰日用气量8 085万 m^3 、高峰小时400万 m^3 (考虑了高井电厂、63台锅炉煤改气以及CNG加气站等增量);

(2) 边界条件。关断各区域分公司分界阀门, 形成4个封闭网络; 同时开启西沙屯门站、北石槽门站、瀛海高A站、北小营高B站、望京高B站、双热高B站等。

4.2.2 仿真模拟结果及建议

管网仿真系统以图文并茂的形式展现工况模拟结果, 通过分析运行参数, 可对出现的相关问题提出整改措施和建议。

(1) 北三环次高压A管网出现低压区

二分公司——五分公司交界处和平街区域次高压管网最低压力0.49MPa, 比正常运行压力0.75MPa低0.26MPa。建议解决措施: a.京昌线压力提高至2.5MPa, 将对管线及阀门的密封性是一个严峻考验, 升压后和平街地区压力提升至0.65MPa, 详见图15。b.建设京包线DN700高B管线, 与五环高B管网连接, 分输京昌高B线输送压力。

(2) 部分中低管网出现低压区

分区阀门关断后, 以百万庄至花园村为例, 气源减少, 压力最低至0.056MPa, 较正常运行压力0.075MPa低0.02MPa, 见图16。建议解决措施: 提高西八里庄次高压站箱出口压力至0.12MPa, 可解决此区域压力偏低问题。

(3) 部分区域气源站点超设计运行

二分公司内现有高B气源站点几乎满负荷运行, 正东电子高B站超设计负荷运行, 见图17。建议解决措施: a.完成望京高B站的建设和投运; b.扩建正东电子高B站, 规模扩至15万 m^3/h ; c.改造机场路次高压管线的管径至DN500, 提高望京、金盏两座高B站向城区的配送能力, 缓解本地区其它高B站的配送压力。

通过管网工况仿真模拟计算, 预估管网分区管理后“子网”中可能存在的工况安全隐患, 及时做好工况调整方案或者整改措施, 将安全隐患消灭与萌芽状



图15 北三环次高压A存在低压区



图16 低压管网低压区分布地区 (绿色)

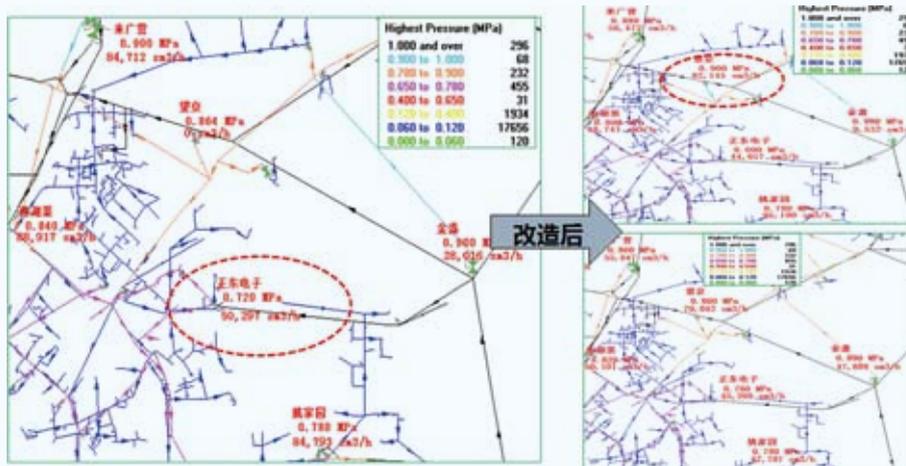


图17 二分公司辖区内高B站点工况优化

态, 确保冬季高峰供应时段的安全稳定供应。

5 结论

管网仿真模拟技术已成为当今大型城市复杂燃气供应系统中必不可少的技术手段, 北京燃气的管网仿真技术已走在国内前列, 但由于受管网监控安装数量的影响, 目前只能为调度运行提供依据和参考。随着智能化燃气管网的发展、管网监控覆盖率的进一步提高, 仿真系统将在泄露实时预警、工况自行调配、工况实时预测等方面发挥更大的作用, 成为实际调度运行的依据, 成为调度人员必备的上岗技能, 并在未来多变的供应形势下发挥更加重要的作用。

参考文献

- 1 中国节能在线. 北京“十二五”末天然气用量翻番. <http://www.cecol.com.cn/a/20120223/328154571.html>, 2012-02-23
- 2 李瑜仙, 关鸿鹏, 赵燕. 加强需求侧管理提高燃气负荷预测水平[J]. 天然气与石油, 2013; 31(3): 14-16
- 3 中国电力新闻网. 大唐克旗煤制气或月中进京 六大输气管网成型 http://www.cpnn.com.cn/zdyw/201312/t20131203_635480.html. 2013-12-03
- 4 北京市改革和发展委员会网. 北京市“十二五”市级综合专项规划, <http://www.bjpc.gov.cn/125ghg/xgzl/zxgh.html>
- 5 袁宗明. 城市配气. 北京: 石油工业出版社, 2004: 12