

China Journal of Enterprise
Operations Research

中国企业运筹学

2011 (1)

中国运筹学会 主编
企业运筹学分会



电子工业出版社

中国企业运筹学

2011 (1)

中国运筹学会 主编
企业运筹学分会

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国企业运筹学 2011 (1) / 中国运筹学会 企业运筹学分会 主编.
—成都: 电子科技大学出版社, 2011. 5

ISBN 978-7-5647-0806-1

I. ①中… II. ①中… III. ①运筹学—应用—企业管理—中国—文集 IV. ①F279.23-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 060486 号

中国企业运筹学

中国运筹学会
企业运筹学分会 主编

出版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策划编辑: 谢应成
责任编辑: 谢应成
主页: www.uestcp.com.cn
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
发行: 新华书店经销
印刷: 成都市火炬印务有限公司
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 9.75 字数 322 千字
版次: 2011 年 5 月第一版
印次: 2011 年 5 月第一次印刷
书号: ISBN 978-7-5647-0806-1
定价: 50.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

目 录

管 理 科 学

线性规划在长庆油田集输系统中的应用研究.....	孙静春 赵庆宁 李双杰 (1)
成组批量生产计划问题的改进蚁群算法求解.....	李英俊 陈志祥 (14)
灾后重建就业系统结构模型及运行模式 ——以四川为例.....	方 茜 (21)
多产出下的随机生产前沿与典型技术效率*	葛 虹 黄 祎 逢守艳 (27)
后发企业的国际化优势构建研究: 以海尔为例.....	卢 锐 王 军 (33)
创新型企业创新能力和创新潜力评估研究.....	王 恰 崔晋川 (39)
基于经济学分析的北京市职业安全与防范研究.....	李 军 (48)
中国煤炭企业效率评价 ——基于超效率 DEA 和 Malmquist 指数	张 华 吕 涛 (54)
企业 ERP 业务流程绩效评估	何娟娟 梅洪常 (60)

工 业 工 程

多周期多设备公用工程系统的混合整数优化算法及应用	冯铁军 霍兆义 尹洪超 (66)
有尺寸的单机分批排序问题的近似算法.....	吴翠连 (75)
成都地铁 1 号线对城市通勤者出行方式影响研究.....	孔 萍 李淑朋 李 军 (81)
基于 QFD 的航空旅客需求重要度确定方法.....	韩明亮 李豫川 (87)
基于 AHP 的 GRAP 在航材承修商评价中的应用	韩明亮 王 珺 (93)
基于模糊综合评价的航空公司改善航班延误程度的研究.....	韩明亮 王青勇 (98)
民用汽车拥有量的预测模型 ——基于重庆市民用汽车拥有量的实证分析	陈志光 梅洪常 (105)
The development of SME industrial Cluster of China.....	Qiao Lu (113)
基于混合集合规划的大规模生产排程算法的研究.....	杨 龙 梅 军 刘茂辉 (118)

投融资理论

基于 DEA 方法的我国高科技中小企业融资效率研究.....	赵 敏 刘 萍 施爱萍 (126)
证券投资分析的聚类分析方法.....	陈国华 廖小莲 夏 君 (134)
国有商业银行信贷风险成因及规避对策.....	杨 倩 梅洪常 (140)
逃汇与资本管制的博弈分析.....	滑 青 陈 科 应益荣 (148)

管 理 科 学

线性规划在长庆油田集输系统中的应用研究

孙静春¹ 赵庆宁^{1,2} 李双杰¹

(1. 西安交通大学管理学院 陕西 西安 710049;

2. 长庆油田公司规划计划处 陕西 西安 710018)

摘 要: 长庆油田是我国第二大陆上油田,随着其原油产量的急剧增加,现有的集输系统能否完成输送任务成为关键问题。本文运用运筹学中的线性规划方法分别建立了集输系统的最大流模型及最小成本最大流模型,对油田原油外输能力进行了优化分析,结果表明现有系统外输能力可以完成 2010 年的任务,但难以满足 2015 年的计划目标;建议根据模型结果对超负荷运行的管线和站点进行扩建,提升这些瓶颈的输送能力。

关键词: 线性规划;集输系统;长庆油田

0 引言

我国的石油储量地理分布决定了“西油东送”的能源格局,也决定了长庆油田毋庸置疑的战略地位及其对区域经济的辐射和带动作用。2009 年长庆油田油气当量超过 3000 万吨,一跃成为仅次于大庆油田的第二大陆上油气田。国务院在当年做了重要批示,长庆油田 5000 万吨油气当量发展目标是关系中国能源格局的大事。根据该目标,2015 年原油产量要达到 5000 万吨。这一输送任务对目前的长庆油田原油集输系统是一个巨大的挑战。因此,为实现长庆油田的发展目标,对现有集输系统的输送能力进行研究具有非常重要的现实意义。

国内外有许多学者对原油运输进行了研究。从研究对象上看,李庆元^[5]等(2008)借鉴供应商管理库存理论,提出新模式下油料物流配送模型,给出库存补给和动态管理一体化解决方案,比较适合于较大规模物流配送问题;高骛^[6]等(2008)则采用约束规划方法对原油调度系统模型进行描述和求解,可以较好地应用于调度过程中的非线性指标控制;王立贵^[4]等(2008)针对单管道多品油顺序调度构建了连续时间 MLP 模型,适用于有限资源约束下单管道调动。上述的研究主要是针对油轮运输、单管道多品油运输等特定对象,与本文研究的陆地多管道原油调运网络在结构和方式上有较大差别,所以上述文献中的方法并不适用本文研究。

在研究方法上,李淑萍^[7](2009)则利用图论和网络规划的理论研究海底输送系统,建立了网络最小费用流问题的非线性规划模型并将非线性费用函数线性化处理。Maryam Hamed^[8]等(2009)为使运输和分配总成本最小,构造了一个单目标、六阶段、单产品混合整数规划模型,提出使用分阶段最优求解的层次性算法。Winston Lasschuit^[9]等(2004)利用供应链管理思想,解决了供应链价值曲线和供应链集成规划的问题,有助于改善石油运输中的供应链调度和规划决策。而本文研究问题侧重集输系统的输油能力,以及各管线、节点的负荷程度,这与上述研究的目标有差异。所以其研究方法也不适用于本研究。

长庆油田集输系统涉及中国西部多个省份,范围较广。它包括内外部十多家炼厂、内部的三个输油处和油气销售处、八个采油厂,以及不同层次的管线。采油厂采集的原油由输油处经管线运输到出口站,然后再由油气销售处通过管线、铁路和汽车等运送到炼厂。目前集输系统采用“生产运行处→输油处→采油厂”的三级调度管理体制,在生产管理过程中出现了上下级之间的信息不对称,生产调度缺乏科学的机制,使现有集输系统未能发挥出潜力。

长庆油田为满足日益增长的原油输送需求,主要面临以下几个问题:一是现有集输系统的最大输油能力是

作者简介:孙静春(1966-),男,河北唐山人,副教授,主要研究方向:运筹学、产业经济学;赵庆宁(1975-),男,甘肃宁县人,工程师,主要研究方向:油气生产计划管理;李双杰(1987-),男,河南漯河人,硕士研究生,主要研究方向:运筹学

多少？二是如何以最小成本来满足对原油的输送计划需求？三是提升现有集输系统输送能力的瓶颈在哪里？而现有研究在对象特征、问题特征都与本文研究不符，虽对本研究有一定的参考价值，不适合完全采纳。

1 变量与模型

本文研究问题属于陆地上多管道原油的计划输送能力规划问题，关注如何提高系统的最大输油能力，在实现计划的前提下才考虑运输成本。本文将采用线性规划模型分别建立最大流模型和最小费用最大流模型来研究原油资源配置的最佳平衡方式，确定现有管道系统的最大输油能力、最经济运输方式和应急情况下的最大调整空间，并对现有集输系统能否胜任 2015 年的 2500 万吨输油能力进行评估。在此基础上对集输系统提出科学的统筹规划方案，并为企业制定相关的战略规划提供理论支撑。

1.1 集输系统的特征与模型假设

为简化问题，本文只对集输系统运量有较大影响的主管线进行研究，忽略流量较小数目众多的支线管线对整个集输系统运量的影响。为此，我们以集输系统 76 条输油线路和 52 个输油站（含炼厂）为对象建立集输系统的网络拓扑结构图。如附图 1 所示，该图有 52 个节点和 76 条有向边。52 个节点可分为四类，由附表 4 可知，初始节点 6 个，负责从采油厂收油并向中间节点输油；中间节点 29 个，负责从上一个节点收油并输送到下一个节点；出口站节点 4 个，负责从中间节点收油并向各炼油厂输油；由附表 2 可知炼厂节点 13 个，负责从出口站收油。76 条有向边按输送类型可分为三类：管道（最主要的输送类型）、铁路和公路，出口站节点到炼厂节点既有管道也有铁路和公路，其他站点间全是管道。初始节点、中间节点和出口站节点均为系统内节点，连接它们的管道也是系统内的边，它们属于长庆公司控制，而炼厂节点和连接出口站到炼厂的边均是系统外的，不属长庆公司调节控制，故本文研究主要针对系统内部的节点和边，而系统外部分作为外部约束条件。

由附图 1 可以看出该问题属于网络流问题，可以采用线性规划的方法建立模型求解，但与传统的网络图相比，本文所研究的集输系统的网络图具有以下几个特点：

（1）节点之间连接边数可能大于 1；

（2）节点有四类，不同类型节点间有不同的变量属性：收油量、出油量和插输量，节点的收油量与出油量不一定相等；

（3）有向边也有三种类型，不同类型的边变量属性也不同：输油量、边长、单位成本。

节点和边的约束构成线性规划模型的约束条件，目标函数为最大流或者最小成本最大流，由于处理的问题规模较大，采用传统的线性规划求解方法如单纯形法等难以处理，因此我们利用处理大规模数据的 Premium Solver 软件来求解线性规划模型。

根据以上特点对模型的假设如下：

（1）鉴于长庆油田采油总量逐年上升但每年原油产量指标具有稳定性，原油集输系统具有良好的密闭性和长期持续运作的能力，可单独以月为时间跨度构建模型进行分析。在月度的计算跨度内，集输系统内管道流向保持不变。

（2）原油集输系统内部采油点到出口站间完全采用管道运输，忽略汽车调运的影响；出口站到炼油厂间根据实际情况选择管道、铁路或汽车运输，并考虑不同运输模式单位运输成本的差异。

（3）鉴于管道集输系统的密封性，忽略气候、地质等因素在模型中的具体影响，可将这些因素的影响集中体现在其对管道最大最小运输能力的限制上。

（4）集输系统中各管道可以正常安全运行，管道破裂、炼厂检修等突发事件作为特例在基础模型中不予以考虑。

（5）因为长庆油田原油储罐容积相对很小且已处于高位，忽略储罐等库存等集输系统原油调度的影响。

（6）长庆油田主要负责采油，在基础模型中不考虑市场油价、季节需求波动性等市场因素的影响。

（7）以输油管道和站点历史的最大值和最小值作为其输油能力的上下限，同时考虑采用加压、升温和其

他技术手段的影响,对上下限分别给定扩展系数,以上下限和其扩展系数的乘积作为实际的上下限约束。

1.2 线性规划模型

模型使用的主要变量见附表 1。根据长庆油田的政策规划等实际情况,集输系统的优化目的可分为两个目标:

(1) 集输系统的月最大输油能力

$$\text{Max} \quad TQ = \sum_{i=h_{3l}}^{h_{3u}} (I_{3i} - O_{3i})$$

(2) 在满足输送要求下的月最小输送成本

$$\text{Min} \quad TC = \sum_{i=\gamma_{0l}}^{\gamma_{0u}} PL_i C_i$$

模型的约束条件分为两类:

1) 边约束: 管线实际运输能力要满足其可控运力的限制,故结构图中边的上下限约束 $K_{0li} B_{oli} \leq P_i \leq K_{0ui} B_{oui}, \gamma_{0l} \leq i \leq \gamma_{0u}$

2) 节点约束

对于所有类型的节点均有三个属性,即入流量、出流量和插输量,计算公式为

$$\text{入流量: } I_{si} = \begin{cases} O_{si}, h_{0l} \leq i \leq h_{0u} \\ \sum_{j=\gamma_{1l}}^{\gamma_{1u}} P_{(j,i)}, h_{1l} \leq i \leq h_{3u} \end{cases}; \text{出流量: } O_{si} = \sum_{j=\gamma_{1l}}^{\gamma_{1u}} P_{(i,j)}, \gamma_{1l} \leq i \leq \gamma_{1u}$$

以上两式中 $s \in \{0, 1, 2, 3\}; P_{(i,j)} = \sum_{t=\gamma_{0l}}^{\gamma_{0u}} P_t \lambda_{(t,i)} \lambda_{(t,j)} R_{(i,j)}$, $P_{(i,j)}$ 中的下标 (i,j) 表示节点下标; $\lambda_{(t,i)}$ 中的下标 (t,i) 表示

边与节点对应关系。

插输量:

$$Q_i = O_{li} - I_{li}, \delta_l \leq i \leq \delta_u;$$

节点的这三个指标约束条件为

若 $s=0$ 即为初始节点时有 $B_{li} K_{li} \leq I_{0i} = O_{0i} \leq B_{1ui} K_{1ui}, h_{0l} \leq i \leq h_{0u};$

若 $s=1$ 即为中间节点时有 $B_{li} K_{li} \leq I_{1i} \leq O_{1i} \leq B_{1ui} K_{1ui}; h_{1l} \leq i \leq h_{1u}; B_{2li} \leq Q_i \leq B_{2ui}, \delta_l \leq i \leq \delta_u;$

若 $s=2$ 即为出口站节点时有 $B_{li} K_{li} \leq I_{2i} = O_{2i} \leq B_{1ui} K_{1ui}; h_{2l} \leq i \leq h_{2u};$

若 $s=3$ 即为炼厂节点时有 $B_{li} K_{li} \leq O_{3i} \leq I_{3i} \leq B_{1ui} K_{1ui}, h_{3l} \leq i \leq h_{3u};$

1.3 模型相关参数取值

考虑到长庆油田是上产油田,内部管道网络管道利用率会逐步提高,故将下限调整系数设定为 1,即管道实际输油能力不小于历史下限值;同时,正如在模型假设中提到的一样,管道原油运输存在大量使用减阻剂和加压等增大原油输送能力的情况,经过与长庆油田规划设计部门的核算确认,管道上限调整系数设定为 1.6 较为合适。对于内部管道网络的节点,即站点而言,大多数节点与多个管道相连,且很多具有插输能力,需要具备较强的调整空间和弹性能力,结合实际运行情况,将其下限调整系数设定为 0.4,上限调整系数设定为 1.77。

对于从终端节点向炼厂输油的网络部分,由于长庆油田自身没有控制权限,只能与各炼厂、铁路部门等进行沟通协调,调整能力较弱,故将各炼厂上下限系数等都设定为 1,且终端节点与炼厂间各运输方式的上下限调整系数也设定为 1,也比较符合现实状况。

因为华北石化、荆门石化、石家庄石化以后不再从长庆油田调送原油,所以三个炼厂的上下限调整系数全部设定为 0,以符合现实需要。兰州石化、咸阳石化、宁夏炼化由于中石油政策调整,其实际月度下限约束分别调整为 35、40 和 25,不再受整个网络结构中上下限调整系数的影响。

为了考察系统的运输成本,结合实际情况,本文假设管道、铁路、汽车的单位运量单位距离的输送成本分别为 1 虚拟元、1.7 虚拟元和 2.5 虚拟元。同时用实际流量与其最大值之比即负荷因子来反映管线和站点的实际利用情况。

2 模型求解及结果分析

2.1 模型结算结果

(1) 最大流目标的计算结果

为考察现有集输系统能否完成计划原油输送任务，必须了解现有系统的最大输油能力。为此，我们先取目标函数最大流，同时满足边和节点的约束条件，具体模型为

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & TQ = \sum_{i=h_{3l}}^{h_{3u}} (I_{3i} - O_{3i}) \\ & \begin{cases} K_{0li} B_{0li} \leq P_i \leq K_{0ui} B_{0ui}, \gamma_{0l} \leq i \leq \gamma_{0u} \\ K_{1li} B_{1li} \leq I_{0i} = O_{0i} \leq K_{1ui} B_{1ui}, h_{0l} \leq i \leq h_{0u} \\ K_{1li} B_{1li} \leq I_{1i} \leq O_{0i} \leq K_{1ui} B_{1ui}, h_{1l} \leq i \leq h_{1u} \\ B_{2li} \leq Q_i \leq B_{2ui}, \delta_l \leq i \leq \delta_u \\ K_{1li} B_{1li} \leq I_{2i} = O_{2i} \leq K_{1ui} B_{1ui}, h_{2l} \leq i \leq h_{2u} \\ K_{1li} B_{1li} \leq O_{3i} \leq I_{3i} \leq K_{1ui} B_{1ui}, h_{3l} \leq i \leq h_{3u} \\ I_{si}, O_{si}, Q_i \in R^+, s \in \{0, 1, 2, 3\}, \gamma_{1l} \leq i \leq \gamma_{1u} \end{cases} \end{aligned}$$

系统的月最大输送能力为 173.2 万吨，平均年最大流量为 2078 万吨，运输成本为 103 387.16 虚拟元。由最大流结果可知现有集输系统能够满足 2010 年 1850 万吨的输送要求，但是不能满足 2015 年的 2500 万吨的输送要求。下面针对 2010 年的输送要求，建立最小成本模型求解集输系统如何在完成输送任务情况下实现运输费用最小化。

(2) 最小成本目标的计算结果

在满足年实际外输量不小于年计划外输量 1850 万吨的前提下，寻求实现集输系统整体运输成本最小化的求解方案。为此，将目标函数设为最小成本，同时满足边和节点的约束条件，且年总外输量不小于计划任务，具体数学模型为

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & TC = \sum_{i=\gamma_{0l}}^{\gamma_{0u}} P_i L_i C_i \\ & \begin{cases} TQ = \sum_{i=h_{3l}}^{h_{3u}} (I_{3i} - O_{3i}) \geq TP \\ K_{0li} B_{0li} \leq P_i \leq K_{0ui} B_{0ui}, \gamma_{0l} \leq i \leq \gamma_{0u} \\ K_{1li} B_{1li} \leq I_{0i} = O_{0i} \leq K_{1ui} B_{1ui}, h_{0l} \leq i \leq h_{0u} \\ K_{1li} B_{1li} \leq I_{1i} \leq O_{0i} \leq K_{1ui} B_{1ui}, h_{1l} \leq i \leq h_{1u} \\ B_{2li} \leq Q_i \leq B_{2ui}, \delta_l \leq i \leq \delta_u \\ K_{1li} B_{1li} \leq I_{2i} = O_{2i} \leq K_{1ui} B_{1ui}, h_{2l} \leq i \leq h_{2u} \\ K_{1li} B_{1li} \leq O_{3i} \leq I_{3i} \leq K_{1ui} B_{1ui}, h_{3l} \leq i \leq h_{3u} \\ I_{si}, O_{si}, Q_i \in R^+, s \in \{0, 1, 2, 3\}, \gamma_{1l} \leq i \leq \gamma_{1u} \end{cases} \end{aligned}$$

系统整体运输成本最小为 62 011.76 个虚拟元。集输系统各部分求解情况分析如附表 3 所示。该表中的负荷系数（代表优化结果与上限的比值）可知道管道的实际利用率。可知大部分管道的使用情况都很不理想，一部分需要添加减阻剂等超负荷运行，更多的是实际利用能力不到设计能力的 50%，具体数值如图 1 所示。

上述数据均值为 0.66，标准差为 0.39，说明管道网络建设存在盲目性，缺乏科学规划，导致部分管道运力不足及其他管道资源的浪费。其中，明显超负荷运行的两条管线是“华池站—曲子首站”管线（P19）和“沿河湾输油站—杨山站”管线（P9）；使用率明显偏低的管线主要集中在姬白线（P29、P30）、西马线（P21）、姬马线（P37、P38）和马惠线（P39、P40）等。这些说明集输系统存在结构性制约。

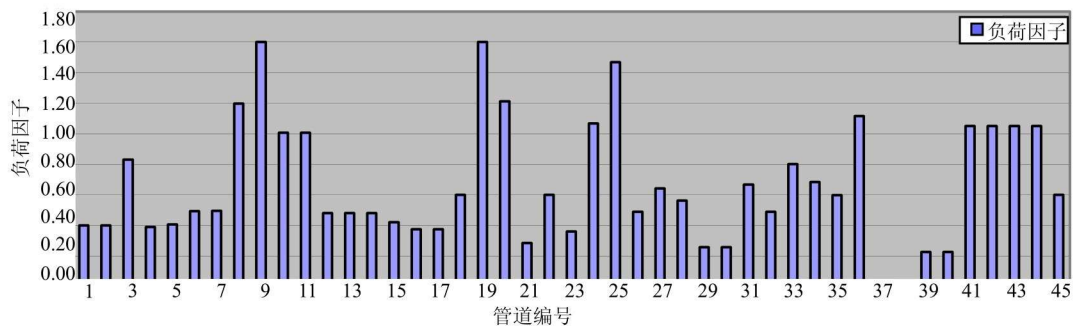


图1 最小成本模型系统内部管道负荷系数分布图

有关内部管道节点的参数及模型计算结果如附表4所示，与内部管道结果类似，内部管道节点负荷系数大于1或者小于0.5的占多数，具体可如图2所示。

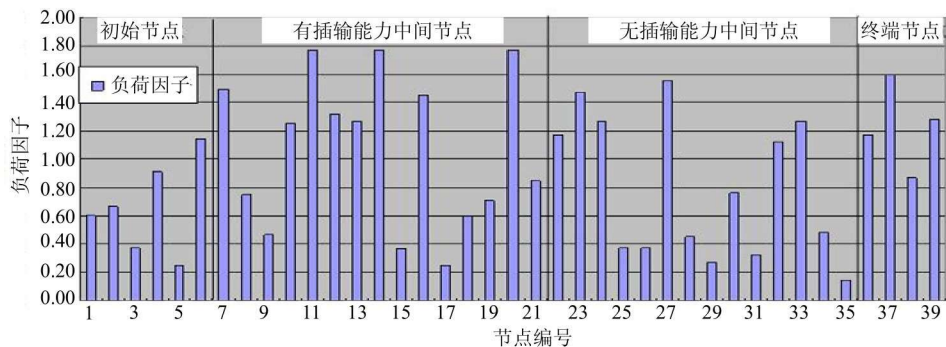


图2 最小成本模型管道节点负荷系数分布图

其均值为0.92，标准差为0.5，与管道部分的负荷系数分布（均值为0.66，标准差为0.39）相比，整体利用率较高，但是标准差更大，通过图表可以发现，管道节点负荷系数的分布变化更大，更多管道节点或者超负荷运行，或者利用率不足，也说明各管道站点的建设缺乏整体考虑，多是单独运作，相互间协调性较差。

2.2 两种目标计算结果的比较

目标函数分别为最大流和最小成本时内部管线的负荷因子分布对比如图3所示。

有多个站点的负荷系数在最小成本模型下与最大流模型下数值不同：P4（王窑站集中处理站—沿河湾输油站）负荷系数后者较前者增加1.2，P5、P6（两条沿河湾输油站—杨山站）负荷系数分别增加1.19、1.11，P18（白豹站—华池站）负荷系数增加1.0，P37（姬一联合站—马坊插输站）负荷系数增加0.76，另外P8（王窑站集中处理站—沿河湾输油站）负荷系数减少0.71，P9（沿河湾输油站—杨山站）负荷系数减少0.99。由于P4、P5、P6、P8、P9均为王窑站集中处理站—沿河湾输油站—杨山站管线，三增二减，这五条管线的变化相互抵消，暂不考虑。P18“吴一联合站—白豹输油站”之间的管线负荷系数由0.6急增至1.6，说明实现最大流的关键在于增加“吴一联合站—白豹输油站”之间的输油能力。此外，对最大流模型而言，负荷系数的均值为0.75，样本总体的标准偏差为0.43，两项指标均比与以最小成本为目标的相应指标大，说明最大流时管线利用率变高，但波动性也随着变大，影响系统运输能力的瓶颈在于其内部的结构性制约。

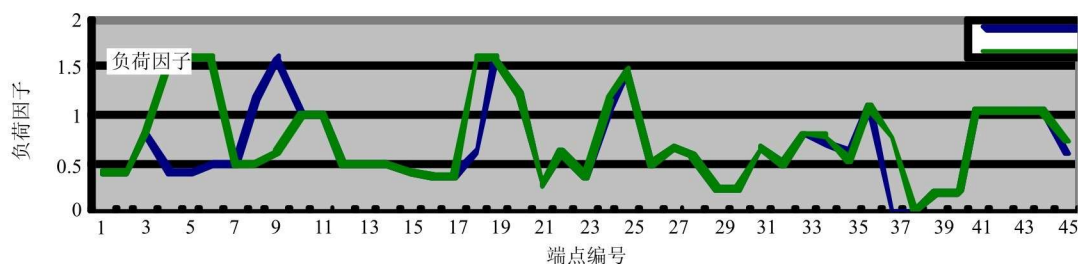


图3 两种情况分析对比图

3 系统瓶颈分析

通过对附表3和附表4中最大流模型是管线和节点的负荷系数可以将管线和节点分为三类：负荷系数在1左右，正常运行；负荷系数小于0.3，未充分利用；负荷系数大于1.4（站点为1.5），超负荷运行。相关指标的分析可得到如下结论：

（1）自身能力有限超负荷运行的管线

1) 靖马线中“白豹站—华池站—曲子首站”之间管线（P18、P19）；

该段管线负荷因子为1.60，分析其原因，曲子首站有两个出油方向，一个是沿西马线南输，一个是沿马惠线北输。“曲子首站—马岭中集站”为 $\Phi 219 \times 5.2$ 管线，“曲子首站—惠安堡站”之间为 $\Phi 323 \times 7$ 管线，能力要比“华池站—曲子首站”的 $\Phi 168.3 \times 5$ 管线高很多。但是由于曲子首站的来油方向只有华池站，因此导致了马惠线、西马线远不能发挥其重要作用。

2) 铁西线中的“铁西首站—吴一联合站”之间的管线（P25）。

该管线负荷因子为1.47，究其原因，主要是下游的“吴一联合站—白豹输油站”之间的管线为 $\Phi 273.1 \times 5.6$ ，铁西线中白豹输油站至下游的管线均为 $\Phi 377 \times 6.4$ ，而“铁西首站—吴一联合站”之间的管线仅为 $\Phi 168.3 \times 5$ ，这样就造成了此管线的负荷因子已达1.47，而下游的管线负荷因子才为0.48和0.64。

3) 安延线中的“王窑站—沿河湾输油站—杨山站”之间的管线（P4、P5、P6）；

这两段管线的负荷因子分别为1.59和1.6，由附图1可以看出沿河湾输油站作为中间节点，上游有三条管线向其供油，下游有三条管线向外输油，上游管线P4负荷因子为1.59，另外两条上游管线P3和P8负荷因子分别为0.83和0.49，下游管线P5和P6负荷因子均为1.60，另外一条下游管线P9负荷因子为0.61，可以分别调整P4的部分输油任务到P3和P8，P5和P6的部分输油任务到P9，使这6条管线的负荷因子均在1左右，避免超负荷运行，经验证调整后最大输油量不变。

（2）结构性制约的管线

1) 西马线的 $\Phi 273 \times 6$ 管道（P21）和马惠线的“曲子首站—木一计量接转站—环北集油站”的管线（P39、P40）；

西马线负荷因子只有0.29，马惠线的“曲子首站—木一计量接转站—环北集油站”的两条管线的负荷因子只有0.23，能力远远没有发挥出来，究其原因，其主要是从曲子首站来油，而曲子站的收油能力受到靖吴华线的制约，导致了曲子站收不到油，向北输马惠线和向南输的西马线的能力均不能得到有效发挥。

2) 姬白线（P29、P30）

姬白线两条管线的负荷因子都只有0.24，其原因主要姬白线虽然为 $\Phi 273 \times 6.4$ 的管线，但姬二联—姬一联的输油管线仅为 $\Phi 159 \times 5$ ，导致了姬白线的能力得不到有效发挥。

3) 姬马线（P37、P38）

姬马线有两条管线，一条管线负荷因子为0，另外一条管线负荷因子为0.76，姬马线处于半停输状态，究其原因，是在姬惠线建成之前，姬马线输油压力很大，但 $\Phi 377 \times 6.4$ 姬惠线建成后，大大减轻了姬一联的压力，姬马线无油可输。

(3) 超负荷运行的站点

1) 姬一联合站 (N7)

姬一联合站的负荷因子为 1.50, 原因主要是姬塬油田的原油大部分及姬白线原油均集中到姬一联合站。

2) 姬二联合站 (N14)

姬一联合站的负荷因子为 1.77, 姬一联合站与姬二联合站之间只有唯一的一条 $\Phi 159 \times 5$ 管线相连接, 导致了上游的很多站点的能力远没有发挥出来 (乔川站的负荷因子为 0.32)。

3) 东营站 (N11)

东营站的负荷因子为 1.77, 主要原因是因为化子坪站、坪桥站两个点来的油均输送到东营站, 除此之外, 其本身也会收油, 所以处于超负荷运行状态。

4) 油房庄站 (N20)

靖惠线的管线 P32 向油房庄站供油, P33 向外输油, 两条管线的负荷因子分别为 0.49 和 0.8, 并未超负荷运行, 故是油房庄站自身的能力较低导致其超负荷运行。

5) 沿河湾输油站 (N22)

有三条管线从上游只向沿河湾输油站供油, 三条管线向外输油, 且这六条管线部分处于超负荷运行状态, 导致沿河湾处于超负荷运行状态。

6) 马坊插输站 (N27)

有三条管线从上游向马坊插输站供油, 一条管线向外输油, 这些管线均为超负荷运行, 可以调节 P38 和 P37 的输油任务到管线 P35, 减少上游对马坊插输站的供油, 可以部分缓解其压力。

7) 王窑站 (N3)

作为初始节点, 王窑站直接从油田收油, 然后向下游供油, 可以减少其收油量或者对其进行扩建来避免其超负荷运行。

8) 杨山站 (N36) 和延炼分输站 (N37)

这两个站点均为出口站点, 负责向炼厂输送原油, 这就决定了它们的任务是固定的, 不能随意调整, 只能通过对其进行扩建来避免超负荷运行。

(4) 结构性制约的站点

假定站点负荷系数小于 0.3 的站点为未发挥出应有能力的站点。铁西首站 (N5)、吴一联合站 (N17)、木一计量站 (N29) 和马岭中集站 (N35) 的负荷因子均小于 0.3, 主要原因是站点能力大于所连接管线的能力, 使站点的能力未充分发挥。

由以上的分析可知, 造成站点超负荷或未充分利用的原因主要是这些站点与其相连接的管线能力不匹配, 站点能力大于管线能力时站点会出现未充分利用的现象, 反之站点则会超负荷运行。而造成管线超负荷运行或未充分利用的原因除了可控的技术性调配外, 最主要的是相邻管线间能力不匹配, 譬如上游管线能力大于下游管线时会使得下游管线超负荷运行, 或使上游管线未充分利用。

这些情况说明现有集输系统不够完善, 缺乏科学系统的管理。在新建、改建新站点的时候, 需要从整体设计上设计、规划管线和站点的能力, 并使其能力匹配。为了增加输油能力, 必须扩充以下超负荷管线和站点的输油能力: 靖马线和铁西线; 姬一联合站、姬二联合站、东营站、油房庄站、沿河湾输油站、马坊插输站、杨山站和延炼分输站。

4 小结

本文通过分析长庆油田现有集输系统的网络结构, 分别建立了最大流模型和最小成本最大流模型, 模型结果表明现有集输系统的年运输最大流为 2078 万吨, 可以满足 2010 年生产计划运输的 1850 万吨的要求, 但不能满足 2015 年 2500 万吨的计划运输需求。

由瓶颈分析可知,原油集输系统的核心是各管线和节点之间的能力匹配问题,尽可能地保证整个系统各部分均衡运行是优化的关键。模型结果表明超负荷运行的管线和站点如下:靖马线和铁西线;姬一联合站、姬二联合站、东营站、油房庄站、沿河湾输油站、马坊插输站、杨山站和延炼分输站。

对计算结果得到的超负荷运行管线和站点进行逐步扩建,就能满足逐年增加的输油任务,同时维持或降低管线和站点的负荷因子,避免系统的超负荷运行。

本文的模型参数源于在集输系统运营的历史数据,对历史数据有依赖性。需要逐年更新模型参数,才能测算出不同时期管线和节点的负荷因子。此环节可以在模型基础上编制参数接口的管理软件,方便修改模型,适应环境变化的需要。

参考文献

- [1] 刘金兰,王亮.长输原油管道风险分析神经网络的应用[J].油气储运,2005,24(5):1-5
- [2] 孟振虎,陈毅忠,冷枝.不同约束值变化对输油管道优化运行的影响[J].油气储运,2003,22(4):1-7
- [3] 徐严波,徐严义,赵金洲.MDCP法在输油管道优化运行中的应用[J].油气储运,2002,21(12):19-22
- [4] 王立贵.单管道多油品顺序运输的调度优化[J].西安交通大学学报,2008,28(5):32-38
- [5] 李庆元,李苏剑.一种新的基于供应商管理库存的成品油物流配送模型[J].中国石油大学学报,2008,32(6):161-164
- [6] 高鸷,郭锦标,杨明诗.原油调度的约束规划模型[J].石油学报,2008,24(2):163-169
- [7] 李淑萍.海底油气集输系统网络规划模型设计[J].油气储运,2009,28(4):22-24
- [8] Maryam Hamedi, Reza Zanjirani Farahani, Mohammad Moattar Huasseini. A distribution planning model for natural gas supply chain: A case study[J]. Energy Policy, 2009, 37: 799-812
- [9] Winston Lasschuit, Nort Thijssen. Supporting supply chain planning and scheduling decisions in the oil and chemical industry[J]. Computers & Chemical Engineering, 2004, 28: 863-870

The Research of LP in Changqing Oil Field Gathering System

Sun Jing-chun¹, Zhao Qing-ning^{1, 2}, Li Shuang-jie¹

(1. School of management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi, 710049;
2. Planning department of Changqing oil field, Xi'an Shaanxi, 710018, China)

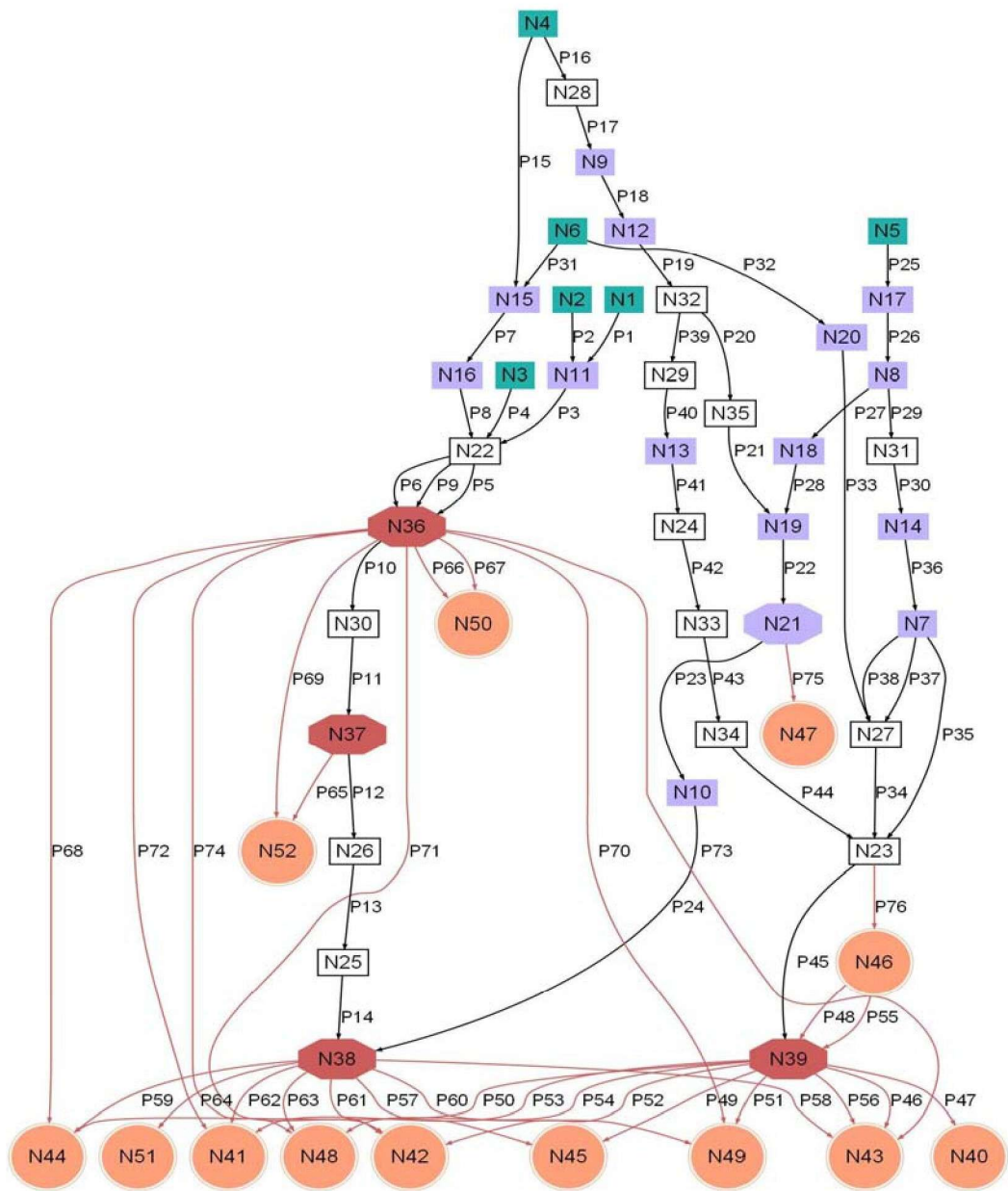
Abstract : Changqing Oil Field is the second biggest oil field of China , the present transportation capacity of gathering system will be a critical problem with the increasing oil production. With the help of Linear Programming , Maximal Flow Model and Minimum Cost Maximum Amount Model are built to analyze the optimal solution on the gathering system. The results show that the present gathering system can complete the transportation task of 2010 , but can't deal with that of 2015. Based on this analysis , it is recommended that some reformation should be taken to those overloaded pipelines and nodes to expand the transportation capabilities.

Keywords: LP; Gathering system; Changqing Oil Field

附 录

附表 1 变量参数表

$P_{(i,j)}$	由节点 i 到节点 j 的流量
P_i	边 i 的流量
B_{mi}	边、节点或插输能力的上下限。 $t=0$ 表示边, $t=1$ 表示节点, $t=2$ 表示插输量; $m=l$ 表示下限, $m=u$ 表示上限, i 为边或者节点或插输点的标号
K_{mi}	边、节点的设计能力上下限调整系数。 $t=0$ 表示边, $t=1$ 表示节点; $m=l$ 表示下限, $m=u$ 表示上限, i 为边或者节点或插输点的标号
I_{si}	节点入流量。 $s=0$ 表示初始节点, $s=1$ 表示中间节点, $s=2$ 表示出口站节点, $s=3$ 表示炼厂节点; i 为节点的标号。
O_{si}	节点出流量。 $s=0$ 表示初始节点, $s=1$ 表示中间节点, $s=2$ 表示出口站节点, $s=3$ 表示炼厂节点; i 为节点的标号。
Q_i	节点插输量。 i 为节点的标号。
TQ	集输系统月对外输油总量 (吨)
TC	集输系统月调度运输总成本 (虚拟元)
L_i	边长度 (千米)
C_i	边单位运量单位距离运输成本 (虚拟元/千米·吨)
$R_{(i,j)}$	节点 i 到节点 j 是否相邻联通, 值为 1 表示联通, 0 表示不联通。(见附图 1)
$\lambda_{(t,i)}$	边 t 与节点 i 相关性。值为 1 表示边 P_t 以节点 i 为起点或终点, 值为 0 表示边 P_t 不以节点 i 为起点或终点 (见附图 1)
h_{sm}	节点类型编号上下限。 $s=0$ 表示初始节点, $s=1$ 表示中间节点, $s=2$ 表示出口站节点, $s=3$ 表示炼厂节点。 $m=l$ 表示下限, $m=u$ 表示上限 (见附表 4)
δ_m	有插输能力节点编号上下限。 $m=l$ 表示下限, $m=u$ 表示上限 (见附表 4)
γ_{tm}	边或节点编号上下限。 $t=0$ 表示边, $t=1$ 表示节点; $m=l$ 表示下限, $m=u$ 表示上限 (见附图 1)



附图 1 集输系统的网络拓扑结构图

附表 2 炼厂节点来油情况表

编号	炼厂名称	来油情况
N40	呼和浩特石化	石空站通过 P47 向其输油
N41	华北石化	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P53、P62、P72 向其输油
N42	荆门石化	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P52、P61、P71 向其输油
N43	兰州石化	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P46 和 P56、P58、P73 向其输油
N44	洛阳炼厂	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P50、P59、P68 向其输油
N45	南充炼厂	石空站、咸阳站分别通过 P49、P57 向其输油

(续表)

编号	炼厂名称	来油情况
N46	宁夏炼化	其通过 P48 和 P55 向石空站输油；惠安堡站通过 P76 向其输油
N47	庆阳石化	西二联站通过 P75 向其输油
N48	山东各石化厂	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P54、P63、P74 向其输油
N49	石家庄炼厂	石空站、咸阳站、杨山站分别通过 P51、P60、P70 向其输油
N50	西安石化厂	杨山站通过 P66、P67 向其输油
N51	咸阳石化	咸阳站通过 P64 向其输油
N52	延安炼厂	延炼分输站、杨山站分别通过 P65、P69 向其输油

附表 3 系统内部管线参数及模型结果表

编号	分类	起点	终点	输送量（最小成本/最大流）（万吨）	负荷系数（最小成本/最大流）
P1	安延线	化子坪站	东营站	2.00/2.00	0.40/0.40
P2		坪桥站	东营站	2.00/2.00	0.40/0.40
P3		东营站	沿河湾输油站	8.85/8.85	0.83/0.83
P4		王窑站	沿河湾输油站	15.12/32.49	0.39/1.59
P5		沿河湾输油站	杨山站	5.00/19.65	0.41/1.60
P6		沿河湾输油站	杨山站	18.46/20.00	0.49/1.60
P7	靖咸线	靖安首站	王窑站集中处理站	9.00/7.00	0.49/0.49
P8		王窑站集中处理站	沿河湾输油站	11.50/7.00	1.20/0.49
P9		沿河湾输油站	杨山站	12.01/8.68	1.60/0.61
P10		杨山站	洛川站	22.00/26.84	1.01/1.01
P11		洛川站	延炼分输站	22.00/26.84	1.01/1.01
P12		延炼分输站	宜君站	10.00/10.00	0.48/0.48
P13		宜君站	耀县站	10.00/10.00	0.48/0.48
P14		耀县站	咸阳站	10.00/10.00	0.48/0.48
P15	靖马线	吴旗首站	靖安首站	2.00/2.00	0.42/0.42
P16		吴旗首站	马营站	2.00/2.00	0.38/0.38
P17		马营站	白豹站	2.00/2.00	0.38/0.38
P18		白豹站	华池站	4.00/8.53	0.60/1.6
P19		华池站	曲子首站	13.20/13.20	1.60/1.6
P20		曲子首站	马岭中集站	10.00/10.00	1.21/1.21
P21	西马反输线	马岭中集站	西一联站	10.00/10.00	0.29/0.29
P22	庆咸线	西一联站	西二联站	29.00/25.00	0.60/0.60
P23		西二联站	彬县清管站	16.00/15.00	0.36/0.36
P24		彬县清管站	咸阳站	43.00/49.13	1.07/1.18
P25	铁西线	铁西首站	吴一联合站	6.12/6.12	1.47/1.47
P26		吴一联合站	白豹输油站	8.12/6.12	0.49/0.49
P27		白豹输油站	悦乐输油站	15.00/15.00	0.64/0.64
P28		悦乐输油站	西一联站	17.00/15.00	0.56/0.56
P29	姬白线	白豹输油站	乔川站	5.43/3.23	0.26/0.26
P30		乔川站	姬二联合站	5.43/3.23	0.26/0.26

(续表)

编号	分类	起点	终点	输送量（最小成本/最大流）（万吨）	负荷系数（最小成本/最大流）
P31	靖安反输线	靖惠首站	靖安首站	5.00/5.00	0.67/0.67
P32	靖惠线	靖惠首站	油房庄站	10.16/10.16	0.49/0.49
P33		油房庄站	马坊插输站	23.36/23.36	0.80/0.80
P34		马坊插输站	惠安堡站	23.36/26.55	0.68/0.78
P35	姬惠线	姬一联合站	惠安堡站	22.43/19.25	0.60/0.51
P36	姬姬反输线	姬二联合站	姬一联合站	7.43/7.43	1.12/1.12
P37	姬马线	姬一联合站	马坊插输站	0.00/3.19	0.00/0.76
P38		姬一联合站	马坊插输站	0.00/0.00	0.00/0.00
P39	马惠线	曲子首站	木一计量接转站	3.20/3.20	0.23/0.23
P40		木一计量接转站	环北集油站	3.20/3.20	0.23/0.23
P41		环北集油站	洪德热泵站	14.90/14.9	1.05/1.05
P42		洪德热泵站	山城热泵站	14.90/14.9	1.05/1.05
P43		山城热泵站	甜水堡热泵站	14.90/14.9	1.05/1.05
P44		甜水堡热泵站	惠安堡站	14.90/14.9	1.05/1.05
P45	惠宁线	惠安堡站	石空站	19.70/29.00	0.60/0.73

附表 4 系统内部节点参数及模型结果表

编号	分类	站名	入流量（最小成本/最大流）（万吨）	出流量（最小成本/最大流）（万吨）	插输量（最小成本/最大流）（万吨）	插输量下限	插输量上限	负荷系数（最小成本/最大流）
N1	起始节点	化子坪站	2.00/2	2/2	0/0	-	-	0.61/0.61
N2		坪桥站	2.00/2.00	2/2.00	0/0	-	-	0.67/0.67
N3		王窑站	8/32.49	8/32.49	0/0	-	-	0.38/1.53
N4		吴旗首站	4.00/4.00	4.00/4.00	0/0	-	-	0.91/0.91
N5		铁西首站	6.12/6.12	6.12/6.12	0/0	-	-	0.25/0.25
N6		靖惠首站	15.16/15.16	15.16/15.16	0/0	-	-	1.15/1.15
N7	有插输能力中间节点	姬一联合站	7.43/7.43	22.43/22.43	15.00/15.00	2	15.0	1.50/1.50
N8		白豹输油站	6.12/6.12	18.23/18.23	12.11/12.11	2	24.3	0.75/0.75
N9		白豹站	2.00/2.00	3.2/8.53	1.2/6.53	2	6.9	0.46/1.24
N10		彬县清管站	15.00/15.00	44.47/49.13	29.47/34.13	2	35.3	1.26/1.39
N11		东营站	4.00/4.00	8.85/8.85	4.85/4.85	2	5.0	1.77/1.77
N12		华池站	3.2/8.53	13.20/13.2	10/4.67	2	10.0	1.32/1.32
N13		环北集油站	3.20/3.2	14.90/14.9	11.70/11.70	2	11.7	1.27/1.27
N14		姬二联合站	3.23/3.23	7.43/7.43	4.2/4.20	2	4.2	1.77/1.77
N15		靖安首站	7.00/7.00	7.00/7.00	0/0	2	18.9	0.37/0.37
N16		王窑站集中处理站	7.00/7.00	16.98/7.00	9.98/0	2	11.7	1.45/0.60
N17		吴一联合站	6.12/6.12	6.12/6.12	0/0	2	24.3	0.25/0.25
N18		悦乐输油站	15.00/15.00	15.00/15.00	0/0.00	2	25.0	0.6/0.6
N19		西一联站	25.00/25.00	25.00/25.00	0/0.00	2	35.3	0.71/0.71
N20		油房庄站	10.16/10.16	23.36/23.36	13.20/13.20	2	13.2	1.77/1.77
N21		西二联站	25.00/25.00	30.00/30.00	5.00/5.00	2	35.3	0.85/0.85

(续表)

编号	分类	站名	入流量（最小成本/最大流） （万吨）	出流量（最小成本/最大流） （万吨）	插输量（最小成本/最大流） （万吨）	插输量 下限	插输量 上限	负荷系数（最小成本/最大流）
N22	无插输能力中间节点	沿河湾输油站	33.83/48.34	33.83/48.34	0/0	-	-	1.17/1.67
N23		惠安堡站	60.70/60.7	60.70/60.7	0/0	-	-	1.47/1.47
N24		洪德热泵站	14.90/14.9	14.90/14.9	0/0	-	-	1.27/1.27
N25		耀县站	10.00/10.00	10.00/10.00	0/0	-	-	0.38/0.38
N26		宜君站	10.00/10.00	10.00/10.00	0/0	-	-	0.38/0.38
N27		马坊插输站	23.36/26.55	23.36/26.55	0/0	-	-	1.56/1.77
N28		马营站	2.00/2.00	2.00/2.00	0/0	-	-	0.45/0.45
N29		木一计量接转站	3.20/3.2	3.2/3.2	0/0	-	-	0.27/0.27
N30		洛川站	26.84/26.84	26.84/22.00	0/0	-	-	0.76/0.76
N31		乔川站	3.23/3.23	3.23/3.23	0/0	-	-	0.32/0.32
N32		曲子首站	13.20/13.20	13.20/13.2	0/0	-	-	1.13/1.13
N33		山城热泵站	14.90/14.9	14.90/14.9	0/0	-	-	1.27/1.27
N34		甜水堡热泵站	14.90/14.9	14.90/14.9	0/0	-	-	0.48/0.48
N35		马岭中集站	10.00/10.00	10.00/10.00	0/0	-	-	0.14/0.14
N36	终端节点	杨山站	33.83/48.34	33.83/48.34	0/0	-	-	1.17/1.67
N37		延炼分输站	26.84/26.84	26.84/26.84	0/0	-	-	1.6/1.6
N38		咸阳站	54.47/59.13	54.47/59.13	0/0	-	-	0.87/0.94
N39		石空站	40/35	40/35	0/0	-	-	1.28/1.12