

研究报告

# 峰谷电价体制下东北输油管网日输油优化研究

崔 慧, 吴长春, 吴江林, 孙青峰

(石油大学(北京), 北京 102249)

**[摘要]** 东北原油长输管网是中国规模最大的地区性原油运输系统, 就该管网基于峰谷电价体制下的运行现状, 建立了线性规划数学模型, 提出了日输油计划优化问题, 并以铁秦线为例进行分析; 初步揭示了峰谷电价体制下日输油计划方式的一些基本规律, 表明在该体制下东北管网具有一定的节能降耗潜力。但该方式在一定程度上受到管道本身运行特性的约束, 与热油管道相比它更适合于等温管道。

**[关键词]** 东北管网; 峰谷电价; 日输油; 优化

**[中图分类号]** TE832.2      **[文献标识码]** A      **[文章编号]** 1009-1742(2004)08-0069-05

峰谷电价可以有效发挥经济杠杆作用, 鼓励用户削峰填谷、合理用电, 使电网的负荷比较平稳, 从而提高用户、电网和整个社会的经济效益<sup>[1]</sup>。

东北原油长输管网是我国规模最大的地区性原油运输系统, 它由庆铁双线(老线、新线)系统、铁大线、铁秦线组成, 目前整个管网都采用加热输送方式。该管网每年的耗电量高达几亿 kW·h, 相应的费用在管网经营成本中占相当大比例。如果利用峰谷电价适当调整每条管道的运行方案, 则有可能使管网输油成本有较明显的降低。

在峰谷电价体制下, 输油管道日输油计划优化的思路是: 在管道日输油量为给定的条件下, 合理选择一天中不同时段输油流量, 使该管道既能完成日输油量, 同时全天的总能耗费用最低。

为了解决这个问题, 对一天中不同用电价格时段确定不同的输油流量, 低电价时段, 其相应的输油流量就大, 反之亦然。然而, 这种措施要受到多种客观因素制约。首先, 输油管道一般追求平稳运行, 而这种在一天内多次改变流量的运行方式显然与平稳运行的原则相矛盾, 将给管道运行管理和操作增加许多麻烦; 第二, 对热油管道而言, 输量的频繁变化将导致其长期处于热力非稳态工况, 这种

工况一方面可能降低管道运行的安全性, 在某些情况下(例如管道沿线突发暴雨)有可能导致管道的热力水力条件恶化, 难以准确地模拟和掌握管道的热力状态。等温输油管道不存在上述第二个方面的限制, 因而该方式更适合于等温管道。

考虑到上述限制因素, 对该问题时做了如下简化处理: 假设在变流量的情况下管道仍处于稳态工况; 一天之内改变流量的次数不宜太多。

## 1 数学模型

设管道日输量为  $G$  (t/d), 用电高峰期的时间长度为  $T_1$ , 用电低谷期的时间长度为  $T_2$ 。可供选择的一组用电高峰期流量为  $G_i^{(1)}$  (t/h), 相应小时总能耗费(包括输油泵耗电费用和加热炉燃料费)为  $C_i^{(1)}$  元/h ( $i=1\sim n_1$ ); 一组用电低谷期流量为  $G_i^{(2)}$  (t/h), 相应小时总能耗费为  $C_i^{(2)}$  元/h ( $i=1\sim n_2$ )。设为  $x_i$  用电高峰期按流量  $G_i^{(1)}$  ( $i=1\sim n_1$ ) 运行的小时数,  $y_i$  表示用电低谷期按流量  $G_i^{(2)}$  ( $i=1\sim n_2$ ) 运行的小时数, 则峰谷电价体制下日输油计划优化的数学模型为<sup>[2]</sup>:

$$\text{Min} S = \sum_{i=1}^{n_1} C_i^{(1)} x_i + \sum_{i=1}^{n_2} C_i^{(2)} y_i$$

约束条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{n_1} G_i^{(1)} x_i + \sum_{i=1}^{n_2} G_i^{(2)} y_i = G \\ \sum_{i=1}^{n_1} x_i = T_1 \\ \sum_{i=1}^{n_2} y_i = T_2 \\ x_i \geq 0 \quad i = 1 \sim n_1 \\ y_i \geq 0 \quad i = 1 \sim n_2 \end{array} \right.$$

这是一个线性规划问题,可采用单纯形法求解,且可以证明,不管供选择的2个流量组包括多少个流量,只要该问题有最优解,则由单纯形法求得的最优解至多包括3个流量<sup>[2,3]</sup>。

在以上模型中,供选择的2组流量及相应的小时总能耗费可以根据管道运行的经验确定,也可以利用我们开发的热油管道稳态优化运行软件来确定。由于2组备选流量对应一天中不同的时间段,故不在同一组中的流量可以重复。但由于2个时间段的电价不同,故同一个流量在2个时间段中对应的小时总能耗费不同。

## 2 铁秦线案例分析

以铁秦线为例分析峰谷电价体制下变流量日输油计划优化方法的效果。该管道长454.25 km,管外径为720 mm,年设计输油量为 $2\,000 \times 10^4$  t。

### 2.1 备选流量序列

在铁秦线的可行流量范围内选取了一系列流量,利用稳态优化运行软件分别计算了其在2个不同时段相应的小时总能耗费,其结果如表1所示。

为便于分析变流量日输油计划的优化结果,根据表1的数据分别绘制了2种电价下最优单位能耗费与输油流量的关系曲线(图1,图2)。

### 2.2 不同日输量下的最优日输油计划及其分析

对应于小时平均流量1 100, 1 200, 1 400, 1 600, 1 700, 1 750, 1 800, 1 900 t,的日输量依次为26 400, 28 800, 33 600, 38 400, 40 800, 42 000, 43 200, 45 600 t。根据优化方法及表1给出的流量序列可以求出相应的最优日输油计划,其结果见表2-1,表3-1,表4-1,表5-1,表6,表7,表8,和表9。考虑到管道一天中按3个流量运行的可能性很小,而且这种运行方式将使管道的实际工况严重偏离稳态工况,因此当优化结果为3

表1 备选流量序列及相应的小时能耗费(10月份)

| 8: 00~20: 00 电价<br>0.51 元·(kWh) <sup>-1</sup> |                          |                           | 20: 00~8: 00 电价<br>0.30 元·(kWh) <sup>-1</sup> |                          |                           |
|---|--------------------------|---------------------------|---|--------------------------|---------------------------|
| 序号  | 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> | 能耗费<br>/元·h <sup>-1</sup> | 序号  | 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> | 能耗费<br>/元·h <sup>-1</sup> |
| 1   | 950                      | 7 579.52                  | 1   | 950                      | 7 100.09                  |
| 2   | 1 000                    | 7 419.27                  | 2   | 1 000                    | 6 608.43                  |
| 3   | 1 100                    | 7 807.42                  | 3   | 1 100                    | 6 226.45                  |
| 4   | 1 200                    | 8 046.22                  | 4   | 1 200                    | 6 917.32                  |
| 5   | 1 300                    | 8 385.46                  | 5   | 1 300                    | 6 535.93                  |
| 6   | 1 400                    | 8 674.99                  | 6   | 1 400                    | 6 910.87                  |
| 7   | 1 500                    | 9 244.9                   | 7   | 1 500                    | 7 015.44                  |
| 8   | 1 600                    | 9 747.84                  | 8   | 1 600                    | 6 793.4                   |
| 9   | 1 700                    | 10 212.68                 | 9   | 1 700                    | 7 097.52                  |
| 10  | 1 750                    | 10 852.49                 | 10  | 1 750                    | 7 503.42                  |
| 11  | 1 800                    | 11 511.69                 | 11  | 1 800                    | 7 920.58                  |
| 12  | 1 850                    | 12 265.09                 | 12  | 1 850                    | 8 848.18                  |
| 13  | 1 900                    | 13 041.93                 | 13  | 1 900                    | 9 814.03                  |
| 14  | 1 950                    | 14 112.37                 | 14  | 1 950                    | 1 1091.83                 |
| 15  | 2 000                    | 17 067.08                 | 15  | 2 000                    | 1 3421.27                 |

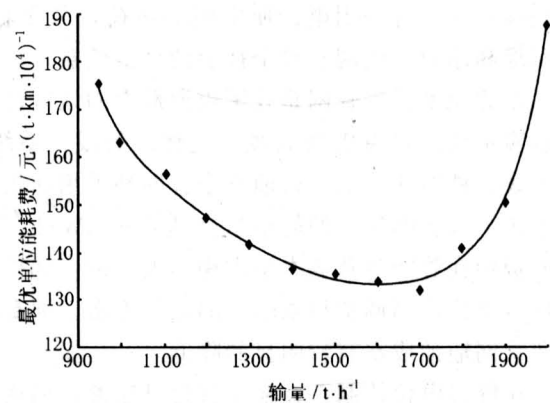


图1 最优单位能耗费与输量的关系  
(电价为0.51元/kW·h)

Fig.1 Relation between optional unit energy cost and throughput rate (electrical price is 0.51 yuan/kW·h)

个流量时,可人为地调整,使得在一个时间段内(用电高峰期或用电低谷期)只按一个流量运行。调整的方法是:对原优化结果中按2个流量运行的时间段改为按这时间段的平均流量(即该时间段的总输量除以该时间段的长度)运行。由于表2-1,表3-1,表4-1及表5-1中的最优日输油计划都是由3个流量组合而成的,所以按上述方法对这

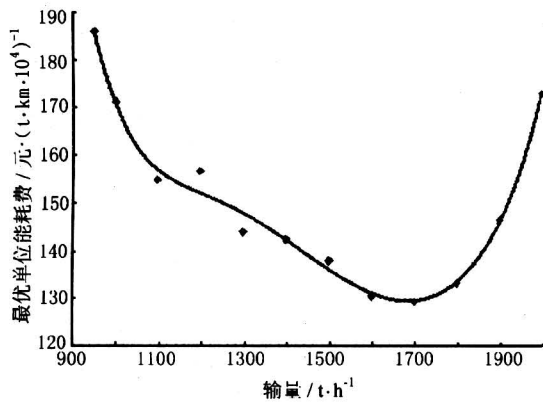


图 2 最优单位能耗费与输量的关系  
(电价为 0.30 元/kW·h)

Fig.2 Relation between optional unit energy cost and throughput rate (electrical price is 0.30 yuan/kW·h)

些输油计划进行了调整, 调整后的结果见表 2-2, 表 3-2, 表 4-2 和表 5-2。

表 2-1 日输量为 26 400 t 时铁秦线的  
最优日输油计划

Table 2-1 Optimal scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 26 400 t/d)

| 平均流量                     |                           | 最优流量组合     |            |                          | 节省能<br>耗费/<br>元·d <sup>-1</sup> |
|--------------------------|---------------------------|------------|------------|--------------------------|---------------------------------|
| 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> | 能耗费<br>/元·d <sup>-1</sup> | 时间段        | 运行时<br>间/h | 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> |                                 |
| 1 100                    | 168 406                   | 8:00~20:00 | 12         | 1 000                    | 7 419.27                        |
|                          |                           |            | 9.6        | 1 100                    | 6 226.45                        |
|                          |                           | 20:00~8:00 | 2.4        | 1 600                    | 6 793.40                        |

表 2-2 日输量为 26 400 t 时铁秦线的  
调整日输油计划

Table 2-2 Adjusted scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 26 400 t/d)

| 平均流量                     |                           | 最优流量组合     |            |                          | 节省能<br>耗费/<br>元·d <sup>-1</sup> |
|--------------------------|---------------------------|------------|------------|--------------------------|---------------------------------|
| 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> | 能耗费<br>/元·d <sup>-1</sup> | 时间段        | 运行时<br>间/h | 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> |                                 |
| 1 100                    | 168 406                   | 8:00~20:00 | 12         | 1 000                    | 7 419.27                        |
|                          |                           |            | 12         | 1 200                    | 6 917.32                        |

由表 2-1 可知, 当日输量为 26 400 t/d 时, 最优日输油计划由 3 个流量组合而成, 日能耗费只

比平均流量输油计划节省 3 297 元, 约 2%。对该最优输油计划进行调整后 (表 2-2), 日总能耗费反比按平均流量运行时的高, 说明在这个日输量下采用平均流量运行模式是比较经济的。

表 3-1 日输量为 28 800 t 时铁秦线的  
最优日输油计划

Table 3-1 Optimal scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 28 800 t/d)

| 平均流量                     |                           | 最优流量组合     |            |                          | 节省能<br>耗费/<br>元·d <sup>-1</sup> |
|--------------------------|---------------------------|------------|------------|--------------------------|---------------------------------|
| 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> | 能耗费<br>/元·d <sup>-1</sup> | 时间段        | 运行时<br>间/h | 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> |                                 |
| 1 200                    | 179 562                   | 8:00~20:00 | 12         | 1 000                    | 7 419.27                        |
|                          |                           |            | 4.8        | 1 100                    | 6 226.45                        |
|                          |                           | 20:00~8:00 | 7.2        | 1 600                    | 6 793.40                        |

表 3-2 日输量为 28 800 t 时铁秦线的  
调整日输油计划

Table 3-2 Adjusted scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 28 800 t/d)

| 平均流量                     |                           | 最优流量组合     |            |                          | 节省能<br>耗费/<br>元·d <sup>-1</sup> |
|--------------------------|---------------------------|------------|------------|--------------------------|---------------------------------|
| 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> | 能耗费<br>/元·d <sup>-1</sup> | 时间段        | 运行时<br>间/h | 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> |                                 |
| 1 200                    | 179 562                   | 8:00~20:00 | 12         | 1 000                    | 7 419.27                        |
|                          |                           |            | 12         | 1 400                    | 6 910.87                        |

由表 3-1 可知, 当日输量为 28 800 t/d 时, 最优日输油计划由 3 个流量组合而成, 它的日能耗费节约 11 731 元, 大约降低 6.5%。对该计划进行调整后 (表 3-2), 日能耗费减少 7 600 元。当日输量为 33 600 t/d 时情况与此类似 (见表 4-1, 表 4-2)。在这两种日输量下, 优化后日能耗费的降低幅度较大 (还有待于在实际运行过程中验证)。

表 4-1 日输量为 33 600 t 时铁秦线的  
最优日输油计划

Table 4-1 Optimal scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 33 600 t/d)

| 平均流量                     |                           | 最优流量组合     |            |                          | 节省能<br>耗费/<br>元·d <sup>-1</sup> |
|--------------------------|---------------------------|------------|------------|--------------------------|---------------------------------|
| 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> | 能耗费<br>/元·d <sup>-1</sup> | 时间段        | 运行时<br>间/h | 流量<br>/t·h <sup>-1</sup> |                                 |
| 1 400                    | 187 030                   | 8:00~20:00 | 6          | 1 000                    | 7 419.27                        |
|                          |                           |            | 6          | 1 200                    | 8 046.22                        |
|                          |                           | 20:00~8:00 | 12         | 1 700                    | 7 097.52                        |

**表 4-2 日输量为 33 600 t 时铁秦线的  
调整日输油计划**

Table 4-2 Adjusted scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 33 600 t/d)

| 平均流量               |                    | 最优流量组合       |     |                    |                    | 节省能               |
|--------------------|--------------------|--------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------|
| 流量                 | 能耗费                | 时间段          | 运行时 | 流量                 | 能耗费                | 耗费/               |
| /t·h <sup>-1</sup> | /元·d <sup>-1</sup> |              | 间/h | /t·h <sup>-1</sup> | /元·h <sup>-1</sup> | 元·d <sup>-1</sup> |
| 1 400              | 187 030            | 8: 00~20: 00 | 12  | 1 100              | 7 807.42           | 8 171             |
|                    |                    | 20: 00~8: 00 | 12  | 1 700              | 7 097.52           |                   |

当日输量增大到 38 400 t/d 时 (图 5-1, 图 5-2), 2 种输油计划的能耗费差距缩小到 3 073 元。此时采用优化的输油计划没有实际意义, 而应该直接采用传统的平均流量输油计划。

**表 5-1 日输量为 38 400 t 时铁秦线的  
最优日输油计划**

Table 5-1 Optimal scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 38 400 t/d)

| 平均流量               |                    | 最优流量组合       |     |                    |                    | 节省能               |
|--------------------|--------------------|--------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------|
| 流量                 | 能耗费                | 时间段          | 运行时 | 流量                 | 能耗费                | 耗费/               |
| /t·h <sup>-1</sup> | /元·d <sup>-1</sup> |              | 间/h | /t·h <sup>-1</sup> | /元·h <sup>-1</sup> | 元·d <sup>-1</sup> |
| 1 600              | 198 494            | 8: 00~20: 00 | 8   | 1 400              | 8 674.99           | 3 073             |
|                    |                    |              | 4   | 1 700              | 10 212.68          |                   |
|                    |                    | 20: 00~8: 00 | 12  | 1 700              | 7 079.52           |                   |

**表 5-2 日输量为 38 400 t 时铁秦线的  
调整日输油计划**

Table 5-2 Adjusted scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 38 400 t/d)

| 平均流量               |                    | 最优流量组合       |     |                    |                    | 节省能               |
|--------------------|--------------------|--------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------|
| 流量                 | 能耗费                | 时间段          | 运行时 | 流量                 | 能耗费                | 耗费/               |
| /t·h <sup>-1</sup> | /元·d <sup>-1</sup> |              | 间/h | /t·h <sup>-1</sup> | /元·h <sup>-1</sup> | 元·d <sup>-1</sup> |
| 1 600              | 198 495            | 8: 00~20: 00 | 12  | 1 500              | 9 244.90           | 2 386             |
|                    |                    | 20: 00~8: 00 | 12  | 1 700              | 7 097.52           |                   |

日输量为 40 800 t/d 时的情况更为典型 (表 6), 此时的最优日输油计划刚好就是平均流量输油计划。从图 1、图 2 中可以看出: 无论在电价为 0.51 元/kW·h 还是 0.3 元/kW·h 的时段, 对应于最低单位能耗费的流量都是 1 700 t/h。因此, 当管道的平均小时流量刚好等于这个特定流量时, 采用

平均流量日输油计划很可能使管道的日能耗费最低。然而, 这一结论不具有普遍性。当 2 个时间段的电价差距很大时, 各时间段在相同小时流量下的单位能耗费也可能相差很大, 此时即使日平均小时流量接近 2 个时间段的最低单位能耗输油流量, 平均流量输油计划仍然有可能不是最优日输油计划。

**表 6 日输量为 40 800 t 时铁秦线的  
最优日输油计划**

Table 6 Optimal scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 40 800 t/d)

| 平均流量               |                    | 最优流量组合       |     |                    |                    | 节省能               |
|--------------------|--------------------|--------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------|
| 流量                 | 能耗费                | 时间段          | 运行时 | 流量                 | 能耗费                | 耗费/               |
| /t·h <sup>-1</sup> | /元·d <sup>-1</sup> |              | 间/h | /t·h <sup>-1</sup> | /元·h <sup>-1</sup> | 元·d <sup>-1</sup> |
| 1 700              | 207 722            | 8: 00~20: 00 | 12  | 1 700              | 10 212.68          | 0                 |
|                    |                    | 20: 00~8: 00 | 12  | 1 700              | 7 097.52           |                   |

随着日输量增大, 变流量日输计划失去优势。表 7 输量下, 尚能每天节省能耗费 2 672 元, 而表 8、表 9 给出的最优日输油计划刚好就是平均流量输油计划。因此, 对应于表 7、表 8、表 9 给出的日输量, 建议采用传统的平均流量日输油计划。

**表 7 日输量为 42 000 t 时铁秦线的  
最优日输油计划**

Table 7 Optimal scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 42 000 t/d)

| 平均流量               |                    | 最优流量组合       |     |                    |                    | 节省能               |
|--------------------|--------------------|--------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------|
| 流量                 | 能耗费                | 时间段          | 运行时 | 流量                 | 能耗费                | 耗费/               |
| /t·h <sup>-1</sup> | /元·d <sup>-1</sup> |              | 间/h | /t·h <sup>-1</sup> | /元·h <sup>-1</sup> | 元·d <sup>-1</sup> |
| 1 750              | 220 271            | 8: 00~20: 00 | 12  | 1 700              | 10 212.68          | 2 672             |
|                    |                    | 20: 00~8: 00 | 12  | 1 800              | 7 920.58           |                   |

**表 8 日输量为 43 200 t 时铁秦线的  
最优日输油计划**

Table 8 Optimal scheme for daily operation of Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput rate is 43 200 t/d)

| 平均流量               |                    | 最优流量组合       |     |                    |                    | 节省能               |
|--------------------|--------------------|--------------|-----|--------------------|--------------------|-------------------|
| 流量                 | 能耗费                | 时间段          | 运行时 | 流量                 | 能耗费                | 耗费/               |
| /t·h <sup>-1</sup> | /元·d <sup>-1</sup> |              | 间/h | /t·h <sup>-1</sup> | /元·h <sup>-1</sup> | 元·d <sup>-1</sup> |
| 1 800              | 233 187            | 8: 00~20: 00 | 12  | 1 800              | 11 511.69          | 0                 |
|                    |                    | 20: 00~8: 00 | 12  | 1 800              | 7 920.58           |                   |

表 9 日输量为 45 600 t 时铁秦线的  
最优日输油计划

Table 9 Optimal scheme for daily operation of  
Tieling-Qinhuangdao pipeline (throughput  
rate is 45 600 t/d)

| 平均流量             |                          | 最优流量组合       |     |                  |                          | 节省能                     |
|------------------|--------------------------|--------------|-----|------------------|--------------------------|-------------------------|
| 流量               | 能耗费                      | 时间段          | 运行时 | 流量               | 能耗费                      | 耗费/                     |
| $t \cdot h^{-1}$ | $/\text{元} \cdot d^{-1}$ |              | 间/h | $t \cdot h^{-1}$ | $/\text{元} \cdot h^{-1}$ | $\text{元} \cdot d^{-1}$ |
| 1 900            | 274 272                  | 8: 00~20: 00 | 12  | 1 900            | 13 041.93                | 0                       |
|                  |                          | 20: 00~8: 00 | 12  | 1 900            | 9 814.03                 |                         |

当流量增大到某一值后（该值随管道的具体条件变化，在图 2 中，该值为 1 800 t/h），随着流量进一步增大，最优单位能耗费急剧增加（见图 2），因而即使增大用电低谷期的输油流量也不一定能降低管道的日输油能耗。

### 3 结论

- 1) 理论上可以证明无论 2 个备选流量序列包含多少个流量，最优日输油计划至多包含 3 个流量。
- 2) 考虑到热油管道运行的平稳性，如果最优

日输油计划中包含 3 个流量，可以对该计划进行适当调整，使得调整后的计划中只包含 2 个流量。

3) 计算和分析表明：在峰谷电价体制下，只有当管道的日输量适中时，变流量日输油计划方能充分发挥作用；当日输量偏大或偏小时，由于管本身特性的制约，变流量日输油计划方式的作用不明显，此时宜采用传统的平均流量运行模式。

4) 适合采用变流量日输油计划模式的日输量范围取决于管道的具体条件，如管径、设计输量、所输油品的流动特性、峰谷电价的具体定价规则、运行的季节或月份等；峰谷电价体制下的变流量日输油计划模式更适合于等温输油管道。

5) 在稳态运行的假设下研究热油管道日输油计划优化问题，其优化结果与实际情况必定存在差异，必须在实际运行中获得客观评价。

#### 参考文献

- [1] 陈义强, 杨洪明. 峰谷电价问题探讨 [J]. 湖北电力, 2002, 26 (2): 47~48
- [2] 吴长春. 输油计划最优化——线性规划法 [A]. 中国运筹学会首届青年学术年会论文集 [C]. 北京: 冶金工业出版社, 1993
- [3] 解可新, 韩立兴, 林友联, 等. 最优化方法 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1997

## Study of the Optimal Scheme for the Daily Operation of Northeastern Oil Pipeline Network Based on the Peak-valley Price

Cui Hui, Wu Changchun, Wu Jianglin, Sun Qingfeng

(University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**[Abstract]** The northeastern oil pipeline network is the largest regional oil pipeline system in China. As for its operational actuality on the basis of the peak-valley price, the optimization of the daily operation scheme is presented. Virtually, the advantage of the valley price is used to increase the oil throughput rate in the valley period, and accordingly the daily energy consumption cost is lowered. Aiming at the problem the linear programming mathematic model is formulated in this paper. By means of this method, the analysis is carried out for Tieling-Qinhuangdao hot oil pipeline under different daily throughput rates. Some fundamental rules for the optimization of the daily operation scheme based on the peak-valley price are found from the computed results. At the same time, it is shown that the optimal scheme will reduce energy cost of the network to some extent. However, this method is subject to the operational characteristics of the pipeline to some degree. Thus, it is more applicable to the isothermal pipeline than the hot oil pipeline.

**[Key words]** northeastern oil pipeline network; peak-valley price; daily operation; optimization