

# 基于三角形单元体的构形理论经济学研究

周圣兵, 陈林根, 孙丰瑞

(海军工程大学 动力工程系, 湖北 武汉 430033)

**摘要:** 根据构形理论, 首先以三角形单元体为研究对象并释放角度约束, 对给定区域进行以总运输费用最小为目标的经济学分析; 在此基础上, 将三角形单元体组装成新的矩形构形体, 进行同样的经济学分析; 持续类似工作, 得到了完整的解析解。将本文优化结果与相关文献进行比较表明, 用三角形单元体对所给区域进行经济学优化, 运输费用将会更低, 而当各运输通道不再互相垂直, 继续对其夹角进行优化时, 运输费用有进一步的下降。采用三角形单元体进行经济学优化, 并释放角度约束, 能得到更低的运输费用。

**关键词:** 构形理论; 经济学; 三角形单元体; 广义热力学优化

中图分类号: TK123

文献标识码: A

## 1 引言

构形理论揭示了事物结构源自于性能达到最优这一深刻命题, 诞生近十年来受到了国内外学者的广泛关注, 逐渐发展成为广义热力学优化的一个重要分支<sup>[1~6]</sup>。对于存在约束的研究对象, 只要存在高、低两种或多种不同速度的“流”, 如热流、流体流、人和车辆流、物流等一类流或几类耦合流, 都可以应用构形理

论研究其最优性能(如热阻最小、熵产最小、费用最小、利润最高等<sup>[7~11]</sup>)及对应的结构。

热经济学则是工程热力学极有用的一个分支, 其主要用途是研究分析相关过程和热能工程的费用效率问题, 几十年来一直是学科交叉的典型代表<sup>[12]</sup>。陈林根等人在 20 世纪 90 年代初提出将有限时间热力学与热经济学相结合, 建立有限时间热力学经济分析法, 导出了 Carnot 热机的有限时间热力学经济性能界限、优化关系和参数优化准则<sup>[13~14]</sup>。De Vos 则将有限时间热力学的基本思路应用到热经济学中, 重点阐述了线性传热规律下内可逆热经济学, 也就是最大利润下的最优效率问题, 取得了一系列重要的成果<sup>[15~18]</sup>。

借鉴热经济学的思想, Bejan 将构形理论引入到经济学中进行了研究。文献[9~10]首先以总运输费用最小为目标, 对矩形单元体进行了优化, 得出了此时的最小费用成本及对应的单元体形状; 在此基础上, 将若干个最优的矩形单元体进行组装, 得到了新的矩形体, 并仿照上述同样的方法对其进行优化; 类似的工作持续下去, 直至完成优化工作。文

献[11]则对比分析了三角形单元体组装成矩形体和三角形体, 以及矩形单元体组装成矩形体和三角形体 4 种情形的费用目标优化结果。在文献[9~11]工作的基础上, 首先以三角形单元体为对象<sup>[11]</sup>, 并去掉各流通通道互相垂直这一约束条件, 以总运输费用最小为目标对其进行研究, 得到最小费用成本及其对应的最优结构; 然后将若干个最优单元体进行组装, 得到新的矩形构形体并完成同样的优化工作; 持续类似的过程直至完成所给区域的优化, 并将所得结果与相关文献进行比较分析。

## 2 “体一点”运输模型

“体一点”运输问题的数学表述为:

所给区域面积一定, 体内各点均匀分布, 并有均匀物流流向边界上某一点(或是相反, 物流由该区域边界上某一点均匀流向其内部各点。对应的模式可理解为一定区域内众多农民与某一粮食收购站, 或是某一工厂与众多消费者), 可通过人工、卡车或火车等多种方式进行运输, 确定区域最优内部结构和外部形状, 使总

体运输费用最小。

假定每单位面积内货物平均流率为  $\gamma$  [kg/(m<sup>2</sup>·s)], 则区域  $A$  内各点和边界点  $M$  间的总流率为  $m = \gamma A$ 。几种不同的运输方式费用系数分别为  $K_i$  [元/(m<sup>3</sup>·kg)],  $i = 0, 1, 2 \dots, K_0 > K_1 > K_2 \dots$ , 表示采用该方式进行运输时, 每单位重量的货物运送单位距离所需要的费用。

借鉴“体一点”导热问题的解决思路, 文献[9~10]以总费用  $C_i$  (元) 最小为目标, 首先对矩形单元体 (见图 1) 进行了优化, 然后将若干个最优单元体组装并再次优化直至完成优化工作。Ghodoossi 等人则用三角形单元体对“体一点”运输问题进行了详细研究<sup>[11]</sup>, 得到了有意义的结论。本文在上述文献基础上, 以三角形单元体为分析基础, 释放文献[11]中  $K_i$  和  $K_{i+1}$  通道互相垂直这一约束条件 (夹角  $\beta_i \neq 0, i = 0, 1, 2 \dots$ ), 采用总费用最小为优化目标, 对“体一点”运输问题进行经济学研究。

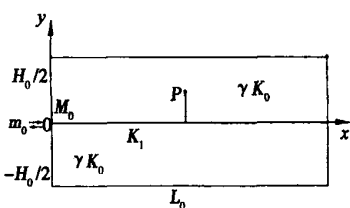


图 1 矩形单元体

### 3 给定区域构形优化及经济学研究

#### 3.1 三角形单元体优化

图 2 所示的三角形单元体, 其面积固定 ( $A_0 = H_0 L_0 / 2$ ), 但外形 ( $H_0 / L_0$ ) 可以自由变动。  $A_0$  内各点和边界点  $M_0$  间的总流率为  $m_0 = \gamma A_0$  (kg/s)。  $y$  方向的运输方

式每单位距离单位重量费用最昂贵 (如人工运输),  $x$  方向则次之 ( $K_0 > K_1$ )。单元体内各点到边界上  $M_0$  点间的总运输费用为:

$$C_0 = 2\gamma \int_0^{L_0} \left\{ \int_0^{B_0/2} \left[ \frac{K_0 y}{\cos \beta_0} + K_1 \times (L_0 - x - y \operatorname{tg} \beta) \right] dy \right\} dx$$

$$= \frac{1}{12} \gamma K_0 H_0^2 L_0 \left( \frac{1}{\cos \beta_0} - \frac{K_1}{K_0} \operatorname{tg} \beta_0 \right) + \frac{1}{6} \gamma K_1 H_0 L_0^2 \quad (1)$$

其中:  $B_0(x) = H_0 x / L_0$ 。又有  $m_0 = \gamma A_0$  和  $A_0 = H_0 L_0 / 2$ , 式(1)可化为:

$$\frac{C_0}{m_0} = \frac{K_0 A_0}{3} \left( \frac{1}{\cos \beta_0} - \frac{K_1}{K_0} \operatorname{tg} \beta_0 \right) \times \frac{1}{L_0} + \frac{K_1}{3} L_0 \quad (2)$$

以  $L_0, \beta_0$  为自变量, 分别对  $C_0$  求偏导数并令其为零, 得到单元体的最佳尺寸及最小费用分别为:

$$\beta_{0, \text{opt}} = \arcsin(K_1 / K_0) \quad (3)$$

$$L_{0, \text{opt}} = \left( \frac{K_0 A_0 \cos \beta_{0, \text{opt}}}{K_1} \right)^{1/2},$$

$$H_{0, \text{opt}} = 2 \left( \frac{K_1 A_0}{K_0 \cos \beta_{0, \text{opt}}} \right)^{1/2},$$

$$\left( \frac{H_0}{L_0} \right)_{\text{opt}} = \frac{2K_1}{K_1 \cos \beta_{0, \text{opt}}} \quad (4)$$

$$C_{0, \text{min}} = 2m_0 (A_0 K_0 K_1 \cos \beta_{0, \text{opt}})^{1/2} / \beta \quad (5)$$

当  $\beta_0 = 0$  时,  $C'_{0, \text{min}} = 2m_0 (A_0 K_0 K_1)^{1/2} / \beta$ , 即为文献[11]中所得结果。

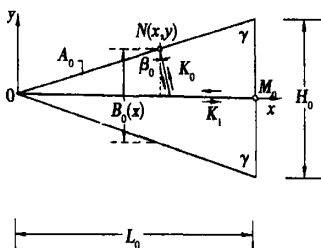


图 2 三角形单元体

对比  $C_{0, \text{min}}$  和  $C'_{0, \text{min}}$  知, 二者相差一因子  $\cos \beta_{0, \text{opt}}^{1/2}$ 。式(3)表明, 当释放单元体内  $K_0$  和  $K_1$  通道互相垂直这一约束条件时, 夹角  $\beta_0$  存在最佳值, 且并不为零。由此得到的最小费用成本要比存在角度约束时更为优化。当  $K_1 / K_0 = 0.2$  时,  $C_{0, \text{min}}$  相对  $C'_{0, \text{min}}$  的费用要降低 1.02%。

#### 3.2 一级构形体优化

将  $n_1$  个经过优化的三角形单元体沿  $K_2$  ( $K_2 < K_1$ , 可理解为由人工运输转向汽车运输) 通道两侧进行组装,  $K_2$  和  $K_1$  通道之间的角度同样不再是  $90^\circ$ , 而是一个新的自由度, 由此得到第一级矩形构形体, 如图 3 所示。其面积  $A_1 = H_1 L_1 / 2 = n_1 A_0$ ,  $A_1$  内货物均匀流向边界上的  $M_1$  点。总流率  $m_1 = \gamma A_1$ , 其运送通过  $M_1$  点的费用由两部分组成: 货物在各单元体内部运输的费用和通过  $K_2$  通道的费用。倾斜角度不太大时, 前者可表示为  $n_1 C_{0, \text{min}}$ ; 当  $n_1$  足够大时, 流向  $K_2$  通道的物流可视为线性的, 则后者可表示为  $m_1 K_2 L_1 / 2$ 。因此运送货物通过  $M_1$  点的费用  $C_1$  为:

$$C_1 = n_1 C_{0, \text{min}} + \frac{1}{2} m_1 K_2 L_1$$

$$= \frac{2}{3} n_1 m_0 (A_0 K_0 K_1 \cos \beta_{0, \text{opt}})^{1/2} + \frac{1}{2} m_1 K_2 L_1 \quad (6)$$

其中:  $A_0 \approx \frac{A_1}{n_1}, L_1 = \frac{n_1}{2} H_0 \cos \beta_1$

$$= \frac{n_1}{2} \cdot 2 \left( \frac{K_1}{K_0} \cdot \frac{A_0}{\cos \beta_{0, \text{opt}}} \right)^{1/2} \cdot \cos \beta_1$$

$$= n_1 \left( \frac{K_1}{K_0} \cdot \frac{A_0}{\cos \beta_{0, \text{opt}}} \right)^{1/2} \cdot \cos \beta_1, \text{代}$$

入上式化简可得:

$$\frac{C_1}{m_1} = \frac{2}{3} \left( \frac{A_1 K_0 K_1 \cos \beta_{0, \text{opt}}}{n_1} \right)^{1/2} + \frac{K_2 \cos \beta_1}{2} \left( \frac{K_1 A_1 n_1}{K_0 \cos \beta_{0, \text{opt}}} \right)^{1/2} \quad (7)$$

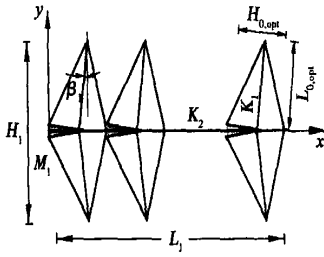


图 3 一级矩形构形体

从式(8)看出, 如仅从数学角度考虑, 一级构形体的费用成本  $C_1$  将随  $\beta_1$  增大而单调减小。但结合图 3 知道, 当  $\beta_1$  增大时, 因为上下部分构成单元体相互重叠区域也增大, 由式子  $A_0 \approx A_1 / \sin \beta_1$  带来的误差也增大, 为简便起见, 令  $\beta_1 = \beta_{0,opt} (= \beta, \text{下同})$

以  $n_1$  为自变量, 对  $C_1$  进行求导并令其为零, 得到构成一级构形体的单元体最佳数目及相应最小运输费和最佳外形:

$$n_{1,opt} = \frac{4}{3} \cdot \frac{K_0}{K_2} \quad (8)$$

$$C_{1,min} = 2m_1 (A_1 K_1 K_2 \cos^3 \beta)^{1/2} / \sqrt{3} \quad (9)$$

$$\frac{H_1}{L_1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot \frac{1}{\cos^3 \beta}, H_1 = (3A_1 \times \frac{K_2}{K_1} \cdot \cos^3 \beta)^{1/2} \quad (10)$$

### 3.3 二级构形体优化

将  $n_2$  个最优的一级矩形构形体沿  $K_3$  通道两侧进行组装 (同样,  $K_3$  和  $K_2$  通道之间的角度不再是  $90^\circ$ ), 得到二级构形体。二级构形体的运输费用为:

$$C_2 = n_2 C_{1,min} + \frac{1}{2} m_2 K_3 L_2 = \frac{2}{\sqrt{3}} n_2 m_1 (A_1 K_1 K_2 \cos^3 \beta)^{1/2} + \frac{1}{2} \times m_2 K_3 L_2 \quad (11)$$

其中:  $A_1 \approx \frac{A_2}{n_2}, L_2 = \frac{n_2}{2} H_1 \cos \beta$

$$= \frac{n_2}{2} \cos \beta (3A_1 \frac{K_2}{K_1} \cos^3 \beta)^{1/2}, \text{代入} \frac{K_4}{K_3} \cos^5 \beta)^{1/2} \quad (18)$$

上式化简可得:

$$\frac{C_2}{m_2} = \frac{2}{\sqrt{3}} (\frac{A_2 K_1 K_2 \cos^3 \beta}{n_2})^{1/2} + \frac{K_3}{4} (\frac{3K_2 A_2 n_2 \cos^5 \beta}{K_1})^{1/2} \quad (12)$$

以  $n_2$  为自变量, 对  $C_2$  进行求导并令其为零, 得到构成一级构形体的单元体最佳数目及相应最小运输费和最佳外形:

$$n_{2,opt} = \frac{8}{3} \cdot \frac{K_1}{K_3} \cdot \frac{1}{\cos^2 \beta} \quad (13)$$

$$C_{2,min} = \sqrt{2} m_2 (A_2 K_2 K_3 \cos^3 \beta)^{1/2} \quad (14)$$

$$\frac{H_2}{L_2} = \frac{K_3}{K_2} \cos \beta, H_2 = (2A_2 \times \frac{K_3}{K_2} \cos^5 \beta)^{1/2} \quad (15)$$

### 3.4 三级及以上构形体优化

对二级构形体进行组装得到第三级构形体, 对其进行优化可得:

$$n_{3,opt} = 4 \cdot \frac{K_2}{K_4} \cdot \frac{1}{\cos^2 \beta} \quad (16)$$

$$C_{3,min} = \sqrt{2} m_3 (A_3 K_3 K_4 \cos^3 \beta)^{1/2} \quad (17)$$

$$\frac{H_3}{L_3} = \frac{K_4}{K_3} \cos \beta, H_3 = (2A_3 \times \frac{K_4}{K_3} \cos^5 \beta)^{1/2} \quad (21)$$

同理得到四级及更高级构形体的总运输费用表达式 ( $i \geq 4$ ):

$$n_{i,opt} = 4 \cdot \frac{K_{i-1}}{K_{i+1}} \cdot \frac{1}{\cos^2 \beta} \quad (19)$$

$$C_{i,min} = \sqrt{2} m_i (A_i K_i K_{i+1} \cos^3 \beta)^{1/2} \quad (20)$$

$$\frac{H_i}{L_i} = \frac{K_{i+1}}{K_i}, H_i = (2A_i \times \frac{K_{i+1}}{K_i} \cos^5 \beta)^{1/2} \quad (21)$$

## 4 优化结果分析

文献[9~10]采用矩形单元体对给定区域进行经济性分析, 结果见表 1, 本文以三角形单元体为基础, 对相应区域进行对应分析, 得出了完整的解析解, 所得结果如表 2 所示。本文结果中令  $\beta = 0$ , 即得到文献[11]结果。

由表 1 和表 2 知道, 单元体优化阶段, 在考虑角度约束时, 采用三角形单元体比矩形单元体总费用要小, 大约可使运费降低 6%。释放角度约束条件后, 所得结果更为优化 (当  $K_1 / K_0 = 0.2$  时, 相比通道垂直情形, 费用要降低 1.02%)。

表 1 以矩形单元体为基础的经济学构形优化结果(文献[9])

$i$	$n_{i,opt}$	$(H_i/L_i)_{opt}$	$C_{i,min}/m_i$
0(单元体)	—	$2K_1/K_0$	$(A_0 K_0 K_1)^{1/2}/2$
1(一级构形体)	$2K_0/K_2$	$K_2/K_1$	$(A_1 K_1 K_2)^{1/2}$
$\geq 2$ (二级构形体)	$4K_{i-1}/K_{i+1}$	$K_{i+1}/K_i$	$(A_i K_i K_{i+1})^{1/2}$

表 2 以三角形单元体为基础并释放角度约束条件的经济学构形优化结果(本文)

$i$	$n_{i,opt}$	$(H_i/L_i)_{opt}$	$C_{i,min}/m_i$
0(单元体)	—	$2K_1/(K_0 \cos^3 \beta)$	$2(A_0 K_0 K_1 \cos^3 \beta)^{1/2}/3$
1(一级构形体)	$4K_0/(3K_2)$	$3K_2/(2K_1)$	$2(A_1 K_1 K_2 \cos^3 \beta)^{1/2}/3^{1/2}$
2(二级构形体)	$8K_1/(3K_3 \cos^2 \beta)$	$K_3 \cos \beta / K_2$	$(2A_2 K_2 K_3 \cos^3 \beta)^{1/2}$
$\geq 3$ (三级构形体)	$4K_{i-1}/(K_{i+1} \cos^2 \beta)$	$K_{i+1} \cos \beta / K_i$	$(2A_i K_i K_{i+1} \cos^3 \beta)^{1/2}$

对最优单元体进行组装,得到一级构形体,按同样的优化方法还可以得到更高级的构形体。在考虑角度约束时,对比文献[9, 11]的优化结果(即三角形单元体和矩形单元体情形)发现,文献[11]优化方案中运费反而要高一些。在一级构形体优化阶段约高出15%,二级及以上则高出约41%。但值得注意的是,文献[11]的优化方案以三角形单元体为基础,在组装成高级构形体时,实际占有的面积只有区域面积的一半,同样重量的货物通过的距离更远。因此,以三角形单元体为基础对所给区域进行经济学分析,要比以矩形单元体为基础进行分析得出的结果更为优化,总运输费用更小。对比本文和文献[11]的结果知道,释放角度约束条件后,在单元体和一级构形体优化阶段,费用要下降约 $(1 - \cos^{1/2} \beta) \times 100\%$ ,在二级及以上构形体优化阶段则要下降 $(1 - \cos^{3/2} \beta) \times 100\%$ 。

### 5 结 论

以三角形单元体为基础,对给定区域进行了以费用最小为目标的经济学分析,在文献[11]的基础上,去掉运输通道互相垂直这一约束条件,得到了完整的解析解。所得解析解中如令 $\beta = 0$ (即表示各运输通道互相垂直),则可得到文献[11]中的结论。这表明,本文结论能包含前人工作结果,更具有普适意义。将本文优化结果与文献[9, 11]进行比较表明,相对于矩形单元体,用三角形单元体对所给区域进行经济学

优化,运输费用将会更低;而当各运输通道不再互相垂直,继续对其夹角进行优化时,运输费用能进一步地下降。这说明,释放角度约束条件,对运输通道间的角度进行优化,可得到更小的运输费用。

### 参考文献:

[1] BEJAN A. Shape and structure, from engineering to nature [M]. UK: Cambridge University Press, 2000.

[2] ROSA R N, REIS A H, MIGUEL A F. Bejan's constructal theory of shape and structure [M]. Evora: University of Evora, 2004.

[3] 陈林根, 孙丰瑞. 有限时间热力学理论和应用的发展现状 [J]. 物理学进展, 1998, 18(4): 395-422.

[4] 程新广, 李志信, 过增元. 基于仿生优化的高效导热通道的构造 [J]. 中国科学(E), 2003, 33(1): 251-256.

[5] 周圣兵, 陈林根, 孙丰瑞. 构形理论: 广义热力学优化的新方向之一 [J]. 热科学与技术, 2004, 3(4): 283-292.

[6] 陈林根. 不可逆过程和循环的有限时间热力学分析 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.

[7] BEJAN A. Constructal theory network of conducting paths for cooling a heat generating volume [J]. ASME J Heat Transfer, 1997, 40(4): 799-816.

[8] GHODOSSI L. Entropy generation rate in uniform heat generating area cooled by conducting paths: criterion for rating the performance of constructal designs [J]. Energy Convers Mgmt, 2004, 45(18): 2951-2969.

[9] BEJAN A, BADESCU V, DE VOS A. Constructal theory of economics [J]. Applied Energy, 2000, 67(1): 37-60.

[10] BEJAN A, BADESCU V, DE VOS A. Constructal theory of economics structure generation in space and time [J]. Energy Convers Mgmt, 2000, 41(10): 1429-1451.

[11] GHODOSSI L, EGRICAN N. Flow area structure generation in point to area or area to point flows [J]. Energy Convers Mgmt

2003, 44(16): 2609-2623.

[12] 王加璇, 张恒良. 动力工程热经济学 [M]. 北京: 水电出版社, 1995.

[13] 陈林根, 孙丰瑞, 陈文振. 两热源热机有限时间热经济性能界限和优化准则 [J]. 科学通报, 1991, 36(3): 233-235.

[14] 陈林根, 孙丰瑞, 陈文振. 传热规律对卡诺热机有限时间热经济最优性能的影响 [J]. 航空动力学报, 1991, 6(2): 170-174.

[15] DE VOS A. Endoreversible thermoeconomics of solar energy conversion [M]. Oxford: Oxford Univ Press, 1992.

[16] DE VOS A. Endoreversible thermoeconomics [J]. Energy Convers Mgmt, 1995, 36(1): 1-5.

[17] DE VOS A. Endoreversible economics [J]. Energy Convers Mgmt, 1997, 38(4): 311-317.

[18] CHEN L, SUN F, WU C. Endoreversible thermoeconomics for heat engine [J]. Applied Energy, 2005, 81(4): 388-396.

(渠 源 编 辑)

### 书 讯

## 热工联锁保护系统配置优化技术

本书共分6章,分别为热工联锁保护基本原则与要求、锅炉侧联锁保护系统、汽轮机保护系统、辅机程控联锁保护系统、保护用控制设备与测量元件、机炉联锁保护配置优化方案示例。

读者对象:热工联锁保护系统相关技术人员。

2006年7月出版

基于三角形单元体的构形理论经济学研究 = **Economics Study of Configuration Theory Based on Triangular Elements** [刊, 汉] / ZHOU Sheng-bing, CHEN Lin-gen, SUN Feng-rui (Department of Power Enging, Naval University of Engineering, Wuhan, China, Post Code: 430033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21 (5). — 441 ~ 444

Based on a configuration theory and first of all with triangular elements serving as an object of study along with a release of angle constraint, an economic analysis was conducted of a given area for the purpose of minimizing total freight charges. On this basis, the triangular elements were assembled into new rectangular configuration entities and then a same analysis was performed. A similar endeavor was kept up until a complete analytic solution had been obtained. A comparison of the optimization results with those available in relevant literature shows that the economic optimization conducted for the given area by using triangular elements would result in even lower freight charges. Moreover, when various transportation channels are no longer perpendicular to one other and a continual optimization of their included angle is pursued, the freight charges will be further reduced. It has been found that the use of triangular elements for performing an economic optimization along with a release of angle constraint can result in even lower freight charges. **Key words:** configuration theory, economics, triangular elements, generalized thermodynamics optimization

汽轮机排汽缸的气动研究进展 = **Recent Advances in the Study of Aerodynamic Performance of Steam Turbine Exhaust Hoods** [刊, 汉] / LI Dian-xi, FAN Yi, JIN Jie-min, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21 (5). — 445 ~ 449

The exhaust hood of a steam turbine is a passage for connecting the outlet of the last stage of a condensing type steam turbine with its condenser. To improve its aerodynamic performance can lead to a higher efficiency of the steam turbine. An analysis is conducted of the study of exhaust hoods from the following two aspects: numerical analysis and experiments. In addition, innovative measures to enhance the aerodynamic performance of exhaust hoods are also summarized. It has been found through the analysis that a joint numerical analysis of wet steam gas-liquid two-phase flow in the last stage and exhaust hoods represents the current development trend of numerical analysis of flow fields in exhaust hoods, and model experiments are the main methods for the study of exhaust hoods. As the performance of exhaust hoods is greatly influenced by inlet steam flows, the inlet flow field should reflect the actual conditions of the last stage outlet flows. Moreover, special attention should be paid to the simulation of outlet steam flows on top of the cascade. The innovative measures to improve the aerodynamic performance of exhaust hoods can be given as follows: adoption of a diffuser with a negative excessive height; adoption of an unsymmetrical diffuser; split-face arrangement of an axial-grid type vortex damper; adoption of moisture removal measures to minimize wetness-caused losses; improvement in condenser throat structure and reinforcement system. **Key words:** steam turbine, exhaust hood, aerodynamics, numerical analysis, model experiment

某型气冷涡轮级的三维优化设计 = **Three-dimensional Optimized Design of an Air-cooled Turbine Stage** [刊, 汉] / ZHAO Hong-lei, WANG Song-tao, HAN Wan-jin (Propulsion Theory and Technology Research Institution under Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001), LI Dong-ping (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21 (5). — 450 ~ 455

With the continuous improvement in performance of modern aeroengines, the design of air-cooled turbines has become ever more important. Many people have conducted a study of optimized design of modern aeroengines without the use of cooling air. However, with respect to the optimized design with cooling air, to date, no literature has yet been available. By a combined use of an artificial neural network and a genetic algorithm, a three-dimensional optimized design was conducted of blade profiles and inter-stage matching of an air-cooled turbine stage. By solving a full three-dimensional viscous flow N-S equation, a flow field calculation was performed. The optimization process involves the adoption of a method,