

文章编号: 1000-8055(2003)04-0481-04

发动机附件三维布局方法研究

罗 强, 陈志英

(北京航空航天大学 能源与动力工程学院, 北京 100083)

摘要: 探讨了基于发动机和其附件数字模型的三维自动布局。参考二维大规模集成电路布局算法, 结合发动机的结构特点采用了“二维扇形投影距离”的方法, 简化了三维空间最短距离的描述。结合布局规则, 在约束条件下, 应用改进的优化算法, 实现了对发动机附件的自动布局。在本文的示例中总共布局 14 个附件, 耗时 20 分钟。

关键词: 航空、航天推进系统; 布局; 发动机; 附件; 距离算法

中图分类号: V 233

文献标识码: A

The Study of Layout Method for 3D Engine Accessories

LUO Qiang, CHEN Zhi-ying

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The 3D auto-layout method is studied that is based on the numeric model for engine and its accessories. The 2D LSI (Large Scale Integration) layout arithmetic is used for reference. The 3D minimum distance is changed into 2D using the method of "2D sector projection distance" according to the structure. This method simulates the real situation of the pipe connection of all the accessories well. It is developed that the software of 3D automatic layout is combined with the optimizing arithmetic and the rules of realities that have been summarized. So that the layout for 3D engine accessories is realized. 14 accessories have been placed as an example in this thesis. It takes nearly 20 minutes to complete it.

Key words: aerospace propulsion; layout; engine; accessories; distance arithmetic

1 研究背景

航空发动机附件的布局设计一直是困扰发动机整体设计的瓶颈。航空发动机的附件种类多, 用途不一, 形状复杂, 各附件布局位置无过多的规范性条款的约束, 因此造成了在设计中很大程度依赖于经验和反复的校正。

在目前的实际工程中, 设计人员仍采用传统二维图纸来设计发动机附件的位置: 先确定位置比较固定的附件机匣的位置, 然后根据实际的发动机情况确定其他的附件。而且还要与实际情况

进行多次的校正, 通过不断的调整位置来使其适应飞机的安装外廓, 并且要考虑到实际装配中的路径问题。附件位置的设计对于发动机的安装、调试、检测、维护都产生影响。

由此可见, 传统的设计方法主要的障碍是依靠设计人员的经验, 以二维来实现三维的设计。这就必然出现反复修改的过程。

基于目前三维 CAD 软件已经成熟, 本论文将应用发动机数字模型样机进行外部附件布局方法的研究。这方面的探索在一定程度上推进了发动机设计自动化、智能化、科学化的进程。

收稿日期: 2002-09-19; 修订日期: 2002-12-16

作者简介: 罗强(1977-), 男, 陕西西安人, 北京航空航天大学能源与动力工程学院硕士生。

2 附件布局规则

2.1 总体约束条件

- (1) 发动机附件安装支架的限制。
- (2) 发动机短舱的外廓限制。
- (3) 附件之间的可维修性(扳手距离的限制)。
- (4) 发动机布局段的前后距离限制。
- (5) 发动机主要附件都在上半部(也可设为下半部)。

2.2 部件约束条件

- (1) 附件机匣的位置已经确定(在传动轴处)。
- (2) 加力燃油分配器都在发动机上部。
- (3) 分配器离加力区较近,加力供油装置力与分配器不太远(整个长度的中间位置)。
- (4) 滑油箱应放在发动机上部。
- (5) 附件放置要充分利用空间。

3 布局方法

本文以二维印刷电路版的算法为借鉴,将其转化为三维发动机附件的算法。

本文采用的算法是优化中的外点罚函数法^[1](文献[1]详细介绍了有关外点罚函数法的理论),目标函数是附件之间的几何中心点连接距离。而在安排附件布局顺序上改用了二维大规模集成电路板设计的基于内外联结度的方法^[2]。文献[2]详细解释了二维集成电路中内外联结度法的应用。

首先确定各个附件的联结度矩阵:确定相互之间管路的粗细和多少(结合实际调研,本文研究

中只采用了大于 18 mm 的管路)。根据这些计算出附件连接关系的 DC (Inside-Outside Connectivity) 值。对于 2 个不同单元 X 和 Y 之间的 DC 值定义^[2]为: (文献[2]中列出了对于二维集成电路 DC 值的定义)

$$DC(X, Y) = \sum (D_k \times P_k)$$

D_k 是管路的直径, P_k 是每个管路的权值,这里均取 1。

根据 DC 值的大小,确定了布局的顺序。对每一个未安置单元,开始时令 DC_x 等于 0; 对于布局单元集 S_k , 如果 S_k 中除了单元 X 外其他的单元都属于已安置单元集,则 $DC_x = DC_x + D_k \times P_k$; 如果 S_k 中所有的元素都属于未安置单元集,则:

$$DC_x = DC_x - D_k \times P_k$$

确定布局顺序后,目标函数就是计算现在两个附件的管路连接距离。根据发动机的特点,是在三维空间的一段近似圆锥区域布局,不能直接应用两点间欧几里德距离最短的算法。参考长度计算中的二维曼哈坦距离的描述方法^[3],具体的定义方式可以参考文献[3]。本论文采用了转换为柱坐标下的距离描述方法,本论文称之为“二维扇形投影距离”方法。具体介绍如下:

将整个发动机的布局段近似地看成一段圆锥,如图 1 所示。

发动机的绝对坐标定在进气锥最顶部, X 轴沿发动机轴向(就是气流方向), Y 轴指向发动机的径向。将整个布局段沿轴向展开为二维扇面,扇面中的转角都规定为逆时针方向。这样得到如图 2 的二维展开图。

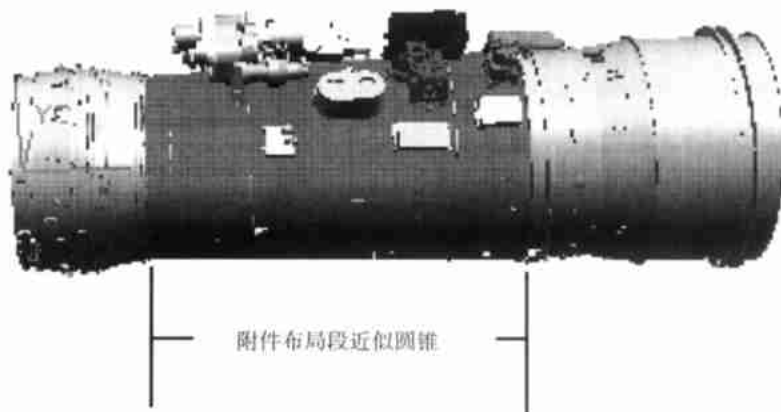


图 1 整个附件布局段显示

Fig 1 Layout region the whole

图中: 对于任意 2 个附件, a 为已经确定位置的附件管路连接点, b 为要布局的附件的管路连接点; D_a, D_b 分别表示附件 a 和附件 b 两个附件管路连接点到投影圆锥段的圆锥顶点的距离。细实线围起来的是整个布局区域的扇形展开段, 虚线描述的就是 a, b 两个附件中管路连接点的二维扇形投影距离。其中角度单位都规定为弧度, 长度单位均为 cm 。 β_a 是 a 点的二维投影角度, β_b 是 b 点的二维投影角度。

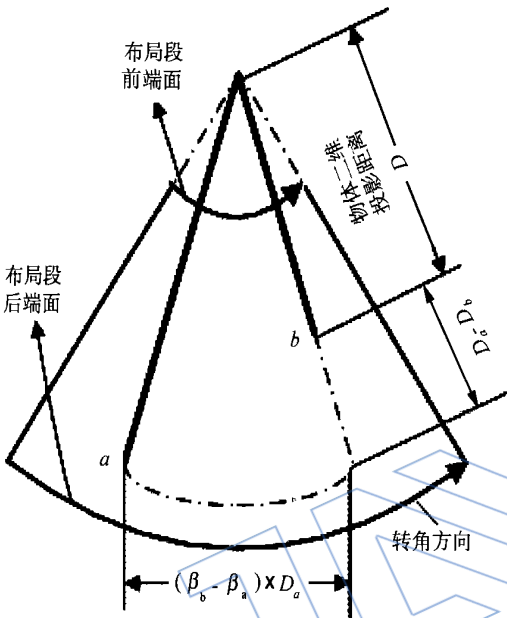


图 2 布局段展开成二维扇形

Fig 2 2D sector projection of the region

整个距离的表达式:

$$D = D_a - D_b + (\beta_b - \beta_a) \times D_a$$

这样就克服了不能很好的描述三维距离的缺点, 也是为了更真实的描述管路在三维空间中沿周向和轴向伸展的约定, 最真实的保证了目标函数的工程应用性。

然后结合实际给定的约束条件, 采用选定的优化算法求解使得 D 取最小值时的 b 点坐标, 就得到了一个附件的最佳位置。

对于其他附件的安置: 令已安置单元在可行域上的位置集为 $P_0^i = \{P_0(M, N)\}$ 。设 $P_1^i = \{P_1(I, J)\}$ 满足: $P_1^i = \{P_1(I, J) \mid (I, J), I = M - 1, M + 1, J = N - 1, N + 1 \text{ 且 } P_1(I, J) \prec P_0^i\}$ 就称 P_1^i 为 P_0^i 的临界位置集。选定单元必须在 P_1^i 中选择合适位置, 使目标函数达到极小值。不断重复上述步骤直到所有附件布局完毕。

4 具体实现

以发动机大油滤为例, 具体的布局数学算法和思路如下(其他附件目标函数相似): 首先根据实际的管路连接关系确定它的 DC 值。在与之连接多条管路中超过 18 mm 的一共有 2 条: 53 mm 连接附件机匣, 36 mm 连接附件机匣。根据实际的 DC 值计算公式:

$$DC = (D_1 \times P_1 + D_1 \times P_1 + \cdots D_k \times P_k)$$

公式中: D 是管路直径, P 为加权值, 这里取 1。

这样大油滤的 DC 值为 89, 然后计算出所有附件的 DC 值与之比较。实际结果为大油滤的 DC 值最大, 这样首先布置大油滤。应用 UG^[4] 的三维设计函数直接可以得出大油滤管路连接点在空间的坐标: X_c, Y_c, Z_c (文献[4]中记录了 UG 所有的函数 APD)。根据二维投影距离公式得出大油滤管路连接点和附件机匣管路连接点的距离公式(这里为 2 根管路连接点的距离总和), 应用优化算法计算其最优化结果。

在这其中实际施加的整体约束为:

- (1) 安装要求: 大油滤底部最少距离机匣 12 mm。这是根据实际调研中安装支架的要求决定的。在实际中 $Z_{\text{油滤}}^{\text{油滤}} > R \text{ 截面} + 12 \text{ mm}$ 。
- (2) 飞机短舱限制: 如图 1 所示还要考虑飞机短舱的限制, 使得附件的 $X_{\text{max}}, Y_{\text{max}}, Z_{\text{max}}, X_{\text{min}}, Y_{\text{min}}, Z_{\text{min}}$ 都在飞机短舱的尺寸线内。
- (3) 可维修性设计要求: 附件机匣和大油滤之间距离最近的点的距离必须大于一个扳手空间。在实际中 $(X_{\text{机匣}}^{\text{机匣}} - X_{\text{油滤}}^{\text{油滤}}) > 200 \text{ mm}$ 。
- (4) 前后距离限制: 也就是对于 $X_{\text{max}}, X_{\text{min}}$ 都要在发动机的布局区域内。

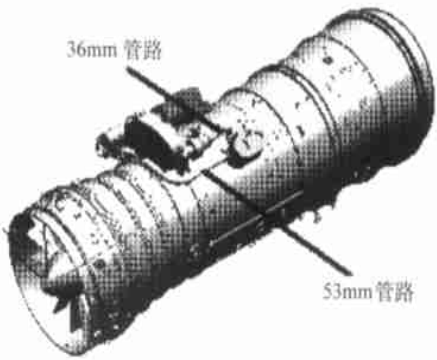


图 3 大油滤优化结果显示

Fig 3 The optimization result of oil filter

- (5) 在本次布局中采用了上置式的布局, 要

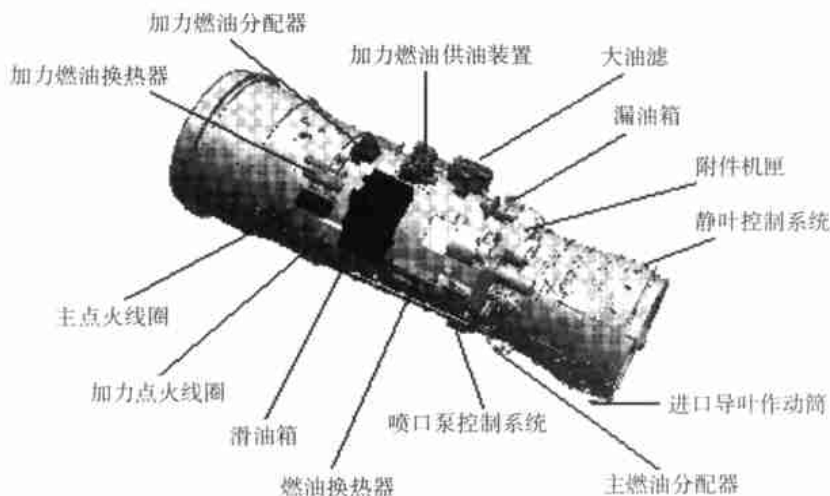


图 4 附件布局结果显示

Fig 4 The final layout result of all accessories

求附件集中在上部, 就是 $Z_{\min}$ 要尽可能的大。

(6) 各个附件空间不能相交。

在这其中实际施加的单独约束为: (1) 大油滤必须在附件机匣的后面; (2) 尽量靠近附件机匣上 53 mm 粗管的出口处。布局完成后将其坐标位置从三维可行域去除。

大油滤布局完后优化的结果为图 3 所示, 大油滤优化后的位置完全满足了上述约束, 且使得管路的距离最小, 布置美观、合理。

其它的附件的目标函数也和大油滤一样, 根据设计中的管路连接关系, 以相关的两个附件管路联接点的二维扇形投影距离为目标函数, 施加上述公共约束和单独约束, 直至布局完毕。

5 结果分析

采用的发动机模型中总共选择了 14 个附件进行布局运算, 它们之间符合要求的连接管路总共为 14 根。布局结果如图 4 所示。

在图 4 中, 各个附件的位置基本上达到了规定的要求。例如: 加力燃油分配器都在发动机上部, 且离加力区较近。发动机附件都在安装支架以上, 安装轮廓以内, 而且附件间的距离都考虑了扳手空间。可以说基本上达到了满意的效果。

难点分析和解决: (1) 多约束问题: 每个附件既有统一的约束, 又有各自不同的约束, 这样在自动化布局的实现上就有很大的难度。算法中采用了在子函数中随机根据约束数目生成其他相关变量的方法, 很好的解决了这个难题; (2) 附件的几何复杂问题: 发动机附件几何形状很复杂, 很难定

位, 对与其几何中心点的位置就很难直接获得。研究中应用了 UG 的二次开发函数, 通过绝对坐标和相对坐标的转换, 解决了这个问题, 精确的得到了当前工作坐标下附件几何中心点的描述。

6 结束语

本文的研究意义在于附件的布局设计不只依赖于经验, 可以依靠三维算法来进行。在布局完成以后, 为接下来的敷管等工作打好了基础, 提高了管路的布通率, 避免返工。连接已开发完毕的计算机辅助管路敷设系统, 将形成一整套的完整的发动机外部 CAD 设计系统。

本文的研究方法很好得解决了发动机附件的布局难题, 结合了实际的布局经验, 大大提高了工作效率, 减少了实际费用, 结合电子样机, 很好得改变了发动机设计的传统模式。

在采用的发动机模型上, 布局的总时间为 20 分钟, 基本达到了满意的结果, 可以预见该系统的开发对于复杂的发动机外部设计起到了推动作用, 如果能应用于实际, 将大大提高设计的效率。

参考文献

- [1] 刘惟信, 孟嗣宗. 机械最优化设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986
- [2] 庄文君, 李玉兴. 集成电路版图设计自动化[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1986
- [3] 张良震, 庄文君, 马兴图, 等. 大规模、超大规模集成电路计算机辅助设计[M]. 电子工业出版社, 1986
- [4] EDS Unigraphics UG/Open API Reference[Z]. Electronic Data System Corporation, Unigraphics Division V 14.0, 2000