第3卷 第2期 复合材料学报 Vol. 3 No. 2
1986年6月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA June 1986

用序列二次规划作复合材料结构的优化设计

朱劍森 乔 新

（南京航空学院飞机系）

摘 要

本文介紹用序列二次规划进行金属与复合材料的薄壁混合結构在給定拓朴、几何外形和材料組成条件下的最輕結构設計。以有限元素法为分析手段，元素为金属及复材的杆膜元，取板厚、杆截面尺寸及复材的各向鋪层的层数为設計变量。这里主要介紹位移及工艺尺寸約束下的最輕重量設計，对于其它复杂約束其基本原理和方法是类似的。序列二次规划作結构設計的主要优点在其工程应用价值。它的重分析次数少，从本文的实例中可以看出它比最佳准則法解大型的命題重分析次数約少40～50%；并且可以統一处理各种不同类型的約束，这对大型复材飞机結构的优化設計，无疑有着很大的經济效益。

引 言

1979年*Schmit*和*Fleury*在*ACCESS*—2的基础上发展成以对偶理论为基础的结构优化程序*ACCESS*—3[1]，他们采用了变量链技术和约束删除技术，并将保留的约束函数用倒设计变量的一阶泰勒近似公式表示，目标重量是倒设计变量的非线性函数，最后形成一系列近似的非线性规划的对偶规划问题，然后用二阶牛顿算法或一阶梯度投影法求解。该程序可以用于复材结构的鋪层优化设计。计算经验表明，对偶算法能够明显地提高计算效率，因为对偶空间的维数要比原问题的优化空间小很多。

1983年，*Esping*[2][3]采用序列线性规划的对偶算法进行了复材结构最轻结构的鋪层和方向设计。计算中采用了目标函数和约束函数的一阶近似表达式，并采用了一定的措施，

本文1985年9月收到

以保证算法的稳定和收敛。

1980～84年，錢令希等提出一个新的结构优化设计途径——$P(\mu)$规划的序列二次规划解法[1]。基本思想是把一个非线性规划问题化为一系列二次规划求解。它比传统的序列线性规划方法有效，避免了由于迭代步长的稍大而可能发生的收敛缓慢或由于约束删除而产生的振荡，加快了收敛速度，同时又比一般的非线性规划问题容易求解。

我们把这个方法应用于金属复材混合结构的优化设计，取得了令人满意的结果。

二次规划問題的形成

首先，我们把复合材料结构离散成n个有限单元，每个单元又化为n_i个方向相同鋪层组的子单元。这样，结构重量可表示为：

$$W(A)=\sum_{i=1}^{n} l_i \sum_{j=1}^{n_i} \rho_{ij} A_{ij} \tag{3—1}$$

这里ρ_{ij}和A_{ij}分别为第i个单元中第j个子单元的比重和鋪层厚度；l_i是第i个单元的面积，n_i是第i个单元的鋪层方向类别数（子单元数）。

采用设计变量链并引进倒数设计变量x，则结构的最轻重量设计问题就可归结为如下的数学规划問題：

$$\left.\begin{array}{lll} \text{求} & x & \text{使} \quad W(x)\to min \\ \text{受约束} & & G_r(x)\leqslant \bar{G}_r \\ \text{及} & & \underline{x}_i\leqslant x_i\leqslant \bar{x}_i \end{array}\right\} \tag{3—2}$$

这里，x为倒设计变量，$W(x)$为结构重量，r为约束的序号，$\underline{x}_i$和$\bar{x}_i$为设计变量的下限及上限。

$$W(x)=\sum_{i=1}^{n} x_i^{-s_i} L_i \tag{3—3}$$

其中L_i是与设计变量链x_i相应的单元对重量的贡献。$G_r(x)$为结构的响应函数。一般为A_i的非线性函数，但由于引进了倒设计变量，使得约束超曲面接近于超平面。为了简化计算，采用$G_r(x)$的一阶泰勒近似表达式$\tilde{G}_r(x)$来代替$G_r(x)$，这里

$$\tilde{G}_r(x)=\sum_{i=1}^{n} \tau_{ri}^{0} x_i \tag{3—4}$$

其中τ_{ri}^{0}是与第i个设计变量连接的所有单元对结构第r个响应的贡献。τ_{ri}^{0}可由莫尔积分公式求得或用其它方法求得。在每一轮迭代中我们假设τ_{ri}^{0}保持不变，这也就是相当于对超静定结构做了暂时静定化的假设。这样，原来的数学规划问题（3—2）就转化为下列的近似问题：

$$\left.\begin{array}{lll} \text{求} & x? & \text{使} \quad W(x)\to min \\ \text{受约束} & & \tilde{G}_r(x)-\bar{G}_r\leqslant 0 \\ \text{及} & & x_i\leqslant x_i\leqslant \bar{x}_i \end{array}\right\} \tag{3—5}$$

写出$Lagrange$辅助函数

$$L(x,\ \mu)=W(x)+\sum_{r=1}^{m} \mu_r+(\tilde{G}_r(x)-\bar{G}_r) \tag{3—6}$$

m为约束总数，μ为$Lagrange$乘子。

原问题（3—5）的最优解与其Lagrange辅助函数的鞍点有密切的关系。从鞍点(x, μ)的定义可知，当μ给定时，x是$L(x, \mu)$关于x的极小点；当x已知时，μ是$L(x, \mu)$关于μ的极大点[5]。如果对于每个$\mu \geqslant 0$，$L(x, \mu)$的极小点都存在，即：

$$h(\mu)=minL(x, \mu) \tag{3—7}$$

这里$h(\mu)$称为对偶函数，则我们可以写出原（3—5）问题的对偶规划问题：

$$\left.\begin{array}{ll} \text{求 } \mu? & \text{使} h(\mu) \rightarrow max \\ \text{受约束} & \mu \geqslant 0 \end{array}\right\} \tag{3—8}$$

由（3—7），我们知道下面的条件应被满足：

$$\frac{\partial W(x)}{\partial x_i}+\sum_{r=1}^{m} \mu_r \frac{\partial G_r(x)}{\partial x_i}=0 \tag{3—9}$$

我们把（3—3），（3—4）式代入（3—9），便有

$$-\frac{\xi_i L_i}{x_i^{\xi_i+1}}+\sum_{r=1}^{m} \mu_r \tau_{ri}^0=0 \tag{3—10}$$

这样就可确定对偶设计变量μ_r与原设计变量x_i之间的函数关系。如果将（3—10）在第k次设计点处作一阶泰勒近似展开，就可得到两个设计空间中变量间的近似关系：

$$x_i=\frac{x_i^{(k)}}{\xi_i+1}\left[\xi_i+2-\frac{(x_i^{(k)})^{\xi_i+1}}{\xi_i L_i} \sum_{r=1}^{m} \mu_r \tau_{ri}^0\right] \tag{3—12}$$

这样对偶函数$h(\mu)$就可写成：

$$h(\mu)=W[x(\mu)]+\sum_{r=1}^{m} \mu_r\{\bar{G}_r[x(\mu)]-\bar{G}_r\} \tag{3—13}$$

为了能采用二次规划的方法解对偶问题（3—8），我们把（3—13）作二阶泰勒近似展开，即：

$$h(\mu)=h(\mu_0)+\sum_{r=1}^{m} \frac{\partial h(\mu_0)}{\partial \mu_r}(\mu_r-\mu_r^0)$$

$$+\frac{1}{2} \sum_{r=1}^{m} \sum_{p=1}^{m} \frac{\partial^2 h(\mu_0)}{\partial \mu_r \partial \mu_p}(\mu_r-\mu_r^0)(\mu_p-\mu_p^0) \tag{3—14}$$

其中一阶偏导数和二阶偏导数可通过（3—13）式的微分求得

$$\frac{\partial h(\mu)}{\partial \mu_r}=\sum_{i=1}^{n} \tau_{ri}^0 x_i-\bar{G}_r \tag{3—15}$$

$$\frac{\partial^2 h(\mu)}{\partial \mu_r \partial \mu_p}=\sum_{i=1}^{n} \frac{\tau_{ri}^0 \tau_{pi}^0 (x_i)^{\xi_i+2}}{\xi_i(\xi_i+1) L_i} \tag{3—16}$$

把上面两式代回（3—14）式中，经过整理，并略去其中对优化结果不发生影响的常数项，我们就把非线性规划的对偶规划问题$P(\mu)$转化为下面的准无约束的二次规划问题：

$$\text{求 } \mu? \quad \text{使} \quad \left(-h(\mu)=\frac{1}{2} \sum_{r=1}^{m} \sum_{p=1}^{m} \tau_{rp} \mu_r \mu_p-\sum_{r=1}^{m} b_r \mu_r\right) \longrightarrow min \tag{3—17}$$

$$\text{受约束} \qquad \mu \geqslant 0$$

其中

$$\tau_{rp}=\sum_{i=1}^{n} \frac{\tau_{ri}^0 \tau_{pi}^0 (x_i^{(k)})^{\xi_i+2}}{\xi_i(\xi_i+1) L_i} \tag{3—18}$$

$$b_r = \sum_{i=1}^{n} \frac{\overset{c}{\varsigma}_i + 2}{\overset{c}{\varsigma}_i + 1} \tau^0_{ri} x_i^{(k)} - \bar{G}_r \tag{3—19}$$

如果我们的约束函数形式取为

$$G_r(x) - \bar{G}_r \geqslant 0 \tag{3—20}$$

则（3—17）式中的一次项系数应作相应的改变，即

$$b_r = \bar{G}_r - \sum_{i=1}^{n} \frac{\overset{c}{\varsigma}_i + 2}{\overset{c}{\varsigma}_i + 1} \tau^0_{ri} x_i^{(k)} \tag{3—21}$$

可以证明，二次规划问题（3—17）中目标函数的海森矩阵是半正定矩阵，如果我们选取的约束是相互独立的，则可保证海森矩阵是正定矩阵。因此，二次规划问题（3—17）的解是存在的。求出对偶设计变量之后，就可由(3—11)式或(3—12)式计算出原问题（3—5）的最优解，然后在新的设计点形成新的规划问题，重复下去，就可逐步逼近真实问题的最优解。

复合材料結构的优化設計

在前面我们已经得到了结构设计$P(\mu)$问题二次规划的表达式，现在我们以复材结构在位移约束下的优化设计为例说明其应用。

结构的有限元方程可以表示为

$$[K]\{u\} = \{P\} \tag{3—22}$$

这里$[K]$是结构的总刚矩阵，$\{P\}$和$\{u\}$为节点载荷向量及其对应的节点位移向量。对（3—22）式求导，就可得到位移对设计变量的偏导数。

$$\frac{\partial\{u\}}{\partial x_i} = -[K]^{-1}\frac{\partial[K]}{\partial x_i}\{u\} \tag{3—23}$$

或

$$\frac{\partial u_r}{\partial x_i} = -\{\delta\}^T\frac{\partial[K]}{\partial x_i}\{u\} \tag{3—24}$$

这里$\{\delta\}$是结构对应于虚载荷$\{q\}$的节点位移向量，而$\{q\}$是一个除第r行的元素为单位值其除元素全为0的单位向量。

我们采用的是线性元素。结构刚度矩阵对倒设计变量x_i的导数可表示为：

$$\frac{\partial[K]}{\partial x_i} = -\frac{1}{x_i}[K] \tag{3—25}$$

这样，位移导数（3—24）可表示为：

$$\frac{\partial u_r}{\partial x_i} = \frac{1}{x_i}\{\delta_i\}^T[K]_i\{u\}_i \tag{3—26}$$

其中$[K]_i$是与设计变量链x_i连接的所有单元的组合刚度矩阵，而$\{\delta\}_i$和$\{u\}_i$分别为与$[K]_i$相关的节点虚位移向量和实位移向量。

我们在设计点x^k处把位移响应函数u_r展开成一阶泰勒级数

$$u_r = u_r^k + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial u_r^{(k)}}{\partial x_i}(x_i - x_i^{(k)}) \tag{3—27}$$

把（3—26）代入（3—27）式，经过简化整理得：

$$u_r=\sum_{i=1}^{n} x_i\left(\frac{\{\delta\}_i^T[K_r]\{u\}_r}{x_i}\right)^{(k)} \tag{3—28}$$

比较（3—28）和（3—4）式就有

$$\tau_{ri}^{0}=\left(\frac{\{\delta\}_i^T[K]_i\{u\}_i}{x_i}\right)^{(k)} \tag{3—29}$$

这样，我们可以把复合材料结构在位移约束下的优化设计问题表示成下面一系列对偶空间中的二次规划问题：

$$\left.\begin{array}{ll}\text{求 } u? \quad \text{使} & \left(-h(\mu)=\frac{1}{2}\sum_{r=1}^{m}\sum_{p=1}^{m}\tau_{rp}\mu_r\mu_p-\sum_{r=1}^{m}b_r\mu_r\right)\longrightarrow min \\ \text{受约束} & \mu\geqslant 0\end{array}\right\} \tag{3—30}$$

其中的系数由（3—18），（3—19）及（3—21）式所定义。

为了使求解二次规划的方法在几何上能清楚地说明起见，我们采用了*Beale*[6] 算法求解（3—30）二次规划。

整个优化设计过程的具体步骤如下：

1. 选择初始设计变量。
2. 在各种载荷情况下，进行结构的有限元分析。
3. 确定最大位移比d_{max}

$$d_{max}=\max_r\left(\frac{u_r}{\bar{u}_r}\right)$$

4. 射线步调参，把设计点拉到约束界面上。
5. 计算结构重量。
6. 进行收敛性检查。如果满足收敛条件则停机，否则转下一步。
7. 进行结构的敏度分析，形成约束的近似表达式。
8. 形成对偶问题的二次规划并用*Beale*法求解。
9. 由对偶变量求出原变量，返回第二步。

算　例

算例采用的结构如图 1 所示。例题选自文献[7]。悬臂盒段的上下蒙皮是硼/环氧复合材料层合板，简化成18个平面应力四边形膜元没有肋的腹板。梁的腹板和支柱为铝合金材料。18个金属受剪板和18个等轴力支柱杆元。

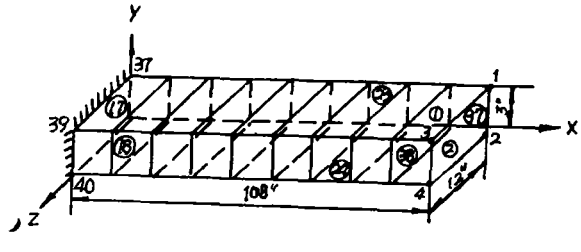

图　1

硼/环氧层合板的物理特性（单位为磅、吋英制）：

$E_{11}=30.0\times10^6$

$E_{22}=2.7\times10^6$

$G_{12}=0.7\times10^6$

$\nu_{12}=0.21$

$\rho=0.0725$

$t_0=0.0052$

铝合金材料

$E=10.5\times10^6$

$G=4.038\times10^6$

$\nu=0.3$

$\rho=0.1$

杆的最小尺寸约束为0.005″，板的最小尺寸约束为0.005″。

第一种设计情况：在节点1、2、3和4上沿y方向作用四个1000lb的载荷，36个自由节点在y方向都存位移约束，约束位移值见下表。

第二种设计情况：在节点1、2上沿y方向作用两个1000lb载荷，在3、4节点上沿y方向只作用975lb的两个载荷。节点1、2的位移约束值为11.00″，而节点3、4的约束值却为15.00″。

计算结果表明，本文所采用的序列二次规划方法远优于文献[7]中的位移准则法。

表1　重量变化过程

设计情况	迭代 / 重量（磅）	1	2	3	4	5	6	7	8	9
载荷1	[7]	186.09	50.59	40.01	34.65	32.43	31.94	31.71	31.55	31.39
	本文	1933.14	95.76	62.52	45.50	37.02	32.64	30.70	29.94	29.44
载荷2	[7]	79.30	21.57	16.86	14.81	14.76				
	本文	624.30	20.76	20.20	17.32	15.82	15.68	14.60	14.46	14.22

设计情况	迭代 / 重量（磅）	10	15	20	25	30
载荷1	[7]	31.23	30.35	29.48	29.03	28.78
	本文	29.08	28.64			
载荷2	[7]	14.69		14.60		14.60
	本文	14.22				

表2　悬臂盒段在设计情况下1的位移变化历程

节点 / 迭代次数	1—4	5—8	9—12	13—16	17—20	21—24	25—28	29—32	33—36
1	4.539	3.780	3.041	2.340	1.696	1.129	0.657	0.300	0.076
2	6.998	5.387	3.865	2.520	1.440	0.708	0.305	0.121	0.043
4	6.948	5.385	4.000	2.853	1.926	1.189	0.630	0.280	0.098
6	6.961	5.358	3.986	2.889	1.983	1.257	0.698	0.300	0.085
8	6.960	5.359	3.997	2.895	1.989	1.259	0.698	0.300	0.085
10	6.943	5.346	3.988	2.890	1.985	1.257	0.697	0.300	0.085
12	6.940	5.343	3.986	2.888	1.984	1.256	0.696	0.300	0.086
14	6.937	5.342	3.985	2.887	1.983	1.256	0.696	0.300	0.086
16	6.943	5.346	3.987	2.889	1.984	1.256	0.696	0.300	0.086
位移約束值	7.00	6.00	4.00	3.00	2.00	1.50	0.80	0.30	0.10

表3　悬臂盒段在设计情况下2的位移变化历程

节点 / 迭代次数	1—2	3—4	5—6	7—8	9—10	11—12	13—14	15—16	17—18
1	14.00	13.76	11.66	11.46	9.38	9.22	7.22	7.09	5.23
2	14.00	13.71	10.61	10.68	8.14	7.97	5.89	5.76	4.11
3	13.98	15.00	10.92	11.86	8.21	9.06	5.90	6.65	3.99
4	13.97	15.00	11.11	12.04	8.53	9.38	6.30	7.05	4.40
5	13.97	15.00	11.10	12.05	8.54	9.39	6.31	7.07	4.42
6	13.97	15.00	11.11	12.05	8.56	9.41	6.33	7.09	4.44
7	13.97	15.00	11.12	12.07	8.58	9.43	6.36	7.11	4.48
9	13.97	15.00	11.15	12.09	8.62	9.47	6.42	7.17	4.54
11	13.97	15.00	11.15	12.09	8.62	9.47	6.42	7.17	4.54
Ref[2]50	13.99	15.00	11.16	12.11	8.63	9.52	6.42	7.23	4.54

节点 / 迭代次数	19—20	21—22	23—24	25—26	27—28	29—30	31—32	33—34	35—36
1	5.14	3.48	3.42	2.03	1.99	0.93	0.91	0.24	0.23
2	4.03	2.73	2.68	1.68	1.65	0.90	0.88	0.34	0.34
3	4.63	2.48	3.02	1.37	1.78	0.61	0.89	0.16	0.30
4	5.05	2.83	3.36	1.60	2.01	0.71	1.00	0.19	0.33
5	5.07	2.86	3.39	1.64	2.05	0.75	1.03	0.20	0.35
6	5.09	2.89	3.42	1.66	2.07	0.77	1.05	0.22	0.36
7	5.12	2.92	3.45	1.70	2.11	0.80	1.08	0.23	0.38
9	5.18	2.98	3.51	1.75	2.16	0.84	1.12	0.26	0.40
11	5.18	2.98	3.51	1.75	2.16	0.84	1.12	0.26	0.40
Ref[2]50	5.25	2.98	3.58	1.75	2.22	0.84	1.17	0.26	0.43

表 4　复材板最后设计结果

元素号			1—2	3—4	5—6	7—8	9—10	11—12	13—14	15—16	17—18
情况1	0°	[7]	1.19	4.62	9.42	15.29	21.04	26.76	32.45	43.54	58.41
		本文	1.22	4.47	9.16	14.52	21.42	26.67	32.86	43.97	58.41
	90°	[7]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	..00	1.00
		本文	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	145°	[7]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
		本文	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
情况2	0°	[7]	0.98	3.27	5.81	8.34	10.87	13.40	15.93	18.45	20.89
		本文	0.94	3.20	5.73	8.27	10.82	13.37	15.92	18.48	20.93
	90°	[7]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
		本文	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	145°	[7]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
		本文	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

表5　金属板最后设计结果

元素号		19—20	21—22	23—24	25—26	27—28	29—30	31—32	33—34	35—36
情况1	[7]	0.0211	0.0213	0.0306	0.0323	0.0367	0.0367	0.0368	0.0732	0.0734
	本文	0.0207	0.0207	0.0341	0.0341	0.0341	0.0341	0.0341	0.0743	0.0341
情况2	[7]				0.0206/0.0069					
	本文				0.0208/0.00684					

結　論

计算结果表明，本文采用的方法远优于[7]提出的最佳准则法，迭代十次以后已经能得到满意的结果，对于第二种设计情况，第十次迭代以后重量几乎不再下降。

在第一种设计情况下，每次迭代最多只有三组约束是临界约束，即其对应的 *Lagrange* 乘子不为零，为零的都为非临界约束，利用这个特点，在每次形成二次规划问题前，在程序上不难实现暂时的约束删除以减少约束函数的数目，这对于约束众多的大型结构优化设计问题，收益更大。

从计算结果来看，序列二次规划作为一种工程优化设计方法，可以有效地解决设计变量众多的复合材料结构的优化设计问题，而且容易推广到其它类型的约束优化设计问题。

参 考 文 献

[1] Schmit, L.A and Fleury, C, "An Improved Analysis/Synthesis Capability Based on Dual Methods-ACCESS 3", AIAA Paper No.79-0721.

[2] Esping, B.J.D, "Minimum Weight Design of Membrane Structures", RIT, Stokholm Sweden Report, No.83-1.

[3] Esping, B.J.D, "Minimum Weight Design of Membrane Structure Using Eight Node Isoparametric Elements and Numerical Derivatives", RIT, Stockhlm, Sweden Paper, No.83-5.

[4] 錢令希等，"工程結构优化設計的一个途径——序列二次规划 SQP"，《計算結构力学及其应用》，第一卷，第一期，1984年2月，pp.7-20.

[5] Wismer, D.A.and Chattergy, R., Introduction to Nonlinear Optimization, 1978.

[6] Kunzi, H.P., Tzschach, H.G.and Zender, C.A., Numerical Methods of Mathematical Optimization, 1971.

[7] Khot, N.S., Venkayya, N.B.and Berke, L., Optimum Design of Composite Structure with Stress and Displacement Constraints", AIAA Paper.No.75-141.

更　正

在本刊1985年第2卷第4期第40到第48頁张汝光、許守勃两位同志合著的"纤維增強复合材料的基体和界面控制破坏的強度理論"一文中，由于編輯和印刷方面的疏忽，造成文中多处出现錯誤，现在更正如下。

1) 第40頁中"破坏准則的簡略回顾"一节中第一段第四行**"米西斯准則或最大剪应力准則来处理脆性材料等等"**应为**"米西斯准則或最大剪应力准則处理塑性破坏材料，用最大正应力准則或者莫尔准則来处理脆性材料等等"**

2) 第42頁公式(14)下面第二行中**"采用朱颐龄提出的截面纤维等应力……"**应为**"采用朱颐龄提出的圆截面纤维等应力……"**

3) 第42頁公式(16)第2行中根号内"$\frac{4V_f}{\pi}$"应为"$-\frac{4V_f}{\pi}$"

4) 第43頁公式(27)中的σ_{4SB}应为σ_{45B}

5) 第45頁第5行中"(712-576)/712=19%"应为"(712-657)/712=7.7%"

MINIMUM WEIGHT DESIGN OF COMPOSITE STRUCTURE USING SEQUENTIAL QUADRATIC PROGRAMMING METHOD

Zhu Jiansen and Qiao Xin

Department of Flight Vehicle
Nanjing Aeronautical Institute, Nanjing, China

(Received September 1985)

ABSTRACT

Optimality Criteria Method (OCM) has been successfully used in the optimum design of fiber reinforced composite structures with stress and displacement constraints. The default of OCM for this kind problem is that its efficiency is not very high and the iteration history is rather long. In this paper, reciprocal variables have been used and the original problem has been replaced by a dual problem in quadratic form and by SQPM, and then the dual problem of mathematical programming has resulted in a very efficient method of composite structural optimization. The results of comparison of the two methods in one example are presented. The project is supported by the Science Fund of the Chinese Academy of Science.

EFFECT OF MATRIX PROPFRTIES ON THE DISTRIBUTIONS OF INTERLAMINAR STRESSES IN COMPOSITE LAMINATES

Ye Lin and Yang Bingxian

Department of Flight Vehicle Design and Applied Mechanics
Beijing Institute of Aeronautics and Astronautics, Beijing, China

(Received July 1985)

ABSTRACT

The stress response in composite laminates can be effected by changing the properties of fibers and matrices. According to this assumption, a study on the effect of matrix properties on the distributions of interlaminar stresse is presented. Tsai's method is used to predict the lamina properties from fiber and matrix properties. Three kinds of matrices are chosen