

中 册

激波管参数的计算与测量

[苏联] X. A. 拉赫馬杜林 主編
C. C. 謝苗諾夫



國防工業出版社

87.82
327
:2

激 波 管

中 册

激波管参数的计算与测量

[苏联] X. A. 拉赫馬杜林 主編
C. C. 謝苗諾夫

魏中磊、陈耀松等譯

魏 中 磊 校



内 容 摘 要

近年来, 激波管已被公认为是许多现代科学技术领域中的重要试验研究工具。这些领域是气体物理、化学动力学、高超声速气体动力学、电磁流体动力学等等。但是迄今, 还缺乏阐述这个问题的专著。

本文集汇集了西方资本主义国家1953~1959年间所发表的有关激波管研究的主要文献52篇。中文译本分上、中、下三册出版。中册包括激波管参数计算方面的文章十二篇, 关于激波管流动参数测量的文章十四篇。本书译校中曾参考英文原本。

本书的读者对象是那些在上述蓬勃发展的新研究领域内工作的科学工作者、工程师、研究生, 以及高年级的大学生。

УДАРНЫЕ ТРУБЫ

[苏联] X. A. Разматуллин, С. С. Семенов

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ

ЛИТЕРАТУРЫ, 1962

激 波 管

中 册

激波管参数的计算与测量

魏中磊、陈耀松等译

魏 中 磊 校

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业登记号出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张9 $\frac{1}{8}$ 234千字

1966年5月第一版 1966年5月第一次印刷 印数: 0,001—1,400册

统一书号: 15034·1119 定价: (科七) 1.50元

目 录

I. 激波管参数的计算

a) 各种用途的激波管.....	5
3. 多级膜片在激波管中的应用 (B. D. Henshall)	5
4. 在激波管中高温气体的获得 (E. Resler, 林紹基, A. Kantrowitz)	41
5. 激发强激波的方法 (A. Hertzberg, W. Smith)	63
6. 电磁驱动的激波管 (D. E. Bloxsom)	67
6) 用于空气动力研究的激波管.....	72
7. 影响高超声速激波管喷管性能的因素 (B. D. Henshall, G. E. Gadd)	72
8. 关于在激波管中流动持续时间的几点评论 (B. D. Henshall)	98
9. 具有[匹配]接触面的高超声速激波管(摘要) (Ch. E. Witliff, M. P. Wilson, A. Hertzberg) ...	111
10. 高超声速激波管(摘要) (H. T. Nagamatsu, R. E. Geiger, R. E. Sheer)	114
B) 使运动偏离理想图案的一些因素.....	118
11. 破膜时间对激波管流动的影响(摘要) (D. R. White) ...	118
12. 在激波管中由于不定常边界层的作用而引起的衰减 (H. Mirels)	120
13. 运动激波后的边界层 (H. Mirels)	162
14. 边界层和燃烧对激波管流动的影响(摘要) (D. A. Spence, B. A. Woods)	177

II. 激波管中流动参数的测量

a) 速度测量.....	179
--------------	-----

08648

15. 气体中爆炸波与强激波速度的精确测量
(H. T. Knight, R. E. Duff) 179
16. 低密度气体中测量激波速度的辐射热传感器
(J. G. Clouston, L. J. Drummond, W. F. Hunter) 187
17. 激波研究中的辉光放电传感器 (H. Harrison) 195
18. 测定激波速度的无线电法
(J. S. Hey, J. T. Pinson, P. G. Smith) 199
19. 在高速流中瞬时测量速度和温度的一种方法(摘要)
(D. Marlow, Z. Neusewanger, W. Cady) 202
20. 在激波管中热电离空气的导电率 (L. Lamb, 林紹基) ... 203
6) 压力测量 214
21. 用于空气动力和声压测量的微型钛酸钡传感器
(W. W. Willmarth) 214
22. 在低密度气体中测量激波用的压电传感器
(H. T. Knight) 224
B) 密度测量 227
23. 用于测量不定常气流中密度的干涉仪-计时器(摘要)
(C. V. Curtis, R. J. Amrich, J. Mack) 227
24. 为气体中激波和爆炸波进行准确的瞬时 x -射线照相
用的装置 (H. T. Knight, D. Venable) 229
25. 测量激波阵面厚度的电子射线技术
(H. N. Ballard, D. Venable) 243
r) 温度测量 251
26. 用谱线自蚀法测量激波后的温度 I
(J. G. Clouston, A. G. Gaydon, I. L. Glass) 251
27. 用谱线自蚀法测量激波后的温度 II 双射线法
(J. G. Clouston, A. G. Gaydon, I. R. Hurle) ... 274
28. 利用恒定电流式热线测量高温 (S. A. Hoenig) 290

I. 激波管参数的計算

a) 各种用途的激波管

3. 多級膜片在激波管中的应用●

B. D. Henshall

1 引 言

近十年来, 激波管已公认为空气动力研究的工具。由于对高超声速研究的兴趣日益增长, 同时激波管也有用来研究各种不同气体动力学問題的广泛的可能性, 就促使了特殊的 [高超声速激波管] 得到发展。这种激波管能給出比較简单的、获得高 M 数和近似于实际飞行中的高滞止溫度的方法。为使高超声速激波管能令人滿意的工作, 必須激发出比在 [普通激波管] 中得到的最强激波还要更强一些的激波。

在文献[1]中描述了在高超声速激波管中, 激发强激波和极高 M 数流場的主要的空气动力学原理; 尤其是在該文中初步地討論了 [双膜技术]。在激波管内两端段中給定总压比的情况下, 这种双膜技术能最大限度地增加它所达到的激波强度。

本文比較詳細地討論了多膜式激波管的概念, 論述了各种型式的双膜式和多膜式激波管, 并对它們的特性作了評价。此外, 为了全面起見, 也論述了突变截面的激波管。文中导出了对任何型式激波管中任意的氣體組合全适用的一般公式。对于气体的比

● Henshall B. D., «The Use of Multiple Diaphragms in Shock Tubes», ARC Current Papers, № 291 (1956).

热比在整个管内为常数和 $\gamma = 1.4$ ，以及当全管内初始温度不变，即 $T_0 = 1$ 的个别情况下，这些公式可具体地加以简化。因此，各种型式的多膜式激波管的优点，就不会因在管内使用不同气体的缘故而模糊起来。

a) 简单激波管

图1表示出简单激波管内空间-时间 ($t-x$) 的流动图，并用图说明了下面所用的符号。简单激波管的理论在文献[2, 3]中已足够详细地描述过了。因此，直接由此理论得出的方程在本文中將不加推导。联系初始膜片压力比和温度比 (P_0 和 T_0) 同激波马赫数 M_{L1} 的方程为：

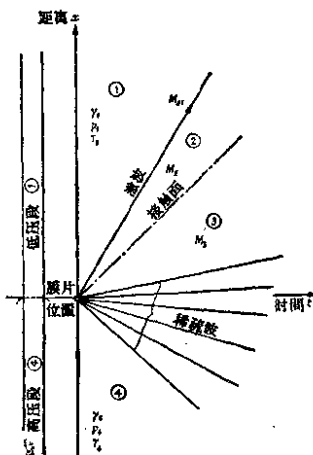


图1 在简单激波管中的流动图

$$P_0 = \left\{ \frac{2\gamma_1}{\gamma_1 + 1} - M_{s1}^2 - \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_1 + 1} \right\} \times \left\{ 1 - T_0^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_1 + 1} \right) \left(\frac{M_{s1}^2 - 1}{M_{s1}} \right) \right\}^{-\frac{2\gamma_1}{\gamma_1 - 1}}, \quad (1)$$

式中 $P_0 = p_4/p_1 = p_{41}$ 和 $T_0 = T_4/T_1 = T_{41}$ 。

方程 (1) 指出, 当 $P_0 \rightarrow \infty$ 时, 激波馬赫数 M_{s1} 趋近于极限值

$$M_{s1} = \frac{\gamma_1 + 1}{\gamma_1 - 1} T_0^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{\gamma_1 + 1}{\gamma_1 - 1} \right) \frac{a_4}{a_1} \sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma_4}}. \quad (2)$$

为了获得较大的 M_{s1} , 在高压段中区域 4 的气体应该有低分子量、小 γ 值和实际能达到的最高温度。方程 (2) 指出, 在简单激波管内利用气体的不同组合和加热高压段中的气体是有利的。

像上面所指出的, 多膜式激波管的特性将仅在 $\gamma_1 = \gamma_4 = 1.4$ 和 $T_0 = 1$ 假定下加以计算。对于任意 P_0 和 T_0 的简单激波管, 当 $\gamma_1 = \gamma_4 = 1.4$ 时由方程 (1) 得到,

$$P_0 = \left\{ \frac{7M_{s1}^2 - 1}{6} \right\} \left\{ 1 - \frac{T_0^{-1/2}}{6} \left(\frac{M_{s1}^2 - 1}{M_{s1}} \right) \right\}^{-7}. \quad (3)$$

借助方程 (3), 曾对 P_0 值作了计算。在计算中取 $T_0 = 1, 2, \dots, 15$ 和一系列独立的 M_{s1} 值 ($M_{s1} = 1 \sim 8$, 间隔 0.1), 计算结果列在表 1 和绘于图 2 中。

应当注意, 当 P_0 值大时 (譬如, 大于 10^4), 即便 T_0 增加得较小, M_{s1} 也会显著增大; 但较大地增加 P_0 值, 对 M_{s1} 值的影响则不大。由此可见, 在这一 P_0 和 $T_0 = 1$ 初始条件下, 为了增大所达到的 M_{s1} 值, 采用这样一种方案将不失为方便之途, 即靠减少压力比来有效地增加温度比。多膜式激波管就具有这样的方案。这种型式的激波管流动所发生的过程, 将在下面的 2a 节中详加讨论。

表 1 对于不同 M_0 和

T_0 M_0	1	2	3	4	5	6	7
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.1	1.5612	1.4599	1.4175	1.3928	1.3763	1.3644	1.3552
1.2	2.3532	2.0616	1.9460	1.8806	1.8295	1.8060	1.7823
1.3	3.4516	2.8368	2.6049	2.4776	2.3944	2.3349	2.2902
1.4	4.9580	3.8236	3.4184	3.2003	3.0605	2.9620	2.8880
1.5	7.0020	5.0684	4.4131	4.0681	3.8512	3.6990	3.5858
1.6	9.7571	6.6270	5.6204	5.1033	4.7823	4.5595	4.3950
1.7	13.453	8.5656	7.0763	6.3295	5.8724	5.5584	5.3277
1.8	18.389	10.966	8.8234	7.7760	7.1416	6.7120	6.3982
1.9	24.966	14.767	10.912	9.4737	8.6156	8.0400	7.6224
2.0	33.713	17.562	13.400	11.459	10.319	9.5601	9.0154
2.1	45.342	22.021	16.354	13.774	12.283	11.299	10.595
2.2	60.797	27.470	19.852	16.466	14.538	13.278	12.385
2.3	81.360	34.128	23.982	19.590	17.123	15.527	14.406
2.4	108.77	42.248	28.857	23.210	20.080	18.079	16.680
2.5	145.35	52.137	34.594	27.393	23.458	20.966	19.236
2.6	194.32	64.183	41.348	32.213	27.307	24.229	22.109
2.7	260.11	78.851	49.282	37.780	31.688	27.908	25.323
2.8	348.84	96.700	58.596	44.180	36.670	32.052	28.924
2.9	468.99	118.44	69.527	51.550	42.328	36.724	32.949
3.0	632.60	144.94	82.357	60.010	48.744	41.965	37.440
3.1	856.54	177.21	97.525	69.739	56.020	47.858	42.443
3.2	1165.3	216.62	115.01	80.896	64.253	54.468	48.026
3.3	1593.6	264.72	135.67	93.706	73.582	61.876	54.241
3.4	2192.7	323.60	159.90	108.41	84.144	70.179	61.144
3.5	3041.5	396.03	188.44	125.31	96.112	79.504	68.846
3.6	4239.6	484.16	221.70	144.59	109.56	89.902	77.374
3.7	5970.1	592.96	260.84	166.77	124.81	101.55	86.848
3.8	8488.2	727.10	306.82	192.20	142.07	114.58	97.383
3.9	12198	892.62	360.92	221.36	161.55	129.15	109.06
4.0	17740	1097.5	424.52	254.85	183.55	145.44	122.03
4.1	26145	1351.3	499.42	293.26	208.42	163.66	136.38
4.2	39122	1668.4	587.76	337.38	236.55	184.02	152.34
4.3	59519	2063.3	692.05	388.07	268.29	206.77	169.97
4.4	92275	2559.4	815.24	446.30	304.20	232.23	189.58

T_0 的 P_0 值 [方程 (3)]

8	9	10	11	12	13	14	15
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.3475	1.3415	1.3363	1.3318	1.3281	1.3247	1.3217	1.3190
1.7635	1.7479	1.7347	1.7226	1.7141	1.7056	1.6982	1.6916
2.2546	2.2258	2.2015	2.1810	2.1635	2.1479	2.1347	2.1217
2.8295	2.7824	2.7433	2.7098	2.6812	2.6562	2.6319	2.6146
3.4973	3.4259	3.3667	3.3167	3.2736	3.2364	3.2037	3.1744
4.2672	4.1647	4.0796	4.0079	3.9477	3.8946	3.8478	3.8071
5.1495	5.0079	4.8907	4.7931	4.7089	4.6366	4.5735	4.5171
6.1574	5.9666	5.8094	5.6779	5.5664	5.4704	5.3864	5.3114
7.3036	7.0512	6.9276	6.8233	6.7275	6.64025	6.562930	6.4964
8.6009	8.2745	8.0095	7.7892	7.6019	7.4419	7.3017	7.1791
10.066	9.6495	9.3118	9.0339	8.7967	8.5963	8.4208	8.2662
11.714	11.191	10.768	10.420	10.125	9.8739	9.6568	9.4657
13.568	12.915	12.391	11.959	11.596	11.288	11.021	10.787
15.643	14.838	14.194	13.664	13.222	12.846	12.521	12.236
17.963	16.980	16.194	15.552	15.018	14.562	14.169	13.828
20.553	19.360	18.410	17.638	16.993	16.446	15.976	15.566
23.442	21.999	20.860	19.933	19.164	18.511	17.953	17.468
26.655	24.926	23.567	22.461	21.546	20.776	20.113	19.541
30.227	28.166	26.549	25.238	24.160	23.250	22.473	21.799
34.192	31.748	29.828	28.288	27.018	25.951	25.024	24.252
38.593	35.697	33.446	31.632	30.148	28.902	27.837	26.923
43.466	40.061	37.415	35.294	33.563	32.113	30.880	29.818
48.862	44.861	41.770	39.307	37.289	35.609	34.186	32.963
54.823	50.156	46.549	43.685	41.355	39.416	37.774	36.361
61.441	55.994	51.800	48.487	45.791	43.559	41.670	40.051
68.708	62.375	57.526	53.700	50.608	48.041	45.876	44.029
76.762	69.405	63.815	59.408	55.851	52.916	50.442	48.333
85.644	77.138	70.696	65.634	61.555	58.198	55.379	52.986
95.433	85.622	78.195	73.408	67.745	63.926	60.722	57.996
106.25	94.927	86.414	79.787	74.480	70.123	66.502	63.414
118.14	105.12	95.389	87.819	81.780	76.847	72.726	69.248
131.28	116.32	105.18	96.573	89.715	84.113	79.474	75.540
143.58	128.59	115.87	106.08	98.305	91.974	86.733	82.307
161.64	142.04	127.52	116.42	107.62	100.47	94.582	89.596

T_0 M_r	1	2	3	4	5	6	7
4.5	141622	3182.6	961.05	513.30	344.78	260.63	211.26
4.6		3968.7	1133.8	590.45	390.76	292.45	235.34
4.7		4967.0	1338.7	679.18	442.73	327.99	261.99
4.8		6235.9	1582.5	781.53	501.46	367.70	291.53
4.9		7859.2	1872.9	899.68	568.04	412.10	324.28
5.0		9947.8	2219.4	1036.0	643.53	461.86	360.57
5.1		12648	2633.8	1193.5	729.04	517.45	400.85
5.2		16158	3130.2	1375.9	826.08	579.74	445.43
5.3		20745	3726.4	1587.2	936.08	649.46	495.00
5.4		26789	4444.3	1832.1	1061.2	727.52	549.85
5.5		34803	5309.7	2116.3	1203.1	815.03	610.77
5.6		45513	6357.7	2446.9	1364.8	913.21	678.52
5.7		59924	7628.6	2832.4	1548.6	1023.4	753.53
5.8		79512	9175.8	3281.3	1758.2	1146.8	836.86
5.9		106379	11065	3806.4	1997.3	1285.7	929.69
6.0	143599		13378	4420.1	2270.1	1441.7	1032.5
6.1			16225	5138.9	2581.7	1616.9	1147.1
6.2			19730	5984.0	2938.7	1814.3	1274.5
6.3			24073	6977.9	3346.5	2036.4	1416.3
6.4			29475	8148.4	3814.5	2286.6	1574.2
6.5			36224	9530.4	4352.1	2747.0	1750.1
6.6			44690	11169	4969.6	2887.7	1946.2
6.7			55358	13110	5680.2	3309.2	2165.1
6.8			68864	15418	6500.0	3654.9	2409.5
6.9			86083	18173	7444.4	4115.7	2681.9
7.0			108137	21465	8537.6	4637.8	2986.9
7.1				25409	9801.5	5230.0	3327.8
7.2				30143	11270	5902.1	3709.7
7.3				35867	12974	6665.4	4137.1
7.4				42772	14956	7534.4	4615.8
7.5				51168	17266	8525.8	5153.8
7.6				61195	19908	9626.7	5741.0
7.7				73848	23128	10944	6435.9
7.8				89153	26835	12456	7199.4
7.9				108011	31192	14109	8059.8
8.0				131364	36327	16044	9029.0

(續)

8	9	10	11	12	13	14	15
179.18	156.76	140.29	127.66	117.72	109.66	103.03	97.458
198.47	172.89	154.15	139.87	128.67	119.61	112.14	104.89
219.71	190.56	169.30	153.15	140.50	130.33	121.96	114.97
241.93	209.91	185.80	167.59	153.32	141.90	132.55	124.72
268.89	231.05	203.79	183.22	167.22	154.42	143.94	135.22
297.21	254.27	223.40	200.21	182.25	167.90	156.20	146.50
328.45	279.64	244.78	218.70	198.51	182.46	169.42	158.59
362.81	307.41	268.05	238.72	216.12	198.18	183.62	171.60
400.58	337.83	293.40	260.45	235.15	215.13	198.92	185.54
442.26	371.13	321.06	284.06	255.75	233.42	215.38	200.54
488.17	407.61	351.15	309.67	278.01	253.12	233.07	216.62
538.75	447.53	383.99	337.43	302.11	274.39	252.13	233.85
594.38	491.27	419.76	367.62	328.18	297.30	272.57	252.40
655.76	539.13	458.73	400.32	356.23	322.04	294.62	272.25
723.40	591.49	501.17	435.88	386.81	348.67	318.27	293.53
797.92	648.97	547.40	474.40	419.70	377.41	343.73	316.41
880.07	711.86	597.84	516.20	455.36	408.35	371.07	340.96
970.77	780.80	652.79	561.64	493.85	441.74	400.50	367.23
1070.8	856.39	712.76	610.88	535.50	477.68	432.11	395.45
1181.2	939.27	778.09	664.40	580.55	516.52	466.12	425.69
1303.3	1030.2	849.39	722.49	629.28	588.34	502.73	458.08
1437.9	1129.8	927.110	785.54	681.99	603.36	541.95	492.86
1586.8	1239.2	1011.9	853.97	739.01	652.02	584.24	530.13
1751.4	1359.2	1104.6	928.30	800.70	704.40	629.65	570.14
1933.5	1941.1	1205.7	1009.2	867.30	760.90	678.41	613.00
2135.4	1635.8	1316.0	1097.1	939.64	821.86	730.98	659.01
2358.5	1795.2	1436.5	1192.5	1017.8	887.61	787.43	708.31
2605.9	1970.2	1568.2	1296.4	1102.8	958.55	848.17	761.23
2879.6	2162.5	1712.0	1409.2	1194.0	1034.9	913.39	818.04
3183.4	2374.1	1869.6	1531.7	1293.2	1117.5	983.57	878.92
3520.8	2607.2	2041.6	1665.0	1400.8	1206.6	1059.1	944.27
3884.2	2855.5	2223.1	1805.2	1512.6	1298.9	1137.2	1011.3
4311.8	3146.4	2435.8	1968.4	1643.3	1406.6	1228.1	1089.5
4775.4	3458.3	2661.0	2140.6	1780.2	1518.6	1322.0	1170.2
5290.4	3801.8	2931.2	2328.0	1928.2	1639.6	1423.4	1256.7
5863.8	4181.4	3178.7	2532.5	2088.8	1770.4	1532.6	1349.6

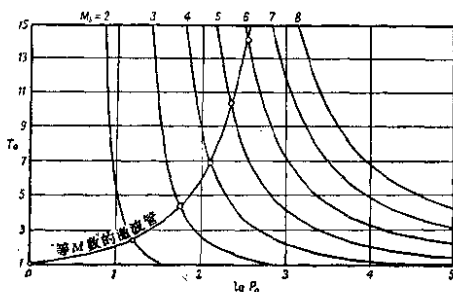


图2 M_s 依赖于 P_0 和 T_0 的关系

数据取自表1〔方程(3)〕。

6) 简单激波管特殊情况

让我们来研究图1中所所示的简单激波管的流动图案。除在稀疏波中的加速区域外，激波管内所有质点不是处在静止状态，就是以速度 $u_2 = u_3$ 向低压段的顶端方向等速运动。因为在激波后的气体受压缩，它的温度 T_2 就高于 T_3 ；反之，在稀疏波后的气体因膨胀，就使 T_3 低于 T_4 。因而在开始毗邻膜两边的气流质点间将观察到温度跳跃。这种〔接触面〕或温度跳跃，是激波与接触面之间的流动马赫数 M_2 同接触面与稀疏波之间的流动马赫数 M_3 不相等的先决条件。

当然，可以借适当选择 T_4 和 T_1 ，来满足 $T_2 = T_3$ ，因而，当开始位于膜两边的气体有相同的 γ 值时，就有 $M_2 = M_3$ 。所以，在这种情况下，理论上就不应该有任何接触面，并且拟定常流动的持续时间应该增加。此外，应该注意，区域3中的流动是湍流，因为气体穿过了破碎的膜残片；可是在高超声速激波管内，这个〔定常〕流动在喷管中被加以扩散，所以这时喷管可使扰动得到

足够緩和。这种可能性值得用試驗来研究一下，因为定常流动的持續時間在高超声速激波管内是极有限的〔1〕。

对于 $M_2 = M_3$ 的特殊情况，若利用以下简单激波管理論的方程：

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(1 + \frac{\gamma_4 - 1}{2} M_3^2 \right)^2, \quad (4)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\left\{ \gamma_1 M_{21}^2 - \frac{\gamma_1 - 1}{2} \right\} \left\{ \frac{\gamma_1 - 1}{2} M_{21}^2 + 1 \right\}}{\left(\frac{\gamma_1 + 1}{2} \right)^2 M_{21}^2} \quad (5)$$

和

$$M_2 = (M_{21}^2 - 1) \left[\left\{ \gamma_1 M_{21}^2 - \frac{\gamma_1 - 1}{2} \right\} \left\{ \frac{\gamma_1 - 1}{2} M_{21}^2 + 1 \right\} \right]^{-\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

可以导出 P_0 、 T_0 和 M_{21} 之间的关系。现在設 $M_2 = M_3$ 和 $T_2 = T_3$ （注意这里假定 $\gamma_1 = \gamma_4$ ，那么 $u_2 = u_3$ 和 $a_2 = a_3$ ）；联立方程（4）～（6）得到以下关系：

$$\begin{aligned} T_0 &= T_{41} = T_{43} T_{32} T_{21} \\ &= \left\{ \frac{2 \sqrt{\left(\gamma_1 M_{21}^2 - \frac{\gamma_1 - 1}{2} \right) \left(\frac{\gamma_1 - 1}{2} M_{21}^2 + 1 \right)} + (\gamma_4 - 1) (M_{21}^2 - 1)}{(\gamma_1 + 1) M_{21}} \right\}^2, \end{aligned} \quad (7)$$

再将上式代入方程（1），則得下式：

$$\begin{aligned} P_0 &= \left\{ \frac{2\gamma_1}{\gamma_1 + 1} M_{21}^2 - \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_1 + 1} \right\} \\ &\times \left[1 + \frac{2}{\gamma_4 - 1} \sqrt{\left(\gamma_1 M_{21}^2 - \frac{\gamma_1 - 1}{2} \right) \left(\frac{\gamma_1 - 1}{2} M_{21}^2 + 1 \right)} \right]^{\frac{2\gamma_4}{\gamma_4 - 1}}. \end{aligned} \quad (8)$$

若 $\gamma_4 = \gamma_1 = 1.4$, 那么方程 (7) 和 (8) 化为下列形式:

$$T_0 = \left[\frac{\sqrt{(7M_{s1}^2 - 1)(M_{s1}^2 + 5)} + (M_{s1}^2 - 1)}{6M_{s1}} \right]^2 \quad (9)$$

和

$$P_0 = \left[-\frac{7M_{s1}^2 - 1}{6} \right] \left[1 + \frac{(M_{s1}^2 - 1)}{\sqrt{(7M_{s1}^2 - 1)(M_{s1}^2 + 5)}} \right]^7. \quad (10)$$

因而, 取 M_{s1} 作为参数, 借助方程 (9) 和 (10) 可以作出 [等马赫数] 激波管中 P_0 对 T_0 函数关系的唯一曲线。

表 2 “等马赫数” 激波管的 P_0 、 T_0 和 M_{s1} 值

M_{s1}	P_0 [方程(10)]	T_0 [方程(9)]
1	1	1
2	15.443	2.400
3	55.584	4.332
4	122.92	6.952
5	216.42	10.294
6	333.60	14.370
7	475.00	19.171
8	635.67	24.716
9	827.48	30.984
10	1028.2	38.009
11	1258.2	45.810
12	1510.6	54.259

计算结果列在表 2 中, 并绘在图 2 上。要注意, 为了激发强激波, 这里应该有比简单激波管中大得多的温度比。好在多膜技术减少了这些困难。对于这种 [等 M 数] 激波管, 我们还将 在 6 a 节中进一步加以讨论。

2 利用激波反射效应的双膜式激波管

图 3 表示出利用反射激波效应的双膜式激波管。当膜片 D_1 破

表 3 在固壁上的反射激波

M_{j6}	P_{46} 〔方程(13)〕	T_{46} 〔方程(14)〕	M_{j6}	P_{46} 〔方程(13)〕	T_{46} 〔方程(14)〕
1.0	1.000	1.000	5.0	191.40	11.880
1.1	1.5397	1.1319	5.1	200.55	12.329
1.2	2.2371	1.2634	5.2	209.90	12.787
1.3	3.1082	1.3974	5.3	219.45	13.254
1.4	4.1669	1.5355	5.4	229.20	13.730
1.5	5.4250	1.6790	5.5	239.15	14.215
1.6	6.8932	1.8287	5.6	249.29	14.709
1.7	8.5791	1.9853	5.7	259.63	15.214
1.8	10.489	2.1492	5.8	270.16	15.722
1.9	12.629	2.3207	5.9	280.89	16.243
2.0	15.000	2.5000	6.0	291.81	16.772
2.1	17.607	2.6874	6.1	302.93	17.310
2.2	20.450	2.8830	6.2	314.24	17.856
2.3	23.530	3.0869	6.3	325.75	18.412
2.4	26.846	3.2992	6.4	337.44	18.977
2.5	30.400	3.5203	6.5	349.33	19.550
2.6	34.189	3.7493	6.6	361.42	20.133
2.7	38.211	3.9873	6.7	373.69	20.724
2.8	42.466	4.2339	6.8	386.16	21.324
2.9	46.952	4.5083	6.9	398.82	21.933
3.0	51.667	4.7531	7.0	411.67	22.551
3.1	56.609	5.0258	7.1	424.71	23.178
3.2	61.776	5.3072	7.2	437.94	23.814
3.3	67.165	5.5974	7.3	451.37	24.458
3.4	72.778	5.8963	7.4	464.98	25.112
3.5	78.609	6.2041	7.5	478.78	25.774
3.6	84.600	6.5206	7.6	492.78	26.445
3.7	90.923	6.8460	7.7	506.96	27.125
3.8	97.403	7.1802	7.8	521.33	27.814
3.9	104.10	7.5231	7.9	535.89	28.512
4.0	111.00	7.8750	8.0	550.65	29.219
4.1	118.11	8.2357	9	708.63	36.775
4.2	125.44	8.6052	10	885.40	45.220
4.3	132.97	8.9835	11	1082.3	54.617
4.4	140.71	9.3707	12	1295.3	64.776
4.5	148.65	9.7668	13	1528.5	75.887
4.6	156.79	10.172	14	1780.2	87.888
4.7	165.14	10.586	15	2089.7	102.68
4.8	173.69	11.008	16	2339.9	114.56
4.9	182.45	11.440	17	2647.8	129.22
			18	2974.3	144.78
			19	3319.6	161.22
			20	3683.5	178.56