

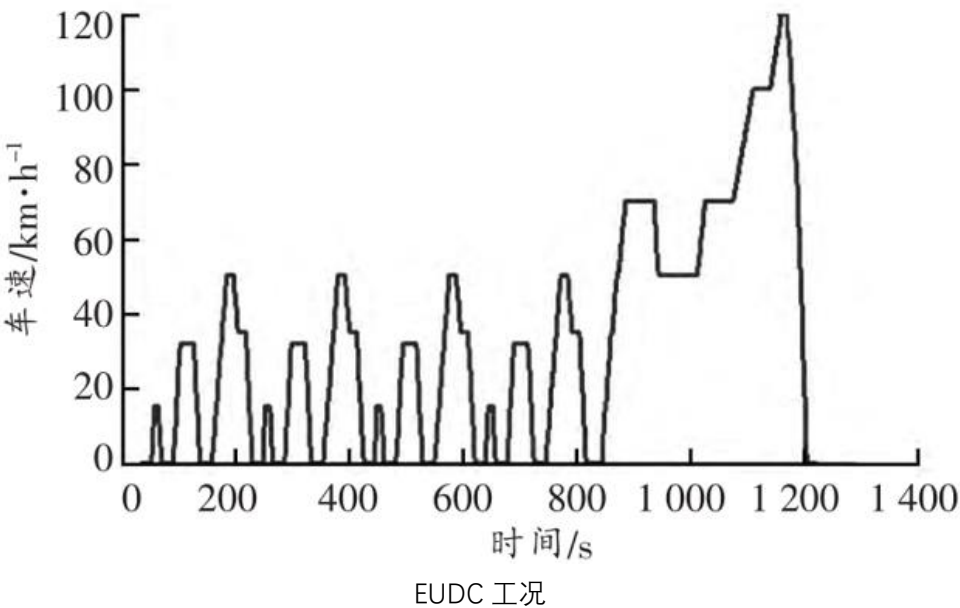
1851754 李玖思 第三章作业

1、中国、日本、欧美代表性轿车经济性指标（数据来源：<https://www.icauto.com.cn/>）

车型	变速器类型	工信部综合油耗 (L/100km)
一汽丰田卡罗拉	CVT 无级变速(模拟 10 挡)	5.5
雷克萨斯 ES	CVT 无级变速	6.25
一汽红旗-红旗 H5	7 挡双离合 DCT	6.2
长安汽车-逸动	5 挡手动 MT	6
凯迪拉克-凯迪拉克 CT6	10 挡自动 AT	7.1
大众-朗逸	5 挡手动 MT	5.6

工信部综合油耗：工信部油耗测试采用 2000 年颁布的欧洲循环驾驶法，采用的是间接测量法，对于轻型汽车(最大总质量不超过 3.5 吨的车辆)，将整车放置在实验台上，模拟车辆在道路上实际行驶的车速和负荷，按照一定的工况(如怠速、加速、等速、减速等工况)运转，测量二氧化碳、一氧化碳和碳氢化合物的排放量，按照碳平衡法测量油耗。

一个完整测试循环共计 1180 秒，由四个市区工况小循环和一个郊区工况组成，其中市区工况共 780 秒，最高车速 50KM/H;郊区工况 400 秒，最高车速 120KM/H。



2、代表性新能源汽车（HEV、EV、FCV）动力性、经济性指标（数据来源：<https://www.icauto.com.cn/>）

	车辆技术参数							动力性、经济性指标			
	外形尺寸 (mm*mm*mm)	整备质量 m (kg)	迎风面积 A(m ²)	车轮半径 r(m)	滚动阻力系数 f	空气阻力系数 C _D	传动效率 nt	最高车速 (km/h)	百公里耗电量 (kWh/100km)	工信部纯电续航里程(km)	
比亚迪-唐新能源纯电动版	4870*1950*1725	2220		0.332		0.33		180	17.3	520	
特斯拉-Model 3	4694*1850*1443	1745		0.281		0.23		225	12.6	468	
									工信部综合油耗 (L/100km)	B 状态综合油耗 (L/100km)	工信部纯电续航里程 (km)
丰田-卡罗拉双擎 E+	4635*1775*1470	1505		0.26		0.29		159	1.3	4.3	55
宝马-宝马 5 系新能源	5106*1868*1490	2005		0.284		0.22		225	1.5	6.8	95
									续航里程 (km)		
长安 CS75 FCV	4650*1850*1705	2046		0.296		0.369		160	510		

EV 代表选择比亚迪-唐新能源纯电动版和特斯拉-Model 3，EV 经济性的主要指标为**百公里耗电量(kWh/100km)**和**工信部纯电续航里程(km)**。（工信部纯电续航里程是指纯电动汽车或插电式混合动力汽车在综合工况下的**利用电池能量**可行驶的最长里程。百公里耗电量也根据工信部标准测量）

HEV 代表选择丰田-卡罗拉双擎 E+和宝马 5 系新能源，两者均为插电式混合动力汽车，其经济性的主要指标为**工信部综合油耗(L/100km)**、**B 状态综合油耗(L/100km)**和**工信部纯电续航里程(km)**。（国家对插电式混动车型规定了两个测试工况：满电下纯电行驶的工况 A、储能装置处于运行放电结束的最低荷电状态的工况 B。综合工况油耗，就是综合了工况 A 和工况 B，按照里程加权的办法计算一个平均油耗，其值由于加入了纯电里程较非插电式的混动汽车要小很多，故插电式混动汽车的经济性需要综合考虑综合油耗和 B 状态综合油耗。）

FCV 代表选择长安 CS75 FCV，由于 FCV 车型市场上较少，配参难以查询，长安 CS75 FCV 只能查询到其申报信息，故经济性指标只加入**续航里程**。

3、代表性汽车 4 工况下燃料经济性

代表性汽车数据来源（余志生.汽车理论.北京：机械工业出版社，2011）

汽车数据：

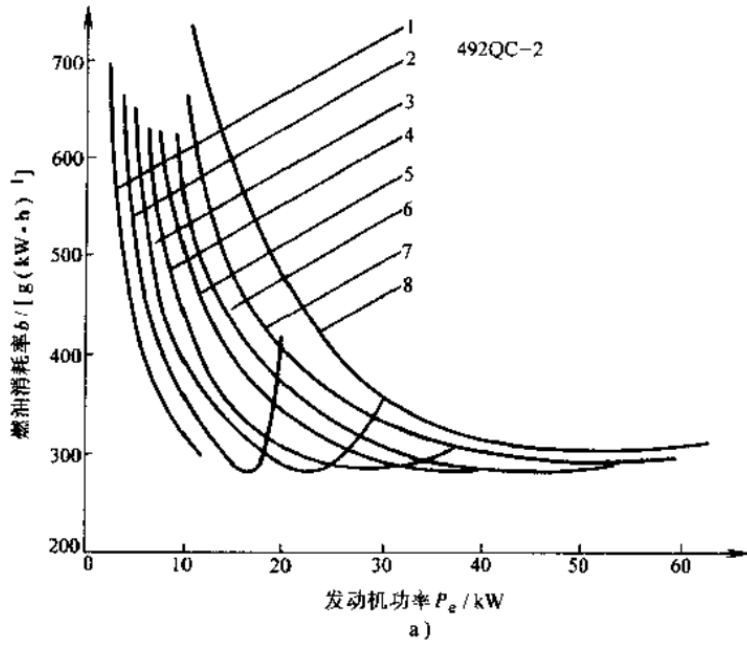
序号	内容	数值	单位
1	车轮半径 <i>r</i>	0.367	m
2	主减速器传动比 <i>i</i> ₀	5.83	
3	变速器传动比 <i>i</i> _g	见表 2	
4	传动系统机械效率 <i>η</i> _T	0.85	
5	整车总质量 <i>m</i>	3880	kg
6	空气阻力系数*迎风面积 <i>C_DA</i>	2.77	<i>m</i> ²
7	滚动阻力系数 <i>f</i>	0.013	
8	二前轮转动惯量 <i>I</i> _{w1}	1.798	<i>kg/m</i> ²
9	四后轮转动惯量 <i>I</i> _{w2}	3.598	<i>kg/m</i> ²
10	飞轮转动惯量 <i>I</i> _f	0.218	<i>kg/m</i> ²

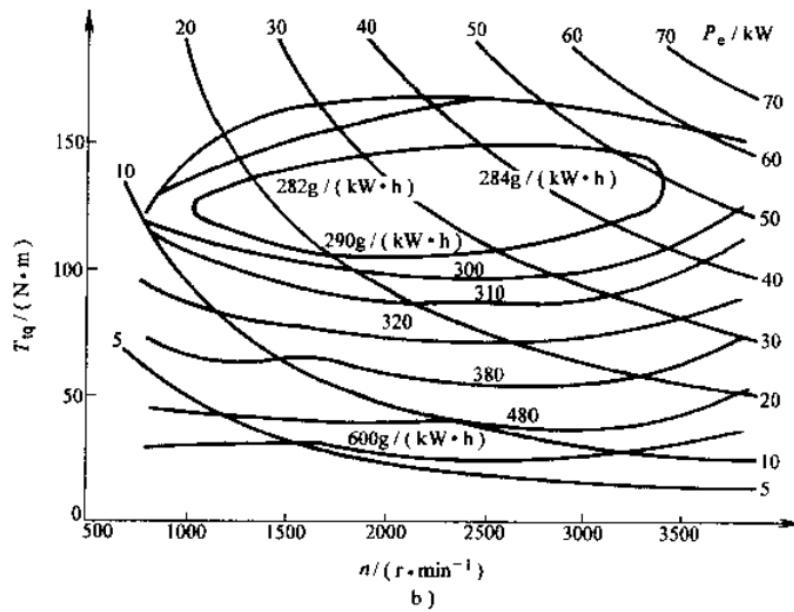
	I 档	II 档	III档	IV档	V 档
五挡变速器	5.56	2.769	1.644	1.00	0.793

该车使用柴油，取ρg = 8N/L

发动机使用外特性*T*_{tq} - *n*曲线拟合公式：

$$T_{tq} = -19.313 + 295.27\left(\frac{n}{1000}\right) - 165.44\left(\frac{n}{1000}\right)^2 + 40.874\left(\frac{n}{1000}\right)^3 - 3.8445\left(\frac{n}{1000}\right)^4$$





习题图 2 汽油发动机的负荷特性与万有特性

a) 负荷特性 b) 万有特性

1—815r/min 2—1207r/min 3—1614r/min 4—2012r/min 5—2603r/min
6—3006r/min 7—3403r/min 8—3804r/min

发动机负荷特性拟合公式为：

$$b = B_0 + B_1 P_e + B_2 P_e^2 + B_3 P_e^3 + B_4 P_e^4$$

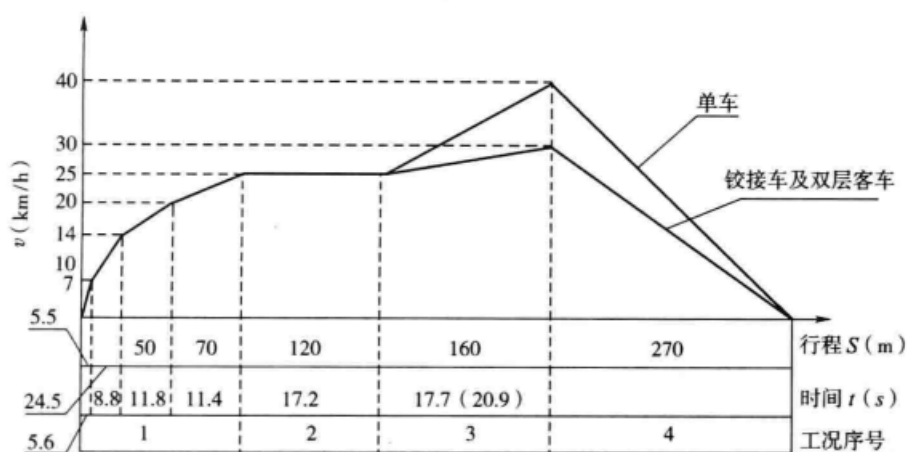
式中， b 为燃油消耗率 ($\text{g/kW}\cdot\text{h}$)， P_e 为发动机净功率 (kW)。拟合式中的系数为：

$n / (\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	B_0	B_1	B_2	B_3	B_4
815	1326.8	-416.46	72.379	-5.8629	0.17768
1207	1354.7	-303.98	36.657	-2.0553	0.043072
1614	1284.4	-189.75	14.524	-0.51184	0.0068164
2012	1122.9	-121.59	7.0035	-0.18517	0.0018555
2603	1141.0	-98.893	4.4763	-0.091077	0.00068906
3006	1051.2	-73.714	2.8593	0.05138	0.00035032
3403	1233.9	-84.478	2.9788	-0.047449	0.00028230
3884	112.7	-45.291	0.71113	-0.00075215	-0.000038568

怠速燃油消耗率 $Q_{id} = 0.299\text{ml/s}$, 怠速转速 400r/min

四工况循环如下图：

工况序号	运转状态 (km/h)	行程 (m)	累积行程 (m)	时间 (s)	变速器挡位及换挡车速(km/h)	
					挡位	换挡车速
1	0 ~ 25 换挡加速	5.5	5.5	5.6	II ~ III	6 ~ 8
		24.5	30	8.8	III ~ IV	13 ~ 15
		50	80	11.8	IV ~ V	19 ~ 21
		70	150	11.4		
2	25	120	270	17.2		
3	(30)25 ~ 40	160	430	(20.9)17.7		
4	减速行驶	270	700			



根据给定的发动机负荷特性拟合公式得到不同档位下，车速与 b 燃料消耗率 (g/kW·h) 的对应关系（便于后续进行线性插值）

$$T_{tq} = -0.1187 \left(\frac{n}{1000} \right)^6 + 2.084 \left(\frac{n}{1000} \right)^5 - 14.11 \left(\frac{n}{1000} \right)^4 + 47.34 \left(\frac{n}{1000} \right)^3 - 91.43 \left(\frac{n}{1000} \right)^2 + 123.5 \left(\frac{n}{1000} \right) + 45.22$$

$$u_a = 0.377 \times \frac{r \cdot n}{i_g i_0}$$

$$P_e = \frac{T_{tq} n}{9550}$$

$$b = B_0 + B_1 P_e + B_2 P_e^2 + B_3 P_e^3 + B_4 P_e^4$$

燃油消耗率 (g/kW·h)		300.4	402	336.2	308.3	288	293.2	293.7	-710.1
发动机转速 n(r/min)		815	1207	1614	2012	2603	3006	3403	3804
车速 (km/h)	I 档	3.479	5.152	6.889	8.588	11.11	12.83	14.53	16.237
	II 档	6.985	10.34	13.83	17.24	22.31	25.76	29.17	32.603
	III 档	11.77	17.42	23.3	29.04	37.58	43.39	49.12	54.913
	IV 档	19.34	28.64	38.3	47.75	61.78	71.34	80.76	90.277
	V 档	24.39	36.12	48.3	60.21	77.9	89.96	101.8	113.84

表 1

一、工况 2 为 V 档等速行驶：

燃料消耗量 (mL)：

$$Q_2 = \frac{P_e b s}{102 u_a \rho g}$$

其中 $P_e = \frac{1}{\eta_T} \frac{G f u_a}{3600} + \frac{1}{\eta_T} \frac{C_D A u_a^3}{76140}$, $u_a = 25 \text{ km/h}$, $\rho g = 8 \text{ N/L}$, 由表 1 中 V 档线性插值 $b = 305.69$ 。

$$Q_2 = 8.4644 \text{ mL}$$

二、工况 1 分四段，分别以 II、III、IV、V 档匀加速行驶，工况 3 以 V 档匀加速行驶
发动机功率 P_e ：

$$P_e = \frac{1}{\eta_T} \left(\frac{G f u_a}{3600} + \frac{C_D A u_a^3}{76140} + \frac{\delta m v_a}{3600} \frac{dv}{dt} \right)$$

$$\text{其中 } \delta = 1 + \frac{\Sigma I_w}{m r^2} + \frac{I_f i_g^2 i_o^2 \eta_T}{m r^2}$$

把加速过程分为若干区间，按速度每增加 1 km/h 为一个小区间，可以求得各区间起始或终了车速所对应时刻的单位时间燃料消耗量 (mL) 为 Q_t ：

$$Q_t = \frac{P_e b}{367.1 \rho g}$$

而汽车行驶速度每增加 1km/h 所需时间 (s) 为：

$$\Delta t = \frac{1}{3.6 \frac{du}{dt}}$$

从行驶初速 u_{a1} 加速至 $u_{a1} + 1 \text{ km/h}$ 所需燃料量 (mL) 为：

$$Q_1 = \frac{1}{2} (Q_{t0} + Q_{t1}) \Delta t$$

以此类推，整个加速区段内燃料消耗量 (mL) 为：

$$Q_a = \sum_{i=1}^n Q_i$$

代入数据，工况 1，四段加速的燃料消耗量分别为：

$$Q_{1.1} = 0.88 \text{ mL}, Q_{1.2} = 3.91 \text{ mL}, Q_{1.3} = 6.19 \text{ mL}, Q_{1.4} = 8.20 \text{ mL}$$

则工况 1 的燃料消耗量 (mL)：

$$Q_1 = 19.1768mL$$

工况 3 燃料消耗量 (mL):

$$Q_3 = 36.9781mL$$

三、工况 4 为匀减速行驶

怠速燃料消耗率 $Q_{id} = 0.299ml/s$

工况 4 的燃料消耗量 (mL):

$$Q_4 = Q_{id} \times \frac{2S}{v/3.6} = 14.5314mL$$

其中 $S=270m$, $v=40km/h$

综上, 四工况循环行驶的百公里燃料消耗量为:

$$Q_s = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{700} \times 100 = 11.3072 L/100km$$

代码 (Matlab 2021a) (详细可参见代码文件):

```
1. clear;
2. %相关参数导入
3. m=3880;
4. Iw1=1.798; Iw2=3.598; Iw=Iw1+Iw2;
5. If=0.218;
6. G=9.8*3880;
7. f=0.013;
8. i0=5.83;
9. CdA=2.77;
10. r=0.367;
11. yita=0.85;
12. ig=[5.56 2.769 1.644 1.00 0.793];
13. pg=8;
14. delta=1+Iw/(m*r^2)+If*ig.^2*i0^2*yita/(m*r^2);
15.
16. n0=[815 1207 1614 2012 2603 3006 3403 3804];
17. B0=[1326.8 1354.7 1284.4 1122.9 1141.0 1051.2 1233.9 112.7];
18. B1=[-416.46 -303.98 -189.75 -121.59 -98.893 -73.714 -84.478 -45.291];
19. B2=[72.379 36.657 14.524 7.0035 4.4763 2.8593 2.9788 0.71113];
20. B3=[-5.8629 -2.0553 -0.51184 -0.18517 -0.091077 -0.05138 -0.047449 -
    0.00075215];
21. B4=[0.17768 0.043072 0.0068164 0.0018555 0.00068906 0.00035032 0.00028230 -
    0.000038568];
22.
23. %形成 8 个转速下, 不同档位下车速 u 和 b 的对应矩阵
24. for j=1:5
25.     for i=1:8
26.         Tq(i)=-19.313+295.27*n0(i)/1000-
            165.44*(n0(i)/1000).^2+40.874*(n0(i)/1000).^3-3.8445*(n0(i)/1000).^4;
27.         u_b(j,i)=0.377*r*n0(i)/ig(j)/i0;
28.         Peb(i)=Tq(i)*n0(i)/9550;
29.         b(i)=B0(i)+B1(i)*Peb(i)+B2(i)*Peb(i)^2+B3(i)*Peb(i)^3+B4(i)*Peb(i)^4
            ;
30.     end
31. end
32.
33. %为了低速时 b 可以通过线性插值法获得, 启动时车速为 0 时对应的 b=0, 矩阵第一列补 0
34. colum=[0;0;0;0;0];
35. u_b=[colum u_b];
36. b=[0 b];
37.
38. %工况 1, II 档起步加速时燃料消耗量 (mL)
39. Q1_1=0;
```



```

40. a1=(7/3.6)^2/(2*5.5);
41. t1_1=1/(3.6*a1);
42.
43. for i=1:7
44. u1(1)=0;
45. u1(i+1)=u1(i)+ 1;
46. P1(i)=(G*f* u1(i)/3600+CdA*u1(i)^3/76140+delta(2)*m*u1(i)*a1/3600)/yita;
47. P1(i+1)=(G*f*u1(i+1)/3600+CdA*u1(i+1)^3/76140+delta(2)*m*u1(i+1)*a1/3600)/y
    ita;
48. b1(i)=interp1(u_b(2,:),b,u1(i)); %线性插值
49. b1(i+1)=interp1(u_b(2,:),b,u1(i+1));
50. Q1t(i)=P1(i)*b1(i)/(367.1*pg);
51. Q1t(i+1)=P1(i+1)*b1(i+1)/(367.1*pg);
52. Q11(i)=(Q1t(i)+Q1t(i+1))*t1_1/2;
53. Q1_1=Q1_1+Q11(i);
54. end
55.
56. %工况 1, III档加速时燃料消耗量 (mL)
57. Q1_2=0;
58. a2=((14/3.6)^2-(7/3.6)^2)/(2*24.5);
59. t1_2=1/(3.6*a2);
60.
61. for i=1:7
62. u2(1)=7;
63. u2(i+1)=u2(i)+ 1;
64. P2(i)=(G*f* u2(i)/3600+CdA*u2(i)^3/76140+delta(3)*m*u2(i)*a2/3600)/yita;
65. P2(i+1)=(G*f*u2(i+1)/3600+CdA*u2(i+1)^3/76140+delta(3)*m*u2(i+1)*a2/3600)/y
    ita;
66. b2(i)=interp1(u_b(3,:),b,u2(i));
67. b2(i+1)=interp1(u_b(3,:),b,u2(i+1));
68. Q2t(i)=P2(i)*b2(i)/(367.1*pg);
69. Q2t(i+1)=P2(i+1)*b2(i+1)/(367.1*pg);
70. Q22(i)=(Q2t(i)+Q2t(i+1))*t1_2/2;
71. Q1_2=Q1_2+Q22(i);
72. end
73.
74. %工况 1, IV档加速时燃料消耗量 (mL)
75. Q1_3=0;
76. a3=((20/3.6)^2-(14/3.6)^2)/(2*50);
77. t1_3=1/(3.6*a3);
78.
79. for i=1:6
80. u3(1)=14;
81. u3(i+1)=u3(i)+ 1;

```

```

82. P3(i)=(G*f* u3(i)/3600+CdA*u3(i)^3/76140+delta(4)*m*u3(i)*a3/3600)/yita;
83. P3(i+1)=(G*f*u3(i+1)/3600+CdA*u3(i+1)^3/76140+delta(4)*m*u3(i+1)*a3/3600)/y
    ita;
84. b3(i)=interp1(u_b(4,:),b,u3(i));
85. b3(i+1)=interp1(u_b(4,:),b,u3(i+1));
86. Q3t(i)=P3(i)*b3(i)/(367.1*pg);
87. Q3t(i+1)=P3(i+1)*b3(i+1)/(367.1*pg);
88. Q33(i)=(Q3t(i)+Q3t(i+1))*t1_3/2;
89. Q1_3=Q1_3+Q33(i);
90. end
91.
92. %工况 1, V 档加速时燃料消耗量 (mL)
93. Q1_4=0;
94. a4=((25/3.6)^2-(20/3.6)^2)/(2*70);
95. t1_4=1/(3.6*a4);
96.
97. for i=1:5
98. u4(1)=20;
99. u4(i+1)=u4(i)+ 1;
100. P4(i)=(G*f* u4(i)/3600+CdA*u4(i)^3/76140+delta(5)*m*u4(i)*a4/3600)/yita;
101. P4(i+1)=(G*f*u4(i+1)/3600+CdA*u4(i+1)^3/76140+delta(5)*m*u4(i+1)*a4/3600)/
    yita;
102. b4(i)=interp1(u_b(5,:),b,u4(i));
103. b4(i+1)=interp1(u_b(5,:),b,u4(i+1));
104. Q4t(i)=P4(i)*b4(i)/(367.1*pg);
105. Q4t(i+1)=P4(i+1)*b4(i+1)/(367.1*pg);
106. Q44(i)=(Q4t(i)+Q4t(i+1))*t1_4/2;
107. Q1_4=Q1_4+Q44(i);
108. end
109.
110. %工况 1, 总燃料消耗量 (mL)
111. Q1=Q1_1+Q1_2+Q1_3+Q1_4;
112.
113. %工况 2, u=25km/h 匀速行驶时燃料消耗量 (mL)
114. u5=25;
115. P5=(G*f* u5/3600+CdA*u5^3/76140)/yita;
116. b5=interp1(u_b(5,:),b,u5);
117. Q2=P5*120*b5/(102*u5*pg);
118.
119. %工况 3, V 档加速时燃料消耗量 (mL)
120. Q3=0;
121. a6=((40/3.6)^2-(25/3.6)^2)/(2*160);
122. t6=1/(3.6*a6);
123.

```

```

124. for i=1:15
125.     u6(1)=25;
126.     u6(i+1)=u6(i)+ 1;
127.     P6(i)=(G*f* u6(i)/3600+CdA*u6(i)^3/76140+delta(5)*m*u6(i)*a6/3600)/yita;
128.     P6(i+1)=(G*f*u6(i+1)/3600+CdA*u6(i+1)^3/76140+delta(5)*m*u6(i+1)*a6/3600)/
        yita;
129.     b6(i)=interp1(u_b(5,:),b,u6(i));
130.     b6(i+1)=interp1(u_b(5,:),b,u6(i+1));
131.     Q6t(i)=P6(i)*b6(i)/(367.1*pg);
132.     Q6t(i+1)=P6(i+1)*b6(i+1)/(367.1*pg);
133.     Q66(i)=(Q6t(i)+Q6t(i+1))*t6/2;
134.     Q3=Q3+Q66(i);
135. end
136.
137. %工况 4，车辆减速，发动机怠速时燃料消耗量（ml）
138. Qid=0.299;
139. Q4=Qid*(2*270/(40/3.6));
140.
141. %整个循环工况的百公里燃料消耗量（L/100km）
142. Qs=(Q1+Q2+Q3+Q4)/700*100;
143.
144. disp(['Q1(工况 1 燃料消耗量（mL）) =' num2str(Q1)]);
145. disp(['Q2(工况 2 燃料消耗量（mL）) =' num2str(Q2)]);
146. disp(['Q3(工况 3 燃料消耗量（mL）) =' num2str(Q3)]);
147. disp(['Q4(工况 4 燃料消耗量（mL）) =' num2str(Q4)]);
148. disp(['Qs(整个循环工况的百公里燃料消耗量（L/100km）) =' num2str(Qs)]);

```