

平成17年2月22日

ARMD テクニカルニュース No. 9

はじめに

顧客様各位におかれましては、ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。また、平素から米RBTS社の汎用軸受・回転軸系振動解析システム ARMD と、その周辺のプログラムをご愛用下さいまして、誠に有難う御座います。

前回のNews No. 8 以来しばらくご無沙汰しておりましたが、ここにこのNews No. 9 を発刊致します。今後ともこのTechnical News をご愛読下さいますようお願い申し上げます。

青葉事務所 蜂須賀 照憲

お知らせ No. 1

< ARMD の次の Version up >

RBTS は次の Version up を計画し、開発を進めております。今年中に完成すると言っております。V5.6 G1 としてリリースの予定です。内容の詳細はまだ分かりませんが、相当の進歩が予想されます。どうぞご期待下さいませ。

お知らせ No. 2

< ARMD 外のプログラム >

ARMD には、RBTS が開発してきた多くのプログラム中でも、特にお客様サイドでよく使われるようなものが集大成して含まれています。逆にいえば、優秀なプログラムでも、滅多に使われないと思われるものや、ある極く狭い分野でしか使われないものは含まれていません。

ご利用者が少ないため、分担いただく価格が ARMD のプログラム (Modules) に比べて高価にならざるを得ません。どうぞご理解ください。

ここにそれらの一部を概略紹介致します。

『気体潤滑シール』

3つのモジュールがあります。

- 1) STSEAL: steady state, Rayleigh Step and Pocket
- 2) DYSEAL: dynamic, Rayleigh Step and Pocket

3) SPGRTH: in/out pumping, Spiral Grooves, in/out land/ridge

いずれも Dry gas seal 等気体潤滑シールの大抵のご要求の解析ができて、精度も高いです。ご利用に当たっては、RBTSの説明を聞かれることをお勧めします。

『ころがり軸受解析用 COBRA-AHS』

-AHSはAdvanced High Speedの略です。

ころがり軸受を含む軸系の挙動も取り入れた究極のプログラムと言われております。このNews No. 4 (H14.7)の、お知らせNo.2の「ころがり軸受用 COBRA」の解説で、大家で開発者の Joseph Poplawski の言葉を紹介しました。「高熱下での挙動の変化に対応・高速下では gyro など別の力が働きそれにも対応、更に高精度化させる」と。その当時は開発中でしたが、完成いたしました。

現在、COBRA-EHLがARMDに含まれており、レースや転動体の弾性にも対応しているものですが、-AHSは更に飛躍した動特性に対応した究極のモジュールです。ARMDには含まれません。

Home Page www.bearingspecialists.com からも、資料がdownloadできます。

これらについてご興味がおありでしたら、ご相談に乗りますので、ご遠慮なくお申し付け下さい。

以下に技術ニュースを掲載します。これらは従来同様、杉村章二郎様に執筆頂いたものです。これらが顧客様のお役に立ちましたら幸いです。 以上

ss4Z192

技術ニュース NO.9

今回は ARMD の便利な File 管理の機能「Project」について紹介します。また解析の中で比較的面倒な軸受について3件—最近多く使われた **直接噴射式潤滑**方式の軸受の解析方法とスラスト軸受解析に於ける **ミスアライメント**を考慮した場合の最大油膜温度の計算の仕方等について説明します。

1. ARMD 解析における filing 管理—Project 機能

ARMD Project の利用について

ARMD で解析作業をするときの File の管理について「Project」という機能があり、すでに利用されている方も多いと思います。1つの Job の作業は1つの Project File に収納すると ARMD 関係 File は全てこの中に格納されます。File 整理する上で非常に便利な機能ですので十分にご利用下さい。例えば軸受解析 DATA を横振動解析 ROTLAT で利用したい場合も同じ Folder に格納すればそのまま利用でき

る便利さがあります。

古い version の project は ARMD プログラムが install されている directry でしか作れなかったのです。ARMDW という directry に File は全て格納されるようになっていましたが、V5.4 からはユーザーが指定する directry の Folder に格納できるようになりました。

例えば X-Job という project を作って X-Job の File を全部管理したい、そしてその Folder は memory stick (リムーバブルディスク) に作りたい場合について説明します。

仮に ROTLAT 解析を行う場合にはまず ROTLAT 画面を開いて、Project→new を選択します。File 名を X-Job と入力して Folder の位置は Brows からマイコンピュータ→リムーバブルディスクを選び、リムーバブルディスクの project を選びます。(リムーバブルディスクには予め project という Folder ができているのでそこに ARMD の解析結果を入れる予定にしてあるものとします。) そこで OK としますと、画面下の Task bar に X-Job という project 名が現れます。

この状態でリムーバブルディスクの中の project という Folder の元に X-Job という Folder が作られています。そしてこの project 名で行われる解析作業結果は全てこの Folder に格納されます。

解析作業を終えて project を close したのち再度 project を利用する場合は、同じく ROTLAT 画面で project →OPEN としますと、ARMDW の root directry に中に X-Job.apf という File があるのが見つかります。この *.apf は ARMD Project File の略です。X-Job.apf をクリックすると X-Job の project が開きます。これで解析作業ができます。

すでに ARMDW に project ができている場合は、(例えば Y-job という project 名でできているとします。) File 名を別にして例えば Z-job として上記の手順でリムーバブルディスクに project を開きます。この時にリムーバブルディスクの project の下に Z-job という Folder ができますので、explorer を利用して Y-job に格納されている ARMD 関係の必要な File をリムーバブルディスクの project の下にある Z-job という Folder にコピーをします。こうしておいて、ROTLAT を立ち上げ Z-job という project を open します。ここでこれまでの Y-job で行われていた解析作業がすべて新しい project 名で作業できます。

ここでご注意いただきたいことは ARMD Project File の Z-job.apf は ARMDW の root directry にできていることです。この時に ARMDW の project を開いてもここには Z-job に関する File は何もありません。

2. ティルティングパッド軸受計算に於ける preload 指定

Preload は $(1 - \text{組立間隙} / \text{加工間隙})$ で定義されています。preload = 1 を指定すると自動的に preload = 0.1 に変更されます。preload = 1 は実質軸受の加工径が無限大になって入力できないので当然ですが、この時 default で preload = 0.1 に自動的に変更されます。どおしても計算したい場合は 0.99 で計算することはできます。ただし machined-in clearance は無限に大きくなるので乱流軸受計算にならないように注意が必要です。

3. 直接噴射型潤滑方式軸受の解析

軸受潤滑方式の相違による油膜温度計算の考え方は2通りがあります。

1-1. オイルバス方式潤滑の場合

この場合に更に二通りの考え方があります。

A. padからの carry-over flowが oil sump とは別に直接次の padに入る場合

通常の ARMD の計算はこの方式で行われます。 図1 参照下さい。

B. padからの carry-over flowが一旦 oil sump に入り、次の padにはすべて oil sump から入る場合

groove temperature と oil sump temperature が同じ温度になります。 図2 参照下さい。

上記方式でどれだけ oil sump から次の pad に潤滑油が供給されるかは軸受構造の詳細により違いがあるはずであり、A か B かは一概には決められません。 user 側で決める問題です。ただし Pad 面の主要な特性は同じですから A で解析をして判断すれば充分です。

1-2. 直接噴射方式の場合

Groove temperature は Supply temperature になります。

直接噴射式の場合はその特徴を発揮するためには軸受としては排油ができるだけ速やかに排出されて再循環しないようにする事が重要で、基本的には排油口をできるだけ大きくして再循環はない様に設計されます。しかし実際の軸受構造からは或る程度の再循環は避けがたい様です。現実的な判断が必要でしょう。 図3 参照下さい。

オイルバス式と、再循環しない直接噴射式の場合の潤滑油のヒートバランス、マスバランスの計算式が違いますので次にまとめておきます。

1-3. 潤滑油流量、温度解析計算式

(1) CARRY OVER 許す場合の HEAT BALANCE 計算

(a) Pad 入り口での HEAT BALANCE

$$Q_s + Q_e = Q_{in} + Q_x$$

$$Q_s T_s + Q_e T_e = (Q_{in} + Q_x) T_g$$

(b) Pad 出入り口での HEAT BALANCE

$$Q_{in} = Q_f + Q_e$$

$$Q_{in} T_g + PH/C_v = Q_f T_f + Q_e T_e$$

$$T_f = (T_g + T_e)/2$$

以上の関係から

$$T_g = T_s + 2(Q_{in} - Q_f) / (2Q_{in} - Q_f) * PH / C_v / Q_s$$

$$T_f = T_g + PH / C_v / (Q_{in} + Q_e)$$

$$T_e = 2T_f - T_g$$

$$Q_e = Q_{in} - Q_f$$

$$Q_x = Q_s + Q_e - Q_{in}$$

ただし C_v : HEAT CONTENT (容積比熱) ($J/m^3/K$)

(2) CARRY OVER 許さない場合の HEAT BLANCE

(a) Pad 入り口での HEAT BALANCE

$$Q_s = Q_x + Q_{in}$$

$$Q_s T_s = Q_{in} T_s + Q_x T_s$$

(b) Pad 出入り口の HEAT BALANCE

$$Q_{in} = Q_f + Q_e$$

$$Q_{in} T_s + PH/C_v = Q_f T_f + Q_e T_e$$

$$T_f = (T_s + T_e)/2$$

の関係から

$$T_e = T_s + 2PH/C_v / (Q_{in} + Q_e)$$

$$Q_e = Q_s - Q_f$$

$$Q_x = Q_s - Q_{in}$$

$$T_f = (T_s + T_e)/2$$

(3) 軸受 Box からの総排油条件

(1) (2) に共通で軸受 Box から排出される潤滑油の油量、温度を決めるのもです。

$$Q_{out} = Q_s$$

$$T_{out} = T_s + PH/C_v / Q_s$$

ここで各記号は以下の通りです。

Q_s : 給油量(Supply flow)

Q_x : Excess flow(")

Q_f : 横漏れ油量(Side leakage)

Q_e : carry over 油量(Carry over flow)

Q_{in} : Pad 油量(Inlet flow)

Q_{out} : 軸受 Box からの総配油量

T_s : 給油温度(Supply temperature)

T_{out} : 軸受 Box からの総排油温度

T_g : Groove temperature (")

T_f : 油膜温度(Lube film temperature)

T_e : 油膜出口温度(Maximum temperature)

PH : Pad 損失動力(Power loss)

C_v : 潤滑油の容積比熱(Heat content)

()内は ARMD の出力の表現

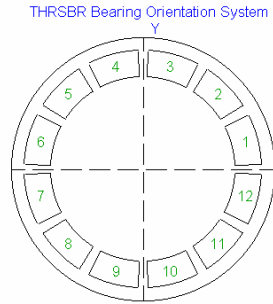
計算結果の実例を下記のティルティングパッド型スラルト軸受で実際に ARMD で計算させます。

表 1

項目	数値
軸受内径半径	50mm
軸受外半径	80mm
回転数	10000 rpm
軸受荷重	5000 N
潤滑油種	VG 3 2
給油温度	45 °C
給油量	50 L/min
pad 枚数	12 枚
pad 角度	25 度
Pivot 角度	15 度

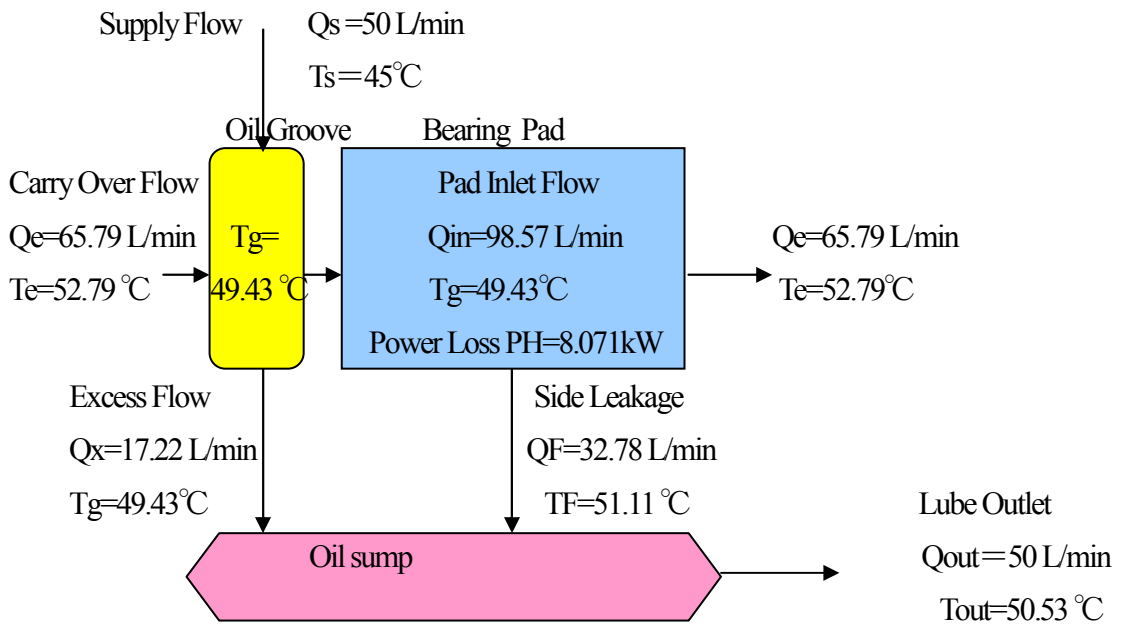
D:\Project\TEST MODEL\Thrust 1.THI
Thrust Bearing Model Analysis
SPC 180X100 12 Pads
01/01/05 16:04:21

Number of Pads: 12
 Pad Angle: 2.500000E+001 deg
 Orientation Angle: 2.500000E+000 deg
 Outer Radius: 8.000000E+001 mm
 Inner Radius: 5.000000E+001 mm
 Axial Clearance: 2.000000E-001 mm
 Speed: 1.000000E+004 RPM
 Groove Angle: 5.000000E+000 deg



解析結果を以下の図に示します。

図 1 CARRY OVER 許す場合 (Pad の carry-over がある場合)



給油量は 50L/min ですから Pad の潤滑に必要な油量 $Q_{in}=98.57\text{L/min}$ の不足部分は carry over 油量でまかなわれます。Pad を潤滑する油は供給油量と carry over 油量が混ざって少し温度が上がった 49.43°C となります。給油量と carry over 油量合わせて余った分は Excess flow として Oil Sump に排油されます。

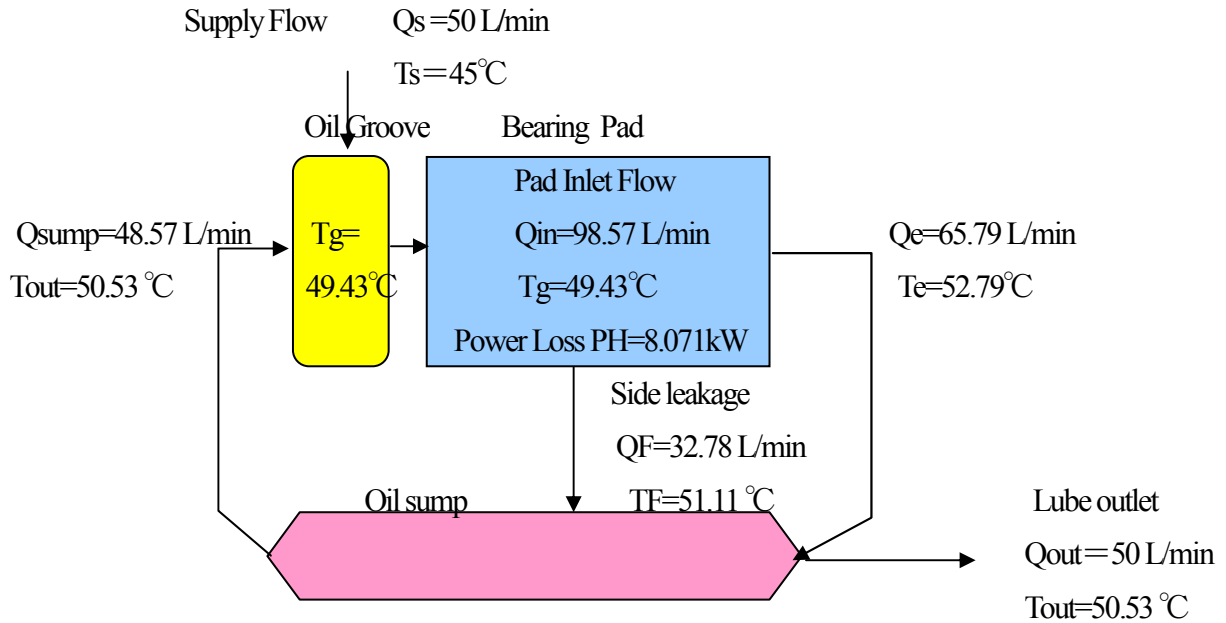
Pad からの横漏れ量 32.78L/min と Excess flow が混合されて全体が供給油量の分になり

50L/min が 50.53°C で軸受箱から排油されます。

ARMD の計算はこの方式となっています。

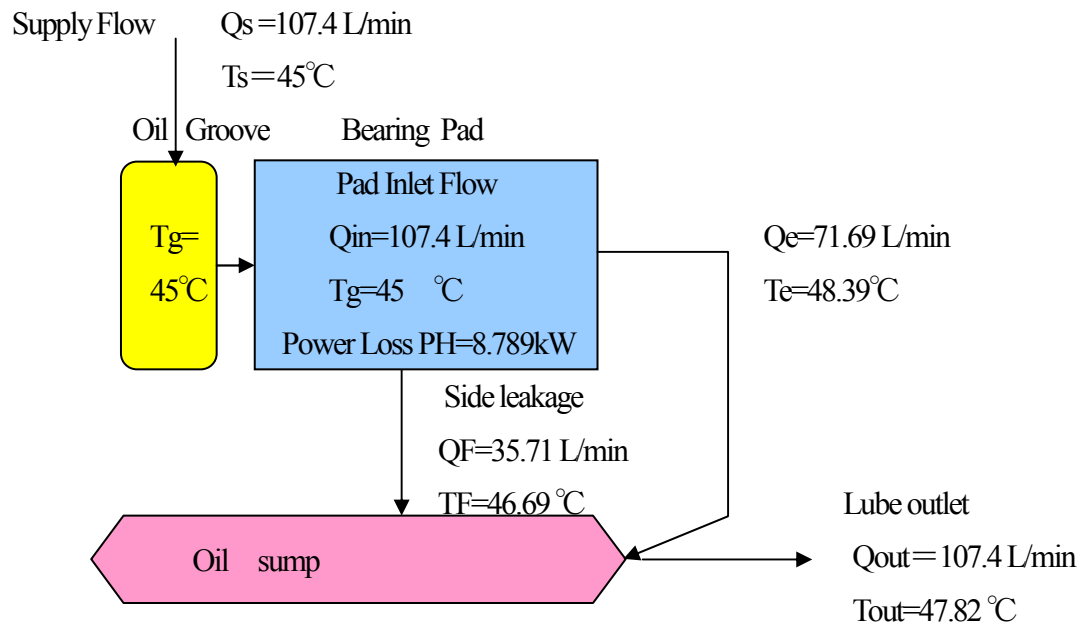
軸受 Box からの総排油温度 Tout は ARMD では出力されませんので (3) の式で計算する必要があります。

図2 CARRY OVER 許す場合 (Oil Sump からの循環がある場合)



carry over が Pad からではなく Oil Sump から行われます。Oil Sump で混合がされた油が供給油量を補って Pad に給油されます。Pad の入り口条件は図 1 とまったく同じになります。Pad の軸受特性は ARMD の計算がそのまま使えます。図 1 の計算結果からそのまま流れは推定できます。

図3 CARRY OVER 許さない場合



carryoverを許す場合と大きく違うのは給油量が Pad の潤滑に必要な油量分だけ必要となることです。この例では 50 L/min ではありません。 $Q_s \geq Q_{in}$ が必要です。 107.4 L/min 以上の油が必要になります。

この解析を ARMD で行う場合は、工夫が必要です。

ARMD では図 1 の方式が計算できますので、図 1 の計算で Groove Temperature が $T_g = 45^\circ\text{C}$ となるように給温度を下げて入力すればできます。この場合は $T_s = 42.75^\circ\text{C}$ で計算すれば上図 3 の結果が得られます。 T_g が 45°C になるまで数回の計算は必要になります。

ARMD で直接噴射式軸受の場合はこのようにして計算できます。

4. ミスアライメントを考慮したスラスト軸受の Pad 最高温度の解析

ARMD では軸受の傾きを考慮したミスアライメント軸受の解析が可能です。

ジャーナル軸受の場合の軸の傾き、スラスト軸受の場合のスラストカラーの傾きによる特性の解析です。

スラスト軸受の場合はミスアライメントのない軸受では Pad は全て同じ特性を持っていますが、ミスアライメントが起こると特定の Pad の油膜が薄くなり、逆に厚くなる Pad も出てきます。

現在の ARMD での計算は個々の Pad ではなく軸受全体としてのヒートバランス・マスバランスから油

膜最高温度を決めています。1. 項で見ました計算式と同じ考えです。

Qs、Qin、Qf、PHなど全軸受の合計値を使用して Tg、Teなどを解析しています。従って特定の Pad の温度は解析では出力されません。そこで以下の方法で個々の Pad 温度は計算することができます。

手順としては

手順1：軸受全体としてミスアライメントを考慮して通常の計算をします。

手順2：解析された POST の output からの潤滑油粘度と clearance の値を用いて bearing analysis を再度行います。計算は user-specified で1つだけ clearance を指定して計算させます。これで解析条件にあった間隙で潤滑状況も同じ DATA がえられます。

手順3：text output からパッド毎の DATA を知ります。Pad 毎の Qin、Qf、PH が求まります。

手順4：この値を用いて1. 項で見た計算式から油膜温度を計算します。

この結果得られた計算値がそれぞれの Pad の値です。

以下の表2に計算例を示します。

軸受外径 160 φ mm で 100 μ m の傾きがあった場合の解析です。表1の例にある軸受です。ただし供給油量は 150 L/min です。

PadNo. から比熱までは ARMD の結果を利用した全て入力値です。Tg 以降が計算値です。

軸受全体としての値は最終合計行に示します。この値は ARMD での通常の軸受解析（手順1）に一致します。

軸受全体としての油膜出口温度は 49.58℃となっています。

計算では Pad 3, Pad 4 が一番油膜が薄いところで、油膜出口温度は約 53℃となっています。

軸受全体とした解析より約 3℃ほど高くなっています。

また最高温度の Pad のみの計算をする場合は上記の手順から最高温度の Pad 1 枚についての入力で求めることができます。

手順2'：Pad 枚数を 1 として最高温度の Pad 1 枚の位置を正しく Orientation angle を選んで入力します。

こうして粘度と clearance を指定します。上記の手順2と同じです。

手順3'：手順2' から Pad の Load が分かりますのでその値を用いて、また油量を Pad 枚数分の 1 に減らして、POST の計算を行います。

この結果油膜出口温度、groove 温度、油膜温度などが出力されますので、ヒートバランスから自分で計算する必要はありません。以下の表2の結果と同じ値が得られます。

以上に見ましたように ARMD の解析は使い方に依ってはいろいろな応用用途があります。一度おためし下さい。

表2 Pad毎の温度計算値

Pad NO.	Force	給油量	Pad 油量	side leakage			給油 温度	損失 動力	容積比熱	groove 温度	油膜 温度	油膜出 口温度	carry over 油量	excess 油量
	F	Qs	Qin	Q _{FRO}	Q _{FRL}	QF	Ts	PH	Cv	Tg	TF	Te	Qe	Qx
	N	L/min	L/min	L/min	L/min	L/min	°C	W	J/m3/K	°C	°C	°C	L/min	L/min
1	432.1	125	8.53	1.903	0.910	2.813	45	728.8	1.74E+06	46.61	48.37	50.13	5.72	9.69
2	612.3	125	7.17	1.544	0.790	2.334	45	871.2	1.74E+06	46.93	49.43	51.93	4.83	10.17
3	761.6	125	6.42	1.341	0.721	2.062	45	997.5	1.74E+06	47.22	50.41	53.59	4.36	10.44
4	745.1	125	6.49	1.360	0.728	2.088	45	965.0	1.74E+06	47.15	50.20	53.25	4.40	10.41
5	580.3	125	7.36	1.594	0.807	2.401	45	847.7	1.74E+06	46.88	49.25	51.62	4.96	10.10
6	405.7	125	8.79	1.967	0.930	2.897	45	706.3	1.74E+06	46.56	48.22	49.87	5.89	9.60
7	290.2	125	10.40	2.387	1.069	3.457	45	595.4	1.74E+06	46.31	47.49	48.68	6.94	9.04
8	228.2	125	11.76	2.751	1.190	3.940	45	526.2	1.74E+06	46.16	47.08	48.01	7.82	8.56
9	201.6	125	12.50	2.937	1.251	4.188	45	494.5	1.74E+06	46.09	46.91	47.72	8.32	8.31
10	203.8	125	12.43	2.918	1.244	4.162	45	497.3	1.74E+06	46.09	46.92	47.75	8.27	8.34
11	234.4	125	11.56	2.685	1.167	3.851	45	534.6	1.74E+06	46.18	47.13	48.09	7.71	8.65
12	306.0	125	10.14	2.324	1.049	3.373	45	611.1	1.74E+06	46.35	47.59	48.84	6.77	9.13
合計	5001	150	113.6	25.71	11.86	37.57	45	8375	1.74E+06	46.54	48.06	49.58	75.99	112.43

以上