



邮电科学研究院线路研究室編

通信用架空鋁导线

人民邮电出版社

內 容 提 要

本書是邮电部邮电科学研究院关于鋁导綫的研究和試驗报告，書中結合国产的鋁导綫对于鋁导綫的电气特性、机械特性、安裝接續方法进行了全面的論述，內容不深，切合实用，适合一般技术人員閱讀。

通 信 用 架 空 鋁 导 綫

編 者： 邮 电 科 学 研 究 院 綫 路 研 究 室

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

發行者： 新 华 書 店

开本 787×1092 1/32 1959年 4 月北京第一版

印張 3 30/32 頁數 63 插頁 2 1959年 4 月北京第一次印刷

印刷字數 93,000 字 印數 1—3,500 册

統一書号： 15045·总 975—有 216

定价：(9)0.45 元

前 言

鋁是世界上最多的一種金屬元素，而仅次于氧、氫、矽居第四位。差不多要佔整個地殼的5.5%，比起比較稀少而貴重的銅來說，鋁是一種取之不尽、用之不竭而導電性能仅次于銅的元素。在我國，近年來鋁的產量已超過了銅，而且銅在其他各種工業方面有着更為重要的用途。因此，大力節約用銅，在通信綫路上以鋁綫代銅綫，有着重要的意義。目前，我國使用鋁導綫作通信綫路還是開始，對於鋁導綫的性能、特點、架設施工方法等各方面還不很熟悉。我院對通信用架空鋁導綫進行研究工作，從1957年11月開始，到1958年6月初步告一段落。這一期間曾就下面幾個問題進行了初步的研究和試驗。

- (一) 電氣特性的理論計算，
- (二) 通信用鋁導綫的接續，
- (三) 架空通信用鋁導綫的安裝垂度，
- (四) 鋁導綫與銅鐵綫同桿架設時的串音問題，
- (五) 國產通信用鋁導綫物理性能和機械性能的測試，
- (六) 架空通信用鋁導綫安裝建築施工方法。

上述各部分的初步研究試驗報告，除第六項已于1958年9月由人民郵電出版社出版外，茲將其余各部分亦整理編印出版，以供參考。內容還不豐富，數字也可能還有錯誤，希有關方面提出意見和指導，容以後補充修正。

郵電科學研究院綫路研究室

1958年8月

目 录

前言

一、通信用鋁導綫电气参数的計算	1
1. 計算用原始数据	1
2. 計算公式和方法	1
2.1. 鋼心鋁絞綫直流电阻的計算	1
2.2. 鋼心鋁絞綫交流电阻的計算	2
2.3. 計算方法的簡化	3
2.4. 电感的計算	6
2.5. 其他电气参数的計算	7
2.6. 各种不同气象条件下的各項参数計算值	7
3. 在傳輸性能上鋼心鋁絞綫与銅絞綫的比較	7
附录	9
二、通信用架空鋁導綫的接續	65
1. 架空通信綫路对接續部分的要求	65
2. 通信用架空鋁導綫在接續上存在的問題	65
3. 套管压接法	66
4. 用扭絞法接續鋼心鋁絞綫	75
5. 鋁銅接头和試綫夾	77
三、架空通信用鋁導綫的安裝垂度	79
1. 計算用原始数据	79
2. 計算鋼心鋁絞綫的复合数据	79
2.1. 求面积比	79
2.2. 机械参数	80
3. 气象負荷数据	81
4. 各种气象情况下的單位負荷計算	81

4.1. 应用公式	81
4.2. 單位負荷計算数据	82
5. 基础应力的选择	84
6. 安裝垂度曲綫的計算	84
6.1. 計算垂度的公式	84
6.2. 桿距为 50 公尺时鉄綫垂度的計算	85
6.3. 桿距为 100 公尺时鉄綫垂度的計算	87
6.4. 鋁导綫安裝垂度曲綫的計算	87
7. 各种負荷下安全因素的計算	98
7.1. 最大应力出現情况的討論	98
7.2. 在各种負荷情况下, 最大应力的計算	99
7.3. 复合导綫內各部分应力的計算	101
7.4. 安全因素的校核	105
8. 結論	106
四、鋼心鋁絞綫回路与銅綫回路間的串音問題	107
五、国产通用鋁导綫的測試	114
1. 鋼心鋁絞綫的測試	114
1.1. 溫度綫膨脹系数	114
1.2. 关于鋁綫楊氏系数的測量	117
1.3. 电阻溫度系数測量	118
1.4. 导电率的測量	120
2. 鋁鎂合金綫的測試	123
1.1. 溫度綫膨脹系数	123
1.2. 电阻溫度系数	123
1.3. 导电率	123
1.4. 彈性模量	123

一、通信用鋁導綫電氣參數的計算

1. 計算用原始數據

表 1.1

導 綫 質 別	電導系數, 姆/公分	導 磁 系 數 亨利/公分	溫度電阻系數
鋼心鋁絞綫			
鋼部	5	$100 \times 4\pi \times 10^{-9}$	0.0046
鋁部	34	$4\pi \times 10^{-9}$	0.004
鋁鎂合金綫	29.5	$4\pi \times 10^{-9}$	0.0037

2. 計算公式和方法

2.1. 鋼心鋁絞綫直流電阻的計算:

鋼心鋁絞綫的電阻, 應由鋼部電阻 R_{cm} 及鋁部電阻 R_{AL} 并聯計算得出。

鋼心鋁絞綫電阻 R_{pes} :

$$R_{\text{pes}} = \frac{R_{cm} \times R_{AL} \times \frac{1}{6}}{R_{cm} + R_{AL} \times \frac{1}{6}} = \frac{R_{cm} \times R_{AL}}{6R_{cm} + R_{AL}}$$

$$R_{cm} = \frac{2550}{5 \times d^2} = \frac{510}{d^2} \text{ 歐姆/對公里,}$$

$$R_{AL} = \frac{2550}{34 \times d^2} = \frac{75}{d^2} \text{ 歐姆/對公里,}$$

$$R_{\text{pes}} = \frac{75 \times 510}{d^2 (75 + 6 \times 510)} = \frac{12.2}{d^2} \text{ 歐姆/對公里,}$$

d 為單股直徑, 單位公厘。

計算鋼心鋁絞線在其他溫度時的電阻時，應先分別計算鋼部，鋁部在該溫度時的電阻，然後再並聯計算 R_{pes} 。

2.2. 鋼心鋁絞線交流電阻的計算：

由於在高頻時產生集膚效應，加上鋼心鋁絞線是由二種不同金屬絞合而成，故其計算顯得很複雜。

參考 И. В. 柯普捷夫著“架空通信綫路理論”^①一書內“通信回路的電氣計算”一章，鋼心鋁絞線可近似的考慮為銅包鋼綫的形式，外圍的幾條鋁導綫可視為鋁包層。

由於通信用鋼心鋁絞線一般均由七股導綫絞合而成，除中心一股為鋼綫外，余均為鋁綫，各股直徑均相同。

故鋁包層的厚度可由下列方法求出（參

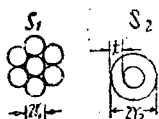


圖 1.1

考圖 1.1)：

$$\text{令 } S_1 = S_2,$$

$$\therefore r_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4S_1}{\pi}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4\pi r_1^2 \times 7}{\pi}}$$

$$= \sqrt{7} r_1 = 2.64 r_1$$

$$\therefore \text{厚度 } t = r_2 - r_1 = 1.64 r_1.$$

高頻時導綫的電阻和電感可由下式求出：

$$Z = R' + j\omega L'$$

$$= n \left\{ \frac{[gK_1(b) + K_0(b)]I_0(a) + [gI_1(b) - I_0(b)]K_0(a)}{[gK_1(b) + K_0(b)]I_1(a) - [gI_1(b) - I_0(b)]K_1(a)} \right\}.$$

（參閱 И. В. 柯普捷夫著“架空綫路理論”）

$$\text{式中： } n = \frac{\sqrt{i}}{2\pi r_2} \sqrt{\frac{\omega \mu_2}{\gamma_2}},$$

① И. В. 柯普捷夫著“架空電信綫路理論”已由人民郵電出版社在 1958 年 7 月翻譯出版——編者。

$$g = \frac{k_2 \mu_1}{\mu_2 k_1} \frac{I_0(C)}{I_1(C)},$$

$$a = \sqrt{j} K_2 r_2,$$

$$b = \sqrt{j} K_2 r_1,$$

$$c = \sqrt{j} K_1 r_1,$$

r ——导线的半径,

γ ——电导系数,

$k = \sqrt{\gamma \mu \omega}$, 称为涡流系数, 或者叫做在导体内圆柱形电磁辐射方向的传播系数,

$$\omega = 2\pi f, \quad f \text{ 为速率,}$$

μ ——导磁系数,

I_0, I_1 ——第一类零阶, 一阶变質貝氏函数,

K_0, K_1 ——第二类零阶, 一阶变質貝氏函数。

2.3. 計算方法的簡化

用上式計算高频时的交流电阻时, 非常繁难, 为簡化起見, 我們做如下討論, 式中:

$$\begin{aligned} n &= \frac{\sqrt{j}}{2\pi r_2} \sqrt{\frac{\omega \mu_2}{\gamma_2}} \\ &= \frac{1}{2\pi \times 2.64 r_1} \sqrt{\frac{2\pi \times 4\pi \times 10^{-9} \times f}{34 \times 10^4}} e^{j45^\circ} \\ &= 0.29 \times 10^{-7} \frac{\sqrt{f}}{r_1}, \end{aligned}$$

$$g = \frac{k_2 \mu_1}{k_1 \mu_2} \frac{I_0(\sqrt{j} k_1 r_1)}{I_1(\sqrt{j} k_1 r_1)} = 26.1 \frac{I_0(c)}{I_1(c)}.$$

令

$$K = \left\{ \frac{[g K_1(b) + K_0(b)] I_0(a) + [g I_1(b) - I_0(b)] K_0(a)}{[g K_1(b) + K_0(b)] I_1(a) - [g I_1(b) - I_0(b)] K_1(a)} \right\}$$

$$\text{其中: } a = \sqrt{j} k_2 r_2 = 2.64 \sqrt{j} k_2 r_1 = 2.64 k_2 r_1 e^{j45^\circ}$$

$$b = \sqrt{j} k_2 r_1 = k_2 r_1 e^{j45^\circ}$$

$$g = 26.1 \frac{I_0(\sqrt{j} k_1 r_1)}{I_1(\sqrt{j} k_1 r_1)}$$

$$= 26.1 \times \frac{I_0\left(\sqrt{j} \sqrt{\frac{5}{34}} \times 100 k_2 r_1\right)}{I_1\left(\sqrt{j} \sqrt{\frac{5}{34}} \times 100 k_2 r_1\right)}$$

$$= 26.1 \times \frac{I_0(3.84 \sqrt{j} k_2 r_1)}{I_1(3.84 \sqrt{j} k_2 r_1)}$$

故实际上 $K = f(k_2 r_1)$ 。

我們若做出曲綫 $K = f(k_2 r_1)$ ，這樣在求不同頻率和不同綫徑的 R' 和 L' 時，可以省去許多計算手續和時間。

設函數 $K = f(k_2 r_1) = Q \angle \varphi$

考慮到式中 n 項內的 e^{j45° 時，

可令 $K' = Q \angle \varphi + 45^\circ = x + jy$

$$\therefore R' = |n| \cdot x = 0.29 \times 10^{-7} \sqrt{f} \cdot \frac{x}{r_1} \text{ 歐姆/公分,}$$

$$L' = 0.29 \times 10^{-7} \sqrt{f} y / 2\pi f r_1 = 0.0462 \times 10^{-7} y / \sqrt{f} r_1$$

亨/公分，

r_1 單位為公分。

函數 $K' = x + jy$ 的計算值見表 1.2，其曲綫如圖 1.2。

$$\begin{aligned} Z &= R' + j\omega L' = \frac{\sqrt{f}}{2\pi r_2} \sqrt{\frac{\omega \mu_2}{r_2}} \\ &\times \left\{ \frac{[gK_1(b) + K_0(b)]I_0(a) + [gI_1(b) - I_0(b)]K_0(a)}{[gK_1(b) + K_0(b)]I_1(a) - [gI_1(b) - I_0(b)]K_1(a)} \right\} \\ &= [X + jr] \frac{1}{2\pi r_2} \sqrt{\frac{\omega \mu_2}{r_2}} \\ R' &= 0.0029 \lambda \frac{\sqrt{f}}{r_1} \text{ 欧姆/公里} \\ L' &= 0.462 \frac{\gamma}{\sqrt{f} r_1} \text{ 毫亨/公里} \end{aligned}$$

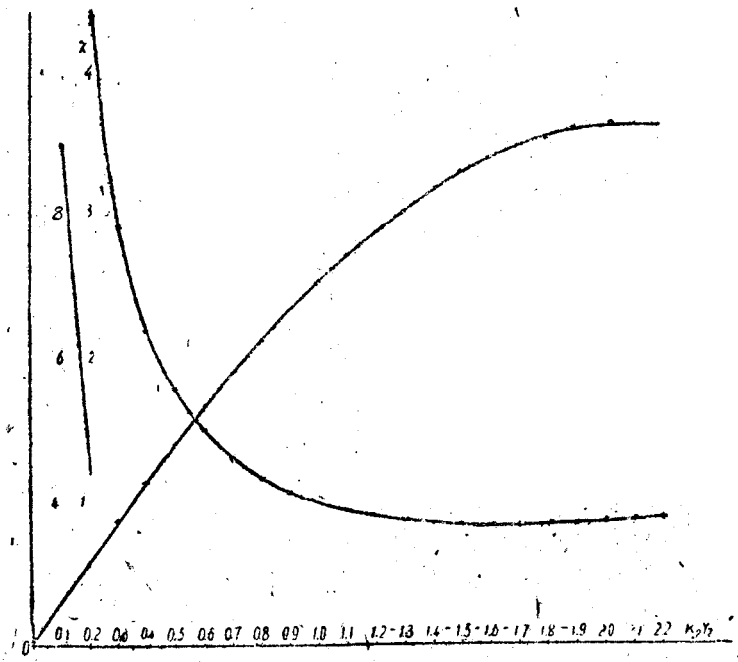


表 1.2

Kr	x	y
0.1	8.88	0.062
0.2	4.35	0.106
0.3	2.88	0.171
0.4	2.15	0.222
0.5	1.76	0.275
0.6	1.47	0.324
0.7	1.28	0.376
0.8	1.14	0.420
0.9	1.04	0.461
1.0	0.97	0.501
1.1	0.91	0.536
1.2	0.87	0.567
1.3	0.84	0.597
1.4	0.82	0.626
1.5	0.81	0.647
1.6	0.81	0.672
1.7	0.80	0.685
1.8	0.80	0.695
1.9	0.80	0.708
2.0	0.80	0.709
2.1	0.80	0.709
2.2	0.80	0.709

2.4. 电感的计算

鋼心鋁絞綫双綫通信回路的电感由下式計算:

$$L = L_{Mn} + L'$$

式中 L' 为导綫的内电感按2.3节方法求之, 而 L_{Mn} 为外电感按下式計算:

$$L_{Mn} = 4 \times 10^{-4} \ln \frac{a}{r} \text{ 亨利/公里,}$$

a 为二导线间的距离，单位为公分，

r 为导线半径，单位为公分。

因内电感的计算，系用等效铝包层的办法，故在计算外电感时，半径 r 仍考虑为等效铝包层的半径，较为理想。

2.5. 其他电气参数的计算

钢心铝绞线和铝镁合金线的其他一次参数及二次参数的计算方法与计算公式均按 И. Б. 柯普捷夫著“架空通信线路理论”及赵国南译“通信线的电特性”书中所列的计算公式和方法计算不再赘述。

2.6. 各种不同气象条件下的各项参数计算值，分见本章附录各表，其曲线亦绘出见本章附录各图。

钢心铝绞线的参数计算值有 7/1.8, 7/1.6, 7/1.4 三种，铝镁合金线的参数计算值为 4.5 公厘径及 3.5 公厘径二种，至于 4.0 公厘径的可从赵国南译“通信线的电特性”一书中查到。

3. 在传输性能上通信用铝导线与铜线的比较

为了很好的在通信网路中；设计和使用铝导线，兹将架空二线回路各种铝导线的二次参数与铜线比较见表 1.3—表 1.5。

由表 1.4—表 1.5 可以看出，7 股 1.8 公厘径钢心铝绞线，5.0 公厘径铝镁合金线的传输性能与 3.5 公厘径的铜线是相当的；7 股 1.6 公厘径钢心铝绞线，4.5 公厘径铝镁合金线的传输性能则与 3.0 公厘径的铜线是相当的；7 股 1.4 公厘径钢心铝绞线，4.0 公厘径铝镁合金线则与 2.5 公厘径是相当的。

因此在长途通信线路上采用铝导线代替铜线，不仅可以得到美满的通话质量，而且在传输距离上及增音站间的距离上均可与原有铜线的距离和设备完全相配合。

铝的资源很丰富，我国在冶炼及制造通信铝导线方面，已

潮湿天气, +20°C, 线距20公分

表 1.3

速率 (千赫)	衰耗(毫奈/公里)		相移(毫弧/公里)		特性阻抗(欧)	
	3.5 公厘 铜线	5 公厘 铝铜合金线	3.5 公厘 铜线	5 公厘 铝铜合金线	3.5 公厘 铜线	5 公厘 铝铜合金线
0.8	3.43	3.71	18	18	588/-9°34'	544/-10°36'
30	40.60	41.30	661	662		
120	27.40	25.15	2620	2535		
150	28.32	29.16	3290	3278		

潮湿天气, +20°C, 线距20公分

表 1.4

速率 (千赫)	衰耗(毫奈/公里)		相移(毫弧/公里)		特性阻抗(欧)	
	3.0 公厘 铜线	4.5 公厘 铝铜合金线	3.0 公厘 铜线	4.5 公厘 铝铜合金线	3.0 公厘 铜线	4.5 公厘 铝铜合金线
0.8	4.4	4.16	18	18	518/-12°26'	566/-12°22'
30	11.9	12.60	661	670		
120	26.85	26.87	2635	2660		
150	31.08	31.13	3290	3321		

潮湿天气, +20°C, 线距20公分

表 1.5

速率 (千赫)	衰耗(毫奈/公里)		相移(毫弧/公里)		特性阻抗(欧)	
	2.5 公厘 铜线	4.0 公厘 合金线	2.5 公厘 铜线	4.0 公厘 合金线	2.5 公厘 铜线	4.0 公厘 合金线
0.8	5.95	5.33	18	18.5	667/-16°3'	600/-15°59'
30	13.53	13.28	661	664		
120	—	28.94	2635	2632		
150	34.43	33.56	3290	3280		

有相当的技术，并已大量生产，能满足供应需要。铜是工业用主要电气材料，铜的供应量在大部分国家里都很缺，全世界总的产量也是不充裕的，我国产量虽逐年增加很多，但随着电气工业的迅速发展，生产还赶不上需要。因此在耗铜量较多的长途通信线路上采用铝导线不仅可以满足通信线路大跃进的需要，而且在国民经济中，有着重要意义。

附 录

电气特性表：

一、二线钢心铝绞线回路的各项参数

1. 二线钢心铝绞线回路的一次参数(附表1.1~表1.6)

2. 二线钢心铝绞线回路的二次参数(附表1.7~表1.22)

二、二线铝镁合金线回路的各项参数

1. 二线铝镁合金线回路的一次参数(附表1.23~表1.35)

2. 二线铝镁合金线回路的二次参数(附表1.36~表1.41)

电气特性曲线图：

附图 1.1 钢心铝绞线电阻

附图 1.2 7/1.8 钢心铝绞线电容

附图 1.3 7/1.6 钢心铝绞线电容

附图 1.4 7/1.4 钢心铝绞线电容

附图 1.5 7/1.8 钢心铝绞线电导($a=60$ 公分)

附图 1.6 7/1.6 钢心铝绞线电导($a=60$ 公分)

附图 1.7 7/1.4 钢心铝绞线电导($a=60$ 公分)

附图 1.8 7/1.8 钢心铝绞线电导($a=20$ 公分)

附图 1.9 7/1.6 钢心铝绞线电导($a=20$ 公分)

附图 1.10 7/1.4 钢心铝绞线电导($a=20$ 公分)

附图 1.11 7/1.8 钢心铝绞线衰耗($a=60$ 公分)

附图 1.12 7/1.8 钢心铝绞线衰耗($a=20$ 公分)

附图 1.13 7/1.6 钢心铝绞线衰耗($a=60$ 公分)

附图 1.14 7/1.6 钢心铝绞线衰耗($a=20$ 公分)

- 附圖 1.15 7/1.4 鋼心鋁絞綫衰耗($a=60$ 公分)
- 附圖 1.16 7/1.4 鋼心鋁絞綫衰耗($a=20$ 公分)
- 附圖 1.17 7/1.8 鋼心鋁絞綫衰耗($a=20$, 冰, 雪)
- 附圖 1.18 7/1.8 鋼心鋁絞綫衰耗($a=60$, 冰, 雪)
- 附圖 1.19 7/1.6 鋼心鋁絞綫衰耗($a=20$, 冰, 雪)
- 附圖 1.20 7/1.6 鋼心鋁絞綫衰耗($a=60$, 冰, 雪)
- 附圖 1.21 7/1.4 鋼心鋁絞綫衰耗($a=20$, 冰, 雪)
- 附圖 1.22 7/1.4 鋼心鋁絞綫衰耗($a=60$, 冰, 雪)
- 附圖 1.23 4.5 公厘鋁鎂合金綫電阻
- 附圖 1.24 3.5 公厘鋁鎂合金綫電阻
- 附圖 1.25 鋁鎂合金綫電感
- 附圖 1.26 二綫鋁鎂合金綫回路電容(綫徑 4.5 公厘)
- 附圖 1.27 二綫鋁鎂合金綫回路電容(綫徑 3.5 公厘)
- 附圖 1.28 鋁鎂合金綫電導(綫徑 4.5 公厘)
- 附圖 1.29 鋁鎂合金綫電導(綫徑 3.5 公厘)
- 附圖 1.30 鋁鎂合金綫衰耗(綫徑 3.5 公厘)
- 附圖 1.31 鋁鎂合金綫衰耗(綫徑 4.5 公厘)
- 附圖 1.32 鋁鎂合金綫衰耗(綫徑 3.5 公厘, $a=20$)
- 附圖 1.33 鋁鎂合金綫衰耗(綫徑 3.5 公厘, $a=60$)
- 附圖 1.34 鋁鎂合金綫衰耗(綫徑 4.5 公厘, $a=20$)
- 附圖 1.35 鋁鎂合金綫衰耗(綫徑 4.5 公厘, $a=60$)

附录:

一、二綫鋼心鋁絞綫回路各項参数

1 二綫鋼心鋁絞綫回路的一次参数(表1.1~表1.6)

附表 1.1 二綫鋼心鋁絞綫回路的电阻 單位: 歐/公里

綫距 20 公分, $t = +20^{\circ}$ (攝氏)

綫股數/綫徑(公厘) 頻率(千赫)	7/1.8	7/1.6	7/1.4
0.0		4.76	6.22
0.2	3.76	4.76	6.22
0.4	3.76	4.76	6.22
0.6	3.76	4.76	6.22
0.8	3.76	4.76	6.22
2.0	3.88	4.89	6.34
3.0	3.98	4.96	6.40
5.0	4.06	5.02	6.62
7.0	4.63	5.51	6.85
10.0	5.28	6.09	7.36
20.0	7.26	8.20	9.49
30.0	8.90	10.0	11.5
50.0	11.5	13.0	14.8
70.0	13.6	15.3	17.5
90.0	15.4	17.4	19.9
120.0	17.8	20.1	23.0
150.0	19.9	22.4	25.7

附表 1.2 二線鋼芯鋁絞線同路的電感 單位: 毫亨/公里

 $t = +20^{\circ}$ (攝氏)

線距(公分) 線股數/ 線徑 頻率(千赫) (公厘)	20			60		
	7/1.8	7/1.6	7/1.4	7/1.8	7/1.6	7/1.4
0.0						
0.2	1.8541	1.9039	1.9440	2.2941	2.3439	2.4240
0.4	1.8535	1.9036	1.9436	2.2935	2.3436	2.4236
0.6	1.8535	1.9036	1.9436	2.2935	2.3436	2.4236
0.8	1.8535	1.9030	1.9436	2.2935	2.3430	2.4236
2.0	1.8516	1.9017	1.9428	2.2916	2.3417	2.4228
3.0	1.8502	1.9004	1.9416	2.2902	2.3404	2.4216
5.0	1.8452	1.8965	1.9394	2.2852	2.3365	2.4194
7.0	1.8415	1.8939	1.9365	2.2815	2.3339	2.4165
10.0	1.8362	1.8892	1.9328	2.2762	2.3292	2.4128
20.0	1.8215	1.8772	1.9227	2.2615	2.3172	2.4027
30.0	1.8121	1.8672	1.9139	2.2521	2.3072	2.3939
50.0	1.8026	1.8565	1.9018	2.2426	2.2946	2.3818
70.0	1.7975	1.8508	1.8953	2.2375	2.2908	2.3753
90.0	1.7943	1.8472	1.8912	2.2343	2.2872	2.3712
120.0	1.7910	1.8436	1.8870	2.2310	2.2836	2.3670
150.0	1.7888	1.8411	1.8841	2.2288	2.2811	2.3641