

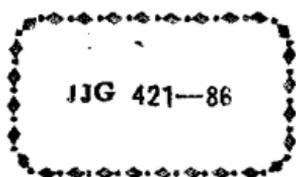
中 华 人 民 共 和 国

国家计量检定规程

CJ-2型高频介质损耗测量仪

JJG 421—86

**CJ-2 型高频介质损耗
测量仪检定规程**
Verification Regulation of
CJ-2 Type HF Dielectrometer



本检定规程经国家计量局于1986年2月1日批准,并自1987年1月1日起施行。

归口单位: 成都计量测试研究院

起草单位: 中国计量科学研究院

常州电子仪器厂

本规程技术条文由起草单位负责解释。

本规程主要起草人：

侯保国（中国计量科学研究院）

陆锦元（常州电子仪器厂）

目 录

一 概述	(1)
二 技术要求	(1)
三 检定条件及检定用设备	(2)
四 检定项目及检定方法	(3)
五 检定结果的处理和检定周期	(8)
附录1 ϵ_r 、 $\text{tg}\delta$ 的基本计算公式	(9)
附录2 测量电极平板电容计算式	(11)
附录3 测量电极的边缘电容	(12)
附录4 高频介质测量仪检定证书格式	(13)
附录5 检定记录表格	(15)

CJ-2型高频介质损耗测量仪

检定规程

本规程适用于新制造、使用中和修理后的 CJ-2 型高频介质损耗测量仪的检定。同时也适用于性能与 CJ-2 相似的 TF-704B、C 等高频介质损耗测量仪的检定。

一 概 述

CJ-2 型高频介质损耗测量仪（以下简称 CJ-2）主要用于测量介质绝缘材料的相对介电常数（ ϵ_r ）和损耗角正切（ $\text{tg}\delta$ ）。同时用来测量电容器的容量和损耗角正切，电感线圈的电感量、分布电容和品质因数，电阻和电缆等元件的高频参数。

CJ-2 是根据谐振法原理工作的，利用插入和取出介质样品时的谐振回路总电容相等，以及回路谐振时电纳变化呈现出谐振曲线宽度的变化，得出被测样品的相对介电常数和损耗角正切。

该仪器主要由振荡器、测试回路、指示器及电源组成。

二 技 术 要 求

CJ-2 主要技术指标如下：

1 工作频率

1.1 频率范围：100kHz~85MHz

1.2 刻度误差： $< \pm 2\%$

1.3 频率稳定度：优于 5×10^{-5}

2 测量电极不平行度： $< \pm 0.01\text{mm}$

3 电容测量

3.1 测量范围：(0.1~150)pF

3.2 测量误差： $< \pm 1\% + 0.01\text{pF}$

4 圆柱线性电容

4.1 测量范围：(7~18) mm

4.2 测量误差: $< \pm 0.7\%$

4.3 非线性度: $\leq \pm 0.001\text{pF}$

5 半功率点

5.1 100kHz: 误差 $< \pm 0.5\%$

5.2 80MHz: 误差 $< \pm 2\%$

6 相对介电常数 (ϵ_r)

6.1 测量范围: 2~10

6.2 测量误差: $< \pm 2\%$

7 损耗角正切 ($\text{tg}\phi$)

7.1 测量范围: $0.1 \sim 1 \times 10^{-4}$

7.2 测量误差: $< \pm 10\% + 1 \times 10^{-4}$

三 检定条件及检定用设备

8 环境条件

环境温度: $20 \pm 2^\circ\text{C}$

相对湿度: (45~65)%

大气压强: 86000~100000Pa

电 源: $220\text{V} \pm 2\%$, $50\text{Hz} \pm 2\%$

测量架周围 0.5m 范围内应无其它金属物体, 无机械振动, 避免阳光直射和电磁场干扰, 在仪器检定过程中周围应无人走动。

9 检定用设备

9.1 频率计

测量范围: 100Hz~100MHz, 稳定度优于 $2 \times 10^{-7}/24\text{h}$

参考型号: E325 型频率计

9.2 高频电压表

测量范围: 频率 $> 100\text{MHz}$

电压 0~10V, 准确度优于 3%

参考型号: DA-2 型超高频电压表

9.3 电容测量仪

准确度: 0.01%

参考型号：CO-11 型高精电容测量仪

9.4 精密电压检定仪

准确度：优于0.5%

参考型号：DO-10 精密电压标准检定仪

9.5 高频标准介质样品

准确度： $\epsilon_r \pm (0.5 \sim 1.5)\%$

$$\text{tg}\delta \pm (5 \sim 10)\% + 1 \times 10^{-6}$$

规定型号：JZP-1 型高频标准介质样品

9.6 标准量块

量块厚度：1mm，准确度为0.5 μm

参考型号：二级标准量块

9.7 万用表

精度等级：2.5级

参考型号：500型或MF-7型

四 检定项目及检定方法

10 外观和工作正常性检查

10.1 仪器送检应带齐附件、说明书和上次检定证书。

10.2 被检 CJ-2 应结构完整。无影响正常工作的机械损伤，如旋钮松动、表针弯曲、度盘不清晰等。

10.3 仪器所有调节电位器均能平滑运动，频率度盘、测量电极*和圆柱线性电容器应转动平稳，开关跳步清晰、分档准确、接触良好，电表的机械零点正常可调，测量夹具无锈蚀现象。

10.4 仪器要保持整洁、干燥。测量电极、测量夹具插脚及石英柱、振荡器和线圈插脚不允许粘附灰尘和水份。

10.5 按说明书安装，接通电源，仪器指示灯亮，预热 30 min 后能正常工作。

10.6 “零调”检查

将“比较电压”开关置于零，用仪器上部短路棒将夹具短路，逐

* CJ-2 使用说明书中为平板电容。

步增大“灵敏度”，调节“零调”旋钮，电表指针应指示电表红线。

11 振荡器检定

11.1 频率稳定性和频率刻度检定

11.1.1 按图1将CJ-2信号源输出端与频率计输入端之间用高频电缆连接，把低频振荡器安装到仪器左上方，并用螺栓固定。振荡器内插入线圈 L_3 ，振荡频率刻度置于1MHz位置，接通电源预热30min。



图 1

11.1.2 CJ-2振荡器预热后，微调“频率”旋钮使频率计读数为1MHz，然后每隔10min记录一次频率计读数，重复三次，求三次频率漂移平均值 Δf ，由下式计算10min内频率稳定度 $(\Delta f/f)$ ，填入附录5表1。

$$\Delta f/f = \frac{\Delta f(\text{Hz})}{10f(\text{MHz})} \times 10^{-6}/10\text{min} \quad (1)$$

11.1.3 依次插入 $L_1 \sim L_6$ 振荡线圈，调节“频率”旋钮，按附录5表2选取检定点进行频率刻度检定。

11.1.4 将高频振荡器安装在仪器左上方，用螺栓固定，插入线圈 L_7 ，接通电源预热30min，调节频率到30MHz，按照11.1.2方法检定频率稳定度，结果填入附录5表1。然后依次用 L_7 、 L_8 、 L_9 高频振荡线圈，同样按附录5表2选取检定点进行频率刻度检定。

11.1.5 频率刻度检定每个频率点应重复三次，取平均值按下式计算频率相对误差。

$$\delta_f = \frac{f_s - f}{f} \times 100\% \quad (2)$$

式中： δ_f ——频率误差的相对值；
 f_s ——CJ-2 频率度盘指示值；
 f ——频率计实测值。

11.2 输出幅度检查

11.2.1 按图 2 将被检 CJ-2 输出端与高频电压表相连接，“输出粗调”和“输出细调”置于最大。

11.2.2 测量两个振荡器各个波段输出电压。应在附录 5 表 2 所示范围。



图 2

12 测量电极检定

12.1 测量电极平行度检定

12.1.1 将万用表置于 $\Omega \times 10$ 档，两表笔分别接上、下电极接线柱。向下旋动上电极，当电表指零时，在测微计上读出电极起始零位 t_0 ，重复三次取平均值， t_0 平均值应小于 0.01mm。

12.1.2 万用表接法不变，依次在电极左、右、中间、前、后不同位置放入 1mm 标准量块，向下旋动上电极，分别使万用表指零，记下测微计各次读数，每个位置重复三次，取平均值填入附录 5 表 3。

12.1.3 如果电极平行度不合格应由检定单位或生产厂重新校正或修理。

12.2 测量电极电容量检定

12.2.1 接通 CO-11 电源，预热 30min。

12.2.2 将测量夹具置于特制的金属屏蔽罩内，CO-11 接地端与屏蔽罩相连。电容测量仪的两根测量线分别置于测量夹具上、下电极

接线端附近,调节电桥起始平衡,读取连接电缆分布电容值 C_{L_0} 。

12.2.3 按图3将被检测量夹具与电容测量仪连接,圆柱线性电容固定于12.5mm,按附录5表4选取测量电极刻度,调节电桥平衡,读取电容值 C_t ,从附录2公式(1)计算得到测量电极电容值 C_x 。

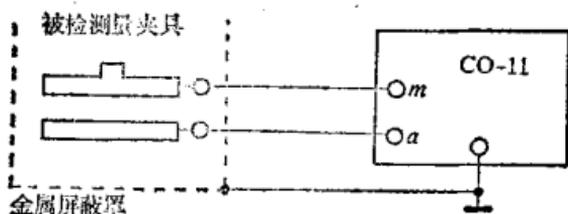


图 3

12.2.4 每个点重复检定三次,取其平均值按下式计算测量电极电容相对误差值。

$$\delta_o = \frac{C_x - C_t}{C_t} \times 100\% \quad (3)$$

式中: δ_o ——测量电极电容相对误差值;

C_x ——测量电极实测电容值;

C_t ——测量电极计算电容值。

12.3 圆柱线性电容器检定

12.3.1 电路连接如图3,测量电极间距固定在3mm。从(7~18)mm每次间隔1mm,调节圆柱线性电容,依次读出电容值。

12.3.2 每个点重复测量三次,取平均值,相邻两值相减得到圆柱线性电容器变化1mm的电容变化量,其值填入附录5表5,按下式计算电容相对误差。

$$\delta_{o_r} = \frac{C_{r_0} - (C_1 - C_2)}{(C_1 - C_2)} \times 100\% \quad (4)$$

式中: δ_{o_r} ——圆柱线性电容相对误差值;

C_{r_0} ——测量夹具电容对照表中给出电容值;

$(C_1 - C_2)$ ——相距1mm两刻度测得电容之差。

半功率点(0.707)检定

13.1 CJ-2 测试电极与 DO-10 精密电压标准检定仪输出端连接，仪器通电预热 30min。

13.2 将 CJ-2 调零，再将“比较电压”置于 1V。DO-10 频率置于 100kHz，并调节其输出为 u_1 ，使 CJ-2 电表指于红线；再将 CJ-2 “比较电压”置于 0.707V，调节 DO-10 输出为 u_2 ，使 CJ-2 电表指于红线。

13.3 以上实验重复三次，求出 u_1 和 u_2 的平均值，填入附录 5 表 6。由 u_1 和 u_2 的比值得到半功率点电压比值，由下式得到该半功率点的相对误差。

$$\delta_{0.707} = \frac{0.707 - u_2/u_1}{u_2/u_1} \times 100\% \quad (5)$$

13.4 将高频振荡器插入仪器左上方，同时插入振荡线圈 L_2 和谐振线圈 L_{1r} ，并将 DA-2 超高频电压表置于 1V 档，输入探头接在电极上。CJ-2 “比较电压”置于 1V 档，振荡频率置于 80MHz，调整电极距离获得谐振，使电表指示红线，在 DA-2 上读出 u_1 值；再将“比较电压”置于 0.707，调整振荡器输出，当电表指示红线时，在 DA-2 上读出指示值 u_2 。

13.5 重复三次，取 u_1 和 u_2 的平均值填入附录 5 表 6，同样按 (5) 式计算 $\delta_{0.707}$ 误差相对值。

14 ϵ_r 和 $\text{tg}\delta$ 测量误差检定

14.1 标准介质样品经过清洗、烘干，置于干燥器内，在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的室温下放置 24h 以上。

14.2 接通被检 CJ-2 电源，预热 30min。

14.3 按附录 5 表 7 选取振荡线圈和回路线圈，将 JZP-1 型标准介质样品插入电极之间用不接触电极法进行测量，得到有样品和无样品谐振时电极间距 b_i 、 b_0 和相应的半功率点电容宽度 ΔC_i 、 ΔC_0 。

14.4 按附录 1 计算式得出 ϵ_i 、 $\text{tg}\delta_i$ ，同一标准介质样品在每个频率点测量三次取平均值，填入附录 5 表 7，按下式计算 ϵ_r 和 $\text{tg}\delta$ 的相对测量误差。

$$\delta_{\varepsilon_r} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_r}{\varepsilon_r} \times 100\% \quad (6)$$

$$\delta_{\text{tg}\delta} = \frac{\text{tg}\delta_i - \text{tg}\delta}{\text{tg}\delta} \times 100\% \quad (7)$$

式中: δ_{ε_r} ——相对介电常数测量的相对误差;

$\delta_{\text{tg}\delta}$ ——损耗角正切测量的相对误差;

ε_i ——被检 CJ-2 测得值;

ε_r ——标准介质样品给定值;

$\text{tg}\delta_i$ ——被检 CJ-2 测得值;

$\text{tg}\delta$ ——标准介质样品标定值。

五 检定结果的处理和检定周期

15 将检定结果填入检定证书。凡受检项目全部合格的仪器,发给检定证书。不合格仪器发给检定结果通知书。

16 检定周期为一年,必要时可提前送检。

附录 1

 ϵ_r 、 $\text{tg}\delta$ 的基本计算公式

采用不接触式电极测量（带气隙测量），考虑边缘电容的影响和等效直径概念时， ϵ_r 和 $\text{tg}\delta$ 计算式为

$$\epsilon_r = \frac{t_x}{t_0 - t_i \left(1 + \frac{\Delta C_0}{C_0} \right)} \quad (1)$$

$$\frac{1 + \frac{\Delta C_0}{C_0} + \frac{d_0^2 - d^2}{d^2} \cdot \frac{t_0}{t_i}}{+ t_x}$$

$$\text{tg}\delta = \frac{143.8 t_0^2 \epsilon_r}{d^2 t_x} \cdot \frac{\Delta C_i - \Delta C_0}{2} \left[\frac{d_0}{d} \left(1 - \frac{\Delta C_0}{C_0} \right) \right]^2 \quad (2)$$

式中， t_x ——样品的平均厚度（mm）；

t_i ——有样品时的电极间距（mm）；

t_0 ——无样品谐振时的电极间距（mm）；

C_0 ——电极间距为 t_0 时的电容量（pF）；

d ——电极直径（mm）；

d_0 ——样品等效直径，当样品直径为 50mm，厚度为 2mm 时， $d_0 = 50.08\text{mm}$ ；

ΔC_0 ——测量电极间距为 t_0 时的边缘电容与测量电极间距为 t_i 时的边缘电容之差（pF）；

ΔC_i ——有样品谐振时半功率点电容宽度（pF）；

ΔC_0 ——无样品谐振时半功率点电容宽度（pF）。

如果不考虑边缘电容和等效直径概念时，(1) 和 (2) 式简化为：

$$\epsilon_r = \frac{t_x}{t_0 - (t_i - t_x)} \quad (3)$$

$$\text{tg}\delta = \frac{143.8 t_0^2 \epsilon_r}{d^2 t_x} \cdot \frac{\Delta C_i - \Delta C_0}{2} \quad (4)$$

(4) 式也可以写为:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\Delta C_1 - \Delta C_0}{2C_0} \cdot \frac{C_x}{C_0} \quad (5)$$

式中: C_0 ——插入样品后空气隙与样品串联组合的电容 (pF)。

使用公式 (3)、(4) 式计算时的修正值由下表给出:

样品名称	厚度 (mm)	测量用气隙 (mm)	ϵ_r 修正	$\operatorname{tg}\delta$ 修正
陶瓷	3	0.2	+0.190	$\times 0.968$
玻璃	2.5	0.3	+0.220	$\times 0.961$
石英	1.8	0.2	+0.090	$\times 0.968$
微晶玻璃	2	0.2	+0.125	$\times 0.966$
聚乙烯	2	0.2	+0.047	$\times 0.965$
聚丙烯	1	0.1	+0.038	$\times 0.976$
聚苯乙烯	2	0.2	+0.050	$\times 0.965$

704B、C 高频介质损耗测量仪电极直径为 50.8mm, ϵ_r 的计算式可用公式 (1), 但式中 (包括 C_0 、 C_x 计算式) $d = 50.8\text{mm}$ 。

由于样品直径和电极直径不同, $\operatorname{tg}\delta$ 计算公式变为:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{143.8 t_0^2 \epsilon_r d_x^2}{d^4 t_x} \cdot \frac{\Delta C_1 - \Delta C_0}{2} \left[\frac{d_0}{d} \left(1 - \frac{\Delta C_0}{C_0} \right) \right]^2 \quad (6)$$

式中: $d_x = 50\text{mm}$ (样品直径);

$d = 50.8\text{mm}$ (电极直径)。

附录 2

测量电极平板电容计算式

1 测量电极实际电容 C_x

$$C_x = C_1 - C'_0 - C_{L_0} - C_0 \quad (1)$$

式中: C_1 ——电容测量仪实测电容值 (pF) ;

C'_0 ——实际起始电容值 (pF) ;

C_{L_0} ——电容测量仪测量线分布电容值 (pF) ;

C_0 ——边缘电容 (pF) 。

2 实际起始电容值 C'_0

$$C'_0 = C_0 - \Delta C_0 \quad (2)$$

式中: C_0 ——起始电容 (pF) ;

ΔC_0 ——起始电容修正值 (pF) 。

3 起始电容 C_0 及修正值 ΔC_0

确定电容 C_0 采用三点定位法, 取测量电极三点位置 t_1 、 t_2 和 t_3 , 分别测出对应电容值 C_1 、 C_2 、 C_3 , 可推导得出:

$$C_0 = \frac{C_1(t_1 - t_2)(C_3 - C_2) - C_3(t_2 - t_3)(C_2 - C_1)}{(t_1 - t_2)(C_1 - C_2) - (t_2 - t_3)(C_2 - C_1)} = \frac{A}{B} \quad (3)$$

$$\Delta C_0 = C_0 \left(\frac{\Delta A}{A} - \frac{\Delta B}{B} \right) \quad (4)$$

当 $t_1 = 6\text{mm}$, $t_2 = 3\text{mm}$, $t_3 = 2\text{mm}$ 时,

$$\Delta B = (1.027C_1 + 0.766C_2) \times 3 - (1.17C_1 + 0.766C_3) \times 4 \\ + (1.17C_2 + 1.027C_3) \times 1$$

$$\Delta A = -0.168$$

4 测量电极的计算电容 C

$$C = \frac{d^2}{143.8t} \quad (5)$$

式中: d ——测量电极直径 (mm) ;

t ——测量电极间距离 (mm) 。

附录 3

测量电极的边缘电容

测量电极的边缘电容用比 Kirchhoff 公式更接近实际边缘电容值的公式:

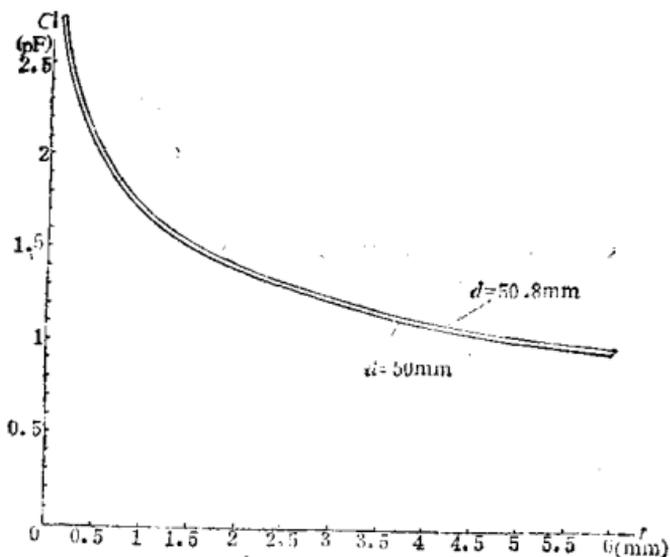
$$C_e = \frac{\epsilon_0 d}{2} \left[\ln \frac{\pi d h}{t^2} + \frac{h+t}{t} \ln \frac{h+t}{h} \right]$$

式中: h ——测量电极的高度 (mm);

d ——测量电极的直径 (mm);

t ——测量电极的间距 (mm)。

根据不同的 t 值计算出对应的边缘电容 C_e 值, 绘出边缘电容曲线图。需要时可从图上直接读出对应电极间距的边缘电容量。



边缘电容曲线图

附录 4

高频介质测量仪检定证书格式
(封面型式 I)

(检定单位名称)

检 定 证 书

____ 字第 ____ 号

介质测量仪型号 _____

介质测量仪生产厂 _____ 序 号 _____

送 检 单 位 _____ 设备编号 _____

检 定 结 果 _____

实验室主任 _____

核 验 员 _____

检定温度 _____ ℃ 湿度 _____ % 检 定 员 _____

检定日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日 有效期至 _____ 年 _____ 月 _____ 日

高频介质测量仪检定证书格式
(封面型式II)

(检定单位名称)

检定结果通知书

_____ 字第 _____ 号

介质测量仪型号 _____

介质测量仪生产厂 _____ 序 号 _____

送 检 单 位 _____ 设备编号 _____

检 定 结 果 _____

实验室主任 _____

核 验 员 _____

检 定 员 _____

检定温度 ℃ 湿度 %

检定日期 年 月 日 有效期至 年 月 日

附录 5

检定记录表格

(一) 外观及工作正常性检查

- 1 外观检查
- 2 工作正常性检查

(二) 振荡器检定

- 1 频率稳定度检定

表 1

频率 (MHz)	10min频漂 (Hz)	频率稳定度 $\Delta f/f$ ($\times 10^{-5}/10\text{min}$)
1		
50		

2 振荡频率刻度检定和幅度检查

表 2

	线圈	振荡频率			输出幅度		
		标称值	实测值	误差 δ_f	技术要求	实测值	结果
低频 振荡器	L_1	50 kHz			1—6V		
	L_1	150 kHz			♦		
	L_2	150 kHz			♦		
	L_2	450 kHz			♦		
	L_3	450 kHz			♦		
	L_3	1.3 MHz			♦		
	L_4	1.3 MHz			♦		
	L_4	3.5 MHz			♦		
	L_5	3.5 MHz			♦		
	L_5	10 MHz			♦		
	L_6	10 MHz			♦		
	L_6	20 MHz			♦		
高频 振荡器	L_7	20 MHz			♦		
	L_7	35 MHz			♦		
	L_8	35 MHz			♦		
	L_8	60 MHz			♦		
	L_9	60 MHz			♦		
	L_9	80 MHz			♦		

(三) 测量电极检定

1 电极平行度检定

电极起始零位 $t_0 = \quad \mu\text{m}$

表 3

量块	偏差 Δf	位置				
		左	右	中间	前	后
l mm		(μm)				

2 测量电极电容检定

表 4

电极间距 t (mm)	测得电容 C_t (pF)	实际电容 C_s (pF)	计算电容 C_t ($d=50\text{mm}$) (pF)	计算电容 C_t ($d=50.8\text{mm}$) (pF)	误差 δ_0 (%)
6			2.89	2.99	
4			4.34	4.48	
3			5.79	5.98	
2			8.69	8.97	
1.6			10.86	11.21	
1.3			13.37	13.80	
1.0			17.38	17.94	
0.8			21.73	22.43	
0.66			26.34	27.19	
0.54			32.19	33.23	
0.44			39.51	40.78	
0.36			49.67	51.27	
0.29			59.95	61.88	
0.25			69.54	71.78	
0.20			86.92	89.73	

3 圆柱线性电容检定

表 5

刻 度 (mm)	表中电容值 C_{r_0} (pF)	测得电容值 $C_1 - C_2$ (pF)	误差 $\delta\sigma_r$ (%)
7--8			
8--9			
9--10			
10--11			
11--12			
12--13			
13--14			
14--15			
15--16			
16--17			
17--18			

(四) 半功率点检定

表 6

频 率	u_1 (V)	u_2 (V)	$\delta_{0.507}$ (%)
100 kHz			
80 MHz			

(五) ε_r 和 $\text{tg}\delta$ 测量误差检定

表 7

标准 样品	线圈代号		频率 (MHz)	样品标称值		仪器测得值		误差	
	振荡	谐振		ε_r	$\text{tg}\delta$	ε_r	$\text{tg}\delta_i$	δ_{ε_r}	$\delta_{\text{tg}\delta}$
	L_3	L_{11}							
	L_3	L_{11}							
	L_3	L_{11}							
	L_6	L_{13}							
	L_6	L_{13}							
	L_6	L_{13}							
	L_9	L_{13}							
	L_9	L_{13}							
	L_9	L_{13}							
	L	L							
	L	L							
	L	L							