

低压电器在湿热试验处理后绝缘强度受海拔高度变化的影响

《低压电器适用海拔高度范围及有关措施的研究分析》

验证分析项目报告之四

昆明电器科学研究所

一九七五年六月

TM52

贵州省图书馆

毛主席语录

备战、备荒、为人民。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

I.	前	言	1
II.	试	验	条
	件		2
III.	试	验	结
	果	反	其
	分	析	9
IV.	讨	论	14
V.	结	论	19

前言

全国形势一片大好。在毛主席的无产阶级革命路线指引下，随着批林批孔运动的不断普及、深入和发展，国标《低压电器基本标准》有关海拔问题的第三项试验验证工作，在上海市电业科学研究所、天水长城开关厂、昆明开关厂、昆明电业科学研究所及其它兄弟单位的共同努力下，胜利地完成了。这是对林彪之流的洋奴哲学、爬行主义等反动谬论的有力批判，是党的团结胜利路线的具体体现。

本验证的准备工作（包括湿热试验箱、试验样品等）由昆明电业科学研究所承担。在准备工作基本就绪的情况下，于1974年10月中旬，在昆明集中了上述四单位的试验人员，组成了试验小组。在小组的组织领导下，大家以毛泽东思想为指针，发扬了一不怕苦，二不怕死的革命精神，以主人翁的姿态，敢想敢干，积极想办法、出主意、争挑重担、任劳任怨、团结互助、连续作战，克服了低气压，气压急剧变化等种种难关，终于在短短的34天中，完成了预计三个月难以完成的任务。

在试验过程中，对九种材料的300余次样块和15件产品，共6000余个漏电距离，在两种处理状态，四组模拟海拔气候条件下测试了三项绝缘强度，取得了近万个数据。随后，由昆明电业科学研究所对试验数据进行了整理分析，编写了试验报告。在1975年4月5～12日於苏州召开的讨论审查会上，对昆明电业科学研究所提出的报告第三稿（供审查讨论用），进行了逐字逐句的讨论，深入分析了原始数据，对某些章节

作了增删。会议认为，既报告第三稿条理清晰，真实地反映了验证试验的情况，所引出的结论也是恰当的，会后稍加文字上的修饰即可定稿。

II 试验条件

一、试验样品：

为使试验结果分散性小，代表性强，并降低费用，特选定几种目前常用的绝缘材料压制成专用的样块。产品仅选用接线板一种，以兹对比。

1、塑料压制样块：表1所列七种绝缘材料，由浙江嘉兴电气控制设备厂协助压制成如图1所示的样块。经钻孔加工后，由铜钉固紧小方形紫铜电极，组成表2所列的漏电距离。

表1 压制样块用的绝缘材料

项目	材料名称	型号	生产厂	附注
1	酚醛木粉压塑粉	塑11-1	上海塑料厂	
2	高树脂含量酚醛压塑粉	塑11-10	"	
3	三聚氰胺石棉压塑粉	塑33-3	"	
4	改性聚苯乙烯		上海高桥化工	
5	酚醛玻璃丝压塑粉	FX-501	杭州化工厂	
6	尼龙1010		杭州化工厂	
7	聚脂料板			上海联兴厂提供

2、层压胶纸板样块：漏电距离为平面结构，4、6、8 mm 三种尺寸。

表 2 样块的漏电距离之结构形式和尺寸

序号	结构形式	尺寸 (mm)	说 明
1	平面	2.4.6.8	尼龙 1010 和改性聚苯乙烯 无 5mm
2	凹槽	3.75	沿槽内的尺寸
3	凸筋	7.57	沿凸筋表面的尺寸
4	沉头	6	
5	直角	5	

石棉水泥板：漏电距离为平面结构，4、6、8mm 三种尺寸，但在 10 周期湿热试验处理后，其表面放电电压很不稳定，无法继续试验。故石棉水泥板的试验数据未载入。

3. 接线板：JY3-5A，苏州延安胶木电四厂产，五档，无电压在两档间。

二、试验内容

1. 样品在温度为 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 $65 \pm 5\%$ 环境内，经 48 小时正常化处理。然后分别在表 3 所列模拟海拔气候条件下，进行绝缘电阻的测定以及瞬间击穿电压和一分钟击穿电压的试验，本项试验是作为下级试验对比的基础。

表 3 正常化处理后的试验气候条件

海拔高度(m)	0	1000	2500	4000
相应的最低气压 mmHg	760	656	547	454
温度 $^\circ\text{C}$	30			
相对湿度 %	65			

2. 先按 JB 837-86 所规定的周期性交变温湿条件, 将样品进行 4 个循环周期的湿热试验处理。然后在表 4 所列的模拟海拔气候条件下进行绝缘电阻的测定以及瞬间击穿电压和一分钟击穿电压试验。

表 4 湿热试验处理后的试验气候条件

海拔高度 (米)	0	1000	2500	4000
相应的最低气压 mmHg	760	656	547	454
温度 $^{\circ}\text{C}$	30			
相对湿度 %	95			

试验时仅测定平面 2.5mm 和凹槽的绝缘电阻, 一分钟击穿电压仅在塑 11-1, 塑 11-10 两种样块上进行。

三、试验设备及试验电路

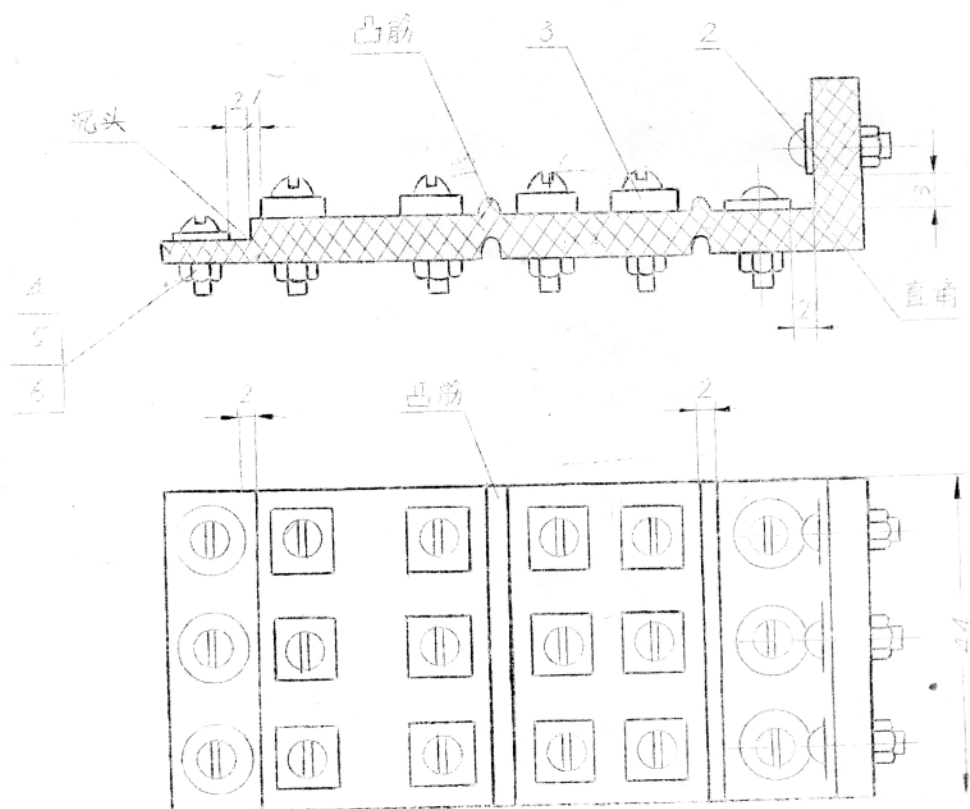
1. 正常化处理设备: DL-302 型调湿调温箱。

2. 湿热试验设备: 由于昆明电器科学研究所内没有湿热试验箱, 只好因陋就简地在经过改造的 DL-302 型调湿调温箱内进行。该箱的改造调试小结存昆明电器科学研究所课题资料档案内备查。

以上两项处理所用的试验箱, 均置于昆明自然条件下 (海拔 1926.19 米)

3. 绝缘强度测定时的海拔气候模拟设备: 采用气候参数叠加方法, 将 DL-302 型箱置于大型人工气候箱中, 试验所需温、湿度由调温、调湿箱造成, 气压由人工气候箱来造成。

人工气候箱直径为 6 米, 高 4.3 米, 气压用 MYM2-1 型



6	六角螺帽	钢 镀 锌
5	无头螺钉	钢 镀 锌
4	垫 圈	钢 镀 锌
3	铜 电 极	铜 铜 线 (3×8)
2	试验样块	尼龙 1010, 改性聚苯乙烯
1	试验样块	塑 11-1, 塑 11-10, 塑 33-3, FX-501, 聚脂材料团
项号	名 称	材 料 型 号

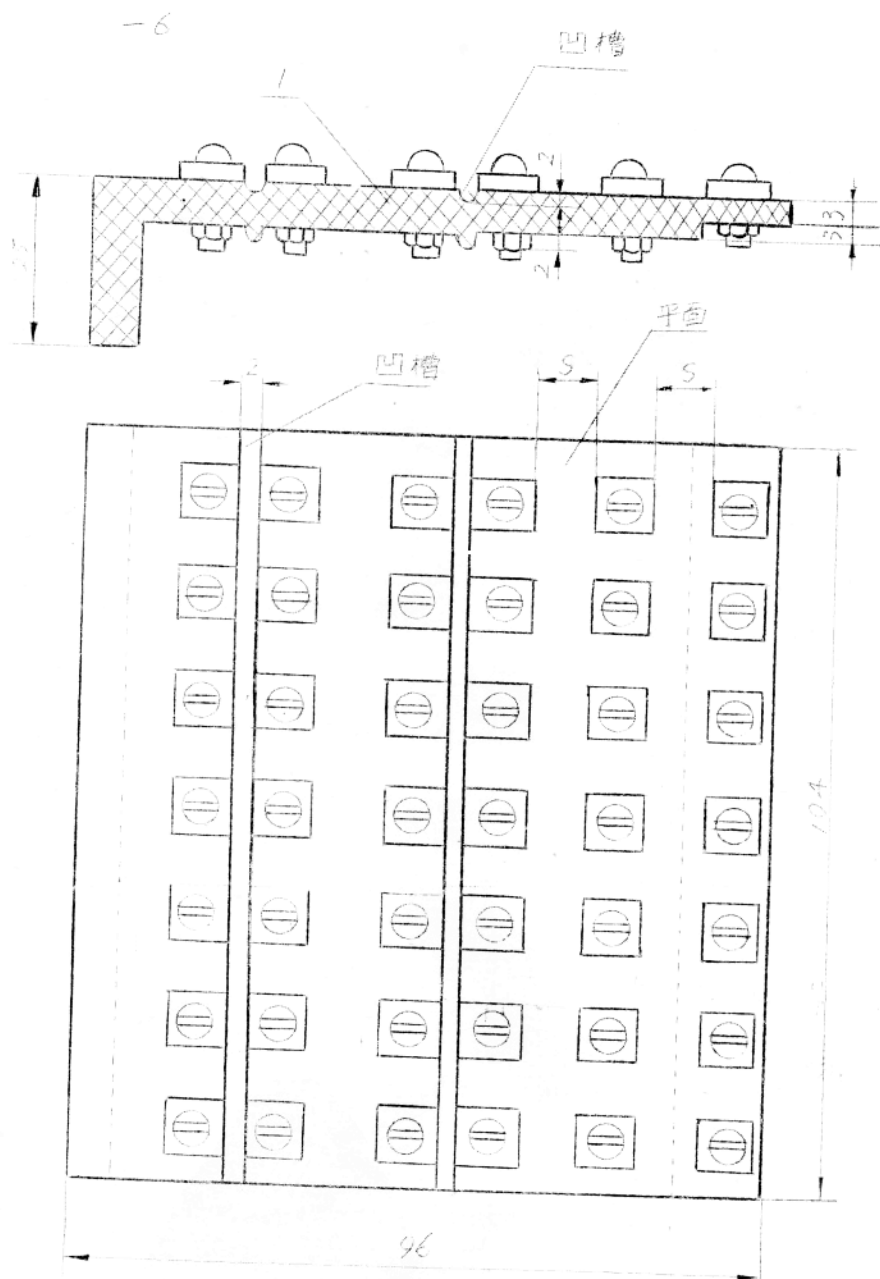
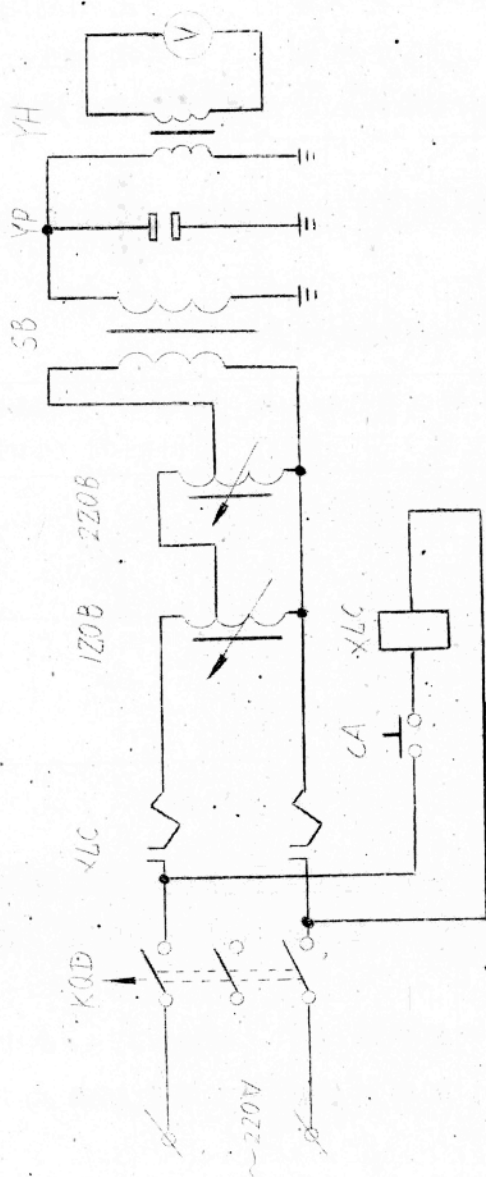


图1 试验样块

2. 槽式气压计和U型比压计来测量。

4. 绝缘电阻测定：用GS-6502型超高压绝缘电阻测试仪。

5. 高压试验设备及试验线路见图2。



KQD: 手动开关;

CA: 按钮;

YP: 试验样品;

SB: 单相试验变压器, YDJ型, 5KVA, 220/50000V;

YH: 电压互感器, H-50型, 0.2级, 15000/10000/6000/3000/100V, 苏制;

V: 电压表, T51型, 0.5级, 75/150/300/600V

图2. 高压试验线路

四、试验方法及数据整理

1、先将样品放入 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 的烘箱中，予烘 24 小时，然后分别送到调温调湿箱中进行正常化处理或七周期湿热试验处理。处理完咸后，再将样品送入气候箱内，已予先调到所需温度、湿度的调温调湿箱内，此时人也进入到气候箱内进行操作，待造成所需的模拟海拔气候条件后，始进行三项绝缘强度的测试。

2、湿热试验气候参数按 JB 839-66 的规定，其控制范围如表 5。

表 5 湿热试验条件参数控制表

阶段	测量条件	温度 ($^\circ\text{C}$)	相对湿度 (%)	时间 (小时)	相邻两个阶段的 合计时间 (小时)
升	温	30 升至 40	$\geq 85\%$ 凝露	1.5 ~ 2	16
	高温高湿	40 ± 2	95 ± 3	14 ~ 14.5	
降	温	40 降至 30	≥ 65	2 ~ 3	8
	低温高湿	30 ± 2	95 ± 3	5 ~ 6	

注：* 此时相对湿度不允许到达 100%。

3、测试绝缘强度时，人工气候箱内气压参数控制范围是 $\pm 3 \text{ mm Hg}$ ，调温、调湿箱内的温度、湿度参数控制范围是：温度 $\pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\pm 3\%$ 。

4、测试绝缘电阻时，同一气候条件下，共测 12 ~ 18 个测试点（同样材料、同样形状、同样尺寸的一个漏电极距离为 1 个测试点，下同）。

5、测瞬间击穿电压时，一般在20秒钟内，将电压缓慢均匀地从0升至击穿值。同一条件下共作12个测试点，撤除对平均值偏差大的两点，取10个数据的平均值。

6、在测试一分钟击穿电压时，一般在20秒钟内将电压缓慢均匀地从0升至预定值，保持一分钟。同一气候条件下共测18个测试点。第一测试点的予定值取瞬间击穿电压值的60%左右。若不击穿，则换试下一个测试点，并适当加大予定值。若击穿，则适当降低予定值。如此依次类推，然后复试未击穿的测试点，直至全部测试点都击穿为止。数据取用承受电压时间至30~60秒钟内，才击穿的几点的平均值。若都低于30秒，则取用时间最长的那个数据。

III. 试验结果及其分析

试验结果见图3-19。

在以下的分析中，所用到的击穿电压值随海拔升高而降低的递减率（简称海拔递减率，单位为%/100米）是由下式标出的：

$$K = \frac{(U_{H1} - U_{H2}) \times 100}{U_{H0} (H_2 - H_1)}$$

式中： U_{H0} —— 海拔 $H=0$ 米时的击穿电压 (KV)

U_{H1} —— 海拔为 H_1 (较低) 时的击穿电压 (KV)

U_{H2} —— 海拔为 H_2 (较高) 时的击穿电压 (KV)

H_1, H_2 —— 不同的海拔高度 (米)

一、瞬间击穿电压受海拔高度变化的影响

各种样品在正常化处理或以周期湿热试验处理后，在不同的模拟海拔气压下，其瞬间击穿电压的平均值与海拔高度的关系，详见图4~18。由图中曲线可以明显看出，瞬间击穿电压是随着海拔的升高而逐渐降低的，这是由于海拔升高后，空气密度减小，空气的击穿强度下降，致使绝缘材料的表面击穿电压也下降。同时，由图中曲线可明显看出，瞬间击穿电压值随海拔高度变化的规律是非线性的。但大致可以认为近于线性关系，它不但与样品的材料性质有关，而且与漏电距离的结构形式、尺寸等因素有关，也就是说，与电场的分布状况有关。

由试验数据计算出的平均海拔递减率列于表6及表7。由表列数据大致可以看出以下规律：(1)样品的材料不同，其海拔递减率也不同，但差异不大。(2)对平面结构形式的样品来说，随着漏电距离的增加，海拔递减率开始稍有增大，到距离大于6MM以后，又有减小的趋势。(3)结构形式比较复杂的漏电距离，其海拔递减率较之同尺寸的平面结构形式的要小一些。(4)综合看起来，尽管材料、结构形式、尺寸不同，但其平均海拔递减率绝大部分在0.55~0.9%/100米之间。

表6 正常化处理后各种样品的平均海拔递减率(%/100米)

结构形式 及尺寸 样品	平 面				凹槽	凸筋	直角	沉头	
	2MM	4MM	6MM	8MM	3.57 MM	7.57 MM	5MM	6MM	
塑 11-1	.58	.79	.80	.83	.55	.80	.55*	.57	1
塑 11-10	.57	.90	.89	.83	.57	.77	.46*	.68	1
塑 33-3	1.19	.75	1.07	1.06		.80		.88	1
尼龙 1010	.61	.80	.97	1	.99	.76		.58	1
接线板	1	1	1	1	1	1	1	1	1.09
胶纸板	1	.91	1.00	.84	1	1	1	1	1
平 均	.74	.83	.85	.89	.70	.78	.51	.68	1.09

注：(1) * 电气间隙大于 2MM 以下同；

(2) 表中空格係在某海拔下测得的试验数据可疑，但未能复试，故整组数据略去，下同。

平

表 7 乙周烟湿热试验处理后各种样品的平均海拔
递减率 (%/100米)

结构形式 及尺寸 样品	平 面				凹槽	凸筋	直角	沉头	
	2MM	4MM	6MM	8MM	3.7MM	7.57MM	5MM	6MM	
塑 11-1		.86		.57	.62	.97		.75	1
塑 11-10	.44	.80	.82	.88	.90	.70	.46*	.79	1
塑 33-3	.75	.92	.92	.84		.78		.97	1
改性聚苯乙烯	.66	.92	.94	1		.63	.65*	.92	1
FY-501	.63	.92	.96	1.10	.53	.81		.96	1
尼龙 1010		.83	.87	1	.88	.67	.96**	.93	1
聚脂料粗	.72	.67	.78	.85	.60	.55	.89*	.66	1
胶纸板	1	.68	.83	.65	1	1	1	1	1
接纹板	1	1	1	1	1	1	1	1	.67
平 均	.64	.83	.87	.81	.71	.73	.74	.85	.67

注：** 电气间隙小 2MM，下同。

不同处理方法虽对瞬时击穿电压值有影响，但由表 8 可以看出，对平均海拔递减率的影响规律是不明显的。

各种样品在正常化处理后，其平均海拔递减率在 0.68 %/100米至 1.09 %/100米范围内变化，总平均值为 0.86 %/100米。乙周烟湿热试验处理后的平均海拔递减率在 0.67 %/100米 ~ 0.86 %/100米

表 8 不同处理方法下各样品的平均海拔递减率
(%/100米)

处 理 方 法 \ 样 品	塑 11-1	塑 11-10	塑 33-3	尼龙 1010	改性聚苯乙稀	FX-501	聚脂料糊	胶纸 板	接线 板	平 均
正常化处理	.68	.71	.96	.79	1	1	1	.92	1.09	.86
七周期湿热试验	.75	.73	.86	.86	.79	.84	.72	.72	.67	.77

范围内变动, 平均值为 0.77%/100米。

此外, 海拔递减率在不同海拔高度范围内是不同的。在 0 ~ 2500米范围内, 海拔愈高, 其值愈小, 详见表 9。

表 9 不同海拔高度范围内的海拔递减率 (%/100米)

处 理 方 法	样 品	0~1000米	1000-2500米	2500米-4000米
正 常 化	塑 33-3	1.44	.94	.50
	尼龙 1010	.99	.89	.48
	胶 纸 板	1.19	.88	.69
	接 线 板	1.62	1.23	.43
	平 均	1.31	.99	.53
七 周 期 湿 热 试 验	塑 11-1	1.39	.56	.31
	塑 11-10	.78	.80	.60
	塑 33-3	1.27	.76	.56
	改性聚苯乙稀	1.16	.47	.74
	FX-501	1.32	.58	.62
	尼龙 1010	1.39	.50	.68
	聚脂料糊	.94	.45	.75
	胶 纸 板	.73	.66	.77
	平 均	1.12	.60	.63
总 平 均		1.22	.80	.58

二、一分钟击穿电压值与海拔高度的关系：

将电压由0均匀缓慢地升至2000伏，保持一分钟，看其是否有击穿或内络现象。这是低压电器产品检查绝缘情况的常用方法。本项试验即模仿该种情况。

大部分有机介质（本试验中所用样品均为有机介质），在施加电压时间数毫秒为秒或分范围内，其击穿电压与时间有依存关系，表现为：击穿是由于不均匀介质中弱点的破坏和热击穿的存在而引起的。故情况复杂，难以求得规律性的试验结果。

今以塑11-10样品为例，在七周期湿热试验处理后，其一分钟击穿电压值与海拔高度的关系，见图19。由曲线可以明显看出，随着海拔的升高，一分钟击穿电压值是逐渐降低的。故在此次一分钟击穿电压试验时，大多为表面击穿，其中不仅有热击穿因素存在，而且与材料的表面状况有关。材料表面是与空气相接触的，而空气是随着海拔高度的升高逐渐变得稀薄，其绝缘强度也相应地逐渐下降了，故使一分钟击穿电压值与瞬间击穿电压值一样，随着海拔的升高其值逐渐下降了。

由所得数据计算出的海拔递减率平均值列于表10，由表中数据看出，由于电场分布状况的影响，平均海拔递减率随电极距离的结构形式、尺寸等的不同而有所不同；但差异不大。

塑11-10样品的一分钟击穿电压值的平均海拔递减率在 $0.48\%/100$ 米至 $0.82\%/100$ 米范围内，总平均值为 $0.71\%/100$ 米。

三、绝缘电阻值随海拔高度的变化。

试验样品在七周期湿热试验处理后，在不同的模拟海拔气

表 10 型 11-10 样品在经过七周期湿热试验处理后的海拔递减率 ($\%/100$ 米)

结构形式 海拔 高度 范围	平 面				凹槽	凸槽	直角*	沉头	平 均
	2MM	4MM	6MM	8MM	3.57 MM	7.57 MM	5MM	6MM	
0~1000米	0.53	1.21	1.11	1.55	0.67	1.38	1.67	1.96	1.26
1000~2500米	0.35	1.00	0.98	0.56	0.39	0.53	0.36	0.37	0.57
2500~4000米	0.57	0.1	0.24	0.34	1.10	0	0.14	0.01	0.30
平 均	0.48	0.77	0.78	0.82	0.72	0.64	0.72	0.78	0.71

条件下,所测得的绝缘电阻值详见图 5。由于不同海拔气候条件下的绝缘电阻值,是在不同的试验样块上测得的,故图 3 只能将各种材料的绝缘电阻值作综合统计的观察。由图中插点的分布情况可以看出,绝缘电阻值的分散性较大;但仍可大致看出随着海拔高度的增加,阻值有下降的趋势。这一情况,仅供参考。

IV 讨 论

一 关于海拔修正系数问题:

前文已经谈到,各样品的海拔递减率是随着海拔升高而减小的。由表 9~表 10 可知,在海拔 1000 米以下,海拔递减率一般大于 $1\%/100$ 米,在海拔 1000~2500 米范围内,其值约在 $1\%/100$ 米以下,在海拔 2500~4000 米范围内,其值不超过 $0.7\%/100$ 米,而在海拔 0~4000 米范围内,其平均值不超过 $1\%/100$ 米,见表 11。因此对低压电器产品的耐压水平

进行海拔修正时，沿用海拔每变化100米，修正耐压值1%的办法，虽然在0~1000米范围过低，在0~2500米范围以内也稍嫌不够，见表12，但此法仍然是可取的。

表11 各种情况下海拔递减率的平均值 (%/100米)

处理方法	正常化处理	7周期湿热试验处理		平均
试验类别	瞬间击穿	瞬间击穿	一分钟击穿	
海拔递减率平均值	0.86	0.77	0.71	0.78

表12 不同海拔范围内的海拔递减率的平均值 (%/100米)

处理方法	试验类别	0~1000米	0~2500米	0~4000米
正常化处理后	瞬间击穿电压	1.31	1.15	0.94
7周期湿热试验处理后		1.12	0.86	0.78
	一分钟击穿电压	1.26	0.92	0.71
总平均值		1.23	0.98	0.81

二、最小爬电距离(2MM)在海拔2500米的绝缘水平问题。

在本试验的条件下，大部分样品其爬电距离为JB711-66所规定的最小值(2MM)时，在模拟海拔2500米的气压条件下，虽然其平均绝缘水平大于2000伏，仅个别样品低于这个水平，但是它们的裕度是不大的，详见表13。