

內部資料
注意保存

中 國 電 機 工 程 學 會

高 壓 測 量 及 試 驗 技 術 年 會 論 文

*
* 220 千 伏 新 杭 發 一 回 路 *
*
* 1962~1964 年 雷 電 活 動 的 分 析 *
*

浙 江 省 電 業 管 理 局 中 心 試 驗 所

一 九 六 五 年 十 月

工作单位和人员：

浙西供电局

杭州供电局

浙江省电管局生技处

浙江省电管局中试所

报告编写人：

报告审核人：

所主任：

郑庆鈞

周照宗

吴祝君

孙萍

孙萍

钟立群

廖孝江

吴冠义

打字：沈宝珠

核对：孙萍

內 容 提 要

220千伏新杭綫一回路自62年开始在全綫安装磁鋼記錄器进行雷电流的測量。三年来在各级领导的重視及全体現場工作人員的努力下，磁鋼記錄器測得了不少数据，經整理后获得96次雷击的雷电流记录。本文就对这96次雷击的雷电流记录进行了初步分析。

分析后得出如下两点初步結論：

1. 由96次雷击的雷电流记录所繪成的雷电流偶然率曲线比現行过电压保护規程所推荐的曲线高，即在新杭綫一回路上大幅度的雷电流出現的偶然率较多。

2. 根据99个雷击极性的记录。其中正极性佔11.1%，負极性佔88.9%。由此知綫路上的大部份雷击的雷电流为負极性。

此外，我們还对綫路单位雷击次数，綫路上雷击的位置及雷电流在塔基和地綫中的分流等进行了统计。

还对雷击选择性，防雷措施的效果以及雷击閃絡跳闸等問題根据所測得的雷电流记录也进行了初步分析，我們认为結合地綫的防雷效果是較为显著的。

最后，我們提出了几点初步看法，因綫路运行时间不长，雷电流观测所得的记录欠多，尚不能充分地說明問題，今后必須进一步进行观测与分析。

目 录

一、概述	3
二、雷电活动、线路雷击跳闸率及雷击次数的比较	6
三、线路单位雷击次数	8
四、雷击位置的分析	9
五、雷电流在塔基中的分流	10
六、雷击塔顶时雷电流在架空避雷线中的分流	11
七、雷电流幅值及其偶然率	12
八、雷电流的极性	16
九、雷击选择性的初步探讨	19
十、防雷措施效果的初步分析	23
十一、雷电观测和雷击线路跳闸的初步分析	26
十二、几点初步看法	27
参 考 资 料	(另附)
附录一 1962~1964年新杭线一回路所测得的雷电流分析图的说明及举例。	
附录二 1962年测得的雷电流分析图	
附录三 1963年测得的雷电流分析图	
附录四 1964年测得的雷电流分析图	
附录五 1964年浙西段用交流退磁法校正后所得的雷电流分析图	
附录六 雷击塔顶雷电流在地线中的分流	
附录七 1962~1964年新杭线一回路雷击线路跳闸情况及磁钢记录器所测得结果简表	

一、概述

新杭嵗一回路係华东电力设计院设计，运行电压为220千伏，全长为115.34公里，於1960年9月投入运行。

新杭嵗一回路（以下简称新杭嵗）自浙西部山区伸展到杭州郊区余杭，全嵗除約10公里平地外（杭州出嵗及新登附近），余均为山地，其中新安江出嵗至楊村桥及桐庐附近地段为高山区（26公里），地面标高約为300公尺左右；其它山地高度为150~250公尺（80公里）。所有山区地形都較陡，一般陡度为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，个别有达 40° 以上。

沿嵗所經地段的土质大多为紅褐色风化岩，且其走嵗之鉄塔都处於山顶和山腰。因此新杭嵗具有档距跨越大，导嵗对地平均高度大、标高及土壤电阻率較高的特点。

全嵗共有杆塔249基，杆塔均为上字形和克理姆型的瓷基单回路鉄塔。沿嵗装设单根避雷嵗保护，保护角在 $19.1^{\circ} \sim 28.6^{\circ}$ 范围内。原设计絕大部份悬垂絕緣子串採用12片II-4.6，个别也有採用12片C-106絕緣子的；耐張絕緣子串採用13片II-4.6絕緣子。大气过电压的等效最小空气间隙为160厘米，导地嵗在档距中央的间隙距离滿足0.02 ℓ 的要求（ ℓ 为档距长度）。杆塔的接地电阻是按照过电压保护規程中的要求设计，但施工后在运行中接地电阻值有上升現象。

设计除最小空气间隙比現行“过电压保护規程”及“高压架空电力线路设计技术規程”略小外（現行規程要求190厘米）。其余均能滿足現行規程之要求(1)。

嵗路自投入运行后，61年发生7次雷击跳閘事故，严重地影响了杭州、上海等地的供电安全。

为了提高供电的可靠性，上级领导及各級都引起了重視，提出了新的防雷措施和大量的防雷改进工程，在61年底各单位开始（尤其是浙西

供电局和杭州供电局)进行了大量的艰苦的工作。在多雷击地段逐步增設了沿地地下横担7米的耦合地线,在部份接地电阻較小的杆塔的塔頂上增裝了高度为4米或5米的塔頂避雷針(后来又为了測量雷击杆塔塔頂的雷电流,在有些塔上增設了高度为2米的測針);为了提高线路的耐雷水平在降低接地电阻方向也做了大量的工作,至1964年底为止全綫絕大部份的杆塔接地电阻均降低到15欧姆以下;为了降低电位梯度,减小建弧率,藉此提高线路絕緣水平,在保持空气间隙对地距离不縮小的情况下,在綫路上增加絕緣子片数 and 調換小尺寸的C-105絕緣子方面也做了大量的工作。至1964年年底为110KV串已大部份为13~14片II-4.0或C-105絕緣子,耐張串已大部份为15片C-105絕緣子。至此降低接地电阻和增加調換絕緣子的工作基本完成。

为了减少停电事故,在62年底投入了单相自动重合闸。

为了正确分析雷击事故,合理地估計雷击防护措施的效果,杭嘉山区线路的运行經驗与山地的雷击活动規律及参数。我們自62年开始在新杭綫上开展了雷电观测工作,观测设备以磁鋼记录器为主,三年中两供电局安装数量如表1所示。

表1. 三年中新杭綫上记录器的安装数量

供电局名称	1962年	1963年	1964年
浙西供电局(41~4105塔)	640只	612只	878只
杭州供电局(4107~4248塔)	146只	417只	469只
全綫共计(41~4248塔)	786只	1029只	1347只

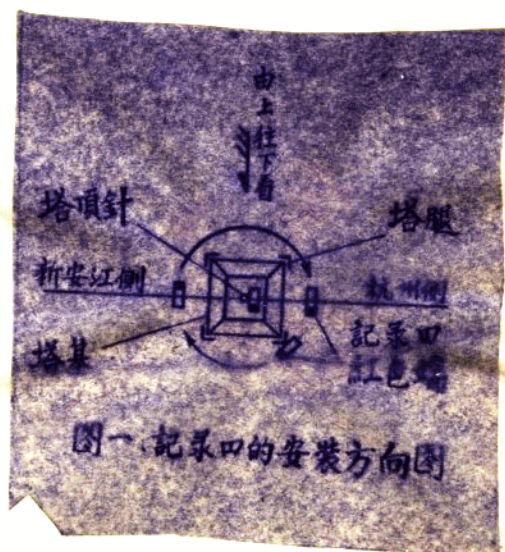
註: 三年內在新杭綫上也曾装过电花仪,但由於在电花仪本身及分析方向尚存在了一些問題,本文不予討論。

62年我們將全綫分为重点观测区和一般观测区两种,在重点观测区

(仅 2 1 基共 6 ~ 8 公里) 在杆塔的两对角塔，两对角斜撑、避雷线
和耦合地线两侧及各个横担上均装有记录器。而一般观测区(除 2 1 基
的全线)仅在杆塔的一个塔上装有记录器。由于一般观测区安装的记录
器太少，难于分析，因此在 63 年后进行了改进，全线均进行了重点
观测。一般在杆塔的塔身及塔顶避雷线两侧均安装一组记录器，在有塔
顶避雷针(或测针)的杆塔在针中央安装一组，在有耦合地线的杆塔在
杆塔两侧的耦合地线上各安装一组记录器。记录器的测量半径，是根据
被测点可能测得的雷电流数值的大小而有所区别，一般分别为 500 m m
或 1000 m m。

在安装前将记录器进行统一编号，并严格地按照统一的方向(红色
端方向)进行安装，我们是按“顺时针”方向(由上往下看)来进行安
装的(如图一所示)。

一般在雷季前将记录
器全部投入运行，在雷季
中结合每月巡视和利用雷
击后结合对线路的突击巡
视的机会，对记录器和本
支架进行登杆检查和检查。
检查是将记录器从本支架
中取出远离塔身再用指南
针进行检查。这样检查比



用铁吊着测针去靠近本支架内的记录器的检查要灵敏得多。将已经磁化的
记录器取回后，用正切检查针(2)进行检查。同时在已取回记录器的本支架
内要同时将编号和杆塔相对应的记录器按规定方向补装上，以防止由于第

二、雷击因记录器未接上，而失去了观测记录。

通过做铜记录器对雷电流的观测，在三年中共测得数千个做铜记录器的磁化数据，经整理和分析后得出96次雷击雷电流记录，（以下除注明外，其记录皆为正切磁仪计所得的记录）再加上雷电流击导线6次，总共线路雷击101次。三年中各年观测所得雷击次数及线路上的总雷击次数（包括磁击）列于表3中。下面我们就来讨论所测得的96次雷击的雷电流记录。

一、雷击活动、线路雷击跳闸率及雷击次数的比较：

根据省气象局的资料，我们统计了沿线四个地区气象台（台）61~64年四年中的雷击日及雷击小时记录，列于表2中，以供比较。

表2 沿线四个气象台（台）的雷击活动记录

年份	站名 雷击活动	建德	桐庐	富阳	杭州	平均值
	雷击日	70	63	63	48	61
61	雷击小时	273	289	269	166	247
62	雷击日	66	66	68	63	66
	雷击小时	220	244	241	166	218
63	雷击日	79	83	79	63	76
	雷击小时	389	346	369	260	336
64	雷击日	66	49	49	40	49
	雷击小时	231	206	190	161	197

註：1. 除杭州气象台在夜间计雷击小时外，其余各站夜间皆未计雷击小时。其夜间的雷击小时数是根据夜间有否落雷来估算的，如夜间落了雷则以3个雷击小时计算，进行统计。因此和实际的雷击小时数可能稍有出入。

2. 雷电日是根据气象站(台)的计算时间统计的。即今日的20.01到明(次)日的20.00为一日。这样的统计方法计算出的雷电日也可能偏大些。

为了找出雷电活动与线路雷击跳闸及线路雷击次数的关系，我们不妨将他們进行比较。见表3所示。

从表3可以看出，沿线的雷电活动在63年无论在雷击频率和强度上都最为强烈，雷击次数在三年中也为最多(可惜61年未进行雷电观测)，但线路的雷击跳闸为6次却比61年的7次为少。至於62、64年因雷电话活动皆比61、63年弱，因此线路跳闸次数也较少。但从线路的跳闸次数与雷击次数之比值的逐年下降，以及63年与61年的比较可以看出，在新设备上历年来所採用的一些防雷措施和改进工程有了一定的防雷效果，並初步为实际的运行經驗所证实。至於各种措施的效果分别有多大还有待今后的进一步观测和分析。

表3. 雷电活动与线路雷击跳闸及雷击次数的关系

年份	名称	雷电活动		雷 电 跳 闸		线 路 雷 击			跳闸	雷 电 事 故	
		雷电日	雷电小时	跳闸次数	跳 闸 率		观测 得雷 击次数	总雷 击次数	次/百 公里 40雷 电日	跳闸 次数	事故 次数
					次/百 公里年	次/百公 里40雷 电日					
61	61	247	7	0.06	3.90	未测	未测	—	—	7	3.98
62	66	210	2	1.73	1.24	22	24	14.8	0.838	2	1.24
63	76	336	6	4.34	2.28	59	62	20.3	0.807	0	0
64	49	197	1	0.87	0.71	34	16	10.6	0.667	0	0

註：1. 由於61年未进行雷电观测，因此其雷击次数难于统计而未统计。

2. 62年因第一次安装记录器，絕大部份仅装在塔腿上，统计的数

子可能有一些誤差。

3. 此表中所列的线路总雷击次数，仅为每年线路上观测所得的雷击次数（包括了绕击次数）。

从表3中的雷击事故次数中可以看出，单相自动闸的投入大大地减少了雷击事故，在7次跳闸中单相自动重合闸动作仅一次未成功，其动作成功率达86%。由此可见单相自动重合闸是一项相当有效的辅助防雷措施。

三、线路单位雷击次数

新杭线三年中总雷击次数为101次，根据总雷击次数再加上线路情况和雷电活动情况就能估算出每一雷电日一平方公里的平均雷击次数。其计算结果如表4所示。

表4 每一雷电日一平方公里平均雷击次数计算表

统计年数	3
总雷击次数	101
平均每年雷击次数	33.7
年平均雷电日	60.3
避雷线平均高度（米）	44.8
线路长度（公里）	115.3
屏蔽宽度——10倍避雷线平均高度（米）	448
每一雷电日一平方公里的平均雷击次数	0.0240

由表4所求得之单位雷击次数与苏联布尔格斯道尔夫所推荐的数值（在山地每一雷电日一平方公里的平均雷击次数为0.01~0.02）比较是偏大的3），但还是比较接近。但和过电压保护规程(4)所推荐为0.06比较是偏小较多的。

但由于山地线路（新杭线）地形复杂，山区起伏变化较大，同时

路档距大，避雷線和導線的弛度也較大。關於避雷線的平均高度也較難正確確定。在此我們僅從全綫的縱断面圖中以近似地求出避雷線對地平均高度為44~5米來計算。又因雷擊和地形、地質等可能有一定的選擇性，即使知道了避雷線的平均高度，但避雷線的屏蔽寬度是否仍然保持約10倍避雷線的平均高度也是一個值得研究的問題。

4. 雷擊位置的估計

在全綫雷擊次數中，雷擊塔頂和雷擊避雷線檔距中間的比例是計算耐雷指標很重要的數據。由於62年大部份的記錄器僅安裝在塔腿上而使雷擊位置難於估計。因此僅統計了63、64年內的73次雷擊雷電流記錄。又因裝在避雷線上的記錄器距鐵塔僅一米左右，為了估計方便起見還是以記錄器測得的雷電流方向來確定雷擊塔頂還是雷擊檔距內。由於統計方法的关系，此統計數據內雷擊檔距內的比例就相應地加大了一些。其統計數字列於表5中。

表5 綫路雷擊位置統計表

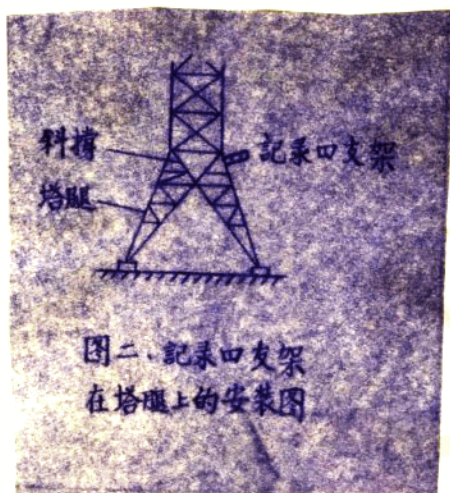
年 度	雷 擊 塔 頂		雷 擊 檔 距 內		觀測得雷擊次數
	次 數	%	次 數	%	
1963	17	28.6	42	71.2	59
1964	4	28.6	10	71.4	14
合 計 次 數	21		52		73
分配比例 (%)	28.8		71.2		100

由表5可見雷擊塔頂和雷擊檔距內次數之比為 $\frac{28.8}{71.2} = 0.406$ ，約為2比5。這和過電壓保護規程比較此比值是偏小的(4)。規程中提出以雷直擊杆頂和直擊檔距中間各佔一半來考慮，因為所指的雷直擊杆頂的含義是包括了雷直擊杆頂及其附近一段避雷線而在杆塔上造成反击的情況。而我們由於觀測條件的限制無法進行這樣的統計。實際運行中也証實了這一點。如附表二及六中所列的三次反击閃絡(4127、4206、4120塔)

— 4 —

皆統計在雷击档距內了，而雷击塔頂的統計數據中却没有發生過閃電。
顯然按照我們的方法所統計的雷击塔頂數據是偏小的。根據吉林中試所統計的數據約為 $3/4$ 雷击塔頂， $1/4$ 雷击档距中間的分配比例和我們所測得的不一樣。

雷電流在塔基中的分流
裝在鉄塔塔腿（主角鋼）
上的記錄器其安裝位置如圖二
所示，即雷電流由塔頂入地時，
經記錄器支架的水平截面是由
四條塔腿八根斜撐來進行分流
入地的。



圖二·記錄器支架
在塔腿上的安裝圖

因此在一條塔腿中的記錄器所測出的雷電流要乘上相應的倍數（我們稱塔腿分流係數以 y 表示）才能得出總電流值。在實際觀測中，塔腿分流係數分散性很大並非是一個固定值，影響它的因素（如各腿的接地電阻不一樣等）較多，難於計算確定。

我們根據已知的在避雷線（和聯合地線）中的雷電流大小（由記錄器測得）來確定流入杆塔中的雷電流，再和在塔腿上的記錄器所測得雷電流相比，即得塔腿分流係數 y 值（如附錄二圖1中 $y = 26 \text{KA} \div 1.5 \text{KA} = 17.3$ ）。用這種方法我們統計了 59 個 y 值（附錄一、二、三內的數據），其中最小為 2.3，最大為 29.6，分別註在附錄一、二、三的分析圖中。而其平均值約為 10.5。

根據平均的 y 值（10.5）來確定用上法難於確定的杆塔中的總電流，其法就是將一條塔腿上記錄器中的雷電流值乘上塔腿分流係數的平均

~10~

值 10.5 (如附录一圖 2 中 # 22 塔。杆塔中的总电流約为 $2.5 \text{ kA} \times 10.5 = 26.3 \text{ kA}$)。杆塔中的总电流值凡是在记录器中測到了数据的。在附录中都已註明。

同样我們也统计了 64 年中用交流退磁法校正后所得的观测数据中的塔腿分流系数 y 值, 其平均值为 10.5 。其计算結果已分別註在附录四的分析图中。

六雷击塔頂时电流在架空避雷线中的分流。

我們统计了雷击塔頂时的 6 支杆塔 (附录二圖 7 中 # 53 塔, 圖 11 # 90 塔, 圖 20 # 117 塔及附录三圖 2 # 12 塔, 圖 6 # 86 塔), 在两端架空避雷线中的分流情况, 统计結果取其平均值, 在架空避雷线中 (两侧之和) 的分流电流約佔雷击塔頂总电流的 13% (見附录五圖 1、2、3、4、5 經计算后取其平均值为 12.84% 如图 6 所示), 而流经杆塔入地 (或包括了流入杆塔两旁耦合地线中的电流) 的电流約为 87% 。我們就以此分配百分数来粗略地估计 62 年所測得的雷击塔頂的总电流数值 (如附录一圖 2 # 22 塔雷击塔頂的总电流約为一 $26.3 \text{ kA} + 0.87 = 30 \text{ kA}$ (仅这一个数据在此未考虑耦合地线的分流))。

下面我們就用附录圖 7、8 (即附录四中圖 2、6) 经过用交流退磁法校正过的数据来确定在避雷线、耦合地线和塔基中的分流百分数 (見附录五圖 7、8) 和过电压保护規程 4) 附录 4 所推荐的雷击塔頂时在避雷线和杆塔中的分流情况的简化计算結果进行比较。

規程附录 4 中公式(2)为: 杆塔中电流 $I_{on} = m I_M = \frac{1}{1 + \frac{L_1}{L_2} + \frac{\pi R_M}{2\omega L_2}} I_M$,

即

$$\text{杆塔分流系数} = \frac{1}{1 + \frac{L_1}{L_2} + \frac{\pi R_M}{2\omega L_2}}.$$

在計算中我們取 $L_1 = 10$ (微亨), 冲击接地电阻 $R_d =$ 工頻接地电阻 $R_{\sim}$ (即冲击系数 $\alpha = 1$),

$$L_2 = \frac{L' \cdot L''}{L' + L''} = \frac{1.34 l' l''}{l' + l''} \text{ (微亨)},$$

其中: l', l'' —— 分別为相邻两杆的垂直距离(米)。

在計算中不单独考慮杆塔中的分流, 而將納台地線中的電流均併在杆塔中計算。这样計算所得杆塔電流 $I_{on} = m I_M$ 比实际經杆塔入地的電流要大一些。

計算結果列於表 6 內, 其數值並註明在附录五圖 7、8 中。

未經正过的数据, 其計算后的分流係數 m 值, 分別也註在附录五圖 1、2、3、4、5 中, 此数据仅作参考。

表 6. 雷击塔頂雷電流在杆塔中的分流係數

分枝圖及塔号名称		附录五(附录四圖 8 # 12 塔)圖 7	附录五(附录四圖 8 # 86 塔)圖 8
分流係數 $m = \frac{I_{on}}{I_M}$	實 測	0.710	0.921
	計 算	0.846	0.926
誤 差	絕對值 $m_{計} - m_{實}$	0.136	0.006
	比值 $\frac{m_{計} - m_{實}}{m_{實}}$	0.1916	0.0066

从表 6 可見, 實測結果和計算結果進行比較, 其值相差不多, 大者約相差 20%, 小者几乎相同, 誤差甚小。由此可見規程中所推荐的杆塔分流電流的簡化計算公式有一定的正确性, 但由於收集数据不多, 是否真正是这样还有待今后的繼續观测和分折。

雷電電流幅值及其或然率

超过某一雷電電流幅值 I_M 的或然率 $\nu\%$, 是決定电力系统耐雷性能

~ 12 ~

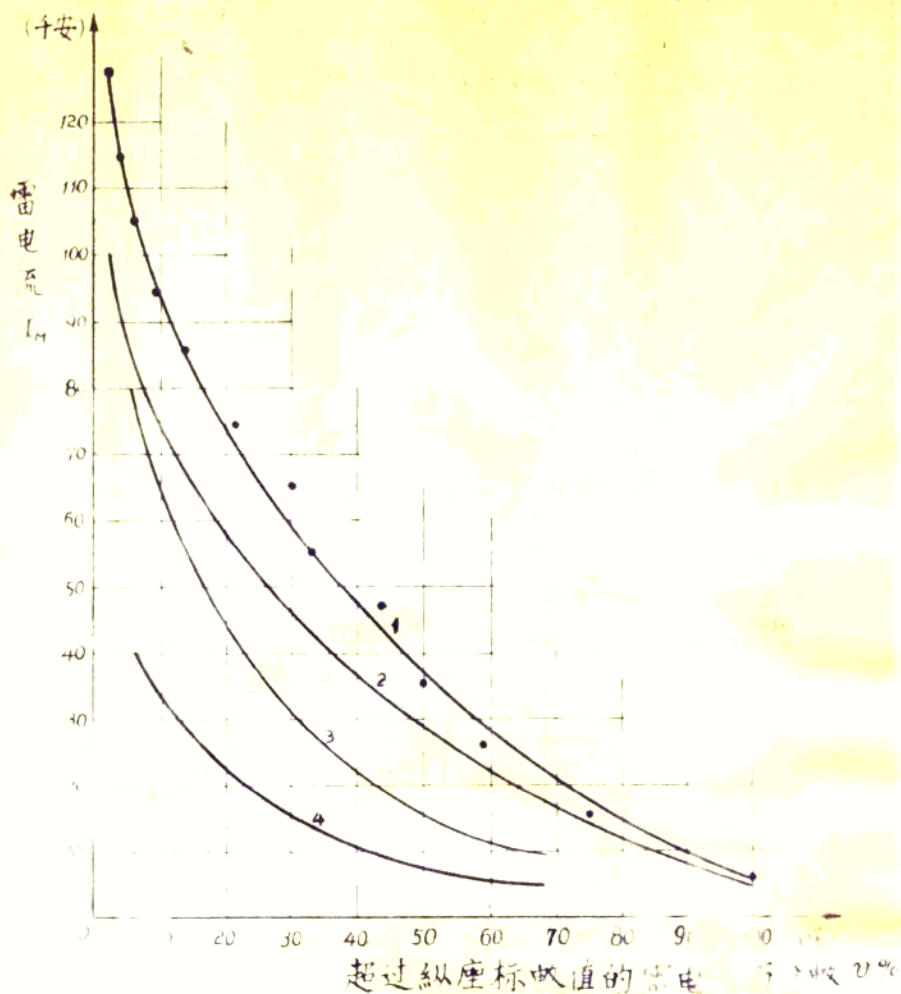
的主要参数。根据三年中所测得的 96 次雷击的雷电流幅值中列出了雷电流大小超过某一幅值所佔百分数。

表 7. 雷电流数值超过某一幅值所佔百分数

雷电流幅值 (千安)	1.2~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70
记录个数	24	16	8	6	10	2	9
平均值 (千安)	6.82	16.0	26.2	36.1	47.3	56.1	66.7
超过此幅值的百分数 (%)	100	74.7	67.9	49.6	43.2	32.7	30.6

70~80	80~90	90~100	100~110	110~120	120~130
7	5	3	2	2	1
74.9	86.1	94.6	106.1	116.0	126

管均超分雷級便三視的以流



图三、新、旧一回路实测所得与规程所推定之雷电流曲线

图中曲线：

1. 校正切利磁针所得的新机感一回路雷电流曲线
2. 校正磁针法校正并经过修正后所得之雷电流曲线（即曲线1的雷电流乘以0.8所得的曲线）
3. 规程中所推荐的海拔500以下地之雷电流曲线
4. 由规程所推荐在海拔700米以上之雷电流曲线

在我們(圖三曲綫1中)統計的雷電流幅值的記錄中,由於正切檢磁計本身的誤差,其值將和实际的雷電流大小有一定出入。我們在64年由浙西供电局所測得的7次暫击的雷電流幅值用交流退磁法(2)进行了校正(其值如附录四所示),現为了和未校正的記錄进行比较,將其数值列於表8中。

表8. 用正切檢磁計测量和用交流退磁法所校正后其数量及誤差的比較

用正切檢磁計测量所得雷電流幅值 I_M (千安)		128	79.8	74.8	66.8	49	32.8	18.6
用交流退磁法校正后的实际雷電流幅值 I'_M (千伏)		92	66	62	46	60	30.1	18.4
誤差	绝对值 $I_M - I'_M$	36	14.8	12.8	20.8	-11	2.2	0.2
	比值 $\frac{I_M - I'_M}{I'_M}$	0.382	0.228	0.214	0.448	-0.200	0.073	0.001

从表9可見用交流退磁法校正后的实际雷電流幅值 I'_M 一般是要比用正切檢磁計所測得的幅值 I_M 要小,最大相对誤差百分数为44.8%,最小为0.1%,同时中等幅值的雷電流其誤差最大,大幅值次之,而小幅值的雷電流誤差极小。根据上述7次記錄求得其相对誤差百分数的平均值为21.8%。由此可知圖三中曲綫1和实际数值比較是偏高,其值約偏高20%左右。为了較正确地 and 規程所推荐的曲綫比較,我們將曲綫1在图中將雷電流幅值相应减小21.8%,而其分佈的或然率不受來繪出靠近似校正后比較接近实际的雷電流或然率曲綫如圖三中曲綫2所示。

从曲綫2、3的比較可以看出,在新杭綫上通过实测所得較大幅值的雷電流所佔百分数比規程推荐的大些,即大幅值的雷電流出現的或然率比規程中推荐的多些。