

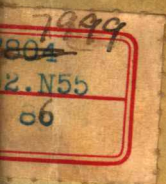
全国雷电观测专
业会议文件之四



直配旋轉电机防雷保护 的結綫方式

全国雷电观测专业会议秘书組編

水利电力出版社



前 言

在我国直配架空綫路运行的旋轉电机較多，因此，对其防雷保护結綫方式的研究就显得更加重要。

我国防雷工作是在学习苏联先进經驗的基础上开展的，过电压保护导則中推荐的防雷結綫方式是根据苏联的研究成果和运行經驗作出的。虽然有不少单位已先后进行了一些研究，并发表了一些文章(参考文献1、2)，但这些文章对我国已广泛采用的帶电綫段的防雷結綫方式(参考文献3)的研究，尙不够完善。希望各运行单位和研究单位，結合我国具体情况，进一步加以总结 and 充实，使之更加完善。

本书介紹帶电綫段的防雷保护結綫方式。参加此項研究工作的有水利电力部技术改进局高压試驗室徐士珩、許穎、李启盛、罗卓林、張志翔、王守愚、徐嘉佑、史六如、曾达人等同志。此外，在工作中的有关問題还得到清华大学电机系高压教研室楊津基教授的指导和帮助，特在此致謝。

水利电力部技术改进局

目 录

第一章 电纜段电纜外皮的防雷保护效应	3
第1节 概述	3
第2节 单条电纜敷設于电纜沟中的防雷保护作用的实测试驗	4
第3节 电纜埋于土中对防雷保护作用的实测试驗	13
第4节 結論	18
第二章 带电纜段的防雷保护結綫方式	19
第1节 具有新型旋轉电机用的閘型避雷器的 簡化防雷結綫方式	19
第2节 采用 PBBM 型閘型避雷器防雷保护的結綫方式	21
第3节 結論	25
第三章 直配架空綫路运行的旋轉电机的 防雷保护結綫方式	26
第1节 降低綫路对地絕緣水平和 进綫段利用避雷綫保护的防雷結綫方式	27
第2节 降低綫路对地絕緣水平和 进綫段利用避雷針保护的防雷結綫方式	33
第3节 已簡化的防雷保护結綫方式	34
参考文献	

第一章 電纜段電纜外皮的防雷保護效應

第1節 概 述

電纜段電纜外皮的防雷保護效應的學說是由蘇聯學者 А. Ф. 波格莫洛夫首先創立的。其著作(參考文獻 4)于1941年出版,后轉載于參考文獻 5、6、7、8、9、10 中。其論述的基本觀點是從多導線系統中的波動過程來分析的。

電纜外皮完全套在電纜芯子上, 芯子就相当于周圍被很多平行導線包圍着的導線, 這些包圍的平行導線靠得很緊, 成為一個金屬外殼, 把芯子完全屏蔽起來。這樣, 當電纜首端借管型避雷器動作發生電氣連接時, 電纜芯子與外皮便具有相同的電位。沿電纜外皮流動的電流所產生的磁場完全與芯子耦合, 外皮的電位完全感應到芯子里去。

А. Ф. 波格莫洛夫根據這樣的論述作了模擬分析(圖1-1)和等

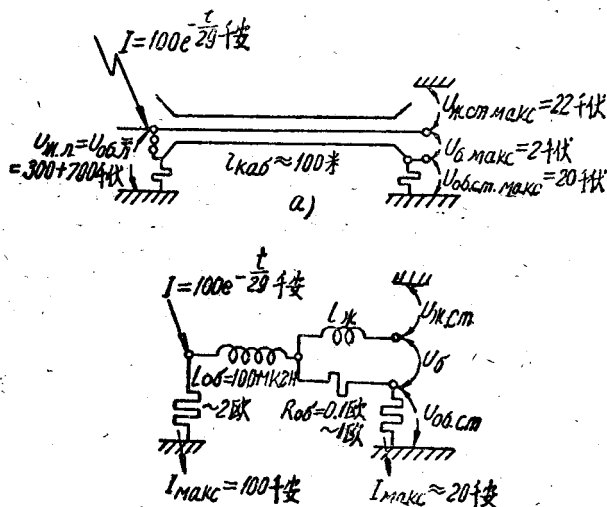


圖 1-1 模擬分析結綫圖

值回路的計算，并得出下列兩点結論：

1. 单条電纜首端直接电气連接时，電纜末端芯子与外皮間的电位差为 $U_0 = \sum i R_{00}$ ，即等于電纜外皮上的电阻压降。

2. 電纜末端（电厂側）芯子上的电位 $U_{x \cdot cm} = U_{00 \cdot cm} + \sum i R_{00}$ 。

第2节 单条電纜敷設于電纜沟中的 防雷保护作用的实测试驗

電纜段的防雷保护作用的物理观念已在前节扼要闡明，但实际效应在我国尚沒有試驗数据。水利电力部技术改进局在1957年进行了電纜的实测试驗。試驗中各項条件尽量作到和实际运行中的情况相似，使試驗結果直接說明实际应用中的問題。

試驗結綫图(图 1-2)中的設備和綫路、試驗步驟、試驗結果及分析等問題，将分別叙述如下。

1. 試驗結綫图中的設備和綫路

模拟雷电流的冲击电流发生器，是用电力电容器装成的。电容器的电容总值为8.9微法，直流充电电压为60千伏。電纜是用上海電纜厂生产的裸鉛皮絕緣的 3×120 毫米²的電纜，其长度为142米。電纜敷設于一電纜沟內，沟深0.8米。

測量設備是用高压 HF2399型示波器，电压是用2025冲击电压发生器上用的分压器測量，电流是由无感电阻上的压降折算出来的。

前面曾經提到，試驗結綫尽量符合运行中的情况。電纜首端将芯綫与外鉛皮接牢，以代替运行中的管型避雷器动作后的电气連接，經一长约8米的引下綫，与一单独接地装置連接。接地裝置的接地电阻为3欧姆。電纜末端外皮經43米的引綫接到一个电阻值为0.4欧姆的接地网上。这相当于一般現場中電纜末端外皮連接到发电厂接地网上的情况。電纜末端芯子与外皮間串接了一个800欧姆的电阻，以代替发电机綫卷波阻抗。

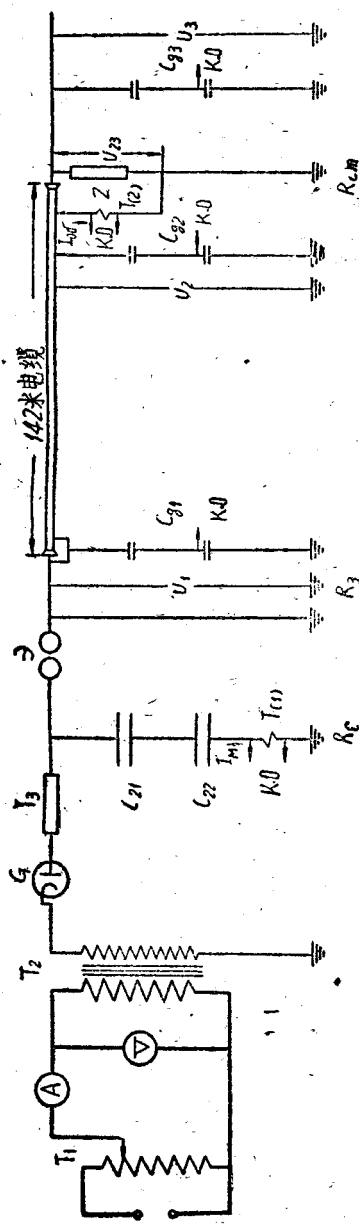


图 1-2 試驗結綫圖

T_1 —調壓器, 5 千伏安, 0~400 伏/200 伏; T_2 —變壓器, 5 千伏安, 50,000 伏/400 伏; G —整流管, 220 千伏 (Y23 ϕ /812P); C_{g1} —電容分壓器, 220/2, 4, 6; C_{g2} , C_{g3} —電容分壓器 2/1 (云母電容); r_3 —充電電阻, 2 兆歐姆 (水電阻); C_{21} , C_{22} —電容器, 分別為 18.3 微法及 17 微法; β —直徑 10 厘米銅球間隙; R_3 —首端接地電阻, 3 歐姆; R_{cm} —末端接地電阻, 0.4 歐姆; $T(1)$, $T(2)$ —分流器, 電阻分別為 0.109 歐姆及 1.056 歐姆; β —相當于發電機變壓器阻抗的電阻, 800 歐姆。

2. 試驗步驟

借冲击电流发生器发出各种峰值的冲击电流。用阴极示波器将首端的总电流 I_M 、冲击电压 U_1 、末端外皮的冲击电流 I_2 、外皮对地的电压 U_2 和芯子对地的电压 U_3 拍下来。

3. 試驗結果

按照前述的試驗步驟获得的波形，如图1-3至图1-8中所示。

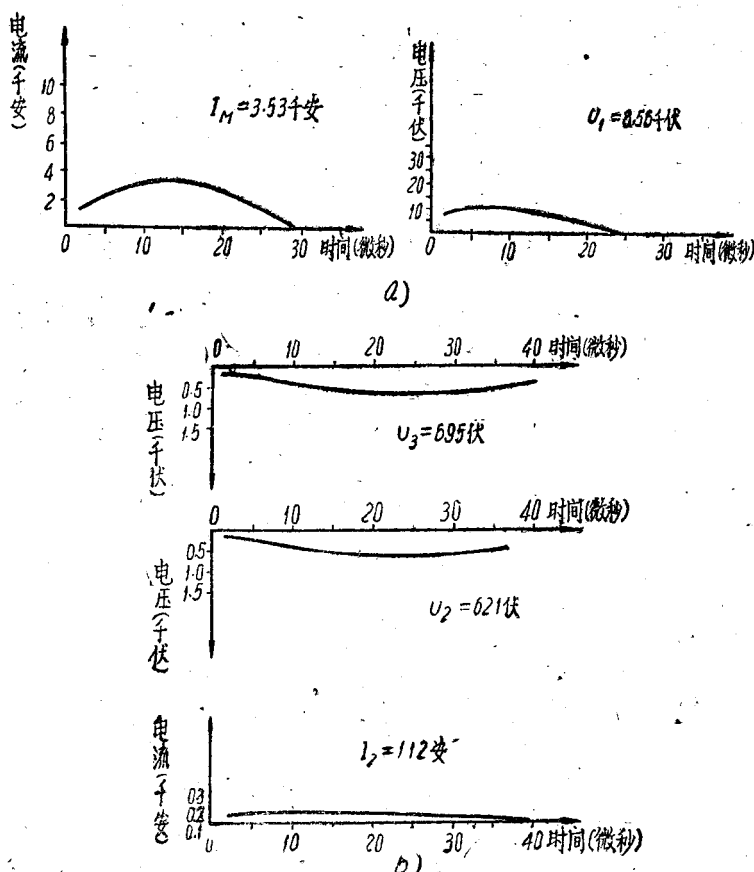


图 1-3 电缆前(a)后(b)电流电压示波图

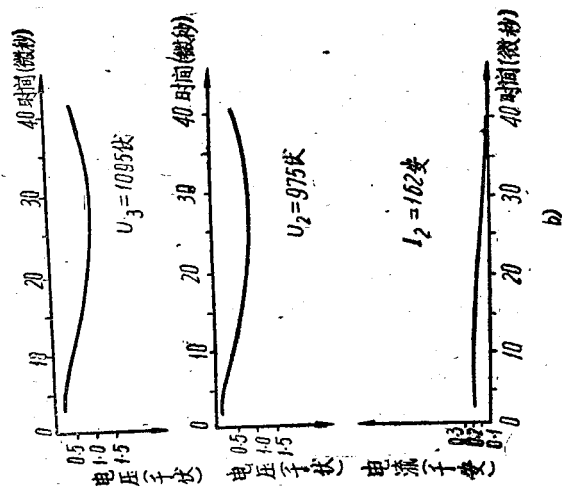
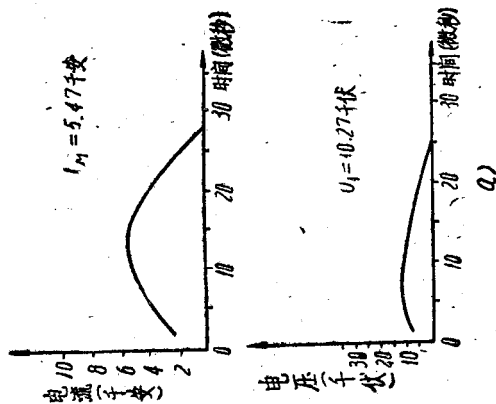
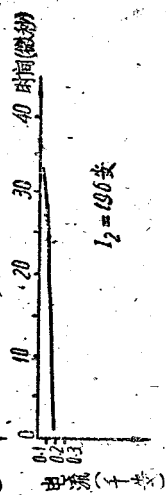
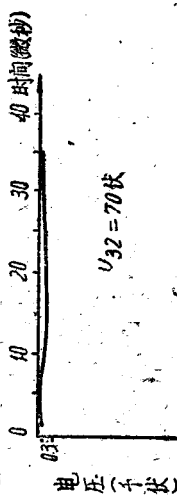
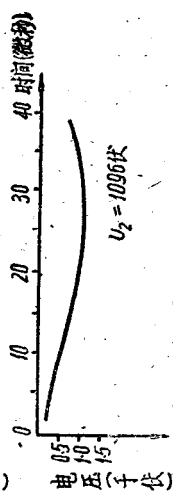
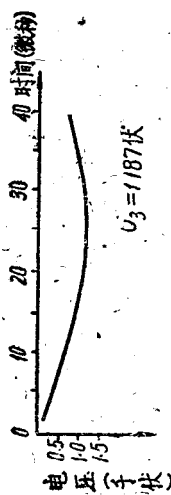
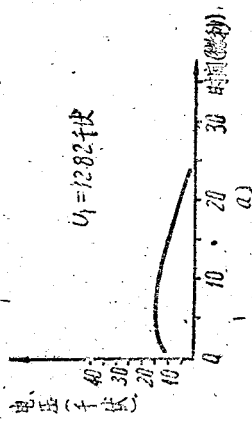
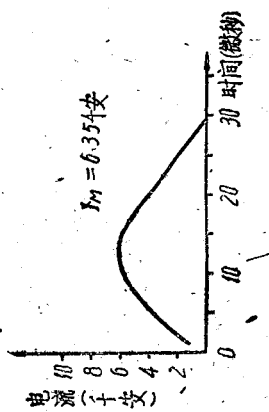
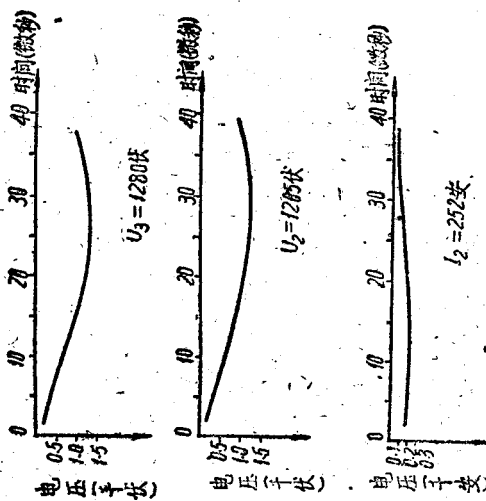
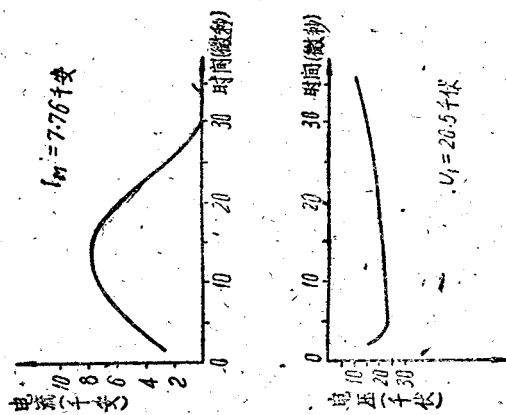


图 1-4 电缆前(a)后(b)电流电压示波图



b)

图 1-5 电缆前(a)后(b)电流电压示波图



$I_2 = 252 \text{ A}$

(a)

(b)

图 1-6: 电缆前(a)后(b)电流电压示波图

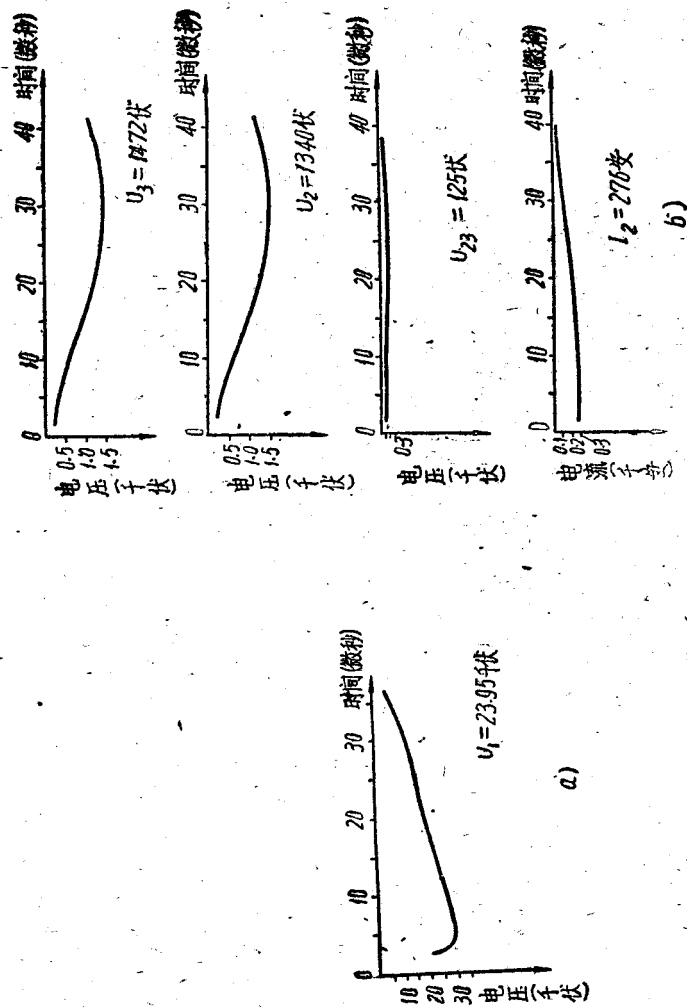


图 1-7 电晕前(a)后(b)电流电压示波图

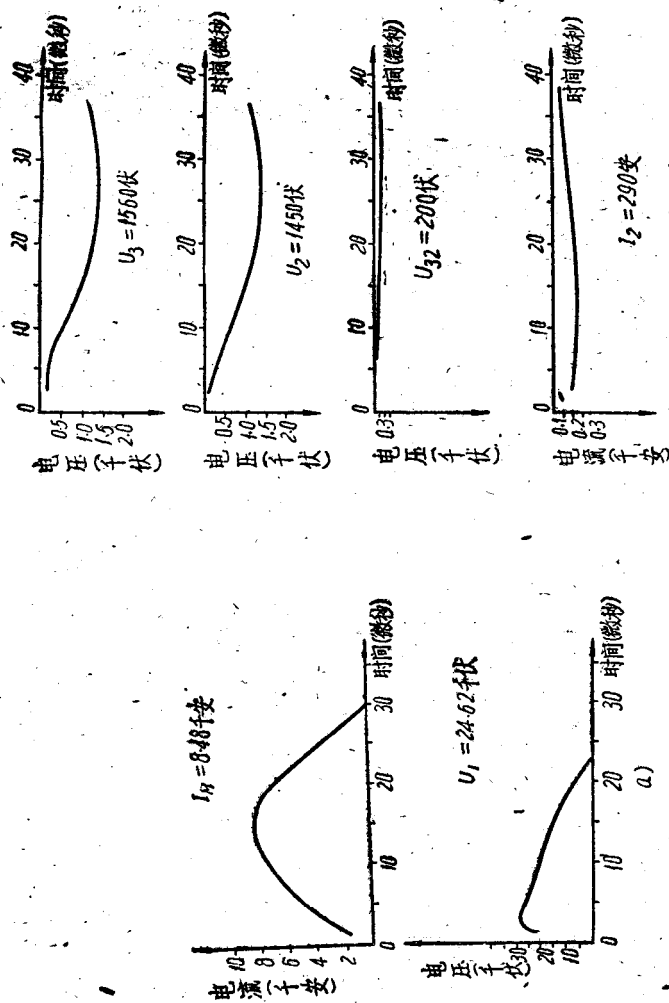


图 1-8 电缆前(a)后(b)电流电压示波图

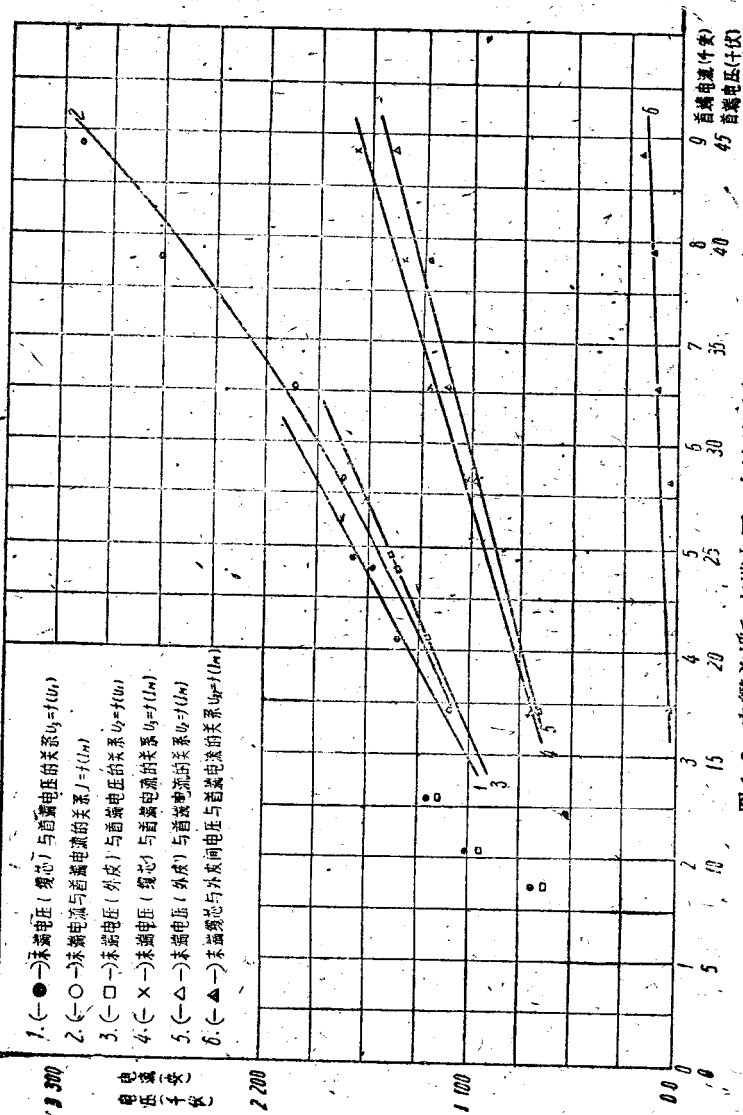


图 1-9 电缆首端和末端电压、电流关系曲线

根据图1-3至图1-8所示的波形，得出電纜首端的总电流 I_M 和电压 U_1 ，与電纜末端外皮的电流 I_2 、外皮对地的电压 U_2 、芯子对地的电压 U_3 和芯子对外皮的电压差等的关系曲线，如图1-9所示。

图1-9中所示的曲线，证实了電纜外皮流动的电流波所产生的磁场完全与芯子耦合，外皮的电位完全感应到芯子里去的理论。从图1-9中的曲线6看出，電纜末端芯子与外皮间的电位差甚小，在冲击电流 $I_M \approx 9$ 千安时， U_2 仅有150伏左右，也就是说，当電纜末端芯线直接接到发电机线卷端子上和電纜外皮直接接到发电机外壳上时，发电机端子上不需安装避雷器即可达到很高的耐雷水平（ $I_M \approx 200$ 千安以上。参考文献6、7）。

有人曾进行过这样的试验：在0~25欧姆范围内改变電纜首端管型避雷器的接地电阻，在相同的电流 I_M 之下（即同时改变了電纜首端外皮的电压），对電纜末端芯线与外皮间的电位差影响甚小（参考文献11）。

但是在发电厂实际情况中，電纜末端至发电机端子一般相隔40~50米。按严重情况考虑，可将電纜芯子对地的电压当作发电机线卷对外壳的主绝缘遭受的电压，如图1-9中的曲线4所示。这样就足够保证安全。

应当注意，试验中用的電纜是142米，而“过电压保护导则”中推荐的是 $l \geq 100$ 米。按電纜 $l = 100$ 米计算，图1-9中的曲线4就要抬高一些。

还应注意，试验是在電纜末端芯子与外皮（或对地）之间没有避雷器动作的情况下进行的。事实上，当发电机线卷端子上的电压升高到对电机绝缘有危害时，避雷器就动作，将过电压波降低。

第3节 電纜埋于土中对防雷保护作用的实测试验

前面的试验结果证明，電纜外皮分流降压的作用是很显著的，将電纜埋于土中时，作用必然显著地增大。为了探讨和证实这一点，按图1-10所示接线进行了试验。

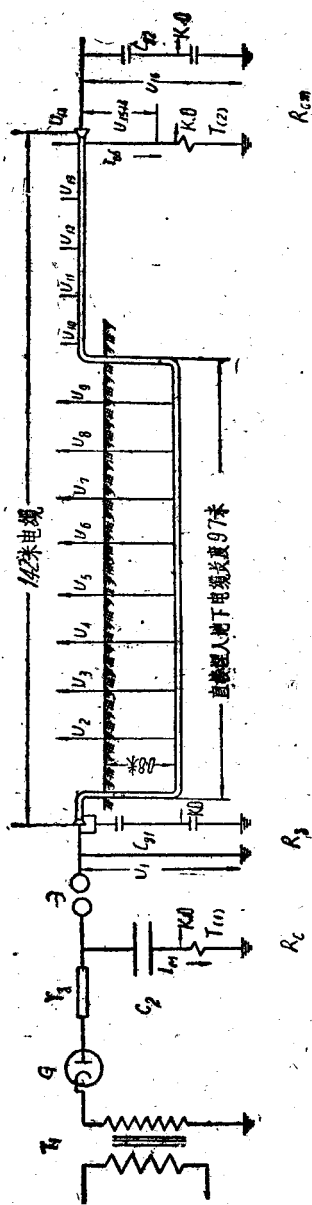


图 1-10 电缆埋入地下试验接线图

T_1 —变压器, 5 千伏安, 50,000 伏/400 伏; G —整流管, 220 千伏, 9230/812P; C_{01} —电容分压器, 220/12.4, 6;
 C_{02} —电容分压器, 2/1 (云母电容); r_s —充电电阻, 2 兆欧姆; C_2 —电容器, 25.5 微法; R_c —电容器接地
 电阻; θ —直径 10 厘米铜球间隙; R_g —首端接地电阻, 4.3 欧姆; R_{cm} —末端接地电阻, 0.4 欧姆;
 $T(1)$, $T(2)$ —分流器电阻, 分别为 0.109 欧姆及 1.056 欧姆。

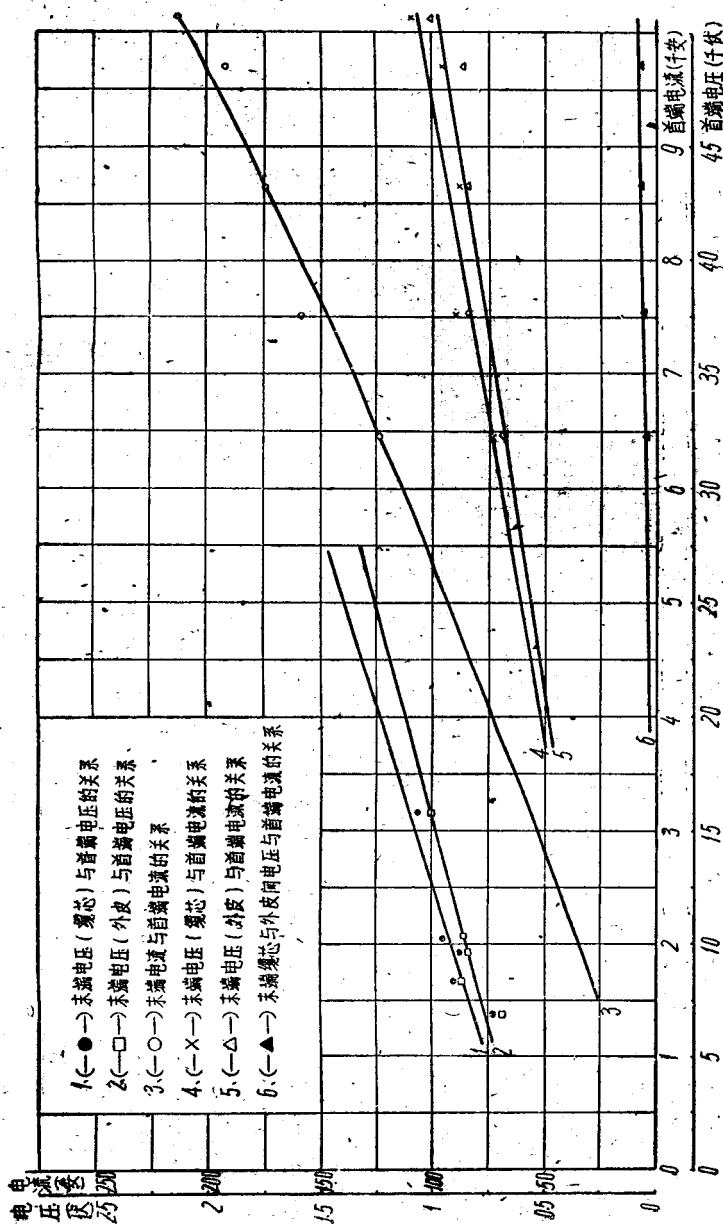


图 1-11 电缆首、末端电压、电流关系曲线

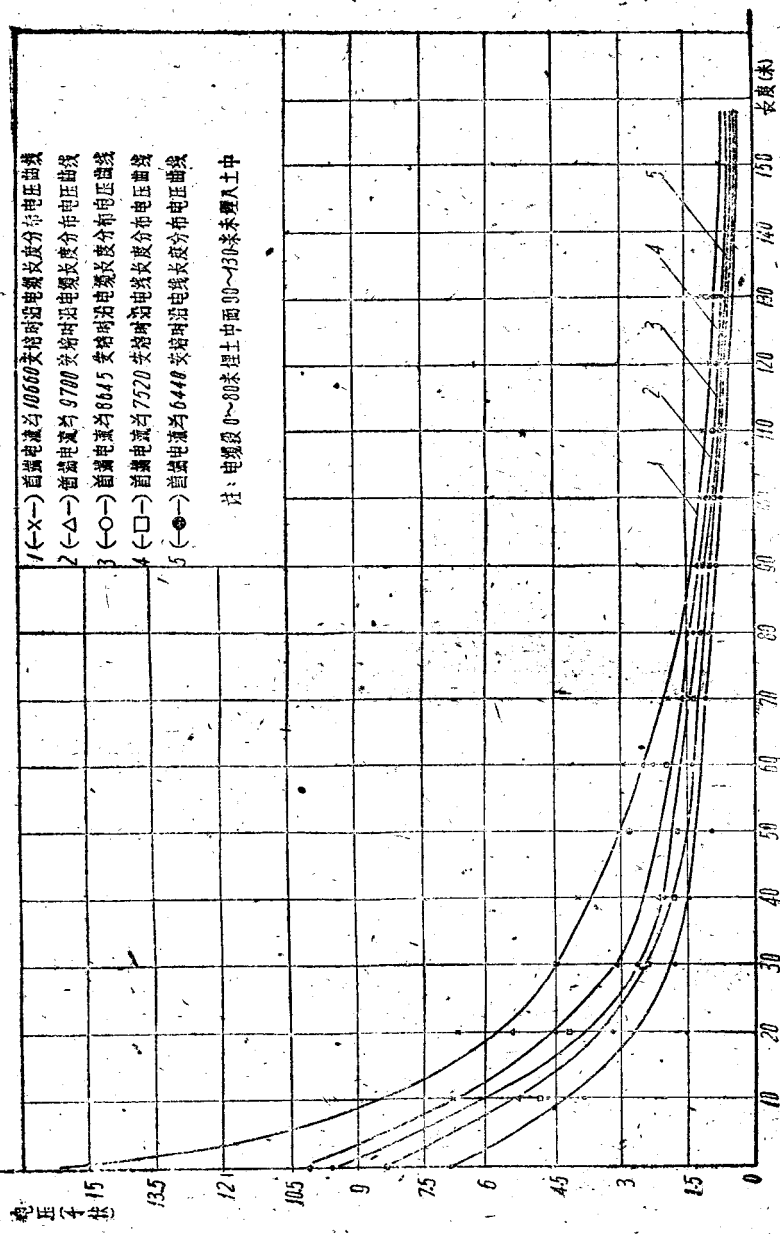


图 1-12 沿电缆长度分布的电压曲线