

〔苏〕 米·伊·米哈伊洛夫 列·德·拉祖莫夫 沙·阿·索科洛夫

通信设备对外界 电磁场影响的防护

严 相 庐 译

严 晋 德 校

马 晨

3

人 民 邮 电 出 版 社

М. И. МИХАЙЛОВ
Л. Д. РАЗУМОВ
С. А. СОКОЛОВ

ЗАЩИТА
СООРУЖЕНИЙ
СВЯЗИ ОТ
ОПАСНЫХ И
МЕШАЮЩИХ
ВЛИЯНИЙ
Москва «Связь» 1978

内 容 提 要

本书论述了有关防止高压输电线、电气铁道接触网和雷电等对通信设备产生危险和干扰影响的基本问题。书中列出了通信回路中的危险和干扰电压及电流容许值，叙述了强电线对通信设备所产生的危险和干扰影响的计算方法，并且从理论上讨论和研究了强电线和通信设备方面所采用的各种保护装置的保护作用问题。

本书可供电力、铁道、邮电、部队系统的设计、施工、维护等单位的有关工程技术人员使用，同时也可作为有关院校师生的教学参考书。

通信设备对外界电磁场影响的防护

〔苏〕米·伊·米哈伊洛夫

列·德·拉祖莫夫

沙·阿·索科洛夫

严 相 庐 译

严晋德 马 晨校

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1983年11月第 一 版
印张：9 8/32 页数：148 1983年11月河北第一次印刷
字数：211 千字 印数：1 — 10,000 册

统一书号：15045·总2764—有5319

定价：1.20 元



译 者 序

本书著者米哈伊洛夫等人继1959年编写出版了《外界电磁场对电信线路的影响及防护措施》(中译本1964年出版)后又出版了几本有关防护的书籍,于1978年编写出版了本书。目前我国通信设备防护专业方面的参考书较少,为了给从事这方面工作的专业人员提供有益的参考资料,特意翻译了本书。

本书理论联系实际,应用了大量实测和计算数据及科研成果资料,并以各种图表和文字形式,对于有关高压输电线、电气铁道接触网、地电流,以及雷电、磁暴,对通信设备(包括架空明线、地下电缆和各种增音设备)所产生的危险和干扰影响(总称为外界电磁场对通信设备的影响)、计算干扰影响的方法和防止影响的保护措施等基本问题,进行了全面、系统、详尽的论述。特别要提到的是,著者用了很大篇幅来阐述防护的方法、各种保护设备及其保护效果的计算,其中对电缆金属护层的保护作用的理论问题,进行了深入分析和探讨,并对新型保护装置作了具体的介绍。

全书内容共有八章,第一章详尽叙述了危险电压和电流,以及干扰电压和电流的容许值的标准等问题。第二章具体说明了不同情况下,危险影响和干扰影响的计算方法及步骤。第三章对强电线方面采取的防护措施及装置,作了详细的介绍。第四章全面叙述了电信线路方面采取的防护措施,其中对电缆金属护层的保护作用系数作了深入分析,并应用大量图表,列出了苏联现有电缆的保护作用系数,同时还阐述了保护作用系数

的测量方法及计算公式。第五章和第六章分别叙述架空明线和地下电缆的防雷问题。第七章叙述电缆增音设备的防护问题，并对几种主要载波制式的电缆增音机的保护作了着重介绍。第八章简要叙述了通信设备对磁暴的防护问题。最后还附有编写本书时参考用的书目。

同以前出版的防护专业书籍比较，本书的特点是它的实用性，因此很适宜作为电力、铁道、邮电、部队等部门的设计、施工、维护等有关工程技术人员的参考书，同时对于有关院校的师生也有参考价值。

参加本书校对工作的有严晋德同志（负责第一、四、五、六、七、八章）和马晨同志（负责第二、三章），在此对他们的支持和帮助，表示谢意。

译者

1982. 4

目 录

第一章	架空明线和电缆通信回路的危险影响标准	
	准和干扰影响标准	(1)
1.1	危险电流和危险电压容许值	(1)
1.2	干扰电压和干扰电流的容许值	(19)
第二章	外界电磁场对通信回路所产生的危险影响和	
	干扰影响的计算	(33)
2.1	高压线对通信架空明线和电缆线路的危险影响的计	
	算	(33)
2.2	高压线对电话通路干扰影响的计算	(71)
第三章	在高压线和电气铁道方面采取的防止危险和	
	干扰影响的保护措施和设备	(83)
3.1	概述	(83)
3.2	在三相高压线和直流高压线上采取的防护措施	(85)
3.3	在直流电气铁道牵引变电所内安装平滑装置	(89)
3.4	在交流电气铁道接触网中接入吸流变压器	(91)
3.5	采用 2×25 千伏自耦变压器三线系统来降低交流电	
	气铁道的影 响	(95)
第四章	通信设备对高压线影响的防护	(97)
4.1	保护措施分类表	(97)
4.2	通信线路的临界路由的选择	(97)
4.3	采用放电器保护	(100)
4.4	采用熔断器保护	(119)
4.5	用户保护装置	(123)

4.6	电缆金属护层对高压线影响的防护作用	(126)
4.7	金属屏蔽地线和其它长导线对磁影响的屏蔽作用 ...	(165)
4.8	采用屏蔽变压器保护	(170)
4.9	采用中和变压器保护	(176)
4.10	采用分隔变压器保护	(177)
4.11	采用强力放电器防止中性点接地的三相高压线对架 空明线产生危险影响	(182)
4.12	采用排流线圈防止通信回路遭受危险和干扰影响 ...	(191)
4.13	采用扼流线圈防止架空明线回路遭受危险和干扰电 压影响	(196)
4.14	采用导线交叉方法防止架空明线电话回路遭受高压 线和电气铁道的干扰影响	(197)
4.15	防止架空明线遭受同导线直接碰触时所产生的危险 电压的影响	(198)
第五章	通信架空明线和通信设备的防雷	(200)
5.1	木杆的防雷	(200)
5.2	钢筋混凝土杆的防雷	(210)
5.3	架空明线绝缘子的防雷	(213)
5.4	介入电缆和引入电缆, 以及明线引入的增音站和终端 局的防雷	(214)
5.5	防止架空明线有人站和无人站设备遭受危险电压影 响的保护电路全图	(223)
第六章	地下电缆线路的防雷	(225)
6.1	几种防雷措施	(225)
6.2	采用避雷线保护电缆线路	(225)
6.3	采用架空地线防止地下通信电缆遭受雷击	(233)
6.4	防雷电缆	(239)
6.5	采用接地装置保护聚乙烯护套电缆	(245)
6.6	采用小型放电器保护电缆	(251)

6.7	电缆附近的接地铁道钢轨或管道对雷击的防护作用的计算	(253)
第七章	防止电缆干线增音站设备遭受危险电压和干扰电压的影响	(259)
7.1	构成保护的原则	(259)
7.2	通信电缆线路设备中所采用的保护装置的主要元件	(261)
7.3	各种传输系统设备的保护电路	(265)
7.4	防雷试验	(274)
第八章	通信设备的防磁暴	(279)
8.1	通信设备《导线(双线)—大地》制远供回路的保护	(279)
8.2	架空明线和电缆线路电话回路的保护	(284)
	参考书目	(285)

第一章 架空明线和电缆

通信回路的危险影响

标准和干扰影响标准

1.1 危险电流和危险电压容许值

1. 概述

当高压线或雷电对通信线产生影响时，通信导线上就可能出现对维护人员、使用通信设备的用户和回路中的设备都有危险的电压和电流。

在一定条件下，可以把没有采取任何特殊保护措施的通信线路和局内设备上的电压和电流的最大值，当作危险电压和电流的容许值。在规定这些容许值时，必须注意其作用于人体和设备的时间和条件。与通信线有接近段的中性点接地的三相高压输电线一相短路接地时，或交流和直流电气铁道接触网短路时，以及雷电放电时，在通信回路中，都可能产生瞬间危险电压和危险电流。当通信线与高压线接近时，在通信线上所感应的危险电压作用时间，一般在0.15至1.5秒的范围内。在雷电放电时危险电压和危险电流的作用时间约为50至1000微秒。当通信线与完全不对称的高压线（“两线一大地”制三相高压线、交流和直流电气铁道），以及与一相短路接地的中性点绝缘的三相高压线接近时，通信线上会产生长时间的危险电压和危险电流。

在确定危险电压和危险电流容许值时，除了上述条件外，还要考虑降低高压线和通信线的施工费用的经济因素。试验结果表明〔参考书目1—5〕，外加电压对人体和设备绝缘的影响作用，在很大程度上，取决于作用时间的长短。因此，在上述条件下，将按作用时间的长短，采用不同数值的电压容许值，也就是电压作用于人体、设备或线路的绝缘材料上的时间愈短，在通信线上容许的电压值就可以愈大。

根据下述四项原则，确定出频率为50赫的外加电动势、外加电压和外加电流的容许值。这四项原则是：

(1) 对维护人员和使用通信设备的用户的危险程度。

(2) 对线路和设备的危险程度。

(3) 通过远供回路，使设备损坏的可能性。

(4) 由于在远供回路中有感应电流通过，而对通信回路有产生干扰的可能性。

按上述每项原则所确定出的电动势、电压和电流的容许值，是完全不同的。此外，各国虽然根据同一项原则来确定上述容许值，但是所采用的计算方法不一样。因此，绝大多数国家都坚持采用国际电报电话咨询委员会出版的《防止电力线对通信线产生危害影响的导则》中容许电动势的标准值。按照上述导则的规定，在架空明线回路的电气连续段⁽¹⁾的全长上，长时间的感应电动势不得超过60伏。在通过分隔变压器把设备同线路相接并采用保安措施的条件下，可容许把电动势提高到150伏。在架空明线回路的电气连续段上，瞬间感应电动势不得超过430伏。如果接近段上的高压线是高可靠性线路，容许电动势为650伏。同直流高压线接近时，感应电动势可允许到

1) 不包括增音机，变压器和阻止电流在导线上流通的其它部件的那些回路区段，就叫做电气连续段。

1000伏。

如果在线路进局端没有变压器，那么瞬间感应电动势，在电缆同交流电气铁道接近或同普通结构的高压线接近时，不得大于430伏，而在同高可靠性高压线接近时，不得大于650伏。

根据同一导则的规定，在电缆线路的电气连续段全长上，长时间感应电动势，不得大于上述数值，即60伏和150伏。在无远距离供电而设备经变压器接到线路上时，电缆的瞬间感应纵电动势标准为 $60\%U_{исп}$ 。 $U_{исп}$ 指的是安装好的电缆的直流试验电压。如果电缆在敷设安装后没有经过测试， $U_{исп}$ 就指的是在工厂技术条件中所采用的电缆心线绝缘试验电压和与电缆相连的设备绝缘试验电压。

2. 作用于人体器官的容许电流和容许电压的标准

考虑到人员在线路上或在通信设备的终端站和中间站上，可能处于不同的条件，因此要按照电流和电压作用于人体的特性和时间制定出有充分根据的电流和电压的标准是办不到的。在上述的国际电报电话咨询委员会导则中，取用15毫安，作为短时间（0.5—1.5秒）通过人体的交流电流容许标准。

按照线路和局内工作人员安全条件，通信线上的容许感应电压，必须根据下列要求来确定：

（1）能保证在线路上连续进行一个工作日的工作，但对人体健康没有任何有害影响而容许长时间通过人体的各种电流（直流，不同频率的交流）的最大值。

（2）在没有别人帮助就可以自主地把手从带电导线挣脱时流过人体的各种电流的最大值。

（3）在0.15、0.3、0.6、0.8秒和0.8秒以上（所指的时间间隔 t 是当高压线一相短路接地时在通信线上会出现危险感

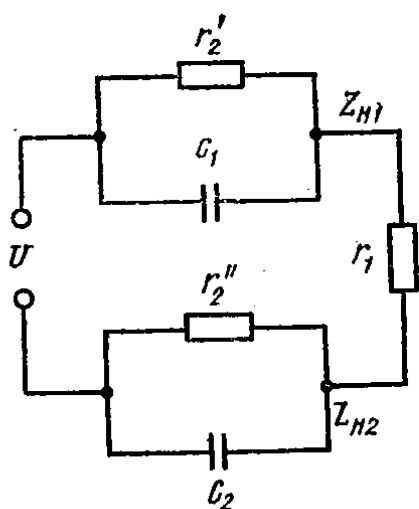


图 1.1 人体阻抗的等效电路图

人体阻抗可以用三个串联阻抗来表示：两个与电极接触的表皮层阻抗 Z_{H1} 和 Z_{H2} ，以及人体其它部分的内阻 r_1 。皮肤的阻抗是由《手—手》、《手—脚》、《脚—脚》回路输入端和输出端的容抗 $\frac{1}{\omega C_1}$ 及 $\frac{1}{\omega C_2}$ 与电阻 r_2' 及 r_2'' 并联组成（图1.2）。人体内阻 r_1 是纯电阻。

人体的全阻抗与通过人体的电流有关，因此可以把人体看成是电路中的非线性元件。由于皮肤外表层阻抗的非线性，而使人体全阻抗也具有非线性。如果加在人体的电压超过40伏，则皮肤表层将发生局部击穿，因而也就改变该表层的导电特性〔参考书目3、4〕。随着电压的增加人体阻抗逐渐降低，而当接触处皮肤层全部击穿时，对于《手—手》或《脚—脚》回路而言，人体的全阻抗就等于人体的内阻 $r_1 = Z(600—800\text{欧})$ 。当 $U \geq 100$ 伏时就会出现这种情况。当加在人体的电压比较小（20—30伏）时，人体全阻抗决定于频率。频率增高时，全阻抗下降，当频率为10千赫时，实际上就等于内阻。

当前所有的科研人员都趋向于一致的意见，并认为电流伤

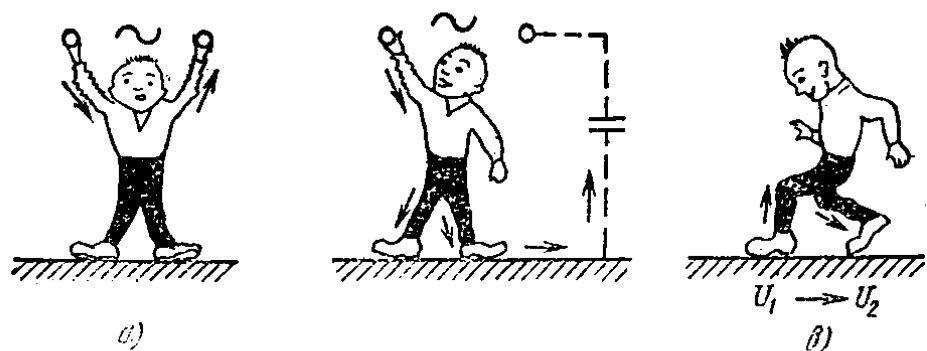


图 1.2 电流通过人体的途径：

- a) 导线—手—人体—手—导线； b) 导线—手—人体—脚—地
 b) 地—脚—人体—脚—地。

害人体的最重要因素是：流经人体的电流值、电流作用时间、电流通过人体的途径，每个人的身体特点。

关于对人体产生某些作用的工频交流电流数值的问题，可以引用下列数据。在参考书目〔6〕中，证实人能长时间地忍受2.7毫安到12.4毫安（平均值为6.3毫安）大小的电流，而对健康毫无影响。在参考书目〔7〕中指出，在电流值从0.34毫安到

1.18毫安时，人体就开始有所感觉。1954年和1955年早些时候发表的文章中指出，在工频交流电流的数值很小时，人体才开始有所感觉，但是小于2毫安的电流，不会引起任何疼痛感觉。而交流电流值（ $f=50$ 赫）时，在10至20毫安范围内，人能自行挣脱带电导线。图1.3中给出人体通过一定数值的

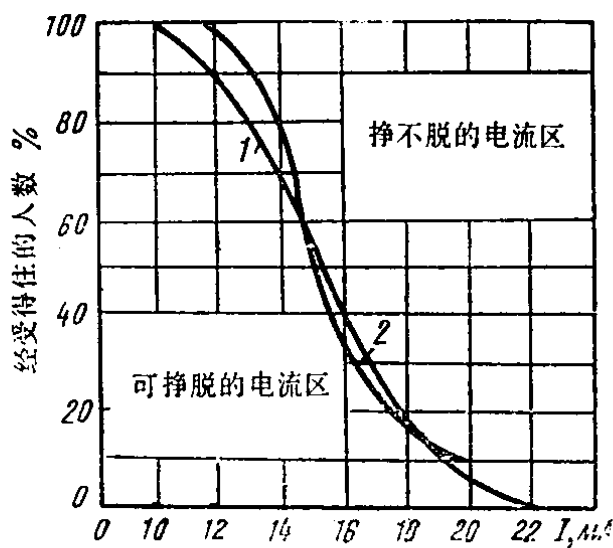


图 1.3 在人体通过一定数值的交流电流时，经受试验而能自行挣脱带电导线的相对人数(%)的曲线

50赫工频电流时，经受试验而能自行挣脱带电导线的相对人数

(%)的曲线⁽¹⁾。从图中显然看出，对99%的大多数人而言，可以认为小于10毫安的电流值是通过人体的电流极限值。

根据上述曲线可以得出以下结论：就是通过人体的电流持续时间越短，在通信线上工作就越安全可靠。换言之，高压线或电气铁道的短路电流切除得越快，在遭受电磁影响的通信线上工作也就越安全。知道了对人体产生各种影响的电流极限值，而且具有接近段的相应等效电路图（其上标有电路元件的具体电气参数），就可以用实验方法确定或计算出该实际接近情况下的感应电压容许值。

在实际使用中，必须知道下列电流值：

——长时间通过人体而对人体健康无任何明显影响的频率50赫的电流容许值。

——可自行挣脱的电流值，即人能自行挣脱带电导线时沿《手—脚》途径流经人体的电流容许值。

——沿同一《手—脚》途径流经人体而对其健康无明显影响的电流值。

目前根据各国公布的资料，可以采用下列电流容许值作为暂行标准：

——长时间作用于人体的50赫电流，不得大于2毫安。

——可挣脱的频率50赫电流为8—10毫安。

——在高压线短路电流通过的时间不同时，瞬间影响电流值为： $t=0.8$ 秒时，10毫安； $t=0.5$ 秒时，12毫安； $t=0.3$ 秒时，20毫安； $t=0.15$ 秒时，25毫安。

知道通过人体的电流容许值之后，就可以计算出人碰触带有感应电压的架空明线导线和通信电缆心线而不致引起电击时

(1) 曲线1是由戴尔吉艾尔取得的，曲线2是由基西略夫取得的。

的容许电动势值。

如果线务员在电缆沟里进行线务工作(例如安装电缆套管)时,则在电缆心线和地之间电流流通的回路的总阻抗 $Z_{обш}$ 将由《手一脚》途径的人体阻抗,人与地之间的接触电阻(鞋的电阻,以及在人与地之间铺在沟底的木板的电阻),和心线对外皮的容抗三者组成。

在确定感应纵电动势容许值时,应该考虑通过人体的电流回路中其它元件阻抗的具体数据($E_{доп} = I_{доп} Z_{обш}$)。在确定电流对人体损伤的危险程度时,必须从最危险的情况出发,也就是导线(心线)在回路电气连续段的一端接地,而在人所在的一端上的感应电压,数值上等于纵电动势的这种情况。

3. 作用在电缆线路设备和线路绝缘上的容许电流和电压的标准

用叫做《击穿》电压一词来表示电缆心线绝缘和设备绝缘的特征,而《击穿》电压也就是破坏电缆心线绝缘材料或设备导线绝缘材料的临界电压。在击穿处绝缘电阻减小到一个很小的数值。在很强大的电压源作用下,击穿处产生电弧,从而使绝缘材料熔化,烧焦或燃烧。如果放电穿透整个介质层,而使电缆心线或设备导电部分与外壳短接,这种击穿就叫做完全击穿。而如果介质击穿到某一深度,例如在很短时间内受到冲击电压作用的情况下,则这种击穿就叫做不完全击穿或部分击穿。很多连续的不完全击穿能引起完全击穿。

通信设备或电缆的固体介质击穿后,如果绝缘材料还没有被电弧击穿,击穿处则留下孔状痕迹。这种损坏处的击穿电压,一般大大低于介质的起始击穿电压。因此,直接接到线路上的电话电报装置的元件(电话转电线圈、滤波器、电容器等)的绝缘

被击穿,就是说产生了故障,它破坏通信设备的正常工作,造成电话回路的不平衡,因而引起杂音。传输质量可能变得很差,致使电信设备停止工作,直到故障排除为止。

表示该绝缘材料经受住电压而不被击穿的性能的数值,称为此材料的电气强度。列出下述符号:

U_d ——击穿电压(伏),

E_d ——击穿电场强度(伏/米),

d ——介质厚度(米)。

当均匀电场时, $U_d = E_d d$ 或者 $E_d = \frac{U_d}{d}$, 也就是绝缘材料单位厚度的击穿电压的极限值, 叫做该材料的电气强度。

介质击穿可能是由于热效应, 也可能是由于电效应而引起的。当电压加在介质上, 电能在介质中因损耗而变为热能, 这就引起介质发热, 其结果损耗更加增大, 这又继续引起发热等等。如果加以相当高的电压, 这样因损耗发出的热和由于冷却散出的热之间的平衡就要受到破坏, 绝缘材料就会发热, 并达到所不允许的高温。这将引起介质损坏(根据该材料的特性分别引起介质燃烧、熔化、化学分解等现象)。因高温而使绝缘损坏的现象, 也就叫做热击穿。

纯粹由电场的机械力直接破坏绝缘结构时, 就开始了电击穿。大家知道, 在电场作用下, 组成分子的正负电荷, 不能保持其原来在中性状态时的相互位置, 而产生弹性位移。过于强大的外部电场能使带电质点分离, 也就是介质的电击穿。

在热击穿时, 同一种绝缘材料的电气强度并不是常数, 而是在温度升高、由直流电流转化为交流电流、提高频率和延长高压作用时间的情况下, 电气强度就下降。如果在绝缘上加某一电压 U_d , 则只经过一定时间间隔 t 时, 绝缘才被击穿。而如果在这段时间之前撤去电压, 绝缘就不会被破坏。因此, 可

以得出下述结论：在很短时间间隔内，绝缘能经受得住而不被击穿的电压，比长时间作用而使该绝缘击穿的电压还要高。

电击穿时，电气强度值几乎与温度、交流电流的频率和电压作用时间无关，即如果在施加某一电压的开始瞬间没有发生电击穿，则以后也就不会发生。电击穿的击穿电压，随电场不均匀性的增加而减小。

不同的外界条件时对同一种电介质，多半同时产生不同形式的击穿(热和电击穿)。根据击穿过程中介质变化的情况，击穿过程可以从开始的一种形式转变为另一种形式。因为在高压线影响时，通信线上可能产生50赫的高电压，或在雷电时产生冲击电压，那么要解决有关通信设备的防护问题，就必须知道外加50赫电压时，以及冲击电压时被保护设备的绝缘击穿电压值。实验证明，通信设备绝缘材料的冲击电压，要比50赫时的击穿电压大0.2至1倍。例如，电话转电线圈绝缘的击穿电压，在冲击电压作用时，是在6000至8000伏的范围内，而在工频电压作用时，是在3500至4000伏的范围内。聚苯乙烯绝缘和纸绳绝缘的长途对称电缆心线绝缘的冲击击穿电压，是在4500至6500伏的范围内，然而这种电缆的工频击穿电压，是在3000至4000伏的范围内。

应该用等于击穿电压的60~70%的所谓试验电压($f = 50$ 赫时)，持续1—2分钟来检验电信设备和电缆绝缘的电气强度。假如在这段时间内，被测设备的绝缘无损，则设备就可投入使用。

为了保证电气装置长期而可靠地工作，必须选用其击穿电压要大大高于工作电压的介质，来作为电气绝缘材料。回路的工作电压(U_{pa})不得超过该回路绝缘试验电压的20%，不过

有时采用的电压值同上述电压值有很大的差别。例如，心线为聚苯乙烯绝缘的对称电缆，其心线的工作电压（长时间容许的电压）为690伏，而其试验电压为2000伏。虽然在使用初期，绝缘可以承受等于试验电压的100%的过压，但是考虑到电缆和所接入的通信设备是按长期使用（不少于30—50年）而设计的，绝缘材料的绝缘性能是随时间增长而变坏，所以一般仍取小于电缆心线绝缘试验电压的60%数值，来作为电缆心线的瞬间过电压容许值。如上所述，国际电报电话咨询委员会允许在那些不作为传送远供电源的电缆上，采用电缆心线上瞬间感应的频率50赫的这种外加电压值（试验电压的60%）。

在苏联只是对沿交流电气铁道敷设的电缆，才采用同国际电报电话咨询委员会建议一致的通信电缆心线的容许危险电压标准，而对于遭受中性点接地三相输电线的危险影响的电缆，采用等于电缆心线绝缘试验电压的100%的标准〔参考书目8〕。提高标准数值的理由是：与沿交流电气铁道敷设的电缆相比，维护沿高压线敷设的电缆的条件要好得多。问题不仅如此，而且根据统计，高压线附近的电缆，在每100公里长度上每年遭受过电压影响的次数平均不超过1—2次，而电气铁道附近的电缆，遭受过电压影响，平均每100公里长度上为数百次。考虑到这一点，所以现行规程对容许危险电压值就采用了不同的标准。

这样，确定瞬间容许感应电压的一般公式具有下列形式：

交流电气铁道影响时

$$U_{\text{доп}} = 0.6 U_{\text{исп}} - U_{\text{дпз}} \quad (1.1)$$

高压线影响时

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{исп}} - U_{\text{дпз}} \quad (1.2)$$

式中： $U_{\text{дпз}}$ —对地（外皮）远供电压。