

国际电信联盟

**ITU-T**

国际电信联盟  
电信标准化部门

**K.68**

(02/2006)

K系列：干扰的防护

---

## 电力系统对电信系统造成的电磁干扰的管理

ITU-T K.68 建议书





# ITU-T K.68建议书

## 电力系统对电信系统造成的电磁干扰的管理

### 摘要

建议书涉及电力系统或电力牵引系统对电信系统造成的电磁（e.m.）干扰的管理。

建议书定义了电磁干扰可接受性的评估程序，并给出了：

- 确定需要进行研究的干扰情况的标准；
- 适用的干扰管理电压；
- 电源、电力牵引和电信系统管理电压适用的安装条件。

### 来源

TU-T K.68建议书于2006年2月13日由ITU-T第5研究组（2005-2008年）按照ITU-T A.8建议书规定的程序予以批准。

### 关键字

损害、危险、干扰、抗扰度、故障、噪音、电力频率干扰、抗干扰能力、安全性。

## 前 言

国际电信联盟（ITU）是从事电信领域工作的联合国专门机构。ITU-T（国际电信联盟电信标准化部门）是国际电信联盟的常设机构，负责研究技术、操作和资费问题，并且为在世界范围内实现电信标准化，发表有关上述研究项目的建议书。

每四年一届的世界电信标准化全会（WTSA）确定 ITU-T 各研究组的研究课题，再由各研究组制定有关这些课题的建议书。

WTSA 第 1 号决议规定了批准建议书须遵循的程序。

属 ITU-T 研究范围的某些信息技术领域的必要标准，是与国际标准化组织（ISO）和国际电工技术委员会（IEC）合作制定的。

## 注

本建议书为简明扼要起见而使用的“主管部门”一词，既指电信主管部门，又指经认可的运营机构。

遵守本建议书的规定是以自愿为基础的，但建议书可能包含某些强制性条款（以确保例如互操作性或适用性等），只有满足所有强制性条款的规定，才能达到遵守建议书的目的。“应该”或“必须”等其它一些强制性用语及其否定形式被用于表达特定要求。使用此类用语不表示要求任何一方遵守本建议书。

## 知识产权

国际电联提请注意：本建议书的应用或实施可能涉及使用已申报的知识产权。国际电联对无论是其成员还是建议书制定程序之外的其它机构提出的有关已申报的知识产权的证据、有效性或适用性不表示意见。

至本建议书批准之日止，国际电联尚未收到实施本建议书可能需要的受专利保护的知识产权的通知。但需要提醒实施者注意的是，这可能并非最新信息，因此特大力提倡他们通过下列网址查询电信标准化局（TSB）的专利数据库：<http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>。

© 国际电联 2006

版权所有。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## 目录

## 页码

1	范围 .....	1
2	规范性参考文献 .....	2
3	定义 .....	3
4	评估电磁干扰的程序 .....	7
4.1	概述 .....	7
4.2	干扰结构 .....	8
4.3	收集施感设备的电气信息 .....	9
4.4	对干扰后果以及是否符合管理电压进行评估 .....	9
5	需研究的干扰情况 .....	10
5.1	需要考虑的耦合类型 .....	10
5.2	基准影响距离 .....	11
6	管理电压 .....	19
6.1	确定管理电压应用的标准 .....	19
6.2	危险电压：限制 .....	19
6.3	损害电压 .....	20
6.4	抗扰电压 .....	21
6.5	噪音电压：限制 .....	21
7	基准干扰条件 .....	22
7.1	概述 .....	22
7.2	与施感设备相关的条件 .....	22
7.3	与电信设备相关的条件 .....	26
8	确定是否符合管理电压 .....	26
8.1	概述 .....	26
8.2	影响的重叠 .....	27
8.3	通过计算确定是否符合规定 .....	27
8.4	通过测量确定是否符合规定 .....	27
9	干扰的管理 .....	27
9.1	概述 .....	27
9.2	设备使用期限 .....	28
9.3	信息交流 .....	28
9.4	设备文件 .....	28
附件A	– 基准影响距离的评估方法 .....	29
A.1	感应耦合 .....	29
A.2	电导耦合 .....	34
附录一	– 用于确定噪声加权电压的权重因子 .....	41

附录二 – 影响感应耦合基准影响距离的量值.....	43
II.1    指导值 .....	43
II.2    用于RID评估的参数值：感应耦合 .....	50
II.3    用于RID评估的参数值：电导耦合 .....	52
附录三 – 确定交流电或电力牵引线引起的RID值的步骤.....	54

## 引言

《与保护电信线路免受来自电力线和电气化铁路线有害影响相关的基本原则》是涉及电力线系统和电力牵引系统对电信系统产生电磁干扰（e.m.干扰）的参考文件。《基本原则》（1989年版）分为9卷，分别阐述整个主题中的一项具体内容。其使用指南如下：

- 若需要全面了解电信、电力和电气化铁路设施及其互耦产生的影响，请阅读第一卷。
- 有关电力或电气化铁路系统中施感装置的详细信息，请查阅第四卷（铁路系统）或第五卷（电力系统）。
- 若需要了解电磁干扰数理理论不同程度的细节和精度的计算方法，请阅读第二和第三卷。
- 若需要了解感应电压和电流，即危险和干扰，以及建议的限值，请阅读第六卷。
- 关于保护部件或复杂保护装置的建议，请阅读第八卷。
- 关于相关测试和测量技术的信息，请阅读第九卷。

注—这些《基本原则》的内容，已得到国际电联、国际大电网会议（CIGRE）和国际铁路联盟（UIC）的正式认可。

自首次出版（1952年）以来，《基本原则》一直是电磁干扰领域的全球性参考文件，用于建立区域性或国家标准，甚至用于与《基本原则》所涉及内容不尽相同，但与之密切相关的情况，例如电力系统或电气化铁路系统对管道或金属结构产生的电磁干扰。

《基本原则》制定之时电磁干扰涉及的相关方还很少。虽然某些国家很早实现了电信、能源和交通业的开放，但更多国家中仅存在一家电信公司、一家能源公司和一家铁路公司。解决电磁干扰问题仅由少数专家负责，且带有科学研究的性质。如今，相关参与方的数量已大幅增长，因此必须将解决电磁干扰的问题当作正规的设计问题来处理，而且有必要为各参与方提供信息和指导。

《基本原则》包括科学研究和实际设计所需的大量宝贵信息，因此，需要就如何使用这些信息向（主要是）小公司或第一次面对电磁干扰问题的公司提出指导。

实际上，《基本原则》并未回答以下问题：

- 1) 谁应对电磁干扰负责；
- 2) 何时需对电磁干扰进行评估；
- 3) 如何进行评估。

ITU-T K.53建议书确定了谁应对电磁干扰负责的问题（上述第一个问题）。

本建议书述及电磁干扰的管理工作（上述后两个问题），并侧重定义：

- 电磁干扰评估所用设备之间的最大距离；
- 与管理电压相关的所用设备的条件（安装条件、工作条件、能通量等）。

本建议书全面阐述与电磁干扰管理相关的所有问题。



## 电力系统对电信系统造成的电磁干扰的管理

### 1 范围

本建议书所述的标准用于确定需要进行研究的电力与电信设备情况和安装条件，在这些条件下，管理电压适用于由下述电力系统对电信系统造成的电磁干扰：

- 交流电力系统；
- 直流电力系统；
- 交流牵引系统；
- 直流牵引系统；

其成因为下述物理现象：

- 感应耦合；
- 电导耦合；
- 电容耦合；

用于不同的电力系统条件：

- 正常；
- 故障；

且频率范围为0至9 kHz。

其内容涵盖如下影响：

- 对人造成危险；
- 对电信系统的损害；
- 对电信系统产生干扰（故障、噪音）。

本建议书适用于所有带金属部件的电信线路。只有在光纤结构中包含金属导体、屏蔽物或护层时，才需对此加以考虑。

本建议书的目标是确定：

- 评估电磁干扰的程序（第4节）；
- 用于研究电力与电信设备之间电磁干扰的最大设备间距（第5节）；
- 电力和电信设备安装条件（第7节），并应对在这些条件下产生的干扰后果（根据《基本原则》第二或第三卷进行计算，或通过测量，亦或两者兼而有之）进行评估，以检查电信线路上的感应电压（第8节）是否符合适当管理电压的要求（第6节）；
- 一种提醒措施，不断监督干扰设备技术特性的演变情况，从而避免因变化而使可接受的干扰演化为不可接受的干扰（第9节）。

本建议书适用于专用或公众电信设备可能遭到一种或多种电力设备干扰的所有情况。

本建议书既适用于新的电信和电力设备，亦适用于现有的、提出修改要求的设备，例如修改系统的接地、线路配置、工作电压、和故障电流（正在考虑对与其它设备相连的设备进行修改产生的影响），这些修改将使现有电磁干扰水平发展巨大变化。

本建议书可用于确定在各种供电系统工作条件下需要考虑的耦合类型，以及预计感应电压与第6节中给出的管理电压之间的比较。

本建议书不适用于额定工作电压低于1 kV 的电力系统产生的电磁干扰。

## 2 规范性参考文献

下列ITU-T建议书和其它参考文献的条款，通过在本建议书中的引用而构成本建议书的条款。在出版时，所指出的版本是有效的。所有的建议书和其它参考文献均会得到修订，因此本建议书的使用者应探讨是否有可能使用下列建议书和其它参考文献的最新版本。当前有效的ITU-T建议书清单定期出版。本建议书引用的文件自成一体时，不具备建议书的地位。

- [1] IEC 60050-161:1990, *International electrotechnical vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility.*
- [2] ITU-T Directives (1989), *Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Volume VI – Danger and disturbances.*
- [3] ITU-T Recommendation K.10 (1996), *Low frequency interference due to unbalance about earth of telecommunication equipment.*
- [4] IEC 60050-448:1995, *International electrotechnical vocabulary. Chapter 448: Power system protection.*
- [5] IEC/TS 60479-1:2005, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects.*
- [6] ITU-T Directives (1989), *Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railway lines, Volume II – Calculating induced voltages and currents in practical cases.*
- [7] ITU-T Recommendation K.57 (2003), *Protection measures for radio base stations sited on power line towers.*
- [8] prEN 50122-1 (2005), *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and bonding – Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing.*
- [9] ITU-T Recommendation K.33 (1996), *Limits for people safety related to coupling into telecommunications systems from a.c. electric power and a.c. electrified railway installations in fault conditions.*

### 3 定义

本建议书定义了如下术语：

除非在本建议中给出定义，否则应适用IEC 60050-161和IEC 60050-448中的定义。

**3.1 系统 (system)：**一般性术语，包括某项技术中互连一起的所有元素、部件和设备（电力系统、电力牵引系统、电信系统）。

**3.2 交流电力系统 (a.c. electric power system)：**使用交流电 (a.c.) 进行电能传输与配送的电力系统。

注一 专供交流牵引系统使用的、在16 $\frac{2}{3}$  Hz频率工作的双相电力系统，应被当作交流电力系统，尽管相关的导体被置于牵引线的同一极。

**3.3 直流电力系统 (d.c. electric power system)：**使用直流电 (d.c.) 在变电站间传输电能的电力系统。

注一 这些变电站实际是a.c./d.c.整流器站和d.c./a.c.逆变器站。

**3.4 交流电力牵引系统 (a.c. electrified traction system)：**使用交流电 (a.c.) 从牵引变电站向电气列车机组传送电能的电力系统：返回路径、金属导体和/或接地，均为牵引系统的组成部分。

**3.5 直流电力牵引系统 (d.c. electrified traction system)：**使用直流电 (d.c.) 从整流器站向电气列车机组传送电能的电力系统：返回路径、金属导体和/或接地，均为牵引系统的组成部分。

**3.6 供电系统 (power system)：**一般性术语，在本建议书中包括电力系统和电力牵引系统。

**3.7 有线电信系统 (wireline telecommunication system)：**能在两点或多点之间使用物理链路传输信息的系统。本建议书中考虑的此类系统为带有金属部件的系统（例如，金属线对、电缆护层、增强型光纤等：光纤本身并不包括在本建议书述及的物理现象之中）。

**3.8 设备 (plant)：**系统中的一部分，与其它系统中一个或多个设备的干扰问题相关：

- 设备可以是连接两个变电站或一个变电站的电力线（电力设备）；
- 设备可以是连接两个火车站或一个馈电站的牵引线（电力设备）；
- 通过一根来自交换机的电缆（在机柜内又被分为几个分支），将两台交换机或一台交换机与若干客户连接一起的电信线路（电信设备）。

**3.9 正常工作 (normal operation)：**任何系统的无故障运行。供电系统中由开关造成的瞬变现象为正常现象。

**3.10 故障条件 (fault condition) (对供电系统而言)：**处于激励状态的导体因接触、电弧等原因造成与地面或任何金属物体的无意连接，即并联故障，或带电导体的无意断开或断路（包括牵引系统的返回路径），即串联故障。

故障条件还包括任何两相位间的短路情况，或某一相位断开的情况（“单相断开”）。

**3.11 故障时长 (fault duration) :** 某一故障条件持续的时间。

注一 并联故障的时长由故障清除时间确定, 此时间即为故障发生与故障清除之间的时间间隔 [4]。

**3.12 基准故障时长 (reference fault duration) :** 在保护操作正确的情况下, 相关断路器清除故障电流所需的最长电流中断时间。在同时需要考虑高阻抗接地故障时, 基准接地故障时长与消除至少65%的接地故障所需的最长中断时间相关。 [4]

注一 正确的保护操作是指, 根据供电系统故障或其它供电系统异常情况, 以预想的方式发出保护起动信号和其它命令, 且断路器将根据起动信号进行相应的操作。

**3.13 电磁干扰 (e.m. interference) :** 电力设备在相邻的电信设备中产生的一种电磁现象 (通过三种类型的电磁耦合来解释), 有可能会对电信设备产生危险、损害或干扰。

**3.14 施感 (inducing) :** 形容词, 用于确定造成电磁干扰的设备及相应的数量 (施感线路、施感电流、施感电压等)。

**3.15 感应 (induced) :** 形容词, 用于确定受电磁干扰的设备及其相应的数量 (感应线路、感应电流、感应电压等)。

**3.16 感应耦合 (inductive coupling) :** 一种由带电线路 (施感导体) 产生的磁场对另一线路 (感应导体) 造成影响的现象, 通过具有公共接地回线的两导体间的耦合阻抗对耦合进行定量。施感线路中的电流为施感电流。

**3.17 电容耦合 (capacitive coupling) :** 一种由具有电压的线路 (施感导体) 产生的电场对另一线路 (感应导体) 造成影响的现象, 通过导体之间、导体与接地间的电容系数对耦合进行定量。施感导体中的电压为施感电压。

**3.18 电导耦合 (conductive coupling) :** 一种因电流从某一导体结构 (施感导体) 流向地面而对另一导体结构产生影响的现象, 通过此两导体 (结构) 间的导电性对耦合进行定量。从施感导体流向地面的电流为施感电流。

**3.19 危险 (danger) :** 干扰产生的、会对与感应电信设备接触的人产生威胁的影响。

**3.20 损害 (damage) :** 干扰产生的影响, 会造成永久性的、可由感应电信设备产生的服务质量下降。

注一 当电磁干扰消失后, 造成的损害依然存在。损害需要进行维修。

**3.21 干扰 (disturbance) :** 干扰产生的影响, 会使感应电信设备产生噪音或故障。

注一 当电磁干扰消失后, 干扰随之消失。干扰无需维修。

**3.22 噪音 (noise) :** 致使话音业务质量下降的干扰, 该干扰可能由感应电信设备造成。

**3.23 故障 (malfunction) :** 对安装在感应电信设备周边的设备产生的干扰, 此种类型的干扰会造成这些设备无法启动或继续提供厂商设计的功能, 或设备产生辐射的强度将超出电磁兼容性设计规定的范围。

**3.24 影响距离 (influence distance)：**来自电力设备的感应耦合、电容耦合或电导耦合，或者三者的组合可对电信设备产生干扰的距离。

注一理论上而言，电力设备产生影响的距离是无限的：距离越远，干扰越小。

**3.25 基准影响距离 (reference influence distance)：**需要考虑电力设备将产生干扰的最大距离。

注一从实际情况而言，本建议书没有必要考虑大于基准影响距离的情况。

**3.26 感应长度 (induced length)：**电信线路在电力或电力牵引线路上的投影，起点为电信线路进入电力或电力牵引线路基准影响距离 ( $d$ ) 时的那一点，终点为电信线路离开其影响距离时的点 (见图1)。

注一 当部分线路或整条线路都在干扰暴露区内时，应研究对整条线路的干扰。

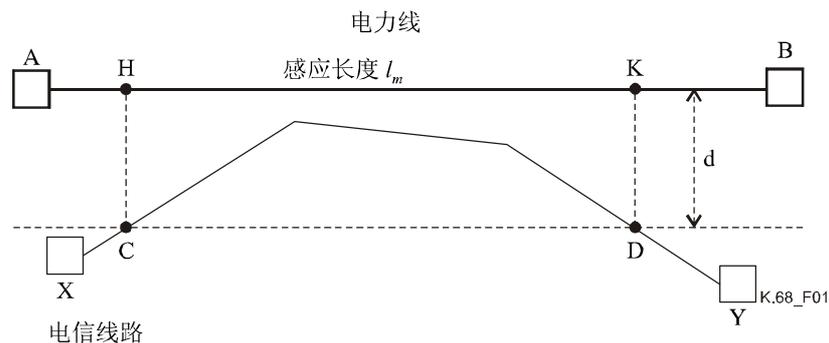


图 1/K.68 – 感应长度

**3.27 接地 (earth)：**地面的导电部分，其任何一点的电位均为零 (在有些国家英文使用 “ground” 而不是 “earth”)。

**3.28 感应电压 (induced voltage)：**由一台或多台施感电力设备的电磁干扰在感应电信设备中产生的电压。

**3.29 感应共模电压 (induced common mode voltage)：**共模条件完全相同的一组导体中的所有导体都相同的感应电压，此电压出现在电信设备给定位置的该组导体与地面之间 (见图2)。

注一 当导体的一端接地时，最大共模电压一般出现在导体的另一端。

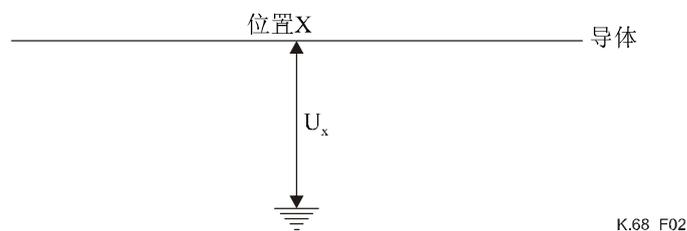


图 2/K.68 – 感应共模电压

**3.30 感应差模电压 (induced differential mode voltage) :** 在电信设备某指定位置的、一组特定金属导体内任意两个导体之间的感应电压 (见图3)。

注—通常重要的电压是对称线对的两个导体之间的电压。有些情况下,两个不同线对之间的电压亦非常重要。

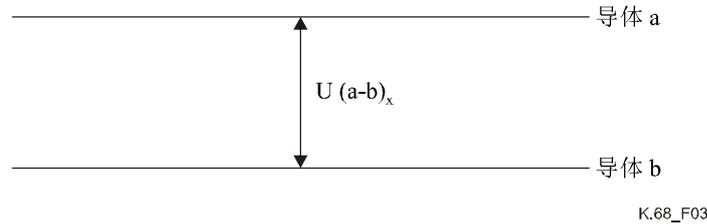


图3/K.68 – 感应差模电压

**3.31 等效土壤电阻率 (equivalent soil resistivity) :** 用于干扰管理的电力和电信设备所在位置的、分层土壤表现出的均匀的土壤电阻率。

注—设备周边相同的土壤电阻率可能会有不同的值。

**3.32 噪声电压或电流 (psophometric voltage or current) :** 噪声电压或电流是电话线上的电压或电流 (共模或异模)  $U_p$  或  $I_p$ , 通过以下表达式得出:

$$U_p = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (p_f U_f)^2} \quad [V] \quad (1a)$$

$$I_p = \frac{1}{p_{800}} \sqrt{\sum (p_f I_f)^2} \quad [A] \quad (1b)$$

其中:

$U_f$  或  $I_f$  为电压[V]或电流[A]在频率 $f$ 的分量

$p_f$  为此频率的加权, 反映人耳对此频率的响应度, 由与噪声计规范相关的加权表所示。附件一中的表给出了各频率的 $p_f$ 值, 此时 $p_{800}$ 通常等于1000。

**3.33 农村地区 (rural area) :** 当地金属结构与土壤间的直接电接点密度很低的地区。

**3.34 城市地区 (urban area) :** 当地金属结构与土壤间的直接电接点密度很高的地区, 其中包括水管、具有裸露金属护层的电缆、裸露的铜质地线、有轨电车的轨道、地下或地上牵引系统、接地端、建筑结构、桅杆和地基。

**3.35 干扰结构 (interference frame) :** 应作为整体研究的与某一设备相关的全部干扰内容。

感应设备的干扰结构包括感应设备本身和所有引发感应的设备。施感设备的干扰结构, 包括施感设备本身和所有受其影响的感应设备。

**3.36 干扰后果 (interference result) :** 可描述干扰量的电量。干扰后果可以通过计算或测量方式得到评估。

**3.37 干扰的影响 (interference effect) :** 干扰对触摸感应设备的人、感应设备本身或与之相连的设备的的影响。

**3.38 抗扰度 (immunity)：**某种装置、设备或系统在干扰情况下工作而不降低性能的能力，见3.21。

**3.39 抗干扰能力 (resistibility)：**出现电磁干扰现象时，某种装置、设备或系统按照特定的标准，最高可在某种具体程度上抵抗此类干扰而不发生损害的能力。

**3.40 管理电压 (management voltage)：**通用名称，包括用于评估某种干扰情况是否可以接受的所有感应电压，即：

- 与对电信设备使用者造成的危险相关的限值；
- 与噪音相关的限值；
- 与电信设备相连的设备的最低抗干扰电压值；
- 电信设备最低绝缘耐压值；
- 与电信设备相连的设备的最低抗扰电压值。

**3.41 典型情况 (typical situation)：**供电系统造成的、典型电磁干扰情况的特性包括如下几个方面：

- 由训练有素、经验丰富的人员开展与电信设备相关的工作；
- 工作条件为仅需考虑手到手和手到脚电流通路的条件；
- 容许电流为[5]规定的电流（图20，曲线 $c_2$ ）。

**3.42 苛刻情况 (severe situation)：**供电系统造成的、典型电磁干扰情况特性不适用的情况称为苛刻情况。苛刻情况包括以下几个方面：

- 工作条件为需考虑手到手、手到脚、手到胸和手到臀的电流通路条件；
- 假设源阻抗值为零；
- 容许电流为[5]规定的电流（图20，曲线 $c_1$ ）。

## 4 评估电磁干扰的程序

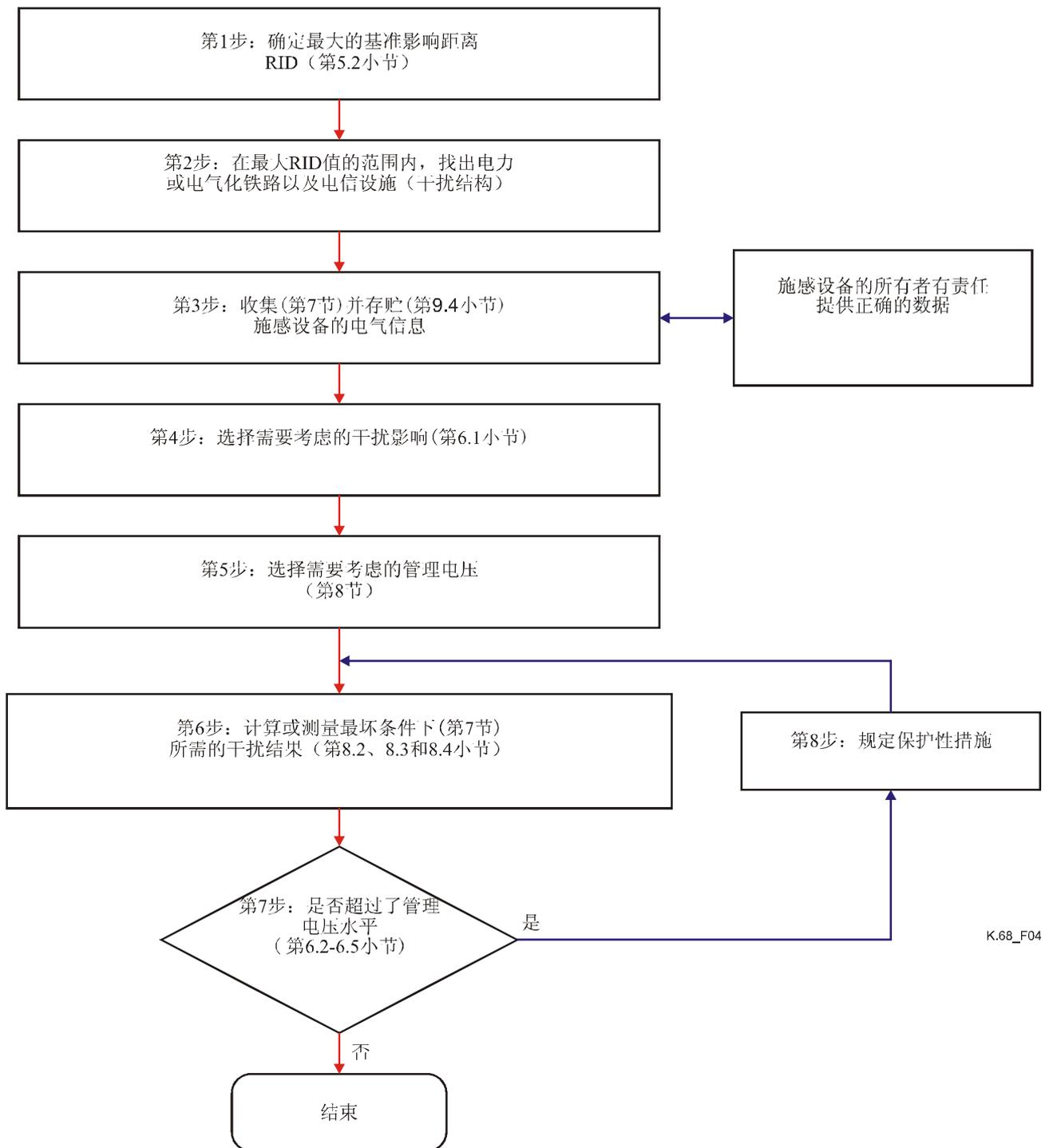
### 4.1 概述

为了评估干扰情况是否可以接受，设计者必须实施以下步骤（见图4）。

以下各节就如何开展相关工作提出建议<sup>1</sup>。

---

<sup>1</sup> 这里描述的程序系指面对现有电力设备设计新电信设备的程序，诚然，相反情况也会出现。设计新施感设备的程序与此相似，但也存在一些“明显”的差别。



K.68\_F04

图4/K.68 –概括电磁干扰评估程序的流程图

## 4.2 干扰结构

根据最大基准距离（由5.2小节给出），必须对可能的施感设备进行检查。检查可以通过调查方式和/或通过与此类设备的所有者联系，以了解其设计。之后，根据每一设备的类型，必须选择出相关的耦合类型（见5.1），并为每种耦合类型和可能的施感设备确定实际基准影响距离。根据实际基准影响距离，有些施感设备可以忽略不计。此步骤结束之后，即可得知感应设备的干扰结构。

### 4.3 收集施感设备的电气信息

当计划建造或改变某施感设备时，其所有者必须通知受影响设备的所有者。此类信息必须包括描述基准干扰条件所需的电气数据（第7节）。

施感设备的所有者应负责提供正确的数据：因此有必要对其进行记录（见9.4）。

### 4.4 对干扰后果以及是否符合管理电压进行评估

#### 4.4.1 背景原则

在感应设备类型的函数方面，并针对干扰结构中所有施感设备，设计者必须：

- 根据6.1选择需要考虑的干扰影响；
- 根据6.1评估上一步骤中选定的干扰影响的干扰后果；
- 根据8.2、8.3和8.4，进行计算、测量或二者兼具，对所需干扰后果进行评估。必须根据第7节的内容，选择需要研究的干扰情况（最严重干扰）。

#### 4.4.2 首次评估

应通过计算、测量或二者兼具的手段，在感应设备的基本设计配置中对是否符合管理电压（第6.2、6.3、6.4和6.5小节）做出评估。

如果干扰情况可以接受，则无需进行进一步的设计工作。

如果干扰情况不可接受，则需采用干扰减缓措施。

#### 4.4.3 干扰减缓措施的设计：后续评估

设计者必须通过计算、测量或两者适当的结合，选择可能的减缓措施并进行评估，从而找到最适合该感应设备的方法。

采用何种措施、对施感设备还是感应设备采取措施，取决于干扰的类型和程度、减缓措施的成本、以及该系统是已经存在还是处于设计阶段。与其它设计活动一样，最佳的方案就是在技术和经济要求之间达成一种很好的妥协。

设计者必须非常仔细的管理这一活动。

设计者必须考虑到能够降低感应设备（例如，该设备一端的接地连接）某部分感应影响的减缓措施可能会增强加对该设备其它部分的感应（例如，在该设备的对端）：因此，考虑各种感应配置十分重要。

设计者必须同时考虑到，能够解决某给定施感设备造成的不可接受干扰情况的减缓措施，同时可能会将另一施感设备造成的可接受干扰情况变为不可接受的情况。这意味着必须对干扰结构内所有设备给予足够的考虑。

注—总体而言，除变电站的电导耦合之外，情况应能够接受，但前提是感应线路应为有接地金属保护层或屏蔽电缆中的导体，且在两端均装有雷电防护装置，同时为防止不可接受的电流流经其主体采取了特殊的防范措施。

## 5 需研究的干扰情况

### 5.1 需要考虑的耦合类型

#### 5.1.1 规划阶段

下文的表1、2和3中定义了启用新设备之前需要（通过计算或测量）研究的耦合类型。

表1与单接地故障条件相关，并允许与绝缘和谐振接地系统的故障电流值处于低水平。

只有当电信系统进入供电接地栅极的EPR（接地电位上升）区时，才考虑电导耦合。

**表1/K.68—各种接地故障条件下电力设备需要考虑的耦合类型—规划阶段**

电力设备的类型		电信设备的类型		
		架空电缆		地下电缆
		无金属保护层	接地的金属保护层	
2相和3相交流架空电力系统	直接接地或阻抗很小的零线	感应电导	感应电导	感应电导
	绝缘或谐振接地的零线	无	无	无
2相和3相交流电力电缆系统	直接接地或阻抗很小的零线	感应电导	感应电导	感应电导
	未直接接地的零线	无	无	无
直流电力系统		无	无	无
交流电力牵引系统		感应电导	感应电导	感应电导
直流电力牵引系统		无	无	无

**表2/K.68 – 在正常工作时电力设备需要考虑的耦合类型，这些类型的耦合可能会对人产生危险或对电信设备造成损害– 规划阶段**

电力设备的类型		电信设备的类型		
		架空电缆		地下电缆
		无金属保护层	接地的金属保护层	
3相交流架空电力系统	各种类型的零线接地	感应 电容	感应	感应
3相交流电力电缆系统	各种类型的零线接地	无	无	无
直流电力系统		无	无	无
交流电力牵引系统		感应	感应 电导	感应 电导
直流电力牵引系统		无	感应	感应

**表3/K.68 – 在正常工作时电力设备需要考虑的可能会对电信设备产生干扰的耦合类型– 规划阶段**

电力设备的类型		电信设备的类型		
		架空电缆		地下电缆
		无金属保护层	接地的金属保护层	
3相交流架空电力系统	各种类型的零线接地	感应	感应	感应
3相交流电力电缆系统	各种类型的零线接地	无	无	无
直流电力系统		无	无	无
交流电力牵引系统		感应	感应电导	感应电导
直流电力牵引系统		无	无	无

### 5.1.2 工作阶段

表1、2和3中规定之外的所有耦合类型，一般不会产生危险、损害或干扰，因此只有当干扰影响显现时才对其进行计算或测量。

## 5.2 基准影响距离

### 5.2.1 概述

与某给定电信设备之间的距离小于或等于基准影响距离（RID）的电力设备，应被当作此电信设备的施感设备。因此，可以为感应电信设备设定干扰结构。

与某给定电力设备之间的距离小于或等于基准影响距离（RID）的电信设备，应被当作此电力设备的感应设备。因此，可以为施感电力设备设定干扰结构。

RID的目标是限制需要考虑的施感设备的数量并提供必要的施感电流 / 电压值。

本建议书建议使用以下各节中给出RID的值：已经通过附件A中的方法对这些RID值进行了评估，且附录二中的假设是基于电力线故障条件中的最恶劣条件和电力牵引线的正常条件（表中给出的值是指最恶劣的情况，即较大的RID值）；但各国的国家委员会或管理机构所定义的值可能不同，或者这些值的定义须使用附件A中的方法，经相关方的同意才能生效，并根据II.2中给出的值对相关参数假设不同的值，以更好地适应各国的情况。II.1中给出了这些参数的一系列值。

RID的实用目标是让人们了解必须向电力/牵引/电信主管部门或网络运营商查询哪些设备的电气数据。但RID的概念并不能免除由于干扰距离超出RID值而可能产生干扰的相关方的责任。

RID可以从电力线中心到地面的投影开始测量。

## 5.2.2 感应耦合

### 5.2.2.1 故障条件

#### 5.2.2.1.1 交流电力线

表4中给出的典型情况下的RID值和表5中给出的苛刻情况下的RID值，适用于 $f = 50/60$  Hz情况。

这些表中给出的短途（例如接入网）或长途无屏蔽电信线路的RID值，是等值土壤电阻率的函数，用于农村和城市地区有直接接地零线的架空和地下交流电力线。

表4/K.68 – 典型情况下50/60 Hz交流电力系统的RID值

电信系统的长度	等值土壤电阻率 [ $\Omega$ m]	RID [m]			
		电力系统/环境			
		架空		地下	
		农村	城市	农村	城市
短途线路	50	550	70	注	注
	500	1700	100	注	
	5000	5400	100	300	
长途线路	50	1200	500	300	20
	500	3700	1200	1000	
	5000	12000	2400	3100	

注- 无干扰。

表5/K.68 –苛刻情况下50/60 Hz交流电力系统的RID值

电信线路的长度	等值土壤电阻率 [Ωm]	RID [m]			
		电力系统/环境			
		架空		地下	
		农村	城市	农村	城市
短途线路	50	1000	400	250	注
	500	3300	800	750	
	5000	10000	1450	2400	
长途线路	50	1800	1050	750	200
	500	5800	2600	2400	400
	5000	18000	6500	7500	600

注- 无干扰。

通常没有直接接地零线的交流电力线，在典型情况下不会对电信线路造成干扰（只在特殊情况下才会出现干扰，见II.1）；在苛刻情况下，只有农村的交流架空电力线会对长途电信线路产生干扰。在这种情况下，应使用下述RID值：

- $\Omega = 50 \text{ } \mu\text{m}$ 时为30 m；
- $\Omega = 500 \text{ } \mu\text{m}$ 时为100 m；
- $\Omega = 5000 \text{ } \mu\text{m}$ 时为300 m；

表6中给出的典型与苛刻情况下的RID值，应适用于 $f = 16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ 的两相交流电力设备。

表6中给出的无屏蔽（例如接入网）短途或长途RID值，是农村地区架空交流线中等值土壤电阻率的函数。

注1-默认地下电力线为屏蔽线。如果有绝缘塑料外壳的屏蔽装置仅在一端与地面相连，则地下线路应被当作是架空线路。

注2-在农村地区交流电力线是“架空”线路，而在城市地区只安装了地下线路。

表6/K.68 –在 $16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ 的典型与苛刻情况下，两相交流电力系统的RID值

电力系统/ 环境	等值土壤电 阻率 [Ωm]	RID [m]			
		电信系统			
		典型情况		苛刻情况	
		短途线路	长途线路	短途线路	长途线路
架空/农村	50	100	700	800	1800
	500	300	2200	2500	5800
	5000	1000	7000	8000	18000

### 5.2.2.1.2 直流电力线

正在研究。

### 5.2.2.2 正常工作

#### 5.2.2.2.1 交流电力牵引线

##### 5.2.2.2.1.1 基频感应的RID

表7中给出的50/60Hz和表8中给出的16 $\frac{2}{3}$  Hz RID值应适用于交流电力牵引线，这些线路中有可用于典型和苛刻情况的简单轨道和接地回线（RR）。

表9中给出的50/60Hz和表10中给出的16 $\frac{2}{3}$  Hz RID值应适用于交流电力牵引线，这些线路中有可用于典型和苛刻情况的特殊馈电系统（自动变压器（AT）或升压变压器（BT））。

这些表中给出的短途（例如接入网）或长途无屏蔽电信线路的RID值，是等值土壤电阻率的函数，用于农村和城市地区的架空和地下交流电力线。

**表 7/K.68 –典型与苛刻情况下50/60 Hz频率上具有简单轨道和回线（RR）馈电系统的交流牵引线路的RID值**

电力系统/ 环境	等值土壤电阻率 [ $\Omega\text{m}$ ]	RID [m]	
		电信系统	
		短途线路	长途线路
架空/农村	50	700	1350
	500	2200	4300
	5000	7000	13500
架空/城市	50	140	600
	500	250	1600
	5000	300	3500

**表8/K.68 –典型与苛刻情况下16 $\frac{2}{3}$ Hz频率上具有简单轨道和回线（RR）馈电系统的交流牵引线路的RID值**

电力系统/ 环境	等值土壤电阻率 [ $\Omega\text{m}$ ]	RID [m]	
		电信系统	
		短途线路	长途线路
架空/农村	50	450	1400
	500	1400	4300
	5000	4500	13500
架空/城市	50	15	400
	500		800
	5000		1200

表9/K.68 –典型与苛刻情况下50/60 Hz频率上具有特殊（AT或BT）馈电系统的交流牵引线路的RID值

电力系统/ 环境	等值土壤电阻率 [Ωm]	RID [m]	
		电信系统	
		短途线路	长途线路
架空/农村	50	160	600
	500	500	2000
	5000	1000	2800
架空/城市	50	注	130
	500		240
	5000		300

注- 无干扰。

表10/K.68 –典型与苛刻情况下16⅔Hz频率上具有特殊（AT或BT）馈电系统的交流牵引线路的RID值

电力系统/ 环境	等值土壤电阻率 [Ωm]	RID [m]	
		电信系统	
		短途线路	长途线路
架空/农村	50	10	280
	500	30	900
	5000	500	5000
架空/城市	50	注	注
	500		
	5000		

注- 无干扰。

#### 5.2.2.2.1.2 噪声频率感应的RID

为有频率逆变器和异步电动机的牵引机组计算的RID值低于与电力频率相关的值，其中为带滤波器的二极管（半导体闸流管）机车和半导体闸流管控制的混合型无滤波器二极管机车计算的RID值分别在表11和表12中列出了相应的典型和苛刻情况。这些RID值大于与频率相关的RID值。

表11/K.68 –典型与苛刻情况下50/60 Hz频率上带滤波器的二极管（半导体闸流管）机车交流牵引线路的RID值

电力系统/ 环境	等值土壤电阻率 [Ωm]	RID [m]	
		电信系统	
		短途线路	长途线路
架空/农村	50	940	不相关
	500	3000	
	5000	9400	
架空/城市	50	650	
	500	1800	
	5000	5300	

表12/K.68 –典型与苛刻情况下50/60 Hz半导体闸流管控制的混合型无滤波器二极管机车交流牵引线路的RID值

电力系统/ 环境	等值土壤电阻率 [Ωm]	RID [m]	
		电信系统	
		短途线路	长途线路
架空/农村	50	1900	不相关
	500	6000	
	5000	19000	
架空/城市	50	1250	
	500	3500	
	5000	9400	

#### 5.2.2.2.2 直流电力牵引线

正在研究。

#### 5.2.3 电容耦合

只有当感应和施感线均为架空且未屏蔽时，基准影响距离才应当为100 m。在其它情况下电容耦合均被忽略。

#### 5.2.4 电导耦合

在计算电导耦合的RID时应当考虑嵌入接地电极（栅极）系统的土壤表层电阻率。

##### 5.2.4.1 变电站接地栅极

表13中给出的典型情况和表14中给出的苛刻情况的RID值，应适用于 $f = 50/60$  Hz。

这些表中给出的短途（例如接入网）或长途无屏蔽电信线路的RID值，是等值土壤电阻率的函数，用于农村和城市地区具有直接接地零线的架空、混合和地下交流电力线。

注-变电站不可能位于土壤电阻率很高的地区，因此，考虑到500 Ωm的值覆盖了150 Ωm到1500 Ωm的范围，所以可能不会使用用于5000 Ωm的RID值，如表 II.1所示。

**表13/K.68 -50/60 Hz 交流电力系统典型情况下的RID值  
(因变电站接地栅极造成的电导耦合)**

变电站栅极的大小 [m <sup>2</sup> ]	土壤电阻率 [Ωm]	RID [m]					
		电力系统/环境					
		架空		混合		地下	
		农村	城市	农村	城市	农村	城市
225 (15 m × 15 m)	50	40	15	10	注	注	注
	500	450	150	200	60	90	30
	5000	4700	1150	1900	450	900	200
2500 (50 m × 50 m)	50	50	10	5	注	注	注
	500	700	200	250	75	120	30
	5000	7000	1700	2800	680	1400	300
22500 (150 m × 150 m)	50	30	注	注	注	注	注
	500	850	250	300	60	120	2
	5000	9300	2200	3700	850	1800	400

注-无干扰。

**表14/K.68 - 50/60 Hz 交流电力系统苛刻情况下的RID值  
(因变电站接地栅极造成的电导耦合)**

变电站栅极的大小 [m <sup>2</sup> ]	土壤电阻率 [Ωm]	RID [m]					
		电力系统/环境					
		架空		混合		地下	
		农村	城市	农村	城市	农村	城市
225 (15 m × 15 m)	50	100	40	40	10	15	注
	500	1100	400	430	150	200	70
	5000	11000	2700	4300	1000	2200	500
2500 (50 m × 50 m)	50	140	50	40	5	10	注
	500	1600	500	600	200	300	90
	5000	16400	4000	6500	1600	3200	800
22500 (150 m × 150 m)	50	150	30	20	注	注	注
	500	2100	700	800	200	350	80
	5000	21800	5400	8600	2100	4300	1000

注-无干扰。

### 5.2.4.2 接地电力线架

表15中给出的典型情况和表16中给出的苛刻情况的RID值，应适用于 $f = 50/60$  Hz。

这些表中给出的短途（例如接入网）或长途无屏蔽电信线路的RID值，是等值土壤电阻率的函数，用于农村和城市地区具有直接接地零线的架空交流电力线。

如果测得的值与表15和16中的值不同，则应以测得的值为标准。

**表15/K.68 – 50/60 Hz交流电力系统典型情况下的RID值  
(因电力线架造成的电导耦合)**

屏蔽线配置	土壤电阻率 [ $\Omega\text{m}$ ]	RID [m]	
		电力系统/环境	
		架空/农村	架空/城市
1 sw	50	15	6
	500	25	8
	5000	30	8
2 sw	50	10	4
	500	15	6
	5000	20	5
1 sw + cp	50	3	1
	500	7	2
	5000	15	3

**表16/K.68 – 50/60 Hz交流电力系统苛刻情况下的RID值  
(因电力线架造成的电导耦合)**

屏蔽线配置	土壤电阻率 [ $\Omega\text{m}$ ]	RID [m]	
		电力系统/环境	
		架空/农村	架空/城市
1 sw	50	30	15
	500	55	30
	5000	80	30
2 sw	50	20	10
	500	40	15
	5000	50	15
1 sw + cp	50	6	3
	500	15	5
	5000	30	7

### 5.2.4.3 交流电力牵引系统

典型与苛刻情况的RID值均为5 m。

## 6 管理电压

### 6.1 确定管理电压应用的标准

表17给出了最坏情况下对电磁干扰进行定量时，需要考虑的影响和需要评估的电磁干扰后果：相关的管理电压在第6.2、6.3、6.4和6.5小节中给出。

表17/K.68 – 需要考虑的影响和相关结果

对感应设备的影响	施感设备	是否需要考虑这一影响	干扰后果
危险	正常工作	是	接地电压
	故障条件	是	接地电压
损害	正常工作	是	接地电压
	故障条件	是	接地电压
干扰	正常工作	是	线对的两条线之间的电压
	故障条件	否	-----

### 6.2 危险电压：限制

#### 6.2.1 概述

本节给出了在正常工作和故障条件下，电信设备附近的交流电力或电力牵引设备对电信设备造成的影响感应电压值和时长，这些条件允许电力和牵引设备运营商在不会对使用电信设备的人员造成危险的情况下，对感应电信设备产生任何类型的电磁耦合。

注-禁止电信业务的客户接触电信网络的金属元件。（见ITU-T K.50建议书）

#### 6.2.2 故障条件

表18给出了典型情况下，表19给出了苛刻情况下，感应电信设备任一点的接地感应共模电压限值。

注1-使用ITU-T K.33建议书可计算出不同的限制值。

注2-《基本原则》第六卷解释表中各数值的合理性。

**表18/K.68 –由交流电设备在故障条件下产生的电磁干扰的危险限值：典型情况**

基准故障时长 t [s]	感应电压 r.m.s. [V]
$t \leq 0.10$	2000
$0.10 < t \leq 0.20$	1500
$0.20 < t \leq 0.35$	1000
$0.35 < t \leq 0.50$	650
$0.50 < t \leq 1.00$	430
$1.00 < t \leq 3.00$	150
$3.00 < t$	60

**表19/K.68 –由交流电设备在故障条件下产生的电磁干扰的危险限值：苛刻情况**

基准故障时长 t [s]	感应电压 r.m.s. [V]	在无需考虑电流路径流经胸部和 臀部时的感应电压r.m.s. [V]
$t \leq 0.06$	430	650
$0.06 < t \leq 0.1$	430	430
$0.1 < t \leq 1.0$	300	300
$t > 1.0$	60	60

对于直流电力系统的故障，感应共模电压在瞬时条件下，其感应电信设备任意一点的接地，都不应超过表18和表19中分别为典型情况与苛刻情况给出的最大值。

注3 一实现危险防护的前提如下：感应线路应为有接地金属保护层或屏蔽电缆中的导体，且所有导体在两端均装有雷电防护装置，保护层在设定的间隔接地，同时为防止不可接受的电流流经身体需采取特殊的防范措施。

### 6.2.3 正常工作

在感应电信设备的任意一点、由干扰结构内所有感应电力设备产生的接地感应共模电压，在正常工作条件下（同时出现）的限值为60 V r.m.s.。

### 6.3 损害电压

本节说明在正常工作和故障条件下，电信设备附近的电力或电力牵引设备对电信设备造成影响的感应电压值和时长，这些条件允许电力和牵引设备运营商在不负责提供绝缘和/或电信设备损害减缓措施情况下，对感应电信设备产生任何类型的电磁耦合。

在电力设备故障条件下有可能造成损害时，感应电信设备任何一点接地的感应共模电压值如下：

- 1) 表20中给出的值，即与电信设备相连的最低抗干扰水平；  
注1-对于瞬时条件下直流电力设备产生的电磁干扰，其限值为表20中给出的r.m.s.感应电压峰值。
- 2) 1000 V r.m.s.，即由（有纸绝缘导体的）对称电缆组成的电信设备的最小绝缘耐压值，其与基准故障时长无关；
- 3) 2000 V r.m.s.，即由同轴电缆组成的电信设备的最小绝缘耐压值，其与基准故障时长无关；
- 4) 2000 V r.m.s.即由（有金属部分的）光纤电缆组成的电信设备的最小绝缘耐压值，其与基准故障时长无关。  
注2-为防止对绝缘设备和/或电信设备造成损害，感应线路应为有接地金属保护层或屏蔽电缆中的导体，且所有导体在两端均装有雷电防护装置。

**表20/K.68 – 与电信设备相连的装置的最低抗干扰水平作为交流电设备故障时长的函数**

基准故障时长 t [s]	感应电压 r.m.s. [V]
$t \leq 0.20$	1030
$0.20 < t \leq 0.35$	780
$0.35 < t \leq 0.50$	650
$0.50 < t \leq 1.0$	430
$1.0 < t \leq 2.0$	300
$2.0 < t \leq 3.0$	250
$3.0 < t \leq 5.0$	200
$5.0 < t \leq 10.0$	150
$t > 10.0$	60

#### 6.4 抗扰电压

由干扰结构内所有施感电力设备在正常工作条件下共同产生的、可能会使与电信设备相连接装置发生故障的感应电压值为：

- 在感应电信设备任一点的感应接地共模电压为60 V r.m.s.；
- 在感应电信设备任一点的、同一位置两金属部分之间的感应电压为60 V r.m.s.。

#### 6.5 噪音电压：限制

由干扰结构中所有施感电力设备在正常工作条件下共同产生的、感应电信设备线对的两条线间的感应噪音电压限值在感应电信设备的任何终端处均为0.5 mV，该电压会降低由感应电信设备提供的、基于话音的业务的质量。

注1-K.10建议书第6节给出的LCL值，在任何感应电信线路终端，都会产生200 mV允许纵向感应噪声电压。

注2-当电磁干扰来自牵引系统时，如果感应噪声电压大于本节给出的噪音限值，但低于2.5 mV，则在间隔最长为一分钟、各种噪声电压之和大于0.5 mV和相关时长小于或等于30 mV的情况下，该噪音可以容忍。

## 7 基准干扰条件

### 7.1 概述

第6节中给出的管理电压是指同时符合以下两项要求的干扰条件：实际（出现的概率不能太低）且是最严重的情况。

对于施感设备，基准干扰条件通常使用施感参数（相关方法的电流、电压、长度等）的最大值。

考虑到这一点，本建议书只能给出基准干扰条件的指导性原则：对于复杂的设备（例如，装有自动变压器或升压变压器的交流电力牵引设备）尤其如此。由于涉及多个参数，在大多数情况下，无法为确定假设的最坏干扰条件：感应设备的最坏情况不一定表现为感应电压呈最大值，它也可能是不可接受的感应电压出现位置的最宽部分。

设计者应仔细研究不同的干扰条件，以便在对所有干扰后果进行研究的基础上，对最坏情况做出评估。

对于感应设备，根据设计数据，基准干扰条件是最佳保护性配置所代表的条件。

电信设备之间的失衡，必须符合ITU-T K. 10 [3]建议书的要求。

### 7.2 与施感设备相关的条件

#### 7.2.1 交流电力系统

##### 7.2.1.1 故障条件

需要考虑的故障条件是接地故障前的相位。

注-这些值与接地短路电流的瞬变相位相关。同时亦应考虑次瞬变的第一个峰值，即在某个发电站的变电站中的值。

故障电流值应由相关交流供电设备的运营机构提供。此电流应允许按计划增加该设备的故障电流水平。

由于施感线路上的所有点都有可能成为故障点，所以应为包括变电站在内的施感设备上的所有点提供接地故障电流。

故障电流的值应为以框图、表达式或表的形式提供的真实施感电流值，同时要考虑降低接地顶线等情况造成的影响。

基准故障时长应由电力公司根据中断保护的设置或适用于被检设备的统计故障数据提供。

##### 7.2.1.1.1 电导耦合

必须测量由变电站产生的电导耦合在电信系统中产生的电压，因为这种情况在各个地区会有很大差别。测量使用电流为几十安培的测试发电机。最好使用基频以外的其它频率，例如靠近5-10 Hz以下的频率。使用选频电压表可以在测试结果中避免来自基频的干扰。造成电子顺磁共振（EPR）的电流是流经变电站接地栅极的电流，它仅是全部故障电流中的一部分。

将测试结果与（接地栅极电流）/（测试电流）之间的比相乘便可得出基准干扰电压。

如果变电站接地栅极和接地电流这两个参数已知，则可计算出由于变电站产生的电导耦合而在电信系统中产生的电压。如果有些参数未知或变电站位于城市地区亦或变电站附近的土壤具有很高的不均匀性，则必须对电压进行测量。

与注入发电机相关的电流探测器应放置在与变电站相距足够远的地方，以避免栅极与探测器之间产生明显的耦合。与注入和EPR测量探测器相关的导体应至少呈90度放置，以避免在它们之间发生互感。

### 7.2.1.1.2 感应耦合

应由评估工程师挑选评估干扰后果（将与限制进行比较）的故障地点，因为该干扰将对某特定电信线路造成最坏的感应情况。

图5所示为从变电站A流向变电站B的故障电流的长度轮廓，该曲线是电力线上故障点的函数。在这种情况下，任一点的电力线接地阻抗均相同，如均为 $0\ \Omega$ 。

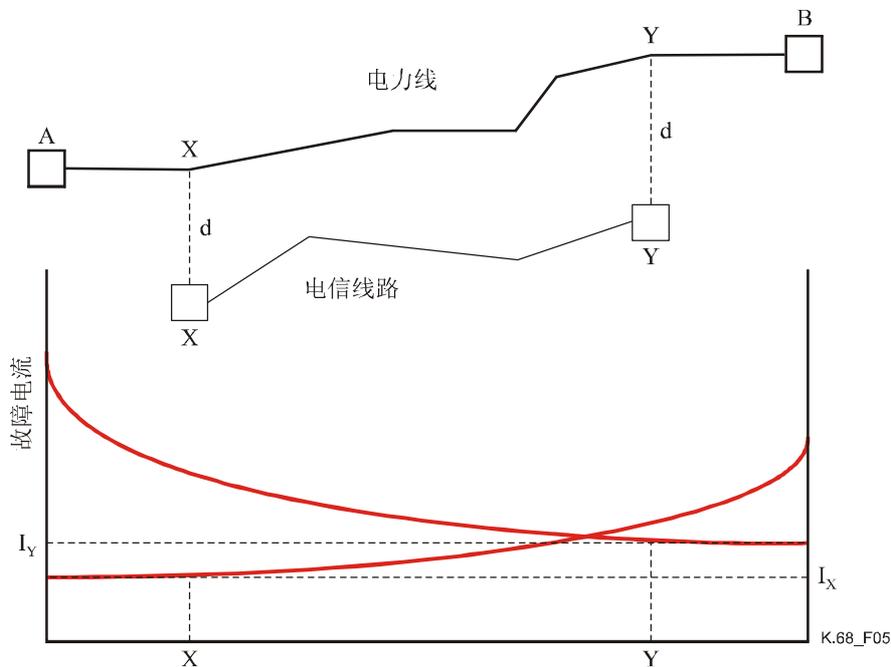


图5/K.68 – 线路故障阻抗相同设备的故障地点（例如，X和Y）的接地故障电流典型变化

来自变电站A的故障电流沿该线从变电站A向变电站B下降。位置Y，即电信线路X – Y投影的一端，出现的故障通常会在变电站A产生最高感应电压。

来自变电站B的电流将在故障位置X处产生最高感应电压。由于 $I_Y$  大于 $I_X$ ，因此 $I_Y$  给出了最坏情况。

图6所示为电力线两端接地故障阻抗值较小的情况，其原因是变电站处的阻抗为 $0 \Omega$ 。在这条线上的任何一点，其值都有可能为 $15 \Omega$ 。因此，变电站之外的电流轮廓中还应存在一阶，而且不仅要考虑因发生在X和Y这两端的故障而产生的故障电流，还要对变电站A和B馈电产生的故障电流进行检查和比较。

在这种情况下，变电器A的电流 $I_Z$  将产生最高电压，因为它大于 $I_X$  和 $I_Y$ 。

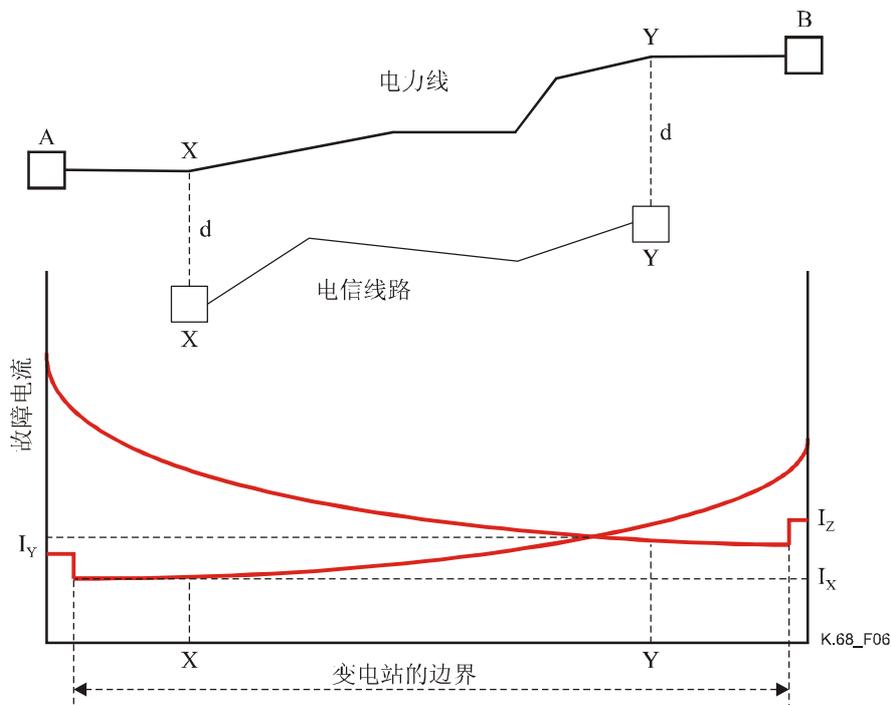


图6/K.68 – 与设备相关的接地故障电流的典型长度轮廓，其中故障阻抗在两端（变电站）较小而在线上（更加实际的情况）较大

### 7.2.1.2 工作条件

对于感应耦合，施感电流是失衡率为2%的连续相电流。在进行相位退出操作时，需要考虑的施感电流为电力线路额定电流的三分之二。

对于电容耦合，施感电压为额定电压的110%。

## 7.2.2 直流电力系统

### 7.2.2.1 故障条件

正在研究。

### 7.2.2.2 工作条件

对于电导耦合，施感电流是因整流而产生的脉冲电流，该电流与最坏操作情况（例如，设备维护期间）相关。

供电主管部门应提供这些数值。

## 7.2.3 交流电力牵引系统

### 7.2.3.1 故障条件

需要考虑的故障条件为牵引线路导体产生的接地故障电流（通常为接触线，为找出最恶劣条件，亦应考虑非接触线类导体。）

对故障电流的评估应基于对施感设备来源和线路阻抗的了解。应假设故障时故障源的电压处于最大值（额定电压的110%）且故障阻抗为 $0\ \Omega$ 。

牵引业务运营商应提供这些数值。

应由评估设计者挑选评估干扰后果（将与限制进行比较）的故障地点，因为该干扰会产生最坏的感应情况。

可能需要通过研究一系列案例来找出最坏情况故障的位置，特别是在自动变压器或升压变压器等特殊馈电系统中。

### 7.2.3.2 工作条件

#### a) 基频电流

牵引业务运营商应提供牵引设备（包括轨道和接地设备）所有导体的工作电流值，且在整个设备中允许：

- 建设电气系统；
- 将列车的位置设置在牵引返回导体与其它与升压器或自动变压器等电气化设备相关的交叉点；
- 所有相关轨道的电流。

#### b) 协频电流

牵引业务运营商应提供所有相关电流谐频值，同时考虑到系统谐振、系统电容，并将各电气列车机组当作电流源。或者，应由牵引业务运营商提供噪声电流值。

列车装置的负载模式应与上文a)中所用模式相同。

#### c) 线路开关

感应电流用于计算因激励交流牵引线路而产生的感应电压，而该感应电流的频率 $f$ 使用下述公式计算：

$$f = \frac{v}{4l} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

其中：

$v$  为传播速度 [km/s] (= 290 000 km/s)

$l$  为激励线路部分的长度 [km]

电流值通过下述公式计算：

$$I_s = E / Z_c \quad [\text{A}] \quad (3)$$

其中：

$E$  为供电电压脊值 [V]

$Z_c$  为接地环路悬链线的特性阻抗[ $\Omega$ ]

## 7.2.4 直流电力牵引系统

### 7.2.4.1 故障条件

正在研究。

### 7.2.4.2 工作条件

对于感应耦合，施感电流应为：

- a) 由整流产生的脉冲电流，该电流是在最恶劣的工作条件（例如，设备的维护期间）下评估（通过计算或测量）的结果；
- b) 列车设备负载模式产生的电流。

牵引设备主管部门应提供这些数值。

## 7.3 与电信设备相关的条件

感应电信设备的基准条件是设备安装设计中规定的条件。

因缺乏维护而造成的干扰保护不利不在考虑之列。

电信运营商应提供此类数值。

如有必要，应提供描述失衡情况的参数（必须牢记，电信设备的失衡应遵守ITU-T K.10 [3]建议书的规定）。

## 8 确定是否符合管理电压

### 8.1 概述

为确定是否符合管理电压值，感应电压的水平必须通过计算、测量，或二者适当结合的方式进行评估。

如果危险涉及人员安全，感应电压不应超过危险电压，即，第6.2节中规定的与危险相关的限制（根据情况不同，可能为典型或苛刻情况）。

如果与设备损害相关，则有两种方案可供选择：

- 1) 设备安装点或可能安装点的感应电压不应超过第6.3节规定的损害电压；
- 2) 设备安装点或可能安装点的感应电压可以超过第6.3节规定的损害电压，但前提是：
  - a) 抗干扰能力小于等于第6.3节规定值的设备，应得到足够的保护；
  - b) 应安装具有高抗干扰能力的设备（抗干扰能力的水平高于第6.3节给出的值）。

注1 – 第6.3节规定了与损害相关的电压值，其唯一目的是确定如何在施感与感应设备的所有者之间进行职责（如费用）划分。

如果与设备故障相关，则有两种方案可供选择：

- 1) 设备安装点或可能安装点的感应电压不应超过第6.4节规定的故障电压；
- 2) 设备安装点或可能安装点的感应电压可以超过第6.4节规定的故障电压，但必须安装具有增强抗扰度（抗扰度大于第6.4节给出的值）的设备。

注2 –第6.4节规定了与故障相关的电压值，其唯一目的是确定如何在施感与感应设备的所有者之间进行职责（如费用）划分。

涉及噪音时，在任一感应电信设备终端线对的两根线间评估的噪声电压值，均应小于等于第6.5节给出的噪音限值。

## 8.2 影响的重叠

在考虑某感应设备的干扰结构时，适用假设：

- 施感设备的故障（每个故障的时长都很短）不会同时出现：这意味着在故障条件下单施感设备应对感应设备产生的干扰后果应进行独立评估，并直接与相关管理电压进行比较；
- 所有施感设备的正常工作条件会同时出现：这意味着应该对在正常工作条件下施感设备对感应设备产生的干扰后果进行评估，并将这些“累积”结果与相关管理电压进行比较。

## 8.3 通过计算确定是否符合规定

通过计算确定是否符合规定的方式十分普遍。

计算应基于相关方之间确定的规定进行：应根据《基本原则》的规定，选择商定的计算方法。

## 8.4 通过测量确定是符合规定

由于展开全面的测量可能非常昂贵等多种原因，这种方式并未被广泛使用。此外，必须注意到，测量结果通常无法与管理电压进行直接比较，因为很难在与管理电压相关的基准干扰条件下进行测量。这意味着，在非最恶劣干扰条件下测量出的结果，需要通过计算方法进行适当的调整，才能得到能够与管理电压进行比较的值。

而在另一些情况下，例如已知计算的输入数据准确度很低或所用算法为近似算法，宜使用测量而不是计算的方式。例如，宜对噪音量进行测量而不是计算。

# 9 干扰的管理

## 9.1 概述

每种干扰情况都与人员安全或设备故障有关。这意味着必须对其进行仔细的管理（参见第4节），其目标是确保在设计的最初阶段，干扰值可以接受；如果需要，应提供适当的减缓措施（见4.4.3）。

通过相互合作解决干扰问题，符合所有相关设备所有者的利益。

## 9.2 设备使用期限

必须注意，设备的技术特性在其使用期限内通常会发生变化：因此在设备的使用期限内干扰状态亦会发生变化。

由于一台或多台设备技术特性的改变，或因新施感设备进入感应设备的干扰结构，而使可接受的干扰变为不可接受的干扰时，会出现很严重的情况：必须对这种情况进行适当的监测，监测与电磁干扰相关的设备在技术特性上随时间推移所发生的演变。

## 9.3 信息交流

必须考虑到某种干扰结构可能涉及分属多家所有者的多个施感 / 感应设备。这意味着正确、有效、可靠且及时地在所有相关公司之间交流信息至关重要。

管理这一问题可采取的一种方式，各公司都任命一名“干扰问题经理”，该经理应对与该公司相关的所有干扰问题有一个全面的了解，以便成为该公司交流有关干扰问题信息的联系人。

## 9.4 设备文件

确保干扰情况可控的可行方法之一是为每台设备建立干扰档案。

档案可根据该设备干扰情况的数量相应设立多个分档案：即一份电信设备的档案将包括与施感设备数量相应的分档案，而电力设备的档案将包括与感应设备数量相应的分档案（档案与干扰结构相关）。

各分档案将包括与问题相关的所有文件，例如：

- 与所有施感设备所有者（如果是电信设备档案）或感应设备所有者（如果是电力设备档案）的联系人，用以保存数据收集时间、方法和地点的记录；
- 对与干扰相关的设备进行几何及电气描述；
- 计算的结果（如果干扰在开始时可以接受，则进行一次计算；如果干扰在开始时为不可接受，则需要多次计算，因此需要设计干扰减缓措施：档案中应记载此种设计）；
- 测量的结果（如果存在）；
- 与干扰成本分摊相关的、任何其它设备所有者之间达成的协议文件（如果存在）。

每份分档案都应独立且完整。

与设备使用期限内设备的技术特性会发生变化相似，设备的干扰档案在设备使用期限内亦可能发生变化，因此，为记录设备的历史，可能有必要添加新的文件（文件仅能加入档案中）。

## 附件A

### 基准影响距离的评估方法

#### A.1 感应耦合

##### A.1.1 计算的原则

用于电力线和牵引系统的基准影响距离（RID），可在考虑到施感电流、可能的最大施感长度以及不同屏蔽操作的情况下，通过管理电压 $U_m$ 导出。第一步是通过下述表达式，计算下述归一化的管理电压值 $u_m$ ：

$$u_m = \frac{U_m}{l_m} \frac{1}{k_t} \frac{1}{k_u} \frac{1}{k_p} \frac{1}{I_p} \left[ \frac{V}{km \cdot kA} \right] \quad (A-1)$$

其中：

$U_m$  为与施感条件（故障或正常工作）相关的适当管理电压值，以及管理电压的种类（损害、抗干扰能力），单位为V

$l_m$  为在某种给定感应情况下，与设备相关的最大施感长度，单位为km

$k_t$  为与感应线路相关的屏蔽因子，无因次值

$k_u$  为掩埋的金属结构（城市因子）产生的屏蔽因子，无因次值

$k_p$  为与施感电力线路相关的屏蔽因子，无因次值

$I_p$  为带有施感电力线路接地回线的电流，单位为kA

由上述表达式给出的 $u_m$ 数值与施感线路和与施感线路平行的假设线路之间，在基准影响距离内的单位长度耦合阻抗 $z_m$ 值相等，即：

$$u_m = z_m \left[ \frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-2)$$

$z_m$ 的值是下述各量的函数：

$f$ : 施感电流的频率，单位为Hz

$\rho$ : 相应的土壤电阻率

$d$ : 感应耦合的基准影响距离

因此：

$$z_m = f(f, \rho, d) \left[ \frac{m\Omega}{km} \right] \quad (A-3)$$

在给定感应的情况下，对于需要研究的环境，频率 $f$ 和土壤电阻率 $\rho$ 均为已知数，基准影响距离 $d$ 可以通过上述关系进行评估。但使用下述方法之一，便可以确定 $d$ 的值。

## A.1.2 确定基准影响距离

### A.1.2.1 计算方法

原则上讲，任何给出带接地回线的耦合阻抗 $z_m$ 与该表达式（A-3）中出现的量的关系的表达式，都可用于计算感应耦合的RID值 $d$ 。《基本原则》的第二卷包括了这些关系（[6]中的第4.1节）。考虑到RID评估中估计的特性， $z_m$ 不需要高精度的表达式。因此，可使用下述多项式形式的表达式：

若  $x \leq 10$ :

$$|z_m| = 2\pi f \cdot 10^{-3} (142.5 + 45.96x - 1.413x^2 - 198.4 \ln x) \left[ \frac{m\Omega}{km} \right] \quad (\text{A-4a})$$

若  $x > 10$ :

$$|z_m| = 2\pi f \cdot 10^{-3} \frac{400}{x^2} \left[ \frac{m\Omega}{km} \right] \quad (\text{A-4b})$$

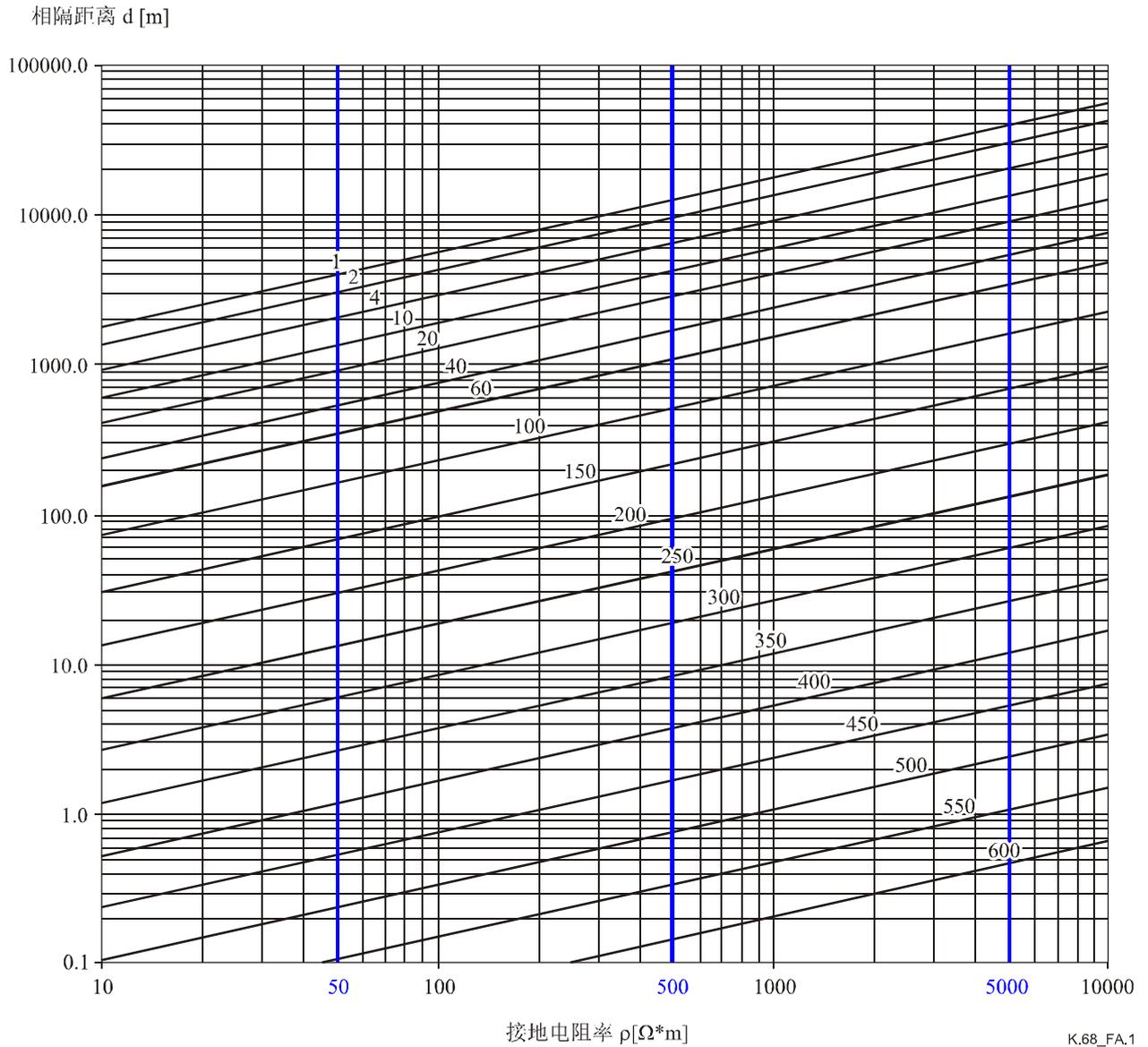
其中:

$$x = \alpha \cdot d = \sqrt{\mu_o \frac{\omega}{\rho}} \cdot d = 2.81 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{f}{\rho}} \cdot d \quad [-] \quad (\text{A-5})$$

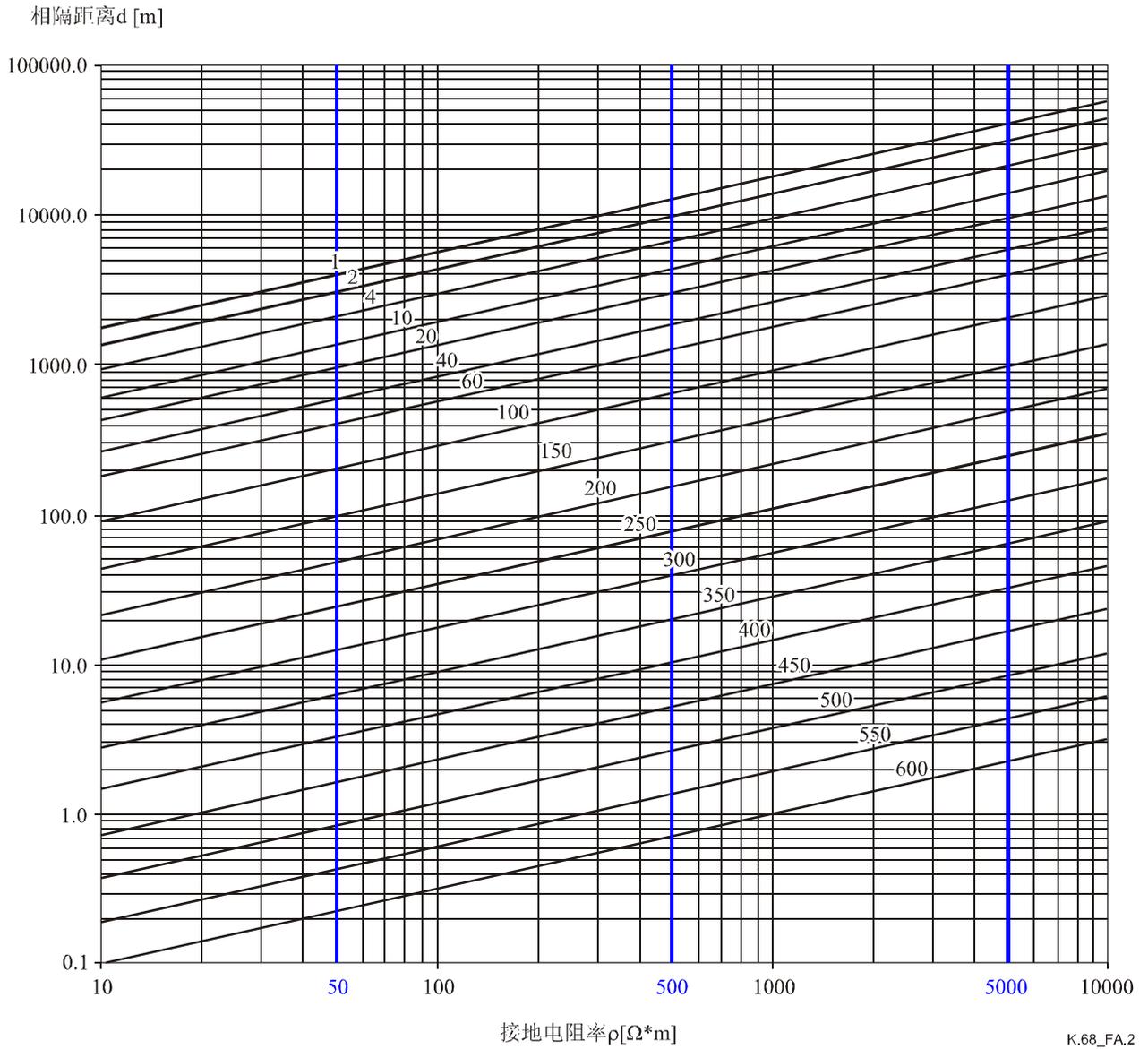
在根据实际条件选择了频率 $f$ 和接地电阻率 $\rho$ 后，通过公式（A-5），将 $x$ 作为 $d$ 的函数给出。将这一 $x$ 代入（A-4）并根据（A-1）和（A-2）确定 $|z_m|$ ，则能够得出 $|z_m|$ 与 $d$ 之间的关系。通过它，可计算出 $d$ 值，即所需的RID值。为便于进行这一计算，应使用特殊的计算机编码（例如使用迭代法）。

### A.1.2.2 使用曲线图进行确定

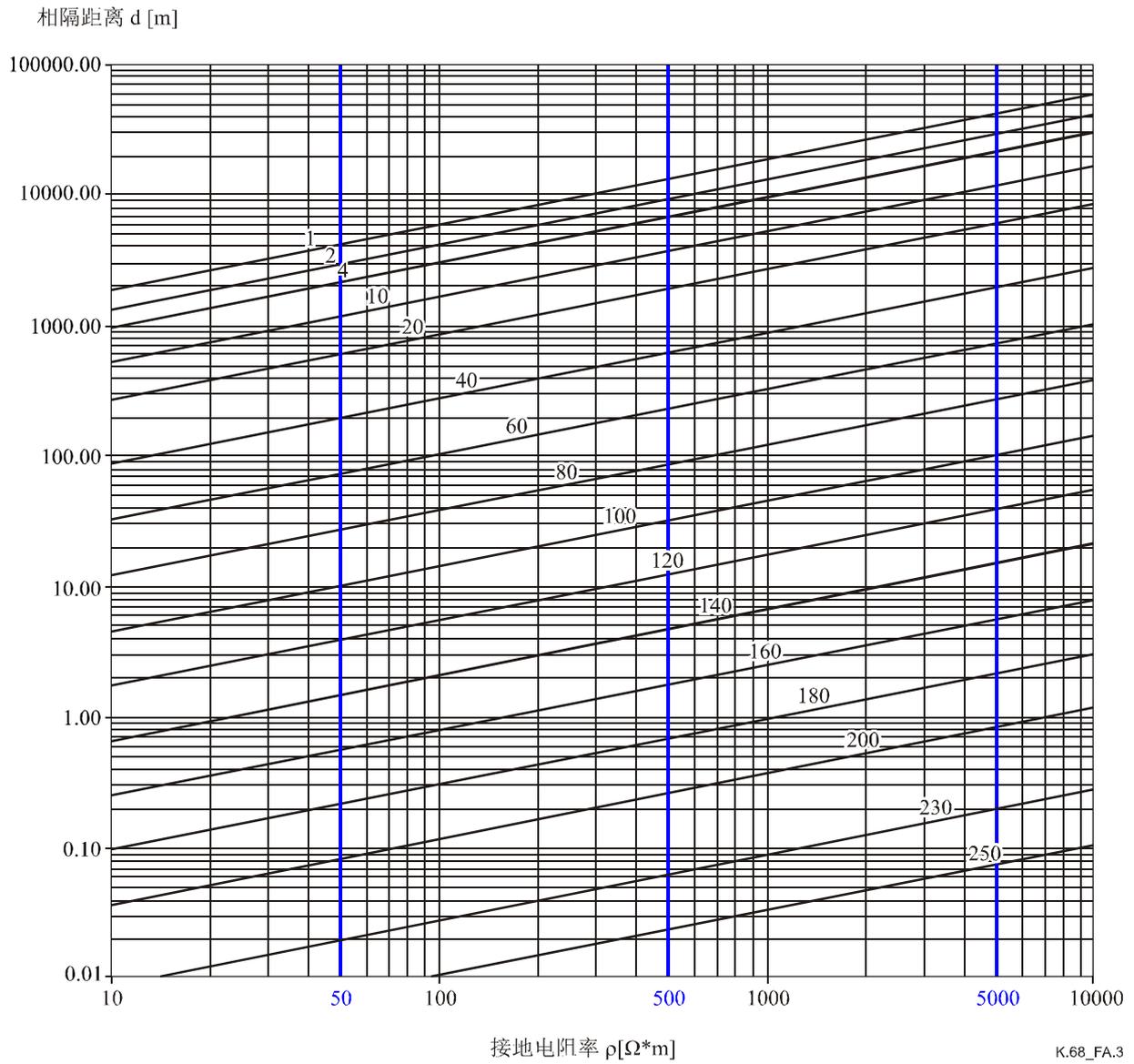
图A.1、A.2、A.3和A.4中的曲线给出了RID的值，并将其作为接地电阻率的函数，同时，归一化的管理电压将作为曲线的参数，分别用于50 Hz、60 Hz、16 $\frac{2}{3}$  Hz和800 Hz。这些曲线图为识别RID提供了图形化工具，这些RID与给定的、通过（A-1）表达式得出的归一化管理电压 $u_m$ （以km和kA为单位）以及特定接地电阻率 $\rho$ （以 $\Omega\text{m}$ 为单位）相关。



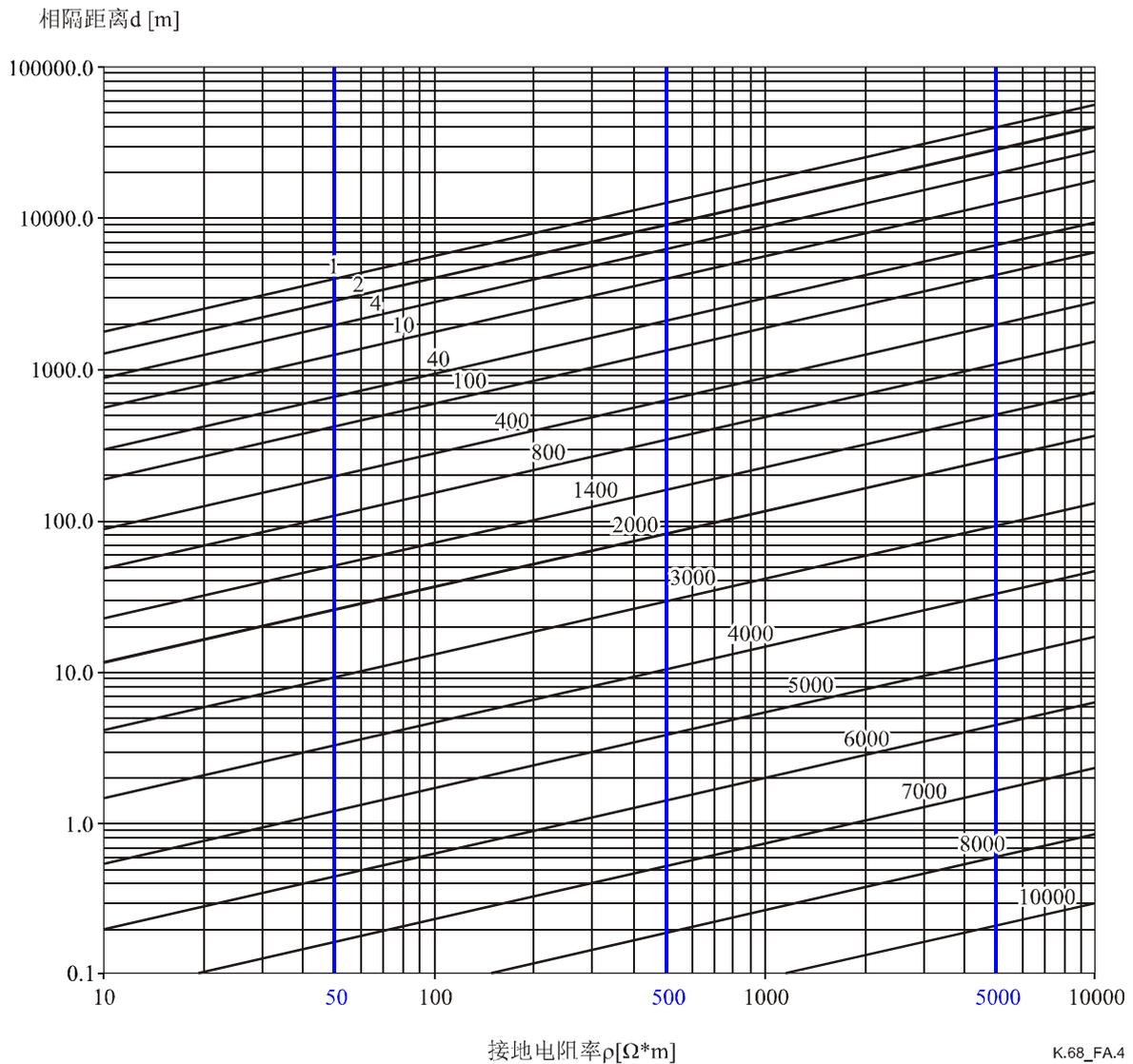
图A.1/K.68 – 特定感应电压的相隔距离与接地电阻率之间的图形关系，其中感应电压是以 [V/(km.kA)] 为单位的标记，频率为 50 [Hz]



图A.2/K.68 – 特定感应电压的相隔距离与接地电阻率之间的图形关系，其中感应电压是以 [V/(km.kA)]为单位的标记，频率为60 [Hz]



图A.3/K.68 – 特定感应电压的相隔距离与接地电阻率之间的图形关系，其中感应电压是以 [V/(km.kA)]为单位的标记，频率为 $16\frac{2}{3}$  [Hz]



图A.4/K.68 – 特定感应电压的相隔距离与接地电阻率之间的图形关系，其中感应电压是以 [V/(km.kA)]为单位的标记，频率为800 [Hz]

## A.2 电导耦合

### A.2.1 变电站接地栅极的RID的计算

流经变电站接地栅极接地阻抗的电流 $I_e$ 引起栅极自身电位的提高（电极的电位升高），而且因此造成该变电站周围地区接地电位升高（EPR，“电位漏斗”）。由于电导耦合，这一电位可以转移到进入这一变电站的感应设备，或转移到比电导耦合RID距离更近的电位漏斗。

接地栅极的电位上升可以使用下述公式计算 [7]:

$$U_e = R_e I_e = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} k_p I_p \quad [\text{V}] \quad (\text{A-6})$$

其中:

$$R_e = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad \text{为该栅极的接地阻抗, 单位为}\Omega$$

$\rho$  为具体的接地电阻率 (表面), 单位为 $\Omega\cdot\text{m}$

$A$  为接地栅极的面积, 单位为 $\text{m}^2$

$I_e = k_p I_p$  为变电站接地电流, 即故障电流中从栅极流向地面的部分, 单位为A

$k_p$  为接地电流因子, 给出故障电流中从栅极流向地面的部分, 无量纲值

$I_p$  为变电站中出现的不平衡 (零序列) 类故障电流, 单位为A

值得一提的是, 变电站的电位随 $\rho$ 值的增大而线性上升, 并随接地栅极面积的增加而下降。

接地电流 $I_e$ 是变电站故障电流与从变电站变压器零线、电力线的接地线以及与变电站相连的电缆护层返回的电流之间的差。最后两项可以用相关线路的屏蔽因子表示。

EPR的特性可用 $k(a)$  电位分布来表示, 其分子为接地电位 $V(a)$ 的归一化值, 分母为栅极电位  $U_e$

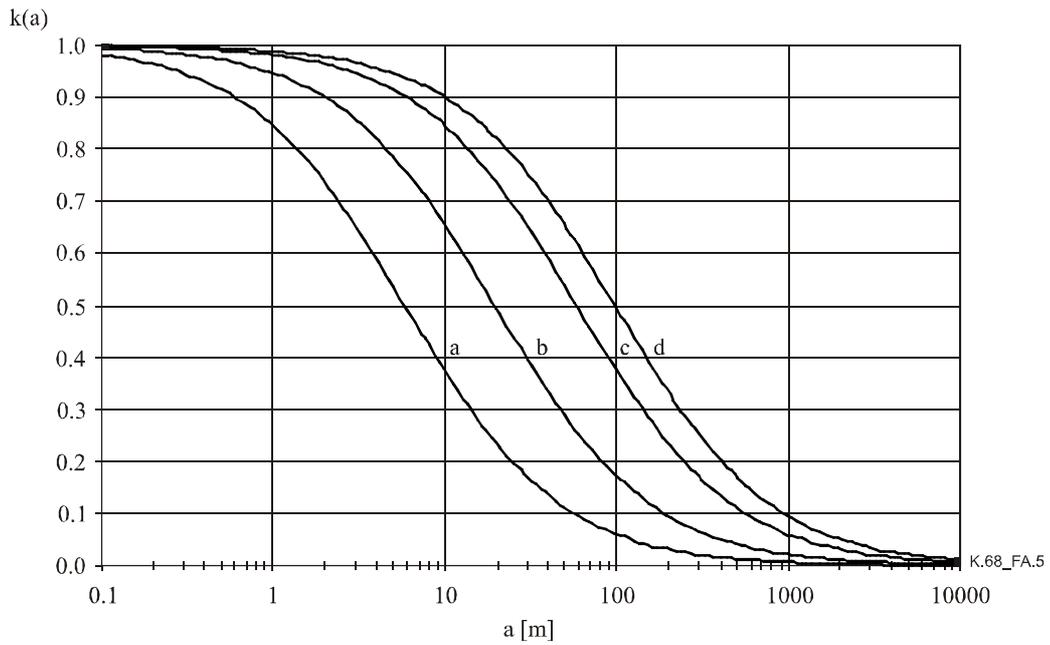
$$k(a) = \frac{V(a)}{U_e} \quad [-] \quad (\text{A-7})$$

其中 $V(a)$  为距离 $a$ 处的EPR, 距离 $a$ 的测量从栅格边缘开始。

接地电位函数可用下述表达式给出:

$$k(a) = 0.674 \ln \frac{a + 0.815\sqrt{A}}{a + 0.185\sqrt{A}} \quad [-] \quad (\text{A-8})$$

在图A.5中, 接地电位分布函数 $k(a)$ 为从地面栅极边缘处测起的距离 $a$ 的函数。



标志: 栅极的面积 [m<sup>2</sup>]:

A	A = 225
b	A = 2500
c	A = 22500
d	A = 62500

图A.5/K.68 – 接地电位分布函数 $k(a)$ ，作为自地面栅极边缘测起的距离 $a$ 的函数

在表达式 (A-8) 中，可用下述公式将 $a$ 表示为 $k(a)$  的函数：

$$a = \frac{0.815 - 0.185 \times 4.41^{k(a)}}{4.41^{k(a)} - 1} \sqrt{A} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-9})$$

接地电位 $V(a)$ ，在随补偿效应下降时，在与RID相应的距离 $a$ 处应与管理电压 $U_m$ 相等：

$$U_m = k_u k_t V(a) \quad [\text{V}] \quad (\text{A-10})$$

其中：

$k_u$  为城市因子

$k_t$  为感应线路的屏蔽因子

在 (A-10) 中表示 $V(a)$ ：

$$V(a) = \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-11})$$

将 (A-6) 和 (A-11) 代入 (A-7) 后，则可为 $k(a)$ 得出以下表达式：

$$k(a) = \frac{U_m}{k_p k_u k_t} = \frac{u_m}{U_e(A_k)} \quad [-] \quad (\text{A-12})$$

其中 $u_m$ 是与变电站接地栅极的电导耦合相关的管理电压的归一化值。

使用从(A-12)得出的 $k(a)$ ，可以通过图A.5中给出的接地电位分布函数或通过表达式(A-9)确定与 $a$ 相等的RID距离。

## A.2.2 电线架接地的RID的计算

### A.2.2.1 无屏蔽线的电力线

无屏蔽线的电力线出现接地电位上升时，可用下述适用于半球形接地电极的表达式来计算：

$$U_e = R_e I_{p-ef} = \frac{\rho}{2\pi r_e} I_{p-ef} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-13})$$

其中：

$r_e$  为电线架底座接地的等效半径，单位为m

$I_{p-ef}$  为接地相位短路故障电流，单位为A

$V(a)$  EPR的特性可通过下述电位分布来表示，这些电位分布通常与用半球形接地电极[7]表示的电线架底座的布置相关：

$$V(a) = 2.9 \frac{U_e}{a} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-14})$$

其中  $V(a)$  为从电线架底座中心测量的距离 $a$ 处的EPR。

表示距离 $a$ 并考虑到表达式(A-10)和(A-11)，即如果 $V(a) = u_m$ ，则自电极结构中心测出的距离 $a$ 等于RID：

$$\text{RID} = a = 2.9 \frac{U_e}{V(a)} = 2.9 \frac{U_e}{\frac{U_m}{k_u k_t}} = 2.9 \frac{U_e}{u_m} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-15})$$

或者，当代入(A-13)中的 $U_e$ 后，可通过下述公式得出RID：

$$\text{RID} = 2.9 \frac{\rho k_u k_t}{2\pi r_e U_m} I_{p-ef} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-16})$$

### A.2.2.2 有屏蔽线的电力线

如果电力线配有屏蔽线，则接地电位的上升基本由以下因素确定：

- 接地故障电流的大小；
- 电线架的平均接地阻抗；
- 屏蔽线的配置；
- 平均跨度。

以模拟方式获得的电线架电位上升值，用于表A.1中给出的参考条件[7]。

可以根据电流的大小，按照比例重新计算10 kA之外的其它电流：

$$U_e = U_{10} \frac{I_{p-ef}}{10} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-17})$$

其中：

$U_{10}$  为表A.1中给出的参考条件的电线架电位上升值，单位为V/10 kA

$I_{p-ef}$  为接地故障电流，单位为kA

**表 A.1/K.68 –参考条件和参数的故障电线架电位上升（每10-kA 接地故障电流）**

接地阻抗 [Ω]	电线架电位的上升 $U_{10}$ , [V/10 kA]		
	屏蔽线配置		
	1 sw [kV]	2 sw [kV]	1 sw + cp [kV]
8	4663	3237	872
25	8208	5589	2290
50	11413	7432	4316
sw	屏蔽线		
cp	地线		

将 (A-17) 中的  $U_e$  代入表达式 (A-15) 中，则可通过下述表达式计算出RID的值：

$$RID = 2.9 \frac{U_{10}}{u_m} \frac{I_{p-ef}}{10} = 2.9 k_u k_t \frac{U_{10}}{U_m} \frac{I_{p-ef}}{10} \quad [\text{m}] \quad (\text{A-18})$$

### A.2.3 交流电力牵引系统电导耦合的RID的计算

交流电力牵引系统电导耦合的影响源于轨道电位的上升（作为电极的电势），这一情况发生在电流注入轨道或电流被从轨道中吸出的位置（例如，列车上、BT结合部、AT位置、馈电点）。

铁轨电位上升的特性表现为如下趋势：

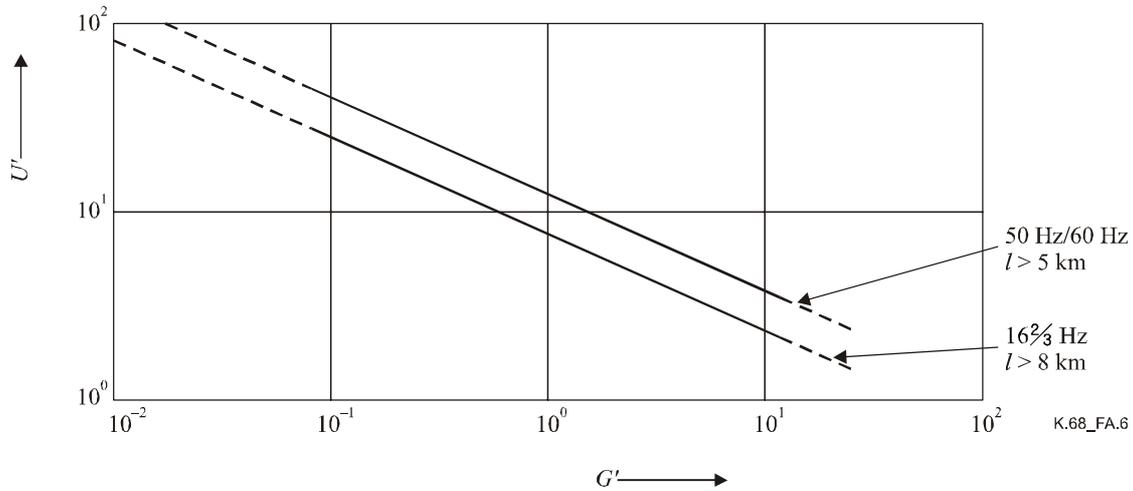
- 1) 在很大程度上取决于铁轨到地面的泄漏电导系数G（随G的上升而下降）。
- 2) 50 Hz（更高）和16⅓ Hz（更低）系统的电位上升不同。
- 3) 随电流注入轨道和电流从轨道中吸出的两点之间的距离增加而上升（仅当其距离小于铁轨地面环路末端效应区长度的两倍时存在这一趋势）。因此，特殊馈电（AT或BT）系统轨道的电位上升小于简单的RR系统，特别是在AT或BT间隔很小的情况下。在RID计算中忽略的差异约为20%，因此导致了特殊馈电系统的RID值最大化。

在图A.6中可以观察到1)和2)中提及的趋势[8]。

当铁轨到地面间的泄漏参考值为  $G = 0.25 \text{ S/km}$  时，下述取自图A.6中的归一化铁轨电位值适用 [8]：

- $U_{e50} = 25 \text{ V/100 A (50 Hz)}$ ;
- $U_{e16\frac{1}{3}} = 15 \text{ V/167 A (16⅓ Hz)}$ 。

应注意到给定牵引电力中涉及的牵引电流，即在2500 kVA产生了与在25 kV和15 kV的牵引系统中几乎相同的铁轨电位，亦即在25 kV的系统中，若电流为100A，则产生 $1 \times 25V = 25V$ 的电压，对于15 kV的系统，若电流为167A，则产生 $1.67 \times 15 V = 25.05 V$ 轨道电位。



图A.6/K.68 – 归一化轨道电位 $U'$  (V/100 A) 的指导值，即交流牵引系统中的电位与轨道到地面泄漏导率之比（单位为S/km）

下述表达式给出了与S kVA牵引电力相关的轨道电位：

$$U_e = U_{RE} = 25 \frac{S}{2500} = \frac{S}{100} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-19})$$

归一化值EPR  $U_{PE}$ 的基极为轨道电位 $U_{RE}$ ，图A.7中用 $U_{PE}$ 与双轨交流牵引线路横向距离之比表示 [8]。

随补偿效应下降的接地电位 $U_{PE}$ ，在与RID相应的距离 $a$ 处应与管理电压 $U_m$ 相等：

$$U_m = k_u k_t U_{PE}(a) \quad [\text{V}] \quad (\text{A-20})$$

其中：

$k_u$  为城市因子

$k_t$  为感应线路的屏蔽因子

通过 (A-20) 表达 $U_{PE}(a)$ ：

$$U_{PE}(a) = \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\text{V}] \quad (\text{A-21})$$

利用表达式 (A-19) 和 (A-21)，可将 $U_{PE}/U_{RE}$ 之比表达为：

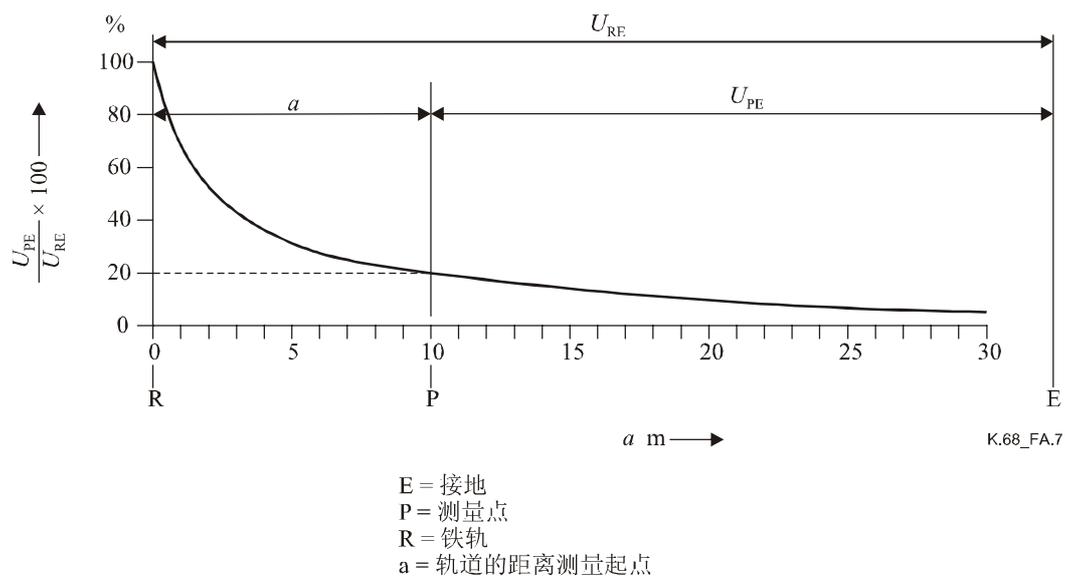
$$100 \frac{U_{PE}(a)}{U_{RE}} = \frac{10^4}{S} \frac{U_m}{k_u k_t} \quad [\%] \quad (\text{A-22})$$

其中：

$U_m$  为管理电压，单位为V

$S$  为牵引电力，单位为kVA

通过 (A-22) 中的比例值, 可从图A.7中做出  $RID = a$  的判断。



**图A.7/K.68 – 基极为轨道电位  $U_{RE}$  的EPR  $U_{PE}$  归一化值与双轨交流牵引轨道线路横向距离  $a$  之比**

值得一提的是, 在上述方法中, 假设RID的刚性值来自工作电流而非短路电流。

## 附录一 用于确定噪声加权电压的权重因子

下表给出16⅓ Hz至6000 Hz频率范围内权重因子的数值，这些数值用于确定噪声加权电压（请参见 3.32中的定义）。

频率 [Hz]	权重因子
16.66	0.056
50	0.71
100	6.91
150	35.5
200	89.1
250	178
300	295
350	376
400	484
450	582
500	661
550	733
600	794
650	851
700	902
750	955
800	1000
850	1035
900	1072
950	1109
1000	1122
1050	1109
1100	1072
1150	1035
1200	1000
1250	977
1300	955
1350	928
1400	905
1450	881
1500	861
1550	842
1600	824

频率 [Hz]	权重因子
1650	807
1700	791
1750	775
1800	760
1850	745
1900	732
1950	720
2000	708
2050	698
2100	689
2150	679
2200	670
2250	661
2300	652
2350	643
2400	634
2450	626
2500	617
2550	607
2600	598
2650	590
2700	580
2750	571
2800	562
2850	553
2900	543
2950	534
3000	525
3100	501
3200	473
3300	444
3400	412
3500	376
3600	335
3700	292
3800	251
3900	214
4000	178
4100	144.5

频率 [Hz]	权重因子
4200	116
4300	92.3
4400	72.4
4500	56.2
4600	43.7
4700	33.9
4800	26.3
5000	20.4
> 5000	15.9
> 6000	7.1

## 附录二

### 影响感应耦合基准影响距离的量值

#### II.1 指导值

##### II.1.1 概述

本附录为影响感应耦合（见A.1）基准影响距离（RID）的量提供了指导值，以支持对RID值进行切合实际的评估。

指导值的主要分类依据如下：

- 描述电磁环境特性的量；
- 描述施感设备特性的量；
- 描述感应设备特性的量。

根据设备的类型和相关设备的条件做进一步的分类。

##### II.1.2 描述电磁环境特性的量

因影响整个感应过程而无法归入施感设备或感应设备的量，被归入这一类别。

###### II.1.2.1 管理电压 $U_m$

管理电压的值为第6节中给出的相应值。

###### II.1.2.2 具体的接地电阻率 $\rho$

对于低频感应耦合，由于对地的深层渗透，深土壤层（几百到几千米）的电阻率至关重要。

出于实际考虑，本建议书只考虑表II.1中给出的值。

表 II.1/K.68 – 接地电阻率的指导值

	土壤电阻率[Ω.m]		
	取值	50	500
范围	10-150	150-1500	1500-15000（见注）
注 – 用于由原始岩石组成的深层土壤地区。			

### II.1.2.3 埋藏结构的屏蔽因子（城市因子） $k_u$

在农村地区，埋藏的金属结构造成了整体屏蔽作用。这一问题可通过城市因子 $k_u$ 来处理。表II.2中给出了相关的建议值。

表II.2/K.68 – 城市因子的指导值  $k_u$

	环境	
	城区	农村地区
城市因子 $k_u$	0.1-0.4-0.7 (注)	1.0
注 – 高土壤电阻率的大型城市的值为0.1。		

应当注意，由于公共设施中使用金属系统越来越少，因此城区的屏蔽作用也随之减少。

## II.1.3 描述施感设备特性的量

### II.1.3.1 交流电力线设备的指导值

#### II.1.3.1.1 带直接接地零线的电力线设备

直接接地的网络涉及直接接地或阻抗很小的零线亦或二者的结合。高压（包括高、超高、极高电压）网络属于这一类别。

##### II.1.3.1.1.1 施感电流

###### a) 接地相位短路电流 $I_{p-sc}$

在具有直接接地零线的高压（HV）网络中，接地相位短路电流会产生高接地故障电流。大量故障电流从地面返回，引发了对相邻感应设备的感应。另一方面，这些系统中的接地故障可以通过中继保护装置明确地检测出来，并通常在60至100毫秒之内被消除。

故障电流随馈电变电站的短路电量增加而增加，随变电站与故障点之间的距离而减小。

出于实际考虑，在接地故障电阻值为0 Ω或15 Ω的情况下，建议将表II.3中给出的指导值，用于具有直接接地零线的网络故障线路的接地故障电流。

**表II.3/K.68–在具有直接接地零线的网络线路中使用的接地故障电流  $I_{p-ef}$  的指导值**

接地故障阻抗值[Ω]	接地故障电流 [kA]		
	远距离故障, 低短路电量	中间条件	近距离故障, 高短路电量
0	10	20	40
15	7	10	15

b)  $16\frac{2}{3}$  Hz 高压线的接地相位短路电流  $I_{p-sc}$

在高压的情况下（通常为110-130 (2x65) kV的水平），对为电力牵引系统供电的 $16\frac{2}{3}$  Hz的两相网络，其基准施感电流亦为接地相位短路电流。表II.4给出了为 $16\frac{2}{3}$  Hz 铁路系统提供电力的、高压两相传输线路中接地故障电流  $I_{p-rw}$  的指导值。

**表II.4/K.68–为 $16\frac{2}{3}$  Hz铁路系统提供电力的高压两相传输线路中接地故障电流  $I_{p-rw}$  的指导值**

高压 $16\frac{2}{3}$ 铁路系统馈电的类型	接地故障电流 $I_{p-rw}$ [kA]
仅由 50/16 $\frac{2}{3}$ Hz 变流器馈电	3-5-8
由 $16\frac{2}{3}$ Hz 发电机组馈电	4-10-30

c) 由高故障阻抗引起的接地故障电流  $I_{p-imp}$

在某些情况下，具有直接接地零线的高压网络中出现的接地故障可能由高阻抗引起，例如流向树木的电弧。这会产生少量的接地故障电流。这类故障无法在短时间内通过基极保护检测并清除。因此，高阻抗接地故障的长度可能为几秒，所以应适用一秒以上的时间限值。表II.5给出了高故障阻抗情况下高压线接地故障电流  $I_{p-imp}$  的指导值。

**表II.5/K.68 – 高阻抗接地故障情况下高压线接地故障电流  $I_{p-imp}$  的指导值**

	高阻抗接地故障
接地故障电流, kA	1.5

d) 单相断开故障电流  $I_{p-off}$

具有直接接地零线网络的高压线，可能会在单相断开的故障条件下工作。这种单相断开的操作通常限于使用110-130 kV电压的网络。（实际上，这种情况发生在接通线路的过程中断路器未闭合某一相位时。）这种故障操作偶尔可能会延续几个小时。在这种情况下，接地回线将取代断开的相位，因此接地电流实际上与正常相位中的电流相同。在单相断开的工作状态下，发射功率以及由此而产生的电流，不能超过正常允许负荷的70-80%。

出于实际考虑，建议在单相断开条件下工作的线路故障电流使用表II.6给出的数值。

表II.6/K.68 – 在单相断开条件下工作的线路故障电流  $I_{p-off}$  的指导值

	电力传输		
	低 (20 MVA) (见注)	中 (60 MVA) (见注)	高 (120 MVA) (见注)
施感电流 A	100	300	600
注 – 110-130 kV 的电压水平。			

由单相断开电流产生的感应，应被视作适用于与正常操作相关的管理电压的长期感应。

### II.1.3.1.1.2 屏蔽因子 $k_p$

与施感设备相关的屏蔽结构，即架空电力线的屏蔽线和地下电力线的保护层，发挥着电流返回作用，因此能够降低从地面返回的部分电流。降低的数值以屏蔽因子表示。

#### a) 架空电力线屏蔽线的屏蔽因子

表II.7给出了架空电力线屏蔽线的屏蔽因子的指导值。

表II.7/K.68 – 架空电力线屏蔽线的屏蔽因子的指导值

屏蔽线	屏蔽线的阻抗 (s) [ $\Omega/\text{km}$ ]		
	< 0.1	< 0.5	< 1.0 (见注)
单线	0.55-0.70	0.65-0.75	0.80-0.90
双线	0.40-0.50	0.5-0.65	0.65-0.75
注 – 由钢绞线组成。			

#### b) 高压电缆保护层的屏蔽因子

对于高压电缆，由于电缆导体与保护层之间的近距离耦合，因此大部分故障电流均通过电缆的保护层返回。由此，高压电缆的保护层提供了很好的（小）保护因子。

表II.8给出了高压电缆保护层屏蔽因子的指导值。

Table II.8/K.68 – 高压电缆保护层屏蔽因子的指导值

	保护层的类型	
	铅制保护层	铝制保护层或同轴铜线屏蔽装置
屏蔽因子	0.15-0.25-0.30	0.04-0.1-0.15

### II.1.3.1.2 无直接接地零线的电力线设备

首先，值得一提的是，根据适用的零线接地政策，有些地区所有网络的零线都直接接地，例如在北美地区的作法。

没有直接接地零线的网络可能具备以下三种条件：

- 1) 绝缘的零线；
- 2) 具有谐振接地的零线；
- 3) 具有高阻抗（通常为电阻）接地的零线。

第1种情况通常仅用于工业设备网络而不用于公共配电网络。

第2种情况一般用于由架空线组成的农村中压（MV）配电网络。这一网络可以通过零线与地面之间的电阻器临时（几秒钟）接地，从而使保护装置能够有针对性地传送故障线路的识别信息。

第3种情况用于中压电缆或城市/郊区网络电缆和架空线路的组合，此时电容接地故障电流很高，因此尽管存在谐振接地，但接地故障自己消失的概率仍很低。

#### II.1.3.1.2.1 施感电流

##### a) 接地故障电流 $I_{p-sef}$

接地故障是无直接接地零线网络中出现的典型故障。这不是一种短路类故障，因此故障电流甚至小于工作电流，在有谐振接地的网络中尤其如此。因此，不应考虑由谐振接地网络的接地故障电流产生的感应。

具有高阻抗/电阻接地的网络的接地故障电流仍然很低。其数值取决于接地阻抗的大小，故障与馈电变电站之间的距离，以及故障阻抗（电弧和接地电阻）。表II.9给出了具有高阻抗/电阻接地的网络的接地故障电流的指导值。

接地故障的时长在一秒钟之内，因此应适用时长最高为一秒的管理电压值。

**表II.9/K.68—具有高阻抗/电阻接地的网络的接地故障电流 $I_{p-sef}$ 的指导值**

零线接地阻抗/电阻的大小	接地故障电流 $I_{p-sef}$ [A]
高 架空和电缆混合网络	70-100-150
较高 电缆网络	150-250-40

b) 双重接地故障电流  $I_{p-dbf}$

双重接地故障，即在不同位置的两个相位同时出现的接地故障，是一种出现频率较低但产生的故障电流很大的故障，其零序列部分从两故障点之间的接地路径返回。双重接地故障的大小受以下因素影响：

- 1) 对故障产生馈电的变电器的短路功率（双接地故障电流的最大值，原则上可以是三相短路电流的86%）；
- 2) 故障路径中涉及的电力线单位长度阻抗；
- 3) 故障点位置之间的距离；
- 4) 故障点处的故障阻抗（电弧加接地阻抗）（在未安装屏蔽线路的架空电线杆出现故障时可能十分明显）。

表II.10给出了无直接接地零线网络中双重接地故障电流  $I_{p-dbf}$  的指导值。

**表II.10/K.68 – 无直接接地零线网络中双重接地故障电流  $I_{p-dbf}$  的指导值**

	故障线路的类型	
	架空	电缆
双重接地故障电流 [kA]	1-2.5-5	2-4-7

通常，双重接地故障会在短时间内清除 ( $t < 0.2 \text{ s}$ )，只有电量很小的双重接地故障电流 ( $I_{p-dbf} < 1.5 \text{ kA}$ ) 除外，其解扣时间可能需要几秒，因此应适用一秒以上的电压限值。

### II.1.3.1.2.2 MV电缆保护层的屏蔽因子

表II.11给出了中压电缆保护层的屏蔽因子。

**表 II.11/K.68 – 中压电缆保护层的屏蔽因子的指导值**

保护层的类型	屏蔽因子 $k_p$
薄铝箔	0.7-0.8-0.9
铅制保护层	0.4-0.5-0.6
铝制保护层或同轴铜线屏蔽装置	0.15-0.2-0.3

### II.1.3.2 交流电力牵引设备的指导值

#### II.1.3.2.1 工作电流

对于交流电力牵引系统，短路电流与最大工作电流之比通常小于短期与长期感应的管理电压之比。因此，感应耦合的基准影响距离应根据工作电流的感应来确定。

表II.12给出了交流电气化铁路系统工作电流  $I_{p-rw}$  的指导值。这些电流值约等于20000 kVA的峰值牵引功率。

表II.12/K.68 – 交流电气化铁路系统工作电流 $I_{p-rw}$ 的指导值

供电系统	工作电流 [A]	
	单侧馈电	双侧馈电
16 $\frac{2}{3}$ Hz, 15 kV	(600)	1200
50 Hz, 25 kV	800	—

### II.1.3.2.2 噪声电流

表II.13给出了交流电气化铁路系统噪声电流 $I_{p-ps}$ 的指导值。

表 II.13/K.68 – 交流电气化铁路系统噪声电流 $I_{p-ps}$ 的指导值

牵引单元的类型	等效干扰（噪声）电流 [A]
频率逆变器和异步电动机单元	1.5
带滤波器的二极管（半导体闸流管）机车	4
半导体闸流管控制的混合型无滤波器二极管机车	16

因噪声电流产生的感应耦合仅与接入网络，即短途线路相关。

### II.1.3.2.3 返回轨道的屏蔽因子

对于具有轨道和接地（RR）系统的简单馈电系统，表II.14给出了带轨道和接地回线的交流电气化铁路系统轨道屏蔽因子 $k_{p-rr}$ 的指导值。

表II.14/K.68 – 带轨道和接地回线（RR系统）的交流电气化铁路系统轨道屏蔽因子 $k_{p-rr}$ 的指导值

供电系统	工作频率[Hz]		
	16 $\frac{2}{3}$	50 或 60	800
屏蔽因子（见注）	0.4	0.50	0.55
注- 带双返回轨道的单轨线路。			

### II.1.3.2.4 特殊馈电系统的等效补偿因子

特殊的铁路馈电系统，例如带轨道返回的升压变压器系统（BTRR）或带返回导体的升压变压器系统（BTRC）和自动变压器（AT）系统，可以通过复杂的机制降低感应的影响。

在下述两种情况下，适用于两相邻BT或AT间部分感应线路的补偿因子值各不相同：

- 1) 连续部分之内的感应部分。
- 2) 连续部分之外的感应部分。

表II.15给出了特殊馈电系统补偿因子的指导值。

表II.15/K.68 – 特殊馈电系统补偿因子的指导值

施感电流	频率 [Hz]	补偿因子 $k_p$	
		感应长度	
		连续部分之内	连续部分之外
基频	16⅔	0.1	0.04
	50	0.15	0.05
噪音	(800)	0.25	0.06

## II.1.4 描述感应设备特性的量

### II.1.4.1 感应电信电缆的屏蔽因子

为确定基准影响距离，感应电信电缆保护层的屏蔽因子 $k_f$ 在表II.16中分为三类。明线线路或无屏蔽电缆的屏蔽因子等于1。

表II.16/K.68 – 感应电信电缆保护层的屏蔽因子 $k_f$ 的指导值

	保护层的类型		
	薄铝箔塑料保护层 $R_{dc} > 2.5 \Omega/\text{km}$	铅制保护层 $R_{dc} < 0.5 \Omega/\text{km}$	铝制保护层或同轴铜线屏蔽装置 $R_{dc} < 0.1 \Omega/\text{km}$
屏蔽因子	> 0.9	< 0.5	< 0.15

### II.1.4.2 基准感应线路长度

表II.17给出了不同类型电信网络使用的感应电信电缆基准长度 $l_m$ 的指导值。

表II.17/K.68 – 不同类型感应电信电缆使用的感应长度 $l_m$ 的指导值

环境	感应长度 [km]	
	电信网络的类型	
	短途线路（例如接入网）（见注）	长途线路（例如长途网）
农村地区	3-5-7	10-15-20
城市地区	1-3-5	5-10-15

注 – 适用于BT或AT馈电系统感应的短途铁路电缆。

## II.2 用于RID评估的参数值：感应耦合

根据II.1提供的指导数据，5.2中给出的RID值已经通过以下的参数值进行了评估：

- 城市因子 $k_u$ （描述该环境中整体屏蔽作用的特性）：
  - 农村环境： $k_u = 1$

- 城市环境：若 $\rho = 50 \Omega\text{m}$ ，则 $k_u = 0.45$   
                   若 $\rho = 500 \Omega\text{m}$ ，则 $k_u = 0.35$   
                   若 $\rho = 5000 \Omega\text{m}$ ，则 $k_u = 0.25$
- 感应长度  $l_m$ :
  - 农村地区的短途线路：           $l_m = 5 \text{ km}$
  - 城市地区的短途线路：           $l_m = 3 \text{ km}$
  - 农村地区的长途线路：           $l_m = 15 \text{ km}$
  - 城市地区的长途线路：           $l_m = 10 \text{ km}$
- 接地电阻率的类别：
  - 低电阻率类别：                   $\rho = 50 \Omega\text{.m}$
  - 中电阻率类别：                   $\rho = 500 \Omega\text{.m}$
  - 高电阻率类别：                   $\rho = 5000 \Omega\text{.m}$
- 施感设备的屏蔽因子  $k_p$ :
  - 高压交流电力线：
    - 50/60 Hz的架空线：           $k_p = 0.5$
    - 50/60 Hz地下线：           $k_p = 0.1$
    - 16 $\frac{2}{3}$  Hz的架空线：           $k_p = 0.75$
  - 中压交流电力线：
    - 50/60 Hz的架空线：           $k_p = 1$
    - 50/60 Hz地下线：           $k_p = 0.5$
  - 交流牵引线
    - 50 Hz的RR馈电系统架空线：   $k_p = 0.5$
    - 16 $\frac{2}{3}$  Hz的RR馈电系统架空线： $k_p = 0.4$
    - 800 Hz的RR馈电系统架空线：   $k_p = 0.55$
    - 16 $\frac{2}{3}$  Hz的特殊馈电系统架空线： $k_p = 0.1$
    - 50 Hz的特殊馈电系统架空线：   $k_p = 0.15$
    - 800Hz的特殊馈电系统架空线：   $k_p = 0.25$
- 感应设备屏蔽因子  $k_t$ :
  - 未屏蔽线路                       $k_t = 1$

针对交流电力系统和交流电力牵引系统的实际最差条件，对施感电流的值进行了评估。表II.18中详述这些值以及相关的管理电压值 $U_m$ 。

注 – 图A.1中假设的曲线对60 Hz的频率亦有效。

表II.18/K.68 – 用于RID评估的管理电压和施感电流值

50/60 Hz的交流电系统	情况	U <sub>m</sub> [V]	I <sub>p</sub> [kA]	备注
具有直接接地零线的高压网络	典型	1000	10	与高阻抗接地故障电流条件相比，小于等于苛刻条件
	苛刻	430		
具有直接接地零线的高压网络的高阻抗接地故障	典型	150	1.5	通过计算得出的5.2所述的RID值
	苛刻	60		
具有直接接地零线的高压网络的单相断开条件	典型/苛刻	60	0.3	较不苛刻的条件
无直接接地零线的中压网络的接地故障：架空线路	典型	430	0.1	通过计算得出的5.2所述的RID值
	苛刻	300		
无直接接地零线的中压网络的接地故障：地下线路	典型	430	0.25	苛刻程度低于地下线路
	苛刻	300		
无直接接地零线的中压网络的双重接地故障：架空线路	典型	430	2.5	由于此类事件出现的概率很低而不予考虑的条件
	苛刻	300		
无直接接地零线的中压网络的双重接地故障：地下线路	典型	430	4	
	苛刻	300		
<b>16⅔ Hz的交流电力系统</b>				
有直接接地中间点的16⅔ Hz高压（2x65 kV）铁路网络的接地相位短路电流	典型	1000	5	只用于农村地区的架空线路
	苛刻	300		
<b>交流牵引系统</b>				
电气牵引线路的工作电流	典型/苛刻	60	1.2	16⅔ Hz 系统
			0.8	50 Hz 系统
具有频率逆变器和异步电动机的牵引机组噪声电流（800 Hz）	典型/苛刻	0.2	0.0015	苛刻程度低于供电频率感应
带滤波器的二极管（半导体闸流管）机车的噪声电流（800 Hz）			0.004	与供电频率感应相比更加苛刻的条件
半导体闸流管控制的混合型无滤波器二极管机车的噪声电流（800 Hz）			0.015	与供电频率感应相比更加苛刻的条件

### II.3 用于RID评估的参数值：电导耦合

根据II.1提供的指导数据，5.2.4中给出的RID值已经通过以下的参数值进行了评估：

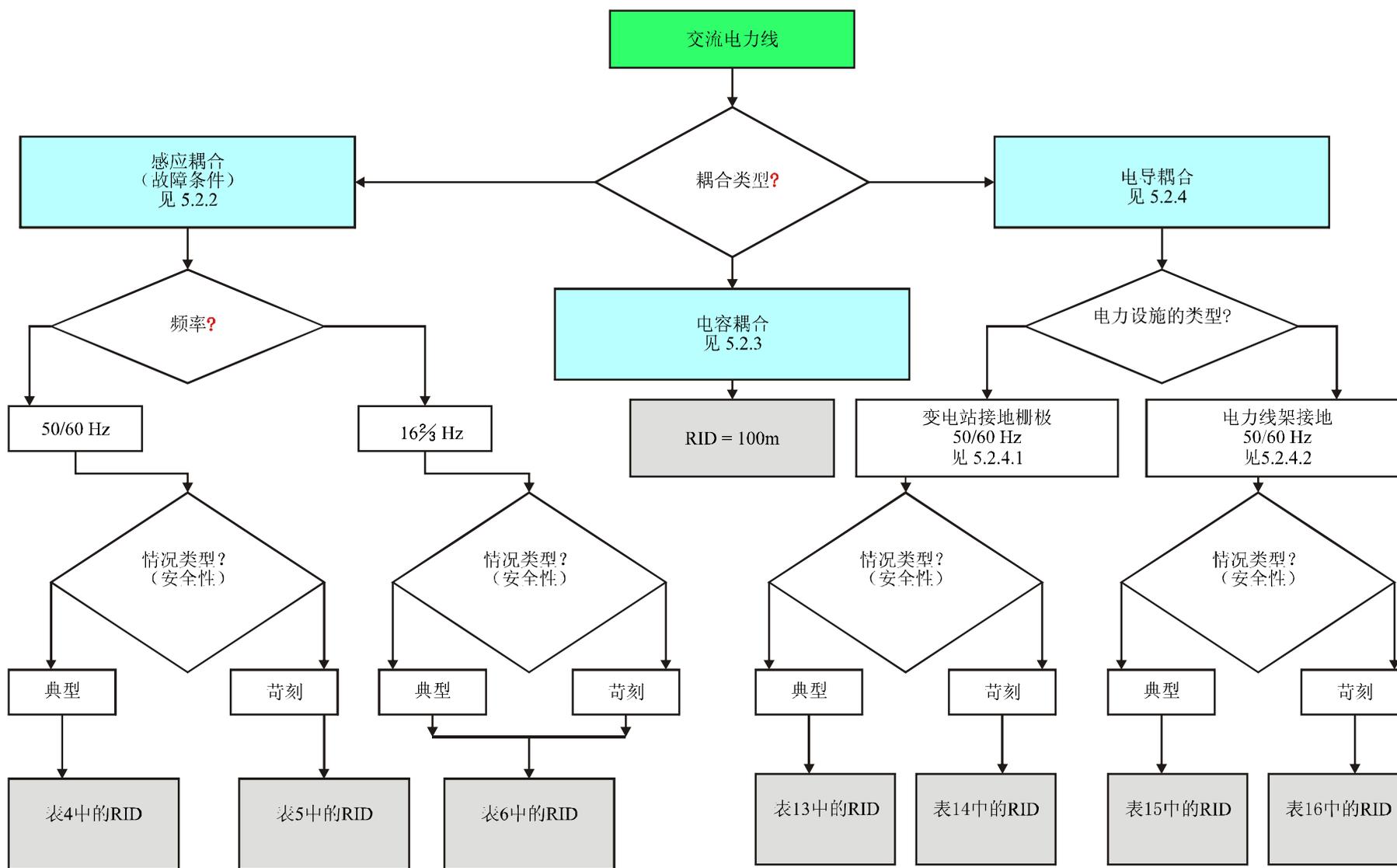
- 城市因子  $k_u$ （描述该环境中整体屏蔽作用的特性）：
  - 农村环境：  $k_u = 1$
  - 城市环境： 若  $\rho = 50 \Omega\text{m}$ ，则  $k_u = 0.45$   
若  $\rho = 500 \Omega\text{m}$ ，则  $k_u = 0.35$   
若  $\rho = 5000 \Omega\text{m}$ ，则  $k_u = 0.25$
- 接地电阻率的类别：
  - 低电阻率类别：  $\rho = 50 \Omega\text{.m}$
  - 中电阻率类别：  $\rho = 500 \Omega\text{.m}$
  - 高电阻率类别：  $\rho = 5000 \Omega\text{.m}$
- 变电站：
  - 接地栅极的尺寸和相关的故障电流：
    - $A = 225 \text{ m}^2$   $I_p = 10 \text{ kA}$
    - $A = 2500 \text{ m}^2$   $I_p = 15 \text{ kA}$
    - $A = 22500 \text{ m}^2$   $I_p = 20 \text{ kA}$
- 电力线架：
  - 与下述电力线架接地阻抗值相关的10 kA故障电流：
    - $\rho = 50 \Omega \text{ m}$   $R_E = 8 \Omega$
    - $\rho = 500 \Omega \text{ m}$   $R_E = 25 \Omega$
    - $\rho = 5000 \Omega \text{ m}$   $R_E = 50 \Omega$
- 施感设备的屏蔽因子  $k_p$ ：
  - 高压交流电力线：
    - 50/60 Hz的架空电力线：  $k_p = 0.5$
    - 50/60 Hz的混合线（架空和地下）：  $k_p = 0.2$
    - 50/60 Hz地下电力线：  $k_p = 0.1$
    - 16 $\frac{2}{3}$  Hz的架空电力线：  $k_p = 0.75$
- 工作电流  $I_p$ ：
  - 交流牵引线：
    - 50 Hz时的工作电流：  $I_p = 800 \text{ A}$
    - 16 $\frac{2}{3}$  Hz时的工作电流：  $I_p = 1200 \text{ A}$

注-简单馈电和特殊馈电系统适用相同的工作电流。
- 管理电压  $U_m$ ：
  - 典型情况下的50/60 Hz电力线：  $U_m = 1000 \text{ V}$
  - 苛刻情况下的50/60 Hz电力线：  $U_m = 430 \text{ V}$
  - 典型和苛刻情况下50/60或16 $\frac{2}{3}$  Hz牵引线路：  $U_m = 60 \text{ V}$
- 感应设备的屏蔽因子  $k_t$ ：
  - 未屏蔽线路  $k_t = 1$

## 附录三

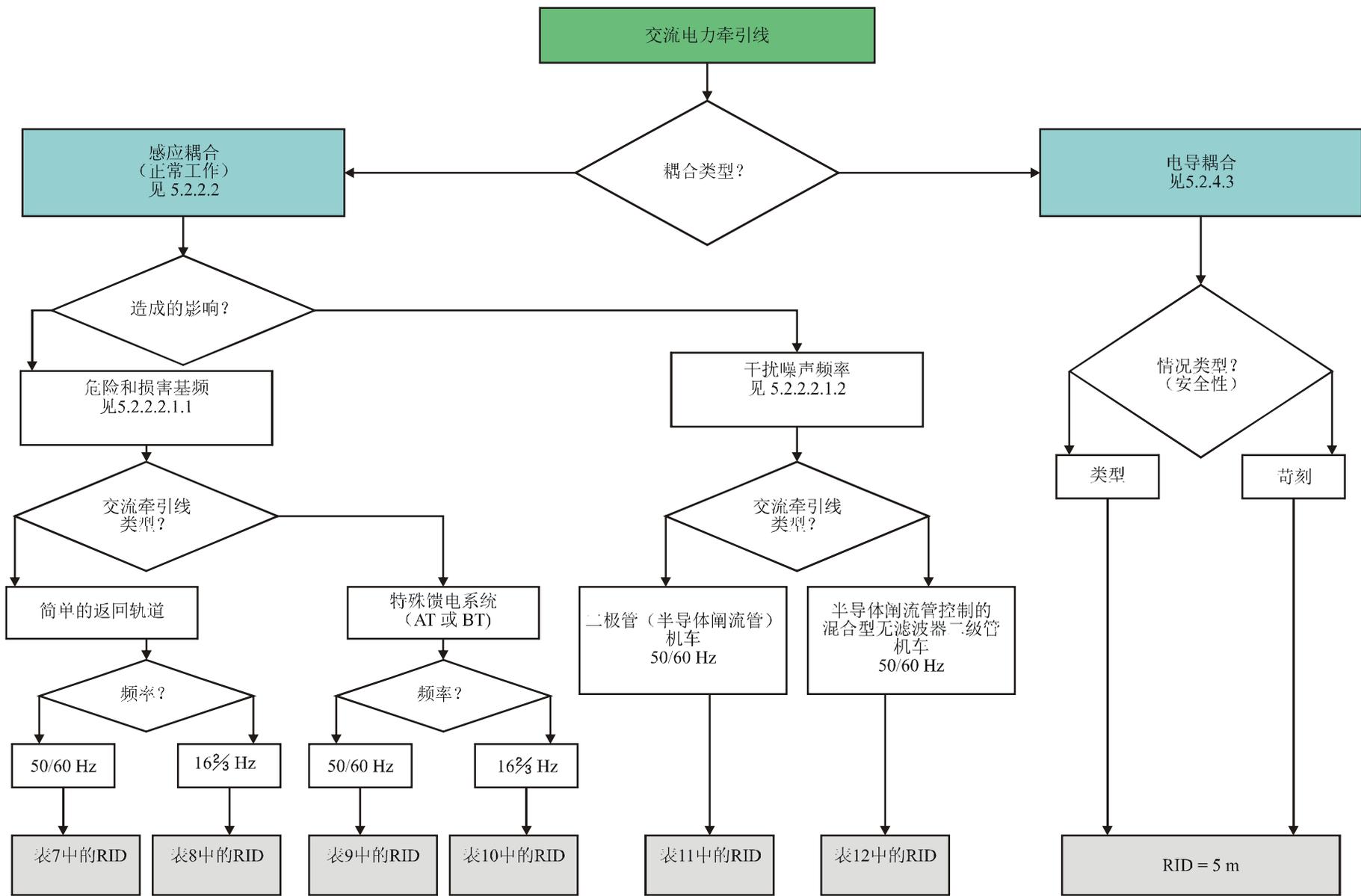
### 确定交流电或电力牵引线引起的RID值的步骤

图III.1和III.2分别给出了确定交流电力线或交流电力牵引线的RID值的不同步骤。



K.68\_FIII.1

图III.1/K.68 – 确定由交流电力线引起的RID值的流程图



K.68\_FIII.2

图III.2/K.68 – 确定由交流电力牵引线引起的RID值的流程图



## ITU-T系列建议书

A系列	ITU-T工作的组织
D系列	一般资费原则
E系列	综合网络运行、电话业务、业务运行和人为因素
F系列	非话电信业务
G系列	传输系统和媒质、数字系统和网络
H系列	视听及多媒体系统
I系列	综合业务数字网
<b>J系列</b>	<b>有线网络和电视、声音节目及其它多媒体信号的传输</b>
K系列	干扰的防护
L系列	电缆和外部设备其它组件的结构、安装和保护
M系列	电信管理，包括TMN和网络维护
N系列	维护：国际声音节目和电视传输电路
O系列	测量设备的技术规范
P系列	电话传输质量、电话设施及本地线路网络
Q系列	交换和信令
R系列	电报传输
S系列	电报业务终端设备
T系列	远程信息处理业务的终端设备
U系列	电报交换
V系列	电话网上的数据通信
X系列	数据网、开放系统通信和安全性
Y系列	全球信息基础设施、互联网协议问题和下一代网络
Z系列	用于电信系统的语言和一般软件问题