

中华人民共和国国家标准

GB/T 28026.3—2018

轨道交通 地面装置 电气安全、 接地和回流 第3部分：交流和 直流牵引供电系统的相互作用

**Railway applications—Fixed installations—Electrical safety,
earthing and the return circuit—Part 3: Mutual interaction of
a.c. and d.c. traction systems**

(IEC 62128-3:2013, MOD)

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 危险和不利影响	2
5 相互作用的类型	2
6 相互作用的区域	3
7 复合交流和直流电压的接触电压限值	4
8 相互作用区域内的技术要求和措施	8
附录 A (资料性附录) 相互作用的区域	12
附录 B (资料性附录) 相互作用的分析 and 评估	17
附录 C (资料性附录) 复合电压分析	18
参考文献	21

前 言

GB/T 28026《轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流》分为三个部分：

- 第 1 部分：电击防护措施；
- 第 2 部分：直流牵引供电系统杂散电流的防护措施；
- 第 3 部分：交流和直流牵引供电系统的相互作用。

本部分为 GB/T 28026 的第 3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用 IEC 62128-3:2013《轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第 3 部分：交流和直流牵引供电系统的相互作用》。

本部分与 IEC 62128-2:2013 相比在结构上做了调整，修改了附录编号，按在条文中提及的先后次序编排，附录 B 调整为附录 C、附录 C 调整为附录 B。

本部分与 IEC 62128-3:2013 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示，具体技术性差异及其原因如下：

——关于规范性引用文件，本部分做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：

- 用修改采用国际标准的 GB/T 28026.1—2018 代替 IEC 62128-1:2013(见第 3 章、4.1、4.2、7.1、7.2、7.3、7.4、7.6、8.1、8.2.2、8.2.3.1、8.3.2)；
- 用修改采用国际标准的 GB/T 28026.2—2018 代替 IEC 62128-2:2013(见 4.1、8.1、8.2.2、8.3.2、8.3.4、8.4)。

——修改了注为正文，因为注中包含了要求(见 4.1、6.2)。

本部分还做了下列编辑性修改：

——删除了有关基本频率 16.7 Hz、60 Hz 的相关内容，以适应我国的技术条件(见 A.2.1、A.2.3)；

——删除了示例 2(见 A.2.3)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由国家铁路局提出。

本部分由全国牵引电气设备与系统标准化技术委员会(SAC/TC 278)归口。

本部分起草单位：中铁第四勘察设计院集团有限公司、中铁电气化勘测设计研究院有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司。

本部分主要起草人：周伟志、龚孟荣、李红梅、陈敏、刘长志、黄文勋。

轨道交通 地面装置 电气安全、 接地和回流 第3部分：交流和 直流牵引供电系统的相互作用

1 范围

由于交直流电力牵引供电系统间的相互作用,可能导致危险感应电压和电流对人体和设备造成伤害。GB/T 28026 的本部分给出了交直流电力牵引供电系统的地面装置的电气安全和保护措施的要求。

本部分适用于电力牵引供电系统地面装置维护工作中对电气安全的要求。

相互作用包括以下几种情况:

- 交流和直流电力牵引供电系统的平行运行;
- 交流和直流电力牵引供电系统的交叉运行;
- 共用的轨道、建筑或其他构筑物;
- 交流和直流电力牵引供电系统间的过渡区段。

本部分仅限于基频的电压和电流及其叠加部分,未涵盖有关辐射干扰的规定。

本部分适用于所有新建线路、延长线和既有线更新改造的电力牵引供电系统,包括:

- 铁路;
- 导向式公共交通系统,例如:有轨电车、高架和地下的铁路、山区铁路、无轨电车系统及安装有接触网或接触轨的磁悬浮系统;
- 物料运输系统。

本部分不适用于:

- 地下矿山牵引供电系统;
- 吊车、有轨运输平台和类似运输设备、临时建筑(例如:展会结构),因为这类设施目前尚无以接触网供电的先例,它们不会受牵引供电系统的影响;
- 悬式缆车;
- 缆索铁路;
- 维护工程。

本部分中的规定也适用于因交流或直流电力牵引供电系统产生的危险电压或电流对非电力牵引线路的相互作用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 28026.1—2018 轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第1部分:电击防护措施(IEC 62128-1:2013,MOD)

GB/T 28026.2—2018 轨道交通 地面装置 电气安全、接地和回流 第2部分:直流牵引供电系统杂散电流的防护措施(IEC 62128-2:2013,MOD)

3 术语和定义

GB/T 28026.1—2018 界定的术语和定义适用于本文件。

4 危险和不利影响

4.1 概述

为避免危险电压和杂散电流的影响,关于交流和直流供电制式铁路回流系统的连接要求应按 GB/T 28026.1—2018 和 GB/T 28026.2—2018 中的规定执行。规划设计中,交流和直流供电制式铁路系统所有装置需考虑上述影响,采取适当措施将危险电压限制于本部分中规定的水平,并按 GB/T 28026.2—2018 的规定对杂散电流进行防护。

应用中应考虑可能存在的其他不利影响,例如:

- 导体、屏蔽层和护套热过载;
- 铁芯磁饱和导致变压器热过载;
- 可能影响信号系统的安全性、准确性;
- 通信系统故障。

4.2 人员电气安全

在交流和直流电压叠加处,接触电压限值应符合第 7 章和 GB/T 28026.1—2018 中第 9 章的规定。

5 相互作用的类型

5.1 概述

耦合描述了电源至敏感装置的能量传输的物理过程。

应考虑以下耦合类型:

- a) 电导性耦合(传导);
- b) 非电导性耦合。

非电导性耦合有以下类型:

- a) 电感耦合;
- b) 电容耦合。

电路在频率及阻抗较低情况下,电导性耦合起主导作用,产生导通电压和电流。

电感耦合效应产生感应电压和电流。电压和电流大小主要取决于距离、长度、导线分布和频率。

电容耦合效应使各电气隔离的装置或导体之间产生感应电压,其大小取决于各装置或导体本身的电压和其之间的距离;感应电流取决于频率。

注:对于电容耦合和电感耦合,交流系统对直流系统的影响较大。

5.2 电导性耦合

5.2.1 非直接连接的交直流回路

由交流和直流系统的钢轨电位产生的入地电流可能造成回流系统间的相互作用,例如回路电流流经回流导体、牵引变电所接地装置和电缆屏蔽层。

假如在受干扰系统中存在一个与回路平行的导电通路则可能造成各种影响。假如机车车辆构成此

并行通路的一部分,作为干扰源的系统回路电流可流过该车辆牵引单元的动力系统。作为干扰源的系统回路电流可能会引起相同的影响,例如流经 AT 供电系统的自耦变压器和配电变压器或流经 BT 供电系统的吸流变压器或其他装置。

位于另一铁路系统架空接触网区(OCLZ)内(见 8.2.2)的回流电路部分或通过电压限制装置(VLD)与回流电路相连的导体,会出现复合电压电击。

5.2.2 直接连接或共用的交直流回路

除了 5.2.1 中描述的影响外,电流交换会在直接连接或共用的交直流回路处增大。

示例:直接连接是铁路平交路口、共用轨道、交直流系统过渡区段等。

流经交流和直流供电制式铁路间的电流可在其回路间产生相互作用。交直流回路在连接位置处于相同的电位。交流系统中若发生短路故障会导致与直流系统回路连接的导电装置产生峰值电压;对通过与 VLD 直接或间接连接的导电装置具有相同的影响。VLD 上过高的电压会使装置跳闸,以免直流系统侧出现故障。

直流系统回路与交流系统接地回路的连接会增大杂散电流腐蚀的危害。

地面装置要求见 8.3 的规定。

5.3 非电导性耦合

5.3.1 电感耦合

当直流系统位于交流电磁作用的区域内,直流接触网系统和回流系统中会产生交流感应电压。

在直流变电所母线处(整流器或馈线柜内等)会产生交流感应电压。

电感耦合会产生接触电压,其限值要求见第 7 章,但与交流系统垂直交叉的直流系统不会产生感应效应。

5.3.2 电容耦合

当直流接触网系统通过隔离开关或断路器绝缘时,会在较小间距内产生交流感应电压。应考虑绝缘子或避雷器达到闪络电压的可能性。

间距主要取决于几何形状和电压。在直流变电所母线处(馈线柜)产生交流感应电压。电容耦合会产生接触电压,其限值要求见第 7 章。

6 相互作用的区域

6.1 概述

交直流系统间会发生相互作用(见第 5 章),其作用区域取决于交直流供电制式铁路的间距和平行长度(参见附录 A)。区域的允许范围取决于第 7 章中规定的接触电压的允许值。

如果存在相互作用的区域,则应满足本部分中规定的要求。

当交流和直流供电制式铁路之间的距离小于 50 m 时,则认为存在相互作用的区域。6.2 和 6.3 均涉及距离超过 50 m 的情况。

当交流和直流供电制式铁路之间的距离小于 50 m 时,将会产生 5.2.1 或 5.2.2 中描述的影响。

交流和直流供电制式铁路之间的相互作用距离不为定值,应依据其位置条件分别确定。

注:相互作用的区域分析及评估参见附录 B。

6.2 交流系统

假如交流系统对直流系统造成影响,则作用区域是依据受影响系统的感应电压。

应计算相互作用的区域的大小,计算方法参见附录 A。

当交流和直流供电制式铁路的间距不大于 1 km 时,计算条件示例如下:

- 双线交流供电制式铁路,四条走行轨回流;
- 每个 OCL 的电流为 500 A(总电流为 1 000 A);
- 交流和直流供电制式铁路间的平行长度为 4 km;
- 土壤电阻率为 100 Ω·m;
- 额定频率为 50 Hz;
- 受影响系统在其整个长度范围与地绝缘,仅单端接地;
- 对其他平行金属导体的屏蔽效应未考虑在内。

该示例基于持续时间大于 300 s、不大于 35 V 的交流感应电压。

直流系统位于交流系统的作用区域内,直流系统的感应电压或电流不能过高;应对此情况做进一步的分析。

6.3 直流系统

由于直流系统钢轨与地绝缘安装,直流对交流系统相互作用区域的大小可忽略不计。若由于与导电部件或局部导电部件的电连接导致电压传输(永久性的或暂时性的)存在的可能性,作用区域由这些部件的尺寸决定。交流系统的感应电压或电流不能过高,应对该种情况做进一步分析。

7 复合交流和直流电压的接触电压限值

7.1 概述

接触电压应满足 7.2~7.6 的电压限值要求。不考虑对电气装置产生的其他影响。

电气装置电压限值不为定值,应依据受影响装置的敏感性分别确定。

交流或直流电压均应满足 GB/T 28026.1—2018 中规定的接触电压限值。

持续时间大于 1 s 的复合电压 $u(t)$ 中直流和交流分量的计算见式(1)、式(2)。

$$U_{dc} = \frac{1}{T} \cdot \int_a^{a+T} u(t) \cdot dt \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$U_{ac} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_a^{a+T} [u(t) - U_{dc}]^2 \cdot dt} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- T = 1 s;
- t ——时间,单位为秒(s);
- $u(t)$ ——复合电压,单位为伏特(V);
- U_{dc} ——复合电压中的直流分量,单位为伏特(V);
- U_{ac} ——复合电压中的交流分量,单位为伏特(V)。

注 1: 式(1)给出了直流分量的平均值;式(2)给出了交流分量的方均根值。

当持续时间较短 $t \leq 1$ s 时, U_{dc} 即为直流系统产生的复合电压的分量, U_{ac} 即为交流系统产生的复合电压的分量。

注 2: 关于复合电压更多的信息参见附录 C。

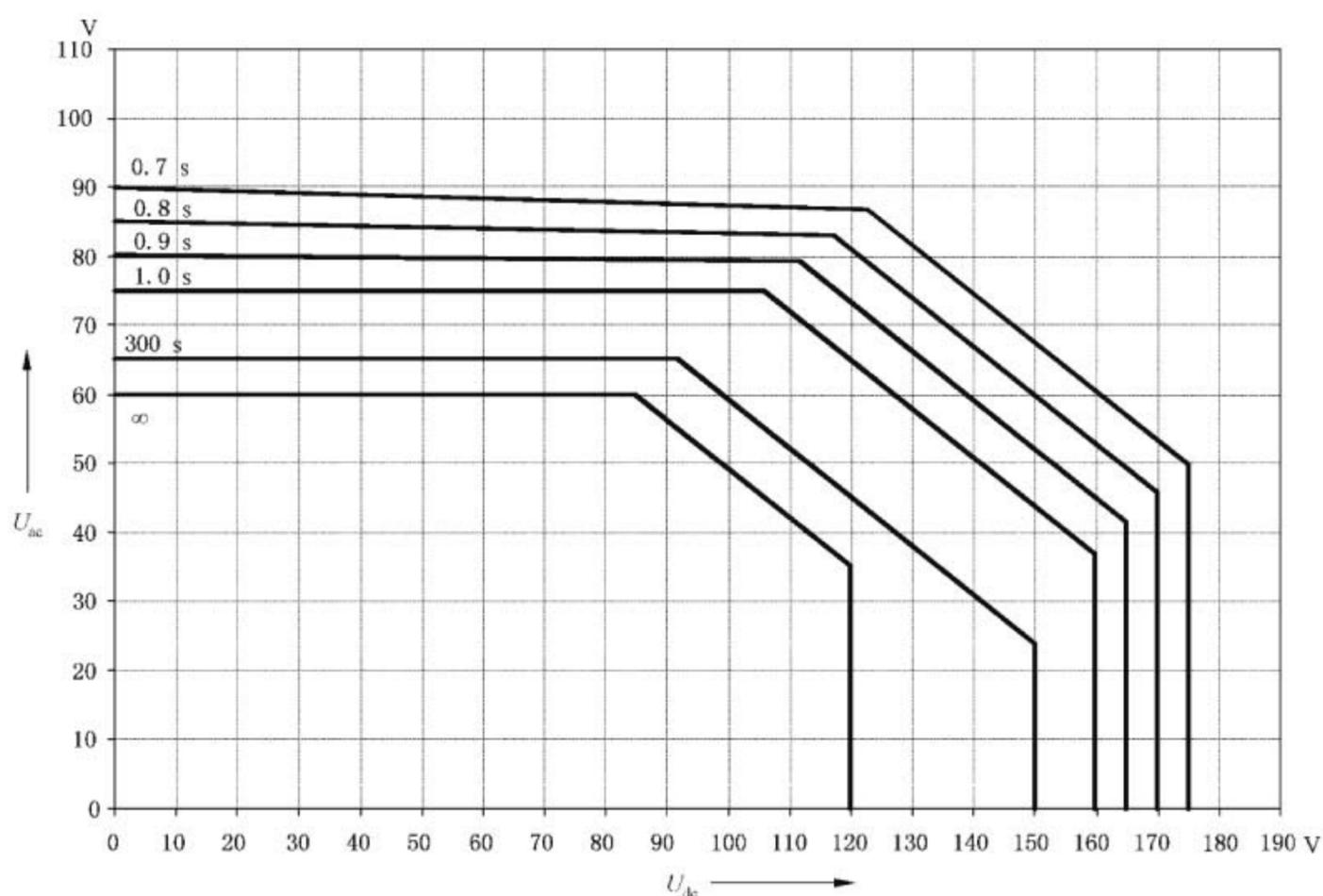
注 3: 长时制状况与运行状况相关,短时制状况与故障状况相关。

7.2 长时制状况下的接触电压限值

应检查复合电压是否满足以下要求:

- 复合电压中的交流分量不应超过 GB/T 28026.1—2018 中表 3 最大允许交流接触电压的规定值；
- 复合电压中的直流分量不应超过 GB/T 28026.1—2018 中表 5 最大允许直流接触电压的规定值；
- 若复合电压位于图 1 中适用的持续时间给定的包络线内，则为允许的电压；
- 持续时间超过 1 s，复合峰值电压(参见附录 C)应不大于 GB/T 28026.1—2018 中表 3 规定最大允许交流分量值的 $2\sqrt{2}$ 倍，不考虑频率分量。

示例：假设直流系统中最大允许的直流接触电压为 120 V，则交流电压限值为 35 V，见图 1。假设交流电系统最大允许交流接触电压为 60 V，则直流电压限值为 85 V，见图 1。



说明：

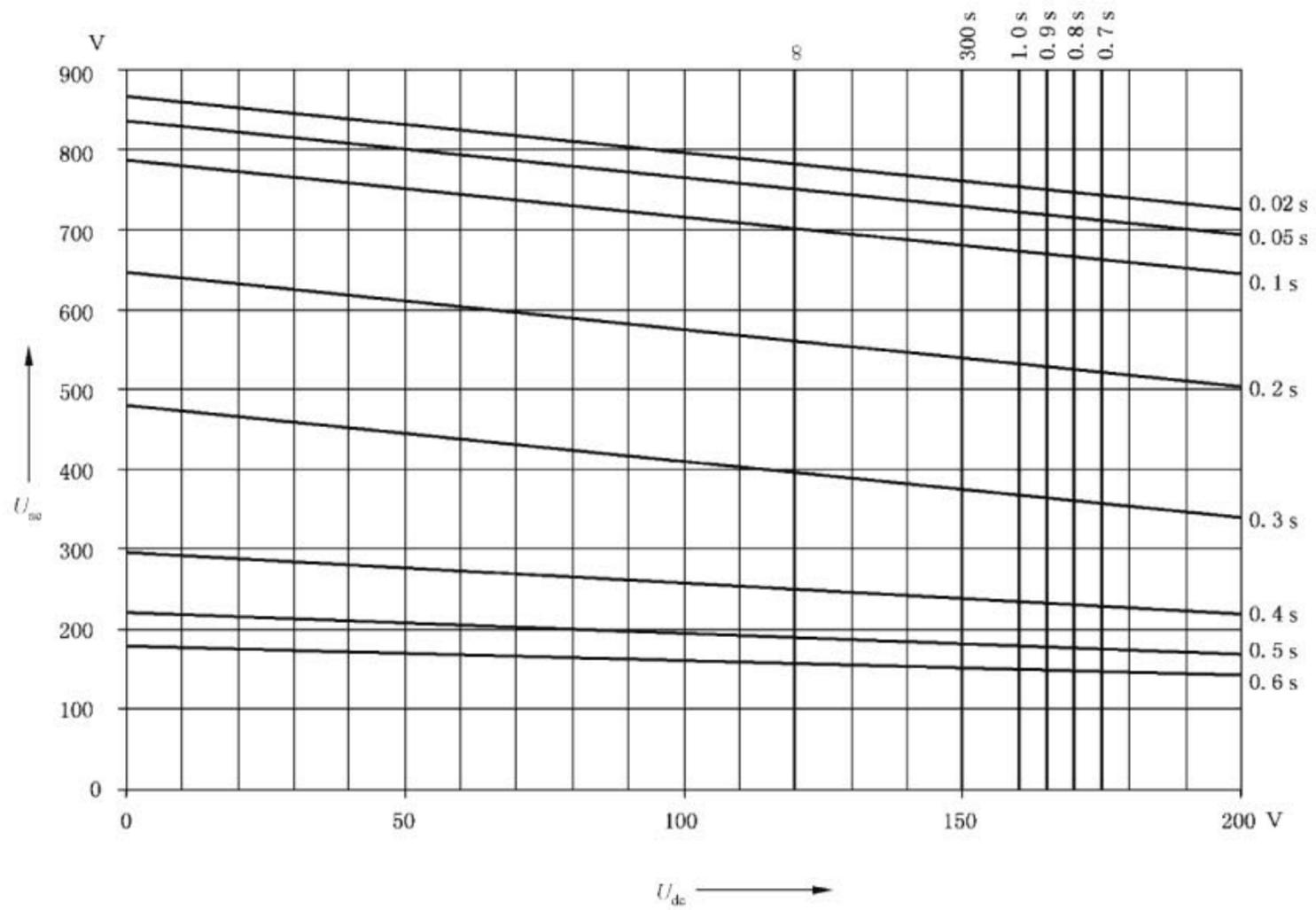
所有值均为方均根值。

图 1 长时制状况下最大允许复合有效接触电压(不包括车间及类似的地点)

7.3 短时制状况下的交流系统和长时制状况下的直流系统

应检查复合电压是否满足以下要求：

- 较短持续时间的复合电压交流分量不应超过 GB/T 28026.1—2018 中表 4 最大允许交流接触电压的规定值；
- 复合电压直流分量不应超过 GB/T 28026.1—2018 中表 6 最大允许直流接触电压的规定值；
- 如果复合电压位于图 2 中适用持续时间的包络线内，则为允许电压。



说明：
所有值均为方均根值。

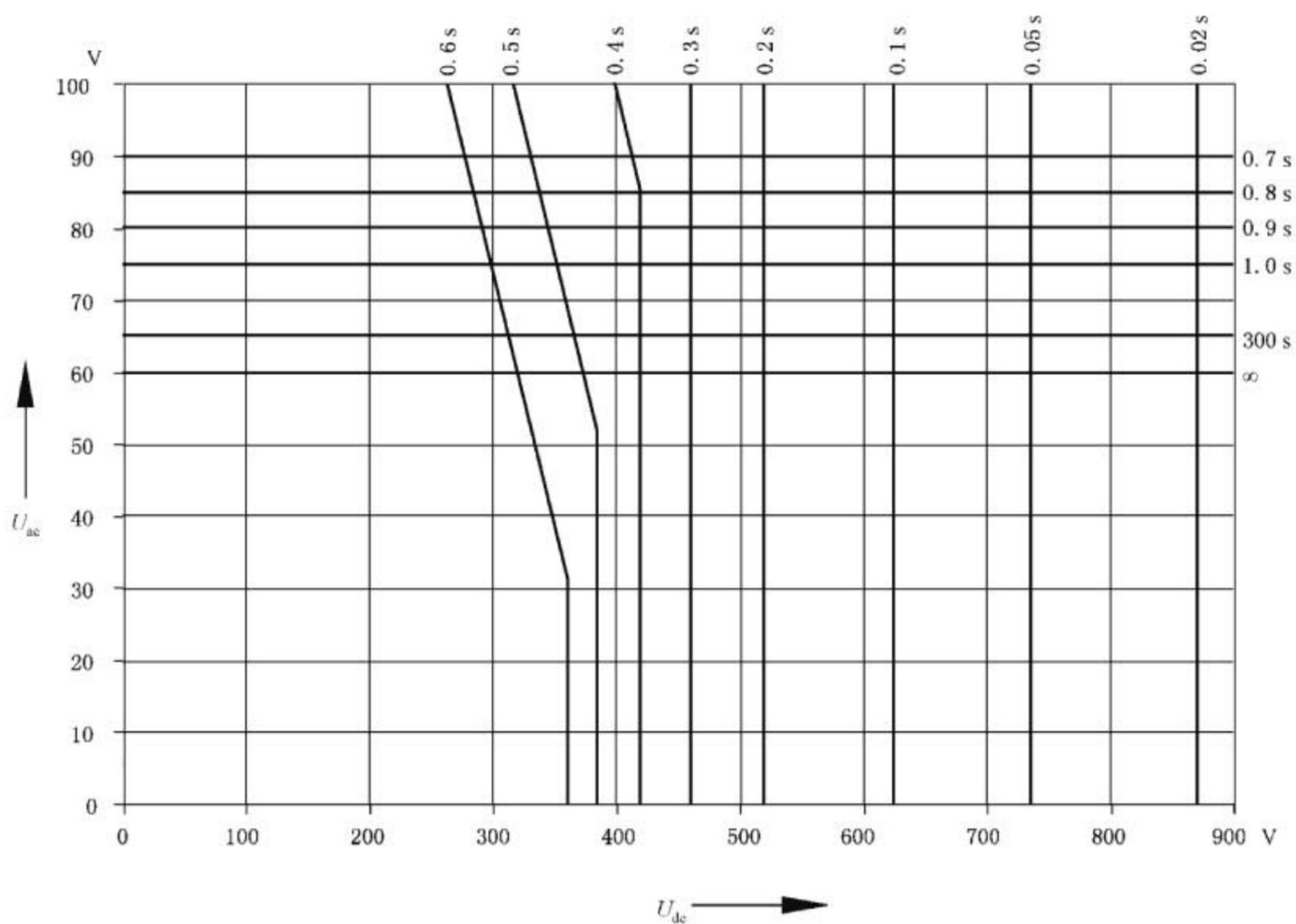
图 2 交流长时制状况和直流短时制状况下最大允许复合有效接触电压

示例：关于图 2 的应用举例参见附录 C。

7.4 长时制状况下的交流系统和短时制状况下的直流系统

应检查复合电压是否满足以下要求：

- a) 复合电压中的交流分量不应超过 GB/T 28026.1—2018 中表 4 最大允许交流接触电压的规定值；
- b) 复合电压中的直流分量不应超过 GB/T 28026.1—2018 中表 6 最大允许直流接触电压的规定值；
- c) 如果复合电压位于图 3 中适用的持续时间给定的包络线内，则为允许电压。



说明：

所有值均为方均根值。

图 3 交流长时制状况和直流短时制状况下最大允许复合有效接触电压

7.5 短时制状况下的交流系统和短时制状况下的直流系统

不需考虑交流系统和直流系统同时为短时制的现象。

注：交流系统和直流系统同时为短时制的可能性很小，并且在同一时刻接触回流回路的可能性也很小。

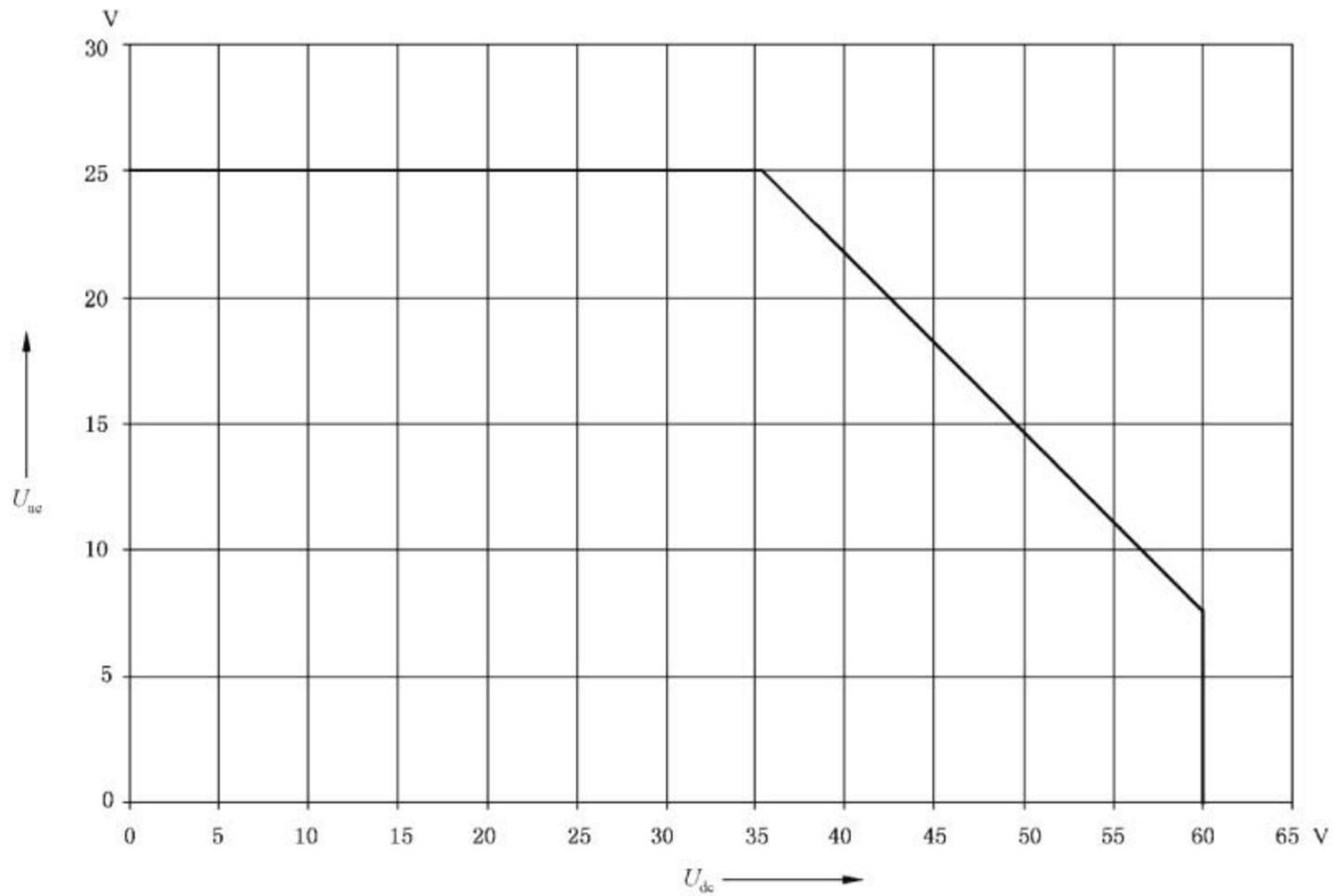
7.6 车间及类似的地点

对于长时制状况，应检查复合电压是否满足以下要求：

- 复合电压交流分量应符合 GB/T 28026.1—2018 中 9.2.2.3 的规定；
- 复合电压直流分量应符合 GB/T 28026.1—2018 中 9.3.2.3 的规定；
- 如果复合电压位于图 4 中规定的包络线范围内，则为允许电压。

对于短时制状况，7.3、7.4 和 7.5 适用。

示例：若直流系统最大允许直流接触电压为 60 V，则交流电压限值为 8 V。若交流系统最大允许交流接触电压为 25 V，则直流电压限值为 35 V，见图 4。



说明：
所有值均为方均根值。

图 4 车间及类似场合(除短时制状况外)最大允许复合有效接触电压

8 相互作用区域内的技术要求和措施

8.1 概述

所有装置应符合 GB/T 28026.1—2018 和 GB/T 28026.2—2018 的要求及本章规定。

8.2 交流供电制式铁路和直流供电制式铁路的回流系统各自独立时的要求

8.2.1 概述

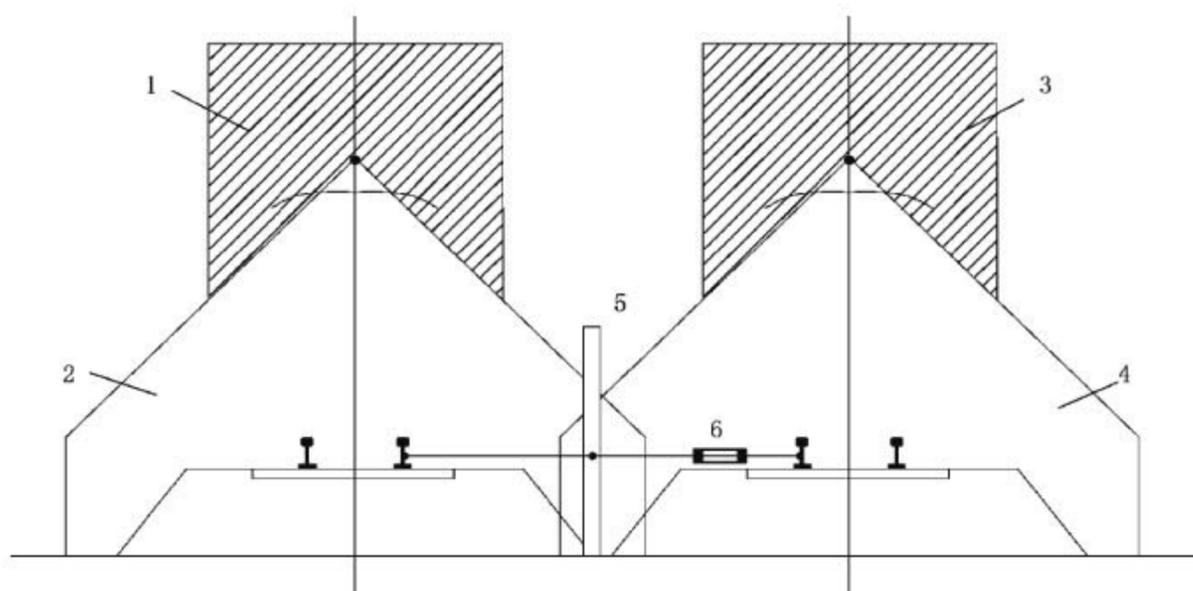
本条适用交流供电制式铁路和直流供电制式铁路的回流系统间无电气连接的情况。

8.2.2 与位于其他系统 OCLZ 和/或受电器区(CCZ)内回流系统相连接的回流系统或部件

应评估是否按 GB/T 28026.1—2018 第 6 章,在交流供电制式铁路和直流供电制式铁路回流系统间建立电气连接,如需建立电气连接,则应按第 7 章、GB/T 28026.1—2018 中的 6.2.2 和附录 D 规定设置电压限制装置。

如果回流系统及部件位于直流供电制式铁路的 OCLZ 或 CCZ,且与交流供电制式铁路的回流系统或机车车辆连接,反之亦然,则电压限制装置(最小功能 VLD-F)应连接在直流供电制式铁路回流系统和交流供电制式铁路回流系统之间。

示例见图 5。



说明:

- 1——交流线路 CCZ;
- 2——交流线路 OCLZ;
- 3——直流线路 CCZ;
- 4——直流线路 OCLZ;
- 5——围栏或其他导电部件(与交流线路回路相连);
- 6——电压限制装置。

图 5 可适用于交流和直流电压的 VLD 示例

系统的设计应确保电压限制装置在运行期间不导通,满足 GB/T 28026.2—2018 的要求。并应对与电压限制装置的导通状况相关的风险进行评估。

8.2.3 共用建筑和结构

8.2.3.1 接地策略的选择

在早期规划阶段,应评估交流供电制式铁路系统结构地与直流供电制式铁路系统结构地分离、任一系统结构地与共用建筑或结构外的接地系统分离的可行性。在任何情况下,都应对来自交流接触网和直流接触网接地故障电流的路径进行识别,并选择横截面积足够大的导体。非牵引的电力供电系统见 GB/T 28026.1—2018 中第 7 章。

8.2.3.2 结构地分离

如果结构地被分离,则需要绝缘缝或接头。

为了避免绝缘缝导通,敷设于建筑物内及从外部进入建筑的供电电缆 PE 线、通信电缆屏蔽层、金属管道和类似管线应使用绝缘接头。绝缘缝和相关设备应设置在被分离结构地的边缘。若采用绝缘缝,相关系统的设计应满足安全运行的要求。

建筑的地下部分采用绝缘缝时,绝缘部分应足够长,避免电流过大流经土壤使之导通。

当土壤电阻率大于 $500 \Omega \cdot \text{m}$,绝缘缝间距 1 m 可满足要求,否则采用 2 m。

应检测两个结构地间是否存在意外连接。

8.2.3.3 共用结构地

如果共用结构地,应考虑交流供电制式铁路及铁路结构外的接地系统中杂散电流带来的风险,应符合 GB/T 28026.2—2018 中第 7 章的规定。并应制定相关规定以防止交流供电制式铁路、结构地和外

部地中杂散电流可能引起的危险,应符合 GB/T 28026.2—2018 中第 10 章的规定。

8.2.4 电感和电容耦合

应对由交流供电制式铁路引起的接触网和直流供电制式铁路电缆上的感应电压,以及直流供电制式铁路旁的轨道和电缆上的感应电压进行评估,并在必要时采取合理的措施。

注:如果直流供电制式铁路钢轨按 GB/T 28026.2 的要求充分绝缘,则钢轨可获得很大的感应电压。直流供电制式铁路旁的通信电路所采取的措施与交流供电制式铁路旁的通信电路相同。

当直流接触网与变电站断开且未接地时,应采取必要的预防措施以防接触网上的交流感应电压过高。

当评估其是否符合要求时,应与交流供电制式铁路最紧密耦合的直流接触网不可分割的部分考虑在内。直流供电系统的感应电压应在直流系统设计时予以考虑。

8.3 关于交流和直流供电制式铁路共用回路和轨道的要求

8.3.1 概述

本条适用于使用相同轨道的交流和直流电力牵引供电系统,以及交流和直流供电制式铁路的平交道口。

8.3.2 杂散电流的防护措施

为阻止产生重大破坏的杂散电流,在交流供电轨道和直流供电轨道间应采取防护措施。交直流共用的走行轨应按 GB/T 28026.2—2018 中 6.4 的规定与地绝缘。GB/T 28026.1—2018 中 6.2 要求的连接件应采用可导通交流和直流电的电压限制装置。电压限制装置应符合 GB/T 28026.1—2018 中附录 D 的要求。

示例:依据 GB/T 28026.1—2018 中 6.2 的示例,当接触网电压等级较高时需采用 VLD 将走行轨与接触网基础和结构地相连。

铁路牵引供电系统的设计应使电压限制装置不导通(除在特殊的运行条件下),以满足 GB/T 28026.2 的要求。并应对与电压限制装置的导通状况相关的风险进行评估。

上述措施使得轨道接地失效,此时应采取特殊措施以保证走行轨上交流电压足够低,如使用隔离变压器、升压变压器和与地绝缘的回流导体等。

注:如果轨道上的交流电压和直流电压的方均根值在 1 min 内都明显小于 25 V,且在超过 30 min 后明显小于 10 V,则可进行实用性设计。

8.3.3 共用的结构和建筑

8.2.3 中的要求同样适用于安装有交流和直流电力牵引供电系统的同一轨道,除非交流和直流系统结构地互不相干。需特别注意结构、电气接地系统、管道以及共用建筑以外类似物体的杂散电流风险。

8.3.4 特殊情况

如果验证表明,当直流系统走行轨通过交流系统走行轨与地连接时,杂散电流不会引发重大损害,则可降低 8.3.2 和 8.3.3 中的要求。

特殊情况包括以下条件之一:

- 直流牵引供电系统采用绝缘的独立回流轨(如第四轨);
- 沿走行轨的直流系统具有由于牵引电流较小馈电段较短的因素导致的钢轨纵向电压降较小,见 GB/T 28026.2;如有要求,可设置单独回流导体与走行轨并联;
- 安装有两个系统的轨道,通过绝缘节和相关设备与直流系统中的其余部分进行电气隔离;

——在发生预期损伤之前,建筑物的使用时间比设计周期短,包括由第三方拥有的构筑物。

8.3.5 OCL 设计

设计应使带电交流导线跌落在带电直流导线上或带电直流导线跌落在带电交流导线上的可能性最小。

包括避免绝缘子或交直流系统之间出现闪络。

8.3.6 电感和电容耦合

8.2.4 同样适用当交流和直流牵引供电系统安装于同一轨道时。

8.4 系统过渡区段和系统过渡车站

杂散电流应根据 GB/T 28026.2—2018 的要求予以限制。接触电压应符合第 7 章的规定。

基本要求是:

- 确保交流和直流回路在所有操作及故障状况下保持通畅;
- 防止交流接触网和直流接触网之间的电气连接;
- 限制交流和直流回流系统之间的电流。

为限制两个系统之间发生回流交换,宜用绝缘节与特殊馈电装置和开关装置相连。如果采用绝缘节,应限制它们之间的电压以避免出现不允许的接触电压。应根据 8.3 处理系统过渡车站。

注:绝缘节两端的电压将由机车车辆进行桥接。

附录 A
(资料性附录)
相互作用的区域

A.1 概述

本附录给出了如何确定相互作用区域的大小。本附录不适用于精确地计算出直流系统和相邻交流系统之间的感应电压。

A.2 交流系统作为电源

A.2.1 主要参数

交流系统对直流系统的作用区域依据受影响直流系统的感应电压。

对于作用区域的宽度,主要由以下重要参数确定:

- a) 采用的牵引供电系统类型:
 - 1) 直接供电;
 - 2) BT 供电;
 - 3) AT 供电;
- b) 附加回流导体;
- c) 牵引电流;
- d) 平行长度;
- e) 当轨道不完全平行时的几何形状和轨道间距;
- f) 土壤电阻率;
- g) 基本频率为 50 Hz;
- h) 用其他金属结构或轨道对地面的传导效应等进行屏蔽。

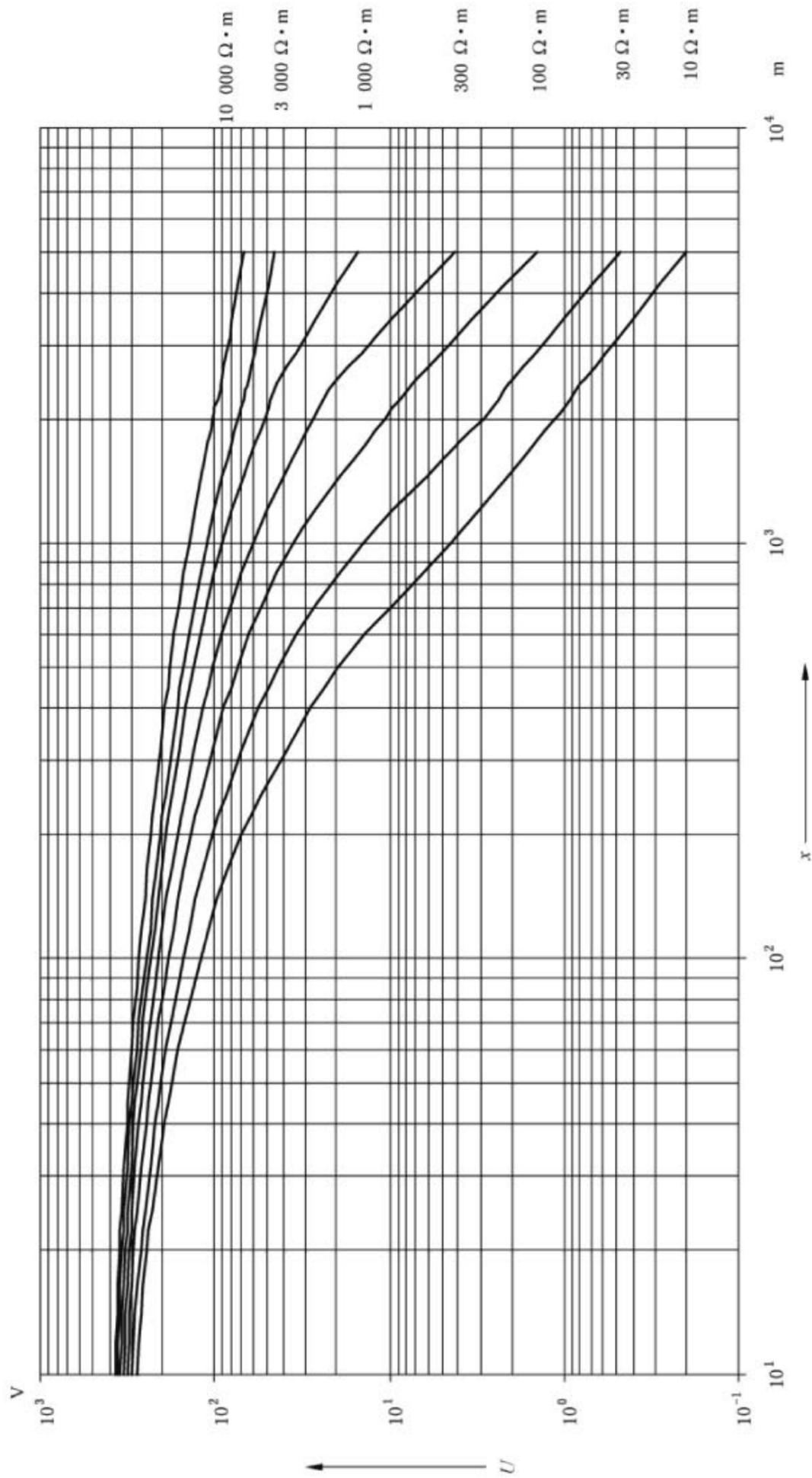
A.2.2 基本分析

基本分析采用以下基本参数:

- 双线铁路,四条走行轨回流;
- 每路 OCL 中的电流为 500 A(总共为 1 000 A);
- 平行长度假设为 4 km;
- 土壤电阻率在 $10 \Omega \cdot \text{m} \sim 10\,000 \Omega \cdot \text{m}$ 之间不等;
- 基本频率为 50 Hz。

如图 A.1(双对数标尺)和图 A.2(与 A.1 类似,但采用的是线性标尺)所示为与地绝缘,且单端接地系统中的不同土壤电阻率和距离下的感应电压值。鉴于上述参数和 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 的土壤电阻率,作用区域为 1 000 m。

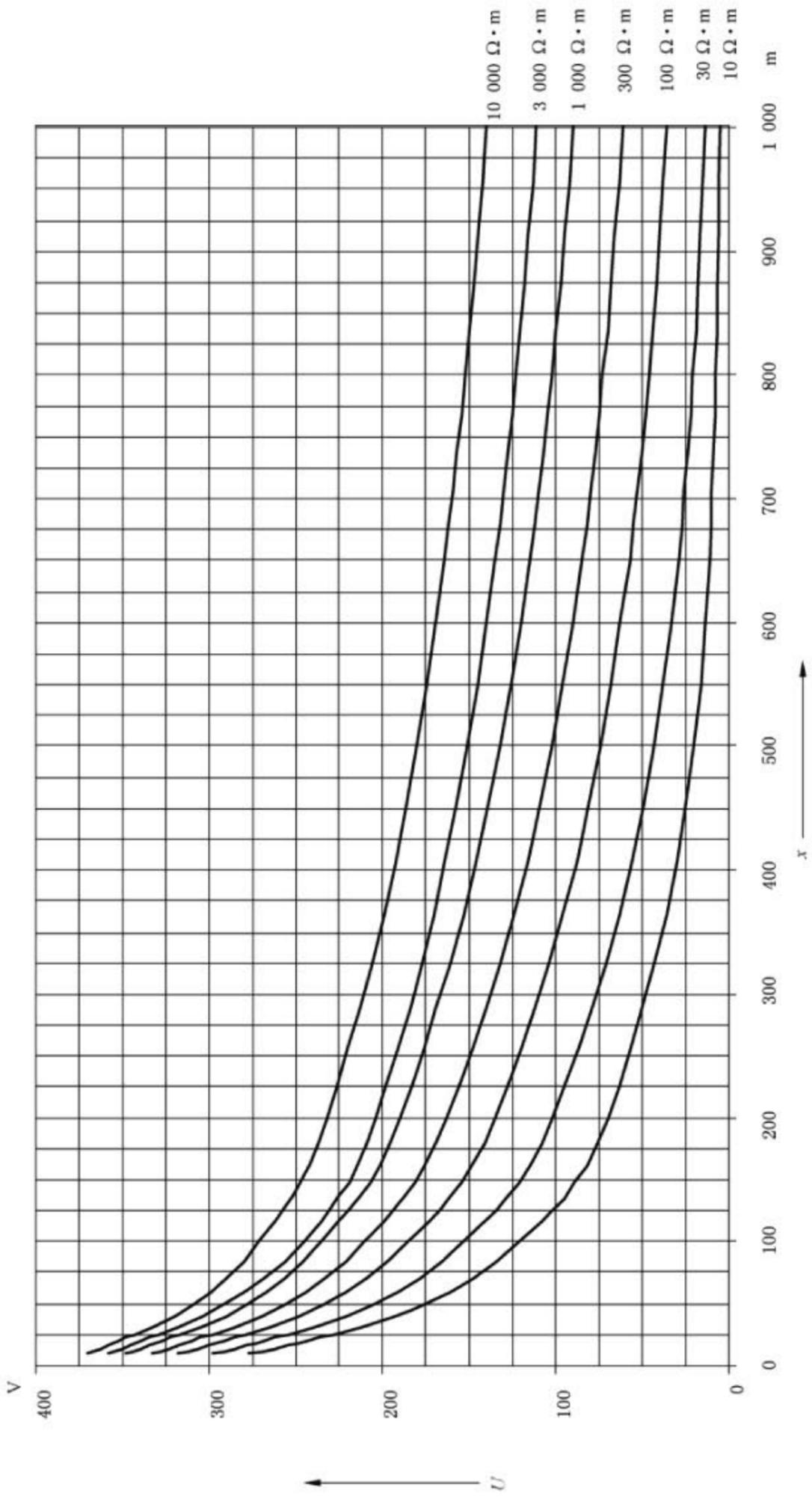
如图 A.3 中所示为平行长度和作用区域之间的关系。



说明:

x ——交流和直流供电制式铁路系统中轨道中心之间的距离,单位为米(m)。

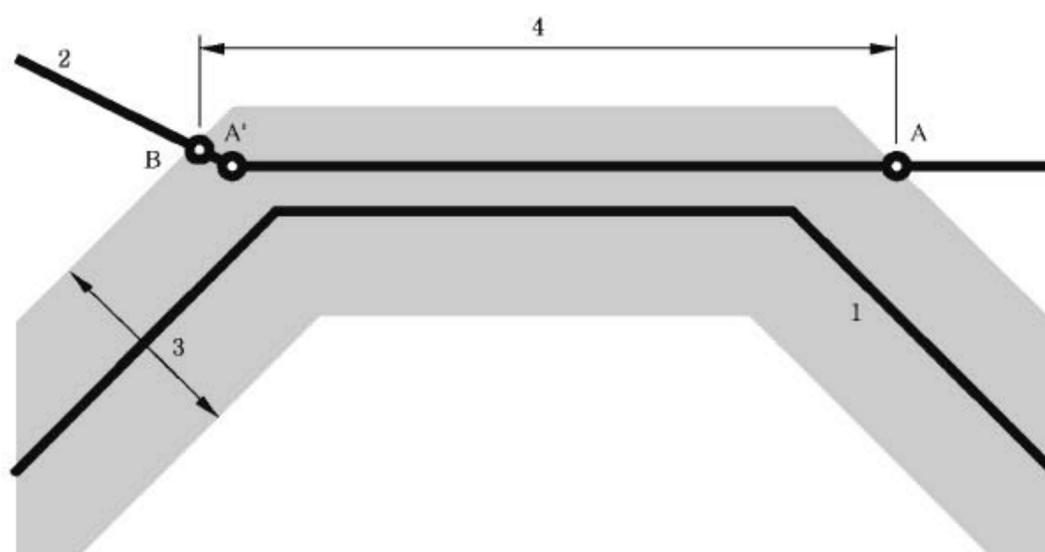
图 A.1 不同距离和土壤电阻率 I 下的感应电压变化图



说明：

x ——交流和直流供电式铁路两者轨道中心之间的距离，单位为米(m)。

图 A.2 不同距离和土壤电阻率 II 下的感应电压变化图



说明：

- 1——交流供电制式铁路；
- 2——直流供电制式铁路；
- 3——交流供电制式铁路引起的作用区域；
- 4——平行长度。

图 A.3 平行长度与交流供电制式铁路引起的作用区域之间的关系

A.2.3 参数变化

当研究的系统参数与 6.2 中用于推算作用区域的数值不同时，直流系统中的感应电压可根据图 A.1 和图 A.2 取近似值。

直流系统中的感应电压为线性电压，与以下参数相关：

- 牵引电流；
- 平行长度。

直流系统中的感应电压为近似线性电压，与以下参数相关：

- 基本频率 50 Hz。

直流系统中感应电压还取决于：

- 两个牵引供电系统之间的距离；
- 交流牵引供电系统的类型；
- 是否存在回流导体；
- 其他金属结构的屏蔽效应或走行轨对地的传导效应等，即所谓的文明系数。

注 1：经验证明，人口密集地区的感应电压低于由基本理论推算出的感应电压，因接地导电结构、埋水管以及类似的与铁路系统平行的物体会产生额外屏蔽，且所考虑的物体对地传导性具有减缓作用。

注 2：用作对比不同供电方式（如 AT 或 BT 供电）下的通用特定因素无法给出，因其感应电压取决于负荷位置以及变电所、自耦变压器和升压变压器的位置。

本附录所采用的方法是根据全部与地绝缘、且单端接地的受影响系统。当没有完全绝缘时，如直流走行轨，可考虑走行轨对地的传导性，参见文明系数。

根据上述内容可得出以下修正系数：

- a) 电流修正系数： $C_1 = I_{trc}(\text{单位:kA}) / 1 \text{ kA}$ ；
- b) 平行长度修正系数： $C_L = L_{II}(\text{单位:km}) / 4 \text{ km}$ ；
- c) 频率修正系数：50 Hz 时， $C_f = 1.0$ ；
- d) 系统修正系数包括：
 - 1) 标准系统修正系数： $C_s = 1.0$ ；

- 2) 回流导体存在修正系数： $C_s = 0.4 \sim 0.7$ 为标准值；
- 3) AT 或 BT 供电系统修正系数： $C_s = 0.1 \sim 0.4$ 为标准值；
- 4) 文明系数： $C_c = 0.1 \sim 0.5$ 为标准值。

通过采用图 A.1 和图 A.2 中的适用修正系数、土壤电阻率和距离,可用式(A.1)求出直流系统的感应电压的近似值。

$$U_{\text{感应}} = C_1 \times C_L \times C_f \times C_s \times C_c \times U(p, d) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$U(p, d)$ ——特定距离内适当土壤电阻率条件下的电压,频率为 50 Hz,单位为伏特(V)。

利用式(A.1)以及图 A.1 和图 A.2 中的图解,可得出其他系统的作用区域的近似值。

I_{trc} 是相关接触网系统部分在平行长度上的平均电流。

回流导体存在下的系统修正系数值随频率增加而减小。

示例:当系统中有回流导体,其平行长度为 3.0 km,平均牵引电流为 0.5 kA,频率为 50 Hz,土壤电阻率为 $300 \Omega \cdot \text{m}$ 时,计算出相互作用区域的一个交流供电制式铁路和一个直流供电制式铁路轨道之间的距离。对于 6.2 中土壤电阻率为 $300 \Omega \cdot \text{m}$ 的参考交流系统,要获得 35 V 的电压,所需要的距离为 1 700 m,如图 A.1 所示。在该情况下,应用系数 $0.5 \times 0.75 \times 1 \times 0.45 \times 1 = 0.17$ 对电压进行修正。根据图 A.2 中的图解,当土壤电阻率为 $300 \Omega \cdot \text{m}$ 和感应电压为 210 V($\approx 35 \text{ V}/0.17$)时可得出距离为 100 m。

A.3 直流系统作为电源

直流系统对交流系统的感应电压的影响甚微。由于回路与地绝缘,接近轨道的电压梯度非常大,主要穿过了钢轨扣件的绝缘层,而离土壤较远的地方梯度较小。与交流系统相比,影响区域相对较小。

若由于与导电部件或局部导电部件的电导性耦合导致电压传输(永久性的或暂时性的)存在的可能性,影响区域的尺寸与部件的尺寸相同。当交流供电制式铁路和直流供电制式铁路的回流系统距离小于 50 m 时,将会出现同 5.2.2 中描述的相同的效应。

附 录 B
(资料性附录)
相互作用的分析和评估

B.1 概述

交流系统和直流系统都可看作是接收端和电源。当作为接收端时,需要考虑(电子)技术系统和人类两方因素。按第5章的规定,根据适用负载和系统配置,可确定一个铁路系统对相邻系统产生的影响。

B.2 相互作用分析

当距离大于第6章中规定的影响区域的宽度时,可不对情况进行分析,除非有迹象表明可能发生相互作用。当距离小于50 m要求对情况进行分析。

B.3 要考虑的系统配置

对于铁路系统而言,以下两点尤为重要:

- a) 长时制状况;
- b) 短时制状况。

长时制状况描述电源与接收端间的最大耦合,运行状况应综合考虑电源与接收端间的交通运输与供电系统最恶劣情况。

注:为了进行分析,将长时制状况与运行状况相联系,将短时制状况与故障状况相联系,如开关操作。

附录 C
(资料性附录)
复合电压分析

GB/T 28026.1 中涉及交流和直流系统仅考虑基本频率下对人类造成的影响。本附录中对复合电压进行了分析。在交流电压和直流电压叠加处,可采用下列原理为依据的方法来确定是否允许出现交流电压和直流电压复合效应。

波形的重要特性使其在此处的复合峰值被定义为:

- a) 相对于 0 V 为最大正峰值;
- b) 相对于 0 V 为最大负峰值的绝对值;
- c) 峰-峰值。

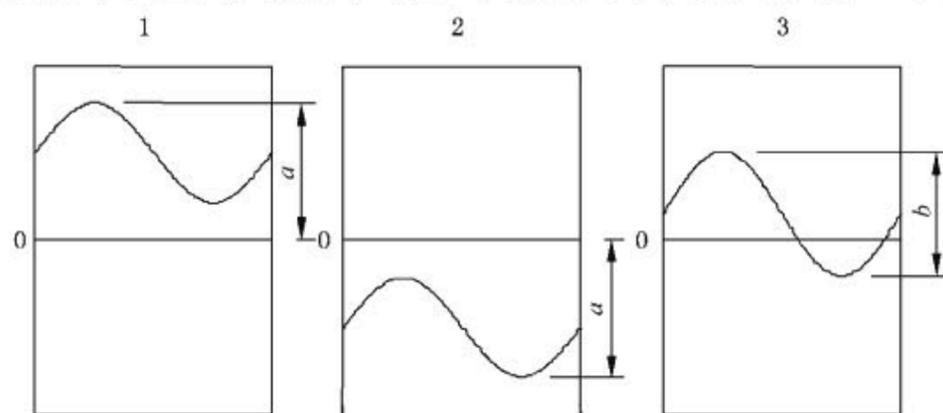
如图 C.1 中所示。

如第 7 章所述,当持续时间 $t > 1.0$ s 时,如果波形复合峰值小于 GB/T 28026.1 中规定的交流电压允许方均根值 $2\sqrt{2}$ 倍,则为允许存在电压;波形的直流分量不超过 GB/T 28026.1 允许的直流电压。

当根据 GB/T 28026.1 中给定允许的交流电压和直流电压的值推导复合电压的限值,需要考虑交流电压和直流电压的持续时间。

复合峰值也包含更高频率的影响。如果复合峰值交流部分的波峰系数(波峰系数=峰值/方均根值)大于 $\sqrt{2}$,需要考虑这种影响。

当计算交流分量的方均根值时,应确定波峰系数,与波峰修正系数相乘可得出交流分量的方均根值。波峰修正系数为波峰系数除以 $\sqrt{2}$ 的值。如果波峰修正系数小于 1,那么取值为 1。波峰系数由电压峰值除以电压方均根值得出。通常仿真时,频率分量与相位无关。因此将交流分量的各频率分量的峰值相加可得出交流分量的峰值。根据这个峰值,可确定波峰系数和波峰修正系数。



说明:

- 1——相对于 0 V 的正峰值示意图;
- 2——相对于 0 V 的负峰值的绝对值示意图;
- 3——峰-峰值示意图;
- a——峰值;
- b——峰-峰值。

图 C.1 复合峰值电压的定义

通常,下列三项条件应符合并满足复合接触电压的人员安全要求:

- a) 涉及修正系数的交流分量方均根值应小于 GB/T 28026.1 中规定的交流电压方均根限值;
- b) 复合电压的直流分量小于 GB/T 28026.1 中规定的直流电压限值;
- c) 复合电压的复合峰值小于交流电压限值乘以一个取决于持续时间的系数,时间系数如下:

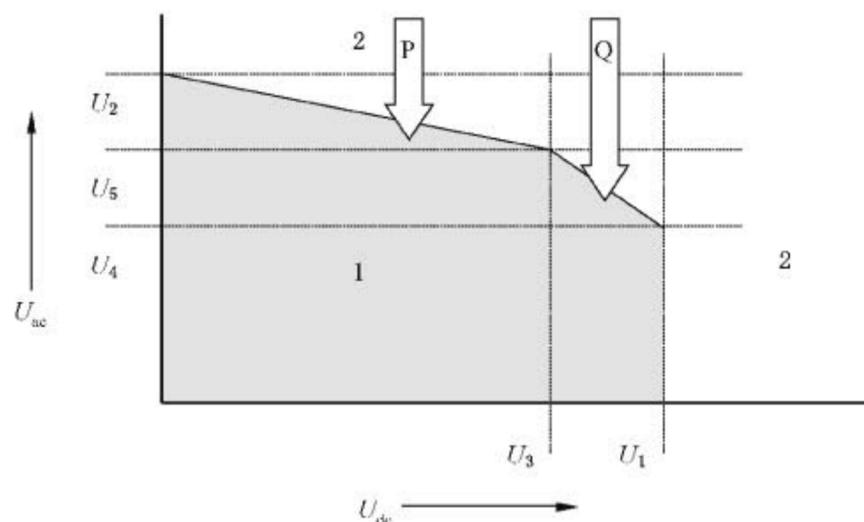
- 1) $t < 0.3$ s, 系数为 $\sqrt{2}$;
- 2) $t > 1.0$ s, 系数为 $2\sqrt{2}$;
- 3) 0.3 s $\leq t \leq 1.0$ s, 利用上述值之间的线性插值法, 可得出系数。

当 $t \leq 0.3$ s, 采用峰值, 当 $t \geq 1.0$ s 时, 采用复合峰值进行分析。当 0.3 s $\leq t \leq 1.0$ s 时, 计算峰值和复合峰值之间的插值。

根据 GB/T 28026.1 中规定的持续时间, 允许的人体电压和接触电压尤为重要。允许的复合电压在图 C.2 所示的包络线内。

如果持续时间长于 1.0 s, 采用峰峰值法, 可产生一条水平线 P, 如图 C.2。

当持续时间短于 0.3 s 时, 采用峰值法, 可导致斜线 P 与斜线 Q 的斜率相同。当持续时间在 0.3 s 至 1.0 s 之间时, 采用插值法。



说明:

- 1——允许;
- 2——不允许。

图 C.2 允许的交流电压和直流电压

在图 C.2 中, 采用式 (C.1) ~ 式 (C.6) 所示缩略式。

$$\begin{aligned}
 a &= 0 & t &\geq 1.0 \text{ s} \\
 a &= \frac{(U_{ac, \max} - U_{ac, 1.0})}{(U_{ac, 0.3} - U_{ac, 1.0})} & 0.3 \text{ s} &\leq t \leq 1.0 \text{ s} \quad \dots\dots\dots (C.1) \\
 a &= 1 & t &\leq 0.3 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$U_1 = U_{dc, \max} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

$$U_2 = U_{ac, \max} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

$$U_3 = \frac{\sqrt{2} \times U_{ac, \max}}{(1 + a)} \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

$$U_4 = \frac{2 \cdot U_{ac, \max}}{(1 + a)} - \frac{U_{dc, \max}}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

$$U_5 = \frac{U_{ac, \max}}{(1 + a)} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

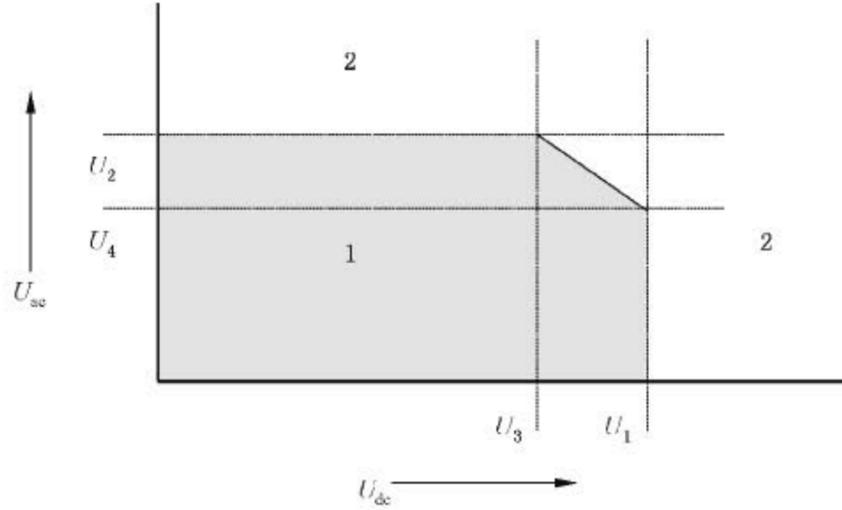
- $U_{dc, \max}$ —— GB/T 28026.1 中规定的最大允许直流电压, 单位为伏特 (V);
- $U_{ac, \max}$ —— GB/T 28026.1 中规定的最大允许交流电压, 单位为伏特 (V);
- $U_{ac, 0.3}$ —— GB/T 28026.1 中规定的 0.3 s 内的最大允许交流电压, 单位为伏特 (V);
- $U_{ac, 1.0}$ —— GB/T 28026.1 中规定的 1.0 s 内的最大允许交流电压, 单位为伏特 (V)。

线 P 和线 Q 的斜率见式(C.7)、式(C.8)。

$$\text{线 P: slope} = S_P = a \cdot \frac{-1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (C.7)$$

$$\text{线 Q: slope} = S_Q = \frac{-1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (C.8)$$

当持续时间大于或等于 1.0 s 时,交流电压与直流电压变化见图 C.3。



说明:
1——允许;
2——不允许。

图 C.3 持续时间大于或等于 1.0 s 时的交流电压和直流电压变化

适用图 2 和图 3 的实例如图 C.4 所示。当交流电压持续时间为 0.1 s,直流电压持续时间为 300 s 时,可允许出现阴影区内的复合电压。

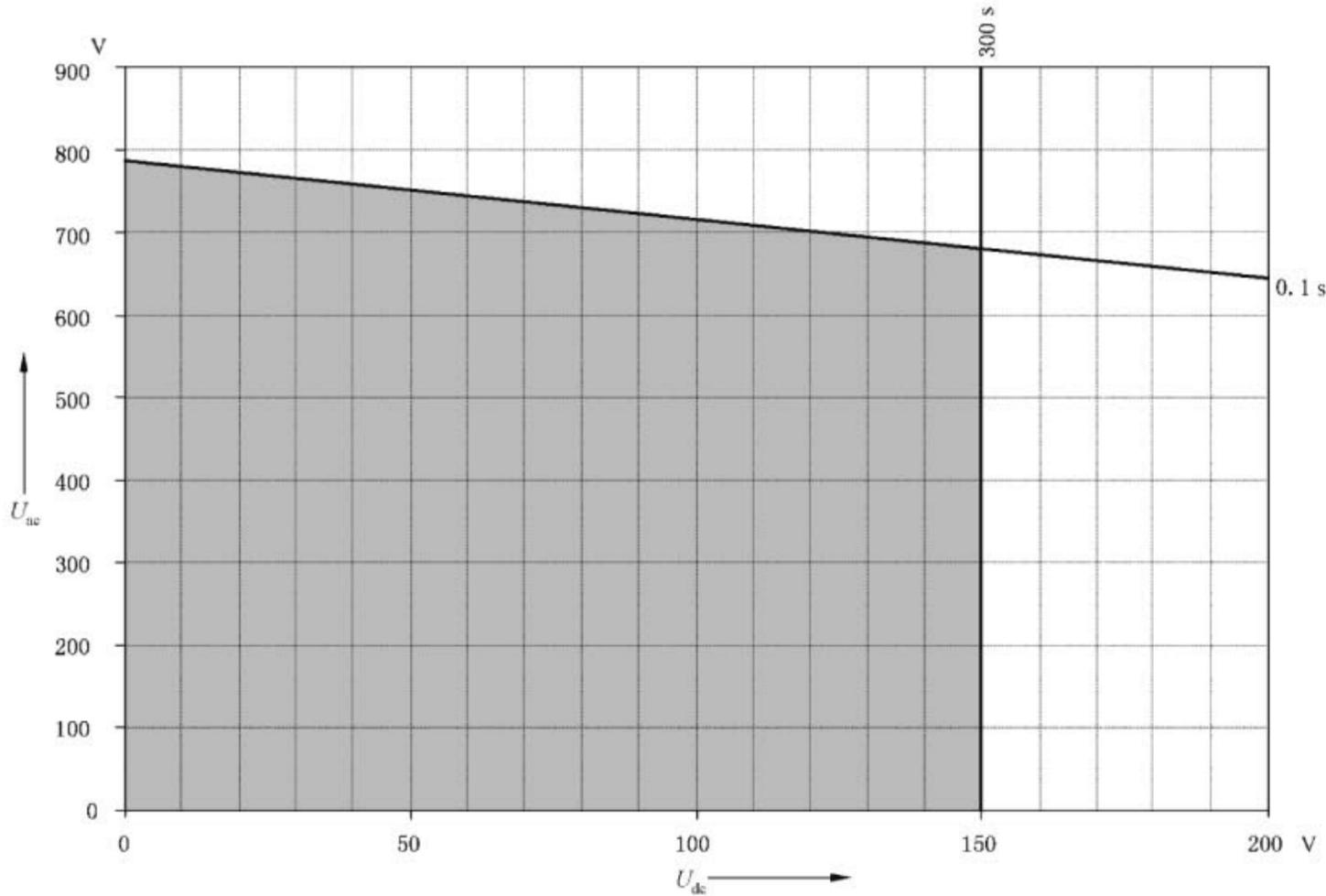


图 C.4 交流电压持续时间为 0.1 s 且直流电压持续时间为 300 s 时的允许电压

参 考 文 献

- [1] GB/T 1402—2010 轨道交通 牵引供电系统电压
 - [2] GB/T 13870.1—2008 电流对人和家畜的效应 第1部分:通用部分
 - [3] IEC/TS 60479-2:2005 电流对人类和家畜的影响 第2部分:特殊情况
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
轨 道 交 通 地 面 装 置 电 气 安 全、
接 地 和 回 流 第 3 部 分：交 流 和
直 流 牵 引 供 电 系 统 的 相 互 作 用

GB/T 28026.3—2018

*

中 国 标 准 出 版 社 出 版 发 行
北 京 市 朝 阳 区 和 平 里 西 街 甲 2 号 (100029)
北 京 市 西 城 区 三 里 河 北 街 16 号 (100045)

网 址：www.spc.org.cn

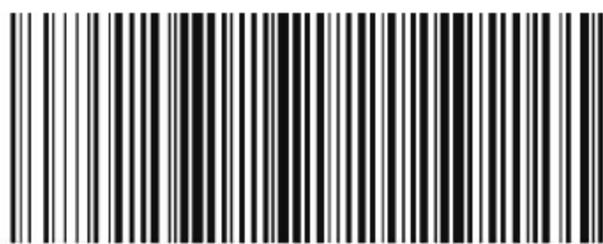
服 务 热 线：400-168-0010

2018 年 12 月 第 一 版

*

书 号：155066 · 1-61744

版 权 专 有 侵 权 必 究



GB/T 28026.3—2018