



中华人民共和国国家标准

GB/T 28027—2011

轨道交通 供电系统和机车车辆运行匹配

**Railway applications—Technical criteria for the coordination between
power supply and rolling stock to achieve interoperability**

(IEC 62313:2009, Railway applications—Power supply and rolling stock—
Technical criteria for the coordination between power
supply(substation) and rolling stock, MOD)

2011-10-31 发布

2012-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 参数平均综合时限 4

5 电分相 4

6 列车的功率因数 6

7 列车限制电流 7

8 供电质量指标 8

9 线路和牵引供电系统类型 9

10 谐波和动态效应 9

11 保护配合 14

12 再生制动 15

13 试验 15

14 试验方法 16

附录 A (资料性附录) 参数平均综合时限 20

附录 B (资料性附录) 决定高速列车受电弓处电压的选择标准 21

附录 C (资料性附录) 谐波特性与相关过电压的研究 23

附录 D (资料性附录) 谐波和动态效应兼容性研究数据 25

附录 E (资料性附录) 电分相的不同类型 29

附录 F (资料性附录) 列车最大允许电流值 31

附录 G (资料性附录) 接触网-钢轨短路电流最大值 32

附录 H (资料性附录) 牵引单元断路器合闸时 di/dt 33

参考文献 34

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准采用重新起草法修改采用 IEC 62313:2009《轨道交通 供电系统和机车车辆 供电系统(变电所)和机车车辆运行匹配技术准则》。

本标准与 IEC 62313:2009 存在技术性差异,这些差异涉及的条款的页边空白处用垂直单线(|)进行标示。本标准与 IEC 62313:2009 的技术性差异及其原因如下:

- 第 1 章范围中,按国情将线路划分为干线铁路和城市轨道交通;
- 对表 1 按交流传动和直流传动列车进行分类,并基于目前国内机车制造商实际经验,将注^b中所检测的总平均功率因数 λ 要求调整为 0.80;
- 国内只存在 50 Hz 供电频率,故表 2、表 5 删除了 16.7 Hz 相关内容、表 5 删除了 60 Hz 相关内容;
- 国内不存在 AC 15 000 V、DC 3 000 V,故表 2、表 3 删除了 AC 15 000 V、DC 3 000 V 相关内容;
- 对表 3 按交流传动和直流传动列车进行分类。

本标准还做了下列编辑性修改:

- 修改标准名称,以适合国内行业习惯,将标准名称改为“轨道交通 供电系统和机车车辆运行匹配”,相应的英文名称由“Railway applications—Power supply and rolling stock—Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock”改为“Railway applications—Technical criteria for the coordination between power supply and rolling stock to achieve interoperability”;
- 第 2 章 GB/T 25890.1 只在资料性附录中出现,故改为参考文献;
- 第 2 章 GB/T 2900.36—2003 为术语引用标识,改为参考文献;
- 修正了原文 14.4 中表格引用表 4 的错误(应为表 3),并将 3 个表格编号为表 7~表 9;
- 在资料性附录 G 中,按国内实际情况将 AC 25 kV 供电系统最大短路电流改为 25 kA;
- 删除了原文的资料性附录 I 和参考文献。

本标准由中华人民共和国铁道部提出。

本标准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。

本标准主要起草单位:中铁第四勘察设计院集团有限公司。

本标准参与起草单位:中铁第三勘察设计院集团有限公司、中铁工程设计咨询集团有限公司、中铁电气化勘测设计研究院有限公司。

本标准主要起草人:黄足平、王猛、黄军、李红梅。

本标准参与起草人:戚广枫、钟松辉、张华志、周娟、孙震洋、苏鹏程、田胜利。

轨道交通 供电系统和机车车辆运行匹配

1 范围

本标准制定机车车辆对设备的接受要求,主要涉及以下几方面:

- 供电系统和牵引单元之间保护原则的协调,特别是短路故障的识别;
- 线路的安装功率与列车的需求功率之间的协调;
- 牵引单元再生制动和供电系统接受能力之间的协调;
- 谐波特性的协调。

本标准提出了牵引单元和地面装置之间的供电接口定义和供电质量要求。

本标准在“供电系统”的框架内,规定了机车车辆和用于牵引的电力地面装置之间的接口。受电弓与接触网之间的相互影响、受电弓与“控制-命令”(尤其是信号)子系统的相互影响不在本标准的范围内。

要求按以下线路类别分述:

- 干线铁路;
- 城市轨道交通。

注:

- 干线铁路包括各类高速和常规铁路等;
- 城市轨道交通包括有轨电车、轻轨、地铁系统等。

本标准不适用于基础设施管理部门已经接收的机车车辆。但是在新的设施条件下,基础设施管理部门可以通过制定一个协定来认可既有的机车车辆。

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 1402—2010 轨道交通 牵引供电系统电压(IEC 60850:2007,MOD)

IEC 61133:2006 铁道设施 铁道车辆 车辆组装后和运行前的整车试验(Railway application—Rolling stock—Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高速铁路 high speed line

新建的或改建的速度目标值大于或等于 200 km/h 的线路。

3.2

常规铁路 conventional line

常规的客货共线线路,不是 3.1 中的高速铁路。

3.3

线路形式 type of line

按 3.4~3.6 描述的功能对线路分类。

3.4

受电弓处的列车功率 train power at the pantograph

列车的有功功率,考虑牵引功率,再生功率和辅助功率。

3.5

最小追踪间隔 minimum possible headway

信号系统允许的列车之间的最小距离。

3.6

最高线路速度 maximum line speed

经批准的线路运行速度。

3.7

接触网 contact line

通过受电设备为交通工具提供电能的导电系统。

注:接触网包括架空接触网和受电轨。

[GB/T 2900.36—2003, 811.33.1]

3.8

架空接触网 overhead contact line

位于机车车辆限界之上,通过车顶受电弓设备向机车车辆供电的接触网。

3.9

(牵引)变电所 (traction)substation

其主要作用是给接触网提供电能。在变电所里,原边供电电压被转换成接触网所需频率的电压。

3.10

总功率因数 total power factor

λ

$$\lambda = \frac{\text{有功功率}}{\text{视在功率}}$$

3.11

畸变系数 deformation factor

ν

$$\nu = \frac{\lambda}{\cos \varphi}$$

3.12

基波功率因数 power factor of the fundamental wave

$$\cos f = \frac{\text{基波有功功率}}{\text{基波视在功率}}$$

注: $\cos f$ 也是相位系数。

3.13

电分相 different source section

阻止受电弓经过时连通不同电压、不同相位或不同频率接触网的区段。

——中性段 neutral section

两端有分段装置的一段接触网。

——绝缘分段 insulator section

一段连接在接触网中的绝缘体。

——转换分段 changeover section

通过开关由两端电源之一供电的一段接触网。

3.14

车辆 vehicle

机车车辆中的某一种,如机车、客车或货车。

3.15

牵引单元 traction unit

一般术语,可以是一台机车、一辆电动客车或者一个列车单元。

3.16

机车车辆 rolling stock

对带或不带牵引电动机的各种机车和车辆的总称。

3.17

列车 train

组合在一起的机车车辆,包括补机。

3.18

正常运行条件 normal operating conditions

运营按照设计的时间表和编组,照此设计的供电固定设备按照标准规则运行。

注:标准规则由基础设施主管部门制定。

3.19

非正常运行条件 abnormal operating conditions

交通荷载超过标准规则或者电能供应设备工作中断超过标准规则。

注:在这些情况下,交通运营可以不按设计的时间表运行。

3.20 受电弓处平均有效电压($U_{\text{mean useful}}$)

3.20.1

$U_{\text{mean useful}}$ (区段) $U_{\text{mean useful}}$ (zone)

时刻表中运营高峰期间内的平均有效电压,该电压用于评价某个供电区段电能质量。

3.20.2

$U_{\text{mean useful}}$ (列车) $U_{\text{mean useful}}$ (train)

计算列车的电压,该电压用作量化列车运行性能指标。

3.21

计算列车 dimensioning train

平均有效电压最低的列车。

3.22

线路基础设施登记表 register of infrastructure

对于铁路干线:线路每一区间都编写一个单独的文件,该文件用于记录线路的特性,包括地面装置在内的所有子系统的特性。

“线路基础设施登记表”应由基础设施管理部门或者其授权的部门编制。

对于其他的线路:对线路的每一区间编写一个单独的文件,收集该段线路的特性,包括地面装置在内的所有子系统的特性。

3.23

基础设施管理部门 infrastructure manager

负责建设、维护铁路基础设施的任何机构。也包括基础设施控制和安全系统的管理机构。铁路网

或部分线路的基础设施管理部门的功能可分配给不同的机构或部门。

3.24

新设备 new element

一般来说,任何新的、重建或改建的(硬件或软件)对供电系统的谐波特性可能存在影响的牵引单元或者供电设备。

新设备和牵引单元一起整合在既有的供电网络中,例如在地面装置方面:

- 变压器;
- 高压电缆;
- 滤波器;
- 变流器。

4 参数平均综合时限

本条款是资料性质的,参见附录 A。

列车司机或基础设施管理部门利用提供的参数进行如下操作:

- 加速能力受到低电压限制的计算;
- 保护测量;
- 规划;
- 等等。

只有能在精确定义时间间隔内进行平均的参数才有效。

附录 A 提供了参数宜被平均的时限。

5 电分相

电分相有多种形式,如绝缘分段、中性段、转换分段,参见附录 E。

5.1 交流分相区段

列车可按照以下四种方式通过交流分相区段:

- a) 带牵引/再生电流的方式;
- b) 带辅助负载电流的方式;
- c) 带变压器空载电流的方式;
- d) 无电运行方式。

列车通过分相区段的方式由基础设施管理部门决定。

对基础设施和机车车辆的设计要求如下:

- a) 带牵引/再生电流的方式

如果列车以带牵引/再生电流的方式通过交流分相区段,转换区段应当安装在基础设施中。参见 E.4 中转换区段的资料。

转换区段的供电的转换操作应当在基础设施中自动完成。

列车应能承受因转换操作引起的短时的停电,而不引起任何损害或故障。

- b) 带辅助负载电流的方式

如果列车以带辅助负载电流的方式通过交流分相区段,分相区段和受电弓应能切断辅助电流,并且能产生和承受变压器涌流。

当进入分相区段的时候,牵引/再生电流应当降为 0。宜采用自动操作,也可采用车上的手动

操作。

当牵引/再生电流未能降为 0 时,牵引/再生电弧电流会把不同的相短接,因此分相区段应当足够长以避免这种情况发生。

参见 E.1 中的有关绝缘分段的资料。

c) 带变压器空载电流的方式

如果列车以带变压器空载电流的方式通过交流分相区段,分相区段和受电弓应能产生和承受变压器涌流。

当进入分相区段的时候,牵引/再生电流和辅助电流都应当降为 0。宜采用自动操作,也可采用车上的手动操作。

当牵引/再生电流未能降为 0 时,牵引/再生电弧电流会把不同的相短接,因此分相区段应当足够长以避免这种情况发生。

参见 E.1 中的有关绝缘分段的资料。

d) 无电运行方式

如果列车以无电运行的方式通过交流分相区段,当进入分相区段的时候,能耗应当降为 0。

对高速铁路而言,这应该自动完成。

对常规铁路和城市轨道交通而言,宜采用自动操作,也可采用车上的手动操作。

没有必要降弓。

参见 E.2 和 E.3 中有关合适分段的资料。

基础设施管理部门应该能提供适当的措施让处于分相区段的列车能重新启动。但是,对于绝缘分段来说,没有必要提供这些措施。

5.2 系统分离区

列车应从一种制式供电系统驶入相邻的另一制式的供电系统,而不跨越这两个系统。在这一过程中,相关的必要操作(断开主断路器,降下受电弓)取决于这两个相邻的供电系统的类型、列车受电弓的配置和列车运行速度。

列车可以按照以下两种方式通过系统分离区:

a) 受电弓升弓并与接触网接触;

b) 受电弓降弓不与接触网接触。

a)与 b)之间的选择应由基础设施管理部门决定。

对铁路基础设施与机车车辆的设计要求如下:

a) 升弓方式

如果列车以升弓方式通过系统分离区,基础设施上应采取措施避免因车载的断路器断开失败而造成两个相邻的供电系统的短接(例如:中性区段接地故障):

——对于高速铁路干线,在到达系统隔离区前,机车车辆的装置应该自动打开断路器,并且自动识别受电弓处的新供电系统的电压,以便转换到相应的电路中;

——高速铁路线路的要求对于常规的铁路干线和城市轨道交通线路也适用。

b) 降弓方式

如果列车以降弓方式通过系统分离区,应满足下列条件:

不同制式供电系统之间分离区段的设计应确保:在受电弓意外接触到接触网的情况下,应避免列车跨越两个不同制式供电系统,同时应立即切断这两个供电区段的电源。触发短路电流保证绝缘分段的运行;

——对于高速铁路干线,在要求降下受电弓的供电系统分离区,受电弓的降弓动作应该受控制信号触发而不用司机的人为操纵;

——高速铁路线路的要求对于常规的铁路干线和城市轨道交通线路也适用。
参见 E.4 中区段长度对避免电弧的示例。

5.3 验收标准

铁路基础设施、牵引单元和控制命令的设计人员应遵守 5.1 和 5.2 的规定。

6 列车的功率因数

6.1 概述

列车的功率因数越高,供电系统的性能越好,因此下列规则应适用。
利用来自列车的容性或感性功率来改变架空接触网的电压。

6.2 感性功率因数

本条款只涉及 GB/T 1402—2010 规定的 $U_{min1} \sim U_{max1}$ 电压范围内的感性功率因数和能耗。
表 1 给出列车总的感性功率因数 λ 。在计算感性功率因数 λ 时,只考虑了受电弓处的基波电压。

表 1 列车总的感性功率因数

受电弓处列车瞬时功率 MW	交流传动列车	直流传动列车
$P > 6$	$= 0.95^c$	$= 0.80^a$
$2 < P \leq 6$	$= 0.93^c$	$= 0.80^a$
$0 \leq P \leq 2$	^b	^b
当一列车或者一辆机车停车时,但是其受电弓和接触网接触并且车上辅助设备处于运行状态,如果这时从接触网获得的有功功率大于 200 kW,其总功率因数应不小于 0.80。 列车运行(包括停站在内)时的总平均功率因数 λ 根据有功功耗 W_P (MW · h) 和无功耗 W_Q (MW · h) 计算,有功功耗 W_P (MW · h) 和无功耗 W_Q (MW · h) 根据对列车运行的计算机仿真或实际列车的测量得出。 $\lambda = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}}$		
^a 推荐值。 ^b 为了控制列车在惰性运行时辅助负载的总功率因数,在列车整个运行过程中,由计算机仿真或实际列车的测量得出的总平均功率因数 λ (牵引以及辅助功率) 应大于 0.80。 ^c 这些数值可望分别提高为 0.98 和 0.95。		

在列车再生过程中,感性功率因数允许自由降低以使电压保持在允许值之内。

6.3 容性功率因数

在牵引模式下,为使电压保持在允许值之内,允许容性功率因数的存在。
——GB/T 1402—2010 规定了 $U_{min1} \sim U_{max1}$ 电压范围内,容性功率因数不受限制。
——GB/T 1402—2010 规定了 $U_{max2} \sim U_{max3}$ 电压范围内,列车不应等效成一个电容器。
注:容性功率因数能造成过电压或者动态效应,这时应按照第 10 章进行处理。”

7 列车限制电流

7.1 列车最大电流

列车最大允许电流值(包括辅助电流)应由基础设施管理部门设定。

附录 F 中的表 F.1 以资料的形式给出了列车最大允许电流值。该电流值适用于牵引和再生模式。

注：为了防止供电系统设计规模过大,表 F.1 中电流值是针对机车车辆而给定的,并不是为持续负荷下供电系统的设计而给定。

7.2 自动调整

为了便于在弱供电网络或非正常运行状态下稳定运行,如果基础设施管理部门有要求,列车应安装自动装置(该装置可以是牵引控制系统软件的一部分)。该装置根据接触网稳态状态条件下接触网的电压来调整列车功率消耗。图 1 给出了列车最大允许电流值,它是接触网电压的函数。

图 1 不适用于再生制动模式。

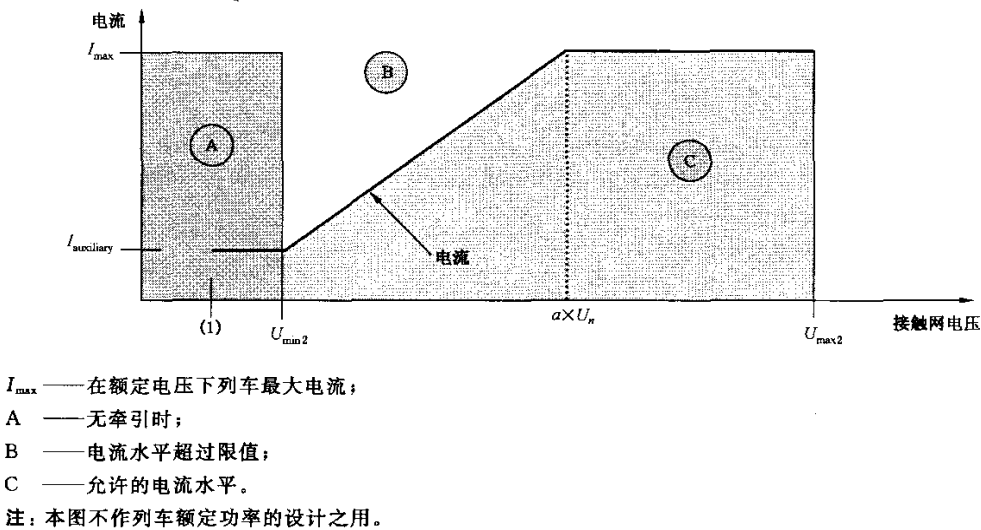


图 1 随电压变化的列车最大电流

应基于相关组织的一致意见给出拐点因子“a”的值。仅作为资料性,表 2 给出了拐点因子“a”的值。

表 2 拐点因子“a”的值

供电系统	AC 25 kV-50 Hz	DC 1 500 V	DC 750 V
a 值	0.90	0.90	0.80

7.3 电流或者功率限制装置

为使允许大功率牵引单元在任何弱或强供电系统的任何线路上的各处运行,如果基础设施管理部门有要求,列车应安装电流或功率选择器,该装置可把列车的功率需求限制在线路能提供的功率的供电能力下。该功能可通过控制电子装置的某个软件功能实现。

基础设施管理部门应提供线路所要求的限值。

该设置应自动实施。
如果铁路基础设施没有装备功率自动选择器,则可由司机手动操作完成。

8 供电质量指标

8.1 概述

研究加速能力受到低电压限制的目的是为了界定地面装置的特性(参见附录 B)。
从以下方面考虑以保证地面装置满足设计时刻表中规定的最苛刻的运行条件:
——对应于交通高峰期的、时刻表中最密集的运行时段;
——不同类型列车的特性和所选牵引单元。
质量指标 $U_{\text{mean useful}}$ 通过仿真来计算,而且能在列车上通过专门的测量得到验证。

8.2 描述

通过对一个地区(被研究的区段)的计算机仿真来计算平均有效电压,在计算中应考虑在时刻表中的交通高峰对应的特定时段内计划通过该地区的所有列车。在给定的时间段中应充分考虑到该地区每个供电区间最严重的负载情况。
在仿真中,要考虑铁路基础设施与不同类型列车的电气特性。
在每一个仿真时间步长中,要分析在该地区每一辆列车的受电弓处的基波电压。对交流系统而言,使用基波电压的方均根值。对直流系统而言,使用基波电压的平均值。仿真中的时间步长应足够短,以便考虑到时刻表中的所有事件。

通过仿真获得的电压值用来研究:

- a) $U_{\text{mean useful}}$ (区段)
该数值是仿真分析中所有电压的平均值,用来表示整个区段的供电质量。
在考虑的运行高峰时段内,无论列车处于牵引、停车、再生或惰行模式,在每个时间步长的仿真分析中都应该包括该区段的所有列车。
- b) $U_{\text{mean useful}}$ (列车)
如同区段仿真分析一样,该电压值是仿真中所有电压的平均值,但是仅分析在每个时间步长内处于牵引模式的列车的电压(而不考虑该列车停车、再生或惰行)。
这些电压的均值用来核查仿真中每辆列车的运行情况,最后用来辨别计算列车。

8.3 受电弓平均有效电压值

表 3 给出了在正常运行条件下,受电弓处平均有效电压 $U_{\text{mean useful}}$ 的最小值。

表 3 受电弓处 $U_{\text{mean useful}}$ 最小值 单位为伏(V)

供电系统	交流传动列车	直流传动列车
AC 25 kV-50 Hz	22 500	22 000
DC 1 500 V	1 300	—
DC 750 V	675	—

8.4 平均有效电压 $U_{\text{mean useful}}$ 与最低电压 U_{min} 之间的关系

供电系统设计应保证在正常运行条件下,根据相关线路(见第 9 章),任何列车的受电弓处 $U_{\text{mean useful}}$

的仿真值不低于 $U_{\min}$ 的瞬时电压(方均根值、平均值)。

8.5 验收标准

牵引供电系统设计应保证供电能力达到 8.3 和 8.4 规定的运行条件。因此,如果设计满足 8.3 和 8.4 的要求,该设计合格。

9 线路和牵引供电系统类型

基础设施管理部门应公布以下方面的线路参数:

- 线路速度;
- 最小追踪间隔;
- 列车最大功率。

10 谐波和动态效应

10.1 概述

电气化铁路中供电系统和机车车辆的谐波特性决定了电源回路中(架空接触网和回流系统)的过电压及系统的稳定性。为了取得稳态和动态条件下电力系统的兼容性,谐波过电压应限制在临界值以下。在安装了保护装置的情况下,过电压会中断线路的正常运行,从运行的角度上说,过电压现象是非常危险的。

以下情况会造成过电压:

a) 系统不稳定造成过电压

现代铁路机车车辆上的逆变牵引系统、辅助系统和静态变频器一般都是有源的,它们能把一种频率的电转换成另一种频率的电。它们的转换特性主要取决于逆变控制器以及无源器件。

应使用调谐的控制器或者优化无源器件的阻抗特性(供电系统、机车车辆等),以便使它们在所有情况下都能稳定运行。在不稳定系统中,电压或电流等也许会趋向无穷大,从而中断系统的运行。在非线性系统中,它们还会连续地以一种或数种频率振荡。

系统的稳定性问题总是与系统的反馈相关的,特别是在一个或数个电气子系统通过一个或数个控制器的情况下。此时没有产生振荡的外在激励源。这种情况应同下面的第二种情况区别开:有一个激励源和一条传输/放大路径存在的情况。

通常不稳定导致的振荡频率可达 500 Hz 及以上,这已经达到了相关控制器的带宽频率。

低于或接近工频的低频振荡与现代整流系统的非线性特征有关。更高频率的不稳定性可用线性模型来研究。

b) 谐波造成过电压

安装在机车上或地面装置上的静态逆变器,无论是相控整流型还是强制整流型,都产生谐波电流和谐波电压,这些谐波可以简化为电流源或电压源的形式。每种变频器产生一种典型的电流或电压谐波。与变压器和滤波器等无源设备连接的整流器可以用一个电源和阻抗来等效。

所有供电系统都存在谐振现象,这些谐振是由输电线路和电缆引起的,也有些谐振是由滤波元件造成的,这就导致了从整流器注入到系统的谐波被放大。在整流器端口,系统的等效阻抗是线性的,导致在整流器处和网络中其他位置也会出现谐波放大或局部抑制,这和供电系统本身的传输特性有关。

在机车或供电系统的其他地方,含量高的谐波放大会导致严重的过电压。

由于供电系统具有分布式参数的特性(单位长度的电感和电容),故其存在谐振峰值,而系统的谐振特性会因牵引单元的存在而改变。在这些谐振峰值处可能产生很大的谐振电流和电压。据记载,在某些频率处产生的谐振导致接触网上的电流最大值与最小值之比超过了 100。供电系统中的谐振可导致四象限变流器电力机车受电弓处的谐波电流增加 3 倍。

c) 其他现象

还有一些现象也应该认为是供电系统和车辆之间的电气系统的兼容性问题,它们是:

- 多重过零;
- 电压尖峰,电压凹陷,电压瞬变;
- 供电电压相位变化;
- 低频振荡。

从传导干扰的观点看,下列因素也是有关的:

- 车轮打滑;
- 辅助负荷;
- 随机负荷;
- 辅助变流器的谐波;
- 不同变流器的调制效应;
- 结冰或结霜。

10.2 新设备的验收步骤

引入任何新设备,都应按 3.24 规定的验收步骤进行验收。

新设备和既有牵引单元、既有供电系统的兼容性应按 10.1 所列的项目进行核查。

参与验收单位或部门应包括:

- 现有基础设施的所有者或基础设施的管理部门;
- 现有线路的运行单位;
- 新牵引单元或新基础设备的买方/所有者;
- 新牵引单元或新基础设备的制造商或供应商。

适用于机车车辆或供电系统的通用规范非常保守,实际运行中无法达到其要求,该规范是为了避免在任何情况下产生过电压而颁布的。因此,新设备的兼容性(兼容性研究)应按 10.3 进行核查。

10.3 兼容性研究

兼容性研究是论证新的机车车辆或新的基础设施部件与现有的牵引单元和供电系统之间兼容的过程。图 2 给出了该论证的流程,表 4 对该流程进行了解释。

根据 10.2 中的论述,研究工作量的大小取决于新设备集成风险的大小。如果新设备的集成是基于没有任何风险的早期经验,应在计划中提供证明文件,这是唯一的工序。

图 2 适合机车车辆和地面供电设备的兼容性研究。

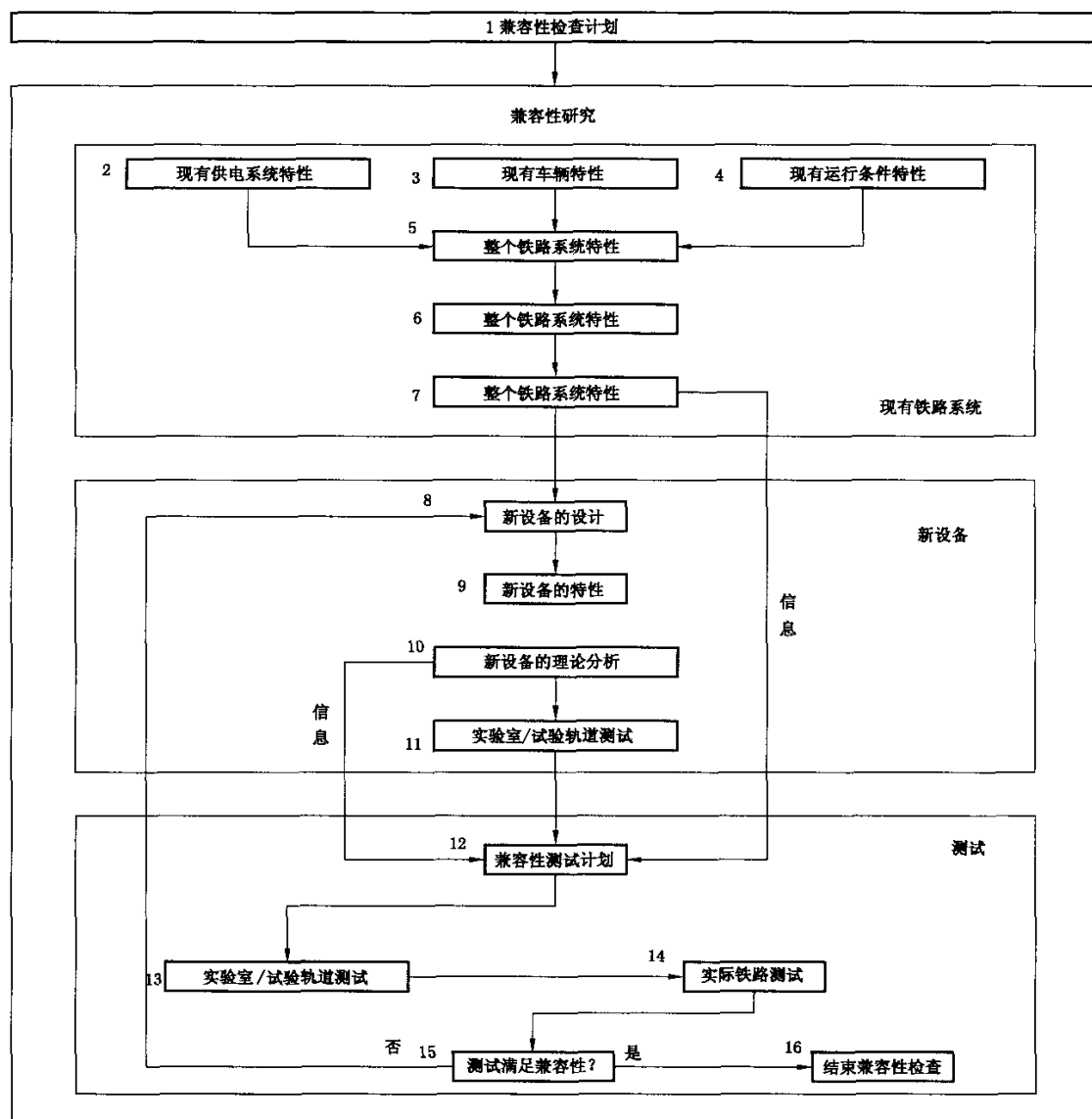


图2 谐波和动态效应的兼容性研究流程

表 4 各流程的解释

序号	流 程	对流程的解释	相 关 部 门
1 ^a	兼容性核查计划	引入新设备到现有铁路系统时,兼容性核查计划要确定分析的范围、具体的任务和责任。该计划应得到有关各方的同意。 任命兼容性研究的负责机构	负责兼容性核查的机构应得到 10.2 中规定的各方的同意
2	现有供电系统的特性	现有供电系统的特性,有关与车辆兼容性的信息(见表 D.1 和表 D.2)。 正常时的馈电配置。 紧急时的馈电配置	基础设施管理部门
3	现有机车车辆的特性	现有运行车辆的特性,有关与供电系统兼容性的信息(见表 D.3 和表 D.4)	车辆运行管理部门
4	现有运行条件的特性	现有系统运行的信息:运行列车数量,典型的运行时刻表,正常情况的馈电装置,紧急状况的馈电装置	基础设施管理部门
5	整个铁路系统的特性	第 2 步、第 3 步、第 4 步信息的结合,有必要对会出现的各种情况做出界定	基础设施管理部门
6	整个铁路系统的理论分析	研究会出现的各种情况下的兼容性。首先论证现有系统的兼容性;然后测试要使用的新设备,核查要维持系统的兼容性,新设备需要满足哪些特性	基础设施管理部门
7	新设备验收标准	第 6 步的理论研究结果是新设备要满足的具体标准。在设计和测试一新设备时,具体的验收标准应易懂,易测量。以后,整个路网应以同一种形式建立这些标准	基础设施管理部门
8	新设备的设计	在设计新设备时要考虑第 7 步规定的验收标准	新设备供应商
9	新设备的特性	新设备设计的模型应与其他车辆和供电系统兼容。模型经第 15 步正确性检测之后可允许对第 2 步和第 3 步要求的现有铁路的特性作修定	新设备供应商
10	新设备的理论分析	在设计的初期,应通过理论分析,如计算机模型,来核查新设备能满足验收标准	新设备供应商
11	实验室测试/试验轨道测试	一旦第一个新设备(车辆或供电设备)制造完毕,应进行实验室/试验轨道测试,以验证其是按照第 10 步理论分析得出的标准制造的。这个测试是新设备型式试验的一部分	新设备供应商

表 4 (续)

序号	流 程	对流程的解释	相 关 部 门
12 ^b	兼容性测试计划	测试计划应规定必要的测试,尽可能而且合理地证明以下事项: • 新设备满足验收标准; • 验收标准能有效保证兼容性,保证测试反映实际情况。 测试也应验证第 10 步中进行仿真的正确性而且应受临界状况的限制	负责兼容性研究的机构 第一步中规定的单位
13 ^b	实验室测试/试验轨道测试	测试可以在实验室或试验轨道上进行,这些测试应验证验收标准得到满足。如果某项测试未能达到验收标准,那么设备制造商应对新设备做必要的改进。 这些测试是新设备型式测试的一部分。 这些应验证第 10 步中仿真的正确性,且应受到临界状况限制	负责兼容性的研究机构
14	实际铁路测试	在实际铁路上的测试应使人完全相信;验收标准充分保证系统引入新设备后的兼容性。尽管新设备符合验收标准,如果这些测试出现兼容性问题,那就说明验收标准不充分完整。 这些测试应验证按第 10 步中进行的仿真的正确性,而且应受到临界状况限制	负责兼容性研究的机构
15	测试是否满足兼容性	两项测试都成功,新设备与现有系统的兼容性才通过验证;结果记入兼容性试验报告	负责兼容性研究的机构
16 ^c	兼容性核查结束	兼容性研究成功完成后,新设备成为现有系统的一部分。新设备兼容性的责任也就不由新设备的供应商承担	基础设施管理部门
^a 3.24 给出了新设备的意义。 ^b 测试计划规定第 13 步和第 14 步同时实施还是只实施其中之一。 ^c 从兼容性的观点来看。			

结论是通过理论分析和测量结果来证明机车车辆和基础设施在传导干扰电流和稳定性方面是否兼容的文件。

10.4 方法和验收标准

对过电压和稳定性的总验收标准是:25 kV-50 Hz 供电系统的接触网的任何一点没有高于 50 kV 的过电压。供电系统的电压 U 在 GB/T 1402—2010 中有规定,其值小于或等于 U_{max2} ,该电压是畸变电压波形的峰值。

这些总验收标准总是适用的。

总验收标准只适用于包括新设备在内的整个供电系统,这样有利于提出新设备设计规范和降低兼容性研究失败的风险。

11 保护配合

11.1 概述

应验证牵引单元和变电所二次系统的兼容性。

11.2 短路保护

供电系统中断路器开断能力的好坏决定了故障是否能够被准确切除。

附录 G 中表 G.1 给出了接触网-钢轨短路时短路电流的最大值(欧洲经验值)。

表 5 牵引单元内部故障时断路器的动作情况

供 电 系 统	牵引单元内部发生故障时断路器的跳闸顺序	
	变电所馈线断路器	牵引单元断路器
AC 25 kV-50 Hz	立即跳闸 ^a	立即跳闸
DC 750/1 500 V	立即跳闸 ^b	立即跳闸
^a 故障发生后,断路器迅速跳闸。牵引单元的断路器应尽可能地先跳闸,这样可以避免变电所断路器跳闸。 ^b 如果故障电流非常大,变电所断路器应迅速跳闸,以免牵引单元的断路器动作时发生故障。		

注:新造的牵引单元应装有能在尽可能短的时间内切断最大短路电流的快速断路器。

11.3 断路器在线路失压和重合闸时的配合

断路器在线路失压和重合闸时存在两种情况的配合:

- a) 牵引单元的断路器的有分合操作;
- b) 牵引单元的断路器的无分合操作。

在实际工程中,无论是选择方式 a) 还是方式 b) 均需得到相关部门的同意。

基础设施和机车车辆的设计应满足以下要求:

- a) 牵引单元断路器有分合操作
牵引单元的断路器应在线路失压后 3 s 内自动跳闸。如果自动重合闸装置安装在变电所内,变电所断路器只能在牵引单元断路器跳闸后启动重合闸;
- b) 牵引单元断路器无分合操作
一旦检测到线路失压,牵引单元应立即退出运行(停止向变流器输入触发信号,同时断开牵引单元二次回路的控制开关)。不需跳开牵引单元的断路器,除非牵引单元内部发生故障。

如果自动重合闸装置安装在变电所内,则变电所断路器应立即启动重合闸,否则,在牵引单元断路器跳闸后启动重合闸。

在重合过程中,牵引单元应在线路通电后立即启动。

以上两种情况均需注意以下问题:

- 注 1: 见 GB/T 1402—2010 中 4.1 的注 2,有关线路失压的检测。
- 注 2: 重合闸应有足够长的延时以保证短路电流的检测。
- 注 3: 如果重合闸断路器在多个牵引变电所,那么需要协调各个变电所之间的重合闸延时。

11.4 直流电气化系统：合闸时的暂态电流

本条款只适用于装有滤波器的直流牵引单元。

当牵引单元的断路器闭合时，因装有滤波器（如果投入），合闸时的暂态电流不应造成变电所的保护装置误动。在设计车载滤波器时，应从有关基础设施管理部门获取必需的信息（例如：电流变化率、暂态电流允许峰值）。

附录 H 中表 H.1 给出了牵引单元在断路器合闸时暂态电流 di/dt 的设定值（欧洲经验值）。

11.5 验收标准

牵引单元的设计应满足下列要求：

- 见表 5；
- 11.3 和 11.4（直流系统）。

电气化系统应保证其电源满足 11.3 的要求。

如果存在线路测试系统，该系统应满足 11.3 的要求。

12 再生制动

12.1 使用再生制动的一般条件

12.1.1 牵引单元应满足的条件

下列条件下，列车不应继续使用再生制动：

- 在变电所供电的同一区域内有失压或接触网对钢轨/地短路；
- 接触网不能吸收能量；
- 线路电压高于 U_{max2} [见 GB/T 1402—2010 中 4.1]。

如果没有其他负荷吸收反馈的电能，机车车辆应转换到其他制动方式。

注：如果再生能量和其他机车车辆的牵引负荷相等，则线路压降就不会被检测出来，机车将会继续采用再生制动方式运行。

12.1.2 供电系统条件

高速电气化铁路供电系统设计应把再生制动作为常用制动，且可以与其他列车或者其他方式连续交换能量，变电所的控制和保护系统应允许再生制动。

常规电气化铁路、城市轨道交通供电系统设计可把再生制动作为常用制动，且可以与其他列车或者其他方式连续交换能量，变电所的控制和保护系统可允许再生制动。

12.2 验收准则

牵引单元应满足 12.1.1 所提出的要求。

13 试验

如果可以满足表 6 给出的技术条件，则表 6 的结果是可以应用的。

表 6 测试

名 称	技术要求条款	牵引单元	地面装置	试验方法条款
电分相	5	√	√	14.1
列车功率因数	6(表 1)	√		14.2
列车电流限值	7	√		14.3
供电质量指标	8		√	14.4
谐波和动态效应	10	√	√	14.5
保护配合	11	√	√	14.6
再生制动	12	√	√	14.7

14 试验方法

14.1 中性段

14.1.1 牵引单元试验

在设计阶段,在牵引电压水平和控制指令水平下,核对电气原理图以确认牵引单元的设计满足 5.1 和 5.2 的功能性要求。

a) 型式试验

在设计阶段,通过核对牵引单元的控制命令图表来证明牵引单元的设计应符合 5.1 和 5.2 描述的顺序;

b) 常规试验

在装有给牵引单元提供控制信号的线路上完成试验,证明设计符合 5.1 和 5.2 描述的顺序。

14.1.2 基础设施试验

在设计阶段,在牵引电压水平和控制指令水平下,核对电气原理图以确认牵引单元的设计满足 5.1 和 5.2 的功能性要求。

14.2 功率因数

牵引单元的型式试验:

在牵引单元的验证阶段,对牵引力-速度曲线要进行在线测量。牵引或制动模式下消耗的电能(包括辅助功率)都要记录。应收集足够的数据以验证是否满足表 1 的要求。

功率因数应在装有不影响列车运行的馈电系统的列车上获取。在线测试的结果应满足 6.2 和 6.3 的要求。

14.3 列车电流限值

在设计阶段,在牵引电压水平和控制指令水平下,核对电气原理图以确认牵引单元的设计满足 7.2 和 7.3 的功能性要求。

牵引单元型式试验阶段的测试内容应包括:

——在设计阶段,核查牵引单元控制命令的功能;

——在验证阶段,在线测量。如有必要,可以启动变电所断电,以实现接触网低电压。

在线测量结果应满足 7.2 和 7.3 的要求。

14.4 供电质量指标

14.4.1 $U_{\text{mean useful}}$ (区段)

区段的 $U_{\text{mean useful}}$ 见表 7。

表 7 $U_{\text{mean useful}}$ (区段)

内 容	时 间	方 式	合 格 条 件
仿真(在供电系统内的一个区段)	每次仿真结束	利用在指定区域的所有列车的仿真结果和 8.2 的定义计算	计算值大于表 3 中相关栏“区段与列车”里给的数值

14.4.2 $U_{\text{mean useful}}$ (列车)

列车的 $U_{\text{mean useful}}$ 见表 8。

表 8 $U_{\text{mean useful}}$ (列车)

内 容	时 间	方 式	合 格 条 件
仿真(在仿真时间表中的规定的列车,大多数是计算列车)	当出现仿真的结果时	利用列车的仿真结果和 8.2 的定义进行计算	计算值大于表 3 中相关栏“区段与列车”里给的数值
专门测量(对列车动力单元的测量)。 该测量按第 9 章列出的运输条件进行。测量应在仿真中得到的计算列车上进行。 同一列车上应进行多次测量,以便验证测量结果的收敛性和准确性。 尽可能使用参考运行时表进行仿真。如果不行,用实际的时间表进行一次新的仿真。 注:这些测量应该每天进行。	针对具体问题或为确定的目的	——记录基波频率的电压记录设备; ——频率范围大于或等于 2 kHz,平均超过 1 s 的数字数据记录仪; ——测量时段:列车牵引期间; ——用以下公式计算: 利用记录的数据计算下列数值或曲线,电压按时间变化的曲线均值 U_m,表达式为: $U_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i$ 式中 N 是牵引期间测量的时间步长的数量。公式仅用于牵引期间	U_m 值大于表 3 中相关栏“地区与列车”里给的数值,且验证记录的受电弓处的电压的数值(均值或方均根值)不低于 U_{min}

14.4.3 $U_{\text{mean useful}}$ (区段)和 $U_{\text{mean useful}}$ (列车)之间的关系

区段的 $U_{\text{mean useful}}$ 和列车的 $U_{\text{mean useful}}$ 的关系见表 9。

表 9 $U_{mean\ useful}$ (区段)和 $U_{mean\ useful}$ (列车)之间的关系

内 容	时 间	方 式	合 格 条 件
仿真	每次仿真结束	利用在指定区域的每列车的仿真结果,测试应建立在受电弓处的 $U_{mean\ useful}$ 大于 8.3 给出的数值基础上进行的	验证每列车的受电弓处的电压不低于 8.4 给出的 U_{mini} 值

14.5 谐波与动态效应

10.3 和 10.4 提供了所有需要的信息以供评价。

测试应也证明第 10 步中进行的仿真的正确性,同时也应受到临界状况的限制。

用来记录畸变的电压波形峰值的仪表系统应该有足够的频率范围。电源频率电压方均根值要随同畸变的电压波形峰值一起记录下来。

14.6 保护配合

14.6.1 短路保护和断路器的动作

牵引单元的断路器触发开启的逻辑顺序应验证以下内容:

- 在设计阶段,核查牵引单元的功能电气图;
- 在牵引单元验证阶段,通过在车上进行短路试验来测试对故障的响应,同时核查不同断路器的跳闸顺序是否与表 5 对应。

14.6.2 线路失压和重合闸时断路器间的协调

在任何新变电所测试:

投入运行前进行的测试,应满足 11.3 的要求。

如果存在线路测试系统,该系统应在指定时间内执行测试顺序。

牵引单元试验:

在牵引单元设计阶段,11.3 的要求应通过核查电气图来验证。

常规试验:

应证明线路测试满足 11.3 的要求。

14.6.3 直流牵引单元:合闸时的暂态电流

——在设计阶段,11.4 的要求应通过核查牵引单元的电气设计来验证。

——牵引单元型式试验:

在线路测试阶段,牵引单元应完成下列顺序试验:

- a) 核查车载滤波器已经放电;
- b) 闭合主断路器,记录主断路器电流的波形。

——涌流的特性值应满足 11.4 要求并参见附录 H。

14.7 再生制动

14.7.1 牵引单元

在设计阶段,应验证与 12.1.1 的一致性,该要求是对牵引单元控制命令而言。

型式试验和常规试验:

投入运行之前,应验证 12.1.1 与 IEC 61133:2006 第 9 章的一致性。

因此在线路测试期间(线路可以是运行线路或者是试验线路),接触网应该从变电所进行通电或断电。

在线路测试时应该证明牵引单元在制动模式下,受电弓处 U_{max} 值没有超出范围。

14.7.2 变电所

变电所的控制和保护装置应允许把电能反馈给供电网络或者将电能储存。接线图分析可以评估。如有需要,应进行组合系统测试,以验证线路上牵引单元再生制动时变电所保护的正确运行。

附录 A
(资料性附录)
参数平均综合时限

A.1 概述

列车司机或基础设施管理部门运用参数做如下操作：

- 规模计算；
- 保护测量；
- 规划；
- 等等。

只有能在精确定义时间间隔内进行平均的参数才有效。本附录的主题就是定义这些时间段，其目的是为了实现对单一铁路的不同区段或者不同铁路的这些参数进行简单对比。

A.2 相关的参数平均综合时限

表 A.1 综合时限

功 能	时 段	备 注
保护	<100 ms 直到 300 ms,交流 < 30 ms 直到 100 ms,直流	消除短路故障取决于短路电流的大小
后备保护	200 ms~3 s	后备保护消除故障
最大负荷电流	1 s~5 s	在供电端以及单个接触网,适合计算机仿真,对馈线布置和后备保护评估有影响
	1 min	用于设备热负荷计算的方均根值电流
热过载	30 s~20 min 推荐值:10 min	用于设备热负荷计算的方均根值电流
电能计量周期	10 min、15 min 或 30 min	为供电部门定义需求的平均电流或功率
长期荷载	1 h、2 h	定义长期铁路负荷的常规参数
电能消耗	1 天、1 周、1 月、1 年	平均电能消耗,供电部门用来研究铁路需用功率或购买电力时使用

附录 B

(资料性附录)

决定高速列车受电弓处电压的选择标准

列车加速能力受到低电压限制研究的目的是确定地面装置的特性。

应从以下方面考虑以保证地面装置满足设计时刻表中规定的最苛刻的运行条件：

- 对应于交通高峰期的、时刻表中最密集的运行时段；
- 不同类型列车的特性和所选牵引单元。

为电力牵引服务的地面装置设计，能通过模拟运行图来获得，同时考虑每一时间段中每列车消耗的电能。除了确定设备(变压器、接触网、自耦变压器，如 2×25 kV，以及直流变流器)规模和与高压连接点耐受的视在性能之间的兼容性外，供电质量构成了被研究的供电规划一项重要的定量参数。

一个牵引单元的牵引力-速度的特性曲线随受电弓处的电压变化而改变。通过在速度范围内，与稍微低于电压比率(受电弓处的电压与额定电压之比)的比例系数推断，可以决定典型的牵引力与速度的特性曲线。该曲线与额定特性曲线相关的，这个特征曲线只是在电压降低了情况下求得的。

获得的电压值应允许获得期望的性能水平。如，为了研究 25 kV 的电气性能，选择至少 22.5 kV 的电压，电压才可能不降到最低极限 19 kV。而电压低于 19 kV 的情况是可能出现的，尤其在非正常运行条件下，列车间距过于接近的时候，或者仿真时不经常出现的特殊的情况。

从供电计划和列车运行图两个角度看，发生这些运行性能降低的情况应进行评估，并考虑运行性能允许的损失。

选择正确的平均有效电压有以下优点：

- a) 允许牵引单元运行接近它们的额定电压(因此优化了效率和性能)；
- b) 保证执行标准规定的最低电压值；
- c) 反映出电力牵引的地面装置容量有一定的裕度，从而能够考虑增加运量；
- d) 允许处理一些受影响的运输情况。

受电弓平均有效电压可由下面数学公式计算：

$$U_{\text{mean useful}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} U_{Pi} \times |I_{Pi}| \times dt}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} |I_{Pi}| \times dt} \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中：

T_i ——为第 i 列车积分或研究的时段；

n ——仿真中考虑的列车数量。

对交流，式中：

U_{Pi} ——第 i 列车受电弓处基波频率下的瞬时方均根值电压；

$|I_{Pi}|$ ——第 i 列车受电弓处基波频率下的瞬时方均根值电流的模值。

对直流，式中：

U_{Pi} ——第 i 列车受电弓处的瞬时直流电压；

$|I_{Pi}|$ ——第 i 列车受电弓处的瞬时直流电流的模值。

式(B.1)描述了列车牵引顺序中计算的平均功率与相应平均电流之间的关系。

对某些项目来说，更适合采用式(B.2)得到相等的结果。

$$U_m = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{M \times N \times \Delta t} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M [U_{j,k}(t) \times \Delta t] \right\} \dots\dots\dots (B.2)$$

- 式中：
- n —— 仿真中考虑的列车数量；
 - $U_{j,k}(t)$ —— 电压(交流:基波的方均根值; 直流:均值);
 - M —— 积分期间计算步长数;
 - N —— 仿真期积分的数量;
 - Δt —— 每个计算步长内的时间。

注：为把时间表内的所有事件考虑进去, Δt 应足够短。

以上公式用来研究：

- a) 一个时间段内的一个地区(例如希望研究的网络部分),考虑所有经过该地区的列车,无论它们采用牵引模式或没有采用牵引模式(牵引、静止、再次启动或滑行)。 $U_{mean\ useful}$ 是整个地区供电质量的指标。
- b) 每辆列车受电弓处平均有效电压;只考虑列车的牵引时段。

在这种情况下,在式(B.1)和式(B.2)中, n 取 1。

该值用来核查仿真中每辆列车的运行性能,并且还用于确定计算列车。

附录 C

(资料性附录)

谐波特性与相关过电压的研究

C.1 概述

供电电压大扰动产生的原因是供电电源和现有车辆的总阻抗/导纳在馈电点对于某一个固定频率具有一个负实部以及一个复虚部,该频率称为谐振频率。从数学的观点看,这个条件是充分条件。阻抗的复虚部可由全局电源单独造成,或是由供电线路和牵引变电所变压器的电感、拥有一次侧输入滤波器的四象限变流器机车的相应的输入电容造成。能否准确预测整个系统是否稳定,最重要的是要知道在谐振频率下的准确的总阻尼系数。在不稳定状态下,阻尼系数应是负值。通常多个频率同时谐振是可能的。

C.2 稳定性

C.2.1 兼容性标准

在受电弓处-车轮界面,最适合的方式是对车辆的输入导纳形成限制,包括对车辆内部所有控制器控制效果的限制。实现的方式是通过定义幅值和相位的允许区域,或是改善实数和虚数部分,实数部分直接定义了阻尼或者励磁影响。这表明没有“不稳定源”,但是不稳定永远是一个传递特性。在非线性因素起主要作用的情况下,对低频率的要求会导致额外的要求。有关这些影响方面的知识仍然非常有限。

如上所述,定义车辆需要的要求应首先界定整个供电系统的内部稳定标准;而且整个供电系统的内部稳定标准要正确地分解到每辆车的界面。

C.2.2 测量和验证

对单列车来说,可以进行仿真测试,这些测试试验在实验室和试验线上进行。在特定的频率下,测量车辆对频率的输入导纳需要供电电源,这时加上一个比基波频率更高的测试电压。一般来说,利用不同的装置是可以实现的,而且在以前也曾经实施过。测量非线性状态可能更加困难些,因为它依赖单列车正要运行的时候。

单列车与供电系统的兼容性测试能够表明系统是否保持了稳定性。不稳定性可通过保护性断路动作或观察振荡来发现。测量稳定裕度很困难。暂态衰减可以给出一个大概的图形。

由于需要大量的系统资料,并且受限于正常的运行条件,确定电源模型很困难。目前有很多检测方法,但尚未投入商业应用。

C.3 谐波产生的过电压

C.3.1 兼容性标准

以下原则对稳定性检测有效;因为所有供电网络都具有输入性和传递特性,应优先解决网络内部问题(如网络不同位置之间谐波的放大)。

对兼容性验证而言,车辆的制造商应从基础设施管理部门获得以下信息:

——供电系统的内部谐波电压源,这应包括电源(变电所)本身产生的谐波,以及其他车辆产生的

谐波。这可以通过定义机车受电弓处特征期望和最大允许电压范围来获得。

——从车辆位置上看等效的电源某频率下的导纳。应提供相关条件下供电网络(包括现有车辆)的导纳,获得供电网络与电压频谱关系的信息(如某个产生高次谐波频谱源可能仅与接入一个弱的网络导纳相关)。

传统上,车辆不应超出相应频率的谐波电流限值(谐波包络线)。谐波包络线是关于信号设备的定义,类似的方法同样适用限制过电压。应该采用更加严格的谐波包络线。

C.3.2 测量和验证问题

谐波电流和电压的测量已经是成熟的技术。在不同位置同时测量可以获得一些结论。供电网络的传输特性和对新车辆要求也可以量化。

附 录 D
(资料性附录)
谐波和动态效应兼容性研究数据

D.1 牵引供电地面装置的特性

获得供电系统地面装置完整而深入的特性是一项巨大任务。此外,无法给出适合所有类型地面装置的、普遍及简单的兼容性研究特性,详见 10.3。

但是,作为地面装置典型配置原则,表 D.1、表 D.2 主要从阻抗特性方面分别描述了交流和直流供电系统的特性(主要是牵引单元方面所需求的典型值、最大值和最小值)。

具有不同于表 D.1、表 D.2 特性的系统特殊值应由基础设施管理部门提供。

表 D.1、表 D.2 给出的数值对于在供电电压情况下电缆长度不重要(50 m/区)的设备是正确的。在其他情况下,基础设施管理部门应该告知电缆的位置和特性。

表 D.1 交流电气化铁路的特性

铁 路 类 型			高速铁路		常规铁路和城市轨道交通		
			高速	提速线路	功 率		
					大	中	小
电源的典型可用功率	MW		20~60	15~45	15~45	15~30	10~20
单列车的典型功率	MW		8~20	5~15	5~15	4~10	2~6
正常运行条件下单电源供电长度 电源到分段的距离*	km	最小值	15	20	15	15	20
		典型值	20	25	25	30	35
		最大值	30	30	30	35	40
	km	最小值	20	20	20	30	30
		典型值	30	30	30	40	60
		最大值	45	50	50	50	70
变电所是否有补偿滤波装置	Y/N		N	Y	Y	Y	Y
调频滤波器 25 kV 或 2×25 kV-50 Hz	Hz		N. A.	120~130 220~240	120~130	120~130 220~240	120~130 220~240
品质因素*25 kV 或 2×25 kV			N. A.	100	100	100	100
电源阻抗, 基波频率(高压侧,变压器) 25 kV-50 Hz	Ω	最小值	2	3	3	5	7
		典型值	2.5	4	4	7	8
		最大值	3.5	7	7	10	10

表 D. 1 (续)

铁 路 类 型			高速铁路		常规铁路和城市轨道交通		
			高速	提速线路	功 率		
					大	中	小
线路电气化区间的谐振频率 (没有滤波器) ^b							
25 kV-50 Hz	Hz	最小值	1 000	900	800	700	500
		典型值	1 200	1100	1 100	1 100	800
		最大值	1 400	1 200	1 200	1 200	1 000
2×25 kV-50 Hz	Hz	最小值	2 000	2 000	2 000	1 500	1 500
		典型值	3 000	2 500	2 500	2 200	2 000
		最大值	3 500	3 500	3 500	3 500	3 000
^a 当变电所双边供电时,表中长度是两个相邻变电所距离的一半。 ^b 最低谐振频率。 ^c $L\omega / R$ 。							

表 D. 2 直流电气化铁路的特性

铁 路 类 型			城市轨道交通		
			功率		
			大	中	小
电源的典型有效功率 750 V 1 500 V	MW		4 8~15	4 4~8	2 2~4
一列车的典型功率 750 V 1 500 V	MW		5 7.5	4 5	3 4
正常运行条件下一个电源供电臂长度 ^a 750 V	km	最小值 典型值 最大值	— 3 —	— 6 —	— 8 —
	km	最小值 典型值 最大值	2 6 8	4 7 10	8 10 10
1 500 V					
^a 当变电所双边供电时,表中长度是两个相邻变电所距离的一半。					

D.2 列车的特性

表 D.3 和表 D.4 分别描述了交流和直流牵引单元(主要是牵引供电方面所需求)的系统阻抗、传导干扰谐波和稳定性。

具有不同于表 D.3、表 D.4 特性的车辆特殊值应由现有车辆司机告知基础设施管理部门。

表 D.3 单列交流列车阻抗、谐波和稳定性的特性

动力装置类型	抽头变换器	二极管整流器	可控硅整流器	四象限变流器
转换带宽	3 Hz	3 Hz	2 倍基波频率	150 Hz, 6 000 Hz 取决于开关设备
控制带宽	<3 Hz	<3 Hz	<0.5 倍基波频率	1 000 Hz 取决于转换设备
谐波源				
谐波源类型	变压器引起的电 流源	切换大功率电感 引起的电流源	切换大功率电感引起的 电流源	由直流连接切换在变压 器次边产生的电压源
谐波类型	只有奇次谐波	主要包含奇次 谐波	• 主要包含奇次谐波; • 在功率变化或触发角 度不对称时,有一些 偶次谐波	• 取决调谐方式; • 通常主要是奇次谐波; • 很少的偶次谐波; • 因线路逆变器的卷积 效应,有少量间谐波
低频谐波 典型值	由变压器非线性 引起的该类谐波非 常少	多	多	很少。主要由辅助频率 逆变器相角控制类型不对 或常规取样效应引起
子谐波	少许	少许	取决于粘着与功率控制	取决于粘着与功率控制
中频谐波	低 150 Hz~550 Hz (50 Hz)	中等 150 Hz~550 Hz (50 Hz)	中等 150 Hz~550 Hz (50 Hz)	中等 400 Hz~10 000 Hz
控制单元造成的输入导纳				
基波阻抗 类型	无源或有源的 RL 电路	无源 RL 电路	无源或有源的 RL 电路	无源或有源的 R、RL、RC 电路
频率大于 基波频率的 阻抗类型	无源 RL 电路	无源 RL 电路	无源 RL 电路	基于频率和控制的无源或 有源的 RLC 电路
非线性	当电动机磁场饱 和时(大牵引力时)	主要因为交换 阻抗	主要因为交换阻抗	因为功率和直流电压控制 或涌流,主要对低频
依赖运行点	所有频率,因为: • 电机导纳取决 于速度; • 变压器抽头开 关的转换	所有频率,因为: • 电机导纳基于 速度; • 变压器抽头开 关的转换; • 换向角度取决 于电机电流	所有频率,因为: • 电机导纳取决于速度; • 触发和换向角度取决 于电机电压	只对频率值低于线路频率 的频率

表 D.3 (续)

动力装置类型	抽头变换器	二极管整流器	可控硅整流器	四象限变流器
控制单元造成的输入导纳				
取决于线路阻抗	无	有,因换向角度随线路阻抗而变化	有,因换向角度随线路阻抗而变化	无
滤波器造成的输入阻抗				
产生	不产生	部分产生	部分产生	部分产生
谐振特性	N. A.	100 Hz, 300 Hz	100 Hz, 300 Hz	250 Hz~800 Hz(50 Hz)

表 D.4 单列直流列车阻抗、谐波和稳定性的特性

动力装置类型	有转换电阻的直流电机	有斩波器的直流电机	有斩波器和逆变器的交流电机	有直接逆变器的交流电机
转换带宽	3 Hz	400 Hz ~ 600 Hz 或更高 ^{b,c}	400 Hz ~ 600 Hz 或更高 ^{b,c}	400 Hz ~ 600 Hz 或更高 ^{b,c}
控制带宽	不适用 ^a	50 Hz~100 Hz	50 Hz~100 Hz	50 Hz~100 Hz
滤波器造成的输入阻抗	不适用 ^a	在 50 Hz, >2 Ω	在 50 Hz, >2 Ω	在 50 Hz, >2 Ω
脉冲频率	不适用 ^a	直到 300 Hz	直到 300 Hz	直到 300 Hz
滤波器的谐振特性	不适用 ^a	20 Hz~40 Hz	20 Hz~30 Hz	10 Hz~30 Hz
^a 如果启动电流低于参考值,启动电阻要逐步去掉。 ^b 频率可采用多相斩波器来增加,在启动时可降低。 ^c 使用 IGBT 的时候,频率可能增加到几千赫兹。				

附录 E
(资料性附录)
电分相的不同类型

E.1 绝缘和分段

绝缘分段是指由绝缘体构成的一段接触网的接入到一个连续运行的接触网,以防止不同的电压在列车受电器通过时连通,如图 E.1 所示。

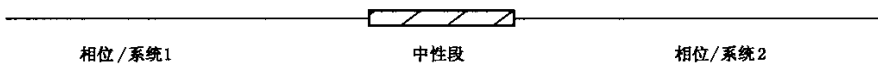


图 E.1 绝缘分段

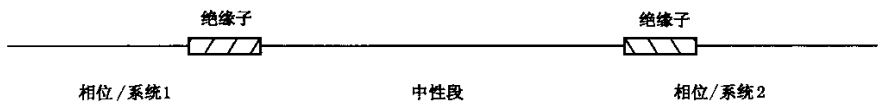


图 E.2 两端绝缘器式中性段

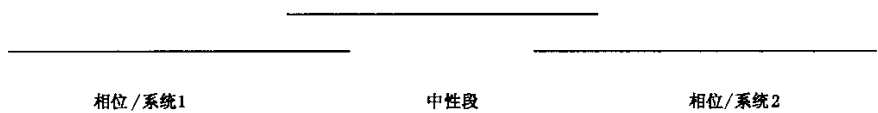


图 E.3 绝缘锚段关节式中性段

E.2 分段式中性段

分段式中性段是指两端有分段装置的一段接触网,以阻止受电器经过时连通不同电压、不同相位或不同频率的接触网。分段式中性段的结构如图 E.4 和图 E.5 所示。

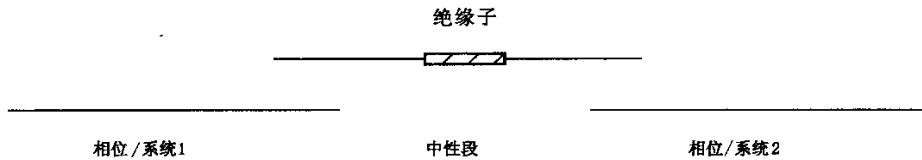


图 E.4 带有绝缘子和绝缘锚段关节的分段式中性段

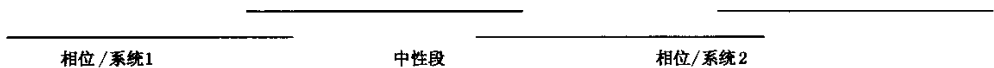


图 E.5 带有三段绝缘锚段关节的分段式中性段

E.3 转换分段

转换分段是由电分相两端的锚段关节和两个转换开关组成。如图 E.6 所示。当列车从左侧进入分相时,左侧开关闭合,同时右侧开关打开。在列车完全进入分相以后,两开关投切转换完成,这时列车将离开电分相区。因此列车可以带电过区段。

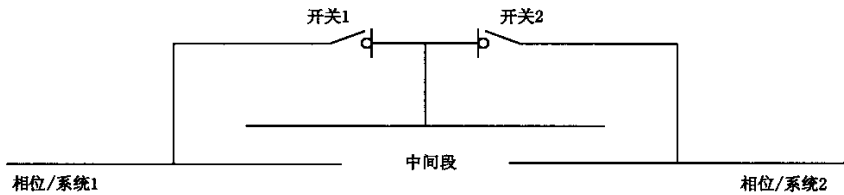


图 E.6 转换分段

E.4 避免拉弧的分段长度的示例

图 E.7 所示为列车从交流系统到直流系统的分段构造示例。它是由绝缘分段连接,并且只适合于常规铁路。从实验结果(日本经验值)得出,在 50 Hz 的频率下,电弧在 8 m 内开始熄灭。考虑到电气连接的受电弓之间的距离(最多 15 m),分段有足够的长度去避免拉弧。

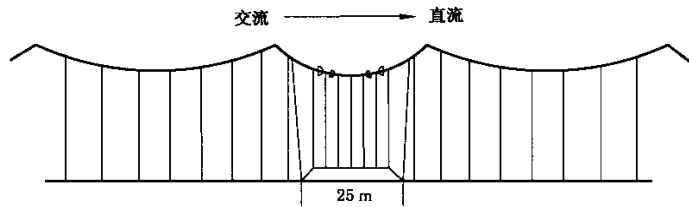


图 E.7 从交流到直流的系统分离区示例

图 E.8 所示为列车从直流系统到交流系统的分段构造示例。它由两端带绝缘器的中性段构成,并且只适合于常规铁路。中性段不接地。从实验结果中得知,电弧在 100 ms 时开始消失。除此之外,为了保护来自交流系统的车载直流回路,需要考虑检测直流失压和断路器自动跳闸的时间。结果表明,区段拥有足够的长度去避免拉弧。

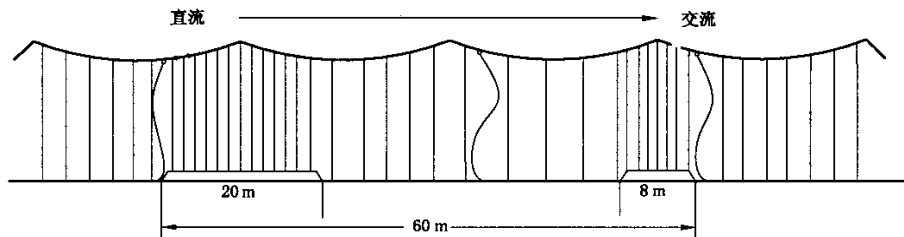


图 E.8 从直流到交流的系统分离区示例

附录 F
(资料性附录)
列车最大允许电流值

表 F.1 给出列车最大允许电流值。

表 F.1 列车最大允许电流值 单位为安(A)

供电系统	干线铁路		城市轨道交通
	高速铁路	常规铁路	最大值
AC 25 kV-50 Hz	1 500	800	—
DC 1 500 V ^a	—	—	5 000
DC 750 V	—	—	6 800
^a 在特殊线路(例如,在山区和偏远地区货运铁路),这些值可能会超出。			

附 录 G
(资料性附录)
接触网-钢轨短路电流最大值

表 G.1 给出接触网-钢轨短路电流最大值。

表 G.1 接触网-钢轨短路电流最大值

供 电 系 统	变电所双边供电 Y/N	可能发生的最大故障电流 kA
AC 25 kV-50 Hz	N	25
DC 1 500 V	Y	100(预期稳定值 [*])
DC 750 V	Y	100(预期稳定值 [*])
[*] 定义可见 GB/T 25890.1—2010 中 3.2.12。		

附录 H
(资料性附录)

牵引单元断路器合闸时 di/dt

表 H.1 给出了牵引单元断路器合闸时瞬变电流 di/dt 的设定值。

表 H.1 牵引单元断路器合闸时 di/dt

T ms	di/dt 适用条件 A/ms
0	<60
20	<20

架空接触网和变电所电感最小值为 2 mH。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.36—2003 电工术语 电力牵引[IEC 60050(811):1991,MOD]
 - [2] GB/T 25890.1—2010 轨道交通 地面装置 直流开关设备 第1部分:总则(IEC 61992-1:2006,IDT)
-