

中华人民共和国国家标准

GB/T 3836.18—2024

代替 GB/T 3836.18—2017

爆炸性环境 第 18 部分：本质安全电气系统

Explosive atmospheres—Part 18: Intrinsically safe electrical systems

(IEC 60079-25:2020, Explosive atmospheres—
Part 25: Intrinsically safe electrical systems, MOD)

2024-03-15 发布

2024-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

引言 VI

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统描述文件 2

5 类别和温度组别 3

6 保护等级 3

 6.1 通则 3

 6.2 “ia”保护等级 3

 6.3 “ib”保护等级 3

 6.4 “ic”保护等级 3

7 非本质安全电路 3

8 本质安全系统互连线路/电缆 4

 8.1 通则 4

 8.2 包含单个本质安全电路的电缆 4

 8.3 包含多个本质安全电路的电缆 4

9 对单电路和多电路电缆的要求 4

 9.1 通则 4

 9.2 介电强度 4

 9.3 电缆的本质安全参数 5

 9.4 导电屏蔽 5

 9.5 多电路电缆的类型 5

10 外壳 5

11 本质安全系统的接地和等电位联结 6

12 本质安全系统的评定 6

 12.1 通则 6

 12.2 仅包含按照 GB/T 3836.4 认证的装置的系统 6

 12.3 包含未按照 GB/T 3836.4 单独评价的装置的系统 6

 12.4 包含单个电源的系统 6

 12.5 包含多个电源的系统 7

 12.6 简单装置 8

 12.7 电容、电感和电缆 L/R 的评定 8

12.8 多电路电缆的故障 9

12.9 型式检查和型式试验 9

13 预先确定的系统 10

附录 A (资料性) 系统描述文件的参考格式 11

附录 B (规范性) FISCO 系统 13

附录 C (资料性) 系统中简单装置的应用 15

附录 D (资料性) 简单本质安全系统的评定 16

附录 E (资料性) 多电源组合电路的评定 18

附录 F (资料性) 非线性和线性本质安全电路的互连 21

附录 G (规范性) 电感参数的确定 41

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 3836《爆炸性环境》的第18部分。GB/T 3836 已经发布了以下部分：

- 第1部分：设备 通用要求；
- 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的的设备；
- 第3部分：由增安型“e”保护的的设备；
- 第4部分：由本质安全型“i”保护的的设备；
- 第5部分：由正压外壳“p”保护的的设备；
- 第6部分：由液浸型“o”保护的的设备；
- 第7部分：由充砂型“q”保护的的设备；
- 第8部分：由“n”型保护的的设备；
- 第9部分：由浇封型“m”保护的的设备；
- 第11部分：气体和蒸气物质特性分类 试验方法和数据；
- 第12部分：可燃性粉尘物质特性 试验方法；
- 第13部分：设备的修理、检修、修复和改造；
- 第14部分：场所分类 爆炸性气体环境；
- 第15部分：电气装置的设计、选型和安装；
- 第16部分：电气装置的检查与维护；
- 第17部分：由正压房间“p”和人工通风房间“v”保护的的设备；
- 第18部分：本质安全电气系统；
- 第20部分：设备保护级别(EPL)为 Ga 级的设备；
- 第21部分：防爆产品生产质量管理体系的应用；
- 第22部分：光辐射设备和传输系统的保护措施；
- 第23部分：用于瓦斯和/或煤尘环境的 I 类 EPL Ma 级设备；
- 第24部分：由特殊型“s”保护的的设备；
- 第25部分：可燃性工艺流体与电气系统之间的工艺密封要求；
- 第26部分：静电危害 指南；
- 第27部分：静电危害 试验；
- 第28部分：爆炸性环境用非电气设备 基本方法 and 要求；
- 第29部分：爆炸性环境用非电气设备 结构安全型“c”、控制点燃源型“b”、液浸型“k”；
- 第30部分：地下矿井爆炸性环境用设备和元件；
- 第31部分：由防粉尘点燃外壳“t”保护的的设备；
- 第32部分：电子控制火花时限本质安全系统；
- 第33部分：严酷工作条件用设备；
- 第34部分：成套设备；
- 第35部分：爆炸性粉尘环境场所分类；
- 第36部分：控制防爆设备潜在点燃源的电气安全装置。

本文件代替 GB/T 3836.18—2017《爆炸性环境 第18部分：本质安全电气系统》，与 GB/T 3836.18—

2017 相比,除结构调整和编辑性改动外,主要技术变化如下:

- 更改了系统描述文件的内容(见第 4 章,2017 年版的第 4 章);
- 更改了类别和温度组别的要求,并将原第 7 章环境温度额定值纳入(见第 5 章,2017 年版的第 5 章和第 7 章);
- 增加了非本质安全电路的限制要求(见第 7 章);
- 更改了本质安全系统互连线路/电缆的要求(见第 8 章,2017 年版的第 8 章);
- 更改了电缆的要求(见第 9 章,2017 年版的第 9 章);
- 将“本质安全电路的接线装置”更改为“外壳”,并更改了相应要求(见第 10 章,2017 年版的第 10 章);
- 删除了本质安全系统接地和等电位联结的部分要求(见 2017 年版的第 11 章);
- 删除了防雷电冲击和其他浪涌保护的要求(见 2017 年版的第 12 章);
- 更改了本质安全系统的评定(见第 12 章,2017 年版的第 13 章);
- 关于多电源组合电路的评定的附录由规范性更改为资料性(见附录 E,2017 年版的附录 B);
- 删除了关于电缆参数试验的附录(见 2017 年版的附录 G)。

本文件修改采用 IEC 60079-25:2020《爆炸性环境 第 25 部分:本质安全电气系统》。

本文件与 IEC 60079-25:2020 相比做了下述结构调整:

- 附录 A 对应 IEC 60079-25:2020 的附录 E;
- 附录 B 对应 IEC 60079-25:2020 的附录 G;
- 附录 C 对应 IEC 60079-25:2020 的附录 F;
- 附录 D 对应 IEC 60079-25:2020 的附录 A;
- 附录 E 对应 IEC 60079-25:2020 的附录 B;
- 附录 F 对应 IEC 60079-25:2020 的附录 C;
- 附录 G 对应 IEC 60079-25:2020 的附录 D。

本文件与 IEC 60079-25:2020 的技术差异及其原因如下:

- 用规范性引用的 GB/T 3836.1 替换了 IEC 60079-0(见第 3 章、第 5 章、6.1),以适应我国的技术条件、增加可操作性;
- 用规范性引用的 GB/T 3836.4 替换了 IEC 60079-11(见第 3 章、第 5 章、6.1、9.2.2、第 10 章、第 12 章、附录 G),以适应我国的技术条件、增加可操作性;
- 用规范性引用的 GB/T 3836.15 替换了 IEC 60079-14(见 8.3),以适应我国的技术条件、增加可操作性;
- 用规范性引用的 GB/T 16657.2 替换了 IEC 61158-2(见 B.1),以适应我国的技术条件、增加可操作性。

本文件做了下列编辑性改动:

- 为与现有标准系列一致,将文件名称更改为《爆炸性环境 第 18 部分:本质安全电气系统》;
- 术语和定义中增加了关于 ISO 和 IEC 术语数据库地址的信息;
- 纳入了 IEC 60079-25:2020/COR1:2020 和 IEC 60079-25:2020/COR2:2022 的技术勘误内容,所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直双线(||)进行了标示;
- 删除了参考文献。

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专利的责任。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国防爆设备标准化技术委员会(SAC/TC 9)归口。

本文件起草单位:南阳防爆电气研究所有限公司、上海仪器仪表自控系统检验测试所有限公司、重庆川仪自动化股份有限公司、华荣科技股份有限公司、佳木斯防爆电机研究所有限公司、燕山大学、武汉

理工大学、安标国家矿用产品安全标志中心有限公司、深圳市特安电子有限公司。

本文件主要起草人：张刚、徐建平、吴朋、周京、杨文宇、赵丁选、陈先锋、赵宏、许杰、孟积渐、李统养。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2010 年首次发布为 GB 3836.18—2010；
- 2017 年第一次修订为 GB/T 3836.18—2017；
- 本次为第二次修订。

引 言

GB/T 3836《爆炸性环境》旨在确立爆炸性环境用设备及其应用相关方面的基本技术要求,涵盖了爆炸性环境用设备的设计、制造、检验、选型、安装、检查、维护、修理以及场所分类等各方面,采用分部分标准的形式,包括但不限于以下部分:

- 第1部分:设备通用要求;
- 第2部分:由隔爆外壳“d”保护的设备;
- 第3部分:由增安型“e”保护的设备;
- 第4部分:由本质安全型“i”保护的设备;
- 第5部分:由正压外壳“p”保护的设备;
- 第6部分:由液浸型“o”保护的设备;
- 第7部分:由充砂型“q”保护的设备;
- 第8部分:由“n”型保护的设备;
- 第9部分:由浇封型“m”保护的设备;
- 第11部分:气体和蒸气物质特性分类 试验方法和数据;
- 第12部分:可燃性粉尘物质特性 试验方法;
- 第13部分:设备的修理、检修、修复和改造;
- 第14部分:爆炸性气体环境场所分类;
- 第15部分:电气装置的设计、选型和安装;
- 第16部分:电气装置的检查与维护;
- 第17部分:由正压房间“p”和人工通风房间“v”保护的设备;
- 第18部分:本质安全电气系统;
- 第20部分:具有隔离部件或组合保护等级的设备;
- 第21部分:防爆产品生产质量管理体系的应用;
- 第22部分:光辐射设备和传输系统的保护措施;
- 第23部分:用于瓦斯和/或煤尘环境的Ⅰ类 EPL Ma 级设备;
- 第24部分:由特殊型“s”保护的设备;
- 第25部分:可燃性工艺流体与电气系统之间的工艺密封要求;
- 第26部分:静电危害 指南;
- 第27部分:静电危害 试验;
- 第28部分:爆炸性环境用非电气设备 基本方法 and 要求;
- 第29部分:爆炸性环境用非电气设备 结构安全型“c”、控制点燃源型“b”、液浸型“k”;
- 第30部分:地下矿井爆炸性环境用设备和元件;
- 第31部分:由防粉尘点燃外壳“t”保护的设备;
- 第32部分:电子控制火花时限本质安全系统;
- 第33部分:严酷工作条件用设备;
- 第34部分:成套设备;
- 第35部分:爆炸性粉尘环境场所分类;
- 第36部分:控制防爆设备潜在点燃源的电气安全装置。

本质安全型“i”是最主要的防爆型式之一,在该技术的标准化方面,对本质安全型设备,我国于1983年

参考 IEC 文件制定了 GB 3836.4—1983,后于 2000 年、2010 年、2021 年 3 次进行修订,在第 3 次修订时并入了 GB 12476.4(可燃性粉尘环境用本质全型设备)和 GB 3836.19(现场总线本质安全概念)的内容;对本质安全型设备互联组合形成的本质安全系统,我国于 2010 年采用 IEC 60079-25:2003 制定了 GB 3836.18—2010,对其技术要求进行规定,随后于 2017 年采用 IEC 60079-25:2010 进行了修订。2017 版标准发布实施以来,本质安全型防爆技术有了一定的新发展,设备标准 GB/T 3836.4 已修订。在国际标准方面,相应标准现行版本为 IEC 60079-25:2020,其主要技术内容适用于我国的情况。为适应防爆技术和产业发展,并与国际标准发展相一致,需要对 GB/T 3836.18—2017 进行修订。

本次修订在采用 IEC 60079-25:2020《爆炸性环境 第 25 部分:本质安全电气系统》主要技术内容的基础上进行了适当的修改,以适应我国的具体情况。本文件作为针对本质安全系统的专用部分,是对 GB/T 3836.1 通用要求和 GB/T 3836.4 本质安全型的补充和修改。

爆炸性环境

第 18 部分：本质安全电气系统

1 范围

本文件规定了本质安全系统(防爆型式为“i”)设计、结构和评定的特殊要求。

本文件适用于整体或部分拟用于需要 I 类、II 类或 III 类 Ex 设备的场所的本质安全系统。

注 1：本文件用于本质安全系统的设计和评定，其人员可能是制造商、第三方机构、专家顾问或最终用户的工作人员。

本文件是对 GB/T 3836.1 通用要求和 GB/T 3836.4 本质安全型的补充和修改。当本文件的要求与 GB/T 3836.1 或 GB/T 3836.4 的要求有冲突时，本文件的要求优先。

按照本文件设计的 II 类或 III 类本质安全系统的安装要求在 GB/T 3836.15 中规定。

注 2：GB/T 3836.15 目前未规定 I 类的安装要求，I 类的安装要求正在考虑之中。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 3836.1 爆炸性环境 第 1 部分：设备 通用要求 (GB/T 3836.1—2021, IEC 60079-0:2017, MOD)

GB/T 3836.4 爆炸性环境 第 4 部分：由本质安全型“i”保护的的设备 (GB/T 3836.4—2021, IEC 60079-11:2011, MOD)

GB/T 3836.15 爆炸性环境 第 15 部分：电气装置的设计、选型和安装 (GB/T 3836.15—2017, IEC 60079-14:2007, MOD)

GB/T 16657.2 工业通信网络 现场总线规范 第 2 部分：物理层规范和服务定义 (GB/T 16657.2—2008, IEC 61158-2:2007, IDT)

3 术语和定义

GB/T 3836.1 和 GB/T 3836.4 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 在以下地址维护用于标准化的术语数据库：

——IEC: <http://www.electropedia.org/>;

——ISO: <http://www.iso.org/obp>。

3.1

本质安全系统 intrinsically safe system

在系统描述文件中规定的，拟用于爆炸性环境的电路或部分电路是本质安全电路的装置互连的组合。

3.2

多电路电缆 multi-circuit cable

包含一个以上本质安全电路的多芯电缆。

3.3

系统描述文件 descriptive system document

规定构成本质安全系统的装置和其电气参数,以及互连线路和其电气参数的文件。

3.4

总电缆电容 total cable capacitance

C_c

能连接到本质安全电路上的互连电缆的总电容。

3.5

总电缆电感 total cable inductance

L_c

能连接到本质安全电路上的互连电缆的总电感。

3.6

电缆电感与电阻比 cable inductance to resistance ratio

L_c/R_c

连接到本质安全电路上的互连电缆的电感(L_c)与电阻(R_c)的比值。

3.7

线性电源 linear power source

由电阻器确定有效输出电流的电源,其输出电压随输出电流上升而线性下降。

3.8

非线性电源 non-linear power source

输出电流和输出电压具有非线性关系的电源。

注:例如由半导体控制,具有恒压输出,能达到恒定电流极限的电源。

3.9

现场总线本质安全概念 fieldbus intrinsically safe concept; FISCO

总线供电并按照特定要求设计的本质安全系统架构。

注:要求在 GB/T 16657.2 中规定。

4 系统描述文件

应对整个本质安全系统制定系统描述文件。系统描述文件应包括装置组合的技术依据,并且至少应包括以下内容:

- a) 列出系统内所有装置的框图,包括简单装置和互连线路;
- b) 符合第 5 章和第 6 章要求的设备类别细分(Ⅱ类和Ⅲ类)、系统每一部分的保护等级和设备保护级别(EPL)、温度组别和环境温度范围的说明;
- c) 符合第 8 章要求的互连线路的要求和允许参数;
- d) 本质安全性能所依赖的接地和等电位联结点的具体情况;
- e) 适用时,装置符合 GB/T 3836.4 的“简单装置”的确认;
- f) 符合第 12 章要求的本质安全系统评定结果;
- g) 文件的唯一标识。

第5章～第12章中的要求应用于确定系统描述文件的内容。

注：系统描述文件与 GB/T 3836.4 规定的控制图不同。

附录 A 给出了系统描述文件典型的示意图，说明了对系统描述文件的要求。

5 类别和温度组别

拟用于爆炸性环境的本质安全系统的组成部分应按照 GB/T 3836.1 设备类别要求分类，并按照 GB/T 3836.1、GB/T 3836.4 的温度要求确定温度组别或最高表面温度。

不拟用于爆炸性环境的关联装置只应按照 GB/T 3836.1 设备类别要求分类。

如果本质安全系统部分或整体运行温度超出一20℃～+40℃的正常环境温度范围，则应在系统描述文件中规定。

注：同一本质安全系统的不同部分可能有不同的类别。所使用的装置可能有不同的温度组别和不同的环境温度范围。

6 保护等级

6.1 通则

用于爆炸性环境的本质安全系统，其每一部分应按照 GB/T 3836.4 划分为“ia”“ib”或“ic”保护等级，并应按照 GB/T 3836.1 划分 EPL。系统的不同部分可具有不同等级或 EPL。

注：对于 I 类应用，正常工作用外部电源时系统为“ib”保护等级，但在规定的安全条件下（如通风故障）断开外部电源并启用备用电池电源时，系统可能变为“ia”保护等级。保护等级将由预期条件明确界定。

6.2 “ia”保护等级

如果看作整体的本质安全系统或系统的一部分满足“ia”保护等级装置的要求（见 GB/T 3836.4），则该系统或系统的一部分应划分为“ia”保护等级。

6.3 “ib”保护等级

如果看作整体的本质安全系统或系统的一部分满足“ib”保护等级装置的要求（见 GB/T 3836.4），则该系统或系统的一部分应划分为“ib”保护等级。

示例：通过“ib”保护等级关联装置供电的“ia”保护等级现场仪表将被视为“ib”保护等级系统，或通过“ia”保护等级关联装置供电的“ib”保护等级现场仪表也将被视为保护级“ib”保护等级系统。

6.4 “ic”保护等级

如果看作整体的本质安全系统或系统的一部分满足“ic”保护等级装置的要求（见 GB/T 3836.4），则该系统或系统的一部分应划分为“ic”保护等级。

示例：通过“ic”保护等级关联装置供电的“ia”保护等级现场仪表将被视为“ic”保护等级系统，或通过“ia”保护等级关联装置供电的“ic”保护等级现场仪表也将被视为保护级“ic”保护等级系统。

7 非本质安全电路

系统描述文件应规定对关联装置非本质安全端子电路连接的限制，如 U_m （最高电压）。

8 本质安全系统互连线路/电缆

8.1 通则

与本质安全性能有关的互连线路的电气参数及其推导应在系统描述文件中予以规定。如果规定了特定的线路类型,应在文件中说明选用的理由。

互连线路的电缆应符合第 9 章的适用要求。

电缆故障应按照 12.8 的要求进行评定。

8.2 包含单个本质安全电路的电缆

包含单个本质安全电路的电缆应符合 9.1、9.2.1、9.3 和(适用时)9.4 的要求。

8.3 包含多个本质安全电路的电缆

如果用于特定电路,系统描述文件应规定符合第 9 章规定允许使用的多电路电缆的类型。在特定情况下,如果没有考虑独立电路之间的故障,则应在系统描述文件的框图上加上注:“如果互连电缆使用的多电路电缆部分含有其他本质安全电路,则多电路电缆应符合 GB/T 3836.15 规定的 A 型或 B 型多电路电缆的要求。

多电路电缆包含有“ia”“ib”或“ic”保护等级的电路时,不应包含非本质安全电路。

当“ia”“ib”或“ic”保护等级的电路在 9.5.2 和 9.5.3 规定的 A 型或 B 型电缆中一起走线时,每个电路保持其保护等级和设备类别。

“ia”“ib”或“ic”保护等级的电路在 9.5.4 规定的 C 型电缆中一起走线时,则应按照 12.8 评定电路的组合,以确定保护等级、EPL 和适用的设备类别。

注:按照 12.8 进行的评定可能确定这种组合不再是本质安全的。

9 对单电路和多电路电缆的要求

9.1 通则

如果电缆被规定为系统的一部分,则:

——在危险场所中单根导体或复绞导体每股的直径应不小于 0.1 mm;

——多电路电缆每一线芯绝缘层的径向厚度应与导体直径和绝缘性质相适应,至少为 0.2 mm。

注:本条款不排除用于信号系统的裸露导体桥接,此类导体视为简单装置而非互连线路。

9.2 介电强度

9.2.1 包含单个本质安全电路的电缆

本质安全电路用电缆的绝缘应能承受本质安全电路电压两倍或 500 V 交流有效值(或 700 V 直流)电压的介电强度试验,取两者中较大者。

9.2.2 包含多个本质安全电路的电缆

多电路电缆不应用于电压超过 90 V 的本质安全电路。

多电路电缆应能承受下列介电强度试验。

- a) 铠装和/或屏蔽连接在一起,所有线芯连接在一起,两者之间施加至少 500 V 交流有效值或 700 V 直流电压。

- b) 二分之一电缆线芯连接在一起,另外二分之一电缆线芯连接在一起,两者之间施加至少 1 000 V 交流有效值或 1 400 V 直流电压。该试验不适用于单个电路有导电屏蔽的多电路电缆。

如果没有电缆制造商提供的信息,介电强度试验应按照相应的电缆标准或 GB/T 3836.4 的要求进行。

注:验证电缆制造商规范的一致性不是本文件的要求。

9.3 电缆的本质安全参数

在本质安全系统内使用的所有电缆,其本质安全参数(C_c 和 L_c 或 C_c 和 L_c/R_c)应按照下述之一确定。

- 电缆制造商提供的最不利本质安全参数。
- 通过对样品进行测量确定的本质安全参数,有关电缆本质安全参数的试验方法见 GB/T 3836.15。
- 如果互连使用普通结构电缆(带或不带屏蔽)的两根或三根线芯,可用以下值:200 pF/m 和 1 μ H/m 或 1 μ H 除以制造商规定的每米回路电阻得出的电感与电阻比(L_c/R_c)。或者对于最大短路电流 $I_o=3$ A 及以下的电流, L_c/R_c 可用 30 μ H/ Ω 。

如果使用 FISCO 系统,电缆参数要求应符合附录 B 的规定。

9.4 导电屏蔽

如果采用导电屏蔽对独立本质安全电路提供特殊保护以避免这些电路相互连接,沿电缆总长的屏蔽覆盖率至少应为 60%。

9.5 多电路电缆的类型

9.5.1 通则

为了施加故障和确定本质安全系统内的电缆敷设安全,多电路电缆应分为 A 型、B 型或 C 型。对电缆类型的要求见 9.5.2、9.5.3 和 9.5.4。

9.5.2 A 型电缆

具有导电屏蔽,并且按照 9.4 对每个本质安全电路提供单独保护的多电路电缆。

9.5.3 B 型电缆

固定并通过安装防止损坏,并且电缆内包含的任何电路的最高开路电压 U_o 不超过 60 V 的多电路电缆。

9.5.4 C 型电缆

不属于 A 型或 B 型的多电路电缆。

10 外壳

用于连接独立本质安全电路的外壳(例如接线盒)应为外部连接件提供隔离,并满足 GB/T 3836.4 中的适用外壳要求。

11 本质安全系统的接地和等电位联结

系统描述文件宜清楚地说明系统的哪个点或哪些点用来接地,以及对这种等电位联结的任何特殊要求。

通过非线性装置如气体放电管和半导体,将电路和机架互连的浪涌保护装置,在正常运行时,如果通过该装置的电流小于 $10\ \mu\text{A}$,则认为不会对电路的本质安全性能产生不利影响。

注: 如果进行 $500\ \text{V}$ 绝缘试验,可能需要断开浪涌抑制装置,以防止影响测量的有效性。

采用浪涌抑制技术的本质安全系统,需要考虑上文提出的要求,对间接多点接地的影响进行分析并形成文件,证明系统符合要求。在评定本质安全系统时,需要考虑浪涌抑制装置的电容和电感。

12 本质安全系统的评定

12.1 通则

本质安全系统的符合性应通过考虑以下项目来证明:

- a) 根据适用的安装要求,如 GB/T 3836.15,单个装置对危险场所的适用性;
- b) 单个装置对环境温度范围的适用性;
- c) 独立评价过的装置的输入、输出特性及参数的比较;

注 1: 现场装置的安全性有时完全仅由其中一个参数规定。在这种情况下,未规定的参数是不相关的。

- d) 互连线路的电缆参数;
- e) 电缆内部故障;
- f) 简单装置的适用性及影响;
- g) 终端和连接件的隔离;
- h) 接地和等电位联结。

作为一种可选方案,如果需要的所有信息齐备,即使使用了符合 GB/T 3836.4 的装置,也允许施加计入整体系统的故障。更常用的方法则是对单独认证过的装置的输入、输出特性进行直接比较。

对“ic”保护等级,仅在规定 C 型电缆时考虑现场布线故障。

注 2: 对整体系统施加故障没有对每个装置施加故障严格,尽管如此,用这种方法仍认为能达到可接受的安全水平。

12.2 仅包含按照 GB/T 3836.4 认证的装置的系统

如果系统中仅包含按照 GB/T 3836.4 进行单独评价的装置,则应证明系统内所有装置互相兼容。装置内部的故障已经被考虑,不需要进一步考虑这些故障。

12.3 包含未按照 GB/T 3836.4 单独评价的装置的系统

如果系统中包含未按照 GB/T 3836.4 进行适当评价的装置,则该系统应作为一个整体进行分析,就如同是一个装置一样。关于简单装置的信息见附录 C。

12.4 包含单个电源的系统

如果系统中包含单个电源,则电源的输出参数考虑了外部连接电缆的开路、短路和接地,因此不需要进一步考虑这些故障。

如有规定,系统中每个装置的最高输入电压 U_i 、最大输入电流 I_i 和最大输入功率 P_i 应分别大于或等于电源的最高开路电压 U_o 、最大短路电流 I_o 和最大稳态功率 P_o 。

注: 附录 D 包含了对这些简单电路进行分析的进一步细节。

12.5 包含多个电源的系统

12.5.1 通则

如果系统中包含多个电源,应在正常和故障条件下对组合电源以下参数进行评定:

- a) 最高开路电压 U_o ;
- b) 最大短路电流 I_o ;
- c) 最大稳态功率 P_o 。

注 1: 这些参数可能需要设定不同的故障条件。

在上述评定中,应根据互连类型确定在正常运行和故障条件下,是否需要考虑电压总和、电流总和或同时考虑两者。

根据上述推导,应评定以下参数以安全连接到组合电源:

- 最大外部电容 C_o ;以及
- 最大外部电感 L_o ;或
- 连接电缆的最大电感与电阻比 L/R 。

考虑到组合装置的安全系数,应使用符合 GB/T 3836.4 的火花试验装置进行任何基于试验的验证。

系统中每个装置的 U_i 、 I_i 和 P_i 应分别大于或等于上述确定的 U_o 、 I_o 和 P_o 。

注 2: 附录 E 图示说明了在最常见的线性电阻限制输出电源的组合中使用的分析。或者,GB/T 3836.15 提供了一种简化分析,适用于电源为关联装置的“ib”保护等级 II 类电路。分析还可能包括符合 GB/T 3836.4 的火花点燃试验。

12.5.2 包含线性和非线性电源的系统

对包含多个电源且其中一个或多个为非线性电源的系统的评定,应由在非线性本质安全电源的设计和安全性方面具有适当能力和知识的人员进行。这种评定不能仅基于开路电压和短路电流实现。

应在系统描述文件中明确说明与该系统有关的任何特殊条件。

如果本质安全系统包含多个电源且其中一个或多个为非线性电源,则附录 E 介绍的评定方法不适用。附录 F 介绍了如何对包含单个非线性电源的组合进行系统分析。

图 1 阐述了系统分析的原理。

如果电源具有不同的输出电压,则需要考虑调节电路中的任何附加损耗。

对于非线性电源,可通过使用 GB/T 3836.4 中的火花点燃试验,用 L_o 和 R_o 的几个离散值对电路进行试验,来确定组合的 L_o/R_o ,使用的 R_o 值范围从几乎短路(最大 I_o)到几乎开路(I_o 接近零),并建立确保 L_o/R_o 通过火花点燃试验的趋势。

注 1: 附录 F 提供了进一步的指南,包括一种不需要对不超过一个非线性电源的系统进行火花点燃试验的评定方法。

如果具有多个电源的系统仅包含一个具有受控半导体电压或电流限制的电源,并且该电源已按照 GB/T 3836.4 进行评定,则该电源的瞬态评定已经被考虑,不需要进一步考虑。

如果所有必要的信息都可用于评定,允许系统包含多个具有受控半导体电压或电流限制的电源。在这种情况下,整个系统应按照 GB/T 3836.4 作为一个整体进行评定,就如同是一个装置一样。

注 2: 在没有获得非线性电源的完整结构图的情况下,预计上述内容无法确定。

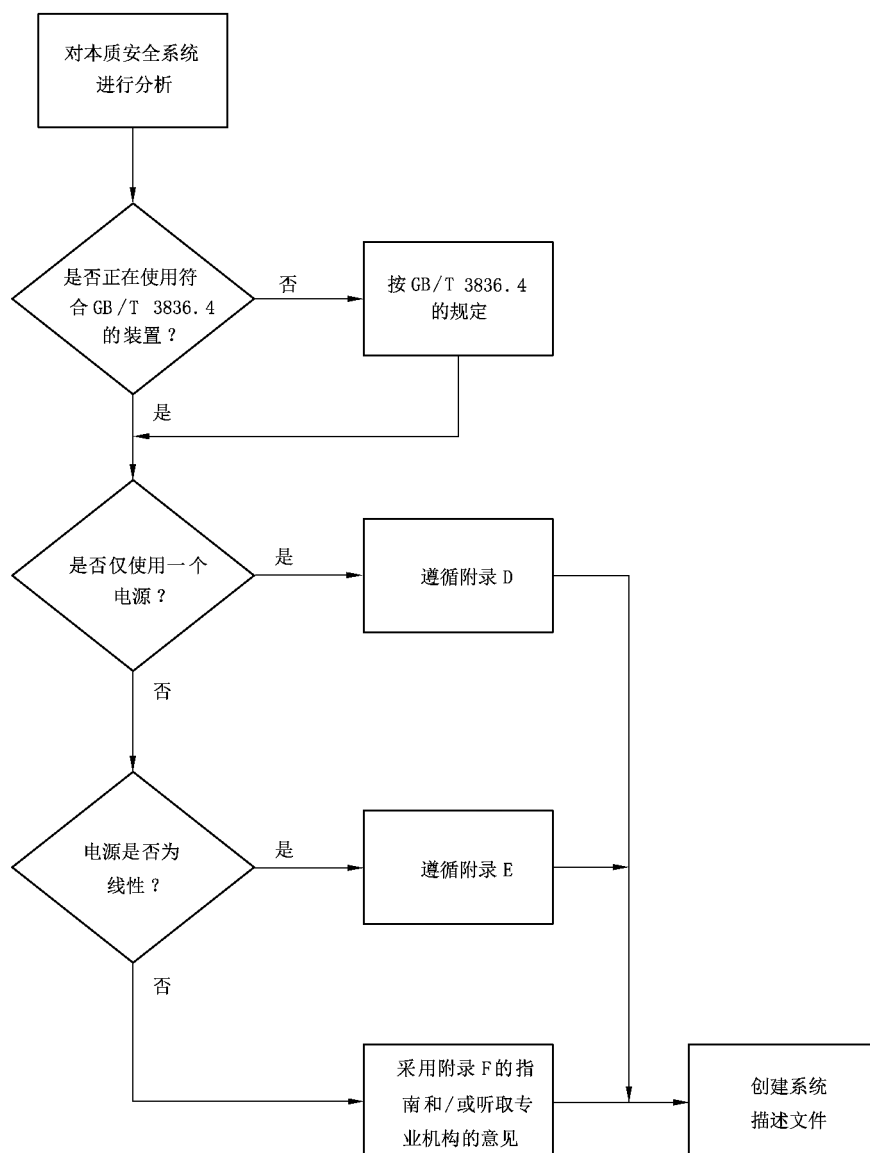


图1 系统分析

12.6 简单装置

本质安全系统中使用的简单装置应符合 GB/T 3836.4 中关于简单装置的要求,并应在系统描述文件中识别为简单装置。

12.7 电容、电感和电缆 L/R 的评定

12.7.1 通则

所有 C_i (最大内部电容) 和 C_c 之和应小于或等于 C_o 。

所有 L_i (最大内部电感) 和 L_c 之和应小于或等于 L_o 。或者, 如果电源 L_o/R_o 大于 L_c/R_c , 可忽略 L_o 。

C_o 和 L_o 的值可能需要根据 12.7.4 重新计算。 L_o/R_o 的值可能需要根据 12.7.5 重新计算。

12.7.2 未规定的参数

如果一个装置的本质安全参数声明不包括 C_i , 则可认为其 C_i 为零。

如果一个装置的本质安全参数声明不包括 L_i , 则可认为其 L_i 为零。

12.7.3 根据保护等级调整输出参数

如果在要求“ic”保护等级的系统中使用“ia”或“ib”保护等级的装置, 可以通过将本质安全输出参数 C_o 、 L_o 和 L_o/R_o 乘以 2 来保守地使安全系数从 1.5 变为 1.0。

12.7.4 集总电容和电感的组合效应

如果所有装置 C_i 值之和超过电路 C_o 值的 1%, 且所有装置 L_i 值之和超过电路 L_o 值的 1%, 则应通过以下方法之一确定电路的允许 C_o 和 L_o 。

- a) 将两者减少一半, 电路的 C_o 进一步限制到最大 1 μF (对于 I 类、II A 类、II B 类和 III 类) 和 600 nF (对于 II C 类)。

如果一个系统由单个电源供电, 该电源规定了允许的 C_o 和 L_o 值组合, 则系统中的所有 C_i 加 C_o 之和及所有 L_i 加 L_o 之和不应超过这些值。

- b) 按照 GB/T 3836.4 对组合进行火花点燃试验。
- c) 使用 F.7 中的曲线。

注: 如果系统包含集总电容和集总电感, 它们之间的相互作用可能增加产生点燃火花的风险。这一问题仅限于固定电感和电容, 而非电缆的分布参数。

12.7.5 确定 L/R

只有当所有装置 C_i 值之和小于或等于 C_o 的 1% 时, 才可使用 L/R 参数。

如果所有装置 L_i 值之和小于或等于 L_o 的 1%, 则允许的电缆 L_c/R_c 被视为等于电源 L_o/R_o 。

如果所有装置 L_i 值之和大于 L_o 的 1%, 系统由单个线性电源供电, 且装置根据其文件或结构具有严格定义的电感和电阻, 则附录 G 中的程序可用于确定适用的 L_c/R_c 或增加允许的电缆电感 L_c 。

对于具有多个电源的系统, 如果其中所有装置 L_i 值之和超过电源组合 L_o 的 1%, 则无法确定 L_o/R_o , 且电缆应符合 L_c 限值。

如果系统根据其文件或结构具有单个线性电源和严格定义的电感和电阻, 则系统电感方面的安全性可通过附录 G 中定义的过程来确认。

12.8 多电路电缆的故障

根据 9.5 中定义的在本质安全系统中使用的电缆类型, 考虑以下情况:

- 对于 A 型和 B 型电缆, 电路之间应视为无故障;
- 对于 C 型电缆, 导致最不利条件的故障, 包括导体之间 2 处或以下短路, 以及同时有 4 处或以下开路, 应按照 GB/T 3836.4 的火花和热点燃要求进行评定。

12.9 型式检查和型式试验

如果有必要通过型式检查或型式试验确定系统是否本质安全, 则应采用 GB/T 3836.4 规定的方法。

13 预先确定的系统

系统和系统所有独立装置可以预先确定和评定,用这种方法,能够清楚单个独立装置和电缆的互连,使本文件的评定要求简化。FISCO 系统就是一种预先确定的系统,FISCO 系统的评定见附录 B。

注:预先确定系统的另一个例子是二线制本质安全以太网系统(2-WISE)。

附 录 A
(资料性)
系统描述文件的参考格式

本附录的目的旨在举例说明准备图 A.1 所示的系统描述图时优先考虑的信息。本附录的目的不是提倡使用这些图纸的特定格式,也不是暗示用其他方法保存信息达不到同样的效果。所示图例经慎重选择,几乎可以说明复杂系统设计的所有方面,大多数应用比这简单得多,仅包括单个变送器和接口。

该框图包括确认系统状况所必需的全部信息,并且使附录 D 和附录 E 介绍的分析成为可能。电阻式温度检测器(RTD)上的注释证实它是简单装置,并且其温度组别由局部过程温度确定。不能通过 500 V 绝缘试验意味着装置在该点接地,因此需要依靠变送器内部的电隔离满足电路仅在一点接地的要求。

温度变送器已经过评价,并具有 RTD 输入接线和 4 mA~20 mA 输出接线规定的安全参数。输入电容或多或少地改变了电缆 y (图 A.1)允许的电缆电容,允许的环境温度范围确保变送器适合于大多数场所的工厂安装。

电隔离接口有严格定义的输出参数,用来确定允许的电缆参数。限定的电缆参数是 80 nF 电缆电容(ⅡC 类),该参数在文件编号下的注释中强调。由于该参数可能与特定应用有关,因此给出了对ⅡB 类的替换参数。

安装图是用来把系统描述图转换成特定安装的要求。假设安装技术人员需要必要的信息进行安装,且安装已经过正确设计。如果技术人员有理由怀疑安装是否适当,他只需要查阅系统描述图即可。安装图上增加了属于简单装置的分线盒,也规定了所使用的特定电缆和引入装置。这样的话,他们同意企业标准符合相关要求。明确了 RTD 的温度组别,也给出了电缆屏蔽联结的具体说明。图中的信息宜能满足随后进行的检验的需要。

再次说明本附录仅介绍了提供信息的一种方法,这一点很重要。基本的要求是,系统描述文件包括能够建立足够安全的系统的全部信息。安装文件宜包括能够使该系统的特定设备安全地安装在特定地点所必需的信息。

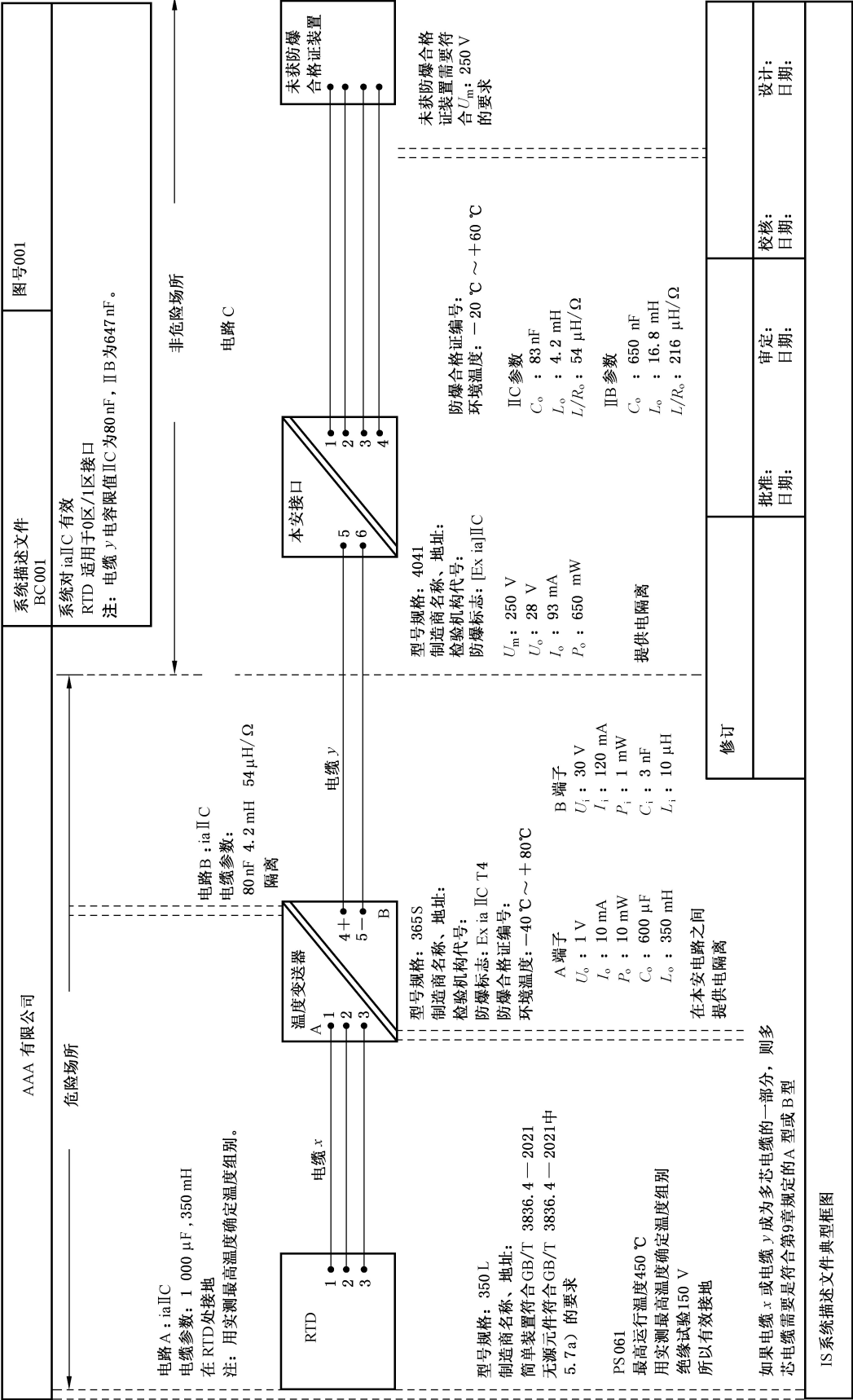


图 A.1 本质安全系统描述图示例

附录 B
(规范性)
FISCO 系统

B.1 通则

本附录详细介绍了与现场总线本质安全概念(FISCO)一起使用的系统的设计要求。该设计以曼彻斯特编码和按照现场总线安装物理层标准 GB/T 16657.2 设计的现场总线电源系统为基础。

FISCO 系统的要求由本文件确定,本附录修改的内容除外。

注 1: 某些在本文件发布之前取证但不需要符合本文件的本质安全参数的装置,可能标志为“适用于 FISCO 系统”。
如果将本质安全参数 U_o 、 I_o 、 P_o 与 U_i 、 I_i 、 P_i 比较,表明与系统其他部分兼容,符合本文件的所有其他要求,则这种装置能用在 FISCO 系统中。

注 2: 典型系统如图 B.1 所示。

注 3: 通常“ic”保护等级 FISCO 系统用于 2 区场所。“ia”和“ib”保护等级 FISCO 系统主要用于 1 区场所。如果有文件规定,“ia”保护等级 FISCO 系统可能用于 0 区场所。

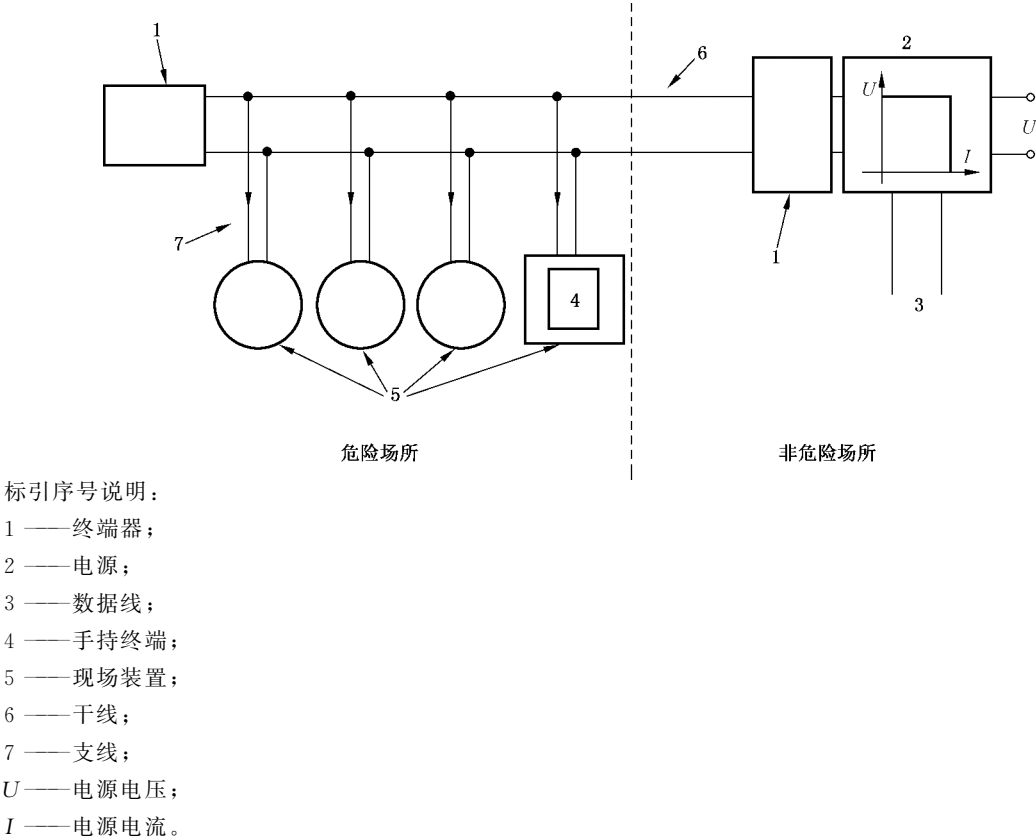


图 B.1 典型的系统

B.2 系统要求

系统通常为图 B.1 所示的形式。

用于系统的电缆应符合第 9 章的要求,并应具有下列参数：

—— R_c : 15 Ω /km~150 Ω /km；

- L_c : 0.4 mH/km~1 mH/km;
- C_c : 45 nF/km~200 nF/km;
- 所有设备类别中每根支线电缆的最大长度 60 m;
- 包括所有支线长度的每一根干线电缆的最大长度,对于ⅡC类为 1 km,对于Ⅰ类、ⅡB类和Ⅲ类为 5 km。

当使用符合本附录的电缆时,不必考虑电缆参数。

如果采用多电路电缆,宜使用 A 型或 B 型电缆。

当系统由以下几个部分组成:

- a) 一个电源;
- b) 32 个以内任一数量的现场总线装置;
- c) 最多两个终端器。

各部分都符合本文件的要求,且采用的电缆达到上述要求,则应认为系统足够安全。

FISCO 系统使用的所有装置的类别应与系统预定用途相适应的设备类别相同,为Ⅰ类、Ⅱ类或Ⅲ类。

应根据系统内采用的装置的最低保护等级确定系统的保护等级(“ia”“ib”或“ic”)。安全文件宜记录确定的保护等级。

系统的子系统可以有不同的保护等级,但是需经评定并有文件记录。例如,在“ib”保护等级的干线上插入适当认证过的接口,可以作为“ia”保护等级支线。

终端应设置在总线的两端。电源应设在离总线一端不超过 60 m 的地方。如果供电电源经支线连接,则此支线的长度应不超过 60 m。

注:操作限制条件和本附录限定了连接到支线上的现场装置数量,一个系统的现场装置最多为 32 个。

一个系统上可增加连接件或开关,而不必修改安全评定。符合 GB/T 3836.4 的其他类型的简单装置可连接到 FISCO 系统上,前提是每件简单装置的总电感和总电容应分别不大于 $10\mu\text{H}$ 和 5 nF,这种简单装置和现场装置的总数不超过 32 个。

安全文件可简化为设备清单,与有关装置文件一起使用。在文件中应清楚说明系统每部分的保护等级。

对Ⅱ类系统,供电电源的设备类别决定系统的设备类别。

应确定每件装置的温度组别或最高表面温度,并应在文件中记录。同时也需要确认每件装置适用于预定场所所允许的最高环境温度。

B.3 对“ic”保护等级 FISCO 系统的附加要求

符合本质安全要求,但不作为符合本附录的 FISCO 装置的现场装置、终端器及其他附属装置,如果输入参数 U_i 不小于 17.5 V,内部参数 L_i 和 C_i 分别不大于 $20\mu\text{H}$ 和 5 nF,可与 FISCO 供电电源一起使用在“ic”保护等级 FISCO 系统中。

本质安全装置用在“ic”保护等级 FISCO 系统中时,宜在该装置的安装点指明。可用标志“ic”保护等级 FISCO 系统的工厂标签满足这项要求。

附 录 C

(资料性)

系统中简单装置的应用

C.1 概述

本质安全装置标准(GB/T 3836.4)区分了复杂装置(通常需要根据 GB/T 3836.4 评价)和简单装置。其目的是对系统本质安全性能无显著影响的装置,允许不进行复杂评价即可使用。这意味着,不依赖标准其余部分的详细应用,就能证明简单装置显然是安全的。但是,如果需要限流或限压元件,则不认为是简单装置。实际上在系统设计阶段比较容易确定哪些元件是简单装置。如果不容易确定,则装置不是简单装置。

GB/T 3836.4 限定简单装置的本质安全参数为 1.5 V、100 mA、25 mW。简单装置可以增加 to 本质安全系统中,而不需要重新计算系统的安全性。宜考虑所有简单装置、任何本质安全装置和任何本质安全关联装置的组合作用。例如,系统中允许使用一个或两个热电偶,但是大量热电偶组合用在一个平均温度电路中可能不符合该项要求。

GB/T 3836.4 也允许简单装置中使用电容性元件和电感性元件,但是要对这些元件进行系统评价。通常不会使用大量电感器或电容器,但是简单装置概念允许使用小型射频去耦元件,而不需要对系统进一步分析。一条有用的经验是确保加入系统的总电容和电感小于电源相应输出参数的 1%,这样它们的影响就可以忽略不计。如果加入的电容和电感与电路中的其他集总电容之和大于电源规定输出参数的 1%,则允许的输出参数宜为附录 D 规定值的 1/2。

如果简单装置用于危险场所,则也需要确定温度组别。装置标准规定,在额定条件下、环境温度不超过 40 °C 时允许开关、插头、插座和端子温度组别为 T6。实践中设计用于 T6(85 °C)组气体的系统不太容易。通常系统能达到 T4(135 °C)组。现有文件中列出的要求 T6 组的气体仅有二硫化碳(CS₂)。因此 T4 的系统通常可以满足要求。T4 组的简单装置(表面积不小于 20 mm²)在环境温度最高 40 °C 时限定输入功率不大于 1.3 W。较高环境温度时,相应的输入功率 60 °C 时为 1.2 W,80 °C 时为 1 W。如果这些规定不适用,则宜测量或评定可能出现的最高表面温度。无论何种原因,如果最高表面温度没有显著低于 135 °C(如 100 °C),则装置可能不是简单装置。

符合装置标准 500 V 绝缘试验要求,简单装置通常对地隔离不会出现问题。如果达不到隔离要求,则简单装置会使系统接地,系统设计宜对此予以考虑。

C.2 带有“简单装置”的装置的应用

简单装置条款的其他用途是允许在现有本质安全电路中增加输出参数在简单装置规定限值内,被评价为本质安全的装置,文件仅需稍微改动即可。该项技术多数用于试验设备、显示器和放大器。

如果电路中有多个具有简单装置输出参数的装置,则宜考虑确保不超过简单装置的参数。有时可能利用输出电压仅在故障条件下出现以及允许把系统作为整体施加故障的事实。例如,如果电路中连接多个简单装置,那么可能会对“在任一时间仅一个装置被认为会出现故障”产生争论,因此仅需要考虑一组最不利的输出参数。这种观点对“ib”保护等级系统可以接受,但是需要详细的文件说明。这种观点对“ia”保护等级系统有效,但是需要详细的输出参数推导知识。这些信息通常不易得到,因此这种技术通常不适用于“ia”保护等级系统。如果已知装置端子在正常运行时是纯阻性的(多数情况是这样),那么“ic”保护等级系统中可以加入任意数量的简单装置。

附 录 D

(资料性)

简单本质安全系统的评定

多数本质安全系统是简单系统,关联装置中含有单个电源,连接到一个现场安装的本质安全装置上。本附录利用附录 A 所示的温度变送器和本质安全接口组合来说明分析方法。

首先确定电路中两台装置的安全数据。这些数据可以从防爆合格证、使用说明书或者规定图纸中获得,系统设计人员宜能获得这些资料。在系统设计时,特别宜考虑特殊使用条件。根据正确进行系统分析的需要,以及根据参考图纸相对简单地创建特定安装图纸的需要,确定哪些信息要准确地转入系统描述文件中。

通过对两台装置的数据进行比较,确定两台装置的兼容性。通常按下列顺序进行比较。

- a) 比较设备类别。如果设备类别不同,则采用较低的类别。例如,如果一台装置是ⅡC类,另一台装置是ⅡB类,则系统为ⅡB类。通常评价为ⅡC类的电源,也具有ⅡA类和ⅡB类装置允许的输出参数(L_o 、 C_o 、 L_i/R_o)。如果使用较大值,则使用的参数决定系统的设备类别。
- b) 比较保护等级。如果保护等级不同,则该系统采用较低的保护等级。例如,如果一台装置是“ia”保护等级,另一台装置是“ib”保护等级,那么系统为“ib”保护等级。通常评价为“ib”保护等级的电源,也可具有“ic”保护等级电路使用的输出参数。如果这些数值用在系统设计中,则该系统变为“ic”保护等级。
- c) 确定危险场所安装的本质安全装置的温度组别。对于不同的使用条件,装置可能具有不同的温度组别(通常取决于环境温度或者 U_i 、 I_i 和 P_i),宜选择相关的温度组别并记录。宜注意是装置确定温度组别,不是系统确定温度组别。
- d) 记录每一台装置允许的环境温度范围。
- e) 将电源的输出参数(U_o 、 I_o 和 P_o)与现场装置的输入参数(U_i 、 I_i 和 P_i)进行比较,并且输出参数不宜超过相关输入参数。现场装置的安全性有时完全由其中一个参数确定。在这种情况下,未规定的参数不相关。
- f) 按照 12.7 确定允许的电缆参数。
- g) 评定对地隔离是否适合,或者评定系统接地要求是否满足。

如果这些要求全部满足,则确定两台装置兼容。记录该分析的便捷方法是绘制一张表格。下列示例(见表 D.1)利用典型系统图(见图 A.1)的值,对本质安全接口和温度变送器进行了比较。

表 D.1 简单系统分析

步骤	项目	本质安全接口	温度变送器	系统
a)	设备类别	ⅡC	ⅡC	ⅡC
b)	保护等级	ia	ia	ia
c)	温度组别	不适用	T4	
d)	环境温度	-20℃~+60℃	-40℃~+80℃	
e)	参数比较			
	电压	U_o :28 V	U_i :30 V	✓
	电流	I_o :93 mA	I_i :120 mA	✓

表 D.1 简单系统分析（续）

步骤	项目	本质安全接口	温度变送器	系统
	功率	$P_o:650\text{ mW}$	$P_i:1\text{ W}$	√
f)	电缆参数			
	电容	$C_o:83\text{ nF}$	$C_i:3\text{ nF}$	$C_c:\leq 80\text{ nF}$
	电感	$L_o:4.2\text{ mH}$	$L_i:10\text{ }\mu\text{H}$	$L_c:\leq 4.19\text{ mH}$
	L/R	$L_o/R_o:54\text{ }\mu\text{H}/\Omega$		$L_c/R_c:\leq 54\text{ }\mu\text{H}/\Omega$
g)	接地	隔离	隔离	隔离

附录 E

(资料性)

多电源组合电路的评定

这种分析仅适用于线性电阻限制输出型电源电路的评定,不适用于其他形式限制电流的电源。

GB/T 3836.15 介绍了一种简化程序,利用该程序,能对连接一个以上关联装置(具有线性电流/电压特性)的本质安全电路,给出可靠的系统本质安全电路最高输出电压和最大输出电流结果,确保安全安装,该程序可作为本附录的替代方法。

如果采用一种以上电源,并且在受控条件下互连,从而提供符合 GB/T 3836.4 要求的充分隔离和机械稳定性,则这种互连被视为会开路 and 短路,但不会导致相互连接反接、或者把串联连接改为并联连接、或者把并联连接改为串联连接。要求达到的完整性等级的一个实例是,在有完善质量控制和试验设施的场所中安装的支架或配电盘内的互连。

图 E.1 所示是常见的串联组合。这种串联情况产生的 U_o 等于 $U_1 + U_2$,但是不考虑电压等于 $U_1 - U_2$ 的可能性。在考虑系统的安全时,需要考虑三个电压 U_1 、 U_2 和 $U_o = U_1 + U_2$ 以及与其对应的电流 I_1 、电流 I_2 及其组合 $I_o = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2}$ 。

三个等效电路中的每一个都需要利用 GB/T 3836.4 中的电压和设备类别相对应的允许短路电流表进行安全评定。需要确定每个电路的 L_o 或可选的 L_o/R_o 和 C_o 值,以及与其相关的等效电路一起使用的最不利值。

在确定这些数值时,对于“ia”和“ib”保护等级,所有情况均使用 1.5 倍的安全系数。对于“ic”保护等级,使用 1.0 倍的安全系数即可。

两个电压相加时,组合后的电路将决定电容值。但是,考虑由单个电路自身及其组合的最不利情况确定电感或(适用时) L_o/R_o 。最小电感不会总是与电路最大电流相对应,最小 L_o/R_o 不一定与最小电感相对应。

确定了每一等效电路得出的匹配功率。只有当电源具有相同的输出电流时,组合电路的匹配功率才是每一电路可获得的功率的总和。

如果电源按图 E.2 并联连接,则三个电流 I_1 、 I_2 和 $I_o = I_1 + I_2$ 需要与其对应的电压 U_1 、 U_2 和 $U_o = \frac{U_1 R_2 + U_2 R_1}{R_1 + R_2}$ 一起考虑。

三个等效电路中的每一个都需要利用 GB/T 3836.4 中的电压和设备类别相对应的允许短路电流表进行安全评定。需要确定每个电路的 L_o 或可选的 L_o/R_o 和 C_o 值,以及与其相关的等效电路一起使用的最不利值。还需要确定三个等效电路中的每一个电路的匹配功率。只有当电源具有同样输出电压时,组合电路的匹配功率才是每一电路可获得的功率的总和。

如果两个电源连接在同本质安全电路上,而且它们的互连未被严格定义为图 E.3 所示的可靠互连,则存在电源既能串联又能并联的可能性。在这种情况下,所有可能的等效电路需要按照确定的两个程序进行评价。在确定本质安全系统的完整性时需要利用最不利输出参数和等效电路。

装置可能含有使其具有输出参数的电源,如来自于内部电池组。出现这种情况时,系统的分析包括该电源与关联装置中任何电源的组合。分析时通常将包括由于现场接线可能出现的故障造成的反向互接。

确定了代表性的等效电路之后,就可以像只有单个电源一样利用这些电路,并且能用附录 D 已经讨论的程序,确定系统作为整体是否符合安全要求。

当两个以上具有不同输出电压的电源互连时,产生的循环电流可能在调节电路中引起附加损耗。

如果电路具有常规电阻性电流限值,则认为附加损耗不会对本质安全性能产生不利影响。

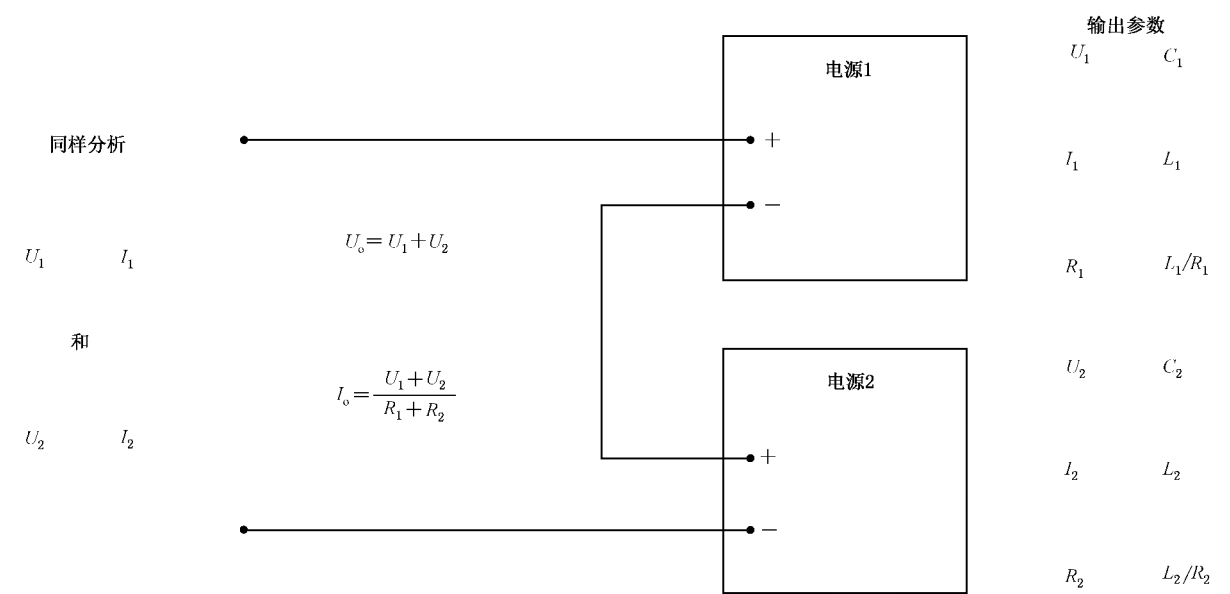


图 E.1 串联连接电源

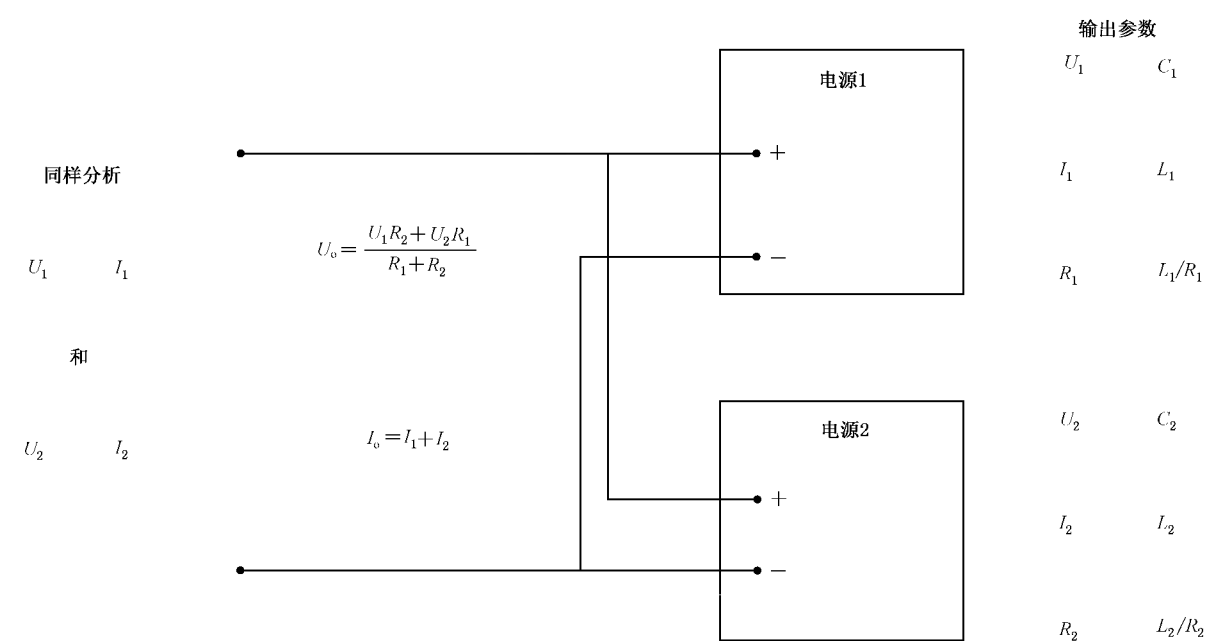


图 E.2 并联连接电源

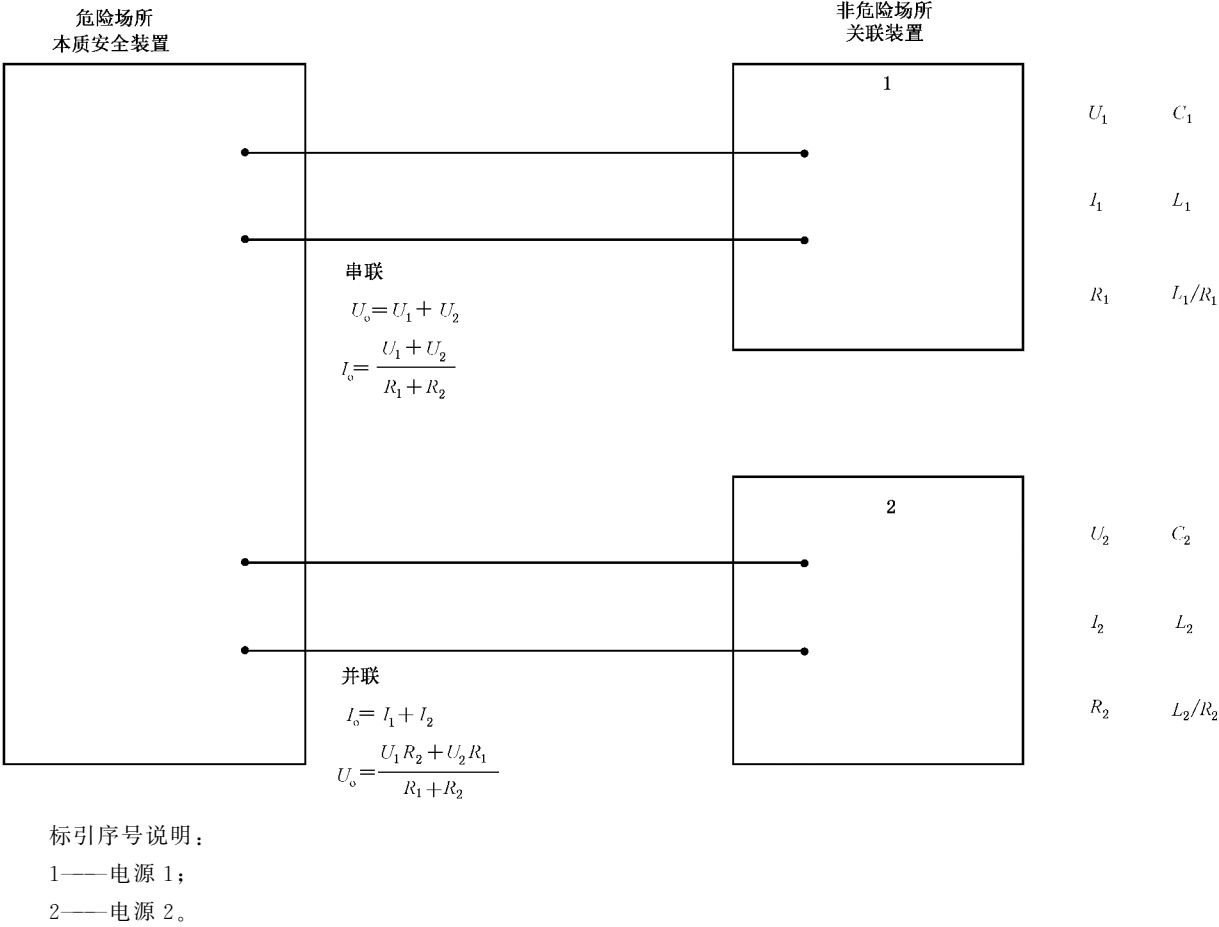


图 E.3 非预期连接的电源

附录 F

(资料性)

非线性和线性本质安全电路的互连

F.1 概述

本附录为包括线性和非线性电路的系统的本质安全性能评定提供了附加指南。它包括一种评定安全性的方法。此处介绍的程序适用于 1 区以及 II C 和 II B 类装置而不需要进行火花点燃试验。

F.2 电源输出特性的评定

第一步是在 GB/T 3836.4 定义的故障条件下,为每个电源确定代表性的输出电流/电压特性。这些特性可能与运行特性有很大偏差。

电源通常属于以下三种输出电路类型之一。

a) 线性特性

具有线性特性的电阻限制输出型,如图 F.1a)所示。这里:

$$P_{\max} = 0.25U_o \times I_o$$

其中 $P_{\max}$ 为最大输出功率。

b) 不规则四边形特性

不规则四边形输出特性如图 F.1b)所示,通常在输出端具有电压钳位。具有不规则四边形特性的电源[图 F.1b)]由一个电压源(电压 U_Q)、一个电阻和位于输出端子的附加限压元件(例如齐纳二极管或过压保护电路)组成。这里:

$$P_{\max} = 0.25U_Q \times I_o (U_o > 0.5 \times U_Q \text{ 时}), \text{或}$$

$$P_{\max} = U_o \times (U_Q - U_o) / R (U_o \leq 0.5 \times U_Q \text{ 时})$$

c) 矩形特性

矩形输出特性如图 F.1c)所示,通常具有半导体控制的限流电路 I_k 。

$P_{\max} = U_o \times I_o$ 。实际上,装置的输出特性可能更复杂。例如,装有外部限流电阻器的电池没有恒定的内部电阻,并且其源电压会随充电程度而变化。为了简化分析,这些电路由其最接近的简单等效电路表示,该等效电路的引燃能力不小于实际电路。在上述电池的情况下,这将是一个线性电路[图 F.1a)],其中 U_o 为最高开路电压(例如取决于 GB/T 3836.1 中电池类型的定义), R 为外部电阻。

确定这些简化电路的输出电压/电流特性需要两个或三个参数,如表 F.1 所示。

表 F.1 描述输出特性需要的参数

特性	需要的参数
线性,图 F.1a)	U_o 、 I_o 或 U_o 、 R
不规则四边形,图 F.1b)	U_o 、 U_Q 、 R 或 U_o 、 R 、 I_o 或 U_o 、 U_Q 、 I_o
矩形,图 F.1c)	U_o 、 I_o

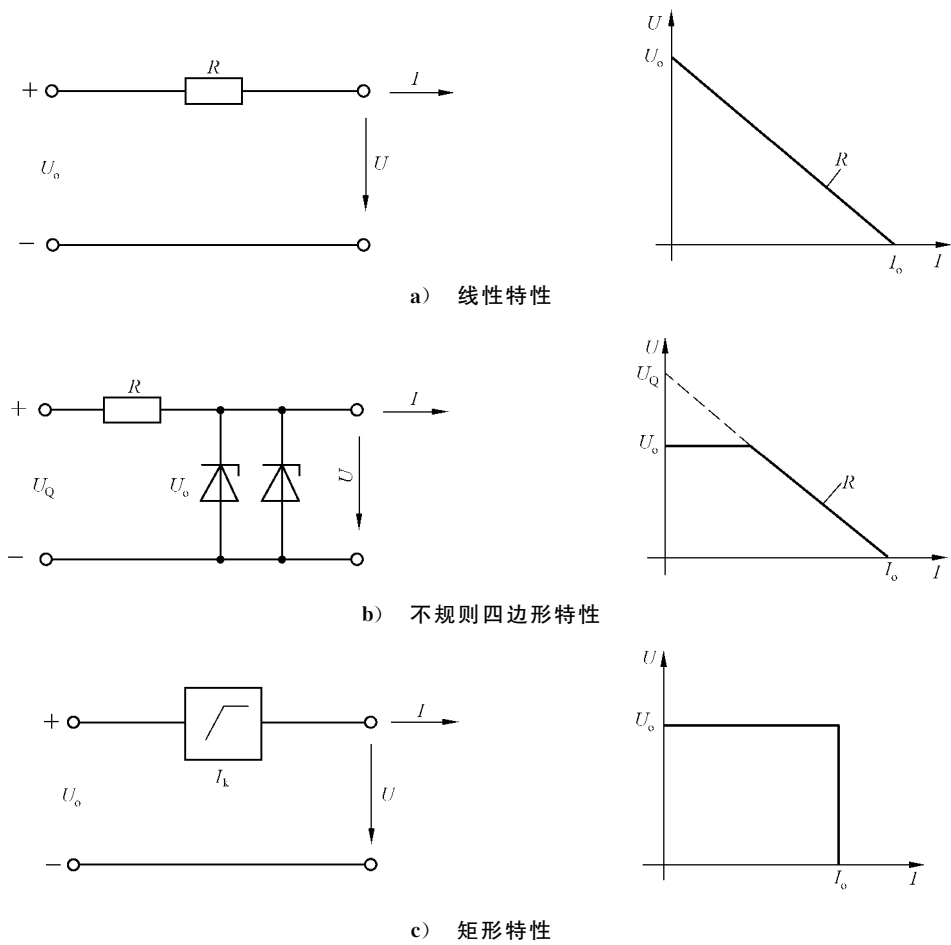


图 F.1 电阻电路的等效电路和输出特性

出于评定目的, U_o 和 I_o 是在 GB/T 3836.4 中定义的故障条件下可能出现的最大值。通常, 这些将在装置证书、说明书或控制图中给出。通常还规定了故障条件下的最大稳态功率 P_o 。如果证书中没有数据, 则宜从装置制造商处获取。

通常能从这些值中得出有关特性类型的结论, 并能计算出不规则四边形输出的第三个参数。

示例(最大值):

$$U_o = 12.5 \text{ V}$$

$$I_o = 0.1 \text{ A}$$

$$P_o = 313 \text{ mW}$$

由于 P_o 是开路电压与短路电流乘积的四分之一, 由此可以有效推断出该示例是线性特性[见图 F.1a)]。

示例(最大值):

$$U_o = 20.5 \text{ V}$$

$$I_o = 35 \text{ mA}$$

$$P_o = 718 \text{ mW}$$

这里 P_o 是开路电压与短路电流的乘积, 因此得出矩形特性[见图 F.1c)]。

在某些情况下, 功率、电流和电压值与上述不符, 因为 P_o 是对静态情况规定的(用于热评定), 而 I_o 和 U_o 是对动态情况规定的(用于火花点燃评定)。在存在疑问的情况下, 有必要验证将哪种特性作为火花点燃有关的互连的基础。

在不规则四边形特性的情况下,用制造商文件中的数据确定电流或电压值特性往往不充分,因为缺少第三个参数(见表 F.1), U_o 或 R 。

当 R 作为附加参数给出时,混淆的可能性最小,因此制造商文件中通常给出 R 值。之后参数 U_o [见图 F.1b)]能从 $U_Q = I_o \times R$ 推导得出。

在大多数情况下,制造商文件也给出非线性电路的特征形状。

示例如下。

最大值(不规则四边形的特性):

$$U_o = 13.7 \text{ V}$$

$$I_o = 105 \text{ mA}$$

$$R = 438 \text{ } \Omega$$

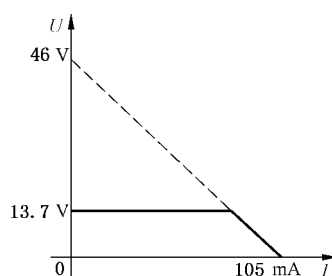
$$P_o = 1\ 010 \text{ mW}$$

所代表的特性如图 F.2a)所示;图 F.2b)所示为安全等效电路。

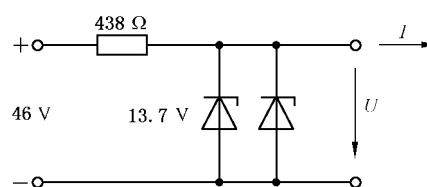
计算如下:

$$U_Q = I_o \times R = 46 \text{ V}$$

$$P_o = (U_Q - U_o) \times U_o / R = 1\ 010 \text{ mW}$$



a) 输出特性



b) 等效电路

图 F.2 不规则四边形特性电源的输出特性和等效电路

F.3 互连可能性和合成输出特性的评定

下一步是确定由本文件的故障模式引起的互连可能性。

如果组合电源串联连接,并且没有等电位联结,例如接地[图 F.3a)],那么不考虑电源的极性,仅可能存在电压叠加。通过图形叠加很方便看出合成输出特性。因此针对每一个电流值,将各个电源的电压进行叠加。图 F.3 中的虚线所示为不同情况下的合成特性。

单个电源的最高开路电压值 U_o 叠加,同时取所有电源的短路电流最大值 I_o 。

在图 F.3b)所示的串联电路中,两个电压源在负载侧有公共连接点,仅当两电源的极性在该图所示方向上考虑到安全因素后是确定的(例如,对于某些安全栅),才能排除电流叠加。

在运行中或故障条件下可能改变极性的电源,电压叠加和电流叠加都宜考虑[图 F.3e)]。

在图 F.3c)的并联电路中,如果双极电源的两极始终连接在一起,才有可能存在电流叠加。在这种情况下电压不可能叠加,合成特性由各个电流值的图形叠加得出。

短路电流叠加的同时取开路电压最大值。

如果每个电源仅有一极与其他电源的同极性连接[图 F.3d)],仅当该图所示的电源的极性考虑到所有情况后是确定的(例如,有安全栅时),才能排除电压叠加,否则电压叠加和电流叠加都宜考虑[见图 F.3e)]。

如果几个电路连接成一个总电路,假设其中可以任意互连[图 F.3e)],那么根据考虑的故障条

件,可建立起并联连接或串联连接,以便电流叠加和电压叠加都宜考虑到。由于两种情况不可能同时存在,电流叠加的合成特性和电压叠加的合成特性宜分别设计。对图 F.3b)和图 F.3d)中的电路有疑问时,以及对具有两个以上导体的电路,该程序也是必要的。这样得到的结果总是安全的。

如果装置的连接没有对极性[如图 F.3e)]做出明确界定,则可能根据考虑的故障条件串联连接或并联连接。在这种情况下,宜分别针对串联连接和并联连接假设电压叠加和电流叠加,需要以最不利值为基础。

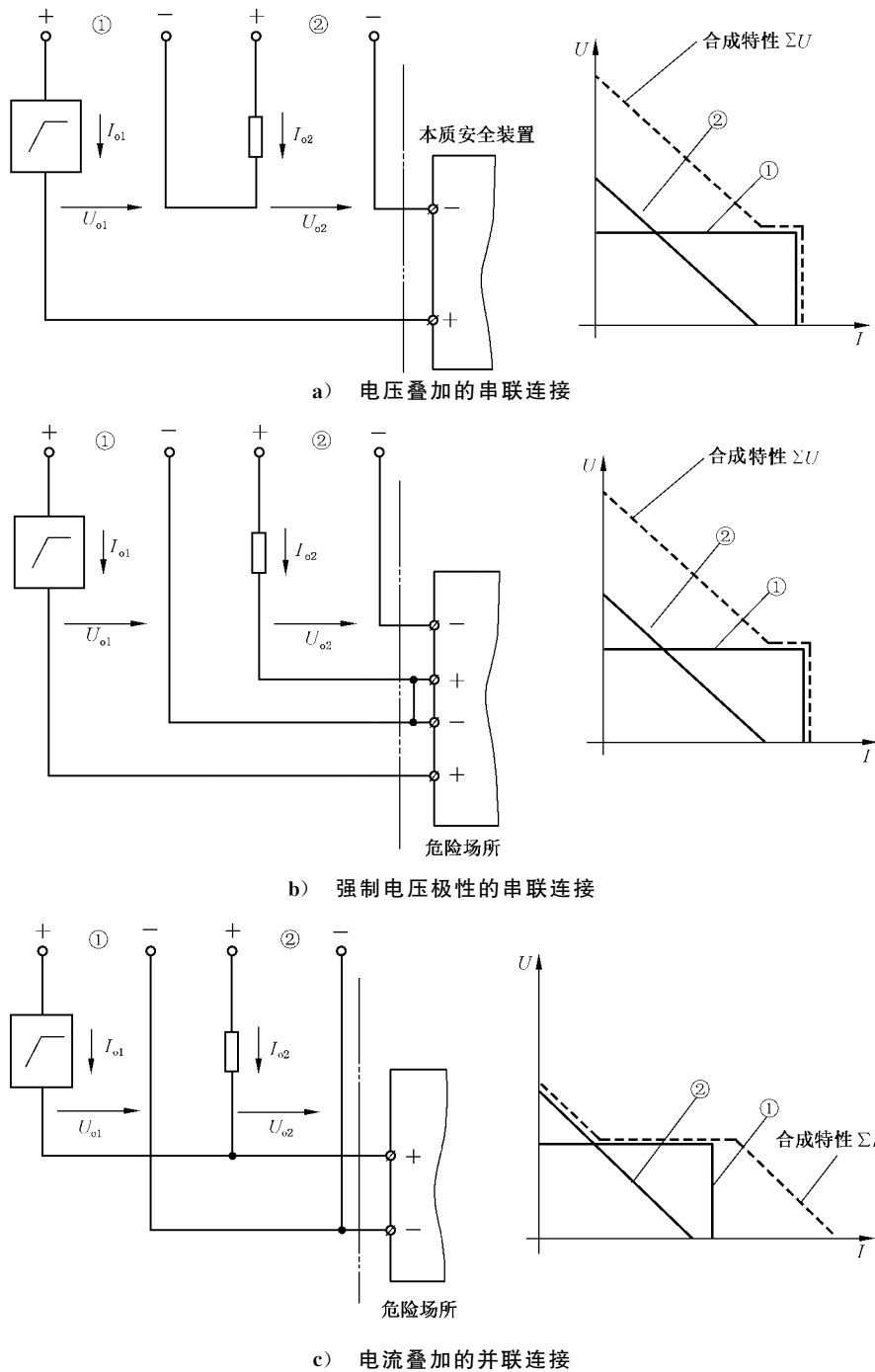
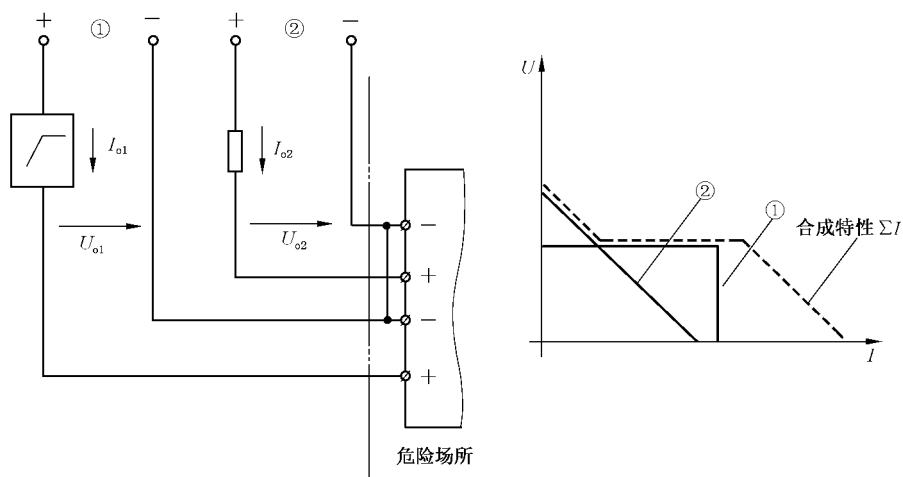
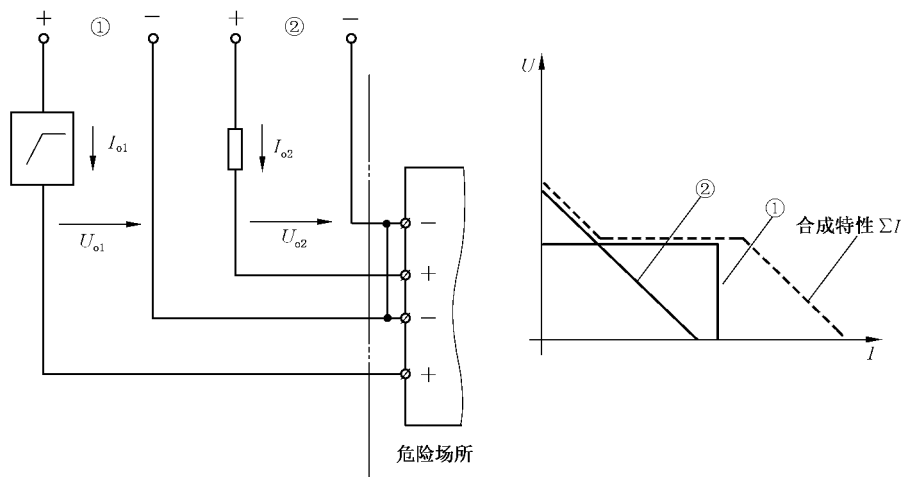


图 F.3 互连的电流叠加和/或电压叠加



d) 强制电压极性的电流叠加



e) 电流叠加和电压叠加的串联或并联连接

标引序号说明：
①——电源 1；
②——电源 2。

图 F.3 互连的电流叠加和/或电压叠加（续）

F.4 本质安全的确定和图形的使用

一旦获得组合电源的代表性电流/电压输出特性,下一步是确定电路是否为本质安全,以及定义整体 C 和 L 。同时考虑电感和电容(混合电路)的相互作用。这能够通过采用 GB/T 3836.4 中定义的火花点燃试验来完成。

或者,图 F.7 和图 F.8 可用于不超过一个非线性电源的系统、“ib”保护等级及 II C 类和 II B 类装置,从而代替火花点燃试验。该过程是评定互连的一个手段,用它来限定单个电路或装置的本质安全参数时,仅对于简单矩形电路或线性电路才有效。

这种方法没有对集总电感或集总电容与从分布电缆参数得出的电感或电容加以区分。如果电缆传输时间不超过 $10\ \mu\text{s}$,则不需要考虑这种差异。

在具有复杂组合输出特性的情况下,获得的安全系数可能小于 1.5 但大于 1.0。为确保安全系数至少为 1.5,可能使用包络线性特性或矩形特性。图 F.7 和图 F.8 中显示了线性电源特性的容许极限曲线

(虚线)和矩形特性容许极限曲线(实线),同时给出了组合电路的电感及新的电流和电压的最大值。另外,也给出了确定两种情况下最大外部容许电容的曲线。表 F.2 列出了汇总情况。

表 F.2 设备类别和电感曲线图说明

图	类别	L_0
图 F.7a)	Ⅱ C	0.15 mH
图 F.7b)		0.5 mH
图 F.7c)		1 mH
图 F.7d)		2 mH
图 F.7e)		5 mH
图 F.8a)	Ⅱ B	0.15 mH
图 F.8b)		0.5 mH
图 F.8c)		1 mH
图 F.8d)		2 mH
图 F.8e)		5 mH

为了评定本质安全性能,首先选择设备类别然后选择该组合要求的总电感。如果只涉及小电感(也就是说没有集总电感,电缆长度很短),则宜选择带最低电感的曲线[即Ⅱ C类选择图 F.7a),Ⅱ B类选择图 F.8a)]。

之后合成输出特性将绘制在相关的曲线图中。如果根据 F.3 考虑电流和电压叠加,那么宜画出两种合成特性。

如果电源、图中的电感及选定的设备类别的组合是本质安全的,则合成总特性不宜与曲线图中在任何位置上的矩形电源的极限曲线交叉。另外,图中由总特性的最高电压和最大电流限定的点宜低于线性电源的曲线。

由 F.3 提及的单个线性电源和矩形电源的组合得出的曲线可作为合成电路的特性。将曲线绘制入 F.7 中的相关曲线图后,作为极限曲线的值,可根据该图确定 C_0 ,该值不与特性曲线相交。

如果需要更高值的 C_0 ,则能从较低电感曲线图开始得出。

合成输出特性与线性电源或矩形电源的电感限值曲线交叉时,也能用同样的方法。

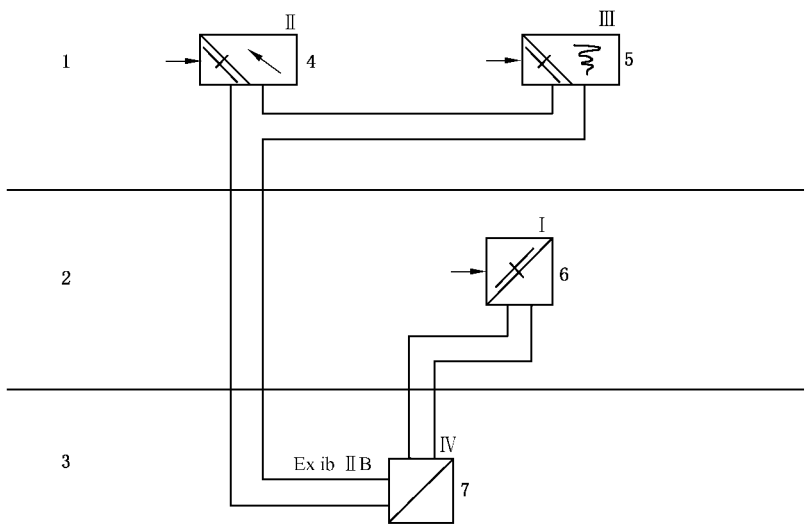
如果Ⅱ C 曲线图中,即使曲线图中的最小电感值(0.15 mH)也超过了相关极限曲线,则电路不能按此附录评定为适合于Ⅱ C 类。

F.5 根据 GB/T 3836.4 进行验证

在某些情况下,图 F.7 和图 F.8 可能产生比 GB/T 3836.4 所允许的更高的容许电容。因此,一旦确定了组合电路的 U_0 和 I_0 ,宜检查从图 F.7 和图 F.8 得出的 L_0 和 C_0 值,以确保它们不大于 GB/T 3836.4 中给出的点燃极限曲线。

F.6 程序的图例说明

在图 F.4 所示的示例中,带有放大器(Ⅳ)的分析仪位于危险场所内,并由本质安全型电源(Ⅰ)供电。本安型放大器输出信号(0 mA~20 mA 信号)输送到显示器(Ⅱ)和绘图仪(Ⅲ)。



电流/电压叠加

互接电路 Ex ib II B

$P_o=1.9\text{ W}, U_o=28.7\text{ V}, I_o=264\text{ mA}$

$L_o=0.5\text{ mH}, C_o=400\text{ nF}$

标引序号说明：

1 ——控制室；

2 ——开关室；

3 ——现场(危险场所)；

4 ——显示器(工作无源)最大值:12 V,133 mA,0.4 W 线性特性；

5 ——记录仪(工作无源)最大值:1V,31 mA,10 mW 线性特性；

6 ——电源最大值:Ex ib II B 15.7 V,100 mA,1.57 W, $L_o\leq 1\text{ mH}, C_o\leq 650\text{ nF}$ 电子限流矩形特性；

7 ——带有放大器的分析仪(本质安全装置)；

I ——本质安全电源；

II ——显示器；

III ——绘图仪；

IV ——放大器。

图 F.4 互连示例

分析仪为本质安全装置,电源、显示器和绘图仪为 GB/T 3836.4 规定的关联装置。正常运行中,只有电源是有源的,而显示器和绘图仪是无源的。然而进行安全分析时,取防爆合格证中记录的三种仪器在故障条件下的最大值作为依据。

可获得下列信息。

a) 电源(图中 I)

输出保护等级 Ex ib II B

最大值

$U_o=15.7\text{ V}$

$I_o=100\text{ mA}$

$$P_o = 1.57 \text{ W}$$

$$L_o = 1 \text{ mH}$$

$$C_o = 650 \text{ nF}$$

矩形输出特性[见图 F.1c)]

b) 显示器(图中Ⅱ)

输入保护等级 Ex ib II C

最大值

$$U_o = 12 \text{ V}$$

$$I_o = 133 \text{ mA}$$

$$P_o = 0.4 \text{ W}$$

$$L_o = 1.8 \text{ mH}$$

$$C_o = 1.4 \mu\text{F}$$

线性输出特性[见图 F.1a)]

c) 绘图仪(图中Ⅲ)

输入保护等级 Ex ib II C

最大值

$$U_o = 1 \text{ V}$$

$$I_o = 31 \text{ mA}$$

$$P_o = 10 \text{ mW}$$

$$L_o = 36 \text{ mH}$$

$$C_o = 200 \mu\text{F}$$

线性输出特性[见图 F.1a)]

结合图 F.4 的电路布置,根据分析仪中故障状态,可按图 F.3e)将电压或电流进行叠加。图 F.5 显示了单个电路特性及电压和电流相加的两个合成总特性。

为了检查本质安全性能,在图 F.8b)中绘制两个总特性(ⅡB类, $L=0.5 \text{ mH}$),结果如图 F.6a)和图 F.6b)所示。

在电压叠加的曲线中,18.7 V 和 100 mA 处的拐角点为临界点,该临界点最接近矩形电源的电感极限,但没有达到。在这一点,达到了理论最高功率 1.87 W。

由于该组合的两个合成特性均没有与图 F.6a)和图 F.6b)的线性电源和矩形电源的电感极限曲线相交,安全测试合格。针对在目前示例中的合成特性的最高电压(28.7 V),根据图 F.6b)中曲线组的最大容许电容能够读到 400 nF。

注:值 400 nF 不能直接从极限曲线导出。两条极限曲线之间的值可以插值导出。

上述过程产生的图形导出值输出了某个值,该值需要根据 GB/T 3836.4 中的电压和设备类别相对应的允许电容表进行检查。在任何情况下,图形得出的值都需要小于或等于该表的值。如果未满足该准则,则宜将图形得出的值修改为该表的值。

如果用 GB/T 3836.4 中的电压和设备类别相对应的允许电容表来查ⅡB类、28.7 V 对应的电容值,则电容的允许值为 618 nF,比在这里确定的 400 nF 值高。

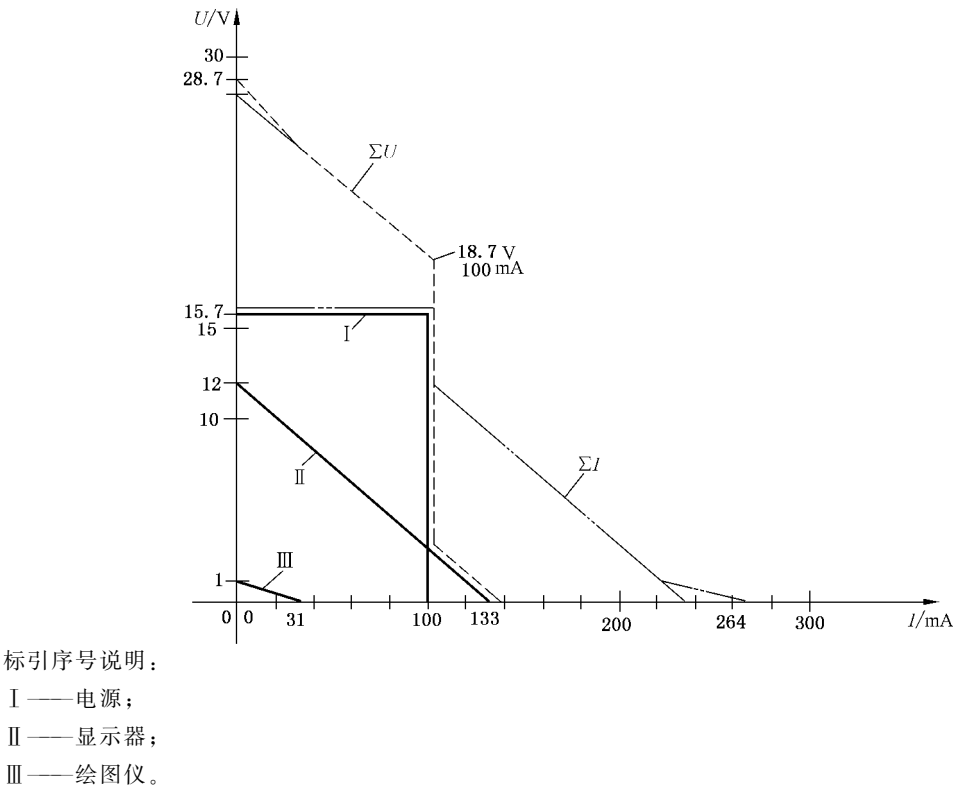


图 F.5 图 F.4 所给电路的总特性

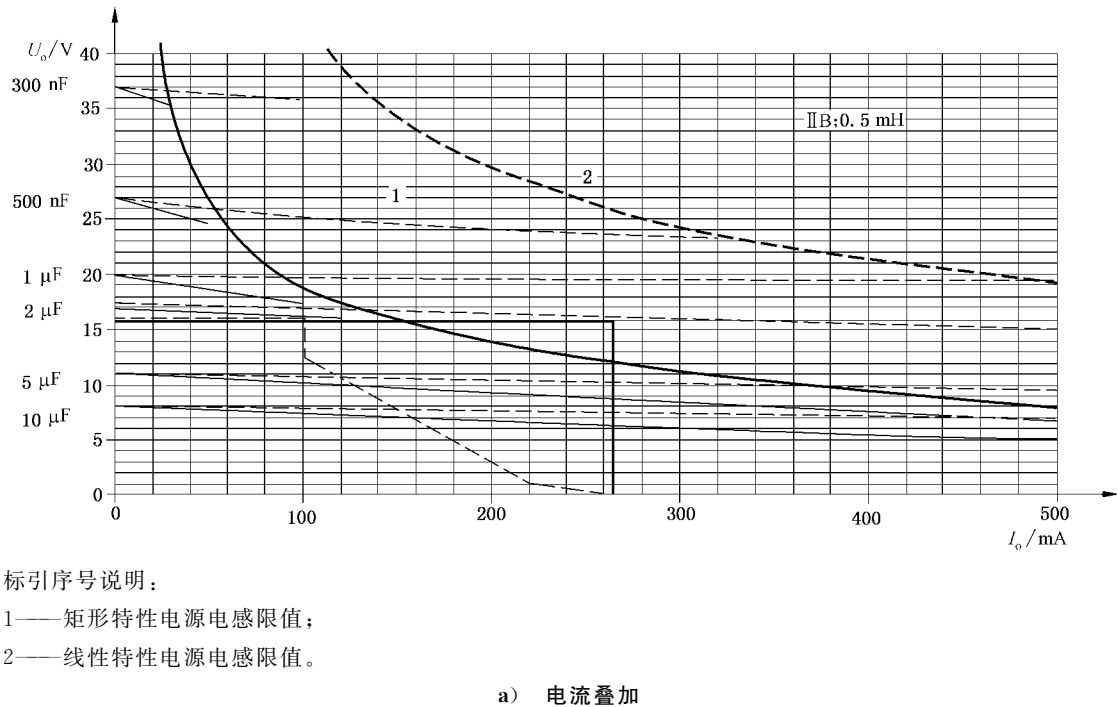
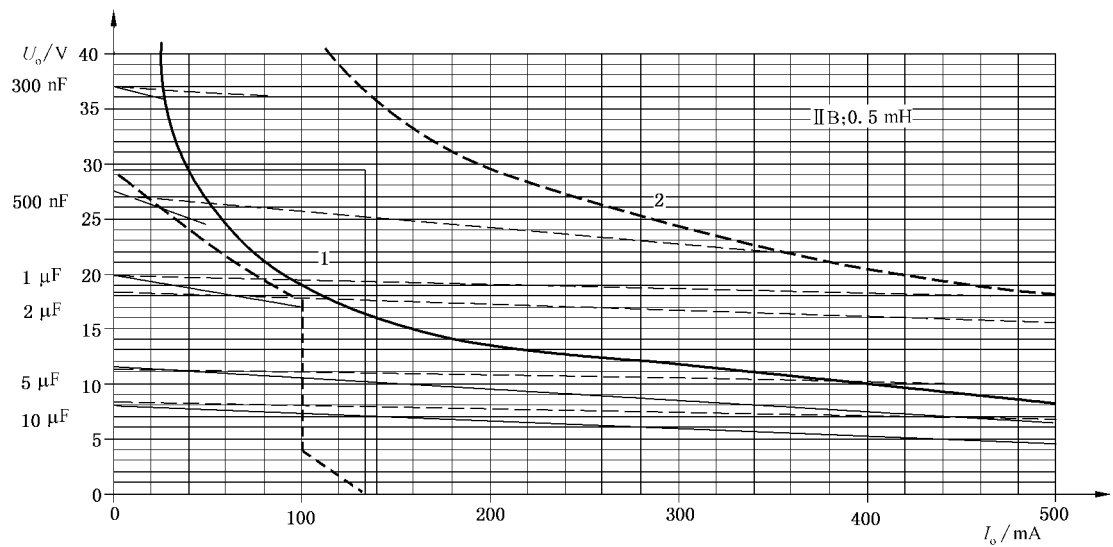


图 F.6 图 F.4 所给示例的电流叠加和/或电压叠加



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

b) 电压叠加

图 F.6 图 F.4 所给示例的电流叠加和/或电压叠加（续）

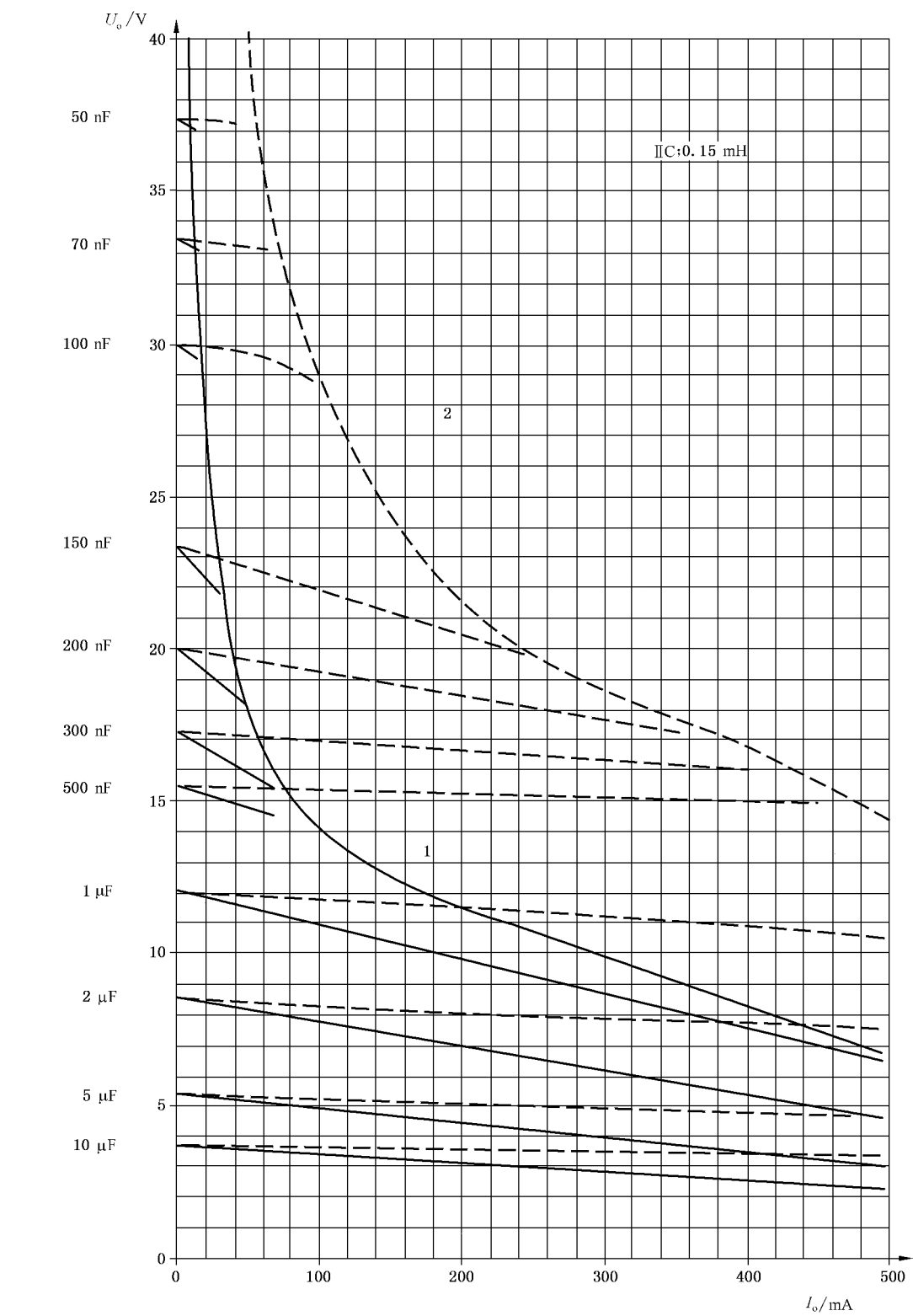
该组合的合成值如下：

- II B 类
- 最大值
- $U_o=28.7\text{ V}$
- $I_o=264\text{ mA}$
- $P_o=1.9\text{ W}$
- $L_o=0.5\text{ mH}$
- $C_o=400\text{ nF}$

由于在目前的示例中关联装置(电源、显示器和绘图仪)在本质安全输入/输出端没有有效电感或电容,这里的最大电容、最大电感可用于本质安全装置(分析仪)和互连电缆。

F.7 通用电源特性极限曲线

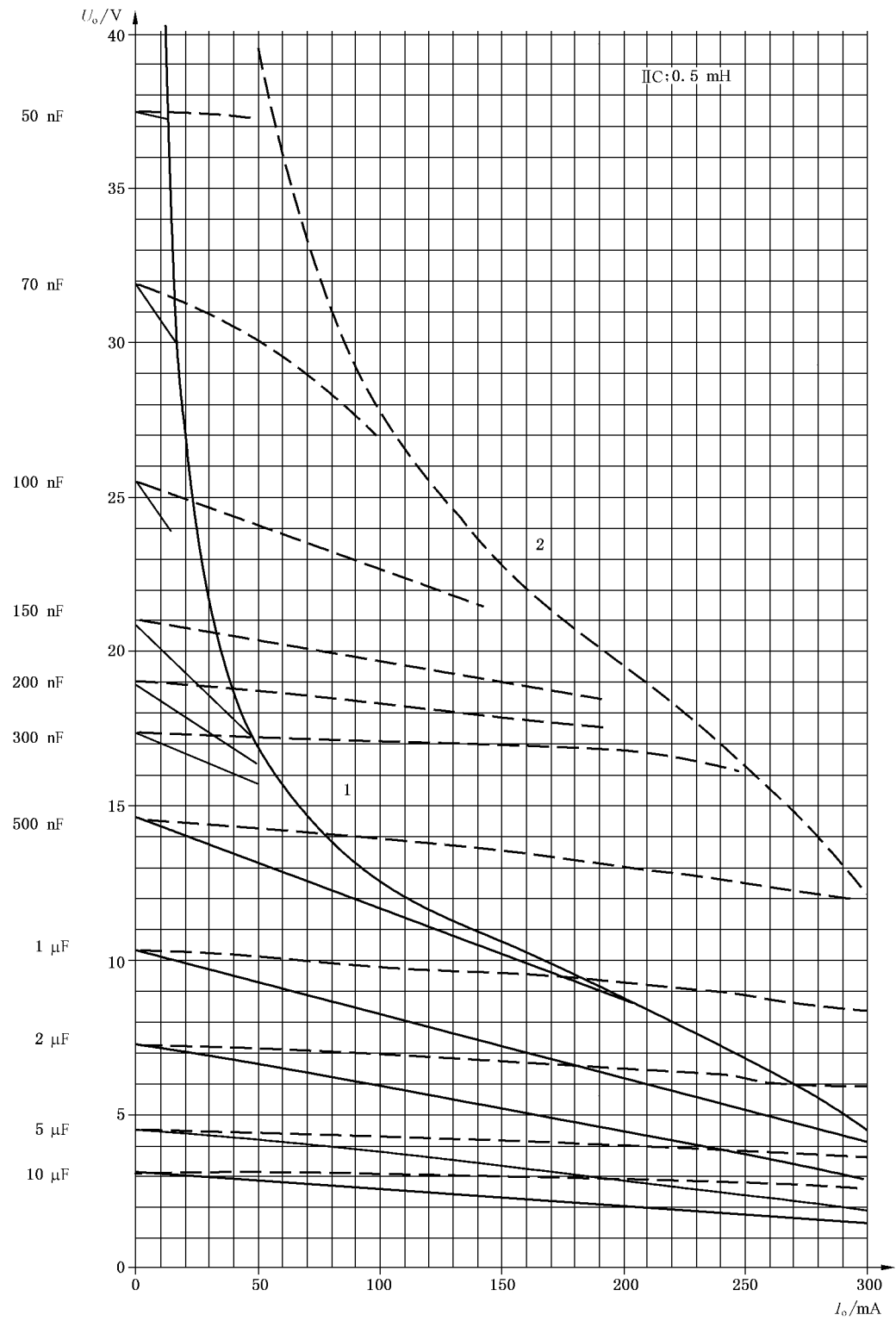
本条包含表 F.2 中的限值图。
所要求的安全系数 1.5 已并入线性和矩形输出特性图中。



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

a) 0.15 mH 图

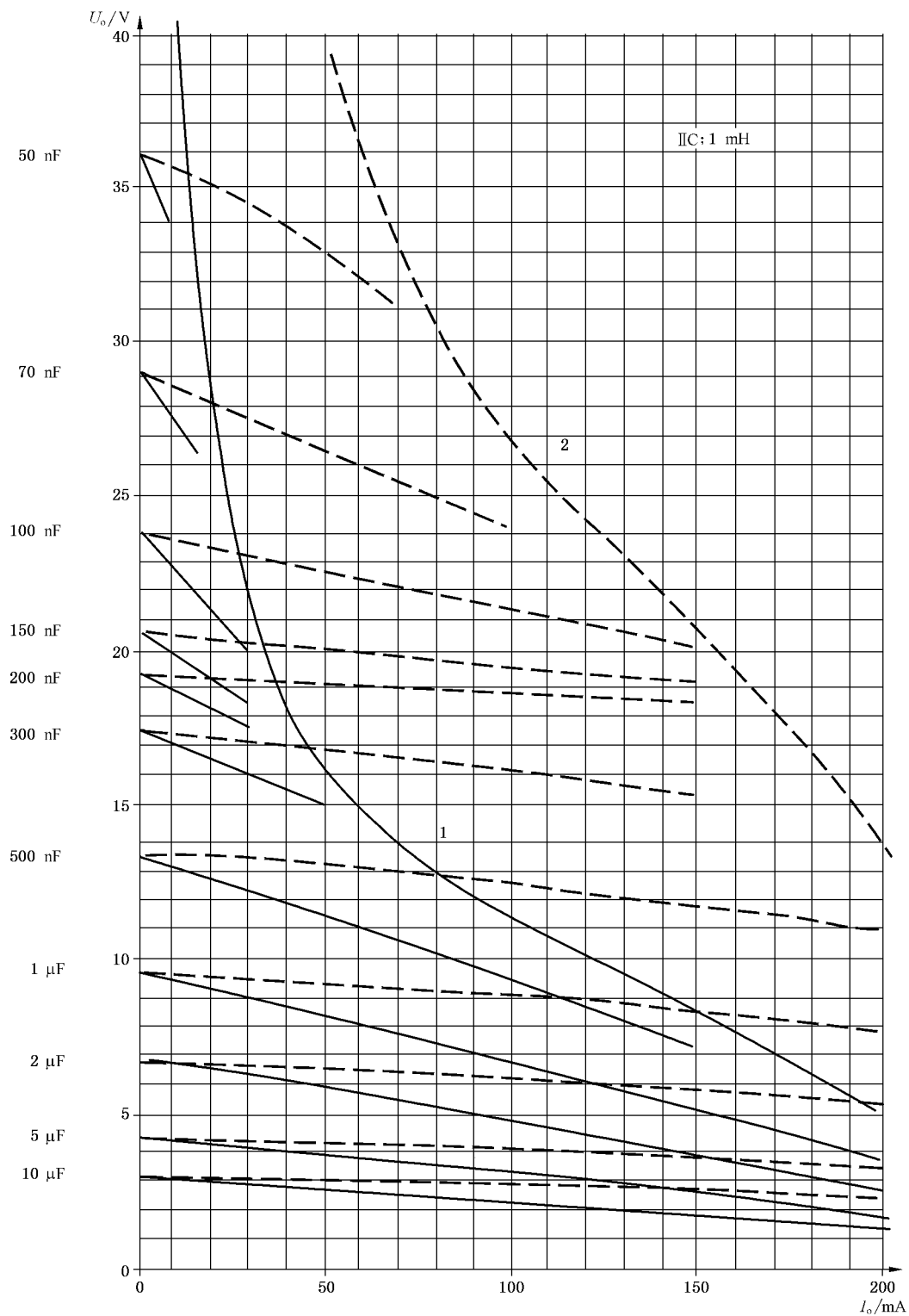
图 F.7 通用电源特性极限曲线图——Ⅱ C 类



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

b) 0.5 mH 图

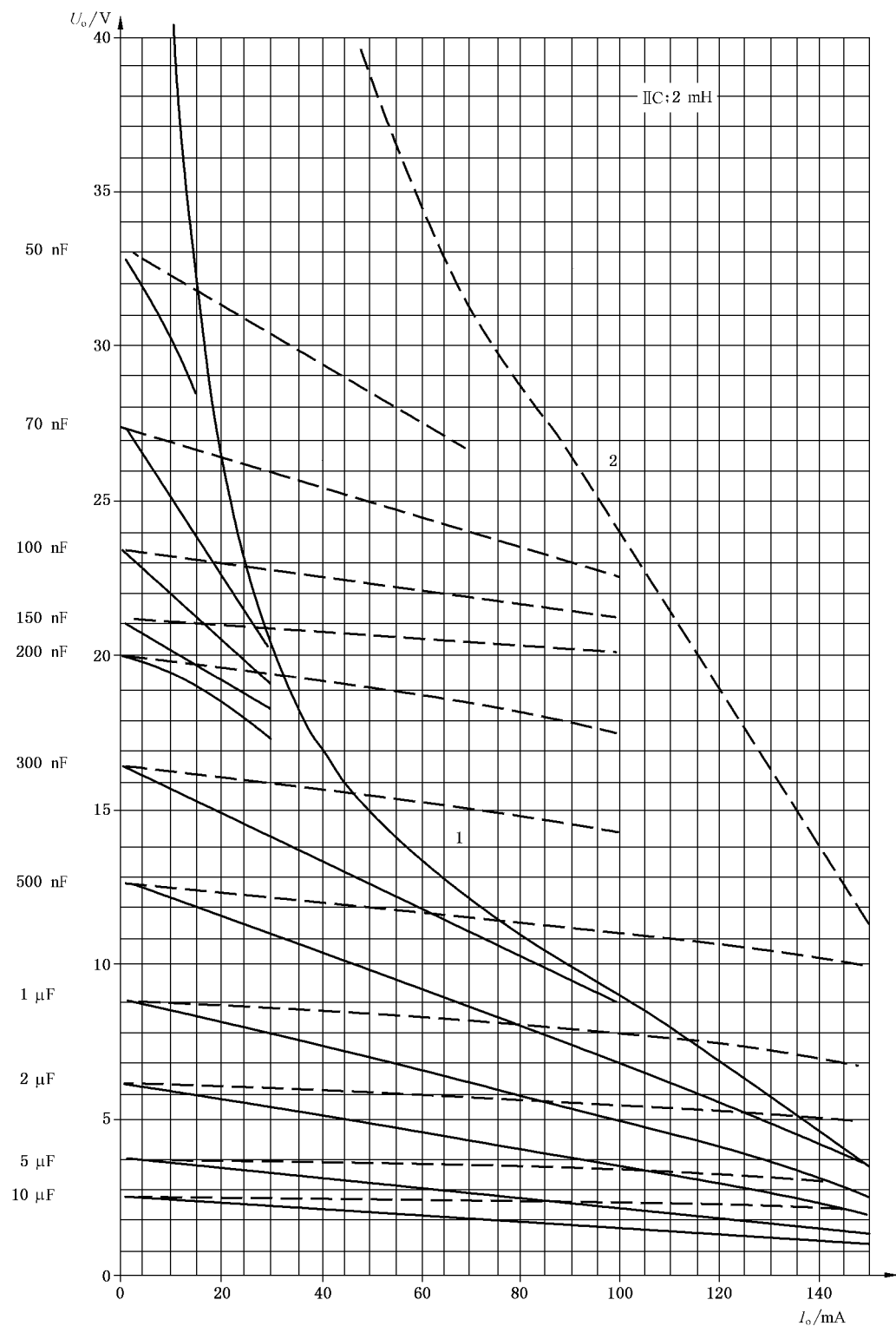
图 F.7 通用电源特性极限曲线图——Ⅱ C 类（续）



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

c) 1 mH 图

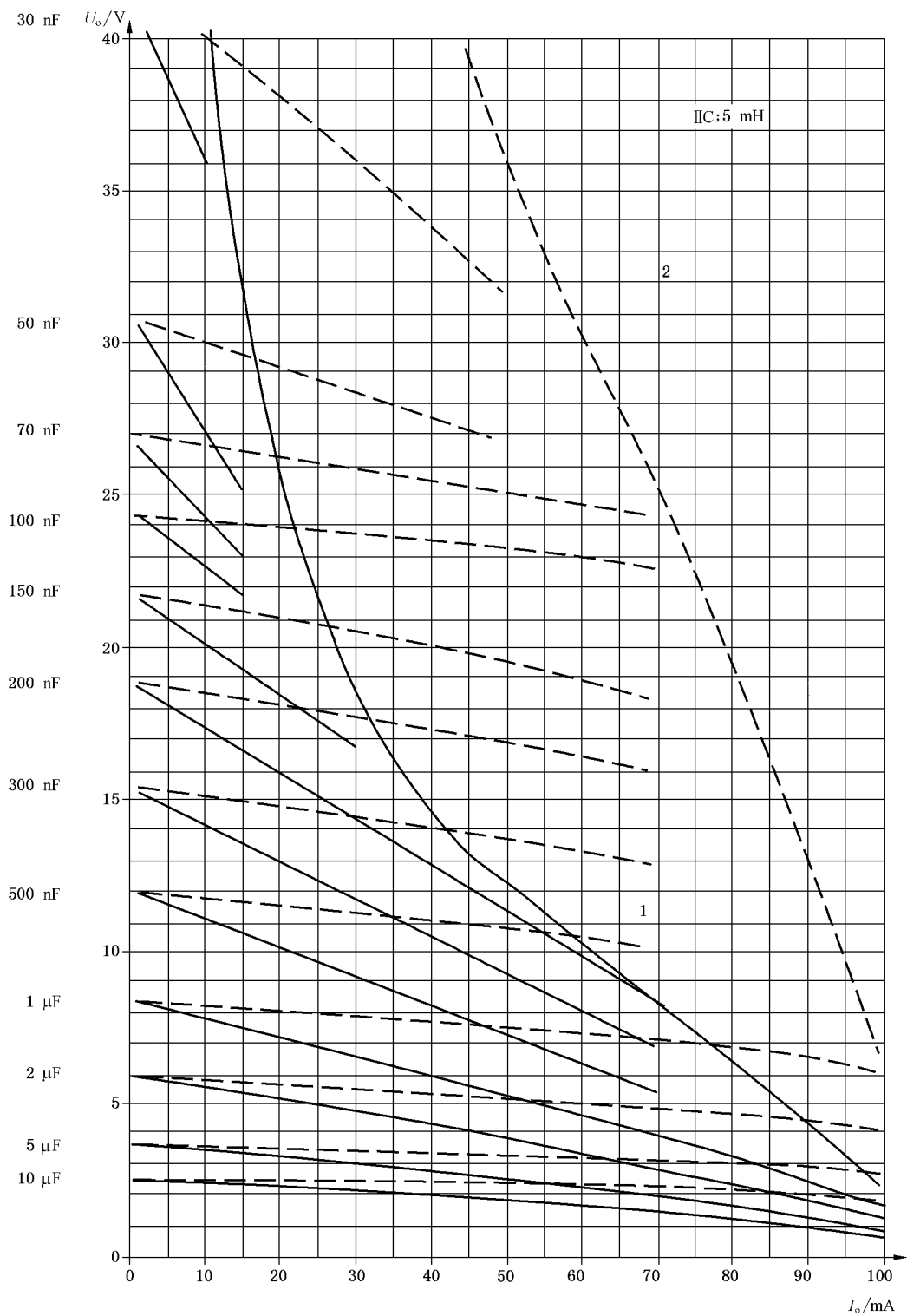
图 F.7 通用电源特性极限曲线图——II C 类（续）



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

d) 2 mH 图

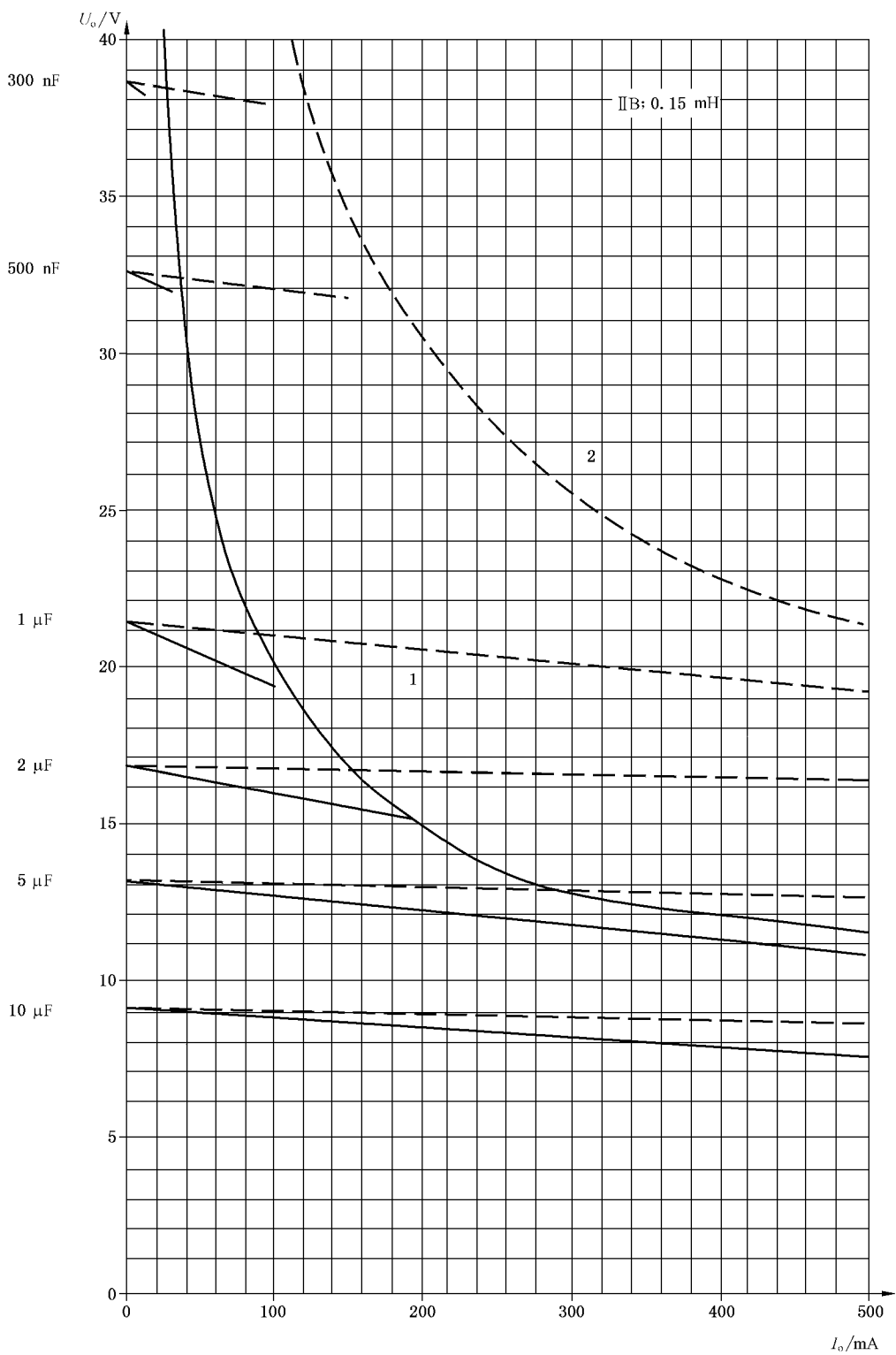
图 F.7 通用电源特性极限曲线图——Ⅱ C 类（续）



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

e) 5 mH 图

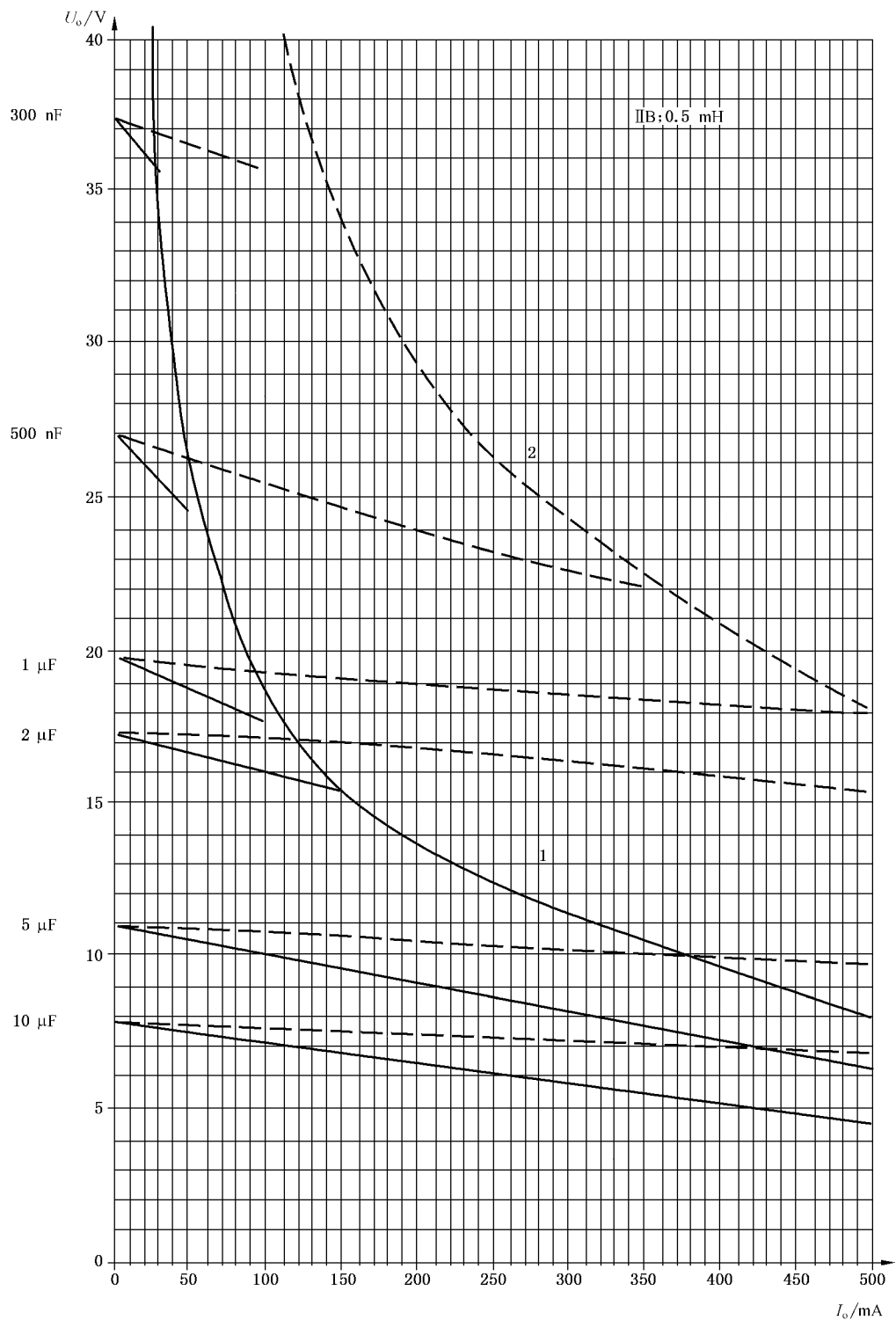
图 F.7 通用电源特性极限曲线图——II C 类（续）



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

a) 0.15 mH 图

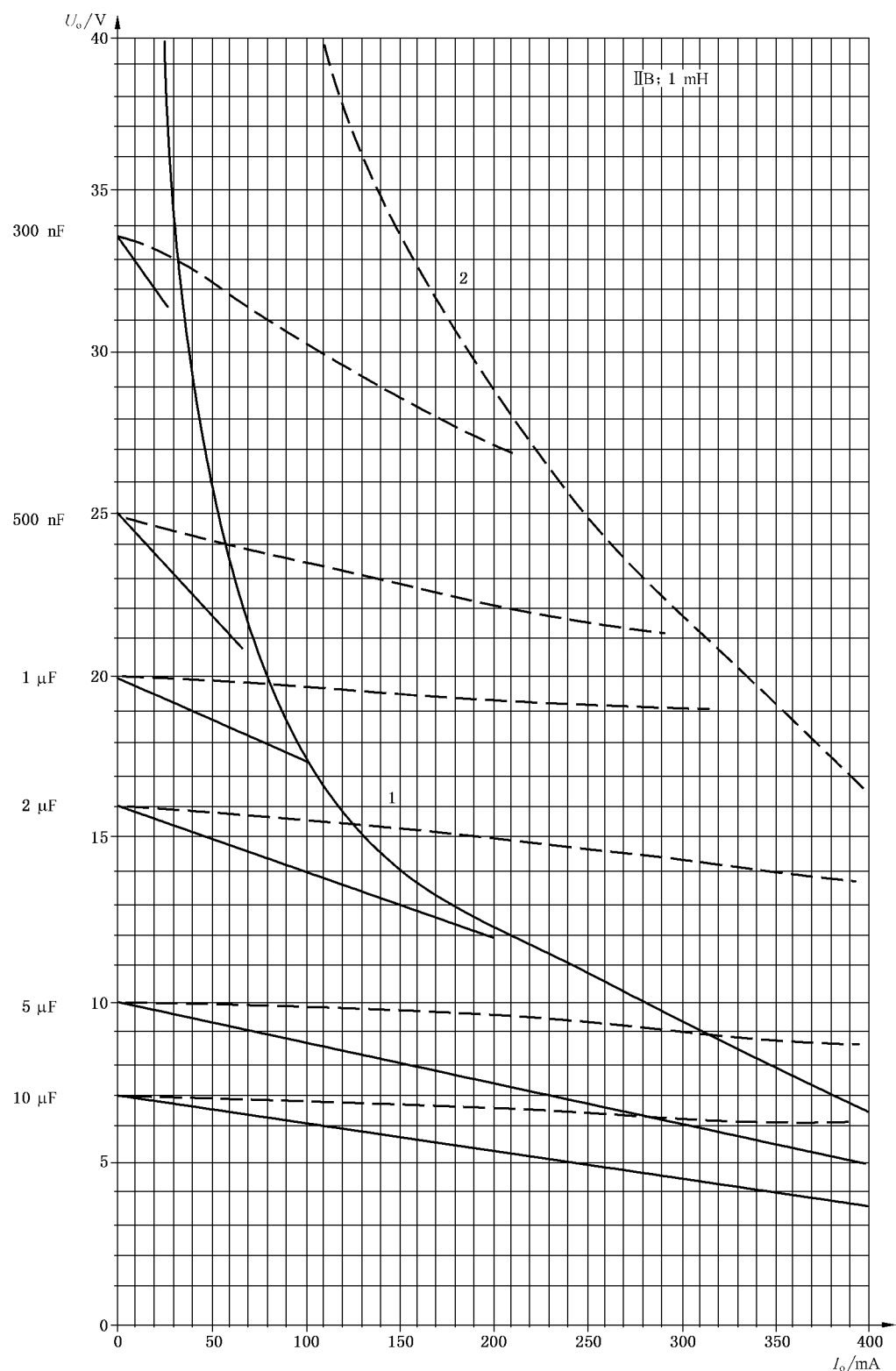
图 F.8 通用电源特性极限曲线图——Ⅱ B 类



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

b) 0.5 mH 图

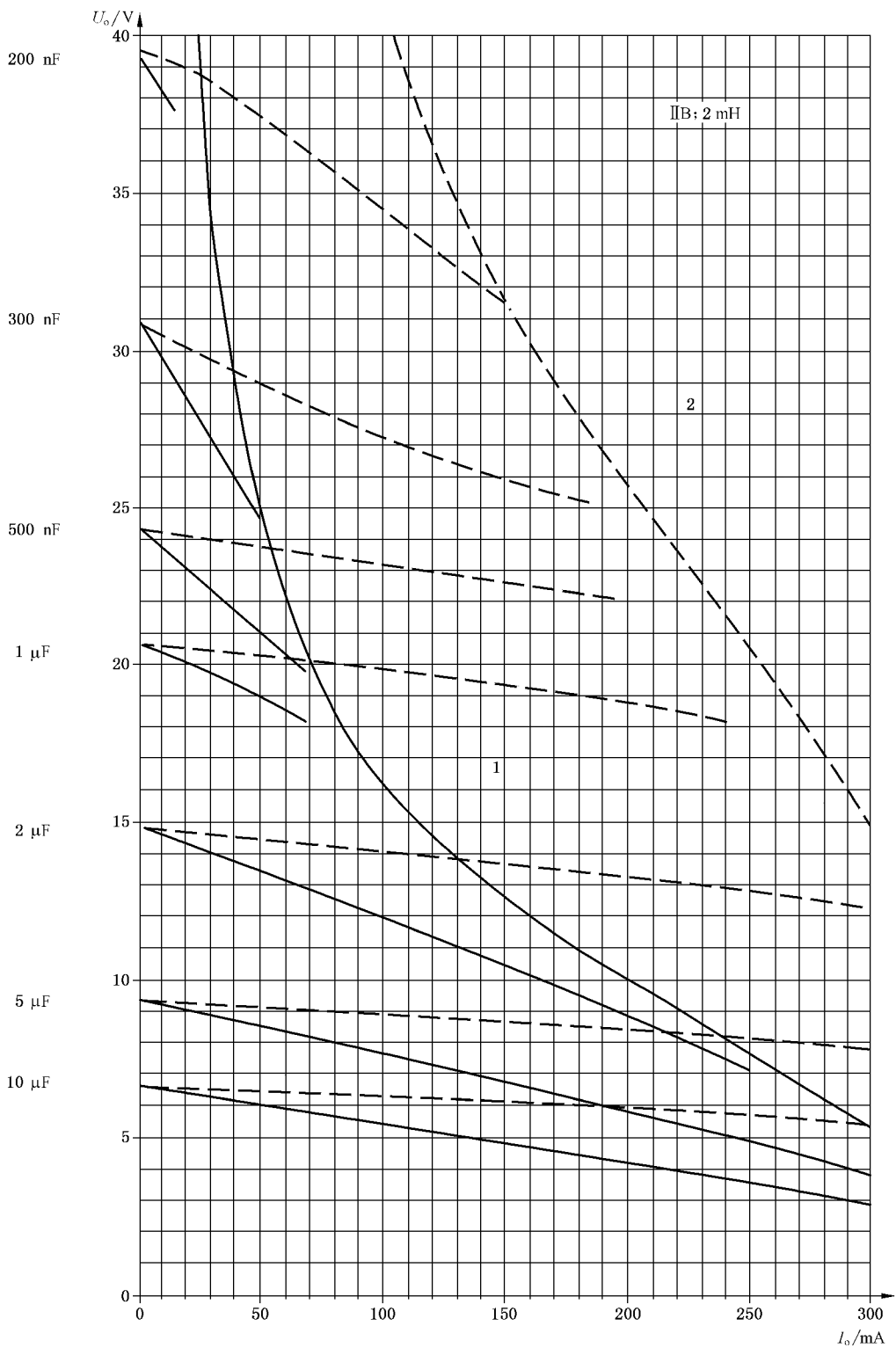
图 F.8 通用电源特性极限曲线图——Ⅱ B 类（续）



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

c) 1 mH 图

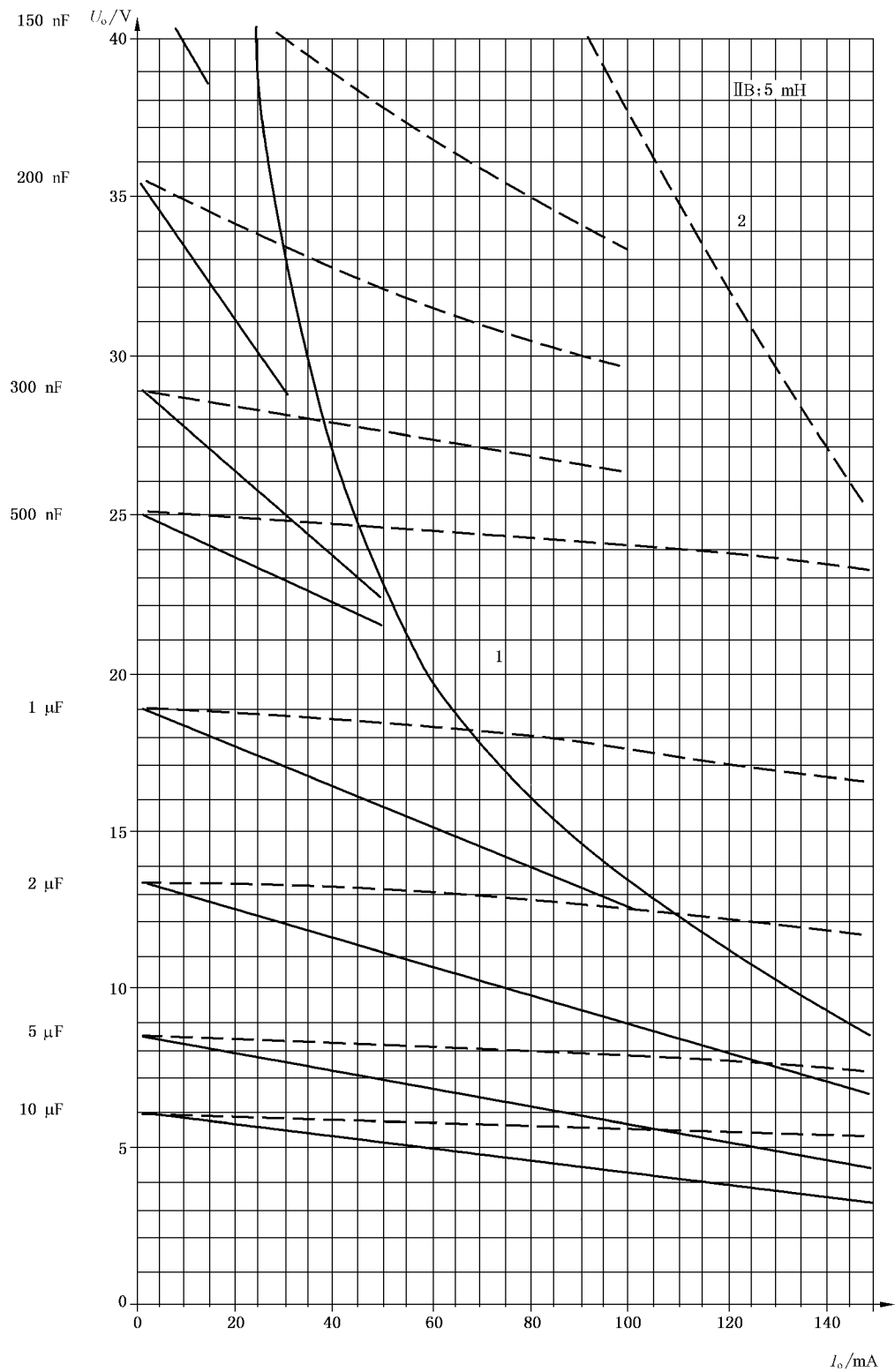
图 F.8 通用电源特性极限曲线图——Ⅱ B 类（续）



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

d) 2 mH 图

图 F.8 通用电源特性极限曲线图——Ⅱ B 类（续）



标引序号说明：
1——矩形特性电源电感限值；
2——线性特性电源电感限值。

e) 5 mH 图

图 F.8 通用电源特性极限曲线图——Ⅱ B 类（续）

附 录 G

(规范性)

电感参数的确定

用图 G.1 说明了被分析的系统。

R_i 为电感线圈的内电阻。如果通过附加电阻器来补充线圈电阻,则该电阻器应符合 GB/T 3836.4 中可靠电阻器的要求。

R_o 为线性电源的输出电阻,即 U_o/I_o 。

如果 L_i 小于 L_o ,则电缆的容许最大电感为两个数值的差值,即 $L_o - L_i$,且系统符合要求。

如果 L_i/R_i 小于电源允许的 L_o/R_o ,则该系统符合要求,且电缆允许的 L/R 仍然是 L_o/R_o 。

注 1: 如果电源使用了根据 GB/T 3836.4 中的电压和设备类别相对应的允许短路电流表确定的限流电阻器的最低值,则不考虑电缆电阻时电缆不存在允许电感,并且 L_o 等于零。

如果上述方法不能证明系统的符合性,则应按下列方法进行更全面的分析。

确定通过电感的电流。在所示电路中,电流是 $I = U_o / (R_o + R_i)$ 。

将该电流乘以 1.5,并且使用 GB/T 3836.4 中规定的适合于规定设备类别的电感曲线图确定最大允许电感 $L_{\max}$ 。

如果 $L_{\max}$ 小于绕组电感 L_i ,则该电路不合格。

如果 $L_{\max}$ 大于 L_i ,则电缆允许电感 L_c 为 $(L_{\max} - L_i)$ 或 $(L_o - L_i)$ 两个值中的较小值。

如果需要,应使用下列公式计算可连接到系统中的电缆的最大电感与电阻比 (L_c/R_c) 。该公式已考虑了电流 1.5 倍的安全系数,当装置输出端电容 C_i 超过 1% C_o 时,该公式不适用。

$$\frac{L_c}{R_c} = \frac{8eR + (64e^2R^2 - 72U_o^2eL)^{1/2}}{4.5U_o^2}$$

式中:

e ——最小点燃能量,单位为微焦耳(μJ),对于:

- I 类装置:525 μJ ,
- II A 类装置:320 μJ ,
- II B 类装置:160 μJ ,
- II C 类装置:40 μJ ;

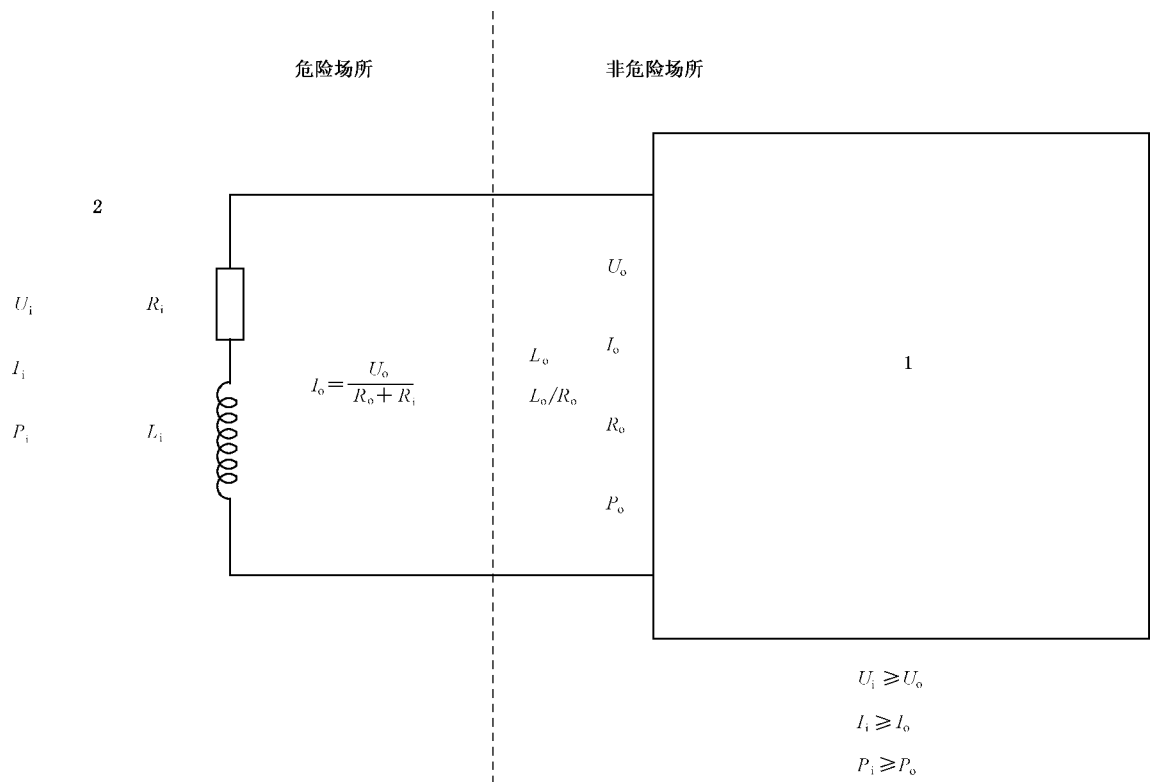
R ——电路总电阻 $(R_o + R_i)$,单位为欧姆(Ω);

U_o ——最高开路电压,单位为伏特(V);

L ——电路总电感 $(L_i + \text{电源的内部电感})$,单位为亨利(H)。

系统电缆的允许 L_c/R_c 为该计算值或电源的 L_o/R_o 二者之中的较小值。

注 2: 确定这种电感器的温度组别时,假设线圈电阻在故障条件下的值能满足最大功率传输。



标引序号说明：
1——关联装置；
2——电感参数。

图 G.1 典型电感电路

