



低压断路器的选择性配合

Selectivity of Low Voltage Circuit Breaker



<https://www.se.com/cn>

Life Is On

Schneider
Electric™
施耐德电气



关于施耐德电气

施耐德电气作为全球能源管理和自动化领域的专家，引领数字化转型，以实现高效和可持续。集团 2020 财年销售额为 252 亿欧元，在全球 100 多个国家拥有超过 13.5 万名员工。

施耐德电气的宗旨，是**赋能所有人对能源和资源的最大化利用，推动人类进步与可持续发展的共同发展**。我们称之为 **Life Is On**。

我们的使命是成为您**实现高效和可持续发展的数字化伙伴**。

我们**推动数字化转型**，服务于家居、楼宇、数据中心、基础设施和工业市场。我们通过集成世界领先的工艺和能源管理技术，从终端到云的互联互通产品、控制、软件和服务，贯穿业务全生命周期，实现整合的企业级管理。

我们是一家拥有**本土化优势的全球企业**，致力于推动开放的技术及合作伙伴生态圈，积极践行**有意义、包容和赋能**的共同价值观。

施耐德电气中国

- 中国已经成为集团在全球第二大市场
- 在中国拥有超过 17000 名员工
- **4 个主要研发中心和 1 个施耐德电气线上学习发展中心**
- 23 家工厂、7 个物流中心、10 个分公司和 37 个办事处遍布全国

低压断路器的选择性配合

从后备保护与选择性两方面探讨了低压断路器的协调配合，回顾时间、电流、能量和逻辑选择性的实现机理，着重分析断路器实现时间选择性的基础和设置时间级差的考量，并据此探讨 A 类和 B 类断路器在时间选择性配合中的特点，结合两类断路器时间选择性的特点，阐释断路器限流、能量脱扣的优势及能量选择性的应用价值，考虑短路保护灵敏度基础上，分析断路器短路短延的应用场景和实际意义，考虑到 B 类断路器时间选择性高允通能量的特性，分析区域选择性联锁在选择性配合中限制允通能量的优势，综合地分析和评价各个选择性方法的优越性及相应的选择性水平，B 类断路器可以借助时间和逻辑选择性实现高水平配合，时间、限流、能量脱扣及能量选择性能够直接或间接地提升 A 类断路器选择性水平，具有不可替代的优越性，即使在后备保护下，能量选择性也能够增强选择性配合的水平，最后，探讨双重设定在断路器网络选择性配合下的作用。



程曦

施耐德电气低压断路器应用资深主任工程师

2010 年大学毕业加入施耐德电气，专注于低压配电领域十余载，熟悉低压配电产品的结构原理、生产工艺、场景应用和故障诊断，善于低压配电系统的方案分析与配置，对低压系统和配电元件的事故及疑难问题的诊断及解决具有丰富的经验和独到的见解。

引言

高可靠度是低压配电系统核心需求，作为配电系统关键衡量指标，可靠度通常从两方面评价配电系统的可靠性，一方面是配电系统的安全性，另一方面是配电系统的连续性。低压断路器作为低压配电系统的关键设备，在正常电路条件下接通、承载和分断电流，起到电路的接通与关断；在故障条件下接通、承载和分断故障电流，在配电系统发生过电流故障时断路器之间应相互协调配合切除并隔离故障，保护电气资产和保障电气系统供电，最大限度地满足低压配电系统供电的安全性和连续性的要求。

从后备保护与选择性两方面探讨了低压断路器的协调配合，回顾时间、电流、能量和逻辑选择性的实现机理，着重分析断路器实现时间选择性的基础和设置时间级差的考量，并据此探讨 A 类和 B 类断路器在时间选择性配合中的特点，结合两类断路器时间选择性的特点，阐释断路器限流、能量脱扣的优势及能量选择性的应用价值，考虑短路保护灵敏度基础上，分析断路器短路短延的应用场景和实际意义，考虑到 B 类断路器时间选择性高允通能量的特性，分析区域选择性联锁在选择性配合中限制允通能量的优势，综合地分析和评价各个选择性方法的优越性及相应的选择性水平，B 类断路器可以借助时间和逻辑选择性实现高水平配合，时间、限流、能量脱扣及能量选择性能够直接或间接地提升 A 类断路器选择性水平，具有不可替代的优越性，即使在后备保护下，能量选择性也能够增强选择性配合的水平，最后，探讨双重设定在断路器网络选择性中的作用。



目录

- 01 过电流下的后备保护与选择性 1
- 02 选择性实现方法 5
- 03 选择性的分类 9
- 04 时间选择性的基础和延时时间设置 11
- 05 时间选择性的分析 15
- 06 限流断路器与能量选择性 17
- 07 塑壳断路器短路短延时的应用 21
- 08 区域选择性联锁 25
- 09 断路器选择性配合的实现与增强 29
- 10 串联选择性与网络选择性 43
- 11 总结 45
- 附录 48
- 参考文献 56

1 过电流下的后备保护与选择性

低压配电系统中过电流故障情况下断路器之间的协调配合分为两方面，一个是断路器之间的后备保护，另一个是断路器之间的选择性。

1.1 后备保护配合

根据 GB/T14048.1-2012 条款 2.5.24 后备保护是两个串联的过电流保护电器之间的一种过电流配合，电源侧保护电器（一般是电源侧但并非一定是电源侧电器）在有 / 无另一保护电器的帮助下实现过电流保护，并防止另一个保护电器的过负荷。

后备保护是系统位于保护装置下游的预期最大短路电流超过了保护装置自身的额定短路分断能力（额定短路分断能力包括额定极限短路分断能力 I_{cu} 和额定运行短路分断能力 I_{cs} ，下同，通常应满足 $I_{cs}=100\%I_{cu}$ ），在此情况下，位于保护装置上游的保护装置应有充足的短路分断能力，不仅能分断上下游保护装置之间的最大预期短路电流，也能够帮助下游保护装置分断高于其额定短路分断能力的最大预期短路电流。保护装置可以是熔断器，也可以是断路器，本文主要讨论和分析低压断路器作为保护装置的情况。

如图 1.1 所示，A 处的预期最大短路电流 $I_{sc_{maxA}}$ 大于 D1 的额定短路分断能力 $I_{cu_{D1}}$ ，即 $I_{sc_{maxA}} > I_{cu_{D1}}$ 。如果只依赖断路器 D1，显然是难以分断，存在风险，但由于 D1 上游安装了分断能力较高的断路器 D2，满足 $I_{cu_{D2}} > I_{sc_{maxB}} > I_{sc_{maxA}}$ ，若借助 D2 的帮助，D1 可以分断 A 处的最大短路电流，这样便可认为 D2 对 D1 存在后备保护，避免 D1 在分断其下游最大故障电流时失效。

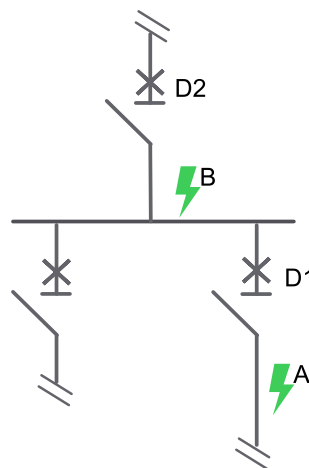


图 1.1 断路器的后备保护

所以，后备保护是从供电安全性角度衡量上、下级断路器之间的协调配合。在下级下游发生过电流故障时，上级断路器在下级分断时协助分断高于下级分断能力的故障电流，这种协助分断可以通过上下级断路器同时脱扣分断产生电弧，也可以是下级分断而上级触头只轻微斥开燃弧但不脱扣，从而实现上下级断路器在切除下级下游故障时共同燃弧（燃弧时间重合），利用上级脱扣分断或者触头斥开时串联高阻抗电弧限制电流，限制下级开断的能量，确保限制以后的短路电流峰值和焦耳能量不超过下级断路器的动、热稳定的耐受极限，避免下级断路器分断时因动、热稳定不足而损坏，保护下级断路器的安全，进而保障供电系统的安全。

后备保护上级通常采用塑壳断路器 (MCCB) 和熔断器，因为这两种保护装置具有良好的限流特性。空气断路器 (ACB)，一般情况下不具备限流特性，

因此，在与其它断路器配合时，难以用作后备保护。当然，也有限流型的空气断路器可以用作后备保护。

后备保护用于单独断路器的额定短路分断能力小于安装点的预期短路电流，即不能满足安装点的预定用途，通过上级来提升上下级断路器组合的短路分断能力超过下级断路器本身额定短路分断能力，以满足分断安装点预期短路电流的需要。如果安装点的预期故障电流值小于断路器的额定短路分断能力，则下级分断故障时，无论上级断路器是否脱扣、无论触头是否斥开燃弧限流，均不认为此时上级对下级作后备保护，只作一般保护之用。

所以，后备保护是通过上级分断限流或者上级不中断只限流帮助下级提高其短路分断能力，实现下级切除超出其额定分断能力的预期短路电流，并且防止下级断路器出现损坏。施耐德电气又称上下级之间的后备保护为“级联”。

1.2 选择性配合

根据 GB/T14048.2-2020 的条款 2.17.1 选择性是指两台或多台过电流保护电器的一种动作特性的配合，例如一台保护电器在规定限值的过电流情况下实现过电流保护，另外的保护电器不动作。

选择性是从供电连续性角度衡量上、下级断路器之间的协调配合。在发生过电流故障时，只有离故障点最近的电源侧断路器动作而电源侧上游的断路器承载该故障电流保持不动作。上游断路器保持不动作既可以是故障电流没有达到过电流动作的阈值，也可以是电流虽然达到阈值，但是故障持续的时间尚未达到上游保护动作设置的延时，此时，过电流故障由下级断路器以比上级断路器设定延时更短的时间先快速切除。

理想的选择性配合应当是，在确保安全的前提下，对于小于断路器额定短路分断能力或者上下级串联组合装置短路分断能力的过电流故障，均由离

故障点最近的电源侧断路器以最快的速度动作切除，并满足“稳”、“准”、“快”三原则：

“稳”是不应跳闸的上级保持稳定可靠，不发生越级误动作。

“准”是应跳闸的下级准确可靠跳闸切除并隔离故障。

“快”是故障切除、隔离应以最快的速度完成。

如图 1.2-1 所示，理想的选择性配合应该是 A 点的故障由断路器 D1 快速切除，D2 保持不动，B 点的故障由断路器 D2 切除，且以最快的速度切除更妥。

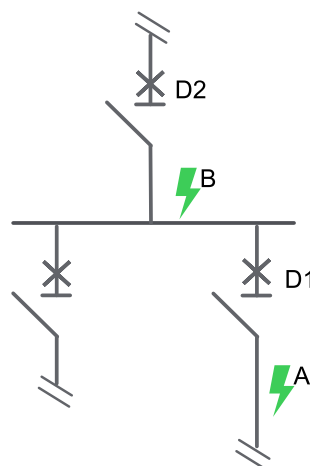


图 1.2-1 断路器的选择性配合

实际工程实践中，选择性通常采用理论计算及比对时间-电流动作特性来判断，即通过比较上下级断路器在故障电流下的时间-电流动作特性得出选择性极限电流来评估。

根据 GB/T14048.2-2020 选择性极限电流 I_s 的定义为：负载侧保护电器总的时间—电流特性与其他保护电器的弧前时间—电流特性（指熔断器）或脱扣时间—电流特性（指断路器）相交的电流坐标。

—在选择性极限电流以下，如有两台串联的过电流保护电器，负载侧的保护电器及时完成其分断动作，以防止其上一级保护电器开始动作（即保证了选择性）；

—在选择性极限电流以上，如有两台串联的过电流保护电器，负载侧的保护电器可能不及时完成其分断动作而不能防止其上一级保护电器开始动作（即不保证选择性）。

对于断路器而言，在确定选择性极限电流时，根据 GB/T25842.2-2012 选择性的确定要求，要考虑时间 - 电流特性曲线的允差。将断路器时间 - 电流特性曲线的下公差曲线称为最小动作时间曲线，俗称不脱扣曲线，将上公差曲线称为最大动作时间曲线，俗称必脱扣曲线。从断路器的脱扣曲线直接比较时，下级断路器采用最大动作时间曲线，上级断路器采用最小动作时间曲线，选择性极限电流为下级的最大动作时间曲线与上级最小动作时间曲线之间的交点，如图 1.2-2 所示。为了更加简洁地对比断路器的时间 - 电流特性曲线，后续的图示中不再标出公差带，除非另有说明，默认上级断路器曲线为最小动作时间曲线，下级断路器曲线为最大动作时间曲线。断路器的冷态和热态时间 - 电流特性曲线会影响断路器的脱扣时间，但是对于系统中串联的上下级断路器来说，二者或同时为冷态，或同时为热态，同为冷态或者热态通常并不影响断路器的选择性判断，文中均采用断路器冷态曲线举例说明。

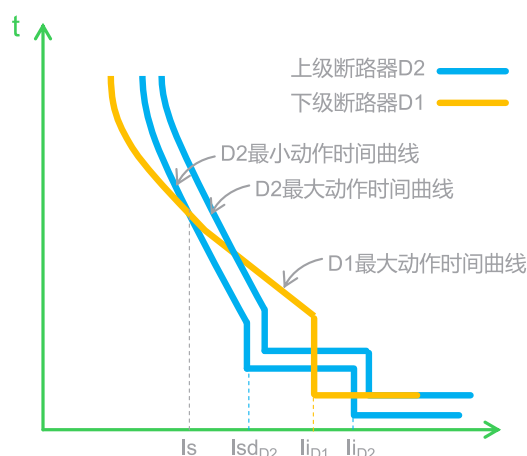


图 1.2-2 断路器配合的选择性极限电流 I_s

根据 GB/T25842.2-2012 条款 5.1.1.1，对于过载区域的选择性，通过对比时间 - 电流特性曲线来验证，并且考虑断路器动作的误差。

除了过载区域，对于故障电流区域的选择性，当上级采用具有一定人为延时的断路器时，也可以通过时间 - 电流特性曲线对比判断。但是，对于常见的塑壳断路器和微型断路器，在超过上级瞬动保护之后的选择性难以再通过时间 - 电流特性曲线判断，根据 GB/T25842.2-2012 条款 5.1.1.2 要求应按照 GB/T14048.2-2020 附录 A 和 GB10963.1-2005 附录 D 的方法通过特性比较或者试验的方法来确定断路器之间的选择性。

在大多数情况下，对于某些具有限流功能（大部分塑壳断路器 MCCB 和微型断路器 MCB）或者动作时间小于半波的断路器而言，当过电流超过上级瞬动保护之后，通过串联组合装置的选择性配合试验可以获得比特性曲线比较更高的选择性极限电流。比如，对于串联组合的限流断路器，较高的预期过电流被串联的上、下级断路器共同限制后，流经串联上下级断路器的实际电流只能触发下级脱扣，实际电流或者电流产生的能量（ I^2t ）不足以触发上级的瞬动脱扣或能量脱扣，这样上下级之间的选择性极限电流可以提升到一个较高的水平，甚至超过下级的额定短路分断能力，达到下级通过后备保护（级联）提升以后的分断能力，这种选择性的提升或者增强必须通过 GB/T14048.2-2020 附录 A 规定的试验验证才能确定。

根据 GB/T14048.2-2020 条款 7.2.5 要求，在分断过电流故障时，断路器的脱扣特性与断路器自身的动、热稳定耐受能力之间的一致性，由断路器制造商负责保证。不应为了追求高选择性而设置凌驾于断路器自身动、热稳特性之上的保护功能及参数，罔顾安全性的根本，安全性为连续性提供基础保障，连续性又是安全性的价值体现，二者相辅相成。断路器通过额定短路接通能力、额定短路分断能力及额定短时耐受能力的型式试验验证已经验证了短路情况下的动、热稳定，在正常运行及过电流情况下的热稳定通过温升试验（直接）和额定短时耐受能力折算（间接）得以验证，制造商通过限制最大的

保护时间整定值来保证正常及过电流情况下的动、热稳定。

断路器通常上下级串联使用，即上级一台同时给几台下级断路器供电，或者作为馈线只给一台下级供电。虽然通过串联的上、下级之间的后备保护（级联）可以提升下级断路器的分断能力，允许选用低于安装点处预期短路电流的断路器，降低下级保护断路器的投资，甚至还可以通过后备保护增强上下级之间的选择性。但实际工程实践中鲜有设计方案会根据经后备保护提升后的分断能力选择上下级断路器的组合，通常根据安装点最大的预期短路电流来单独选择断路器的额定短路分断能力。同时，对于选择性，常常更多的关注断路器的电流和时间的参数，通过参数设置尝试寻求实现选择性配合，但对于二、三级配电系统常用的塑壳断路器和微型断路器，考虑到断路器自身的动、热稳定特性，通过常规保护功能设置和参数整定欲满足高水平选择性往存在一定困难，上下级配合时可通过限流及限流带来的能量脱扣提升与增强选择性水平。

本文着重围绕低压配电系统中断路器之间的协调配合，从选择性的实现手段为切入点，结合断路器的限流和后备保护，分析各种选择性手段在选择性配合时的实现基础及考量，深入分析选择性实现手段的特点，并尝试分析实现、提升和增强选择性的可行途径。

2 选择性实现方法

2.1 电流选择性

上下级配合时，过电流只能引起串联配合的下级动作，而不足以造成上级动作，则此时上下级的配合对于该范围的电流具有电流选择性。如图 2.1 中阴影部分为电流选择性区域。

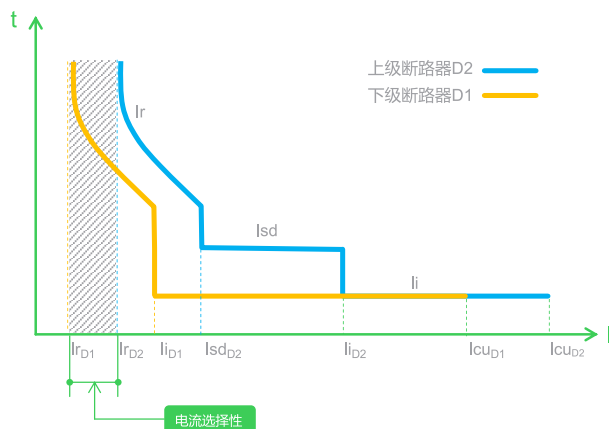


图 2.1 断路器配合的电流选择性

电流选择性是选择性配合的常用手段之一，常用于过载保护，但不仅限于过载保护，比如两台单磁式断路器，小于上级磁脱扣阈值的短路电流可以通过电流选择性实现短路情况下的选择性配合。常用于上下级断路器级差较大时断路器之间的配合，比如微型断路器与大规格塑壳断路器或者空气断路器之间的配合。

2.2 时间选择性

时间选择性，顾名思义，是通过断路器动作的时间差实现选择性配合。上下级串联时的电流既可以引起上级断路器脱扣，也可以引起下级断路器脱扣，但上级脱扣的时间大于下级脱扣的时间，发生过电流故障时，因下级脱扣时间快于上级，只有下级动作而上级保持不动，从而实现选择性。断路器

之间的时间选择性常通过上级人为的短路延时实现，如图 2.2 的阴影部分区域①。

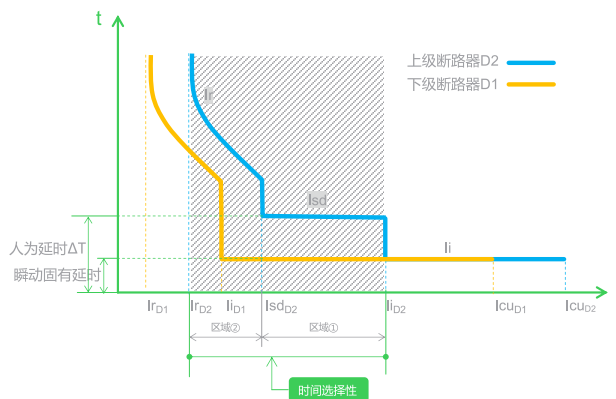


图 2.2 断路器配合的时间选择性

在发生过流时，过电流故障可以触发下级的过载甚至短路保护，电流也可以让上级过载保护动作，但下级过载和短路保护动作快于上级过载保护，这一类选择性也属于利用动作时间差实现的时间选择性，图 2.2 阴影部分区域②。

2.3 能量选择性

短路电流电流超过上级瞬动保护之后，从时间 - 电流特性曲线上比对，上下级断路器将可能同时瞬动脱扣或者上级瞬动先动作而出现越级跳闸，如图 2.3-1 所示的阴影部分，此时选择性可以通过特殊的能量脱扣实现。

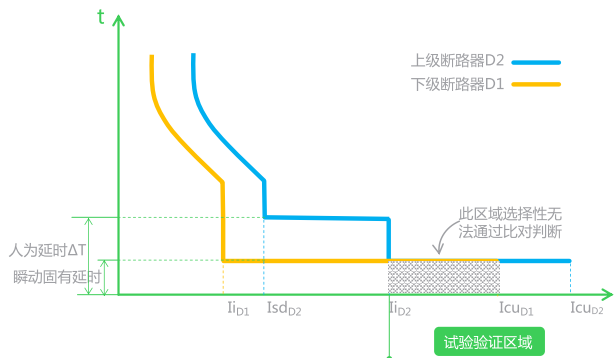


图 2.3-1 断路器配合的试验验证区域

能量脱扣作为一种特殊的脱扣方式，独立于断路器常规的过载、短路短延时（如有）和瞬动脱扣保护，等效于电流不可调的更高倍数（ $25I_n$ ）的瞬动保护，只有当短路产生的能量达到一定的脱扣阈值以后方可快速脱扣，脱扣速度也快于断路器常规的瞬动脱扣，故障全分断时间小于 10ms。ComPacT NSX、Easy PacT CVS 系列塑壳断路器均标配能量脱扣。

借助断路器能量脱扣阈值不同，可以在不同额定电流等级的上下级断路器之间实现能量选择性。能量选择性只适用于带有专用能量脱扣装置的断路器，用于 ComPacT NSX、Easy PacT CVS 系列塑壳断路器之间的选择性配合，尤其是短路电流超过上级瞬动保护之后，从时间-电流特性曲线上判断，上下级断路器之间不再具有选择性，但通过脱扣能量曲线判断，上下级选择性依然能够实现，如图 2.3-2 所示。

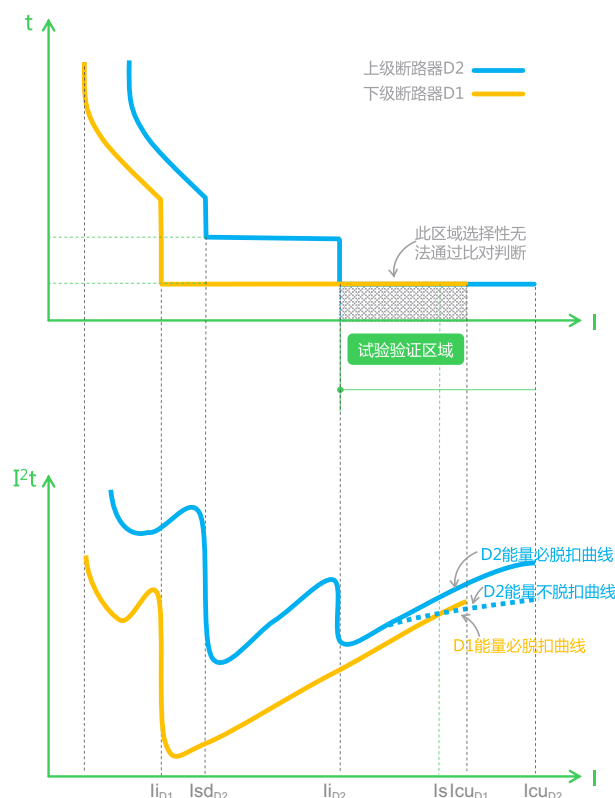


图 2.3-2 断路器配合的能量选择性

2.4 逻辑选择性

逻辑选择性是利用上下级断路器脱扣器之间的逻辑信号实现上下级动作的闭锁，只适用于带有电子脱扣器的断路器，短路短延时和接地故障保护可以实现逻辑选择性，过载条件下因能量有限无需逻辑选择性，MasterPacT MT/MTZ 产品标配具有逻辑选择性功能。

逻辑选择性依托于上下级之间的时间选择性，是对上下级已实现的时间选择性的优化，与时间选择性的区别在于能够通过逻辑信号定位故障所处的位置，根据故障的位置闭锁上游断路器和触发紧邻上游断路器动作，实现不同位置的故障均以瞬动的速度脱扣，可更好地满足理想配合“稳”“准”“快”的原则，避免了时间选择性中不必要的人为延时，相应地减小人为延时造成的损失和带来的风险。

逻辑选择性实现的具体原理是当断路器检测到故障时，将输出闭锁信号给紧邻上级断路器并检查自身是否收到紧邻下级断路器的闭锁信号。如果收到紧邻下级断路器的闭锁信号，该断路器将在其短路延时时间内保持闭合，由其下游断路器切除故障。如果没有接收到下级的闭锁信号，即便是该断路器设置了延时，此断路器也将瞬时脱扣，而其紧邻的上级因收到其发送的闭锁信号而在短路延时时间内保持闭合。

如图 2.4 所示，对于故障 B，故障发生于下级断路器 D1 和上级断路器 D2 之间，因此，只有上级断路器 D2 检测到该故障，下级断路器 D1 未检测到。那么断路器 D1 不会给出闭锁信号到断路器 D2，上级断路器 D2 因没有收到紧邻下级断路器 D1 的信号，断路器 D2 将瞬时脱扣切除故障，尽管它设置了 0.3s 的短路延时。对于位于断路器 D1 下游的故障 A，上、下级断路器 D1 和 D2 同时检测到该故障，则下级断路器 D1 发出闭锁信号给到上级断路器 D2，上级断路器 D2 将在设置的延时 0.3s 内保持闭合，而下级

断路器 D1 因没有紧邻断路器 D0 的闭锁信号将瞬时动作切除故障。这样对于任何位置的故障，故障均

以瞬动速度动作切除，满足“稳”、“准”的同时，也满足快速切除“快”的原则。

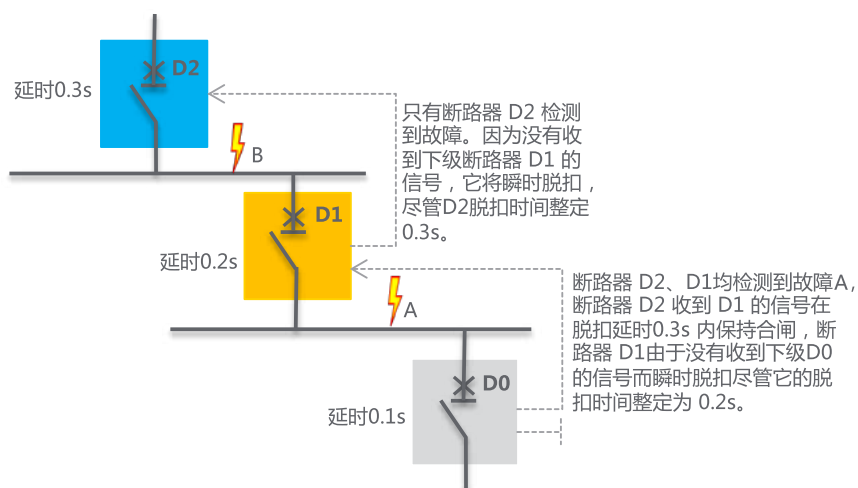


图 2.4 断路器配合的逻辑选择性

3 选择性的分类

低压断路器配合时通过上述四种选择性实现方法可以实现不同的选择性水平，根据选择性极限电流与安装点预期短路电流之间的关系，GB/T 14048.2-2020 将选择性分为全选择性和局部选择性。

3.1 全选择性

根据 GB/T 14048.2-2020 条款 2.17.2 的定义，全选择性是在两台串联的过电流保护电器的情况下，负载侧的保护电器实行保护时而不导致另一台保护电器动作的过电流选择性保护。

全选择性严格来讲是指过电流选择性的选择性极限电流大于等于下级断路器安装点的预期短路电流（ $I_s \geq I_{sc_max}$ ），即任意小于预期短路电流的过电流故障，只有下级动作而上级断路器保持闭合。

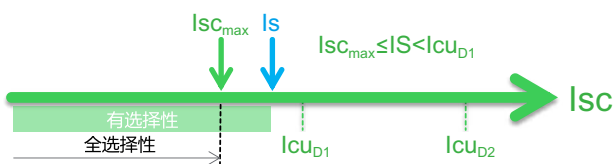


图 3.1-1 全选择性电流关系

- 对于不考虑后备保护的串联断路器之间的全选择性而言，选择性极限电流应小于或等于下级断路器的额定短路分断能力（ $I_s \leq I_{cuD1}$ ）。

这种选择性配合可以单独通过电流、时间选择性或者两者结合的方式实现，使得上、下级断路器的时间 - 电流特性曲线无交点，如图 3.1-2 所示，此时，选择性极限等于下级断路器的额定短路分断能力，即 $I_s = I_{cuD1}$ （注：这种全选择性在 IEC60364-5-53 2019 中称为 Total selectivity，笔者水平有限，尚不敢对 IEC60364-5-53 2019 的选择性分类做中文翻译，采用原文，下同）。

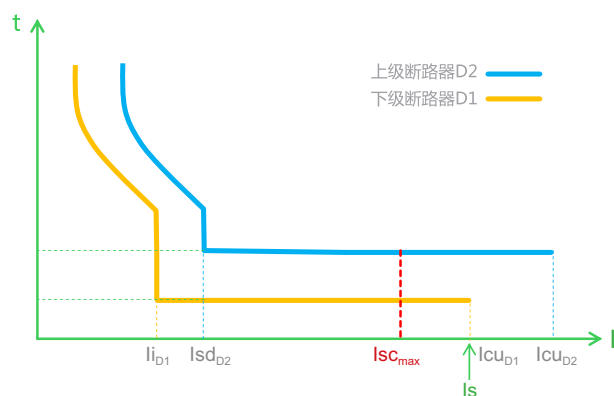


图 3.1-2 断路器全选择性配合 $I_s = I_{cuD1}$

或者下级断路器的时间 - 电流特性有交点，且交点处的电流小于下级断路器额定短路分断能力，即 $I_s < I_{cuD1}$ （注：这种全选择性在 IEC60364-5-53 2019 中称为 Full selectivity）。

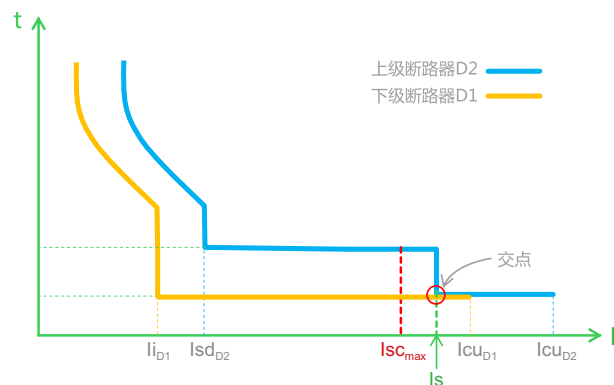


图 3.1-3 断路器全选择性配合 $I_s < I_{cuD1}$

上述两种情况对于小于下级预期短路电流的故障，只有下级跳闸，能够实现全选择性。

- 对于通过后备保护提升短路分断能力的串联组合装置的而言，试验验证得到的选择性极限电流应

大于下级断路器的额定短路分断能力，但小于等于串联组合装置的额定短路分断能力 I_{cu_comb} ，即 $I_{cu_{D1}} < I_s \leq I_{cu_comb}$ 。

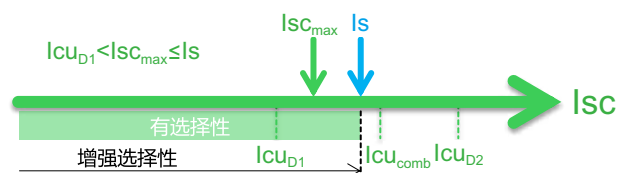


图 3.1-4 增强选择性电流关系 $I_{cu_{D1}} < I_s \leq I_{cu_{comb}}$

因此，将原有的选择性极限通过后备保护提升超过下级额定短路分断能力达到安装点预期短路电流及以上，这种全选择性又可以称为“增强全选择性”（注：这种全选择性在 IEC60364-5-53 2019 中称为 Enhanced selectivity）。

3.2 局部选择性

根据 GB/T14048.2-2020 条款 2.17.3 的定义，局部选择性是在两台串联的过电流保护电器的情况下，负载侧的保护电器在一个给定的过电流值及以下实行保护时而不导致另一台保护电器动作的过电流选择性保护。

局部选择性通常又称为部分选择性，是指过电流选择性的选择性极限电流小于下级断路器安装点的预期短路电流 ($I_s < I_{sc_max}$)。

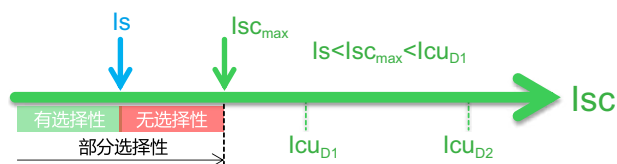


图 3.2-1 断路器配合的部分选择性电流关系图

- 在选择性极限电流以下，上下级断路器之间具有选择性，如图 3.2-2 所示，比如对于过电流 I_{sc_1} 。

- 在选择性极限电流以上，预期短路电流以下，上下级之间不再具备选择性，上下级会同时动作或者上级动作而下级不动作，如图 3.2-2 所示的过电流

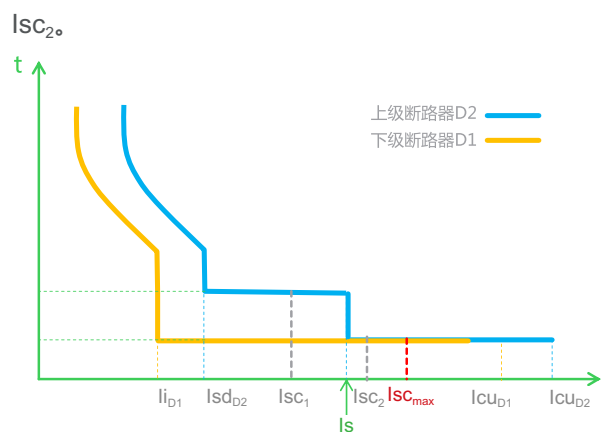


图 3.2-2 断路器部分选择性配合

4 时间选择性的基础和延时时间设置

4.1 时间选择性的基础

时间选择性是通过上下级动作之间的时间差实现选择性配合，不论是从时间 - 电流特性曲线还是理论计算，时间选择性均能够直观地评估上下级之间的选择性水平。

因为时间选择性是通过保护动作的时间差来实现，这意味着在发生过电流时，延时时间相对较长的上级必须保持不动并具有一定的短时过电流耐受能力，以给下级提供足够的动作时间（全分断时间）来切除故障。GB/T14048.2-2020 对断路器的短时耐受电流的最小值做了如下表 4.1-1 的约定：

表 4.1-1 额定短时耐受电流最小值

额定电流 I_n (A)	额定短时耐受电流 I_{cw} 的最小值 (kA)
$I_n \leq 2500$	$12I_n$ 或 5，取较大者
$I_n > 2500$	30

根据断路器耐受短路电流能力（水平）的高低，GB/T14048.2-2020 将低压断路器划分为两种不同的选择性使用类别，分别是：

选择性类别 B：简称 B 类，指符合 GB/T14048.2-2020 条款 4.3.6.4 要求的具有短时耐受电流额定值及相应短延时的断路器。B 类断路器的选择性极限不必保证一直达到断路器的极限短路分断能力（例如存在瞬时脱扣器动作或者瞬时超越脱扣时），但至少要保证达到表 4.1-1 的规定值。B 类断路器的额定短时能力通常较高，通常等于 100% 的额定短路分断能力（ $I_{cw}=100\%I_{cs}=100\%I_{cu}$ ），因此这类断路器通过时间选择性便可满足全选择性的要求。

选择性类别 A：简称 A 类，除了选择性类别 B 之外的所有其他的断路器。

A 类断路器可有一定的人为短延时，且短时耐

受电流可小于表 4.1-1 的规定。在短路条件下，这类断路器通过时间实现的选择性水平远低于其额定短路分断能力，可通过“其他方式”提供选择性。

B 类断路器均应按 GB/T14048.2-2020 的条款 8.3.6 规定的试验程序 IV，其验证项目如下表 4.1-2。A 类断路器可不要求。

表 4.1-2 额定短时耐受电流最小值

试验	条款
验证过载脱扣器	8.3.6.2
额定短时耐受电流	8.3.6.3
验证温升	8.3.6.4
最大短时耐受电流下的短路分断能力	8.3.6.5
验证介电耐受能力	8.3.6.6
验证过载脱扣器	8.3.6.7

通过试验的程序项目可以看出，对于断路器短时耐受能力的验证，不仅仅应按照程序 8.3.6.3 验证短时耐受能力，同时也应按照程序 8.3.6.5，验证在短路短延时脱扣器最大整定时间内保持闭合之后再分断短时耐受电流的能力，并通过后续的试验验证温升、介电及脱扣特性的符合性来验证是否达到宣称的短时耐受能力。

为了达到较高短时耐受能力，断路器应具有良好的动、热稳定性，断路器必须能够在短延时时间内承载短路电流并且不允许触头斥开或粘连甚至熔焊，在交变的电动力和焦耳热下不应损坏，且经过短延时的热积累后处于热态下的触头能够分断故障电流，这就要求断路器具有稳固的结构部件抵抗交变电动力、高刚性的机构和触头型式保持触头闭合避免斥开、高热耐受的载流部件等一系列的结构满足断路器高短时耐受的要求，对于同样的预期短路电流，实现高短时耐受远比实现高分断困难，因为高分断是瞬间完成的，可以借助限流和快速分断技术大幅限制实际电流和允通能量，但高短时耐受

必须在短时间内先承受预期电流然后再分断，且在耐受中触头不应斥开燃弧。

不论是 A 类还是 B 类断路器，短时耐受能力是实现时间选择性的基础，短时耐受能力越高，通过时间实现的选择性水平也越高，B 类由于结构设计上决定其短时耐受能力远高于 A 类的耐受能力，因此，通常 B 类断路器又被称为选择性断路器。

4.2 延时时间的设置

无论 A 类还是 B 类断路器，由于制造和动作的误差的原因，短路短延时的每一个整定值均存在一定的动作允差，该允差除了整定延时时间的允差外，还包含了断路器的分断时间，允差可以单独申明，也可以表征在断路器制造商提供的时间 - 电流特性曲线上。时间 - 电流特性曲线中最大的不动作时间又称为最大可复归时间或最大可返回时间，即故障电流达到短路短延时整定电流的前提下，只要故障电流持续时间（比如故障由下级更短时间内切除）小于最大复归时间，则断路器不会脱扣，所以最大可复归时间与电流形成的最小动作特性曲线也称为必不脱扣曲线。时间 - 电流特性曲线中最大的动作时间称为最大分断时间，表示该断路器分断故障电流所需的最大时间，最大分断时间与电流形成的最大动作特性曲线也称为必脱扣曲线。一般地，随着短路延时整定时间的增加，最大分断时间与最大复归时间的时间差 Δt 也会相应的增加，这主要是因为短延时时间越长，可复归时间亦延长，断路器分断单元在可复归时间内的热积累就越大，断路器分断越困难。

最大复归时间与最大分断时间已经包含了断路器动作的误差，属于不动作与动作的极限，因此，只要满足下级的最大分断时间 $\leq$ 上级的最大复归时间的条件，上下级之间就可以实现时间选择性，无需再设置额外的时间差。表 4.2 是 MasterPacT MT/MTZ 短路短延时的动作特性，由各设定的最大复

归时间和最大分断时间可以看出，其短路短延时相邻时间整定之间均能够满足时间选择性，脱扣时间带无重叠区域，如图 4.2-1，可见 MasterPacT MT/MTZ 断路器 0.1s 的级差可以实现时间选择性配合。

表 4.2 MasterPacT MT/MTZ 短路短延时的动作特性

整定值 (A) 精确度： $\pm 10\%$	$I_{sd}=I_r \times$	1.5, 2, 2.5, 3, 4, 6, 8, 10
延时 tsd(s)	整定值 I^2t_{off}	0 0.1 0.2 0.3 0.4
	I^2t_{on}	- 0.1 0.2 0.3 0.4
动作时间 I^2t_{off} 或 I^2t_{on} (10I _r)	最大复归时间	20 80 140 230 350
	最大分断时间	80 140 200 320 500

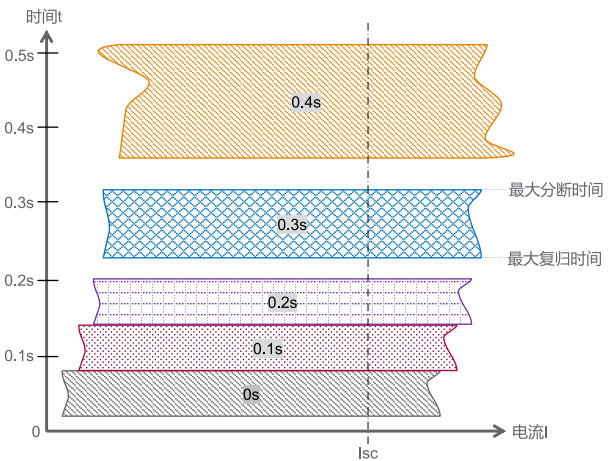


图 4.2 MasterPacT 系列相邻时间级差可满足时间选择性

因此，除非另有规定，一般情况下无需额外考虑动作的误差而人为再放大断路器上下级之间短路短延时的时间级差。在能够满足选择性的前提下，越短的时间整定和越小的时间级差，对断路器及其保护的對象及配电系统收益越大，因为对于无限流特性的 B 类断路器，短路产生的能量几乎无限制地通过断路器，因此，缩短短路电流持续的时间，就意味着限制了短路产生的允通能量，降低了短路电流热效应、电动力效应和电磁效应对被保护对象及系统的损伤和潜在影响，诸如电缆和元件老化加速、母线的潜在变形和移位、连接的松动、结构件的变形和裂纹扩展等，并可有效地避免因一次故障衍生出的二次故障。假设下级短路短延时整定值为 0.1s，同样的故障电流，上级短路短延时保护整定在 0.3s

和整定在 0.2s，均可以实现选择性，但整定在 0.3s 产生的能量比整定在 0.2s 高出 1 倍以上，上级短路短延时整定在 0.4s 产生的能量更是可达 0.2s 时的 2.5 倍，但从选择性的角度，二者的收益是一样的，因此，在能满足选择性前提下，尽可能地缩短整定时间和上下级之间的时间级差。

对于典型的低压配电系统，GB50052-2009 条款 4.0.6 要求“供配电系统应简单可靠，同一电压等级的配电级数高压不宜多于两级；低压不宜多于三级。”在一、二级配电中经常需要通过短路短延时实现上下级的选择性，尤其是进线空气断路器与馈线空气断路器及进线空气断路器与馈线塑壳断路器之间需要实现选择新的配合，即使考虑进线断路器与联络断路器，甚至包括二级配电中的馈线断路器与联络断路器之间的时间选择性配合，时间的级差需求通常也不会超过 5 级，0s，0.1s，0.2s，0.3s，0.4s（0s 依然存在 0.02s 的固有延时）的时间级差能够满足实际工程中通过短路短延时选择性的需求，所以 $I_{cw}/0.5s$ （短时耐受 0.5s 的电流）常作为断路器时间选择性的选择性极限电流。过渡地追求低压断路器较长的短路延时时间反而增加与中压保护装置之间配合的难度。

如果断路器的相邻时间设定之间无法满足下级的最大分断时间 $\leq$ 上级的最大复归时间的条件，比如因动作误差太大，则应当适当放大上下级断路器的时间级差，以满足选择性的需求，但这很显然意味着对于介于上下级之间的故障，上级动作切除故障的时间更长，相比上下级通过相邻级差满足选择性的情况，产生的允通能量 I^2t 更大。

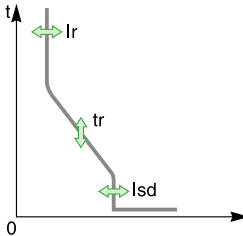
因此在能够满足选择性时间级差的前提下，尽可能缩小上下级之间时间级差的设置，避免上级对选择性没有收益的额外延时，以此限制短路电流产生的机械、热和电磁应力，减少甚至防止短路电流对系统造成危害和潜在的风险，减低压系统对动、热稳定的设计成本。

控制单元选择指南

保护 保护功能

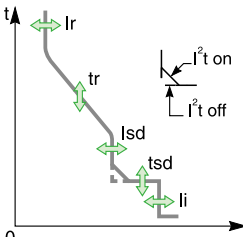
Micrologic控制单元适用于不同的电压系统，三相或四相，频率50/60Hz，以及满足IEC和北美标准规定的所有接地系统（TNC, TNS, TT, IT, HRG）。

Micrologic 2.0B和2.0X



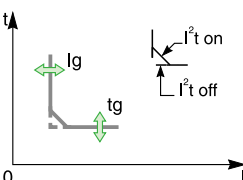
长延时		ANSI 49RMS/51												
电流整定 (A)	$I_r = I_n \times \dots$	2.0B ^[1]	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.98	1.0			
		2.0X	$I_r = 0.4I_n \sim I_n$ ，整定步长1A 在1.05到1.2 I_r 之间脱扣											
时间整定	t_r (s)	2.0B	0.5s	1s	2s	4s	8s	12s	16s	20s	24s			
		2.0X	$t_r = 0.5s \sim 24s$ ，整定步长0.5s当6倍 I_r 时											
时间整定举例: 延时 (s)	精确度0至-30 %	$1.5 \times I_r$	12.5	25	50	100	200	300	400	500	600			
	精确度0至-20 %	$6 \times I_r$	0.5 ^[2]	1	2	4	8	12	16	20	24			
	精确度0至-20 %	$7.2 \times I_r$	0.7 ^[3]	0.69	1.38	2.7	5.5	8.3	11	13.8	16.6			
热记忆			脱扣后											
瞬时		ANSI 50												
整定值 (A)	$I_{sd} = I_r \times \dots$	2.0B	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10			
精确度: $\pm 10\%$		2.0X	$I_{sd} = 1.5 \sim 10I_r$ ，整定步长0.5倍 I_r ^[5]											
动作时间			最大复归时间: 20 ms 最大分断时间: 80 ms											

Micrologic 5.0B/6.0B和5.0X/6.0X/7.0X



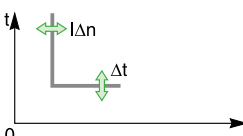
长延时		ANSI 49RMS/51													
电流整定 (A)	$I_r = I_n \times \dots$	5.0B/6.0B	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	0.98	1.0				
		5.0X/6.0X/7.0X	$I_r = 0.4I_n \sim I_n$ ，整定步长1A 在1.05到1.2 I_r 之间脱扣												
时间整定	t_r (s)	5.0B/6.0B	0.5s	1s	2s	4s	8s	12s	16s	20s	24s				
		5.0X/6.0X/7.0X	$t_r = 0.5s \sim 24s$ ，整定步长0.5s当6倍 I_r 时												
时间整定举例: 延时 (s)	精确度0至-30 %	$1.5 \times I_r$	12.5	25	50	100	200	300	400	500	600				
	精确度0至-20 %	$6 \times I_r$	0.5 ^[2]	1	2	4	8	12	16	20	24				
	精确度0至-20 %	$7.2 \times I_r$	0.7 ^[3]	0.69	1.38	2.7	5.5	8.3	11	13.8	16.6				
热记忆			脱扣后												
短延时		ANSI 50TD/51													
整定值 (A)	$I_{sd} = I_r \times \dots$	5.0B/6.0B	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10				
精确度: $\pm 10\%$		5.0X/6.0X/7.0X	$I_{sd} = 1.5 \sim 10I_r$ ，整定步长0.5倍 I_r ^[5]												
延时 t_{sd} (s)	整定值	I^2t Off	0	0.1	0.2	0.3	0.4								
		I^2t On	-	0.1	0.2	0.3	0.4								
10倍 I_r 时的动作时间 (ms)	最大复归时间		20	80	140	230	350								
I^2t Off 或 I^2t On	最大分断时间		80	140	200	320	500								
瞬时		ANSI 50													
整定值 (A)	$I_i = I_n \times \dots$	5.0B/6.0B	2	3	4	6	8	10	12	15	OFF				
精确度: $\pm 10\%$		5.0X/6.0X/7.0X	$I_i = 2I_n \sim 15I_n$ ，整定步长0.5 I_n ^[5] 和关闭												
I²t模式			标准			快速 ^[6]									
动作时间	最大复归时间		20 ms			0 ms									
	最大分断时间		50 ms			30 ms									

Micrologic 6.0B和6.0X



接地故障		ANSI 50N-TD/51N										
整定值 (A)	$I_g = I_n \times \dots$ $I_n \leq 400A$ $400 < I_n < 1250A$ $I_n \geq 1250A$	6.0B	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
			0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
		6.0X	500	640	720	800	880	960	1040	1120	1200	
		$I_g = 0.2^{[4]} I_n \sim I_n$ ，整定步长0.1In ^[5] 和关闭										
精确度: $\pm 10\%$												
时间整定tg (s)	整定值	I²t Off	0	0.1	0.2	0.3	0.4					
		I²t On	-	0.1	0.2	0.3	0.4					
动作时间 (ms)	最大复归时间		20	80	140	230	350					
	最大分断时间		80	140	200	320	500					

Micrologic 7.0 X

	剩余漏电流 (Vigi)	ANSI 50G-TD					
	灵敏度 (A)	$I_{\Delta n}$	0.5A~30A，整定步长0.1A				
	IEC/EN 60947-2和GB/T 14048.2附录B						
	延时 Δt (ms)	整定值	60	150	230	350	800
		最大复归时间	60	150	230	350	800
			最大分断时间	140	230	320	500
				1000			

[1] Micrologic B可更换长延时整定模块，用以改变整定范围或关闭该功能。

见第D-28页。

[2] 0 ~ -40 %

[3] 0 ~ -60 %

[4] 当 $I_n \leq 400A$ 时，为0.3 $I_n \sim I_n$ 。

[5] 使用EcoStruxure Power Commission调试软件和EcoStruxure Power Device移动应用可以进行更精细的步长整定。

[6] 仅Micrologic X有快速模式。

5 时间选择性的分析

串联的上下级断路器实现时间选择性的基础是上级断路器的短时耐受能力，即当过电流同时流过上、下级断路器，虽然从故障电流角度均可使上下级断路器动作，但由于上级存在延时或者上级的延时时间大于下级的延时时间，上级断路器将耐受最大选择性极限电流保持不动，故障仅由下级切除。因此，这种选择性实现的前提是上级应有足够的短时耐受能力，由于不同选择性类别的断路器短时耐受能力的不同，时间选择性在不同类别的产品表现出不同的特性。

5.1 B 类断路器时间选择性配合

B 类断路器具备较高的短时耐受能力，除了自身不可忽略的阻抗外，可以认为没有限流作用，通过关闭瞬动保护和短路短延时的时间级差可以实现较高的选择性，如果 $I_{cw}=100\%I_{cu}=100\%I_{cs}$ ，则在额定短路分断能力内可以通过上短路短延时的时间级差实现全选择性。如果短时耐受 $I_{cw}<I_{cu}$ ，则在短时耐受范围可以实现时间选择性，超过 I_{cw} 时，断路器因无法再延时分断，并且因设置瞬时超越自保护，又称为集成瞬间 DIN 保护（DIN 是法语 Déclencheur INstantané 的缩写），避免 B 类断路器在瞬动关闭的情况下承载并延时分断高于其短时耐受电流的极限短路。因此，只有在 I_{cw} 短时耐受范围内的故障电流才能够实现时间选择性。

如前所述，这种时间选择性的实现是建立在上级延时耐受故障电流的基础之上。因此，对于位于上下级之间的过电流故障依然会延时分断切除，不满足“稳”“准”“快”中“快”的原则，此时上级的延时分断事实上变得毫无意义，并且因延时动作将产生更多的允通能量，给配电系统造成潜在的风险和影响，甚至多数情况下会因延时切除短路故障导致事故扩大化和严重化，尤其是发生燃弧性短路故障时极易扩大短路事故的后果。笔者曾调研和处理数百起低压配电系统事故，往往发现一、二级配系统事故容易扩大且严重性较高，其中一个不容忽视的重要原因是保护延时动作，故障往往引起

整个低压柜严重烧毁甚至低压配电间起火，不仅造成严重的电气资产损失，大幅延长了故障恢复周期，而且造成难以估量的直接和间接损失。究其深层原因是因为这种配合有违理想的选择性配合原则，故障并没有在最短的时间内以最快的速度被切除，存在对于供电的安全性和连续性没有收益的延时。所以时间选择性是把双刃剑，尤其对于 B 类断路器，对于下级发生故障的情况，上级延时，下级快速分断切除故障，是能够很好地实现选择性配合，但对于位于上下级之间的短路故障，此时上级的延时跳闸和瞬动跳闸相比没有收益，延时动作反而会带来诸多直接和间接的风险。

所以，对于 B 类断路器的时间选择性配合，为了实现全选择性，除了应以 I_{cw} 短时耐受能力选择断路器以满足 $I_{sc_{max}} \leq I_{cw}$ 之外，且应谨慎地尽可能设置较小的短路短延时时间，甚至以时间选择性为基础，选择更加合理的逻辑选择性。

5.2 A 类断路器时间选择性配合

通常塑壳断路器为选择性类别 A，且多为限流型断路器，在分断额定短路电流时会借助了触头斥开的限流措施和(或)小于半波时间的快速分断手段，预期短路电流的峰值和焦耳积分会被大幅限制，可以做到高分断。但正因利用触头斥开燃弧或快速动作限流，塑壳断路器的短时耐受能力低于其额定短

路分断能力，所以限流与高短时耐受存在矛盾。对于超过其耐受能力的短路电流，因短路时触头斥开并不能耐受一定的延时时间后再分断，塑壳断路器只能瞬时或者以更快的速度分断。所以从理论上通过短路短延时实现的选择性极限最高只能到上级断路器瞬时可整定的最大值，对于瞬时可关闭的上级断路器，也可以利用上级的延时进一步提升选择性极限，但和 B 类的瞬时超越脱扣器一样，A 类应设置断路器自身的后备保护（如 NSX、CVS 系列的能量脱扣），防止断路器在瞬动关闭的情况下延时分断超过其短时耐受能力范围以外的短路故障，比如，延时分断其额定短路分断能力的电流。超出上级耐受能力（瞬动保护或者后备保护）之后的选择性通过时间 - 电流特性曲线比对或者理论计算已经无法判断，如图 5.2 所示，需通过其他方式验证选择性配合，比如试验验证或者对比下级允通电流与上级瞬动保护阈值，抑或是通过试验验证上下级能量脱扣之间的选择性，这也是 GB/T 14048.2-2020 条款 4.4 要求对于 A 类断路器“在短路条件下通过其他方式提供选择性”的原因。

低，可以通过时间差和关闭上级瞬动提升选择性水平，如果故障电流高于其短时耐受能力，通过设置延时时间级差在额定短路分断范围内难以实现较高水平选择性配合，为此，A 类断路器在短路条件下应通过“其他方式”提供选择性配合。

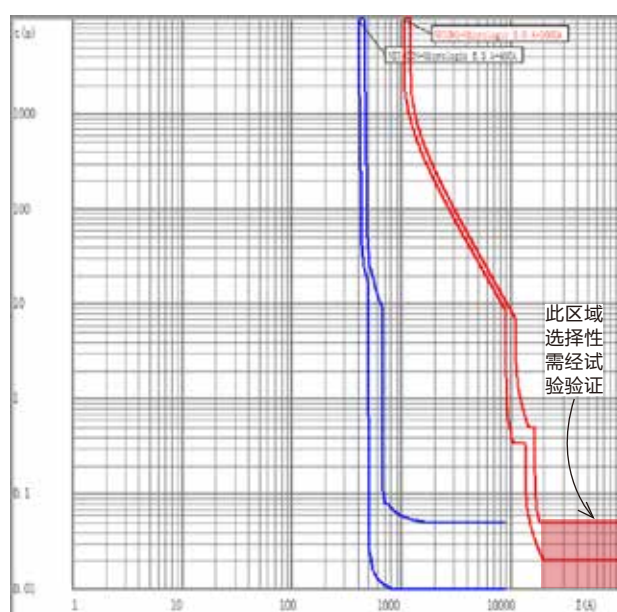


图 5.2 超过上级瞬动之后的选择性难判断

因此，A 类断路器通过短路短延时获得的选择性水平和 B 类相比是受限的，如果故障电流水平较

6 限流断路器与能量选择性

A 类断路器选择性配合的“其他方式”通常为利用断路器的限流和（或）快速分断及其衍生技术，并通过 GB/T14048.2-2020 附录 A 进行试验验证。

6.1 限流断路器

和熔断器具有限流特性一样，A 类断路器和部分 B 类断路器也具有限流特性。所谓限流断路器，根据 GB/T14048.2-2020 的定义，在规定的电流范围内能够阻止允通电流达到预期峰值的断路器，其限制允通 I^2t 值小于对称预期电流半个周波的 I^2t 值。

根据 GB/T14048.1-2012 的 2.5.19 术语定义，允通电流又称为截断电流，断路器在分断预期短路电流时，实际能够达到的最大电流瞬时值。

根据 GB/T14048.1-2012 的 2.5.18 术语定义，允通 I^2t 称为焦耳积分。为断路器分断预期短路电流过程实际产生的热应力。

例如，对于 400/440V 下 100kA 的预期短路电流，根据 GB/T14048.2-2020 约定的峰值系数，其预期峰值电流为 220kA，但经过断路器 NSX400 限流以后，实际的峰值电流仅有 40kA，而实际的有效值仅为 20kA，如图 6.1-1 所示。因为实际电流被大幅限制，所以焦耳积分也得到了明显的抑制，从预期的 $100 \times 10^6 A^2s$ 限制为 $2.8 \times 10^6 A^2s$ （预期能量按半个周波计算）。

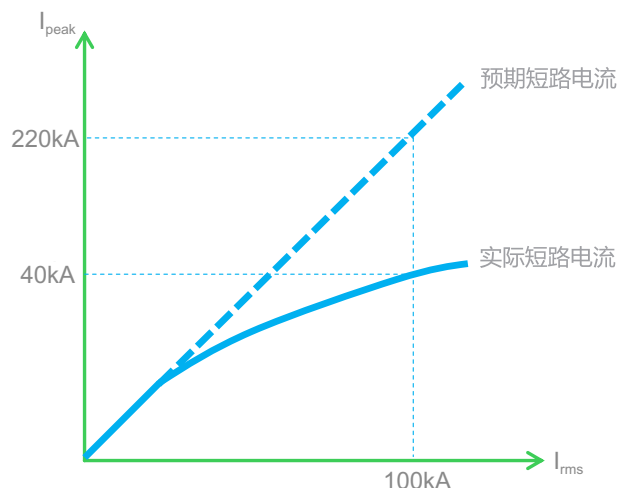


图 6.1-1 限流情况下预期电流峰值与实际峰值电流

断路器的限流通常是利用触头斥开和快速分断实现，触头斥开是利用短路电流产生的霍姆力和洛伦磁力，霍姆力是触点接触时因电流线收缩产生，洛伦磁力由分断单元载流导体产生，并可由触头结构或形状形成的载流回路来增强斥开力，例如 U 型的静触头结构在动静触头之间形成相反的载流回路有利于增强洛伦磁力，触头斥开后在动、静触头之间串联一段阻抗性电弧，双断点触头可产生两段串联电弧而具有更强的限流能力。ComPacT NSX、EasyPacT CVS 系列断路器因采用 U 型静触头和旋转双动触头而具有优异的限流特性，其每极的分断单元如图 6.1-2 所示。



图 6.1-2 NSX、CVS 每极分断单元结构

限流也可以通过快速分断实现，比如通过判断电流的微分（ di/dt = 电流上升的速度）或者依靠电动力作用在机构上直接解锁滑扣来实现。触头斥开限流的限流效果优于单纯的快速脱扣，因为触头斥开直接由电动力作用，而快速脱扣需要机构动作传动之后才能完成，限流常通过触头斥开和快速脱扣两种手段结合起来实施，这样方可大幅限制峰值电流和允通能量。如果只通过触头斥开限流而不快速脱扣分断，虽然可以限制电流的峰值和允通能量，但电弧温度和能量均很高，即使短暂的驻留也会对触头产生不可逆的灼伤，时间越长，灼伤程度越大。因此斥开限流的同时应尽可能地快速分断熄弧而不是仅斥开让电弧驻留一段时间以后通过短路瞬动保护动作再分断，以最大限度地减轻电弧对触头的损伤，并且快速动作进一步也限制了短路产生的允通能量。MasterPacT MTZ/MT 系列空气断路器的限流型既有通过快速分断也有触头斥开与快速分断结合的方式，空气断路器主要用于一级配电，通常以高短时耐受能力为基础的时间选择性实现与下级的选择性配合， $I_{cw}=100\%I_{cs}=100\%I_{cu}$ 时能够 100% 实现全选择性，但空气断路器也有 MasterPacT MTZ/MT L1 高分断低耐受的限流断路器，通过特殊设计的触头结构斥开限流和机械式瞬时超越脱扣器（机械滑扣式 DIN 保护）快速分断实现更强的限流，具备高分断高限流特性，如图 6.1-3 所示，也有只配备机械式瞬时超越脱扣器的高分断低限流特性的 MasterPacT MTZ/MT H3 型空气断路器。

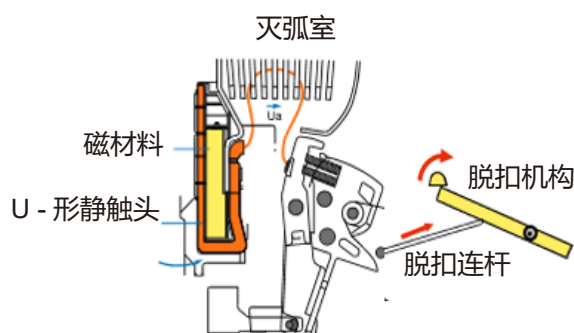


图 6.1-3 MT L1 型限流结构与快速脱扣机构

MTZ/MT L1 限流型的空气断路器主要用于多电源并列运行系统中由一级配电供电的设备的保护，侧重于限制允通电流和能量以更好地保护“末端”或下游线路及设备，这种场景下只要求高分断、低耐受，只需与上级满足选择性配合即可，而且限流使其与上级选择性配合更加容易，这也是有些场合采用限流型断路器更加适合的原因。

但作为二级配电核心元件的塑壳断路器，更多的是需要考虑与上级及下级之间的选择性配合，考虑到其本身是 A 类断路器，在触头斥开和快速分断实现限流的同时，可衍生出能量脱扣技术作为 A 类断路器实现选择性配合的“其他方式”之一。

6.2 断路器的能量脱扣

NSX、CVS 系列塑壳断路器分断单元具有独特专利设计的双旋转触头，在限流时多串联一段电弧，并且静触头采用 U 型结构通过洛伦磁力增加触头的斥开，相比单断点拍合式的断路器具备更加优异的限流特性。同时，内部搭载独有的 Reflex 能量脱扣系统，借助触头斥开后产生高能量的电弧汽化分断单元内部高分子材料，当能量汽化高分子材料在脱扣气腔内产生足够压力时，将直接推动“活塞”机构完成脱扣，在小于半波时间（10ms）内完成故障电流分断，这就是 Reflex 能量脱扣。

Reflex 能量脱扣作为独立的脱扣装置，相比电子脱扣器省去了测量、运算、比较和脱扣线圈动作环节，比热磁式断路器也缩短了脱扣动作传动链，

所以脱扣动作更快。不仅大幅限制了短路电流的峰值和允通能量，同时通过能量脱扣快速动作进一步减小允通能量。

触头斥开未必能够触发能量脱扣，触头斥开是能量脱扣的必要而非充分条件，也就是说只有触头先斥开产生串联电弧开始限流，并且限流的同时串联电弧产生的能量足够才能触发能量脱扣。脱扣的能量与短路电流斥开产生的电弧能量有关，动静触头斥开的阈值与触头之间的压力有关，触头压力又与断路器的额定电流有关，因此，能量脱扣的阈值相应地由断路器的额定电流 I_n 决定。

能量脱扣作为一种特殊的脱扣方式，独立于断路器正常的过载、短路短延时和瞬动脱扣保护，类似于电流不可调的瞬动保护，但与常规保护由脱扣器动作推动机构脱扣不同，能量脱扣由断路器分断单元直接动作推动机构脱扣。常规的瞬动脱扣固有延时 $\geq 10\text{ms}$ ，全分段时间 $\leq 50\text{ms}$ ，电流整定阈值 $\leq 15I_n$ ，而能量脱扣阈值为 $25I_n$ ，脱扣电流高于瞬动保护阈值，分断时间 $< 10\text{ms}$ ，电流和时间均不可调，如图 6.2 所示，绿色区域为 NSX 断路器的能量脱扣区域。

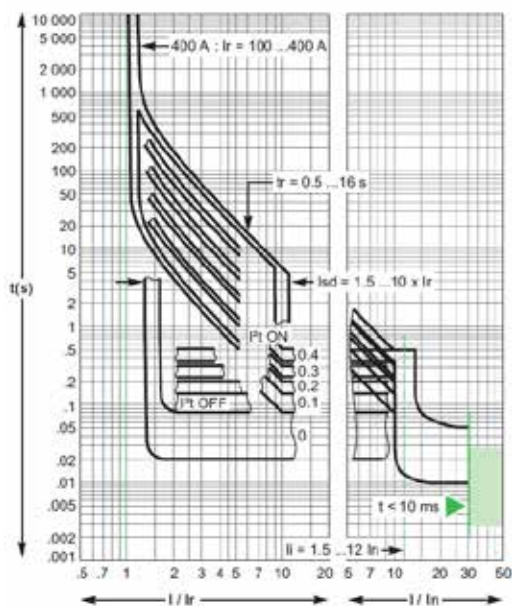


图 6.2 断路器能量脱扣范围 - 绿色区域

6.3 能量选择性

由前面 5.2 节分析可知，超出上级耐受能力（瞬动保护或者后备保护）之后的选择性通过时间 - 电流特性曲线比对或者理论计算已经无法判断。而 NSX、CVS 系列塑壳断路器的能量脱扣作为一种独立的脱扣方式，对于超过上级耐受之后依然可通过上下级断路器的能量脱扣实现选择性。

在下级下游发生短路故障时，上下级虽然同时检测到故障电流，但上下级限流以后的短路电流产生的能量仅能触发下级断路器能量脱扣，而不足以触发上级能量脱扣。因为下级额定电流较小而限流能力更强，即使上级断路器触头斥开限流，但上级触头斥开产生的能量不足以引起上级能量脱扣，更重要的是，即使上级触头斥开时从实际电流角度衡量上级断路器的瞬动保护会动作脱扣，但因下级的能量脱扣全分断时间小于上级瞬动的固有动作时间，下级能量脱扣以小于上级瞬动固有动作时间的速度快速切除故障，这样，上级的瞬动脱扣因实际故障电流持续时间不足而来不及脱扣，上级的能量脱扣因短路产生的能量不足也无法脱扣，因此对于下级下游的故障只有下级能量脱扣而跳闸，从而实现了串联上下级断路器之间的能量选择性。

能量脱扣也未必一定能够实现全选择性，如果短路电流足够大，即使经过上下级限流，在上下级触头均斥开产生的能量就足以引起上下级断路器同时能量脱扣，此时也将失去能量选择性。在上下级断路器额定电流之比 ≥ 2.5 倍时，通过能量脱扣可以实现全选择性，因为经上下级限流以后的故障电流仅能够让下级能量脱扣但不足以导致上级能量脱扣。

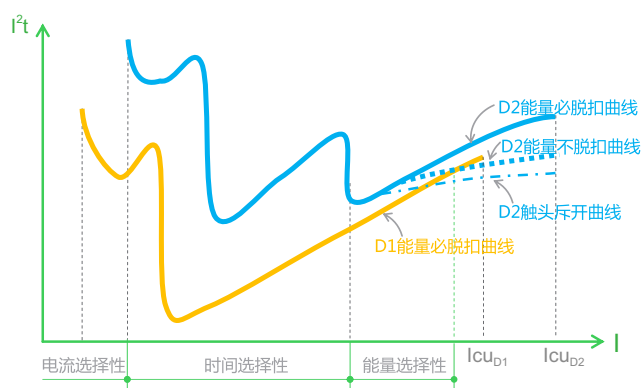


图 6.3 断路器时间、电流、能量选择性

因此，能量选择性是由于短路以后上下级断路器额定电流的差异，使得同一短路电流在上下级触头斥开各自产生能量，但产生的能量仅能使下级脱扣，而不足以使上级脱扣，从而可以实现选择性。在上下级断路器额定电流之比 ≥ 2.5 倍时，通常能量脱扣可实现全选择性。

7 塑壳断路器短路短延时的应用

7.1 兼顾灵敏度提高选择性

选择性类别 A 的塑壳断路器具有一定的短时耐受能力，虽然时间选择性水平难以达到短时耐受以上，但在预期短路电流小于短时耐受能力时，借助塑壳断路器短时耐受能力可以提高选择性配合水平（塑壳的短时耐受能力高于瞬动最大整定值）。

因此，对于预期短路电流较小的情况，可将上级断路器的瞬动保护整定设置大于下级预期电流（ $I_{li_上级} > I_{sc_max}$ ），此时便为全选择性，此种情况的选择性无需试验验证，通过特性曲线比对或者理论计算即可，如图 7.1-1 所示。常用于预期短路电流较小的馈线回路中上下级之间的选择性配合，比如在塑壳断路器与塑壳断路器、塑壳断路器与微型断路器之间实现选择性。

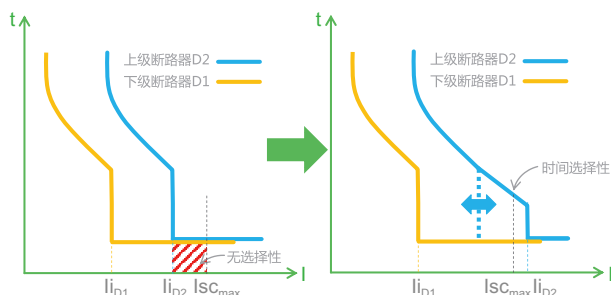


图 7.1-1 高瞬动设定实现全选择性

虽然此种情况的选择性通过将瞬动设定值调大容易满足，但同时也必须考虑上级断路器对介于上下级之间短路保护灵敏度的问题。

短路电流计算时，考虑到短路模型和系统参数的不同，同时需计算最大短路电流和最小短路电流：

- 最大短路电流，用于选择电气设备的短路容量或额定值以校验电气设备的动稳定、热稳定及分断能力，整定保护装置，满足选择性配合。

- 最小短路电流，用于选择熔断器、整定保护定

值或作为校验继电保护装置灵敏度和校验感应电动机启动的依据。

从选择性的角度出发，希望上级的瞬动设定越大越好，甚至瞬动保护整定到最大，这样上下级的选择性极限至少可以提升至上级断路器的瞬动保护整定值。

但从保护灵敏度角度考虑，在计算上下级之间最小短路电流时，上级的瞬动保护不宜设置过大。因为相比于最大短路电流计算，最小短路电流不确定性较高，重要的原因之一是短路电流理论计算的边界条件不考虑电弧的阻抗，但实际情况如文献[10]、[11]、[12]所提及，电弧性短路发生的概率往往高于金属性短路，从笔者参与处理的低压配电系统短路故障来看，燃弧性短路明显多于金属性短路，这与低压系统的结构、短路故障的起因以及故障演化有着不可分割的联系。由于电弧阻抗较高以及电弧受电动力弧吹及自身运动与跳转的影响，如文献[10]、[11]、[12]、[13]、[14]所述，实际的短路电流要比理论计算最小短路电流偏小。如文献[14]所述，燃弧性短路幅值仅为同等条件下金属性短路的38%，因此，诸如电弧性故障之类的小电流故障不足以触发瞬动保护装置动作切断电源，需等故障演化扩大电流增加或持续较长的时间由过载保护动作切断电源，然而，即使小电流电弧性故障，因电弧高温、高能量的特性，较长时间延时动作意味着更大的破坏力。所以从灵敏度角度考虑，在躲过冲击性电流（例如隔离变压的励磁涌流、电动机的启动电流峰值）的前提下，断路器瞬动保护整定应尽可能小，以覆盖最小短路电流故障的保护。

所以，如图 7.1-2，短路保护设定应满足以下两个条件：

条件 1：选择性角度—— $I_{sc_maxA} \leq 0.8 I_{li_D2}$

条件 2：灵敏度角度—— $I_{SC_{minB}} \geq 1.2I_{D2}$ ，

然而，仔细分析会发现这两个条件之间难以较好地协同，考虑到下级 D1 下游 A 处最大短路电流 $I_{SC_{maxA}}$ ，当上级 D2 瞬动设置较大时，容易满足上下级选择性提升的需求。但对于介于上下级之间的 B 点短路，在最小短路电流 $I_{SC_{minB}}$ 时，D2 的灵敏度可能会不足，如果考虑电弧性短路，灵敏度会面临很大的挑战。反之，当上级 D2 瞬动设置较小时，B 点短路灵敏度容易满足，但 A 点短路电流较大时又会失去选择性。

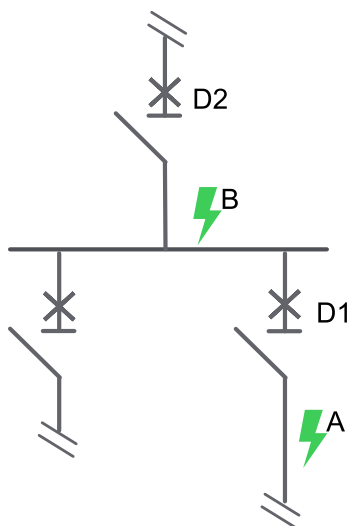


图 7.1-2 短路保护灵敏度与选择性

采用短路短延时保护功能可以实现灵敏度与选择性之间协调统一，相比热磁或者电子两段式保护脱扣器，三段式塑壳断路器可以将上级瞬动整定大于最大预期短路电流并且通过短路短延时的时间级差来实现全选择性，对于最大预期短路电流大于上级瞬动保护的选择性，可以进一步通过关闭瞬动或者通过能量脱扣进一步提升。同时，对于灵敏度，可以通过调低短延时整定电流来满足，避免小电流短路故障由动作时间较长的过载保护动作，这样既兼顾灵敏度同时也不失选择性，如图 7.1-3 所示，通过时间-电流特性曲线可以看出，采用三段式保护时，对于 $I_{SC_{max}} < I_{D2}$ 的情况，既可以实现选择性配合，也可以满足灵敏度的要求。

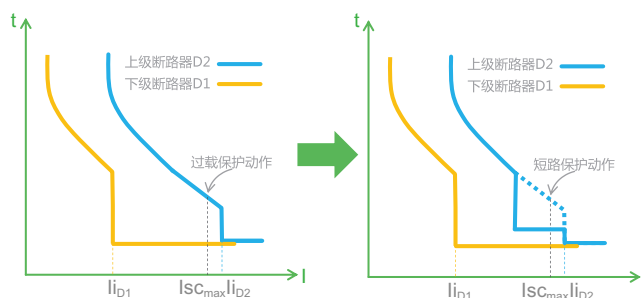


图 7.1-3 短路短延时兼顾灵敏度但不失选择性

7.2 提升电流冲击性回路（电动机）短路保护灵敏度

鼠笼式电动机直接启动时会存在 7-8 倍左右的启动电流，启动峰值为 2~2.5 倍，理论最高可达 2.83 倍，通常启动电流峰值按 14 电动机额定电流考虑。为了保证电动机正常的启动，断路器的过载电流整定应略大于电动机的额定电流，且在启动电流倍数下的过载脱扣时间应大于电动机的启动时间，通常按脱扣等级选取。同时，断路器的瞬动保护也必须躲过电动机启动的峰值电流。工程实践中，电动机保护常选用热磁式断路器或者带两段式电子脱扣器的断路器，为确保能够躲过启动峰值电流，瞬动保护设置常设置为 10~14 倍的电动机额定电流。然而，正因如此，瞬动保护对于电动机及其供电回路发生阻抗性短路、燃弧性短路难以覆盖，尤其是远距离、小截面保护导体的接地故障，灵敏度往往难以满足，正如文献 [15] 校验接地故障灵敏度的情况。笔者参与分析的工程案例中，曾多次遇到电动机回路接地故障（相对地短路）电流小于电动机启动电流峰值而瞬动保护拒动的情况，或由过载保护以较长延时切除造成事故扩大化，抑或由上级接地故障保护越级动作而引起供电中断范围扩大的情况。正如文献 [12] 所述，燃弧性接地故障的电流小但因电弧的高温破坏力强，所以用于电动机回路阻抗性短路保护和兼顾接地保护时，两段式保护断路器的瞬动保护灵敏度可能不能满足。因此，对于电动机回路阻抗

性短路和接地故障由瞬动保护灵敏度不足的情况，可以通过三段式保护塑壳断路器的短路短延时来弥补，既能够保证电动机正常启动，也能够避免灵敏度不足增加此类故障给电动机及其供电回路及元件造成的危害和风险。正如《工业与民用配电设计手册》第四版 11.2.4.3 推荐提高 TN 系统故障防护灵敏性的措施之一“采用带短延时过电流脱扣器的断路器。断路器的瞬时过电流脱扣器不能满足接地故障要求时，则可采用带短延时过电流脱扣器的断路器作间接接触防护。”

短路短延时既能够躲过电动机启动时的启动电流，又能够提升断路器在电动机回路中阻抗性和电弧性短路保护的灵敏度，不仅提升了短路保护的灵敏度，也在一定程度上提升了接地故障保护的灵敏度（注：因接地故障的特殊性，即使短路短延时也未必能完全覆盖接地故障，即便是在 TN-S 系统中，短路短延时并不能完全替代专有的接地故障保护 GFP，这里暂不赘述），并且相比两段保护过载动作切除阻抗性短路的情况（此时故障可能持续数秒到数十秒），大幅限制了保护装置的短路允通能量，对于减轻相间短路和相对地短路引起的破坏力和降低潜在风险大有裨益。如图 7.2 所示，短路短延时不仅能够保障正常的直接启动，也满足灵敏度的要求，减少了原来两段保护多余的允通能量，图中阴影部分。

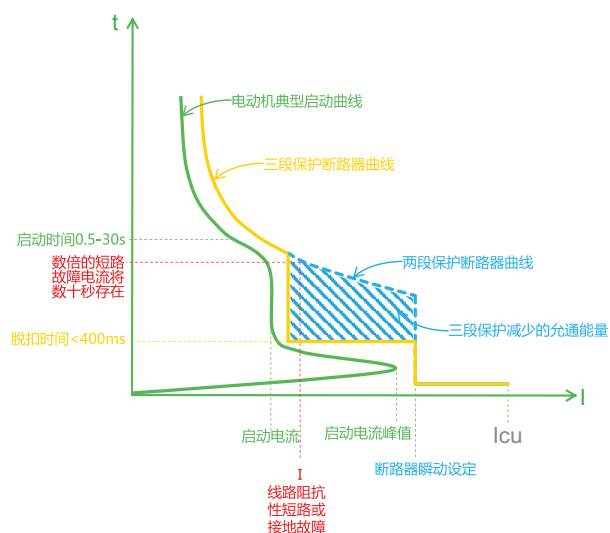


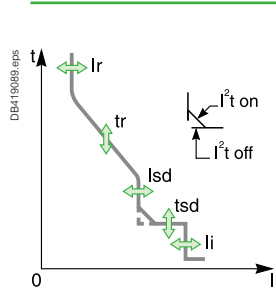
图 7.2 短路短延时提升电动机回路短路保护灵敏度

控制单元选择指南

配电系统保护

ComPacT NSX MicroLogic 5/6E脱扣单元

保护 MicroLogic 5/6E 脱扣单元



额定电流 (A)	In(40° C) ^[1]	40 ^[2]	100	160	250	400	630
断路器	ComPacT NSX100	●	●	-	-	-	-
	ComPacT NSX160	●	●	●	-	-	-
	ComPacT NSX250	●	●	●	●	-	-
	ComPacT NSX400	-	-	-	-	●	-
	ComPacT NSX630	-	-	-	-	●	●

L 长延时保护

脱扣电流 (A)	Ir=...	刻度盘设定值	取决于脱扣单元额定值 (In) 和刻度盘设定值的数值									
1.05 ~ 1.20Ir		In=40A lo=	18	18	20	23	25	28	32	36	40	
		In=100A lo=	40	45	50	55	63	70	80	90	100	
		In=160A lo=	63	70	80	90	100	110	125	150	160	
		In=250A lo=	100	110	125	140	160	175	200	225	250	
		In=400A lo=	160	180	200	230	250	280	320	360	400	
		In=630A lo=	250	280	320	350	400	450	500	570	630	
		按键设置	小于刻度盘上设置的最大值时, 以 1A 为调节单位进行微调									
延时 (s)	tr=...	按键设置	0.5	1	2	4	8	16				
精度 0 至 -20%		1.5xIr	15	25	50	100	200	400				
		6xIr	0.5	1	2	4	8	16				
		7.2xIr	0.35	0.7	1.4	2.8	5.5	11				

热记忆 脱扣前和脱扣后 20 分钟

S 短路短延时保护 (延时时间可调)

脱扣电流 (A)	Isd=Irx...	MicroLogic 5 的刻度盘设置	1.5	2	3	4	5	6	7	8	10
精确 ±10%		使用按键, 以 0.5xIr 为调节单位进行微调									
		MicroLogic 6 的按键设置在 1.5xIr 至 10xIr 的范围内, 以 0.5xIr 为调节单位进行调节									
延时 (s)	tsd=...	按键设置 I2Off	0	0.1	0.2	0.3	0.4				
		I2On	-	0.1	0.2	0.3	0.4				
		非脱扣时间 (ms)	20	80	140	230	350				
		最大分断时间 (ms)	80	140	200	320	500				

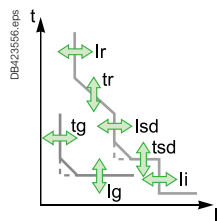
I 瞬时保护

脱扣电流 (A)	li=Inx	li=Inx 按键设置	在 1.5xIn 至 15xIn(40 至 160A), 至 12xIn(250 至 400A) 或至 11xIn(630A) 的范围之外, 以 0.5xIn 为步长进行调节									
精度 ±15%												
		非脱扣时间	10ms									
		最大分断时间	当 I>li 时为 50ms									

G 针对 MicroLogic 6E 的接地故障保护

脱扣电流 (A)	Ig=Inx	刻度盘设定值										
精度 ±10%		In=40A	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	Off	
		In>40A	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	Off	
		使用按键, 以 0.05A 为调节单位进行微调										
延时 (s)	tg=...	按键设置 I²Off	0	0.1	0.2	0.3	0.4					
		I²On	-	0.1	0.2	0.3	0.4					
		非脱扣时间 (ms)	20	80	140	230	350					
		最大分断时间 (ms)	80	140	200	320	500					

测试 Ig 功能 内置



[1] 如果脱扣单元用于高温环境, 则 MicroLogic 设置必须考虑到断路器的热极限, 详情请参考温度降容表。

[2] 对于 40A 额定电流, 不可进行中性线 N/2 调节。

8 区域选择性联锁

如前面所述，理想的配电系统应是由离故障点最近的电源侧保护以最快的速度动作切除自身或者串联组合分断能力范围内的故障。虽然 B 类断路器通过时间级差配合能够方便地实现上下级之间的选择性，且工程实际中普遍采用，但与限流断路器切除相同预期短路电流相比，B 类断路器在切断短路电流时产生的允通能量往往高出至少一个数量级，因为无论故障发在什么位置，由最近的断路器切除时，时间选择性的设置均会使断路器按照预先设定的延时动作。离电源侧越近，短路电流越大，断路器预设的延时时间因考虑级差也越长，相应地断路器的允通能量也越大，因短路产生的热效应、电动力和电磁干扰对系统产生的危害就越大，根据 GB/T16895.5-2012 第 434.5.2 的规定校核导体热稳定时，将存在因热稳定不足放大导体截面的可能，这无疑是一种浪费。另外，考虑到燃弧性短路故障时，燃弧的破坏力也随时间增加呈几何级数的增加。即使电气设备满足短路条件下的动、热稳定性能，但由于短路电流持续时间长，也依然增加了母线变形、移位、绝缘件支撑结构微裂纹、损坏和电缆绝缘老化等风险发生的概率，并衍生出二次故障的风险。

所以，对于短路延时可调的断路器，为了实现上下级的选择性，需要设置一定的延时时间实现时间上的级差配合，但从减少允通能量，减轻短路电流破坏力的角度，断路器应尽可能快的脱扣动作。对于 B 类断路器，上游断路器延时设置太短，上下级之间时间级差又没有空间，难以实现时间选择性配合，上游断路器延时设置太长，介于上下级之间的故障切除时间又太长，存在高允通能量带来的风险，而解决这一矛盾最佳的方案是上下级之间采用逻辑选择性配合。

电子式断路器上下级之间的逻辑选择性通过上下级之间的逻辑信号判断，实现下级下游的故障上

级延时不动由下级瞬时切除，对于介于上下级之间的故障，上级因无下级给出的闭锁信号不再延时而瞬时切除故障，这样对于任意位置的故障，均由离故障最近的上级断路器以瞬动的动作时间切除，这样就可以大幅缩短预设的短路延时时间且不失选择性。

如图 8.1 所示，对于单电源配电系统，最下级断路器 D1&D2 设置联锁信号总线，将本级配电的信号统一发送给紧邻上级断路器 D3，D3 将联锁信号输出给到其上级 D4，逐级实现联锁信号的连接。对于 A 处的短路故障，D1 和 D2 没有检测到过电流，D3 和 D4 同时检测到过电流，D3 发送联锁信号给上级 D4，D4 接收到信号时延时，但 D3 没有接收到来自 D1 和 D2 的信号而瞬时动作（0s 延时），即便它设置有 0.2s 的延时。

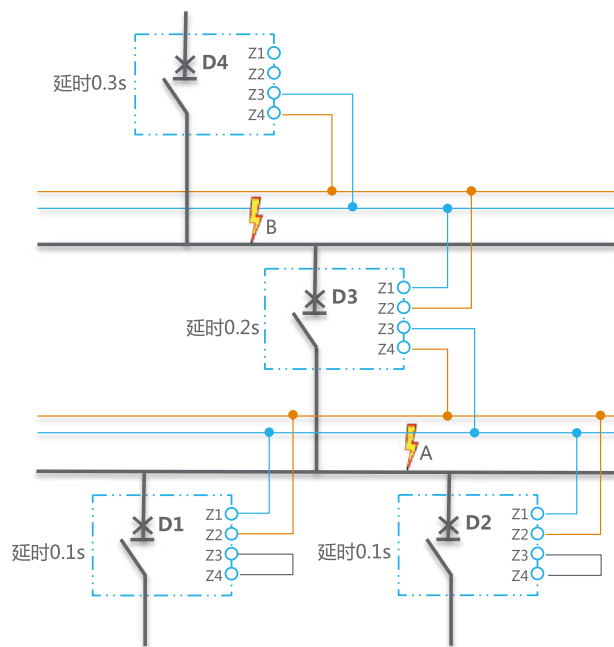


图 8.1 单电源低压配电系统的逻辑选择性

对于如图 8.2 所示的多电源中两进线一母联系统，分列运行时，D1 和 D2 分别与进线断路器 D4 和 D5 联锁信号传输实现逻辑选择性。当某一路进线失电母联断路器合闸时，母联断路器 D3 将介入原来

的 D1 和 D4 或 D2 和 D5 之间，因此 D1、D2 的联锁信号也要输入到 D3，D3 的联锁信号输入到 D4、D5，并且 D1、D2 和 D3 及 D4、D5 要设置时间级差实现逻辑选择性。逻辑联锁信号只能向影响其自身选择性的上级断路器发送，不能向其它非受影响断路器发送，比如，D1 的联锁信号只能向 D4（母联分闸时）或者 D3 发送（母联合闸时）。母联未合闸时，为了避免下游短路故障 A 时 D1 的联锁信号干扰 D5 对于其自身下游故障 B 的联锁信号判断，防止 D5 不必要的延时，应在联锁回路加入二极管识别联锁信号的闭锁范围。

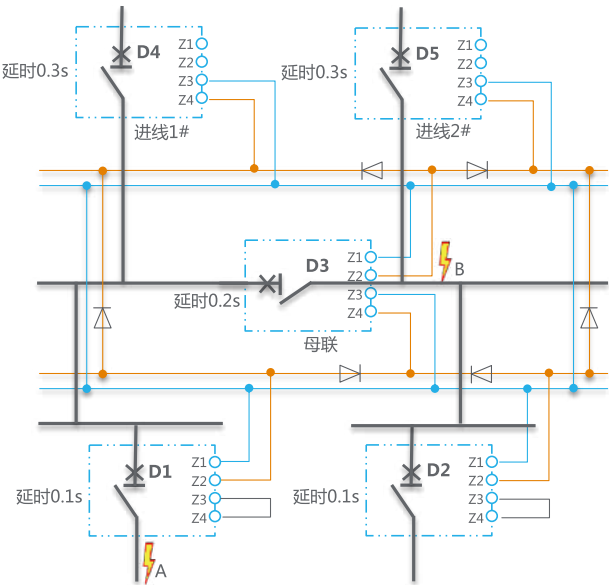


图 8.2 多电源低压配电系统的逻辑选择性

假设存在如图 8.3 所示的系统拓扑图，各断路器保护参数如图中所示，对于不同点的短路故障，在紧邻上级断路器保护时，有区域选择性联锁和无区域选择性联锁对于同样故障电流允通能量存在明显区别，如表 8 所示，越靠近电源的短路故障，区域选择性联锁对允通能量的限制幅度越明显。

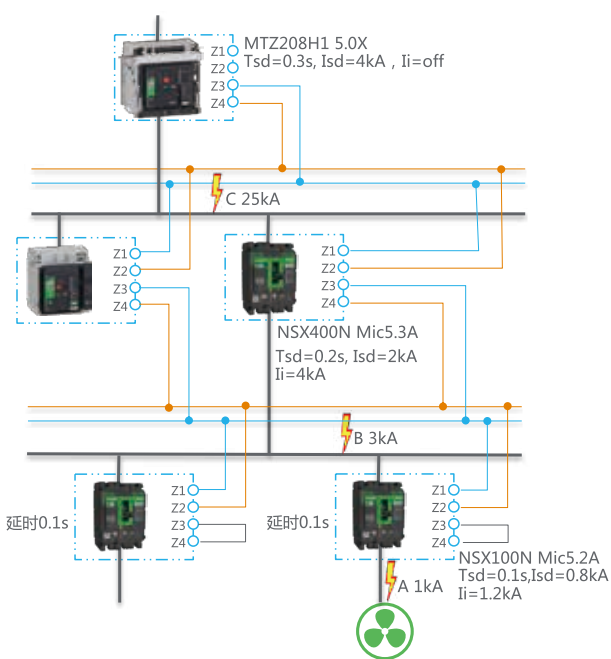


图 8.3 典型低压系统部分拓扑图

表 8 有无区域选择性联锁允通能量的对比

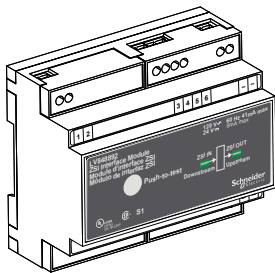
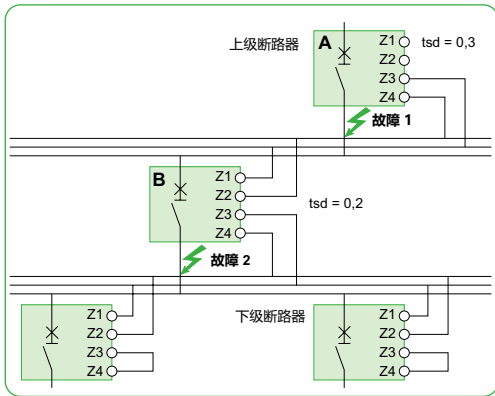
故障		无 ZSI		有 ZSI		允通能量减少百分比
位置	电流 A	动作时间 S	允通能量 I^2t A ² s	动作时间 S	允通能量 I^2t A ² s	
A	1000	0.1	1×10^5	0.1	1×10^5	0%
B	3000	0.2	18×10^5	0.05	$<4.5 \times 10^5$	75%
C	25000	0.3	1875×10^5	0.05	$<312.5 \times 10^5$	83%

注：计算时，以断路器动作时间为基准，忽略断路器动作时间误差的影响。

因此，ZSI 区域选择性联锁能够显著减少 B 类断路器时间选择性人为设置延时所带来的允通量。即使瞬动关闭，在发生短路时，若未收到下级给出的闭锁命令，只要达到电流动作阈值，则紧邻故障的上游断路器无延时立即脱扣，在保障上下级时间选择性的基础上，能够优化缩短短路电流持续的时间，大幅限制了短路产生的允通能量且不失选择性，降低对设备和系统产生的危害和风险。Master PacT/EasyPacT 全系列空气断路器及 NSX 系列塑壳断路器的 Mic5, 6, 7 脱扣器均标配 ZSI 功能。采

用 ZSI 区域选择性联锁时，故障切除均以瞬动的速度，低压进线断路器无延时动作，因此也提升了低压进线断路器与中压熔断器选择性配合的极限。

值得一提的是对于电流较大的短路故障，A 类断路器的能量脱扣也具有区域选择性联锁的能量限制效果，因为下级下游的故障下级以能量脱扣切除，而介于上下级之间的故障，由于缺少下级限流的作用，故障能量足以触发上级断路器能量脱扣实现快速动作。



区域选择性联锁 (ZSI)

ZSI是一种在短路或接地故障的条件下，旨在减轻故障对系统设备的影响。通过预设的保护配合来减少故障跳闸时间同时并保持选择性。所有Micrologic X控制单元都标配ZSI区域选择性联锁功能。

ZSI功能与短路短延时保护和接地故障保护相联系。每个短路短延时保护和接地故障保护都提供1个ZSI输入。

控制单元检测到故障的时候会向上级发送一个信号并且检查从下级来的信号。如果下级有信号传来，断路器会在整个脱扣延迟时间内保持合闸。如果下级没有信号，断路器会无视脱扣延迟立即打开。

区域选择性联锁可以在任何类型的Masterpact MTZ之间实现。当ZSI连接除Masterpact MTZ以外的断路器时，可能需要使用ZSI接口模块 (RIM)。

故障 1

只有断路器A检测到故障。因为没接收到下级信号，断路器无视了0.3s脱扣延迟立即打开。

故障 2

断路器A、断路器B检测到故障。断路器A接收到来自断路器B的信号，并在0.3s脱扣延迟时保持合闸。断路器B没接收到下级信号，无视了0.2s的脱扣延迟立即打开。

设备互连限制

- 最多可将15个上游设备连接到ZSI输入 (Z1-Z2)。
 - 最多可将15个下游设备连接到ZSI输入 (Z3-Z4)。
- 如果需要增加更多设备，则需要一个ZSI接口模块 (RIM)

ZSI接口模块 - RIM (ANSI 78)

Masterpact MTZ配备Micrologic X的ZSI接口模块 (RIM) 在ZSI系统中具有三个目的:

- 提升了约束信号的电压电平
- 将约束信号转换，以兼容于其他施耐德电气断路器产品 (Masterpact MT, Compact) 以及Square D断路器产品
- 当在上游/下游之间组合不同代的设备时 (Masterpact MTZ, Masterpact MT, Compact)，它提供双重绝缘，以满足IEC标准的要求。

在ZSI系统中，约束信号的电压电平为了激活电子脱扣装置上的时间延迟必须保持在一定的电平上。如果限制信号太弱，无法激活延时功能，所有感受到故障的设备都会无视延迟而脱扣。

限制信号的电压电平可能无效，原因如下：

- 约束线长度超过300米
- 设备向太多设备发送约束信号
- 不同电子脱扣系统之间具有不同的信号电平。

如果约束线长度超过300米，沿着控制线的电压降会下降，削弱约束信号，直到它不再能激活上游设备的时间延迟。如果导线长度必须超过300米，则必须放置RIM模块来提升约束信号的电压电平。

另外，如果上游断路器的数量超过15，则需要RIM。

有关RIM组合的更多详细信息，请参见ZSI接口模块介绍页。

RIM模块只适用于额定工作电压[Ue]为最高690V AC 50/60 Hz的电气系统。

特性

- 电源DC：24 V DC +25%-20%，6 mA。
- 安装在配电柜中时周围最高运行温度：-35°C至75°C。
- 符合标准：IEC 60950-1，CISPR 22，CISPR 24，UL 489，UL489SE。
- 依据LVD (低压指令) / IEC 60950-1的CE标志。

连接和安装

- 接线端子，跳线和35mm DIN安装导轨 (IEC/EN 60715)。
- 双绞线，编织屏蔽，300 V AC，14 AWG - 2.5 mm² / 22 AWG - 0.4 mm²。

9 断路器选择性配合的实现与增强

综合上述的分析和讨论，低压配电系统断路器的上下级选择性应当结合各种选择性的实现方法及特点，系统地梳理选择性实现的方法、原则和逻辑，客观地评估各种选择性的特点、注意事项和应用场合，通过合理的计算、选型、整定和设置，最大限度地实现理想的选择性配合，这对于提高低压配电系统供电的可靠性具有十分重要的意义。

根据 GB/T14048.2-2020 和 GB/Z25842.2-2012，对于断路器之间选择性判别的方法可分为理论分析和试验验证两类。

第一类、理论分析通常通过比较时间 - 电流动作特性曲线，也可以通过特性比较。

a) 时间 - 电流动作特性曲线比较适用于 A 类和 B 类断路器，可用于过载和短路区域的选择性配合判断，在区域内，动作特性无论在时间轴还是电流轴都应有明确区分，从而确保下级对上级动作具有选择性，并且同时应考虑到特性曲线的公差。

b) 特性比较主要用于 A 类断路器超过上级瞬动之后短路区域选择性的判断，通过比对下级峰值允通电流和上级瞬动峰值之间的关系确定选择性，值得注意的是，大多数情况下通过此种方法获得的选择极限较低，通过试验获得的实际限值明显高于此。

第二类、试验验证主要用于理论分析难以判断的情况，适用于 A 类断路器短路区域的选择性判断，并且也适合于后备保护情况下的选择性判断。

下面结合第 2 章节的选择性实现方法依次来判断过载、短路以及后备保护情况下断路器之间的选择性配合。

9.1 时间和电流方法实现选择性

时间和电流选择性是最常用的选择性手段，通过合理设置保护动作电流的阈值，调整保护的延时时间（过载保护和短路保护）甚至直接关闭瞬动保护后可以实现，判断的依据是上下级时间 - 电流特性曲线，在考虑断路器动作允差的基础上，确保下级断路器的最大动作特性曲线（最大分断时间与电流的关系曲线）位于上级断路器的最小动作特性曲线（最小脱扣时间与电流的关系曲线）的下方，且无交点或者重叠区域，即时间 - 电流动作特性无论在时间轴还是电流轴都有明确区分，便可以直观地判别是否具有选择性及选择性极限电流，无需再通过试验验证。

时间选择性和电流选择性可以单独使用，在低压配电系统中更多地是两者结合的方式实现选择性配合。

情况一：电流选择性

1. 过载区域

对于过载区域的选择性判断，考虑到断路器过载保护动作的误差，过载整定电流（可调）或断路器的额定电流（不可调）应合理设置以满足下级断路器的最大动作特性曲线位于上级断路器的最小动作特性曲线的下方。

根据 GB/T14048.2-2020 对 ACB 和 MCCB 脱扣特性的要求，反时限过电流断开脱扣器在基准温度下应满足如表 9.1 的脱扣动作特性。

表 9.1 反时限过电流断开脱扣器在基准温度下的断开动作特性（适用于 ACB 和 MCCB）

约定不脱扣电流	约定脱扣电流	约定脱扣时间
1.05 整定电流	1.3 倍整定电流	2h*

*当 $I_n \leq 63A$ 时，为 1h。

施耐德电气的 ACB 和 MCCB 断路器过载脱扣特性同时也满足 GB/T14048.4-2010，约定脱扣电流为 1.2 倍，过载脱扣特性满足电动机过载保护的要求。

因此，从电流的角度，若满足 $1.2I_{r\text{下级}} < 1.05I_{r\text{上级}}$ ，即满足 $I_{r\text{上级}} \geq 1.2I_{r\text{下级}}$ 便可实现过载区域的电流选择性。

GB/T14048.2-2020 规定了低过载倍数下约定脱扣与不脱扣的要求，对于断路器的过载脱扣特性曲线，要求通过补充试验验证是否符合制造商宣称脱扣特性曲线。

对于电子脱扣器，精度较高，误差一致稳定，满足 $I_{r\text{上级}} \geq 1.2I_{r\text{下级}}$ 可以实现整个过载区域的选择性配合。例如上级采用 NSX100H Mic5.2 100， $I_r=100A$ ，下级采用 NSX100H Mic5.2 100， $I_r=80A$ ，便可在过载区域实现电流选择性，如图 9.1-1。

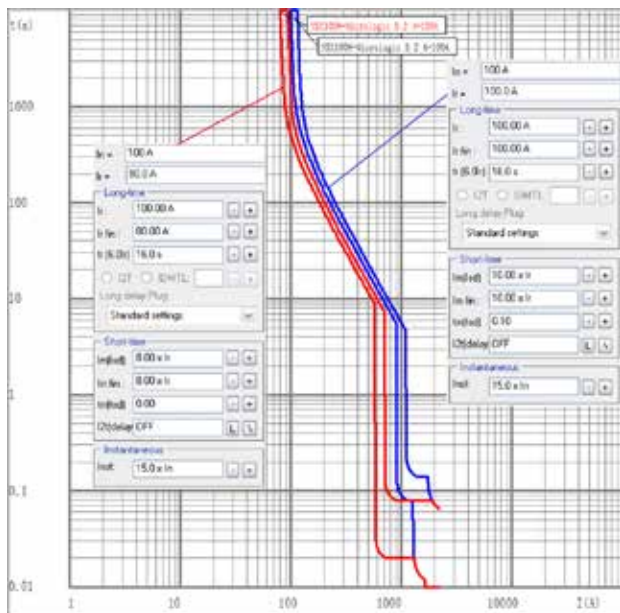


图 9.1-1 电子式电流选择性配合

对于热磁式的断路器，考虑到高过载倍数情况下时间 - 电流脱扣带较低过载倍数情况下稍宽，上下级过载保护电流之比系数应适当调整，需满足 $I_{r\text{上级}} \geq 1.6I_{r\text{下级}}$ 方可实现选择性配合。例如上级采用 NSX100H TM-D 100， $I_r=100A$ ，下级采用

NSX100H TM-D 63， $I_r=63A$ ，可在过载区域实现电流选择性。如图 9.1-2。

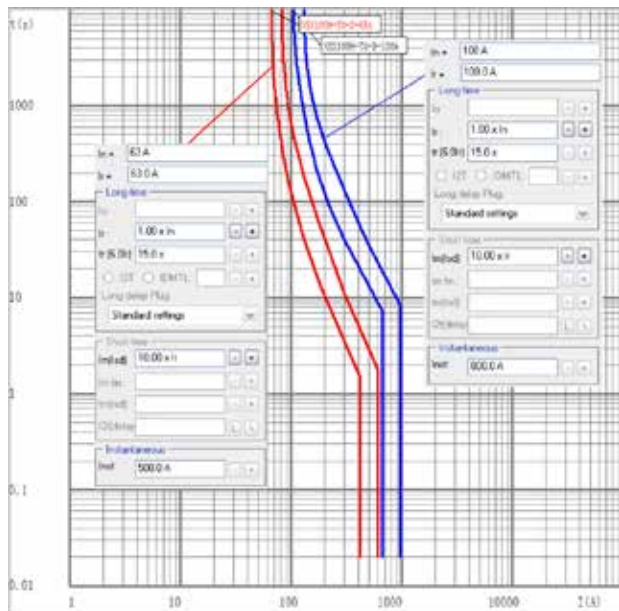


图 9.1-2 热磁式电流选择性配合

微型断路器 (MCB) 的脱扣特性与 ACB 和 MCCB 的脱扣特性有所区别，GB10963.1-2005 规定 MCB 约定不脱扣电流为 $1.13I_n$ ，约定脱扣电流为 $1.45I_n$ ，考虑到制造误差，当 $I_{n\text{上级}} \geq 1.6I_{n\text{下级}}$ 也可实现选择性。

2. 短路区域

根据 GB/T14048.2-2020，断路器短路保护电流误差为 $\pm 20\%$ ，因此，若满足 $1.2I_{li\text{下级}} < 0.8I_{li\text{上级}}$ ，即 $I_{li\text{上级}} > 1.5I_{li\text{下级}}$ ，那么时间 - 电流特性曲线理论判断时可明确区分，短路保护从电流角度可以实现选择性。比如图 9.1-1 和图 9.1-2 的示例，上下级之间短路保护 I_{sd} 或 I_{lm} 上级之比大于 1.5，可在短路区域实现电流的选择性。

根据 GB10963.1-2005，MCB 磁脱扣为额定电流倍数的范围，比如 C 型脱扣曲线磁脱扣的范围为 $5 \sim 10I_n$ ，因此，上下级额定电流之比应大于 2 倍。

对于上、下级均为单磁断路器，则上下级的选择性配合可以通过电流选择性来实现，如图 9.1-3，只要上级断路器的短路保护阈值 $>$ 下级断路器下游

回路最大的预期短路电流，则可以实现全选择性。这种选择性常见于末端配电，比如单磁断路器之间、微型断路器之间、微型断路器与两段式塑壳断路器之间短路条件下选择性配合。

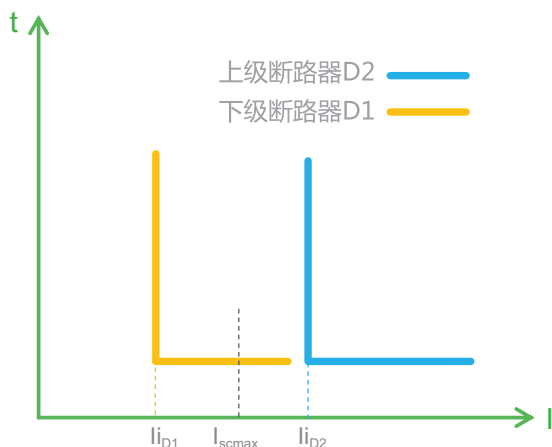


图 9.1-3 电流选择性配合

情况二：时间选择性

电流选择性实现全选择性的前提条件是下级下游的最大预期短路电流不超过上级断路器的瞬动保护设定，一旦超过上级的瞬动设定，从时间电流特性曲线上理论判断就已失去选择性了，此时，可以通过上级在此短路情况下延时 Δt 动作来实现时间选择性，如图 9.1-4 所示。

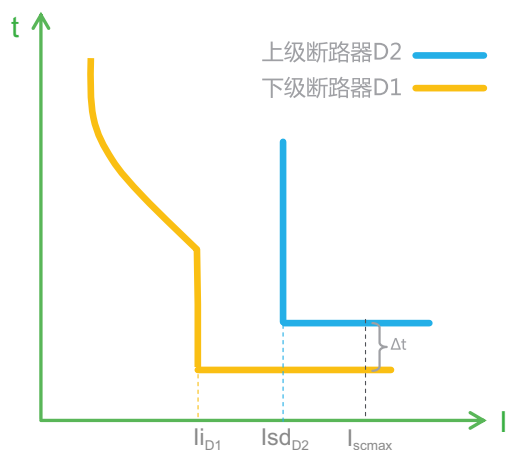


图 9.1-4 电流选择性配合

对于 B 类，由于其短时耐受能力较高，常被用作时间选择性，实际中，一、二级配电中下级的预期短路电流往往较大，多数情况下会超过上级断路器瞬动保护最大可设定值，此时可以通过关闭 B 类

断路器的瞬动保护，设置一定的动作延时时间，借助其高短路耐受能力来实现全选择性。上下级之间的时间级差参照 4.2 节设置。

对于 A 类，其短时耐受能力相对较低，短路电流小于上级瞬动最大设定值时能够实现时间选择性，在短时耐受范围内也可关闭瞬动，一定程度地提升选择性水平。

因此，为了实现较高的时间选择性水平，需要采用短时耐受能力较高的 B 类断路器，所以时间选择性常用于空气断路器之间以及空气断路器与塑壳断路器之间短路条件下的选择性配合。

情况三：电流+时间选择性

通常，实际的选择性往往是电流选择性与时间选择性两者结合的方式实现。

两段式保护的断路器，即除了短路之外还具备过载保护功能的断路器，通过合理设置，在上级断路器过载保护动作之前的过电流，由下级过载保护或者短路保护先动作。上级短路动作之前的过电流最多只可能触发上级过载保护动作，因下级短路保护会先动作，这样通过上下级保护动作之间一定的时间差来实现时间选择性。即使上级是两段保护的断路器，小电流时通过电流选择性、大电流时通过时间选择性，只要最大预期短路电流小于上级断路器的瞬动最大可设定值，两者相结合便可实现全选择性，如图 9.1-5 所示。

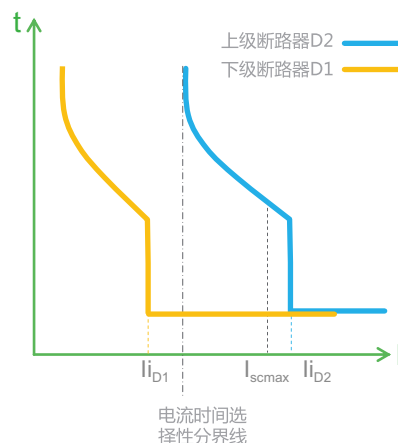


图 9.1-5 两段式保护的电流 + 时间选择性

两段式保护断路器通过设置较高的上级瞬动保护整定值来实现电流和时间选择性。而三段式保护的断路器（即过载 + 短路短延时 + 瞬动），虽然和两段式保护的选择性水平一样，但三段式保护借助短路短延时功能在实现时间选择性上更具有优越性。正如 7.1 节所述，这种优越性体现在：三段式保护断路器在短路条件下无需像两段式保护一样设置较高的瞬动保护整定，可将短路短延时保护电流设置为较低的整定值以提升短路保护灵敏度，减少允通能量，如图 9.1-6 所示。这对于上下级之间的短路故障，尤其是阻抗性短路或者燃弧型短路故障灵敏度可以大幅提升，避免因瞬动设定太大而对介于上下级之间的故障保护灵敏度不足的风险。

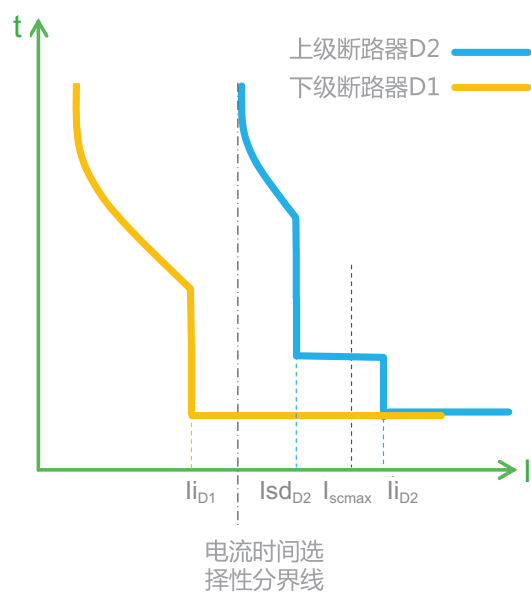


图 9.1-6 三段式保护的电流 + 时间选择性

因此，不能过渡地追求选择性而不顾保护的灵敏度，合理的保护整定应是兼顾保护的灵敏度和上下级的选择性，在能满足设备正常启动、躲过冲击电流及满足选择性的条件下，尽可能设置较小的保护设定值以满足灵敏度，这对于发挥和体现断路器的保护价值具有十分重要的意义。关于断路器保护的整定，出于篇幅考虑，本文暂不赘述。

电流、时间以及两者结合的方式通过比对时间-电流特性理论判断的选择性极限为上级断路器瞬动整定值的最大值或者短时耐受能力（瞬动关闭），

当下级下游的预期短路电流不超过上级瞬动保护整定值时，则可以确保实现全选择性。

对于 B 类断路器，可选择 $I_{cw}=100\%I_{cu}$ 的断路器，在关闭瞬动保护的情况下，通过合理设置上下级之间短路短延时时间的级差来实现全选择性，如图 9.1-7 所示。

如果 $I_{cw}<100\%I_{cu}$ ，则时间选择性极限仅到上级断路器的额定短时耐受电流，因此，对于 B 类断路器，预期短路电流应 $\leq$ 额定短时耐受能力方能实现全选择性，否则，如果预期短路电流高于上级断路器短时耐受能力，将触发断路器的瞬时超越脱扣器（集成瞬间保护）而失去选择性。根据 GB/T14048.2-2020 中 8.3.5.1 的注说明，瞬时超越脱扣器的作用是：当短路电流超过断路器短时耐受电流 I_{cw} 时，即使设置人为延时，断路器也将不再延时而以更快的保护脱扣动作，只有 $I_{cw}<I_{cu}$ 的断路器才需要具备瞬时超越脱扣器，MasterPact 和 EasyPact 系列空气断路器的瞬时超越脱扣器又称为 DIN 保护（DIN 是法语 Déclencheur INSTANTANÉ 的缩写），其动作快于正常的瞬动保护。

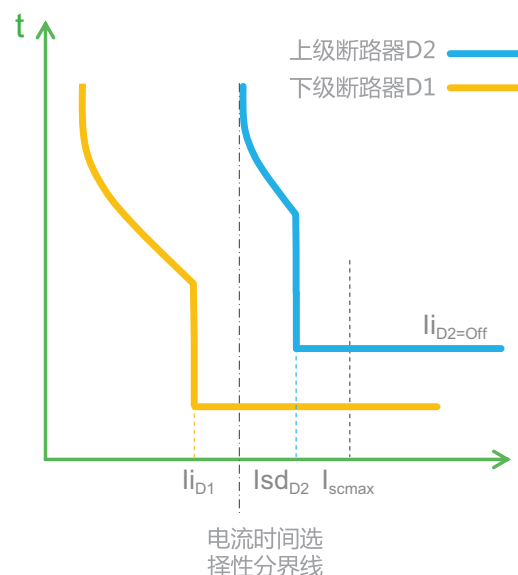


图 9.1-7 B 类断路器关闭瞬动保护实现全选择性

因此，B 类断路器选择时，仅从分断预期短路故障的角度考虑，只需断路器的额定短路分断能力 $\geq$ 最大预期短路电流即可，例如对于主母线直接馈出

- 中压熔断器配合特性(I^4t) HVF
- 非常反时限特性(I_t) VIT
- 标准反时限特性($I^{0.02}t$) SIT
- 定时限特性 DT

上述这些类型的反时限（定时限 DT 除外），均应符合 GB/T14598.151-2012 量度继电器和保护装置第 151 部分的要求，理论脱扣时间与电流之间满足如下关系式：

$$T_{trip} = \left(\frac{IDMTL t_{trip}}{\left(\frac{k}{\left(\frac{6}{1.125} \right)^{\alpha} - 1} + c \right)} \right) \cdot \left(\frac{k}{\left(\frac{I}{1.125 \times IDMTL I_r} \right)^{\alpha} - 1} + c \right)$$

式中：

- T_{trip} 断路器理论脱扣时间，s
- $IDMTL t_r$ 断路器脱扣设置时间，s
- I 断路器测量电流，A
- $IDMTL I_r$ 断路器脱扣设置电流，A
- k, α, c 选定曲线特性的常量，见表 9.2

表 9.2 IDMTL 曲线特性常量

脱扣曲线	k (s)	c (s)	α
SIT	0.14	0	0.02
VIT	13.5	0	1
EIT	80	0	2
HVF	80	0	4

IDMTL 曲线因斜率可调，因此可以与上下级实现更好的选择性配合，尤其是在过载保护层面。比如断路器与高压熔断器配合时，由于熔断器脱扣特性曲线斜率非常“陡峭”，与断路器默认的极端反时限选择性配合时存在一定困难，若下级断路器采用 IDMTL 的 HVF 曲线，便可方便地实现与高压的熔断器实现选择性配合。同时，采用 IDMTL 曲线后，下级断路器的短路延时保护可以设置较高的动作倍数，更易满足低压侧冲击性负荷保护的要求。

为了方便比对，将高压熔断器的电流折算到低

压侧，采用等效规格的熔断器，熔断器额定电流为 1250A，断路器额定电流为 800A，额定电流之比为 1.6。断路器的保护整定值为 $I_r=I_n=800A$ ， $T_r=12s$ ， $I_{sd}=10I_r$ ， $T_{sd}=0.1s$ ， I^2t_{on} ， $I_i=15I_n$ 。

如果采用常用默认的极反时限 EIT，断路器与熔断器的曲线存在交点，如图 9.2-1 所示，在交叉重叠区域过载不存在选择性。图示时间 - 电流特性曲线采用施耐德电气 Curver Direct 软件生成。

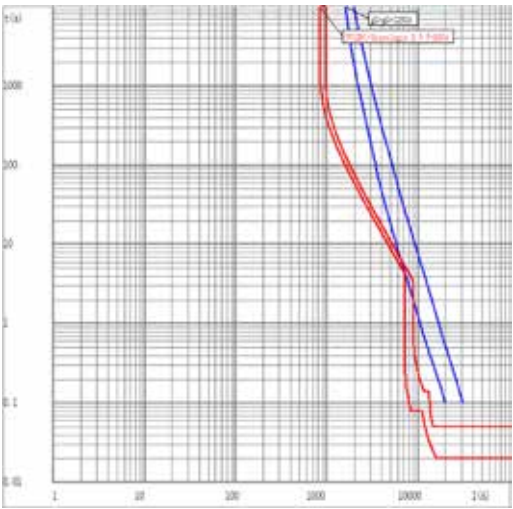


图 9.2-1 EIT 曲线与熔断器曲线的配合

保持断路器整定值不变，仅将过载反时限特性同样的设定值，但将脱扣特性由极反时限 EIT 改为熔断器配合特性的 HVF 曲线，断路器与熔断器的曲线不再相交，在过载区域存在选择性，如图 9.2-2 所示。

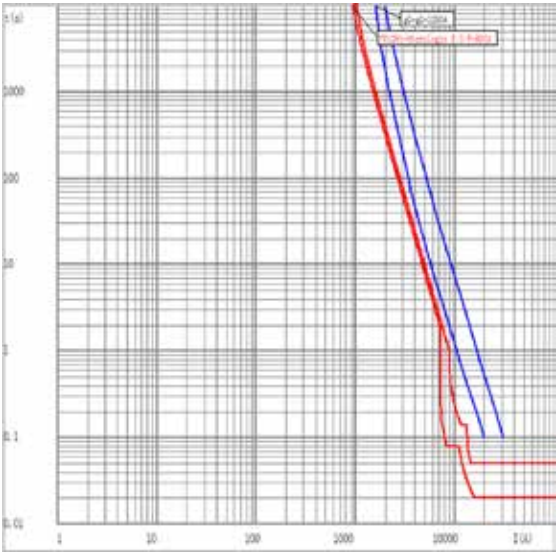


图 9.2-2 HVF 曲线与熔断器曲线的配合

需要提出的是采用了 HVF 反时限特性以后，对于高倍数的过载电流，断路器计算出的脱扣时间甚至可能会小于其短路短延时设置，此时，过载的脱扣时间会被强制为短路短延时的时间，并不会再小于断路器设置的短路短延时整定值。

另外，中压的继电保护装置过载保护有时会设置为定时限特性，此时如果下级断路器保护曲线默认为极端反时限 EIT，则过载范围不能实现选择性配合，将下级断路器的保护特性曲线由极端反时限改为定时限可以实现与中压定时限特性的选择性配合，如图 9.2-3 所示。

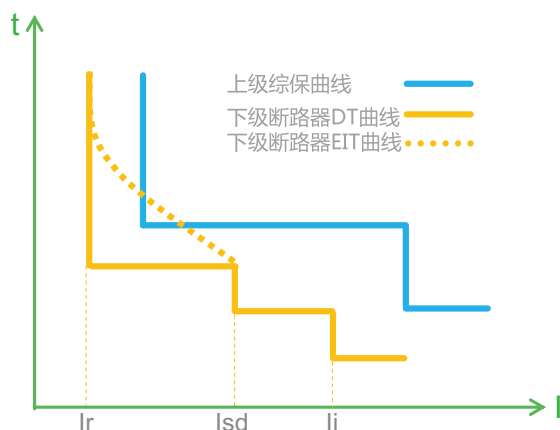


图 9.2-3 DT 曲线与综保定时限的配合

此外，一些对过电流敏感的负载，比如电力电子设备，采用定时限特性曲线，并设置较短的过载延时，轻微过载便可快速脱扣，可有效地保护这类过电流敏感性负载。

9.2.2 短路情况下反时限的应用

对于短路短延时，同样也可以设置反时限动作特性，断路器的反时限主要是用于与熔断器实现选择性配合，因为熔断器的短路保护特性始终为反时限，对于上级为断路器下级为熔断器的串联组合，如果上级断路器设置为定时限动作特性（ $I^2t=Off$ ），那么，短路电流较小时上下级之间会失去选择性，如果将上级的短路保护特性从定时限改为反时限（ $I^2t=On$ ），则上下级之间可以实现全选择性配合，如图 9.2-4 所示。

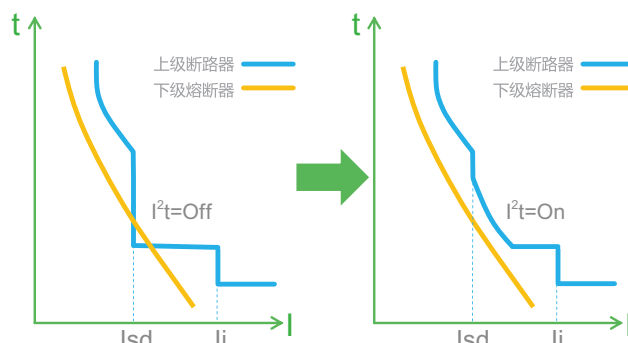


图 9.2-4 断路器与熔断器配合时的定时限与反时限

但是，对于断路器与断路器之间的短路情况下的时间选择性配合，若无其他特殊的考虑，推荐采用定时限脱扣特性以最大限度地限值短路能量，避免采用反时限特性，因为同样的延时时间设定，采用定时限特性和反时限特性对于选择性本身来说效果是一样的，但是反时限在动作时延时时间更长，这也意味着更大的允通能量，对下级的保护装置和电气系统产生相对更高的风险。

如图 9.2-5 所示，上下两级断路器同样可以实现选择性，但相比下级短路短延时采用定时限特性，上级采用反时限时允通能量高于定时限，右图阴影部分面积为多余的允通能量。因此，除非有特殊的需要，短路短延时的反时限应谨慎使用，断路器之间相互配合时应尽量采用定时限，可有效地限制短路条件下的允通能量。

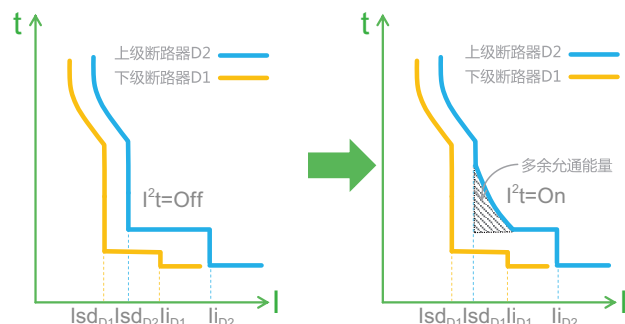


图 9.2-5 断路器配合时反时限增加允通能量

9.3 短路条件（无后备保护）

下限流提升电流选择性

由前面分析可知，对于 A 类断路器，也可以通过短路短延时和高阈值的瞬动保护、甚至关闭瞬动保护获得一定水平的时间选择性，超过上级瞬动保护，或者关闭瞬动的条件下超过短时耐受以后，此时的选择性无法再通过电流选择性、时间选择性或者两者结合的方式实现。但实际的情况是 A 类断路器及末端的微型断路器均具有一定的限流作用，并且考虑到小容量断路器自身不可忽略的阻抗，预期短路电流实际流过上级、下级断路器的电流低于上级断路器瞬动保护阈值，不足以触发上级断路器的瞬动保护甚至短路短延时保护，等于借助下级断路器的限流特性，将预期短路电流实际限制到了一个相对低的水平。这种选择性也是理论层面的特性比较实现的，属于 GB/T14048.2-2020 附录 A 的 A.5.2.2 和 GB/Z25842.2-2012 的 5.1.1.2.1 的情况。

GB/T14048.2-2020 条款 A.5.2.2 a) 断路器串联时可以通过峰值允通电流确定上下级断路器最低的选择性水平，当下级断路器的预期短路电流峰值允通电流小于上级断路器的瞬动整定的相应峰值时，可以确保选择性达到该预期短路电流，该预期电流因下级限流的作用其实际电流会至少小于上级断路器的瞬动设定，所以这种配合能够将 A 类断路器的选择性极限提高到上级断路器瞬动最大设定值以上。

为此，根据 GB/T14048.2-2020 7.2.1.2.4 的要求，在用作过电流配合时，制造商应提供允通电流与预期短路电流的函数关系曲线，也应提供 A 类断路器及具有瞬时超越脱扣器的 B 类断路器的允通 I^2t ，这是因为无论是 A 类断路器还是具有瞬时超越脱扣器的 B 类断路器，均具有限流作用，可以以此函数关系为参照判断断路器选择性配合的极限。

在额定电流级差较大时，即使理论上预期电流可能会让上级塑壳的瞬动动作，但是实际中因为下

级微型断路器较强的限流能力，将预期短路电流实际限制到了上级瞬动动作阈值以下，这样选择性极限便获得了提升。正因为如此，末端配电的微型断路器与上级塑壳断路器之间“天然”地具备这种选择性提升的基础，因此，如 GB/Z25842.2-2012 5.1.1.2 注所述，MCB 相对于 MCCB 一般情况下具有高选择性。

例如，下级断路器为 iC65N16A，根据图 9.3-1 所示的预期短路电流与允通峰值电流的关系曲线，2kA 预期电流经过 iC65N16A 限流之后实际的允通峰值为 1.8kA，有效值为 1.3kA，与上级 NSX160 TM-D100A 配合时，因为 $1.3\text{kA} < I_{\text{max}} = 15\text{In} = 1.5\text{kA}$ ，能够在 2kA 以内实现电流选择性配合。如果下级没有限流作用，则 2kA 的预期电流可以使上级 NSX160 TM-D100A 的断路器动作而失去选择性，因为 $2\text{kA} = 20\text{In} > I_{\text{max}} = 15\text{In}$ 。

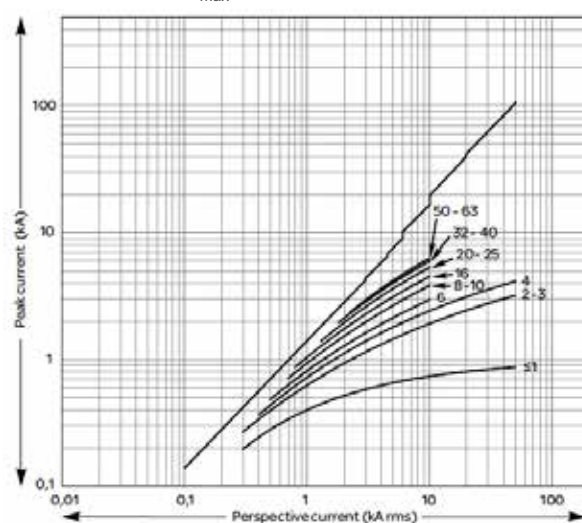


图 9.3 微型断路器预期短路电流与允通峰值电流

由于不同电流等级、不同极数断路器限流能力的不同，所以这种配合提升的选择性极限不尽相同，比如，同样的预期短路电流，单相回路中两极断路器的允通电流小于单极断路器的允通电流。因此，相比通过比较下级允通电流与上级时间-电流曲线理论来判断选择性极限，直接参考断路器制造商提供的选择性配合表显得更加便捷。

然而，这种方式对选择性极限的提升是有限的，

提升的范围依然在上级 A 类断路器的耐受电流范围内，此时上级的断路器尚不足以触头斥开或者快速分断帮助下级限流，所以这种选择性的提升是在无后备保护的情况下实现的。提升的基础是上下级额定电流级差较大，且下级断路器具有一定的限流能力，因为只有上级断路器因级差较大设置相对较高的瞬动保护，才能更容易地实现下级限流以后的实际电流与上级瞬动保护在时间及电流上满足选择性配合。

因此，大多数情况下通过此种方法获得的选择性极限较低，通过试验获得的实际限值明显高于此。

9.4 短路条件（无后备保护） 下能量脱扣提升时间选择性

塑壳断路器与塑壳断路器难以通过下级限流提升选择性的原因是上下级之间的级差不够显著，预期短路电流经下级限流以后通过上下级的实际电流仍可以达到上级断路器的瞬动保护设定阈值，这样上下级瞬动保护会同时动作而失去选择性。这也是常见的塑壳断路器虽然有限流特性，但在相互配合时选择性极限依然难以大幅超过上级瞬动保护最大设定值的根本原因。

由于 NSX、CVS 系列塑壳断路器具有独特的 Reflex 能量脱扣技术，脱扣阈值为 25 倍断路器额定电流（断路器额定电流，非脱扣器额定电流），分断时间小于 10ms，快于断路器脱扣器常规的瞬动保护。由于能量脱扣的速度快于断路器的瞬动脱扣，所以只要下级能量脱扣阈值小于上级断路器的最大瞬动脱扣阈值，那么理论上对于介于上下级断路器能量脱扣阈值之间的故障电流，则因下级能量脱扣快于上级瞬动脱扣下级能量脱扣先动作而实现时间选择性，但上下级必须满足下述条件才能通过能量脱扣获得一致连续的选择性。

上级瞬动最大设定值 ≥ 下级能量脱扣的阈值

当上下级之间额定电流级差 ≥ 2.5 倍时可以满足上述条件。因为通常塑壳断路器瞬动的可设定最大值 $> 10I_n$ ，而能量脱扣为 $25I_n$ ，因此若有 $10I_n_{\text{上级}} \geq 25I_n_{\text{下级}}$ ，上下级额定电流满足 $I_n_{\text{上级}} \geq 2.5I_n_{\text{下级}}$ ，即额定电流之比 ≥ 2.5 倍时，便可满足上级瞬动动作的电流 $\geq$ 下级的能量脱扣而实现选择性，并且 $< 25I_n_{\text{上级}}$ （上级能量脱扣阈值）的故障电流均具有选择性。

比如 NSX400N Mic5.3A 400 与 NSX100N Mic2.2 100 的串联组合断路器：

上级断路器：瞬动保护最大设置为 12 倍，即 $I_{\text{max 上级}} = 4.8\text{kA}$ （ $I_{\text{max 上级}} = 12 \times 400\text{ A}$ ）， $I_{\text{上级能量}} = 25I_n_{\text{上级}} = 10\text{kA}$ 。

下级断路器：瞬动保护最大设置为 15 倍， $I_{\text{max 下级}} = 1.5\text{kA}$ ，能量脱扣阈值 $I_{\text{下级能量}} = 25I_n_{\text{下级}} = 2.5\text{kA}$ 。

该串联组合时间 - 电流特性及短路保护阈值如图 9.4 所示。

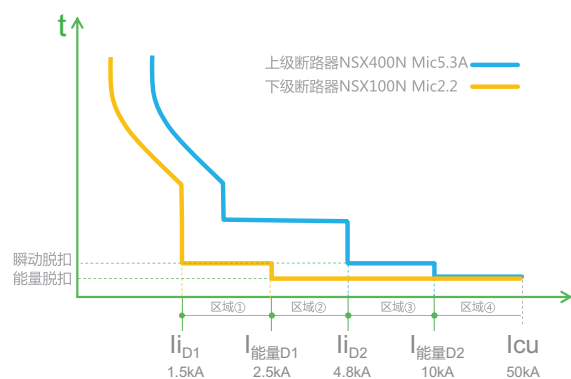


图 9.4 断路器串联组合的能量提升时间 - 电流特性

区域①：1.5kA 至 2.5kA，通过时间选择性实现配合，上级过载或短路短延时脱扣动作，但下级瞬动脱扣先动作实现选择性。

区域②：2.5kA 至 4.8kA，通过时间选择性实现配合，上级短延时脱扣动作，但下级能量脱扣先动作实现选择性。

区域③：4.8kA 至 10kA，也是通过时间选择性

配合，因为上下级除瞬动脱扣之外还具有能量脱扣，短路电流小于上级断路器能量脱扣，此时下级断路器会因能量脱扣先于自身瞬动保护动作而快速切除故障，故障电流持续的时间小于上级断路器瞬动保护固有动作时间，因此上级瞬动保护尚来不及动作，且上级的能量脱扣因能量不足也无法脱扣，因此，此时也能够实现上下级之间的时间选择性。

对于此时的选择性，如果下级断路器没有能量脱扣快速分断的“快上级断路器一步”，那么上下级将会同时瞬动保护脱扣，不可能对超过上级瞬动保护之后的故障电流依然存在选择性，除非关闭瞬动保护做一定的提升。

但仅有能量快速脱扣未必能够提升选择性，如果上级瞬动最大设定值 $\geq$ 下级能量脱扣的阈值的条件不满足，即额定电流之比 < 2.5 倍时，选择性并不能通过能量脱扣提升。比如 NSX400N Mic5.3A 400 与 NSX250N Mic2.2 250，额定电流级差为 1.6 倍，则选择性极限只到上级断路器 NSX400N 的瞬动保护最大设定 $I_{i\max}=4.8\text{ kA}$ ，因为 4.8kA 小于下级能量脱扣 6.25kA。则对于 4.8kA 到 6.25kA 之间的故障电流，尚不能触发下级能量脱扣，但又能够让上下级短路同时瞬动脱扣，因此选择性极限仅到 4.8kA。虽然对于 6.25kA 至 10kA 之间的预期电流具有能量选择性，但因在 4.8kA 至 6.25kA 之间无选择性，该串联组合的选择性并不具有一致的连续性，选择性极限只到 4.8kA，不能认为选择性通过能量脱扣得到了提升。

因此，对于小于上级断路器能量脱扣阈值的预期短路电流，上级瞬动最大设定值 $\geq$ 下级能量脱扣的阈值，即额定电流之比 ≥ 2.5 倍时，上下级可以通过下级的能量脱扣将上下之间选择性提升至上级断路器能量脱扣的阈值，此时的选择性极限可以通过上下级能量脱扣阈值理论直接判断，这种选择性的提升实际是利用下级能量脱扣快速的脱扣实现了时间选择性，并未通过上级触头斥开或者快速脱扣帮助下级限流，所以这种选择性的提升也是在无后备

保护的情况下实现的。

对于大于上级断路器能量脱扣阈值至下级断路器额定短路分断能力之间的选择性，如图 9.3-2 所示区域④，此区域上下级可能均会能量脱扣，但由于上下级限流特性、允通能量的差异以及所需脱扣能量的不同，上下级之间是否依然能够通过能量脱扣实现选择性，则难以再通过理论直接判断，需依据 GB/T14048.2 附录 A 条款 5.3 的规定，按照试验验证串联组合装置的选择性。

9.5 短路条件（无后备保护） 下限流提升能量选择性

二级配电系统常用的 A 类塑壳断路器之间的选择性配合在低压系统中最为复杂，由前面的分析可知，通过能量脱扣快速分断技术，可将选择性极限提升到上级断路器的能量脱扣，但难以从理论层面进一步判断是否具有更高的选择性极限甚至实现全选择性配合，自身处于配电系统中短路电流相对较大的二级配电，实际又需要提升选择性极限以保障供电的连续性。

GB/T14048.2-2020 规定 A 类断路器可在短路条件下通过“其他方式”提供选择性。塑壳断路器的能量脱扣作为重要的“其他方式”，对于 A 类断路器实现选择性配合具有关键的作用，是提升 A 类断路器选择性配合的重要补充手段。对于上级断路器能量脱扣至下级额定短路分断能力的选择性，应根据 GB/T14048.2 附录 A 条款 5.3 通过选择性试验验证能量脱扣之间的选择性。

对于下级额定短路分断能力范围内的故障电流，上下级虽然同时检测到该故障电流，经过上下级断路器触头斥开共同限流以后，实际的短路电流产生的能量可能能够引起上下级断路器同时能量脱扣，也可能经限流以后实际的短路电流产生的能量仅足

够触发下级断路器能量脱扣，而上级触头斥开限流时产生的能量不足以触发自身的能量脱扣，如 GB/T14048.2 附录 A 条款 5.3 规定，在选择性试验中允许上级的触头短暂斥开但不脱扣，斥开的时间应 $\leq 30\text{ms}$ ，且试验后上级的触头不应粘连。

断路器制造商应根据规定的试验验证下级额定短路分断能力范围内故障电流属于上述哪种情况，两种情况的临界电流为选择性极限电流，并提供断路器之间的选择性配合表。根据选择性极限电流能否达到下级断路器的额定短路分断能力可以分为两种情况：

情况一：无法达到（ $I_s < I_{cu_下级}$ ）

对于选择性极限电流以下的故障电流，能够实现能量选择性，只有下级脱扣，对于选择性极限电流 I_s 以上的电流，即使经上下级触头斥开限流，但触头均斥开产生的能量足以引起上下级断路器同时能量脱扣，不具有选择性。这样，通过能量选择性实现了部分选择性而非实现全选择性。比如，在额定电压 400V AC 下，NSX250H TM-D250（ $I_{cu}=70\text{kA}$ ）与 NSX100N TM-D100（ $I_{cu}=50\text{kA}$ ）的选择性极限为 36kA， $36\text{kA} < I_{cu_下级}$ ，为部分选择性。

情况二：可以达到（ $I_s = I_{cu_下级}$ ）

上级、下级的限流能力极强，即使下级额定短路分断能力的故障电流，在下级的限流作用下，上级触头仅仅是轻微斥开，下级能量快速脱扣，这样可以将选择性极限电流 I_s 通过能量选择性提升到下级断路器的额定短路分断能力，在下级额定短路分断能力范围内的任意故障电流均能实现选择性，具有全选择性。比如 NSX250H TM-D250（ $I_{cu}=70\text{kA}$ ）与 NSX100F TM-D100（ $I_{cu}=36\text{kA}$ ）的选择性极限为 36kA， $36\text{kA}=I_{cu_下级}$ 为全选择性。

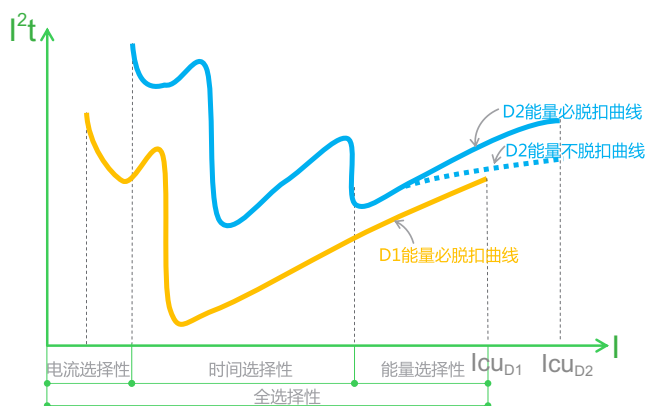


图 9.5 能量脱扣实现全选择性

9.6 短路条件（有后备保护） 下限流增强能量选择性

对于预期短路电流超过下级断路器的额定短路分断能力的情况，首先，如前面 1.1 节所述，上级断路器可通过后备保护帮助下级将分断能力提升至串联组合装置的短路分断能力 I_{cu_comb} 。因此，对于下级断路器分断能力至串联组合装置短路分断能力 I_{cu_comb} 的选择性，这种情况为后备保护下的选择性。后备保护通常是通过试验加以验证，同样，后备保护时的选择性也应通过试验验证。GB/T14048.2 附录 A 条款 A.6 规定了如何验证后备保护及后备保护下的选择性。对于 NSX、CVS 系列塑壳断路器，如果额定电流之比 ≥ 2.5 倍，通过断路器的限流和能量脱扣双重手段，串联组合的选择性极限通常可以增强，甚至达到组合装置的额定短路分断能力 I_{cu_comb} 。

能量脱扣源自于断路器限流时产生的电弧，所以，限流是能量脱扣实现的基础。限流断路器可以限制预期断路器电流的截断电流和焦耳积分，可以降低对被保护对象和系统的动、热冲击，可以提高系统和被保护对象动、热稳定方面的收益，比如满足电缆的热稳定校验，实现断路器与接触器组合的二类协调配合，并且限流对于断路器本身及串联的

断路器组合也带来诸多的帮助：

1. 限流“帮助”自己：提升自身分断能力。通过限制短路的峰值允通电流和允通能量，避免分断中自身实际承受很高的短路电流和能量，进而提高断路器自身的分断能力，限流是 A 类断路器实现高分断的基础。限流的手段通常为触头斥开和快速脱扣（能量脱扣），如文献 [18] 所提及，常见的塑壳断路器、微型断路器均具有不同程度的限流能力。

2. 上级“帮助”下级：上下级配合提升串联组合装置的短路分断能力，用于下级断路器的短路分断能力小于安装位置预期短路电流的情况。通过上级限流帮助下级提升分断能力，在短路电流同时流过串联装置时，上级断路器触头微微斥开但不脱扣或脱扣时触头之间分断燃弧，将下级断路器下游的故障电流和实际的允通能量限制到小于下级断路器的额定短路分断能力或者下级断路器额定短路分断时的最大允通能量，实现上下级串联后下级分断能力的提升，这就是后备保护。

3. 下级“帮助”上级：上下级串联配合实现能量选择性。在上级限流帮助下级提升分断能力的同时，通过下级较强的限流能力，进一步限制短路电流，限流以后流过串联装置的实际短路电流产生的能量只能引起下级断路器能量脱扣，但不足以引起上级断路器能量脱扣，这便在上下级之间通过能量脱扣实现了选择性。这是为何下级“帮助”了上级进而实现上下级之间能量选择性的原因。假设没有下级的限流和能量脱扣，仅上级限流，这种情况只能提升下级的分断能力，这种提升只能借助上级分断时触头间电弧的限流效应，实质上并不能提升选择性极限。

因此，在后备保护下，对于下级断路器分断能力到串联组合装置的短路分断能力 I_{cu_comb} 的选择性，文献 [19] 对于上下级断路器之间的组合，提供了组合不同的选择极限。由于上下级限流特性和脱扣能量的差异，按照 GB/T14048.2-2020 附录 A 条款 A.6 规定的试验来验证，结果可分为三种情况：

情况一：仅提供后备保护，选择性未增强

一般情况下，后备保护提高下级分断能力是通过上级分断介入来实现的，也就是对于上下级串联组合装置的短路分断能力来说，超过下级断路器额定短路分断能力的部分是需要上级断路器一起参与分断方可实现，即对于下级断路器额定短路分断能力以下的故障电流，上下级会同时动作，即 $I_s \leq I_{cu_{D1}} < I_{sc_max} \leq I_{cu_comb}$ 。这属于 GB/T14048.2-2020 附录 A 中 A.6.3 a) 的情况一，仅作后备保护，不能增强选择性。此时选择性极限电流小于下级断路器的额定短路分断能力，与前述时间 - 电流特性及无后备保护下选择性情况相同，如图 9.6-1 所示。

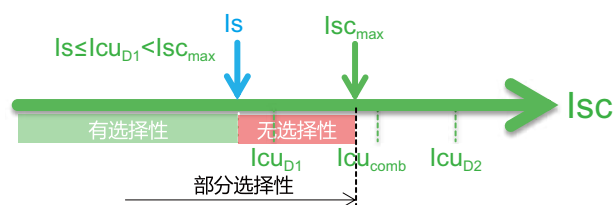


图 9.6-1 无选择性增强的后备保护

例一，额定电压 400V AC 下，下级下游最大预期短路电流 $I_{sc_max}=60\text{kA}$ ，上级采用 NSX250H TM-D 250 可以将下游 NSX100N Mic2.2 100 的额定短路分断能力从 50kA 提升至 70kA (I_{cu_comb})，那么下级 NSX100N 与上级 NSX250H 配合下，可以分断其下游 60kA 的预期故障电流，但两者配合之后的选择性极限仅为 2.5kA，即上级瞬动保护的最大设定阈值。因此仅作后备保护提升了分断能力，未增强选择性。

例二，额定电压 400V AC 下，下级下游最大预期短路电流 $I_{sc_max}=60\text{kA}$ ，上级采用 NSX250H Mic2.2 250 可以将下级 NSX100N Mic2.2 100 的额定短路分断能力从 50kA 提升至 70kA (I_{cu_comb})，组合装置可以分断下游 60kA 的预期故障电流，但两者配合之后的选择性极限为 36kA，低于下级断路器的额定短路分断能力 50kA，因此，此时的配合也仅作后备保护，并未增强选择性。

情况二：提供后备保护，选择性增强至高于串联组合装置的最大预期短路电流，甚至达到串联组合装置的短路分断能力 I_{cu_comb}

有些情况下，尤其是限流能力较强的塑壳断路器，即使串联组合装置分断超过下级额定短路分断能力的预期短路电流，上级也不分断动作，只是在短路电流流过时触头瞬间受霍姆力和洛伦磁力共同作用微微斥开限流即可，上下级触头斥开限流的同时由下级断路器能量脱扣迅速分断切除故障，之后上级触头自行重新闭合，这样一方面提升了下级的分断能力，另一方面也增强了上下级之间的选择性。如果分断串联组合装置短路分断能力 I_{cu_comb} 以内的任意电流，或者分断大于等于下游预期最大短路电流 I_{sc_max} 的任意电流，只有下级脱扣分断，而上级触头只是瞬间分开但并不脱扣，则此时的选择性极限增强到了串联组合装置的最大预期短路电流，上级既帮助下级通过后备保护将短路分断能力提升至 I_{cu_comb} ，又通过上下级之间的配合将选择性极限增强到高于组合装置的预期短路电流，甚至增强至短路分断能力 I_{cu_comb} ，即 $I_{cu_D1} < I_{sc_max} \leq I_s \leq I_{cu_comb}$ ，这属于 GB/T14048.2-2020 附录中 A.6.3 a) 的情况二，为 IEC60364-5-53 2019 中的 Enhanced selectivity，上下级配合既做后备保护，又增强并实现全选择性。

例如，额定电压 400V AC 下，下级下游最大预期短路电流 $I_{sc_max}=60\text{kA}$ ，上级采用 NSX250H Mic2.2 250 可以将下级 NSX100F TM-D25 的额定短路分断能力从 36kA 提升至 70kA(I_{cu_comb})，并且两者上下级配合之后的选择性极限也为 70kA，等于后备保护下串联组合装置的短路分断能力，组合装置可以分断 60kA 的预期故障电流，并且只有下级脱扣。因此，此时的配合不仅做后备保护，而且选择性也得以全部增强，如图 9.6-2 所示。

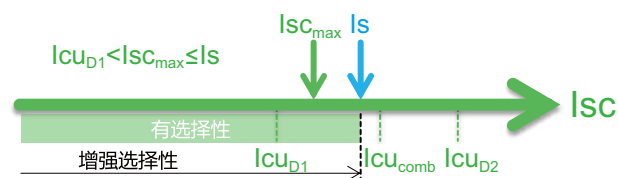


图 9.6-2 选择性全部增强的后备保护

情况三：提供后备保护，选择性有所增强，但选择性部分增强到高于下级额定短路分断能力的限值，选择性极限 I_s 小于串联组合装置的预期最大短路电流(I_{sc_max})

如果在组合装置短路分断能力 I_{cu_comb} 以内的较低电流下仅有下级脱扣，上级断路器触头仅斥开限流，并不脱扣分断。而在较高的短路电流下，由于短路电流较大，即使经过上下级同时限流，但依然能同时触发上下级能量脱扣而同时动作，即 $I_{cu_D1} < I_s < I_{sc_max} \leq I_{cu_comb}$ ，这属于 GB/T14048.2-2020 附录 A 中 A.6.3 a) 的情况三，此时，选择性极限电流介于下级断路器额定短路分断能力与串联组合装置下游最大预期短路电流 I_{sc_max} 之间。

例如，额定电压 400V AC 下，下级下游最大预期短路电流 $I_{sc_max}=40\text{kA}$ ，NSX250H Mic2.2 可以将下级 NSX100B TM-D 100 的额定短路分断能力从 25kA 提升至 50kA(I_{cu_comb})，并且两者配合之后的选择性极限为 36kA。因此，串联组合装置可以分断下游 50kA 的预期故障电流，不高于 36kA 的故障电流，仅有下级脱扣，上级保持不动存在选择性，但故障电流超过 36kA 以后，上下级断路器将同时动作或者上级先动作而失去选择性。因此，这种情况上下级之间的配合不仅做后备保护，选择性也得以部分增强，但选择性极限并没有增强到下级下游的预期短路电流，没有实现全选择性，如图 9.6-3 所示。

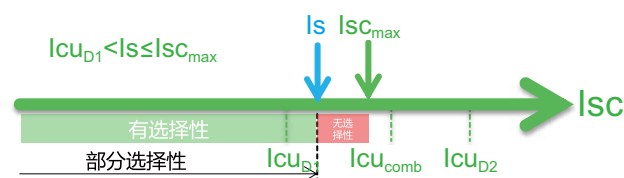


图 9.6-3 选择性部分增强的后备保护

综合分析，由于串联配合的断路器自身限流特性的差异，比如热磁式脱扣器限流特性普遍高于电子脱扣器，单极断路器限流特性低于双极断路器，因此，同样的预期短路电流，下级采用热磁式脱扣器相比电子式脱扣器、采用两极断路器相比单极断路器是可以适当获得更高的选择性极限。相同的预

期短路电流在不同的额定电压下经限流后在上下级产生的能量也不尽不同，且因上下级能量脱扣所需能量的差别，最终通过试验验证得到的选择性极限在不同分断能力、脱扣器种类、极数、额定电压之间表现出差异性，直接分析判断往往存在一定的困难。因此，除了时间 - 电流特性理论上可以直接判断的选择性外，无后备保护下限流提升的电流选择性、能量脱扣提升的时间选择性和能量选择性，抑或是后备保护下限流增强的能量选择性，建议直接查阅断路器制造商提供的断路器选择性配合表更加便捷和高效，文献 22 为施耐德电气低压断路器的选择性配合表。

10 串联选择性与网络选择性

前面分析和讨论的选择性配合均是在电气拓扑图上断路器之间作为上下级串联，为不同断路器同时流过同一电流时的选择性，这种选择性是串联选择性，在实际工程中常进行计算和校验。

除了串联选择性之外，在低压配电系统中有时还应考虑网络选择性，所谓网络选择性是指同一断路器因工况不同流过不同大小电流时的选择性。

对于重要的工业与民用配电应用，除了通过电网供电外，常设置应急或备用电源保障紧急情况或者电网供电中断时的供电，比如采用柴油发电机作为电源。电网变压器容量大，可供全部负载，柴油发电机容量有限，通常只供相对重要的负载，并且电网变压器与发电机的短路特性也不同，所以电网变压器的低压进线断路器与发电机的断路器在电流规格与保护参数整定上不尽相同。

为了保证供电的安全性和连续性，当配电系统在不同电源切换供电时，馈线断路器均应与不同电源进线断路器实现选择性配合，因此，应必须考虑切换时短路电流以及保护参数变化对上下级选择性配合的影响，以实现网络选择性。

如图 10 为典型的采用发电机作为备用电源的低压配电系统拓扑，当由电网切换到发电机供电后，应重新调整下游馈线断路器的保护参数与发电机断路器实现选择性配合，避免在应急情况因下游故障导致发电机进线断路器越级跳闸扩大供电中断范围，反而影响相对重要负载的供电。当供电恢复至电网供电时，下游断路器的保护参数重新切回原来的设置，继续与电网进线断路器保持选择性配合。MasterPacT MTZ 断路器的双重设定功能能够满足这种应用需求，断路器 CB3 可以预设两组设定值 A 和 B，两组设定保护参数可以单独设定，分别与电网进线断路器 CB1 和发电机进线断路器 CB2 的保

护设定具有选择性配合。当电网供电，CB1 合闸、CB2 分闸时，CB3 选择 A 组设定，当发电机供电，CB1 分闸，CB2 合闸时，CB3 选择 B 组设定，这种选择可以根据 CB1 和 CB2 的合闸状态自动切换，将 CB1 和 CB2 的分合闸状态辅助触点输入到 I/O 应用模块的预定义开关量通道，I/O 应用模块将根据预设逻辑自动给出指令到 CB3 选择切换至相应的保护设定组。

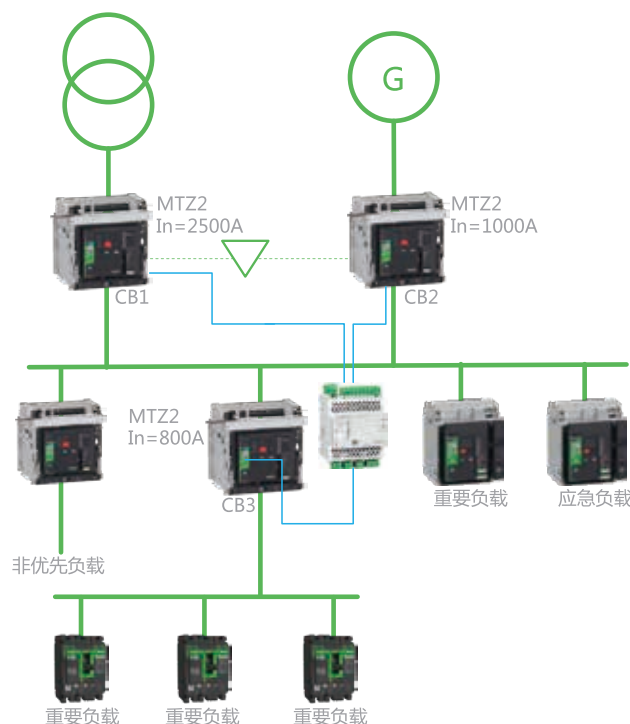
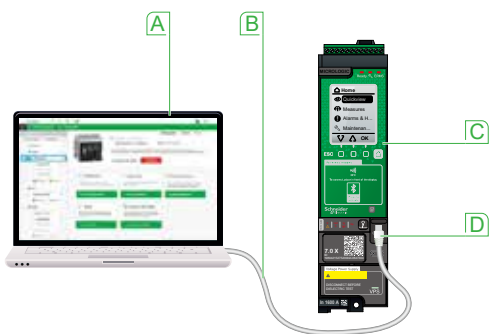


图 10 双重设定典型应用拓扑

MTZ双重设定简介

保护

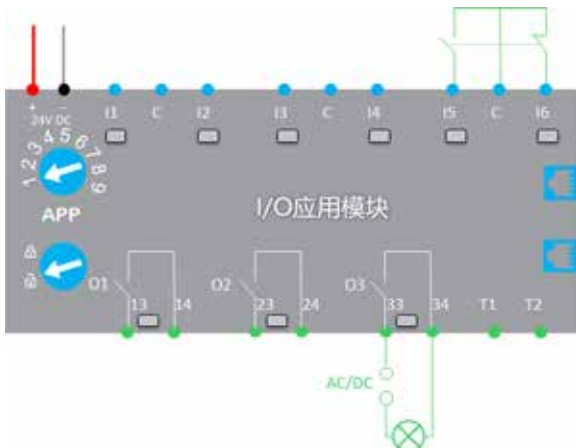
保护功能



- A** EcoStruxure Power Commission调试软件
- B** USB电缆
- C** Micrologic X控制单元
- D** USB接口



I/O 应用模块



双重设定两线模式接线图

双重设定

这个功能包含两组除了漏电之外所有Micrologic X保护类型（LSIG）的整定，用户可以从一组整定切换到另一组以实现其它特殊条件下的操作。一个典型的应用是当有两路电源进线（电网/发电机）时，需要根据不同的短路电流调整短延时保护设定。可以选择通过以下方式之一来设置：

- 通过IO模块的数字输入
- 通过以太网通信方式
- 通过液晶显示屏和按钮

双重设定功能仅适用于 MasterPact MTZ 断路器。

双重设定功能包含两组保护设定，即 A 组和 B 组。

在某些工作条件下，您可以在两组间进行切换。一种典型的应用是，在断路器由短路电流不同的两个电源供电时，能够调节短路保护。比如，电路器由电网或发电机供电。

根据 MicroLogic X 控制单元的类型，下面保护类型可支持双重设定功能：

- 长时过流保护
- 短延时过流保护
- 瞬时过流保护
- 接地故障保护

注意：

- 在任何时候都只能有一组处于活动状态。
- 设备出厂时，双重设定是关闭的。
- 在通过 IO 模块打开并控制双重设定后，根据 IO 模块输入，进行 A 组或 B 组保护。A 组的设定相当于双重设定关闭。

双重设定通过I/O模块的数字输入切换

MasterPact MTZ 断路器只有在进行了相应配置的情况下，才会接受来自 IO 模块的组切换命令。

I/O模块双重设定选择

激活的设定组通过数字输入 I5 和/或 I6 的状态来定义。

- 在两线模式中：
 - I5=1 且 I6=0：将 A 组设定为激活状态
 - I5=0 且 I6=1：将 B 组设定为激活状态
 - 注意：**当 I5=I6=1 或 I5=I6=0 时，生成不符报警，并且保持当前激活的设定组。
- 在单线模式中：
 - I6=0：将 A 组设定为激活状态
 - I6=1：将 B 组设定为激活状态

I/O应用模块输入/输出分配

下表根据 IO 模块中选定的预定义应用列出了可用的数字输入和输出分配：

输入	选择的预定义应用								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
双重设定A (两线模式)	I5	—	—	I5	—	—	—	—	I5
双重设定B (两线模式)	I6	—	—	I6	—	—	—	—	I6
双重设定切换 (单线模式)	I6	—	I6	I6	—	—	—	—	I6

输出	选择的预定义应用								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
设定B生效	O1-O3	O3	O1, O2	O3	—	—	—	—	O1-O3

11 总结

1. 低压配电系统供电的可靠性从安全性和连续性两方面衡量，作为低压配电系统的核心元件，低压断路器之间的协调配合应从后备保护和选择性两个维度衡量，后备保护侧重于协调配合时的安全性，选择性更关注协调配合时的连续性，两者相辅相成，共同保障供电系统的可靠性。

2. 后备保护是上级断路器帮助下级提升其额定短路分断能力，帮助下级分断下级下游超过其额定短路分断能力的故障电流。选择性是指过电流应由紧邻的上游电源侧断路器动作切除，避免越级动作，扩大供电中断范围，应满足“稳”“准”“快”的原则，通常有电流选择性、时间选择性、能量选择性及逻辑选择性 4 种选择性实现方法。

3. 根据选择性极限与预期短路电流的关系，可将选择性分为全选择性和局部选择性，选择性极限电流 $\geq$ 预期短路电流具有全选择性，否则为局部选择性。根据 IEC IEC60364-5-53 2019，全选择性又可分为 Full selectivity ($I_{sc_{max}} \leq I_s < I_{cu}$)，Total selectivity ($I_{sc_{max}} \leq I_s = I_{cu}$) 和 Enhanced selectivity ($I_{cu} < I_s \leq I_s$)。

4. 时间选择性的基础是断路器具备一定的短时耐受能力，短时耐受能力越高，通过时间选择性实现的选择性水平相应地也越高，由于结构上的差异，B 类断路器的短时耐受能力普遍高于 A 类断路器，可以实现更高水平的的时间选择性配合。时间选择性在选择时间级差时，考虑到动作的允差，相邻时间能够满足选择性的条件下尽可能选择相对较小的相邻时间设定，避免采用较大延时时间设定时短路电流产生的机械、热和电磁应力对系统造成的潜在危害和风险。

5. 因 A 类断路器的短时耐受能力较低，能够实现一定水平的的时间选择性，但难以像 B 类断路器一

样通过时间选择性实现较高水平甚至全选择性配合，与下级配合，时间选择性的极限最高可至断路器的瞬动最大设定值，也可以通过关闭瞬动进一步在短时耐受范围内提升选择性。B 类断路器可以通过时间选择性实现较高的选择性水平，但对介于上下级之间的故障，延时动作将产生较高的允通能量，对于供电的安全性和连续性没有收益，反而会带来潜在的诸多风险，如动、热稳定失效的风险，燃弧型故障扩大的影响。

6. NSX 和 CVS 系列 A 类塑壳断路器采用双旋转触头和 U 形静触头，全系列具备优异的限流特性，能够有效地降低预期短路的峰值电流和允通能量，利用限流时产生的电弧能量，衍生出独有的 Reflex 能量脱扣，独立于常规的过载、短路和瞬动保护，其脱扣电流倍数更高 ($25I_n$)，脱扣分断更快 ($< 10ms$)，因不同额定电流所需脱扣能量的不同，通过能量脱扣塑壳断路器可以实现较高水平的选择性。

7. 两段式保护的塑壳断路器可在上级瞬动最大可设定范围内后者瞬动关闭时实现时间选择性，如果上级瞬动保护设定较高，可以适当提升上下级之间选择性配合的水平，但也带来小电流故障灵敏度不足的风险，比如上下级之间发生燃弧型短路故障时，上级瞬动保护可能灵敏度不足。而三段式保护塑壳断路器的短延时保护可以有效地解决选择性与灵敏度的矛盾，在兼顾灵敏度的同时也不失选择性。另外对于冲击性负载及回路保护用的断路器，短路短延时既能够躲过正常冲击电流，也能够提升接地故障及短路保护的灵敏度，相比两段式保护断路器，能够更有效地限制短路允通能量及其潜在的风险。

8. 电子式断路器之间的逻辑选择性能更好地满足理想选择性配合的原则，在时间选择性的基础上通过上下级之间的逻辑闭锁大幅优化时间选择性

的延时，但又不失选择性，能够在保障上下级选择性的基础上大幅缩短短路电流持续的时间，有效限制短路产生的允通能量（尤其是 B 类断路器），降低短路电流因动作时间较长对设备和系统产生的潜在危害和风险。

9. 应综合地评估各种选择性的特点、注意事项和适用场景，断路器之间的选择性配合应通过合理的计算、选型、整定和设置后方可获得，并且不能只以实现选择性为目的，还应兼顾保护灵敏度，避免不必要的人为延时，最大限度地实现理想的选择性配合。

1) 对于 A 类断路器，时间、电流及两者结合的方式能够实现的选择性极限为上级断路器瞬动最大可设定值。下级下游的预期短路电流在不超过上级瞬动保护整定值或者短时耐受能力的情况下，可以通过关闭瞬动实现全选择性。对于 B 类断路器，在 $I_{cw}=100\%I_{cu}$ 时，通过关闭瞬动保护，可以在上级短时耐受范围能够通过时间实现全选择性。因此，从选择性的角度考虑，若要在断路器额定短路分断范围实现全选择性，则应选择 $I_{cw}=100\%I_{cu}$ 或者 I_{cs} 的 B 类断路器。

2) 由于断路器的大多数被保护对象过载特性具有反时限特性，对于过载可采用反时限特性，并且对于特殊的保护对象或者与其它特性的保护装置配合时，过载保护可采用 IDMTL 反时限曲线中特殊曲线，以实现更好的保护与选择性配合。断路器短路短延时的反时限特性，主要用于与熔断器的短路配合，断路器与断路器选择性配合时，为避免不必要的延时无需采用反时限特性。

3) 对于高于上级瞬动的预期短路电流，借助下级断路器的限流特性，在上下级额定电流具备较大级差时，可将预期短路允通电流峰值限制到上级断路器的瞬动保护峰值以下，这样便可提升上下级选择性配合的水平。

4) 借助于上下级的能量脱扣，NSX 和 CVS 塑壳断路器可进一步提升上下级的选择性配合极限，

当上下级额定电流级差之比 ≥ 2.5 倍时，可满足上级瞬动最大设定值 $\geq$ 下级能量脱扣的阈值，因为下级能量保护的脱扣速度快于上级瞬动保护，利用两种脱扣方式的时间差可将选择性极限提升到上级断路器的能量脱扣阈值，实现连续、一致的选择性。仅有限流没有能量脱扣的塑壳断路器不存在这种情况下选择性水平的提升。

5) 对于上级断路器能量脱扣至下级额定短路分断能力的选择性范围内的预期短路电流，通过上下级断路器触头斥开限流，共同限流时电流产生的能量足以引起下级断路器能量脱扣，而不足够触发上级断路器能量脱扣，经限流实现了选择性的提升。这种选择性的增强必须按照标准要求的试验验证方可获得，根据试验的结果是否达到下级的额定短路分断能力可分为部分选择性 ($I_s < I_{cu_下级}$) 和全选择性 ($I_s = I_{cu_下级}$)。为了便于判断这种情况下上下级断路器之间的选择性，断路器制造商应提供选择性配合表供产品使用者参考，比如文献 [19] 施耐德电气低压配电产品的选择性表。限流、能量脱扣及能量选择性对于增强 A 类断路器之间的选择性水平具有不可替代的优越性。

6) 当预期短路电流超过下级断路器额定断路分断能力时，上下级断路器之间的配合首先应满足后备保护，将串联组合装置的断路分断能力提升至 I_{cu_comb} ，超过下级额定断路分断能力和预期短路电流 I_{sc_max} ($I_{cu_下级} < I_{sc_max} \leq I_{cu_comb}$)。并按照 GB/T14048.2-2020 标准附录要求通过试验验证超过下级短路分断能力之后的选择性，根据试验验证的结果，可分为 3 种情况：

a) 选择性极限小于下级短路分断能力 ($I_s \leq I_{cu_下级} < I_{sc_max} \leq I_{cu_comb}$)，则这种配合只作后备保护，不能增强选择性水平。

b) 选择性极限高于串联组合装置的最大预期短路电流，甚至达到串联组合装置的短路分断能力 I_{cu_comb} ($I_{cu_下级} < I_{sc_max} \leq I_s \leq I_{cu_comb}$)，则上下级配合既做后备保护，又能实现增强全选择性。

c) 选择性极限有所增强，高于下级额定短路分断能力的限值，选择性极限小于串联组合装置的预期最大短路电流 $I_{sc_{max}}$ ($I_{cu_{D1}} < I_s < I_{sc_{max}} \leq I_{cu_{comb}}$)，则上下级作后备保护，又能部分增强选择性。

10. 除了断路器上下级之间串联配合的选择性之外，还应考虑断路器配合时的网络选择性，比如多电源系统中的馈线断路器与不同电源进线断路器之间的选择性。断路器的双重设定功能可以确切满足网络选择性的应用需求，可根据短路电流的特性和选择性配合的需求，设置独立的 2 套保护设定，能够在不同电源切换供电时自动切换馈线断路器的设定，更好地满足上下级之间的配合以实现网络选择性，保障供电的可靠性。

附录

节选自GB/T14048.2低压开关设备和控制设备 第2部分：断路器（规范性附录）

断路器与串联在同一电路中的另一台短路保护装置在短路条件下的配合

A.1 概述

为了确保断路器（ C_1 ）与串联在同一电路中的另一台短路保护装置（SCPD）在短路条件下的配合，则需要考虑两台电器各自的特性及它们连接在一起的性能。

注：SCPD 可增加附加的保护装置，例如，过载脱扣器。

SCPD 可由一熔断器（或一组熔断器）（见图 A.1）或另一台断路器（ C_2 ）（见图 A.2 和图 A.3）组成。

当涉及到串联动作的两台电器的性能时，仅对比两台串联在一起的电器的各自的特性是不够的，因为这两台电器的阻抗往往是不可忽略的。为此建议需考虑这种情况。对于短路电流，宜采用 I^2t 来代替时间。表示截断电流和 I^2t 特性的优选模板附录 K 中给出。

断路器 C_1 经常与另一台 SCPD 串联连接，其原因是设备中所采用的配电方式不同，或者是单独的断路器 C_1 的短路分断能力不能满足预定的用途要求。在这种情况下，SCPD 可以安装在离断路器 C_1 一定距离的地方。SCPD 可以保护供电给几台断路器 C_1 或只供电给一台断路器的主馈线。

对于这类使用情况，用户或专业技术管理部门可能需要仅根据理论计算来判断如何达到最佳配合水平。本附录的目的在于对这样的判断提供指导，同时也用来对断路器制造厂为未来用户提供的资料形式进行指导。

在所推荐的应用场合，如有必要进行这类试验时，也可作为试验的指导。

术语“配合”不仅包括考虑两者的选择性保护 [见 GB/T14048.1—2012 中 2.5.23（术语的英文由“over-current discrimination”改为“over-current selectivity”）和 2.17.2 以及 2.17.3]，而且还包括考虑后备保护（见 GB/T14048.1—2012 中 2.5.24）。

一般选择性可通过理论计算或试验的方式加以考虑（见 A.5），而后备保护通常是用试验加以验证（见 A.6）。

在考虑短路分断能力时，可根据预定的标准来确定是采用额定极限短路分断能力（ I_{cu} ）还是采用额定运行短路分断能力（ I_{cs} ）。

A.2 适用范围和目的

本附录对断路器与串联在同一电路中的其他 SCPD 的配合即有关选择性保护和后备保护提供指导并给出相应的要求。

本附录目的在于规定：

- 断路器与另一台 SCPD 配合的一般要求；
- 用于验证已符合配合条件的方法和试验（如认为有必要）。

A.3 断路器与另一台 SCPD 配合的一般要求

A.3.1 一般原理

理想的配合应为这样：在所有的过电流值不超过其额定短路分断能力 I_{cu} 的极限值情况下，只有断路器 C_1 动作。

注1：如果在安装点的预期故障电流值小于断路器 C_1 的额定极限短路分断能力，则可认为 SCPD 在此电路中不考虑用作后备保护，作一般保护之用。

实际上，应采用下列一些原理：

- a) 如果选择性极限电流值 I_s （见 2.17.4）过低，则就会有破坏选择性保护的危险；
- b) 如果在安装点的预期故障电流值大于断路器 C_1 的额定极限短路分断能力，则 SCPD 应这样选择，即使得断路器 C_1 的性能按 A.3.3 和交接电流 I_b （见 2.17.5）（如有）应符合 A.3.2 的要求。

如有可能，SCPD 应安装在断路器 C_1 的电源侧。如果 SCPD 安装在负载侧，则 C_1 与 SCPD 之间的连接应安置得使短路危险减小到最低限度。

注2：在具有可更换的脱扣器情况下，这些原理应适用于各有关的脱扣器。

A.3.2 交接电流

就后备保护而言，交接电流 I_b 不应大于单独的断路器 C_1 [见图 A.3a)] 的额定极限短路分断能力 I_{cu} 。

A.3.3 与另一台 SCPD 连接的断路器 C_1 的性能

对于小于或等于串接装置的短路分断能力的所有过电流值， C_1 应符合 GB/T14048.1—2012 中 7.2.5 的要求，而串接装置应符合 7.2.1.2.4a) 的要求。

A.4 串联的 SCPD 的型式和特性

根据要求，断路器制造厂应提供用于与断路器 C_1 串联的 SCPD 的型式和特性以及适合于串接装置在规定的工作电压下的最大预期短路电流等方面的资料。

用于按本附录进行任何试验的 SCPD 详细情况，例如，制造厂名称、型号、额定电压、额定电流以及短路分断能力等应在试验报告中注明。

最大限制短路电流（见 GB/T14048.1—2012 中 2.5.29）不应大于 SCPD 的额定极限短路分断能力。

如果所串联的 SCPD 为断路器，则它应符合本部分的要求，或符合其他有关的标准。

如果所串联的 SCPD 为熔断器，则它应符合相应的熔断器标准。

A.5 验证选择性

A.5.1 一般要求

通常选择性用理论计算方法来考虑，即通过比较断路器 C_1 和串联的 SCPD（见 A.5.2）的动作特性。选择性也可以通过试验来确定（见 A.5.3）。

在某些情况下，对串联组合装置的试验显示出比理论计算方法更高的 I_s ，例如：

——当 C_1 为限流型，且 C_2 为无人造的延时；

——当 SCPD 的断开时间小于半波的时间。

当串联的 SCPD 是一断路器时欲获得要求的选择性，则 C_2 需要有一人为的短延时。

选择性可以是不超过 C_1 额定短路能力 I_{cu} 的局部选择性（见图 A.3a）或全选择性。

有关全选择性的两个图例见图 A.2a）和图 A.2b）。

A.5.2 选择性的理论研究

A.5.2.1 在过载区域的选择性

根据 SCPD 是断路器还是熔断器考虑下列两种情况：

a）断路器串联（ C_1 和 C_2 ）——通过比较动作特性确定选择性

延时过电流区域内的选择性通过比较时间 / 电流特性来验证。在此区域内，动作特性无论在时间轴向还是电流轴向都有明确区分，从而确保 C_1 对 C_2 的选择性动作。同时应考虑到特性曲线的公差。制造商资料中应提供公差范围，或按本部分中的规定提供适用的公差。

b）用熔断器作为 SCPD 的断路器（ C_1 ）——通过比较动作特性确定选择性

过载区域内的选择性通过比较时间 / 电流特性来确定。在此区域内，动作特性无论在时间轴向还是电流轴向都有明确区分，从而确保 C_1 对熔断器的选择性动作。同时应考虑到特性曲线的公差。制造商资料中应提供公差范围，或按产品标准中的规定提供适用的公差。

A.5.2.2 在故障电流（短路）区域的选择性

通过时间 / 电流特性来判断两个断路器在故障电流（短路）区域 [见图 A.2a)] 的选择性取决于 C_2 配备的电子式脱扣器所具有的短路脱扣延时功能：

a）断路器串联（ C_1 和 C_2 ）——通过计算峰值允通电流确定选择性

当 C_2 的瞬时脱扣电流取决于电磁（如热 / 磁或仅磁场）时，或当断路器的电子脱扣装置带有瞬时脱扣器时，

在故障电流区域内两断路器的最小等级可以通过下述方式确定：

在兼顾公差的情况下，当 C_1 的峰值允通电流小于 C_2 瞬时短路电流整定值 I_i 的相应峰值时可以确保选择性达到故障电流等级。

注1：选择性计算示例：

$C_2=800A$ MCCB; $I_i=(8-12)$ kAr.m.s. ($10kA \pm 20\%$) ; $C_1=125A$ MCCB。

C_2 的最小脱扣等级为 $8 \times 1.414 = 11.3kA$ (峰值)。

C_1 的预期允通电流为 $15kA$ (有效值)。由于 C_1 限流，试验数据为 $11kA$ (峰值)，因此系统的预期电流至少选择为 $15kAr.m.s.$ 。

注2：通过此种方法获得的选择极限较低，大多数情况下通过试验获得的实际限值明显高于此。

b) 用熔断器作为 SCPD 的断路器 (C_1)

故障电流 (短路) 区域 (见图 A.1) 内的选择性通过计算 I^2t 特性确定。在断路器的允通 I^2t 低于熔断器的弧前 I^2t 时选择性极限电流 I_s 为最大值。在没有实际曲线时可以引用熔断器制造商提供的弧前 I^2t 。

c) 用断路器作为 SCPD 的熔断器 (C_1)

瞬时脱扣短路区域内的选择性由熔断器的允通电流来确定。

在兼顾公差的情况下，当熔断器的允通峰值电流低于 C_2 相应的瞬时脱扣等级 (I_i) 峰值时，选择性极限电流 I_s 为最大值。

A.5.2.3 特殊安装条件下选择性极限电流的确定

选择性极限的相关数据可以用表格、图表或软件形式给出。对于本部分，无论理论研究还是通过试验得到的数据都将基于引入电器 C_2 的预期故障电流等级基础上，并且假定协调配合电器就在附近。实际上选择性极限也将会受到两个电器之间阻抗的影响。因此在实践中选取下游断路器的预期故障电流值作为选择性极限将更为精确。

A.5.3 通过试验确定选择性

试验电路图的示例见图 A.5，其中：

—— C_1 可以是符合本部分或其他标准的断路器或符合合适标准的熔断器；

—— C_1 和 C_2 调整到最大瞬时整定值，如合适。

试验可以在制造商规定的其他脱扣整定值下进行，在此种情况下，脱扣器的整定值应记录在试验报告中。

除非为了配线方便， C_1 和 C_2 电源侧和负载侧之间连接电缆总长度应按 8.3.2.6.4 的规定。

试验应由一个 O-t-CO 操作组成，通过闭合下游电器 C_1 进行 CO 操作。如果下游电器是熔断器，则通过闭合 C_2 进行操作。

选择性试验在制造商宣称的有关 C_1 和 C_2 的预期电流等级下进行。

获得的结果：

——GB/T14048.1—2012 中 8.3.4.1.7 适用。

——在每次操作中， C_1 应脱扣， C_2 不应脱扣。如果 C_2 的触头在操作过程中瞬间断开，则从短路开始到 C_2 触头断开结束的时间应小于或等于 30ms。实际值应记录在试验报告中。

——此外，应用常规操作方式验证 C_2 触头正常断开。

A.6 验证后备保护

A.6.1 交接电流的确定

可通过比较 C_1 和串联的 SCPD 的动作特性（对 C_1 所有整定值，如适用，对 C_2 所有整定值）来检验是否符合 A.3.2 的要求。

A.6.2 验证后备保护

后备保护可以通过试验或特性比较来验证。

a) 通过试验验证

通常按 A.6.3 的试验来验证是否符合 A.3.3 的要求。在这种情况下，所有的试验条件应按本部分 8.3.2.6 的规定，使短路试验用的可变电阻器和电抗器置于组合装置的电源侧。

b) 通过特性比较验证

在某些实际情况下以及当 SCPD 为一断路器时 [见图 A.3a) 和图 A.3b)]，则可以比较 C_1 和串联的 SCPD 的动作特性，但应特别注意下列内容：

—— C_1 在 I_{cu} 下的焦耳积分值和组合装置预期电流下的 SCPD 的焦耳积分值；

——SCPD 峰值动作电流对 C_1 的影响（例如由于电弧能量，最大峰值电流，截断电流等）。

配合是否恰当可按 SCPD 总的动作 I^2t 特性的最大值估计， I^2t 的范围是从 C_1 的额定短路分断能力 I_{cu} 到应用的预期短路电流，但不超过 C_1 在其额定分断能力时的最大允通 I^2t 或制造厂规定的其他下限值。

注：如果串联的 SCPD 为熔断器，则理论研究应限于 C_1 的 I_{cu} 以下才有效。

A.6.3 验证后备保护的试验

如果 C_1 装有可调过电流断开脱扣器，则动作特性应为相应于最小时间和电流整定的动作特性。

如果 C_1 装有瞬时过电流断开脱扣器，则所用的动作特性应为相应于装有这类脱扣器的 C_1 的动作特性。

如果串联的 SCPD 为装有可调过电流断开脱扣器的断路器（ C_2 ），则所用的动作特性应为相应于最大的时间和电流整定值的动作特性。

如果串联的 SCPD 为一组熔断器，则每次试验应用一组新的熔断器进行，即使在以前的试验中某些熔断器没有熔断。

如适用，根据 8.3.2.6.4 规定的连接电缆应包括在内，但如果串联的 SCPD 为断路器（ C_2 ），则与该断路

器连接的总长度为 75cm 的电缆可放在电源侧（见图 A.4）。

每个试验应包括按本部分 8.3.5 进行的 O-t-CO 操作程序，不论是在 I_{cu} 下试验，CO 操作均在 C_1 上进行。

用预定用途的最大预期电流进行一次试验。该值不应超过额定限制短路电流 [见 GB/T14048.1—2012 中 4.3.6.4，标题“额定限制短路电流”后增加符号“(I_q)]。

另一次试验应在等于 C_1 额定短路分断能力 I_{cu} （或 I_{cs} ）的预期电流值下进行，进行本试验时，可用新的 C_1 试品进行，此外如果串联的 SCPD 为断路器，也可用新的 C_2 试品进行。

在每次操作期间：

a) 如果串联的 SCPD 为断路器（ C_2 ）：

—— C_1 和 C_2 均应在两次试验电流下脱扣，不要求进一步进行试验。这是一般情况，仅提供后备保护。

——或在两次试验电流下 C_1 应脱扣， C_2 应在每次操作结束时处在闭合位置，不要求再进行试验。在每次操作期间允许 C_2 的触头瞬间分开。在这种情况下，除后备保护外，又可恢复供电 [见图 A.3a) 注 1]。进行本试验时，应记录 C_2 触头分开（如有）的时间。

——或在较低试验电流下 C_1 应脱扣，而在较高试验电流下 C_1 和 C_2 均应脱扣。

C_2 的触头在较低的试验电流下允许瞬间分开。并应在中档电流下进行一些附加试验，以确定 C_1 和 C_2 均应脱扣的最小的试验电流，低于该电流时， C_2 应能恢复供电。进行本试验时，应记录 C_2 触头分开时间（如有）。

b) 如果串联的 SCPD 为一熔断器（或一组熔断器）：

——在单相电路中，至少应有一台熔断器熔断；

——在多相电路中，至少应有两台或两台以上熔断器熔断，或一台熔断器熔断和 C_1 脱扣。

A.6.4 获得的结果

GB/T14048.1—2012 中 8.3.4.1.7 和本部分的 8.3.2.6.7 的第一段适用。

试验之后， C_1 应符合 8.3.5.4 和 8.3.5.5 的要求；如果 C_1 为熔断器，则应符合 GB/T13539.1 的要求。

此外，如果串联的 SCPD 为一断路器（ C_2 ），应用手动操作或其他合适的装置验证 C_2 触头无熔焊。

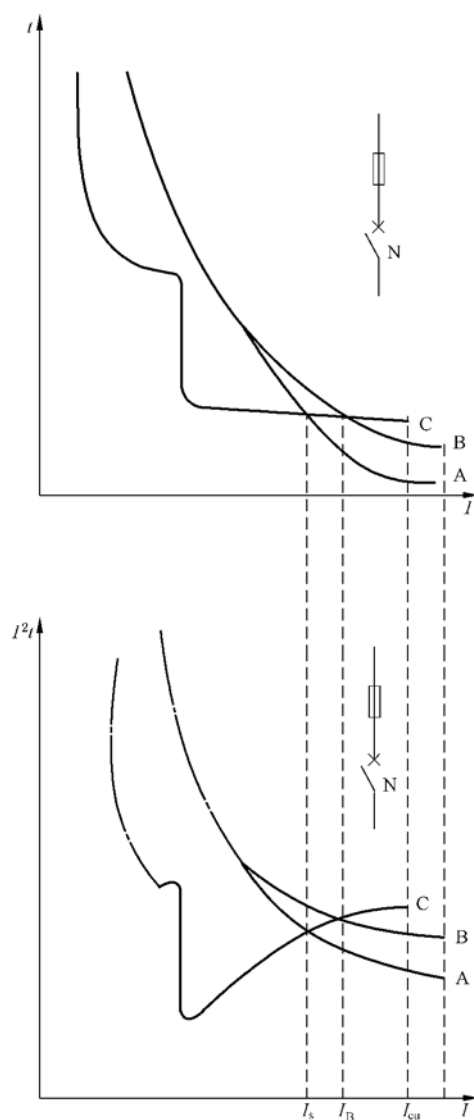


图 A.1 在断路器与熔断器或作后备保护熔断器之间的过电流配合：动作特性

说明：

I —— 预期短路电流；

I_{cu} —— 额定极限短路分断能力（4.3.6.2.2）；

I_s —— 选择性极限电流（2.17.4）；

I_B —— 交接电流（2.17.5）；

A —— 熔断器弧前特性；

B —— 熔断器动作特性；

C —— 非限流断路器（N）的动作特性（分断时间 / 电流和 I^2t / 电流）。

注1：A表示下限、B、C表示上限。

注2：点划线表示 I^2t 非绝热区。

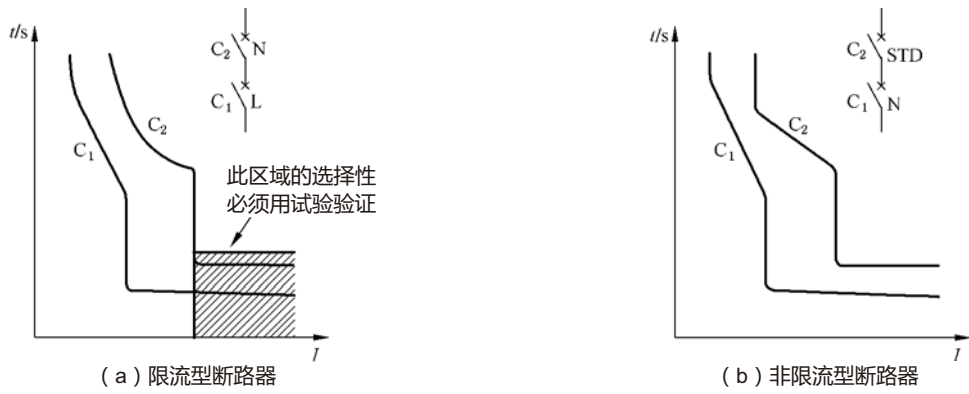


图 A.2 两台断路器之间的全选择性

说明：

C_1 ——限流断路器 (L) (断开时间特性)
 C_2 ——非限流断路器 (N) (脱扣特性)
 I_{cu} 的值未画出。

C_1 ——非限流断路器 (N) (断开时间特性)
 C_2 ——具有人为短延时的断路器 (STD) (脱扣特性)。

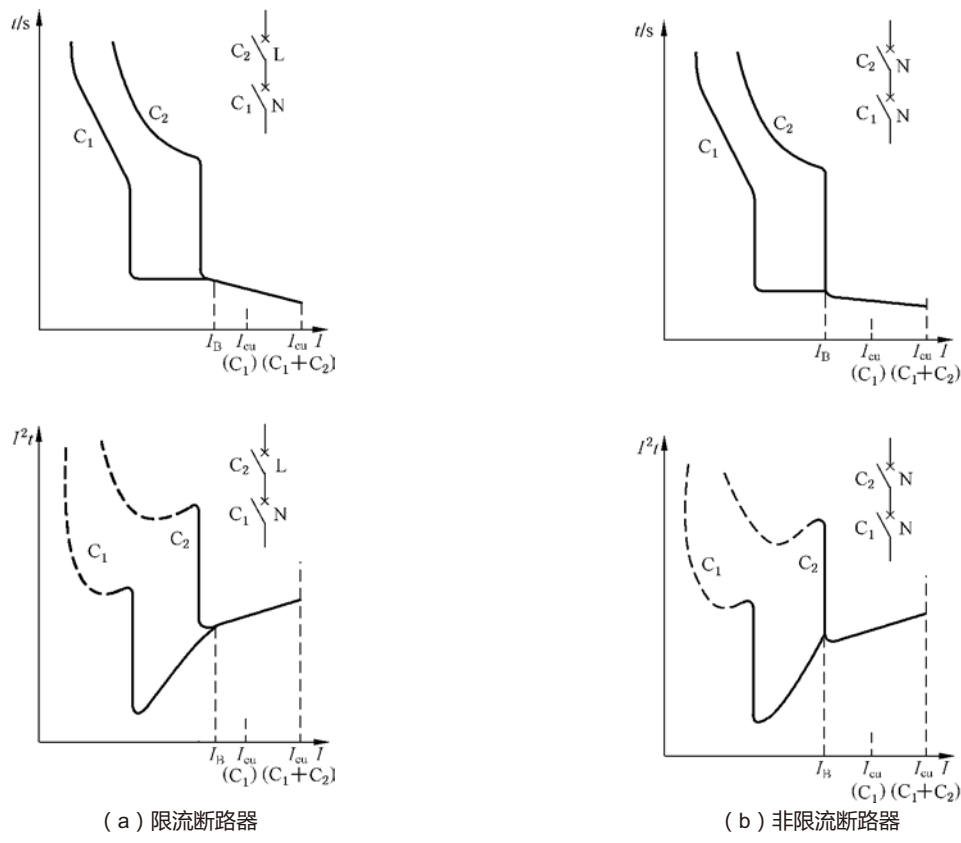


图 A.3 用断路器作后备保护——动作特性

说明：

C_1 ——非限流断路器 (N) ; C_1 、 C_2 ——非限流断路器 (N) ;
 C_2 ——限流断路器 (L) ; I_B ——交接电流。

注1：如适用，用 C_2 进行恢复供电。

注2： $I_{cu} (C_1 + C_2) \leq I_{cu} (C_2)$ 。

注3：对 $I > I_B$ 的值，曲线是组合装置的曲线（用粗线表示），其数据需由试验获得。

参考文献

- [1] 施耐德电气 . 电气装置应用 (设计) 指南[M]. 北京 : 中国电力出版社 , 2017.
- [2] 上海电器科学研究院. GB/T 14048.1-2012, 低压开关设备和控制设备 第1部分 : 总则 [S].
- [3] 上海电器科学研究院, 等. GB/T 14048.2-2020, 低压开关设备和控制设备 第2部分 : 断路器 [S].
- [4] 上海电器科学研究院, 等. GB 10963.1-2005, 电气附件-家用及类似场所用过电流保护断路器 第1部分 : 用于交流的断路器 [S].
- [5] 上海电器科学研究院, 等. GB/Z 14048.2-2020, 低压开关设备和控制设备 过电流保护电器 第2部分 过电流条件下的选择性 [S].
- [6] International Electrotechnical Commission . IEC60364-5-53 2020-12 Low-voltage electrical installation Part 5-53 : selection and erection of electrical equipment -Devices for protection for safety, isolation, switching, control and monitoring [S].
- [7] 天津电气传动设计研究院有限公司. GB/T 7251.1-2013, 低压成套开关设备和控制设备 第1部分 : 总则 [S].
- [8] 许志红 . 电器理论基础[M]. 北京 : 机械工业出版社 , 2014.
- [9] 中国航空规划设计研究院总院有限公司 . 工业与民用供配电设计手册[M]. 北京 : 中国电力出版社 , 2016.
- [10] 施耐德电气 . Masterpact MT低压空气断路器和负荷开关产品目录[M]. 2020.
- [11] 施耐德电气 . 全新一代ComPacT NSX 塑壳断路器[M]. 2021.
- [12] 施耐德电气 . Acti 9产品目录[M]. 2020.
- [13] 王厚余 . 低压电气装置的设计安装和检验[M]. 北京 : 中国电力出版社 , 2007.
- [14] 汤继东 . 中低压电气设计与电气设备成套技术 [M]. 北京 : 中国电力出版社 , 2010.
- [15] 汤继东, 朱冬宏 . 中低压配电设计与实践 [M]. 北京 : 中国电力出版社 , 2015.
- [16] 任元会 . 低压配电设计解析 [M]. 北京 : 中国电力出版社 , 2020.
- [17] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. . IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems [S].
- [18] 李蔚 . 建筑电气设计关键技术措施与问题分析 [M]. 北京 : 中国建筑工业出版社 , 2016.
- [19] 中机中电设计研究院有限公司 . GB 50055-2011通用用电设备配电设计规范[S]. 北京 : 中国计划出版社 , 2011.
- [20] 中国建筑东北设计研究院有限公司 . GB 51348-2019民用建筑电气设计标准[S]. 北京 : 中国建筑工业出版社 , 2019.
- [21] 陈德桂 . 低压断路器的开关电弧与限流技术 [M]. 北京 : 机械工业出版社 , 2006.
- [22] 施耐德电气 . Selectivity, Cascading and Coordination Guide [M]. 2021.
- [23] 紫光测试有限公司, 等 . GB/T14598.151-2012 量度继电器和保护装置第151部分 : 过欠电流保护功能[S].
- [24] 施耐德电气 . MasterPact MTZ MicroLogic X Control Unit User Guide [M].
- [25] 施耐德电气 . Low voltage expert guides n° 5-Coordination of LV protection devices [M].

施耐德电气 (中国) 有限公司

施耐德电气 (中国) 有限公司	北京市朝阳区望京东路6号施耐德电气大厦	邮编：100102	电话：(010) 84346699	传真：(010) 65037402
■ 上海分公司	上海市普陀区云岭东路89号长风国际大厦6层, 8-9层, 11-13层	邮编：200062	电话：(021) 60656699	传真：(021) 60768981
■ 广州分公司	广州市天河区珠江新城金穗路62号侨鑫国际金融中心大厦20层02-05单元	邮编：510623	电话：(020) 85185188	传真：(020) 85185195
■ 武汉分公司	武汉市东湖高新区光谷大道77号金融港B11	邮编：430205	电话：(027) 59373000	传真：(027) 59373001
■ 西安分公司	西安市长安区郭杜街道丈八八路26号2F	邮编：710065	电话：(029) 65692599	传真：(029) 68798831
■ 深圳分公司	深圳市南山区科苑南路3099号中国储能大厦7楼A-C单元和8楼	邮编：518000	电话：(0755) 36677988	传真：(0755) 36677982
■ 成都分公司	成都市高新区世纪城南路599号天府软件园D区7栋5层	邮编：610041	电话：(028) 66853777	传真：(028) 66853778
■ 乌鲁木齐办事处	乌鲁木齐市米东区会展中街3331号会丰大厦1807	邮编：830002	电话：(0991) 6766838	传真：(0991) 6766830
■ 呼和浩特办事处	呼和浩特市新城区迎宾北路7号大唐金座4楼402室	邮编：010010	电话：(0471) 6537509	传真：(0471) 5100510
■ 哈尔滨办事处	哈尔滨市南岗区红军街15号奥威斯发展大厦21层J座	邮编：150001	电话：(0451) 53009797	传真：(0451) 53009640
■ 长春办事处	长春市解放大路 2677号长春光大银行大厦1211-12室	邮编：130061	电话：(0431) 88400302/03	传真：(0431) 88400301
■ 沈阳办事处	沈阳市东陵区上深沟村沈阳国际软件园860-6号F9-412房间	邮编：110167	电话：(024) 23964339	传真：(024) 23964296
■ 大连办事处	大连市沙河口区五一路267号大连软件园17号大厦201-I室	邮编：116023	电话：(0411) 84769100	传真：(0411) 84769511
■ 天津办事处	天津市滨海高新技术产业开发区华苑产业区(环外)海泰创新六路11号施耐德电气工业园2号楼5层	邮编：300392	电话：(022) 23748000	传真：(022) 23748100
■ 石家庄办事处	石家庄市中山东路303号世贸广场酒店办公楼12层1201室	邮编：050011	电话：(0311) 86698713	传真：(0311) 86698723
■ 太原办事处	太原市府西街268号力鸿大厦B区805室	邮编：030002	电话：(0351) 4937186	传真：(0351) 4937029
■ 银川办事处	银川市兴庆区文化西街106号银川国际贸易中心B栋13层B05	邮编：750001	电话：(0951) 5198191	传真：(0951) 5198189
■ 济南办事处	济南市市中区二环南路6636号中海广场21层2104室	邮编：250024	电话：(0531) 81678100	传真：(0531) 86121628
■ 青岛办事处	青岛市崂山区秦岭路18号青岛国展财富中心二楼4层413-414室	邮编：266061	电话：(0532) 85793001	传真：(0532) 85793002
■ 烟台办事处	烟台市开发区长江路218号烟台昆仑大酒店1806室	邮编：264006	电话：(0535) 6381175	传真：(0535) 6381275
■ 兰州办事处	兰州市城关区广场南路4-6号国芳写字楼2310-2311室	邮编：730030	电话：(0931) 8795058	传真：(0931) 8795055
■ 郑州办事处	郑州市金水路115号中州皇冠假日酒店C座西翼2层	邮编：450003	电话：(0371) 65939211	传真：(0371) 65939213
■ 洛阳办事处	洛阳市涧西区凯旋西路88号华阳广场国际大饭店9层	邮编：471003	电话：(0379) 65588678	传真：(0379) 65588679
■ 南京办事处	南京市建邺区河西大街66号明星国际商务中心A座8层	邮编：210019	电话：(025) 83198399	传真：(025) 83198321
■ 苏州办事处	江苏省苏州市工业园区苏州大道123号汇金大厦1907-1908单元	邮编：215123	电话：(0512) 68622550	传真：(0512) 68622620
■ 无锡办事处	无锡市高新技术产业开发区汉江路20号	邮编：214028	电话：(0510) 81009780	传真：(0510) 81009760
■ 南通办事处	南通市工农路111号华辰大厦A座1103室	邮编：226000	电话：(0513) 85228138	传真：(0513) 85228134
■ 常州办事处	常州市新北区太湖东路101-1常发商业广场5-1801室	邮编：213022	电话：(0519) 85516601	传真：(0519) 88130711
■ 扬州办事处	扬中市环城东路1号东苑大酒店4楼666房间	邮编：212200	电话：(0511) 88398528	传真：(0511) 88398538
■ 合肥办事处	合肥市胜利路198号希尔顿酒店六楼	邮编：230011	电话：(0551) 64291993	传真：(0551) 64279010
■ 重庆办事处	重庆市渝中区瑞天路56号企业天地4号办公楼10层5、6、7单元	邮编：400043	电话：(023) 63839700	传真：(023) 63839707
■ 杭州办事处	杭州市滨江区江南大道618号东冠大厦5楼	邮编：310052	电话：(0571) 89825800	传真：(0571) 89825801
■ 宁波办事处	宁波市江东北路 1 号中信宁波国际大酒店 833 室	邮编：315040	电话：(0574) 87706806	传真：(0574) 87717043
■ 温州办事处	温州市龙湾镇上江路198号新世纪商务大厦B幢9楼902-2	邮编：325000	电话：(0577) 86072225	传真：(0577) 86072228
■ 南昌办事处	江西省南昌市红谷滩赣江北大道1号中航广场1001-1002室	邮编：330008	电话：(0791) 82075750	传真：(0791) 82075751
■ 长沙办事处	长沙市雨花区万家丽中路二段8号华晨世纪广场B区10层24号	邮编：410007	电话：(0731) 88968983	传真：(0731) 88968986
■ 贵阳办事处	贵阳市观山湖区诚信路西侧腾祥·迈德国际一期(A2)1-14-6	邮编：550002	电话：(0851) 85887006	传真：(0851) 85887009
■ 福州办事处	福州市仓山区浦上大道272号仓山万达广场A2楼13层11室	邮编：350001	电话：(0591) 38729998	传真：(0591) 38729990
■ 厦门办事处	厦门市火炬高新区马垄路455号	邮编：361006	电话：(0592) 2386700	传真：(0592) 2386701
■ 昆明办事处	昆明市三市街6号柏联广场A座10楼07-08单元	邮编：650021	电话：(0871) 63647550	传真：(0871) 63647552
■ 南宁办事处	南宁市青秀区民族大道111号广西发展大厦10楼	邮编：530022	电话：(0771) 5519761/62	传真：(0771) 5519760
■ 东莞办事处	东莞市南城区体育路2号鸿禧中心B417单元	邮编：523000	电话：(0769) 22413010	传真：(0769) 22413160
■ 佛山办事处	佛山市祖庙路33号百花广场26层2622-23室	邮编：528000	电话：(0757) 83990312	传真：(0757) 83992619
■ 中山办事处	中山市东区兴政路1号中环广场3座1103室	邮编：528403	电话：(0760) 88235979	传真：(0760) 88235979
■ 海口办事处	海口市文华路18号海南君华海逸酒店6层607室	邮编：570105	电话：(0898) 68597287	传真：(0898) 68597295
■ 施耐德电气研修院	北京市朝阳区望京东路6号施耐德电气大厦	邮编：100102	电话：(010) 84346699	传真：(010) 84501130

Life Is On

Schneider
Electric™
施耐德电气

施耐德电气(中国)有限公司

Schneider Electric(China)Co.,Ltd.

北京市朝阳区望京东路6号

施耐德电气大厦

邮编: 100102

电话: (010) 8434 6699

传真: (010) 8450 1130

Schneider Electric Building, No. 6,

East WangJing Rd., Chaoyang District Beijing

100102 P.R.C.

Tel: (010) 8434 6699

Fax: (010) 8450 1130

由于标准和材料的变更，文中所述特性和本资料中的图像只有经过我们的业务部门确认以后，才对我们有约束。

2022.11