doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2020.03.021

# 地铁非消防电源切除方案优化

杜东平，陈　剡
（成都市建筑设计研究院，成都 610041）

**摘　要：**基于非消防负荷在切除方式、时间、切断点等方面做法不一的问题，通过对各种非消防负荷的类型特点、断电影响、火灾位置、运营管理需求等方面进行分析，对不同的切除对象给出相应切除的方式、时间、切断点。提出优化后的切非方案：三级负荷等可立即切除的负荷和有固定控制流程的负荷均自动切除；无法固定控制流程的负荷手动切除。三级负荷等断电不会影响运营和疏散救援的负荷可立即切断；电梯、站台门、闸机/门禁按控制逻辑指令执行完可切除；切断点选在变电所低压柜内较安全，正常照明、小动力箱建议在配电箱处分区域切除。

**关键词：**地铁；非消防电源切除；消防联动；火灾
**中图分类号：**U231.1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2020)03-0133-05

## Optimization of Non-fire Fighting Power Cutoff Scheme for Metro

**DU Dongping, CHEN Chan**
(Chengdu Architectural Design & Research Institute, Chengdu 610041)

**Abstract:** Non-firefighting cutoffs are different with regard to their cutoff mode, time, and cutting points. Based on an analysis of the types and characteristics of non-fire loads, the influence of the power cut, fire location, operation and management requirements, and other aspects, the corresponding cutoff mode, time, and cutoff points are given for different cutoff objects. An optimized non-firefighting power cutoff scheme is examined. For a three-stage load, the power outage will not affect the operation or rescue and can be automatically and immediately cut off. Loads with a fixed control process can be cut off automatically. Loads without a fixed control process can be cut off manually. The elevator, platform door, AFC gate, and entrance guard can be cut off after execution of the control logic command. It is safer to perform a cutoff in the low-voltage distribution cabinet of the substation. The authors suggest that normal lighting and a small power box can be cut off in different areas of the distribution box.

**Keywords:** metro; non-firefighting power cutoff; firefighting linkage; fire

## 1　现状与切除目的

### 1.1　现状

地铁作为城市公共交通的主动脉，其人员密集且成员复杂，一旦发生火灾，疏散难度大，故所有地铁站均设置了火灾自动报警系统。确认火灾后，启动自动灭火设施及联动控制其他消防设备，其中消防联动控制器需切除相关区域的非消防电源(以下简称“切非”)。

《地铁设计规范》(GB50157—2013)第 19.3.6 条规定“火灾自动报警系统确认火灾后，消防控制设备应按消防分区在配电室或变电所切断相关区域的非消防电源”[1]；《火灾自动报警系统设计规范》GB50116—2013 第 4.10.1 条规定“消防联动控制器应具有切断火灾区域及相关区域的非消防电源的功能……”[2]。

虽然规范对于切非有对应的条文，但对于切除的方式、时间、切断点位置并未给出具体做法，因此各城市、各设计院的非消防电源切除方案做法不一。主要差异体现在某些负荷是否切除、是手动或自动切除、切除时间是立即或延时、切除区域是分区或全部、切断点位置在低压柜或配电箱。这些具体做法值得研究探讨。

### 1.2　切除目的

确认火灾发生后首先要保证消防设备用电的可靠性，相关区域的非消防电源应切尽切；火灾可能会造

收稿日期：2019-03-11　　修回日期：2019-04-16
第一作者：杜东平，男，本科，高级工程师，从事轨道交通低压配电与照明、接地等设计与研究，392059843@qq.com

成电气线路短路和其他设备事故，为防止火势沿电气线路蔓延扩大和表面触电事故等发生，消防员在灭火前先要切除起火区域的非消防电源；灭火过程中一般使用消火栓灭火，由于水介质具有一定的导电性，灭火时会通过消火栓及其水柱形成导电通路，救援人员如果触及带电设备或线路，将造成人员电击或伤亡。另一方面，也要避免突然停电造成人员恐慌和二次事故(比如正常照明、电梯)，不利于快速安全疏散。

综上可以得出消防切非的目的：保证消防设备配电的可靠性；避免扩大火灾范围；尽量缩小断电范围；保障救援人员的人身安全。单独考虑避免扩大火灾范围来说应多切，缩小断电范围来说应少切，这看似对立的两个目标，考验的是设计对于各种负荷的拿捏。

## 2 切除对象分析

地铁一级负荷中的通信、公安通信、信号、火灾报警系统(FAS)、环境与设备监控系统(BAS)、综合监控、气体灭火；疏散用扶梯、消防泵、废水泵、雨水泵；应急照明、变电所操作电源；环控消防风机、风阀等均为消防负荷，火灾时不能切除。一级负荷不全是消防负荷，除上述负荷以外的一级非消防负荷包括地下公共区及区间照明、站台门、民用通信、AFC 系统、门禁、安防等。全部二、三级负荷均为非消防负荷，二级中包括普通电梯、设备管理房照明、出入口电源箱(非疏散扶梯、排水泵)、环控二级负荷。下面分析这些切非做法上有差异的非消防负荷的特点。

### 2.1 三级负荷

三级负荷包括环控三级负荷(冷水机组、冷冻泵、冷却泵、冷却塔、多联机、公共区风机盘管等)、区间检修电源、三级小动力(清洁插座、电开水器、电子水处理仪等)、广告照明、商业等。这些均属于舒适性、便利性、盈利性的设备，突然断电会给乘客或运营人员带来一定不便，但不会造成乘客的恐慌和混乱，也不会影响地铁运营和灭火救援，可由 FAS 在低压柜自动立即切除。如果设置了三级负荷总开关，全部三级负荷只能一刀切；如果不设三级负荷总开关，可根据火灾区域、火灾蔓延发展情况分区域断电。同时需考虑运营管理的需求，比如区间检修电源箱，部分运营公司考虑紧急情况下区间救援要用，此时区间检修回路就不能立即切断，或者提高等级按二级负荷配电。

### 2.2 正常照明

正常照明包括地下车站(公共区、设备管理区)及区间的正常照明。虽然确认火灾后会强制点亮应急照明灯，但它的照度、数量都只是满足应急疏散的最低要求，与正常照明相比照度、视野范围差距明显。特别是在火灾产生大量烟气后，视野范围将进一步受限。正常照明的照度较高、视野开阔，有利于公共区大量人群跑动时辨清疏散方向；另一方面，站台站厅公共区属于同一防火分区，正常照明突然全部断电，极易造成乘客的心理恐慌，引发混乱或者踩踏事故，不利于人员疏散。

区间隧道一般是正常照明和应急照明间隔布置，各占一半。《地铁设计防火标准》(GB51298—2018)要求道床面疏散照明的最低水平照度不应小于 3.0 Lx[3]，照度是很低的。正常照明如果突然断电，隧道内昏暗的灯光、凹凸的道床面均不利于人员疏散，故火灾时不能立即切除。从方便疏散考虑，最好能适当增加疏散照度，可选用功率较大的正常照明灯和疏散照明灯。比如成都地铁前三期不少线路的地下区间全部采用 220 V 应急照明。因 24 h 常明对于运营来说不节能，可在回路上加装接触器，通过 BAS 关闭部分回路实现节能。

设备管理区一般情况下每层有 2 个及以上防火分区，起火点可能是某个防火分区内的设备房、走道、楼梯间等，虽然站内工作人员对疏散路径较熟悉，也不应立即全部切除。正常照明充足的照度可让工作人员快速组织疏散；另外重要的强弱电设备房均设置了气体灭火及火灾报警，且地铁车站选用的材料均为不燃或难燃的材料，火灾发生后不至于快速沿电气线路蔓延，故只切除对应防火分区的配电回路。站厅站台两端的照明配电室内一般设有两个照明总箱，里面除了公共区照明回路外，根据建筑布置一般还有设备区照明、安全照明、一类导向、装饰照明回路，设备区照明也可单从变电所直接馈出配电箱。安全照明、一类导向、装饰照明可立即切除，为了缩小断电范围，切除点建议在各配电箱对应回路馈出端设接触器[4]。

综上，地下车站及区间的正常照明不能立即切除，应在火灾确认后，由消防控制室根据火灾救援情况，手动分区域切除正常照明。 同时 GB50116—2013 第 4.10.1 条也规定了“……当需要切断正常照明时，宜在自动喷淋系统、消火栓系统动作前切断。”这是因为在自动喷淋、消火栓开启后，喷淋水可能会引发触电事故及二次灾害。所以如果通过 FAS 自动切除，需要在联动控制逻辑中增加水系统动作信号的前置条件。

### 2.3 电梯、站台门

地铁车站里的电梯均不考虑火灾时使用(设置了

消防电梯的除外)，但并不是一发生火灾就立即断电。GB50116—2013 第 4.7.1 条“消防联动控制器应具有发出联动控制信号强制所有电梯停于首层或电梯转换层的功能”；第 4.7.2 条“电梯运行状态信息和停于首层或转换层的反馈信号……”。火灾发生后，会有人被关在电梯轿厢内，如果立即断电，电梯迫降到了井道未知段是相当危险的。故强制要求电梯接收到信号后，取消所有呼叫命令，运行至疏散层(一般为站厅层)，开门让乘客撤出电梯，停止运行并反馈信号给 FAS，完成这一系列规定指令后才能断电[5]。若存在多部电梯位于不同防火分区，应根据着火点位置最终确定切除区域，着火区域以外防火分区的电梯不应同时停用，便于残障人士疏散。

站台门为一级双电源供电，有蓄电池后备供电，但蓄电池经搁置 4、5 年后可能老化故障。当火灾发生在站台时，站台门应配合排烟模式开启或关闭，若没有列车驶向该站时，滑动门打开，若有列车驶向该站时，应继续驶向下一车站后，滑动门才打开；当火灾发生在列车内时，应尽可能驶向前方车站停车，打开所有滑动门疏散乘客；当火灾发生在隧道内时，乘客需步行至车站，通过端门进入站台。虽然有应急门和端门可从轨道侧手动打开，但仅有的几个应急门不能安全及时地疏散，需开启全部滑动门。综上，站台门电源不能立即切断，应在 FAS 联动下完成规定指令后再断电。

## 2.4 弱电非消防负荷

弱电非消防负荷包括民用通信、AFC、门禁、安防、乘客信息系统(PIS)等设备，为双电源供电，均有弱电 UPS 后备供电。火灾时切除其进线电源也不能中断末端设备的供电，如需切除应在弱电不间断电源系统(UPS)对应回路的馈出端切断电源。

民用通信即为乘客提供的通信服务。火灾发生后，工作人员通过专用电话系统及应急通信联络，组织疏散救援。乘客看似只需听从指挥撤离，但还是有通信需求的，比如同行失散的乘客需要联络，发生混乱或者疏散受阻后需要与外界联络。特别是区间火灾的情况下，乘客需要步行很长距离至就近的车站，无法使用手机联络的话会加剧心理恐慌，故民用通信不宜切除。

AFC 安装在设备房里的设备用电由弱电综合 UPS 后备供电，车站票务、交易数据需要保存处理，故不应立即切除；安装在公共区的闸机等设备是由动照设置的双电源切换箱供电。大部分闸机一般具有断电自动释放开门的功能，不会阻碍乘客的疏散路径，这部分可由 FAS 在低压柜自动切除。如果选用了需要通电才能释放开门的闸机，则需由 FAS 联动控制所有闸机开门后才能断电。同时车控室设置了闸机的紧急释放按钮，可手动操作。

设备管理房的门禁一般采用磁力锁，利用电生磁的原理，当电流通过硅钢片时，磁力锁会产生强大的吸力吸附铁板达到锁门的效果。断电后磁力锁失去吸力即释放开门。部分线路公共区付费区栏杆上的员工通道门可能采用阴极电插销锁，需要通电才能开门，但其不是人员疏散的主要路径，仅辅助疏散。火灾时由 FAS 把控制信号传给门禁系统控制器，控制车站所有门禁解锁后可切除电源。同时车控室设置了门禁的紧急释放按钮，可手动操作。

安防及 PIS 在火灾救援中有非常重要的作用，救援人员可通过视频监控掌握车站内火灾蔓延形势、被困乘客分布情况。有些新建线路的视频监控系统还具有人脸识别和智能视频分析功能，能识别可疑物或人为纵火等异常行为并报警。救援人员可通过这些信息制定救援方案，针对性地投入救援设备和消防员。如果断电切除会延误救援时间及影响救援效果。同时规范要求视频监控信息保存时间不少于 90 d，救援完成后可为事故调查提供依据[6]。PIS 平时通过公共区、列车安装的显示终端提供运营等多媒体信息，在火灾、阻塞等异常工况下，会配合广播显示紧急疏散提示信息，辅助乘客疏散。故安防/PIS 电源不能切除，且应选择耐火线缆。

## 2.5 环控二级负荷

环控二级负荷中包含为弱电设备房服务的通风空调设备。其中与列车行车相关的通信、信号、综合监控机房、车控室等关键设备房发热量大，对设备运行的温湿度等环境要求比较高。根据《数据中心设计规范》(GB50174—2017)要求，房间长期温度不应超 27℃，短期不应超过 35℃[7]。如果为其服务的通风空调设备断电，设备运行的温度逐渐上升，时间长了将超过设备正常运行允许的环境温度上限。这些关键设备一旦出现故障将会影响列车的运行。多联机虽然只是弱电设备房的冗余备用空调，但还是存在火灾发生时空调水系统关闭只有多联机运行这种极端情况，比如空调系统故障、过渡季节、夜间空调负荷太低，空调水系统无法启动或运行不节能等时间段，建议设计时提高等级按二级负荷配电。故环控二级负荷电源不宜立即切除，应根据火灾位置及蔓延情况手动切除。

### 2.6 出入口扶梯、水泵

出入口扶梯如果参与疏散，则出入口扶梯为消防电源不能切断。此处讨论的是不参与疏散的非消防扶梯。火灾发生后，恐慌心理难以让乘客有序静止地站在自动扶梯上，会有人穿插走动，突然停机运行可能会造成摔倒或踩踏事故。所以必须在确保乘客安全的情况下断电。一种是通过扶梯配电箱或扶梯上下部的停机按钮就地控制；另一种是在车控室通过视频监控确认人员不多且均不跑动的时候远程切除。出入口的排水泵除了排出正常雨水，在灭火时如果消火栓启动喷水后，还兼做消防排水用，类似的情况在二级小动力箱也有，局部排水泵会兼消防排水。故出入口的扶梯、排水泵建议手动就地切除[8]。

## 3 切除方式分析

切除方式分自动、手动两种。自动即按预设的控制逻辑编程，通过 FAS 联动控制器自动执行，优点是自动化程度高，响应快速，缺点是控制逻辑编程复杂；手动即工作人员确认火灾后，在车控室或就地配电箱人工操作切除，优点是断电范围可控，缺点是响应较慢，受执行者决策影响大。三级负荷等可以立即切除的对象均自动切除；有固定控制流程可编程的负荷可实现自动切除，如电梯、站台门、闸机、门禁、正常照明；无法固定控制流程逻辑、编程复杂的负荷由人工手动切除。

其中三级负荷的自动切除，分集中控制和分散控制，区别在于是否设置三级负荷总开关。集中控制即在变电所低压柜设置三级负荷总开关，控制通过硬线接口拉至车控室 IBP 盘。电力监控系统(SCADA)仅通过两个三级总开关进行监控，不再与各三级负荷配电回路发生直接关系，接口单一，柜内控制及信号线简洁，可由 FAS 自动执行，减少了管理难度，故大部分城市地铁采用此方式。缺点是一刀切，管理灵活性差，增加了三级总开关及柜位的投资。

对应的分散控制即不设总开关，将三级负荷集中在一两面低压柜里，每个配电回路的断路器配置电动操作机构或接触器实现远程控制，通过 SCADA 传至车控室。得益于电气设备智能化、电力监控技术的飞速发展，多点监控对于 SCADA 并不是难事。这种方式运营管理灵活，符合运营精细化管理的理念[9]；能准确切除火灾相关区域的回路，比如根据火灾实际情况确定区间检修箱、多联机的切除时机，缩小断电范围。北京等地采用此方式。

## 4 切除方案优化

以成都地铁为例，第一、二期规划线路的 FAS 消防切非方案是在低压柜自动切除三级负荷总开关(含多联机)。第三期规划线路在原方案基础上做了改进：自动切非增加了银行、污水泵、维修电源箱、设备房插座回路；另增加了一路手动切非信号，馈出至环控二级、非消防电梯、正常照明(公共区及设备区)、二级小动力箱、AFC、站台门等回路，设置分励脱扣，由厂家在柜内归集为一个消防切非点，根据需要拉硬线至车控室 IBP 盘，预留手动切除条件[10]。

此方案的手动切非信号将很多回路合并归集为一个点且同时在低压柜切除是不合理的。规范强调“相关区域”意在尽量缩小断电范围。如正常照明(公共区及设备区)应在配电箱处只切除着火点相关区域，且应在水系统动作前切断。

根据上述分析，归纳总结出了一个优化的切非方案，详见表 1。动照给 FAS 提资时，应将每个需要切除负荷所处的防火分区标注清楚，FAS 按表 1 中的接口与动照衔接实施。

从表 1 中可以看到，关于切除的时间，三级负荷等断电不会影响地铁运营和灭火救援的负荷可以立即切断，当闸机、门禁可以断电开门时也可立即切除。从规范条文制订的初衷来说，只要能确认不是供电线路发生的火灾，不应立即切除。电梯、站台门、闸机/门禁(需通电开门时)按控制逻辑完成规定指令后可切除；其余非消防负荷应根据火灾情况延时分区域切除。

关于切断点，因地铁大部分负荷为放射式配电，只有正常照明、小动力箱等负荷采用树干式配电。故切断点选在变电所低压柜内比较安全，低压柜切除的回路断路器需配置分励脱扣器。对于正常照明、小动力箱(有延时切非的馈线时)建议在配电箱处分区域切除。

需要说明的是：表 1 中第 5～7 项负荷在火灾初期需完成规定动作，存在着火点刚好位于负荷所在的防火分区的情形，第 13～14 项在灭火救援及疏散时考虑使用，这些配电电缆需考虑在火灾时的承受力以避免二次伤害，因火灾时电缆导体电阻会随着温升逐渐增大，其截面应按火灾工况校验电压降，留有一定裕量，宜选择耐火型；若着火区域蔓延至表 1 中第 8～12 项负荷所在的防火分区，此时需要切除相应负荷，这些电缆按正常工况校验截面，选择阻燃。

表 1　FAS 消防切非表

Tab. 1　FAS Non-firefighting power cutoff

| 序号 | 负荷名称 | 切除方式 | 切除时间 | 切断点 | 说明 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 三级负荷总开关、银行、污水泵、多联机 | 自动 | 立即 | 低压柜 | 火灾时若多联机正在使用，多联机不宜立即切除 |
| 2 | 二级小动力箱(仅含维修电源箱、设备房插座回路) | 自动 | 立即 | 低压柜 | 设备房插座不含车控室 |
| 3 | 公共区 AFC 双切箱 1、门禁 1 | 自动 | 立即 | 低压柜/配电箱 | 闸机具备断电自动释放开门；门禁采用磁力锁断电开门时 |
| 4 | 照明配电箱(一类导向、装饰照明、安全照明回路) | 自动 | 立即 | 配电箱 | 配电箱对应回路加接触器 |
| 5 | 普通电梯、站台门 | 自动 | FAS 联动完成规定指令后切断(≤3min) | 低压柜 | 按控制逻辑编程实现自动 |
| 6 | 公共区 AFC 双切箱 2、门禁 2 | 自动 | FAS 联动闸机开门、门禁控制器解锁后切除(≤1min) | 低压柜/配电箱 | 闸机需要通电开门、门禁含阴极锁需通电开门时，按控制逻辑编程实现自动 |
| 7 | 设备区 AFC | 手动 | 延时切除(≤5min) | 配电箱 | |
| 8 | 公共区正常照明 | 手动或自动 | 延时切除 | 配电箱 | 水系统动作前切除；按控制逻辑编程可实现自动 |
| 9 | 地下区间正常照明 | | 延时切除 | 配电箱 | |
| 10 | 设备区正常照明 | | 延时分区域切除 | 配电箱 | |
| 11 | 环控二级负荷 | 手动 | 延时分区域切除 | 低压柜 | |
| 12 | 出入口扶梯、水泵 | 手动 | 延时分区域切除 | 配电箱/扶梯就地按钮 | |
| 13 | 民用通信 | 手动 | 不宜切除 | 低压柜 | |
| 14 | 一、二级小动力箱(含局部排水泵回路) | 手动 | 不宜切除 | 配电箱 | 兼消防排水用 |
| 15 | 安防、PIS | — | 不能切除 | — | 按消防负荷考虑 |

另外车控室插座因连接了运营控制用的电脑，火灾时不能断电。故不能从二级小动力或照明箱馈电，应从车控室双切箱或弱电 UPS 馈电。

## 5　结语

为保证消防配电的可靠性和救援人员的人身安全，又不能扩大火灾范围和断电范围。设计中需根据非消防负荷的类型特点、火灾发生区域、断电影响、运营管理需求来分析确定切非的方式、时间、位置，得到一个综合权衡的切非方案。希望同行们论证实践，继续探讨和完善切非方案。

### 参考文献


[1] 地铁设计规范：GB50157—2013[S]. 北京：中国建筑工业出版社, 2014.
Code for design of metro: GB50157—2013[S]. Beijing. Architecture&Building Press, 2014.

[2] 火灾自动报警设计规范：GB50116—2013[S]. 北京：中国计划出版社, 2013.
Code for design of automatic fire alarm system: GB50116—2013[S]. Beijing: China Planning Press, 2013.

[3] 地铁设计防火标准：GB51298—2018[S]. 北京：中国计划出版社, 2018.
Standard for fire protection design of metro: GB51298—2018[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.

[4] 郭莉. 地铁车站非消防电源的切除分析[J]. 隧道建设, 2014, 34(4): 298-302.
GUO Li. Analysis on cutting-of of non-fire-fighting power supply of metro stations[J]. Tunnel construction, 2014, 34(4): 298-302.

[5] 许勇. 垂直电梯火灾时延时切非方式讨论[J]. 现代城市轨道交通, 2015(1): 16-18.
XU Yong. Discussion on power supply delay shifting of elevator in fire case[J]. Modern urban transit, 2015(1): 16-18.

[6] 城市轨道交通公共安全防范系统工程技术规范：GB51151—2016[S]. 北京：中国计划出版社, 2016.
Technical code for engineeHng of pubⅡ c secuⅡty and protection system of urban rail transit: GB51151—2016[S]. Beijing: China Planning Press, 2016.

[7] 数据中心设计规范：GB50174—2017[S]. 北京：中国计划出版社, 2017.
Code for design of data centers: GB50174—2017[S]. Beijing: China Planning Press, 2017.

[8] 何晶. 地铁消防联动切非方案刍议[J]. 电气技术, 2010, 11(11): 76-78.
HE Jing. Subway fire resection of fire power discussion[J]. Electrical engineering, 2010, 11(11): 76-78.

[9] 杨兴山. 对三级负荷总开关的设置分析[J]. 都市快轨交通, 2011, 24(1): 98-100.
YANG Xingshan. Analysis on the installation of main switch for three-level load management[J]. Urban rapid rail transit, 2011, 24(1): 98-100.

[10] 北京城建设计发展集团股份有限公司. 成都轨道交通 8 号线一期工程施工图设计动力照明实施细则[A]. 成都, 2017: 38.


（编辑：王艳菊）