

应急照明系统二总线中继装置的设计及应用

武 鑫¹ 李德春² 狄 国²

(1. 山东华天科技集团股份有限公司 2. 山东华天电气有限公司)

摘要：随着消防二总线在应急照明系统中的广泛应用，且系统的灯具功率较大，现有的二总线当远距离应用时，线路压降高，电感大，由于电感续流原因导致的回传信号乱码，上下行波形畸变进而无法实现信息的正常收发。为了解决上述问题，提出了二总线中继装置的研究设计。该装置包括上行电路、储能电路、总线控制器和下行电路，经过现场运行测试，装置投入运行后在抑制波形畸变、通讯波形矫正以及通讯稳定性等方面发挥了极大的作用。

关键词：应急照明；二总线；中继装置

0 引言

消防二总线是一种相对于四线系统（两根供电线路、两根通讯线路），将供电线与信号线合二为一，实现信号和供电共用一个总线的技术。二总线节省了施工和线缆成本，给现场施工和后期维护带来了极大的便利，在消防、仪表、传感器、工业控制等领域广泛应用。在消防领域，消防应急照明控制系统是不可或缺的消防系统之一。在大型建筑照明设计中，普遍存在照明线路远距离供电的场景，在地铁区间隧道设计中尤为常见。当供电线路距离过远，线路末端的电压降增大，影响照明质量；同时，远距离供电由于电压损失加大，要维持灯具的功率，必须加大电流，线路较长时电感增大，在电流增大时会影响到通讯波形的畸变从而影响通讯。因此，本文结合实际工程，从中继装置的设计和应用两个方面进行分析探讨。

1 电压降相关规范要求

按照 GB 50034—2013《建筑照明设计标准》^[1]（以下简称《照明标准》）第 7.1.4 条规定：照明灯具的端电压在一般工作场所不宜低于其额定电压的 95%；应急照明和用安全特低电压（SELV）供电的照明不宜低于其额定电压的 90%。对于普通照明系统，大型建筑照明末端线路的电压降允许值可按照一般情况选取为额定电压的 5%。

对于消防应急照明系统，根据 GB 51309—2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》^[2]（以下简称《技术标准》）第 3.1.2 条：对于大型建筑，一般设有消防控制室，消防应急照明系统采用集中控制型系统，8m 及以下空间灯具采用集中电源 A 型灯具，该系统末端线路的电压降允许值可按《照明标准》第 7.1.4 条第 3 款安全特低电压供电要求选取系统额定电

压的 10%。

2 通讯解码要求

标准 UART 的 RXD 前端有一个“1 到 0 跳变检测器”，当其连续接受到 8 个 RXD 上的地电平时，该检测器就认为 RXD 线出现了起始位，进入接受数据状态。在接受状态，接受控制器对数据位 7、8、9 三个脉冲采样，并遵从三中取二的原则确定最终值。采用这一方法的根本目的还是为了增强抗干扰，提高数据传送的可靠性，采样信号总是在每个接受位的中间位置，可以避免数据位两端的边沿失真，也可以防止接受时钟频率和发送时钟频率不完全同步引起的误差。异步串口通讯的数据格式如图 1 所示。

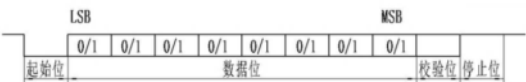


图 1 数据格式

由于在空闲状态时，传送线为逻辑“1”状态，而数据的传送总是以一个起始位“0”开始，所以当接收器检测到一个从“1”向“0”的跳变时，便视为可能的起始位（要排除干扰引起的跳变）；起始位被确认后，就知道发送器已开始发送，接收器就可以按这个数据通信格式接收后续的数据了；当检测到停止位“1”后就表明一帧字符数据已发送完毕。

为了提高采样的准确率，需确保采样点处于被采样数据的时间中间点。所以，在接收采样时要用比数据波特率高 n 倍（ $n \geq 1$ ）速率的时钟对数据进行采样，如图 2 所示。

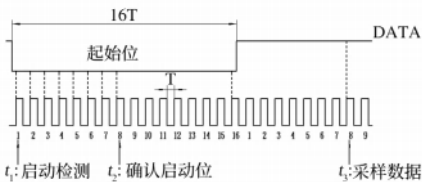


图 2 采样示意图

如图 2 所示，在 t_1 时刻若检测到低电平，就开始对这个低电平进行连续的检测；当检测了 8 个时钟周期后，到达 t_2 ，此刻，若前面的 8 个周期都是低电平，则认为检测到了起始脉冲。否则就认为是干扰，重新检测；在检测到起始位后，再计数 16 个采样时钟周期就到达了第一个数据位的时间中间点 t_3 ，在此刻采样数据并进行保存；然后再经过 16 个周期，就是第二个数据位的时间中间点，在此时刻进行采样；然后，再经过 16 个周期，就是第三个数据位的时间中间点，在此时刻进行采样……，如此重复采样，直到把所有的数据位采样完毕。

因此由于电感续流的原因产生波形畸变，当通讯波形的宽度小于原波形的一半时就会发生通讯误码，造成系统失去控制。

3 数学建模

通常，二总线主从系统的连接方式如图 3 所示。

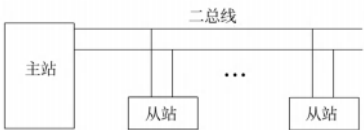


图 3 总线示意图

按照国家建筑设计图集 21D702-8 《地铁及城市轨道交通隧道应急照明设计与安装》中关于地铁工程地下区间直流照明配电线路电压损失计算，灯具在配电线路上均匀布置。

计算方法：

1) n 个光源折算为集中复核后的线路长度（m）：

$$L = L_1 + L_2 \times (N-1) / 2 \tag{1}$$

式中， N 为本回路灯具数量； L_1 为集中电源进入区间第一站灯的线路长度； L_2 为区间灯具的间隔，m。

2) 当回路有 n 盏灯时，最末一盏灯处的电压损失（V）：

$$\Delta U_n = n \times (P/U) \times L \times \rho^2 / S \tag{2}$$

式中, P 为单灯额定功率, W ; U 为额定电压, V ; ρ 为温度为 $70^{\circ}C$ 时导线电阻率, $\Omega \times mm^2/m$; S 为导线截面, mm^2 。

3) 电压损失百分比:

$$\Delta U_n\% = \Delta U_n / U \quad (3)$$

当应急照明灯具单灯功率为 $10W$ 的地铁区间, L_1 为 $200m$, 线径为 $4mm^2$, 灯具间距为 $10m$, 第 6 盏灯具的直流线路电压损失已超过 10% , 第 11 盏灯具电压损失已超过 20% 。

由于应急照明灯具的电气特性为恒功率特性, 随着电压损失逐步增大, 灯具入口的电压逐步降低, 灯具的电流逐步增大。

二总线系统等效模型如图 4 所示。

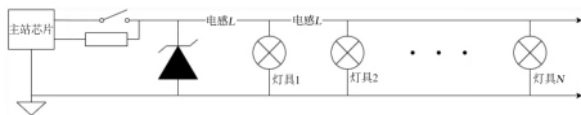


图 4 二总线系统电路等效模型

续流过程分析: 当开关断开时, 第一段电感产

生反向电动势, 此时 $E=U_1$, $di=i_0-i_t$ (i_0 为断开前电路中的电流 $N \times I$; 在开关断开后电感中的电流会随着时间逐渐减小, i_t 为在 t 时刻电路中的电流, 此时灯具 1 已经退出续流过程, 此时 $i_t = (N-1) \times I$; 因此 $di=N \times I - (N-1)I=I$, 由此也可以得出每次电流的变化量为单灯电流), 因此回路整体的续流宽度:

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_N = L \frac{I_1}{U_1} + 2L \frac{I_2}{U_2} + \dots + NL \frac{I_N}{U_N} \quad (4)$$

4 中继装置设计

在总线发送数据时, 总线信号波形图如图 5 所示。



图 5 总线信号波形示意图

当回路的续流宽度大于总线电压波形低电平宽度的 $1/2$ 时, 通讯出现解码错误, 本文将针对这种情况进行一种二总线中继装置的设计, 如图 6 所示的二总线中继装置, 包括上行电路 1、储能电路 2、总线控制器 3 和下行电路 4。

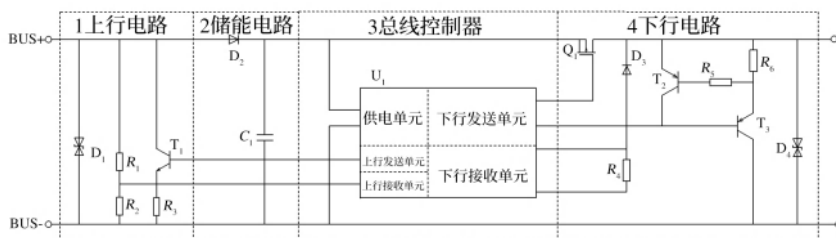


图 6 中继装置示意图

其中, 上行电路 1 包括上行接收电路和上行发送电路; 上行接收电路包括相互并联的第一稳压管 D_1 和检波分压电阻; 第一稳压管 D_1 并联在中继电路的两个输入端; 检波分压电阻包括第一检波分压电阻 R_1 和第二检波分压电阻 R_2 , 通过第一检波分压电阻 R_1 和第二检波分压电阻 R_2 进行所输入电平的分压, 将分压转化后的电平信号输入到总线控制器

中; 上行发送电路包括回传控制三极管 T_1 和回传限流电阻 R_1 , 回传控制三极管 T_1 的集电极连接第一稳压管 D_1 的一端和第一检波分压电阻 R_1 的一端, 回传控制三极管 T_1 的发射极通过回传限流电阻 R_3 连接远离第一检波分压电阻 R_1 的第二检波分压电阻 R_2 的一端, 回传控制三极管 T_1 的集电极连接总线控制器的上行发送单元。

储能电路 2 包括第一二极管 D_2 和第一电容 C_1 。其中，第一二极管 D_2 的阳极连接回传控制三极管 T_1 的集电极，第一二极管 D_2 的阴极连接第一电容 C_1 的阳极，第一电容 C_1 的阴极连接远离回传控制三极管 T_1 发射极的回传限流电阻 R_3 的一端。

总线控制器 3 包括微控制器和供电单元，其中，微控制器与供电单元电连接，微控制器包括上行接收单元、上行发送单元、下行发送单元和下行接收单元；供电单元的一端分别与第一二极管 T_2 的阴极、第一电容 C_1 的阳极和第二二极管 D_3 的阴极相连接，供电单元的另一端与第一电容 C_1 的阴极和远离回传控制三极管 T_1 发射极的回传限流电阻 R_3 的一端相连接；上行发送单元与回传控制三极管 T_1 的基极相连接，上行接收单元与第一检波分压电阻 R_1 和第二检波分压电阻 R_2 连接的位置处相连接。

下行电路 4 包括下行发送电路和下行接收电路；其中，下行发送电路包括晶闸管 Q_1 、第一三极管 T_2 、第一电阻 R_5 、第二电阻 R_6 和第二三极管 T_3 ；其中，晶闸管 Q_1 的发射极连接第一二极管 D_2 的阴极，其集电极连接第一三极管 T_2 的发射极，其基极连接下行发送单元的一端；第一三极管 T_2 的发射极分别连接第二电阻 R_6 的一端和晶闸管 Q_1 的集电极，其集电极分别连接第二三极管 T_3 的基极和下行发送单元的另一端，其基极与第一电阻 R_5 的一端相连接；第一电阻 R_5 的另一端分别与第二电阻 R_6 的另一端和第二三极管 T_3 的发射极相连接；下行接收电路包括采样电阻 R_4 、第二二极管 D_3 和第二稳压管 D_4 ，第二二极管 D_3 的阳极分别与采样电阻 R_4 的一端和下行接收单元的一端相连接，第二二极管 D_3 的阴极连接第一三极管 T_2 的发射极和晶闸管 Q_1 的集电极，采样电阻 R_4 的另一端连接下行接收单元的另一端；第二三极管 T_3 的集电极与第二稳压管 D_4 的一端相连接；第一三极管 T_2 的发射极与第二稳压管 D_4 的一端相连接，第二稳压管 D_4 并联在中继电路的两个输出端。

接，第二稳压管 D_4 并联在中继电路的两个输出端。

通过第一检波分压电阻 R_1 和第二检波分压电阻 R_2 的分压作用，将 36V 的电平信号转换成 TTL 电平信号 $V_{TTL}=R_2/(R_1+R_2) \times 36V$ 进入总线控制器；通过回传控制三极管 T_1 的开通与关断将所得到的 TTL 回传信号转换为电流信号，通过主站上传到上位机，回传控制三极管 T_1 开通时从主站拉取电流，回传控制三极管 T_1 关断时停止拉取电流，主站通过电流 - 电压变换读取信号；储能电路用于为中继装置本身及后端负载提供稳定的输出电压；第一电容 C_1 用来将上行总线的波形滤除，输出为稳定的电压信号；第一二极管 D_2 用来消除后端电压给前端采样带来的影响；总线控制器用于通信解析及转发控制；上行接收单元将收到上行的信号 TTL 电压信号解析后通过下行发送单元输出到下行设备；下行接收单元将收到的下行设备回传信号解析后通过上行发送单元回传到上位机；下行电路用于将接收到的上行下发信号发送到下行终端设备以及将终端设备的回传信号接收解析后通过上行发送单元回传到上位机；在下行发送电路的作用下，通过对晶闸管 Q_1 及第一三极管 T_2 、第二三极管 T_3 按照时序进行开通关断控制，发送低电平时，晶闸管 Q_1 关断，第二三极管 T_3 开通，达到限流值后第一三极管 T_2 开通，将第二三极管 T_3 关断；发送高电平时，晶闸管 Q_1 开通，第一三极管 T_2 、第二三极管 T_3 都截止，将输入电压高电平电压直接输出，从而将 TTL 信号调制为总线电压波形；采样电阻 R_4 将回传电流环信号转换成电压信号，电流信号通过采样电阻 R_4 转换为电压信号，电压信号进入控制器进行模拟数字转换，第二二极管 D_3 用来防止总线电压波形进入回传解析单元。

根据实际波形测试，加入中继装置后可将因电感效应导致的波形低电平宽度减小的情况重新通过中继低电平宽度展宽到正常通讯区间；根据现场测试可将

单回路 200W 负载通讯距离延长一倍；根据现场测试情况可以在单回路满载 200W 工况下实现可靠回传；根据现场应用此中继装置电路可无需额外供电，直接串联在总线中，易于实施。

5 结束语

应急照明是民用建筑电气设计的重要环节，在国家建筑标准设计图集 21D702-8《地铁及城市交通隧道应急照明设计与安装》中提供了 A 型灯具线路电压损失百分数和线路供电功率关系曲线等作为设计指导文件，但仅对线路压降进行了说明，由于线路电感通过二极管续流造成的总线电压波形畸变问题没有解决，应急照明系统为集中监控系统，在保证供电可靠的基础上，状态巡检以及应急控制的稳定性问题不容忽视，本文提出通过设计二总线中继装置的方式进行总

线通讯波形的整定，从而达到正常通讯，且在实际项目中得到了充分的验证。

参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. GB 50034—2013 建筑照明设计规范 [S]. 北京：中国电力出版社，2013.
- [2] 应急管理部沈阳消防研究所. GB 51309—2018 消防应急照明和疏散指示系统技术标准 [S]. 北京：中国计划出版社，2018.
- [3] 中国建筑标准设计研究院. 国家建筑标准设计图集 21D702-8 地铁及城市交通隧道应急照明设计与安装 [M]. 北京：中国标准出版社，2022.

(收稿日期：2024-01-02)