

# 毫米波雷达在高速公路隧道照明节能改造中的应用

袁少林

山西交控科技转化有限公司 山西太原 030001

**摘要:** 随着绿色低碳交通的推进,毫米波雷达技术在高速公路隧道节能照明改造中发挥着重要作用。本文探讨了毫米波雷达技术在高速公路隧道照明节能控制中的应用。通过分析毫米波雷达的工作原理和隧道照明的特点,提出了一种基于毫米波雷达的智能照明控制系统。该系统能够实时监测隧道出入口即隧道内车辆位置、速度和数量,动态调节隧道照明亮度,实现节能目标。结合实际案例,展示了毫米波雷达技术在高速公路隧道照明节能改造中的应用。证明该技术可显著缩短隧道无效照明时间,降低隧道照明能耗,提高隧道照明效率,为高速公路隧道照明节能控制提供了新的解决方案。

**关键词:** 毫米波雷达;高速公路;隧道照明;节能控制;智能交通

## 引言

高速公路隧道作为重要的交通设施,其照明系统电能消耗巨大。传统的照明系统存在无效照明时间长,能耗大、光环境不理想等问题。毫米波雷达技术以其高精度、抗干扰、强穿透力及全天候工作等特性,为隧道照明节能改造提供了有效的技术支持。

### 1 毫米波雷达技术原理

毫米波雷达是一种工作在毫米波波段的雷达,通过天线发射特定波形频段的电磁波(频率范围为30GHz到300GHz,波长为1毫米到10毫米),并接收目标反射的电磁波,通过信号处理计算出目标的位置、移动速度和方位等信息。毫米波雷达主要由天线、射频(RF)组件和数字信号处理模块组成,如下图1所示。具有体积小、质量轻、空间分辨率高、全天候全天时工作能力以及较强的抗干扰和反隐身能力。强穿透力和抗干扰能力等优势,能够在复杂环境下实现精确探测。

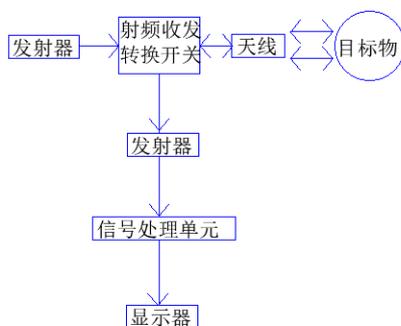


图1 毫米波雷达主要构成

毫米波雷达的基本工作原理是利用高频电路产生特定调制频率(FMCW)的电磁波,并通过天线发送电磁波和接收从目标反射回来的电磁波。通过分析发送和接收电磁波的参数,可以计算目标的距离、速度以及方位。毫米波雷达能够同时对多个目标进行测距、测速以及方位测量,其中测速是基于多普勒效应,而方位测量(包括水平角度和垂直角度)则是通过天线的阵列方式实现的

### 2 高速公路隧道照明现状与挑战

高速公路隧道照明是保障行车安全的重要设施,其特点包括连续性强、照度要求高、能耗大等。目前,隧道照明主要采用高压钠灯或LED灯,控制方式多为固定亮度或简单时序调节。这种粗放式的控制方法无法适应复杂的交通状况,导致无效照明时间长,能源浪费严重。

隧道照明面临的挑战主要体现在以下几个方面:首先,固定亮度模式无法根据车流量和自然光照变化动态调节,造成能源浪费;其次,缺乏对车辆位置和速度的精确感知,难以实现精细化的照明控制;最后,现有系统智能化程度低,无法适应未来智慧交通的发展需求。这些问题亟需通过技术创新来解决。

### 3 毫米波雷达在隧道照明节能控制中的应用方案

基于毫米波雷达的隧道照明控制系统主要由毫米波雷达传感器、中央控制器和照明设备组成。系统通过毫米波雷达实时监测隧道内车辆的位置、速度和数量,结合预设的照明策略,动态调节隧道各区域的照明亮度。当检测到车辆进入隧道时,系统会提前调亮前方照明区域;车辆通过后,适

当降低或关掉照明亮度，实现按需照明。

该系统的节能效果主要体现在以下几个方面：首先，通过精确感知车辆位置，避免了隧道全程高亮度照明，减少了无效照明时间 [1]。实际应用表明，该系统可节省隧道照明能耗 35% 以上，同时提高了照明质量和行车的安全性。

#### 4 毫米波雷达各个模块的作用

##### 4.1 发射器

发射器的主要作用是产生毫米波信号。这些信号被发送到环境中，与目标物体发生相互作用后反射回来。发射器的性能直接影响雷达的探测距离和精度。

##### 4.2 接收器

接收器负责接收目标反射回来的毫米波信号。通过分析这些信号的时间延迟和频率变化，可以确定目标的位置、速度和形状等信息 [2]。接收器的灵敏度和抗干扰能力对雷达的性能至关重要。

##### 4.3 信号处理单元

信号处理单元对接收到的信号进行一系列处理，包括滤波、去噪和解调等。这些处理步骤有助于提取有用的信号特征，去除噪声和其他干扰，从而提高雷达的检测精度。

##### 4.4 图像重建单元

图像重建单元将处理后的信号转化为二维或三维图像。这些图像可以直观地显示目标的位置和运动状态，为用户提供清晰的视觉信息。在自动驾驶系统中，图像重建单元可以帮助车辆实时感知周围环境，做出准确的决策。

##### 4.5 控制单元

控制单元管理整个雷达系统的运行，包括信号的发射、接收和处理。它还负责与其他系统（如导航系统、安防系统等）进行通信，确保雷达系统与其他设备协同工作。

通过以上介绍，我们可以看到毫米波雷达各个模块的协同工作，使其在多种应用场景中发挥重要作用 [3]。

##### 4.6 毫米波雷达的优点包括：

**体积小、质量轻：**与厘米波导引头相比，毫米波导引头具有更小的体积和更轻的质量。

**空间分辨率高：**毫米波雷达的空间分辨率高于微波雷达和光电雷达，能够更精确地探测目标。

**全天候全天时工作能力：**毫米波雷达具有较强的穿透雾、烟、灰尘的能力，可以在大雨天除外的情况下全天候、全天时工作。

**抗干扰、反隐身能力强：**与其他微波导引头相比，毫米波导引头的抗干扰和反隐身能力更强，能够更好地应对复杂环境下的探测需求。

**能够识别多个目标：**毫米波雷达能够同时识别多个目标，提高了探测效率和准确性。

#### 5 毫米波雷达技术优势

**高精度探测：**毫米波雷达能够实时检测隧道内外的车辆速度、位置、方向等状态信息，实现精准的照明控制。

**抗干扰性强：**不受天气、光照强度等环境因素的影响，能够全天候工作。**能够识别多个目标：**毫米波雷达能够同时识别多个目标，提高了探测效率和准确性。

**强穿透力：**能够穿透团雾等恶劣天气条件，准确识别车辆位置。

**低功耗：**毫米波雷达传感器功耗低，有利于降低整体能耗。

**技术应用：隧道调光场景：**毫米波雷达传感器能够实现隧道外固定式车辆检测与隧道内分段式车辆检测，根据车辆的进入与离开信息动态调整照明亮度，实现“车来灯亮、车过灯暗”的效果，降低照明能耗。

**智慧照明系统：**在隧道口的门架雷达设备感知到车辆即将进入隧道时，系统会跟踪车辆行驶轨迹，精准调高车行 300 米范围内的照明亮度，并及时调低车辆驶离后的灯光亮度，有效缩短无效照明时间，降低电能消耗。

#### 6 实际案例分析

山西临汾高速管理公司临汾北霍永东段五龙节隧道照明改造项目增加了一套照明智能控制系统，可做到车辆到达隧道前 6 秒开启进口加强段照明灯具，隧道内超过 30 秒无车辆通过则关闭基本段以外的其他加强照明回路。该系统目前运行状况良好，起到了明显的节能效果，通过对比近半年往年同期隧道用电量，本系统可额外节约 35% 以上的电量消耗，已具备推广应用条件。

该隧道照明原先由人工在遂管站远程控制加强段照明开关。根据天气状况及现场隧道可视条件，人工开启部分和全部加强段过渡段照明。改造后，加强段过渡段照明强度由毫米波雷达控制。车来时，加强段照明开启，车走后，加强段照明关断。精准的按照照明需求控制隧道照明。极大的减缓了隧道照明的电能损耗。电气原理图如下图 2 所示。

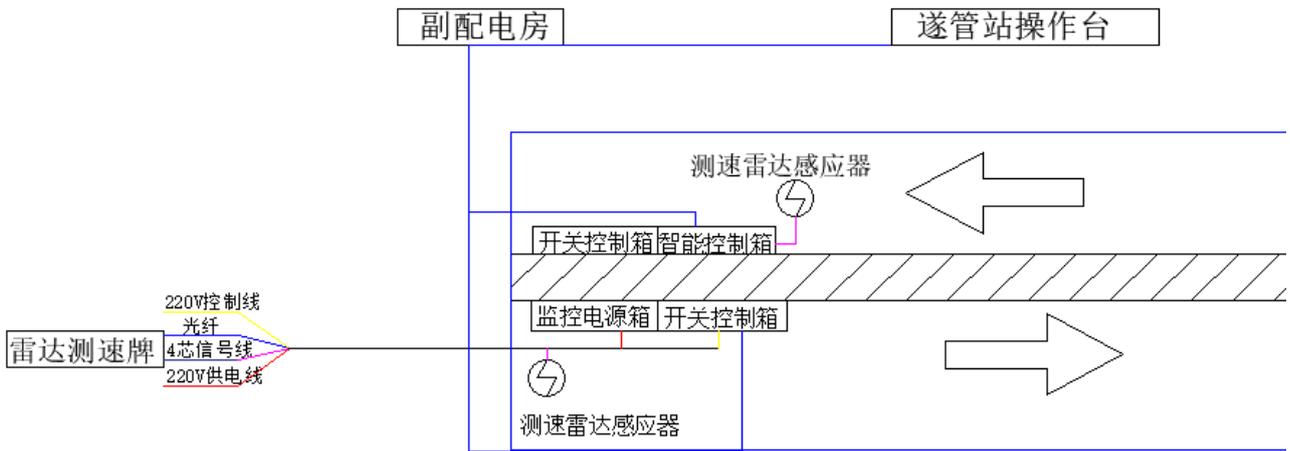


图2 毫米波雷达电气原理图

当汽车进入隧道前运行速度为 120 千米每小时，约每秒行驶 33 米，雷达感应到行驶车辆后，发指令给智能控制开关，智能控制开关动作，加强段开启照明 30 秒，汽车可行驶 1000 米在加强段照明关闭前；如果汽车进入隧道前运行速度为 50 千米每小时，约每秒行驶 14 米，雷达感应到行驶车辆后开启智能控制开关，加强段开启照明 30 秒，汽车可行驶 420 米在加强段照明关闭前。

现场设置为在入口段前 100 米设置一雷达测速感应牌，在隧道入口中央上方设置一冗余雷达感应装置。即汽车在距离雷达测速感应牌 100 米时，即汽车离隧道口 200 米时，智能控制器就能收到感应器发出的开灯指令，（雷达可设置成能感应到 30-200km/h 的移动物体），即雷达感应到移动目标，智能控制器开灯，至汽车驶出加强照明段，驶入基本照明段，运行时间 30 秒，运行距离 440 米（加强段照明距离 240 米）。出口检测雷达安装在距离出口 100 至 120 米处，即汽车距离出库 200 米至 220 米处时，出口雷达发出开启照明指令，照明持续时间 30 秒。智能控制箱设置在隧道监控电源箱侧，电源直接取至隧道监控电源箱 UPS 电源，可保证智能控制箱供电稳定。

为保证改造后隧道智能控制系统安全稳定运行，在原现场照明开关箱断路器下串接一接触器，原照明控制图为图 3 所示，Q1、Q2、Q3 分别为加强段各回路现场开关，当各回路线路检修或更换照明时，切开相应回路断路器开关。

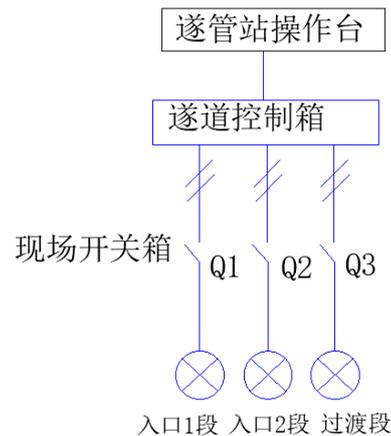


图3 原控制电气原理图

改造后，在各回路断路器下串入常闭型接触器，由智能控制箱逻辑输出点控制接触器线圈，然后接通断开各回路输入输出。如下图 4 所示 正常无车通过情况下，智能控制器继电器常闭触点输出，现场接触器得电，接触器主触点打开，过渡段各回路电流切断，过渡段照明关闭。当毫米波雷达检测到车辆驶进隧道时，智能控制器输出常闭继电器触点动作，常闭点打开，接触器线圈失电。接触器主触点闭合，加强段照明开启。30 秒后，汽车离开加强段，智能控制器继电器常闭触点停止输出，智能控制器继电器常闭触点闭合，接触器线圈得电，接触器主触点打开，加强段照明回路断开。

当智能控制器供电电源失电，接触器线圈失电不受控制，接触器常闭主触点恢复常态，加强段照明常亮，防止智

能控制系统失效时，隧道加强段照明不能打开。

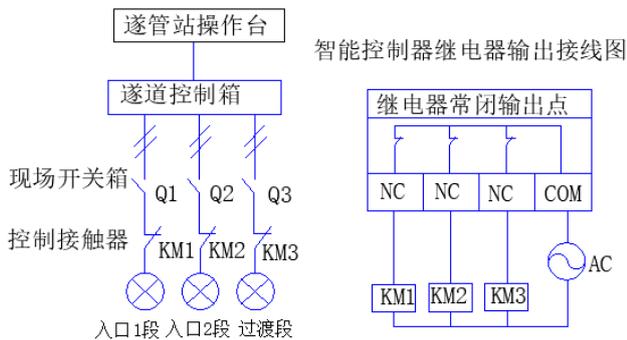


图 4 改造后现场控制箱原理图

## 7 项目效益分析

### 7.1 基本情况

霍永高速 3 条隧道均为双洞 4 车道，设计行车速度 80 公里/小时。隧道均具备完整的入口段、过渡段 1、过渡段 2、基本段、出口段。各隧道除基本照明路段长度不同外，其余段落布设都相同，具备统一性的特点。

对加强段照明灯具进行智能调控（即入口段、过渡段 1、过渡段 2、出口段），每座隧道（双洞）涉及的 LED 灯具（180W、90W、40W）达 448 盏，其参与调控的功率总量能够超过照明灯具总功率的 70%，可节省电能经济效益可观。

本技术方案是针对霍永高速东段车流情况，充分利用车辆通行间隙大的特点进行“过车亮灯、不过车熄灯”的智能控制，具备较强的适用性和可行性。

### 7.2 改造前后预期经济效益

隧道照明电费占隧道运营成本比重较高，节能改造后，隧道照明总功率不会降低，但加强段照明亮灯时间将缩短一般时间。临汾北公司所辖霍永高速段试点毫米波雷达，实现了“灯随车亮”智能照明系统，有效破解了传统隧道照明能耗高、照明控制不理想等难题。

根据实际情况，按每日应急照明和基本照明亮灯时间 24 小时。参与调控的加强段照明亮灯时间 12 小时计

算，参与调控功率总量能够超过照明灯具总功率的 70%，每天亮灯 12 小时，即可节约电能 35%。按照霍永高速五龙节 LED 灯具总功率 110KW，每年可节约用电为： $110 \times 24 \times 365 \times 35\% = 337260 \text{KWH}$ 。每度电按照 0.5 元计算，每年五龙节隧道可节约电费 16.863 万元

### 7.3 预期社会效益

1. 提高了隧道行车安全性和舒适性，满足了隧道照明标准规范及交通部公路隧道提质升级行动方案关于隧道照明的要求。

2. 降低了能源的消耗，节省了隧道照明标准煤用量，减少了标准煤二氧化碳、二氧化硫及粉尘排放量，实现了节能减排，促进了绿色环保高速公路建设。

3. 提高了隧道照明亮度和能见度，减弱了黑洞感应，降低了安全风险，提高了道路通行能力和服务水平，提升了高速公路运营品质。

## 8 结论

毫米波雷达技术在高速公路隧道节能照明改造中的应用，不仅提高了照明系统的智能化水平，而且有效降低了能耗，为实现绿色低碳交通目标做出了贡献。随着技术的不断进步和应用的深入，毫米波雷达技术有望在高速公路隧道照明节能领域发挥更大的作用。

### 参考文献：

- [1] 赫培峥，舒青山，基于毫米波雷达的智能路灯设计及其前景预测，光源与照明，2022 (03) 65-67
- [2] 刘慧莹，高速公路隧道照明系统关键技术指标质量检测数据的主要影响因素浅析，中国交通信息化，2024(12)
- [3] 陆晖，公路隧道照明智慧控制系统探析，设备管理与维修，2024(22)
- [4] 曹建军，高速公路隧道照明节能技术应用研究，中国照明电器，2024(11)

作者简介：袁少林（1982—），男，本科，山西省吕梁市人，自动化工程师，研究专业方向为交通机电