

监控系统集成与维护

(广东交通职业技术学院校本教材)

主编：曹成涛、李少伟

参编：林晓辉、黄洪杰



前 言

高速公路的建设和发展是国家经济发展水平的风向标，随着我国经济的高速发展，高速公路的建设已经成为目前我国最为热点的项目之一。截止2009年底，我国高速公路通车里程达到6.5万公里，居于世界第二位。随着道路的建成通车，高速公路营运所必需的交通工程设施——机电系统显得日益重要。虽然机电工程在整个高速公路建设投资中仅占一小部分，但它可以充分发挥高速公路“高速、高效、安全、舒适”的特点，提高营运管理效率，使高速公路真正成为国民经济物资流通不可缺少的大运量高效率运输大通道。

用户对高速公路最重要、最基本的要求是“安全”和“畅通”。如果经常出现拥挤堵塞，发生车毁人亡等交通事故，高速公路则无任何优势可谈。高速公路监控系统是高速公路四大机电工程（收费系统、监控系统、通信系统、照明系统）重要组成部分。高速公路监控系统对高速公路交通流运行状况及交通环境（道路设施和气象）进行监控，它是为解决“安全”和“畅通”而设置的复杂机电系统，具有监视（监测）和控制两大功能。

本课程实验指导书根据《国家职业标准—公路收费及监控员》、、国家相关的行业标准，以本公司提供的监控系统为依据而编写而成。本指导书可以作为公路监控技能鉴定的实验指导书，也可作为相关专业的教学参考书。

目 录

单元一 基础知识.....	1
1.1. 交通监控目标.....	1
1.2. 交通监控系统功能	3
1.3. 交通监控系统过程	3
1.4. 监控系统的特点	5
单元二 交通监控系统组成和原理	6
2.1. 交通监控系统组成	6
2.2. 交通检测系统介绍	6
2.2.1. 感应线圈检测器	7
2.2.2. 视频检测器	18
2.2.3. 微波雷达检测器	22
2.3. 环境检测系统.....	24
2.3.1. 温度检测器和湿度检测器	24
2.3.2. 风速、风向检测器	25
2.3.3. 雨量检测器	25
2.3.4. 能见度检测器.....	26
2.3.5. 路面干湿度检测器	26
2.3.6. 非接触式冰冻检测器.....	26
2.3.7. 路面积雪厚度检测器.....	27
2.4. 外场监视系统.....	27
2.4.1. 系统用途	27
2.4.2. 功能	28
2.5. 外场发布控制系统	28
2.5.1. 工作流程	29
2.5.2. 可变情报板要求	29
2.5.3. 可变信息显示系统组成	30
2.5.4. 发光二极管（LED）矩阵显示器.....	31
2.6. 监控（分）中心显示和控制系统	33

2.6.1.	大型显示系统.....	33
2.6.1.1.	大型电子地图板.....	33
2.6.1.2.	大屏幕投影系统.....	34
2.7.	实现功能.....	35
2.8.	隧道监测系统.....	37
2.8.1.	隧道监测系统功能	38
2.8.2.	系统组成.....	38
2.8.3.	交通检测和监视.....	39
2.8.4.	一氧化碳检测.....	42
2.9.	公路通信系统.....	43
2.9.1.	视频传输子系统.....	43
2.9.2.	公路光纤数字通信系统.....	46
单元三	监控设备介绍	48
3.1.	摄像机.....	48
3.2.	镜头	49
3.3.	防护罩.....	49
3.4.	云台	50
3.5.	球机	51
3.6.	解码器.....	51
3.7.	视频分配器	51
3.8.	视频画面分割器.....	52
3.9.	视频切换矩阵.....	52
3.10.	控制键盘.....	52
3.11.	硬盘录像机	53
3.12.	监视器.....	54
3.13.	监控实训室连接图	55
3.14.	典型的连接图.....	56
单元四	施工和维护	61
4.1.	交通监控系统施工要求	61
4.1.1.	设备定制的工艺要求.....	61

4.1.2.	设备机箱、电视柜、操作台的工艺要求	61
4.1.3.	设备安装的基本要求.....	62
4.1.4.	设备安装.....	62
4.1.5.	线缆槽、桥架的安装.....	63
4.1.6.	机房内盘、箱、柜、桌的安装	64
4.1.7.	制作同轴电缆 BNC 接头.....	65
4.1.8.	电缆施工工艺.....	67
4.1.9.	光缆施工工艺.....	68
4.1.10.	地感线圈施工工艺	69
4.1.11.	外场摄像机的安装工艺	73
4.1.12.	搭铁和固定	73
4.1.13.	调试与运行	74
4.2.	外场设备的日常操作和维护.....	76
4.2.1.	车辆检测器的日常操作和维护	76
4.2.2.	气象检测器的日常操作和维护	77
4.2.3.	外场监视系统.....	77
4.2.3.1.	摄像机的日常操作和维护	77
4.2.3.2.	云台的日常操作和维护	78
4.2.3.3.	解码器的日常操作和维护	78
4.2.3.4.	视频切换矩阵日常操作和维护	78
4.2.3.5.	视频画面分割器的日常操作和维护	79
4.2.3.6.	硬盘录像机的日常操作和维护	79
4.2.3.7.	视频光端机的日常操作和维护	79
4.2.3.8.	监视器的日常操作和维护	79
4.2.4.	外场发布控制系统	80
4.2.5.	隧道监测系统.....	80
4.2.5.1.	RTU 的日常操作和维护.....	80
4.2.5.2.	能见度/一氧化碳检测仪.....	81
4.2.5.3.	风机.....	81
4.2.5.4.	火灾报警装置	81

4.2.5.5.	交通控制信号灯.....	82
4.2.6.	监控（分）中心.....	82
4.2.6.1.	监控软件的日常操作和维护	82
4.2.6.2.	地图板的日常操作和维护	83
4.2.6.3.	大屏幕投影的日常操作和维护.....	83

单元一 基础知识

1.1. 交通监控目标

安全与交通事故相关联，事故不仅造成经济损失，也使车道堵塞，车速降低，行车延误时间加长，无法保持道路的畅通。保证行车“安全”是维持道路“畅通”的前提条件，两者紧密相关。

（1）最大行车安全

从总体上讲，高速公路安全性优于普通公路。但是，高速公路交通量大，车速高，一旦出现交通事故，车辆的排队长度、堵塞时间、车辆损坏和人员伤亡程度都较普通公路严重，即恶性事故多。大雾天气的偶然驾驶差错，能造成很多车辆尾撞。因此，对高速公路的行车安全应有更高的要求，监控系统将行车安全作为主要工作目标之一。

事故原因来自车辆和交通环境两个方面：车辆不安全因素为驾驶员操作差错，酒后开车和车辆故障失控等。人们将气象恶劣、道路失修和交通事件（各种意外原因使车道被暂时堵塞）归纳为交通环境干扰产生的不安全诱因。确定各种环境诱因，掌握它们诱发交通事故机制，检测其状态值，发出预报或预警，采用相应对策是监控工作的任务。

高速公路交通事件出现频繁，事件一旦出现，跟随而来的是偶发性交通拥挤，而且容易诱发成交通事故；事件产生地点、时刻具有不确定。因此，检测交通事件的出现成为监控的重点。大型桥梁、隧道等关键交通设施尤其需要重点监控。

（2）道路通畅

道路通畅指公路没有堵塞现象，车辆能够持续以理想车速运行状态。这是公路运输最基本也是最重要的条件。实际运行环境存在各种各样影响道路畅通

的干扰，交通控制的目标就是通过对交通流的监视来预防事故发生、减轻拥挤程度、排除堵塞，恢复道路的畅通。

车辆群在公路运行成为交通流，它是主要监控对象。畅通和拥挤时交通流的两种对立运行状态，畅通受到干扰就会转变为拥挤。要维持道路畅通，首先要掌握交通流现时的状态和检测各种干扰目前的转台和变化趋势；要对所掌握的上述信息进行处理分析，提出能减轻或消除拥挤的控制措施并迅速执行。这里存在两个问题：一是需要了解的信息能否得到，即监控对象和干扰的可测性；二是控制措施能否实施，即对象的可控性。

最常见的道路堵塞现象为常发性拥挤。产生常发性拥挤的基本原因使道路通行能力和交通流量（交通供求双方）不平衡，外界干扰只起激发作用。应及时测出发生拥挤的路段、时刻、性质和程度，对交通流量（需求方）进行调节控制，以维持道路畅通。整个监控过程要求在尽可能短的时间内完成。时滞过长，堵塞车辆增多，排除拥挤更为困难。为此，将由具有快速响应能力的电子器件按自动控制原理组成监控系统，实现消除拥挤的控制作用。但是，对需求方的控制只能通过驾驶员来实现，人所表现的时滞和不准确性使整个过程具有弱控制性质，成为交通控制一大特点。

（3）交通设施状态完好

公路交通设施由路、桥、隧道等土木建筑和各类机电设备组成。任何设施失效都将使公路运输系统丧失部分功能，影响正常运行。设施失效大都有一个从量变到质变的过程，即存在征兆，采用针对性强的检测器可以探测出来。监控系统应该通过各种检测轮回采集主要设施的工作状态，作出评价。设施发生故障时，系统能迅速诊断和报警，以利抢修。

机电工程投资通常占公路投资的 10%~15%，但它可能提高道路通行能力达 30%以上。机电设备应具有自诊功能，在系统建设时，应明确提出主要机电设备的保护和自检要求，使各个子系统能保持良好的工作状态。

（4）其他优化目标

为了向用户提供优质服务，使高速公路获取更大的社会和经济效益，对监控提出若干优化目标：如用户总旅行时间最小；车辆总行驶距离最大；油耗最小和对环境的污染最小等。人们正在对这些控制方案进行理论研究和系统实验，相信今后能投入使用。

1.2. 交通监控系统功能

监控系统是保证行车“安全”和道路“畅通”，实现高速公路运行管理的重要手段。通过监控系统迅速掌握交通流和交通环境等多方面信息，科学地管理交通运行；合理制订交通控制方案并评价其效果，预防常发性拥挤的发生，及时制止和纠正交通违章行为；迅速探测出交通事件，对交通事故进行有效地排除和救援；定时提出交通运行报表等。高速公路交通监控系统一般具有如下功能：

- （1）对通过车辆的数量、速度、车型进行检测并计算出车道占有率、车头时距等参数；
- （2）对道路的气象参数如气温、风速、风向、雨量、湿度、能见度、路面冰、路面积雪厚度等进行检测；
- （3）通过摄像机对通过车辆、道路状况进行直观的图像监视；
- （4）通过外场采集的数据和信息，运用交通控制理论和经验，形成交通控制、诱导的预案；
- （5）通过外场显示设备向道路通行者发布交通控制、诱导信息。

1.3. 交通监控系统过程

交通监控系统的闭环控制系统功能方框图如图 1-1 所示。输出为车辆运行状态，输入为控制指标，受控对象为交通流、道路、交通和气象环境等各种影响交通流的因素作为系统的干扰输入；表征交通流状态特征的信息历经采集、处理、决策和执行各个环节。

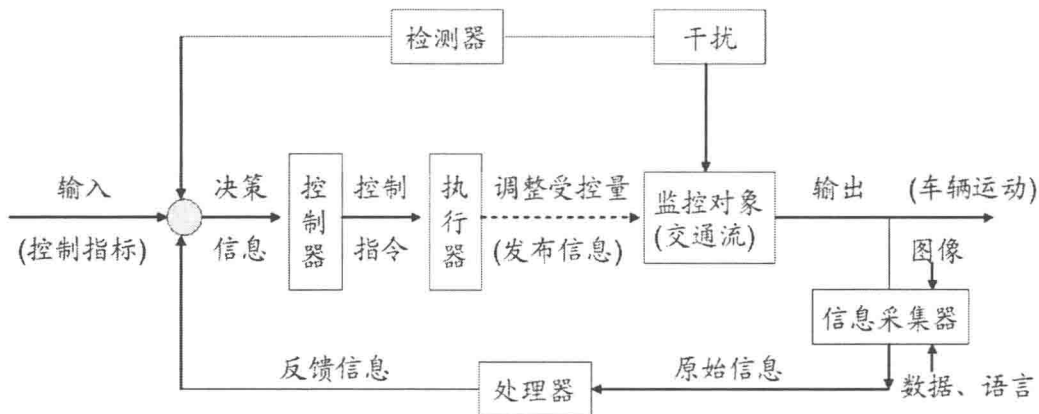


图 1-1 交通监控系统功能方框图

交通流的状态特征随路段位置和时间而变化，具体为交通量、车速和交通密度等物理量的变化。为了探测交通事件，需要掌握交通流更详细的情况。布设在少数断面的传感器无法提供细节，为此在各路段的必要地点设置有摄像机和紧急电话，采集图像、语音信息，由人的视觉、听觉感官对这些信息进行补充识别判断；当出现交通事件或事故时，由人组织医疗、消防、车辆救援等部门，并通过计算机网络控制事故现场临近路段的交通，统一指挥和处理。

由上述分析可以看出，监控系统只有一个，但针对不同的情况和管理目标，系统的运行过程各有侧重，并不完全一样。一般而言，以安全和设施为目标的监控系统具有以下特点：

- (1) 监控和管理紧密结合，表现为人参与监控过程的各个环节，时滞较长，人员素质对效果产生较大影响；
- (2) 监视和监测人的决策提供信息，监视和监测在监控过程中具有重要地位。

以道路畅通为目标的监控过程特点表现为：

- (1) 在执行控制环节上需要驾驶员参与，人的素质仍然影响控制效果，使控制具有一定程度的不确定性；
- (2) 其它环节都可由器件自动执行，目前高速公路均具备计算机控制网

络，为优化控制提供了良好的条件。

1.4. 监控系统的特点

从监控对象、干扰性质和监控过程的描述中，可以认识到交通监控具有如下特点：

- 监控对象复杂

交通流有多种状态，有些状态无法用特征参数描述，各种状态均随地点和时间而变化，具有明显的随机性。

- 监控系统复杂

系统分布地域广，各个路段的交通相互影响强，对象有明显的不确定性，监控目标又不单一，这些使系统具有大系统性质，给实现监控目标带来很大困难。

- 监控手段多样

单纯检测交通参数，无法获取交通流状况的全貌，需要采用更多的手段对同一对象检测，如传感器采集交通参数、摄像机摄制交通图像、人员巡视和用户举报等。

- 人的特殊作用

监控过程中的各个环节都需要人的介入，特别是执行控制离不开驾驶员和监控管理人员，人的素质和精神状态直接影响监控质量。

单元二 交通监控系统组成和原理

2.1. 交通监控系统组成

目前我国高速公路的监控系统一般由六个子系统组成：交通检测系统、环境检测系统、外场监视系统、外场发布控制系统、隧道监测系统以及监控中心显示和控制系统。各子系统分别完成其独立的功能。因此，实际的高速公路监控系统可根据投资额、地形地貌等因素，分别或全部选中各子系统。监控系统构成示意图如图 2-1 所示。

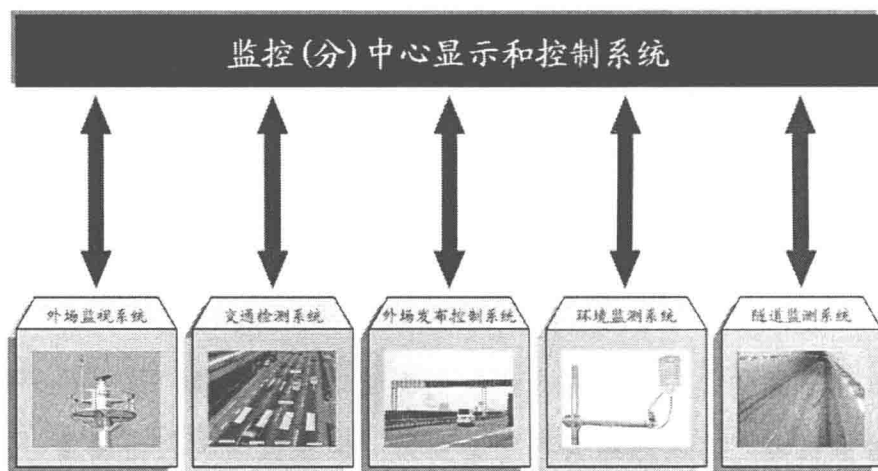


图 2-1 监控系统构成示意图

2.2. 交通检测系统介绍

交通检测系统是高速公路的“感觉器官”，所谓的高速公路智能化管理，就是依赖于自动的信息采集与处理，为管理者提供可靠的系统现状数据来实现的，而可靠的原始数据对于整个系统的运行起着至关重要的作用。从技术的角度来说，交通检测系统必需能够保证及时地、准确地、可靠地把实时交通状态信息采集上来；从经济的角度来说，交通检测系统是整个交通监控管理主要投资领域之一，这个子系统的成本对整个系统成本有很大影响。因此，不论是从技术的角度还是从经济的角度，对交通检测系统的研究都是非常有意义的。

交通检测器一般安装在固定的地点，对运动的交通流进行检测。按安装位置的

不同，交通检测器又分为地埋型检测器和非地埋型检测器两种类型。地埋型检测器主要包括感应线圈检测器、地磁检测器、压电检测器和气压管型道路车辆检测器等。地埋型检测器通常安装在路面下，通过在路面上切槽（如感应线圈检测器）、钻孔（如某些地磁检测器），或在路面下开挖管道（如某些型号的压电检测器），或在路面上直接固定（如气压管型道路车辆检测器）等方式安装。非地埋型检测器主要包括视频检测器、红外检测器、微波雷达检测器、超声波检测器、被动声学检测器等。非地埋型检测器不需要将检测器埋设于路面以下，通常安装在车道上方或车道旁边。

2.2.1. 感应线圈检测器

感应线圈检测器也叫环形线圈检测器，是全球公认的、可全天候精确监控车辆通过与存在状态的车辆检测器，是目前国内外使用最为广泛的车辆检测装置。

（1）工作原理

感应线圈检测器技术是指由环形线圈作为检测传感器的一套能检测到车辆通过或存在于检测区域的技术。线圈由专用电缆绕几匝(一般为4匝)及其馈线构成，埋设于车道的路面下，它通过一个变压器接到被恒流源支持的调谐回路，有源环形线圈构成IC调谐回路的电感部分，并在线圈周围的空间产生电磁场。当含有铁金属的车体进入线圈磁场范围，车辆铁构件内产生自成闭合回路的感应电涡流，此涡流又产生与原有磁场方向相反的新磁场，导致线圈的总电感变小，并进而引起环的阻抗变化，从而导致信号幅度、相位、频率等变化。用检测电路检测其中某一个量的变化，就可以达到检测车辆的目的。

当环形线圈中有高频电流通过时，在环的周围就产生了交变的电磁场，这时，若有车辆从环形线圈上通过，由于车体上一般是由铁磁材料构成的，这就改变了线圈周围空间的导磁率，起到使线圈的电感量增加的作用。另一方面，交变的电磁场使车体内产生了感应电流，这种电流又叫做涡流，也会产生自己的磁场，根据楞次定律，感应电流产生的磁场，又起到使线圈的电感量减小的作用。车辆经过线圈的电感量变化根据涡流检测的有关理论可推导，由于集肤效应的存在，涡流在金属体中的贯穿深度与激励线圈的工作频率有关。因此，涡流的大小和它对环形线圈的影响也将随着频率的变化而变化。

当频率 f 升高时, 电感部分的阻抗增大, 就会使信号电压的大部分降在电感上, 不利于读出电感电压的变化量。这时可以通过在线圈上加钢板的方法来测试工作频率对电感电压的影响。当线圈加上钢板时, 若线圈电感 L 增加, 则电感部分的阻抗增加, 且电感上电压增加; 若 L 减小, 则电感部分的阻抗减小, 电压就会减小。通过测量电压的变化, 就能反映出电感量的变化。当工作频率较低 ($f < 10\text{kHz}$), 在线圈端面上加钢板时, 这时介质的增磁作用略大于涡流的去磁作用, 线圈的电感量略有增加。而当频率 f 比较高时 ($10\text{kHz} \leq f < 400\text{kHz}$), 在线圈端面上加钢板时, 则以涡流的去磁作用为主, 线圈的电感量明显减小。而当工作频率 $f \geq 400\text{kHz}$ 时, 由于线圈分布电容的影响, 其等效阻抗迅速减小, 对加上钢板的反映灵敏度也大大降低。也就是说, 当工作频率在适当的范围内, 给线圈端面加上钢板时, 涡流的去磁作用要大于铁磁质的增磁作用, 线圈的等效电感量明显减少。线圈上加钢板与车辆经过线圈的情况非常相似。事实上, 感应线圈车辆检测器正是利用这一特性工作的。它的工作频率通常选择在几十 kHz 到 100kHz , 以便有较高的灵敏度和较好的稳定性。

环形线圈与被测车辆之间是通过电磁场耦合的。从电路的角度看, 它们是通过互感相互影响的。一辆车辆, 不管它的形状多么复杂, 当它通过环形线圈时, 并处在一定位置时, 在车体中引起的涡流将是一定的, 而涡流对环的影响也是一定的。即车辆可以被等效地看成是具有一定电路参数的电路, 车辆与环形线圈之间存在着一定的互感。于是, 把环形线圈看成是由电阻 R_h 和电感 L_h 串联组成的, 把正在通过环的汽车看成是电阻 R_c 和电感 L_c 串联组成的短路环, 此短路环通过互感 M 与环形线圈相耦合, 其等效电路如图 2-2 所示。环形线圈由高频信号源驱动, 设信号电压为 U_r , 且 $U_r = U_m \sin \omega t$, 该等效电路可得以下方程:

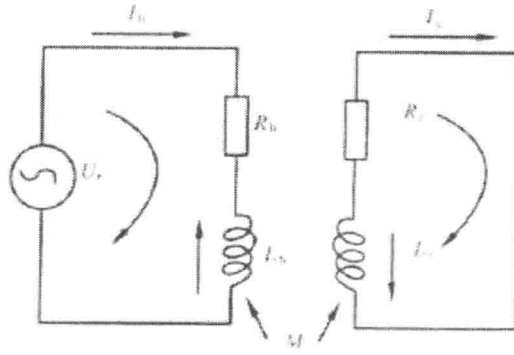


图 2-2、环形线圈检测器等效电路

$$\begin{cases} R_h I_h + j\omega L_h I_h - j\omega M I_c = U_r \\ -j\omega M I_h + R_c I_c + j\omega L_c I_c = 0 \end{cases} \quad (2-1)$$

由式 (2-1) 可得下式:

$$I_h = \frac{U_r}{R_h + \frac{R_c (wM)^2}{R_c^2 + (wL_c)^2}} + j \left[wL_h - \frac{(wM)^2 wL_c}{R_c^2 + (wL_c)^2} \right] \quad (2-2)$$

式 (2-2) 的分母即为有车通过环形线圈时环的等效阻抗, 其中实数部分为等效的损耗电阻, 它是互感系数 M 的函数。显然, 当车体与环之间的距离减小时, M 就增大, 等效的损耗便增加, 式 (2-2) 分母的虚数部分为等效电抗, 其等效电感为

$$L_D = L_h(\mu) - \frac{w^2 M^2}{R_c^2 + (wL_c)^2} L_c \quad (2-3)$$

式 (2-3) 中第一项 $L_h(\mu)$ 的变化幅度与车辆材料的导磁率有关, 第二项与电涡流的效应有关。负号表示电涡流的效应是使线圈的等效电感量减小。若工作频率选择适当, 当有车辆通过环形线圈时, 式 (2-3) 第一项的变化量 (增加量) 将小于第二项, 即式 (2-3) 的值将减小。式 (2-3) 的等效电感正是环形线圈车辆检测器所要检测的参数。由此可见, 若车体带有铝等顺磁质材料时, 式 (2-3) 的第一项变化不大, 而第二项的变化相对会突出, 使检测灵敏度提高。从式 (2-3) 还可以看出, 等效电感变化量还与互感系数 M 有关。很显然, 车辆覆盖线圈的面积愈大, 车辆底盘愈低, 则互感系数 M 越大, 检测灵敏度也越高。

为了说明环形线圈的形状和埋设布局对其灵敏度的影响，首先应该了解环的磁场分布规律，即从载流导线入手。把截流导线看成是由许多电流元 IdL 连接而成的，截流导线在磁场中某点所产生的磁感应强度 B ，就是由这导线的所有电流元在该点所产生的 dB 的叠加。电流元 IdL 与它所产生的磁感应强度 dB 之间的关系由电磁学中的毕奥-萨伐尔定律可以说明，如图 2-3 所示。

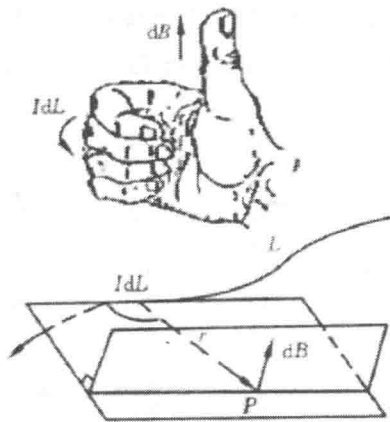


图 2-3、电流源的磁感应

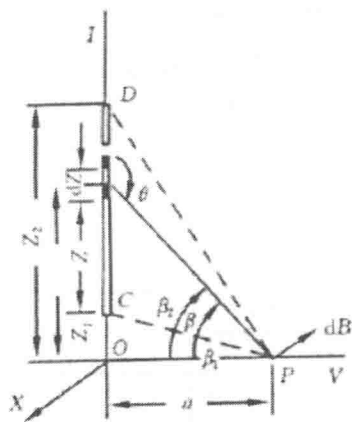


图 2-4、截流长直导线的电场

该定律的叙述如下：如图 2-4 所示，设在截流导线上有一电流元 IdL ，它在真空中某点 P 的磁感应强度 dB 的大小与电流元的大小 IdL 成正比，与电流元 IdL 方向和由电流元到 P 点的矢径 r 的夹角的正弦成正比，并与电流元到 P 点的距离 r 平方成反比，即

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IdL \sin \theta}{r^2} \quad (2-4)$$

式 (2-4) 中的 μ_0 叫做真空的磁导率（空气中的磁导率与之很接近）。写成矢量式为：

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IdL \times r}{r^3} \quad (2-5)$$

式 (2-5) 就是毕奥——萨伐尔定律。

经分析得线圈中点处的磁感应强度比其他点都弱一些，越靠近导线的地方，磁感应强度越大，而在线圈拐角处，磁感应强度为最大，上述分析是在单匝线圈稳定电流的情况下进行，对于 N 匝线圈，根据叠加原理可知，其各点的磁感应强度为单

匝线圈时的 N 倍。在交流电流的情况下，虽然线圈的磁感应强度的大小和方向都是交变的，但在任何时刻，线圈平面不同点处的磁感应强度都是同向的，而且其相对大小仍然与稳定电流时的分析一致。另外。对高于线圈的平面，且平行于线圈平面的任一平面内，对应上述各点的磁感应强度都按相同的比例减弱了，但各点之间的相对大小仍然不变。

由于环形线圈的磁场并不是均匀分布的，当车体覆盖线圈上磁感应强度大的区域时，根据电磁感应定律，车体内就会产生较高的感应电动势，进而产生较大的涡流电，这就会使环的电感量变化增大。这实质上是环与车之间的互感系数 M 增大了，因为在这种情况下，环的总磁通中较大的部分于车体相耦合。从式（2-2）的分母可见， ΔL_h 与 M^2 成正比。当车体覆盖较大的环形线圈面积时也有相同的效果，因此，在埋设线圈时，要考虑使车辆通过时能覆盖较大的环域和尽可能通过线圈的拐角处。

在实际的工程中，环形线圈的形状有多种，见图 2-5。

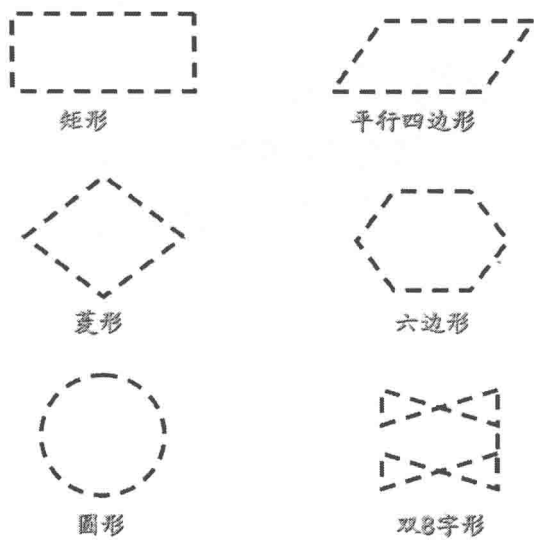


图 2-5、不同形状的线圈

把线圈绕成双 8 字形，可以使线圈中 2 个环的磁通互相叠加，增加了磁感应强度。另外，根据涡流检测的理论，涡流在金属体中的形成有一定的径向范围，它在对应激励线圈的外径处，取得电流密度的最大值，而在小于和大于线圈外径的地方衰减很快，形成了一个导电的环带。这说明，若车辆覆盖线圈的有效尺寸小于线圈的直径时，将不能形成最大的涡流。双 8 字形绕法减小了线圈的直径，有利于克服