

高等学校试用教材

铁道信号基础设备及原理

上海铁道学院 陶启沪 主编

兰州铁道学院 王钟麟 主审

中国铁道出版社

1994年·北京

前 言

本书是根据铁道部高等学校交通信号控制专业教学需要进行编写的。初稿是在上海铁道学院编写使用的讲义等教材的基础上编写而成，经主审审稿，并于1990年7月在上海铁道学院、由北方交通大学、兰州铁道学院及上海铁道学院有关教师参加定稿会议上讨论通过。会后再根据会上提出的意见和问题作了部分增删和修改，增添部分再经主审审阅，最后定稿。

铁路信号设备中的信号机、动力转辙机、继电器、轨道电路、信号电源等设备，是车站信号、区间信号、远程控制及驼峰编组自动集中等铁路信号专业设备中共同的主要基础设备。而这些基础设备及原理，原先分别插入到车站信号及区间信号课程里来进行教学，这样势必削弱基础设备及原理的教学，使某些教学内容过于肤浅，又破坏了各基础设备原理必要的系统性和完整性，同时使专业课内容缺乏系统性，更突出的问题是各基础设备及原理与各专业课之间的衔接会出现脱节，不利于专业教学，影响了教学质量。综上所述，既然基础设备是信号各专业设备共同的组成部分，因此有必要把这些共同的基础设备及原理汇编成本书的教材，并在专业课前安排此课程，这样就能起到承上启下、衔接密切，有利于各专业课的教与学，同时使各基础设备及原理得到了必要的系统性与完整性。

铁路信号系统，已先后运用了一些传感技术，但还缺乏有系统的学习一些传感器的理论，为此本书中编入一些基本的传感器原理，作为今后进一步学习和应用传感器的入门。

继电器是自动控制及远程控制系统不可缺少的设备，对于铁路信号系统来说，继电器的应用更是大量的。因此对继电器所构成的继电器接点电路的逻辑理论也应学习。虽然目前继电器接点电路逻辑理论还不能解决像车站信号某些特殊电路的问题，有待于继续研究，但对于许多局部电路的设计和分析仍很有实用价值。由于篇幅有限，将初稿中“继电器接点电路逻辑理论”单独一章删去，保留其中有关接点电路设计的基础和方法的内容作为一节并入第三章继电器。

本书由色灯信号机、动力转辙机、继电器、传感器原理、轨道电路和大站电源屏等共六章组成。作为铁路信号专业大学本科的教材，教学时数为85~90学时。也可选其中部分内容作为铁路系统有关职工大学、业余大学、函授大学的教材。

本书由上海铁道学院陶启沪主编、兰州铁道学院王钟麟教授主审，袁继祖、邓志杰同志参加了审稿工作。编写分工如下：第一、二、三、四章由陶启沪编写；第五章由上海铁道学院黄洵石编写；第六章由上海铁道学院姜季生编写。

本书在编写搜集资料过程中，得到天津、西安、沈阳信号工厂，上海铁路局电务处信号科及杭州、鹰潭电务段的支持，对此表示感谢。

主 编

1991年元月

(京)新登字063号

内 容 简 介

本书为高等学校交通信号控制专业本科试用教材,内容以介绍铁路信号设备中的基础设备为主,详细地阐述了信号机、动力转辙机、继电器、传感器、轨道电路及大站电源屏的构造、原理和技术特性。书中用较多的篇幅介绍了铁路信号常用的各种类型的继电器和继电器的工作原理、时间特性、接点工作状态的分析、熄灭接点电弧及火花的方法、接点电路的分析及应用。同时,对轨道电路的分类、电气特性、几种工作状态的分析计算及轨道电路的调整均作了较详尽的论述。教学时数为85~90学时。

本书也可作为函授及业余大学交通信号控制专业用教材,并可供从事铁路信号专业的工作人员学习参考。

高等学校试用教材

铁道信号基础设备及原理

上海铁道学院 陶启沪 主编

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 倪嘉寒 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

北京顺义燕华印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 15.75 字数: 386千

1992年8月第1版 1994年10月第2次印刷

印数: 8001—10000册

ISBN 7-113-01188-8/U·366 定价: 9.15元

目 录

第一章 色灯信号机

第一节 概 述	1
第二节 色灯信号机的结构	3
第三节 色灯信号机的光学系统	7
第四节 铁路信号色光的基本概念	11
复 习 题	16

第二章 动力转辙机

第一节 概 述	17
第二节 电动转辙机	17
第三节 电空转辙机	27
复 习 题	31

第三章 继电器

第一节 继电器概述	33
第二节 继电器的主要结构及发展趋势	35
第三节 继电器的机械特性与牵引特性	38
第四节 直流电磁继电器的工作原理	44
第五节 交流继电器的工作原理	55
第六节 继电器的时间特性	62
第七节 继电器接点	72
第八节 继电器的应用	83
第九节 继电器接点电路逻辑基础	91
复 习 题	107

第四章 传感器原理

第一节 传感器概述	111
第二节 电阻式传感器	113
第三节 电感式传感器	121
第四节 电容式传感器	130
第五节 电势式传感器	140
复 习 题	155

第五章 轨道电路

第一节 轨道电路的基本概念	157
第二节 轨道电路的分类	158
第三节 轨道电路的电气特性	166
第四节 轨道电路的基本工作状态	183

第五节	轨道电路的分析计算	185
第六节	交流电力牵引区段轨道电路	200
第七节	道岔区段轨道电路	205
第八节	轨道电路的调整	212
复 习 题	216
第六章 大站电源屏		
第一节	概 述	218
第二节	转换电源屏	223
第三节	交流电源屏	229
第四节	直流电源屏	232
第五节	交流调压屏	235
复 习 题	243

第一章 色灯信号机

第一节 概 述

铁路信号是指示列车运行和调车作业的命令。铁路信号机是指挥行车和调车作业，确保铁路运输安全及提高运输效率的重要设备之一。

信号机从铁路运输作业的用途可分为：进站信号机、出站信号机、通过信号机、进路信号机、调车信号机、预告信号机、遮断信号机、防护信号机、复示信号机、驼峰信号机和机车信号机等，上述这些信号机的作用、应用及信号的含义，将在以后有关专业课中去介绍。

按信号机的结构及信号的显示方式可分为：臂板信号机和色灯信号机。臂板信号机白天用不同颜色和形状的臂板以及臂板所在的位置来显示信号，夜间用油灯或电灯作光源来显示颜色灯光信号。臂板信号机主要用在无交流电源地区或交流电源供电不可靠的地区。

色灯信号与臂板信号相比有以下优点：

1. 昼夜的显示相同，易于辨认；
2. 视界距离较远，受天气及背景影响较小；
3. 操纵方便，易于实现自动化；
4. 构造简单，显示正确，不易发生事故，维修方便。

因此，随着铁路信号事业的发展和全国各地供电网的逐步完善，色灯信号机的应用将越来越广。为此有必要对色灯信号机的有关技术基础作一些介绍。由于篇幅有限臂板信号机的结构及其动作原理等问题不在此叙述了，本章只对色灯信号机的结构原理，显示的颜色以及光学系统等有关问题进行讨论。

色灯信号的显示既然就是命令，有关行车工作人员必须要绝对地立即执行命令，这就必须使有关行车工作人员能正确地及时地接收到色灯信号显示所发出的指示，为了达到这个目的，色灯信号机应满足以下基本要求：

1. 显示要简单明确，易于辨认，易于记忆；
2. 应有足够的显示数目，以便能反映出各种不同的运行要求，使列车的运行既安全又迅速；
3. 应有足够的显示距离，使司机从辨认清楚停车信号显示时开始进行常用制动，能使列车安全地停在信号机前面，亦即要求信号的显示距离至少要大于列车的制动距离（各种信号的显示距离在铁路技术管理规程中有明确的规定，如进站、通过、防护、遮断等信号机的显示距离不得少于1000m，调车、引导等信号机的显示距离不得少于200m等等。）
4. 信号机结构要简单、灵活、便于操纵。

色灯信号的显示为达到简单明确、容易辨认的目的，这就要求信号灯光的颜色要分辨率高，且对人们眼睛的视觉敏感。我国铁路色灯信号的颜色选用三种基本颜色——红、黄、绿和两种辅助信号的颜色——蓝、月白。三种基本颜色信号的意义、红色表示停车；黄色表示

注意或减速；绿色表示按规定速度运行。两种辅助信号颜色的意义：月白色（即淡蓝色）表示引导或允许调车；蓝色表示调车停车或附加在通过信号机上时作为容许列车不停车以不超过每小时20km的速度运行。

我们从物理学中已经知道，白色光通过棱镜之后可以分解出有红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等七种主要颜色的光，为什么我国铁路色灯信号的颜色只选用红、黄、绿三种基本颜色？信号显示既是命令，必须绝对执行，因此，铁路信号显示的颜色必须正确，颜色分明，即红就是红、绿就是绿、不能红黄难辨、蓝绿不清，如何能做到色光正确、颜色分明？有关以上所提出的问题，我们也应有所了解，为此在本章最后将讨论色灯信号颜色的选择及如何形成正确的信号颜色等问题。

要想使色灯信号有足够的显示距离，应先了解影响显示距离的因素，以及为增加显示距离应采取的措施。

1. 信号亮度是直接影响显示距离的主要因素，增强信号的亮度能明显增加显示距离。增强信号亮度的措施为：

(1) 选用合格、透过率较高的滤光器（色玻璃或色透镜），使其得到颜色分明、正确又明亮的色光。

(2) 采用和用好光学系统的结构，利用光线的折射和反射光学原理，将光源所发出的光线射向所需要的方向，以增加所需要方向的光强，从而达到增加显示距离的目的。为了达到应有的效果，光学系统的信号机构还应进行精心调整。

(3) 色灯信号机的灯泡采用灯丝尺寸小的低电压（如12V、15W、25W等）专用灯泡（铁路信号专用灯泡分为单灯丝和双灯丝两种，双灯丝灯泡可以实现断丝自动倒换和报警），用缩小光源尺寸，增大光学系统的增强率来增加信号的亮度。

灯泡灯丝的供电电压的高低与灯丝的发光密切相关，电压高、钨丝温度亦高，发光就强、色灯信号机的显示距离就远。但电压过高使灯丝的钨分子过量蒸发、逐使灯丝烧断而毁坏灯泡、降低灯泡的寿命。反之，如果电压降低些、就可延长灯泡的寿命。例如，如果供电电压比额定电压增加5%，灯泡的使用寿命要比额定寿命降低50%；如电压比额定值降低5%，则灯泡的寿命可延长一倍。由此可知，虽然降低电压可延长灯泡的寿命，但电压不能降得过低，否则灯丝发光强度过弱，显示距离缩减过大，得不偿失，因此，一般规定色灯信号的灯丝供电电压为额定值的85%~95%。

2. 色灯信号亮度与周围背景亮度的对比，对瞭望信号的清晰度有很大影响，信号亮度与周围背景的亮度比越大，显示距离越远。色灯信号本身是发光的，所以它周围背景越黑暗、显示距离也就越远，也就是说，色灯信号在夜间显示距离远。当白天背景亮度大大增强时眼睛的瞳孔已缩得很小，从色灯信号机上射出来的灯光的光通量，只有一小部分落到眼睛的视网膜上，因此，不易清晰地辨认出信号，所以色灯信号在白天显示情况较差、显示距离也大受影响。为了减小影响，色灯信号的周围背景需要进行人工改善，即在色灯信号机的每个机构上装有一个面积较大的黑色背板，以改善白天信号与背景的亮度比。

3. 色灯信号机射出来的光束是逐渐扩散的、并且有一定的扩散范围（水平面散射角约4°）。因此，在半径比较小的弯道上、机车司机在规定的信号显示距离范围内的铁路线路上，不能做到连续不间断地瞭望到信号。如图1-1所示的那样，列车从B向A运行时，只有BC一段线路上能瞭望到信号，CA之间根本瞭望不到信号。在这种情况下A点的色灯信号机的透镜前可加装一块偏光镜，（可见图1-16(a)偏光镜有偏散度10°、20°、30°三

种)，增大了显示光束的散射角便可使 B 至 A 整段线路上都能不间断地瞭望到信号的显示。但加了偏光镜后，信号的光强降低很多，在这种情况下要求加大光源的功率以增大光强。

由于色灯信号光束的散射角为 $2^{\circ}17'$ ，所以列车接近色灯信号机处时，司机也会见不到信号的显示，为了解决这个问题，需要添装光线向下折射的近光镜〔可见图 1—16(b)〕，使司机在距信号机即使只有 10m 远处还能瞭望到信号。

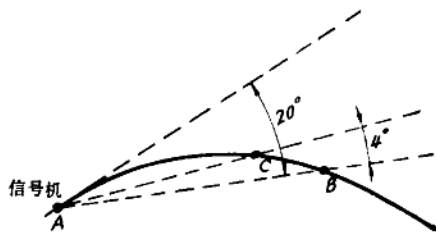


图 1—1 弯道上信号的显示情况

影响色灯信号显示距离的因素，还有信号光线通过的大气空间如烟尘、风沙、雾等。其它还有地形也对信号显示距离有影响。这些因素的影响可以利用机车信号及选择设置信号机的位置等措施来改善。

第二节 色灯信号机的结构

色灯信号机根据光学系统的不同，可分为透镜式和探照式两种，无论是哪一种，都必须具备以下基本技术要求：

1. 以天空为背景设置在高柱上的信号机构，对于红色、黄色和绿色灯光，在夏季晴天中午的显示距离不得少于 1000m（指进站、通过、遮断、防护信号机）；矮型信号机的显示距离不得少于 200m；
2. 色灯信号灯光，在所属线路的制动距离起点至色灯信号机前 10m 整个范围内，都能使司机连续不断地瞭望到清晰的信号显示；
3. 为了能辨认出色灯信号机上同时显示两个灯光的信号，要求这两个灯的距离不得少于所规定的显示距离的 $1/500$ ；
4. 必须能完全防止由于阳光或人为光源的反射、造成幻影显示；
5. 高柱色灯信号机的背景一般都是天空，为了提高信号显示的清晰程度，色灯信号机构应具备提高信号与背景亮度比功能的装置。

透镜式和探照式色灯信号机构的结构原理分别作以下介绍：

一、透镜式色灯信号机构

我国铁路的色灯信号机目前主要采用的是 XS 型系列透镜式色灯信号机。它有高柱型和矮型之分，不论是高柱型还是矮型，它们的机构还要分单显示、二显示和三显示机构。这些不同类型的机构，由信号设计部门根据需要选用或组合使用。

不同显示数目的信号机构，显示的原理都是相同的，其结构也是相似的，只是灯室数目不同，整个机构大小不同，因此，这里只对高柱和矮型的二显示色灯信号机构为例分别扼要介绍如下：

高柱二显示色灯信号机构如图 1—2 所示，整个色灯信号机构用上部托架 1 和下部托架 4 固定在水泥柱上；点灯电线通过蛇管接头 2 和蛇管 3 从水泥柱内引入机构的箱体 7 内；箱盖 6；背板 5 用来增大色灯信号与周围背景的亮度比；遮檐 9 用来防止外来光线的干扰。机构的主要部件是透镜组 8，它由一块外径为 139mm 有色外棱梯透镜和一块外径为 212

mm无色内棱梯透镜，通过透镜框组装而成，透镜框上还装有可调灯座（图1—3）。可调灯座可以做到上、下、前、后、左、右六个方向的调整，经过精心调试，使灯泡主灯丝准确地置于透镜组主光轴的焦点上，灯丝光源发出的光，经过有色外棱梯透镜和无色内棱梯透镜前后两次折射，使几乎平行的有色光束射向规定显示距离以上范围的前方。

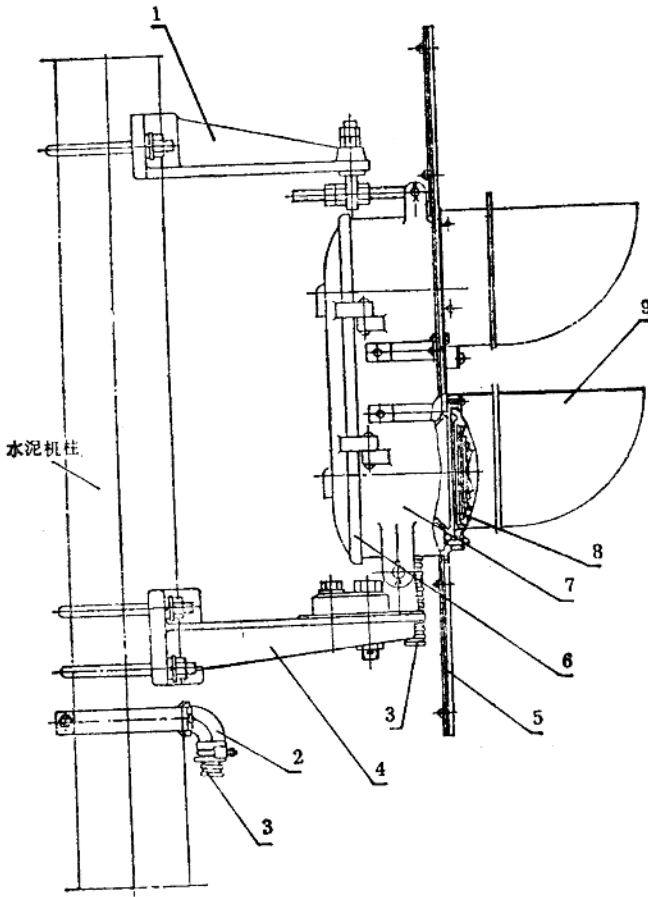


图1—2 高柱二显示信号机构

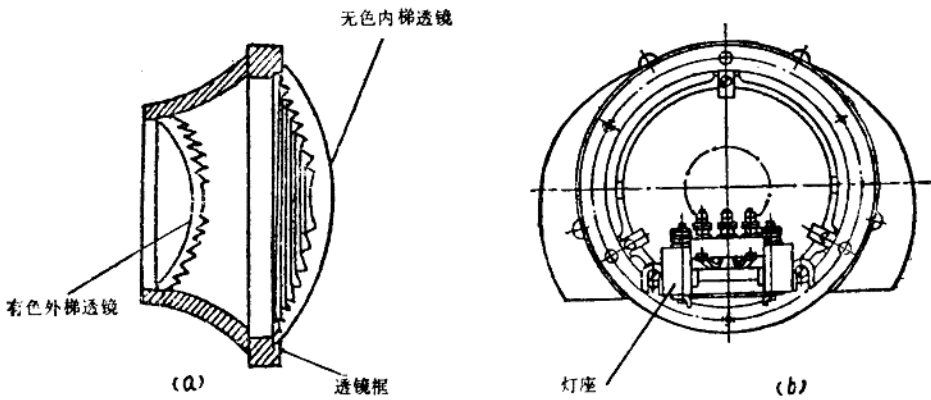


图1—3 透镜组

矮型二显示信号机构如图 1—4 所示。矮型信号机构大都作为站线出发信号机和调车信号机用。它的机构直接用基础螺丝 5 固定在水泥基础上。为了使机车上的司机能瞭望到矮型信号机的信号显示，信号机构面部向上有 -5° 仰角。矮型信号机的箱体比较大，所以在箱盖 3 内可装信号变压器和灯丝转换继电器，透镜组中的无色内棱梯透镜的外径较高柱型的小一些，为 163mm，其它结构见图 1—4。

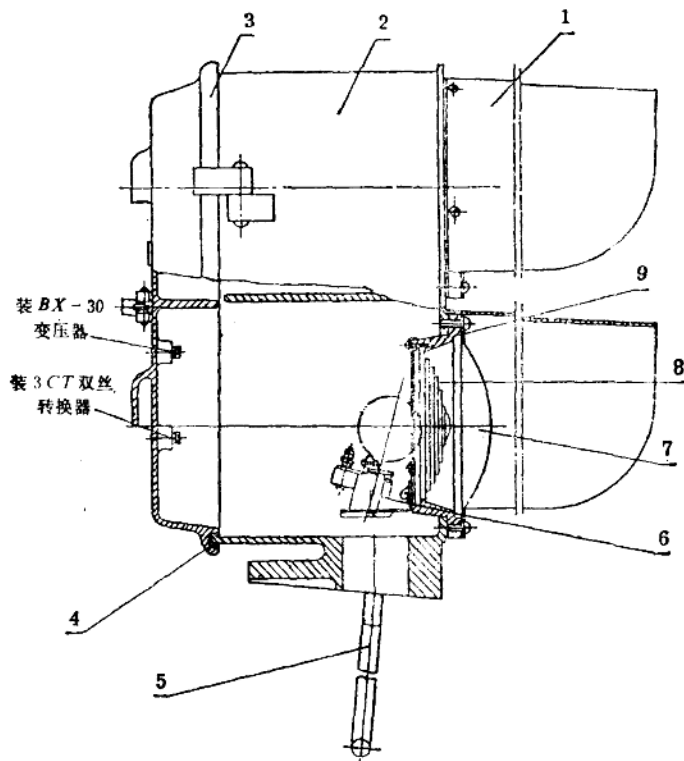


图 1—4 矮型二显示信号机构

二、探照式色灯信号机构

探照式色灯信号机具有与探照灯相类似的光学系统，因此称探照式色灯信号机。又因为它只有一个灯就能实现三显示或四显示，因此又称它为单灯机构。

我国铁路使用的探照式色灯信号机构有 58 型和 60 型。它们都是三显示机构，结构方面也是大同小异的。因为它们的结构原理是相同的，所以这里只对 60 型探照式色灯信号机构作一些介绍：

60 型探照式色灯信号机构的结构如图 1—5 所示。它主要由外壳；直径为 101.4mm 外表面涂银的玻璃椭圆球面反射镜 7；直径为 113mm，中央厚为 23mm 的小平凸无色透镜（小透镜）5；直径为 212mm 中央厚 40mm 的大平凸无色透镜（大透镜）3；直径为 56mm 的近光镜 4；继电器 8；透镜框 6；背板 1 及遮檐 2 等部件组成。

三显示探照式色灯信号机构的结构原理，可以通过结构原理图（图 1—6）来了解。

灯泡的灯丝中心置于椭圆球面反射镜 7 的第一焦点 A 上，第二焦点 B 处放置滤光器（色玻

璃片) 框10, 这样光源的光线由反射镜会聚的光线通过第二焦点处的色玻璃射向小透镜5, 经过小透镜折射达到大透镜3, 再经大透镜折射后, 成为几乎平行的色光束射向前方。显示的三种色光(红、黄、绿)、是利用由继电器所控制能转动的三色玻璃框来实现的。这种继电器是一个特殊的桥式磁路三位式有极继电器, 它的衔铁12、13与色玻璃框10通过轴11固定相连, 线圈14无电时, 衔铁和色玻璃框处于中央位置, 色玻璃框中间的红色玻璃(H)正处在第二焦点B上, 光线透过红色玻璃, 使色灯信号显示红光, 当继电器线圈通以正或负方向电流时, 衔铁和色玻璃框就转向左侧或右侧(原理见第三章有极继电器工作原理), 绿玻璃(L)或黄玻璃(U)转移到焦点B上, 信号就显示绿光或黄光。

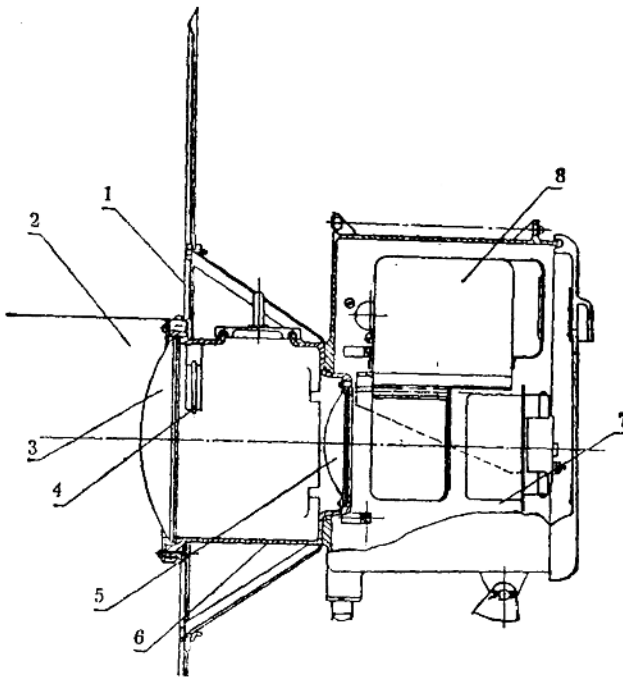


图1-5 60型探照式信号机构

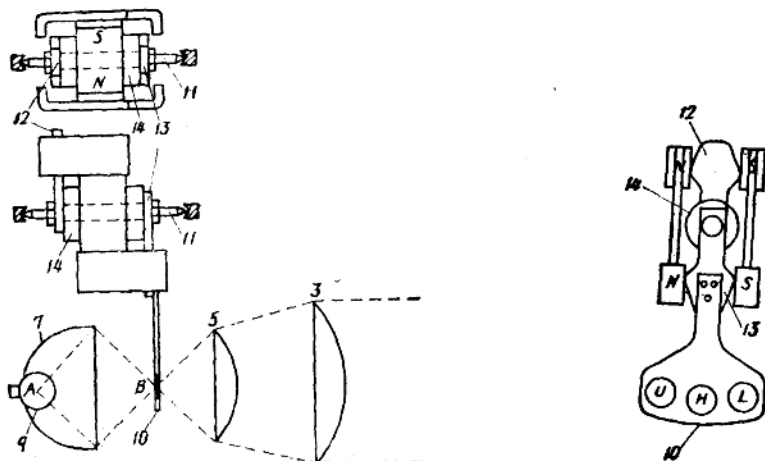


图1-6 三显示探照式信号机构的结构原理图

四显示探照式色灯信号机构，可由两个直流无极继电器控制一个四色玻璃框来实现。

实际上色玻璃片并不在焦点 B 上，而且在焦点 B 附近适当的位置，因为第二焦点 B 不仅是光的焦点也是热的焦点，如色玻璃片处在焦点 B 上或离焦点太近，会使色玻璃受热太剧引起龟裂；如色玻璃片离焦点过远，不是全光束都通过色玻璃片，显示的信号光束会出现中央是色光，边缘一圈是白光的情况。为此，色玻璃框要放在焦点 B 附近适当的位置上，并且为了防止色玻璃仍有受热龟裂的可能，有些色玻璃（如绿、蓝和月白等色片）可以预先切开。

探照式色灯信号机构与透镜式色灯信号机构相比，探照式色灯信号机构，除了一个光学系统能实现多种显示的优点之外，还有显示距离远、省电（10V10W）等优点，但它的结构比较复杂，工艺要求比较高。由于我国生产的探照式信号机构存在质量等问题，致使在使用过程中，时有发生轴承卡死，色玻璃框回复不到中央位置等故障，危及行车安全。因此，我国目前已逐步停止使用探照式色灯信号机、并以透镜式色灯信号机来替代，信号工厂也已停止生产探照式色灯信号机构。实际上探照式色灯信号机构的光学系统是很完善的，我们可以从不断提高工艺水平的角度，研究克服存在的问题、让探照式色灯信号机重新发挥它的优越性。

第三节 色灯信号机的光学系统

为了使色灯信号机的显示既远又亮，必须采用光学系统，利用光线的折射和反射光学原理，充分利用光源所发出的光线使其射向所需方向，以增强所需方向的光强。信号光束散角内平均球面的光强 I_2 与光源平均球面的光强 I_1 的比叫做光学系统的增强率，用 K_s 表示

$$K_s = \frac{I_2}{I_1}$$

我们通过图 1—7 所示的单凸透镜来讨论一下，增强光学系统增强率的基本因素，设相当于含角 α 的立体角为 ω_1 ，则光源射向透镜的光通量为 $I_1\omega_1$ ，如光线经透镜折射后光束散角 β 相当的立体角为 ω_2 ，则从透镜射出光束的光通量为 $I_2\omega_2$ 。设透镜的透射系数为 τ ($\tau < 1$)，可得以下关系：

$$I_2\omega_2 = \tau I_1\omega_1$$

根据上式，增强率可写为

$$K_s = \frac{I_2}{I_1} = \tau \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

因为

$$\omega_1 = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$\omega_2 = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\beta}{2}\right)$$

所以

$$K_s = \tau \frac{\left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)}{\left(1 - \cos \frac{\beta}{2}\right)} \quad (1-1)$$

由 (1-1) 式可知，增大光学系统的含角和减小散角，就可以提高光学系统的增强率。

设透镜的直径为 D ，光源的直径为 d ，则透镜的发光面 $S_2 = \pi D^2/4$ ，光源的发光面 $S_1 = \pi d^2/4$ ，若用 L 表示光源发光面的亮度，则

$$I_1 = LS_1 = L \frac{\pi d^2}{4}$$

$$I_2 = \tau LS_2 = \tau L \frac{\pi D^2}{4}$$

所以，光学系统的增强率还可以表示为：

$$K_s = \frac{I_2}{I_1} = \tau \frac{D^2}{d^2} \quad (1-2)$$

从(1-2)式来看，要想提高光学系统的增强率，可以增大透镜直径和缩小光源直径。为了缩小光源直径，所以色灯信号的灯泡必须采用低电压小灯丝的特制信号灯泡。适当增大透镜直径是可行的，但过分增大透镜直径会使信号机构显得笨重，同时也提高了它的价格、这就不可取了。

综上所述，要使色灯信号机的显示又远又亮，它的光学系统的增强率要高，也就是光源直径要小；光的含角 α 要大(α 大光通量利用率高)；光束的散角 β 要小，即从色灯信号机构射出的光束要近似平行光束。

如象图1-7所示的单凸透镜光学系统，要达到如上要求是难以实现的。因为这种单透镜存在严重的球面象差($\Delta f = f - f^*$)，如图1-8所示，它的焦点不是一个，而是在近轴焦距 f 与远轴焦距 f^* 之间的 Δf 范围内存在着一系列焦点。球面凸透镜都有球面象差，透镜越厚，曲率半径越小，球面象差 Δf 越大。由多透镜组合的透镜组的球面象差比单透镜小一些。因为单凸透镜球面象差会使整个透镜面射出来的光束总不能达到全平行的光束，有部分光线发散、部分光线会聚，影响显示效果；另一方面单凸透镜的含角小，光通量的利用率低，焦距也太长，所以铁路色灯信号机的光学系统不采用单凸透镜。

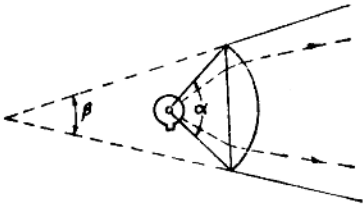


图1-7 凸透镜的含角和散角

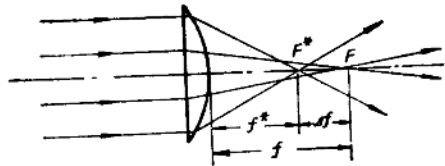


图1-8 透镜的球面象差

为了消除或减小球面象差，透镜式色灯信号机的光学系统是用带棱的透镜如图1-9所示。这种带棱的透镜各个棱具有相同的焦距，因此球面象差小，并且这种带棱透镜重量较轻，可以用压模法制造，成本也较低。由于这种透镜的棱呈环状阶梯形，所以称棱梯透镜，简称梯镜。

棱梯透镜有内梯透镜〔图1-9(b)〕和外梯透镜〔图1-9(a)〕两种类型，但有规格不同，内梯透镜有外径 ϕ ，高度 H 、阶梯数等的不同；外梯透镜只有颜色的区别。它们根据不同用途信号机的需要来选用。

内梯透镜是采用从边缘到中央各阶梯弧面的曲率半径，从大到小不等的棱梯透镜，如图1-10所示的示意图，边缘部分曲率半径大，可使远轴光线的焦距增大；而中央部分的曲率半径小，可使近轴光线的焦距缩短，这样使各阶梯环状弧面的焦距可趋向一致，达到消除或减小球面象差的目的，如外径 ϕ 为212mm的7阶梯无色内梯透镜，它的各阶梯弧面曲率半径由边缘到中央分别为：283.9、265.3、248、232.4、218.2、205.3、193.6、182.4mm，它

们的焦距为132mm。这种内梯透镜不仅球面象差小，焦距也较凸透镜的焦距小。

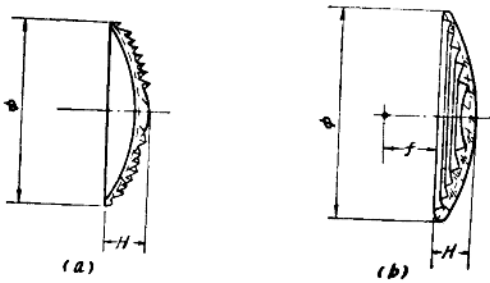


图 1—9 带楼梯透镜

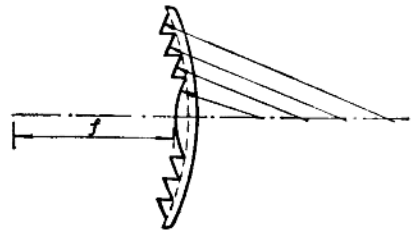


图 1—10 内梯透镜

外梯透镜，基本上就是把非球面的特殊透镜的外表面，按同心的圆环带状切割平移至同一球面上的结果，如图 1—11 所示。因为这种非球面特殊透镜的边缘弧面曲率半径大，中央弧面曲率半径小，能使各部分弧面的焦距趋向一致，球面象差就大为减小，并且焦距也较短。但是这种透镜需要大量玻璃，增加透镜的重量，且光的损失也增大，所以不实用。由于光的折射只发生在两种媒质的交界处，即透镜的外表面，因此，采用图 1—11 所示的切割平移方法，只保留透镜外表面部分，这样不但大大地减轻透镜的重量，还保持了原来非球面透镜的折射角度，即保持了原来球面象差较小、焦距较短的特性。

从上所述，内梯透镜和外梯透镜具有球面象差较小、焦距较短及含角较大，光通量利用率较高等优点之外，也有由于它们的形状，造成了部分光量损失的缺点，内梯透镜的光量损失比外梯透镜还大一些，光源射向楼梯侧面的光线，经折射产生无用的光线，从而造成光量的损失，如图 1—12 所示。

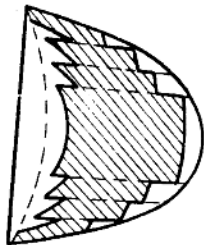


图 1—11 外梯透镜的形成

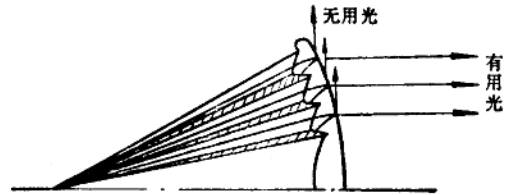


图 1—12 内梯透镜的光量损失

内梯透镜和外梯透镜，虽球面象差较小，焦距也较短，但仅用单块楼梯透镜，焦距还嫌太长，如图 1—13(a)、(b)所示，这样长的焦距，势必信号机构的体积要大，并且含角不够大，不能充分利用光通量，因此，铁路信号的透镜式色灯信号机构，是采用外梯透镜和内梯透镜组合的透镜组，如图 1—13(c)所示。外梯透镜作为透镜组的内透镜、内梯透镜作为透镜组的外透镜。这种透镜组的焦距大大缩短，可使作为光源的灯泡与内透镜靠得很近，这不但给缩小信号机构体积创造了条件，而且使含角 α 增大很多，光通量的利用率大大提高，同时这种透镜组的球面象差得到进一步的减小。从图 1—13(c)还可以看到，容易积灰尘而又不易清扫的楼梯都在封闭的透镜组的内侧，这给清洁透镜创造了有利条件。透镜组的光学性能与两个楼梯透镜之间的组合距离密切相关。这个组合距离，必须满足当透镜组的外透镜各阶梯面射出平行光束时，使外透镜各阶梯面入射光的含角，正好与内透镜各阶梯面射出光

线的散角相吻合。可见内透镜射出的光线不是平行的，是发散的，所以光源是处于在内透镜焦点内方主光轴上某一适当的地点，这个地点也就成了透镜组的焦点了，如图 1—14 所示。

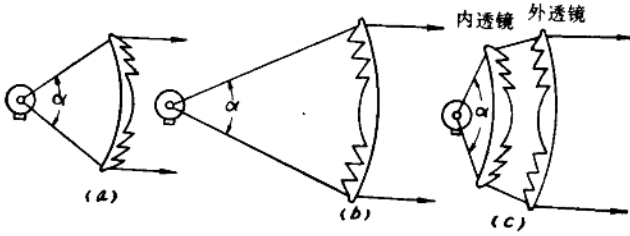


图 1—13 棱梯单透镜与棱梯透镜组的光学系统

透镜式色灯信号机应用了棱梯透镜组，增大了含角，提高了光通量的利用率，是否还可以再应用反射镜来进一步增大含角？从而进一步提高光通量的利用率呢？这是不允许的，因为透镜式色灯信号机，又称多灯型信号机，一架信号机的所有信号灯不是同时都显示的，如果透镜式信号机构的每个灯室内都装有反射镜，那末当外界光线（如机车头灯、太阳等光线）正面照射到透镜式色灯信号机时，由于反射镜的反射作用，有可能使原来没有显示的信号灯也出现了错误的显示，造成错误信号。因此，透镜式色灯信号机，不能应用反射镜，而且在每个灯室内部都涂上黑色，以减少这种反射。

探照式色灯信号机，因为它是单灯机构，只有一个灯在显示某种色光的信号，即使有反射镜，在阳光或夜间机车头灯直射到探照式色灯信号机上时，反射的色光仍然是原来显示的色光，不会出现错误信号，因此，探照式色灯信号机，既应用了透镜组又应用了反射镜，两种光学器件组合在一起，如图 1—15 所示。由于应用了椭圆球面反射镜，使含角 α 几乎达到 22° ，使光通量的利用达到透镜式信号的三倍以上，因此，探照式色灯信号的灯泡功率可以用得较小（10V10W，透镜式用12V15W和25W，）而显示的距离比透镜式色灯信号还远。

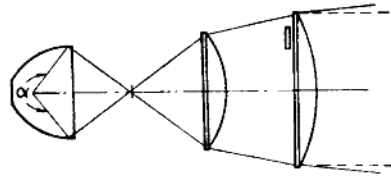
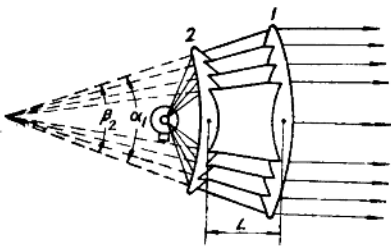


图 1—14 最佳组合距离时内透镜的散角与外透镜的合角吻合

图 1—15 探照式色灯信号机的光学系统

从图 1—15 可见，探照式色灯信号光学系统的透镜组用的不是棱梯透镜而是平凸透镜。

椭圆球面反射镜，也存在球面象差，使从椭圆球面第一焦点射出的光线，经反射之后的光，并不都会聚于第二焦点一个点上，这种球面象差的大小，与光源发光体的大小和椭圆的扁圆程度有关。为了减小这种球面象差，对椭圆的几何尺寸和发光体的大小，要有一定的要求。然而这种球面象差总还是存在的，只是小些而已。

为了消除球面象差的不利影响，探照式色灯信号机，是采用直灯丝灯泡和巧妙利用平凸

透镜组的球面象差，来实现消除球面象差对色灯信号的不利影响。我们知道凸透镜的透镜组存在球面象差 $\Delta f - f = f^*$ ，即在 $f \sim f^*$ 范围内存在着一系列焦点，如果在这一系列焦点上都设置了光源，那么，从透镜组射出去的光线为平行光线。因此，采用直灯丝灯泡，将与光轴一致的直灯丝置于椭圆球面反射镜的第一焦点上，经反射后在第二焦点处形成灯丝实象，这个长的灯丝实象正好处于透镜组的球面象差 Δf 的范围内，犹如在这 Δf 范围内排列着一系列点光源，这正好满足有球面象差的透镜组射出平行光的需要，所以探照式色灯信号能射出几乎平行的色光束（即散角小）而且显示距离也远。

既然能消除球面象差的不利影响，当然可应用平凸透镜的透镜组，而且这样还可省去棱镜透镜组两透镜间的棱镜对应的麻烦，同时也不存在棱镜透镜的光损失问题了，由于两块平凸透镜都是无色的，所以光的透射率也较高。

为了在铁路弯道线路上，能使机车司机在规定显示距离范围内，都能连续不断地瞭望到信号的显示，色灯信号的光学系统应考虑到色光有一定的偏散，目前在透镜式色灯信号机上用的偏光镜（图 1-16 a），就是为了解决这个问题。另一方面由于色灯信号透镜组的散角较小，尤其是探照式色灯信号机散角更为小些，在信号机附近处看不见信号的显示，因此在探照式色灯信号机的光学系统的大透镜内侧上方加有一个近光镜（图 1-16 b），使司机在距信号机即使只有 10m 处还能见到信号的显示。上述偏光镜和近光镜都是利用光的折射原理来实现。折射有固定的方向，所以应用时要注意折射的方向。

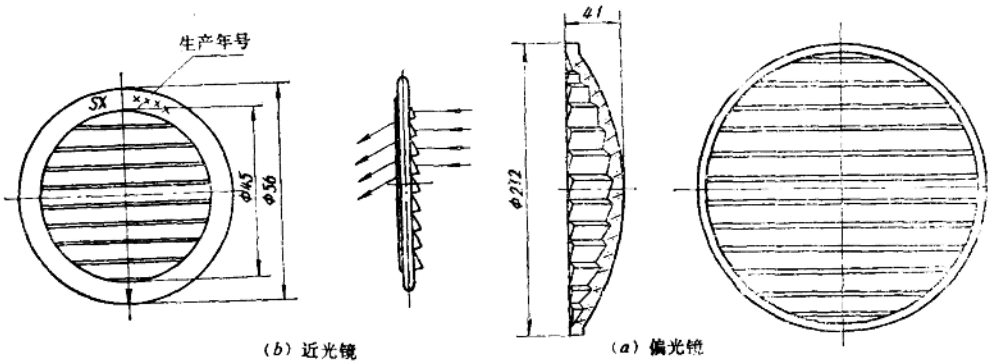


图 1-16 偏光镜和近光镜

第四节 铁路信号色光的基本概念

设置铁路信号设备的目的是为了保证行车安全、提高运输效率。但其设备无论多么先进、完善，最终还要依赖于信号的显示，如果显示不显明，既发挥不了设备的作用，而且还要发生行车事故。因此，重视色灯信号色光的颜色是完全必要的。

为了使信号显示的色光准确分明，选择色灯信号色光的颜色及选择滤光器（色透镜或色玻璃片）时，应满足以下基本要求：

1. 信号色光的颜色应该被人们的眼睛容易接受，即使照度降低时，也能辨认；
2. 各种不同信号色光的颜色，应该易于分辨；
3. 应该避免各种信号色光的颜色与照明灯的色光相混淆；

4. 光源应能给出足够的功率，
5. 色灯信号的滤光器应具有较高的透过率（透射系数）。

一、色光及其形成

人们的眼睛从日光通过三棱镜分解见到的七色光为：红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。从物理学来说，实质上它们只是电磁波总波段内很窄小的一段可见光谱，如图 1—17 所示。也可说，颜色就是可见的电磁波，一定波长的可见光波，呈现出一定的颜色。对于各种颜色，它们的波长见表 1—1。

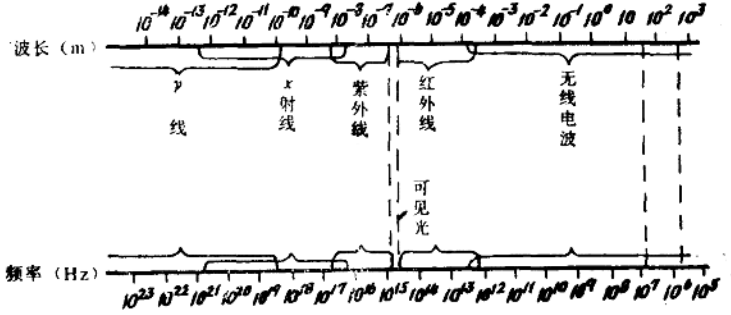


图 1—17 电磁波谱

由上可知，日光是由上述七色混合而成，同样色灯信号光源的电灯光也是由许多单色光混合成的。

表 1—1

我们知道，色灯信号色光的颜色是光源的光线通过滤光器得到的。但是要知道，滤光器它本身是不能改变光线的颜色，因为光线的颜色，决定于光波的波长，而滤光器只能使光线反射，透过和吸收，不能改变它的波长。

光线射到某色滤光器上时，对于不同波长的光波，反射差不多是均匀的，但吸收的光线就不同了，有选择性的吸收，对某几种波长的光波全吸收了，对另外几种波长的光波部分吸收了，其余波长的光波则大部分透过了，由于

	波长 μm
红	0.630 ~ 0.760
橙	0.600 ~ 0.630
黄	0.570 ~ 0.600
绿	0.500 ~ 0.570
青	0.450 ~ 0.500
蓝	0.430 ~ 0.450
紫	0.400 ~ 0.430

滤光器对不同波长的光波吸收不同，透过滤光器后光线的混合成分起了变化，所以它的颜色发生了变化。如将一块红色玻璃放在水银灯前，透过滤光器的色光，不是红光，而是黄光或绿光，因为红玻璃虽能透过红光，但水银灯光内几乎没有红光，既无红光可透，当然红玻璃就变不成红光，由于红玻璃除了能透过红光外，还能透过一些橙光、黄光及微量的绿光，且水银灯光内有黄光和绿光的成分，所以见到黄光或绿光。由上说明了滤光器不能改变光线的颜色，只是主要起到对各种光波选择性的吸收和透过的作用，由此可知，光源的光线透过滤光器后的色光，决定于光源的强度和成分，以及滤光器对各种波长光波的吸收性能。

滤光器主要的是吸收它的互补色。所谓互补色就是能混合成白光的两种色光的颜色称为互补色，如黄色光与蓝色光、红色光与蓝绿（青）色光等为互补色。所以黄色滤光器主要吸