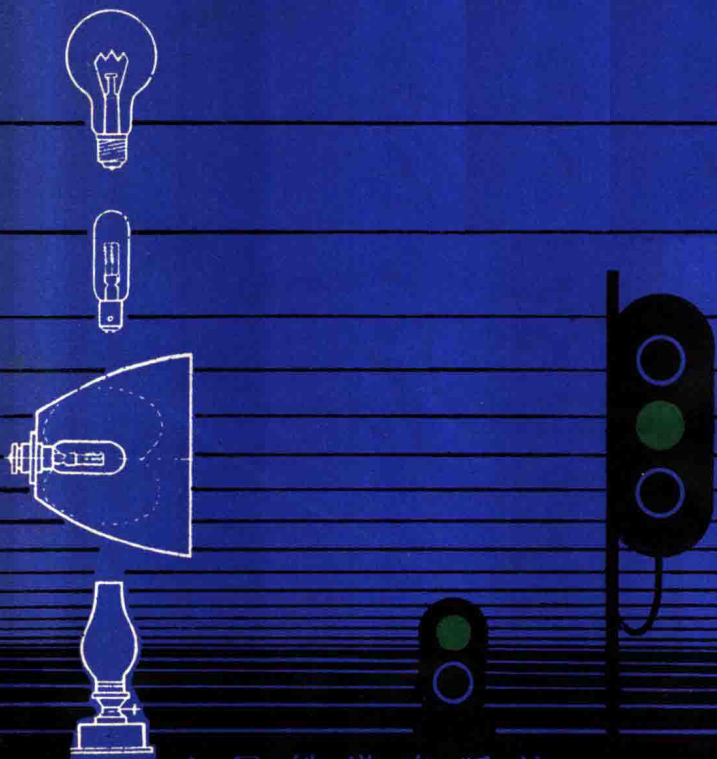


87.158
ZXY

XIN HAO GUANG YUAN

信号光源

张学渔 编著



人民铁道出版社

87.158

信 号 光 源

张学渔 编著

人 民 铁 道 出 版 社

1978年·北京

内 容 提 要

本书介绍铁路信号光源的术语、光源与信号颜色的关系、光源的光谱能量分布、热辐射光源的发光、信号煤油灯光源和白炽灯光源。重点介绍铁路信号灯泡的结构、种类、特性、技术要求及使用中的一些问题等。

本书主要是供铁路信号工人及技术人员参考。

信 号 光 源

张学渔 编著

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：2.125 字数：44 千

1978年6月 第1版 1978年6月 第1次印刷

统一书号：15043·4042 定价：0.18元

前 言

信号光源是信号设备的重要组成部分。它对保证信号显示不间断，不影响列车正点运行，有着重要作用。

我把多年来在科研和教学工作中所作的有关铁路信号光源技术笔记，经过综合、整理和补充，写成了这本小册子。

这本小册子主要是为铁路信号工人编写的，也适当照顾到铁路信号技术人员的阅读需要。在很短的篇幅中不容易写得很全面，只能重点地谈几个问题，如果读者能结合实际应用，那么，我写这本小册子的目的就达到了。

在本书编写过程中，得到了铁道部科学技术委员会和铁道部科学研究院有关同志的鼓励、指导和帮助，在此表示衷心的感谢。由于水平有限，时间仓卒，书中一定会有不足和错误之处，希望读者批评指正。

目 录

一、铁路信号光源的有关术语	1
二、光源与信号颜色的关系概述	3
三、光源的光谱能量分布	4
1. 光的发射形式	4
2. 光源的光谱能量分布	6
四、热辐射光源的发光	15
五、信号煤油灯光源	17
1. 优缺点	17
2. 大致结构和主要部件作用	18
3. 光力分布	19
六、白炽灯概述	20
七、铁路信号灯泡	24
1. 基本技术要求概述	24
2. 灯泡结构、种类及有关参数	26
3. 双丝灯泡的特性	31
4. 影响白炽灯寿命的一些基本因素	36
5. 信号灯泡的寿命	41
6. 平均寿命与电压	42
7. 电压与光力	43
8. 信号光力与信号显示距离	44
9. 灯泡的验收和试验方法	53
10. 信号灯泡的使用	56
11. 采用双丝灯泡的必要性	60
结束语	62

一、铁路信号光源的有关术语

在分析讨论铁路信号光源的基本知识之前，先介绍一些有关铁路信号光源的技术术语。

1. 光源——从物理学来说，任何出自天然或人工的物质，凡能发出可见电磁辐射的都可叫做光源。在辐射能应用技术中，所谓光源是指把任何形态的能量（例如热能或电能）转变为可见辐射能的器件。

2. 光源色——从发光体发出的光的颜色。

3. 色调主波长——物体透过（透明物体）或反射（不透明物体）的色光中最显著的波长，叫做色调主波长。

4. 色饱和度——也叫色浓度或色纯度。是指一种色光与白色光的不同程度。

5. 色度——用表示颜色的色度图的直角坐标(x, y)或者用色调主波长和色饱和度来表示颜色。

6. 演色——依据照明条件来确定物体颜色或决定物体颜色的光源的性质。

7. 光波——辐射能的可见部分。同无线电波一样它也是一种电磁波。波长是各种电磁波分类的标准，可见光波长比无线电波长短得多（也就是它的频率很高），光的波长为380~780毫微米（ $m\mu$ ）。这一部分的光波能为人眼所视觉，所以总称为可见光。光线是有颜色的，不同波长范围的可见光呈现不同的颜色。各色光的波长范围见表1。

8. 红外线——波长比红色光长的光线。其波长为780~几十万毫微米，其中780~2000毫微米对身体健康影响较大。

各色光波长

表 1

色	光	波长范围 (m μ)
	红	780~630
	橙	630~600
	黄	600~570
	绿	570~500
	青	500~450
	蓝	450~430
	紫	430~380

9. 紫外线——波长比紫色光短的光线。其波长为380~200毫微米。350毫微米以下的紫外线对人体健康影响较大。

10. 光谱——在不同光源发射的光线中，从红到紫各色光之间的强度比是不同的，如果某一光源红色光比例特别高，光源的颜色就偏红，绿色光比例高，光源则偏绿。把光源中不同强度的各种颜色光线按波长长短依次排列，称之为光源的光谱。如果光源发射的光线中只包含有部分的光线，则称为线光谱。如果所有颜色光线的波长都有，则称为连续光谱。煤油灯、白炽钨丝灯和溴钨灯等发射的都是连续光谱。一些新型气体放电光源，氙灯、镝灯、铟灯等除了发射连续光谱外，还在某些波长上发射很强的线光谱。

11. 光通量 (F) ——光能的强度。光源不断向四周辐射光能，在单位时间内通过某一面积的光能就叫做通过该面积的光通量。它的单位是流明 (lm)。1流明是以1烛光的点光源为中心，作半径为1米的球面，通过1平方米球面的光能。

12. 发光强度 (I) ——单位立体角内发出的光通量。发光强度的单位是烛光 (cd)。1967~1968年第十三届国际计量大会决议：1烛光 (坎德拉) 是在101325牛顿每平方

米压力下，处于铂凝固温度的黑体的 $1/600000$ 平方米表面在垂直方向的发光强度。因为半径为1米的球面面积为 4π 米²，所以发光强度为1烛光的点光源发出的总光能为 4π 流明。

13. 照度 (E) ——表征受照面的明亮程度的量。是指一定方向的光通量与垂直该方向被照射面积之比。照度的单位是勒克斯 (lx)。1 勒克斯是1 流明的光通量平均分布在1 平方米的面积上所产生的照度。

14. 亮度 (B) ——光源在单位面积上，向某一方向的单位立体角内发射的光功率，就叫做光源在这个方向上的亮度。它的单位是熙提 (sb)。1 熙提是当1 平方厘米的面光源沿其法线方向的发光强度为1 烛光时，该光源在该方向的亮度。

15. 灯泡光中心——灯泡发光白炽体的几何中心。

16. 灯泡光中心高度 (H) ——自灯泡光中心至灯泡接触点的高度。

17. 灯泡的功率 (P) ——在额定电压下灯泡发光所消耗的电功率。它的单位是瓦特 (W)。

18. 发光效率——光源每消耗1 瓦特功率所发射的流明数，叫做光源的发光效率简称光效。光效的单位为瓦/流明 (W/lm)。在相同耗电条件下，发光效率高的光源发射的可见光强。

二、光源与信号颜色的关系概述

我国铁路地面固定信号目前主要使用着三种光源：煤油灯、白炽灯以及太阳光源。前两种光源运用在灯光信号上，后一种光源主要运用于臂板信号机臂板和标志以及信号机的外形显示等方面，通过太阳光的照射而呈现出信号臂板和标

志的颜色及形状，并将信号机的尺寸、位置、数目以及距离等特征显示出来。

信号滤光器（俗称色玻璃）和信号臂板、信号标志以及各色手信号旗等不透明物体的颜色，取决于光源色，亦即随照明光源的光谱能量分布不同而不同。它们的色度坐标值是由滤光器或信号臂板、信号标志以及各色手信号旗等反射光物体与光源一起反映出来的。这种依据照明条件所确定物体颜色或决定物体颜色的光源的性质，我们称之为演色。因此，平常人们辨认出滤光器和信号臂板、信号标志以及各色手信号旗的颜色，可以理解为光源通过滤光器或由信号臂板、信号标志以及各色手信号旗等，这些不透明物体反射后的颜色。演色这一概念很重要。从实际观察辨认颜色时得知，由于照射物体光源的不同，人们获得的色觉也不一样。由此可见，光源与信号颜色是有着密切联系的。灯光信号显示的可靠性首先决定于光源的可靠性。所以，我们在分析研究信号颜色时，也必须注意光源及其光谱能量分布，还要注意与光源可靠性有关的其他若干因素，以便采取一系列有效措施，来提高信号光源的可靠性，从而保持良好的信号显示，以利提高行车效率，保证行车安全，改善运营人员的劳动条件。

三、光源的光谱能量分布

光源的光谱能量分布与光的发射形式有关，因此，需要先谈光的发射形式。

1. 光的发射形式

物体发射光能一般有两种不同形式：一种叫热辐射，一种叫“发光”。

第一种形式，物体在发射辐射过程中，可以不改变内能，只要通过加热来维持它的温度，辐射就可以继续不断地进行下去。这种辐射叫热辐射或称温度辐射。热辐射是由于物体内部热运动的一种现象。任何物体，固体、液体、甚至相当厚的气体都发射这种辐射。

热辐射的光谱是连续光谱，红、橙、黄、绿、青、蓝、紫所有颜色光线都有，不同波长色光的能量随波长连续改变。

第二种形式，物体在发射辐射过程中，不能仅用维持其温度来使辐射继续下去，而要依靠其他一些激发过程来获得能量以维持辐射。这种辐射叫“发光”。维持“发光”的来源是多种多样的，例如：

(1) 物体中的原子或离子受到被电场加速的电子的轰击，使原子中的电子受到激发。当它由激发状态回复到正常状态时，就会发出辐射，这一过程叫电致发光。如稀薄的气体或蒸气在放电管中所发出的辉光，就是这种过程。

(2) 物体被光照射或预先被照射而引起它自身的发射，叫光致发光。荧光和磷光是属于这一类。日光灯管壁上发出的荧光是被管内水银蒸气的辉光所激发的。钠蒸气当被另一钠光灯发出的黄光照射时，也会发出黄光，这就是所谓共振辐射。

(3) 由于化学反应而发光叫化学发光。如磷或腐物中的磷在空气中被缓慢氧化而发光。

(4) 物体加热到一定温度也会发射辐射，这叫热发光。如本生火焰中放入钠或钠盐就能发出钠的黄光。热发光与热辐射不同，后者在任何温度下都在进行，而前者要达到一定温度后才产生。达到一定温度，火焰中的质点（原子、分子、离子、电子）有足够的动能去碰撞钠原子，使钠原子激发。 - .

当然上面所提的几种过程并不是截然分得很清楚的。化学发光也可能是由于化学反应产生足够的热能或电能去激发磷化合物的分子；电弧中同时存在电激发与热激发。但是它们的共同特点都是非平衡辐射，不能仅用温度来描述；它们的光谱主要是线光谱、带光谱，但也有连续光谱（例如弧柱中固体质点及炽热的电极头所发出的就是连续光谱）。

关于第二种形式辐射的性质，物质的结构及光谱规律，通常在原子物理学及光谱学中有详细介绍，这里我们就不再多说了。

目前我国铁路信号光源的光的发射形式大部分是属于第一种形式。无论是信号煤油灯还是白炽灯泡，都是热辐射光源。煤油灯是靠火点燃灯芯加热发光，白炽灯泡靠电流加热灯丝至白炽状态而发光。下面我们仅讨论这种形式光源的光谱能量分布。

2. 光源的光谱能量分布

光源的光谱能量分布与色温度有关。色温度是表示炽热体有怎样颜色的概念。它与炽热体的温度有内在的联系。为了加以描述引进黑体的概念。当辐射能射到一个不透明物体的表面时，一部分能量被物体吸收，另一部分能量从物体表面反射出去。被吸收的能量与入射能量的比叫做该物体的吸收系数，被反射的能量与入射能量的比叫做该物体的反射系数。我们把在任何温度下对于任何波长的吸收系数都等于1的物体叫做“绝对黑体”，简称黑体。实际上的物体总是不能把射到它表面的能量全部吸收，即吸收系数总小于1，所以绝对黑体实际上是不存在的。常见的物体都是非黑体。

对于黑体的辐射规律人们进行了详细地实验研究，因此人们在探求热辐射的基本现象、规律及其应用时，通常是借

助于黑体来着手分析说明。例如测量铁块在加热到呈现某种颜色时的温度，可以改变黑体的温度使它与铁块的颜色相同，则黑体此时的温度就称为这一加热条件下铁块的颜色温度或色温度。用绝对温度（°K）来计量。绝对温度等于摄氏温度加273°。

我们建立了有关色温的一般概念后，下面我们就来进一步分析说明光源的光谱能量分布问题。

当物体处于热平衡的时候，在单位时间内从物体单位面积上发射出的辐射能称为发射本领，绝对黑体的发射本领 E 和绝对温度 T 的四次方成正比：

$$E = \sigma T^4 \quad (1)$$

式中的 $\sigma = 5.67 \times 10^{-12}$ 瓦特/厘米²·度，叫斯梯芬-玻耳兹曼常数。这个公式叫斯梯芬-玻耳兹曼公式。

对实际存在的金属来讲，它的吸收系数小于1，它的发射本领也总比黑体的小，因此，在单位时间内从它单位面积上发射的总辐射能为：

$$E = \epsilon_T \sigma T^4 \quad (2)$$

式中 ϵ_T 是小于1的系数，叫做金属的发射率（又称积分辐射系数），它与金属材料 and 温度有关。表2列出不同温度下钨的发射率数值。可以看出，温度越高，它的发射率也越大，因而它的发射出的总辐射能也越大。

钨的发射率数值

表 2

绝对温度 T (°K)	1000	1300	2000	2500	3000	3400	3600	3655
发 射 率 ϵ_T	0.105	0.150	0.263	0.312	0.346	0.366	0.374	0.376

斯梯芬-玻耳兹曼定律只确定了一定温度下黑体辐射的总能量。而黑体辐射发出的是连续光谱，辐射能量如何按波长

分布,斯梯芬-玻耳兹曼定律并没有给出,它由普朗克分布定律确定:

$$E_{\lambda} d\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} d\lambda \quad (3)$$

式中 $E_{\lambda} d\lambda$ 是黑体单位表面在 1 秒钟内向外辐射的波长在 λ 和 $\lambda + d\lambda$ 之间的能量值, 它的单位是瓦特/厘米²·微米, C_1 和 C_2 是两个常数。

图 1 给出几条不同温度下, 黑体辐射能量按波长的分布曲线。

由图可以看出, 随着温度升高, 曲线下面的面积迅速增大, 即辐射能量增加; 辐射光谱的最大值随着温度的升高而向短波方向移动, 即由红外线部分转移到可见部分。

具有最大辐射能量的波长 λ_m 和黑体的绝对温度 T 的关系可由维恩位移定律确定:

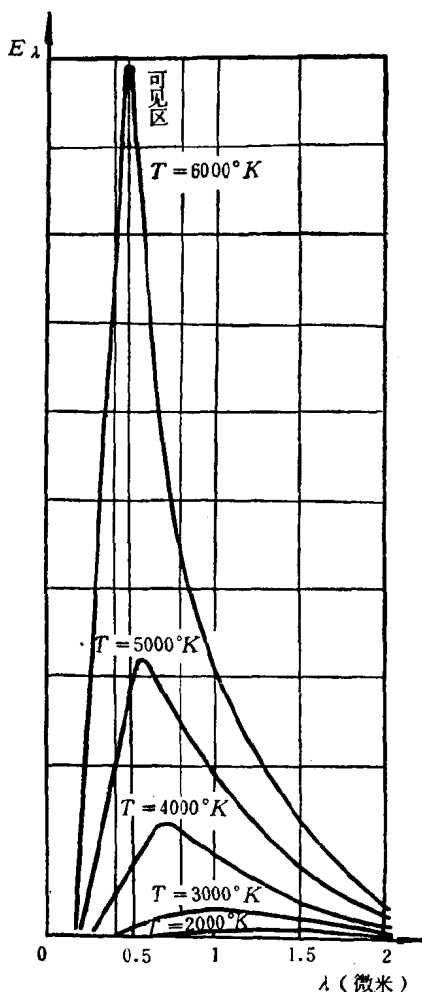


图 1 黑体辐射能量按波长的分布曲线

$$\lambda_m T = 2897 \quad (4)$$

式中 λ_m 单位用微米。

表3中列出了不同温度下绝对黑体的 λ_m 和 E 的数值。

绝对黑体的 λ_m 和 E 的数值 表3

绝对温度 $T(^{\circ}\text{K})$	$\lambda_m(\mu\text{m})$	$E(\text{W/cm})$
1000	2.897	5.67
2000	1.449	90.7
3000	0.966	459
4000	0.724	1452
5000	0.579	3544
6000	0.483	7348
8000	0.362	23224
10000	0.290	56700

由维恩位移定律, 知道 λ_m 就可以确定黑体的温度 T 。但对于实际存在的辐射物体来讲, 这样计算出来的温度并不是它的真实温度, 因为实际物体的热辐射总比同温度下的黑体辐射弱, 而且辐射按波长分布与物体性质有关。在这种情况下, 按维恩位移定律计算出来的 T , 就是该物体的色温度。显然它比这时的实际温度高。

表4列出了一些光源的色温度和实际温度数值。

一些光源的色温度和实际温度 表4

表面的实际温度 ($^{\circ}\text{K}$)	色 温 度 ($^{\circ}\text{K}$)
2000	2033
2500	2557
2800	2878
3000	3094

三种信号光源的色温度大致如表5所列。

信号光源的色温度表

表 5

光 源	色 温 (°K)
信号煤油灯	1925~2055
铁路信号灯泡	2400~2855
太 阳	5300~6500

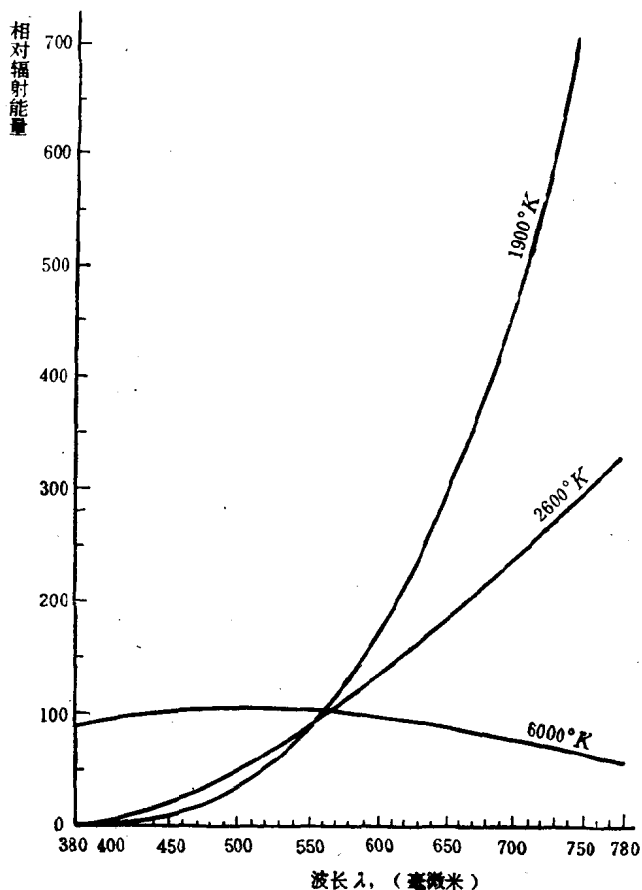


图 2 三种信号光源相对辐射能量按波长的分布曲线

在色度计量方面通常采用黑体的相对辐射能量按波长分布数值。三种信号光源色温度分别为 1900、2600、6000°K 时的光谱相对辐射能量按波长分布的数值见表 6。依据表 6 数据可以绘出三种信号光源相对辐射能量按波长的分布曲线，见图 2。

光源相对辐射能量按波长分布的数值 表 6

波 长 $\lambda(\text{m}\mu)$	光 源 的 色 温 度($^{\circ}\text{K}$)		
	1900	2600	6000
380	1.15	4.98	90.43
390	1.69	6.46	93.39
400	2.41	8.24	95.98
410	3.28	10.35	98.23
420	4.66	12.82	100.12
430	6.30	15.67	101.69
440	8.37	22.59	102.94
450	10.97	26.69	103.90
460	14.16	31.24	104.57
470	18.05	36.23	104.99
480	22.72	41.67	105.16
490	28.28	47.56	105.11
500	34.81	53.87	104.86
510	42.43	60.61	104.42
520	51.22	67.76	103.81
530	61.28	75.29	103.05
540	72.71	83.20	102.15
550	85.58	91.44	101.13
560	100.00	100.00	100.00
570	116.02	108.85	98.78
580	133.72	117.95	97.47
590	153.15	127.29	96.09
600	174.38	136.82	94.65
610	197.42	146.52	93.16

续上表

波 长 λ (nm)	光 源 的 色 温 度($^{\circ}\text{K}$)		
	1900	2600	6000
620	222.36	156.35	91.62
630	249.12	166.29	90.05
640	277.80	176.30	88.45
650	308.37	186.35	86.83
660	340.83	196.42	85.20
670	375.16	206.47	83.56
680	411.34	216.49	81.91
690	449.32	226.43	80.26
700	489.06	236.29	78.62
710	530.51	246.30	76.98
720	573.62	255.64	75.36
730	618.32	265.09	73.74
740	664.53	274.37	72.15
750	712.19	283.46	70.57
760	761.20	292.35	69.01
770	811.50	301.02	67.47

依据表 6 和图 2 数据可以求得三种信号光源的色度坐标。表 7 列出了一些具有不同色温值发光体的色度坐标数据。图 3 列出了这发光体在表征信号颜色的色度图上的位置。

图中的小曲线表示发光体在不同温度时的颜色。由小曲线可见，当发光体温度为 800°K 左右时，它的颜色坐标处在颜色曲线的“红”端附近，随着温度的升高而逐渐离开“红”端，也就是说对于红色的浓度越来越淡，趋于白炽，以至呈现白色。

实际上也正是如此，我们都有这样的经验：将铁块逐渐加热，开始时，我们只能感觉到被加热铁块的热，看不见