
混光照明设计手册

李恭慰

张绍纲

编著

赵建平

韩树强

张建华

中国建筑工业出版社

主 要 符 号

PZ—白炽灯
 LSG—卤钨灯
 HQ—冷白色荧光灯
 HR—日光色荧光灯
 HGG—高显色性荧光灯
 RGB—三基色荧光灯
 GGY—荧光高压汞灯
 GYZ—自镇流荧光高压汞灯
 M—金属卤化物灯
 DDG—镝灯
 KNG—铊钠灯
 NTY—钠铊铟灯
 NG—高压钠灯
 NGG—高显色性高压钠灯
 T—色温(相关色温)(K)
 η —发光效率(%)
 R_a —一般显色指数
 R_t —优选指数

R_{13} —白种人肤色显色指数
 R_{15} —黄种人肤色显色指数
 P —相对光谱功率分布
 D —灯具长度(mm)
 H —灯具宽度(mm)
 L —灯具高度(mm)
 I —光强值(cd/m^2)
 RCR—室空间比
 ρ_e —有效顶棚反射系数
 ρ_w —有效墙壁反射系数
 ρ_f —地板反射系数
 $CU(U)$ —利用系数
 WLC —墙壁亮度系数
 $CCLC$ —顶棚亮度系数
 F —光源的额定光通量
 γ —视线与灯具铅垂线的夹角
 S/h —灯具的距高比

本手册总结了我国混光照明研究的成果和实践经验。其主要内容有混光照明技术基础知识、混光光源和混光灯具的亮度和色度特性、混光照明设计与计算方法以及设计实例,提供了大量的数据和图表,使用方便。

本手册是广大电气照明设计人员的工具书,也可从事科研、教学和电气照明管理等人员参考。

混光照明设计手册

李蕊慰 张绍纲 编著
赵建平 韩树强 张建华

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 22 1/4 插页: 1 字数: 541 千字

1990年10月第一版 1990年10月第一次印刷

印数: 1—5,990册 定价: 15.40元

ISBN7-112-01089-6/TU·791

(6161)

前 言

传统的照明是采用单一光源照明,这种照明方法有时不是照度低就是光色不好,或者为了求得高照度照明需安装功率较大或数量较多的灯,从而消耗大量的电能。近二十年来,高强度气体放电灯迅速发展,如高压汞灯、高压钠灯和金属卤化物灯等,这些灯单独使用于照明时,有的光色不好,光效也不太高,如高压汞灯光色发青,一般为50lm/W;高压钠灯光效虽高,一般为100lm/W以上,但光色发黄;金属卤化物灯的光色偏冷,严重缺乏红光,对肤色显色不利。有的金属卤化物灯则光色一致性较差。为了使这些高光效光源得到广泛应用,特别是用于室内照明,充分发挥其优点,克服其缺点,从而求得高照度、良好的光色和显色性,节约照明用电,形成良好的光环境,近十余年来,国际上,特别在日本日益推广使用两种及两种以上不同光源混光照明的技术,这是对传统照明的一种变革。

我国早在七十年代初就开始研究混光照明,成果已应用于《工业企业照明设计标准》(TJ34—79)中,但当时只研究了高压汞灯与白炽灯(卤钨灯)的混光照明。尔后,我国相继研究成功高压钠灯和金属卤化物灯等,开始在工程上采用高压汞灯与高压钠灯混光等照明,1982年到1985年间,由中国建筑科学研究院建筑物物理研究所负责与上海亚明灯泡厂、电子工业部第十设计院、沈阳市灯具一厂、国营七九八厂和北京电光源研究所等单位合作,全面深入地研究了我国现有光源种类及其可能采用的混光照明方案的光度和色度特性,研制出了各种混光灯具,提供了各种混光灯具的计算参数,并在现场试点应用,取得良好效果,并于1985年12月通过技术鉴定,该项成果获城乡建设环境保护部1986年度科技进步一等奖和1987年度国家科学技术进步二等奖。为了满足广大照明设计工作者和用户对混光照明设计技术的迫切需要,以便普及和推广混光照明技术,特编写此手册。

本手册反映了我国混光照明研究成果和实践经验。在内容上力求全面系统,简明扼要,除介绍混光照明技术基础知识外,主要列出大量光源和灯具的基本技术参数及照明设计计算图表。为便于应用,还给出了应用实例。

在编写本书的过程中,董健明、张铁黎、彭燕萍、郭兴周、颜景文、王兵、朱鸿黔、钟权、莫善在、金天然、梁立艇、胡柏尧、方昌育、张宝峰、关晓锋、殷克勤、马方勇、王兴林、高鉴民、项文彬、蔡光友、李中、李大林、高国清、唐本荣、陈友俊、金采苟等同志给予热情的支持,谨致诚挚的谢意。

在本书编辑出版过程中,得到了刘家驹、李根华、于佳瑞等同志的许多具体帮助。此外,还得到了许多单位的众多同志的热情支持,在此一并表示衷心的感谢。

我们希望本手册的出版有助于混光照明技术的推广应用,限于技术水平,错误之处,敬请读者指正。

目 录

前言	
主要符号	

第一章 混光照明技术基础

第一节 国内外混光照明技术的研究和应用	1
一、国外混光照明技术的研究和应用	1
二、我国混光照明技术的研究和应用	4
第二节 混光光源的光度和色度特性原理	5
一、测量装置	5
二、单一光源的光度和色度特性原理	7
三、混光光源的光度和色度特性原理	15
第三节 混光光源的视觉评价原理	16
一、混光光源的主观评价装置	16
二、混光光源的显色性主观评价方法	18
第四节 混光光源照明的经济效益和社会效益	20
一、混光光源照明的经济效益	20
二、混光光源照明的社会效益	20

第二章 光 源

第一节 常用的单一光源	21
第二节 白炽发光灯	21
一、白炽灯	22
二、卤钨灯	23
第三节 荧光灯	24
一、荧光灯的结构	24
二、荧光灯的发光原理	24
三、荧光灯的光电特性	25
第四节 高强气体放电灯	31
一、荧光高压汞灯	31
二、自镇流荧光高压汞灯	31
三、金属卤化物灯	36
四、高压钠灯	41
五、高显色性高压钠灯	45
六、氙灯	46
第五节 混光光源	47

一、日光色荧光灯与白炽灯的混光	47
二、高显色性荧光灯与日光色荧光灯的混光	48
三、荧光高压汞灯与白炽灯的混光	50
四、荧光高压汞灯与高压钠灯的混光	51
五、荧光高压汞灯与高显色性高压钠灯的混光	52
六、碘灯与白炽灯的混光	53
七、碘灯与高压钠灯的混光	54
八、碘灯与高显色性高压钠灯的混光	55
九、铊钠灯与高压钠灯的混光	56
十、铊钠灯与高显色性高压钠灯的混光	57
第六节 推荐的最佳混光比的特性	58
一、推荐的日光色荧光灯与白炽灯 (HR10W + PZ300W) 的混光	58
二、推荐的日光色荧光灯与高显色性荧光灯 (HR20W + HGG40W) 的混光	59
三、推荐的荧光高压汞灯与白炽灯 (GGY125W + PZ300W、GGY250W + PZ500W) 的混光	61
四、推荐的荧光高压汞灯与高压钠灯 (GGY400W + NG250W) 的混光	64
五、推荐的荧光高压汞灯与高显色性高压钠灯 (GGY400W + NGG250W、GGY100W + NGG100W) 的混光	66
六、推荐的碘灯与白炽灯 (卤钨灯) (DDG400W + PZ500W、DDG100W + PZ1000W) 的混光	69
七、推荐的碘灯与高压钠灯 (DDG400W + NG250W、DDG1000W + NG250W) 的混光	72
八、推荐的碘灯与高显色性高压钠灯 (DDG400W + NGG400W、DDG100W + NGG250W) 的混光	75
九、推荐的铊钠灯与高压钠灯 (KNG400W + NG250W) 的混光	78
十、推荐的铊钠灯与高显色性高压钠灯 (KNG400W + NGG400W、KNG100W + NGG250W) 的混光	80
十一、推荐的三种光源的混光	83

第三章 混 光 灯 具

第一节 混光灯具的分类	86
第二节 混光灯具反射器的形状及其特点	87
第三节 对混光灯具的要求	88
第四节 常用混光灯具照明设计计算图表	94

第四章 照 度 计 算

第一节 利用系数法	245
一、利用系数法的原理	245
二、利用系数的计算方法	246
第二节 概算图表法	251
一、灯具概算图表的绘制	251
二、灯具概算图表的使用方法	252

第三节 逐点法	253
一、点光源的逐点法计算原理	253
二、逐点法的电算框图	255
第四节 用平面对称照度曲线逐点计算照度	257
一、平面对称照度曲线的原理	258
二、平面对称照度曲线的绘制	259
三、平面对称照度曲线的利用	260
第五节 综合表格法	260
第六节 照度维护系数的确定	299
一、光源光通量的衰减	299
二、因光源和灯具污染的衰减	300
三、因房间表面污染的衰减	301

第五章 混光照明设计

第一节 混光照明设计的基本要求	303
第二节 照明设计流程	303
第三节 照明标准	303
第四节 混光光源的选择	307
第五节 混光灯具的选择和布置	309
一、灯具的选择	309
二、灯具的布置	309
第六节 照度计算	310
一、利用系数法	310
二、概算曲线法	311
三、逐点法	312
四、综合表格法	312
第七节 照明开关选择及功率因数补偿	313
一、开关选择及线路保护	313
二、功率因数补偿	315
三、影响混光照明的各种因素	316
第八节 照明设计举例	318

第六章 混光照明设计实例

第一节 体育馆和体育场的混光照明	322
一、北京首都体育馆	322
二、山东济南市皇亭体育馆	324
三、北京海淀体育馆	325
四、北京朝阳体育馆	328
五、北京石景山体育馆	330
六、北京月坛体育馆	331
七、日本阪急体育练习馆	333

八、山东省人民体育场	335
九、日本田径比赛场兼球类比赛场	337
第二节 工业企业车间的混光照明	338
一、北京国营第七九八厂烧成大厅	338
二、上海宝山钢厂2050mm热带钢轧钢厂	344
参考文献	348

第一章 混光照明技术基础

第一节 国内外混光照明技术的研究和应用

一、国外混光照明技术的研究和应用

混光照明开始于1973年发生世界性的能源危机之后,当时国际上为了寻求解决节约能源和改善光色的途径,开创了混光照明新技术,特别是在日本获得日益广泛的应用,在欧洲一些国家也开始应用。

目前国际上对不同光源的混光照明,从理论上全面系统的研究尚少,多见于应用实例。总结目前所搜集到的资料,可归结为下述的发展趋势:

1.从混光光源种类上看,两种不同光源的混光种类增多,例如,70年代初多采用白炽灯与高压汞灯的混光照明,到80年代前后,出现高压汞灯与高压钠灯、高压钠灯与金属卤化物灯、卤钨灯与金属卤化物灯等混光照明,甚至出现高压钠灯、金属卤化物灯和卤钨灯等三种光源混光照明等。

2.从混光照明的应用范围上看,已从用于室外照明发展到用于室内照明。如过去多应用于室外体育设施、广场和码头等,今已应用于室内体育馆、候机候车大厅、高大的工业厂房、商店等照明工程中。

在室内外照明工程中,采用混光照明最多的是体育场和体育馆。现将1977~1979年三年间在日本照明学会杂志上介绍的资料中采用混光照明的情况列于表1-1中。

体育建筑混光照明

表 1-1

场 所	单一光源照明			二种光源混光照明					三种光源混光照明		
	GGY	M	NG	PZ+M	GGY+M	GGY-NG	GGY+PZ	M+NG	PZ+GGY+NG	PZ+M+NG	
棒球 场		4				4		9			2
网 球 场	1		1					1			
滑 冰 场		1									
高尔夫球场	1										
自行车赛场	1										
体 育 馆		3		8	2	2	2	2			
游 泳 池		2						1			
网 球 场											1
共 计	3	10	1	8	2	6	2	13	1		3

由表1-1可知, 室内外体育设施中多采用高强气体放电灯混光, 而尤以高压钠灯与金属卤化物灯混光照明居多; 其次是卤钨灯与金属卤化物灯的混光照明。采用卤钨灯的主要原因是作为对色温较高的金属卤化物灯进行色修正用, 使混光的光色和显色性更好, 同时也兼做瞬时停电时事故照明和观众席照明的辅助光源。

日本东京千叶县成田国际机场的候机厅于1978年5月交付使用, 该机场每天用电量达31万度之多。由于电力消耗大, 在使用二年后, 为了节约电能, 将按原设计安装的白炽灯改为金属卤化物灯与高压钠灯的混光照明, 例如, 四层的出境大厅, 过去采用1500W白炽灯二灯一组, 现改为400W金属卤化物灯与360W高压钠灯一组的混光照明, 从而节约19%的电能, 而且照度高达300lx。

在工厂照明中, 也逐渐采用混光照明, 从过去的白炽灯与高压汞灯混光照明发展为高压钠灯与高压汞灯混光照明, 后者不但可以改善光源的光色和显色性, 而且还可以在提高工作场所的照度水平情况下, 比白炽灯和高压汞灯节约电能。

混光照明在商店照明中也获得了应用, 例如日本东京的西友羽村店的照明。该店于80年11月开店, 系三层建筑, 一层和三层采用高强气体放电灯和省电型荧光灯混光。一层入口处采用100W的荧光高压汞灯同高显色性高压钠灯混光照明。三层采用250W的金属卤化物灯与2×40W的荧光灯混光照明, 平均照度高达600~700lx, 周边还装有接近白炽灯光色的100W荧光灯, 形成温暖的光环境。

在饭店照明中, 有考虑光色平衡的混光照明。在75m²的餐室中, 顶棚上有4×4m的照明器并带有乳白罩。在照明器中装有6支20W白炽色的荧光灯和5支40W普通白炽灯。为形成气氛照明需开荧光灯。夜间营业时, 为了形成低照度, 开白炽灯, 荧光灯色温为3200K, 接近白炽灯色温, 造成温暖愉快的气氛, 同周围桌子上照明融成同一种色调的照明。

3. 从照明灯具上看, 从各单一光源安装在各自相应的灯具内并按不同的布置方式配置于室内, 即在室内空间混光。发展到将两种不同光源安装于同一个灯具内, 即安装于混光灯具内, 从而更便于应用, 而且混光效果更好。日本的东芝、松下和岩崎电气公司、比利时的斯来得公司等均生产和出售混光灯具。

4. 从混光配比上, 一些国家的公司提出了混光比的建议, 如日本岩崎公司推荐了如表1-2所示的混光光通量比建议。

体育建筑的混光光通量比

表 1-2

比赛种类	推荐使用的混光光源光通量比
练习	$M + NG = 60:40$ $GGY + NG = 60:40$
一般比赛	$M + NG = 70:30$ $M + LSG = 70:30$ $GGY + LSG = 60:40$
正式比赛	$LSG + M = 40:60 \sim 50:70$ $LSG + GGY = 50:50 \sim 40:60$ $LSG + NG = 70:30$ $LSG + M = 40:60$

日本推荐用于工厂的混光照明, 如表1-3所列。

高压钠灯与金属卤化物灯的混光特性表

表 1-3

NG + M	总效率(lm/W)	一般显色指数(R_a)	色 温 (K)
220W + 400W	160	55	2800
360W + 400W	105	47	2600
660W + 200W	111	43	2500

此外, 苏联和国际照明委员会(CIE)均规定了如表1-4、1-5和表1-6所列的室内照明光源的显色指数和色温范围。

苏联按视觉工作推荐的人工光源颜色特性

表 1-4

视觉工作特性	一般照明系统	一般显色指数(R_a)		光源色温范围(K)	
	的照度(lx)	工业建筑	公共建筑	工业建筑	公共建筑
对辨认颜色要求很高的颜色检验(缝纫厂的成品检验、纺织厂棉毛织品和布匹的检验、皮革的分等、颜料制作、彩印颜料的选配、诊疗室等)	300和300以上	90	90	5000 ~ 6500	5000 ~ 6500
对辨认颜色要求高的颜色对比(鞋面的裁切、罐头厂、织布厂的原料检验、缝纫厂裁剪和缝纫、机器刷色、展览馆、专业商店等)	300和300以上	85	85	4000 ~ 6500	4000 ~ 6500
区别有色物件但不进行检验和对比(无线电器器装配、纺纱、绕线、装订车间、食堂)	300和300以上	50	55	3500 ~ 6500	3500 ~ 6500
	150 ~ 300	50	55	300 ~ 4500	3000 ~ 4500
	低于150	45	55	2700 ~ 3500	2700 ~ 3500
无色物件的工作(金属、塑料的机械加工、机器和工具的装配、办公室等)	500 ~ 500以上	50	55	3500 ~ 6500	3500 ~ 6500
	300 ~ 500	40	55	3500 ~ 6500	3500 ~ 6000
	150 ~ 300	30	50	3000 ~ 4500	3000 ~ 4500
	低于150	25	45	2100 ~ 3500	2700 ~ 3500
对室内工作一般浏览(休息厅、门厅、剧院和电影院大厅)	150和150以上	—	55	—	2700 ~ 4000

CIE 灯的显色类别

表 1-5

色表类别	色 表	相 关 色 温 (K)
1	暖	< 3300
2	中 间	3300 ~ 5300
3	冷	> 5300

分析上述各表可知, 虽其规定的内容稍有差异, 但均规定了各自场所所应保持的显色特性。无论是单一光源和混光光源均应遵守上述的规定, 这对保证建筑照明具有良好的照明

质量是非常重要的。

灯的显色分类 CIE 1986

表 1-6

显色类别	显色指数范围	色 表	应 用 举 例	
			优先采用	容许采用
I_A	$R_a \geq 90$	暖 中 冷	颜色匹配 临床检验 绘画美术馆	—
I_B	$80 \leq R_a < 90$	暖 中	家庭、旅馆、饭店 商店、办公室、学校 医院	—
		中 冷	印刷、油漆和纺织 工业、视觉费力的 工业生产	
2	$60 \leq R_a < 80$	暖 中 冷	工业建筑	办公室 学校
3	$40 \leq R_a < 60$	—	粗加工工业	工业生产
4	$20 \leq R_a < 40$	—	—	粗加工工业

二、我国混光照明技术的研究和应用

我国在1973~1976年编制《工业企业照明设计标准》时，中国建筑科学研究院建筑物理研究所曾对我国当时采用较多的荧光高压汞灯与白炽灯的混光照明，进行了18种混光方案的实验研究，计算出了各方案的颜色坐标、色温和一般显色指数，找出了光通量比与平均显色指数关系曲线。此外，还进行了混光的主观评价。在等照度下，通过主观评价试验色的色差大小来确定混光光源的效果，得出混光光通比与色相、彩度和照度的关系曲线，根据实验室和现场的主观评价结果以及经济分析提出了如表1-7所列的混光比。该项成果已列入《工业企业照明设计标准》(TJ—34)中。

荧光高压汞灯与白炽灯(或卤钨灯)的混光光通量比

表 1 7

序 号	工 作 场 所	混光光通量比 (%)	识别颜色效果	混光光源的一般显色指数 (R_a)
1	识别颜色要求较高的场所	< 30	红、橙、黄、绿、青、蓝、紫颜色—良好	< 85
2	识别颜色要求一般的场所	30 ~ 60	绿色—中等 其它颜色—良好	70 ~ 85
3	识别颜色要求较低的场所	50 ~ 70	绿、青、黄、紫—良好 红、橙、蓝、紫—中等	50 ~ 70

注：混光光通量比(%) = $\frac{\text{荧光高压汞灯的光通量}}{\text{荧光高压汞灯的光通量} + \text{白炽灯(或卤钨灯)的光通量}} \times 100\%$

但当时尚无系统的混光标准,以致限制了混光照明的推广应用。随着我国新的高光效气体放电光源的发展和在照明工程中的推广应用,近年来,开始采用高压汞灯与高压钠灯、高压钠灯与金属卤化物灯、金属卤化物灯与卤钨灯混光等。虽在国外杂志上看到混光照明应用的实例,但无全面系统的技术资料可供参考,因此,全面系统地研究不同光源的混光特性及其实际应用效果,便成为一项具有现实意义的研究工作。

自1982年到1985年中国建筑科学研究院建筑物理研究所与有关单位协作系统地开展了不同光源混光特性及其应用的研究,该项研究通过对国内现有各种单一光源、两种不同光源的混光光源的客观测量和主观评价、试验室和现场试验研究,为室内外照明场所推荐了所需的混光比数据。

据不完全统计,自1981年来,混光照明已在200余个工厂车间推广应用,特别应指出已于1985年成功地应用于首都体育馆主馆照明,经多次国内和国际重大比赛考验证明,照明效果良好,满足了国际比赛和转播彩色电视的要求。该馆采用的卤钨灯和镝灯的混光照明平均水平照度高达1570lx,照度均匀度为0.7以上。另外,沈阳军区俱乐部体育馆照明采用400W镝灯与250W高显色性高压钠灯混光,照明效果更好。在第十一届亚运会拟兴建的体育馆中,如朝阳、石景山、月坛、海淀等体育馆已采用混光照明。现在全国已有27个省市应用混光照明,应用于机械、冶金、电子、纺织、航空、林业、造船、食品、商业、体育建筑照明中。可以预见,混光照明在我国有广阔的应用前景。

第二节 混光光源的光度和色度特性原理

光源的光度和色度特性决定于光源产品质量的优劣。光源的光度特性包括光源的光通量、发光效率及光强分布特性等,而光源的色度特性则包括光源的光谱功率分布、色品坐标、色温和显色性等。

光源的光通量可由球形光度计(积分球)测得,也可由分布光度计测量灯在空间各个方向的光强分布然后计算得到。光强分布特性则由配光曲线仪测得。

光源的色度特性是由光源的光谱功率分布所决定,因此需用分光仪器(例如单色仪和自动光谱光度计等)测出其光谱功率分布。本节着重就光源的显色性评价方法予以叙述。

一、测量装置

采用自动光谱辐射光度计进行光源的光度和色度特性测量和计算。仪器的有关性能分述如下:

1. 自动光谱辐射光度计的光路图及工作框图如图1-1和图1-2所示。

本仪器由44W型单色仪、2m积分球、微机、控制台和电源等部分组成。

图1-2中, A 为光源, T 为聚光镜(可用可不用), S_1 、 S_2 分别为入射和出射缝, M_1 和 M_4 为平面反射镜。 M_2 和 M_3 为凹面反射镜。 G 为平面衍射光栅转动中心。光源 A 点燃在2m光通球的中心。光通球窗口有中性毛玻璃。通过窗口的光均匀照射在入射缝 S_1 上。通过 S_1 后,经平面反射镜 M_1 到达凹面镜 M_2 。经 M_2 反射后成一束平行光射到平面衍射光栅 G 上。光栅将这束平行光衍射成许多束平行的单色光射到反射镜 M_4 上。 M_4 将这些平行的单色光会聚在其焦平面上。 M_3 是使光线转向的平面反射镜。出射狭缝 S_2 装在 M_3 的焦

平面上,以分割出某一波长的光束。当平面衍射光栅 G 绕其中心 O 转动时,在出射狭缝处即可得到不同波长的单色光束。

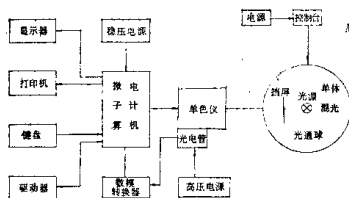


图 1-1 自动光谱辐射光度计总框图

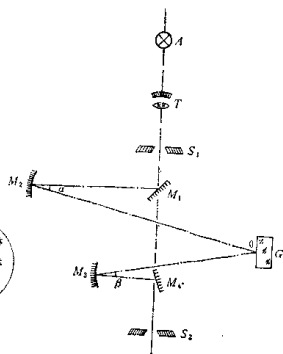


图 1-2 光路图

2. 光通球

采用的2 m光通球,球内壁光滑,曲率半径基本相等。1/3半径处为挡屏。在积分球下有二组接线柱,中心处有二具灯座,除了可方便地测试单个光源的光色、光度参数外,还可测试二个光源的混光性能。光通球的窗口配有快门和中性毛玻璃。由于光通量是通过光源的光谱功率分布计算出来的,所以不需加 $V(\lambda)$ 修正器。

3. 微机系统

系统的主机 MPI 采用6502微机处理器、主频1MHz、电源+5V,数据总线8位,地址总线16位。基本指令56条,13种寻址方式。

随机存取RAM 64K,采用8片4164芯片。

只读存储器ROM 12K采用3片2732芯片。

系统的软盘系统基本配置两个5 $\frac{1}{4}$ —软盘驱动器。每个磁盘总容量为143K字节,其中用户可用124K字节。

MX—80击打式点阵图形打印机可打印ASCII字符、图形和汉字。打印行宽在正常开机状态下为每行40字符。用户可根据需要改变行宽为80字符。在压缩打印时每行宽度可达132字符。打印速度为80字符/s。

监视器系统配置了12"绿色监视器。

主机除配有与EPSON兼容的打印机接口、监视器接口、游戏输入输出接口,扬声器输出接口,两个5 $\frac{1}{4}$ 软盘驱动器接口和高频盒式磁带机接口与键盘接口外,还有供用户扩充使用的五个50线插座。

扩充选件有:Z-80卡,中文卡,IEEE—488接口卡,12A/D转换卡和80列显示卡。

系统软件有：随机配有DOS3.3磁盘操作系统，整型BASIC、扩展BASIC和SDOS。此外，还有多功能控制台及电源。

4. 主要性能

(1) 测量光源种类：白炽灯、荧光灯、高强气体放电灯（高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯）的光度和色度参数。

(2) 能进行各类光源的二种不同光源在光通球内的混光测试。提供混光后的光度和色度参数。

(3) 测试灯的功率范围：从8W荧光灯到2000W气体放电灯。若采用3m光通球可测2000W以上的大功率光源。

(4) 提供的参数：光源的光谱功率分布、颜色的色品坐标（ u 、 v 和 x 、 y ）、色温 K （相关色温）、一般显色指数 R_a 、特殊显色指数 R_1 、特殊能量比（例如汞灯红色比、钨灯绿色比）、光通量、光效等参数。上述数据可用 2° 和 10° 视场角下的光谱三刺激值计算后得出。

(5) 波长采样间隔为：0.5nm, 1nm, 2.5nm和5nm。

5. 计算程序如框图1-3所示。

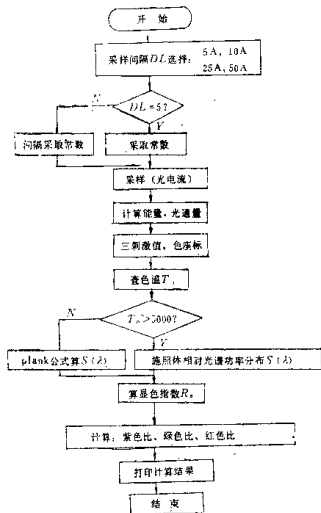


图 1-3 计算程序框图

二、单一光源的光度和色度特性原理

1. 单一光源的光谱功率

常采用比较法测量光源的光谱功率。光源颜色的测量和计算是根据CIE13/2号出版物《光源显色性测量和表示方法》和CIE15/2号出版物《色度学》进行的。

(1) 比较法测量，即在一定波长下直接将参照光源与待测光源的光谱功率响应进行对比，从而得出光源的光谱功率特性。

待测光源的光谱功率分布由下式决定。

$$S_x(\lambda) = \frac{i_x(\lambda)}{i_s(\lambda)} \cdot S_s(\lambda) \quad (1-1)$$

式中 $S_x(\lambda)$ ——待测光源的相对光谱功率分布；

$S_s(\lambda)$ ——参照光源的相对光谱功率分布；

$i_x(\lambda)$ ——待测光源的光电流；

$i_s(\lambda)$ ——参照光源的光电流；

(2) 参照光源的光谱功率的计算

在进行光源显色性评价时,应选定一个参照光源。参照光源的光谱功率分布用下述方法确定:

待测光源的相关色温低于5000K时,以普朗克辐射体作为参照光源,用式(1-2)普朗克公式计算,参照光源的光谱功率分布:

$$S_2(\lambda) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} \quad (1-2)$$

式中 $S_2(\lambda)$ ——参照光源的光谱功率分布;

C_1 ——普朗克第一辐射常数 ($\text{W} \cdot \text{m}^2$);

$$C_1 = 3.74150 \times 10^{-16}$$

C_2 ——普朗克第二辐射常数 ($\text{m} \cdot \text{K}$);

$$C_2 = 1.4388 \times 10^{-2}$$

λ ——波长 (m);

T ——色温 (K)。

待测光源相关色温高于5000K时,以组合白光作为参照光源。在相关色温为已知时,其光谱功率分布 $S_2(\lambda)$ 按式(1-3)计算:

$$S_2(\lambda) = S_0(\lambda) + m_1 S_1(\lambda) + m_2 S_2(\lambda) \quad (1-3)$$

式中 $S_0(\lambda)$ 、 $S_1(\lambda)$ 、 $S_2(\lambda)$ ——计算白光光谱分布用的系数;

m_1 、 m_2 ——与光源色品坐标相关的量;

$$m_1 = \frac{-1.3515 - 1.7703x_D + 5.7114y_D}{0.0241 + 0.2562x_D - 0.7341y_D}$$

$$m_2 = \frac{0.0300 - 31.4424x_D + 30.0717y_D}{0.0241 + 0.2562x_D - 0.7341y_D}$$

x_D 、 y_D ——参照光源的CIE1931xy色品座标值。

$$y_D = -3.000x_D^2 + 2.870x_D - 0.2750$$

当 $4000\text{K} \leq T < 7000\text{K}$ 时,

$$x_D = -4.6070 \frac{10^3}{T^3} + 2.9678 \frac{10^6}{T^2} + 0.09911 \frac{10^3}{T} + 0.244063$$

当 $7000\text{K} \leq T < 25000\text{K}$ 时,

$$x_D = -2.0064 \frac{10^3}{T^3} + 1.9018 \frac{10^6}{T^2} + 0.24738 \frac{10^3}{T} + 0.537040$$

2. 单一光源显色性评价方法 (CIE的试验色法)

(1) 检验色样

选定8个色样为一组 ($i = 1, \dots, 8$) 作为评价一般显色指数用的检验色样。

选定7个色样 ($i = 9, \dots, 15$) 作为评价特殊显色指数用的检验色样。它们分别代表深红、深黄、深绿、深蓝、白种人肤色、叶绿色、黄种人肤色。

检验色样的孟塞尔颜色系统标号见表1-8。

(2) 检验色样的CIE1931标准色度系统中的XYZ三刺激值的确定

光源色的三刺激值XYZ按式(1-1)计算:

$$\left. \begin{aligned} X &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) x(\lambda) d(\lambda) \\ Y &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) y(\lambda) d(\lambda) \\ Z &= K \int_{380}^{780} S(\lambda) z(\lambda) d(\lambda) \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

检验色样的孟塞尔颜色标号

表 1-8

号	数	孟塞尔颜色标号	日光下的颜色	号	数	孟塞尔颜色标号	日光下的颜色
1	1	5R6/1	淡灰红色	9	1	5R4/13	饱和红色
2	2	5Y 6/4	暗灰黄色	10	2	5Y8/10	饱和黄色
3	3	5GY 6/8	饱和黄绿色	11	3	4.5G5/8	饱和绿色
4	4	2.5G 6/6	中等黄绿色	12	4	3PB3/11	饱和蓝色
5	5	10BG6/4	浅蓝绿色	13	5	5YR8/1	淡黄粉色(白种人肤色)
6	6	2.5B 5/8	深蓝色	14	6	5GY4/4	中等绿色(树叶)
7	7	2.5P 6/8	淡紫蓝色	15	7	1YR6/4	黄种人肤色
8	8	10P 6/8	淡红紫色				

注：孟塞尔颜色标号中：英文字为色相，斜线上为明度，斜线下为彩度。

式中

$S(\lambda)$ ——光源的相对光谱功率分布；

$d(\lambda)$ ——波长间隔一般采用10nm或5nm；

$\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ ——CIE1931标准色度系统的光谱三刺激值；

K ——刺激值 Y 被当作测光量时所规定的比例系数。

$S(\lambda)$ 为绝对光谱辐射密度时，可以采用 $K = 683 \text{lmW}^{-1}$ 求出测光量的绝对值。

(3) 色品(色度)坐标的计算

X 、 Y 、 Z 色度系统中的色品坐标 x 、 y 、 z 按式(1-5)计算：

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} = 1-x-y \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中 X 、 Y 、 Z —— X 、 Y 、 Z 色度系统中的三刺激值。

(4) 由1931年的 x, y 坐标转换为CIE1960均匀色品图(UCS图)的 u 、 v 坐标，其转换公式如式(1-6)或式(1-7)所示：

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{4X}{X+15} + \frac{3Z}{3Z} \\ v &= \frac{6Y}{X+15} + \frac{3Z}{3Z} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

或

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{1x}{-2x+12y+3} \\ v &= \frac{6y}{-2x+12y+3} \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$