

文章编号:1007-2780(2011)06-0754-06

基于无缝平凹透镜阵列的 LCD 背光模组设计

谢 莉,孙 可,刘 浩,陈 刚

(南京信息职业技术学院 微电子学院,江苏 南京 210046,E-mail:xiaoxie63@yahoo.com.cn)

摘 要:针对大尺寸 LCD 直下式背光模组的均匀性问题提出了一种无缝平凹透镜阵列,用以代替常用的扩散膜。模拟了 106.68 mm(42 in)LED 背光源的光学分布,得到了合适的透镜半径、结构以及 LED 阵列间距,分析了平凹透镜阵列半径和平凹透镜阵列与光源的相对位置对匀光作用的影响。结果表明:半径为 1 mm、厚度为 2 mm 的无缝平凹透镜阵列较好地起到了匀光的效果,接收面的照度均匀性为 88.61%。

关 键 词:背光模组;发光二极管阵列;均匀性

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20112606.0754

Design of LCD Backlight Module Based on Plano-Concave Lens Array

XIE Li, SUN Ke, LIU Hao, CHEN Gang

(Microelectric College, Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210046,
China,E-mail:xiaoxie63@yahoo.com.cn)

Abstract: In order to improve the uniformity of the LCD backlight, a kind of plano-concave lens array was used in straight down type LCD backlight module instead of the diffusion films. For 106.68 mm (42 in) LCD monitor LED backlight, the illuminance distribution was simulated, and the optimized lens radius,structure, distance of LED array were determined. The effect of different lens radius and lens array position on the uniformity of backlight was also discussed. The results show that the plano-concave lens array can diffuses lights better when the radius of lens is 1 mm and the thickness of lens is 2 mm, the uniformity of light reaches 88.61%.

Key words: backlight module; LED array; uniformity

1 引 言

在克服了视角问题以后,液晶显示器(LCD)突破了尺寸的限制,逐渐占领了原来由 PDP 主导的大尺寸平板电视市场,已经在平板显示领域确立了绝对的霸主地位。

LCD 背光模组依据光源分布的位置可分为侧光式和直下式两种结构。侧光式一般多用于中小尺寸的背光,而直下式多用于大尺寸液晶的背

光。现在也有厂商,如夏普公司在较大尺寸的液晶背光模组中采用侧光式结构;然而,当背光模组的尺寸较大时,侧光式背光模组结构中导光板的导光网点的制作难度将大幅增加,同时由于存在导光板的衰减,侧光式背光源的发光均匀性和发光亮度都会受到较大影响,导光板的重量和成本也将随尺寸的增大而大幅上升。与侧光式背光源相比,直下式背光源工艺简单,不需要导光板^[1],是目前大尺寸液晶显示器背光源研究开发的主流方向。

收稿日期: 2011-05-12; 修订日期: 2011-07-21

基金项目: 江苏省科技支撑计划(No. NBE2009171);南京信息职业技术学院科研基金(No. YKJ10-017)

作者简介: 谢莉(1963—),女,广东汕头人,讲师,主要研究方向为平板显示。

对于大尺寸直下式背光源,出光的均匀性是一项关键技术。为了追求超薄的特点,通常采用较多的扩散膜或者增加光源的数量,使之紧密排列得到均匀的效果。如果增加扩散板,光的透过率会下降很多,使屏的亮度下降;如果采用紧密排列光源的方法,则要解决散热的问题^[2]。所以对于大尺寸液晶显示器而言,背光模组结构的选择和设计非常重要。本文设计了一款平凹透镜阵列,用于 106.68 mm(42 in)液晶显示器(光源选用 LED)来代替直下式结构的扩散膜,利用软件进行了模拟和分析,得到了较好的匀光效果。

2 LED 阵列排布及优化

在直下式背光模组中,LED 阵列的排布间距及接收面与光源的相对位置对接收面照度均匀性的影响很大。LED 光强的空间分布不具有点光源特性,而是符合具有余弦分布的朗伯光源特性^[3],在其平面正上方某点处产生的照度值与光源入射至此点光线的方向角 θ 余弦的 4 次方成正比。可见,边缘亮度随方向角度的增大衰减很快。

在直下式背光模组中,LED 以阵列形式排列,接收面上的照度值是所有光源在该点照度值的叠加,接收屏上不同位置的照度会有差别,在屏的边缘处这种差别更加明显。为此在设计背光时,可将背光框架周围的 4 个面设计为反射镜面或散射面。至于取镜面还是散射面,由 LED 距侧面的距离而定。

图 1 为 LED 距边框不同距离时,采用反射镜面的光路效果图。假设 O 点为边缘 LED 的位置,当边框位于 B 点时,相当于在距 O 点等距的 O_B 处有一虚拟光源,假定经反射面反射的光线能量没有损失,则经过 B 面的反射增强了边缘部分的照度。如果取 $OB=l/2$,则相当于在 O_B 处有相同间距的 LED 光源,因此接收面边缘的照度值提高。如果将边缘移至位置 A,有 $OA < l/2$,则 LED 与其像间的距离变小,在接收面上的照度值将增大,会出现边缘亮度大于中间亮度的情况。此时对应的边框面宜选用散射面,将入射的光线经散射面向各个方向出射,既减小了光的损耗,又提高了周围的亮度。但如果将边缘放置在 C 位置,则 $OC > l/2$,即 LED 与其像的距离比原有 LED 的间距要大,会使得边缘的亮度较中心位置的亮度变暗,此时边框面宜选用镜面以增加边缘

部位的亮度。一般地,应根据屏的大小适当调整边缘 LED 的位置,以减小接收面边缘与中间亮度的差值。

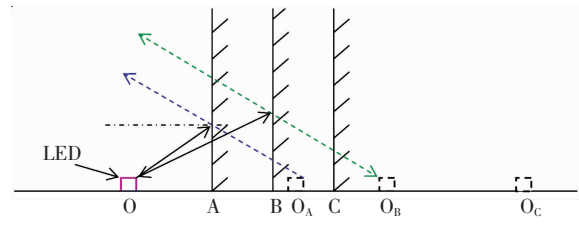


图 1 LED 距边缘不同位置时的照度分析
Fig. 1 Illumination of LEDs at different locations from the edge

3 106.68 mm(42 in)直下式背光模组设计

3.1 模组结构

直下式背光模组通常由光源、扩散板、扩散膜、相互正交的棱镜片以及上扩散板组成。本文以一种利用有机玻璃(PMMA)材料制作的平凹透镜阵列来代替一个扩散板和两个扩散膜,同样能起到匀光的效果,背光模组的整体结构如图 2 所示。

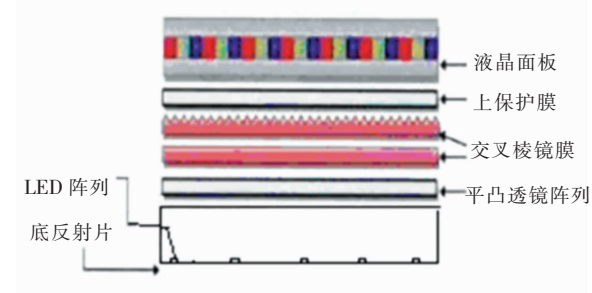


图 2 具有平凹透镜阵列的背光模组结构
Fig. 2 Structure of backlight model with lens arrays

在结构中将透镜阵列置于 LED 阵列上方,其上放置对光起准直作用的交叉棱镜膜,取消了常规使用的 2~3 个扩散膜。对于对角线为 106.68 mm(42 in)的液晶背光,按照 16:9 的比例可计算出长边为 929.8 mm(取 930 mm),宽边为 523.01 mm(取 523 mm)。按照上述结构建立一个长 930 mm、宽 523 mm、厚度为 40 mm 的背光模组。平凹透镜阵列选用的材质为 PMMA(折射率 $n=1.4935$)。下面分析平凹透镜匀光作用。图 3 所示为一个平凹透镜的结构,取凹镜的半径 $r=1\text{ mm}$,厚度 $d=2\text{ mm}$ 。

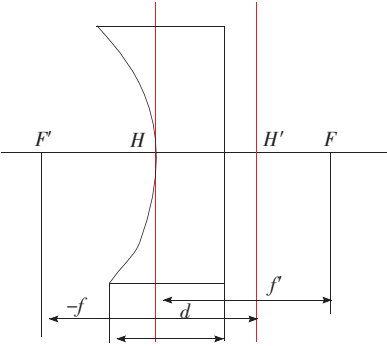


图 3 2 mm 厚的平凹透镜

Fig. 3 Lens with the thickness of 2 mm

因为 $r_2 = \infty$, 此时焦距公式

$$f = -\frac{r_1}{n-1} = \frac{1}{0.493\ 5} - 2.063\ \text{mm}$$
$$l'_H = -\frac{d}{n} = -\frac{2}{1.493\ 5} = -1.339\ 1\ \text{mm}, l_H = 0$$

(1)

即一个主面和球面顶点相切,另一个位于透镜内部。由透镜的性质可知,位于焦平面的光源经过厚度为 2 mm 的平凹透镜生成一束发散光束。由此将 2 mm 厚度 PMMA 材料的一面设计成无缝的平凹透镜阵列,如图 4 所示。由于平凹透镜中凹镜的半径均相等,且在背光模组的水平位置相同,所以这组平凹透镜的焦平面和主面的位置相同。如果一个光源位于平凹透镜阵列的焦平面上,光线则会以各个方向角出射。如果在焦平面位置上有若干光源,则光线的出光方向以相互交叉的、比原有方向角度大的方向出射,这样将增大光线的出射范围。通过作图法可以看到每一条出射光线都比原来的张角要大,使得原本光线达不到的点也能接受到某一光源发出的光,若干光源的光能量叠加,增加了该点的照度。所以,这一平凹透镜阵列起到了匀光的作用。

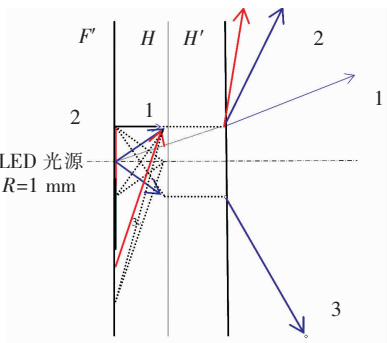


图 4 平凹透镜阵列匀光效果

Fig. 4 Diffusion effect of lens arrays

3.2 LED 阵列间距及接收面的照度均匀性分析

LED 阵列的间隔与接受面的照度有很大关系,光源排列越紧密,接受面的照度值越大,其均匀性也越好。设计中的 LED 选择半径为 1 mm 的圆形芯片,并设定每一个 LED 的光通量为 16 lm,每颗 LED 发出的光线为 50 万条。在进行模拟时,由于 LED 选用的数量要多于 200 颗,每颗 LED 发出的光线 50 万条,软件需要模拟上亿条光线,所以在用软件进行光线追迹时需要占用计算机很大的内存空间,普通的电脑往往难以胜任。为了更好地体现照度结果,选取背光源的一部分进行模拟。因 LED 阵列排列相同,除边缘部分,其他部位照度均匀性的结果不受取样面积的影响,所以只要考虑屏边缘 LED 的位置即可,取样边缘的距离与 106.68 mm 的背光相同。在确定阵列间隔时分别选取了不同的数值,结果证明间隔越小,接收面照度的均匀性越好。在模拟时设定了几种间距,如果取间距为 42 mm,则 106.68 mm 模组需要 LED 排列成 13 行 $\times$ 22 列,共需 286 颗 LED 芯片,计算出长边距为 24 mm,宽边距为 9.5 mm。根据前面的分析,将长边对应的边框面设为反射镜面,而宽边对应的边框面设定为散射面。取 3 $\times$ 4 阵列作为取样范围,边距和 4 个边框面的属性与上述 106.68 mm 模组相同,取样范围为 174 mm $\times$ 103 mm,平凹透镜的曲率半径 $R=1$ mm,LED 光源的参数、接受面的位置与模组的厚度不变。光源阵列如图 5 所示。为了对比方便,将不加透镜阵列和加入透镜阵列以后都进行了光学模拟,得到接受面的照度分布如图 6 所示。

由图 6 可以明显看出,加入平凹透镜后,接受面的照度均匀性大幅提高。图 6(b)中的最高点

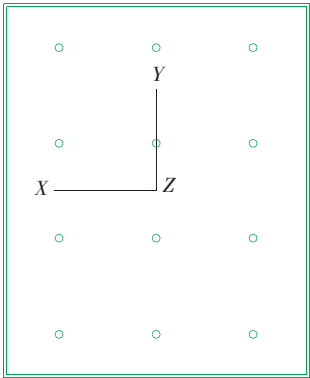


图 5 光源阵列俯视图

Fig. 5 Plan view of LEDs array

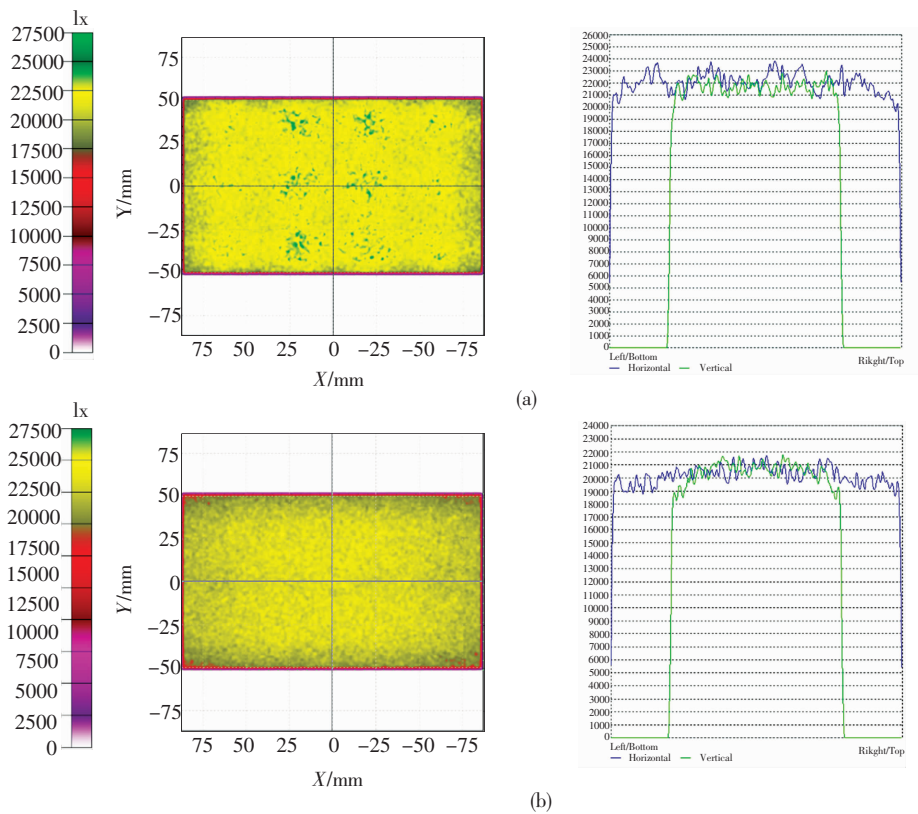


图 6 42 mm 阵列接受面照度分布图. (a)未加透镜阵列的照度图; (b)加入透镜阵列后的照度图.

Fig. 6 Illumination distribution of accept surface when array distance is 42 mm. (a)Illumination of the surface without lens arrays; (b)Illumination of the surface with lens arrays.

照度 $E=21\,878\text{ lx}$,最低点照度 $E=19\,536.1\text{ lx}$,根据式(2):

$$U = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{(E_{\max} + E_{\min})/2} \tag{2}$$

算出其均匀性为 88.61%。还要指出的是:利用软件进行的模拟,从光源发出的光线是随机的,而且假设在光线入射到两介质界面时不发生反射和散射,所以模拟的结果会有些偏差。如果考虑到光线在界面的反射和在介质中的散射,其均匀性会有所提高。

3.3 平凹阵列的位置与匀光效果的关系

在背光模组结构和尺寸不变,LED 光源位置、光通量分别与前面相同的前提下,移动平凹透镜的位置。将其分别放置在距光源 1.5,2.0,2.5,3.0 mm 处,利用软件模拟 LCD 接收面的照度,其均光效果如图 7 所示。

由模拟效果可以看出,将平凹透镜阵列放置在透镜的焦平面位置时匀光效果最好。这也印证了前面的分析结果,即将光源置于透镜阵列焦平面位置匀光效果最好。

3.4 平凹透镜的曲率半径与匀光效果的关系

不改变透镜阵列的厚度和凹面深度(仍为 1 mm),光源和接受屏的位置不变,将透镜阵列置于光源上方 1 mm 处。改变透镜的曲率半径,使其增大,即将原来的半球面变为球冠,同样设计成无缝平凹透镜阵列,利用软件进行模拟得到接受面照度变化。

图 8 所示为将透镜的曲率半径增大到 1.5 mm 和 2 mm 时,接收面的照度分布。由图可以看出,凹面的半径越大,匀光效果越差。这是因为当阵列半球凹面时,入射到平凹阵列的光线在凹面内经过了多次折射和反射,分散了光束的能量,使得光能量分布更加均匀。

3.5 透镜的形状与匀光效果的关系

在确定微结构的形状时,还考虑了将微阵列结构做成圆锥形结构。取一底面半径与球形半径相同的圆锥面代替半球面。模拟后得到的均匀性较半球面要差些。这可以从光的行进方向进行粗略的讨论。如图 9 所示,一束光线从空气入射到 PMMA 材料中,材料的下底面分别具有圆锥面和

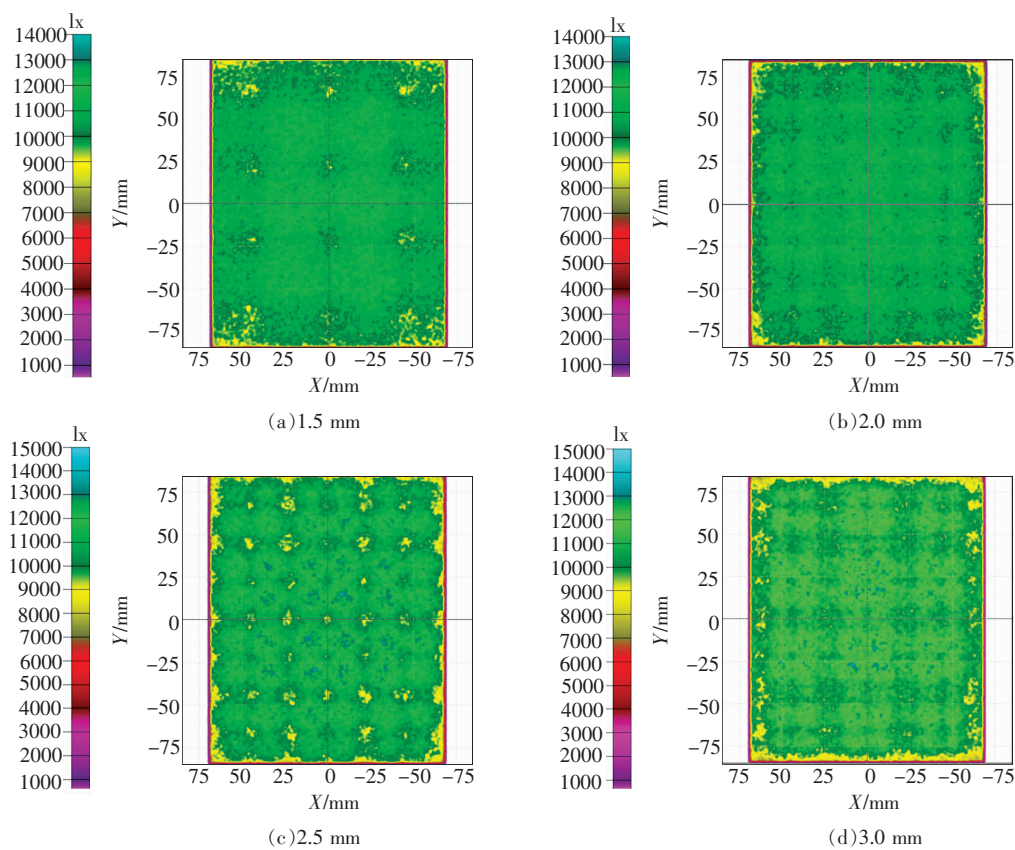


图 7 平凹透镜阵列位于不同位置的匀光效果

Fig. 7 Diffusion effect of acceptance surface when lens arrays at different locations

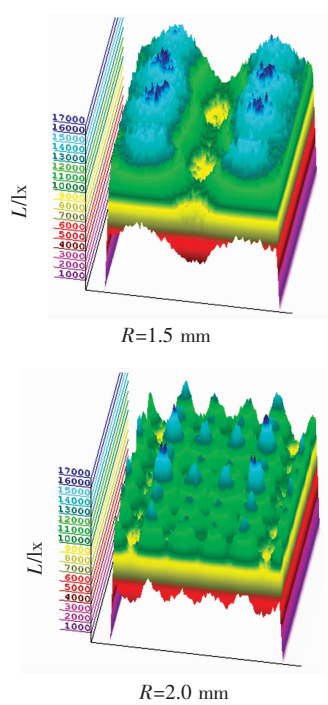


图 8 不同凹面时接受面对照度分布图

Fig. 8 Illumination distribution of acceptance surface with different radius of lens

半球面的微结构。根据光的折射定律,当光入射到两种介质的界面时,光线会在界面处发生折射,由于 PMMA 的折射率为 1.493 5,大于空气的折射率,因此光线将向入射面的法线方向偏折。在圆锥面上由于其在同一入射面上,因此其折射光线也为平行线,即光线向一个方向折射。而入射到球面的光线,虽然入射的是平行光,但在界面处与入射光垂直的面是渐变的平面,其法线方向也是渐变的,不再是一组平行线,折射角大小虽然不变,但由于法线的方向发生了变化,所以折射

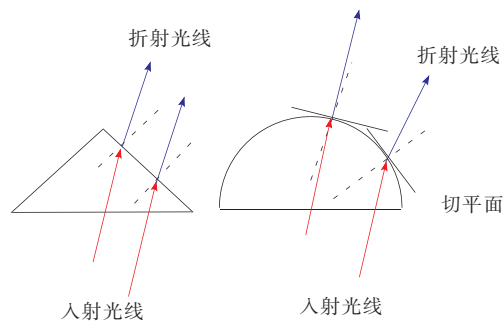


图 9 入射光线经圆锥面和球面后的折射

Fig. 9 Refraction of light at conical surface and spherical refraction

光线不再是一组平行线,而是向各个方向传播。这样不同角度入射的光线扩散,达到了匀光的效果。

4 结 论

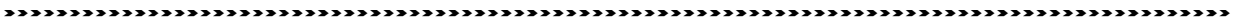
LED 作为液晶显示器的背光源是目前众多厂商的选择。对于大尺寸的显示器,不论是直下式还是侧光式,需要解决的问题都很多。在侧光式结构中,由于 LED 是点光源,有一定的扩散角度,如果直接将其导入到导光板,就会出现扩散角区域呈现亮带、边缘呈现暗带的情况,出光的均匀性和出光的强度都是问题,因此对导光板网点的设计要求较高,一般设计成以 LED 为中心的同心圆。如果采用直下式背光模组结构则可避免网点

的设计问题,但出光的均匀性仍是需要考虑的问题之一,其解决方案一是增加模组的厚度,二是将光源排列紧密些。

本设计提出了一种平凹透镜阵列代替扩散板的方案,模拟了 106.68 mm(42 in)背光源 LED 的光学分布,得到了适合透镜的半径和结构。通过分析确定了背光源腔体底面和四周面的特性,通过模拟得到了 LED 阵列间距,分析了平凹透镜阵列半径对均光效果的作用和平凹透镜阵列与光源的相对位置对匀光作用的影响。分析结果表明:半径为 1 mm、厚度为 2 mm 的无缝平凹透镜阵列较好地起到了匀光的效果,接收面的照度均匀性为 88.61%。

参 考 文 献:

[1] Koichior Kakinuma. Technology of wide color gamut backlight with light-emitting diode for liquid crystal display Television [J]. *Japan. J. Appl. Phys.*, 2006,45:4330-4334.
[2] 王文根,李瑛,王秀如,等. 大尺寸 TFT-LCD 的 LED 背光技术[J]. *现代显示*,2006,(8):59-63.
[3] 吕正,赵志丹,樊其明,等. LED 发光强度测量中的若干问题 [J]. *中国照明电器*,2004,(11):20-22.



组合单位加词头的规则

- a. 通过单位相乘构成的组合单位,通常词头加在第 1 个单位前面。例如: $N \cdot s$ 加词头 k,应为 $kN \cdot s$ 。但常见的法定单位中有 2 个单位例外。一个是电阻率的单位 $\Omega \cdot m$,通常写成 $k\Omega \cdot m, M\Omega \cdot m$,但当加词头 c 时,则要写成 $\Omega \cdot cm$;另一个是货运量单位“吨公里”写成 $t \cdot km$ 。
- b. 通过单位相除或相乘除(分数形式)构成的组合单位,词头一般加在分子的第 1 个单位前,分母一般不加词头。例如:摩尔熵单位 $J/(mol \cdot K)$ 加词头 k,应写成 $k J/(mol \cdot K)$,不能写成 $J/(mmol \cdot K)$,虽然 $kJ/(mol \cdot K) = J/(mmol \cdot K)$,但 $J/(mmol \cdot K)$ 是不规则的。
- c. 一般不在组合单位的分子分母同时加词头。
- d. 组合单位的分母为长度、面积、体积单位或分子为 1 时,分母可按习惯与方便选用某些词头。
- e. 质量单位 kg 例外。