

摘要

本应用文档说明了面向投影应用（主要是小型便携式投影机）的采用单一 DMD 器件的光学系统的典型架构。文章概括地阐述了相关架构的优缺点。简要地讨论了前投式和背投式屏幕应用。探讨了用于最大限度地提升应用规定的关键系统性能参数的方法和技巧。论述了将 DMD 器件应用于光学系统的独特考虑因素。文中还综合讨论了图像质量以及针对可接受性能的具体设计指标。

请注意，本文件的大部分内容所描述的均是 DMD 在投影光学系统中的运用，而且 DMD 的设计是以该应用为主要考虑因素的。不过，使用 DMD 来管理和引导光能还有许多其他的方法。本文件简要地论及了某些非投影类应用，但无法预料所有的用途。

目录

1	DMD 在投影光学系统中的使用概述	2
2	投影光学系统架构	2
	2.1 平行光路架构	3
	2.2 非平行光路架构	5
3	投影光学系统设计考虑因素	8
	3.1 照明系统组件和设计参数	8
	3.2 投影系统组件和设计参数	13
4	系统性能调优技巧与方法	15
	4.1 对比度比	15
	4.2 流明	19
	4.3 优化光学成本	19
5	替代光源和系统	21
	5.1 LED 光源	21
	5.2 激光光源	24
	5.3 非成像或非投影应用	25
	插图清单	
1	一个 12° 微镜的简化光学功能	2
2	采用 TIR 棱镜的通用平行光路光学系统组件	3
3	针对因投影透镜偏移引起的最小封装高度的平行光路 TIR 棱镜设计布局	4
4	非平行光路光学系统组件	6
5	投影偏移对于照明角度的影响，非平行光路设计，侧视图	7
6	针对采用反射式和折射式照明元件之平面投影机的非平行光路光学系统布局 （等轴视图）	7
7	积分前（左侧，在柱输入）及积分后（右侧，在柱输出）小型弧光灯在椭圆形反射器焦点处的空间辐 射照度分布	12
8	TIR 棱镜空气间隙中的受抑全内反射 (TIR) 应偏向照明路径	13
9	散射入射光束几何结构	16
10	散射光进入用于 Off 态微镜的投影光瞳，10° 器件	16
11	对比度和流明与照明角度的函数关系（针对 F/3 平行光路系统）	17
12	0.9 XGA 的梯形失真（依据投射比和偏移）	20

1 DMD 在投影光学系统中的使用概述

DMD 是 DLP™ 投影系统的核心。该器件是一种双稳态空间光调制器，其由一个按功能安装在 CMOS 存储单元上的微镜阵列组成。通过把数据装入位于微镜下方的存储单元来独立地控制微镜，以引导反射光并把一个视频数据像素空间映射到显示器上的一个像素。数据以二进制的方式对微镜的偏转状态进行静电控制，此时反射镜的状态要么是 $+X^\circ$ (On)，要么是 $-X^\circ$ (Off)。就目前的器件而言， X 通常为 12° (标称值)。处于 On 状态的微镜所反射的光穿过投影透镜传递至屏幕上。光被反射后将产生一个暗场，并限定了该图像的黑电平基底 (black-level floor)。图像是通过控制 On 和 Off 状态所占时间比例的长短来调制灰阶，这种灰度调制的速率之快足以让观察者完成图像的融合。

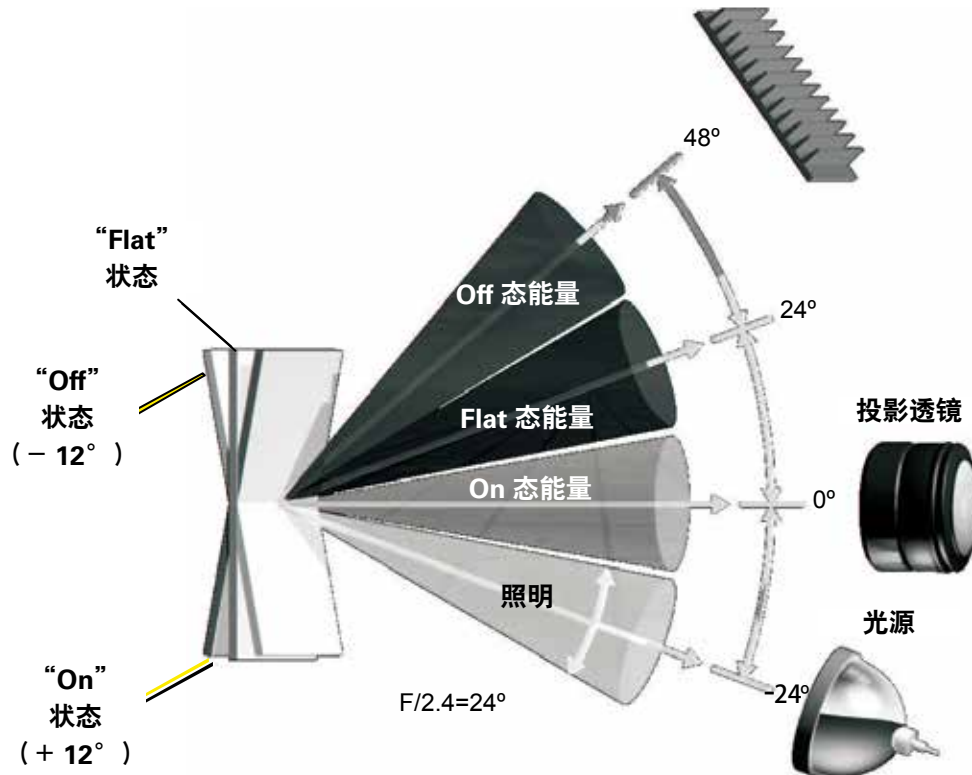


图 1：一个 12° 微镜的简化光学功能

Flat 状态 (0) 出现在反射镜未通电之时。这不是 DMD 微镜的一种运行状态 (不是三稳态)。微镜静止位置的标称值为 0° ，但是微镜未被操控或驱动至该位置，且有可能与之略有差异。Flat 状态微镜 (flat-state mirrors) 仅存在于器件被关断 (或停放)、并且未形成图像的时候。本应用报告只讨论镜像效应 (image effects) 以及器件与光学系统之间的相互影响。因此，更为适用的做法是将 Flat 状态看作微镜活动状态转换期间落在 On 态和 Off 态光瞳之间区域中的综合能量，以及来自器件封装的任何固定平面成分 (如窗口反射率、边缘金属 [border metal]、窗口-孔径反射率、透镜和棱镜等等)。

1 投影光学系统架构

面向单面板 (single-panel) 投影应用的光学系统可通过描述器件上的状况分成两种主要的架构。每种类型具有其独特的优势或劣势，这些优势或劣势决定了其对于给定应用的适合性 (取决于该应用最至关重要的性能参数)。下面将概括地讨论不同架构的优缺点以及针对特定应用的突出性能特征。

由于 DMD 器件是反射式的，因此至器件的照明和投影路径共用器件前方的相同空间。下面说明的架构是在该空间中分离这些路径的典型方法。因为微镜铰链沿着微镜的对角线，所以微镜围绕着一个方向与阵列维度成 45° 的轴旋转，(接下页)

(续上页) 并在一个由该旋转轴合成的平面中进行光的引导。因此, 对于投影光瞳的任何给定位置 (相对于器件), 至 On 态微镜的入射照明路径只存在一个轴 (由斯涅耳反射定律决定)。这是许多可能的实施例的基础, 它们全部必须考虑微镜的旋转轴以实现正确的性能。

一般而言, 器件的倾斜角度设定了器件光学系统的最大可用数值孔径。这可避免 On 态和 Flat 状态光瞳的重叠以实现对比度控制。该经验法则可以“通融” (这取决于所容许的性能折衷), 但它是一个良好的起点。本应用报告稍后将从性能参数的角度就如何放宽该法则展开讨论。

2.1 平行光路架构

平行光路系统是通过把照明系统的出射光瞳 (投影透镜的入射光瞳) 设置在 (或接近于) 无穷远处 (距离器件表面) 来定义的。这样, 入射到每个微镜上的每个光束的主射线基本上是相互平行的。对于照明系统, 这在整个视场中提供了均匀的入射角, 从而为暗场生成了一致的黑电平。通常, 照明轴和投影轴的分离角刚刚大于器件倾斜角的两倍。于是, 投影轴一般与器件垂直。如果采用棱镜来分离光路 (见图 2), 则平行光路条件还可在防反射 (AR) 涂层表面上实现均匀的入射角分布, 以避免由于涂层性能随入射角的变化而在显示亮度中引发空间不均匀性。

在全内反射 (TIR) 棱镜实施例中, 通过把 TIR 棱镜面的角度选择为照明路径的临界角而将照明路径与投影路径分离开来。入射和反射的均匀角度可防止在穿过棱镜的投影或照明路径中出现临界角不足 (TIR 不足) 的情况。

TIR 设计的一个常见实施例是所谓的“反向 TIR” (即 RTIR) 设计。其基于第 5309188 号美国专利, 采用一个直角棱镜作为 TIR 棱镜。TIR 路径出现在投影路径 (而不是照明路径) 中, 因而得名“反向 TIR”。该架构具有多项优势和极少的劣势。欲知有关此设计优劣的更多信息请与 TI 联系。

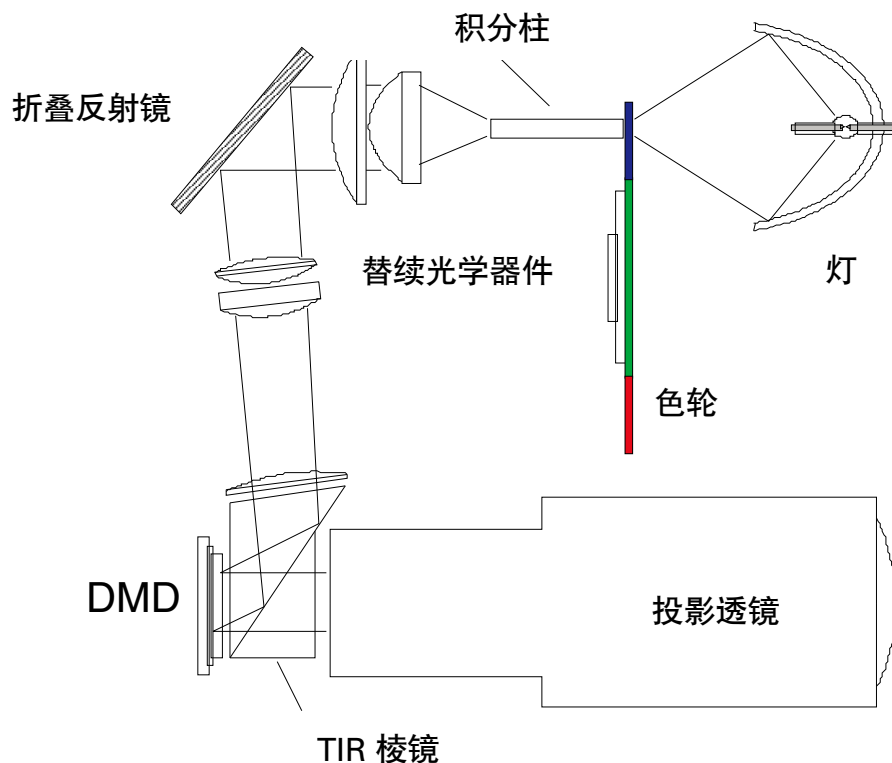


图 2: 采用 TIR 棱镜的通用平行光路光学系统组件

2.1.1 平行光路架构的优势

平行光路架构的一些固有优势 / 特性为：

- 由于均匀一致的照明角度而实现的均匀黑电平。不过，绝对黑电平通常高于（劣于）非平行光路架构。这是由于平整光学表面靠近微镜器件且总照明角度较低所致。
- 在玻璃（而不是大气空间）中进行照明和投影路径的分离以实现较短的总路径长度。
- 由于光路在玻璃而非空气中，因此投影透镜的后工作距离较短。
- 用于梯形失真校正的投影偏移可针对应用进行优化，以在应用允许的情况下最大限度地减小投影透镜的视场。
- 可利用棱镜设计实现针对堆叠应用 (stacking applications) 的可变投影偏移和固定安装灵活性等。
- 利用棱镜设计可实现面向背投式屏幕的零偏移和极小透镜尺寸。背投式屏幕不能接受由偏移（其源于非涅尔透镜屏幕的局限性）引起的高入射角。
- 光瞳位置位于 / 接近于无穷远处意味着放大倍数不随焦点而变化。
- 由于照明角度较低而引起的器件上照明光失真的减小（积分柱的图像）可实现较少的溢出损耗 (overflow losses) 和较高的效率。然而，由于 TIR 空气间隙中的高入射角所造成的棱镜涂层效率损失将使部分或所有这些好处荡然无存。
- 系统可以进行封装，这样投影透镜偏移位移将不会导致部件高度的增加（见图 3）。在该场合中，透镜偏移与棱镜的长维度成垂直，并且不会增加封装的高度。另外，请注意在该配置中偏移方向远离 Flat 状态和 Off 状态光路，从而最大限度地降低了杂散光进入透镜孔径和减小对比度的机率。
- 投影和照明路径（对于棱镜设计）可以单独设计，因而允许使用多种光源和可换透镜。这可以通过照明和投影光学系统的并行开发加快产品上市进程。

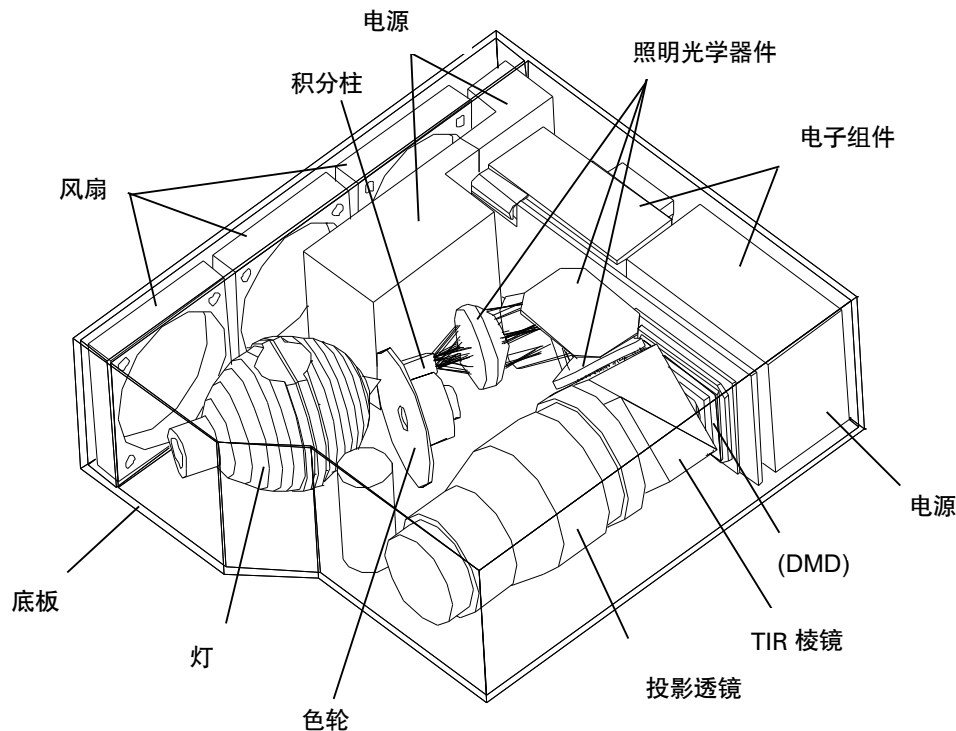


图 3: 针对因投影透镜偏移引起的最小封装高度的平行光路 TIR 棱镜设计布局

2.1.2 平行光路架构的劣势

相对于其他架构，平行光路架构具有一些劣势 / 难题：

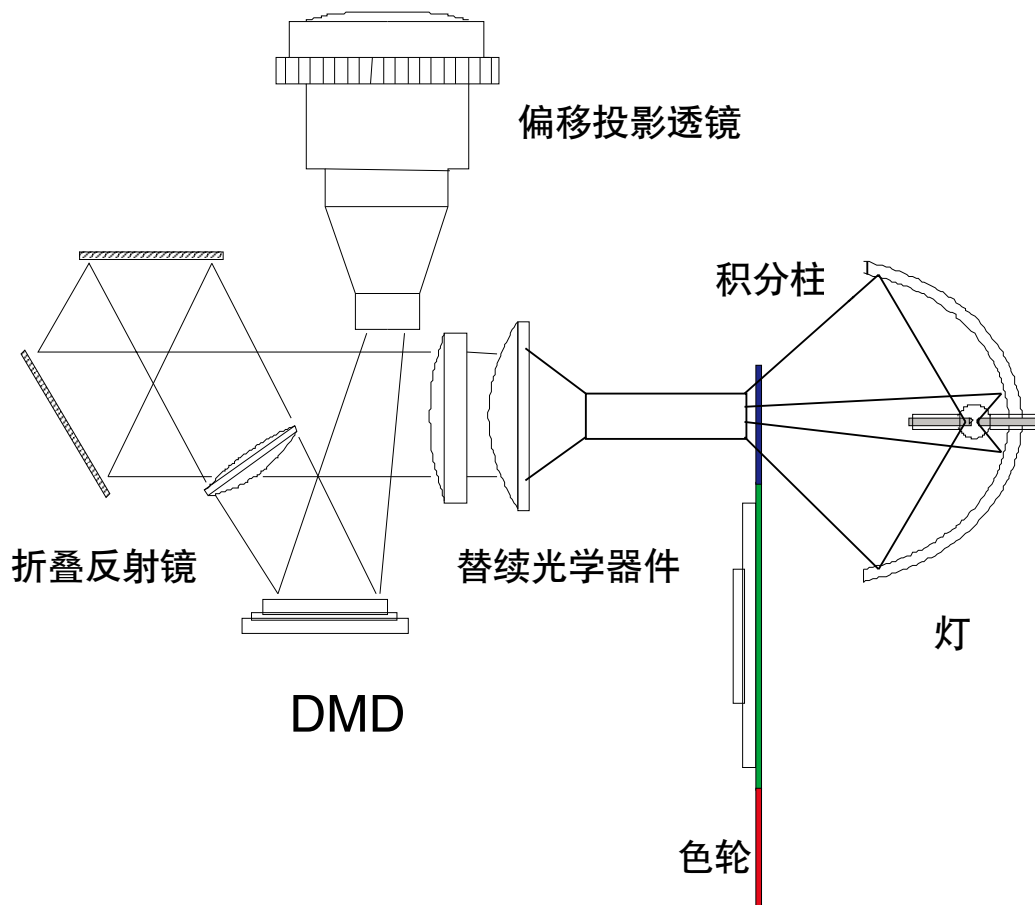
- 基于棱镜的系统由于使用棱镜而增加了成本、尺寸和重量。TIR 空气间隙具有高入射角，因而引发了某些偏振效应，并极大地增加了实现良好 AR 涂层设计的难度。TI 可提供参考设计涂层以最大限度地减少针对此类涂层的设计工作量。
- TIR 空气间隙涂层的损耗相对较高（按表面计算为 2% 到 3%）。这些损耗往往会抵消由于失真溢出损耗的降低而获得的好处。然而，当焦距比数 (f/No) 减小时，这些损耗往往也将减少（涂层变得更有效）。
- 另外，棱镜表面还会产生进入投影光瞳的表面反射，尽管此类表面是很平整的。这是因为照明光束与这些表面的交叉点从投影路径发生了移位，故而产生了从照明光学器件规定的 Flat 状态光瞳位置移位的反射 Flat 状态光。如果该光线能够进入投影透镜孔径并穿过光瞳，则其可以到达屏幕，而且它不受器件状态的控制。对于 DMD 器件窗口表面反射情况同样如此，这与架构无关。靠近器件的所有平整表面都必须具有非常有效的 AC 涂层以尽量减轻这种影响，而且应针对可能的对比度下降对其反射进行完全的跟踪 / 建模。平行光路投影透镜较短的后工作距离虽然有利于缩小光学器件尺寸，但对于对比度则是不利的，原因是缺少用于对 On 状态光束与 Flat 状态和 Off 状态光束进行物理分隔的足够空间。
- 影响系统对比度的最强因素之一是至器件的照明角度。一般来说，照明角度越高，对比度越高（更多详情见 4.1.1 节）。平行光路设计由于缺少额外的偏斜角，因此其照明角度低于非平行光路设计。与非平行光路相比，这会降低固有的对比度（尽管其固有对比度更加均匀）。单纯增加照明角度虽可提高对比度，但假如投影透镜的数值孔径未相应地增加，那么这也会使光瞳在投影透镜中发生偏移并引起光晕。不过，倘若增加了投影透镜数值孔径以避免光晕，它就能从器件的周围收集更多的 Flat 状态光和杂散光并将之传递至屏幕，从而有可能导致改善对比度的初衷化为泡影。这是一个取决于系统要求的折衷过程。
- 当增加用于梯形失真校正的投影偏移时，位于投影透镜之后、光阑之前的元件其直径随着视场成比例地增加，因为射线束从与其垂直的器件出射。不过，仅选择应用必需的偏移量可最大限度地抑制这一情况。对于非平行光路设计而言这并不是一个选项。

2.2 非平行光路架构

非平行光路架构不同于平行光路架构之处在于：照明路径的出射光瞳位于离开器件很短的有限距离上，而且投影透镜的入射光瞳必须与之重合（见 图 4）。由于大多数前投式屏幕应用都需要某种垂直投影偏移度，因此增加了额外的照明角度，以在用于投影透镜的垂直轴中使光瞳偏移。这给器件增添了额外的入射角，从而提高了固有对比度，同时在照明路径与投影路径之间提供了更大的角间距 (angular separation)。这个附加的角度使得难以采用 TIR 型棱镜来分离照明和投影路径，但可采用场镜（或柔性焦距透镜组）取而代之。通常，路径分离在大气空间中进行以实现成本的最小化（极少的光学元件、极小尺寸的元件）。然而，在这此空间里场镜缩减了路径长度，并可更加紧凑地使用 DMD 前面的空间。

由于光束会聚至光瞳，因此用于器件上每个微镜的主射线的入射角随着在阵列中的位置而改变。尽管这会产生暗场（黑电平）的不均匀性，但由于附加偏斜角而实现的较高平均照明角度往往将提高对比度（降低黑电平）。另外，至投影透镜的这种会聚还最大限度地减小了光阑 DMD 侧上投影透镜的直径，从而进一步扩大了两个路径之间的物理分隔。

有些设计直接在器件前面采用场镜（或柔性焦距透镜组）取代棱镜来完成角度分离 (angle separation)。场镜必须与投影透镜其余部分同轴，但被照明路径所共享。这在照明设计中带来了一些难题，因为这些场镜也是照明路径的一部分，但却偏离了 DMD 所在的轴线，并且向照明路径倾斜。通过设计靠近投影透镜光阑处的照明光瞳并在该位置折叠照明路径，在注意到该设计所带来的独特挑战的情况下就能设计出一个非常紧凑的系统。


图 4：非平行光路光学系统组件

2.2.1 非平行光路架构的优势

非平行光路架构的一些固有优势 / 特性为：

- 通常，极少的光学元件数量和较小的光学元件尺寸可实现极低的成本和较少的光学元件损耗（具有较高的效率），特别是在应用需要光偏移的场合。如果采用场镜设计，则可更加紧凑地利用 DMD 前面的空间。
- 偏斜角可增大照明角度，从而在器件上提供更高的总入射角（见 图 5）。这通常能产生最高的总对比度。产生该效果的原因在 4.1.1 节中讨论。
- 通过把 DMD 器件置于投影透镜光轴的下方而具备了固有的图像梯形失真校正能力。这通常是实现足够的照明和投影光学器件的角间距（用于封装）所必需的。
- 有限的光瞳位置使得可以在投影透镜的后方（光阑之前）采用较小的光学元件。不过，由于在光阑的后方空间有限，所以此类设计通常在光阑的前面安置较多的元件，于是前片组 (front element) 会变得相当庞大（以实现快速投射比），并有可能导致总体节省前功尽弃。

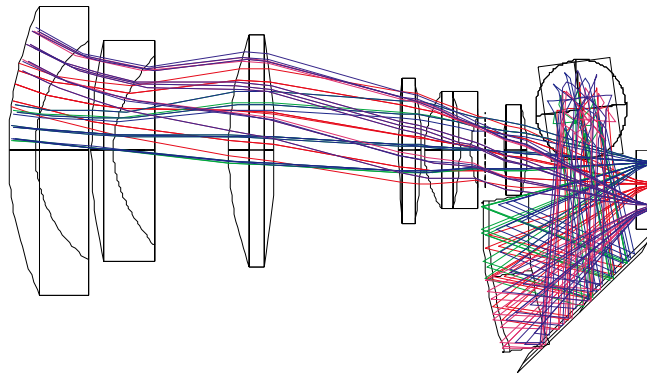


图 5：投影偏移对于照明角度的影响，非平行光路设计，侧视图

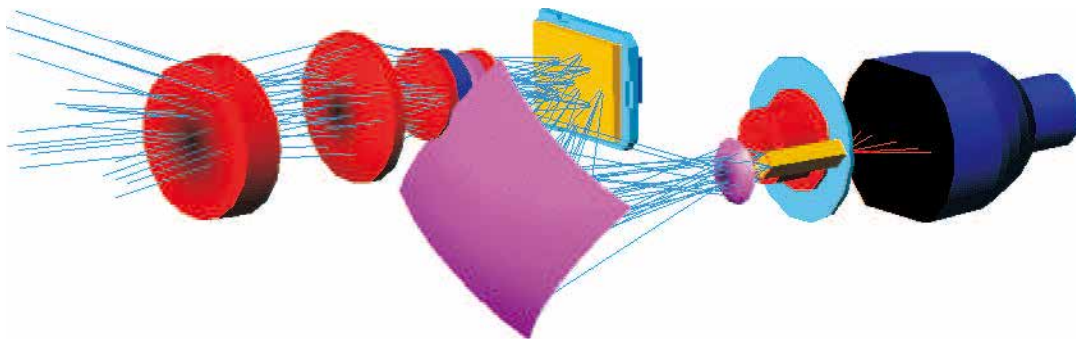


图 6：针对采用反射式和折射式照明元件之平面投影机的非平行光路光学系统布局（等轴视图）

2.2.1 非平行光路架构的劣势

相对于其他架构，非平行光路架构具有一些劣势 / 难题：

- 器件上不均匀的照明入射角度会在绝对黑电平中产生变化，尽管绝对电平总体而言一般都大大低于其他的架构。
- 垂直偏移要求随着焦距比数的减小（数值孔径增大）而提高，以实现照明和投影光学器件的物理分隔。这是因为随着焦距比数的减小光束变大。垂直偏移量通常决定了投影机的封装高度 (package height)，因为它必须安放于照明输入的对面。与平行光路棱镜设计不同的是，投影透镜无法向照明路径偏斜来实现封装高度的最小化（见图 6）。不过，在“塔”型布局中则可利用这一特性，因为此时投影机是垂直安置的。
- 光阑屏幕侧上的投影透镜元件往往变得比平行光路元件更大，因为它们当中更多的位于光阑的一侧。在靠近透镜的前部（屏幕侧），玻璃的大部分未使用，但是通过截短玻璃来减轻重量的做法其成本一般比实际的更加昂贵，特别是因为其并未降低封装的高度。
- 较高的照明角度在器件上使积分柱的图像发生更严重的失真，从而产生更多的溢出损耗。这最多会导致效率比平行光路设计低 10%（取决于均匀度要求和所用照明元件的数量和类型）。同样，这些较高的照明角度往往会使照明系统的出射光瞳产生失真，从而造成难以针对投影透镜设计进行定义并产生更多的损耗。
- 在离开器件的有限距离上匹配光瞳需要掌握照明系统的状况以设计正确的投影透镜，反之亦然。这种相互依存性会妨碍平行路径开发并延缓产品上市进程，尤其在涉及多家独立供应商的场合。
- 高的偏斜角将产生通常会超过面向背投影应用的现有屏幕技术的投影角。对于非平行光路设计，减小偏移不是一种选项，可变偏移也不是。

- 较高的照明角度需要为窗口孔径开口 (window aperture opening) 提供更大的空隙, 以使光线能够进入活动区域 (active area) 而不会产生光晕或遮蔽有源阵列的现象。这要求在有源阵列的周围提供更多的硅边缘 (silicon border) 或光遮蔽区, 以把键合线和其他的结构工件 (structural artifacts) 推至视图之外 (孔径的下方)。这就减少了每颗晶圆所能生产的 DMD 晶片的数量, 从而对 DMD 成本产生影响。
- 器件窗口孔径将更多的 Off 态光困于器件之中, 这会产生不希望有的热效应和边缘伪像 (border artifacts)。
- 放大倍数会随着投影透镜的焦点轻微地变化。
- 较高的偏移要求导致了针对投影透镜的较大视场尺寸要求。对于透镜成本和性能来说, 视场尺寸 (field size) 是迄今为止最具影响力的设计参数。与基于棱镜的平行光路设计不同, 非平行光路架构无法通过偏移的优化来尽量地压缩视场尺寸。
- 由于光阑位置的变化, 设计针对非平行光路架构的恒定焦距比数变焦透镜非常困难, 而且昂贵。光阑位置固定型变焦透镜结构复杂, 非常难以制作。大的变焦比往往会相应地产生大的亮度变化。另外, 变焦透镜中后片组 (rear group) 的移动还将受到照明元件潜在干扰的妨碍, 这会使得大的变焦比非常难以实现。
- 投影透镜中光阑与后孔 (rear aperture) 靠近, 因而难以管理进入投影透镜的杂散光。同样由于这个原因, 所有的照明表面均不得比投影透镜的后部更接近器件, 因为它们往往会成为进入投影透镜的杂散光的来源。
- 来自照明路径的场镜表面反射不能利用器件状态来控制。这些反射会进入投影透镜光瞳并损害对比度。必须采用市售的光学设计软件进行谨慎的表面反射建模。
- 在非平行光路设计中很难设计透镜移位。必须依据所需的透镜移位量采用超大的投影透镜数值孔径。这产生了低焦距比数投影光学器件和 Flat 状态光重叠管理问题。另外, 它还增大了透镜的尺寸, 因而导致需要提供更大的照明和投影射线束物理分隔 (偏移)。

3 投影光学系统设计考虑因素

不管采用何种架构, 系统设计都包括一个照明系统和一个投影系统。在某些场合中, 这些系统可以分开处理。而在其他的场合中 (特别是那些在照明和投影系统的光学路径中运用了场镜的设计), 则存在着必须考虑的明显的相互影响。下面的段落将阐述设计考虑因素以及每个系统的组件。

3.1 照明系统组件和设计参数

照明系统的简单功能是尽多地从光源收集可用光并将其置于器件的活动区域 (微镜阵列)。通常用于完成此项功能的组件为: 灯、反射器、色轮、积分器、替续和折叠光学器件 (包括场镜, 如果有的话), 很可能还有 TIR 棱镜。

3.1 灯

灯的选择取决于若干个因素:

- 投影机尺寸 / 重量 / 噪声目标。在把电能转换为可见光方面, 大多数的灯均效率低下。这意味着灯将给投影机施加一个热负载。在大部分场合中, 该负载是系统中的最高负载。对于给定的投影机尺寸、重量和噪声要求, 投影机所能耗散的功率 (热量) 由用于为其提供冷却的风扇的数量和尺寸决定。灯的效率 (用收集到器件可用光展量中的每瓦输出流明来表示) 是需要优化的参数。
- 寿命。灯的寿命要求因应用而异。消费类应用需要十分长久的灯寿命, 以克服消费者对于更换高成本灯的抵触情绪。此类应用的产品中所采用的灯其寿命要求为 5000 到 10000 小时或更长。然而, 便携式投影机的使用频率通常不高。鉴于这样的工作周期, 在此类产品中, 2000 小时的灯寿命有可能超过产品本身的有效寿命。必须谨慎地理解灯制造商所指的灯寿命与产品本身对于灯寿命的要求这两者所表达出的不同含义。(接下页)

- (续上页) 通常, 产品用灯的寿命指的是: 在特定的工作周期和故障极少 (如果有的话) 的情况下, 在规定的寿命结束之后产品的亮度输出不低于初始值的 50%。而灯的制造商通常规定的是样品灯寿命 (catalog lamp life), 指的是在理想的热条件下, 一批样品在经历了规定的时间段之后仍有 50% 可以正常运行。这些是迥异的要求, 双方必须理解彼此真实的含义或需求。
- 光谱含量。必须利用色轮将灯的输出光谱均衡地散布于投影机中的可用色空间。这种转换的效率在灯与灯之间会存在着极大的差异。TI 拥有一种色轮设计 / 建模工具, 其能够在色轮转换之后比较灯的相对效率。结果常常是不明显的。作为经验法则, 灯的 CCT 越接近投影机期望的白点 (whitepoint), 那么灯 / 色轮组合的效率就将越高。
- 换向和光弧稳定性。不管灯是交流型直流型, 也不管它是否具备某些用于避免光弧跳跃 (arc jump) 和光弧闪烁 (arc flickering) 的方法, 它们都会是应用中的重要因素。
- 小光展量 (small etendue) 条件下的效能。和大多数投影显示技术一样, 器件面板尺寸 (面积) 与最大容许数值孔径 (立体角) 一道共同决定了系统光展量。这通常需要采用小型等离子体光弧光源 (在高压之下体积受限)。使灯的光展量与系统的光展量相匹配是实现最大效率的目标。
- 大多数灯都具有相对于重力的工作位置要求。在所有的终端应用中均应确保投影机的布置不会违背灯的取向要求。

3.1.2 反射器

- 灯反射器负责收集来自灯的光并将之引导至照明光学器件。反射器的特性为:
- 冷反射镜二向色涂层用于最大限度地降低光学组件和 DMD 上的下游 UV 和 IR 负载。
- 椭圆 (或相似的) 形状。大多数单面板 DLP 系统都使用一个椭圆形反射器来把光聚焦到色轮上的一个小点。采用抛物线形反射器的系统必须在灯和色轮之间增设聚光器以实施灯的聚焦。当灯光弧接近一个点光源时, 纯椭圆变得更难改进。然而, 灯泡壁可能具有会引起失真的厚度与形状变化, 这可以利用较高阶的反射曲线加以校正。
- 最大限度地减小色轮上的光点尺寸是反射器的功能, 这样色轮彩色之间的过渡轮辐 (transition spokes) 就能在尽可能短的时间里穿过光点的范围。虽然轮辐过渡 (spoke transitions) 中的混色光最终组合成可用光, 但是当色轮的半径减小时, 由轮辐过渡所包夹的角度在整个 360° 中所占的百分比将增大。这就为每种纯基色留下了较少的时间, 最终接近一个限值, 该限值由把所有需要的位放入每种特定彩色所需的时间量决定。该时间也是灯光谱平衡的一个函数, 因而是一个需要加以优化的系统级问题。应采用 TI 色轮建模工具来解决此问题。
- 反射器必须抑制灯泡破裂。而且, 有些用于防止色轮因灯泡破裂而受损的方法也许是反射器组件的一部分, 比如: 位于反射器出口的保护玻璃。如果需要, 保护玻璃也可以是供布设 UV 和 IR 滤光镜的适宜之地。反射器的体积常常决定了灯所处的热环境, 因此其对投影机中的灯寿命具有巨大的影响。当反射器的体积针对小型产品而缩减时, 可能需要采取一些用于冷却灯心 (lamp burner) 的措施。
- 当反射器的小型化导致反射器表面面积缩减时, 反射器表面质量变得日益重要。表面缺陷常常与制造工艺有关, 而且当反射器面积针对小型产品的需要而缩减时, 其在总面积中所占的百分比相对较大。
- 避免把光学元件 (例如: 柔性焦距透镜组或窗口) 安放在反射器正面和反射器焦点之间。如果有必要, 可将其放置在尽可能靠近反射器正面或焦点的地方和 / 或使其倾斜, 这样反射能量就不会沿着一条路径返回而集中于灯心电极头或电极丝上。靠近反射器正面和反射器焦点之间的中间点的光学元件将灯管能量反射回来, 这些反射能量会集中在 (或靠近) 灯心的尖端, 除非把光学元件倾斜。这会由于电极氧化或热梯度的原因而加速灯的失效。比如, 倘若不是设计和加工定制反射器, 而是增设一个聚光透镜以轻微改变现有售反射器的数值孔径, 就会出现这种情况。
- 必需意识到, 色轮将一个负载反射回灯 / 反射器组件 (等于色轮效率的补足), 其可高达灯输出的 2/3。这肯定会影响灯 / 反射器组件中的热环境, 在设计中必须加以考虑。

- 反射器曲面对于灯 / 反射器输出的远场角分布具有很大的影响。该角度加权分布影响了色轮滤光镜的设计，而且在针对投影透镜性能的光瞳加权 MTF 计算中应给予考虑。

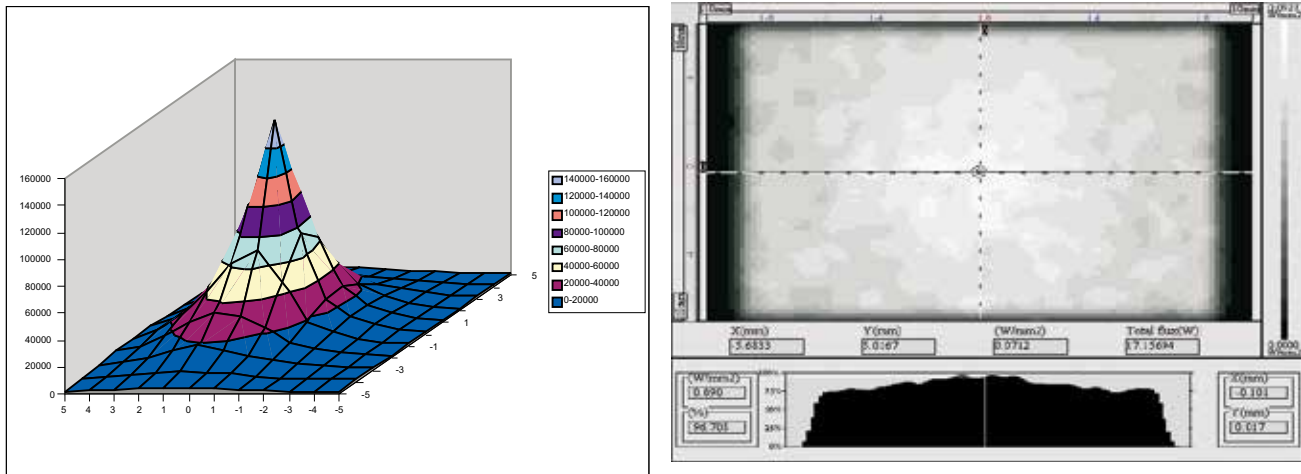
3.1.3 色轮

- 色轮的设计在一篇单独的应用笔记中进行了论述。从光学的角度来说，它是一连串以节段的形式围绕轮的直径排列的二向色滤光片，其可按照 DMD 器件序列的要求传递红、蓝、绿、黄、品红、青或白光。一些光学考虑因素为：
 - 二向色滤光片性能与入射角的函数关系。色轮上的光点越小，对于定时目的而言就越好。然而，这常常是通过增加灯反射器的速度或数值孔径来实现的。这将在滤光镜上产生越来越高的入射角，并在此过程中改变性能和减缓截止斜坡 (cutoff slope)。当考虑将色轮上的速度提升至高于约 $f/1$ 时，应在“增加涂层以改善截止性能”（因而造成成本增加）与“压缩光点尺寸”两者之间进行权衡。
 - 色轮的位置。在示出的所有系统配置中，色轮都是安置在积分柱之前，且紧接在灯之后。在采用色轮的场序制应用中，通过灯光点 (lamp spot) 转变色轮辐要比通过积分柱的积分输出更加有效。这是因为从空间的角度来看，灯光点要比积分柱的输出紧凑得多。否则就不需要积分柱了。另外，倘若轮辐过渡在到达器件之间进行空间混合，那么采用轮辐光重获算法 (light-recapture algorithm) 的话效果将更好。
 - 考虑到色轮偏摆度、振动 / 冲击负载和位置公差，在实际条件允许的情况下，应将色轮安放在尽可能靠近积分器入射面的地方。通常 1 mm 的间隔就足够了。这种狭小的距离对于色轮上光点尺寸的影响微乎其微。与该距离相比，这个 Z 轴中的灯聚焦光束腰一般长得多。
 - 把色轮安置于积分柱之前还可以释放积分柱上的大量热负载。色轮对于散热的一项优势是：由于色轮的旋转，来自于焦点的热量将分布在一个表面积大得多的孔环 (annular ring) 中，而且同样由于这种旋转，会产生某种强制对流冷却效果。不过，这项优势将随着色轮直径的减小而减弱，因此在系统设计中应监视色轮电机的热负载。

3.1.4 积分器

- 积分器的功能是对光弧的图像进行空间再分布，使之从一种高尖峰型分布变为一种更加均匀的平顶型分布，从而在屏幕上实现光的相对平坦的空间分布（见图 7）。随着灯与器件的光展量日益匹配，它们在反射器焦点处的空间分布变得更加不均匀，因此在如今的 DLP 产品上始终运用了某种积分方法。透镜阵列型积分器（复眼）虽然常用于 LCD 产品，但其对于 DLP 投影机却并不是合适的选择（需要绝对最小路径长度的场合除外）。出于下面段落所述之原因，光积分棒（实心或空心）是最佳的选择。各种积分方法的类型和特征为：
 - 透镜阵列。透镜阵列通常是间隔一定距离的两个模制透镜阵列板。一般地，它们与一个位于近准直空间 (near-collimated space) 中的抛物线反射器一起使用以简化设计。虽然这对于不需要通过顺序色轮 (sequential color wheel) 实现聚焦的三板 LCD 或 DLP 产品而言很方便，但是对于单面板 DLP 产品则不然。透镜阵列的效率通常不及棒型积分器，原因大多与制造技术有关。它们大部分是模制透镜，因而在透镜元件之间需要设置小的锥度以便脱模。这个区域会造成光损失。每块透镜阵列板上的每个透镜元件都在重复着这种光损失。于是，第一块板上的阵列必须精确对准第二块板上的阵列；任何对准偏差都将引起更多的光损失。接着，由每块阵列板的透镜对所形成的每幅图像必须准确地映像至器件阵列。不可能单独地对每对透镜形成的每幅图像实施对准，因为它们是一起模制到阵列板中的，图像必须足够大，这样器件阵列相对于透镜阵列的任何位置公差（反之亦然）都将被列入考虑范围。所有这些公差的累积将导致较大的光损失（相对于采用单根光积分棒时的图像）。最后，输入光束的准直度质量决定了透镜对之间的串扰量。当来自一个透镜的斜射光没有进入一个与之直接配对的透镜，而是进入了相邻的透镜（串扰）时，该光线因溢出而损失掉。

- 实心玻璃棒形积分器。此类积分器是目前常用的，但正在越来越多地被空心反射镜隧道积分器所取代。这两种积分器的工作原理相同，即：在棒的内部产生反射以通过空间随机化处理将输入变为一个更加均匀的输出，而并不改变数值孔径。实心玻璃棒利用玻璃 / 空气侧的总内部反射做到了这一点。棒内的反射次数是玻璃的折射率、输入的数值孔径、以及棒的横截面和长度的一个函数。在系统中安装一个无包层的玻璃棒有点棘手，因为与内壁接触的每个点都会在光线从棒中射出的地方产生 TIR 失效，从而引起吞吐量损失以及触点上的一个集中热负荷。另外，对棒的入射面和出射面还必须涂覆防反射层（且不漫溢到各边），这会是一道相对昂贵的工艺。由于输出面在器件上也是焦点对准的（因而在屏幕上也是），因此该输出面上的任何瑕疵或者停落于其上的灰尘粒子都将被映像到屏幕并显现为图像缺陷。而且，由于玻璃折射率的原因，每单位棒长在玻璃中的反射次数低于在空气中的反射次数，因此对于相同的积分量所需的光积分棒较长。最后，常常需要在表面上设置安全倒角 (safety bevels) 以避免出现剥落 (chipping)，但溢出损失将随着其尺寸成正比地增加。
- 从理论上说，TIR 比镜面反射更加有效，因此，对于相对较长的光积分棒和 / 或高功率系统，玻璃（或者熔融硅石或石英）因其效率和热效应仍然是优先选择。可以通过把一个厚板紧靠或连接至出射面（从而将灰尘转移至一个离焦位置）、或者将出射面与第一个下游元件之间的空间密封起来以提供出射面的防尘。
- 出于多种原因，在较小的系统中越来越多地使用装有反射镜的空心隧道 (hollow mirrored tunnel) 积分器。首先，由于它们工作于空气（折射率 = 1）而不是玻璃中，因此每单位长度可产生更多的积分。其次，没有输出面，因此不会有灰尘或瑕疵被映像至屏幕。第三，没有至 AR 涂层的面，因而在长度很短的情况下保持总效率基本不变。第四，安装大为简化，因为没有 TIR 失效点。唯一的缺点是有在较高温度下操作的倾向，这是因为反射镜涂层中的吸收损失所致，其会削弱粘合剂（如果采用粘合剂来组装反射镜部分的话），或者产生局部加热问题。另外，采用隧道积分器来实施尺寸调整 (sizing adjustments) 更加简便快捷。
- 设计考虑因素。通常，TI 建议采用一个将产生具有可接受均匀性的约 4×5 光弧图像阵列的积分器长度（取决于应用）。有些应用需要多达 8×10 的阵列图像（或更多），尤其是当存在需要减轻的光弧闪烁或光弧跳跃时。建议在光设计软件中进行均匀性的建模，以根据光弧轮廓 (arc profile)、远场分布、灯焦点位置和积分器的长度来决定最佳的长度。当积分柱长度减小时，对于灯焦点容差 (lamp-focus tolerance) 的均匀性敏感度变得更加至关重要。
- 每次边缘光线穿过光轴时将在阵列中生成一幅图像。该阵列可在照明继电器的任何光瞳中进行观察，这里有一个矩形阵列中的积分柱之横截面的多幅图像，每幅图像包含一幅光弧图像，这是利用与来自该图像的光弧所对的角观察到的。外部阵列图像代表来自灯反射器的光的最高角度；内部阵列图像则是最浅的角度。在中心部分，通常有一个暗点，其代表了被灯电极所遮蔽的最深的角度。
- 横截面尺寸。横截面的尺寸由照明继电器 (illumination relay) 的光性能、装配误差、以及器件的尺寸和容差决定。最低限度，该尺寸应防止在器件（屏幕）上的图像中出现任何的色伪像或光晕。尺寸、位置和通过光学系统后积分器图像放大倍数中的累积公差，以及由安装至 DMD 封装本身中的器件芯片的积分器带来的机械公差，都必须加以全面考虑。这可以通过采用超大的积分器横截面（以始终允许器件处于积分器的图像中）来实现，但这将造成很大的溢出光通量损失（效率下降），因为位于器件外部的区域所包含的光原本是可以利用的。对于由较长的积分器产生的高度均匀的轮廓来说，这种损失将更大，原因是外部区域几乎与中心区域一样明亮。一种更好、更常用的方法是通过合理确定横截面的大小以实现最小的溢出，并在投影机装配的某道工序中将图像的位置调整至器件。这是一种相对简单的工艺（见图 4），而且它消除了许多的累积公差，可提供最大的亮度。



(高尖峰的高斯剖面直接映射到屏幕均匀性，除非利用空间积分进行重新分布。)

图 7：积分前（左侧，在柱输入）及积分后（右侧，在柱输出）小型弧光灯在椭圆形反射器焦点处的空间辐射照度分布

3.1.5 替续 / 折叠光学器件

替续光学器件 (relay optics) 可以是反射式、折射式或此二者的组合。在采用棒状积分器或隧道积分器的应用（几乎所有的单面板 DLP 应用）中，继电器是一种经典的阿贝 (Abbe) 配置，其在器件平面上形成棒状 / 隧道积分器表面的图像。而且，这在器件上产生了一个方便的视场光阑，从而最大限度地减少了热问题以及因照明溢出而引起的边缘伪像 (border artifact)。继电器的功能是以可接受的均匀性将来自积分器输出的光尽可能多地转移至器件，并使积分器上的数值孔径与具有合适放大倍数的投影透镜的数值孔径相匹配。不管继电器在器件上是否为平行光路，其在积分器上始终应为平行光路，以避免发生彩色和空间均匀性问题。折叠反射镜的使用以及总的路径长度常常由封装限制条件或目标决定，而且因产品而异。在照明继电器中采用弯曲型反射元件的一项可能的优势是其能够利用单个紧凑的元件同时实现透镜和折叠反射镜的功能。然而，折叠经常需要的大离轴角会对均匀性、失真、光谱透射、偏振和曲面反射镜的其他像差产生不利的影响。应始终利用合适的软件程序对器件上的照射度侧影 (Irradiance profile) 进行建模。其他的考虑因素是：

- 必须优化照明继电器以最大限度地抑制棒状积分器或隧道积分器视场外缘上的光学降晰 (optical blur)。这与典型成像系统的做法正好相反，后者的性能常常是在靠近视场中心处进行优化。在设计优化过程中实施正确的视场加权可通过尽量减少图像边缘处的降晰（这缩小了积分器横截面的尺寸，从而减少了光溢出量）来实现亮度的最大化。
- 积分器的尺寸确定还必须考虑由照明继电器至器件的入射角所引起的斯凯姆普夫拉格失真 (Scheimpflug distortion)。在有些场合中，可采用离心、倾斜、非球面镜、积分器出射面的斯凯姆普夫拉格校正或这些举措的某种组合对此加以改进。由于效率和热性能方面的原因，尽量减小这种失真是很重要的。
- 通常，由于额外的偏斜角产生了高得多的至器件的照明角度，因此对于非平行光路照明继电器而言失真压倒降晰。
- 平行光路继电器具有较低的照明角度，因此失真较低，但有可能需要使用更多的元件以更好地控制降晰（因为失真较低）。
- 场镜架构的一项优势是在照明路径中存在更多的光学元件（表面），可帮助优化降晰（通常是一种色差）。场镜本身是偏心和倾斜的（相对于照明光轴），这或许有助于校正斯凯姆普夫拉格失真。
- 可应用渐晕 (vignetting) 以减小所需的光学元件直径，因为照明集中于器件。均匀性目标不应牺牲，并保持用于流明的 ANSI 测量点上的亮度。不过需记住，射线束利用器件的反射实现反向，并将内部光线逐出（反之亦然）。（接下页）

(续上页) 可能需要在投影路径中采用对应的渐晕以实现期望的效果, 或者照明路径中孔径的合理安置。在建模或设计中应始终考虑到器件窗口 (device window) 和窗口孔径, 以确保不会出现源于窗口孔径的阵列遮蔽, 并估计由于溢出而施加在窗口孔径上的热负载。

3.1.6 TIR 棱镜

- 有些平行光路架构采用了一个棱镜, 此棱镜包含了一个用于在极小的空间内分离照明与投影路径的 TIR 表面。一些设计考虑因素为:
 - 通过选择棱镜角度使受抑的 TIR 区 (frustrated-TIR zone) 偏向照明侧以获得最大的对比度。在靠近临界角的地方有一个受抑 TIR 和与 AR 涂层谐振的区域, 其负责防止在临界角上发生从 TIR 至折射的瞬间切换 (见图 8)。为了获得更好的系统对比度, 让这种故障出现在照明路径而非投影路径往往更好。
 - 位于空气间隙表面的 AR 涂层具有很高的入射角, 并需要对涂层设计给予特别关注。TI 可提供一种参考涂层设计。
 - 应对来自器件的 Flat 状态和 Off 状态光的反射进行管理, 并防止其进入投影透镜。这可以利用棱镜的形状、棱镜非光学表面上的吸收涂层 (注意热的影响)、投影路径中的孔径或这些方法的某种组合来实现。
 - 可采用审慎的渐晕以最大限度地减小棱镜的尺寸。
 - 棱镜空气间隙应为 10 微米左右, 以防止投影路径中的像散。这并不适用于 RTIR 设计, 因为空气间隙 (如果适用的话) 存在于照明路径而非投影路径中, 且对照明的影响微乎其微。
 - 所有的光学表面均应覆以 AR 涂层, 旨在尽量减少对比度的下降并实现吞吐量的最大化。由于光线进出棱镜两次 (双程), 而且在空气间隙中布设 AR 涂层的难度很大, 因此棱镜典型的总透射率约为 92% 至 93%。不过, 该数值会随着焦距比数的减小而增大。

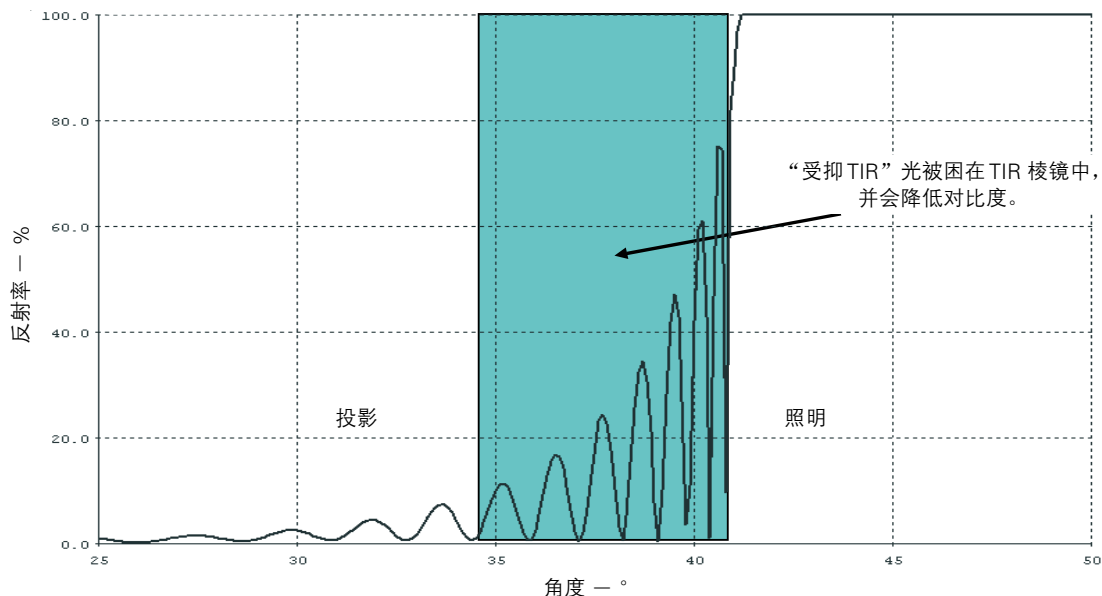


图 8: TIR 棱镜空气间隙中的受抑全内反射 (TIR) 应偏向照明路径

3.2 投影透镜组件和设计参数

投影系统的功能是将器件的图像放大至一个屏幕, 同时保持吞吐量和均匀性。它包括一个投影透镜组件 (固定焦距或变焦), 可能是 TIR 或 RTIR 棱镜, 还有器件。(接下页)

(续上页) 如果使用, 投影路径中的 TIR 棱镜基本上是一个扁平的玻璃板, 基本上没有什么作用 (除非空气间隙足够大而引起像散现象)。器件窗口也是一个扁平的玻璃板, 应被纳入设计模型。系统的性能可采用针对成像系统的传统指标来描述和测量, 例如: 调制传递函数 (MTF)、特殊图像畸变、数值孔径等。和其他成像系统一样, 投影透镜的设计是在性能、成本、尺寸、重量、体积、环境要求和其他系统参数之间进行权衡折衷的过程。影响投影透镜设计的因素有:

- 投射比。ANSI 投射比的定义为: 从投影机至屏幕的距离除以成像的宽度。还有许多其他的定义, 例如: 基于成像对角线或这些关系之倒数的定义, 因此在讨论投射比时需确定已就此取得相互理解。投射比由投影透镜的焦距决定。它通常受限于所需的应用, 但一般来说, 投射比越长, 则焦距越长, 而且透镜越小。为了使透镜尽可能地小, 对于应用而言投射比应尽可能长。会议室或移动式前投影机的典型投射比大致为 1.5:1 至 2.2:1。对于电视应用中的背投影, 所需的投射比常常受限于屏幕技术或机柜布置 (cabinet layout), 往往大大低于 1.0:1 (通常为 0.55:1)。
- 数值孔径或焦距比数 (f/#)。通常, 这是由器件微镜倾斜角决定的, 用于防止 Flat 状态和 On 状态光束的重叠。它限制了整个投影系统的吞吐量 (或光展量)。然而, 微镜仅沿着一个轴引导光线。在与引导平面正交的轴中, 对数值孔径没有函数极限。生成不对称的数值孔径在实践中是很困难的, 但带来的好处会很大。
- 聚焦范围。这是预期可获得清晰成像的情况下从屏幕到投影机的距离范围。虽然就固定焦距透镜而言这种调节并不困难, 但其对于变焦机构的设计却有着重大的影响。而且, 在设计聚焦机构 (特别是变焦透镜) 时, 由于晶片高度和 / 或封装类型变化的原因, 必需考虑器件平面的位置公差, 这一点很重要。
- 图像失真。对于图形的投影机而言, 为了获得可接受的性能, 通常需要确立 $\pm 1\%$ 的最大失真设计目标。如果没有弯曲变形, 这会是 2% 的总失真。对于视频或照片型投影应用可接受更高的失真值。
- 横向色差。按照定义, 单面板 DLP 系统是永久会聚的, 这与三面板 LCD 系统是完全不同的, 后者必须使每个面板在屏幕上与另外两个面板对齐。随着时间的推移, 三面板 LCD 机构会发生失准漂移, 因而在像素周围产生从属的彩色伪像 (color artifacts)。然而, 投影透镜中的横向色差会产生看似三面板系统之失聚的像素彩色伪像。对于大多数图形应用, 小于 1 像素 (从 430 nm 至 670 nm) 的横向色差能提供可接受的性能。经验表明: 如果满足了横向色差要求, 那么下面定义的 MTF 要求常常就能够轻松地得到满足。
- 在横向色差校正中, 视场尺寸是一个非常重要的因素。视场尺寸。器件活动区域尺寸 (active-area dimensions) 和梯形失真校正所需的偏移量决定了投影透镜必须映像至屏幕的视场尺寸。一般来说, 在决定透镜复杂性、尺寸、成本和性能极限的诸多因素中, 视场尺寸是迄今为止影响力最强的因素。对视场要求的任何放宽常常都将带来巨大的好处。由于性能目标和面板尺寸是固定的, 因此偏移是需要详细检查的关键变量。对于非平行光路系统或者某些场镜系统来说, 偏移是不能选择的。在这些场合中, 需要利用偏移来实现照明与投影光学器件的物理分隔或者控制假面 (ghost surface) 反射路径。然而, 对于一个采用 TIR 棱镜的平行光路系统, 偏移量可以是任意的期望值 (包括零)。在本应用报告的第 4 节中, 我们将更加详细地阐述如何在最大限度地减少偏移的同时实现可接受的系统梯形失真性能。
- MTF。相比于视频, 图形投影是一种对图像质量更加苛求的应用, 这是因为图形直接映射至像素, 且通常包括许多彼此正交的行和字符。MTF 是一种用于描述透镜对图像特征的解析或聚焦水准的指标。其在两个正交的方向上进行了规定: 弧矢与子午。如果需要, 请查阅任何标准的光学教科书以了解有关 MTF 及其测量方法的详情。TI 建议在透镜的设计中优化 MTF, 方法是根据灯 / 反射器远场分布对光谱进行明度加权 (photophysical weighting) 及对光瞳进行角度加权, 以实现与实际投影机性能的最佳关联度。TI 建议: 在单个最佳聚焦平面上的透镜视场中, 于奈奎斯特 (基础) 频率下为整个视场提供最小 40% 的 MTF (弧矢和子午方向的平均值)。此外, 在任何视场点上弧矢与子午 MTF 之间的差异都不应大于 20% (像散), 因为在图形显示中有许多的垂直和水平特征, 而操作者希望所有这些特征同时实现焦点对准。(接下页)

(续上页) 这些数值是实际的透镜性能最小值, 或者相当于三西格玛 (3σ) 容差设计限值。标称设计 MTF 最小值要高出 10% 到 20% (取决于制造商的工艺和设计灵敏度)。当优化设计时, 应将 DMD 器件平行度公差作为透镜公差的一部分, 这一点十分重要 (请参考 4.3.2 节)。

4 系统性能调优技巧与方法

许多系统性能参数具有由 DMD 器件本身设定或影响的限值。例如, 倘若在典型的高质量光学系统中用平面镜替换了 DMD 器件, 那么系统对比度比将至少比替换前提高一个数量级。因此, 系统性能参数对于如何针对 DMD 器件与系统光学器件之间的相互影响来优化设计是非常敏感的, 而且能够针对给定的应用实施优化以实现产品的差异化和最佳性能。

4.1 对比度比

对于单面板光学系统, DMD 器件常常是完全导通至完全关断 (FO:FO) 系统对比度比的限制因素。这是器件接通时 (全白屏幕) 的投影亮度与器件关断时 (全黑屏幕) 的投影亮度之比。单就器件而言是不能将其描述为具有任何对比度比的, 因为器件的出射光是恒定的, 这与微镜的活动状态无关。只有到定义了系统光瞳 (其限定了一个立体收集角) 之后方可定义对比度, 因为对比度只能在作为一项系统参数时才具备意义。然而, 器件决定了 FO:FO 系统对比度比的限值, 因此重要的是必需了解器件是如何与系统互动从而影响该 (和其他) 参数的。

ANSI 棋盘格对比度是通过投射一个黑白方格的棋盘图案来测量的, 黑白方格的排列使得整个屏幕 50% 的面积为白色, 另 50% 的面积为黑色。在该场合中, 光线被引导穿过投影透镜光学器件; 因此, 透镜设计、材料和涂覆工艺的质量对对比度限值具有影响。

对于单面板系统中使用的现有量产型器件, 对系统对比度比最具影响力的因素是: 照明角度、微镜间隙 (与微镜倾斜角有关)、数值孔径和光学设计 / 涂层质量。

4.1.1 照明角度

照明角度指的是每个器件微镜上的入射光束之主射线的角度。对于平行光路架构, 这些射线在整个阵列上基本上是相同的角度。对于非平行光路架构, 由于照明光束会聚至一个无穷远的光瞳 (infinite pupil), 因此这些射线对于阵列上每个微镜的角度是不同的。

照明角度与器件和系统光学特性相互影响, 从而以几种方式产生了对比度限制条件:

- 该角度决定了反射的 Flat 状态光是否错过投影透镜光瞳以及偏离多少。另外, 它还与器件微镜倾斜角一道决定了 Off 状态和 On 状态中的光瞳位置。
- 在照明角度与由来自器件微镜 (当它们断开时) 下面的多次反射造成的散射到一个投影光瞳中的光量之间存在很强的相关性。这源于用来构建微镜下方的层的结构与材料的形状和反射率, 它们往往起到了类似镜面反射的作用。当微镜倾斜至断开时, 它们将微镜下方的这块区域更多地暴露于入射的照明光。
- 从微镜边缘和微镜过孔进入投影透镜光瞳的散射光与照明角度之间存在一种函数关系 (见图 9 和图 10)。

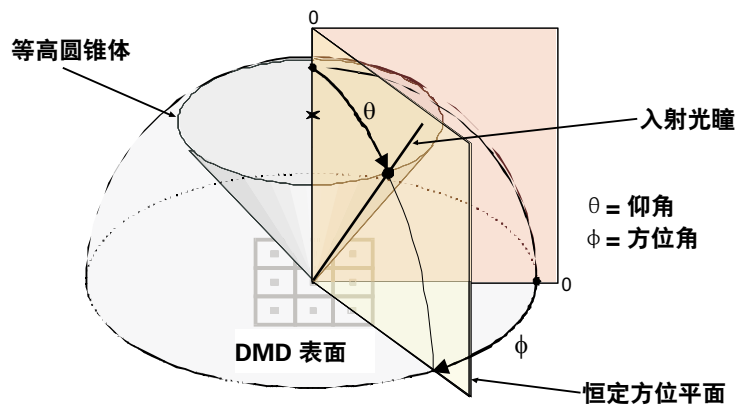


图 9: 散射入射光束几何结构

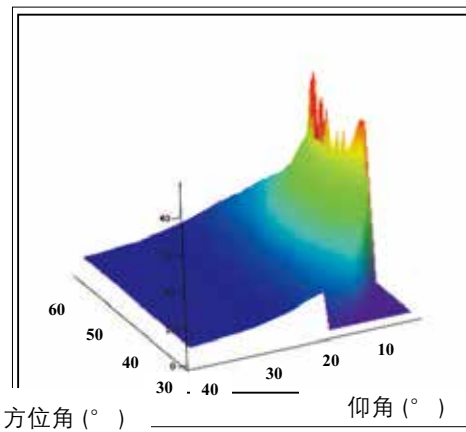
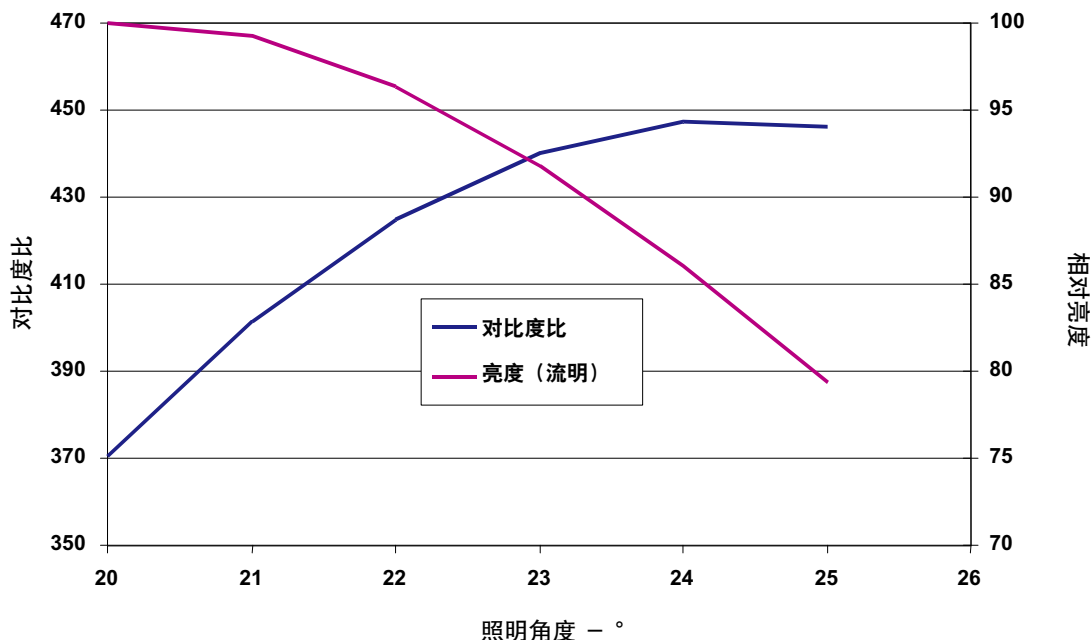


图 10: 散射光进入用于 Off 态微镜的投影光瞳, 10° 器件

- 在进入采集孔径 (collection aperture) 的散射光中, 很大一部分是由比较靠近微镜倾斜角的入射光线产生的。图 10 示出的情形是一款平行光路 $f/3$ 系统, 其针对具有一个沿着 20° 仰角 (即: 20° 的标称照明角度) 的投影轴的老式设计 10° 器件。对于平行光路系统, 照明角度的标称值为微镜倾斜角的 2 倍, 而且数值孔径通常由微镜倾斜角设定。于是在图 10 中, 20° 的仰角沿着标称投影轴, 而且投影锥体 (数值孔径) 与之相距 $\pm 10^\circ$ 。这最大限度地减少了光瞳填充 (pupil fill), 并调整照明光瞳使之名义上以投影光瞳为中心, 以实现最大吞吐量 (流明) 和优良的对比度。然而, 通过把照明角度移动至更高的角度从而保持相同的数值孔径 (在此场合中为 $\pm 10^\circ$), 可避免很大比例的散射光。于是可消除浅角度的高散射光内容, 从而大幅改善对比度。不过, 照明光瞳此时与投影光瞳是不重合的 (偏离量为增加的角度), 因而导致亮度下降。对于典型的 10° 平行光路系统和灯光瞳模式 (lamp-pupil profile), 如何通过增加照明角度来取得亮度与对比度之间的平衡示于图 11。本例中所使用的器件如今虽已停产, 但所示的工作特性代表了现用器件的运行方式。



(17 μm, 10° 倾斜, 0.8 μm 微镜间隙器件)

图 11: 对比度和流明与照明角度的函数关系 (针对 F/3 平行光路系统)

- 例如, 在图 11 中, 将本系统中该器件的照明角度增至 22° 将使 FO:FO 对比度改善 14%, 同时使亮度下降约 4%, 对于某些要求最佳对比度性能的应用 (例如: 暗室或背投式投影中的视频应用) 来说, 这可能是一种上佳的权衡。在那些实际对比度更有可能受限于环境室内条件的应用中, 这种对比度改善的重要性或许不如亮度。事实上, 对于前投式投影, 受限于室内条件的对比度实际上将通过尽量提高投影机亮度 (代价是牺牲某些实际的投影机对比度) 得以改善, 因为黑电平将由室内条件 (而不是投影机) 设定, 但是白电平将由投影机设定 (流明)。
- 另外, 图 11 还示出: 进一步增加照明角度将继续提升对比度, 但在平行光路系统中由此带来的代价是亮度下降。这是因为照明系统的光瞳越来越多地不是通过启动器件至 On 状态而被引导回投影光瞳中; 它仅能够通过使倾斜角倍增 (2X) 来引导。您可能很想通过采用超大的投影透镜光瞳来避免平行光路系统中的光损失, 但这样做会使透镜尺寸变大和成本增加, 而且导致其拾取更多的 Flat 状态光, 因而有悖于自己的初衷。另一种方法是使投影透镜中的一个较小的光瞳偏心, 但是从机械的角度来说其实现起来非常困难和复杂, 而且对于透镜的小型化和低成本化毫无作用。如果需要在最大流明的条件下获得最大的对比度, 可考虑使用非平行光路架构和偏移投影。在该场合中, 偏斜角把标称照明角度大幅提高 (在器件的中心处接近 30° 或更高), 如图 10 所示, 这对系统对比度具有显著的影响, 因为此时可消除来自器件的很大一部分散射光。然而, 与平行光路系统不同的是, 投影透镜光瞳采用标称定位, 以在尺寸不过大的情况下与照明光瞳相匹配, 因为它并不位于无穷远处。于是, 在该架构中不必为实现最高的总对比度性能而损失亮度。

4.1.2 微镜间隙

器件微镜在其之间必须具有一个小的间隙, 以使其能够在 On 和 Off 状态中彼此独立地旋转而不会发生碰撞。间隙的大小是微镜尺寸和微镜倾斜角的一个函数。倾斜角会影响该间隙, 因为微镜在其旋转时也会轻微地平移, 原因在于它们是由一个使之从铰链轴位移的柱子来支撑的。该间隙的大小决定了位于微镜下方暴露于照明光的结构部分, 而且强烈地影响着对比度比。例如: 在平行光路架构中, 像素间隙仅增加 0.1 微米就能导致高达 20% 的对比度下降。非平行光路架构因其较高的总照明角度而对这种影响不太敏感。

4.1.3 数值孔径

数值孔径可用于通过某些使照明和投影系统数值孔径失配的方法来改善对比度。例如，倘若投影系统的数值孔径降至慢于照明系统，则可在导通状态光瞳和 Flat 或 Off 状态光瞳之间提供更多的间隔，并能增加对比度。不过，这样做是以牺牲亮度为代价的。

另一种选项是给照明系统施加渐晕，以使器件拐角处的照明数值孔径低于（较慢的速度）中心部分。这为光瞳中的照明产生了一个较小的光束，具有和上面相同的作用。然而，这可以在不显著影响 ANSI 流明测量点的亮度的情况下实现，因而不会降低系统的 ANSI 额定流明值。另外，由于照明光线被微镜阵列所反转 / 回复，因此渐晕必须出现在至那些像素的所有射线上。这需要在照明路径中有两个孔径，位于光瞳的任一侧（于是射线被截短），其定义了器件上的内射线和外射线。有一篇单独的应用报告（和专利）对此做了详细的阐述。

然而，最有效的方法则是大体上并不改变数值孔径，而利用一个特定形状的孔径光阑有选择性地阻断光瞳的特定区域。例如：可以把一个“D”型光阑放置在照明光瞳中，以便映射至最靠近 On 状态（投影）光瞳的 Flat 状态区。这将增加对比度，并且仅对亮度产生轻微的影响（与图 11 所示的情形十分相似），即使对于非平行光路系统也不例外。

4.1.4 光学设计和涂层质量

用于柔性焦距透镜组的 AR 涂层或光学路径中的平面元件会显著地影响对比度，特别是对于那些采用一个棱镜或场镜的平行光路架构。来自这些表面的反射光有很多条路径穿过透镜并到达屏幕之上，从而导致对比度性能下降。

- 应注意到源自所有表面的所有一阶反射光路径。对于照明路径而言，这些反射会进入投影路径，这与器件的状态无关，因为它们出现在器件之前。对于投影路径，应最大限度地减少返回器件表面的重影（其可从器件窗口或其他平坦区域反射）。另外，还应注意源自 AR 涂层的任何滤色镜效应。
- 应了解源自器件的 Off 态和 Flat 状态光以及源于器件窗口的 Flat 状态光的反射光路径。需确保不存在至投影光瞳的简单路径。许多光学分析软件包适用于该建模。
- 介于投影透镜光阑和器件之间的元件（包括棱镜和窗口）对对比度的影响最大，并应拥有最佳的实用型 AR 涂层和表面质量。尽量减少位于投影透镜光阑和器件之间的投影透镜中的透镜元件数量对于实现对比度的最大化也是一种优良的设计惯例。另外，光阑与器件之间的透镜镜筒中的防眩光阑 (glare stops) 或挡板 (baffling) 也能够阻止散射或反射至透镜中的 Flat 状态和 Off 状态光到达屏幕。
- 投影透镜 AR 涂层一般将设定 ANSI 棋盘格对比度的限值，因为透镜在光线穿过时会产生散射和杂光（不同于 FO:FO 对比度）。通常，如果 FO:FO 对比度没有比 ANSI 棋盘格对比度高太多，那么投影透镜运作良好，但是照明路径中存在某种具有到达屏幕之反射的光学元件。这一般表明：TIR 棱镜涂层质量欠佳，或者在场镜元件上缺少重影反射控制。假如 FO:FO 和 ANSI 棋盘格对比度均很低，则照明存在严重的问题，而且在通过改善照明降低了噪声基底之前不能对投影透镜进行评估。如果 FO:FO 对比度符合要求，而 ANSI 棋盘格对比度比 FO:FO 差得多，则很可能存在透镜涂层问题或者严重的重影问题。还有一点很重要，就是尽可能地良好地将透镜镜筒挡在光阑之后（朝向器件），因为当透镜的尾部随着偏移视场而增大时，其在高度偏移的平行光路设计中很可能拾取 Flat 状态乃至 Off 状态光。非平行光路设计可避免大多数此类问题，但会面临更多涉及器件反射之 Flat 状态光的控制问题。就非平行光路设计而言，如果对比度和边缘图像伪影对于系统设计十分重要，那么应进行器件窗口反射的建模，这一点非常重要。

4.2 流明

流明与对比度之间的一般关系已在 4.1 节的对比度讨论中进行了说明。然而，存在这样一种可能性：就是采用某些器件的产品也许会遇到一种相同的器件套件（器件和兼容的 ASIC 及其他电子零组件）可以使用不止一个倾斜角的情形。TI 能够为您推荐一款光学平台，其既可兼容多倾斜角器件，同时还能为您实现最高的流明性能。关于该应用的详情请联系 TI。

4.3 优化光学成本

本节将阐述可帮助避免由于制定过高的投影机系统光学设计规格指标而引起的不必要的成本增加。

4.3.1 UV 滤光

器件具有针对紫外光 (UV) 辐射的最大曝光水平的规格，旨在实现最高的寿命可靠性。照明光学元件中使用的多种玻璃、玻璃涂层和 / 或反射镜涂层都会自然地衰减 UV。建议在早期原型的器件上测量实际的 UV 水平以决定可能需要多少（如果有的话）额外的滤光处理。以下做法可能是有帮助的：设计投影机光学引擎工具以提供安装低成本平板玻璃 UV 抑制涂层滤光镜（如果需要的话）的便利位置，并只在需要的情况下使用。UV 涂层相对昂贵，因此如果需要，最好是将其置于平坦平面上以使每道涂层涂覆成本所实现的部件覆盖量达到最大。另外，较低成本的滤光镜在可见光范围内的透射率低至 90% 至 95%，因而损失了许多光通量（并产生了很高的局部热负载，必须对其实施有效的散热）。

如果这些滤光镜位于灯和色轮或积分器之间，则其应使之以某种角度倾斜，旨在防止灯心电极或导线由于后向反射辐射而出现局部发热。在滤光镜针对入射角的规格中也应纳入该倾斜。

专为与 UV 光配合使用而特别设计的 DMD 可用于那些需要 UV 照明的应用。有关此类应用的详情请联系 TI。

4.3.2 公差

存在着应根据每家制造商的工艺进行研究的累积公差。例如：器件通常是不做任何调整直接安装到光学引擎部件中的，旨在于现场实现性能的最大化（在产品使用期限内无需变更调整）和装配的简易性。在投影透镜的设计中必须考虑投影透镜的光轴和器件平面平行度之间的累积公差（包括器件封装公差），以在屏幕上获得满意的 MTF 性能。透镜必须具有 MTF 裕量以应对由不平行度所引起的明显的像素散焦。这些裕量在透镜的设计过程中可以很大，从而允许在引擎部件加工中使用较低成本 / 较低精度的机械工艺。然而，这往往会由于透镜元件较多而使柔性焦距透镜组变大，于是造成成本升高。不过，这或许是有利的（取决于减小累积公差所需采用的机械工艺的成本）。但是，在透镜中采用较低的性能裕量、但对机械累积公差运用更精密的工艺也许是更具成本效益的。这样，透镜将更小且成本更低，并有可能满足较高裕量设计将无法满足的产品尺寸限制条件。不管怎样，屏幕上的合成 MTF 必须相同。

4.3.3 投射比和偏移优化

一般来说，投影透镜的焦距较长则透镜较小，这将降低成本。较长焦距透镜的较低放大倍数通常可降低公差敏感度，从而产生更好和更一致的性能（更为紧凑的分布），这还可对 4.3.2 节中提到了权衡折衷有所帮助。较长的焦距意味着较长的投射比，而且常常有一项对其设定了限值的产品要求。如果有选项，则出于成本和性能的原因通常以选择尽可能长的焦距为好。

就平行光路设计而言，还可以把偏移看作是一个独立的变量。投影偏移是必须将投影图像升举至投影透镜光轴以上的幅值。例如：100% 的偏移意味着图像的底端位于投影透镜的中心线，且图像的 100% 位于其上方。这对于桌面型投影机是很方便的，它必须在不受来自投影机前方物体（包括桌子）干扰的情况下进行投影。（接下页）

(续上页) 另外, 它还在平面屏幕上产生一幅经过梯形失真校正的图像, 除非投影机本身被倾斜以进一步抬高图像。该偏移量决定了投影透镜在器件平面上所需成像的视场半径, 它是对大多数柔性焦距透镜组的成本、尺寸和复杂性影响最大的参数。尽量缩小视场可带来许多的好处。

因此, 对于给定的固定成像尺寸 (通过受限于屏幕) 和距离地面的高度, 有机会通过增加投射比来实现投影机偏移与倾斜的平衡, 同时仍然获得可接受的梯形失真。例如, 倘若期望一个 2 m 宽的图像其底缘距离地面 1.5 m, 那么与长投射比投影机相比, 在偏移相同的情况下, 在一张小于 1 m 的典型会议室桌面上的短投射比投影机将必须做更多的倾斜以实现所需的图像高度升举。因此, 短投射比投影机引起的图像梯形失真多于长投射比投影机, 因为将之升高任何距离所需的倾斜角度更大。于是, 对于任何可接受的梯形失真规格和成像尺寸, 长投射比投影机能够具有较少的偏移, 而且可与具有更多偏移的短投射比投影机倾斜相同的角度。这可以显著地降低投影透镜的成本和尺寸。图 12 给出了各种不同投射比与偏移组合的对比实例。

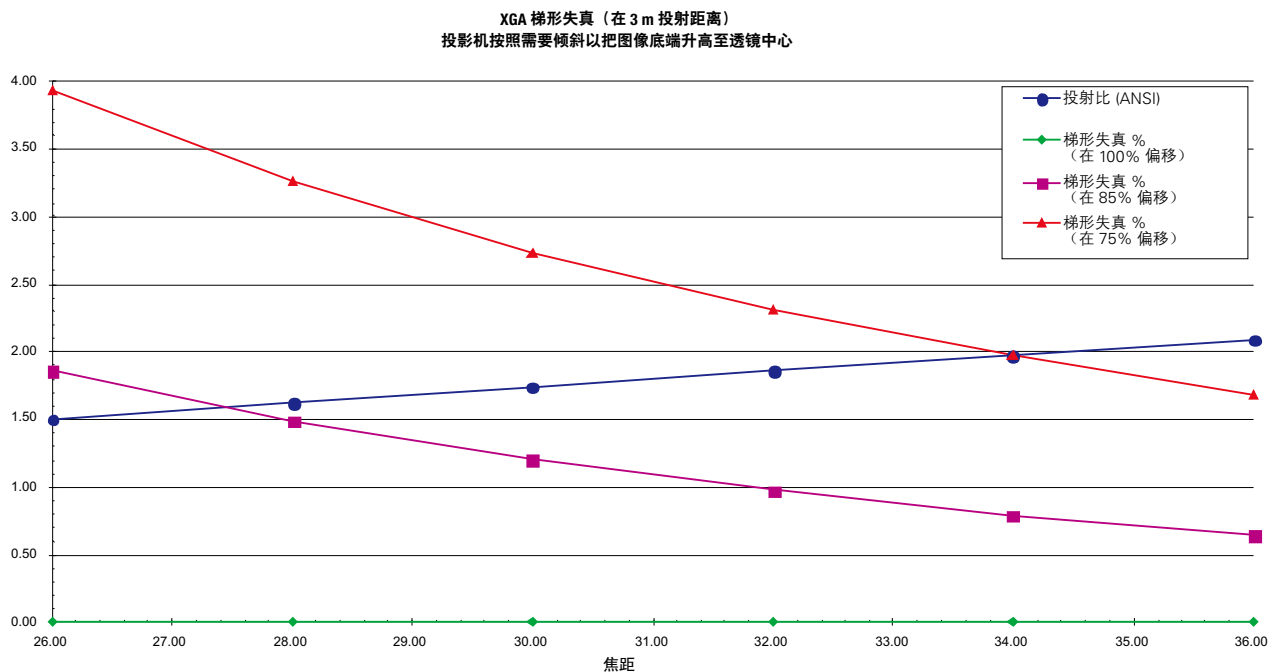


图 12: 0.9 XGA 的梯形失真 (依据投射比和偏移)

例如, 当投影机倾斜以把图像底端升高至透镜的中心高度时, 如果视场缩小至 75% 偏移, 则用于该 17 μm XGA 器件的 2:1 投射比透镜仅在成像中引起 2% 的梯形失真 (顶端比底端宽 2%)。相反, 如果在这些条件下可容许 1% 的梯形失真, 则一个 1.8:1 投射比透镜可用于偏移仅为 85% 的视场。此外, 我们还可发现梯形失真的影响是非线性的, 这表明与较短的投射比相比, 较长的投射比随着投影机倾斜度不断增加而出现的梯形失真增加速度较慢。虽然利用这些权衡可实现的百分比降幅似乎相对较小, 但其对于透镜具有重要的影响, 因为它们影响到了元件的面积, 从而对涂层成本产生了巨大的影响。

4.3.4 图像质量

重要的是了解产品应用对于投影透镜的要求。例如，计算机图形用途需要鲜明的像素边缘分辨率，并要求高于视频柔性焦距透镜组的 MTF 规格指标（见 3.2 节）。这是因为有意义的像素数据以像素对像素的形式从光源映射到屏幕上。相比之下，仅限于视频的应用则在像素边缘分辨率经过平滑或混合处理而变得不太明显的情况下实际看起来好一些。这意味着 MTF 要求可以大幅放宽，因为在奈奎斯特频率分辨率下很少包含有意义的视频图像数据。同样，在视频图像中失聚常常是不太显眼的（对于 CRT 和三面板显示器），因此横向色差影响也很可能不那么引人注目，可以放宽要求。可采用这种方式通过考虑预期应用来权衡成本。

5 替代光源和系统

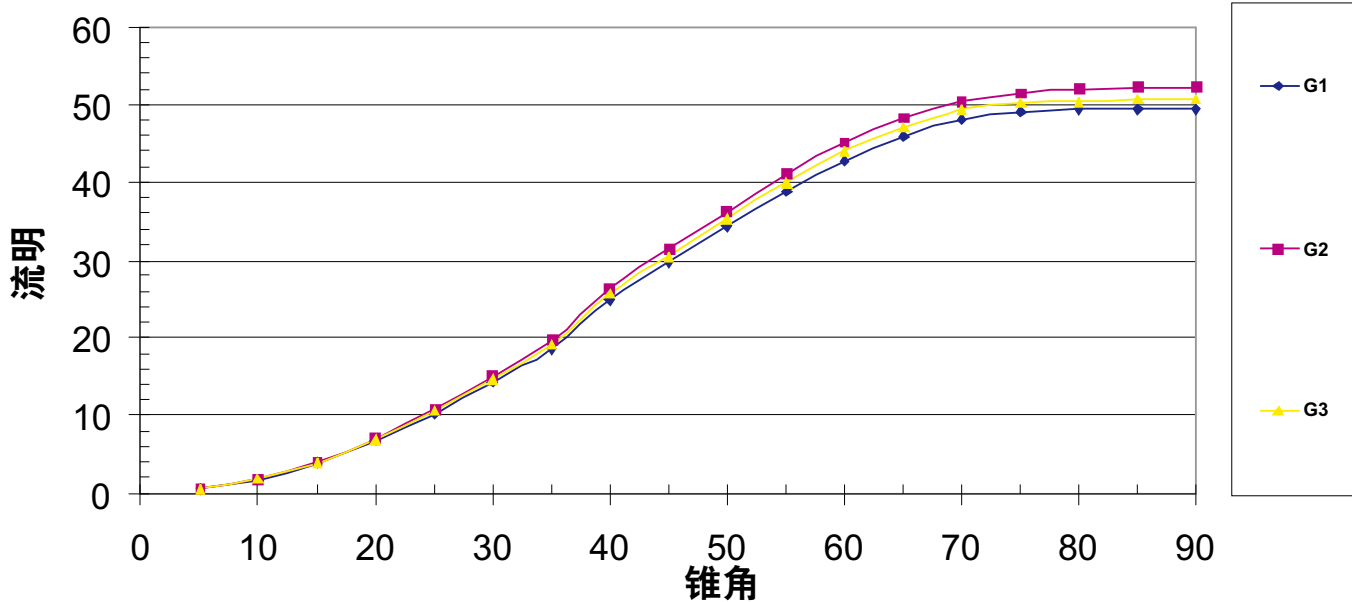
5.1 LED 光源

- 对于 DLP 系统用弧光灯来说，一个日益普及的替代品便是发光二极管 (LED)。LED 光源具备多项优势：
- 长寿命（如果实施了正确的热管理），通常可超过产品本身的使用期限。因此，无需更换灯。
- LED 的取向没有重力的限制，因而允许投影机采取多种不同的朝向（比如：指向天花板）。不过，对于散热解决方案或许存在相关的约束条件。
- 快速响应时间使其适合用于单面板 DMD 系统的场序制彩色 (FSC) 模式。能够提供非常高的场速率以实现平稳的活动视频，并且不会发生色分离。LED 的接通和关断操作可免除采用色轮的需要，在基于灯的传统 DLP 系统中色轮是仅有的活动部件。LED 的使用将使色轮的噪声和工厂处理问题不复存在。
- 可进行动态调光或升压以极大地改善对比度或亮度，或者生成多种白点及色饱和度模式。
- 环境友好；没有汞排放。无需防范破裂。
- 高饱和度色域。
- 快速性能改进周期。许多公司、科学家和工程师们正努力改善面向普通照明、标志牌、汽车及工业用途的 LED 效率。投影行业可得益于该快速学习周期。
- 无需 UV 或 IR 滤光镜。
- 来自 LED 的非偏振光对于采用 DLP 技术是非常有效的，其不需要偏振化（不同于 LCD 和 LCoS 技术）。针对投影应用，LED 具有可忽略不计的相干性，因此产生的散斑问题微不足道。
- LED 是根据所需的彩色序列进行接通和关断的。它们不像弧光灯那样持续导通，因此不会浪费能量在给定时刻未被显示的彩色中产生光或热。
- 当“显示”黑屏时 LED 可以完全关断。这可产生理论上的无限对比度比。

当然，也存在一些难题：

- 采用 LED 的主要问题是将其输出有效地耦合至小光展量系统，比如 DLP 或任何微显示器。尽管 LED 本身通常很小，但它们发射至一个非常大的角度中（通常具有一种朗伯分布）。这增加了 LED 的光展量，并使得非常难以针对某一给定的系统采用多个 LED。采用一个小型 LED 并依靠它来收集一个很大的角度虽然具有高效率，但由于小晶片的电流密度限制未必能够产生所需的系统亮度。或者，也可以收集一个较小的角度并采用一颗较大的晶片，因而增加了输入功率但降低了收集输出，这可以产生较高的投影机亮度，不过效率下降。从下图中的 LED 收集曲线可见：朗伯输出的“尾部切断”可以利用较大的晶片提供较小的收集角 (collection angle)，并且不会导致效率大幅下降。在使用 LED 时需要进行许多的权衡折衷。

收集到立体角中的 LED 光通量 (流明)



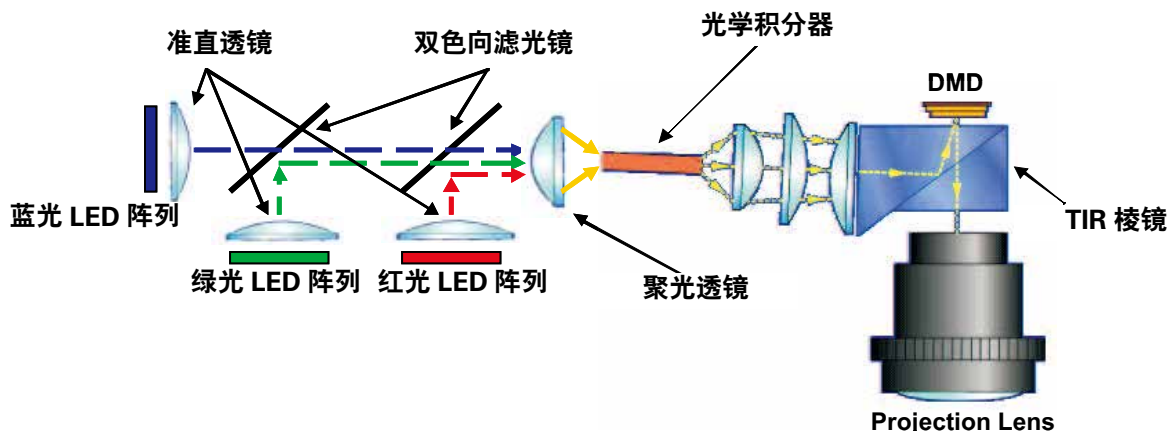
- LED 的运行方式会随着结温发生巨大的变化。视用于给定彩色的 LED 构造和类型的不同，特性是存在差异的。例如，红光 LED 的运行方式与绿光或蓝光 LED 存在着相当大的差异。这给实现或保持期望的白点提出了挑战。可能需要进行热特性分析和实际彩色输出监视。
- LED 通常可被归为不同的“性能小组”(performance bins)，即使在同一个小组之内性能规格的跨度也会非常大。针对您的产品需求，可供选择的“小组”越多，芯片的成本就将越低。不过，这会使得实现所需彩色平衡与输出的能力进一步复杂化。
- 视用于给定彩色的构造和材料的不同，LED 输出的衰减情况可能有所差异。这将在彩色之间产生不同的衰减速率，从而导致白点随着时间而移位，除非采用实际彩色监视并借助某种方法来校正相对输出。
- LED 的寿命与结温的热控制密切相关。
- LED 的主波长将由于温度效应而发生移位。

虽然对于采用 LED 的给定系统进行特性分析并不困难，但实现设计优化却是一项非常复杂的折衷研究。

5.1.1 采用 LED 的投影光学系统

采用 LED 的投影系统的典型布局示于下图。其所采用的投影机架构与基于灯的系统是相同的，唯一的差异就在于前者采用了不同的光源，而且没有色轮。在该场合中虽然采用的是平行光路 TIR 棱镜架构，但是显而易见：任何平行光路、非平行光路或场镜架构均可使用，因为该投影机从积分器到屏幕与基于灯的系统基本上是一样的。

还有很多排列与组合彩色的方式，例如：交叉立方体 (cross-cube) 或板分色镜 (plate dichroics)，一个或多个封装中的多彩色晶片（采用扇形或楔形分色组合器），以及由其他公司提供的一些专有的方法。有关这些选项的详情请联系 TI。具体采用哪种方法通常取决于尺寸限制条件、热管理和产品封装布局。

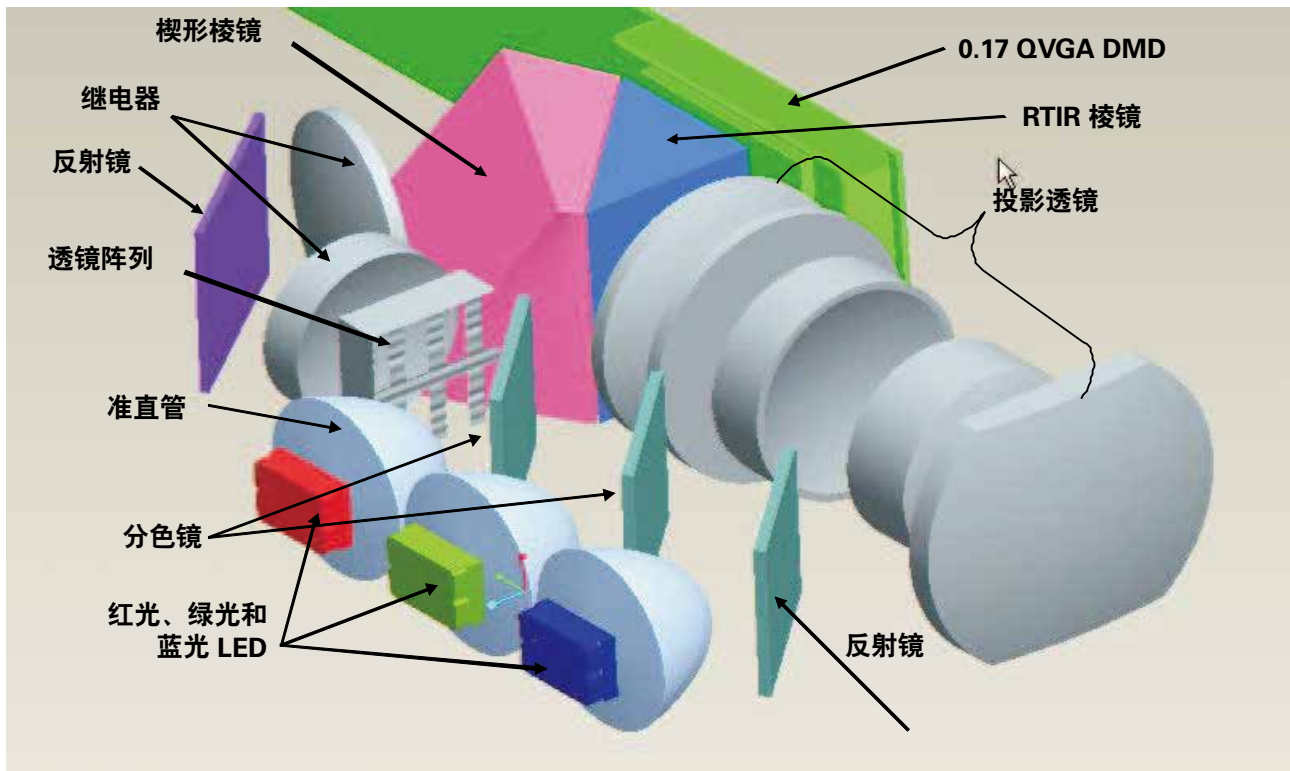


采用棒状或隧道积分器具有一些优势，即使对于 LED 投影机也不例外：

- LED 通常是正方形的，而 DMD 则一般为矩形。这会引起光展量的失配并导致效率损失。如果受限于正方形 LED 晶片，则这可通过在积分器的某个维度上使用一个锥体，并利用对应的收集角和 / 或变形焦距比数 ($f/\#$) 来有效地“延伸”光展量匹配。
- LED 系统的彩色均匀性比空间均匀性更难实现。采用棒状或隧道积分器能够改善彩色均匀性并提供一致的结果。
- 如果 LED 在未使用积分器的情况下直接映像至 DMD，则每种彩色都必须非常精确地对准 DMD 以实现优良的彩色均匀性、空间均匀性和效率。这将十分类似于三面板 LCD 系统的会聚，它是一个很困难的过程。通过将三个（或更多个）LED 整合到单个积分器中，只需要把此积分器对准 DMD 就可以完成上述任务。这类似于灯系统中的积分器对准方式，从而为该过程增添了一份熟悉度和简单性。

在有些场合中复眼透镜阵列积分器将是一种更好的选择：

- 复眼透镜阵列免除了聚光透镜，简化了替续柔性焦距透镜组，并大幅度地缩短了积分所需的路径。尽管其在性能方面存在某些局限性，但能够产生短得多的光学路径。对于那些需要尽量缩减尺寸的应用来说，虽然这会付出效率略有下降的代价，可仍不失为一种更好的选择。
- LED 输出被收集和校准以通过二向色滤光镜，而不会由于涂层上入射角的变化而大幅度地展开带宽。复眼透镜阵列最适合使用高准直光，因此如果校准精良，它将是一种不错的选择。下面给出了透镜阵列系统的示例布局。



复眼透镜阵列的潜在劣势为：

- 不能以光学畸变的方式来改造正方形 LED 晶片，因而有可能降低效率。
- 准直度必须很高，以实现高效的透镜阵列运作。这是因为进入阵列中每对小透镜中的第一个透镜的光线也应穿过小透镜对应对应的同轴透镜。如果准直度不佳，那么某些边缘光线将在通过第一个透镜之后偏离太多，反而斜向进入了第二个透镜周围的相邻离轴小透镜。这将在 DMD 上产生“重影”阵列图像，由这些偏斜光线构成的此类重像可在顶部、低部和每个侧面看到。这些光线不仅损失了光效率，而且还有可能照射位于 DMD 之中或周围的结构，从而在屏幕上产生不希望有的伪像。
- 当 DMD 面板对角线下降时，阵列中透镜的尺寸变小且焦距变短。这开始导致现有的制造技术必需做出相应的转变，目前的技术受限于透镜尺寸或透镜下垂 (lens sag) 要求。

5.2 激光光源

激光光源与 LED 光源唯一的共同点是能够产生非常大的色域。它们的相似之处极少而差异之处颇多。请查阅 2509927 号图例以了解有关 DLP 激光应用的更多讨论。这里列举出激光光源的某些潜在优势：

- 由于它们在本质上是非常小的点光源并射入相对较低的角域，因此激光光源的光展量通常非常小。从理论上说，这将使得非常小的 DMD 能够非常有效地耦合至激光器，从而大幅增加每颗晶圆所能加工出的裸片数量，并显著降低 DMD 的成本。在实践中，有些东西会对此造成不利的影响，稍后我们将做相关阐述。
- 激光光源的光展量远远小于 DMD，因此有更多用于在 DMD 上进行彩色组合的选项，这些选项未采用二向色滤光镜组合光学器件。
- 小型、高准直度光源导致能够使用具有非常高焦距比数 ($f/\#$) 的光学器件。这显著地减小了光学器件的尺寸，并且增加了焦点深度，这样常常可以免除聚焦调节，从而还简化了机械机构。这在系统的光学器件和机械结构方面都将产生巨大的成本节省，并显著缩减光学引擎的尺寸和体积。
- 与同等的 LED 相比，激光光源的光谱分布通常窄得多，这一点在有些应用(如生物医学、化学、通信等)中会很重。

对于激光光源的应用有许多潜在的挑战：

- 严重的监管和行政机构问题（对产品的上市形成了障碍）。消费者对于眼睛安全问题（感知的或真实的）的接受程度。
- 激光通常是偏振的。虽然对偏振光采用非偏振的 DLP 技术不会牺牲效率，但同时对于偏振技术（如 LCD 或 LCoS）也没有效率方面的竞争优势（这一点与采用非偏振 LED 不同）。
- 空间相干性（源于小的光展量）和时间相干性（由于窄波长光谱所致）均会引起严重的散斑问题（难以减轻至可接受的水平），并且会要求采取常常导致光展量和 / 或带宽急剧扩大的光学措施，从而使得激光的小光源光展量优势严重缩水。
- 用于高亮度投影的激光光源的能量密度水平可能需要从成本效益角度考虑完全无法接受的光学材料和工艺质量。
- 相比于激光光源，LED 的制造基地是非常之大的，因为除了投影应用之外，LED 还拥有十分庞大的竞争市场。激光光源通常是专为特定应用而设计制作的。因此，相对的规模经济和创新步伐有着很大的区别。一个可能的例外或许是激光打印机市场，因为它可适用于面向超微型投影 (pico projection) 应用的激光光源。
- 对于许多显示应用来说，窄的激光波长光谱会产生可能是“过度饱和的”彩色，不过通常可通过增加少量其他的激光基色来实施去饱和处理。这可以通过减小色域达到改善亮度的目的，但需要较高的激光光源占空比，这会成为一个热问题或功耗问题。

5.2 非成像或非投影应用

DMD 在投影应用之外还有许多用途。DMD 基本上就是一个数字控制的开关微镜阵列，其可用于以非常高的速度将光线控制或引导至一个可寻址图形 (addressable pattern) 中的两个方向之一。它有很多并非投射图像的应用。例如，光纤交换网络中的光开关与引导、光纤网络中的信号电平测量 (signal leveling)、面向生物医学或机器视觉或光刻应用的光束操控与成像等等，不一而足。我们再来看看图 1，不过想象一下，如果沿着图示的“On 状态能量”路径将一个脉冲激光束插入 DMD 会怎么样。该光束随后将被引入两个方向之一（偏离光束的入射方向 $\pm 24^\circ$ ），并能以非常高的速率与激光器的脉冲重复率同步完成，而且，输出光束可以非常高的速度在整个阵列上以不同的方式引入这两个方向。当您把 DMD 视作一个数字开关阵列而不是微显示器件时，就能够设想出许多新的光处理应用。

重要声明

德州仪器(TI)及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准,对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改,并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息,并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内,且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定,否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险,客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息,不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可,或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分,仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时,如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分,则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权,且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意,尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供,但他们将独立负责满足与其产品及其在其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意,他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识,可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中,为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此,此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备)的授权许可,除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意,对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用,其风险由客户单独承担,并且由客户独立负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品,这些产品主要用于汽车。在任何情况下,因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio 通信与电信 www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers 计算机及周边 www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters 消费电子 www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com 能源 www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp 工业应用 www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers 医疗电子 www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface 安防应用 www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic 汽车电子 www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power 视频和影像 www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP应用处理器	www.ti.com/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity 德州仪器在线技术支持社区 www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2014 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接版权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独自负责满足与其产品及其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独自负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated