

# 如何预测自己的设备能否看到某深空天体

Dingye 2017

前一阵子想研究一下目视方面一些基础的理论问题，就上 Cloudynight 上发帖，承蒙几位大神的指教，并与目视群里同杭州刀锋等同好进行了讨论，学习到了很多知识，受益匪浅，所以想系统介绍一下关于目视预测方面的知识，由一些有意思的话题着手，串联起来，会涉及到人眼的视觉特性，旨在最终探讨目视观测者都会感兴趣的问题：我的装备在某个观测地，能看到某某天体吗？甚至可以在你选购或升级设备的时候，能够大致量化设备会有什么效果或带来的提升程度。

## 目镜里的天空其实未曾变暗

用过天文望远镜的朋友，大概都会注意到一个现象，那就是随着倍率的增加，晚上会明显感到目镜里面的天空亮度被“压暗”了。这是怎么回事呢？

可以先做个试验，用你的望远镜白天对准天空，换用不同的目镜，如果你的望远镜属于短焦类型的，比如说 F/5，因为现在市场上目镜选择范围的关系，你会很容易得到各种不同的出瞳直径。我手里有个 80400，分别使用了 50 mm、30 mm、20 mm 和 4 mm 目镜，那么我得到的出瞳直径分别为 10 mm、6 mm、4 mm 和 0.8 mm。我发现天空在 50 mm、30 mm 和 20 mm 目镜里的亮度是一致的，基本上跟直接看天空的亮度一样，而在 4 mm 目镜中则暗了很多。

我们觉得天空变暗的原因其实是：望远镜加目镜这个光学系统的出瞳直径要小于我们瞳孔的直径，我们可以这样去理解，就是说目镜端出瞳直径的光“散布”到了整个瞳孔里，所以如果目镜端出瞳直径小于人眼的实际瞳孔直径的时候，就相当于光被“稀释”了，所以就变暗了。而如果目镜端出瞳直径大于或等于我们的瞳孔直径，因为光没被“稀释”，所以你感受的亮度是一致的。白天我们的瞳孔直径比较小，肯定不会大于 4 mm，所以在出瞳直径大于或等于 4 mm 的情况下，天空不会变暗。而如果你在晚上做这个实验，结果就会不同，你用 30 mm 和 20 mm 目镜，也会感到天空变暗，这是因为人眼在晚上的时候，瞳孔直径比较大的缘故。

实际上，目镜中天空的实际表面亮度，包括在 4 mm 目镜中的，其实一直都没变，都大致（之所以说是大致，是因为光学系统都有光通损失，不会透过 100% 的光。）等于裸眼观察天空的表面亮度。这种说法可能会比较反直觉，因为人们一直觉得眼见为实，既然看到了天空变暗，天空的亮度怎么会不变呢？

我们可以用理科化的语言来解释这个问题。你看，天空亮度，也就是天空表面亮度，单位是星等/平方弧秒，它是一种类似密度的光密度单位。我们从目镜里看天空，相当于测量光密度。密度这种东西，跟你测量多少是没有关系的，你测一杯水也好，测一吨水也罢，水的密度都是 1，所以目镜中的天空表面亮度其实是不变的，变暗是一种视觉现象而已。我个人很喜欢这个解释，因为很简明。

如果你还坚持认为目镜中的天空表面亮度实际的确变暗了，那么你必须做出解释，为什么白天的时候，天空在 50 mm、30 mm 和 20 mm 目镜里没有变暗？另外，还需要解释，为什么到了晚上，天空在 30 mm 和 20 mm 目镜里会变暗？我想，这种不一致的现象很明白的告诉我们，目镜中天空变暗只是一种视觉假象而已。

## 主观亮度的计算

那么，在目镜后面，我们主观感受到的天空表面亮度到底是多少呢？有人可能说了，管它的呢。其实这个定量还是很重要的，后面牵扯到理解和计算深空天体能否观测到的问题，主观表面亮度的计算是个基础。

因为感觉天空表面亮度有变化，是由于目镜端出瞳直径小于瞳孔直径，光“散布”到了整个瞳孔里引起的。所以，我们可以推导出在目镜端出瞳直径大于或等于瞳孔直径的情况下，主观表面亮度是保持不变的。而目镜端出瞳直径小于瞳孔直径的情况下，主观表面亮度应该跟目镜端出瞳直径

的平方成正比，跟人瞳孔直径的平方成反比，主观表面亮度应为：

$$PSB = SB / (D1/D2)^2$$

其中，SB 为实际表面亮度，PSB 为人眼感受到的表面亮度，D2 为目镜端出瞳直径，D1 为人的瞳孔直径。理想来说，人在黑暗中瞳孔直径为 7 mm，实际上年纪大了，瞳孔就没那么大了，可能 6.5，也可能 6，这个有可能的话，可以自己测一测。

好了，有了推导出来的公式，我们就可以设计个试验来验证一下。我们可以利用手头目镜和窄带滤镜的特性，来验证这个公式是否靠谱。我有个 8 寸 F/10 施卡，加上天顶之后，由于施卡的主镜移动会改变焦比，所以等效焦比大约为 10.5。使用 50 mm 目镜的话，出瞳直径为 4.76。我还有个 2 寸的 OIII 滤镜，自己测过光通率，为 7.59%。所以，加上 OIII 滤镜后， $4.76^2 \times 7.59\%$ ，再开平方，等于 1.31，即 50 mm 目镜加 2 寸 OIII 滤镜，等效于出瞳直径为 1.31 mm 目镜的表面亮度。而我的 13 mm 目镜，出瞳直径则为 1.24 mm。我还有 30 mm 目镜和 2 寸 UHC-E 滤镜（光通率 15.85%）， $(30/10.5)^2 \times 15.85\%$ ，再开平方，等于 1.14，即 30 mm 目镜加 2 寸 UHC-E 滤镜，等效于出瞳直径为 1.14 mm 目镜的表面亮度。所以这三个组合，表面亮度差不多，但是稍有差别，对应关系为：

$$50\text{mm} + \text{OIII} > 13\text{mm} > 30\text{mm} + \text{UHC-E}$$

我在某个夜晚试了一下，的确如此，亮度关系很符合。当然，你也可以根据手中的目镜和滤镜组合，进行一下验证。

另外，说一下怎么测手里滤镜的光通率。我是用 SQM-L 进行测量的。SQM-L 是天空亮度计，现在这个在欧美爱好者中很流行，向着天空按个钮，它立刻能相对准确的告诉你天空的表面亮度，单位是星等/平方弧秒。因为与极限星等相比（不同的观测者给出的同时同地的极限星等，可能相差非常大，比方说 5.8 VS 6.3，所以极限星等太主观），这个更客观更准确，所以现在这个基本成为一个新标准了，专业的天文台选址获取天空亮度数据也是用的这个东西。我先用 SQM-L 直接量一下天空，再把滤镜放到小镜头的前面，再量一下，根据两个数值的差，就可以算出滤镜的光通率了。

## 我们能看到比天空背景还暗的深空天体吗

这个问题听起来怪傻的，怎么会呢？是啊，以前我根本就没仔细想过这个问题，我直觉地认为，肯定是天体要比天空背景亮才行啊，否则怎么能看到呢？后来，我看到了这个城市梅西耶观测指南：

<https://tonyflanders.wordpress.com/urbansuburban-messier-project/>

先介绍一下这个观测指南。这是一个非常棒的城市/郊区 M 天体观测指南，编者分别用 70 和 178 口径望远镜，在城市和郊区对于 M 天体进行了观测，并进行了记录。每个天体都有详细的描述，其中的总表：

<https://tonyflanders.wordpress.com/messier-guide-index-by-number/>

S178 中的 S 是指 Suburban，就是说在郊区环境下，178 mm 口径望远镜下，表现如何。S70 是指在郊区环境下，70 mm 口径望远镜下，表现如何。U178 中的 U 是指 Urban，就是说在城市环境下，178 mm 口径望远镜下，表现如何。U70 是指在城市环境下，70 mm 口径望远镜下，表现如何。S178、S70、U178、U70 里面的数值和字母的含义：

- 1 十分容易看到，对于初学者也是轻而易举
  - 2 简单，对于有经验的观察者显而易见
  - 3 一般化，得好好看看
  - 4 有难度，需要知道要看视场的哪里才行
  - 5 十分难，几乎看不到
- A 壮观 B 漂亮或不寻常 C 不太壮观但是有趣 D 看见而已，没啥好看的

TYPE CON RA DEC MAG SIZE 没啥好说的。PBRT 和 SBRT 很关键！就是峰值表面亮度和平均表面亮度，可以说，前者决定是否能看到的问题。

本来，我想当然地以为峰值表面亮度，也就是天体最亮的部分如果亮于天空表面亮度，天体就能看到，否则不行。结果一看数据，就发现问题了。

什么问题呢，这先得说说天空表面亮度。就像是前面所说的，由于 SQM、SQM-L 天空亮度计的出现，现在流行用星等/平方弧秒来表示天空表面亮度。一般大城市呢，以我家为例吧，青岛的市中心，天比较通透的时候，天才黑，比方说八九点的时候，45 度大约是 16.5，天顶能到 17，因为这个单位是星等/平方弧秒，所以数字越大，表示天空越暗。而透明度极好的凌晨，由于后半夜不少灯会关掉，所以天能暗很多，我家最好的记录是 18.4，约合极限星等 4.3。一般 20 左右就能看到银河了，当然这样天空下的银河不是很亮，比较淡而已。21 以上呢，就算不错了，而如果到了 22 呢，那就是完全无光害的地方了。

仔细看一下那个总表，你会发现，某些天体最亮的部分也比想象中的暗不少。像著名的 M33 峰值是 20.1，当然 M33 也是出了名的坑爹货，星等看起来很亮，其实对于环境要求很高。M74 峰值表面亮度为 20.5，M97 为 21.1，M109 为 20.4，这些在这个指南里都属于在城市里能看到的（用 178 口径）。暗于 20 等的天空，无论如何也不能说是“城市”。我的第一反应是这个指南有问题。怎么能看到比天空还暗很多的天体呢？

然而，仔细一考虑，不对，为什么就一定看不到比天空表面亮度还暗的天体呢？要知道，大气是透明的！透明的！透明的！重要的事情说三遍。因为大气是透明的，即便天体暗于天空背景亮度，天体的光还是会进入观测者的眼中。当然，天空背景的光线也会进入观测者的眼中。假设天空和天体亮度都是完全均匀的，天空表面亮度是 18（星等/平方弧秒），天体表面亮度是 19，那么天体的表面亮度为天空表面亮度的 40%（差一个星等差 2.5 倍），因为天空和天体的光同时进入观测者眼中，天体这部分天空的亮度为 140%，其余部分为 100%，人眼说到底是在看两个东西，一是大小，二是对比度，这个在以后视觉特性的相关部分再展开说。大小一定的话，那么这个天体能否看到，就看 140% VS 100% 这个对比度，人的大脑能否识别，能识别就能看到喽。

到 Cloudynights 上发帖一求证，好嘛，真是孤陋寡闻了，何止是暗一等，那些玩大 Dob 的说，一般都看表面亮度数值，一般经验是，在黑暗地点，暗三等为临界，也就是说 22 的无光害天空，临界表面亮度值大约为 25 星等/平方弧秒，亮于 25 的就可能有戏。当然，这个表面亮度指的是平均表面亮度，平均表面亮度通常会低估天体的可见性，这个以后再展开。而在天空比较亮的情况下，比方说城市里，人眼对于对比度其实更敏感，所以暗四等的都有可能看到滴。

所以，结论是没问题的，**我们肯定能看到比天空背景还要暗的天体！**

## 星点和视面天体不一样

现在已经慢慢涉及到了天体能否看到这个问题了。我们先来谈一个问题，那就是，星点跟视面天体是不一样的。什么是视面天体呢，就是有视面的天体，深空天体除了疏散星团，大体都可以算是视面天体（如果球状星团未被分解的话）。哪里不一样呢？星点嘛，只要他还是一个点光源，在人眼里就没有面积可言。而视面天体是有面积的面光源。你用望远镜呢，集光力是随口径增大的，对于点光源而言，只要还是个点，就不用考虑面积，所以星点在大口径望远镜里，会更亮，而对于面光源的视面天体，聚集了更多光的同时，在望远镜里的视面也是同时增大的，表面亮度是要除以视面积的，所以视面天体的表面亮度就像是水的密度一样，实际是保持不变的。如果这么说不是很好理解，那么试试下面这个：

你可以找个 LED 手电，前面绑上铝箔，铝箔上用针扎个细眼——就是做个人工星点呗。如果你有成品的人工星点就更省事了，直接用就可以了。把人工星点靠墙放在桌子上，旁边立起来放上一个天体的相片，比如说 M42 吧。你离远点看，走到你刚刚能看到星点的位置上，比方说六米吧。好，现在往前走，靠近一下，比方说三米，人工星点还是点，星点是不是变亮了？旁边的 M42 呢？变大了吧，可是，变亮了吗？没有吧。再走进，两米，星点更亮了，M42 更大了，可是 M42 变亮了吗？没有，亮度还是一样。

想象一下，你乘坐艘宇宙飞船，一颗恒星距地球 700 光年，你飞到了距这个恒星 70 光年的地方观察它，它会比在地球上看到亮十倍。如果是一个星云的话，它会大十倍，但是表面亮度还是那样。你用望远镜跟乘坐宇宙飞船效果是一样的，放大 10 倍，就相当于从距离 700 光年的地方，跑到了距离 70 光年的地方。

所以，对于视面天体，无论口径多大，望远镜并不会提升它的表面亮度，只会将它放大而已。

认识到这一点很有必要，因为很多人都认为，星云在大口径里更“亮”。其实不是的，实际没有变“亮”，你感觉变“亮”了，那是因为星云变大了，变大了你会产生变“亮”的错觉，这是跟人眼的视觉特性有关的，因为视觉敏感度跟物体在视野里的大小相关的。或者可以这样理解，你感觉“亮”，是因为虽然表面亮度不变，但是因为视面积大了，所以人眼感受的“总光量”变大了，从而大脑处理起来会认为天体“亮”了。

前面这些，看似是闲的无聊而瞎想的问题，其实都是基础。只有把这些问题搞清楚了，后面才能真正地去计算天体是否可见的问题。下面就进入视觉特性的部分。

## 视觉特性杂项

经过亿万年的进化，人类的视觉具有超凡的特性。人眼的动态范围是很强大的，从白天强烈的日光条件下，到无光污染天空下望远镜目镜后的暗弱成像，亮度变化十分大，人眼的动态范围可能超过一千万比一。从光学角度上来讲，人眼是种挺烂的光学器材。牛的是人眼背后的大脑，人类视觉最厉害的是脑补能力，以前读过一本书叫 *On Intelligence*，讲的是大脑，特别是新大脑皮层的运作模式，其实无论是视觉、听觉还是嗅觉，所有感觉的处理模式都是大致一样的，这也是为什么盲人的听觉会特别发达，因为处理方式是一样的，所以处理视觉的部分经过调整，也可以用来处理听觉。

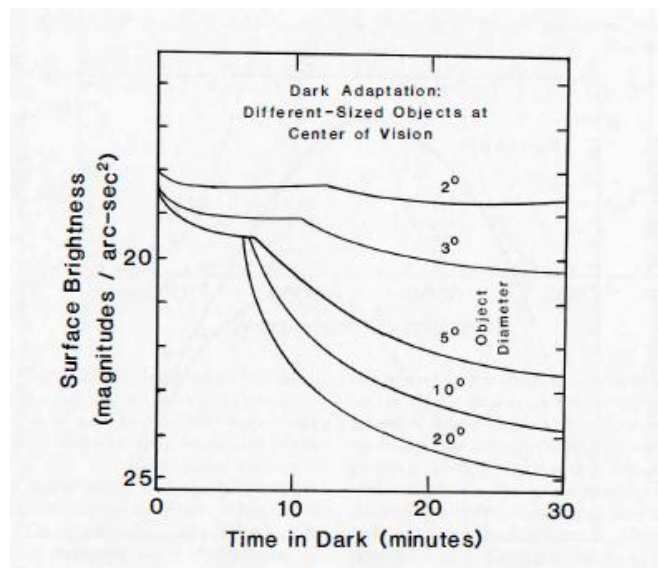
器官收集来的信号，都是随时间变化的，这一点在听觉上是最明显的，比方说听音乐，你听到随着节奏而变化的音符。然后大脑会不断分级来寻找变化的模式，由音符再旋律再整个一首歌，然后形成记忆，当再次听到这首歌时，大脑就会预测下面会听到什么旋律，会听到什么音符，然后再与实际听到的音符和旋律进行对比，如果跑调了，你立刻就能听出来。简单来说就是这样的过程：

随时间变化的信号——分级抽象出模式——记忆——预测——比对模式

你可能觉得，我们看天文上目视不一样啊，我们是在看静止的图像，不随时间变化。实际上，物体在视网膜上成的图像**总是在**不断变化的，首先，你就不可能真的保持静止，即便你完全静止，你的眼球也是在时刻不停转动的，而这种转动的目的，其实就是要获得随时间而变化的信号以便大脑处理。你觉得图像静止，那不过是经过大脑抽象之后，得出的结果。你手里拿个杯子，不断轻微摇头，视网膜上的成像肯定是变化的吧，而那个杯子是不是静止的呢？你无论是到卢浮宫去看蒙娜丽莎，还是在电脑上看蒙娜丽莎的图片，抑或是把它打印出来欣赏，你看到的图像无论是亮度、色彩还是对比度，差别是很大的，而你都可以一眼认出来这是蒙娜丽莎。你把蒙娜丽莎的脸挡上一半，你还是能够认出来，并且脑补另一半。这就是抽象模式、记忆预测这套大脑处理模式的力量。因为大脑是通过记忆预测机制工作的，所以我们会遇到视觉错觉，本质上来说，视觉错觉就是预测的事情实际没有发生的结果。

由于这种机制的存在，跟很多人认为的相反，人的视觉其实也是有一定的累积作用的，特别是在昏暗条件下更是如此，对于暗弱天体，需要至少六秒才能识别。更重要的是对于黑暗的适应程度，具体关系可以见下图：

从图上可以看出，在黑暗环境下，人需要至少 30 分钟才能完全适应，而对于 5 度以上比较大的物体，大概在七八分钟以后，识别能力会有非常大的提升。所以，如果你是要仔细观察天体细节而不是走马观花地看一下的话，就要耐心等待，至少要观察十五分钟以上才能看出较多的细节。国外有些天体素描的高手经常会用一两个小时来仔细观察一个天体。长时间的观察，如果总是处于紧张状态就会影响效果。所以，单眼观察，一个简单的眼罩带来的提升有可能是巨大的。而双目的优势之一也是能够让人更舒适的观测。

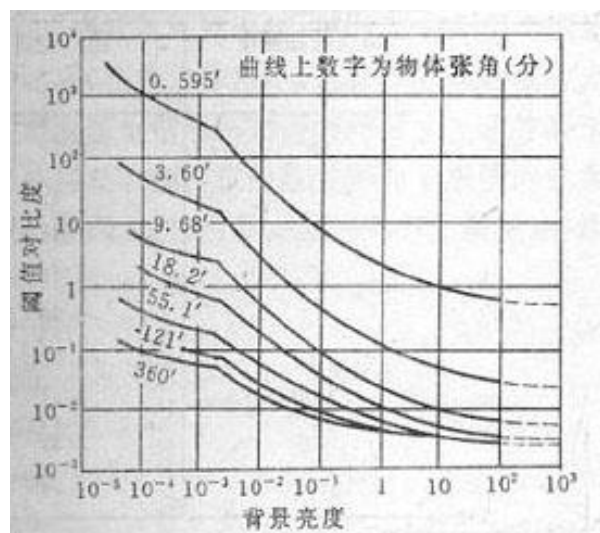


我以为，正因为人脑实际处理的是随时间而变化的信号，所以，变化快速的图像，更容易被识别。因此，以一定的慢速轻微移动望远镜，可令一些不明显的目标“跳”出来。另外，滤镜有一种使用技巧叫“Blinking”，我译为“闪移法”，很简单，就是把本来拧到目镜接口或天顶的滤镜拿到手中，快速在眼前和目镜之间移入移出，图像会像动画一样快速变化，令星云更容易看到。如果有滤镜轮，连续快速切换应该有类似的效果。

就像一般天文爱好者都知道的那样，椎状细胞和杆状细胞的特性不同，所以就不详述了。环境光弱的时候，椎状细胞不工作，因此人在黑暗情况下会基本丧失色彩识别能力，除了极少数十分明亮的天体之外，一般深空天体是看不到颜色的。由于杆状细胞主要分布于视网膜中心的周边，而不是视网膜中心，所以，深空观测时，大家会发现侧视法很好用，即观测点偏离物体往往能够更好地进行观察。

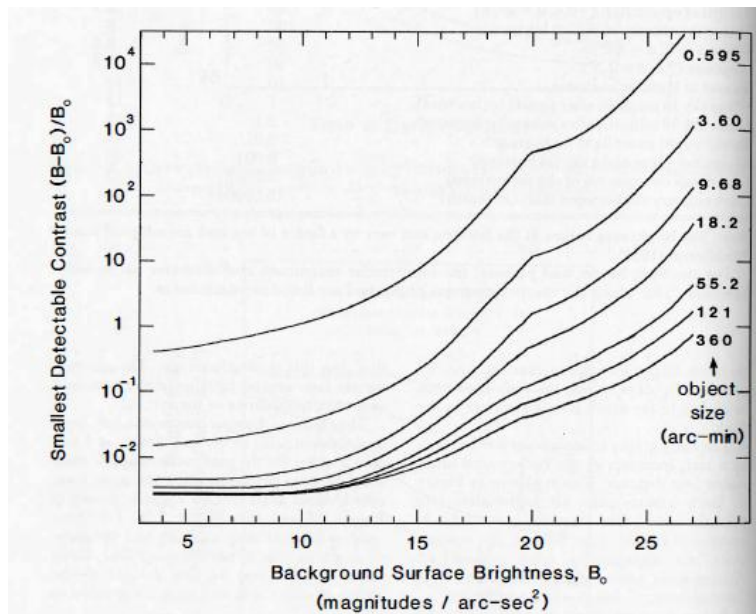
## 暗视觉核心特性

谈到暗视觉最重要的特性，就一定要提 Blackwell 1946 年关于士兵夜间视觉的研究（战争果然是推动科学进步的一大动力啊）：



这项研究表明，视觉最重要的因素是物体对比度、背景亮度以及物体的大小。人看东西，是否能看见，看的是对比度、亮度和背景亮度的综合情况，即便东西很亮，如果对比度很低的话，一样是无法识别的。比方说，白炽灯上的字，白天关上灯，你能很清楚的看到，开开灯就没法看到。开灯之后亮度是升高的，但是因为对比度降低的太多，所以你就看不到了。上面的图，改变一下单位，就变成了这个样子（以下本部分各图来自 Clark 的 *Visual Astronomy of the Deep Sky*）：





图中  $B_0$  是背景亮度，也就是天光亮度。无光害污染的情况下，数值大约为 22，想对于数值有个大体概念的话，可以参见英文版维基百科里的波特尔天空分类法里的 Approx. SQM

mag/arcsec<sup>2</sup>: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bortle\\_scale](https://en.wikipedia.org/wiki/Bortle_scale)

如果使用望远镜，由于光学系统的出瞳直径小于黑暗环境下的瞳孔直径，会带来亮度变暗的感觉，在这种情况下，就要按照前面所述“主观亮度的计算”来进行处理，注意，天空表面亮度和天体表面亮度是同时变暗的。

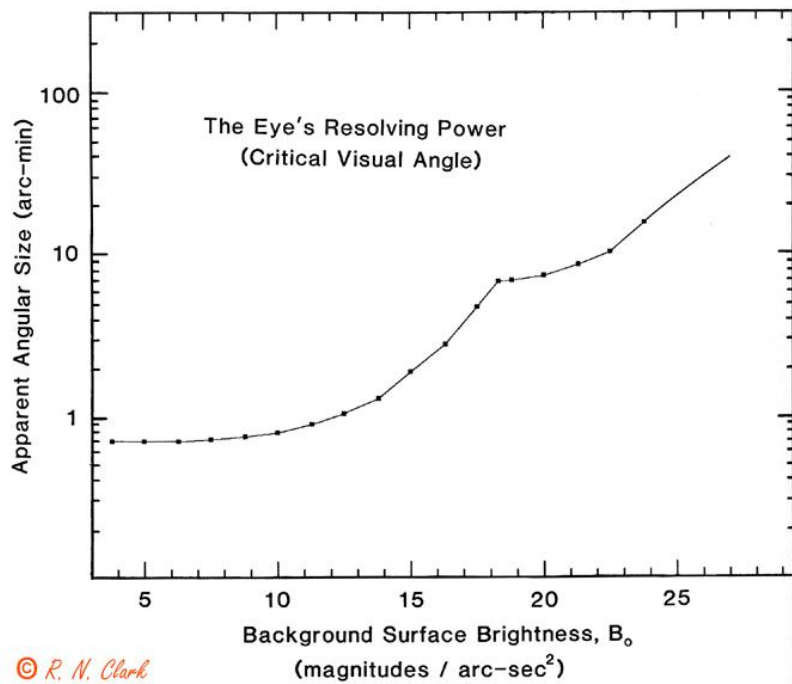
对比度最小值即对比度阈值， $(B - B_0)/B_0$  其中的  $B$ ，并不是天体表面亮度，而是天体表面亮度加上天空表面亮度之和（具体参见前面的部分“我们能看到比天空背景还暗的深空天体吗”），所以，如果设天体表面亮度为  $B_1$ ，则对比度阈值即为  $(B_0 + B_1 - B_0)/B_0 = B_1/B_0$ ，即为天体表面亮度与天空表面亮度的比值。

我们经常听到有同好说，应该高倍观测深空天体而不是一味使用低倍，因为高倍会压暗天空背景，会增加对比度，从而使深空天体凸显出来。用合适的高倍这点对，但是这种解释是有问题的。从上面的计算中，我们不难发现，用高倍时，天空在眼里确实是变暗了，但是天体也会同样变暗，并且变暗的倍数一样。因此，对比度  $B_1/B_0$  实际是保持不变的。合适的高倍之所以容易令天体更容易看到，其原因是天体成像变大了，对于更大的物体，人的视觉反应更好（特征曲线在下方，对比度阈值要求更低）。至于倍率的选择问题，下面会提到。

## 分辨力和最佳视张角

人类视觉的分辨力是有极限的，如果物体太小的话，即便很亮对比度很高，人也无法识别。而人眼的分辨力在低亮度的情况下会大幅降低，关系如下图：

所谓的 Critical visual angle 是指，视张角小于等于这个角度的物体，会被看作是一个点，无法看到任何的内部细节。这里的视张角指的是在目镜里的成像大小，就是说，如果放大了 10 倍，那么 1 角分的天体，其视张角就是 10 角分。关于人类视觉的分辨力问题，有研究表明其极限为 0.59 角分。通常我们还说人眼的分辨力为 1 角分，但从上图可以看出，无论是 0.59 角分，还是 1 角分，都是需要在明亮的情况下才能达到。而在典型的天文观测环境下，天光背景亮度为 18-22 mpsas（星等/平方角秒），这样的条件下，视觉分辨力会降到 8-10 角分左右，在 22 mpsas（无光污染天空）下，约为 10 角分。这也是为什么开阳双星在古代会被用来衡量士兵的视力好坏，因为开阳跟辅之间的角距为 11.8 角分，恰好在极限分辨率的附近。如果在无光污染的天空下，使用望远镜，目镜后人眼的主观亮度可能会进一步降低，如果低至 25 mpsas 的话，分辨力会降至 20 角分乃至更差。

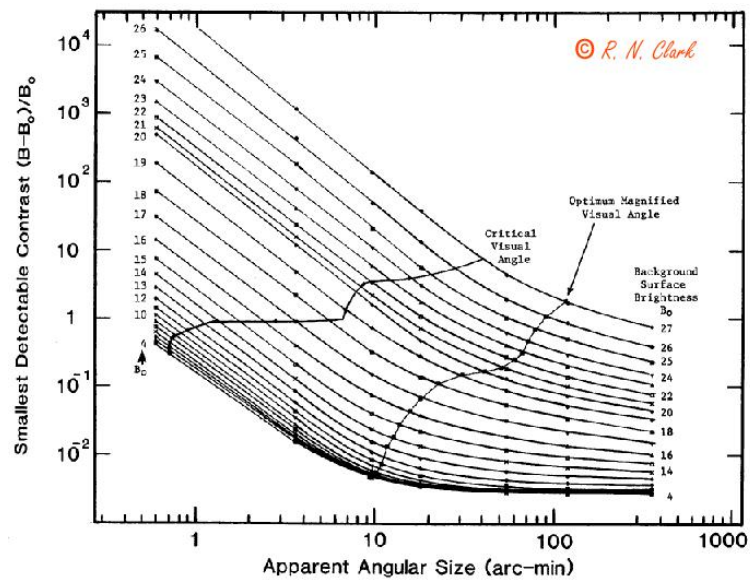


这张图可以用来计算双星分解问题，即在某种观测环境下，用某种望远镜和目镜组合，能否分解某双星。其实，双星没那么麻烦，有个经验公式，用 750 除以分离角（角秒），就是大致的最佳倍率（不是需要的最小倍率）。所谓最佳倍率，就是比较合适，不会太小，看起来费劲，也不会太大，丢失了双星的韵味。例如，开阳分离角 11 度 49 秒，就是 709 角秒，1 到 2 倍就很好，肉眼直接看，或者眼神不好，就拿个 2 倍的星座镜看也不错。参宿七分离角 9.3，用 80 倍左右看就挺好的。因为双星相对简单，这个经验公式屡试不爽，当然像天狼那样亮度差距过大的就不好使了。

前面提到，使用望远镜，天空表面亮度和天体表面亮度是同时变暗的，变暗的倍率是相同的，所以对比度是保持不变的。而由于成像变大了，所以天体更容易识别出来。其实这个问题只是说了一半，还有另一半。随着倍率的增加，目镜中的背景亮度是不断变暗的，从视觉特性的那张图上可以看出，背景亮度变暗，需要的对比度阈值是上升的。倍率上升，成像变大使对比度阈值降低，而同时背景变暗，又使对比度阈值上升，就看到到底是哪种因素成为主导了。一般说来，一开始是背景足够亮的，所以成像变大这个因素占主导，而到了某个倍率之后，背景变暗的因素成为主导，看下面这张图：

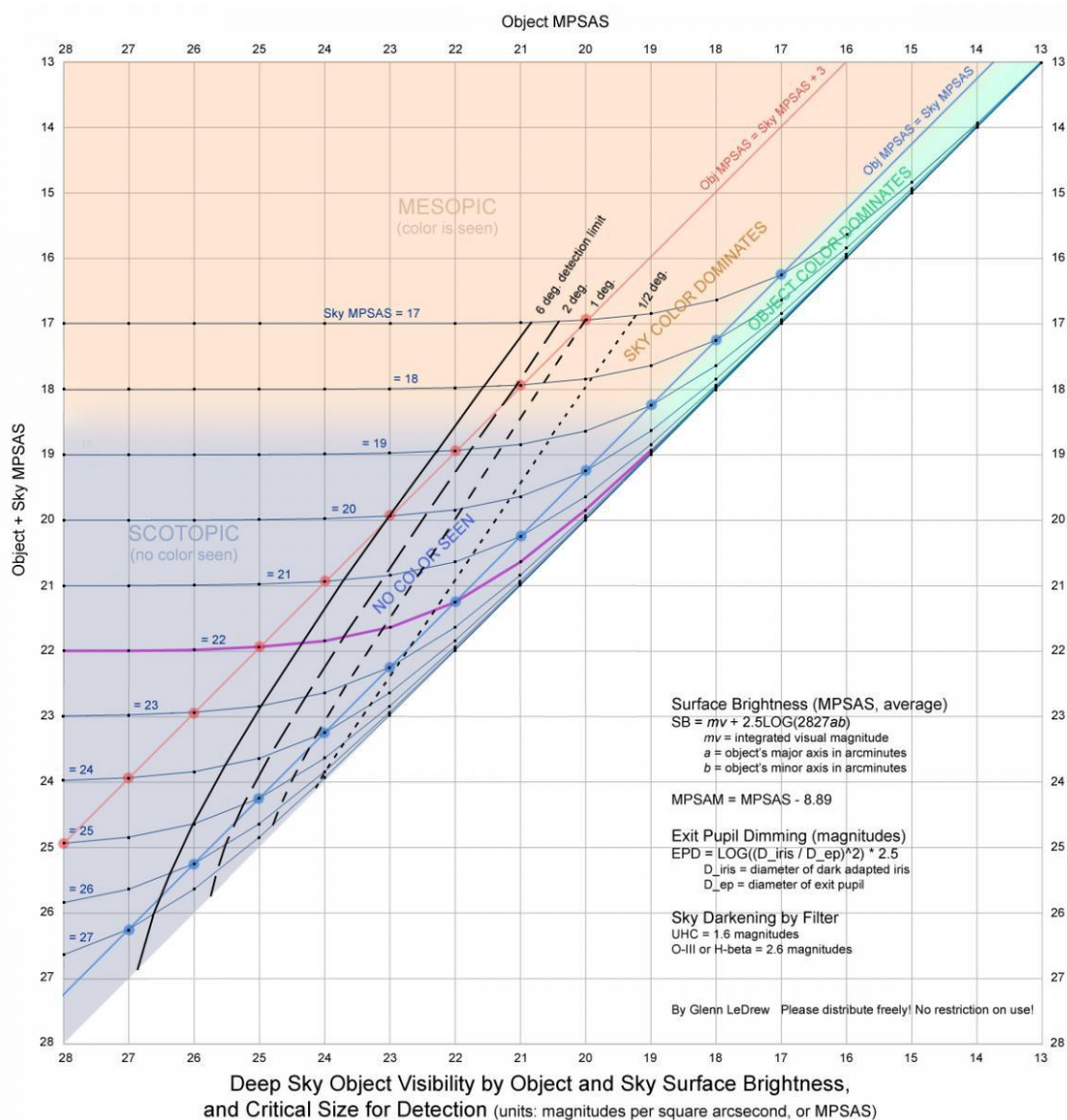
图中各条线代表的是不同天空背景表面亮度下，对比度阈值和表面张角大小之间的关系。Critical visual angle 代表的是分辨力极限，如果天体视张角小于这个角度，则天体就会被看作是一个星点。而如果视张角大于这个角度，随着视张角的不断变大，细节不断增多，直至视张角达到了 Optimum Magnified Visual Angle (OMVA) 为止，再增大就不合算了。

如果你望远镜和目镜的组合定了，比方说 80 口径，11 倍左右吧，出瞳大约是 7mm，天光亮度你知道了，是 18 mpsas，假设你的瞳孔直径也是 7mm，你可以计算出目镜中的天空背景亮度，也是 18，这样你就可以从图上找到对应的特征曲线，找到它与 OMVA 曲线的交点，这时候你可以查出这个点的两个坐标，即表面张角大约为 23 角分，对比度大约为 0.1，由此可以得出，目前大小大约为 2 角分，表面亮度大约为 20.5 的天体，正处于最佳观测状态，并且是临界状态，表面亮度大于 20.5 的，同时大小大于 2 角分的天体，你肯定能看到，然后你可以从 Astroplanner 里面查到有没有相应的天体。



这个图表不是特方便，刻度也做得不是太好，查起来不准确。下面我们还会看到实用性更强的图表。

## 实用天体可视性图表





本图表是 Cloudynights 上的 Glenn LeDrew 制作的，目前看起来是比较实用的天体（视面天体）可见性图表了。这个图表其实也是从 Blackwell 1946 年的研究中推演出来的。所谓可见性指的就是，在目前观测状态和设备组合下，天体能否被识别出来。图表的横轴是天体表面亮度，纵轴是天体+天空表面亮度之和，也就是我们眼中看到的天体亮度。由于对于表面亮度为 27 及更暗的图像，视觉杂讯过强乃至无法识别，所以图上的坐标最多也就到 28。

图上有几种线，说明一下。第一种是天光亮度的曲线，从最下面的 27 直到最上面的 17，走势差不多，从左到右，开始基本上是水平，因为位于横坐标的天体亮度低，所以“天体+天空”也不会变亮很多。随着天体亮度的升高，曲线开始向上抬升变陡峭。其中 22 的天光亮度曲线用紫色醒目标出，代表着无光害观测地的曲线。为什么会有暗于 22 的呢？因为目镜内的主观天空亮度会变暗嘛。

第二种是视张角阈值曲线，分别为半度、一度、二度和六度的曲线。我们会发现，天空亮时，半度与一度之间的距离大于一度和两度之间的距离，而一度和两度之间的距离与两度和六度之间的距离相当，可是别忘了，六度比两度大了三倍。据 Glenn 说，二十度的曲线与六度离的更近，可能因为这样他直接就没画。我认为，曲线距离代表的就是由于放大倍数而获得的增益程度，离的近就表明不“划算”。由此，我们可以看出，在天空亮的时候，对于极限情况下识别深空天体来说，可能视张角半度到一度为“甜区”，当天空逐渐变暗时，随着一度和两度之间距离与半度和一度之间距离不断接近，“甜区”会扩大为半度到两度之间，看样子视张角还是不要超过六度为好。这与前面 Clark 的 OMVA 曲线倒是有些符合，根据那个曲线，在天空亮度为 19-27 之间，最佳视张角约为 30 分到 100 分左右之间。

一般使用时，主要是看天空亮度曲线和视张角阈值曲线。例如，大体估算天体的可见性，望远镜目镜定下来，天空主观亮度和天体主观亮度可以求出，天体视张角可以根据倍数算出。然后就可以：一，用天空亮度曲线（不是整数的话，大概在两个整数线之间画一条，比方说，21.5 就在 21 和 22 的曲线按照走向之间画一条）找到与天体亮度竖线相交的点。然后看该点位于哪条视张角阈值曲线（或之间），就可以估算出大概所需的视张角阈值，如果天体实际视张角大于该阈值，则表示能看到。二，用天空亮度曲线找到与视张角阈值曲线（即假设天体正好处于阈值，天体视张角等于阈值，如果曲线不是整数，可大体画出）相交的点，向上找到天体亮度的坐标值，这个值就是天体亮度阈值，如果天体实际亮度亮于该阈值，则表示能看到。具体使用哪种方式，就看具体数值，看用哪种更方便。举例来说，如果算出天体主观亮度正好是 23，那就不用第一种方法方便，如果天体视张角正好是一度，那就不用第二种方法。

另有两条直线，一条蓝线代表天体亮度与天空亮度相等，其交点用蓝色标出。另一条红线代表天体亮度比天空亮度暗三等，其交点用红色标出。比天空亮度暗三等，是经验上的极限天体亮度阈值。还有颜色问题，绿色背景部分，就代表天体的颜色可能被识别，可以看出只有亮于 18-19 MPSAS 的天体才能看到颜色。浅粉色部分代表视觉上有颜色，但是由于天空太亮，天空的颜色占了主导地位。浅蓝色背景部分代表看不到颜色的情况。

由于“天体+天空表面亮度”不可能小于天体表面亮度，所以下半部分的大三角部分是空白的。里面放上了一些用到的公式：

1、 $SB = mv + 2.5\log(2827ab)$  – 天体的表面亮度估算公式。天体表面亮度在 Astroplanner 里可以查到。Astroplanner 还可以按照天体大小和表面亮度范围进行查询，功能很强大。对于没有表面亮度数据的呢，可以用这个公式进行估算。该公式是把天体假设为椭圆形（估算而已嘛）。视星等  $mv$  可以想象成将天体攥成了一点小星点之后天体的亮度。所以，算上面积的因素就可以得到表面亮度。 $a$  是天体的长轴直径， $b$  是天体的短轴直径，单位都是角分，一般天体的大小都是几乘几那种，把这两个数一乘，再乘以 2827，取对数，对数值乘 2.5，再与视星等相加就得到表面亮度了。

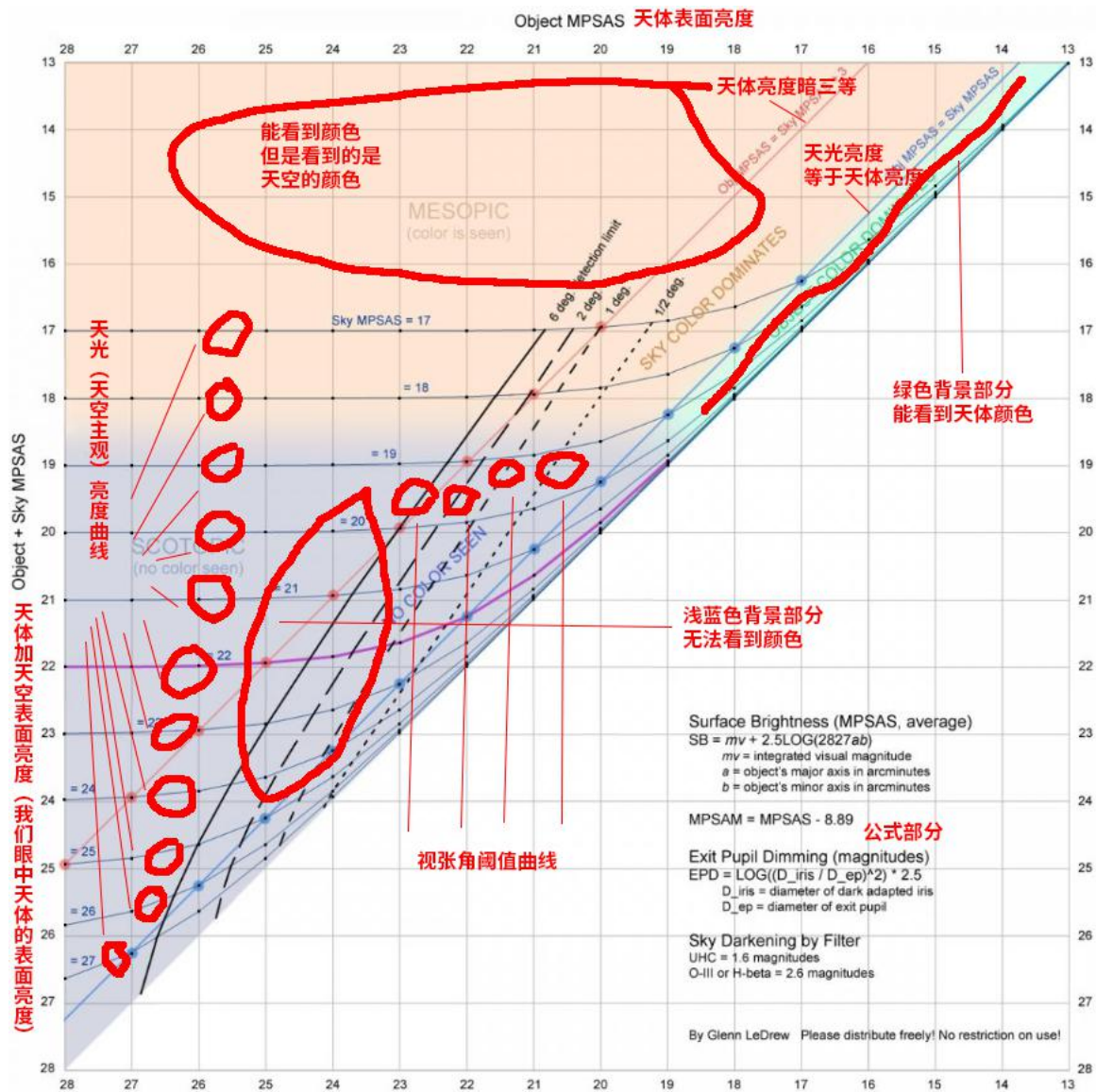
2、 $MPSAM = MPSAS - 8.89$  – 表面亮度单位换算。MPSAM 是星等/平方弧分，有些文献和数据用的是这个单位，由于大量的行星状星云和星系接近 1 角分，所以用这个单位的表面亮度数值与视星等比较接近。但是，现在一般都用 MPSAS（星等/平方弧秒），所以还是需要转换一下，特别是这个图表都是用的 MPSAS。因为平方弧分和平方弧秒是简单倍数的关系，所以 MPSAM 只需要加上 8.89，

就可以得到 MPSAS。

3、 $EPD = \text{Log}((D_{\text{iris}}/D_{\text{ep}})^2) \times 2.5 - EPD$  可以成为“出瞳减光”，指的是使用目镜时，如果出瞳直径小于瞳孔直径时，会到来多少星等的亮度减弱。这个在“主观亮度的计算”中有所介绍。 $D_{\text{iris}}$  为使用者适应黑暗后的瞳孔直径， $D_{\text{ep}}$  是目镜的出瞳直径。

4、使用光害滤镜时，Lumicon UHC 相当于天空表面亮度减弱 1.6 等，Lumicon OIII 或 H-Beta 滤镜相当于天空表面亮度减弱 2.6 等。这个是 Lumicon 的，其他品牌的滤镜光通率不一样，但是也大致差不多，可以按照这个来估算。星云的光通率大约是 80-90%，如果想精确点的话，天体表面亮度相应的减弱 0.1 或 0.2 个星等就可以了。也就是说，使用这张图，可以大体估算使用滤镜会对星云可见性带来怎样的影响。

这个是图上各部分的中文解释：



下面我们来看看应用实例。

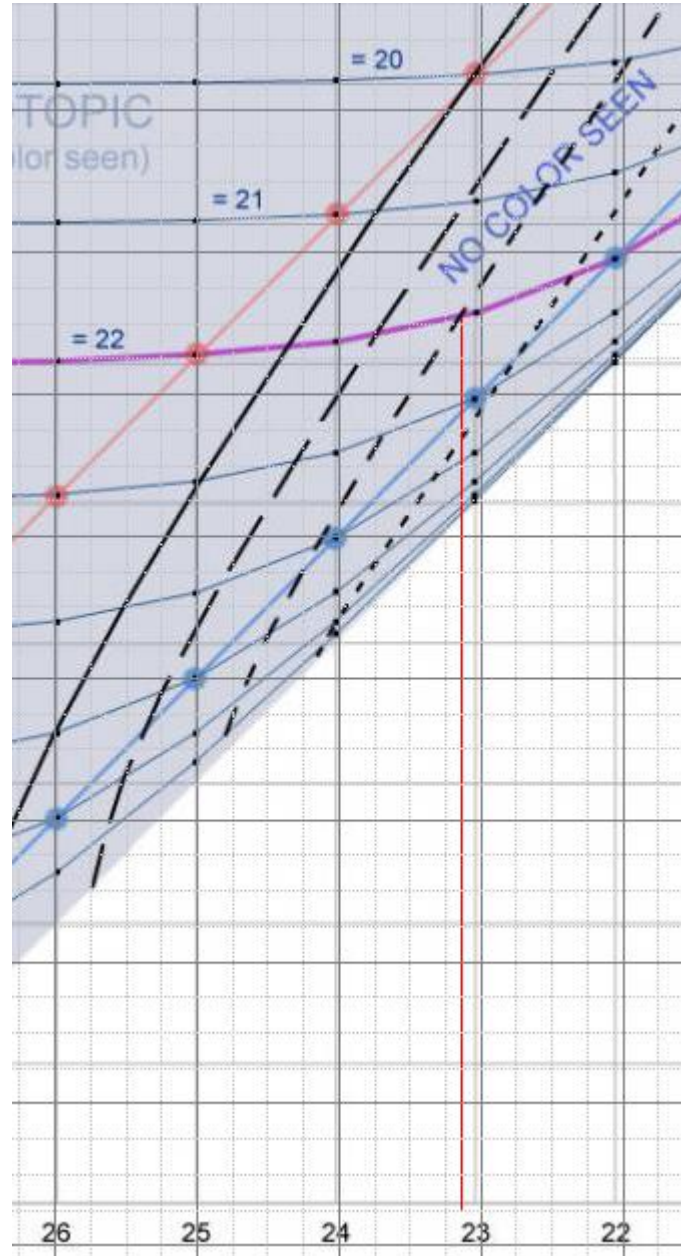
## 应用实例一

首先，要说明一下，天光亮度是十分重要的值，如果想要准确得到天光数值，最好是搞个 SQM-L 测一下。没有天光计的话，可以用极限星等来换算：

<http://www.unihedron.com/projects/darksky/NELM2BCalc.html>

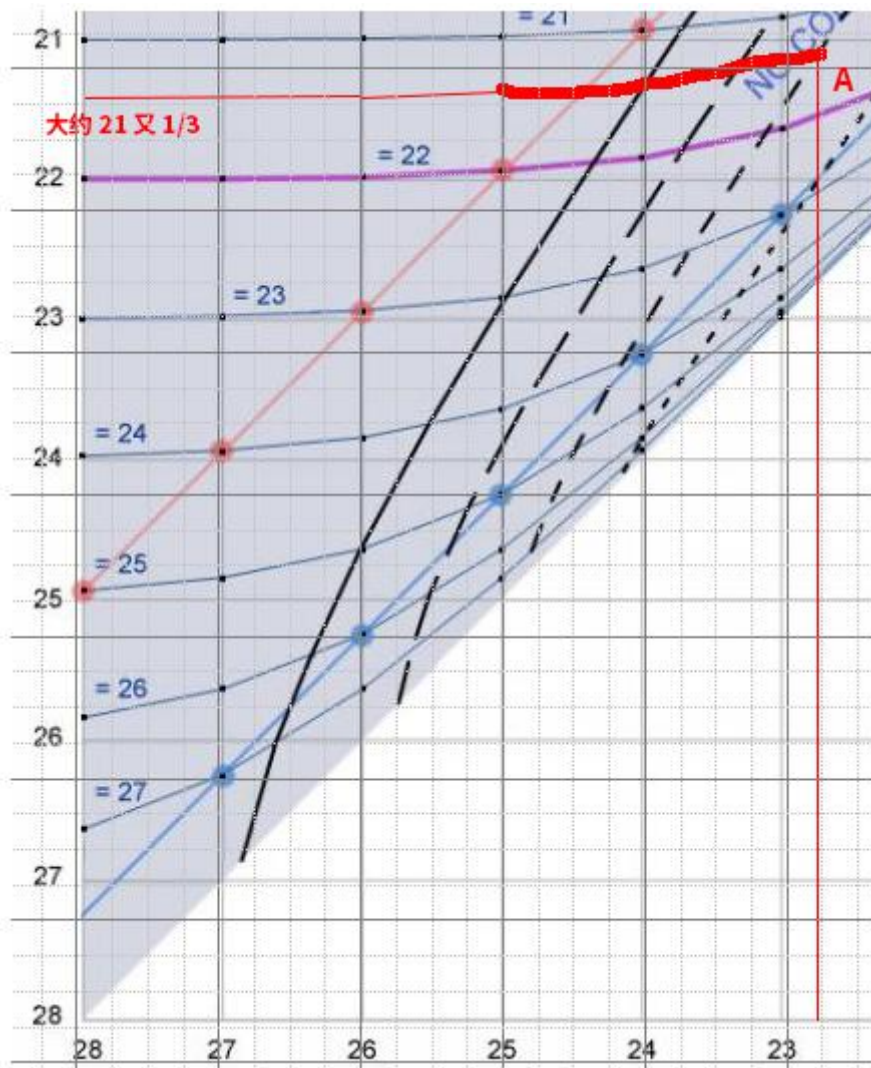
Convert NELM (V mags) to MPSAS (B) sky brightness 就是了。但问题是，极限星等十分主观，误差

肉眼能够看到 M 33 吗？让我们来试试回答这个问题。M 33 的大小正好是 1 度，表面亮度为 22.8。假设我们是在没有光污染的天空观测，从图表上找到天光亮度 22 的曲线和一度视张角阈值的交点，查横坐标，天体阈值表面亮度，约为 23.1，M 33 比阈值亮度亮，所以能看到。



那么，在什么情况下能够用肉眼能够看到 M 33 呢？从横轴天体亮度 22.8 的位置，向上做垂线，与 1 度视张角线相交于 A 点，因为在天光亮度线 21 和 22 中间，所以要比照这两条线的走向，从 A 点处画出对应的天光亮度曲线，这条曲线延伸到纵轴后，坐标大约为 21.3 到 21.4 之间。



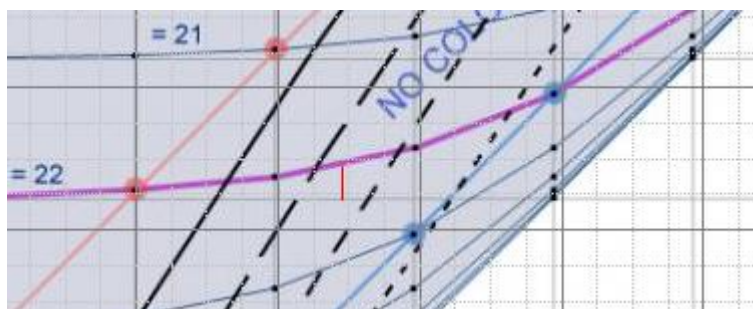


这意味着，天光亮度为 21.3-21.4 大概就是裸眼目视看到 M33 的极限天光亮度，亮于这个值 ( $<21.3$ )，M33 肉眼不可见。暗于这个值 ( $>21.4$ )，M33 肉眼可见。如果你查看一下参见英文版维基百科里的波特尔天空分类法的描述及对应的 SQM 数值，你会发现，这个结论应该说还算靠谱：

[https://en.wikipedia.org/wiki/Bortle\\_scale](https://en.wikipedia.org/wiki/Bortle_scale)

肉眼能够看到北美星云 NGC 7000 吗？查图表来看看吧。可是，这回上来就遇到问题了。北美星云的数据很含糊，skysafari 里说星等是 4 等，大小是 120X100，而它的说明里又说大小是 3 度 X 2.3 度 (180X138)，比较老的资料里说是星等 5 等，大小 100X100，也有一种说法是 NGC 7000 的表面亮度为 24。这就是星云的问题，星云的数据大多很含糊，连最著名的星云 M42 都不例外。这个问题后面马上谈到。

按照 180X138、4 等和 5 等、100X100 分别计算，表面亮度都为 23.6，能够对起来，所以表面亮度大概为 23.6 吧，尺寸可能就要按 100 左右来算了（星等 4 等的说法有可能包含了人眼肯定无法看到的部分）。同样设天光亮度为 22，一度视张角线和二度视张角线与 22 天光亮度线有两个交点，这两点间靠近二度线的 1/3 处便是 100 度张角线和 22 天光亮度线的交点，该点往下延伸，找坐标（其实不用到底或到最上面，因为图上有很多网格，找与网格的交点就可以），表面亮度大约是 23.5 与 23.6 之间。NGC 7000 的表面亮度基本上刚刚好就在阈值上。这意味着北美星云直接目视是十分难的，一般的光害小的地方也不行，基本上要最佳的无光污染的环境下，很通透的天空才能勉强用肉眼看到，稍微差一点的天气或环境都可能看不到，像青藏高原、Mauna Kea 这样的极品环境可能会容易一点吧。所以，如果你发现自己找的观测点能直接目视北美，恭喜你，那就算是一品环境了。



那如果配合 UHC 滤镜，用肉眼观测呢？我们按照 Lumicon 的滤镜特性来估算，这样天光亮度减弱 1.6，为 23.6，而星云按照减 0.2 星等，表面亮度为 23.8 星等。我们从刚才的 A 点做一条大致平行于一度线和二度线的线段，这就应该是 100 分阈值线了。然后，找到天体亮度 23.8 坐标垂线与其的交点 B，从 B 大致画一条与 22 和 23 天光亮度线走向相同的线，得到天光亮度阈值约为 22.5，远亮于 23.6（22 天光亮度经过滤镜减光），所以配合滤镜，在无光污染的环境下，肉眼观测北美星云应该是很容易的。如果按照天光亮度 22.5 的阈值倒推，则天光亮度暗于等于约 21 的地点，把 UHC 滤镜放到眼前，都可以直接用肉眼观测北美星云，你也可以用“闪移法”令星云更明显。

