模拟案例展示
和相应模拟光谱及其噪声数据

Table of Contents

模拟案例展示 **1**

模拟光谱及其噪声数据 **6**

模拟案例展示

我们在前一段时间发布了噪声模拟程序。但有时候，我们可能只需要看一些通常运行的例子就可以大概判断某些科学是否可行了。因此，我们运行了一些典型的例子，并把结果呈现在此文档中给大家参考。

空间站可见 IFS 的总体通过效率最高可达 40%，并在很宽的波段范围内的通过效率都大于或接近于 30%。因此我们利用硬件组提供的通过效率，但大于 30%的用 30%来计算 IFS 的探测灵敏度。我们用不同面亮度展源的模型光谱估算了不同面亮度展源的信噪比，以及在不同信噪比要求下 IFU 所能达到的观测极限，计算了在每一波长 λ 处的信噪比（光谱采样率设为 0.35 nm，2 个像元）：

$$\frac{S_\lambda}{N_\lambda} = \frac{N_{\lambda,*}}{\sqrt{N_{\lambda,*} + N_{\lambda,sky} + n_{pix}(N_{dark} + N_{RN}^2)}}$$

其中$N_{\lambda,*}$为目标源的在波长 λ 处贡献的电子数，$N_{\lambda,sky}$为天光在波长 λ 处的贡献的电子数，N_{dark}和N_{RN}^2为暗电流和读出噪声贡献的电子数，与波长无关，n_{pix}为光谱采样时所用的像元个数。若将单位时间内目标源、天光、暗流所贡献的电子数记为$n_{\lambda,*}$、$n_{\lambda,sky}$、n_{dark}，则多次（n_{rep}）长时间（t_{obs}）曝光后，每一波长 λ 处的信噪比为

$$\frac{S_\lambda}{N_\lambda} = \frac{\sqrt{n_{rep}}t_{obs}n_{\lambda,*}}{\sqrt{t_{obs}n_{\lambda,*} + t_{obs}n_{\lambda,sky} + n_{pix}(t_{obs}n_{dark} + N_{RN}^2)}}$$

式中几个关键的参数如下：CCD 的读出噪声N_{RN}为 5.5 e-/pix，暗电流n_{dark}为 0.017 e-/(s·pix)，天光$n_{\lambda,sky}$依据主巡天天光电子数损耗 10%估算。

根据公式，我们可以估算在给定信噪比要求下，不同曝光时长和多次曝光所能探测到的 g 波段极限面亮度，如图 1 所示。

由图 1 中看出，如果单次曝光为当前多功能光学设施默认的 300s，则重复曝光 20 次左右，探测深度趋向平稳。每个光谱像元信噪比为 3 时的探测深度为 18.55mag/arcsec^2（g 波段）。曝光 40 次可达到 18.94mag/arcsec^2。在实际观测时，望

远镜或许可持续指向同一目标超过 5 分钟，而单次曝光时间增长可增加灵敏度，所以我们也考虑了单次曝光 10 至 20 分钟时的灵敏度值。以单次曝光 20 分钟（1200s）为例，当总观测时间 100 分钟时（即 5 次曝光）在 g 波段的探测灵敏度（信噪比为 3）可达 19.08mag/arcsec^2，即相比相同总曝光时间，但单次曝光 5 分钟的情况，探测灵敏度可增加 0.53mag/arcsec^2。在单次曝光为 20 分钟的情况下，总观测时间 2 小时(重复 6 次)对应的探测深度为 19.18mag/arcsec^2，而重复 30 次，总计 10 小时曝光可观测深度为 20.19 mag/arcsec^2。

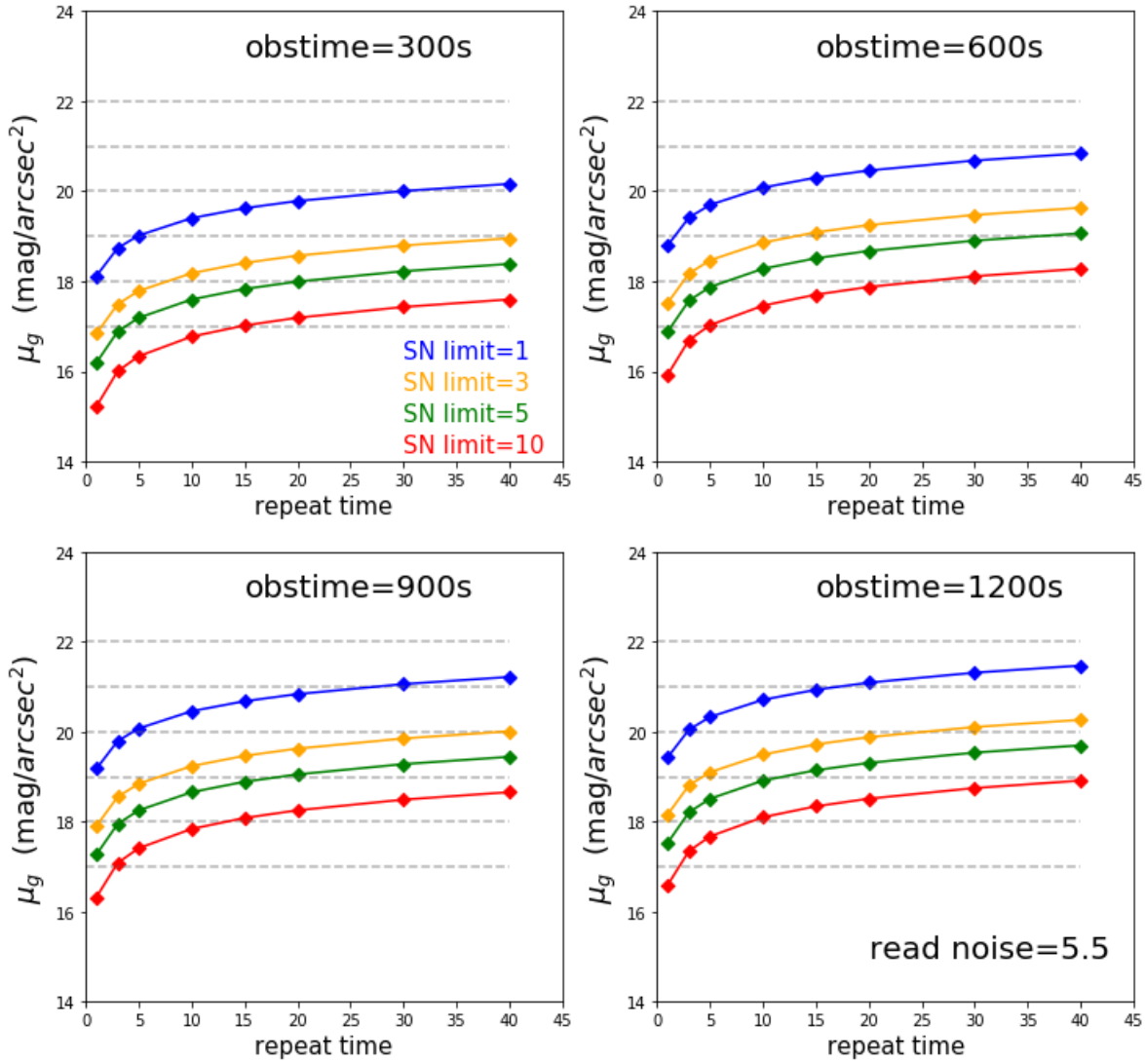

图 1. 探测器读出噪声为 5.5，不同曝光时长和多次曝光所能探测到的 g 波段极限面亮度。红色为要求的信噪比（每个光谱单元）达到 10，绿色为 5，黄色为 3，蓝色为 1。从上到下，从左到右依次是曝光的时间分别为 300s，600s，900s，1200s。

我们还模拟了不同类型不同面亮度的星系在 300s×20 次曝光时长下的光谱，如图 2 所示。我们发现，图 1 中的灵敏度估计出的数值更对应连续谱，而光谱中如果具有发射线时，更容易在发射线部分获得更高信噪比。

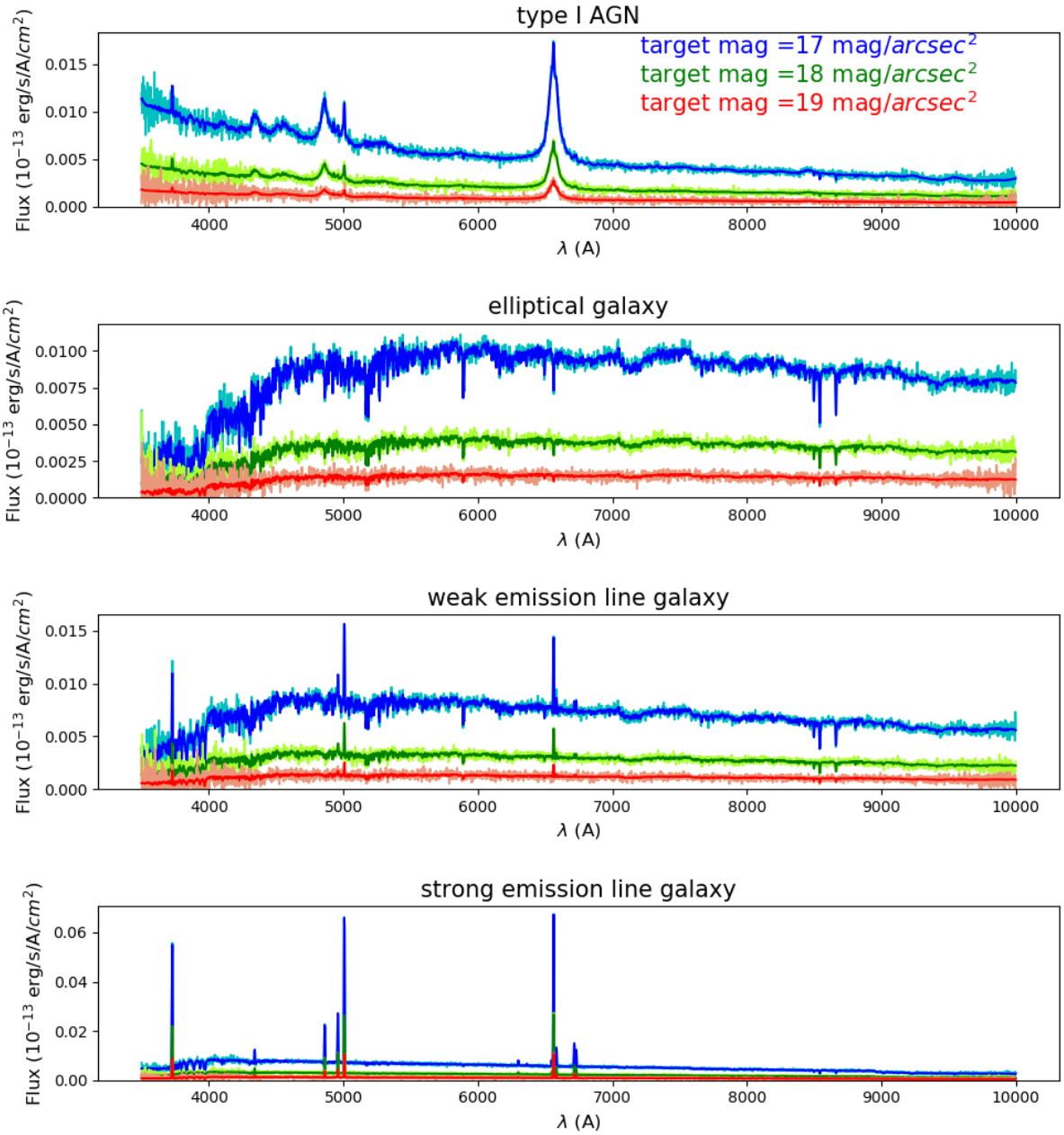

图 2：此图为不同类型天体的模拟噪声图。横坐标是波长单位 Å，纵坐标为流量单位为 10^{-13} erg/s/cm2/Å。从上往下依次为 I 型 AGN，椭圆星系，弱发射线星系和强发射线星系。不同颜色代表设定该天体的面高亮度，蓝色为 17 星等/平方角秒，绿色 18 星等/平方角秒，红色 19 星等/平方角秒。每条颜色光谱中有两条光谱。颜色较浅的光谱为经过模拟噪声后得到的噪声光谱，颜色较深的为模型光谱。所有的星系都采用了单次曝光时间为 300s 曝光 20 次的观测方法。

在和硬件组交流的过程中，我们了解到：IFS 没有快门，探测器的读出依赖帧转移。这意味着探测器读出可以和目标源曝光同时进行。因为曝光时间一般超过 150s，所以读出也可以使用这个时间慢慢读出。读出频率越低，噪声越小。50MHz 频率模式对应的读出噪声最低可到 2 个电子。再加上探测器电路的噪声，我们可以期待在 IFS 观测时使用慢读出模式读出噪声可达到小于 3 电子。在当前的灵敏度计算中，我们已经发现，探测器读出噪声是主要的噪声来源，因此这一读出模式将对提高 IFS 的灵敏度非常有利。我们在图 3（-1，-2，-3，-4）中计算了在读出噪声分别为 5、4、3、2 的情况下，不同曝光时间组合对应的灵敏度。

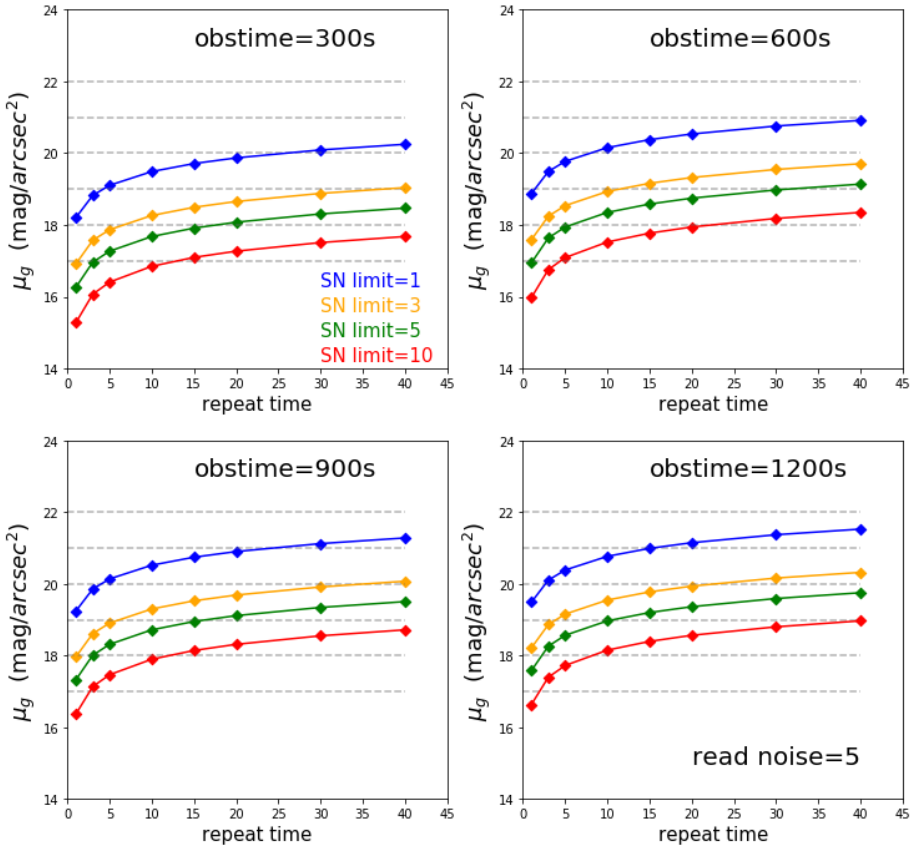

图 3-1：探测器读出噪声为 5 时的各曝光时长灵敏度。

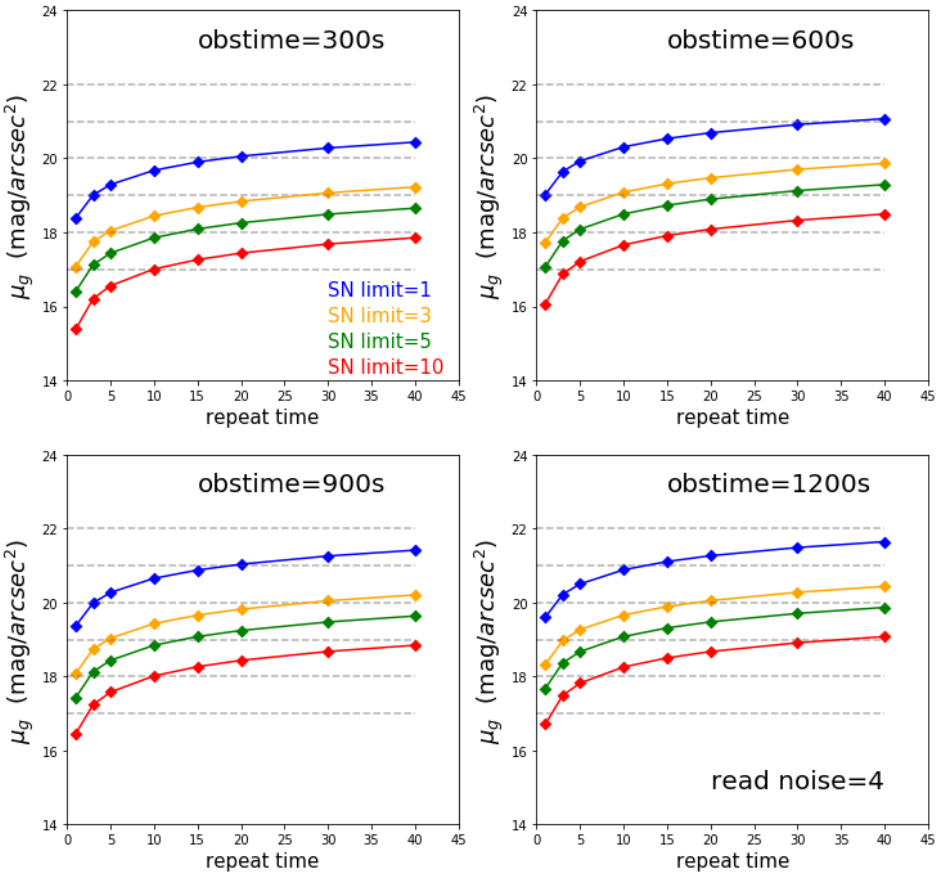

图 3-2：探测器读出噪声为 4 时的各曝光时长灵敏度。

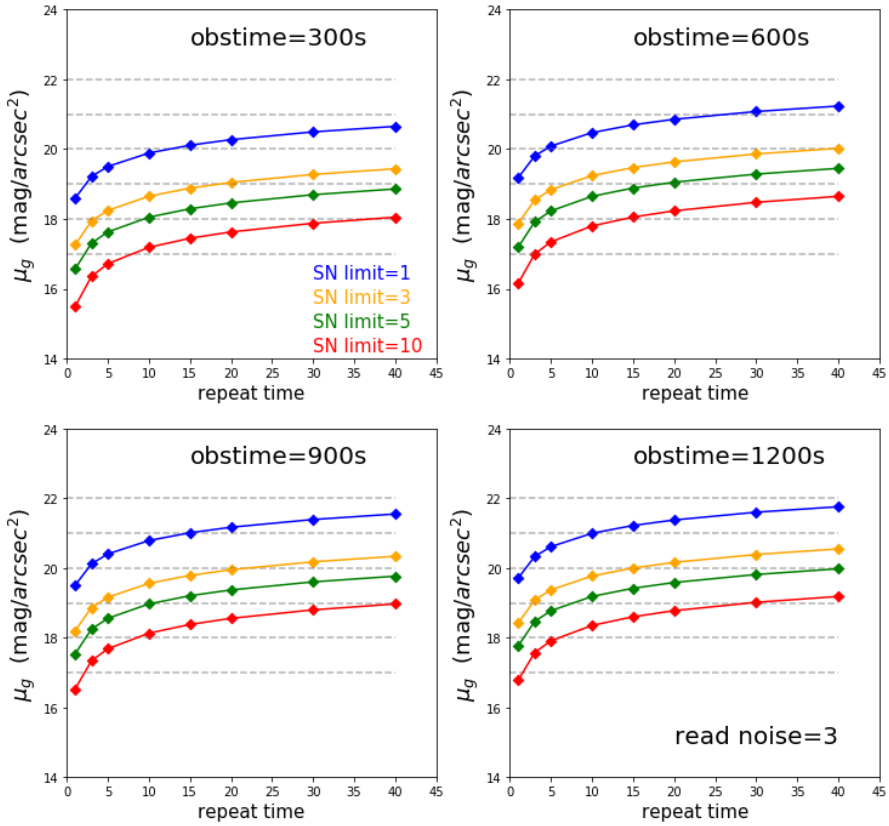

图 3-3：探测器读出噪声为 3 时的各曝光时长灵敏度。

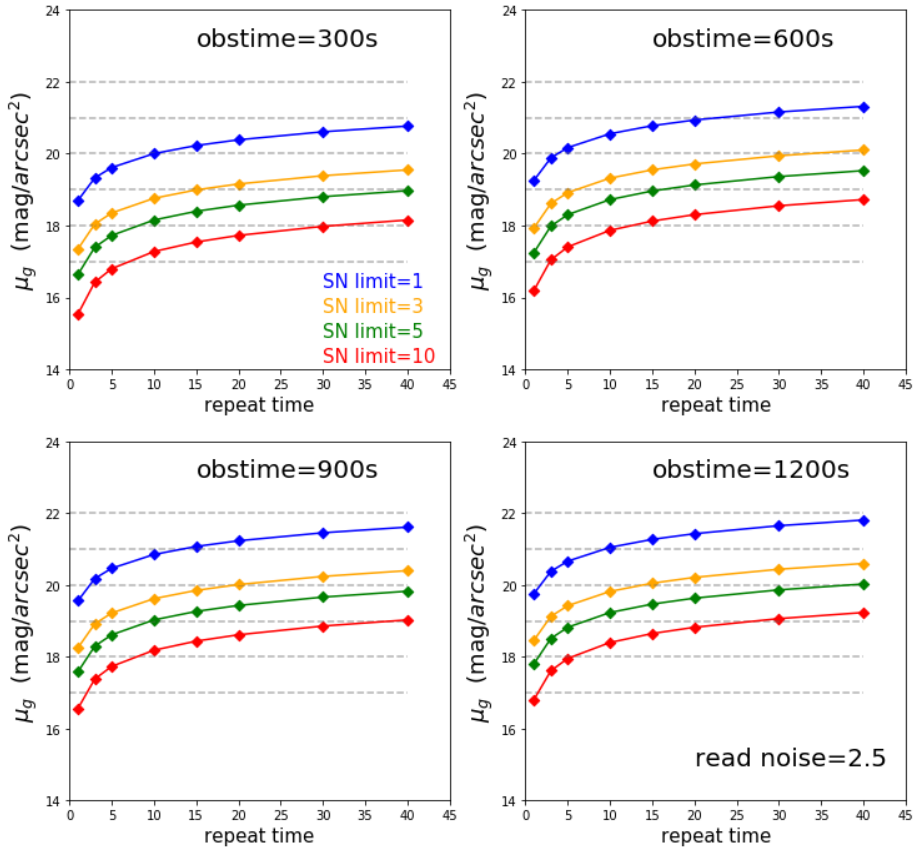

图 3-4：探测器读出噪声为 2.5 时的各曝光时长灵敏度。

模拟光谱及其噪声数据

用于产生这些灵敏度图的一些典型光谱和噪声数据，我们把他们存在一个 fits 文件里，对一些常用的灵敏度，大家可以直接读取这些数据，而不用再自行运行程序。该文件名为 simulation.fits，也在 github 中：
https://github.com/nanamomoko/snppv1.04/tree/master/results
（该 github 中还有程序）

该 fits 总共有四层，第零层为空，第一层存储了波长数据，第二层存储了总噪声数据，为（4*4*4*4*3702）的五维数组，第三层存储了添加噪声之后的 mock 光谱，也是（4*4*4*4*3702）的五维数组。

```
su=fits.open('simulation.fits')
```

fits文件

```
su.info()
```

四层数据

```
Filename: simulation.fits
No.    Name      Ver    Type      Cards   Dimensions   Format
  0  PRIMARY       1 PrimaryHDU      13   ()
  1  WAVE          1 ImageHDU         7   (3702,)   float64
  2  TOT_NOISE     1 ImageHDU        11   (3702, 4, 4, 4, 4)   float64
  3  MOCKGAL       1 ImageHDU        11   (3702, 4, 4, 4, 4)   float64
```

五维数组每一维分别代表面亮度条件、光谱类型、曝光时长要求、读数噪声选择以及每个波长位置处对应的总噪声数据或 mock 数据。

第 0 维面亮度值为 16，17，18，19mag/arcsec^2。第 1 维光谱类型选择了 I 型 AGN，椭圆星系，弱发射线星系和强发射线星系的光谱。第 2 维曝光时长采用单次曝光时长*曝光次数得到总时长为 6000 秒左右的曝光时间分别是 300 秒*20 次、600 秒*10 次、900 秒*7 次和 1200 秒*5 次。第 3 维读数噪声分别采用了 2.5、3、4 和 5.5 电子/pixel。最后一维就是每个波长位置处对应的总噪声数据或 mock 光谱。

维数 / 索引	0	1	2	3	4
	面亮度 (mag/arcsec^2)	光谱类型	曝光时长（s）	Read noise (e/pixel)	数据（noise 或 mockgal）
Dimension	【4】	【4】	【4】	【4】	【3702】
0	16	AGN	300s*20	2.5	
1	17	Elliptical	600s*10	3	
2	18	Weak emission	900s*7	4	
3	19	Strong emission	1200s*5	5.5	

波长单位为 Å，mock 光谱流量单位为 1E-13erg/s/cm^2/Å。以上所有的信息都存储在 fits 文件第 0 层的头文件中。

```
su[0].header
```

第0层头文件展示

```
SIMPLE  =                    T / conforms to FITS standard
BITPIX  =                    8 / array data type
NAXIS   =                    0 / number of array dimensions
EXTEND  =                    T
D01     = '[16,17,18,19]'      / data in dimension 1 in unit of magnitude/arcsec
D02     = '[AGN, elliptical , weak emission , strong emission]' / data in dimens
P02     = 'type of spectrum'   / parameter in dimension 2
D03     = '[300s*20, 600s*10, 900s*7, 1200s*5]' / data in dimension 3
P03     = 'exposure time (s)*repeat time' / parameter in dimension 3
D04     = '[2.5, 3, 4, 5.5]'   / data in dimension 4
P04     = 'readnoise (e/pixel)' / parameter in dimension 4
WAVE    = 'Angstrom'
MOCKGAL = '1e-13 erg/s/cm2/A'
```

注意：

python 和 IDL 的读取多维数组的顺序是不一样的，在读取每行每列参数说明的时候就会存在问题。

- Python 的读取方式为：上述表格从左往右逐层选择判断条件最终读取数据
- IDL 的读取方式为:上述表格从右往左逐层选择判断条件最终读取数据
- 举例：
  - 假如此时想选择面亮度为 16，光谱类型为椭圆星系，曝光时长为 900s*7，读书噪声为 5.5 的总噪声数据的话，
    - Python 写法为
      >>>su=fits.open(‘simulation.fits’)
      >>>su[2].data[0,1,2,3,:]
    - IDL 写法为
      IDL>su=mrdfits(‘simulation.fits’,2)
      IDL>noise=su[*,3,2,1,0]