

观测对频率稳定度和计时精度的要求

钱磊

March 31, 2017

分几步来考虑频谱观测对频率稳定性的要求。首先考虑系统的频率不准，但是稳定（例如，本地振荡器（本振）一直保持一个不准的频率，例如，原本应该是1 GHz的本振，现在频率是1 GHz+1 Hz，而且保持不变）。在这种情况下，得出的中频（IF）就少了1 Hz，最终的频谱就统一向低频移动了1 Hz。这对于分辨率为0.2 km/s（带宽大约是1 kHz）的中性氢谱线而言，造成的频率的相对误差是1/1000。实际上，这应该作为一个上限，因为实际中性氢谱线的宽度比0.2 km/s大一些，如果谱线上没有微小结构的话，1Hz的频率移动造成的相对误差应该小于1/1000。接下来考虑系统的频率以一种规律的方式变化，例如，在一半的时间处于1 GHz+1 Hz，一半的时间处于1 GHz-1 Hz，并且周期性变化。那么如果频谱观测的时间足够长，包含了很多个这样的变化周期，那么最终在频谱上应该看到两条谱线，线心的距离是2Hz。但是由于这个距离和谱线的宽度相比太小，实际看到的是原来的谱线被展宽了2 Hz。最后考虑本振频率以方差 σ 在中心频率 ν 附近随机变化，那么显见，最终的效果是使谱线展宽 2σ 。简单地说，如果谱线观测要求的频率精度是带宽的1/10，对于0.2 km/s的分辨率，这是100 Hz，那么对于频率1 GHz的本振精度需要达到 10^{-7} 。

对于脉冲星计时观测，对于脉冲宽度0.1 ms的脉冲星，如果观测每个单独的脉冲，而不是叠加一些脉冲，那么在一段观测时间里（比如1000秒）时间精度至少要好于0.1 ms。这可以这样理解，假定时钟有一个系统性的偏差，实际的1s在时钟来看是 $1s+\delta s$ ，也就是时钟周期不准，有系统性漂移，那么就必须在整个观测时间内积累的时间差不能大于脉冲轮廓宽度。也就是说在上述情况下应该有 $\delta < 10^{-7}$ 。如果时钟的偏差是随机的，例如在第1秒，时钟走过 $1s+\delta s$ ，而在第二秒时钟走过 $1s-\delta s$ ，那么上述要求还可以放宽。

对于甚长基线干涉观测，和其它所有的干涉一样，要产生干涉条纹，计时精度应该小于波的相干时间。相干时间由不确定原理确定，对于带宽 $\Delta\nu$ ，相干时间大约为 $t \sim 1/\Delta\nu$ 。于是对于单通道带宽为1 MHz的甚长基线干涉观测，计时精度应该好于1 ms。这个计时精度的意义可以参考脉冲星计时观测。

参考文献