

狗熊会 | 精品案例

# 基于时间序列的乐曲改编

——一个关于**爱**的故事



# 目 录

- 1 第一幕：王大锤的烦恼
- 2 第二幕：艰辛的音乐探索之路
- 3 第三幕：时间序列作曲
- 4 第四幕：求婚进行时



第一幕

王大锤的烦恼

PART ONE



# 王大锤的校园爱情

苏小美

王大锤



初次见面



相识相知



相爱相亲



# 又是一年毕业季

转眼间

又是一年毕业季

大学生生活即将结束

人生将迈入新的旅程





# 王大锤的决定


在这一特殊的时刻，王大锤也希望为自己的爱情开启一个新阶段。  
他决定向小美求婚






# 王大锤的烦恼

如何求婚才能成功的抱得美人归呢？王大锤犯难了.....



白白，你说我和小美在一起都这么久了，  
我俩的关系是时候进入一个新阶段了。  
可我要怎样求婚才能给小美一个惊喜呢？

求婚最重要的是心意！小美平时  
那么喜欢唱歌，你为她作一首独  
一无二的求婚歌，她一定喜欢！





# 王大锤的烦恼



好主意啊！可是，我我我...就是个音乐白痴.....创作神马的太难了  $o(\pi \sim \pi)o$

直接创作确实有难度，不过我们可以以一段现有旋律为基础，采用时间时间序列的方法进行乐曲改编，这样也能得到你的专属旋律哦~



哇，这么神奇？！快教教我！



# 第二幕

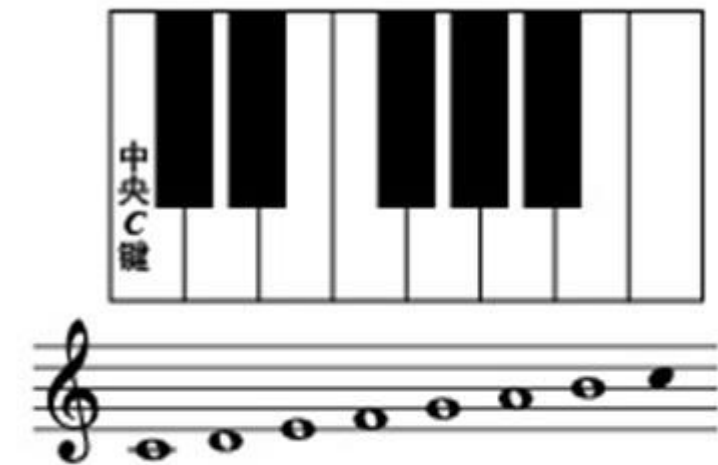


# 艰辛的音乐 探索之路

PART TWO



# 音乐小课堂



C大调

音名: C D E F G A B c

唱名: Do Re Mi Fa Sol La Xi Do

想使用时间序列的方法进行乐曲改编，首先要把乐曲合理的表示成数字。完成这一步需要了解基本的乐理知识

一首音乐主要由曲调、节奏、力度等构成。我们常见的乐谱有两种，一种是简谱，一种是五线谱。简谱主要展示乐曲的主旋律，而五线谱可以展示所有的音乐要素



下面我们就来看一下五线谱中都有哪些主要的音乐符号吧



# 神奇的五线谱

- 🎵 高音谱号/低音谱号：表示音高区域
- 🎵 升降号：对某个基本音增/减半个音，对应钢琴的黑键

- 🎵 和弦：多个音一起弹奏，增强音乐层次，改变的是曲调



- 🎵 强弱符号：这里为渐强与强，表示音符弹奏的力度，直接感觉为音乐的强弱

- 🎵 位于不同线上的音符：表示不同音高，连起来即为曲调
- 🎵 不同的音符形状：表示不同的拍数，即反映出节奏

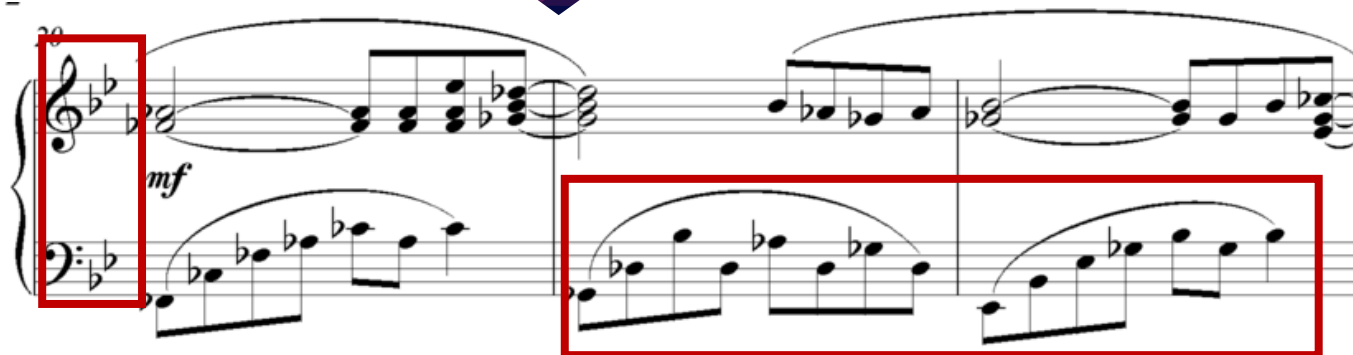


## 提取主旋律

这也太太太复杂了.....



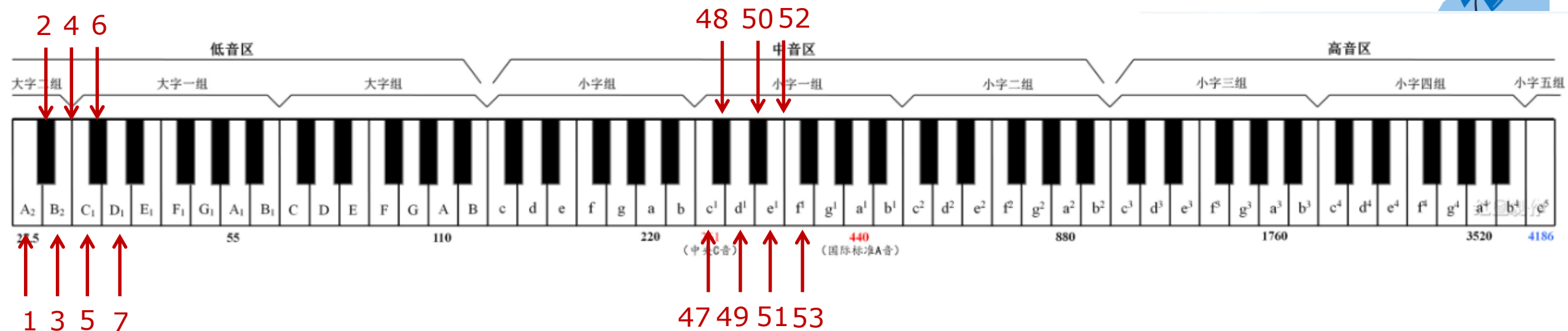
现在你知道搞音乐有多难了吧。不过我们可以把五线谱中的内容简化，只抽取乐曲中的**主旋律**，体现曲调和节奏就好，和弦、强弱、踏板什么的就管不了了……





# 乐谱的结构化方案

我们将主旋律变成数字。首先将钢琴键盘（包括黑键）从左到右按顺序编写为1,2, ...103。然后将五线谱中的音符转化为键盘上对应位置的数字



注意到白键B调和C调、E调和F调间没有黑键，为保证数字编码间隔的平衡，因此没有黑键的地方也予以编码



# 乐谱的结构化方案

节奏上，我们用数字的重复来体现。比如下面这段旋律的节奏最小单位为半拍，那么一个音符为两拍，就将其重复4次。

1 7 6 | 6 5 2 | 3 - | 1 2 3 5 | 1 7 6 | 6 5 2 |

一个下划线表示半拍。上述旋律中节奏的最小单位为半拍，因此表示完整应该为：

1 7 7 6 | 6 5 5 2 | 3 3 3 3 | 1 2 3 5 | 1 7 7 6 | 6 5 5 2

再将每个音符表示为它在键盘上的位置，就是最后的音乐序列了，即：

61 59 59 57 | 57 55 55 49 | 51 51 51 51 | 47 49 51 55 | 61 59 59 57 | 57 55 55 49

原来是这样！好神奇！我也要开始造音乐了！



# 第三幕



# 时间序列作曲

PART THREE



# 确定曲目



小白~~我懂怎么处理音乐了，  
快帮我想选什么歌好！！

在乐谱结构化时我们只提取了**主旋律**，所以  
可以选一首主旋律比较鲜明，和旋和伴奏较少的歌。恩，我觉得轻音乐挺合适的



那就选《忧伤还是快乐》吧，  
这是小美最喜欢的歌呢





# 确定曲目



忧伤还是快乐



钢琴曲，原名《My Soul》。



主旋律带着一种淡淡的忧伤，而副旋律又带着欢快的节拍。两种看似矛盾的节拍，却正升华了这支钢琴曲的意境。



选择乐曲中反复出现的一段旋律进行预测。

## My Soul 部分乐曲展示

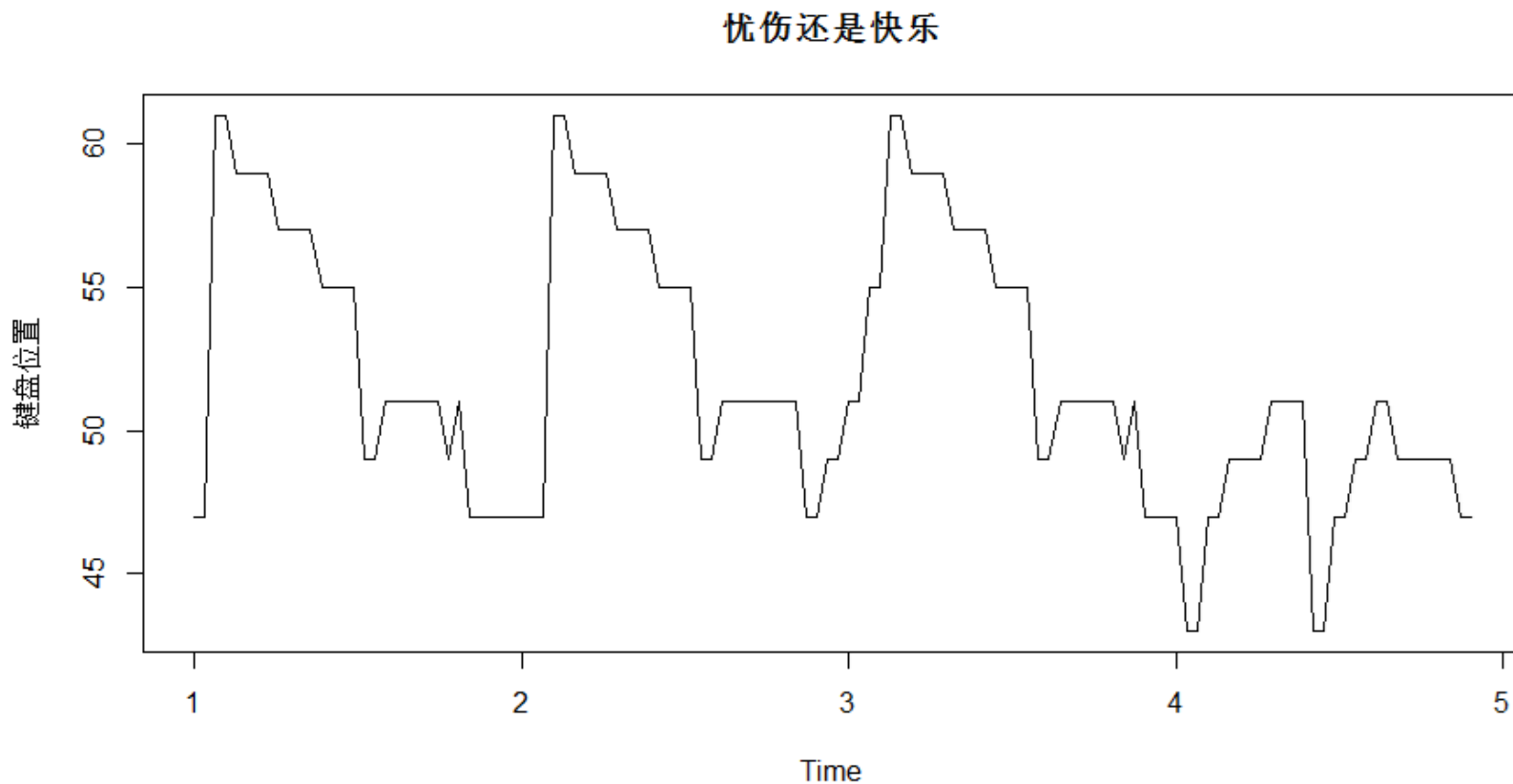




# 乐谱结构化



将作为训练集的一段乐曲进行结构化处理，并作出时序图如下：



可以发现该序列有明显的周期性特征，是非平稳序列



# 时序方法选择

- 对非平稳序列的分析方法可以分为**随机性时序分析**和**确定性时序分析**两大类

## 随机性时序分析

- 选用ARIMA模型，这是一种常用的非平稳序列分析方法
- 它的实质是先对时序数据进行差分运算，使数据变为平稳序列，然后再建立ARMA模型

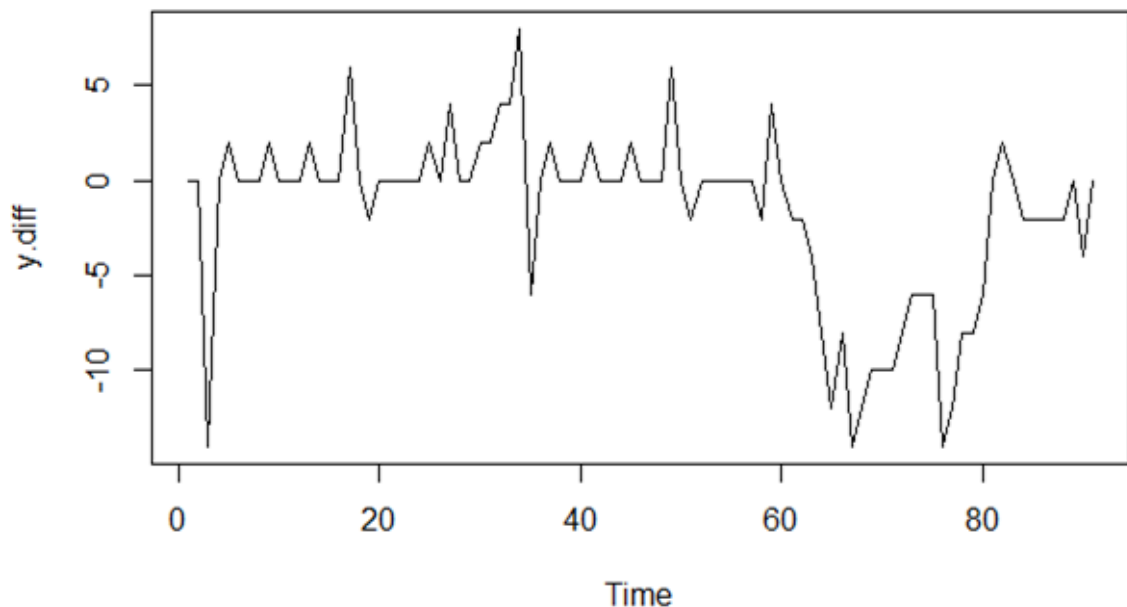
## 确定性时序分析

- 选择holt-winters三参数指数平滑法，这是一种常用的处理周期性数据的修匀技术
- 可以削弱短期随机波动对序列的影响，使序列平滑，从而显示出变化规律

# 🎵 ARIMA：数据预处理

- 🎵 观察时序图可以发现该序列的周期为31，因此做步长为31的差分运算。
- 🎵 对差分后的序列检验其平稳性和纯随机性，发现该序列是平稳的、非白噪声序列，因为可以进行后续建模。

差分后：忧伤还是快乐

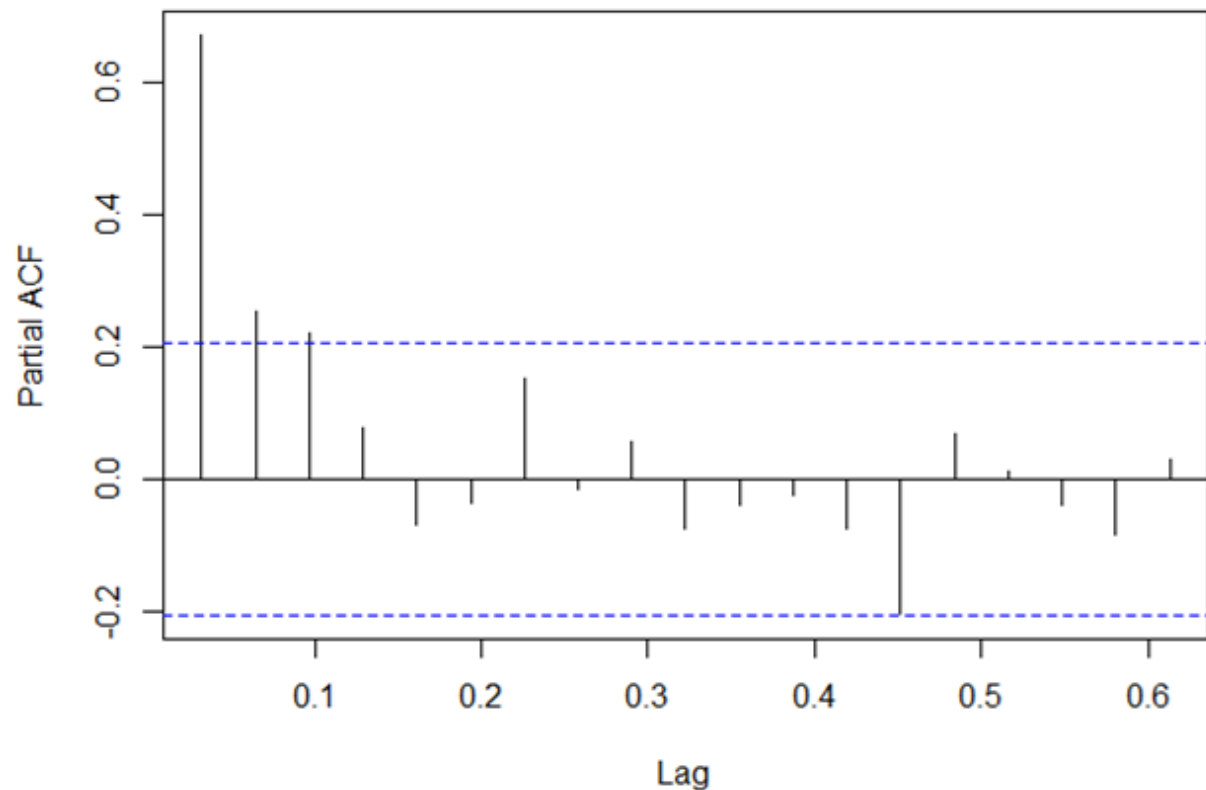
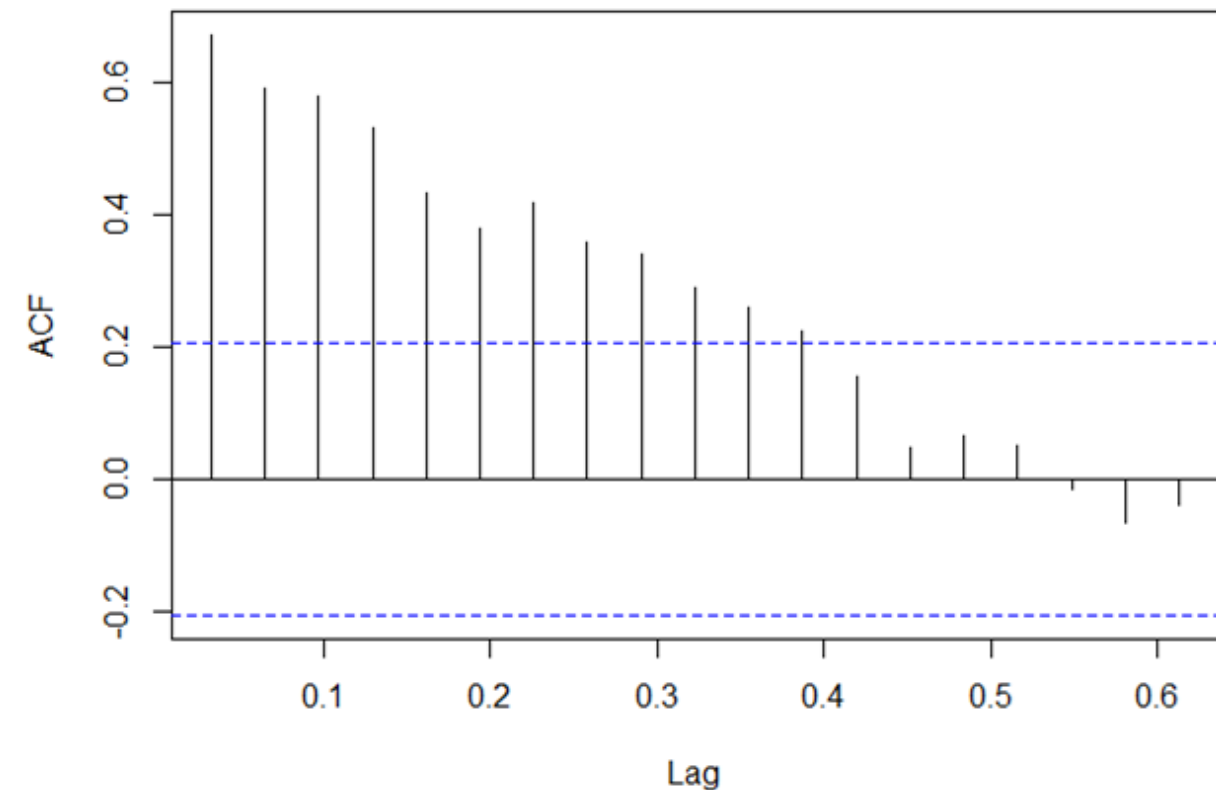


	单位根检验	Ljung-Box检验
原假设	序列非平稳	序列为白噪声
备择假设	序列平稳	序列为非白噪声
检验统计量	-3.21	87.21
p值	<0.05	<0.05
结论	拒绝原假设 序列平稳	拒绝原假设 序列非白噪声



# ARIMA：模型定阶

画出差分后序列的ACF（自相关系数）和PACF（偏自相关系数）图，可以看出两者均拖尾，因此考虑用ARMA模型





# ARIMA: 模型定阶

为了确定ARMA(p,q)模型中的阶数，使用EACF（延伸自相关系数）判断

AR/MA

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0
1	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	x	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

可以看到，以 $p=q=1$ 为顶点画三角形时，该区域内的所有点均为O。因此应对差分后的序列建立ARMA(1,1)模型，也就是对原序列建立ARIMA(1,1,1)模型

# 🎵 ARIMA：模型估计和检验

🎵 对ARIMA(1,1,1)模型进行估计，  
所得结果如下

模型结果		
	AR	MA
估计值	0.860	-0.999
估计标准差	0.052	0.240
t统计量	16.538	-4.163
p值	<0.01	<0.01

🎵 对模型的残差进行随机性检验，发现  
没有证据表明是非白噪声序列，这说  
明模型已经完全提取序列间的相关性

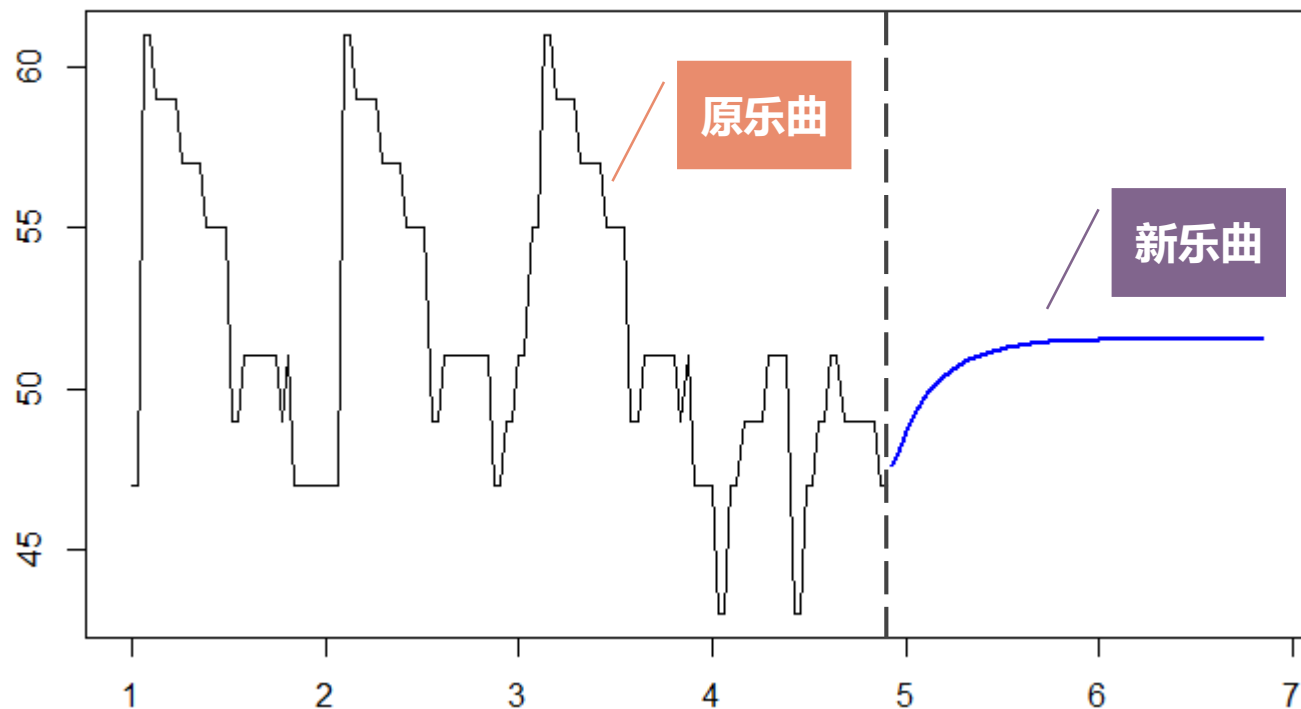
LB检验			
延迟阶数	检验统计量	p值	结论
6	3.262	0.797	有白噪声
12	4.904	0.971	有白噪声





# ARIMA: 乐曲改编

忧伤还是快乐ARIMA(1,1,1)预测结果图



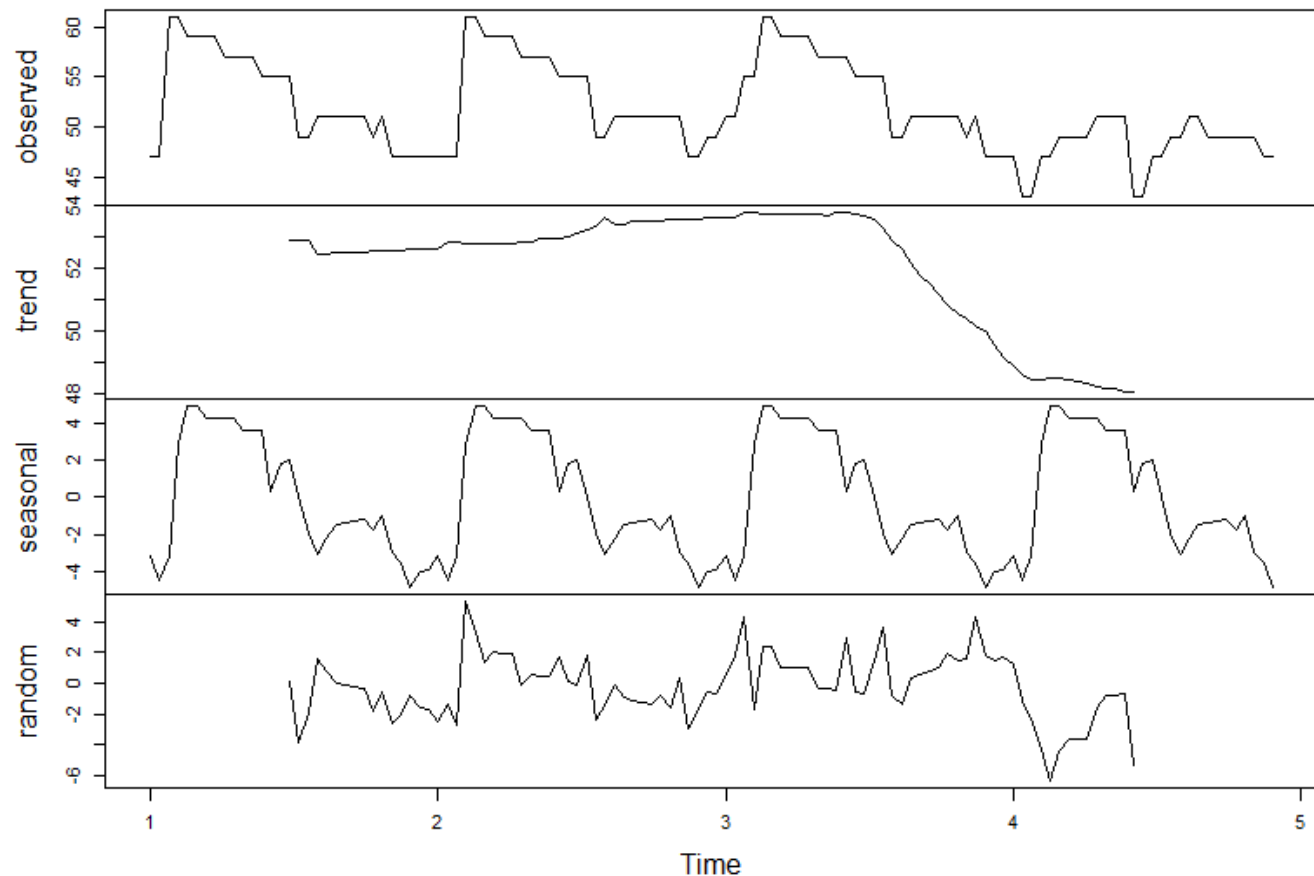
可以看到，新生成的旋律波动并不明显，后期一直维持在相同的水平上

王大锤听了改编的乐曲，发现新的旋律一直在播放某一个音符，不太满意





## 三参数指数平滑：数据分析



对时序数据进行确定性因素分析，将其分解为趋势项+季节性变动+不规则变动。



可以看出，数据中既有趋势波动又有季节性波动

## 🎵 三参数指数平滑：模型估计

🎵 假设序列中的水平部分、趋势部分、季节部分分别为 $a_t, b_t, s_t$ 。同时假设各部分效应是加法关系，则三参数指数平滑模型结构如下（其中是 $\alpha, \beta, \gamma$ 三种波动对应的平滑参数）：

$$a_t = \alpha(x_t - s_{t-\pi}) + (1 - \alpha)(a_{t-1} - b_{t-1})$$

$$b_t = \beta(a_t - a_{t-\pi}) + (1 - \beta)b_{t-1}$$

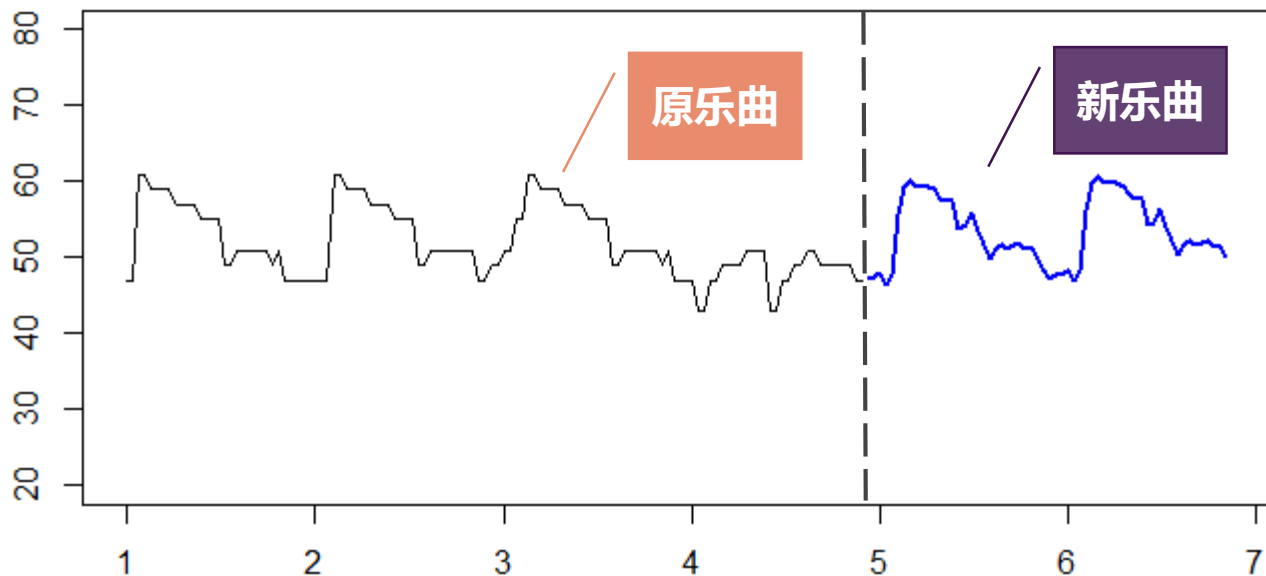
$$s_t = \gamma(x_t - a_t) + (1 - \gamma)s_{t-\pi}$$

模型部分估计结果						
序列	$a_t$	$b_t$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	...
忧伤还是快乐	52.929	0.012	-5.669	-5.523	-5.071	...



## 三参数指数平滑：乐曲改编

忧伤还是快乐



可以看到，新生成的旋律和原始乐曲的趋势大致相同，保留了之前的周期性

王大锤听了这次改编的乐曲，相当满意，立马决定求婚时就用它啦！

# 第四幕



# 求婚进行时

PART FOUR



# 求婚进行时

在一个风和日丽的日子，王大锤决定实施他的求婚计划



小美~~~

这是我自己改编的一首歌，唱给你听，希望你喜欢~~

大锤你竟然有这才华~~~

嘻嘻~~这些年来我们走过风风雨雨，有忧伤有快乐。  
未来的日子，我还想和你继续前行，小美，你愿不愿意和我许下约定？

大锤，我愿意~~~~

狗熊会 | 精品案例

# Happy Ending

扫描二维码，关注狗熊会，获取更多案例资源



狗熊会 | 聚数据英才，助产业振兴