

IC-50 Articles – No. 07-01

解析智能压实之四： 补充——振动压实中的“共振学说”辨析（1）

作者：徐光辉



振动压实技术成熟于上个世纪六十年代，随之出现了关于振动压实机理的几种解释，有人将其称之为“学说”。在上个世纪七十年代，曾流传着关于振动压实机理解释的三个学说，近几年又有人再次提及所谓的共振学说，这里有必要再梳理一下基本概念，弄清楚振动碾压过程中到底有无“共振”问题，这也是设计振动压路机振动工艺参数的基础之一。

1. 三个学说

所谓压实，是指通过对散粒体施加某种形式的外力，从而使它的体积减小、力学性能增强、形成稳定结构体的过程。这一过程也可以称作碾压（严格地讲，“压实”强调的是结果，“碾压”强调的是过程，尽管英文都称作 **Compaction**）。

对于振动压实，由于施加给填筑体的是周期性动荷载，由此也就引出了关于振动压实机理的三种学说。

- （1）共振学说——主要从共振的角度说明压实的效果。当动荷载的振动频率与被压土体的固有频率一致时，产生共振现象，振幅达到最大，振动碾压是最有效的。
- （2）内摩擦减小学说——主要从被压土体内部摩擦力变化的角度来说明压实过程。当土体受到动荷载作用时，将破坏原有的内摩擦力，使其剪切强度降低，导致抗压阻力变小，因而在外力的作用下更易于压密。
- （3）反复荷载学说——主要强调了周期性压缩运动的作用。这种学说认为随着作用时间的推移，被压土体逐渐达到了密实状态。

从动力学的角度看，以上这三种学说是从不同角度来解释振动碾压成型这件事的，实际上就是一种学说，可以归纳为动力压实学说（[详见后续文章](#)）。但其中的“共振学说”并不完全准确，有必要从结构动力学和弹性动力学的角度梳理一下关于“共振”的基本概念。

2. 固有频率与共振现象

结构体（系统）自由振动时的频率称作固有频率，也称作自振频率，是系统的固有属性，存在于所有能够发生振动的结构体中。

固有频率是结构动力学中的一个基本概念，最初是根据单自由度系统——“质量~弹簧”模型得到的表达式，参见丛书的《工程中的一维动力学与应用》分册。

如图 1，当结构体受到周期荷载作用时，如果作用的频率与固有频率一致（ $\omega = \omega_0$ ，称作共振频率），此时的振幅将趋于无穷大（ $A \rightarrow \infty$ ），振动最强烈，这就是“共振”现象。

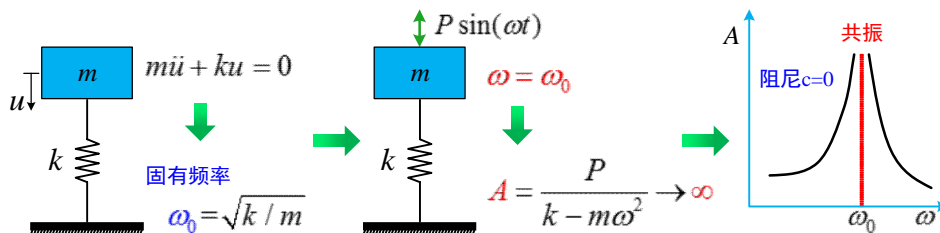


图 1 固有频率与产生共振的条件

“质量~弹簧”系统的特性主要是固有频率（ ω_0 ），由“质量块”和“弹簧”共同决定——具体就是由 m 和 k 决定的。对于刚度系数（也称作弹簧系数）相同的两个系统，质量大的系统，其固有频率低；如果是质量相同，则刚度系数大的系统，固有频率也高。

对于一般的结构体（如桥梁、楼房），都是多自由度系统，存在多个固有频率，但通常的固有频率是指它的低阶固有频率而言，因为高阶频率不容易激发出来（例如，很难让一座桥梁产生很高频率的自由振动）。

此外，由于结构系统总是存在阻尼的（ $c \neq 0$ ），所以振幅总是有限的，只是很大而已，并且共振频率略小于系统的固有频率。

“共振”现象即有利的一面，也有不利的一面。利用振动筛筛选颗粒就是有利的一面（其实不一定需要共振，只要颗粒具有自由运动的空间就可以）。对于不利的一面，典型的例子就是士兵步伐一致从桥上通过，从而导致桥梁的垮塌。

3. 结构系统中的固有频率

在结构力学中，研究对象都是几何尺寸有限的结构系统，包括有限的离散体（如杆件）和连续体（如板），其动力学问题主要涉及到振动，这才有了固有（振动）频率的概念。

对于质量一定的结构系统，刚度越大，其固有频率也就越大；在刚度相同的条件下，质量越大，其固有频率越低。对于像桥梁这样的结构系统，由于质量很大，其固有频率都不会太高（这就是士兵步伐一致过桥而导致桥梁垮塌的主要原因，因为“步伐一致”所产生的振动频率不会太高）。

例如，几百米长的桥梁结构系统，其固有频率大约在 2Hz~4Hz。对于道路和铁路这样的填筑型结构体，是否存在固有频率呢（如果存在，肯定也不会太高的，因为质量太大了）？下面将重点讨论这个问题。



图 2 普通桥梁结构系统的固有频率

(未完待续)