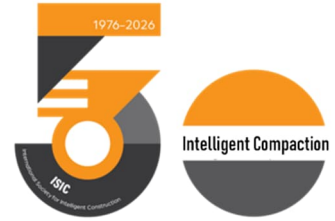




解析智能压实之五： 补充——“共振学说”溯源（1）

作者：徐光辉



“共振学说”的核心是填筑体具有固有频率。在上一篇文章中，我们对填筑体是否存在固有频率这个问题进行了剖析，从理论上明确了无限连续体中并没有固有频率的概念。那么土体（在工程机械行业，一般都将填筑体称作土体，包括细粒土和粗粒土，这里的粗粒土就是各种粒径不等的碎石）具有固有频率的说法是如何出现的呢？这篇文章将给出答案。

1. “压路机~土体”系统的简化模型产生了固有频率

振动压路机设计的关键是确定振动质量、振动频率、激振力、振动幅值（振幅）等参数的大小和它们之间的匹配关系，目的是取得最好的压实效果。这就涉及到如何分析压路机与土体之间的相互作用问题。

在压路机行业，为了分析方便，通常将“压路机~土体”振动系统简化为离散型的双自由度模型（这是振动力学中的经典模型）。该模型由两部分组成——压路机本身的振动系统（上车和下车及连接）和参与振动的土体系统，如图 1 所示。

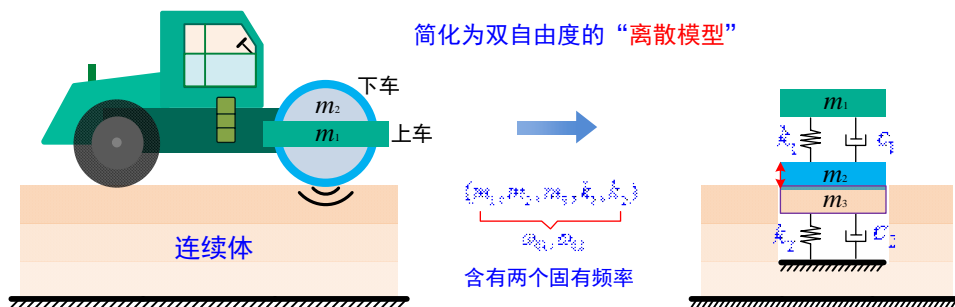


图 1 双自由度模型中包含两个固有频率

由于压路机的任务是碾压土体，所以假设有一部分土体（ m_3 ）也参与了振动，其简化模型为“质量~弹簧~阻尼”（ $m_3 \sim k_2 \sim c_2$ ），并假设土体与振动轮是耦合在一起的。

根据上一篇文章，双自由度系统具有两个固有频率，其中 ω_{01} 为上车（ m_1 ）与下车（ m_2 ）之间的固有频率， ω_{02} 为下车（振动轮）与土体之间的固有频率（注意，并不是土体本身的固有

频率。如果土体固有频率存在，也需要采用另外测试方法，例如让土体产生自由振动），二者都有具体表达式（详见任意一本振动力学的书籍）。

至此，固有频率产生了，随之而来的便是出现在压路机行业的“共振学说”，其核心内容是让压路机的振动频率与土体的固有频率相一致，这样就能获得最大振幅，产生最强烈的振动，更有利于压实。

在研究和设计各种车辆（包括汽车和列车等）时，通常的做法都是将承载车辆运行的连续填筑体简化为离散的、无质量的“弹簧~阻尼”结构，目的是为了解决填筑体对车辆的支撑问题（以抗力形式出现）。这种简化的核心是用抗力（弹簧力+阻尼力）来代替填筑体的支撑作用（前提是填筑体已经成型，按照弹性体考虑，这也是汽车和列车的运行环境），这对于一般的车辆设计已经够用了，并且也不用考虑所谓的“参振土体”的问题。

对于压路机，其任务是将散粒体碾压成弹性体，经历了从塑性大变形→塑性小变形→弹性变形的三个阶段，其工作对象是松散的填筑体，这是与汽车和列车不同的地方。为了体现这一特点，在建立“压路机~土体”振动模型时，主观地认为有一部分土体参与了振动，构造出了双自由度模型，由此得到“压路机~土体”系统具有固有频率的结论。

2. 双自由度模型存在的问题

图 1 给出的双自由度模型已经被广泛应用在振动压路机的设计中，主要用来进行仿真分析。这个模型看起来好像挺完美，但实际情况并非如此，存在太多的弊端。

针对图 1 所示的双自由度模型，我们先假设它是成立的，看看都存在哪些问题（这里只列出几个问题）。

（1）参振土体的不确定性

压路机部分的参数（ m_1, m_2, k_1, c_1 ）是固定的，但土体模型参数（ m_3, k_2, c_2 ）是变化的——随着压实程度的提高，填筑体的刚度（这里以弹簧系数 k_2 来表征）会增大（这正是智能压实要感知的参数），参振质量也会变大（但具体怎么变化，没有人能够说得清楚，目前给出的数据都是假设的），如图 2 所示。

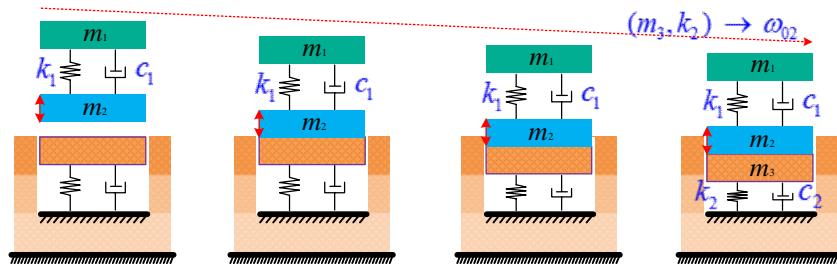


图 2 碾压过程“参振土体”模型的变化

当然，从碾压开始到结束，可以认为存在多个不同参数（质量，弹簧系数，阻尼）的土体模型（如图 2），但具体参数是很难确定的，这将导致“压路机~土体”系统的固有频率是不确定的。在此情况下，如何让压路机的振动频率与之相适应？

（2）参振土体简化的不合理性

如果将参振土体简化为“质量~弹簧~阻尼”模型，参振土体将由质量块(m_3)替代。于是可以得到这样一个结论：土体各点的振动位移都一样（振幅），但这与实际是不符的。因为振动轮将振动传递给土体后，振动会向四周传播，各点的振幅都是不相同的。

（3）参振土体被假设为一种弹性状态

将参振土体简化为“质量~弹簧~阻尼”模型，其前提条件是土体必须处于弹性状态，而这正是压路机要追求的碾压目标（这是与其它车辆的不同之处）。此时对压路机进行仿真分析，是把土体当成了一种弹性体，并不能完全体现出碾压过程。据此设计的各种振动参数，对分析碾压过程的帮助有多大，值得商榷。

综上所述，在设计振动压路机时，简单地认为部分土体参与了振动，并简化为固定的“质量~弹簧~阻尼”模型，这显然是不合理的，也无法体现碾压过程中土体性能的变化。采用这种模型来设计压路机的参数会存在较多的问题，应该研究新的简化模型。

（未完待续）