



解析智能压实之五： 补充——“共振学说”溯源（2）

作者：徐光辉



（接上文）

3. 碾压过程中填筑体性能的变化与表现

如前所述，压路机的任务是将散粒体碾压成弹性体（填料必须符合设计要求，否则也是难于压实的），为此，需要设计合适的参数（振动质量，激振力，频率，振幅等）。从这个角度看，搞清楚碾压过程中填筑体性能（主要是刚度）的变化规律和宏观表现是非常重要的，有助于更好地设计振动压路机的各个参数以及它们之间的匹配关系。

在碾压过程中，填筑体内部的变化是非常复杂的，我们没有必要追求这些细节，在宏观上把握住即可，这也是统计力学的观点和方法。

在宏观上，散粒体经历了从塑性大变形→塑性小变形→弹性变形的三个阶段，这是从松散到密实的过程。在这个过程中，填筑体内部颗粒之间的相互作用（关联）由弱到强，宏观上就是刚度（抵抗变形能力）由小到大的变化，对外表现在填筑体对振动轮的反作用力（抗力）的变化上，如图3所示。

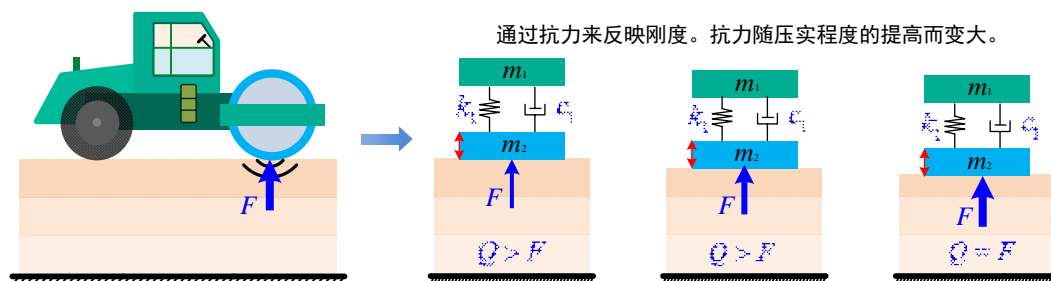


图3 通过抗力的变化来反映填筑体刚度的变化

填筑体抗力的变化是刚度变化的外在表现。在碾压过程中，压路机的压实力（ Q ）必须大于填筑体的抗力（ F ），这样才能破坏掉原来的土体结构，形成新的结构，让刚度增大（抗力也变大）；在碾压终了时，压实力与抗力是相等的（ $Q=F$ ）。在设计压路机时，抗力的变化

是需要考虑的。

4. 重新考虑压路机与填筑体的相互作用模型

在传统的压路机设计中，压路机的振动轮与填筑体之间的相互作用是通过“质量~弹簧~阻尼”模型来表征的（图 1）。填筑体的抗力为弹簧力与阻尼力的组合。这里的“质量”为“参振土体+振动轮”。但这个模型各个参数都是固定的，抗力也是固定的，与实际情况不符，应该重新考虑模型。

根据我们的研究，通过抗力的变化来反映土体性能（刚度）的变化应该是一条可行的技术路线（图 3）。至于在设计压路机过程如何使用这种抗力模型，我们可能会在后续文章中进行说明（也许我们会开发这套仿真系统）。

题外话——如果仍然想用双自由度模型，可以将土体简化为无质量的弹簧（ k_2 ），再加上一个阻尼器（ c_2 ），就是让图 1 中的土体 $m_3=0$ 。这样，下车即振动轮（ m_2 ）与（ k_2, c_2 ）构成一个单自由度的主系统，固有频率为 $\omega_{02} = \sqrt{k_2/m_2}$ ；上车即机架（ m_1 ）与（ k_1, c_1 ）构成一个单自由度的减振系统，固有频率为 $\omega_{01} = \sqrt{k_1/m_1}$ 。设计压路机时，激振频率要避开固有频率 ω_{02} ，否则可能会损坏机械零件。

但这里面有一个棘手的问题需要解决——土体的弹簧系数（ k_2 ）一直是变化的，导致固有频率 ω_{02} 也是变化的（由小到大）。解决的办法可以是这样的——让土体的弹簧系数（ k_2 ）由小到大变化，计算相应的固有频率（注意，这个并不是土体本身的固有频率），将压路机的激振频率设计到最大固有频率的外侧，并且还要与上车的减振系统相匹配。

5. 两张经典图片的说明

在压路机行业，有两张来自欧洲的经典图片，它们都涉及到共振频率问题，都是基于双自由度模型绘制出来的（如果不采用双自由度模型，则不会出现固有频率的问题）。

图 4 为 Machet, J.M. 于 1976 年在巴黎的一个会议上发布的。这个图是根据对双自由度模型各个参数做出的假设（见图中给出的参数值），利用计算机计算得到的数据而人工绘制的。但这张图并不完整，缺少另外一个固有频率（双自由度系统一定具有两个固有频率）。

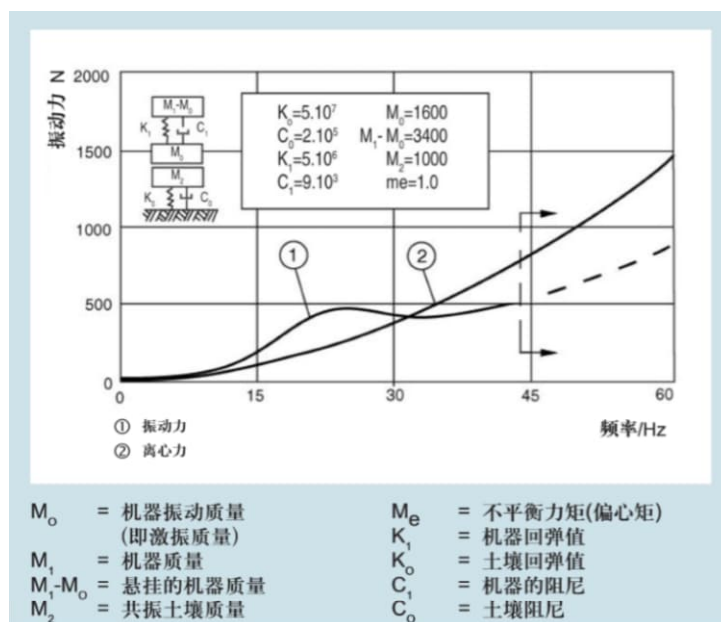


图 4 振动力与频率之间的关系

图 4 中所言的离心力就是激振力，振动力就是压实力（施加给土体的压力）。对于激振力，在偏心距（ me ）不变的情况下，图中给出的变化规律是正确的；对于压实力，图中给出的结果是按照弹簧力和阻尼力的组合得到的，虽然不一定与实际相符，但至少说明，在设计压路机时，激振频率是要避开系统的固有频率的（通常设计的振动频率在 28Hz~30Hz，并不在共振频率处）。

根据我们按照连续体模型的分析结果，压实力的构成比较复杂，与激振频率之间的关系也不像图 4 给出的那样，有机会我们再做详细说明。

关于频率和振幅对压实效果的影响，自从有了振动压路机以来就开始讨论了。得到的结论是：振动频率在 25Hz~50Hz 之间的压实效果最好。但是，在这段频率范围内，压实效果并没有显著变化——也就是说，振动频率对压实效果的影响并不显著（这个结论实际上是否定了所谓的“共振学说”），反而是大振幅会产生更好的压实效果，影响深度也更深，这就是图 5 给出的结论。该图取自瑞典 Dynapac 公司编写的《Vibratory Soil and Rock Fill Compaction》(1981)。

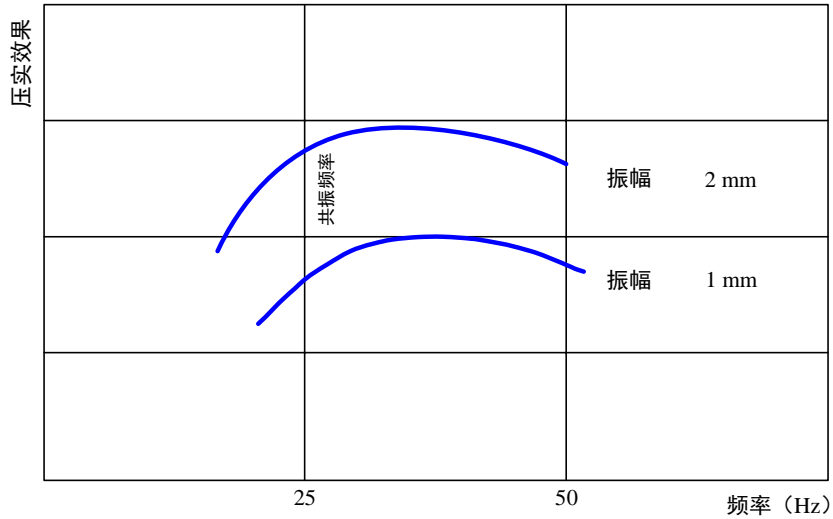


图 5 压实效果与频率和振幅之间的关系

另外，如果填料变粗，除了增大振幅外，还要增大压实力，这样才能获得更好的压实效果。但振幅增大后，振动频率不能太高，否则容易造成机械零件的损坏。

综上所述，决定压实效果的主要因素是压实力和振幅，振动频率和碾压速度主要影响压路机的工作效率。下一篇文章将对这个问题做进一步的讨论。

题外话——大家可以思考一下，为什么冲击压实的效果比振动压实还要好（碾压面不平整是另外的问题）？但冲击压实根本就不存在共振问题。由此是否也可以推断出，振动频率并不是影响压实效果的主要因素。

（全文完）