

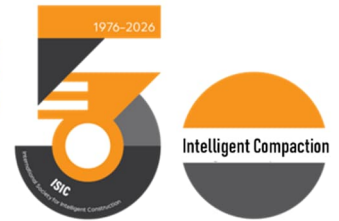
# IC-50 Articles – No. 04-01

## 解析智能压实之一：引言——什么是智能压实

(1)



前面我们聊了很多关于智能压实的事，包括它的发展历程和现状等。从本期起，重点讨论与智能压实相关的技术问题，首先推出“解析智能压实”系列，主要内容包括智能压实的基本含义与特点，感知技术，分析与决策中的关键技术，执行方式，压实工艺参数与自动调节，控制系统，施工自动化等。下面先来谈谈什么是智能压实，它的特点有哪些。



智能压实是在连续压实控制基础上发展起来的，从概念的提出（美国联邦公路局 FHWA）到内容的丰富（国际智能建设学会 ISIC），大约经历了 15 年的历程，见图 1 所示。



图 1 从连续压实控制到智能压实

### 1 智能压实的内涵与解释

智能压实是智能压实控制的简称。虽然目前还没有完整的定义，但它的内涵却是明确的，即，智能压实是指“在碾压过程中，根据连续感知到的压路机振动轮响应信号，得到压实质量控制信息，通过对控制信息、填料信息和碾压工艺信息的自主学习，实现对压实质量的自主分析、决策和反馈控制，提高压实质量”（引自《智能建设先的先行者：智能压实》，简称《智能压实》，下同）。下面简要解释一下这段话的含义。

首先，在上述这段话中，包含了“感知，分析，决策，执行”四个关键步骤（工作过程），也是其基本特征，同样也是整个智能建设所应该具备的特征。广义地讲，这也是所有做事情应该具备的基本特征（只是具体含义有所不同而已，详见本公众号上的[相关文章](#)）。这四个基本特征的具体内容就决定了智能压实的本质和技术水平。

例如，根据“感知”到的信息性质，就可以判定该技术所处的技术水平——如果感知到的信息是填筑体的模量/刚度，那么该技术就属于 L3 级水平；“执行”的方式则决定了施工的技术水平。这部分内容后续文章还会做进一步的讨论。

其次，这段话中含有“自主学习”的内容。这是 AI 应用的具体体现，主要是用在“分析，决策”阶段。从实际应用效果看，AI 更适合应用在“决策”阶段——包括智能决策填料的可压实性、压实工艺参数的调整策略等具体内容，以便给“执行”阶段发出明确的指令，实现自主的反馈控制。

最后，强调了“提高压实质量”是根本。无论是采用哪种技术，最终的目的只有一个，那就是提高压实质量，满足设计要求。这也是衡量过程控制技术好坏的唯一标准。

另外需要说明的是，智能压实主要是利用压路机的响应进行工作的，压路机是智能压实的重要组成部分（从动力学试验的角度看，碾压过程可以看作是一种“振动压实试验”，压路机就是加载工具，也是“执行”阶段的主要工具）。从这个意义上讲，其它附着在压路机上、但不利用压路机响应进行的检测并不包含在智能压实范畴内。

例如，在碾压沥青路面时，将热红外传感器放在压路机上进行的温度连续检测，将 GPR（探地雷达）装在压路机上进行的密度连续检测（其准确性有待商榷，详见后面的文章），它们都不能称作智能压实，不是智能压实所必须的，只能算是附属技术。因为将这些检测设备不放在压路机上也能实现移动检测。

最初智能压实并没有太多的“智能”含义，只是“压实计+GPS”的组合而已。

当这一称呼传入中国后（大约在 2010 年左右，国外 T 公司为了在中国高铁建设中推销压实监控产品而引进了这个称呼），我们并没有马上承认这一称呼，仍然坚持采用“连续压实控制”这一称呼（连续压实控制这一称呼也出现在 2011 年的中国首部行业建设标准和 2017 年的行业产品标准中）。原因有二：

其一，在仔细分析了当时的智能压实内涵后，发现并没有太多“智能”的含义，只是一个新名词而已。

其二，当时中国的北斗卫星系统还没有上线，如果承认智能压实这个概念，意味着要采用国外的 GPS，这就存在交通基础设施（铁路、公路、机场）地理坐标数据外泄的巨大风险，这是中国政府所不允许的。

因此，在我们的坚持下，该公司也不得不将“智能压实”改回“连续压实控制”。

到了 2016 年，笔者在石家庄培训班上与美国的 George Chang 博士谈起此事，经商定，才决定将连续压实控制改称为智能压实，但需要完善其内涵。2019 年，笔者代表 ISIC 执委会，在第二届国际智能建设会议（北京）上正式提出了智能压实应该具备的四个基本特征及其各自的具体内容。这也是这本书起名《智能压实》的主要原因之一。实事求是地讲，我们认可的智能压实属于 L3 级及以上的技术。

## 2 智能压实的工作过程

从施工的角度看，智能压实的基本特征也是其工作过程，是沿着感知→分析→决策→执行这样的顺序进行的，通过控制系统予以实现，参见图 2。

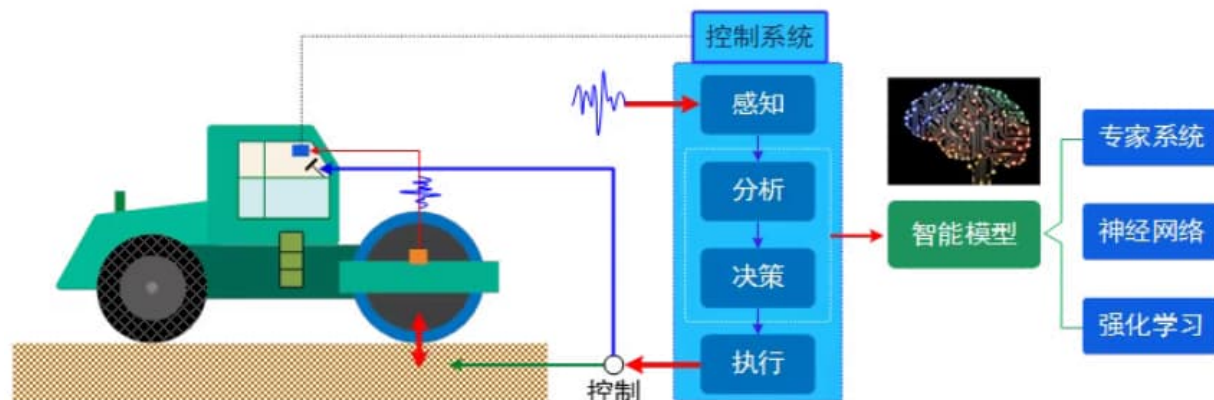


图 2 智能压实的工作过程  
(引自《智能压实》)

在图 2 中，从感知到决策，这三个过程都是在控制系统中的控制器（微型计算机，单片机为主）统一指挥下进行的，目前基本上不需要人的干预（特殊情况除外），实现了自动化操作。大致情况如下：

计算机指挥和控制数据采集器（感知终端的一部分，是控制系统的组成部分，也称作观测器，详见丛书的[工程控制技术分册](#)）进行实时的、自动的数据采集，然后根据相应的标准（准则），对压实数据进行分析，再根据分析结果进行碾压方案（策略）的决策，向压路机驾驶员或执行机构（压路机）发出执行的指令。

上述这三个过程（阶段）都是自动实现的。当填料不完全符合施工标准要求时（这种情况经常发生，因为施工标准对填料的要求并没有完全定量化），碾压过程数据一般都是比较复杂的，此时可以采用 AI 模型进行处理（注意，图 2 中给出的智能模型只是举例，实际使用的算法并不受此局限）。

对于执行过程，目前仍然以人工操纵为主（包括驾驶员操纵压路机和人工改善填料）。控制系统只是发出执行的指令。随着科技的发展，目前已经出现了采用无人驾驶的压路机（施工机器人）进行自动碾压作业的自动化施工，此时的控制系统还要负责调控压路机的碾压作业，后面会专门讨论这个问题。

（未完待续）