

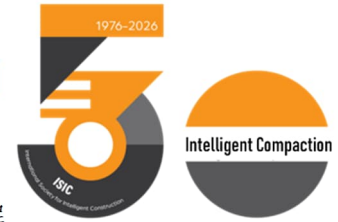
IC-50 Articles – No. 01-01

纪念智能压实 50 年——风风雨雨 50 载系列

【按语】由于智能压实包含有量测设备，所以这项技术从一开始就与商业交织在一起，知识与学派、利益与商家，各种纷争时有发生，50 载可谓风风雨雨。为了纪念智能压实 50 年，ISIC 首先推出“风风雨雨 50 载”系列文章，主要包括发展历程回顾、现状与困境、走出困境等内容，将分若干期发表。



风风雨雨 50 载系列之一——智能压实发展历程简要回顾（1）



散体形成结构体的过程主要是填料的碾压过程。如何在碾压过程中控制填筑体的压实质量，一直是筑路技术关心的重点。由于碾压过程是由压路机完成的，人们自然把目光聚焦到能否利用压路机的振动响应信息来评价碾压质量上来，答案是肯定的！这就是智能压实技术。从 1976 到 2026，一路走来，可以说是风雨兼程，期间发生了太多的事情，这里挑一些主要事件进行简要回顾。

（1）1970's:

在上个世纪六十年代，美国曾有人提出利用振动压路机在碾压过程中的动态响应来连续评定压实质量的想法，但由于量测技术的限制而没能实现。1974 年，瑞典高速公路局的土木工程师 Heinz Thurner（奥地利人）利用 DYNAPAC（压路机厂商）的 5 吨牵引式振动压路机进行了振动响应实验。分析结果表明，压路机振动响应的一次谐波与基频的幅值之比和压实效果有关联。1975 年，Heinz Thurner 和 Åke Sandström（瑞典人）联合成立了 GEODYNAMIK 公司，专门从事压实质量信息连续量测的研究工作。

- GEODYNAMIK 于 1976 年为 DYNAPAC 公司研发了一种可以装载在振动压路机上的量测设备，用于在碾压过程中连续评价压实质量，这就是所谓的压实计（Compact meter）其评价（控制）指标便是著名的 CMV（Compaction Meter Value），用于评价碾压过程中振动轮响应波形的畸变程度。至于为什么采用这个比值，并没有给出过多的理论依据，应该是根据试验观察得出的结果。这也是将 1976 年定为智能压实起始年的主要原因。
- 压实计在工程建设中的正式应用开始于 1978 年，如瑞典的 Jaktan 水电站工程等。与此同时，其它商家（包括高校和压路机厂家）也开始研制压实计。

(2) 1980's:

由于压实计原理简单，硬件上也容易实现和制造，因此，利用振动压路机动态响应进行压实质量控制的思想一经出现，便在一些国家（北欧为主）得到了重视，特别是北欧一些国家的压路机厂商，开始依据压实计原理研制量测设备，并进行工程应用。同时，也出现了对 CMV 的质疑声。

- 出现了连续压实控制（Continuous Compaction Control，CCC）这个术语（Heinz Thurner 和 Åke Sandström 等人，巴黎国际压实会议，1980）。
- GEODYNAMIK 公司在 1983 年推出了适合于振荡压路机的压实计产品，其控制指标为 OMV。随着研究的深入，该公司在 1988 年推出了可以记录压实数据的文档系统（The CDS System）。
- 德国的 BOMAG 公司（压路机厂商）首次将 CCC 技术（不同版本的压实计产品）引入到压路机中（1982）。该公司随后开始研制另外一种 CCC 产品（Terrameter BTM 01），其控制指标为一个能量值，称作 Omega 值（1983）。Terrameter BTM 01 突破了压实计的谐波比原理，开始向具有物理意义的力学指标靠拢，同时也显示了 CMV 存在缺陷的现实。
- 在中国，水利部门引进压实计技术，用于大坝（碾压混凝土）的压实控制（1988）。同期，压路机厂商开始尝试在振动压路机上装配压实计（包括进口的和国内电子厂商研制的）但最终失败而告终，其根本原因是由于 CMV 在很多时候没有正确反映压实质量。
- 日本建设省土木研究所对 CMV 进行了较为详细的研究。结果表明，CMV 对于某些细粒料的压实控制是有效的，但对于粗粒料无效（1985~1986 的研究报告）。同时也给出了 CMV 的修正方法，考虑了 1/2 次谐波以及高次谐波的影响，这也是后来日本出现 CCV 指标的主要依据。



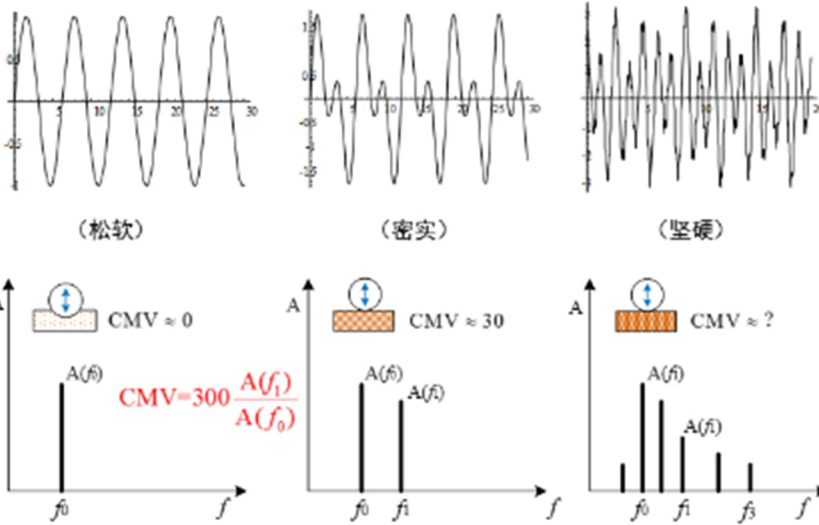
1976年，瑞典GEODYNAMIK为DYNAPAC公司开发了一种称作压实计的产品，初步实现了利用振动压路机碾压过程进行压实控制的愿望。



Heinz Thurner



Åke Sandström



压实计原理示意图

图 1 第一台压实计及发明者



图 2 Åke Sandström 与国际智能建设学会执委会成员

Antonio Correia（左 1），Åke Sandström（左 2），George Chang（右 2），Soheil Nazarian（右 1）

说明：

- 图片出自 2018 年在奥地利维也纳举行的 CCC40 周年庆。
- 压实计的欧洲另一派认为 1978 年他们制造了第一台压实计，故将 1978 年定为 CCC 元年。
- 为了尊重历史，我们将 1976 年作为 CCC 元年。

评语：

这一时期最重要的成就是诞生了基于振动压路机动态响应、在碾压过程中进行连续控制的思想。虽然压实计（CMV）存在种种缺陷，但丝毫不掩盖其创新性！我们要感谢 Heinz Thurner 和 Åke Sandström 两位工程师的卓越贡献。可以毫不夸张地说，智能压实今天取得的成绩，最初都受到了这种思想的启迪。