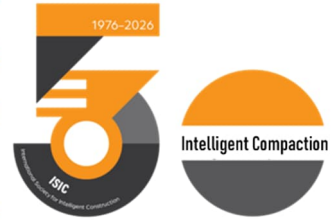


# IC-50 Articles – No. 01-02

## 风风雨雨 50 载系列之一——智能压实发展历程 简要回顾 (2)



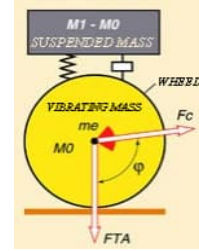
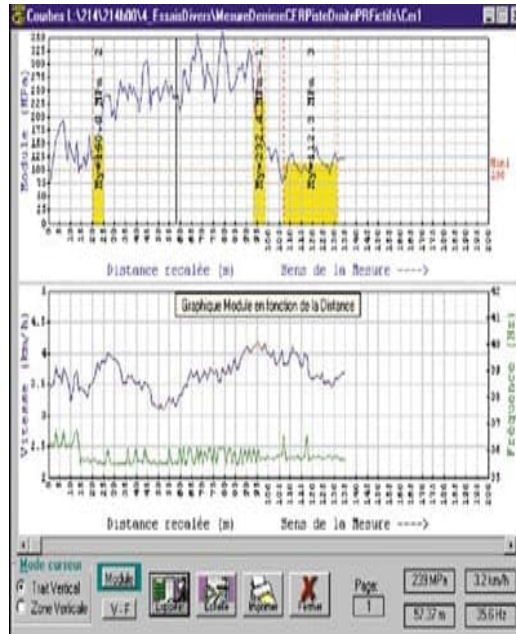
(3) 1990's:到了九十年代,出现了三种发展趋势。其一,北欧一些国家开始制定连续压实的技术标准,以此来推动这项新技术的落实;其二,一些国家的研究团队跳出了压实计原理的束缚,采用力学分析原理,重新认识 CCC 技术(这是由于在应用压实计过程中出现了很多问题,其中最大的问题就是 CMV 与常规检测结果如模量没有较好的一致性,导致人们开始怀疑这种技术是否真的有效,也使从事这类技术研究的人意识到,如果再沿着压实计原理走下去,可能会出现更多的问题,需要另辟蹊径。因此,一些研究者开始调整思路,从力学理论的角度进行系统研究);其三,连续压实控制技术的革新促进了新型压路机的发展,引发了筑路技术的革命。



- 欧洲一些国家开始制定连续压实控制的技术标准(或将 CCC 纳入相关标准中),进一步推动了这项技术的工程应用。这些技术标准包括:芬兰的 Tielaitos91,瑞典的 BYA92 和 VÄG 94,德国的 ZTVE-StB-93,奥地利的 RVS 8S.02.6 等。其中瑞典标准规定连续检测结果与传统检测结果的相关系数不小于 0.6 即可(暗示了 CMV 与传统检测结果的相关性较差),其它国家标准则规定不小于 0.7。
- 概念性的智能压路机(ICM)原型首次出现在 1992 年的 BAUMA 展上,由 BOMAG 公司研制。
- 德国公路建设部首次推荐使用 SCCC(土壤连续压实控制,1993)。
- 带有自动调幅压实系统(Variomatic)的压路机被首次用于沥青路面的压实作业(BOMAG, 1996);
- 中国公路领域的首个以连续压实控制为主的科研项目(碎石土路基施工质量控制方法)出现在黑龙江省(1993),由哈尔滨建筑大学(现哈尔滨工业大学)承担。该项目根据压路机钢轮与弹性体相互作用的动力学原理,于 1998 年提出了基于路基抗力指标(一个向模量/刚度过渡的力学指标,也是计算模量的一个关键参数,并且适用于压路机的弹跳状态)的动力学方法,1999 年成功研制“压实过程监控系统(CPMS)”,并在东北三省的公路建设中开始试验性应用。

- 法国研制了一种可以行走的窄轮压实设备 (Portancemeter), 用来模拟振动碾压过程, 可以得到填筑体的弹簧系数  $K_b$  (有时候也称作刚度系数, 这是从弹簧模型中推导出来的控制指标, 推导过程可参见《高速铁路路基连续与智能压实控制导论》)。该设备得到的  $K_b$  与平板载荷实验得到的模量  $E$  之间具有固定的关系 (1998), 由此建立了模量与刚度系数 (弹簧系数) 之间的对应关系。
- 德国 BOMAG 公司开始采用力学理论研究压路机与填筑体的相互作用问题, 于 1999 年提出了在碾压过程中采用模量作为控制指标, 并将其命名为振动模量 (E<sub>vib</sub>)。同时期, 瑞士 AMMANN 公司 (压路机厂商) 开始采用弹簧系数  $K_b$ 。

评语: 这一时期可以说是百花齐放、百家争鸣, 学术与商业共同推进了连续压实控制技术的研究和应用的深入。连续压实技术标准的制定, 为其应用奠定了基础, 改变了压实质量控制方式 (由事后点式控制变为碾压过程面式控制), 同时也促进了筑路技术的进步, 使压路机初步具备了自动调幅的功能, 这是施工自动化的雏形。在学术方面, 从最初单纯对振动轮响应波形的分析, 转变到了对振动轮与填筑体相互作用的力学分析, 由此引出力学上的一个经典问题——圆柱体与弹性半空间体相互作用的求解。这是百年前的一个弹性力学问题, 存在于多个领域。但遗憾的是, 直到现在, 这个经典力学问题仍然没有得到彻底解决, 目前所有的解答都是经过种种简化而得到的, 尽管看起来是解析解 (解答中含有填筑体的模量等物性参数, 具体参见丛书的《智能压实》分册)。虽然如此, 各种简化得到的解答 (反演模量, 但所有具体方法都没有被公开) 都能满足压实质量控制的精度要求, 这已经被工程实践所验证。从智能压实的角度看, 这是“感知”阶段所要解决的主要问题, 当然还包括如何进行动态测试的技巧问题等。



“Portancemètre” (LCPC; Quibel, 1998)

图 1 法国的一种可以行走的窄轮压实设备（Portancemeter）