

**Applications of Impact Compaction on
Treatment of Existing Cement
Concrete Pavement**

冲击压实技术处理旧水泥 混凝土路面应用大全

苏卫国 著



冲击压实技术处理旧水泥 混凝土路面应用大全

Applications of Impact Compaction on Treatment of
Existing Cement Concrete Pavement

苏卫国 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面应用大全/苏卫
国著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 9
ISBN 978-7-112-15554-5

I. ①冲… II. ①苏… III. ①水泥混凝土路面-压实
IV. ①U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 148109 号

本书包括 9 章, 分别是: 绪论、冲击压实技术的基本原理、冲击压实技术工程应用、冲击压实技术处理水泥混凝土路面的效果分析、冲击压实振动影响分析、基于冲击压实技术选择水泥混凝土路面修复方案、冲击压实施工工艺及安全保障措施、冲击压实处理水泥混凝土路面施工质量控制与验收、冲击压实处理后加铺层结构设计方法。文后还有附录。本书以实际工程为背景, 理论联系实际。内容丰富, 可操作性强。

本书可供公路行业的建设单位、施工单位、管理单位、监理单位使用, 还可供大专院校师生使用。

责任编辑: 胡明安

责任设计: 董建平

责任校对: 肖 剑 刘 钰

冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面应用大全

苏卫国 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷



*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 $\frac{3}{4}$ 插页: 16 字数: 500 千字

2013 年 9 月第一版 2013 年 9 月第一次印刷

定价: 65.00 元

ISBN 978-7-112-15554-5
(24179)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

一直以来,水泥混凝土路面以其强度高、刚度大、扩散荷载能力强和水稳性及热稳定性好等特点,获得广泛应用,但同时,水泥混凝土路面一旦破损,很难修复也是其一大特点,尤其是对于出现结构性破损或者断板率达到一定比例的路面,采取板块挖补等常规措施往往得不偿失,而将破损板块破碎后移走更会造成严重的环境问题,所以在旧水泥混凝土路面上加铺新的结构层成为大修工程的主流,这里有一个关键环节就是,将已经破损的旧水泥混凝土路面作为新加铺层的支承体系(基础),即充分利用旧水泥混凝土路面,使其成为新加铺层的合格基础,其中关键技术就是对旧水泥混凝土路面有效处理,冲击压实技术正是不二选择,这种冲击压路机一改传统的光轮压路机的圆形钢轮为多边形,当机器行走时,在轮面与地面阻力的作用下,轮轴反复抬升和落下进而使钢轮冲击夯压地面。冲击压路机的超高冲击能量,可以在将旧水泥混凝土路面板破裂成较小尺度的同时,使得旧板与旧基层或土基密贴,最终形成密实稳固的实体,作为新加铺层的支承体系,这个过程即所谓的破裂稳固。是一种处理旧水泥混凝土路面的高效、经济、可靠的再生利用技术。

本书基于作者十几年以来主持或参与旧水泥混凝土路面修复工程及其应用冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面的工程实践,对冲击压路机及冲击压实技术的发展历史、工作原理、应用范围等进行了详细阐述;以近十年来广东省境内主要旧水泥混凝土路面修复工程及国内典型工程为背景,列举并分析了冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面的各种工程实践,几乎涵盖了各种状况;对冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面的作用效果,结合实际案例并引用有关理论,进行了深入浅出的分析,可以有效指导冲击压路机的施工作业及质量控制;对于冲击压路机在施工过程中对环境比较大的振动影响问题,依托各种案例,进行了振动影响实测,得到大量指导性参数;冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面是大修加铺工程中的一个环节,就如何选择基于冲击压实技术的大修加铺层方案这个人们比较关心的议题,进行了阐述并提出选择流程;从实用角度,对冲击压路机的施工工艺及对周边设施的保护措施进行了总结,并提出具体实施措施;在实践中,如何对冲击压实技术处理的效果进行质量控制及验收,常常有许多误区,本书专门澄清了各种误区,提出了施工质量控制及验收的实施细则;最后,对冲击压实技术处理后的加铺层设计方法提出了有关建议及实际操作流程,为设计者提供了参考依据。

本书由华南理工大学苏卫国著,浙江台州学院何春木,广东省冶金建筑设计研究院吕蒋聪,深圳市公路交通工程试验检测中心黄志松,广州市市政工程维修处李铭政,广东省高速公路有限公司李晓华,中山市交通运输局蔡锡荣,广东泛珠技术有限公司田维静,广东南沙港桥股份有限公司朱青青等分别参与了本书有关实验数据采集、分析、整理等工作。

本书在编写过程中，得到了广东省公路管理局及广东省各地市公路局的大力支持，提供了丰富的实验环境；广东省公路管理局苏纪开、李林生在相关依托工程的组织及实施中给予了极大支持；三明重工施工装备有限公司李以祥提供了部分施工案例，在此一并表示感谢。

由于编者知识水平有限，书中不足与失误之处在所难免，衷心希望广大读者、专家、同行指正。

作者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 旧水泥混凝土路面修复技术概况	1
1.2 冲击压实技术应用概况	3
第 2 章 冲击压实技术的基本原理	5
2.1 冲击压路机发展简史	5
2.2 冲击压路机的主要技术参数	9
2.3 冲击压路机的工作原理	10
2.3.1 冲击压路机工作的三个阶段	10
2.3.2 冲击压路机的压实功计算	11
2.3.3 冲击压路机的工作特点	13
2.4 冲击压实技术的应用范围	15
2.4.1 路基压实	16
2.4.2 旧水泥混凝土路面修复	17
2.5 冲击压实技术处理地基的基本原理	18
2.5.1 强夯的加固机理	18
2.5.2 冲击能的传递机理	18
2.5.3 冲击压实机理	19
2.5.4 冲击压实前后土体微观变化	20
2.6 冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面的基本原理	21
2.6.1 水泥混凝土路面结构特征与破坏形式	21
2.6.2 传统水泥混凝土路面加铺层结构与缺陷	22
2.6.3 冲击压路机破裂稳固旧路面板的基本原理	23
2.6.4 冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面的结构设计方法	27
第 3 章 冲击压实技术工程应用	30
3.1 冲击压实技术在广东省应用的部分案例	30
3.1.1 国道 G205 广东梅州段旧水泥混凝土路面修复工程 (1999 年)	30
3.1.2 G106 广东翁源官渡段旧水泥混凝土路面维修工程 (2001 年)	33
3.1.3 广东 S349 杨爱线怀集段旧水泥混凝土路面维修工程 (2002 年)	36
3.1.4 国道 G323 广东南雄段 (2002 年)	40
3.1.5 广东省道 S253 银英公路 (2003 年)	45
3.1.6 国道 G205 广东河源段旧水泥混凝土路面维修工程 (2004 年)	48
3.1.7 广东省道 S249 线坪乳公路 (2008 年)	53
3.2 其他地区冲击压实技术应用概况	91

3.2.1 合巢芜高速公路大修改造工程 (2004 年)	91
3.2.2 福建省 S306 线永春段改造工程 (2004 年)	94
3.2.3 国道 G104 山东泰安-曲阜一级路改造工程 (2002 年)	96
3.2.4 国道 G320 浙江嘉兴段 (2000 年)	97
3.2.5 国道 G307 石家庄城建界—防洪堤段大修工程	99
第 4 章 冲击压实技术处理水泥混凝土路面的效果分析	101
4.1 水泥混凝土面板破裂程度影响因素分析	101
4.1.1 冲击能量大小	101
4.1.2 原路面板破损状况与冲击压实遍数	102
4.1.3 路基支承状况	103
4.1.4 其他影响因素	104
4.1.5 破裂效果影响因素小结	106
4.2 板块内部破裂状况分析	107
4.2.1 板内裂缝发展规律分析	107
4.2.2 理想裂缝发展方式	108
4.3 冲击压实施工沉降分析	110
4.3.1 G205 梅州段冲击压实沉降分析	110
4.3.2 S349 怀集段冲击压实沉降分析	117
4.3.3 G323 南雄段冲击压实沉降分析	121
4.3.4 冲击压实沉降分析小结	122
4.4 冲击压实后路面均匀性分析	122
4.5 冲击压实对其他结构层的影响	125
4.5.1 冲击压实对基层和路基压实度影响	125
4.5.2 路基不良状况对冲击压实效果的影响	127
4.6 冲击压实后路基路面回弹模量分析	127
4.6.1 回弹模量检测方案	128
4.6.2 回弹模量检测结果分析	129
4.7 本章小结	133
第 5 章 冲击压实振动影响分析	134
5.1 冲压振动对周边建筑物的影响	134
5.1.1 205 国道梅州段	134
5.1.2 106 国道官渡段	137
5.1.3 205 国道河源段	139
5.2 振动影响范围判定与减振措施	148
5.3 冲压振动对其他结构物的影响分析	149
5.3.1 冲击压实振动对挡土墙的影响	149
5.3.2 冲击压实振动对管涵的影响	149
5.4 冲压施工过程中对构造物的保护	154
5.5 冲击压实施工对地下光缆的影响分析	156

5.5.1 结构振动的测量原理	156
5.5.2 测试仪器	158
5.5.3 测试流程	159
5.5.4 冲击压路机施工振动影响分析	160
5.5.5 光缆的特性	160
5.5.6 冲击压实对光缆的影响及所采取措施	161
5.5.7 冲击压实后光缆检测	162
5.5.8 冲击压实时地下光缆数值分析	163
5.5.9 小结	176
5.6 本章小结	176
第6章 基于冲击压实技术选择水泥混凝土路面修复方案	177
6.1 路面修复方案选择流程	178
6.2 旧水泥混凝土路面状况调查与评价	181
6.2.1 路面基本情况、建养历史和交通量调查	181
6.2.2 路面破损调查与分析	181
6.2.3 路基破损状况调查	184
6.2.4 路面结构强度调查	184
6.2.5 旧路面基层顶回弹模量	185
6.2.6 路基类型调查	185
6.2.7 道路两侧环境调查	186
6.3 冲击压实技术的适用条件	186
6.3.1 交通等级	186
6.3.2 路面破损状况	186
6.3.3 路基破损状况	187
6.3.4 其他影响因素	188
6.3.5 适用条件小结	188
6.4 基于冲击压实技术的水泥混凝土路面修复决策	189
6.4.1 水泥混凝土路面修复方案	189
6.4.2 基于冲击压实技术的水泥混凝土路面大修决策	190
6.5 本章小结	192
第7章 冲击压实施工工艺及安全保障措施	193
7.1 实验段	193
7.1.1 实验段目的	193
7.1.2 实验段准备	193
7.1.3 实验段监测内容及工作安排	195
7.1.4 实验过程	195
7.1.5 实验结果	196
7.2 施工准备	197
7.3 冲击压实专项施工组织设计	198

7.4	施工过程	200
7.5	冲击压实施工环境振动影响及其安全防护措施	204
7.5.1	路旁地面上建筑物安全距离	204
7.5.2	地下构造物安全距离和安全防护措施	205
7.5.3	地下光缆保护措施	205
7.5.4	现场施工人员安全防护措施	206
第8章	冲击压实处理水泥混凝土路面施工质量控制与验收	207
8.1	冲击压实施工质量控制	207
8.1.1	质量控制标准	208
8.1.2	冲击压实施工质量控制措施	213
8.1.3	沉降量观测方法与沉降稳定判定	215
8.1.4	破裂形态的辨识	216
8.2	冲击压实施工自检与交工验收	218
第9章	冲击压实处理后加铺层结构设计方法	219
9.1	现行规范水泥混凝土路面加铺层设计方法	219
9.2	冲击压实处理后旧路面结构的物理力学特性	222
9.3	冲击压实处理后的路面结构组合设计	224
9.4	加铺层路面结构设计流程	227
附录	《应用冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面施工规程》DBJ/T 15-72—2010	230

第 1 章 绪 论

在中国,水泥混凝土路面已有 80 多年的发展历史,特别是新中国成立以后,水泥混凝土路面在城镇道路上得到了较快的发展。尤其是在盛产水泥地区,水泥混凝土路面得到了越来越广泛的应用。水泥混凝土路面已经成为高等级公路主要的路面结构形式之一,20 世纪 90 年代发展最快,里程增加最多,到 2003 年底,水泥混凝土路面占沥青与水泥混凝土两种高级路面总里程的 58%,到 2007 年,水泥混凝土路面里程占中国有铺装路面里程的 64.87%,中国已成为世界上水泥混凝土路面拥有里程最多的国家。

水泥混凝土路面结构,包括接缝普通素混凝土、接缝钢筋混凝土、连续配筋混凝土、预应力混凝土、装配式混凝土和钢纤维混凝土等面层板及其基(垫)层。水泥混凝土路面具有强度高、刚度大、扩散荷载能力强和水稳性及热稳性好等特点,与沥青混凝土相比,其施工简单、取材方便,性能价格比好,因此,20 世纪在中国的部分高等级公路、干线公路,尤其是地方道路得到了广泛的推广应用。加上早期中国的沥青材料质量不过关,且产量较小,铺面道路中水泥混凝土路面占主导地位。在 1970~1980 年开始大量修建水泥混凝土路面,尤其是南方多雨地区及城市道路,水泥混凝土路面居多。

其中,20 世纪 80 年代和 90 年代初修筑的水泥混凝土路面,由于设计、材料、施工技术、施工管理和质量控制等原因,投入使用 3~5 年后就出现了大量的早期破坏,且随着使用年限的增加,有些路面病害相当严重,已经达到了不得不进行大中修的程度。在寿命期内非正常性破损成了这些旧水泥混凝土路面的“主流”。水泥混凝土路面虽然具有上述优点,但其一旦破损,很难修复。如何对旧水泥路面进行经济、快速、彻底有效地改造,已日益成为公路部门必须面对和必须解决的技术问题。主要问题如下:(1)某些早期修建的水泥混凝土路面,由于施工质量或结构设计等方面存在缺陷,加之道路运营中超载车辆较多,导致水泥混凝土路面过早损坏;(2)由于雨(雪)水的影响、养护不到位及行车荷载的作用,造成水泥混凝土路面板出现唧泥、错台、脱空、断板等结构性病害;(3)水泥混凝土路面修补困难、维护费用高,并且修复效果并不十分理想,对水泥混凝土路面如何维修、改造一直是困扰道路部门的技术难题;(4)对旧水泥混凝土路面加铺层结构、材料的选择及设计理论缺乏深入研究,加铺层设计方法不完善以及缺乏成熟的施工技术,一些地方对加铺层材料、结构及厚度的选择仅凭以往的经验,带有很大的盲目性,因而往往加铺效果不理想,并造成经济上的损失及不良的社会影响。

1.1 旧水泥混凝土路面修复技术概况

对于那些非正常破损的水泥混凝土路面或中等繁重以上交通量的路面,当损坏(体现在断板率 DBL、路面状况指数 PCI 等方面)达到一定程度,必须进行维修以维持正常运营,或需全面提高整个路段的服务水平时,一般都采用水泥混凝土路面改善、水泥混凝土

路面修复等类型的大修工程。国内外通常采用的加铺措施有3大类：加铺沥青混凝土面层、加铺新水泥混凝土面层和翻修。

(1) 加铺沥青混凝土面层：即在旧水泥混凝土面板上铺筑粒料或半刚性基层后或直接加铺沥青混凝土结构层，所谓“白加黑”。一般认为，这是修复旧水泥混凝土路面的一种有效补强措施，不仅提高了路面的承载能力，消除了原有接缝处易产生唧泥、断裂、脱空等多种病害的不利影响，同时也提高了路面平整度和抗滑能力，改善了路用性能，提高了路面服务水平。

(2) 加铺新水泥混凝土面层：即在旧水泥混凝土面板上铺筑结合式、分离式新水泥混凝土面板，或铺筑半刚性基层后加铺新水泥混凝土面板，所谓“白加白”。一般这种措施在盛产水泥的地区使用比较多。常用于路基高度低，常受洪水浸泡的过水路段；能提高路面的承载能力。

(3) 翻修：一般指拆除旧路面，对路基进行处理后，铺筑新的水泥混凝土或沥青混凝土路面结构。用于原路基路面有严重缺陷而影响正常使用的路段；或旧路面标高严禁升高的路段。

针对旧水泥混凝土路面状况，修复旧水泥混凝土路面，一般有如下3种方法：

(1) 当原路面状况较好，且下承层（旧基层和路基）强度也满足要求时，一般保留原路面面层，对局部损坏的板块采取修理、置换的方法进行处理，充分利用其原有承载力。

(2) 对中等损坏程度的路面，破裂并稳固旧混凝土板，使其充当新加铺路面结构的一部分。

(3) 当路面状况很差，破碎非常严重，路基等下承层也有较大问题时，则一般挖除旧路面板，予以再生利用；处理旧下承层，然后铺设新结构层。

在美国、加拿大，旧水泥混凝土路面修复通常采用方法有：混凝土路面复原技术（Concrete Pavement Restoration-CPR techniques）；在旧的（或断裂的）混凝土路面上加铺沥青混凝土面层；加铺结合式或分离式水泥混凝土面层；其目的在于纠正错台、裂缝、接缝碎裂、特殊破损并恢复行驶舒适性。许多管理机构喜欢用标准的加铺层厚度以尽可能减少对现有交通的影响，尤其在市政道路，这种做法往往会导致较短的服务寿命。换句话说，使用耐久的水泥混凝土加铺层往往需要更长时间关闭车道，自然会更长时间中断交通。要想在修复工程中更好地利用水泥混凝土加铺层，就要使用加速的铺设水泥混凝土的技术，如，将早强混凝土和无间隙摊铺机联合使用。路面维护管理人员面临的问题仍是：现在中断交通时间长，将来路面的服务寿命也会较长；而现在中断交通时间短，将来路面的服务寿命也会较短。如何解决这样的矛盾，仍是一个难题。

国内外的工程实践及研究表明，对旧水泥混凝土路面的处理好坏与否是决定加铺层结构性能的关键因素。实践经验已经证明，对于国内大多数旧水泥混凝土路面，由于基础较差（或者混凝土路面板下根本没有基层），采用挖除严重损坏板、置换新板法，不仅难以抑制相邻板块的破损，还将加速这些板块的破损，造成年年补、年年坏，换板跟不上坏板的恶性循环，既浪费资金，又无法解决问题；另外，对旧路面结构层的全面置换处理或重建，则由于挖除的旧混凝土板无法有效的回收利用而造成巨大的旧混凝土碎块堆放问题，会引起严重的环境污染。在这样一些背景下，在旧水泥混凝土路面上铺设加铺层应该是较为彻底、有效的方法，尽管一次性投资会高一些，而采用科学、有效的原水泥混凝土路面

处理方法,便成了加铺工程的关键所在。对旧水泥混凝土路面进行破裂稳固,使其作为新加铺路面结构的一部分,在国外已有 10~20 年的应用,而采用什么方法实现有效的稳固目的,经历了破裂和稳固分别进行到破裂稳固合二为一的过程。采用新型高效的冲击压实技术,正是为了探求加铺修复工程中,破裂稳固旧水泥混凝土路面的有效方法。

众所周知,对于沥青混凝土路面,基层是重要的承重层,其必须具有足够的强度,且保证在水、温度作用下具有良好的稳定性;影响路表弯沉的主要因素是路基的强度,为满足弯沉指标,提高路基强度是重要措施,其次是提高基层模量和厚度,总之,路基必须密实、均匀、稳定。对于水泥混凝土路面,土基和基层是水泥混凝土面层和行车荷载的支承体系,面层混凝土的刚度大(弹性模量为 20~45GPa),板体性强,因而具有良好的扩散荷载能力,传到基层或土基顶面的荷载应力很小。这样,对水泥混凝土面层下的基层和土基不要求强度高或承载力大,由于水泥混凝土是刚度大的脆性材料,对土基变形的适应能力较差,因而更重要的是要求土基提供稳定而均匀的支承。

在旧水泥混凝土路面大修工程中,无论是加铺沥青混凝土面层,还是加铺新水泥混凝土面层,将旧水泥混凝土面板及其基层和土基作为加铺层的承重层或支承体系是必然的,因而也必须满足加铺层对其下承层的要求,此其一;其二就是铺筑罩面后因旧水泥混凝土面板缺陷而引起的反射裂缝问题,尤其是在沥青混凝土罩面层上。

通常认为反射裂缝产生的力学机理是加铺层承受原路面因垂直和水平位移引起的应力。垂直位移是下层路面接缝、裂缝处的不均匀位移,是温度和含水量的变化引起的膨胀和收缩造成的。位于加铺层之下的开裂板,其水平位移会引起裂缝上方层相应部位很高的拉应力。同样,垂直位移也引起了加铺层内很大的剪应力。控制加铺层反射裂缝的一种方法是将旧水泥混凝土路面板破裂成小块,然后用沥青混凝土或水泥混凝土罩面稳固。破裂和稳固旧路面的目的,是将水泥混凝土破裂成能将旧板的水平位移减小,以消除产生反射裂缝的温度应力,同时还要能使块与块之间形成集料嵌锁,同时保持住水泥混凝土路面原来所具有的大部分结构强度,进而为其上的加铺层提供良好的支承。对旧水泥混凝土路面的处理,也可通过挖补(包括局部处理原基层)、修理接缝等手段保留原水泥混凝土面板,但是,如果旧的水泥混凝土路面出现综合性的破损且从寿命周期成本来分析,采用这些权宜之计的手段是不合适的,那么采用破裂和稳固的方法处理旧水泥混凝土路面应该是一种比较彻底的解决方案。

1.2 冲击压实技术应用概况

冲击压路机(Impact Roller)是引进国外新型的具有高冲击能量的压实机械。它一改传统的光轮压路机的圆形钢轮为多边形,当机器行走时,在轮面与地面阻力的作用下,轮轴反复抬升和落下进而使钢轮冲击夯压地面。1999 年 4 月,在国道 G205 线广东梅州蕉岭段水泥混凝土路面大修工程中,华南理工大学和广东省公路管理局开创性地应用冲击压实技术(Impact Compaction)处理旧水泥混凝土路面,利用冲击压路机的超高冲击能量,高效地破裂稳固旧水泥混凝土路面。

之后,在广东省及安徽省多项水泥混凝土路面修复工程中采用冲击压实技术,既有为“白加白”,也有为“白加黑”加铺层结构提供支承体系。与此同时,广东省交通厅下达了

“冲击压实技术在旧水泥混凝土路面修复工程中应用研究”科技项目计划，华南理工大学和广东省公路管理局承担此项目，对广东省境内累计长达 200km 的旧水泥混凝土路面修复工程应用冲击压实技术进行试验研究、跟踪监测以及相关理论探索达 5 年多，建立起一套独特、科学合理、操作性强的应用冲击压实技术破裂稳固旧水泥混凝土路面的方案选择、设计参数、质量控制、效果评估应用体系。于 2004 年 8 月，“冲击压实技术在旧水泥混凝土路面修复工程中应用研究”项目通过省级鉴定，鉴定委员会认为：该项目进行了系统试验及理论研究，对多项依托工程进行了长达 5 年的行车检验和跟踪观测，修复工程质量优良，取得了良好的效果，经济效益和社会效益显著，成果处于国际先进水平。

冲击压实技术处理旧水泥混凝土路面已经在全国范围广泛应用。仅在广东省，冲击压实技术在国道、省道旧水泥混凝土路面处理工程中的应用里程数超过 2000km，主要包括：G205 国道梅州段；G206 国道兴宁段；G106 国道官渡段；G323 国道南雄段；G205 国道河源段；G107 国道清远段；S349 省道怀集段；S253 省道银英公路；S260 省道阳山段，G206 国道揭阳段，G105 国道新丰段，G324 国道汕尾（陆丰、海丰）段，S118 省道增城段和花都段，广东省佛山市三水区大南路，G106 国道曲江段，S249 省道坪乳公路，S342 省道乌迳镇段，广州市北环高速公路，G107 国道清远龙狮公路，S263 省道怀集段、广宁段、四会段、高要段，X558 县道恩平市段，S244 省道新丰段，S244 省道新丰段，S355 省道鳌头段，G325 国道鹤山段，G321 国道封开段和德庆段，S269 省道南海段、清龙段，S362 省道高明区龙高段，S266 省道封开段，S265 省道德庆段，G322 国道三水段，S112 省道广杏线，S368 省道罗旁至平台段，S362 省道莲金线龙口段，S268 省道勒金线，S262 省道怀集县段，S265 省道怀集县段，S368 省道云浮段，S272 省道杨西段，S439 省道四会至石狗段，S244 省道惠州金龙大道，G205 国道惠州金龙大道等。

而在全国范围，冲击压实技术在处理旧水泥混凝土路面的应用几乎覆盖了所有省份，典型工程如：安徽合巢芜高速公路、合宁高速公路，安徽 G206 国道宿州南至怀远北段，福建 G205 国道三明市段、龙岩市段，福建 G205 国道、G316 国道南平市段，福建 S306 省道永春段，湖北 G207 国道枣襄段，湖北 G316 国道十堰段，山东 G104 国道泰安-曲阜一级路，山东 G204 国道莱阳至青岛界段，浙江 G320 国道嘉兴段，河北 G307 国道石家庄城建界—防洪堤段，山西 G108 国道河津市过境段，江苏 S326 省道沭阳段，江西 G320 国道上饶市段，黑龙江哈同路等。

第 2 章 冲击压实技术的基本原理

2.1 冲击压路机发展简史

早在 1000 多年前，中国就利用人力或畜力拖动石滚压实路面，并通过人工打夯法利用石盘、石墩冲击道路土体，提高深层压实效果，以便提高承载能力，延长使用寿命（图 2-1）。19 世纪 60 年代中期，随着蒸汽机的发明，美国研制了世界上第 1 台基于静力作用压实原理的以蒸汽机为动力的自行式三轮压路机（图 2-2，图 2-3）；20 世纪 20 年代末美国研制了以柴油机为动力的自行式光轮压路机（图 2-4）。后来人们发现有必要用振动去克服土石颗粒间的黏着力和内聚力，于是基于振动压实原理的振动压路机应运而生了（图 2-4）。当压实效果相同时，振动压路机在结构质量上可比静作用压路机轻 $1/2$ ，发动机的功率可降低 30%。



图 2-1 古代打夯图



图 2-2 蒸汽机动力压路机（一）



图 2-3 蒸汽机动力压路机（二）



图 2-4 现代振动压路机

20 世纪 60 年代末、70 年代初法国首先改进了强夯法（图 2-5，图 2-6），国外也称之为动力固结法。它一般是通过 8~30t 的重锤采用 8~20m 的落距（最高可达 40m），对地基土施加强大的冲击能，在地基土中形成冲击波和动应力，使地基土压密和振密，以加固地基土，达到提高强度、降低压缩性、改善砂土的抗液化能力、消除黄土的湿陷性等目

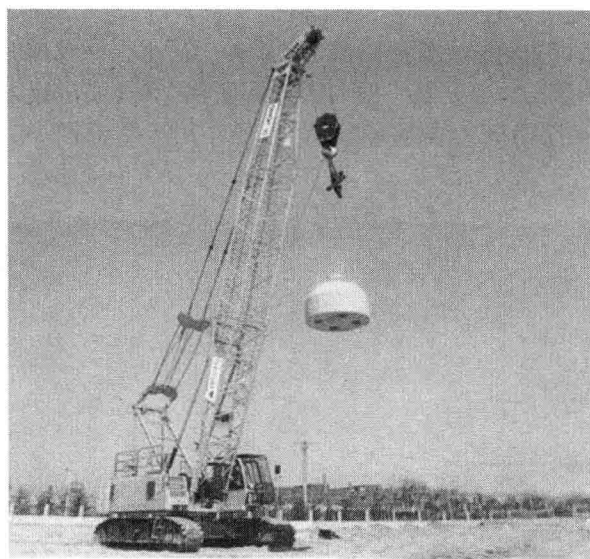


图 2-5 强夯法钢锤

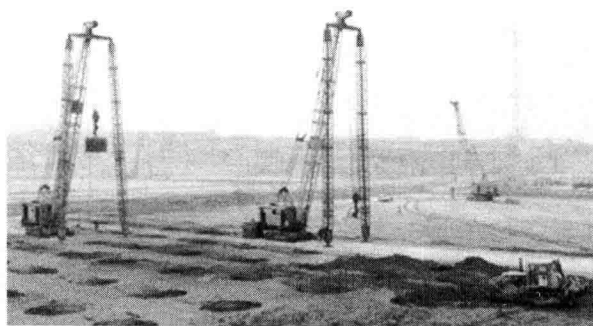


图 2-6 强夯法施工场地

的。强夯法于 1969 年首次应用于法国的 Riviera 夯实滨海填土。1971 年后该方法在法国、英国、德国、瑞典等国家得到推广，各届国际土力学及基础工程学会会议及世界各地区区域性土力学会议上，都有大量论文发表。我国于 1978 年 11 月至 1979 年初首次由交通部一航局科研所及其协作单位，在天津新港三号公路进行强夯试验研究。在初步掌握了这种方法的基础上，于 1979 年 8 月又在秦皇岛码头堆煤场细砂地基进行了试验并正式使用，其效果显著。此后，强夯法在全国各地迅速推广，取得了明显的社会效益。强夯法以其适应性广、效果好、造价低、工期短等特点，成为我国地基处理的一项重要技术。

中国古代的人工打夯法及后来的强夯，由于其能产生峰值极大的力脉冲，具有输出能量大，能够获得深层压实效果等优越性能，促使人们去不懈努力探求一种利用动力驱动、能够连续地在长距离的高填方路堤施加高能量冲击力的压路机械。

20 世纪 50 年代初，南非 Aubrey R Berrange 首次研制出非圆形压实轮的冲击压实机械（Impact Roller）（图 2-7），并在美国申请了专利 US2909106（图 2-8），可见，最早冲击压路机轮体是四边形（图 2-9），经过 40 多年的发展、改进和完善，目前在美国、南非、澳大利亚等国家和地区已有多多个单位生产不同能量、型号、形状的冲击压路机系列产品。目前冲击压路机的形式有高能连续式和高能间断式；从压实轮的形状来看有三边形（图 2-10）、四边形（图 2-9）、五边形（图 2-11，图 2-12），甚至还有八边形冲击压路机（图 2-13）；压实轮有实体、空体及可填充式等类型；牵引方式有牵引机与压实轮联为一体自行式（图 2-11，图 2-13）和牵引机与压实轮互为独立拖式（图 2-9、图 2-10、图 2-12）等类型。另外还有门板式破碎机（图 2-14），主要是对路面板进行致裂，然后再压实。

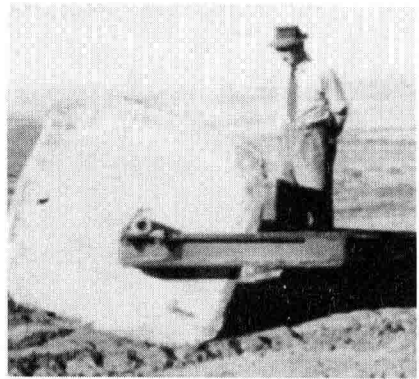


图 2-7 Aubrey R Berrange 与多边形压路机

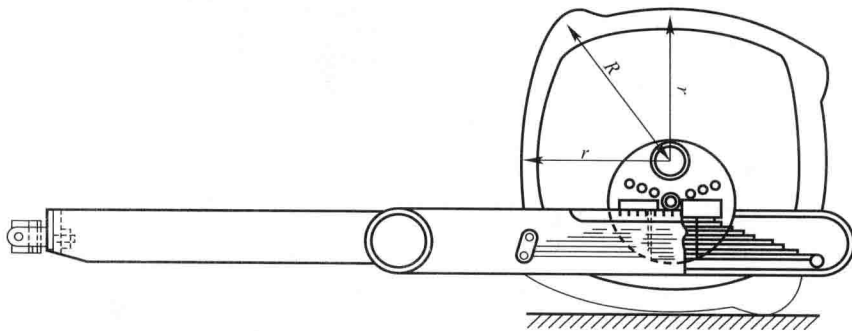


图 2-8 美国专利图式

在 20 世纪 70 年代，“厚层压实设备”的使用倾向变得更明显。路基路面要满足更大荷载作用下仍然具有足够长的疲劳寿命需要，机场道面要满足更大型飞机的需要，且许多地方正着眼开始填海造地，使得人们开始对深层压实设备产生兴趣。



图 2-9 四边形拖式冲击压路机

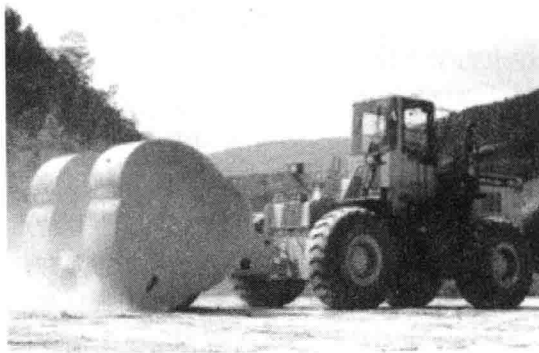


图 2-10 三角形拖式冲击压路机



图 2-11 五边形自行驶式冲击压路机



图 2-12 五边形拖式冲击压路机

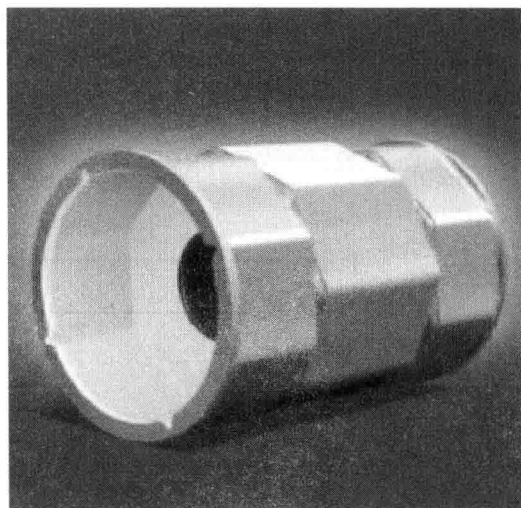


图 2-13 八边形冲击压路机