

总则

- 1.0.1 为了适应我国公路建设的需要，促进冲击碾压技术的开发应用，提高公路的建设质量与速度，特制定本指南。
- 1.0.2 本指南适用于采用冲击碾压技术施工的各级公路的新建与改建，其它相关工程可参考使用。
- 1.0.3 采用冲击碾压前应考虑对居民、构筑物等周围环境可能带来的影响。
- 1.0.4 冲击碾压的设计与施工应根据具体的地形地貌、土质条件、公路等级、工期要求等因素进行综合考虑。
- 1.0.5 冲击碾压施工应结合工程实际情况，完成冲击碾压试验段工程。
- 1.0.6 冲击碾压工程施工应精心组织，施工中不断总结完善施工工艺、检测方法与质量管理措施，对于施工中出现与原设计不相符的情况应及时反馈给设计单位。
- 1.0.7 必须加强施工过程的检查和记录，严格按设计要求施工，确保工程质量。
- 1.0.8 采用冲击碾压技术必须制订相关安全保障措施，杜绝违章施工，做到安全生产。
- 1.0.9 除执行本指南之外，还应符合国家及交通部现行有关标准、规范的规定。

说明

作为国家的规范性文件，在国外有许多不同的类型，如规范、规程、标准、纲要、指针等，还有一些是属于指南，手册等指导性文件，在意义上有着微略的差别。我国历来都是以规范或规程的方式颁布的，以技术指南的方式发布数量不多，指南不如规范的条文那么成熟、严谨，有许多是较为新颖的东西，尤其是尚有一些内容还处于试验研究或发展过程中，需要作较多的说明。为了使使用单位有所遵循，少走弯路，以指南的方式颁布也是国外通行的做法。在国外冲击碾压技术于上世纪八十年代开始投入生产实用，我国于九五年开始采用，应用时间较短，应用领域在不断拓宽，各方面还有许多工作要做，所以希望使用单位在使用本指南时应根据具体情况选用。如果觉得本指南有不当之处，请提出意见，以便在修订时或编制规范时修改。

自1995年冲击压路机引入我国以来，我国的冲击压路机数量已达两百余台。由曲线为边而构成的正多边形冲击轮在位能落差与行驶动能相结合下对工作面进行静压、搓揉、冲击。其高振幅、低频率的冲击碾压产生的巨大冲击力使地表下深层土石密实度不断增加，使冲压土体更接近于弹性状态，具有克服路基隐患的技术优势，是土石工程压实技术的最新发展。与一般压路机相比，其压实土石的效率提高3~4倍（考虑上料、摊铺、平整的工序），破裂水泥路面效率更高。以下是冲击压路机与普通压参数对比

表 1-1

指标	冲击压路机	普通压路机
碾压有效宽度 (m)	2	2.134
行驶速度 (km/h)	10~150	3~6
压实厚度 (m)	0.8	0.3
压实遍数	20	6
压实效率 (m ³ /h)	800~1200	320~640

我国公路部门除个别省份外均已采用了冲击碾压技术，其主要应用领域是：①高路堤、路床、填挖交界路基的冲击增强补压；②湿陷性黄土等软弱地基、路堑的冲击碾压处理；③路堤等的分层填筑碾压；④旧砂石路、旧沥青路的冲击碾压与加宽部分的增强补压；⑤水泥路的冲击破碎碾压等。我国公路部门现有规范缺少冲击碾压的相关设计与施工技术标准。各应用单位往往根据工程的特点和要求决定是否采用和如何应用。为了促进冲击碾压技术的正确开发应用，确保工程建设质量，满足生产实践的迫切需要，特制定本指南。

冲击压路机除在公路行业广泛使用外，其它如民航机场、水利等行业均已采用，如新疆且末机场、河北唐山机场、贵州兴义机场、重庆万州机场和贵州洪家渡电站大坝等均采用冲压技术。因此，本指南主要服务公路工程建设外，其它行业类似工程可参考使用。冲击压路机行驶速度快，冲击力强，对附近的构筑物会有一定的震动与噪音影响，往往会引起附近居民的反应，采用前需事先调研。

我国多条高速公路采用冲击碾压的结果表明，土体含水量对冲碾效果有明显影响。如河北宣大高速公路湿陷性黄土地基冲碾因含水量接近最佳含水量效果明显；西北某省某高速公路的湿陷性黄土地基因其含水量偏低（为7~8%左右），采用20kJ履带牵引式冲击压路机冲碾后效果不明显；西北某省的某条一级路的湿陷性黄土地基因其含水量过高（接近20%）而致使采用25kJ三边形冲击压路机冲压后压实度只能达到85%~90%，并出现弹簧现象，效果较差。对于南方地区的高液限土等对含水量的要求相对较宽，如广东新台路增强补压时土体的含水量在20~30%之间，冲压效果良好。因此一定要结合具体的地质条件进行冲压设计与施工，一般来说，液限越低，含水量范围要求越小，控制越应严格。

目前我国的冲击碾压主要应用于高速公路领域，低等级路的作业面较小，压实质量的要求相对较低，目前冲击碾压的直接费用较高，因此，在低等级路的应用上应予综合考虑。在工期要求紧的情况下，采用冲击碾压技术是非常必要的，如北京八达岭高速公路（二期）曾用25kJ三边形双轮冲击压路机在50多天的时间内填筑了填土高度为34米的高路堤，压实层厚80cm~100cm，工后一年的平均沉降量4.2cm，最大沉降量7cm，可以说是完全成功的。工期紧的工程进行路床补压对于提高路床的整体性与承载能力，增强路面的抗早期破坏的能力是有明显效果的。北京八达岭（二期）、福州至泉州、湖南湘耒路、江西梨园至温家圳、青海平西路、福建福鼎至宁德等众多高速公路在摊铺基层前采用冲击压路机对路床补压20遍，效果明显。在地形地貌方面，由于冲击压路机的施工需要一定的速度与工作面，因此，对于沟壑纵横山区及构造物较多的地区应用时应考虑工作面的要求。总之，冲击碾压技术的设计与施工应结合公路等级、地质条件、工期要求、地形地貌等因素综合考虑。

冲击碾压与传统压实方法相比有许多不同之处，如我国路基填筑以压实度作为施工主要控制指标，要求每2000m²检测8个点，且灌砂坑底部应与压实层底为同一平面。但对冲击碾压的厚层（如80cm左右）而言，以上要求显然不可行，必须以其它方法进行质量控制。

我国幅员辽阔，填料性质不同，冲压效果差异较大，如浙江杭金衢线宕渣路基采用25kJ三边形冲碾30遍后平均沉降量仅为2.2cm；其它高速公路增强补压冲碾20遍后一般沉降量为5~7cm。对于路基的分层填筑冲击碾压，不同地区土石混填、填石路堤等的下沉量不同。对于旧砼路破裂改建，因地质状况、原路面结构、砼板破损状况、路基高度等不同差异明显，如安徽205国道天长段旧水泥路面的改建采用15kJ五边形冲击压路机进行冲压破碎，在零填方路段的平均沉降量为1.1cm，高填方路段的平均沉降量为3.5cm。205国道广东梅县段20遍后的平均沉降量为5cm~7cm。因此，很难制定统一的

标准。

我国三边形冲击压路机有 20kJ、25kJ、30kJ 及四边形、五边形等，虽然迄今为止尚未对各种不同型号的冲击压路机进行过详细的效能试验，综合分析河北、甘肃、河南、青海等省的冲压工程实例，20kJ 的三边形冲击压路机处理湿陷性黄土地基的有效影响深度为 1.1m 左右，而 25kJ 为 1.4m 左右，差异明显。因此，应结合工程实际情况铺筑试验路，根据试验路的结果分析总结合理可行的施工工艺、检测方法 & 质量控制标准。冲击碾压属于新技术，除做好试验段外，还应在施工过程中积极探索总结经验，对于与原设计不一致的地方，应及时反馈给设计单位，设计单位根据实际情况，做出相应的设计变更，即应具有动态设计的理念。

冲击碾压的效果已为广大工程技术人员认可，但冲压技术所面临的质量检测与管理方面的措施明显滞后。从现有的检测手段与方法分析，还没有一种令人满意的方法。因此，应用冲击碾压技术必须在试验段结果的基础上加强施工过程的检查与记录，严格按设计施工，否则好的技术不一定有好的工程质量。

冲击压路机行驶速度快，必须由专业机手经过培训合格后方可进行操作，否则容易出事故。如在北京某高速公路上施工时曾发生翻车事故，其它省份进行冲压施工时也曾发生多起事故。因此，必须制订相关的规章制度，做到安全生产。

冲击碾压技术只是实现工程要求的技术手段与措施，对于公路工程中的其它设计、施工与检验评定的国家及部颁有关标准规范等还须遵守。2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 冲击压路机 (impact roller)

是指压路机的压实轮为非圆形 (out of round) (一般是由曲线为边而构成的三、四、五边正多边形)，其在牵引和自行驱动力作用下滚动，并对地面进行周期性冲击碾压的施工机械设备。

2.1.2 单(双)轮冲击压路机 (single(tandem) impact roller)

压实轮为单(双)轮的冲击压路机。

2.1.3 自行式(拖式)冲击压路机 (self-propelled (towed) impact roller)

依靠自身动力装置行驶作业的称为自行式冲击压路机，依靠其它动力机械设备来牵引行驶作业的称为拖式冲击压路机。

2.1.4 冲击碾压 (impact roller compaction)

采用冲击压路机对工作面的压实。

2.1.5 有效影响深度 (effective influence depth)

能够引起土体平均压实度 1 个百分点变化的最大深度。

2.1.6 有效压实厚(深)度 (effective compaction depth)

能够满足设计要求压实度(如 90%、93%、95%等)的最大压实厚(深)度。

2.1.7 冲击碾压遍数 (number of roller passes)

双轮冲击压路机的冲击轮宽度为 0.9m，两轮隙宽度为 1.16m，双轮外边缘的宽度为 2.96m 时，冲碾 1 次的计算碾压宽度为 2m，经错一个轮宽碾压，冲碾 1 个来回后，计算碾压宽度 4m，按此方法计算，整个场地全部压完 1 次算一遍。

2.1.8 路堤(床)增强补压 (additional reinforcing compaction of embankment (road bed))

通过一般压路机的碾压，路基(床)压实度达设计要求，再用冲击压路机补充压实以增加其密实度。

说明

冲击压路机 1995 年引入我国时，由于没有统一的名称，对于冲击压路机的称呼较多，有冲击式压路机、冲击式压实机、冲击碾压机、冲击压实机、冲击碾、冲击夯、旋转夯、滚动冲击碾压机等。这些叫法主要是对其压实方式作形象比喻。冲击压路机的英文名是：Impact Roller，译为：冲击压路机，这样可和目前我国使用的振动压路机的名称相一致，使该名称显得较为规范。冲击压路机与传统压路机相比，其最大的特点是其非圆形的碾压轮外形，为了行驶的平稳和最低的能量消耗，其外形主要为三、四、五边的正多边形。冲击轮有一个和两个的，分别称为单、双轮冲击压路机。牵引方式有自行式的和拖式的。

对于冲击压路机的影响深度，目前许多厂家的宣传材料说有四、五米深。简单地谈影响深度而不明确影响深度的定义与具体含意没有实际意义。故从公路工程的实际应用出发，提出一个有效影响深度的概念，是指能够引起土体的平均压实度一个百分点变化的最大深度，便于对冲击碾压效果的理解，避免片面宣传产生误解。在此基础上提出有效压实厚度的概念，是指能够满足设计要求的压实层厚度，如满足 90%、93%、95% 等压实度要求的最大压实厚度。

冲击碾压遍数目前还有不同的算法，基于冲击碾压技术的特点，不至于引起误解，加以解释规定。我国的冲击压路机型号较多，厂家有十来家，技术参数有所不同，参见表 2.1-1。整机定型、数量较多的是蓝派公司、北京欣路特公司、三明重型机械厂的双轮冲击压路机，两冲击轮之间的外部宽度为 296cm，轮宽 90cm，轮隙宽度 116cm。碾压方式采用来回错轮的方式，轮迹之间不重叠，由于轮隙宽度大于轮宽，错轮时不可能全部压到每个点。纵向上由于冲击碾压时落点的面积（与工作面的刚度有关，刚性时为一条线）有限，也不可能砸到每个点，但冲击压力呈 $(45^\circ - \phi/2)$ 的角度扩散，表层下面的压实效果相互交叉重叠，不会受到影响。对于表层部分经数十遍错轮冲碾之后已均匀，这在众多工程中得到验证。故本条文规定对于此种碾压轮的冲击压路机一个来回的碾压宽度按 4m 计，按此方式计算全部场地通过一次算一遍。对于单轮冲击压路机则可按轮宽计算，全部场地通过一次算一遍。目前，我国对于冲击碾压的方式尚有不同的理解，如有些人认为冲击碾压时冲击轮横向应重叠 1/4 或 1/2 等，按此方式全部场地通过一次算一遍。如图 2.1-1 所示为横向重叠 1/2 的情况，按此方式排列冲击碾压，则会在横向上出现 1 遍、2 遍、3 遍等不同的碾压区域，造成整个场地碾压极不均匀，故条文规定不能按此方式横向排列与计算遍数。因此采用错轮而不重叠轮迹的碾压方法是合理科学的，沿着固定的线路行驶也是最经济有效的。对于纵向排列，每遍应错 1/6 周长，这样每次冲击工作面波峰，有利于冲击点的满布、均匀，增强碾压整体效果。

2.2 主要符号

kJ——千焦耳 (Kilojoule)，功或能的物理单位，等于 1000 牛顿力作用下在力的方向上作用 1 米所做的功，用于表示冲击压路机的碾压轮重所具有的冲击势能。

DCP (Dynamic Cone Penetrometer) ——动力圆锥贯入仪，简称贯入仪。

DN——DN 值是 DCP 每锤击一次 (blow) 的贯入值 (mm/blow)。

wopt——土按重型击实标准的最佳含水量 (%)。

Wc——土的稠度。

说明

kJ (千焦耳)，能量单位，表征冲击压路机冲碾轮静止时的冲击势能，用于反映冲击压路机工作时的性能。本指南所指的 25kJ、15kJ 等指的是冲击压路机的冲击轮的内外半径之差与其冲击轮重量之积，即所具有的冲击势能。图 2.2-1 所示冲击压路机的基本原理，能量按下式以千焦 (尔) 计算：

$$E=mgh$$

式中 E—势能, kJ;
 m—动力部件的质量, kg;
 g—重力加速度常数 (9.81m/s²);
 h—轮子外半径同内半径的差值, h=R-r, m。

目前大部分双轮三边形冲击压路机的能量为 25kJ, 五边形为 15kJ。冲击压路机所具有的动力来自于三部分: 1) 冲击轮重心位置提升所蓄的势能; 2) 冲击轮转动的动能; 3) 冲击轮在滚动过程中克服土壤变形所作之功。显然冲击能量的大小与碾轮的质量、质心的高度、牵引的速度、非圆形轮廓的边数和土质等参数有关。但冲击轮的势能是基本的, 可表征的, 其它方面的动力不易表征, 故采用冲击轮的势能作为冲击压路机的型号。

图 2.2-1 冲击碾压原理示意图

DCP 的英文名为: Dynamic Cone Penetrometer, 译为: 动力圆锥贯入仪, 简称贯入仪, 属小型轻便地基土原位测试触探仪。DCP 的基本原理类似我国轻型动力触探仪, 我国轻型动力触探仪锤重 10kg, 落距 50cm, 直径 40mm, 锥角 60°, 探杆直径 25mm。DCP 在国外是一种简便常用的浅层 (2m) 土基压实质量的检测仪器。其锤重 8kg, 落距 575mm, 贯入杆长 1000mm (可加长为 2000mm), 杆直径 ϕ 16mm, 圆锥头直径 20mm, 锥尖为 60° 角, 贯入杆旁连接 1000mm 的读尺, 直接读记每锤击 (blow) 一次的贯入值 DN (mm/blow)。通过 DN 值可间接地反映土基的压实情况, 对细粒土的检测效果良好, 是一种很有价值的检测仪器与方法。国外在使用中积累了 DN 值与土的弹性模量 (E)、加州承载比 (CBR)、无侧限抗压强度 (UCS) 等相应土性指标的关系, 现列于如下:

DN 与 CBR 关系式:

$$CBR = \frac{DN - 10}{100}$$

DN 与 E 关系式:

$$E = \frac{DN}{100}$$

DN 与 UCS 关系式:

$$UCS = \frac{DN}{100}$$

3 一般要求

3.0.1 自行式冲击压路机单块最小冲压施工面积不宜小于 1000m², 牵引式冲击压路机单块施工面积不宜小于 1500m²。较窄的工作面但设置了转弯车道的最短直线距离不宜少于 100m, 宽度不宜少于 6m。此处所指的工作场地面积是指排除了需避让的构造物之后的能够冲压的净面积。

3.0.2 冲击碾压土的含水量范围要求如下:

- 1 细粒土含量 $\geq 50\%$, $w_{opt}-4 \leq w \leq w_{opt}+2$;
- 2 细粒土含量 $< 50\%$, $w_{opt}-3 \leq w \leq w_{opt}+2$;
- 3 高液限土的冲击碾压的含水量上限可放宽至 28%;
- 4 含水量超出此范围的可根据实际情况经试验验证后确定控制范围。

3.0.3 如下情况不宜采用冲击碾压:

- 1 加筋土挡墙路段不宜采用冲击碾压;
- 2 旧路改建中遇到的挡墙、桥梁和涵洞等的承载力不足以承受冲击碾压荷载需加固的路段;
- 3 含水量超出范围经试验验证效果不明显的路段;
- 4 路堤 (床) 增强补压试验段冲击碾压 20 遍后平均下沉量 ≤ 3 cm 的路段。

3.0.4 不同类型冲击压路机的适用范围列于表 3-1。

不同类型冲击压路机的适用范围与效果 表 3-1

用途 冲击 压路机型号 地基冲击碾压 土石混填、填石路堤分层冲碾 路堤(床)补压 砂石(沥青)路面冲碾 水泥路面冲碾

三边形 30kJ ★ ★ ★ ★ ×

25kJ ★ ★ ★ ★ ×

20kJ △ △ △ △ ×

四边形 △ △ △ △ ★

五边形 △ △ △ △ ★

一般冲碾遍数 40 20 20 30 15

注：★——表示适合，应优先选用；△——表示效果一般；×——表示不能采用。

3.0.5 冲击碾压施工单位须加强对员工的安全生产教育，树立安全第一的观点。操作机手在上机前必须经严格的培训，不合格者不得上机。冲击压路机颠簸厉害，每台至少应配备2名操作机手，轮流进行作业，每次碾压时间不宜超过2小时，防止疲劳驾驶，不得把机器随便转让他人驾驶。若施工现场灰尘较大，应戴口罩与其它防护措施施工。

3.0.6 试验压实设备的基本参数如轮重、内外径等符合设计要求，并应在施工前出示计量书面材料。

3.0.7 构造物的保护范围如下：

1 使用前应查明冲压范围内的地下管线及附近各种构造物，并应根据构筑物的类型采取相应的保护措施。一般情况下可按表3-2确定保护距离。对于有河沟等对隔震有明显效果的情况下确认不会造成影响后可适当减少安全距离。施工前对于拟保护的构筑物在保护范围的外围应设置明显的标记物。

冲击碾压保护距离 表3-2

构造物类型 冲压保护距离(m) 备注

U形桥台和涵洞通道 距桥台翼墙端或涵洞通道两侧预留5m 正常使用的构筑物顶部以上填土高度大于2.5m或填石高度大于3.0m时，可直接进行冲击压实。

其余类型桥台 10m

重力式挡墙 距墙背内侧2m

扶壁(悬壁)式挡墙 距扶(立)壁内侧2.5m

导线点、水准点、电线杆 10

地下管线 5

互通式立交桥梁 10

居民建筑物 30

土工格栅等合成材料 竖向填土厚度1.5m

2 对位于冲压区内和周围的危险构筑物及需特别保护的建筑物、设施等可根据实际情况，增大保护范围。

3 对于不符合上述避让距离但又必须施工的可采取以下两种措施：①开挖宽0.5m深1.5m左右的隔震沟进行隔震；②降低冲击压路机的行驶速度，增加冲压遍数。

3.0.8 施工场地宽度大于冲击压路机转弯直径的两倍时，以道路中心线对称地将场地分成两半，压实道线如附录图A.0.1；施工场地的宽度小于两倍转弯直径，可按附录图A.0.3的碾压方式进行，并根据实际情况在施工场地的两端设置所需的转弯场地，旧水泥路面的改建需分车道冲击碾压，可按附录图A.0.3冲压。压实道线可采用块石、白灰或其它易于机手辩识的标志物标记，机手按相应的标线冲击碾压。

3.0.9 冲击碾压范围内的出入口应有醒目的安全标记，禁止无关车辆与闲杂人员出入。旧路改建时，全幅冲压施工路段须进行交通管制，期间宜分段封闭施工，分段开放交通，封闭处应有明显的交通指示标志，设专人负责指挥交通。半幅施工路段，宜半幅封闭施

工,半幅通车,在交通线路调整前做好交通导向标志,并通过媒体通知司机,以便合理安排行走路线。

3.0.10 冲击碾压须距路肩边缘 1.0m 的安全间距,行驶速度宜在 10~12km/h。若工作面起伏过大,应停止冲压,用平地机刮平后再继续施工。扬尘情况严重时应洒水。当土的含水量较低时,宜于前一天洒水浸润。碾压时冲击波峰,实施错峰压实,每碾压 5 遍后应调整为反方向冲击碾压。

3.0.11 冲压施工场地附近的构造物,在冲压前后由构造物的施工单位与冲压施工单位共同派人进行观察、检查确认。发现墙体开裂、挡墙外鼓等异常情况应立即停止施工,并向监理单位、业主报告,在调查分析其原因后应采取如增大保护区的范围、低速通过、支起冲击轮等措施。

3.0.12 施工中若出现“弹簧”现象,可暂停施工,待含水量降低强度恢复后再施工,也可加铺砂砾(或碎石)垫层后进行施工,但应注意观察冲压效果。

3.0.13 夜间施工时,现场必须有符合操作要求的照明设备,施工场地要设置路灯,对于需要保护的结构物、施工中的小型桥涵、两侧穿越路基的管线等临时工程应设置围栏,并悬挂红灯警示标志;对于路堤边坡等必须有夜间警示标志。

3.0.14 施工过程中须注意噪声对环境的影响,应合理安排施工时间,尽量予以避免。

3.0.15 冲压边角及转弯路段等应采取其它措施压实,达到设计标准。

3.0.16 冲击碾压施工过程中须有施工、监理人员现场专人负责记录,记录资料备案。

3.0.17 设备自行调迁时,每 20km 应停驶休息,或洒水对小车胶轮进行降温,以防爆胎。

3.0.18 应用于某些特殊土时,在确保公路工程质量的前提下,经过试验后可以制定特定的技术措施,报有关主管部门批准后执行。

说明

冲压效果与速度密切相关,为了保证一定的行驶速度需要一定面积的工作面,牵引式冲击压路机长度超过 10m,转弯半径较大,故其面积要求略大。

对于路基碾压含水量,我国《公路路基施工技术规范》要求应在最佳含水量的±2 个百分点以内,这是对于传统的震动压路机而言。冲击压路机其击实功比重型击实标准大得多,如宣(化)大(同)路冲击碾压后其地表下 10cm 的平均压实度均超过了 100% (见图 3-1),冲碾前后的压实度对比明显,随着击实功的增加,最佳含水量降低,因此冲击碾压的最优含水量比重型击实法要低。但目前对于采用冲击碾压技术后的土的最优含水量如何确定尚未形成共识,也没人做过这方面的研究。综合分析众多的冲压工程实例,一般认为可低于最佳含水量 4 个百分点,高于最佳含水量 2 个百分点。从已有的工程实践来看,对于不同土质含水量范围有所不同,对于高液限土,其塑性指数(一般在 25~45 之间)较大,从半固态到流态间的可塑范围大,放宽 4~5 个百分点甚至更多是可以的,这已经在福建、广东等省的冲击碾压工程施工中得到验证。对于西部地区某些低液限土(液限小于 30),塑性指数较小(一般为 10 左右),可塑范围窄,对水很敏感,若偏离最佳含水量 3 个百分点以上则冲压效果大受影响。因此,从适用性来说,采用稠度指标也许可以更好地说明土的适宜含水量范围,但我国目前的规范是以含水量为控制指标。为了方便使用和保证工程质量起见,仍采用含水量指标。

从国外的资料与我国的工程经验来看,不同的冲击压路机有其自身的作用特点,其适用的领域也不同。三边形双轮冲击压路机能量大(25kJ),适合于提高路基的压实度,但因冲击轮外形曲线平缓,与地表的接触面较大,作用力不集中,因此不适合旧水泥路面的破碎冲压;20kJ 的三边形冲击压路机能量小,对于湿陷性黄土地基的冲击碾压,25kJ 的有效影响深度为 1.4m 左右,20kJ 的为 1.1m 左右,故本指南不推荐选用。五边形双

轮冲击压路机其能量较小（15kJ），容易牵引，在行驶过程中碾压不易打滑，因此适合于细粒土等松铺系数较大的路基的分层碾压，其冲击碾压时与地表接触面小，作用力集中，故适合于旧水泥路面等的破碎冲击碾压。四边形单轮冲击压路机在我国数量不多，国外主要是美国和澳大利亚生产，行驶时易打滑，但作用力集中，故非常适合旧水泥路面的破碎冲击，在美国多条路采用四边形冲击压路机用于旧水泥路面的破碎稳固。冲击碾压速度以 10~12km/h 为宜，过快的行驶速度会使冲击轮蹦离地面，与地面的接触时间短，不利于冲击力的传播与土体压实，速度过慢，则冲击能量太小，压实效果不好。履带式牵引车转弯半径比自行式和胶轮式要大，由于其自重较大，行驶过程中平稳性较好。

强调安全生产是因冲击碾压施工期间曾发生过数次事故，因此必须加强机手的技术培训与安全生产教育，由于冲击碾压的强烈振动，因此每位机手操作时间不宜过长。

冲击压路机使用一段时间后冲击轮因磨损导致厚度变薄，重量降低，影响冲压效果，因此，在冲压前应对冲击轮的工作重量进行确认。

冲压区内构造物的保护间距，国内尚未有人做过这方面的专门研究，也未见相关报道。表 3-3 是建于土壤基础上的建筑物的安全极限值，表 3-4 是由戴纳帕研究部在施工现场对不同地面条件所做的测量结果提出的适用于限制各种规格振动压路机对建筑物产生损害危险的相应安全距离。

建于土壤基础上的建筑物的安全极限值 表 3-3

允许最大振动速度 (mm/s)	对建筑物的影响	人的反应
2	对废旧及古老纪念碑危险界限	可感觉到的振动
5	对具有炭泥墙和天花板的标准住宅建筑损坏的危险界限	令人讨厌的振动
10	对标准住宅损坏的危险界限	令人不愉快的振动
10~40	对混凝土建筑物及工业建筑物等的危险界限	无法忍受的振动

注：本表速度为建筑物基础内测得，一般与室外地面测得的速度相差 2~5 倍。

振动压路机安全距离 表 3-4

压路机类型 安全距离计算

拖式和轮胎驱动自行式振动压路机一般用大振幅（用于土壤上）安全距离 (m) = 1.5 × 分配于振动轮质量 (t)

两轮振动压路机一般用中小振幅（用于土和沥青上）安全距离 (m) = 1.0 × 分配于振动轮质量 (t)

我国《爆破安全规程》GB 6722-86 对一般建筑物和构筑物的爆破地震安全震动速度规定如下：

- a 土窑洞、土坯房、毛石房屋：1.0cm/s；
- b 一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物：2~3cm/s；
- c 钢筋混凝土框架房屋：5cm/s；
- d 水工隧洞：10cm/s；
- e 交通隧洞：15cm/s；
- f 矿山巷道：围岩不稳定有良好支护：10cm/s；围岩中等稳定有良好支护：20cm/s；围岩稳定无支护：30cm/s。

安徽 205 线天长段冲击碾压施工期间曾采用震动波垂直测量仪进行过相关波速的检测，当冲击压路机于一侧的超车道上冲碾时，在另外半幅的超车道、行车道和硬路肩上的 PPV (mm/s) 值分别为 29、18、20（中央开槽）和 55、33、14（中央不开槽）。因此，对于砖房等而言，只要保证 15m 以上的距离是安全的（小于 2~3cm/s），但可感觉到令人讨厌的振动，对土坯房等尚不能保证安全，因此指南定了 30m 的安全间距。由于检测

是在路面上进行的，实际工程中的传播速度可能会比实测值小，这对砖房和其它建筑物而言是偏于安全的。对于设置了隔震带或有河沟等对隔震有明显效果的情况下经试验确认不会造成影响后可适当减少安全距离。广东新台路冲击碾压施工期间为了消除当地群众对冲击碾压所引起震动的担忧，曾专门请地震部门对冲压引起的震动做过检测。我国有的工程实际施工时冲压范围离民房不足 20m，目前各地的实际控制距离除保证建筑物的安全外也与当地居民的反应有关。至今为止，尚未看到过有关因冲击碾压而引起屋毁人亡的报道。

条文中规定的对不同构造物的垂直保护厚度主要是参考我国国内的一些工程实践的资料参考制定的，同时也参考一些科研项目中有关冲击压路机的影响深度的研究成果。我国《公路路基施工技术规范》JTJ 033-95 中相关条文规定涵顶面填土压实厚度大于 50cm 时，方可通过重型机械和汽车。实际施工中，考虑到冲击压路机的冲击力较大，有的单位在冲压范围内遇有板（管）涵等构造物时，为了慎重起见，即使其上的填土厚度超过 2.5m，也往往采取避让的措施。对于一些危险和需特别保护的建筑物可采取加大保护范围、开挖防震沟或降低行驶速度等措施。

我国地域辽阔，土质类型差异大，对于一些特殊土，在目前冲击碾压工程实例还不多的情况下进行积极探索是必要的，并在成功的基础上加以应用。

4 铺筑试验段

4.1 试验目的

4.1.1 结合冲击压路机的具体应用，确定冲压效果、机械组合、施工工艺、检测方法与质量管理标准。

说明

虽然我国许多工程采用了冲击碾压技术，但由于各地的土质条件、冲击压路机的型号、应用领域等各不相同，因此其压实效果、施工工艺、质量控制亦不相同。如路床的冲击补压，路床施工达到的压实度不同冲碾 20 遍后沉降量少的不到 3cm，多的 7cm 左右；路堤冲击补压沉降量大的达 10cm 以上；对于旧砼路面的冲击破碎，205 国道广东梅县段原路面厚度为 25cm 水泥砼面，二级路，经五边形冲击压路机 20 遍冲碾后的沉降量达 76mm，而 205 国道(新线)天长段即宁(南京)连(连云港)公路安徽省天长段，双向四车道一级路，经五边形冲击压路机 20 遍冲碾后的沉降量不到 25mm，两者之间的砼面板破碎状况亦相差较大。因此施工前修筑试验路是必要的。

4.2 试验内容

4.2.1 试验段应检测参数参考表 4.2-1。

试验路的检测项目 表 4.2-1

应用范围	项目	地基冲碾	路基分层碾压	路堤(床)补压	砂石(沥青)路面冲碾	水泥路面冲碾
------	----	------	--------	---------	------------	--------

试验碾压遍数	一般	40	30	25	30	20
--------	----	----	----	----	----	----

最多	50	40	30	50	30	
----	----	----	----	----	----	--

层厚	×	★	×	×	×	
----	---	---	---	---	---	--

沉降量 ★ ★ ★ ★ ★
 压实度 ★ ★ ★ ★ △
 土的物理力学参数 △ △ △ △ △
 贯入值 (DN) ★ △ △ △ ×
 破碎状况 × × × × ★
 弯沉 × × × × ★
 模量 × × × × △
 平整度 × × × × △
 承载力 △ × × × ×
 土质振动速度测量仪 × × × × △

注：★——表示为必做项目；△——为选做项目；×——为不做项目。

4.2.2 检测项目要求与频数

1 沉降量

定点沉降量检测包括冲碾前及每冲压 5 遍后的标高，对于水泥路面的冲碾，第 10 遍之后，每隔 2 遍应测一次沉降量，检测样本数不少于 20 个，水准仪的测量精度不大于 1mm。对于地基冲碾、分层压实、路基（或路床）的补压、砂石及沥青路面的改建应根据试验大纲的图示要求宜用长 6cm 铁钉系红布条作明确标记，准确定点，对水泥路面的标高检测位置可用红漆标记。平地机刮平时应注意保护带有红布条铁钉的检测点，即在检测点周围 20cm 的地方不得扰动。

2 DN 值

粒径大于 5mm 的含量不超过 30% 时可采用 DCP 检测，DN 值的检测频率与压实度相同，见表 4.2-2，测点数 6 个左右。

3 压实度

压实度检测的样本数不少于 4 个，具体的检测位置如表 4.2-2。

压实度检测位置

表 4.2-2

项目	测点位置	检测频率
地基冲碾	表面下 20cm、50cm、80cm、120cm	冲碾前及每碾压 10 遍
分层冲击碾压	表面下 20cm、层厚的中间、层底上 10cm	冲碾前、10 遍及以后每碾压 5 遍
路堤（床）补压	表面下 20cm、50cm、80cm	同上
砂石路面冲碾	同上	同上
沥青路面冲碾	同上	同上
砼路面冲碾	基层下 20cm	同上

注：本表所指的测点位置指的是灌砂或环刀的中间位置。

4 土的物理力学参数

土的物理力学参数根据土质类型与工程要求确定，其基本物理参数有：天然含水量（%）、液塑限、天然密度（g/cm³）、粒径组成；力学参数有：压缩系数 α 、压缩模量 E_s 、粘聚力 c 、内摩擦角 ϕ 、湿陷系数 δ_s 。检测项目与数量可根据工程需求确定。

5 层厚

压实层厚在 60cm~100cm 之间，根据具体情况选择 2~3 个不同的松铺厚度试验。

6 弯沉检测

每个车道弯沉检测的样本数不少于 20 个，采用 5.4m 贝克曼梁，检测频率与沉降量相同。

7 破碎状况

根据原砟面板的完好程度，宜将原砟面板分成 2~3 类，每类板的检测数量 6~8 块，分别在冲碾 0 遍、5 遍、10 遍时检测尺寸，10 遍后每隔 2 遍检测一次破碎状况，可通过照相、目测和尺量后描绘破碎示意图，也可在检测的断裂面板上洒水待其风干后以裂缝的湿印作为边距进行描绘。

8 模量

模量的检测可采用 FWD 等进行，检测频率与沉降量相同。

说明

表 4.2-1 列出了目前公路工程冲击碾压试验常用的检测指标，这些指标比较直接可靠，可以实现试验的目的。对于试验的碾压遍数主要是根据我国目前不同用途冲击压路机的实际施工碾压遍数、效果，结合我国已有的科研成果确定的，超过最大遍数，其技术效果不明显，经济成本却明显提高。

沉降量的检测简单易行，其结果也可靠直观，在说明冲击碾压效果方面有很强的说服力，是确定压实效果的主要指标。因此，条文要求每碾压 5 遍观测一次。对于砟路面的冲碾，第 10 遍之后，每隔 2 遍应测一次沉降量，这样要求的目的是水泥路面的总的碾压遍数较少，而每碾压 2 遍的经济性却可观，若 5 遍观测一次，则显然太粗略了。对于沉降观测样本数，由于冲压后地表起伏较大，故必须增加样本数才能提高观测结果的可靠与真实性，故条文规定不得少于 20 个测点。现将各条线冲击补压 20 遍后的沉降量列于如下：北京八达岭线 5.4cm；河北宣大线 3.9cm；福建福泉线 5.0cm~7.0cm；安徽合安线：90 区，8.9cm，93 区 7.7cm，95 区，3.8cm；福建福宁路 1.7~4.9cm；湖南湘耒线 3.0cm~7.2cm；重庆渝黔线 4.8cm~7.3cm；浙江杭金衢线 2.0cm~3.4cm；江西梨温线 5.0cm~6.0cm；辽宁丹本线 2.0~3.0cm（20kJ 三角形）等。总结沉降量资料，冲碾 20 遍后，若沉降量为 5.0cm~7.0cm，则原压实质量较好。

DCP 的检测因其过程比沉降观测相对费时，其结果的离散性较小，因此，其检测频率与样本数比沉降观测要小，而根据以往的经验与成果，6 个测点的样本数已能满足试验要求。若粗颗粒含量较多，DCP 检测结果离散性大，不具对比性，对仪器本身也会造成很大的损伤，因此，条文规定不必检测粗粒土的 DN 值。

对于基底的碾压，主要目的是确定在不同碾压遍数下的有效影响深度曲线，因此，必须对不同深度的压实度进行检测。压实度检测方法应采用灌砂或环刀法，检测结果可靠；面波仪检测压实度，速度快、效率高，无破损，但其结果的可靠性目前尚未得到普遍认可，可作为辅助手段，其结果不宜作为主要评价依据。对于检测深度，根据河北宣大路的检测结果，如图 4.3-1 所示，在 110cm 的深度，其压实度的变化不大，不超过 5 个百分点（20 遍的测点除外），160cm 深度的压实度从 50 遍到 60 遍基本没变化。因此，25kJ 双轮三角形冲击压路机对于细粒土其有效影响深度一般不超过 140cm，故条文中规定最深为 120cm。检测 20cm 深处的压实度，因为冲击碾压后表层 10cm 左右的土是松散的，其密实度的最大值约在表层下 20cm 左右，故条文要求检测此点的压实度。路堤（床）因其本身的压实度较高，其补压后的有效影响深度一般在 1m 左右，因此，对其压实效果的最大测深 80cm 已够了。对于粗粒土尤其是填石路堤等压实度的检测，其检测结果离散性较大，不具有对比性，因此可以不测，而以沉降观测为主。

图 4.2-1 宣大路湿陷性黄土地基冲压结果

冲击碾压加固改建旧砂石路面与沥青路面的主要目的是提高原路基的压实度，因此其施工方法与检测标准与路基路床的补压等基本一致。

水泥路面的冲碾破碎主要是将原水泥板破碎并压实原路基路面，因此，水泥板的破碎状况的量测是重要的参数。冲压后的路面往往用作新路面的底基层和基层，因此，弯沉和

模量的检测结果可以作为设计的参数。

4.3 试验准备

4.3.1 试验路段应选择土质或路面状况具代表性的路段；工作面平坦，交通及试验条件较好，试验段内不得有任何构造物，试验路段的直线段长度不小于 120m。

4.3.2 试验前根据试验目的制订详细明确的试验计划，使试验组成员明确职责，组织实施。试验大纲包括如下内容：

1 提出各区段检测点的平面布置图。图中应标出试验范围、桩号、埋设仪标的断面桩号、各种仪标平面布设位置以及观测控制点的布设位置。对于土质均匀、场地平整开阔的试验区，可按附录图 A.0.2 的方式布点碾压；场地面积受限时，按附录图 A.0.1 或 A.0.3 的方式碾压，相应布置检测点。DN 值测点的位置应离压实度检测点 2m，所有的测点离试验直线段两端点的距离不小于 20m，各平行测试点间距不小于 6m。

2 测点位置断面图，应具体标出压实度等参数在各个观测断面中的平面与垂直检测位置。提出各种指标的检测时间、标准要求、施工配合要求及注意事项，试验前应根据试验内容编制原始记录表格。

3 可根据需要进行不同型号冲击压路机之间和冲击压路机与传统振动压路机的对比试验。

4.3.3 根据土质压实试验需要配备必要的振动压路机、平地机、推土机和洒水车等。

4.3.4 测试仪器、设备等应经过严格的计量与检验，性能可靠，精度能满足试验要求，观测用的所有仪器应于试验工程开始前准备完毕。

4.3.5 试验人员的分工、人数、职责应明确，所有试验人员事先须培训合格，持证上岗，熟悉相关试验方法与操作程序。

说明

对于试验段的面积不宜过小，否则冲击压路机碾压速度提不高，转弯也较多，影响压实效果，若试验段面积过大，则会影响试验的进度，故试验段的面积应以满足试验要求为标准。

对于试验区土质均匀，场地平整开阔的情况可按附录图 A.0.2 的方式布点碾压，图 A.0.2 的布点的优越性在于其检测与碾压可以并列进行，受影响较小，可以在短期内完成试验，避免受气候条件的影响。场地面积受限时，按附录图 A.0.1 进行布点碾压，图 A.0.1 的布点方式则需要碾压与检测交叉进行，试验时间较长。当冲压场地的宽度小于 2 倍转弯直径时，按附录图 A.0.3 的方式碾压，并进行相应布置检测点。

本条提出对于沉降控制点应以铁钉系红布条的方法予以定点，主要是基于冲击碾压后表面起伏较大，若测点位置有所偏差则对沉降测试结果有较大的影响，这点与振动压路机有明显的区别，因此，强调测点位置的准确性，以减少误差。

现场所需的试验人员可参考表 4.2-3。

现场试验组织协调机构内各成员的任务分工 表 4.2-3

相关人员 职 责 备注

项目负责人 负责整个试验工作的进行，协调解决试验中遇到的各种问题。 1 人

现场负责人 协助项目负责人落实有关测试，检查各试验量测组的工作。 1 人

压路机组 按试验大纲与进度的要求进行碾压，配合试验工作。 2~3 人

放线布点与沉降观测组 按试验大纲要求组织布点、放线，做好沉降观测基准点和观测点的定点定位和量测记录工作，根据试验现场需要兼作其它一些辅助性工作。 3 人

DCP 试验组 根据试验大纲的要求，进行相关测试。 3 人

压实度检测组 根据试验大纲的要求，进行各测点的不同深度的压实度检测。 4~6 人

土的物理力学参数 根据试验大纲的要求，进行不同深度的取土，并及时包装后进行封

存，送交室内试验。4~6人

弯沉检测组 按试验大纲的要求，进行各车道的弯沉检测。4人

模量检测组 按试验大纲的要求，进行各测点的回弹模量检测 4人

破碎检测组 按试验大纲的要求，完成水泥板冲击前后的破碎程度检测。3人

平整度检测组 按试验大纲的要求，完成冲碾后路面的平整度检测 2人

注：各组根据工作量的需求，尚需配置一定数量的民工。

4.4 试验过程

4.4.1 冲击碾压的试验过程应按如下流程图进行。

不合格

合格

否

是

图 4.3-1 冲击碾压试验流程图

4.4.2 平整后的冲击试验区内应定位埋设沉降观测点。按试验大纲的要求进行冲击碾压。

4.4.3 在冲击开始前，根据试验大纲要求，做好相关指标的测试，检测次序按无破损检测，破损小的检测，破损大的检测的原则进行，如：沉降观测（层厚）→弯沉→模量→DCP→压实度→现场取样，进行土的有关物理力学参数试验的次序进行。

4.5 试验结果

4.5.1 对各参数试验结果的分析按试验目的进行。各检测参数应及时进行整理分析，

4.5.2 汇总成图表，4.5.3 以下是不同 4.5.4 冲压用途的各关系曲线。

- (1) 碾压遍数——沉降量关系曲线；
- (2) 碾压遍数——压实度曲线；
- (3) 碾压遍数——DN 值关系曲线；
- (4) DN 值——压实度关系曲线；
- (5) 冲压遍数——水泥路面破碎状况；
- (6) 压实度——湿陷系数；
- (7) 碾压遍数——弯沉值；

4.5.2 不同冲击碾压用途所包括的曲线如下：

- 1 基底冲碾：(1)、(2)、(3)、(4)、(6)
- 2 路基分层压实：(1)、(2)
- 3 路堤（床）冲击补压：(1)、(2)、(3)
- 4 砂石路面冲碾：(1)、(2)、(3)、(4)

5 沥青路面冲碾：（1）、（2）、（3）

6 水泥路面冲碾：（1）、（5）、（7）

4.5.3 提交的报告包括如下内容：

1 试验全过程情况；

2 根据提交的报告应数据准确，内容完整，分析有理，结论正确，在进行实效性、适用性及经济性分析的基础上提出全线设计、施工与质量控制的结论性意见与建议；

3 对全线有指导意义的试验成果经专家鉴定、主管部门批准后用于指导设计与施工，一般试验结果经监理工程师批准后可用于施工。

说明

冲碾效果分析要求列出相应的曲线，这些曲线是直观明确的。现将相关曲线的样式列于如下，便于参考。

图 4.5-1 碾遍数与压实度曲线

5.1 施工准备

5.1.1 施工前应熟悉相关的设计文件、工程概况、交通线路、气候条件及地形地质、地下管线、构造物等。对设计采用冲击碾压的路段进行现场核对施工调查，确认冲碾面积、地形等是否满足要求，对不符合实际的设计根据施工管理程序向有关部门提出修改意见。

5.1.2 施工前准备好生活和工程用房，解决通讯、电力和水的供应，做到材料、机具设备、劳动力、生活供应等全面落实。

5.1.3 利用、修建临时工程施工便道，以便将冲击压路机运抵施工现场。

5.1.9 施工前根据现场收集的情况、核实的工程数量，按工期要求、施工难易程度、当地的气候条件等合理安排冲击压路机的数量、型号与操作机手，每台冲击压路机在不同工点间的重复调运距离不宜超过 3 公里。编制施工组织设计，报现场监理工程师或业主批准并及时提出开工报告。

5.1.10 保证油料的供应，备有必要的维修场地、维修设备及所需数量的维修技术人员，准备好备份易损件。

5.1.11 落实检测仪器设备，对各种仪器设备事先进行调试校核，确保其可靠性与准确性。

5.1.12 配备相应的平地机、推土机、振动压路机、运输车辆与洒水车等。

5.2 施工测量与放样

5.2.1 按《公路路基施工技术规范》的要求做好导线、中线、水准点复测，横断面检查与补测，增设水准点等，并按设计文件要求定出路堤坡脚、护坡道及边沟等具体位置，以便清理现场和施工。水准点埋设位置符合表 3-2 要求。

6 新建道路的冲击碾压

6.1 基底和路堑冲击碾压

6.1.1 地基冲击碾压目的是提高地基的承载力，满足公路对沉降与稳定的要求。

6.1.2 冲击压路机适用于如下情况：

1 一般路段（路堤高度 4m 以下）的 II 级（含 II 级）以下湿陷性黄土地基处理；

2 其它 3m 以内浅层软弱地基的冲击碾压处理；

3 土质路堑的冲击碾压。

6.1.3 冲击碾压区域的最大坡度不宜超过 6%。

6.1.4 湿陷性黄土地基的压实标准根据地质条件、公路等级、使用要求等进行设计，冲击碾压后 1m 深度范围内的平均压实度不低于 90%，平均湿陷系数 <0.015 。

6.1.5 浅层软弱地基的冲击碾压

对于含水量偏高的地基，可进行晾晒、翻松晾晒后压实，也可在地基上铺厚 30cm~60cm 的砂砾或碎石垫层；其厚度可根据地基的软弱程度和含水量确定，一般情况下当地基土的稠度 (W_c) 位于 $1.0 > W_c \geq 0.75$ 时，垫层厚度为 30cm 左右，当 $0.75 > W_c \geq 0.5$ 时，垫层厚度为 60cm 左右。砂砾垫层材料应洁净，含泥量不大于 5%，最大粒径不大于 40cm，砾石强度不低于四级。砂垫层应宽出路基边脚 2.0m。对于软土、泥沼地区可采用抛石挤淤的办法施工，对于石料的要求及抛填的方法等按《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》017-96 的要求执行。当片石抛出软土面 50cm 后，用较小石块填塞垫平，经冲击压路机碾压紧密，冲碾 30 遍左右，其上设反滤层，再进行填土。冲压完之后的软弱地基应满足《公路路基设计规范》和《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》要求。采用抛石挤淤施工和砂垫层施工的软弱地基处理不宜在冲压前加铺土工合成材料。

6.1.6 路堑压实度不足，土的含水量符合要求时，可采用冲击碾压，按路堑设计标高下挖 10cm 后直接冲击碾压。含水量超过最佳含水量 4 个百分点，不易晾干时，应换填透水性材料，换土厚度可根据土的天然含水量的稠度确定，一般为 30cm~80cm，最大粒径不超过 10cm，换填土的标高比路堑设计标高低 10cm，换填后进行冲击碾压；路堑冲击碾压完成后刮去表层松土，用振动压路机分层填筑压实至设计标高。

6.1.7 根据表 3-1 选用，由于土石方工程的需要，冲压 40 遍以上仍有预期效果，须经试验段冲压试验，确定压实遍数。

6.1.8 地基的冲碾范围应在路基两侧坡脚外加宽 1m。

6.1.9 地基的冲击碾压按《公路路基施工技术规范》要求将表层树根等有机质或腐殖质土清除。路堤位于水塘、水沟等局部低洼积水地段，则抽干积水，清除淤泥，回填符合要求的土或采用粗粒料、工业废渣，分层碾压至基底标高，再经冲击碾压密实。施工现场若有土坎、沟槽等应采用推土机、平地机或其它措施予以平整，对坑穴应填平夯实，防止基底积水。对流向路基作业区的水源在施工前截断，并在设计边沟的位置开挖临时排水沟，保证排水畅通。

6.1.10 基底冲击碾压前应避免先开挖构造物基础、管涵等，待冲击碾压完成后再进行构造物的开挖施工。

说明

冲击碾压技术用于湿陷性黄土地基处理比较普遍，如在宁夏、青海、甘肃、陕西、山西、河南、河北等省均已采用。这方面的科研也相对较多，如河北、河南、甘肃、青海等省均立项进行过这方面的研究。从众多研究成果与工程实例分析，25kJ 三角形冲击压路机的有效影响深度在 1.4m 左右，在 1.1m 左右的范围内可有效地消除其湿陷性；20kJ 三角形冲击压路机的有效影响深度在 1.1m 左右。冲击碾压浅层处理效果明显，但不能够提高深层地基的承载力。对于湿陷等级的划分，我国国标《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB J25-90) 规定判定湿陷等级的主要指标是总湿陷量，如表 6.1-1 所示。冲击碾压后地基下沉量一般超过 20cm，我国高速公路对软土路基的工后沉降控制一般路段为 30cm，与构造物结合路段为 10cm。路堤高度 4m 以下的路段其附加应力影响深度浅，对于路基的总体稳定一般不存在问题，而高路堤则由于其附加应力影响深度大，需考虑深处地基对路基的整体稳定，其要求处理深度较深。故指南提出适用于湿陷等级 II 级以下的一般路堤（高度 4m 以下）的地基处理。对于一些湿陷等级高、含水量不满足要求冲压效果不明显，则应考虑采用其它方法处理：如强夯、灰土桩等。其它非湿陷性黄土地

区的软弱地基处理也因冲击碾压的影响深度有限,应限制在浅层(3m)处理的范围之内,通过新疆且末机场等软弱地基的处理实践表明,3m以内的软弱地基经加铺砂垫层冲压后承载力有明显的提高,能够满足使用要求。我国广西水(任)南(宁)线在岩溶、岩槽地区处理高含水量地基时,也曾采用在地表上加铺30cm~50cm碎石或砂砾层后直接冲碾的办法。我国的《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》也对这种浅层软基的抛石挤淤和加铺砂垫层的施工方法进行了规定,现只是将本来采用振动压路机碾压的压实工作由冲击压路机来完成,其技术效果更好。对于石料的强度要求主要是冲碾过程中若强度不够易被碾碎而影响效果。至于加宽2.0m主要是防止砂石料在冲碾过程中的侧移和保证冲击碾压时有1m的安全间距。我国福建福宁路沿海有一段路基采用抛石挤淤的方法冲击碾压而成。土工合成材料因冲压会导致波浪形起伏,而土工合成材料的主要作用是承受拉力,一旦弯曲褶皱则会导致土工合成材料不起作用,因此,加铺土工合成材料必须于冲压完成之后。

湿陷性黄土地基的湿陷等级 表 6.1-1

类型	非自重湿陷性场地	自重湿陷性场地
计算自重湿陷量 (cm)	$\Delta z_s < 7$	$7 < \Delta z_s < 35$ $\Delta z_s > 35$
Δs (cm)	< 30	I (轻微) II (中等) —
	$30 < \Delta s < 60$	II (中等) II 或 III III (严重)
	> 60	— III (严重) IV (很严重)

根据目前的研究成果与工程经验,前30遍的冲压效果比较明显,随着碾压遍数的增加,其技术经济性明显下降,40遍之后再压更多的遍数对提高地基的密实度与影响深度是有限的,因此一般情况下地基的冲压遍数不超过40遍。因土石方填筑的特殊需要,且40遍以上经试验验证仍有冲压效果,可增加冲压遍数,如香港机场补压达60遍;八达岭二其高填方基底上第一层填方受地形所限,其松铺厚度超过1m以上,冲压60遍。

6.2 路堤冲击碾压

6.2.1 路堤分层冲击碾压是指用冲击压路机对填筑路堤直接进行分层冲击压实,填石路堤、土石混填路堤适合使用冲击压实。

6.2.2 路堤坡脚的宽度比原设计宽度加宽1.0m,据此放样定出坡脚界线桩,冲压完成之后削坡至设计宽度。当地形与征地限制加宽时,可采用振动压路机将路堤边缘2~3m分层松铺压实。

6.2.3 填石路堤的压实层厚在80cm左右,风化砂粒土、砂岩的压实层厚在60cm左右,或通过试验路确定。填料的粒径最大不超过40cm。冲压遍数根据表3-1选用,每层不宜超过30遍,否则应减薄层厚。

6.2.4 路堤的分层冲击碾压限于下路床以下,上路床用符合《公路路基施工技术规范》要求的材料用振动压路机分层压实。

6.2.5 分层压实适用于填土高度 >120 cm(不含路面厚度及上路床厚度)的路基,根据施工具体情况,划分合适的冲击碾压层数。

6.2.6 桥涵及其它构造物两侧约15m范围内的路段应采用振动压路机分层填筑压实。

6.2.7 设有重力式挡墙、扶壁(悬壁)式挡墙工程的路段在距墙背2m、扶(立)壁内侧2.5m的范围内用普通压路机分层碾压。加筋土挡墙路段不宜采用冲击碾压。

6.2.8 对粉煤灰路堤、膨胀土、风积沙、盐渍土等特殊路基进行冲击碾压设计与施工

在试验段试验结果的基础上，经充分论证后方可实施。

6.2.9 距桥台涵洞等构造物 30m 的范围内，先用振动压路机分层摊铺压实至冲击碾压设计层厚，再在其后摊铺冲击碾压填筑层，其松铺高度比振动压路机压实的路基高，平整时将高差刮平顺，用冲击压路机压实，冲击碾压的直线段应跨过结合部。

6.2.10 新路基的冲击碾压施工工艺按下列框图进行。

6.2.11 施工段长度宜为 300m~500m，冲击碾压的转弯路段并入下一段的施工，无法并入的则按 3.0.12 条执行。

6.2.12 填石路堤或粗粒土填料应严格控制最大粒径，超粒径填料禁止上路，摊铺过程中应防止粗粒料与细粒料出现分离，个别粗粒料集中细粒料缺乏的地方洒铺细粒料填缝，个别超径块石破碎或清除，摊铺的工作面应平整顺直，有 2%~4%的横坡，保证排水通畅。直接采用三边形冲击压路机碾压有困难时，可用五边形冲击压路机先冲压 5 遍左右，再用三边形冲击压路机完成本层碾压。

6.2.13 冲击碾压须做好相应填料的开采、运输、摊铺等配套工作。

6.2.14 路堤的分层填筑冲碾后表层松土不必重新洒水整平并用振动压路机压实，可直接进行下一层的摊铺。路基冲击碾压完成后将加宽的路基削成设计宽度。

说明

我国公路部门采用冲击压路机进行分层压实主要用于一些高路堤和填石路堤的填筑，如八达岭某 34 米高路堤、广西南丹一中心填高为 36m 二级公路硬质石灰岩填石路堤采用 25kJ 三边形冲击压路机填筑完成。细粒土路堤的分层压实还不多，这主要是冲击压路机在松铺系数较大的情况下冲击轮易陷于土中，工作面起伏较大，牵引速度低，碾压效果较差。

关于层厚，北京八达岭高速公路二期施工期间曾用 25kJ 双轮三边形冲击压路机以每层 80cm~100cm 的层厚填筑了一 34m 的高路堤；广西南丹一中心填高为 36m 二级公路填石路堤采用硬质石灰岩填筑，每层厚 100cm 左右；贵州的兴义机场每层厚 120cm~160cm，最大粒径 $D_{max}=60\text{cm}$ ；重庆万州机场跑道中心填高 36m，坡脚处最大填高 64m，填料以泥岩、页岩和风化粘性土为主，采用层厚 80cm~100cm 冲击碾压而成；贵州洪家渡电站面板堆石坝的冲压施工：主堆石料、过渡料、次堆石料层厚 1.6m 采用 25kJ 三边形冲压 27 遍，垫层料层厚 0.8m 采用 15kJ 五边形冲压 27 遍。基于提高路基压实度的重要性，指南要求填石路堤的压实层厚在 80cm 左右，风化砂粒土、砂岩的压实层厚在 60cm 左右。关于粒径，条文要求不超过 40cm，过大的粒径不易平整，且易损坏冲击压路机。冲击碾压的压实效果随着遍数的增加其技术经济性降低，故条文规定超过 30 遍则应减薄层厚。

冲击碾压后的路基表层平整度较差，因此只宜在上路床以下部位进行，对于冲压后的表层松散不必重新刮平并用振动压路机压实即可进行下层填筑，据国外相关研究表明，表层土的松动有利于填料与下层土石料的更好结合，这也与我国击实试验中的拉毛原理一致，对于上路床宜采用振动压路机分层压实以保证平整度。

由于冲击压路机行驶速度快，因此为保证安全起见，一般距路基边坡 1.0m 的安全间距，为了保证路基设计宽度内的全部压实，有必要对路基加宽 1.0m，待碾压完成后再削坡至设计宽度。考虑到征地拆迁及排水设施施工的因素，故条文提出距路堤边缘 2~3m 的范围内先用振动压路机分层碾压后其余部分再用冲击压路机冲压。

对粉煤灰路堤、膨胀土、风积沙、盐渍土等特殊路基的冲击碾压目前我国还很少见工程

报道，而这些地区的路基往往病害较多，为了慎重起见，指南要求必须先修试验路，经过试验验证、专家认可和主管部门批准后方可采用。

6.3 路堤（床）冲击补压

6.3.1 对新建公路的振动碾压已达标的下路床顶面进行冲击增强补压目的是进一步提高路基的密实度与承载力，增强路床的整体性与均匀性；对填高 4m 以上路堤、填挖交界路段进行分层冲击补压为减少工后沉降。

6.3.2 路基土石填料级配良好，压实度已超过 97%，表层已形成整体板块的经试验段验证，冲压 20 遍后的平均沉降量若小于 3cm，则应停止冲击增强补压。

6.3.3 路床的补压在下路床的顶面进行，宜高出下路床顶面 10cm，便于上路床的整平压实。

6.3.4 路堤的分层补压，每层厚度为 2.0m~2.5m，细粒土路堤取小值，粗粒土路堤取大值。碾压遍数按表 3-1 确定。

6.3.5 在冲击补压过程中，出现弹簧现象，应即暂停冲压，采取相应技术措施。

说明

补压时若在路基填筑达到设计标高以后再用冲击压路机冲压，冲压后的路床顶面波形起伏且松散，在摊铺路面基层之前，仍旧需将表层松土铲除平整重新用普通压路机碾压。路床的填料一般较好，冲压后的路床密实度较高，不易铲除刮平，重新摊铺粒料用振动压路机分层压实至设计标高较为困难。而上路床采用性能良好的填料分层压实后再用冲击压路机碾压其效果有限，故条文要求路床的补压位置应处于下路床的顶面，这样可不必再将顶层松土铲除。

冲击压路机的有效影响深度为 1.5m 左右（这与压路机型号、行驶速度、填料密实度、土质类型等有关），因此，每隔 2.0~2.5m 的层厚进行补压是合适的。目前我国公路部门一般的补压遍数为 10~20 遍，20 遍之后其补压的技术经济性不明显。

7 旧路改建的冲击碾压

7.1 砂石（沥青）路面的冲击碾压

7.1.1 冲击碾压旧砂石路面、沥青路面的主要作用是提高原路基路面的密实度与承载力，为新路提供稳固的路基；用于旧路改建中新建路基与路基加宽部分的冲压减少新旧路间的差异沉降。

7.1.2 原砂石（沥青）路的压实度不满足改建后的公路工程的要求，设计压实厚度不超过 1m 且含水量满足冲压要求，则可直接在路面上冲压，否则宜将原路基推开后重新分层碾压。

7.1.3 旧路改建中因改线新填或加宽部分可以采用冲击碾压，不同部位的使用可分别参见前述章节。

7.1.4 在填筑至旧路标高后可与原路面一起冲压。铺设土工格栅的应在冲击碾压完成后或按表 3-2 执行。

7.1.5 压实标准应满足相关规范要求。

说明

砂石和沥青路面的旧路改建冲击碾压可以将达不到设计要求的路基挖开后再分层压实程序简化为直接冲击压实，因此，其施工速度较快。冲压的目的主要是提高原路基路面的密实度与强度。如宁夏盐兴公路改建，将原砂石路面低等级公路提高到二级公路，用 25kJ 三角形双轮冲击压路机直接冲碾 50 遍后压实度提高 3~5 个百分点。经比较冲击碾压比正常工艺施工每公里由 15 万元降至 7 万元人民币，减少费用 46.7%。内蒙包东线、

黑龙江绥肇路、江苏省道 307 线沭阳段原为沥青路面，采用冲击碾压技术将旧路进行改造，冲碾后满足新路的要求。

7.2 水泥混凝土路面的冲碾

7.2.1 当砼路面破损需进行破碎改建时可采用冲击碾压技术。砼路面的冲压一是破碎旧砼板，减少新路的反射裂缝；二是提高破碎后路基路面的密实度与承载力。

7.2.2 在设计前应对现有的道路进行必要的调查，调查面板的破损状况、错台以及桥涵、挡墙、周围民房等构造物。根据面板的好坏状况将面板分成相应的类别，根据不同的类别确定不同的改建设计与冲压方案。

7.2.3 压实控制标准

冲击碾压破碎稳固旧水泥路面的控制标准主要有以下三方面：

1 旧水泥路面板块应破碎成 45cm~75cm 左右的板块，各板块之间应相互嵌锁，压实后的水泥板块不得过度破碎松散，否则应予挖除重新摊铺底基层材料。

2 冲击碾压后的沉降量趋于稳定，一般情况下应以最后 2 遍的平均沉降量不超过 5mm 作为标准，或者其平均沉降量占总沉降量的 5~10% 作为控制标准，具体数值可结合实际情况，通过试验确定。

3 控制一定的碾压遍数，一般四边形冲击压路机在 7~15 遍之间，五边形冲击压路机范围在 10~20 遍之间，可根据旧路等级、原路基路面的质量状况等通过试验确定。对于冲碾 25 遍后仍达不到规定要求的，应停止冲碾，采用其它破碎机械予以破碎至设计要求，并用振动压路机压实。

7.2.4 大坑槽应用碎石填平，7.2.5 以压实坑槽底部和防止压路机大轴因高低不

7.2.6 平、软硬不 7.2.7 均而 7.2.8 断轴。标 7.2.9 记好检测点的位置。

7.2.5 冲击碾压

1 冲压时应从路肩开始压实，待路肩破碎后再冲碾行车道，行车道破碎后最后冲碾超车道。

2 冲压时前 5 遍约为 7~9km/h 左右，以后速度可加快至 9~12km/h。

3 冲击压路机的行驶路线宜按附录图 A.0.3 方式进行，当直线行驶冲击碾压水泥板数遍后，若其破碎效果不理想时可尝试走“S”形路线。

4 同一条路由于地质状况、路面强度的不一致，因此会产生不同的破碎程度，施工期间应根据实际破碎状况及时调整冲压遍数，以防止出现过度破碎与破碎不够等现象。

7.2.6 冲击破碎压实过程中，一旦发现地基土出现“弹簧”现象，则应停止冲击碾压后进行检查确认，若确认出现“弹簧”现象则应将相关“弹簧”土予以挖除，换填碎石、砂砾等，用传统压路机具分层压实至路面高度后再用冲击压路机冲压。

7.2.7 一般情况下每碾压 5 遍左右进行一次沉降量、破碎程度和弯沉值指标的检测，10 遍之后每隔 2 遍检测一次。

7.2.8 对于半幅通车半幅施工的情况，在半幅改建施工完成后应于中央分隔带挖宽 50cm、深 100cm 临时隔离沟，以防震裂新铺路面。

7.2.9 旧路面冲碾完之后应做好清扫、找平处理，并应尽快进行下一道工序的施工。否则应准备铺乳化沥青稀浆封层或用防雨布覆盖以防雨水渗入旧路面层以下。

说明

旧水泥路面的改建传统的做法是将原水泥路面板用重力锤或重力冲击锤断裂砼面板，再用压路机稳固水泥块，上面加铺路基（面）层。采用冲击压路机可以将旧水泥路面的断裂与压实稳固两个过程合而为一，因此，施工速度比传统办法要快得多。旧水泥路面的冲压改建技术在美国是比较成熟的，多个州的旧水泥路和机场道面的改建采用冲压技

术。美国的 IRT 公司即生产四边形单轮冲击压路机。我国的旧水泥路面的冲击破碎与压实技术已在我国的广东、安徽、浙江、湖北、福建、重庆等省市应用，目前采用冲压技术用于旧水泥路面改建的项目有十多个。

对于冲压破碎的顺序，根据安徽某工程的施工经验认为先冲压破碎路肩部分，再冲压行车道和超车道，这样可解除对行车道和超车道冲压的侧向约束，有利于水泥面板的破碎。开挖中央隔震带对于减少冲击波的传播有显著的效果，安徽省曾用震动波垂直测量仪（PPV 检测仪）专门做过检测，证实中央开槽对减小冲击波的振动速度有明显的效果，可降低振速近 40%，除了靠近中央带的路缘带部份外，超车道、行车道及硬路肩的振速均小于 30mm/s，因此是基本安全的。

砼面板冲击碾压破碎后的弯沉值明显增加，表 7.4-1 给出了美国对砼面板被断裂成各种大小不同的尺寸时其弯沉值相对于没有断裂时增大的倍数，以供设计人员参考。

美国砼面板断裂后所测弯沉值增大倍数 表 7.4-1

板尺寸 (m) 弯沉增大倍数

0.15-0.3 9.93

0.45-0.6 3.01

0.75-0.9 2.54

8 施工质量管理与验收

8.1 试验段的铺筑应结合具体的应用领域达到如下目的：

- 1 采用的冲击压路机型号是否合适；
- 2 冲击碾压能否达预期效果；
- 3 确定冲击碾压的标准施工工艺；
- 4 确定合适的质量检测方法；
- 5 确定合理的质量控制标准；

8.2 地基的冲击碾压、路堤的分层冲击碾压、路堤（床）的增强冲击补压、砂石（沥青）路面的改建冲击碾压以施工工艺、沉降量控制为主，结合 DN 值与密实度检测结果进行控制。

8.3 旧水泥路面的冲击破碎以施工工艺、沉降量、面板破碎程度与弯沉检测结果进行控制。