

DB 37

山东省地方标准

DB 37/XXXXX-XXXX

黄河中下游流域粉质土路基冲击碾压 施工技术规范

Specifications for Impact Roller Compaction
of Silty Soil Subgrade in the Yellow River Basin

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

山东省质量技术监督局 发布

目 次

目 次I

前 言 II

黄河中下游流域粉质土路基冲击碾压施工技术规范 1

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 2

3 术语和定义..... 3

 3.1 术语..... 3

 3.2 符号..... 4

4 一般要求..... 5

5 施工准备..... 7

 5.1 技术准备..... 7

 5.2 场地准备..... 7

 5.3 材料准备..... 8

 5.4 主要机械设备及要求..... 9

 5.5 施工作业条件..... 9

 5.6 试验路段..... 9

6 质量和技术要求..... 11

7 施工工艺..... 12

 7.1 冲击碾压施工工艺流程..... 12

 7.2 路堤施工操作方法..... 12

 7.3 地基施工操作方法..... 14

 7.4 施工中注意的事项..... 14

8 施工质量检验..... 16

 8.1 质量控制指标与控制方法..... 16

 8.2 压实度检测方法..... 16

 8.3 压实度检测频率..... 16

 8.4 质量标准..... 16

9 其它..... 17

附录 A 本规范用词说明..... 18

附件 19

前 言

本标准按照 GB/ 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由 XXXXX 提出并归口。

本标准由山东省交通运输厅负责起草，山东省交通规划设计院、山东大学参加起草。

本标准主要起草人：

黄河中下游流域粉质土路基冲击碾压施工技术规范

1 范围

为合理地应用冲击碾压施工工艺，提高黄河中下游流域粉质土公路路基工程施工技术水平，保证路基施工质量，制定本规范。本规范适用于黄河中下游流域新建和改（扩）建各等级公路工程的地基和路堤区的冲击碾压施工。

冲击碾压施工除应符合本规范外，还应符合现行国家和行业有关标准、规范的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG F10 公路路基施工技术规范

JTG C20 公路工程地质勘察规范

JD30 公路路基设计规范

JTG E40 公路土工试验规程

JTG E60 公路路基路面现场测试规程

JTJ 076 公路工程施工安全技术规程

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

DB37/T 1720 黄河中下游流域粉质土路基与二灰土底基层施工技术指南

3 术语和定义

3.1 术语

3.1.1 冲击压路机 Impact Roller

压路机的非圆形压实轮（一般是由曲线为边而构成的三、四、五等正多边形）在牵引或自行驱动力作用下滚动，对作业面进行周期性冲击碾压的施工机械设备。

3.1.2 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。

3.1.3 自行式冲击压路机 Self-Propelled Impact Roller

依靠自身动力装置行驶作业的压路机称为自行式冲击压路机。

3.1.4 拖式冲击压路机 Towed Impact Roller

依靠其它动力机械设备进行牵引行驶作业的压路机称为拖式冲击式压路机。

3.1.5 冲击碾压 Impact Roller Compaction

采用冲击压路机对作业面的压实，主要作用是提高被压土体的密实度与破碎度，冲压效果与土质状况、冲击压路机的型号、行驶速度等有关，冲击碾压可简称为冲压。

3.1.6 有效影响深度 Effective Influence Depth

能够提高土体平均压实度 1 个百分点的最大压实深度。

3.1.7 有效压实厚（深）度 Effective Compaction Depth

能够满足设计要求压实度的最大压实厚（深）度。

3.1.8 冲击碾压遍数 Number of Impact Roller Passes

冲击轮通过作业面的次数。

3.1.9 地基冲压 Foundation Stamping

为提高地基的强度，减少路基工后沉降，对路基范围内的地表场地清理完成后所进行的冲击碾压。

3.1.10 路堤冲压 Embankment Stamping

为达到规范或设计要求的路基压实效果，根据试验路段确定的有效压实厚度，对填方路

基的路堤区逐层进行的冲击碾压。

3.1.11 有效冲击碾压长度 Effective Impact Rolling Length

扣除两头转弯端长度后，冲击压路机沿作业面纵向行驶的最短直线长度。

3.1.12 黄河中下游流域粉质土 Silty Soil of the Yellow River Basin

黄河中下游流域细粒土中粗粒组（0.075~60mm 粒组）质量少于或等于总质量 25%的土，包括黄河中下游流域粉土和黄河中下游流域粉质黏土。

3.1.13 黄河中下游流域粉土（低液限粉土） Silt of the Yellow River Basin

黄河中下游流域塑性指数 I_p 小于或等于 11 的粉质土。

3.1.14 黄河中下游流域粉质黏土（粉质低液限黏土） Silty Clay of the Yellow River Basin

黄河中下游流域塑性指数 I_p 介于 11~18 之间的粉质土。

3.1.15 黄河中下游流域中液限黏土 Middle-Liquid Limit Soil of the Yellow River Basin

黄河中下游流域液限 W_L 介于 40~50 之间的黏土。

3.2 符号

kJ —千焦耳

ω_o —土的天然含水量（%）

ω_{op} —土的压实最佳含水量（%）

I_p —土的塑性指数

W_L —土的液限（%）

4 一般要求

4.1 冲击碾压填筑的黄河中下游流域粉质土公路路基应达到设计要求的强度、稳定性和耐久性。

4.2 黄河中下游流域公路地基、路堤冲击碾压的设计与施工，应根据施工路段具体的地形地貌、地下水位、土质条件，以及取土场土质和地质条件、工期要求等因素综合确定。高速公路与一级公路路基应结合工程建设，宜提前修筑试验路，开展冲击碾压试验工作，以达到检验设计、指导施工的目的。

4.3 适宜冲击碾压的条件

- (1) 黄河中下游流域地下水位较低、土的含水量适宜的粉质土公路地基；
- (2) 黄河中下游流域含水量适宜的粉土路堤。

4.4 不适宜采用冲击碾压的路段

- (1) 距建筑物安全距离不足的路段；
- (2) 有效冲击碾压长度不足的路段；
- (3) 地下水位埋置深度小于 1.5m，或地基 1.5m 深度内含厚度较大、含水量较高的中高液限黏土层的地基压实路段；
- (4) 含水量 ω 超出范围，经过冲击碾压试验验证效果不明显的路段；
- (5) 对振动敏感的特殊构造物的路段；
- (6) 对原路堤、路面振动影响较大的拓宽路基路段；
- (7) 有需要特别保护的建筑物且保护困难的路段。

4.5 黄河中下游流域公路地基、路堤冲压施工宜采用压实轮为正三角形的冲击压路机。

4.6 地基冲压范围应至路堤坡脚外 1m；路堤冲压距填方外缘的距离不宜小于 1.2m，当路堤加宽受限时，可采用振动压路机对路堤边缘 2~3m 范围内进行分层压实；路堤最外侧冲击碾压的行驶速度宜控制在 10~12km/h。

4.7 当路堤土料为黄河中下游流域粉质黏土时，应在试验路段验证的基础上，经充分论证方可实施。

4.8 应充分考虑冲击碾压作业对周边环境的振动影响，合理确定振动作业安全距离；或采

用必要的隔振措施，降低振动作业对周边环境的影响。应制定相关安全生产管理制度，采取安全保障措施，杜绝违章施工，做到安全生产。

5 施工准备

5.1 技术准备

5.1.1 施工前应组织专业技术人员对施工路段的施工环境条件进行详细调查（勘察），进一步优化施工技术方案。

5.1.2 冲击碾压施工前应编制出施工组织设计。施工时应精心组织，严格按设计要求施工，不断总结完善施工工艺、检测方法与质量管理措施，加强施工全过程的检查和记录，保证工程质量。

5.1.3 施工前应组织有关人员认真学习冲击碾压技术要求，进行书面技术交底。

5.1.4 机械操作人员必须在施工前经过培训并获得上岗证。

5.2 场地准备

5.2.1 测量放样

按《公路路基施工技术规范》（JTG F10）执行。路基填筑的外边线应大于设计宽度 1.3~2.0m，并标划冲击碾压的作业范围。

5.2.2 场地的整理

公路地基施工前应对路堤基底范围内原地表进行清理，并按设计要求整平；地基施工宜在地下水位较低时进行；地下水位较高、地基含水量较大，导致地基难以冲击碾压的路段，宜通过现场试验，选用井点降水、地基土翻晒、石灰处置、设置废旧建筑砖渣或砂砾垫层等适宜的技术措施对地基进行处理；路堤位于水塘、水沟等局部低洼积水的地段，应抽干积水，清除淤泥，选用符合要求的土、粗粒料或工业废渣等材料，采用分层碾压等技术措施回填至略高于基底标高；施工现场若有坑穴，应填平夯实。

5.2.3 场地排水

施工前应截断流向路基作业区的水源，并在设计边沟的位置开挖临时排水沟，保证排水畅通。

5.2.4 构造物的保护

（1）施工前必须查明冲击碾压范围内的地下管线和附近的各种构造物，对于不满足振动安全要求的构造物必须采取相应的保护措施。一般情况下可参照表 1 确定水平安全距离。

对于存在河沟等有明显隔振效果的部位，经确认不会对构造物造成影响时，可适当缩减安全距离。对拟保护的构造物，施工前应在保护范围的外围设置明显的标记物。

表 1 冲击碾压水平安全距离

构造物类型	冲压水平安全距离	构造物类型	冲压水平安全距离
U 型桥面和涵洞通道	距桥台翼墙端或涵洞通道 5m	导线点、水准点、电线杆	10m
其余类型桥台	10m	地下管线	5m
重力式挡墙	距墙背内侧 2m	互通式立交桥梁	10m
扶壁（悬壁）式挡墙	距扶（立）壁内侧 2.5m	建筑物	30m

（2）正常使用的构造物顶部以上填土高度大于 2.5m，土工格栅等合成材料竖向填土厚度大于 1.5m，上部填土可直接进行冲击碾压。

（3）对于不符合上述安全距离的冲击碾压路段，可采取以下措施：①在结构物与冲击碾压施工路段之间开挖宽 0.5m、深 1.5m 左右的隔振沟进行隔振；②适当降低冲击压路机的行驶速度，增加冲压遍数；③其他技术措施。

（4）冲击碾压作业至被保护结构物之间的路段，宜采用振动影响较小的碾压机械或小型夯实机具等分层压（夯）实至设计要求的压实度。

（5）地基冲压宜安排在结构物基础开挖之前，并尽可能地扩大作业面长度。

5.2.5 场地范围

地基冲击碾压的最短有效长度不宜小于 100m；路堤施工段长度宜为 200～500m，最短长度不宜小于 150m。冲击碾压的转弯路段应并入下一冲压施工段。

5.2.6 临时工程

临时工程应满足正常施工需要，应保证路基施工影响范围内原有道路、结构物及农田水利等设施的使用功能。

5.3 材料准备

5.3.1 路堤填土应为黄河中下游流域粉土。对于 $4 < I_p \leq 11$ 的粉土，含水量范围宜控制在 $\omega_{op} - 3\% \leq \omega_o \leq \omega_{op} + 2\%$ 之间；对于 $I_p \leq 4$ 的粉土，含水量范围宜控制在 $\omega_{op} - 4\% \leq \omega_o \leq \omega_{op} + 3\%$ 之间。

5.3.2 在取土场取土前应开挖探坑，对取土场全厚度范围内的土质、含水量进行检查。取

土深度范围内的土质宜均匀；呈层状分布的不均匀土质，应根据土质要求分层取土；取土深度范围内含中高液限黏土层时应清除并分类储存利用。当取土料场的土料含水量过高时，应结合地形等实际情况提前排水、降水，尽量提前就地堆积滤水晾晒或翻晒，不宜将含水量 ω_0 较大的土料直接在施工作业面上翻晒；土料含水量不足时，应采取补水措施。

5.3.3 当路堤土料的含水量 ω_0 超出以上范围且晾晒或补水困难时，应在进行试验段试验的基础上，经充分论证确定适宜的含水量范围后方可实施。

5.4 主要机械设备及要求

冲击式压路机宜采用三边形冲击压路机，冲击势能不宜小于 25kJ，工作速度 10~15km/h，冲击轮宽度 2×900mm。牵引车采用配套的牵引车。

5.5 施工作业条件

作业面符合要求，人员和各种施工机械就位，施工机械能正常使用；安全警示标志和安全防护措施已到位。

5.6 试验路段

5.6.1 试验路段的铺筑应达到以下目的：

- (1) 地基冲压试验应验证地基条件适应性，以及高地下水位、高含水量、高黏粒含量等地基条件下降水、翻晒、灰土处置等技术手段有效性等；
- (2) 验证冲击碾压后的地基、路堤质量是否达到设计技术要求；
- (3) 优化冲击碾压的施工工艺、参数；
- (4) 确定适宜的质量控制标准。

5.6.2 试验路段应选择在作业面平坦，土质、地质、水文条件等工程特点具有代表性的地段，冲击碾压试验段长度不宜小于 150m。

5.6.3 应编制试验段计划或大纲，其具体内容为：

- (1) 各区段检测点平面布置图。标出试验范围、桩号、埋设仪标的断面桩号、仪标的平面布设位置以及观测控制点的布设位置；
- (2) 测点位置断面图。应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。

5.6.4 观测、检测用的所有仪器应于试验工作开始前准备完毕。

5.6.5 试验人员应经培训，对所有施工人员应进行详细的技术交底，做到分工明确，职责分明。

5.6.6 试验段作业结束后应及时分析检测数据，整理试验总结报告。试验总结报告应包括以下内容：

- (1) 试验段作业过程情况，包括工程概况、土质状况、自然条件、施工过程等；
- (2) 整理并绘制出冲压遍数与沉降量关系曲线，以及与压实度关系曲线，进行冲击碾压技术的适用性及技术评价，确定冲击碾压的有效影响深度、有效压实厚度；
- (3) 冲击碾压施工与其它施工方法的经济对比分析；
- (4) 提出冲击碾压遍数、含水量控制范围、冲击压路机的型号、冲压行驶速度、松铺系数、构造物的安全保护措施、质量检测方法、质量控制检测标准等，指导全线设计、施工与质量控制的结论性意见与建议。

6 质量和技术要求

6.1 冲击碾压施工前应铺筑试验路段，以确定适宜的施工方案。施工中必须严格执行试验路段总结确定的技术参数。

6.2 冲击碾压地基的场地清理彻底，地基平整度、宽度、中线偏位等符合设计要求；冲击碾压路堤的下承层的压实度、平整度、宽度、中线偏位等符合设计要求。

6.3 碾压地基、填筑路堤的压实度符合规范和设计要求。

6.4 路堤冲压的松铺厚度必须根据试验路或首件工程总结的有效压实厚度、松铺系数并结合路堤所处的层位综合确定；路堤冲压的松铺厚度以 80cm 为宜，严禁超厚；摊铺整平后的路堤每 50m 长度设置一个断面，检测控制摊铺厚度；松铺厚度超厚时应对超厚部分进行清除。

6.5 高速公路、一级公路和二级公路路堤的冲击碾压遍数不宜少于 20 遍；三级公路、四级公路路堤的冲击碾压遍数不宜少于 15 遍；地基的冲击碾压遍数不宜少于 10 遍。

6.6 严格控制地基、路堤土的含水量。冲压前按每 2000m²检测 8 个点的频率检测土的含水量。

6.7 压路机的行驶速度宜控制在 10~15km/h，如作业面起伏较大应停止冲压工作，对作业面进行平整后再继续冲压。

6.8 冲击压实时应均匀碾压，相邻两段冲击碾压搭接长度不宜小于 30m。冲压过程中应保持正确的行驶方向，并保证不发生漏压现象。

6.9 冲压边角及转弯区域应采取其它压实措施，以达到设计标准。

6.10 存在构造物的路段，必须严格落实安全保障措施，控制冲击碾压的范围。

6.11 施工过程中须由专人负责记录，记录资料内容完整。

7 施工工艺

7.1 冲击碾压施工工艺流程

采用试验路或首件工程确定的施工工艺流程。

7.2 路堤施工操作方法

7.2.1 路堤的填土

下承层检查合格后进行填土，填土前采用全站仪按 20m 间距测设出中桩，用水准仪测出横断面高程，用白灰撒出每侧宽出路堤填筑宽度 1~2m 的灰线。根据每车土的松方量，计算出对应厚度的摊铺面积，在作业面上标划出对应的格子，根据格子卸土，每个方格内倒一车土，确保土料的均匀性。

7.2.2 土料的整平

填料后，用推土机大致整平，再用平地机反复整平，直到作业面满足要求为止，然后用振动压路机碾压 2~3 遍。测量人员测出各点位松铺的高程，对超厚部分进行清除。为了保证路堤顶面的排水，一般路段整平时做出不小于 2% 的双向横坡；超高段按设计横坡度进行整平。在整平后的场地上布设监测点。

7.2.3 冲击压实

施工作业场地宽度大于冲击压路机转弯半径的四倍时，以道路中心线为对称轴从一侧向另一侧采取错轮回转法进行冲击碾压，碾压时轮迹不得重叠，具体行车路线见下图 1；施工作业场地的宽度小于四倍转弯半径时，可按图 2 的冲压方式进行，根据实际情况在施工作业场地的两端设置所需的转弯场地。

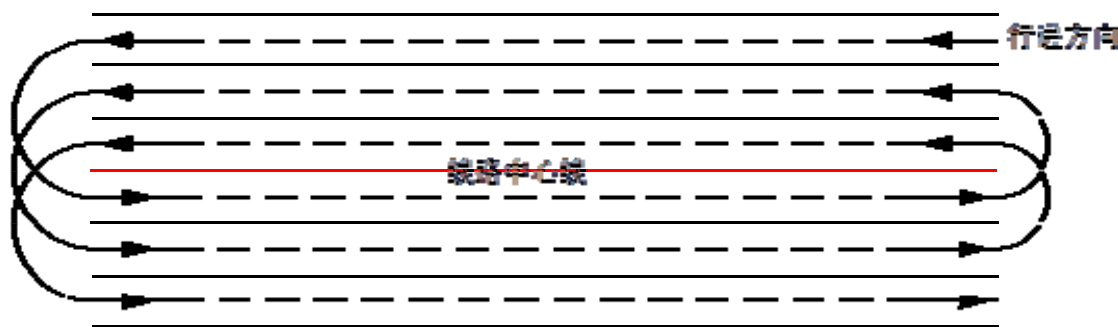


图 1 施工作业场地较宽时冲击碾压路线示意图

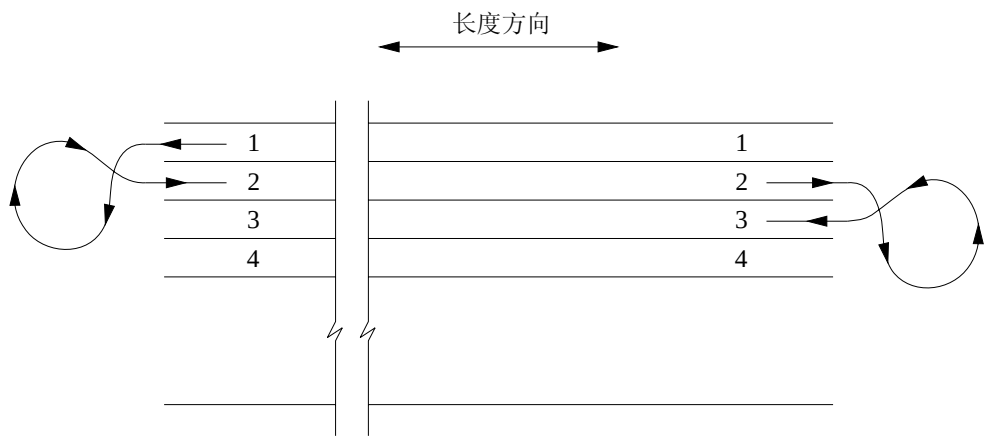


图 2 施工作业场地较窄时冲击碾压路线示意图

采用横向错轮碾压的方式进行冲压，循环错轮完成全部作业场地的冲压计为冲压 1 遍。冲压过程中作业面表层会产生波浪起伏，每碾压一遍后在调头端向内错 1 个车位，通过调整转弯半径调整冲击波峰，进行错峰压实（如图 3），每遍错轮 $\frac{1}{6}$ 轮周距，4 遍为一轮回，4 遍整平后调整为反方向进行反循环冲击碾压，达到压实质量的均匀、满压。

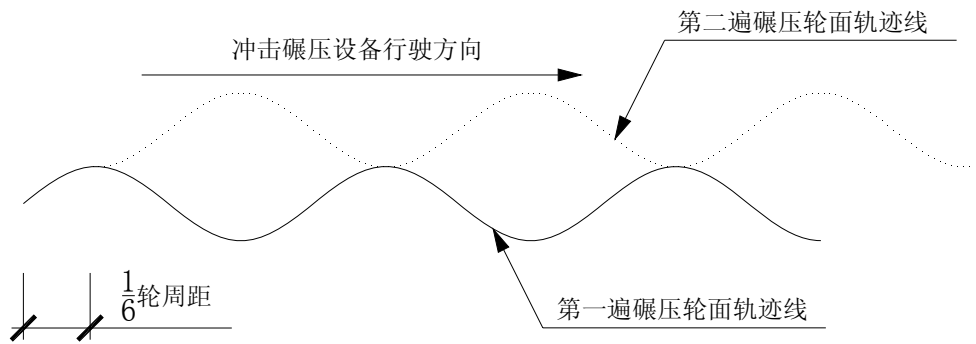


图 3 错峰碾压纵向错距示意图

根据作业面的情况，一般每冲压 4 遍，对作业面按路拱横坡度要求进行整平一次，并同时采用洒水车进行雾状喷水除尘。在施工现场的两端设置所需的转弯场地，并在冲压行驶路线上设置易于机械操作人员辨识的临时标记物，便于按相应的标线冲击碾压。

冲击碾压过程中，在作业面两端设专人统计碾压遍数，并检查每遍的错峰情况。每冲压一次及时于告知牌上填写醒目的冲压遍数。

冲压后路堤、地基表面的松散土层不检测压实度，可直接计入上一层上土的松铺厚度，但在上土前必须整平，并适当洒水保持松散层含水量适宜。当土的含水量较低时，宜于前一天洒水湿润。

7.3 地基施工操作方法

地基冲压施工参照 7.2.3 中路堤冲压方法执行。

7.4 施工中注意的事项

7.4.1 正常施工中，必须严格按照试验段或首件工程试验确定的冲压方案及操作工艺，以书面形式向现场技术、管理、施工人员进行技术和安全交底。

7.4.2 严格控制冲压作业面边部、端部的压实度。桥台等结构物相连路堤具备提前施工条件的路段，距桥台等结构物 30m 以内的路段先分层碾压至冲击碾压设计层厚，再在结构物 30m 以外的路段摊铺冲击碾压填筑层，冲击碾压的转弯区域应位于距结构物 10~30m 范围内已分层压实的路段内。桥台、涵洞等构造物相连接处路堤不具备提前施工条件的路段，有效压实断面以外部分的路堤应挖除后与台背回填一起采用振动压路机分层压实，并按台背回填的设计标准控制路堤压实度；有效压实断面以外部分地基按照桥头地基处置方案处理。其它冲击碾压路段的转弯处应并入下一冲压施工段；无法并入其它冲压段的转弯区和冲压边角区，应采用强夯等技术措施进行补压以达到压实标准。对冲压作业面的边部应适当增加 3~5 遍的压实遍数。

7.4.3 严格控制压实度检验坑填土的填筑质量，由专人负责挖验坑进行分台阶回填，用汽夯等设备夯实。在设置沉降观测板的位置，碾压完成后应将四周的松土挖出，分层用汽夯夯实。

7.4.4 严格控制冲击压路机的行驶速度、碾压遍数和错峰的质量，作业面起伏较大时应及时进行表面整平。

7.4.5 施工中应采取有效的安全保证措施，确保构造物的安全。冲压作业范围内的出入口应设置醒目的安全标志和交通指示标志，禁止无关车辆与人员出入；冲压施工中应注意观察，发现构造物异常时，必须立即中断施工，查清原因并及时调整施工方案或工艺；冲击碾压作业不宜夜间施工，确需夜间施工时，现场必须设置符合操作要求的照明设备与夜间施工警示标志。

7.4.6 每台冲击压实设备至少应配备 2 名经培训合格的机械操作人员，轮流进行作业，每名操作人员每次作业时间不宜超过 2h。

7.4.7 施工中应保证各环节衔接紧凑，及时进行作业面冲压，以减少表层水分散失对

压施工及其质量的影响，并视气候环境每冲压 8~10 遍对施工作业面表面进行适当补水。

7.4.8 当路堤土料的含水量超出要求时，宜于下承层上分 2~3 层晾晒土料。

7.4.9 施工过程中应及时修筑和完善临时排水设施，保持排水通畅，防止作业面存水和路基冲刷。

7.4.10 当小型结构物较多致使冲压段落过短时，可暂不施工小型结构物，待冲击碾压填筑至适宜高度后再开挖施工小型结构物，以延长冲压段长度。

7.4.11 牵引车应选用配套的专用牵引车，其功率应与冲击压路机的型号、吨位相匹配。

7.4.12 压实度检测时，如果发现土质变化较大或出现压实土体超密现象，应及时现场取土进行击实试验，核验压实土体的压实度，确保检测的准确性。

7.4.13 施工时若路基出现“弹簧”现象，应暂停施工，应采用含水量适宜的土对“弹簧土”进行置换或采用石灰局部处置，补压整平后方可继续施工。

7.4.14 高填方路堤应注意观测填筑、冲压施工过程中路堤的变形情况，对路堤施工实行动态监控。

7.4.15 施工过程中应合理安排施工时间，减少噪声与振动对周边环境的影响。

7.4.16 冲击压路机以自行方式调迁时，每 20km 应停驶休息，或洒水对胶轮进行降温，以防爆胎。

8 施工质量检验

8.1 质量控制指标与控制方法

地基、路堤冲压质量以压实度作为最终控制标准，施工过程中采用碾压机械设备、碾压遍数、碾压沉降量和压实度综合控制的方法。当冲击碾压同时达到试验确定的碾压遍数和碾压沉降量标准时，进行地基、路堤的压实度检测。地基、路堤达到相应压实度标准为合格，压实度达不到要求时应进一步补充冲压至合格。

8.2 压实度检测方法

宜采用灌砂法检测冲压路段不同深度处的压实度。按照检测深度，检测分为冲压层的层表和层底压实度检测。层表宜检测表层下 20cm 处的压实度；路堤层底宜检测冲压层底部以上 10cm 处的压实度；地基层底宜检测地基冲击碾压后 50cm 深度上下处的压实度。压实度通过分层开挖台阶进行检测。

8.3 压实度检测频率

层表压实度检测频率为每 200 延米检测 4 处；层底压实度检测频率为每 200 延米检测 2 处。检测点位应在冲压范围内均匀分布。

8.4 质量标准

地基冲击碾压后的压实度必须达到 90%以上；路堤冲压后压实度必须按表 2 的标准控制。

表 2 路基压实度标准

填挖类型		路面底面以下深度（m）	压实度（%）		
			高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路堤	轻、中交通	0.8~1.50	≥94	≥94	≥93
	重、特重交通	1.2~1.9	≥94	≥94	≥93
下路堤		轻、中交通 1.50 以下 重、特重交通 1.90 以下	≥93	≥92	≥90

注：1）表列压实度系以《公路土工试验规程》（JTG E40）重型击实试验法为准；

2）当三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时，应采用二级公路的标准。

9 其它

其它未尽事宜应按照《公路路基施工技术规范》(JTG F10) 执行。

附录A 本规范用词说明

A.1 对执行规范条文严格程度的用词采用以下写法：

A.1.1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

A.1.2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

A.1.3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

A.1.4 表示稍有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

采用“可”。

A.2 条文中应按指定的其他有关标准、规范的规定执行，其写法为“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。

如非必须按指定的其他有关标准、规范的规定执行，其写法为“可参照……”。

附件

黄河中下游流域粉质土路基冲击碾压施工技术规范 条文说明

1 范围

冲击碾压技术是通过冲击压路机的高振幅、低频率冲击碾压作用，实现对作业面的静压、揉搓、冲击，对作业面下深层土体进行有效压实。与一般压路机压实技术相比，冲击碾压压实土石的效率可提高3~4倍。我国很多施工单位已经采用冲击碾压技术进行公路路基、地基压实施工。为了规范公路冲击碾压技术的工程应用，交通部公路科学研究院曾于2006年编制出版了《公路冲击碾压应用技术指南》，但该指南未对新填筑路基的冲击碾压技术做出相关规定。

黄河中下游流域占山东省面积的34%，区域内广泛分布黄河冲（淤）积粉质土。该类土作为公路路基的填筑材料，具有粉粒含量高、黏粒含量低、颗粒磨圆度高、级配不良、孔隙率高等特点，使得该类土难以压实，压实含水量不易控制，压实后表面松散，难以达到较高的压实度，且压实后土体强度不高；该区域地下水位高，地基土层因黄河水泛滥的冲（淤）积作用呈层状分布，土质主要为粉质土并夹有厚度不一的黏土层，地基的压实较为困难。为了解决黄河中下游流域路基与地基的压实问题，山东省公路工程部门在部分国省道建设中尝试采用冲击碾压技术，并取得了部分成功的经验。为了规范黄河中下游流域粉质土公路路堤、地基的冲击碾压施工，在总结相关研究成果、工程经验的基础上，制定了本规范。本规范是对国家、部颁标准的补充和具体化，是在符合国家、行业法律法规的前提下制定的。

由于旧路改（扩）建中老路路堤土料与含水量状态复杂，采用冲击碾压加固旧路基难以保障路基加固质量，故本规范未对老路路基冲击碾压加固做出规范；在旧路基含水量适宜的情况下，工程中可以参照本规范并通过试验路验证采用冲击碾压技术进行旧路基加固处理；为了保障路床区填筑质量及其均匀性，建议填方路基路堤区采用冲击碾压技术，路床区不建议采用冲击碾压技术填筑。

3 术语、符号

3.1 术语

冲击压路机的最大特点是碾压轮采用了非圆形的压实轮外形，为了行驶的平稳和低能耗，其外形主要为三、四、五边的正多边形。碾压轮边数越少，冲击能量越大。

根据动力装置的不同，冲击压路机分为自行式冲击压路机和拖式冲击压路机，其中以拖式冲击压路机最为常见。

4 一般要求

4.2 因冲（淤）积而形成的黄河中下游流域土质、水文地质条件随地形地貌、地下水位深度等的不同存在较大差异。地基土质、湿度及其层状结构，以及路基土质与湿度对路基冲击碾压的效果具有决定性作用。因此，应认真分析冲击碾压作业路段地形地貌、水文地质、土质条件，并根据工期要求，确定合理的冲击碾压设计与施工技术方案。

4.3~4.4 根据《黄河中下游流域粉质土路基与二灰土底基层施工技术指南》（DB37/T 1720-2010），黄河中下游流域土质以粉质土为主，粉粒含量高达70%~80%以上。根据 I_p 的大小将其划分为黄河中下游流域粉土（又称低液限粉土， $I_p \leq 11$ ）和黄河中下游流域粉质黏土（又称粉质低液限黏土， $I_p = 11 \sim 18$ ），其中以 $I_p \leq 11$ 粉土为主。由于受取土场的限制，路堤填土主要采用 $I_p \leq 11$ 的粉土。该类土粉粒含量高、颗粒磨圆度高、动力响应显著，适于振动或冲击碾压。

粉土的可塑性范围很窄，土体的压实对于含水量十分敏感，因此粉土路基冲击碾压施工时严格控制含水量十分重要。

黄河中下游流域粉质土的毛细水上升高度大，过高的地下水位将导致地基湿度过大，不利于地基的冲压。区域内地基土呈层状分布，各层土质存在一定的差异，土质主要为粉质土，但局部区域土层内存在中、高液限黏土，其含水量一般较高，冲击碾压的效果很差。25kJ三边形冲击压路机的有效影响深度在1.4m左右，因此本规范规定，地基1.5m深度内含厚度较大、含水量较高的中、高液限黏土层的地基压实路段不宜采用冲击碾压。

加筋土挡墙、已经修建挡土墙、桥涵构造物等构造物对振动敏感，无可靠振动控制措施时路段内不宜采用冲击碾压。

4.5 冲击压路机的非圆形压实轮一般是由曲线为边而构成的三、四、五等正多边形压实轮。为了获得较大的冲击能量，在地基、路堤的冲击碾压工程中一般采用三边形压实轮。大量的工程经验也表明，压实轮为正三角形的冲击压路机对路堤、地基的冲击碾压效果优于正四边形、正五边形的冲击压路机。

4.6 冲击压路机行驶速度较快，为安全起见，一般距路堤边坡要有1.0m的安全间距，考虑

到黄河中下游流域粉质土侧限能力较差,本规范规定路堤冲压距填方外缘的最小距离增加至1.2m。由于受地形限制或征地拆迁等因素使得路堤不可能加宽时,距路堤边缘部位2~3m的范围内可用振动压路机分层碾压,其余部分再用冲击压路机冲击碾压。

4.7 受土地资源限制,黄河中下游流域可用取土场土质一般不理想,常用路堤填土一般为 $I_p \leq 11$ 的粉土,适宜采用冲击碾压技术;也有许多取土场处于低洼处,常存在中高液限黏土,不宜采用冲击碾压技术;由于较少采用粉质黏土填筑路堤,并缺乏冲击碾压填筑经验,因此,应通过试验路确定相应施工技术。

4.8 冲击压路机行驶速度快,冲击压力大,对周边环境具有一定的振动影响,且容易出现事故。因此,应对周边振动敏感点进行认真调查分析,提出有效降低振动环境影响的应对方案;必须制定相关的规章制度,做到安全生产。

5 施工准备

5.2 场地准备

5.2.2 场地的整理

黄河中下游流域地下水位高,局部路段存在黏土夹层,地基压实常常难以达到设计要求,并导致上层路堤土压实困难,难以达到压实标准。因此,地基施工宜避开雨季,并尽量安排在地下水位较低时施工。在地下水位较高,碾压难以达到设计要求的地段,应根据地基地下水位和土质情况采用相应的地基处理措施,确保地基施工质量。

5.2.4 构造物的保护

为了防止冲击碾压对临近构造物的不利振动影响,冲击碾压时除采取必要安全措施外,还应注意对冲压区的构造物随时进行观察,一旦发现结构开裂或变形等情况,应立即停止冲压,并采取增大安全距离、降低通过速度、支起冲击轮等技术措施确保构造物安全与稳定。

5.2.5 场地范围

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的作业面(排除了需避让的构造物之后能够冲压的净面积),拖式冲击压路机长度超过 10m,转弯半径较大,故其作业面要求略大。因黄河中下游流域地基情况相对复杂,地基冲击碾压的最短有效长度不宜过长。

5.3 材料准备

5.3.1 针对传统的振动压路机,我国《公路路基施工技术规范》(JTG F10-2006)要求路堤土料冲压时的含水量在 $\omega_{op} \pm 2\%$ 之间。黄河中下游流域粉土的压实对含水量敏感,一般偏离 ω_{op} 3 个百分点以上则压实效果很差。但冲击压路机的击实功比重型击实的击实功大得多,因此冲击碾压的最佳含水量比重型击实试验结果要低。

近年来,山东省在黄河中下游流域粉土路基工程进行了部分冲击碾压试验和工程应用。其中,山东省高唐—临清高速公路(以下简称“高临高速公路”)第三合同段于2009年成功进行了 $I_p \leq 10$ 的粉土路堤冲压试验,并以此为依据,在高临高速公路路基中进行了推广应用。实践证明, I_p 在 7~10 之间粉土的含水量范围在 $\omega_{op} - 3\% \sim \omega_{op} + 1\%$ 之间, I_p 在 4~7 之间粉土的含水量范围在 $\omega_{op} - 3\% \sim \omega_{op} + 2\%$ 之间, $I_p \leq 4$ 的粉土的含水量范围在 $\omega_{op} - 4\% \sim \omega_{op} + 3\%$ 之间

时，路堤均可获得理想的压实效果。2015年，山东省济南—东营高速公路（以下简称“济东高速公路”）开展了地基冲压和路堤冲压试验，路堤冲压试验段采用了 $I_p=9.77$ 的低液限粉土；8、9、13、16合同段进行了地基冲压试验，13、16合同段的地基土的 I_p 分别为9和11，8、9合同段地基土塑性指数 $I_p \geq 11$ 。济东高速公路的试验结果表明，对于 $4 \leq I_p \leq 11$ 的粉土，路堤土含水量范围宜控制在 $\omega_{op}-3\% \sim \omega_{op}+2\%$ 之间。综合山东省黄河中下游流域粉土路堤冲击碾压工程经验，以粉土的 I_p 为依据，对路堤粉土的冲击碾压的含水量范围做出本规范规定。

5.3.2 黄河中下游流域呈层状分布的取土场，宜根据冲击碾压对土质的要求分层取土并填筑路堤；如果混合取土并填筑，应对混合土进行试验分析土质适应性；若存在黏土层，应清除黏土层并分类存储利用。取土场土料的含水量一般比较高，应对粉土进行适当翻晒，降低含水量。

5.4 主要机械设备及要求

三边形冲击压路机对路堤和地基具有理想的压实效果，其冲击势能一般为 25kJ（冲击能量以 25kJ 为基本型号，还有 15kJ、20kJ、30kJ、35 kJ 等）。高临高速公路、济东高速公路路堤、地基的冲击碾压均采用了该种类型的压路机（高临高速公路 3 合同段采用 YCT25kJ 三边形拖式双轮形冲击压路机，冲击势能为 25kJ；济东高速公路第 8、9、13、16 合同均采用了相同型号的冲击压路机）。

冲击压路机的行驶速度取决于牵引车或驱动机的功率，其功率应与冲击压路机的型号、吨位相匹配，在有效冲击碾压长度内应保证行驶速度在 10~15km/h 之间。



图 1 三边形冲击压路机

5.6 试验路段

5.6.1 虽然在黄河中下游流域路堤与地基冲击碾压方面部分成功的工程经验，但由于该区

域土质、水文地质条件等存在较大差异，特别是对黄河中下游流域粉质黏土路堤的冲击碾压缺乏经验，因此，施工前应修筑试验路段。

5.6.2 试验段的面积不宜过小，否则冲击压路机速度达不到要求，转弯较多，影响压实效果。若试验路段面积过大，则会影响试验的进度，故试验路段的面积应以满足试验要求为准。

5.6.3 为了保证检测结果的可靠性，所有测点距离转弯路段的直线距离不宜小于20m；测点之间应保持足够的距离，一般不宜小于6m。

5.6.5 现场所需试验人数、职责可参考表 1，试验流程参照图 2 所示。

表 1 劳动力组织

相关人员	职责	备注
项目负责人	负责整个工作的进行，协调解决遇到的问题	1 人
技术负责人	协助项目负责人落实有关技术方面的工作	1 人
安全负责人	负责安全工作	1 人
测量人员	负责冲击碾压过程的测量与复测工作	3 人
质检人员	负责冲击碾压施工过程质量控制	3 人
试验人员	负责施工试验工作	5 人
机械操作及维修人员	对各种机械进行操作、维修，其中每台冲击压路机至少配备 2 名驾驶员	合理安排

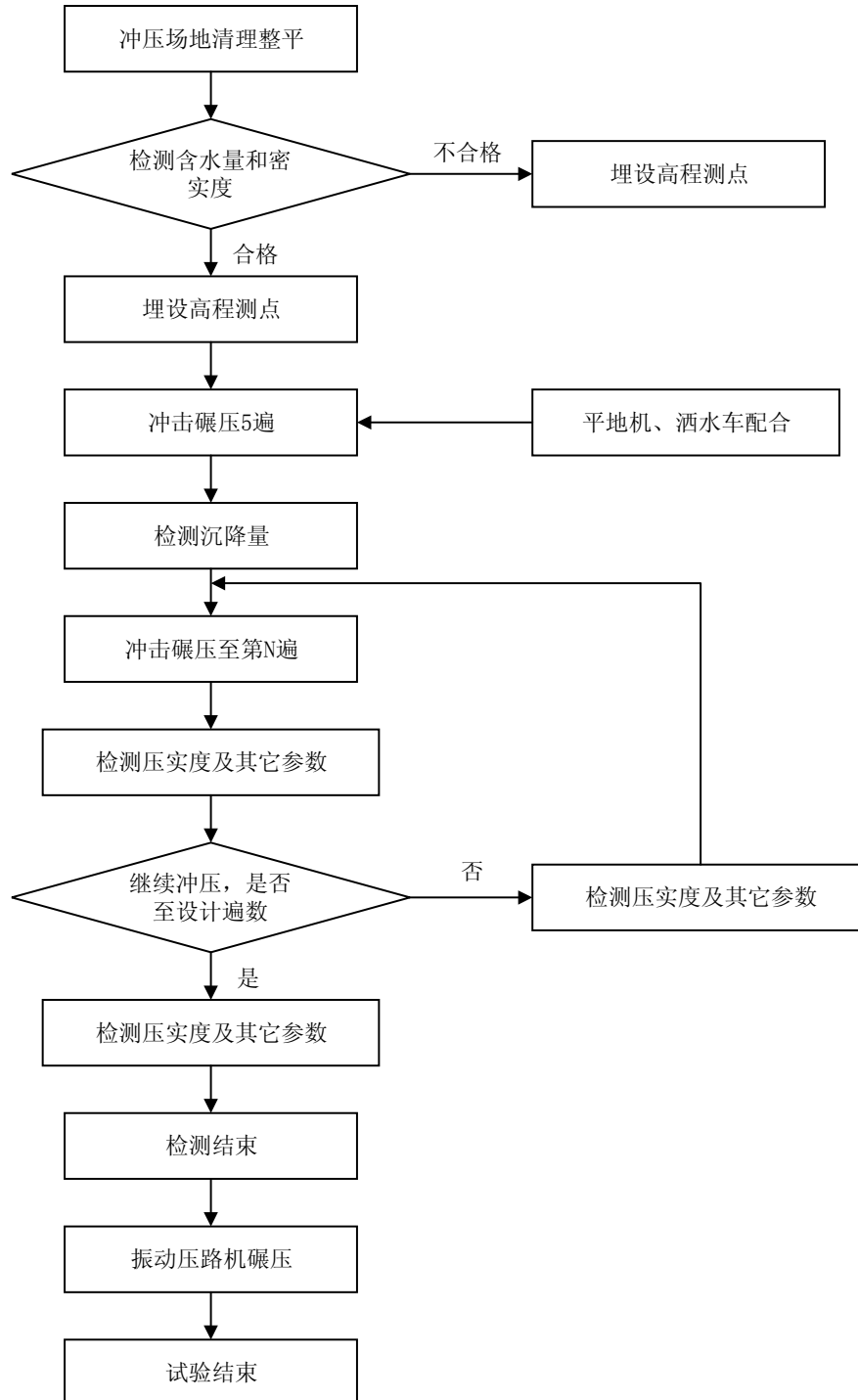


图 2 冲击碾压的试验流程图

6 质量和技术要求

6.4~6.5 路堤、地基的质量要求

(1) 路堤的冲击碾压遍数与松铺厚度

高临高速公路粉土路堤冲压试验中，采用YCT25kJ三边形拖式双轮型冲击压路机，分别进行了松铺厚度为60cm、80cm、100cm的路堤冲击碾压试验，得到的路堤压实度与碾压遍数之间关系如表2~表4、图3~图5。

表 2 松铺 60cm 的路堤不同深度处压实度 (%)

遍数 \ 深度	15cm	30cm
15 遍	92.0	92.4
20 遍	94.6	94.9
25 遍	95.4	95.8
30 遍	96.8	97.3

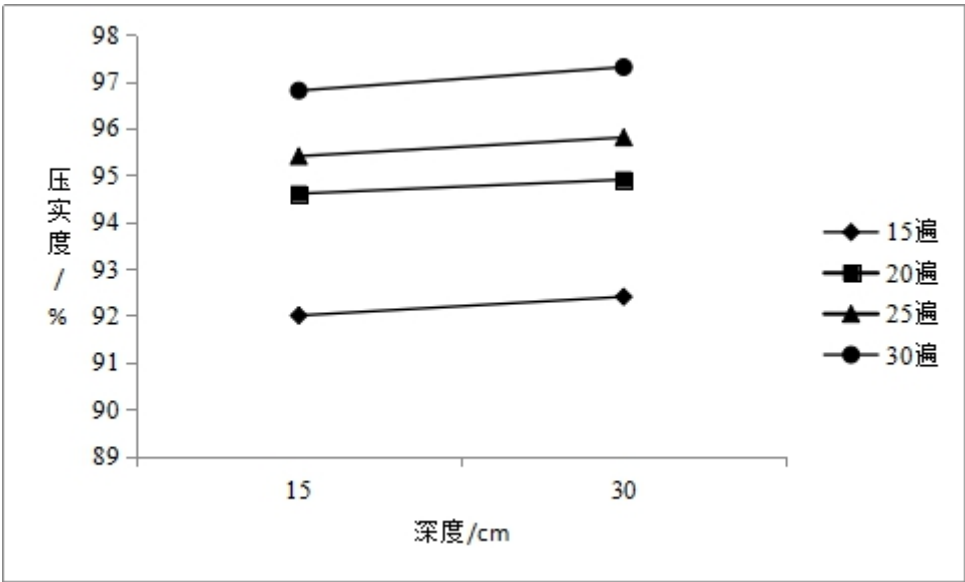


图 3 松铺 60cm 路堤的压实度~路堤深度关系

表 3 松铺 80cm 的路堤不同深度处压实度 (%)

遍数 \ 深度	20cm	40cm
15 遍	90.8	91.2
20 遍	93.3	93.8
25 遍	94.5	95.0
30 遍	95.4	95.8

表 4 松铺 100cm 的路堤不同深度处压实度 (%)

遍数 \ 深度	20cm	40cm	60cm
15 遍	89.3	89.6	88.5
20 遍	93.0	93.3	93.1
25 遍	94.9	95.2	94.5
30 遍	95.8	96.1	95.5

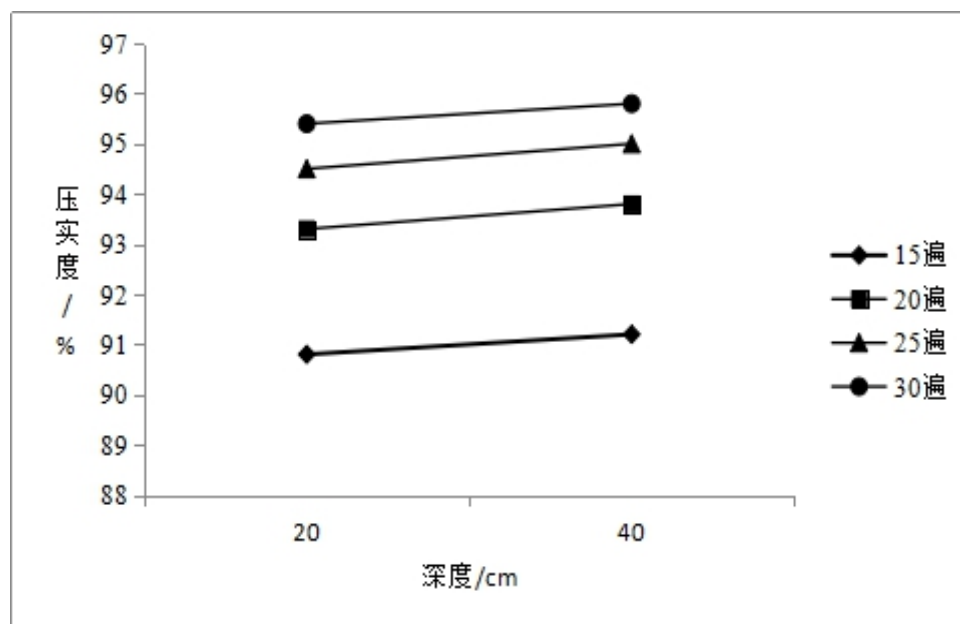


图 4 松铺 80cm 路堤的压实度~路堤深度关系

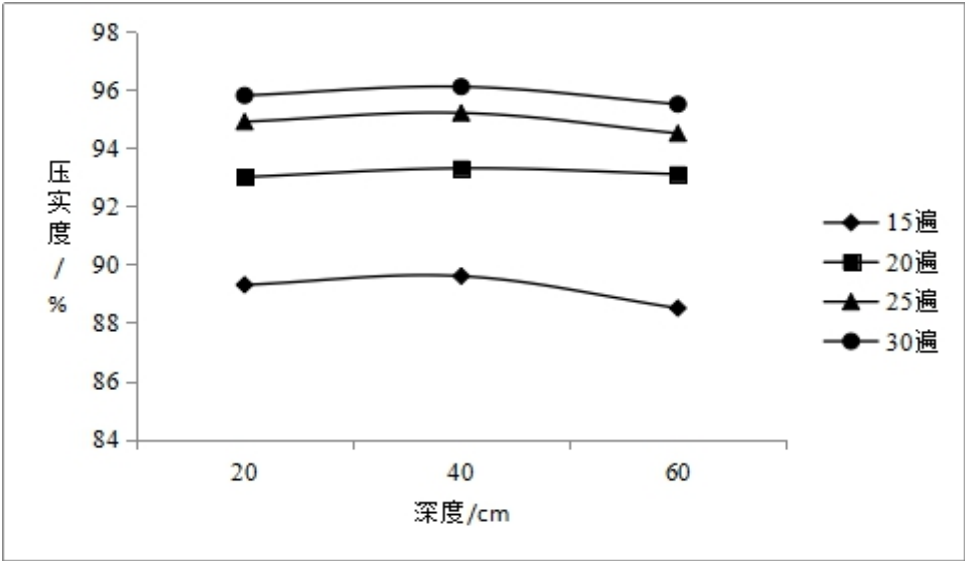


图 5 松铺 100cm 路堤的压实度～路堤深度关系

表2～表4、图3～图5表明，冲击碾压松铺厚度60cm、80cm、100cm的黄河中下游流域粉土路堤经25、25、30遍冲击碾压后，路堤30cm、40cm、60cm深度处压实度分别达到95.8%、95.0%、95.5%以上；不同松铺厚度的路堤，冲击碾压20遍后底部压实度均达到93%以上，压实效果理想；碾压遍数少于20遍，路堤压实度显著降低；15遍冲击碾压后路堤底部的压实度普遍不足90%～93%。

济东高速公路采用相同的冲击碾压设备进行了路堤冲碾试验（见图6）。2合同段进行了松铺厚度40cm、60cm、80cm、100cm的粉土路堤冲压试验，试验结果见图7。其中不同松铺厚度路堤在冲击碾压20遍后不同深度位置处的压实度见图8。由图7、图8可见，松铺厚度不超过80cm，经15遍冲击碾压后路堤底层的压实度可达到91%以上；松铺厚度不超过60cm，经20遍冲击碾压后路堤底层的压实度可达到95%以上。



图 6 济东高速路堤冲击碾压试验段

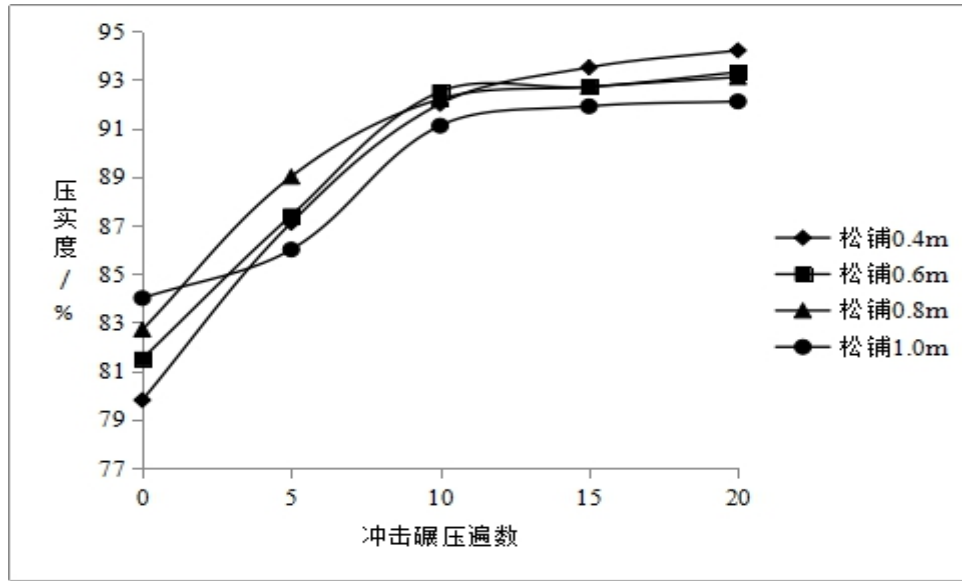


图7 路堤的压实度~冲压遍数关系

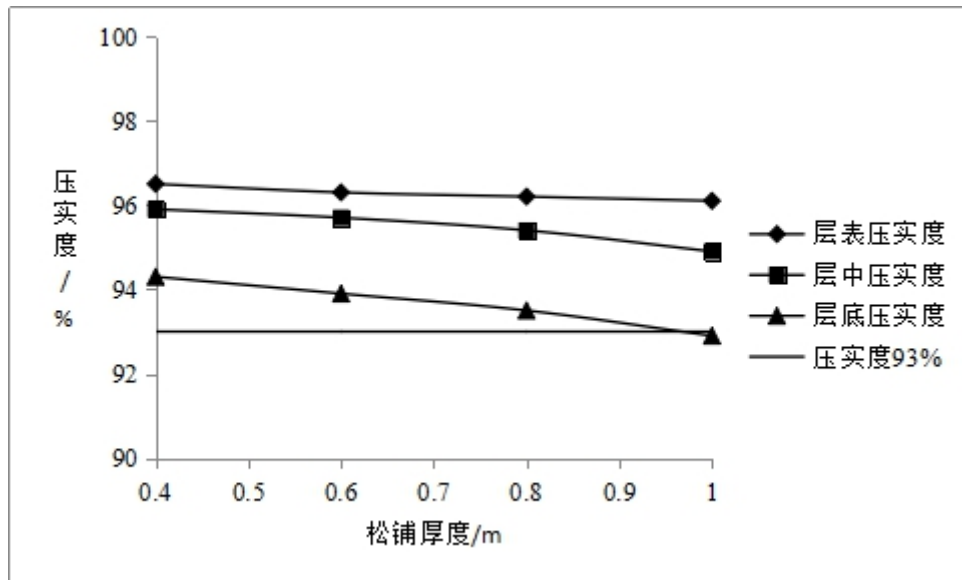


图8 压实度与松铺厚度的关系曲线



图9 济东高速公路13合同段分层分台阶检测冲压路堤压实度

济东高速公路13合同段进行了松铺厚度60cm、80cm冲击碾压试验，并分层测试路堤的压实度（图9），测试结果见表5～表7和图10、图11，结果表明，冲击碾压20遍后路堤下部压实度达93%以上，冲击碾压25遍后路堤下部压实度约为94%～95%，30遍后压实度均大于95%。压实遍数少于20遍，路堤压实度下降显著，工程不经济。

此外，路堤松铺厚度小于60cm时，表层水分散失过快，施工中需多次洒水，不经济；松铺厚度为100cm时，需要装载机堆高，亦不经济；同时在冲击碾压时难以对下层约20cm松散表层形成有效冲压。

表5 松铺60cm的路堤不同深度处压实度（%）

深度 遍数			备注
	15-30cm压实度	30-45cm压实度	
15遍	91.5	92	
20遍	93.8	93.9	
25遍	94.3	95.2	
30遍	96.2	96.3	

表6 松铺80cm的路堤不同深度处压实度 (%)

深度 遍数	20-40cm压实度	40-60cm压实度	备注
15遍	90.8	91	
20遍	93.3	93.7	
25遍	93.9	94.7	
30遍	95.2	95.8	

表7 路堤冲压后的沉降量 (cm)

松铺厚度 遍数	60cm	80cm	备注
15遍	10.63	13.75	
20遍	12.50	16.50	
25遍	13.75	17.65	
30遍	14.38	18.12	

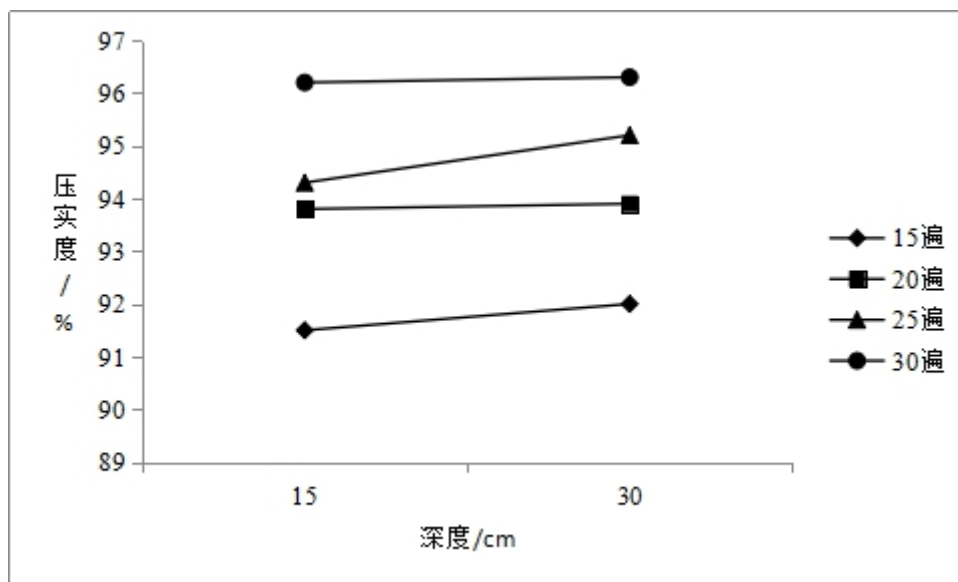


图 10 松铺 60cm 路堤的压实度~路堤深度关系

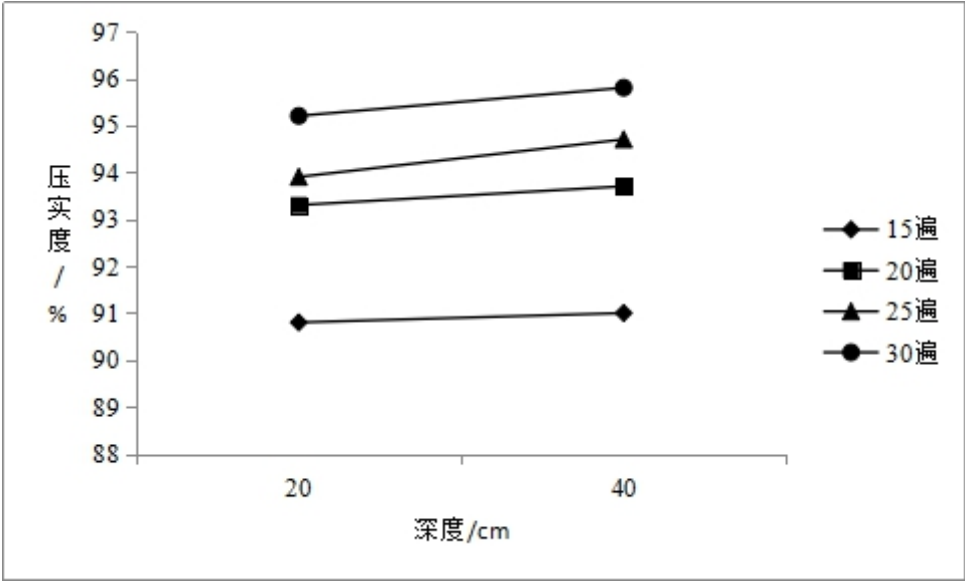


图 11 松铺 80cm 路堤的压实度～路堤深度关系

综上所述，建议黄河中下游流域路堤冲压的松铺厚度以80cm为宜；高速公路、一级公路和二级公路的路堤冲压遍数不宜少于20遍，三、四级公路路堤的冲击碾压遍数不宜少于15遍。

（2）地基的冲击碾压遍数

在地下水位不高、地基土土质与含水量适宜的情况下，黄河中下游流域地基冲击碾压可以获得理想的压实效果。济东高速公路8、9、16合同段进行了大规模的粉质土地基冲压试验，试验结果见图12～图17。其中8合同段地基经13遍冲击碾压后，路段内土体压实度已全部达到设计要求（92%），平均沉降量为101mm；14遍后检测结果与第13遍的检测结果数据基本一致，压实度已无明显提升，且个别点位出现下降现象，平均沉降量为104mm。9合同地基经15遍冲击碾压后，60cm内地基压实度达到90%以上；继续增加碾压遍数地基的压实度和沉降量仍在继续增大，但16遍之后局部地基开始发生翻浆现象。16合同地基试验段冲击碾压11遍后压沉量达到81.6mm；检测26个点位处40cm深度的地基压实度均达到了90%的要求。

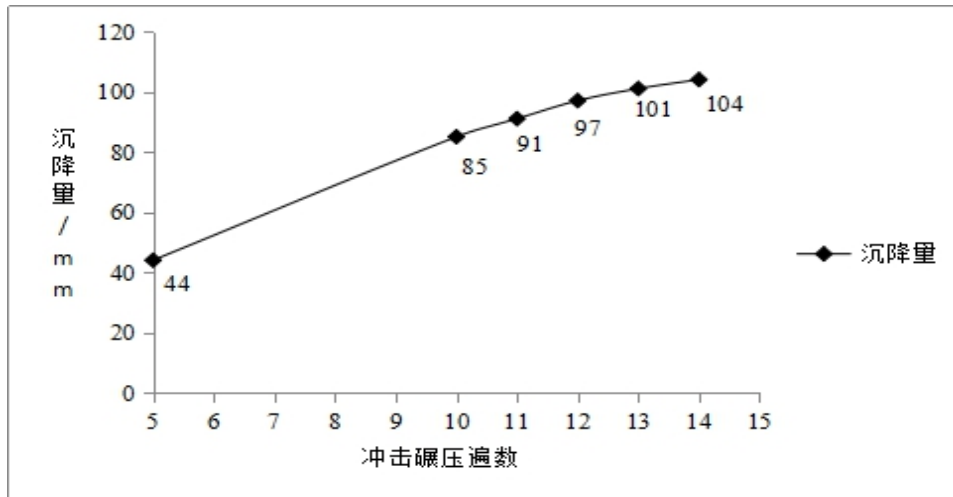


图 12 济东高速公路 8 合同段地基冲压的沉降量~碾压遍数关系

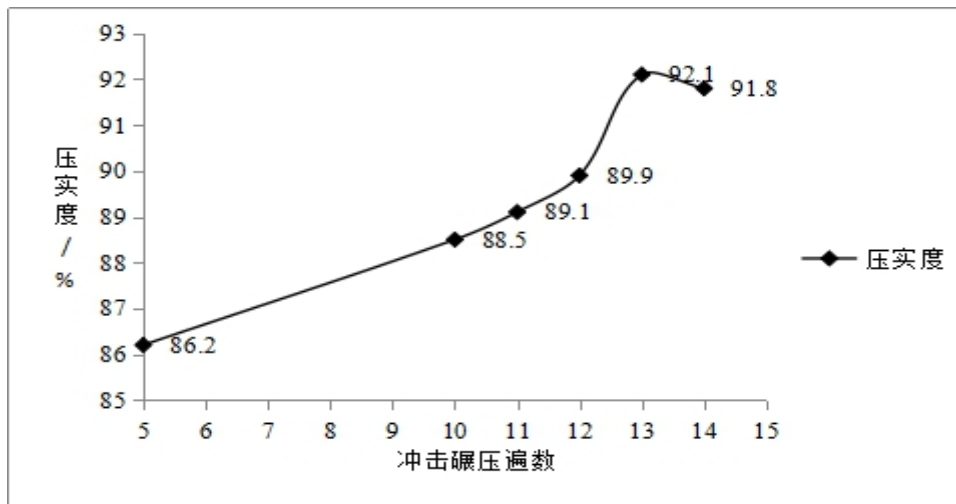


图 13 济东高速公路 8 合同段地基冲压的压实度~碾压遍数关系

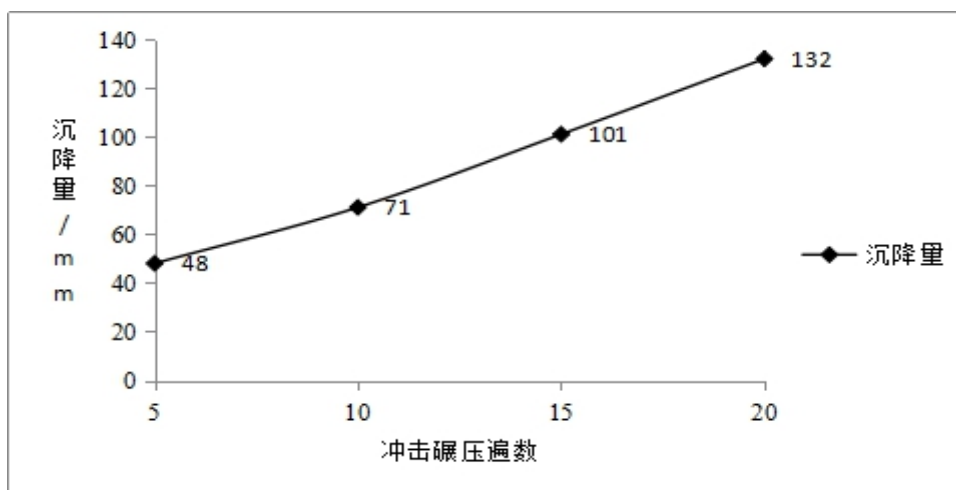


图 14 济东高速公路 9 合同段地基冲压的沉降量~碾压遍数关系

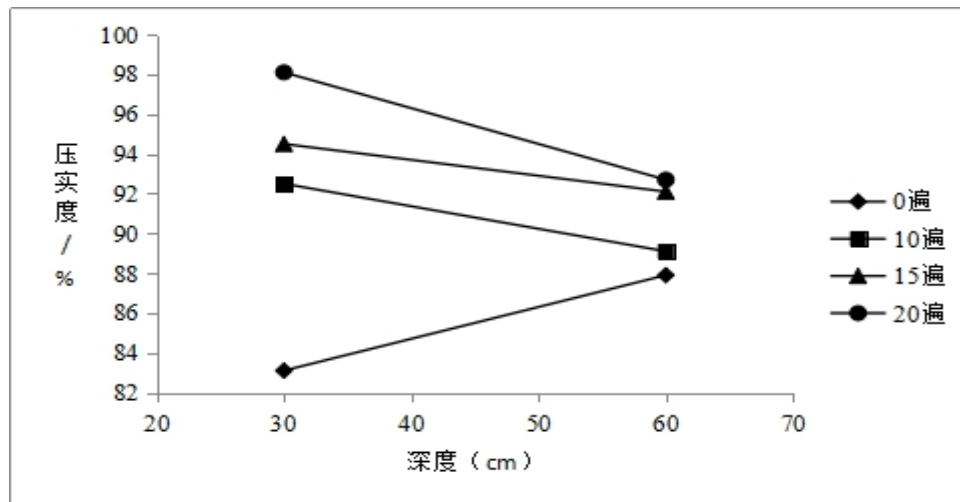


图 15 济东高速公路 9 合同段地基冲压的压实度~碾压遍数关系

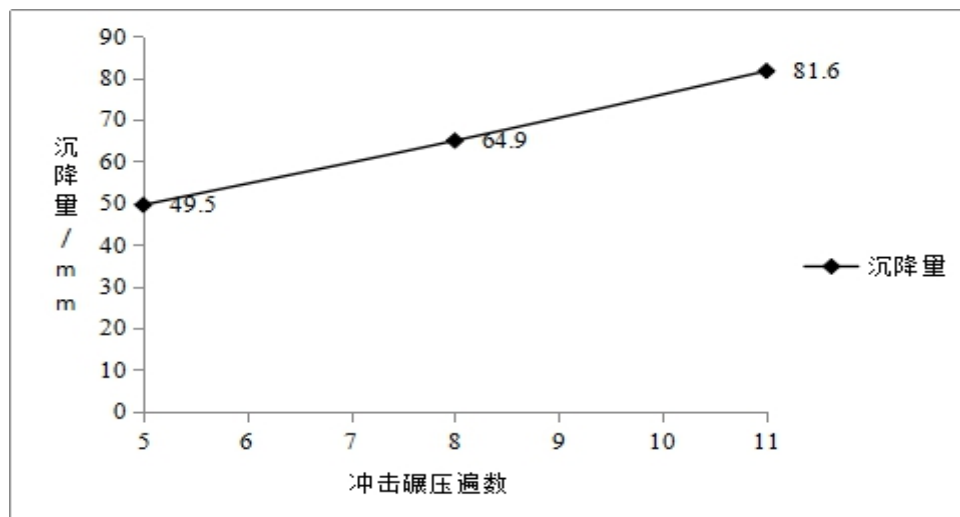


图 16 济东高速公路 16 合同段地基冲压的沉降量~碾压遍数关系

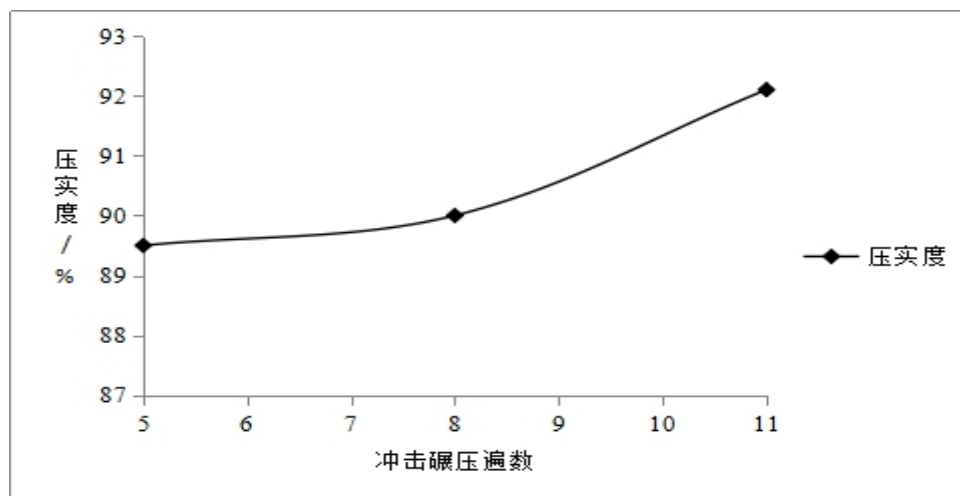


图 17 济东高速公路 16 合同段地基冲压的压实度~碾压遍数关系

高临高速公路建设中也进行了地基冲击碾压试验，其试验表明，经25遍冲击碾压后，地基1m范围内土体的压实度均达到90%以上，其中表层整平碾压后压实度达到93%以上。冲压遍数继续增加，技术经济性明显下降，特别是冲击碾压40遍后进一步增加冲击碾压遍数对提高地基的密实度与影响深度十分有限。

山东省德州—滨州高速公路（以下简称“德滨高速公路”）建设中也进行了大规模的地基冲击碾压试验。德滨高速公路工程试验发现，黄河中下游流域粉质土地基冲击碾压20遍后，一般40cm内的土体压实度可以达到90%以上。但在地基地下水位高、土质黏粒含量偏多，以及黏土土层偏厚的路段，难以达到地基压实的标准要求。

总之，黄河中下游流域地基条件相对复杂，不同工程试验得到的地基冲压经验有所差异，但总体上地基冲击碾压遍数不宜少于10遍。

6.7 一般行驶速度越快，冲击轮对路基作业面的压实功就越大，压实效果越好。但过快的行驶速度会使压实轮蹦离地面，与地面的接触时间短，不利于冲击力的传播与土体压实，也容易损坏机器；行驶速度过慢，则冲击能量太小，压实效果不理想。

6.9 冲击碾压的边角及转弯处是压实的薄弱环节，目前我国已开发了冲击碾压的配套设备——高速强力夯实机（图18），其冲击能量大于冲击压路机且可调，转弯方便，可以满足边角厚层压实的施工要求。也可以采用强夯的方法对边角和转弯处进行处理。高临高速公路、济东高速公路路堤冲压边角和转弯处压实即采用了强夯处理的方法。



图 18 高速强力夯实机

7 施工工艺

7.2 路堤施工操作方法

7.2.3 冲击压实

由于冲击压路机冲击碾压过程中对表层土体形成很大的剪切作用，冲压后路堤?、地基表面会形成10~20cm的松散土层。国外相关研究表明，表层土的松动有利于土料与下层土的更好结合，这也与我国击实试验中的拉毛原理一致。因此，对于冲压后的松散表层可以在保证含水量适宜的条件下直接铺筑上层进行冲击碾压，也可以采用振动压路机适当压实后再铺筑上层进行冲击碾压。

7.4 施工中注意的事项

7.4.14 路堤冲击碾压一次上土量大，填筑速度快，施工过程中应加强对路堤沉降、边桩位移的监测，以保证路堤填筑过程中不发生路堤失稳。填土速率宜以路堤中心沉降量每昼夜不大于10~15mm，边桩位移量每昼夜不大于5mm为控制标准。

8 施工质量检验

8.1 质量控制指标与控制方法

《路基施工技术规范》(JTG F10-2006)仅规定了压实度及其检测频率,其它为达到设计标高后的质量标准。本标准针对的是地基和上、下路堤,对达到设计标高后的质量标准可不作规定,其纵断高程、中线偏位、宽度、平整度、横坡度等按照分层碾压的基本要求执行。

对于冲击碾压质量控制,在铺筑试验路的基础上,强调以施工工艺和厚度、压实度控制为主。其中冲击碾压沉降量的检测简便易行,其结果也直观可靠,对冲击碾压效果表现力强,是确定压实效果的主要指标。由于冲压后地表起伏较大,故须增加沉降观测的样本数,以提高观测结果的可靠性。5.4~5.5的条文说明中列举了黄河中下游流域几条高速公路粉质土地基、路堤冲击碾压的压沉量情况:60~80cm的路堤冲击碾压15~30遍后路堤的压沉量在10~20cm之间;地基达到压实度标准后的压沉量一般为8~10cm。路堤、地基的冲击碾压沉降量因土质、水文地质条件的差异而不同,可根据试验路获得的试验结果或设计要求确定。

8.4 质量标准

临高高速公路、济东高速公路、德滨高速公路的地基冲击碾压试验段,经冲击碾压25遍、11~15遍、20遍后,地基100cm、60cm、40cm内的土体压实度均达到90%以上。考虑黄河中下游流域地基条件的复杂性,建议控制冲击碾压地基40~60cm内土体压实度不低于90%。