

项目 10 路基常见病害及维护 .....	错误!未定义书签。
任务 10-1 路基常见病害的识别 .....	错误!未定义书签。
任务 10-2 病害的预防与整治 .....	错误!未定义书签。
任务 10-3 高速铁路路基维修案例 .....	错误!未定义书签。
参考文献 .....	错误!未定义书签。

## 项目 3 高速铁路路堤施工及维护

### 项目描述：

路堤是铁路线路中以填筑方式施工的轨道基础部分。在高速铁路高平顺性的要求下，对路堤施工质量的控制提出了更高的要求。在我国，高速铁路推广的是无砟轨道，对线下工程提出了“零沉降”的建设理念。高速铁路线下工程的设计和施工都要以“工后零沉降”为追求目标，故对高速铁路路堤填料、施工工艺、验收标准提出了新的要求。

### 学习目标：

#### 知识：

掌握路堤填料的分类标准和高速铁路路堤不同部位的填料要求；

掌握路堤各部位的压实标准；

掌握路堤各部位的检验项目和检验数量。

#### 技能：

能够熟练进行路堤填筑的施工管理和质量控制；

能够熟练进行路堤质量的验收工作。

#### 素质：

养成严谨求实的工作作风；

具备协作精神；

具备一定的协调、组织能力。

## 任务 3-1 基床以下路堤施工

### 3-1-1 任务目标

能够根据具体的地质条件对原始地面做出恰当的处理，完成路堤下部的填筑任务；

能够独立完成路堤填筑施工的技术交底工作。

### 3-1-2 相关知识

#### 1. 路堤填料分类标准

填料是指构成铁路路基等土工建筑物的原材料。填料质量的好坏，直接关系到路基建筑物的强度高低与变形，已越来越为工程界所重视。填料可根据岩土工程性质及适用条件进行分类。

在《铁路路基设计规范》(TB 10001—2005)中，填料分类新标准在采用“粒径累积法”分类体系定名后，即进行“填料分组”。

根据土石的颗粒组成、颗粒形状、塑性指数等，路基填料可分为巨粒土、粗粒土和细粒土三大类，如表 3-1(a)、表 3-1(b)所示。

新标准中填料共分 5 个组别，即 A、B、C、D、E 五组，分组意义与原有的“填料分组”不同，是以土的剪切强度、可压实性、压缩性、对气候的灵敏性为依据，其中 A、B

组均为强度较高、压缩性较小的石、砾、砂和粗粒混合土，取消了原有规范 B 组中的黏土。细粒土由于强度较低、压缩变形较大，在雨水作用下易发生沉陷变形，均归为 C 组和 D 组，以 B 线  $w_L=40$  为界， $w_L \leq 40$  时的黏土和粉土为 C 组， $w_L > 40$  的黏土和粉土为 D 组。

表 3-1 ( a ) 巨粒土、粗粒土填料分类与分组

一级定名				二级定名			填料 分组		
类别	名称	说 明	细粒含量	颗粒级配	名 称				
巨 粒 土	碎 石 类 土	块 石 类	硬块 石土	粒径大于 200 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (不易风化,尖棱状为主)	—	—	硬块石	A	
			块 石 土	软块 石土	粒径大于 200 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (易风化,尖棱状为主)	—	—	$R_c > 15$ MPa 的不易风化软块石	A
								$R_c \leq 15$ MPa 的不易风化软块石	B
								易风化软的块石	C
		风化软的块石						D	
		漂 石 土	粒径大于 200 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (浑圆或圆棱状为主)	<5%	良好	级配好的漂石	A		
					不良	级配不好的漂石	B		
				5% ~ 15%	良好	级配好的含土漂石	A		
					不良	级配不好的含土漂石	B		
		15% ~ 30%	—	土质漂石	B				
		>30%	—	土质漂石	C				

续表

一级定名				二级定名			填料 分组	
类别	名称	说 明	细粒含量	颗粒级配	名 称			
巨 粒 土	碎 石 类 土	碎 石 类	卵 石 土	粒径大于 60 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (浑圆或圆棱状为主)	<5%	良好	级配好的卵石	A
						不良	级配不好的卵石	B
					5% ~ 15%	良好	级配好的含土卵石	A
						不良	级配不好的含土卵石	B
					15% ~ 30%	—	土质卵石	B

粗粒土	碎石类	碎石土	粒径大于 60 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (尖棱状为主)	>30%	—	土质卵石	C				
				<5%	良好	级配好的碎石	A				
					不良	级配不好的碎石	B				
				5% ~ 15%	良好	级配好的含土碎石	A				
					不良	级配不好的含土碎石	B				
				15% ~ 30%	—	土质碎石	B				
				>30%	—	土质碎石	C				
				粗粒土	砾石类	粗圆砾土	粒径大于 20 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (浑圆或圆棱状为主)	<5%	良好	级配好的粗圆砾	A
									不良	级配不好的粗圆砾	B
								5% ~ 15%	良好	级配好的含土粗圆砾	A
									不良	级配不好的含土粗圆砾	B
								15% ~ 30%	—	土质粗圆砾	B
								>30%	—	土质粗圆砾	C
						粗角砾土	粒径大于 20 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (尖棱状为主)	<5%	良好	级配好的粗角砾	A
									不良	级配不好的粗角砾	B
								5% ~ 15%	良好	级配好的含土粗角砾	A
									不良	级配不好的含土粗角砾	B
								15% ~ 30%	—	土质粗角砾	B
								>30%	—	土质粗角砾	C
				细粒土	细圆砾土	粒径大于 2 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (浑圆或圆棱状为主)	<5%	良好	级配好的细圆砾	A	
不良	级配不好的细圆砾	B									
5% ~ 15%	良好	级配好的含土细圆粗角砾	A								
	不良	级配不好的含土细圆砾	B								
15% ~ 30%	—	土质细圆砾	B								
>30%	—	土质细圆砾	C								

续表

一级定名					二级定名			填料 分组	
类别	名称		说明	细粒含量	颗粒级配	名称			
粗粒土	碎石类土	砾石类	细粒土	细角砾土	粒径大于 2 mm 颗粒的质量超过总质量的 50% (尖棱状为主)	<5%	良好	级配好的细角砾	A
							不良	级配不好的细角砾	B
						5% ~ 15%	良好	级配好的含土细角砾	A
							不良	级配不好的含土细角砾	B

砂类土					15%~30%	—	土质细角砾	B
					>30%	—	土质细角砾	C
	砾砂	粒径大于 2 mm 颗粒的质量超过总质量的 25%~50%	<5%	良好	级配好的砾砂	A		
				不良	级配不好的砾砂	B		
			5%~15%	良好	级配好含土的砾砂	A		
				不良	级配不好含土的砾砂	B		
			>15%	—	土质砾砂	B		
			粗砂	粒径大于 0.5 mm 颗粒的质量超过总质量的 50%	<5%	良好	级配好的粗砂	A
	不良	级配不好的粗砂				B		
	5%~15%	良好			级配好含土的粗砂	A		
		不良			级配不好含土的粗砂	B		
	>15%	—			土质粗砂	B		
	中砂	粒径大于 0.25 mm 颗粒的质量超过总质量的 50%			<5%	良好	级配好的中砂	A
			不良	级配不好的中砂		B		
			5%~15%	良好	级配好含土的中砂	A		
				不良	级配不好含土的中砂	B		
			>15%	—	土质中砂	B		
			细砂	粒径大于 0.075 mm 颗粒的质量超过总质量的 85%	<5%	良好	级配好的细砂	B
	不良	级配不好的细砂				C		
	5%~15%	—			含土细砂	C		
粉砂	粒径大于 0.075 mm 颗粒的质量超过总质量的 50%	—	—	粉砂	C			

- 注：1. 颗粒级配分为良好 ( $C_u \geq 5$ , 且  $C_c = 1 \sim 3$ ) 和不良 ( $C_u < 5$ , 且  $C_c \neq 1 \sim 3$ ), 其中不均匀系数  $C_u = d_{60}/d_{10}$ ; 曲率系数  $C_c = d_{30}^2 / (d_{10} \times d_{60})$ ,  $d_{10}$ 、 $d_{30}$ 、 $d_{60}$  分别为颗粒级配曲线上相应于 10%、30%、60% 含量颗粒的粒径。
2. 硬块石的单轴饱和抗压强度  $R_c > 30\text{MPa}$ ; 软块石的单轴饱和抗压强度  $R_c \leq 30\text{MPa}$ 。
3. 细粒含量指细粒 ( $d \leq 0.075\text{mm}$ ) 的质量占总质量的百分数。

表 3-1 (b) 细粒土填料分类与分组

一级定名			液限含水率	塑性图	填料分组
细	粉土	$I_p \leq 10$ , 且粒径大	$w_L < 40\%$		C

粒 土			于 0.075 mm 颗粒 的质量不超过全 部质量 50%的土	$w_L \geq 40\%$	D
	黏 性 土	粉质 黏土	$10 < I_p \leq 17$	$w_L < 40\%$	C
				$w_L \geq 40\%$	D
		黏土	$I_p > 17$	—	D
	有机土			有机质含量大于 5%	

注：1. 液限含水率试验采用圆锥仪法，圆锥仪总质量为 76g，入土深度为 10 mm。

2. A 线方程中的  $w_L$  按去掉 % 符号后的数值进行计算。

填料根据土质类型和渗水性可分为渗水土、非渗水土。A、B 组填料中，细粒土含量小于 10%、渗透系数大于  $10^{-3}$  cm/s 的巨粒土、粗粒土（细砂除外）为渗水土，其余为非渗水土。

## 2. 改良土

改良土是通过改变土的物质成分和结构特点，达到改善土的工程地质性质，满足工程活动需要的土质。改良方法分为物理改良和化学改良两种。

### (1) 物理改良。

对填料的颗粒组成及级配进行改善，即在一种填料中掺入另一种填料，拌和均匀后使其级配得到改善，成为物理力学性质有所提高的新填料。在填料中掺入粗粒料（中粗砂），改善其级配条件；掺入较细颗粒（黏粒），通过提高黏粉比增强其强度指标。

### (2) 化学改良。

向填料中加入掺入料，促使土与掺入料之间发生化学作用，从而使土的结构与性质发生较大变化。掺入料为石灰、水泥、粉煤灰、土壤固化剂及其他有机及无机材料。

## 3-1-3 任务实施

## 1. 施工工艺流程

基床以下路堤填筑施工工艺是一种以工序管理为中心，以工序质量保工程质量，以工作质量保工序质量的全面管理方法。按照系统分析原理，整个路基填筑按照“三阶段、四区段、八流程”的施工工艺组织施工。各区段或流程内只允许进行该段和流程的作业，不允许几种作业交叉进行。

每个区段的长度应根据所使用的机械能力、台车数量确定。但为了保证机械有足够的作业场地，每个区段的长度宜取 200 m 以上或以构造物为界。长度不够或因桥涵隔断不连续，则也应按四个区段程序安排施工。分段工作由主管技术人员、队长、领工员现场确定。

三阶段：准备阶段→施工阶段→整修验收阶段。

四区段：填筑区→平整区→碾压区→检验区，如图 3-1 所示。



图 3-1 四区段施工现场



八流程：施工准备→基底处理→分层填筑→摊铺平整→洒水晾晒→机械碾压→检验签证

→路基整修，如图 3-2 所示。

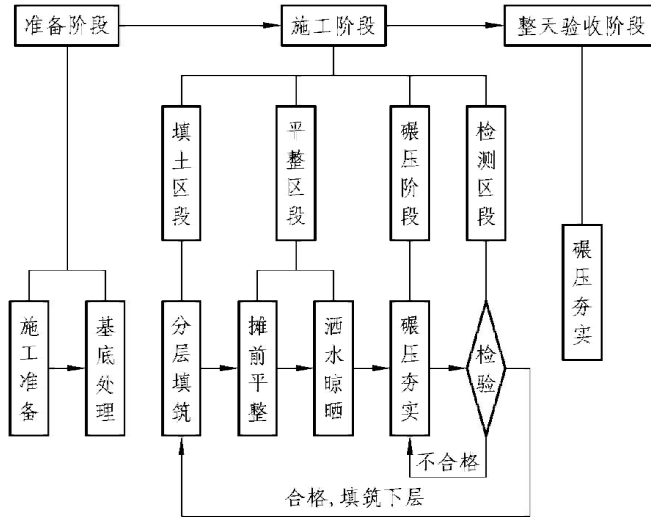


图 3-2 基床以下路堤填筑施工工艺流程

### 1) 施工准备

(1) 测量放线，测出基底处理后的原地面标高，依据设计资料精确测放路基坡脚及线路中心线，打桩标示。直线地段每 20 m 一个桩，曲线地段每 10 m 一个桩，并在桩上作出虚铺厚度的标记。

(2) 修建施工便道，施工便道宜结合地方交通部门规划的永久性道路计划，参照临时道路修建标准进行修建，力求避免与铁路、通信电力线路、农田灌渠和各种大型管道平交。

(3) 设置排水系统，不论是填方还是挖方，开工前均应按设计图纸和规范的有关规定将急需的永久性排水工程先行施工，并按照施工过程的需要设置临时排水设施。

(4) 修建临时排水设施，修建生产与生活用房屋，架设通信、电力线路，解决工程与生活用水设施，修建机械停放场与料库。

## 2) 基底处理

路基基底应根据施工时的地面和土质的实际条件，按设计文件的要求进行处理。

(1) 拆迁地面建筑物，砍伐地面种植附着物，清除地面植被。

(2) 对于高度大于 3.0 m 且地面横坡缓于 1:5 的路堤，清除草皮、腐殖土后，经预压直接填筑在天然地面上。如果地基土层不符合要求，应按照设计要求采取相应的处理措施。

(3) 地面横坡为 1:5 ~ 1:2.5 时，在清除草皮杂物后，还应将原地面挖成台阶，台阶宽度不小于 2 m，高度为 0.2 ~ 0.3 m，台阶顶面做成向内倾斜 3% ~ 5% 的斜坡，如图 3-3 所示。当基岩面上的覆盖层较薄时，宜先清除覆盖层再挖台阶；当覆盖层较厚且稳定时，可予保留。

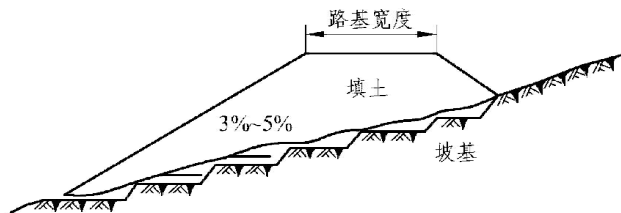


图 3-3 斜坡基底处理

(4) 对于高度小于 3.0 m 的路堤，为了保证基床质量，在基床厚度范围内应无软弱土夹层（即静力触探比贯入阻力  $P_s < 1.5 \text{ MPa}$  或天然地基容许承载力  $[\sigma] < 0.18 \text{ MPa}$  的土层），否则应采取地基改良和加固措施。

(5) 水田、池塘或饱和粉细砂等松软基底的处理，应根据设计文件的要求，采取排水疏干、挖除淤泥、抛填片石、填砂、填砾石及其他土质等加固措施，保证基底稳固。施工时应按照施工规范的有关规定进行。



图 3-4 路堤分层填筑施工现场

### 3) 分层填筑

(1) 在分层填筑前，应依据技术标准、压实机械性能、填料土质类别，做填土压实试验段。试验段长度为 100~200 m。宽度至少为压路机宽度的 3 倍。普通填料的碎石类土、砾石类土每层的最大压实厚度不宜大于 40 cm，砂类土和改良细粒土填料每层的最大压实厚度不宜大于 30 cm，分层填筑的最小分层厚度不应小于 10 cm。压路机走行三行，相邻两行中间重叠 40 cm，三行碾压相同遍数。在中间一行取样进行压实度试验，确定填层厚度及各类机械的压实参数，据以指导施工。

(2) 路堤填筑应采取横断面全宽、纵向分层填筑的方式，上、下两层填筑接头应错开不小于 3.0 m，如图 3-4 所示。当原地面高低不平时，应先从最低处分层填筑，由两边向中部填筑。为保证路堤全断面压实度一致，边坡两侧各超填 0.5 m，竣工时刷坡整平。

(3) 不同性质的填料分别填筑，每一水平层的全宽采用同一种填料填筑，每种填料累计总厚度不小于 50 cm。对于不同种类的填料，遵循有利于层间土层渗透反滤的原则施工，其粒径符合  $D_{15} < 4d_{85}$ 。

(4) 按工艺试验确定的合理摊铺层厚进行分层上土，虚铺厚度控制采用方格网法和挂线法，如图 3-5 和图 3-6 所示。



图 3-5 方格网法控制填土现场施工



图 3-6 挂线法控制填土现场施工

#### 4) 摊铺平整

(1) 填筑区段完成一层卸土后，用推土机进行初平，再用平地机进行精平，控制层面应无显著的局部凸凹，平整面应做成向两侧的横向排水坡，如图 3-7 和图 3-8 所示。



图 3-7 推土机初平现场施工



图 3-8 平地机精平现场施工

(2) 在摊铺的同时，应对路肩进行初步压实，并保证压路机压到路肩时不致发生滑坡。

(3) 对路堤填高大于 3 m 的地段，按设计要求在边坡宽度 2.5~3.0 m 内每填筑 2 层 (不大于 60 cm) 铺一层双向土工格栅。铺设土工格栅后，严禁汽车及其他重型施工机械直接行驶在土工格栅上。

(4) 摊铺、整平施工工序作业要点。

### 上道工序：填料运输

序号	工序	作业控制要点
1	测量放样	每 10 m 为一断面，在边桩上标示出填高，再在桩边打入竹条，绑扎好布条用以控制填筑厚度
2	挖台阶	当路基各段不同步填筑时，纵向接头处应在已填筑压实的基础上挖出硬质台阶，台阶宽度不宜小于 2 m，高度同填筑层厚
3	摊铺	采用推土机摊铺，每层摊铺厚度应按压实厚度乘以试验段确定的松铺系数而定。摊铺时，应计算出每车料的摊铺面积，确定堆放密度，以方格网、插标杆控制松铺厚度、路拱、路基横坡
4	整平	采用平地机整平，在高边坡、陡坡、高坎上作业时，必须设专人指挥、防护，严禁刮刀超出边坡边缘。刮土时，应低速行驶，刮刀的升降量不得相差过大。整平后，横坡偏差 $\leq 0.5\%$ ；采用坡度尺量，每 100 m 抽样检验 5 个断面；平整度偏差基床表层 $\leq 10$ mm，基床底层及以下 $\leq 15$ mm；采用 2.5 m 长直尺量，每 100 m 抽样检测 10 点

### 下道工序：碾压

#### 5) 洒水晾晒

(1) 使用细粒土填料填筑路堤时，必须严格控制填料的含水率，要求其不超过土质试验中求得的最佳含水量的 2% 或不低于最佳含水量的 3%。

(2) 当含水量太低时，应在表层洒水并尽可能地搅拌，待含水量提高后进行碾压。

(3) 当填料含水量超过规定时，应在摊铺后先晾晒，待含水量降低后碾压，填层厚度可适当减小。在洒水或晾晒时，前、后两区段可交叉施工。

#### 6) 机械碾压

(1) 对于填土压实作业，粗粒土用重型振动压路机或轮胎压路机，细粒土用振动压路机或轮胎压路机进行。

(2) 碾压前应进行技术交底，其内容包括碾压起讫范围、碾压遍数、碾压的速度等。

(3) 用振动压路机进行碾压时，第一遍静压，然后先慢后快，由弱振至强振，最快行驶速度控制在 4 km/h，由两侧向中心纵向进退式进行。各区段交接处，应互相重叠压实，纵向搭接长度不应小于 2.0 m，沿线路纵向行与行之间压实重叠不应小于 40 cm。做到压实均匀，没有漏压、死角。

(4) 应按照压实部位的密度标准、填层厚度及控制压实遍数进行压实。压实遍数由试验人员根据试验段确定的压实参数提供。一般情况下，基床表层压 6~8 遍，基床底层压 5~6 遍，基床下部压 2~4 遍，基底压 1~3 遍，最多可达 10 遍；如超过 10 遍，应检查、分析原因。经密度试验合格后，可转入下一道工序；不合格时应进行补压，直至试验合格。

(5) 碾压过程中做好对沉降观测标的保护，沉降观测标周围碾压不到的边角部位，应采用人工冲击夯夯实，如图 3-9 所示。



图 3-9 沉降观测桩保护示意图

(6) 碾压施工工序作业要点。

上道工序：摊铺、整平

序号	工序	作业控制要点
1	初压	碾压时，填料的含水量控制在最佳含水量的 $-3\% \sim +2\%$ 。初压采用轻型压路机碾压两遍，初压速度应为 $1.2 \sim 1.5 \text{ km/h}$ 。启动压路机前，确认压路机前后、左右无障碍物。两台以上压路机同时作业时，前后间距不得小于 $3 \text{ m}$ 。压路机靠近路堤边缘时，应确保有不少于 $0.5 \text{ m}$ 的安全距离。碾压时，纵向行走之间的轮迹重叠不小于 $40 \text{ cm}$ ，上、下两层接头应错开不小于 $3 \text{ m}$
2	复压	采用重型振动压路机进行复压，先弱振一遍，再强振，碾压遍数参照试验段确定的遍数。碾压次序：在直线地段，应从两侧向中间进行；在曲线超高地段，应从曲线内侧向外侧进行；碾压傍山路基时，应由里侧向外侧碾压，距路基边缘不得小于 $1 \text{ m}$ 。压路机的碾压速度，开始两遍采用 $1.5 \sim 1.7 \text{ km/h}$ ，以后采用 $2.0 \sim 2.5 \text{ km/h}$ 。压路机不可在未完成或正在碾压的地段调头和急刹车
3	终压	采用光轮压路机进行终压，终压后用平地机轻轻刮一刀，使表面平顺、路拱和坡度符合设计要求

下道工序：检测

7) 检验签认

在填料质量、填筑厚度、填层面纵横方向平整均匀度等符合规定标准的基础上，进

行密实度或地基系数的测定。凡没有达到标准者，不予签认。

## 8) 路基整修

(1) 路堤按设计标高填筑完成后，进行平整和测量。恢复中线，每 20 m 设一桩，进行水平标高测量，计算平整高度，施放路肩边桩，修筑路拱，并用平碾压路机碾压一遍，使路面光洁无浮土，横向排水坡符合要求。

(2) 自检测量。自检测量要求：直线方向的闭合差，自检长度小于 400 m 时，每 100 m 的闭合差允许 5 mm；自检长度大于 400 m 时，允许闭合差为 20 mm。曲线方向的闭合差，每条曲线为 50 mm。直线测距闭合差与曲线测距闭合差为 1/2000。中线标高允许偏差为  $\pm 50$  mm。路面宽不小于设计宽度，每 100 m 丈量 3 个点。

(3) 对于细粒土边坡，依据路肩边线桩，用人工按设计坡率挂线刷去超填部分，进行整修拍实。整修后的边坡应达到转折处棱线明显，直线处平直，变化处平顺。边坡刷去超填部分后，应作为一个流程进行整修夯实，做到坡面平顺没有凹凸，压实密度合格。

## 2. 高速铁路路堤下部质量控制

### 1) 填料质量控制

基床以下路堤应宜选用 A、B 组填料和 C 组碎石、砾石类填料。当选用 C 组细粒土填料时，应根据土源的性质进行改良，再进行填筑。

路堤填料的种类、质量应符合设计要求。基床以下路堤填料的粒径应小于 75 cm；用于寒冷地区路基冻结影响范围的填料，设计无要求时，砾石类土的细粒含量不应大于

15%，砂类土的细粒含量不应大于 5%；用于浸水路堤的填料，细粒含量应小于 10%。填筑前应对取土场填料进行取样检验；填筑时应对运至现场的填料进行抽样检验。当填料土质发生变化或更更换取土场时应重新进行检验。

填料的检验项目、检验数量应符合表 3-2 的规定。

表 3-2 路堤填料检验项目及频次

填料类别	出场检验		施工现场检验		
	最大干密度	含水率	颗粒级配	细粒含量	粒径
砂类土、细砾土、粗砾土、碎石类土	1×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> (或土性明显变化)	每工班不少于 2 次	1×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> (或土性明显变化)	1×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> (或土性明显变化)	1×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> (或土性明显变化)

## 2) 路堤填筑质量控制

### (1) 基床以下路堤填筑施工工序作业要点。

上道工序：原地面处理

序号	工序	作业控制要点
1	测量放样	每 10 m 为一断面，在边桩上标示出填高，再在桩边打入竹条，绑扎好布条用以控制填筑厚度
2	填料选择	填料种类、质量应符合设计要求，填筑前对取土场填料进行取样检验，当填料土质发生变化或更更换取土场时应重新进行检验。每 10 000 m <sup>3</sup> 检测颗粒级配、细粒含量、粒径和最大干密度，每工班检验含水率不少于 2 次
3	填料运输	采用大型自卸车运输，并应保证运输能力，运料车不能在新铺且未碾压成型的层面上行驶
4	摊铺整平	采用推土机摊铺、平地机精平的摊铺方法，摊铺作业中必须设专人指挥、防护。刮土时，应低速行驶，刮刀的升降量不得相差过大
5	碾压	碾压时填料的含水量控制在最优含水量的 - 3% ~ +2%。碾压时先用轻型压路机初压，再用重型振动压路机复压、终压。压路机不可在未完成或正在碾压的地段调头和急刹车。改良细粒土、砂类土每层压实厚度不大于 30 cm，碎石类填料不大于 40 cm，最小压实厚度均不应小于 10 cm

下道工序：基床底层填筑



## (2) 质量控制标准。

### ① 填筑控制。

a. 每一水平层的全宽应用同一种填料填筑。

b. 对不同的填料，每层的具体摊铺厚度及碾压遍数应按试验段工艺试验确定的并经监理工程师批准的参数进行控制。

c. 上下相接的填筑层使用不同种类及颗粒条件的填料时，其粒径应符合  $D_{15} < 4d_{85}$  的要求。下部填料为化学改良土时，可不受此项规定的限制。

d. 碾压时，各区段交接处应互相重叠压实，纵向搭接长度不应小于 2.0 m，纵向行与行之间的轮迹重叠不小于 40 cm，上、下两层填筑接头应错开不小于 3.0 m。

检验数量：施工单位区间正线路基沿线路纵向连续长度每 100 m、站场路基折合正线双线每 100 m 每层检查 6 处（左、中、右各 2 处）。监理单位按施工单位检验数量的 10% 做平行检验。

检验方法：观察检验每一水平层的全宽是否用同一种填料填筑，丈量摊铺厚度及碾压时的搭接长度、轮迹重叠宽度及上下层填筑接头错开长度是否符合要求；检查该层和下承层土工试验报告的筛分结果，比较其粒径是否符合  $D_{15} < 4d_{85}$  的要求。

### ② 压实控制。

日本标准规定基床以下路堤的压实系数应大于 0.90，粗颗粒孔隙率  $n < 10\%$ （细颗粒含量  $> 50\%$  时）和  $n < 15\%$ （细颗粒含量 20% ~ 50% 时）， $K_{30} > 70$  MPa/m。德国要求压实系数为 0.95 ~ 0.97，粗粒土的孔隙率  $n < 12\%$ 。法国要求压实系数达到 0.95。由此可见，欧

洲国家对填土密实度的要求比日本还高。

室内试验结果表明，填土的压实系数除与路堤的自然压缩量关系密切外，还与填土的水稳性有关。目前，关于这两方面的研究资料不多。但从已有的试验资料看，压实系数从 0.85 提高到 0.90，相对压缩量可减小 70%，从 0.90 提高到 0.95，又可减小 35%~40%。因此，为了保持高速铁路路基的变形稳定性，提高压实土体的压实系数是非常必要的。

我国高速铁路路堤填筑质量按表 3-3 的检测频次和相应压实标准对压实质量进行检测和控制。对站场内多线路基或填筑压实质量可疑地段，应根据工程质量控制的需要，增加检验的点数，压实标准应符合表 3-4 的规定。

表 3-3 基床以下路堤压实质量检测频次

填料	压实标准	检测频次
A、B 组填料	地基系数 $K_{30}$ / (MPa/m)	每填高约 90 cm 沿线路纵向每 100 m 检测 4 点，其中距路基边缘 2 m 处左右各 1 点，路基中部 2 点
	压实系数 $K$	每压实层沿线路纵向每 100 m 检测 6 点，其中距路基边缘 1 m 处左右各 2 点，路基中部 2 点
化学改良土	7d 饱和无侧限抗压强度 $q_u$ /kPa	抽样检验 3 处 (同一连续作业段左、中、右各一处)

表 3-4 基床以下路堤压实标准

压实标准	化学改良土	砂类土及细砾土	碎石类及粗砾土
压实系数 $K$	≥0.92	≥0.92	≥0.92
地基系数 $K_{30}$ /(MPa/m)	—	≥110	≥130
7d 饱和无侧限抗压强度/kPa	≥250	—	—

注：无砟轨道可采用  $K_{30}$  或  $E_{v2}$ 。当采用  $E_{v2}$  时，其控制标准为  $E_{v2} \geq 45$  MPa 且  $E_{v2}/E_{v1} \leq 2.6$ 。

(3) 特殊要求。

高度小于 3.0 m 的路堤，应满足路基基床的质量要求。如为有砟轨道时，基床范围内的地基应无  $P_s < 1.5 \text{ MPa}$  或  $\sigma_0 < 1.8 \text{ MPa}$  的土层；如为无砟轨道时基床范围内的地基，应无  $P_s < 1.8 \text{ MPa}$  或  $\sigma_0 < 0.2 \text{ MPa}$  的土层。不能满足时，应根据地下水位、地层条件等采取整平碾压、夯实、翻挖回填、换填或其他地基加固处理措施。换填或翻挖回填部分，应分层压实，达到路堤相应部位的压实标准。

① 0.7 m < 路堤高度  $h \leq 3.0$  m 时：

当地基为黏性土时，应挖除的表层厚度不小于 0.5 m，并填筑渗水土，于渗水土顶部设置“两布一膜”复合土工布，两侧坡脚设置排水沟，排除基床表层积水和地下水。

当地基为砂类土或碎石类土时，应将地表整平碾压。

当地基为岩石时，视其风化程度分别处理。对坚硬岩石，应清除凹凸不平面，或采用 C25 混凝土填平后，直接在其上填筑。对强风化硬质岩和软质岩，应清除风化层，整平岩石面后填筑 A、B 组填料，应保证基床底层换填厚度不小于 1.0 m，并于基床底层顶部设置“两布一膜”复合土工布。岩石地基顶面应设置向外 4% 的排水坡。

② 当路堤高度  $h \leq 0.7$  m 时，应满足基床表层的质量要求。

当地基为黏性土时，应在基床表层下换填厚度不小于 1.0 m 的 A、B 组填料，并碾压密实，于其顶部设置“两布一膜”复合土工布，两侧坡脚设置排水沟，排除基床表层积水和地下水。

当地基为砂类土或碎石类土时，应将地基翻挖回填厚度不小于 0.5 m，并整平碾压。

当地基为岩石时，视其风化程度分别处理。坚硬岩石应清除凹凸不平面，或采用混

凝土填平后，直接在其上填筑（保证级配碎石厚度不小于 20 cm）。强风化硬质岩和软质岩应清除风化层，整平岩石面后填筑 A、B 组填料，应保证基床底层换填厚度不小于 1.0 m（可根据风化层等情况确定厚度），并于基床底层顶部设置两布一膜复合土工布。岩石地基顶面应设置向外 4% 的排水坡。

### 3) 基床以下路堤顶面外形尺寸控制

基床以下路堤顶面尺寸应满足表 3-5 的要求。

表 3-5 基床以下路堤顶面外形尺寸允许偏差

序号	检验项目	允许偏差	施工单位检验数量	检验方法
1	顶面路基压实宽度	不小于设计值	沿线路纵向每 100 m	尺量
2	顶面横坡	±0.3%	各抽样检验 3 个断面	坡度尺量

### 3-1-4 任务拓展

#### 改良土场拌法施工介绍

##### 1. 搅拌站设置

改良土拌和站设置在取土场内。面积在 10 000 m<sup>2</sup> 以上的，选择功效高、性能稳定、满足工厂化生产的 WCB500 型拌和机。每处拌和站布设 1 台，相关配套设备有 YST600A 型碎土机 1 台、装载机 2~3 台等。

##### 2. 区段划分

改良土施工区段划分一般以构造物为界。较长的段落可以分段连续施工，每段控制在 200~300 m。

##### 3. 施工工艺及控制要点

## 1) 施工工艺流程

场拌改良土施工分为准备阶段、施工阶段、整修验收阶段，其中施工阶段包括上料区段、平整区段、碾压区段和检测区段。场拌改良土施工工艺流程如图 3-10 所示。

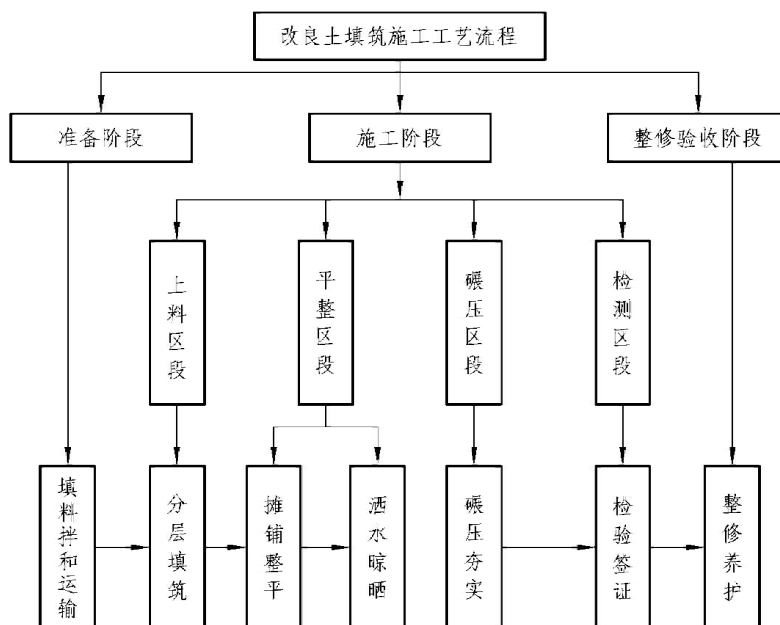


图 3-10 场拌法改良土施工工艺流程

## 2) 原状土破碎

检测素土的含水率，当含水率较大时，将土运至晾晒场地摊开晾晒并用三铧犁、旋耕机等机械将尺寸大的土块破碎。破碎前清除土中的石块及树根等杂物，以免损坏液压碎土机。

在碎土机的出料口安装孔径为 15 mm 的筛子，人工配合清理筛余物，并装入料仓进行二次粉碎。如土料改良拌制后的含水率高于最佳含水率的 2%，在取土场或晾晒场地将其晾晒，再进行粉碎。经粉碎的土料做好覆盖措施，防止雨淋或水分损失。

当填料的天然含水率较大，破碎困难，采用预掺改良材料碎土的施工方法，预掺材

料量不大于 2%。预拌过程中设专人检查拌和物外观，要求大面上色泽均匀一致，无灰团、灰条和大于 15 cm 的素土块。

粉碎后及时拌制，不能及时拌制时用雨布覆盖，防止雨淋或受潮而再次硬结。

### 3) 拌 和

改良土拌和料采用稳定土搅拌设备在拌制场进行集中拌制，用运送机把经粉碎的土运至搅拌设备的料仓内，用泵将外掺料泵入粉料仓，进行配料拌制。经拌制后外掺料应均匀，定时在出料口检测改良材料的含量。

改良土拌和料的最佳含水率控制方案：如土的天然含水率与最佳含水率的差距不大，在场拌设备中拌制时，将水成雾状均匀地喷入改良土中拌制均匀；如土的天然含水率与最佳含水率差距较大时，应考虑在取土场分块灌水焖土。如土的天然含水率过大，事先进行适度的晾晒或加入适量的磨细生石灰来降低含水率。

混合料中不应含有大于 15 mm 的土块和未消解的掺合料颗粒。拌和成品混合料经皮带机运送进入储料仓。

改良土二级场拌法机械布置如图 3-11 所示。

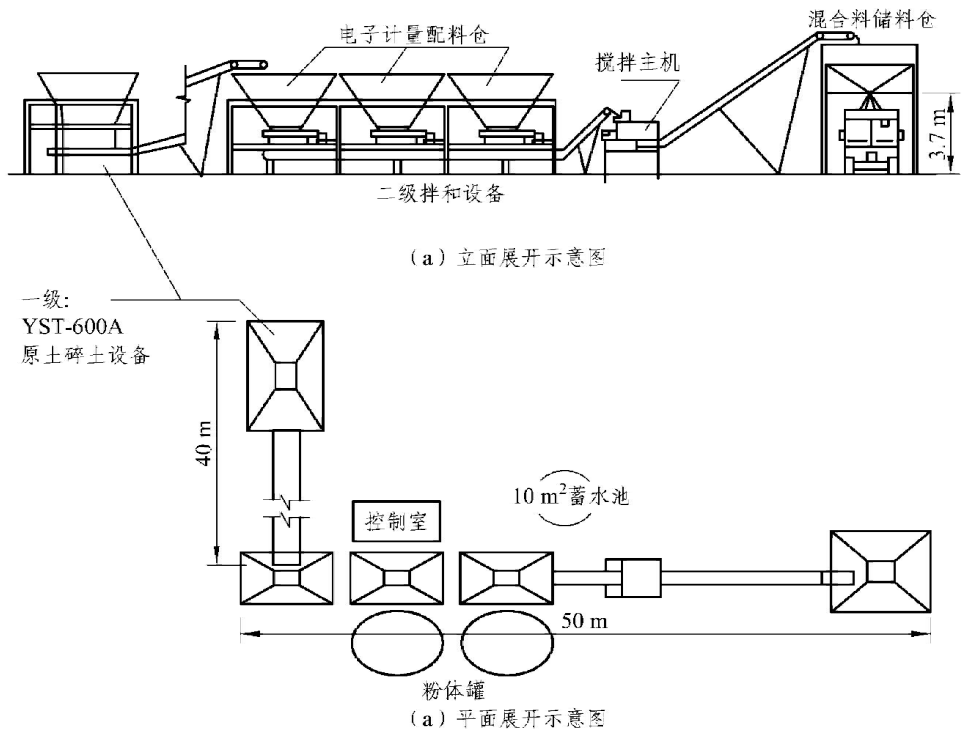


图 3-11 改良土二级场拌法机械布置图

#### 4) 运 输

采用大型自卸车运输，成品仓前一般准备数台车等待装料，防止成品仓储料过多、时间过长，造成“黏”、“堵”、“拱”、“卡”现象。

在气候干燥、水分蒸发过快的天气条件下运输时，车斗加苫布覆盖，以保证混合料的含水率维持在允许的误差范围内。运料车不得从新铺且未碾压成型的层面上行驶。

#### 5) 摊 铺

改良土填筑下承层为细粒土时，对表面进行拉毛、润湿处理。

改良土全断面均匀摊铺，不应出现纵向接缝。横向中断超过一定时间后，设置横向施工缝，两工作段的横向接缝应采用搭接的形式。

路幅较宽采用两台摊铺机同时施工时，前后保持 5~10 m 的间距同步作业，以免形成纵向施工接缝。

采用平地机摊铺施工时，应符合下列规定：

(1) 改良土卸车数量和间距应采用方格网控制。

(2) 卸在路基上的改良土及时摊铺平整，先初平，后精平。

(3) 初平后，改良土的厚度不超过工艺试验确定的松铺厚度，表面应平整，并具有 2%~7% 的横向排水坡。

(4) 初平后，改良土用压路机快速碾压 1~2 遍，然后再整平并碾压 1 遍。局部坑洼处，将表面厚度不小于 5 cm 的范围耙松，用新拌和混合料找平。

(5) 整型应注意接缝处的平整，保证接缝平顺。

采用摊铺机铺筑时，以日进度需要量和搅拌设备的产量为度，合理计算卸料需要量。每层的摊铺厚度按工艺试验确定的参数严格控制。摊铺时，根据摊铺能力及拌和能力配置运输车辆，使摊铺机的摊铺作业能够不间断地连续进行。如作业区段较长，搅拌设备拌和能力较大，可采用两台摊铺机梯队作业（两台摊铺机的间距为 10 m 左右）一次性全断面摊铺。

## 6) 碾 压

改良土碾压过程中，表面应始终保持湿润，防止发生松散、起皮等现象。

改良土碾压按照工艺试验确定的工艺参数进行。碾压时，沿线路纵向行与行之间横



向重叠宽度不小于 40 cm，各区段交接处纵向搭接长度不小于 2.0 m，上、下两层填筑接头应错开不小于 3.0 m。

要重视预埋管线等结构物周围的填料的摊铺整形和碾压。压路机在构造物接头处不能靠近压实时，采用小型压实机具压实。预埋管线等结构的施工与路基工程同步实施。对各类与路基同步施工的结构物制订有针对性和详细的作业指导书并加强检查与监测，确保路基表层及与路基同步施工结构物的施工质量和安全。

### 7) 养 护

当一层填筑合格后，若不能立即铺筑上层的或暴露于表层的改良土必须保湿养护；如果随即在其上面进行下一填筑层的施工，可以不进行特别的养护。

养护可采用洒水或用草袋覆盖的方法，养护期一般不少于 7 d。

养护期间要保持层面湿润，除洒水车外不准任何车辆通行。

## 任务 3-2 路堤基床施工

### 3-2-1 工作任务目标

- (1) 能够根据具体条件，制定合理的路堤基床施工方案；
- (2) 能够胜任基床施工组织与管理。

### 3-2-2 相关知识

级配碎石的概念和配制

## 1. 级配碎石概念

粗、细碎石集料和石屑各占一定比例的混合料，当其颗粒组成符合密实级配要求时，即称为级配碎石。级配碎石一般是由预先筛分成几个（如四个）大小不同粒级的碎石组配而成，也可用未筛分碎石和石屑组配成。未筛分碎石指控制最大粒径（仅过一个规定筛孔的筛）后，由碎石机轧制的未经筛分的碎石料。石屑指碎石场孔径 5 mm 筛下的筛余料，其实际颗粒组成常为 0~10 mm，并具有良好的级配。缺乏石屑时，也可以添加细砂砾或粗砂，但其强度和稳定性不如添加石屑的级配碎石。也可以用颗粒组成合适的含细集料较多的砂砾与未筛分碎石配合成级配碎砾石。

## 2. 级配碎石配合比的设计

（1）级配碎石的级配范围要满足规定。在实际工作中，最有效的判定方法是，配比的筛分结果达到或接近规范要求的级配中值，力为最佳配比。特别是在 0.075 mm、0.5 mm、1 mm、16 mm 几个点上要力求达到中值。

（2）为保证筛分曲线圆滑，容易击实，配比筛分结果应满足颗粒不均匀系数  $C_u \geq 5$  及曲率系数  $C_c = 1 \sim 3$ 。

（3）为防止道砟及下部土层颗粒嵌入基床表层，基床表层与上部道砟与下部填土之间的颗粒级配均要满足太沙基的反滤准则，即  $D_{15} < 4d_{85}$ ；如不能满足反滤准则，基床表层可采用颗粒级配不同的双层结构或在基床底层表面铺设土工合成材料。

（4）为了验证理论配合比的正确性，应按照《铁路工程土工试验规范》（TB 10102—2010）进行四项试验：

① 颗粒分析试验，制定级配范围。

② 界限含水率试验，判定液限  $w_L$ 。

③ 重型击实试验，确定最佳含水率  $w_{opt}$ 。级配碎石含水率一般可选取一个合适的含水率范围（如 5% ~ 7%）。

④ 重型击实试验，确定最大干密度  $\rho_{max}$ 。

(5) 根据理论配合比，做工程试验段，通过实践对配比进行调整，以确定施工最佳配比及工艺参数。

① 调整含水率。级配碎石填筑中可能有多次补水过程（搅拌、摊铺碾压、养护），要根据天气等现实条件及实际经验，经反复试验确定。施工过程中的含水率是保证级配碎石路面质量极为重要的因素。

② 调整颗粒集料含量。在理论配比计算中，大颗粒含量常常偏高，易于离析，造成表面观感差，空隙率大，故粗细颗粒含量应根据实际情况作局部调整（一般是增加细颗粒含量，减小大颗粒含量）。调整后的配比，除做工程检测外，关键指标仍需通过试验进行判定。

### 3-2-3 任务实施

#### 1. 高速铁路路基基床表层施工工艺

基床表层级配碎石应分层填筑，按“四区段、八流程”施工工艺组织施工，填筑至最后一层时，对有预压要求的路基按设计铺设隔离土工布后填筑预压土，并进行沉降观测。通过数据分析，预测和推算总沉降值，评价剩余沉降满足无砟轨道工后沉降要求且沉降稳定后，卸掉预压土、撤除隔离土工布，再使用摊铺机铺设最后一层基床表层级配碎石。

工艺流程如图 3-12 所示。

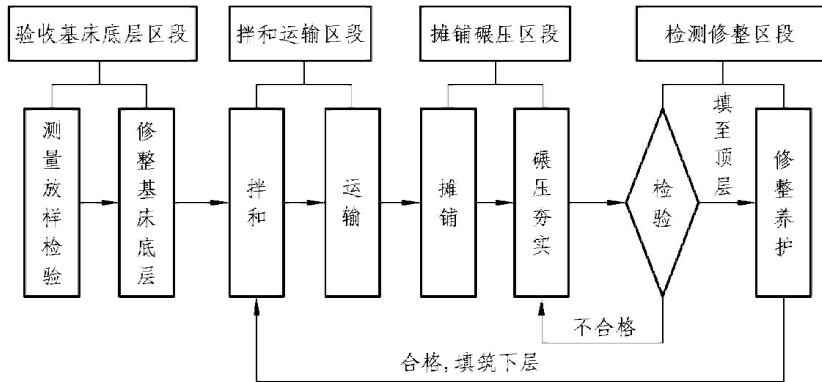


图 3-12 基床表层级配碎石施工工艺流程

### 1) 测量放样检验

(1) 基床表层填筑前对基床底层的压实质量和几何尺寸进行复查确认。

(2) 依照设计资料精确测放路基边线及线路中心线，打桩标示。直线地段每 10 m 一个桩，曲线地段每 5 m 一个桩，并在桩间挂线标示出填料分层摊铺厚度。

### 2) 修整基床底层

(1) 对路堑换填地段，当开挖至换填底面标高时，将开挖表面整理平顺、整齐，并按设计做成向两侧的横向排水坡。

① 不易风化的硬质岩路堑基床，应将基床表层以下 0.2 m 的岩石挖除，并作成向两侧 4% 的横向排水坡；对凹凸不平处，应用不低于 C25 的混凝土填平，之上填筑级配碎石。

② 软质岩、强风化的硬质岩及土质基床处理，应符合下列规定：

a. 基床表层深度范围内应进行换填并满足表 3-13 压实标准的要求；

b. 基床表层以下，基床底层表面作成向两侧 4% 排水坡，且在基床范围内不得夹有

$P_s < 1.5 \text{ MPa}$  或  $\sigma_0 < 1.8 \text{ MPa}$  的土层 ( 采用无砟轨道时基床范围内的地基应无  $P_s < 1.8 \text{ MPa}$  或  $\sigma_0 < 0.2 \text{ MPa}$  的土层 ), 不满足以上条件时应进行改良或加固处理 ;

③ 土质路堑其地层土质不满足基床底层填料条件时 , 换填 A、B 组填料或改良土 , 厚度不应小于  $1.0 \text{ m}$  ;

④ 基床挖除、换填或改良、加固处理时 , 应采取加强排水和防渗等措施 , 分层压实 , 压实标准应执行基床相应部位标准。

( 2 ) 基床基底应平整、坚实并具有规定的路拱 , 没有任何松散的材料和软弱的区域。在基床基底的碾压过程中 , 如发现土过干 , 表层松散 , 应适当洒水 ; 如土过湿 , 发生“弹簧”现象 , 应采取挖开晾晒、换土、掺石灰或粒料等措施。

### 3 ) 拌 和

( 1 ) 按级配砂砾石或级配碎石的级配要求 , 计算不同粒径的配合比。

( 2 ) 根据基床的宽度、厚度和预定的压实度 , 按确定的配合比确定各路段需要的集料数量。

( 3 ) 集料的拌和须在中心拌和站进行 , 采用具有自动计量配料系统的拌和机 , 按试验确定的配合比 ( 加水量根据气候及运距在最优含水率基础上增加  $0.5\% \sim 1\%$  ) 进行配料与拌和 , 以获得颗粒级配稳定和含水率合适的基床表层级配碎石混合料。拌和料应随拌随用。

( 4 ) 经检测 , 混合料的级配、含水率在工艺试验确定的允许范围内 , 方可出场。

### 4 ) 运 输

将级配碎石生产厂拌和好的级配碎石混合料用自卸汽车尽快运至现场，防止水分因蒸发而损失过多。

## 5) 摊 铺

(1) 采用摊铺机按工艺试验确定的每层摊铺厚度分层铺摊，曲线地段根据所在地段级配碎石的总厚度均匀分层，但分层的压实厚度最大不超过 25 cm，最小不低于 15 cm。

(2) 摊铺前根据测量标线调整好摊铺机左、右的控制高度，挂摊铺线。摊铺线的高度是依据不同集料的松铺系数确定的。集料的松铺系数是事先通过试验决定的，人工摊铺混合料时，松铺系数为 1.40 ~ 1.50；平地机摊铺混合料时，松铺系数为 1.25 ~ 1.35。

(3) 摊铺时，在摊铺机后面安排人员及时消除粗、细集料出现的高析现象。出现粗集料“窝”和粗集料“带”时，应添加细集料并拌和均匀；出现细集料“窝”时，应添加粗集料，并拌和均匀。

(4) 在每一层的填筑过程中，确认级配碎石混合料颗粒级配、含水量的均匀性、铺筑厚度、填层表面平整度符合设计及施工控制参数的要求。

## 6) 碾 压

(1) 摊铺后，当表面尚处于湿润状态时，应立即进行碾压。如表面水分蒸发较多，出现明显的干燥失水，在其表面喷洒适量水后，再进行碾压。

(2) 在直线地段，由两侧路肩向路中心碾压；在曲线地段，由内侧路肩向外侧路肩进行碾压。

(3) 按工艺试验确定的碾压速率和遍数进行碾压。碾压时，压路机的碾压行驶速度采取开始时慢速，以后几遍逐渐加快，但最大速度不得超过 4 km/h。

(4) 沿线路纵向行与行之间压实重叠不小于 40 cm，各区段交接处的纵向搭接压实长度不小于 2 m，上、下两层填筑接头应错开不小于 3.0 m。

### 7) 检 验

(1) 运至现场的级配碎石混合料按每施工作业段每一层抽检不少于一组的频次，检测颗粒级配和含水量。当发现运至路基填筑现场的混合料级配或含水量有明显变化时，及时抽样复查，并将检测信息反馈给填料生产拌和站，以便对配料比例作相应调整，使后续生产出来的级配碎石混合料符合要求。

(2) 每层的填筑压实质量按表 3-6 的检测频次和相应压实标准进行检测和控制。对站场内多线路基或填筑压实质量可疑地段，应根据工程质量控制的需要，增加检验的点数。

表 3-6 基床表层级配碎石压实质量检测频次

填料	压实标准	检测频次
级配碎石	地基系数 $K_{30}$ / (MPa/m)	沿线路纵向每 100 m 检测 4 点，其中左、右距路基边缘 1.5 m 处各 1 点，路基中部 2 点
	压实系数 $K$	沿线路纵向每 100 m 检测 6 点，其中左、右距路基边缘
	动态变形模量 $E_{vd}$	1.5 m 处各 2 点，路基中部 2 点

### 8) 修整养护

基床表层路基外侧的斜坡台阶，待最上层级配碎石填筑碾压成型且板结后，再用斜坡切割机按设计厚度切除斜坡处的级配碎石。

## 2. 高速铁路路基基床质量控制

### 1) 填料质量控制

#### (1) 基床底层填料。

我国高速铁路路基基床底层采用 A、B 组填料及改良土，填料的粒径小于 60 mm。填筑前应对取土场填料进行取样检验；填筑时应对运至现场的填料进行抽样检验。当填料土质发生变化或更换取土场时，应重新进行检验。

普通填料和物理改良土的检验项目、检验数量应符合表 3-2 的规定。

化学改良土填筑前，应对改良土原材料、外掺料和混合料的出场检验资料进行核查。

检验数量：施工单位和监理单位逐批检查检验资料。

检验方法：查验相关原材料的产品合格证、复检报告和混合料的出场检验报告。

#### (2) 基床表层填料。

我国高速铁路路基基床表层填料采用级配碎石，材料规格应符合《高速铁路路基工程施工技术指南》的要求，质量应符合设计要求。级配碎石必须场拌生产，拌和设备应计量准确。

级配碎石材料由开山块石、天然卵石或砂砾石经破碎筛选而得。