

卡哥团队助你备考：少走弯路，快速通关，实现共赢！认准VX：kagezhukao668



2024年版全国一级建造师执业资格考试用书

# 公路工程管理与实务

全国一级建造师执业资格考试用书编写委员会 编写

中国建筑工业出版社

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao668

## 前　　言

本书在 2023 年版的基础上，根据《一级建造师执业资格考试大纲（公路工程）》（2024 年版）进行修编。本书从公路工程执业角度出发，结合一级建造师的定位和应试需求，分为公路工程技术、公路工程相关法规与标准、公路工程项目管理实务三篇，涵盖了公路关联工程施工的全过程。

本次改版，保持原版考试用书结构基本不变，结合新规范、新标准、行业新技术以及发展新要求、新趋势，更新了部分内容，更突出了专业知识及现场操作能力考查，并调整了部分章节的顺序，删除了一些施工应用较少、不适合考试命题的内容，使得本专业知识体系更完善、知识点的排列更加合理、知识内容更加丰富，进一步体现“综合性、实践性、通用性、前瞻性”的特征。面对公路工程一线施工的项目管理人员，将施工技术与项目管理结合，使其既能作为应考建造师的参考用书，又能为公路施工项目管理服务，实现考查应试者解决工程实际问题的能力。

第 1 篇 公路工程技术，全面深入地介绍了公路路基工程、路面工程、桥梁工程、隧道工程及交通工程中的概念、结构类型、施工要点、施工要求及量测技术等。突出路基、路面、桥梁、隧道工程中的概念、结构类型、施工要点与施工要求等，适当介绍交通工程概念和施工要点内容。综合考查应试者对专业知识的综合理解以及掌握基本理论、原理、概念及方法的情况，重点考查应试者是否具备工程现场实操的相关能力，切实反映公路工程专业从业人员所应具备的理论水平及实际工程管理等执业能力和应用最新的施工技术情况。

第 2 篇 公路工程相关法规与标准，更新和补充了最新公路工程相关法律法规和标准内容，基于公路工程建设所涉及的相关法规和标准，进一步完善相关的内容，重点对公路施工安全生产、质量管理以及国家目前高度重视的节能环保相关规定等进行梳理和重新编排条目，保证更新内容的逻辑合理并兼顾管理部分的知识体系，避免相关内容的重复。

第 3 篇 公路工程项目管理实务，根据公路工程项目管理实施程序，以公路工程企业资质与施工组织、工程招标投标与合同管理、施工进度管理、施工质量管理、施工成本管理、施工安全管理、绿色建造及施工现场环境管理、施工技术与设备管理为主线重新编排整合相关条目，增加新技术等内容，让“交通强国、绿色发展”战略渗透到公路工程建设项目管理全过程，力求让考试人员能够通过学习，达到公路工程项目施工管理所需具备的基本要求。

本书主编单位为中交第三公路工程局有限公司，参加编写的单位有：中交第三公路

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666



工程局有限公司、长安大学、长沙理工大学、山东交通学院、中交第二航务工程局有限公司、中交建筑集团有限公司、中国交建水运安全质量环保研究中心、中咨泰克交通工程集团有限公司等。本书力求理论联系实际，但由于编者水平及视野所限，加之编写时间仓促，不足之处在所难免，希望广大读者随时提出批评、建议，以便今后进一步完善、修编。

# 目 录

## 第1篇 公路工程技术

<b>第1章 路基工程</b>	<b>1</b>
1.1 路基施工	1
1.2 路基防护与支挡	34
1.3 路基排水	42
1.4 路基工程质量通病及防治措施	47
<b>第2章 路面工程</b>	<b>53</b>
2.1 路面基层（底基层）施工	53
2.2 沥青路面施工	74
2.3 水泥混凝土路面施工	93
2.4 中央分隔带及路肩施工	105
2.5 路面工程质量通病及防治措施	107
<b>第3章 桥梁工程</b>	<b>113</b>
3.1 桥梁构造与施工准备	113
3.2 常用模板、支架和拱架设计与施工	122
3.3 钢筋、混凝土和钢结构施工	127
3.4 桥梁下部结构施工	153
3.5 桥梁上部结构施工	185
3.6 桥面及附属工程	234
3.7 桥梁工程质量通病及防治措施	240
3.8 桥梁工程改（扩）建	245
<b>第4章 隧道工程</b>	<b>249</b>
4.1 隧道围岩分级与隧道构造	249
4.2 隧道地质超前预报和监控量测技术	252
4.3 隧道施工	257
4.4 特殊地段施工	293

4.5 隧道工程质量通病及防治措施 .....	303
-------------------------	-----

## 第5章 交通工程 ..... 309

5.1 交通安全设施 .....	309
------------------	-----

5.2 交通机电工程 .....	312
------------------	-----

## 第2篇 公路工程相关法规与标准

### 第6章 相关法规 ..... 327

6.1 公路建设法规体系和标准体系 .....	327
-------------------------	-----

6.2 公路建设管理相关规定 .....	329
----------------------	-----

### 第7章 相关标准 ..... 342

7.1 公路工程施工安全生产相关规定 .....	342
--------------------------	-----

7.2 公路工程质量安全管理相关规定 .....	350
--------------------------	-----

## 第3篇 公路工程项目管理实务

### 第8章 公路工程企业资质与施工组织 ..... 356

8.1 公路工程企业资质 .....	356
--------------------	-----

8.2 施工项目管理机构 .....	359
--------------------	-----

8.3 施工组织设计 .....	361
------------------	-----

### 第9章 工程招标投标与合同管理 ..... 370

9.1 工程招标投标 .....	370
------------------	-----

9.2 工程合同管理 .....	385
------------------	-----

### 第10章 施工进度管理 ..... 403

10.1 施工进度计划 .....	403
-------------------	-----

10.2 施工进度控制 .....	407
-------------------	-----

### 第11章 施工质量管理 ..... 415

11.1 施工质量控制 .....	415
-------------------	-----

11.2 施工质量检验 .....	420
-------------------	-----

### 第12章 施工成本管理 ..... 428

12.1 施工预算 .....	428
-----------------	-----

12.2 施工成本管理内容与方法 .....	432
------------------------	-----

<b>第 13 章 施工安全管理</b>	440
13.1 公路工程施工安全管理	440
13.2 安全管理双重预防机制	455
13.3 公路工程施工项目应急管理	462
<b>第 14 章 绿色建造及施工现场环境管理</b>	468
14.1 绿色施工	468
14.2 施工现场环境管理	472
<b>第 15 章 施工技术与设备管理</b>	484
15.1 施工技术管理	484
15.2 施工机械设备管理	496

# 第1篇 公路工程技术

## 第1章 路基工程

路基是按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物，是路面的基础，承受由路面传递来的行车荷载。路基是公路的重要组成部分，是公路主体工程，它贯穿公路全线，与桥梁、隧道相连，与路面共同承受行车荷载的作用。其施工质量的好坏，直接影响公路的质量、使用寿命甚至使用安全。



第1章  
看本章精讲课  
配章节自测

### 1.1 路基施工

#### 1.1.1 路基施工准备

路基施工前应做好组织、物资和技术三大准备。技术准备是工程顺利实施的基础和保证。技术准备工作的好坏，直接影响到工程的进度、质量和经济效益。技术准备工作的内容主要包括熟悉设计文件、现场调查核对、设计交桩、复测与放样、试验及试验路段施工等。

##### 1. 路基施工准备的一般规定

- (1) 熟悉设计文件、领会设计意图。
- (2) 进行施工调查及现场核对，根据设计要求编制施工组织设计。
- (3) 建立健全质量、环境、职业健康安全管理体系，对各类施工人员进行岗位培训和技术、安全交底。
- (4) 临时工程，应满足正常施工需要，保证路基施工影响范围内原有道路、结构物的使用功能，保护农田水利设施等。临时工程宜与永久工程相结合。
- (5) 对拟采用的新技术、新工艺、新材料、新设备的工程项目，应提前做好试验研究和论证工作。

##### 2. 试验

- (1) 路基施工前，应建立具备相应试验检测能力的工地试验室。
- (2) 路基填前、碾压前，应对路基基底原状土进行取样试验。每公里应至少取2个点，并应根据土质变化增加取样点数。
- (3) 应及时对拟作为路堤填料的材料进行取样试验。土的试验项目应包括天然含水率、液限、塑限、颗粒分析、击实、*CBR*等，必要时还应做相对密度、有机质含量、易溶盐含量、冻胀和膨胀量等试验。对特殊土（如黄土、软土、盐渍土、红黏土、高液限黏土和膨胀土等），还要进行相关试验以确定其性质及处置方案。
- (4) 使用特殊材料作为填料时，应按相关标准进行相应试验检验，经批准后方可使用。特殊填料是指具有与一般土质不同工程性质的填料，如煤矸石、泡沫轻质土等。

### 3. 试验路段

试验路段应选择地质条件、路基断面形式等具有代表性的地段，长度宜不小于200m。下列情况应进行试验路段施工：

- (1) 二级及二级以上公路路堤。
- (2) 填石路堤、土石路堤。
- (3) 特殊路基。
- (4) 拟采用新技术、新工艺、新材料、新设备的路基。

试验路段施工总结宜包括下列内容：

- (1) 填料试验、检测报告等。
- (2) 压实工艺主要参数：机械组合；压实机械规格、松铺厚度、碾压遍数、碾压速度、最佳含水率及碾压时含水率范围等。
- (3) 过程工艺控制方法及质量控制标准。
- (4) 施工组织方案及工艺的优化。
- (5) 原始记录、过程记录。
- (6) 安全保障措施。
- (7) 环保措施。

试验路段施工总结报告内容根据实际需要进行适当增减，但要全面、真实地反映试验情况，为后续施工提供依据。

#### 1.1.2 原地基处理要求

路基范围内原地基应在路基施工前按下列要求进行处理：

(1) 地基表层碾压处理压实度控制标准为二级及二级以上公路一般土质应不小于90%；三、四级公路应不小于85%。低路堤应对地基表层土进行超挖、分层回填压实，其处理深度应不小于路床厚度。

(2) 原地面坑、洞、穴等，应在清除沉积物后，用合格填料分层回填、分层压实，压实度应符合规范规定。对可能存在空洞隐患的，应结合具体情况采取相应的处置措施。

(3) 泉眼或露头地下水，应按设计要求采取有效导排措施，将地下水引离后方可填筑路堤。

(4) 地基为耕地、松散土质、水稻田、湖塘、软土、过湿土等时，应按设计要求进行处理，局部软弱部分应采取有效的处理措施。

(5) 陡坡地段、填挖结合部、土石混合地段、高填方地段地基等应按设计要求进行处理。

(6) 地下水位较高时，应按设计要求进行处理。

(7) 特殊地段路基应先核对地质勘察资料，确定设计资料与实际的符合性、处理方法的适用性，必要时重新补勘地质、水文资料，根据结果重新确定处理方案。

### 1.1.3 挖方路基施工

#### 1. 土质路堑施工技术

##### 1) 土质路堑施工工艺流程(图1.1-1)

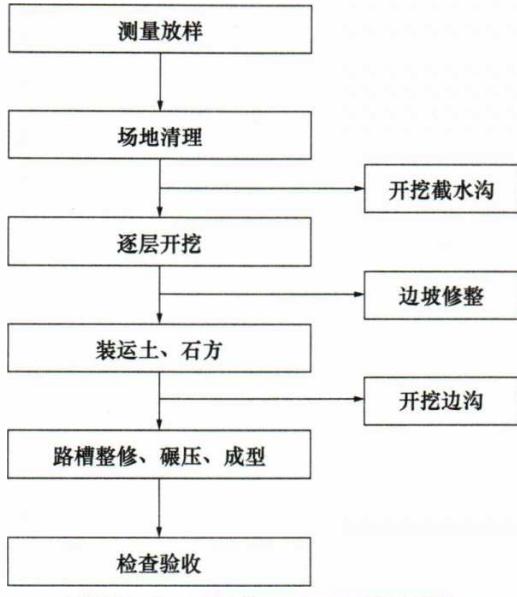


图 1.1-1 土质路堑施工工艺流程图

#### 2) 作业方法

##### (1) 横向挖掘法

土质路堑横向挖掘可采用人工作业，也可机械作业，具体方法有：

① 单层横向全宽挖掘法：从开挖路堑的一端或两端按断面全宽一次性挖到设计标高，逐渐向纵深挖掘，挖出的土方一般都是向两侧运送。该方法适用于挖掘浅且短的路堑。

② 多层横向全宽挖掘法：从开挖路堑的一端或两端按断面分层挖到设计标高。该法适用于挖掘深且短的路堑。

##### (2) 纵向挖掘法

土质路堑纵向挖掘多采用机械作业，具体方法有：

① 分层纵挖法：沿路堑全宽，以深度不大的纵向分层进行挖掘，适用于较长的路堑开挖。

② 通道纵挖法：先沿路堑纵向挖掘一通道，然后将通道向两侧拓宽以扩大工作面，并利用该通道作为运土路线及场内排水的出路。该层通道拓宽至路堑边坡后，再挖下层通道，如此向纵深开挖至路基标高。该法适用于较长、较深、两端地面纵坡较小的路堑开挖。

③ 分段纵挖法：沿路堑纵向选择一个或几个适宜处，将较薄一侧堑壁横向挖穿，使路堑分成两段或数段，各段再纵向开挖。该法适用于过长、弃土运距过远、一侧堑壁较薄的傍山路堑开挖。

### (3) 混合式挖掘法

多层横向全宽挖掘法和通道纵挖法混合使用。先沿路线纵向挖通道，然后沿横向坡面挖掘，以增加开挖面。该法适用于路线纵向长度和挖深都很大的路堑开挖。

## 3) 机械开挖作业方式

### (1) 推土机开挖土质路堑作业

推土机开挖土方由切土、运土、卸土、倒退（或折返）、空回等过程组成一个循环。影响作业效率的主要因素是切土和运土两个环节，因此必须以最短的时间和距离切满土，并尽可能减少土在推运过程中的散失。推土机开挖土质路堑作业方法与填筑路基相同的有下坡推土法、槽形推土法、并列推土法、接力推土法和波浪式推土法，另有斜铲推土法和侧铲推土法。

### (2) 挖掘机开挖土质路堑作业

公路工程施工中以单斗挖掘机与运输车辆配合开挖土方路堑最为常见。

## 4) 土方开挖规定

(1) 开挖应自上而下逐级进行，严禁掏底开挖。

(2) 开挖至边坡线前，应预留一定宽度，预留的宽度应保证刷坡过程中设计边坡线外的土层不受到扰动。

(3) 拟作为路基填料的土方，应分类开挖、分类使用。非适用材料作为弃方时，应按规定进行处理。

(4) 开挖至零填、路堑路床部分后，应及时进行路床施工；如不能及时进行，宜在设计路床顶标高以上预留至少300mm厚的保护层。

(5) 应采取临时排水措施，确保施工作业面不积水。

(6) 挖方路基施工遇到地下水时，应采取排导措施，将水引入路基排水系统，不得随意堵塞泉眼。路床土含水率高或为含水层时，应采取设置渗沟、换填、改良土质等处理措施，路床填料除应符合表1.1-1的规定外，还应具有良好的透水性能。

表1.1-1 零填及挖方路基路床填料的最小承载比和最大粒径要求

填料应用部位（路面底面以下深度，m）			填料最小承载比CBR（%）			填料最大粒径（mm）
			高速、一级公路	二级公路	三、四级公路	
零填及 挖方路基	上路床	0~0.30	8	6	5	100
	下路床	轻、中、重交通 0.30~0.80	5	4	3	100
		特重、极重交通 0.30~1.20				

注：1. 表列承载比是根据路基不同填筑部位压实标准的要求，按现行《公路土工试验规程》JTG 3430—2020试验方法规定浸水96h确定的CBR。

2. 三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时，应采用二级公路的规定。

## 5) 零填、挖方路段的路床施工规定

(1) 路床范围原状土符合要求的，可直接进行路床成型施工。

(2) 路床范围为过湿土时应按设计进行换填处理，设计未规定时按以下要求换填：高速公路、一级公路换填厚度宜为0.8~1.2m，若过湿土的总厚度小于1.5m，则宜全部换填，二级公路的换填厚度宜为0.5~0.8m。

(3) 高速公路、一级公路路床范围为崩解性岩石或强风化软岩时应按设计进行换填处理, 设计未规定时换填厚度宜为 0.3~0.5m。

(4) 零填、挖方路段的路床压实度应符合表 1.1-2 的要求。

表 1.1-2 零填、挖方路段的路床压实度标准

填筑部位(路面底面以下深度, m)			压实度 (%)		
			高速、一级公路	二级公路	三、四级公路
零填及 挖方路基	上路床	0~0.30	≥ 96	≥ 95	≥ 94
	下路床	轻、中及重交通 0.30~0.80	≥ 96	≥ 95	—
		特重、极重交通 0.30~1.20			

注: 1. 表列压实度以现行《公路土工试验规程》JTG 3430—2020 重型击实试验法为准。

2. 四级公路铺筑水泥混凝土路面或沥青混凝土路面时, 其压实度应采用二级公路的规定值。

3. 特殊干旱地区的压实度标准可降低 2~3 个百分点。

## 2. 石质路堑施工技术

### 1) 基本要求

- (1) 保证开挖质量和施工安全。
- (2) 符合施工工期和开挖强度的要求。
- (3) 有利于维护岩体完整和边坡稳定性。
- (4) 可以充分发挥施工机械的生产能力。

### 2) 开挖方式

(1) 爆破法: 利用炸药在空气、水、土石介质或物体中爆炸所产生的压缩、松动、破坏、抛掷等作用实现石方路基的施工。爆破法也可以爆松冻土、爆破挤淤、开采石料等。

#### ① 爆破方法分类

按照爆破的规模与方式, 可将爆破分为钻孔爆破和硐室爆破。

钻孔爆破又分为浅孔爆破(钢钎炮)和深孔爆破。浅孔爆破是指炮孔直径小于或等于 50mm、深度小于或等于 5m 的爆破作业。深孔爆破是指炮孔直径大于 50mm、深度大于 5m 的爆破作业。

硐室爆破是指采用集中或条形硐室装药包, 爆破开挖岩石的作业。因一次爆破药量大, 爆下的土石方量也大, 通常称为“大爆破”。与其他方法相比, 其特点是短期内即可完成大量的开挖量, 所投入的设备、工程量及动力等相对较少, 且效率高, 适应性强。但因一次爆破药量大, 可导致地震破坏, 对周围环境造成一定影响。

#### ② 路基爆破施工技术分类

根据各种工程目的和要求, 路基常用的爆破施工技术分为: 光面爆破、预裂爆破、微差爆破和定向爆破。

A. 光面爆破: 在开挖限界的周边适当排列一定间隔的炮孔, 或在有侧向临空面的情况下, 用控制抵抗线和药量的方法进行爆破, 使之形成一个光滑、平整的边坡。

B. 预裂爆破: 在开挖限界处按适当间隔排列炮孔, 在没有侧向临空面和最小抵抗线的情况下, 用控制药量的方法, 预先炸出一条裂缝, 使拟爆体与山体分开, 作为隔震

减震带，起保护开挖限界以外山体或建筑物和减弱地震对其破坏的作用。

C. 微差爆破：两相邻药包或前后排药包以若干毫秒的时间间隔（一般为15~75ms）依次起爆，称为微差爆破，亦称毫秒爆破。

D. 定向爆破：利用爆能将大量土石方按照指定的方向，搬到一定位置并堆积成路堤的一种爆破施工方法，称为定向爆破。

(2) 机械开挖：使用带有松土器的重型推土机破碎岩石，一次破碎深度约0.6~1.0m。该法适用于施工场地开阔、大方量的软岩石方工程。带有破碎锤的液压履带挖掘机开挖路基破碎岩石，适用于硬质岩和土石混合的孤石。优点是没有钻爆工序作业，不需要风、水、电辅助设施，简化了场地布置，提高了生产能力；缺点是不适用于破碎坚硬岩石。

(3) 静态破碎法：将膨胀剂放入炮孔内，利用产生的膨胀力，缓慢地作用于孔壁，经过数小时至24h达到300~500MPa的压力，使介质裂开。该法适用于在设备附近、高压线下以及开挖与浇筑过渡段等特定条件下的开挖。优点是安全可靠，没有爆破产生的危害；缺点是破碎效率低，开裂时间长。

### 3) 石方开挖施工规定

(1) 应根据岩石的类别、风化程度、岩层产状、岩体断裂构造、施工环境等因素确定开挖方案。

(2) 应逐级开挖，逐级按设计要求进行防护。

(3) 施工过程中，每挖深3~5m应进行边坡边线和坡率的复测。

(4) 爆破作业应符合现行《爆破安全规程》GB 6722—2014的有关规定。

(5) 严禁采用硐室爆破，靠近边坡部位的硬质岩应采用光面爆破或预裂爆破。

(6) 爆破法开挖石方，应先查明空中缆线、地下管线的位置，开挖边界线外可能受爆破影响的建筑物结构类型、居民居住情况等，对不能满足安全距离的石方宜采用化学静态爆破或机械开挖。

(7) 边坡应逐级进行整修，同时清除危石及松动石块。

### 4) 石质路床清理规定

(1) 欠挖部分应予凿除，超挖部分应采用强度高的砂砾、碎石进行找平处理，不得采用细粒土找平。

(2) 路床底面有地下水时，可设置渗沟进行排导，渗沟应采用硬质碎石回填。

(3) 路床的边沟应与路床同步施工。

### 5) 深挖路堑施工规定

(1) 应根据地形特征设置边坡观测点，施工过程中应对深挖路堑的稳定性进行监测。

(2) 施工过程中应核查地质情况，如与设计不符应及时反馈处理。

(3) 每挖深3~5m应复测一次边坡。

## 1.1.4 填方路基施工

### 1. 路基填料一般规定

(1) 宜选用级配好的砾类土、砂类土等粗粒土作为填料。

(2) 含草皮、生活垃圾、树根、腐殖质的土严禁作为填料。

(3) 泥炭土、淤泥、冻土、强膨胀土、有机质土及易溶盐超过允许含量的土等，不得直接用于填筑路基；确需使用时，应采取技术措施进行处理，经检验满足要求后方可使用。

(4) 粉质土不宜直接用于填筑二级及二级以上公路的路床，不得直接用于填筑冰冻地区的路床及浸水部分的路堤。

(5) 路堤填料最小承载比和最大粒径应符合表 1.1-3 的规定。

表 1.1-3 路堤填料最小承载比和最大粒径要求

填料应用部位（路面底面以下深度，m）			填料最小承载比 CBR (%)			填料最大粒径 (mm)
			高速、一级公路	二级公路	三、四级公路	
填方路基	上路床	0~0.3	8	6	5	100
	下路床	轻、中及重交通	0.3~0.8	5	4	100
		特重、极重交通	0.3~1.2			
	上路堤	轻、中及重交通	0.8~1.5	4	3	150
		特重、极重交通	1.2~1.9			
	下路堤	轻、中及重交通	>1.5	3	2	150
		特重、极重交通	>1.9			

注：1. 表列承载比是根据路基不同填筑部位压实标准的要求，按现行《公路土工试验规程》JTG 3430—2020 试验方法规定浸水 96h 确定的 CBR。

2. 三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时，应采用二级公路的规定。

3. 表中上、下路堤填料最大粒径 150mm 的规定不适用于填石路堤和土石路堤。

(6) 高速公路、一级公路路床填料宜采用砂砾、碎石等水稳定性好的粗粒料，也可采用级配好的碎石土、砾石土等；粗粒料缺乏时，可采用无机结合料改良细粒土。路床填筑，每层最大压实厚度宜不大于 300mm，顶面最后一层压实厚度应不小于 100mm。

## 2. 路堤施工技术

### 1) 填土路堤施工技术

#### (1) 填土路堤施工工序

主要包括施工放样、清除表土、填前处理、分层填筑、整平、碾压、整修等。

#### (2) 填土路堤的填筑技术

##### ① 填筑方法

土质路堤填筑常用推土机、平地机、压路机、挖掘机、装载机等机械按以下方式作业：

A. 水平分层填筑。填筑时按照横断面全宽分成水平层次，逐层向上填筑，是路基填筑的常用方式。

B. 纵向分层填筑。依路线纵坡方向分层，逐层向上填筑。常用于地面纵坡大于 12%，用推土机从路堑取料、填筑距离较短的路堤。缺点是不易碾压密实。

C. 横向填筑。从路基一端或两端按横断面全高逐步推进填筑。由于填土过厚，不易压实，仅用于无法自下而上填筑的深谷、陡坡、断岩、泥沼等机械无法进场的路堤。

D. 联合填筑。路堤下层用横向填筑而上层用水平分层填筑。适用于因地形限制或填筑堤身较高，不宜采用水平分层填筑或横向填筑法进行填筑的情况。单机或多机作业均可，一般沿线路分段进行，每段距离以20~40m为宜，多在地势平坦或两侧有可利用的山地土场的场合采用。

### ② 机械填筑路堤作业方式

#### A. 推土机填筑路堤作业方式

推土机作业方式通常是由切土、推土、堆卸、空返等四个环节组成，而影响作业效率的主要是切土和推土两个环节。推土机作业效率取决于切满土的速度、距离，以及推土过程中切满刀片中的土散失量和推运速度。其作业方式一般有坑槽推土、波浪式推土、并列推土、下坡推土和接力推土。

#### B. 挖掘机填筑路堤作业方式

利用挖掘机填筑路堤施工，一般有两种方式：一种为从路基一侧挖土，直接卸向另一侧填筑路堤。这种方式，用反铲挖掘机施工比较方便。另一种方式则配合运土车辆，挖掘机挖土装车后，运至路堤施工现场卸土填筑。这是挖掘机填筑路堤施工的主要方式，正、反铲挖掘机都能适用，而且一般在取土场比较集中且运距较长的情况下最宜采用。两种方式都宜与推土机配合施工。

### ③ 土质路堤压实施工技术要点

A. 压实机械对土进行碾压时，一般以慢速效果最好。除羊足碾或凸块压路机外，压实速度以2~4km/h最为适宜。羊足碾的速度可以快些，在碾压黏土时最高可达12~16km/h，还不致影响碾压质量。各种压实机械的作业速度，应在填方前作试验段碾压，找出最佳效果的碾压速度，正式施工时参照执行。

B. 碾压一段终了时，宜采取纵向退行方式继续第二遍碾压，不宜采用掉头方式，以免因机械调头时搓挤土，使压实的土被翻松。故压路机始终要以纵向进退方式进行压实作业。

C. 在整个全宽的填土上压实，宜纵向分行进行，直线段由两边向中间，曲线段宜由曲线的内侧向外侧（当曲线半径超过200m时，可以按直线段方式进行）。两行之间的接头一般应重叠1/4~1/3轮迹；对于三轮压路机则应重叠后轮的1/2。

D. 纵向分段压好以后，进行第二段压实时，其在纵向接头处的碾压范围，宜重叠1~2m，以确保接头处平顺过渡。

#### E. 土质路堤压实度应符合表1.1-4的规定。

表1.1-4 土质路堤压实度标准

填筑部位（路面底面以下深度，m）			压实度（%）		
			高速、一级公路	二级公路	三、四级公路
填方路基	上路床		≥96	≥95	≥94
	下路床	轻、中及重交通	0.30~0.80	≥96	≥94
		特重、极重交通	0.30~1.20		—
	上路堤	轻、中及重交通	0.8~1.5	≥94	≥93
		特重、极重交通	1.2~1.9		—

续表

填筑部位（路面底面以下深度，m）			压实度（%）		
			高速、一级公路	二级公路	三、四级公路
填方路基	下路堤	轻、中及重交通	> 1.5	≥ 93	≥ 92
		特重、极重交通	> 1.9		

注：1. 表列压实度以现行《公路土工试验规程》JTG 3430—2020 重型击实试验法为准。

2. 三、四级公路铺筑水泥混凝土路面或沥青混凝土路面时，其压实度应采用二级公路的规定值。

3. 路堤采用特殊填料或处于特殊气候地区时，压实度标准在保证路基强度要求的前提下根据试验路段和当地工程经验确定。

4. 特殊干旱地区的压实度标准可降低 2~3 个百分点。

#### ④ 土质路堤施工规定

A. 性质不同的填料，应水平分层、分段填筑、分层压实。同一层路基应采用同一种填料，不得混合填筑。每种填料的填筑层压实后的连续厚度宜不小于 500mm。路基上部宜采用水稳定性好或冻胀敏感性小的填料。有地下水的路段或浸水路堤，应填筑水稳定性好的填料。

B. 在透水性差的压实层上填筑透水性好的填料前，应在其表面设 2%~4% 的双向横坡，并采取相应防水措施。不得在透水性好的填料所填筑的路堤边坡上覆盖透水性差的填料。

C. 路堤填筑应从最低处起分层填筑，逐层压实，每种填料的松铺厚度应通过试验确定。

D. 每一填筑层压实后的宽度不得小于设计宽度。

E. 填方分几个作业段施工时，接头部位如不能交替填筑，先填路段应按 1:1~1:2 的坡度分层留台阶；如能交替填筑，应分层相互交替搭接，搭接长度应不小于 2m。

F. 质量控制：施工过程中，每一压实层均应进行压实度检测，检测频率为每 1000m<sup>2</sup> 不少于 2 点。压实度检测可采用灌砂法、环刀法等方法，检测应符合现行《公路路基路面现场测试规程》JTG 3450—2019 的有关规定。施工过程中，每填筑 2m 宜检测路线中线和宽度。

G. 湿黏土路堤施工应符合以下规定：按设计要求对基底湿黏土层进行处理；湿黏土填料宜采用消石灰或磨细生石灰粉进行改良；石灰粒径应不大于 20mm，质量宜符合三级及以上标准；施工前应取现场有代表性的土做石灰掺配试验确定石灰用量；灰土拌和可采用路拌法，翻拌后填料的块状粒径超过 15mm 的含量宜小于 15%，填筑层厚度宜不超过 200mm；改良后的湿黏土路堤质量应采用灰剂量与压实度两个指标控制，灰剂量应不低于设计掺量，压实度应满足表 1.1-4 的规定；应采用设计灰剂量的击实试验确定最大干密度。

#### 2) 填石路堤施工技术

##### (1) 填石路堤施工工艺流程(图 1.1-2)

##### (2) 填筑方法

① 竖向填筑法(倾填法)：以路基一端按横断面的部分或全部高度自上往下倾卸石料，逐步推进填筑。在陡峻山坡地段施工特别困难时，三级及三级以下砂石路面公路的

下路堤可采用倾填方式填筑。其他级别路基不得采用此法。

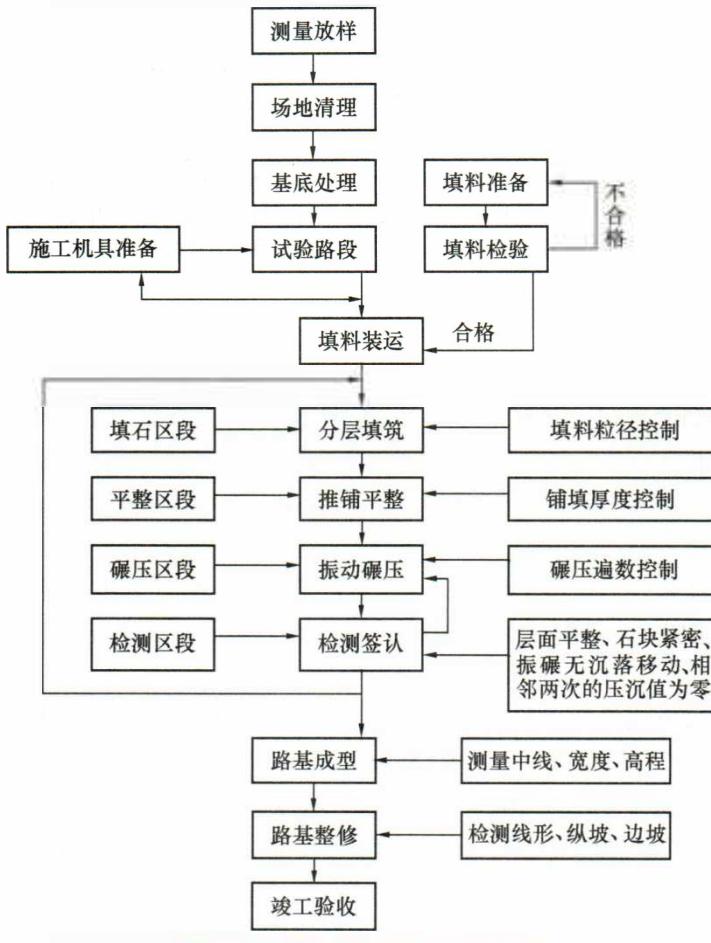


图 1.1-2 填石路堤施工工艺流程图

② 分层压实法（碾压法）：自下而上水平分层，逐层填筑，逐层压实，是普遍采用并能保证填石路堤质量的方法。高速公路、一级公路和铺设高级路面的其他等级公路的填石路堤采用此方法。

填石路堤将填方路段一般划分为四级施工台阶、四个作业区段。按施工工艺流程进行分层施工。四级施工台阶是：路基顶面以下 0.5m 为第一级台阶，0.5~1.5m 为第二级台阶，1.5~3.0m 为第三级台阶，超过 3.0m 为第四级台阶。四个作业区段如图 1.1-2 所示。

施工中填方和挖方作业面形成台阶状，台阶间距视具体情况和适应机械化作业而定，一般长为 100m 左右。填石作业自最低处开始，逐层水平填筑，每一分层先是机械推铺主集料，平整作业铺撒嵌缝料，将填石空隙以小石或石屑填满铺平，采用重型振动压路机碾压，压至填筑层顶面石块稳定。

③ 冲击压实法：利用冲击压实机的冲击碾周期性、大振幅、低频率地对路基填料进行冲击，压密填方。它具有分层法连续性和强力夯实法压实厚度深的优点；缺点是在周围有建筑物时，使用受到限制。

④ 强力夯实法：用起重机吊起夯锤从高处自由落下，利用强大的动力冲击，迫使岩土颗粒位移，提高填筑层的密实度和地基强度。该方法机械设备简单，击实效果显著，施工中不需铺撒细粒料，施工速度快，有效解决了大块石填筑地基厚层施工的夯实难题。对强夯施工后的表层松动层，采用振动碾压法进行压实。

填石路堤强力夯实法施工要点：

#### A. 强力夯实法简要施工程序

填石分层强夯施工，要求分层填筑与强夯交叉进行，各分层厚度的松铺系数，第一层可取 1.2，以后各层根据第一层的实际情况适当调整。每一分层连续挤密式夯击，夯后形成夯坑，夯坑以同类型石质填料填补。填石作业以堆填法施工，装运需大型装载机和自卸汽车配合作业，铺筑需大型履带式推土机摊铺和平整，夯坑回填也需推土机完成。每层主夯和面层的主夯与满夯由起重机和夯锤实施，路基面需振动压路机进行最后的压实平整作业。

强夯法与碾压法相比，只是夯实与压实的工艺不同，而填料粒径控制、铺填厚度控制都要进行，强夯法控制夯击次数，碾压法控制压实遍数，机械装运摊铺平整作业完全一样，强夯法须进行夯坑回填。

#### B. 分层厚度

施工分层线采取与设计路面平行，以保证路堤、路床和路面底层压实的均匀性。强夯压实要求分层进行。分层厚度 5.0m 左右，高度 20m 以内的填石路堤分四层进行，其中底层稍厚，但不超过 5.5m，面层稍薄，一般为 4.0m。

层厚控制：由于分层层面与路面纵坡平行，按中桩桩号计算列出各分层在路堤相应位置的控制性层面标高，作为分层填筑的依据。

#### C. 各层夯点间距布置

各层夯点采用错位布置，即上层夯点位于下层夯点间，以获得良好的击实效果。如：纵向第一层和第三层在道路中线上布置夯点，并向两侧展布；第二层和第四层在距中心线两侧 2.25m 处布置夯点，夯点间距 4.5m×4.5m。

D. 强夯石质填料的粒径控制一般为 400mm 以内，最大粒径不超过 600mm；施工过程若发现夯锤歪斜，应及时将坑底整平再夯；在有结构物如涵洞、挡墙等附近作业时，涵背、墙背 6m 范围填石以碾压法施工，强夯施工一定要远离涵墙、挡土墙外 6m 作业，以保证结构物安全；测量仪器架设在距离夯点 30m 远处；夯机操作室前应安装牢固的安全防护网，注意检查滑钩、钢丝绳等；夯锤下落时，机下施工人员应距夯点 30m 外或站在夯机后方。

### (3) 填石路堤施工要求

① 填石路堤应分层填筑压实。在陡峻山坡地段施工特别困难时，三级及三级以下砂石路面公路的下路堤可采用倾填的方式填筑。

② 岩性相差较大的填料应分层或分段填筑，软质石料与硬质石料不得混合使用。

③ 填石路堤顶面与细粒土填土层之间应填筑过渡层或铺设无纺土工布隔离层。

④ 压实机械宜选用自重不小于 18t 的振动压路机。

⑤ 填石路堤采用强夯、冲击压路机进行补压时，应避免对附近构造物造成影响。

⑥ 中硬、硬质石料填筑路堤时，应进行边坡码砌。码砌防护的石料强度、尺寸应

满足设计要求。边坡码砌与路基填筑应基本同步进行。

⑦ 采用易风化岩石或软质岩石石料填筑时，应按设计要求采取边坡封闭和底部设置排水垫层、顶部设置防渗层等措施。

⑧ 填石路堤施工过程质量控制：施工过程中每一压实层，应采用试验路段确定的工艺流程、工艺参数控制，压实质量可采用沉降差指标进行检测。施工过程中，每填高3m宜检测路基中线和宽度。

⑨ 不同强度的石料，应分别采用不同的填筑层厚和压实控制标准。填石路堤的压实质量标准采用孔隙率作为控制指标，并符合表1.1-5的要求。孔隙率的检测应采用水袋法进行。

表1.1-5 填石路堤压实质量标准

分区	路床顶面以下深度(m)	硬质石料孔隙率(%)	中硬石料孔隙率(%)	软质石料孔隙率(%)
上路堤	0.80~1.50	≤23	≤22	≤20
下路堤	>1.50	≤25	≤24	≤22

⑩ 填石路堤成形后的外观质量标准应符合下列规定：路堤表面应无明显孔洞；大粒径石料应不松动；边坡码砌紧贴、密实无松动，砌块间承接面向内倾斜，坡面平顺；路基边线与边坡不应出现单向累计长度超过50m的弯折；上边坡不得有危石。

#### (4) 填石路堤填料要求

① 硬质岩石、中硬岩石可用于路堤和路床填筑；软质岩石可用于路堤填筑，不得用于路床填筑；膨胀岩石、易溶性岩石和盐化岩石不得用于路基填筑。

② 路基的浸水部位，应采用稳定性好、不易膨胀崩解的石料填筑。

③ 路堤填料粒径应不大于500mm，并宜不超过层厚的2/3。路床底面以下400mm范围内，填料最大粒径不得大于150mm，其中小于5mm的细料含量应不小于30%。

### 3 土石路堤施工技术

#### (1) 填筑方法

土石路堤不得采用倾填方法，只能采用分层填筑、分层压实。宜用推土机铺填，松铺厚度控制在400mm以内，接近路堤设计标高时，需改用土方填筑。

#### (2) 土石路堤施工要求

① 压实机械宜选用自重不小于18t的振动压路机。

② 应分层填筑压实，不得倾填。

③ 应使大粒径石料均匀分散在填料中，石料间孔隙应填充小粒径石料和土。

④ 土石混合料来自不同料场，其岩性或土石比例相差大时，宜分层或分段填筑。

⑤ 填料由土石混合材料变化为其他填料时，土石混合材料最后一层的压实厚度应小于300mm。该层填料最大粒径宜小于150mm，压实后表面应无孔洞。

⑥ 中硬、硬质石料填筑土石路堤时，宜进行边坡码砌，码砌与路堤填筑宜同步进行，软质石料土石路堤的边坡按土质路堤边坡处理。

⑦ 采用强夯、冲击压路机进行补压时，应避免对附近构造物造成影响。

⑧ 土石路堤施工过程质量控制：中硬及硬质岩石的土石路堤填筑施工过程中每一压实层，应采用试验路段确定的工艺流程、工艺参数，压实质量可采用沉降差指标进

行检测。软质石料的土石路堤填筑质量标准应符合表 1.1-4 规定。施工过程中，每填筑 3m 高宜检测路线中线和宽度。

### (3) 土石路堤填料要求

① 膨胀岩石、易溶性岩石等不宜直接用于路基填筑，崩解性岩石和盐化岩石等不得用于路基填筑。

② 天然土石混合填料中，中硬、硬质石料的最大粒径不得大于压实层厚的 2/3；石料为强风化石料或软质石料时，*CBR* 值应符合表 1.1-3 的规定且最大粒径不得大于压实层厚。

## 4) 高路堤施工技术

路基填土边坡高度大于 20m 的路堤称为高路堤。高路堤填料宜优先采用强度高、水稳定性好的材料，或采用轻质材料。路堤浸水部分应采用水稳定性和透水性均好的材料。

高路堤施工要求：

(1) 高路堤段应优先安排施工，宜预留 1 个雨季或 6 个月以上的沉降期。

(2) 高路堤施工中应按设计要求预留高度与宽度，并进行动态监控。

(3) 高路堤宜每填筑 2m 冲击补压一次，或每填筑 4~6m 强夯补压一次。

(4) 高路堤填筑过程中应进行沉降和稳定性观测。

(5) 在不良地质路段的高路堤填筑，应控制填筑速率，并进行地表水平位移监测，必要时应进行地下土体分层水平位移监测。

## 5) 粉煤灰路堤施工技术

粉煤灰可用于各级公路路堤填筑，不得用于高速公路、一级公路的路床和二级公路的上路床。由于是轻质材料，粉煤灰的使用可减轻土体结构自重，减少软土路堤沉降，提高土体抗剪强度。凡是电厂排放的硅铝型低铝粉煤灰都可作为路堤填料。用于路基填筑的粉煤灰的烧失量应不大于 20%， $SO_3$  含量宜不大于 3%，粉煤灰中不得含团块、腐殖质及其他杂质。

粉煤灰路堤一般由路堤主体部分、护坡和封顶层以及隔离层、排水系统等组成，其施工步骤与土质路堤施工方法相类似，仅增加了包边土和设置边坡盲沟等工序。

粉煤灰施工要求：

(1) 大风或气温低于 0℃ 时不宜施工。

(2) 有显著差别的灰源应分别堆放、分段填筑。

(3) 路堤高度超过 4m 时，可在路堤中部设置土质夹层。

(4) 粉煤灰路堤应进行包边防护，包边土应与粉煤灰同步施工，宽度宜不小于 2m。

(5) 施工过程中，作业面应及时洒水润湿，并应合理设置行车便道。

(6) 粉煤灰路堤压实度标准应通过试验路段确定，并应符合表 1.1-6 的规定。包边土和顶面封层土的压实度应符合表 1.1-4 的规定。粉煤灰路堤压实度可采用填上层检下层的方式进行检测。

## 6) 台背与墙背填筑施工技术

### (1) 台背与墙背填筑施工要求

① 二级及二级以上公路应按设计做好过渡段，过渡段路堤压实度应不小于 96%；二级以下公路的路堤与回填的连接部，应预留台阶。

表 1.1-6 粉煤灰路堤压实度标准

填料应用部位	压实度 (%)	
	高速、一级公路	二级及二级以下公路
下路床	—	≥ 92
上路堤	≥ 92	≥ 90
下路堤	≥ 90	≥ 88

注：表列压实度以现行《公路土工试验规程》JTG 3430—2020 重型击实试验法为准。

② 台背和锥坡的回填宜同步进行。

③ 台背与墙背 1.0m 范围内回填宜采用小型夯实机具压实。

④ 分层压实厚度宜不大于 150mm，填料粒径宜小于 100mm，涵洞两侧回填填料粒径宜小于 50mm，压实度应不小于 96%。

⑤ 部位狭窄时，可采用低强度等级混凝土、浆砌片石等材料回填。

⑥ 涵洞两侧应对称分层回填压实。

⑦ 回填部分的路床宜与路堤路床同步填筑。

⑧ 台背与墙背回填，应在结构物强度达到设计强度的 75% 以上时进行。

#### (2) 台背与墙背填筑填料要求

填料宜采用透水性材料、轻质材料、无机结合料稳定材料等，崩解性岩石、膨胀土不得用于台背与墙背填筑。

### 1.1.5 路基季节性施工

#### 1. 路基雨期施工技术

##### 1) 雨期施工地段的选择

(1) 雨期路基施工地段一般应选择砂类土、碎砾石和岩石地段以及路堑的弃方地段。

(2) 低洼地段和高填深挖地段的土质路基，重黏土、膨胀土及盐渍土地段不宜在雨期施工；平原地区排水困难及沿河路段，不宜安排雨期施工。

##### 2) 雨期施工路基排水的规定

(1) 雨期施工应综合规划、合理设置现场防排水系统，及时引排地面水。重点解决防排水问题，要把临时排水和永久排水衔接好，把水引入沿线桥涵及排水沟渠，形成完整的排水系统，保证雨期施工场地不被淹没、不积水。

(2) 路堤填筑的每一层表面应设 2%~4% 的排水横坡。

(3) 在已填路堤路肩处，应采取设置纵向临时挡水土埂、每隔一定距离设出水口和排水槽等措施，引排雨水至排水系统。

(4) 雨期路堑宜分层开挖，每挖一层均应设置纵横排水坡及临时排水沟。

##### 3) 雨期施工路基基底处理的规定

(1) 应在雨期前将基底处理好，孔洞、坑洼处填平夯实，整平基底，并设纵横排水坡。

(2) 低洼地段，应在雨期前将原地面处理好，并将填筑作业面填筑到可能的最高

积水位 0.5m 以上。

#### 4) 雨期路堤施工的规定

(1) 填料应选用透水性好的碎石土、卵石土、砂砾、石方碎渣和砂类土等。利用挖方土作填料、含水率符合要求时，应随挖随填，及时压实。含水率过大、难以晾晒的土不得用作雨期施工填料。

(2) 每一填筑层表面应做成 2%~4% 双向路拱横坡以利于排水，低洼地带或高出设计洪水位 0.5m 以下部位应选用透水性好、饱水强度高的填料分层填筑，并及时施作护坡、坡脚等防护工程。

(3) 雨期填筑路堤需借土时，取土坑的设置应满足路基稳定的要求。

(4) 路堤应分层填筑、及时碾压。

#### 5) 雨期挖方路基施工的规定

(1) 挖方边坡不宜一次挖到设计坡面，应预留一定厚度的覆盖层，待雨期过后再修整到设计坡面。

(2) 雨期开挖路堑，当挖至路床顶面以上 300~500mm 时应停止开挖，并在两侧挖好临时排水沟，待雨期过后再施工。

(3) 雨期开挖岩石路基，炮眼宜水平设置。

### 2. 路基冬期施工技术

在季节性冻土地区，昼夜平均温度在 -3℃ 以下且连续 10d 以上，或者昼夜平均温度虽在 -3℃ 以上但冻土没有完全融化时，均应按冬期施工办理。

#### 1) 路基工程可冬期进行的项目

(1) 泥沼地带河湖冻结到一定深度后，可利用地基冻结后承载力提高的有利条件修筑施工便道，运输所需的机具、设备和材料。如需换土时，可趁冻结期挖去原地面的软土、淤泥层，换填合格的填料。

(2) 含水率高的流动土质、流沙地段的路堑可利用冻结期开挖。

(3) 河滩地段可利用冬期水位低，开挖基坑修建防护工程，但应采取加温保温措施，注意养护。

(4) 岩石地段的路堑或半填半挖地段，可进行开挖作业。

#### 2) 路基工程不宜冬期施工的项目

(1) 高速公路、一级公路的土质路基和地质不良地区公路路堤不宜进行冬期施工。土质路堤路床以下 1m 范围内，不得进行冬期施工。半填半挖地段、填挖交界处不得在冬期施工。

(2) 铲除原地面的草皮、挖掘填方地段的台阶。

(3) 整修路基边坡。

(4) 在河滩低洼地带将被水淹的填土路堤。

#### 3) 冬期施工路基基底处理

(1) 冻结前应完成表层清理，挖好台阶，并应采取保温措施防止冻结。

(2) 填筑前应将基底范围内的积雪和冰块清除干净。

(3) 对需要换填土地段或坑洼处需补土的基底，应选用适宜的填料回填，并及时整平压实。

(4) 基底处理后应立即采取保温措施，防止冻结。

#### 4) 冬期填方路堤施工的规定

(1) 路堤填料应选用未冻结的砂类土、碎石、卵石土、石渣等透水性好的材料，不得用含水率大的黏质土。

(2) 填筑路堤应按横断面全宽平填，每层松铺厚度应比正常施工减少20%~30%，且松铺厚度不得超过300mm。当天填土应当天完成碾压。

(3) 中途停止填筑时，应整平填层和边坡并进行覆盖防冻，恢复施工时应将表层冰雪清除，并补充压实。

(4) 当填筑高程距路床底面1m时，碾压密实后应停止填筑，在顶面覆盖防冻保温层，待冬期过后整理复压，再分层填至设计高程。

(5) 冬期过后应对填方路堤进行补充压实，压实度应符合表1.1-4的规定。冬期填筑路堤一般采取薄层、快填、快压、连续作业的方法，迅速填完每一层，争取使土不冻或少冻。

#### 5) 冬期施工开挖路堑表层冻土的方法

(1) 爆破冻土法：当冰冻深度达1m以上时可用此法炸开冻土层。炮眼深度取冻土深度的0.75~0.9倍，炮眼间距取冰冻深度的1~1.3倍并按梅花形交错布置。

(2) 机械破冻法：1m以下的冻土层可选用专用破冻机械，如冻土犁、冻土锯和冻土铲等，予以破碎清除。

(3) 人工破冻法：当冰冻层较薄，破冻面积不大，可用日光暴晒法、火烧法、热水开冻法、水针开冻法、蒸汽放热解冻法和电热法等方法胀开或融化冰冻层，并辅以人工撬挖。

#### 6) 冬期挖方路基施工的规定

(1) 挖方边坡不得一次挖到设计线，应预留一定厚度的覆盖层，待到正常施工季节后再修整到设计坡面。

(2) 路基挖至路床顶面以上1m时，完成临时排水沟后应停止开挖，待冬期过后再施工。

### 1.1.6 路基改(扩)建施工

#### 1. 一般规定

(1) 不中断交通路基拓宽施工时，应采取交通管制和安全防护措施。

(2) 施工前应截断流向拓宽作业区的水源，开挖临时排水沟。施工期间应在水流汇集的路肩外侧设置拦水带，根据水流情况在拓宽路基中合理设置临时急流槽与泄水口。

(3) 拓宽路堤的填料宜与老路基相同，或选用水稳定性好的砂砾、碎石等填料，且应满足表1.1-3的要求。路床应采用水稳定性好的粗粒土或无机结合料稳定材料填筑。

#### 2. 一般路堤拓宽施工要求

(1) 拓宽路堤填筑前，应拆除原有排水沟、隔离栅等设施。拓宽部分的基底清除原地表土应不小于0.3m，清理后的场地应进行平整压实。老路堤坡面，清除的法向厚度应不小于0.3m。

(2) 拓宽路基的地基处理应符合设计和施工规范的有关规定。

(3) 上边坡的既有防护工程宜与路基开挖同步拆除,下边坡的防护工程拆除时应采取措施保证既有路堤的稳定。

(4) 既有路堤的护脚挡土墙及抗滑桩可不拆除。路肩式挡土墙路基拼接时,上部支挡结构物应予拆除,宜拆除至路床底面以下。

(5) 既有路基有包边土时,宜去除包边土后再进行拼接。

(6) 从老路堤坡脚向上开挖台阶时,应随挖随填,台阶高度应不大于1.0m,宽度应不小于1.0m。

(7) 拼接宽度小于0.75m时,可采取超宽填筑再削坡或翻挖既有路堤等措施。

(8) 宜在新、老路基结合部铺设土工合成材料。

(9) 拓宽路基应进行沉降观测,观测点应按设计要求设置。高路堤与陡坡路堤路段尚应进行稳定性监测。

### 3. 高路堤与陡坡路堤拓宽施工要求

(1) 原坡脚支挡结构不宜拆除,结构物邻近处可用小型机具薄层夯实。

(2) 老路底部设置有渗沟或盲沟时,应做好排水通道的衔接施工。

(3) 高路堤与陡坡路堤拓宽施工,应符合《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610—2019中“4.7 高路堤与陡坡路堤”的相关规定。

### 4. 挖方路基拓宽施工要求

(1) 应在既有路基边缘设置防止飞石或落石的安全防护措施,并应设置警示标志。

(2) 边通车边施工时,宜采用机械开挖或静力爆破方式进行开挖。

(3) 采用爆破方式时,应按爆破施工方案组织施工,宜统一规定爆破时间段,爆破时应临时封闭交通。

(4) 拓宽施工中的挖方路基施工,应符合《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610—2019中“4.3 挖方路基”的相关规定。

### 5. 新旧路基结合部处治技术要点

#### 1) 新路基填筑

(1) 地基处治

① 低路堤地基处治

对于低路堤,当地基土不是十分软弱时,新拓宽段地基部分可以按一般路基进行填筑,必要时可进行换填和加固。施工中应尽量利用原状土结构强度,不扰动下卧层。在路基填筑时,如有必要,可铺设土工布或土工格栅,以加强路基的整体强度及板体作用,防止路基不均匀沉降而产生反射裂缝。

② 高路堤地基处治

高路堤拓宽部分地基必须进行特殊处理。如果高路堤拓宽部分为软土地基,就应采取加强处治措施。施工中为了确保路基稳定、减少路基工后沉降,对高路堤拓宽地基可采取粉喷桩、砂桩、塑料排水体、碎石桩等处理措施,并配合填筑轻型材料。在高路堤地基处治过程中,不宜单独采用只适合于浅层处治以及路基填土较低等情况的换填砂石或加固土处治。

高路堤一侧拓宽时,应防止新路基失稳,防止施工过快,使路基滑动。高路堤拓宽时,一定要进行路基稳定性验算,采取有效措施,防止路基失稳。

## (2) 拓宽部分路基填筑

改善拓宽部分路基填料性质和提高新路基填土力学性能常用的措施有：

### ① 轻质填料路堤

采用粉煤灰、石灰、泡沫轻质土等填料填筑的路堤，降低新路堤的自重，减小路堤的压缩变形，提高新路堤的强度和刚度，减小路基在行车荷载作用下的塑性累积变形。

### ② 砂砾石填料

砂砾石可压缩性较小，能大大减小路堤的压缩变形并提高承载力。如石料来源紧张，可用砖渣等代替，同时还可采用隔层填筑的方法，即每填筑4~5层土后，再用碎砖灰土填筑一层，起补强作用，使填料更具整体性。

### ③ 冲击补强

新拓宽路堤采用冲击压实的方法可以有效地提高土体的压实度，降低工后沉降量。

## 2) 新旧路基衔接的技术措施

(1) 清除旧路肩边坡上草皮、树根及腐殖土等杂物。

(2) 将旧土路肩进行翻晒或掺灰重新碾压，以达到质量要求。

(3) 修建试验路，改进路基开挖台阶的方案，由从土路肩开始下挖台阶，改为从硬路肩开始下挖台阶，沿道路纵向铺设一定幅宽的土工材料，使土工材料一半位于老路基中，另一半位于加宽路基土中，以消除旧路基边坡压实度不足，加强新旧路基的结合程度，减少新老路堤沉降差。

## 1.1.7 特殊路基施工

特殊路基是指位于特殊土（岩）地段、不良地质地段，或受水、气候等自然因素影响强烈，需要进行特殊设计的路基。特殊路基包括：滑坡地段路基、崩塌地段路基、岩堆地段路基、泥石流地段路基、岩溶地区路基、软土地区路基、红黏土与高液限土地区路基、膨胀土地区路基、黄土地区路基、盐渍土地区路基、多年冻土地区路基、风沙地区路基、雪害地段路基、涎流冰地段路基、采空区路基、滨海路基、水库地区路基、季节性冰冻地区路基。

### 1. 软土地区路基施工

#### 1) 软土的工程特性

软土是指天然含水率高、天然孔隙比大、抗剪强度低、压缩性高的细粒土，包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等。淤泥是在静水和缓慢流水环境中沉积、天然孔隙比大于或等于1.5、含有有机质的细粒土。淤泥质土是在静水和缓慢流水环境中沉积、天然孔隙比大于或等于1.0且小于1.5、含有有机质的细粒土。泥炭是指喜水植物枯萎后，在缺氧条件下经缓慢分解而形成的泥沼覆盖层；常为内陆湖沼沉积，有机质含量大于或等于60%，大部分尚未完全分解，呈纤维状，孔隙比一般大于10。泥炭质土是指有机质含量大于或等于10%且小于60%，大部分完全分解，有臭味，呈黑泥状的细粒土和腐殖质土。大部分软土的天然含水率为30%~70%，孔隙比为1.0~1.9，渗透系数为 $10^{-8} \sim 10^{-7}$  cm/s，其压缩系数 $a_{0.1-0.2}$ ，一般为0.7~1.5 MPa<sup>-1</sup>，抗剪强度低（快剪黏聚力在10kPa左右，快剪内摩擦角为0°~5°），具有触变性，流变性显著。

软土可按表1.1-7进行鉴别，当表中部分指标无法获取时，可以天然孔隙比和天然

含水率两项指标为基础，采用综合分析的方法进行鉴别。

表 1.1-7 软土鉴别指标表

特征指标名称	天然含水率 (%)	天然孔隙比	快剪内摩擦角 (°)	十字板抗剪强度 (kPa)	静力触探锥尖阻力 (MPa)	压缩系数 $a_{0.1-0.2}$ (MPa <sup>-1</sup> )
黏质土、有机质土	≥ 35	≥液限	≥ 1.0	宜小于 5	宜小于 35	宜大于 0.5
粉质土	≥ 30		≥ 0.9	宜小于 8		宜大于 0.3

修建在软土地区的路基，应充分考虑路堤填筑荷载引起软基滑动破坏的稳定问题和量大且时间长的沉降问题。

软土地基处置前，应了解工程地质、地下管线构造物等情况，进行必要的土工试验，复核设计处置方案的可行性，编制专项施工方案。

## 2) 软土地基处理施工技术

### (1) 垫层与浅层处理

垫层类型按材料可分为碎石垫层、砂砾垫层、石屑垫层、矿渣垫层、粉煤灰垫层以及灰土垫层等。浅层处理可采用浅层置换、浅层改良、抛石挤淤等方法，处理深度不宜大于 3m。

#### ① 砂砾、碎石垫层施工规定

A. 砂砾、碎石垫层宜采用级配好的中、粗砂，砂砾或碎石，含泥量应不大于 5%，最大粒径宜小于 50mm。

B. 垫层宜分层铺筑、压实。垫层应水平铺筑。当地形有起伏时，应开挖台阶，台阶宽度宜为 0.5~1m。

C. 垫层宽度应宽出路基坡脚 0.5~1m，两侧宜用片石护砌或采用其他方式防护。

#### ② 铺设土工合成材料规定

A. 土工合成材料技术指标应满足设计要求，存放及铺设过程中不得在阳光下长时间暴露。与土工合成材料直接接触的填料中不得含强酸性、强碱性物质。

B. 施工中应采取措施防止土工合成材料受损，出现破损时应及时修补或更换。

#### ③ 浅层置换施工规定

置换宜选用强度高、水稳性和透水性好的砂砾、碎石土等材料，应分层填筑、压实。

#### ④ 浅层改良施工规定

A. 对非饱和黏质土的软弱表层，可添加石灰、水泥等进行改良处置。

B. 施工前应先完善排水设施，施工期间不得积水。

C. 石灰、水泥等应与土拌和均匀，严格控制含水率。施工时，应分层填筑、压实。

#### ⑤ 抛石挤淤施工规定

A. 应采用不易风化的片石、块石，石料直径宜不小于 300mm。

B. 当软土地层平坦，横坡缓于 1:10 时，应沿路线中线向前呈等腰三角形抛填，渐次向两侧对称抛填至全宽，将淤泥挤向两侧；当横坡陡于 1:10 时，应自高侧向低侧渐次抛填，并在低侧边部多抛投形成不小于 2m 宽的平台。

C. 当抛石高出水面后，应采用重型机具碾压密实。

### (2) 爆炸挤淤

爆炸挤淤是将炸药放在软土或泥沼中爆炸，利用爆炸时的张力作用，把淤泥或泥沼扬弃，然后回填强度较高的渗水性土，如砂砾、碎石等。爆炸挤淤法适用于处理海湾滩涂等淤泥和淤泥质土地基。处理厚度不宜大于15m。

#### 爆炸挤淤施工规定：

① 宜采用布药机进行布药。当淤泥顶面高、露出水面时间长，且装药深度小于2.0m时，可采用人工简易布药法。

② 抛填前应根据软基深度、宽度、水深等环境条件和施工设备，确定抛填高度、宽度及进尺。抛填高度应高于潮水位。抛填进尺最小宜不小于3m，最大宜不大于10m。

③ 爆炸挤淤施工应采取控制噪声、有害气体和飞石，减少粉尘、冲击波等环境保护措施。

④ 爆炸挤淤后应采用钻孔或物探方法探测检查置换层厚度、残留混合层厚度。置换层底面和下卧地基层设计顶面之间的残留淤泥碎石混合层厚度应不大于1m。

### (3) 坚向排水体

坚向排水体适用于深度大于3m的软土地基处理。用于对淤泥质土和淤泥地基进行处理时，宜与加载预压或真空预压方案联合使用。采用坚向排水体处理软土地基时，应保证有足够的预压期。

坚向排水体可采用袋装砂井和塑料排水板。坚向排水体可按正方形或等边三角形布置。袋装砂井和塑料排水板可采用沉管式打桩机施工，塑料排水板也可用插板机施工。袋装砂井宜采用圆形套管，套管内径宜略大于砂井直径；塑料排水板宜采用矩形套管，也可采用圆形套管。宜配置能够检测排水体施工深度的设备。

袋装砂井施工工艺程序为：整平原地面→摊铺下层砂垫层→机具定位→打入套管→沉入砂袋→拔出套管→机具移位→埋砂袋头→摊铺上层砂垫层。

塑料排水板施工工艺程序为：整平原地面→摊铺下层砂垫层→机具就位→塑料排水板穿靴→插入套管→拔出套管→割断塑料排水板→机具移位→摊铺上层砂垫层。

#### ① 袋装砂井施工规定

A. 宜采用中、粗砂，粒径大于0.5mm颗粒的含量宜大于50%，含泥量应小于3%，渗透系数应大于 $5 \times 10^{-2}$ mm/s。砂袋的渗透系数应不小于砂的渗透系数。

B. 套管起拔时应垂直起吊，防止带出或损坏砂袋。发生砂袋带出或损坏时，应在原孔位边缘重打。

C. 砂袋在孔口外的长度应不小于300mm，并顺直伸入砂砾垫层。

D. 袋装砂井施工质量应符合表1.1-8的规定。

表1.1-8 袋装砂井施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	井距（mm）	±150	抽查2%且不少于5点
2	井长（mm）	≥设计值	查施工记录
3	井径（mm）	+10, 0	挖验2%且不少于5点
4	灌砂率（%）	-5	查施工记录

## ② 塑料排水板施工规定

- A. 塑料排水板技术指标应满足设计要求，露天堆放时应有遮盖。
- B. 施工中应防止泥土等杂物进入套管内。
- C. 塑料排水板不得搭接，预留长度应不小于 500mm，并及时弯折埋设于砂垫层中。
- D. 塑料排水板施工质量应符合表 1.1-9 的规定。

表 1.1-9 塑料排水板施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	板距 (mm)	±150	抽查 2% 且不少于 5 点
2	板长 (mm)	≥设计值	抽查 2% 且不少于 5 点

## (4) 真空预压、真空堆载联合预压

真空预压法适用于处理软土性质很差、土源紧缺、工期紧的软土地基。

真空预压的抽真空设备宜采用射流真空泵。真空泵空抽时必须达到 95kPa 以上的真空吸力。真空泵的数量应根据加固面积确定，每个加固场地至少应设两台真空泵。

真空预压、真空堆载联合预压施工规定：

- ① 密封膜应采用抗老化性能好、韧性好、抗穿刺能力强的不透气材料。
- ② 密封膜连接宜采用热合粘结缝平搭接，搭接宽度应不小于 15mm。
- ③ 滤管应不透砂。滤管距泥面、砂垫层顶面的距离均应大于 50mm。滤管周围应采用砂填实，不得架空、漏填。
- ④ 密封膜的周边应埋入密封沟内。密封沟的宽度宜为 0.6~0.8m，深度宜为 1.2~1.5m。
- ⑤ 真空表测头应埋设于砂垫层中间，每块加固区应不少于 2 个真空度测点。
- ⑥ 真空预压施工应按排水系统施工、抽真空系统施工、密封系统施工及抽气的顺序进行。
- ⑦ 采用真空堆载联合预压时，应先抽真空。当真空压力达到设计要求并稳定后，再进行堆载，并继续抽气。堆载时应在膜上铺设土工布等保护材料。
- ⑧ 施工监测应符合下列规定：

A. 预压过程中，应进行密封膜下真空度、孔隙水压力、表面沉降、深层沉降及水平位移等预压参数的监测。膜下真空度每隔 4h 测一次，表面沉降每 2d 测一次。

B. 当连续五昼夜实测地面沉降小于 0.5mm/d，地基固结度已达到设计要求的 80% 时，经验收即可终止抽真空。

C. 停泵卸荷后 24h，应测量地表回弹值。

## (5) 粒料桩

粒料桩可采用振冲置换法或振动沉管法成桩。振冲置换法适用于处理十字板抗剪强度不小于 15kPa 的软土地基；振动沉管法适用于处理十字板抗剪强度不小于 20kPa 的软土地基。

- ① 砂桩宜采用中、粗砂，粒径大于 0.5mm 颗粒含量宜占总质量的 50% 以上，含泥量应小于 3%，渗透系数应大于  $5 \times 10^{-2}$  mm/s；也可使用砂砾混合料，含泥量应小于 5%。

② 碎石桩宜采用级配好、不易风化的碎石或砾石，最大粒径宜不大于 50mm，含泥量应小于 5%。

③ 施工前应进行成桩工艺和成桩挤密试验。

④ 粒料桩宜从中间向外围或间隔跳打。邻近结构物时，应沿背离结构物的方向施工。

⑤ 粒料桩施工质量应符合表 1.1-10 的规定。

表 1.1-10 粒料桩施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距 (mm)	±150	抽查桩数的 2% 且不少于 5 点
2	桩长 (m)	≥设计值	查施工记录
3	桩径 (mm)	≥设计值	抽查 2%
4	粒料灌入率	≥设计值	查施工记录
5	地基承载力	满足设计要求	抽查桩数的 0.1% 且不少于 3 处

振冲置换法施工可采用振冲器、吊机或施工专用平车和水泵。振冲器的功率应与设计的桩间距相适应，桩间距为 1.3~2.0m 时可采用 30kW 的振冲器；桩间距为 1.4~2.5m 时可采用 50kW 的振冲器；桩间距为 1.5~3.0m 时可采用 75kW 的振冲器。起吊机械可采用履带或轮胎起重机、自行井架式专用平车或抗扭胶管式专用汽车等，起重机的起吊能力宜为 10~20t。采用自行井架式专用平车时桩深度不宜超过 15m，采用抗扭胶管式专用汽车时桩深度不宜超过 12m。水泵出口水压宜为 400~600kPa，流量宜为 20~30m<sup>3</sup>/h，每台振冲器宜配一台水泵。主要用振冲器、起重机或施工专用平车和水泵，将砂、碎石、砂砾、废渣等粒料（粒径宜为 20~50mm，含泥量不应大于 10%）按整平地面→振冲器就位对中→成孔→清孔→加料振密→关机停水→振冲器移位的施工工艺程序进行施工。

振动沉管法施工宜采用振动打桩机和钢套管。应选用能顺利出料和有效挤压桩孔内粒料的桩尖形式，软黏土地基宜选用平底形桩尖。振动沉管法成桩可采用一次拔管成桩法、逐步拔管成桩法和重复压管成桩法三种工艺。重复压管成桩法的施工工序为：① 清理平整场地→② 测量放样→③ 机具就位→④ 沉管至设计深度→⑤ 加料→⑥ 振动拔管→⑦ 振动下压管→⑧ 振动拔管→⑨ 机具移位。其中⑤~⑧重复循环至桩顶，直至桩管拔出地面。

#### (6) 加固土桩

加固土桩适用于处理十字板抗剪强度不小于 10kPa、有机质含量不大于 10% 的软土地基。加固土桩包括粉喷桩与浆喷桩。

粉喷桩与浆喷桩的施工机械必须安装喷粉（浆）量自动记录装置，并应对该装置定期标定。应定期检查钻头磨损情况，当直径磨损量大于 10mm 时，必须更换钻头。

施工前应进行成桩工艺和成桩强度试验。当成桩质量不满足设计要求时，应在调整设计与施工有关参数后，重新进行试验或改变设计。

加固土桩施工质量应符合表 1.1-11 的规定。

表 1.1-11 加固土桩施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距 (mm)	±100	尺量；抽查桩数的 2% 且不少于 5 点
2	桩径 (mm)	≥设计值	尺量；抽查桩数的 2% 且不少于 5 点
3	桩长 (m)	≥设计值	查施工记录
4	单桩每延米喷粉 (浆) 量	≥设计值	查施工记录
5	强度 (MPa)	≥设计值	取芯法；抽查桩数的 0.5% 且不少于 3 根
6	地基承载力	满足设计要求	抽查桩数的 0.1% 且不少于 3 处

### (7) 水泥粉煤灰碎石桩

水泥粉煤灰碎石桩 (CFG 桩) 适用于处理十字板抗剪强度不小于 20kPa 的软土地基。

CFG 桩宜采用振动沉管灌注法成桩，施工设备宜采用振动沉管打桩机。施工前应进行成桩工艺和成桩强度试验。

水泥粉煤灰碎石桩施工规定：

① 集料可采用碎石或砾石，泵送混合料时砾石最大粒径宜不大于 25mm；碎石最大粒径宜不大于 20mm；振动沉管灌注混合料时，集料最大粒径宜不大于 50mm。水泥宜选用 42.5 级普通硅酸盐水泥。粉煤灰宜选用Ⅱ、Ⅲ级粉煤灰。

② 施工前应进行成桩试验，确定施工工艺、速度、投料数量和质量标准。

③ 群桩施工，应合理设计打桩顺序、控制打桩速度，宜采用隔桩跳打的打桩顺序，相邻桩打桩间隔时间应不小于 7d。

④ 水泥粉煤灰碎石桩施工质量应符合表 1.1-12 的规定。

表 1.1-12 水泥粉煤灰碎石桩施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距 (mm)	±100	尺量；抽查桩数的 2% 且不少于 5 点
2	桩径 (mm)	≥设计值	尺量；抽查桩数的 2% 且不少于 5 点
3	桩长 (m)	≥设计值	查施工记录
4	强度 (MPa)	≥设计值	取芯法；抽查桩数的 0.5% 且不少于 3 根
5	复合地基承载力	≥设计值	抽查桩数的 0.1% 且不少于 3 处

### (8) 刚性桩

刚性桩主要包括现浇混凝土大直径管桩与预制管桩。刚性桩适用于处理深厚软土地基上荷载较大、变形要求较严格的高路堤段、桥头或通道与路堤衔接段。刚性桩可按正方形或等边三角形布置。刚性桩桩顶应设桩帽，形状可采用圆柱体、台体或倒锥台体，桩帽直径或边长宜为 1.0~1.5m，厚度宜为 0.3~0.4m，宜采用水泥混凝土现场浇筑而成。

现浇混凝土大直径管桩宜采用振动沉管设备施工，预制管桩宜采用工厂预制。施工前应进行成桩工艺试验。预应力混凝土薄壁管桩试桩数量不得少于 2 根，宜采用静力压桩机施工，也可采用锤击沉桩机施工。

### (9) 强夯和强夯置换

强夯法适用于处理碎石土、低饱和度的粉土与黏性土、杂填土和软土等地基。强夯置换法适用于处理高饱和度的粉土与软塑、流塑的软黏土地基，处理深度不宜大于7m。

强夯处理范围应超出路堤坡脚，每边超出坡脚的宽度不宜小于3m。强夯置换处理范围应为坡脚外增加一排置换桩。对独立基础或条形基础应根据基础形状与宽度布置。

采用强夯法处理软土地基时，应在地基中设置竖向排水体。对于地下水位较高的地基，强夯前应采取降水措施，将地下水位降至加固层深度以下。强夯置换桩顶应铺设一层厚度不小于0.5m的粒料垫层，垫层材料可与桩体材料相同，粒径不宜大于100mm。

#### 强夯与强夯置换施工规定：

① 强夯置换材料应采用级配好的片石、碎石、矿渣等坚硬材料，粒径宜不大于夯锤底面直径的0.2倍，含泥量宜不大于10%，粒径大于300mm的颗粒含量宜不大于总质量的30%。

② 应采取隔振、防振措施消除强夯对邻近建筑物的有害影响。

③ 施工前应选择有代表性并不小于500m<sup>2</sup>的路段进行试夯，确定最佳夯击能、间距时间、夯间距、夯击次数、夯击遍数等参数。

④ 夯点可采用正方形或等边三角形布置，间距宜为5~7m。在强夯能级不变的条件下，宜采用重锤、低落距。施工前应检查锤重和落距，单击夯击能量应满足设计要求。

⑤ 强夯和强夯置换施工前应在地表铺设一定厚度的垫层。强夯施工垫层材料宜采用透水性好的砂、砂砾、石屑、碎石土等，强夯置换施工垫层材料宜与桩体材料相同。垫层宜分层摊铺压实。

⑥ 强夯施工结束30d后，应通过标准贯入、静力触探等原位测试，测量地基的夯后承载能力是否满足设计。强夯置换施工结束30d后，宜采用动力触探试验检查置换墩着底情况及承载力，检验数量不少于墩点数的1%，且不少于3点。置换墩直径与深度应满足设计要求。

### 3) 软土地区路堤施工技术要点

(1) 软土地区路堤施工应尽早安排，施工计划中应考虑地基所需的固结时间。

(2) 填筑过程中，应严格控制填筑速率，并应进行动态观测。

(3) 施工期间，路堤中心线地面沉降速率24h应不大于10~15mm，坡脚水平位移速率24h应不大于5mm。应结合沉降和位移观测结果综合分析地基稳定性。填筑速率应以水平位移控制为主，超过标准应立即停止填筑。

(4) 桥台、涵洞、通道以及加固工程应在预压沉降完成后再进行施工。

(5) 应按设计要求的预压荷载、预压时间进行预压。堆载预压的填料宜采用上路床填料，并分层填筑压实。反压护道宜与路堤同时填筑。

### 4) 旧路加宽软基处理要求

(1) 软基路段路基加宽台阶应开挖一层、填筑一层，上层台阶应在下层填筑完成后开挖，台阶开挖应满足台阶宽度和新老路基处理设计要求。

(2) 确定加宽软基处理施工工艺和方案时，应考虑软基处理时挤土、振动对老路堤或邻近构筑物的影响。

(3) 施工期间应对旧路开挖边坡进行覆盖，并设置必要的临时排水设施。

(4) 旧路加宽路段应同步进行拼宽路基和老路基的沉降观测，观测点宜布置在同一断面上。观测点设置宜为老路路中、老路路肩、拼宽部分中部、拼宽部分外侧。老路路中、老路路肩沉降观测点设置可采用在路表埋设观测点的方法，拼宽部分宜采用埋设沉降板的方法。

### 【案例 1.1-1】

#### 1. 背景

某高速公路 M 合同段，路面采用沥青混凝土，路线长 19.2km。该路地处平原地区，路基横断面以填方 3~6m 高的路堤为主，借方量大，借方的含石量为 40%~60%。地表层以黏土为主，其中 K7 + 200~K9 + 800 段，地表层土厚 7~8m，土的天然含水率为 40%~52%，地表无常年积水，孔隙比为 1.2~1.32，属典型的软土地基。结合实际情况，经过设计、监理、施工三方论证，决定采用砂井进行软基处理，其施工工艺包括加料压实、桩管沉入、机具定位、拔管、整平原地面等。完工后，经实践证明效果良好。

#### 2. 问题

(1) 本项目若采用抛石挤淤的方法处理软基，是否合理？请说明理由。

(2) 根据背景资料所述，按施工的先后顺序列出砂井的施工工艺。

#### 3. 分析与答案

(1) 不合理。原因有：软基深度较深、面积大（工程经济性较差）；地表无常年积水，土质呈软塑~可塑状态（施工速度慢）。

(2) 砂井施工工艺的先后顺序为：整平原地面→机具定位→桩管沉入→加料压实→拔管。

## 2. 膨胀土地区路基施工

### 1) 膨胀土的工程特性及主要特征

含亲水性矿物并具有明显的吸水膨胀与失水收缩特性的高塑性黏土称为膨胀土。膨胀土黏性成分含量很高，其中 0.002mm 的胶体颗粒一般超过 20%，黏粒成分主要由亲水矿物组成。土的液限  $w_L > 40\%$ ，塑性指数  $I_p > 17$ ，多数在 22~35 之间。自由膨胀率一般超过 40%。按工程性质分为强膨胀土、中等膨胀土、弱膨胀土三类。

膨胀土的黏土矿物成分主要由亲水性矿物组成，如蒙脱石、伊利石等。膨胀土有较强的胀缩性，有多裂隙性结构，有显著的强度衰减期，多含有钙质或铁锰质结构，一般呈棕、黄、褐及灰白色。

膨胀土对公路路基及工程建筑有较强的潜在破坏作用。膨胀土地区的路堤会出现沉陷、边坡溜塌、路肩坍塌和滑坡等变形破坏。路堑会出现剥落、冲蚀、溜塌和滑坡等破坏。

### 2) 膨胀土地区路基施工技术要点

#### (1) 膨胀土作为路基填料时的要求

① 中等膨胀土、弱膨胀土的适用范围应符合表 1.1-13 的规定。膨胀土掺拌石灰改良后可用作路基填料。掺灰处置后的膨胀土不宜用于高速公路、一级公路的路床和二级公路的上路床。

- ② 高填方、陡坡路基不宜采用膨胀土填筑。
- ③ 强膨胀土不得作为路基填料。
- ④ 路基浸水部分不得用膨胀土填筑。
- ⑤ 桥台背、挡土墙背、涵洞背等部位严禁采用膨胀土填筑。

表 1.1-13 中等膨胀土、弱膨胀土的适用范围

位置	公路等级		
	高速、一级公路	二级公路	三级公路
上路床	—	—	—
下路床	—	—	弱
上路堤	—	中、弱	中、弱
下路堤	中、弱	中、弱	中、弱

### (2) 膨胀土的填筑

① 物理改良的膨胀土路基填筑工艺应符合下列规定：

A. 位于斜坡路段的膨胀土路基应从最低处开始逐层填筑。当沟底有涵洞等结构物时，应在结构物两侧对称填筑。

B. 碾压时填料的含水率应符合试验段确定的范围，稠度宜控制在 1.0~1.3。

C. 每层厚度不得大于 300mm。

D. 采取包边处理时，应先填筑非膨胀性包边土或石灰处置后的膨胀土，然后再填筑膨胀土，两者交替进行。包边土的宽度宜不小于 2m，以一个压路机宽度为宜。

E. 路床采用粗粒料填筑时，应在膨胀土顶面设置 3%~4% 的横坡，并采取防水隔离措施。

② 掺灰处理膨胀土时，若土的天然含水率偏高，宜采用生石灰粉处置，掺石灰宜分两次进行。拌和深度应达到该层底部，拌和后的土块粒径应小于 37.5mm。

③ 路基完成后，应做封层，其厚度应不小于 200mm。横坡应不小于 2%。

④ 物理处置的膨胀土填筑时的压实度标准应根据试验路段与各地的工程经验确定，且压实度应满足不低于重型压实标准的 90%。化学处置后填筑的中等膨胀土、弱膨胀土路基的压实度应符合表 1.1-4 的规定。

⑤ 填筑膨胀土路堤时，应及时对路堤边坡及顶面进行防护。

### (3) 膨胀土地区路堑开挖

① 边坡施工过程中，必要时可采取临时防水封闭措施，保持土体原状含水率。

② 边坡不得一次挖到设计线，应预留厚度 300~500mm。待路堑完成后，再分段削去边坡预留部分，并立即进行加固和封闭处理。

### (4) 膨胀土路堑边坡防护

① 路堑边坡防护施工应根据施工能力，分段组织实施。

② 采用非膨胀土覆盖置换或设置柔性防护结构进行防护时，边坡覆盖置换厚度应不小于 2.5m，并满足机械压实施工的要求，压实度应不小于 90%。覆盖置换层与下伏膨胀土层之间，应设置排水垫层和渗沟。

③采用植物防护时，不应采用阔叶树种。

④圬工防护时，墙背应设置缓冲层，厚度应不大于0.5m。支挡结构基础应大于气候影响深度，反滤层厚度应不小于0.5m。

⑤路堑边坡防护的防渗层、排水垫层、渗沟、反滤层、圬工结构等不同类型的结构施工工艺应符合规范规定。

#### (5) 膨胀土零填和挖方路段路床

①高速公路、一级公路零填和挖方路段路床0.8~1.2m范围的膨胀土应进行换填处理，对强膨胀土路堑，路床换填深度宜加深到1.2~1.5m。在1.5m范围内可见基岩时，应清除至基岩。

②二级公路、三级公路的零填和挖方路段路床0.3m范围的膨胀土应进行换填处理。换填材料为透水性材料时，底部应设置防渗层。二级公路强膨胀土路堑的路床换填深度宜加深至0.5m。

③路堑超挖后应及时进行换填，不得长时间暴露。

### 3. 黄土地区路基施工

#### 1) 黄土的工程特性

##### (1) 黄土的结构

黄土的颗粒组成以粉粒为主，可达55%以上，其中粗粉粒(0.05~0.01mm)含量大于细粉粒(0.01~0.005mm)的含量。

##### (2) 黄土的多孔隙性

黄土又被称为“大孔土”，黄土的孔隙率变化在35%~60%，有沿深度逐渐减少的趋势；在地理分布上则有着自东向西、自南向北、孔隙率逐渐增大的规律。

##### (3) 黄土的节理

新黄土中原生柱状垂直节理发育，未发现有构造节理；老黄土中普遍发育有斜节理，属构造节理。黄土节理一般在干燥而固结的黄土层中比较发育，土层上部较下部发育。

##### (4) 黄土的水理特性

###### ① 渗水性

由于黄土具有大孔隙和垂直节理等特殊构造，故其垂直方向的渗透性较水平方向大，黄土经压实后大孔构造被破坏，其渗透性也大大降低。此外，黏粒的含量也会影响黄土的渗透性，黏粒含量较多的埋藏土及红色黄土经常成为透水不良或不透水的土层。

###### ② 收缩和膨胀性

黄土遇水膨胀，干燥后又收缩，反复多次容易形成裂缝及剥落。由于黄土在堆积过程中土的自重作用使粉粒在垂直方向的粒间距离变小，所以具有天然湿度的黄土在干燥后，水平方向的收缩量比垂直方向的收缩量大，一般约大50%~100%。

###### ③ 崩解性

各类黄土的崩解性相差很大，新黄土浸入水中后，很快就全部崩解；老黄土则要经过一段时间才全部崩解；红色黄土浸水后基本不会崩解。

#### (5) 抗剪强度

由于垂直节理及大孔隙的存在，原状黄土的强度随方向而异，一般情况下水平方

向的强度较大， $45^\circ$ 方向的强度居中，垂直方向的强度较小。但是，冲积、洪积黄土则因存在有水平节理的关系，则以水平方向的强度最低，垂直方向的强度最大。

原状黄土抗剪强度的峰值和残值差值较大，是黄土地区多崩塌性滑坡和突发性滑坡的重要原因。

#### (6) 黄土的湿陷性

黄土在一定压力（土自重或自重压力和外压力）作用下，受水浸湿后土体结构迅速破坏而发生的显著下沉现象，称为湿陷。具有湿陷性的黄土称为湿陷性黄土。湿陷性黄土又分为自重湿陷性黄土和非自重湿陷性黄土。在上覆土的自重压力下受水浸湿，发生显著附加下沉的湿陷性黄土，称为自重湿陷性黄土；不发生显著附加下沉的湿陷性黄土，称为非自重湿陷性黄土。

《黄土地区公路路基设计与施工技术规范》JTG/T D31—05—2017 中规定黄土的湿陷性应按室内浸水饱和压缩试验在一定压力测定的湿陷系数  $\delta_s$  值来判别。当湿陷系数  $\delta_s \geq 0.015$  时，为湿陷性黄土；当湿陷系数  $\delta_s < 0.015$  时，为非湿陷性黄土。

#### 2) 湿陷性黄土地基的处理措施

(1) 基底为非自重湿陷性黄土地基时，地表处理应符合《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610—2019 第 3.4 节的相关规定。

(2) 湿陷性黄土地基处理前，应完成截水及临时排水设施，并应完成路堤基底的坑洞和陷穴回填；低洼积水地段或灌溉区的路堤两侧坡脚外 5~10m 范围内，应采用素土或石灰土填平并压实，并应高出原地表 200mm 以上，路基两侧不得积水。

(3) 地基处理方法均应进行试验段施工。基底处理场地附近有结构物时，场地边缘与结构物的最小水平安全距离应满足规定要求；冲击碾压或强夯处理段，地基土的压实度、压缩系数和湿陷系数应在施工结束 7d 后进行检测，强度检验应在 15d 后进行。

(4) 地基处理所用原材料应满足设计要求。石灰宜采用Ⅲ级及以上的消石灰；水泥宜选用 42.5 级及以上的普通硅酸盐水泥；土料宜采用塑性指数为 7~15 的不含有机质的黏质土，土块粒径宜不大于 15mm。

(5) 换填法处理湿陷性黄土地基时，宜采用石灰土垫层或水泥土垫层，也可采用素土垫层。石灰土垫层宜采用磨细生石灰粉；石灰剂量或水泥剂量应满足要求；垫层应分层摊铺碾压，每层厚度宜不大于 300mm，压实度应符合所在部位的标准要求。

(6) 冲击碾压法处理湿陷性黄土地基时，冲压处理的施工长度应不小于 100m；与结构物的安全距离不满足要求时宜开挖隔振沟；地基土的含水率应控制在最佳含水率±3% 范围内；应采用排压法进行冲压；过程中应对地基的沉降值、压实度进行检测。

(7) 强夯法处理湿陷性黄土地基时，同一强夯能级宜采用重锤、低落距的方式进行；地基土的含水率宜控制在 8%~24%；宜分为主夯、副夯、满夯三遍实施，两遍夯击之间宜有一定的时间间隔；夯点的夯击次数应按试夯得到的夯击次数和夯沉量关系曲线确定；与结构物安全距离不满足要求时应开挖隔振沟。

(8) 挤密桩法处理湿陷性黄土地基，深度在 12m 之内时，宜采用沉管法成孔，超过 12m 时，可采用预钻孔法进行成孔；石灰土挤密桩不得采用生石灰；干拌水泥碎石挤密桩所用石屑粒径宜为 0~5mm，碎石粒径宜为 5~20mm，含泥量应不大于 5%；填料前应夯实孔底；成桩回填应分层投料分层夯击，填料的压实度宜不小于 93%；挤密

桩完成后，应及时进行桩顶石灰土垫层的施工。

(9) 采用桩基础法进行湿陷性黄土地基处理时，桩顶的桩帽应采用水泥混凝土现场浇筑，桩顶进入桩帽的长度宜不小于50mm；桩帽顶的加筋石灰土垫层应及时施工，土工格栅应采用绑扎连接，铺设时应拉紧并锚固，铺设后应及时用石灰土覆盖；过程中应对桩位偏差、桩体质量、桩帽质量、土工格栅的原材料及铺设质量、垫层的质量进行检验；有要求时应进行单桩承载力试验，预制桩应在成桩15d后、灌注桩应在成桩28d后进行。

### 3) 黄土陷穴处理方法

(1) 路堤坡脚线或路堑坡顶线之外，原地表高侧80m范围内、低侧50m范围内存在的黄土陷穴宜进行处理，对串珠状陷穴与路堑边坡出露陷穴应进行处理，对规定距离以外倾向路基的陷穴宜进行处理。

(2) 陷穴处理前，应对流向陷穴的地表水和地下水采取拦截引排措施。

(3) 采用灌砂法处理的陷穴，地表下0.5m范围内应采用6%~8%的石灰土进行封填并压实。

(4) 对危及路基安全的黄土陷穴，应根据其埋藏深度和大小选用适当的方法进行处理。常用处理方法可参考表1.1-14选用。

表1.1-14 陷穴处理方法

处理方法	回填夯实	明挖回填夯实	开挖导洞或竖井回填夯实	注浆或爆破回填	灌砂
适用条件	明陷穴	陷穴埋藏深度≤3m	3m<陷穴埋藏深度≤6m	陷穴埋藏深度>6m	陷穴埋藏深度≤3m，直径≤2m，洞身较直

(5) 处理后仍暴露在外的陷穴口，应采用石灰土等不透水材料进行防渗处理，防渗层厚度应不小于500mm，穴口表面应高于周围地面。

### 4) 黄土路堤填筑

(1) 黄土填料应符合表1.1-3的规定。当CBR值不满足要求时，可掺石灰进行改良。

(2) 黄土不得用于路基的浸水部位，老黄土不宜用作路床填料。

(3) 填挖结合处应清除表层土和松散土层，顶部宜开挖成高度不大于2m、宽度不小于2m的多层次台阶，并应对台阶进行压实处理。

(4) 黄土碾压时的含水率宜控制在最佳含水率±2%范围内。

(5) 路床区换填非黄土填料时，应按《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610—2019中第4.2节的要求执行。

(6) 雨水导致的边坡冲沟应挖台阶夯实处理。

(7) 高路堤应采用冲击碾压或强夯方式进行补充压实。

### 5) 黄土路堑施工

(1) 施工前应对路堑顶两侧有危害的黄土陷穴进行处理，堑顶的裂缝和积水洼地应填平夯实，地表平坦或自然坡倾向路基时应在堑顶设置防渗截水沟或拦水埂。

(2) 接近路床高程时宜顺坡开挖。路床需要处理时，应在处理后进行成型层施工。

(3) 施工中应记录坡面的地层产状及地下水出露情况，存在不利于边坡稳定的状况或发现边坡有变形加剧迹象时，应及时反馈处理。

(4) 路基边沟宜在基底处理后、路床成型层施工前完成。

### 6) 需进行沉降与位移监测的场合

黄土填筑的高路堤、陡斜坡地段的路堤、湿陷性黄土地基上的路堤、深路堑段的边坡及坡顶宜进行沉降及位移监测。监测点的布置、观测频率及监测期应符合要求。有要求时应对深路堑边坡的深层进行变形监测。

## 4. 滑坡地段路基施工

### 1) 各类滑坡的共同特征

(1) 滑带土体软弱，易吸水不易排水，呈软塑状，力学指标低。

(2) 滑带的形状在匀质土中多近似于圆弧形，在非匀质土中为折线形。

(3) 水多是滑坡发展的主要原因，地层岩性是产生滑坡的物质基础，滑坡多是沿着各种软弱结构面发生的。

(4) 自然因素和人为因素引起的斜坡应力状态的改变（爆破、机械振动等）均有可能诱发滑坡。

### 2) 滑坡防治的工程措施

滑坡防治的工程措施主要有排水、力学平衡和改变滑带土三类。在滑坡整治措施实施前，严禁在滑坡体抗滑段减载、下滑段加载。滑坡整治措施包括减滑措施和抗滑措施。削坡减载为减滑措施，填筑反压为抗滑措施。滑坡整治不宜在雨期施工。施工时应进行稳定监测、地质编录并核查实际地质情况，发现地质条件与设计不符、有滑坡迹象或其他异常情况时，应及时反馈处理。滑坡发生时应立即采取应急措施。

#### (1) 滑坡排水

水是诱发滑坡产生的主要外因，不论采用何种方法处理滑坡，都必须做好地表水及地下水的处理。排除地表水及地下水的主要方法如下：

##### ① 环形截水沟

施工技术规范规定：对于滑坡顶面的地表水，应采取截水沟等措施处理，不让地表水流人滑动面内。必须在滑动面以外修筑1~2条环形截水沟。环形截水沟设置处，应在滑坡可能发生的边界以外不少于5m的地方。若山坡汇水面积大，地表径流流量和流速均相应较大时，则应根据情况设计多条截水沟，截水沟间距以50~60m为宜。截水沟的断面尺寸，应根据沟间汇水面积确定。

截水沟应采用浆砌片石防护。在石料缺乏的地方，可用预制混凝土块铺砌防护。

##### ② 树枝状排水沟

树枝状排水沟的主要作用是排除滑体坡面上的径流。在设置树枝状排水沟时，应结合地形条件，充分利用坡面上的自然沟系，汇集并旁引坡面径流排出滑体外。若以自然沟渠作为排除地表水的渠道时，必须对其进行必要的整修、加固和铺砌，使水流通畅、不渗漏。

③ 平整夯实滑坡体表面的土层，防止地表水渗入滑体坡面造成高低不平，不利于地表水的排除，易于积水，应将坡面适当平整。当坡面土质疏松，地表水易下渗，故需将其夯实。滑坡体上的裂隙和裂缝应采取灌浆、开挖回填夯实等措施予以封闭。当坡面上有封闭的洼地或泉水露头时，应设水沟将其排出滑坡坡面，疏干积水。

##### ④ 排除地下水

排除地下水的方法较多，有截水渗沟、支撑渗沟、边坡渗沟、暗沟、平孔等。

### (2) 力学平衡

对于滑坡的处治，应分析滑坡的外表地形、滑动面、滑坡体的构造、滑动体的土质及饱水情况，以了解滑坡体的形式和形成的原因。根据公路路基通过滑坡体的位置、水文、地质等条件，充分考虑路基稳定的施工措施。

当挖方路基上边坡发生的滑坡不大时，可采用刷方（台阶）减重、打桩或修建挡土墙进行处理以达到路基边坡稳定。经过地质调查、勘探和综合分析，确定滑坡性质为推动式，或为由错落转化成的滑坡后，可采用刷方（台阶）减重的方法。牵引式滑坡、具有膨胀性质的滑坡不宜用滑坡减重法。牵引式滑坡是指坡脚的土体先失稳，向下滑动，坡体后部土体由于失去支承而相继滑下。上方积土减重后并不能防治该类滑坡的产生和发展，因而对于牵引式滑坡，不采用减重法。牵引式滑坡多发生于黏土和堆积层滑坡中。具有膨胀性质的滑坡的滑带土（或滑体）具有卸荷膨胀的特性，减重后能使滑带土松散，地下水浸湿后其阻滑力减小，因而引起滑坡下滑，故不宜采用减重法。

填方路堤发生的滑坡，可采用反压土方或修建挡土墙等方法处理。沿河路基发生滑坡，可修建河流整治构造物（堤坝、丁坝、稳定河床等）及挡土墙方法处理。

### (3) 改变滑带土性质

用物理化学方法改善滑坡带土石性质。一般有焙烧法、电渗排水法和爆破灌浆法等。

① 焙烧法：利用导洞焙烧滑坡脚部的滑带，形成地下“挡墙”而稳定滑坡的一种措施。

② 电渗排水法：利用电场作用而把地下水排除，达到稳定滑坡的一种方法。

③ 爆破灌浆法：用炸药爆破破坏滑动面，随之把浆液灌入滑带中以置换滑带水并固结滑带土，从而达到使滑坡稳定的一种治理方法。

## 3) 滑坡地段路基施工技术要点

### (1) 截水、排水施工规定

① 应在滑坡后缘的稳定地层上，修筑具有防渗功能的环形截水沟、排水沟。

② 滑坡体上的裂隙和裂缝应采取灌浆、开挖回填夯实等措施予以封闭，滑坡体的洼地及松散坡面应平整夯实。

③ 滑坡范围大时，应在滑坡面上修筑具有防渗功能的临时或永久排水沟。

④ 有地下水时，应设置截水渗沟。反滤材料采用碎石时，碎石粒径应符合要求，含泥量应小于 3%。

### (2) 削坡减载施工应符合下列规定：

① 应自上而下逐级开挖，严禁采用爆破法施工。

② 开挖坡面不得超挖，开挖面上有裂缝时应予灌浆封闭或开挖夯实。

③ 支挡及排水工程在边坡上分级实施时，宜开挖一级、实施一级。

### (3) 填筑反压施工应符合下列规定：

① 反压措施应在滑坡体前缘抗滑段实施。

② 反压填料宜予压实并不得堵塞地下水出口，地下排水设施应在填筑反压前完成。

### (4) 抗滑支撑工程施工应符合下列规定：

- ① 抗滑支挡工程施工应符合《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610—2019中第6章“路基防护与支挡工程”的有关规定。
- ② 应在滑坡体处于相对稳定的状态下施工，滑坡体具有滑动迹象或已经发生滑动时，应采取反压填筑等措施。
- ③ 抗滑桩与挡土墙共同支挡时，应先施作抗滑桩。挡土墙后有支撑渗沟及其他排水工程时应先施工。
- ④ 抗滑桩、锚索施工应从两端向滑坡主轴方向逐步推进。
- ⑤ 采取微型钢管桩、山体注浆等加固措施或注浆作为其他处置方案的配套措施时，应采用相应的成孔设备和注浆方式。
- ⑥ 各种支挡结构的基底应置于滑动面以下，并应嵌入稳定地层。

### 1.1.8 路基施工测量

#### 1. 路基施工测量工作要求

应根据公路等级和测量精度要求，选择测量方法。控制性桩点，应进行现场交桩，在复测原控制网的基础上，根据施工需要适当加密、优化，建立施工测量控制网，妥善保护。

路基施工与隧道、桥梁施工共用的控制点，应符合《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660—2020、《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020的有关规定。施工期间，应保护好所有控制桩点，及时恢复被破坏的桩点，根据情况对控制桩点进行复测。每项测量成果应进行复核，原始记录应存档。

#### 1) 平面控制测量

(1) 平面控制测量应采用卫星定位测量、导线测量、三角测量或三边测量方法进行。

(2) 平面控制测量等级与技术要求应符合表1.1-15的规定。

表1.1-15 平面控制测量等级与技术要求

公路等级	测量等级	最弱点点位中误差（mm）	最弱相邻点相对点位中误差（mm）	最弱相邻点边长相对中误差	相邻点间平均边长参考值（m）
高速、一级公路	一级	±50	±30	≤1/20000	500
二、三、四级公路	二级	±50	±30	≤1/10000	300

#### (3) 导线复测规定

- ① 导线测量精度应符合规范的规定。
- ② 原有导线点不能满足施工需要时，应增设满足相应精度要求的附合导线点。
- ③ 同一建设项目内相邻施工段的导线应闭合，并满足同等级精度要求。
- ④ 可能受施工影响的导线点，施工前应加固或改移，并应保持其精度。
- ⑤ 导线桩点应进行不定期检查和定期复测，复测周期应不超过6个月。

#### 2) 高程控制测量

(1) 高程测量应采用水准测量或三角高程测量的方法。高程控制测量等级与技术要求应符合表1.1-16的规定。

表 1.1-16 高程控制测量等级与技术要求

公路等级	测量等级	最弱点高程中误差 (mm)	每公里高差中数中误差 (mm)		附合或环线水准路线长度 (km)
			偶然中误差 $M_s$	全中误差 $M_w$	
高速、一级公路	四等	±25	±5	±10	25
二、三、四级公路	五等	±25	±8	±16	10

### (2) 水准点复测与加密规定

① 水准点精度应符合规范的规定。

② 同一建设项目应采用同一高程系统，并应与相邻项目高程系统相衔接。

③ 沿路线每 500m 宜有一个水准点，高速公路、一级公路宜加密，每 200m 有一个水准点。在结构物附近、高填深挖路段、工程量集中及地形复杂路段，宜增设水准点。临时水准点应符合相应等级的精度要求，并与相邻水准点闭合。

④ 对可能受施工影响的水准点，施工前应加固或改移，并应保持其精度。

⑤ 水准点应进行不定期检查和定期复测，复测周期应不超过 6 个月。

## 2. 公路工程施工测量方法

### 1) 测量放样方法

#### (1) 传统法放样

① 切线支距法：在没有全站仪的情况下，利用经纬仪和钢尺，以曲线起（终）点为直角坐标原点，计算出待放点  $x$ 、 $y$  坐标，进行放样的一种方法。

② 偏角法：在没有全站仪的情况下，利用经纬仪和钢尺，以曲线起（终）点为极坐标极点，计算出待放点偏角  $\alpha$  和距离  $d$ ，进行放样的一种方法。

#### (2) 坐标法放样

根据设计单位布设的导线点和设计单位提供的逐桩坐标表进行放样的一种方法。

全站仪架设在第  $n$  号导线点，后视第  $n-1$  号导线点或者第  $n+1$  号导线点，计算出两导线点所组成的边与仪器所在点和待放点所组成的边的夹角  $\alpha$  及仪器所在点和待放点之间的距离  $d$ ，利用全站仪进行放样。

全站仪的放样作业流程：① 放样准备。A. 选择、录入放样数据文件。B. 选择、录入坐标数据文件；可进行测站坐标数据及后视坐标数据的调用。C. 置测站点。D. 置后视点，确定方位角。E. 输入所需的放样坐标，开始放样，也可调用由计算机输入的放样数据。② 实施放样。由观测者按照全站仪提供的角度与距离进行放样。

#### (3) GPS-RTK 技术放样

GPS 载波相位差分技术又称为 GPS-RTK 技术，是将两个测站的载波相位进行实时处理，及时解算出观测点的三维坐标或地方平面直角坐标，并达到厘米级的精度。观测时，基准站通过数据链实时将其载波相位观测量及基准站坐标信息一同转送给流动站。流动站接受 GPS 卫星的载波相位和来自基准站的载波相位，并组成相位差分观测值进行实时处理，解算出厘米级的定位结果。

GPS-RTK 技术用于道路中线的施工放样，其作业效率较高，降低了作业条件要求，可全天候作业，定位精度高，没有误差累计，操作比较简便，有极强的数据处理能力，自动化、集成化程度高，可快速测设出道路中线上各里程桩位置。GPS-RTK 技术具有

多种放样功能。

道路中线施工放样前，首先要计算出线路上里程桩的坐标，然后才能用 GPS-RTK 的放样功能解算放样点的平面位置。

#### GPS-RTK 放样作业流程：

① 设置基准站。在已知控制点上架设接收机和天线，打开接收机，将 PC 卡上室内设置的参数（坐标系统）读入 GPS 接收机，建立（或选择）配置集，输入基准站点准确的相应坐标和天线高，基准站 GPS 接收机通过转换参数将相应坐标转换为 WGS-84 坐标，同时连续接收所有可视 GPS 卫星信号，并通过数据发射电台将其测站坐标、观测值、卫星跟踪状态及接收机工作状态发射出去。待电台指示灯显示发出通信信号后，流动站即可开展工作。

② 流动站工作。打开接收机，新建（或打开）工作项目，建立（或选择）配置集（要求与基准站相匹配）。流动站接收机在跟踪 GPS 卫星信号的同时也接收来自基准站的数据进行处理，获得流动站的三维 WGS-84 坐标，最后通过与基准站相同的坐标转换参数将 WGS-84 坐标转换为相应坐标，并实时显示在流动站的终端。接收机可将实时位置与设计值相比较，指导放样的正确位置。

GPS-RTK 技术用于中线放样，无须沿途布设图根控制点，从而减少施工控制网的布设密度，节约经费，节省时间。其无须通视等优点和可以单人作业，更显示出其优越性。

#### 2) 中线放样

(1) 路基开工前，应采用坐标法进行全段中线放样并固定路线主要控制桩。

(2) 中线放样时，应注意路线中线与结构物中心、相邻施工段的中线闭合，发现问题应及时查明原因并进行处理。

(3) 实际放样与设计图纸不符时，应查明原因后进行处理。

#### 3) 路基放样

(1) 施工前应对原地面进行复测，核对或补充横断面。

(2) 施工前应设置标识桩，将路基用地界、路堤坡脚、路堑坡顶、取土坑、护坡道、弃土堆等的具体位置标识清楚。

(3) 深挖高填路段，每挖填一个边坡平台或者 3~5m，应复测中线和横断面。

## 1.2 路基防护与支挡

### 1.2.1 防护工程设置与施工

#### 1. 路基防护工程类型

路基防护工程是防治路基病害、保证路基稳定、改善环境景观、保护生态平衡的重要设施。其类型可分为坡面防护和沿河路基防护两大类。

#### 1) 坡面防护

坡面防护，主要是保护路基边坡表面，免受雨水冲刷，减缓温差及温度变化的影响，防止和延缓软弱岩土表面的风化、碎裂、剥蚀演变进程，从而保护路基边坡的整体稳定性，在一定程度上还可美化路容，协调自然环境。坡面防护设施，不承受外力作

用，必须要求坡面岩土整体稳定牢固。

(1) 植物防护：种草、铺草皮、客土喷播、植生袋、三维植物网、植树等。

(2) 骨架植物防护：浆砌片石（或混凝土）骨架植草、水泥混凝土空心块护坡、锚杆混凝土框架植草。

(3) 工程防护：喷浆、喷射混凝土、干砌片石护坡、浆砌片（卵）石护坡、浆砌石护面墙、锚杆钢丝网喷浆或喷射混凝土护坡、封面、捶面。

## 2) 沿河路基防护

沿河滨海路堤和河滩路堤以及路基旁的堤岸等，容易遭受水流的侵蚀、冲刷、淘蚀，波浪的侵袭以及流冰、漂浮物等的撞击而破坏，为此而采取的防护措施称为沿河路基防护。按其防护形式的性质和作用分为直接防护和间接防护两类。

(1) 直接防护

直接防护是直接在坡面或坡脚设置防护结构物，以减轻或避免水流的直接冲刷。直接防护可采用植物防护、砌石防护、抛石防护或石笼防护、浸水挡土墙等形式。

(2) 间接防护

间接防护则是通过导流构造物来改变水流方向的防护。主要导流构造物有丁坝、顺坝、防洪堤、拦水坝等。必要时进行疏浚河床、改变河道，目的是改变流水方向，避免或缓和水流对路基的直接破坏作用。

## 2. 常用防护工程施工技术要点

路基防护工程施工前，应对边坡进行修整，清除边坡上的危石及松土。路基防护工程应与路基挖填方工程紧密、合理衔接，应开挖一级、防护一级。各类防护工程应置于稳定的基础或坡体上。坡面防护层应与坡面密贴结合，不得留有空隙。施工中应采取有效措施截排地表水和导排地下水。

### 1) 水泥混凝土骨架防护施工规定

(1) 骨架施工前应修整坡面，填补超挖形成或原生的坑洞和空腔。

(2) 混凝土浇筑应从护脚开始，由下而上进行浇筑，采用插入式振捣器振捣。

(3) 骨架宜完全嵌入坡面内，保证骨架紧贴坡面，防止产生变形或破坏。

(4) 混凝土浇筑完成后应及时养护。养护时间宜不少于 14d。

### 2) 坡面喷射混凝土防护施工规定

(1) 混凝土强度应满足设计要求。

(2) 作业前应进行试喷，选择合适的水胶比和喷射压力。

(3) 混凝土喷射厚度应符合设计规定，且临时支护厚度宜不小于 60mm，永久支护厚度宜不小于 80mm。永久支护面钢筋的喷射混凝土保护层厚度应不小于 50mm。

(4) 混凝土喷射每层应自下而上进行。当混凝土厚度大于 100mm 时，宜分两次喷射。在第二次喷射混凝土作业前，应清除结合面上的浮浆和松散的碎屑。

(5) 面层表面应抹平、压实修整。

(6) 喷射混凝土面层应在长度方向上每 30m 设伸缩缝，缝宽 10~20mm。

(7) 喷射混凝土初凝后，应立即开始养护。养护期宜不少于 7d。

(8) 喷射混凝土表面质量应密实、平整，无裂缝、脱落、漏喷、漏筋、空鼓和渗漏水。

### 3) 浆砌片石护坡施工规定

(1) 宜在路堤沉降稳定后施工，砌筑前应整平坡面，按设计完成垫层施工。受冻胀影响的土质边坡，护坡底面的碎石或砂砾垫层厚度应不小于100mm。

(2) 片石砌体应分层砌筑，2~3层组成的工作面宜找平。

(3) 所有石块均应坐于新拌砂浆之上。

(4) 每10~15m应设置一道伸缩缝，缝宽宜为20~30mm。基底地质有变化处，应设沉降缝。伸缩缝与沉降缝可合并设置。

(5) 砂浆初凝后，应立即进行养护。砂浆终凝前，砌体应覆盖。

(6) 泄水孔的位置和反滤层的设置应满足设计要求。如设计无要求，应符合下列规定：

① 泄水孔宜为50mm×100mm、100mm×100mm、150mm×200mm的矩形或直径为50~100mm的圆形。

② 泄水孔间距宜为2~3m，干旱地区可适当加大，渗水量大时应适当加密。上下排泄水孔应交错布置，左右排泄水孔应避开伸缩缝与沉降缝，与相邻伸缩缝间距宜不小于500mm。

③ 泄水孔应向外倾斜，最下一排泄水孔出口应高出地面或边沟、排水沟及积水地区的常水位0.3m。

④ 最下面一排泄水孔进水口周围500mm×500mm范围内应设置具有反滤作用的粗粒料，反滤层底部应设置厚度不小于300mm的黏土隔水层。

### 4) 浆砌片石护面墙施工规定

(1) 修筑护面墙前，应清除边坡风化层至新鲜岩面。对风化迅速的岩层，清挖到新鲜岩面后应立即修筑护面墙。

(2) 基础施工前应核实地基承载能力和埋深。地基承载能力不足时，应采取加固措施。冰冻地区应埋置在冰冻深度以下至少250mm。

(3) 护面墙背面应与路基坡面密贴，边坡局部凹陷处应挖成台阶后用与墙身相同的圬工修补，不得回填土石或干砌片石。坡顶护面墙与坡面之间应按设计要求做好防渗处理。

(4) 按设计做好伸缩缝。当护面墙基础修筑在不同岩层上时，应在变化处设置沉降缝。

(5) 泄水孔和反滤层的设置应满足设计要求。

(6) 护面墙防滑坎应与墙身同步施工。

## 1.2.2 支挡工程设置与施工

### 1. 支挡工程设置

防止路基或山体因重力作用而坍滑、主要起支承路基填土或山坡土体作用的措施称为支挡工程。常用的支挡工程类型有挡土墙、边坡锚固、土钉支护、抗滑桩等。

#### 1) 挡土墙

根据在路基横断面上的位置，挡土墙可分为路肩墙、路堤墙及路堑墙。当墙顶置于路肩时，称为路肩式挡土墙；若挡土墙支撑路堤边坡，墙顶以上尚有一定的填土高

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao668

度，则称为路堤式挡土墙，又称坡脚式挡土墙；如果挡土墙用于稳定路堑边坡，称为路堑式挡土墙；设置在山坡上用于防止山坡覆盖层下滑的挡土墙，称为山坡挡土墙。

根据所处环境条件可分为一般地区挡土墙、浸水地区挡土墙与地震地区挡土墙，还有用于整治滑坡的抗滑挡土墙。

常见的挡土墙形式有：重力式、衡重式、悬臂式、扶壁式、加筋土式、锚杆式和锚定板式及桩板式等。各类挡土墙的适用范围取决于墙址地形、工程地质、水文地质、建筑材料、墙的用途、施工方法、技术经济条件及当地的经验等因素。

## 2) 边坡锚固

锚固边坡坡面形式及适用条件，见表 1.2-1。

表 1.2-1 锚固边坡坡面形式及适用条件

结构形式	适用条件	备注
框架（格子）梁	风化较严重、地下水丰富、软质岩、土质边坡	多雨地区梁宜做成截流沟式
地梁	软硬岩体相间、土质边坡	
单锚墩	硬质岩、块状或整体性好的岩体	—

锚杆分为预应力锚杆和非预应力锚杆，预应力锚杆可用于土质、岩质边坡加固。锚杆长度由锚固段、自由段及外露段组成，锚固段应设置在稳定岩土层中。

非预应力普通水泥浆（砂浆）锚杆杆体由普通钢筋、垫板和螺母组成，适用于一般地层的加固工程。

## 3) 土钉支护

土钉是指用于加固和稳定岩土体的细长筋体，置入岩土体中后依靠与周围岩土体之间的粘结力或摩擦力，在岩土体发生变形的条件下被动受力并主要承受拉力。土钉支护通常由土钉群，被加固的原位岩土体，混凝土或钢筋混凝土块、板、梁柱等连续或不连续的面层及必要的排水、防水系统组成。土钉支护适用于可塑、硬塑或坚硬的黏性土，胶结或弱胶结的粉土、砂土和角砾，密实的填土、软岩和风化岩层等。

## 4) 抗滑桩

抗滑桩是穿过滑坡体深入滑床的桩柱，用以支撑滑体的滑动力，可用于稳定边坡和滑坡、加固不稳定山体以及加固其他特殊路基。抗滑桩因其抗滑能力强、适用范围广、施工方便、对滑坡扰动相对小等优点而被广泛应用于边坡防护和滑坡治理中。抗滑桩类型较多，按埋入状态，分为埋入式抗滑桩和桩板式抗滑桩；按受力状态，可分为悬臂式抗滑桩和预应力锚索抗滑桩；按材料类型，可分为钢筋混凝土桩、钢桩；按截面形状，可分为圆形桩、矩形桩；按施工方法，可分为人工挖孔桩、钻孔桩、旋挖桩等。

目前，公路滑坡治理中使用最多的是矩形钢筋混凝土埋入式挖孔桩。当工程需要时，也常采用桩板式抗滑挡土墙，桩身能承受较大的弯矩。

## 2. 支挡工程施工

### 1) 重力式挡土墙工程施工技术

#### (1) 形式及特点

重力式挡土墙依靠圬工墙体的自重抵抗墙后土体的侧向推力（土压力），以维持土

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

体的稳定，是我国目前最常用的一种挡土墙形式，多用浆砌片（块）石砌筑。缺乏石料地区，有时可用混凝土预制块作为砌体，也可直接用混凝土浇筑，一般不配钢筋或只在局部范围配置少量钢筋。这种挡土墙形式简单、施工方便，可就地取材、适应性强，因而应用广泛；缺点是墙身截面大，圬工数量也大，在软弱地基上修建往往受到承载力的限制，墙高不宜过高。重力式挡土墙墙背形式可分为仰斜、俯斜、垂直、凸形折线（凸折式）和衡重式五种。

① 仰斜墙背所受的土压力较小，用于路堑墙时，墙背与开挖面边坡较贴合，因而开挖量和回填量均较小，但墙后填土不易压实，不便施工。适用于路堑墙及墙趾处地面平坦的路肩墙或路堤墙。

② 俯斜墙背所受土压力较大，其墙身截面较仰斜墙背的大，通常在地面横坡陡峻时，借助陡直的墙面，俯斜墙背可做成台阶形，以增加墙背与填土间的摩擦力。

③ 垂直墙背的特点，介于仰斜和俯斜墙背之间。

④ 凸折式墙背是由仰斜墙背演变而来，上部俯斜、下部仰斜，以减小上部截面尺寸，多用于路堑墙，也可用于路肩墙。

⑤ 衡重式墙背在上下墙间设有衡重台，利用衡重台上填土的重量使全墙重心后移，增加了墙身的稳定。因采用陡直的墙面，且下墙采用仰斜墙背，因而可以减小墙身高度，减少开挖工作量。适用于山区地形陡峻处的路肩墙和路堤墙，也可用于路堑墙。由于衡重台以上有较大的容纳空间，上墙墙背加缓冲墙后，可作为拦截崩坠石之用。

## （2）施工要求

### ① 基坑开挖：

A. 基坑开挖宜分段跳槽进行，分段位置宜结合伸缩缝、沉降缝等设置确定。

B. 设计挡土墙基底为倾斜面时，应严格控制基底高程，不得超挖填补。

C. 土质或易风化软质岩石雨季开挖基坑时，应在基坑挖好后及时封闭坑底。

### ② 开挖完成后应及时检验，检验合格后应及时进行下道工序的施工。

### ③ 基础施工：

A. 施工前应检查基础底面，清除基底表面风化、松软的土石和杂物。

B. 硬质岩石上的浆砌片石基础宜满坑砌筑。浆砌片石底面应卧浆铺砌，立缝要填浆补实，不得有空隙和立缝贯通现象。

C. 台阶式基础宜与墙体连续砌筑，基底及墙趾台阶转折处不得砌成垂直通缝，砌体与台阶壁间的缝隙砂浆应饱满。

D. 基础应在砂浆强度达到设计强度的 75% 后及时分层回填夯实。回填应在表面留 3% 的向外斜坡。

### ④ 墙身施工：

A. 砌石墙身应分层错缝砌筑，咬缝应不小于砌块长度的 1/4，且不得出现贯通竖缝。

B. 片石、砌块应大面朝下砌筑，砌块不应直接接触，间距宜不小于 20mm。

C. 混凝土墙身应水平分层浇筑，分层振捣。分层厚度应不超过 300mm。

D. 混凝土浇筑应连续进行。如间断，间断时间应小于前层混凝土的初凝时间，否则按施工缝处理。

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

- E. 浇筑过程中应有专人检查模板及支撑工作情况，发现问题及时处理。
- F. 挡土墙端部伸入路堤或嵌入挖方部分应与墙体同时砌筑。挡土墙顶应找平抹面或勾缝，其与边坡间的空隙应采用黏土或其他材料夯填封闭。
- G. 墙身施工完毕后应及时养护。
- ⑤ 伸缩缝与沉降缝内两侧壁应竖直、平齐、无搭叠。缝中防水材料应按设计要求施工。
- ⑥ 挡土墙与桥台、隧道洞门连接处应协调施工，必要时可设置临时支撑，确保与墙相接填方或山体的稳定。
- ⑦ 挡土墙混凝土或砂浆强度达到设计强度的 75% 时，应及时进行墙背回填。距墙 0.5~1.0m 内，不得使用重型振动压路机碾压。
- ⑧ 墙背填料：
- A. 宜采用砂性土、卵石土、砾石土或块石土等透水性好、抗剪强度高的材料。
  - B. 采用黏质土作为填料时，应在墙背设置厚度不小于 300mm 的砂砾或其他透水性材料排水层。排水层顶部应采用黏质土层封闭，土层厚度宜不小于 500mm。
  - C. 填料中不得含有有机物、冰块、草皮、树根及生活垃圾。不得使用腐殖土、盐渍土、淤泥、白垩土、硅藻土、生活垃圾及有机物等作为墙背填料。

## 2) 加筋土挡土墙工程施工技术

### (1) 特点及适用条件

加筋土挡土墙是在土中加入拉筋，利用拉筋与土之间的摩擦作用，改善土体的变形条件和提高土体的工程特性，从而达到稳定土体的目的。加筋土挡土墙由填料、在填料中布置的拉筋及墙面板三部分组成。一般应用于地形较为平坦且宽敞的填方路段上。在挖方路段或地形陡峭的山坡，由于不利于布置拉筋，一般不宜使用。

加筋土是柔性结构物，能够适应地基轻微的变形。加筋土挡土墙的拉筋应按设计采用抗拉强度高、延伸率和蠕变小、抗老化、耐腐蚀和化学稳定性好的材料，表面应有足够的粗糙度。钢拉筋应按设计进行防腐处理。

### (2) 施工工序

加筋土挡土墙施工简便、快速，并且节省劳力和缩短工期，一般包括的工序有：基槽（坑）开挖、地基处理、排水设施、基础浇（砌）筑、构件预制与安装、筋带铺设、填料填筑与压实、墙顶封闭等。其中现场墙面板拼装、筋带铺设、填料填筑与压实等工序是交叉进行的。

### (3) 加筋土挡土墙墙身施工要求

- ① 墙背拉筋锚固段填料宜采用具有一定级配、透水性好的砂类土或碎砾石土，土中的粗颗粒不应含有在压实过程中可能破坏拉筋的带尖锐棱角的颗粒。
- ② 拉筋应按设计位置水平铺设在已经整平、压实的土层上，单根拉筋应垂直于面板，多根拉筋应按设计扇形铺设。聚丙烯土工带拉筋安装应平顺，不得打折、扭曲，不得与硬质、棱角填料直接接触，其他要求应符合《公路土工合成材料应用技术规范》JTG/T D32—2012 的相关规定。
- ③ 墙面板安设应根据高度和填料情况设置适当的仰斜，斜度宜为 1:0.05~1:0.02。安设好的面板不得外倾。

④ 拉筋与面板之间的连接应牢固，连接部位强度应不低于拉筋强度。拉筋贯通整个路基时，宜采用单根拉筋拉住两侧面板。

⑤ 填料摊铺、碾压应从拉筋中部开始平行于墙面进行，不得平行于拉筋方向碾压。应先向拉筋尾部逐步摊铺、压实，然后再向墙面方向进行。

⑥ 路基施工分层厚度及每层碾压遍数，应根据拉筋间距、碾压机具和密实度要求，通过试验确定，不得使用羊足碾碾压。靠近墙面板1m范围内，应使用小型机具夯实或人工夯实，不得使用重型压实机械压实。

⑦ 施工过程中应加强对墙身变形的观测，发现异常变化应及时处理。

### 3) 锚杆挡土墙工程施工技术

#### (1) 特点及适用条件

锚杆挡土墙是利用锚杆技术形成的一种挡土结构物。锚杆一端与工程结构物连接，另一端通过钻孔、插入锚杆、灌浆、养护等工序锚固在稳定的地层中，以承受土对结构物所施加的推力，从而利用锚杆与地层间的锚固力来维持结构物的稳定。

锚杆挡土墙的优点是结构重量轻，节约大量的圬工和节省工程投资；利于挡土墙的机械化、装配化施工，提高劳动生产率；少量开挖基坑，克服不良地基开挖的困难，并利于施工安全。锚杆挡土墙缺点是施工工艺要求较高，要有钻孔、灌浆等配套的专用机械设备，且要耗用一定的钢材。

锚杆挡土墙由于锚固体、施工方法、受力状态以及结构形式等的不同，有各种各样的形式。按墙面的结构形式可分为柱板式锚杆挡土墙和壁板式锚杆挡土墙。柱板式锚杆挡土墙是由挡土板、肋柱和锚杆组成，肋柱是挡土板的支座，锚杆是肋柱的支座，墙后的侧向土压力作用于挡土板上，并通过挡土板传给肋柱，再由肋柱传给锚杆，由锚杆与周围地层之间的锚固力，即锚杆抗拔力使其平衡，以维持墙身及墙后土体的稳定。壁板式锚杆挡土墙是由墙面板（壁面板）和锚杆组成，墙面板直接与锚杆连接，并以锚杆为支撑，土压力通过墙面板传给锚杆；后者则依靠锚杆与周围地层之间的锚固力（即抗拔力）抵抗土压力，以维持挡土墙的平衡与稳定。

锚杆挡土墙适用于缺乏石料的地区和挖基困难的地段，一般用于岩质路堑路段，具有锚固条件的路堑墙也可使用，还可应用于陡坡路堤。壁板式锚杆挡土墙多用于岩石边坡防护。

#### (2) 锚杆挡土墙施工

锚杆挡土墙施工工序主要有基坑开挖、基础浇（砌）筑、锚杆制作、钻孔、锚杆安放与注浆锚固、肋柱和挡土板预制、肋柱安装、挡土板安装、墙后填料填筑与压实等。

① 施工时应针对地层和岩石特点，采用与其相适配并能斜孔钻进的钻机，并根据岩质选择钻头。

② 锚孔直径应满足设计要求，钻孔时宜保持孔壁粗糙。

③ 挡土板和锚杆的施工应逐层由下向上同步进行，挡土板之间的安装缝应均匀，缝宽宜小于10mm。同一肋柱上两相邻跨的挡土板搭接处净间距宜不小于30mm，并应按施工缝处理。

④ 挡土板安装应防止与肋柱相撞，避免损坏角隅或开裂。

⑤ 挡土板后的防排水设施及反滤层应与挡土板的安装同步进行。

#### 4) 抗滑桩施工技术

##### (1) 优点及适用条件

① 抗滑能力大，圬工数量小，在滑坡推力大、滑动面深的情况下，较其他抗滑工程经济、有效。

② 桩位灵活，可以设在滑坡体中最有利于抗滑的部位，可单独使用，也能与其他构造物联合使用。

③ 挖孔抗滑桩可以根据弯矩沿桩长的变化，合理布设钢筋，较打入的管桩等更为经济。

④ 施工方便，设备简单，具有工程进度快、施工质量好、较安全等优点。施工时可间隔开挖，不致引起滑坡条件的恶化，故对整治已通车路线上的滑坡和处在缓慢滑动阶段的滑坡特别有利。

⑤ 开挖桩孔能校核地质情况，检验和修改原有的设计，使其更符合实际。

抗滑桩是利用锚固段桩周土体的侧向抗力来加固稳定土体，因此不适用于软塑体滑坡。

##### (2) 抗滑桩施工

① 抗滑桩施工前，应采取卸载、反压、排水等措施使滑坡体保持基本稳定，严禁在滑坡急剧变形阶段进行抗滑桩施工。施工期间应根据地质情况考虑开挖时的预加固措施。应整平孔口地面，并设置地表截、排水及防渗设施。应设置滑坡变形、移动监测点并进行连续观测。雨期施工时，应在孔口搭设雨篷，做好锁口。孔口地面上应加筑适当高度的围堰。

② 开挖及支护应符合下列规定：

A. 相邻桩不得同时开挖。开挖桩群应从两端沿滑坡主轴间隔开挖，桩身强度达到设计强度的 75% 后方可开挖邻桩。

B. 开挖应分节进行。分节不宜过长，每节宜为 0.5~1.0m。不得在土石层变化处和滑动面处分节。

C. 应开挖一节、支护一节。灌注前应清除孔壁上的松动石块、浮土。围岩松软、破碎、有水时，护壁宜设泄水孔。

D. 开挖应在上一节护壁混凝土终凝后进行，护壁模板支撑应在混凝土强度达到能保持护壁结构不变形后方可拆除。

E. 在围岩松软、破碎和有滑动面的节段，应在护壁内顺滑动方向设置临时横撑加强支护，并观察其受力情况，及时进行加固。

F. 开挖时应采取照明、排水等措施，保证施工安全。挖除的渣土、弃渣不得堆放在滑坡范围内。

③ 桩基开挖过程中，应随时核对滑动面情况，及时进行岩性资料编录。当实际情况与设计不符时，应及时反馈处理。

④ 桩身混凝土施工应符合下列规定：

A. 灌注前，应检查断面净空，清理混凝土护壁。

B. 钢筋笼搭接接头不得设在土石分界和滑动面处。钢筋保护层厚度应满足设计要求。

C. 灌注应连续进行，不得中断。

⑤ 桩间支挡结构及与桩相邻的挡土、排水设施等应与抗滑桩正确连接，配套完成。

⑥ 板式抗滑挡土墙施工应符合下列规定：

A. 挡土板应在桩身混凝土达到设计强度后安装。挡土板安装时，应边安装边回填，并做好挡土板后的排水设施。

B. 桩间采用土钉墙或喷锚支护时，桩间土体应分层开挖、分层加固。

C. 应严格控制墙背填土的压实度，压实时应保护好锚索。

⑦ 施工过程中应对地下水位、滑坡体位移和变形进行监测。

## 1.3 路基排水

### 1.3.1 路基地下水排水设置与施工

当地下水影响路基强度或稳定性时，应根据地下水类型、含水层埋藏深度、地层的渗透性等条件及对环境的影响，采取拦截、引排、疏干、降低或隔离等措施，将路基范围内的地下水位降低或拦截地下水并将其排除至路基范围以外。地下排水设施应与地表排水设施相协调。

当地下水埋藏浅或无固定含水层时，可采用排水垫层、隔离层、暗沟、渗沟等。当地下水埋藏较深或存在固定含水层时，可采用仰斜式排水孔、渗井、排水隧洞等。

#### 1. 排水垫层

##### 1) 设置

当黏质土地段地下水位埋深小于0.5m或粉质土地段地下水位埋深小于1.0m时，细粒土填筑的低路堤底部宜设置排水垫层和隔离层。

##### 2) 施工要求

(1) 排水垫层厚度宜不小于300mm，垫层材料宜采用天然砂砾或中粗砂，含泥量应不大于5%。

(2) 垫层宜分层摊铺压实。垫层采用砂砾料时，应避免离析。

(3) 垫层两侧宜采用浆砌片石或其他方式防护。

#### 2. 隔离层

##### 1) 设置

隔离层土工合成材料的作用是防止水分渗透进入隔离层的另一侧，工程应用较多，如中央分隔带防渗、路肩底部防渗、排水结构物防渗、坡面防渗、路基防渗等，采用形式有土工膜、复合土工膜、一布一膜或两布一膜。

##### 2) 施工要求

(1) 铺设土工合成材料前，应平整场地，清理树根、灌木或尖锐硬物等场地杂物。施工车辆不得直接在土工合成材料上作业。土工合成材料上铺筑石料时，应在保护层完成后进行，不得将石料直接抛落于土工合成材料上。

(2) 土工织物连接可采用缝合法或搭接法。缝合宽度应不小于100mm，结合处抗拉强度应达到土工织物极限抗拉强度的60%以上；搭接宽度应不小于300mm。

(3) 土工膜连接宜采用热熔焊接法，局部修补也可采用胶粘法，连接宽度应不小

于 100mm。正式拼接前应进行试拼接，采用的胶料应遇水后不溶解。

(4) 土工合成材料的铺设应平顺，严禁出现扭结、断裂和撕破等现象。铺设时应拉紧，两端埋入土体部分应呈波纹状。土工织物与刚性结构连接时，应有一定伸缩量。

(5) 在坡面上铺设土工合成材料时，应自上而下铺设并就地连接。土工合成材料应紧贴坡面保护层，不宜拉得过紧。

### 3. 暗沟、暗管

#### 1) 设置

路基基底范围有泉水外涌时，宜设置暗沟（管）将水引排至路堤坡脚外或路堑边沟内。

#### 2) 施工要求

(1) 沟底应埋入不透水层内，沟壁最低一排渗水孔应高出沟底 200mm 以上。进口应采取截水措施。

(2) 暗沟、暗管设在路基侧面时，宜沿路线方向布置。

(3) 暗沟、暗管设在低洼地带或天然沟谷时，宜沿沟谷走向布置。

(4) 寒冷地区的暗沟应做好防冻保温处理，出水口坡度宜不小于 5%。

(5) 暗沟采用混凝土或浆砌片石砌筑时，在沟壁与含水层接触面应设置一排或多排向沟中倾斜的渗水孔，沟壁外侧应填筑粗粒透水性材料或土工合成材料形成反滤层。沿沟槽底每隔 10~15m 或在软、硬岩层分界处应设置沉降缝和伸缩缝。

(6) 暗沟顶面应设置混凝土盖板或石料盖板，板顶上填土厚度应不小于 500mm。

(7) 暗管宜使用钢筋混凝土圆管、PVC 管、钢波纹管等材料，在管壁与含水层接触面应设置渗水孔，沟壁外侧应填筑粗粒透水性材料或设置土工合成材料形成反滤层。

(8) 暗沟、暗管及检查井应采用透水性材料分层回填，层厚宜不大于 150mm，材料粒径宜不大于 50mm。

### 4. 渗沟

#### 1) 设置

有地下水出露的挖方路基、斜坡路堤、路基填挖交替地段，当地下水埋藏浅或无固定含水层时，为降低地下水位或拦截地下水，可在地面以下设置渗沟。渗沟有填石渗沟、管式渗沟、洞式渗沟、边坡渗沟、支撑渗沟等。

填石渗沟通常为矩形或梯形，在渗沟的底部和中间用较大碎石或卵石（粒径 30~50mm）填筑，在碎石或卵石的两侧和上部，按一定比例分层（层厚约 150mm），填较细颗粒的粒料（中砂、粗砂、砾石）做成反滤层。逐层的粒径比例，由下至上大致按 4:1 递减。砂石料颗粒小于 0.15mm 的含量不应大于 5%。用土工合成材料包裹有孔的硬塑管时，管四周填以大于塑管孔径的等粒径碎、砾石，组成渗沟。顶部做封闭层，用双层反铺草皮或其他材料（如土工合成的防渗材料）铺成，并在其上夯填厚度不小于 0.5m 的黏土防水层。

管式渗沟适用于地下水引水较长、流量较大的地区。当管式渗沟长度在 100~300m 时，其末端宜设横向泄水管分段排除地下水。

洞式渗沟适用于地下水流量较大的地段，洞壁宜采用浆砌片石砌筑，洞顶应用盖板覆盖，盖板之间应留有空隙，使地下水流入洞内，洞式渗沟的高度要求同管式渗沟。

边坡渗沟用于疏干潮湿边坡和引排边坡上局部出露的上层滞水或泉水，并起支撑边坡作用。边坡渗沟适用于坡度不陡于1:1的土质路堑边坡，也常用于加固潮湿的容易发生表土坍塌的土质路堤边坡。

支撑渗沟是指路堑边坡有可能滑动，在坡脚砌筑一个渗沟，此渗沟起排水和支撑坡体的作用。

## 2) 施工要求

- (1) 渗沟应设置排水层、反滤层和封闭层。
- (2) 渗水材料应采用洁净的砂砾、粗砂、碎石、片石，其中粒径小于2mm的颗粒含量不得大于5%。渗沟沟壁反滤层应采用透水土工织物或中粗砂，渗水管可选用带孔的HPPE管、PVC管、PE管、软式透水管、无砂混凝土管等。
- (3) 渗沟宜从下游向上游分段开挖，开挖作业面应根据土质选用合理的支撑形式，并应边挖边支撑，渗水材料应及时回填。
- (4) 渗水材料的顶面不得低于原地下水位。当用于排除层间水时，渗沟底部应埋置在最下面的不透水层。在冰冻地区，渗沟埋置深度不得小于当地最小冻结深度，渗沟出口应进行防冻处理。
- (5) 渗沟基底应埋入不透水层内不小于0.5m，沟壁的一侧应设反滤层，另一侧用黏土夯实或用浆砌片石拦截水流。渗沟沟底不能埋入不透水层时两侧沟壁均应设置反滤层。
- (6) 粒料反滤层应分层填筑。坑壁土质为黏质土、粉砂、细砂，采用无砂混凝土板作反滤层时，在无砂混凝土板的外侧，应加设100~150mm厚的中粗砂或渗水土工织物。
- (7) 渗沟顶部封闭层宜采用干砌片石水泥砂浆勾缝或浆砌片石等，寒冷地区应设保温层，并加大出水口附近纵坡。保温层可采用炉渣、砂砾、碎石或草皮等。
- (8) 路基基底的填石渗沟，应采用水稳定性好的石料，其饱水抗压强度应不小于30MPa，粒径应为100~300mm。
- (9) 管式渗沟宜间隔一定距离设置疏通井和横向泄水管，分段排除地下水。渗水孔应在管壁上交错布置，间距宜不大于200mm。
- (10) 洞式渗沟顶部应设置封闭层，厚度应不小于500mm。
- (11) 边坡渗沟的基底应设置在潮湿土层以下的干燥地层内，阶梯式泄水坡坡度宜为2%~4%，基底应铺砌防渗层，沟壁应设反滤层，其余部分用透水性材料填充。
- (12) 支撑渗沟的基底埋入滑动面以下宜不小于500mm，排水坡度宜为2%~4%。当滑动面缓时，可做成台阶式支撑渗沟，台阶宽度宜不小于2m。渗沟侧壁及顶面宜设反滤层。出水口宜设置端墙。端墙内的出水口底高程，应高于地表排水沟常水位200mm以上，寒冷地区宜不小于500mm。承接渗沟排水的排水沟应进行加固。

## 5. 渗井

### 1) 设置

渗井的作用是将地面水或浅层地下水通过竖井渗入地下排除。一般是在路基附近无河流、沟渠、洼地，地面水或浅层地下水无法排除，影响路基稳定，而距地面下不深之处有渗透性土层存在，且该土层水流方向背离路基，同时地面水流量不大的地区设置

渗井。将边沟水流分散到距地面1.5m以下的透水层中排除，或是通过不透水层中的钻孔流入下层透水层中排除，从而使路基免受水的侵害。

## 2) 施工要求

(1) 渗井应边开挖边支撑。

(2) 填充料应在开挖完成后及时回填。不同区域的填充料应采用单一粒径分层填筑，小于2mm的颗粒含量不得大于5%。透水层范围宜填碎石或卵石，不透水范围宜填粗砂或砾石。井壁与填充料之间应设反滤层，填充料与反滤层应分层同步施工。

(3) 渗井顶部四周应采用黏土填筑围护并加盖封闭。

## 6. 仰斜式排水孔

### 1) 设置

当坡面有集中地下水时，可设置仰斜式排水孔并将排出的水引入路堑边沟排除。

### 2) 施工要求

(1) 钻孔成孔直径宜为75~150mm，仰角宜不小于6°，孔深应伸至富水部位或潜在滑动面。

(2) 排水管直径宜为50~100mm，渗水孔宜梅花形排列，渗水段及渗水管端头宜裹1~2层透水无纺土工布。

(3) 排水管安装就位后，应采用不透水材料堵塞钻孔与渗水管出水口段之间的间隙，长度宜不小于600mm。

## 7. 排水隧洞

### 1) 设置

排水隧洞适用于截断和引排深层地下水，与渗井或渗管群联合使用，以排除具有多层含水层的复杂地层中的地下水。排水隧洞要埋入欲截引的主要含水层附近的稳定地层中。

### 2) 施工要求

(1) 施工前应做好现场地质、水文等情况调查和图纸核对工作，并应编制专项方案。

(2) 施工过程中应做好监控量测工作，围岩级别与设计不符时应及时反馈处理。

(3) 施工应符合现行《公路隧道施工技术规范》JTG/T 3660—2020的规定。

## 1.3.2 路基地面水排水设置与施工

地面排水设施的作用是拦截影响路基稳定的地表水，并排除到路基范围以外，防止地表水漫流、停积或下渗。一般包括边沟、截水沟、排水沟、急流槽、跌水、蒸发池等工程。

### 1. 边沟

#### 1) 设置

挖方地段和填土高度小于边沟深度的填方地段均应设置边沟。路堤靠山一侧的坡脚应设置不渗水的边沟。

为防止边沟漫溢或冲刷，在平原区和山岭重丘区，边沟应分段设置出水口，多雨地区梯形边沟每段长度不宜超过300m，三角形边沟不宜超过200m。

## 2) 施工要求

平曲线边沟施工时，沟底纵坡应与曲线前后沟底纵坡平顺衔接，不允许曲线内侧有积水或外溢现象发生。曲线外侧边沟应适当加深，其增加值等于超高值。

边沟的加固：土质地段当沟底纵坡大于3%时应采取加固措施；采用干砌片石对边沟进行铺砌时，应选用有平整面的片石，各砌缝要用小石子嵌紧；采用浆砌片石铺砌时，砌缝砂浆应饱满，沟身不漏水；若沟底采用抹面时，抹面应平整压光。

## 2. 截水沟

### 1) 设置

无弃土堆时，截水沟的边缘离开挖方路基坡顶的距离视土质而定，以不影响边坡稳定为原则。如为一般土质，至少应离开5m；对黄土地区，不应小于10m并进行防渗加固。截水沟挖出的土，可在路堑与截水沟之间修成土台并夯实，台顶应筑成2%倾向截水沟的横坡。

路基上方有弃土堆时，截水沟应离开弃土堆脚1~5m，弃土堆坡脚离开路基挖方坡顶不应小于10m，弃土堆顶部应设2%倾向截水沟的横坡。

山坡上路堤的截水沟离开路堤坡脚至少2m，并用拦截水沟的土壤在路堤与截水沟之间，修筑向沟倾斜坡度为2%的护坡道或土台，使路堤内侧地面水流入截水沟排出。

## 2) 施工要求

截水沟长度超过500m时应选择适当的地点设出水口，将水引至山坡侧的自然沟中或桥涵进水口，截水沟必须有牢靠的出水口，必要时须设置排水沟、跌水或急流槽。截水沟的出水口必须与其他排水设施平顺衔接。

截水沟应先行施工，纵坡宜不小于0.3%。不良地质路段、土质松软路段、透水性大或岩石裂隙多的路段的截水沟沟底、沟壁、出水口应进行防渗及加固处理。

## 3. 排水沟

### 1) 设置

排水沟是把边沟、截水沟等沟槽及路基坡面汇集的水引向路基范围以外的自然水系。

## 2) 施工要求

- (1) 排水沟线形应平顺，转弯处宜为弧线形。
- (2) 排水沟的出水口应设置跌水或急流槽，水流应引出路基或引入排水系统。

## 4. 急流槽

### 1) 设置

急流槽是因边沟、截水沟、排水沟的出水口纵坡大，为防冲刷而设置的槽形断面的排水槽。为抵御流速大的水流冲刷，必须用浆砌片石、水泥混凝土预制块或水泥混凝土浇筑。急流槽可分进口、槽身、出口三个部分。急流槽底宜砌成粗糙面，用以消能和减小流速。急流槽进水口的喇叭形簸箕口，可以有效地汇集、流入槽。

## 2) 施工要求

(1) 基础应嵌入稳固的基面内，底面应按设计要求砌筑抗滑平台或凸榫。对超挖、局部坑洞，应采用相同材料，与急流槽同时施工。

- (2) 浆砌片石砌体应砂浆饱满，砌缝应不大于40mm，槽底表面应粗糙。

(3) 急流槽应分节砌筑, 分节长度宜为5~10m, 接头处应采用防水材料填缝。混凝土预制块急流槽, 分节长度宜为2.5~5.0m, 接头应采用榫接。

(4) 急流槽进水口的喇叭形水簸箕应与排水设施衔接平顺, 汇集路面水流的水簸箕底口不得高于接口的路肩表面。

## 5. 跌水

### 1) 设置

跌水是在陡坡或深沟地段设置的沟底为阶梯形、水流呈瀑布跌落式通过的沟槽。跌水与急流槽构造物类似, 主要区别是跌水槽底为阶梯形, 适应的地形坡度较急流槽更陡。

### 2) 施工要求

(1) 跌水槽施工应符合急流槽的有关规定。

(2) 无消力池的跌水, 其台阶高度应小于600mm, 每个台阶高度与长度之比应与原地面坡度相协调。

(3) 消力池的基底应采取防渗措施。

## 6. 蒸发池

### 1) 设置

在气候干旱地区或排水困难地段, 利用沿线取土坑或专门开挖蒸发池来汇集路界地表水。

### 2) 施工要求

(1) 蒸发池与路基之间的距离应满足路基稳定要求。

(2) 底面与侧面应采取防渗措施。

(3) 池底宜设0.5%的横坡, 入口处应与排水沟平顺连接。

(4) 蒸发池应远离村镇等人口密集区, 四周应采用隔离栅进行围护, 高度应不低于1.8m, 并设置警示牌。

## 1.4 路基工程质量通病及防治措施

### 1.4.1 路基压实质量问题防治

#### 1. 路基行车带压实度不足的原因及防治

##### 1) 原因分析

(1) 压实遍数不合理。

(2) 压路机质量偏小。

(3) 填土松铺厚度过大。

(4) 碾压不均匀, 局部有漏压现象。

(5) 含水率大于最佳含水率, 特别是超过最佳含水率两个百分点, 易造成“弹簧”现象。

(6) 没有对上一层表面浮土或松软层进行处治。

(7) 土场土质种类多, 出现异类土混填, 尤其是透水性差的土包裹透水性好的土, 形成了水囊, 造成“弹簧”现象。

(8) 填土颗粒过大( $>10\text{cm}$ )，颗粒之间空隙过大，或采用不符合要求的填料(天然稠度小于1.1，液限大于40，塑性指数大于18)。

## 2) 防治措施

- (1) 清除碾压层下软弱层，换填良性土后重新碾压。
- (2) 对产生“弹簧”现象的部位，可将其过湿土翻晒，拌和均匀后重新碾压，或挖除换填含水率适宜的良性土壤后重新碾压。
- (3) 对产生“弹簧”现象且急于赶工的路段，可掺生石灰粉翻拌，待其含水率适宜后重新碾压。

## 2. 路基边缘压实度不足的原因及防治

### 1) 原因分析

- (1) 路基填筑宽度不足，未按超宽填筑要求施工。
- (2) 压实机具碾压不到边。
- (3) 路基边缘漏压或压实遍数不够。
- (4) 采用三轮压路机碾压时，边缘带( $0\sim750\text{mm}$ )碾压频率低于行车带。

### 2) 防治措施

- (1) 路基施工应按设计的要求进行超宽填筑。
- (2) 控制碾压工艺，保证机具碾压到边。
- (3) 认真控制碾压顺序，确保轨迹重叠宽度和段落搭接超压长度。
- (4) 提高路基边缘带压实遍数，确保边缘带碾压频率高于或不低于行车带。
- (5) 校正坡脚线位置，路基填筑宽度不足时，返工至满足设计和规范要求(注意：亏坡补宽时应开蹬填筑，严禁贴坡)，控制碾压顺序和遍数。

## 1.4.2 路基边坡病害防治

### 1. 边坡滑坡病害及防治措施

#### 1) 原因分析

- (1) 设计对地震、洪水和水位变化影响考虑不充分。
- (2) 路基基底存在软土且厚度不均。
- (3) 换填土时清淤不彻底。
- (4) 填土速率过快；施工沉降观测、侧向位移观测不及时。
- (5) 路基填筑层有效宽度不够，边坡二期贴补。
- (6) 路基顶面排水不畅。
- (7) 用透水性较差的填料填筑路堤。
- (8) 边坡植被不良。
- (9) 未处理好填挖交界面。
- (10) 路基处于陡峭的斜坡面上。

#### 2) 防治措施

- (1) 路基设计应充分考虑使用年限内地震、洪水和水位变化给路基稳定带来的影响。
- (2) 软土处理要到位，及时发现暗沟、暗塘并妥善处治。

- (3) 加强沉降观测和侧向位移观测，及时发现滑坡苗头。
- (4) 参加稳定剂提高路基层位强度，控制填土速率。
- (5) 路基填筑过程中严格控制有效宽度。
- (6) 加强地表水、地下水的排除，提高路基的水稳定性。
- (7) 减轻路基滑体上部重量或采用支挡、锚拉工程维持滑体的力学平衡；同时设置导流、防护设施，减少洪水对路基的冲刷侵蚀。
- (8) 原地面坡度大于 12% 的路段，应采用纵向水平分层法沿纵坡分层，并逐层填压密实。
- (9) 用透水性较差的土壤筑路堤下层时，应做成 4% 的双向横坡；如用于填筑上层时，除干旱地区外，不应覆盖由透水性较好的土所填筑的路堤边坡。

## 2. 边坡塌落病害的原因分析

### 1) 土质路堑边坡塌落原因

- (1) 边坡土质属于很容易变松的砂类土、砾类土以及受到雨水浸入后易于失稳的土，而设计或施工采用了较小的边坡坡度。
- (2) 较大规模的崩塌，一般多发生在高度大于 30m、坡度大于 45°（大多数介于 55°～70°）的地形条件。
- (3) 上缓下陡的凸坡和凹凸不平的陡坡。
- (4) 暴雨、久雨或强震之后，雨水渗入土体，一方面会增加边坡土体的重量，另一方面能使裂隙中的填充物或岩体中的某些软弱夹层软化，产生静水压及动水压，使斜坡岩体的稳定性降低；或者由于流水冲掏下部坡脚，削弱斜坡的支撑部分；或者由于地震改变了坡体的稳定性及平衡状态，发生边坡塌落。
- (5) 在多年冰冻地区开挖路基，会使含有大量冰体的冻土融化，引起路堑边坡坍塌。

### 2) 石方路堑边坡塌落

造成岩石路堑边坡出现崩塌、岩堆、滑坡的原因有岩石的岩性、地质构造、岩石的风化（物理风化作用、化学风化作用、生物风化作用）等几个方面，施工中的主要原因是：

- (1) 排水措施不当或施工不及时，造成地表水和地下水下渗。地表水不易排除（如坡顶上截水沟存水、渗水、漏水等），甚至形成积水向下渗透，水分沿裂隙渗入岩层，降低了岩性间的黏聚力和摩擦力，增加了岩体的重量，促使了崩塌、滑坡的发生；或由于水的浸蚀，影响了岩堆的稳定性。
- (2) 大爆破施工会导致路堑开挖过深、过陡；或由于切坡，使软弱结构面暴露，边坡岩体推动支撑。

### 1.4.3 高填方路基沉降防治

高填方路堤的沉降表现为均匀沉降和不均匀沉降。均匀沉降一般发生在自然环境基本一致，如路线通过地质、地形、地下水和地表水变化不大，并且路基用土、机械设备、施工管理、质量控制等方面无显著变化的路段。不均匀沉降一般发生在地质、地形、地下水、地表水、填挖结合部及筑路材料发生显著变化处。

## 1. 原因分析

- (1) 路基施工前未认真设置纵、横向排水系统或排水系统不畅通，长期积水浸泡路基，使地基和路基土承载力降低，导致沉降发生。
- (2) 原地面处理不彻底，如未清除草根、树根、淤泥等不良土质，地基压实度不足等因素，在静、动荷载的作用下，使路基沉降变形。
- (3) 在高填方路堤施工中，未严格按分层填筑、分层碾压工艺施工，路基压实度不足而导致路基沉降变形。
- (4) 不良地质路段未予以处理而导致路基沉降变形。
- (5) 路基纵、横向填挖交界处未按规范要求挖台阶，原状土和填筑土密度不同，衔接不良而导致路基不均匀沉降。
- (6) 填筑路基时，未全断面均匀分层填筑，而是先填半幅后填另半幅，导致发生不均匀沉降。
- (7) 施工中路基土含水率控制不严，导致压实度不足而产生不均匀沉降。
- (8) 施工组织安排不当，先施工低路堤，后施工高填方路基。往往高填方路堤施工完成后就立即铺筑路面，路基没有足够的时间固结，导致路面使用不久就破坏。
- (9) 高填方路基在分层填筑时，没有按照相关规范要求的厚度进行铺筑，随意加厚铺筑厚度；压实机具按规定的碾压遍数压实时，压实度达不到规范规定的要求。当填筑到路基设计高程时，必然产生累计的沉降变形，在重复荷载与填料自重作用下产生下沉。
- (10) 路堤填料土质差，填料中混进了种植土、腐殖土或泥沼土等劣质土。由于土中有机物含量多、抗水性差、强度低等特性的作用，路堤将产生塑性变形或沉陷破坏。

## 2. 防治措施

- (1) 做好施工组织设计，合理安排各施工段的先后顺序，明确构造物和路基的衔接关系，高填方段应优先安排施工，给高填方路堤留有足够的施工时间和沉降。
- (2) 基底承载力应满足设计要求。特殊地段或承载力不足的地基应按设计要求进行处理。
- (3) 填筑路基前，疏通路基两侧纵、横向排水系统，避免路基受水浸泡。
- (4) 严格选取路基填料用土。宜优先采用强度高、水稳定性好的材料，或采用轻质材料。受水淹没的部分，应采用水稳定性和透水性均好的材料。土质应均匀一致，不得混杂，剔除超大颗粒填料，保证各点密实度均匀一致。尽量选择集中取土，避免沿线取土。
- (5) 路堤填筑方式应采用水平分层填筑，即按照横断面全宽分层逐层向上填筑。每层应保证层面平整，便于各点压实均匀一致。
- (6) 合理确定路基填筑厚度，分层松铺厚度一般控制在 30cm。当采用大吨位压路机碾压时，可增加分层厚度，但必须征得监理工程师的同意，方可施工。
- (7) 控制路基填料含水率。
- (8) 选择合适的压实机具，重型轮胎压路机和振动压路机效果比较好。
- (9) 做好路基压实度的检测工作。
- (10) 填挖结合部应彻底清除结合部的松散软弱土质，做好换土、排水和填前碾压

工作，按设计要求从上到下挖出台阶，清除松方后逐层碾压，确保填挖结合部的整体施工质量。

(11) 施工过程中宜进行沉降观测，按照设计要求控制填筑速率。

#### 1.4.4 路基裂缝防治

##### 1. 路基纵向裂缝

###### 1) 原因分析

- (1) 清表不彻底，路基基底存在软弱层或坐落于古河道处。
- (2) 沟、塘清淤不彻底，回填不均匀或压实度不足。
- (3) 路基压实不均。
- (4) 旧路利用路段，新旧路基结合部未挖台阶或台阶宽度不足。
- (5) 半填半挖路段未按规范要求设置台阶并压实。
- (6) 使用渗水性、水稳定性差异较大的土石混合料时，错误地采用了纵向分幅填筑。
- (7) 高速公路因边坡过陡、行车渠化、交通频繁振动而产生滑坡，最终导致出现纵向裂缝。

###### 2) 防治措施

- (1) 应认真调查现场并彻底清表，及时发现路基基底暗沟、暗塘，消除软弱层。
- (2) 彻底清除沟、塘淤泥，并选用水稳定性好的材料严格分层回填，严格控制压实度满足设计要求。
- (3) 提高填筑层压实均匀度。
- (4) 半填半挖路段，地面横坡大于1:5及旧路利用路段，应严格按照规范要求将原地面挖成宽度不小于1.0m的台阶并压实。
- (5) 渗水性、水稳定性差异较大的土石混合料应分层或分段填筑，不宜纵向分幅填筑。
- (6) 若遇有软弱层或古河道，填土路基完工后应进行超载预压，预防不均匀沉降。
- (7) 严格控制路基边坡，符合设计要求，杜绝亏坡现象。

##### 2. 路基横向裂缝

路基出现横向裂缝，会反射至路面基层、面层。如不能有效预防，将会加重地表水对路面结构的损害，影响结构的整体性和耐久性。

###### 1) 原因分析

- (1) 路基填料直接使用了液限大于50、塑性指数大于26的土。
- (2) 同一填筑层路基填料混杂，塑性指数相差悬殊。
- (3) 填筑顺序不当，路基顶填筑层作业段衔接施工工艺不符合规范要求，路基顶下层平整度填筑层厚度相差悬殊，且最小压实厚度小于80mm。

###### 2) 防治措施

- (1) 路基填料禁止直接使用液限大于50、塑性指数大于26的土。当选材困难，必须直接使用时，应采取相应技术措施。
- (2) 不同种类的土应分层填筑，同一填筑层不得混用。
- (3) 路基顶填筑层分段作业施工，两段交接处应按要求处理。

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao668

(4) 严格控制路基每一填筑层的含水率、标高、平整度，确保路基顶填筑层压实厚度不小于80mm。

### 3. 路基网裂

开挖路床或填筑路堤后出现网状裂缝，会降低路基强度。

#### 1) 原因分析

- (1) 土的塑性指数偏高或为膨胀土。
- (2) 路基碾压时土含水率偏大，且成型后未及时覆土。
- (3) 路基压实后养护不到位，表面失水过多。
- (4) 路基下层土过湿。

#### 2) 防治措施

- (1) 采用合格的填料，或采取掺加石灰、水泥改性处理措施。
- (2) 选用塑性指数符合规范要求的土填筑路基，在填土最佳含水率时碾压。
- (3) 加强养护，避免路基表面的水过分损失。
- (4) 认真组织，科学安排，保证设备匹配合理，施工工序衔接紧凑。
- (5) 若因下层土过湿，应查明其层位，采取换填土或掺加生石灰粉等技术措施处治。

## 第2章 路面工程

路面是指用各种筑路材料铺筑在道路路基上直接承受车辆荷载的层状构造物。路面应具有足够的强度和耐久性，符合坚实、稳定、平整、耐磨、抗滑的性能需求，提供安全、舒适、顺畅的交通条件。路面工程施工包括各种类型基层（底基层）施工、面层施工、附属设施施工等。为保证路面工程的质量与安全，路面施工应建立健全有效的质量保证体系，对施工各工序的质量进行检查评定，达到规定的质量标准。


 第2章  
看本章精讲课  
配套章节自测

### 2.1 路面基层（底基层）施工

#### 2.1.1 路面基层（底基层）用料要求

##### 1. 粒料基层原材料的技术要求

(1) 用作被稳定材料的粗集料压碎值应符合表 2.1-1 中Ⅱ类的规定。

表 2.1-1 用作被稳定材料的粗集料压碎值

指标	层位	高速公路和一级公路				二级及二级以下公路		试验方法			
		极重、特重交通		重、中、轻交通							
		I类	II类	I类	II类						
压碎值 (%)	基层	≤22	≤22	≤26	≤26	≤35	≤30	T0316			
	底基层	≤30	≤26	≤30	≤26	≤40	≤35				

注：对花岗岩石料，压碎值可放宽至 25%。

(2) 填隙碎石用作基层时，集料的公称最大粒径应不大于 53mm；用作底基层时，应不大于 63mm。用作基层时集料的压碎值应不大于 26%；用作底基层时应不大于 30%。集料中针片状颗粒和软弱颗粒的含量应不大于 15%。集料可用具有一定强度的各种岩石或漂石轧制，宜采用石灰岩。采用漂石时，其粒径应大于集料公称最大粒径的 3 倍。集料也可以用稳定的矿渣轧制。矿渣的干密度和质量应均匀，且干密度应不小于  $960\text{kg/m}^3$ 。填隙料宜采用石屑。石屑缺乏地区，可添加细砾砂或粗砂等细集料。

(3) 填隙碎石用集料的颗粒组成应符合表 2.1-2 的规定。

表 2.1-2 填隙碎石用集料的颗粒组成 (%)

项次	工程粒径 (mm)	筛孔尺寸 (mm)							
		63	53	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5
1	30~60	100	25~60	—	0~15	—	0~5	—	—
2	25~50	—	100	—	25~50	0~15	—	0~5	—
3	20~40	—	—	100	35~37	—	0~15	—	0~5

(4) 采用表 2.1-2 中的 1 号集料时，填隙料的公称最大粒径宜为 9.5mm，2、3 号集料的填隙料可采用表 2.1-3 中的级配。

表 2.1-3 填隙料的颗粒组成

筛孔尺寸 (mm)	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
通过质量百分率 (%)	100	85~100	50~70	30~50	0~10

## 2. 沥青稳定基层原材料的技术要求

沥青层的沥青材料、集料应符合《公路沥青路面设计规范》JTG D50—2017 和《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 的有关规定及本书 2.2.3 沥青路面用料要求。

## 3. 无机结合料稳定基层原材料的技术要求

### 1) 水泥及外加剂

(1) 强度等级为 42.5, 且满足规范要求的普通硅酸盐水泥等均可使用。

(2) 所用水泥初凝时间应大于 3h, 终凝时间应大于 6h 且小于 10h。

(3) 在水泥稳定材料中掺加缓凝剂或早强剂时, 应对混合料进行试验验证。缓凝剂和早强剂的技术要求应符合现行规范的规定。

### 2) 石灰

(1) 石灰技术要求应符合表 2.1-4 和表 2.1-5 的规定。

表 2.1-4 生石灰技术要求

指标	钙质生石灰			镁质生石灰			试验方法
	I	II	III	I	II	III	
有效氧化钙加氯化镁含量 (%)	≥ 85	≥ 80	≥ 70	≥ 80	≥ 75	≥ 65	T0813
未消化残渣含量 (%)	≤ 7	≤ 11	≤ 17	≤ 10	≤ 14	≤ 20	T0815
钙镁石灰分类界限, 氧化镁含量 (%)	≤ 5			> 5			T0812

表 2.1-5 消石灰技术要求

指标	钙质消石灰			镁质消石灰			试验方法
	I	II	III	I	II	III	
有效氧化钙加氯化镁含量 (%)	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 60	≥ 55	≥ 50	T0813
含水率 (%)	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	≤ 4	T0801
细度	0.60mm 方孔筛的筛余 (%)	0	≤ 1	≤ 1	0	≤ 1	T0814
	0.15mm 方孔筛的筛余 (%)	≤ 13	≤ 20	—	≤ 13	≤ 20	T0814
钙镁石灰分类界限, 氧化镁含量 (%)	≤ 4			> 4			T0812

(2) 高速公路和一级公路用石灰应不低于 II 级技术要求, 二级公路用石灰应不低于 III 级技术要求, 二级以下公路宜不低于 III 级技术要求。

(3) 高速公路和一级公路的基层, 宜采用磨细消石灰。

(4) 二级以下公路使用等外石灰时, 有效氧化钙含量应在 20% 以上, 且混合料强度应满足要求。

### 3) 粉煤灰等工业废渣

(1) 干排或湿排的硅铝粉煤灰和高钙粉煤灰等均可用作基层或底基层的结合料。粉

煤灰技术要求应符合表 2.1-6 的规定。

表 2.1-6 粉煤灰技术要求

检测项目	技术要求	试验方法
$\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 总含量 (%)	> 70	T0816
烧失量 (%)	≤ 20	T0817
比表面积 ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	> 2500	T0820
0.3mm 筛孔通过率 (%)	≥ 90	T0818
0.075mm 筛孔通过率 (%)	≥ 70	T0818
湿粉煤灰含水率 (%)	≤ 35	T0801

(2) 各等级公路的底基层、二级及以下公路的基层使用的粉煤灰，通过率指标不满足表 2.1-6 要求时，应进行混合料强度试验。达到规范相关要求的强度指标时，方可使用。

(3) 煤矸石、煤渣、高炉矿渣、钢渣及其他冶金矿渣等工业废渣可用于修筑基层或底基层，使用前应崩解稳定，且宜通过不同龄期条件下的强度和模量试验以及温度收缩和干湿收缩试验等评价混合料的性能。

(4) 水泥稳定煤矸石不宜用于高速公路和一级公路。

(5) 工业废渣类作为集料使用时，公称最大粒径应不大于 31.5mm，颗粒组成宜有一定级配，且不宜含杂质。

#### 4) 水

(1) 符合现行《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2022 的饮用水可直接作为基层、底基层材料的拌和与养护用水。

(2) 拌和使用的非饮用水应进行水质检验，技术要求应符合表 2.1-7 的规定。

表 2.1-7 非饮用水技术要求

项次	项目	技术要求	试验方法
1	pH	≥ 4.5	《混凝土 用水标准》 JGJ 63
2	$\text{Cl}^-$ 含量 (mg/L)	≤ 3500	
3	$\text{SO}_4^{2-}$ 含量 (mg/L)	≤ 2700	
4	碱含量 (mg/L)	≤ 1500	
5	可溶物含量 (mg/L)	≤ 10000	
6	不溶物含量 (mg/L)	≤ 5000	
7	其他杂质	不应有其他漂浮的杂质和泡沫及明显的颜色和异味	

(3) 养护用水可不检验不溶物含量，其他指标应符合表 2.1-7 的规定。

#### 5) 粗集料

(1) 粗集料宜采用各种硬质岩石或砾石加工成的碎石，也可直接采用天然砾石。粗集料应符合表 2.1-8 中 I 类规定，用作级配碎石的粗集料应符合表 2.1-8 中 II 类的规定。

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

表 2.1-8 粗集料技术要求

指标	层位	高速公路和一级公路				二级及二级以下公路		试验方法	
		极重、特重交通		重、中、轻交通					
		I类	II类	I类	II类	I类	II类		
压碎值 (%)	基层	≤ 22	≤ 22	≤ 26	≤ 26	≤ 35	≤ 30	T0316	
	底基层	≤ 30	≤ 26	≤ 30	≤ 26	≤ 40	≤ 35		
针片状含量 (%)	基层	≤ 18	≤ 18	≤ 22	≤ 18	—	≤ 20	T0312	
	底基层	—	≤ 20	—	≤ 20	—	≤ 20		
0.075mm 以下粉尘含量 (%)	基层	≤ 1.2	≤ 1.2	≤ 2	≤ 2	—	—	T0310	
	底基层	—	—	—	—	—	—		
软石含量 (%)	基层	≤ 3	≤ 3	≤ 5	≤ 5	—	—	T0320	
	底基层	—	—	—	—	—	—		

注：对花岗岩石料，压碎值可放宽至 25%。

(2) 基层、底基层的粗集料规格分为 G1~G11 共 11 种，其规格宜符合相关规定。

(3) 高速公路和一级公路极重、特重交通荷载等级基层的 4.75mm 以上粗集料应采用单一粒径的规格料。

(4) 作为高速公路、一级公路底基层和二级及二级以下公路基层、底基层被稳定材料的天然砾石材料宜满足表 2.1-8 的要求，并应级配稳定、塑性指数不大于 9。

(5) 应选择适当的碎石加工工艺，用于破碎的原石粒径应为破碎后碎石公称最大粒径的 3 倍以上。高速公路基层用碎石，应采用反击破碎的加工工艺。

(6) 碎石加工中，根据筛网放置的倾斜角度和工程经验，应选择合理的筛孔尺寸。粒径尺寸与筛孔尺寸对应关系宜符合表 2.1-9 的规定。根据破碎方式和石质的不同，可适当调整筛孔尺寸，调整范围宜为 1~2mm。

表 2.1-9 粒径尺寸与筛孔尺寸对应表

粒径尺寸 (mm)	4.75	9.5	13.2	16	19	26.5	31.5	37.5
筛孔尺寸 (mm)	5.5	11	15	18	22	31	36	43

(7) 用作级配碎石或砾石的粗集料应采用具有一定级配的硬质石料，且不应含有黏土块、有机物等。

(8) 级配碎石或砾石用作基层时，高速公路和一级公路公称最大粒径应不大于 26.5mm，二级及二级以下公路公称最大粒径应不大于 31.5mm；用作底基层时，公称最大粒径应不大于 37.5mm。

## 6) 细集料

(1) 细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质，并有适当的颗粒级配。

(2) 高速公路和一级公路用细集料的技术要求应符合表 2.1-10 的规定。

(3) 细集料规格要求应符合表 2.1-11 的规定。

表 2.1-10 细集料技术要求

项目	水泥稳定	石灰稳定	石灰粉煤灰综合稳定	水泥粉煤灰综合稳定	试验方法
颗粒分析			满足级配要求		T0302/0303/0327
塑性指数	≤ 17	适宜范围 15~20	适宜范围 12~20	—	T0118
有机质含量 (%)	< 2	≤ 10	≤ 10	< 2	T0313/0336
硫酸盐含量 (%)	≤ 0.25	≤ 0.8	—	≤ 0.25	T0341

表 2.1-11 细集料规格要求

规格要求	工程粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)								公称粒径 (mm)
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
XG1	3~5	100	90~100	0~15	0~5	—	—	—	—	2.36~4.75
XG2	0~3	—	100	90~100	—	—	—	—	0~15	0~2.36
XG3	0~5	100	90~100	—	—	—	—	—	0~20	0~4.75

(4) 对 0~3mm 和 0~5mm 的细集料应分别严格控制大于 2.36mm 和 4.75mm 的颗粒含量。对 3~5mm 的细集料应严格控制小于 2.36mm 的颗粒含量。

(5) 高速公路和一级公路, 细集料中小于 0.075mm 的颗粒含量应不大于 15%; 二级及二级以下公路, 细集料中小于 0.075mm 的颗粒含量应不大于 20%。

(6) 级配碎石或砾石中的细集料可使用细筛余料, 或专门轧制的细碎石集料。

(7) 天然砾石或粗砂作为细集料时, 其颗粒尺寸应满足工程需要且级配稳定, 超尺寸颗粒含量超过规范或实际工程的规定时应筛除。

### 7) 材料分档与掺配

(1) 材料分档应符合表 2.1-12 的规定。

表 2.1-12 材料分档要求

层位	高速公路和一级公路		二级及二级以下公路
	极重、特重交通	重、中、轻交通	
基层	≥ 5	≥ 4	≥ 3 或 4
底基层	≥ 4	≥ 3 或 4	≥ 3

注: 对一般工程可选择不少于 3 档备料, 对极重、特重交通荷载等级且强度要求较高时, 为了保证级配的稳定, 宜选择不少于 4 档备料。

(2) 不同粒径混合料的备料规格包括 3 档备料、4 档备料、5 档备料、6 档备料等, 公称最大粒径为 19mm、26.5mm 和 31.5mm 的无机结合料稳定碎石或砾石的备料规格宜符合相关规定。

(3) 用于二级及二级以上公路基层和底基层的级配碎石或砾石, 应由不少于 4 种规格的材料掺配而成。

(4) 天然材料用于高速公路和一级公路的基层时, 应筛分成表 2.1-8 中规定的规格,

并按规范中相应的备料规格进行掺配。天然材料的规格不满足设计级配的要求时，可掺配一定比例的碎石或轧碎砾石。

(5) 级配碎石或砾石类材料中宜掺加石屑、粗砂等材料。

(6) 级配碎石或砾石细集料的塑性指数应不大于 12。不满足要求时，可加石灰、无塑性的砂或石屑掺配处理。

### 8) 混合料组成设计

(1) 无机结合料稳定材料组成设计应包括原材料检验、混合料的目标配合比设计、混合料的生产配合比设计和施工参数确定四部分。无机结合料稳定材料组成设计流程如图 2.1-1 所示。

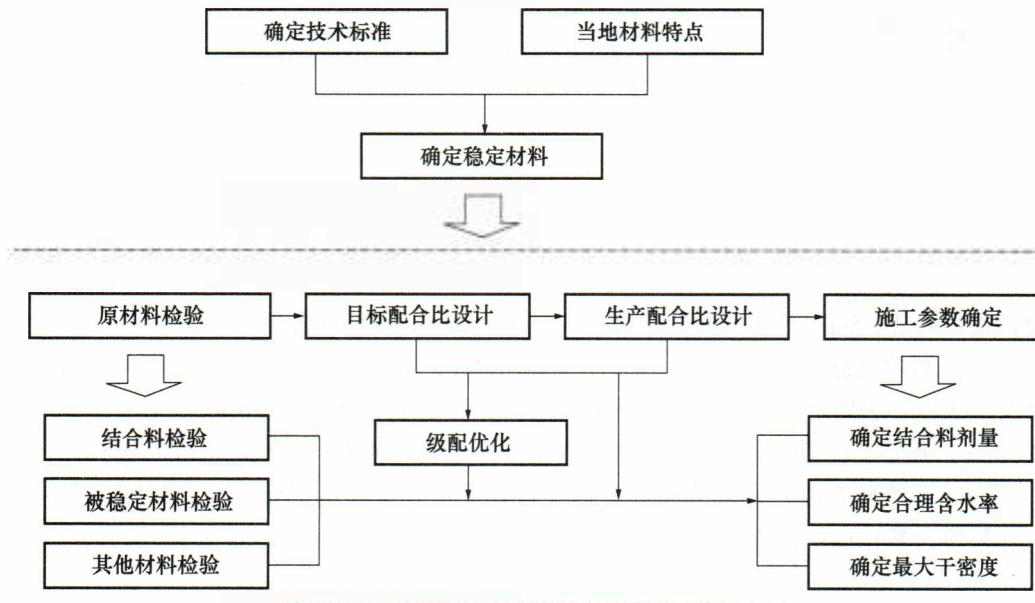


图 2.1-1 无机结合料稳定材料组成设计流程图

(2) 原材料检验应包括结合料、被稳定材料及其他相关材料的试验。所有检测指标均应满足相关设计标准或技术文件的要求。

(3) 目标配合比设计应包括下列技术内容：

- ① 选择级配范围。
- ② 确定结合料类型及掺配比例。
- ③ 验证混合料相关的设计及施工技术指标。

(4) 生产配合比设计应包括下列技术内容：

- ① 确定料仓供料比例。
- ② 确定水泥稳定材料的容许延迟时间。
- ③ 确定结合料剂量的标定曲线。
- ④ 确定混合料的最佳含水率、最大干密度。

(5) 施工参数确定应包括下列技术内容：

- ① 确定施工中结合料的剂量。
- ② 确定施工合理含水率及最大干密度。

③验证混合料强度技术指标。

(6) 确定无机结合料稳定材料最大干密度指标时宜采用重型击实方法，也可采用振动压实方法。

(7) 应根据当地材料的特点和混合料设计要求，通过配合比设计选择最优的工程级配。

(8) 用于基层的无机结合料稳定材料，强度满足要求时，尚宜检验抗冲刷和抗裂性能。

(9) 在施工过程中，材料品质或规格发生变化、结合料品种发生变化时，应重新进行材料的组成设计。

## 2.1.2 路面粒料基层（底基层）施工

### 1. 粒料分类及适用范围

#### 1) 粒料分类

(1) 嵌锁型，包括泥结碎石、泥灰结碎石、填隙碎石等。

(2) 级配型，包括级配碎石、级配砾石、符合级配的天然砂砾、部分砾石经轧制掺配而成的级配砾、碎石等。

#### 2) 粒料类适用范围

(1) 级配碎石可用于各级公路的基层和底基层，也可用做较薄沥青面层与半刚性基层之间的中间层。

(2) 级配砾石、级配碎砾石以及符合级配、塑性指数等技术要求的天然砂砾，可适用于轻交通的二级及以下公路的基层以及各级公路的底基层。

(3) 填隙碎石可用于各等级公路的底基层和二级以下公路的基层。

### 2. 施工一般要求

1) 填隙碎石可采用干法或湿法施工。干旱缺水地区宜采用干法施工。单层填隙碎石的压实厚度宜为公称最大粒径的1.5~2.0倍。填隙碎石施工时，应符合下列规定：

(1) 填隙料应干燥。

(2) 宜采用振动压路机碾压。碾压后，表面集料间的空隙应填满，但表面应看得见集料。填隙碎石层上为薄沥青面层时，宜使集料的棱角外露3~5mm。

(3) 碾压后基层的固体体积率宜不小于85%，底基层的固体体积率宜不小于83%。

(4) 填隙碎石基层未洒透层沥青或未铺封层时，不得开放交通。

2) 填隙碎石施工前，应按规定准备下承层和施工放样。

3) 应根据各路段基层或底基层的宽度、厚度及松铺系数，计算所需要的集料数量，并结合运料车箱体积，计算每车料的堆放距离。填隙料的用量宜为集料质量的30%~40%。

4) 材料装车时，应控制每车料的数量基本相等。

5) 应由远到近将集料按计算的距离卸置于下承层上，并严格控制卸料距离。

6) 用平地机或其他合适的机具将集料均匀地摊铺在预定的范围内，表面应平整，并有规定的路拱。应同时摊铺路肩用料。

7) 应检验松铺材料层的厚度，不满足要求时应减料或补料。

### 3. 路面粒料基层施工方法

#### 1) 填隙碎石的干法施工应符合的规定

(1) 初压宜用两轮压路机碾压3~4遍，使集料稳定就位，初压结束时，表面应平整并具有规定的路拱和纵坡。

(2) 填隙料应采用石屑撒布机或类似设备均匀地撒铺在已压稳的集料层上。松铺厚度宜为25~30mm。必要时，可用人工或机械扫匀。

(3) 应采用振动压路机慢速碾压，将全部填隙料振入集料间的空隙中。无振动压路机时，可采用重型振动板。路面两侧宜多压2~3遍。

(4) 再次撒布填隙料，松铺厚度宜为20~25mm，应用人工或机械扫匀。

(5) 同第(3)条，再次振动碾压；局部多余的填隙料应扫除。

(6) 碾压后，应对局部填隙料不足之处进行人工找补，再用振动压路机继续碾压，直到全部空隙被填满，应将局部多余的填隙料扫除。

(7) 填隙碎石表面空隙全部填满后，宜再用重型压路机碾压1~2遍。碾压过程中，不应有任何蠕动现象。碾压前，宜在表面洒少量水，洒水量宜不少于3kg/m<sup>2</sup>。

#### 2) 填隙碎石湿法施工应符合的操作要求

(1) 工序与第1点第(1)~(7)条要求相同。

(2) 集料层表面空隙全部填满后，宜立即用洒水车洒水，直到饱和。

(3) 宜用重型压路机跟在洒水车后碾压。应将湿填隙料及时扫入出现的空隙中；必要时，宜再添加新的填隙料。

(4) 洒水碾压至填隙料和水形成粉浆，粉浆应填塞全部空隙，并在压路机轮前形成微波纹状。

(5) 碾压完成的路段应让水分蒸发一段时间。结构层变干后，再将表面多余的细料及细料覆盖层扫除干净。

## 2.1.3 路面沥青稳定基层施工

### 1. 沥青稳定类基层分类及适用范围

#### 1) 分类

沥青稳定基层（底基层）又称柔性基层（底基层），包括热拌沥青碎石、贯入式沥青碎石、乳化沥青碎石混合料基层（底基层）等。

#### 2) 适用范围

柔性基层、底基层可用于各级公路。

(1) 热拌沥青碎石宜用于中等交通及其以上的公路基层、底基层。

(2) 贯入式沥青碎石宜用于中、重交通的公路基层或底基层。

(3) 热拌沥青碎石、贯入式沥青碎石可用于改建工程的调平层。

### 2. 施工一般要求

(1) 按施工规范要求做好各项施工准备工作。

(2) 按施工规范规定的步骤进行热拌沥青碎石的配合比设计，即包括目标配合比设计阶段、生产配合比设计阶段、生产配合比验证阶段。

(3) 热拌沥青碎石配合比采用马歇尔试验设计方法。

### 3. 路面沥青稳定基层施工

#### 1) 热拌沥青碎石基层施工

##### (1) 热拌沥青碎石的拌制

① 沥青混合料必须在沥青拌合厂拌制，可采用间歇式拌合机或连续式拌合机拌制。

② 拌合机拌制的沥青混合料应均匀一致，无花白料、结团成块或严重的粗细料分离现象。不符合要求时不得使用，并应及时调整。

③ 沥青混合料出厂应逐车用地磅称重。

##### (2) 热拌沥青混合料的运输

① 热拌沥青混合料应采用较大吨位的自卸汽车运输，车箱应清扫干净。为防止沥青与车箱板粘结，车箱侧板和底板可涂一薄层油水（柴油与水的比例可为1:3）混合料，但不得有余液积聚在车箱底部。

② 从拌合机向运料车上放料时，应每卸一斗混合料挪动一下汽车位置，以减少粗细集料的离析现象。

③ 运料车应用篷布覆盖，用以保温、防雨、防污染。

##### (3) 热拌沥青混合料的摊铺

① 铺筑沥青混合料前，应检查确认下层的质量。当下层质量不符合要求，或未按规定洒布透层、粘层、铺筑下封层时，不得铺筑沥青面层。

② 热拌沥青混合料应采用机械摊铺。

③ 沥青混合料的摊铺温度应符合规范要求，并应根据沥青标号、黏度、气温、摊铺层厚度选用。

④ 当高速公路和一级公路施工气温低于10℃、其他等级公路施工气温低于5℃时，不宜摊铺热拌沥青混合料。

⑤ 沥青混合料的松铺系数应根据实际的混合料类型，由试铺试压方法或根据以往实践经验确定。

⑥ 沥青混合料的松铺系数：机械摊铺为1.15~1.30，人工摊铺为1.20~1.45。

⑦ 用机械摊铺的混合料，不应用人工反复修整。

⑧ 可用人工局部找补或更换混合料；摊铺不得中途停顿。摊铺了的沥青混合料应紧接碾压；如因故不能及时碾压或遇雨时，应停止摊铺。

##### (4) 热拌沥青混合料的压实及成型

① 压实后的沥青混合料应符合压实度及平整度的要求，沥青混合料的分层压实厚度不得大于10cm。

② 应选择合理的压路机组合方式及碾压步骤，以达到最佳结果。沥青混合料压实宜采用钢筒式静态压路机与轮胎压路机或振动压路机组合的方式。压路机的数量应根据生产率决定。

③ 沥青混合料的压实应按初压、复压、终压（包括成型）三个阶段进行。压路机应以慢而均匀的速度碾压，且碾压速度应符合规定。

④ 初压在混合料摊铺后较高温度下进行，应采用轻型钢筒式压路机或关闭振动装置的振动压路机碾压2遍。压路机应从外侧向中心碾压。相邻碾压带应重叠1/3~1/2轮宽，最后碾压路中心部分，压完全幅为一遍。

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

⑤ 复压紧接在初压后进行，复压宜采用重型轮胎压路机，也可采用振动压路机或钢筒式压路机。碾压遍数应经试压确定且不少于4~6遍，达到要求的压实度并无显著轮迹。

⑥ 终压紧接在复压后进行。终压可选用双轮钢筒式压路机或关闭振动压路机碾压，不宜少于两遍且无轮迹。路面压实成型的终了温度应符合规范要求。

#### (5) 接缝

① 在施工缝及构造物两端的连接处必须仔细操作，保证紧密、平顺。摊铺时采用梯队作业的纵缝应采用热接缝，施工时应将已铺混合料部分留下100~200mm宽暂不碾压，作为后摊铺部分的高程基准面，最后必须跨缝碾压，以消除缝迹。

② 半幅施工不能采用热接缝时，宜加设挡板或采用切刀切齐。铺另半幅前必须将缝边缘清扫干净，并涂洒少量粘层沥青。摊铺时应重叠在已铺层上50~100mm，摊铺后用人工将摊铺在前半幅上面的混合料铲走。碾压时先在已压实路面上行走，碾压新铺层100~150mm，然后压实新铺部分，再伸过已压实路面100~150mm，将接缝充分压实紧密。

### 2) 贯入式沥青碎石路面施工的步骤

(1) 撒布主层集料时应避免颗粒大小不均，并检查松铺厚度。撒布后严禁车辆在铺好的集料层上通行。

(2) 主层集料撒布后应采用6~8t钢筒式压路机进行初压，碾压速度宜为2km/h。碾压应自路边缘逐渐移向路中心，每次轮迹重叠约300mm，接着应从另一侧以同样方法压至路中心，才算作碾压一遍。然后检验路拱和纵向坡度。当不符合要求时，应调整找平再压至集料无显著推移为止。接着用10~12t压路机碾压，每次轮迹重叠1/2左右，宜碾压4~6遍，直至主层集料嵌挤稳定且无显著轮迹为止。

(3) 主层集料碾压完毕后，应立即按规范要求浇洒第一层沥青，浇洒温度应根据沥青标号及气温情况选择。当采用乳化沥青贯入时，为防止乳液下漏过多，可在主层集料碾压稳定后，先撒布一部分上一层嵌缝料，再浇洒主层沥青。乳化沥青在常温下洒布，当气温偏低需要加快破乳速度时，可将乳液加温后洒布，但乳液温度不得超过60℃。

(4) 主层沥青浇洒后立即均匀撒布第一层嵌缝料，嵌缝料撒布后应立即扫匀，不足处应找补。当使用乳化沥青时，石料撒布必须在乳液破乳前完成。

(5) 嵌缝料扫匀后立即用8~12t钢筒式压路机进行碾压，轮迹重叠1/2左右，宜碾压4~6遍，直至稳定为止。碾压时随压随扫，使嵌缝料均匀嵌入。因气温过高出现碾压过程中发生较大推移现象时，应立即停止碾压，待气温稍低时再继续碾压。

(6) 浇洒第二层沥青，撒布第二层嵌缝料，然后碾压，再浇洒第三层沥青。

(7) 撒布封层料。施工要求应与撒布嵌缝料相同。

(8) 最后碾压，宜采用6~8t压路机碾压2~4遍。

### 3) 乳化沥青碎石基层施工方法

(1) 乳化沥青碎石混合料宜采用拌合机拌和，条件受限时也可在现场用人工拌制。

(2) 采用阳离子乳化沥青时，乳液拌和前需用水湿润集料，使集料总含水量达到5%左右。天气炎热宜多加，低温潮湿可少加。当集料湿润后仍不能与乳液拌和均匀时，

应改用破乳速度更慢的乳液，或用1%~3%浓度的氯化钙水溶液代替水预先润湿集料表面。

(3) 混合料拌和时间应保证乳液与集料拌和均匀。机械拌和不宜超过30s(自矿料中加进乳液的时间算起)；人工拌和不宜超过60s。

(4) 混合料应具有充分的施工和易性，混合料的拌和、运输和摊铺应在乳液破乳前结束。已拌好的混合料应立即运至现场进行摊铺。拌和与摊铺过程中已破乳的混合料，应予废弃。

(5) 拌制的混合料宜用沥青摊铺机摊铺。当用人工摊铺时，应防止混合料离析。乳化沥青碎石混合料的松铺系数可根据规范规定通过试验确定。

(6) 乳化沥青碎石混合料的碾压，可按热拌沥青混合料的规定进行并应符合下列要求：

① 混合料摊铺后，应采用6t左右的轻型压路机初压1~2遍，使混合料初步稳定，再用轮胎压路机或轻型筒式压路机碾压1~2遍。初压时应匀速进退，不得在碾压路段上紧急制动或快速启动。

② 当乳化沥青开始破乳，混合料由褐色转变成黑色时，用12~15t轮胎压路机或10~12t钢筒式压路机复压。复压2~3遍后停止，待晾晒一段时间，水分蒸发后，再补充复压至密实为止。当压实过程中有推移现象时应立即停止碾压，待稳定后再碾压。如当天不能完全压实，应在下一天较高气温状态下补充碾压。

③ 碾压时发现局部混合料有松散或开裂时，应立即挖除并换补新料，整平后继续碾压密实。修补处应保证路面平整。压实成型后的路面应做好早期养护，并封闭交通2~6h。

④ 阳离子乳化沥青碎石混合料可在下层潮湿的情况下施工，施工过程中遇雨应停止铺筑，以防雨水将乳液冲走。

## 2.1.4 路面无机结合料稳定基层（底基层）施工

### 1. 无机结合料稳定类（也称半刚性类型）基层分类及适用范围

#### 1) 分类

半刚性基层、底基层应具有足够的强度和稳定性、较小的收缩（温缩及干缩）变形和较强的抗冲刷能力，在中冰冻、重冰冻区应检验半刚性基层、底基层的抗冰冻性。

(1) 水泥稳定土：包括水泥稳定级配碎石、未筛分碎石、砂砾、碎石土、砂砾土、煤矸石、各种粒状矿渣等。

(2) 灰土稳定土：包括石灰稳定级配碎石、未筛分碎石、砂砾、碎石土、砂砾土、煤矸石、各种粒状矿渣等。

(3) 石灰工业废渣稳定土：可分为石灰粉煤灰类与石灰其他废渣类两大类。除粉煤灰外，可利用的工业废渣包括煤渣、高炉矿渣、钢渣（已经过崩解达到稳定）及其他冶金矿渣、煤矸石等。

#### 2) 适用范围

(1) 水泥稳定集料类、石灰粉煤灰稳定集料类材料适用于各级公路的基层、底基层。冰冻地区、多雨潮湿地区，石灰粉煤灰稳定集料类材料宜用于高速公路、一级公路。

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

的下基层或底基层。石灰稳定类材料宜用于各级公路底基层以及三、四级公路的基层。

(2) 高速公路、一级公路的基层或上基层宜选用骨架密实型混合料。二级及以下公路的基层和各级公路底基层可采用悬浮密实型骨架混合料。均匀密实型混合料适用于高速公路、一级公路的底基层，二级及以下公路的基层。骨架空隙型混合料具有较高的空隙率，适用于需要考虑路面内部排水要求的基层。

## 2. 混合料生产、摊铺及碾压

### 1) 一般规定

(1) 根据公路等级的不同，宜按表 2.1-13 选择基层、底基层材料施工工艺。对于边角部位施工，混合料拌和方式应与主线相同，可采用推土机摊铺、平地机整平的方式摊铺，并与主线同步碾压成型。

表 2.1-13 施工工艺选择表

材料类型	公路等级	结构层位	拌和工艺		摊铺工艺	
			推荐	可选择	推荐	可选择
无机结合料稳定中、粗粒材料	二级及二级以上	基层	集中厂拌	—	摊铺机摊铺	—
无机结合料稳定细粒材料		底基层	集中厂拌	—	摊铺机摊铺	推土机摊铺 平地机整平
水泥稳定材料	二级以下	基层和底基层	集中厂拌	—	摊铺机摊铺	—
其他各种无机结合料稳定材料		基层和底基层	集中厂拌	人工路拌	摊铺机摊铺	推土机摊铺 平地机整平
级配碎石	二级及二级以上	基层和底基层	集中厂拌	—	摊铺机摊铺	—
	二级以下	基层和底基层	集中厂拌	人工路拌	摊铺机摊铺	推土机摊铺 平地机整平

(2) 稳定材料层宽 11~12m 时，每一流水作业段长度以 500m 为宜；稳定材料层宽大于 12m 时，作业段宜相应缩短。合理确定每日施工作业段长度，宜综合考虑下列因素：

- ① 施工机械和运输车辆的生产效率和数量。
- ② 施工人员数量及操作熟练程度。
- ③ 施工季节和气候条件。
- ④ 水泥的初凝时间和延迟时间。
- ⑤ 减少施工接缝的数量。

(3) 对水泥稳定材料或水泥粉煤灰稳定材料，宜在 2h 内完成碾压成型，应取混合料的初凝时间与容许延迟时间较短的时间作为施工控制时间（容许延迟时间是指在满足强度标准的前提下，水泥稳定材料拌和后至碾压成型之前所容许的最大时间间隔）。

(4) 石灰稳定材料或石灰粉煤灰稳定材料层宜在当天碾压完成，最长不应超过 4d。

(5) 无机结合料稳定材料在过分潮湿路段上施工时应采取措施，降低潮湿程度、消除积水。过分潮湿路段指路段湿度水平超过所用无机结合料稳定材料所适应的湿度水平的上限。

(6) 无机结合料稳定材料结构层施工应选择适宜的气候环境，针对当地气候变化制定相应的处置预案，并应符合下列规定：

① 宜在气温较高的季节组织施工。无机结合料稳定材料施工期的日最低气温应在5℃以上。在有冰冻的地区，应在第一次重冰冻到来的15~30d前完成施工。

② 宜避免在雨期施工，且不应在雨天施工。

(7) 应将室内重型击实试验法确定的干密度作为压实度评价的标准密度。

(8) 无机结合料稳定材料的基层压实标准应符合表2.1-14的规定。

表2.1-14 基层材料压实标准(%)

公路等级		水泥稳定 材料	石灰粉煤灰 稳定材料	水泥粉煤灰 稳定材料	石灰 稳定材料
高速公路和一级公路		≥98	≥98	≥98	—
二级及二级以下公路	稳定中、粗粒材料	≥97	≥97	≥97	≥97
	稳定细粒材料	≥95	≥95	≥95	≥95

(9) 无机结合料稳定材料的底基层压实标准应符合表2.1-15的规定。

表2.1-15 底基层材料压实标准(%)

公路等级		水泥稳定 材料	石灰粉煤灰 稳定材料	水泥粉煤灰 稳定材料	石灰 稳定材料
高速公路和一级公路	稳定中、粗粒材料	≥97	≥97	≥97	≥97
	稳定细粒材料	≥95	≥95	≥95	≥95
二级及二级以下公路	稳定中、粗粒材料	≥95	≥95	≥95	≥95
	稳定细粒材料	≥93	≥93	≥93	≥93

(10) 对级配碎石材料，基层压实度应不小于99%，底基层压实度应不小于97%。

(11) 高速公路和一级公路在极重、特重交通荷载等级下，基层和底基层的压实标准可提高1~2个百分点。

## 2) 混合料集中厂拌与运输

(1) 混合料的拌和能力与混合料摊铺能力应相匹配。

(2) 拌合厂应安置在地势相对较高的位置，并做好排水设施。

(3) 拌合厂场地应平整并具有足够的承载能力。高速公路和一级公路的拌合厂，场地应采用混凝土硬化，混凝土强度等级应不低于C15，厚度应不小于200mm。

(4) 工程所需的原材料严禁混杂，应分档隔仓堆放，并有明显的标志。

(5) 细集料、水泥、石灰、粉煤灰等原材料应有覆盖。对高速公路和一级公路，上述材料严禁露天堆放，应放置于专门搭建的防雨棚内或库房内。

(6) 对高速公路和一级公路，应采用专用稳定材料拌合设备拌制混合料。稳定细粒材料集中拌和时，土块应粉碎，最大尺寸应不大于15mm。

(7) 无机结合料稳定中、粗粒材料的拌和设备应满足下列要求：

① 对高速公路和一级公路，混合料拌和设备的产量宜大于500t/h。

(2) 拌和设备的料仓数目应与规定的备料档数相匹配，宜较规定的备料档数增加1个。

(3) 各个料仓之间的挡板高度应不小于1m。

(4) 高速公路的基层施工时，每个料斗与料仓下面应安装称量精度达到±0.5%的电子秤。

(8) 装水泥的料仓应密闭、干燥，同时内部应装有破拱装置。对高速公路，水泥料仓应配备计重装置，不宜通过电机转速计量水泥的添加量。

(9) 气温高于30℃时，水泥进入拌缸的温度宜不高于50℃；高于50℃时应采取降温措施。气温低于15℃时，水泥进入拌缸的温度应不低于10℃。

(10) 加水量的计量应采用流量计的方式。对高速公路和一级公路，水的流量数值应在中央控制室的控制面板上显示。

(11) 正式拌制混合料前应调试所用的设备，使混合料的级配组成和含水率都达到配合比设计的规定要求。原材料的颗粒组成发生变化时，应重新调试设备。

(12) 稳定中、粗粒材料生产过程中，应按配合比设计确定的材料规格及数量拌和。

(13) 高速公路基层的混合料宜采用两次拌和的生产工艺，也可采用间歇式拌和生产工艺，拌和时间应不少于15s。

(14) 拌和过程中应实时监测各个料仓的生产计量，对高速公路和一级公路，应每10min打印各档料仓的使用量。某档材料的实际掺加量与设计要求值相差超过10%时，应立即停机检查原因，正常后方可继续生产。料仓包括结合料的料仓和加水仓。

(15) 天气炎热或运距较远时，无机结合料稳定材料拌和时宜适当提高含水率。对稳定中、粗粒材料，混合料的含水率可高于最佳含水率0.5~1个百分点；对稳定细粒材料，含水率可高于最佳含水率1~2个百分点。

(16) 对高速公路和一级公路，应从拌合厂取料，每隔2h测定一次含水率，每隔4h测定一次结合料的剂量，并做好记录。

(17) 应根据工程量大小和运距长短，配备足够数量的混合料运输车。

(18) 混合料运输车装料前应清理干净车箱，不得存有杂物。混合料运输车装好料后，应用篷布将箱体覆盖严密，直到摊铺机前准备卸料时方可打开。

(19) 对高速公路和一级公路，水泥稳定材料从装车到运输至现场，时间宜不超过1h，超过2h时应作为废料处置。

(20) 无机结合料稳定中、粗粒材料装料过程中应采取措施减小混合料的离析。

### 3) 混合料人工拌和

(1) 混合料人工拌和工艺应包括现场准备、布料拌和等流程。人工拌和工艺流程如图2.1-2所示。

(2) 下承层表面应平整、坚实，具有规定的路拱，下承层的平整度和压实度应符合规范相关规定。

(3) 下承层为路基时，宜用12~15t三轮压路机或等效的碾压机械碾压3~4遍，并符合下列规定：

① 碾压过程中发现表层松散时，宜适当洒水。

② 发现“弹簧”现象时，宜采用挖开晾晒、换土、掺石灰或水泥等措施处理。

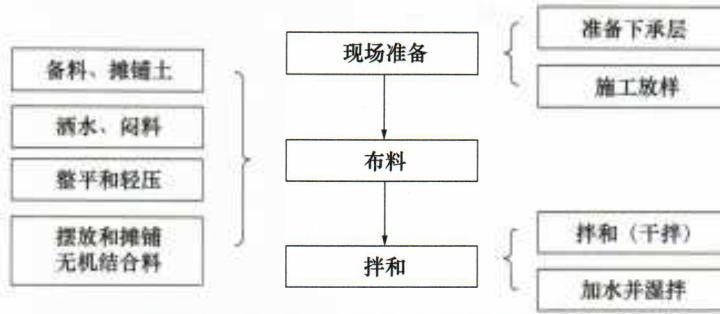


图 2.1-2 混合料人工路拌法施工的工艺流程图

(4) 下承层为粒料底基层时，应检测弯沉值。不符合设计要求时，应根据具体情况采取措施，使其达到规范规定的标准。

(5) 下承层为原路面时，应检查其材料是否符合底基层材料的技术要求；不符合要求时，应翻松原路面并采取必要的处理措施。

(6) 底基层或原路面上存在低洼和坑洞时，应填补及压实；对搓板和辙槽应刮除；对松散应耙松洒水并重新碾压，达到平整密实。

(7) 新完成的底基层应按相关标准的规定验收，验收合格后方可铺筑上层稳定材料层。

(8) 在槽式断面的路段，宜在两侧路肩上每隔 5~10m 交错开挖泄水沟。

(9) 应在底基层或原路面或路基上恢复中线，直线段应每 15~20m 设一桩，平曲线段应每 10~15m 设一桩，并在两侧路肩边缘外设指示桩。

(10) 在两侧指示桩上应用明显标记标出稳定材料层边缘的设计高程。

(11) 使用原路面或路基上部材料备料时，应符合下列规定：

① 清除原路面上或路基表面的石块等杂物。

② 每隔 10~20m 挖一小洞，使洞底高程与预定的无机结合料稳定材料层的底面高程相同，并在洞底做一标记，控制翻松及粉碎的深度。

③ 用犁、松土机或装有强固齿的平地机或推土机将原路面或路基的上部翻松到预定的深度，土块应粉碎到符合要求。

④ 用犁将土向路中心翻松，使预定处治层的边部呈一个垂直面。用专用机械粉碎黏性土。无专用机械时，也可用旋转耕作机、圆盘耙等设备粉碎塑性指数不大的土。

(12) 使用料场的材料备料时，应符合下列规定：

① 采集材料前，应将树木、草皮和杂土清除干净。

② 应筛除材料中的超尺寸颗粒。

③ 应在预定的深度范围内采集材料，不宜分层采集，不应将不合格的材料与合格的材料一起采集。

④ 对塑性指数大于 12 的黏性土，可视土质和机械性能确定是否需要过筛。

(13) 应按下列方法计算现场拌和时的工程数量：

① 根据各路段无机结合料稳定材料层的宽度、厚度及预定的干密度，计算各路段需要的干燥材料的数量。

② 根据料场材料的含水率和所用运料车辆的吨位，计算每车料的堆放距离。

(3) 根据无机结合料稳定材料层的厚度和预定的干密度及水泥剂量，计算每平方米无机结合料的用量，并确定摆放的纵横间距。

(14) 堆料前应用两轮压路机碾压1~2遍，整平表面，并在预定堆料的路段上洒水，使其表面湿润，但不宜过分潮湿。

(15) 材料装车时，应控制每车料的质量基本相等。

(16) 在同一料场供料的路段内，宜由远到近将料按第(13)条的规定计算距离卸置于下承层表面的中间或两侧。应严格掌握卸料距离。

(17) 材料在下承层上的堆置时间不宜过长。材料运送宜比摊铺工序提前1~2d。

(18) 路肩用料与稳定材料层用料不同时，应先将两侧路肩培好。路肩料层的压实厚度应与稳定材料层的压实厚度相同。在两侧路肩上，宜每隔5~10m交错开挖临时泄水沟。

(19) 石灰稳定材料除应满足第(11)~(18)条的规定外，尚应符合下列规定：

① 分层采集材料时，应将不同层位材料混合装车运送到现场。

② 对塑性指数小于15的黏性土，可视土质和机械性能确定是否需要过筛。

③ 石灰应选择邻近水源、地势较高且宽敞的场地集中覆盖封存堆放。

④ 生石灰块应在使用前7~10d充分消解，消解后的石灰应保持一定的湿度，不得产生扬尘，也不可过湿成团。

⑤ 消石灰宜过9.5mm筛，并尽快使用。

⑥ 材料组成设计与现场实际施工的时间间隔长时，应重新做材料组成设计。

⑦ 被稳定材料宜先摊平并用两轮压路机碾压1~2遍，再人工摊铺石灰。

⑧ 按计算每车石灰的纵横间距，在被稳定材料层上做标记，并画出边线。

⑨ 用刮板将石灰均匀摊开，表面应没有空白位置。

⑩ 应量测石灰的松铺厚度，校核石灰用量。

(20) 石灰粉煤灰稳定材料除应满足第(19)条的规定外，尚应符合下列规定：

① 粉煤灰在场地集中堆放时应覆盖，避免雨淋。堆放过程中粉煤灰凝结成块时，使用前应打碎。

② 运到现场的粉煤灰应含有足够的水分，干燥和多风季节应采取措施保持其表面湿润。

③ 采用石灰粉煤灰时，应先将粉煤灰运到现场，摊铺均匀后，宜先用两轮压路机碾1~2遍，再运送并摊铺下一种材料。

(21) 水泥稳定材料应符合下列规定：

① 被稳定材料应在摊铺水泥的前一天摊铺，雨期施工期间，预计第2天有雨时，不宜提前摊铺材料。

② 摊铺长度应按日进度的需要量控制。

③ 摊铺材料过程中应将土块、超尺寸颗粒及其他杂物拣除。

④ 按计算每袋水泥摆放的纵横间距，在被稳定材料层上做标记，将当日施工用水泥卸在做标记的地点，并检查有无遗漏和多余。用刮板将水泥均匀摊开，路段表面应没有空白位置，也没有水泥过分集中的区域，每袋水泥的摊铺面积应相等。

(22) 混合料松铺系数可采用表2.1-16中的推荐值，也可通过试验确定。

表 2.1-16 混合料松铺系数推荐值

混合料类型	材料名称	松铺系数	备注
水泥稳定材料	中、粗粒材料	1.30~1.35	—
	细粒材料	1.53~1.58	现场人工摊铺土和水泥，机械拌和人工整平
石灰稳定材料	石灰土	1.53~1.58	现场人工摊铺土和水泥，机械拌和人工整平
		1.65~1.70	路外集中拌和，运到现场人工摊铺
	石灰土砾石	1.52~1.56	路外集中拌和，运到现场人工摊铺
石灰粉煤灰稳定材料	细粒材料	1.5~1.7	—
	中、粗粒材料	1.3~1.5	—
	石灰煤渣土	1.6~1.8	人工铺筑
	石灰煤渣稳定材料	1.3~1.5	—
		1.2~1.3	用机械拌和及机械整形
级配碎石		1.4~1.5	人工摊铺混合料
		1.25~1.35	平地机摊铺混合料

(23) 应检验松铺土层的厚度，其厚度应满足预定的要求。

(24) 人工摊铺的土层整平后，应采用两轮压路机碾压1~2遍，使其表面平整，并有一定的压实度。

(25) 已整平材料含水率过小时，应在土层上洒水闷料，且应符合下列规定：

- ① 洒水应均匀。
- ② 严禁洒水车在洒水段内停留和掉头。
- ③ 采用高效率的路拌机械时，闷料时宜一次将水洒够。
- ④ 采用普通路拌机械时，闷料时所洒水量宜较最佳含水率低2~3个百分点。
- ⑤ 细粒材料应经一夜闷料，中粒和粗粒材料可视其中细粒材料的含量，缩短闷料时间。
- ⑥ 综合稳定材料，应先将石灰和土拌和后一起闷料。
- ⑦ 对水泥稳定材料，应在摊铺水泥前闷料。

(26) 级配碎石或砾石施工应符合下列规定：

- ① 用平地机或其他合适机具将材料均匀地摊铺在预定的宽度上，表面应平整，并具有规定的路拱。
  - ② 采用不同粒级的碎石和石屑时，宜将大粒径碎石铺在下层、中粒径碎石铺在中层、小粒径碎石铺在上层，洒水使碎石湿润后，再摊铺石屑。
  - ③ 对未筛分碎石，摊铺平整后，应在其较潮湿的情况下，将石屑卸置其上，用平地机并辅以人工将石屑均匀摊铺在碎石层上。
  - ④ 检查材料层的松铺厚度。必要时，应进行减料或补料工作。
  - ⑤ 同时摊铺路肩用料。
- (27) 严禁在拌合层底部留有素土夹层，并应符合下列规定：
- ① 采用专用稳定材料拌合设备拌和时，设专人随时检查拌和深度，并配合拌合设

备操作员调整拌和深度。

② 拌和深度应达稳定层底并宜侵入下承层不小于 5~10mm。

(28) 二级以下公路在没有专用拌合设备时，可用农用旋转耕作机与多铧犁或平地机配合拌和，拌和时间不可过长。

(29) 对石灰稳定材料，拌和时应符合下列规定：

① 对石灰稳定碎石或砾石，先将石灰和需添加的黏性土拌和均匀，然后均匀地摊铺在碎石或砾石层上，再一起拌和。

② 对石灰稳定塑性指数大的黏土，宜先加 70%~100% 预定剂量的石灰拌和，闷放 1~2d，再补足需用的石灰，进行第二次拌和。

(30) 对石灰粉煤灰稳定中、粗粒材料，先将石灰和粉煤灰拌和均匀，然后均匀地摊铺在材料层上，再一起拌和。

(31) 拌和过程结束时，应及时检测含水率，含水率宜略大于最佳值。含水率不足时，宜用喷管式洒水车补充洒水。洒水车不应在正拌和以及当天计划拌和的路段上掉头和停留。

(32) 洒水后，应及时再次拌和。

(33) 混合料拌和均匀后应色泽一致，没有灰条、灰团和花面，无明显粗细集料离析现象。

(34) 二级以下公路的级配碎石，可采用平地机或多铧犁与缺口圆盘耙相配合拌和，应符合下列规定：

① 用稳定材料拌合设备时，应拌和两遍以上，拌和深度应直到级配碎石层底。

② 用平地机拌和时，宜翻拌 5~6 遍，使石屑均匀分布于碎石料中。平地机拌和的作业长度，每段宜为 300~500m。

③ 用缺口圆盘耙与多铧犁相配合拌和级配碎石时，多铧犁在前面翻拌，圆盘耙紧跟在后面拌和，共翻耙 4~6 遍，应随时检查调整翻耙的深度。

④ 拌和结束时，混合料的含水率和均匀性应符合第(33)条的要求。

(35) 使用在料场已拌和均匀的级配碎石或砾石混合料，摊铺后有粗细颗粒离析现象时，应用平地机补充拌和。

#### 4) 摊铺机摊铺与碾压

(1) 混合料摊铺应保证足够的厚度，碾压成型后每层的摊铺厚度宜不小于 160mm，最大厚度宜不大于 200mm。

(2) 具有足够的摊铺能力和压实功率时，可增加碾压厚度，具体的摊铺厚度应根据试验结果确定。大厚度摊铺施工时，应增加相应的拌和能力。

(3) 在下承层施工质量检测合格后，开始摊铺上面结构层。采用两层连续摊铺而下层质量出现问题时，上层应同时处理。

(4) 下承层是稳定细粒材料时，宜先将下承层顶面拉毛或采用凸块压路机碾压，再摊铺上层混合料；下承层是稳定中、粗粒材料时，应先将下承层清理干净，并洒铺水泥净浆，再摊铺上层混合料。

(5) 应采用摊铺功率不低于 120kW 的沥青混凝土摊铺机或稳定材料摊铺机摊铺混合料。

(6) 采用两台摊铺机并排摊铺时，两台摊铺机的型号及磨损程度宜相同。施工期间，两台摊铺机的前后间距宜不大于10m，且两个施工段面纵向应有300~400mm的重叠。

(7) 对无法使用机械摊铺的超宽路段，应采用人工同步摊铺、修整，并同时碾压成型。

(8) 摊铺机前宜增设橡胶挡板，橡胶挡板底部距下承层距离宜不大于100mm。

(9) 在摊铺机后面应设专人消除粗细集料离析现象，及时铲除局部粗集料堆积或离析的部位，并用新拌混合料填补。

(10) 对高速公路和一级公路，摊铺过程中宜设立纵向模板。

(11) 二级以下公路没有摊铺机时，可采用摊铺箱摊铺混合料。

(12) 水泥稳定材料结构层施工时，应在混合料处于或略大于最佳含水率的状态下碾压。气候炎热干燥时，碾压时的含水率可比最佳含水率增加0.5~1.5个百分点。

(13) 石灰稳定材料和石灰粉煤灰稳定材料碾压时应处于最佳含水率或略大于最佳含水率状态，含水率宜增加1个百分点。

(14) 应根据施工情况配备足够的碾压设备，并应符合下列规定：① 双向四车道高速公路或一级公路的半幅摊铺时，应配备不少于4台重型压路机。② 双向六车道的半幅摊铺时，应配备不少于5台重型压路机。

(15) 应安排专人负责指挥碾压，严禁漏压和产生轮迹。

(16) 采用钢轮压路机初压时，宜采用双钢轮压路机稳压2~3遍，再用激振力大于35t的重型振动压路机、18~21t三轮压路机或25t以上的轮胎压路机继续碾压密实，最后采用双钢轮压路机碾压，消除轮迹。

(17) 采用胶轮压路机初压时，应采用25t以上的重胶轮压路机稳压1~2遍，错轮不超过1/3的轮迹带宽度，再采用重型振动压路机碾压密实，最后采用双钢轮压路机碾压，消除轮迹。

(18) 对稳定细粒材料，最后的碾压收面可采用凸块压路机碾压。

(19) 在碾压过程中出现软弹现象时，应及时将该路段混合料挖出，重新换填新料碾压。

(20) 碾压成型后的表面应平整、无轮迹。

(21) 混合料摊铺时，应保持连续。水泥稳定材料因故中断时间大于2h时，应设置横向接缝，并应符合下列规定：

① 人工将末端含水率合适的混合料整齐，紧靠混合料末端放两根方木，方木的高度应与混合料的压实厚度相同，整平紧靠方木的混合料。

② 方木的另一侧用砾石或碎石回填约3m长，其高度应高出方木20~30mm，并碾压密实。

③ 重新开始摊铺混合料前，应将砾石或碎石和方木除去，并将下承层顶面清扫干净。

④ 摊铺机应返回到已压实层的末端，重新开始摊铺混合料。

⑤ 摊铺中断大于2h且未按上述方法处理横向接缝时，应将摊铺机附近及其下面未经压实的混合料铲除，将已碾压密实且高程和平整度符合要求的末端挖成与路中心线垂直并垂直向下的断面，再摊铺新的混合料。

(22) 摊铺时宜避免纵向接缝，分两幅摊铺时，纵向接缝处应加强碾压。存在纵向

接缝时，纵缝应垂直相接，严禁斜接，并应符合下列规定：

① 在前一幅摊铺时，宜在靠中央的一侧用方木或钢模板做支撑，方木或钢模板的高度应与稳定材料层的压实厚度相同。

② 应在摊铺另一幅前拆除支撑。

(23) 碾压贫混凝土等强度较高的基层材料成型后可采用预切缝措施，应符合下列规定：

① 预切缝的间距宜为 8~15m。

② 宜在养护的 3~5d 内切缝。

③ 切缝深度宜为基层厚度的 1/3~1/2，切缝宽度约 5mm。

④ 切缝后应及时清理缝隙，并用热沥青填满。

### 3. 无机结合料基层（底基层）养护、交通管制、层间处理及其他

#### 1) 一般规定

(1) 无机结合料稳定材料层碾压完成并经压实度检查合格后，应及时养护。

(2) 无机结合料稳定材料的养护期宜不少于 7d，养护可采取洒水养护、薄膜覆盖养护、土工布覆盖养护、铺设湿砂养护、草帘覆盖养护、洒铺乳化沥青养护等方式，宜结合工程实际情况选择具体的方式。

(3) 养护期间应封闭交通，除洒水车和小型通勤车辆外，严禁其他车辆通行。

(4) 无机结合稳定材料层过冬时应采取必要的保护措施。

#### 2) 养护方式

(1) 洒水养护宜作为水泥稳定材料的基本养护方式，并应符合下列规定：

① 每天洒水次数应视气候而定。高温期施工，宜上、下午各洒水 2 次。

② 养护期间，稳定材料层表面应始终保持湿润。

③ 对于石灰稳定或石灰粉煤灰稳定材料层应注意表层情况。必要时，可用两轮压路机补充压实。

(2) 薄膜覆盖养护应符合下列规定：

① 混合料摊铺碾压成型后，可覆盖薄膜，薄膜厚度宜不小于 1mm。

② 薄膜之间应搭接完整，避免漏缝，薄膜覆盖后应用砂土等材料呈网格状堆填。局部薄膜破损时，应及时更换。

③ 养护至上层结构层施工前 1~2d，方可将薄膜掀开。

④ 对蒸发量较大的地区或养护时间大于 15d 的工程，养护过程中应适当补水。

(3) 土工布养护应符合下列规定：

① 宜采用透水式土工布全断面覆盖，也可铺设防水土工布。

② 铺设过程中应注意缝之间的搭接，不应留有间隙。

③ 铺设土工布后，应注意洒水，每天洒水次数应视气候而定。高温期施工，上、下午宜各洒水一次。

④ 养护至上层结构层施工前 1~2d，方可将土工布掀开。

⑤ 养护过程中应采取有效措施，防止土工布破损。

(4) 铺设湿砂养护应符合下列规定：

① 砂层厚宜为 70~100mm。

② 砂铺匀后，宜立即洒水，并在整个养护期间保持砂的潮湿状态，不得用湿黏性土覆盖。

③ 养护结束后，应将覆盖物清除干净。

(5) 草帘覆盖养护应符合下列规定：

① 全断面铺设草帘。

② 草帘铺设后应注意洒水，每天洒水的次数应视气候而定。高温期施工，上、下午宜各洒水一次，每次洒水应将草帘浸湿。

③ 必要时可采用土工布与草帘双层覆盖养护。

(6) 对沥青面层厚度大于 20cm 的结构或二级及以下公路无机结合料稳定材料的基层可采用洒铺乳化沥青方式养护，并应符合下列规定：

① 表面干燥时，宜先喷洒少量水，再喷洒沥青乳液。

② 采用稀释沥青时，宜待表面略干时再喷洒沥青。

③ 在用乳液养护前，应将基层清扫干净。

④ 沥青乳液的沥青用量宜采用  $0.8\sim1.0\text{kg}/\text{m}^2$ ，分两次喷洒。第一次喷洒时，宜采用沥青含量约 35% 的慢裂沥青乳液，第二次宜喷洒浓度较大的沥青乳液。

⑤ 不能避免施工车辆通行时，应在乳液破乳后撒布粒径  $4.75\sim9.5\text{mm}$  的小碎石，做成下封层。

### 3) 交通管制

(1) 正式施工前宜建好施工便道。对高速公路和一级公路，无施工便道，不应施工。

(2) 无机结合料稳定材料养护期间，小型车辆和洒水车的行驶速度应小于  $40\text{km}/\text{h}$ 。

(3) 无机结合料稳定材料养护 7d 后，施工需要通行重型货车时，应有专人指挥，按规定的车道行驶，且车速应不大于  $30\text{km}/\text{h}$ 。

(4) 级配碎石、级配砾石基层未做透层沥青或铺设封层前，严禁开放交通。

(5) 确无施工便道而需要车辆通行时，应符合下列规定：

① 合理安排施工工序，保障  $7\sim15\text{d}$  的养护期。

② 宜在硬路肩或临时停车带的位置画出专门车道，专人指挥车辆通行。

③ 无机结合料稳定材料应适当提高早期强度。

④ 限定载重车辆的轴载，应不大于  $13\text{t}$ 。

### 4) 无机结合料稳定材料层之间的处理

(1) 在上层结构施工前，应将下层养护用材料彻底清理干净。

(2) 应采用人工、小型清扫车及洒水冲刷的方式，将下层表面的浮浆清理干净。下承层局部存在松散现象时，也应彻底清理干净。

(3) 下承层清理后应封闭交通。在上层施工前  $1\sim2\text{h}$ ，宜撒布水泥或洒铺水泥净浆。

(4) 可采用上下结构层连续摊铺施工的方式，每层施工应配备独立的摊铺和碾压设备，不得采用一套设备在上下结构层来回施工。

(5) 稳定细粒材料结构层施工时，根据土质情况，最后一道碾压工艺可采用凸块压路机碾压。

### 5) 无机结合料稳定材料基层与沥青面层之间的处理

(1) 在沥青面层施工前  $1\sim2\text{d}$  内，应清理基层顶面。

(2) 应彻底清除基层顶面养护期间的覆盖物。

(3) 应采用人工清扫、小型清扫车、空压机及洒水冲刷等方式，将基层表面的浮浆清理干净，并应符合下列规定：

① 基层表面达到无浮尘、无松动状态。

② 清理出小坑槽时，不得用原有基层材料找补。

③ 清理出较大范围松散时，应重新评定基层质量，必要时宜返工处理。

(4) 在基层表面干燥的状态下，可洒铺透层油。透层油宜采用稀释沥青、煤沥青或乳化沥青，沥青洒铺量宜为  $0.3\sim0.6\text{kg}/\text{m}^2$ 。

(5) 透层油施工后严禁一切车辆通行，直至上层施工。

(6) 下封层或粘层应在透层油挥发、破乳完成后施工，并封闭交通。

(7) 对极重、特重交通荷载等级或较薄的沥青面层，基层顶面应采用热洒沥青的方式加强层间结合，并应符合下列规定：

① 根据工程情况，热洒沥青可采用普通沥青、改性沥青或橡胶沥青。对高速公路和一级公路的极重、特重交通荷载等级，或沥青面层厚度小于 150mm 时，宜选择 SBS 改性沥青或橡胶沥青。

② 普通沥青洒铺量宜为  $1.8\sim2.2\text{kg}/\text{m}^2$ ，SBS 改性沥青宜为  $2.0\sim2.4\text{kg}/\text{m}^2$ ，橡胶沥青宜为  $2.2\sim2.6\text{kg}/\text{m}^2$ 。

③ 沥青洒铺时应均匀，避免漏洒。纵向接缝应重叠  $2/3$  单一喷口的洒铺范围，横向接缝应齐整，不应重叠。

④ 撒布碎石宜选择洁净、干燥、单一粒径的石灰岩石料，超粒径含量应不大于 10%，粒径范围宜为  $13.2\sim19\text{mm}$ 。

⑤ 碎石撒布前应通过拌合设备加热、除尘、筛分，碎石撒布到路面前的温度应不低于  $80^\circ\text{C}$ 。

⑥ 碎石撒布量宜为满铺面积的  $60\%\sim70\%$ ，不得重叠。

⑦ 高速公路和一级公路，不宜采用同步碎石施工设备，应采用分离式的施工设备。

⑧ 沥青洒铺车的容量宜不少于  $10\text{t}$ ，1 台沥青洒铺车应配备 2 台碎石撒布车。

## 6) 基层收缩裂缝的处理

基层在养护过程中出现裂缝，经弯沉检测，结构层承载能力满足设计要求时，可继续铺筑上面的沥青面层，也可采取下列措施处理裂缝：

(1) 在裂缝位置灌缝。

(2) 在裂缝位置铺设玻璃纤维格栅。

(3) 洒铺热改性沥青。

## 2.2 沥青路面施工

### 2.2.1 沥青路面结构及类型

#### 1. 沥青路面结构组成

(1) 沥青路面结构层可由面层、基层、底基层、垫层组成。

(2) 面层是直接承受车轮荷载反复作用和自然因素影响的结构层，可由 1~3 层组

成。表面层应根据使用要求设置抗滑耐磨、密实稳定的沥青层；中面层、下面层应根据公路等级、沥青层厚度、气候条件等选择适当的沥青结构层。

(3) 基层是设置在面层之下并与面层一起将车轮荷载的反复作用传递到底基层、垫层、土基，起主要承重作用的层次。基层材料的强度指标应有较高的要求。基层视公路等级或交通量的需要可设置一层或两层。当基层较厚需分两层施工时，可分别称为上基层、下基层。

(4) 底基层是设置在基层之下，并与面层、基层一起承受车轮荷载反复作用且起承重作用的层次。底基层材料的强度指标要求可比基层材料略低。底基层视公路等级或交通量的需要，可设置一层或两层。底基层较厚需分两层施工时，可分别称为上底基层、下底基层。

(5) 垫层是设置在底基层与土基之间的结构层，起排水、隔水、防冻、防污等作用。

## 2. 沥青路面分类

### 1) 按技术品质和使用情况分类

(1) 沥青混凝土路面：由适当比例的各种不同大小颗粒的集料、矿粉和沥青，加热到一定温度后拌和，经摊铺压实而成的路面面层。采用相当数量的矿粉是沥青混凝土的一个显著特点。较高的粘结力使路面具有很高的强度，可以承受比较繁重的车辆交通。但沥青混凝土路面的允许拉应变值较小，会产生规则的横向裂缝，因而要求有强度较高的基层。对高温稳定性与低温稳定性均有要求。较小的空隙率使沥青混凝土路面具有透水性小、水稳定性好、耐久性高、有较强抵抗自然因素的能力，使用年限达15~20年以上。沥青混凝土路面适用于各级公路面层。

(2) 沥青碎石路面：用沥青碎石作面层的路面，其高温稳定性好，路面不易产生波浪，冬季不易产生冻缩裂缝，行车荷载作用下裂缝少；路面较易保持粗糙，有利于高速行车；石料级配和沥青规格要求较宽，材料组成设计比较容易满足要求；沥青用量少，且不用矿粉，造价低，但其孔隙较大，路面容易渗水和老化。热拌沥青碎石适用于三、四级公路。中粒式、粗粒式沥青碎石宜用作沥青混凝土面层下层、连接层或整平层。

(3) 沥青贯入式：把沥青浇洒在铺好的主层集料上，再分层撒布嵌缝石屑和浇洒沥青，分层压实，形成一个较致密的沥青结构层。贯入式路面的强度与稳定性主要由石料相互嵌挤作用构成。贯入式路面需要2~3周的成型期，在行车碾压与重力作用下，沥青逐渐下渗包裹石料，填充空隙，形成整体的稳定结构层，温度稳定性好，热天不宜出现推移、壅包，冷天不宜出现低温裂缝。贯入式路面的最上层应撒布封层料或加铺拌合层。沥青贯入式适用于三、四级公路，也可作为沥青混凝土面层的连接层。

(4) 沥青表面处治：用沥青和集料按层铺法或拌和法铺筑而成的厚度不超过3cm的沥青面层。表面处治按浇洒沥青和撒布集料的遍数不同，分为单层式、双层式、三层式。表面处治路面的使用寿命不及贯入式路面，设计时一般不考虑其承重强度，其作用主要是对非沥青承重层起保护和防磨耗作用；而对旧沥青路面，则是一种日常维护的常用措施。沥青表面处治，一般用于三、四级公路，也可用作沥青路面的磨耗层、防滑层。

## 2) 按组成结构分类

(1) 密实-悬浮结构：在采用连续密级配矿料配制的沥青混合料中，一方面矿料的颗粒由大到小连续分布，并通过沥青胶结作用形成密实结构；另一方面，较大一级的颗粒只有留出充足的空间才能容纳下一级较小的颗粒，这样粒径较大的颗粒就往往被较小一级的颗粒挤开，造成粗颗粒之间不能直接接触，也就不能相互支撑形成嵌挤骨架结构；而是彼此分离，悬浮于较小颗粒和沥青胶浆中间，这样就形成了密实-悬浮结构的沥青混合料。工程中常用的 AC-I 型沥青混凝土就是这种结构的典型代表。

(2) 骨架-空隙结构：当采用连续开级配矿料与沥青组成沥青混合料时，由于矿料大多集中在较粗的粒径上，所以粗粒径的颗粒可以相互接触，彼此相互支撑，形成嵌挤的骨架。但因很少含有细颗粒，粗颗粒形成的骨架空隙无法填充，从而压实后在混合料中留下较多的空隙，形成骨架-空隙结构。工程中使用的沥青碎石混合料(AM)和排水沥青混合料(OGFC)是典型的骨架-空隙结构。

(3) 密实-骨架结构：当采用间断型密级配矿料与沥青组成沥青混合料时，由于矿料颗粒集中在级配范围的两端，缺少中间颗粒，所以一端的粗颗粒相互支撑嵌挤形成骨架，另一端较细的颗粒填充于骨架留下的空隙中间，使整个矿料结构呈现密实状态，形成密实-骨架结构。沥青玛𤧛脂碎石混合料(SMA)是一种典型的密实-骨架结构。

## 3) 按矿料级配分类

(1) 密级配沥青混凝土混合料：各种粒径的颗粒级配连续、相互嵌挤密实的矿料，与沥青拌和而成，且压实后的剩余空隙率小于10%的混凝土混合料。剩余空隙率为3%~6%(行人道路2%~6%)的是Ⅰ型密实式改性沥青混凝土混合料；剩余空隙率为4%~10%的是Ⅱ型半密实式改性沥青混凝土混合料。代表类型有沥青混凝土、沥青稳定碎石。

(2) 半开级配沥青混合料：由适当比例的粗集料、细集料及少量填料(或不加填料)与沥青拌和而成，压实后剩余空隙率在10%以上的半开式改性沥青混合料。代表类型有改性沥青稳定碎石。

(3) 开级配沥青混合料：矿料级配主要由粗集料组成，细集料和填料较少，采用高黏度沥青结合料粘结形成，压实后空隙率大于15%的开式沥青混合料。代表类型有排水式沥青磨耗层混合料；另有排水式沥青稳定碎石基层，以ATPCZB表示。

(4) 间断级配沥青混合料：矿料级配组成中缺少1个或几个档次而形成的级配间断的沥青混合料。代表类型有沥青玛𤧛脂碎石混合料(SMA)。

## 4) 按矿料粒径分类

(1) 砂粒式沥青混合料：矿料最大粒径等于或小于4.75mm(圆孔筛5mm)的沥青混合料，也称为沥青石屑或沥青砂。

(2) 细粒式沥青混合料：矿料最大粒径为9.5mm或13.2mm(圆孔筛10mm或15mm)的沥青混合料。

(3) 中粒式沥青混合料：矿料最大粒径为16mm或19mm(圆孔筛20mm或25mm)的沥青混合料。

(4) 粗粒式沥青混合料：矿料最大粒径为26.5mm或31.5mm(圆孔筛30~40mm)

的沥青混合料。

(5) 特粗式沥青混合料：矿料的最大粒径等于或大于37.5mm（圆孔筛45mm）的沥青混合料。

### 5) 按施工温度分类

(1) 热拌热铺沥青混合料：沥青与矿料经加热后拌和，并在一定温度下完成摊铺和碾压施工过程的混合料。

(2) 常温沥青混合料：采用乳化沥青或稀释沥青在常温下（或者加热温度很低）与矿料拌和，并在常温下完成摊铺和碾压过程的混合料。

## 2.2.2 沥青路面施工准备

### 1. 原材料与设备检查

(1) 施工前必须检查各种材料的来源和质量。对经招标程序购进的沥青、集料等重要材料，供货单位必须提交最新检测的正式试验报告。从国外进口的材料应提供该批材料的船运单。对首次使用的集料，应检查生产单位的生产条件、加工机械、覆盖层的清理情况。所有材料都应按规定取样检测，经质量认可后方可订货。

(2) 各种材料都必须在施工以前以“批”为单位进行检查，不符合现行《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004要求的材料不得进场。对各种矿料是以同一料源、同一次购入并运至生产现场的相同规格材料为一“批”；对沥青是指从同一来源、同一次购入且储入同一沥青罐的同一规格的沥青为一“批”。材料试样的取样数量与频度按现行试验规程的规定进行。

(3) 工程开始前，必须对材料的存放场地、防雨和排水措施进行确认。进场的各种材料的来源、品种、质量应与招标及提供的样品一致，不符合要求的材料严禁使用。

(4) 使用成品改性沥青的工程，应要求供应商提供所使用的改性剂号型号、基质沥青的质量检测报告。使用现场改性沥青的工程，应对试生产的改性沥青进行检测。质量不合格的不可使用。

(5) 施工前应对沥青拌合楼、摊铺机、压路机等各种施工机械和设备进行调试，对机械设备的配套情况、技术性能、传感器计量精度等进行认真检查、标定，并得到监理的认可。

(6) 正式开工前，各种原材料的试验结果，特别是目标配合比设计和生产配合比设计结果，应在规定的期限内向业主及监理提出正式报告。待取得正式认可后，方可使用。

### 2. 试验路段铺筑

(1) 高速公路和一级公路的沥青路面在施工前应铺筑试验段。其他等级公路在缺乏施工经验或初次使用重大设备时，也应铺筑试验段。当同一施工单位在材料、机械设备及施工方法与其他工程完全相同时，也可利用其他工程的结果，不再铺筑新的试验路段。

(2) 试验段的长度应根据试验目的确定，通常为100~200m，宜选在正线上铺筑。

(3) 热拌热铺沥青混合料路面试验段铺筑分试拌及试铺两个阶段，应包括下列试验内容：

- ① 检验各种施工机械的类型、数量及组合方式是否匹配。
- ② 通过试拌确定拌合机的操作工艺，考察计算机打印装置的可信度。
- ③ 通过试铺确定透层油的喷洒方式和效果、摊铺、压实工艺，确定松铺系数等。
- ④ 验证沥青混合料生产配合比设计，提出生产用的标准配合比和最佳沥青用量。

⑤ 建立钻孔法与核子密度仪无破损检测路面密度的对比关系。确定压实度的标准检测方法。核子仪等无破损检测在碾压成型后热态测定，取 13 个测点的平均值为 1 组数据，一个试验段不得少于 3 组。钻孔法在第 2 天或第 3 天以后测定，钻孔数不少于 12 个。

- ⑥ 检测试验段的渗水系数。

(4) 试验段铺筑应由有关各方共同参加，及时商定有关事项，明确试验结论。铺筑结束后，施工单位应就各项试验内容提出完整的试验路施工、检测报告，取得业主或监理的批复。

### 2.2.3 沥青路面用料要求

#### 1. 一般规定

(1) 沥青路面使用的各种材料运至现场后必须取样进行质量检验，经评定合格后方可使用，不得以供应商提供的检测报告或商检报告代替现场检测。

(2) 沥青路面集料的选择必须经过认真的料源调查，确定料源应尽可能就地取材。质量符合使用要求，石料开采必须注意环境保护，防止破坏生态平衡。

(3) 集料粒径规格以方孔筛为准。不同料源、品种、规格的集料不得混杂堆放。

#### 2. 道路石油沥青

(1) 道路石油沥青各个沥青等级的适用范围应符合表 2.2-1 的规定。道路石油沥青的质量应符合相关的技术要求。

表 2.2-1 道路沥青的适用范围表

沥青等级	适用范围
A 级沥青	各个等级的公路，适用于任何场合和层次
B 级沥青	(1) 高速公路、一级公路沥青下面层及以下层次；二级及二级公路以下公路的各个层次； (2) 用作改性沥青、乳化沥青、改性乳化沥青、稀释沥青的基质沥青
C 级沥青	三级及三级以下公路的各个层次

(2) 沥青路面采用的沥青标号，宜按照公路等级、气候条件、交通条件、路面类型及在结构层中的层位及受力特点、施工方法等，结合当地的使用经验，经技术论证后确定。

对高速公路、一级公路，夏季温度高、高温持续时间长，重载交通、山区及丘陵区上坡路段、服务区、停车场等行车速度慢的路段，尤其是汽车荷载剪应力大的层次，宜采用稠度大、黏度大的沥青，也可提高高温气候分区的温度水平选用沥青等级；对冬季寒冷的地区或交通量小的公路、旅游公路宜选用稠度小、低温延度大的沥青；对温度日温差、年温差大的地区宜注意选用针入度指数大的沥青。当高温要求与低温要求发生矛盾时应优先考虑满足高温性能的要求。

当缺乏所需标号的沥青时，可采用不同标号掺配的调合沥青，其掺配比例由试验决定。掺配后的沥青质量应满足针入度指数 PI、软化点（R&B）、60℃动力黏度、10℃延度、15℃延度、蜡含量（蒸馏法）、闪点、溶解度、密度、质量变化、残留针入度比、残留延度（10℃）、残留延度（15℃）等指标要求。

### 3. 乳化石油沥青

(1) 乳化沥青适用于沥青表面处治、沥青贯入路面、冷拌沥青混合料路面，修补裂缝，喷洒透层、粘层与封层等。乳化沥青的品种和适用范围宜符合表 2.2-2 的规定。

表 2.2-2 乳化沥青品种及适用范围

分类	品种及代号	适用范围
阳离子乳化沥青	PC-1	表面处治、贯入式路面及下封层用
	PC-2	透层油及基层养护用
	PC-3	粘层油用
	BC-1	稀浆封层或冷拌沥青混合料用阳离子乳
阴离子乳化沥青	PA-1	表面处治、贯入式路面及下封层用
	PA-2	透层油及基层养护用
	PA-3	粘层油用
	BA-1	稀浆封层或冷拌沥青混合料用
非离子乳化沥青	PN-2	透层油用
	BN-1	与水泥稳定集料同时使用（基层路拌或再生）

(2) 乳化石油沥青的质量应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中道路用乳化沥青技术要求的规定。

(3) 阳离子乳化沥青可适用于各种集料品种，阴离子乳化沥青适用于碱性石料。乳化沥青的破乳速度、黏度宜根据用途与施工方法选择。

(4) 制备乳化沥青用的基质沥青，对高速公路和一级公路，宜符合表 2.2-1 道路石油沥青 A、B 级沥青的要求，其他情况可采用 C 级沥青。

(5) 乳化沥青宜存放在立式罐并能适当搅拌。贮存期以不离析、不冻结、不破乳为度。

### 4. 液体石油沥青

(1) 液体石油沥青适用于透层、粘层及拌制冷拌沥青混合料。根据使用目的与场所，可选用快凝、中凝、慢凝的液体石油沥青，其质量应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中道路液体石油沥青技术要求的规定。

(2) 液体石油沥青宜采用针入度较大的石油沥青，使用前按先加热沥青后加稀释剂的顺序，掺配煤油或轻柴油，经适当的搅拌、稀释制成。掺配比例根据使用要求由试验确定。

(3) 液体石油沥青在制作、贮存、使用的全过程中必须通风良好，并有专人负责，确保安全。基质沥青的加热温度严禁超过 140℃，液体沥青的贮存温度不得高于 50℃。

## 5. 改性沥青

- (1) 改性沥青可单独或复合采用高分子聚合物、天然沥青及其他改性材料制作。
- (2) 各类聚合物改性沥青的质量应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中聚合物改性沥青技术要求的规定。其中  $PI$  值可作为选择性指标。
- (3) 制造改性沥青的基质沥青应与改性剂有良好的配伍性，其质量宜符合表 2.2-1 中 A 级或 B 级道路石油沥青的技术要求。供应商在提供改性沥青的质量报告时应提供基质沥青的质量检验报告或沥青样品。
- (4) 天然沥青可以单独与石油沥青混合使用或与其他改性沥青混融后使用。沥青的质量要求宜根据其品种参照相关标准和成功的经验执行。
- (5) 用作改性剂的 SBR 胶乳中的固体物含量宜少于 45%。严禁长时间暴晒或冰冻。
- (6) 改性沥青的剂量以改性剂占改性沥青总量的百分数计算。胶乳改性沥青的剂量应以扣除水量以后的固体物含量计算。
- (7) 改性沥青宜在固定工厂或在现场设厂集中制作，也可在拌合厂现场边制造边使用，改性沥青的加工温度不宜超过 180℃。胶乳类改性剂和制成颗粒的改性剂可直接投入拌合缸中生产改性沥青混合料。
- (8) 用溶剂法生产改性沥青母体时，挥发性溶剂回收后的残留量不得超过 5%。
- (9) 现场制造的改性沥青宜随配随用，需作短时间保存，或运送到附近工地时，使用前必须搅拌均匀，在不发生离析的状态下使用。改性沥青制作设备必须设有随机采集样品的取样口，采集试样宜立即在现场灌模。

## 6. 改性乳化沥青

- (1) 改性乳化沥青宜按表 2.2-3 选用。

表 2.2-3 改性乳化沥青品种及适用范围

品种		代号	适用范围
改性乳化沥青	喷洒型改性乳化沥青	PCR	粘层、封层、桥面防水粘结层用
	拌和用乳化沥青	BCR	改性稀浆封层和微表处用

- (2) 改性乳化沥青质量应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中聚合物改性沥青技术要求的规定。

## 7. 粗集料

- (1) 沥青面层使用的粗集料包括碎石、破碎砾石、筛选砾石、钢渣、矿渣等，但高速公路和一级公路不得使用筛选砾石和矿渣。
- (2) 粗集料应洁净、干燥、表面粗糙，质量应符合表 2.2-4 的要求。当单一规格集料的质量指标达不到要求，而按照集料配合比计算的质量指标符合要求时，工程上允许使用。对受热易变质的集料，宜采用经拌合机烘干后的集料进行检验。
- (3) 沥青混合料用粗集料规格应按《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中沥青混合料用粗集料规格的规定生产和使用。
- (4) 采石场在生产过程中必须彻底清除覆盖层及泥土夹层。生产碎石用的原石不得含有土块、杂物，集料成品不得堆放在泥土地上。

表 2.2-4 沥青混合料用粗集料质量技术要求

指标	单位	高速公路及一级公路		其他等级公路	试验方法
		表面层	其他层次		
石料压碎值, ≤	%	26	28	30	T0316
洛杉矶磨耗损失, ≤	%	28	30	35	T0317
表观相对密度, ≥	—	2.60	2.50	2.45	T0304
吸水率, ≤	%	2.0	3.0	3.0	T0304
坚固性, ≤	%	12	12	—	T0314
针片状颗粒含量(混合料), ≤	%	15	18	20	
其中粒径大于 9.5mm, ≤	%	12	15	—	T0312
其中粒径小于 9.5mm, ≤	%	18	20	—	
水洗法<0.075mm 颗粒含量, ≤	%	1	1	1	T0310
软石含量, ≤	%	3	5	5	T0320

注: 1. 坚固性试验可根据需要进行。

2. 用于高速公路、一级公路时, 吸水率可放宽至 3%, 但必须得到建设单位的批准, 且不得用于 SMA 路面。

3. 对 S14 即 3~5 规格的粗集料, 针片状颗粒含量可不予要求, <0.075mm 含量可放宽到 3%。

(5) 高速公路、一级公路沥青路面的表面层(或磨耗层)的粗集料的磨光值应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中粗集料与沥青的粘附性、磨光值的技术要求。除 SMA、OGFC 路面外, 允许在硬质粗集料中掺加部分较小粒径的磨光值达不到要求的粗集料, 其最大掺加比例由磨光值试验确定。

(6) 粗集料与沥青的粘附性应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中粗集料与沥青的粘附性、磨光值的技术要求, 当使用不符合要求的粗集料时, 宜掺加消石灰、水泥或用饱和石灰水处理后使用, 必要时可同时在沥青中掺加耐热、耐水、长期性能好的抗剥落剂, 也可采用掺加改性沥青的措施, 使沥青混合料的水稳定性检验达到要求。

(7) 破碎砾石应采用粒径大于 50mm、含泥量不大于 1% 的砾石轧制, 破碎砾石的破碎面应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中粗集料对破碎面的要求。

(8) 筛选砾石仅适用于三级及三级以下公路的沥青表面处治路面。

(9) 经过破碎且存放期超过 6 个月以上的钢渣可作为粗集料使用。除吸水率允许适当放宽外, 各项质量指标应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中沥青混合料用粗集料质量技术要求。钢渣在使用前应进行活性检验, 要求钢渣中的游离氧化钙含量不大于 3%, 浸水膨胀率不大于 2%。

## 8. 细集料

(1) 沥青面层的细集料可采用天然砂、机制砂、石屑。

(2) 细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质, 并有适当的颗粒级配, 其质量应符合表 2.2-5 的要求。细集料的洁净程度, 天然砂以小于 0.075mm 含量的百分数表示, 石屑和机制砂以砂当量(适用于 0~4.75mm) 或亚甲蓝值(适用于 0~2.36mm 或 0~0.15mm) 表示。

表 2.2-5 沥青混合料用细集料质量要求

项目	单位	高速公路、一级公路	其他等级公路	试验方法
表观相对密度, ≥	—	2.50	2.45	T0328
坚固性( > 0.3mm 部分), ≥	%	12	—	T0340
含泥量( 小于 0.075mm 的含量 ), ≤	%	3	5	T0333
砂当量, ≥	%	60	50	T0334
亚甲蓝值, ≤	g/kg	25	—	T0346
棱角性( 流动时间 ), ≥	s	30	—	T0345

注：坚固性试验可根据需要进行。

(3) 天然砂可采用河砂或海砂，通常宜采用粗、中砂，其规格应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中沥青混合料用天然砂规格。砂的含泥量超过规定时应水洗后使用，海砂中的贝壳类材料必须筛除。热拌密级配沥青混合料中天然砂的用量通常不宜超过集料总量的 20%，SMA 和 OGFC 混合料不宜使用天然砂。

(4) 石屑是采石场破碎石料时通过 4.75mm 或 2.36mm 的筛下部分，其规格应符合《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 中沥青混合料用机制砂或石屑规格。高速公路和一级公路的沥青混合料，宜将 S14 与 S16 组合使用，S15 可在沥青稳定碎石基层或其他等级公路中使用。

(5) 机制砂选用优质石料生产，其级配应符合 S16 的要求。

### 9. 填料

(1) 沥青混合料的矿粉必须采用石灰岩或岩浆岩中的强基性岩石等憎水性石料经磨细得到的矿粉，原石料中的泥土杂质应除净。矿粉应干燥、洁净，能自由地从矿粉仓流出，其质量应符合表 2.2-6 的要求。

表 2.2-6 沥青混合料用矿粉质量要求

项目	单位	高速公路、一级公路	其他等级公路	试验方法
表观密度, ≥	t/m <sup>3</sup>	2.50	2.45	T0352
含水量, ≤	%	1	1	T0103 烘干法
粒度范围 < 0.6mm	%	100	100	
< 0.15mm	%	90~100	90~100	T0351
< 0.075mm	%	75~100	70~100	
外观	—	无团粒结块		—
亲水系数	—	< 1		T0353
塑性指数	—	< 4		T0354
加热安定性	—	实测记录		T0355

(2) 拌合机的粉尘可作为矿粉的一部分回收使用。但每盘用量不得超过填料总量的 25%，掺有粉尘填料的塑性指数不得大于 4%。

(3) 粉煤灰作为填料使用时，用量不得超过填料总量的 50%，粉煤灰的烧失量应

小于12%，与矿粉混合后的塑性指数应小于4%，其余质量要求与矿粉相同。高速公路、一级公路的沥青面层不宜采用粉煤灰做填料。

### 10. 纤维稳定剂

(1) 在沥青混合料中掺加的纤维稳定剂宜选用木质素纤维、矿物纤维等。木质纤维素的质量应符合表2.2-7的要求。

表2.2-7 木质素纤维质量技术要求

项目	单位	指标	试验方法
纤维长度，≤	mm	6	水溶液用显微镜观测
灰分含量	%	18±5	高温590~600℃燃烧后测定残留物
pH	—	7.5±1.0	水溶液用pH试纸或pH计测定
吸油率，≥	—	纤维质量的5倍	用煤油浸泡后放在筛上经振敲后称量
含水率(以质量计)，≤	%	5	105℃烘箱烘2h后冷却称量

(2) 纤维应在250℃的干拌温度不变质、不发脆，使用纤维必须符合环保要求，不危害身体健康。纤维必须在混合料拌和过程中充分分散均匀。

(3) 矿物纤维宜采用玄武岩等矿石制造，易影响环境及造成人体伤害的石棉纤维不宜直接使用。纤维应存放在室内或有棚盖的地方，松散纤维在运输及使用过程中应避免受潮、不结团。

(4) 纤维稳定剂的掺加比例以沥青混合料总量的质量百分率计算，通常情况下用于SMA路面的木质素纤维不宜低于0.3%，矿物纤维不宜低于0.4%。必要时可适当增加纤维用量。纤维掺加量的允许误差宜不超过±5%。

## 2.2.4 沥青路面面层施工

### 1. 准备工作

(1) 选购经调查试验合格的材料进行备料，矿料分类堆放，矿粉必须是石灰岩磨细而成且不得受潮，必要时做好矿料堆放场地的硬化处理和场地四周排水及搭设矿粉库房或储存罐。

(2) 做好配合比设计报送监理工程师审批，对各种原材料进行符合性检验。

(3) 在验收合格的基层上恢复中线(底面层施工时)，在边线外侧0.3~0.5m处每隔5~10m钉边桩进行水平测量，拉好基准线，画好边线。

(4) 清扫下承层，底面层施工前两天在基层上洒透层油。在中底面层上喷洒粘层油。

(5) 试验段开工前28d安装好试验仪器和设备，配备好试验人员报请监理工程师审核。各层开工前14d在监理工程师批准的现场备齐全部机械设备进行试验段铺筑，以确定松铺系数、施工工艺、机械配备、人员组织、压实遍数，并检查压实度、沥青含量、矿料级配、沥青混合料马歇尔各项技术指标等。

### 2. 热拌沥青混凝土路面施工工艺

热拌沥青混凝土路面施工工艺如图2.2-1所示。



图 2.2-1 热拌沥青混凝土路面施工工艺流程图

### 3. 沥青混合料的拌和

- (1) 各种集料分类堆放，每个料源均进行试验，按要求的配合比进行配料。
- (2) 设置间歇式具有密封性能及除尘设备，并有检测拌和温度装置的沥青混凝土拌合站。
- (3) 拌合站设试验室，对沥青混凝土的原材料和沥青混合料及时进行检测。
- (4) 沥青的加热温度控制在规范规定的范围之内，即 150~170℃。集料的加热温度控制在 160~180℃；混合料的出厂温度控制在 140~165℃。当混合料出厂温度过高时应废弃。混合料运至施工现场的温度控制在 120~150℃。
- (5) 出厂的混合料须均匀一致，无白花料、粗细料离析和结块现象，不符合要求时应废弃。

### 4. 混合料的运输

- (1) 根据拌合站的产量、运距，合理安排运输车辆。
- (2) 运输车的车箱内保持干净，涂防粘薄膜剂。运输车配备覆盖棚布以防雨和热量损失。
- (3) 运输车箱内已离析、硬化的混合料及低于规定铺筑温度或被雨淋的混合料应予废弃。

### 5. 混合料的摊铺

- (1) 根据路面宽度选用 1~2 台具有自动调节摊铺厚度及找平装置、可加热的振动熨平板、运行良好的高密度沥青混凝土摊铺机进行摊铺。
- (2) 底、中、面层采用走线法施工，表面层采用平衡梁法施工。
- (3) 摊铺机均匀行驶，行走速度和拌合站产量相匹配，以确保所摊铺路面的均匀不间断摊铺。摊铺过程中不准随意变换速度，尽量避免中途停顿。
- (4) 根据气温变化调节沥青混凝土的摊铺温度，开铺前将摊铺机的熨平板进行加热至不低于 100℃。一般正常施工控制在不低于 110~130℃，不超过 165℃，摊铺过程中随时检查并做好记录。
- (5) 采用双机或三机梯进式施工时，相邻两机的间距控制在 10~20m。两幅应有