



T/CECS G XXXX: 2020

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路细砂路基设计与施工技术标准

(征求意见稿)

Technical standard for design and construction of highway fine
sand subgrade

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设协会标准

公路细砂路基设计与施工技术标准

(征求意见稿)

Technical standard for design and construction of highway fine sand
subgrade

T/CECS G: XXXXXXXX

主编单位：中国路桥工程有限责任公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期： 年 月 日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

为规范滨海、江、河和湖泊地区细砂路基设计与施工，推动该区域经济快速发展，加速经济产业带发展步伐，在总结和吸收多年来国内细砂路基修筑的实践经验，借鉴国外同行业经验并广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分7章，适用于我国滨海、江、河、湖泊地区细砂路基设计、施工和质量控制全过程，明确各阶段细部规定和要求，指导一线设计和施工技术人员的学习和应用，亦可为海外滨海、江、河、湖泊地区细砂路基的设计、施工和质量控制提供参考依据。

本标准基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准由 负责归口管理，由 负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组， （地址： ；邮编： ；电话： ；传真： ；电子邮箱： ），或（地址： ；邮编： ；传真： ；电子邮箱： ），以便修订时研用。

本规范的主要编写单位、参编单位、主要起草人及主要审查人：

主 编 单 位：中国路桥工程有限责任公司

参 编 单 位：同济大学

主 编：李刚

主要参编人员：钱劲松、李志强、赵连志、李曼容、贾其军、陶泽峰、鞠秀颖、曾峰、曹长伟

主 审：刘怡林

参与参审人员：李春风、吴万平、黄茂松、朱春明、刘元炜、王连俊

参加人员：何保炳、王昊卿、张朝贵

目 录

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	4
3 细砂填料.....	5
3.1 一般规定.....	5
3.2 砂的分类.....	5
3.3 细砂填料技术要求.....	6
4 细砂路基设计.....	7
4.1 一般规定.....	7
4.2 复合结构设计.....	7
4.3 防排水设计.....	10
4.4 边坡防护.....	12
4.5 边坡稳定性分析.....	14
5 细砂路基施工.....	15
6 细砂路基质量控制.....	24
6.1 一般规定.....	24
6.2 压实度控制.....	24
6.3 回弹模量控制.....	25
附录 A 基于修正大体积薄壁环刀法的压实度检测方法.....	26
附录 B 细砂路基回弹模量的测试方法.....	29
标准用词说明.....	30
引用标准名录.....	31

1 总 则

1.0.1 为落实国家资源节约、绿色环保的政策要求，推进就地取材、因地制宜理念，支撑滨海、江、河、湖泊地区的公路路基建设，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于滨海、江、河、湖泊地区的各等级公路细砂路基的设计、施工、质量控制和竣工验收。

1.0.3 公路细砂路基应达到设计要求的强度、稳定性和耐久性。

1.0.4 公路细砂路基设计与施工方案，应根据当地气候特征、工程地质、水文地质、筑路材料、施工条件、环境保护等因素，贯彻因地制宜、经济适用、技术先进、安全可靠的原则。

1.0.5 公路细砂路基设计与施工，应采用机械化施工方法，积极应用和推广新技术、新工艺、新材料、新设备，总结经验，提高工程质量与技术水平。

1.0.6 公路细砂路基设计与施工除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见箱

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 细砂 fine sand

细砂是指《公路土工试验规程》中的细粒组质量不超过总质量的 25% 的砂类土。

2.1.2 填砂路基 sand-filled subgrade

以车辆运输河砂、江砂作为填料的路基称为填砂路基。

2.1.3 吹砂路基 sand-blown subgrade

用管道从江河直接吹砂至路基作为填料的路基称为吹砂路基。

2.1.4 细砂路基复合结构 composite structure of fine sand subgrade

细砂路基修筑的典型结构形式，由基底、砂芯、包边结构和顶封层四部分组成。

2.1.5 基底 subgrade base

设置于细砂路基结构底部和地基之间，常用作垫层，发挥扩散路基结构层应力，防止砂填料流失的作用。

2.1.6 砂芯 sand core

以细砂为主要填料的细砂路基核心结构层，包裹于结构中心，防止砂填料流失。

2.1.7 顶封层 capping layer

设置于细砂路基和路面结构层之间，作为细砂路基的上路床，具有防止细砂顶面流失和分散基层传递至路基的附加应力的作用。

2.1.8 包边结构 edge structure

在砂芯两侧进行包裹，防止砂基边坡直接受水流冲刷而设置的边坡结构。

2.1.9 双折线滑动面 double fold sliding surface

细砂路堤的滑动面形态接近于双折线滑动面。在地基坚实的情况下，滑动面不会切入地基，而是通过坡脚。下滑动面从包边土—填料结合面上某位置开始通过包

边土层内趋向坡脚，是一条斜线。而上滑动面位于砂填料中，是一条过下滑动面与接合面交点的斜直线。

2.1.10 双楔形极限平衡法 double wedge limit equilibrium method

适合具有等厚包边土层的填砂路堤边坡稳定性分析方法。滑动面位置与安全系数的大小由被动土楔下滑动面倾角和主动土楔上滑动面倾角确定，确定最危险滑动面位置即可得到相应的安全系数值，从而对填砂路堤的边坡稳定性做出评价。

2.1.11 强度折减法 strength reduction method

剪切强度折减法的基本原理就是逐渐减少土体的剪切强度参数直至土坡破坏，其减少的倍数（即临界折减系数）被定义为安全系数。

2.1.12 袋装砂 sacked sand

土工织物袋体充灌砂土后形成一定形状的包裹体。

2.1.13 反滤 filtration

在使水体通过的同时，保持受渗透压力作用的土粒不流失。

2.1.14 含泥量 dust content

细砂材料中粒径小于 0.075mm 的颗粒含量。

2.2 符 号

d_{60} ——在土的粒径分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土粒质量为总土粒质量的 60%；

d_{30} ——在土的粒径分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土粒质量为总土粒质量的 30%；

d_{10} ——在土的粒径分布曲线上的某粒径，小于该粒径的土粒质量为总土粒质量的 10%；

ω ——天然含水率；

CBR——加州承载比；

M_R ——动态回弹模量；

c ——粘聚力；

φ ——内摩擦角；

α ——被动土楔下滑动面倾角；

χ ——主动土楔上滑动面倾角；

W_A ——主动土楔所受重力；

W_P ——被动土楔所受重力；

N_A ——主动土楔滑动面上的法向力；

N_P ——被动土楔滑动面上的法向力；

δ ——包边土摩擦角；

φ ——路堤砂填料摩擦角；

γ ——包边土容重；

γ ——砂填料容重；

c ——包边土内聚力；

F_s ——填砂路堤边坡抗滑稳定系数。

【条文说明】本节所列符号为标准中的主要符号，此处未列出但规范中出现的其他符号请参阅现行公路路基设计规范和公路路基施工技术规范。

3 细砂填料

3.1 一般规定

3.1.1 含草皮、生活垃圾、树根、腐殖质的砂不宜作为路基填料。

3.1.2 含有沼泽土、淤泥的砂不得用于路基填筑。

3.1.3 砂无粘聚性、透水性好，可连续施工。

3.2 砂的分类

3.2.1 细砂填料的分类依据是细粒组含量和细度模数，当细粒组含量为 5%~25%时，根据细粒组含量可分为细粒土质砂和含细粒土砂，当细粒组含量<5%时，利用细度模数细分为特细砂、细砂、中砂和粗砂，如表 1。

【条文说明】根据我国《公路土工试验规程》中土的分类方法，粒径在 0.075mm~2mm 的粒组称为砂，进一步可分为细砂、中砂和粗砂。当粗粒土中砾粒组少于砂粒组质量时，称为砂类土；砂类土按粒径分组由大到小，可分为砂（级配良好砂 SW、级配不良砂 SP，另可进一步细分为粗、中和细砂）、含细粒土砂 SF，以及细粒土质砂（粉土质砂 SM、黏土质砂 SC）。根据《建筑地基基础设计规范》，砂土为粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重 50%、粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50%的土；砂土可进一步分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。对滨海、江、河、湖泊地区公路工程砂样进行筛分试验，变异系数均<5，且细砂粒径比较单一，属于级配不良砂。

对于中粗砂，颗粒粒径 $d < 0.074\text{mm}$ 的颗粒组分占总质量的百分比对其力学性质、最大干密度的试验方法和现场压实工艺有显著影响。对于粉细砂，含泥量对于其力学性质、最大干密度的试验方法和现场压实工艺影响明显。因此，应在规范将砂填料按级配划分的基础上，以颗粒粒径 $d < 0.074$ 的颗粒组分占总质量的百分比及是否含有塑性成分作为评价指标之一，对砂填料做更加细化分类，同时考虑砂的细度模数对其路用性能的影响。因此，提出了滨海、江、河、湖泊地区公路工程细砂填料分类的新方法，在现有规范将细砂填料划分为级配不良砂 SP 的基础上，以细粒组含量和细度模数分别作为 2 级指标对滨海、江、河、湖泊地区公路工程细砂进行细分。

表 1 细砂填料的分类结果

名称	一级指标 (细粒组含量)	二级指标 (细度模数)	分类
细砂填料	15%~25%	/	细粒土质砂
	5%~15%	/	含细粒土砂
	<5%	<1.6	特细砂
		1.6~2.2	细砂
		2.3~3.0	中砂
		>3.0	粗砂

3.3 细砂填料技术要求

3.3.1 特细砂不宜作为填砂路基材料。

3.3.2 滨海、江、河和湖泊地区的细砂路基填料颗粒粒径宜在 0.075mm~0.3mm 之间。

3.3.3 D₅₀ 在 0.05mm~0.09mm 之间砂土最容易液化，避免选用该区间的填料。

3.3.4 长期位于地下水位以下的路基，应慎用单一粒径的细砂填料。

3.3.5 细砂填料不应结团集中，有机质含量不应超过 5%。

【条文说明】细砂填料的有机质含量过大，细砂路基强度和稳定性很难得到保证，如遇有有机质含量集中的地方，会造成细砂地段软弱，易出现细砂路基弹簧现象。

3.3.6 不同交通等级、不同路基层位的细砂填料的 CBR 强度要求，见表 2。

表 2 公路细砂填料 CBR 强度要求

路基部分		路面底面以下深度(m)	填料最小承载比 (CBR) (%)		
			高速公路、 一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床		0~0.3	8	6	5
下 路 床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	5	4	3
	特重、极重交通	0.3~1.2	5	4	--

【条文说明】细砂路堤填料的 CBR 强度较高，远大于《公路路基施工技术规范》中对于路基填料的最小强度要求。

4 细砂路基设计

4.1 一般规定

4.1.1 细砂路基设计高度不应超过 10m，宜低于 8m。

【条文说明】在边坡坡比一定的条件下，填筑高度越高，安全系数越小。当填高达到 8m 时，安全系数仍然达到 1.25 以上。进一步增加填高，填筑高度达到 10m 时安全系数低于 1.25，同时考虑到填砂路堤填筑高度较高时压实质量难以控制，因此建议填砂路堤的极限填高应低于 10m。

4.1.2 细砂路基设计应考虑水和冰冻对路基性能的影响，设置完善的防排水系统或防冻害设施，以及必要的路基防护工程。

4.2 复合结构设计

4.2.1 为充分发挥细砂填料的承载能力，避免填砂路基边坡滑塌，宜采用砂芯-包边的复合结构，包括基底、砂芯、包边和顶封层四部分，见图 1。

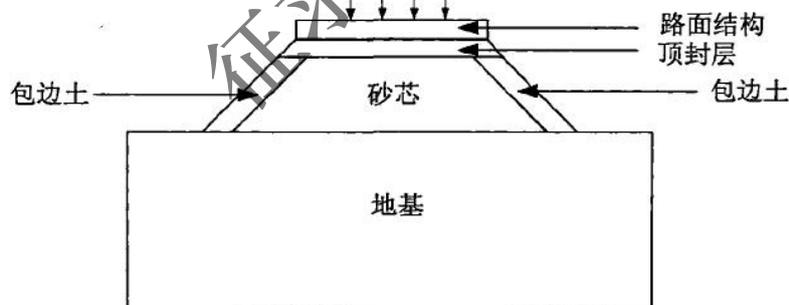


图 1 细砂路基复合结构示意图

4.2.2 基底设计的作用是防止基底砂料流失、扩散路基底部应力等。

4.2.3 不同填筑高度的细砂路基应采取不同地基处理方式。路基填筑高度 $\leq 1.8\text{m}$ 时，在整平地坪标高基础上反挖 60cm，换填细砂；路基填筑高度 $> 1.8\text{m}$ 时，根据地面横坡进行设计。地面横坡小于 1: 5 时，在清除地表草皮、腐殖土、耕植土后，直接在天然路面上填筑路基，地面横坡为 1: 5~1: 2.5 时，原地面应挖台阶，台阶宽度不应小于 2m（遇现状废弃大堤，或土埂，均需挖至原地面），清表深度宜为 30cm。

4.2.4 细砂路段宜在基底设置 2%~4% 的双向横坡，利于基底排水；设置纵横向碎石盲沟，

并铺设土工布，防止细砂因渗流冲刷流失。

4.2.5 细砂路基砂芯包裹于复合结构中心，最大填高不应超过 10m，最小填高不宜低于 0.7m~1.0m，保证路基工作区处于干燥或中湿状态。

4.2.6 细砂应用于不同交通等级、不同路基层位时的路基压实度要求，见表 3。

表 3 细砂路基压实度要求

路基部分		路面底面以下 深度(m)	基底压实度（重型%）		
			高速、一级 公路	二级 公路	三、四级 公路
上路床		0~0.3	96	94	94
下 路 床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	96	93	92
	特重、极重交通	0.3~1.2	94	93	91

4.2.7 顶封层设计原则是考虑顶封层的应力扩展作用和防止水分渗入，主要功能是隔离路面结构与填砂部分，防止大风扬砂及雨水冲刷造成的砂粒流失，同时避免路面结构中的水渗入到路基中软化砂芯。

4.2.8 顶封层可直接采用水泥砂、水泥土、石灰土等，当采用粗粒土时，应在顶部铺设防渗土工布。从改善砂芯应力状态、形成由路面至路基的过渡层出发，宜选用模量较高且变异性较小的顶封层，如碎石和水泥稳定细砂。考虑对细砂填料的充分利用和路基整体填料的统一性时，宜选用水泥稳定细砂。

【条文说明】 不同材料作为顶封层对比结果如下：

在长江隧桥引线段进行细砂填筑时，针对水泥土（3%水泥）、水泥砂（3%水泥）和石灰土（6%石灰）三种顶封结构，进行了路基顶面回弹弯沉的检测。其中，水泥土共检测了 65 个点，实测弯沉范围 232~576，平均值 379；水泥砂共检测了 40 个点，实测弯沉范围 214~478，平均值 323；石灰土：共检测了 12 个点，实测弯沉范围 164~456，平均值 289。从静态弯沉的检测结果来看，石灰土优于水泥砂，水泥砂优于水泥土；但石灰土受石灰本身的活性和水敏感性等因素影响较大。

江西乐温高速选取了碎石和石灰土两种顶封层，在路面竣工后采用落锤式弯沉仪进行了检测，测试结果表明顶封层型式对于细砂路基的整体承载力性能有着较大的影响，采用碎石

顶封层的路段反算得到的回弹模量明显优于采用石灰改良土顶封层的路段，40cm 碎石顶封层路段又优于 20cm 碎石顶封层的路段。同时，石灰改良土顶封层的回弹模量变异性也比碎石顶封层路段大。由于砂填料的刚度较大，刚度较小的顶封层会在路面结构造成应力集中从而导致承载能力下降，故刚度较大的碎石顶封层优于刚度较小的石灰土顶封层。

综合分析以上现场测试结果，从改善砂芯应力状态、形成由路面至路基的过渡层出发，宜选用模量较高且变异性较小的顶封层，如碎石和水泥稳定细砂。同时，若进一步考虑对细砂填料的充分利用和路基整体填料的统一性，宜采用水泥稳定细砂作为顶封层。

4.2.9 考虑分层压实施工要求，填土高度为 3m 的普通路基段顶封层设计厚度宜 0.4m~0.6m，填土高度为 1.5m 的低路基顶封层设计厚度可适度增加，软基路段顶封层厚度应不小于 0.5m，以防厚度不足导致顶封层失效。

4.2.10 包边结构的作用是包裹砂芯，防止弱黏聚力、流动性强的砂粒崩落，保护边坡免受水流冲刷和易于绿化、植被防护，主要包边类型包括包边土、袋装砂码边和加筋方法。

4.2.11 包边土设计的基本要求如下：

- 1) 综合考虑包边土对细砂路基边坡稳定性的影响及施工便捷性，包边土厚度宜为 1m~2m。
- 2) 包边土可采用黏性土、砂砾土、碎石土、石灰改良处治土等。
- 3) 包边土选用黏性土时，材料的最大粒径应小于 150mm，液限应不大于 50%，塑性指数介于 12~26 之间，最佳含水率介于 12%~22%之间，最大干密度介于 $1.8\text{g}/\text{cm}^3\sim 2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。
- 4) 包边土可选用路基范围内开挖一定深度的素土材料，该深度范围仍采用砂料回填，但应在基底做好纵向、横向盲沟排水系统，且需控制回填砂料压实度不小于 90%。
- 5) 采用包边土的细砂路基坡度应小于 1: 1.25，路基高度应小于 8m，包边土厚度宜在 1m~2m 之间，包边宽度可根据重力挡土墙的抗滑稳定性 ($F_s \geq 1.3$) 和抗倾覆稳定性 ($F_c \geq 1.5$) 分析计算。

4.2.12 袋装砂码边设计的基本要求如下：

- 1) 袋装砂码边的主要结构形式为双排双层编织袋+覆土+混凝土预制块或单排单层编织袋+水泥砂浆+混凝土预制块。
- 2) 砂芯-包边界面是薄弱带，砂袋与层间应交错排列，不得形成垂直通缝。码坡方式可采用单层单排或双层双排，每层厚度宜为 0.4m~0.6m。

- 3) 袋装砂码边与斜边六角预制块的联合运用具有包边、排水性能好、整体稳定性高、施工便捷的优势,宜采用“双排双层编织袋+300mm覆土+混凝土预制块”的方式。
- 4) 袋装砂棱体的外坡坡度宜取 1:1.5~1:3.0,内坡坡度宜取 1:1.0~1:2.0。地基条件好、护面施工方便的可取较陡的坡度,反之,取较缓的坡度。
- 5) 使用袋装砂袋码边时,应控制砂袋装砂量,以防止压实过程中砂袋胀裂。

4.2.13 加筋设计的基本要求如下:

- 1) 细砂路基包边加筋设计原理是将土工合成材料穿越土工布布置于包边土中,同时对土工布进行分段连续布置以便土工合成材料横向穿越,进一步提高包边填砂路堤的极限承载力。
- 2) 土工格栅、土工织物、土工网等土工合成材料均可用于细砂路基加筋,宜选择强度高、变形小、糙度大的土工格栅。
- 3) 土工格栅加筋包边坡率宜为 1:1,每填筑 50cm 沿受力方向(垂直于路堤边坡线)设置一层单向拉伸土工格栅,至上而下全部设置。
- 4) 加筋土工格栅的长度应根据其布置深度决定。路床顶面以下 0~8m,土工格栅长度宜为 18.5m;路床顶面以下 8m~16m,土工格栅长度宜为 23.5m;路床顶面以下 16m 以外,土工格栅长度宜为 28.5m。
- 5) 每层土工格栅均应向路基外伸出 2.5m,用以向上翻折包边,与上层土工格栅宜搭接 2m,并绑扎牢固。包边格栅外应覆盖 50cm 厚素土,并植草防护。

4.3 防排水设计

4.3.1 防排水设计的主要原则是排出浸泡于基底的水分,避免基底冲刷、软化影响细砂路基长期性能。

4.3.2 细砂路基施工前,应结合现场实际开挖路基两侧排水沟,以沟内的水能排到附近原有沟渠为宜,下挖深度宜 0.8m~1.0m,下挖宽度 1.0m,避免引起倒灌。

4.3.3 包边土部位宜设置纵、横向排水盲沟和急流槽。纵向路堤全线设置,相邻横向盲沟间距宜为 20m~30m,宽度、高度宜为 300mm~500mm。急流槽设在盲沟外端,包边土每填 2m 须增设横向盲沟。盲沟设置详见图 2 和图 3。

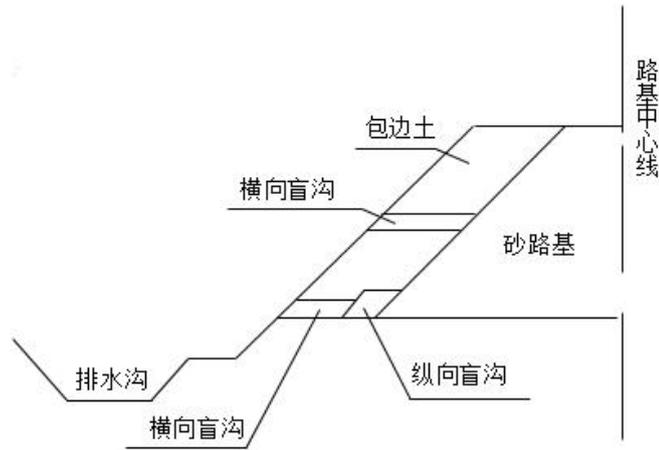


图2 盲沟横向示意图

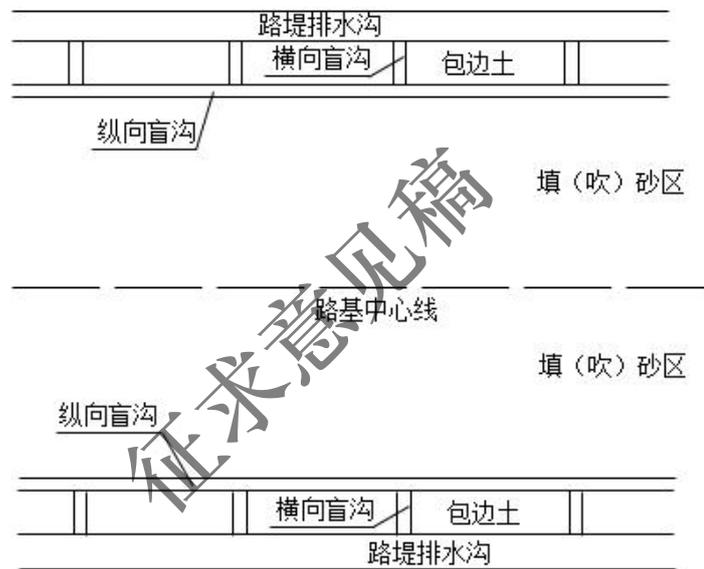


图3 盲沟纵向示意图

4.3.4 盲沟宜采用“透水土工布包裹级配碎石”形式，土工布宽度超出盲沟范围 0.25m，搭接宽度不得小于 0.25m。必要时应配置水泵防止雨季及地下水位较高时路基的水损。

4.3.5 除设置碎石盲沟外，宜在基底设置 3%排水坡，干砌片石护脚，内侧设置卵石反滤层，采用透水土工布包裹，将路基基底积水引出排水沟。

4.3.6 对于未来中央分隔带路表雨水、植被绿化灌溉水的排出，可考虑在碎石垫层内沿道路纵向每隔 20m，往路堤坡面外侧设置直径 8cm 的 PVC 管，要求内侧管口用土工布包裹，以起反滤作用。

4.3.8 反滤布应采用 $300\text{g}/\text{m}^2$ 以上，抗拉强度不小于 $6\text{kN}/\text{m}$ 的无纺布或复合土工织物。

4.3.9 垫层宜采用级配为 20mm~80mm 的碎石或 5mm~40mm 的袋装碎石，厚度宜取 15cm~30cm。

4.3.10 水下部分采用混合反滤时，可采用级配较好碎石、石渣等，其厚度不宜小于 60cm。

4.3.11 路基底部设置隔离层时宜采用砂砾或石渣，宽度应为路基全宽，厚度宜为 50cm，路拱横坡宜为 1%。砂砾和石渣应满足含土量 $\leq 5\%$ ；最大粒径 $\leq 10\text{cm}$ ；压碎值 $\leq 25\%$ 。

4.4 边坡防护

4.4.1 细砂路基边坡防护包括工程防护和生态防护，既能满足结构要求，又能符合景观需求。

4.4.2 细砂路基应采用缓坡率边坡，宜采用圆弧的坡脚和坡顶。

4.4.3 细砂路基宜采用“袋装砂分层码砌+斜边六角空六边形混凝土预制块+培土植草”的路基边坡防护方式。外露为预制空心块，坡面下设 300mm 拍填土结构层，以及双层砂袋码坡施工层。

【条文说明】经试验结果表明，斜边六角空六边形混凝土预制块坡面防护的机理是将坡面粗糙化、格式化、增大坡面的粗糙率，雨水在坡面冲刷时，粗糙的六角预制块可拼接成整面边坡网格，迫使坡面水多次改变流向，减缓流速、起到减速消能作用，同时网格里种草绿化，对坡面土起隔离保护作用。另外，采用装砂编织袋码边可以有效地增加路基的整体稳定性，同时排水性能好，施工方便快捷。为确定防护的具体型式，分别对“双排双层编织袋+500mm 覆土+混凝土预制块”、“单排单层编织袋+M7.5 水泥砂浆+混凝土预制块”、“双排双层编织袋+200mm 覆土+混凝土预制块”、“单排单层编织袋+混凝土预制块”码边和处理方法进行对比分析，从现场施工难易程度和防护效果来看，采用“双排双层编织袋+300mm 覆土+混凝土预制块”是最佳的。

六边形空心素混凝土可机械化、工厂化集中生产，是一种较先进的生产方式。采用预制方式生产六角块网格，生产效率高，构件质量好，受气候影响和其他因素干扰小，可以均衡生产和大批量生产。加快工程建设速度，降低劳动强度，提高生产效率和施工质量。从而节省管理费用，取得良好的间接经济效益。六边形空心素混凝土网格防护边坡采用砂和砾石为建筑材料，使用片石数量少，可减少片石开采量，减少因大量开采片石而破坏山体植被，造成水土流失的现象。有利于水土保持生态建设和保护，符合经济建设与环境保护相协调的原则，实现经济和社会可持续发展，有着良好的社会效益。

4.4.4 斜边六角空心预制块可植草、防冲刷、整体性好。应相互紧密排列形成防护坡面，每个预制块外侧做成斜面（坡度宜为 1:1.75），通过水泥砂浆填塞预留缝，形成留有空洞的整体防冲刷的坡面防护结构，空洞部分填土植草，如图 4 所示。

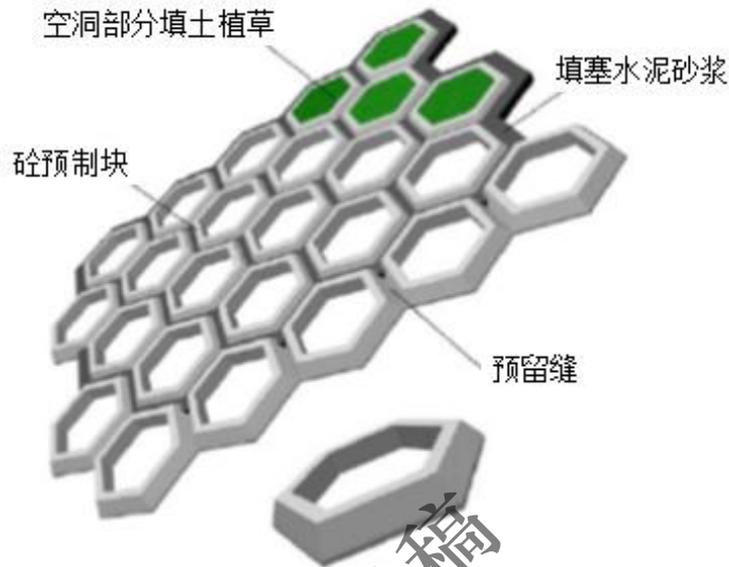


图 4 斜边混凝土预制块排列示意图

4.4.5 斜边六角空心预制块的基本参数如图 5 所示。

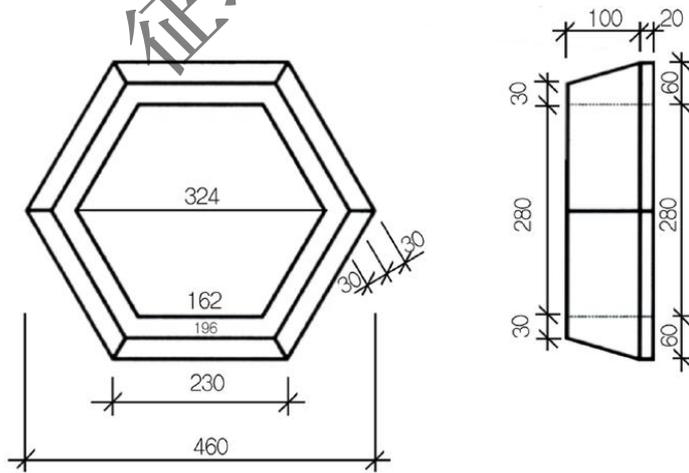


图 5 空心混凝土预制块大样示意图

4.4.6 为确保填砂路基的工程安全，宜在 8cm 高的预留缝中填充用 5cm 的 7.5#水泥，加强了混凝土预制块护坡的整体性。可根据费用状况在预留缝中做铁丝结网。

4.4.7 植物应与周围植被形态相适应，宜草则草、宜灌则灌、宜花则花。应优先考虑本土植物，实现植被防护的可持续性，选择抗性强、瘠薄不易倒伏的植物。

4.4.8 优先采用先锋植物实现防护功能，草灌结合，利用草生长快的特点实现覆盖和防护功能，利用灌木、花等实现景观功能。

4.5 边坡稳定性分析

4.5.1 细砂填料粘聚力较常规填土路堤小，细砂路基的边坡稳定性分析要求更为突出。细砂路基边坡稳定性分析旨在分析在路堤填高较大、边坡坡度较陡、地表倾斜的情况下，通过合理的分析手段，保障细砂路堤的稳定性。

4.5.2 细砂路堤的滑动面形态接近于双折线滑动面。宜采用极限平衡双楔形体法进行具有等厚包边土层的细砂路堤边坡稳定性分析。

4.5.3 无包边土时，路堤边坡的潜在滑动面通过坡脚，且接近直线滑动面，滑动面位置和形态随着填高的增加滑动面的位置变化不大，细砂路堤在无包边土情况下的主要破坏形式是边坡表层砂的浅层滑动。

4.5.4 有包边土时，路堤边坡的潜在滑动面也通过坡脚，但不发生路堤与地基的整体滑动。在滑动面的形态上与无包边土有较大差异，在包边土内的滑动面接近圆弧滑动面，而在填砂部分内的滑动面接近直线滑动面。

4.5.5 在压实度不足时，宜采用强度折减法进行分析，安全系数应高于 1.25。

【条文说明】

改变路基填高、路堤坡比、包边结构的厚度、填料性能等，采用土工格栅或加筋等护坡方式

4.5.6 为防止失稳，应控制细砂路堤的极限填高低于 10m，细砂路堤边坡坡比宜大于 1: 1.5，包边土厚度设计值宜为 1m~2m。施工中应高度重视路堤良好的压实，以获得较高的填砂内摩擦角，增强填砂路堤的稳定性。

5 细砂路基施工

5.1 一般规定

5.1.1 细砂路基的施工方法主要包括适合远运的填筑压实法和适合近距吹填的吹砂施工法。

5.1.2 细砂路基工程应遵循施工边防护的原则，完成一段，防护一段，减少细砂外露时间。

5.1.3 由于细砂无粘聚性、透水性好，细砂路基填料的最佳含水率在 10%~12%之间，在压实施工过程中可控制在 10%~15%以内，可在小雨中施工。

5.2 填筑压实施工方法

5.2.1 细砂填料压实的主要施工工序包括运输、摊铺、洒水、碾压，主要流程见图 6。

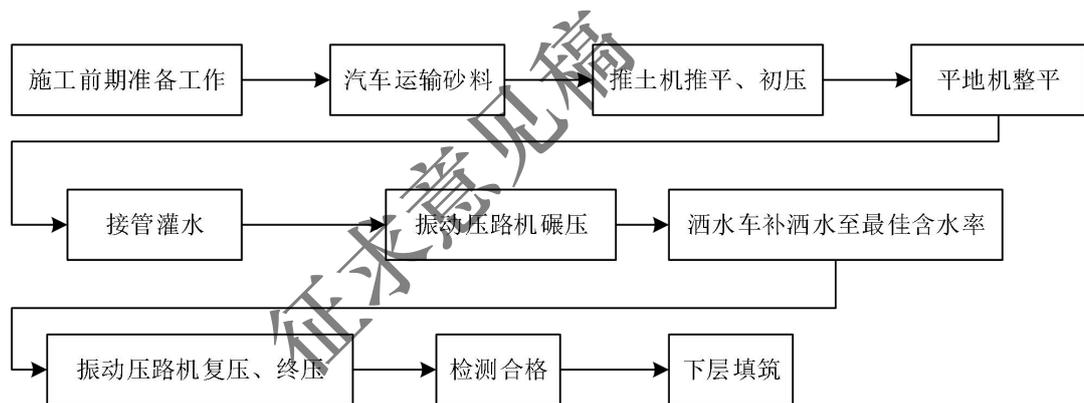


图 6 施工工艺流程图

5.2.2 应做好临时排水设施，及时排除路基范围内积水。颗粒组成、最大干密度和最佳含水量有显著差别的砂源应分别堆放，分段填筑。

5.2.3 路基施工前，应对拟选用作为路基填料用砂的产地、状态、性质进行调查，取具有代表性填砂料样进行颗粒筛分、界限含水率、天然含水率、有机质含量、最大干密度和 CBR 值等试验。在施工过程中，来源不同、性质不同的砂场或用以砂源性质发生变化的，应重新取样进行试验。

5.2.4 细砂的最大干密度应以重型击实法为主，可采用砂的相对密度法、振动台法与之作验证试验。

【条文说明】为了对砂的最大干密度进行测定，分别进行重型击实法、相对密度法和振动台法试验，从大量试验结果发现，相对密度法和振动台法所确定的最大干密度略偏小，且试验数据离散性较大，稳定性较差，重型击实法确定的最大干密度较准确，稳定性好。因此，重型击实法取得的最大干密度、最佳含水率与相对密度法、振动台法相比更准确，对现场压实控制更优。

5.2.5 细砂路基填筑压实前必须清理场地，应将路基范围内的树木、灌木和植被的根茎全部挖除，将坑穴填平，并碾压密实。

5.2.6 在施工前应做好细砂路基的排水工作，应开挖路基两侧的排水沟。

5.2.7 宜开展试验路段，位置应选择在地质条件、断面型式、填料等具有代表性的路段，其长度不宜小于 200m。通过试验路段的施工确定机械组合、压实机械规格、松铺厚度、碾压厚度、碾压方法；最佳含水率及碾压时含水率容许偏差；施工质量控制与检测方法。

【条文说明】因砂的粘聚力极小（近似为零），表面粘散不易板结，车辆在细砂路基上行车容易形成车辙，为了保证在同一作业段形成流水作业，采用半幅挂线施工方法，因此在规定试验路段长度时建议不宜小于 200m，有利于保证试验路段的施工质量。

5.2.8 对于高速公路、一级公路，细砂路基的松铺厚度应控制在 400mm 以内，以确保压实功效。对于二级及二级以下公路松铺厚度可放宽至 500mm。

【条文说明】试验路段实践证明：振动能量在砂中的衰减较快，松铺厚度不宜设置过厚，当小于 500mm 时，可以保证细砂路基的压实效果，此时经过计算，表面静压力为最大值的 92%。为确保压实功效，对于高速公路、一级公路细砂路基的松铺厚度控制在 400mm 以内。

5.2.9 当采用包边土的包边方式，砂芯-包边须同步施工。施工作业段长度宜为 400m~500m，或相邻两道构造物之间为一个施工作业段。

【条文说明】运砂车辆长距离行驶较为困难，作业段不宜太长。且为保证运砂重车在砂层上正常行驶、调头，砂层要经常洒水（特别是在夏季、旱季），保持表层湿润，形成的车辙要及时整平、碾压。机械设备的调度距离不应过长，400~500m 为宜。若采用接管灌水，大功率的潜水泵或其他压力泵的泵送距离也不宜太长，否则水压力不够。由此可见，为保证在同一个作业段形成流水作业，作业段不宜太长。

5.2.10 在已合格的细砂表面继续填筑时，必须洒水保持已填筑砂层的表层（不小于 20cm

厚)砂的含水率不小于 15%，当出现较深车辙时，用推土机或压路机及时整平碾压，以保证自卸汽车将砂运至指定地点。

5.2.11 细砂路基必须全断面分层填筑，分层的最大松铺厚度不应超过 400mm；如设计有下封层，则其上铺筑的第一层砂的松铺厚度应按 400mm 控制，如设计无下封层则第一层砂的松铺厚度应按 400mm~600mm 控制；填筑至路堤顶面最后一层的压实厚度不应小于 100mm。通常，细砂填料松铺厚度，路床部分可取 300mm，上路堤部分可取 350mm。

5.2.12 按照细砂路基横断面全宽分成水平层次逐层向上填筑。如原地面不平，应由最低处分层填起，每填一层，检测压实度符合规定后，再填上一层。

【条文说明】在铺筑下一层路基时，难免出现路基因水分流失导致压实度不足的现象，因此，在已合格的填筑层上继续填筑时，应洒水补压，直至压实度合格后，方可填筑下一层。

5.2.13 原地面纵坡大于 12%或横坡陡于 1:5 时，应按设计要求挖台阶，设置大于 4%的内倾坡度，宽度大于 2m 的台阶。

5.2.14 填筑多个作业段施工时，接头部位如不能交替填筑，则先填路段，应按 1:1.5 坡度分层留台阶，如能交替填筑，则应分层相互交替搭接，搭接长度不小于 2m。

5.2.15 填筑第一、二层砂时，施工横坡度宜控制在 3%左右，且应设成内倾横坡，横向水流指向路中心，逐层填高后，施工横坡度可以适当减小。

【条文说明】试验表明，在填筑第一层时，砂层保水性相对较好，逐层填高后，水很容易透过砂层，沿黏土下封层顶面从路基坡脚排出。故考虑填筑第一、二层砂时，施工坡度控制在 3%左右，能及时排除下雨后的表面积水。逐层填高后，施工横坡度可以适当减小。当施工横坡度大于 3%时，下雨时砂层表面容易形成冲沟，并增加压路机压实路基边缘时的水平推力，造成压路机不能靠边碾压。

5.2.16 土、砂填筑宜以构造物作为界限。若砂、土必须搭接，应采用必要措施进行处理，保证填砂与填土接合处路基的强度和稳定性。

5.2.17 细砂路基施工须饱水密实，需要充足的水源，采取合适的措施，保证砂土的饱水密实效果。

5.2.18 填筑压实施工方法的细砂路基压实宜采用“静压+振动碾压”的方法。

5.2.19 推平碾压可采用大型推土机粗平并配合平地机精平，初压时从路基边缘向内侧逐轮碾压，碾压时轮迹重叠宽度不小于 1/2 轮宽，轮迹布满一个作业面为一遍，碾压 2 遍，碾压时也可采用纵横向交错的碾压方式。

5.2.20 振动压路机的碾压根据试验段结果进行控制。若压实遍数超过 10 遍，应考虑减少填料层厚，经压实度检验合格后方可转入下道工序，压实度不合格时应洒水补压在做检验，直至合格。

5.2.21 振动压路机的要求为 20t 以上的前后轮驱动振动碾压，采用先慢后快，高频低振的方式，一般碾压 6 遍以上，碾压时轮迹重叠宽度不应小于 1/3，轮迹布满一个作业面为一遍。

5.2.22 压路机的碾压行驶速度不超过 4km/h；碾压时直线段由两边向中间，小半径曲线段由内侧向外侧，纵向进退式进行。前后相邻两区段应纵向重叠 2m 以上，达到无漏压、无死角，确保碾压均匀。

5.2.23 终压用振动压路机静压 1~2 遍。

5.2.24 路基边缘压路机碾压不到的地方，应采用小型压（夯）机具进行补压。

5.2.25 机械在碾压成型后的细砂路基上行驶需缓慢匀速，调头半径尽量大一些。同时为保证运砂重车在细砂路基上正常行驶、调头，进行上层细砂填料运输和松铺时，应视情增湿；填筑过程宜采用洒水补水的方式达到最佳含水率附近或略高的水平，保持表层湿润，形成的车辙应及时整平、碾压。

5.2.26 砂芯-包边同步压实工序和施工组织见图 7 和图 8。测量放线后，在路基左右两侧摊铺第 1 层包边土，碾压至目标压实度。然后在包边内侧设置防渗土工布，接着进行第 1 层粉细砂的摊铺和碾压；当第 1 层包边和砂芯施工达标后，再进行下一层施工。当现场施工设备和人员充足时，也可实行同一层包边和砂芯同时施工，但需注意在包边和砂芯之间预留适当的空间以便于铺设土工布。

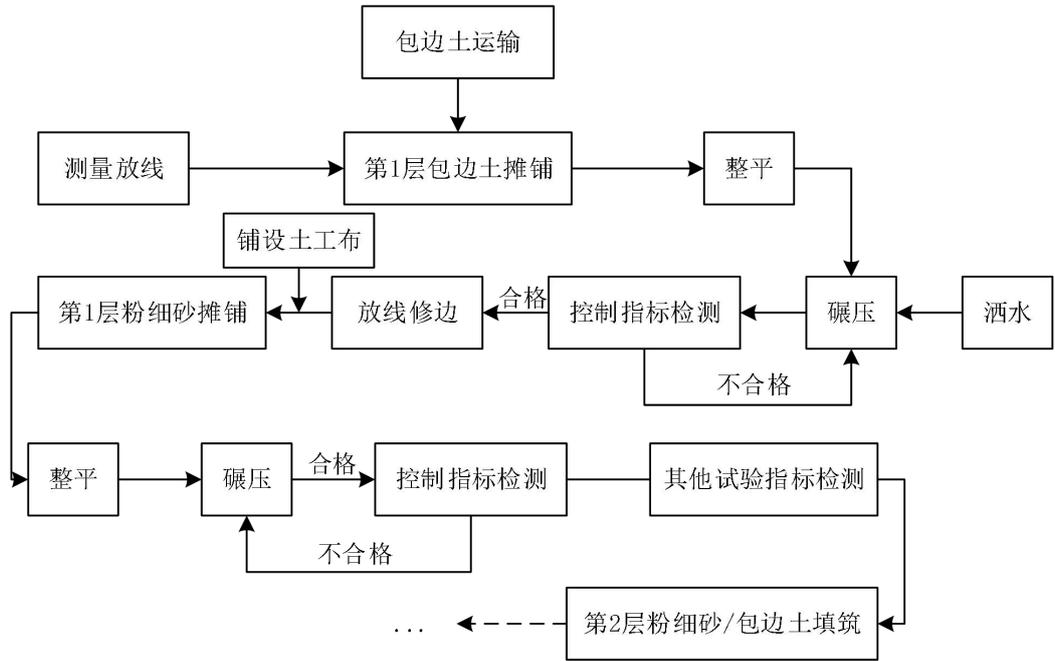


图7 砂芯-包边同步压实工序

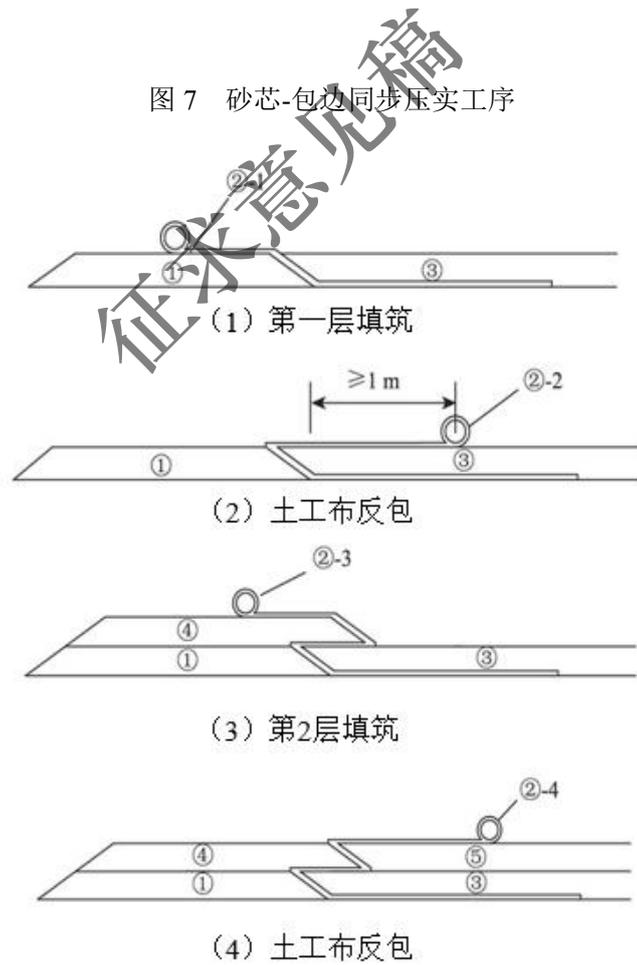


图8 砂芯-包边同步施工组织

5.2.27 砂芯-包边同步压实还须注意如下施工要点：

- 1) 包边土与细砂路基宜同步施工，可滞后一层细砂路基施工，注意避免砂土混杂现象。
- 2) 公路细砂路基两侧包边土应对称施工，宽度应满足设计要求，路基外侧宜宽填 500mm，宽填部分应在路基边坡修整时清除。

【条文说明】砂的粘聚力很小，在碾压过程中，压路机不能过分靠边碾压，否则容易下陷，不安全，设计路基宽度内不能有效压实，因此要确保宽填 500mm。

- 3) 包边土施工前，应先挖除宽填的细砂路基，包边土施工采用分层碾压的施工方式，每层压实厚度宜控制在 200mm~300mm。
- 4) 为便于灌水，包边土高度需高于计划填筑粉砂的高度约 20cm~50cm，填筑完毕后再刷坡，包边土宽度宜在 3m~4m 为宜。
- 5) 如为环岛填筑或高填方填筑，外侧边坡坡率按 1:2 填筑，内侧边坡坡率按 1:1 填筑，以便于路基内侧减少渗水，外侧便于铺筑生态保护袋、植草等边坡防护。

5.2.28 砂芯-包边非同步施工适用于采用带装砂码边或加筋方法的包边施工工艺。

5.2.29 采用编织袋装砂，封装后的砂袋宽度不小于 60cm，横卧后压实厚度不小于 20cm，人工分层垒边。施工时需注意控制砂袋装砂量，以防止边缘压实时砂袋受压胀裂，同时注意砂袋的码砌方式，有意识构筑合理的包边-砂芯界面台阶或将包边结构设置为上窄下宽的异型四边形，以充分发挥包边结构的自立性。

5.2.30 砂袋码边边坡成型后应在外侧加覆一层 30cm~50cm 的反拍土。

5.2.31 码坡时必须严格按设计坡率将编织袋码平、码直，每层必须洒水压实。在已码好的有台阶的编织袋上回填土，逐层人工夯实，最后再修整坡面。

5.2.32 加筋施工的基本要求如下：

- 1) 铺设格栅前应按设计要求及施工规范将基面整平碾压达到要求，同时将基面局部凹坑及大碎石、块石等坚硬凸起物清除。
- 2) 沿施工基面，每隔一定距离放置一卷土工格栅，并将格栅沿施工基面摊开，按设计要求裁、铺。
- 3) 相邻格栅之间的搭接可以选用重叠搭接或捆绑搭接，搭接要求上下格栅肋条要一一对应

重叠：重叠搭接长度 $L \geq 300\text{mm}$ ；捆绑搭接长度 $L \geq 100\text{mm}$ ，并用高密度聚乙烯绳将上下格栅肋条捆绑在一起。

4) 铺设土工格栅时，应将格栅拉紧，从一端用木栓或 U 形钉将格栅固定，使格栅平顺地贴伏在施工基面上，不得有褶皱，以充分利用格栅的抗拉特性。

5) 铺好格栅后，按设计或规范要求，在格栅上分层填土、碾压至下一格栅铺设层。施工过程中施工机械最好不要直接行驶在未覆盖填料的格栅上。上、下层格栅的纵向接缝间距应相互错开 1.0m 以上。

6) 土工格栅上填料应按先两侧、后中间的顺序进行，使格栅尽早发挥抗拉作用。

7) 铺设单向土工格栅时，为保持格栅的最大抗拉方向与土体内预计的最大拉应变方向一致，其长孔方向要与线路横断面方向一致，否则达不到设计要求。

8) 铺设双向土工格栅时，为防止格栅外露，其外缘距路基边坡应保持 0.1m。

9) 土工格栅在露天条件下会产生硬脆现象，因此产品不宜露天存放，应避免日光长期照射并离热源 2.0m 以上。

5.2.33 顶封层采用水泥稳定土时，材料拌和采用路拌法，在摊铺精平好的封层面上，按划定方格和计算的水泥用量来摊铺水泥，然后拌和均匀。拌和形式采用两拌一犁→两拌一犁→两拌一犁→两拌。两拌一犁即用旋耕机拌和两边，然后用九铧犁犁开。

5.2.34 在填料最佳含水量 $\pm 2\%$ 范围内进行碾压，先用 YZ14JC 压路机静压 1 遍，稳压后用 YZ14JC 压路机振动碾压 3 遍，最后静压 1 遍。碾压轮迹搭接宽度不小于 20cm，压路机碾压速度第一遍采用 1.5km/h~1.7km/h，之后采用 2.0km/h~2.5km/h。

5.3 吹砂路基施工方法

5.3.1 吹填砂（又称水力吹填、水力冲填等，简称吹填），是指利用水力机械冲搅泥砂，将一定浓度的泥浆通过事先铺设的管道泵送至四周筑有围堤的吹填区，使其逐渐脱水固结的一种取土方式。

5.3.2 吹砂路基适合在河涌交错、大型船只可自由进入的地区。主要施工流程见图 9。

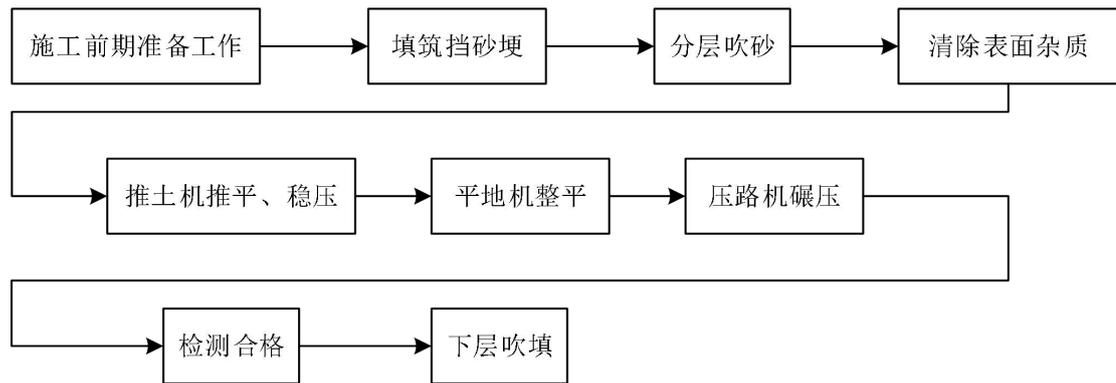


图9 施工流程图

5.3.3 吹砂路基宜采用中细砂，而不宜采用粗砂，并禁止采用粉砂。

5.3.4 吹砂路基施工前，应在路基两侧设置挡砂埂，挡砂埂宜用路基填砂填筑。埂高应高于填筑层高度 200mm~300mm。宽度一般不小于 1000mm。砂埂内侧敷设挡砂埂内侧应敷设防水土工布，起到隔水护砂埂的作用。

5.3.5 吹填设备可采用功率为 800hp~1200hp 的设备。排砂管可采用钢管和塑料硬管，管径 20cm~50cm，管口部分采用塑料软管。

5.3.6 当吹填距离超过吹砂设备最大能力时，可采取加压或二次抽吸的方法。当排砂管口高程超过砂泵最大扬程，可采取附加加压泵。

5.3.7 当路堤高度小于 2m 时，可作一次吹填；当路堤高度大于 2m 时，应采用分层吹填，分层厚度一般为 1m~2m。但如超过极限高度，吹填分层厚度不宜超过 70cm。

5.3.8 吹砂路基填筑作业段长度宜控制在 200m~400m，或相邻两道构造物之间作为一个施工作业段。

5.3.9 吹砂路基应全断面分层吹填，分层压实。分层的厚度应根据试验段确定，一般宜控制在 1000mm~1500mm。

【条文说明】吹砂路基一次吹填厚度不宜太厚，厚度太厚易导致路堤失稳，根据现有高速公路吹砂路基施工经验，本标准规定吹砂路基一次吹填厚度宜控制在 1000mm~1500mm。

5.3.10 每隔 20m~30m 设置一个出水口和临时急流槽，以排出吹砂带来的泥水，出水口四周和急流槽应铺设塑料布以保护路堤。

5.3.11 吹砂管的砂水不能直接对准某一处吹填，而应在该处铺上一定面积的塑料布，或采用其他措施减少吹砂对落点处路堤的冲刷。

5.3.12 完成一层吹填砂后，待砂层干水后应将表面的泥皮清除干净，并整修工作面和边坡。吹砂路基的边坡高度不宜超过 10m。

5.3.13 包边土和吹砂路基的衔接部位是一个薄弱面，为了使两种不同类土结合紧密，可挖台阶填筑，每级台阶宽一般为 1m，高为 0.6m，台阶朝路基内侧倾斜，坡度一般为 2%~4%。但是对于台阶开挖和填筑比较困难。

5.3.14 非软基路段，吹砂包边土按设计厚度施工，数量按实际断面计算。在软基路段，对于非反开挖施工包边土时，设计包边土土方除包括设计厚度和路基加宽部分的土方外，亦应考虑沉降的影响，宜多计 0.5~1.0m 的设计包边土土方，这部分量在填砂部分扣除。对于反开挖施工包边土时，按实际断面计算包边土土方，但须增加卸载土方。

征求意见稿

6 细砂路基质量控制

6.1 一般规定

6.1.1 细砂路基质量控制的基本原则是依据细砂路基设计要求,通过试验手段检验各项技术指标,保证路基施工质量。

6.1.2 细砂路基质量控制的重点检测项目包括路基压实度和路基回弹模量。一般项目包括细砂路基的含水率,含水率检测可采用燃烧法或烘干法。

6.2 压实度控制

6.2.1 细砂路基压实度检测方法宜选用修正薄壁大体积环刀法和标准贯入法,填筑压实施工的压实度检测应清除压实层表面 100mm~200mm 后,在压实层的中下部取样。吹砂路基压实度检测应清除表层 400mm 以上后进行检测。

【条文说明】经灌砂法、水袋法、蜡封法和小体积环刀法(200cm³)、标准大体积环刀法的对比实验结果发现,采用修正薄壁大体积环刀法,可有效避免因路基含水率过大造成内壁坍塌的情况,操作简便,不易扰动砂层,拔筒内砂层容易松动和取出,测出结果较其他检测方法稳定、准确。

6.2.2 应严格按照试验步骤和方法进行试验,并在使用过程中定期检查、校正仪器,避免产生系统误差。

6.2.3 施工过程中的路基压实质量控制,单点压实度标准应符合《公路工程质量检验评定标准》(土建工程)。

6.2.4 压实度应达到规范规定的标准,不符合要求时应进行补水碾压,直到合格,方可进行下一道工序的作业。

6.2.5 细砂路基压实度检测要求见表 4。

表 4 细砂路基压实度检测要求

检查项目	规定值或允许值(道路等级)			检查方法和频率
	高速、一级	二级	三、四级	

压实度 (%)	路床	0~0.8m	≥96	≥95	≥94	按 JTG F80/1-2004 《公路工程质量检验 评定标准》附录 B 检 查
	上路堤	0.8m~1.5m	≥94	≥94	≥93	
	下路堤	>1.5m	≥93	≥92	≥90	

6.2.6 细砂路基压实度检测频率要求。

1) 路基碾压完成后,采用随机取样,每一填筑路段(400m~500m)至少6个点,或每1000m³时检验1点,必要时可根据需要增加检验点数。

2) 桥涵、通道及其他构造物检测时应采取随机抽查方式取样,每层不少于3点。

6.2.7 资料整理方法以1km~3km为一评定路段,每一评定路段的测点数(检测频率)及计算评定方法应遵照相应的施工及验收规范或现行的评定标准的规定进行。

6.3 回弹模量控制

6.3.1 细砂路基回弹模量检测方法采用便携式落锤式弯沉仪(PFWD)测试路基顶面弯沉值,反算细砂路基顶面回弹模量。

6.3.2 应根据现场面积设计测点方案和测点数量,其位置或距离随测试需要而定。在路面表面测定时,测点宜布置在行车道的轮迹带上。测试时,可利用距离传感器定位。

6.3.3 每一测点重复测定应不少于3次,除去第一个测定值,取以后几次测定值的平均值作为计算依据。

6.3.4 细砂路基顶面回弹模量应符合表5的规定。

表5 路基顶面回弹模量检测要求

交通荷载等级	极重	特重	重	中等、轻
回弹模量,不小于(MPa)	70	60	50	40

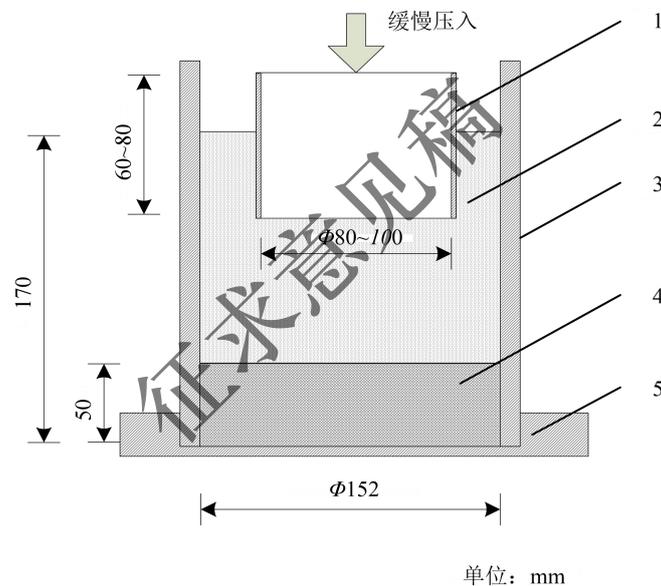
6.3.5 不满足要求时,应采取改变填料、设置粒料类或无机结合料稳定类路基改善层等措施提高路基顶面回弹模量。

附录 A 基于修正大体积薄壁环刀法的压实度检测方法

A.0.1 采用内径 8~10cm、高 6~8cm、壁厚 1.5mm 的薄壁大容积环刀，在传统 II-2 型重型击实筒（内径 15.2cm、高 7cm）内进行取样，定义击实筒内砂样干密度和环刀取样干密度之间的比值为环刀修正系数。

A.0.2 按有关试验方法对检测对象试样用同种材料进行击实试验，得到最大干密度及最佳含水率。

A.0.3 现场应用环刀法进行干密度检测时，将测试值乘以环刀修正系数作为检测结果，试验设置如图 10 所示。



（图中：1-薄壁大容积环刀，2-粉细砂，3-击实筒，4-垫板，5-底板）

图 10 试验设置

A.0.4 环刀法步骤：

（1）擦净环刀，称取环刀质量 m_2 ，准确至 0.1g。

（2）如为湿润的砂土，试验时不需使用击实锤和定向筒，在铲平的地面上，细心挖出一个直径较环刀外径略大的砂土柱，将环刀刃口向下，平置于砂土柱上，用两手平稳地将环刀垂直压下，直至砂土柱突出环刀上端约 2cm 时为止。

（3）削掉环刀口上的多余砂土，并用直尺刮平。

(4) 在环刀上口盖一块平滑的木板，一手按住木板，另一手用小铁锹将试样从环刀底部切断，然后将装满试样的环刀反转过来，削去环刀刃口上部的多余砂土，并用直尺刮平。

(5) 擦净环刀外壁，称环刀与试样合计质量 m_1 ，准确至 0.1g。

(6) 自环刀中取具有代表性的试样测定其含水率 ω 。

(7) 干燥的砂土不能完成砂土柱时，可直接将环刀压入或打入土中，测试环刀取出后所得砂样的干密度。

(8) 将击实筒内已知的真实干密度与环刀测试干密度进行比值，获得环刀修正系数。

(9) 调整重型击实筒内粉细砂试件的含水率，重复步骤 (1)、(2)，获得不同含水率条件下的环刀修正系数。

(10) 应用上述薄壁大容积环刀，在现场进行取样，测试其干密度和含水率，通过含水率确定步骤 (9) 中的环刀修正系数，乘以测试干密度，即得到现场真实干密度。

A.0.5. 本试验须进行两次平行测定，其平行差值不得大于 0.03g/cm^3 。求其算术平均值。

A.0.6 按下式计算试样的湿密度、干密度和现场真实干密度。

$$\rho = \frac{4 \times (m_1 - m_2)}{\pi d^2 h}$$

$$\rho_2 = \frac{\rho}{1 + 0.01\omega}$$

$$k = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

$$\rho_1 = k \cdot \rho_3$$

式中： ρ —试样的湿密度 (g/cm^3)；

ρ_1 —击实筒已知真实干密度 (g/cm^3)

ρ_2 —环刀测试干密度 (g/cm^3)；

ρ_3 —现场测试干密度 (g/cm^3)；

ρ_d —现场真实干密度 (g/cm^3)；

m_1 —环刀与试样合计质量 (g)；

m_2 —环刀质量 (g) ;

d —环刀直径 (cm) ;

h —环刀高度 (cm) ;

ω —试样的含水率 (%) ;

征求意见稿

附录 B 细砂路基回弹模量的测试方法

B.0.1 便携式落锤式弯沉仪（PFWD）是将一固定重的落锤提升至一固定高度，然后释放自由下落，落锤冲击置放在路基表面的承载板及底座上产生冲击荷载，在冲击荷载作用下，承载板与路基表面产生竖向位移。

B.0.2 压力传感器和位移传感器将荷载和位移的时程数据记录下来，并传输到计算机数据处理软件中，从而根据压力和位移的峰值确定路基动弹性模量，试验设置如图 11 所示。

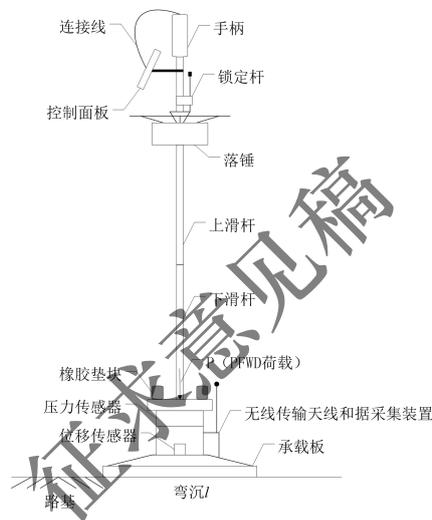


图 11 试验设置

B.0.3 按下式确定细砂路基回弹模量：

$$E_p = \frac{2\pi p a (1 - \mu^2)}{4l}$$

式中： p —实测的承载板所受压力（kPa）；

a —承载板半径，现场常用半径为 15cm 的承载板；

μ —泊松系数，取 $\mu=0.35$ ；

l —实测的承载板中心弯沉（ μm ）；

E_p —路基回弹模量（MPa）。

标准用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 本规范中指定按其他有关标准、规范或其他有关规定执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……的规定执行”。

引用标准名录

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

- [1] 《公路路基设计规范》（JTG D30）
- [2] 《公路路基施工技术规范》（JTG F10）
- [3] 《公路土工试验规程》（JTG E40）
- [4] 《公路路基路面现场测试规程》（JTG E60）
- [5] 《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80）

征求意见稿