

中国公路建设行业协会标准

T/CHCA

公路路基填料设计指南

Highway Subgrade Fill Design Guideline

(征求意见稿)

XXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国公路建设行业协会 发布

前 言

本指南按照《公路工程标准编写导则》(JTGA04)和《标准化工作导则第1部分:标准化文件的结构和起草规则》(GB/T1.1-2020)的规定起草。

本指南制定过程中,编制组对全国范围内的公路路基填料开展了广泛的技术调研,全面总结了我国公路路基填料的设计经验,参考了我国铁路路基填料的相关研究成果和技术资料,广泛征求了业内相关单位和专家的意见和建议。

本指南包括8章和3个附录,分别为:1总则、2术语和符号、3填料勘察、4路基天然填料分级、5一般路基填料设计、6特殊部位路基填料设计、7特殊条件路基填料设计、8特殊填料设计、附录A各组别填料分级、附录B改良土设计与试验、附录C试验段铺筑。

请各有关单位在执行过程中,将发现的问题和意见,函告本规程日常管理组,联系人*** (地址:湖北省武汉市武昌区和平大道745号,邮编:430063,电话:***,电子邮箱***),以便下次修订时参考。

主编单位: 中铁第四勘察设计院集团有限公司

主编:

主要参编人员:

目录

1 总则	- 1 -
2 术语和符号	- 2 -
2.1 术语.....	- 2 -
2.2 符号.....	- 4 -
3 填料勘察	- 6 -
3.1 一般规定.....	- 6 -
3.2 勘察工作内容.....	- 7 -
3.3 勘探、取样及试验.....	- 7 -
3.4 勘察成果编制.....	- 10 -
4 路基天然填料分级	- 12 -
4.1 一般规定.....	- 12 -
4.2 天然填料分级说明.....	- 12 -
4.3 天然填料分级.....	- 12 -
5 一般路基填料设计	- 16 -
5.1 一般规定.....	- 16 -
5.2 路床.....	- 16 -
5.3 填土路堤.....	- 17 -
5.4 填石路堤.....	- 20 -
6 特殊部位路基填料设计	- 21 -
6.1 一般规定.....	- 21 -
6.2 桥涵台背过渡段.....	- 21 -
6.3 填挖交界结合部.....	- 23 -
6.4 新旧路基搭接段.....	- 24 -
6.5 路基包边结构.....	- 25 -
7 特殊条件路基填料设计	- 28 -
7.1 一般规定.....	- 28 -

7.2 季节性冻土地区.....	- 28 -
7.3 多年冻土地区.....	- 30 -
7.4 浸水路段.....	- 31 -
7.5 高地震烈度区.....	- 32 -
8 特殊填料设计.....	- 34 -
8.1 一般规定.....	- 34 -
8.2 高液限土.....	- 34 -
8.3 膨胀土.....	- 40 -
8.4 不良级配砂.....	- 41 -
8.5 过湿土.....	- 43 -
8.6 黄土.....	- 46 -
8.7 再生填料.....	- 47 -
8.8 轻质材料.....	- 52 -
附录 A 各组别填料分级.....	- 55 -
附录 B 改良土设计与试验.....	- 63 -
B.1 一般规定.....	- 63 -
B.2 填料勘察、试验.....	- 63 -
B.3 改良土设计技术指标.....	- 64 -
B.4 改良土设计方案.....	- 65 -
附录 C 试验段铺筑.....	- 68 -

1 总则

1.0.1 为指导公路路基填料设计，提高公路路基填料设计质量，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于各等级新建和改（扩）建公路的路基填料设计。

1.0.3 公路路基填料设计应因地制宜，落实绿色发展理念，遵循技术可行、经济合理、环境友好、资源集约节约的原则。

1.0.4 公路路基填料设计应做好填料的地质勘察试验工作，查明填料性质、分布和储量。在取得可靠的勘察资料基础上合理确定土石方调配方案。

1.0.5 公路路基填料设计应根据公路等级、应用部位、环境条件等因素，合理的选用路基填料，并应满足路基强度、稳定性和耐久性的要求。

1.0.6 采用特殊土（岩）作填料进行改良使用时，应通过室内外试验，提出相关的技术参数和施工工艺。

1.0.7 公路路基填料设计应贯彻国家有关技术经济政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新工艺。

1.0.8 公路路基填料设计除应符合本规范外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.0.1 路基 subgrade

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，承受由路面传来的行车荷载。

2.0.2 路床 roadbed

路面结构层以下 0.8m 或 1.2m 范围内的路基部分，分为上路床及下路床两层。上路床厚度 0.3m；下路床厚度在轻、中等及重交通公路为 0.5m，特重、极重交通公路为 0.9m。

2.0.3 路堤 embankment

高于原地面的填方路基。路堤在结构上分为上路堤和下路堤，上路堤是指路床以下 0.7m 厚度范围的填方部分，下路堤是指上路堤以下的填方部分。

2.0.4 天然填料 natural filler

在取土场开采的或在路堑、隧道直接挖出的，颗粒级配及技术性能满足填料要求可直接填筑，或经简单筛分、拌和后能满足填筑要求的土料。

2.0.5 改良土 improved soil

通过在原土料中掺入砂、砾石、碎石或石灰、水泥、粉煤灰等材料以提供其工程特性的混合料。

2.0.6 物理改良 physical improved

原土料经过破碎、筛分或掺入砂、砾（碎）石等材料并拌和均匀，使得填料的颗粒级配、工程性能得以改善的处理方法。

2.0.7 化学改良 chemically improved

通过在原土料中掺入石灰、水泥、矿物掺合料等材料改变填料的化学成分，以改善其

工程性能的处理方法。

2.0.8 人工填料 artificial filler

物理力学性质主要受人工材料影响的填料，如土工泡沫塑料、泡沫混凝土等。

2.0.9 固废填料 Solid waste filler

在采矿、选矿、冶炼、发电、供热和加工以及建筑工程拆除施工等过程中所产生的固体副产品，包括煤矸石、尾矿、工业废渣、粉煤灰、建筑垃圾、挖除的路面材料等，经过分选、改良等处理后可用于路基填筑的填料。

2.0.10 级配 gradation

土料按颗粒粗细的不同，将粒径相似、工程性质相近的颗粒划分为若干粒组，土中各粒组的相对含量，即为土颗粒的级配。它是以不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 来评价构成土的颗粒粒径分布曲线形态的一种概念。

2.0.11 压实度 degree of compaction

筑路材料压实后的干密度与标准最大干密度之比，以百分数表示。

2.0.12 填石路堤 rockfill embankment

用粒径大于 40mm、含量超过 70% 的石料填筑的路堤。

2.0.13 渗水性填料 water permeable filler

细粒含量小于 15%，渗透系数大于 10^{-5}m/s 的巨粒土和粗粒土（细砂除外）。

2.0.14 非渗水性填料 Impermeable filler

渗水性填料以外的填料。

2.0.15 短路基 short subgrade

处于相邻两构造物之间，且距离不大于 20m 的路基段落。

2.0.16 多年冻土 permafrost

冻结状态连续两年或两年以上的温度低于 0°C 且含冰的土（岩）。

2.0.17 季节冻土 seasonally frozen soil

随季节冻结和融化的土。

2.0.18 高地震烈度区 high seismic intensity area

地震基本烈度为 7 度及以上的地区。

2.0.19 黄土 loess

主要由粉粒组成，呈棕黄或黄褐色，具有大孔隙和垂直节理特征的土。受水浸湿后产生湿陷的黄土，称为湿陷性黄土。

2.0.20 高液限土 high liquid limit soil

粒径小于 0.075mm 的颗粒含量大于 50%，且液限大于 50% 的细粒土。

2.0.21 膨胀土 expansive soil

富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。

2.0.22 过湿土 high water content soil

含水率高于塑限，通常需要采取相应技术措施加以处理方可压实的细粒土。

2.0.23 再生填料 recycled filler

将煤矸石、粉煤灰、建筑垃圾等工业、建筑废料经过分选、加工生产后形成的再生填料。

2.0.24 轻质填料 lightweight filler

用于路堤填筑的粉煤灰、泡沫塑料等低密度材料。

2.2 符号

C_c ——曲率系数；

C_u ——不均匀系数；

I_p ——塑性指数；

ω_L ——液限含水率，简称液限；

CBR——加州承载比；
 R_c ——岩石饱和单轴抗压强度；
 ω_c ——稠度；
 ρ_w ——湿密度；
 ρ_d ——干密度；
 η ——土的冻胀率；
 F_s ——土的自由膨胀率；
 w_f ——土的标准吸湿含水率；
 e_{ps} ——土体在有荷压力下的胀缩率；
 C ——岩土体的内黏聚力；
 φ ——岩土体的内摩擦角。

3 填料勘察

3.1 一般规定

3.1.1 公路工程筑路填料勘察应满足现行《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)的相关规定。

3.1.2 公路工程筑路填料的勘察应充分利用既有资料,通过调查、勘探、试验,查明筑路填料的岩土性质、分组类别、分布、储量和开采运输条件,评价其适用性以及料场开采对周围地质环境的影响。

3.1.3 在开展公路工程筑路填料的勘察前,应全面收集、分析已有的地质资料,进行现场踏勘,了解料场分布情况、土地利用现状、自然环境条件、勘察工作条件等,编制勘察大纲。勘察大纲应包含项目概况和填料设计需求、勘察执行的技术标准、自然地理和地质概况、勘察实施方案、人员组成、设备配置、进度计划、质量管理、安全和环保措施、提交的成果资料等内容。

3.1.4 填料勘察宜按设计阶段分为工可勘察阶段、初步勘察阶段和详细勘察阶段三个阶段,分别与公路工程的可行性研究、初步设计、施工图设计(含技术设计)3个阶段相对应,勘察阶段可根据料场条件和设计要求合并进行勘察。各阶段勘察工作应满足相应设计阶段的技术要求。料场开采过程中发现地质条件、储量与勘察资料不符或设计需求存在变动时应进行补充勘察和复查工作,进行分析评价并提出建议。

3.1.5 当利用路堑挖方和隧道洞渣作为路基填料使用时,填料勘察工作宜结合相应工程地质勘察工作同步开展。

3.1.6 路基填料的储量应按勘察阶段的要求,根据所确定的开采范围、地质断面图、勘探与试验成果,采用算术平均法、平行断面法、三角形法或多角形法等方法,分别对有用层和无用层进行计算。

3.2 勘察工作内容

3.2.1 工程可行性研究阶段应开展路基填料的选址调查工作，在规划的公路工程沿线宜对路基填料进行地质调查，地质调查宜采用资料收集与地质调绘相结合，并辅以井探、槽探等勘探方法。绘制 1/10000~1/5000 比例尺料场地质图，初步了解材料类别、质量、估算储量，编制 1/10000~1/5000 比例尺料场分布图。

3.2.2 初步勘察阶段应基本查明填料料场岩、土层结构及岩性、夹层性质及空间分布、地下水位及剥离层、无用层厚度和数量，有用层的厚度、质量、储量、开采运输条件等。勘察应以收集资料、工程地质测绘、试验分析为主，并宜根据地质条件复杂程度辅以钻探或井探、槽探、物探等其他勘察手段。工程地质测绘比例尺宜采用 1/5000~1/2000。

3.2.3 详细勘察阶段的填料勘察，应在充分利用初步勘察阶段的成果资料的基础上详细查明料场岩、土层结构及岩性、夹层性质及空间分布、地下水位及剥离层、无用层厚度和数量，有用层厚度、质量、储量、开采运输条件等。工程地质测绘比例尺宜采用 1/500~1/2000，料场有地质灾害和不良地质作用分布或受威胁地点应进行专项地质测绘。

3.3 勘探、取样及试验

3.3.1 料场按地形地质条件复杂程度分为以下三类：

- 1 I 类地形平缓，有用层岩性单一、厚度变化小，没有无用层；
- 2 II 类地形有起伏，有用层岩性较复杂、厚度变化较大，无用层较少；
- 3 III 类地形起伏大，有用层岩性复杂、厚度变化大，无用层较多。

3.3.2 路基填料取土场勘察应在地质调查与测绘的基础上辅以钻探或井探、槽探、物探等其他勘察手段。

3.3.3 勘探点应依据料场地形地貌特征，地质条件、勘察设计阶段、填料的需求量等沿地质断面或网格状布置。勘探点间距宜符合表 3.3.3 的规定，并可根据料场条件作适当调整。勘探点的布置应先疏后密，逐渐增加并形成网格状。

表 3.3.3 路基填料取土场勘探点间距表 (m)

料场类型	勘察阶段		
	工可勘察	初步勘察	详细勘察
I 类	以地质调绘为主, 可辅以少量的物探、简易勘探和取样工作。	300~500	200~300
II 类		200~300	100~200
III 类		<200	<100

3.3.4 对于料场长宽小于最小勘探点间距的料场, 代表性剖面不应少于 1 条, 路堑移挖做填情况下剖面宜垂直于路线走向布置, 初步勘察阶段每个代表性地质断面上应有勘探点控制, 详细勘察阶段每个代表性地质断面上的勘探点应不少于 2 个。

3.3.5 勘探点深度应大于最大开采深度或有用层底板以下 2m。

3.3.6 勘探取样应符合下列规定:

1 土试样应在钻孔中采用取土器取样, 不扰动土试样宜用快速静力连续压入法或重锤击入法采取, 探井、探槽应在井(槽)壁采取环刀和刻取块状的方法采取不扰动土试样。原状土样应现场及时蜡封、装存、送运, 严禁碰撞、震动。扰动土试样宜在钻孔岩芯, 以及探井、探槽中用刻槽法采取。

2 砂料、碎(卵)石料试样宜在钻孔中用无水回转钻进提取全部岩芯方法采取扰动样, 探井、探槽中可用刻槽法采取扰动样。

3 石料试样宜在钻孔岩芯中采取, 未布置钻孔时可在天然露头或已有采石场人工采取。

4 取样规格及数量应满足表 3.3.6 要求。原状样应大于 15cm×15cm×15cm 或直径 9cm、长度 20cm。黏性土扰动样总质量需大于 25kg; 砂样需大于 10kg; 碎石土需大于 30kg; 扰动样总量应大于 200kg。

表 3.3.6 土工试验取样规格及数量

试验项目	土样类别	土样状态	最大颗粒直径 mm	土样质量或体积	备注
含水量	砂类土	扰动		300g~500g	在现场以铝盒取样时，应现场称铝盒及湿土质量
	细粒土	扰动		30g~50g	
密度	砂类土	扰动		300g~500g	
	细粒土	原状		Φ10cm×20cm	
相对密度（比重）	细粒土	扰动		300g~500g	
	砂类土	扰动		300g~500g	
	砂砾	扰动	>5	5kg~10kg	取土量视最大颗粒直径大小而异，可参照相对密度和颗粒大小分析试验操作规程的规定
砂砾	扰动	>2	2kg~10kg		
颗粒分析	砂类土	扰动		200g~500g	
	细粒土	扰动		100g~400g	
液塑限	砂类土	扰动		500g~600g	
	细粒土	原状		500g~600g	
击实	细粒土	扰动		5kg~6kg	指试筒容积 997cm ³ ，干法，土重复使用
	砂类土	扰动		10kg~12kg	

3.3.7 取样组数和试验项目应根据料场储量、材料种类、用途、分布特征及其工程地质特性和勘察级别等确定。一般情况下每个勘探点分层取样间距 1m~3m，根据相变情况可适当增减，每一材料层应采取试样不应少于 6 组（件），填料室内试验项目，一般应根据填料类别按下列要求选定：

1 粗粒土：颗粒分析、点荷载强度（卵、砾、碎、块石）、含水率、密度、击实等试验。

2 细粒土：颗粒分析、液限、塑性指数、承载比、含水率、密度、击实、有机质含量、易溶盐含量等试验。

3 黄土、膨胀土、红黏土、盐渍土等特殊岩土尚应根据其特殊性和设计需要进行专项试验。

4 岩石：岩块饱和抗压强度。风化软岩应进行矿物成分分析。当风化成土状时，还应按照细粒土试验项目进行试验；风化呈砂、砾、碎石状时，还应按粗粒土试验项目进行试

验。

3.4 勘察成果编制

3.5.1 工可勘察阶段包括下列内容：

工程地质勘察报告，应阐明填料工可勘察成果，评价各路线方案路基填料分布、开采和运输条件，并附料场分布及供应示意图。工程地质勘察成果编入工程可行性研究报告的工程地质篇章。

3.5.2 初步勘察阶段包括下列内容：

勘察报告正文内容应包括绪言、各料场情况、料场比选、结论与建议等。

1 绪言应简述工程概况、任务要求、勘察过程、完成工作量和对已有的勘察成果の利用情况等。

2 料场情况应包括下列内容：

1) 料场位置、高程、至路线距离、交通条件、占用土地的面积，并简要叙述料场地貌、岩土层结构、地下水位、河床水位及相互关系等。

2) 勘探方法、布置形式、勘探点间距、取样方法和组数。

3) 根据试验成果汇总表与质量技术指标或工程设计特殊要求，评价填料质量是否符合要求。

4) 有用层和无用层的厚度、性质与变化规律。

5) 储量计算方法及计算边界，列出储量计算成果表和储量汇总表。

6) 分析崩塌、滑坡、泥石流等不良地质对料场的影响以及料场开采对周边地质环境的影响问题。

7) 开采条件等。

3 料场比选应包括各料场质量、储量、开采条件、运输条件及环境影响的比较。

4 结论和建议应包括各料场质量和储量评价、开采和运输条件评价，推荐料场和适宜开采料区，料场边坡开挖坡比及处理措施，下一步工作建议等。

5 勘察报告应包括下列图表：

1) 沿线路基填料料场表。

2) 沿线路基填料供应示意图。

-
- 3) 料场综合地质平面图。
 - 4) 料场地质剖面图。
 - 5) 试验成果汇总表和储量计算汇总表。
 - 6) 其它附图、附表和照片。

3.5.3 施工图设计阶段包括下列内容：

- 1 天然填料勘察报告的主要内容应叙述目的、任务及完成勘察工作量，试验成果综合分析、评价和结论等；
- 2 报告内容应满足 3.5.2 的要求。

条文说明：

以往公路工程建设经验表明，对路基填料质量控制重视不够，是造成路基病害的重要原因之一。部分相关业内专家建议参考建筑材料的要求对路基填料进行勘察。结合公路工程料场的现有勘察惯例，本章节编制时部分参考了《公路工程天然建筑材料勘察技术指南》（DB63/T 1922-2021）、《天然建筑材料勘察规程》（YS/T 5207-2019）、《水电工程天然建筑材料勘察规程》（NB/T 10235-2019）、《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》（SL 251-2015）和《铁路天然建筑材料工程地质勘察规程》（TB 10084-2007），对路基填料勘察要求进行了细化，以期提高路基填料质量控制水平。

4 路基天然填料分级

4.1 一般规定

4.1.1 公路路基填料应通过填料勘察，查明料源岩土性质、分布和储量，确定填料的来源、定名及分级、调配方案、改良措施等。

4.1.2 公路路基填料根据填料来源分为天然填料、人工填料、固废填料；根据加工工艺可分为天然填料和改良填料。

条文说明：

改良填料包含物理改良和化学改良，人工填料主要包含土工泡沫塑料、泡沫混凝土等，固废填料包含建筑垃圾、煤矸石、粉煤灰、钢渣等。

4.2 天然填料分级说明

4.2.1 天然填料按照颗粒组成、颗粒形状、颗粒级配、细粒含量及饱和抗压强度等，并兼顾其工程性能，分为 A、B、C、D、E 级。天然填料级别分类详见附录 A。

4.2.2 有机质土（有机质含量高于 5%）严禁直接作为路基填料，不参与分级；粗粒、巨粒土中的粗颗粒或粗颗粒原岩饱和单轴抗压强度小于 5MPa 的粗粒和巨粒土，在粒组划分时按细粒土考虑；具有膨胀性、崩解性、易溶性、盐渍化等不稳定特性的天然填料分级应结合试验和地区经验确定。

4.3 天然填料分级

4.3.1 A 级填料应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 A 级填料细分表

分类		名称	级配	岩块饱和单轴抗压强度 R_c (MPa)	细粒含量
A 级	1	填石路堤	良好	$R_c \geq 30$	<15%
	2	土石混填	良好	$R_c \geq 15$	<15%

	3		圆砾土、角砾土	良好	$R_c \geq 15$	<15%
--	---	--	---------	----	---------------	------

4.3.2 B 级填料应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 B 级填料细分表

分类		名称	级配	岩块饱和单轴抗压强度 R_c (MPa)	细粒含量	
B 级	1	填石路堤	小块石土、卵石土	不良	$R_c \geq 30$	<15%
	2	土石混填	小块石土、卵石土	不良	$R_c \geq 15$	<15%
	3	土石混填	小块石土、卵石土	良好	$5 \leq R_c < 15$	<15%
	4	土石混填	小块石土、卵石土		$R_c \geq 15$	$\geq 15\%$
	5		圆砾土、角砾土	不良	$R_c \geq 15$	<15%
	6		圆砾土、角砾土	良好	$5 \leq R_c < 15$	<15%
	7		圆砾土、角砾土		$R_c \geq 15$	$\geq 15\%$
	8		粗砂、中砂	良好		<15%

4.3.3 C 级填料应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 C 级填料细分表

分类		名称	级配	岩块饱和单轴抗压强度 R_c (MPa)	细粒含量	
C 级	1	填石路堤	块石土、漂石土		$R_c \geq 5$	<15%
	2	填石路堤	小块石土、卵石土		$5 \leq R_c < 30$	<15%
	3	土石混填	块石土、漂石土		$R_c \geq 5$	—
	4	土石混填	小块石土、卵石土	不良	$5 \leq R_c < 15$	<15%
	5	土石混填	小块石土、卵石土		$5 \leq R_c < 15$	$\geq 15\%$
	6		圆砾土、角砾土	不良	$5 \leq R_c < 15$	<15%
	7		圆砾土、角砾土		$5 \leq R_c < 15$	$\geq 15\%$
	8		粗砂、中砂	不良		<15%
	9		粗砂、中砂			$\geq 15\%$
	10		细砂	良好		<15%

4.3.4 D 级填料应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4 D 级填料细分表

分类		名称	级配	细粒含量
D 级	1	细砂	不良	<15%
	2	细砂		$\geq 15\%$
	3	低液限粉土、低液限黏土、低液限软岩土		

4.3.5 E 级填料为不宜直接使用的填料，应符合表 4.3.5 的规定。

表 4.3.5 E 级填料细分表

分类	名称	液限 (%)	粗粒含量
E 级	高液限粉土、高液限黏土、高液限软岩土	≤70	≥25%

条文说明：

1 饱和单轴抗压强度应采用立方体石料的饱和极限抗压强度值，也可以采用点荷载试验确定。试验方法和试样尺寸等均应满足现行的《公路工程岩石试验规程》(JTG E41)。

2 《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG3363-2019) 和《工程岩体分级标准》(GB/T50218-2014) 中规定岩石饱和单轴抗压强度 $R_c \leq 5\text{MPa}$ 为极软岩， $5\text{MPa} < R_c \leq 15\text{MPa}$ 为软岩。岩石坚硬程度定性划分中，极软岩为锤击声哑，无回弹、有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团。极软岩性质普遍较差，通常风化程度高、遇水会软化，路用性能较差，因此在填料分级时，规定饱和单轴抗压强度 $R_c \leq 5\text{MPa}$ 的粗粒和巨粒土，在粒组划分时按细粒土考虑。

3 《公路路基设计规范》(JTG D30-2015) 中关于填石路堤规定“硬质岩石、中硬岩石可用作路床、路堤填料；软质岩石可用作路堤填料，不得用于路床填料”。在此与《公路路基设计规范》(JTG D30-2015) 规定保持一致，在填石路堤中 A、B 级填料要求石料饱和抗压强度 $R_c \geq 30\text{MPa}$ 。

4 《高速公路红砂岩路基施工技术规程》(DB36/T 713-2013) 中规定饱和单轴抗压强度 $2\text{MPa} < R_c \leq 10\text{MPa}$ 一类红砂岩(泥质)， $10\text{MPa} < R_c \leq 15\text{MPa}$ 为二类红砂岩(硅质)， $R_c > 15\text{MPa}$ 为三类红砂岩。其中三类红砂岩按照填石路基或土石混填处理，一类、二类红砂岩用于路基填料时需要进行预崩解处理。调研分析红砂岩相关科研成果，规定除填石路堤以外，填筑路床的粗粒、巨粒应满足 $R_c > 15\text{MPa}$ ，级配良好时 $R_c > 5\text{MPa}$ 。

5 《广东省高液限土路基修筑技术指南》(GDJTGT E01-2014) 中规定：“高液限土的 CBR 值大于或等于 3%，同时满足下列条件，可考虑采用直接填筑：(1) 细颗粒含量小于 90%，液限介于 50%~60%之间；(2) 细颗粒含量介于 50%~75%之间，液限介于 50%~70%之间”。铁四院关于高液限土相关科研成果并经过海南国道 G360 定安至临高段公路的现场施工验证，CBR 值大于或等于 3%，细颗粒含量介于 50%~75%之间，液限介于 50%~70% 之间的高液限土可通过在路堤两侧边坡采用土工格栅回折反包锚固的情况下直接填筑。综

合高液限土的相关资料确定 E 级填料的分级依据为液限 $\leq 70\%$ ，且粗粒含量 $\geq 25\%$ 。

5 一般路基填料设计

5.1 一般规定

5.1.1 路基各部位填料应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30)对填料最小承载比、最大粒径等要求。

5.1.2 基底有地下水影响路基稳定性时,路基填料优先选择渗水性填料。

5.2 路床

5.2.1 路床填料应根据公路等级、填筑部位、交通荷载等级、环境条件等确定,并符合表 5.2.1-1 和 5.2.1-2 的要求。

表 5.2.1-1 上路床填料选择标准

公路等级	交通荷载等级	路面底面以下深度(m)	粒径限值(mm)	最小承载比(CBR) %	可选填料类别
高速公路、一级公路	轻、中等及重交通	0~0.3	<100	8	优先选择 A 级填料,其次为巨粒类、砾石类的 B 级填料,有经验时可采用改良土
	特重、极重交通				
二级公路	轻、中等及重交通	0~0.3	<100	6	优先选择 A 级填料,其次为巨粒类、砾石类的 B 级填料,有经验时可采用改良土
	特重、极重交通				
三级公路	轻、中等及重交通	0~0.3	<100	5	可选择 A、B 级填料或改良土
四级公路	——	0~0.3	<100	5	优先选择 A、B 级填料,其次为砂类土中的 C 级填料或改良土

注:1 该表中 CBR 试验条件除应符合现行《公路土工试验规程》(JTG E40)的规定,同时还应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的相关规定。

表 5.2.1-2 下路床填料选择标准

公路等级	交通荷载等级	路面底面以下深度(m)	粒径限值(mm)	最小承载比(CBR) %	可选填料类别
高速公路、一级公路	轻、中等及重交通	0.3~0.8	<100	5	可选择 A、B 级填料,有经验时可采用改良土
	特重、极重交通	0.3~1.2			
二级公路	轻、中等及重交通	0.3~0.8	<100	4	可选择 A、B 级填料,有经验时可采用改良土
	特重、极重交通	0.3~1.2			

三级公路	轻、中等及重交通	0.3~0.8	<100	3	优先选择 A、B 级填料，其次为砂类土中的 C 级填料或改良土
四级公路	——	0.3~0.8	<100	3	可选择 A、B、C 级填料或改良土

注：1 该表中 CBR 试验条件除应符合现行《公路土工试验规程》(JTG E40) 的规定，同时还应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的相关规定。

5.2.2 路床填料的压实标准应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 路床填料的压实度标准

公路等级	路基部位		路面底面以下深度(m)	填料		路床压实度 (%)
高速公路、一级公路	上路床		0~0.3	A 级		≥96
				B 级	巨粒类、砾石类	≥96
	下路床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	A、B 级		≥96
		特重、极重交通	0.3~1.2	A、B 级		≥96
二级公路	上路床		0~0.3	A 级		≥95
				B 级	巨粒类、砾石类	≥95
	下路床	轻、中等及重交通	0.3~0.8	A、B 级		≥95
		特重、极重交通	0.3~1.2	A、B 级		≥95
三级公路	上路床		0~0.3	A、B 级、改良土		≥94
	下路床		0.3~0.8	A、B 级、改良土		≥94
				C 级	砂类土	≥94
四级公路	上路床		0~0.3	A、B 级、改良土		≥94
	下路床		0.3~0.8	C 级	砂类土	≥94
				A、B、C 级、改良土		≥94

注：1 表列压实度应按现行《公路土工试验规程》(JTG E40) 重型击实试验所得最大干密度求得的压实度。

2 当三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时，其压实度应采用二级公路压实度标准。

5.3 填土路堤

5.3.1 路堤填料应根据公路等级、填筑部位、交通荷载等级、环境条件等确定，并符合表 5.3.1-1 和 5.3.1-2 的要求。

表 5.3.1-1 上路堤填料选择标准

公路等级	交通荷载等级	路面底面以下深度(m)	粒径限值(mm)	最小承载比 (CBR) %	可选填料类别
高速公路、一级公路	轻、中等及重交通	0.8~1.5	<150	4	可选择 A、B 级填料，或巨粒类的 C 级填料及改良土，有经验时也可采用砂类土中的 C 级填料
	特重、极重交通	1.2~1.9			

二级公路	轻、中等及重交通	0.8~1.5	<150	3	可选择 A、B、C 级填料及改良土
	特重、极重交通	1.2~1.9			
三级公路	轻、中等及重交通	0.8~1.5	<150	3	可选择 A、B、C 级填料或改良土，有经验时可采用 D 级填料
四级公路	——	0.8~1.5	<150	3	可选择 A、B、C、D 级填料或改良土，有经验时也可采用 E 级填料

注：1 该表中 CBR 试验条件除应符合现行《公路土工试验规程》(JTG E40) 的规定，同时还应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的相关规定。

表 5.3.1-2 下路堤填料选择标准

公路等级	交通荷载等级	路面底面以下深度(m)	粒径限值(mm)	最小承载比(CBR) %	可选填料类别
高速公路、一级公路	轻、中等及重交通	1.5 以下	<150	3	可选择 A、B、C 级填料或改良土，有经验时可采用 D、E 级填料
	特重、极重交通	1.9 以下			
二级公路	轻、中等及重交通	1.5 以下	<150	2	可选择 A、B、C、D 级填料或改良土，有经验时可采用 E 级填料
	特重、极重交通	1.9 以下			
三级公路	轻、中等及重交通	1.5 以下	<150	2	可选择 A、B、C、D 级填料或改良土，有经验时可采用 E 级填料
四级公路	——	1.5 以下	<150	2	可选择 A、B、C、D 级填料或改良土，有经验时可采用 E 级填料

注：1 该表中 CBR 试验条件除应符合现行《公路土工试验规程》(JTG E40) 的规定，同时还应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的相关规定。

5.3.2 上路堤和下路堤填料的压实标准分别应符合表 5.3.2-1 和表 5.3.2-2 的规定。

表 5.3.2-1 上路堤填料的压实度标准

公路等级	路基部位	路面底面以下深度(m)	填料		路床压实度(%)
高速公路、一级公路	轻、中等及重交通	0.8~1.5	A、B 级、改良土		≥94
			C 级	巨粒类	≥94
	特重、极重交通	1.2~1.9	A、B 级、改良土		≥94
			C 级	巨粒类	≥94
二级公路	轻、中等及重交通	0.8~1.5	A、B、C 级、改良土		≥94
	特重、极重交通	1.2~1.9	A、B、C 级、改良土		≥94
三级公路	轻、中等及重交通	0.8~1.5	A、B、C 级、改良土		≥93
四级公路	——	0.8~1.5	A、B、C、D 级、改良土		≥93

注：1 表列压实度应按现行《公路土工试验规程》(JTG E40) 重型击实试验所得最大干密度求得的压实度。

2 当三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时，其压实度应采用二级公路压实度标准。

3 路堤采用粉煤灰、工业废渣等特殊填料，或处于特殊干旱或特殊潮湿地区时，在保证路基强度和回弹模量要求的前提下，通过试验论证，压实度标准可降低 1~2 个百分点。

表 5.3.2-2 下路堤填料的压实度标准

公路等级	路基部位	路面底面以下深度(m)	填料	路床压实度(%)
高速公路、一级公路	轻、中等及重交通	1.5 以下	A、B、C 级、改良土	≥93
	特重、极重交通	1.9 以下	A、B、C 级、改良土	≥93
二级公路	轻、中等及重交通	1.5 以下	A、B、C、D 级、改良土	≥92
	特重、极重交通	1.9 以下	A、B、C、D 级、改良土	≥92
三级公路	轻、中等及重交通	1.5 以下	A、B、C、D 级、改良土	≥90
四级公路	——	1.5 以下	A、B、C、D 级、改良土	≥90

注：1 表列压实度应按现行《公路土工试验规程》(JTG E40) 重型击实试验所得最大干密度求得的压实度。

2 当三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时，其压实度应采用二级公路压实度标准。

3 路堤采用粉煤灰、工业废渣等特殊填料，或处于特殊干旱或特殊潮湿地区时，在保证路基强度和回弹模量要求的前提下，通过试验论证，压实度标准可降低 1~2 个百分点。

条文说明：

1 对于工程性质较为特殊的土，如红黏土、高液限土、膨胀土、盐渍土等，应采取各种有效措施，使之达到重型压实试验的压实度要求。但提高压实度十分困难，也不经济时，可根据试验路段研究成果，在保证路基强度和回弹模量要求的前提下，压实度标准可适当降低 1~2 个百分点。

2 特殊干旱地区是指年降水量很小，一般不超过 200~250mm，蒸发强烈的地区，如沙漠、戈壁等；特殊潮湿地区是指年降雨量大，一般超过 1000mm，雨季长达数月，且土质处于过湿状态的黏质土地区。在特殊干旱、特殊潮湿地区，路基压实是相当困难的，在保证路基强度和回弹模量要求的前提下，通过试验论证，压实度标准可降低 1~2 个百分点。

3 压实度是控制路基填筑质量的关键指标，其根本目的是为了保证路基在运营期间具有良好的性能。有研究表明，可以从路基土体的强度水敏感性、压缩性、胀缩性、渗透性等方面来评价路基性能的好坏。因此，可以把该系列指标随压实度的变化规律作为路基压实度降低的依据，并把压实度降低后各指标变化不敏感的临界点作为压实度降低的临界值。

5.4 填石路堤

5.4.1 岩石饱和单轴抗压强度 R_c 与岩石坚硬程度的对应关系，可按表 5.4.1 确定。

表 5.4.1 R_c 与岩石坚硬程度的对应关系

R_c (MPa)	>60	60~30	30~15	15~5	≤ 5
坚硬程度	硬质岩	中硬岩	软质岩		极软岩
			较软岩	软岩	

5.4.2 填石路堤填料选择可参照本指南 5.3.1 条的表 5.3.1-1 和 5.3.1-2 确定。

5.4.3 填石路堤压实质量控制标准应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 3.8 节的相关规定。

5.4.4 岩性和强度相差较大的石料填筑路堤时，应分层或分段填筑。

条文说明：

1 石料的岩性对填石路堤结构性能影响较大，膨胀性岩石、易溶性岩石、膨胀性岩石和盐化岩石等，在水气环境影响下和随使用年限增长，其工程性质将发生劣化，路基稳定性差，容易产生路基病害，故不用于路堤填筑。

2 填石路堤的边坡部位常常是摊铺、压实的薄弱环节，且用常规方法很难使边坡密实和平整，因此，对硬质岩石路堤需进行边坡码砌。

6 特殊部位路基填料设计

6.1 一般规定

6.1.1 与相邻路段存在显著刚度差异或不均匀连续的特殊部位，填料应进行特殊设计，路基应充分压实，使其在一定范围内与周边路基的强度和刚度基本一致。

6.1.2 路基包边等特殊结构部位，填料应根据结构设计目的进行特殊设计，使路基满足强度、稳定性要求。

6.1.3 特殊部位路基填料选择及压实度要求尚应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的相关要求。

条文说明：

1 填方路基与桥梁、涵洞、通道相邻处，经常产生较大的差异沉降，产生跳车现象，其主要原因是路基刚度差异较大，同时路堤压实度不够，为此需要选用易压实的路基填料进行填筑。

2 路基填挖交界结合部，尤其是岩质挖方段与填土路堤之间，因挖方段与填方段材料性质差异大，加之地下水渗透，经常产生差异沉降变形破坏等路基病害，因此该区域的填料也需要特殊设计。

3 新旧路基搭接设计最突出的技术难题是差异变形，主要包括拓宽荷载产生的地基二次沉降、拓宽路基的压密变形，以及新老路基结合不良导致的蠕滑或滑移。路堤拓宽后，新老路基之间将形成沉降差。为避免差异沉降引起路基纵向裂缝，需保证新旧路基搭接段落的良好衔接和填料压实。

6.2 桥涵台背过渡段

6.2.1 公路路基与桥台、横向构造物（涵洞、通道）连接处因刚度差异可能导致路基差异沉降，应设置过渡段，并应根据填料强度、地基处理、台背防排水系统等进行综合设计。

条文说明：

填方路基与桥梁、涵洞、通道相邻处，常有跳车现场，其主要原因是路基压实度不够。为消除这种跳车现象，在路堤与桥台、横向构造物（涵洞、通道）等连接处设置过渡段是有效的工程措施。

6.2.2 桥梁、涵洞及隧道等结构工程之间路基长度小于 20m 的短路基，宜按照桥涵台背过渡段的相关要求进行特殊设计。

条文说明：

由于地形起伏，路线受地形条件制约，桥和隧之间、桥和桥之间的短路基较多，路基压实难以保证，极易产生不均匀沉降，因此短路基的填料需要进行特殊规定。

6.2.3 过渡段路基压实度不应小于 96%，路基长度宜按式（6.2.1）确定。

$$L=(2\sim 3)H+(3\sim 5) \quad (6.2.1)$$

式中： L ——桥涵台背特殊处理长度（m）；

H ——路基填土高度（m）。

6.2.4 桥涵台背、挡土墙墙背应优先选择 A、B 级填料或砂类土中的 C 级填料。当采用细粒土时，宜采用石灰、水泥、粉煤灰等无机结合料进行改良处治。

条文说明：

1 桥头路基压实度不得小于 96%，重型压路机压不到的地方要求用小型机具薄层夯实；基础顶面以下基坑可用挖基材料回填，压实度不得小于 94%。

2 桥头路基、涵洞地基为软土时，除了填料应满足要求外，还应进行地基处理，使地基工后沉降满足桥头路基的要求。

6.2.5 桥涵台背浸水部分应选用细粒含量小于 5% 的 A、B、C 级填料（细砂除外）。

6.2.6 过渡段桥台基坑回填料应采用粗粒、巨粒组的 A、B、C 级填料或改良土，分层填筑分层压实，压实度不应小于 96%。

条文说明：

过渡段桥台基坑一般较为狭窄，大型压路机械无法进入，采用粗粒、巨粒组的 A、B、C 级填料或改良土，有利于回填质量控制。

6.2.7 寒冷、严寒地区桥涵台背过渡段应填筑细粒含量小于 5% 的 A、B、C 级填料。

条文说明：

要重视寒冷及严寒地区路基与横向构造物过渡段的防冻问题，横向构造物的基坑开挖及回填是比较容易忽视的环节。

6.3 填挖交界结合部

6.3.1 对于半填半挖路基，当挖方区为土质或软质岩石时，应对挖方区不符合要求的土质或软质岩石进行超挖换填或改良处治；填方区应优先采用粗粒、巨粒组的 A、B、C 级填料，必要时，可在填挖交界结合部路床范围内铺设土工格栅。当挖方区为硬质岩石时，填方区宜采用填石路基。

6.3.2 纵向填挖交界路基处应设置过渡段，土质地段过渡段可采用级配良好的砾类、砂类 A、B、C 级填料，或采用无机结合料处治土填筑，岩质地段过渡段可采用填石路基。

6.3.3 填挖交界过渡区域应从底部往上分层填筑，分层压实，压实度宜较一般部位提高 1~2 个百分点。

条文说明：

1 半填半挖路基在山区公路中分布广，填挖结合部路基常产生差异沉降变形破坏等路基病害。其主要原因是填挖结合部的填料性质和密实状态的差异及地下水引起的。要减少路基差异沉降，首先要从填方区材料设计入手，填方区所选填料需尽量与挖方区岩土性质相比配，有条件时，优先采用渗水性好的粗粒土填筑，既可减少差异沉降，又为挖方区地下水提供了排泄路径，避免因填料渗透性差而封堵挖方区地下水，造成路基病害。

2 填挖交界结合部位的挖方区应按一般挖方路基相关要求设计，挖方区的表层土清除作其他用，选用渗透性好，风化程度低、颗粒较小的材料填到过渡区。过渡区长度需根据

填方高度和地形条件确定。一般情况下，横向填挖交界过渡段长度为 6~10m，纵向填挖交界过渡段长度为 10~15m。

6.4 新旧路基搭接段

6.4.1 新旧路基搭接设计前，应对既有路基进行调查、勘探和测试，查明既有路基的填料性质、含水率、密度、压实度、强度，以及路基的稳定情况，分析评价新拼接路基或增建路基对既有路基沉降变形和边坡稳定的影响程度。

条文说明：

公路路基拓宽改建设计时，对既有路基进行调查和检测评价，了解和掌握既有路基填料性质、湿度状态、密度状态、力学性质指标，以及路基路面病害类型、分布情况及产生的原因，是拓宽改建设计的基础性工作，是确定路基的利用方案和拓宽改建方案的地质依据。

6.4.2 拓宽路基填料的最小强度和压实度应满足改建后相应等级公路的技术要求。

条文说明：

对于新填路基的基底，也应在填筑前进行压实，一般土质路段，高速公路、一级公路和二级公路基底的压实度（重型）不应小于 90%；三、四级公路不应小于 85%。当新填路基填土高度小于路床厚度时，应对地基表层土进行超挖、分层回填压实，其处理深度不应小于路床深度。

6.4.3 新旧路基搭接段的路基填料宜选用与既有路基相同，且符合要求的填料，或较既有路基渗水性强、更不易风化的填料。当采用细粒土填筑时，应做好新老路基之间的排水设计，必要时，可设置横向排水盲沟。

条文说明：

在具体工程中，可以根据实际情况，在满足设计和规范要求的前提下，从就地取材方面考虑选择新路路基的最佳填料。例如，当拓宽路基需要半填半挖时，可以采用一侧路堑挖出的使用材料作为另一侧路堤的填料；在路段通过丘陵、山区的石方或洪积土地带时，

新路路基修筑可以使用碎石（砾石）、块石（漂石）作为填料；当新路路基填方较高、要求路基自重较小时，可采用二灰、EPS 轻质材料等。

6.4.4 新旧路基搭接段采用填石路基时，宜优先采用 A 级的石质填料，其次可采用级配良好的填石料，且应符合以下规定：路床范围内石料的最大粒径应小于 100mm，路堤范围内石料的最大粒径应小于 150mm，石料的饱和单轴抗压强度 R_c 不应小于 15MPa。

条文说明：

利用强风化石料或软质岩石填筑路堤，当用夯锤压实时，石料可能被碾压成碎屑、碎粒，这类石料应按土质路堤施工要求检验其强度值和 CBR 值是否符合要求，CBR 值不符合要求时不得使用，符合使用要求时，应按土质路堤的技术要求施工。

6.4.5 新旧路基搭接段采用土石混填时，填料应满足 B 级及以上要求，且其中的石块最大粒径不得大于压实层厚的 2/3；当所有石料为软岩时（石块强度小于 15MPa），石料的最大粒径不得超过压实层厚度。石料形状以圆形、椭圆形为佳，应严格控制针片状石块含量。

6.5 路基包边结构

6.5.1 路基包边结构的填料设计应符合下列要求：

1 为防止雨水浸入路基而引起路基失稳时，应采用 D 级黏土作为路基包边材料，如粉砂、细砂、膨胀土、红砂岩、泥岩等路基。

2 在风蚀严重的地区，为防止路基的风蚀、侧移、滑塌等，宜选用 A、B 级或 C 级的砾类土进行路基包边。

3 部分特殊填料路基边坡易受外界环境影响，应设置包边结构，如土工泡沫塑料、煤矸石等。

条文说明：

由于粉砂、细砂等级配不良的填料自然状态下颗粒松散、粘聚力小，为使其发挥整体力学性能，宜在砂土侧向增加包边结构，并在顶部设计封顶结构，形成围压条件下的砂芯，共同承担路面结构和上覆交通荷载的作用。

膨胀土、红砂岩、泥岩等用作路基填料时，因其特有的工程特性往往在大气降雨和蒸

发作用下导致路基失稳破坏，在实际工程中常在路基两侧设置包边土，以尽量防止外界水浸入路基内部。

在风蚀严重的地段和绿洲区及绿洲边缘地段，都要采用路基边坡稳定性处理措施，采用石压边坡或包边土的方法增加边坡的稳定性。

6.5.2 包边结构可采用梯形结构或台阶式包边结构，如图 6.5.2 所示。包边土的宽度应根据填土高度、堤心填料类型、边坡稳定性等因素综合确定，包边土水平宽度一般不宜小于 1.0 m。

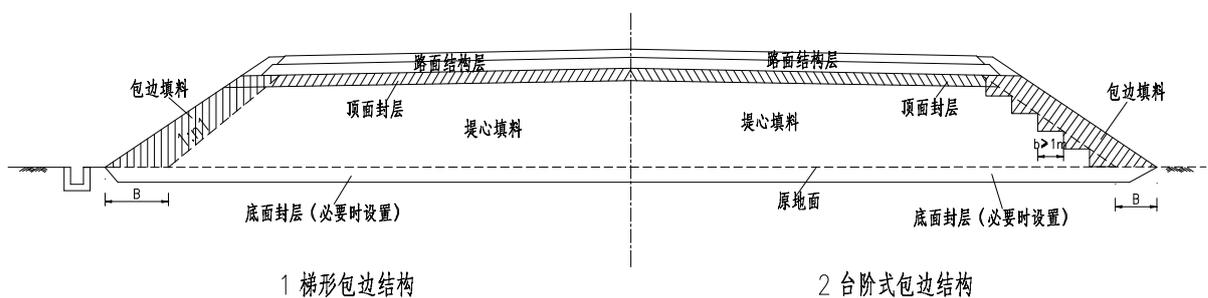


图 6.5.2 常见包边土结构示意图

6.5.3 施工中一般先填筑包边土再填筑路基芯料，且包边土应采取分层填筑，并进行预压，使其较同层路基芯料高出 50 mm~100 mm，之后再与该层路基填料同步压实。

条文说明：

对于煤矸石路基，为避免包边土和煤矸石碾压后出现高程差异，在修筑包边土时应考虑两者松铺厚度的差值，一般包边土松铺系数宜大于煤矸石松铺系数的 10%~15%，并采用推土机推平和人工配合整型的措施。

包边土施工应采用挖掘机装土，自卸汽车运输。为保证包边土的压实厚度，包边土应分两层施工，第一层包边土按煤矸石层厚度的一半进行摊铺碾压，碾压完毕检验压实度合格后进行下一层施工；第二层包边土与煤矸石同时施工，摊铺上层包边土前，根据压实厚度和每车土的运量确定单位车辆的卸料面积，用白灰线打出包边土范围。

包边土施工完成后应立刻进行煤矸石路基的施工，以避免出现积水情况。若遇雨季施工，下雨前应对路基两侧包边土每隔 15 m 开出水口，排出路基上的水，雨后应立刻铺筑

煤矸石路基，以消除槽形路段。煤矸石填筑前还应对包边土重新进行碾压并检测压实度。

6.5.4 雨季施工时，应对包边土及时设置盲沟，盲沟材料可用砂或粒径 5 mm~20 mm 的粗粒土并予以夯实，盲沟间距一般为 20 m~30 m，在路基两侧互相错开设置。

7 特殊条件路基填料设计

7.1 一般规定

7.1.1 特殊条件路基工程应加强地质勘察工作，采用综合勘探和综合分析的方法，查明不良地质、特殊土（岩）的成因、规模及工程性质，取得可靠的工程地质、水文地质和环境条件资料。

7.1.2 工程设计前期应做好地质选线工作，路线应绕避规模大、性质复杂、处理困难的不良地质和特殊岩（土）地段，避免高填深挖。

7.1.3 特殊条件路基填料设计应对移挖作填、集中取土、填料改良等方案进行技术经济比较。采用填料改良时，应通过室内外试验，提出相关的技术参数和施工工艺。

7.2 季节性冻土地区

7.2.1 季节性冻土地区路基填料设计应根据路基高度、地表水位、地下水位、容许总冻胀量及路面结构类型等确定。宜按表 7.2.1 确定路基填料。路床宜采用中粗砂、砂砾、碎石、高炉矿渣、钢渣等抗冻性好的材料，强风化软质岩、遇水崩解软质岩石不得用作上路床填料。

表 7.2.1 季节冻土路基填料选择表

路基形式	冰冻分区	地下水位或地表常水位距路面距离 (m)	土的冻胀等级			
			上路床	下路床	上路堤	下路堤
填方路基	重冻区	$h_w > 3$	I	I、II、III	——	——
		$h_w \leq 3$	I	I、II	I、II、III	——
	中冻区	$h_w > 3$	I、II	I、II、III	——	——
		$h_w \leq 3$	I	I、II	——	——
零填方或挖方路基	重冻区	$h_w > 3$	I	I	——	——
		$h_w \leq 3$	I	I	——	——
	中冻区	$h_w > 3$	I	I、II	——	——
		$h_w \leq 3$	I	I	——	——

注：1 土的冻胀等级见表。

2 重冻区、中冻区，高速公路、一级公路上路床采用 I 类土时，其细粒土（粒径小于 0.075mm 含量）含量宜小于 5%。

3 缺少砂石料地区，采用无机结合料、矿渣、固化剂等进行处治时，填料可不受此表限制。

条文说明：

1 冻胀对道路的破坏作用主要是在春融期，春溶引起路基土层的含水率增大，路基强度大幅下降，在汽车动荷载的作用下，路面出现裂缝、翻浆、沉陷、车辙、拥包等病害。因此保证春溶时路基的强度是防止冻害的基础。不同填料的冻胀系数差别较大，尤其是路基融化后的强度差别更明显。路基填料对减轻冻胀具有重要作用，因此，选用合适的路基填料是确保路基质量的关键。

2 粗粒料即使产生冻胀，融化后仍能保持较高的强度，满足路面的要求。砂砾类材料的透水性好，能够迅速排出融化水，即使在含水率较高的情况下仍能保持较高的强度。因此，有条件时，优先选用砂土、中粗砂、砂砾、碎石等抗冻性能好的填料。对于一些砂石料缺乏的地区，可采用水泥、石灰、粉煤灰等固化剂稳定细粒土。

7.2.2 路基填料的冻胀性分类应符合下列要求：

1 冻胀等级应根据平均冻胀率的大小按表 7.2.2 确定。

表 7.2.2 路基填料的冻胀等级

平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别
$\eta \leq 1$	I	不冻胀
$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
$\eta > 12$	V	特强冻胀

2 平均冻胀率按式 (7.2.2) 计算：

$$\eta = \frac{z}{H_d} \times 100(\%) \quad (7.2.2)$$

式中： z ——土的冻胀值 (mm)；

H_d ——土的冻结深度 (mm)，不包括冻胀量。

7.2.3 当路基填料不能满足抗冻等级要求时，应采取换填不冻胀性材料、提高路基高度、阻断地下毛细水上升及降低地下水位等措施。

条文说明：

当采用水稳性好、冰冻稳定性好、强度高的粗粒土换填路基上部时，可以提高土基的强度和稳定性。换土措施的适用条件是：（1）因路基标高限制，不允许提高路基，且附近有粗粒土可用时；（2）原有路基土质不良，需铺设高级路面时。换土层厚度一般可根据地区情况、公路等级、行车要求以及换填材料等因素确定。根据一些地区的经验，在路基上部 60~80cm 厚的范围换填粗粒土，路基可以基本稳定。

7.2.4 当路基的冻胀控制不能满足要求是，可设置防冻隔断层。防冻隔断层根据所起的作用不同，分为抗冻层、毛细水隔断层、隔温层，各层适用条件及填料选择应符合以下要求：

1 抗冻层设置在路床顶部，厚度宜为 0.3m，防冻层填料应选用细粒含量小于 5%的 A、B 级砾石土填料或粗砂，也可选用冰冻稳定性良好的矿渣、煤渣等粒料和水泥或石灰煤渣稳定粗粒土、石灰粉煤灰稳定粗粒土等。采用煤渣时，小于 2mm 的颗粒含量不宜大于 20%。

2 当地下水位高，且路基填料为粉质土时可设置毛细水隔断层。毛细水隔断层的位置一般高出地表 0.3m，厚度宜为 0.2~0.3m，以细粒含量小于 5%的砾石类填料为主。必要时可在砂砾隔断层顶面同时加铺防渗土工膜，以防止水蒸气的上升凝结。

3 当其他防冻抗冻措施效果不良时，可设置塑料泡沫隔温层防治路基的冻胀。隔温层设置于路床顶面，塑料泡沫隔温板的厚度一般在 50~100mm 之间，隔温板应具有良好的隔热保温性、低吸水性、良好的抗压强度和耐久性。

7.2.4 季节性冻土区路基压实度应满足现行《季节性冻土地区公路设计与施工技术规范》JTG/T D31-06 的相关要求。

7.3 多年冻土地区

7.3.1 路基填料的选择应考虑冻结层中的含水率及填料的冻胀敏感性等因素。宜采用细粒含量小于 5%的 A、B 级巨粒土、砾石土填料或粗砂。

条文说明：

1 冻结层上水发育的斜坡地段，冻结层上水可能溢出形成浸水路基。

2 国内外工程行业普遍认为填料粒径组成及含水量是其冻胀特性的决定性因素，相关研究指出，随着细粒含量的增加，土冻胀敏感性逐渐增加。细粒含量低于 5%时，含水率

对填料的冻胀影响不显著；当细粒含量大于 5% 时，含水率的变化对土的冻胀性影响显著增大。细粒含量在 15% 以内时，冻胀率可以控制在 1% 以下；若冻胀率控制在 0.3% 以下，细粒含量需控制在 3% 以内。饱水渗透后的填料冻胀试验结果表明，渗透系数越小，其持水能力增强，导致填料冻胀率越大，渗透系数大于 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 之后，冻胀率才稳定在 1% 之下。

7.3.2 高含冰量多年冻土埋藏交浅，可能融化影响路堤稳定时；路侧排水不畅或人为活动频繁，间接破坏坡脚下伏冻土，影响路堤稳定时，宜设置保温护道、护角。保温护道、护脚可采用泥炭、草皮、D 级的黏性土或其他保温隔水性能良好的当地材料；采用砂砾、粗颗粒土或其他易渗水性材料时，表面应覆盖 0.2m 厚的 D 级黏性土保护层预防水分侵蚀。

7.3.3 对于多年冻土区路堑，其路床深度范围内的冻土应部分或全部换填为隔热保温材料，换填厚度应通过热工计算确定。当采用卵砾石作为换填材料时，应在地面下设置复合土工防渗层，防渗层顶面横坡不应小于 4%。路堑挖方的高含冰冻土不得直接用作路基或保温护道填料。

条文说明：

1 路基中设置的隔热保温材料，应具有良好的阻热性能和足够的强度，导热系数宜小于 $0.029 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，吸水率宜小于 0.5%，抗压强度宜大于 600kPa。

7.3.4 多年冻土区路基设计原则尚应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的相关要求。

7.4 浸水路段

7.4.1 浸水路基包括设计水位以下受水浸泡的水塘、内涝地段、河滩、滨河、滨海及水库地段路基。

7.4.2 路基浸水部分或受水位涨落影响部分，浸水段落路基填料应选用细粒含量小于 5% 的 A、B、C 级填料（细砂除外）。当渗水性填料较为缺乏时，路堤受水位浸泡的部位应采用渗水性材料填筑，水位以上部位可以采用细粒土填筑。重黏土、浸水后容易崩解的岩石、

易风化的石块、盐渍土均不应用于浸水部分路基的填筑。

条文说明：

路基在最高水位以下时，需要考虑水位变化、波浪侵袭、水流冲刷等因素对路基土产生的外力影响，还要考虑水位浸泡，渗透对路基土体强度的影响，综合考虑上述破坏因素，采取相应的加固处理方案。

渗水性填料在浸水后强度降低较小，当堤外水位变化时，堤身内的水可以自由渗出，不至于产生渗透压力而影响路基稳定；黏土的渗水性小，用于路堤填筑时，堤外水位变化对路堤内部水位的影响较小。

7.4.3 路基两侧有较大水头差时，路堤受水浸泡的部位应采用巨粒组 A、B 级填料或饱和单轴抗压强度 $R_c \geq 15\text{MPa}$ 的 C 级填石料，同时在低水位一侧宜放缓边坡，加宽护坡道。

条文说明：

《道路路基设计规范》DG/TJ 08-2237-2017 中指出，路堤在渗透压力作用下，降低了路堤边坡的稳定性，同时还可能产生管涌和流土等现象，不利于路堤的稳定。因此，需要采用级配良好的渗水性材料做填料，严格控制路堤填筑的压实度。

7.4.4 当路堤填料渗透速度和渗透压力较大而可能产生冲蚀时，除放缓边坡外，宜在低水位一侧设置排水设施。

7.5 高地震烈度区

7.5.1 高地震烈度区路基宜采用砂类土之外的 A、B、C 级填料或者 D 级的黏土；当条件受限必须采用砂类土时，应对其充分压实，并对边坡坡面采取适当的加固措施。

条文说明：

路堤的抗震性能与填料性质和密实度有关，密实度低的填土，由于初始力学强度低和孔隙率大，在地震时土粒容易发生位移，从而使路基遭到不同程度的破坏。提高填土的密实度，可以增大土粒间的黏结力和摩擦力，从而提高路基的抗震稳定性。

一般黏性土和碎石具有良好的抗震稳定性能，而黏结力差的填料抗震性能较差。

采用砂类土填筑的路基，由于填土缺乏一定的黏结力，在地震时土料非常容易发生侧向位移。当位移较大时，还将加剧振动时土粒间压应力的瞬间降低，从而进一步降低其抗剪强度。土粒的侧向位移及其引起的抗剪强度进一步降低，将会造成路基沉陷和边坡垮塌等震害。因此虽然砂类土的压实比较困难，也要尽量采用振动机械和夯击机械将其压实，并对边坡面采取适当的加固措施，以减少和限制土粒的侧向位移。

7.5.2 位于设计基本地震动峰值加速度大于或等于 0.20g 地区的高速公路和一级公路，采用粉砂、细砂作为填料时，应采取防止液化的措施。

条文说明：

通常采用的粉砂、细砂抗液化措施主要有：

1) 疏干、降排水：采取防渗、排渗、反滤及加反滤盖重等方法，以达到降低地下水位，利于孔隙水的排出和防止土颗粒流失等作用，可有效防止砂土液化的产生。

2) 压重：通过增加上覆盖层厚度来提高砂土围压，使土体不易液化。这种方法较简单，但应注意两点，一是虽然可增加土颗粒间的有效压应力，但仍存在发生液化的可能性；二是压重若设计不当，会使得砂土液化更加容易发生。

3) 加固：目前常用的加固方法有振动挤密、爆破、振动置换砂石桩、强夯、压实灌浆、化学灌浆、电动注液、喷射灌浆和深层搅拌等。

4) 桩基：采用桩基穿过液化土层，打入可靠的非液化土层。

对于砂土抗液化的方法很多，可根据需要采用两种或多种方法联合使用，则能起到事半功倍的效果，如压重与降排水联合使用，加固与降排水联合使用等。

7.5.4 在高地震烈度区的浸水路基，宜选用砂类土之外的 A、B、C 级填料。

7.5.5 软土地基上的高速公路和一级公路，地表设置垫层时，垫层材料应采用碎、卵石或粗砂夹碎石（卵石），不得采用细砂。

8 特殊填料设计

8.1 一般规定

8.1.1 特殊填料设计应考虑气候环境和水等因素对路基长期性能的影响，对可能造成的路基病害，应遵循预防为主、防治结合的原则，落实绿色环保的理念，通过技术经济比较，因地制宜，采取有效的工程处理措施，保证路基稳定性。

8.1.2 采用特殊土（岩）作为路基填料进行改良时，应通过室内外试验，提出相关的技术参数和施工工艺。

8.1.3 采用特殊土（岩）作为路基填料时，应铺筑试验段，确定最佳的施工方案，试验段铺筑要求见附录 C。

8.2 高液限土

8.2.1 高液限土不宜直接用作路基填料，在有可靠资料和工程经验的情况下，可采用 E 级高液限土填筑下路堤。在高液限土工程特性不满足 E 级填料要求的情况下应根据高液限土的工程特性和路用性能，进行改良填筑。

8.2.2 高液限土的 CBR 值、回弹模量等应满足现行《公路路基设计规范》（JTG D30）的相关要求。

条文说明：

CBR 值是判别路基填料能否应用的关键指标，高液限土的一个主要特征是其击实曲线（密实度曲线）与其 CBR 曲线相分离，呈双驼峰曲线，因此其 CBR 试验与一般的土有所不同。高液限土的 CBR 试验应符合以下要求：

1 调查确定料场土的含水率范围；

2 当土的含水率不变时，调整 CBR 试验制件击数，其 CBR 值将随之改变，不同击数下的 CBR 最大值，称为该含水率时的最大 CBR。土的含水率越大，最大 CBR 值所需击

数越少，反之亦然；

3 当土的制件击数保持不变，调整土的含水率，其 CBR 值将随之改变，其 CBR 最大时的含水率称为该含水率时的最大 CBR。击数越大，最大 CBR 时土的含水率越小，反之亦然；

4 现场土的含水率一般在某一范围内，为了确定该范围内路基土的 CBR 值，需进行不同含水率、不同击实功的 CBR 交叉试验。室内试验土的含水率范围应涵括现场路基填料可能的含水率，以揭示土在不同工况下的 CBR 强度特性，用于指导施工。CBR 试验时具体制件击数根据试验经验确定，当缺少试验经验时，可参考表 2 进行，必要时可增加不同击数的试验数量，每个土样含水率的间隔宜为 3~5 个百分点或稠度间隔 0.1~0.15；

5 绘制不同含水率时土的 CBR 试验结果曲线，根据 CBR 大于 3 的要求，确定高液限土路基的可用含水率范围。

表 8-1 高液限土 CBR 试验表

含水率(%)	稠度 ωc	重型 层数 x 击数	湿密度 ρ _w (g/cm ³)		干密度 ρ _d (g/cm ³)		压实度(%)	承载比 CBR(%)	线膨胀率(%)
			泡水前	泡水后	泡水前	泡水后			
	0.7	3×13							
		3×20							
		3×30							
	3×20							
		3×30							
		3×40							
	1.2	3×30							
		3×50							
		3×98							

8.2.3 高液限土工程特性不同，改良方式有所不同，并应符合下列要求：

- 1 细颗粒含量大，宜掺砂改良填筑；CBR 值低，宜掺石灰或水泥改良填筑。
- 2 高液限土满足下列条件之一，宜优先考虑掺砂改良填筑：
细颗粒含量大于 90%；
- 3 高液限土满足下列条件之一，宜优先考虑水泥改良或石灰改良填筑：
 - 1) CBR 值小于 3%、细颗粒含量介于 50%~75%；
 - 2) CBR 值大于或等于 3%、细颗粒含量介于 75~90%之间。
- 4、液限 50-60%的高液限土在包边处理后可直接填筑；利用高液限土及水泥改良高液

限土填筑的路基填土高度大于 5m 时，每隔 3 米设置一层隔层。

5 对于气候条件不易晾晒（白天、夜间温差大）和水泥或石灰不易拌合施工（风大等），以及就地取砂方便等情况下，宜采用掺砂改良填筑方案。

6 高液限土硫酸盐含量超过 0.25% 的，不应采用掺水泥改良。雨水充沛地区慎用石灰改良填筑。

7 高液限土填筑下路堤压实度可适当降低。

8 高液限土填筑下路堤后最大承载力对应湿度状态下的土样通过现场碾压后，能满足压实控制的要求，但是路基顶面回弹模量较低，路基回弹弯沉也同样无法满足要求。

条文说明：

1 在掺砂改良填筑中，掺砂比宜用掺砂质量占干填土质量的百分率表示，即：掺砂比 = 掺砂质量 / 干填土质量。

2 在掺砂改良填筑中，各处理区域内 CBR 值、细颗粒含量、液限的差异和不同填筑压实度的要求，均可通过掺砂比来调整。

3 在掺灰改良填筑中，掺灰比宜用掺水泥或掺石灰质量占干填土质量的百分率表示，即：掺灰比 = 掺水泥或掺石灰 / 干填土质量。

4 掺灰改良填筑中，可通过调整掺灰比，提高填筑层的压实度。但掺灰量（特别在掺石灰改良填筑中）不宜超过 8%，否则会给周围的环境造成影响。

5 在掺灰改良填筑中，掺水泥改良或石灰改良填筑的选用，应充分考虑施工单位的施工能力和技术水平。同时，兼顾因地制宜、就地取材的原则。

6 隔层设置示意图如下：

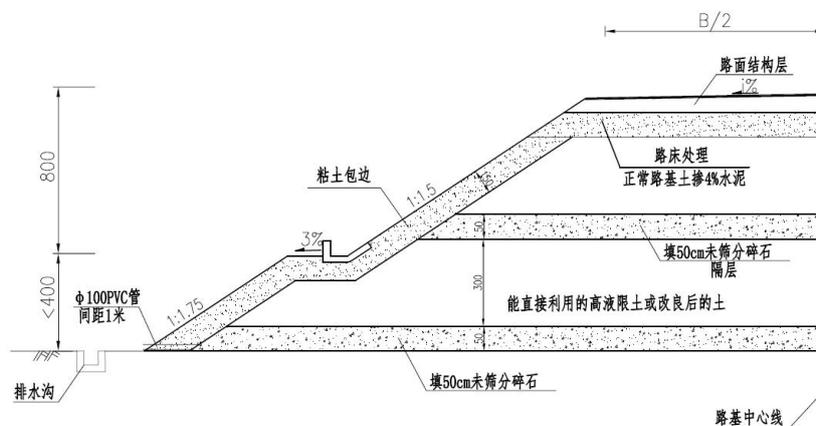


图 8-1 隔层设置示意图

7 长沙理工研究成果：现行公路路基设计和施工技术规范中均对路堤不同部位的压实度提出了控制标准。但无论对何种土质，压实度测定时均只考虑土中包含强结合水的土颗粒。通过对海南高液限土的吸附结合水含量的测定以及填料工程性质试验可以发现，高液限土中吸附结合水含量较大，因其同样具有固相性质，使得高液限土即使在相对较高的含水率状态下强度、水稳性和压缩性均较好。

根据现场调查及数值模拟试验结果表明，南方气候条件下细粒土路基含水率会从初始压实控制含水率逐年升至平衡含水率。由于塑限大于吸附结合水含量，在高液限土路基湿度平衡后的运营期内直至设计使用年限末期，高液限土吸附结合水含量都是相对稳定的。因此可将吸附结合水视为高液限土固相一部分，进行压实度计算。

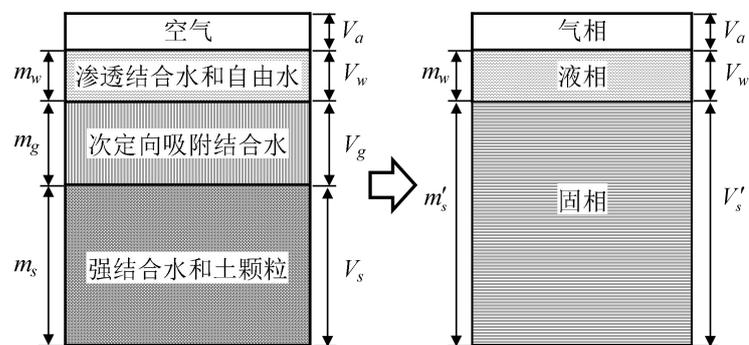


图 8-2 考虑结合水的高液限土三相示意图

假设高液限土在含水率大于吸附结合水含量状态下压实的干密度为 ρ_d ，则此时固相密度 ρ'_d 为：

$$\rho'_d = \rho_d(1+w_g) \quad (8.2.3-1)$$

式中： w_g 为吸附结合水的含量。

在室内湿法重型击实最大干密度 ρ_{\max} 状态下，若土的吸附结合水含量大于最佳含水率，则最佳含水率状态下土的实际吸附结合水含量为 w_{opt} ，该状态下固相密度 ρ'_{\max} 为：

$$\rho'_{\max} = \rho_{\max}(1+w_{opt}) \quad (8.2.3-2)$$

则将吸附结合水视为土中固相一部分之后的压实度（本文称之为固相压实度）为：

$$K' = \frac{\rho'_d}{\rho'_{\max}} = \frac{\rho_d(1+w_g)}{\rho_{\max}(1+w_{opt})} = K \frac{1+w_g}{1+w_{opt}} \quad (8.2.3-3)$$

式中： K' 为固相压实度； K 为常规压实度。

用高液限土填筑高速公路下路堤时，对其固相压实度按照现行公路路基设计规范要求进行控制，即 K' 不小于 93%，则常规压实度下限值 K_{min} 为：

$$K_{min} = 93\% \frac{1+w_{opt}}{1+w_g} \quad (8.2.3-4)$$

从上式可以看出，由于高液限土吸附结合水的含量 w_g 大于最佳含水率 w_{opt} ，因此高液限土用作下路堤填料时压实度可适当降低。由于不同高液限土吸附结合水的含量和最佳含水率不同，因此相应压实度降低标准也不同。

当土吸附结合水能力较弱， w_g 小于或等于 w_{opt} 时，则最佳含水率状态下土的实际吸附结合水含量为 w_g ，即公式 (2.7) 中 $w_{opt}=w_g$ ，压实度下限值会保持 93% 不变，即压实度控制标准不需降低。

表 8-2 不同土样填筑下路堤时压实度控制下限值及填筑高度表

土样	土类	$w_{opt}/\%$	$w_g/\%$	$K_{min}/\%$	H_{max}/m
HT-1	高液限土	20.4	27.1	88.1	17.0
WY-6		17.4	27.7	85.5	18.4
WY-9		17.3	24.8	87.4	22.3
WY-10		23.5	29.4	88.8	20.0
WY-11		22.1	30.5	87.0	16.8
文献		21.0	28.3*	87.3(88.0) [#]	/
文献		23.4	28.0*	89.7(90.0) [#]	/
CS	黏土质砂	12.8	13.2	92.7	/

根据表 5 中的结果，将吸附结合水作为高液限土压实度计算当中的固相部分，高液限土压实度标准均降低，降低幅度在 7.5%~3.3% 之间，其中长沙校园土，通过公式计算，控制下限值为 92.7%，因此，对于优质填料，不需要降低压实度控制标准。这也从侧方面验证了公式的合理性。

8 长沙理工研究成果经现场监测发现，在最大承载力对应湿度状态下的土样通过现场碾压后，能满足压实控制的要求，但是路基顶面回弹模量较低，路基回弹弯沉也同样无法满足要求。很多工程项目为了达到验收要求，一般采用经验性的改良或换填法，这些方法确实能解决特定的工程问题，但由于没有相关的设计理论支持，为了达到预期效果，往往

只能大量铺设试验路，费时费力，造成大量资源和经济的浪费，不得不充分利用减少弃方。为此，海南 G360 公路计划采用高液限土直接填筑下路堤，而在其上部采用刚度补偿设计方法制定处治方案以提升路基的刚度，使路基顶面的回弹模量和弯沉达到设计和验收要求。

路基的刚度补偿设计方法是指采用混合型填料（如掺石、砂和水泥等）在高液限土填筑层上，填筑路基的后续层位，由于使用了高模量的填料，使路基填筑完成后，其综合回弹模量便能达到设计要求。该法基于弹性双层理论，然后把双层转化为半空间体，转化原理为弯沉等效，在已知后续填筑层厚度参数时，便能求出填筑层材料模量，以该理论值确定具体的填料。或在已确定具体的填料后，反拟该填筑层的厚度。该方法为我国细粒土路基处治，乃至设计阶段的路基层位设计，提供了新的解决问题的思路，并已经成功得到了应用，不仅节约了工程时间，还节省了大量资源。为此，G360 公路项目下路堤利用高液限土直接填筑，但下路堤顶面弯沉大、刚度小。根据路基刚度补偿设计方法，拟在海南 G360 公路上路堤和路床填筑高模量填料，提升路基整体刚度，以满足路面对路基回弹模量要求和路基的验收弯沉要求。

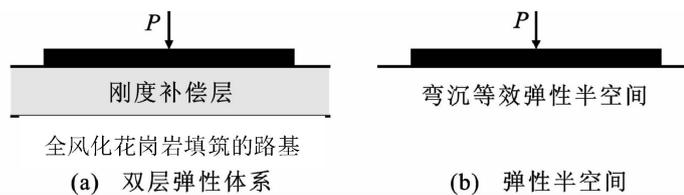


图 8-3 路基刚度补偿计算模型

海南高液限土细粒含量大、亲水性强，海南气候潮湿，填料需翻晒 3 至 4 天天然含水率只能减低 6%，加之海南多雨，原土难以达到最优含水率，因此高液限土不具备直接填筑上路堤的可行性。为此，根据刚度补偿理论，通过刚度补偿计算程序，为满足路基综合回弹模量和回弹弯沉要求，用高模量填料填筑上路堤和路床，设计了高液限土路基弯沉控制方案。

8.2.4 掺砂改良填筑不宜用于 96 压实区的填筑，若土源特别紧张需用到 96 压实区填筑，应聘专业技术人员全程跟踪指导，并需采取针对性的施工工艺。

8.2.5 高液限土掺砂改良填筑的压实要求应满足下列规定：

1 掺砂改良填筑时，高液限土的压实含水量差应控制在-2%~+4%范围以内，最大粒径

不大于 40mm。

2 掺砂改良填筑的填料是高液限土和砂料的混合料，碾压前的压实含水量差是指混合料的压实含水量差；

3 高液限土的压实含水量差超出-2%~+4%范围时，除可利用晾晒或在路堤上通过旋耕、翻晒施工降低外，也可采用减少松铺厚度、提高压实机吨位、增加碾压遍数、调整碾压方式等方法降低压实含水量差。

4 压实度满足路基不同部位压实度要求。

8.2.6 高液限土掺灰改良填筑的压实要求应满足下列规定：

1 掺灰改良填筑时，高液限土的压实含水量差应控制在-2%~+6%范围以内，最大粒径不大于 40mm。

2 掺灰改良填筑的填料是指高液限土和灰料（水泥或石灰）的混合料，碾压前的压实含水量差是指混合料的压实含水量差；

3 高液限土的压实含水量差超出-2%~+6%范围时，除可利用晾晒或在路堤上通过旋耕、翻晒施工降低外，也可采用减少松铺厚度、提高压实机吨位、增加碾压遍数、调整碾压方式等方法降低压实含水量差。

4 压实度满足路基不同部位压实度要求。

8.3 膨胀土

8.3.1 膨胀土根据自由膨胀率 F_s 、塑性指数 I_p 、标准吸湿含水率 w_f 等分级指标分为弱膨胀土、中膨胀土和强膨胀土，具体如下表所示：

表 8.3.1 膨胀土分级标准表

级别 分级指标	非膨胀性土	弱膨胀土	中等膨胀土	强膨胀土
自由膨胀率 F_s (%)	$F_s < 40$	$40 \leq F_s < 60$	$60 \leq F_s < 90$	$F_s \geq 90$
塑性指数 I_p	$I_p < 15$	$15 \leq I_p < 28$	$28 \leq I_p < 40$	$I_p \geq 40$
标准吸湿含水率 w_f (%)	$w_f < 2.5$	$2.6 \leq w_f < 4.8$	$4.8 \leq w_f < 6.8$	$w_f \geq 6.8$

注：标准吸湿含水率指在标准温度下（通常为 25℃）和标准相对湿度下（通常为 60%），膨胀土试样恒重后的含水率。

8.3.2 在有可靠资料和工程经验的情况下，弱膨胀土可作为 E 级路基填料考虑使用。强膨

胀土不得作为路堤填料；中等膨胀土经改良处理后可作为填料。膨胀土改良时，应通过室内试验和技术经济比较确定膨胀土填筑路基的处理方案，并确定最佳配合比及处治后的强度控制指标。

8.3.3 膨胀土用作路基填料时应符合下列规定：

1 应通过室内试验和技术经济比较确定膨胀土填筑路堤的处理方案，并确定最佳配合比及处理后的强度控制指标。

2 膨胀土作路基填料时，应以击实膨胀土的胀缩总率作为分类指标，按照下表进行膨胀土填料分类，确定各类膨胀土的使用范围及处治措施。

表 8.3.3 膨胀土填料使用范围表

填料等级	有荷压力下胀缩总率 (%)	使用范围
非膨胀土	$e_{ps} < 0.7$	可直接填筑
弱膨胀土	$0.7 \leq e_{ps} < 2.5$	采用包边、加筋、设置垫层等物理处理措施后可用于路堤范围的填料，采用无机结合料处治后可用于路床填料
中膨胀土	$2.5 \leq e_{ps} < 5$	采用无机结合料处治后可作路基填料
强膨胀土	$e_{ps} \geq 5$	不应用作路基填料

3 应根据膨胀土的性质，进行配合比试验，确定掺入材料及掺入量。

4 采用改良处理的膨胀土填筑路堤，改良处理后胀缩总率应不超过 0.7%。

8.3.4 膨胀土填筑路堤的压实要求应满足下列规定：

1 膨胀土填料应在合适的稠度范围内压实成型：稠度小于 0.9 的填料，没有采取分散处理措施时，不得直接摊铺在路基中，经化学处治后，需按照改良土的路堤施工要求进行填筑，填筑时填料中不得混有不可分散的土团；稠度为 0.9~1 的填料，需晾晒分散处理至稠度 1~1.3 后，方可进行压实施工；稠度为 1~1.3 的填料，可直接进行压实施工；稠度大于 1.3 的填料，宜调整到核实范围后使用。

2 膨胀土填料不应用于路床，压实度满足路基不同部位压实度要求。

8.4 不良级配砂

8.4.1 不良级配砂不宜直接用于路床填筑，当采用 C 级或 D 级不良级配砂用于填筑路堤时，应编制相应的专项施工方案，并铺筑现场试验段确定最佳施工参数。

条文说明：

1 砂具有水稳定性好、渗透性强、沉降快和易压实的特点，是优良的路基填料，但其直接用作填料，失水后容易滑脱，不易压缩，干燥稳定性差。

2 在保证砂类土物理、力学性质满足要求的基础上，严格按开工前制定且经由监理批准的施工方案开展施工作业，关键控制环节包括清表后原地面承载力；路基填砂最佳含水量（根据试验段施工结果确定）；每层摊铺厚度；每层最终压实度等。填砂路基施工过程中必须保持湿润状态，防止砂在干燥后发生松散、反弹的情况。

8.4.2 在已合格的填砂路堤表面继续填筑时，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。

8.4.3 填砂路堤必须全断面分层填筑，分层压实，且填筑的有效宽度应超出路基设计宽度不小于500mm。

条文说明：

1 分层的最大松铺厚度不应超过400mm；如有下封层，则其上铺筑的第一层砂的松铺厚度应按400mm控制，如无下封层则第一层砂的松铺厚度应按400~600mm控制；填筑至路堤顶面最后一层的压实厚度不应小于100mm。

2 按照填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。

8.4.4 不良级配砂类土改良时，掺和料宜采用粗粒土、水泥或粉土等，掺入量应根据试验确定，试验要求可参照附录B执行。

8.4.5 不良级配砂土路堤边坡应设包边土，包边土设计要求应满足本指南6.5相关要求。

8.4.6 填砂的含水率应采用红外线微波加热法快速测定，不得采用酒精燃烧法，对测试结果有异议时以烘干法为准。

条文说明：

为了更好、更快、更准确的测定填砂路基的含水率，《公路填砂路基施工技术规范》

DB36/T655-2012 中采用烘干法为主，红外线微波炉法需与烘干法做对比试验，使用于有机质不大于 5%的砂。

8.4.7 填砂路基压实度的检测方法，可采用大体积环刀（1000cm³）护筒灌砂法检测密度和红外线微波加热快速测定砂含水率。压实度检测应在压实层的层中取样，每一段路堤（400m~500m）至少 6 个点，或每 1000m² 检测 1 点，必要时可根据需要增加检验点数；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。

条文说明：

1 砂具有无黏聚性和透水性好的特点，根据相关项目经验，填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，一般可在小雨中施工。

2 填砂路基试验段以重型击实为标准，相对密度法为参考确定的最大干密度作为评价路基压实度的计算依据。现场压实度可采用大体积环刀（1000cm³）护筒灌砂法检测。经灌砂法、水袋法、蜡封法和小体积环刀法（200cm³）的对比试验结果发现，采用大体积环刀护筒法，可有效避免因路基含水率过大造成内壁坍塌的情况，操作简单，不宜扰动砂层，护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。不良级配砂土压实度检测也可根据地方经验采用隔层检测法、基于回弹模量的压实度检测等新技术。

3 弯沉值是横梁路基整体强度的重要指标，但干燥的填砂路基完工后，其表面处于松散易变性状态，检测回弹模量的汽车很难在上面行驶，同时弯沉仪的测定也很难固定，因此很难直接在填砂路基上测定其弯沉值。

8.5 过湿土

8.5.1 过湿土不宜直接用作路基填料，在有可靠资料和工程经验的情况下，对于高于最优含水量不大于 8%的砂性过湿土可晾晒后进行填筑。直接采用过湿土大面积填筑前，必须进行路基试验段填筑，试验段铺筑可参照附录 C 执行。

条文说明：

过湿土是指天然稠度(ω_c)介于 0.5~1.0 之间的潮湿黏土，一般认为，过湿土在天然稠度(ω_c)小于某一基本允许值后，必须采取相应技术措施加以处治方可达到路基填筑要求的技

术指标。可以按黏土的稠度指标($w_c = (\omega_L - \omega) / I_p$, 式中 ω_L 为液限, ω 为土料的天然含水率; I_p 为塑性指数)来划分, 采用不同的处治方法, 具体如下:

(1) 当 $w_c < 0.5$ 时, 土料呈极软塑状, 不能直接用作筑路材料;

(2) 当 $w_c = 0.5-0.75$ 时, 土料呈软塑-可塑状, 属于需要处治的湿粘土, 如用作填土材料, 可掺入无机结合料, 视情况翻拌晾晒后压实, 能获得满意效果;

(3) 当 $w_c = 0.75-1.0$ 时, 土料呈硬塑状, 属于可利用的湿粘土。其中 $w_c = 0.90-1.0$ 时只需稍加晾晒便可压实; $w_c = 0.75-0.90$ 时需要晾晒时间较长, 并需要掺入小剂量的结合料拌和后压实; 只有当 $w_c > 1.0$ 时土呈半固体状, 属于正常填料, 直接可用重型机具碾压密实。

可以通过计算土的最大容许含水量 $\omega_m = 100\rho_w \left(\frac{1-V_a}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s} \right)$; 式中

ρ_w —水的密度, 通常为 $1\text{g}/\text{cm}^3$;

ρ_s —土的密度, 通常为 $1\text{g}/\text{cm}^3$;

V_a —土中残留的密闭空气率, 对于粘性土, 通常为 $2\sim 3\%$,

粉土约为 3% , 砂性土可达 $6\%\sim 9.5\%$;

ρ_d —要求达到的干密度, g/cm^3 , $\rho_d = K\rho_{d\max}$;

K —规范要求达到的压实度标准, %;

$\rho_{d\max}$ —土的最大干密度, g/cm^3 ;

如土体含水率超过此最大容许含水率, 路基就不可能压实至规定的压实度, 需要对过湿土进行处治。

根据四川蒲江至都江堰高速公路施工经验, 沿线冰水堆积土含水量大, 为过湿土(高含水率土), 施工过程经验表明, 含水率高于最优含水量不大于 8% 时, 晾晒三天后直接填筑可以满足路堤填筑的要求, 当含水率过大时, 压实度难以满足路堤压实度要求, 出现泌水现象。因此本条规定在有工程经验的情况下, 可以采用不高于最优含水量 8% 的砂性过湿土直接进行填筑。

8.5.2 过湿土的 CBR 值、回弹模量等应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的相关要求。

8.5.3 常用的过湿土处治方法有物理降水的翻晒法、化学方法如掺外加剂（石灰、水泥、粉煤灰、NCS 等）、换填水稳定性好的填料、土工合成材料加固等。

条文说明：

过湿土含水量高，承载力低，稳定性差，容易变形。施工时常出现“弹簧”现象，无法压实；路基竣工后，在行车荷载的作用下，极易导致路基路面产生沉陷、变形、失稳等破坏。过湿土给公路路基填筑带来了较大的困难，传统的方法是物理降水方法中的晾晒、化学方法如掺加各种外加剂（石灰、水泥、粉煤灰、NCS 等），或改换水稳性定好的填料如砂砾、石渣等，或进行注浆、使用土工合成材料、强制烘烤干燥等，目前最广泛使用的是晾晒和添加生石灰。

8.5.3 优先采用翻晒法降低过湿土含水率后进行路基填筑；当翻晒法无法满足路基填筑要求时，择优选取其他方法进行处理。

8.5.4 对于石质材料丰富的路段，可以采用“夹心法”进行路基填筑，即填筑一层片碎石后再填筑一层过湿土，以便改善过湿土的排水条件，如图 8.5.4 所示。过湿土及片碎石填料松铺厚度不大于 30cm。

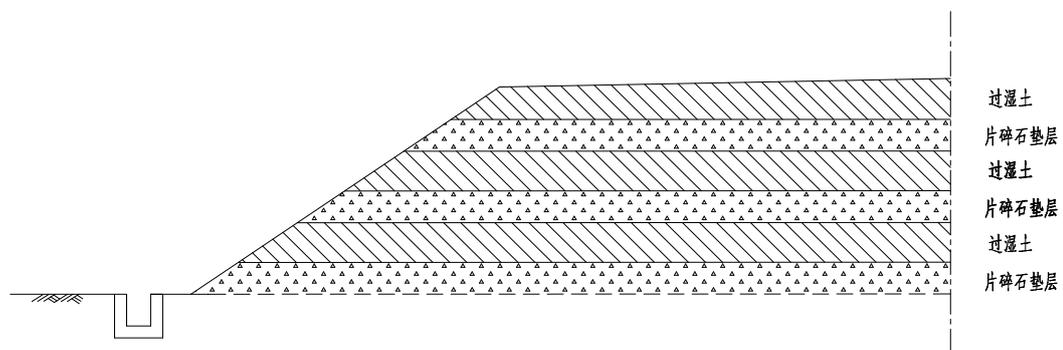


图 8.5.4 夹心法填筑示意图

条文说明：

夹心法填筑方案在诸多高速公路路基施工中均有成功的案例，例如四川乐山至雅安高速公路，沪蓉国道石柱至忠县高速公路等，夹心法填筑适用于周边或挖方中石材丰富的路段。

8.5.5 过湿土路基填筑时，必须加强含水率控制，翻晒法降低过湿土含水率时，可采用重型铧犁和重型缺口圆盘直接翻拌土体，并将过湿土颗粒粉碎至粒径 50mm 以下，加快过湿土含水率的降低。

8.5.6 对于采用化学改良工艺对过湿土进行改良的路基填筑，按照改良土的相关规定执行。

8.6 黄土

8.6.1 路床范围可选择黄土改良土作填料，不宜直接采用老黄土；路堤范围选用 D 级黄土作为填料时，应参照 5.3 节相关规定。

条文说明：

《黄土地区公路路基设计与施工技术规范》(JTG/T D31-0.5-2017) 中规定黄土地区的路基填料可采用新黄土和老黄土，但路床部分不宜采用老黄土。老黄土包括 Q₁ 黄土（午城黄土）和 Q₂ 黄土（离石黄土）。由于其透水性差，干湿难以调节，大块土料不宜粉碎，故路床部分不宜采用老黄土。但是 Q₂ 黄土的上部土层不太坚实，大块土料可以粉碎，在料源缺乏时可以采用。

8.6.2 路基填料采用黄土时，填料的强度、压实度、路床顶面的回弹模量应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的有关规定。当达不到设计要求时，可采取掺石灰等处理措施。石灰缺乏的地区，可采用砂砾填料。

条文说明：

掺石灰处理黄土，可以增加路基的防水性。

8.6.3 黄土作为路基填料施工时，其含水率宜控制在最佳含水率±2%范围内。当含水率过小时，应均匀加水后再进行碾压；当含水率过大时，可采取翻松、晾晒降低含水率，也可掺入适量石灰处理。

8.6.4 黄土地区路基设计应做好湿陷性黄土路基和黄土陷穴处理，同时应与防水设计相结合。湿陷性黄土路基应根据湿陷性黄土厚度、周边环境、湿陷性等级、土层含水率等因素

合理选用换填垫层法、冲击碾压法、强夯法、挤密桩法以及桩基础法等处理方法，黄土陷穴应根据其埋藏深度和大小适当选择回填夯实、明挖回填夯实以及开挖导洞回填夯实等处理方法。

条文说明：

《黄土地区公路路基设计与施工技术规范》(JTG/T D31-05-2017) 中对规定了黄土路基的处理方式和选用原则。

8.7 再生填料

8.7.1 用于路基填筑的再生填料必须符合国家现行环境保护的有关规定，严禁采用含有有毒有害物质的填料用于路基填筑。

8.7.2 煤矸石用作路基填料时应符合下列要求：

1 用于填筑路基的煤矸石应满足以下物理化学指标要求：

1) 对采用的煤矸石应做膨胀性试验，要求自由膨胀率小于 40%，液限小于 40%，塑性指数不应大于 10。含膨胀性的煤矸石的比例大于 50%的混合填料不能用来填筑路基。

2) 煤矸石吸水率小于 2%时，可作回填材料或路基填料；吸水率大于 2%时，煤矸石吸水后体积易发生膨胀，不宜作为路基填料。

3) 未风化和微风化的煤矸石宜作为路基填料；中等风化的煤矸石使用时应慎重考虑；严禁使用强风化的煤矸石作路基填料。

4) 施工中优先选用红色矸石，其次是灰褐色矸石；对黑色煤矸石应严格检测烧失量，烧失量不超过 20%，有机含量不超过 10%。

5) 煤矸石路基填筑应选用自然级配较好的煤矸石；自然级配差，大颗粒所占比例较大的煤矸石不宜直接作为路基填料，需经过破碎处理或掺拌粉性土改良后使用。

6) 煤矸石使用前应选择有代表性的试样进行不同粗料含量的振动试验，以确定不同粗料含量混合料的最大干密度与最佳含水量。施工图设计时应通过室内大型或中型三轴试验确定煤矸石的内摩擦角。

条文说明：

1) 煤矸石具有潜在的不稳定性, 具有膨胀性的煤矸石用于路基填筑时, 在道路使用期内煤矸石路基会发生膨胀, 导致面层开裂。所以根据路基填料中对膨胀土的使用规定, 有膨胀性的煤矸石占混合填料的比例不得大于 50%。若无条件掺用粉煤灰, 可用粘土来代替。粘土塑性指数以 7~15 为宜, 不含腐植质和杂物, 粘土使用前用 0.15mm 筛过筛, 必要时应使用粘土掺填, 路基包边土不得使用膨胀土。

2) 结构致密的煤矸石吸水性低, 具有较好的透水性, 自身保水性较低, 可作回填材料或路基填方, 能有效防止基床翻浆, 这种性质使得煤矸石作为路基填料时不会受到水损害; 结构较松散的煤矸石易吸水, 吸水后体积发生膨胀, 并破碎成较小粉状矸石不宜作为路基填料。

3) 抗压强度高的煤矸石风化较慢, 不易自然风化破碎, 宜作为路基填料; 抗压强度低的煤矸石易于风化破碎, 遇水易崩解, 不宜作为路基填料。

4) 黑色煤矸石含炭量高, 烧失量偏大, 应严格进行试验, 符合技术要求方可使用。在距路基顶面深度 80cm 路床范围内, 应采用烧失量低于 8% 的红色煤矸石, 且粒径控制在 10cm 以下, 而其中最上一层压实层所用煤矸石的粒径应控制在 6cm 以下。

煤矸石化学组分决定了煤矸石的长期稳定性能, 为了保证路基填料的稳定性, 煤矸石矿物中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等氧化物总含量要大于 70%; 为防止路基塌陷, 煤矸石填料中有机质含量不超过 10%; 煤矸石路基中不得使用强崩解性的填料, 煤矸石崩解量不得超过 30%。

5) 石料粒径最大不超过压实厚度的 2/3, 路堤最大粒径不超过 20cm, 路床最大粒径不超过 10cm。煤矸石的自然级配建议范围如下所示:

表 8-3 煤矸石自然级配范围

筛孔 (mm)	150	60	40	20	10	5	2	0.5	0.25	0.075
通过率 (%)	100	70~100	65~90	42~67	32~59	25~37	4~17	3~9	2~6	0~2

6) 试料最大粒径 d_{\max} 与三轴试样直径 D 之比应小于 5, 超粒径颗粒应采用“相似级配法”或“等量替代法”予以剔除。初步设计稳定性验算时, 煤矸石强度参数可根据实际情况按下表选取。

表 8-4 煤矸石的内摩擦角

压实度 (%)	粗料比例 (%)	内摩擦角 ϕ ($^{\circ}$)
≥ 93	30	33.4
	40	34.2
	50	35.6
	60	36.0

注：表中粗粒含量系剪后粗粒含量，粗料粒径范围为 5 mm~30 mm 的颗粒。

2 用于填筑路基的煤矸石，应采用压碎值、单轴抗压强度、CBR 值力学指标控制原材料质量，并满足以下力学指标要求：

- 1) 高速公路煤矸石路基填料压碎值不应大于 30%；石料单轴抗压强度不应小于 15MPa。
- 2) 煤矸石路基填料的 CBR 值及压实度应满足《公路路基设计规范》的要求。

8.7.3 粉煤灰用作路基填料时应符合下列要求：

- 1 原则上粉煤灰不得用于路床部分的填筑，当必须用于路床时，需开展试验段验证后方可大规模推广。
- 2 粉煤灰路堤填筑应进行料源调查，并按表 8.7.3 规定的项目进行粉煤灰性能试验。

表 8.7.3 粉煤灰室内试验项目

序号	试验内容	应提交的试验结果	备注
1	含水率	天然含水率范围	
2	密度	天然密度变化范围	
3	液限	液限	必要时测定
4	颗粒分析	粒组成分、级配曲线	必要时测定
5	化学分析	化学成分、烧失量、PH 值	
6	重金属含量测定	浸出液有害微量元素含量报告	必要时测定
7	击实试验	最大干密度、最佳含水率	
8	不排水抗剪强度	黏聚力、内摩擦角（饱水、不饱水）	
9	承载比	CBR 值	必要时测定

条文说明：

- 1) 含碳是的大小影响粉煤灰压实和强度性能。
- 2) 粉煤灰的粒度成分是直接影响粉煤灰最大干密度和最佳含水量的主要因素之一。它与燃煤性质、煤粉细度、燃烧条件、收尘和输送方式等因素有关。同一灰池不同部位的试样，差异较大，所以选择有代表性的试样进行测定甚为重要。

- 3 用于填筑路基的粉煤灰应满足以下物理化学指标要求：

1) 用于高速公路、一级公路路堤的粉煤灰烧失量宜小于 20%。烧失量超过标准的粉煤灰应做对比试验，分析论证后采用。

2) 粉煤灰粒径应在 0.001~2mm 之间，为便于压实，小于 0.074mm 的颗粒含量宜大于 45%。

4 粉煤灰使用前必须选择有代表性的试样进行击实试验，以实测确定最大干密度和最佳含水量；应通过试验测定粉煤灰的内摩擦角 φ 和粘结强度 C ；宜通过承载板法等实测手段确定粉煤灰路堤的回弹模量值。

条文说明：

粉煤灰的松干密度在 500~800kg/m³范围内。

粉煤灰的粘结强度 C 和内摩擦角 φ ，是路堤稳定验算的重要指标， C 、 φ 值随粉煤灰种类，粒组成分、密实程度的不同而有较大变化。饱水后的 C 、 φ 值均有降低趋势。用直剪仪在不固结快剪状态测得的 C 、 φ 值范围参见下表，可供初步设计稳定验算时选用。

表 8-5 粉煤灰 C 、 φ 值表

击实标准		压实度 (%)	内摩擦角 φ (°)	粘结强度 C (kPa)
重型	饱水	90	18~33	10~20
	不饱水	90	30~42	25~50

粉煤灰路堤的回弹模量值在初步设计中如无实测资料时，可按重型压实度 90%时，回弹模量 35~40MPa 选用。

5 粉煤灰路基的压实度标准参照现行《公路路基设计规范》的要求执行。二级公路 (包括二级汽车专用公路) 宜采用高速、一级公路的压实标准。

6 位于地震基本烈度 6 度和 6 度以上地区的粉煤灰路堤，应按现行的《公路工程抗震规范》的有关规定进行设防。

7 粉煤灰路堤底部应设置隔离层。隔离层宜采用天然砂砾、碎块片石等透水性良好的材料填筑，也可采用工业废渣、炉渣、钢渣、矿渣等。隔离层厚度不宜小于 0.3m，横坡不宜小于 3%。

8 粉煤灰路堤边坡高度在 5m 以下时，边坡应不陡于 1: 1.5；在 5m 以上时，上部边坡应不陡于 1: 1.5，下部边坡应不陡于 1: 1.75。

9 粉煤灰与桥涵等混凝土结构、金属结构物接触处，宜在结构物表面涂刷沥青防腐。

8.7.4 钢渣用作路基填料时应符合下列要求：

1 用于填筑路基的钢渣应满足以下物理化学指标要求：

1) 经稳定化处理合格并用于道路工程的转炉钢渣或电炉钢渣。

2) 路基用钢渣的最大粒径应不大于 60 mm，宜小于 40mm。路基用钢渣的浸水膨胀率应不大于 2.0%。

3) 钢渣应分解稳定，粒径符合规定要求，具有足够的强度。钢渣中金属铁含量不应大于 2.0%，游离氧化钙含量应小于 3.0%，压碎值应小于 30%。应采用堆存一年以上的陈渣。

条文说明：

钢渣中含有游离 CaO 和 RO 相（二价金属氧化物 MgO、MnO、FeO 固溶相的总称）等，尤其是游离的 CaO 在遇水后会发生水化反应，使钢渣体积膨胀，安定性不良。若将未经陈化的钢渣应用于道路工程中可能会导致路面顶包或路基开裂，道路耐久性差。游离氧化钙和粉化率指标仅检验一项即可（有条件应作膨胀试验）。无具体分析，前期渣不得单独使用。

2 应按照 JTG D30 要求对计划采用的路基钢渣填料进行颗粒组成、强度、溶解性、烧失量等试验。

8.7.5 建筑垃圾再生材料用作路基填料时应符合下列要求：

1 应对道路沿线的建筑垃圾料源进行调查和必要的勘察，对选用的建筑垃圾材料进行取样试验。

条文说明：

建筑垃圾应以杂物含量少、均匀性好、无污染为优选原则，在生产加工前应排除含有害物质、污染严重或腐蚀严重的建筑垃圾。源自医院、化工厂等的建筑垃圾，应符合国家和行业有关危险废物的相关规定。

2 用于填筑路基的建筑垃圾再生材料应满足以下物理化学指标要求。

表 8.7.5 建筑垃圾再生材料技术要求

项目	技术要求	试验方法
轻质杂物含量（%）	≤1.0	参考 JTG T 2321—2021 公路工程利用建筑垃圾技术规范附录 A

不均匀系数	≥5	T0115
有机质含量 (%)	≤5.0	T0151
易溶盐含量 (%)	≤0.5	T0153
重金属元素	符合 GB 5085.3-2007 规定的要求	按照 GB 5085.3 规定的方法执行

3 用于路基填筑的建筑垃圾应经过分选、加工生产后形成再生材料。建筑垃圾再生材料用于路堤填筑时，填料粒径应小于 150mm，路床及台背填料粒径应小于 60mm。

条文说明

根据依托工程研究成果，填筑路基的建筑垃圾再生材料粒径一般较大，4.75mm 以上颗粒含量较多，基本上都可以满足《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610) 承载比要求，因此本规范仅对再生材料粒径提出要求。路基用再生材料级配应符合下表的规定。

表 8-6 路基用再生材料级配要求表

结构层	4.75mm 以上颗粒含量 (%)	0.075mm 以上颗粒含量 (%)
路床	50~70	90~100
路堤	40~60	90~100

4 建筑垃圾再生材料原则上不宜直接用于浸水路段路基回填。

8.7.6 再生填料路基的质量验收标准执行填土路基的验收规范。

8.8 轻质材料

8.8.1 轻质可用作需要减少路堤重度或土压力的路堤填料，其应用范围包括软土地基上路堤、桥涵与挡土墙构造物台（墙）背路堤、拓宽路堤、修复沉降或失稳路堤等，但不宜用于洪水淹没地段。

8.8.2 土工泡沫塑料路堤应满足下列要求：

1 土工泡沫塑料路堤适用于需要大幅度减轻路堤重量的路段，宜用在桥头、墙背等工程位置。

2 土工泡沫塑料路堤构造应符合下列规定：

1) EPS 块体与路面之间应设置现浇钢筋混凝土板，厚度宜为 0.1~0.15m。

2) 在 EPS 多层块体之间，每隔 2~3m 或 4~6 层应设置一层现浇钢筋混凝土板，厚度

宜为 0.1~0.15m。

3) EPS 块体之间、块体与施工基面之间应通过专用联结件联结牢固。

4) 土工泡沫塑料路堤边坡应设包边土，包边土的水平宽度不宜小于 1m。

5) 土工泡沫塑料路堤基底应设置砂砾垫层，厚度宜为 0.2~0.3m。垫层平整度宜采用 3m 直尺测量，最大间隙应小于 10mm。垫层宽度宜超出 EPS 块体边缘 0.5~1.0m，并通过排水盲沟或排水管保证向外部排水畅通。

8.8.3 现浇泡沫轻质土路堤应满足下列要求：

1 现浇泡沫轻质土具有轻质性、密度和强度可调节性、高流动性、直立性及施工便捷等特性，适用于需要较大幅度减轻路堤重量的路段，宜用于软基桥台背填筑、道路扩建、山区陡峭路段填筑、旧路桥头路基换填等工程位置。

2 现浇泡沫轻质土浇筑体底宽应不小于浇筑体高度的 0.2 倍，且不得小于 2m；直立填筑高度不宜超过 15m，最小填筑厚度不宜小于 0.5m；顶面有坡度要求时，可设置台阶满足坡度变化，台阶高差不宜超过 50cm，且沿台阶方向各平台的长度均不宜小于 2m。

3 当泡沫轻质土填筑土在某一方向长度较大或底面形态有突变时，宜设置变形缝。变形缝间距宜为 10~20m；填缝板可采用普通的木板或夹板，厚度不宜超过 20mm。

4 现浇泡沫轻质土的重度应根据工程的具体需要进行设计，当用于地下水位以下时，重度不宜小于 10kN/m³。

5 现浇泡沫轻质土的设计无侧限抗压强度不宜小于 400kPa。

表 8.8.3 公路路基泡沫轻质土的抗压强度

填筑部位	离路面底面距离 (m)	抗压强度 (MPa)	
		高速公路一级公路	二级及二级以下公路
路床	0~0.8	≥0.6	≥0.5
上路堤	0.8~1.5	≥0.5	≥0.4
下路堤	1.5 以下	≥0.4	

6 现浇泡沫轻质土的配合比设计应满足抗压强度、湿密度、流度的要求，必要时还应考虑材料性能的其他特殊要求（如弹性模量、抗冻性等）。

7 现浇泡沫轻质土排水可采用设置渗水盲沟或有孔排水管或滤水层的措施。防水可采用在填筑体顶、底面铺设防水土工膜、在侧面临空面设置保护壁的措施。渗水盲沟宜采用碎石盲沟，有孔排水管宜采用 PVC 管，滤水层宜采用碎石。防渗土工膜宜选用聚乙烯或聚

氯乙炔复合土工膜。

附录 A 各组别填料分级

A.0.1 特征应根据土的不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 确定。 $C_u \geq 5$ ，且 $C_c = 1 \sim 3$ 为级配良好，反之为级配不良。不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 分别按式 (A.0.2-1)、式 (A.0.2-2) 计算。

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$C_c = d_{30}^2 / (d_{60} \times d_{10}) \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中， d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} ——土的特征粒径 (mm)，在土的粒径分布曲线上，小于该粒径的土粒质量分别为总土质量的 10%、30%、60%。

A.0.2 饱和单轴抗压强度应根据现行的《公路工程岩石试验规程》(JTG E41) 有关规定测试确定，常采用标准试件做单轴抗压强度试验，也可采用点荷载试验，并由点荷载强度指数换算成岩石单轴抗压强度，按照下式换算：

$$R_c = 22.82 I_{s(50)}^{0.75} \quad (\text{A.0.1})$$

式中： R_c ——岩石饱和单轴抗压强度 (MPa)。

A.0.3 巨粒土填料组别分级应符合表 A.0.3 的规定。

表 A.0.3 巨粒土填料组别分级表

粒组		定名				填料组别	备注
类别	说明	细粒含量	岩块饱和单轴抗压强度 R_c (MPa)	级配	定名		
巨粒土	块石土	<15%	$R_c \geq 5$	—	块石	C	填石路堤
				良好	级配良好块石夹土	C	土石混填
		不良		级配不良块石夹土	C		
		$\geq 15\%$			块石夹土	C	
		<15%		良好	级配良好块石质土	C	
				不良	级配不良块石质土	C	
	$\geq 15\%$			块石质土	C		
		小块		<15%	$R_c \geq 30$	良好	级配良好小块石
不良	级配不良小块石		B				

石 土	于小块石粒（尖棱状为主）		$5 \leq R_c < 30$	—	小块石	C	路 堤	
	巨粒组（粒径大于 60mm）质量 占总质量 50%~75%，块石粒质量 小于小块石粒（尖棱状为主）	<15%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好小块石夹土	A		土 石 混 填
				不良	级配不良小块石夹土	B		
		$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好小块石夹土	B			
			不良	级配不良小块石夹土	C			
		$\geq 15\%$	$R_c \geq 15$		小块石夹土	B		
			$5 \leq R_c < 15$		小块石夹土	C		
	巨粒组（粒径大于 60mm）质量 占总质量 15%~50%，块石粒质量 小于小块石粒（尖棱状为主）	<15%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好小块石质土	A		土 石 混 填
				不良	级配不良小块石质土	B		
		$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好小块石质土	B			
			不良	级配不良小块石质土	C			
		$\geq 15\%$	$R_c \geq 15$		小块石质土	B		
$5 \leq R_c < 15$				小块石质土	C			
漂 石 土	巨粒组（粒径大于 200mm）质量 大于总质量 75%，漂石粒质量大于 卵石粒（浑圆或圆棱状为主）	<15%		—	漂石	C	填 石 路 堤	
	巨粒组（粒径大于 200mm）质量 占总质量 50%~75%，漂石粒质量 大于卵石粒（浑圆或圆棱状为主）	<15%	$R_c \geq 5$	良好	级配良好漂石夹土	C		土 石 混 填
				不良	级配不良漂石夹土	C		
	$\geq 15\%$			漂石夹土	C			
		<15%	$R_c \geq 5$	良好	级配良好漂石质土	C		
	不良			级配不良漂石质土	C			
$\geq 15\%$			漂石质土	C				
卵 石 土	巨粒组（粒径大于 60mm）质量 大于总质量 75%，漂石粒质量小于 卵石粒（浑圆或圆棱状为主）	<15%	$R_c \geq 30$	良好	级配良好卵石	A	填 石 路 堤	
	不良		级配不良卵石	B				
	巨粒组（粒径大于 60mm）质量 占总质量 50%~75%，漂石粒质量 小于卵石粒（浑圆或圆棱状为主）	<15%	$5 \leq R_c < 30$		—	卵石	C	土 石 混 填
				$R_c \geq 15$	良好	级配良好卵石夹土	A	
		不良	级配不良卵石夹土		B			
		$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好卵石夹土	B			
			不良	级配不良卵石夹土	C			
		$\geq 15\%$	$R_c \geq 15$		卵石夹土	B		
	$5 \leq R_c < 15$			卵石夹土	C			
	巨粒组（粒径大于 60mm）质量 占总质量 15%~50%，漂石粒质量 小于卵石粒（浑圆或圆棱状为主）	<15%	$R_c \geq 15$	良好	良好级配卵石质土	A	土 石 混 填	
				不良	级配不良卵石质土	B		
		$5 \leq R_c < 15$	良好	良好级配卵石质土	B			
不良			级配不良卵石质土	C				
$\geq 15\%$		$R_c \geq 15$		卵石质土	B			

				$5 \leq R_c < 15$		卵石质土	C	
--	--	--	--	-------------------	--	------	---	--

注：1 级配良好为 $C_u \geq 5$ ，且 $C_c = 1 \sim 3$ ；

2 细粒含量指粒径小于 0.075mm 颗粒的与总质量的比值。

条文说明：

1 《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG3363-2019) 和《工程岩体分级标准》(GB/T50218-2014) 中规定岩石饱和单轴抗压强度 $R_c \leq 5\text{MPa}$ 为极软岩， $5\text{MPa} < R_c \leq 15\text{MPa}$ 为软岩。岩石坚硬程度定性划分中，极软岩为锤击声哑，无回弹、有较深凹痕，手可捏碎；浸水后，可捏成团。极软岩性质普遍较差，通常风化程度高、遇水会软化，路用性能较差，因此在填料分级时，规定饱和单轴抗压强度 $R_c \leq 5\text{MPa}$ 的粗粒和巨粒土，在粒组划分时按细粒土考虑。

2 《公路路基设计规范》(JTG D30-2015) 中关于填石路堤规定“硬质岩石、中硬岩石可用作路床、路堤填料；软质岩石可用作路堤填料，不得用于路床填料”。在此与《公路路基设计规范》(JTG D30-2015) 规定保持一致，在填石路堤中 A、B 级填料要求石料饱和抗压强度 $R_c \geq 30\text{MPa}$ 。

3 《高速公路红砂岩路基施工技术规程》(DB36/T 713-2013) 中规定红砂岩的饱和单轴抗压强度 $2\text{MPa} < R_c \leq 10\text{MPa}$ 为一类红砂岩(泥质)， $10\text{MPa} < R_c \leq 15\text{MPa}$ 为二类红砂岩(硅质)， $R_c > 15\text{MPa}$ 为三类红砂岩。其中三类红砂岩按照填石路基或土石混填处理，一类、二类红砂岩用于路基填料时需要进行预崩解处理。调研分析红砂岩相关科研成果，规定除填石路堤以外，填筑路床的粗粒、巨粒应满足 $R_c > 15\text{MPa}$ ，级配良好时 $R_c > 5\text{MPa}$ 。

4 《广东省高液限土路基修筑技术指南》(GDJTGT E01-2014) 中规定：“高液限土的 CBR 值大于或等于 3%，同时满足下列条件，可考虑采用直接填筑：(1) 细颗粒含量小于 90%，液限介于 50%~60%之间；(2) 细颗粒含量介于 50%~75%之间，液限介于 50%~70%之间”。铁四院关于高液限土相关科研成果并经过海南国道 G360 定安至临高段公路的现场施工验证，CBR 值大于或等于 3%，细颗粒含量介于 50%~75%之间，液限介于 50%~70%之间的高液限土可通过在路堤两侧边坡采用土工格栅回折反包锚固的情况下直接填筑。综合高液限土的相关资料确定 E 级填料的分级依据为液限 $\leq 70\%$ ，且粗粒含量 $\geq 25\%$ 。

A.0.4 试样中巨粒组土粒少于或等于总质量的 15%，且巨粒组与粗粒组土粒质量之和多于总土质量 50%的土称粗粒土。粗粒土中砾粒组质量多于砂粒质量的土称砾类土。砾石土

填料组别分级应符合表 A.0.4 的规定。

表 A.0.4 砾石土填料组别分级表

粒组		定名				填料组别
类别	说明	细粒含量	岩块饱和单轴抗压强度 R_c (MPa)	级配	定名	
粗粒土	粗圆砾土 粗粒土中砾粒组质量多于砂粒质量，且粒径大于20mm 颗粒大于总质量的50%（浑圆或圆棱状为主）	<5%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好粗圆砾	A
				不良	级配不良粗圆砾	B
			$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好粗圆砾	B
				不良	级配不良粗圆砾	C
		5%~15%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好含细粒土粗圆砾	A
				不良	级配不良含细粒土粗圆砾	B
			$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好含细粒土粗圆砾	B
				不良	级配不良含细粒土粗圆砾	C
		15%~50%	$R_c \geq 15$		粉土质粗圆砾	B
					黏土质粗圆砾	B
			$5 \leq R_c < 15$		粉土质粗圆砾	C
					黏土质粗圆砾	C
	粗角砾土 粗粒土中砾粒组质量多于砂粒质量，且粒径大于20mm 颗粒大于总质量的50%（尖棱状为主）	<5%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好粗角砾	A
				不良	级配不良粗角砾	B
			$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好粗角砾	B
				不良	级配不良粗角砾	C
		5%~15%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好含细粒土粗角砾	A
				不良	级配不良含细粒土粗角砾	B
			$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好含细粒土粗角砾	B
				不良	级配不良含细粒土粗角砾	C
		15%~50%	$R_c \geq 15$		粉土质粗角砾	B
					黏土质粗角砾	B
			$5 \leq R_c < 15$		粉土质粗角砾	C
					黏土质粗角砾	C
中圆砾土 粗粒土中砾粒组质量多于砂粒质量，且粒径大于5mm 颗粒大于总质量的50%（浑圆或圆棱状为主）	<5%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好中圆砾	A	
			不良	级配不良中圆砾	B	
		$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好中圆砾	B	
			不良	级配不良中圆砾	C	
	5%~15%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好含细粒土中圆砾	A	
			不良	级配不良含细粒土中圆砾	B	

			$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好含细粒土中圆砾	B		
				不良	级配不良含细粒土中圆砾	C		
			15%~50%	$R_c \geq 15$		粉土质中圆砾	B	
						黏土质中圆砾	B	
			$5 \leq R_c < 15$		粉土质中圆砾	C		
					黏土质中圆砾	C		
	中角砾土	粗粒土中砾粒组质量多于砂粒质量，且粒径大于5mm颗粒大于总质量的50%（尖棱状为主）	<5%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好中角砾	A	
					不良	级配不良中角砾	B	
				$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好中角砾	B	
					不良	级配不良中角砾	C	
			5%~15%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好含细粒土中角砾	A	
					不良	级配不良含细粒土中角砾	B	
$5 \leq R_c < 15$				良好	级配良好含细粒土中角砾	B		
				不良	级配不良含细粒土中角砾	C		
15%~50%			$R_c \geq 15$		粉土质中角砾	B		
					黏土质中角砾	B		
			$5 \leq R_c < 15$		粉土质中角砾	C		
					黏土质中角砾	C		
细圆砾土	粗粒土中砾粒组质量多于砂粒质量，且粒径大于2mm颗粒大于总质量的50%（浑圆或圆棱状为主）	<5%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好细圆砾	A		
				不良	级配不良细圆砾	B		
			$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好细圆砾	B		
				不良	级配不良细圆砾	C		
		15%~50%	$R_c \geq 15$		粉土质细圆砾	B		
					黏土质细圆砾	B		
			$5 \leq R_c < 15$		粉土质细圆砾	C		
					黏土质细圆砾	C		
		细角砾土	粗粒土中砾粒组质量多于砂粒质量，且粒径大于2mm颗粒大于总质量的50%（尖棱状为主）	<5%	$R_c \geq 15$	良好	级配良好细角砾	A
						不良	级配不良细角砾	B
					$5 \leq R_c < 15$	良好	级配良好细角砾	B
						不良	级配不良细角砾	C
5%~15%	$R_c \geq 15$			良好	级配良好含细粒土细角砾	A		
				不良	级配不良含细粒土细角砾	B		
	$5 \leq R_c < 15$			良好	级配良好含细粒土细角砾	B		
				不良	级配不良含细粒土细角砾	C		

		15%~50%	$R_c \geq 15$	粉土质细角砾	B
				黏土质细角砾	B
			$5 \leq R_c < 15$	粉土质细角砾	C
				黏土质细角砾	C

注: 1 级配良好为 $C_u \geq 5$, 且 $C_c = 1 \sim 3$ 。

2 细粒含量指粒径小于 0.075mm 颗粒的与总质量的比值。

3 细粒土位于塑性图 A 线以下时, 为粉土质砾; 细粒土位于塑性图 A 线以上时, 为黏土质砾。

4 若因粗颗粒小, 无条件取得粗粒饱和抗压强度时, 可根据经验采用承载比试验代替, 由 CBR 值从高至低进行判断, CBR 值 ≥ 8 时, 为 B 级; CBR ≥ 5 时, 为 C 级; 其余为 D 级。

A.0.5 试样中巨粒组土粒少于或等于总质量的 15%, 且巨粒组与粗粒组土粒质量之和多于总土质量 50% 的土称粗粒土。粗粒土中砾粒组质量少于或等于砂粒质量的土称砂类土。砂类土填料组别分级应符合表 A.0.5 的规定。

表 A.0.5 砂类土填料组别分级表

类别		粒组	定名			填料组别
		说明	细粒含量	级配	定名	
粗粒土	粗砂	粗粒土中砾粒组质量少于或等于砂粒质量(粒径大于 0.5mm 颗粒质量大于总质量的 50%)	<5%	良好	级配良好粗砂	B
				不良	级配不良粗砂	C
			5%~15%	良好	级配良好含细粒土粗砂	B
				不良	级配不良含细粒土粗砂	C
			15%~50%		粉土质粗砂	C
					黏土质粗砂	C
	中砂	粗粒土中砾粒组质量少于或等于砂粒质量(粒径大于 0.25mm 颗粒质量大于总质量的 50%)	<5%	良好	级配良好中砂	B
				不良	级配不良中砂	C
			5%~15%	良好	级配良好含细粒土中砂	B
				不良	级配不良含细粒土中砂	C
			15%~50%		粉土质中砂	C
					黏土质中砂	C
细砂	粗粒土中砾粒组质量少于或等于砂粒质量(粒径大于 0.075mm 颗粒质量大于总质量的 75%)	<5%	良好	级配良好细砂	C	
			不良	级配不良细砂	D	
		5%~15%	良好	级配良好含细粒土细砂	C	
			不良	级配不良含细粒土细砂	D	

注: 1 级配良好为 $C_u \geq 5$, 且 $C_c = 1 \sim 3$;

2 细粒含量指粒径小于 0.075mm 颗粒的与总质量的比值。

A.0.6 试样中细粒组土粒质量多于或等于总质量 50%的土称细粒土；对于颗粒为软岩的土，其液塑限按泡水软化后的土进行试验。细粒土填料包含粉土、黏土和软岩土，细粒土填料组别分级应符合表 A.0.6 的规定。

表 A.0.6 细粒土填料组别分级表

粒组		定名					填料组别
类别		液、塑限描述	粗粒含量	主要粗粒成分			
细粒土（粒径小于 0.075mm 颗粒质量大于总质量的 50%）	粉土	低液限粉土	A 线以下， $\omega_L < 50$ ， $I_p < 4$	<25%		低液限粉土	D
				$\geq 25\%$	砾	含砾低液限粉土	D
		高液限粉土	A 线以下， $50 \leq \omega_L < 70$ ， $I_p < 4$	$\geq 25\%$	砾	含砾高液限粉土	E
					砂	含砂高液限粉土	E
	黏土	低液限黏土	A 线以上， $\omega_L < 50$ ， $I_p \geq 4$	<25%		低液限黏土	D
				$\geq 25\%$	砾	含砾低液限黏土	D
		高液限黏土	A 线以上， $50 \leq \omega_L < 70$ ， $I_p \geq 4$	$\geq 25\%$	砾	含砾高液限黏土	E
					砂	含砂高液限黏土	E
	软岩土 ($R_c < 5\text{MPa}$)			A 线以下， $\omega_L < 50$ ， $I_p < 4$		低液限软岩粉土	D
				A 线以下， $50 \leq \omega_L < 70$ ， $I_p < 4$		高液限软岩粉土	E
				A 线以上， $\omega_L < 50$ ， $I_p \geq 4$		低液限软岩黏土	D
				A 线以下， $50 \leq \omega_L < 70$ ， $I_p < 4$		高液限软岩黏土	E

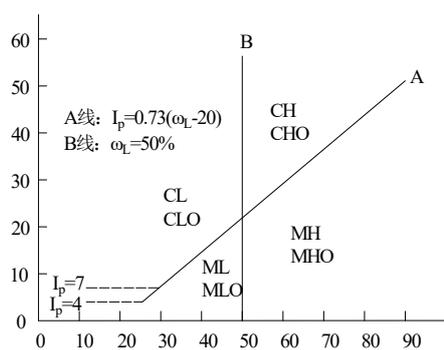


图 A.0.6 细粒土塑性图

注：1 横轴为液限 ω_L (%)，竖轴为塑性指数 I_p ；

2 液限试验含水率采用圆锥仪法，圆锥仪总重量为 76g，入土深度为 17mm。

3 A 线方程中的 ω_L 按去掉%后的数值进行计算。

条文说明：

1 《公路土工试验规程》(JTG 3430-2020) 中界限含水率测量圆锥质量为 76g 或 100g 锥，细粒土分类的塑性图中的界限塑性指数为 $I_p=4$ 和 7；《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019) 规定界限含水率按照 76g 锥试验确定，而细粒土分类的塑性图中的界限塑性指数为 $I_p=10$ 和 17。在此综合实际工程应用情况，土的界限含水率测定采用 76g 锥试验，细粒土分类的塑性图中的界限塑性指数为 $I_p=4$ 和 7。

2 《广东省高液限土路基修筑技术指南》(GDJTGT E01-2014) 中规定：“高液限土的 CBR 值大于或等于 3%，同时满足下列条件，可考虑采用直接填筑：(1) 细颗粒含量小于 90%，液限介于 50%~60%之间；(2) 细颗粒含量介于 50%~75%之间，液限介于 50%~70%之间”。铁四院关于高液限土相关科研成果并经过海南国道 G360 定安至临高段公路的现场施工验证，CBR 值大于或等于 3%，细颗粒含量介于 50%~75%之间，液限介于 50%~70% 之间的高液限土可通过在路堤两侧边坡采用土工格栅回折反包锚固的情况下直接填筑。综合高液限土的相关资料确定 E 级填料的分级依据为液限 $\leq 70\%$ ，且粗粒含量 $\geq 25\%$ 。

附录 B 改良土设计与试验

B.1 一般规定

B.1.1 应根据工程需要，调查外掺料料源，并对其质量及产量进行评价，所采用的外掺料质量应符合相关标准的要求。

B.1.2 当就近取用填料不符合路基结构相应各部位对填料的要求，或虽符合路基结构相应各部位对填料的要求，但达不到其相应压实标准时，应经过技术、经济指标综合比较后，确定对填料采取改良措施。

B.1.3 经改良后的填料，应满足路基相应不发威对其技术要求，确保路基有足够强度、稳定性和耐久性。

B.1.4 改良土设计应采用成熟的、可靠的技术。改良土外掺料可采用水泥、石灰、粉煤灰、砂、砾、碎石等无机料，其中粉煤灰不宜单独作为外掺料用于土的改良；如采用其他类型外掺料，应通过室内和现场试验确认其适用性。

B.1.5 当采用水泥、石灰或石灰粉煤灰做外掺料的改良土填料，用于基床部位时，应设置放、排水措施；用于地面积水或受地下水影响地段路堤的下部填料时，应在基底采取隔水措施。

B.1.6 粉煤灰浸出液中的重金属元素含量应符合国家有关废水排放标准。

B.2 填料勘察、试验

B.2.1 路基填料的勘察应符合现行勘察章节的相关规定，并应满足以下要求：

1 调查了解路基填料，取土场的地形、地貌、可取范围，一级是否符合国家和地方环境保护、水土保持、土地资源保护等有关规定。

2 查明取土场范围的地层时代、地层结构，填料储量和质量；应按填料划分标准对填料进行分类和组别划分。

3 查明场地的水文地质条件，地下水类型、地下水的水位及变化幅度。

B.2.2 调查收集外掺料的来源，相关物理力学参数，可供利用的产量、运输条件等。

B.2.3 填料取样分布位置、深度等应有代表性，并根据试验项目分别采用足够数量的原状土样或扰动土样。

B.2.4 填料的各项试验均应按现行《公路土工试验规程》JTG 3430-2020 中相关试验方法与要求进行。

B.2.5 外掺料试验项目应符合下列规定：

- 1 水泥：强度等级试验、凝结时间试验、安定性试验。
- 2 石灰：氧化钙（CaO）与氧化镁（MgO）含量试验、未消化残渣含量试验。
- 3 粉煤灰：矿物成分（ $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量）试验、 SO_3 含量试验、烧失量试验、细度试验。

B.2.6 水泥、石灰、粉煤灰各项试验应符合下列规定：

- 1 水泥：按现行国家标准《通用硅酸盐水泥》相关试验方法与要求执行。
- 2 石灰：按现行国家建材行业标准《建筑石灰试验方法第 1 部分：物理试验方法》和《建筑石灰试验方法第 2 部分：化学分析方法》执行。
- 3 粉煤灰：化学成分和细度按现行《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB1596 执行；烧失量、三氧化硫和矿物成分（ $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）含量按现行《水泥化学分析方法》GB/T 176 执行。

B.3 改良土设计技术指标

B.3.1 外掺料为水泥时，宜采用普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥，强度等级为 32.5 级或 42.5 级，初凝时间不宜少于 3.0h，终凝时间不宜小于 6.0h，不应使用快硬水泥、早强水泥，不得使用受潮变质水泥。

B.3.2 用水泥改良的原土料，其塑性指数宜小于 12，有机质含量不宜大于 2%，硫酸盐

含量不大于 0.25%。

B.3.3 外掺料为石灰时，宜采用一等建筑钙质生石灰粉或合格建筑钙质生石灰，其石灰的 CaO+MgO 含量不小于 80%，CO₂ 含量不大于 9%，未消化残渣含量（5mm 圆孔筛余）不大于 15%。

B.3.4 用石灰改良的原土料，其塑性指数宜大于 12，有机质含量不大于 5%，硫酸盐含量不大于 0.8%。

B.3.5 外掺料为粉煤灰时，宜用 SiO₂+Al₂O₃+Fe₃O₄ 含量不小于 70%的粉煤灰，其质量应符合现行《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB1596II 级粉煤灰的要求，即细度（0.045mm 分孔筛余）不大于 20%，三氧化硫不大于 3%，烧失量不大于 8%。

B.3.6 经改良后填料的无侧限抗压强度应符合表 B.3.6 的要求。

表 B.3.6 改良土无侧限抗压强度（饱和）（kPa）

路基部位	上路床	下路床	路床以下路基
二级及以上公路	≥500（≥700）	≥300（≥450）	≥200

注：1 表中的强度值为 7d 龄期的饱和和无侧限抗压强度。

2 表中括号内数值为改良土考虑冻融循环作用的所需的强度值。

B.3.7 当采用改变土的颗粒级配的物理改良方法时，其表中应满足相关规范的要求。

B.4 改良土设计方案

B.4.1 对不满足设计要求的填料，可通过改变土的物理、力学性质或改变土的颗粒级配的方法，提高填料工程性能，达到工程质量的要求。

B.4.2 对粗粒土的中砂、粗砂、砾砂、碎石类及砾石类填料，一般宜采用掺入不同粒径的材料以改变其颗粒级配的物理改良方法。

B.4.3 对细粒土，一般宜根据土的性质，选择适宜的外掺料，采用改变土的物理、力学性质的化学改良方法。当采用水泥作为外掺料时其掺量不宜超过 6%。

B.4.4 改良土的配合比设计应符合下列规定：

1 配制不少于三个不同掺入比的混合料进行击实试验，以确定各种混合料的最优含水率和最大干密度。击实试验按现行《公路土工试验规程》JTG 3430-2020 中改良土试验相关规定进行。化学改良土应考虑延时效应，其最大干密度取延迟一定时间的试验值，延迟时间根据所选施工工艺经试验确定。

2 按改良土所处路基结构不同部位的压实度要求计算干密度。

3 按最优含水率、计算干密度并延迟一定的时间植被试件进行无侧向抗压强度试验。无侧向抗压强度试验按现行《公路土工试验规程》JTG 3430-2020 中改良土试验相关规定进行。

4 根据路基结构不同部位对改良土强度要求，选定合适的外掺料，掺入比应按相应的无侧向抗压强度要求进行室内试验确定。

5 计算实际施工外掺料的消耗量时，可按较室内试验确定的掺入比大 0.5%~1.0% 计算。当采用集中场拌施工方法时可增加 0.5%；当采用路拌施工方法时可增加 1.0%。

6 当采用两种外掺料的混合料时，则应确定两种外掺料的各自掺入比及两种外掺料混合后的掺入比，并进行配合比设计。

B.4.5 采用水泥或石灰作为单一外掺料进行化学改良时，其掺入比（干质量比）可按下列比例试验确定：

1 上路床填料可采用下列掺入比：

水泥：4%，5%，6%。

石灰：5%，6%，8%。

2 下路床填料可采用下列掺入比：

水泥：3%，4%，5%。

石灰：4%，5%，6%，8%。

3 路床以下填料可采用下列掺入比：

水泥：3%，4%，5%。

石灰：4%，5%，6%，8%。

B.4.6 外掺料采用水泥或石灰与粉煤灰两种混合料进行改良时，其掺入比（干质量比）

可按下列比例试验确定：

1 路床部位填料可采用下列掺入比：

水泥：粉煤灰：3%：12%，4%：16%，5%：20%，6%：24%。

石灰：粉煤灰：5%：15%，6%：18%，7%：21%，8%：24%。

2 路床以下填料可采用下列掺入比：

水泥：粉煤灰：3%：12%，4%：16%，5%：20%，6%：24%。

石灰：粉煤灰：4%：12%，5%：15%，6%：18%，8%：24%。

条文说明：

众多研究和工程实践结果表明：质量掺配比为3%~6%的水泥或4%~8%的石灰，对路基填料的物理力学性质有较大提升，在满足规范要求的抗压强度基础上还能兼顾工程经济性。

附录 C 试验段铺筑

C.0.1 路基填筑工程开工前，应选择代表性路段进行填筑试验段的铺筑，试验段路基铺筑的长度不宜小于 200m。

C.0.2 路基填筑前，应选择代表性土样进行取样试验，试验的主要内容包括天然含水量、液限、塑限、填料粒径、CBR 强度、最大干密度、最优含水量等指标，进行标准击实试验，确定土的最优含水量和最大干密度，并绘制干密度与含水量的关系曲线，根据土的干密度与含水量的关系曲线控制土的含水量。

C.0.3 路基填筑试验段，宜选择不同类型的压实设备及压实工艺，作对比试验，确定填料的松铺系数、最佳组合方式及压实遍数、压实方法，取得最有效、最经济合理的数据，以供指导后续施工。

C.0.4 路基填筑施工一般采用“四区段、八流程”工艺组织施工，提高工效保证工程质量，四区段为：填筑区、推平区、碾压区、检测区；八流程为：施工处准备、基底处理、分层填筑、摊铺平整、洒水晾干、碾压夯实、检测签证、路基修正。

C.0.5 路堤压实质量经按规定检验达到设计要求并经监理工程师签证后，方可进行下一层填筑施工，否则，查找原因，重新碾压，直至合格位置。

C.0.6 路堤施工质量标准、验收数量及检验方法如附表 C.0.1 及 C.0.2 要求执行。

C.0.1 土质路堤、土石路堤施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差			检查方法和频率
		高速公路或一级公路	二级公路	三、四级公路	
1	压实度	满足表 5.2.2 及表 5.3.2 要求			密度法；每 200m 每压实层测 2 处
2	弯沉 (0.01mm)	满足设计要求			——
3	纵断面高程 (mm)	+10, -15	+10, -20	+10, -20	水准仪；每 200m 测测 2 点
4	中线偏位 (mm)	50	100	100	全站仪；每 200m 测 2 点，弯道加 HY、YH 两点
5	宽度 (mm)	≥设计值			尺量；每 200m 测 4 处
6	平整度 (mm)	≤15	≤20	≤20	3m 直尺；每 200m 测 2 处×5 尺
7	横坡 (%)	±0.3	±0.5	±0.5	水准仪；每 200m 测 2 个断面
8	边坡坡度	满足设计要求			每 200m 测 4 点

C.0.2 填石路堤施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差		检查方法和频率
		高速公路或一级公路	其他公路	
1	压实	孔隙率满足设计要求		密度法；每 200m 每压实层测 1 处 精密水准仪；每 50m 测 1 个断面，每个断面测 5 点
		沉降差≤试验路段确定的沉降差		
2	弯沉（0.01mm）	满足设计要求		——
3	纵断面高程（mm）	+10，-20	+10，-30	水准仪；每 200m 测 2 点
4	中线偏位（mm）	≤50	≤100	全站仪；每 200m 测 2 点， 弯道加 HY、YH 两点
5	宽度（mm）	≥设计值		尺量；每 200m 测 4 处
6	平整度（mm）	≤20	≤30	3m 直尺： 每 200m 测 2 处×5 尺
7	横坡（%）	±0.5	±0.5	水准仪；每 200m 测 2 个断面
8	边坡坡度及平顺度	满足设计要求		每 200m 测 4 点

C.0.7 试验段验收合格后，应编制试验路段施工总结报告，总结的内容下列包括：

- 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、最佳含水量及碾压时含水率范围等；
- 3 过程工艺控制方法；
- 4 质量控制标准；
- 5 施工组织方案及工艺的优化；
- 6 原始记录、过程记录；
- 7 对施工图的修改建议等；
- 8 安全保证措施；
- 9 环保措施。