目　录

1　总则.....1

2　术语、符号.....2

2.1　术语.....2

2.2　符号.....2

第1部分　路基.....3

3　施工准备.....3

3.1　一般规定.....3

3.2　测量.....3

3.3　试验.....3

3.4　场地清理与地基处置.....4

3.5　试验路段.....4

4　路基施工.....5

4.1　一般规定.....5

4.2　施工取土.....6

4.3　地基处理.....6

4.4　路堤施工.....7

5　路基排水.....10

6　冬、雨季路基施工.....11

6.1　一般规定.....11

6.2　冬季施工.....11

6.3　雨季施工.....11

7　其他.....13

第2部分　二灰土底基层.....14

8　一般规定.....14

9　材料.....16
10　配合比设计.....17
10.1　一般规定.....17
10.2　原材料的试验.....17
10.3　配合比设计步骤.....17
11　试验段铺筑.....19
12　施工.....20
12.1　一般规定.....20
12.2　路拌法施工.....20
12.3　人工沿路拌和法施工.....20
12.4　养生及交通管制.....20
12.5　施工质量标准.....20
13　其他.....22
附录A　本指南用词说明.....23
附件：条文说明.....24
1 总则.....25
2 术语、符号.....26
第 1 部分　路基.....27
3　施工准备.....27
4　路基施工.....29
5　路基排水.....32
6　冬、雨季路基施工.....33
第 2 部分　二灰土底基层.....34
8　一般规定.....34
9　材料.....36

10 配合比设计.....40
11 试验段铺筑.....46
12 施工.....47

1　总则

1.0.1　为提高黄泛区粉质土公路路基工程施工技术水平，指导二灰稳定粉质土底基层的修建，保证施工质量，制定本指南。

1.0.2　本指南适用于黄泛区各级公路的新建和改（扩）建路基工程和二灰土底基层施工。

1.0.3　黄泛区粉质土公路路基应达到设计要求的强度、稳定性和耐久性。

1.0.4　黄泛区公路二灰稳定粉质土底基层应达到设计要求的强度、刚度和水温稳定性。

1.0.5　黄泛区高速公路与一级公路路基和二灰土底基层的施工，应结合工程建设，尽可能提前修筑试验段，以达到检验设计、指导施工的目的。

1.0.6　当取土场粉质土小于0.005mm的颗粒含量大于15%时，应优先用作二灰稳定土。

1.0.7　黄泛区粉质土路基与二灰稳定粉质土底基层的质量评定内容按照《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1—2004）执行。

1.0.8　在施工中除应符合本指南外，还应符合现行国家和行业有关标准、规范的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 黄泛区粉质土 Yellow River alluvial plain silty soil

细粒土中粗粒组质量少于或等于总质量25%的土，包括黄泛区粉土和黄泛区粉质粘土。

2.1.2 黄泛区粉土（低液限粉土） Yellow River alluvial plain silt

塑性指数小于或等于11的粉质土。

2.1.3 黄泛区粉质粘土(粉质低液限粘土) Yellow River alluvial plain silty clay

塑性指数介于11～18之间的粉质土。

2.1.4 二灰稳定黄泛区粉质土（石灰粉煤灰土） Lime-fly soil

一定比例的石灰、粉煤灰和黄泛区粉质土相配合，加入适量的水（通常为最佳含水率），经拌和、压实及养生后得到的混合料，称为二灰稳定黄泛区粉质土。

2.2 符号

w_{op}——土的最佳含水率（%）

第 1 部分　路基

3　施工准备

3.1　一般规定

3.1.1　路基开工前，应在全面理解设计要求和设计交底的基础上，对地基土质、地质、水文状况，以及取土场土质、水文状况等进行现场调查和核对。

3.1.2　在详尽的现场调查后，应根据设计要求、合同、现场情况等，编制实施性施工组织设计，并按管理规定报批。

3.1.3　路基开工前必须建立健全质量、环保、安全管理体系和质量检测体系，并对各类施工人员进行岗位培训和技术、安全交底。

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

3.1.5　应进行试验路段施工。

3.1.6　黄泛区施工便道应做简易路面，便道外侧应设置排水沟，并确保排水顺畅。应根据需要设置交通安全标志、护栏以及其他工程安全设施。

3.2　测量

按《公路路基施工技术规范》（JTG F10－2006）3.2 条执行。

3.3　试验

3.3.1　路基施工前，应按照有关规定和要求，建立试验室。

3.3.2　路基施工前，应对路基基底粉质土进行相关试验。每公里至少取 2 个点；土质变化大时，视具体情况增加取样点数。

3.3.3　应及时对来源不同、性质不同的拟作为黄泛区路堤的黄泛区粉质土进行复查和取样试验。土的试验项目包括含水率、液限、塑限、标准击实试验、CBR 试验、颗粒分析等，必要时应做易溶盐含量、有机质含量、冻胀和膨胀量等试验。试验所采用的土料，应与路基填筑的土质保持一致。

3.4 场地清理与地基处置

3.4.1 公路用地范围内原有构造物，应根据设计要求进行处理。

3.4.2 应将路基基底范围内的树根全部挖除并将坑穴填平夯实。

3.4.3 应对路幅范围内、取土坑的原地面表层腐殖土、表土、草皮等进行清理，清出的表层土宜充分利用。

3.4.4 填方路段地基应按设计要求整平压实。地基施工宜在地下水位较低时进行。在地下水位较高、地基含水率较大，难以达到设计要求的路段，应通过现场试验，采取地基土翻晒、石灰处置、水泥处置，或采用废旧建筑砖渣垫层；若采用堆载预压、地基强夯等技术处置，宜采用井点降水措施。

3.4.5 填方路段，地基处置建议视路基高度分别采用冲击碾压或强夯技术。

3.5 试验路段

3.5.1 试验路段应选择在地质和水文条件、路基标高等工程特点具有代表性的地段，试验段长度一般不宜小于100m。

3.5.2 应根据土的颗粒特征确定适宜的碾压机械与碾压工艺。

3.5.3 试验路段实施应包括以下内容：

1 填料试验、检测等；

2 确定压实工艺主要参数，包括：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允许偏差等；

3 确定过程质量控制方法、指标；

4 提出质量评价指标、标准；

5 优化施工组织方案及工艺；

6 提交原始记录、过程记录。

4　路基施工

4.1　一般规定

4.1.1　路基施工应做好施工期临时排水总体规划和建设，临时排水设施应与永久性排水设施综合考虑，并与工程影响范围内的自然排水系统相协调。

4.1.2　路基施工应进行合理的施工组织管理，尽量提前施工，以减少工后沉降。

4.1.3　施工必须遵守国家生态、环境保护、土地管理的有关法律法规，尽量保护原有植被地貌，防止噪音和粉尘污染，对于施工废弃物必须妥善处理。应采用洒水、遮盖或喷洒覆盖剂等有效措施防尘。

4.1.4　路基填料应符合下列规定

1　含草皮、生活垃圾、树根、腐殖质的土严禁作为填料。

2　有机质及易溶盐超过允许含量的土，不得直接用于填筑路基；确需使用时，必须采取技术措施进行处理，经检验满足设计要求后方可使用。

3　黄泛区粉质土不宜直接填筑于高速公路、一级路的路床，不宜直接填筑于浸水部分的路堤。黄泛区粉质土用于路床区时宜采用石灰或水泥处置土，当土的塑性指数较低时，宜采用水泥处置土。浸水路堤的边坡应采取防护措施。

4　填料强度应符合表4.1.4的规定。

表4.1.4　路基填料最小强度要求

填料应用部位（路面底标高以下深度m）		填料最小强度（CBR）（%）		
		高速公路 一级公路	二级公路	三、四级公路
路堤	上路床（0～0.30）	8	6	5
	下路床（0.30～0.80）	5	4	3
	上路堤（0.80～1.50）	4	3	2
	下路堤（＞1.50）	3	2	2
零填及挖方路基	（0～0.30）	8	6	5
	（0.30～0.80）	5	4	3

注：1 表列强度按《公路土工试验规程》（JTG E40－2007）规定的浸水96h的CBR试验方法测定。

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 路基填料的碾压含水率应根据试验路的碾压工艺确定。

4.1.5 黄泛区粉质土路基施工必须做好路基防冲刷措施。

4.2 施工取土

4.2.1 路基填方取土，应根据设计要求，结合路基排水和当地土地规划、环境保护要求进行，不得任意挖取。

4.2.2 施工取土应不占或少占良田，尽量利用荒坡、荒地，取土深度应结合地下水等因素考虑，利于复耕。原地面耕植土应先集中存放，以利再用。

4.2.3 当取土料场的土料含水率过高时，应结合地形及实际情况开挖临时渗水、排水沟，或设置井点降水，排除及拦截地表水，降低地下水位；尽量提前就地堆积渗水晾晒，或采用挖槽、翻摊晾晒。挖出的土块必须破碎晾晒，若土中掺杂粘土块必须拌和均匀之后方能填筑路基。土体内的草根、杂物等应严格清除干净，不得填入路基。排水困难地段的取土料场，应做临时拦水坝，将水流阻断在取土场以外。料场地表不符合设计要求的土，必须清除干净之后才能开挖作为路基填料。

4.2.4 雨季路堤填筑需就近借土时，取土坑距离填方坡脚不宜小于5m。

4.3 地基处理

4.3.1 公路路堤基底的压实度不宜小于90%。当地下水位较高难以达到压实度标准，基底采用石灰处置土、水泥处置土或废旧建筑砖渣垫层，处置厚度和压实控制依现场试验确定。地基采用冲击碾压时，基底20cm深度处压实度应不小于90%。地基采用强夯时，应通过现场试验控制最后两击的平均夯沉量达到设计要求。路基填土高度小于路面和路床总厚度时，基底应按设计要求处理。

4.3.2 原地面坑、洞、穴等，应在排水、清除沉积物后，用合格填料分层回填压实或回填后强夯。若分层回填压实，压实度应达到90%以上；若回填后强夯，同一夯位最后两击的平均夯沉量应小于8cm。

4.3.3 泉眼或露头地下水，应按设计要求，采取有效导排措施后方可填筑路堤。

4.3.4　地基为耕地、水稻田、湖塘、软土、松散土质、高液限土等时，应按设计要求进行处理，局部软弹的部分也应采取有效的处理措施。

4.3.5　地下水位较高时，应按设计要求进行处理。

4.3.6　填挖界面、高填方路段的地基等应按设计要求进行处理。

4.4　路堤施工

4.4.1　路堤填筑

1　路堤填筑应符合下列规定

1）性质不同的填料，应分层、分段填筑，分层压实。同一层路基的全宽应采用同一种填料，不得混合填筑。每种填料的填筑层压实后的连续厚度不宜小于500mm。填筑路床顶最后一层时，压实后的厚度应不小于100mm。

2）每种填料的松铺厚度应通过试验确定。

3）每一填筑层压实后的宽度不得小于设计宽度。

4）路堤填筑时，应从最低处起分层填筑，逐层压实。铺筑上层时，如下层路基失水严重、表层松散，应适当洒水使其保持在最佳含水率左右。当原地面纵坡大于12%或横坡陡于1:5 时，应按设计要求挖台阶，或设置坡度向内并大于4%、宽度大于2m的台阶。

5）填方分几个作业段施工时，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。

6）已碾压成型的路基，雨后上土前应进行复压。

2　选择施工机械，应考虑工程特点、地形、填挖高度、运距、气候条件、工期等因素，经济合理地确定。

3　土质路基压实度应符合以下规定

表4.4.1-1　土质路基压实度标准

填挖类型		路床顶面以下深度（m）	压实度（%）		
			高速公路 一级公路	二级公路	三、四级公路
路堤	上路床	0～0.30	≥96	≥95	≥94

续表4.4.1-1　土质路基压实度标准

填挖类型		路床顶面以下深度（m）	压实度（%）		
			高速公路 一级公路	二级公路	三、四级公路
路堤	下路床	0.30～0.80	≥96	≥95	≥94
	上路堤	0.80～1.50	≥94	≥94	≥93
	下路堤	＞1.50	≥93	≥92	≥90
零填及挖方路基		0～0.30	≥96	≥95	≥94
		0.30～0.80	≥96	≥95	—

注：1 表列压实度以《公路土工试验规程》(JTG E40—2007）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 重载交通时，二级以下公路的路基压实度标准应提高1~2个百分点。

4　压实度检测应符合以下规定

1）用灌砂法检测压实度时，取土样的底面位置为每一压实层底部；用环刀法试验时，环刀中部处于压实层厚的1/2深度；用核子仪试验时，应根据其类型，按说明书要求办理。

2）施工过程中，每一压实层均应检验压实度，检测频率为每1000㎡至少检验2点，不足1000㎡时检验2点，必要时可根据需要增加检验点。

5　路堤填筑至设计标高并整修完成后，其施工质量应符合表4.4.1-2的规定。

表4.4.1-2　土质路堤施工质量标准

序号	检查项目	允许偏差			检查方法或频率
		高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公	
1	路基压实度	符合规定	符合规定	符合规定	施工记录
2	弯沉	不大于设计值	不大于设计值	不大于设计值	—
3	纵断高程（mm）	+10，－15	+10，－20	+10，－20	每200m测4断面
4	中线偏位（mm）	50	100	100	每200m测4点弯道加HY、YH两点
5	宽度	不小于设计值	不小于设计值	不小于设计值	每200m测4处
6	平整度（mm）	15	20	20	3m直尺：每200m测2处×10尺
7	横坡（%）	±0.3	±0.5	±0.5	每200m测4个断面

8	边坡坡度	不陡于设计坡度	不陡于设计坡度	不陡于设计坡度	每200m抽查4处

4.4.2　黄泛区粉质土宜采用变频变幅的碾压工艺。

5　路基排水

5.0.1　施工中必须充分重视排水，应做好施工场地及附近的临时排水设施，并尽量与永久性排水设施相组合。

5.0.2　为保护路基主体的稳定，黄泛区粉质土路基必须采用集中排水。

6　冬、雨季路基施工

6.1　一般规定

6.1.1　冬、雨季施工应根据季节特点和施工段的地质地形条件，制定合理的施工方案。

6.1.2　雨季施工应加强安全管理，制定安全预案，加强气象信息的收集工作，避免灾害和事故发生。

6.1.3　路基过冬应采用覆盖土等保护措施防冻。

6.2　冬季施工

6.2.1　昼夜平均温度在-3℃以下，且连续 10 天以上，或者昼夜平均温度虽在-3℃以上，但冻土没有完全融化时，路基不宜进行施工。

6.2.2　应充分利用冬季进行路基备土。

6.3　雨季施工

6.3.1　雨季施工前的准备工作

1　对雨季施工的路段进行详细的现场调查，据实编制实施性的雨季施工组织设计。

2　修建截水沟、排水沟及防渗等临时排水设施，并使排水沟的出口通至桥涵出口处，保证雨季施工场地不被水淹没，并能及时排除积水。排出的积水不得流入农田、耕地等，并不得引起水沟淤积和路基冲刷。

6.3.2　雨季施工中的防护

1　应做好临时排水，并与永久排水设施衔接。

2　路基填筑，每一层的表面应做成 2%～4%的排水横坡，当天填筑的土层应及时压实。

3　施工中的路基或成型路段表面两侧边缘地带应设置抗冲刷的土埂，并每隔一定距离设置一道泄水槽，使雨水排出路基范围外。

4　雨季路堤填筑顺路基纵向取土时，如果取土坑至填方坡脚距离小于 5m，取土坑深度一般不宜大于 1m，或采取必要的防护措施，以确保安全。

7　其他

未尽事宜按《公路路基施工技术规范》（JTG F10－2006）执行。

第 2 部分　二灰土底基层

8　一般规定

8.0.1　二灰稳定土施工期的日最低气温应在 5℃以上，并应在第一次重冰冻（-3～-5℃）到来之前一个月到一个半月完成。

8.0.2　在二灰土底基层正式开工之前，应铺筑试验段。

8.0.3　二灰稳定土底基层施工时，应遵守下列规定：

1　配料准确。

2　石灰摊铺均匀。

3　洒水、拌和均匀。如果采用生石灰粉二灰土，洒水拌合后闷料时间不应少于 24h。

4　黄泛区的二灰稳定土的最佳碾压含水率建议范围：二灰稳定粉质土控制在 w_{op}+2%～ w_{op}+3%的范围内；二灰稳定粉质粘土控制在 w_{op}+1%～ w_{op}+2%的范围内。碾压后应达到要求的压实度：

高速公路和一级公路	95%
二级和二级以下公路	93%

5　二灰土含水率的检测宜采用烘干法。若采用燃烧法时，应与烘干法对比试验后确定含水率量测方法。

8.0.4　对于二级以上公路，路拌法施工应采用专用的稳定土拌和机。

8.0.5　二灰土养生期间必须做好排水工作，严禁在养护初期（三天之内）被水浸泡。施工后应立即覆盖养生，并从第二天开始洒水，保持二灰土表面潮湿。建议养生时间大于 14 天，并以取出完整芯样为准；对二灰稳定粉土，养生 7～10 天后宜增大养生湿度，保持二灰土表面处于湿润状态。在上一层铺筑前，下层表面应处于潮湿状态。

8.0.6　二灰土底基层较厚并分层连续铺筑，铺筑上层时应保证下层表面

处于潮湿状态。

9 材料

9.0.1 二灰土所用石灰质量应符合表 9.0.1 规定的 III 级以上消石灰或 III 级以上生石灰的技术指标。应尽量缩短石灰的存放时间。如存放时间较长，应采取覆盖封存保管措施。

表 9.0.1 石灰的技术指标

指标		钙质生石灰			镁质生石灰			钙质消石灰			镁质消石灰		
		等 级											
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
有效钙加氧化镁含量（%）		≥85	≥80	≥70	≥80	≥75	≥65	≥65	≥60	≥55	≥60	≥55	≥50
未消化残渣含量（5mm 圆孔筛的筛余，%）		≤7	≤11	≤17	≤10	≤14	≤20	—	—	—	—	—	—
含水率（%）		—	—	—	—	—	—	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4	≤4
细度	0.71mm 方孔筛的筛余（%）	—	—	—	—	—	—	0	≤1	≤1	0	≤1	≤1
	0.125mm 方孔筛的筛余（%）	—	—	—	—	—	—	≤13	≤20	—	≤13	≤20	—
钙镁石灰的分类界限，氧化镁含量（%）		≤5			>5			≤4			>4		

注：硅、铝、镁氧化物含量之和大于 5%的生石灰，有效钙加氧化镁含量指标，I 等≥75%，II 等≥70%，III 等≥60%；未消化残渣含量指标与镁质生石灰指标相同。

有效钙含量在 20%以上的等外石灰、贝壳石灰、珊瑚石灰等，当其混合料的强度通过试验符合本指南 10.1.2 条规定时，可以应用。

9.0.2 粉煤灰中 SiO_2、Al_2O_3和 Fe_2O_3的总含量应大于 70%，粉煤灰的烧失量不应超过 20%；粉煤灰的比表面积宜大于 2500cm^2/g（或 90%通过 0.3mm 筛孔，70%通过 0.075mm 筛孔）。干粉煤灰和湿粉煤灰都可以应用。湿粉煤灰的含水率不宜超过 35%。有条件时，宜进行粉煤灰活性检测，选择活性较高的粉煤灰。

9.0.3 应采用小于 0.005mm 的颗粒含量大于 15%的土。

9.0.4 粘土块的最大尺寸不应大于 15mm，有机质含量不宜超过 10%。

9.0.5 凡饮用水（含牲畜饮用水）均可使用。

10　配合比设计

10.1　一般规定

10.1.1　二灰土配合比设计时，宜选用 III 级标准石灰进行配合比试验。

10.1.2　二灰稳定粉质土的抗压强度标准采用标准养生 20d，浸水 1d 的无侧限抗压强度。二灰稳定土的 21d 浸水无侧限抗压强度应不小于 1.0 MPa。

10.1.3　采用生石灰粉二灰土时，二灰比和二灰含量宜通过配合比试验确定。

10.1.4　为提高二灰土的早期强度，在二灰土配合比确定后，施工时可外掺 1%～2%的水泥。

10.1.5　混合料的各项试验应按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG E51—2009）进行。

10.2　原材料的试验

在二灰土施工前，应选取有代表性的原材料样品进行下列试验：

1　土的颗粒分析，土的液限和塑性指数，有机质含量及易溶盐含量（必要时做）；

2　石灰的有效钙和氧化镁含量；

3　粉煤灰的化学组成、细度和烧失量。

10.3　配合比设计步骤

10.3.1　根据 10.1.2 条的强度标准，通过颗粒分析、有机质含量（或 ph 值）试验等选取适宜于二灰稳定的土。

10.3.2　制备不同石灰粉煤灰比例、不同石灰粉煤灰含量的二灰土混合料（其配合比宜位于条文说明 10.3.2 所列范围内），试验确定不同配合比二灰土的最佳含水率和最大干密度。

10.3.3　依据 10.3.2 确定的最佳含水率和最大干密度，进行无侧限抗压强度试验。

10.3.4　进行强度试验时，作为平行试验的试件数量应符合表 10.3.4 中的

规定。如试验结果的偏差系数大于表中规定的值，则应重做试验，并找出原因，加以解决。如不能降低偏差系数，则应增加试件数量。

表 10.3.4　最少试件数量

偏差系数	＜10%	10%～15%
试件数量	6	9

10.3.5　计算试验结果的平均值和偏差系数。

10.3.6　依据标准养生 20d，浸水 1d 的无侧限抗压强度，选用强度最高的石灰粉煤灰土质量比。试件室内试验结果的平均抗压强度 $\overline{R}$ 应符合下列公式的要求：

$$\overline{R} \geq R_d / (1 - Z_a C_v) \qquad \text{公式(10.3.6)}$$

式中：R_d——设计抗压强度，MPa；

C_v——试验结果的偏差系数（以小数计）；

Z_a——标准正态分布表中随保证率（或置信度 a）而变的系数，高速公路和一级公路应取保证率 95%，即 Z_a=1.645；其他公路应取保证率 90%，即 Z_a=1.282。

11　试验段铺筑

11.0.1　应通过二灰稳定土底基层碾压试验段铺筑，确定以下主要参数及工艺：

1　材料的松铺系数。

2　标准施工方法：

1)土料数量的控制；

2)土料的摊铺方法和适宜的机具；

3)合适的拌和机械、拌和方法、拌和深度和拌和遍数；

4)土料含水率的增加和控制方法；

5)整平和整形的合适机具和方法；

6)压实机械的选择和组合，以及压实工艺参数（包括压实机械的振幅、振频、压实厚度、碾压的顺序、速度和遍数）；

7)密实度的检查方法，初定每一作业段的最小检查数量。

3　作业段的适宜长度。

4　一次铺筑的适宜厚度。

5　控制结合料数量和拌和均匀性的方法。

6　当二灰土底基层较厚并采用分层连续铺筑时，应确定相应的施工工艺。

12　施工

12.1　一般规定

12.1.1　二灰土应用 12t 以上的压路机碾压,并采用变频变幅的碾压工艺。压实厚度应根据压实机械确定。

12.1.2　二灰土底基层分层连续施工时，下层碾压完成后应及时进行压实质量检测，压实度、宽度及横坡度检测合格后，立即铺筑上一层，保持施工的连续性。

12.1.3　黄泛区粉质二灰土应采用先轻型、后重型压路机碾压，初始的稳压遍数不宜超过 2 遍。

12.2　路拌法施工

二灰稳定黄泛区粉质土宜采用路拌法施工。碾压后宜较设计厚度增加 1～2cm，局部区域达不到设计厚度时严禁薄层贴补。

应符合《公路路面基层施工技术规范》（JTJ 034—2000）中 5.4 节要求。

12.3　人工沿路拌和法施工

应符合《公路路面基层施工技术规范》（JTJ 034—2000）中 5.6 节的要求。

12.4　养生及交通管制

12.4.1　二灰土层碾压完成后必须及时覆盖养生,在二灰土未形成强度前，不应直接对二灰土表面洒水养生。每天洒水的次数视气候条件而定，应始终保持表面潮湿。但 7 天内，特别是前 3 天严禁被水浸泡。二灰稳定粉土，养生 7～10 天后宜加大洒水量，缩短洒水间隔时间，保持二灰土表面处于湿润状态。

12.4.2　在养生期间，除洒水车外，应封闭交通。

12.5　施工质量标准

二灰稳定黄泛区粉质土底基层施工质量应符合表 12.5-1 的规定。

表 12.5-1　　二灰稳定黄泛区粉质土底基层施工质量标准

项次	检查项目	规定值或允许偏差		检查方法和频率	权值
		高速公路 一级公路	其他 公路		

1△	压实度(%)	代表值	95	93	按《公路工程质量检验评定标准（JTG F80/1—2004）附录B检查，每200m每车道2处	3
		极值	91	89		
2	平整度(mm)		12	15	3m直尺：每200m测2处×10尺	2
3	纵断高程(mm)		+5，-15	+5，-20	水准仪：每200m测4个断面	1
4	宽度(mm)		符合设计要求		尺量：每200m测4处	1
5△	厚度(mm)	代表值	-10	-12	按《公路工程质量检验评定标准（JTG F80/1—2004）附录H检查，每200m每车道1点	2
		合格值	-25	-30		
6	横坡（%）		±0.3	±0.5	水准仪：每200m测4个断面	1
7△	强度（MPa）		符合设计要求		按《公路工程质量检验评定标准（JTG F80/1—2004）附录G检查	3

13　其他

其他未尽事宜应按照《公路路面基层施工技术规范》（JTJ 034-2000）执行。

附录A　本指南用词说明

A.0.1　对执行指南条文严格程度的用词采用以下写法：

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 表示稍有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

采用“可”。

A.0.2　条文中应按指定的其他有关标准、规范的规定执行，其写法为“应按……执行”或“应符合……的要求（或规定）”。

如非必须按指定的其他有关标准、规范的规定执行，其写法为 “可参照……”。

附件

山东省地方标准

黄泛区路基与二灰土底基层施工技术指南

DB37××××××

条　文　说　明

1 总则

1.0.5 土中0.005mm颗粒是影响土与二灰土的物理性质、水理性质的敏感性界限粒级。研究表明，土中小于0.005mm颗粒含量对二灰土的强度与稳定性具有很大的影响，当黄泛区粉质土小于0.005mm的颗粒含量不足15%时，二灰土强度偏低。黄泛区土的粉粒含量高，粘粒含量低，许多取土场土中小于0.005mm颗粒含量不足15%，采用二灰土底基层时取土场选择较为困难。为保证二灰土底基层施工用土，当取土场土质为小于0.005mm的颗粒含量大于15%的粉质土时，应根据二灰土底基层用土需求，合理预留用作二灰稳定土。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1～2.1.3 黄泛区的土的液限在25%～50%之间，塑性指数一般在6以上，而粉粒含量一般在 80%以上，土具有特殊性，所以不属于正常土的范围，不宜采用塑性图进行土的分类定名。

塑性指数在11以下和11以上，黄泛区粉质土表现出不同的压实性状。11以上的土表现出低液限粘土的性状；11以下的土表现出粉土的性状；极个别区域出现塑性指数小于6的砂性粉质土，则表现出细砂粉性土的性状。

第1部分　路基

3　施工准备

3.1　一般规定

3.1.1　为了更好地领会设计意图，施工单位在认真审图和现场踏勘的基础上，复杂工程可要求设计单位进行设计交底。经现场核对和仔细调查后，如发现工程地质、地形和水文资料与设计有较大出入时，可要求澄清或者提出变更设计。因变更设计可能涉及到质量、工期、投资三大目标的控制，所以，必须根据相关规定进行。

3.3　试验

3.3.3　黄泛区局部区域土壤盐渍化较严重，土的含盐量偏高，应根据盐渍化程度有选择地进行土的含盐量检测，判断是否适宜用作路基填料，并作为盐渍土改性的依据。

黄泛区局部区域土的有机质含量偏高，应进行有机质含量检测，判断是否适宜用作路基填料。

黄泛区呈层状分布的取土场，若分层取土并填筑路基，应对各层土分别进行试验。如果混合取土并填筑，应取混合土进行试验。

液、塑限是影响黄泛区粉质土性状的重要指标。本指南建议采用《公路土工试验规程》（JTG E40－2007）中的“T0118－2007　液限和塑限联合测定法”。需要注意的是试杯分层装满后，将土样刮成与杯边齐平时，刮平次数不宜超过3次。

3.4　场地清理与地基处置

3.4.1　对于公路用地范围内的构造物，设计会有相应的要求，施工应严格按设计要求进行处理。

3.4.4　黄泛区地下水位高，局部路段存在粘土夹层，地基压实常常难以达到设计要求，并导致上层路基土压实困难，难以达到压实标准。因此，地基施工应避开雨季，并尽量安排在地下水位较低时施工。在地下水位较高，碾压难

以达到设计要求的地段，应根据地基地下水位和土质情况采用相应的技术措施，确保地基施工质量。

3.4.5 黄泛区地基土由黄河新近冲淤积形成，属于欠固结土。黄泛区路基与地基总变形中，地基沉降占 80%以上。工程经验和研究表明，强夯和冲击碾压技术是消除公路地基工后沉降的经济有效的技术。因此，黄泛区公路地基应视路基高度不同分别采用冲击碾压或强夯技术，并根据土质和地下水位情况采用不同的施工工艺。

4　路基施工

4.1　一般规定

4.1.2　黄泛区地基中存在软弱夹层，地下水位高，路基沉降量大，应尽量提前施工，保证路基有足够的预压期，减少工后沉降。

4.1.3　扬尘扬沙是黄泛区公路施工的主要污染之一，要做好防尘降尘工作，有效控制施工期扬尘污染。

4.1.4　路基填料规定

2　黄泛区局部区域有机质、易溶盐含量偏高，会对路基的强度和稳定性产生很大的影响，必须采取一定的技术措施进行处理。

3　由于黄泛区粉质土粘粒含量很低，压实后的土体强度低、稳定性差，特别是用于路床区时，在行车动荷载的影响下，粉土颗粒因动力响应难以稳定。因此，黄泛区粉质土不宜直接填筑于高等级公路的路床。考虑黄泛区缺乏其它路基填料，建议高等级公路路床区采用石灰或水泥处置土；当土的塑性指数小于11时，宜采用水泥处置土。

5　不同的碾压工艺对含水率的要求有一定的区别。滨大高速公路K1+000～K1+400 试验段和青银高速 K23+460～K23+635 试验段表明，采用静压-高振幅振动碾压-低振幅振动碾压-静压的碾压工艺，适宜的碾压含水率范围为 w_{op} ～（w_{op} + 4%）；采用静压－高振幅振动碾压－静压的碾压工艺，适宜的碾压含水率为 w_{op} ～（w_{op} +5％）；采用静压-低振幅振动碾压-静压的工艺,适宜的碾压含水率为（w_{op} -1%）～（w_{op} +1％）。因此，路基碾压含水率应根据试验路的碾压工艺确定。

4.1.5　黄泛区路基土质以粉粒为主，缺乏粘土颗粒，土体孔隙率高，极易受雨水冲刷形成严重冲沟，甚至导致边坡失稳，路基施工中的防冲刷十分重要。

4.2　施工取土

4.2.3　黄泛区取土场粉质土含水率一般比较高，且多掺杂着部分粘土块，

故须翻晒，降低含水率。土中的粘土块如果拌和不均匀，会导致路基压实度较大差异。

4.3 地基处理

4.3.1 冲击碾压的有效压实深度一般可达70cm～80cm，由于黄泛区土质、水文条件较差，不同路段差异性大，冲击碾压的效果也存在较大差异。黄泛区粉质土冲击碾压后，表层10cm左右的土体较为松散。为保证施工质量，冲击碾压施工时应控制基底下20cm的压实度不低于90%；或通过现场试验，采用冲击碾压后地基沉降差控制压实质量。

4.4 路堤施工

4.4.1 路堤填筑

1 路堤填筑规定

4）压实后的黄泛区粉质土孔隙率高，水分易散失，导致表层土体松散，因此铺筑上层时，如下层路基失水严重，应适当洒水使其保持在最佳含水率左右。

3 土质路基压实度规定

黄泛区粉质土压实后，孔隙率仍较大，强度偏低，重载交通下路基压缩变形大。在重载交通下，二级以下公路应适当提高路基压实度标准。

4.4.2 长安大学、山东大学分别通过正弦激振扫频试验、振动台试验对粉质土的频率响应特性进行了研究。结果表明，黄泛区粉质土具有良好的频率响应特性，密实时的自振频率为33～40Hz，激振频率接近粉质土的自振频率时压实效果最佳。路基在碾压过程中，路基土逐渐密实，其频率响应及所需压实能量也会发生变化。滨大高速公路、青银高速公路的大量现场路基碾压试验表明，使用振动压路机，采用变频变幅的碾压工艺能达到较好的压实效果。两条高速公路路基碾压试验采用的压实工艺及参数见表4-1。

表4-1　碾压试验采用的压实工艺

压实方式	试验路	主要压实设备	行驶速度（km/h）	碾压含水率	松铺厚度（cm）	工艺组合
振动压实	滨大高速公路	YZ18JC型振动压路机	3～6	w_{op}～（w_{op}+3%）	23～25	静压1遍-高振幅振压2遍-低振幅振压2遍-静压1遍
振动压实	滨大高速公路	YZ18JC型振动压路机	3～6	w_{op}～（w_{op}+4%）	23～25	静压1遍-低振幅振压1遍-高振幅振压1～2遍-静压1遍
振动压实	滨大高速公路	YZ18JC型振动压路机	3～6	w_{op}～[w_{op}+（4～5）%]	23～25	静压1遍-高振幅振压3遍-静压1遍
振动压实	青银高速公路	YZ14型振动压路机	3～6	（w_{op}-1%）～（w_{op}+1%）	23～25	静压1遍-（高频）低振幅振压1遍-静压2遍

注：1 YZ18JC型振动压路机参数：频率28Hz，振幅1.1/2.1（mm），吨位18t。

2 YZ14型振动压路机参数：频率30/36（Hz），振幅0.78/1.70（mm），吨位14t。

国内已有工程经验表明，粘性土适宜羊足碾静压。当黄泛区粉质土小于0.005㎜的颗粒含量大于15%时，建议试验羊足碾静压的施工工艺。

5　路基排水

5.0.1～5.0.2　水是造成路基病害的主要因素之一。黄泛区地下水位高，地势平坦，排水困难；黄泛区粉质土路基特性因特殊的土质特性，更易发生水损坏。因此，路基施工中的排水十分重要。宜首先施工涵洞、桥梁工程以及路基施工现场内外的地表水、地下水临时和永久排水设施，使工程不受水侵害，保证工程的质量、安全和进度。

6　冬、雨季路基施工

6.1　一般规定

6.1.1～6.1.2　为减小或避免突发恶劣天气时的损失，提前做好防雨防冻准备工作十分重要。

6.2　冬季施工

6.2.1～6.2.2　黄泛区处于季节性冰冻区，地下水位高，毛细水的上升容易使路基造成水分集聚，冬季容易冻涨，春季易发生翻浆，因此不宜进行冬季施工。在此期间可进行备土工作，为后续施工做好准备。

6.3　雨季施工

6.3.2　雨季施工中的防护

3　黄泛区路基边坡稳定性差，极易受雨水冲刷破坏，因此要雨季要做好集中排水工作。

第 2 部分　二灰土底基层

8　一般规定

8.0.1　二灰稳定土施工气温较低时，应适当延长养护时间。

8.0.3-4　二灰土碾压含水率范围控制很关键。含水率小于最佳含水率，由于粉煤灰发达的毛细湿润能力，二灰土碾压过程中表层水份易蒸发散失，二灰土表面变得松散且很难压实。高于最佳含水率 3%以后，二灰土振动易液化，碾压过程中易出现沾轮、翻浆、反弹现象，而且养生后强度有所下降。山东大学与青银项目办用细粉煤灰、一级石灰进行了室内不同含水率（w_{op}、w_{op}+2%、w_{op}+4%）、95%压实度的二灰稳定土强度试验，180d 试验结果如表 8-1。结果表明，当含水率大于最佳含水率 4%时，二灰土强度降低明显。因此，本指南对黄泛区的二灰稳定粉质土与二灰稳定粘土的碾压含水率给出了控制范围。

表 8-1　不同含水率二灰土的无侧限抗压强度

土质	二灰含量	二灰比		w_{op}	w_{op}+2% 最大干密度	w_{op}+2% 实测干密度	*w_{op}+4% 最大干密度	w_{op}+4% 实测干密度
粉土	32%	1：2	质量增加(g)	7.3	4.7	6.3	2.6	8.3
			高度(cm)（变化）	5.00 (+0.005)	5.02 (+0.014)	5.01 (+0.017)	5.07 (+0.025)	4.99 (+0.005)
			强度(MPa)	5.73	5.19	5.15	5.10	4.23
粉质粘土	36%	1：3	质量增加(g)	6.4	4.6	6.1	2.0	12.5
			高度(cm)（变化）	5.03 (+0.011)	5.06 (+0.014)	5.00 (+0.012)	5.10 (+0.022)	4.99 (-0.001)
			强度(MPa)	5.81	5.66	4.83	4.59	4.03

注：表中最大干密度、实测干密度分别表示用击实的最大干密度、与实际含水率对应的干密度制件，质量增加表示试件浸水后的质量与养生前的质量差。

8.0.3-5　由于部分粉煤灰可能含有可燃矿物，导致燃烧法测量的二灰土含水率不准确。因此，建议采用烘干法测定二灰土含水率。

8.0.4　厂拌时二灰稳定细粒土土块不容易分散，混合料拌合不均匀，含水

率不宜控制。为保证材料质量，对二级及二级以上公路，建议采用专用的稳定土拌和机路拌法施工。

8.0.5　温度与湿度，特别是温度梯度与湿度的均匀性强烈地影响着二灰土强度增长与干缩速率。因此，适宜的养生条件（水分、温度和时间）是保证二灰稳定土强度生长、提高抗干缩裂缝能力的关键，是实现混合料设计目标的保障。

石灰粉煤灰类混合料压实成型后，更适宜在潮湿条件下养生。养生过程中若能基本保持二灰土中的压实含水率(通常接近最佳含水率范围)是最理想的养生条件。山东大学与青银项目办的研究表明，二灰稳定粉质土早期封养强度大于敞开养生强度，二灰比越小（粉煤灰含量越高）敞开养生强度越低；后期敞开养生强度高于封养。二灰稳定粉质土由于粒间粘结力差，在早期物理变化阶段，水的进入会进一步降低粒间粘结力，过多的水分使得试件松散，不利于早期强度的形成，二灰土碾压完成后的六天内，特别是前三天，应避免养生时过量的水分或雨水的浸泡。当二灰粉质土经过早期的物理变化，有了初步强度，进入火山灰反应阶段后，充足的水分是强度增长的保障，因此，7～10 天后二灰稳定粉土适宜在更潮湿的环境中养生。

8.0.6　二灰稳定黄泛区粉质土压实后，孔隙率高，毛细孔发达，水分极易蒸发，使表层变干松散。因此当二灰土底基层较厚，需分层连续铺筑，当铺筑上层时应保证下层表面处于潮湿状态。

9 材料

9.0.2 粉煤灰的活性是保证二灰土强度与工程稳定性的重要指标，可参照长安大学根据石灰吸收法提出的活性度指标进行粉煤灰活性检测，活性度计算式为：

$$[HX]=3.2T_{Ca^{2+}}(V_1-V_2)$$

$$T_{Ca^{2+}}=0.5603\frac{Cml_1}{ml_2}$$

式中：HX ——活性度（10^{-2}）；

V_1 ——反应前消耗的 EDTA (乙二胺四乙酸二钠盐) 标准溶液的量（mL）；

V_2 ——反应后消耗的 EDTA (乙二胺四乙酸二钠盐) 标准溶液的量（mL）；

$T_{Ca^{2+}}$ ——EDTA 对 Ca^{2+} 的滴定度；

C ——每毫升钙标准溶液含有碳酸钙($CaCO_3$)的毫克数；

ml_1 —— 吸取氢氧化钙饱和溶液的体积；

ml_2 ——滴定时消耗 EDTA 的体积。

9.0.3 山东大学与青银项目办对青-银高速公路（齐河～夏津段）沿线各类土质，进行了可反映土的工程特性的土的特征粒级研究。以塑性指数为横坐标，以小于 0.002mm、小于 0.005mm 颗粒含量为纵坐标来反映土的特征粒级含量与塑性指数的关系，如图 9.1。

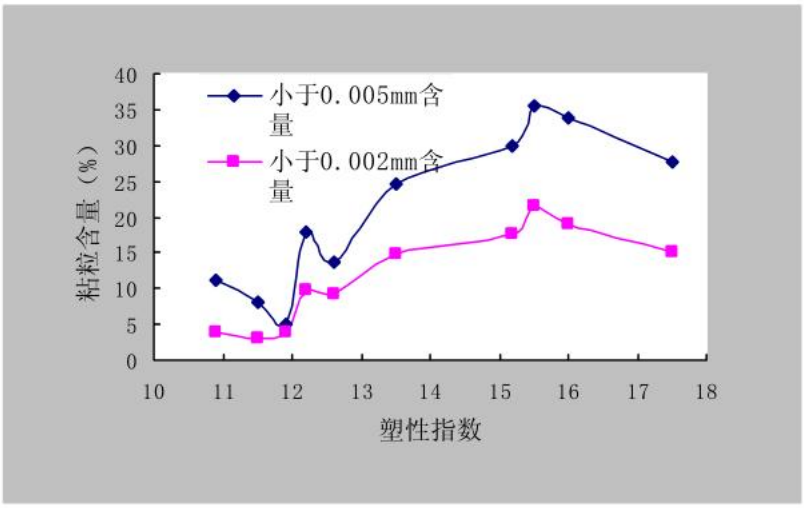

图 9-1　土的特征粒级含量与土的塑性指数关系

由图 9-1 可知，对塑性指数的影响，小于 0.005mm 颗粒含量与小于 0.002mm 颗粒含量所表现出的规律一致，且小于 0.005mm 颗粒含量比小于 0.002mm 颗粒含量影响更敏感。小于 0.005mm 颗粒在土的颗粒级配中属于填充粒级，对粉性土的压实性质起重要影响。因此，可以把小于 0.005mm 的颗粒含量当作土的特征粒级来确定土场，判断土与二灰土的压实性状。

以土小于 0.005mm 粒级含量为横坐标，相同二灰含量、二灰比的二灰土各龄期强度为纵坐标，建立土的小于 0.005mm 颗粒含量与二灰土强度的关系曲线，如图 9-2～图 9-5。

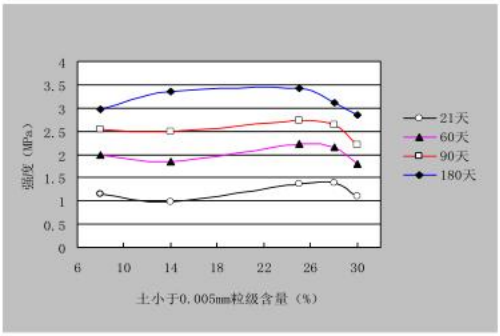

图 9-2　土的＜0.005mm 含量与二灰土强度的关系（32%、1：3）

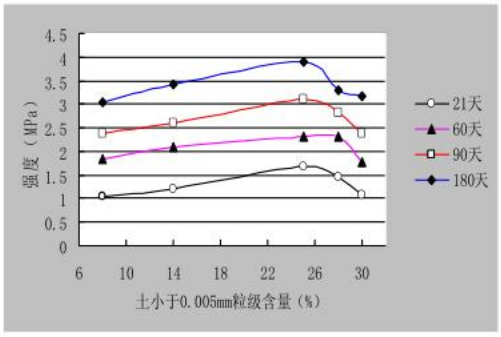

图 9-3　土的＜0.005mm 含量与二灰土强度的关系（36%、1：3）

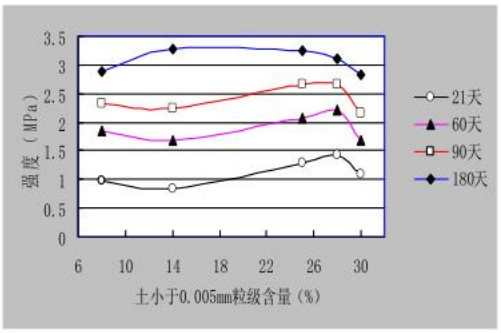

图 9-4　土的＜0.005mm 含量与二灰土强度的关系（32%、1：2）

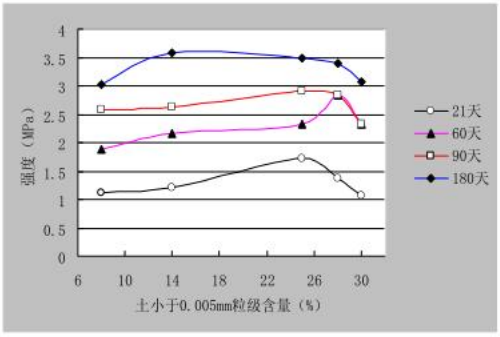

图 9-5　土的＜0.005mm 含量与二灰土强度的关系（36%、1：2）

二灰土的最大干密度与土中小于 0.005mm 粒级含量的关系见图 9-6。

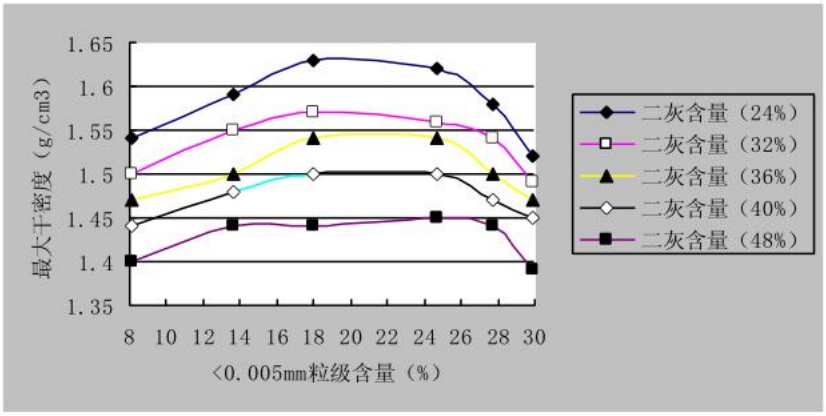

图 9-6　二灰比 1:3 时最大干密度与土＜0.005mm 粒级含量的关系

图 9-2～9-6 相比显示，二灰土的强度、最大干密度与土的小于 0.005mm 颗粒含量关系曲线表现出同样的变化趋势。随土的小于 0.005mm 颗粒含量的增加，二灰土的强度和最大干密度在土中小于 0.005mm 颗粒含量 15%～27%之间时都出现驼峰。二灰土的强度与最大干密度都存在一个最佳的土中小于 0.005mm 颗粒含量范围，这个范围变动于 15%～27%之间。15%～27%恰好是粉质粘土的特定粘粒含量范围，粉质粘土级配优于粉性土和粘性土，碾压过程中表现出良好的嵌挤与填充作用。这说明，二灰土混合料的级配是影响二灰土强度的重要因素之一。

上述实验说明，小于 0.005mm 颗粒属物理性粘粒，0.005～0.002mm 颗粒是介于粉粒与粘粒的过渡粒级，是持水性、可塑性的界限粒级，是影响土与二灰土的物理性质、水理性质的敏感性界限粒级。在动力作用下，0.005～0.002mm 粒级有良好的填充能力，对土及二灰土的压实性能产生直接的影响，进而影响

二灰土的强度与稳定性。因而，为获得良好的二灰稳定土强度，本指南规定采用小于 0.005mm 的颗粒含量大于 15%的土作为选土的指标。

9.0.4 当土的有机质含量较高时，应适量增加石灰的用量，用以中和土中有机质水解后的酸性。

10　配合比设计

10.1　一般规定

10.1.1　石灰的有效钙镁含量随存放时间的延长而降低，且随存放条件的不同而不同。若实验室进行配合比设计采用的石灰技术等级高于现场施工所采用的石灰技术等级，现场施工采用的二灰土配合比无法达到设计标准。为保证施工现场的二灰土质量，进行室内配合比设计时，宜选用 III 级标准石灰。

10.1.2　（1）关于二灰土设计龄期

现行的《公路路面基层施工技术规范》（JTJ034-2000）以标准养生 7d 强度为控制指标，7d 强度对石灰土、水泥土等早期以离子吸附、离子交换、水化作用速度较快的材料是可以的。对早期以物理变化为主，强度主要由火山灰反应生成的二灰稳定黄泛区粉质土的配合比设计不甚妥当。

图 10-1 显示，二灰土强度增长是分阶段进行的。初期（21 天前）强度增长受土质、二灰含量、二灰比影响波动大，而后（20～60d）进入强度快速增长的时期，该时期的养生对抑制干缩至关重要。该时间段（60d）过后，二灰土强度进入稳定增长的阶段。

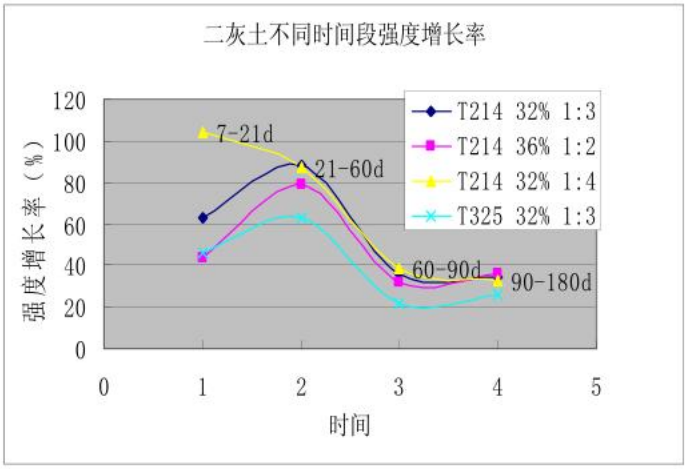

图 10-1　二灰土不同时间段的强度增长率

注：1、试验数据为青-银高速公路（齐河～夏津段）二灰土试验数据；

2、图例中 T214-32%-1:4，T 表示土，2 表示第二合同段，14 表示＜0.005mm 颗粒含量，32%表示

二灰含量，1：4 表示二灰比，下文同。

图 10-2、图 10-3 说明不同土质、不同二灰含量、不同二灰比的二灰土强度随龄期增长的变化趋势相同，说明二灰土稳定黄河冲积土的强度生长速率是一定的；二灰含量、二灰比对二灰土的强度有影响，而对强度发展速度没有显著的影响。

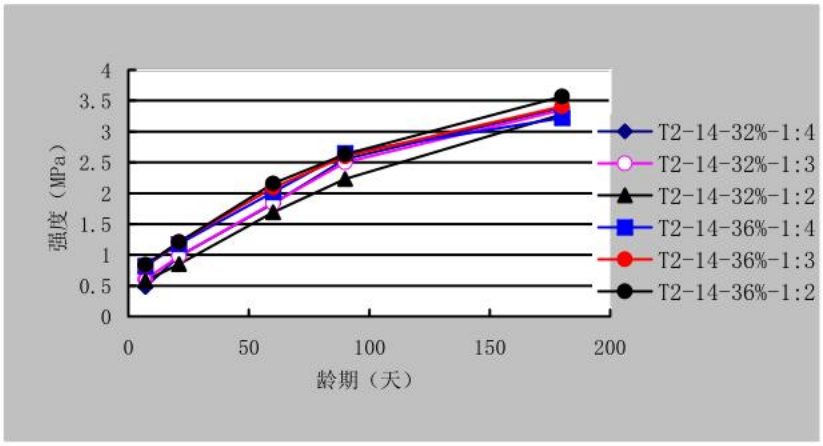

图 10-2　同一中土不同二灰含量和二灰比的二灰土强度变化

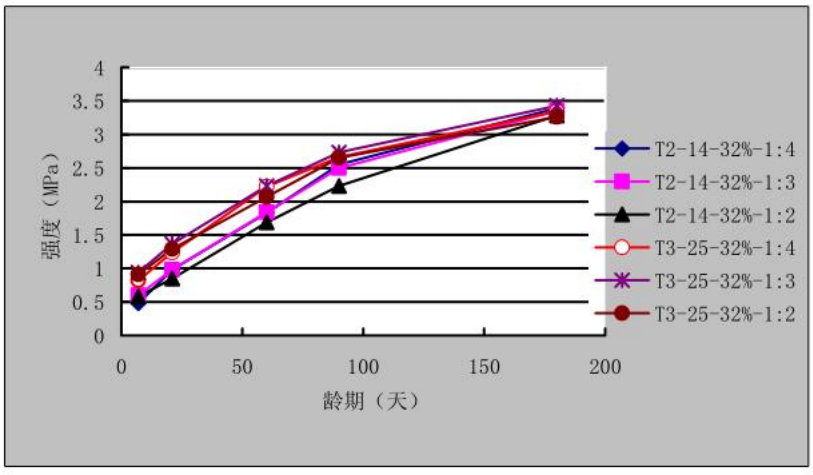

图 10-3　相同二灰含量不同土质与二灰比强度变化

黄泛区二灰稳定粉质土和粘性土不同，由于粒间粘结力差，在 7d 内很难形成强度，且强度变异性很大；二灰稳定黄泛区粉质土主要靠火山灰反应提供后期强度，7d 强度只能反应石灰对早期强度的影响，并不能反映后期强度的大小，

也反应不了二灰含量、二灰比的优劣。考虑到二灰含量、二灰比对强度影响的长时性、现场施工的可操作性，本指南规定采用 21 天龄期的强度作为配合比设计的依据。

（2）关于强度标准

山东大学与青银项目办对黄泛区影响二灰土不同龄期强度的各种因素，如土中小于 0.005mm 颗粒含量、二灰含量、二灰比、不同养生条件等，进行了分析研究。土中小于 0.005mm 颗粒含量的不同二灰含量、二灰比的各种二灰土 21d 平均强度见表 10-1。

表 10-1　不同土质的二灰土 21d 强度

土中＜0.005mm 颗粒含量(%)	8	14	18	25	28	30
二灰土 21d 平均强度 (Mpa)	1.12	1.07	0.76	1.48	1.44	1.11

表 10-1 中，土中小于 0.005mm 颗粒含量为 18%时，二灰土 21d 强度偏低，是因土的有机质含量偏高；而小于 0.005mm 颗粒含量为 30%时 21d 强度略低是因土的级配不良以及有机质影响。21d 强度在 1.07～1.48 Mpa 之间。因此，在黄泛区二灰稳定土配合比设计时，本指南规定二灰稳定土的 21d 浸水无侧限抗压强度应不小于 1.0Mpa。

10.1.4　如果工期紧张，在二灰土配合比确定以后，施工时可掺加 1%～2%的水泥，配合比设计的相关试验不变。

10.3　配合比设计步骤

10.3.1～10.3.6　原规范规定在配合比设计时，先确定石灰粉煤灰比例，但是由于二灰土的强度生成是石灰、粉煤灰和土三者之间混合料系统内发生的反应过程，仅通过石灰粉煤灰的试验确定的二灰比并不能反应二灰土混合料中合理的二灰比，因此，本指南对二灰土配合比设计的方法进行了简化。

10.3.2　二灰稳定黄泛区粉土适宜的二灰比为 1:2～1:3，二灰稳定黄泛区粉质粘土适宜的二灰比为 1:3。二灰稳定粉土，当二灰含量小于 34%时，二灰比宜采用 1:3；当二灰含量大于 34%时，二灰比宜采用 1:2。当土中的有机质含量偏高时，宜增加石灰用量。

二灰稳定黄泛区土的适宜二灰含量范围为 32%～40%。对于二灰粉土，二灰含量范围宜为 32%～36%；对于二灰粉质粘土，二灰含量范围宜为 36%～40%。

（1）关于二灰稳定黄泛区粉质土的二灰比

表 10-2 显示了不同土质、不同二灰含量的二灰土强度对二灰比的敏感性。二灰比主要影响二灰土 60 天前的强度。

二灰比对二灰稳定粉土与二灰稳定粘土强度的影响是不同的。二灰稳定粉土的早期强度对二灰比更敏感。对同一种土，低二灰含量稳定土对二灰比的变化更敏感。因此，二灰比对低二灰含量的二灰稳定粉土的早期强度影响较大。

表 10-2　二灰稳定土（$T_2$14、$T_3$25）无侧限抗压强度试验结果

土类	二灰含量	二灰比	编号	强度（MPa）				
				7 天	21 天	60 天	90 天	180 天
$T_2$14	32%	1：4	1	0.48	0.98	1.83	2.55	3.39
		1：3	2	0.60	0.98	1.84	2.50	3.35
		1：2	3	0.58	0.85	1.69	2.23	3.28
	36%	1：4	4	0.82	1.18	2.02	2.65	3.22
		1：3	5	0.83	1.21	2.09	2.60	3.41
		1：2	6	0.84	1.21	2.16	2.63	3.57
$T_3$25	32%	1：4	7	0.82	1.24	2.22	2.66	3.34
		1：3	8	0.94	1.37	2.23	2.73	3.43
		1：2	9	0.91	1.29	2.07	2.65	3.26
	36%	1：4	10	0.93	1.57	2.28	2.92	3.81
		1：3	11	0.86	1.68	2.31	3.12	3.91
		1：2	12	0.89	1.71	2.32	2.90	3.50

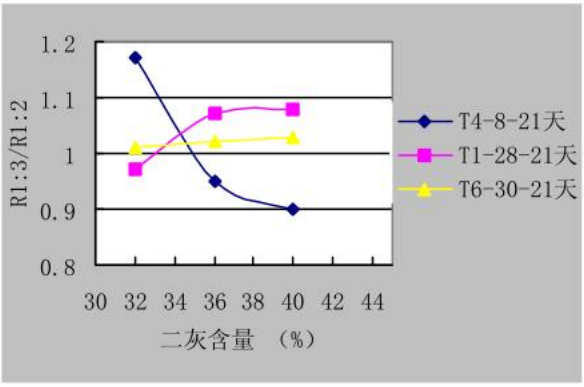

图 10-4　二灰比对 21 天龄期不同土质的二灰土强度影响

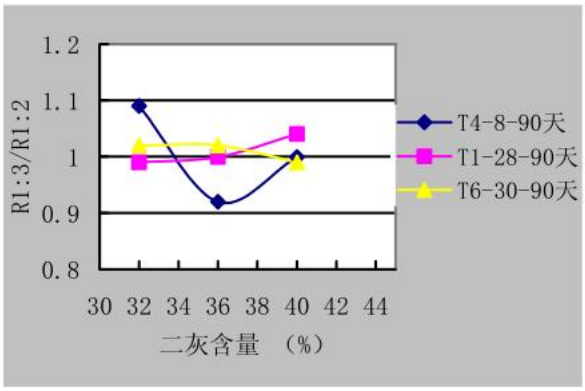

图 10-5　二灰比对 90 天龄期不同土质的二灰土强度影响

图 10-4 与图 10-5 显示，对于粉土（$T_4$8），当二灰含量小于 34%时，低的二灰比（1∶3）强度更高，当二灰含量大于 34%时，高的二灰比（1∶2）强度更高。而对于粉质粘土（$T_1$28、$T_6$30），总体上低的二灰比（1∶3）强度更高。因此，在黄泛区，二灰稳定粉质粘土的二灰比应采用 1：3。二灰稳定粉土，当二灰含量小于 34%时，二灰比宜采用 1∶3，当二灰含量大于 34%时，二灰比宜采用 1∶2。

（2）关于二灰稳定黄泛区粉质土的二灰含量

研究表明，二灰含量对二灰土的强度特别是后期强度有很显著的影响。青-银高速公路（齐河～夏津段）各合同段各龄期、相同二灰比的二灰土强度与二灰含量关系见图 10-6 与图 10-7。

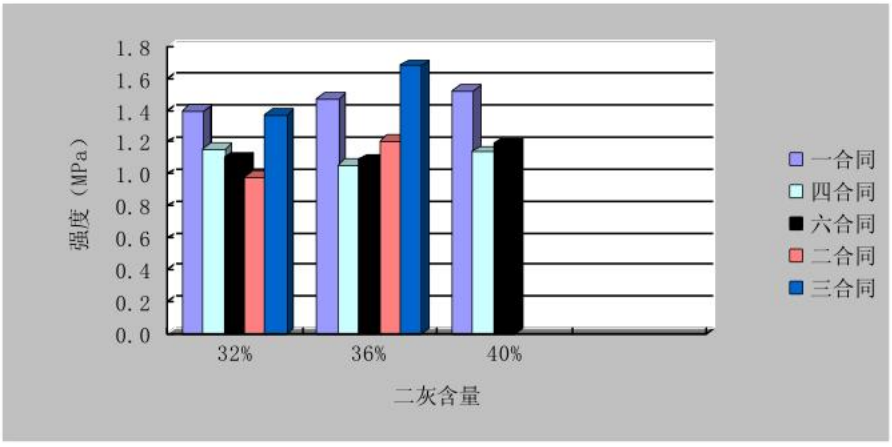

图 10-6　二灰含量与强度的关系（1:3，21 天）

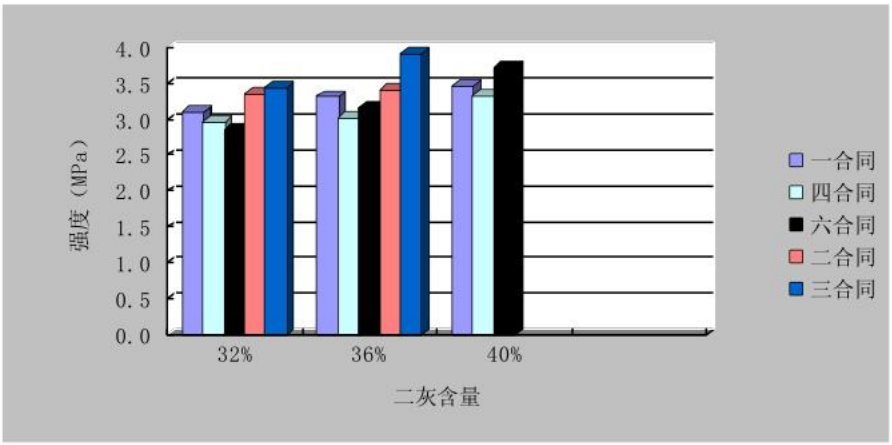

图 10-7　二灰含量与强度的关系（1:3，180 天）

图 10-6 显示，随着二灰含量的增大，从整体来看，21 天强度普遍增加。图 10-7 显示各合同段二灰土 180 天的强度随二灰含量的增加而明显增大，$T_1$28、$T_3$25、$T_6$30 的二灰土强度增加幅度大于 $T_2$14、$T_4$8。二灰含量从 32%增加到 40%，二灰土的早、后期强度都增加；小于 0.005mm 颗粒含量高的土，提高二灰含量，二灰土强度增加更明显。虽然二灰含量的增加有利于二灰土强度的提高，但二灰稳定粉土与二灰稳定粉质粘土强度增长率是不同的。并不是所有的土，二灰含量越高越好，存在着合理的二灰经济剂量，这个合理的剂量由二灰土的粗细度、可压实性确定。对于二灰粉土，二灰含量宜采用 32%～36%；对于二灰粉质粘土，二灰含量宜采用 36%～40%。

11　试验段铺筑

11.0.1-6　当二灰土底基层较厚，采用分层连续铺筑时，应确定分层连续铺筑的施工工艺，使上下层间在施工时保持连续。

12 施工

12.1 一般规定

12.1.1 不同的压实机械适宜的压实厚度不同。用12～15t三轮压路机碾压时，每层的压实厚度不应超过15cm；用18～20t三轮压路机和振动压路机碾压时，每层的压实厚度不应超过20cm。采用振动羊足碾与三轮压路机配合碾压时，每层的压实厚度可以根据试验适当增加。压实厚度超过上述规定时，应分层（连续）铺筑，分层连续施工时应明确上层铺筑时间。

12.1.3～12.1.4 黄泛区的二灰土粉粒含量高是其主要特点，粉煤灰的掺入更增加了粉粒级的含量，而振动碾压时二灰土的密度不断变化，采用变频变幅的碾压工艺是合适的。

2004 年 12 月，在综合分析青银高速（齐河～夏津段）六个合同段碾压结果的基础上，山东大学与青银项目办对三合同段进行了二灰稳定土碾压工艺现场优化试验。碾压试验结果见表 8-2。

表 8-2 试验段采用的碾压工艺及碾压结果

碾压工艺	碾压遍数	压实度
低频振压 A	稳压 2 遍	85.7
	稳压 2 遍+双向低振幅振压 1 遍+静压 1 遍	89.7
	稳压 2 遍+双向低振幅振压 1 遍+静压 2 遍	91.3
	稳压 2 遍+双向低振幅振压 1 遍+静压 2 遍+单向高振幅振压 1 遍+静压 2 遍	96.7
中频振压 B	稳压 3 遍	87.2
	稳压 3 遍+双向低振幅振压 1 遍+静压 2 遍	88.7
	稳压 3 遍+双向低振幅振压 1 遍+静压 2 遍+单向高振幅振压 1 遍+静压 2 遍	96.7
高频振压 C	稳压 4 遍	90.4
	稳压 4 遍+双向低振幅振压 1 遍+静压 2 遍	90.8
	稳压 4 遍+双向低振幅振压 1 遍+静压 2 遍+单向高振幅振压 1 遍+静压 2 遍	99.2

注：1.试验采用的振动压路机为英格索兰 175，标定的振幅为：高振幅 1.86mm，低振幅 0.93mm。

2.低振幅振压的三个频率为：13.2（低频）、16.5（中频）、21.1（高频）；高振幅振压的三个频率为：21.1（低频）、26.5（中频）、30.2（高频）。

结果表明：过多遍数的稳压会导致之后的低振幅振压没有明显的作用，本指南建议二灰土开始的稳压遍数不宜超过2遍。

从压实机理分析，振动压路机配以胶轮静压是较优的碾压机械组合，静压-高频高振幅振压-低振幅振压-静压的碾压工艺是最优的，高振幅振压迫使颗粒移位嵌挤，低振幅振压迫使不稳定的颗粒移动到更稳定的位置上，使其排列结构更加趋于稳定，最终达到较高的压实度。但碾压施工还必需考虑表面的平整度。由于二灰粉质土的内聚力和粘结力较弱，刚开始就高振幅振压会造成二灰土面层松散，导致后面的碾压发生粘轮、起皮等现象。

大量的碾压施工经验表明，压实度在 85%左右开始低振幅振压，压实度大于 90%开始高振幅振压，二灰土表面平整度较好。为了兼顾二灰土表面的平整度，建议采用静压-单向低振幅振压-高频单向高振幅振压-单向低振幅振压-静压的变频碾压工艺。具体施工时应根据二灰土的级配，通过碾压工艺组合试验来确定低振幅振压、高振幅振压的工艺以及与之匹配的频率、振幅。

消除二灰粉质土碾压过程中表层起皮的方法有：1）控制含水率在最佳碾压含水率范围内，也可在二灰土上覆盖湿的土工布，起到保水、分担压路机的表面剪应力作用；2）采用推土机进行稳压，振动压路机前进时采用单向振动的碾压方式，利用胶轮压路机静压封面，压实后洒少量水；3）检测压实度合格后尽快用保湿棉覆盖洒水养生，避免长时间暴露。

12.2 路拌法施工

由于二灰稳定细粒土在厂拌时，不容易拌合均匀，含水率不易控制，因此，建议二灰稳定黄泛区粉质土施工时一般不采用中心站集中厂拌法施工。

12.4 养生及交通管制

二灰稳定黄泛区粉质土水分极易散失，影响强度形成，二灰土碾压完成后必须及时采用草苫子、土工布等覆盖保湿养生。二灰稳定黄泛区粉质土强度形成缓慢，初期强度低，养生初期过高的养生湿度不利于强度增长，甚至会破坏已经形成的结构强度。室内试验和工程经验表明，二灰稳定黄泛区粉质土碾压完成后2～3天内应禁止直接向二灰土表面洒水，如果二灰土养生湿度不足，可在草苫子、

土工布上少量洒水，保持二灰土表面潮湿，养生初期严禁二灰土表面积水浸泡。