

T/CECS G:

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

滨海公路路基技术规程

Technical Specifications for Coastal Subgrade of Highway

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

滨海公路路基技术规程

Technical Specifications for Coastal Subgrade of Highway

T/CECS G:

(征求意见稿)

主编单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：XXXX 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2020 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字[2020]14 号)的要求,由中交第一公路勘察设计研究院有限公司等单位承担《滨海公路路基技术规程》(以下简称“本规程”)的制定工作。

本规程编制过程中,编写组进行了大量的工程调研,分析总结了近年来国内外滨海公路路基建设的工程实践经验和科研成果,并广泛征求了业内有关单位和专家的意见和建议。

本规程分为 7 章,主要内容包括:1 总则;2 术语和符号;3 工程地质勘察;4 软土地基处理;5 路基设计;6 路基施工;7 施工监测。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理,由中交第一公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议,请函告本规程日常管理组,中国工程建设标准化协会公路分会(地址:北京市海淀区西土城路 8 号;邮编:100088;电话:010-62079839;传真:010-62079983;电子邮箱:shc@rioh.cn),或中交第一公路勘察设计研究院有限公司(地址:西安市高新技术开发区西区科技四路 205 号;邮编:710065;联系人:张留俊;电话:029-81772786,电子邮箱:BZXD@ccroad.com.cn),以便修订时研用。

主编单位: 中交第一公路勘察设计研究院有限公司

参编单位:

主编: 张留俊

主要参编人员:

主审: 邓卫东

参与审查人员:

参与人员:

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	工程地质勘察	4
3.1	一般规定	4
3.2	工程地质调绘、勘探与测试	4
3.3	工可勘察	7
3.4	初步勘察	8
3.5	详细勘察	10
4	软土地基处理	12
4.1	一般规定	12
4.2	堆载预压法	12
4.3	真空预压法	14
4.4	水泥搅拌桩法	15
4.5	粒料桩法	17
4.6	爆炸挤淤法	18
4.7	刚性桩法	20
4.8	真空降水强夯法	26
5	路基设计	29
5.1	一般规定	29
5.2	路基水文勘测	29
5.3	路基高度设计	30
5.4	路基断面结构设计	32
5.5	路基稳定与沉降计算	36
5.6	路基防护设计	38
5.7	路基排水设计	41

6 路基施工	43
6.1 一般规定	43
6.2 路基施工	45
6.3 路基防护工程施工	49
6.4 路基排水工程施工	52
7 施工监测	53
7.1 一般规定	53
7.2 监测方法	54
7.3 监测资料分析	56
本规程用词用语说明	58

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为提高滨海公路路基的设计与施工技术水平，使其符合安全可靠、技术先进、经济合理的要求，制定本规程。

1.0.2 本规范适用于各等级新建和改建滨海公路路基的设计与施工。

1.0.3 滨海公路路线走向应选取对防浪有利的方向，避开强风和波浪的正面侵袭。对于地形、地质和潮流等条件复杂的路段，布线时应对岸滩的冲淤变化进行预测，影响较大时应进行专题研究。

1.0.4 滨海公路路基的设计与施工，应遵循因地制宜、节约资源、保护环境的原则。

1.0.5 滨海公路路基的设计与施工，应符合国家和行业在安全生产方面的有关规定，采取有效的安全生产措施，保证人员和设施安全。

1.0.6 滨海公路路基的设计与施工，应贯彻国家技术经济政策，积极稳妥地推广采用成熟可靠的新技术、新材料、新设备、新工艺。

1.0.7 滨海公路路基技术除应符合本规程的规定外，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

2.1.1 滨海公路路基 coastal subgrade of highway

受波浪、潮汐、海流等影响的滨水地带的公路路堤。

2.1.2 堆载预压法 preloading

在软土地基上施加荷载，促使地基排水、固结、压密的处理方法。堆载预压分等载预压、超载预压和欠载预压。若预压荷载等于路堤的设计荷载，称为等载预压；若预压荷载超过路堤的设计荷载，称为超载预压；若预压荷载小于路堤的设计荷载，称为欠载预压。

2.1.3 真空预压法 vacuum preloading

通过在软土地基中抽真空形成负压，利用大气压力对地基进行预压的方法。

2.1.4 水泥搅拌桩法 cement deep mixing column

采用专用搅拌机械，将以水泥为主要成分的固化剂和地基土强制搅拌，使软土硬结成具有整体性和一定强度的桩体的地基处理方法。

2.1.5 粒料桩法 granular material column

采用振冲或振动沉管机械在地基中成孔，之后填入碎石、砂砾、矿渣、砂等粒料并挤压密实形成桩体的地基处理方法。

2.1.6 爆炸挤淤法 explosive displacement

利用炸药爆炸能量将软土地基中的软土挤开，使预先堆在软土表面的块、片石下沉到设计深度，置换软土的地基处理方法。

2.1.7 刚性桩法 rigid pile

采用预应力混凝土管桩(PC)、预制混凝土方桩、钻孔灌注桩、现浇混凝土大直径管桩(PCC 桩)等刚性桩的地基处理方法。

2.1.8 真空降水强夯法 dynamic compaction combination with vacuum dewatering

将真空降水与强夯相结合，通过真空系统及时排出强夯过程中形成的自由水并降低超静孔隙水压力，从而加速软土地基固结的地基处理方法。

2.1.9 土工模袋 geofabriform

由双层的有纺土工织物缝制的带有格室空腔的袋状结构材料，用高压泵充填混凝土或水泥砂浆等凝结后形成防护板块体。

2.1.10 抛石棱体 riprap prism

为防止护坡滑移，提高边坡稳定性，用块石在护坡下缘抛填修筑的棱形体。

2.1.11 软体排 flexible mattress

由土工合成材料和压载体组成的用于护底或护滩的排状结构。

2.1.12 绕流滑动 flow slide

桩间土绕过刚性桩的滑动。

2.1.13 波浪爬高 wave run-up

路基上波浪上爬的最高点相对于静止水面的高度。

2.1.14 施工水位 working water level

依据完成滨海路基主体工程所需的水上或水下作业时间以及适于施工的客观条件，确定的某一水位。

2.2 符号

h_p ——设计频率 P 的高潮位；

$\bar{h}$ ——最高潮位系列的平均值；

p_{sc} ——刚性桩复合地基桩间土上荷载应力；

P_{pa} ——刚性桩桩顶荷载；

R_F ——按设计波浪计算的累计频率为 F 的波浪爬高值；

S ——最高潮位系列的均方差；

W_a ——圆弧滑动法划分土条位于浸润线以上部分，采用湿重度计算的重力；

W_b ——圆弧滑动法划分土条位于浸润线与水线之间部分，采用饱和重度计算的重力；

W'_b ——圆弧滑动法划分土条位于浸润线与水线之间部分，采用浮重度计算的重力；

W_c ——圆弧滑动法划分土条位于水线以下部分，采用湿重度计算的重力；

Z_p ——设计频率 P 的路基顶面高程。

3 工程地质勘察

3.1 一般规定

3.1.1 滨海公路工程地质勘察应根据工程方案、场地条件，合理选择地质勘察方法，为地基处理设计和施工提供所需的地质资料，提出地基处理的建议方法。

3.1.2 滨海公路工程地质勘察工作应包括工程地质调绘、工程地质勘探与测试、工程地质评价及报告编制等。

3.1.3 滨海公路工程地质勘察可分为三个阶段，即工程可行性研究阶段工程地质勘察(简称工可勘察)、初步设计阶段工程地质勘察(简称初步勘察)和施工图设计阶段工程地质勘察(简称详细勘察)。在地质条件复杂，或有特殊要求的项目和工点，可进行专项勘察；在地质条件简单，或有工程经验的地区，可根据设计需要合并勘察阶段。

3.1.4 滨海公路场地类型可按表 3.1.4 划分为复杂场地、较复杂场地和简单场地。

表 3.1.4 滨海公路场地类型划分

场地类型	场地特征
复杂场地	①场地地层分布不稳定，交互层复杂；②土质变化大，地基主要受力层内硬层和基岩面倾斜度大；③地形起伏较大，微地貌单元较多；④场地地质环境或周边环境条件复杂；⑤抗震设防烈度大于或等于 7 度，发生过较大的软土震陷
较复杂场地	①场地地层分布不稳定，交互层较复杂；②土质变化较大，地基主要受力层内硬层和基岩面倾斜度较大；③地形微起伏，地貌单元较单一；④场地地质环境或周边环境条件较复杂
简单场地	①场地地层稳定，交互层简单；②土质变化较小，地基条件简单；③地形平坦，地貌单元单一；④场地地质环境或周边环境条件简单

注:场地划分应从复杂向简单推定，以最先满足者为准；较复杂场地与复杂场地满足相应的单个或多个条件均可，而简单场地则应满足全部条件。

3.1.5 滨海公路软土分类应符合现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02)的有关规定，并符合下列规定：

1 天然含水率小于或等于150%且大于85%、天然孔隙比大于或等于2.4时，应定为流泥。

2 天然含水率大于 150%、天然孔隙比大于或等于 2.4 时，应定为浮泥。

3.2 工程地质调绘、勘探与测试

3.2.1 工程地质调绘宜在工可勘察和初步勘察阶段进行。在详细勘察阶段，可对工程地质条件复杂路段和重点路段，结合现场情况进行必要的补充工程地质调绘。

3.2.2 工程地质调绘应包括下列主要内容：

1 地形地貌的成因、类型、分布、规模、形态特征等；微地貌特征、岸坡形态及稳定情况。

2 第四纪地层的形成时代、成因、层序、厚度、岩性等。

3 地质构造的类型、岩体结构、岩层产状、断层、节理等。

4 地下水类型、埋深、补给来源、排泄条件、水位变化幅度及其与地表径流及潮汐的水力联系。

5 滑坡、崩塌、泥石流、冲淤、浪蚀、潜蚀等不良地质作用的成因、范围、发育程度、发展趋势及其对工程的影响。

6 地震烈度、历史地震震害、地震动峰值加速度大于或等于 $0.1g$ 范围的分区界限。

7 海域滩涂软土的类型、分布范围、分布规律、沿线微地貌与软土分布的关系等。

8 既有堤防、码头、道路、建筑物的地基处理措施、经验和使用情况等。

3.2.3 工程地质调绘应符合下列规定：

1 应与路线及沿线工程结构布设相结合，为路线方案比选、工程结构选址以及勘探、测试工作量的拟定等提供依据。

2 应充分收集、分析勘察区既有的各种地质资料，结合必要的遥感解译和勘探手段进行调绘。调绘范围应满足设计方案比选及工程地质分析评价的要求。

3 测绘的地质观测点应布置在地貌单元的边界、地层接触面、地下水出露点、软土及不良地质体的界限、代表性节理及岩层露头、岸坡及桥涵构造物等主要工点。地质观测点的密度，以能够控制各种地质现象和界限的分布为原则，间距宜为图上的 $2\sim 3\text{cm}$ ，地质条件简单时可为图上的 $3\sim 5\text{cm}$ 。

4 工程地质调绘比例尺可根据勘察阶段及现场条件按下列要求选用：

1) 工可勘察阶段 $1:5000\sim 1:10000$ ；

2) 初步勘察阶段 $1:2000\sim 1:5000$ ；

3) 详细勘察阶段 $1:1000\sim 1:2000$ 。

4) 现场条件复杂时，比例尺可适当放大。

5 工程地质调绘应提交文字说明、工程地质平面图、综合地层柱状图、工程地质断面图、照片以及相关调查图表等。

3.2.4 勘探应在工程地质测绘的基础上，采用挖探、简易钻探、钻探、标准贯入试验、静力触探、十字板剪切试验等方法，并辅以必要的物探综合进行。对难以取样的软土地层，应以静力触探、十字板剪切试验等原位测试为主，必要时可采用旁压试验与螺

旋板载荷试验等方法。

3.2.5 布置勘探工作时应考虑勘探对工程自然环境的影响，防止对地下管线、地下工程和自然环境的破坏。

3.2.6 勘探作业应符合现行《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)、《公路工程地质原位测试规程》(JTG 3223)及《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133)的有关规定。

3.2.7 勘探孔深度应根据软土埋深分布及路堤高度确定，并应符合下列规定：

1 对于薄层软土或傍山滩涂路段，钻孔应穿过软土层至下卧持力层内 3~5m 或下卧基岩。

2 对于较均质厚层软土，钻孔应达到预估的地基附加应力与地基土自重应力比为 0.10~0.15 时所对应的深度。

3 当难以预估附加应力的大小，或在桥头等高路堤段，钻孔深度不宜小于 40m。

4 静力触探孔宜达到软土层底部，最大深度可按 30m 控制。

3.2.8 钻孔取样应符合下列规定：

1 取土器贯入宜采用均匀连续压入法和下击式重锤少击法。采取原状土样时应使用薄壁取土器，取土器直径不宜小于 108mm。

2 对非均质土层，在地面下 10m 以内，应每 1.0~1.5m 取一组样品；在地面下 10~20m，应每 1.5~2.0m 取一组样品；20m 以下可每 2.0m 取一组样品；变层时应补取样品。详细勘察阶段取样间距应取小值，初步勘察阶段可取大值。

3 对于厚度大于或等于 5m 的均质土层，可在该层的上、中、下部分至少各取一组样品。

4 控制性钻孔应连续采取各土层原状土样。

5 所取原状土样应密封、贴标签，避免雨淋、冻、晒和振动。自取样至开样试验的时间不宜超过 3d。

3.2.9 地基土测试项目应按表 3.2.9 确定，并应符合下列规定：

1 力学试验的加荷级别与标准、试验的边界条件等应与工程实际条件相适应。

2 软土的每个工程地质层均应测定完整的物理力学指标，包括先期固结压力、压缩系数、固结系数、抗剪强度等，其中抗剪强度应采用固结快剪试验，必要时还应采用固结不排水剪试验。

3 采用竖向排水体加固地基时，应进行水平方向的固结系数测试；采用水泥搅拌桩加固地基时，应对土的 pH 值、有机质含量以及地下水水质等进行测试。

4 静力触探、十字板剪切、旁压试验等原位测试方法所取得的资料，应与钻探资料进行对比、验证。

5 测试结果应按工程地质单元、区段及层位分别统计，并将取样方法、试验方法以及不同测试方法所得结果进行分析比较，评价其可靠性和适用性。

6 室内试验方法应符合现行《公路土工试验规程》(JTG 3430)的有关规定。

表 3.2.9 地基土测试项目选择表

项目		室内试验																				原位测试										
		物理性质试验										力学性质试验										其它										
		天然含水率	天然密度	比重	天然孔隙比	塑限	液限	塑性指数	液性指数	有机质含量	颗粒组成	渗透系数		压缩系数		前期固结压力	固结系数		剪切试验				灵敏度	土的 pH 值	水质分析	静力触探	十字板剪切	旁压试验	螺旋板载荷试验	标准贯入试验		
												垂直	水平	垂直	水平		垂直	水平	快剪	固结快剪	不固结不排水	固结不排水									固结排水	无侧限抗压强度
w	ρ	d_s	e	w_p	w_L	I_p	I_L		k_v	k_h	a_v	a_h	P_c	C_v	C_h	r_u	r_{cu}	UU	CU	CU	CD	α	S_i									
%	g/cm ³				%	%		%	cm/s		MPa ⁻¹		kPa	cm ² /s					kPa					MPa	kPa	kPa	kPa	击数				
稳定性	硬层																+	(+)	(+)	(+)	(+)	+	(+)		+	(+)	(+)	(+)	(+)			
	软土层									土							+	(+)	+	(+)	(+)	+	+		+	+	(+)	(+)	(+)			
沉降	硬层										+	+	+		(+)	+	+	(+)	(+)			(+)		+		(+)	(+)	(+)	(+)			
	软土层	+	+	+	+	土	土	土	土	土	+	+	+	(+)	+	+	(+)	(+)			+		+	+	+	+	(+)	(+)	(+)			
地基加固	硬层								(土)	(土)	+	(+)	+	+	(+)	+	+	+	(+)	(+)	(+)	+	(+)	+	+	+	(+)	(+)	(+)			
	软土层								土	(土)	+	(+)	+	(+)	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)			

注：“+”表示采用原状土做试验；“土”表示可采用扰动土样；“()”表示视需要做。

3.3 工可勘察

3.3.1 工可勘察应掌握路线走廊带内的工程地质条件和对公路建设规模有影响的工程地质问题，勘察成果应满足路线方案可行性研究的需要。

3.3.2 工可勘察应以资料收集和工程地质调绘为主，重点路段可辅以勘探测试工作。

3.3.3 工可勘察应包括下列内容：

- 1 调查研究地质构造、地震活动和不良地质作用的成因、分布、发育等。
- 2 调查研究控制路线及工程方案的软土类型、分布、埋深、主要物理力学性质，分析其工程危害性及处治措施的必要性。
- 3 调查研究地下水类型、含水层性质、地下水与地表水动态变化，分析对岸坡稳定的影响。
- 4 现场核对、修改和补充室内遥感解译成果。
- 5 调查筑路材料的分布、开采、运输条件，工程用水的水质、水源情况。

3.3.4 工可勘察报告文字说明应包括下列主要内容：

- 1 说明场地的工程地质特征，包括公路沿线的地形地貌、地层岩性、地质构造、水

文地质条件、地震动参数等。

2 分析判断工程地质条件的主要有利、不利因素，并重点分析场地的整体稳定性，评价场地建设的适宜性。

3 着重阐明路线走廊带内各方案中软土成因类型、分布范围、工程特性等对路线的影响，并结合其他环境因素，对路线方案给出评价。

4 提出初步勘察工作建议。

3.3.5 工可勘察报告图表资料应包括下列内容：

1 全线工程地质图，图中应填绘各路线方案和大型构造物的位置，主要的地貌界限、地层界限、地质构造线、岩层产状，软土分布范围，地震基本烈度分区界限等。比例尺为 1: 50000~1: 200000。

2 必要时包括推荐方案及重要比较方案工程地质图，比例尺为 1: 10000~1: 50000。

3 控制路线方案的复杂软土地段的工程地质图，比例尺为 1: 2000~1: 10000。

4 附图、附表和照片等。

3.4 初步勘察

3.4.1 初步勘察应基本查明公路沿线工程地质与水文地质条件，研究对工程设计方案的影响，为路线和各类构造物初步设计提供地质资料。

3.4.2 初步勘察应采用遥感解译、工程地质调绘、钻探与原位测试、室内试验等手段相结合的综合勘察方法进行。

3.4.3 初步勘察应包括下列内容：

1 初步查明公路沿线的地形地貌，岩土层性质、分布规律、形成时代、成因类型，基岩的风化程度及埋藏条件。

2 初步查明与工程建设有关的地质构造，不良地质作用的分布范围、发育程度和形成原因。

3 初步查明地下水类型及含水层性质，调查水位变化幅度、补给与排泄条件。

4 对抗震设防烈度大于或等于 7 度的场地进行场地和地基的地震效应评价。

5 对控制路线方案的软土地段，查明软土的层位、层厚、物理力学性质、化学性质等，并初步分析其变形和稳定性。

3.4.4 初步勘察的钻探与原位测试应符合下列规定：

1 控制路线方案或需要作为代表性路段进行设计的软土地段，应通过对静力触探、

十字板剪切与钻探测试指标的相互印证，确定软土的物理力学性质指标。

2 控制性钻孔应布置在有代表性的部位。当软土深厚或厚度变化不大时，宜布置在路中心；当下卧硬层顶面坡度较大时，宜布置在下坡一侧。每一地貌单元或地质单元、重要工点均应有控制性钻孔。控制性钻孔不应少于钻孔总数的 20%。

3 沿路线方向勘探点的布置密度不应低于表 3.4.4 的规定。

表 3.4.4 初步勘察勘探点布置密度

场地类型	公路等级	钻探 (个/km)	原位测试 (个/km)
复杂场地	二级及二级以上	3	5
	二级以下	2	4
较复杂场地	二级及二级以上	3	4
	二级以下	1	3
简单场地	二级及二级以上	2	3
	二级以下	1	2

4 应在具有代表性的横断面上布置一定数量的勘探点，且宜以静力触探为主。

5 应在每个具有代表性的地质路段，对可能影响地基稳定性的软土层进行十字板剪切试验。十字板剪切试验沿深度方向测试间距不应大于 1m。

条文说明

勘探孔布置数量确定参照现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG D-02—2013)及《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133—2013)的有关规定。

3.4.5 初步勘察报告文字说明应包括下列主要内容：

1 说明各路线方案的工程地质和水文地质条件，结合工程方案论证、比选，提出工程地质意见和建议。

2 分析、评价各区段和复杂工点的工程地质和水文地质特点及工程建设的适宜性。

3 重点阐明各软土地段的软土分布范围、厚度、物理力学指标等特点，针对工程项目与软土地基条件、滨海环境条件，提出地基处理措施建议。

3.4.6 初步勘察报告图表资料应包括下列内容：

1 工程地质平面图，包括全段工程地质平面图和路线各比较方案软土路段工程地质平面图。比例尺为 1：2000~1：10000。

2 工程地质纵断面图，包括全段工程地质纵断面图和路线各比较方案软土路段工程地质纵断面图。比例尺为：水平 1：2000~1：10000，垂直 1：200~1：1000；各比较

方案的水平比例尺可视路段长度选用。

3 工程地质横断面图，比例尺为 1: 100~1: 400。

4 工程地质钻孔柱状图，比例尺为 1: 100~1: 200。

5 原位测试成果图表，包括静力触探图、十字板剪切图等。

6 土工试验资料成果图表，包括土的物理、力学、化学性质试验结果表与指标统计表，压缩曲线图等。

7 勘探、试验照片等。

3.5 详细勘察

3.5.1 详细勘察应逐段查明公路沿线及各类构造物建设场地的工程地质与水文地质条件，为路线和各类构造物施工图设计提供地质资料。

3.5.2 详细勘察应充分利用初步勘察取得的各项成果资料，采用以钻探、原位测试为主，其他勘察手段为辅的综合勘察方法进行。

3.5.3 详细勘察应对初步勘察的工程地质调绘资料进行复核，当线位偏离初测路线或地质条件需要进一步查明时，应补充工程地质调绘。

3.5.4 详细勘察应包括下列内容：

1 查明公路沿线的地形地貌，岩土层性质、分布规律、形成时代、成因类型，基岩的风化程度及埋藏条件。

2 查明影响场地的不良地质作用的类型、成因、分布范围、发展趋势和危害程度，提出处治方案建议。

3 查明地下水类型、埋藏条件，提供地下水位及其变化幅度，评价环境水的腐蚀性。

4 根据硬壳层、软土层、软土夹层、排水层、下卧层等结构层厚度与特点，进行地质分段并逐段提供路堤稳定与沉降计算的技术指标。

5 计算分析典型路段路堤的稳定与沉降，提出地基处理方案及技术建议。

3.5.5 详细勘察的钻探与原位测试应符合下列规定：

1 详细勘察沿路线方向的钻探与原位测试点布置密度不应低于表 3.5.5 的规定。当线位偏离初测路线时，应根据偏离情况和初步勘察控制性钻孔分布，必要时选取一定数量的钻孔作为控制性钻孔。

表 3.5.5 详细勘察勘探点布置密度

场地类型	公路等级	钻探 (个/km)	原位测试 (个/km)
复杂场地	二级及二级以上	4	8
	二级以下	3	6
较复杂场地	二级及二级以上	4	6
	二级以下	2	4
简单场地	二级及二级以上	3	4
	二级以下	2	3

2 应在代表性的横断面上布置 2~4 个勘探点, 其中钻孔不宜少于 1 个, 调查横向地质断面的特征。

3 对于天然含水率大于液限或在自重应力下不能保持原有结构形状的软土, 以及为检验采用室内抗剪强度试验指标计算稳定性的结果时, 应进行十字板剪切试验, 取得现场软土不排水抗剪强度及灵敏度资料。其设置间距应满足每一具有代表性的地质路段的各软土地层内, 均有两组以上完整的现场剪切指标。

3.5.6 详细勘察报告文字说明应包括下列主要内容:

1 分段说明公路沿线及各类构造物建设场地的工程地质与水文地质条件, 详细评价各区段和复杂工点的工程地质和水文地质特点, 提出设计和施工中应注意的问题和建议。

2 详细说明各土层的物理力学指标以及与工程设计有关的地质参数。

3 重点阐明已定路线软土地基形成特点、分布规律, 结合试验与测试指标作出工程地质评价, 提出有效的地基处理措施。

3.5.7 详细勘察报告图表资料应符合本规程第 3.4.6 条的有关规定, 其中工程地质纵断面图应包括全段工程地质纵断面图和路线各典型路段工程地质纵断面图。各典型路段工程地质纵断面图的水平比例尺可视路段长度选用。

4 软土地基处理

4.1 一般规定

4.1.1 滨海公路软土地基处理应根据公路等级、工程部位、路基结构形式及软土地基条件确定地基处理的技术措施。

4.1.2 地基处理方法应根据当地成功经验，因地制宜、就地取材，结合工程具体情况而定。选用的方法应满足抵抗化学腐蚀、生物腐蚀等海洋环境不利因素的要求。应特别注意流泥软土工程性质极差、水域施工环境复杂条件下地基处理方法实施的可能性。

4.1.3 地基处理有关设计计算应在可靠地质勘察资料的基础上进行，各设计路段的设计计算参数应完整；缺失参数应通过其他参数的综合对比分析，参考相邻路段的资料确定。

4.1.4 波浪力较大时，宜研究波浪力对路堤下软土抗剪强度的影响。

条文说明

研究表明，在波浪力等循环荷载长期作用下，软土抗剪强度降低，对路堤长期稳定性产生影响。

4.1.5 地基处理设计宜明确地基处理工作面标高。

条文说明

地基处理工作面标高对是否设置围堰、地基处理深度、地基处理施工难度等均有影响，对刚性桩路堤的沉降和稳定也有影响。

4.1.6 地基处理的宽度范围应充分考虑滨海滩涂地带软土持力层倾斜的特点，从不均匀沉降控制和路基稳定性保证的角度予以确定。

4.1.7 地基处理不同方案的纵向衔接应做到缓和过渡，减小差异沉降；相邻路段差异沉降引起的纵坡变化率不应超过 0.4%。

4.1.8 路堤高度大于 12m、软土厚度超过 30m 时宜与桥梁方案进行比选。

4.2 堆载预压法

4.2.1 堆载预压可分为欠载预压、等载预压和超载预压三种形式，应根据软土厚度和性质、路堤高度、沉降与稳定控制标准、施工期等，合理确定堆载预压高度、加载方式和预压期。等载预压是通常采用的预压方式；超载预压主要用于工期紧的工程；欠载预压在二级及二级以下公路的工期许可时可以采用，在高速公路和一级公路中不宜采

用。

4.2.2 堆载预压应与地基中设置的竖向排水体配合使用，竖向排水体的平面布设方式和打设深度应根据路堤的工后沉降和稳定性计算结果确定，深度宜穿透压缩土层达到持力层。

4.2.3 对竖向排水体未穿透压缩土层的地基，应分别计算竖向排水体所穿透压缩土层的平均固结度和竖向排水体底面以下附加应力与自重应力值比大于 0.15 土层的平均固结度。

4.2.4 应在地基上铺设与竖向排水体相连的排水垫层，其厚度宜为 0.5m，水下砂垫层厚度不宜小于 1.0。垫层材料可采用中粗砂、砂砾、碎石等，当砂石料缺乏或地基土强度过低时，可采用无砂垫层作为排水垫层。

4.2.5 采用无砂垫层堆载预压时，应设置水平滤管排水，并采用塑料排水板作为竖向排水体。水平滤管应布设在两排塑料排水板中间，每根塑料排水板和滤管采用缠绕绑扎或专用接头连接。

4.2.6 堆载预压应采用分级加载方式，分级加载速率应与该级荷载下地基强度增长速率相适应。

4.2.7 竖向排水体可采用塑料排水板和袋装砂井，塑料排水板应具有足够的抗拉强度和垂直排水能力；袋装砂井的砂袋强度应能承受装砂的自重。砂料应采用透水性好的风干中粗砂，0.5mm 以上颗粒的含量不宜少于总质量的 50%，含泥量不应大于 3%，渗透系数不应小于 $5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 。

4.2.8 塑料排水板和袋装砂井可采用沉管式打桩机施工，前者宜采用矩形断面的套管，也可采用圆形断面的套管；后者宜采用圆形断面的套管，套管的内径宜略大于砂井直径。

4.2.9 水上施工可采用专用打设船(方驳)、抬升机架等方式作业，并应满足下列要求：

- 1 有可靠的定位和水深测量装置，能够保证打设排水体的位置和长度在允许偏差之内。

- 2 在允许的风、浪、流条件下能够保证安全作业。

- 3 塑料排水板宜采用定尺打设，其长度应留有富裕量；采用卷材连续打设时，应配备水下割断板装置。

4.2.10 塑料排水板应按表 4.2.10 的要求进行工程质量检验。

表 4.2.10 塑料排水板质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	板距	$\pm 150\text{mm}$	抽检 2%
2	板长	不小于设计值	查施工记录
3	垂直度	1.5%	查施工记录

4.2.11 袋装砂井应按表 4.2.11 的要求进行工程质量检验。

表 4.2.11 袋装砂井质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	井距	$\pm 150\text{mm}$	抽检 2%
2	井径	+10mm	挖验 2%
3	井长	不小于设计值	查施工记录
4	垂直度	1.5%	查施工记录
5	灌砂率	+5%	查施工记录

4.3 真空预压法

4.3.1 真空预压适宜处理软土的渗透系数应小于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 。当软土加固区与外界有透水性的砂层或漏气介质联通时，应采取隔离措施。

4.3.2 真空预压设计应包括的内容有：竖向排水体设计、加固区面积划分、真空预压工艺、真空压力和地基固结度等。真空预压设置的竖向排水体宜穿透软土层，但不应进入下卧透水层。当路堤的设计荷载超过真空预压的压力时，可采用真空一堆载联合预压，其总压力宜超过路堤的设计荷载。当软土为流泥和浮泥时，可采用复式真空预压通过增压系统处理固结淤堵及真空度衰减问题。

4.3.3 真空预压的排水管路应有主管和滤管组成，滤管应设置在排水砂垫层中，其上应有 0.1~0.2m 厚度的砂覆盖。滤管设置的横向间距宜为 6~7m，纵向间距宜为 15~30m。

4.3.4 采用无砂垫层真空预压时，应将塑料排水板与滤管直接连接，滤管应布设在两排塑料排水板中间。

4.3.5 增压系统应有竖向增压板、增压管路、空气压缩机构成，空气压缩机的单机功率不宜小于 7.5kW，控制面积宜为 800~1200m²。竖向增压板宜采用塑料排水板，设置深度与塑料排水板一致，平面位置位居四周塑料排水板中间。

4.3.6 水平排水系统之上覆盖的密封膜宜铺设 2~3 层，应采用耐老化、韧性好、抗穿刺性能强的不透水土工膜，可采用聚乙烯或聚氯乙烯膜。应在密封膜与水平排水系统之间铺设一层质量为 250g/m² 的无纺土工布作为保护层；采用真空一堆载联合预压时，

尚应在密封膜之上铺设一层无纺土工布保护层。水上施工时密封膜宜乘高潮时运至指定位置，待低潮时铺设。

4.3.7 密封膜的周边应埋入密封沟内，密封沟的宽度宜为 0.6~0.8m，沟的深度应低于不透水、不透气层顶面以下 0.5m。密封沟开挖困难时，可直接将密封膜踩入泥面以下 0.5m。

4.3.8 抽真空设备可采用射流真空泵或水环式真空泵，真空泵可施加的真空压力不应小于 95kPa。真空泵宜在加固区均匀布设，射流真空泵单机功率不应小于 7.5kW，控制处理面积宜为 800~1200m²；水环式真空泵单套机组功率不应小于 185kW，控制处理面积宜为 10 万 m²。

4.3.9 真空预压施工应按照排水系统施工、抽真空系统施工、密封系统施工及抽气的施工步骤进行。

4.3.10 采用真空一堆载联合预压时，应先按照真空预压的要求抽气，当真空压力达到设计要求并稳定后，再进行堆载并继续抽气。

4.3.11 采用复式真空预压时，增压加载宜在地基平均固结度达到 40%后开始，增压压力宜控制在 20~40kPa。每天增压次数不宜少于 1 次，当增压过程中的孔隙水压力增大值等于增压压力时应停止增压。

4.3.12 真空预压施工过程中应进行有关项目的观测，包括：膜下真空度、竖向排水体与淤泥中真空度、负孔隙水压力、地表沉降、土层深部沉降、土层深部水平位移、地下水位等。

4.3.13 真空预压工程质量检验可视加固的目的采用钻孔取样进行室内试验分析、现场十字板剪切试验和现场载荷试验。试验检测项目的频率应根据加固分区面积的大小制定，每个分区不应少于 3 处。

条文说明

钻孔取样进行室内试验的目的是了解土体加固前后物理力学性质的变化；现场十字板剪切试验的目的是了解土体强度的变化，判断土体强度增长情况；现场载荷试验的目的是了解地基承载力的增长情况。

4.4 水泥搅拌桩法

4.4.1 水泥搅拌桩适用于处理十字板抗剪强度不小于 10kPa、有机质含量不大于 10%的软土地基。

4.4.2 水泥搅拌桩设计前应进行拟处理土的室内配合比试验。应根据拟处理的最弱层软土的性质，试验确定用于加固的固化剂和外掺剂的用量。试验用土样可采用钻探或开挖的方式从地基中采集、保持天然含水率的扰动样和部分原状样；土样应采用塑料袋或其它密封容器包装，防止水分流失；采样数量不应少于 3 处。

4.4.3 水泥搅拌的长度、直径、间距应根据稳定、沉降计算确定。竖向承载桩的长度应根据上部结构对承载力和变形的要求确定，并宜穿透软土层，到达承载力相对较高的土层。为提高抗滑稳定性而设置的桩体，其桩长应超过危险滑弧以下 2m。粉喷桩的加固深度不宜大于 12m；浆喷桩的加固深度不宜大于 20m。桩的直径不宜小于 0.5m。相邻桩的间距不应大于 4 倍桩径。

4.4.4 水泥搅拌桩桩顶应设置垫层，垫层厚度宜为 0.3~0.5m，材料可选用灰土、级配碎石及砂砾等。必要时可在垫层中设置土工合成材料作为加筋材料，其强度在延伸率 5% 时不应小于 40kN/m。

4.4.5 水泥搅拌桩复合地基的沉降计算及路基稳定性验算，应符合现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31—02)的有关规定。

4.4.6 水泥搅拌桩宜选用强度等级为 32.5 级的普通硅酸盐水泥，水泥掺量可采用被加固湿土质量的 12%~20%。浆喷法水泥浆的水灰比可选用 0.45~0.55。可根据工程需要和土质条件选用具有早强、缓凝、减水以及节省水泥等作用的外掺剂。

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

4.4.8 水上施工可视场地条件采用 DCM 工程船、搭设浮式平台等进行作业；浮式平台应满足施工设备布置、施工荷载与稳定性，以及准确定位的要求。

条文说明

DCM 工程船是海上深层水泥搅拌桩施工的大型设备，配备有桩架移动定位系统、水泥浆液拌制与注浆系统、钻进与提升制桩系统等，具有施工效率高、智能化程度高、施工过程可控等优势，主要用于深水区、开阔水域作业。浮式平台可采用驳船、浮箱等搭建，采用抛锚(快速)与定位桩(精准)定位，深水区与浅水区均可作业，受场地条件影响小，但施工效率不及 DCM 工程船。

4.4.9 大面积施工前应根据设计要求进行试桩，试桩数量不应少于 5 根，且不少于总桩数的 0.5%。通过试桩应确定的施工参数包括：钻进速度、搅拌速度、搅拌头回转数、提升速度，同时应检验桩身强度、单桩承载力和复合地基承载力。

4.4.10 水泥搅拌桩应按下列要求进行工程质量检验：

1 在成桩 28d 后进行钻探取芯，抽检频率应为总桩数的 1%~2%，取芯宜位置在桩直径 2/5 处。应将代表性芯样加工成 $\phi \times h=50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的圆柱体，进行无侧限抗压强度试验。强度值应达到设计要求。

2 在成桩 28d 或 90d 后进行载荷试验，检验单桩承载力和复合地基承载力，抽检频率应为总桩数的 0.2%~0.5%，且不应少于 3 处。测定的承载力应达到设计要求。

3 可采用轻型动力触探、静力触探以及反射波、瑞利波等物理勘探方法，对桩的均匀性和完整性进行检查。

4 其余项目应按表 4.4.10 的要求检验。

表 4.4.10 水泥搅拌桩质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	$\pm 100\text{mm}$	抽检 2%
2	桩径	不小于设计值	抽检 2%
3	桩长	不小于设计值	查施工记录并结合钻探取芯检查
4	垂直度	1.5%	查施工记录
5	单桩每延米喷粉(浆)量	不小于设计值	查施工记录

4.5 粒料桩法

4.5.1 粒料桩可采用振冲置换法或振动沉管法成桩。当采用振冲置换法成桩时，适用处理的地基土的十字板抗剪强度不宜小于 15kPa；当采用振动沉管法成桩时，地基土的十字板抗剪强度不宜小于 20kPa。

4.5.2 粒料桩的长度、直径、间距应根据稳定、沉降计算确定，但桩长不宜大于 20m。当相对硬层埋深不大时，桩长应达到相对硬层。振动沉管法成桩的桩径宜为 0.5m，桩间距可采用 1.2~1.8m；振冲置换法成桩的桩径宜为 0.8~1.2m，桩间距可采用 1.3~3.0m。相邻桩的间距不应大于 4 倍的桩径。

4.5.3 粒料桩桩顶应设置排水垫层，垫层厚度宜为 0.5m。垫层材料可选用碎石或砂砾，其含泥量不宜大于 5%，渗透系数不宜小于 $1 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ 。必要时可在垫层中设置土工合成材料作为加筋材料，其强度在延伸率 5% 时不应小于 40kN/m。

4.5.4 粒料桩复合地基的沉降计算及路基稳定性验算，应符合现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31—02)的有关规定。

4.5.5 粒料桩宜就地取材，所用粒料宜有一定的级配，用于一般软土地基的粒料桩，粒料最大粒径不宜大于 50mm。用于十字板抗剪强度低于 20kPa 的软土地基，料料最大

粒径不应大于 100mm，其中粒径为 50~100mm 的粒料质量应占粒料总质量的 50%~60%。粒料的含泥量不应大于 5%。

4.5.6 振冲置换法施工的振冲器功率应与设计的桩间距相适应，桩间距 1.3~2.0m 时可采用 30kW 的振冲器，桩间距 1.4~2.5m 时可采用 50kW 的振冲器，桩间距 1.5~3.0m 时可采用 75kW 的振冲器。每台振冲器宜配置一台水泵，水泵出口水压力宜为 400~600kPa，流量宜为 20~30m³/h。

4.5.7 振动沉管法施工宜采用振动打桩机和钢套管，套管长度应按其顶部超出施工水位 1.0~1.5m 确定，管壁上宜做控制成桩深度的标记。

4.5.8 水上施工所设浮式平台应符合本规程第 4.4.8 条的规定。

4.5.9 大面积施工前应根据设计要求进行试桩，试桩数量不应少于 5 根，且不少于总桩数的 0.5%。通过试桩应确定的施工参数包括：振密电流、留振时间、提升高度、充盈系数、振冲水压力及水流量，同时应检验桩身密实度、单桩承载力和复合地基承载力。

4.5.10 粒料桩应按下列要求进行工程质量检验：

1 在成桩 30d 后，采用重型 (N_{63.5}) 动力触探检测桩身密实度和桩长，抽检频率应为总桩数的 1%~2%。要求贯入量 100mm 时，锤击数不应小于 5 击。

2 在成桩 30d 后进行载荷试验，检验单桩承载力和复合地基承载力，抽检频率应为总桩数的 0.2%~0.5%，且不应少于 3 处。测定的承载力应达到设计要求。

3 其余项目应按表 4.5.10 的要求检验。

表 4.5.10 粒料桩质量标准

项次	项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距	±150mm	抽检 2%
2	桩径	不小于设计值	抽检 2%
3	桩长	不小于设计值	查施工记录并结合重型动力触探检查
4	垂直度	1.5%	查施工记录
5	粒料灌入率	不小于设计值	查施工记录

4.6 爆炸挤淤法

4.6.1 爆炸挤淤法适用于处理淤泥、流泥、浮泥地基，处理厚度不宜大于 20m。

4.6.2 爆炸挤淤用药量设计计算应包括线药量计算、一次爆炸排淤填石药量计算、单孔药量计算，计算方法应符合现行《爆炸法处理水下地基和基础技术规程》(JTJ / T 258) 的有关规定。

4.6.3 药包布药线宜平行于抛石前缘，位于前缘外 1~2m。端部推进爆炸，布药线长度应根据堤身断面稳定验算结果确定，并与堤顶宽度相适应；侧坡拓宽爆炸，布药线长度应根据安全距离控制的一次最大起爆药量及施工能力确定。

4.6.4 药包在淤泥面以下的埋入深度应根据淤泥面上的覆盖水深确定。当泥面上水深小于或等于 4m 时，可不计入水深折算的淤泥厚度，仅以置换的淤泥厚度为准；当泥面上水深大于 4m 时，以折算的置换淤泥厚度为准。

4.6.5 爆炸施工前应进行现场勘察及爆炸安全区的安全检查，从事爆破工作的施工单位应取得当地公安部门核发的爆破作业许可证，从事爆破工作的人员应持证上岗。

4.6.6 水下爆炸宜选用抗水性能好的乳化炸药，当采用硝铵类炸药时应做好防水处理。水下传引爆器材宜选用导爆索或导爆管等非电器材。采用电雷管作为起爆器材时，应采用两发同厂、同批号的并联电雷管。严禁使用压扁、破损、锈蚀、加强帽歪斜的电雷管。

4.6.7 药包应在专用加工房内制作。药包的现场防水处理方案应根据药包需要的浸水时间和承受水压力的大小确定。水下药包可视装药方式进行适当配重。药包配重宜选择砂、石子等材料。

4.6.8 水上布药可采用带塔架式装药器的驳船，装药器应能顺轨道沿船纵向移动。布药驳船应具有抗风、抗浪能力，并具有自身绞锚移位能力，船上必须备有相应数量的救生设备。水上运输爆破器材和起爆药包，宜用非机动船；当采用机动船时，必须采取防电、防震及隔热措施。装药器可选用加压水冲式、液压水冲式、振动压入式和钻进套管式等类型。陆上布药可采用吊车起吊装药器。

4.6.9 起爆前必须在起爆点外布设警戒线，警戒距离不得小于 300m。必须在确认警戒范围内无人员、车辆及其它安全隐患时方可起爆。每炮准爆率不应低于 90%，否则应重新补爆一次。

4.6.10 应通过对爆炸挤淤前后抛填横断面的测量，确定爆炸后填石的下沉量，并视情况对布药方案进行必要的调整。测量横断面间距应不大于 20m。

4.6.11 爆炸挤淤应按下列要求进行工程质量检验：

1 应通过钻孔探测查明抛石置换层厚度、残留混合层厚度。抛石置换层底面和下卧地基层设计顶面之间残留淤泥碎石混合层的厚度不应大于 1m。钻孔应按横断面布置，断面间距宜取 100~500m，每个工点应不少于 3 个断面。每断面应布置钻孔 1~3 个，全断面布置 3 个钻孔的断面数应不少于总断面的一半。钻孔深入下卧层的深度应不少于 2m。

2 可采用物探方法对抛石置换层厚度、混合层厚度进行加密检测。物探宜采用地震波勘探中的反射波法，也可采用电磁法勘探中的地质雷达法，并应符合下列规定：

1) 反射波法应按纵横向布置测线。纵向应在路线中心、路肩、坡脚和坡脚外适当位置布置测线，横向布线间距宜为 50~100m。

2) 地质雷达法宜采用中心频率 40MHz 左右的低频组合天线。纵向应在路线中心、路肩、坡脚和坡脚外适当位置布置测线，横向布线间距视需要检测的横断面位置而定。

条文说明

在依托福鼎至宁德高速公路宁德段开展的“海湾滩涂公路超软土地基爆炸挤淤抛石处理技术研究”项目中，采用反射波法检测抛石置换层厚度、混合层厚度并与钻探法检测的结果进行对比，表明反射波法精度满足要求，且具有检测速度快、费用低、结果直观等优势，值得推广应用。

在依托福建省省干线 S201(联七线)公路霞浦东冲至火车站段开展的“潮间带超软土地基爆破挤淤关键技术与工程应用研究”项目中，采用 GSSI 系列的 SIR-3000 地质雷达搭配 40MHz 低频组合天线，成功探测下落深度 25m 左右的抛石层，达到了预期的抛石层检测深度。但由于天线垂直分辨率较低，无法解释和分析出抛石层下泥石混合层和淤泥层厚度。对于预估抛石层厚度较小的应用场合，可选用中心频率较高的低频组合，以提高天线的分辨率。

4.7 刚性桩法

4.7.1 刚性桩适用于处理深厚软土地基上荷载较大、变形要求较严格的高路堤段、桥头或通道与路堤衔接段。

4.7.2 刚性桩可采用预应力混凝土管桩、预制混凝土方桩、钻孔灌注桩、现浇混凝土大直径管桩等。应根据地质条件、地基处理深度、沉降控制要求、环境腐蚀性等选择桩型。

4.7.3 灌注桩处理软土的十字板抗剪强度小于 15kPa 时，应通过减小混凝土坍落度、灌注轻质混凝土或水泥浆、在桩周设置格栅套或土工袋等措施避免充盈系数过大。

条文说明

灌注桩在混凝土凝固前处于散体状态，对桩周土的水平土压力与碎石桩接近，混凝土坍落度越大，水平土压力越大。桩周土软弱时，灌注桩发生鼓胀变形甚至破坏，充盈系数较大。

4.7.4 灌注桩处理地基内砂层等强透水层中地下水流速较大时，应通过采用水下不扩散混凝土、在桩周设置土工袋等措施避免地下水带走水泥等胶结材料。

条文说明：

在潮汐、破浪、水流等作用下，位于地表或者与地表水连通的强透水层中地下水会发生流动。当水的流速较大时，常规混凝土在凝固之前，其水泥等胶结材料会被水流带走。

4.7.5 刚性桩直径(外径)宜为 0.3~0.5m，其中预应力混凝土管桩壁厚宜为 60~100mm；现浇大直径管桩外径宜为 1.0~1.5m，壁厚宜为 120~200mm。刚性桩桩身材料强度控制的单桩竖向承载力不应小于土抗力控制的单桩竖向承载力。

条文说明

一方面刚性桩路堤经常出现所有路堤荷载都转移到刚性桩的情况，另一方面稳定分析时假设刚性桩桩身未破坏。因此，需要合理选择桩身尺寸和桩身材料强度，使刚性桩桩身材料强度控制的单桩竖向承载力不小于土抗力控制的单桩竖向承载力。

4.7.6 刚性桩可按正方形或等边三角形布置，桩间距可取圆形桩直径或方形桩边长的 4~6 倍，桩长可根据工程对地基稳定和变形要求，结合地质条件，通过计算确定。

4.7.7 路堤边坡及路肩附近布设的刚性桩应有不少于 3 排的桩顶采用钢筋混凝土系梁连接，以增强其整体刚度，提高抗弯性能，限制侧向滑移。

条文说明

路堤边坡及路肩附近布设的刚性桩所承受的弯矩大于路肩内侧，且路肩附近刚性桩受弯断裂对路堤稳定性影响较大，因此需采取措施提高其工作性能。如果软土层底面向路堤外侧倾斜严重，采用系梁连接的桩数需要适当增加。

4.7.8 刚性桩桩顶应设桩帽，形状可采用圆柱体、台体或倒锥台体。桩帽直径或边长宜为 1.0~1.5m，厚度宜为 0.3~0.4m，宜采用 C30 水泥混凝土现场浇筑而成。

4.7.9 桩帽顶上应铺设具有一定厚度、强度、刚度，完整连续的柔性土工合成材料加筋垫层。垫层应根据设计荷载大小和要求以及具体地基土层的条件，选择土工格栅加筋垫层、高强土工布加筋垫层、土工格室加筋垫层等。垫层材料宜选择级配良好的碎石、卵石、砂石、石屑等，垫层的厚度不宜小于 0.5m。

4.7.10 路堤高度小于 4m 时宜采取减小工作垫层厚度、减小桩帽净间距或采用筏板等措施避免路床顶面出现不均匀沉降。

条文说明

工程实践表明，桩帽以上填土厚度较小时，无法形成稳定土拱，导致路床顶面沉降

不均匀,甚至出现“蘑菇路”现象,对路面造成破坏,影响行车速度、舒适性和安全性。当路堤高度小于4m时,容易出现上述问题。

4.7.11 刚性桩复合地基路堤应进行整体滑动稳定性验算和绕流滑动稳定性验算,并应符合下列规定:

1 整体滑动稳定性验算应符合现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02)的有关规定。

2 绕流滑动稳定性验算应符合现行《公路路堤刚性桩复合地基技术指南》(T/CHCA 003)的有关规定。

条文说明

根据软土地基刚性桩复合地基滑动破坏的工程实例及相关研究,刚性桩桩间软土绕流滑动引起桩体受弯断裂或倾斜,最后导致路堤滑塌是刚性桩复合地基路堤的破坏模式之一,特别是在流泥等超软土地基中此种破坏更为常见。中国公路建设行业协会标准《公路路堤刚性桩复合地基技术指南》(T/CHCA 003—2019)中对此有详细的验算方法规定。

4.7.12 刚性桩复合地基的沉降可不考虑刚性桩加固区的沉降,仅对桩端平面以下的下卧层的沉降进行计算;下卧层沉降宜考虑作用在桩间土上的荷载产生的沉降与作用在桩顶的荷载产生的沉降叠加,并应符合下列规定:

1 桩间土荷载可按式(4.7.12-1)和式(4.7.12-2)计算,并取其中的大值。

$$p_{sc} = (1-\delta)^{2(K_{p1}-1)} \gamma_1 \left[H - \frac{\sqrt{2}D(1-K_{p1})}{3-2K_{p1}} \right] + \frac{[(3-2K_{p1})\bar{\gamma} - \gamma_1](D-b)}{\sqrt{2}(3-2K_{p1})} \quad (4.7.12-1)$$

$$p_{sc} = \frac{(1+K_{p2})H\bar{\gamma}D^2}{2K_{p2}[(1-\delta)^{1-K_{p2}} + (\delta-1)(1+\delta K_{p2})]D^2 + (1+K_{p2})(D^2-b^2)} \quad (4.7.12-2)$$

式中: p_{sc} ——桩间土荷载应力(kPa);

δ ——桩帽边长与桩间距的比值;

K_{p1} ——桩帽顶面以上 $0.707(D-b) \sim 0.707D$ 范围内填料的被动土压力系数;

γ_1 ——桩帽顶面以上 $0.707(D-b) \sim 0.707D$ 范围内填料的重度(kN/m³);

H ——桩帽顶面以上填土高度(m);

D ——桩间距(m);

$\bar{\gamma}$ ——桩帽顶面以上路堤填料平均重度(kN/m³);

b ——桩帽边长(m);

K_{p2} ——桩帽顶面填料的被动土压力系数；

2 桩顶荷载可按式(4.7.12-3)计算。

$$P_{pa} = D^2 H \bar{\gamma} - p_{sc} (D^2 - b^2) \quad (4.7.12-3)$$

式中： P_{pa} ——桩顶荷载(kN)，计算时式中的 p_{sc} 取式(4.7.12-1)和式(4.7.12-2)计算值中的小值。

3 桩间荷载在地基中产生的竖向附加应力 σ_s 可按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)附录 D 中弹性半空间体表面上受竖向力作用下的 Boussinesq 解计算；桩顶荷载在地基中产生的竖向附加应力 σ_p 可按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)附录 F 中弹性半空间体内部受竖向力作用下的 Mindlin 解计算。

4 下卧层沉降 S 可采用分层总和法按式(4.7.12-4)计算。

$$S = \psi_p \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} \Delta h_i \quad (4.7.12-4)$$

式中： n ——下卧层压缩土层内土层分层的数目；

e_{0i} ——地基中各分层在自重应力作用下稳定孔隙比；

e_{1i} ——地基中各分层在自重应力和附加应力 $\sigma_s + \sigma_p$ 作用下稳定孔隙比；

Δh_i ——各分层的初始厚度(m)；

ψ_p ——沉降计算经验系数，应根据当地的工程实测资料统计对比确定。

条文说明

《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02—2013)中不考虑刚性桩加固区的沉降，下卧层沉降按分层总和法计算，各分层的附加应力采用弹性半空间体内部受竖向力作用下的 Mindlin 应力解计算，具体按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)附录 R 执行。

现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)也只考虑桩端平面以下压缩层的沉降，按分层总和法计算，地基内的附加应力按实体深基础方法(等效实体法)或 Mindlin 应力公式计算，前者适用于桩间距不大于 6 倍桩径的情况。

《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)规定了软土地基减沉复合疏桩(桩间距大于 5~6 倍桩径)基础沉降计算方法，其沉降为桩长范围内由桩土相互作用产生的沉降与桩间荷载(总荷载直接减去全部桩体承担的荷载)在地基中(包括桩长范围)产生的沉降之

和；前者一般为 50mm。

根据《复合地基技术规范》(GB/T 50783—2012)规定，刚性桩复合地基的沉降为桩体加固区沉降与加固区下卧土层沉降之和，前者按桩身压缩量法计算；后者按下卧土层分层总和法计算，各分层的附加应力采用等效实体法计算。

中国公路建设行业协会标准《公路路堤刚性桩复合地基技术指南》(T/CHCA 003—2019)规定，刚性桩复合地基的沉降为桩体加固区沉降与下卧土层沉降之和，前者按复合模量法或应力修正法计算；后者按下卧土层分层总和法计算，各分层的附加应力为桩间荷载在地基中产生的附加应力与桩顶荷载在地基中产生的附加应力之和。

《浙江省公路软土地基路堤设计要点》(浙江省交通运输厅 2009 年 7 月发布)规定，刚性桩复合地基的沉降为桩体加固区沉降与下卧土层沉降之和，前者采用桩身压缩量法计算，但该值仅为 5~15mm；后者按下卧土层分层总和法计算，各分层的附加应力为桩间荷载在地基中产生的附加应力与桩顶荷载在地基中产生的附加应力之和。

以上各标准对刚性桩复合地基的沉降计算方法规定不一致，但加固区的沉降要么不考虑，要么量值很小可以忽略，本规程按忽略不计处理。对于加固区下卧土层沉降计算，由于公路软土地基处理中刚性桩是以桩网复合地基的形式受力而非位于刚性基础下，桩体与桩间土均承担荷载并向下传递，因此分别计算桩间荷载在地基中产生的附加应力与桩顶荷载在地基中产生的附加应力更加符合实际。

4.7.13 预制刚性桩水上施工的船机设备应根据现场情况和水文条件选择，并应符合下列规定：

- 1 宜首选专用打桩船施工。
- 2 当现场条件不便于打桩船行驶或船载设备作业受限时，可采用吊打施工。
- 3 长周期波频发或波浪条件恶劣时可采用自升式平台施工。

条文说明

专用打桩船便于操作，施工效率高，是预应力混凝土管桩、预制混凝土方桩施工的首选设备。吊打施工一般是采用起重船和运输船相配合，先将刚性桩吊放至打设的位置并定位，再将打桩锤安置在定位好的刚性桩桩顶，随后启动打桩锤进行沉桩作业的施工工艺。由于起重船、运输船相较打桩船体积小，具有对场地条件的适应性强的优势。长周期波一般是指周期 30s~5min 的波浪，由于其能量较大，作业船舶在其影响下运动量增大，导致船体定位困难，定位精度难以满足要求，故此条件下需选用自升式平台施工。

4.7.14 预制刚性桩陆上施工可采用静压法、锤击法沉桩；水上施工宜采用锤击法沉

桩，当遇到砂层锤击沉桩困难时，可采用内冲内排水冲锤击沉桩。

条文说明

工程实践表明，采用锤击法、静压法施工的刚性桩承载力可靠性高，路堤沉降容易控制。采用振动法、钻孔法施工的刚性桩承载力可靠性低，路堤沉降控制困难。鉴于静压法施工的压桩机设备笨重，不方便在沉桩船上作业，所以水上施工刚性桩时一般采用锤击法。内冲内排水冲方法是通过水管喷嘴向桩端土层射水，泥砂由压缩空气辅助沿桩内空腔从桩顶排出，该方法不易造成桩位偏差和承载力的降低。

4.7.15 预应力混凝土管桩施工应符合下列规定：

1 沉桩过程中应对桩身垂直度严格控制，可在距桩机 15m 以外成 90° 方向设置经纬仪各一台，测定导杆和桩身的垂直度。

2 沉桩宜一次性连续沉至控制高程，沉桩过程中停歇时间不应过长。

3 沉桩过程中需要接桩时，可采用焊接法或硫磺胶泥锚接法接桩。焊接法接桩的焊缝应连续饱满，满足三级焊缝的要求；锚接法接桩浇筑硫磺胶泥的温度宜为 140~150℃，浇筑时间不得超过 2min，浇筑后冷却凝固时间不得少于 10min。

4 水上接桩时应控制下节桩的桩顶高程，使接桩不受潮水影响。

5 沉桩后应及时采取夹桩措施，防止风浪、水流等作用桩体发生倾斜、偏位。

4.7.16 现浇混凝土大直径管桩施工应符合下列规定：

1 混凝土应按现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650) 的要求拌制，宜集中拌和，也可现场拌和或采用商品混凝土。

2 混凝土灌注应连续进行，实际灌注量的充盈系数不应小于 1.1。桩顶以上超灌高度不宜小于 0.5m。

3 拔管应在管腔内灌满混凝土后进行，应先振动 10s，之后开始边振边拔，每拔 1m 应停拔并振动 5~10s；距离桩顶 5m 范围内宜一次性成桩，不宜停拔。拔管速度宜为 0.6~0.8m/min。

4 成桩过程中，每个台班应做不少于一组(3 个)试块(边长 150mm 的立方体)，测定其标准养护 28d 无侧限抗压强度。

4.7.17 刚性桩大面积施工前应根据设计要求进行试桩，试桩数量不应少于 5 根，且不少于总桩数的 0.5%。应通过试桩检验施工设备适宜性、确定静压法施工压桩力或锤击打入法施工收锤标准、评价挤桩效应、验证单桩承载力等。

4.7.18 刚性桩应按下列要求进行工程质量检验：

- 1 预制桩检验宜在施工后 7d 进行，灌注桩检验应在施工后 28d 进行。
- 2 应对桩长在检查施工记录的基础上采用低应变法检测，抽检频率不应小于总桩数的 10%。同时，应采用吊绳量测预应力混凝土管桩和现浇混凝土大直径管桩的桩长，前者的抽检频率不应小于总桩数的 5%；后者的抽检频率不应小于总桩数的 0.5%，应结合全桩长开挖桩芯土量测。
- 3 应对灌注桩桩身质量采用低应变法检测，抽检频率不应小于总桩数的 10%。桩身完好或桩身有轻微缺陷，但不影响桩身原设计强度的发挥时视为合格，否则应予以补桩。
- 4 应采用载荷试验或高应变法(应通过载荷试验对比验证)检验单桩承载力，抽检频率应为总桩数的 0.2%~0.5%，且不应少于 3 处。测定的承载力应达到设计要求。
- 5 其余项目应按表 4.7.18 的要求检验。

表 4.7.18 刚性桩质量标准

项次	检验项目	规定值或允许偏差	检查方法及频率
1	桩距	±100mm	抽检 2%
2	桩径★	+30mm, -10mm	抽检 2%
3	壁厚★	+30mm, -10mm	开挖桩芯土量测，开挖深度不宜小于 3m。抽检总桩数的 0.2%~0.5%
4	垂直度	0.5%，1%★	查施工记录

注：表中★适用于灌注桩(现浇混凝土大直径管桩)。

4.8 真空降水强夯法

4.8.1 真空降水强夯法适用于处理粉细砂、粉土、粉质粘土、淤泥质土等软土地基。

条文说明

在滨海路基中，该方法用于对陆域、滩涂地带、人工吹填区的软土地基进行处理，不适用于水域处理。

4.8.2 降水系统应布设强夯区内真空降水管和外围封管，并应符合下列规定：

- 1 真空降水管宜采用 $\Phi 32\text{mm}$ 的钢管制作；宜按长管与短管相结合的原则布置，长管埋深宜为 6~8m，短管埋深宜为 3~5m。
- 2 真空降水管下段滤管的长度宜为 1.5~2.5m，长管取大值，短管取小值。滤孔宜按梅花形布置，其开孔直径宜为 5~8mm、孔距宜为 50~100mm。滤管应采用尼龙滤布包裹，防止吸入土体堵塞。
- 3 真空降水管宜按正方形或矩形布置，其间距宜为 2~3.5m。

4 外围封管与真空降水管制作相同，宜按长管与短管相结合的原则在强夯区四周单排布置，其间距宜为 1.5~2.0m。外围封管距加固区边界宜为 2~3m。

5 真空降水管和外围封管应采用水平卧管连接形成真空管路；水平卧管宜采用 $\phi 63\text{mm}$ 的 PVC 管。

4.8.3 强夯单击夯击能应根据地基土条件及加固深度结合经验选用并通过现场试夯确定，宜为 1500~3000 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。满夯的单击夯击能宜为 500~1000 $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

4.8.4 降水强夯法施工应遵循“先轻后重，逐级加能，轻重适度”的原则，并应符合下列规定：

- 1 真空泵宜采用 $400\text{m}^3/\text{h}$ 高真空、大气量专用泵，确保真空降水效果。
- 2 外围封管在强夯施工期间应连续降水，不得使地下水位回升。
- 3 夯锤质量宜为 13~16t、直径宜为 2.1~2.5m。
- 4 点夯宜按二~三遍实施，在每遍夯击前宜进行试夯，确定最佳施工参数。
- 5 两遍夯击之间的间隔时间应根据孔隙水压力消散结果确定，宜在超静孔隙水压力消散 75%~90%后进行下一遍强夯。当缺少孔隙水压力监测资料时，可根据地基土的渗透性分析确定：砂性土与粉性土地基的间隔时间可按 3~7d 控制；粘性土地基的间隔时间可按 15~30d 控制。
- 6 强夯施工应在地下水位降至地面以下 2~3m 后进行，夯击能越大，地下水位应越低。

4.8.5 真空降水强夯法施工流程应符合下列规定：

- 1 施工准备、场地平整、场地分区、测量定位；
- 2 埋设竖向井点管、铺设水平向集水管；
- 3 软管连接各管路；
- 4 连接真空泵；
- 5 检查各管路及真空泵连接情况、试抽气；
- 6 第一遍降水强夯施工；
- 7 检测夯沉量、土体含水率、孔隙水压力等；
- 8 试夯，确认或调整施工参数；
- 9 第二遍降水强夯施工；
- 10 检测夯沉量、土体含水率、孔隙水压力等，必要时可进行第三遍和第四遍降水强夯施工；

11 满夯，整平碾压。

4.8.6 真空降水强夯应在施工结束 30d 后进行工程质量检验，可采用载荷试验、标准贯入试验、静力触探、十字板剪切、瞬态瑞利波法和钻孔取样试验等方法检验地基土强度变化情况，评价强夯的效果。载荷试验、钻孔取样试验的频率应按 1 处/3000m² 控制，且不应少于 3 处；其他方法的检测频率可适当加大。

征求意见稿

5 路基设计

5.1 一般规定

5.1.1 滨海公路路基设计，应在获取充分的工程地质勘察资料和水文勘测资料的基础上进行，其中水文勘测工作应结合路线勘察设计工作开展。

5.1.2 滨海公路路基设计，应根据路线所处的地理位置及地形、地貌、地质、水文、气象等条件，合理确定路基设计高程，选择适宜的路基断面及防护形式，保证路基稳定。

5.1.3 滨海路基设计应包括路基高度设计、路基断面结构设计、路基防护设计和路基排水设计等内容。

5.1.4 滨海路基应布设在水浅、波浪小、海滩地势较平坦、地质条件良好的地段。

5.1.5 滨海路基填料选择，应综合考虑海岸地形、水深、设计水位、波浪高度、淤砂、海流、地质、料源以及使用要求和施工条件等因素。浸水部位的路堤填料应选用透水性较好的粗粒土或巨粒土；在有冻胀影响的地区，应在浸水侧路堤坡脚外侧设置挡水埝。

5.1.6 滨海路堤两侧有较大的水头差时，宜设置过水构造物；当堤身或地基可能发生潜蚀时，应在路堤中心设置防渗墙，在低水位一侧边坡下部设置排水设施，并放缓边坡，设置护坡道。

5.2 路基水文勘测

5.2.1 滨海路基水文勘测应根据地区特点、水域特征，合理选择水文勘测方法，为路基排水、防护工程设计和施工提供所需的水文依据，提出路基排水和防护的建议方法。

5.2.2 滨海路基水文勘测基本资料应包括下列主要内容：

- 1 工程附近的流域及海岸概况。
- 2 历史最高潮水位、最低潮水位、平均高潮位、平均低潮位及各潮位相应潮差，历年实测潮洪水位、风暴潮。
- 3 区域海水重度、盐度及化学组成。
- 4 风浪侵袭高度，最大波平均波高。
- 5 海冰形成时间、厚度等。

5.2.3 滨海路基水文观测方法和技术要求应符合现行《水运工程水文观测规范》(JTS 132)的有关规定。

5.2.4 滨海路基水文气象要素调查与资料收集应符合现行《港口与航道水文规范》(JTS 145)的有关规定。

5.2.5 滨海路基水文资料系列的插补、延长可采用线性相关或曲线相关,采用曲线相关时,曲线变化处应有点据控制。

5.2.6 对收集的滨海路基水文资料应进行分析,其统计方法和精度、误差等应进行合理性检查。

5.3 路基高度设计

5.3.1 滨海路基的设计高程应考虑高潮位、波浪爬高及安全加高值,按式(5.3.1)计算。

$$Z_p = h_p + R_F + \Delta \quad (5.3.1)$$

式中: Z_p ——设计频率 P 的路基顶面高程(m),频率 P 应符合表 5.3.1 的规定;

h_p ——设计频率 P 的高潮位(m);

R_F ——按设计波浪计算的累计频率为 F 的波浪爬高值(m),当设置防浪墙时不计该高度;

Δ ——安全加高值(m),取 1.0m。

表 5.3.1 路基设计高潮位频率

公路技术等级	高速公路、一级公路	二级公路	三级公路	四级公路
路基设计高潮水位频率 $P(\%)$	1	2	4	按具体情况确定

5.3.2 高潮位宜采用频率分析的方法确定,并应符合下列规定:

- 1 最高潮位观测资料系列不宜少于 20 年,并应调查历史上的特高潮位值。
- 2 设计重现期潮位频率分析的线型,在海岸地区宜采用极值 I 型。若采用其他线型分析时,应进行分析论证。

5.3.3 采用极值 I 型分布律进行频率分析,高潮位可按式(5.3.3-1)计算。

$$h_p = \bar{h} + \lambda_{pn} S \quad (5.3.3-1)$$

式中: $\bar{h}$ ——最高潮位系列的平均值(m);

λ_{pn} ——极值 I 型分布律的系数,与频率 P 及年数 n 有关,可根据本规程附录 A 查得。

S ——最高潮位系列的均方差(m)。

1 对连续 n 年的最高潮位系列，其平均值 $\bar{h}$ 和均方差 S 可按式(5.3.3-2)、式(5.3.3-3)计算。

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (5.3.3-2)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i^2 - \bar{h}^2} \quad (5.3.3-3)$$

式中： n ——最高潮位连续观测年数；

h_i ——连续 n 年最高潮位系列中，第 i 年的最高潮位值(m)。

2 对在 n 年连续的年最高潮位系列外，根据调查在考证期 N 年中出现过特高潮位 a 次，则最高潮位平均值 $\bar{h}$ 及均方差 S 按式(5.3.3-4)和式(5.3.3-5)计算。

$$\bar{h} = \frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^a h_j + \frac{N-a}{n} \sum_{i=1}^n h_i \right) \quad (5.3.3-4)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{j=1}^a h_j^2 + \frac{N-a}{n} \sum_{i=1}^n h_i^2 \right) - \bar{h}^2} \quad (5.3.3-5)$$

式中： N ——特高潮位考证期(年数)，可采用特高潮位的重现期；

a ——考证期内出现过的特高潮位次数；

h_j ——特高潮位值($j=1, 2, 3, \dots, a$)

5.3.4 波浪爬高值 R_L 宜按《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)附录 C 计算，波浪爬高累计频率宜按不允许越浪考虑取 2%。

条文说明

关于波浪爬高的计算，分别采用现行《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)、《海堤工程设计规范》(GB/T 51015—2014)和《浙江省海塘工程技术规定》(浙水管[1999]56号)三个标准中的方法进行了工程实例计算对比(风浪等要素如表 5-1 所示)，陡、缓两种边坡条件下的波浪爬高对比结果分别如图 5-1 和图 5-2 所示。

表 5-1 风浪等要素表

累计频率 1%波高 $H_{\%}$ (m)	平均波高 H (m)	平均波周期 T (s)	平均波长 L (m)	风速 V (m/s)	堤前水深 d (m)	坡面粗糙 系数 K_{Δ}
4.86	2.37	6.83	69.65	28.4	8.45	0.75

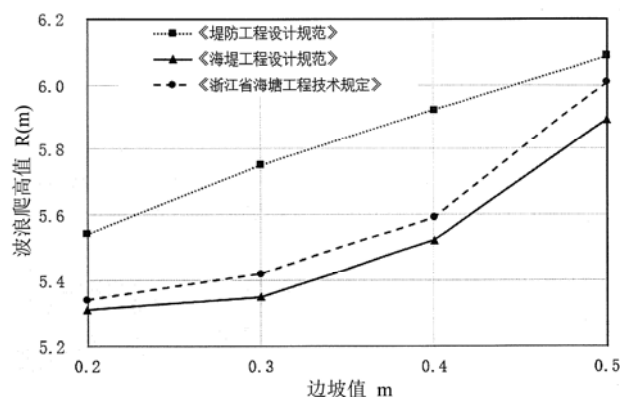


图 5-1 陡边坡条件波浪爬高对比结果

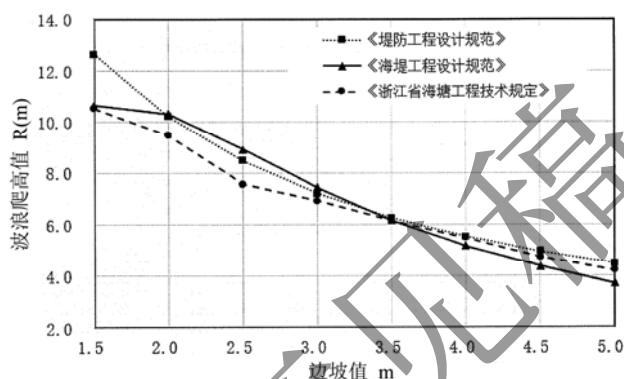


图 5-2 缓边坡条件波浪爬高对比结果

从图 5-1 可以看出,陡坡条件下三个标准计算的波浪爬高值均随边坡值增大(变缓)而增大,其中《堤防工程设计规范》的计算值最大,《海堤工程设计规范》的计算值最小,两者最大差值为 0.4m。图 5-2 缓陡坡条件下的三个标准计算的波浪爬高值均随边坡值增大(变缓)而减小,虽然三者计算值的大小关系在 $m=1.5\sim5.0$ 范围内有变化,但总体上以《堤防工程设计规范》计算的大值居多。

基于以上对比,从安全的角度考虑,本条规定波浪爬高值按《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)附录 C 计算。

5.4 路基断面结构设计

5.4.1 滨海路基的断面结构形式,应根据水深、波浪高、填料性质、地基条件、施工条件及使用要求等综合分析确定,常用的断面形式可分为斜坡式、直墙式和组合式三种类型。

5.4.2 斜坡式断面路基宜用于水深较小、地基条件较差和填料来源丰富的情况,并应符合下列规定:

- 1 当护坡采用抛填块石、安放块石或混凝土预制块体时,可采用图 5.4.2-1 所示的

路基断面形式。应在迎水面坡脚设置支撑护坡块体的水下抛石棱体，在波浪作用下易冲刷的地基上，应设置块石或软体排护底。路基填料宜采用块石、宕渣、碎石、砂砾等粗粒料。边坡值 m_1 、 m_2 宜采用 1.5~2.0； m_3 宜采用 1.0~1.5。

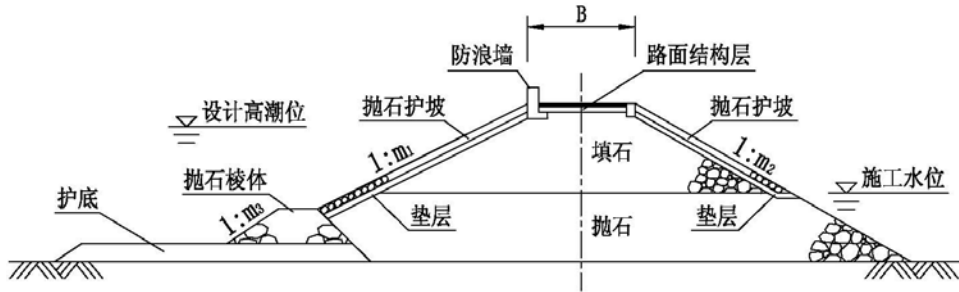


图 5.4.2-1 斜坡式路基横断面(一)

2 当护坡采用干砌块石、干砌条石或浆砌块石时，可采用图 5.4.2-2 所示的路基断面形式；浆砌块石护坡应设置变形缝和排水孔。可在施工水位附近设置平台消浪(临海侧)及提高路基稳定性(背海侧可同时设置)，平台部分可安放大块石或混凝土预制块体，平台宽度不宜小于 5m。边坡值 m_1 、 m_2 宜采用 1.5~2.0。

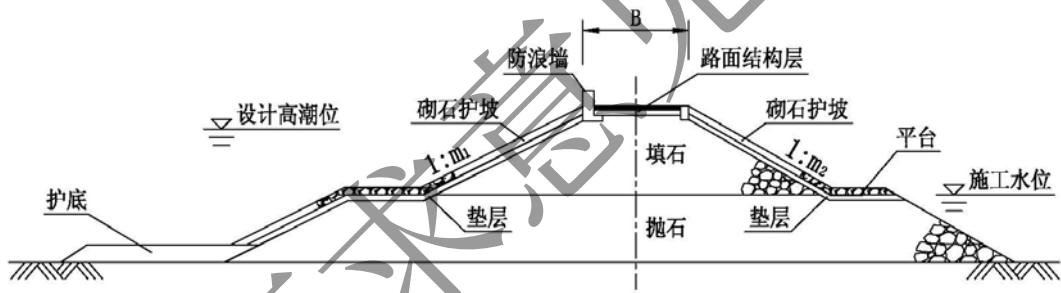


图 5.4.2-2 斜坡式路基横断面(二)

3 对于滩涂地带深厚软土路段，为防止软土持力层倾斜导致路基向临海侧滑移，可采用图 5.4.2-3 所示的多级反压护道路基断面形式；反压护道范围的地基应进行处理。边坡值 m_1 、 m_2 宜采用 1.5~2.0； m_3 宜采用 3.0~4.0。

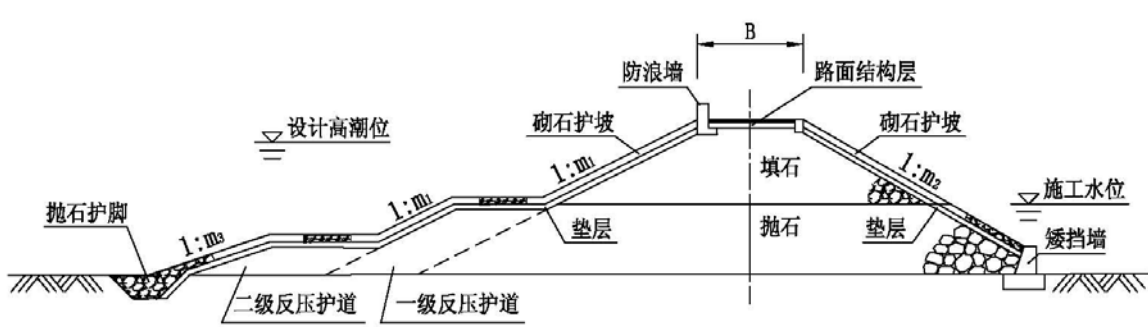


图 5.4.2-3 斜坡式路基横断面(三)

4 当滨海路基兼做围垦堤时，可采用图 5.4.2-4 所示的不透水路基断面形式。路基

填土材料宜采用山皮土、低液限粘土等。无纺土工布单位质量不宜小于 $300\text{g}/\text{m}^2$ 。边坡值 m_1 宜采用 $1.5\sim 2.0$ ； m_2 宜采用 $2.0\sim 3.0$ ； m_3 宜采用 $1.0\sim 1.5$ 。

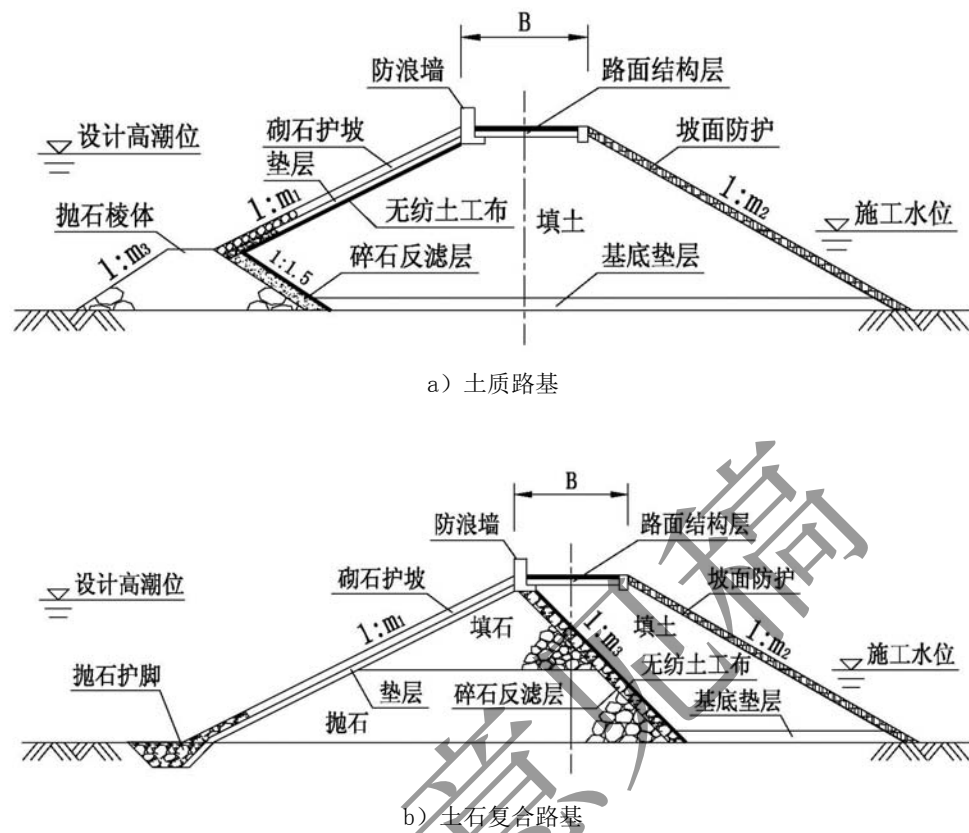


图 5.4.2-4 斜坡式路基横断面(四)

条文说明

围垦堤设基底垫层的目的是方便施工机械作业行走，垫层材料可以采用砂卵石、宕渣等粗粒料；若施工机械在无垫层条件下亦能正常作业时可以取消。一般围垦工程中围垦堤的闭气土方常用海滩淤泥作填料，但作为路基工程考虑其工程质量和使用耐久性要求，不采用淤泥作填料。

5.4.3 直墙式断面路基宜用于水深较大、用地和填料比较紧张的情况，并应符合下列规定：

1 基底承载力满足要求时，可采用图 5.4.3-1 所示的直墙式路基横断面形式，挡墙宜采用现浇混凝土、片石混凝土修筑，也可浆砌石料或混凝土块修筑，两墙中间的填石材料可采用宕渣、碎石或砂砾。边坡值 m_1 应根据挡墙类型选择，采用重力式挡墙时宜采用 $0\sim 0.3$ ，采用悬臂式挡墙时宜采用 $0.02\sim 0.1$ ； m_2 宜采用 $2.0\sim 3.0$ ； m_3 宜采用 $1.0\sim 1.5$ 。

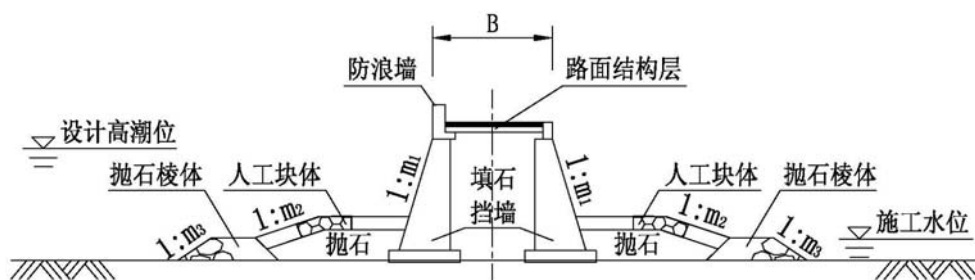


图 5.4.3-1 直墙式路基横断面(一)

2 基底承载力不足时,可采用抛石垫层以及必要的其他地基处理措施提高承载力,路基横断面形式如图 5.4.3-2 所示。为防止波浪对基底冲刷,应设置块石或软体排护底。抛石垫层的底面宽度不宜小于两侧挡墙基础外边缘之间的宽度加两倍的垫层厚度,垫层厚度根据承载力计算结果确定。边坡值 m_1 应符合本条第 1 款的规定; m_2 宜采用 1.5~2.0。

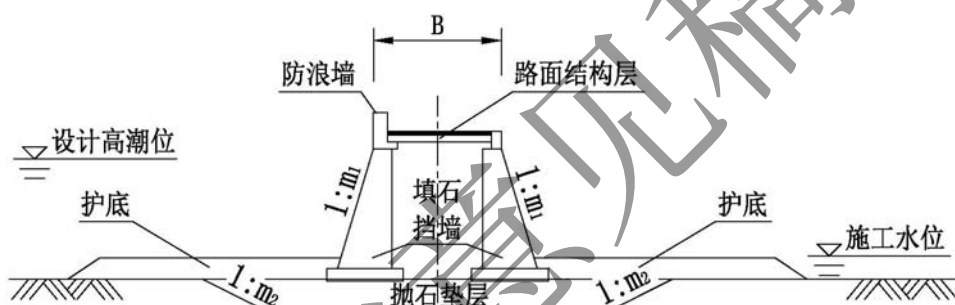


图 5.4.3-2 直墙式路基横断面(二)

5.4.4 组合式断面路基宜用于水深较大、地基条件较差和填料来源丰富的情况,路基横断面形式如图 5.4.4 所示。边坡值 m_1 应符合本规程第 5.4.3 条的规定; m_2 、 m_3 宜采用 2.0~3.0。

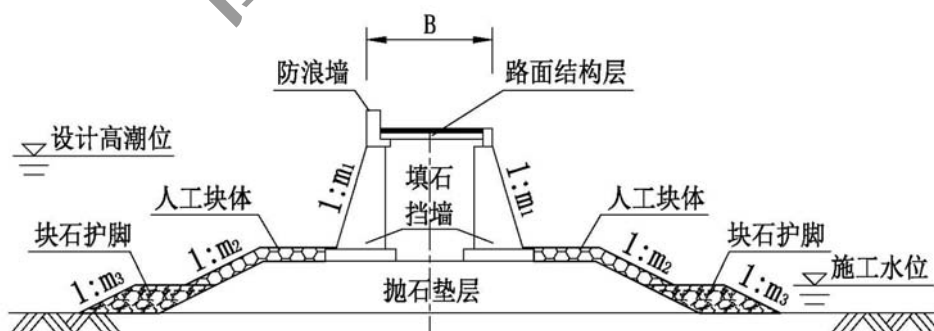


图 5.4.4 组合式路基横断面

5.5 路基稳定与沉降计算

5.5.1 滨海路基稳定与沉降计算应根据地质条件、路基高度、断面形式、波浪条件等分段进行。

5.5.2 稳定计算应按施工期荷载及运营期荷载分别计算稳定安全系数。施工期荷载应考虑路堤自重、潮水渗透力，运营期荷载应考虑路堤自重、潮水渗透力、路面增重及行车荷载。需要计算地震力时，可仅考虑水平向地震力。具体计算工况和潮水位组合可按表 5.5.2 确定。

表 5.5.2 路基稳定计算工况和潮水位组合

计算工况		计算边坡	临海侧潮水位	背海侧水位
施工期		临海坡	设计低潮水位或滩涂面高程	施工期最高水位
		背海坡	设计高潮水位	施工期最低水位或无水
运营期	设计低潮水位	临海坡	设计低潮水位或滩涂面高程	最高水位
	水位降落	临海坡	设计高潮水位降落至滩涂面高程	最高水位
	设计高潮水位	背海坡	设计高潮水位	常水位

5.5.3 潮水降落在路堤内产生的渗透力的计算，可采用简化的替代重度法，即滑动力矩计算时采用路堤填料的饱和重度，抗滑力矩计算时采用浮重度，具体应符合下列规定：

- 1 计算划分的土条位于浸润线以上的部分，采用湿重度计算其重力 W_a 。
 - 2 计算划分的土条位于浸润线与水位线之间的部分，采用饱和重度计算其重力 W_b 用于滑动力矩计算；采用浮重度计算其重力 W'_b 用于抗滑力矩计算。
 - 3 计算划分的土条位于水位线以下的部分，采用浮重度计算其重力 W_c 。
- W_a 、 W_b 、 W'_b 、 W_c 可参见图 5.5.3。

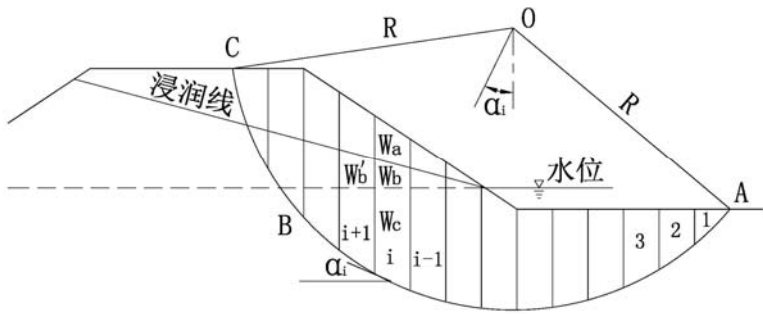


图 5.5.3 土条重力计算示意图

5.5.4 路基预压或超填时，稳定验算与沉降计算的路基高度应包括预压高度或超填高度。

5.5.5 稳定验算与沉降计算方法应符合现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02)的有关规定。

条文说明

滨海路基的地基均为软土地基，软土地基上路基稳定与沉降计算的基本理论在不同行业之间并无差别，但在具体的方法和参数选用上具有行业特色，这也是各行业长期经验积累的结果。公路软土路基稳定计算目前采用的方法是圆弧滑动法中的有效固结应力法、改进总强度法、简化毕肖普法、简布普遍条分法，其中改进总强度法是公路行业特有的方法；这四种方法采用的抗剪强度指标(计算参数)和稳定安全系数容许值的规定也是结合公路行业长期的实践经验确定的，如表 5-2 所示。

表 5-2 稳定安全系数容许值

指标	有效固结应力法		改进总强度法		简化毕肖普法、 简布普遍条分法
	不考虑固结	考虑固结	不考虑固结	考虑固结	
直接快剪	1.1	1.2	—	—	—
静力触探、十字板剪切	—	—	1.2	1.3	—
三轴有效剪切	—	—	—	—	1.4

工程实例表明，稳定安全系数与所采用的计算方法及采用的抗剪强度指标有关，对不同的计算方法和强度指标应该采用不同的容许安全系数，才能够准确评价工程安全与否。因此，《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02—2013)根据不同的计算方法与抗剪强度指标，分别给出了稳定安全系数容许值。

本细则中对于软土路基沉降计算采用分层总和法，计算参数采用由压缩试验得到的 $e-p$ 曲线、压缩模量 E_s 或 $e-\lg p$ 曲线，并首选 $e-p$ 曲线计算。根据主固结沉降计算最终沉降采用了沉降系数 m_s ，该系数根据行业经验提出，如式 (5-2) 所示，其中考虑了路基高度、填料重度、地基处理方式等多种因素。

$$S_{\infty} = m_s S_c \quad (5-1)$$

$$m_s = 0.123\gamma^{0.7}(\theta H^{0.2} + VH) + Y \quad (5-2)$$

式中： S_{∞} ——最终沉降 (m)；

S_c ——主固结沉降 (m)；

m_s ——沉降系数；

H ——路基中心高度 (m)；

γ ——路基填料重度 (kN/m^3)；

θ ——地基处理类型系数, 用塑料排水板处理时取 0.95~1.1, 用水泥搅拌桩处理时取 0.85, 预压时取 0.90;

V ——加载速率修正系数, 加载速率在 20~70mm/d 之间时, 取 0.025; 采用分期加载, 速率小于 20mm/d 时取 0.005; 采用快速加载, 速率大于 70mm/d 时取 0.05;

Y ——地质因素修正系数, 当同时满足软土层不排水抗剪强度小于 25 kPa、软土层的厚度大于 5m、硬壳层厚度小于 2.5m 三个条件时, $Y=0$, 其他情况下可取 $Y=-0.1$ 。

基于上述行业经验成果, 本条明确按现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02)的规定进行稳定验算与沉降计算。

5.5.6 滨海路基设置的挡墙、防浪墙的稳定计算应符合现行《海堤工程设计规范》(GB/T 51015)的有关规定。

5.6 路基防护设计

5.6.1 滨海路基坡面防护形式, 应根据水深、波浪高度、波浪压力、填料性质及材料来源等综合分析确定, 宜采用块石、条石、混凝土块体、土工模袋等进行路基边坡防护, 并应符合下列规定:

1 波浪作用小的路段可采用干砌块石或条石护面, 也可采用混凝土或浆砌块石、灌砌块石骨架予以加强。

2 波浪作用强烈的路段临海侧护面宜采用混凝土或钢筋混凝土异形块体, 异形块体的结构及布置可根据消浪要求, 经计算确定。

3 背海侧护面可采用干砌块石、浆砌块石、混凝土板块、土工模袋和植被等防护形式。

5.6.2 在波浪作用下可能导致护坡块体移动、影响边坡稳定性时, 应在迎水面坡脚设置支撑护坡块体的抛石棱体。

5.6.3 各种防护工程应能抵抗海水及生物侵蚀, 寒冷地区尚应具有耐冻和承受冰凌撞击的能力。

5.6.4 路基坡面防护层厚度宜满足表 5.6.4 的要求, 具体厚度计算应符合现行《海堤工程设计规范》(GB/T 51015—2014)的有关规定。

表 5.6.4 坡面防护层厚度

防护材料	最小厚度(mm)
混凝土板块	80
土工模袋(充填混凝土)	150

土工模袋(充填砂浆)	100
浆砌块石	200
干砌块石	250
水下抛石	600

注：1.表中厚度是面层部分的厚度，不包括垫层厚度。

5.6.5 坡面防护层需要设置垫层时，垫层应符合下列规定：

- 1 垫层材料可采用碎石、砂、石渣等粗粒料。
- 2 垫层厚度宜为 0.3~0.5m，碎石取小值，其他材料取大值。
- 3 对填土路基尚应在粒料下增设一层无纺土工织物反滤层。

5.6.6 用于坡面防护的块石、混凝土预制异形块体的稳定质量可按式(5.6.6)计算。

$$W = 0.1 \frac{\gamma_b H^3}{K_D (\frac{\gamma_b}{\gamma} - 1)^3 m} \quad (5.6.6)$$

式中：W——单个块体的稳定质量(t)；

γ_b 、 γ ——分别为块体材料和水的重度(kN/m³)；

H ——设计波高(m)，当平均波高与水深的比值小于0.3时，宜采用 $H_{5\%}$ ；比值大于或等于0.3时，宜采用 $H_{13\%}$ ；

m ——边坡值；

K_D ——块体稳定系数，可按表5.6.6确定。

表5.6.6 块体稳定系数

块体材料	构造类型	容许失稳率(%)	K_D
块石	抛填两层	1~2	4.0
	安放一层	0~1	5.5
四脚锥体	随机安放两层	0~1	8.5
四脚空心方块	规则安放一层	0	14
扭工字块体	随机安放两层	0	18
	规则安放两层		
扭王字块体	随机安放一层	0	18
	规则安放一层		

条文说明

坡面防护所采用块体材料的种类和规格要尽可能少，同类块体的质量差异不要小于1t；扭工字块体、扭王字块体的最小质量不要小于2t。四脚空心方块在设计波高大于

4m 时尽量不要采用, 否则其平面尺度或厚度较大, 增加施工难度, 而且垫层块石大也难以理坡, 不利于护面稳定。

5.6.7 混凝土预制异形块体安放的垫层块石应符合下列规定:

- 1 块体随机安放时, 垫层块石的质量可取块体质量的 $1/20 \sim 1/10$ 。
- 2 块体规则安放时, 垫层块石的质量可取块体质量的 $1/40 \sim 1/20$ 。
- 3 四脚空心方块下的垫层块石尺寸可按不小于空心方块的空隙尺度确定。
- 4 垫层块石的厚度不宜小于 0.4m。

5.6.8 应对土工模袋沿坡面的滑动稳定性进行验算, 抗滑安全系数可按式(5.6.8)计算。

$$F = \frac{L_2 + L_1 \cos \alpha}{L_1 \sin \alpha} f_{ms} \quad (5.6.8)$$

式中: F ——抗滑安全系数, 应大于或等于 1.5;

L_1 、 L_2 ——分别为模袋在坡面上和坡脚处的长度(m);

α ——坡面与水平面交角($^\circ$);

f_{ms} ——模袋与坡面间界面摩擦系数, 无实测资料时可取 0.5。

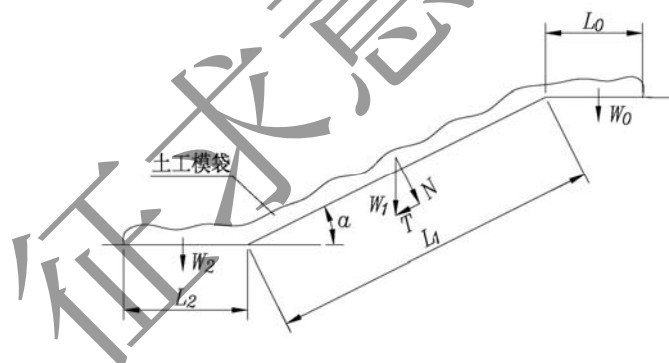


图 5.6.8 抗滑安全系数计算图

条文说明

式(5.6.8)中对位于坡顶的模袋长度 L_0 范围的摩阻力未考虑, 系作为安全储备。

5.6.9 临海侧路基坡脚设置的抛石棱体应符合下列规定:

- 1 顶面高程不宜高于设计低水位以下 1.0 倍的设计波高值。
- 2 顶面宽度不宜小于 2.0m, 厚度不宜小于 1.0m; 深水路堤的抛石棱体, 顶面宽度不宜小于 5.0m, 厚度不宜小于 3.0m。

3 抛填块石质量可取式(5.6.6)计算块石质量的 0.3~0.4 倍。

5.6.10 在波浪作用下易冲刷的地基上, 应根据最大冲刷深度、地形、基础形式等,

合理设置块石或软体排护底。

5.6.11 块石护底应符合下列规定：

1 块石稳定质量可根据堤前最大波浪底流速按表 5.6.11 确定。

表 5.6.11 块石稳定质量

堤前最大波浪底流速 (m/s)	块石稳定质量 (kg)	堤前最大波浪底流速 (m/s)	块石稳定质量 (kg)
2.0~2.5	60~100	3.6~4.0	300~400
2.6~3.0	100~200	4.1~4.5	400~600
3.1~3.5	200~300	4.6~5.0	600~800

2 块石可采用两层，厚度不宜小于 0.5m；铺设宽度不应小于 5.0m，在流速和水深较大时宜适当加大。

3 位于砂质海底的护底块石层下宜设置厚度不小于 0.3m 的碎石垫层或土工织物滤层。

5.6.12 软体排护底应符合下列规定：

1 软体排排布宜采用单位面积质量不小于 200g/m^2 的有纺土工织物缝制而成，并按一定间距缝制加筋带；铺设在粉细砂地基上时，排布应与无纺土工织物复合使用。

2 软体排压载体可采用块石、砂肋、砂袋、碎石袋、混凝土块或混凝土连锁块等，具体形式应按下列原则确定：

1) 水流较大的区域，可采用混凝土连锁块软体排、系混凝土块软体排。

2) 水流较小的区域，可采用砂肋软体排、系砂袋或碎石袋软体排。

3) 低水出露的滩地或近岸区域，可在排体上分层铺砌块石压载。

4) 冲刷变形较小或水深 30m 以上区域，可在排体上抛石压载。

5) 软体排边缘和搭接部位的压载应根据抗掀动稳定性验算情况加强，加强部位的宽度不宜小于 2m。

3 软体排抗掀动稳定性、抗滑稳定性等验算方法应符合现行《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTS/T 148) 的有关规定。

5.7 路基排水设计

5.7.1 滨海路基排水设计应根据沿线气象、水文、流量、地形、地貌、地质等条件及环境因素，合理布设排水设施，做好路基排水与地基处理、路基防护等综合设计，防止水流冲刷、剥蚀路基。

5.7.2 应考虑滩涂地带养殖对水环境条件的特殊要求，采取有效的排水及水域保护措施，避免水体污染。

5.7.3 路面表面水应采取设置纵向、横向排水系统等措施，集中收集与排放。路基坡面水应采用抬起式边沟汇集排放，汇集排放设施应不受海水倒灌的影响。

5.7.4 边沟、排水沟、急流槽、集水井、横向排水管等一般排水设施的设计应符合现行《公路排水设计规范》(JTG/T D33)的有关规定。

5.7.5 兼做围垦堤的土质路堤设置的碎石反滤层厚度宜为 0.4~0.6m，在施工水位以下时取大值；与无纺土工织物配合使用时，厚度可适当减小。

5.7.6 挡墙及采用浆砌块石、灌砌块石等防护的边坡，应在墙体和坡面上设置排水孔。排水孔孔径和间距宜分别 50~100mm 和 2~3m，可按梅花形布置。应在孔内放置 PVC 渗水滤管。

5.7.7 土工模袋护坡可采用有滤水点模袋排水。采用无滤水点模袋时，应设置渗水滤管。滤管直径和间距宜分别为 30~50mm 和 1.0~1.5m，可按梅花形布置。滤管应在充填混凝土或砂浆初凝之前完成设置。

5.7.8 路基排水沟出口宜设置油水分离池，排泄的水质应满足现行《污水综合排放标准》(GB 8978)的有关要求。

6 路基施工

6.1 一般规定

主要条款包括施工组织设计编制要求,水上作业人员和设备安全,天气、潮汐影响,施工临时排水等。

6.1.1 滨海路基施工应根据设计要求以及气象、地质、水文等现场条件,确定合理的施工方案。

6.1.2 路基施工前应根据工程的结构特点、现场条件和施工能力,合理确定施工区段、施工顺序等,并应编制施工组织设计。

6.1.3 路基施工前应建立健全设备、环境、质量、职业健康安全管理体系,对各类作业人员进行岗位培训和技术、安全交底。

6.1.4 临时排水设施应满足正常施工需要,保证滨海路基施工影响范围内原有道路、结构物的使用功能,保护养殖、农田水利设施等。

6.1.5 水上施工作业船舶应具有足够的抗风浪能力。作业区域距离陆域较远时,现场作业船组应具有相对独立的海上施工能力和生存能力。

6.1.6 路基填筑石料的强度应根据其填筑部位确定,强度及石料分类应符合现行《公路路基设计规范》(JTG D30)的有关规定。

6.1.7 砌筑挡墙及防护、排水工程用石料单轴饱和极限抗压强度不应低于 50MPa,垫层块石不应低于 30MPa;

6.1.8 混凝土预制体、浇筑体的混凝土强度等级应符合现行《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)的有关规定。

6.1.9 砌筑用水泥砂浆的强度等级不应低于 M15,有抗冻要求时不应低于 M20;勾缝用水泥砂浆的强度等级不应低于 M20。

6.1.10 用于土工模袋充填的混凝土的强度等级不宜低于 C20;充填砂浆的强度等级不宜低于 M15。

条文说明 6.1.6 ~ 6.1.10

石料作为填石路堤填料在现行《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)中的分类如表 6-1 所示。根据该表分类的不同石料,用于路基不同层位有不同的分层填筑厚度、最大粒径及压实度(孔隙率)要求。在该规范中,对于用作防护、支挡、排水结构中的石料、水泥砂浆及水泥混凝土的强度要求如表 6-2 所示。

表 6-1 岩石分类表

岩石类型	单轴饱和抗压强度 (MPa)	代表性岩石
硬质岩石	≥ 60	1. 花岗岩、闪长岩、玄武岩等岩浆岩类;
中硬岩石	30~60	2. 硅质、铁质胶结的砾岩及砂岩、石灰岩、白云岩等沉积岩类; 3. 片麻岩、石英岩、大理岩、板岩、片岩等变质岩类
软质岩石	5~30	1. 凝灰岩等喷出岩类; 2. 泥砾岩、泥质砂岩、泥质页岩、泥岩等沉积岩类; 3. 云母片岩或千枚岩等变质岩类。

表 6-2 防护、支挡、排水结构材料强度要求

工程部位	材料类型	最低强度要求		适用范围
		非冰冻区、轻冻区	中冻区、重冻区	
防护、支挡	片石	MU30	MU40	护坡、护面墙、挡土墙
	水泥砂浆	M7.5	M10	护坡、护面墙、挡土墙
		M10		喷浆防护
	水泥混凝土	C15	C20	喷射混凝土、挡土墙基础、抗滑桩锁口与护壁
		C20	C25	护坡、各类挡土墙、土钉面板
		C30		抗滑桩、锚索垫墩、框架格子梁、地梁、单锚墩
排水	片石	MU30		沟底和沟壁铺砌
	水泥砂浆	M7.5	M10	浆砌、抹面、勾缝
	水泥混凝土	C20	C25	混凝土构件
		C15		混凝土基础

现行《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154—2018)中,有关条文对筑堤与护岸材料的要求如下:

1. 石料单轴饱和极限抗压强度,对于护面块石和需要进行夯实的基床块石不应低于 50MPa,对于垫层块石和不进行夯实的基床块石不应低于 30MPa。对于堤心石和填料,可根据具体情况适当降低要求。

2. 混凝土构件的混凝土强度等级应符合现行《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)的有关规定。本规范根据水运工程环境条件、构件所在部位、符合耐久性要求的最大水胶比等因素综合考虑,确定水运工程混凝土结构基于耐久性要求的混凝土最低强度等级为 C20~C40。

3. 浆砌结构水泥砂浆的强度等级不应低于 M15,当有抗冻要求时不应低于 M20;勾缝水泥砂浆的强度等级不应低于 M20。

在现行《水运工程土工合成材料应用技术规范》(JTS T 148—2020)中,有关条文对土工模袋充填混凝土和砂浆的要求为:混凝土强度等级不宜低于 C20,砂浆强度等级

不宜低于 M15。

对比上述公路行业规范和水运行业规范的相关要求，总体上水运规范的要求较高(填料没有具体规定)。鉴于滨海公路路基受波浪侵袭影响，对防护、排水结构(包括挡墙)材料的要求采用水运规范的规定更为合适。对于路堤填料因为有坡面防护，适宜采用公路规范的相关规定，这样也便于对填料压实度按层位进行控制。

6.1.11 各类砌体应设置沉降缝、伸缩缝，并可将两者合并设置；其间距宜为 10～15m，缝宽宜为 20～30mm。缝内宜采用泡沫板或浸沥青软木板填塞。

6.1.12 砂浆砌体养护时间不应少于 7d，混凝土砌体养护时间不应少于 14d。

6.1.13 成型路基结构各部分的质量应符合现行《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)的有关规定。

条文说明

本条中成型路基结构各部分包括路堤主体、防护、排水及挡墙结构部分，基本上是主体位于水上的部分，所以按照现行《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610—2019)的质量要求执行。对于本规范中未包括的内容，基本上是主体位于水下的工程结构，如混凝土异形块体、土工模袋、抛石棱体、护底块石、软体排等，参考水运行业相关标准规范规定，在相应条文中给出了施工的主要质量标准要求。

6.2 主体工程施工

6.2.1 滨海路基填料宜采用块石、宕渣、碎石、砂砾等粗粒料，也可采用山皮土、低液限粘土等。路基填料最小承载比和最大粒径应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1 路基填料最小承载比和最大粒径

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

注：1. 承载比试验方法应符合现行《公路土工试验规程》(JTG 3430)的有关规定。

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

3. 上路堤、下路堤填料最大粒径的规定不适用于填石路堤。

6.2.2 滨海路基填筑应符合下列规定：

1 滨海路基各类填料均应采用分层摊铺、分层压实的方式施工，摊铺厚度与压实方式宜根据填料类型、施工条件等通过试验确定。填料压实度应符合表 6.2.2 的规定。

2 对有加载速率和间歇时间要求的路基填筑，应按设计要求分层加高，各层荷载的间歇时间应符合设计要求。当发现堤身异常变形时，应立即停止加荷，必要时采取卸荷措施。

3 路基设有反压护道时，反压护道应与路基同步填筑压实。

4 路基有闭气土方时，应先填筑抛石(砌石)堤身，再填筑闭气土方；抛石(砌石)堤身与闭气土方的高差应控制在 0.3~1.0m。

5 当路基填筑受潮流、波浪影响时，应采取防冲刷、防波浪冲击的施工措施，防止石料损失。

表 6.2.2 路基压实度标准

路面底面以下深度(填料应用部位) (m)			压实度(%)		
			高速、一级公路	二级公路	三、四级公路
上路床		0~0.3	≥96	≥95	≥94
下路床	轻、中及重交通	0.3~0.8	≥96	≥95	≥94
	特重、极重交通	0.3~1.2			—
上路堤	轻、中及重交通	0.8~1.5	≥94	≥94	≥93
	特重、极重交通	0.8~1.9			—
下路堤	轻、中及重交通	>1.5	≥93	≥92	≥90
	特重、极重交通	>1.9			—

6.2.3 路基抛石施工应符合下列规定：

1 抛石施工方法可用于路堤部分的填筑，不得用于路床的填筑；抛填石料应采用硬质石料或中硬石料。

2 水上抛填应考虑水深、水流和波浪等条件对块石产生漂流的影响，抛石船驻位宜通过试抛确定。深水区施工时，水下部分宜采用开体驳抛填，并应按照先粗抛、再细抛的原则施工。

3 当采用陆上推进抛填时，浅水区可一次推填到顶，深水区应根据水深、地基土强度、波浪影响程度等，一次或多次推填到顶。

4 抛填石料可采用压路机、冲击压路机、强夯等进行压实，并宜在抛填石料顶面位于施工水位以上时施工。由于工期等条件限制需要进行水下压实施工时宜采用强夯法，并应符合下列规定：

1) 分层抛填、夯实的厚度不宜超过 3m。

2) 夯锤宜选用铸钢锤、上下设贯通气孔(泄水孔)、底面修圆减小水体阻力。

3) 在强夯能级不变的条件下, 宜采用重锤、低落距。

5 每段路堤抛填形成后, 应及时理坡并覆盖垫层块石及护面层。未防护路堤的暴露长度不宜大于 50m。

6 抛填石料的压实质量标准应符合表 6.2.3 的规定。可采用压实沉降差进行施工过程中的压实控制, 压实沉降差应通过现场试验确定。

表 6.2.3 填石路堤压实质量标准

分区	路床底面以下深度 (m)	硬质石料孔隙率 (%)	中硬石料孔隙率 (%)	软质石料孔隙率 (%)
上路堤	0.7	≤23	≤22	≤20
下路堤	>0.7	≤25	≤24	≤22

6.2.4 路基填石施工应符合下列规定:

1 硬质石料及中硬石料可用于路堤和路床填筑; 软质石料可用于路堤填筑, 不得用于路床填筑。浸水部分的路堤, 应采用稳定性好、不易膨胀崩解的石料填筑。

2 岩性相差大的石料应采用纵向分段或竖向分区的方式填筑, 不得混合使用。

3 填料最大粒径不应大于 500mm, 并不宜超过压实层厚的 2/3。路床底面以下 400mm 的上路堤范围内, 填料最大粒径不得大于 150mm, 其中粒径小于 5mm 的细料含量不应小于 30%。

4 石料应分层填筑压实, 压实机械宜选用自重不小于 18t 的振动压路机。

5 路床部分填石料的压实度应符合本规程表 6.2.2 的规定; 上路堤、下路堤部分填石料的压实质量标准应符合本规程表 6.2.3 的规定。

6.2.5 路基填土施工应符合下列规定:

1 性质不同的填料应分开使用, 同一层路基应采用同一种填料, 不得混合填筑。每种填料填筑压实后的连续厚度不宜小于 0.5m。

2 填料碾压时的含水率宜控制在最佳含水率±2%范围内, 当含水率过小或过大时, 应采取加水或晾晒措施处理。

3 因故较长时间停工时, 应在压实面设 2%~4% 的双向横坡, 并将两侧路基边坡整理拍实。复工时, 应对压实度进行检测, 满足要求时方可继续填筑。

4 分段施工作业时, 若接头部位不能交替填筑, 先填路段应按 1:1~1:2 的坡率分层留台阶; 若能交替填筑, 应分层相互交替搭接, 搭接长度不应小于 2m。

5 填土的压实度应符合本规程表 6.2.2 的规定。

6.2.6 路基吹填砂施工应符合下列规定:

- 1 吹填砂可用于路堤部分的填筑，不得用于路床的填筑。
- 2 吹填应分段推进，一段完成之后接长管线吹填下一段。当吹填距离超过吹砂设备最大能力时，可设置加压设备或二次抽吸吹填。
- 3 排砂管可沿路中线布设或在两半幅路基的中部布设。
- 4 分层吹填厚度应根据压实设备性能通过试验确定，应在每层吹填完并压实合格后吹填上一层。宜采用振动式压路机碾压。
- 5 吹填砂的压实度应符合本规程表 6.2.2 的规定。

6.2.7 直墙式断面和组合式断面路基挡墙施工应符合下列规定：

- 1 挡墙基础应置于稳定的地基或抛石垫层之上，地基或抛石垫层的承载力应满足设计要求。
- 2 现浇混凝土挡墙施工应符合下列规定：
 - 1) 墙身应水平分层浇筑、振捣密实；分层厚度不应大于 0.3m。
 - 2) 混凝土浇筑应连续进行，因故间断的时间应小于前层混凝土的初凝时间，否则应按施工缝处理。
- 3 片石混凝土挡墙施工应符合下列规定：
 - 1) 所用片石的厚度不宜小于 0.15m；平面尺寸宜为 0.3~0.4m，并不得超过所铺放部位挡墙宽度的 1/3。
 - 2) 片石应分层铺放，片石的底层应先浇筑一层混凝土，之后铺放一层片石，再振捣至片石沉入混凝土中。不得先铺石，再灌混凝土。
 - 3) 片石在混凝土上面铺放应均匀，应大头向下、小头向上。片石铺放间距宜为 0.10~0.15m，片石用量宜为总体积的 15%~20%。
 - 4) 每层片石混凝土的厚度宜为 0.3~0.5m，片石上下间不得叠置，应有 0.1m 以上的间距。最终顶层应有 0.1m 厚纯混凝土覆盖层。
- 4 浆砌挡墙施工应符合下列规定：
 - 1) 砌筑用石料或混凝土块表面应湿润，且不得有泥垢。
 - 2) 应采用坐浆法分层错缝砌筑，铺浆厚度宜为 30~50mm，随铺随砌。
 - 3) 石料砌缝的水平缝宽不应大于 25mm，竖缝宽不应大于 40mm；混凝土块砌缝的水平缝宽不应大于 15mm，竖缝宽不应大于 20mm。
 - 4) 砌体应于当天及时勾缝，勾缝前应先清缝，砂浆应分次向缝内填塞密实。
 - 5 墙身的排水孔应在浇筑或砌筑过程中按设计施工，确保排水畅通。

6.3 防护工程施工

6.3.1 路基防护工程施工应与路基施工紧密、合理衔接，及时到位，确保路基结构的稳定。

6.3.2 各类防护工程应置于稳定、整平的地基或坡面上。坡面防护层应与坡面密贴结合，不得留有空隙。需要设置垫层时，垫层应密实，压实度宜为 90%；垫层厚度应满足设计要求。

6.3.3 块石可采用干砌、浆砌或灌砌施工；条石可采用干砌施工；混凝土块可采用浆砌施工；混凝土预制异形块体可采用随机安放或规则安放施工。

6.3.4 干砌块石施工应符合下列规定：

1 选用块石长边的长度不宜小于护面层的厚度。砌筑时应采用竖砌法，使块石的长边垂直于坡面。

2 块石应相互错缝、彼此嵌紧，缝隙间应采用小石块填满塞紧；不得有通缝、松动、叠砌和浮塞。

6.3.5 浆砌块石或浆砌混凝土块的施工应按本规程第 6.2.7 条第 4 款的有关规定执行。

6.3.6 灌砌块石施工应符合下列规定：

1 选用块石应有两个基本的平整面，应采用分层卧砌，上下错缝，内外搭接。

2 灌注材料宜采用细石混凝土，其坍落度不宜小于 50mm；混凝土用量宜为总体积的 40%~50%。

3 块石应大面朝下均匀摆放，块石间距宜为 80~100mm。

4 在块石上灌注混凝土应自下而上振捣密实，密实后混凝土表面应略低于块石面。

5 多层灌砌时应摆放一层块石灌注一层混凝土，严禁多层摆放一次灌注。

6.3.7 干砌条石施工应符合下列规定：

1 选用条石应表面平整、长度方向顺直、各面相互垂直，长度不应小于宽度的 3~5 倍。

2 砌筑应自下而上分层进行，条石的长边应垂直于坡面。

3 条石间应相互错缝、紧密嵌固；条石与坡脚棱体应接触抵紧，不得用片石填塞。

6.3.8 混凝土异形块体施工应符合下列规定：

1 安放块体之前，应对块石垫层的厚度、块石重量、坡度和表面平整度进行检查并确认满足要求，否则应进行修整。

2 异形块体应自下而上安放，底部块体与水下抛石棱体应接触紧密。

3 扭工字块体规则安放时，应使垂直杆在坡面下方，并压在前排块体横杆上；横杆应置于垫层块石上，腰杆跨在相邻块体的横杆上。

4 扭工字块体、四脚锥体定点随机安放时，宜先按设计块数的95%计算网点位置与数量，采用定点、定量方式随机安放，并在完成后进行检查和补漏。

5 扭王字块体可采用扭工字块体的定点随机安放方式，块体在坡面上可斜向放置，并使块体的一半杆件与垫层接触，但相邻块体的摆向不宜相同。

6 四脚空心方块安放应互相靠紧稳固，当采用片石支垫时，支垫的脚数不得超过2处，且每处只能支垫1层片石。

7 异形块体施工允许偏差应符合下列规定：

1) 扭工字块体、四脚锥体的施工安放数量与设计数量允许偏差为 $\pm 5\%$ 。扭王字块体的施工安放数量不宜低于设计要求。

2) 四脚空心方块相邻块的最大高差不大于150mm，砌缝最大宽度不大于100mm。

6.3.9 土工模袋施工应符合下列规定：

1 铺设前应对坡面进行处理。坡面平整度水下部分不应大于150mm，水上部分不应大于100mm。

2 铺设应按照先深水后浅水、先标准断面后异形断面的次序进行。应考虑路基两侧水头差的影响，临海侧坡面宜利用涨潮期间施工，背海侧坡面宜利用退潮期间施工。

3 模袋铺设后应拉紧上缘固定装置，并及时充填混凝土或砂浆；充填混凝土塌落度不宜小于200mm。充填过程中应及时调整模袋松紧度防止张力过大产生悬空。水上部分的模袋在充灌前应洒水润湿。

4 模袋充填时泵管与填充口应扎牢。充填应从已充填的相邻块处开始，每一充填口应自下而上连续充填，充填速度应控制在 $10\sim 15\text{ m}^3/\text{h}$ 范围内，出口压力宜为 $0.2\sim 0.3\text{ MPa}$ 。充灌接近饱满时，应暂停 $5\sim 10\text{ min}$ ，待模袋中水分渗出后，再充灌至饱满。

5 充填后的模袋顶部及底部应及时进行保护处理，并宜采取下列处理方式：

1) 模袋顶部预留约2m宽度，充填砂浆后嵌入堤顶预开挖的深1m、宽1m的沟槽内，之后填石或填土覆盖。

2) 模袋底部采用抛石棱体或块体压脚覆盖。

6 水下施工的水深超过2m时，应由潜水员配合控制水下铺设和充填质量。

7 模袋护坡施工允许偏差应符合下列规定：

- 1) 模袋厚度 h 允许偏差为 $+8\%h \sim -5\%h$ 。
- 2) 表面平整度不大于 100mm。

6.3.10 抛石棱体施工应符合下列规定：

- 1 抛石棱体应先于路堤填筑施工。抛填石料应满足防护工程用石料的要求。
- 2 水上、陆上抛填应按本规程第 6.2.3 条第 2、3 款的规定执行。
- 3 抛石棱体达到预定断面，并经沉降初步稳定后，应按设计轮廓整理成型。成型后的抛石体孔隙率应小于或等于 35%。

4 抛石棱体施工允许偏差应符合下列规定：

- 1) 棱体顶部边线 $\pm 100\text{mm}$ 。
- 2) 棱体顶部标高 $+200\text{mm}$ ， 0mm 。
- 3) 坡面轮廓线，水上部分 $\pm 200\text{mm}$ ；水下部分 $\pm 300\text{mm}$ 。
- 4) 平均断面不小于设计断面。

6.3.11 护底块石施工应符合下列规定：

- 1 施工前应对施工区域水下地形进行测量，并确定水深、流速等以选用适宜的石料。
- 2 块石抛填应按本规程第 6.2.3 条第 2、3 款的规定执行。
- 3 位于砂质海底的护底块石层下设有碎石垫层或土工织物时，应先行施工。其中碎石垫层可按与块石相同的方式抛填；土工织物在深水区宜采用作业船铺设，并由潜水员配合水下张拉、压重定位，在浅水区可人工直接铺设。
- 4 护底块石施工顶面标高允许偏差应符合表 6.3.11 的规定。

表 6.3.11 护底块石顶面标高允许偏差

块石重量 (kg)	10~100	100~200	200~300	300~500	500~700	700~1000
允许偏差 (mm)	± 400	± 500	± 600	± 700	± 800	± 900

6.3.12 软体排施工应符合下列规定：

- 1 软体排铺设前应对铺设范围清障，局部坑洼宜采用砂袋填平。
- 2 水下软体排宜采用铺排船铺设，低潮时出露的区域可采用人工铺设。
- 3 垂直路线方向宜采取连续方式铺设；沿路线方向宜采取搭接方式铺设，搭接宽度水下不应小于 2.0m，水面上不应小于 1.0m。
- 4 软体排的压载方式应满足设计要求。当采用砂肋或砂袋压载时，其充填砂的含泥量不应大于 5%，并应充填适当，充盈率宜为 80%~85%。

5 软体排铺设的允许偏差应符合下列规定：

1) 轴线位置偏差 $\pm 1.0\text{m}$ 。

2) 设计搭接宽度 b 允许偏差为 $1.0b \sim -0.5b$ 。

6.4 排水工程施工

6.4.1 施工前应对排水设计方案进行现场核对，做好临时排水设施与永久排水设施的结合。

6.4.2 排水沟渠开挖边界线形应平顺，转弯处宜为半径不小于 10m 的弧线形。

6.4.3 排水沟渠铺砌加固时，应铺设厚度为 20~50mm 的砂浆找平层；当设置土工合成材料防渗层时，应将其置于砂浆找平层之上。各类浆砌体的砌缝砂浆应饱满，保证不渗水、不漏水。

6.4.4 横向排水管施工应采用反挖法，并宜采用砂粒料回填。

6.4.5 碎石反滤层施工应符合下列规定：

1 施工前应对其下部基面、抛石体进行整平。

2 应按不同粒径组的设计厚度逐层铺设，并保证层次清楚，互不混杂，不得从高处顺坡倾倒。

3 反滤层应与相邻的路基填料分区同步填筑压实，并不得出现明显的颗粒分离和压碎现象。

4 反滤层施工的允许偏差应符合下列规定：

1) 各分层厚度，水上部分+50mm，0mm；水下部分+100mm，0mm。

2) 总厚度，水上部分+100mm，0mm；水下部分+200mm，0mm。

6.4.6 油水分离池施工应符合下列规定：

1 基坑应按设计的坡度和深度开挖，开挖弃方应及时运至弃土场，严禁在池边堆放造成安全隐患。

2 当开挖深度距离池底 0.2m 时，应采用人工开挖至池底设计标高并夯实。

3 油水分离池的池底及四周池壁宜采用 C30 混凝土浇筑，其施工应符合现浇混凝土施工的有关规定。

4 连接油水分离池的排水沟应铺砌加固，并应与油水分离池合理衔接，避免渗漏。

7 施工监测

7.1 一般规定

主要条款包括施工监测的内容，监测点布设原则，监测资料利用的方法等。

7.1.1 滨海路基施工监测内容及要求应根据地基处理方法、施工阶段、公路等级及场地条件确定。

7.1.2 滨海路基施工监测设计应包括下列内容：

- 1 布置监测断面，布设监测点。
- 2 确定监测内容，选择监测仪表。
- 3 确定监测周期及监测频率。
- 4 提出监测内容的控制指标及预警值。

7.1.3 施工监测项目宜包括地表水平位移监测、深层水平位移监测、地表沉降监测、分层沉降监测、孔隙水压力监测、土压力监测、水位监测、膜下真空度监测等。

7.1.4 施工监测应遵循动态设计、动态实施的原则，应综合利用仪器测量、现场巡查等手段，并宜采用自动化监测手段。

7.1.5 施工监测断面应根据公路技术等级及路段综合分析确定，并不应低于表 7.1.5 的要求。

表 7.1.5 监测断面间距

公路技术等级	一般路段	堆载高度达到路基极限高度的路段	桥头、涵洞通道路段		持力层界面坡度陡于 1: 25 的路段
			跨度 $\geq 30\text{m}$	跨度 $< 30\text{m}$	
高速公路、一级公路	1 个/100m	1 个/50m	两端各 1 个	1 个	2 个
二级及二级以下公路	1 个/150m	1 个/100m	1 个		1 个

7.1.6 监测频率应根据不同的监测阶段，按表 7.1.6 的规定执行。

表 7.1.6 不同阶段的监测频率

填筑施工期		预压期			缺陷 责任期
填筑高度小于 极限高度	填筑高度超过 极限高度	第 1 个月	第 2~3 个月	第 4 个月起	
1 次/3d	1 次/1d	1 次/3d	1 次/7d	1 次/15d	1 次/30d

7.1.6 应根据监测目的和允许变形值的大小合理选择监测仪器设备，其精度和量程应满足要求，并应具有足够的稳定性和可靠性。仪器和设备应经检定或校准合格，并在

有效期内使用。

7.1.7 每期监测结束后，应及时处理观测数据，当数据处理结果出现下列情况时，应立即预警并采取应急处理措施：

- 1 变形量达到预警值。
- 2 变形量出现异常变化。

7.2 监测方法

具体监测方法考虑了水平位移监测、深层水平位移监测、表面沉降监测、分层沉降监测、孔隙水压力监测、土压力监测、水位监测、膜下真空度监测等。对每一种方法从仪器选型、埋设、观测等方面制定具体条款。

7.2.1 地表水平位移监测应符合下列规定：

- 1 地表水平位移测点宜设置在坡脚附近。
- 2 测定监测点任意方向的水平位移时，可视监测点的分布情况，采用前方交会法、后方交会法、极坐标法等；当测点与基准点无法通视或距离较远时，可采用 GPS 测量法、雷达测量法或三角、三边、边角测量与基准线法相结合的综合测量方法。路基周围场地平坦空旷时也可采用钢卷尺或测距仪等测量边桩水平位移。
- 3 当采用小角法时，应在两个基准桩分别设站观测，每个测站宜测 4 个测回，并根据距离加权平均。
- 4 当采用测边角法时，宜以边桩为测站观测视准线端点的边长和角度。

7.2.2 深层水平位移监测应符合下列规定：

- 1 深层水平位移宜采用测斜仪监测。
- 2 当采用钻孔法埋设时，测斜管与钻孔之间的孔隙应填充密实。
- 3 测斜管底端应穿过潜在滑动面进入稳定土层的深度不应小于 3m，进入稳定岩层的深度不应小于 1m。
- 4 测斜管的一对导槽连线方向应与边坡或路堤最大水平位移方向一致。
- 5 测斜仪探头置入测斜仪管底后，应待探头接近管内温度、读数稳定后再开始量测，每个监测点均应进行正、反两次量测。
- 6 当以上部管口作为深层水平位移的起算点时，每次监测均应测定管口坐标的变化并修正。

7.2.3 地表沉降监测应符合下列规定：

- 1 地表沉降测点宜设置在路基中线、路肩、反压护道坡肩等处。
- 2 地表沉降宜采用沉降板、边桩、剖面沉降仪、光纤等方法监测。
- 3 沉降板应采用钢制沉降板，底板边长不宜小于 0.5m，厚度不宜小于 5mm。
- 4 沉降板宜采用反挖法埋设，坑深不宜小于 0.5m，测杆垂直度偏差不应大于 1%。

沉降观测桩周围应浇筑混凝土固定。

5 测杆接长前后应分别测量杆顶面标高；路基填筑过程中应校正测杆，测杆垂直度偏差不应大于 1%。

7.2.4 分层沉降监测应符合下列规定：

- 1 分层沉降测点竖向间距宜为 3~5m，宜设置在地基压缩层内土层界面、加固区底面。
- 2 分层沉降监测可采用分层沉降计、沉降磁环或直接埋设分层沉降标志的方法。
- 3 分层沉降计、沉降磁环以及分层沉降标志的埋设，在填土区可在填土时分层埋设，在原状土区可采用钻孔法埋设。
- 4 分层沉降监测应先自下而上逐点测量，再自上而下逐点测量，取上下两次测量结果的算术平均值。
- 5 分层沉降管接管和底端不应进入泥浆，接头不应影响沉降环下沉。

7.2.5 孔隙水压力监测应符合下列规定：

- 1 孔隙水压力测点宜设置在最危险滑动面附件的软土层中，竖向间距不宜大于 2m。
- 2 孔隙水压力宜通过埋设钢弦式或应变式等孔隙水压力计测试。
- 3 孔隙水压力计埋设可采用压入法、钻孔法等。
- 4 采用钻孔法埋设孔隙水压力计时，钻孔直径宜为 110~130mm，不宜使用泥浆护壁成孔，钻孔应圆直、干净；封口材料宜采用粒径 10~20mm 的干燥膨润土球。
- 5 孔隙水压力计埋设后应测量初始值，且宜逐日量测 1 周以上并取得稳定初始值。
- 6 测量孔隙水压力计埋设位置附近的地下水位，以便在计算中消除水位变化的影响，获得真实的超孔隙水压力值。

7.2.6 土压力监测应符合下列规定：

- 1 土压力宜采用土压力计量测。
- 2 土压力计埋设可采用埋入式或边界式。
- 3 采用钻孔法埋设时，回填应均匀密实，且回填材料宜与周围岩土体一致。
- 4 土压力接收仪应与土压力计相匹配。

5 土压力计埋设以后应立即进行检查测试，路堤填筑及相应工程施工前应至少经过 1 周时间的监测并取得稳定初始值。

7.2.7 水位监测应符合下列规定：

- 1 水位监测宜通过钻孔设置水位观测管，采用测绳、水位计等进行量测。
- 2 水位应分层观测，水位观测管的滤管位置和长度应与被测含水层的位置和厚度一致，被测含水层与其他含水层之间应采取有效的隔水措施。
- 3 水位观测管的导管段应顺直，内壁应光滑无阻，接头应采用外箍接头。观测孔孔底宜设置沉淀管。
- 4 水位观测管宜至少在工程开始降水前 1 周埋设，稳定后应测定孔口高程并计算水位高程，且宜逐日连续观测水位并取得稳定初始值。

7.2.8 膜下真空度监测应符合下列规定：

- 1 膜下真空度测点宜设置在相邻真空滤管中间。
- 2 连接真空表与真空度测头的软管不应有接头。
- 3 膜下真空度测头应埋设在设计位置；软管应预留与差异沉降相适应的长度，穿过密封膜时不应漏气。
- 4 当真空度明显低于附近真空度时，应检查真空表与软管连接处的密封性，漏气时应进行密封。
- 5 真空度监测宜定期检查真空表的零位误差，并应更换不符合要求的真空表。

7.3 监测资料分析

主要条款包括监测数据的误差分析、处理和修正；不同监测项目的过程线和关系曲线、不同监测指标的计算方法；监测资料用于路基稳定性评估的方法、评估指标、预警值；监测资料用于工后沉降预测的方法、适用性、数据处理技术要求等。

7.3.1 监测资料应符合下列规定：

- 1 使用正式的监测记录表格，记录表格应有监测人、复核人签字。
- 2 监测记录应有相应的工况描述。
- 3 监测数据取得后应及时校对、整理、分析，发现异常现象应查找原因，必要时复测。
- 4 对监测数据的变化及发展情况的分析和评述应及时。

7.3.2 应结合勘察、设计和施工资料进行监测资料整理与分析，并对其发展趋势作

出预测，根据监测成果提出相应的工程对策与建议等。

7.3.3 应根据水平位移监测资料绘制地表水平位移—时间—荷载关系曲线，以及深层水平位移—深度关系曲线，并根据曲线变化分析判断路基稳定性。

7.3.4 应根据沉降监测资料绘制地表沉降—时间—荷载关系曲线，以及分层沉降—时间—荷载关系曲线；分析沉降发展趋势，计算沉降速率，指导路基填筑加载，控制路基稳定性，并确定预压卸载时间。必要时可反算固结系数、变形模量等有关参数。

7.3.5 应根据孔隙水压力监测资料，绘制荷载 ΔP 作用下，间歇加载期间（不宜小于 30d）的孔隙水压力 u 随时间 t 的消散曲线（ $u-t-\Delta P$ 关系曲线）和孔隙水压力增量（ $\Sigma \Delta u$ ）—荷载压力增量（ $\Sigma \Delta P$ ）关系曲线；并利用 $u-t-\Delta P$ 关系曲线分析地基土层的排水固结特性，利用 $\Sigma \Delta u-\Sigma \Delta P$ 曲线判断路堤与地基的稳定性。

7.3.6 应根据土压力监测资料绘制测点压力—时间—荷载关系曲线。当研究刚性桩复合地基土拱效应时，应绘出地基反力增量（ $\Sigma \Delta P$ ）的松弛和拱效应发展情况图。

7.3.7 应根据水位监测资料绘制水位—时间—荷载关系曲线，根据曲线发展变化趋势分析地基的稳定性。

7.3.8 应根据膜下真空度监测资料绘制真空荷载—时间关系曲线，掌握真空荷载实时变化情况并做好压力调控，保证地基加固效果。

7.3.9 监测数据的处理宜采用专业软件，专业软件应具备数据采集、处理、分析、查询及监测成果可视化的功能。

本规程用词用语说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 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) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

- 1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”。
- 2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》(×××)的有关规定”。
- 3) 当引用本标准中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。