

7 地基处理

7.1 一般规定

7.1.1 地基处理方法应根据土质条件及加载方式、建筑物类型及适应变形能力、施工条件、材料来源、水位水质、处理费用及周边环境等因素,通过技术经济与环境综合比较后确定。海岸软土地基堤坝工程中常用的地基处理方法可按表 7.1.1 选用。

表 7.1.1 堤坝软土地基处理的常用方法

地基处理方法		适用条件	说 明
置换法	换填垫层法	浅层软弱地基及不均匀地基的处理,换填软土厚度不宜大于 4m	置换深度受开挖条件限制
	自重挤淤法	浅层淤泥及淤泥质土,自重挤淤厚度不宜大于 5m	可采用侧向冲淤、超载、强夯等附加措施增加挤淤深度
	爆炸置换法	深厚淤泥及淤泥质土,置换深度宜为 5m~35m,工程周边环境及相邻建筑物无制约性的影响	速度快、工后沉降小。受造价和环境影响限制
排水固结法	堆载预压法	淤泥及淤泥质土层厚度不宜大于 5m	排水固结速度受淤泥及淤泥质土层厚度限制
	真空预压(含真空联合堆载预压)法	淤泥、淤泥质吹填土等饱和和软黏土地基处理	一般处理承载力为 80kPa,必要时可以采取联合堆载加固

续表 7.1.1

地基处理方法		适用条件	说 明
复合地基法	水泥土搅拌法	淤泥及淤泥质土, 加固深度不宜大于 20m	造价较高, 适用特殊地段或沉降变形要求严格的堤坝段、不同地基处理方法的衔接处理等。需要有陆上施工的条件
	振冲置换桩	饱和软黏土, 对于不排水抗剪强度小于 20kPa 的淤泥及淤泥质土应慎用	要有陆上施工条件

7.1.2 经处理的堤坝地基应符合下列规定:

1 地基稳定应进行静力稳定分析计算, 对抗震设防的堤坝, 应按现行行业标准《水工建筑物抗震设计规范》SL 203 进行动力稳定分析。

2 地基应进行沉降计算, 完工后堤坝地基和堤坝自身的总沉降、工后沉降及不均匀沉降不应影响堤坝的安全和正常使用。

3 渗流控制应保证堤坝地基及背水侧堤坝土体及坡脚外土层的渗透稳定。

7.1.3 当地基处理方法可能对周围环境或建筑物产生不利影响时, 应对影响程度进行分析, 并提出有效的防护措施。当存在对周围环境或建筑物有严重危害或安全影响时, 应另行选择地基处理方法。

7.1.4 当堤坝地基下存在承压水或浅层气时, 应对地基处理设计方案进行论证。

7.1.5 对重要、复杂或大型工程, 应选择代表性堤坝段进行地基处理现场试验段设计, 提出测试项目、监测控制和施工要求, 通过试验取得技术参数指导设计与施工。

7.2 地基处理设计

7.2.1 采用换填垫层法处理堤坝地基时应符合下列规定:

- 1 换填垫层的厚度宜为 0.5m~3.0m。
- 2 换填垫层材料宜选用碎石、卵石、砾石、粗砂和中砂,且级配良好。
- 3 换填排水砂垫层,其砂的含泥量不宜大于 5%,最大粒径不宜大于 10cm。
- 4 当采用土工合成材料构筑加筋垫层时,土工合成材料的品种、性能应与填料、地基土相适应,应符合现行国家标准《土工合成材料应用技术规范》GB 50290 的规定,并应通过现场试验和论证后确定。

7.2.2 采用堆载预压法处理堤坝地基时应符合下列规定:

- 1 当软土层厚度不大或含有较多薄砂夹层,在设计荷载作用下其固结速率能符合工期要求时,可只设置排水砂垫层。排水砂垫层的厚度,陆上不宜小于 0.5m;水下不宜小于 1.0m。当地基表层土处于流塑状态时,宜采用土工织物,其性能应符合加筋、反滤、隔离的要求。软土层厚度较大时,应增设塑料排水板或袋装砂井、普通砂井等竖向排水体。

- 2 排水砂垫层的砂料宜用含泥量不大于 3%且渗透系数不小于 5×10^{-3} cm/s 的中、粗砂。

3 堆载预压设计计算应包括下列内容:

- 1) 选择竖向排水体的形式,确定其断面尺寸、间距、排列方式和深度;
- 2) 确定施加荷载的大小、范围、分级、加荷速率、预压或分级预压时间和工后预留沉降量;
- 3) 计算地基固结度、强度增长、抗滑稳定及变形等;
- 4) 提出质量检测、检验要求。

4 堆载预压设计应符合下列规定:

- 1) 预压荷载应根据设计要求确定,可取堤坝断面的基底压力作为预压荷载。实际施加的荷载应包括预压荷载和回填土的重量;

- 2) 加载速率应与地基土的强度增长相适应,加载各阶段应进行地基稳定验算;
- 3) 竖向排水体的长度应根据堤坝高度和土质情况,经稳定和沉降计算后确定;竖向排水体深度应大于危险滑动面以下 3m,并应符合堤坝工后沉降量的要求;
- 4) 竖向排水体间距应根据所要求的固结时间、施工工艺等确定。普通砂井宜采用 2.0m~3.0m,袋装砂井宜采用 1.0m~1.5m,塑料排水板宜采用 0.7m~1.5m;高灵敏度软土宜取较大值;其最大间距可用井径比控制:普通砂井不宜大于 10,袋装砂井不宜大于 20,塑料排水板不宜大于 25;
- 5) 对于竖向排水体的直径,普通砂井水下宜采用 300mm~400mm,陆上宜小于 300mm;袋装砂井宜采用 70mm,塑料排水板宽度宜为 100mm,厚度宜为 3.5mm~5.0mm,其排水体等效换算直径可按式计算:

$$D_w = a \frac{2(b+\delta)}{\pi} \quad (7.2.2)$$

式中: D_w ——竖向排水体等效换算直径(mm);

a ——换算系数,无试验资料时可根据工程经验取 0.75~1.00;

b ——塑料排水板宽度(mm);

δ ——塑料排水板厚度(mm)。

- 6) 竖向排水体的平面布置可采用等边三角形或正方形。采用等边三角形时,竖向排水体的有效排水直径应为排水体间距的 1.05 倍;采用正方形时,竖向排水体的有效排水直径应为排水体间距的 1.13 倍;
- 7) 竖向排水体顶面宜高出水平排水垫层 10cm~15cm,并折埋于水平排水垫层中或设一层隔离加筋土工织物;
- 8) 在瞬时荷载条件或分级加载条件下,堤坝堆载预压处理

范围的平均总应力固结度、竖向平均应力固结度和径向平均应力固结度宜按本规范附录 A 计算；当处理范围内各区的计算条件不同时，应分别计算平均固结度；

9) 当地基土灵敏度高、塑料排水板间距较小或打设深度较大时，应计算井阻与涂抹效应对地基应力固结度的影响，并宜符合本规范附录 A 的规定；

10) 对正常固结的软黏土，地基土强度增量可按本规范第 6 章的有关公式计算。

7.2.3 采用真空预压和真空联合堆载预压法处理堤坝地基时，应符合下列规定：

1 真空预压法处理地基前应确定预压区面积和分块大小、真空预压工艺、要求达到的真空度、土层的固结度、预压后地基变形值以及地基土的强度等。

2 竖向排水体的间距可按本规范第 7.2.2 条的有关规定选用，采用砂井时应选用中粗砂，其渗透系数应大于 $1 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。

3 真空预压的膜下真空度应稳定地保持在 86.7 kPa (650 mmHg) 以上，且应均匀分布；竖井范围内的平均固结度应大于 90% 。

4 当堤坝的地基压力超过真空预压的压力，且堤坝上部结构对地基变形有严格要求时，可采用真空和堆载联合预压法。

5 对于表层存在良好的透气层或在处理范围内有充足水源补给的透水层时，应采取措施隔断透气层或透水层。

6 真空预压地基最终沉降量可按本规范第 6 章的有关公式计算，沉降经验系数可取 $0.8 \sim 0.9$ ；真空联合堆载预压法以真空为主时，沉降经验系数可取 0.9 。

7 抽真空的设备，可按预压面积的大小、形状和土层结构特点确定，一套设备抽真空的面积宜取 $800 \text{ m}^2 \sim 1500 \text{ m}^2$ 。

8 当工程附近缺乏水平排水砂垫层料时，可采用直排式真空预压法处理。

7.2.4 采用爆炸置换法处理堤坝地基时，应符合下列规定：

1 当置换的软土层厚度为 5m~35m、石料来源有保障、施工影响范围内不存在环境制约因素时,可采用爆炸置换法进行地基处理。爆炸置换法可分为爆炸挤淤置换法和爆炸排淤填石法,应根据置换软土的厚度选用。

2 爆填堤心石基础可分落底式和悬浮式两种结构,应根据工程特点和经济性确定,并应符合下列规定:

- 1) 当基础软土层厚度较小,下卧硬土层坚硬密实或基岩埋藏较浅时,爆填堤心石基础宜采用落底式结构;落底宽度可根据整体稳定分析结果和堤坝上部结构布置的要求确定;
- 2) 当基础软土层较深厚,在满足海堤整体稳定要求的前提下,可采用悬浮式结构。

3 爆填堤心石的结构应符合下列规定:

- 1) 堤心石范围应包括堤身和迎潮面护坡基础的主石坝基础部分;当抛石护脚和其他范围基础需加强时,宜同时处理;
- 2) 爆填堤心石断面结构宜根据施工方法综合确定;当软基置换厚度较深厚或采用“悬浮式”结构时,应采用爆炸挤淤置换法;
- 3) 爆填堤心石基础的顶部应高于多年平均高潮位 1m 以上;涂面以上部分可根据堤上部结构轮廓要求设定,涂面以下部分断面宜与其爆填成形规律相吻合,并应符合稳定及安全要求;
- 4) 爆填堤心石底部水平段宽度不宜小于 2.5 倍堤顶宽,并宜上、下对齐;
- 5) 爆填堤心石最大腰宽以上部分的混合过渡层可忽略;最大腰宽以下部分的混合过渡层厚度及抛石含量应根据置换深度和落底情况确定;底部的混合过渡层厚度可取 1m~2m,爆填堤心石含量可取 50%~80%。

7.2.5 采用水泥石搅拌桩法处理堤坝地基时应符合下列规定：

1 应根据施工设备、处理深度及地基土的含水量等因素采用浆液搅拌法工艺。对于泥炭土、有机质土、塑性指数大于 25 的黏土地基及地下水具有腐蚀性的地区，应通过现场试验确定水泥石搅拌法的适用性。

2 设计前应通过室内试验，选择固化剂、外掺剂及其掺量，提供各种龄期、各种配比的强度参数：

1) 固化剂宜选择强度等级等于或高于 32.5 级的普通硅酸盐水泥。块状加固时水泥掺量可用被加固湿土量的 7%~12%，采用其他加固形式时水泥掺量宜为 12%~20%；水泥浆的水灰比可采用 0.45~0.55；在避免污染环境的前提下，可根据工程需要和土质条件选用具有早强、缓凝及节省水泥等作用的外掺剂；

2) 竖向承载水泥石强度宜取 90d 龄期试块的立方体抗压强度平均值，对承受水平荷载的水泥石强度宜取 28d 龄期试块的立方体抗压强度平均值。

3 水泥石搅拌桩的长度应根据堤坝结构对承载力和变形的要求确定，宜穿透软弱土层到达承载力相对较高的土层，桩端应低于危险滑动面以下 2m。水泥搅拌桩的长度不宜大于 20m，桩径不应小于 500mm，水泥搅拌桩的置换率可按式计算：

$$f_{\text{spk}} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1-m)f_{\text{sk}} \quad (7.2.5-1)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值(kPa)；

m ——面积置换率；

R_a ——单桩竖向承载力特征值(kN)；

A_p ——桩的截面积(m^2)；

β ——桩间土承载力折减系数，宜按地区经验取值，无经验时可取 0.75~0.95，天然地基承载力较高时取大值；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值(kPa),宜按地区经验取值,无经验时可取天然地基承载力特征值。

4 水泥土搅拌桩复合地基承载力特征值应通过现场单桩或多桩复合地基荷载试验确定。初步设计时可按下列公式计算,并取其中的较小值:

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (7.2.5-2)$$

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \quad (7.2.5-3)$$

式中: f_{cu} ——水泥土试块在标准养护条件下90d龄期的无侧限抗压强度平均值(kPa);

η ——桩身土强度折减系数,干法宜取0.20~0.30,湿法宜取0.25~0.33;

u_p ——桩的周长(m);

n ——桩长范围内所划分的土层数;

q_{si} ——桩周第*i*层土的侧阻力特征值(kPa),对淤泥可取4kPa~7kPa;对淤泥质土可取6kPa~12kPa;对软塑状态的黏性土可取10kPa~15kPa;对可塑状态的黏性土可取12kPa~18kPa;

l_i ——桩长范围内第*i*层土的厚度(m);

q_p ——桩端地基土未经修正的承载力特征值(kPa),可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定确定;

α ——桩端天然地基土的承载力折减系数,可取0.4~0.6,承载力高时取低值。

5 水泥土搅拌桩复合地基应在基础和桩之间设置褥垫层。褥垫层的厚度可取20cm~30cm,其材料可选用中砂、粗砂、级配砂石等,最大粒径不宜大于20mm。

6 水泥土搅拌桩的平面布置可根据上部结构特点、地基承载力和变形要求,采用柱状、壁状、格栅状或块状等加固形式,柱状加

固可采用正方形、等边三角形等平面布置形式。

7 水泥土搅拌桩复合地基变形应包括复合土层的平均压缩变形(S_1)和桩端下卧层的压缩变形(S_2)：

1) 水泥土搅拌桩复合土层的压缩变形可按下列公式计算：

$$S_1 = \frac{(p_z + p_{dl})l}{2E_{sp}} \quad (7.2.5-4)$$

$$E_{sp} = mE_p + (1-m)E_s \quad (7.2.5-5)$$

式中： p_z ——搅拌桩复合土层顶面的附加压力值(kPa)；

p_{dl} ——搅拌桩复合土层底面的附加压力值(kPa)；

l ——搅拌桩桩长(m)；

E_{sp} ——搅拌桩复合土层压缩模量(kPa)；

E_p ——搅拌桩的压缩模量(kPa)，可取(100~120) f_{cu} 。对桩较短或桩身强度较低者可取低值，反之可取高值；

E_s ——桩间土的压缩模量(kPa)。

2) 桩端以下未加固土层的压缩变形(S_2)可按本规范第6章的相关规定计算。

8 堤岸防护

8.1 一般规定

8.1.1 受风浪、水流、潮汐作用可能发生冲刷破坏的堤岸,应采取防护措施。堤岸防护宜采用工程措施与生物措施相结合的方法。

8.1.2 根据风浪、水流、潮汐、船行波、地质、地形、施工条件、运行要求等因素,堤岸防护工程可选用坡式护岸、坝式护岸、墙式护岸及其他防护形式。

8.1.3 堤岸防护工程的结构、材料应符合下列规定:

- 1 坚固耐久、抗冲刷、抗磨损性能强;
- 2 适应变形能力强;
- 3 便于施工、修复、加固;
- 4 就地取材、经济合理。

8.1.4 堤岸防护长度应根据风浪、水流、潮汐及堤岸崩塌趋势等分析确定。

8.1.5 堤岸顶部的防护范围应符合下列规定:

- 1 险工段的坝式护岸顶部应等于或高于设计潮水位 0.5m。
- 2 堤前有窄滩的防护工程顶部应等于或高于滩面。

8.1.6 堤岸防护工程的护脚延伸范围应符合下列规定:

- 1 护脚延伸范围应满足最大冲刷深度的要求。
- 2 在水流平顺段可护至坡度为 1:3~1:4 的缓坡滩面处。
- 3 堤岸防护工程的护脚工程顶部平台应高于平均低潮(水)

位 0.5m。

8.1.7 堤岸防护工程与堤身防护工程应连接良好。

8.1.8 防冲及稳定加固储备的石方量应根据可能冲刷的深度、海滩土质情况、防汛抢险需要及已建工程经验确定。冲刷深度应按