



中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

公路吹填流泥地基处理技术规程

Technical Specifications for Treatment of Dredged Fill Ground in
Highway

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

公路吹填流泥地基处理技术规程

Technical Specifications for Treatment of Dredged Fill

Ground in Highway

主编单位：温州大学、浙江工业大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：XX 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〈2017 年第 1 批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2017〕36 号）的要求，温州大学编制了《公路吹填流泥地基处理技术规程》（以下简称“规程”），对公路吹填流泥地基处理设计及施工质量起到了重要的保障作用。近年来，随着对吹填流泥地基这一特殊地基形式认识的不断加深，相关工程经验和科技成果的不断积累，根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2023 年第一批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（建标协字〔2023〕112 号）的要求，由温州大学和浙江工业大学牵头，对原《规程》中的部分条款进行修订，以便进一步明确公路吹填流泥地基处理设计、施工等方面的要求。

本规程分为 11 章，主要内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 基本规定、4 吹填流泥地基勘察、5 沉降及稳定计算、6 场地预处理设计、7 地基处理设计、8 场地预处理施工、9 地基处理施工、10 施工监测、11 施工质量检测与验收。此次修订主要内容如下：

1. 删除了沉降及稳定计算中关于欠固结应力的计算条款，完善了吹填流泥层及下卧层主固结沉降计算方法。
2. 将絮凝-真空预压概念并入复式真空预压，取消了原 6.3 絮凝-真空预压设计及 8.3 絮凝-真空预压两节，将其精简后并入 6.2 复式真空预压（设计）和 8.2 复式真空预压中（施工），形成 6.2.8 条和 8.2.8 条。
3. 考虑淤堵区的形成、增长和渗透性变化过程，完善了复式真空预压场地预处理的地基平均固结度计算方法。
4. 完善了增压系统的设计要求，取消了有关增压过程引起的荷载增量和固结度变化的计算方法。

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，由温州大学、浙江工业大学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：010-62079839；电子邮箱：shc@rioh.cn），
或温州大学建筑工程学院（地址：温州市瓯海区茶山高教园区温州大学建筑工程学院，
邮编：325035；电话：0577-86689687；电子邮箱：geowangpeng@163.com），以便修
订时研用。

主 编 单 位： 温州大学、浙江工业大学
参 编 单 位： 中交第一公路勘察设计研究院有限公司
上海港湾基础建设（集团）股份有限公司
江苏鑫泰岩土科技有限公司
中国铁道科学研究院集团有限公司
浙江绩丰岩土技术股份有限公司
上海大学
同济大学
华中科技大学
浙江大学
中交（天津）生态环保设计研究院有限公司
浙江数智交院科技股份有限公司
温州设计集团有限公司
温州市交通规划设计研究院
浙江工业大学工程设计集团有限公司

主 编： 蔡袁强
参 编 人 员： 王 军 王 鹏 孙宏磊 张留俊 楼晓明
金亚伟 陈 锋 章雪峰 谷 川 黄茂松
郭 林 符洪涛 郑俊杰 章荣军 王立忠
董全杨 程 瑾 潘晓东 马晓华 应永良
杨克军 李进军 薛维梅 林天干 刘飞禹
主 审： 吴万平
参与审查人员：

参 与 人 员： 史 吏 占 宏 袁宗浩 孙 奇 庄迎春
袁国辉 倪俊峰 高紫阳 杨 昊 朱萧霄
安达日拉 李玲玲

目次

1 总则	- 1 -
2 术语和符号	- 2 -
2.1 术语	- 2 -
2.2 符号	- 3 -
3 基本规定	- 6 -
4 吹填流泥地基勘察	- 9 -
4.1 一般规定	- 9 -
4.2 工程可行性研究阶段勘察	- 9 -
4.3 初步勘察	- 10 -
4.4 详细勘察	- 11 -
4.5 场地预处理施工后补充勘察	- 12 -
4.6 土工试验	- 12 -
5 沉降及稳定计算	- 14 -
5.1 一般规定	- 14 -
5.2 沉降计算	- 14 -
5.3 路堤稳定验算	- 17 -
6 场地预处理设计	- 18 -
6.1 一般规定	- 18 -
6.2 复式真空预压法	- 19 -
7 地基处理设计	- 25 -
7.1 一般规定	- 25 -
7.2 堆载预压法	- 25 -
7.3 真空联合堆载预压法	- 26 -
7.4 水泥搅拌桩法	- 27 -
7.5 桩网复合地基法	- 28 -

8 场地预处理施工	- 31 -
8.1 一般规定	- 31 -
8.2 复式真空预压法	- 31 -
9 地基处理施工	- 35 -
9.1 一般规定	- 35 -
9.2 堆载预压法	- 35 -
9.3 真空联合堆载预压法	- 36 -
9.4 水泥搅拌桩法	- 37 -
9.5 桩网复合地基法	- 38 -
10 施工监测	- 39 -
10.1 一般规定	- 39 -
10.2 监测系统与监测内容	- 39 -
10.3 监测方法	- 40 -
10.4 监测数据整理与分析	- 41 -
11 施工质量检测与验收	- 42 -
11.1 一般规定	- 42 -
11.2 预压处理检测与验收	- 42 -
11.3 水泥搅拌桩检测与验收	- 43 -
11.4 桩网复合地基检测与验收	- 43 -
本规程用词用语说明	- 45 -

1 总则

- 1.0.1 为提高公路吹填流泥地基处理工程技术水平，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 本规程适用于各等级公路新建工程涉及既有吹填流泥地基处理的勘察、设计、施工、监测和质量检验，其他类似工程可参照执行。
- 1.0.3 吹填流泥路段公路工程勘察设计，应将吹填流泥地基处理方案与路线绕避、桥梁跨越等其他工程方案进行综合比选。
- 1.0.4 公路吹填流泥地基处理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 公路吹填流泥地基勘察应查明吹填流泥及其下卧层的分布特征、工程性质，获取设计所需的物理力学参数，为地基处理设计和施工提供可靠依据。
- 1.0.6 公路吹填流泥地基勘察、地基处理设计与施工应积极稳妥地采用新技术、新材料、新工艺和新设备。
- 1.0.7 公路吹填流泥地基勘察、地基处理设计与施工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 吹填流泥 dredged fill

采用机械或水力通过泥泵和排泥管线将江、河、湖、海及水库中的高含水率土输送到指定区域而形成的流泥类土。

2.1.2 吹填流泥地基 dredged fill ground

由吹填流泥及下卧层共同形成的地基。

2.1.3 吹填流泥地基处理 treatment of dredged fill ground

为满足公路工程对地基沉降、稳定性及承载力等方面的要求，对吹填流泥及下卧软弱层进行处理。

2.1.4 吹填流泥场地预处理 pre-treatment of dredged fill site

为满足施工机械的进场作业要求，并为地基处理创造良好的初始条件，对吹填流泥进行初步处理。

2.1.5 絮凝-真空预压法 flocculant-vacuum preloading

掺入絮凝剂对吹填流泥进行絮凝化处理，再进行真空预压的地基处理方法。

2.1.6 复式真空预压法 composited vacuum preloading

综合应用絮凝法结合密闭式、增压式等真空预压技术，对吹填流泥地基进行预压固结的地基处理方法。

2.1.7 真空联合堆载预压法 vacuum-surchage preloading

真空预压联合路堤堆载对吹填流泥地基进行预压固结的地基处理方法。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

- a ——路堤边坡宽度；
 B ——钢筋混凝土桩方形桩帽边长或圆形桩帽直径；
 b ——路堤顶面宽度；
 b_v ——塑料排水板的宽度
 d_e ——塑料排水板有效排水直径；
 d_w ——塑料排水板等效换算直径；
 d_p ——桩直径；
 H ——路堤填筑高度；
 h ——土体厚度；
 h_c ——加筋垫层厚度；
 L ——塑料排水板深度；
 L_p ——桩间距；
 l_v ——塑料排水板间距；
 n ——井径比；
 ζ ——淤堵区直径与塑料排水板等效直径比值；
 δ_p ——桩帽厚度；
 δ_v ——塑料排水板厚度。

2.2.2 抗力与材料性能

- C_a ——土体次固结系数；
 C_c ——土体压缩指数；
 C_h ——土体径向固结系数；
 E_e ——土体弹性模量；
 E_p ——桩体压缩模量；
 E_{ps} ——桩土复合压缩模量；
 E_s ——土体压缩模量；
 e ——土体孔隙比；
 e_0 ——土体初始孔隙比；
 e_c ——主固结完成时土的孔隙比；
 k_c ——淤堵区土体渗透系数；
 k_h ——土体径向渗透系数；

q_w ——塑料排水板纵向通水量;
 q_u ——土体无侧限抗压强度;
 t ——固结时间;
 t_m ——主固结完成所需的时间;
 t_c ——次固结完成所需的时间;
 T_s ——土工合成材料抗拉强度;
 $\bar{U}_{rt}$ —— t 时刻地基平均固结度;
 w ——土体含水率;
 γ ——土体重度;
 γ_c ——路堤填料重度;
 φ_{cu} ——土体固结不排水内摩擦角;
 τ_p ——桩体抗剪强度;
 τ_{st} ——土体固结不排水抗剪强度。

2.2.3 作用和作用效应

F ——路堤中线沉降系数;
 K_a ——主动土压力系数;
 $M_{\max}$ ——桩帽与桩连接部位的最大弯矩;
 m_a ——增压折减系数;
 m_p ——复合地基置换率;
 N ——设计年限内一个车道上的 BZZ-100 累计当量轴次;
 p_0 ——土的自重应力;
 p_a ——增压压力;
 p_c ——土的先期固结应力;
 p_i ——第 i 级预压荷载;
 p_s ——土的欠固结应力;
 p_r ——桩帽上的等效平均应力;
 p_w ——路堤底面中点垂直应力;
 Δp ——土的附加应力增量;
 Q_s ——桩帽单位长度土体承担荷载平均值;
 Q_u ——桩帽上部承担荷载;
 q_c ——车辆荷载等效土柱高度的自重应力;
 S_c ——地基主固结沉降;
 S_d ——地基瞬时沉降;

- S_{ja} ——交通荷载引起的地基沉降；
- S_{ps} ——复合地基加固区的沉降；
- S_{se} ——地基次固结沉降；
- S_t —— t 时刻地基沉降；
- S_{∞} ——地基最终沉降；
- T_{ds} ——路堤侧面变形在水平加筋体内产生的拉力；
- T_{gc} ——加筋材料的拉力；
- T_{rp} ——桩土之间差异沉降产生的拉力；
- w_{LOM} ——絮凝剂掺入量；
- ε_c ——水平加筋体延伸率；
- ε_{si} ——土体累积应变；
- η ——桩体荷载分担比系数；
- λ_s ——双对数坐标下累积应变与循环次数关系曲线的斜率。

3 基本规定

3.0.1 吹填土含水率大于 85%，塑性指数大于 17 时，可判定为吹填流泥。

条文说明

《吹填土地基处理技术规范》(GB/T51064-2015) 中将吹填土分为粗粒土、混合土及细粒土三大类，细粒土类分为浮泥、流泥、淤泥，其中流泥定义为含水率 85%~150%，塑性指数大于 17 的淤泥性土，浮泥定义为含水率大于 150%，塑性指数大于 17 的淤泥性土。《水运工程岩土勘察规范》(JTS133-2013) 中将含水率大于 85% 的流泥、浮泥称为流泥。本规程主要针对高含水率吹填淤泥性土，实际工程中土体含水率大于 85%，参照《水运工程岩土勘察规范》(JTS133-2013)，将其统称为吹填流泥。本规程中土体界限含水率由 76g 锥液塑限联合测定仪测得。

我国沿海典型吹填区吹填流泥基本物理特性如表 3-1 所示。

表 3-1 我国吹填流泥物理力学指标统计表

	含水率	密度	比重	孔隙比	液限	塑限	塑性指数	颗粒分布		
	%	g/cm ³			%	%	%	>75μm	75~5μm	<5μm
天津临港	85	1.66	2.61	2.02	50	25	25	52.6	47.4	
	193	1.37	2.60	3.81	36.8	18.91	17.9	62.4	37.6	
	204	1.22	2.61	3.96	63.8	29.22	34.7	31.3	68.7	
	130	1.37	2.70	3.62	41.1	20.8	20.3	8.1	43.6	48.3
	123	1.44	2.71	3.36	37.1	19.3	17.7	5.1	47.4	47.5
深圳前湾	109	1.43	2.72	2.97	46.7	27.6	19.1	11.4	88.6	
	119	1.4	2.68	3.20	42.9	25.4	17.5	16.1	32.3	51.6
深圳妈湾	92	1.51	2.68	2.47	50.2	28.1	22.1	9.1	37.2	53.7
深圳南油	120	1.43	2.71	3.22	61.3	30.4	30.9	20	45	35
	104.6	1.41	2.71	2.82	58.2	29.2	29.0	20	45	35
江苏连云港	124	1.41	2.73	3.51	50.9	29	21.9	14.9	30.2	54.9
	118.5	1.46	2.67	2.97	88.0	38	50	22.2	41.3	36.5
福建可门港	97.2	1.57	2.67	2.43	61.1	30	31.1	5.4	37.1	57.5
	98.6	1.61	2.67	2.55	61.1	29	32.1	1.1	98.9	
辽宁大连	109.6	1.55	2.72	2.77	51.8	30.9	20.9	20.3	57.2	22.5
浙江钱塘	150	1.44	2.69	2.93	57.3	20.4	26.9	11	83.5	5.5
温州浅滩	131	1.39	2.71	2.85	45.5	22.7	22.8	14.7	55.4	29.9

温州龙湾	130	1.40	2.70	2.92	49.6	23.4	26.2	3.3	58	38.7
温州瓯飞	187	1.31	2.61	3.72	81	42	39	12.9	47.8	39.3
	154	1.21	2.70	4.01	75	48	27	9.8	45.6	44.6

3.0.2 公路吹填流泥地基处理可分为场地预处理和地基处理两阶段。当吹填流泥地基承载力小于 30kPa，不能满足施工机械设备进场作业要求时应进行场地预处理。

3.0.3 预处理设计应符合下列规定：

1 吹填流泥场地预处理方案应根据吹填流泥的物理力学性质，施工机械对作业场地的要求、施工工期等确定，可采用复式真空预压法。

2 处理范围应根据路基宽度及高度、施工机械对作业场地的要求等确定。

3 处理范围边界与周边地下管线、既有路基、涵洞通道、建筑物等的距离不宜小于 20m。

条文说明

由于吹填流泥含水率高，强度低，如压实、换填、堆载预压、复合地基等无法直接应用于吹填流泥处理，因此现有工程常采用复式真空预压法对吹填流泥场地进行预处理，并取得良好的处理效果。

真空预压处理吹填流泥地基要考虑影响区附加沉降及土体侧向变形对相邻管线及建筑物等的影响。《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2012) 建议影响区范围为加固区边界外不小于 20m。工程实例表明，真空预压影响范围随土体性质、处理场地尺寸及处理深度的变化而变化。考虑吹填流泥地基的特殊性，本规程规定处理区与相邻管线及建筑物等的安全距离不小于 20m。

3.0.4 应根据吹填流泥及下卧层分布特征、厚度、物理力学性质、地形变化情况，路堤高度，构造物位置和结构类型等，分路段确定地基处理方案，并符合下列规定：

1 处理范围应根据路基或构造物的范围、使用要求、沉降及稳定性的要求确定。

2 不同地基处理方案衔接路段工后沉降应平缓过渡，减少差异沉降。

3 桥头路基与一般路基、涵洞通道与一般路基之间地基处理设计应设置过渡段，过渡段长度不宜小于 50m。

4 相邻路段路基工后沉降引起的纵坡变化应小于 0.4%。

3.0.5 地基处理施工应符合下列规定：

1 场地预处理施工时，应基于地质条件及场地预处理方法选择合适的施工方案，并应考虑施工机械进场的可行性、安全性，必要时可设置泡沫垫等施工垫层。

2 地基处理施工时，应基于场地预处理效果，地基处理方法及公路工程的要求选择合适的施工方案。

3 施工过程中应采取相应措施保障施工人员及机械安全。

3.0.6 吹填流泥地基处理应采用动态设计和信息化施工。场地预处理结束后，应对场地进行工程地质补充勘察，并根据补充勘察和监测成果，对地基处理设计进行优化调整。

征求意见稿

4 吹填流泥地基勘察

4.1 一般规定

4.1.1 吹填流泥地基勘察应查明吹填流泥及下卧地层分布特征、岩土性质、化学成分及腐蚀性等工程地质条件，提供地基处理设计和施工所需的地质资料，提出地基处理方法的建议。

4.1.2 吹填流泥地基能满足勘察设备进场作业要求时，初步勘察及详细勘察阶段的勘察方法、内容与要求应符合现行《公路工程地质勘察规范》(JTG C20-2011)的有关规定。

4.1.3 吹填流泥地基不能满足勘察设备进场作业要求时，吹填流泥地基勘察应按照本规程的规定，进行初步勘察、详细勘察和场地预处理施工后的补充勘察。

4.2 工程可行性研究阶段勘察

4.2.1 工程可行性研究阶段勘察应掌握路线走廊带内吹填流泥地基分布情况，了解其可能对工程产生的影响，勘察成果应满足路线方案可行性研究的需要。

4.2.2 工程可行性研究阶段勘察应以资料收集和地质调绘为主，简易勘探为辅，必要时对重点路段进行钻探。

4.2.3 工程可行性研究阶段勘察应完成下列工作：

- 1 调查吹填流泥的分布范围、厚度、吹填工艺及料源。
- 2 调查下卧层的分布范围、成因类型、工程性质，分析对工程可能产生的影响。
- 3 对吹填流泥地基周边的地下管线、既有路基、涵洞通道、建筑物等进行调查，确定其结构形式，地基和基础类型。

4.2.4 工程可行性研究阶段勘察报告编制应包括下列内容：

- 1 工程地质说明应重点阐明吹填流泥地基的分布范围、成因类型及工程特性等对路线的影响，提出地基处理的建议。

- 2 吹填流泥地基平面图，比例尺为 1: 5 000 ~ 1: 10 000。
- 3 吹填流泥地基柱状图，比例尺为 1: 500 ~ 1: 2 000。

4.3 初步勘察

4.3.1 初步勘察应初步查明公路沿线吹填流泥地基的地质条件，研究对工程方案的影响，并提出地基处理方法的初步建议。

4.3.2 初步勘察宜采用轻型设备作业，必要时可借助竹筏、泡沫板搭设作业平台，并应减少对吹填流泥的影响。

4.3.3 初步勘察应以原位测试为主、并结合钻探及土工试验等方法进行，必要时应采用套管作业。

4.3.4 初步勘察应完成下列工作：

- 1 吹填流泥及下卧层的分布范围、物理力学性质及成因类型。
- 2 地下水的类型、埋深、水质，水位变化情况以及补给与排泄条件。
- 3 场地地质构造、地震等资料。

4.3.5 初步勘察应符合下列规定：

1 勘察点布置应根据公路等级、吹填流泥路段长度确定，并不应低于表 4.3.5 的要求。当吹填流泥及下卧层成因复杂时，勘探点宜适当加密。

表 4.3.5 初步勘察勘探点设置要求

公路等级	原位测试	钻探
二级及以上	2 孔/1000m	1 孔/1000m
二级以下	1 孔/1000m	1 孔/1000m

2 场地宜每 2000m ~ 2500m 布置 1 个勘察横断面，每个横断面上宜布置 2 ~ 3 个勘探点，以原位测试为主调查横向地质断面的特征。

3 吹填流泥地基原位测试宜采用轻型静力触探试验和十字板剪切试验。

4 应采用封闭式全柱状取样器或薄壁取土器进行取样，吹填流泥层厚度大于 5m 时应在该层上、中、下各取一组土样。

5 钻孔应布置在有代表性的部位，宜布置在路中线位置。

6 钻孔深度应穿透吹填流泥及下卧软弱土层进入持力层 2m ~ 5m；对于深厚软弱土层，勘探深度应达到预估的地基附加应力与地基土自重应力比为 0.10 时所对应的深度或不小于地基压缩层的计算深度；当难以预估附加应力的大小时，钻孔深度宜不小于 40m。

4.3.6 初步勘察报告编制应包括下列内容:

- 1 工程地质说明应重点阐明沿线吹填流泥地基的分布范围、物理力学性质及成因类型,做出工程地质评价与预测,提出地基处理方法的初步建议。
- 2 工程地质平、断面图的比例应满足表 4.3.6 的要求。

表 4.3.6 初步勘察工程地质平、断面图要求

	平面图	纵断面图		横断面图	钻孔柱状图
		水平	垂直		
比例尺	1: 2000 ~ 1: 10 000	1: 2000 ~ 1: 10 000	1: 200 ~ 1: 1000	1: 100 ~ 1: 400	1: 100 ~ 1: 200

- 3 原位测试成果图表,包括十字板剪切图、静力触探图等。
- 4 土工试验资料成果图表,包括土的物理力学性质表、化学性质表与指标统计表,孔隙比与荷载关系图,固结系数与荷载关系图等。
- 5 水文地质测试资料图表。
- 6 勘探、试验照片等。

4.4 详细勘察

4.4.1 详细勘察应基本查明吹填流泥地基的地质条件和物理力学性质指标,为地基处理方案选择提供相关的技术指标。

4.4.2 详细勘察应完成下列工作:

- 1 查明吹填流泥及下卧层在横向、纵向及深度方向的分布情况。
- 2 分段查明吹填流泥及下卧层的物理力学性质、化学性质及水理性质。
- 3 计算分析典型路段公路路基沉降与稳定性,分段提出地基处理方法的建议。

4.4.3 详细勘察应充分利用初步勘察资料,结合工程实际方案进行勘探,并应符合下列规定:

- 1 勘探点布置应根据公路等级、吹填流泥路段长度确定,并不应低于表 4.4.3 的要求;当吹填流泥及下卧层成因复杂时,勘探点宜适当加密。

表 4.4.3 详细勘察勘探点设置要求

公路等级	原位测试	钻探
二级及以上	2~3 孔/1000m	1~2 孔/1000m
二级以下	1~2 孔/1000m	1~2 孔/1000m

- 2 勘察断面设置,原位测试及钻探应符合本规程第 4.3.5 条的有关规定。

4.4.5 详细勘察报告编制应包括下列内容:

- 1 工程地质说明应重点阐明吹填流泥地基分布范围、物理力学性质与成因类型,结

合试验与测试指标做出工程地质评价与预测，提出地基处理方法的建议。

2 图表资料应符合本规程第 4.3.6 条的有关规定。

4.5 场地预处理施工后补充勘察

4.5.1 补充勘察应结合场地预处理监测检测成果，详细查明场地预处理施工后吹填流泥及下卧层工程地质条件和物理力学性质指标，为地基处理设计优化调整提供的技术指标。

4.5.2 补充勘察应完成下列工作：

- 1 详细勘察阶段未查明的工程地质问题。
- 2 吹填流泥及下卧层在场地预处理后层位及物理力学性质等的变化情况。
- 3 与详细勘察的成果进行对比分析，修正路基沉降及稳定性计算分析指标，提出地基处理设计优化调整的建议。

4.5.3 补充勘察应以钻探及原位测试相结合的综合勘察方法进行，并符合下列规定：

1 勘察点布置应根据公路等级，吹填流泥地基条件确定，并不应低于表 4.5.3 的要求；当吹填流泥及下卧层成因复杂时，勘探点宜适当加密。

表 4.5.3 补充勘察勘探点间距

地质条件		公路等级	原位测试（m）	钻探（m）
简单场地	吹填流泥层平坦，性质较为单一，原软土层厚度较薄，地层较稳定	二级及以上	200~300	500~700
		二级以下	300~500	700~1000
复杂场地	吹填流泥层有起伏，性质水平变化大，原软土层厚度较大，地层变化显著	二级及以上	100~200	100~200
		二级以下	200~300	200~300

2 每个桥头路基、涵洞通道路段及地质条件变化较大的路段应布置 1 个勘察横断面，每个横断面上宜布置 3~4 个勘探点，调查横向地质断面的特征。

3 宜在每个具有代表性的地质路段，对吹填流泥地基进行静力触探及十字板剪切试验。

4.5.4 补充勘察报告编制应符合本规程第 4.4.5 条的有关规定。

4.6 土工试验

4.6.1 吹填流泥应按表 4.6.1 试验项目确定含水率、液限、塑限等物理力学指标，下卧层的土工试验应符合现行《公路土工试验规程》(JTG E40) 的有关规定：

表 4.6.1 吹填流泥试验项目

试验指标	获得参数
------	------

		场地预处理前	场地预处理后
物理性质	基本指标	含水率、密度	含水率、密度
	界限含水率	液限、塑限、液性指数、塑性指数	液限、塑限、液性指数、塑性指数
	透水性指标	渗透系数	渗透系数（水平、垂直）
	颗粒分布	不均匀系数、颗粒组成、黏粒含量	不均匀系数、颗粒组成、黏粒含量
力学性质	固结指标	$e \sim p$ 曲线、 $e \sim \log p$ 曲线、压缩系数、压缩指数、压缩模量、固结系数	$e \sim p$ 曲线、 $e \sim \log p$ 曲线、压缩系数、压缩指数、压缩模量、固结系数、回弹指数、次固结系数
	强度指标	—	三轴不固结不排水剪切强度，三轴固结不排水剪切强度，三轴固结排水剪切强度，灵敏度
化学性质	化学成分	pH 值，有机质、可溶盐等	pH 值，有机质、可溶盐等

4.6.2 场地预处理前，吹填流泥固结试验起始固结压力不宜大于 6kPa。

条文说明

在固结试验过程中，为防止吹填流泥试样因起始固结压力较大发生挤出破坏，本规程规定起始固结压力不宜大于 6kPa。

5 沉降及稳定计算

5.1 一般规定

5.1.1 吹填流泥地基沉降及稳定计算应考虑吹填流泥及下卧层的固结特性、厚度、强度、路堤高度、预压方式以及交通荷载等因素的影响。

5.1.2 沉降和稳定计算所需的参数，应结合工程地质勘察报告的成果，根据吹填流泥及下卧层成因类型、物理力学性质，对公路沿线场地进行工程地质单元划分，对各地质单元的参数进行统计分析，选取相应代表值。

5.1.3 吹填流泥层及下卧软弱土层均应按分层地基进行沉降与稳定计算，下卧层的沉降及稳定计算应将吹填流泥层的自重作为附加荷载。

5.1.4 沉降计算应至下卧软弱层底，当下卧软弱层较为深厚时，沉降计算深度应至附加应力与自重应力比不大于 0.15 处。

5.1.5 路堤高度不大于 2.5m 时，沉降计算应考虑交通荷载的影响。

5.2 沉降计算

5.2.1 地基最终沉降应包括瞬时沉降、主固结沉降、次固结沉降及交通荷载引起的沉降，可按式 (5.2.1) 计算。

$$S_{\infty} = S_d + S_c + S_{se} + S_{ja} \quad (5.2.1)$$

式中： S_{∞} ——地基最终沉降 (m)；

S_d ——地基瞬时沉降 (m)；

S_c ——地基主固结沉降 (m)；

S_{se} ——地基次固结沉降 (m)；

S_{ja} ——交通荷载引起的地基沉降 (m)。

5.2.2 瞬时沉降可按式 (5.2.2) 计算。

$$S_d = F \frac{p_w(b+a/2)}{E_e} \quad (5.2.2)$$

式中: F ——路堤中线沉降系数, 取值范围应符合现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D30-02) 的相关规定;

p_w ——路堤底面中点的最大垂直应力 (kPa);

E_e ——土的弹性模量 (kPa), 由不固结不排水三轴剪切试验确定;

b ——路堤顶面宽度 (m);

a ——路堤边坡宽度 (m)。

条文说明

本规程中土体瞬时沉降由土体剪切变形引起。

5.2.3 吹填流泥层固结沉降计算应考虑欠固结特性的影响; 当下卧层为非软弱土层时, 可不进行下卧层沉降计算。吹填流泥层及下卧层主固结沉降可按式 (5.2.3) 计算:

$$S_c = \sum_{i=1}^j \frac{C_{ci}}{1+e_{0i}} \lg\left(\frac{p_{0i}+\Delta p_i}{p_{ci}}\right) h_i \quad (5.2.3)$$

式中: C_{ci} ——第 i 层土的压缩指数;

e_{0i} ——第 i 层土先期固结压力对应的孔隙比, 下卧层 e_{0i} 为土的初始孔隙比;

p_{0i} ——第 i 层土的自重应力 (kPa);

p_{ci} ——第 i 层土的先期固结压力 (kPa), 下卧层 p_{ci} 为土的自重应力;

Δp_i ——第 i 层土的附加应力增量 (kPa), 下卧层 Δp_i 计及吹填流泥层自重;

h_i ——第 i 层土的厚度 (m)。

条文说明

当土体欠固结应力大于 0 时应定义为欠固结土。欠固结应力为每一层土所承受的自重应力与其先期固结压力差值, 与土的欠固结程度相关, 可按式 (5-1) 计算, 先期固结压力通过一维固结试验确定。

$$p_{sj} = \sum_{i=1}^{j-1} \gamma_i h_i + \frac{\gamma_j h_j}{2} - p_{cj} \quad (5-1)$$

式中: p_{sj} ——第 j 层土的欠固结应力 (kPa);

p_{cj} ——第 j 层土的先期固结压力 (kPa);

γ_i 、 γ_j ——第 i 、 j 层土的重度, 地下水位以下取浮重度 (kN/m³);

h_i 、 h_j ——第 i 、 j 层土的厚度 (m)。

5.2.4 次固结沉降可按式 (5.2.4) 计算。

$$S_{se} = \sum_{i=1}^j \frac{C_{ai}}{1+e_{ci}} \lg \left(\frac{t_c}{t_m} \right) h_i \quad (5.2.4)$$

式中: C_{ai} ——第 i 层土的次固结系数;

e_{ci} ——第 i 层土主固结完成时的孔隙比;

t_m ——主固结沉降完成所需的时间 (d);

t_c ——次固结沉降完成所需的时间 (d)。

5.2.5 交通荷载产生的沉降可按式 (5.2.5-1)、式 (5.2.5-2) 计算。

$$S_{ja} = \sum_{i=1}^j \varepsilon_{si} h_i \quad (5.2.5-1)$$

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_{pi,1000} \left(\frac{N}{1000} \right)^{\lambda_s} \quad (5.2.5-2)$$

式中: ε_{si} ——第 i 层土在设计年限内累计当量轴次的累积应变 (%);

$\varepsilon_{pi,1000}$ ——采用动三轴仪进行土体单元循环加载试验, 经过 1000 次循环后的累积应变 (%);

λ_s ——采用动三轴仪进行土体单元循环加载试验, 双对数坐标下累积应变与循环次数关系曲线的斜率;

N ——设计年限内一个车道上的 BZZ-100 累计当量轴次。

条文说明

与其他类型的地基相比, 经处理之后的吹填流泥地基仍然表现出孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低等超软土特性, 交通荷载引起的附加动应力会引起可观的运营后沉降。日本道路协会《软土地基处理技术指南》认为高度小于 2.5m 的路堤经常受到交通荷载引起的不均匀沉降的危害。对处理后的吹填流泥, 如路堤高度小于 2.5m, 应考虑交通荷载的影响, 如路堤高度大于 2.5m, 宜根据当地经验或者其他手段确定是否考虑交通荷载的影响。

研究表明, 采用经验拟合法, 建立累积变形与交通荷载循环次数的定量关系是一种即简单方便又精度较高的方法。影响拟合参数 $\varepsilon_{pi,1000}$ 与 λ 的因素包括循环动应力幅值、土体应力状态、土的物理状态、静剪切强度等, 与初始静偏应力, 交通荷载下主应力轴旋转, 排水条件等因素有关。采用动三轴仪进行土体单元循环加载试验时, 仪器设备、操作步骤、数据记录和处理等可按现行《土工试验方法标准》(GB/T 50123) 的有关规定执行。动应力宜采用半正弦纯压缩波激振, 每层土受到的动应力强度宜采用数值解析、有限元计算或者现场测试的方法确定 (选用双轮组单轴载 100kN 作为标准轴载, 即 BZZ-100)。根据研究结果, 交通荷载下沉降的计算深度一般不超过 6m, 温州地区吹填流泥地基的 $\varepsilon_{pi,1000}$ 以及 λ 建议取值见表 5-1。

表 5-1 温州地区 $\varepsilon_{pi,1000}$ 及 λ 取值范围

地基深度	0-2 m	2-4 m	4-6 m
$\varepsilon_{pi,1000}$	0.5%	0.2%	0.05%
λ	0.25	0.21	0.17

基于本规程的沉降计算方法对软土地基上某公路以及日本佐贺机场的沉降进行了计算（图 5-1，图 5-2），计算结果与实测结果均十分接近，表明本规程所建议的计算方法适用于交通荷载所引起的沉降。

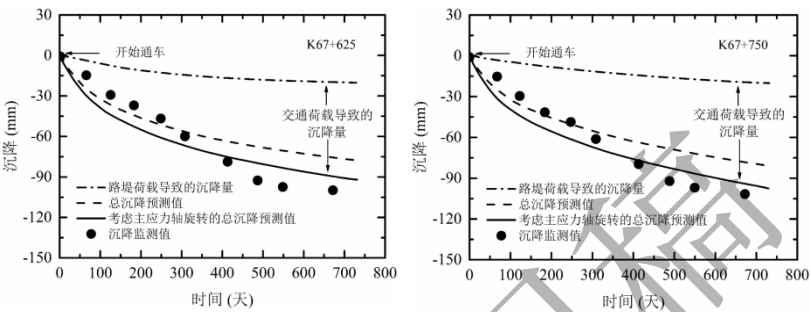


图 5-1 国内某公路 K67+625、K67+750 处沉降计算值与实测值的对比

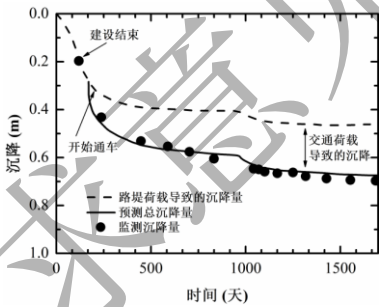


图 5-2 日本佐贺机场道路沉降计算值与实测值的对比

5.2.6 公路路基的工后沉降应满足表 5.2.6 的要求。

表 5.2.6 容许工后沉降

公路等级	工程位置		
	桥台与路堤连接处	涵洞、箱涵、通道处	一般路段
高速公路、一级公路	$\leq 0.10\text{m}$	$\leq 0.20\text{m}$	$\leq 0.30\text{m}$
二级公路（干线公路）	$\leq 0.20\text{m}$	$\leq 0.30\text{m}$	$\leq 0.50\text{m}$

注：二级非干线及二级下列公路工后沉降控制标准，经论证后可较二级干线公路适当放宽。

5.3 路堤稳定验算

5.3.1 稳定性验算应考虑自重荷载、施工临时荷载的影响；宜采用有效固结应力法或改进总强度法，在试验段或路堤的重点部位，可采用简化毕肖普法或普遍条分法，验算

方法应满足现行《公路软土路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D30-02) 的有关规定。稳定性计算得到的稳定系数不应低于表 5.3.1 的要求。

表 5.3.1 稳定系数容许值

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	—
三轴有效剪切指标	—	—	—	—	1.4

注 1：表列稳定安全系数未考虑地震影响。当需要考虑地震力时，表列稳定安全系数减小 0.1。

2：高速公路及一级公路，表列稳定安全系数可适当提高。

5.3.2 当存在斜坡地基或路堤沿软弱层带滑动时，路堤的稳定性计算可采用不平衡推动法，验算方法应满足现行《公路路基设计规范》(JTG D30) 的有关规定。稳定性计算得到的稳定系数不应低于表 5.3.2 的要求。

表 5.3.2 稳定系数容许值

分析内容	稳定安全系数	
	二级及二级以上公路	三、四级公路
路堤沿斜坡地基或软弱层滑动的稳定性	1.30	1.25

6 场地预处理设计

6.1 一般规定

6.1.1 场地地基预处理宜采用复式真空预压法，使用条件按表 6.1.1 确定

表 6.1.1 复式真空预压法适用条件

处理方法		适用条件	工艺特点
复式真空	增压式真空预压法	吹填流泥、淤泥等软弱土地基	增设了增压系统,可提高土体的固结压力
管预压法	絮凝-真空预压法	吹填流泥厚度不宜超过 5m，有机质含量不宜大于 10%。	对吹填流泥絮凝化处理后,再进行真空预压处理,可缩短处理时

			间，需要专用注浆设备
--	--	--	------------

6.1.2 对于场地预处理工程，卸载指标应根据场地土强度、平均应力固结度和沉降速率确定。

6.2 复式真空预压法

6.2.1 复式真空预压系统应包括密闭排水系统，增压系统以及密封系统，宜按图6.2.1进行设置。应将塑料排水板通过密封接头连接于水平排水系统，同时额外增加由竖向增压板、增压管路和空气压缩泵构成的增压系统。

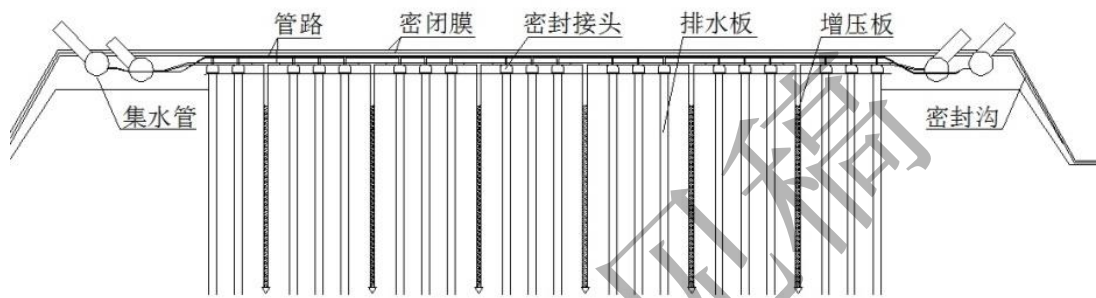


图 6.2.1 复式真空预压系统示意图

条文说明

温州、连云港、天津等地的吹填流泥预处理采用复式真空预压技术以缓解固结淤堵及真空度衰减问题，取得良好的效果。

真空排水系统包括真空泵、水平排水系统和竖向塑料排水板。复式真空预压是在传统真空系统的基础上，采用热熔整体式塑料排水板替代传统膜板分离式塑料排水板。整体式塑料排水板滤膜与板芯融为一体，能够提高塑料排水板强度，防止施工过程中的滤膜破损，减轻固结过程中的弯折，增强排水能力。

采用 PVC 钢丝软管取代水平滤管作为水平排水系统，采用密闭接头连接取代绑扎方式形成密闭排水系统（图 6-1）。与传统连接方式相比，密闭排水系统能够缩短真空压力传递路径，使真空压力直达排水板，提高深层土体的固结压力及加固效果。

利用竖向增压板、气管和空气压缩泵增设增压系统（图 6-2）。在地基处理中期土体达到一定固结度，真空压力下排水速率下降，固结发展速率降低后，将增压系统连接至增压泵开始增压。增压系统通过空气压缩泵施加高压气流，产生正压，通过管路与排水板传递至深层土体。增压系统主要作用在于利用正压增大土体间的压力差，提高固结压力。

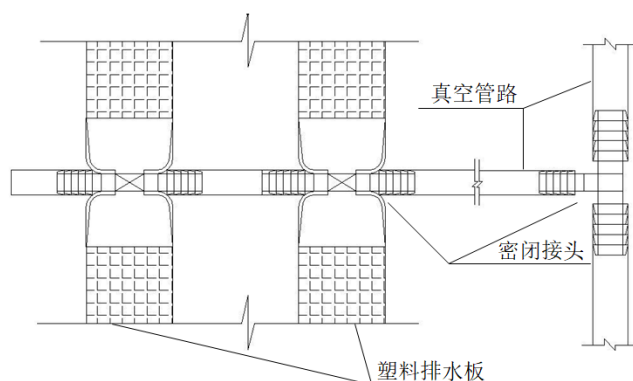


图 6-1 密闭排水系统

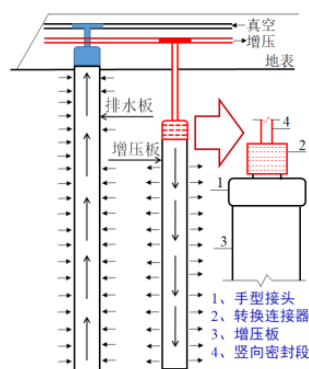


图 6-2 增压系统

6.2.2 塑料排水板布设应符合下列规定：

1 滤膜等效孔径宜按下式计算并选用：

$$O_{95} \approx 5d_{85} \quad (6.2.2-1)$$

式中： O_{95} ——滤膜等效孔径（ μm ）；

d_{85} ——土颗粒特征粒径（ μm ）。

2 等效换算直径可按式（6.2.2-2）计算：

$$d_w = \frac{2(b_v + \delta_v)}{\pi} \quad (6.2.2-2)$$

式中： d_w ——塑料排水板等效换算直径（ m ）；

b_v ——塑料排水板的宽度（ m ）；

δ_v ——塑料排水板的厚度（ m ）。

3 正方形排列时有效排水直径可按式（6.2.2-3），等边三角形排列时，有效排水直径可按式（6.2.2-4）计算：

$$d_e = 1.05l_v \quad (6.2.2-3)$$

$$d_e = 1.13l_v \quad (6.2.2-4)$$

式中： d_e ——塑料排水板有效排水直径（ m ）；

l_v ——塑料排水板间距（ m ）。

4 间距可根据吹填流泥的固结特性和预定时间内所要求达到的固结度确定。设计时，间距可按井径比选用。井径比可按式（6.2.2-5）计算，实际工程中，井径比宜为 10~18，含水率高时取低值。

$$n = d_e / d_w \quad (6.2.2-5)$$

式中： n ——井径比。

5 宜穿过吹填流泥层进入下卧层 50cm。

条文说明

塑料排水板滤膜等效孔径以 O_{95} 计，根据过筛率与标准砂粒径关系曲线确定。曲线和坐标采用对数坐标，坐标值为每组标准砂粒径的平均值，纵坐标为过筛率，曲线上坐标 5% 所对应的横坐标值为滤膜的等效孔径 O_{95} 。

《水运工程塑料排水板应用技术规程》(JTS206-1-2009) 中规定 $O_{95} < 75\mu\text{m}$ ，易在吹填流泥场地预处理中发生淤堵。现有研究表明，合适的滤膜孔径可以防止土颗粒堵塞滤膜，有利于塑料排水板周围反滤层的形成，能够减轻淤堵，从而取得较好的加固效果。滤膜孔径宜在 $60\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ 范围内，根据 $O_{95} = 4 \sim 6D_{85}$ 进行选取， D_{85} 为 85% 的土颗粒粒径。滤膜孔径过小淤堵严重，孔径过大土颗粒流失增加。

6.2.3 水平排水系统采用由主管及支管组成的密闭排水系统，主管宜采用内径不小于 50mm 的 PVC 螺旋型弹性钢丝管，间距为 30m~40m；支管宜采用内径不小于 25mm 的 PVC 螺旋型弹性钢丝管，宜布置在每两排塑料排水板中间。

条文说明

《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2012) 以及《吹填土地基处理技术规范》(GB/T51064-2015) 中规定真空预压水平排水垫层应采用不小于 0.5m 的砂垫层。但吹填流泥初始强度过低无法进行表层砂垫层施工，浙江温州，江苏连云港等地的吹填流泥真空预压地基处理，采用 PVC 螺旋型弹性钢丝管作为水平排水垫层，避免了管路变形以及真空压力衰减，取得了较好的加固效果。研究表明，相比与传统的管路连接方式，密闭式连接方式使土体真空度维持在更高的水平。

6.2.4 增压系统设置应符合下列规定：

1 增压系统由竖向增压板、增压管路和空气压缩泵构成，气压泵单机功率不宜小于 7.5kW，控制面积不宜大于 3000m²。

2 竖向增压板宜采用塑料排水板。

3 增压板头埋置深度不应小于 1.0m。

4 增压板插板深度宜与塑料排水板深度一致，平面位置宜设置在塑料排水板围绕的中心位置，如图 6.2.4-1 及图 6.2.4-2 所示。

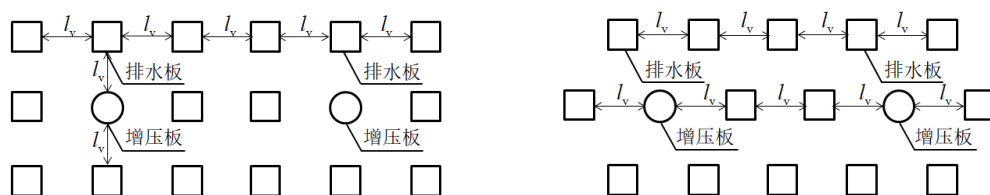


图 6.2.4-1 排水板及增压板正方形平面布置示意图 图 6.2.4-2 排水板及增压板等边三角形平面布置示意图

5 增压管路宜采用直径不小于 10mm 的 PVC 气管。

6 增压加载宜在地基平均固结度超过 40%后开始, 增压压力宜为 20kPa~40kPa, 土体含水率高时取小值。

7 每次增压过程中, 超静孔压变化值等于增压压力时应停止增压, 增压频率不宜小于 1 次/d。

条文说明

增压过程中, 气流会对膜下真空度产生影响, 造成固结压力降低, 因此施工过程中应设置密封段, 在吹填流泥地基处理过程中, 塑料排水板间距一般为 0.7m ~ 1.0m, 将增压板头埋置在地表 1.0m 下列, 可以保证真空系统的密封性, 密封段可采用延长增压管路及覆土的方式进行。

由于增压板对于围绕其四周塑料排水板的增压作用是相同的, 实际工程中为提高增压效率, 一般根据塑料排水板的平面布置方式, 将增压板布置在塑料排水板围绕的中心位置, 如图 6.2.4 所示。当塑料排水板为正方形布置时, 增压板取代一根塑料排水板, 布置在 8 根塑料排水板中心, 当塑料排水板为等边三角形布置时, 增压板取代一根塑料排水板, 布置在 6 根塑料排水板中心。

增压开始时间过早, 土体结构不稳定, 高压气流容易造成翻浆冒泡, 影响密封效果。增压时间过晚, 土体致密无法产生增压效果。根据增压试验及工程实例, 地基固结度在 40%~60% 范围内时进行增压, 可取得较好的增压效果。

6.2.5 密封膜宜采用 2~3 层聚乙烯或聚氯乙烯土工膜, 密封膜及水平排水系统之间应铺设 1 层无纺土工织物作为保护层。

6.2.6 处理区周围应设置密封沟, 密封沟深度应低于低渗透性土层顶面下不少于 0.5m; 条件受限时, 可将密封膜压入吹填流泥面下列 0.5m 进行密封。

6.2.7 真空加载应符合下列规定:

1 真空泵可施加真空压力不应小于 95kPa, 可采用射流真空泵或水环式真空泵。

2 真空泵宜在加固区均匀布置, 射流真空泵单台功率不应小于 7.5kW、控制面积宜为 800m²~1200m²; 水环式真空泵的单套机组功率不应小于 185kW, 控制面积不宜大于 100000 m²。

3 真空预压初期宜采用两级加载, 第一级真空度宜为 30 ~ 40kPa, 加载时间宜为 10d~15d, 膜下真空度最终不应小于 80kPa。

6.2.8 采用絮凝预处理提高真空预压法效率时, 应符合下列规定:

1 应根据疏浚淤泥的矿物成分、颗粒级配、有机质含量、孔隙水 pH 值和可溶盐选

取合适的絮凝剂，并应对处理前后絮凝剂对环境、土壤、植物的影响进行评估。

2 当采用石灰粉作为絮凝剂时，可按水灰比 5:1 的比例配制。

3 絮凝剂掺入量应根据吹填流泥含水率确定，可按照式 (6.2.8) 计算，且不宜大于 1.5%。

$$w_{\text{LOM}} = (100 \times w - 600) / 6000 \quad (6.2.8)$$

式中： w_{LOM} ——絮凝剂掺入量 (%)；

w ——吹填流泥含水率 (%)。

4 吹填流泥絮凝化处理后，应重新测定其渗透系数及固结系数。

条文说明

采用石灰作为絮凝剂时，一方面，石灰中的钙离子置换土颗粒表面的单价阳离子，使得土颗粒表面扩散层厚度变薄和颗粒间的排斥力减小，进而土颗粒联结而絮凝成团，增大土颗粒孔隙从而提高渗透系数，加速土体的沉降速率。另一方面，土矿物质中的氧化硅和氧化铝处于可溶和游离状态，石灰钙离子发生硬凝、结晶和碳化反应。

絮凝剂掺入量过少絮凝反应不充分，无法保证絮凝效果，而絮凝剂掺量过度的情况下，因为氢氧化钙溶解度有限，不足以形成良好的碱性环境促进土体中氧化硅和氧化铝的分离，同时硬凝反应产生胶结物充填团粒间的孔隙，同样会导致土体渗透系数降低。根据不同絮凝试验发现，絮凝剂掺入量合理范围在 0.1%~1.5% 之间，主要受施工工艺、低质条件等因素的影响，具体掺入量可通过现场试验进一步确定。

6.2.9 复式真空预压场地预处理的地基平均固结度宜按式 (6.2.9-1) ~ 式 (6.2.9-8) 计算，并考虑固结过程中的淤堵影响：

$$\bar{U}_{\text{IT}} = 1 - F_{t0} e^{-\frac{8c_h t}{F d_e^2}} \quad (6.2.9-1)$$

$$F_{t0} = \exp \left(-\frac{8c_h t_0}{d_e^2} \left(\frac{1}{F_{1/2}} - \frac{1}{F} \right) \right) \quad (6.2.9-2)$$

$$F_{1/2} = F_c + F_n + F_r \quad (6.2.9-3)$$

$$F = F_{c\text{max}} + F_n + F_r \quad (6.2.9-4)$$

$$F_n = \ln(n) - \frac{3}{4} \quad (6.2.9-5)$$

$$F_c = \left(\frac{k_h}{k_c} - 1 \right) \ln((c_{\text{max}} + 1) / 2) \quad (6.2.9-6)$$

$$F_{c\text{max}} = \left(\frac{k_h}{k_c} - 1 \right) \ln(c_{\text{max}}) \quad (6.2.9-7)$$

$$F_r = \frac{\pi H^2}{4} \frac{k_h}{q_w} \tag{6.2.9-8}$$

式中： $\bar{U}_{rt}$ —— t 时刻地基平均固结度；
 C_h ——土体平均径向固结系数（ m^2/d ），通过固结试验获得；
 k_h ——土体平均径向渗透系数（ m/d ），通过渗透试验获得；
 k_c ——淤堵区平均土体渗透系数（ m/d ），宜进行真空预压试验，取排水板周围淤堵区土样，再进行渗透试验获得；无试验资料时可取 $k_h/(10\sim100)$ ，土体含水率低时取小值；
 t ——固结时间（ d ）；
 t_o ——淤堵区停止发展的时间（ d ），可取 $10\sim15$ ，含水率低时取高值；
 c_{max} ——淤堵区直径与排水板等效直径比值，可取 $c_{max}=1.5\sim3.0$ ，含水率低时取高值；
 H ——塑料排水板深度（ m ）；
 q_w ——塑料排水板纵向通水量（ m^3/s ）。

条文说明

当淤泥初始含水量较高、真空压力较大时，易在真空预压加固中围绕排水板形成淤堵区，计算中需考虑淤堵对土体真空预压固结的影响，即公式中 F_o 项；当加固淤泥深度较厚时，排水板易发生堵塞弯折，计算中需考虑井阻影响，即公式中 F_n 项。

淤堵区的固结相关参数，包括淤堵区半径大小、渗透系数、形成时间随淤泥的初始含水量、真空压力等，需通过试验获取；无试验资料时，可根据类似工程经验结合公式给定范围确定。确定淤堵区固结压缩系数和渗透系数时，直接采用初始值易导致固结速度计算结果过大，可结合试验中孔压消散终值取平均固结压缩系数和渗透系数对固结系数变化予以考虑。

淤泥真空预压过程中淤堵区围绕排水板逐渐形成，尽管形成时间较短，但该过程对整体计算结果的影响不可忽略，公式中通过因子 F_{t0} 予以考虑。实际中，半径增长段 F_o 因半径变化随时间而变，公式中使用最大淤堵区半径与排水板半径（淤堵区半径起始值）的均值代替该阶段淤堵区半径加以考虑。

7 地基处理设计

7.1 一般规定

7.1.1 当吹填流泥路段路堤工后沉降或稳定性不满足要求时，应对吹填流泥地基进行处理设计。

7.1.2 涵洞通道路段应进行地基处理后，再进行基础开挖。

7.1.3 地基处理方法应根据吹填流泥及下卧层的厚度和性质，路堤高度及各类地基处理方法的适用性确定。

7.2 堆载预压法

7.2.1 堆载预压可分为欠载预压、等载预压和超载预压，应根据吹填流泥及下卧层厚度和性质、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。堆载填料及压实度应符合现行《公路路基设计规范》（JTG D30）的有关规定。

7.2.2 堆载预压地基处理应设置竖向塑料排水板，其布设方式、间距和打设深度应根据路堤的工后沉降及稳定性计算确定。

7.2.3 堆载底部应铺设排水垫层，其厚度不宜小于 500mm，垫层底部及顶部宜铺设透水土工织物。垫层材料可采用中粗砂、砂砾、碎石等，缺少砂石资源的地区，也可采用土工合成材料复合排水垫层。当采用密闭排水系统时应符合本规程 6.2.3 条的有关规定。

7.2.4 堆载预压应采用分级加载方式，堆载速率应与级荷载下地基强度增长速率相适应，当地基强度增长可满足下一级荷载下地基的稳定性要求时方可加载。地基抗剪强度可按式（7.2.4）计算：

$$\tau_{st} = \tau_{s0} + \bar{U}_{rc} \tan \varphi_{cu} \sum_{i=1}^j p_i \quad (7.2.4)$$

式中： τ_{st} —— t 时刻，土体固结不排水抗剪强度（kPa）；

τ_{s0} ——土体初始固结不排水抗剪强度（kPa）；

φ_{cu} ——土体固结不排水内摩擦角（°）。

p_i ——第 i 级预压荷载 (kPa)。

7.2.5 堆载预压时间应根据施工监测成果确定。超载路段、涵洞通道预压路段需要卸载时,计算的工后沉降应小于设计容许值,同时连续两个月的月沉降速率不宜大于 5mm。

7.3 真空联合堆载预压法

7.3.1 真空联合堆载预压系统宜按图 7.3.1 设置。

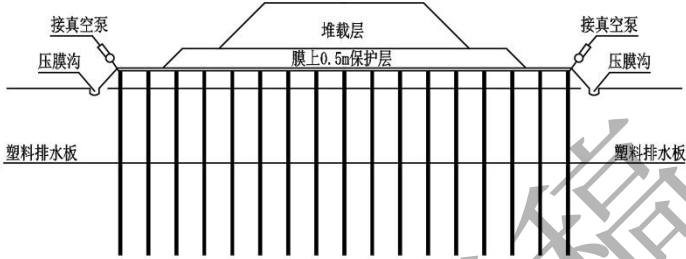


图 7.3.1 真空联合堆载预压系统示意图

7.3.2 真空系统设计应满足本规程第 6.2 节有关规定,并应符合下列规定

- 1 塑料排水板间距宜为 0.8m~1.2m,井径比可按 15~22 选用。
- 2 采用砂垫层作为水平排水系统时,应采用具有良好透水性的中粗砂,厚度不应小于 500mm,含泥量不大于 5%,渗透系数不小于 $1\times10^{-4}\text{m/s}$ 。并应在水平排水垫层中设置排水滤管,排水滤管水平间距宜为 6m~7m,连接排水滤管的主管间距宜为 15m~30m。
- 3 在地基处理范围内存在砂土层等透气层,宜采用黏土密封墙进行密封。黏土密封墙宜采用双排搅拌桩,搅拌桩直径不宜小于 700mm,搭接长度不宜小于 200mm,深度应穿过透气层,黏粒含量应大于 15%,渗透系数应小于 $1\times10^{-5}\text{cm/s}$ 。
- 4 真空预压可一次性满载,膜下真空压力不应小于 80kPa。

7.3.3 密封膜上应铺设无纺土工织物和砂垫层作为保护层,砂垫层厚度不宜小于 500mm。

7.3.4 堆载设计应符合本规程第 7.2 节的有关规定。

7.3.5 密封膜下稳定的真空度超过 80kPa 并持续不少于 10d 后,方可进行堆载。

7.3.6 堆载应采用分级加载,分级高度及加载速率应根据强度增长和地基稳定性确定,计算时膜下真空度可视为等效荷载。

7.3.7 地基固结度超过 80%,且连续 5d 实测地表沉降速率不大于 0.5mm/d 时,可停止抽真空作业。

7.4 水泥搅拌桩法

7.4.1 水泥搅拌桩法的固化剂宜选择强度等级 42.5 级及以上的普通硅酸盐水泥；外加剂应根据工程地质条件、吹填流泥有机质含量、pH 值和工程要求综合确定；外加剂均不得污染水源。

7.4.2 设计前应进行室内配合比试验，应选用合适的固化剂、外加剂及其掺量，进行水泥土的室内配合比试验，确定不同龄期、不同配合比的强度参数。

7.4.3 水泥搅拌桩平面布置和桩长设计应符合下列规定：

1 水泥搅拌桩桩身直径、长度、间距应根据路堤或涵洞通道结构对承载力、稳定性和工后沉降的要求确定。

2 桩的布置形式可采用正方形或梅花形，桩间距不应大于 4 倍桩径，平面加固范围应根据路基对沉降和稳定性的要求计算确定。

3 桩身长度应穿透吹填流泥，喷桩不宜大于 12m，浆喷桩不宜大于 15m。

7.4.4 垫层设置应符合下列规定：

1 桩顶应设置垫层，厚度可取 300 mm ~ 500mm。

2 垫层材料可选用中粗砂、砂砾或碎石，含泥量不宜大于 5%；缺乏砂石材料时，无粒料垫层材料可采用石灰土或水泥土。

3 垫层可设置土工合成材料作为加筋材料，加筋材料应满足延伸率不大于 5%时抗拉强度不小于 40kN/m 的要求。

7.4.5 水泥搅拌桩单桩承载力及复合地基承载力特征值的计算应符合现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D30-02) 的有关规定。

7.4.6 复合地基沉降计算应包括复合地基加固区的沉降和桩端以下卧层的沉降。复合地基加固区的沉降可按式 (7.4.6-1) 计算，桩端以下卧层的沉降计算应考虑吹填流泥的自重荷载。

$$S_{ps} = \sum_{i=1}^j \frac{\Delta p_i}{E_{psi}} h_i \quad (7.4.6-1)$$

式中： S_{ps} ——复合地基加固区的沉降 (m)；

E_{psi} ——第 i 层的桩土复合压缩模量 (kPa)，按式 (7.4.6-2)、式 (7.4.6-3) 计算。

$$E_{psi} = m_p E_p + (1 - m_p) E_{si} \quad (7.4.6-2)$$

$$E_{si} = 83.4q_{ui} \quad (7.4.6-3)$$

式中: E_p ——桩体压缩模量 (kPa);
 E_{si} ——第 i 层土的压缩模量 (kPa);
 q_u ——第 i 层土的无侧限抗压强度 (kPa);
 m_p ——复合地基置换率, 可按式 (7.4.6-4) 计算。

$$m_p = d_p / (\chi_1 L_p)^2 \quad (7.4.6-4)$$

式中: d_p ——桩体直径 (m);
 L_p ——桩间距 (m);
 χ_1 ——修正系数; 等边三角形布桩时 $\chi_1=1.05$, 正方形布桩时 $\chi_1=1.13$ 。

7.4.7 路基整体稳定性验算可采用简化毕肖普法, 滑动面上的复合地基抗剪强度 τ_{ps} 可按式 (7.4.7) 计算:

$$\tau_{ps} = m_p \tau_p + (1 - m_p) \tau_s \quad (7.4.7)$$

式中: τ_p ——桩体的抗剪强度, 可钻取试验路段水泥土 90d 原状试件无侧限抗压强度, 按其一半计算; 也可按设计配合比由室内制备的水泥土试件 (直径 5cm、高度 10cm 的圆柱体) 的无侧限抗压强度乘以 0.3 的折减系数求得 (kPa)。
 τ_s ——土体固结不排水抗剪强度 (kPa);

7.5 桩网复合地基法

7.5.1 桩网复合地基结构应由刚性桩、桩帽和加筋垫层组成。刚性桩桩型可采用预制或现浇钢筋混凝土桩。

7.5.2 刚性桩平面布置宜按正方形或等边三角形布桩, 桩间距应根据路堤稳定性及沉降计算确定, 可取圆形桩直径或方形桩边长的 4~8 倍。

条文说明

正方形布桩并采用正方形桩帽时, 桩帽和加筋层的设计计算较方便。同时加筋层的经向或纬向正交于填方边坡走向时, 加筋层对增强边界稳定性最有利。三角形布桩一般采用圆形桩帽, 采取等代边长参照正方形桩帽设计方法。

根据实际工程统计, 桩网复合地基的桩中心间距与桩径之比大多在 4~8 之间。当桩的竖向抗压承载力高时, 应选较大的间距桩径比。过大桩间距会导致桩帽造价升高, 加筋体的性能要求提高, 以及填土总厚度加大, 在实际工程中不一定是合理方案。

7.5.3 刚性桩桩长宜穿过吹填流泥及下卧软弱土层进入持力层。单桩竖向承载力计算

应考虑原吹填流泥层未完成自重固结以及由于后期路堤堆载等造成的负摩阻力，不应计及中性点深度以上土层的正摩阻力。

7.5.4 钢筋混凝土桩方形桩帽边长或圆形桩帽直径，可按式（7.5.4）计算确定。

$$B = \chi_2 L_p \quad (7.5.4)$$

式中： χ_2 ——修正系数，取值 0.4 ~ 0.5，当荷载较大时取高值；

B ——钢筋混凝土桩方形桩帽边长或圆形桩帽直径（m）。

条文说明

实际工程中，桩帽边长或直径一般取为 1.0m ~ 1.5m。

7.5.5 钢筋混凝土桩帽的厚度 δ_p 可按式（7.5.5）估算。

$$\delta_p = \chi_3 (B - d_p) \quad (7.5.5)$$

式中： χ_3 ——修正系数，取值 0.5 ~ 0.6，当荷载较大时取高值。

条文说明

实际工程中，桩帽厚度一般取为 0.3m ~ 0.4m。

7.5.6 桩帽上部承担的荷载，应考虑桩与桩间土因刚度差异而在路堤中形成土拱效应，按式（7.5.6）计算。

$$Q_u = \eta (\gamma_c H + q_c) L_p^2 \quad (7.5.6)$$

式中： Q_u ——桩帽上部承担的荷载（kN）；

η ——桩体荷载分担比系数；

q_c ——车辆荷载等效土柱高度的自重应力（kPa）；

γ_c ——路堤填料重度（kN/m³）；

H ——路堤填筑高度（m）。

7.5.7 桩帽的平面尺寸和厚度初步确定后，应根据现行《混凝土结构设计规范》（GB 50010）的有关规定对其进行强度验算及配筋设计。桩帽与桩连接部位的最大弯距值，可按式（7.5.7-1）计算。

$$M_{\max} = \frac{\xi p_T B (B - d_p)^2}{8} \quad (7.5.7-1)$$

式中： $M_{\max}$ ——桩帽与桩连接部位的最大弯距值（kN·m）；

ξ ——修正系数，取值 2.7~3.8，当 B/d_p 大于 4 时取低值， B/d_p 小于 2 时取高值，中间值可采用线性插值计算；

p_T ——桩帽上的等效平均应力（kPa），可按式（7.5.7-2）计算。

$$p_T = \frac{Q_u}{B^2} \quad (7.5.7-2)$$

7.5.8 加筋垫层厚度可按式 (7.5.8) 计算。

$$h_c = \lambda_4 L_p \quad (7.5.8)$$

式中: h_c ——加筋垫层的厚度 (m)。

λ_4 ——修正系数, 取值 0.2 ~ 0.25, 当土体强度较低时取高值。

条文说明

实际工程中, 垫层厚度一般取为 0.3m ~ 0.8m。

7.5.9 加筋材料的拉力可按式 (7.5.9-1) 计算, 并满足式 (7.5.9-2) 的要求。

$$T_{gc} = T_{rp} + T_{ds} \quad (7.5.9-1)$$

$$T_{gc} \leq T_s / \lambda_c \quad (7.5.9-2)$$

$$T_{rp} = \frac{Q_s(L_p - B)}{2B} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon_c}} \quad (7.5.9-3)$$

$$T_{ds} = 0.5K_a \gamma_c H^2 \quad (7.5.9-4)$$

式中: T_{gc} ——加筋材料的拉力 (kN/m);

T_{rp} ——桩土之间差异沉降产生的拉力 (kN/m);

T_{ds} ——路堤侧面变形在水平加筋体内产生的拉力 (kN/m);

T_s ——土工合成材料的抗拉强度 (kN), 按延伸率 5% 时确定;

λ_c ——考虑实际施工损伤、材料耐久性等情况的折减系数, 可取 2.0~3.0;

ε_c ——水平加筋体的延伸率, 可取 5%;

K_a ——主动土压力系数;

Q_s ——桩帽间单位长度土体承担荷载的平均值 (kN/m), 按式 (7.5.9-5) 计算。

$$Q_s = (1 - \eta)(\gamma_c H + q_c)L_p \quad (7.5.9-5)$$

7.5.10 垫层厚度不宜小于 300mm, 可选用碎石、砾石、卵石, 最小粒径应大于加筋体的孔径, 最大粒径应小于 50mm。

7.5.11 桩网复合地基应进行沉降及稳定性计算, 并符合现行《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D30-02) 的有关规定。工程地质条件差、路堤高度大或外侧有临空面时, 最外侧不少于 3 排的桩顶应采用钢筋混凝土系梁连接, 以增加整体刚度。

8 场地预处理施工

8.1 一般规定

8.1.1 场地预处理施工时应考虑吹填流泥厚度、含水率、地基承载力等因素影响，选择合适的施工工艺，做好施工组织设计。

8.1.2 施工前应对吹填流泥场地进行整理，清除吹填施工中的遗弃物及地杂草等。

8.1.3 场地预处理施工过程中应采取相应措施，防止施工人员及机械陷入吹填流泥中等工程事故的发生，保障施工安全。

8.2 复式真空预压法

8.2.1 复式真空预压施工可采用如图 8.2.1 所示的工艺流程：

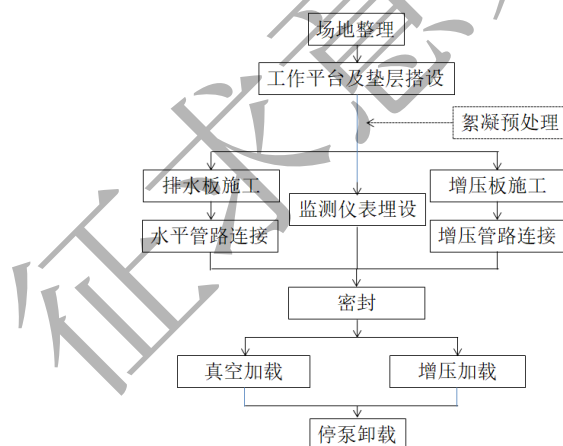


图 8.2.1 复式真空预压施工流程图

8.2.2 场地表层应铺设一层编织土工织物；施工便道及工作平台可采用竹筏架设及塑料泡沫板搭设。

8.2.3 塑料排水板施工应符合下列规定：

- 1 塑料排水板性能指标应符合表 8.2.3 要求。

表 8.2.3 塑料排水板性能指标

项目	单位	技术指标	备注
----	----	------	----

厚度	mm	4.0±0.2	
宽度	mm	100±2	
抗弯折性能	mm	无断裂	180 度对折 5 次
抗拉强度	kN/10cm	≥2.0	延伸率 10%时
纵向通水量	cm ³ /s	≥40	侧向压力为 350kPa
渗透系数	cm/s	≥5×10 ⁻³	试件在水中浸泡 24h
芯板		共聚丙烯	新料
滤膜		聚酯化合物纤维混合热轧	与板芯一次性热熔成型

2 塑料排水板进场后应及时放入仓库存储，现场堆放时应采取封闭、遮盖保护措施，不得暴晒。

3 根据现场情况及插板深度，可采用轻型机械插板或人工插板，施工过程中应采取防止塑料排水板扭曲的措施。

4 当塑料排水板达不到设计深度时，查明原因前不得截断排水板。

5 塑料排水板板头应露出吹填流泥表面，以连接水平排水系统

条文说明

工程实例表明，吹填流泥场地预基处理中土体沉降较大，传统膜板分离式塑料排水板强度不足，易在地基处理过程中产生“Z”状弯折，影响排水固结及真空压力传递。热熔成型的整体式塑料排水板提高了板体强度，在沉降过程中呈“S”状弯曲，可以提高排水固结效果。

8.2.4 水平排水系统施工应符合下列规定：

1 支管应布置在每两排塑料排水板之间，塑料排水板与真空管应采用带多点倒齿的密闭接头连接，并应采用 U 型钢钉固定，密闭接头与支管的连接宜采用自锁方式，连接长度不应小于 50mm。

2 支管间连接宜采用四通、三通或双通接头，连接长度不应小于 70mm。

3 支管与主管连接宜采用多通道变径四通、三通或双通接头，连接长度不应小于 100mm。

4 主管与主管间连接宜采用双通接头，连接长度不应小于 150mm。

5 出膜管与真空设备连接前应安装密封阀和止回阀。

6 主管与支管性能指标应满足表 8.2.4 的要求。

表 8.2.4 排水管性能指标

项目		单位	技术指标
主管	内径	mm	≥50
	重量	g/m	≥700
	工作压力	MPa	0.4
支管	内径	mm	≥25

	单位重量	g/m	≥250
	工作压力	MPa	0.5

8.2.5 增压系统施工应符合下列规定：

- 1 增压板可用塑料排水板，施工应符合本规程第 8.2.3 条的有关规定。
- 2 增压板顶部设置密闭式接头，长度不应小于 500mm；密闭式接头与增压密封段管路采用转换连接器连接，施工应符合本规程第 8.2.4 条的有关规定。
- 3 增压管路之间连接宜采用带有自锁装置的四通、三通或双通接头，连接长度不应小于 10mm。

8.2.6 密封膜铺设应符合下列规定：

- 1 铺设密封膜前应在水平排水系统上铺设无纺土工织物，性能指标应满足表 8.2.6-1 要求

表 8.2.6-1 无纺土工织物性能指标

项目	单位	技术指标
单位重量	g/m ²	≥200
断裂强度	kN/m	≥6.5
断裂伸长率	%	25~40
CBR 顶破强力	kN	≥0.9
垂直渗透系数	cm/s	1×10 ⁻²
撕破强力	kN	≥0.16

- 2 密封膜性能指标应不小于表 8.2.6-2 的要求

表 8.2.6-2 密封膜性能指标

最小抗拉强度 (MPa)		最小断裂伸长率 (%)	最小直角撕裂强度 (kN/m)	厚度 (mm)
纵向	横向			
18.5	16.5	220	40	0.12~0.16

- 3 密封膜制作尺寸应超出加固区边界不小于 3m；当加固区内地质条件复杂，易出现较大不均匀沉降、滑移等不利情况时，应考虑变形影响，适当加大密封膜尺寸。
- 4 密封膜宜采用双热合缝的平搭接，搭接宽度应大于 15mm。每一层密封膜铺设后，应及时检查其完好程度，发现破损时应进行修补。
- 5 密封膜铺设时，应从上风侧开始铺设，风力大于 5 级时不得施工。

条文说明

密封膜撕裂时的撕裂强度不应小于 40kN/m，同时其断裂伸长率应达到 220%以上，以保证真空压力下，密封膜不被真空管路破坏，且能够适应地基变形。

- 8.2.7 密封沟开挖施工时，应沿加固区周边进行，沟底宽度应大于 40cm，沟内可采

用黏土压实或覆水等方式密封。

8.2.8 絮凝化预处理可采用注浆法，并应符合下列规定：

- 1 絮凝剂掺入量不应小于设计值，且不应大于设计值的 5%。
- 2 絮凝剂应在施工前 2 小时内进行配置。
- 3 注浆孔间距应根据现场试验确定且不宜大于排水板间距的 2 倍，注浆管插入深度不宜小于插板深度，注浆次数不小于 3 次。
- 4 注浆压力应根据上覆土压力、地层条件和浆液性能等因素，通过试验确定；无条件试验时，注浆压力宜为 0.2~1.0MPa。土体含水率低时取小值，含水率高时取大值。
- 5 施工过程中应做好施工参数和材料用量等记录。
- 6 絮凝化处理 4d~10d 后方可进行真空预压。

8.2.9 监测仪表应在密封膜铺设前进行埋设，并保证仪表线路出膜时的密封性。

8.2.10 真空及增压设备应检查、调试合格后才能使用，并符合下列规定：

- 1 真空预压初期 4d~10d 内应分期分批开启真空泵，并检查密封及真空泵工作情况，发现问题应及时处理。
- 2 应在膜下真空度达到设计要求且连续 3d 恒定后，正式开始抽真空，并作为地基处理计时起点。
- 3 增压加载应在地基固结度达到规定要求后进行。增压初期不宜过快加载，防止密封膜鼓起及增压管路断裂，并应检查密封及增压泵工作情况，发现问题及时处理。

9 地基处理施工

9.1 一般规定

- 9.1.1 地基处理施工时应考虑选择合适的施工设备及施工工艺，做好施工组织设计。
- 9.1.2 地基处理施工前应清除场地预处理施工时的遗弃物，以及废弃的监测仪表等。
- 9.1.3 塑料排水板打设及桩基施工过程中，应做好地质情况记录。当设计与实际情况出入较大时，应及时反馈设计单位。
- 9.1.4 桥头、涵洞通道路段的地基处理施工应合理安排施工工序与工期，保证足够的预压时间。
- 9.1.5 修建二级及以上的公路工程时，应选择代表性路段修筑试验路，对设计参数及施工工艺进行试验验证。
- 9.1.6 地基处理施工过程应进行监测，做好监测仪器设备的保护工作。

9.2 堆载预压法

9.2.1 堆载预压法施工可采用如图 9.2.1 所示的工艺流程：

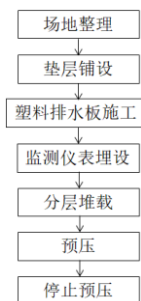


图 9.2.1 堆载预压施工流程图

9.2.2 堆载预压塑料排水板施工应符合下列规定：

- 1 塑料排水板性能指标应符合本规程表 8.2.3 的有关规定。
- 2 塑料排水板插板施工机械宜采用静压式插板机,并配备能够检测施工深度的设备。
- 3 塑料排水板埋入砂垫层长度不应小于 500mm。

9.2.3 堆载应采用分层填筑,每层压实厚度宜为 20cm~30cm,压实度应满足设计要求。

9.2.4 堆载预压加载过程中,应结合监测成果,合理确定加载速率。

9.2.5 预压期及卸载时间应根据施工监测结果分析确定。

9.3 真空联合堆载预压法

9.3.1 真空联合堆载预压法施工可采用如图 9.3.1 所示的工艺流程:

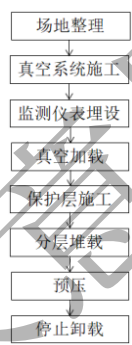


图 9.3.1 真空联合堆载预压施工流程图

9.3.2 塑料排水板施工应符合本规程第 9.2.2 条的有关规定,水平排水系统连接应符合本规程第 8.2.4 条的有关规定,加固区范围小于 40m 时,可采用单侧布置真空主管的管路布置方式。

9.3.3 密封膜、密封沟施工应符合本规程第 8.2.6 条、第 8.2.7 条的有关规定。

9.3.4 地基中存在透气层时需设置黏土密封墙,黏土密封墙的成桩搅拌应均匀,深度、厚度、黏粒含量及渗透系数应符合设计要求。

9.3.5 真空加载应符合本规程第 8.2.9 条的有关规定。

9.3.6 密封膜上保护层的施工应采用轻型机械,不得损坏密封膜。保护层中的无纺土工织物性能指标不应低于表 8.2.6-1 的要求。

9.3.7 堆载施工应满足本规程第 9.2 节的有关规定, 同时应实时监测膜下真空度变化情况, 如造成密封膜损坏漏气, 应及时修补。

9.4 水泥搅拌桩法

9.4.1 水泥搅拌桩施工可采用如图 9.4.1 所示的工艺流程:

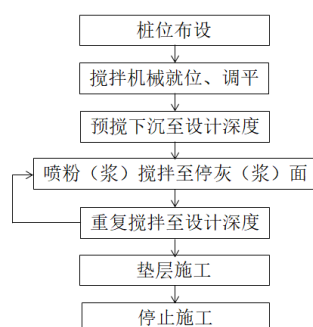


图 9.4.1 水泥搅拌桩施工流程图

9.4.2 试验路段应按设计要求进行试桩, 试桩数量不少于 5 根, 且不少于总桩数的 0.5%, 确定如下参数:

- 1 钻进速度、搅拌速度、搅拌头回转数、提升速度等施工参数。
- 2 桩身强度, 单桩承载力及复合地基承载力。

9.4.3 粉喷桩施工应符合下列规定:

- 1 施工钻进过程中应保持连续喷射压缩空气, 防止喷灰口不被堵塞、钻杆内不进水。钻进速度宜为 0.8-1.5 m/min。
- 2 提升钻杆、喷粉搅拌时, 应使钻头反向边旋转、边喷粉、边提升, 提升速度宜为 0.5-0.8 m/min; 当钻头提升至距离地面 0.3-0.5m 时, 可停止喷粉。
- 3 应根据设计要求, 对桩身全长进行复搅, 使固化剂与地基土均匀拌和。复搅速度宜为 0.5-0.8 m/min。
- 4 应随时记录喷粉压力、瞬时喷粉量和累计喷粉量、钻进速度、提升速度等有关参数的变化。
- 5 施工过程中应做好粉尘防护措施。

9.4.4 浆喷桩施工应符合下列规定:

- 1 浆液应严格按照成桩试验确定的配合比拌制, 制备好的浆液不得离析, 放置实践不得超过 2h。浆液倒入集料斗时应加筛过滤, 避免浆内块状物损坏泵体。
- 2 提升钻杆、喷浆搅拌时, 应使钻头反向边旋转、边喷浆、边提升, 提升速度宜控制在 0.5-0.8m/min。当钻头提升至距离地面 1m 时, 宜用慢速提升; 当喷浆口即将出地面时, 应停止提升, 搅拌数秒, 保证桩头搅拌均匀。
- 3 应根据设计要求, 对桩身全长进行复搅。复搅速度宜为 0.5-0.8m/min。

4 应随时记录喷浆压力、喷浆量、钻进速度、提升速度等有关参数的变化。当发现喷浆量不足时，应整桩复打。

9.4.5 路堤或涵洞构造物施工过程中应重视对复合地基的保护，避免水泥搅拌桩位移或剪断。

9.5 桩网复合地基法

9.5.1 桩网复合地基施工工艺可采用如图 9.5.1 所示的工艺流程：

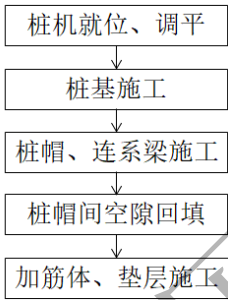


图 9.5.1 桩网复合地基施工流程图

9.5.2 试验路段吹填流泥地基进行桩基施工应进行试桩，试桩数量不少于 5 根，且不少于总桩数的 0.5%。预制桩可选用静压法或打入法沉桩，现浇桩可选用沉管灌注或钻孔灌注等施工方法。

9.5.3 施工过程中应做好施工记录。当设计图纸与实际地质情况有较大出入时，应反馈设计单位。

9.5.4 预制桩施工应选择合适的施工顺序，并应减少挤土效应及对周边环境的影响。

9.5.5 桩帽宜现浇，预制时，应采取对中措施。桩帽之间应采用砂土、石屑等回填。

9.5.6 加筋垫层的施工应符合下列要求：

- 1 土工合成材料铺设时应采用张拉设备固定。
- 2 路基横断面方向不得搭接，沿路线方向搭接宽度不得小于 300mm。
- 3 多层土工合成材料的上下层接缝应错开，错开长度应大于 500mm。
- 4 土工合成材料边缘部分应反包，最小反包长度不宜小于 2.0m。
- 5 垫层材料应选用强度较高的碎石、卵砾石填料，铺设时地面应平整，不得有尖锐物体。

10 施工监测

10.1 一般规定

10.1.1 地基处理施工监测内容及要求应根据地基处理方式、施工阶段、公路等级及路段确定。施工过程中，施工单位应随时检查施工记录，并按照规定的施工工艺对工序进行质量控制。

10.1.2 监测设计应包括下列内容：

- 1 设置监测断面。
- 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。

10.1.3 当加固区变形可能对周边环境和建筑物产生不良影响时，应加强对加固区边界 30m 范围内的土体位移、地下管线和建筑物等的监测。

10.1.4 应对监测数据进行定期整理分析，并及时反馈设计及施工等相关单位。

10.1.5 监测过程应符合下列规定：

- 1 每期观测前，应对所使用的仪器和设备进行自检、校正，并作详细记录。
- 2 宜记录相关的环境和工况情况，包括荷载、温度、降水、水位等。
- 3 每期监测结束后，应及时处理观测数据。
- 4 当变形量达到预警值或接近允许值、变形量出现异常变化时，应立即预警。

10.2 监测系统与监测内容

10.2.1 场地预处理、地基处理监测项目应按表 10.2.1-1 及表 10.2.1-2 确定。

表 10.2.1-1 场地预处理监测项目

公路等级	处理方式	地表沉降	分层沉降	表层水平位移	深层水平位移	孔隙水压力	真空压力
------	------	------	------	--------	--------	-------	------

高速公路、一级公路	复式真空预压	√	×	O	O	√	√
二级及以下	复式真空预压	√	×	O	×	△	√

表 10.2.1-2 地基处理监测项目

公路等级	处理方式	地表沉降	分层沉降	表层水平位移	深层水平位移	孔隙水压力	真空压力
高速公路、一级公路	堆载预压	√	△	√	O	√	×
	真空联合堆载预压	√	△	√	O	√	√
	水泥搅拌桩	√	O	√	O	×	×
	桩网复合地基	√	O	√	O	×	×
二级及以下	堆载预压	√	×	√	O	△	×
	真空联合堆载预压	√	×	√	O	△	√
	水泥搅拌桩	√	×	√	×	×	×
	桩网复合地基	√	×	√	×	×	×

注：√—应做，△—宜做，O—视具体情况选做，×—不做

10.2.2 场地预处理真空压力、孔隙水压力、表层沉降监测断面一般路段宜每 300m ~ 500m 布设一处，地质条件复杂的情况下可适当加密。加固区边界以外 20m ~ 30m 范围内存在地下管线或建筑物等时，应对土体水平位移进行监测。

10.2.3 地基处理监测断面应根据公路等级及路段确定，不应低于表 10.2.3 的要求。

表 10.2.3 监测断面间距

公路等级	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		斜坡路段
			跨度≥30m	跨度<30m	
高速公路、一级公路	1 个/100m	1 个/50m	两端各 1 个	1 个	2 个
二级及以下	1 个/150m	1 个/100m	1 个		1 个

10.2.4 地基处理时应重新设置监测仪表。

10.3 监测方法

10.3.1 真空度监测应符合下列规定：

- 1 真空表探头应设置在密封膜下，并用排水板滤膜包裹真空表探头，防止流泥堵塞，探头出膜时应做好密封措施。
- 2 真空压力稳定之前，观测频率应为 1 次/d，真空压力稳定之后，观测频率宜为 1 次/2d ~ 4d。

10.3.2 孔压监测应符合下列规定：

- 1 孔压传感器量程应为最大孔压的 1.5 ~ 2.0 倍。
- 2 当进行真空预压处理时，孔压计出膜应做好密封措施。
- 3 孔压监测频率宜与真空压力监测频率一致。

10.3.3 表层沉降监测应符合下列规定：

- 1 沉降监测可采用的沉降板、沉降管等方式，监测点应设置于路中心，与结构物相邻路堤段宜在两侧路肩及边坡坡脚位置增设监测点。
- 2 监测精度不应小于三等水准测量精度。
- 3 场地预处理阶段，观测频率 1 次/d。地基处理阶段，加载期观测频率 1 次/d；稳压期间观测频率 1 次/3d~5d。

10.3.4 分层沉降监测应符合下列规定：

- 1 分层沉降监测点应布设在土层变化点；当土层厚度较大时，监测点间距宜为 3m。
- 2 应定期监测沉降管口高程是否产生下沉，并及时修正测点的沉降量。
- 3 加载期观测频率 1 次/1d~3d；稳压期间观测频率 1 次/5d~7d。

10.3.5 水平位移监测应符合下列规定：

- 1 表层水平位移可采用边桩监测，监测点应设置在堆载坡脚或边沟外缘。
- 2 土体深层水平位移应采用测斜管监测，测斜管应穿过吹填流泥及下卧层，深度宜与地基处理深度一致。
- 3 加载期观测频率 1 次/d；稳压期间观测频率 1 次/3d~5d。

10.4 监测数据整理与分析

10.4.1 监测单位应定期编制监测报告，报告应包括下列内容：

- 1 监测工程方案设计及施工计划书；
- 2 监测工程进程记录、现场监测仪器设备埋设与监测调试报告；
- 3 变形监测成果统计表；
- 4 水平位移曲线图，沉降曲线图；
- 5 荷载、孔压、时间曲线；
- 6 其他影响因素的相关曲线图。

10.4.2 所有监测数据应及时记录并整理分析，若发现异常情况应及时复查。

11 施工质量检测与验收

11.1 一般规定

11.1.1 检测内容、数量根据地基处理方案及公路路段等综合确定，并应符合现行《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1)的有关规定。

11.1.2 应对检查项目按规定的检查方法和频率进行随机抽样检验并计算合格率。

11.2 预压处理检测与验收

11.2.1 土工合成材料检测应符合下列规定：

1 塑料排水板进场时应进行随机抽样，测试纵向通水量、复合体抗拉强度、滤膜抗拉强度、滤膜渗透系数和等效孔径等性能指标，合格后方可采用。检测时同批次不应少于3卷，根据检测项目数量分别进行取样。

2 施工过程中应对插板间距、深度等进行检测。并应符合表 11.2.1 的规定。

表 11.2.1 塑料排水板检测项目

序	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	排水板插入深度	不小于设计值	施工记录
2	排水板间距	± 150mm	尺量：抽查 1%且不少于 5 点
3	排水板进入砂垫层长度	≥500mm	施工记录

3 土工膜、土工织物应进行抗拉强度、抗撕裂强度和伸长率等性能指标的检测，检测方法应符合现行《公路工程土工合成材料试验规程》(JTG E50)的有关规定，检测数量同批次不应少于3卷，每卷根据检测项目数量分别进行取样。

11.2.2 絮凝预处理时，应对絮凝剂质量及掺量进行检测，每配料仓絮凝剂取样不应少于3次。

11.2.3 砂垫层检测应符合表 11.2.3 的规定。

表 11.2.3 砂垫层检测项目

序	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	渗透性和含泥量	不小于设计值	测试：每 200m 测 2 点，且不少于 5 点
2	砂垫层宽度	不小于设计值	尺量：每 200m 测 2 点，且不少于 5 点
3	砂垫层厚度	不小于设计值	尺量：每 200m 测 2 点，且不少于 5 点
4	压实度（%）	≥90	密度法：每 200m 测 2 点，且不少于 5 点

11.2.4 场地预处理完成后应根据设计要求进行交工验收。

11.2.5 地基处理交工验收时，地基沉降变形和路堤堆载稳定状况应满足设计要求，检测点每 200m~300m 测 1 点。

11.3 水泥搅拌桩检测与验收

11.3.1 水泥搅拌桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录，并应对水泥掺量、垫层材料等逐项进行质量评定。

11.3.2 水泥搅拌桩验收时检测项目应符合表 11.3.2 的规定。

表 11.3.2 水泥土搅拌桩检测项目

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	桩距（mm）	±100	尺量：抽查 2%且不少于 5 点
2	桩径（mm）	不小于设计值	尺量：抽查 2%且不少于 5 点
3	桩长（m）	不小于设计值	查施工记录并结合 0.2%成桩取芯检查
4	单桩每延米喷粉（浆）量	不小于设计值	查施工记录
5	强度（MPa）	不小于设计值	取芯法：抽查桩数的 0.5%，且不少于 3 组
6	复合地基承载力	满足设计要求	抽查数的 0.1%且不少于 3 点

11.4 桩网复合地基检测与验收

11.4.1 桩网复合地基施工过程中，应随时检查施工记录，并应对桩身、桩帽和加筋垫层的施工工艺逐项进行质量评定。

11.4.2 刚性桩验收时检测项目应符合表 11.4.2 的规定。

表 11.4.2 刚性桩检测项目

序	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度	在合格标准内	

2	桩距 (mm)	± 100	尺量: 抽查 2%且不少于 5 点
3	桩径 (mm)	不小于设计值	尺量: 抽查 2%且不少于 5 点
4	桩长 (m)	不小于设计值	查施工记录并结合取芯检查
5	桩身完整性	在合格标准内	小应变: 抽查 1%且不少于 10 点
6	单桩承载力	满足设计要求	载荷试验: 抽查 0.1%且不少于 3 点

征求意见稿

本规程用词用语说明

1 为了准确的掌握规程条文，对执行规程严格程度的用词做如下规定：

- 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，再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 条文中指明应按其他有关标准、规范的规定执行时，写法为：“应符合《……》（…）的有关规定”或“应按《……》（…）的有关规定执行”。