

排水固结加固软基技术指南

《排水固结加固软基技术指南》编写委员会编

人民交通出版社

第一篇 排水固结加固地基设计..... 6

1 总则	7
2 工程地质勘察和试验	9
3.排水固结加固软基设计.....	1 1
3.1 一般规定	1 1
3.2 水平排水体设计	1 2
3.3 竖向排水体设计	1 3
3.4 堆载预压设计	1 7
3.5 真空预压设计	2 1
3.6 真空联合堆载预压	2 2
4 设计计算方法.....	2 4
4.1 最终沉降计算	2 4
4.2 固结度计算	2 9
4.3 强度增长估算	3 5
4.4 孔压静力触探求固结系数	3 6
4.5 沉降速率计算	3 7
4.6 稳定分析	3 8
5.现场监测	4 1
5.1 施工监测内容及其布置原则	4 1
5.2 孔隙水应力监测	4 2
5.3 真空度监测	4 4
5.4 水平位移观测	4 5
5.5 地面沉降观测	4 7
5.6 深层沉降观测	4 7
6 先行指导段工程及反分析.....	4 8
6.1 一般规定	4 8
6.2 先行指导段确定原则	4 8
6.3 先行指导段工程特殊要求	4 8
6.4 工程地质勘察	4 9
6.5 工程方案的设计	5 0
6.6 现场原位监测	5 0
6.7 现场原位测试	5 2
6.8 加固效果检验	5 4
6.9 现场监测反分析	5 4

第二篇《塑料排水产品质量》..... 6 0

1.总则	6 1
2、塑料排水板	6 1
2.1 范围.....	6 1

2.2 材料.....	6 1
2.3 分类、代号与命名.....	6 2
2.4 规格型号.....	6 2
2.5 外观尺寸.....	6 3
2.6 技术要求.....	6 3
2. 7 包装、标志、运输与贮存.....	6 6
3、塑料排水盲沟	6 6
3.1 范围.....	6 6
3.2 材料.....	6 6
3.3 分类、代号与命名.....	6 6
3.4 规格型号.....	6 7
3.5 外形尺寸.....	6 7
3.6 技术要求.....	6 9
3.7 包装、标志、运输与储存.....	7 3
4 软式透水管.....	7 3
4.1 范围.....	7 3
4.2 材料.....	7 3
4.3 代号.....	7 4
4.4 产品规格.....	7 4
4.5 技术要求.....	7 4
4.6 包装、标记、运输与贮存.....	7 5
5 硬式透水管.....	7 6
5.1 范围.....	7 6
5.2 定义.....	7 6
5.3 材料.....	7 7
5.4 分类.....	7 7
5.5 代号和命名.....	7 7
5.6 规格与尺寸.....	7 7
5.7 技术要求.....	7 8
5.8 滤管制作.....	7 9
5.9 管路连接.....	7 9
5.10 包装运输.....	7 9
6 真空预压密封膜.....	8 0
6.1 范围.....	8 0
6.2 材料与分类.....	8 0
6.3 名称与代号.....	8 1
6.4 产品规格.....	8 1
6.5 技术要求.....	8 1
6.6 包装运输与贮存.....	8 2
 第三篇 《塑料排水产品质量检验》.....	 8 3
 1. 总则.....	 8 4
2.塑料排水板.....	8 6

2.1 范围	8 6
2.2 规范性引用文件	8 6
2.3 塑料排水板检测数量	8 7
2.4 外观质量检验	8 7
2.5 物理性指标检验	8 7
2.6 力学性指标检验	8 9
2.7 检验规则	9 7
3、塑料盲沟	9 8
3.1 范围	9 8
3.2 规范性引用文件	9 8
3.3 外观质量检验	9 8
3.4 检验方法	9 9
3.5 检验规则	1 0 0
4 软式透水管	1 0 1
4.1 范围	1 0 1
4.2 原材料	1 0 1
4.3 技术要求	1 0 1
4.4 试验方法	1 0 1
4.5 检验规则	1 0 9
5. 硬式透水软管	1 1 0
5.1 范围	1 1 0
5.2 规范性引用文件	1 1 0
5.3 外观质量检验	1 1 0
5.4 尺寸测量	1 1 0
5.6 环刚度测定	1 1 2
5.7 落锤冲击试验	1 1 3
5.8 透水滤布性能试验	1 1 3
6 真空排水预压密封膜	1 1 4
6.1 范围	1 1 4
6.2 引用规范及标准	1 1 4
6.3 外观质量检查	1 1 4
6.4 性能指标检验	1 1 5
第四篇《塑料排水施工与验收》	1 3 1
1 总则	1 3 2
2 施工设备	1 3 2
2.1 塑料排水体陆上施工设备	1 3 2
2.2 塑料排水体水上施工设备	1 3 4
2.3 水平排水体施工设备	1 3 4
2.4 堆载预压施工设备	1 3 4
2.5 真空预压设备	1 3 5
3 施工工艺	1 3 6
3.1 竖向塑料排水体陆上施工	1 3 6

3.2 竖向塑料排水体水上施工.....	1 3 8
3.3 塑料排水材料的选用与储存.....	1 3 8
3.4 水平排水体施工.....	1 3 9
3.5 堆载预压施工.....	1 3 9
3.6 真空预压施工.....	1 3 9
3.7 真空联合堆载预压施工.....	1 4 0
4 施工质量及管理.....	1 4 1
4.1 竖向排水体.....	1 4 1
4.2 水平排水体.....	1 4 2
4.3 堆载预压.....	1 4 2
4.4 真空预压.....	1 4 3
4.5 真空联合堆载预压.....	1 4 4
5 验收标准.....	1 4 4
5.1 竖向排水体.....	1 4 4
5.2 水平排水体.....	1 4 5
5.3 堆载预压.....	1 4 5
5.4 真空预压.....	1 4 6
5.5 真空联合堆载预压.....	1 4 6
5.6 预压卸载标准.....	1 4 6
5.7 预压加固效果检验.....	1 4 6
附：全书主要参考文献：	1 4 7

第一篇 排水固结加固地基设计

本篇主编单位：南京水利科学研究院

浙江大学

本篇主要起草人：

第1节 赵维炳（南京水利科学研究院）

第2节 陈文华（华东勘察设计研究院）

高长胜（南京水利科学研究院）

第3节 赵维炳（南京水利科学研究院）

王明华（上海三航工程设计院）

明经平（南京水利科学研究院）

贺会团（南京水利科学研究院）

第4节 王立忠（浙江大学）

黄 博（浙江大学）

第5节 张 凌（南京水利科学研究院）

许 宏（江苏省交通科学研究院）

杨守华（南京水利科学研究院）

高长胜（南京水利科学研究院）

第6节 高长胜（南京水利科学研究院）

杨守华（南京水利科学研究院）

张 凌（南京水利科学研究院）

本篇统稿人：赵维炳（南京水利科学研究院）

本篇审稿人：王铁儒（浙江大学）

1 总则

1.1 为合理应用排水固结法加固交通、水利、建筑、环保等工程中的软土地基，做到技术先进、安全可靠、确保质量、经济合理，适应我国现代化先进生产技术的发展，特制定本篇排水固结加固地基设计指南。

1.2 预压法是指上部建筑物施工前在地基地面加载，使地基中的软土在地基处理阶段预先得到加固，地基沉降预先在地基处理阶段大部分提前发生从而有效减少建筑物施工和使用期的沉降。预压法广泛适用于各类软土地基。

排水固结法是指在建筑物施工前地基处理阶段对渗透性很小的饱和软粘土地基通过排出软土中的部分孔隙水并使软土固结。它首先在软基中布置水平和竖向排水系统以缩短排水路径，当地基软土因加荷、振动、挤压、扰动等作用后产生超静孔隙水应力，随着时间增长，土体中孔隙水排出，超静水压力消散，有效应力增大，孔隙比减小，地基发生固结变形，地基土强度逐步增强，地基承载力提高，因软土的塑性特征显著这种加载后排水固结产生的加固效果基本上都是永久性的。

预压法应用于处理饱和软粘土地基时经常将排水固结法和预压法联合使用并称为排水固结预压法，本篇所述排水固结法是严格意义上排水固结预压法的简称。

1.3 排水固结法主要由排水系统和荷载系统两部分组成。

排水系统一般由水平排水体和竖向排水体两部分组成。水平排水体目前常用材料有强透水砂或石垫层（地面兼作垫层），透水软管、塑料盲沟及宽塑料排水板等。竖向排水体目前常用材料有普通砂（或碎石）井（桩）、袋装砂井、塑料排水板、透水软管等。如果软土层厚度不大，或软土层虽较厚但含有较多薄粉砂夹层使得依靠地基中的天然水平排水通道固结速率能够满足要求的条件下，竖向排水体可不设置。无论软土层厚薄，软基表面均必须铺设水平排水体，地基表层有天然强透水层或者堆载材料具有良好透水性时除外。

排水固结加固软基的加载方式有堆载、利用建筑物自重、抽真空、真空联合堆载、降低地下水位等。选择加载方式时必须通过技术、经济和工期比较确定。

排水固结加固软基按设计荷载与加固荷载的关系分欠载预压、等载预压和超载预压三种，一般情况下不宜采用欠载预压。

采用不同类型的竖向排水体和不同类型的预压荷载，其加固地基的原理基本一致，但加固施工方法、质量控制措施及应用范围具有各自的特点，设计和施工中应分别对待。

1.4 排水固结法主要适用于加固公路和铁路路堤、港口码头和电厂堆场、水利堤坝、机场跑道和停机坪、大型油库和冷库、低层民用建筑和大型工业厂房、市政道路和

广场、污水处理厂水池和建筑物、围垦造陆等工程中饱和淤泥、淤泥质土、软粘土及其它软弱粘性土地基,受污染软土和强结构性软土地基加固工程不宜采用该方法。

排水固结法一般单独采用,也可与强夯法、深层水泥搅拌桩等复合地基法及混凝土刚性桩深基础法结合使用。

1.5 排水固结加固地基设计必须确保处理消除的地基沉降和提高的地基稳定性满足要求从而保证工程质量,必须保证工期满足业主要求,还应特别注意控制加固时发生的侧向变形、地面沉降及地下水位变化不能对加固区四周建筑物、管线及道路等产生重大不利影响。施工材料和机具选用宜因地制宜、就地取材,力求经济合理。

1.6 排水固结加固地基设计应按如下程序进行:

(1) 全面了解拟建建筑物的特点及其对地基变形和稳定性的要求,主要包括:建筑群类型,占地面积,荷载大小,基础刚度,允许变形量,要求的地基容许承载力,工程总工期、进度安排及允许地基处理施工期限。还应全面了解周围建筑环境保护对本工程的要求。

(2) 预先进行工程地质勘察,查明地基土层的类别、结构性特点、分布和透土层的位置、供排水条件,通过现场测试和室内试验提供排水固结设计必需的物理力学参数,如:固结系数、压缩系数、压缩模量、次固结系数、孔隙水压力系数、前期固结压力、不排水强度指标、固结不排水强度指标、有效应力强度指标等。

(3) 根据排水固结加固地基的原理和工程实践经验,结合本工程特点要求及地基土层的条件,选择适用的水平和竖向排水体的材料,经比较分析确定合理的水平排水体厚度、竖向排水体的布置形式并预估其间距。

(4) 根据拟建建筑物的特点及其对地基加固的具体要求,经比较分析确定预压荷载的施加方式,如堆载、抽真空、降低地下水位等。

(5) 根据拟建建筑物的特点及其对地基承载力和沉降的具体要求,分别进行为提高地基承载力的预压设计、为消除沉降的预压设计、预压荷载施加进度计划设计、控制固结过程和加荷速率设计。

(6) 通过固结度计算、沉降计算、强度增长估算、稳定性分析及承载力计算,检验加载速率和期限、预压期限的合理性,校核工期、加固消除的沉降量及加固后的地基承载力是否满足要求。应进行多种方案的技术经济对比分析,优选加固方案。必要时应修改竖向排水体间距、预压荷载大小、加载速率与期限、预压期限等,直到满足要求为止,通过反复优化调整最终确定排水固结加固设计的有关技术参数

(7) 根据排水固结的基本原理,结合工程具体条件和要求,设计现场监测系统,确定监测的目的和监测的项目,布置监测点,制订监测的技术要求及监测物理量的控制标准,制订控制地基变形和稳定性变化的措施,防止地基发生剪切破坏或对四周建筑物等产生过大的不利影响,确保工程质量和安全,确保设计预定加固目标的实现。

(8) 实现动态设计。及时整理分析加固过程中现场监测资料,通过反分析确定设计采用的软土力学指标,预测地基固结和沉降发展规律,预估后期沉降、工后沉降、加固后地基承载力并验算是否满足设计要求,评定地基加固的实际效果,必要时对加载速率、加载期限、预压期限等进行修改。

1.7 排水固结加固地基设计除可参照本技术指南外,尚应符合国家和行业现行有关地基处理的标准、规范、规程的规定。

2 工程地质勘察和试验

2.1.设计前应预先进行专门的工程地质勘察和试验,为排水固结加固地基设计提供可靠的加固范围内及周边的地质分层和地下水位等基本资料,土层的基本物理力学性质指标,软土的渗透、固结、变形及强度参数。

2.2 专门工程地质勘察应包括下列内容:

2.2.1 查明加固区内地基土层的种类,形成条件,地质年代,厚度,埋深,组成成份,结构性,构造特征(含层理、夹层、交错层)及各土层特别是透水砂层的水平和垂直方向的分布。

2.2.2 查明地下水的类型、埋深条件及给排水条件,地下水位随承压水位或江河湖海水位变化的规律。

2.2.3 查明周边环境条件与排水固结加固工程相互影响的关系。

2.3 专门工程地质勘察除必须满足国家、地方和行业有关岩土工程详细勘察阶段的勘察要求外,还应满足以下规定:

2.3.1 勘探点的布置应根据地质条件的复杂程度确定,并应多种勘探方法相配合,一般情况下每个加固区或每个加固段范围内宜分别布置3~5个横断面和3~4个纵断面,每一断面分别布置5~10个勘探点,相邻勘探点的间距不大于50m。地质条件复杂下,应根据实际条件适当增设勘探断面和勘探点。勘探点中,控制孔不得少于5~9个。代表性取土试验孔宜选择包含各软弱土层的点钻孔3~5个,渐变过渡段取土孔2~4个;与取土孔相邻位置,布置静力触探孔或标准贯入试验孔;在建筑物荷载和预压荷载作用下应力集中和侧向变形较大部位,应补充布置现场校核试验孔;其它为勘探孔。

2.3.2 钻孔的钻探深度宜按下列原则确定:

(1) 控制孔应穿透全部软弱土层至低压缩性坚硬土层或岩层;

(2) 勘探孔深度一般要求穿透可压缩层的软弱粘土层;压缩层厚度很大时,勘探孔深度必须大于压缩层厚度,可按附加应力与自重应力的比值小于0.1控制。

2.3.3 钻孔取样宜按下列规定执行:

(1) 控制性钻孔必须按规定深度准确取得原状土样,且每一软土层中不得少于

2 个。

(2) 对软土地基取样, 应采用标准的薄壁取土器取样, 并用静力慢速压入, 尽量减小对原状软土的扰动, 不得采用一般取土器取样, 也不宜用冲击和追击取样。对所取得的软土样品必须精心保护和贮存, 取出后立即密封, 登记编号, 防止水分蒸发流失, 不得倒置, 不宜平放, 并且应置于防振的样品箱中专门贮存, 避免在运输过程中受振动冲击改变其原始结构状态。

(3) 钻孔除了采取原状土样外, 宜在钻进过程中每隔 0.5m 分别采取扰动土样, 鉴别土样类别, 并进行现场描述, 记录在案, 绘制钻孔地基土层柱状图。

2.4 室内试验

2.4.1 软土试验样品, 不得因长期存放而改变其物理力学性质。钻孔取出的试样应尽快妥善送达实验室, 立即存放于恒温恒湿的专门土样房中妥善保存。在一般室内条件下应注意保湿养护, 并在三日内开样进行试验。

2.4.2 对于饱和粘性土必须进行表 1-1 中各项土工试验, 满足表中各项要求和规定。

表 1-1 室内土工试验项目一览表

试验项目	提供参数	说明
物理指标试验,包括: 含水率试验, 密度试验, 比重试验, 液塑限试验, 颗粒分析试验, 有机质含量试验, PH 值试验, 易溶盐含量试验等	天然含水率, 天然密度、干密度, 比重, 孔隙比、孔隙度, 饱和度, 液限, 塑限, 塑性指数, 液性指数, 颗粒组成级配曲线, 砂土相对密度, 有机质含量, PH 值, 易溶盐含量	有机质含量, PH 值, 易溶盐含量根据需要选做
固结压缩试验	压缩系数、压缩指数、压缩模量、水平和竖向固结系数、次固结系数, 前期固结压力	提供 e-p 曲线、e-lgp 曲线、C _v -p 曲线, 重要工程可按需要选作次固结系数
直剪仪剪切试验	直接快剪指标、直接固结快剪指标	
三轴仪剪切试验	不排水试验指标, 固结不排水试验指标, 固结排水剪试验指标, 有效应力强度指标, 孔隙水应力系数	固结排水剪试验根据需要确定是否进行
无侧限抗压强度试验	无侧限抗压强度, 不排水抗剪强度, 灵敏度	
渗透试验	水平和竖向渗透系数	

2.5 原位试验

为了避免钻孔取样对土的扰动，使试验结果更接近实际，下列情况下宜进行原位试验：

2.5.1 为测定粘土层的天然不排水强度，对于饱和粘土地基宜进行原位十字板试验，试验方法见土工试验规程。

2.5.2 为测定土层的贯入阻力的变化，对于粘性土层宜进行静力触探试验，对于砂层宜进行标准贯入试验，试验方法见土工试验规程。

3. 排水固结加固软基设计

3.1 一般规定

3.1.1 排水固结加固软基的设计必须符合下列要求：

- (1) 先期消除一定的沉降，使建筑物基础沉降和工后沉降量小于允许值；
- (2) 经预压固结地基强度的增长必须满足建筑物对地基稳定与承载力的要求；
- (3) 达到预定排水固结度需用的时间应满足工期的要求。

为了满足上述三点基本要求，在设计上，除了合理确定竖向排水体的间距和布置外，主要通过合理施加预压荷载来实现，即：

(1) 为消除和减少沉降进行预压设计。预先施加一定的预压荷载，使地基预先固结与沉降，然后建造建筑物。

(2) 为提高地基承载力与稳定性进行预压设计。通过分级加载预压，在前一级加载预压固结强度增长后，施加下一级荷载，逐步达到建筑物设计荷载。

(3) 工期控制设计。加载和预压进程都必须控制在允许工期内。

3.1.2 排水固结加固地基的设计应遵循排水固结的基本原理，并与具体经验相结合。主要内容应包括：

- (1) 合理选用排水体的类型及有关材料和产品；
- (2) 根据工程设计的要求，确定竖向排水体的合理间距、排列方式和打入深度，以及排水垫层的厚度与形式及范围；
- (3) 进行预压设计，确定预压荷载的类型和荷载大小、加载进度和速率；
- (4) 确定预压要求的固结度和预压持续时间；
- (5) 确定预压应消除的沉降量；
- (6) 计算地基强度的增长值，检验地基加固后的稳定性与承载力，分析地基加固的效果；
- (7) 进行现场观测监控系统的设计，监测地基排水固结过程中强度与变形的动态，防止地基破坏，预测最终沉降量；

(8) 环境影响及其控制的设计。

3.1.3 排水固结加固区域宜包括整个建筑物基础并自四周边缘向外延伸 3~5m，水平和竖向排水体均应在整个加固区内进行布置。

3.1.4 普通砂井、袋装砂井、塑料排水带（板）和排水管等均为竖向排水体。在计算固结度时，普通砂井长径比 $l/d_w < 60$ ，可忽略井阻和涂抹的影响，采用理想井理论计算；后者长径比较大 $l/d_w > 140$ ，应考虑井阻和涂抹的影响，宜用非理想井计算。

3.1.5 堆载预压、真空预压、降水预压以及堆载真空联合预压等，其排水固结加固地基原理基本上是一致的，但其固结变形的性质有所不同。设计时应注意分别对待。

3.1.6 通过现场观测监控系统，监测地基变形和强度变化，对照设计要求发现问题后及时修改设计加以解决，实现动态设计，确保设计加固目标成功实现。

3.2 水平排水体设计

3.2.1 水平排水体的作用

水平排水体主要起以下作用：

- (1) 水平排水作用；
- (2) 当天然地基承载力很低时，砂石垫层可提高地面承载力；
- (3) 在真空预压法中还起传递真空的作用。

3.2.2 水平排水体的基本要求

水平排水体主要作为水平排水通道，其基本要求为：

- (1) 应具有良好的透水性和一定厚度的过水断面，以便排水畅通；
- (2) 在荷载作用下不被拉断裂、减薄、剪切错位，失去其连续排水作用；
- (3) 还要具有反滤性能，避免地基及坝体粘性土的淤堵，失去其排水作用。

3.2.2 水平排水体的材料

(1) 水平排水体材料一般为含泥量少、透水性好の中粗砂，含泥量应小于 5%，渗透系数以达到 10^{-2}cm/s 量级为佳，砂料中可混有少量粒径小于 50 mm 的石粒，但应无其它杂物和有机质。砂垫层的干密度应大于 1.5t/m^3 ，粉细砂一般不宜采用。

(2) 若无理想的砂料来源，亦可布置砂沟代替砂垫层或选用符合排水条件的碎石料，碎石的粒径小于 10cm，特别在真空预压法中，碎石的最大粒径一般要小于 5mm，以粒径在 0.5~4mm 范围为宜。

(3) 土工布可作为砂石垫层的辅助材料，如在铺砂垫层之前或者在垫层中间铺设土工布，可以加强排水效果或者减少砂垫层的厚度；又如在淤泥地基上修筑堤坝时，为防止堤身抛石和排水的垫层材料陷入淤泥中，先在淤泥表面铺 1~2 层有纺（编织）土工布，起隔离、均匀传力和加筋的作用；在真空预压法中，如垫层料为碎石，由于碎石棱角锋利，抽真空时易刺破薄膜，也应在细碎石垫层上铺设一层土工布，

以保护薄膜。所用的土工布，宜采用具有一定强度的编织布和复合无纺布，抗拉强度应大于 40kN/m，渗透系数 $k_g > 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，且 $k_g > 100 k_h$ ，有效孔径 $O_{95} < 0.08 \text{ mm}$ 。

(4) 砂石材料缺乏或者造价较高时，可在地面沿塑料排水带每排顶部（竖向排水体间距较大时）或者每两排的中间（竖向排水体间距较小时）铺设一条透水软管或者塑料盲沟，直接通往加固区边缘排水沟或者真空预压吸水主管（吸水支管取消）从而形成水平排水系统，透水软管或塑料盲沟的通水能力和抗压强度必须满足要求。

3.2.3 水平排水砂石垫层的厚度一方面要满足地基对其排水能力的要求，另一方面要满足起持力层的作用。根据需求和工程实践，其厚度按软基所处的条件确定如下：

(1) 对陆上一般软基的排水垫层，厚度一般不小于 30~50mm；

(2) 对于新吹填和新近淤积的超软土，需铺设超厚砂垫层或混合垫层，其厚度根据承载力计算或有关规定确定；

(3) 对于水下软土施工条件，砂垫层厚度大于 100cm。

3.2.4 对于地基沉降较大的加固工程，为保证水平排水体中的水基本处于无压状态，必须采取在预压区内设置集水井加水泵抽排方式或者设置与砂石垫层相连的水平排水盲沟方式将地基固结排至水平排水体中的水引出预压场地。

3.3 竖向排水体设计

3.3.1 竖向排水体的作用

软粘土的渗透性非常小，对有一定厚度的软粘土，特别是对深厚软粘土地基，只靠粘性土本身的排水条件进行排水固结非常缓慢。在软粘土地基中设置竖向排水体以缩短排水距离、改善排水条件，有效加快软粘土地基排水固结。

3.3.2 竖向排水体的类型

(1) 普通砂井。1925 年 Moran 提出用砂井排水法加固深层土，1934 年美国加利福尼亚公路局在 Moran 建议下，采用砂井排水法加固了旧金山奥克兰海湾大桥公路软土地基。我国于 1953 年第一次在某造船厂运用砂井预压法，其后砂井排水法在铁路路堤、土坝、堆场、机场、高速公路等工程中得到广泛运用。图 1-1 是典型的砂井堆载地基的剖面图。普通砂井的施工通常采用管端封闭的套管法、射水法和螺旋钻法，施工中应保证砂井连续完整，不缩孔，不坍孔，并应尽量减少井壁效应和对井周围土的扰动。砂井材料应保证有良好的透水性能，以减少井阻。



图 1-1 典型的砂井地基工程剖面图

(2) 袋装砂井。袋装砂井是预制的小直径砂井。我国工程上一般采用 7~10 cm 直径的袋装砂井，袋装砂井的直径小，长径比大，并对渗流水的阻力，即井阻影响较大，因此，为减小井阻，可以适当增大袋装砂井的直径。与普通砂井相比，袋装砂井有用料省、施工简便、进度快和能使用地基变形等特点。

(3) 塑料排水带。塑料排水带的品种多达数十种。在选择塑料排水带时，应根据加固土层厚度及工程的性质，选择相应规格的排水带。与砂井相比，塑料排水带具有质量指标较稳定，重量轻运输方便、连续性好和施工简便高效等优点。

3.3.3 竖向排水体类型的选用。应根据设计建筑物的特点及其排水固结加固地基的要求、地基土层的工程性质、打入深度、材料的来源、施工条件等，并考虑技术的先进性和经济合理性，通过比较择优选取。塑料排水带（板）质轻价廉，具有足够的通水能力，施工简便，工厂制造，质量易于保证，一般情况应优先选用；当工程场地砂料来源丰富，透水性良好，价格低廉，并且具备施工机具，打入深度在 15m 以内可考虑采用普通砂井和袋装砂井。

3.3.4 竖向排水体的材料要求。竖向排水体的材料是影响排水固结加固地基效果的主要因素之一，其性能与质量要求应包括（1）具有足够的通水能力，降低井阻的影响，确保打入深度范围内排水畅通，以利于固结；（2）滤膜应具有良好的渗透性和反滤性，确保地基中水顺利渗入排水带内，而又不产生淤堵；（3）具有一定的弹性和抗拉强度，以满足储运、施工和在原位条件下不被拉断、撕破、卷曲、变折和压裂等，具化学稳定性，不溶解、不膨胀、不污染环境等；（4）成型良好，满足尺寸的要求等。

对于塑料排水板，选用的产品应满足本指南第二篇产品标准和第三篇质量检验的相关要求。

对于袋装砂井，其砂料应为粗砂，不均匀系数小于 4，含泥量小于 3%，渗透系数大于 $5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 。砂袋应为具有一定强度的聚丙烯编织布，抗拉强度应大于 40kN/m，渗透系数大于 $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，有效孔径 $O_{95} < 0.08 \text{ mm}$ 。砂袋中应灌满砂，灌实

率要在 95%以上。

3.3.5 竖向排水体的尺寸和布置

(1) 竖向排水体的截面尺寸，塑料排水带和透水软管的截面尺寸取决于产品型号规格，袋装砂井直径一般为 7~10 cm。

(2) 竖向排水体的间距。竖向排水体的间距应满足工程设计对固结度的要求，与地基土的固结特性、允许预压的时间、竖向排水体类型、布置方式和通水能力、竖向排水体施工对周围软土的扰动以及工程经验等有关。可先用经验式 (1-1) 试算初步确定：

$$a = \left[\frac{6.5C_h \cdot t}{\ln(a/d_w) \times \ln(0.81/(1-U_{rz}))} \right]^{0.5} \quad (1-1)$$

式中 a ——排水体的间距 (cm)；

C_h ——地基土的水平向固结系数 (cm^2/s)；

t ——工程允许的固结时间 (s)；

U_{rz} ——工程要求达到的固结度 (%)；

d_w ——排水体的直径 (cm)。

试算结果还需结合工程经验选用。对塑料排水带(板)或袋装砂井宜限于 1m~2m 内选用，因为 $a < 1\text{m}$ 情况，施工对土的扰动较明显，影响固结度降低； $a > 2\text{m}$ 时，实际固结度明显降低。

(3) 竖向排水体的打设深度。竖向排水体的打入深度主要决定于设计按稳定和变形影响范围确定的需要加固地基的深度范围。在堆载预压加固中，竖向排水体一般宜打穿软土层。在真空预压加固中，竖向排水体一般宜打设至距离下卧透水砂垫层顶部 1m 左右的软土中。如软土层很厚时，竖向排水体可以不打穿软土层，设计以稳定性控制为主时打入深度宜超过最危险圆弧滑动面最大深度 2m，设计以沉降控制为主时应根据工程允许沉降量通过计算确定必须打入的深度。

(4) 竖向排水体的平面布置方式。竖向排水体的平面布置方法有正三角形（梅花形）和正方形两种。如图 1-2 所示，正三角形布置比正方形布置更紧凑均匀而使用更广。

每一竖向排水体的等效排水圆柱体直径 d_e 为

$$d_e = \alpha_1 a \quad (1-2)$$

式中 a ——竖向排水体间距；

α_1 ——换算系数，对于正方形 $\alpha_1=1.13$ ，对于正三角形 $\alpha_1=1.05$ 。

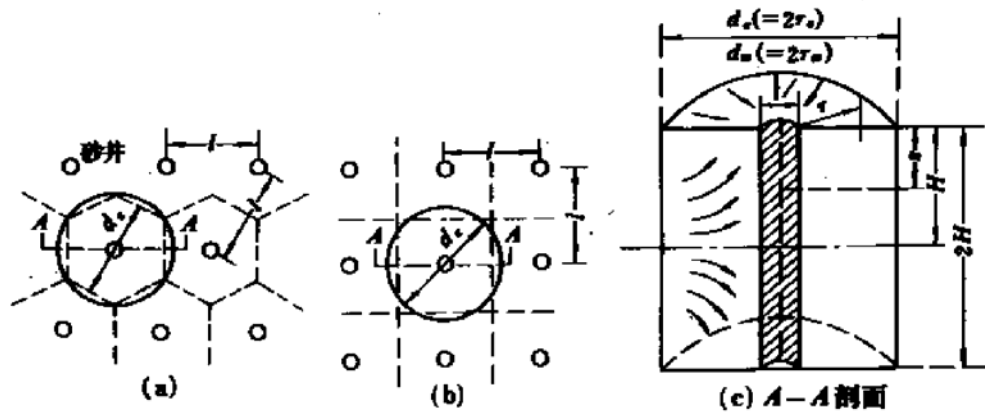


图 1-2 竖向排水体的平面布置形式

塑料排水带的等效直径 d_w 可按式 (1-3) 换算

$$d_w = \alpha_2 \frac{2(b + \delta)}{\pi} \quad (1-3)$$

式中 b, δ ——分别为排水带的宽度与厚度；

α_2 ——系数，0.75~1, 一般可采用 1。

换算系数 α_2 的取值问题，国内外文献中，从不同的概念出发，提出了不同的研究结果。Hansbo (1979)，Jamolkowski (1979) 和 Mitchell 等人 (1980) 认为：长条形的排水带换算成具有相同固结度速率的等效圆直径，应 $\alpha_2=1$ ；Kjillman, Janso 等人 (1983) 认为：从地基流入排水带的水明显比流入圆形截面砂井的小， α_2 应小于 1，约为 $\pi/4$ ；福冈正己和松尾一郎则建议 $\alpha_2=0.75\sim0.9$ ；Fellnius 和 Castongcy (1986) 通过现场试验和计算比较得到，在粘土中 $\alpha_2=1.5\sim3.0$ ；粉土中 $\alpha_2=2.5\sim4$ 。

以上研究结果或建议，不应认为都是合理的。合理的排水带等值砂井直径应根据排水固结原理，通过长条形截面的排水带与圆形的砂井在固结过程中渗流场及边界条件的分析，或用渗流试验，或用有限元分析来确定。Runesson Tagnfor 和 Wiberg 用有限元分析结果得到， α_2 值应小于 1，接近于 1。Crawford 等 (1992) 和 Oikawa 等人 (1989) 分别在加拿大和日本大坂，通过现场试验和反分析证实，采用 $\alpha_2=1$ 计算结果合理的。我国的工程实践经验表明，当采用 $100\times 4\text{mm}$ 塑料排水板按 $\phi 70\text{mm}$ 的袋装砂井来设计是可行的， $\alpha_2=1.057$ 。考虑到塑料排水板排水通道所受的阻力比袋装砂井小，其水头损失也小，且塑料排水板的滤膜过水能力比袋装砂井好，建议

当塑料排水板的尺寸为 $100 \times 3.5 \sim 4.0\text{mm}$ ，对长为 $10 \sim 15\text{m}$ 其挠度不大于 10% 的排水板，可取换算系数 $\alpha_2 = 1$ ，但不宜大于 1。

3.4 堆载预压设计

3.4.1 堆载预压方法

堆载预压是排水固结加固地基的一种方法。即利用建筑物施工前临时堆填的土、砂、石、砖等材料的重量或建筑物自重作为荷载，施加于地基表面，地基土层在预压荷载作用下逐渐固结压缩和强度提高，地基逐渐沉降和稳定性提高满足设计要求后，卸去堆载再进行上部建筑施工。对油罐和堤坝地基则可采用分级充水加载或填土加载方法，在前一级加载作用下土层固结、压缩、强度增大后，继续施加下一级荷载，如此逐级加载直到满足设计荷载和地基变形与稳定要求为止。显然，堆载的大小、分级及加载速率的控制直接影响地基加固质量和建筑物对地基变形与稳定性要求的实现。因此，设计时应根据本工程建筑物对地基沉降及承载力（或稳定性）的要求，合理确定堆载的大小（含超载）、分级、加载速率控制等。一般情况下，按加固工程对地基沉降和承载力（或稳定性）的要求，分别进行设计，即（1）为消除基础沉降的堆载预压设计；（2）为提高地基承载力与稳定性的堆载预压设计。

3.4.2 为消除沉降的堆载预压设计

堆载预压法减少建筑物沉降的过程和原理如图 3-4-1 所示。预压消除沉降是通过施加预压荷载 $(P + \Delta P)$ ，使地基在该荷载作用下排水固结，经历一定的预压期（历时 t ）后，达到拟消除的沉降量 $(S_t)_{P+\Delta P}$ ；然后卸除该荷载并建造建筑物，施加建筑物荷载后地基沉降因预压荷载卸除后再压缩引起，预压产生沉降中的绝大部分因软土的高塑性特点而不可恢复和已被消除，最终产生的沉降为 $(S_f)_P - (S_t)_{P+\Delta P}$ ，从而使基础沉降大大减少。按照建筑物允许沉降 S_a 的要求，在规定工期 t_a 内预压消除的沉降应满足式（1-4）和（1-5）的要求：

$$(S_f)_P - (S_t)_{P+\Delta P} \leq S_a \quad (1-4)$$

$$t \leq t_a \quad (1-5)$$

关于 $(S_f)_P$ 和 $(S_t)_{P+\Delta P}$ 的计算详见本篇 4.1 节。

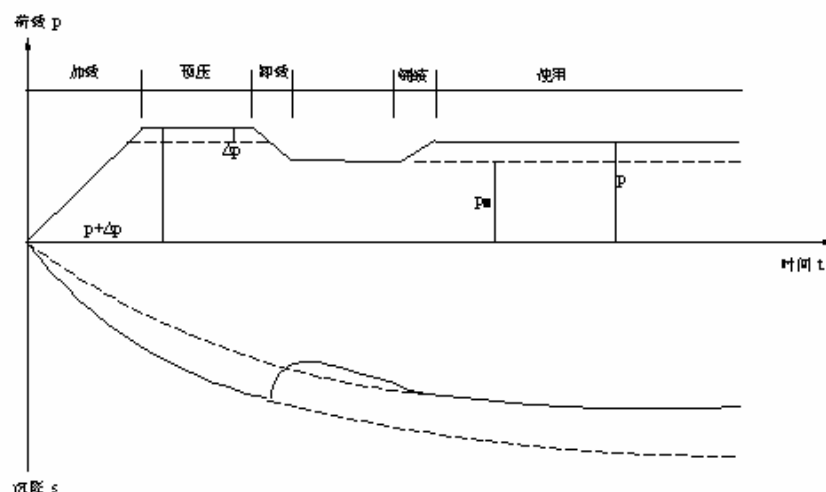


图 1-3 预压法原理图

为消除沉降的预压设计内容包括：①确定消除沉降必需的堆载大小；②确定预压需要的时间；③预压荷载施加速率。

设计方法和步骤如下：

①按本篇 4.1 节介绍的方法计算确定设计使用荷载 P 下的天然地基最终沉降量 $(S_f)_P$ ；

②设定某一预压荷载 $(P + \Delta P)$ ，按本篇 4.1 节介绍的方法计算确定预压荷载作用下天然地基最终沉降量 $(S_f)_{P+\Delta P}$ ，超载预压时 ΔP 为正值，等载预压时 ΔP 为零，欠载预压时 ΔP 为负值；

③根据初步确定的竖向排水体间距等技术参数和勘察试验确定的软土固结系数等参数，按本篇 4.2 节介绍的方法计算预压结束 t 时地基的平均固结度 $(U_t)_{P+\Delta P}$ ，再计算出预压结束时消除的地基沉降 $(S_t)_{P+\Delta P} = (S_f)_{P+\Delta P} * (U_t)_{P+\Delta P}$ ；

④代入式 (3-4-1) 和 (3-4-2) 校核残余沉降是否小于容许沉降和预压时间是否在规定时间以内，如果满足要求则表明初定的竖向排水体间距和预压荷载及时间正确，如果不满足要求则需要调整竖向排水体间距和预压荷载及时间并重新开始进行步骤②~④的设计计算；

⑤确定预压荷载施加速率。填土加载时填筑速率宜根据土的软弱程度配合工程经验确定，一般采用分层填筑，每层厚度 0.3~0.5m，控制每月累积填筑高度小于 2m。

3.4.3 为提高地基承载力和稳定性的堆载预压设计

在强度较低的软弱地基上建造荷载较大的建筑物时，为了提高地基的承载力与稳定性，常采用排水固结预压法加固地基，通过图 1-4 多示分级逐渐施加建筑物自重荷载或堆载，控制施加荷载的速率，使在前一级荷载作用下地基排水固结强度增长后再施加下一级荷载，逐步提高地基的承载力与稳定性，以达到满足设计荷载的要求。因此设计主要是制订合理的堆载预压分级进程图，包括：①确定分级堆载的

大小；②确定每一级荷载要达到的固结度和预压持续的时间，始终保持地基强度

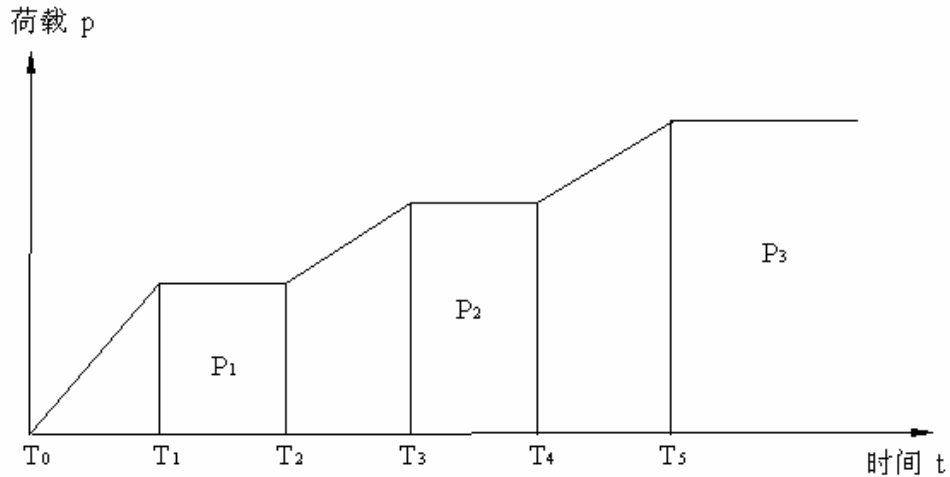


图 1-4 排水固结预压加固地基分级示意图

的增长，满足施加下一级荷载的要求。设计步骤如下：

(1) 根据天然地基抗剪强度确定第 1 级加载 p_1 。 p_1 宜小于天然地基的极限承载力，保证具有一定的安全度，避免因加载而出现塑性屈服和蠕变。对于堤坝或条形基础可按式 (1-6) 确定 p_1 ：

$$p_1 = \frac{1}{K} 5.14 C_u \quad (1-6)$$

对于矩形基础或圆形基础可按式 (1-7) 确定 p_1 ：

$$p_1 = \frac{1}{K} \times N_c C_u (1 + 0.2 \frac{B}{A}) (1 + 0.2 \frac{D}{B}) + \gamma D \quad (1-7)$$

式中 K 为安全系数，建议采用 $K=1.4 \sim 1.5$ ； C_u 为天然地基的不排水剪强度； N_c 为承载力因子，矩形基础 $N_c=5.52$ ，圆形基础 $N_c=6$ ； A 、 B 、 D 为基础的长度、宽度和埋深； γ 为基底以上土的容重。

(2) 计算加荷速率 q' 和预压持续的时间。根据工程经验，加荷速率 q' 不宜过快，分层填筑时每层厚度 $0.3 \sim 0.5\text{m}$ ，控制加荷速率 $q' = 4 \sim 6\text{KN/d}$ ，则图中 $T_1 = p_1 / q'_1$ 。在施加第一级荷载 p_1 之后，需要恒载预压一段时间，待地基固结、强度增长后才能施加下一级荷载。恒载持续的时间 $T_2 - T_1$ 可按式 (1-8) 计算

$$t = \frac{1}{\beta} \times \ln \frac{8}{\pi^2 (1 - U_t)} \quad (1-8)$$

$$T_2 = t + T_1 / 2$$

式中： t ——瞬时加载达到固结度 U_t 所需时间；

U_t ——固结度，一般要求 $U_t = 70\% \sim 80\%$ ；

β ——砂井地基的固结指数，见本篇 4.2 节。

(3) 计算第一级荷载作用下的地基强度增长值和估算第二级堆载容许值。在

p_1 荷载作用下, 经过一定时间的预压, 地基强度增长为 τ_{f1} , 计算时先用式 (1-45) 计算出强度增量 $\Delta\tau_{fc}$, 再将其代入式 (1-43) 中算出 τ_{f1} 。然后将 $\tau_{f1}=Cu$ 代入式 (1-6) 或 (1-7), 计算第二级堆载达到的 p_2 。

如果 p_2 尚未达到设计总堆载值, 按此原理重复上述步骤计算第三、四……级堆载, 直到达到设计总堆载值为止。

如果地基稳定性不适宜采用承载力分析时, 则应在上述承载力分析基础上, 对各级荷载作用下的地基稳定性进行验算, 并要求稳定性安全度 $F_s \geq 1.4 \sim 1.5$ 。

3.4.4 堆载预压设计时, 必须控制堆载预压荷载大小值, 一般要求施加每一级荷载不得超过根据前一级荷载作用下地基强度增长后的抗剪强度计算得到的地基极限承载力的 0.7 倍 (或安全系数大于 1.4)。因为加载过大, 将引起地基土的塑性屈服和塑性剪切从而使强度衰减, 地基后期沉降增加, 出现不良后果。超载预压的超载大小也应按此原则控制, 不宜大量超载。

3.4.5 分别按消除沉降和提高地基承载力或稳定性进行设计得到的预压荷载大小、预压时间及加载速率将会不同, 应从安全考虑预压荷载大小和预压时间取大值, 加载速率取小值。

3.4.6 结束预压的准则。不同工程应根据本工程具体情况从以下标准中确定本工程采用的卸载标准:

(1) 控制残余沉降。假定地基在设计荷载作用下计算的最终沉降量为 S'_∞ , 在预压荷载作用下推算的最终沉降量为 S_∞ , 则当预压过程中时间 t 的实测平均沉降 S_t 满足式 (1-9) 时就可以结束预压, 开始卸载:

$$S'_\infty - S_t < [S_a] \quad (1-9)$$

式中 $[S_a]$ 为拟建建筑物的容许残余沉降。

(2) 控制固结度。由于一些建筑物的容许沉降不容易确定, 设计计算得到的设计荷载作用下最终沉降量误差较大, 因此在实际工程中改用变形比控制方法。假定变形比等于反映超静孔隙水应力消散程度的固结度, 则当预压时满足式 (1-10) 时可以结束预压, 开始卸载:

$$S_t/S_\infty = 80 \sim 90\% \quad (1-10)$$

S_∞ 采用设计计算结果或者根据沉降观测资料进行推算。

(3) 控制工后沉降。在公路工程中, 由于每隔一定时间道路便要大修, 因此要求控制竣工通车后一定时期内 (如新建高速公路规定为 15 年) 的沉降。为安全起见, 忽略预压结束后路面施工期沉降, 按式 (1-11) 作为结束预压、开始卸载标准:

$$S'_{15\text{年}} - S_t < [S_a^*] \quad (1-11)$$

式中 $S'_{15\text{年}}$ 为设计荷载下竣工通车后 15 年时的总沉降量（包括施工期沉降）， $[S_a^*]$ 为拟建建筑物的容许工后沉降。

（4）控制沉降速率。同样在公路工程中，由于设计荷载作用下竣工通车后 15 年时的总沉降量难以确定，因此在实际工程中改用沉降速率控制方法，即要求卸载后路面施工前的沉降速率小于规定值 $[V_s]$ （一般为 5~10mm/月）。假定软土初始加载压缩和卸载后再加载压缩变形比为 k ，实测预压结束前沉降速率为 V_{st} ，则按下式作为开始卸载标准：

$$(1+k(\text{OCR}-1)) V_{st} < [V_s] \quad (1-12)$$

式中 $\text{OCR} = U \cdot p_{\text{固}} / p_{\text{设}}$ ， U 为预压结束时地基平均固结度， $p_{\text{固}}$ 为原地面加固时施加荷载， $p_{\text{设}}$ 为原地面设计使用荷载。

3.5 真空预压设计

3.5.1 真空预压加固原理

真空预压法是利用大气压力作为预压荷载的一种排水固结预压方法，其作用原理如图 3-5-1 所示。它是在拟加固的软土地基场地上，先打设竖向排水体和铺设水平排水砂垫层，然后在其上覆盖 2~3 层不透气的薄膜并沿四周埋入土中形成密封，在真空泵抽水和气形成负压作用下，在膜和地面之间形成真空负压介面，通过埋在砂垫层中的吸水管路抽取地基中的孔隙水 and 气，使地基软土排水固结。在抽真空前，膜上下均受一个大气压 p_0 作用；抽真空后，膜下压力逐渐下降，稳定后压力为 p_2 ，膜上下形成压力差 $\Delta p = p_0 - p_2$ ，这个压力差工程上称为真空度。膜下真空负压通过竖向排水体传至地基深层并形成深层负压源，在其作用下软土内形成负超静孔隙水压力 $\Delta u < 0$ ，总孔隙水压力下降。在形成真空度瞬时 ($t=0$)，超静孔隙水压力 $\Delta u=0$ ，有效应力增量 $\Delta \sigma' = 0$ ；随着抽真空的延续 ($0 < t < \infty$)，超静孔隙水压力不断下降，有效应力不断增大；至 $t \rightarrow \infty$ ， $\Delta u = -\Delta p$ ， $\Delta \sigma' = \Delta p$ 。由此可见，真空预压过程中，在真空负压作用下，土中孔隙水压力不断降低，有效应力不断提高，孔隙水向排水井和砂垫层渗流，软土固结压缩、强度提高。真空负压作用下地基内有效应力增加是各向相等的，地基在竖向压缩沉降的同时，侧向产生向内的收缩位移（堆载预压时侧向产生向外的膨胀挤出位移），地基在预压过程中不可能发生失稳破坏。真空预压加固地基的技术关键是在地基中形成稳定和足够真空度的负压源。

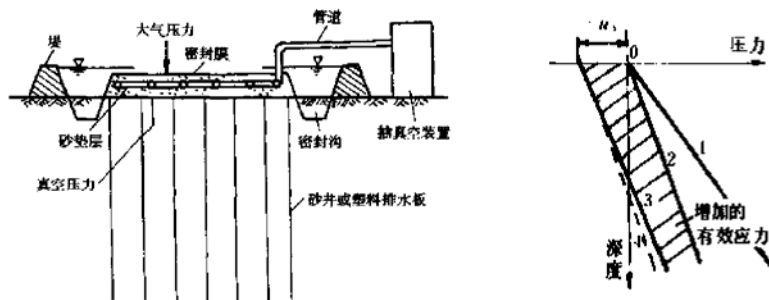


图 1-5 真空预压法原理

3.5.2 真空预压的设计

真空预压设计的内容除排水系统外，主要包括膜下真空度、土层固结度、地基变形计算、地基强度增长计算、预压区分块大小等。

(1) 膜内真空度。根据国内一些工程的经验，在采用合理工艺和设备前提下，膜内真空度可达 600mmHg (即预压荷载 80kPa) 以上，该值可作为最低膜内设计真空度。

(2) 平均固结度。加固区受压土层的平均固结度设计值应大于 80%，具体计算方法见本篇 4.2 节。

(3) 沉降计算。计算方法见本篇 4.1 节。

(4) 强度增长计算。计算方法见本篇 4.4 节。

(5) 真空预压加固范围确定见本篇 3.2.4 节，每块预压面积宜尽可能大，且相互连接，形状尽可能为正方形。

(6) 密封膜与密封沟设计。密封膜产品的有关规定见本指南第二篇产品标准，一般铺设 2~3 层。密封膜四周通过密封沟埋入粘土层，密封沟深度至少 1.5m 以上，必须穿透地表以下浅透水层。对地基处理深度范围内有充足水源补给的透水层等情况下，应采取双排粘土搅拌桩等有效措施切断透气和透水层。

(7) 真空预压所需抽真空设备的数量，取决于加固面积的大小和形状、土层的结构特点等。开始抽真空压力上升和稳定初期，根据加固总面积按每套设备可控面积为 1000~1500m² 确定总的抽真空设备数量，施工中压力稳定一段时间后可逐步均匀减少抽真空设备，但停泵数不得大于总泵数的 1/3~1/2。

(8) 排水管设计。真空预压中排水管既起传递真空压力的作用，也起水平排水的作用。分主管和支管（滤管）两种。主管为直径 75 或者 90mm 的硬 PVC 管，一般在加固区内沿纵向布置 1~2 条。支管为每隔 50mm 钻一直径 8~10mm 小孔、外包 250g/m² 土工布的直径 50 或者 75mm 硬 PVC 花管，一般在加固区内沿横向布置，间距 6m 左右。

3.6 真空联合堆载预压

真空预压法加固地基具有施工工期短、无需分级加载等优点，但真空预压方法

最大加载值为 80kPa 左右，对于荷载较大，承载力和沉降要求较高的建筑物地基，往往需要与其他方法联合使用。堆载预压方法技术可靠且费用较为节省，但堆载需要分级施加，且工期较长。根据两种方法加固作用的可叠加性及互补性，将两种方法联合应用从而形成真空联合堆载预压加固软粘土地基方法。

3.6.1 真空联合堆载预压加固基本原理

真空联合堆载预压是利用真空预压和堆载预压两种荷载同时作用，促使土体重的空隙水加速排出，降低土中孔隙水压力，增加有效应力，加快土体固结，形成两种荷载作用的叠加。同时，由抽真空引起的负超静孔隙水压力和由堆载引起的超静孔隙水压力可以产生部分抵消应力，使土体在快速堆载时不致产生过高的超静水压力，从而也保证了工程施工时的稳定。真空联合堆载预压加固地基方法如图 1-6 所示，真空预压的效果和堆载预压的效果是可以叠加的。

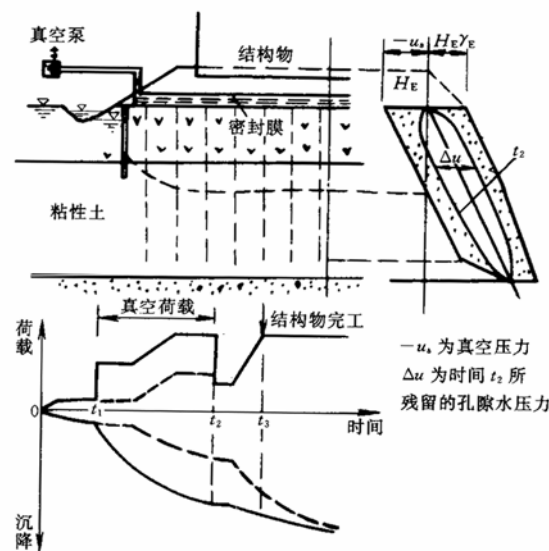


图 1-6 真空联合堆载预压加固地基原理

3.6.2 真空联合堆载预压的设计

(1) 预压步骤的设计：在实施真空排水预压和堆载预压的联合加固时，二者的顺序可以是先在加固场地上进行真空预压，直到真空荷载下沉降变形速率缓慢，被加固的土体由一定的强度之后再在膜上堆载进行联合加固；也可是二者基本同步进行，即膜下真空度稳定在 600mmHg 柱以上（相当于 80kPa 以上的等效压力）半个月后，进行堆载预压，开始真空联合堆载预压。

(2) 真空单独预压阶段，排水通道、砂垫层等设计和要求同真空预压方法。

(3) 堆载阶段，加载荷载分级及分级荷载加载速率、预压荷载大小及预压时间参考单独进行堆载预压的设计方案。

(4) 沉降计算，见本篇 4.1 节。

(5) 固结度计算，见本篇 4.2 节。

(6) 稳定计算, 见本篇 4.6 节。

3.6.3 真空联合堆载预压法应特别注意的问题

(1) 为了防止堆载过程中损坏密封膜, 应对真空密封膜进行保护, 可在膜上和膜下分别铺设一层热粘刺无纺土工布或机织土工布。

(2) 真空预压压力稳定至设计要求值以上 5~10 天后开始堆载, 其中采用填土方式加载时第一层填土的松铺厚度不宜小于 400mm, 不得强振碾压再加上其下土质较软等原因而密实度要求不能过高, 一般要求压实度为 0.88~0.90;

(3) 施加每级荷载前, 均应进行固结度、强度增长和稳定性验算, 满足要求后方可施加下一级荷载。

(4) 在一些特殊的地方(如桥头高填土)采用联合加固时, 要密切注意对已有构筑物的影响, 有条件时设置现场监测手段加强对已有构筑物的监测, 避免意外发生。

(5) 当堆载中使用的荷载是水时, 对在加固区四周的围堰做好密封和加固, 避免溃堰发生。

4 设计计算方法

4.1 最终沉降计算

4.1.1 主固结沉降配合经验系数修正法

(1) 基本公式

对于控制以主固结为主线性变形的加荷条件下, 地基的最终沉降量 S_f , 可按下列式计算:

$$S_f = m_s S_c \quad (1-13)$$

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{a_i \sigma_{zi}}{1 + e_{oi}} \cdot \Delta h_i \quad (1-14)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}}{E_{si}} \cdot \Delta h_i \quad (1-15)$$

式中 S_c ——主固结沉降量;

m_s ——经验修正系数; 堆载预压 $m_s=1.1\sim1.4$, 真空预压 $m_s=0.8\sim1.0$;

a_i, E_{si} ——分别为第 i 分层与计算点荷载应力 σ_{zi} 相对应的压缩系数

$a_i = \frac{e_{0i} - e_{li}}{p_{li} - p_{0i}}$ 和压缩模量 $E_s = \frac{1 + e_{oi}}{a_i}$ 。由该土层试样压缩试验的 $e-p$ 曲线中求得。

e_{oi}, e_{li} ——分别为第 i 土层计算点的天然孔隙比和 $p_{li} = p_{oi} + \sigma_{zi}$ 在压力下对应的孔隙比；

Δh_i ——第 i 分层的厚度。

这一沉降算法是我国工程界多年来从工程实践中逐步积累提出的一个半经验实用沉降法，已在工程设计中广泛应用，计算结果尚能靠近实际，其可靠度取决于经验系数 m_s 的选取。

(2) 沉降经验系数 m_s 的选用

系数 m_s 是一个受多种因素影响的综合性修正系数，主要与建筑物基础类型，地基的侧向变形，次固结与塑性蠕变，预压荷载的类型（堆载预压和真空预压等）。加载的方式、荷载水平、剪应力强度比、加载速率控制和施工对土的扰动等有关，这是比较复杂的，确实不易准确决定。为此，国内各类工程的规范编写组曾进行了大量的理论研究和实测结果的比较分析工作。《建筑地基基础设计规范》GB5007-2002 制订。

(3) 沉降经验系数 m_s 表，见表 1-2，供设计选用。

表 1-2 《建筑地基基础设计规范》沉降经验系数 m_s

E_s (MPa)		2.5	4.0	7.0	15.0	20.0
土类						
粘性土	$p_0 = f_k^*$	1.4	1.3	1.0	0.4	0.2
	$p_0 \leq 0.75 f_k$	1.1	1.0	0.7	0.4	0.2

注：表中 f_k 为承载力特征值， p_0 为基础底面附加应力。

表中的 m_s 值与土的平均压缩模量，地基承载力特征值和土类等因素有关。 m_s 值的范围在 0.2~1.4，对于软粘土（ $E_s < 4.0 \text{ MPa}$ ） m_s 的范围均为 1.0~1.4。这是国内采用较可靠的工程实例反分析所得到的沉降系数 m_s 变化结果，主要集中在 $m_s = 1.1 \sim 1.4$ 之间，并随着土层的压缩模量和不排水剪强度有规律变化。因此，本规程在上述分析的基础上，参考其他规范的研究成果建议，对于正常固结和稍微超固结软弱粘性土地基，采用堆载预压的排水固结工程，沉降系数 m_s 宜为 1.1~1.4，压缩模量较小

($E_s \leq 2.5 \text{ MPa}$), 不排剪强度较小 ($\tau_u \leq 15 \text{ kPa}$) 时采用大值; 反之, 压缩模量较大 ($E_s \geq 4.0 \text{ MPa}$), 不排水剪强度较大 ($\tau_u \geq 20 \text{ kPa}$) 时用大值, 其中间可用内插值。对于在预压过程中未能严格控制加载速率, 地基土出现较大的塑性蠕变变形, m_s 值将显著增大, 超过 $m_s = 1.4$, 所以在预压过程中必须严格控制加荷速率, 保证地基在稳定条件下排水固结。对于真空预压排水固结工程, 沉降计算及 m_s 的取值不宜采用本法, 应另行考虑。

(4) 压缩层厚度的确定

沉降计算时, 计算深度应达到荷载作用下产生压缩变形的土层厚度, 称为压缩层的厚度, 可按下列原则确定。

①控制压缩量原则 在地基中某一深度 z_n (见图 1-7) 向上取厚度为 1.0m 的土层, 计算其压缩量 ΔS_n , 与该深度范围内土层的总压缩量 $\sum_{i=1}^n \Delta S_i$ 之比, 满足式 (1-16) 的要求者为压缩层的厚度。

$$\frac{\Delta S_n}{\sum_{i=1}^n \Delta S_i} \leq 0.025 \quad (1-16)$$

式中 $\Delta S'_i$ ——在计算深度范围内第 i 层计算的沉降值;

ΔS_n ——由计算深度 z_n 向上取 $\Delta z = 1.0\text{m}$, 计算沉降值。

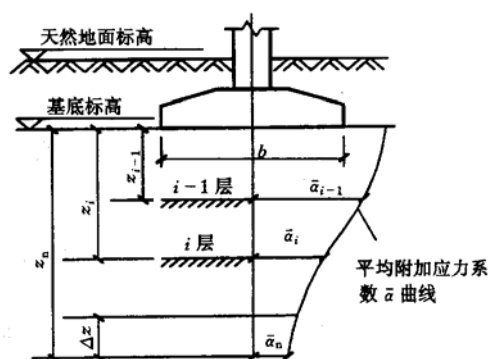


图 1-7 压缩土层厚度示意图

若所确定的计算深度 z_n 之下还存在软弱土层时, 应继续计算。若计算深度 z_n 范围内, 存在基岩表面或较厚的坚硬粘土层和较厚的密实砂砾石层, z_n 值应取至该土层表面为止。

②控制应力比原则 在地基中某一深度 z_n , 计算该深度的附加应力 σ_z 和自重应力 p_0 , 当满足式(1-17)的要求, 可确定为压缩层的厚度。

$$\frac{\sigma_z}{p_0} \leq 0.1 \text{ 或 } 0.2 \quad (1-17)$$

③当无相邻荷载影响条件下, 基础宽度在 $1 \sim 30\text{m}$ 范围时, 基础中点地基变形计算深度可按经验式 (1-18) 计算, 确定压缩层的厚度

$$Z_n = b(2.5 - 0.4 \ln b) \quad (1-18)$$

式中： b ——基础宽度（m）。

4.1.2 沉降分类计算法

（1）总沉降计算式

一般认为在外力作用下地基土的总沉降由三部分组成。瞬时沉降是荷载作用下体积不变，由剪切变形引起的竖向位移，施加后立即发生的部分沉降量；主固结沉降是在主固结过程中体积压缩引起的部分沉降，随时间发展而增大；而次固结沉降是土骨架在持续荷载下发生蠕变引起的。因此，地基最终总沉降量 S_f 可表示为

$$S_f = S_d + S_c + S_s \quad (1-19)$$

式中 S_d ——瞬时沉降量；

S_c ——主固结沉降量；

S_s ——次固结沉降量。

（2）主固结沉降（ S_c ）

主固结沉降可用常规的分层总和法计算。根据计算所采用的压缩性指标又可分为压缩指数法和压缩模量法。

①用压缩指数计算主固结沉降

主固结沉降可按式（1-20）计算：

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{e_{oi} - e_{li}}{1 + e_{oi}} \Delta h_i = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}}{E_{si}} \cdot \Delta h_i \quad (1-20)$$

式中， n ——地基沉降计算分层层数；

Δh_i ——地基沉降计算分层第 i 层计算分层厚度；

e_{oi} ——地基中第 i 层分层中点，在自重应力作用下稳定时的孔隙比；

e_{li} ——地基中第 i 层分层中点，在自重应力与附加应力共同作用下稳定时的孔隙比。

E_{si} ——第 i 层的压缩模量；

σ_{zi} ——第 i 层中点的附加应力。

②用压缩指数 C_c 计算主固结沉降

采用 $e - \lg p$ 曲线时，主固结沉降按地基分正常固结及超固结两种情况分别计算。

对于正常固结情况，可用式（1-21）计算：

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_i}{1 + e_{oi}} C_{ci} \lg \left(\frac{p_{0i} + \Delta p_i}{p_{ci}} \right) \quad (1-21)$$

对于超固结情况，可用下式计算：

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_i}{1+e_{oi}} \left[C_{si} \lg \left(\frac{p_{ci}}{p_{oi}} \right) + c_{ci} \lg \left(\frac{p_{oi} + \Delta p_i}{p_{ci}} \right) \right] \quad \Delta p > p_c - p_o \quad (1-22)$$

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_i}{1+e_{oi}} \left[C_{si} \lg \left(\frac{p_{oi} + \Delta p_i}{p_{ci}} \right) \right] \quad \Delta p < p_c - p_o \quad (1-23)$$

式中： n ——地基分层层数；

C_c ——土层的压缩指数；

p_{oi} ——地基中各分层中点的自重应力；

p_{ci} ——前期固结压力，正常固结时 $p_{ci} = p_{oi}$ 。

C_s ——回弹指数；其余符号意义同上。

(3) 瞬时沉降 (S_d)

瞬时沉降可按式 (1-24) 计算：

$$S_d = \frac{pb(1-\mu^2)}{E_u} w \quad (1-24)$$

式中： p ——荷载作用在地基面上的平均压力；

b ——基础宽度；

μ ——泊松比，饱和软粘土 $\mu=0.5$ ；

w ——荷载面积形状和计算点的影响系数，见表 1-3；

E_u ——不排水条件下剪切变形模量，通常要求由三轴不排水剪切试验求得。实用上常用现场十字板强度 C_u 推算。即：

$$E_u = \beta C_u \quad (1-25)$$

β ——系数，变化范围约 500~1500，土层塑性指数大的，土层塑性指数大的取大值，反之，取小值。

表 1-3 影响系数 w

荷载面积 形状	长宽比 L/B	中心点	角点	短边中点	长边中点	平均
方 形	1	1.12	0.56	0.76	0.76	0.95
矩 形	1.5	1.36	0.67	0.89	0.97	1.15
	2	1.52	0.76	0.98	1.12	1.30

	3	1.78	0.88	1.11	1.35	1.52
	5	2.10	1.05	1.27	1.68	1.83
	10	2.53	1.26	1.49	2.12	2.25
	100	4.00	2.10	2.20	3.60	3.70
圆 形		1.00	圆形周边 0.64			0.85

(4) 次固结沉降 (S_s)

次固结沉降可按式求得：

$$S_s = \sum_{i=1}^n \frac{C_{ai}}{1 + e_{1i}} \lg \left(\frac{t_2}{t_1} \right) h_i \quad (1-26)$$

$$C_a = (e_1 - e_2) / (\lg t_2 - \lg t_1) \quad (1-27)$$

式中： C_{ai} ——各土层的次固结系数；

e_1 、 e_2 ——分别为孔隙比与时间（对数）曲线尾端直线上两点的孔隙比；

t_1 、 t_2 ——分别为相应于孔隙比 e_1 、 e_2 的时间；

h_i ——各土层厚度，m。

4.2 固结度计算

4.2.1 根据竖向排水地基固结理论，对于竖向排水体打穿全部软土层且固结度大于 50%情况，瞬时加载条件下地基平均固结度可按式（1-28）计算

$$U_t = 1 - \alpha e^{-\beta t} \quad (1-28)$$

分级连续等速加载条件下地基平均固结度按式（1-29）计算

$$U_t = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{q}_i}{P_t} \left[(T_i - T_{i-1}) - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\beta t} (e^{\beta T_i} - e^{\beta T_{i-1}}) \right] \quad (1-29)$$

式中 U_t ——加载后历时 t 的地基平均固结度；

\dot{q}_i ——第 i 级荷载的加载速率（kPa/d）， $\dot{q}_i = \frac{\Delta p_i}{T_i - T_{i-1}}$ ；

P_t —— $p_1 + p_2 + p_3 \cdots p_n$ 各级荷载的累加值，所求的固结度是对该荷载而言。

T_{i-1}, T_i ——分别为第 i 级荷载加载的始点和终点的天数（d），从零计起，当 t

处于第 i 级加载过程中 ($T_{i-1} < T_i$) T_i 改为 t ;

α, β ——排水固结参数, 各种情况下的 α, β 值见表 1-4。

β_r, β_z ——分别为径向和竖向固结指数;

J ——涂抹因子, 与涂抹比 λ 和渗透系数比 k_w/k_s 有关。

G ——井阻因子, 与竖向排水通水能力有关。

n ——井阻比, $n = \frac{d_e}{d_w}$, d_w 为竖向排水体的直径, d_e 为竖向排水体排水

圆柱等效直径;

H ——固结土层竖向渗流的最大距离, 单面排水时, H 取软土层的厚度, 双面排水时, H 取两排水面向土层厚度之半。

表 1-4 α 、 β 值

排水情况		径向排水	竖向排水	竖向和径向组合三维排水
β	理想井	$\beta_r = \frac{8C_r}{F_n d_c^2}$	$\beta_z = \frac{\pi^2 C_v}{4H^2}$	$\beta_r + \beta_z$
	非理想井	$\beta_r = \frac{8C_h}{(F_n + J + \pi G) d_e^2}$		
α		1	$8/\pi^2$	$8/\pi^2$

注: 理想井为不考虑井阻和涂抹对固结影响的情况; 非理想井为考虑井阻和涂抹作用的情况;

上述公式只有在固结度大于 50%以后近似成立。严格说来, 任一深度 z , 径向及竖向固结度 U_{rz} 在瞬时加载条件下为:

$$U_{rz} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \sin \frac{Mz}{H} e^{-\beta_{rz} t} \tag{1-30}$$

竖向排水体打入深度范围内地基总平均固结度 \bar{U}_{rz} , 在瞬时加载条件下为:

$$\bar{U}_{rz} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} e^{-\beta_{rz} t} \tag{1-31}$$

式中: $M = (\frac{2m+1}{2})\pi$ ($m=0, 1, 2 \dots$ 正整数)。其他符号见前文中。

上述理论解在一定条件下可转化为理想井和无砂井情况的固结度计算公式:

- (1) 令式中 $G=0$, $\lambda=1$ 可转化为理想井计算公式;
- (2) 令式中 $G=0$, 可转化为无井阻情况公式;

(3) 令式中 $\beta=\beta_r$ ，为不考虑竖向排水的固结计算公式；

(4) 令式中 $\beta=\beta_z$ ，为无竖向排水体地基一维固结理论计算公式

4.2.2 井阻因子 G

井阻因子 G 可按下式计算：

对于塑料排水带

$$G = \frac{\pi k_h \cdot H^2}{4q_w'} \quad (1-32)$$

或

$$G = \frac{1}{4} \cdot \frac{q_h}{q_w'} \cdot \frac{H}{d_w} = \frac{1}{4} \cdot \frac{q_h}{q_w / F_s} \cdot \frac{H}{d_w} \quad (1-33)$$
$$q_w' = \frac{1}{F_s} q_w$$

式中 k_h ——地基土的水平向渗透系数 (cm/s)，由原状土用水平向渗透试验测定，如无试验资料时，对于淤泥质土可取 $k_h=(3-5) \times 10^{-7}$ cm/s；

q_h ——单位梯度下地基土中水流入竖向排水体中的流量(cm/s)，用

$q_h = k_h \pi d_w H$ 求得；

q_w' ——竖向排水体在地基中实际的通水能力（或称竖向渗透能力），即单位梯度下水流通过排水带截面的流量(cm³/s)；

q_w ——排水带产品试验测定的通水能力(cm³/s)；

H ——排水带或竖向排水体打入深度；

F_s ——折减安全系数，当 $H \leq 10$ m，取 4； $10 < H \leq 20$ m，取 5， $H > 20$ m，取 6。

井阻因子 G 是影响竖向排水体地基固结效果的一个主要因素，井阻因子愈小，固结效果愈好，反之则差。当 $G < 0.1$ 时，井阻对固结效果的影响甚微小，接近于理想井的固结效果，可忽略井阻对固结的影响；当 $G=1$ 时，井阻对固结的影响显著增大，明显降低地基的固结度；当 $G > 1$ 时，严重影响地基的固结效果，趋于无排水体的地基（天然地基）。竖向排水体中砂料的渗透系数 k_w 和塑料排水带的竖向通水能力 q_w 以及打入深度 H 是影响井阻因子 G 大小的主要因素。在某一强度下，竖向排水体的渗透系数或塑料排水带的通水能力过小，将会使井阻因子增大，带（井）排水不畅，导致固结效果降低。因此，在设计时，对于某一深度的竖向排水体，必须要求具有足够的渗透性能或通水能力，尽量降低井阻因子，以保证具有良好的固结

效果。

确定合理的井阻因子 G 的关键取决于竖向排水体在地基原位条件下的实际通水能力。Koerner 和 Miura 等人根据工程原位测试和反分析结果认为：由室内测定的排水体产品通水能力，通过储运、施工中损伤和在地基原位条件下，侧压力的作用使产品的芯带及滤膜产生弹性及蠕变变形，物理、生物环境的改变，以及打入排水体压缩弯折等的影响，产生较明显的衰减。因此，确定井阻因子 G 时所用的排水体通水能力 q_w 不应是试验测定的产品通水能力值，而是原位条件下的实际通水能力，称之为实际通水能力 q'_w 。

$$q'_w = \frac{1}{F_s} q_w \quad (1-34)$$

关于上式中折减安全系数 F_s ，主要考虑排水体产品因储运，施工中损伤和在原位侧压力作用下蠕变，物理化学和生物环境改变以及地基压缩使排水带产生弯折等的影响，使通水能力降低的折减系数。根据 Koerner (1994) 的建议：

$$F_s = F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5 \quad (1-35)$$

式中 F_1 ——滤膜弹性变形进入芯体空间的安全系数， $F_1=1.5\sim 2.5$ ；

F_2 ——滤膜和芯体蠕变影响的安全系数， $F_2=1\sim 2.5$ ；

F_3 ——化学淤堵影响的安全系数， $F_3=1\sim 1.2$ ；

F_4 ——生物淤堵影响的安全系数， $F_4=1\sim 1.2$ 。

如果在打入排水体中产生扭曲和弯曲，还需增加一个附加安全系数， $F_5=1.0\sim 4.0$ 。 F_s 值约在 1.5~9。Miura 等人 (1993) 通过四座堤坝的反分析，产生在地基原位条件的通水能力为初始值的 1/10~1/3。根据我国 12 个工程实例反算的结果 $F_s=2.7\sim 12.9$ 。因此建议采用概率分布比较集中的中值，即 $F_s=4\sim 6$ ，并按其打入深度和质量好坏分别取高值和低值。按打入深度不同，分别采用安全系数 F_s 值。当 $L < 10\text{m}$ ， $F_s=4$ ； $L > 20\text{m}$ ， $F_s=6$ ， $L=10\text{m}\sim 20\text{m}$ 间， $F_s=5$ 。

因此，计算井阻因子 G 时，应采用排水体在地基中的实际通水能力 q'_w 计算。设计时还要求合理选用排水体的通水能力或渗透性，以降低井阻对固结的影响。

4.2.3 井阻因子 G 的设计

设计时，塑料排水带产品的通水能力 q_w 宜取井阻因子 $G \leq 0$ 为标准，尽量降低至可忽略井阻对固结的影响，即令：

$$G = \frac{q_h}{q_w/F_s} \cdot \frac{H}{d_w} \cdot \frac{1}{4} = 0.1 \quad (1-36)$$

对打入不同深度的塑料排水产品应满足 (1-37) 的要求。

$$q_w = 7.85 F_s k_h H^2 \quad (1-37)$$

当 $G < 0.08$ 时可以忽略井阻对固结效果影响。

4.2.4 涂抹因子 J

在计及排水体施工对土的扰动时，应考虑涂抹对土体固结的影响，涂抹因子 J 按下式计算

$$J = \ln(\lambda) \left(\frac{k_h}{k_s} - 1 \right) \quad (1-38)$$

式中 λ ——涂抹比， $\lambda = d_s/d_w$ (d_s 是涂抹区直径)，可取 1.5~4，地基土扰动较小的情况取低值，扰动较大的取高值。

k_h, k_s ——分别为天然土层和涂抹区土的水平向渗透系数 (cm/s)， k_s 宜用扰动土按常规试验方法测定。

当无试验资料时，可取渗透系数比 $k_h/k_s = 1.5 \sim 8$ 计算，均质高塑性粘土取低值 1.5~3，非均质粉质粘土取 3~5，非均质并具有明显的粉土或细砂微层理结构的可塑性粘土取 5~8。

当 $J \leq 0.4$ 时，不考虑涂抹影响 ($J=0$)。

涂抹作用主要是由于施工对地基土扰动造成的，涂抹的影响范围及对土渗透性能的改变则与施工所用的导管大小、形状和打入的动力方式（静压或振动）与操作的方法等有关。常用导管的平均直径往往比排水带的等值直径大一倍以上，所以常形成具有一定范围的涂抹区，同时涂抹区内扰动的渗透性能也比地基土明显降低。因此，涂抹作用对固结效果的影响是客观存在而不可忽视的。根据工程实践经验和实测资料反算结果，关于涂抹因子中的涂抹比 λ 和渗透性比 k_h/k_s 的确定，建议如下：

(1) 涂抹区的范围与施工机具动力的形式和导管的大小形状有关，涂抹比的范围约为 $\lambda = 1.5 \sim 4$ 。导管较大，振动打入者，可取大值；导管较小，静力压入者，取小值。

(2) 涂抹区扰动土的渗透性比值与地基土的结构与性质有关, 高塑性均质粘土, $k_h/k_s=1.5$; 非均质含粉质土, $k_h/k_s=3\sim 5$; 非均质并具有明显的粉土或细砂微层理结构的可塑性粘土, $k_h/k_s=5\sim 8$ 。

4.2.5 竖向排水体未打穿全部软土层情况下固结度计算

对排水体未打穿受软土层的情况, 当下卧层较厚时, 排水体打设范围内的处理区与下卧层的未处理区的固结速率相差较大, 不宜采用厚度加权平均的办法计算固结度。因此, 处理区和未处理区的固结度、固结变形应分别计算。处理区的固结度可按竖向排水体贯穿整个软土层的方法计算 (详见 4.2.1 节), 竖向排水距离取排水体打设深度。下卧层地基的固结度可按双层地基法计算。

将竖向排水体打设范围内的地基等效为一维压缩土层, 和下卧层地基连在一起作为双层地基考虑。根据排水体排水路径和固结度等效的原则, 对竖向排水体打设范围的三维固结实行等效的一维固结换

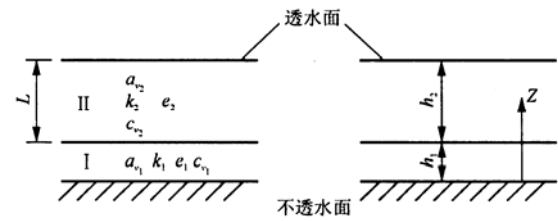


图 1-8 双层地基法计算简图

算, 求出等效的一维竖向固结系数 \bar{c}_{v2} ; 再

按双层地基一维固结问题考虑它们的相互作用进行计算; 下卧层地基采用普通的竖向固结系数, 而处理区采用等效一维竖向固结系数 \bar{c}_{v2} , 等效厚度 \bar{h}_2 取排水体打设间距 d_e 。

按照这种方法, 得到上下两层的平均固结度分别为:

$$U_1 = 1 - 2 \sum_1^{\infty} \frac{\sin A_n \cos A_n \sin \mu v A_n}{(A_n)^2 (R \sin^2 \mu v A_n + \mu v \cos^2 A_n)} e^{-T_v N''} \quad (1-39)$$

$$U_2 = 1 - \frac{2}{\mu v} \sum_1^{\infty} \frac{\cos^2 A_n (1 - \cos \mu v A_n)}{(A_n)^2 (R \sin^2 \mu v A_n + \mu v \cos^2 A_n)} e^{-T_v N''} \quad (1-40)$$

上两式中, A_n 是下列方程的根:

$$G(A) = R \sin A \sin v R A - \cos A \cos v R A = 0 \quad (1-41)$$

$$N'' = (A_n)^2, \quad R = \frac{1}{\mu} \frac{k_1}{k_2}, \quad \mu = \sqrt{\frac{c_{v1}}{c_{v2}}}, \quad v = \frac{\bar{h}_2}{h_1} = \frac{d_e}{h_1}, \quad \bar{c}_{v2} = c_{v2} \times \left(\frac{d_e}{H}\right)^2 + \frac{32c_{h2}}{\pi^2 F(n)},$$

(1-42)

式中 d_e ——排水体间距；

h_1, h_2 ——分别为下卧层和处理区厚度；

T_v ——竖向固结因子。

下标 1, 2 分别代表下卧层和上层处理区的土体参数, k_1, k_2 分别相应于下卧层和处理区的渗透系数; T_{v1}, T_{v2} 分别相应于下卧层和处理区的竖向固结因子。

4.3 强度增长估算

在预压荷载作用下, 地基某一深度处加载后历时 t 的抗剪强度, 可按式 (1-43) 计算:

$$\tau_{ft} = \eta (\tau_{fo} + \Delta\tau_{fc}) \quad (1-43)$$

根据有效固结强度理论, 对于正常固结饱和软粘土, 地基强度增长值 $\Delta\tau_{fc}$ 为:

$$\Delta\tau_{fc} = \Delta\sigma'_c \cdot \operatorname{tg}\varphi_c \quad (1-44)$$

可近似取

$$\Delta\tau_{fc} = \Delta\sigma_z \cdot U_t \cdot \operatorname{tg}\varphi_{cu} \quad (1-45)$$

式中 τ_{ft} ——加载后历时 t 该处的抗剪强度;

τ_{fo} ——加固前天然地基的抗剪强度, 可采用天然地基土由三轴不排水剪切试验求得, 或由原位十字板试验求得;

η ——由于剪切蠕动和剪切速率减慢引起地基强度折减系数, 取 0.90~0.95;

$\Delta\tau_{fc}$ ——由于地基固结引起强度的增长值;

$\Delta\sigma_c$ ——有效固结应力;

$\Delta\sigma_z$ ——预压荷载引起的该点竖向附加应力;

U_t ——历时 t 地基处该点的固结度;

φ_c ——有效固结内摩擦角, $\operatorname{tg}\varphi_c = (1 + \sin\varphi_{cu}) \cdot \operatorname{tg}\varphi_{cu}$;

φ_{cu} ——三轴固结不排水压缩试验求得的土内摩擦角。

土体抗剪强度增长的计算方法主要有有效应力法和有效固结应力法, 由于在工

程实际中不易确定有效应力，所以本手册采用后者。该方法可直接采用土体在荷重作用下固结引起有效固结应力 $U_t\sigma_z$ 来计算，避免了剪切过程中孔隙水压力增大不易计算的不利因素。

式（1-43）适用于正常固结饱和粘性土；对于超固结土当 $\sigma_z < p_c$ 时，式（1-45）中 φ_{cu} 改用超固结的 φ_{cu}' ；当 $\sigma_z > p_c$ 时，则按式（1-45）计算。

4.4 孔压静力触探求固结系数

固结系数的求取，可用室内试验结果或根据现场孔压静力触探试验求取。以下简要介绍孔压静力触探求取固结系数的方法。

当孔压静探头贯入土层时，周围土层中的应力、应变及孔压均产生重分布。其中，孔压的消散接近于水平径向扩散，因此，孔压静力触探在土层中所估算的为水平向固结系数 C_r 。

一般采用 $U=50\%$ 时的 t_{50} 和 T_{50} 值计算固结系数，

$$C_r = \frac{T_{50} \cdot r_0^2}{t_{50}} \tag{1-46}$$

式中 t_{50} ——固结度为 50%时的消散时间，可从实测曲线中求得；
 r_{50} ——探头半径；
 T_{50} ——固结度为 50%时的时间因数，可从表 1-5 查得；

表 1-5 T_{50} 的确定

$I_r \backslash A$	10	50	100	200
1/3	1.145	2.487	3.524	5.025
2/3	1.593	3.346	4.761	6.838
1	2.095	4.504	6.447	9.292
4/3	2.622	5.931	8.629	12.79

I_r ——土的刚性指数，为 G/C_u ， G 为土体的剪切模量， C_u 为不排水剪强度；

A ——土的 Skempton 孔压系数。

一般，从孔压静力触探试验估算的固结系数比室内试验得到的结果约大 1~2 个数量级，但与实测沉降资料反算值较为接近，二者在一个数量级上。建议在工程中对孔压静力触探得到的固结系数 C_r 进行修正，具体修正系数值应根据各地区经验

而定。

4.5 沉降速率计算

当排水体打穿土层或者未打穿下卧层厚度较小时，沉降速率可按(1-47)或(1-48)式计算：

对于单级瞬时施加荷载， t 时刻的地基沉降速率为

$$V_s = (S_f - S_d) \cdot \alpha \beta \cdot e^{-\beta t} \quad (1-47)$$

当多级加荷时， t 时刻的地基沉降速率为

$$V_s = \sum_{i=1}^n (S_{fi} - S_{di}) \alpha \beta \cdot e^{-\beta(t - \frac{T_{i-1} + T_i}{2})} \quad (1-48)$$

式中 S_{fi} ——第 i 级荷载相应最终沉降量；

S_{di} ——第 i 级荷载相应瞬时沉降量；

V_s —— t 时刻沉降速率；

T_{i-1}, T_i ——分别为第 i 级荷载加载起始和终止的天数 (d)，从零起计时，当 t 处于第 i 级加载的过程中 ($T_{i-1} < t < T_i$)， T_i 改为 t 。

α 、 β ——同 4.2.1 节。

均质地基一次瞬时加荷时， t 时刻的平均固结度可参见(1-31)式。

若不考虑次固结的影响，则 t 时刻的地基沉降量可表示为

$$S_t = S_d + S_c U_t = S_d + (S_f - S_d)(1 - \alpha e^{-\beta t}) \quad (1-49)$$

对上式求导，即可得到 t 时刻的沉降速率，即式 (1-47)。

同样，可推得均质地基多级加荷时沉降速率的计算式 (1-48)。

t 时刻的剩余沉降 S 可按式 (1-50) 计算

$$S = S_f - S_t \quad (1-50)$$

比较式 (1-49) 和 (1-50)，则可得到对于排水带打穿土层，不计次固结的剩余沉降 S 可按式 (1-51) 计算

$$S = \frac{V_s}{\beta} \quad (1-51)$$

式中符号意义同前。

在高速公路建设中普遍采用(1-51)式预测剩余沉降、控制预压工期。

式 (1-51) 可用于排水带打穿均质地基的一级瞬时或多级加荷分析；排水带未打穿压缩土层时，如下部土层厚度较小，该式也近似成立；压缩层中存在透水性好

的土层时，不影响该式的使用。

在以下几种情况下式（1-51）不成立：

- 1 加固土层为泥炭土、有机质土或高塑性粘土等次固结沉降量较大的土层；
- 2 未打穿下部土层较厚时；
- 3 压缩层由厚度差别不大、固结系数差别较大的粘性土层组成；

此外，式（1-51）没有考虑次固结沉降的影响，根据式（1-51）确定的剩余沉降可能小于实际剩余沉降。

4.6 稳定分析

在工程中应用最广的评价软土地基稳定性的方法是极限平衡法中的条分法。条分法因滑动面和条间作用力或作用点的假设不同又衍生出多种方法。本手册介绍瑞典条分法中的总应力法和有效固结应力法、简化毕肖普法的有效应力法三种方法。因排水体的设计抗拉强度较小（B型 $>1.3\text{kN}/10\text{cm}$ ；C型 $>1.5\text{kN}/10\text{cm}$ ），所以本手册不考虑排水体的附加抗拉力，作为安全储备。

4.6.1 当采用瑞典条分总应力法时，可按式（1-52）计算。式中地基的抗剪强度采用总强度 τ （天然十字板抗剪强度），或采用直剪快剪指标的 c_q 、 ϕ_q 值。但填料的抗剪强度则用直剪快剪指标的 c_q 、 ϕ_q 值。

$$F = \frac{\sum S_i + \sum S_j}{P_T} \quad (1-52)$$

式中： i 、 j ——如图 1-9 所示，下标 i 、 j 是区分土条底部的滑裂面是在地基土层内（AB 弧）或在加载内的分条编号，即按地基滑裂面及填土滑裂面分两大段分别编土条顺序号；

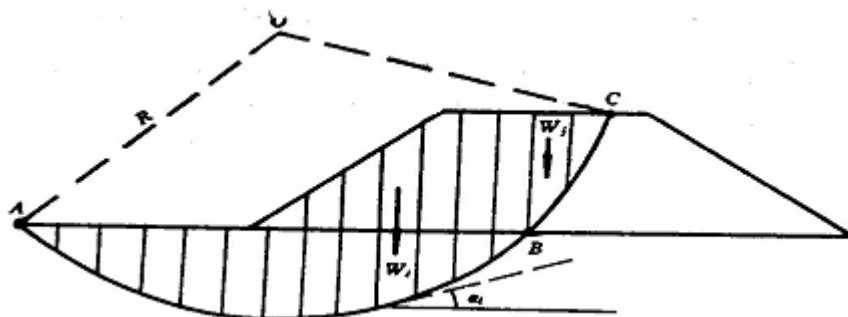


图 1-9 F 的计算图式

P_T ——各土条在滑弧切线方向的下滑力的总和,

$$P_T = \sum(W_i \sin \alpha_i) + \sum(W_j \sin \alpha_j) + M / R;$$

S_i ——地基土内 (AB 弧) 抗剪力, $S_i = \tau_i L_i$ (不考虑固结作用时), 或

$$S_i = W_i \cos \alpha_i \tan \phi_{qi} + c_{qi} L_i;$$

S_j ——填土内 (BC 弧) 抗剪力, $S_j = W_j \cos \alpha_j \tan \phi_{qj} + c_{qj} L_j;$

W ——滑裂体某一土条 (下标可为 i 或 j) 的总重量, $W_i = W_{oi} + W_{li}$, kN;

W_{oi}, W_{li} ——当第 i 土条的滑裂面处于地基内 (AB 弧) 时, 分别为滑裂面以上该土条中的地基自重及填土自重, kN;

α ——土条底部滑裂面对水平面的夹角;

L ——土条底部滑弧长, m;

R ——滑裂面半径, m;

τ_i ——当第 i 土条的滑裂面处于地基土层内时, 该土条滑裂面所处地基土层的天然土体抗剪强度;

c_{qi}, ϕ_{qi} ——当第 i 土条的滑裂面处于地基内 (AB 弧) 时, 分别为该土条所在土层的快剪 (直剪) 内聚力 c_q (kPa) 及内摩擦角 ϕ_q ;

c_{qj}, ϕ_{qj} ——当第 j 土条的滑裂面在加载填土内 (BC 弧) 时, 分别是该土条滑裂面所处填土料内聚力 c (kPa) 及内摩擦角 ϕ ;

M ——某些外力 (如水平向地震力产生的对滑裂面圆心的滑动力矩)。

4.6.2 当采用瑞典条分有效固结应力法时, 按式 (1-53) 计算。式中地基及填料的抗剪指标均由直接快剪试验获得。

$$F = \frac{\sum(S_i + \Delta S_i) + \sum S_j}{P_T} \quad (1-53)$$

式中: $S_i = W_{oi} \cos \alpha_i \tan \phi_{qi} + c_{qi} L_i$ 或 $S_i = \tau_i L_i$;

$$\Delta S_i = W_{li} U_i \cos \alpha_i \tan \phi_{gi};$$

U_i ——地基的固结度;

m_i ——第 i 土条的滑裂面所在地基地层的强度增长系数（按 3.7 条取值）；

c_{qi}, ϕ_{qi} ——当第 i 土条的滑裂面处于地基内（AB 弧）时，分别为该土条所在土层的快剪（直剪）内聚力（kPa）及快剪内摩擦角；

ϕ_{gi}, U_i ——当第 i 土条的滑裂面处于地基（AB 弧）时，分别为该土条所在土层的固结快剪（直剪）的内摩擦角及滑裂面所处位置的固结度；

其它符号意义同前。

4.6.3 当采用简化毕肖普条分有效应力法时按式 1-54）计算。式中土的抗剪强度指标采用有效应力抗剪强度指标 c' 、 ϕ' ，填土的抗剪强度指标仍用直接快剪指标 c' 、 ϕ' 值。

$$F = \frac{\sum K_i + \sum K_j}{P_T} \quad (1-54)$$

式中： $K_i = [c_i \Delta X_i + (W_{oi} - W_{wi} + U_i W_{li}) \tan \phi_i] / m_{ai}$

$$K_j = (c_{qj} \Delta X_j + P_j + W_j \tan \phi_{qj}) / m_{aj}$$

$$m_{ai} = \cos \alpha_i \tan \phi_{qi} \sin \alpha_i$$

$$M_{aj} = \cos \alpha_j + \tan \phi_{qj} \sin \alpha_j$$

c_i 、 ϕ_i ——当第 i 土条滑裂面在土基内时，分别为该土条滑裂面所在土层的有效内聚力（kPa）及有效内摩擦角。

$$W_{wi} = h_{wi} \gamma_w \Delta X_i$$

h_{wi} ——第 i 土条浸入地下水位以下的浸水深度，m；

γ_w ——水的容重，kN/m³；

ΔX ——为滑裂体土条（下标可为 i 或 j ）的水平向宽度，m。

4.6.4 根据 4.6.1 各条规定求得的计算断面的最小稳定安全系数 F 必须等于或大于表 1-6 规定的容许值。

表 1-6 稳定安全系数容许值 {F}

采用的计算公式		{F}	备注
式（4-6-1）	快剪指标	1.10	稳定验算应按成

瑞典条分总应力法	十字板强度	1.20	层地基进行,不得简化为均质地基,在同一土层中,各计算参数可取平均值。 堆载预压时应考虑施工期及预压期沉降补填填料增重影响。
式(4-6-2)	快剪与固快指标	1.20	
瑞典条分有效固结应力法	十字板强度	1.30	
式(4-6-3) 简化毕肖普条分有效应力法	有效应力指标	1.40	

注:当需要考虑地震力时,稳定安全系数容许值应减少 0.1。

5. 现场监测

5.1 施工监测内容及其布置原则

5.1.1 施工监测内容应满足对加固范围内的地基稳定安全、固结度、垂直变形、侧向变形控制和加固效果实时监督和控制的需要。堆载预压时同时还应该监测荷载施加过程,真空预压时应监测被加固体内不同部位的负压实施状况,真空-堆载联合预压则应二者同时监测。具体监测项目的选择可参考表 1-7。

5.1.2 各监测项目和测点的布置应本着平面上大致均匀和深度上重点控制的原则,合理安排。膜内真空度和地面沉降量测点应按照面积均匀布置,土体水平位移监测应结合地基的稳定性和周围建筑物分布情况进行,其它监测项目则应选择具有代表性的控制断面集中布置。

5.1.3 膜内真空度和地面沉降量测点布置为 800~1000m²/点,且每一个加固区内应分别不少于 4 点。

表 1-7 监测项目选取

施工方法 监测项目	堆载预压	真空预压	真空联合 堆载预压	备 注
孔隙水压力	必选	推荐	必选	
膜内真空度	—	必选	必选	
排水板内真空度	—	推荐	推荐	
土体真空度	—	必选	必选	
地面沉降量	必选	必选	必选	
深层沉降量	推荐	推荐	推荐	对工后沉降量有要求时必选。
土体水平位移	必选	推荐	必选	附近有建筑物时均必选。
堆填荷载	必选		必选	

5.2 孔隙水应力监测

5.2.1 监测目的

孔隙水压力监测是检测施工期间地基土体在荷载作用下不同深度内的超静孔隙水压力的消长规律，及时了解土体的固结状态和强度增长情况，并通过孔压系数来控制施工速率。

5.2.2 测头

孔隙水压力监测通常采用钢弦式测头，测量时用频率计测读频率。对于精度和稳定性要求特别高的试验研究项目，可选用压阻式或陶瓷电容式测头。

5.2.3 测点布置

孔隙水压力监测断面应优先布置在加固区内上部荷载较大、孔压增长较敏感的位置。垂直方向上应重点布置在可能失稳深度范围：最不利圆弧滑动面以上，最低地下静水位以下，间隔深度 2~3m 设置 1 点；往下可视土层分布情况适当加大间距，直至接近主压缩层底面。

5.2.4 测头埋设要点

应保证测头平面位置位于排水板平面布置的几何形心上。当土层较硬时应钻孔至设计深度，将测头送至孔底，然后填入适量的中粗砂并保证测头的透水石完全处于中粗砂的包围之中，最后再用膨胀土球对钻孔进行密封。封孔长度应大于垂直排水通道的间距。当土层较软时，可钻孔至设计深度以上 50cm，用专用器械将测头压送至设计深度，然后封孔。原则上应每个钻孔只埋设一个测头，并确保测头上部钻孔密封良好。钻孔的偏斜角度应不超过 1 度。

5.2.5 测头率定

孔隙水压力测头出厂时应有水压条件下的频率-压力率定结果。用于负压条件下的测头，除正压率定外，还应进行负压率定。测头率定结果应具有良好的重复性。

5.2.6 测头量程配置

选择测头的量程时，应根据测点的静水头和可能出现的超静孔隙水压力最大组合，负压条件下为静水头和最大负压组合。量程一般应选择在最大组合的 1.5~2.0 倍为宜，以兼顾测头安全和灵敏度。

5.2.7 测头准备

测头埋设前应对透水石进行排气处理，并保证处理后直至安装到达设计测点位置期间始终不得脱水，以确保测头反应迅速和测量结果可靠。

5.2.8 地下静水位

在孔隙水压力监测断面附近，应配套布置地下静水位观测装置，并与孔隙水压力对应观测，以便分析监测结果时剔除静水位变化的影响。该装置的埋设位置应保

证地下静水位不受地基加固过程中所产生的超静孔隙水压力或负压的影响。

在地下静水位受潮水位影响的地区进行监测时，应在正式监测前进行全潮水位与测点响应的观测，建立各测点与潮水位的相关关系，正式监测中按此关系减去潮水位影响。当测点对潮水位的响应无明显规律可循时，可规定在同一潮水位进行监测，以减少水位对监测结果的影响。确定与潮水位对应的监测时机，应综合考虑监测目标区的整体稳定性，特别是水位骤升骤降所产生的边坡内外水位差对地基稳定的影响，选择在稳定性最差的时机进行监测。

5.2.9 孔隙水压力监测密度

应根据加载情况确定。加载期间尤其是每级荷载施加完成前后，是地基可能出现失稳的危险期，应加大监测密度，一般应每天一次，出现孔隙水压力增长较快时还应加大监测密度，甚至连续监测。一般在停止加载一周以后，地基稳定性逐渐转好，则可将监测密度减少至每 1~3 天 1 次。

5.2.10 荷载监测

监测孔隙水压力时，必须同时观测监测断面附近的荷载变化，以确定二者的相关关系，判断地基稳定状况。

5.2.11 孔隙水压力观测可按照表 1-8 格式进行记录。并根据测头的率定系数及时计算孔隙水压力。

表 1-8 孔隙水压力观测记录表

工程名称：_____ 断面（分区）：_____ 测点编号：_____

正压系数：_____ 负压系数：_____ 初始频率：_____ (Hz)

观测时间 (年 月 日 时)	频率 (Hz)	孔 压 (kPa)	孔压变化 (kPa)	荷 载 (kPa)	静水位 (m)	观测人	校核人

5.2.12 孔隙水压力监测结果一般应将每一测点分别整编，形成孔压增量—荷载增量曲线（如图 1-10）和孔压—时间曲线（如图 1-11）。

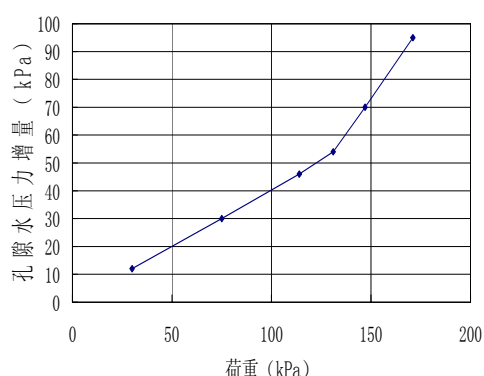


图 1-10 孔压增量与荷载的关系

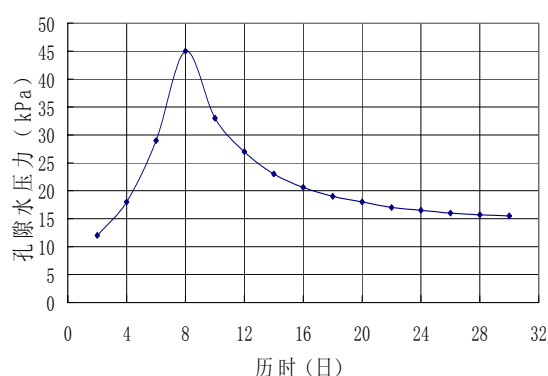


图 1-11 孔压时间过程线

5.3 真空度监测

5.3.1 监测内容

真空度监测应包括膜内真空度、垂直排水体内真空度和土体真空度等三个组成部分，以综合控制真空预压加固效果。

5.3.2 监测装置

真空度监测装置包括测头、负压传输管和真空压力表。用于膜内真空度和垂直排水体内真空度监测的测头，可将负压传输管端部裹以滤膜和透水（气）保护层简单制作而成。淤泥真空度测头则应选择性能稳定、埋设方便的定型产品。量表可选用直径 100mm、精度不低于 1.6 级的真空压力表。

5.3.3 膜内真空度

测头一般应设置在排水砂垫层内。当加固方法中没有设置排水砂垫层时，可将测头设置在垂直排水体与抽气管的连接段，并置于排水体的外面。严禁将测头与抽气管连通，制造虚假的膜内真空度监测结果。

在抽气的开始阶段，膜内真空度每隔 2 小时测读一次，以便准确地测出真空压力的上升过程，并有利于检查密封情况；当真空压力达到要求后，每 4 到 6 小时测读一次，并做好记录。真空度观测记录表格式见 1-9。

表 1-9 真空度观测记录表

工程名称：_____ 分区位置：_____ 测点编号：_____

观测时间 (月/日/时)	压 力 (kPa)	压力变化 (kPa)	备 注	观测人	校核人

5.3.4 垂直排水体内真空度

在垂直排水体内预埋真空度测头时，首先按预定的深度将测头布置在垂直排水体内。一般在同一垂直排水体内只安装 1 个测点，在不改变排水体的工作性能的情况下，也可以将几个不同深度的测点置于同一垂直排水体内。测点间距以 2~3m 为宜，垂直排水体深度大时取大值，反之取小值。

在抽气的开始阶段，垂直排水体真空度应每 2 小时测读 1 次；当真空压力达到要求后且变化较小时，每 4~6 小时测读 1 次，必要时可根据膜内真空度的变化情况，调整测读密度。

5.3.5 淤泥中真空度

在土体中设置真空度测头时，平面位置应保证测头位于排水板平面布置的几何形心上，深度上应与垂直排水通道中的测点位置相对应。埋设一般应钻孔到离设计高程约 50 厘米，然后将测头放置孔底，再将测头压入到设计位置，并用膨润土球封口。也可以采用与孔隙水压力测头相同的埋设方法。钻孔的偏斜角度应不超过 1 度。

在抽气的开始阶段，土体真空度应每隔 2 小时测读 1 次，当真空压力达到要求后，每 4~6 小时测读 1 次，必要时可根据膜内和垂直排水体真空度的变化情况，适当调整测读次数。

5.3.6 真空度监测结果可整理成真空度-时间关系曲线。

5.3.7 真空加固控制标准

在以沉降速率作为终止施工的控制标准时，应将保持土体真空度不降低作为基本前提，而不是膜内真空度不变。

5.4 水平位移观测

5.4.1 监测方法

水平位移观测一般应采用埋设测斜专用管，进行深层水平位移监测。观测测斜管沿深度的倾斜角度，算出管体沿深度的分布位置，通过观测比较管体位置的变化求得地基不同深度上的水平位移。对于工程等级较低或稳定性稍好的辅助监测位置，也可选用坡底位置设置边桩监，用经纬仪或基准桩来监测地基的浅层位移。

通过监测结果了解地基软弱土层在外荷载作用下的水平位移情况，根据位移速率和土体变形状况来指导施工，发现失稳迹象及时报警，确保地基稳定安全。

5.4.2 水平位移监测点布置

测斜管应布置在潜在滑动面范围以内的敏感位置。测斜管深度一般应进入底部硬土层内 2m 以上。边桩一般应设置在荷载坡脚外 1~3m 处。

5.4.3 测斜管埋设

钻孔将测斜管埋设到预定位置后，应将测量方向对准潜在的水平位移主方向，然后再在钻孔与测斜管之间填充与地基土性相近的材料并使之密实，以确保测斜管对地基变形的完全响应。

5.4.4 测量

测斜管观测时自下而上，每 100cm 为一个测点，同一方向的观测应正反各测 2~3 次。每次读数力求准确，同一测点的误差不应超过 0.1mm，并保证每次观测的测点在同一高程。加载施工期每 1~3 天观测一次，荷载稳定期可适当减小监测密度。

5.4.5 深层水平位移监测结果可按表 1-10 格式记录。

表 1-10 深层水平位移观测记录表

工程名称：_____ 断面（分区）：_____ 测孔编号：_____

测量：_____ 记录：_____ 计算：_____ 校核：_____ 年 月 日

深度 (m)	读数（正向）			读数（负向）			位 移 (mm)	累计位移 (mm)
	1	2	3	1	2	3		

5.4.6 监测结果整理

水平位移监测结果应分别整理出位移量和累计位移量沿深度的分布状况，并绘制成位移分布曲线图（如图 1-12 所示），和水平位移历时曲线图（如图 1-13 所示）。进一步找出最大位移的深度位置，计算出位移速率。

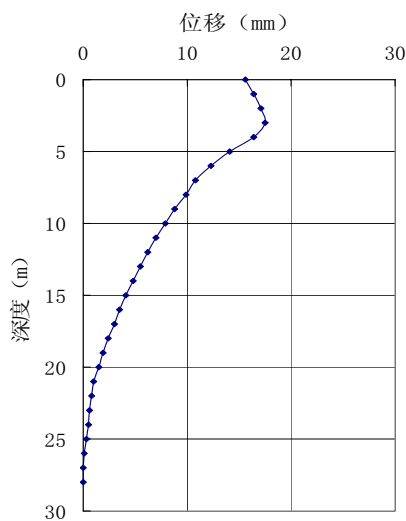


图 1-12 水平位移曲线图

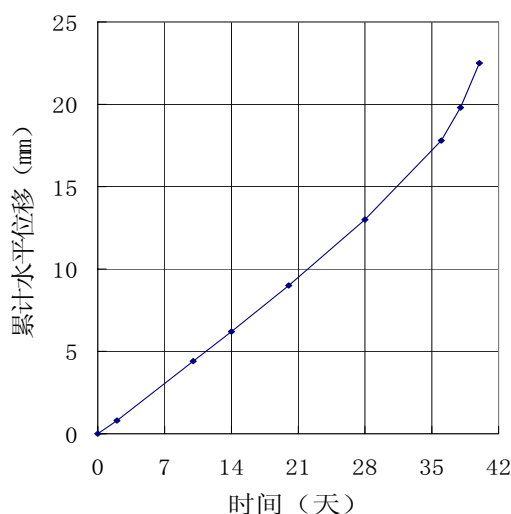


图 1-13 水平位移-时间曲线图

5.5 地面沉降观测

5.5.1 地面沉降观测点的布置原则是：加固区为条形时，选择合适的断面并沿断面按荷载特征点位置布置；加固区为矩形时，可均匀分布。

5.5.2 接近原地面位置埋设地表沉降标测点，设立稳定的基准点，用高精度水准仪测量测点的高程变化。

5.5.3 在施工阶段初期，每天测读 1 次，稳定时 2~3 天观测 1 次，并做好记录，进而计算出测点在不同时间的沉降量，及时汇总并绘出测点的沉降过程线。

5.6 深层沉降观测

5.6.1 测量方法和测点布置

钻孔将专用 PVC 管埋入预定位置，安置感应环于预定深度并用特定装置保持与土的变形响应性。用沉降仪测量感应环的深度，根据各感应环高程的变化，求得地基不同土层在荷载作用下的沉降量，进而确定地基内各土层之间的相对压缩量，确定地基的分层沉降和工后沉降。

土体深层沉降观测孔应优先布置在压缩土层比较厚，荷载量比较大的位置，深度上应优先布置在地基土层的分界面上。一般应采用金属感应或电磁感应式沉降观测装置进行观测。

5.6.2 观测

将测尺对准管口固定位置进行读数，每次测量应至少重复 1 次，且读数差不大于 2mm，否则重新测量，直至满足要求。施工阶段应每 1~2 天观测 1 次。

6 先行指导段工程及反分析

6.1 一般规定

6.1.1 对于以下排水固结加固软土地基工程，宜选择有代表性的区域或路段进行现场先行指导段：

（1）重要工程和地基加固要求高的工程，如机场、高速公路、海（江、河、湖）堤等；

（2）加固面积大于 10 万平方米的工程；

（3）附近地区无地质条件类似的可供借鉴工程经验的工程。

6.1.2 先行指导段工程的主要目的是：

（1）分析被加固软土地基的强度和变形特性，提供符合实际情况的设计参数如软土的固结系数、固结度与时间的关系和最终沉降量等；

（2）检验设计方案和设计理论的合理可靠性及其实际效果，为验证和完善设计提供依据，确保工程质量和工程造价经济、合理、环保与安全；

（3）积累大面积施工经验，完善施工工艺和工程质量控制方法与标准，确保工程质量；

（4）寻求最合理的施工安排，确保和缩短大面积施工的工期。

6.2 先行指导段确定原则

先行指导段工程按以下原则进行确定：

6.2.1 综合考虑软土性质、软土厚度、埋藏特点及工程填筑载荷等条件，结合地基处理的要求及施工技术难度，并考虑工后沉降变化与强度要求等主要影响因素进行确定。

6.2.2 先行指导段一般设置在工程有代表性的区域。对于每种加固方案，线形工程（如堤坝或道路）指导段长度一般不宜小于 200~300 米，且大于底宽的 2 倍，其他工程面积不宜小于 3000 米²。指导段区域一般要安排在工程的主线上，且兼顾施工与监测的方便。

6.3 先行指导段工程特殊要求

6.3.1 先行指导段工程必须要进行专门的工程勘探和土工试验，勘探和试验的工作内容除常规的详勘和施工图阶段的工作外，还要根据指导段工程的目的要任务相应增加其他内容。

6.3.2 先行指导段工程必须进行现场原位监测，监测工程在施工期和运行期内的应力与变形特性，研究变化规律，控制地基稳定及变形发展，检验指导段工程设计方案的实际效果，为全线设计和施工提供依据，现场监测时间应延续到指导段工程完工后 6 月以上，根据实际情况和要求，必要时应进一步延长观测期限。

6.3.3 先行指导段工程在实施前必须编制试验研究大纲和实施工作细则，制定详细的试验研究计划，应根据试验研究大纲的要求进行（或调整）工程设计和现场观测设计。

6.3.4 为了保证先行指导段到达目的，指导段的实施应由具有丰富类似工程经验的科研咨询单位来完成。

6.4 工程地质勘察

6.4.1 先行指导段地质勘察应以试验研究内容为重点进行专门勘察，目的和要求是在一般常规勘察的基础上，针对试验段工程的特殊需要，作进一步的勘察和试验，并符合下列规定：

- (1) 查明试验段软土的类型、成因、时代、层位、厚度及其空间分布。
- (2) 查明试验段内是否存在影响工程安全的不良地质现象。
- (3) 查明地下水的分布与存在特征。
- (4) 查明软土在载荷作用下的排水固结条件，测定天然土层的固结渗透系数。
- (5) 通过室内与现场试验查明软土层的基本物理力学性质以及土体的天然状态及其应力应变强度，主要包括土的结构性、前期固结压力、压缩系数、压缩指数、弹性模量、弹性模量、剪切模量、固结系数、次固结系数和抗剪强度指标 c_u 、 ϕ_u 、 c_{cu} 、 ϕ_{cu} 、 c' 、 ϕ' 等。

6.4.2 工程地质勘察方法和勘察孔的布置应满足以下要求：

- (1) 在每一试验段区域内，沿纵向和横向中心轴线上各布置 1~3 个钻探孔，并同时布置 1~3 个静力触探和十字板试验孔。
- (2) 勘察孔的深度应穿过软土层厚度，并达到压缩层以下。
- (3) 勘察进行取土时必须采用符合技术要求的薄壁取土器进行采取土样，并妥善保存和运送，避免振动扰动。
- (4) 常规勘察布置要求。

6.4.3 工程地质勘察报告应提供以下报告：

- (1) 常规要求。
- (2) 与指导段工程研究有关的地质勘察成果和特殊试验成果。
- (3) 对指导段软土层的结构性、天然土层的应力状态、压缩特性、应力应变特性等的分析结果。

(4) 指导段工程内特殊地段（如沿河岸、坡地等）及特殊地质变化地段的地质横向剖面图。

(5) 指导段内不良地质环境。

6.5 工程方案的设计

先行指导段工程的设计方案应在初步设计的基础上,结合试验研究提出的问题,进一步作出试验研究方案的施工图设计,设计图纸除满足工程施工需要的资料外,还应针对先行指导段工程所采用的地基处理方法和特殊施工工艺和施工顺序等做出详细说明,并符合下列要求:

(1) 对于多个试验方案的先行段,要设计若干区段,并说明试验目的要求和意图。

(2) 对每个先行区段要说明详细的关键技术、关键参数、材料质量要求、施工工艺和质量控制标准等。

(3) 给出详细的施工工艺流程,避免相互影响,提高处理效果。

(4) 提出填筑材料特性要求,明确填筑控制标准。

6.6 现场原位监测

现场原位观测的目的是,监控施工期地基稳定性,为控制施工速率提供依据,确保施工期安全;检验加固效果,保证工程质量;揭示软基变形规律,据此预测工后沉降,指导后期施工安排,验证设计计算结果准确性,为完善设计计算方法奠定基础。现场原位观测是确保软基处理成功的关键环节。

6.6.1 指导段工程的现场观测应根据地质条件和地基处理方案的特点进行确定,设计时应该给出观测项目、观测点布置、观测仪器选用、观测仪器的埋设与保护、观测方法与控制标准,观测结果的整理与分析等内容,并给出观测的平面与剖面布置图以及相应的说明。

6.6.2 指导段工程的观测内容应根据试验段工程的地基处理方案及工程对地基应力应变与稳定的要求进行监测,现场监测内容按以下规定执行:

(1) 一般地基加固与处理方案应进行地表沉降、地基边坡深层水平位移、孔隙水压力监测。

(2) 对于软土比较深厚(大于10米)时,或对工后沉降要求较为严格时,如果上部荷载较大应分层沉降观测。

(3) 为了了解基底压力或侧向土压力对结构物的影响,应增加土压力观测。

(4) 对于真空预压或真空联合堆载预压工程,应增加膜下真空度、排水板(排水井)中真空度与泥中真空度的观测,且井中真空度、泥中真空度与孔隙水压力观

测的位置尽量保持一致。

(5) 对于比较复杂的工程(如高速公路拓宽、地质条件复杂且填筑载荷大等)应增加全断面沉降测量。通过全断面沉降管观测地基向差异沉降变化情况。

6.6.3 观测仪器的布置一般选择在试验段工程的关键部位,并尽量分布在试验段的中心位置以防止边界条件的影响,应满足以下要求:

(1) 对于线形工程地表沉降一般在中轴线和坡肩处布置沉降观测标,其他则根据地形与工程地质地质情况进行布设。通过原地面沉降标观测,掌握地基某一点沉降量、沉降速率、沉降变化规律。

(2) 孔隙水压力一般按 2~5 米布置在软土地基中,间距一般为上部小、下部大,对于需要埋设井中真空度和泥中真空度测头的工程,其位置应与孔隙水压力测头保持一致。施工期间地基土体在荷载作用下不同深度内的超静孔隙水压力的消长规律,及时了解土体的固结状态和强度增长情况,并通过孔压系数来控制施工速率。

(3) 深层水平位移管一般布置在边坡趾部或坡趾外 5 米以内的部位,深度一般要达到相对硬的稳定土层以内。水平位移情况,根据位移速率和土体变形状况来指导施工,施工过程中有失稳迹象可及时报警,确保边坡稳定。

(4) 分层沉降一般位于试验段轴中心线和两侧的边坡坡肩下的位置,沉降环的布置应根据土层分布条件进行控制,间距一般为 1~4 米,上部小、下部大,在土层分界处应布置一沉降环,深度应达到相对硬的稳定土层以内。通过测量沉降环的位置变化,可得到地基土体在荷载作用下的总沉降量、各土层的相对压缩量等。

(5) 基底土压力观测应与其他观测断面保持一致,一般沿观测断面不同位置布置 3~6 个土压力测点,对于结构物上的测点应根据结构物的高度沿 1~3 米布置一个土压力测点。

(6) 对于真空预压工程膜下真空度的布置一般按 $800\sim 1000\text{m}^2$ 布置一个测点(一般由施工单位实施),监测单位应根据工程地质状况等在试验段工程范围内选择 3~5 个测点进行观测。

(7) 其他特殊要求的监测项目如地下水位观测,应在加固范围外 50 米左右设置,如需要在加固区内设置应结合孔压布置情况进行设置,在观测时和孔隙水压力同步观测。

6.6.4 现场观测应专门的技术人员负责,严格按各种仪器的要求与标准严格执行,仪器埋设、观测要求按本指南的“现场监测”的要求进行。

6.6.5 所有的现场原位监测资料应尽快绘制出相应的曲线,并将监测结果直观化,以便做进一步的分析,整理的曲线主要有:

(1) 沉降曲线:荷载—时间—沉降过程线(地表和分层沉降)、荷载—时间—沉降速率过程线。

(2) 水平位移曲线:荷载—时间—水平位移沿深度过程线。

(3) 孔隙水压力曲线：荷载—时间—孔隙水压力过程线、荷载与孔隙水压力比值—时间过程线。

(4) 土压力观测曲线：荷载—时间—土压力过程线。

(5) 真空度观测曲线：时间—膜下真空度过程线、荷载—时间—井中真空度过程线。

(6) 荷载—时间—全断面沉降过程线。

(7) 时间—地下水位变化过程线。

6.7 现场原位测试

现场原位测试是重要的土工测试手段，所测得的参数能反映天然应力状态下原状土的工程特性。目前工程中常用的现场原位测试主要有载荷试验、静力触探、孔压静力触探、圆锥动力触探、标准贯入试验、十字板剪切试验、旁压试验等，主要目的是为了获取被加固软土的土层分布、天然地基强度、压缩模量、固结系数等重要参数。原位测试的安排应与先行指导段监测断面相适应，每个断面每项测试应不低于 2 点，为了方便选择，下面将各种试验方法可提供几大类土的特性参数描述如下：

(1) 土类的判别及剖面分层

①孔压静力触探：可较准确判定土类并提供剖面分层，可分辨薄夹层等。

②静力触探：可判定土类。

(2) 强度特性参数

①十字板剪切试验：适于测定饱和软粘土及一般性粘土的天然强度。

②载荷试验：可以判定粘性土的不排水强度。

③动力触探、静力触探及孔压静力触探：可由经验关系间接评定强度指标。

(3) 固结特性

①孔压静力触探：可测定水平向固结系数。

②自钻旁压试验：可测定固结系数。

(4) 变形特性

①载荷试验：测定承载板影响范围内的不排水杨氏模量及砂土的杨氏模量。

②剪切波速试验：可测定小应变的剪切模量，但仅限于水平层的场地。

③自钻旁压试验：可测定土的水平向剪切模量。

(5) 承载力

载荷试验和旁压试验可测定土的承载力。

(6) 判别液化

标准贯入试验和孔压静力试验可以判别土体的液化特性。

由于每种原位测试方法均有它的适用土类和范围，表 1-11 给出了原位测试方法的适用范围和适用程度。

表 1-11 原位测试方法的适用范围

测试方法	适用土类							岩土参数											
	岩石	碎石土	砂土	粉土	粘性土	填土	软土	鉴别土类	剖面分层	物理状态	强度参数	模量	渗透系数	固结特性	孔隙水压力	侧压力系数	超固结比	承载力	判别液化
水平载荷板	+	+	++	++	++	++	++				+	++					+	++	
螺旋板载荷试验			++	++	++		+				+	++					+	++	
静力触探			+	++	++	+	++	+	+	+	++							+	++
孔压静力触探			+	++	++	+	++	++	++	+	++		+	+	+		+	+	++
圆锥动力触探		+	++	+	+	+	+		+	+								+	
标准贯入试验			++	+	+			++	+	+	+	+						+	++
十字板剪切试验					++		++				++								
预钻式旁压试验	+	+	+	+	++	+					+	++							
自钻式旁压试验			+	++	++		++	+	+	+	+	++		++	++	++	+	++	+
波速试验	+	+	+	+	+	+	+				++								

注：++表示很适用；+表示适用。

6.8 加固效果检验

先行指导段工程加固效果检验主要对加固前后土性变化、地基承载力的变化来检验地基的加固效果。加固效果检验按以下规定进行：

（1）钻孔取土与室内土工试验

对于塑料排水加固区，在加固前、后地基钻孔取样，送试验室进行物理、力学性试验，比较加固前后软土性质指标变化，分析评价设计方案的加固效果，钻孔位置结合监测断面进行，每个监测断面应在中心位置取 1~3 孔进行现场取土试验。为了减轻取土过程扰动的影响，采用薄壁取土器钻取原状土样，钻孔深度穿过软土层到达计算压缩层底部。原状试样送试验室进行试验分析，试验包括各项物理性试验、压缩试验、固结试验、三轴试验等，加固前后的土工试验资料可为各方案的加固效果分析提供客观依据。

（2）现场十字板剪切试验

对于排水加固区，可以在加固前、施工中及加固后地基进行十字板剪切试验，比较加固过程中软土强度指标变化，分析评价设计方案的加固效果，试验位置结合监测断面进行，每个监测断面应在中心位置取 1~3 孔进行现场试验，试验深度穿过软土层到达计算压缩层底部。

（3）荷载板试验

对于塑料排水加固区，可以在加固前后对地基进行荷载板试验，比较加固前后地基承载力的变化，分析评价设计方案的加固效果，试验位置结合监测断面进行，每个监测断面应在中心位置取 1~3 点进行试验。

6.9 现场监测反分析

应用先行指导段取得的现场资料进行全面系统的分析是十分重要的，塑料排水加固软基现场反分析应按以下要求进行：

（1）利用施工过程中获取的变形监测资料进行土工参数反分析和沉降预测，进而分析设计参数的合理性。

（2）利用施工过程中获取的应力监测资料进行土工参数反分析和加固效果预测，进而分析设计参数的合理性。

（3）根据指导段软土地基的工程特性、室内土工试验、现场原位观测等测试结果，分析论证现有地基处理设计计算方法的正确性和存在问题。

6.9.1 沉降观测反分析

应用沉降观测资料可以推算最终沉降量 S_{∞} 和由于侧向变形引起的沉降 S_d 以及

沉降经验系数 m ，进而推算地基的平均固结度和地基平均固结系数，并可控制载荷施加的速率大小。

根据实测沉降过程线，采用指数曲线配合法进行沉降量的推算，按下式进行平均固结度计算：

$$\overline{U}_t = 1 - \alpha e^{-\beta t} \quad (1-55)$$

这里说明的是作为实测沉降-时间曲线配合法， α 为理论值按表 1-5 进行选取，而 β 为待定的参数。如图 1-14，从实测的沉降—时间曲线上选取荷载停止后任意三个时间 t_1 、 t_2 和 t_3 ，并使 $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$ ， β 和最终沉降量 S_∞ 分别按下式求得，在计算时应选取三组不同的 (t, S) 值，再取平均值，同时使 $t_2 - t_1$ 尽可能大些。

$$e^{\beta(t_2 - t_1)} = \frac{S_2 - S_1}{S_3 - S_2} \quad (1-56)$$

$$S_\infty = \frac{S_3(S_2 - S_1) - S_2(S_3 - S_2)}{(S_2 - S_1) - (S_3 - S_2)} \quad (1-57)$$

在计算出 β 和 S_∞ 后，瞬时沉降 S_d 可按下式求的：

$$S_d = \frac{S_t - S_\infty(1 - \alpha e^{-\beta t})}{\alpha e^{-\beta t}} \quad (1-58)$$

式中 α —系数，按表 1-5 查取。

S_t —为 $S-t$ 曲线上选取的任意时间 t 时的沉降。

在应用上式进行 S_d 计算时，其中的 t 应从修正零时点 O' 算起。

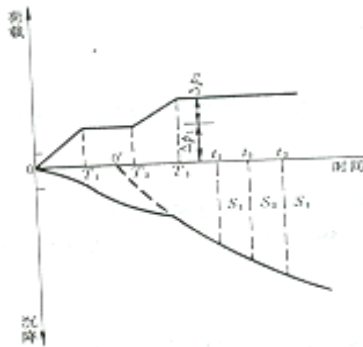


图 1-14 沉降—时间关系曲线以及修正 0 点

由 S_∞ 和 S_d 即可得到固结沉降量 S_c 和经验系数 m 值：

$$S_c = S_\infty - S_d \quad (1-59)$$

$$m = S_\infty / S_c \quad (1-60)$$

对于一次瞬间加载或一次等速加载结束后任何时间的地基沉降量，可按下式计算：

$$S_t = (m - 1 + \overline{U}_t) S_c \quad (1-61)$$

对于多级等速加载情况，应对 S_d 值进行加载修正，使其与修正的 \overline{U}_t 相适应，上式可写为：

$$S_t = \left[(m-1) \frac{P_t}{\sum \Delta p} + \overline{U}_t \right] S_c \quad (1-62)$$

式中 p_t — t 时间的累计荷载。

$\sum \Delta P$ —总的累计荷载。

这样根据时间 t 后的残余沉降量 ΔS 可由式 (1-63) 求出，并可以判断是否满足工程对残余沉降的要求：

$$\Delta S = S_\infty - S_t \quad (1-63)$$

在进行最终沉降两计算时也可采用双曲线法进行计算，双曲线法是假定下沉平均速率以双曲线形式减小的经验推导方法（如图1-15），从填土开始到任意时间 t 的沉降量 S_t 可用下式求得：

$$S_t = S_0 + \frac{t}{\alpha + \beta} \quad (1-64)$$

式中 S_0 — $t=0$ 时的初始沉降量（mm）；

S_t — t 时刻的沉降量（mm）；

α 、 β —由实测可以求得的系数。

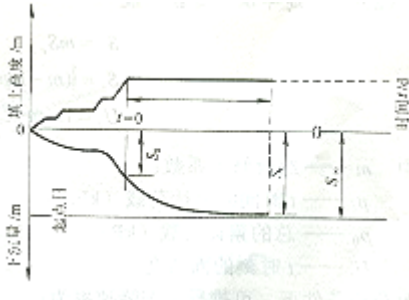


图1-15双曲线法推导沉降示意图

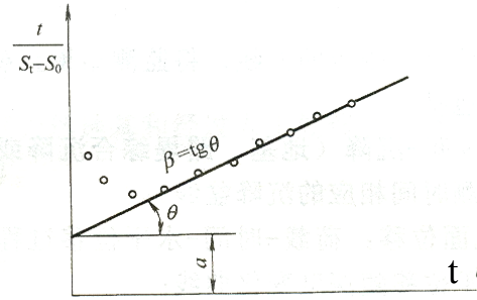


图1-16 求解 α 、 β 示意图

变换式 (1-64) 可以得到

$$\frac{t}{S_t - S_0} = \alpha + \beta \quad (1-65)$$

进而可以得到 $\frac{t}{S_t - S_0}$ 和时间 t 的线性直线（见图1-16），并从直线与坐标的交点与斜率可以分别求得 α 和 β ，代入 (1-64) 就可以得到任意时刻的沉降量。

当 $t=\infty$ 时，最终沉降量就可由下式求出：

$$S_{\infty} = S_0 + \frac{1}{\beta} \quad (1-66)$$

根据实测的沉降曲线估计最终沉降量 S_{∞} ，按照 $\overline{U}_t = S_t/S_{\infty}$ 的关系式计算地基固结度的过程线，由下式计算出 β 值，

$$e^{\beta(t_2-t_1)} = \frac{S_2 - S_1}{S_3 - S_2} \quad (1-67)$$

根据计算出的 β 值，由下式计算出径向固结系数 C_h ：

$$C_h = \frac{\beta d_e^2}{\frac{8}{F(n)} + \frac{\pi^2}{4} \frac{C_v}{C_h} \frac{d_e^2}{H^2}} \quad (1-68)$$

实际中一般可假定 $C_h=C_v$ ，若 C_h 与 C_v 相差较大，可根据经验先假定 C_h/C_v 比值进行计算。

对于获得准确地基分层沉降资料，可以根据分层土层的压缩特性，利用上述方法推断每一土层的压缩特性与固结特性，并可推断加固下卧层压缩特性与工后沉降特性。

当应用沉降观测资料进行施工加荷速率控制时，采用地基的沉降速率值进行控制。对于堆载工程，沉降速率可控制为10mm/天，而对于真空联合堆载预压工程，一些工程经验表明只要不出现大的侧向变形可以连续进行堆载。

6.9.2 孔压观测资料反分析

利用加荷停歇期间的孔隙水压力 u 和时间 t 的关系曲线，可以推算地基的平均固结度和地基平均固结系数，并可应用观测资料进行加荷速率的控制。

由下式计算出 β 值，

$$e^{\beta(t_2-t_1)} = \frac{u_1}{u_2} \quad (1-69)$$

u_1 、 u_2 为相应时间 t_1 、 t_2 实测孔隙水压力值，对于径向排水地基 β 值如下：

$$\beta = \frac{8}{F(n)} \frac{C_h}{d_e^2} + \frac{\pi^2}{4} \frac{C_v}{H^2} \quad (1-70)$$

根据 β 值，由下式计算出径向固结系数 C_h ：

$$C_h = \frac{\beta d_e^2}{\frac{8}{F(n)} + \frac{\pi^2}{4} \frac{C_v}{C_h} \frac{d_e^2}{H^2}} \quad (1-71)$$

实际中一般可假定 $C_h=C_v$ ，若 C_h 与 C_v 相差较大，可根据经验先假定 C_h/C_v 比值进行计

算。

进行加荷速率控制时采用孔隙水压力 u 和施加荷载 p 的比值进行控制

一些工程经验表明，只要地基中的孔隙水压力 u 和荷载 p 的比值小于某一定值，即可不断加载，而不致造成地基破坏，本指南建议控制指标为 $u/p < 0.5 \sim 0.6$ 。这样即可根据 $u/p \sim t$ 曲线进行加荷速率的控制。

实际中还可采用应力路径法进行荷载速率的控制，在堆载预压过程中（包括加荷、停歇）地基中的孔隙水压力不断变化，有效应力也随之变化，根据地基中某测点的孔隙水压力的观测值，即可计算出该点的有效应力，将这个有效应力的变化轨迹在平面坐标反映出来，即可根据变化轨迹进行载荷的控制。

如图1-17为荷载断面中心以下某点的应力路径轨迹，图中 σ_1' 、 σ_3' 为最大与最小有效主应力，0点表示孔隙水压力测点处的天然应力状态，在第一阶段加荷时，有效应力路径沿OA发展，达到破坏包线（ K_r 线）前即停止加荷，在停歇期间，该点的剪应力保持不变，而平均有效主应力则由于孔隙水压力的消散而增加，有效应力路径沿水平线AB发展，经过一段时间的停歇，地基固结有效应力增加到一定程度，然后进行第二阶段加荷，BC为加荷阶段有效应力路径，CD为第二级荷载停歇期间的有效应力路径，依此进行，使该点的有效应力路径始终保持在 K_r 线以下，这样即可保证该点不发生剪切破坏。 K_r 线的倾角 α 和Mohr破坏包线倾角（土的有效内摩擦角）有如下关系：

$$\tan \alpha = \sin \varphi' \quad (1-72)$$

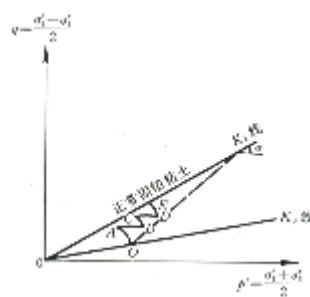


图1-17 应力路径示意图

6.9.3地基强度增长分析

对于荷载面积相对于土层厚度比较大的预压工程，土的强度变化可以通过剪前有效固结压力 σ_c' 来表示。对于正常固结饱和软粘土，其强度变化为

$$\tau_f = \sigma_c' \tan \varphi_c \quad (1-73)$$

式中 φ_c —内摩擦角。由直剪固结不排水试验测定，也可根据天然地基十字板剪力试验值和测定点土自重压力的比值决定。

因而由于排水固结而使土体增长的强度按下式计算：

$$\Delta\tau_f = \Delta\sigma'_c \tan \varphi_c = \Delta\sigma_c U \tan \varphi_c \quad (1-74)$$

6.9.4 侧向位移资料反分析

侧向位移是分析预压荷载作用下地基稳定性以及由于侧向位移所引起沉降大小的依据。

在进行侧向位移反分析时一般将每一测量点的位移从钻孔底部向顶部进行累加，得到钻孔相对于孔底的相对位移，然后减去钻孔的初始累积值后即可得到施工过程中钻孔不同深度相对于初始位置的位移曲线，根据位移变化速率来判定地基的稳定状况以及可能发生剪切破坏的区域。一般将地基中最大侧向变形控制在每天不超过4mm。

6.9.4 地基强度增长反分析平均固结度

应用十字板剪切试验或室内试验确定土体的强度增长，并应用室内试验测定土体的强度指标，进而可以分析地基的平均固结度，并可与固结度与强度增长相互校核，进行计算的公式如下：

$$\Delta\tau_f = \Delta\sigma'_c \tan \varphi_c = \Delta\sigma_c U \tan \varphi_c \quad (1-75)$$

第二篇 《塑料排水产品质量》

本篇主编单位：南京水利科学研究院

河海大学

广州四航工程技术研究院

本篇主要起草人：

第1节 董志良（广州四航工程技术研究院）

第2节 武良金（河海大学）

娄 炎（南京水利科学研究院）

郭伟玲（广州四航工程研究院）

陈楚胜（汕头嘉胜塑料厂）

第3节 武良金（河海大学）

娄 炎（南京水利科学研究院）

韩 俊（常州浩胜塑料制品有限公司）

蒋才荣（金坛市绿盛土工材料厂）

第4节 杨明昌（南京水利科学研究院）

第5节 董志良（广州四航工程技术研究院）

郑新亮（广州四航工程技术研究院）

第6节 苗中海（天津港湾工程研究所）

朱耀庭（天津港湾工程研究所）

徐继高（江苏双发塑料制品有限公司）

本篇统稿人：娄 炎（南京水利科学研究院）

本篇审稿人：唐 敏（天津港湾工程研究所）

1. 总则

1.1 塑料排水材料主要是一种以聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、丙纶、涤纶、维纶等高分子聚合物为主要原料的单一或复合性材料，现已广泛用于建筑、公路、水利、水运、铁路、机场、军事、海洋、环保和农业等领域，在工程中可起到排水与加固、防渗与隔离等作用。

1.2 塑料排水产品是指目前工程建设领域中常用的塑料排水板、塑料盲沟、软式透水管、硬式透水管和真空预压用密封膜等材料的统称，为了规范我国塑料排水产品的质量，加快塑料排水材料的科学应用，特编写本指南。

1.3 本指南是我国 20 多年来各项软基加固中应用塑料排水产品的生产、理论研究与工程应用等方面的经验总结，用以指导软基加固中使用的塑料排水产品的生产与应用。

1.4 选择与使用塑料排水产品，必须综合考虑我国生产厂家的生产条件和能力、工程地质和环境等因素、考虑工程的工期和荷载要求等具体情况，切实做到因地制宜、技术先进、质量保证、安全环保和经济合理。

1.5 参考与采用本指南时，尚应符合国家有关标准的有关规定。

1.6 本指南中所有物理性指标为次要指标，而力学性指标应是产品的主要指标，使用时应以力学性指标为主控制。

2、塑料排水板

2.1 范围

本章介绍塑料排水板（带）的材料、分类、代号与命名、规格与尺寸、技术要求、包装、标志、运输和贮存。

本章适用于水利、电力、铁路、公路、港口、机场、建筑、市政、环保等工程用于软土地基与工程竖向排水的塑料排水板。对于作为水平排水所使用的塑料排水板的要求也可参照本指南来使用。

2.2 材料

塑料排水板由具有竖向排水通道的塑料芯板和外覆透水滤布两部分组成。芯板一般采用聚乙烯、聚丙烯等树脂材料制成。对于有六个月以上排水要求的排水板，

芯板不能使用塑料再生料，对于短期（六个月以内的）排水工程，芯板可使用经检测对土壤、地下水、环境等无污染的塑料再生料制作。透水滤布一般为涤纶短纤、涤纶长纤仿粘、维纶和丙纶等无纺土工布，单位面积质量一般在 70g/m^2 — 150g/m^2 。

2.3 分类、代号与命名

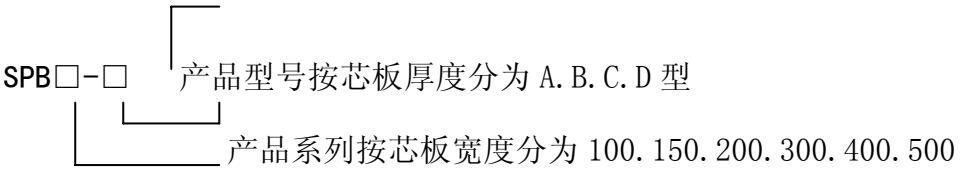
2.3.1 分类

塑料排水板根据芯板的型式分为十字型板、长城型板和乱丝型板等；根据滤布和芯板的结合形式分为分体式板和整体式板；根据产品是否具有测深功能分为可测深和不可测深排水板。

2.3.2 代号

塑料排水板代号取塑料、排水、板三个词的汉语拼音首位字母，即为 SPB, 其中 S 代表塑料，P 代表排水，B 代表板材。

塑料排水板的命名分为三部分，第一部分为代号，第二部分为根据芯板宽度划分的系列，第三部分为根据芯板厚度划分的型号。



例如：某种塑料排水板芯板的宽度为 100mm，芯板厚度为 3.5mm，这种塑料排水板命名为 SPB100-A

2.4 规格型号

塑料排水板的规格根据排水板芯板的宽度分为：SPB100、SPB150、SPB200、SPB300、SPB400、SPB500 等系列。每种系列根据排水板芯板的厚度分为 A、B、C、D 四种型号。主要规格有：

SPB100 系列：SPB100-A 型、SPB100-B 型、SPB100-C 型、SPB100-D 型。

SPB150 系列：SPB150-A 型、SPB150-B 型、SPB150-C 型、SPB150-D 型。

SPB200 系列：SPB200-A 型、SPB200-B 型、SPB200-C 型、SPB200-D 型。

SPB400 系列：SPB400-A 型、SPB400-B 型、SPB400-C 型、SPB400-D 型。

SPB500 系列：SPB500-A 型、SPB500-B 型、SPB500-C 型、SPB500-D 型。

2.5 外观尺寸

外观尺寸指塑料排水板的宽度和厚度，塑料排水板的宽度指芯板的宽度，有 100mm、150mm、200mm，300mm、400mm、500mm，厚度指芯板的厚度，由型号而定。塑料排水板的型号与厚度的关系见表 2-1。

表 2-1 塑料排水板的型号与厚度的关系

型号	A 型	B 型	C 型	D 型
芯板厚度（mm）	≥3.2	≥3.7	≥4.2	≥5.7

2.6 技术要求

塑料排水板的技术要求分为外观质量和内在质量。

2.6.1 塑料排水板外观质量要求按表 2-2 规定。

表 2-2 塑料排水板外观质量要求

序号	检查项目	技术要求	备注
1	土工布厚薄均匀性	应厚薄均匀	
2	土工布的杂质	不能有长度大于 2mm 的杂质	
3	土工布的孔洞	不能有孔洞	
4	接缝处	不能有脱胶、接缝宽度≥3mm、	
5	芯板齿形	芯板不能倒齿、倒槽	
6	芯板孔洞	不能有孔洞	
7	芯板杂质、气泡	芯板无杂质、气泡	
8	芯板与滤布包覆	芯板与滤布应包覆紧密	

2.6.2 塑料排水板的内在质量包括芯板单位长度质量、芯板宽度、芯板舌形撕裂强度、复合体纵向通水量、复合体抗拉强度与延伸率、滤布抗拉强度与延伸率、滤布渗透系数、滤布等效孔径等，其技术要求如下表 2-3~表2-5。

表 2-3—1 SPB100 系列塑料排水板技术要求

项 目		单位	A 型	B 型	C 型	D 型	备注
芯板	宽度	mm	100±3				
	厚度	mm	≥3.2	≥3.7	≥4.2	≥5.7	

	单位长度质量	g/m	≥70	≥90	≥110	≥130	
	舌型撕裂强度	N	≥20				
	抗弯折性能	/	无断裂				180°对折 10次
复合体	抗拉强度	kN/10cm	≥1.4	≥1.6	≥2.0	≥3.0	
	延伸率	%	≥6				
	纵向通水量	cm ³ /s	≥30	≥40	≥50	≥80	
滤布	单位面积质量	g/m ²	≥80	≥90	≥100	≥120	
	厚度	mm	≥0.3				
	纵向干态抗拉强度	N/cm	≥25	≥30	≥40	≥60	
	横向湿态抗拉强度	N/cm	≥20	≥25	≥30	≥50	
	粘合缝抗拉强度	N/cm	≥20				
	渗透系数 K ₂₀	cm/s	≥5.0×10 ⁻³				
	等效孔径 O ₉₅	mm	≤0.10				

表 2-3-2 SPB100 系列整体式塑料排水板技术要求

项 目		单位	A 型	B 型	C 型	备注
复合体	宽	mm	98±1	98±1	98±1	
	厚	mm	>4.0	>4.5	>5.0	
	抗拉强度(干态)	kN/板宽	≥2.5	≥3.0	≥3.5	延伸率 10%时
	纵向通水量	cm ³ /s	≥55	≥60	≥70	侧压力 350kPa
	横向透水率	1/s	≥2×10 ⁻¹			
	舌型撕裂强度(纵向)	N	≥85	≥85	≥90	
	刺破强度	N	≥500	≥500		
	抗弯折性能	/	无断裂、不剥离			180°对折 10 次
滤布	单位面积质量	g/m ²	≥90	≥100	≥110	
	厚度	mm	≥0.3			
	纵向干态抗拉强度	N/cm	≥25	≥30	≥40	延伸率 10%时
	横向湿态抗拉强度	N/cm	≥25	≥25	≥30	水中浸泡 24h, 延伸率 15%时
	渗透系数 K ₂₀	cm/s	≥5.0×10 ⁻³			水中浸泡 24h
	等效孔径 O ₉₅	mm	<0.10			

表 2-4 SPB150 系列塑料排水板技术要求

项 目	单位	A 型	B 型	C 型	D 型	备注
芯板	宽度	mm	150±3			
	厚度	mm	≥3.2	≥3.7	≥4.2	≥5.7
	单位长度质量	g/m	≥110	≥140	≥170	≥200

	舌型撕裂强度	N	≥20				
	抗弯折性能	/	无断裂				180°对折 10次
复合 体	抗拉强度	kN/15cm	≥2.5	≥3.0	≥3.5	≥4.0	
	延伸率	%	≥6				
	纵向通水量	cm³/s	≥40	≥60	≥80	≥120	
滤 布	单位面积质量	g/m²	≥80	≥90	≥100	≥120	
	厚度	mm	≥0.3				
	纵向干态抗拉强度	N/cm	≥25	≥30	≥40	≥60	
	横向湿态抗拉强度	N/cm	≥20	≥25	≥40	≥50	
	粘合缝抗拉强度	N	≥20				
	渗透系数 K ₂₀	cm/s	≥5.0×10 ⁻³				
	等效孔径 0 ₉₅	mm	≤0.10				

表 2-5 SPB200 系列塑料排水板技术要求

项 目		单位	A 型	B 型	C 型	D 型	备注
芯板	宽度	mm	200±3				
	厚度	mm	≥3.2	≥3.7	≥4.2	≥5.7	
	单位长度质量	g/m	≥160	≥200	≥240	≥280	
	舌型撕裂强度	N	≥20				
	抗弯折性能	/	无断裂				
复合体	抗拉强度	kN/20cm	≥3.0	≥3.5	≥4.0	≥5.0	
	延伸率	%	≥6				
	纵向通水量	cm ³ /s	≥60	≥80	≥100	≥180	
滤布	单位面积质量	g/m ²	≥90	≥100	≥110	≥120	
	厚度	mm	≥0.3				
	纵向干态抗拉强度	N/cm	≥30	≥40	≥60	≥70	
	横向湿态抗拉强度	N/cm	≥30	≥40	≥50	≥60	
	粘合缝抗拉强度	N	≥20				
	渗透系数 K ₂₀	cm/s	≥5.0×10 ⁻³				
	等效孔径 0 ₉₅	mm	≤0.10				

2.6.3 对可测深排水板测深精度的要求

对“导线式”可测深塑料排水板由厂家提供的测深仪应经计量部门检验过,其测量误差不得超过 1.5%;对“数字式”可测深塑料排水板,其刻度在 20 米内累计不得短于 30 厘米。

2. 7 包装、标志、运输与贮存

2. 7. 1 包装

塑料排水板按定长成卷包装，一般每卷 200m，定长值也可根据产品规格或有关各方协商来确定。每卷塑料排水板必须用黑色塑料薄膜袋或编织袋包装。

2. 7. 2 标志

出厂时，每卷包装应附有合格证，并标明：产品名称、代号、规格、商标、生产企业名称、地址、生产日期、批号、数量、检验员等。

2. 7. 3 运输与贮存

产品在运输、贮存中不得被沾污、雨淋、不得破损、不得长期曝晒。产品应放置在干燥处，周围不得有酸碱等腐蚀介质，注意防潮、防晒、防火。贮存期限自生产之日起不超过一年。

3、塑料排水盲沟

3. 1 范围

本章介绍塑料排水盲沟的材料、分类、代号、规格与尺寸、技术要求、包装、标志、运输和贮存。

本章内容适用于公路、铁路、机场、港口、隧道、水利、矿山、市政、环境工程等主要用于排除渗透积水、降低地下水位及水土保持所用塑料排水盲沟。

3. 2 材料

塑料排水盲沟是由丝瓜络式塑料芯体和外包滤布或滤网二部分组成。盲沟芯体有圆形和矩形两种，材料一般为聚丙烯、聚乙烯或其它可塑性塑料，对于有长期排水要求的塑料排水盲沟，应使用新料，不能使用塑料再生料。对于短期（时间少于 6 个月）排水的工程，可使用经检测对土壤、地下水、环境等无污染的塑料再生料。外包滤布为 $150\text{g}/\text{m}^2 \sim 400\text{g}/\text{m}^2$ 的针刺土工布。若塑料盲沟在粗颗粒砂土中使用，外包滤布也可使用尼纶丝网，具体要求参照设计选用。

3. 3 分类、代号与命名

3. 3. 1 分类

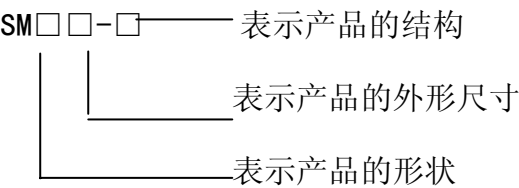
塑料排水盲沟根据芯体的形状和结构分为：矩形塑料盲沟、矩形中空塑料盲沟、

圆形单孔塑料盲沟、圆形多孔塑料盲沟。

3.3.2 代号与命名

塑料排水盲沟代号取塑料、盲沟单词前一个字的汉语拼音首位字母，编写为 SM，其中 S 代表塑料，M 代表盲沟。

塑料排水盲沟的命名分为四部分，第一部分为代号 SM；第二部分为盲沟的形状，Y 表示圆形，J 表示矩形；第三部分为盲沟的外形尺寸，如是圆形，则表示芯体的外径（mm），如是矩形，则表示芯体的断面尺寸（宽度×厚度，mm）；第四部分表示产品的结构，为 K 时表示产品是中空的（单孔），为 D 时表示产品是多孔的，D 前面的数字表示孔数。



例如：某种圆形塑料排水盲沟的外径为 100mm，中间是单孔的，这种塑料排水盲沟代号为 SMY100K 型。某种矩形塑料排水盲沟的断面尺寸宽是 150mm、厚是 50mm，中间是单孔的，这种塑料排水盲沟为 SMJ150×50K 型。

3.4 规格型号

- 塑料排水盲沟根据芯体的结构、形状和尺寸分为不同的型号。
- 圆形单孔塑料盲沟的主要型号有： SMY50K SMY60K SMY80K SMY100K SMY120K SMY150K SMY200K SMY250K SMY300K
- 圆形多孔塑料盲沟的主要型号有： SMY200-7D SMY250-7D SMY300-7D
- 矩形塑料盲沟的主要型号有： SMJ250×15 SMJ300×15 SMJ500×15 SMJ500×20 SMJ500×25 SMJ500×30 SMJ500×50
- 矩形中空塑料盲沟的主要型号有： SMJ70×35K SMJ120×35-2D SMJ140×35-2D SMJ150×50-2D SMJ150×70-2D SMJ250×30-5D SMJ300×200-3D SMJ400×200-3D

3.5 外形尺寸

对于圆形单孔塑料盲沟，外形尺寸指盲沟芯体的横截面外径和内径；对于圆形多孔塑料盲沟，外形尺寸指盲沟芯体的横截面外径和小孔直径；对于矩形盲沟，外观尺寸指塑料芯体横截面宽度和厚度；对于矩形中空塑料盲沟，外形尺寸包括芯体

横截面外边宽度和厚度及中空宽度和厚度。不同型号塑料盲沟外形尺寸如表 2-6~9:

表 2-6 圆形单孔塑料盲沟外形尺寸

型 号			SMY50K	SMY60K	SMY80K	SMY100K
外形尺寸 (mm)	外径		Φ 50	Φ 60	Φ 80	Φ 100
	内径		Φ 20	Φ 30	Φ 50	Φ 65
型 号		SMY120K	SMY150K	SMY200K	SMY250K	SMY300K
外形尺寸 (mm)	外径	Φ 120	Φ 150	Φ 200	Φ 250	Φ 300
	内径	Φ 80	Φ 95	Φ 140	Φ 180	Φ 250

表 2-7 圆形多孔塑料盲沟外形尺寸

型 号		SMY200-7D	SMY250-7D	SMY300-7D	备注
外形尺寸 (mm)	外径	Φ 200	Φ 250	Φ 300	小孔数量 为 7 孔
	小孔直径	Φ 50	Φ 60	Φ 70	

表 2-8 矩形塑料盲沟外形尺寸

型 号		SMJ250×15	SMJ300×15	SMJ500×15	SMJ500×20	SMJ500×25
外形尺寸 (mm)	宽度	250	300	500	500	500
	厚度	15	15	15	20	25
型 号		SMJ500×30	SMJ500×50			
外形尺寸 (mm)	宽度	500	500			
	厚度	30	50			

表 2-9 矩形中空塑料盲沟外形尺寸

型 号		SMJ70×35K	SMJ120×35-2D	SMJ140×35-2D	SMJ150×50-2D
外形尺寸 (mm)	宽度	70	120	140	150
	厚度	35	35	35	50
中空尺寸 (mm)	宽度	40	40×2 孔	40×2 孔	50×2 孔
	厚度	10	10×2 孔	10×2 孔	20×2 孔
型 号		SMJ150× 70-2D	SMJ250×30-5D	SMJ300×200-3D	SMJ400× 200-3D

外形尺寸(mm)	宽度	150	250	300	400
	厚度	70	30	200	200
中空尺寸(mm)	宽度	50×2 孔	20×5 孔	45×3 孔	70×3 孔
	厚度	30×2 孔	10×5 孔	70×3 孔	55×3 孔

注：表中外形尺寸是指芯体的公称尺寸。

3.6 技术要求

3.6.1 外观质量要求

(1) 塑料盲沟芯体应为色泽均匀的透明或半透明体，芯体乱丝应分布均匀，表面不应出现大于 $\phi 2\text{cm}$ 的孔洞，塑料丝不能堆集在一起而造成部分表面不透水，不应出现断裂现象。

(2) 土工布滤布应厚薄均匀、色泽均匀，不允许出现破洞，不允许有长度大于 3mm 的杂物。

(3) 滤布与芯体的包覆尽量紧贴。滤布接头部分要用胶粘合，若用缝合，缝线要直，针距为 3—5mm。

(4) 整根盲沟芯体不能有接头。

3.6.2 技术指标

(1) 塑料盲沟的技术指标由滤布土工布的技术指标和芯体的技术指标两部分组成。滤布土工布的性能指标有：单位面积质量、断裂强力（纵横向）、断裂延伸率、CBR 顶破强度、等效孔径 O_{95} 、垂直渗透系数、梯形撕破强力。技术要求如表 2-10：

表 2-10 塑料盲沟滤布土工布技术要求一览表

项目	单位面积 质量 (g/m^2)	断裂强力 (kN/m)	断裂伸长 率 (%)	CBR 顶破 强力 (kN)	梯形撕破强力 (kN)	等效孔径 O_{95} (mm)	垂直渗透 系数 (cm/s)
指标	≥ 150	≥ 4.0	25~100	≥ 0.6	≥ 0.12	0.07~0.2	$K \times (10^{-1} \sim 10^{-3})$ ($K=1.0 \sim 9.9$)
	≥ 200	≥ 6.0		≥ 0.9	≥ 0.16		
	≥ 250	≥ 8.0		≥ 1.2	≥ 0.20		
	≥ 300	≥ 9.5		≥ 1.5	≥ 0.24		
	≥ 350	≥ 11.0		≥ 1.8	≥ 0.28		

	≥400	≥12.5		≥2.0	≥0.33		
--	------	-------	--	------	-------	--	--

(2) 芯体的质量指标有：外观尺寸、单位长度质量、孔隙率、抗压强度、通水量、塑丝抗弯折性能。技术要求如下表 2-11~14 所示。

表 2-11-1 圆形单孔系列塑料盲沟芯体技术要求一览表

型号		SMY50K	SMY60K	SMY80K	SMY100K	SMY120K	SMY150K
项目							
外径 (mm)		50±3.0	60±3.0	80±3.5	100±4.0	120±4.5	150±5.0
内径 (mm)		20±2.0	30±2.0	50±3.0	65±3.0	80±3.5	95±4.0
单位长度质量 (g/m) ≥		400	500	750	1000	1500	2000
管壁孔隙率 (%) ≥		70	70	70	70	70	70
塑丝抗弯折性能		不断裂 (180°对折 8 次)					
抗压强度 (kPa)	压缩 10% ≥	150	140	130	110	100	80
	压缩 20% ≥	300	280	250	220	200	150
通水量 m³/h (i=0.1 时) ≥		0.6	1.2	3.0	4.0	6.0	12.0

表 2-11-2 圆形单孔系列塑料盲沟芯体技术要求一览表

型号		SMY200K	SMY250K	SMY300K			
项目							
外径 (mm)		200±7.5	250±10.0	300±12.5			
内径 (mm)		140±5.0	180±7.0	220±9.5			
单位长度质量 (g/m) ≥		2800	4200	5800			
管壁孔隙率 (%) ≥		70	70	70			
塑丝抗弯折性能		不断裂 (180°对折 8 次)					
抗压强度 (kPa)	压缩 10% ≥	70	60	50			
	压缩 20% ≥	110	100	90			
通水量 m³/h (i=0.1 时) ≥		16.0	20.0	25.0			

表 2-12 圆形多孔系列塑料盲沟芯体技术要求一览表

型号		SMY200-7D	SMY250-7D	SMY300-7D
项目				
外径 (mm)		200±7.5	250±10.0	300±12.5

小孔内径(mm)		50±3.0	60±3.0	70±4.0
单位长度质量(g/m)	≥	3600	4800	6800
管壁孔隙率(%)	≥	70	70	70
塑丝抗弯折性能		不断裂(180°对折8次)		
抗压强度(kPa)	压缩10% ≥	70	60	50
	压缩20% ≥	120	100	90
通水量 m ³ /h (i=0.1时)		16.0	20.0	25.0

表 2-13-1 矩形塑料盲沟芯体技术要求一览表

型号		SMJ250×15	SMJ300×15	SMJ500×15	SMJ500×20	SMJ500×25
外形尺寸 (mm)	宽度	250±12.5	300±15.0	500±25.0	500±25.0	500±25.0
	厚度	15±2.0	15±2.0	15±2.0	20±2.5	25±3.0
单位长度质量(g/m) ≥		350	420	550	740	950
孔隙率(%) ≥		85	85	85	85	85
塑丝抗弯折性能		不断裂(180°对折8次)				
抗压强度 (Kpa)	压缩 10%时 ≥	60	60	60	60	60
	压缩 20%时 ≥	100	100	100	100	100

表 2-13-2 矩形塑料盲沟芯体技术要求一览表

型号		SMJ500×30	SMJ500×50			
外形尺寸 (mm)	宽度	500±25.0	500±25.0			
	厚度	30±3.0	50±4.0			
单位长度质量(g/m) ≥		1100	1900			
孔隙率(%) ≥		85	85			
塑丝抗弯折性能		不断裂(180°对折8次)				
抗压强度 (kPa)	压缩 10%时 ≥	60	60			
	压缩 20%时 ≥	100	100			

表 2-14-1

矩形中空塑料盲沟芯体技术要求一览表

型号 项目		SMJ70×35K	SMJ120× 35-2D	SMJ140× 35-2D	SMJ150× 50-2D	SMJ150× 70-2D	SMJ250× 30-5D
外形尺寸 (mm)	长	70±3.0	120±4.5	140±5.0	150±5.5	150±5.5	250±7.5
	宽	35±2.0	35±2.0	35±2.0	50±3.0	70±3.5	30±2.0
中空尺寸 (mm)	长	40±2.0	40±2.0	40±2.0	50±3.0	50±3.0	20±2.0
	宽	10±2.0	10±2.0	10±2.0	20±2.5	30±3.0	10±2.0
单位长度质量 (g/m) ≥		400	700	750	1100	1500	1500
管壁孔隙率 (%) ≥		70	70	70	70	70	70
塑丝抗弯折性能		不断裂 (180°对折 8 次)					
抗压强度 (kPa)	压缩 10%时	≥100	≥100	≥100	≥100	≥100	≥100
	压缩 20%时	≥180	≥180	≥180	≥180	≥180	≥180
通水量 m³/h (i=0.1 时)		1.0	1.6	2.5	4.0	5.0	/

表 2-14-2

矩形中空塑料盲沟芯体技术要求一览表

型号 项目		SMJ200× 100-3D	SMJ300× 200-3D				
外形尺寸 (mm)	长	200±5	300±5				
	宽	100±4.0	200±8.0				
中空尺寸 (mm)	长	45±2.0	70±3.0				
	宽	70±3.0	155±6.0				
单位长度质量 (g/m)		2000	5000				
管壁孔隙率 (%)		≥70	≥70				
塑丝抗弯折性能		不断裂 (180°对折 8 次)					
抗压强度 (kPa)	压缩 10%时	≥100	≥100				
	压缩 20%时	≥180	≥180				

通水量 m^3/h ($i=0.1$ 时)	/	/				
---	---	---	--	--	--	--

3.7 包装、标志、运输与储存

3.7.1 包装

塑料盲沟按定长成捆包装，定长值一般每根4米，也可根据产品规格或有关各方协商确定。

3.7.2 标志

出厂时，每卷包装应附有合格证，并标明：产品名称、代号、规格、商标、生产厂名、地址、生产日期、批号、数量、检验员等。

3.7.3 运输与储存

产品在运输、储存中不得沾污、雨淋、破损、折断，每捆塑料盲沟必须用黑色薄膜袋或编织袋进行外包装，不得长期爆晒。产品应放置在干燥处，周围不得有酸、碱等腐蚀性物质，注意防潮、防晒、防火等。贮存期限自生产之日起不超过一年。

4 软式透水管

4.1 范围

本章介绍软式透水管材料、代号、产品规格、技术要求及包装、标志、运输、贮存等。

本章适用于水利、电力、铁路、公路、机场、港口、矿山、房建、市政、环保、地下工程等排除渗透水、降低地下水位及水土保持所用软式透水管。

本产品若在带有侵蚀性的水中使用或铺设于侵蚀性的土壤中，尚应符合我国相关标准与规范的规定。

4.2 材料

软式透水管是以经防腐处理并外覆聚氯乙烯(PVC)或其它材料作保护层的弹簧钢丝圈作为骨架，以渗透性土工织物及合成纤维为管壁包裹材料组成的一种复合土工合成管材。

软式透水管材料应严格按照以下规范规定选用。

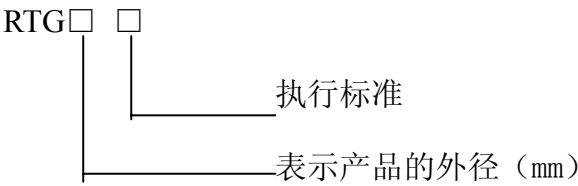
GB/T 4357-1989 碳素弹簧钢丝

GB/T 8960-1988 涤纶牵伸丝

GB 15592-1995 聚氯乙烯树脂
GB/T 17639-1998 土工合成材料 长丝纺粘针刺非织造土工布
FZ/T 54008-1999 丙纶丝

4.3 代号

软式透水管代号取本名称中软式、透水、管子三词中汉语拼音首位字母组成，编写为 RTG，其中 R 代表软式，T 代表透水、G 代表管子。
软式透水管产品命名分为二部分，第一部分为代号 RTG，第二部分为软式透水管的直径。



例如:外径 50mm 的软式透水管标记为：RTG50。

4.4 产品规格

按外径分为:50、 80、100、150、200、250、300 等规格(单位:mm)。
其它规格按供需协商确定。

4.5 技术要求

4.5.1 外观要求

外观应无撕裂、无孔洞、无断纱，钢丝的保护材料无脱落，钢丝骨架与管壁联结为一体。

4.5.2 尺寸偏差

软式透水管外径尺寸应符合表 2-15 规定

表 2-15		软式透水管外径尺寸					单位：mm
规格	RTG50	RTG80	RTG100	RTG150	RTG200	RTG250	RTG300
外径尺寸	±2.0	±2.5	±3.0	±3.5	±4.0	±5.0	±6.0

4.5.3 构造要求

包括钢丝的直径、间距和保护层厚度应符合表 2-16 规定

表 2-16 软式透水管构造要求

项 目		规 格						
		RTG50	RTG80	RTG100	RTG150	RTG200	RTG250	RTG300
钢 丝	直径, mm, \geq	1.6	2.0	2.6	3.5	4.5	5.0	5.5
	每米圈数, 圈/m, \geq	47	40	34	25	18	18	17
	保护层厚度, mm, \geq	0.30	0.34	0.36	0.38	0.42	0.60	0.60
注: 钢丝直径可加大并减少每米的圈数, 但应保证能满足表 2-18 所列扁平耐压力的要求。								

4.5.4 滤布性能

软式透水管滤布性能应符合表 2-17 规定

表 2-17 滤布性能

项 目	性能指标						
	RTG50	RTG80	RTG100	RTG150	RTG200	RTG250	RTG300
纵向抗拉强度, kN/m, \geq	20						
纵向伸长率, % , \geq	12						
横向抗拉强度, kN/m, \geq	16						
横向伸长率, % , \geq	12						
圆球顶破强度, kN, \geq	1.1						
CBR 顶破强度, kN, \geq	2.8						
渗透系数 K ₂₀ , cm/s, \geq	0.1						
等效孔径 O ₉₅ , mm	0.06~0.25						
注: 圆球顶破强度试验与 CBR 顶破强度试验只需进行其中的一项。							

4.5.5 扁平耐压力

扁平耐压力为软式透水管径向压缩至规定的扁平率时单位长度所能承受的压力。软式透水管扁平耐压力应符合表 2-18 规定。

表 2-18 软式透水管扁平耐压力 单位: kN/m

规 格		RTG50	RTG80	RTG100	RTG150	RTG200	RTG250	RTG300
扁 平 耐 压 力	应变 2%, \geq	0.72	1.60	3.12	4.00	4.80	5.60	6.40
	应变 3%, \geq	1.48	3.12	4.80	6.40	6.80	7.20	7.60
	应变 4%, \geq	2.64	4.80	6.00	7.20	8.40	8.80	9.60
	应变 5%, \geq	4.40	6.00	7.20	8.00	9.20	10.40	12.00

4.6 包装、标记、运输与贮存

4.6.1 包装

软式透水管应以包装箱（袋）妥为包装，以免运输与储存中受损。

4.6.2 标志

软式透水管包装箱（袋）上应标明：

——生产企业名称和地址、电话

——产品名称、产品代号

——长度、数量

——出厂日期

——体积：长×宽×高（cm）

——防潮防火等标记

4.6.3 运输

产品包装箱（袋）可用任何交通工具运输，在运输过程中应有防潮、防火措施，避免产品损伤和受潮。堆放高度不应超过 4m。

4.6.4 贮存

产品应存放于防潮和防虫咬的仓库，堆放高度不应超过 4m，避免阳光曝晒。贮存期限自生产之日起不超过一年。

5 硬式透水管

5.1 范围

本章介绍硬式透水管的定义、材料、分类、代号与命名、产品规格与尺寸、技术要求、包装、标志、运输和贮存的要求。

本章介绍的内容适用于水利、电力、铁路、公路、机场、港口、矿山、房建、市政、环保、地下工程等用于真空预压加固软基的水平排水硬式透水管。

5.2 定义

本章采用下列定义。

5.2.1 主管

主管是管壁上无孔洞和用于传递真空度及水平向输水的硬式透水管。

5.2.2 滤管

滤管是的壁上有一定规律的孔洞、外包滤布用于传递真空度及水平向透水、输水的硬式透水管。

滤管根据管材外径将其也分为 50、63、75 和 90 四种型号。

(3) 透水滤布产品型号

根据克重将透水滤布分为：150、200、250、300 等四种规格，单位是 g/m^2 。

5.6.2 外观尺寸

表 2-19 管材规格尺寸 单位：mm

外径	壁厚 (mm)		
	环刚度 (kN/m^2)		
	2	4	8
50	2.0	2.0	2.4
63	2.0	2.5	3.0
75	2.3	2.9	3.6
90	2.8	3.5	4.3

5.7 技术要求

5.7.1 管材

(1) 外观要求：用肉眼观察，管材内外表面应光滑、平整，无裂纹、凹陷和其他表面缺陷。

(2) 尺寸要求：平均外径偏差和不圆度满足表 2-20 要求。

表 2-20 平均外径偏差和不圆度 单位：mm

平均外径		不圆度
公称外径	允许偏差	
50	+0.3 0	1.4
63	+0.3 0	1.5
75	+0.3 0	1.6
90	+0.3 0	1.8

(3) 力学性能指标符合表 2-21 要求。

表 2-21 力学性能

项 目	技术指标	备注
落锤冲击试验 (0℃)	$\text{TIR} \leq 10\%$	特殊要求项

环刚度	S2	S4	S8	
(kN/m ²)	≥2	≥4	≥8	

5.7.2 透水滤布

滤布的性能指标符合表 2-22 要求。

表 2-22 滤布技术要求

序号	规格 指标 项目	150	200	250	300
1	单位面积质量偏差, %	-8	-8	-8	-7
2	厚度, mm ≥	1.3	1.7	2.1	2.4
3	断裂强力, kN/m ≥	3.5	5.0	7.0	8.5
4	断裂伸长率, %	25~100			
5	CBR 顶破强力, kN ≥	0.6	0.9	1.2	1.5
6	等效孔径 O ₉₅ , mm	0.07~0.2			
7	垂直渗透系数, cm/s	$K \times (10^{-1} \sim 10^{-3})$ K=1.0~9.9			
8	梯形撕裂强力, kN ≥	0.12	0.16	0.20	0.24

5.8 滤管制作

在已检验合格的管材壁上每隔 5cm 钻一直径 $\phi 8 \sim 10\text{mm}$ 的小孔, 制成花管, 可采用梅花型布置或正方形布置, 外包 3 层尼龙纱窗布, 最外层用一层透水滤布包裹严密, 滤布应无破损。

5.9 管路连接

管件材料一般采用钢管, 也可采用胶管等其他材料, 管件抗压强度大于 1.0MPa, 长度约 30cm, 如沉降量大于 2.0m, 则管件长度应大于 40cm, 管件套入主管 (或滤管) 的长度大于 10cm, 用铅丝绑扎牢固, 铅丝接头严禁朝上。

5.10 包装运输

5.10.1 管材

(1) 每根管材不得少于两处永久性标志。

标志至少应包括以下内容:

厂名或商标, 产品名称, 规格尺寸 (外径和壁厚), 生产日期。

(2)产品包装应有下列标志。

生产厂名厂址，产品名称，商标。

(3)管材运输与储存

管材在运输时，不得暴晒、玷污、重压、抛摔和损伤。管材堆放应整齐，远离热源，堆放高度不得超过 2m。

5.10.2 滤布

(1)包装

可按定长成卷包装，到现场后缝制加工成滤管套，也可工厂加工好运到现场，产品包装应保证不散落、不破损、不玷污。

(2)标志

每卷产品应有产品标牌，内容包括：产品名称、规格、品质、生产厂名、生产日期、检验责任等。

(3)运输与储存

产品在运输、储存中不得玷污、雨淋、破损、站立，不得长期暴晒。产品应放置在干燥处，周围不得有酸、碱等腐蚀性介质，注意防潮防火。

6 真空预压密封膜

6.1 范围

本章所介绍的真空预压密封膜主要指以聚氯乙烯树脂（PVC）为主要原料，经压延或吹塑制成薄膜后，由热板焊接或高频焊接而成的符合真空预压工艺要求的塑料薄膜。

本章介绍密封膜的材料、名称、分类、代号、规格、技术要求、包装、标志、运输和储存的要求。

本章适用于水利、电力、铁路、公路、机场、港口、矿山、房建、市政、环保、地下工程等用于真空预压用密封膜。

6.2 材料与分类

真空预压工艺要求密封膜应具有拉伸强度高、延伸率大、无微孔、密封性能好、易焊接、易修补、抗老化性能好等特点，目前用聚乙烯树脂和聚氯乙烯树脂材料生产的薄膜都可以满足上述要求，是真空预压密封膜的主要原材料。

真空预压密封膜按材质分有聚乙烯真空预压密封膜和聚氯乙烯密封膜；按生产工艺分有真空预压吹塑薄膜和真空预压压延薄膜。

6.3 名称与代号

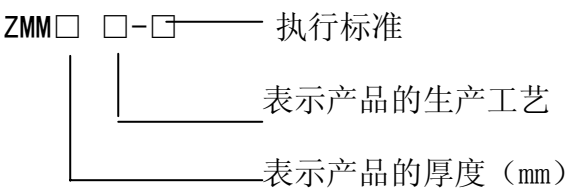
6.3.1 名称

真空预压密封膜。

6.3.2 代号

真空预压密封膜代号取真空预压、密封和膜三个词语中汉语拼音首位字母组成，编写为 ZMM，其中 Z 代表真空预压，M 代表密封、第二个 M 代表膜。

真空预压密封膜产品命名分为三部分，第一部分为代号 ZMM；第二部分为密封膜的厚度，用厚度单位丝来表示；第三部分为密封膜的生产工艺，对于压延膜用字母 Y 表示，对于吹塑膜用字母 C 表示。



例如，厚度 0.14mm（即 14 丝）的压延密封膜用 ZMM14Y 来表示。

6.4 产品规格

真空预压密封膜以其厚度分为 0.12mm、0.13mm、0.14mm、0.15mm 和 0.16mm 五种规格。

6.5 技术要求

6.5.1 厚度及偏差

真空预压密封膜的厚度及偏差要求见表 2-23。

表2-23 密封膜的厚度及偏差

项 目	指 标				
厚度(mm)	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16
极限偏差(mm)	±0.012	±0.013	±0.014	±0.015	±0.016
平均偏差(%)	±6				

6.5.2 技术要求

(1) 密封膜的技术要求见表 2-24。

表2-24 密封膜性能指标

项目分类	序号	项 目	指标
基本指标	1	厚度, mm	0.12~0.16
	2	拉伸强度(纵/横), MPa	≥18.0/16.0
	3	断裂伸长率, %	≥220/200
	4	直角撕裂强度(纵/横), N/mm	≥60
	5	刺破强度, N	≥50
	6	渗透系数, cm/s	≤5×10 ⁻¹¹
	7	耐静水压, MPa	≥0.2
寒冷地区增做指标	1	低温弯折性 (-20℃)	无裂纹
	2	低温伸长率 (纵/横) (-20℃), %	≥22

(2) 密封膜的焊接或粘接, 其粘缝强度不能低于膜本身抗拉强度的 60%。

6.6 包装运输与贮存

6.5.1 包装

密封膜加工成整张后应卷成长捆, 每一层膜为一捆, 并捆扎牢固, 每捆的卷动方向应有利于现场铺设, 在卷膜过程中应在塑料膜上均匀撒上滑石粉, 同时防止密封膜上残留水珠或水汽, 以免密封膜受热、受潮后粘连。每卷密封膜均应用编制袋包装, 每卷密封膜的外包装应有明确标识。标识内容有:

- (1) 工程名称。
- (2) 加固区编号及密封膜的平面尺寸。
- (3) 密封膜展开方向。
- (4) 密封膜的种类、规格、生产日期等。

6.5.2 运输

真空预压密封膜的运输应防止日晒、雨淋, 防破损, 防油污, 以及保护好外包装标识。

密封膜在装车过程中应按顺序摆放, 在与尖硬物体接触面上应加有效防护垫层, 防止密封膜被扎破或刮破, 同时尽量减少搬运次数。

6.5.3 贮存

密封膜应整齐摆放于清洁、阴凉、干燥的场地。

密封膜卷进库时应顺序码放, 运送至现场以后应尽快使用, 一般在现场贮存时间不宜超过一周。

第三篇 《塑料排水产品质量检验》

本篇主编单位：南京水利科学研究院

河海大学

广州港湾工程质量检测中心

本篇主要起草人：

第1节 汪肇京（南京水利科学研究院）

第2节 汪肇京（南京水利科学研究院）

郑澄峰（南京水利科学研究院）

陈 莺（浙江水利科学研究院）

谢淑兰（南京塑料制品有限公司）

第3节 武良金（河海大学）

束一鸣（河海大学）

黄 博（浙江大学）

第4节 杨明昌（南京水利科学研究院）

涂 帆（华侨大学）

第5节 郭伟玲（广州港湾工程质量检测中心）

郑新亮（广州四航工程技术研究院）

第6节 苗中海（天津港湾工程研究所）

朱耀庭（天津港湾工程研究所）

本篇统稿人：汪肇京（南京水利科学研究院）

本篇审稿人：刘家豪（河海大学）

1. 总则

1.1 为控制塑料排水产品的质量、统一检测方法，特制定本质量检验方法与技术要求。

1.2 软基加固工程中所使用的塑料排水产品是指埋设于土体中，沿垂直或水平向布设、以排水为目的、由工厂生产的塑料制品，主要有塑料排水板（带）、塑料盲沟、软式透水软管、硬式透水管等，此外，还包括了真空排水预压处理地基中所用到的密封膜制品。

1.3 本检验手册可作为工程、施工、监理单位验收塑料排水产品，检测单位检验塑料排水产品的性能以及生产单位制定厂标时的依据。

1.4 不同的塑料排水产品其适用范围、检测次数、检测频数等，将在各有关章节中分别阐述。

1.5 接受塑料排水学术委员会指导监督，由学会推荐的具有塑料排水产品检测资质的单位主要有：南京水利科学研究院岩土研究所、河海大学实验中心、华侨大学土木工程系、浙江大学土木工程测试中心、浙江省水利水电工程质量监督检验站、天津港湾工程质量检测中心、广州港湾工程质量检测中心。

1.6 质量检验一般规定

1.6.1 检测室环境

(1) 检测室应保持环境整洁，无与检测无关的物品。

(2) 检测室应有温度和湿度控制（温度 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $65\% \pm 10\%$ ）。如果确认检测指标不受温度和湿度影响，可省去温度和湿度控制，但应记录检测时的温度和湿度。

1.6.2 样品和调湿

(1) 检测用样品分为送检样品和抽检样品两种。送检样品由送检单位负责样品的抽取，抽检样品由检测单位负责样品的抽取。对于送检样品，检测单位的检测结果仅对送检样品负责，送检样品的代表性由送检单位负责；对于抽检样品，检测单位的检测结果要不仅要对抽检样品负责，还要对被检的材料负责。

(2) 抽检样品

① 抽检样品抽取的总原则是抽取的样品能代表被抽检的材料。

② 抽检样品的频率和数量在各产品的章节中具体规定。

(3) 检测样品如有明显的折痕、灰尘、孔洞、损伤部分，应与委托方商谈样品的代表性问题。如样品无代表性，则应更换样品；如样品确实具有代表性，应让委托方确认。

(4) 检测单位首先要对检测样品进行统一编号。

(5) 检测样品需要进行调湿处理：将样品放置在标准大气条件下（温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $65\% \pm 10\%$ ）的检测室内 24h，或每隔 2h 的样品称重差异不超过 0.25% 为止。目的是消除温度和湿度的变化以及弯折和折痕等引起的对检测指标的影响。如湿度对重量指标的影响，温度和弯折对尺寸的影响等。

1.6.3 试样裁取

(1) 样品边缘部分因代表性差不应用来裁取试样。

(2) 每项指标的多个试样应尽量均布于检测样品的不同部位，达到试样能够代表样品的原则。

(3) 土工布和土工膜之类的片状材料，同一指标的多个试样应按梯形分布裁取，使第一试样处在样品上不同的经纬线上。

(4) 试样裁取的尺寸误差应满足检测要求，一般应控制在 1% 以内。

1.6.4 算术平均值、标准差和变异系数的计算公式

(1) 按下式计算算术平均值 \bar{x} ：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3-1)$$

式中 n ——试验次数；

x_i ——第 i 块试样的测试值；

\bar{x} —— n 块试样测试值的算术平均值。

(2) 按下式计算标准差 σ ：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3-2)$$

式中符号意义见式 (3-1)。

(3) 按下式计算变异系数 C_v ：

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3-3)$$

式中符号意义见式 (3-1) 与 (3-2)。

1.6.5 试样数量与检测误差

(1) 各项检测方法的试样数量在各项检测方法中都作了规定。

(2) 根据试样数量、平均值和标准差（或变异系数）可用数理统计公式估计检测结果的误差。这一误差包括了被检测材料不均匀引起的误差、检测仪器的误差、人员

读数误差等造成的随机误差，但并不包括检测方法等造成的系统误差。反之，根据检测结果误差的要求，也可确定试样数量。

(3) 当对检测结果的误差有严格要求时，试样数量的确定可按下式计算：

$$n = \Phi C_V / f \quad (3-4)$$

式中 Φ ——概率分布系数，可查正态分布数值表；

f ——检测误差要求；

其余符号意义见式(3-1)和(3-3)。

当检测误差要求 $f=5\%$ ，概率 90% 时，可查得 $\Phi=1.65$ ，则试样数量的确定可按下式计算：

$$n = 0.109 C_V^2 \quad (3-5)$$

当检测误差要求 $f=5\%$ ，概率 95% 时，可查得 $\Phi=1.96$ ，则试样数量的确定可按下式计算：

$$n = 0.154 C_V^2 \quad (3-6)$$

由公式确定试样数量 n ，须有已知的变异系数 C_V 。 C_V 是由以往同类材料的大量试验确定，在无可利用的 C_V 值情况下，一般可取 10 个试样进行特性检测，再由检测数据来估计 C_V 值。

2. 塑料排水板

2.1 范围

本手册规定了塑料排水板的检验方法、检验规则等。

本手册适用于水利、电力、铁路、公路、机场、港口、矿山、房建、市政、环保等工程，为加固松软地基需设置竖向排水，所用的塑料排水板。

2.2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过引用而成为本手册的条款。凡是注明时间的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版本均不适用于本手册，但鼓励根据本手册达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本手册。

GB/T 13760-1992 土工布的取样和试样制备

GB/T 13761-1992 土工布厚度的测定

GB/T 13762-1992 土工布单位面积质量的测定方法

GB/T 13763-1992 土工布梯形撕裂强力的试验方法

GB/T 14799-1993	土工布孔径测定方法	干筛法
GB/T 15788-1995	土工布拉伸试验方法	宽条样法
GB/T 15789-1995	土工布透水性测定方法	
GB 8170	国家标准数值修约规则	
SL/T 235	土工合成材料测试规程	
JTJ/T 060-1998	公路土工合成材料试验规范	
TJT/T256-96	塑料排水板施工规程	
TJT/T257-96	塑料排水板质量检验标准	

2.3 塑料排水板检测数量

应满足下列规定：同批次生产的塑料排水板，每 20 万米检测一次。小于 20 万米的，按 20 万米计；不同批次生产的塑料排水带应分批次检测，同批次生产，但分批运输的也应分批次进行检测。

注：凡同配方、同工艺、同设备连续生产的塑料排水板才作为同批次产品，验收单位应首先鉴别其是否为同批次产品，然后再按规定进行检测和验收。

2.4 外观质量检验

外观质量检测应采用随机抽样的办法进行，每次抽取 5 卷，逐卷展开进行检测，塑料排水带外包装应牢固，无破损，不露板芯，外形整齐；滤膜的厚薄应均匀，无孔洞；芯板槽齿无倒伏现象，无接头，表面平滑，无空洞和气泡；滤膜应将芯板紧密包覆，不易松脱；每卷排水带的滤膜接头不应多于 1 个，且搭接长度应大于 20cm。

滤膜包裹的固定方式应采用胶粘式，粘胶处的宽度应不小于 5cm 且平直均匀，不得有脱胶现象。除有特殊使用要求之外，不再推荐采用缝合式的排水带。

2.5 物理性指标检验

2.5.1 芯板

(1) 芯板单位长度质量

试样尺寸为 100mm×整板宽，试样数为 10 个。用感量为 0.001g 的天平称量，读数精确到 0.001g，按式(3-7)计算单位长度质量 (g/m)，并按 GB 8170 “国家标准数值修约规则” 进行修约后，保留一位小数：

$$G_x = \frac{M_x}{L_x} \quad (3-7)$$

式中： G_x ——芯板单位长度质量（g/m）；

M_x ——10 个芯板试样质量的算术平均值（g）；

L_x ——试样长度，（m）

（2）芯板宽度

试样尺寸为 100mm×整板宽，试样水平放置于桌面，用精度为 0.02mm 的游标卡尺测量，测量时要求不松不紧，两侧不留空隙；取 10 个测定值的算术平均值作为试验结果，计算精确到 0.1mm。

（3）芯板厚度

① 检测规定

- a 测定芯板厚度的仪器为专用厚度测定仪。
- b 在 2 ± 0.01 kP 压力下测定滤布的厚度。
- c 接触试样的圆形压脚面积为 $25 \pm 0.1 \text{cm}^2$ 。
- d 试样尺寸大于压脚尺寸。
- e 试样数量应不少于 10 块。

② 检测过程

- a 开动仪器，提升压脚，擦净基准板和压脚。
- b 放置法码使压力为 2 kP。
- c 开动仪器，使压脚接触基准板，调整读数零点。
- d 开动仪器，提升压脚，将试样自然平放在基准板与压脚之间，待压脚接触试样后达 30s 时（专用厚度测定仪会亮灯提示读数）记录读数。
- e 重复测试完 10 块试样。

③ 计算 10 块试样厚度的算术平均值 \bar{x} 、标准差 σ 及变异系数 C_v 。

（4）芯板抗弯折性能

试样尺寸为 200mm×整板宽，试样数为 6 个，人工将试样对折 5 次，观察折后试样的情况，要求芯板无裂痕、不断裂。

2.5.2 滤膜

（1）滤膜单位面积质量

裁取面积为 100cm^2 （可用更大面积）的试样 10 个。把 10 个试样用感量为 0.001g 的天平称量，读数精确到 0.001g，按式（3-8）计算单位面积质量（g/m²），按 GB 8170 “国家标准数值修约规则”修约后，保留一位小数：

$$G_A = \frac{M_m}{A_m} \quad (3-8)$$

式中： G_m ——滤膜单位面积质量（g/m²）；

M_m ——10 个滤膜试样质量的算术平均值（g）；

A_m ——试样面积，（m²）。

（2）滤膜厚度

参照芯板厚度测量方法执行。

2.5.3 复合体

（1）复合体单位长度质量

同芯板的单位长度质量检验方法。

（2）复合体宽度

同芯板的宽度检验方法。

（3）复合体厚度

同芯板的厚度检验方法。

2.6 力学性指标检验

2.6.1 常规检测项目

（1）抗拉强度

①复合体干态抗拉强度及延伸率

试样尺寸为 200mm×整板宽（复合体），试样数量不少于 6 个。用等速拉力机进行拉伸试验，试样夹持长度为 100mm，拉伸速率为 50mm/min，检测时拉伸直至试样破坏。以延伸率 10%时的拉力值作为复合体的抗拉强度计算的依据；若延伸率达不到 10%试样已经破坏，且延伸率大于 4%，则以破坏时的拉力作为该试样复合体抗拉强度的试验值。以各次试验的试样抗拉强度及延伸率的算术平均值作为复合体的抗拉强度及延伸率。若延伸率小于 4%，则认为该产品不合格。

②滤膜纵向干态条形试样抗拉强度及延伸率

试样尺寸为 200mm×50mm，试样数量不少于 6 个。用等速拉力机进行拉伸试验，试样夹持长度为 100mm，拉伸速率为 50mm/min，检测时拉伸直至试样破坏。以延伸率 10%时的拉力值作为滤膜纵向干态抗拉强度计算的依据；若延伸率达不到 10%试样已经破坏，且延伸率大于 4%，则以破坏时的拉力作为该试样滤膜纵向干态抗拉强度的试验值。以各次试验的试样抗拉强度及延伸率的算术平均值作为滤膜纵向干态抗拉强度及延伸率。若延伸率小于 4%，则认为该产品不合格。

③滤膜横向湿态条形试样抗拉强度及延伸率

试样尺寸为 200mm×50mm，试样数量不少于 6 个。试样在水中浸泡 24 小时后，用等速拉力机进行拉伸试验，试样夹持长度为 100mm，拉伸速率为 50mm/min，检测

时拉伸直至试样破坏。以延伸率 15%时的拉力值作为滤膜横向湿态抗拉强度计算的依据；若延伸率达不到 15%试样已经破坏，且延伸率大于 4%，则以破坏时的拉力作为该试样滤膜横向湿态抗拉强度的试验值。以各次试验的试样抗拉强度及延伸率的算术平均值作为滤膜横向湿态抗拉强度及延伸率。若延伸率小于 4%，则认为该产品不合格。

④粘接缝的剪切抗拉强度

试样尺寸为 200mm×50mm，粘接缝垂直长度方向并布置在试样长度方向的中间位置。试样数量不少于 6 个。试样在水中浸泡 24 小时。粘接缝的剪切抗拉强度检测方法与③的滤膜横向湿态条形试样抗拉强度检测方法相同。

(2) 复合体纵向通水量（平直状态）

- ①仪器：采用统一研制的专用通水量检测仪，仪器示意图如 3-1，仪器应满足：
- a 在试样样长范围内受到均匀且恒定的侧压力。
 - b 试样内部在常水头下进行渗流。
 - c 试样两端联接处必须密封良好，在侧压力作用下不漏水。
 - d 联接管路宜短而粗。
 - e 上下游水位容器应有溢水装置，保持常水头；水位容器应有较大容积，保证水流稳定。
 - f 包封排水带用的乳胶膜，应弹性良好、不漏水、膜厚应小于 0.3mm。

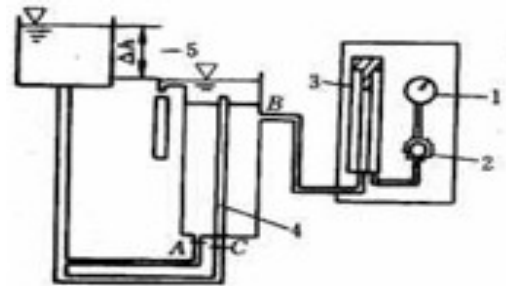


图 3-1 通水量测定仪
1—压力表；2—调压阀；3—压力室；
4—排水带；5—水位差

②其他器具：量筒、秒表、温度计、水桶等。

③试样：沿排水带长度方向随机剪取两块试样，其有效长度为 40cm，加上两端安装长度共约 43cm。

④操作步骤

- a 排水板套上乳胶膜。
- b 将包有乳胶膜的排水板装入通水仪内，密封好两端接头，安装好联接部分。
- c 对压力室施加侧压力，通用的侧压为 $350 \pm 5 \text{ kPa}$ ，在整个试验过程中保持恒压。
- d 调节上、下游水位，使排水板两端的水力梯度 $i = 0.5$ 。
- e 在恒压及恒定水力梯度下通水半小时后测量通水量，并记录测量时间，要求采用循环供水系统，试验过程中维持连续通水状态，以时间不小于 24 小时并且时间间隔 6 小时以上的两次测量值之差 $< 2\%$ 作为通水量稳定的判别条件，通水量稳定后数值作为通水量值。

f 重复步骤测定另一块排水带的通水量。

⑤纵向通水量按式(3-9)计算

$$q = \frac{Ql}{t \Delta h} \cdot \eta \quad (3-9)$$

式中: q ——纵向通水量 (cm^3/s);

Q ——时间 t 内水流量 (cm^3);

l ——试样长度 (40cm)

Δh ——水头差 (cm);

t ——测量水流量 Q 的时间;

$$\frac{\eta_t}{\eta_{20}}$$

η ——水温修正系数, 由水动力粘滞系数比 $\frac{\eta_t}{\eta_{20}}$ 按 (3-10) 计算, 或查表 3-1 得到。

$$\eta = \eta_t / \eta_{20} = 1.7624 / (1 + 0.0337t + 0.000221t^2) \quad (3-10)$$

表 3-1 水的动力粘滞系数比 η_t / η_{20}

温度(°C)	温度修正系数 $\eta = \eta_t / \eta_{20}$	温度(°C)	温度修正系数 $\eta = \eta_t / \eta_{20}$	温度(°C)	温度修正系数 $\eta = \eta_t / \eta_{20}$
11.0	1.261	16.0	1.104	21.0	0.976
11.5	1.234	16.5	1.090	21.5	0.965
12.0	1.227	17.0	1.077	22.0	0.953
12.5	1.211	17.5	1.063	22.5	0.943
13.0	1.194	18.0	1.050	23.0	0.932
13.5	1.179	18.5	1.038	24.0	0.910
14.0	1.163	19.0	1.025	25.0	0.890
14.5	1.148	19.5	1.012	26.0	0.870
15.0	1.133	20.0	1.000	27.0	0.850
15.5	1.119	20.5	0.988	28.0	0.833

⑥通水量记录表如表 (3-2)

表 (3-2) 塑料排水带通水量测试记录表

委托单位		测试日期	
样品名称		试验者	

梯形夹持线，然后在短边的正中处剪一条垂直于短边的 15mm 长的切口。用等速拉力机进行拉伸试验。将试样置于拉力机的上、下夹钳之中，并使夹持线与夹钳的钳口线相互重叠（上下钳距为 25mm），试验时保持梯形试样的短边处于垂直状态，控制拉伸速度为 $100 \pm 10 \text{ mm/min}$ ，直至试样被全部撕开。从自动绘制的曲线或强力显示装置上可直接得出撕破力(N)，计算测试值的算术平均值作为滤膜纵、横向梯形撕裂强度值(N)。

(5) 滤膜垂直渗透系数

①本试验用于测定常水头、符合层流条件下垂直于滤布表面的渗透系数。

②试验设备及用具：采用统一研制的专用渗透系数检测仪，仪器示意图如 3-2

a 试样夹持器的有效过水面积为 $20 \sim 100 \text{ cm}^2$ ，应能装单片和薄片滤膜试样。

b 试样与夹持器周壁必须密封良好，不得有渗漏。

c 上下游水位容器应有溢流装置，在试验过程中保持常水头。容器应能调节水位，水头变化范围为 $1 \sim 150 \text{ mm}$ 。

d 量测系统的管路宜短而粗，减小水头损失。

e 其他：秒表、量筒、吸球、水桶等。

f 对新安装的量测系统应作空态(无试样)率定，以确定设备自身的水头损失，并予以修正。

③试验准备

a 准备好试验用清洁脱气水。

b 试样数量：单片试样试验不少于 6 个试样平行测定；薄片试样试验取 2 组平行测定。

④操作步骤

a 事先将试样浸泡在水中并赶出气泡。将饱和试样装入夹持器内，安装操作过程中应防止空气进入试样，有条件宜在水下装样。

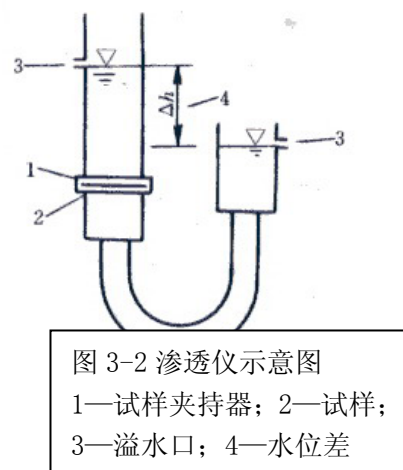
b 渗透仪内注满水，将夹持器放上，尽快安装，应防止试样内水的流失。

c 向下游容器内注水，使水自试样底部徐徐向上渗出并排气，逐渐使水漫过试样。

d 调节上游水位，使高出下游水位，水从上游流向下流，并溢出。

e 待上下游水位差 Δh 稳定后，测读 Δh ，开动秒表，用量筒接取一定时段内的渗透水量，并测定水温。

f 调节上游水位，改变水力梯度 i ，重复步骤 d~f。作渗透流速 v 与水力梯度 i 的关系曲线，取其线性范围内的试验结果，计算平均渗透系数。



⑤计算:滤膜垂直渗透系数按式(3-11)计算:

$$K_{20} = \frac{Q \delta}{A N h t} \cdot \eta \quad (3-11)$$

Q ——时间 t 内渗水量 (cm^3);

 δ ——滤膜厚度 (cm);

A ——滤膜的有效透水面积 (cm^2);

 Δh ——水头差 (cm);

t ——测量渗水量 Q 的时间;

η——水温修正系数，由水动力粘滞系数比 $\frac{\eta_t}{\eta_{20}}$ 按（3-10）计算，或查表 3-1 得到。

⑦算试样不同水头时的平均渗透系数及全部试样的平均渗透系数。

⑧垂直渗透系数试验记录格式如表 3-3:

表 3-3 渗透系数试验记录表

[illegible]

(6) 等效孔径 O_{95}

①本试验用干筛法测定滤膜的等效孔径 O_{95} 。

②试验设备及用具

a 标准试验筛：直径 200mm。

b 振筛机：具有水平摇动和垂直振动装置。水平摇振次数 221 ± 10 次/min；垂直振击次数 147 ± 8 次/min；回转半径 12.5 ± 1 mm。

c 天平：称量 200g，感量 0.01g。

d 振筛用的石英砂。将洗净烘干的石英砂用筛析法进行分级制备，按标准试验筛孔径分级宜如下：0.063~0.075mm，0.075~0.090mm，0.090~0.100mm，0.100~0.125mm，0.125~0.150mm，0.150~0.180mm，0.180~0.250mm，0.250~0.350mm 等。

e 其他用品：秒表，细软刷子。

③试样准备

a 试样直径应大于筛子直径。

b 应取 3 块试样，如果试样振筛后嵌入织物的颗粒不易清出时，或织物试样不能重复使用时，试样数为 $3 \times n$ (n 为选取的粒径级数)。

④操作步骤

a 将试样放在筛网上，并固定好。确保粒料不会从试样与筛子的固定处漏出。

b 称量颗粒材料 50g，均匀撒布在试样表面。

c 将装好试样的筛子、对应一个试样筛下一个接收筛共六个筛子与筛盖夹紧装入振筛机上，开动机器，振筛 10min。

d 停机后，称量通过试样的颗粒材料重量，然后轻轻振拍筛框或用刷子轻轻拭拂清除表面及嵌入试样的颗粒。

e 用另一级颗粒材料在同一块式样上重复步骤 b~d。测定孔径分布曲线，应取得不少于 4 级连续分级颗粒的过筛率，并要求试验点均匀分布。

f 若仅测定等效孔径 O_{95} ，则有两组的筛余率在 95%左右即可内插得到。若仅测定等效孔径 O_{95} 是否小于 0.10mm，则可用 0.090~0.10mm 的粒料进行一次振筛就可确定。

当 O_{95} 大于 0.10mm 时, 按要求如前面所述进行试验。

⑤计算

a 按下式计算某级颗粒的筛余率 R_i

$$R_i = \frac{M_t - M_i}{M_t} \times 100\%$$

(3-12)

式中 M_t ——筛析时颗粒投放量, g;

M_i ——筛析后底盘中颗粒重量(过筛量), g。

b 计算 3 次平行试验筛余率的平均值。

c 每一级的颗粒直径以粒料的上下限值和过筛率进行线性内插得到。

d 用各级颗粒的平均筛余率与相应各级颗粒的直径在半对数纸上绘孔径分布曲线, 见图 3-3。

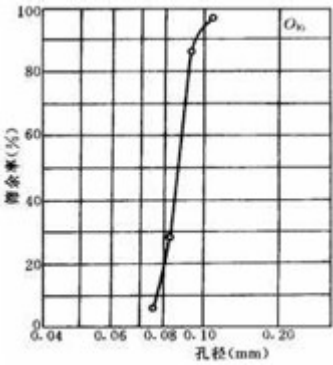


图 3-3 孔径分布曲线

⑥孔径试验记录格式如下:

表 3-4 孔径试验记录表

委托单位					温 度	℃	
样品名称					测试日期		
样品编号					试验者		
仪器名称及编号					计算者		
粒料情况	砂粒, 投放 50g; 过筛率=过筛量/50				校核者		
粒 径 mm	一号样		二号样		三号样		平均值
	过筛量	过筛率	过筛量	过筛率	过筛量	过筛率	
	g	%	g	%	g	%	

等效孔径 O_{90} (mm)							
等效孔径 O_{95} (mm)							
等效孔径 O_{98} (mm)							

2.6.2 特殊检测项目

(1) 芯板抗压屈强度

试样为圆形，面积 25cm^2 ($d=5.64\text{cm}$ ，与厚度检测仪的压脚面积相同)，试样先调湿，在水中浸泡 24 小时，控制温度 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，用特制的两块刚性板（与所检测材料相比为无压缩变形的刚性板）放在小吨位压力机上，以相当慢的压缩速度（ 2mm/min ）进行试验，画出压力与应变的关系曲线，以第一峰值作为抗压屈强度值。

(2) 复合体纵向弯曲通水量

采用统一研制的专用的通水量检测仪，试样有效长度为 500mm ，弯折至 400mm ，其他步骤与方法同复合体纵向通水量的检验。

2.7 检验规则

2.7.1 分类

塑料排水带检验可分为型式检验和出厂检验。

2.7.2 型式检验

(1) 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- ① 新产品试制定型鉴定；
- ② 正常生产已满半年；
- ③ 正常生产后，如产品的设计、工艺、生产设备、管理等方面有较大改变，可能影响产品的性能；
- ④ 产品停产 6 个月以上恢复生产；
- ⑤ 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异；
- ⑥ 国家质量监督检验机构提出进行型式检验的要求。

(2) 检验项目

第二章中塑料排水带技术要求中的所有测试项目。

(3) 判定规则

型式检验的各项检验结果均符合标准，则判定型式检验为合格；若有二项及二项以上力学性指标不符合标准要求，则判型式检验不合格；若有一项力学性指标不符合标准要求，应另取双倍试样进行该项试验，若符合标准，则判型式检验为合格，若复试结果仍不符合要求，则判型式检验不合格。

2.7.3 出厂检验

在型式检验合格的基础上进行出厂检验。产品须经出厂检验合格，并附检验合格证后方可出厂。

2.7.4 其它检验

使用单位的验收和现场材料的抽检等可参照型式检验的要求进行。

3、塑料盲沟

3.1 范围

本章规定了塑料排水盲沟的检验方法、检验规则等。

本章介绍的内容适用于铁路、公路、机场、港口、水利、电力、矿山、房建、市政、环保、地下工程等排除渗透水、降低地下水位及水土保持所用的塑料盲沟。

3.2 规范性引用文件

3.2.1 土工布的取样和试样准备；GB/T13760-1992

3.2.2 土工布单位面积质量的测定方法；GB/T13762-1992

(1) 土工布厚度测定方法；GB/T13761-1992

(2) 断裂强力、断裂延伸率；GB/T 13

(3) 土工布顶破强力试验方法；GB/T14800-1993

(4) 土工布梯形法撕破强力试验方法；GB/T13763-1992

(5) 土工布透水性测定方法；GB/T15789-1992

(6) 土工布孔径测定方法 干筛法；GB/T14799-1993

3.3 外观质量检验

3.3.1 用目测法观察外包滤膜是否均匀、有无杂质、孔洞。

3.3.2 用目测法观察盲沟芯体的塑料丝是否分布均匀、透明、堆积。

3.3.3 用精度为 0.5mm 的直尺测量滤膜和芯体孔洞的大小。

3.3.4 用精度为 0.5mm 的直尺测量缝线针脚的长短。

3.3.5 用目测法观察盲沟芯体是否有接头。

3.4 检验方法

3.4.1 滤膜的检验方法

- (1) 滤膜单位面积质量；参见 2.3.2，或参照 GB/T13762-1992 的规定检验
- (2) 滤膜厚度；参见 2.3.2，或参照 GB/T13761-1992
- (3) 滤膜干态及湿态纵向断裂强力、断裂延伸率；参见 2.4.1，或参照 GB/T 13
- (4) CBR 顶破强力；参见 4.5.8，或参照 GB/T14800-1993
- (5) 梯形撕破强力；参见 2.4.1，或参照 GB/T13763-1992
- (6) 渗透系数 K_{20} ；参见 2.4.1，或参照 GB/T15789-1992
- (7) 等效孔径 O_{95} ；参见 2.4.1，或参照 GB/T14799-1993

3.4.2 盲沟芯体的检验方法

(1) 外观尺寸：用精度为 0.02mm 的游标卡尺测量，取试样 10 个，分别测量塑料盲沟宽度、厚度、外径、内径等外观尺寸，取其平均值并计算变异系数 C_v 。

(2) 单位长度质量：用感量为 0.01g 的电子天平称量。试样长 $10\text{cm} \pm 2\text{mm}$ ，试样数量 10 个，分别称其重量，取其平均值并计算变异系数 C_v 。

(3) 孔隙率计算：用 3.2.2 的方法测定试样的单位长度质量，用比重瓶法测定塑料盲沟原材料密度，然后用下式计算空隙率：

$$n = \left(1 - \frac{m}{\rho s l}\right) \times 100\% \quad (3-13)$$

式中， m ——塑料盲沟质量，g； ρ ——塑料盲沟原材料密度 g/m^3 ； s ——塑料盲沟的截面积（对于中空型塑料盲沟应扣除中空部分的面积） m^2 ； l ——度件长度，m。

试件数量为 5 个，其取平均值，计算其孔隙率和变异系数 C_v 。

(4) 抗压强度

在精度为 1% 的压力试验机上进行，压缩速度为 5mm/min ，试验机压具如图 3-4 所示，方形钢块中央的圆孔直径相应于试样直径，两对开钢块之间的间隙约为孔径的 $1/3$ 。压具长度为 25cm ，塑料盲沟上下压具的两则设与底座相垂直的导向板。

试件长度为 25cm ，试件数量为 5 个。

按下式计算塑料盲沟抗压强度。

$$P = 10p/S \quad (3-14)$$

其中： P ——抗压强度，kPa； p ——施加在塑料盲沟上方的垂直压力，N；

S ——压具与盲沟试样接触部分的水平投影面积， cm^2 ；

计算 5 个试样的平均值和变异系数 C_v 。

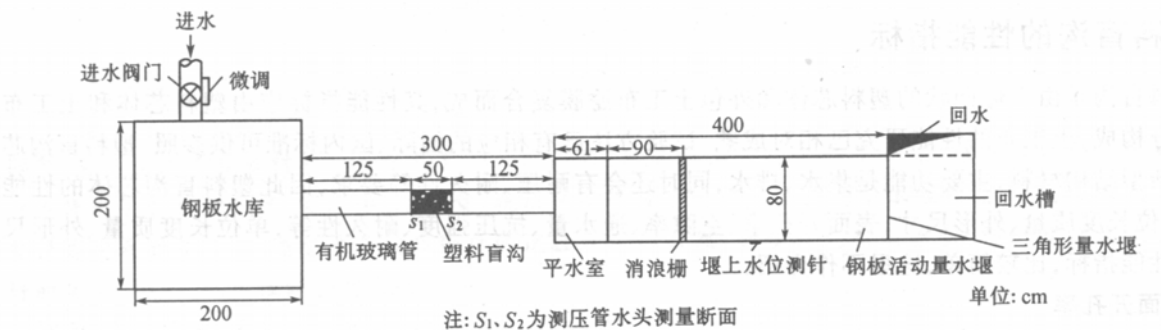
（5）通水量

塑料盲沟的通水量，是指在一定的水头下，单位时间内沿盲沟轴向通过的水量。

塑料盲沟通水量试验装置如图 3-5 所示：

通水量装置由水库、试样安装部分、平水室、消浪栅、量水堰、回水槽等组成，用精度为 0.5mm 的铟钢尺测量测压管水头，用直角三角形薄壁量水堰测量塑料盲沟内过水流量，堰上水头用经过检定的测针测量，测针精度为 0.5mm，塑料盲沟试件长度为 50cm，试件数为二个，试样两端留有 1.25m 的过渡段，测定塑料盲沟在水力坡降为 0.1 时条件下的通水量。取二个试样的平均值。

试验装置除应符合上述要求外，还应符合《水工（常规）模型试验规程》（SL 155-95）中规定的有关要求。



在塑料盲沟芯体上不同部位，取塑料丝 10 根，每根塑料丝对折 20 次，观察塑料丝是否折断。

3.5 检验规则

3.5.1 分类

塑料盲沟检验分为型式检验和出厂检验。

3.5.2 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- （1）应进行型式检验的情况同本篇 2.7.2 之（1）相同。
- （2）型式检验的内容包括第一篇中外观质量、内在质量技术要求中的所有项目。
- （3）检测结果的判定规则与本篇 2.7.2 之（3）相同。

3.5.3 出厂检验

在型式检验合格的基础上每批产品出厂前应进行出厂检验。检验项目包括外观质量和表（）内中的所有项。产品须经出厂检验合格，并附检验合格证后方可出厂。

3.5.4 其它检验

使用单位的验收和现场材料的抽检等可参照型式检验。

4 软式透水管

4.1 范围

本章规定了软式透水管的试验方法、检验规则等。

本章适用于水利、电力、铁路、公路、机场、港口、矿山、房建、市政、环保、地下工程等排除渗透水、降低地下水位及水土保持所用软式透水管。

本产品若使用于带有侵蚀性的水中或铺设于侵蚀性的土壤中，尚应符合我国相关标准与规范的规定。

4.2 原材料

原材料要求见第二篇 4.5 条规定。

4.3 技术要求

4.3.1 外观

外观应无撕裂、无孔洞、无断纱，钢丝保护材料无脱落，钢丝骨架与管壁联结为一体。

4.3.2 尺寸偏差

外径尺寸允许偏差应符合表第二篇 4.6.2 条的表 4.6.1 规定。

4.3.3 构造要求

包括钢丝的直径、间距和保护层厚度应符合第二篇 4.6.3 条的表 4.6.2 规定。

4.3.4 滤布性能

滤布性能应符合第二篇 4.6.4 条的表 4.6.3 规定。

4.3.5 扁平耐压力

扁平耐压力应符合第二篇 4.6.5 条的表 4.6.4 规定。

4.4 试验方法

4.4.1 外观检验

检验方法为目测。

4.4.2 钢丝每米圈数

从成品中的不同部位选取 3 段 1m 长的软式透水管，测定每段钢丝的圈数，取 3 段圈数的平均值作为试验结果，计算精确至 1 圈。记录表见表 3-5。

4.4.3 钢丝直径和钢丝保护层厚度

将透水管钢丝拉出，选取 1m 长的骨架钢丝，在间隔为 0.1m 的 10 个不同部位，用精度为 0.02mm 的游标卡尺量测带外覆保护层的与去掉保护层后的钢丝直径，读数精确至 0.02mm，计算钢丝直径和保护层厚度，以 10 个点的平均值作为试验结果，计算精确至 0.02mm。记录表见表 3-5。

4.4.4 外径尺寸

用精度为 0.02mm 的游标卡尺量测 1m 长透水管的间隔为 0.1m 的 10 个不同部位，每部位按 3 个不同方向（按 120 度角计算）测量其外径，读数精确至 0.02mm，以 3 个测量值的平均值作为该部位的测量值，以 10 个不同部位的测量值的平均值作为试验结果，计算精确至 0.1mm。记录表见表 3-5。

表 3-5 外观、钢丝与保护层测定记录表

委托单位					温 度	℃
样品名称					测试日期	
样品编号					试验者	
样品状态					计算者	
仪器名称 及编号					校核者	
编 号	钢丝直径 mm	钢丝每米 圈数 圈数/m	钢丝保护层厚度 mm		管子外径 mm	滤布厚度 mm
			钢丝和保 护层厚度	保护层 厚度		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
\overline{X}						

σ						
Cv						
外 观						

4.4.5 滤布厚度

(1) 检测规定

- 1) 测定滤布厚度的仪器为专用厚度测定仪。
- 2) 在 2 ± 0.01 kPa 压力下测定滤布的厚度。
- 3) 接触试样的圆形压脚面积为 $25 \pm 0.1 \text{ cm}^2$ 。
- 4) 试样尺寸大于压脚尺寸。
- 5) 试样数量应不少于 10 块。

(2) 检测过程

- 1) 开动仪器，提升压脚，擦净基准板和压脚。
- 2) 放置法码使压力为 2 kPa。
- 3) 开动仪器，使压脚接触基准板，调整读数零点。
- 4) 开动仪器，提升压脚，将试样自然平放在基准板与压脚之间，待压脚接触试样后达 30s 时（专用厚度测定仪会亮灯提示读数）记录读数。
- 5) 重复步骤 4），测试完 10 块试样。

(3) 计算 10 块试样厚度的算术平均值 \bar{x} 、标准差 σ 及变异系数 C_v 。

(4) 厚度记录表格式如表 3-6。

4.4.6 滤布纵向和横向的拉伸强度与伸长率

(1) 检测规定

- 1) 拉力机：应具有等速拉伸功能，并能测读拉伸过程中试样的拉力和伸长量，记录拉力与伸长量曲线。
- 2) 夹具：一对可夹持试样的夹具、钳口面应能防止试样在钳口内打滑，并能防止试样在钳口内被夹坏。保证两夹具的夹持面在一个平面内。
- 3) 宽条试样有效宽度 200mm，夹具实际宽度应不小于 210mm。
- 4) 窄条试样有效宽度 50mm，夹具实际宽度应不小于 60mm。
- 5) 荷载指示值或记录值的误差应不大于相应实际荷载的 2%。
- 6) 伸长量的测量设备读数应精确至 1mm。

(2) 试样准备

- 1) 纵向和横向试样分别应不少于 6 块。

2) 试样一般采用窄条试样, 但滤布如果是长丝无纺布复合的, 并且长丝无纺布强度占整个滤布强度 1/3 以上时, 应采用宽条试样。

3) 窄条试样: 裁剪试样宽度 50mm, 长度至少 200mm 必须有足够长度的试样伸出夹具, 试样计量长度为 100mm。

4) 宽条试样: 裁剪试样宽度 200mm, 长度至少 200mm, 实际长度视夹具而定, 必须有足够的长度使试样伸出夹具, 试样计量长度为 100mm。

(3) 操作步骤

- 1) 将两夹具的初始间距调至 100mm。
- 2) 选择拉力机的负荷满量程范围, 使试样的最大断裂力在满量程的 10%~90% 范围内, 设定拉伸速率为 50mm/min。
- 3) 将试样对中放入夹具内, 夹持牢固。
- 4) 开动拉力机, 同时启动记录装置, 记录拉力与伸长量曲线, 连续运转直至试样破坏, 停机。
- 5) 若试样在钳口内打滑, 或在钳口边缘或钳口内被夹坏, 该试验结果应予剔除, 并增补试样。
- 6) 当试样在钳口内打滑或大多数试样被钳口夹坏, 宜采取下列改进措施: ①钳口内加衬垫; ②钳口内的试样用涂料加强; ③改进钳口面。
- 7) 重复步骤对其余试样进行试验。

(4) 计 算

1) 按下式计算抗拉伸强度 T_s

$$T_s = P_f / B \tag{3-15}$$

式中 T_s ——抗拉强度, kN/m;
 P_f ——实测最大拉力, kN;
 B ——试样宽, m。

2) 按下式计算延伸率 ε_p :

$$\varepsilon_p = (L_f - L_0) / L_0 \times 100\% \tag{3-16}$$

式中 ε_p ——延伸率, %;
 L_0 ——试样计量长度, mm;
 L_f ——最大拉力时的试样长度, mm。

(5) 分别计算拉伸强度及延伸率的平均值 \bar{x} , 标准差 σ 及变异系数 C_v 。

(6) 拉伸试验记录格式如表 3-6。

表 3-6 拉伸试验记录表

委托单位		温 度	°C
样品名称		测试日期	
样品编号		试验者	

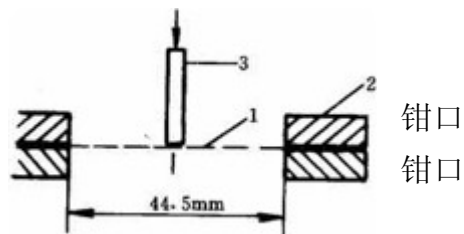
仪器名称 及编号				计算者	
拉伸速率	mm/min	试样宽度		校核者	
编 号	纵向拉伸		横向拉伸		
	P_f (N)	ε_p (%)	P_f (N)	ε_p (%)	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
\bar{X}					
σ					
Cv					

4.4.7 滤布圆球顶破强度

(1) 检测规定

1) 拉力机：应具有等速顶压功能。

2) 夹具：环形夹具内径为 44.5mm，见图 3-6。面应能防止试样在钳口内打滑，并能防止试样在内被夹坏。夹具的夹持面应垂直顶杆轴线。



3) 顶杆：一端顶部带有直径 25.4mm 钢球顶杆。顶杆应对中于环形夹具中心。

图 3-6 顶破试验示意图

1—试样；2—环形夹具；3—顶杆

(2) 试样准备

1) 试样应不少于 6 块。

2) 试样为圆形，有效直径为 44.5mm，加上周边固定宽度，固定宽度视固定形式而定。试样直径一般在 100mm 至 120mm。

(3) 操作步骤

1) 选择拉力机的负荷满量程范围，使试样的最大顶破力在满量程的 10%~90% 范围内，设定拉伸速率为 100mm/min。

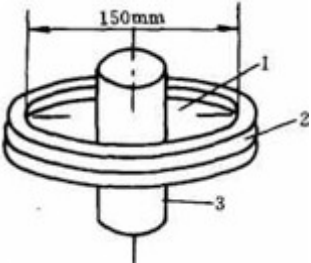
- 2) 将试样对中放入夹具内, 夹持牢固, 安放就位。
 - 3) 开机试验直至试样破坏, 停机。记录顶刺过程中的最大压力值。
 - 4) 若试样在钳口内打滑, 或在钳口边缘或钳口内被夹坏, 该试验结果应予剔除, 并增补试样。
 - 5) 当试样在钳口内打滑或大多数试样被钳口夹坏, 宜采取下列改进措施: ①钳口内加衬垫; ②钳口内的试样用涂料加强; ③改进钳口面。
 - 6) 重复步骤 2) ~5) 对其余试样进行试验。
- (4) 顶破强度即顶破力, 单位为 N。计算平均值 \bar{x} , 标准差 σ 及变异系数 C_v 。
- (5) 顶破试验记录格式如表 3-7。

表 3-7 顶破试验记录表

委托单位				温 度	℃
样品名称				测试日期	
样品编号				试验者	
仪器名称 及编号				计算者	
拉伸速率	mm/min	试样宽度		校核者	
编号	圆球顶破 P_f (N)			CBR 顶破 P_f (N)	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
\bar{X}					
σ					
C_v					

4.4.8 滤布的 CBR 顶破强力

(1) 检测规定



1) CBR 顶破试验示意图见图 3-7。

2) CBR 试验仪：最大出力应大于 50kN，行程应大于 150mm，顶压速率为 60mm/min。

3) 环形夹具：夹具内径 150mm，夹具中心应在圆柱顶压杆的轴线上。

图 3-7

CBR 试验示意图

1—试样；2—环形夹具；3—顶压杆

(2) 试样准备

1) 试样应不少于 6 块。

2) 试样为圆形，有效直径为 150mm，加上周边固定宽度，固定宽度视固定形式而定。试样直径一般为 230mm。

(3) 操作步骤

1) 选择拉力机的负荷满量程范围，使试样的最大顶破力在满量程的 10%~90% 范围内，设定拉伸速率为 60mm/min。

2) 将试样放入环形夹具内，呈自然绷紧状态时，夹持牢固，安放就位。

3) 开机试验直至试样破坏，停机。记录顶太过程中的最大压力值。

4) 若试样在钳口内打滑，或在钳口边缘或钳口内被夹坏，该试验结果应予剔除，并增补试样。

5) 当试样在钳口内打滑或大多数试样被钳口夹坏，宜采取下列改进措施：①钳口内加衬垫；②钳口内的试样用涂料加强；③改进钳口面。

6) 重复步骤 2)~5) 对其余试样进行试验。

(4) 顶破强度即顶破力，单位为 N。计算平均值 \bar{x} ，标准差 σ 及变异系数 C_v 。

(5) CBR 顶破试验记录格式见表 3-7。

4.4.9 滤布渗透系数

按 2.6.1 常规检测项中 (5) 滤膜垂直渗透系数的方法检测。

按 2.6.1 常规检测项中 (6) 滤膜垂直渗透系数的方法检测。

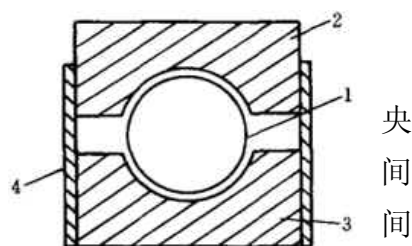
4.5.11 扁平耐压力

(1) 本试验用于测定软水管的扁平耐压力。

(2) 试验设备及用具。

1) 试验机：应具有等速顶压功能。

2) 加压模块：如图 3-4 所示，刚性加压模块中的圆孔直径相应于试样直径，对开刚性加压模块之间的间隙为试样直径的 1/3，即上下模块的弦高和中间隙的高度均为试样直径的 1/3。模块长度宜取



25cm，软管上下模块的两侧设与底座相垂直的导向板。

图 3-4 压具示意图

1—试样；2—上模块；3—下模块；4—导向板

3) 百分表的最小分度值为 0.01mm。

(3) 试样准备

1) 管径<250mm 时，试样长为 250mm，管径>250mm 时，试样长至少应与管径成 1: 1 的比例。

2) 试样数量不少于 3 个。

(4) 试验操作步骤

1) 选择试验机的负荷满量程范围，使试样的最大顶破力在满量程的 10%~90 %范围内，设定拉伸速率为 10mm/min。

2) 将下模块、透水管及上模块依次装入加压仪上，使两端齐平，加在模块上的荷载应居中并保证全部传递到透水管上。

3) 安装位移测量装置。

4) 预先施加 100N 的荷载使模块与管子密合接触，再御载至 5N，将百分表调零。

5) 开动机器试验。2%、3%、4%和 5%应变时读取荷载读数（有自动记录荷载与位移曲线装置的记录荷载与位移曲线）。

6) 重复步骤 2) ~5) 测定另外 2 根管子。

(5) 计算

1) 分别计算不同应变值时的荷载平均值：

$$P = (P_1 + P_2 + P_3) / 3 \tag{3-17}$$

2) 分别计算不同应变值时的单位长度荷载 P_k （即扁平耐压力）：

$$P_k = 4 \times P \tag{3-18}$$

式中—— P_1 、 P_2 、 P_3 是三个管子的抗压荷载，单位 kN；

—— P 是三个管子的平均抗压荷载，单位 kN；

—— P_k 是管子单位长度荷载（即扁平耐压力），单位 kN/m。

(6) 扁平耐压力试验记录格式见表 3-8。

表 3-8 扁平耐压力试验记录表

委托单位				温 度	°C
样品名称				测试日期	
样品编号				试验者	
试样长度	cm	试样直径	mm	计算者	

仪器名称 及编号						校核者	
编 号	应变量 %	变形量 mm	荷载 P (kN)				抗压强度 P kN/m
			一号样	二号样	三号样	平均值	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

4.5 检验规则

4.5.1 分类

软式透水管检验分为型式检验和出厂检验。

4.5.2 型式检验

(1) 进行型式检验的情况同本篇 2.7.2 之 (1) 相同。

(2) 检验项目

第二篇 4.5 条技术要求中的所有项目。

(3) 判定规则同本篇 2.7.2 之 (3) 相同。

4.5.3 出厂检验

(1) 在型式检验合格的基础上进行出厂检验。产品须经出厂检验合格，并附检验合格证后方可出厂。

(2) 检验项目

出厂检验项目为软式透水管外观、外径及尺寸偏差和内衬钢丝的直径、间距、保护层厚度。

(3) 取样

出厂检验样品同一规格 10km 为一批，不足 10km 的也按一批计，每批随机抽取 3 个试样，每个试样长度为 1.5m。

(4) 判定规则

与本篇 2.7.2 之（3）相同。

（5）其它检验

使用单位的验收和现场材料的抽检等可参照型式检验。

5. 硬式透水软管

5.1 范围

本手册规定了塑料管材、管件的测试方法。

本手册适用于公路、港口、铁路、机场、水利等真空预压排水渗水工程中用的硬式透水管。

5.2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本手册的引用而成为本手册的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版 均不适用于本手册，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本手册。

GB/T2918	塑料试样状态调节和试验的标准环境
GB/T8806	塑料管材尺寸测量方法
GB/T9647	热塑性塑料管材环刚度的测定
GB/T17638	短纤针刺非织造土工布
GB/T17639	长丝纺粘针刺非织造土工布
GB/T14152	热塑性塑料管材耐外冲击性能试验方法 真实冲击率法

5.3 外观质量检验

在自然光下用肉眼观察，管材内外表面应光滑、平整，无裂纹和其它表面缺陷。管材颜色应均匀一致。滤管上集水孔大小一致；排列均匀，透水滤布应均匀无破损、杂质等。

5.4 尺寸测量

5.4.1 管材长度

用精度为 1mm 的钢卷尺测量，长度不允许有负偏差。

5.4.2 壁厚偏差及平均壁厚偏差

沿圆周测量最大壁厚和最小壁厚，精确至 0.1mm，计算壁厚偏差。在管材同一截面沿圆周均匀测量八点的壁厚，计算算术平均值，为平均壁厚，精确至 0.1mm，平均壁厚与公称壁厚的差为平均壁厚偏差。

1. 测量仪器及对其要求

- (1) 壁厚的测量使用管壁测厚仪（如图 3-8）或其他具有相同精度等级的测量仪器。

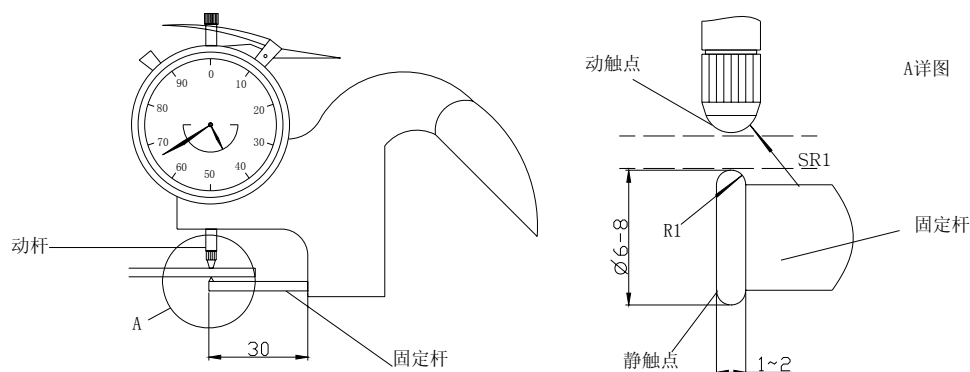


图 3-8 管壁测厚仪示意图

- (2) 测厚应符合下列要求：

- a. 分度值不大于 0.01mm；
- b. 装有长度不小于 30mm 的固定杆，固定杆与仪器为一刚性整体，当 5N 的力沿动杆轴线方向作用于固定杆末端时，测厚仪读数偏差应小于 0.01mm。
- c. 固定杆末端（定触点）应为垂直于杆端面的圆片，其直径为 6~8mm，厚度为 1~2mm，边缘曲率半径应为 1mm；
- d. 动杆末端（动触点）应半球形，其半径约为 1mm；
- e. 动触点施于管壁上的力应小于 2.5N；
- f. 定触点和动触点的表面应由硬质钢制成；

管壁厚度测量应在 GB2918 中规定的 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 的环境中进行。

2. 测量方法

将定触点伸入管内使之与管材内表面接触并调整动杆，读取最小读数。

3. 测量结果表示

测量结果精确到 0.05mm。小数点后第二位大于零、小于或等于 5 时取 5，大于 5 时进一位。

5.4.3 平均外径及偏差和不圆度

测量平均外径和偏差。测量同一断面处的最大外径和最小外径，用最大外径减最小外径为不圆度。

1. 原理概述

测量管材外壁圆周长并除以 3.142（圆周率）。

2. 测量仪器及对其要求

直接以直径数值刻度的卷尺或其他能达到相同测量精度的仪器。

卷尺应符合下列要求：

- a. 分度值不大于 0.05mm；
- b. 由不锈钢或其他合适材料制成；
- c. 当 2.5N 的拉力作用于其端部时，总伸长不大于 0.05mm；
- d. 卷尺厚度和科线宽度等均应不影响测量结果；
- e. 有足够的揉曲性，以便与管外壁圆周紧密贴合。

3. 测量方法

将卷尺垂直于管材轴线绕外壁一周，紧密贴合后，读数。

4. 结果表示

读数或平均外径的计算值精确到 0.1mm。

注：直径小于 40.0mm，平均外径可取同一截面均匀分布的 4 个外径的算术平均值，但有关方法应符合 GB/T8806 标准的规定。

5.6 环刚度测定

1. 压缩试验机

试验机应能施加规定的压缩速率。仪器能够通过两个相互平行的压板对试样施加足够的力和产生规定的变形；试验机的测量系统能够测量试样在直径方向上产生 1%~10%变形时所需要的力，精确到 2%以内。压缩速率 $2 \pm 0.4 \text{ mm/min}$ 。

2. 压板

两块平整、光滑、洁净的压板，在试验中不应产生影响试验结果的变形。

每块压板的长度至少应等于试样的长度。在承受负荷时，压板的宽度至少比所接触试样最大表面宽 25mm。

3. 量具

能够测量：

试样的长度（精确到 1mm）；

试样的内径（精确到内径的 0.5%）

在负荷方向上试样的内径变化，以两压板之间位移量计算，精确度为 0.1mm，或变形的 1%，取较大值；

4. 试样

标记和样品数量

切取 600mm 长的管材一根，在每根管材的外表面，以任意点为基准，每隔 120° 沿

管材长度方向划线并分别做好标记。将管材按 200mm 长度切割为 a、b、c 三个试样，试样截面垂直于管材的轴线。

5. 试验步骤

- a. 测试应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下进行；
- b. 把试样 a 的位置和压力机上板相接触，把另两个试样 b、c 放置位置依次相对于第一个试样转 120° 和 240° 放置。放置试样时，使其长轴平行于压板，然后放置于试验机的中央位置。
- c. 开动试验机使上压板和试样恰好接触且能夹持住试样，以 $5 \pm 1\text{mm/min}$ 的恒定速度压缩试样直到至少达到 $0.03d_i$ 的变形。
- d. 通常，变形量是通过测量一个压板的位置得到，但如果在试验的过程中，管壁厚度 e_c 的变化超出 10%，则应通过直接测量试样内径的变化来得到。

6. 计算环刚度

用下面的公式计算 a、b、c 每个试样的环刚度：

$$S_i = (0.0186 + 0.025Y_i/d_i) F_i/L_i Y_i \quad (3-19)$$

式中：

F_i ——相对于管材 3.0% 变形时的力值，单位为千牛 (kN)；

L_i ——试样长度，单位为米 (m)；

Y_i ——变形量，单位为 (m)，相对应于 3.0% 变形时的变形量；

d_i ——管材试样内径，单位为 (mm)；

e_c ——管壁厚度，单位为 (m)；

计算管材的环刚度，单位为千牛每平方米 (kN/m^2)，在求三个值的平均值时，用以下公式：

$$S = (S_a + S_b + S_c) / 3 \quad (3-20)$$

5.7 落锤冲击试验

按 GB/T14152 规定，进行管材（主管和滤管）耐外冲击性能测试。

5.8 透水滤布性能试验

根据透水滤布的技术性能指标要求按见本篇 3.4.1 塑料盲沟滤膜的检验方法进行测试。

6 真空排水预压密封膜

6.1 范围

本章规定的真空预压密封膜检验项目及检验方法，适用于由聚乙烯、聚氯乙烯为主要材料生产的真空预压密封膜。

6.2 引用规范及标准

- ① 《塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法》（GB / T6672-2001）；
- ② 《塑料 薄膜拉伸性能试验方法》（GB / T13022-1991）；
- ③ 《塑料直角撕裂性能试验方法》（QB / T1130-91）；
- ④ 《土工合成材料 聚氯乙烯土工膜》（GB / 17688-1999）；
- ⑤ 《土工合成材料 非织造复合土工膜》（GB / T17642-1998）；
- ⑥ 《塑料低温伸长试验方法》（HG2—163-65）；
- ⑦ 《塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法 压差法》（GB / T1038-2000）；
- ⑧ 《塑料薄膜尺寸变化率试验方法》（GB / T12027-1989）；
- ⑨ 《土工布顶破强力试验方法》（GB / T14800-1993）；
- ⑩ 《塑料密度和相对密度试验方法》（GB / T1033-86）。

6.3 外观质量检查

密封膜热合前及热合过程中应随时检查塑料膜上是否存在色泽、切口、水纹、划痕、杂质、僵块、断头、永久性皱褶、穿孔、气泡、卷端面错位等问题，并将有缺陷部分剪除。检查时，可将第一卷拟用塑料膜完全展开，仔细测量其长度和单幅宽度。并确保第一卷膜的长度满足使用的要求，并以此做为整张膜的测量长度。

密封膜的外观质量检验可按阶段分别在生产车间和工程现场进行，密封膜外观检查应满足表 3-9 的要求：

表 3-9 密封膜外观质量检验指标

序号	检验项目	指 标
1	色泽	均匀
2	切口	平直、无明显锯齿现象
3	水纹、云雾和机械划痕	不明显
4	杂质和僵块	0.8mm以下杂质、黑点许可量25个/m ² ， 0.8mm以上杂质黑点不允许。
5	接头和断头	不允许
6	穿孔修复点	每卷不超过2个
7	气泡	不明显
8	卷端面错位	≤20mm

6.3.1 车间外观质量检查

密封膜在热合时及卷膜过程中，应认真按照上表的检测项目进行检查，同时检查焊缝是否平整牢固，不合格处应采取补救措施。

6.3.2 工程现场外观质量检查

密封膜铺设过程中应逐层检查，每一层膜铺设完成后，应进行拉网式检查，重点检查是否有焊缝开裂、穿孔、撕裂等问题。如发现有缺陷，可选用合适的塑料粘合剂进行修补处理。

6.4 性能指标检验

真空预压密封膜在投入使用前应进行材料性能质量抽样检验。检验项目可以分成常规检验项目和特殊检验项目，常规检验项目是必须检验项目，特殊检验项目适用于设计、施工、建设单位有特殊需要的工程质量检验。本手册建议的检验方法参照标准如表 3-10 所示。

表 3-10 真空预压密封膜检验方法参照标准

项目分类	序号	检验项目	检验方法参照标准
常规检验项目	1	厚度，mm	GB/T6672
	2	拉伸强度(纵/横)，MPa	GB/T13022(I)、速率 250±25mm/min
	3	断裂伸长率，%	GB/T13022(I)、速率 250±25mm/min
	4	直角或裤形撕裂强度，N/mm	QB/T1130、GB/T16578
	5	渗透系数，cm/s	GB/T17642 附录 A
	6	CBR 顶破强力或刺破强度，N	GB/T14800、SL/T235-1999
特殊检验项目	1	密度，g/cm ³	GB/T1033
	2	低温弯折性（-20℃）	GB/T17688 之 5.13
	3	低温伸长率(纵/横)，%	HG2-163

	4	透气系数, ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}$) / ($\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$)	GB/T1038
	5	尺寸变化率(纵/横), %	GB/T12027
	6	耐静水压, MPa	GB/T17642 附录 A

6.4.1 常规检验项目检验

密封膜的常规检验项目主要有：厚度、拉伸强度（纵、横向）、断裂伸长率（纵、横向）、直角或裤形撕裂强度、CBR 顶破强力或刺破强度、渗透系数等。各检验项目的试验方法如下：

（1）厚度检验

按《塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法》（GB / T6672-2001）的规定进行。

①检验仪器

厚度测量仪。

a) 测量精度应达到 $2 \mu\text{m}$;

b) 上下测量面为平面/平面, 测量面直径 $2.5 \sim 10\text{mm}$ 。两平面不平行度小于 $5 \mu\text{m}$, 测量面对试样施加的负荷在 $0.5 \sim 1.0\text{N}$ 之间。

②试样

在距样品纵向端部大约 1m 处, 沿横向整个宽度截取试样, 试样宽 100mm 。试样应无褶皱, 也不应有其它缺陷。

③检验步骤

a) 试样在 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 条件下状态调节 1h ;

b) 试样和测量仪的各测量面无油污、灰尘等污染;

c) 测量前应检查测量仪零点, 在每组试样测量后重新检查其零点;

d) 测量时应平缓放下测头, 避免试样变形;

e) 按等分试样长度的方法确定测量点位置, 每一试样的测量点应不少于 20 点。

④检验报告

a) 试样的完整信息（包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容）;

b) 计算各测量值的算数平均值为该试样的平均厚度, 精确至 $1 \mu\text{m}$, 根据需要, 可以在报告中给出每一个测量值及测量总数、标准偏差。

（2）拉伸强度（纵、横向）、断裂伸长率（纵、横向）检验

按《塑料 薄膜拉伸性能试验方法》（GB / T13022-1991）的规定进行。

①检验仪器

a) 有可进行拉伸试验并能满足第 b)、c)、d) 要求的试验机;

b) 试验机应具备适当的夹具, 该夹具不应引起试样在夹具处断裂, 施加任何负荷时, 试验机上的夹具应能立即对准一条线, 以使试样的长轴与通过夹具中心线的

拉伸方向重合。

- c) 试验夹具移动平稳，且能满足试验要求；
- d) 试验机示值在记录仪满值的 10~90% 间，示值误差应在 $\pm 1\%$ 以内。

② 试样

a) 试样形状与尺寸

采用 I 型哑铃型试样（试样尺寸如图 3-9 所示）或长条型试样（宽度 10mm、总长度不小于 150mm、标距不少于 50mm）；

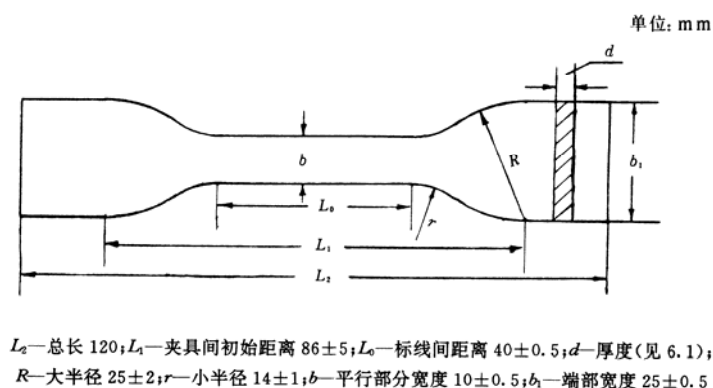


图 3-9 标准试样尺寸图

b) 试样制备

试样应沿样品宽度方向等间隔裁取，可用冲刀冲制，长条形试样也可用其它裁刀裁取，试样边缘无缺口，按试样尺寸准确画上标线；

c) 试验数量

每个试验方向为一组，每组试样不少于 5 个。

③ 试验条件

a) 试样状态调节和试验环境

试样在 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 条件下状态调节 4h，并在此环境下进行试验。

b) 试验速度（空载）

试验夹具移动速度 $50 \pm 5\text{mm/min}$ ，当需要测定拉伸弹性模量时，速度可选择 $1 \sim 2.5\text{mm/min}$ 。

④ 试验步骤

a) 用厚度测量仪测量试样标距内的厚度，用精度 0.1mm 以上的量具测量试样宽度，测量点各为 3 个，取算术平均值；

b) 将试样置于试验机两夹具中，使试样纵轴与上、下夹具中心连线相重合，并且要松紧适宜，以防止试样滑脱和断裂在夹具内。夹具内应衬橡胶类弹性材料。

c) 如使用引伸计，在施加应力前，应调整引伸计两侧测量点与试验的标距相吻合，引伸计不应使试样承受负荷。

d) 以规定的速度开动试验机进行试验；

e) 试样断裂后, 读取所需负荷及相应的标线间伸长量, 若试样断裂在标线外的部位时, 此试样作废, 另取试样重做。

⑤结果计算

a) 拉伸强度、拉伸断裂应力、拉伸屈服应力以 σ_t (MPa) 表示, 并按式 3-21 计算:

$$\sigma_t = \frac{p}{bd} \quad (3-21)$$

式中: p ——最大负荷、断裂负荷、屈服负荷, N;

b ——试样宽度, mm;

d ——试样厚度, mm。

b) 断裂伸长率或屈服伸长率 ε_t (%) 表示, 按式 3-22 计算:

$$\varepsilon_t = \frac{L - L_0}{L} \times 100\% \quad (3-22)$$

式中: L_0 ——试验原始标线距离, mm;

L ——试样断裂时或屈服时标线间距离, mm。

c) 作用力—应变曲线, 从曲线的初始直线部分计算拉伸弹性模量, 以 E_t (MPa) 表示, 按式 3-23 计算:

$$E_t = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3-23)$$

式中: σ ——应力, MPa;

ε ——应变。

d) 强度、应力和弹性模量取三位有效数字, 伸长率取二位有效数字, 也可在产品标准中另行规定。以每组试样试验结果的算数平均值表示。

e) 如要求计算标准偏差值, 由式 3-24 计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3-24)$$

式中: X ——单个测量值;

\bar{X} ——一组测定值的平均值;

n ——测定值个数。

⑥检验报告

a) 试样的完整信息 (包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容);

b) 按照规定要求提供相关试验指标。

(3) 直角撕裂强度检验

按《塑料直角撕裂性能试验方法》(QB / T1130-91) 的规定进行。

① 试验仪器

- a) 有可进行拉伸试验的试验机;
- b) 有进行厚度测量的测量仪。

② 试样

- a) 试样形状及尺寸如下图所示:

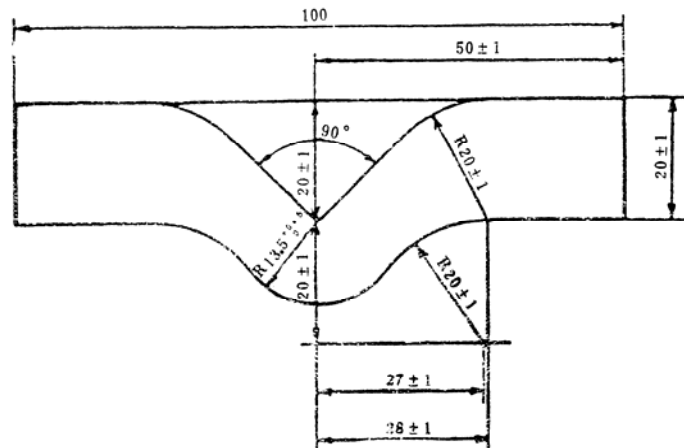


图 3-10 直角撕裂强度试验试样尺寸图

- b) 纵横方向的试样各不少于 5 个, 在受拉伸试验机量程限制的情况下允许采用叠合试样组进行试验, 此时试样不少于 3 组, 每组 5 片。单片试样和叠合试样组的测试结果不可比较。

- c) 以试样撕裂时的裂口扩展方向做为试样方向。

- d) 试验直角口处应无裂缝及伤痕。

③ 试样状态调节和试验环境

试样在 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 条件下状态调节 4h, 并在此环境下进行试验。

④ 试验步骤

- a) 测量试样或叠合试样组直角口处的厚度做为试样厚度;

- b) 将试样加在试验机夹具上, 夹入部分不大于 22mm, 并使其受力方向与试样方向垂直;

- c) 以 $200 \pm 20\text{mm/min}$ 的试验速度下进行试验, 记录试验过程中的最大负荷值。

⑤ 结果计算

- a) 以试样撕裂过程中的最大负荷值做为直角撕裂负荷, N;

- b) 直角撕裂强度按式 3-25 计算:

$$\sigma_{tr} = \frac{P}{d} \quad (3-25)$$

式中： σ_{tr} ——直角撕裂强度，kN/m；

P——撕裂负荷，N；

d——试样厚度，mm。

c) 试验结果以所有试样直角撕裂负荷或直角撕裂强度的算数平均值表示。试验结果的有效数字取二位或按产品标准规定。

⑥检验报告

a) 试样的完整信息（包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容）；

b) 按照规定要求提供相关试验指标。

（4）裤形撕裂强度检验

按《塑料薄膜和薄片耐撕裂性能试验方法 裤形撕裂法》（GB/T16578-1996）的规定进行。

①试验仪器

a) 有可进行拉伸试验的试验机，该试验机可进行自动绘图或自动数据采集处理；

b) 夹具应装备有能牢固地夹住试样“裤腿”、使之不会滑移的钳口。钳口宽度应大于试验宽度，以使在试验过程中保持两“裤腿”受力均衡。

c) 刀具应采用锋利的刀片或别的等效刀具。

②试样

a) 试样的形状和尺寸如图 3-11 所示，试验中央的切口长度为 $75 \pm 1\text{mm}$ ；

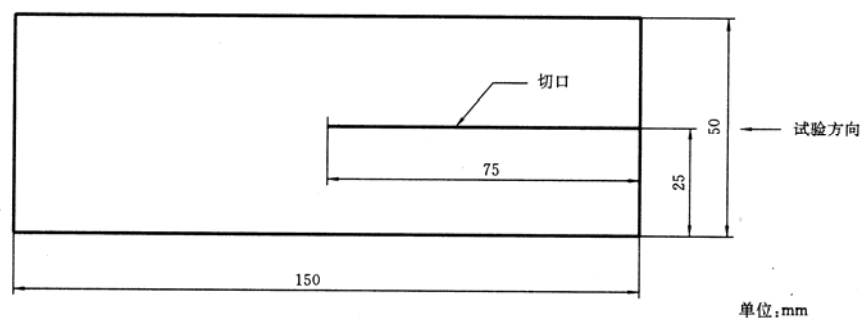


图 3-11 裤形撕裂强度检验试样标准尺寸图

b) 试样应裁切得边缘光滑无缺口，建议使用低倍放大镜检查有无刻痕，特别注意检查试样中央的切口顶端；

c) 裁切试样的数量应保证在受试材料的纵向和横向上至少各测出五次撕裂力。

③试样状态调节和试验环境

试样在 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 条件下状态调节 4h，并在此环境下进行试验。

④试验步骤

a) 在试样切口顶端到试样的对边之间等距离的三个点上测量厚度，取其算数平均值；

b) 调整夹具初始间隔为 75mm，安装试样，使试样主轴线与夹具中心的连线重合，如图 3-12 所示；

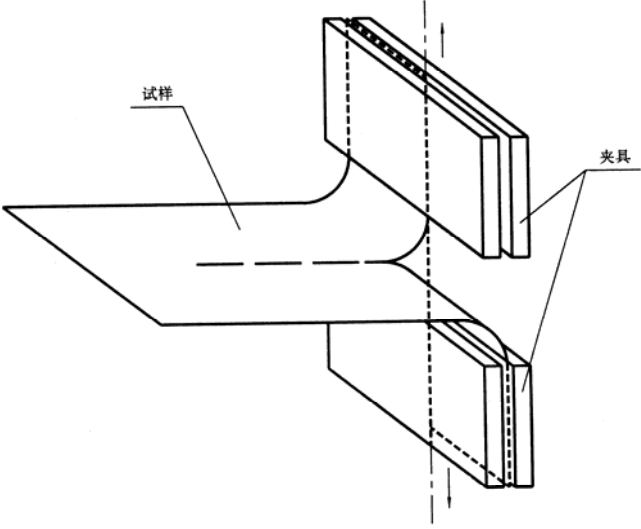


图 3-12 裤形撕裂强度检验试样安装示意图

c) 按规定设定好试验速度，开动试验机试验。

⑤结果计算

a) 对于具有图 3-13(a) 所示的负荷——时间曲线图形特征的薄膜的平均撕裂力。是略去撕裂无切口长度的前 20mm 和最后 5mm 的负荷后，取剩下的中间 50mm 长度上撕裂负荷的近似平均值，即通过图形中这一部分的波形平台画一条与横轴平行的中线，读取这一中线所对应的负荷值。对于具有图 3-13(b) 所示的负荷——时间曲线图形特征的薄膜取负荷的最大值做为最大撕裂力。

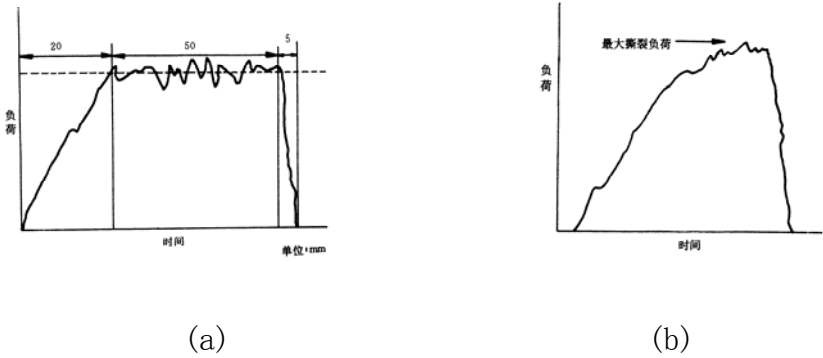


图 3-13 负荷——时间曲线图

b) 由式 3-2b 计算试样的撕裂强度：

$$\frac{F_t}{d} \quad 3-2b$$

式中：Ft——试样的平均撕裂力（或最大撕裂力），N；
d——试样的厚度，mm。

当不需要报告撕裂强度时，可仅报告撕裂力。

c) 计算每组试样的算术平均值，取三位有效数字；

d) 必要时，按式 3-27 计算平均差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3-27)$$

式中：s——测定的标准偏差；

x_i ——单个试样测定值；

\bar{x} ——一组试样测定结果的算数平均值；

n——一组试样的个数。

⑥ 检验报告

a) 试样的完整信息（包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容）；

b) 按照规定要求提供相关试验指标。

（5）CBR 顶破强力检验

按《土工布顶破强力试验方法》（GB / T14800-1993）或《土工合成材料试验规程 CBR 顶破试验》（SL/T235-1999）的规定进行。

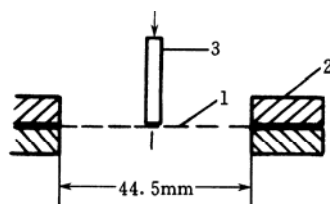
（6）刺破强度检验

按《土工合成材料试验规程 刺破试验》（SL/T235-1999）的规定进行。

① 试验仪器

a) 可进行拉伸试验的试验机；

b) 环行夹具：内径为 44.5mm，如图 3-14；



1—试样；2—环形夹具；3—顶杆

图 3-14 刺破试验夹具示意图

c) 刚性顶杆：直径 8mm，平头。

② 试样

a) 试样在 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 条件下状态调节 4h，并在此环境下进行试验。

b) 每组试验应取 10 块试样，其大小与环行夹具相配。

③ 试验步骤

a) 将试样放入环行夹具内，自然放平，拧紧夹具；

b) 将夹具放在加压装置上，并对中，顶刺速率设定为 100mm/min；

c) 开机，记录顶刺过程及最大负荷值。

④结果计算

刺破强度 T_p ：为全部试样最大顶刺力的平均值，单位 N。

根据需要计算试样的标准差和变异系数。

⑤检验报告

a) 试样的完整信息（包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容）；

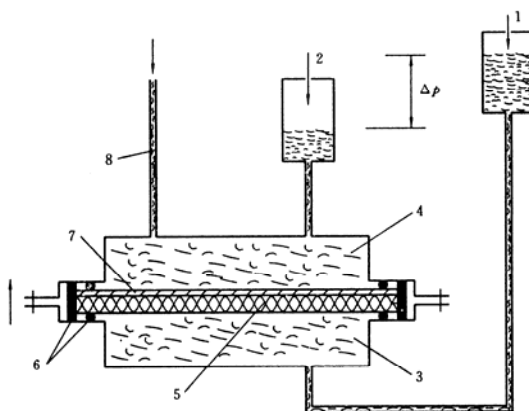
b) 按照规定要求提供相关试验指标。

（7）渗透系数检验

按《土工合成材料 非织造复合土工膜》（GB/T17642-1998）的附录 A 进行。

①试验仪器

渗透性测定装置，结构大致如下：



1、2—高、低压充水系统（水压或气压）；3、4—高、低压渗透仓；
5—试样；6—防渗漏垫；7—微孔板；8—流量管

图 3-15 渗透试验装置示意图

②试验步骤

a) 将试样装入渗透仓，高低压仓同时充水至规定水压力差 Δp ，通常规定压力差为 100kPa。这一过程应在装置浸泡在水中进行，以保渗透仓内为无气泡水；

b) 保持试样两侧水力压差 Δp 恒定，使试样充分润湿，直至渗流量稳定；

c) 测定一定时间 t 内通过试样法向的渗流量 V ，测定时间视具体试样而定，以保证所测渗流量的精确度为原则。（也可测定高压一侧的失水量）

d) 如需测定不同水力压差下的渗透系数，可改变压差。

e) 每个样品至少测定 3 个试样，以平均值做为试验结果。

③结果计算

渗透系数可按式 3-28 计算：

$$k = \frac{VT}{tA \cdot \Delta p} \quad (3-28)$$

式中：k——渗透系数，cm/s；

V——时间 t 内的渗流量，cm³；

T——试样厚度（试样压力 Δp 下），cm；

t——测定时间，s；

A——试样有效渗流面积，cm²；

Δp ——试样两侧水力压差（以水柱高计，按 1kPa \approx 10cm 水柱折算），cm。

④检验报告

a) 试样的完整信息（包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容）；

b) 按照规定要求提供相关试验指标。

6.4.2 特殊检测项目

密封膜的特殊检验项目主要是：密度、低温弯折性、低温伸长率、透气系数、尺寸变化率、耐静水压等。各试验项目的试验方法如下：

（1）密度检验

按《塑料密度和相对密度试验方法》（GB / T1033-86）的规定进行。

（2）低温弯折性检验

按《塑料低温对折试验方法》（HG2—161-65）的规定进行。

①检验要点

在低温下将试样弯折 180 度，测其即将破裂而未破裂时的温度。

②试样

a) 试样尺寸：长度 100 \pm 1mm，宽度 10 \pm 0.5mm；

b) 试样应无裂纹、气泡、以及其它缺陷。

③试验步骤

a) 在盛有工业乙醇的保温容器内，使其降温至所需温度为止，以后每隔一段时间加入少量干冰进行搅拌保持恒温，温度波动 \pm 1℃；

b) 将试样用夹具夹好平放于冷媒中，15 分钟后在冷媒中用重锤缓慢地在试样对折处压折 180 度；

c) 取出试样，在室温下直接观察破裂情况，然后改变温度，更换试样，重复上述试验，直到获得试样即将破裂而未破裂的温度为止；

d) 重复上述步骤两次，三次所得温度相差应不大于 3℃。

④试验结果

取三个试样中耐寒性最差值做为试验结果。

⑤检验报告

a) 试样的完整信息（包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容）；

b) 按照规定要求提供相关试验指标。

（3）低温伸长率检验

按《塑料低温伸长试验方法》（HG2—163—65）的规定进行。

①检验要点

将试样置于-5℃冷媒中，保持 5 分钟，然后在 7MPa 的应力下作用 5 分钟，观测其伸长值。

②试样

试样尺寸：长度 120mm，宽度为 $10 \pm 0.2\text{mm}$ ；

每组织纵向各不少于 5 条。

③试验设备

低温伸长试验在耐寒系数测定仪或其他类似仪器上进行。

④试验步骤

a) 按下述方法测出钢丝绳在试验时的伸长值，用重量约 15g 的钢片代替试样夹在夹具上，并在砝码盘上放上等于钢片重量的砝码，然后把 0.25kg 的荷重加在砝码盘上，记下钢丝绳的伸长，再加上 0.25kg 的荷重，并记下新的伸长，直到所加荷重等于 4kg 为止，并做出负荷伸长曲线；

b) 测量试样厚度，准确至 0.001mm，宽度准确至 0.1mm，各测量三点，取其算术平均值，并按应力为 7MPa 计算出试样截面积所需负荷值；

c) 将试样夹在夹具间，其有效长度为 $100 \pm 1\text{mm}$ ；

d) 把夹好的试样置于仪器的胶木筒内，呈伸直状态，调整零点；

e) 在 1 体积工业乙醇和 2 体积水的混合液中加入干冰，使其温度保持在 $-5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ；

f) 将装好的试样置于冷媒中，保持 5 分钟后，加载负荷，加荷 5 分钟读器试样的伸长值。

⑤结果计算

低温伸长率 ε （%）按式 3-29 计算：

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3-29)$$

式中：L0——试样原来的有效长度，mm；

ΔL ——试样在低温下的伸长值，mm。

试验结果以纵向（或横向）所有试样的算数平均值和最大最小值表示。

⑥检验报告

a) 试样的完整信息（包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时

间、代表数量等内容)；

b) 按照规定要求提供相关试验指标。

(4) 透气系数检验

按《塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法 压差法》(GB / T1038-2000) 的规定进行。

① 检验要点

a) 气体透气量——在恒定温度和单位压力差下，在稳定透过时，在单位时间内透过试样单位面积的气体的体积；

b) 气体透过系数——在恒定温度和单位压力差下，在稳定透过时，单位时间内透过试样单位厚度、单位面积的气体的体积；

c) 塑料薄膜或薄片将低压室和高压室分开，高压室充有约 10^5Pa 的试验气体，低压室的体积已知，试样密封后用真空泵将低压室内空气抽到接近零值。用测压计测量低压室内的压力增量 Δp ，可确定试验气体由高压室透过薄膜到低压室的以时间为函数的气体量，但其排除气体透过速度随时间而变化的初始阶段。

② 仪器

a) 透气室

由上下两部分组成，当装入试样时，上部为高压室，用于存放试验气体，下部为低压室，用于储存透过的气体并测定透气过程前后压差，以计算试样气体透过量。上下两部分均装有试验气体的进出管。低压室由一个中央带空穴的试验台和装在空穴中的穿孔圆盘组成，根据试样透气量的不同，穿孔圆盘下部空穴的体积也不同，试验时应在试样和穿孔圆盘之间嵌入一张滤纸以支撑试样。

b) 测压装置

高低压室分别有一个测压装置，低压室测压装置的准确度应不低于 6Pa 。

c) 真空泵

应能使低压室中的压力不大于 10Pa 。

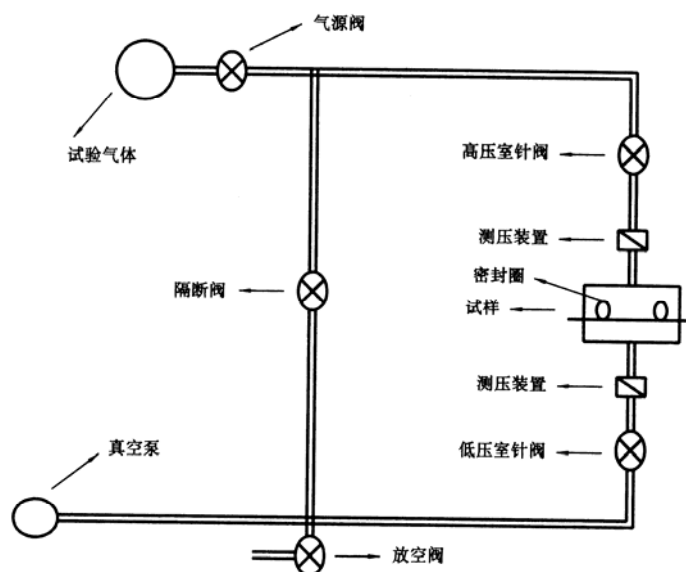


图 3-16 透气系数检验系统示意图

③试样

试样应具有代表性，应没有痕迹或可见的缺陷。试样一般为圆形，其直径取决于所使用的仪器，每组试样至少为 3 个。并在 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 环境下，干燥器中进行状态调节或按产品标准规定处理。

④检验步骤

- 测量试样厚度，至少 5 点，取算术平均值；
- 在试验台上涂一层真空油脂，若油脂涂在空穴中的圆盘上，应仔细擦净，若滤纸边缘有油脂，应更换滤纸（化学分析用滤纸，厚度 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ ）；
- 开启真空泵；
- 在试验台上的圆盘上放置滤纸后，放上经状态调节的试样。试样应保持平整，不得有褶皱，轻轻按压使试样与试验台上的真空油脂良好接触，开启低压室针阀，试样在真空下应紧密贴合在滤纸上，自上盖的凹槽内放置 O 形圈，盖好上盖并紧固；
- 打开高压室针阀及隔断阀，开始抽真空直至 27Pa 以下，并继续脱气 3h 以上，以排除试样所吸附的气体和水蒸汽；
- 关闭隔断阀，打开试验气瓶和气源开关向高压室充试验气体，高压室的气体压力应在 $(1.0 \sim 1.1) \times 10^5\text{Pa}$ 范围内，压力过高时，应开启隔断阀排出；
- 关闭高、低压室排气针阀，开始透气试验；
- 为剔除开始试验时的非线性阶段，应进行 10min 的预透气试验，随后开始正式透气试验，记录低压室的压力变化值 Δp 和试验时间 t ；
- 继续试验直到在相同的时间间隔内压差的变化保持恒定，达到稳定透过，至少取 3 个连续时间间隔的压差值，求其算术平均值，以此计算该试样的气体透过量及气体透过率。

⑤结果计算

a) 气体透过量 Q_g 按式 3-30 进行计算:

$$Q_g = \frac{\Delta p}{\Delta t} \times \frac{V}{S} \times \frac{T_0}{p_0 T} \times \frac{24}{p_1 - p_2} \quad (3-30)$$

式中: Q_g ——材料的气体透过量, $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa}$;

$\frac{\Delta p}{\Delta t}$ ——在稳定透过时, 单位时间内低压室气体压力变化的算数平均值,

Pa/h ;

V ——低压室体积, cm^3 ;

S ——试样的试验面积, m^2 ;

T ——试验温度, K ;

$p_1 - p_2$ ——试样两侧的压差, Pa ;

T_0, p_0 ——标准状态下的温度 (273.15K) 和压力 ($1.013 \times 10^5 \text{Pa}$)。

b) 气体透气系数 P_g [$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$] 按式 3-31 进行计算:

$$P_g = \frac{\Delta p}{\Delta t} \times \frac{V}{S} \times \frac{T_0}{p_0 T} \times \frac{D}{p_1 - p_2} = 1.1574 \times 10^{-9} Q_g \times D \quad (3-31)$$

式中: P_g ——材料的气体透过率, [$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$]

$\frac{\Delta p}{\Delta t}$ ——在稳定透过时, 单位时间内低压室气体压力变化的算数平均值,

Pa/s ;

T ——试验温度, K ;

D ——试样厚度, cm 。

c) 对于给定的仪器, 低压室体积 V 和试样的试验面积 S 是一常数;

d) 试验结果以每组试样的算术平均值表示。

⑥检验报告

a) 试样的完整信息 (包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容);

b) 按照规定要求提供相关试验指标。

(5) 尺寸变化率检验

按《塑料薄膜尺寸变化率试验方法》(GB / T12027-1989) 的规定进行。

①测量仪器

精度为 0.1mm 的量具。

②试样

a) 试样准备、尺寸及数量

使薄膜处于平展状态，沿着其宽度方向均匀裁取试样，试样形状为 100mm×100mm 正方形，数量为每组至少 3 片。

在试样两对应边的中点，划出两条垂直的标线。

b) 试验状态调节

试样在 23±2℃ 条件下状态调节不少于 4h。

③检验步骤

a) 在状态调节环境下测量试样原始标线间尺寸；

b) 在试样置于相应的试验条件下保持一定时间；

c) 在状态调节环境下测量试验后试验标线间尺寸。

④结果计算

尺寸变化率按式 3-32 计算：

$$L = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \quad (3-32)$$

式中：L₁——试验后试样标线间尺寸

L₀——试验前试样原始标线间尺寸。

试验结果以每组试样试验结果的算术平均值表示。

⑤检验报告

a) 试样的完整信息（包括生产厂家、产品规格、工程名称、委托单位、委托时间、代表数量等内容）；

b) 按照规定要求提供相关试验指标。

（6）耐静水压检验

按《土工合成材料 非织造复合土工膜》（GB/T17642-1998）的附录 A 进行。

①原理

在塑料薄膜两侧压力水头达到一定值后，薄膜就会破裂。逐级增加试样两侧水力压差，并保持一定时间，当渗流量急速增加，表明试样受到破坏，也就获得了试样的耐静水压值。

②试验仪器

同 6.4.1（7）渗透系数检验。

③检验步骤

a) 调节水力压差达 0.1MPa，如可估计出样品耐静水压的一般范围，则可直接将水力压差加到该范围下限；

b) 保持上述压力至少 2h，观察渗流管水位变化情况，如水位基本稳定（渗流量为零），则以 0.1~0.2MPa 为级差逐级增加压力，每级均保持 2h，直至出现渗流量

快速增加现象，表明试样已出现破裂，此前一级压力做为耐静水压（MPa）；

c)如需判定样品是否达到某一规定耐静水压值，则可直接加压到此压力并保持 2h，判断其是否符合要求；

d)每个样品至少测定 3 个试样，以最低值做为样品的耐静水压。

第四篇 《塑料排水施工与验收》

本篇主编单位：南京水利科学研究院

天津港湾工程研究所

本篇主要起草人：

第1节 郑培成（南京水利科学研究院）

第2节 郑培成（南京水利科学研究院）

白植悌（广州航道局）

陈富强（浙江围海工程有限公司）

第3节 郑培成（南京水利科学研究院）

白植悌（广州航道局）

张亚明（深圳亚明塑料制品厂）

第4节 张敬（天津港湾工程研究所）

苗中海（天津港湾工程研究所）

孙万禾（天津港湾工程研究所）

第5节 张敬（天津港湾工程研究所）

苗中海（天津港湾工程研究所）

孙万禾（天津港湾工程研究所）

本篇统稿人：张敬（天津港湾工程研究所）

本篇审稿人：叶柏荣（上海三航工程设计院）

1 总则

1.1 塑料排水加固软土地基，在理论上和实践上都已经比较成熟，但由于我国地域广阔，各地的软土土性存在一定的差异，各施工单位的施工设备参差不齐，施工人员的管理水平差别很大，要保证每个工程都取得满意的效果，符合设计的要求，必须严格工程的施工管理。为了使塑料排水加固软土地基的施工技术具有先进性、可行性、经济合理性和确保施工质量、规范化施工管理，制订本篇。

1.2 本篇内容主要针对使用塑料排水材料进行软土地基加固工程的施工。目前在软土地基加固中使用最多的塑料排水材料为塑料排水体，特别是用于软土地基的竖向排水通道，非塑料排水材料的运用已日趋减少，无论使用何种排水材料，其设计原理、施工方法基本相同，因此非塑料排水材料用于软土地基加固工程的施工，也可参照本篇内容。

1.3 随着我国国民经济的飞速发展，综合国力的显著提高，国民对保护生态环境的意识逐渐增强，因此，塑料排水加固技术的使用应该首先保证不对周边环境和人民的生、产、生活、生命、财产、生态环境等造成影响为基本原则，并严格执行安全操作规程，确保安全生产、文明生产。

1.4 为了确保施工效果，塑料排水材料使用前的检测十分重要。排水材料在使用前除了应具有生产厂家的合格证明外，施工单位还应根据相关的规程要求进行复检，并由建设单位、监理单位组织人员进行现场抽样，送至具有相关资质的检测单位进行检验，由检测单位出具合格的检测报告后，相关排水材料才可投入使用。

1.5 采用塑料排水加固软土地基，可参照本篇内容执行，但必须符合现行的相关国家或行业标准，如《塑料排水板质量检验标准》(JTJ/T257-96)、《塑料排水板施工规程》(JTJ/T256-96)等。

2 施工设备

2.1 塑料排水体陆上施工设备

陆上塑料排水体的打设设备可以是多样化的设备，只要能保证施工质量、方便施工，原则上都可以使用，打设塑料排水体的施工机械的性能，应满足下列要求：

(1)塑料排水体施工设备性能总体上应符合下列要求：

- ①设备的接地压力（包括采取措施后）能适应软弱地基承载力的要求；
- ②打设导架的高度和打设能力，能满足设计打设深度的要求；
- ③整套设备移动灵活、操作方便、功效高、定位迅速准确、容易控制；
- ④设备安全、可靠，能平稳操作；

有特殊要求的工程或有条件的施工单位应具备自动记录打设的全过程设施，目前，国产设备在打设全过程记录方面与国外相比还有很大的差距，因此有关科研施工单位应在这方面开展研究推广工作。

(2)打设用的套管，其断面可以是扁形、菱形或圆形。套管的强度及刚度要满足打设深度和地基强度的要求。套管断面尺寸在满足排水材料可方便进出的条件下，应尽量小，以减少对地基土的扰动。

(3)打设动力可采用振动式或液压式。施工单位应根据施工条件选择合适的打设动力。

(4)套管下端的管靴处可设置夹头，以保证在打设时，能方便的夹住排水体。当排水体送至打设所需深度，其能方便地松开排水体，并将排水体留在所需深度处，而其又可随套管返回地面。套管下端夹头也可采用一次性夹头，夹头和排水体同时留在土中。

(5)为了防止回带，对于高压缩性、强度低的软土层，可在套管端部楔形收口的基础上增加 50cm 左右的扁口段以利于拔管时快速回复抱带，在套管扁口的工具式封头板前焊接刀口，加工成特殊的打设头（如图 4-1）。

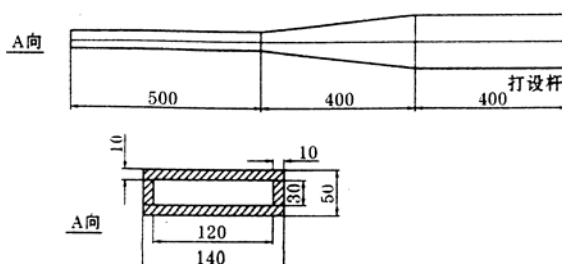


图 4.1 经改制后的打设头（引自《中国港湾建设》2005 年第 4 期刘亚平等）

(6)施工机械的行走部分有步履式、履带式、轨道式等几种，施工单位可根据工程情况选用。

(6)裸打。在一些极软的地基中打设排水体，由于地基强度极低，可以不需要导架和套管，直接将排水体插入地基中，称裸打法。此种施工方法，打设深度不宜超过 5m，若超过 5m，排水体的垂直度难以保证。

裸打过程中应确保排水体无损伤。是否采用裸打，主要取决于地基表面 1~2m 范围内地基强度，且应采用轻型机械。

在极软的地基上施工，施工单位应采取相应的施工措施，如铺设垫层、垫板、采用轻型设备、排水材料的堆放也不宜过高等。

2.2 塑料排水体水上施工设备

塑料排水体的水上施工设备对排水体的打设质量和工期影响很大，应引起技术人员的高度重视。技术人员施工前应根据施工区域的土质情况、水流、水深等自然条件选择相适应的施工船舶，并以方便移动、准确定位、施工效率高等为重点，结合当地的工程经验决定是否采用水下剪体等设备。水上打设竖向排水体的施工设备应符合下列要求：

(1) 船机设备应符合下列要求：

①宜采用专用打设船或经改装的专用打设船，船上可安装一套或多套打设导架；

②有一定的抗风浪能力；

③在较大的流速中具有正常施工的能力；

④有完善的定位功能。

(2) 打设导架高度和套管的长度应满足设计提出的打设深度要求。

(3) 打设用的套管，其断面可以是扁形、菱形或圆形。套管的强度及刚度要满足打设深度和地基强度的要求。

(4) 打设使用的动力可以选用振动式或液压式。

(5) 可采用水下自动剪断装置或其它的剪断方式。

(6) 套管管靴处夹头可设置自动开关，当排水材料被剪断后，其能自动关闭，并夹住排水体随套管进入土中。在达到预定打设深度后，夹头可以随套管的上拔自动打开，留下排水体。

(7) 打设导架在船上能方便移动，或多套打设导架可以同时打设，保证船只一次泊位后，可打设多根排水体。

2.3 水平排水体施工设备

水平排水体也称为水平排水垫层，其与竖向排水体相连通，在排水加固过程中起水平向排水作用。在一些地基强度极低的地基上进行水平排水垫层铺设施工，应采用人工作业。采用机械作业的，也只能是轻型机械，如湿地推土机等，设备的接地压力应小于 50kPa。

2.4 堆载预压施工设备

堆载预压的堆载料一般使用比较多的是土、砂石等材料，这些散粒材料在预压区必须要有计划有步骤的按照设计要求进行堆载，堆载施工设备主要有推土机、钩

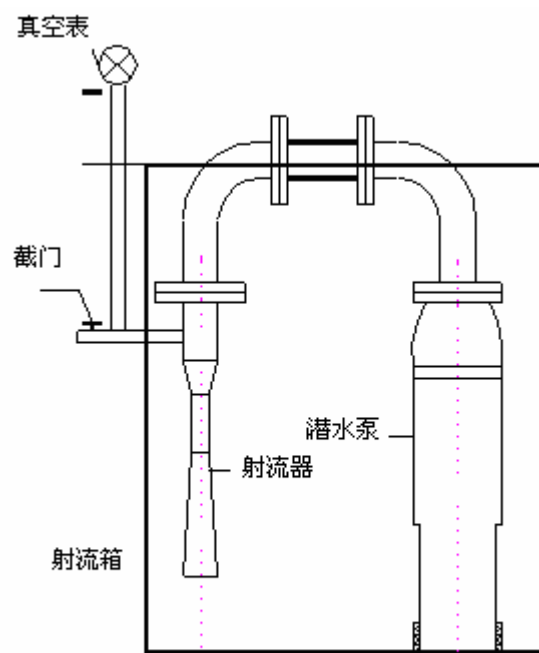
机（反铲）、自卸汽车、皮带运输机等，本手册推荐采用的施工设备主要包括：

- ①90kw 履带式推土机；
- ②2m³ 轮式装载机；
- ③1m³ 液压挖掘机；
- ④8 T 自卸汽车；
- ⑤10 T 震动压路机。

工程中采用何种设备，施工单位应根据实际情况自行选定，但在第一级堆载作业时应使用轻型施工设备。

2.5 真空预压设备

真空预压法是在地基表面铺设密封膜，通过抽真空设备抽真空，使膜下排水通道内形成负压，加速地基中孔隙水的排出，从而使土体加速固结、强度提高。常用的抽真空设备主要是射流泵和电源控制箱。其中射流泵一般由射流器、射流箱和潜水泵（或离心泵）等组成，其构造参见下图（由离心泵组成的射流泵，离心泵放置在射流箱外）；电源控制箱可根据射流泵数量进行配置。



射流泵（潜水泵）构造示意图

3 施工工艺

3.1 竖向塑料排水体陆上施工

3.1.1 施工准备

(1) 施工人员应明确设计意图及设计的各项要求, 初步了解施工场地的各种施工条件及影响施工正常进行的各种因素, 在编写施工组织设计之前找出合理的解决办法, 施工技术人员要熟悉掌握以下内容:

- ①熟悉设计文件和明确设计交底内容;
- ②明确工程的测量控制点和基准点, 排水体的打设深度、外露长度和打设范围;

- ③熟悉现场工程地质情况, 特别是透水层和透气层的位置、深度和分布范围;
- ④掌握地面障碍物和地下管线的分布情况;
- ⑤了解工程周边易受影响的部位和构筑物。

(2) 施工人员应根据设计要求编制施工组织设计, 施工组织设计的内容应包括:

- ①确定施工设备型式和数量;
- ②划分施工区段;
- ③布设进出场道路和施工作业路线, 以及水电管线和排水管沟等;
- ④确定排水材料堆放区;
- ⑤确定施工的安全措施和环保措施。

(3) 施工现场应做好如下准备工作:

- ①平整场地, 并测量施工现场的原地面高程;
- ②地基资料不全面时, 应补充获取新的数据, 如补充勘探检验点, 增加地基土的室内外试验等;
- ③清除施工作业区内周边和地下有影响的障碍物;
- ④在现场按施工图确定作业区段;
- ⑤不能满足施工机械接地压力的地基, 要先对地基表层进行处理;
- ⑥配合检测单位, 做好现场原位监测仪器的埋设和保护、检测。
- ⑦做好施工组织设计中安排的其它有关工作。

3.1.2 施 工

(1) 施工单位按设计要求铺设砂垫层或砂沟, 并按设计图纸尺寸现场放样, 确定需设置排水体的位置点, 同时做好标记。

(2) 打设垂直排水体应注意下列几点:

- ①确保打设导架和套管的垂直度满足相关要求;
- ②排水体打设点与地面标识点的对中偏差应符合设计或相关规定的要求;

③施工单位应采取板长自动记录装置或其他可简便有效的办法确定打设深度；

④打设中出现回带，要在记录中标注，超过允许范围要补打；

⑤露出地面的排水体剪断时，应保证有足够的外露长度；

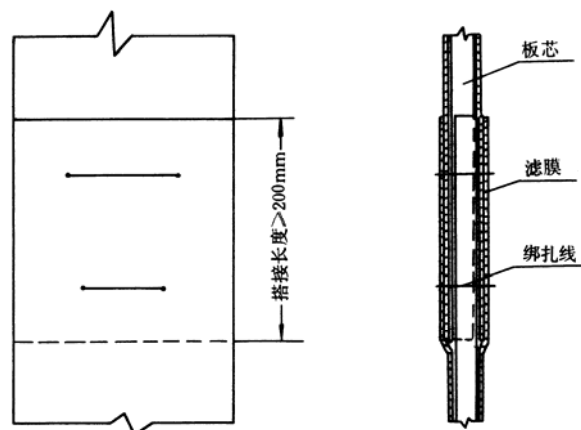
⑥一次打设完成后，施工人员应认真填写施工记录，并及时用砂料填满打设时在排水体周围形成的孔洞，经现场监理确认合格后，方可移机至下一次打设；

⑦一个施工作业区段打设完并验收合格后，应将外露部分埋入砂垫层或砂沟中。

(3) 用于水平排水的排水材料，铺设位置要准确，厚度、宽度、长度要足够，连接处要牢靠。

(4) 施工过程中，严禁排水体出现扭结、断裂和滤膜破损等现象出现，有此种情况出现的排水材料，要停止使用。

(5) 接头处理，当塑料排水体需要接长时，应先将塑料排水体的滤膜剥开，使芯体直接连接，再将滤膜套在一起，接长方法参见下图。



排水体接长应符合以下要求：

①将两根待接塑料排水体芯对插搭接，并将滤膜包好、裹紧后，用细铁丝或塑料绳穿孔牢固，亦可用相同连接强度的大号钉书钉钉接；

②接长时在塑料排水体上扎穿的孔眼不在芯体的同一条排水槽中；

③搭接长度不小于 200mm。

“接长体”的施工应符合下列规定：

①每根“接长体”只有一个接头；

②“接长体”分散使用，相邻排水体无接头；

③“接长体”的使用量不超过总打设根数的 10%。

(6) 用裸打法施工，应预先进行试打，检测打设深度、垂直度和排水材料是否会破损。能满足设计要求时，方可大面积施工。

3.2 竖向塑料排水体水上施工

3.2.1 施工准备

- (1) 施工技术人员明确设计要求和全面了解掌握现场施工条件：
 - ①熟悉设计文件和设计交底内容；
 - ②明确工程的测量控制点和基准点；
 - ③了解施工水域的潮汐、水流、流速和波浪等水文资料和风力、风向等气象资料，及岸坡、水底的地形地物情况；
 - ④了解工程地质情况；
 - ⑤了解交通部门、地方政府对船舶使用的有关法律、法规文件。
- (2) 施工人员应根据设计要求编制施工组织设计，施工组织设计的内容应包括：
 - ①确定施工设备形式和数量；
 - ②划分施工区段；
 - ③设计好施工打设方案和船舶运行路线；
 - ④确定好排水材料堆放点；
 - ⑤确定施工安全措施和环保措施。

3.2.2 施 工

- (1) 打设船进入施工作业区，按设计图纸位置进行船只定位，并锚泊固定船位。
- (2) 调整船上的打设导架的垂直度，进入自动对位系统，对准打设点。
- (3) 下沉套管，排水材料随套管一起至打设所需深度，再拔起套管。
- (4) 套管底端出泥面后，留出足够的外留长度，再剪断排水材料。
- (5) 施工人员应认真填写施工记录，确认无误，由监理人员认可质量合格，方可移机进行下一次打设。
- (6) 打设过程中，严禁排水体出现扭结、断裂和滤膜破损等现象，有此种情况的排水材料，要停止使用。

3.3 塑料排水材料的选用与储存

- (1) 塑料排水材料的选用必须符合设计要求和相关产品的质量要求。
- (2) 选用的塑料排水材料必须有出厂的合格证明。货到现场后，应由监理人员按规定进行抽样重新检验确认，通过后方可使用。
- (3) 现场要设置专门存放点。存放时要防雨淋、日晒，特别是要避免紫外线照射。当存放期超过1年或存放期未到1年，已发现质量疑点，应再次进行抽检，确认质量合格后方可使用。

3.4 水平排水体施工

水平排水体一般采用透水性好的中粗砂，在砂源缺乏的地区，也可因地制宜采用其它符合设计要求的透水材料，如级配好的碎石、适宜的土工合成材料、土工网垫等。无论选用何种材料，做为水平排水通道，其必需具备渗透功能，并能起到一定程度的反滤作用，防止细的土颗粒渗入垫层孔隙中堵塞排水通道，影响排水效果。水平排水体的施工可采用机械施工或人力铺设，在极软的地基上施工，施工单位应采取相应的施工措施，要注意保证地基稳定。

3.5 堆载预压施工

3.5.1 施工准备

堆载实施前，施工单位应依据设计要求编制详细的堆载预压施工组织设计，并严格依照施工方案施工。施工组织设计方案应包括以下内容：

- (1) 根据设计技术要求，制定详细的堆载计划，堆载计划的内容包括：
 - ①投入的设备数量；
 - ②堆载范围和总的堆载材料用量；
 - ③每日需用的堆载材料用量；
 - ④确定堆载材料的来源地，暂时存放区，布设进出场道路和施工作业路线；
 - ⑤确定堆载料的单位体积重量。
- (2) 绘制堆载上料顺序图，明确坡道布置、施工车辆走向。
- (3) 确定卸载顺序，材料去向。
- (4) 堆载预压过程中对周边建筑物的影响及采取的措施。

3.5.2 施工

- (1) 堆载料卸车时应采用占进法施工，一边进料，一边推平至预定的高度。
- (2) 在软土地基上堆载作业时，第一级荷载宜采用轻型机械或人工作业，并严格控制每级荷载的堆载高度以及加荷速率，保证各级荷载下的地基稳定性，同时避免局部堆载过高而引起的局部地基失稳。
- (3) 堆载过程中施工单位应注意观察堆载区域地基及建筑物的变化情况，同时应设置一定的观测点，有异常时应立即停止作业，采取措施。

3.6 真空预压施工

3.6.1 施工准备

- (1) 施工前，施工技术人员应初步了解施工场地的各种施工条件以及影响施工

正常进行的各种因素，特别是地质条件情况。

(2) 编写施工组织设计文件，施工组织设计文件应包括以下内容：

- ①工程概括说明；
- ②划分实施区段
- ③施工进度计划、技术措施、安全措施、质量措施；
- ④投入的设备数量。

(3) 熟悉掌握工程地质情况，特别是透水（气）层的位置、埋深和范围，必要时提出详细的补充勘察要求。

(4) 了解周边建筑物、地下管网、架空电线分布情况，提出安全措施及监测方案。

3.6.2 施工

(1) 滤管铺设。滤管的材料可以采用 $\Phi 50\sim 80\text{mm}$ 的塑料管，塑料管上均匀打间距10cm左右、直径1cm左右小孔，并用无纺布将小孔包裹住，保证小孔有良好的透水性。滤管埋入排水垫层中，两相邻滤管之间应用软接头并连接牢固，以适应抽真空作业过程中地基的变形和防止接头脱开。

(2) 开挖密封压膜沟。压膜沟可根据需要，选择机械挖沟或人工挖沟。压膜沟的深度必须超过加固区边线的可透水土层，一般情况可设置为0.6~0.8m。

(3) 密封膜铺设。每个加固单元铺设的密封膜不得少于2层，具体层数可由设计确定。铺膜前应认真清理平整排水垫层，拣除贝壳及带尖角石子，填平打设竖向排水体时留下的孔洞，每层膜铺好后应认真检查及时补洞，待其符合要求后再铺下一层。密封膜的铺设应在白天进行，按顺风向铺设，且风力不宜超过5级。铺设时密封膜的展开方向应与包装标明的方向一致。采用机械挖压膜沟时，密封膜长和宽应超过加固区两侧边线，且不应少于3~4m。密封膜应埋入到压膜沟内的不透水的粘土层中。压膜沟的回填料应采用不含杂物的粘性土。压膜沟应回填密实。

(4) 真空设备安装。射流泵在安装前应进行试运转检查，空抽时必须达到98kPa以上的真空吸力，安装时要保持平稳，且与滤管连接牢固后才可接通电源。

(5) 覆水。密封膜埋入压膜沟后，基本确认密封膜无孔洞时，且真空度达到50kPa后，可在密封膜上覆水。加固区膜下真空度在7~10天内应达到80kPa以上，否则应查找原因及时处理。

3.7 真空联合堆载预压施工

施工准备和施工中应做的工作和注意事项见真空预压和堆载预压中的有关要求，当真空度达到设计要求并稳定后再将所需堆载加上，并继续抽气，同时在堆载时应做好密封摸的保护。

4 施工质量及管理

4.1 竖向排水体

4.1.1 施工准备

竖向排水体打设之前，施工单位应制定详细的施工组织计划，报请设计、建设单位、监理单位审批通过后进行施工。施工单位应配备足够的施工人员并做好施工记录，施工记录的内容应包括：

- ①打设点位编号；
- ②平面位置偏差、垂直度；
- ③打设深度；
- ④回带情况；
- ⑤打设时间；
- ⑥施工、记录人员等。

水上施工时，施工前还应做好以下准备工作：

- ①船舶应具有一定的抗风浪能力，保证施工过程中在允许的风浪条件下不影响正常施工；
- ②船舶锚机的拉力和性能确保船舶移动灵活、定位准确、定位后船舶不会发生晃动、排水体打设点位在允许的偏差范围内；
- ③船舶一次定位后，可以移动打设机械打设多根排水体；或多套打设机械同时打设多根排水体。
- ④施工人员应熟悉设计文件、施工水域的潮汐、水流、波浪、风向、风速、地形地物等情况，并在施工区域附近设置明显的水尺。

4.1.2 施工质量

（1）打设间距及深度

竖向排水体打设之前，施工单位应根据设计和施工图纸的内容和要求，调整打设机具。

用全站仪或经纬仪、钢尺确定打设区域控制角点位置，设置边桩，然后用钢尺放出每个竖向排水体的打设点位置，并做好标识。布点时应以控制角点为参照点，一次拉尺，一次设置多点标识。

施工单位可以在打设套管或打设架上设置明显的深度标记，经现场监理工程师确认后做为打设深度控制点。有条件的单位可以配备打设深度自动记录仪器或选择可测深的排水体产品。在套管上做明显标记，标出排水体打设深度位置，是最常使用的一种深度计量办法，如采用自动记录仪进行深度测量的，应确保自动记录仪能正常工作。竖向排水体的间距、打设深度应满足设计的要求，每一班组施工人员施

工前应仔细核对本班组施工的排水体位置、数量等是否与设计图纸相符，否则应重新布点。

水上排水体的打设间距通过机具在船舶上的移动确定。排水体的打设深度可以通过水尺确定。

(2) 回带长度

排水体打设时应严格控制回带现象，排水体的回带长度不应超过 500mm，且发生回带的排水体数量不宜超过打设总数的 5%，回带现象集中的区域应重新打设，施工单位应及时查找原因，制定切实可行的防止回带办法。目前许多施工单位都积累了不少经验来解决回带问题，如灌水法、震动排泥法、加板靴法、扁口段法等。

(3) 破损

塑料排水体打设时应防止排水体打设过程中发生扭结、断裂和滤膜撕破等现象。

(4) 垂直度

施工人员应随时检查、调整打设套管的垂直度，使垂直度控制在 $\pm 1.5\%$ 。影响排水体打设垂直度的因素比较多，如打设船机的安装机位不正、地形起伏不平、地基表层土软造成打设机具不水平、船舶搁浅等。施工人员在施工开始前应调整好打设机具，平整场地，在陆上软弱区域准备充足的垫木、钢体等，打设时将其垫入打设机下，以调整打设套管的垂直度。如表层土太软，应先进行表层处理，然后进行打设塑料排水体。

(5) 原材料

由于各生产厂家在塑料排水体生产时选用的材料有较大的不同，甚至于同一厂家的同一条生产线不同时间或不同阶段生产的塑料排水体的质量都有较大差异。因此，塑料排水体的抽样应具有良好的代表性。同时塑料排水体打设前的现场临时存放也是个非常容易忽视的环节，施工单位和监理人员应引起重视。

4.2 水平排水体

水平排水体排水垫层以中粗砂为宜，其应具有渗透系数大、含泥量小、杂质少的特点，且做为排水垫层的砂样必需经过相关检测单位进行检测合格后方可投入使用。排水垫层铺设厚度应满足设计或相关规范的要求。

排水垫层的含泥量不应超过 5%，且无杂质和有机质混入，其渗透系数宜大于 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。

4.3 堆载预压

4.3.1 堆载高度及加荷速率

预压荷载的顶面范围应等于或大于拟加固场地范围，底面积也应适当扩大，确

保地基得到均匀加固。

堆载预压总荷载不应小于设计总荷载，并应考虑由于地面标高不够和预压沉降使预压后地表低于设计标高而回填或补填的土重，折算堆载高度误差应小于 $\pm 5\%$ ，堆载施工过程中应对每级堆载料进行重度试验，并根据实际重度调整堆载高度。有条件的情况下，应进行总应力的测试。

对变形要求较高的地基应进行超载预压，超载大小应根据限定的预压时间由要求消除的变形量通过计算确定或根据设计要求确定。

4.3.2 堆载施工监测

堆载预压工程在加载过程中应进行竖向变形、边桩水平位移、孔隙水压力等项目的监测，根据监测资料控制加荷速率。堆载预压施工前应制定监测大纲，绘制监测仪器的平面位置图剖面图，仪器精度应满足要求，仪器埋设完成后，应绘制仪器埋设竣工图。

多年来的实践经验表明，一般情况下，天然地基的最大竖向变形量每天不宜超过 $10\sim 20\text{mm}$ ，边桩水平位移最大值每天不宜超过 $5\sim 10\text{mm}$ ，超孔隙水压力值 Δu 和外加总荷载 Δp 的比值宜为 $\Delta u / \Delta p \leq 0.5\sim 0.6$ 。监测人员应及时分析各项监测数据，绘制指标变化趋势线，如出现异常情况，及时通报并采取相应措施。特殊情况下单项指标异常时，应综合分析其它观测数据，并经充分论证可行后，方可正常施工，否则应采取相应措施。

4.4 真空预压

4.4.1 真空度

真空预压的关键技术在于保证密封膜下的真空度在预压期间始终维持在设计要求的范围内。这就要求在施工过程中要仔细做好每一个施工环节，重点包括以下几个方面：

(1) 塑料排水体打设完成后应将体头部分及时埋入砂垫层中，清理砂垫层，清除贝壳及表面带有尖角的石子及硬物、填平打设排水体时留下的孔洞，将砂垫层表面整平。

(2) 滤水管应用透水性较好的土工布包好，滤水管之间宜用软接头并连接牢固，防止地基变形不均匀时，滤水管脱开，导致在负压作用下砂土进入滤水管中。

(3) 周边密封压膜沟底应挖到粘土层，进入该层 $0.6\sim 0.8\text{m}$ ，清理沟中杂物，使密封膜完整埋入粘土中。

(4) 铺膜作业时应组织严密并充分考虑气象条件，指挥人员应合理安排铺膜作业人员，防止铺膜过程中无序施工导致密封膜变形或撕裂。每层密封膜铺好后要认真检查、及时补洞，待符合要求后再铺下一层。

(5) 射流泵安装前应逐台检查真空泵的工作效率, 每台真空泵的真空吸力空抽时应达到 98kPa 以上, 铺膜完成后应立即安装真空泵, 安装一台, 开启一台, 使密封膜尽早吸附在地基上。

(6) 抽真空过程中应认真做好射流泵、膜下真空度以及各种监测仪器的监测记录, 如出现异常, 及时分析, 采取相应措施, 以免影响最终加固效果。当真空预压达到设计要求的技术指标后停止抽真空, 进行加固效果的检验和评价。

4.4.2 施工监测

真空预压施工前应制定监测大纲, 绘制监测仪器平面布置图、剖面图以及仪器埋设竣工图。

真空预压施工期间应进行真空度、地面沉降、深层竖向变形、孔隙水压力等项目的监测, 根据监测资料了解施工进度以及加固区内土体改善情况, 为真空预压卸载及加固效果评价提供依据。真空预压加固区周边有建筑物时, 还应进行深层侧向位移监测和地表边桩位移监测。

4.5 真空联合堆载预压

真空联合堆载预压的堆载施工应严格按照设计分级要求和密封膜保护措施进行。在进行真空联合堆载预压施工时, 最重要的工作是必需做好密封膜的保护。堆载施工之前, 应仔细检查密封膜, 并按设计要求做好膜的保护。通常的办法是在密封膜上铺一层规格为 $150\sim 200\text{g/m}^2$ 的无纺土工布, 土工布上由人工铺设一层厚约 100mm 的砂, 才可采用机械进行有序合理的堆载作业。加载时加载机械下面应有足够厚度的填料, 防止机械荷载震动, 损坏密封膜。

第一级堆载施工时宜采用人工铺填, 并应避免堆载料中掺入较大石块、钢筋等尖硬堆载料, 防止堆载料砸破或刺破密封膜。

同真空预压和堆载预压一样, 真空联合堆载预压的施工也应进行地面沉降、深层竖向变形、孔隙水压力、深层侧向位移、边桩位移等监测。同时堆载施工过程中应加强对膜下真空度的监测工作, 防止地基失稳破坏或密封膜拉裂导致真空度下降。

5 验收标准

5.1 竖向排水体

5.1.1 抽查施工记录, 施工记录应完整无缺, 字迹清楚。

5.1.2 检查塑料排水体自检、抽检记录, 应由具有相应资质的单位出据的合格证。

5.1.3 打设的允许偏差、检验数量和方法见下表。

竖向排水体打设允许偏差、检验数量和方法

序号	项目		允许偏差(mm)	检验单元和数量	单元测点	检验方法
1	平面位置		± 70	每根排水板(抽查10%)	1	用经纬仪、拉线和钢尺量纵横两个方向, 取大值(水上: 打设时测量套管位置和船位)
2	砂垫层以上外露长度	陆上	≥ 100	每根排水板(陆上逐根检查, 水下抽查3%)	1	用钢尺量
		水下	≥ 200			
3	垂直度		$\pm 1.0\%$	每根排水板(抽查10%)	1	用经纬仪、吊线和钢尺量打设套管的倾斜度

5.2 水平排水体

5.2.1 砂料质量检验。做为水平排水体材料的砂的规格和质量必须符合设计要求和规范规定。按施工分区进行检验单元划分, 或是以每一万平方米的加固面积为一检验单元, 每一检验单元的砂料检验数量应不少于3组。

5.2.2 对有密实度要求的垫层, 一般应振动密实, 并按设计要求进行现场密实度检验。

5.2.3 其它材料的水平排水体的检验可参照相应规范或产品生产标准进行。

5.2.4 砂垫层允许偏差、检验数量和方法见下表。

砂垫层允许偏差、检验数量和方法

序号	项目		允许偏差(mm)	检验单元和数量	单元测点	检验方法
1	顶面标高	水下	± 300	每个断面(5~10m一个断面, 且不少于三个断面)	2~4m一个点且不少于三个点	用测量水砣检查
		陆上	+30 -20	每处(20m ² 一处)	1	用水准仪检查
2	陆上砂垫层厚度		$\pm h/10$	每处(100m ² 一处)	1	挖坑、用钢尺量

注: ①h为砂垫层厚度; ②水下砂垫层只检验标高。

5.3 堆载预压

5.3.1 堆载预压必须按设计分级要求进行堆载作业, 并同时加强现场观测。

5.3.2 堆载分级荷载和总荷载应符合设计规定, 且分级荷载的高度偏差不应大于本级荷载折算高度的5%, 最终堆载高度不应小于设计总荷载的折算高度。

5.3.3 堆载分级堆高结束后应在现场进行重度检测, 检测数量可以每1000平方米为

一组，每组 3 个点。

5.3.4 堆载高度应采用水准仪检查，每 25 平方米一个点。

5.3.5 堆载的卸载宜按设计要求分级进行，卸载过程中应观测地基的回弹情况。

5.3.6 卸载后应对场地进行整平，其平整度应满足设计要求。

5.4 真空预压

5.4.1 真空预压膜下真空度应大于或等于设计值。

5.4.2 抽气过程中每 2 小时应对所有射流箱上真空度、膜下真空度进行检查，并做好相应记录。

5.4.3 施工结束后，抽查施工记录，施工记录应完整无缺，字迹清楚。

5.4.4 使用的计量器具应具有检验或检定合格证明，安装前应逐个检查，并做好相应记录，以备随时查验。

5.4.5 抽真空结束后应观测地基的回弹情况，并应尽快清理场地，必要时进行适当回填，清除塑料膜、滤管等，平整场地，重新碾压密实。其标高及平整度满足设计要求。

5.4.6 将压膜沟内软土进行换填处理，分层碾压密实，进行密实度检验。

5.5 真空联合堆载预压

有关要求同真空预压和堆载预压，预压结束后视预压情况决定塑料膜、滤管等是否清除。

5.6 预压卸载标准

地基预压加固的固结度、沉降速率总沉降量等指标达到设计要求以后，预压加固施工才能结束。通常可以根据现场沉降监测资料、孔隙水压力监测资料等计算施工过程中的地基固结度，并根据连续数天的地表实测沉降速率是否满足设计要求做为卸载依据。

5.7 预压加固效果检验

采用排水预压加固地基，在地基预压加固前以及加固后，应对地基进行原位十字板剪切试验和现场钻探取原状土进行室内土工试验，每一加固区内的十字板剪切试验孔、钻探取土孔加固前后分别不少于 2 个。必要时，在加固后进行现场载荷试验。并应同时满足设计检验要求。

附：全书主要参考文献：

- 1.《地基处理技术手册》编写委员会.地基处理手册,北京:中国建筑工程出版社,2000
- 2.南京水利科学研究院土工研究所.土工试验技术手册,北京:人民交通出版社,2002
- 3.岩土工程勘察规范.建设部,GB50021-94
- 4.建筑地基基础设计规范.建设部,GBJ7-89
- 5.港口工程地基规范.交通部,JTJ250-98
- 6.岩土工程手册.北京:中国建筑工程出版社,1994
- 7.公路软土地基路堤设计与施工技术指南(征求意见稿).中国工程建设标准化协会公路工程委员会,2004
- 8.软土地基处理手册.北京:中国建筑工程出版社,1988
- 9.聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜的国家标准 (GB/T13735-92)。
- 10.聚乙烯 (PE) 土工膜的国家标准 (GB/T17643-1998)。
- 11.聚氯乙烯土工膜的国家标准 (GB/T17688-1999)。
- 12.软聚氯乙烯压延薄膜和片材国家标准 (GB/T3830-94)。
- 13.软聚乙烯吹塑薄膜标准 (QB1257-91)。
- 14 软式透水管 **JC937-2004**，中华人民共和国建材行业标准。
- 15.娄 炎, 刘家豪. 对《塑料排水板质量检验标准》进行修订的建议[J]. 水运工程, 2003 (9).
- 16.武良金. 《塑料排水板质量检验标准》若干问题的探讨[A]. 第四届塑料板排水法加固软基技术研讨会论文集[C]. 南京: 河海大学出版社, 1999.
17. 武良金. 塑料排水板的发展趋势及质量改进建议[A]. 第五届塑料排水工程技术研讨会论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2002. 10.
18. 娄 炎等. 软基加固中应用的高性能可测深排水板[J].岩石力学与工程, 2004, 第 12 期.2004 年 6 月.
19. 炎等. 可测深排水板在预压加固中的应用[A]. 第六届塑料板排水法加固软基技术研讨会论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2005. 10.
20. 娄 炎. 对排水带联合测定结果的进一步分析[A]. 第六届塑料板排水法加固软基技术研讨会论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2005. 10.
21. 刘家豪, 高长胜. 塑料盲沟的应用与设计[A]. 第五届塑料排水工程技术研讨会论文集[C]. 天津: 海洋出版社, 2002. 10.
22. 武良金, 刘永强. 塑料盲沟的材料、特性及性能指标[A]. 第五届塑料排水工程技术研讨会论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2002. 10.

23. 武良金, 吴福生, 刘永强. 塑料盲沟性能指标初探[J]. 河海大学学报, 2003. 3, 31(3): 264-267
24. 娄 炎. “真空预压加固”中使用的密封膜[J]. 公路, 2003年 第9期.
25. 软式透水管 JC**2003 (报批稿), 中华人民共和国建材行业标准
26. 土工合成材料测试规程 SL/T 235-1999, 中华人民共和国水利部行业标准
27. 土工合成材料测试手册, 南京水利科学研究院, 水利电力出版社, 1991
28. 土工布的取样和试样准备 GB/T 13760-1992 中华人民共和国国家标准
29. 土工合成材料的测试技术, 杨明昌, 《大坝观测与土工测试》1992. 2
30. 《塑料排水板在天津港口建设中的研究和应用》张 敬 《第五届全国塑料排水工程技术研讨会论文集》2002 年 海洋出版社
31. 《广东省珠海发电厂软基真空预压联合堆载加固施工》苗中海 王希鸿 《中国港湾建设》1999.1
32. 《软基加固检测孔隙水压力分析》孔德金 苗中海 《浙江大学学报》(工学版) 2000.3
33. 《软粘土抗剪强度增长规律》孔德金 苗中海 《岩土工程学报》1999.6
34. 《超软基的真空预压加固技术》交通部第一航务工程局 1991.10
35. 《特种条件下的软基的真空预压加固技术》交通部第一航务工程局 1991.10
36. 地基处理手册编写委员会《地基处理手册》1988 年 中国建筑工业出版社
37. 施国道等 《港口工程施工手册》1994 年 人民交通出版社
38. 《港口工程质量检验评定标准》1998 年 人民交通出版社
39. 《真空预压法加固软土地基施工技术规范》(HG/T20578-95)
40. 《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002 中国建筑工业出版社
41. 《塑料排水板特殊打设头的研制》刘亚平等 《中国港湾建设》2004. 8