

浙江省交通行业建设技术指南

公路路堤就地固化（强力搅拌法） 设计与施工技术指南

In-situ solidification (power mix method) technical guide for
design and construction of highway embankment

浙江省交通运输厅

2018-04-16 发布



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

浙江省交通行业建设技术指南

公路路堤就地固化(强力搅拌法) 设计与施工技术指南

In-situ solidification (power mix method) technical guide for design and
construction of highway embankment

主编单位:浙江省交通规划设计研究院有限公司

批准部门:浙江省交通运输厅

发布日期:2018年04月16日

人民交通出版社股份有限公司

图书在版编目(CIP)数据

公路路堤就地固化(强力搅拌法)设计与施工技术指南 / 浙江省交通规划设计研究院有限公司主编. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.6

ISBN 978-7-114-14749-4

I. ①公… II. ①浙… III. ①公路—路堤—固化—指南 IV. ①U416.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 107799 号

书 名: 公路路堤就地固化(强力搅拌法)设计与施工技术指南

著 作 者: 浙江省交通规划设计研究院有限公司

责任编辑: 黎小东

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 880 × 1230 1/16

印 张: 3.75

字 数: 100 千

版 次: 2018 年 6 月 第 1 版

印 次: 2018 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-14749-4

定 价: 70.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

浙江省交通运输厅办公室文件

浙交[2018]61号

关于发布《公路路堤就地固化(强力搅拌法) 设计与施工技术指南》的通知

各市交通运输局(委)、义乌市交通运输局:

为解决工程建设弃土处治难、堆放难等问题,实现土资源的循环利用、节能降耗和减排增效的可持续发展,提高公路路堤就地固化处治技术的设计和施工质量,我厅组织浙江省交通规划设计研究院有限公司、河海大学等单位编制了《公路路堤就地固化(强力搅拌法)设计与施工技术指南》,经专家评审通过,现予以印发试行。

请各有关单位在实践中注意积累资料、总结经验,并将有关意见和建议及时函告浙江省交通规划设计研究院有限公司(地址:杭州市环城西路89号,邮政编码:310006,联系人:陈建荣,联系电话:0571-87799825),以便修订时参考。

浙江省交通运输厅
2018年4月16日

抄送:交通运输部公路局,省交通集团公司,省公路局、交通工程监管局,浙江交院。

前 言

为推动浙江省公路建设科技成果转化、技术创新,解决工程建设弃土处治难、堆放难等问题,实现土资源的循环利用、节能降耗和减排增效的可持续发展,提高公路路堤就地固化处治技术的设计和施工质量,浙江省交通运输厅组织浙江省交通规划设计研究院有限公司、河海大学等单位编制了《公路路堤就地固化(强力搅拌法)设计与施工技术指南》(以下简称“指南”)。

本指南在充分调研总结工程实践的基础上,结合就地固化技术具有的技术特性和应用特点,提出适用于浙江省的公路路堤就地固化材料与设备、设计、施工和质量检验等技术要求,用于规范和指导就地固化技术在浙江省公路路堤处治工程中的推广和应用,同时也是对现行行业设计和施工规范的补充和完善。

由于浙江省在国内首次开展本指南的编写,不可避免存在不足,请各单位和个人在使用过程中将发现的问题及意见函告浙江省交通规划设计研究院有限公司(地址:杭州市环城西路89号,邮编:310006,电话:0571-87799825),以便修订时参考。

主 编 单 位:浙江省交通规划设计研究院有限公司

参 编 单 位:河海大学

浙江华恒交通建设监理有限公司

绍兴市柯桥区交通投资有限公司

嘉兴市交通投资集团有限责任公司

上海汇壹土木工程技术有限公司

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

主 编:陈建荣 陈永辉

主要参编人员:曾怀武 高世虎 毛 斌 黄擎洲 王海明 李建国 楼华锋 李富有
张平良 袁胜强 娄伟栋 黄筱璐 陈秀平 梁诚玉 陈 庚 陈新国
周华东 程伟述 余茂科 夏华盛 陈 龙 王 清 孙洪月 刘江军
金康康 宣 静 陆建阳 王 颖 水小清

请注意本文件的某些内容可能涉及专利,本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

目 次

前言 III

1 总则 1

2 编制依据 1

3 术语和定义 2

4 材料与设备 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 材料 3

 4.3 设备 4

5 设计 5

 5.1 一般规定 5

 5.2 配合比设计 5

 5.3 就地固化浅层处理 6

 5.4 就地固化硬壳层复合地基 9

 5.5 就地固化土资源化利用 11

6 施工 13

 6.1 一般规定 13

 6.2 施工准备 13

 6.3 施工工艺 14

 6.4 施工要点 15

 6.5 质量管理 17

7 质量检验 19

 7.1 一般规定 19

 7.2 就地固化浅层处理 20

 7.3 就地固化硬壳层复合地基 21

 7.4 就地固化土资源化利用 22

附录 A(规范性附录) 就地固化土填料回弹模量计算 23

附录 B(规范性附录) 就地固化硬壳层承载力计算 24

附录 C(规范性附录) 就地固化硬壳层复合地基沉降计算 28

附录 D(资料性附录) 工程实例 35

参考文献 49

公路路堤就地固化(强力搅拌法)

设计与施工技术指南

1 总则

- 1.1 为指导公路路堤就地固化(强力搅拌法)(以下简称“公路路堤就地固化”)设计与施工,提高公路路堤就地固化设计与施工质量,制定本指南。
- 1.2 本指南包括总则、编制依据、术语和定义、材料与设备、设计、施工、质量检验等内容。
- 1.3 本指南适用于浙江省各等级新建、改扩建公路工程路堤就地固化的设计、施工和质量检验。
- 1.4 公路路堤就地固化设计与施工方案应做到因地制宜,经济合理,保护环境。
- 1.5 公路路堤就地固化设计与施工除应符合本指南的规定外,尚应符合现行国家和行业有关标准以及安全生产与环境保护方面的有关规定。

2 编制依据

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有修改单)适用于本文件。

GB/T 176	水泥化学分析方法
GB/T 1345	水泥细度检验方法
GB 5085.3	危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
GB/T 8077	混凝土外加剂匀质性试验方法
GB 50007	建筑地基基础设计规范
GB 50119	混凝土外加剂应用技术规范
GB/T 50123	土工试验方法标准
GB/T 50783—2012	复合地基技术规范
CJ/T 486	土壤固化外加剂
JTG D30—2015	公路路基设计规范
JTG/T D31	公路软土地基路堤设计与施工技术细则
JTG/T D32	公路土工合成材料应用技术规范
JTG E40	公路土工试验规程
JTG E60	公路路基路面现场测试规程
JTG F10	公路路基施工技术规范
JTG F80/1	公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
NY/T 1377	土壤 pH 值的测定
DB 33/T 904—2013	公路软土地基路堤设计规范

3 术语和定义

3.1

就地固化技术 in-situ solidification technique

利用固化剂对软弱土等土体就地进行固化,使土体达到一定强度或其他使用要求,从而对土体进行就地利用或达到地基处理要求的方法。

3.2

强力搅拌就地固化系统 power mix in-situ solidification system

由强力搅拌头、挖掘机、固化剂自动化供料系统以及储料设备等组成的就地固化成套系统设备。

3.3

强力搅拌头 power mixing head

通过挖掘机液压系统驱动,实现三维搅拌,使固化剂与软弱土等土体强力均匀搅拌的专用设备。

3.4

强力搅拌就地固化技术 power mix in-situ solidification technique

利用强力搅拌就地固化系统对土体进行就地固化处理,达到土体就地固化或者就地利用的方法。

3.5

就地固化浅层处理 in-situ shallow solidification treatment

对一般 0.8m ~ 5.0m 厚的软弱土进行就地处理,形成提高地基承载力的硬壳层的一种浅层处理方法,分为全部固化和部分固化。

3.6

就地固化硬壳层 in-situ solidification hard crust

利用就地固化技术处理软土地基,形成具有一定厚度和强度且长度和宽度有限的人工硬壳层。

3.7

就地固化硬壳层双层地基 double-layered ground of in-situ solidification hard crust

就地固化硬壳层与下卧软弱土层形成的双层地基。

3.8

就地固化硬壳层复合地基 composite foundation of in-situ solidification hard crust

就地固化硬壳层与刚(或柔)性桩复合地基形成的地基。

3.9

就地固化土资源化利用 resource utilization of in-situ solidification soil

将软弱土等非适用路基填筑土通过就地固化技术处理,形成满足路基等工程填筑要求的固化填料土,从而实现非适用性土的资源化利用。

3.10

强力搅拌就地固化施工方法 power mix in-situ solidification construction method

通过强力搅拌就地固化系统实现固化剂与土体均匀搅拌,使土体达到一定强度或使用要求的施工方法。采用浆剂固化剂为湿法施工,采用粉剂固化剂为干法施工。

4 材料与设备

4.1 一般规定

4.1.1 固化材料包括固化剂、外掺剂、外加土和水,其中固化剂应符合以下规定:

- a) 固化剂宜就地取材、经济合理、符合环保要求。

- b) 固化剂的质量应符合《土壤固化外加剂》(CJ/T 486)中相关规定;属于成品的固化剂需提供成品质量检验合格证明。
- c) 不宜采用含有放射性物质的固化剂;若固化剂中含有放射性物质时,其放射性含量等相关指标应符合《土壤固化外加剂》(CJ/T 486)等规定。

4.1.2 选用工业废料作为固化剂时;应提供其主要成分等信息。特殊工业废料应通过析出试验等分析主要成分,避免对环境产生二次污染。

4.1.3 强力搅拌头、挖掘机、固化剂自动化供料系统和储料设备以及控制系统等,在就地固化施工前应进行检查、调试和标定等。

4.1.4 就地固化系统的设置应符合国家有关环保、消防、安全等规定。

4.2 材料

4.2.1 固化剂

4.2.1.1 固化剂按化学成分可分为无机型固化剂、有机型固化剂及复合型固化剂等;工程应用前,应进行室内试验,以确定其适用性,并应符合以下规定:

- a) 常用的无机固化剂有水泥、粉煤灰、石灰、石膏、矿渣微粉等;无机固化剂宜适用于无特殊要求常规软弱土的加固处理。
- b) 常用的有机固化剂有高聚类离子固化剂、有机酶蛋白固化剂、酸基化合物固化剂等;除特殊要求外,较少单独使用有机固化材料对软弱土进行加固处理;有早强要求或用于特殊土体等时可采用部分有机固化材料。
- c) 常用的复合固化剂有水泥类+有机类等;复合固化剂宜适用于含腐殖质或有机质土等特殊软弱土。

4.2.1.2 固化剂原材料按形态可分为液体状和固体粉状两大类,并应符合以下规定:

- a) 固化剂的技术性能指标应符合《土壤固化外加剂》(CJ/T 486)的规定。
- b) 液体状固化剂应参照相应规范进行溶液中固体物含量测定,其溶液的固体杂质含量不得大于3%,不得有沉淀或絮状现象;固体状固化剂应按照相应规范进行固化剂的细度测定,0.074mm标准筛筛余量不得超过15%。

4.2.1.3 固化剂类型应根据土质情况通过室内试验合理选择。

4.2.2 外掺剂

外掺剂主要是指针对不同环境和要求,按一定比例与固化剂一同掺入,起促进或抑制作用的材料,如早强剂、稳定剂、缓凝剂、减水剂等。其掺入量可通过试验或工程经验确定,具体要求可参考《土壤固化外加剂》(CJ/T 486)和《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)中相关规定。

4.2.3 外加土

4.2.3.1 外加土应符合以下规定:

- a) 土粒最大粒径不应大于15mm,且大于10mm土颗粒应少于土总质量的5%。
- b) 土中有机质含量(质量比)不宜超过10%。

4.2.3.2 外加土的技术要求和掺入量,应根据不同的固化剂类型通过室内配合比试验确定。

4.2.3.3 土的检测方法应符合《公路土工试验规程》(JTG E40)的规定。

4.2.4 水

人和牲畜的饮用水或自来水均可使用,特殊情况时可采用工程现场用水,且水的pH值不小于6。

4.3 设备

4.3.1 就地固化系统:由强力搅拌头、挖掘机、固化剂供料系统和储料设备以及控制系统等组成,如图 1 所示。该系统通过后台自动定量供料控制系统控制进料及输料,将后台料仓内的固化剂混合后,通过安装于挖掘机上的强力搅拌头的喷粉或浆喷装置输出;在搅拌头的强力搅拌下,将输出的固化剂与土体均匀拌和,从而达到就地固化的目的。



图 1 就地固化系统示意图

4.3.2 就地固化系统应满足适应场地能力强、可实现边推进边固化的要求,处理深度一般不超过 7m,无需拌和场地,无需搬运等。其主要设备主要功能与技术参数如下:

- a) 强力搅拌头。强力搅拌头结构如图 2 所示,为两个安装有搅拌叶片的搅拌头按合理的角度对称分布在连接杆和喷嘴的两侧,通过挖掘机液压系统驱动,实现三维搅拌,以保证搅拌的均匀性;转动方向为横向转动,搅拌头转速为 50r/min ~ 120r/min,单次搅拌形状在平面上为矩形而非圆形,搅拌头连接杆的悬臂长度一般为 3m ~ 7m(特殊深度情况下,可加长悬臂),常规设备的搅拌头尺寸(平面投影尺寸:宽×高)常用的有 1.6m×0.87m 和 1.4m×0.8m,以及小型设备的为 1.1m×0.6m 左右。当设计固化深度小于 1.2m 时,宜选用搅拌头高度不超过 0.8m 的设备。

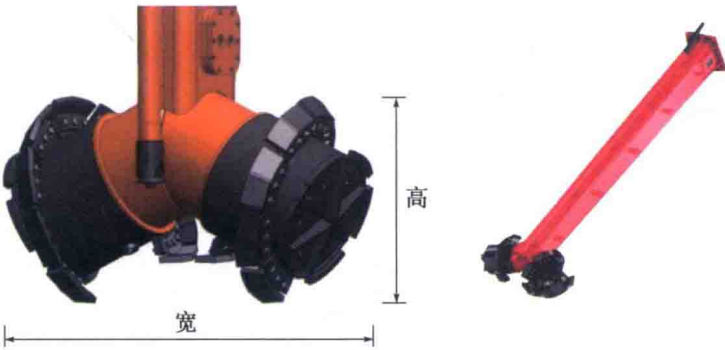


图 2 强力搅拌头结构示意图

- b) 挖掘机。用于提供搅拌头搅拌与移动时的动力,根据所选用的强力搅拌头本身的大小来适配挖掘机动力,以保证搅拌头的液压驱动力和搅拌的稳定性;与常规搅拌头相匹配的常用挖掘机型号主要有 250 型和 300 型。
- c) 自动定量供料系统。强力搅拌就地固化施工方法分为干法施工和湿法施工,供料系统分为浆剂供料系统和粉剂供料系统,浆剂设备压力不小于 3MPa,粉剂设备压力不小于 0.8MPa,后台供料系统应可实现多种固化剂的同时供料。自动定量供料系统宜安装于后台供料系统中,应能控制固化剂出料量与出料时间、实时显示并记录打设区域的用料量,以保证每次搅拌区间和整个区块的固化剂用量;数据可存储和打印,并可进行远程操作,达到固化剂喷料的自动化和智能化,避免人为造成的资源浪费。

- d) 搅拌头定位系统。为保证固化范围搅拌全覆盖,就地固化系统应装有搅拌过程定位和记录系统,以控制固化全过程。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 公路路堤就地固化设计,应遵循“安全适用、技术先进、经济合理、质量可控”的设计原则,做到因地制宜、就地取材、节约资源和保护环境。

5.1.2 公路路堤就地固化技术,应根据公路等级、交通荷载、软弱土的工程性质、工程要求、施工条件、环保要求与经济效益等进行经济技术比较,合理确定就地固化处理方法。

5.1.3 公路路堤就地固化设计包括就地固化配合比设计和工程设计,并符合以下规定:

- a) 固化材料与设备的选择、固化剂配合比设计,应符合本指南第4章和5.2的规定,通过配合比试验确定固化材料类型及其掺入量,并确定不同工程固化土的工程技术参数。
- b) 工程设计根据工程目的不同,主要包括就地固化浅层处理、就地固化硬壳层复合地基和就地固化土资源化利用三大类,依据相关规范要求进行计算,确定加固范围和加固方法;其适用范围、常用形式、设计要求和选用原则详见本指南5.3、5.4和5.5相应内容。

5.1.4 公路路堤就地固化设计应满足地基承载力、沉降和稳定性要求,并应符合《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)、《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31)、《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)和本指南的相关规定。

5.1.5 应重视施工监测和分析,采用动态设计方法和施工动态控制技术。

5.2 配合比设计

5.2.1 就地固化土配合比设计应符合以下规定:

- a) 设计采用阶段配合比设计。初步设计阶段可参照以往工程经验和本指南的相关规定,合理确定固化剂类型和掺入量;施工图设计阶段宜进行现场取样分析,根据不同的工程要求,通过室内配合比试验确定固化剂种类及其掺入量,并确定固化土的各项设计技术参数。
- b) 设计确定的固化土配合比和设计参数,在施工阶段施工单位应进行现场试验,通过试搅和试拌进行验证、优化和动态设计。

5.2.2 就地固化土配合比设计的具体要求如下:

- a) 对原样土进行取样试验,明确土体含水率、液塑限、压缩模量、有机质含量及其他相关指标。
- b) 根据以往工程经验和本指南规定,合理确定固化材料,明确施工方法,并符合以下规定:
 - 1) 固化剂、外掺剂和水应符合本指南4.2的相关要求,外加土应取代表性试样,进行含水率、密度等必要试验,掌握土的基本物理力学性能指标以及化学性质等。
 - 2) 固化剂的掺入量、主要成分,应结合当地原材料情况、土质情况、地基承载力设计要求确定,并结合类似的工程经验确定固化剂配合比基准值,湿法施工时应确定水灰比。
 - ① 根据以往工程经验,采用水泥系、石灰系等固化剂时,固化剂配合比基准值宜取5%~10%;湿法施工时,其水灰比宜取0.5~0.9;固化土配合比设计时固化剂的掺入量可参照表1执行;
 - ② 表1中固化剂掺入百分比=固化剂质量/原状湿土质量;其他固化剂指的是粉煤灰、石灰或矿渣微粉等,并添加少量稳定剂;
 - ③ 表1中掺入量百分比为不同含水率、不同设计强度时固化剂掺入量的参考估算值,实际应用中,当土体含水率等土的性质情况发生变化时,掺入量和固化剂的种类也应按设计要求或现场试验情况进行调整;

表 1 固化剂掺入量参考一览表

28d 无侧限 抗压强度 (kPa)	原状土含水率(%)									
	50		60		70		80		90	
	固化剂掺入量百分比(%)									
	水泥	其他固化剂	水泥	其他固化剂	水泥	其他固化剂	水泥	其他固化剂	水泥	其他固化剂
30	1	2 ~ 3	2	0 ~ 1	2	2 ~ 3	3	0 ~ 1	4	0 ~ 1
50	1.5	2 ~ 3	2	1 ~ 2	2	3 ~ 5	3	1 ~ 3	4	1 ~ 2
80	2	2 ~ 3	3	0 ~ 1	3	1 ~ 3	4	1 ~ 3	5	0 ~ 1
100	2	3 ~ 4	3	1 ~ 2	3	3 ~ 5	4	3 ~ 5	5	1 ~ 4
130	3	0 ~ 2	3	3 ~ 4	4	0 ~ 2	5	0 ~ 1	5	4 ~ 5
160	3	2 ~ 4	4	0 ~ 2	4	2 ~ 3	5	2 ~ 3	6	0 ~ 2
200	3	5 ~ 6	4	2 ~ 4	4	4 ~ 6	5	4 ~ 6	6	3 ~ 4

- ④ 采用湿法施工,水泥以浆液形式掺入时,水泥掺入量在表 1 的基础上增加 1 个百分点;
- ⑤ 若所处理土为有机质含量较高的有机质土,则考虑添加石灰,或将水泥改为石灰等固化剂,或添加部分有机固化剂,具体掺入量根据试验确定。
- c) 就地固化配合比试验应符合以下规定:
- 1) 配合比试验时,至少应采用三个不同的配合比,其中一个配合比应为基准值,另外两个配合在基准值的基础上分别增加和减少 1~2 个百分点。
 - 2) 试件制备以及相关试验方法可参照《公路土工试验规程》(JTG E40)等进行,并符合以下规定:
 - ① 固化剂成分掺入量一般以原状土干密度或湿密度为基准进行计算;
 - ② 对于就地固化浅层处理和就地固化硬壳层复合地基的固化土配合比,应进行固化土 7d、14d 和 28d 无侧限抗压强度试验;
 - ③ 对于就地固化土资源化利用的填料,应进行固化土 28d 和 90d 无侧限抗压强度、最优含水率、最大干密度和承载比 CBR 等试验。
 - 3) 根据设计要求和就地固化现场对周边重要水源和农作物等环境的影响程度,确定是否需要固化土的浸出液进行 pH 值等污染物测试,具体测试方法可参照《土壤 pH 值的测定》(NY/T 1377)和《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3)相关内容。
- d) 配合比的调整和确定应符合以下规定:
- 1) 根据不同工程要求的固化土无侧限抗压强度和最优含水率、最大干密度和承载比 CBR 等室内试验成果,结合工程实际初步确定固化土最佳配合比,确定固化土材料、掺入量和强度等技术要求;不符合设计要求的应重新进行配合比设计。
 - 2) 配合比设计报告应包括原样土基本物理和化学性质、固化材料的类型、掺入量和固化土的设计技术参数检验结果等。

5.3 就地固化浅层处理

5.3.1 适用范围

- a) 厚度小于 5m 的浅层软土路段。

- b) 鱼塘、池塘、河道、泥浆池和沼泽地等需清淤换填路段。
- c) 江河滩涂或围海造路吹填土等无硬壳层路段。
- d) 深厚软基低填方路段。

5.3.2 常用形式及选用原则

5.3.2.1 就地固化浅层处理常用形式如图 3 所示,主要包括浅层软基全部固化处理、部分固化处理和深厚软基低填方路堤浅层固化处理,其中浅层软基部分固化处理包括格栅式和点式两种处理形式。

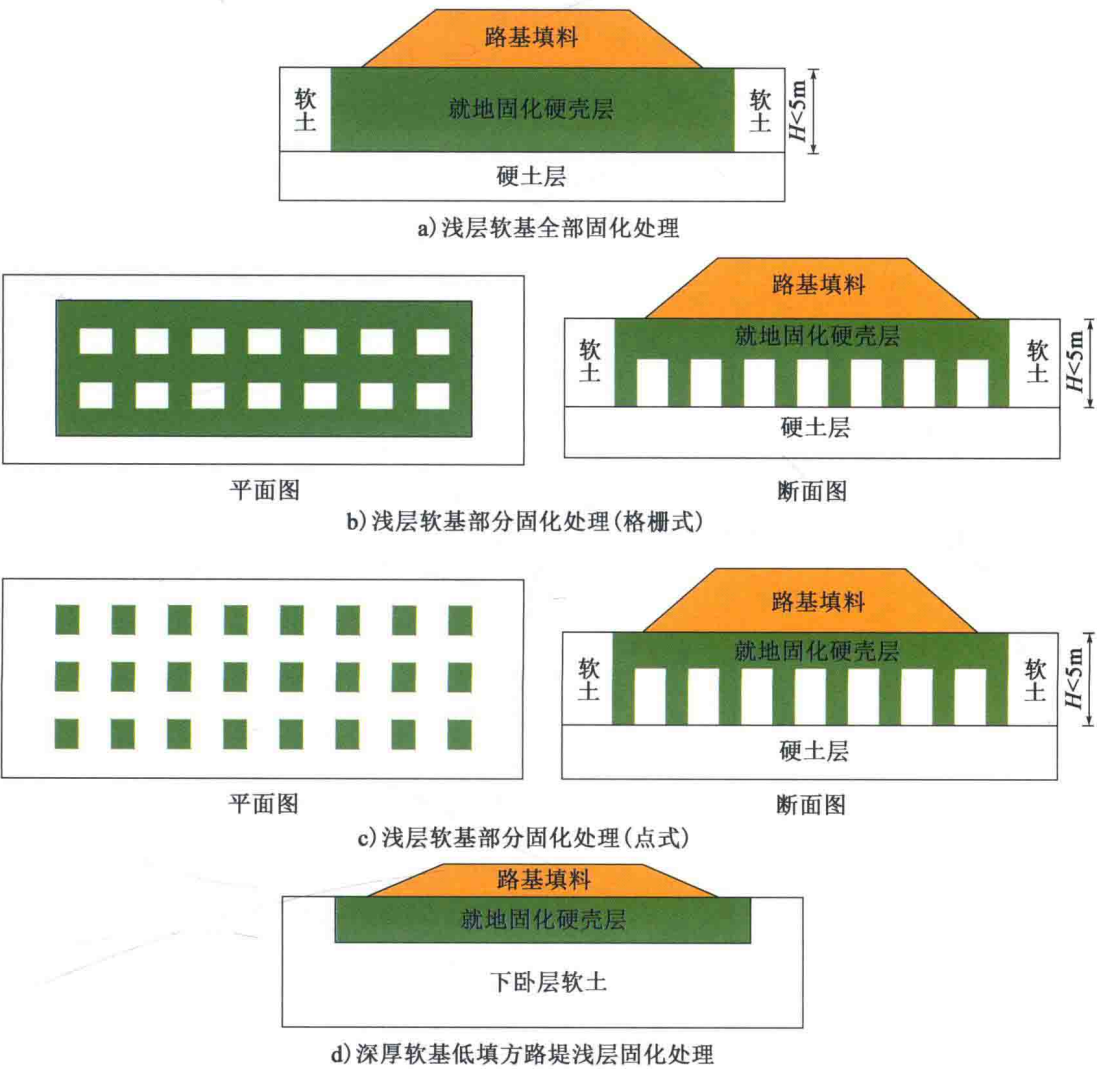


图 3 就地固化浅层处理常用形式

5.3.2.2 浅层处理选用原则如下:

- a) 对于软弱土厚度小于 5m 的浅层软土路段,挖除换填挖方和弃方量大、置换材料紧缺时,经技术经济和环保效益比较,可采用图 3 中 a)、b) 和 c) 的全部固化或部分固化处理,可快速形成承载力较高的就地固化硬壳层,替代传统置换法;工程无开挖、无弃土;同时也可作为后期施工便道与施工平台。
- b) 浅层软土厚度为 0.8m ~ 3.0m 时,宜采用图 3 中 a) 浅层全部固化处理;浅层软土厚度为 3.0m ~ 5.0m 时,为节省工程造价,经路基稳定和沉降计算后,也可采用图 3 中 b) 和 c) 的格栅式或者点式部分固化处理。
- c) 对于深厚软基低填土路段,路基沉降和稳定性计算满足设计要求时,可采用图 3 中 d) 的深厚

软基低填方路堤浅层固化处理,形成就地固化硬壳层双层地基。

5.3.3 设计

5.3.3.1 就地固化浅层处理深度宜在 5.0m 之内,不宜小于 0.8m;处理宽度为路堤坡脚外延伸 0.5m ~ 2.0m 或控制在附加应力扩散影响范围。

5.3.3.2 就地固化浅层处理设计计算内容主要包括:就地固化硬壳层表面承载力、下卧层承载力和沉降计算。

5.3.3.3 就地固化处理淤泥及吹填淤泥等土体时,固化处理后土体的 90d 无侧限抗压强度值应通过现场取样试验确定;初步设计时,可根据室内固化土试块 90d 无侧限抗压强度,按式(1)进行估算。

$$f_a = \eta f_{cu} \quad (1)$$

式中: f_a ——固化处理后土体 90d 无侧限抗压的强度(kPa);

f_{cu} ——与固化土配合比相同的室内加固土试块,在标准养护条件下 90d 龄期无侧限抗压强度平均值(kPa);

η ——强度折减系数,取 0.6 ~ 0.85。

5.3.3.4 就地固化浅层加固软基时,应对就地固化硬壳层表面承载力与下卧层承载力进行计算,并应符合以下规定:

- 就地固化硬壳层表面承载力宜通过现场荷载试验进行确定。
- 初步设计阶段,就地固化硬壳层表面承载力验算可采用太沙基公式进行计算,计算时将就地固化加固区以及加固区以下土层参数根据荷载影响深度计算加权平均值,然后按照均质地基进行计算;就地固化硬壳层表面承载力也可参照本指南附录 B 中 B.1 内容进行计算。
- 就地固化浅层加固软基需对下卧层承载力进行验算,下卧层表面附加应力的确定依据应力扩散理论进行,图 4 为附加应力扩散示意图,具体计算可根据式(2)和式(3)进行。

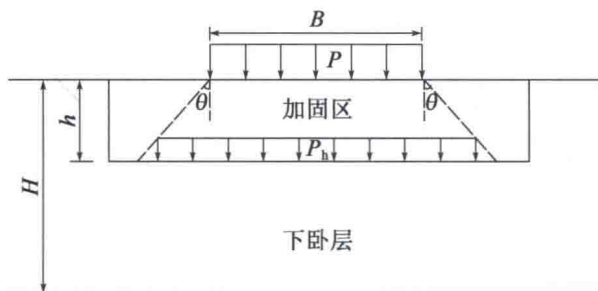


图 4 附加应力扩散示意图

$$P_h = \frac{PBL}{(B + 2htan\theta)(L + 2htan\theta)} \quad (2)$$

采用平面应变进行计算时,式(2)可改写为:

$$P_h = \frac{PB}{B + 2htan\theta} \quad (3)$$

式中: P_h ——下卧层表面附加应力(kPa);

P ——就地固化硬壳层表面附加应力(kPa);

B ——基础底面宽度(m);

L ——基础底面长度(m);

h ——就地固化处理厚度(m);

θ ——应力扩散角,取 $28^\circ \sim 45^\circ$ 。

相应的下卧层承载力安全系数 K 的计算公式如下:

$$K = \frac{f_{\text{下}}}{P_{\text{h}}}$$

式中: P_{h} ——下卧层表面附加应力(kPa);

$f_{\text{下}}$ ——下卧层承载力(kPa)。

- d) 就地固化浅层加固软基地基承载力计算时,应取就地固化硬壳层表面承载力和下卧层承载力的安全系数较小值进行设计验算。

5.3.3.5 就地固化浅层加固软基需满足沉降的要求,沉降计算主要包括就地固化加固区与就地固化硬壳层下部土层压缩量两部分,如图5所示。其中,就地固化加固区变形只考虑其自身的压缩变形 S_1 ,初步设计时可忽略不计;就地固化硬壳层下各土层压缩变形之和 S_2 可采用分层总和法计算,具体按照《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)中6.2.4.8进行,下卧层顶部附加应力计算根据本指南5.3.3.4进行。

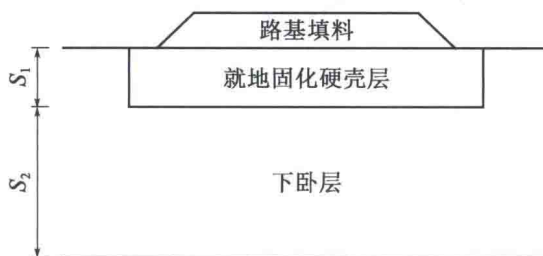


图5 就地固化硬壳层双层地基沉降计算图

5.3.3.6 就地固化浅层处理路堤软基时,稳定性计算可采用圆弧滑动法进行,具体可参照《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31)和《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)相应内容。

5.4 就地固化硬壳层复合地基

5.4.1 适用范围

无硬壳层或硬壳层厚度小于1.5m的高填方深厚软基路段或桥头、通道、涵洞等构造物与路堤相邻路段。

5.4.2 常用形式及选用原则

5.4.2.1 常用形式:根据桩的类型主要分为预应力管桩等刚性桩复合地基和水泥搅拌桩等柔性桩复合地基两大类,如图6所示;其中,刚性桩复合地基可根据桩顶和就地固化硬壳层的连接形式,分为图6中a)带盖板形式(桩顶设置的盖板应尽量与就地固化硬壳层顶面持平)和图6中b)不带盖板形式(桩顶采用高掺量固化土或素混凝土进行回填)。

5.4.2.2 选用原则:对无硬壳层或硬壳层厚度小于1.5m的较薄软弱土路段,在满足路基沉降和稳定时,可采用就地固化硬壳层与复合地基联合应用,刚性桩一般采用图6中a)结构形式,需要代替盖板或垫层使用时采用图6中b)结构形式,柔性桩一般采用图6中c)结构形式。

5.4.3 设计

5.4.3.1 就地固化硬壳层复合地基应结合公路等级、软土层厚度及其性状指标、填土高度等情况,根据路基沉降和稳定控制标准,合理确定就地固化硬壳层的加固厚度、刚(柔)性桩类型和土工合成材料加筋体。

5.4.3.2 与复合地基联合使用时,就地固化硬壳层加固厚度应经计算确定,宜在0.8m~3.0m之间。

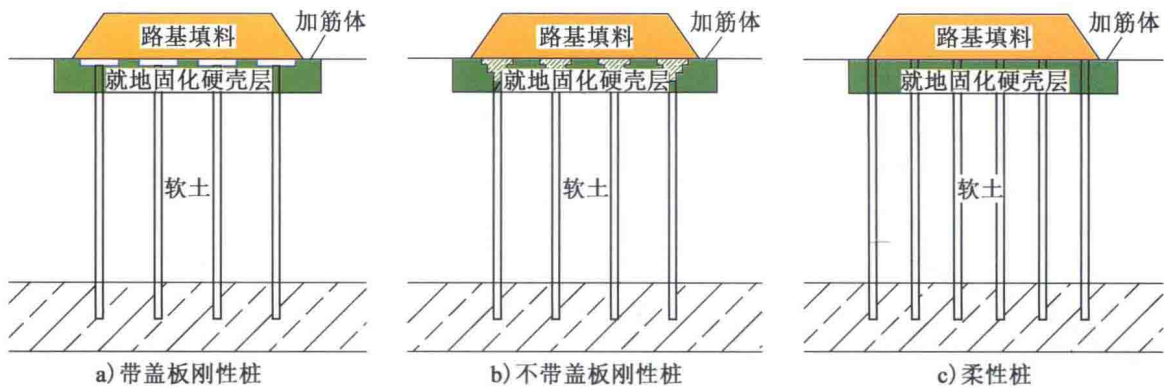


图 6 就地固化硬壳层复合地基常用结构形式

5.4.3.3 设计前固化土应进行室内配合比试验,确定选择合适的固化剂材料和掺入量以及不同龄期和配合比的强度指标。固化土配合比设计具体要求应按照本指南 5.2 要求进行。

5.4.3.4 刚(柔)性桩桩体材料、桩体平面布置、桩长的确定以及桩帽的设计要求,可按照《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)、《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31)和《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)中相应规定进行;桩间距的设计在保证路堤稳定性及承载力要求基础之上,应充分利用桩间硬壳层的承载力合理设置。

5.4.3.5 土工合成材料水平加筋体的设计和要求,可按照《公路土工合成材料应用技术规范》(JTG/T D32)和《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)等规定进行。

5.4.3.6 就地固化硬壳层复合地基承载力应符合以下规定:

- a) 带盖板刚性桩复合地基单桩承载力验算,可采用单桩静载试验或土体物理指标进行确定,具体计算公式可参照《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)中 10.2.13 相关内容。
- b) 不带盖板刚性桩复合地基承载力计算时,先针对桩顶荷载进行计算,受力简图如图 7 所示,荷载计算主要考虑加筋体土工材料拉力、桩间土反力、硬壳层表面承载力以及桩顶反力;桩顶及桩间硬壳层顶部附加应力计算,可按照本指南式(2)和式(3)进行,然后根据本指南 5.4.3.6 中 a) 要求进行单桩承载力计算。

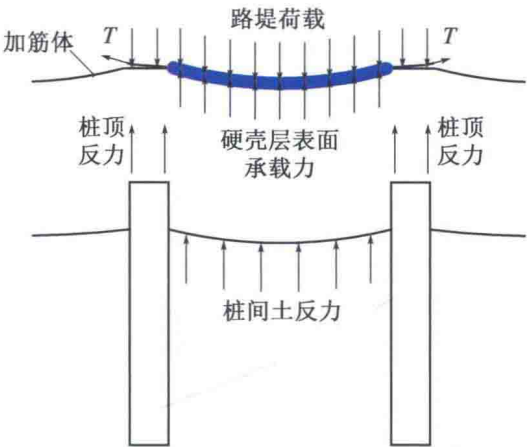


图 7 不带盖板刚性桩复合地基受力简图

- c) 柔性桩复合地基承载力验算,可根据《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)中 9.2.7.5 与 9.2.7.6 进行,其中固化处理后土体 90d 无侧限抗压的强度可根据本指南 5.3.3.3 进行计算。
- d) 复合地基承载力特征值计算时,应对桩间硬壳层底部软土顶面附加应力进行验算,具体计算

可按照本指南 5.3.3.4 进行。

- e) 初步设计阶段就地固化硬壳层复合地基承载力验算,也可按照本指南附录 B 中 B.3 进行简化计算。

5.4.3.7 就地固化硬壳层复合地基沉降计算应符合以下规定:

- 带盖板刚性桩复合地基沉降;主要由桩顶沉降控制;桩顶沉降主要包括桩身压缩量、桩端平面以下沉降量以及桩端刺入量,具体计算可按照《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)中 10.2.12 进行。
- 不带盖板刚性桩复合地基沉降,也可采用桩承式加筋路堤沉降变形计算方法,主要由桩顶沉降、桩顶刺入硬壳层刺入变形和桩顶上部就地固化加固层自身的压缩变形控制,其中,桩顶上部就地固化加固层压缩变形在施工期已基本完成,可忽略不计。
- 柔性桩复合地基按照加固区沉降量和加固区下卧层沉降量进行计算。其中,加固区沉降量可采用复合压缩模量法进行计算;加固区下卧层沉降量的计算关键在于下卧层顶部附加应力的计算,可采用应力扩散法进行,具体计算公式可参照《复合地基技术规范》(GB/T 50783—2012)条文说明 4.3.4 中式(2)和式(3)。
- 就地固化硬壳层复合地基沉降计算可采用简化算法,计算简图见本指南附录 B 中图 B.3,简化后为上部厚度为 h_1 的硬壳层,下部为复合地基。初步设计阶段沉降计算时,上部 h_1 范围的沉降可忽略不计;复合地基的沉降计算时,表面附加应力 P_h 按本指南式(2)和式(3)进行计算;具体沉降计算可按照《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)与《复合地基技术规范》(GB/T 50783—2012)相应规定进行。
- 就地固化硬壳层复合地基沉降计算,也可按照本指南附录 C 的计算方法进行。

5.4.3.8 就地固化硬壳层复合地基路堤整体稳定性验算可采用圆弧滑动法,具体计算可参照《公路软土地基路堤设计规范》(DB 33/T 904—2013)中相应内容进行。其中,固化层应采用固化后土体强度等技术指标作为单一土层进行计算。

5.5 就地固化土资源化利用

5.5.1 适用范围

工程项目路基填筑材料缺乏、周边废方量大且环境保护要求高,拥有大量可就地固化利用的淤泥质土、泥浆及航道开挖土等路段。

5.5.2 选用原则

应对常规路基填筑材料和就地固化土作为路基填料进行技术经济和环境效益比较,尽可能选择就地固化废弃土资源化利用,并满足路基填料设计的要求。

5.5.3 设计

5.5.3.1 固化土填料应根据不同的土源性质选择固化剂类型及其掺入量,按照本指南 5.2 规定进行配合比设计,结合固化土作为路基填料等设计要求,初步确定固化剂最优配合比;合理确定固化剂、外掺剂及掺入量以及固化土的最优含水率与最大干密度、承载比 CBR 等,并符合以下规定:

- 固化土应做到配合比准确,根据配合比称量不同质量的固化剂并混合均匀,掺入待固化的土样中,充分拌和,满足路基填筑的相关要求。
- 拌和结束且闷料时间符合设计要求后,应对固化土进行以下工程性能检测:
 - 固化土填料一般采用重型击实试验;对于淤泥土和淤泥质土等高压缩性的土,采用轻型击实试验获取最大干密度,一般宜采用分 3 层击实,每层 98 击;具体试验操作可参考《土