

公路地基处理 设计施工实用技术

张留俊 王福胜 李刚 [编著]



人民交通出版社
China Communications Press

Gonglu Diji Chuli Sheji Shigong Shiyong Jishu

公路地基处理设计施工实用技术

张留俊 王福胜

人民交通出版社

内 容 简 介

地基处理是影响公路工程质量、造价和工期的重要问题,也是公路建设部门、设计单位和施工单位经常遇到的难点问题之一,本书采用了问答的方式,介绍了软土、黄土、膨胀土、盐渍土、液化土及多年冻土等各种特殊土类和采空区的工程地质特点以及地基处理的方法。全书力求简明实用,条理清晰,以方便读者使用。

本书可以作为公路工程设计及施工人员的技术培训材料,亦可作为大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

公路地基处理设计施工实用技术/张留俊,王福胜,李刚编著.
北京:人民交通出版社,2004.8
ISBN 7-114-05186-7

I.公... II.①张...②王...③李... III.道路工
程—地基处理 IV.U416.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第083237号

书 名:公路地基处理设计施工实用技术

著 作 者:张留俊 王福胜 李 刚

责任编辑:夏 迎

出版发行:人民交通出版社

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)85285656,85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京交通印务实业公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.75

字 数:408千

版 次:2004年8月第1版

印 次:2004年8月第1版第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-05186-7

印 数:0001—4000册

定 价:35.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

地基处理是公路设计、施工中很重要的一部分内容,它对公路工程的质量、造价、工期等有着直接的影响。随着我国高等级公路建设的迅速发展,地基处理问题越来越多地被提到议事日程,地基处理的重要性越来越被人们所认识。

但是,就公路地基处理设计施工技术的发展情况看,形成规范的仅有软土地基处理,即现行的《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》,其他常见的地基,如黄土地基、可液化砂土地基、盐渍土地基、膨胀土地基、多年冻土地区地基等,公路行业上还没有相应的处理技术规范,只有参考其他行业的规范,这与目前公路建设的发展规模和发展要求是极不相称的。

我院在 50 多年的勘察设计工作中足迹遍布全国,遇到过各种各样的公路地基土,积累了丰富的处理经验。在无规范、规范难以形成、以及现有规范难以满足公路地基处理设计施工需求的情况下,用我们的经验指导我国公路地基的处理工作。该书从内容结构上力求简明扼要,重点突出,注重实用性和可读性,在一定意义上具有规范、指南的作用,所以一定会受到从事公路地基处理设计施工的技术、管理人员的欢迎。

由于公路工程地基土的沉积条件不同,地基土的变化往往是极其复杂的。设计理论计算还不能完全解决地基处理中所遇到的所有问题,因此,借鉴以往成功的经验往往是很重要的。本书是三位作者几十年来从事公路工程地基处理工作,在勘察、设计和施工中的经验总结。同时,本书力求先进和创新,将作者近年来关于地基处理的科研成果和先进技术介绍给读者。

本书第二章、第三章、第九章由张留俊编著;第一章、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章由王福胜编著;第十章、第十一章由李刚编著;书中插图由王攀和李刚绘制;全书由张留俊汇总和审查。本书参照和引用了许多同行的经验和资料,并且尽可能列于参考文献之中,在此向他们表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,不足之处,恳请读者批评指正,并提出宝贵的修改意见。

目 录

第一章 特殊性土的勘察	1
1.1 什么叫特殊性土?	1
1.2 什么叫软土? 它的成因类型及分布有哪些特点?	1
1.3 软土有哪些工程特点? 试说明我国各地软土物理力学指标的范围值或经验值。	4
1.4 怎样进行公路软土地基的勘察工作? 初勘阶段工作和详勘阶段工作的目的和任务是什么?	10
1.5 公路工程软土勘察工作中怎样进行勘探点的布设?	11
1.6 目前软土地区主要采取哪些钻探方法?	11
1.7 什么是静力触探方法? 怎样进行静力触探资料整理?	12
1.8 什么是现场十字板剪切试验?	15
1.9 什么是动力触探方法?	17
1.10 什么是旁压试验方法?	18
1.11 软土的室内土工试验有哪些常规项目和特殊项目?	19
1.12 什么是黄土? 黄土有哪些地貌类型?	21
1.13 什么叫湿陷性黄土? 湿陷性黄土怎样进行分类? 湿陷性黄土在我国怎样分布? 判别湿陷性黄土的方法是什么?	23
1.14 什么叫新近堆积黄土? 怎样鉴别新近堆积黄土?	25
1.15 公路工程在黄土地区进行工程地质勘察工作的重点是什么?	26
1.16 在黄土地区怎样进行工程地质钻探工作?	27
1.17 公路工程中黄土的试验项目是什么?	27
1.18 什么是砂土液化? 判定液化砂土的方法有哪些?	29
1.19 液化砂土的勘察工作重点是什么?	31
1.20 液化砂土的勘探工作和试验工作应怎样进行?	32
1.21 什么是膨胀土? 膨胀土的判别标准是什么? 膨胀土怎样进行工程地质分类?	32
1.22 怎样计算膨胀土的胀缩总率?	33
1.23 公路工程对膨胀岩土地区勘察工作的重点是什么?	34
1.24 膨胀岩土地区的路基勘探及试验工作怎样进行?	35
1.25 膨胀土室内试验应注意哪些问题?	35
1.26 什么叫盐渍土? 盐渍土怎样进行分类?	36
1.27 什么是氯盐渍土? 氯盐渍土有哪些工程性质?	37
1.28 什么是硫酸盐渍土? 硫酸盐渍土有哪些工程性质?	37
1.29 什么是碳酸盐渍土? 碳酸盐渍土有哪些工程性质?	37
1.30 怎样在现场识别盐渍化及非盐渍化?	37
1.31 盐渍土勘察工作的重点是什么?	38

1.32	公路工程怎样进行盐渍土的勘探工作? 盐渍土怎样进行取样工作? 作哪些试验项目?	39
1.33	什么是毛细水上升高度? 什么是强烈毛细水上升高度? 盐渍土地基为什么要查明土的毛细水强烈上升高度? 怎样确定毛细水强烈上升高度?	41
1.34	什么叫多年冻土? 什么叫季节融化层? 什么叫多年冻土上限? 多年冻土在我国的分布情况如何?	42
1.35	多年冻土地区地下冰有几种形态? 多年冻土的构造有什么类型? 多年冻土如何进行分类?	42
1.36	青藏高原多年冻土与兴安岭多年冻土的特征有什么区别?	44
1.37	多年冻土地区公路工程勘察工作的重点是什么? 地质调绘应包括哪些内容? 多年冻土的勘探工作如何进行?	45
1.38	如何判定多年冻土上限?	48
1.39	在多年冻土地区,怎样凭地表特征识别高含冰量冻土地段?	49
1.40	公路路基土怎样进行分类?	50
第二章	软基处理设计与计算	52
2.1	什么是堆载预压? 什么是欠载预压、等载预压与超载预压?	52
2.2	在软基设计和施工中,怎样计算预压土方与卸载土方?	53
2.3	什么是预压期沉降? 什么是总沉降? 什么是最终沉降? 什么是工后沉降?	54
2.4	什么是反压护道? 反压护道设计应注意哪些问题?	54
2.5	什么是瞬时沉降? 什么是主固结沉降? 什么是次固结沉降?	55
2.6	什么是沉降系数? 沉降系数有哪些影响因素?	56
2.7	介绍一种沉降系数的计算模式。	59
2.8	怎样进行公路路基沉降计算?	61
2.9	怎样进行粉喷桩或水泥搅拌桩地基的沉降计算?	63
2.10	说明高速公路大、中、小桥、涵洞和(水)鱼塘路段的处理范围和设计原则。	67
2.11	试分析公路软土路基稳定验算的总应力法、有效固结应力法和总强度法。	71
2.12	什么是复合地基? 复合地基承载力如何计算?	73
2.13	什么是负摩阻力? 负摩阻力是怎样计算的? 在公路工程中,负摩阻力对桩基质量有什么影响?	74
2.14	什么叫软土的硬壳层? 怎样认识软土硬壳层的硬壳层效应?	76
2.15	介绍有关“切断硬壳层”代替超载的设想。	78
第三章	软土地基处理方法	82
3.1	浅层软土地基都有哪些处理方法?	82
3.2	土工格栅复合地基有几种类型? 采用土工格栅处理软土路基有什么特点?	84
3.3	土工合成材料怎样对公路路堤起加筋作用? 软基加筋路堤破坏机理一般有几种类型?	85
3.4	什么是塑料排水板法? 塑料排水板的材料质量要求是什么? 它的施工工艺是什么? 有什么施工质量要求?	87
3.5	什么是袋装砂井? 袋装砂井是如何施工的?	89
3.6	什么是真空预压? 什么是真空联合堆载预压? 试用工程实例说明真空预压	

的设计与施工。·····	89
3.7 什么是挤密砂桩? 挤密砂桩怎样进行施工? 什么是反开槽的施工方法? ·····	94
3.8 什么是水泥搅拌桩? 水泥搅拌桩有哪几种施工方法? ·····	95
3.9 水泥土强度形成的机理是什么? 为什么地下水中硫酸盐含量较高时对水 泥土强度有较大的影响? ·····	96
3.10 水泥搅拌桩配合比试验的标准方法是什么? ·····	97
3.11 水泥搅拌桩的试桩如何进行? ·····	102
3.12 水泥搅拌桩的喷粉系统由哪几部分组成? 如何控制喷粉工作? ·····	104
3.13 水泥搅拌桩的复搅工艺应怎样进行? ·····	105
3.14 什么是水泥搅拌桩施工中的“沉桩”问题? “沉桩”问题产生的原因是什么? 怎样进行防治和补救处理? ·····	105
3.15 水泥搅拌桩工程中,“堵管”现象是怎样发生的? 如何解决? ·····	106
3.16 水泥土搅拌桩施工中“翻灰”现象是怎样形成的? 如何处理? ·····	106
3.17 水泥搅拌桩工程的监理工作如何进行? ·····	107
3.18 什么是石灰桩? 它的填料标准是什么? 适用范围是什么? 石灰桩如何进行 施工? ·····	108
3.19 什么是振冲碎石桩? 它有什么优缺点? 振冲碎石桩的施工机械和施工工艺 是什么? ·····	109
3.20 什么是爆破挤淤? 爆破挤淤方法适用于什么环境条件? 怎样进行爆破挤淤的 施工? ·····	110
3.21 什么是强夯置换法? 试举例说明强夯片石桩的设计方法和施工工艺。·····	112
3.22 什么是 CFG 桩? 试比较 CFG 桩与挤密碎石桩和水泥搅拌桩的区别? ·····	113
3.23 CFG 桩的特点是什么? CFG 桩复合地基有哪些作用? 它在公路工程中的适用 范围是什么? ·····	115
3.24 CFG 桩复合地基的设计有哪些要点? ·····	115
3.25 如何进行 CFG 桩的材料配合比设计? ·····	117
3.26 怎样进行 CFG 桩的施工? 它有哪些质量控制方法? CFG 桩怎样进行检验? ·····	118
3.27 什么是预应力管桩? 预应力管桩的设计包括哪些内容? ·····	119
3.28 预应力管桩是如何施工的? ·····	120
3.29 什么是 Y 形桩? Y 形桩是由哪几部分组成的? Y 形桩与其他桩型比较有哪些 优势? ·····	121
3.30 什么是 EPS 材料? EPS 材料有哪些特点? EPS 材料在软土地区公路工程主要应用 在哪些方面? ·····	124
3.31 公路 EPS 路堤的路堤结构和断面形式是什么? ·····	125
3.32 怎样进行 EPS 路堤的设计和计算? ·····	126
3.33 怎样进行 EPS 路堤的施工? ·····	126
3.34 粉煤灰用作路堤填料,它有哪些路用特点? ·····	127
3.35 怎样进行软土路段粉煤灰路堤的设计? ·····	129
3.36 怎样进行粉煤灰路堤的施工? ·····	132
3.37 山岭重丘区的软土地基有什么特点? 高速公路在山岭重丘区的软基处理应	

注意什么问题? 一般的处理方法有哪些?	132
第四章 黄土的地基处理	135
4.1 公路工程在黄土地区有哪些工程地质问题?	135
4.2 公路工程湿陷性黄土地基处理的标准与措施。	136
4.3 在湿陷性黄土地区,公路工程的地基处治包括哪些内容? 高速公路在湿陷性黄土地区怎样确定处理厚度?	136
4.4 怎样采用土垫层法处理湿陷性黄土地基?	138
4.5 石灰的品种、性质和剂量对其加固土效果有什么影响? 石灰加固土施工有什么技术要求?	138
4.6 怎样采用冲击压实法处理湿陷性黄土地基?	139
4.7 怎样采用强夯法处理湿陷性黄土地基?	140
4.8 灰土挤密桩加固湿陷性黄土地基的机理是什么? 怎样进行灰土挤密桩设计和施工?	141
4.9 介绍某高速公路在湿陷性黄土地区的防水措施。	142
4.10 采用浸水法处理湿陷性黄土地基施工应符合哪些要求?	145
4.11 黄土喀斯特是怎样形成的? 一般怎样进行治理?	145
4.12 什么是黄土陷穴? 黄土陷穴处治措施选定的原则是什么? 怎样进行黄土陷穴处理?	145
4.13 什么是灌浆法? 灌浆法的基本原理是什么?	147
4.14 采用灌浆法的设计包括哪些步骤和内容? 灌浆法的施工怎样进行?	148
4.15 灌浆法一般采取哪些浆液材料?	149
4.16 什么是高压旋喷注浆? 怎样选定旋喷桩的注浆材料? 旋喷桩的施工工艺与技术要求是什么?	152
4.17 怎样采用土工格栅来消除黄土路堤和路堑的不均匀沉降?	156
第五章 液化砂土地基处理	158
5.1 砂土液化路段的公路工程在地震中路基有什么病害?	158
5.2 什么是液化指数? 液化指数的计算公式是什么?	158
5.3 什么是液化势? 高速公路在可液化地区液化势的规律性如何?	159
5.4 怎样考虑高速公路在砂土液化路段的地基处理原则? 高速公路砂土液化路段的处理原则是什么?	162
5.5 试述几种常见的液化土处治方案。	163
5.6 什么是强夯法? 采用强夯法加固液化土的设计要点有哪些?	164
5.7 强夯法的试夯要确定哪些参数? 强夯法应怎样进行施工?	165
5.8 举例说明高速公路是如何采用强夯法处理砂土液化地基的?	166
5.9 怎样进行挤密碎石桩加固液化砂土的设计? 挤密碎石桩怎样进行施工?	169
第六章 膨胀土的地基处理	171
6.1 用膨胀土作为路基填料有什么规定? 掺石灰改善膨胀土的机理是什么? 试用工程实例说明用掺石灰的方法改善膨胀土。	171
6.2 强膨胀土为什么不能作为路堤填料?	174
6.3 膨胀土地基处理一般有哪些方法? 公路路基工程应采取什么措施?	174

6.4	膨胀土滑坡有哪些整治措施?	175
6.5	为什么在膨胀土滑坡整治中应尽量避免使用清方减载方法?	176
6.6	试述膨胀土路堑的病害及其防治措施。	176
6.7	试述膨胀土路堤的病害及其防治措施。	179
第七章	盐渍土的地基处理	180
7.1	盐渍土地区公路病害的防治,应采取哪些措施?	180
7.2	盐渍土地区公路工程如何选用水泥?	180
7.3	盐渍土对公路工程构造物的腐蚀分哪些类型?	181
7.4	怎样确定盐渍土路基高出地下水位的最小高度?盐渍土能否作为路堤填料? 怎样确定盐渍土路堤边坡坡度?	182
7.5	干涸盐湖地段公路路基应采取哪些措施?	183
7.6	在盐渍土地区公路路基的设计原则是什么?	183
7.7	目前国内对公路盐渍土病害治理中,有哪几种隔断措施?	184
7.8	盐渍土地区施工应注意哪些问题?	185
第八章	多年冻土的地基处理	187
8.1	多年冻土地区有哪些不良地质现象?	187
8.2	公路路基工程在多年冻土地区有哪些病害?	188
8.3	什么是保护多年冻土的设计原则?在多年冻土地区怎样按保护多年冻土原则 设计公路路基?	189
8.4	什么是多年冻土地区路堤的最小填土高度?	190
8.5	什么是按破坏多年冻土的原则设计?什么条件下的路基可采用破坏多年冻土的 原则设计?破坏多年冻土一般采用的方法是什么?	191
8.6	在高寒地区,冻胀与翻浆是怎样产生的?引起公路冻胀与翻浆的主要因素是什么? 公路工程防治冻胀与翻浆的设计原则有哪些?	191
8.7	多年冻土地区公路路基施工应注意哪些问题?	193
8.8	保温材料处理多年冻土的原理是什么?保温材料应进行哪些测试项目? 公路路基铺设保温材料的施工工艺是什么?	195
第九章	采空区的地基处理	198
9.1	什么是采空区?采空区怎样进行分类?	198
9.2	怎样进行采空区的“三带”划分?	198
9.3	采空区是怎样形成的?采空区对地面建筑和公路工程的稳定性有什么影响?	199
9.4	采空区高等级公路工程在各个勘察阶段的勘察重点是什么? 工程地质勘察工作程序是什么?	201
9.5	怎样进行采空区的工程地质钻探?	204
9.6	怎样进行采空区的物探工作?	205
9.7	怎样进行采空区地表沉降变形观测?	206
9.8	采空区影响地表变形的主要因素是什么?	206
9.9	公路采空区的治理原则是什么?设计要点有哪些?什么是采空区的分期修建?	209
9.10	采空区冒落塌陷对公路工程的危害表现在哪些方面?	209

9.11	怎样根据经验公式及勘察区覆岩结构特点评价路基的稳定性?	209
9.12	怎样预测煤矿采空区地表变形?	210
9.13	怎样进行煤矿采空区空洞体积估算?	210
9.14	煤矿采空区治理一般有哪些方法,各有什么优缺点?	211
9.15	公路采空区治理设计的工作要点有哪些? 采空区有哪些治理方案? 怎样合理考虑采空区的治理范围?	211
9.16	用工程实例说明采空区的整治。	212
第十章	观测工作和资料分析	216
10.1	公路工程进行沉降观测的目的是什么? 公路工程地表沉降观测使用的仪器设施有哪些? 水准点的设定有什么要求?	216
10.2	什么是深层沉降观测? 它采用什么仪器? 是怎样埋设和观测的?	216
10.3	公路工程进行稳定观测的目的是什么? 稳定观测的仪器设施有哪些? 采用什么观测方法?	217
10.4	测斜观测的目的是什么? CX-01 型数字显示测斜仪的仪器组成和性能指标是什么? 怎样使用测斜仪?	218
10.5	在路堤的施工期和预压期中,对观测频率是怎样规定的? 不稳定状态的判断标准是什么?	219
10.6	怎样使用沉降观测资料进行路面铺筑时间的确定?	220
10.7	什么是土压力计? 它有哪些作用? 它有什么品种和型号? 土压力计是怎样埋设和观测的?	221
10.8	什么是孔隙水压力计? 它有哪些作用? 它有什么品种和型号? 孔隙水压力计是怎样埋设和观测的?	223
10.9	水位观测管的作用是什么? 怎样进行埋设水位观测管?	223
10.10	地基沉降观测曲线有什么作用? 常用的沉降曲线推算方法有哪些?	224
10.11	公路工程实际中如何运用数学方法进行地基沉降分析?	229
第十一章	地基处理的检测工作	237
11.1	水泥搅拌桩在施工现场需要进行哪些检测工作?	237
11.2	怎样采取钻探取芯法检验水泥搅拌桩施工质量?	237
11.3	怎样进行静载荷试验检测工作?	239
11.4	介绍现行不同行业水泥搅拌桩的检测方法。在现有水泥搅拌桩工程中,还使用过什么其他检测方法?	242
11.5	介绍一种水泥搅拌桩施工质量的综合评定的方法。	245
11.6	怎样进行挤密砂桩的施工质量检验工作?	247
11.7	影响挤密砂桩密实度有哪些因素? 怎样考虑这些因素?	248
11.8	爆破挤淤工作如何进行施工的质量检测?	250
11.9	怎样进行预应力管桩的施工质量检验?	250
11.10	怎样进行强夯法的施工质量检验?	251
11.11	怎样进行旋喷桩的施工质量检测?	251
11.12	怎样进行挤密碎石桩质量检验?	252
参考文献	254	

第一章 特殊性土的勘察

1.1 什么叫特殊性土?

土是覆盖地球表层的物质。自然界的土形形色色,成因类型千差万别。具有特殊的物理、力学、化学性质,并影响工程地质条件的土称为特殊性土。它主要包括软土、黄土、膨胀土、液化土、盐渍土、多年冻土等。这些天然形成的特殊性土的地理环境分布有一定的规律性和区域性,因此这些特殊性土也称为区域特殊性土。

我国幅员辽阔,公路工程遍布全国各地,从沿海到内地,从平原到山区,由于各个地区的地理位置、地质成因和地层构造、气象条件以及地基土的地质特性差异甚大,一些特殊种类的地基土分布在全国各地。这些特殊性土由于具有不同的地质特点,工程性质差别很大。如软土的低强度和高压缩性,黄土的湿陷性,杂填土的不均匀性,膨胀土的胀缩性以及多年冻土的冻胀变形和融沉性质等。多年来,随着建设事业的发展,对特殊性土地基的处理,除了一些通用的方法以外,在各个行业都有一套专门的处理方法,形成了各自的设计规范和施工技术规程。

改革开放以来,我国公路建设得到突飞猛进的发展。由于公路是一种延伸长度极大的线形建筑物,可能穿越各种不同的特殊性土地区,公路的稳定性和正常营运常受到各种地质因素的影响,往往地质因素成为决定公路工程成本、工期、施工质量及建筑物使用效果和使用寿命的关键问题。如何充分利用地质条件,降低处理难度,减少处治耗资,是设计人员、科研人员和施工人员考虑的一个重要问题。所以,研究特殊性土和不良地质对搞好公路工程有着重要意义。

1.2 什么叫软土? 它的成因类型及分布有哪些特点?

软土属于一种特殊性土,它是在静水环境沉积的、高含水量、大孔隙比、高压缩性和低强度的细粒土。但是,在实际工程中,无论是勘察阶段、设计阶段还是施工阶段,由于对软土或是软弱土基本概念的认识不同,导致软土的鉴别标准混乱。所以,有必要统一认识,统一概念。

国内各行业对软土的鉴别标准是有所差异的,就是同一部门在不同时期对软土的鉴别标准也是不尽相同的。就以公路行业为例,1985年颁布的《公路土工试验规程》(JTJ 051—85)对软土的划分规定了五条标准(含水量、孔隙比、压缩系数、饱和度和快剪内摩擦角),见表1-1。

1985年公路土工试验规程关于软土的划分表

表 1-1

土类 \ 指标	含水量 (%)	孔隙比	压缩系数 (MPa^{-1})	饱和度	快剪内摩擦角 ($^{\circ}$)
粘土	> 40	> 1.20	> 0.50	> 0.95	< 5
中、低液限粘土	> 30	> 0.90	> 0.30	> 0.95	< 5

1993年颁布的新的土工试验规程去掉了这一划分表,说明这种划分方法在实用中存在一定问题。1996年颁布的《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ 017—96)(以下简称公软规)关于软土的划分重新作了规定,见表1-2。

1996年规范关于软土的划分鉴别表

表 1-2

特征指标名称	天然含水量 (%)	天然孔隙比	十字板剪切强度 (kPa)
指标值	> 35 且大于液限	≥ 1.0	≤ 35

到1998年颁布的《公路工程地质勘察规范》(JTJ 064—98)(以下简称“98公勘规范”)关于软土的标准又有所区别。该文“术语”一章中指出:“软土 Mollisol:滨海、湖沼、谷地、河滩沉积的天然含水量大于液限,天然孔隙比大于或等于1.0,压缩系数大于 0.5MPa^{-1} ,不排水抗剪强度小于 30kPa 的细粒土。”

应当说明,“98公勘规范”中是引用了94年国家标准《岩土工程勘察规范》(GB 50021—94)(以下简称“94国标”)中的某些指标。向国标靠拢这一指导思想,是完全正确的。但仔细分析后就会发现,“94国标”和“98公勘规范”中关于软土的标准是有很大的差别。“94国标”关于软土的第5.3.1条指出:“天然孔隙比大于或等于1.0,且天然含水量大于液限的细粒土应判为软土,包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等,其压缩系数宜大于 0.5MPa^{-1} ;不排水抗剪强度宜小于 30kPa ”。在这里用了三项硬指标(含水量、孔隙比、细粒土),另外还用了两项“软”指标,之所以称其为“软”指标,是因为这里用了“宜……”,表示压缩系数和不排水强度两项指标在特殊情况下可以稍有选择和松动。两个标准,一字之差,表示还是有差别的。

根据软土判定标准,不管是老标准,还是新标准,对软土都是既制定了物理指标的标准,又制定了力学指标的标准。这样就构成了两种土,一种是完全符合软土的物理性质和力学性质的土;另一种是物理指标符合软土指标标准,但力学指标尚有部分达不到软土指标标准。前一种土称其为软土,后一种土只能称其为准软土,一般称软弱土。

由于我国幅员辽阔,软弱土在我国还是大量存在的。例如江苏省南通地区有一种新近沉积的三角洲相软弱土,该层软弱土在三角洲地区广泛分布,软弱土呈软塑~流塑状,天然含水量 $30\%\sim 45\%$,孔隙比 $1.0\sim 1.2$ 。该土粉粒和砂粒含量较大,固结速度快,固结变形主要发生在 $0\sim 100\text{kPa}$ 的荷载下,所以压缩系数 $a_{100-200}$ 不大,由于该土压缩系数和不排水剪切强度均达不到软土标准,所以只能定为软弱土。实际上该土仍属于高压缩性土,还需要进行地基处理。在河北省邯郸地区,有一种河湖相沉积的软塑~流塑状低液限粘土,由于颗粒较粗,其快剪的内摩擦角可达 20° 左右,同样达不到软土标准。这种土作为公路地基同样需要进行地基处理以解决其沉降问题。所以说,公路工程的软土地基需要进行处治,公路工程的软弱土地基同样需要进行处治。处治的方法是由公路工程的标准和构造物的类型决定的。

有没有必要把软土和软弱土分成两种土,笔者持否定意见。问题的实质是软土的判定标准应该严一点还是宽一点,应该是一项标准还是数项标准,建设部的标准值得借鉴,建设部的《软土地区工程地质勘察规范》(JGJ 83—91)规定,凡符合以下三条特征即为软土:

- 1)外观以灰色为主的细粒土;
- 2)天然含水量大于或等于液限;
- 3)天然孔隙比大于或等于1.0。

建设部的判定标准只包括了物理指标,没有力学指标。此标准实际上包括了软土和绝大部分软弱土。

“德国地基基础规范”(DIN 4084)中软土指“很容易搓捏的土”,“用拳头捏紧它时,会从指缝间挤出”。看起来似乎很含糊,但这样的概念也包括了软土和软弱土。

之所以要把软土作为“特殊性土”从普通的土中区别出来,是因为它有特殊的工程性质,例如高含水量、高压缩性、低透水性、低强度,建筑在这一类地基上的构造物会有沉降和稳定问题,需要进行地基处理。

软土需要进行地基处理,软弱土同样需要地基处理。公路工程不但有静荷载,还有动荷载。特别是在高等级公路大规模发展的今天,更有理由把软土和软弱土合二为一,避免不必要的混乱。

纵观公路行业几十年来,关于软土的判定标准一直在变,几乎可以说,换一个版本就有一个说法。国内其他行业的软土概念也有所不同。国外各国对软土的定义虽然说法不一,但大同小异。笔者以为,认识一种事物,要分清“概念”和“特点”。把“特点”当作“概念”,必然导致混乱。

“94 国标”关于软土概念:“天然孔隙比大于或等于 1.0,且天然含水量大于液限的细粒土应判为软土,包括淤泥、淤泥质土、泥炭、泥炭质土等,其压缩系数宜大于 0.5MPa^{-1} ;不排水抗剪强度宜小于 30kPa ”。这里面包括三层意思:第一层意思说明了软土判定标准,第二层意思说明了软土的分类,第三层意思说明了软土的主要工程特点。这一概念基本上可以用于公路行业。

软土的成因类型及在我国的分布见表 1-3。

软土成因类型及在我国的分布

表 1-3

成因类型		代表区域	一般特征
滨海 沉积	滨海相	连云港、天津、大连、湛江、香港、厦门等地	分布范围较宽,常与海沿岸流及潮汐的水动力作用形成,掺杂较粗颗粒,在沿岸与垂直岸边方向有较大变化,土质疏松且不均匀
	浅海相	塘沽	多位于海湾区域内,河流入海携带的动植物残骸经生物化学作用,形成灰色或灰绿色淤泥和淤泥质土
	泻湖相	温州、宁波	分布范围较宽,沉积颗粒细微,表层有较薄的硬壳层,其下为较厚的淤泥层,在其边缘常有泥炭堆积
	溺谷相	福州、泉州、海南	分布范围略窄,结构疏松,在其边缘常有泥炭堆积
	三角洲相	长江下游的南通、上海、珠江下游广州地区	在海陆相交相互作用下,软土层与砂层交错沉积,多形成尖灭或透镜体,分选程度差、结构疏松,软土层一般较厚
湖泊 沉积	湖相	洞庭湖、太湖、洪泽湖、鄱阳湖四周地区、云南的滇池地区	是近代盆地的沉积,其物质来源与周围岩性基本一致。淤泥结构松软,呈暗色、灰绿色或黑色,时而有泥炭透镜体
河滩 沉积	河漫滩相、牛轭湖相	长江中下游地区、淮海平原、松辽平原	范围相对较小,其成分不均一,厚度变化大,软土常呈带状或透镜体存在
沼泽 沉积	沼泽相	分布内陆排水不畅的低洼地带	多伴以泥炭为主,且常出露于地表。下部有淤泥层或与泥炭互层

1.3 软土有哪些工程特点？试说明我国各地软土物理力学指标的范围值或经验值。

软土具有以下特点：

(1) 高含水性

软土是在静水或缓慢流水环境中形成的近代沉积物，天然含水量高是软土最基本的特性。在软土的定义里规定了天然含水量大于液限这一定量的指标。同时这里又用了天然稠度的概念，说明软土是一种很软的土，至少是软塑状。

软土的天然含水量一般大于 35%，最大可达 300% 以上。一般天然含水量 30% 的低液限粘土就可以达到软塑状态。软土包括淤泥和淤泥质土、泥炭和泥炭质土。淤泥的含水量一般为 50% ~ 90%；泥炭和泥炭质土由于颗粒质量很轻，所以天然含水量很大，云南昆明滇池的泥炭含水量可达 600%。

软土一般都是饱和土，饱和度在 90% ~ 100%。软土的密度较小，一般在 $14.0 \sim 19.0 \text{ kN/m}^3$ ，泥炭可达 10.0 kN/m^3 。软土的孔隙比大于 1.0。

软土高含水性的基本特点，决定了软土具有高压缩性和低强度等工程性质。

(2) 低透水性

软土渗透系数一般较低，一般为 $10^{-7} \sim 10^{-9} \text{ cm/s}$ 。因为大部分软土液限较高，呈蜂窝结构和絮凝结构，但是对部分低液限土，例如淤泥质低液限粘土，这类土由于颗粒较粗，呈单粒结构，所以渗透系数较大，一般在 $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ cm/s}$ 之间。

(3) 高压缩性与固结速度缓慢

土体在其应力状态改变时，土的体积逐渐变化的过程称为土的压缩。压缩是在荷载作用下体积逐渐变小的过程。

软土是一种高压缩性土，压缩系数 $a_{0.1 \sim 0.2}$ 一般大于 0.5 MPa^{-1} ，最大可达 10 MPa^{-1} 以上。

软土除有高压缩性以外，还具有固结速度缓慢的特征。固结是指当饱和土体受到外力作用时，最初外力全部由孔隙水承受（称为孔隙水压力），随着水分的排出，外力逐渐传递到土骨架上（称为有效应力），这种孔隙水压力减小，而有效应力增大的过程称为土的固结。

压缩与固结对软土的工程性质有重要影响，与建筑物地基的稳定和沉降问题有密切联系。土体压缩导致建筑物下沉，随着固结过程土体内孔隙水压力和有效应力的不断改变，土的强度也相应变化，直接影响到上层构筑物的使用条件和安全。

地基土受到荷载作用会产生变形，一般分三种类型：①弹性变形：当土体受压后，移去外加荷载，土体又可部分地恢复原来的形状，这种变形称为弹性变形；②塑性变形：土体形状的不可逆变形称为塑性变形；③压缩变形：土层受压后，孔隙中的水与空气被挤出，减小了孔隙体积，土体呈现压缩状态，这种变形称为压缩变形。

变形模量：指土在单轴受力且在无侧限条件下土的应力应变之比。由于土的变形中既有弹性变形，又有压缩变形，为了与一般弹性材料相区别，在土力学中称为变形模量，以 E_0 表示。

压缩模量：土在有侧限条件下，在单轴受力下竖向应力与竖向应变的比值。土的压缩模量不仅反映土的弹性变形，还反映土的残余变形，是一个随压力而变化的数值，以 E_s 表示。采用

分层总和法计算基础最终沉降量时,可以采用压缩模量 E_s 来计算,这时 E_s 的取值应在自重应力到自重应力加附加应力段。

弹性模量:如果单取土的弹性或瞬时应变(不包括随时间而发展的蠕变)来看,法向应力与相应的土的弹性应变的比值,称为土的弹性模量,以 E_d 表示。

(4) 低强度

软土的强度很低,按照 1994 年国家标准《岩土工程勘察规范》(GB 50021—94)的规定,软土的“……不排水强度宜小于 30kPa”。这里引用了“不排水强度”这一概念。不排水强度是不排水抗剪强度的简称,用 C_u 表示,是由三轴试验在完全不排水条件下测定的抗剪强度。对于饱和软粘土,其值等于不固结不排水试验得出的粘聚力(如图 1-1)。

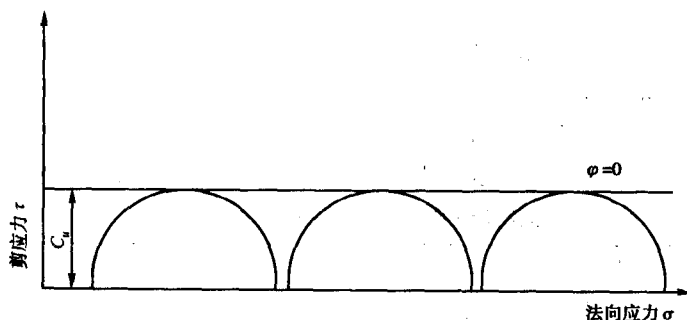


图 1-1 土的不排水强度

公路工程采用十字板剪切强度作为软土的控制指标。十字板试验是在钻孔底插入十字板头,施加扭矩使板头等速扭转,在土中形成圆柱破坏面,测定此时的最大扭矩,计算出土的十字板抗剪强度 S_u 。

对饱和软粘土,它相当于内摩擦角 $\phi_u = 0$ 时的粘聚力值,由于土的十字板强度值接近于土的不排水强度,所以十字板试验作为现场测定饱和软粘土不排水强度的方法,在软土工程中得到大量应用。

在不排水剪切时,饱和软粘土内摩擦角接近于零,主要由内聚力决定,而内聚力值一般小于 20kPa。

这里还需说明的是,软土中的低液限土内摩擦角较大,这部分软土还是有一定强度的。但是这种土孔隙比大于 1.0,压缩性仍较大,在荷载作用下,地基仍会发生较大的沉降,同样需要进行处理。同时,由于颗粒较粗,排水速度很快,在土样运送过程中,水分已经流失(土样部分固结),或在直剪试验过程中,水分部分排出,所以,试验结果往往偏大。

剪切试验方法应根据地基应力状态、加荷速率和排水条件来选择,对排水条件较差、加荷速率较快的地基,宜采用不排水剪。当地基在荷载作用下有可能达到一定程度的固结时,可采用固结不排水剪。

(5) 触变

当软土的结构未被破坏时,具有一定的结构强度,但是一经扰动或振动,就破坏了原有的结构,它的强度很快明显降低,甚至发生流动;而当静置一段时间后,强度又随时间逐渐得到恢复,这种性质称为软土的触变。触变性可由土的灵敏度这一指标反映。它与土体中吸附水的

特性有关。软土按灵敏度分级如表 1-4。

软土按灵敏度分级

表 1-4

按灵敏度分级	不灵敏	中等灵敏	灵敏	很灵敏	超灵敏
灵敏度	<2	2~4	4~8	8~16	>16

(6) 有机质含量

软土的颜色一般为灰色或黑灰色,且具有腐烂植物的气味,含有机质也是软土的特点之一。软土的有机质含量一般小于 10%,但泥炭和泥炭质土的有机质含量很大,《岩土工程勘察规范》(GB 50021—94)规定有机质含量占 10%~50%的称为泥炭质土;有机质含量大于 50%的称为泥炭。

软土中有机质主要为纤维素和腐殖质,它是动植物的残体及微生物生命活动的产物。是以碳、氮、氢、氧为主体还有少量的硫、磷和金属元素组成的有机化合物的统称。

泥炭和泥炭质土由于有机质含量高,所以在物理力学性质方面,其突出表现为高含水量、高孔隙比和渗透系数较大等。表 1-5 云南滇池泥炭和泥炭质土的试验指标。

云南滇池泥炭和泥炭质土的试验指标表

表 1-5

土 名	天然含水量 (%)	天然孔隙比	渗透系数 (cm/s)	压缩系数 (MPa ⁻¹)		
				0~50 kPa	50~100 kPa	100~200 kPa
泥炭	715	13.26	10 ⁻³ ~10 ⁻⁵	109.90	34.30	13.50
泥炭质土	312	7.12	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁶	44.70	25.10	8.00

但是,也不排除有不含有机质的软土,例如在我国中原地区黄河滩上及少部分黄土地区,就有黄褐色的饱和黄土,这种土的天然孔隙比约为 0.9~1.2,呈流塑状,属于河漫滩相沉积。由于是新近沉积,并且颗粒较粗,所以极容易固结,在固结试验中,50kPa 压力下,试样变形量很大,50kPa 以后各级荷载变形量很小,这种土一般是零星分布,也是一种具有软土特点土。

我国各地软土试验指标经验值见表 1-6、表 1-7、表 1-8、表 1-9、表 1-10、表 1-11 和表 1-12。

江苏软土物理力学指标

表 1-6

土 质	连云港		南通	淮安地区	徐州吴邵
	淤泥质土	淤 泥	淤泥质低液限土	淤泥质土	淤泥质土
	滨海相	滨海相	三角洲相	河湖相	湖沼相
试验指标					
天然含水量 w (%)	44~50	57~80	30~45	28~53	32~58
天然容重 γ (kN/m ³)	16.5~18.0	15.0~16.6	16.0~19.0	16.0~19.5	17.2~18.8
孔隙比 e	1.0~1.70	1.50~2.10	0.90~1.30	1.00~1.65	0.9~1.6
液限 w_L (%)	42.0~57.0	50.0~71.0		33.0~56.0	41~73
塑指 I_p (%)	31.0~33.0	28.0~43.0		12.0~27.0	19~45

续上表

土 质 试 验 指 标		连云港		南通	淮安地区	徐州吴邵
		淤泥质土	淤泥	淤泥质低液限土	淤泥质土	淤泥质土
		滨海相	滨海相	三角洲相	河湖相	湖沼相
快剪	$C(\text{kPa})$	5 ~ 20	5 ~ 15	5 ~ 20	7 ~ 35	2 ~ 12
	$\phi(^{\circ})$	6.0 ~ 10.0	0 ~ 10.0	5 ~ 25	1 ~ 14	2 ~ 11
固结快剪	$C(\text{kPa})$	12 ~ 20	10 ~ 18	15 ~ 25		8 ~ 11
	$\phi(^{\circ})$	9 ~ 25	8 ~ 20	10 ~ 28		6 ~ 12
压 缩 系 数 $a_{0.1-0.2}$ (MPa^{-1})		0.95 ~ 1.50	1.8 ~ 3.0	0.3 ~ 0.8	0.38 ~ 1.11	0.42 ~ 1.50
压 缩 模 量 $E_{s,0.1-0.2}$ (Mpa)		1.0 ~ 2.6	0.9 ~ 1.5	1.5 ~ 5.0	2.2 ~ 4.6	1.8 ~ 4.7
静力触探	$q_c(\text{MPa})$	0.34 ~ 0.45	0.18 ~ 0.30	0.9 ~ 1.9		0.43 ~ 0.90
	$f_c(\text{MPa})$	0.012 ~ 0.032	0.005 ~ 0.01	0.01 ~ 0.06		0.015 ~ 0.042
十字板强度 $S_u(\text{kPa})$		21 ~ 45	15 ~ 25	25 ~ 80		

河北软土物理力学指标

表 1-7

土 质 试 验 指 标		邯郸软土	唐山软土	天津软土	塘沽软土
		淤泥质低液限粘土	淤泥质土	淤泥和淤泥质土	淤泥和淤泥质土
		河湖相	海陆交互相	滨海相	滨海相
天然含水量 w (%)		35 ~ 40	30 ~ 50	40 ~ 80	47 ~ 56
天然容重 γ (kN/m^3)		18.0 ~ 19.0	16.5 ~ 19.0	15.0 ~ 16.6	16.5 ~ 17.6
孔隙比 e		1.00 ~ 1.20	1.00 ~ 1.45	1.50 ~ 2.10	1.32 ~ 1.54
液限 w_L (%)		32.0 ~ 40.0	45 ~ 70	50.0 ~ 71.0	42 ~ 55
塑指 I_p (%)		8.0 ~ 15.0	15 ~ 45	28.0 ~ 43.0	21 ~ 26
快剪	$C(\text{kPa})$	10 ~ 25	7 ~ 40	5 ~ 15	11 ~ 17
	$\phi(^{\circ})$	10.0 ~ 25.0	5 ~ 15	0 ~ 10.0	2 ~ 6
固结快剪	$C(\text{kPa})$	15 ~ 30		10 ~ 18	15 ~ 20
	$\phi(^{\circ})$	15.0 ~ 34.0		8 ~ 20	11 ~ 14
压缩系数 $a_{0.1 \sim 0.2}$ (MPa^{-1})		0.3 ~ 0.6	0.4 ~ 2.0	1.8 ~ 3.0	1.2 ~ 1.49
压缩模量 $E_{s, 0.1 \sim 0.2}$ (MPa)		4.0 ~ 5.0	1.3 ~ 2.5	0.9 ~ 1.5	0.8 ~ 2.0
静力触探	$q_c(\text{MPa})$		0.3 ~ 0.7	0.18 ~ 0.30	
	$f_c(\text{MPa})$		0.003 ~ 0.014	0.005 ~ 0.010	
十字板强度 $S_u(\text{kPa})$			25 ~ 80	15 ~ 40	