

电离子土壤强化剂(ISS)丛书 1

电离子土壤强化剂 (ISS) 施工指南

Tonic Soil Stabilizer Construction Manual



主 编 陈彦生 董建军
副主编 姚 宏 文 军 肖传新

武汉工业大学出版社

内 容 提 要

本书是电离子土壤强化剂(ISS)丛书之一,内容包括阿太堡限的理论与应用、土壤分类体系、土力学对修堤筑路面层材料的应用、pH 值酸碱度水平、土的物理性质指标和工程性质指标及其计算、ISS 固化机理、ISS 施工设计、ISS 施工机械、ISS 现场检测以及有关的参考文献等。

本书可供施工、监理、设计、科研、高等院校等有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电离子土壤强化剂(ISS)施工指南/陈彦生,董建军主编. —
武汉:武汉工业大学出版社,1999.10

ISBN 7-5629-1527-X

I. 电… II. 陈… III. ①ISS—施工设计 ②ISS—施工
检测 IV. TQ 156

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 25127 号

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路 122 号 邮政编码 430070)

武汉工业大学出版社印刷厂

开本:787×1092 1/32 印张:3.375 字数:97.2 千字

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—2000 册 定价:15.00 元

电离子土壤强化剂(ISS)丛书编写委员会

主任委员:李长生

副主任委员:周 师 王 刚 张政权

委 员:陈彦生 董建军 郭 玉

张文煊 李长城 姚 宏

文 军 肖传新 杜德坤

陈金天 朱寿峰 陈 玲

李鸿钧 胡家振 吕书云

甘国权 曹 罡 李昊洁

孔 卫 袁小勇 徐万友

主 编:陈彦生 董建军

副 主 编:姚 宏 文 军 肖传新

序

电离子土壤强化剂(ISS—Ionic Soil Stabilizer),国内俗称“路之宝”,是一种由多个强离子组合而成的水溶剂。用作土壤基质的补充,从根本上将土壤内部毛细管水全部去掉,在常规压实机械碾压后,能有效地提高土壤的密实度、防渗性和承载能力。国际上称 ISS 为 20 世纪重大发明之一。从 70 年代起,已在世界上数十个国家与地区广泛应用。

1994 年,武汉楚泰材料技术工程公司与广州荔湾竟发实业公司、香港七宝工程有限公司,首次从澳大利亚引进并在长江三峡工程的施工临时道路试用成功。随后,在水利部科技推广中心的主持下,同深圳中水实业发展公司、武汉长江工程技术公司、宜昌景荣土建工程公司等广东、福建、湖北、河南等省的水库道路、水土流失边坡和防洪抢险堤防堤顶固化工程中拓展试用。1997 年,水利部将 ISS 列为水利系统重大科技推广项目。

1998 年后,国外一些厂商(在中国的代表处)、国际贸易公司,也直接与国内有关交通、旅游等部门签约,纷纷在云南、浙江、山东、广东、黑龙江等省的高等级公路、旅游环保道路的施工中应用了 ISS。

近年来,ISS 之所以在国内水利、交通、旅游等部门得到广泛应用,这主要是与它的卓越功能分不开的:

1. 经济。据国内外大量的实践证明,每平方米造价在 20~30 元人民币之间。
2. 快速。用常规的修堤筑路机械施工,6~7m 宽、0.15m 厚、1km 长的道路(或 $6000\sim 7000\text{m}^2$),其工期只需 24h。

3. 耐久。简易道路的面层、高等级公路的路面基层与底基层、水土流失边坡、防洪堤坝以及软弱地基等经 ISS 处理后,其土壤由原来亲水性转变为憎水性,交通车辆长期运行或洪水侵蚀,其稳定性与承载能力可保持 30 余年不变。

4. 保护生态环境。ISS 的发明是基于环境保护而不断研制的系列产品,对人体、牲畜、植物和大自然均无损害,并能促进植物的生长,而且工程维护简便,对养殖场、草坪、山体植被等生态平衡有促进作用。

电离子土壤强化剂(ISS)丛书编写委员会,结合国内外工程实践,编辑出版《电离子土壤强化剂(ISS)施工指南》、《电离子土壤强化剂(ISS)在防洪堤坝工程中应用》和《电离子土壤强化剂(ISS)在交通道路工程中应用》,旨在其新材料与新技术的标准化和规范化,并以此为契机,将我国自己的 ISS 材料及其施工技术提高到一个新水平。

王思敬

中国工程院院士

1999 年 9 月 9 日于香港

目 录

1	术 语	(1)
2	阿太堡限——理论与应用	(4)
3	土壤分类体系	(7)
4	土力学——对修堤筑路面层材料的应用	(19)
5	pH 值——酸碱度水平	(35)
6	土的物理性质指标及其计算	(39)
7	土的工程性质指标及其计算	(42)
8	ISS 简介	(46)
9	ISS 固化机理	(49)
10	施工最佳含水量的调配	(54)
11	ISS 施工设计	(56)
12	ISS(含常规)施工机械	(65)
13	ISS 现场检测	(91)
附	录	(97)

1 术 语

1.1 电离子土壤强化剂(ISS——Ionic Soil Stabilizer)

国内俗称“路之宝”。是一种由多个强离子组合而成的水溶剂。可用来改变主要是无机土壤的化学与物理性质,从而使土壤能达到常规方法不能达到的更好的压实密度、防渗性和承载能力。

ISS 并不像石灰与水泥那样的一种粘合剂,它是一种真正的催化剂。其功效并不会随时间地推移而逐渐减弱,相反,只要在土壤中含有水分,它的功效就会一直继续保持下去。

1.2 催化剂(Catalyst)

能引起变化(主要是化学变化)的一种因素。或者说是增加化学反应而加入的一种物质。

1.3 离子(Ion)

原子失去或获得电子后所形成的带电粒子,或带电原子团。

1.4 离子交换(Exchange of Ion)

土壤胶体所吸附的离子与 ISS 溶液中的离子相互交换的作用。

1.5 化合水(Chemical Water)

是一种以离子形式参与组成矿物晶格的氢氧根离子 OH^- 和水合氢离子 H_3O^+ 。一般认为是深入到土壤晶体结构中并与土壤中的矿物质相结合的水,又称“结晶水”或“结构

水”，由化合作用所形成，它是在矿物晶格中占有确定位置的中性水分子。这种水可看成是土壤整体组成成分，不可能通过干燥办法去掉。只有在 $500\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 高温下，当晶格破坏时才释放出来。在一般的工程设计中，该水可不予考虑。而且 ISS 对它也难起作用。

1.6 毛细管水(Capillary Water)

或称“毛细管引力作用所储存在土壤毛细管孔隙中之水”。换言之，是在土壤颗粒间孔隙中的聚集水。通过渗流、蒸发或适当设备抽吸，这种水可部分或全部去掉。

1.7 吸附水(Absorbed Water)

又称“因湿气所衍生之水”。是粘附在土壤矿物颗粒表面的吸湿水，可在炉中经干燥处理后(100°C 左右)部分地去掉，但不能全部去掉。不能去掉的部分叫“强结合水”或“吸湿水”，它是由分子引力和静电引力牢固地吸附在土壤颗粒表面的水，该水分溶解盐类能力很弱，导电性低，且在 -78°C 时仍不冻结。经过干燥处理的土壤冷却后，由于有环境湿度，该土壤又会重新吸水，其吸水量取决于环境湿度的大小。当 ISS 加入到土壤后发生的化学反应，会使土壤空隙中的水离子变成自由水，从而能排出或通过蒸发去掉，土粒表面所吸收的水会减少，土壤颗粒也不再膨胀，并使整个地基变得稳定，而且这一过程是不可逆的。简言之，用 ISS 处理的土壤尤其是粘性土则再不会见水膨胀、失水干裂了。

1.8 表面张力附着水(Sorb Water on Tension)

这是土壤中大部分的水分，纯因表面张力而滞留下来的

水。这种水在土壤颗粒与颗粒间形成表面张力而彼此相互吸引,如同一张拉紧的皮一样,依附于土壤中。如果没有这种张力,它将会以小水滴之形态自由地停留在毛细管及土壤颗粒间的空隙中。

2 阿太堡限——理论与应用

阿太堡限(Atterberg limits),首先是在农业中引进的,后来发现在土木工程中有相当的优越性,同粒径一样,阿太堡限对多数土壤分类系统来说是基本的。

土壤可以处于多种状态,因其含水量不同,不同状态的土壤会有不同的体积,这从图 2-1 中可以看出。

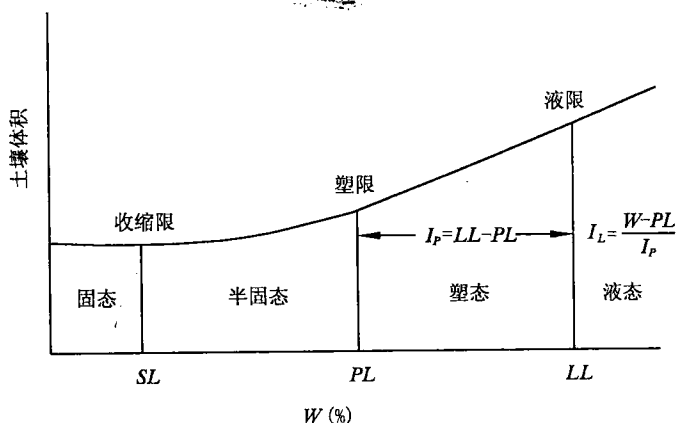


图 2-1 阿太堡限

按照土壤中含水量增加的顺序,土壤的状态可分为固态、半固态、塑态和液态。阿太堡限可用来确定这些不同状态的分界线:收缩限 SL 区分固态与半固态;塑限 PL 区分半固态与塑态;液限 LL 区分塑态与液态。

图中: $W(\%)$ ——天然含水量。

$SL(\%)$ ——收缩限。为固态与半固态间的分界线。

它表示土壤当其含水量达到这一值时从液限风干能达到的最大体积。

$PL(\%)$ ——塑限。为半固态与塑态间的分界线。它表示土壤刚刚能发生塑性变形不破碎时的最低含水量。

$LL(\%)$ ——液限。为塑态与液态间的分界线。它表示土壤刚刚能开始流动时的最低含水量。

PI (或 I_p)——塑性指数。是土壤液限与塑限之差。
即土壤处于塑态时的含水量范围。

$LS(\%)$ ——线性收缩。是当一个土壤试件在收缩模型中让它从液限风干时其原长度的收缩量。

I_L ——液性指数。是土壤当前的含水量相对于液限与塑限的一种量度。

土壤的阿太堡限可用来对其工程特性进行初步评估。土壤的各种工程特性都同其当前含水量 W 、或 I_L 、 I_p 、 LL 、 PL 及 LS 相关联,反过来,这些因素也会影响土壤的许多工程特性。

土壤的活性(The activity of a soil)是一个至关重要的概念。它被定义为其塑性指数 I_p 同其按重量计的粘粒(小于 0.002mm)含量百分率之比。活性小于 1 的土壤归为低活性类;1~2 之间的土壤归为中等活性类;而大于 4 的土壤则归为高活性类。

土壤的细粒含量与其类型(The proportion and type of fines in soil)又是一个极为重要的概念。它不仅会影响土壤的塑性(粗粒土和某些粉砂土属非塑性土),而且还会大大影响土壤的工程特性。当粗粒土壤中粉砂与粘土成分小于总量的 5% 时,这些粉砂与粘土的细粒对该土壤的工程特性几乎没有

什么影响；含量为 12% 的细粒（实际上）会使土壤不渗水；细粒的含量与类型还会影响到这种土壤是否可用，故土木工程中有关规范对用粗粒料进行填方强调细粒百分比要有一最大值；对细粒料的填方工程，能不能压实的最佳含水量，典型说来，就在土壤的塑性范围之内，通常更靠近塑限 PL 而不是液限 LL 。

粗略地说，细粒料的线性收缩量大致是塑性指数的一半，即 $LS \approx 0.5 I_P$ 。在评价所得到的阿太堡限是否其大小顺序正确时，上述经验和其它的经验方法是很有用场的。

3 土壤分类体系

一切土壤分类体系,都是基于土壤的粒径和(或)塑性指数对其进行分类的。

3.1 按土壤粒径大小的分类体系

按土壤粒径大小的分类体系见表 3-1~表 3-4。

表 3-1 美国统一分类及有关部门的分类比较(摘自 Fang, 1991)

单位 (mm)		全美陆军 工程师团 垦务局	民航 管理局	农业部	州际公路 与运输管 理协会	试验材 料协会
土名						
砾石	卵石	>70	2.2~ >70	>70	>70	2.2~ >70
	粗	18~70		10~70	20~70	
	中				8~20	
	细	5~18		2.2~10	2.2~8	
砂	极粗			1~2.2		
	粗	2.2~5	0.25~2.2	0.6~1	0.45~2.2	0.45~2.2
	中	0.45~2.2		0.25~0.6		
	细	0.08~0.45	0.05~0.25	0.1~0.25	0.08~0.45	0.08~0.45
	极细			0.05~0.1		
细粒土	粉砂土	<0.05	0.005~0.05	0.002~0.05	0.005~0.05	0.005~0.05
	粘土		<0.005	<0.002	0.001~0.005	0.001~0.005
	胶质土				<0.001	<0.001

表 3-2 澳大利亚 1289—1977 标准(一)

分级	粒径范围	相应筛孔范围
大鹅卵石	$>200\text{mm}$	
鹅卵石	$200\sim60\text{mm}$	
粗 砾	$60\sim20\text{mm}$	$63\sim19\text{mm}$
中 砾	$20\sim6\text{mm}$	$19\sim6.7\text{mm}$
细 砾	$6\sim2\text{mm}$	$6.7\sim2.36\text{mm}$
粗 砂	$2\text{mm}\sim600\mu\text{m}$	$2.36\text{mm}\sim600\mu\text{m}$
中 砂	$600\sim200\mu\text{m}$	$600\sim212\mu\text{m}$
细 砂	$200\sim60\mu\text{m}$	$212\sim75\mu\text{m}$
粗粉土	$60\sim20\mu\text{m}$	
中粉土	$20\sim6\mu\text{m}$	
细粉土	$6\sim2\mu\text{m}$	
粘 土	$<2\mu\text{m}$	

表 3-3 澳大利亚 1289—1977 标准 (二)

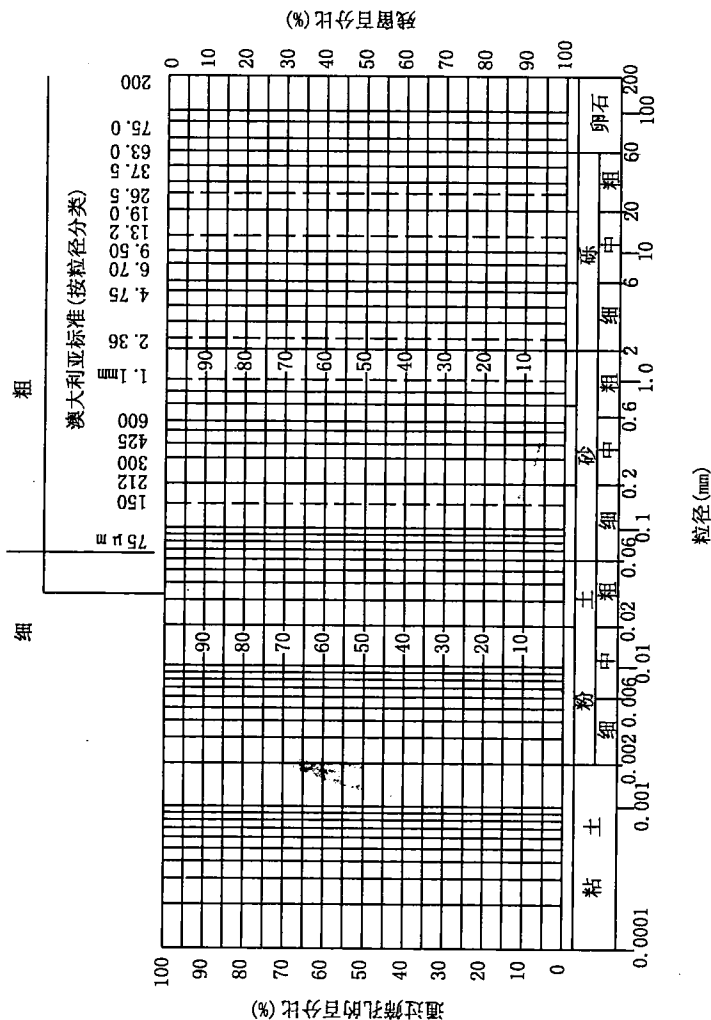


表 3-4 澳大利亚土壤分类标准 1726—1981

颗粒分类				说 明	
				分组 符号	典型的土壤名
粗 粒 土	粒 径 小 于 60mm 的干土 中,一半以上 粒 径 大 于 0.06 mm	砾 石 土	粗 粒 料 中,一 半 以 上 粒 径 大 于 2.0mm	GW	良好级配的净砾、砾与砂的混合物
				GP	不良级配的净砾、砾与砂的混合物
				GM	含粉土砾、不良级配的砾与砂混合物
				GC	含粘土砾、不良级配的砾、砂与粘土的混合物
		砂 土	粒 径 小 于 2.0 mm 粗 粒 料 中,一半以上	SW	良好级配的净砂、含砾质砂
				SP	不良级配的净砂与砾质砂
				SM	粉土砂、砂与粉土混合物
				SC	粘土质砂、砂与粘土混合物
细 粒 土	粒 径 小 于 60mm 的干土 中,一半以上 粒 径 小 于 0.06mm	液 限 小 于 50%		ML	无机粉土和粘质粉土
				CL	低至中塑性无机粘土、砾质粘土、砂质粘土、粉质粘土和纯粘土
				OL	有机粉土和无机低塑性的粉粘土
		液 限 大 于 50%		MH	无机粉土、弹性粉土、微粒或细砂或粉土
				CH	高塑性无机粘土
				OH	中至高塑性有机粘土
				有机质含量高的土	

注:1. 上述表中的分类体系源于美国分类体系(美国垦务局)和美国试验材料协会 D-2487 标准以及其它标准,即:

砾 2~60mm

砂 0.06~2mm

粉土及粘土 <0.06mm

2. 对于 60mm、2mm 和 0.06mm 的系列尺寸通常不使用。

3.2 ISS 常用的土壤分类

ISS 常用的土壤分类见表 3-5。

表 3-5 ISS 常用的土壤分类(摘自 W₁-30 施工手册)

