

电离子土壤强化剂(ISS)丛书

电离子土壤强化剂(ISS) 在交通道路工程中应用

The Application of Ionic Soil Stabilizer in Highway



张文煊 李长生 董建军 陈彦生 编著

武汉工业大学出版社

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 孔 卫 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 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竞发实业公司、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 之所以如此在国内水利、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

前 言

近十年来,我国交通道路工程诸如公路、航空、水运等,以前所未有的规模、标准与速度向前推进。1999年11月20日6时30分,在酒泉卫星发射中心用新型长征运载火箭发射的中国第一艘“神舟”试验飞船,于次日(21日)3时41分在内蒙古自治区中部成功着陆,这既标志着中国将宇航员送上太空的里程碑,又预示着未来的交通道路工程将由地球向宇宙太空延伸的可行性。

电离子土壤强化剂(ISS)作为20世纪的重大发明之一,从70年代起已在世界上数十个国家与地区推广应用,其中,既有发达国家诸如美国、德国、日本、加拿大、法国等,又有发展中国家如南非、越南、柬埔寨、中国及中国香港、台湾地区,还有介于上述二者的玻利维亚、委内瑞拉、澳大利亚、西班牙、韩国等。他们在ISS施工新工艺和系列新材料、新技术与新标准诸方面均有一定的拓广与发展,促进了各国交通道路工程的现代化和知识经济的进程。

为了在国内推广应用ISS新材料、新技术与新的施工工艺以及逐步规范标准化,《电离子土壤强化剂(ISS)丛书》编委会已于1999年10月编辑出版了丛书之一:《电离子土壤强化剂(ISS)施工指南》。本书是丛书之二,在丛书之一的基础上,结合国内现行的有关标准、规范与规程,以及笔者多年的实践经验,以ISS在交通道路工程尤其以公路为主,兼论ISS在其应用的有关技术、施工工艺要求与维护保养措施。

本书共分十二部分,包括:术语与解释、公路工程技术标准、一般土ISS路基、特殊土ISS路基、常规土路基与ISS土

路基的压实、ISS 路基排水、ISS 路面结构及 ISS 土路面、ISS 路面基层、ISS 路面基层与面层的压实、ISS 路面平整度与粗糙度、ISS 路面排水和 ISS 路面维护,以及附录 A~附录 E。全书编表 138 个,插图 163 幅。其中第 1~6 部分和附录 B 共 10 万余字,由张文煊执笔撰写;第 7~9 部分和前言及附录 C~附录 E 共 8 余万字,由李长生执笔编写;第 10~第 12 部分和附录 A 共 8 万余字,由董建军执笔撰写;全书由陈彦生统稿。

中国工程院院士王思敬教授为本丛书写了序,电离子土壤强化剂(ISS)丛书编写委员会给本书提了许多宝贵意见。另外,武汉工业大学出版社有关同志,以及特约责编李昊洁、特约美编孔卫等均为本书的出版作出了贡献,在此一并表示深切谢意。

由于笔者水平所限,加之 ISS 这项新材料、新技术与新工艺在国内尚处初期发展阶段,书中难免有误,敬请读者不吝批评指正。

目 录

序

前言

1 术语与解释	(1)
2 公路工程技术标准	(10)
3 一般土 ISS 路基	(26)
4 特殊土 ISS 路基	(47)
5 常规土路基与 ISS 土路基的压实	(81)
6 ISS 路基排水	(92)
7 ISS 路面结构及 ISS 土面层	(139)
8 ISS 路面基层	(165)
9 ISS 路面基层与面层的压实	(183)
10 ISS 路面平整度与粗糙度	(213)
11 ISS 路面排水	(219)
12 ISS 路面维护	(238)
附录 A 交通道路工程有关的常用资料	(245)
附录 B 中国现行公路工程技术标准	(274)
附录 C 中国现行公路建设环境影响评价的有关规定	(298)

附录 D 英国、澳大利亚等规定的压实方法	(327)
附录 E 美国、日本、法国、澳大利亚和赞比亚等国的压实标准	(341)
主要参考文献	(345)

1 术语与解释

1.1 固结 (Consolidation Stabilizing)

松软土在外力作用下被压缩、去水而逐渐密实的过程。

1.2 固化 (Solidification Solidify)

使具有反应活性的低相对分子质量的物质发生化学反应而转变为网状高聚物类物质的过程。

1.3 强化 (Stabilization)

在土壤机械作用密实中,以一种多个强离子对该过程作正面(驱除土壤中所有毛细管水)反应的过程。

1.4 稳定性 (Stability)

土或材料在其压实度(%)对应下的稳定度(KN)之特性。

在这里主要指机械稳定性和水稳性两种。

在土壤中,有一种不易被水泡散的土壤“团粒结构”,它通常在钙、镁等离子与有机物质胶结作用下形成,是直径为 $1\sim 10\text{mm}$ 的球粒状土壤结构。在“团粒结构”内有毛细管孔隙,在团粒之间有非毛细管孔隙。这样能使土壤既保水又透水,并具有良好的土壤空气和热量状况,是农业土的上乘标准。但对公路工程而言,ISS处理的团粒结构内的毛细管孔隙水,经机械压实后,最终达到机械稳定性和水稳性双重稳定标准。

水稳性相对于机构稳定性,关键在于土壤“团粒结构”上。

1.5 密实度 (Density)

单位体积内固体颗粒排到紧密的程度,统称“密实度”。其表示方法有两种:一是以单位体积的质量所表示的“密度”,诸

如单位体积质量中包括所含水分的质量,称其为“湿密度”,用 ρ_w 表示,即 $\rho_w = \frac{m_w}{V}$ [式中 m_w 为土或材料的湿质量, g; V 为土或材料的体积, cm^3 ; 如果单位体积质量中不包括所含水分的质量,则称“干密度”,用 ρ_d 表示,即 $\rho_d = \frac{\rho_w}{1 + \frac{w}{100}}$ (式中 w

为土或材料的含水量%)。二是以固体体积率 $= \frac{\rho_d}{\rho_s} \times 100\%$ 表示(式中 ρ_s 为土或材料颗粒的密度)。由于某种土或材料颗粒的密度是个定值,因此,土或路面材料的干密度愈大,其固体体积也愈大,反之亦然。

1.6 压实度 (Degree of Compaction)

土或材料压实后的干密度 ρ_d 与该土或材料的标准干密度 ρ_b 之比,即压实度 $K = \frac{\rho_d}{\rho_b} \times 100\%$ 。

对于一些路面材料,特别是不宜用击实试验法确定其最大干密度的材料,则 K 也可用固体体积率来表示,即固体体积率 $= \frac{\text{压实后干密度}}{\text{该集料颗粒的密度}} \times 100\%$ 。如实际所用集料是由多种不同密度或相对密度的材料组成,则该集料的综合密度即可按下式计算:

$$G = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

式中 $P_1, P_2, \dots, P_n$ ——分别为材料 1、2、 $\dots$ 、 n 质量百分含量, %;

$G_1, G_2, \dots, G_n$ ——分别为材料 1、2、 $\dots$ 、 n 颗粒的密度, g/cm^3 。

1.7 安定性 (Soundness)

当土或材料(尤其是水泥)中含有过量游离氧化钙、氧化镁或三氧化硫时,于硬化过程中出现的特性。如出现裂缝、弯曲等体积变化不均匀现象时,称其为安定性不良。

1.8 软化(水的软化) (Softening)

在这里指用离子交换法除去水中钙、镁离子以降低水的硬度。

1.9 CBR 设计法 (Design Method of California Bearing Ratio)

美国加利福尼亚州道路局于 1928 年~1929 年进行道路调查时首创的方法。该法最先是以 CBR 设计曲线(见图 1-1)作设计,其论据是:

- (1) 由于路面渗水而使路基土侧向移动导致路面破坏;
- (2) 因路面基层承载力不均匀而造成的不均匀下沉导致路面破坏;
- (3) 因路基土与路面基层承载力不足而造成过大变形导致路面破坏。

初期的 CBR 设计法提出后,在加州并没有被采用,却被美国陆军工程师团 USACE (Corps of Engineers, U. S. Army)所认可并予以发展。该兵团认为路面的损坏是由于土基抗剪强度不足所造成,并结合机场道面的多年实践给出用于道路路面厚度与轮载及轮压的关系式:

$$\frac{H}{\sqrt{A}} = 4.9543 - 5.607 \lg \frac{\text{CBR}}{P} + 2.5937 \left(\lg \frac{\text{CBR}}{P} \right)^2 - 0.473 \left(\lg \frac{\text{CBR}}{P} \right)^3$$

式中 H ——路面厚度,cm;

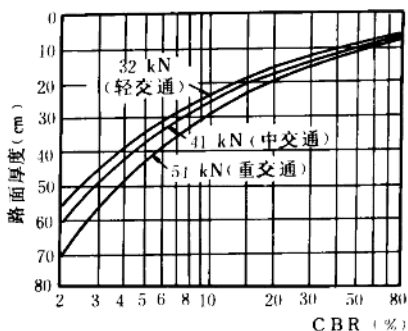


图 1-1 初期的 CBR 设计曲线

A ——单轮胎的接触面积, cm^2 ;

P ——当量轮载接地压力, MPa 。

路面总厚度 H 与土基 CBR 值的关系, 如图 1-2 和表 1-2 所示。

表 1-1 不同交通指数时 CBR 与 H 的关系

$H(\text{cm})$ \ CBR (%)	2	3	5	7	10	15	20	30	50
交通指数									
1	44.5	34.3	24.6	19.6	15.0	10.7	8.5	5.8	3.5
2	52.0	41.2	29.6	23.4	17.8	12.8	10.0	7.1	4.5
3	59.7	47.0	34.0	26.7	20.5	14.8	11.8	8.3	5.1
4	67.3	52.3	38.4	30.5	23.2	16.8	13.3	9.4	6.0
5	76.2	59.8	42.7	33.8	25.9	18.8	14.7	10.4	6.6
6	83.8	64.5	47.3	37.3	28.7	20.6	16.1	11.4	7.3
7	91.4	72.6	52.1	41.2	31.5	22.4	17.6	12.5	8.0
8	99.1	77.5	56.4	45.0	34.3	24.4	19.2	13.7	8.5
9	104.1	83.1	60.2	47.5	36.6	26.7	21.0	14.7	9.4
10	111.8	88.9	64.0	51.3	39.4	28.5	22.6	16.0	10.3

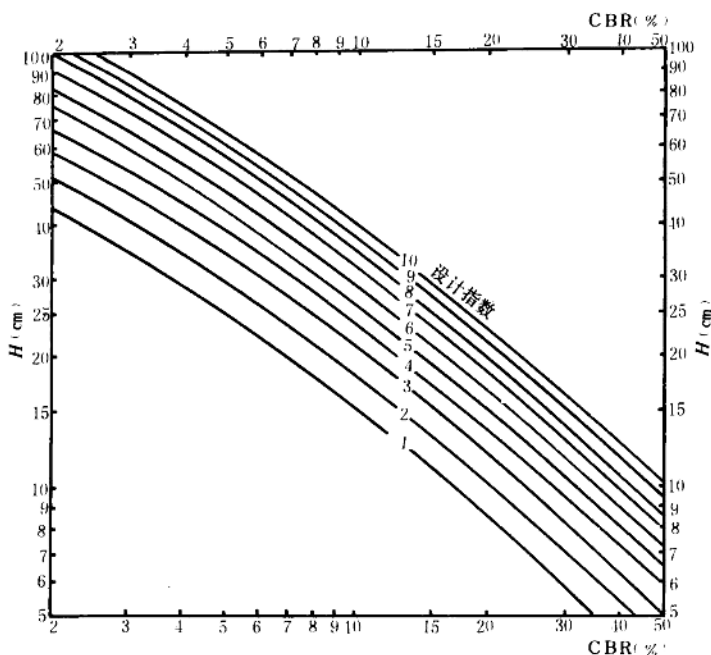


图 1-2 道路用 CBR 设计方法计算图

1.10 AASHTO 设计法 (Design Method of American Association of State Highway and Transportation Officials)

即美国各州公路工作者协会(AASHTO)据 20 世纪 50 年代末至 60 年代初在渥太华和伊利诺斯州的大规模试验于 1961 年提出的设计方法。

该法采用现时服务能力指数(PSI)作为衡量路面使用性能的指标,即以 $\Delta PSI = P_o - P_i$ 作为路面设计的使用性能标

准 $[P_0$ 为初始服务能力,如水泥混凝土路面刚建好时 P_0 约为4.5; P_1 为终端服务能力,如水泥混凝土路面到达需改建的 P_1 约为2.5(主要公路)或2.0(交通量少公路)]。

该法1980年以土基的回弹模量 E_n (MPa)和按材料回弹模量 E_i (MPa)或抗压强度 R_c (MPa)、CBR值(%)、马歇尔稳定度 M_R (N)代替了早期该法中的土基支承值 s 和地区修正系数 R 等综合而成的等值系数,并考虑了路面上基层、底基层材料的排水性质,特别对交通量估计的标准差 δ 和保证率 λ 作了考虑,是一套半经验半理论分析的较完整的设计法。

1986年版AASHTO设计法,采用不同轴载通过次数 N 与土基回弹模量 E_n 及标准轴载通过累计数 N_R 的关系式表示为

$$N = N_R \left(\frac{20}{E_n} \right)^{2.32 \times 10^{\lambda \sigma}}$$

式中 λ ——保证率系数;

σ ——估计交通量的标准差,一般为0.4~0.5。

有关路面粒料上基层等值系数 a_2 与CBR及回弹模量关系见图1-3。

路面粒料底基层等值系数 a_3 与CBR及回弹模量关系见图1-4。

1.11 中国柔性路面允许弯沉值设计法 (The Design Method of Flexible Pavement with Permissible Settlement in China)

1978年起,我国柔性路面设计规范以双层体系弹性理论计算的路表弯沉值作为设计指标,并给出容许弯沉值 L_R 与交通量 N 的关系:

$$L_R = \frac{1.37}{N^{0.2}} \cdot A_1 \geq L_S = \frac{2p\delta}{E_n} \alpha_0 \cdot F$$

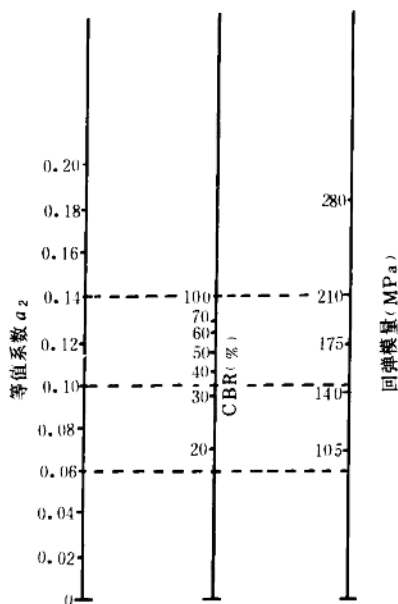


图 1-3 路面粒料上基层等值系数 a_2 与 CBR 及回弹模量关系

式中 A_1 ——路面类型系数；一般情况下，沥青混凝土路面取 $A_1=1.0$ ；沥青贯入或沥青碎石路面 $A_1=1.1$ ；沥青表面处治时 $A_1=1.2$ ；粒料道路面 $A_1=1.3$ ；中级路面 $A_1=1.4$ 。

L_s ——路表双圆荷载间隙中心处实际弯沉值，cm；

p ——标准车的轮载接地压力，MPa；一般解放牌 CA10B 的 $p=0.5$ MPa；黄河 JN150 车 $p=0.7$ MPa。

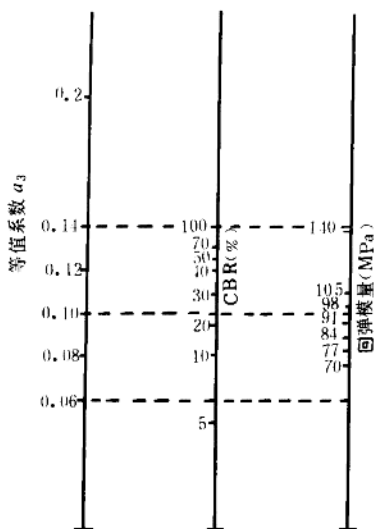


图 1-4 路面粒料底基层等值系数 a_3 与
CBR 及回弹模量关系

δ ——标准车轮迹相当的双圆之一的当量圆半径, cm;
解放牌 CA10B 的 $\delta = 9.75\text{cm}$; 黄河 JN150 的 $\delta = 10.75\text{cm}$ 。

α_0 ——以 E_n 为分母的双层体系的路表弯沉系数;

F ——弯沉值综合终止系数, 可用公式计算:

$$F = \frac{\alpha_s}{\alpha_0} = \alpha \left(\frac{E_n L_s}{2p\delta} \right)^{0.38}$$

式中 α ——系数; 以解放牌 CA10B 为标准车时 $\alpha = 1.50$; 以黄河 JN150 为标准车时 $\alpha = 1.47$ 。

α_s ——实际弯沉系数。

在交通部 1987 年 1 月 1 日起实施的《公路柔性路面设计规范》(JTJ014—86)中,对 L_R 定义为“在设计使用年限末的最不利季节,在标准轴载作用下,容许出现的最大回弹弯沉值”。并给出其计算式:

$$L_R = \frac{1.10}{N^{0.2}} A \cdot A_1$$

式中 A_1 ——公路等级系数,高速公路 $A_1=0.85$;一级公路 $A_1=1.0$;二级公路 $A_1=1.1$;三、四级公路 $A_1=1.2$ 。

相应 N 与 L_R 关系见图 1-5。

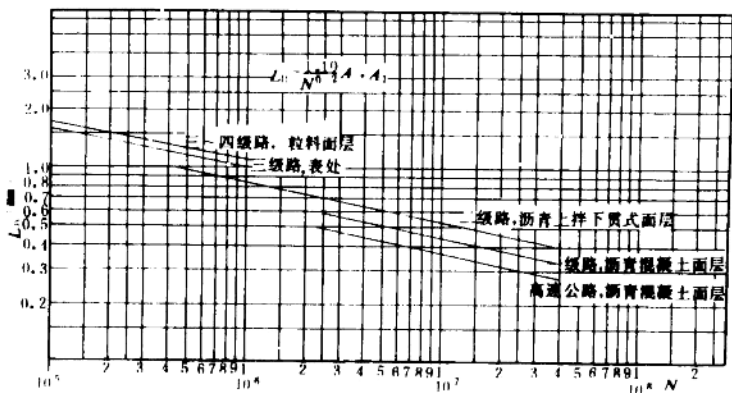


图 1-5 N 与 L_R 关系图