

# 硫酸盐渍土公路工程分类研究

梁俊龙<sup>1,2</sup>, 高江平<sup>1</sup>

(1. 长安大学公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 江西省高速公路投资集团有限责任公司, 江西 南昌 330025)

**摘要:**盐渍土的判别和分类指标的选取对工程措施的制定影响甚深, 选择合理的指标对反映盐渍土的工程特性至关重要. 本文从硫酸盐渍土的盐胀性出发, 分析水、盐、力、热等对盐渍土工程特性的影响, 根据病害发生的程度划分盐渍土的等级, 确定影响因素的界限值. 通过对典型盐渍土地区公路病害特征的调查和对室内工程特性试验研究及现场试验研究的相关资料总结的基础上, 分析和归纳国内外有关盐渍土分类资料, 紧密结合盐渍土地区公路建设的生产实践, 制定出以影响盐渍土工程性质的含盐量、含水量及温度等作为指标的硫酸盐渍土公路工程分类综合体系.

**关键词:**硫酸盐渍土; 盐渍土; 工程分类

**中图分类号:** U416.1+66

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2012)01-0065-067

中国盐渍土分布广泛, 种类也相当的多. 就目前对盐渍土分类现状的研究, 不同行业界限值受主观因素影响较大, 所以其考虑因素和角度也不尽相同. 盐渍土的判别和分类指标的选取对工程措施的制定影响甚深, 选择合理的指标对反映盐渍土的工程特性至关重要. 目前,

国内外对盐渍土的评判和分类基本可归纳为三类: 按盐的性质分类、按盐的溶解度分类和按含盐量分类. 我国公路工程对盐渍土的分类主要是根据盐渍土地区盐胀和溶陷病害对公路工程的破坏等级进行分类的. 能够为公路工程建设提供施工设计的依据, 对盐渍土公路工程地质勘察及设计具有重要的指导意义. 《新疆盐渍土地区公路路基路面设计与施工规范》(XJTJ01-2001)对盐渍土盐性的判别基本沿用了前苏联的分类方法. 该规范对盐渍化程度的分类是从细粒土和粗粒土角度出发, 针对氯盐渍土与亚氯盐渍土、亚硫酸盐渍土与硫酸盐渍土, 分别提出了弱、中、强、过盐渍土. 《公路路基设计规范》(JTG D30-2004)中对盐渍土按盐渍化程度分类的方法是依据和沿用了《新疆盐渍土地区公路路基路面设计与施工规范》, 其分类界限取值一致. 《盐渍土地区公路设计与施工指南》针对土质的盐渍化程度及工程质量之间的密切关系, 在工程分类标准中采用盐渍土易溶盐含量为分类标准, 根据工程的危害性等级的不同细化了盐渍土中含盐量的分类标准确定分类的界限指标. 公路随着沿线地质水文的变化, 单独以含盐量作为评价公路工程盐渍土的等级, 不能适应在盐渍土地区修建公路的需要. 因为路基是在盐分、水分、温度、上覆荷载等的综合影响下导致盐胀和溶陷病害的.

综合考虑各种因素对盐渍土工程特性的影响, 通过归纳分析我国盐渍土地区道路的主要病害类型, 考虑盐渍土公路工程的盐胀和溶陷对路基的稳定性影响为原则确定选取的指标, 以影响路基的变形量和路面的平整度确定分类指标的大小.

## 1 含盐量指标的界限值研究

通过大量的试验证明, 路基土盐胀率的大小能较好地反映公路盐胀破坏程度. 盐胀率小于1%时, 路面平整无裂缝、无盐胀破坏现象; 盐胀率为1%~3%时, 路面上可见少量裂缝、有较微小盐胀产生; 盐胀率为3%~6%时, 路面有较明显的裂缝和盐胀现象; 盐胀大于6%时, 路面有明显的鼓包、裂纹现象. 盐胀率越大破坏越严重.

收稿日期: 2011-06-01 修改稿日期: 2011-12-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50578015); 西部交通建设科技项目(20033187950, 20033187951)

作者简介: 梁俊龙(1984-), 男, 江西抚州人, 博士生, 主要从事道路工程路基盐胀, 沥青路面力学行为等研究.

### 1.1 含盐量界限值的计算

根据高江平等<sup>[1]</sup>通过试验研究提出的硫酸盐渍土盐胀率变化计算公式,结合盐胀破坏程度与盐胀率关系计算含盐量的区间和盐胀程度的对照关系。

公式如下:

$$\begin{aligned} \eta = & 1.184 + 0.845X_1 + 0.068X_2 + 0.748X_3 + 0.56X_4 - 0.876X_5 - 0.033X_1^2 \\ & - 0.206X_2^2 - 0.064X_3^2 - 0.131X_4^2 + 1.073X_5^2 - 0.013X_1X_2 + 0.486X_1X_3 \\ & + 0.494X_1X_4 - 0.154X_1X_5 - 0.108X_2X_3 + 0.31X_2X_4 + 0.49X_2X_5 + 0.354X_3X_4 \\ & + 0.143X_3X_5 + 0.159X_4X_5 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $\eta$ 为盐胀率, $\%$ ;  $X_1$ 为含水量;  $X_2$ 为氯化钠含量;  $X_3$ 为硫酸钠含量;  $X_4$ 为初始干容重;  $X_5$ 为上覆荷载。

考虑路基盐胀的变化:取  $X_1$  为最优含水量 13.3%, 氯化钠含量  $X_2$  为 0, 初始干容重为 1.79 g/cm<sup>3</sup>, 上覆荷载  $X_5$  为 0。

将上述值代入换算公式,计算结果见表 1。

表 1 盐胀率变化区间表

Tab.1 Variation interval of salt inflation rate

盐胀率 $\eta$	$\eta < 1\%$	$1\% < \eta < 3\%$	$3\% < \eta < 6\%$	$\eta > 6\%$
硫酸钠含量 $X_3$	$X_3 < 0.956$	$0.956 < X_3 < 2.751$	$2.751 < X_3 < 4.677$	$X_3 > 4.677$

### 1.2 含盐量界限值的修定

路基土盐胀的形成,是由土体内硫酸钠的迁移聚积,结晶体膨胀和土体膨胀三个过程综合的结果。盐分、水分是路基土盐胀的内在因素,外界温度的变化是其外因。正是内外因共同作用才使得盐渍土的盐胀机理非常复杂。

#### (1) 盐胀率小于 1% 界限值的修定

大量试验验证表明盐渍土中含盐量达到一定含量情况下才会发生盐胀,即起胀含盐量的测定。在降温的全过程中,土体盐胀率  $\eta$  趋近于 0 时,称为起胀含盐量或临界含盐量。

高江平等<sup>[2]</sup>对起胀含盐量研究得出,在其他因素保持一定值下,土体中的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量大于 0.72% 时才会产生盐胀;黄立度<sup>[3]</sup>得出在  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量达到 0.5% 时,土体开始膨胀;李志农<sup>[4]</sup>用概率统计的方法得到当土中硫酸钠含量大于 0.5% 时,就有 90% 的概率出现盐胀。因此,对硫酸钠盐渍土的下限设为 0.5% 是合适的。随着含盐量的增加盐渍土盐胀的趋势是增加的。根据盐胀程度分级中,弱盐渍土计算得出在含盐量为 0.956% 时有 1% 的盐胀。黄立度等<sup>[3]</sup>得出含量 1%~4% 时,盐渍土盐胀递增速度较快;高江平等<sup>[2]</sup>得出同样的结果。由李斌等<sup>[5]</sup>得出的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量与盐胀关系表明当  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量小于 1% 时,其他条件变化盐胀率  $\eta$  均小于 1%。

由上述综合分析得到:对应盐胀率小于 1% 的含盐量界限值定为 0.5%~1%。

#### (2) 对应其他盐胀率界限值的修定

按照路面的说明分类,由不同盐胀率区间对应的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量来确定不同等级盐渍土盐胀所含盐量大小,调查表见 2<sup>[6]</sup>。调查资料表明,不同的路段相邻的  $\eta$  值具有交叉,这是由于施工原因造成路基分布不均匀;不同的盐分分布情况对道路盐胀病害的影响也不相同,同时即使是分布均匀、含盐量相同,在不同含水量情况下也会出现上述交叉的差异现象。

表 2 不同病害程度的路表盐胀率调查表

Tab.2 The survey table for the pavement surface of different level damage to salt inflation rate

路面破坏分类等级	$\eta$ 值/ $\%$							路面状况说明
I	0.4	0.45	1.05	0.55				路面平整无变形
II	1.33	3.0	0.8	2.6	2.3	1.0	3.6	路面基本平整、有少量变形和裂缝
III	2.5	5.85	4.65	3.05	2.7			路面有变形、小鼓包、波浪和开裂
IV	5.85	6.15	9.05	4.15				路面严重变形、大面积鼓包、波浪和开裂

采用数理统计中的  $t$  分布临界值法进行初步分类.

$$\eta_p = \bar{\eta} \pm t_p \sigma \tag{2}$$

式中: $\bar{\eta}$ 为各类盐胀率的样本均值; $t_p$ 为  $t$  分布临界值; $p$  根据自由度和保证率查表得到; $\sigma$  为样本均方差.

根据数据<sup>[6]</sup>,结合根据公式 2,结果如表 3 所示:

表 3 分界值表

Tab. 3 Boundary value

$\eta$	$\eta_{12}$	$\eta_{23}$	$\eta_{34}$
$\eta$ 计算	1.235 1	2.166 2	3.980 1

通过对室外典型路段路基盐胀破坏程度与路基土含盐量含盐性质的评判,实际的破坏程度并没有那么严重.同时也证实了硫酸钠的含量才是影响盐胀的内在的主要因素.资料<sup>[7]</sup>指出,土基总含盐量频率分布与土基硫酸钠含量频率分布相似;

总含盐量最大在 2.5%~13.5%(约占 84%),而大于 21%的只占 6%.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量的最大频率主要分布在 0.5%~3.5%之间(约占 83%),而大于 5.1%的只占 6%;通过经验回归公式计算的含盐量与盐胀破坏程度计算结果和新疆交通科学研究所对典型路况调查结果分析所得临界值结果,结合土基含盐量频率分布与《公路路基设计规范》,根据使用方便修定由计算值和统计资料所得临界值,修定结果如下:

表 4 盐渍土盐胀等级对应分界值表

Tab. 4 Saline soil expansion level of the corresponding boundary value

盐胀程度	$\eta$ 分界值			
	I	II	III	IV
经验公式计算结果	0.5~0.95	0.95~2.751	2.751~4.677	>4.677
统计分布结果	0.5~1.235 1	1.235 1~2.166	2.166~3.980 1	>3.980 1
修定结果	0.5~1.0	1.0~2.5	2.5~4.5	>4.5

2 含水率指标的界限值研究

土中含水量的大小对盐胀量的影响甚大,并且存在一个最有利的影响范围.在保持含盐量一定时,且当含盐量大于水中所能溶解的盐时,随着含水量的增加能使土体孔隙溶液中溶解更多的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,这样当温度下降时会结晶出更多的芒硝晶体,超过水的溶解能力的那部分  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  不会发生相变,也就不参与盐胀.这个阶段若含水量增加,相应的盐胀量也增加;当含水量达到土体的最佳含水量时,土体的盐胀率达到最大值.最后超过最佳含水量区间后,土体的盐胀率又随着含水量的增加而减小,其主要原因是随着含水量的增加,水在土体颗粒间起到润滑作用,土颗粒周围的扩散双电层厚度增加,土颗粒间的引力减小,使土体内摩阻力、粘聚力减小.这样处在孔隙间的毛细水和自由水增多,硫酸钠含量相应增大;相反使得处在颗粒接触面上的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量减小,孔隙间容纳  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  体积膨胀的能力强于颗粒间的接触减小所弱化的盐胀,从而降低了盐胀率.

李斌、吴家惠<sup>[5]</sup>得出含水量与盐胀之间的关系有:

- ① 当含水量  $\omega < 6\%$  时,无论  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量为多少,盐胀率均小于 1%;
- ② 当含水量  $\omega > 6\%$  时,盐胀率随含水量的增加而迅速增加,出现一峰值之后盐胀率  $\eta$  随含水量  $\omega$  的继续增加而减小;

这一结论与实际调查情况<sup>[3]</sup>即存在一个有利于盐胀的区间相符,由不同试验经统计分析,采用区间估计按一定保证率求得临界含水量,取 90%的保证率.

$$\omega_{\min} = \bar{\omega} - t_a \sigma \tag{3}$$

式中: $\bar{\omega}$  为平均起胀含盐量为 7.07%, $t_a$  为保证率系数, $\sigma$  为均方值为 0.932, $\omega_{\min}$  为临界含水量.

则:  $\alpha = 1 - 0.9 = 0.1$  自由度  $m = n - 1 = 6$

查表得:  $t_a = 1.44$

$$\omega_{\min} = 7.07 - 1.44 \times 0.932 = 5.73\%$$

即当  $\omega \geq 5.73\%$  时,有 90%的保证率出现盐胀,野外调查值为 5.0%.

含水量的大小对路基破坏的程度,通过野外调查也同样存在一个最佳范围.对野外自然条件下土基含水量的频率分布有如下特征<sup>[5]</sup>.

含水量最大频率分布在13%~23%之间(约占70%);而小于10、大于25的频率较小(不到15%),含水量分布区间较窄,且符合正态分布规律 $N(\bar{\omega}, \sigma^2)$ ;平均含水量 $\bar{\omega}=17.75\%$ ; $\sigma$ 样本均方值 $\sigma=4.458$ .具体数据见资料<sup>[4]</sup>.

根据盐渍土基本工程性质试验,经统计分析细颗粒盐渍土最优含水率一般在11%~18%,试验数据如下表5所示.

表5 不同含盐量盐渍土最优含水率统计表

Tab. 5 The optimum water of different content salt in Saline soil

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 含量/%	0.3	0.8	1.52	1.65	2.0	2.14	2.18	2.24	2.61	3.0	4.0	4.81
最优含水量/%	14.7	15.0	14.43	12.3	15.6	16.01	16.51	15.8	11.8	16.2	17.3	15.72

考虑到天然路基含水量最大频率分布在13%~23%,且盐渍土在最佳含水量附近即11%~18%盐胀程度最大,因此选取有90%保证率的起胀含水率5.7%和剧烈盐胀含水率区间11%~18%.

### 3 温度指标的界限值研究

#### 3.1 温度对盐胀的影响

盐渍土在外因温度的作用下才发生盐胀.盐胀发生的主要原因是土体易溶盐在外界温度的作用下,溶解度随温度的大小发生变化由结晶水化物所伴随的体积膨胀而形成.路基土因上面有路面材料覆盖,蒸发强度与自然地面相比大大减弱,这时路基土中盐分的迁移起主导作用的是外界低温环境,并且环境温度的变化对盐胀大小的影响也存在一定的规律性<sup>[10]</sup>.

西北地区以新疆为例,从每年的秋季(9月下旬至10月上旬)随着气温的降低,路基土中的硫酸钠逐渐结晶膨胀,并伴随产生土压力使土体密度和体积发生变化,表现为垂直于地表的相对变形即盐胀量.当地温降低到一年中的最低点时,盐胀量达到峰值.由于路基土中盐分、水分、密度与温度场分布的不均匀性,其变形破坏程度也不一致;开春后,气温逐渐回升,盐胀量随之回落,当温度升高到一定程度后,回落已基本完成.

#### 3.2 起胀温度范围

盐渍土的起胀温度取决于土体中硫酸钠析水结晶的温度、硫酸钠结晶含量的多少、土体结构、内摩阻力、粘聚力、土体颗粒间的引力、土体孔隙间和孔隙接触间的吸收结晶硫酸钠的程度.

高明欢对起胀温度研究得到如下回归公式:

$$y=19.906+2.532x_1-0.592x_2-0.581x_3 \quad (4)$$

根据对土基中含盐量分布区间和含水分布区间取:NaCl为0,Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>含量(0.5%~3.5%)有83%的概率,含水量(13%~23%)有70%的概率.

计算得:  $y_{min}=19.906+2.532 \times 0.5-0.592 \times 23-0.581 \times 0=5.024$

$y_{max}=19.906+2.532 \times 3.5-0.592 \times 13-0.581 \times 0=21.072$

结果与西部交通科技项目关于《盐渍土工程特性病害类型和机理研究总报告》相符.

表6 细粒硫酸盐渍土起胀温度范围

Tab. 6 Starting expansion temperature range of fine sulfate saline soil

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> / %	≤0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0
起胀温度/℃	-5~5	0~10	5~15	15~25	20~30	25~35

资料<sup>[5]</sup>也指出起胀温度随硫酸钠含量和含水量不同而变化,一般在5~15℃.

#### 3.3 盐胀剧烈温度区间

盐胀与温度关系分析中得知两者存在一个剧烈盐胀的温度区间,路基相对来说是一个封闭系统,所

处的温度变化幅度也不是很大,所以对路基来说至关重要的问题是其是否处在剧烈盐胀温度区间.资料<sup>[5]</sup>通过试验得出盐胀剧烈变化温度区间的回归公式:

上限  $T_A$ :

$$T_A=16.237+2.037\ 3p-0.022\ 71p_{12}$$

(5a)

下限  $T_M$ :

$$T_M=-5.943+0.437\ 7p_2$$

(5b)

注: $p$  为孔隙溶液浓度(100 g 水中含盐量)  
根据上述公式,由土中  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  含量及土中含水量即可粗略定出剧烈变化温度区间.  
引入土基含盐量范围(0.5%~3.5%);含水量(13%~23%)代入公式计算有:

$$T_A=-16.237+2.037\ 3\times2.1-0.022\ 71\times2.1^2=-12.1$$

$$T_M=-5.943+0.437\ 7\times21.2=3.33$$

剧烈温度变化区间为(3.33~-12.1℃);与资料[3]关于剧烈盐胀区间(5~-10℃)相一致.

3.4 降温速率的影响

试验研究中,降温速率对盐胀率有较大影响,总的趋势为:降温速率越慢,盐胀量越大;反之降温速率越快,盐胀率越小.

陈肖柏<sup>[11]</sup>等都得到类似结果,并回归得到相应公式.

相对而言路基土是个封闭系统,从秋季开始降温,到冬季的最低温度,是一个相对缓慢的过程,远小于试验模拟降温速率,能够使得盐胀充分得到发挥,故实际盐胀量要大于试验值<sup>[12]</sup>.

4 硫酸盐渍土公路工程分类

通过对盐渍土盐胀及溶陷影响因素的综合分析,以盐渍土含盐特性、含水量、温度、盐胀率作为分类指标,按盐渍化程度划分为弱盐渍土、中盐渍土、强盐渍土和过盐渍土.

对各影响因素界限值,参考公路行业的研究成果进行修定.分类表见表 7 所示.

表 7 硫酸盐渍土公路工程分类表  
Tab.7 The classification of sulfate saline soil in highway engineering

盐渍土名称	含盐量/%	盐胀剧烈含水量区间/%	盐胀剧烈温度区间/℃	盐胀率/%	盐渍土类别
亚硫酸盐渍土及硫酸盐渍土	0.3~1.0	不考虑	不考虑	<1	弱盐渍土
	1.0~2.0			1~3	中盐渍土
	2.0~4.5	11~18	-10~5	3~6	强盐渍土
	> 4.5			>6	过盐渍土

实际工程运用参见试验数据分析如表 8 所示:

表 8 硫酸盐渍土公路工程分类示例  
Tab.8 The classification sample of sulfate saline soil in the highway engineering

	含盐量/%	盐胀剧烈含水量区间	盐胀剧烈温度区间	盐胀率/%	盐渍土类别	备注
样本一	0.5	——	——	0.53	弱盐渍土	高等级公路
样本二	2.01	是	是	3.51	强盐渍土	高等级公路
样本三	4.15	否	否	3.37	中盐渍土	次等级公路可降低一个级别

限于篇幅,对于已经判断出等级的盐渍土是否能用作路基填料的可用性参见[6] 表 3.17.

5 结 论

本文在研究盐渍土地区道路主要病害及其影响因素的基础上,分析水、盐、力、热等对盐渍土工程特性的影响,提出了以含盐性质、含盐量、含水量及温度等为指标得出不同影响因素的对应盐渍土等级的

分界值,并根据公路建设及科研部门对盐渍土的研究成果,对影响因素界值进行修定,提出了新的针对硫酸盐渍土公路工程分类体系。

具体到实际工程分类的运用时,确定含盐量等级后,若不在盐胀剧烈含水量区间时,对次高等级公路可以降低一个等级,而对高等级公路可从严考虑不降低盐渍土分类级别。本文提出的分类体系为防范硫酸盐渍土地区产生病害,在设计、施工上具有指导意义,对完善相关规范有参考价值。

## 参考文献 References

- [1] 高江平,吴家惠,杨荣尚.硫酸盐渍土盐胀特性各影响因素间交互作用规律的分析[J].中国公路学报,1997,10(1):10-15.  
GAO Jiang-ping, WU Jia-hui, YANG Rong-shang. Analysis of the interaction laws of all influencing factors upon salt heaving properties of the sulphate salty soil[J]. China Journal of Highway and Transport, 1997, 10(1):10-15.
- [2] 高江平,吴家惠.硫酸盐渍土盐胀特性的单因素影响规律研究[J].岩土工程学报,1997,19(1):37-42.  
GAO Jiang-ping, WU Jia-hui. Study on laws of the single factor effect upon heaving properties of the sulphated salty soil[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1997, 19(1):37-42.
- [3] 黄立度,席元伟,李俊超.硫酸盐渍土道路盐胀病害的基本特征及其防治[J].中国公路学报,1997(2):39-47.  
HUANG Li-du, XI Yuan-wei, LI Jun-chao. The feature and prevention of the highway salt dilating distress in the vitriol salinized soil area[J]. China Journal of Highway and Transport, 1997(2):39-47.
- [4] 李志农,罗炳芳.盐渍土膨胀试验与分析[J].公路工程地质,1987(4):54-63.  
LI Zhi-nong, LUO Bing-fang. Swelling test and analysis of saline soil[J]. Highway Engineering Geology, 1987(4):54-63.
- [5] 李斌,吴家惠.硫酸盐渍土盐胀的试验研究[J].西安公路学院学报,1993,13(3):37-42.  
LI Bin, WU Jia-hui. Study on the salt expansion of saline soil[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1993, 13(3):37-42.
- [6] 梁俊龙.内陆盐渍土公路工程分类研究[D].西安:长安大学,2010.  
LIANG Jun-long. Study on the highway engineering classification of inland saline soil[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [7] 盐胀路基环境条件分布区间的统计分析[R].乌鲁木齐:新疆交通科学研究所,1988.  
Statistical analysis the range of environmental conditions in expansion subgrade[R]. Urumchi: Xinjiang Traffic Science Institute, 1988.
- [8] 王家澄,张立新,邓友生.土类对正冻土成冰及冷生组构的影响的试验研究[J].冰川冻土,1995,17(1):16-20  
WANG Jia-cheng, Zhang Li-xin, Deng You-sheng. Experimental study of influence of soil type on ice formation and cryogenic structure of freezing Soils[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1995, 17(1):16-20.
- [9] 焉耆试验场观测资料小结[R].乌鲁木齐:新疆交通科学研究所,1988  
Summary of observations yanqi proving ground[R]. Urumchi: Xinjiang Traffic Science Institute, 1988.
- [10] SITIPHO A S. On the engineering properties of saline soil. Q. J. eng. Geol(UK). 1985
- [11] 陈肖柏.重盐土在温度变化时之物理力学性质[J].冰川冻土,1986.  
CHEN Xiao-bo. Heavy saline soil temperature changes in the physical and mechanical properties[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1986(4):36-42.
- [12] 高江平,蒲翠玲,赵永祥,等.含硫酸盐的半刚性基层材料干缩性能试验研究[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2010,42(6):323-328.  
GAO Jiang-ping, PU Cui-ling, ZHAO Yong-xiang, et al. Experimental study on the dry shrinking performance of the semi-rigid material intensity at the basic level of sulfate salty soil[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2010, 42(3):323-328.

## Study on classification of sulfate saling soil the highway engineering

LIANG Jun-long<sup>1,2</sup>, GAO Jiang-ping<sup>2</sup>

(1. Highway school, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Jiangxi Expressway Investment Group Co., Ltd., Nanchang 330025, China)

**Abstract:** The identification and classification with indicators for saline soil has much influence on formulating the engineering measures. Therefore, choosing reasonable indications to reflect the engineering properties of saline soil is very important. This paper makes a start with the study on the salt heaving characteristics of sulfate saline soil and the melt sinking rules of chlorate saline soil, analyzing water, salt, mechanics and temperature impact on the engineering properties of saline soil. According to the levels of distress the degrees of saline soil is divided and the dividing value of influencing factors is determined. With the investigation of the highway distress characteristics in typical saline soil area and the summarization of the relevantly experimental study on the indoor engineering properties and field test, summarizing and analyzing of the classifications date for the saline soil are carried out. With the study and close connection with the construction of highway production practices, for the first time a systematically a comprehensive system of saline soil highway engineering classification with indicators of salinity, salt content, water content and temperature is established, which exert influence on saline soil engineering properties.

**Key words:** sulfate saline soil; saline soil; engineering classification

**Biography:** LIANG Jun-long, Candidate for Ph. D., Xi'an 710064, P. R. China, Tel:0086-15870608125, E-mail:liangjunlonghappy@163.com

(上接第 13 页)

## Experimental research on moisture migration in freezing unsaturated loess

WANG Tie-hang<sup>1,2</sup>, WANG Juan-juan<sup>1</sup>, ZHANG Long-dang<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. State key Laboratory of Architecture Science and Technology in west China(XAUAT), Xi'an 710055, China)

**Abstract:** The test equipment is designed for measuring moisture migration in freezing unsaturated loess, using the equipment with no grill the liquid water and vapor water mixed migration results is obtained, and using the equipment with grill the moisture migration results is obtained in situation the liquid water migration channel has been blocked. Freezing the frontal advancement causes water content to increase obviously in frozen region, and freezing frontal water content increases in a big way. Opposite to moisture migration in warm region, the moisture migration to the freeze frontal area is quite slow. The increase in water content frozen region of small density loess is smaller than with the big density loess, and the freeze frontal water content increase in big density loess is relatively smaller than in small density loess. Whese initial water content is bigger, the freeze frontal water content increase in value is bigger, so is the ice layer existence. The freeze frontal water content increase along with the time in later period is smaller than earlier period. When the initial water content in loess is quite small, the mixed migration results and the establishment grill water migration results is nearly the same. This indicates that the grill blocking the liquid water migration pass has no advancement influence on moisture migration in freezing loess. When the initial water content is quite big, in comparison with the mixed migration test result, the grill is established to block the liquid water migration channel backward freeze frontal area migration water volume from reducing obviously.

**Key words:** loess; water content; moisture migration; freeze; density

**Biography:** WANG Tie-hang, Professor, Xi'an 710055 P. R. China, Tel:0086-13709208202, E-mial:1273620386@qq.com