

文章编号:1671-6833(2021)01-0077-05

融雪盐对沥青混合料的腐蚀作用研究

张文刚¹, 王芳², 丁龙亭³

(1.山东理工大学 建筑工程学院,山东 淄博 255000; 2.山东理工大学 物理与光电工程学院,山东 淄博 255000; 3.长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘 要: 针对中国北方冬季广泛使用的氯化钠融雪盐在有效融雪的同时对沥青路面产生了较为严重的腐蚀作用,通过配制不同质量分数的融雪盐溶液,分别对 SMA-13、AC-13 和 OGFC-13 等不同级配的沥青混合料进行腐蚀试验,探究在不同融雪盐质量分数及不同干湿循环腐蚀作用下,沥青混合料的动稳定度、破坏应变、残留稳定度、冻融劈裂残留强度百分比等指标的变化规律,并依据试验结果对沥青混合料遭受融雪盐腐蚀作用后残留性能的百分比进行预估研究。试验结果表明:随着融雪盐溶液质量分数和干湿循环腐蚀次数的增加,沥青混合料的 DS 、 ϵ_R 、 MS' 、 TSR 均呈现出较大程度的减小,融雪盐对沥青混合料腐蚀作用严重。同等条件下,OGFC 比 SMA 及 AC 更易遭受融雪盐的腐蚀。

关键词: 腐蚀;融雪盐;沥青混合料;干湿循环;预估

中图分类号: U414 **文献标志码:** A **doi:**10. 13705/j.issn.1671-6833. 2020.02. 012

0 引言

融雪盐被广泛应用于道路的除雪工作中^[1-2],主要成分为氯化钠、氯化钙、氯化镁、氯化钾等,以氯化钠为主。融雪盐具有可溶性、吸潮性、冰点低等特性^[3]。融雪盐溶于水后,水中离子浓度上升使水的液相蒸气压下降,但冰的固态蒸气压不变,达到冰水混合物固液蒸气压相等的状态,冰便溶化,这对于道路行驶安全十分有利^[4-5]。但氯化钠本身是有腐蚀性的^[6-7],大量的氯化物残留在沥青路面的孔隙中,会对路面造成严重的腐蚀。Peng 等^[8]指出,氯化钠融雪盐可以提高沥青胶凝材料的高温性能,但低温下会变得更脆。Kalevi 等^[9]发现氯化钠融雪盐可以影响沥青中芳香烃的数量和质量。黄民如等^[10]通过室内试验发现氯化钠融雪盐降低了沥青混合料的高温性及水稳定性。查湘义^[11]对比了氯化钠、氯化镁、氯化钙等不同类型融雪剂,发现氯化钠对沥青延度的影响最大。曹恒涛等^[12]通过体积浓度为 0.25 g/mL 的氯化钠溶液对沥青混合料进行浸泡试验,检测结果显示沥青混合料的各项路用性能均呈现出不同程度的下降。刘宝奎^[13]利用冻融

循环试验分析了多种融雪盐对沥青混合料性能的影响,发现氯化钠融雪盐对混合料冻融劈裂残留强度百分比影响最大。马晨^[14]认为氯盐溶液浓度越高,沥青混合料各类性能下降幅度越大。Tang 等^[15]发现冻融循环过程中融雪盐的存在对沥青混凝土腐蚀严重,盐浓度影响显著。Xu 等^[16]发现含有氯化钠的抑冰材料能够降低沥青混合料的抗车辙性能、水稳定性和低温弯曲性能。Özgan 等^[17]对不同盐浓度腐蚀下的沥青混合料马歇尔试件进行测试,发现 4、3、2 mmol/L 的氯化钠溶液对沥青混凝土马歇尔稳定度的降低率分别为 13.7%、11.22%和 10.28%。

笔者利用氯化钠融雪盐制备了不同浓度的溶液,并对不同沥青混合料进行了干湿循环腐蚀试验。着重研究了融雪盐浓度、干湿循环次数与沥青混合料路用性能之间的关系,为降低融雪盐腐蚀提供理论参考。

1 试验材料与试验方法

1.1 原材料

采用的 SBSI-C 改性沥青和 TPS 改性沥青均为山东高速物资储运有限公司生产,其技术指标

收稿日期:2019-12-06;修订日期:2020-01-11
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51408044);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2015SF016)
作者简介:张文刚(1986—),男,山东淄博人,山东理工大学副教授,博士,主要从事道路建筑材料研究,E-mail: ziwuzizwg@sdut.edu.cn。

见表 1。集料采用玄武岩,矿粉采用石灰岩,其技术指标见表 2。

表 1 沥青技术性能
Table 1 Performance of asphalts

技术指标	SBSI-C 改性沥青	TPS 改性沥青
针入度/(0.1 mm)	68.3	50.1
延度/cm	61.0	28.6
135 ℃布氏黏度/(Pa·s)	1.713	10.344
软化点/℃	59.3	>100 ℃
残留延度/cm	34.5	25.6
残留针入度比/%	79.6	
质量损失/%	0.13	0.09

表 2 集料与矿粉主要技术指标
Table 2 Performance of aggregate and mineral powder

技术指标	测试值	技术指标	测试值
矿粉亲水系数	0.43	压碎值/%	9.7
砂当量/%	65.95	磨耗值/%	16.2
棱角性/%	44.5	针片状/%	7.65

利用 SBSI-C 改性沥青、玄武岩和矿粉制备 SMA-13 及 AC-13,级配均为规范中值;利用 TPS 改性沥青、玄武岩和矿粉制备 OGFC-13,级配曲线见图 1。3 种沥青混合料空隙率(VV)、动稳定度(DS)、残留稳定度(MS′)、冻融劈裂残留强度百分比(TSR)和破坏应变(ϵ_B)等技术指标见表 3。

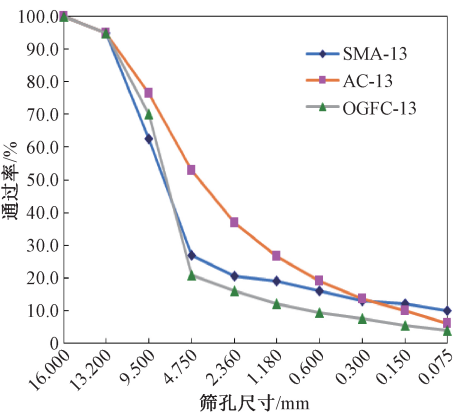


图 1 级配曲线

Figure 1 Gradation curve

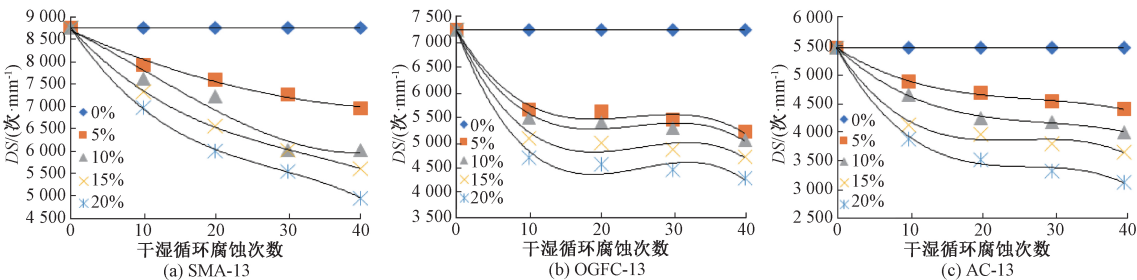


图 3 融雪盐浓度、干湿循环腐蚀次数与动稳定度关系曲线

Figure 3 The relationship among DS, concentration of melting snow salt solution and drying-watering cycle times

表 3 沥青混合料技术性能

Table 3 Performance of asphalt mixtures

沥青混合料类型	VV/%	DS/(次·mm ⁻¹)	MS′/%	TSR/%	$\epsilon_B/10^{-6}$
SMA-13	3.5	8 766	94.0	91.6	3 423
AC-13	4.1	5 467	84.4	83.5	3 124
OGFC-13	18.6	7 216	88.3	85.6	

1.2 试验方法

采用融雪盐和纯净水配置氯盐质量分数分别为 0%、5%、10%、15%、20%的溶液备用,将待测试件分别置入 25 ℃的不同质量分数溶液中浸泡 12 h,取出后置于干燥箱中,常温干燥 12 h。完成上述一次过程为一个循环,试验过程中循环次数分别为 0、10、20、30、40 次。图 2 为沥青混合料腐蚀前及 20% 氯盐溶液干湿循环腐蚀 40 次后外观形态对比图。

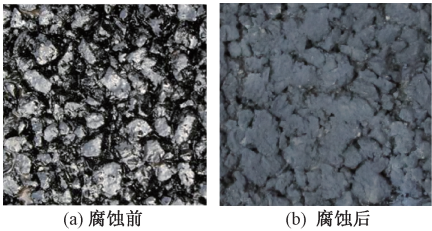


图 2 腐蚀前及干湿循环腐蚀 40 次后沥青混合料的外观形态

Figure 2 Photos of asphalt pavement before and after 40 times drying and watering cycle corrosion

从图 2 可以看出,腐蚀后沥青混合料变得暗淡,并在试件表面覆盖了些许析出的晶体。

氯盐溶液干湿循环试验结束后,对待测试件分别进行 DS、MS′、TSR 和 ϵ_B 等指标的测试,探索氯盐腐蚀对沥青混合料路用性能的影响规律。

2 融雪盐对沥青混合料路用性能的影响

2.1 高温性能

高温性能的优劣直接影响到沥青混合料抗车辙的能力,对经历不同融雪盐质量分数及干湿循环腐蚀作用后的沥青混合料进行车辙试验,并将试验结果汇总至图 3。

从图 3 可以看出,对于不同混合料类型(SMA-13、AC-13),融雪盐溶液腐蚀后的动稳定度的变化规律相似:在相同干湿循环腐蚀次数下,融雪盐质量分数越高,动稳定度降低的程度越大;当融雪盐溶液质量分数相同时,干湿循环次数越大,沥青混合料的动稳定度降低程度越大。

虽然 TPS 改性沥青具有较好的耐腐蚀性,OGFC-13 高温性能受腐蚀的影响却更明显,在较低质量分数及较少的腐蚀次数下,动稳定度的降低程度明显高于 SMA-13 与 AC-13。原因可能与 OGFC-13 空隙率较大、腐蚀物质渗透容易有关。

DS 与沥青质量及级配关系较大,由于腐蚀前后级配并未发生变化,其必然是沥青遭受融雪盐的侵蚀而造成的。融雪盐通过对沥青的飞散作用劣化了其感温性,且 Na^+ 一定程度上破坏了改性沥青的网状结构,降低了软化点,从而使得沥青混合料的高温性能遭到了一定程度的破坏。

2.2 低温性能

低温性能主要反映沥青混合料抵抗低温裂缝的能力。对不同融雪盐质量分数及干湿循环腐蚀后沥青混合料进行低温弯曲试验,结果见图 4。

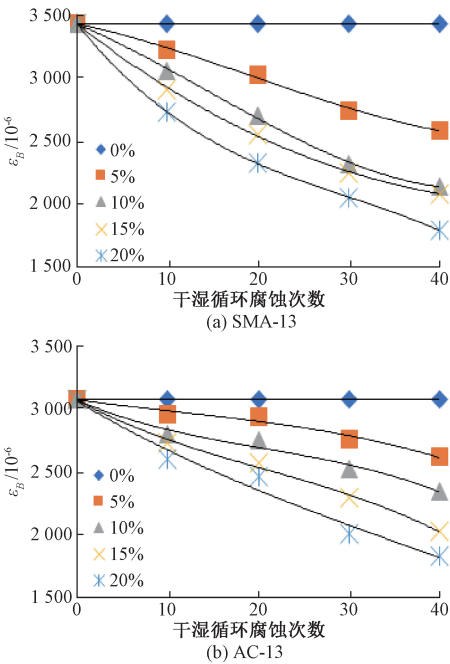


图 4 融雪盐质量分数、干湿循环腐蚀次数与低温破坏应变关系曲线

Figure 4 The relationship among ϵ_B , concentration solution of melting snow salt solution and drying-watering cycle times

分析图 4 发现,随着干湿循环腐蚀次数增加,沥青混合料破坏应变值越来越小;且随着融

雪盐质量分数增大,沥青混合料破坏应变值也越来越小。

造成低温性能降低的原因有两方面:一是试验过程中 NaCl 晶体不断析出,析出的晶体沿着沥青混合料的内部空隙分布,最终产生混合料内部膨胀压力,对沥青混合料的力学性能产生了损害。此外,残存于沥青混合料内部的水分由于蒸发作用不断地沿孔隙向外迁移,加速了沥青与集料的剥离,对沥青混合料的水稳定性产生了损害。二是融雪盐对沥青具有侵蚀-飞散作用,当飞散力大于沥青内部分子间作用力时,会产生絮状物,劣化沥青的感温性,对低温性能不利。 Na^+ 与沥青之间形成的化学吸附层,侵蚀着沥青与集料界面,在一定程度上也造成了低温性能的下降。

2.3 水稳定性

水稳定性是影响沥青混合料耐久性的一项重要指标,对不同融雪盐质量分数、干湿循环腐蚀作用次数下的沥青混合料马歇尔试件进行残留稳定度及冻融劈裂残留强度百分比的测试,结果见图 5。

从图 5 看出,随着干湿循环腐蚀次数增加,沥青混合料的 MS' 和 TSR 越来越小;同时,随着融雪盐质量分数增大,沥青混合料的 MS' 和 TSR 也越来越小。SMA-13 与 AC-13 间未见有明显区别,OGFC 水稳定性损失程度略高于另外两种混合料。

造成沥青混合料水稳定性降低的主要原因是低价的 Na^+ 能够与沥青之间形成极不稳定的化学吸附层,侵蚀沥青与集料界面,引发沥青薄膜局部脱落,显著降低了沥青与集料之间的黏附性,导致沥青混凝土的水稳定性降低。

在上述沥青混合料高温、低温及水稳定性等性能试验中,空隙率的大小是沥青混合料抵抗融雪盐腐蚀的重要参数,空隙率越大,混合料的性能损失越大。其主要原因是空隙率决定着融雪盐与沥青混合料的接触面积,空隙率越大,侵蚀-飞散作用更剧烈,侵蚀集料与沥青界面也更容易;同时, Na^+ 对沥青的腐蚀及对改性沥青网状结构的破坏作用也越发严重。因此,融雪盐对空隙率大的沥青混合料腐蚀更为严重。

3 沥青混合料残留路用性能预估

基于室内试验数据,分别对融雪盐质量分数、干湿循环腐蚀次数与 DS 、 ϵ_B 、 MS' 、 TSR 之间的关系进行预估。

DS 采用模型(1), MS' 和 TSR 采用模型(2),

ε_B 采用模型(3),分别对应式(1)、(2)、(3):

$$P = aT^b(c \cdot C^3 + d \cdot C^2 + f \cdot C) + DS; \quad (1)$$
$$P = T^e(a \cdot C^3 + b \cdot C^2 + c \cdot C + d); \quad (2)$$
$$P = aT^b(c \cdot C^3 + d \cdot C^2 + f \cdot C) + \varepsilon_B. \quad (3)$$

式中: P 为腐蚀后残留路用性能; C 为融雪盐质量

分数; T 为干湿循环腐蚀次数; a 、 b 、 c 、 d 、 f 为回归系数。

按照式(1)~(3)对腐蚀后的各项路用性能进行拟合,结果见表4。上述公式可为制定减轻融雪盐对路面的损害措施提供依据。

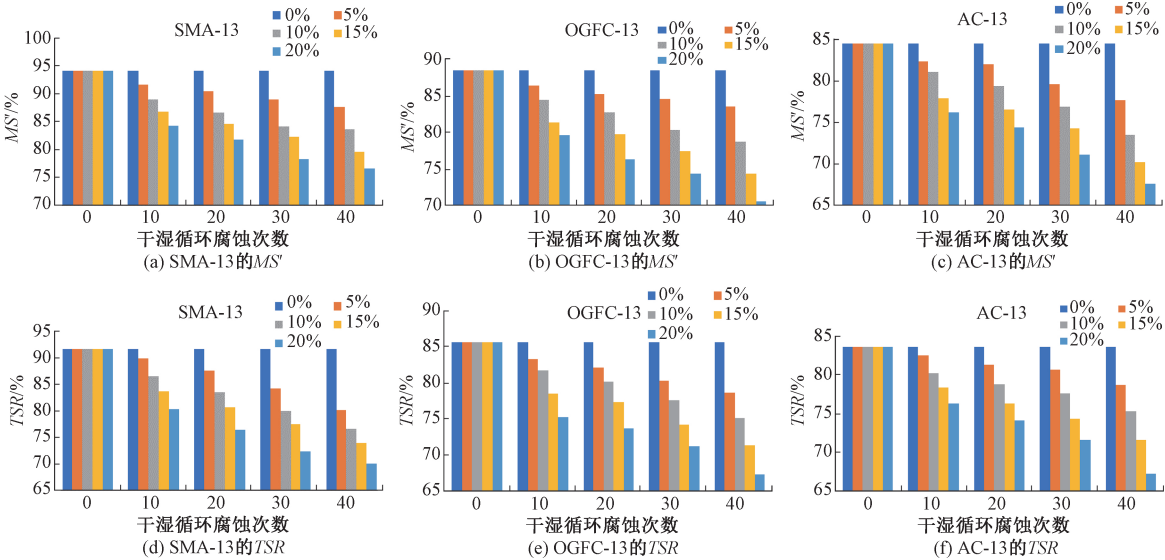


图5 融雪盐质量分数、干湿循环腐蚀次数与沥青混合料水稳定性关系

Figure 5 The relationship among water stability, mass concentration solution of melting snow salt solution and drying-watering cycle times

表4 路用性能预估公式汇总表

Table 4 The prediction of residual pavement performances after corrosion

混合料类型	性能参数	残留路用性能拟合公式	R^2
SMA-13	DS	$DS' = -0.078\ 7T^{0.55}(1.175\ 4C^3 - 44.356\ 8C^2 + 741.369\ 9C) + DS$	0.98
	ε_B	$\varepsilon'_B = -0.765\ 7T^{0.71}(0.031\ 5C^3 - 1.311\ 9C^2 + 21.753\ 7C) + \varepsilon_B$	0.99
	MS'	$MS'' = T^{-0.08}(0.000\ 3C^3 - 0.017C^2 + 0.085C + 112.56)$	0.95
	TSR	$TSR' = T^{-0.09}(0.000\ 2C^3 - 0.013C^2 - 0.129C + 117.32)$	0.97
OGFC-13	DS	$DS' = -10.652\ 9T^{0.13}(0.069\ 50C^3 - 2.543\ 4C^2 + 31.814\ 2C) + DS$	0.98
	MS'	$MS'' = T^{-0.08}(-0.000\ 1C^3 + 0.009\ 8C^2 - 0.455C + 118.27)$	0.93
	TSR	$TSR' = T^{-0.08}(0.000\ 2C^3 - 0.02C^2 + 0.292C + 112.09)$	0.93
AC-13	DS	$DS' = -0.398\ 8T^{0.29}(0.386\ 9C^3 - 14.069\ 4C^2 + 227.643\ 3C) + DS$	0.99
	ε_B	$\varepsilon'_B = -0.136\ 5T^{0.85}(0.012\ 57C^3 - 0.662\ 4C^2 + 28.895\ 7C) + \varepsilon_B$	0.98
	MS'	$MS'' = T^{-0.07}(-0.000\ 1C^3 - 0.018C^2 + 0.243C + 111.17)$	0.95
	TSR	$TSR' = T^{-0.07}(-0.000\ 3C^3 + 0.02C^2 - 0.639C + 118.19)$	0.92

注: DS' 、 ε'_B 、 MS'' 和 TSR' 分别为腐蚀后的 DS 、 ε_B 、 MS' 和 TSR 。

4 结束语

随着融雪盐质量分数的增大与干湿循环腐蚀次数的增多,沥青混合料的 DS 、 ε_B 、 MS' 、 TSR 均呈现出较大程度的减小,融雪盐对沥青混合料有较大的腐蚀作用。同等条件下,OGFC 比 SMA 及 AC 更易遭受融雪盐的腐蚀。

参考文献:

[1] PÉREZ-FORTES A P, ANASTASIO S, KUZNETSOVA E, et al. Behaviour of crushed rock aggregates used in asphalt surface layer exposed to cold climate conditions [J]. Environmental earth sciences, 2016, 75 (21):1414.

[2] GIULIANI F, MERUSI F, POLACCO G, et al. Effectiveness of sodium chloride-based anti-icing filler in asphalt mixtures[J]. Construction and building materi-

als, 2012, 30:174-179.

[3] RAINIERO J M. Investigation of the ice-retardant characteristics of verglimit-modified asphalt[J]. Transportation research record, 1988, 1157:44-53.

[4] 张文刚, 师郡. 沥青混合料室内加速热氧老化特性与预估[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(24):279-282.

[5] 栗培龙, 马松松, 李建阁, 等. 炭黑改性沥青混合料的动态响应主曲线分析[J]. 郑州大学学报(工学版), 2018, 39(4):12-17.

[6] 刘至飞, 丁敏. 长期服役沥青路面面层材料汉堡车辙试验研究[J]. 公路工程, 2018, 43(3):225-228.

[7] 谭振宇, 李浩. 柴油泄漏对沥青路面使用性能的影响[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(6):326-330.

[8] PENG C, YU J Y, ZHAO Z J, et al. Effects of a sodium chloride deicing additive on the rheological properties of asphalt mastic [J]. Road materials and pavement design, 2016, 17(2):382-395.

[9] KALEVI K M, SALMINEN J M. Do deicing agents affect the quality and quantity of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in asphalt pavements[J]. The open civil engineering journal, 2011, 5(1):17-24.

[10] 黄民如, 黄觉, 曹景超. 融雪剂对沥青路面路用性能影响的试验与分析[J]. 广东公路交通, 2018, 44(4):18-20.

[11] 查湘义. 融雪剂对沥青性能影响评价研究[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2018, 31(2):8-10.

[12] 曹恒涛, 李鑫, 成钢. 融雪剂对沥青混合料路用性能的影响研究[J]. 公路与汽运, 2017(4):95-98.

[13] 刘宝奎. 盐冻融作用下沥青混合料性能及破坏机理研究[D]. 西安:长安大学, 2017.

[14] 马晨. 氯盐融雪剂浓度对沥青及沥青混合料性能影响研究[D]. 长春:吉林大学, 2017.

[15] TANG N, SUN C J, HUANG S X, et al. Damage and corrosion of conductive asphalt concrete subjected to freeze-thaw cycles and salt[J]. Materials research innovations, 2013, 17(增刊1):240-245.

[16] XU O M, HAN S, ZHANG C L, et al. Laboratory investigation of andesite and limestone asphalt mixtures containing sodium chloride-based anti-icing filler[J]. Construction and building materials, 2015, 98:671-677.

[17] ÖZGAN E, SERIN S, GERENGI H, et al. Multi-faceted investigation of the effect of de-icer chemicals on the engineering properties of asphalt concrete[J]. Cold regions science and technology, 2013, 87:59-67.

Corrosion Behavior of Melting Snow Salt on Asphalt Mixtures

ZHANG Wengang¹, WANG Fang², DING Longting³

(1.School of Civil and Architectural Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China; 2.School of Physics and Optoelectronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China; 3.Highway College of Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Snowfall in northern China often occurs, and melting snow salt, which was mainly composed of sodium chloride, was widely applied to remove snow. And at the same time, it had a serious corrosion effect on the asphalt pavement. In this paper, melting snow salt was used to prepare different concentrations of solution. And different types of asphalt mixtures, such as Stone Matrix Asphalt (SMA-13), Asphalt Concrete (AC-13) and Open-graded Friction Courses (OGFC-13) were tested in different corrosion conditions——different concentration of melting salt solution and different drying-watering cycle times. The dynamic stability (*DS*), residual marshall stability (*MS'*), freeze-thaw splitting strength ratio (*TSR*), and maximum flexural-tensile strain (ϵ_B) were tested after corrosion, and the change rules were analysed also. The residual pavement performance percentage of asphalt mixtures was predicted at last. The results indicated that as the concentration of melting salt solution and the drying-watering cycle times increased, the performances of asphalt mixtures were all became worse and worse, the corrosion effect of melting snow salt on asphalt mixture was serious, especially on OGFC.

Key words: corrosion; melting snow salt; asphalt mixtures; drying-watering cycle times; prediction