



转载本集资料需注明出
自 Nickel Institute 和
IMO A 资料

NB2010-005

认识除冰盐的腐蚀威胁

Deicing Salt - Recognizing the Corrosion Threat

Nickel Institute 国际镍协会北京办事处

认识除冰盐的腐蚀威胁

凯瑟琳·胡斯卡

(建筑规范学会(CSI)会员,美国宾夕法尼亚州匹兹堡市 TMR 咨询公司)

自二十世纪六十年代以来,在世界范围内,除冰盐被广泛用于道路安全受到季节性冰雪威胁的地区。大量资料表明,除冰盐已造成汽车、公路桥梁材料的腐蚀以及生态系统的改变,已成为诸多研究的焦点。

遗憾的是,由于人们普遍持有一种错误的观点,认为除冰盐的破坏性仅仅局限于毗邻公路的地区,因此建筑材料的劣化被大大忽视。除冰盐对建筑金属材料和其它建筑材料构成了严重的、但往往被忽视的腐蚀威胁。

据文献记载,在距繁忙公路远达 1.9 公里(1.2 英里)的地方以及摩天大楼高达 59 层处已发现季节性除冰盐的聚积^{1,2}。建筑项目无论是在亚洲、欧洲、美洲还是在新西兰,都有可能受到除冰盐的影响。

在地处“雪带”的城市(如德国的杜塞尔多夫市、美国伊利诺斯州的芝加哥市以及加拿大的多伦多市),季节性的除冰盐接触量可以很大;材料如果选用不当,很快就会出现腐蚀。有时在材料安装当年的第一个冬季比较温暖的时期,就开始出现腐蚀。一些冬季气候较温和的内陆城市,如中国的北京、美国田纳西州的纳什维尔市等,由于采用除冰盐应对冻雨,至少局部区域也会接触到除冰盐。

对除冰盐缺乏充分的了解会导致金属材料选用不当及材料过早失效。弗兰克·盖瑞(Frank Gehry)的威斯曼艺术博物馆(图 1)事例说明,成功设计一座建筑物并不难,但是其设计者必须了解以下方面的最新研究情况:除冰盐问题的严重程度、腐蚀的机理、金属腐蚀的相对速率以及常见的关于除冰的荒诞说法等。



图 1: 弗雷德里克 R.威斯曼艺术博物馆外表采用精细 4 号抛光表面的 316 不锈钢,表面光滑,很容易被雨水冲刷。尽管该博物馆每年除冰盐的接触量很大,但是它依然表现出良好的性能。建筑物外表没有明显腐蚀锈迹,只有一些积尘。

表 1：参与“2002 年欧洲冬季路桥维护措施研究”³ 的国家的冰雪控制方式

国家	使用的除冰产品	公吨(1000)	除冰时间
奥地利	氯化钠,氯化钙	NA	11 月 - 3 月
比利时	氯化钠,氯化钙	113	10 月 - 4 月
克罗地亚	氯化钠	NA	NA
捷克共和国	氯化钠、氯化钙、氯化镁	215	11 月 - 4 月
丹麦	氯化钠	115	10 月 - 4 月
芬兰	氯化钠	NA	10 月 - 4 月
法国	氯化钠、氯化钙	400-1400	11 月 - 3 月
德国	氯化钠、氯化钙、氯化镁	2000	11 月 - 3 月
英国	氯化钠、氯化钙	2200	
匈牙利	氯化钠、氯化钙	NA	11 月 - 3 月
冰岛	氯化钠、氯化钙	NA	10 月 - 4 月
爱尔兰	氯化钠	30-70	11 月 - 4 月
挪威	氯化钠	83	10 月 - 4 月
波兰	无详细资料	NA	NA
罗马尼亚	氯化钠	108	11 月 - 3 月
斯洛文尼亚	氯化钠、氯化钙、氯化镁	NA	NA
西班牙	氯化钠、氯化钙	80	10 月 - 4 月
瑞典	氯化钠	300	10 月 - 4 月
瑞士	氯化钠、氯化钙	NA	10 月 - 4 月
荷兰	氯化钠、氯化钙	135	10 月 - 4 月

NA - 未提供总吨数数据。

除冰盐的使用

冰雪引起的公路封闭、业务停止及交通事故等会造成重大的经济损失,因此,除冰是非常必要的。美国、加拿大、日本以及欧洲国家为此耗资巨大。近年来,仅美国每年就使用了 1360 万至 1800 万吨的除冰盐,而加拿大则要多用 360 万至 450 万吨⁴。

在美国,大约有百分之七十的道路和人口所处的地区每年降雪量不低于 13 厘米(5 英寸),还有的地区受到季节性冻雨的影响,因此,除冰盐接触风险就成了大多数室外重点设计项目考虑的一个重要潜在因素⁴。

欧洲国家使用除冰盐的情况与北美国家相似。有二十个国家参与了 2002 年欧洲关于道路和桥梁除冰实施措施的专题研究。表 1 汇总了各个国家所采取的除冰方法及每年除冰盐用量。值得注意的是,如同在北美一样,除冰盐常用于那些有冰雪或者冻雨担忧的地区。

尽管表 1 仅列出了十二个参与研究的国家的除冰盐吨数,但是这足以表明施用除冰盐在整个欧洲成了一种基本惯例。其它的欧洲数据来源也证明了除冰盐的使用范围越来越广、使用量越来越大。英国每年大约使用二百万吨的除冰盐⁵。据一位供货商介绍,他每年在欧洲大陆销售约 640 万吨除冰盐。

历史资料显示,欧洲除冰盐的年使用量在不断增加。例如盐业协会成员德国 Verband der Kali-und Salzindustrie e.V. 公司报道称,在 2005 年和 2006 年期

间,德国道路除冰盐的用量超过了 3000 吨,比 2002 年增加了 50%⁷。

日本每年除冰盐的用量是 50 万吨⁸。虽然目前没有亚洲北部其它国家除冰盐的用量数据,但是除冰盐在冻雨和积雪可能构成安全威胁的地区正在使用。在中国,除冰盐的使用量在增长,而且中国最近已经成为了世界上最大的除冰盐生产国。

南美洲目前在除冰盐生产和使用方面滞后于世界其它地区。从全球范围来看,除冰盐的年生产量达到约 2.4 亿吨⁹。世界各地使用除冰盐的比例不同,但全球每年除冰盐的用量可能超过了 6000 万吨。

建筑设计师应考虑到某些国家使用除冰盐的情况正在迅速发生变化。比如,中国基础设施的改建和扩建导致除冰盐的使用愈加随意。

除冰产品

尽管人们担心改变土壤和水的化学性质,会对各种作物、树木、鱼类造成伤害,但除冰盐的使用量却在持续增长,甚至地处“阳光地带”的城市也开始在发生冻雨灾害时备存或抛洒除冰盐。

防冰除冰产品种类繁多,包括氯化钠(NaCl)、氯化钙(CaCl₂)、氯化镁(MgCl₂)、乙酸钾(CH₃COOK)、醋酸钙镁(CMA)等。氯化钠(即岩盐)仍然是世界上应用得最普遍的除冰产品,其次是氯化钙和氯化镁。公路除冰最常采用的是预混合盐的水溶液配方。当温度降到 -21° C 时,氯化钠仍然有效;当预计温度更低时,可分别采用氯化钙或氯化镁,或者将它们作为混合盐的组成成分¹⁰。

尽管有些除冰产品声称是环保的或无腐蚀性的,但应该对其进行仔细评估。例如,醋酸钙镁(CMA)和糖蜜

都是没有腐蚀性的,但是像化肥(包括氯化钾 KCl 和尿素 NH₂CONH₂)等其它除冰盐产品都具有腐蚀性,过量使用会杀死植物,化肥还可能导致混凝土性能劣化。

所有用于除冰的盐类(氯化物)都具有腐蚀性。美国的几个州(如蒙塔纳州和密西根州)减少其氯化钠的使用量,取而代之的是添加了缓蚀剂的氯化镁,因为该氯化镁产品是作为无腐蚀性的除冰产品被推广的,但事实可能并非如此。

据美国卡车运输协会基金会(ATAF)报道,氯化镁用量的增加与卡车锈蚀和电气系统损坏现象的剧增直接相关¹¹。道路混凝土性能劣化、电气系统故障、电极着火等事故的罪魁祸首也是氯化镁的使用。

道路盐雾

公路上的盐雾或悬浮微粒是行驶车辆的轮胎把盐水或者干盐粒卷起并抛向空气时产生的。车辆在行驶时引起的大气湍流形成一个由湿或干盐粒组成的垂直气柱,再由风把这些盐粒带离公路、飘向远方。风速、车辆行驶速度、车辆类型以及交通密度等因素都会影响到所产生的盐雾量以及被风带离公路的距离。

大的盐水水珠一般降落在公路附近方圆 15 米(49 英尺)的区域内,该区域被称为“飞溅区”。较小的水珠和干盐粒能够迁移到离公路更远的地方。

研究人员已经在各种规格的公路上完成了几百个关于除冰盐的研究,但是多数研究都集中在公路附近的区域。由伊利诺州交通运输部(DOT)与美国阿尔贡国家实验室(ANL)和美国国家大气沉降计划/国家动态监测网(NADP/NTN)携手合作完成的一项新研究以事实证

明,季节性除冰盐可沿着芝加哥市外一条主干公路的下风向迁移到远达 1.9 公里的地方。在大多数监测地点,除冰盐聚积在距离公路 1 公里(0.6 英里)的范围内。

利用 1997 年至 2004 年期间收集的数据资料开发出了盐沉积量计算机模型,根据此模型绘制的地图(图 2)覆盖了 1-55 公路和 1-80 公路交汇处周围 5 × 5 公里(3.1 × 3.1 英里)的区域¹²。该模型假定,每年平均向公路撒盐十七次。

在繁忙公路附近 100 米(328 英尺)范围内的区域是最有可能发生盐聚积现象的地方,该区域的盐含量类似于中等至高含盐量的沿海环境。在某些检测地点,这种较高盐含量的区域进一步向内陆扩展。大部分飘离公路较远的盐粒都是以干盐粒的形态在下雪间隔期从路面上升随风飘移的。作者从理论上做出如下解释:在道路繁忙、除冰盐使用量大的城市地区(如芝加哥),局部区域出现的含盐雪尘或盐雾可能在一场大雪之后存在数日,这就增加了盐雾暴露的风险,同时也延长了盐雾随风飘移的距离。

迄今为止,还从来没有正式研究过除冰盐随风飘离公路的垂直距离。然而,据保洁工程承包商及法律顾问称,他们经常会在建筑物上发现盐沉积和腐蚀。上升暖气流把悬浮盐粒从公路路面携带至建筑物上部表面,大气湍流又使它们漂浮在空中,于是就出现了结盐和盐腐蚀现象。

在风力等级适中的主要城区,在间距较近的高层建筑物上,除冰盐沉积一般不超过第 12 层。但是在冬季风力等级较高的城市里,会在更高楼层发生除冰盐沉积现象。在芝加哥,邻近繁忙公路、中等规模的高层建筑物,因除冰盐引起的金属材料腐蚀现象一般在第 20 层和第 30 层之间停止,而有一座大楼,除冰盐腐蚀直到第 59 层和第 60 层之间才停止。在邻近低层建筑物的人行道上,除冰盐沉积现象可能在第 1 层和第 3 层就停止了¹³。

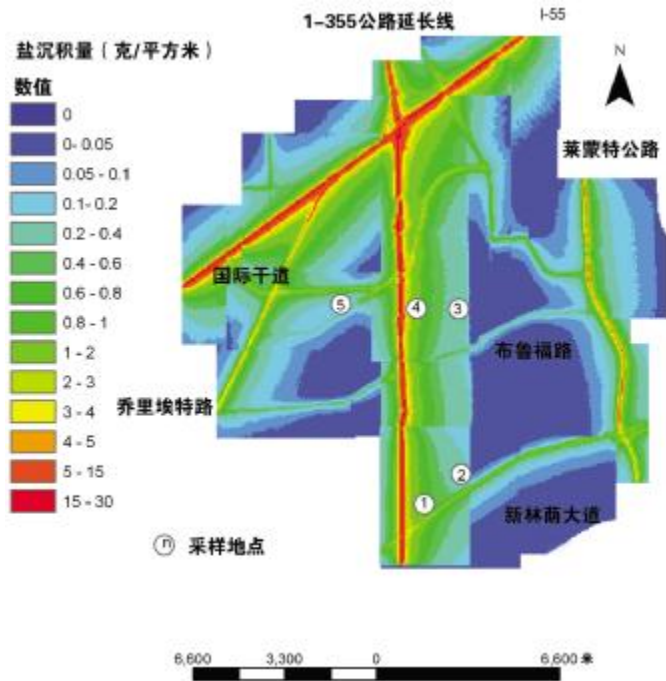


图 2: 1-55 公路、1-355 公路以及小型公路周围除冰盐年沉积量模型设计及主要监测点间距示意图(资料由伊利诺斯州交通运输部提供)

盐腐蚀

发生腐蚀的条件是，材料表面必定被电解质弄潮湿，电解质是一种可以导电的水溶液。环境的腐蚀性越强，材料表面就越经常被腐蚀性沉积物弄潮湿。水分可来自雨水、雾气或者潮气等。大雨或者暴雨能够稀释电解质，并有助于清除掉有潜在危害的表面沉积物，而经常性的蒙蒙细雨反而会使更多的腐蚀性物质沉积，导致腐蚀的发生。海盐中腐蚀性最强的成分是氯化钠、氯化钙以及氯化镁，这些正是用于除冰盐产品中的盐成分（氯化物）。

盐对腐蚀率的影响有几种方式。第一，盐具有吸湿性，即盐能够吸收空气中的水分，这样腐蚀有可能在相对湿度较低时发生，并且其持续时间长于预计时间。第二，盐会增强水的导电性能，加快腐蚀的过程。第三，盐中的氯离子能够分解破坏某些金属表面的保护性氧化层。比如，铝的保护性氧化层会因接触盐而被损坏。

当同时达到临界湿度和临界温度时（见表 2），盐就慢慢开始吸收水分，形成腐蚀性浓缩氯化物溶液¹⁴。大约就是在这些湿度水平时腐蚀现象最为严重，因为此时腐蚀性溶液的浓度是最高的。当具有不同临界湿度的几种盐混合在一起时，腐蚀发生的温度、湿度范围便扩大了。

盐（氯化物）环境下金属性能的长期测试的重点是沿海或海洋应用，基本不涉及公路桥梁和公路运输车辆。而公路附近的年均盐沉积量相当于甚至高于沿海地区的年均盐沉积量。由于氯化钠、氯化钙、氯化镁等氯化物既能造成沿海腐蚀也能导致除冰盐腐蚀，所以，我们可以采用沿海腐蚀的数据资料帮助我们预测建筑金属材料的相对耐腐蚀性。

不管腐蚀试验地点是靠近你的建筑场所还是远在世界的另一方，只要影响腐蚀的条件相似就可以（如污染程度、酸雨情况、水分含量、温度高低、湿度水平、含盐量等）。

表 3 汇总了从几个沿海腐蚀试验点收集的一些常用建筑金属材料的腐蚀性对比数据¹⁵。之所以选择这些试验点是因为其条件类似于美国和欧洲季节性冰雪灾害多发地区的条件。表中还收录了一处没有盐暴露风险和低污染的测试点，以便为不同盐含量、污染程度和湿度的测试点提供对比数据。

尽管国际铝协会（IMOA）开发的建筑场所与设计评价系统，其初衷是为选择不锈钢材料提供帮助，但是该系统在确定影响金属腐蚀的因素方面是非常有用的¹⁶。

表 2: 海盐和除冰盐开始吸附水分并形成腐蚀性氯化物溶液时的温度和湿度水平

温度		临界湿度水平		
°F	°C	氯化钠	氯化钙	氯化镁
77	25	76%	30%	50%
50	10	76%	41%	50%
32	0	—	45%	50%

表 3:金属材料长期暴露在各种气候和污染环境下的年平均腐蚀率

环境				
盐含量	无	中等	中等	高
污染程度	低	低	中等	中等
每年有雾的天数	10	160	79	10
每年的暴雨次数	43	59	3	28
年平均降雨量:毫米(英寸)	700(29)	1370(54)	515(20)	1050(42)
相对湿度:%	57	69	76	78
平均温度:°C(°F)	16(61)	11(53)	17(62)	21(70)
年腐蚀率:毫米/每年(密耳/每年)				
316 不锈钢	<0.000025(<0.001)	<0.000025(<0.001)	<0.00025(<0.001)	0.00028(0.01)
304 不锈钢	<0.000025(<0.001)	<0.000025(<0.001)	0.000127(0.005)	0.0004(0.02)
铝	0.0003(0.01)	0.009(0.3)	0.004(0.17)	0.0194(0.77)
铜	0.0056(0.22)	NA	0.007(0.28)	0.0246(0.97)
锌	0.003(0.13)	0.002(0.08)	0.03(1.14)	0.111(4.37)
耐候钢	0.023(0.9)	NA	0.09(3.6)	0.810(31.89)
碳钢	0.04(1.70)	0.147(5.8)	0.26(10.12)	2.19(86.22)

NA 表示该检测点未提供该金属数据。

铝材

铝在许多应用场合都具有优异的耐腐蚀性,但盐类(即氯化物)会破坏铝的保护性氧化膜,造成腐蚀。常用的铝合金一旦接触到盐,其腐蚀速度没有太大的差异。当环境中同时出现硫化物(如大气中的二氧化硫)时,盐(氯化物)对铝的腐蚀速度就会加快。在这种环境下,含有铝的碳钢保护性镀层也会有较大的腐蚀率。

铝发生的腐蚀是点蚀而不是均匀的表面腐蚀,腐蚀后留下白~灰白色的粉末。对铝进行阳极氧化处理可以提高其耐腐蚀性,但是,在无保护层的铝材可能受到腐蚀的环境中,阳极氧化处理也不能对铝材提供长期的充分保护。为了使铝材在这种环境下发挥应有的性能,有必要对其进行定期的保养和清洁,以清除铝材上的腐蚀性沉积物¹⁷。



图 3: 除冰盐造成铝制门槛发生严重腐蚀

图 3 中的腐蚀现象发生在宾夕法尼亚州匹兹堡市，腐蚀原因是二氧化硫和除冰盐的联合作用。铝门槛由于严重腐蚀而发生穿孔。由于毗邻的人行道冬天经常使用除冰盐，于是盐就在门槛上聚积起来。

图 4 是邻近一幢大楼第二层的阳极氧化铝板，其最初的颜色是炭灰色。图中的白色和浅灰色区域表明除冰盐曾在此聚积，造成其表面的点蚀，破坏了铝板最初的阳极化镀层。



图 4：一幢办公楼第二层的阳极氧化铝板遭受除冰盐腐蚀



图 5：室外采用的阳极氧化铝板，定期清洗去除除冰盐和其它污染物

直到铝板的美观遭受了永久性的破坏之后，腐蚀留下的白~灰白色粉才引起人们的重视。这些铝制壁板聚积的盐量远远少于门槛上聚积的盐量，发生腐蚀性穿孔的可能性也不大，但铝板的损伤是不可修复的。

通过定期保洁清除盐沉积和各种污染物沉积，可以将腐蚀降到最低限度。位于匹兹堡的古老的美国铝业公司总部(图 5)也采用同样的阳极氧化处理铝板，由于定期的维护清洗，墙板只有轻微的损伤。

锌及锌镀层

锌被腐蚀或氧化后产生一种灰色的绿锈，设计师对此饶有兴趣。如果环境对锌没有腐蚀作用，则锌的腐蚀率较低，且那层保护性的绿锈能够降低腐蚀率。

如果暴露在各种硫化物(如二氧化硫)环境下，那么锌材的腐蚀率就会十分明显地增加。盐类(氯化物)和氮氧化物也会增加锌的腐蚀率，但幅度较小。腐蚀率最高的地点是同时存在污染和氯化物的地方。如果雨水的 pH 值低于 5，那么雨水酸度也是影响锌腐蚀率的一个重要因素¹⁸。那些加快锌合金腐蚀率的因素同样也会加快镀锌钢和其它含锌镀层的腐蚀率。

图 6：城郊一条四车道公路附近一座教堂的镀锌钢屋顶板发生腐蚀



图 6 是城郊一条繁忙的四车道公路附近一座教堂的镀锌钢屋顶,该公路在冬天使用了除冰盐。尽管温暖月份的正常降雨有助于冲刷掉屋顶上的腐蚀性沉积物,但是教堂朝向公路的那面由于经常性地暴露于盐环境,比朝向教堂停车场的那面出现的腐蚀现象更多。

这个地点盐的接触量较少,因为这是一条较缓慢的车行道,而教堂距离公路有数百英尺之远。污染等级属中度,腐蚀进展比较缓慢。如果出现较严重的盐暴露环境和 / 或较高等级的污染度,就会增加建筑材料的腐蚀率。与不暴露在外的建筑部位相比,易受到雨水冲刷的建筑部位(如这座教堂的屋顶),腐蚀性化合物聚积较少,其腐蚀率也比较低。

碳钢与耐候钢

碳钢没有能力自发形成保护层,需要用油漆或阴极保护金属涂层减少腐蚀。盐类(氯化物)和各种污染物(如二氧化硫、氮氧化物等)对裸露的碳钢具有很强的腐蚀性,也对常用于碳钢、由锌和铝制成的阴极保护金属涂层具有腐蚀作用。通常,阴极保护金属涂层外加一种多层涂料系统才能为碳钢提供最佳保护。

如果建筑结构位于一条经常使用除冰盐的道路附近,则设计选材者应当遵循涂层制造商关于沿海地区的推荐作法。在盐和硫化物同时存在的环境,碳钢的腐蚀率最高。这种盐和硫化物同时存在的环境条件对于处于霜冻地带的工业城市很常见。

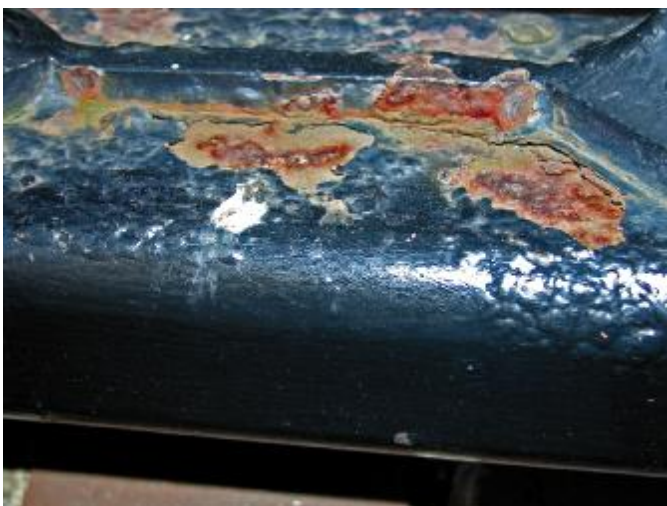


图 7: 正如涂层表面起泡现象所证明的那样,碳钢涂层失效加快了碳钢腐蚀率。潮气和腐蚀性物质聚积在涂层边缘下方,造成缝隙腐蚀。为了延长使用年限,必须频繁地刮掉涂层并重新涂饰。



图 8: 一幢大楼外部的耐候钢材料遭受除冰盐破坏

耐候钢属于低合金结构钢,能够形成一层粘着的致密氧化膜,随着氧化膜厚度的增加,金属的腐蚀率下降。在干湿循环周期有利于这种稳定膜形成的地方,使用耐候钢时可无须保护性涂层。

盐类(氯化物)和工业污染物破坏了耐候钢表面上的这层氧化膜,使耐候钢的腐蚀率大大加快。图 8 显示了一幢大楼外部耐候钢表面除冰盐的聚积情况。没有保护涂层的耐候钢墙板在除冰盐和 / 或污染环境会穿孔,特别是如果这些墙板被遮挡而不能定期地被雨水冲刷,情况会更糟。

不锈钢

不同种类的不锈钢,其腐蚀率有很大差别。有些不锈钢浸泡在海水中也不会被腐蚀,而有些不锈钢在沿海环境和除冰盐环境下会发生腐蚀。二氧化硫对不锈钢腐蚀率的影响很小。

两种最常用的不锈钢牌号是 304 和 316 不锈钢。这两种牌号的不锈钢具有基本相同的成形性能,但是,由于 316 不锈钢中添加了钼元素,它在含盐环境中具有更加优越的性能。从表 3 中可以看出,与其它建筑金属材料相比,这两种不锈钢的腐蚀率都非常低,几乎不可能导致结构失效或穿孔。

在典型的沿海条件和除冰盐暴露条件下,如果没有定期的维护和清洗,304 不锈钢会出现表面锈迹。如芝加哥内陆钢铁大厦,外墙板采用 304 不锈钢建造,在每年春天对大厦进行清洁之前,发现其外表有腐蚀斑点。这些轻微的腐蚀斑点只是表皮上的瑕疵,清洗之后,可恢复不锈钢光亮的外表。

在沿海环境或除冰盐暴露环境下,应优先选用 316 不锈钢材料,因为这种不锈钢在清洁间隔期间的很多年都不会发生腐蚀,尤其当采用光滑的表面时。图 1 是美国明尼阿波利斯市的弗雷德里克.R 威斯基曼博物馆光滑的 316 不锈钢外墙。拍摄这张照片时,该博物馆已经五年没进行过清洗了,但一直没有发生腐蚀。

图 9 是相邻的两座建筑物第二层上的 304 不锈钢(左边)和 316 不锈钢(右边)外墙板,暴露在相同含量的除冰盐环境中,两块不锈钢板都没有进行过清洗。在 304 不锈钢板上,可看到轻微的除冰盐腐蚀斑点,而 316 不锈钢板上没有锈斑。

在除冰盐接触量非常高的应用环境里,如嵌入式人行道照明设备、入口格栅以及易聚积盐的面板底下等,即使采用了 316 不锈钢,也不能保证有足够的耐腐蚀能力。经常暴露于盐水飞溅的区域也易发生腐蚀现象。清洗可以去除锈迹,但在某些情况下,有必要采用比 316 不锈钢耐蚀能力更强的不锈钢如 2205、317LMN 和 904L 等。

有关如何选用不锈钢材料的信息,可以从国际钼协会(IMOA)和国际镍协会¹⁹免费获取。表面粗糙度、设计、天气条件以及维护和清洗频率也对不锈钢材料的选用有影响。

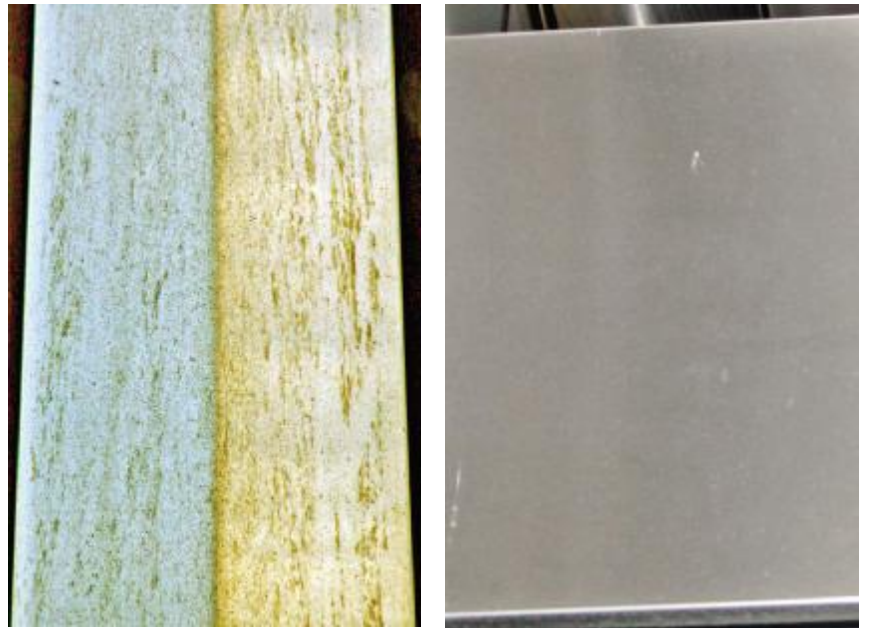


图 9: 两种牌号的不锈钢板都在附近建筑物第二层上,暴露在同样的除冰盐环境中,从未进行过清洗,表面上可以看到有灰尘和少许盐的残留。304 不锈钢板(左边)呈现出表面的腐蚀斑点,而 316 不锈钢板(右边)保持着无腐蚀的完美状态。

案例研究:德国的不锈钢交通隔离柱

建筑材料的表面粗糙度对材料的耐腐蚀性能有显著的影响,因为粗糙的表面会滞留更多的腐蚀性盐(氯化物)、污染物、污垢以及其它的残渣碎片等。不仅如此,材料较高的表面张力使水分较长时间地停留,这种停留可能造成腐蚀的启动。于是,在材料表面污染物浓度较高和表面较长时间处于潮湿状态的联合作用下,材料的腐蚀率远远高于预期。如果材料的表面粗糙度选用不当,即使通常情况下表现良好的材料也会出现失效。

与用于含盐(沿海和除冰盐)环境和污染环境下的其它常用建筑金属材料相比,316 不锈钢的腐蚀率要低得多。因此,对于在苛刻腐蚀环境下使用的交通隔离柱,316 不锈钢是理想的建筑材料。含硫量低(0.005%或更低)、表面光滑的 316 不锈钢隔离柱,只要不经常性地受到盐水的浸泡、飞溅和喷洒,就能够在盐环境下表现出长期优秀的结构性能和美学性能。

图 10 是在德国杜塞尔多夫市区一条主干公路上的 一根 316 不锈钢交通隔离柱,公路在冬季月份里使用了除冰盐。隔离柱处在公路的下风向,车水马龙的交通促生了公路盐雾,盐雾被风吹到隔离柱。隔离柱的顶部除了那个表面较粗糙的凹槽不易受到雨水冲刷外,采用光滑的 No.4 表面的不锈钢表现良好。

隔离柱下部采用非常粗糙的轧制表面,表面布满很多小凹坑,致使大量除冰盐(白色区域)滞留,从图片中清晰可见。由于 316 不锈钢具有较高的耐蚀性,因此锈迹仅限于表层,可通过清洗去除。但是腐蚀锈迹在来年冬天还会再次出现,因为选用的是表面较粗糙的不锈钢。

位于公路上风向的 316 不锈钢隔离柱和车速较慢的人行道的隔离柱受到的腐蚀最少,甚至没有明显的腐蚀现象。在这些地方,除冰盐接触量是最低的,不锈钢材料的耐腐蚀性足以耐受表面的盐含量。值得注意的是,在影响最严重的隔离柱上的腐蚀斑点只局限于表皮,因为 316 不锈钢的腐蚀率很低,因此结构失效可能在几百年之后才会发生。不过,我们现在考虑的是美观受影响的问题,如果选用了光滑的表面,就能避免这个问题。选用低硫含量(0.005%或者更低)、表面粗糙度小于 $R_a 0.5$ 微米的表面将明显提高其性能表现。对于盐接触量较高的环境(如隔离柱),选用表面粗糙度 $R_a 0.3$ 微米(12 微英寸)或更低的不锈钢表面效果更好。



图 10:德国杜塞尔多夫一条公路旁的 316 型不锈钢隔离柱。图片由国际钼协会尼克·肯斯曼提供

结论

除冰盐腐蚀能够引起许多意想不到的问题,而这些问题又是很容易避免的。首先,确定建筑项目附近的公路是否使用了除冰盐以及使用频率。其次,评估空气污染等级和雨水酸度,污染和酸雨一旦与盐类(氯化物)结合将会极大地提高某些金属的腐蚀率。

通过检查附近的建筑物情况、与保洁工程承包商交谈、进行简单的无损表面检验等方式就可以确定氯化物是否已经构成了严重的威胁以及它们会随风飘移多远。定期清洗迅速去除除冰盐会大大提高材料的抗腐蚀性能,及时的涂层维护也能起到相同的作用。

如果希望维护量最少或免维护,并且 / 或者长期的结构完整性至关重要的话,选择腐蚀率很低的金属材料如 316 不锈钢或者其它适用的不锈钢材料就显得尤为重要。国际钼协会(IMOA)通过其网站(<http://www.imoa.info>)上的 " 建筑栏目 " 为您提供免费的文献资料和软件,协助您选择适当的不锈钢材料和不锈钢表面。

鸣谢

作者谨对在本文撰写中给予鼎力帮助的国际钼协会(IMOA)致以诚挚的感谢!文中图片由作者本人拍摄,除非另有注明。

作者简介

凯瑟琳·胡斯卡女士,建筑规范学会(CSI)会员,现就职于 TMR 咨询公司市场开发部高级经理,建筑金属材料的选材、修复与失效分析方面的专家顾问;已出版八十多本专著。如需联系作者,请发送电子邮件至 chouska@tmr-inc.com

注释

1. 艾伦 L.威廉姆斯与加里 J.斯兰德,“公路除冰盐的大气扩散研究”。《物理研究报告》(第 40 号)2006 年 1 月刊,第二部分“2002 年 7 月至 2004 年 6 月期间的最终报告”,伊利诺斯州交通运输部。
2. 凯瑟琳·胡斯卡,“建筑外部应用选用哪种不锈钢?”,国际钼协会,建筑大楼和结构丛书。
3. 欧洲专题小组第三组(TG3),“欧洲路桥冰雪控制”,2002 年 8 月。
4. 盐业协会,网站 www.saltinstitute.org
5. 2007 年 5 月报告,Verband der Kali- und Salzindustrie e.V.

6. 除冰业务,网站 www.thedeicingbusiness.com
7. 欧洲盐业公司,网站 www.esco-salt.com
8. 日本盐业中心,网站 www.shiojigyo.com
9. 参考注释 3。
10. 参考注释 3。
11. 瑞克·韦伯,“腐蚀爆炸”,《冷冻运输车》杂志,2004 年 10 月。
12. 参考注释 1。
13. 参考注释 2。
14. 罗伯特·巴伯伊恩,“汽车环境的化学过程”,德州仪器公司,麻州阿特尔伯勒的电气化学与腐蚀实验室。
15. 凯瑟琳·胡斯卡,“建筑建造中的不锈钢在抗腐蚀指南”,国际镍协会,参考书 11 024。
16. 如需更多信息,请访问网站 <http://www.imoa.info>
17. 霍林斯沃斯,E.H.与 H.Y.汉斯克,“铝与铝合金腐蚀”,《金属手册》(第九版),第 13 卷。腐蚀,ASM 国际,1987 出版,第 599 页。
18. 弗兰克 C.普特,“锌与锌合金的抗腐蚀性”,国际铅锌研究组织,研究三角公园,北卡罗莱纳州,马塞尔·德克出版社,1994 年。
19. 参考注释 2、15、16。



Nickel Institute 国际镍协会北京办事处

地址：北京东直门南大街 14 号保利大厦办公楼 677-678 号

邮编：100027

E-mail: agao@ni-china.org

电话：86-10-65533060

传真：86-10-65010261

网址： www.ni-china.org