

制药车间铝合金腐蚀成因研究——以某质量纠纷案为例

陈进全

广东省南粤质量技术研究院，广东 广州 510700

DOI: 10.61369/SDME.2025150004

摘 要： 作为建筑材料的铝合金有较好的抵抗腐蚀的能力，其腐蚀特别是大面积腐蚀穿孔的情况并不常见。以某制药公司的提取车间内发生腐蚀的 T 梁、门框、窗框铝合金为例，从铝合金材质分析以及腐蚀物的成分分析角度出发，判断影响建筑铝合金门窗出现腐蚀现象原因。

关 键 词： 建筑铝合金；腐蚀；腐蚀物；分析

Study on the Causes of Aluminum Alloy Corrosion in Pharmaceutical Workshops — A Case Study of a Quality Dispute

Chen Jinquan

Guangdong Nanyue Institute of Quality and Technology, Guangzhou, Guangdong 510700

Abstract： As a building material, aluminum alloy has good corrosion resistance, and its corrosion, especially large-area corrosion and perforation, is not common. Taking the corroded aluminum alloys of T-beams, door frames, and window frames in the extraction workshop of a pharmaceutical company as examples, this paper identifies the causes of corrosion in building aluminum alloy doors and windows from the perspectives of aluminum alloy material analysis and corrosion product composition analysis.

Keywords： building aluminum alloy; corrosion; corrosion products; analysis

一、制药车间铝合金腐蚀现状

在某制药公司的车间现场多个房间的铝合金 T 梁、门框、窗框均出现腐蚀，腐蚀位置存在白色结晶物质（见图 1），现场能闻到明显的药味。现场的房间门板、T 梁彩钢板均为夹芯板，房间门板、T 梁彩钢板所用芯材均为玻镁板。现场发生腐蚀的 T 梁、门框连同刮下的腐蚀物一并带回实验室进行分析^[1]。

（一）涉案“门框、T 梁”材质

将门框、T 梁完好未被腐蚀的部位按照 XXX 进行化学成分检

测，得出未被腐蚀的门框、T 梁化学成分，然后和 GB/T 5237.1—2017《铝合金建筑型材 第 1 部分：基材》中 4.1.1 指定的通用牌号进行对比分析^[2]，具体情况见表 1。



图 1-3 门框的腐蚀迹象

图 1-3 窗框的腐蚀迹象

图 1-3 T 梁的腐蚀迹象

表 1 T 梁、门框的基材成分检测结果

序号	检验项目	单位	“门框”检测结果	“T 梁”检测结果	GB/T 5237.1—2017 通用牌号和化学成分要求						
					6060	6063	6005	6063A	6463	6463A	6061
1	Si	%	0.42	0.42	0.30 ~ 0.6	0.20 ~ 0.6	0.6 ~ 0.9	0.30 ~ 0.6	0.20 ~ 0.6	0.20 ~ 0.6	0.40 ~ 0.8
2	Fe	%	0.16	0.13	0.10 ~ 0.30	≤ 0.35	≤ 0.35	0.15 ~ 0.35	≤ 0.15	≤ 0.15	≤ 0.7
3	Cu	%	0.0016	0.002	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 0.25	0.15 ~ 0.4
4	Mn	%	0.0007	0.0016	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.15	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.15
5	Mg	%	0.50	0.54	0.35 ~ 0.6	0.45 ~ 0.9	0.40 ~ 0.6	0.6 ~ 0.9	0.45 ~ 0.9	0.30 ~ 0.9	0.80 ~ 1.2
6	Cr	%	0.0008	0.0005	≤ 0.05	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.05	—	—	0.04 ~ 0.35
7	Zn	%	0.011	0.026	≤ 0.15	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.15	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.25
8	Ti	%	0.0025	0.0062	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10	≤ 0.10	—	—	≤ 0.15
9	Na	%	0.015	0.016	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
10	Cl	%	< 0.005	< 0.005	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05

从表 2 的对比结果来看，T 梁、门框基材化学成分符合 GB/T 5237.1—2017《铝合金建筑型材 第 1 部分：基材》的相关要求^[3]。

（二）腐蚀产物

将门框腐蚀位置取下的腐蚀产物、T 梁被腐蚀位置取下的腐

蚀产物进行化学成分检测，检测结果见表3。从表3的检测结果来看，涉案“T梁、门框”的腐蚀产物为铝的氧化物及氯化铝盐类。

表3 腐蚀产物化学成分

样品名称	元素	检验结果	样品名称	元素	检验结果
门框腐蚀物	C (碳)	3.79%	室外走廊 T 梁腐蚀物	C (碳)	2.41%
	O (氧)	54.72%		O (氧)	53.51%
	Na (钠)	0.07%		Na (钠)	0.26%
	Mg (镁)	0.56%		Mg (镁)	1.60%
	Al (铝)	18.29%		Al (铝)	12.48%
	Cl (氯)	22.57%		Cl (氯)	29.74%

二、腐蚀结果分析

(一) 腐蚀原理

工业用铝合金不纯净含有少量不活泼杂质（如碳），当不纯净的金属铝被放置在潮湿的大气中，金属表面吸附了空气中的水分，会形成一层水膜，因而使电解质（如氯化盐）溶解在这层水膜中，形成电解质溶液，电解质溶液中的氯离子会先破坏铝型材表面氧化膜，失去氧化膜保护的铝合金（阳极）和电解质溶液以及金属中的杂质（阴极）便组成腐蚀原电池，发生原电池反应使处于阳极的金属（铝合金）发生溶解腐蚀，反应产物是进入介质中的金属离子或覆盖在金属表面上的金属氧化物（或金属难溶盐），同时又由于金属与杂质紧密接触，使得腐蚀不断进行，直至形成腐蚀孔并不断扩大。也即是说水分和电解质是铝合金发生电化学腐蚀的必要条件^[4]。

在本案例中，T梁、门框的腐蚀形貌为典型的孔蚀（腐蚀集中于金属表面很小的范围并深入到金属内部的局部腐蚀形态，严重的会导致穿孔，见图1-3、图2-4、图2-7），腐蚀产物是铝的氧化物及铝盐（见表3和表3结果分析），符合电化学腐蚀的特征，也就是说涉案“T梁、门框”的腐蚀是电化学腐蚀，发生的原因是：T梁、门框铝合金中的活泼金属铝（Al）和不活泼杂质、电解质溶液（如氯化盐）组成腐蚀原电池发生电化学反应，使阳极的活泼金属铝（Al）发生溶解腐蚀^[5]。

(二) 腐蚀必要条件的来源之一：水分

理论上来说，符合 GB/T 5237.1-2017《铝合金建筑型材 第1部分：基材》的铝合金能够在设计寿命内抵抗来自自然环境的所产生的电化学腐蚀，然而具体到在本案中，T梁、门框所在地区属于典型季风海洋气候，为高温高湿气候，本来空气中水分含量高，同时T梁、门窗位于提取车间，提取车间在生产过程中可能会挥发出药材生产过程中的加入的水分或药材本身的水分^[6]，以上因素使得车间环境常年处于高湿度状态，若出现通风不良或车间温度出现剧烈变化，都会导致空气中的水分在铝合金表面汇聚冷凝，为本案中的铝合金产生电化学反应提供充足的水分^[7]。

(三) 腐蚀必要条件的来源之二：电解质（氯）

表3的结果表明，腐蚀产物中含有大量的氯（Cl），其含量远远超过铝合金本身的氯（见表2），说明氯并非来自铝合金本身而是有其他的来源，结合现场调查勘验情况，鉴定专家认为本案中氯离子的可能来自以下几个方面（包括但不限于以下）：

（1）T梁、门框的芯材玻镁板：T梁、门框均直接接触到芯材玻镁板（门框直接接触到门板芯材的玻镁板、T梁直接接触到彩钢板的玻镁板），玻镁板的主要原料为氯化镁（MgCl₂）和氢氧化镁（Mg(OH)₂），玻镁板材料通常存在一个弊端——在高温高湿的环境中易吸潮返卤——因氯化镁（MgCl₂）有强吸潮的特性，它会慢慢吸收空气中的水分形成水溶液，达饱和状态时，饱和溶液就从制品中沿毛细孔返回制品表面，使得部分氯离子被迁出到制品表面，进而导致与玻镁板相接触位置的门框、T梁铝材最先被腐蚀^[8]，故而，现场窗框腐蚀最严重的地方是与玻镁板大面积接触位置（见图2-3），现场被腐蚀的T梁均表现出上半部分（与彩钢板芯材玻镁板接触的部位）被腐蚀更为严重的现象；

（2）T梁、门框所在的季风海洋气候环境中空气自带的微量氯离子；

（3）T梁、门框所在的车间在生产过程所挥发的氯离子^[9]。

三、结论

符合相关国家标准的铝合金的出现腐蚀现象的主要原因是在潮湿和周围介质富含氯离子的环境下，发生电化学反应而溶解腐蚀^[10]。



图2-1 T2401房间门板的内层板材（玻镁板）

图2-4 T2601、T2509房间外走廊T梁上半部分材料严重腐蚀穿孔

参考文献

- [1]陈思雨,王靖羽,高立强.桥梁缆索用高强铝铝合金镀层钢丝在中性盐雾环境中的腐蚀行为研究[J].中国腐蚀与防护学报,2025,45(03):827-836.
- [2]孙韬,缪煦扬,蒋凯,等.氟蛋白泡沫灭火剂中核心组分对铝合金的腐蚀影响研究[J].安全与环境学报,2024,24(11):4287-4295.
- [3]贺文秀,臧旭,满正良,等.工艺参数对2A12T4铝合金挤压棒材晶间腐蚀及力学性能的影响[J].轻合金加工技术,2024,52(08):16-21.
- [4]张芊芊,朱梦真,陈旭斌,等.超高强铝合金的局部腐蚀行为[J].粉末冶金材料科学与工程,2024,29(04):298-310.
- [5]赵欢,Yue Yin,Yuxiang Wu,等.高强铝合金腐蚀行为的原子尺度研究[C]中国金属学会,中国金属学会青年工作委员会.第十二届中国金属学会青年学术年会暨首届“碳中和”冶金青年科学家沙龙论文集(二).金属强度国家重点实验室西安交通大学;Max-Planck-Institut für Eisenforschung;,2024:165.
- [6]段体岗,马力,丁康康,等.5A06铝合金深海腐蚀行为与防护技术研究[C]中国金属学会,中国金属学会青年工作委员会.第十二届中国金属学会青年学术年会暨首届“碳中和”冶金青年科学家沙龙论文集(一).洛阳船舶材料研究所海洋腐蚀与防护全国重点实验室;,2024:428.
- [7]陶虎威,郝云飞,邵明皓,等.2219铝合金搅拌摩擦焊缝在弱腐蚀下的腐蚀行为[J].有色金属工程,2024,14(10):1-10.
- [8]崔伟,王中华,周安游,等.4032铝合金活塞在中高温氨水环境中的腐蚀行为研究[J].材料保护,2024,57(07):102-108.
- [9]杨阳,李松梅,贾雪娇,等.7000系高强铝合金微观组织结构对应力腐蚀行为和机制影响的研究进展[J].材料保护,2024,57(07):165-180+213.
- [10]刘广庆.水暖管道腐蚀现象与预防措施[J].科学技术创新,2019(25):2-3.