

为什么选用玻璃防洪墙

一、玻璃厚度为什么是三层，其中计算书，静水荷载，抗浪性。

表格 1 玻璃挡板静载强度检测

玻璃类型	编号	最大荷载 (kN)	最大荷载对应位移 (mm)	弯矩 (kNm)	实验应力 (N/mm ²)	平均值 (N/mm ²)	设计应力 (H=1.4, L=2.5)	安全系数
防洪玻璃	1	22.98	20.59	5.75	56.74	74.38	16.20	4.59
	2	35.55	21.01	8.89	87.78			
	3	31.84	20.03	7.96	78.62			

应力计算过程：

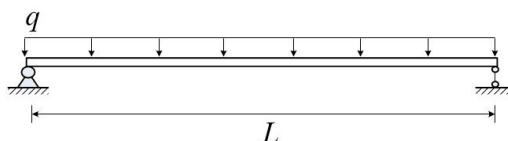
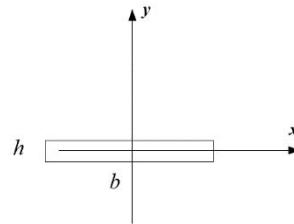
1. 实验应力

$$\text{截面惯性矩: } I_z = \frac{bh^3}{12} = \frac{300 \times 45^3}{12} = 2278125 \text{ mm}^4$$

$$\text{弯曲截面系数: } W_z = \frac{I_z}{y} = \frac{2278125}{22.5} = 101250 \text{ mm}^4$$

$$\text{应力: } \sigma = \frac{M}{W_z}$$

2. 设计应力 (H=1.4, L=2.5)



将工况中的玻璃板简化为二维，静水荷载等效为均布荷载 q。

$$\text{均布荷载 } q: q = \rho g H \cdot \frac{1}{2} \cdot 1.4 = 9.8 \text{ kN/m}$$

$$\text{截面惯性矩: } I_z = \frac{bh^3}{12} = \frac{1400 \times 45^3}{12} = 10631250 \text{ mm}^4$$

$$\text{弯曲截面系数: } W_z = \frac{I_z}{y} = \frac{10631250}{22.5} = 472500 \text{ mm}^4$$

$$\text{弯矩: } M = \frac{1}{8} q L^2 = \frac{1}{8} \times 9.8 \times 2.5^2 = 7.656 \text{ kNm}$$

$$\text{应力: } \sigma = \frac{M}{W_z} = \frac{7656000}{472500} = 16.203 \text{ N/mm}^2$$

表格 2 玻璃挡板冲击强度检测

玻璃类型	编号	落锤高度 (m)	冲击能量 (J)	平均值 (J)	冲击强度 (KJ/m ²)	设计冲击强度 (KJ/m ²)	安全系数
防洪玻璃	1	1.00	580.01	609.01	45.11	4.96 (400KG 木材, 水流速度 2.5m/s, 冲击角度 30°)	9.10
	2	1.10	638.01				

冲击强度计算过程:

$$\text{落锤冲击强度: } a = \frac{A}{b \times h} = \frac{mgH}{b \times h}$$

$$\text{漂流物冲击强度: } a = \frac{A}{b \times h} = \frac{\frac{1}{2}Mv^2}{b \times h}$$

式中 m 为落锤质量; M 为漂流物质量; H 为落锤高度; b 为玻璃截面宽度; h 为玻璃厚度; v 为漂流物速度垂直于玻璃板的分量。

表格 2: 抵抗风浪等级计算

玻璃类型	编号	最大载荷 (KN)	最大载荷对应位移 (mm)	弯矩 (KNm)	实验应力 (N/mm ²)	平均值 (N/mm ²)	可承受风浪等级
防洪玻璃	1	22.98	20.59	5.75	56.74	74.38	8
	2	35.55	21.01	8.89	87.78		
	3	31.84	20.03	7.96	78.62		

根据风力等级表中, 风力等级对应的风速, 推算出造成水流的速度, 当海浪高于挡板 1.4m 时, 海浪越过挡板的部分不考虑, 受力范围仅考虑 1.4m 高的挡板面积。假设水流对挡板的冲击为正面冲击, 水的流速 v , 则动水荷载为:

$$q = p \bullet v^2$$

造成的弯矩为:

$$M = \frac{1}{8} p L^2$$

造成的应力为:

$$\sigma = \frac{M}{W_z}$$

具体计算结果如下表所示:

风级	名称	风速 (m/s)	浪高 (m)	流速 (/s) m	动水荷载 (KN/m ²)	应力 (N/mm ²)
0	无风	0.0-0.2	0	0	0.00	0.00
1	软风	0.3-1.5	0.1	0.09	0.01	0.02
2	轻风	1.6-3.3	0.2	0.48	0.24	0.54
3	微风	3.4-5.4	0.6	1.02	1.06	2.46
4	和风	5.5-7.9	1	1.65	2.78	6.43
5	轻劲风	8.0-10.7	2	2.4	5.88	13.60
6	强风	10.8-13.8	3	3.24	10.71	24.79
7	疾风	13.9-17.1	4	4.17	17.74	41.06
8	大风	17.2-20.7	5.5	5.16	27.16	62.87

9	烈风	20.8-24.4	7	6.24	39.72	91.94
10	狂风	24.5-28.4	9	7.35	55.10	127.55
11	暴风	28.5-32.6	11.5	8.55	74.56	172.60
12	台风或 飓风	32.7-36.9	14	9.87	91.86	227.22

实验对象

本次试验对象为防洪玻璃，共计三块。其中一块进行静载强度测试，尺寸为长×宽×厚为500mm×500mm×32mm；两块进行落锤实验，尺寸分别为长×宽×厚为800mm×600mm×45mm及长×宽×厚为500mm×500mm×32mm。

实验目的

- 采用静载强度试验来测试玻璃挡板的抗压强度以及变形情况，来模拟在工程使用中水荷载的作用，进行抗压强度检验。
- 采用落锤试验来检测玻璃挡板的抗冲击强度，来模拟在工程使用中受漂流物撞击的作用，进行抗冲击强度检验。

试验场地情况

1. 静载强度试验

静载强度试验在河海大学西康路校区工程馆的300KN万能试验机上进行试验，地址位于：西康路1号。

静载强度测试加载示意图如图1所示。

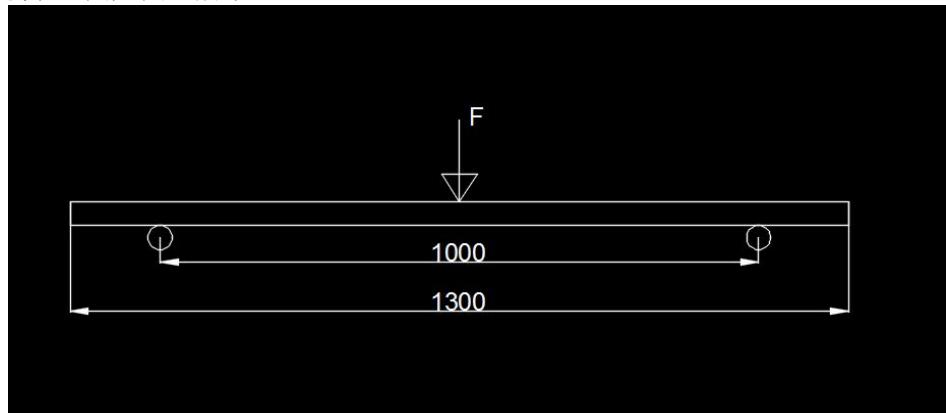


图 1 实验示意图

2. 落锤试验

本次落锤试验在金陵科技学院进行试验，地址位于：南京市江宁区弘景大道99号。

落锤试验现场见下图2。



图 2 落锤试验机

本次试验选择质量为58kg的重锤进行实验，将重锤拉起不同的高度来使重锤获得不同的能量。释放重锤，使重锤自由下落冲击试件，观察记录落锤高度和试件破坏的关系。通过此试验可以来模拟防洪墙工况中可能遇到的漂流物撞击问题，以此来评估玻璃挡板的安全性。

相关测试仪器

本次实验的主要仪器包括：

(1) 长春试验机研究所研制的 SDS300 电液伺服动静试验机。该试验机可实现负荷、位移、变形三种闭环控制，能完成动态高周疲劳、程控疲劳和低周疲劳以及静态的恒变形速率、恒负荷速率和各种常规的力学性能试验，可施加最大压力 300kN，最大拉力 300kN。

(2) 落锤试验机。该试验机由重物落锤、落锤轨道、电机动力牵引系统、控制系统组成，能够模拟不同落锤的冲击实验。

实验过程

1. 静载强度试验

(1) 试验准备

在 SDS300 电液伺服动静试验机的底座上铺设两个直径为 5cm 的钢柱作为支点，两支点之间的距离为 0.4 米。将玻璃试件放置在支架上方，测量试件中心是否在试验机压头下方，进行必要的调整，使试件居中。在试件上方摆放钢板来传递压头的压力，确保玻璃挡板受力均匀。

(2) 进行实验

打开试验机，调整系统参数。为了确保试验安全以及尽可能模拟玻璃挡板工况，按照位移进行加载，加载速度统一为 2mm/min。当压头接触钢板垫块时，开始记录实验数据。由试验机可以记录有效试验信息为：压力，位移，时间等。

不同的试件统一采用上述试验步骤进行，得出不同的试验结果以及试验数据。

2. 落锤试验

(1) 试验准备

在落锤试验机下面铺设两个直径为 5cm 的钢柱作为支点，调整两支点之间的距离。将玻璃试件放置在支架上方，测量试件中心是否在重锤下方，进行必要的调整，使试件居中。在试件上方摆放半径为 13cm 的圆形钢板来传递重锤的冲击力，确保玻璃挡板受力均匀。

(2) 实验过程

慢慢拉起重锤到玻璃挡板上方不同的高度，释放重锤使之自由落体冲击玻璃挡板。先估算玻璃挡板坑承受的冲击荷载，选择较为保守的高度进行第一次试验。以后每次增加 10cm 高度进行试验。为了尽量避免破坏前冲击的影响，在后续几块试件试验时，直接选用第一次试件破坏的高度作为初始试验高度。记录每次试验的落锤高度和试件的损坏程度，来判断评估试件的抗冲击性能。

不同的试件统一采用上述试验步骤进行，得出不同的试验结果以及试验数据。

试验结果

实验一：静载强度实验

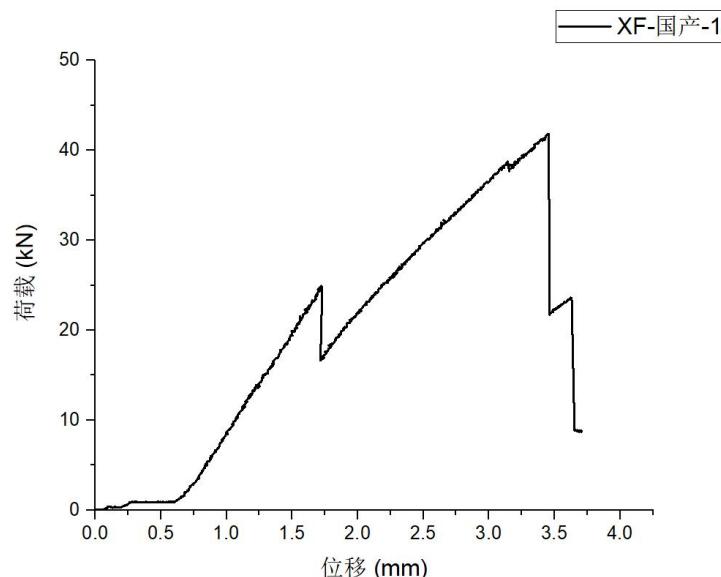


图 3 荷载位移图

如图 3 所示，玻璃的荷载随着压头位移的增加呈上升趋势，在 25kN 的时候第四层断裂，随后荷载继续上升，最终在最大荷载 41.84kN 时第二第三破坏，均呈现横向裂纹，随后第一层也被破坏，如图 4~5 所示。

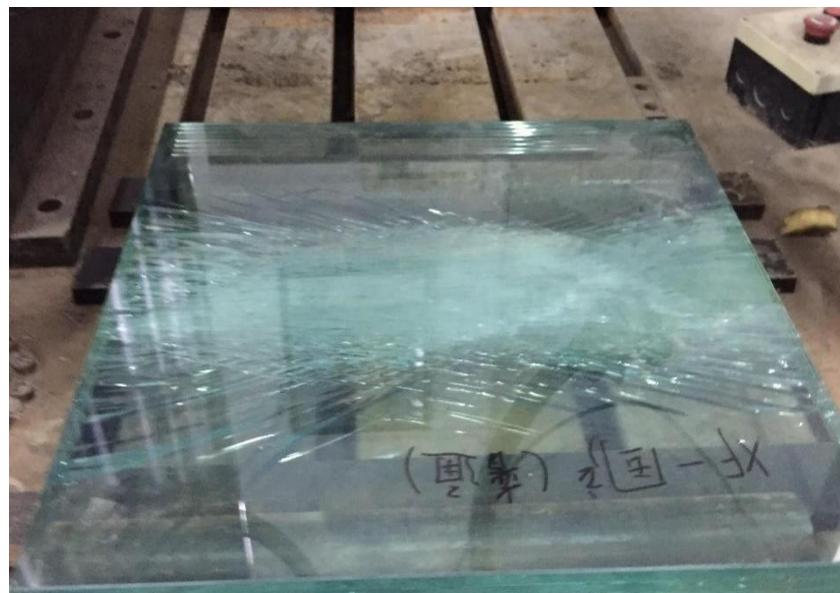


图 4 玻璃破坏图

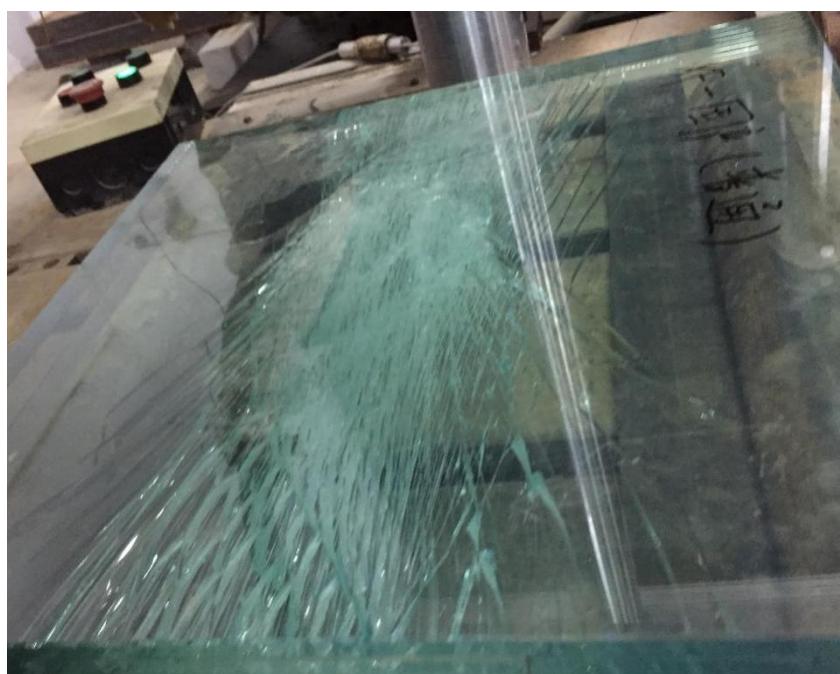


图 5 玻璃破坏图

实验二：落锤试验



图 6 落锤实验图



图 7 落锤实验图

图 6~7 为落锤实验图，可承受 0.5m 高的落锤冲击，当落锤超过 0.6m 时，四层玻璃全被破坏，呈条纹破坏，由中间向四周扩散。



图 8 玻璃落锤实验图



图 9 玻璃落锤实验图

图 8~9 为玻璃落锤实验图, 玻璃可承受 0.9m 高的落锤冲击, 当落锤超过 0.6m 时, 四层玻璃全被破坏, 呈网状破坏。

两层的胶片用于抵挡重物冲击, 故使用三层钢化玻璃两层夹胶的设计。

本测试的模拟工况为挡水高度 1.4 米, 挡水宽度 2.5 米, 安全系数均大于 3, 完全符合安全标准。

故本项目设计挡水高度 1.0 米, 挡水宽度 2.5 米, 也完全符合安全的标准。

2.立柱结构, 强度性能测试

实验对象

本次试验对象为防洪玻璃所配套的立柱, 长度为 1.5 米。

实验目的

测试立柱整体的焊接强度、立柱的变形程度、弯矩及剪力。



图 1. 检测装置

铝合金的基础性能测试

景观式玻璃防洪墙的立柱所使用的材料牌号为 6063-T6。

实验对象

镀锌钢板×1、Q235 碳钢板×1、铝合金型材×3

试验方法

将立柱与测试机器使用 M24 螺栓固定, 模拟现场安装完成的立柱, 将 200 吨顶力机安装在正下方给立柱施加压力并记录位移曲线。

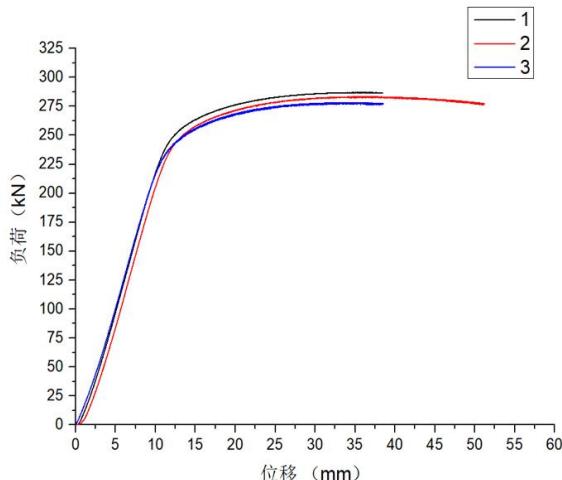
实验目的

测试铝合金立柱所用材料的基本性能, 间接确定为什么铝合金是最合适的材料



图二. 测试中

试验结果



随着试验的进行，荷载不断上升，当荷载小于225kN时，立柱基本处于线弹性阶段。当荷载超过225kN，结构开始出现塑性变形。随着位移不断增加，荷载的上升速度越来越慢，最终荷载到达峰值280kN，结构变形明显。

1. 基础性能分析

1) 材料原型

三种形状板材厚度数据

板材	厚度 (mm)
1号	3.87
2号	2.15
3号	2.43

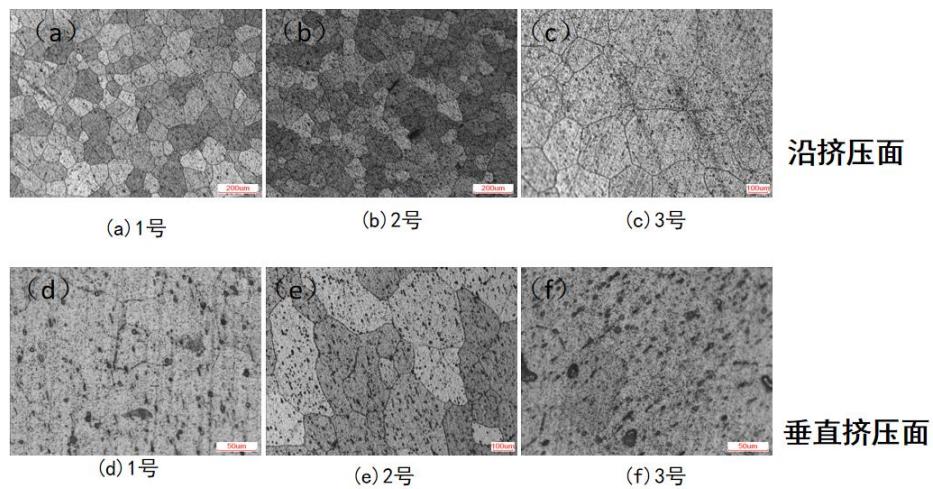
三种铝型材主要通过热挤压成型。根据板材厚度的不同，可判断其挤压变形程度不同，则其内部晶粒大小、排列不同，从而力学性能、耐蚀性能之间存在一定的差异。

2) 化学成分分析

移动防洪墙铝合金材料成分 GB/T7999-2015 铝合金光电直读发射光谱分析结果									
Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti
98.5	0.567	0.186	0.0382	0.0133	0.545	0.0063	0.0109	0.0032	0.0338
Ca	V	Na	Zr	B	P	Ce	La		
0.0054	<0.0006	0.0005	0.0008	0.0015	0.0021	0.0052	0.0025		

材料主要含有Al、Si、Mg，由其比例关系可知，该材料属于6063系铝合金。

3) 组织结构分析



4) 化学成分及组织结构分析

1号型材挤压面晶粒度大约 $180\mu\text{m}$ 左右，且有 Mg_2Si 第二相析出，而其垂直挤压米娜晶粒度明显减小，只有 $100\mu\text{m}$ 左右，第二相增多。

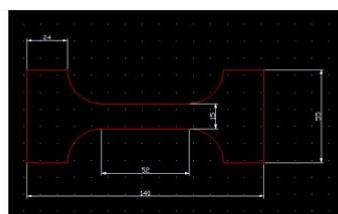
2号型材挤压面晶粒度较小，大约在 $100\mu\text{m}$ 左右，且其侧面晶粒有一定变形拉长。

3号型材挤压面晶粒度在 $110\mu\text{m}$ 。

纵观1、2、3号型材挤压面晶粒都呈现等轴状，没有明显拉长现象，说明材料内部发生了回复再结晶。

2. 拉伸性能测试

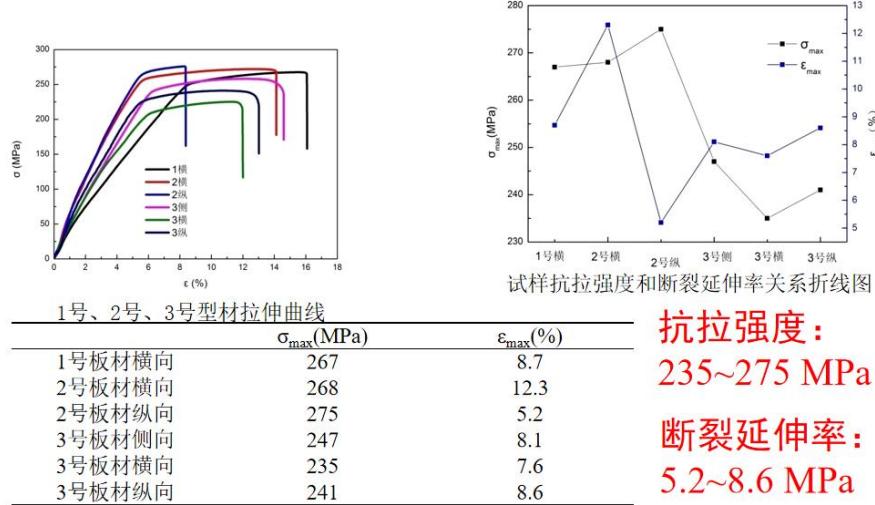
根据GB/T 3880. 2-2012，
拉伸试样尺寸



实验条件 → 室温
拉伸速率: $1 \times 10^{-3} \text{ mm/s}$

试样取样方法 → 1号型材挤压面横向；
2号型材挤压面横向及纵向；
3号挤压面横向的横向和
纵向及中间的挡板的横向（简称侧向）





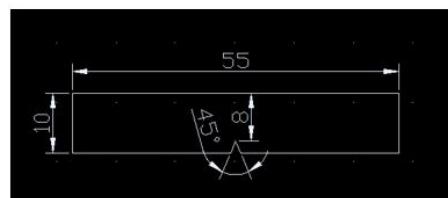
3. 冲击性能测试

参照GB/T 229-2007金属材料夏比摆锤冲击试验方法

采用非标V型缺口试样

试样条件：室温

试样对象：1号型材挤压
2号型材挤压
3号型材挤压

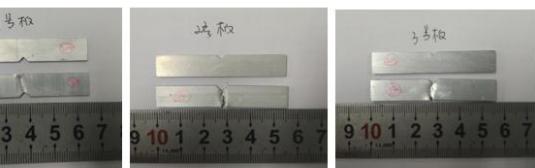


冲击性能
测试面

1号板 (KV ₂)吸收能量 (J/cm ²)	
样品1	17.35
样品2	17.16
样品3	17.16
平均值	17.22

2号板 (KV ₂)吸收能量 (J/cm ²)	
样品1	18.45
样品2	18.46
样品3	18.36
平均值	18.42

3号板 (KV ₂)吸收能量 (J/cm ²)	
样品1	17.16
样品2	17.28
样品3	17.20
平均值	17.21



1、2、3号型材冲击吸收能数据

4. 硬度测试

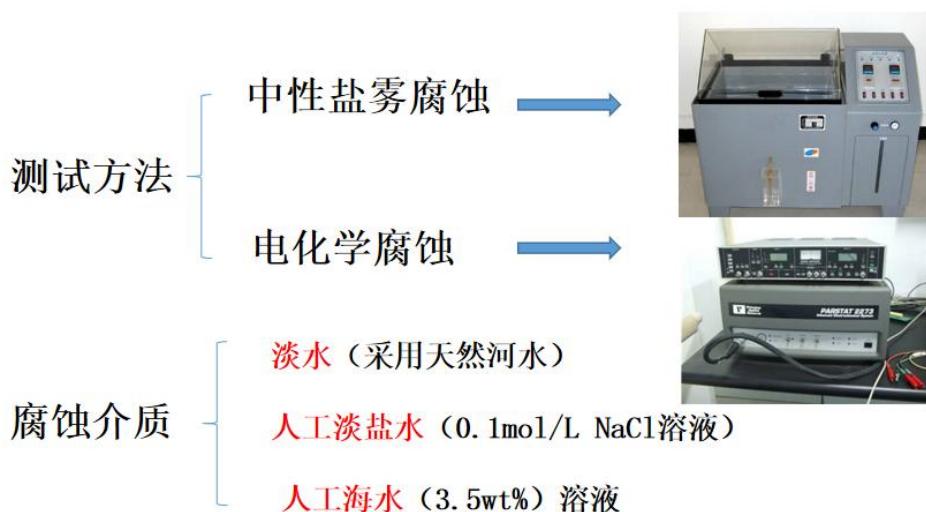
参考国标GB/T 231.1-2009, 对1号板材正面侧面、2号板材正面侧面、3号板材正面侧面分别进行测试。

不同位置取三组平行样, 对同一样进行10个点测试, 结果取平均值。

1号型材	HB	2号型材	HB	3号型材	HB
样品1	82.1	样品1	87.6	样品1	86.3
样品2	80.3	样品2	88.5	样品2	85.7
样品3	84.2	样品3	88.2	样品3	85.6
平均值	82.2	平均值	88.1	平均值	85.8

硬度: 80~88 HB

5. 耐腐蚀测试

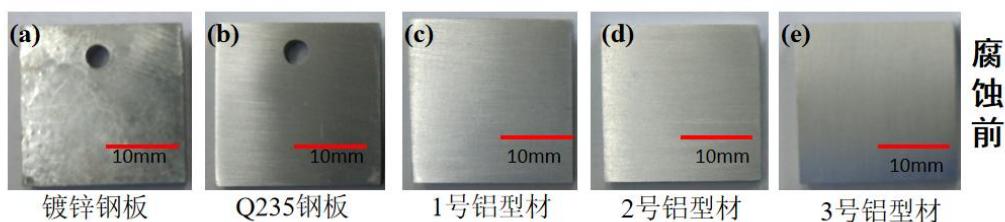


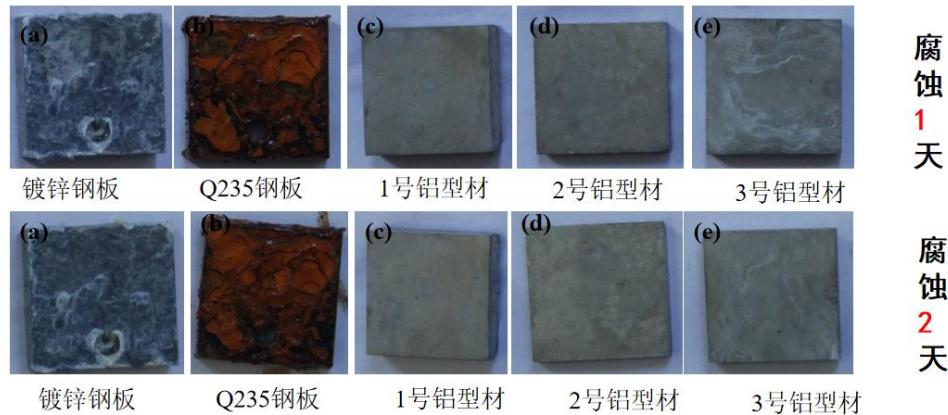
铝合金型材取样位置: 挤压面, 既迎水面

对比样品: Q235钢; 镀锌钢

1) 盐雾试验

参照GB/T 10125-2012人造气氛腐蚀试验盐雾试验 标准, 将试样切割成20mm×20mm, 进行打磨抛光, 在3.5%的NaCl溶液气氛中进行盐雾试验。

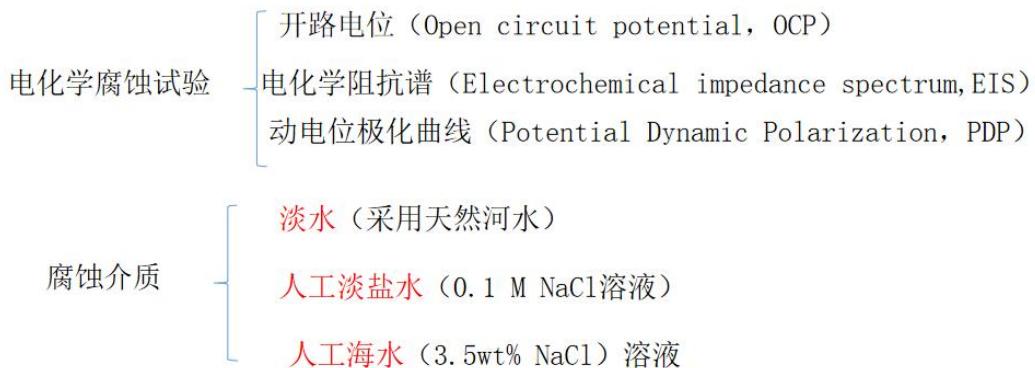




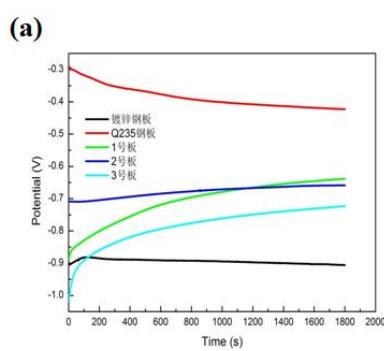
Q235严重腐蚀；镀锌钢板的镀层发生腐蚀；铝型材基本未腐蚀

2) 电化学测试

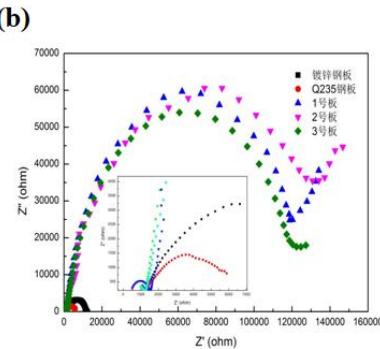
参照GB/T 29088-2012金属和合金的腐蚀双环电化学动电位再活化测量方法及GB/T 24196-2009金属和合金的腐蚀电化学试验方法恒电位和动电位极化测量方法。



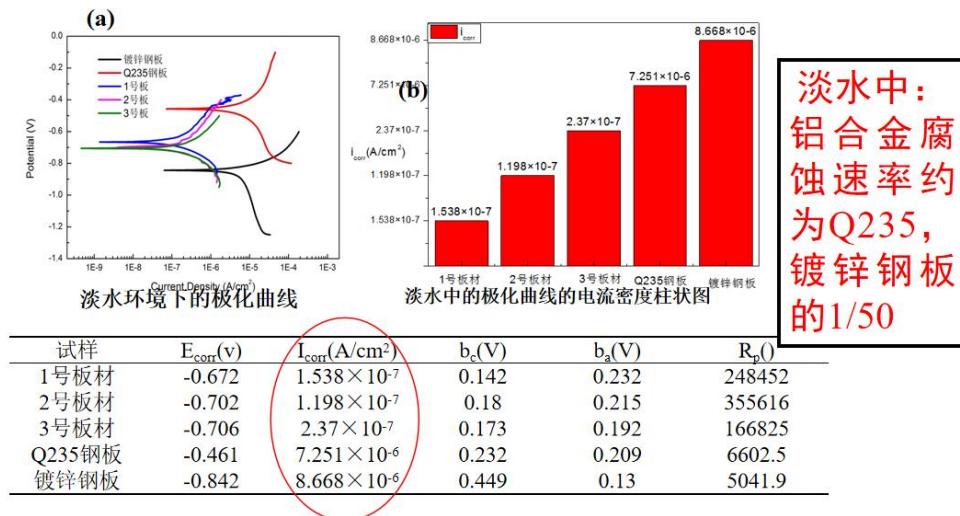
淡水环境的腐蚀



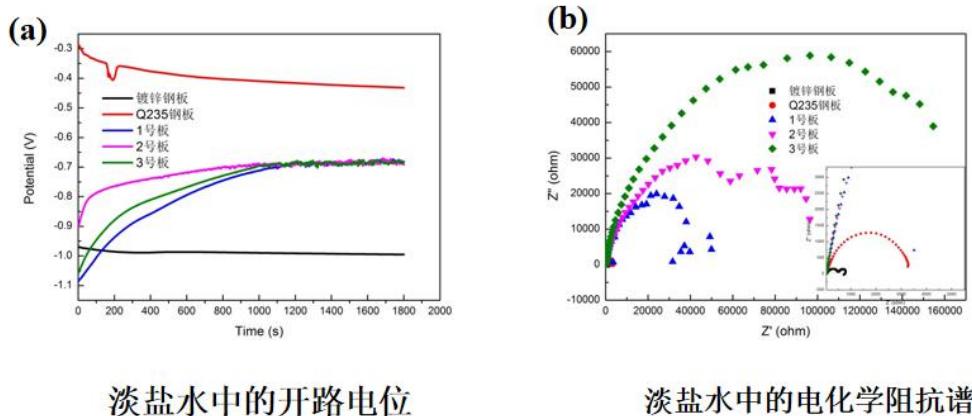
淡水环境下的开路电位



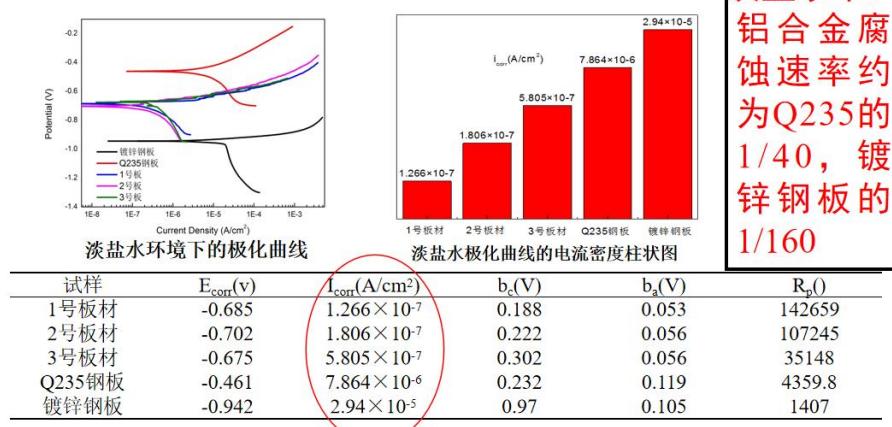
淡水环境下的电化学阻抗谱



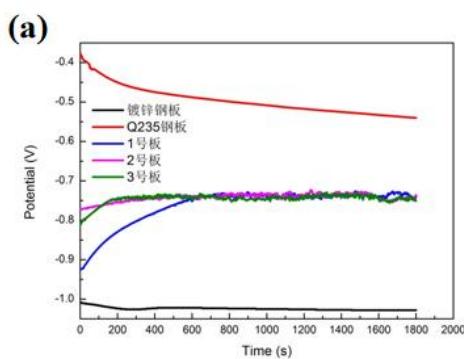
淡盐水 (0.1M NaCl) 中的腐蚀



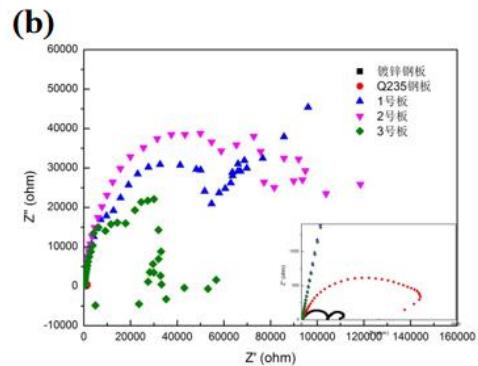
淡盐水 (0.1M NaCl) 中的腐蚀



海水 (3.5wt% NaCl) 中的腐蚀

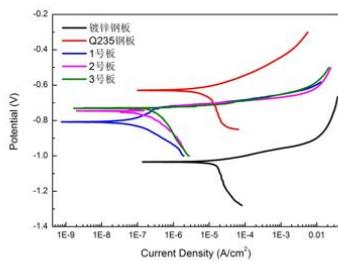


海水中的开路电位

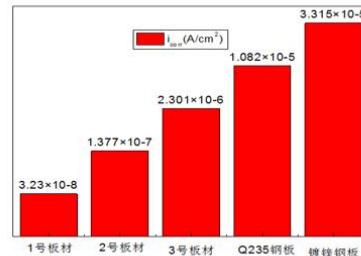


海水中的电化学阻抗谱

海水 (3.5wt% NaCl) 中的腐蚀



海水中的极化曲线



海水中的电流密度柱状图

海水中：
铝合金腐蚀速率约为Q235的1/50，镀锌钢板的1/140

试样	E_{corr} (V)	I_{corr} (A/cm^2)	b_c (V)	b_a (V)	R_p (Ω)
1号板材	-0.812	3.23×10^{-8}	0.12	0.022	247062
2号板材	-0.748	1.377×10^{-7}	0.168	0.036	939025
3号板材	-0.73	2.301×10^{-6}	0.27	0.049	7893
Q235钢板	-0.641	1.082×10^{-5}	0.258	0.131	3491
镀锌钢板	-1.06	3.315×10^{-5}	0.94	0.054	671

6. 材料性能的总结

该铝合金属于 6063 系铝合金，主要元素有 Al、Si、Mg。

铝合金型材组织都属于动态再结晶组织，晶粒尺寸 $100\sim180\ \mu m$ 。

型材抗拉强度为 $235\sim275\ MPa$ ，断裂延伸率为 $5.2\sim8.6\ MPa$ ，冲击吸收能为 $17\sim18.5\ J/cm^2$ ，布氏硬度为 $80\sim88HB$ 。

该铝合金板材耐蚀性优于普通 Q235 钢材以及镀锌钢板；在淡水、淡盐水和海水中国具有很好的耐蚀性。

三、美观程度



安徽项目



杭州项目



山东项目

美观体现：

1. 立柱表面涂装可选：纯色喷嚏、木纹转印等
2. 玻璃可选自然偏绿、超白超透款
3. 立柱边柱顶部均使用铝合金盖板盖起，保证完工后的美观、安全
4. 玻璃顶部使用 1-1.5mm 厚铝合金压条，将玻璃的边角隐藏