

# 不锈钢在建筑围护系统的应用

## Application of Stainless Steel in the Cladding System

撰文 董文卜 宝山钢铁股份有限公司研究院

**摘要** 简述了建筑用不锈钢的牌号、性能及选材, 比较了不同不锈钢建筑材料的特点, 对不锈钢在建筑应用中容易产生的一些问题提出了相应的对策。

**关键词** 建筑围护系统 不锈钢 铁素体不锈钢 B445R

### 0 引言

为实现建筑的长寿命设计, 需要尽可能地节约材料和最大程度地减少维护或更换材料的次数等。不锈钢建筑材料具有足够的耐腐蚀、耐磨、抗冲击、防划痕等性能, 100%可回收利用, 基本上无需维护, 寿命周期成本低, 可满足建筑长寿化设计要求。在欧美、日本等发达国家, 不锈钢在建筑围护系统得到了广泛应用, 根据日本不锈钢协会资料统计, 日本不锈钢在建筑行业的年消费量基本上在10万t以上。与以上发达国家相比, 我国建筑行业不锈钢的消费量还非常低。随着生产技术的进步, 国内不锈钢企业开发了許多兼具优异性能和经济性的不锈钢产品, 如高耐蚀性铁素体不锈钢和低合金双相不锈钢等, 彻底改变了人们心中不锈钢价格昂贵的印象, 使不锈钢在建筑结构的应用前景更加光明。

### 1 不锈钢的牌号及性能

不锈钢通常是在钢中加入了镍(Ni)、铬(Cr)、钼(Mo)等金属合金元素而成, 按其金相组织, 又可分为奥氏体、铁素体、双相不锈钢三大类, 而建筑围护系统用的不锈钢主要为铁素体系和奥氏体系, 其化学成分和力学性能分别如表1和表2所示。

表1 建筑用不锈钢的典型牌号及化学成分

| 系列  | 牌号     | 国外相应牌号         | 典型的化学成分 |         |        |        |
|-----|--------|----------------|---------|---------|--------|--------|
| 铁素体 | 430    | SUS430         | 17%Cr   | --      | 0.04%C | --     |
|     | B443NT | 443CT, 445NF   | 21%Cr   | --      | 0.01%C | --     |
|     | B445R  | 445M2, YUS220M | 22.5%   | --      | 0.01%C | 1.5%Mo |
| 奥氏体 | 304L   | SUS304         | 18%Cr   | 10.0%Ni | 0.03%C | --     |
|     | 316L   | SUS316         | 17%Cr   | 12.0%Ni | 0.03%C | 2.5%Mo |

表2 建筑用不锈钢典型牌号的力学性能

| 牌号          | Re (MPa) | Rm (MPa) | A80 (%) | 硬度 (HV) |
|-------------|----------|----------|---------|---------|
| B443NT(典型值) | 310      | 465      | 35      | 157     |
| B445R(典型值)  | 325      | 550      | 30      | 176     |
| 304L(标准值)   | ≥205     | ≥520     | ≥40     | ≤200    |
| 316L(标准值)   | ≥205     | ≥520     | ≥40     | ≤200    |

### 2 不锈钢的选材

建筑围护系统用不锈钢的使用环境为室外大气环境, 而大气环境随湿度、温差、海盐、工业污染度的不同而变化, 导致不锈钢在不同大气环境下的耐腐蚀行为有所差异。430耐大气腐蚀性较差, 仅适用于室内环境; 304(L)曾广泛用于屋顶、幕墙等建筑围护系统, 但在室外长时间服役后会有一定锈蚀; 对于沿海地区及工业大气污染地区的室外用途, 需采用耐腐蚀性能更高的不锈钢,

如B445R或316(L)等。从建筑造型、防渗漏、施工便利等方面考虑, 大跨度的金属板屋面越来越多, 在这种情况下, 为了能够抑制其随着温差而产生的膨胀, 使用热膨胀系数小的B445R作为屋面材料更为合适。不锈钢物理性能对比如表3所示。

表3 铁素体系与奥氏体系不锈钢物理性能

| 牌号      | 密度 d<br>g/cm <sup>3</sup> | 线膨胀系数 α<br>/°C        | 热导率 λ @100°C<br>W/(m·°C) | 比电阻 r<br>Ω·m         | 太阳能反射<br>指数 SRI |
|---------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------|
| B445R   | 7.69                      | 10.1×10 <sup>-6</sup> | 22.5                     | 6×10 <sup>-7</sup>   | 39-60           |
| SUS316L | 7.89                      | 16.0×10 <sup>-6</sup> | 13.9                     | 7.4×10 <sup>-7</sup> | 39-60           |
| SUS304  | 7.93                      | 17.3×10 <sup>-6</sup> | 16.2                     | 7×10 <sup>-7</sup>   | 39-60           |

不锈钢的耐腐蚀性不仅取决于化学成分, 也与不锈钢的表面状态密切相关。表面粗糙度越小, 耐腐蚀性越好。不锈钢的表面加工状态有2D\2DR(毛面)、2B、No.4、HL、BA等。通常情况下, 为防止大型建筑不锈钢屋面或立面眩光对周围居民或飞行安全造成不良影响, 要求对不锈钢表面进行防眩处理。通过毛化处理, 可显著降低不锈钢表面光泽度, 提高防眩性能。

### 3 不锈钢建材的特点及相关施工问题的对策

为实现建筑装饰效果, 不锈钢曲面板的分格可采用四边形分格。曲面板能更好地达到所要求的建筑效果。如果分格后的每个曲面各不相同, 所需压模数量就会很多, 开模费用极高。双曲面板比单曲面板的费用高得多。采用四边形、三角形或菱形不锈钢平板可拟合各种曲面。显然, 分格越细小, 拟合误差越小, 拟合效果越好。但分格过细会导致拼缝增加, 材料费及加工成本增加。

#### 3.1 不锈钢装饰板

在居民区建造大型公共设施时, 为防止光污染, 一般需采用低光反射能力的材料。为降低不锈钢的光反射能力, 可采用酸洗或拉丝表面不锈钢; 若要求更低反射的材料, 则可选用毛化后再酸洗的生产工艺。铁素体不锈钢B445R毛面装饰板经过毛化辊平整后获得, 耐腐蚀性能优异, 长时间保持金属靓丽的质感(50~100年), 维护成本低; 热膨胀系数小, 为10×10<sup>-6</sup>/K, 因温差引起的变形较小, 拼缝较小, 建筑效果更佳; 表面无需喷涂, 无有毒气体排放。用作幕墙装饰板时, 使用厚度一般为1.5~2 mm。而当用作屋面装饰板时, 为保证刚度, 必要时需加加强肋, 视分格尺寸大小而定。幕墙装饰板一般可采用隐蔽的L型脚码通过自攻钉固定在钢结构龙骨之上。由于热膨胀变形小, 仅通过控制加工、施工误差即可避免因安装应力导致的扭曲、鼓包缺陷。

铝合金单板的热膨胀系数为23.2×10<sup>-6</sup>/K, 远高于B445R材



图1 广州亚运会综合体育馆（材料B445R） 图2 广州国际会展中心的第2、3展区（材料YUS220M）



图3 北九州岛市传媒大厦（1998年，日本福冈，材料 YUS220M） 图4 札幌市大厦（2010年，北海道）

料，为避免因温差引起的热变形，缝需要留得大一些，这样可能对视觉效果产生一定影响，而B445R热膨胀系数小，缝可以留得较小，视觉效果更好。

### 3.2 不锈钢蜂窝板

不锈钢蜂窝板刚度高，平整度好，表面可避免起鼓，适合于分格尺寸大的板面。另外，蜂窝板自重轻，结构负荷小，且具有一定的隔热、保温、隔音的效果，可省去保温层、隔音层。不锈钢蜂窝板造价与铝合金蜂窝板相当，除具有铝蜂窝板的各种优点外，其独特的优点在于寿命长，维修成本低，更具金属质感。不锈钢蜂窝板外面为B445R（厚度0.5mm），背面为价格较低的中铬铁素体不锈钢B443NT（厚度0.5mm），中间为蜂窝铝，内外层采用盒式封闭。厚度10~15mm，重量9.2kg/m<sup>2</sup>。特别适合于板面分格大、平整度要求高的场合。为满足建筑要求，还可将蜂窝板穿孔，未来发展方向为不锈钢复合板：1）不锈钢彩板：B445R拉丝板、毛面板进电化学着色或真空镀膜处理后可获得钛金色、玫瑰金（近紫铜色）、深灰色，长时间不退色，可满足不同建筑效果要求；2）不锈钢氟碳彩涂板：表面毛化的不锈钢B445R采用氟碳喷涂或辊涂工艺，经过高温烘烤后，可获得各种不同颜色的不锈钢彩涂板，氟碳涂层的使用寿命约15~20年。

### 3.3 施工问题与应对措施

不锈钢材料在施工过程中可能会发生一些问题，相应的应对措施如下：

（1）不锈钢色差：为避免不锈钢板的色差，应尽量采用同一炉号的不锈钢原料；标明轧制方向；按顺序加工，并标号；按同一方向和顺序号进行安装。其他控制色差的方法包括表面处理、氟碳涂层等。

（2）表面不平整：控制原板平直度；增加钢板厚度以增大刚度或增加加强筋。

（3）表面鼓包：对于使用不锈钢单板的场合，该缺陷与安装应力和热应力有关。铁素体不锈钢膨胀系数小，热应力小，加上屈服强度高，表面不易变形。通过控制不锈钢加工和安装工艺，避免磕碰，可避免出现此类缺陷。

（4）板缝不均匀：严格控制加工和安装误差，可避免此类问题的发生。

（5）檐口板翘曲：檐口板翘曲与材料的回弹特性有关。铁素体不锈钢板回弹可以忽略不计，只要沿同一个方向进行加工就不会出现翘曲。

此外，为避免因不同材料接触而发生电偶腐蚀，不锈钢屋顶附件如卡件、固定件也应当用不锈钢制造。安装中有必要使用适用于大多数金属屋顶安装的履带式操作台以避免永久的弯曲和表面损害。安装工人穿戴的鞋袜也应有所选择，并且为避免油脂污染，处理材料时应戴上干净手套。不锈钢不应当用由碳钢制作的钢丝棉清洗，因为这将不可避免导致碳钢的沉积和锈斑的生成。屋面安装时产生的金属屑必须清理干净。不锈钢运输过程中及在现场储存中应当保持干燥。任何时候都要小心避免材料被诸如带钉的靴子或粗重的工具划伤。

## 4 不锈钢的应用实例

不锈钢在世界范围内标志性建筑中的应用比比皆是，铁素体不锈钢作为低成本建筑装饰材料越来越为人们所接受（图1~4）。其良好的性价比，使不锈钢在建筑结构领域将有广阔的应用前景。▲



#### 作者简介

董文卜，宝山钢铁股份公司研究院主任研究员，宝钢建筑用不锈钢研发项目负责人。博士毕业于中国科学院金属研究所。