

大尺寸玻璃基板缓存装置中支撑材料的分析

申璐青

中电科风华信息装备股份有限公司 山西太原 030062

摘要:近年来,玻璃基板向大型化、薄型化、电子功能化和柔性化方向发展,作为支撑玻璃基板的关键部件,支撑梁的设计、支撑材料的选择,尤其是支撑材料的强度和稳定性直接关系到整个系统的运行安全与效率,本文从支撑的载荷以及三种支撑材料的挠度分析入手,分析其各自优缺点及优化建议措施。

关键词:缓存装置;支撑;挠度

引言

随着显示技术、半导体制造及光电子领域的快速发展,大尺寸玻璃基板(8.5代线及以上)作为核心部件,在运输和缓存装置过程中容易受到碰撞和其他因素的影响,严重影响其性能和质量。缓存装置中支撑梁的材料强度、刚度与轻量化性能,是平衡缓存效率(层间距大小)与基板质量的核心因素。近年来玻璃基板薄型化趋势,进一步提升了对支撑材料挠度控制的要求,因此需系统分析不同支撑材料的力学性能,为工程应用提供依据。

一、大尺寸玻璃基板的缓存装置介绍

大尺寸玻璃基板的缓存装置通常由以下几个关键部分组成:传送机构、升降机构和支撑机构。传送机构包括水平滚轮传送机构,用于将玻璃基板从生产线平稳、准确地传送至缓存装置中,并在需要时再次将其传回生产线;升降机构用于调整缓存装置的高度,根据缓存玻璃基板的数量,设定好稳定的层间距,通过升高降低缓存装置的高度,就能够缓存和排除玻璃基板;支撑机构主要用来支撑玻璃基板。支撑梁的多少决定了缓存数量的多少,在实际生产中,为了缓存更多的玻璃基板,支撑梁之间的层间距需要尽可能的小,但由于大尺寸玻璃基板的载荷会使支撑梁产生一定的挠曲度,所以为了缓存更多的玻璃基板,减小层间距就需要支撑梁有一定的强度。

二、大尺寸玻璃基板缓存装置中支撑梁的载荷分析

我们以8.5代线玻璃基板为例,计算玻璃基板在支撑梁上的载荷分布。玻璃基板的尺寸1300×750mm-700×300mm,贴合成型后厚度是2.2mm,按最大尺寸计

算单片玻璃基板的重量为6006克,重力为58.8N。整个缓存装置中支撑梁的数量为7根,平均分配到每个支撑梁上的重力为8.4N。

三、大尺寸玻璃基板缓存装置中支撑梁材料的挠度分析

挠度是指材料在受力作用下发生的弯曲变形程度。它是描述材料弹性变形程度的一个重要参数。当材料受到外力作用时,会发生弯曲变形,而挠度则是描述这种变形程度的量。均布荷载下的最大挠度在梁的跨中,挠度的计算公式如下:

$$\delta = \frac{5\omega l^4}{384EI}$$

δ : 支撑梁跨度中的最大挠度(mm)

ω : 为均布载荷(kg/mm)

E : 弹性模量(kg/mm²)

I : 截面惯性矩(mm⁴)

l : 梁长(mm)

首先选取碳钢管、铝型材、碳纤维复合材料三种材料进行挠度计算与性能比对,为支撑梁材料选型提供数据支撑。

四、碳钢管、铝材、碳纤维的挠度计算分析,三种材料进行比对

(一) 材料关键参数设定

为保证计算结果的准确性与可比性,结合大尺寸玻璃基板缓存装置的实际工况(支撑梁需兼顾强度与轻量化,截面尺寸需适配缓存装置空间布局),确定三种材料的关键参数如下表1所示:

(二) 挠度计算过程与结果

根据均布荷载下最大挠度公式 $\delta = \frac{5\omega l^4}{384EI}$, 结合前

作者简介: 申璐青(1984年3月20日),女,汉族,山西省长治市人,本科,工程师,研究方向:机械设计制造。

表1 三种支撑材料关键参数表

材料类型	弹性模量E (kg/mm ²)	密度 (g/cm ³)	截面尺寸 (mm)	截面惯性矩 I (mm ⁴)
碳钢管 (Q235)	206000	7.85	外径50, 壁厚5	15187.5
铝型材 (6061-T6)	69000	2.7	截面为矩形, 30×20	20000
碳纤维复合 材料	150000	1.7	截面为矩形, 25×15	14062.5

文已知条件(均布载荷 $\omega = \frac{8.4N}{1350mm} \approx 0.00622N/mm$, 梁长 $l=1350mm$), 分别计算三种材料的最大挠度:

1. 普通碳钢管: $\delta_{碳钢管} = \frac{5 \times 0.00622 \times 1350^4}{384 \times 206000 \times 15187.5} \approx 0.12mm$

2. 铝型材: $\delta_{铝型材} = \frac{5 \times 0.00622 \times 1350^4}{384 \times 69000 \times 20000} \approx 0.35mm$

3. 碳纤维复合材料: $\delta_{碳纤维} = \frac{5 \times 0.00622 \times 1350^4}{384 \times 150000 \times 14062.5} \approx 0.15mm$

表2 三种材料优缺点分析

材料类型	优点	缺点
普通碳钢管	强度高, 挠度小, 成本较低	密度大, 自身重量重, 会增加缓存装置整体负荷, 挠度小, 变形量大
铝型材	重量轻, 便于安装与运输, 耐腐蚀性能较好	弹性模量低, 挠度较大, 长期承受载荷可能出现塑性变形, 承载极限较低
碳纤维复合材料	重量轻, 比强度高, 挠度较小, 耐腐蚀、抗疲劳性能优异, 能有效降低装置整体重量	成本高, 加工难度大, 局部受损后修复困难, 市场供应稳定性相对较差

五、细钢丝绳作为一种特殊支撑梁的强度分析

钢丝绳通常由多股钢丝捻制而成。相较于刚性支撑梁, 细钢丝绳具有柔性高、重量轻的特点, 可作为大跨度支撑的支撑结构, 以下单独对其强度与挠度进行分析。

(一) 选用的钢丝绳规格与材料特性

结合大尺寸玻璃基板缓存装置的载荷需求(单根支撑梁承受8.4N重力), 选用工业常用的6×19S+FC结构细钢丝绳, 具体参数如下表3所示:

(二) 强度分析

1. 静强度分析

静强度分析的核心是计算钢丝绳的实际工作应力与安全系数, 判断其在静态载荷下的安全性。

(1) 实际工作应力计算

表3 钢丝绳关键参数表

参数类别	具体数值	说明
结构类型	6×19S+FC	6股, 每股19根钢丝, 中心为纤维芯(FC), 兼具柔性 with 强度
钢丝绳公称抗拉强度	1960MPa	保证高承载能力, 适配动态载荷场景
参考重量	0.138kg/m	重量仅为同长度普通碳钢管(约1.2kg/m)的11.5%, 轻量化优势显著
最小破断拉力	23.5kN	由厂家提供的实测数据, 为安全系数计算提供依据

钢丝绳的受力面积(截面积)按公称直径计算, 即: $A = \pi \times (d/2)^2 = \pi \times (6mm/2)^2 = 28.27mm^2$; 单根钢丝绳承受的静态载荷 $F=8.4N$ (前文载荷分析结果); 实际工作应力 $\delta_{静} = \frac{F}{A} = \frac{8.4N}{28.27mm^2} \approx 0.305MPa$ 。

(2) 安全系数计算

安全系数是判断结构安全性的关键指标, 公式为“安全系数 $S = \text{材料抗拉强度} / \text{实际工作应力}$ ”; 代入数据

得 $S_{静} = \frac{1960MPa}{0.305MPa} \approx 6426$ 。

根据《起重机设计规范》(GB/T 3811-2008)中对钢丝绳安全系数的要求: “用于支撑、悬挂的钢丝绳安全系数应 ≥ 5 ”, 本次选用的钢丝绳静安全系数远高于规范要求, 静强度完全满足缓存装置的支撑需求。

2. 动强度分析

玻璃基板在缓存装置中的传送(如水平滚轮传送、升降机构启停)会产生动态载荷(振动、冲击), 需考虑动态效应对强度的影响。

(1) 动态载荷系数确定

结合工业设备动态载荷经验数据, 缓存装置的动态载荷系数通常取1.2-1.5(启停时冲击较大, 取上限1.5); 动态载荷 $F_{动} = F \times 1.5 = 8.4N \times 1.5 = 12.6N$ 。

(2) 动态工作应力计算系数计算

$\delta_{动} = \frac{F}{A} = \frac{12.6N}{28.27mm^2} \approx 0.458MPa$ 。

(3) 动态安全系数计算

$S_{动} = \frac{1960MPa}{0.458MPa} \approx 4279$, 仍远高于规范要求的安全系数(≥ 5), 动强度满足需求。

(三) Solidworks模拟分析

为验证理论计算结果, 使用Solidworks 2022建立细钢丝绳的三维模型, 进行力学仿真分析, 模拟结果如图1所示:

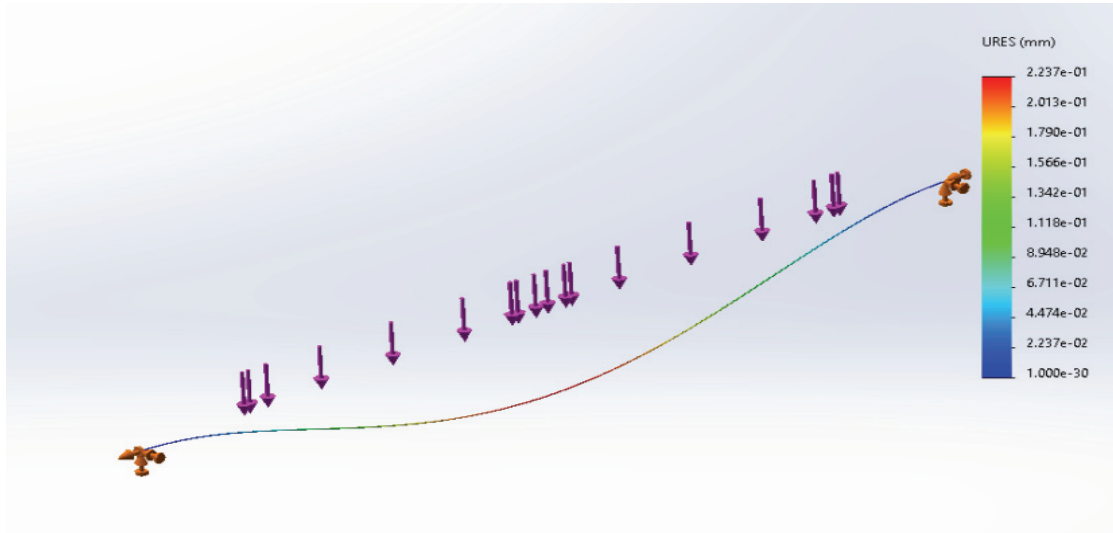


图1 Solidworks模拟分析

(1) 挠度结果：仿真显示，钢丝绳跨中最大挠度约为0.2mm，与理论计算值的误差在10%以内，验证了理论计算的准确性，该挠度虽高于普通碳钢管（0.12mm）和碳纤维复合材料（0.15mm），但低于铝型材（0.35mm），满足中等精度的支撑需求。

(2) 极限载荷结果：通过“逐步增加载荷”的仿真方式，当载荷增至23.5kN（最小破断拉力）时，钢丝绳模型的应力达到1960MPa，模型出现“断裂”提示（应

力超过抗拉强度），与最小破断拉力数据完全一致，进一步验证了强度分析的可靠性。

六、支撑材料选型建议

结合前文对四种支撑材料（普通碳钢管、铝型材、碳纤维复合材料、细钢丝绳）的挠度、强度分析，及大尺寸玻璃基板缓存装置的不同工况需求，提出选型建议如下表4所示：

表4 不同工况下支撑材料选型表

缓存装置工况	推荐材料	选型依据
小尺寸玻璃基板（6代线及以下）、机构载荷受限	铝型材	1.重量轻，降低升降机构负荷；2.挠度（0.35mm）可满足小尺寸基板支撑需求；3.耐腐蚀性好，维护成本低
大尺寸玻璃基板、高轻量化需求、高端场景（如柔性玻璃）	碳纤维复合材料	1.挠度小（0.15mm），满足高平面度要求；2.重量极轻，大幅降低能耗；3.抗疲劳、耐腐蚀性好，适合高端场景应用
大跨度支撑（支撑梁长度 > 1500mm）、可移动缓存架、中等平面度要求	钢丝绳（6×19S+FC）	1.柔性高，适配大跨度与移动场景；2.挠度（0.2mm）满足中等平面度要求；3.静、动态安全系数均超过4000，远高于规范要求，在突发载荷（如玻璃基板偏移导致的局部过载）下仍能保证安全，可靠性高；4.成本最低

结束语

本文围绕大尺寸玻璃基板缓存装置的支撑材料展开系统研究，从缓存装置的结构组成入手，以8.5代线玻璃基板为研究对象，完成了支撑梁的载荷分析，并基于材料力学的挠度计算与Solidworks仿真模拟分析，对普通碳钢管、铝型材、碳纤维复合材料三种刚性支撑材料及钢丝绳一种柔性支撑材料的挠度、强度性能进行了深入分析与比较，提出了针对性的材料选型建议与系统优化选型建议，为缓存装置的设计与应用提供了数据支撑与技术参考。

参考文献

- [1]刘军，张颖，陈明。应用于液晶面板产业线的碳纤维支撑杆及其制备方法与流程：中国，CN201910084827.9[P].2020-05-12.
- [2]王丽，赵强，孙伟。一种用于玻璃基板的辅助支撑件的制作方法：中国，CN202223493608.0[P].2023-03-15.
- [3]付继龙，董光明，杨善方。玻璃基板输送装置：中国，CN208166056U[P].2018-11-30.