

高大工业厂房钢丝绳悬吊安装风管施工技术

广州市机电安装有限公司 何伟斌 黄志明 李伟明

1. 项目简介

箭牌糖果（中国）有限公司永和新工厂位于广州市经济技术开发区永和区永岗路 8 号，其中生产厂房采用钢结构搭建，建筑面积 34553.7m²，净空高度 15m，通风与空调的施工范围包括：空调处理机组、风机、变风量阀和定风量阀安装；镀锌钢板风管、不锈钢板风管、防火阀（280℃、70℃）、风管保温供应安装；支吊架制作安装等。其中空调风管采用橡塑保温外包铝壳保护。

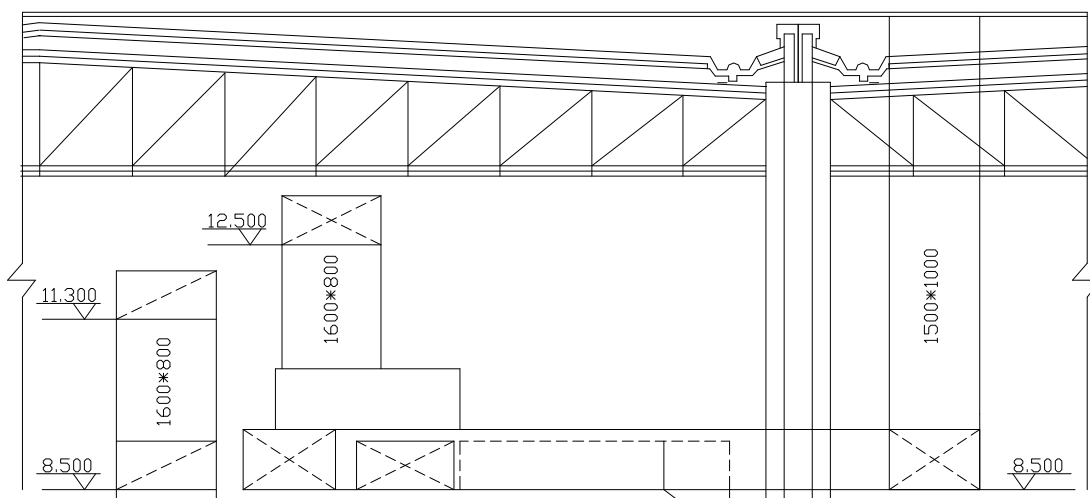


图 1 图纸部分风管安装位置

由于其厂房空调风管的设计安装高度在 8.5~12.5m，风管安装位置高度不一、大小不同、重叠交错。如采用传统方法即用圆钢作为吊杆，由于钢结构不允许直接焊接其他受力构件，若采用抱箍支架加吊杆方式安装风管，则工效低，耗材多；若采用专用钢结构夹具加吊杆方式安装风管，则成本较高。而采用钢丝绳悬吊方式安装风管，既可以避开焊接的问题，而且安装灵活方便，附件便宜，工效也得以大幅提升。



抱箍支架加吊杆方式



专用钢结构夹具加吊杆方式



钢丝绳悬吊安装方式

为此项目部成立了攻关小组，反复对钢丝绳悬吊安装风管出现的各种问题进行研究、试验，并最终解决相关问题，使钢丝绳悬吊安装支架得到实现，为顺利安装风管提供了条件。

钢丝绳悬吊安装风管技术在箭牌糖果（中国）有限公司永和新工厂厂房得以顺利应用，其具有以下特点：

- ①钢丝绳在钢结构横梁及檩条固定快捷；
- ②风管安装高度调节简便；
- ③安装效率高；
- ④成本低。

2. 适用范围及特点

钢丝绳悬吊安装风管技术特别适用于高大空间，且屋顶有密集梁及檩条的钢结构建筑，如厂房、仓库、体育场馆。

2.1 特点

- 2.1.1 钢丝绳代替圆钢直接作为支架吊杆，钢丝绳通过钢丝绳弯口直接捆绑固定在钢结构的横梁及檩条上，固定施工快捷方便，不需要采用专用钢结构夹具。
- 2.1.2 通过自制吊环，能方便地调节横担高度，从而快捷地调整水平风管系统安装高度。
- 2.1.3 强度高，耐腐蚀，美观耐用，由于钢丝绳悬吊为柔性连接，对于系统产生的噪声、振动共鸣等有良好的隔断作用。
- 2.1.4 制作工艺简单，可根据各风管安装高度，进行批量加工，加工长度尺寸余量宽松，调整灵活。
- 2.1.5 制作过程主要用铁剪、扳手等手动工具，节约施工用电，不产生噪声和由于焊接带来的火灾隐患。
- 2.1.6 钢丝绳采用盘卷形式，能根据安装高度截取适当的长度，减少了材料损耗，节约了材料成本。且由于钢丝绳包塑，增强了钢丝绳的防腐性能。
- 2.1.7 与传统的施工方法比较，新颖的钢丝绳悬吊安装风管技术能有效缩短施工工期，保证安装质量，降低工人作业强度，安全也能得到充分保障，并能有效降低工程造价。

3. 工艺原理

根据所吊风管重量及钢丝绳的破断拉力选用合适直径的盘卷包塑钢丝绳及配件，钢丝绳一端约 400mm 打弯后用钢丝绳夹锁紧，另一端绕过在梁（钢结构梁或檩条）标记位置后穿过弯口完成梁端的固定。另一端通过自制的吊环并用钢丝绳夹锁紧固定，吊环通过螺母紧固连接横担完成悬吊支架安装，最后根据风管的安装高度进行统一调节，使风管安装达到“横平”的效果。

4. 技术创新点

- 4.1 钢丝绳直接捆绑在钢结构的横梁及檩条上，代替圆钢作为支架吊杆，避免了在钢结构上通过过渡焊连接方式或者采用专用钢结构夹具方式安装吊杆，施工方便快捷。
- 4.2 通过自制的吊环，能方便地调节横担高度，从而快捷地调整水平风管系统安装高度。
- 4.3 由于钢丝绳悬吊为柔性连接，对于空调通风系统运行产生的噪声、振动共鸣等有良好的隔断作用。

5. 工艺流程及操作要点

5.1 工艺流程

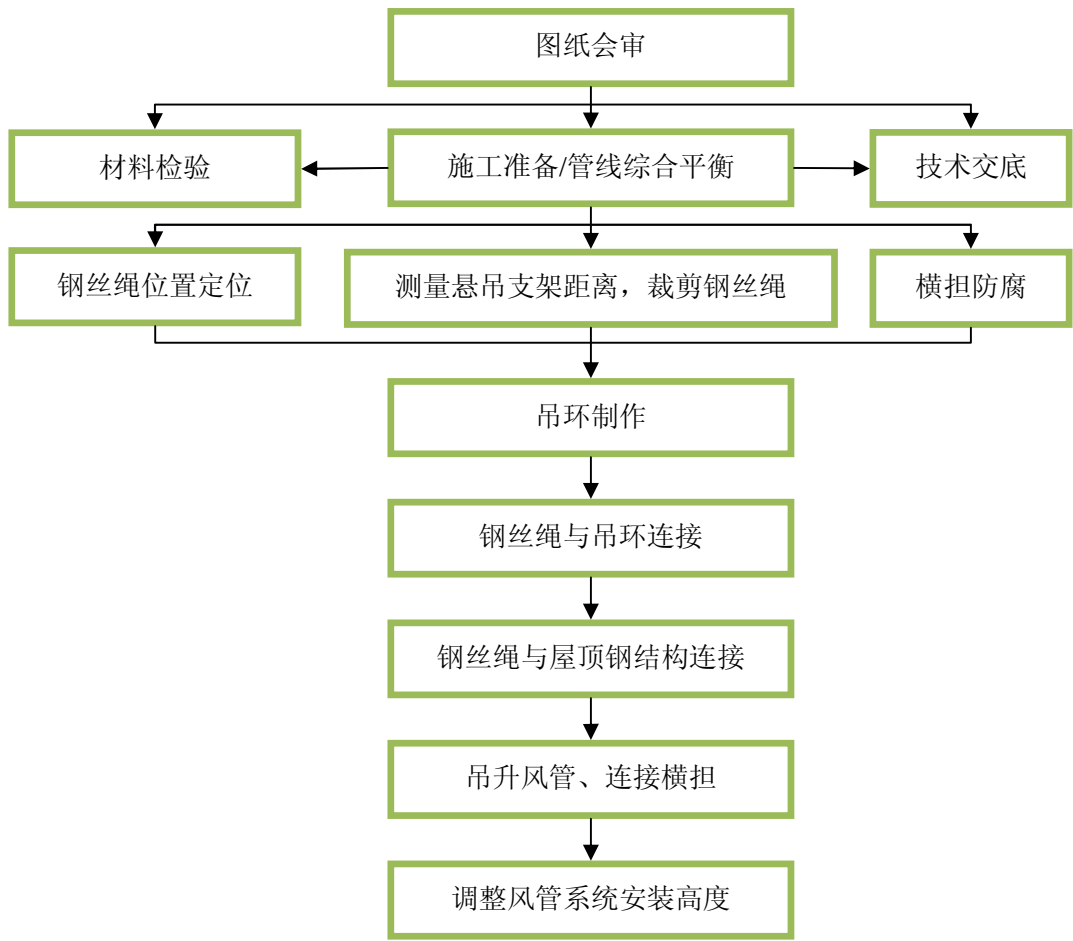


图 5.1 钢丝绳悬吊安装风管流程图

5.2 操作要点

5.2.1 施工准备

熟悉设计施工图，制作加工前必须到现场实测有关尺寸，并核对图纸中的相关内容后对各规格型号风管及配件进行汇总记录，以便加工需要。

5.2.2 吊架横担选用

- 1 根据风管安装的部位、风管截面大小及具体情况，按标准图集与规范选用强度和刚度相适应的形式和规格的吊架横担，并按图加工制作。
- 2 矩形金属水平风管在最大允许安装距离下，吊架的最小规格应符合表 5.2.2 规定。

金属矩形水平风管吊架的最小规格 (mm)

表 5. 2. 2

风管边长 (b)	钢丝绳直径	横担规格	
		角钢	槽形钢
$b \leq 400$	$\Phi 6$	$\angle 25 \times 3$	$[40 \times 20 \times 1.5$
$400 < b \leq 1250$	$\Phi 6$	$\angle 30 \times 3$	$[40 \times 40 \times 2.0$
$1250 < b \leq 2000$	$\Phi 8$	$\angle 40 \times 4$	$[40 \times 40 \times 2.5$ $[60 \times 40 \times 2.0$
$2000 < b \leq 2500$	$\Phi 8$	$\angle 50 \times 5$	—
$b > 2500$	按设计确定		

3 其它规格应按吊架载荷分布图 5.2.2-1 及公式进行吊架挠度校验计算。挠度不应大于 9mm。

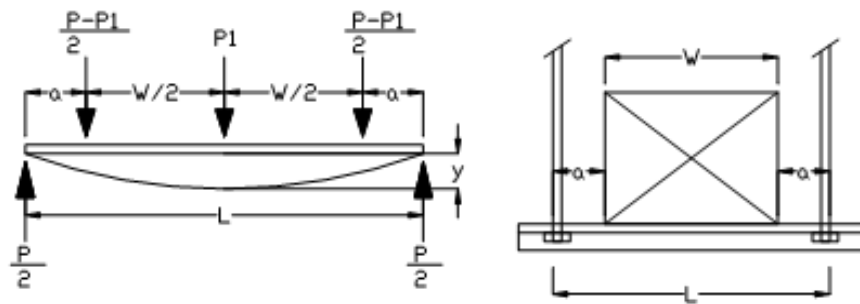


图 5. 2. 2-1 吊架载荷分布图

吊架挠度校验计算公式为：

$$y = \frac{(p \cdot p_1) a (3L^2 - 4a^2) + (p_1 + p_z) L^3}{48EI} \quad (\text{式 } 5.2.2)$$

式中： y—吊架挠度 (mm)；
P—风管、保温及附件总重 (kg)；
P1—保温材料及附件重量 (kg)；
a—吊架与风管壁间距 (mm)；
L—吊架有效长度 (mm)；
E—刚度系数 (kPa)；
I—转动惯量 (mm⁴)；
Pz—吊架自重 (kg)。

5.2.3 钢丝绳选用及核验

钢丝绳按所受最大工作静拉力计算选用，要满足承载能力和寿命要求。

1 钢丝绳承重计算

经过核对施工图纸，以风管最大截面为 $2500 \times 2000\text{mm}$ ，按支吊架间距不大于 3000mm ，风管镀锌板厚度为 1.2mm ，保温棉厚度为 25mm 及 1mm 铝壳保护的风管段重量，以及横担采用 $\angle 50 \times 5$ 角钢，及连接件、加固件、钢丝绳自重等重量进行计算，得到重量如表 5.2.3-1。

风管重量计算表 表 5.2.3-1

序号	材质	截面周长 L (m)	材质壁厚 δ (m)	材质长度 l (m)	材质密度 ρ (kg/m ³)	计算公式	重量 Q (kg)
1	镀锌钢板	9	1.2×10^{-3}	3	7.85×10^3	$Q = L_{\text{周}} \times \delta \times l \times \rho$	254.34
2	薄钢板法兰	9	1.2×10^{-3}	$0.04 \times 2 \times 3$	7.85×10^3		20.35
3	橡塑保温	9.2	25×10^{-3}	3	90		62.1
4	铝板保护壳	9.28	1.0×10^{-3}	3	2.71×10^3		75.45
5	横担 ($\angle 50 \times 5$ 角钢)			2.6	$3.77(\text{kg/m})$	$Q = l \times \rho$	9.8
6	其它(连接件、 加固件、钢丝绳 自重等)					估算	20

$$\begin{aligned}
 \text{钢丝绳总载荷 } Q_{\text{总}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (\text{式 5.2.3-1}) \\
 &= 254.34 + 20.35 + 62.1 + 75.45 + 9.8 + 20 \\
 &= 442.04\text{kg} \times 9.81/1000 \\
 &= 4.34[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

式中 Q_1 —镀锌钢板风管重量
 Q_2 —薄钢板法兰重量
 Q_3 —橡塑保温重量
 Q_4 —铝板保护壳重量
 Q_5 —横担重量
 Q_6 —其它（连接件、加固件、钢丝绳自重等重量）

2 选用钢丝绳规格

$$\begin{aligned}
 \text{每根钢丝绳悬挂重量 } Q &= KQ_{\text{总}}/2 \quad (\text{式 5.2.3-2}) \\
 &= 1.5 \times 4.34/2 \\
 &= 3.26[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

式中： K —不平衡系数（取 $K=1.5$ ）
 每根钢丝绳悬吊重量 3.26kN
 选用钢丝绳规格型号见表 5.2.3-2

选用钢丝绳规格表

表 5.2.3-2

规格	Φ 8mm	结构	6*12+7FC
钢丝绳公称直径	0.38mm	公称抗拉强度	1570N/mm ²
捻法	ZS	用途	一般
重量	16.1kg/100m	实测钢丝绳破断拉力总和	13.1kN

3 对选择后的钢丝绳进行验算

$$S \leq F/n \quad (\text{式 } 5.2.3-2)$$

$$3.26 \leq 13.1/4 = 3.275$$

所选钢丝绳符合安全规定。

式中： S—钢丝绳最大工作静拉力

F—所选钢丝绳最小的破断拉力

n—钢丝绳的安全系数（静态张拉钢丝绳和钢绞线 n=4）

5.2.4 钢丝绳裁剪注意事项

- 1 对钢丝绳应防止损伤，腐蚀或其他物理、化学造成的性能降低。
- 2 钢丝绳开卷时，应防止打结或扭曲。
- 3 钢丝绳切断时，应有防止绳股散开的措施。
- 4 安装钢丝绳时，不应在不干净的地方拖线，不得沾有泥砂等杂物。
- 5 钢丝绳应保持有良好的润滑状态。

5.2.5 钢丝绳夹固定注意事项

- 1 U 型螺栓应置于钢丝绳较短部分（尾段），见图 5.2.5，钢丝绳夹不得在钢丝绳上交替布置。

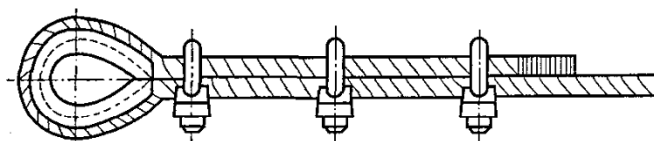


图 5.2.5 钢丝绳夹布置图

- 2 钢丝绳直径 ≤ 19mm 时，钢丝绳夹不少于 3 个。
- 3 钢丝绳夹间的距离应为 6~7 倍钢丝绳直径。
- 4 钢丝绳夹紧固时，以短头绳压扁约 1/3 为宜。
- 5 离套环最远处的钢丝绳夹不得首先单独紧固。

5.2.6 吊环加工

将 Φ22 不锈钢螺帽与 Φ8×200mm 不锈钢通牙以亚弧焊焊接成吊环，能方便地调节横担的高度，如图 5.2.6 所示。

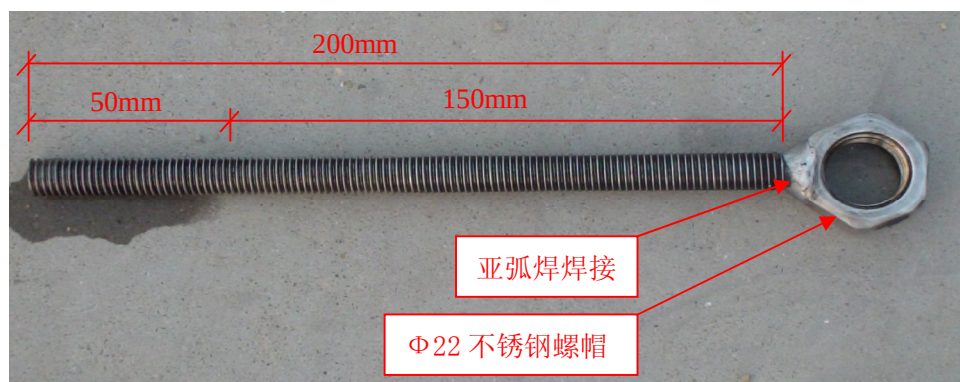


图 5.2.6 自制吊环实物图

5.2.7 吊架安装

1 钢丝绳固定位置定位：吊架安装前应根据施工图纸位置要求及风管宽度采用 2 台激光投线仪定位，并在屋顶钢梁或檩条按间距不大于 3000mm 的钢丝绳捆绑位置标记，以保证风管位置的准确性。

2 测量及裁剪钢绳：根据风管的安装高度预留钢丝绳长度，预留长度按下式求取。

$$L = (L_1 + (L_2 - 150) + 400 \times 2) \quad (\text{式 } 5.2.7)$$

$$= L_1 + L_2 + 650 [\text{mm}]$$

L —钢丝绳裁剪长度，mm；

L_1 —钢丝绳捆绑钢梁或檩条的周长，mm；

L_2 —风管底部离钢梁或檩条底部的高度，mm；

钢丝绳两头尾端预留长度，400mm。

3 钢丝绳一端约 400mm 打弯后用钢丝绳夹锁紧，另一端绕过在梁（钢结构梁或檩条）标记位置后穿过弯口完成梁端的固定。见图 5.2.7-1。

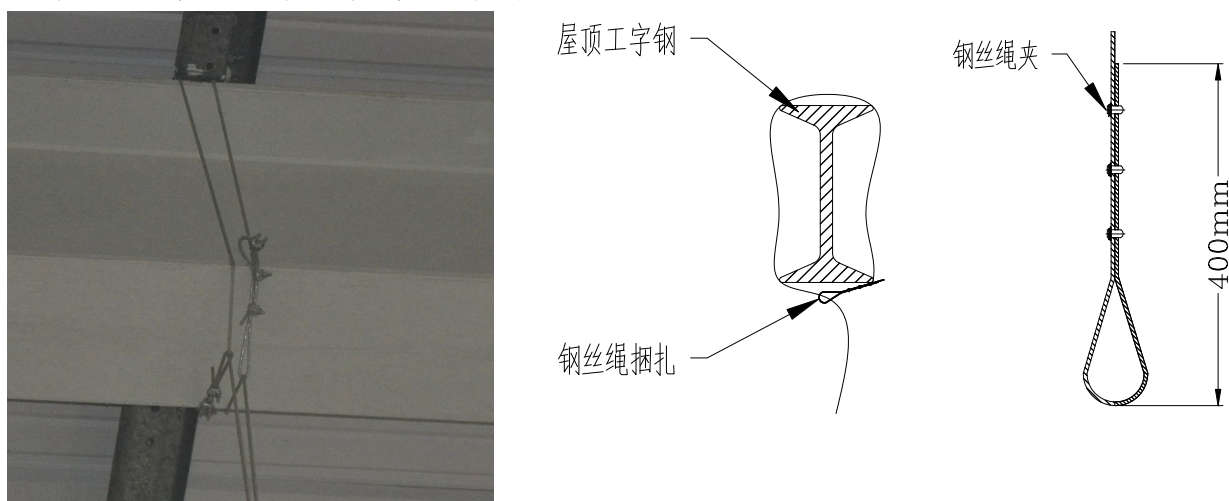


图 5.2.7-1 钢丝绳捆梁安装图及示意图

4 将钢丝绳另一端穿过自制吊环，在钢丝绳端约 400mm 对叠打弯，用钢丝绳夹固定，用螺母固定支架横担，完成钢索与支架横担连接，见图 5.2.7-2。

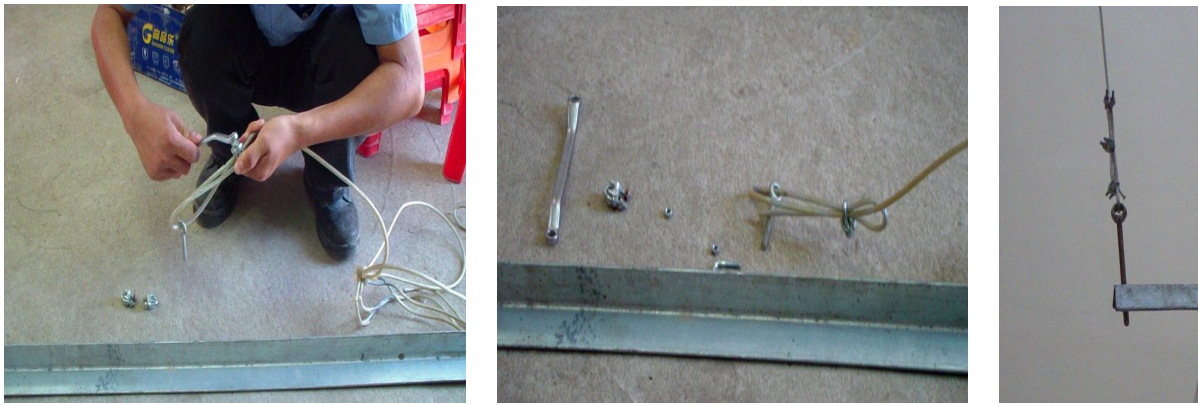


图 5.2.7-2 横担端绳头制作及连接安装图

5.2.8 吊升风管、连接横担

为减少高空作业的次数，风管在地面完成组对安装，连接长度应根据施工现场的情况进行确定，连接长度一般 3~12m 为一组。

当连接长度为 5m 以下时，可采用垂直升降车进行吊升，将完成组对安装的风管放在 2 台垂直升降车上，起升到指定位置（见图 5.2.8-1），然后连接横担，收紧螺栓等工作。



图 5.2.8-1 垂直升降车吊升风管

当连接长度超过 5m 时，可采用手动葫芦进行吊升，风管每隔 3m 采用一只 2T 的手动葫芦捆扎，将手动葫芦固定在钢结构顶梁，同时进行吊升，起升到指定位置（见图 5.2.8-2），然后，连接横担，收紧螺母等工作。



图 5.2.8-2 手动葫芦吊升风管

5.2.9 调整

一段风管安装完后用水平仪测量风管段的水平度和标高，在安装高度与标高相差不超出 50~150mm 的情况下，利用吊环螺杆进行调整。如超出此范围，则调整吊环处钢丝绳端部的长度，调至合适张紧，再利用吊环螺杆进行微调，使得每一个管段都符合要求。



图 5.2.8 安装及调整完成后观感图

6. 材料与设备

钢丝绳悬吊安装风管施工使用的主要材料简单方便，主要有以下材料及设备。

盘卷包塑钢丝绳	
钢丝绳夹	
自制吊环	
横担	
测量定位工具	
垂直升降车	
2T 手动葫芦	

台钻	
切割机	
照明灯具	
安装施工手动工具	

7. 质量控制

7.1 钢丝绳加工时应注意以下几点：

7.1.1 钢丝绳按所受最大工作静拉力计算选用，要满足承载能力和寿命要求。

7.1.2 对钢丝绳应防止损伤，腐蚀或其他物理、化学造成的性能降低。

7.1.3 钢丝绳开卷时，应防止打结或扭曲。

7.1.4 钢丝绳切断时，应有防止绳股散开的措施。

7.1.5 安装钢丝绳时，不应在不干净的地方拖线，保持外套胶管前钢丝绳的油润。

7.1.6 U 型螺栓扣在钢丝绳的尾段上（短头），绳卡不得在钢丝绳上交替布置。

7.1.7 钢丝绳卡间的距离应为钢丝绳直径的 6~7 倍。

7.1.8 钢丝绳卡紧固时，以短头绳压扁约 1/3 为宜。

7.2 吊架安装应注意以下几点：

7.2.1 风管水平安装，直径或长边尺寸小于等于 400mm，间距不应大于 4m；大于 400mm，不应大于 3m。对于薄钢板法兰的风管，其支、吊架间距不应大于 3m。

7.2.2 风管垂直安装，间距不应大于 4m，单根直管至少应有 2 个固定点。

7.2.3 支、吊架不宜设置在风口、阀门、检查门及自控机构处，离风口或插接管的距离不宜小于 200mm。

7.2.4 当水平悬吊的主、干风管长度超过 20m 时，应设置防止摆动的固定点，每个系统不应少于 1 个。

7.2.5 横担的螺孔应采用机械加工。吊杆应平直，螺纹完整、光洁。安装后各副支、吊架的受力应均匀，无明显变形。

7.3 风管进行吊装应注意以下几点：

7.3.1 风管安装前，应清除内、外杂物，并做好清洁和保护工作。

7.3.2 风管安装的位置、标高、走向，应符合设计要求。

7.3.3 风管的连接处，应完整无缺损、表面应平整，无明显扭曲。

7.3.4 薄钢板法兰形式风管的连接，弹性插条、弹簧夹或紧固螺栓的间隔不应大于150mm，且分布均匀，无松动现象。

7.3.5 插条连接的矩形风管，连接后的板面应平整、无明显弯曲。

7.3.6 风管的连接应平直、不扭曲。明装风管水平安装，水平度的允许偏差为 $3/1000$ ，总偏差不应大于 20mm。明装风管垂直安装，垂直度的允许偏差为 $2/1000$ ，总偏差不应大于 20mm。暗装风管的位置，应正确、无明显偏差。

7.3.7 风管在地面进行组对连接时，需在地面铺设保护膜。



图 7.3.7 地面风管组对连接时在地面铺设保护膜保护

7.3.8 风管安装完成后需注意产品保护，在开口端包上薄膜，防止灰尘等污染风管内部。



图 7.3.8 开口端包上薄膜，防止灰尘等污染风管内部

8. 安全措施

- 8.1 制作施工场地要平整干净，应有足够的采光或照明设备
- 8.2 进入工地之前，每个施工作业人员都要认真学习该工地的安全生产管理规定，并认真执行。
- 8.3 施工作业人员须配备必要的安全器材，如安全帽、劳保手套、安全带等物资。
- 8.4 使用电气设备，电动工具有可靠的保护接地措施，各电气设备电源箱必须配备漏电保护器。
- 8.5 吊装风管时，严禁人员站在被吊装风管下方，风管上严禁站人。
- 8.6 高空作业车安全措施
 - 8.6.1 使用高空作业车必须配置经过专门培训，考试合格，持证上岗的专业操作人员。
 - 8.6.2 高空作业车操作人员必须按照机械设备的保养规定，在执行各项检查和保养后方可启动高空作业车，工作前应检查高空作业车的工作范围，清除妨碍高空作业车行走的障碍物清理干净。
 - 8.6.3 工作平台的操作人员应佩带安全带、安全带应就近挂在钢结构架上，行走时应挂在护栏网上。
 - 8.6.4 每台高空车配备专职地面指挥人员。

9. 环保措施

- 9.1 在施工过程中严格遵守国家和地方政府下发的有关环境保护的法律、法规和规章，加强对施工材料、生产生活垃圾、弃渣的控制和治理，遵守废弃物处理的规章制度。
- 9.2 施工场地和作业限制在工程建设允许的范围内，施工场地要整洁文明。
- 9.3 优先选用先进的环保机械，采取有效的消声措施来降低施工噪音，同时尽可能避免

夜间施工。

10. 效益分析

10.1 采用钢索悬吊安装支架与专用钢结构夹具或抱箍安装支架相比，平均每米支吊杆制安成本至少可节省 2 元，以本工程需用支吊杆 60000m 计算，可节约工程成本 12 万元。具体比较见表 10.1。

钢索悬吊制安支架与焊接或抱箍制安单价比较表				表 10.1
制安型式 单价	钢索悬吊连接式	专用钢结构夹具	抱箍连接式	
材料单价（元/m）	4	6	4	
安装单价（元/m）	5	6	8	
综合单价（元/m）	10	12	12	

10.2 社会效益显著。

10.2.1 解决了在高大钢结构建筑物下安装机电管线支吊架的技术难题，避免了在钢结构上直接焊接受力构件及避免了破坏钢结构金相的稳定性和防腐性。

10.2.2 采用钢索悬吊技术结合高空作业车安装支架，对生产安全更有保证。

10.2.3 大大地减轻了工人的劳动强度，提高了安装效率，节约了工程成本，保证了工程质量，加快了工程进度，缩短施工工期。