



TCECSXXX-20XX

---

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道风道钢波纹板隔墙技术规程

Technical Specification for Corrugated Steel Plate  
Partition Wall Structures of Road Tunnel Ventilation  
Ducts

XXXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道风道钢波纹板隔墙技术规程

Technical Specification for Corrugated Steel Plate  
Partition Wall Structures of Road Tunnel Ventilation  
Ducts

T/CECS XXX-20XX

主编单位：西南交通大学  
西安世纪金属结构有限公司  
批准单位：中国工程建设标准化协会  
施行日期：20XX年X月X日

XXXX 出版社

20XX XX

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于征求〈2024 年第一批协会标准制订、修订计划〉(草案)意见的通知》(建标协函〔2024〕29 号)的要求,由西南交通大学承担《公路隧道风道钢波纹板隔墙技术规程》(以下简称“本规程”)的修订工作。

本标准制定的指导思想、编写原则:以保障公路隧道运营通风安全、提升工程质量与耐久性为目标,贯彻绿色低碳、技术先进、经济合理、安全可靠的原则,推动钢波纹板隔墙技术的标准化与规范化应用。编制工作注重总结国内工程实践经验,吸纳成熟科研成果,并与现行相关标准相协调。

本规程共分 8 章,主要技术内容包括:总则,术语和符号,基本规定,材料,设计,施工,验收,运营维护。修订重点在于明确钢波纹板隔墙的设计方法、施工工艺、质量控制及验收标准。

请各有关单位在执行过程中,将发现的问题和意见,函告本规程日常管理组,联系人:郭春(地址:四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学,邮编:610031;电话:13882183775;电子邮箱:guochun@swjtu.edu.cn),以便修订时参考。

主 编 单 位 : 西南交通大学  
西安世纪金属结构有限公司

参 编 单 位 : 四川省公路规划勘察设计研究院有限公司  
中交第一公路勘察设计研究院有限公司  
青海省交通规划设计研究院有限公司  
四川公路桥梁建设集团有限公司勘察设计分公司  
中铁长江交通设计集团有限公司  
陕西省交通规划设计研究院有限公司  
山西省交通规划勘察设计院有限公司  
云南省交通规划设计研究院股份有限公司  
四川省交通勘察设计院有限公司  
新疆交通科学研究院有限责任公司  
甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司  
蜀道集团工程技术中心  
云南省交通发展投资有限责任公司  
四川川交路桥有限责任公司隧道分公司  
四川公路桥梁建设集团有限公司  
中交第二公路工程局有限公司

主 编 : 郭春

主要参编人员：赵建华 周仁强 王万平 曹校勇 吴进军 高亮  
李海清 席锦州 贾佳欣 张鑫 李红鹏 何俊  
万建国 余顺 李强 郑升宝 徐磊 刘喜春 王  
安民 高鹏兴 袁松 廖沛源 刘杰 韦正勋 朱  
小明 张睿 张卓 裴丽娅 周捷 陈代华 康海  
波 王帅帅 赵树磊 郭宗程 郝慧明 董鑫培

主 审：  
参与审查人员：

征求意见稿

# 目 录

1	总 则.....	7
2	术语与符号.....	8
2.1	术语.....	8
2.2	符号.....	8
3	基本规定.....	9
3.1	一般规定.....	9
3.2	钢波纹板隔墙类型及规格.....	9
3.3	结构设计基本要求.....	10
4	材 料.....	11
4.1	主体材料.....	11
4.2	连接件.....	11
4.3	焊接材料.....	11
4.4	密封材料.....	12
4.5	防腐蚀材料.....	12
4.6	防火材料.....	12
5	设 计.....	14
5.1	连接方式.....	14
5.2	通风阻力系数.....	16
5.3	耐高温.....	17
5.4	耐久性.....	18
6	施 工.....	19
6.1	施工流程.....	19
6.2	施工场地.....	20
6.3	施工风险管理.....	20
6.4	质量控制标准.....	21
7	验 收.....	22
7.1	材料验收.....	22
7.2	外观验收.....	22
7.3	密闭性验收.....	22

7.4 耐久性验收 .....	22
8 运营维护 .....	24
8.1 日常巡检与定期检查 .....	24
8.2 防腐与防火维护措施 .....	24
8.3 清洁与环境控制 .....	24
用词说明 .....	25
条文说明 .....	26
1 总    则 .....	27
3 基本规定 .....	28
3.1 一般规定 .....	28
3.2 钢波纹板隔墙类型及规格 .....	28
3.3 结构设计基本要求 .....	28
4 材    料 .....	29
4.1 主体材料 .....	29
4.6 防火材料 .....	29
5 设    计 .....	30
5.1 连接方式 .....	30
5.2 通风阻力系数 .....	30
5.3 耐高温 .....	31
5.4 耐久性 .....	32
6 施    工 .....	33
6.1 施工流程 .....	33
附录 A 质量检测方法 .....	35
A.1 材料及构件质量检测 .....	35
A.2 镀层质量检测 .....	35
A.3 检测结果处理 .....	35

# 1 总 则

1.0.1 为规范公路隧道风道钢波纹板隔墙设计，指导风道钢波纹板隔墙施工，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于公路隧道通风斜井、竖井和平导，采用钢波纹板分隔风道的设计与施工。

1.0.3 公路隧道风道建设应服从项目总体设计要求，风道隔墙设计应满足公路隧道通风的要求。

1.0.4 风道隔墙用钢波纹板材料选用应考虑高风压、腐蚀、高温等环境工况、结构受力特点综合确定。

1.0.5 本规程中涉及到波纹钢、公路隧道通风等技术要求，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 2 术语与符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 风道 ventilation duct

指为公路隧道运营通风设置的通道

#### 2.1.2 钢波纹板 corrugated steel plate

由钢制成的具有波浪形和波折形截面的金属板材

#### 2.1.3 波距 pitch

相邻两个波峰或波谷之间的距离

#### 2.1.4 波深 depth

波峰与波谷之间的距离

#### 2.1.5 腐蚀失厚率

金属在腐蚀过程中厚度损失速率

#### 2.1.6 法兰阻碍百分比

法兰与断面总面积之间的比值

### 2.2 符号

#### 2.2.1 $d$ ——波深

#### 2.2.2 $p$ ——波距

#### 2.2.3 $T$ ——波纹板厚度

#### 2.2.4 $\lambda$ ——沿程阻力系数

#### 2.2.5 $\xi$ ——局部阻力系数

### 3 基本规定

#### 3.1 一般规定

3.1.1 钢波纹板分隔送排风道和排烟道，钢波纹板材料应满足风道环境条件要求。

3.1.2 钢波纹板隔墙的布设应考虑隧道通风、排烟要求，以及施工安装及运行维护的方便合理。

3.1.3 钢波纹板隔墙仅承担自重与风荷载；如有其他结构荷载应专项设计与验算。

#### 3.2 钢波纹板隔墙类型及规格

3.2.1 钢波纹板隔墙按照不同的布置形式一般可分为水平隔墙、竖直隔墙和十字隔墙。

3.2.2 隔板应按照以下要求选用：

1 当需将风道分隔为两个面积相近的并行风道时，宜采用**竖直隔墙**；当需将风道分隔为上下两个面积差异较大的风道时，宜采用**水平隔墙**。水平隔墙与竖直隔墙所采用钢波纹板波形应根据跨度与风压综合选定。常规跨度和风压可选用标准波形；当跨度较大或风压较高时，应选用波高较大、截面惯性矩较高的波形，并应进行承载力验算。

2 当需将风道分隔为四个独立风道时，应采用**十字隔墙**。其钢波纹板应具有均衡的双向力学性能，节点构造应进行专项设计。

3.2.3 钢波纹板波形特征参数宜满足表 3.2.3-1 规定，钢波纹板可依照波形分类，见表 3.2.3-2。

表 3.2.3-1 钢波纹板特征参数 (mm)

波形代号	波距 $p$	波深 $d$	壁厚 $T$
A	38	6.5	1.0~1.6
B	68	13	1.3~4.2
C	75	25	1.6~4.2
D	125	25	1.6~4.2
F	150	50	2.0~10.0
G	200	55	2.0~8.0
H	230	64	3.0~7.0
I	300	110	4.0~10.0
J	380	140	5.0~10.0
K	400	150	5.0~8.0

表 3.2.3-2 钢波纹板分类标准

类别	波深 (mm)
浅波	1~49
中波	50~99
深波	100~149
大波	149 以上

3.2.4 钢波纹板的尺寸偏差应满足表 3.2.4。

表 3.2.4 钢波纹板尺寸允许偏差

项目	允许偏差
壁厚 t(mm)	GB/ T 709、GB/ T 2518
波距 l(mm)	±3
波高 d(mm)	±3
钢波纹板长度 L <sub>c</sub> (%)	±1
钢波纹板长度 L <sub>w</sub> (%)	±1

### 3.3 结构设计基本要求

3.3.1 承载能力极限状态设计作用应符合以下规定：

- 1 永久作用应考虑结构自重。
- 2 可变作用应考虑运营工况的风荷载。
- 3 地震作用应符合现行《公路工程技术标准》（JTG B01）的规定。

3.3.2 钢波纹板隔墙不得与隧道衬砌共同承担承重任务。其自重及风荷载通过支承传递至衬砌时，应作为不利附加荷载进行验算。

## 4 材 料

### 4.1 主体材料

4.1.1 钢波纹板可采用碳素结构钢、低合金高强结构钢、连续热镀锌钢板和钢带。

4.1.2 碳素结构钢和低合金高强结构钢的性能和规格应符合下列规定：

1 采用碳素结构钢时，其性能应符合现行《碳素结构钢》（GB/T 700）的规定；

2 采用低合金高强度结构钢时，其性能应符合现行《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591）的规定。

3 尺寸、外形、重量及允许偏差应符合现行《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》（GB/T 709）的规定，且厚度不得出现负偏差。

4.1.3 连续热镀锌钢板及钢带钢波纹板，其性能、尺寸、外形、重量及允许偏差应符合现行《连续热镀锌钢板及钢带》（GB/T 2518）的规定。

### 4.2 连接件

4.2.1 法兰、法兰盘及螺栓等连接件的材料应选用与主体材料力学性能匹配的碳素结构钢或低合金高强度结构钢。

4.2.2 法兰采用碳素结构钢时，其性能应符合现行《碳素结构钢》（GB/T 700）的规定；其尺寸、外形、重量及允许偏差应符合现行《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》（GB/T 709）的规定。

4.2.3 法兰盘采用角钢时，其性能应符合现行《碳素结构钢》（GB/T 700）的规定；其尺寸、重量、允许偏差应符合现行《热轧型钢》（GB/T 706）的规定。

4.2.4 连接件采用高强度螺栓、螺母时，其性能等级不应低于 8.8 级，其力学性能指标应符合现行《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》（GB/T 1231）的规定。

### 4.3 焊接材料

4.3.1 焊接材料的选用应符合现行《金属材料熔化焊用焊条 第 1 部分：钢》（GB/T 12467.1）的规定。

4.3.2 焊接材料的质量要求应符合现行《焊条质量分等》（JB/T 3223）的规定。

4.3.3 钢波纹板与法兰结构如采用焊接工艺，必须在工厂按标准化工艺进行焊接，

焊缝等级不应低于二级。

## 4.4 密封材料

4.4.1 密封胶条、胶带等材料可采用聚乙烯发泡材料、天然橡胶、氯丁橡胶、EVA泡沫板或耐候密封胶等。

4.4.2 密封材料应具有**良好的**弹性和防渗性能，填塞应紧密，并**应选用**与钢板粘接力强、耐久性好的材料。

1 橡胶类密封材料的性能应符合现行国家标准《高分子防水材料 第2部分 止水带》GB 18173.2的规定；

2 密封胶材料的性能应符合国家现行相关标准的规定，其拉伸强度不应小于1.0MPa，断裂伸长率不应小于300%，与钢板的粘结强度不应小于1.5Mpa。

4.4.3 密封材料主要用于钢波纹板与板之间、钢波纹板与衬砌之间的缝隙填充，施工时应确保连续密实，不得出现漏填或松散。

## 4.5 防腐蚀材料

4.5.1 风道钢波纹板隔墙的防腐宜采用金属涂层，常用金属涂层主要为热浸镀锌涂层。其使用应符合以下规定：

1 热浸镀锌应满足《金属覆盖层钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法》（GB/T 13912-2020）的规定。

2 当采用静电喷涂等其他防腐措施代替热浸镀锌时，应提供试验验证资料，其防腐性能不应低于热浸镀锌涂层要求。

4.5.2 金属涂层表面**补充涂装或喷涂沥青**时，应符合下列规定：

1 采用涂装时，涂装材料的品种、规格和性能应符合现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722）的规定。涂层总厚度不应小于0.12mm，表面应均匀、光滑、连续，不得有可见孔隙、裂缝、脱皮等缺陷。

2 采用喷涂沥青时，沥青涂层厚度应为0.5mm~1.0mm，且应均匀、光滑、连续，不得有可见孔隙、裂缝、脱皮等缺陷。

## 4.6 防火材料

4.6.1 风道中隔墙采用钢波纹板时，其表面镀层宜采用热镀锌工艺，以提高高温下

的稳定性，涂层厚度应经过耐火试验验证。

4.6.2 钢波纹板防火涂料应采用膨胀型和非膨胀型钢结构防火涂料，其应满足以下规定：（总体为材料规定，应调整）

1 用于钢波纹板隔墙表面的防火涂料应为膨胀型或非膨胀型钢结构防火涂料，其选用应符合《钢结构防火涂料》（GB 14907-2018）的标准规定，同时应具备良好的附着性、耐候性、耐火性和环保性能。所用防火涂料应通过国家相关检测机构检测，并具有合法的产品合格证明文件和技术参数报告。

2 防火涂料的主要技术性能应满足下表所列指标：

表 4.6.2 防火涂料技术参数要求

序号	项目	指标	
1	涂膜外观	涂抹均匀，无缩孔和开裂	
2	干燥时间（表干）	≤3h	
3	耐水、耐酸、耐碱性	≧720h 无异常	
4	耐曝热、耐湿热	≧720h 无异常	
5	涂层冻融循环/次	≧15 次无异常	
6	耐盐雾/次	≧30 次无异常	
7	产生毒烟	不低于《材料产烟毒性危险分级》（GB/T 20285-2006）规定危险分级 ZA1	
8	附着力	≤1 级	
9	耐洗刷性	≥10000 次	
10	耐沾污性白色和浅色	≤5%	
11	放射性能	内照射指数	≤1.0
		外照射指数	≤1.3
12	挥发性有机化合物含量 VOC	不得检出	
13	苯、甲苯、乙苯、二甲苯及游离甲醛	不得检出	
14	可溶性重金属 Pb、Cd、Cr、Hg 及 As	不得检出	
15	抗细菌、霉菌性能	I 级	
16	负离子释放量	≥350 个/cm <sup>3</sup>	
17	耐火性能/h（厚度 ≧0.5mm）	≧2h	

3 在耐污染型防火涂料的施工过程中，应采用喷涂方式保证涂层均匀、连续，不得漏喷或堆积。实际涂层厚度不得小于设计值，其中膨胀型防火涂料的干膜厚度不应小于 1.5mm；非膨胀型防火涂料的干膜厚度不应小于 15mm。

## 5 设 计

### 5.1 连接方式

5.1.1 隔墙钢波纹板宜采用拼装式连接方式（法兰连接），其通过预制钢板纵向拼接实现。竖向隔墙、水平隔墙及十字隔墙的连接构造应符合下列规定：

1 竖向与水平隔板宜采用法兰与螺栓组合连接。螺栓间距不应大于 300 mm，所有焊缝质量应进行无损检测。十字隔板应在交叉节点处应设置专用十字形连接件，其材质应与钢波纹板主体一致，波纹形状应匹配，并应根据计算需要增设加劲板。所有连接节点的密封性能、承载力和耐久性均应通过计算或试验验证。

2 每块钢波纹板的纵向标准跨度一般为 1500mm，其实际跨度、波高、波距及壁厚等特征参数，应根据风道结构受力、通风阻力及排烟功能要求，并结合本规程第 5.2 节中通风阻力系数的技术指标，通过承载力、耐久性验算及通风设计确定。

3 单个钢波纹板四周设置连接钢板用于铆接，具体连接见图 5.1.1-1 和图 5.1.1-2。

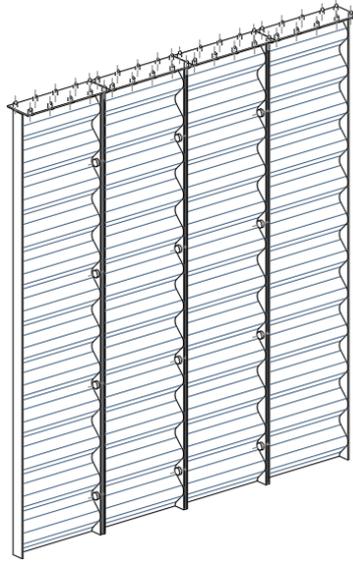


图 5.1.1-1 法兰连接方案整体布置图

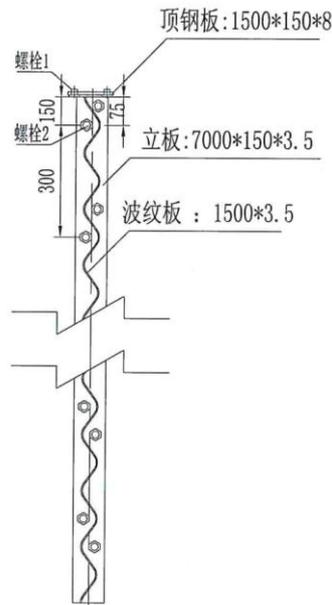


图 5.1.1-2 钢波纹板铆接示意图（钢波纹板侧面图）

4 钢波纹板均在工厂预制完成，运输至现场铆接安装。单个钢波纹板为整体成型，工厂预制时不允许拼焊以保证密封性。

5 钢波纹板顶部与风道拱顶预留钢板进行铆接，底部采用现浇方式固定，如图 5.1.1-3 所示。相邻钢波纹板间可夹垫耐火密封填充物，起到防漏风、减震作用，高温风险区需喷涂耐污染防火涂料。



图 5.1.1-3 钢波纹板与风道底部连接断面图

5.1.2 采用搭接或其他方式连接时，其连接强度与密封性能应满足设计及使用要求。

5.1.3 钢波纹板的跨度、波纹参数（波高、波距）及板材厚度，应结合风道的通风量、排烟温度、气流速度等功能技术指标计算确定，确保结构在通风排烟工况下的刚度和稳定性；

## 5.2 通风阻力系数

5.2.1 钢波纹板隔墙风道的通风阻力由沿程阻力和由法兰引起的局部阻力组成，依据《公路隧道通风设计细则》（JTG T D70 2-02-2014）其通风阻力可按 5.2.1 公式计算：

$$h_w = h_f + h_j = \frac{\rho v^2}{2} \times \left( \frac{\lambda L}{D} + \xi \times n \right) \quad (5.2.1)$$

式中： $h_w$ ——隧道风道总通风阻力，Pa；

$h_f$ ——隧道风道沿程阻力系数，Pa；

$h_j$ ——隧道风道局部阻力系数，Pa；

$\lambda$ ——隧道风道通风沿程阻力系数；

$L$ ——风道长度，m；

$\rho$ ——井内空气密度， $\text{kg/m}^3$ 。

$v$ ——平均风速，m/s；

$D$ ——断面当量直径，m；

$\xi$ ——隧道风道局部阻力系数；

$n$ ——法兰数量；

5.2.2 钢波纹板隔墙的风道沿程阻力系数按 5.2.2-1 公式计算：

$$\lambda = \frac{1}{(1.1138 - 2 \lg \frac{\Delta}{D})^2} \quad (5.2.2-1)$$

$$\Delta = \frac{\Delta_{\text{钢}} \times l_{\text{钢}} + \Delta_{\text{砼}} \times l_{\text{砼}}}{l_{\text{钢}} + l_{\text{砼}}} \quad (5.2.2-2)$$

式中： $\Delta$  —— 平均壁面绝对粗糙度，m；其中混凝土壁面取值与镀锌板壁面取值见表 5.2.2，采用按长度平均的办法求得风道壁面平均粗糙高度，见式 5.2.2-2；

$\Delta_{\text{钢}}$  —— 镀锌钢板壁面绝对粗糙高度，m；

$\Delta_{\text{砼}}$  —— 混凝土壁面绝对粗糙高度，m；

$l_{\text{钢}}$  —— 风道断面中镀锌钢板长度，m；

$l_{\text{砼}}$  —— 风道断面中混凝土壁面长度，m；

表 5.2.2 平均壁面绝对粗糙度

壁面材料及特征		$\Delta$ (mm)
混凝土壁面	抹平度良好	0.3~0.8
	抹平度一般	2.5
	粗糙	3~9
镀锌钢板壁面	光滑	0.15
	喷刷涂料	0.3~0.8*

注：\*由于运输及施工工艺等问题，且工程实际中常在镀锌板表面涂附防火漆等涂料，实际工程中镀锌板难以达到理想的光滑程度，对该类镀锌板考虑对标抹平良好的混凝土壁面，采用绝对粗糙高度为 0.3~0.8mm。

5.2.3 局部阻力系数按 5.2.3 公式计算，其具体计算方法参见条文说明：

$$\xi = f(S) \quad (5.2.3)$$

式中： $S$  —— 法兰阻碍百分比，即法兰面积与断面面积的比值，%。

## 5.3 耐高温

5.3.1 火灾发生时，排风道内的温度分布与火灾规模、排风风速及连接风道长度等因素有关。风道内可能出现的温度极值应按下述方法确定，并作为防火设计的依据：

1 宜优先采用经过验证的数值模拟方法进行计算分析，其具体参数设置应与实际工程相符，其火灾最大热释放率应参考《公路隧道通风设计细则》(JTGT D70 2-02-2014)；

2 当缺乏计算条件或工程有特殊要求时，可通过实体试验或模型试验测定；

3 对于一般工程，也可参照具有类似火灾场景、通风条件及风道构造的成熟工

程案例或试验数据综合确定。

5.3.2 风道靠近火源处的钢波纹板应采用耐高温金属涂层和防火涂料复合防护，风道常规通风段的钢波纹板应选用耐高温金属涂层。耐火极限应符合《建筑防火通用规范》（GB 55037-2022）的相关规定。

## 5.4 耐久性

5.4.1 钢波纹板隔墙耐久性设计需综合考虑防腐、抗疲劳、防火、耐候性等要素，需要满足《钢结构设计标准》（GB 50017-2017）、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》（GB 50018-2002）等相关规范的要求。

5.4.2 镀锌钢波纹板在隧道风道环境中的使用年限应根据年均损耗速率及最小允许镀层厚度综合评估后确定。

## 6 施 工

### 6.1 施工流程

6.1.1 在进行风道钢波纹板隔墙施工前，应全面熟悉设计文件及地质勘查报告，开展现场踏勘并核对施工图，进行初步施工测量，全面了解施工环境与现场条件。

6.1.2 施工现场所需测试仪器主要包括空气温湿度测量仪、风速测量仪、一氧化碳（CO）测量仪、二氧化氮（NO<sub>2</sub>）测量仪及烟雾浓度测量仪等。

6.1.3 需调查当前隧道施工情况，掌握风道与主隧道的基本信息，包括以下内容：

- 1 导洞净空尺寸和断面面积。
- 2 隧道所处公路交通量调查预测、包括近期和远期情况。
- 3 风道内温湿度、氧气浓度等环境参数。
- 4 隧址的海拔高度及其所在区域的气候特征。

6.1.4 特长隧道风道钢波纹板隔墙施工工法（以下简称“本工法”）的施工流程如图 6.1.4 所示。

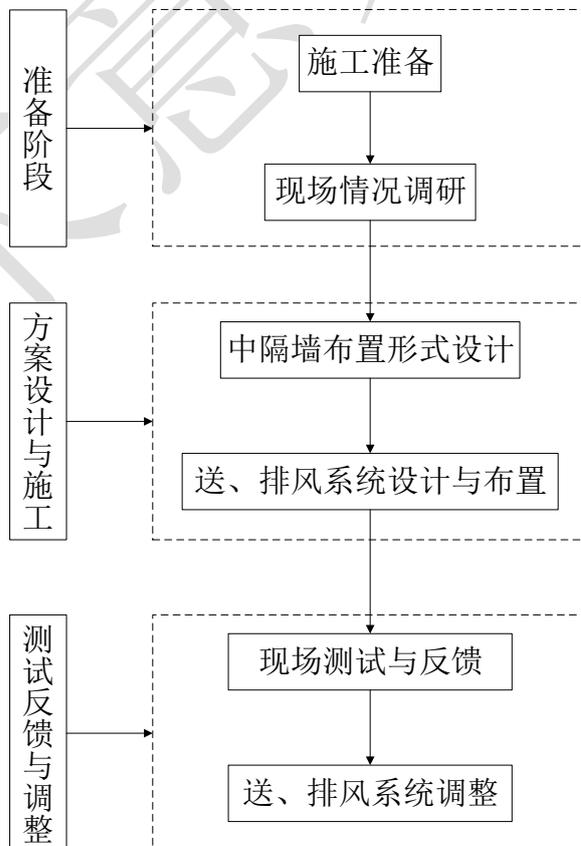


图 6.1.4 施工流程图

6.1.5 钢波纹板隔墙的放置和固定主要包括以下步骤：

- 1 测设放线：根据设计要求进行导洞内的测量放样；
- 2 材料布置：将预制的钢波纹板按设计位置沿导洞纵向布置；
- 3 初步固定：采用临时连接方式对钢板进行初步定位固定；
- 4 最终固定：通过铆接或螺栓连接等方式，将钢波纹板之间及其与导洞结构连接牢固，确保隔墙稳定可靠。

## 6.2 施工场地

6.2.1 施工场地应满足下列要求：

- 1 应具备材料存放、设备作业与人员通行的基本条件，并合理分区。
- 2 应设置供电、照明、排水等临时设施，并落实防雨、防尘、防火措施。
- 3 作业区地面应坚实平整，并设置安全警示标志。

6.2.2 针对高海拔、潮湿和导洞断面狭窄等特殊施工环境，施工应满足下列要求：

- 1 高海拔地区应配备高原型设备及供氧装置，作业人员应经适应性培训。
- 2 潮湿环境应加强排水，必要时设置排水沟与防潮设施。
- 3 狭窄断面应优化施工流程与设备尺寸，保障安全与效率。

## 6.3 施工风险管理

6.3.1 施工单位应严格贯彻执行国家及地方有关安全生产的法律法规和标准规范，包括《中华人民共和国安全生产法》《建设工程安全生产管理条例》及相关行业规定，确保施工活动合法合规。

6.3.2 施工现场应配备专职安全管理人员，建立健全安全责任制度，开展作业前安全技术交底与风险告知，及时消除各类安全隐患，做到安全管理闭环控制。

6.3.3 所有施工设备应由机械技术人员在使用前进行检查和保养，确保限位、制动、保险、防护装置齐全有效，运行状态良好，严禁带病运行。

6.3.4 专用机械操作人员必须经培训合格并持证上岗，严格按照操作规程作业，严禁违章指挥和违章作业。

6.3.5 钢波纹板安装过程中应固定操作及指挥人员，统一作业信号，指挥及时、准确、果断，防止因信息混乱导致操作失误。

6.3.6 施工期间应确保通风系统持续有效运行，隧道内最小换气频率不得低于每

小时 3 次，纵向通风风速不得低于 1.5 m/s。

6.3.7 应定期检测隧道内空气中 CO、NO<sub>2</sub>浓度及氧气浓度，确保作业环境安全，必要时应设专用气体监测仪并配备应急通风设备。

6.3.8 针对高海拔、潮湿、断面狭小等特殊环境，施工单位应选用高原型设备、设置排水及除湿设施，并对作业人员进行高原适应性培训及健康检查。

6.3.9 施工过程中应落实扬尘控制、防噪处理及材料有序堆放措施，洞内作业人员须佩戴防尘口罩，保持施工现场整洁有序。

## 6.4 质量控制标准

6.4.1 材料设备进场时应查验其合格证书、出厂检验报告等质量证明文件，必要时按规范要求抽样检测，确认其性能符合设计与规范要求。

6.4.2 钢波纹板、型钢、高强螺栓、防火涂料等关键材料应按规范进行进场验收，记录批次、数量、检验情况并归档备案。

6.4.3 钢波纹板隔墙安装应由具备相应资质的施工单位完成，涉及焊接、螺栓连接等特殊工种作业人员应持证上岗，并通过专业培训。

6.4.4 钢波纹板安装应满足设计图纸要求，施工过程中应确保板面平整、接缝严密，整体结构稳定可靠，防止新鲜风流与污染风流混合。

6.4.5 安装质量应符合以下规范要求：《钢结构设计标准》（GB 50017-2017）、《钢结构施工规范》（GB 50755-2012）、《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205-2017）、《钢结构高强度螺栓连接技术规程》（JGJ 82-2011）、《钢结构焊接规范》（GB 50661-2011）。

6.4.6 防火涂料应符合《钢结构防火涂料》（GB 14907-2018）等规范要求，并满足设计防火时间，膨胀型涂层厚度不小于 1.5 mm，非膨胀型不小于 15 mm，喷涂应均匀，无漏涂、起皮、开裂等现象。

6.4.7 换气频率应满足每小时至少 3 次的最小要求，采用纵向通风时，换气风速不应小于 1.5 m/s，以维持施工环境气体浓度在安全限值以内。

## 7 验 收

### 7.1 材料验收

7.1.1 钢波纹板出厂时应进行出厂检验，检验项目应按照中华人民共和国国家标准《冷弯波纹钢管》（GB/T34567-2017）中第 9 条检验规则的内容进行检验，产品需检验合格并附有产品质量合格证书。

7.1.2 钢波纹板与周边钢板如采用焊接工艺，应在工厂按标准化焊接，焊缝等级为二级。

7.1.3 各单元之间采用螺栓连接，螺栓采用 M20 热镀锌高强螺栓，性能等级需达到 10.9 级，抗拉强度 $\geq 1040\text{MPa}$ 。

### 7.2 外观验收

7.2.1 风道钢波纹板隔墙应表面平整、顺滑，无碰撞挤压变形、边角损伤。

7.2.2 钢波纹板构件的长度、高度和厚度应满足设计要求，制造误差不应超过以下限值：长度与高度的允许偏差为 $\pm 5\text{ mm}$ ，厚度的允许偏差为 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

7.2.3 四周法兰结构即连接钢板的宽度、高度和厚度应满足设计要求，制造误差分别不应超过 $\pm 5\text{ mm}$ 、 $\pm 5\text{ mm}$  和  $\pm 0.2\text{ mm}$ 。

7.2.4 钢波纹板单元安装垂直度需满足《钢结构工程施工质量验收规范》（GB 50205-2001）中第 11.3 安装和校正的要求，即主体结构的整体垂直度 $\leq 50\text{mm}$ 。

### 7.3 密闭性验收

7.3.1 钢波纹板隔墙的密闭性应采用漏风率法检测，按维持正常运营条件下的风量确定泄漏量。

7.3.2 钢波纹板隔墙每 100m 的平均漏风率不应大于 2%。

### 7.4 耐久性验收

7.4.1 镀锌钢波纹板隔墙应检测镀锌层厚度，检测方法宜采用磁性测厚法，其厚度应符合设计和相关标准要求。

7.4.2 对采用表面补充涂装或喷涂沥青的隔墙，应检测涂层厚度及均匀性，检测结

果应符合设计及现行《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722）的规定。

征求意见稿

## 8 运营维护

### 8.1 日常巡检与定期检查

8.1.1 巡检频率：日常巡检频率不得低于 1 次/d。在雨季、冰冻季节和极端天气条件下，应适当增加巡检频率。钢波纹板隔墙的巡检可与隧道巡检同步进行。

8.1.2 检查内容：日常巡检应重点检查以下部位：

- 1 钢波纹板表面是否出现裂纹、破损及镀层剥落；
- 2 连接件是否松动、螺栓是否缺失或脱落；
- 3 防火层或防火涂料是否有脱落、开裂等现象。

8.1.3 检查方法与记录：巡检可采用人工检查与信息化监测相结合的方式。发现异常情况时，应及时记录，并附以影像资料。

### 8.2 防腐与防火维护措施

8.2.1 钢波纹板表面镀锌层应定期检测外观及厚度。当发现局部锈蚀或镀层厚度低于设计值时，应及时进行除锈和补锌处理，必要时可采用富锌涂料修补。严重腐蚀时，应更换受损构件。

8.2.2 防火涂层应定期开展厚度检测，检测方法宜采用测厚仪。若发现厚度不足、涂层开裂或脱落，应及时进行表面处理并修补，修补后涂层厚度应满足设计和相关标准要求。

8.2.3 在高湿、高海拔等特殊环境中，应缩短防腐与防火层的检测周期，必要时增加涂层保护措施，如涂装耐候涂料或增加密封保护。对容易产生冷凝水的部位，应重点检查并采取排水、防凝措施。

### 8.3 清洁与环境控制

8.3.1 钢波纹板隔墙及其连接件应定期清洁。清洁频率可结合隧道通风系统运行情况确定，一般不应少于 1 次/半年。在多尘环境或有积水、凝露等情况时，应适当增加清洁频率。

8.3.2 清洁作业应清除隔墙表面灰尘、油污及腐蚀产物，保持表面干燥、整洁。不得使用对镀锌层、防火涂层有破坏作用的强酸、强碱或硬质工具。清洁后应检查密封部位和连接件，若发现松动、涂层脱落或锈蚀，应及时处理。

## 用词说明

为便于在执行本标准(特征名)条款时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

中国工程建设标准化协会标准

公路隧道风道钢波纹板隔墙技术规程

TCECS XXX-20XX

条文说明

# 1 总 则

1.0.1 近年来，随着绿色低碳理念的推广和施工效率要求的提高，钢波纹板隔墙作为传统混凝土隔墙的替代方案，在多条公路隧道风道中得到应用。为规范其设计计算方法和施工技术要求，确保工程质量与运行安全，制定本规程。

1.0.5 波纹板结构及其构件形式多样。其中，钢波纹板隔墙不同于一般承重结构，主要应用于风道中，作为气流分隔构件。在采用本规程进行结构设计时，应充分考虑建筑工程、公路工程、交通工程与市政工程之间的差异，并符合国家现行相关标准的规定。

征求意见稿

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 钢波纹板隔墙具有施工周期短、节能减碳等优点，适合在公路隧道施工与运营期使用。由于钢材在高湿或强腐蚀环境下易发生锈蚀，影响结构耐久性，因此在此类环境中不宜采用。

3.1.2 钢波纹板隔墙布设形式灵活，可根据隧道送风或排烟需求进行调整。合理的布置可减少风道截面积损失，提高气流组织效率，同时便于安装与后期维护。

3.1.3 钢波纹板隔墙并非承重构件，设计时仅考虑自重与风荷载作用即可。当工程需要隔墙兼顾承重功能时，应在设计中增加加强筋、支撑件等构造措施，并通过计算确认安全可靠。钢波纹板隔墙仍满足《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018-2002)中关于构件挠度的相关规定，以保证其结构稳定性与变形控制。

### 3.2 钢波纹板隔墙类型及规格

3.2.3 钢波纹板的几何尺寸精度直接影响隔墙拼装质量及气密性能。壁厚应符合国家现行钢材标准，波距、波高及长度、宽度的允许偏差范围根据工程实际及施工经验确定。

### 3.3 结构设计基本要求

3.3.1 钢波纹板隔墙为轻型结构，主要受力为自重和通风荷载。地震作用应按照国家现行公路工程相关标准进行计算，以保证结构安全性。

## 4 材 料

### 4.1 主体材料

4.1.1 钢波纹板作为主体材料，其厚度对结构刚度与耐久性影响显著，因此规定厚度不得出现负偏差，以保证安全储备。

### 4.6 防火材料

4.6.1 为明确镀锌钢波纹板在隧道火灾高温条件下的适用性，进行了温度从 100°C 至 400°C 的热镀锌钢片烘烤试验，结果显示：250°C 以下，即使 9 小时高温作用，钢板表面形貌、质量损失、化学组成均变化不明显；250°C~350°C 之间，单位面积质量损失略有增加（约 1%），但结构稳定性保持良好；达到 400°C 时，钢板表面光泽与镀层结构发生显著改变，镀层完整性遭到破坏。因此，建议：将 250°C 作为热镀锌钢波纹板安全使用的性能边界温度；对于 250~350°C 的火灾热影响区，采取加强监测、设置防火涂层或局部更换材料等措施；工程设计中应结合通风优化策略，将高温区隔离或远离中隔墙布置区域，确保结构的长期安全。

4.6.2 表 4.6.2 中技术参数的检测依据如下：

1 耐水性/耐酸性：按《漆膜耐水性测定法》（GB/T 1733）及《漆膜耐化学试剂性测定法》（GB/T 9274）执行，试板浸泡后无起泡、脱落现象。

2 附着力：依据《色漆和清漆 漆膜的划格试验》（GB/T 9286）评定，≤1 级指切割边缘完全光滑，无方格脱落。

3 耐火性能：按《建筑构件耐火试验方法》（GB/T 9978.1）进行标准火灾曲线测试，耐火极限≥2h 时背火面平均温升≤140°C。

## 5 设 计

### 5.1 连接方式

5.1.1 本条推荐采用法兰连接的全拼装式安装方式，其中单个钢波纹板由连接钢板（法兰）与钢波纹板面一体成型。该方式可在工厂完成钢波纹板整体加工，提高构件精度与密封性能，现场仅需铆接安装，施工效率高、漏风风险低。同时，相邻钢波纹板间填充耐火密封材料，有助于提升整体防火和减震性能，适用于存在高温或气密性要求的风道工程。

### 5.2 通风阻力系数

5.2.1 本条给出了钢波纹板式隔墙所在风道的通风阻力计算方法，主要包括沿程阻力和局部阻力两部分。公式中的结构形式假设为典型的直线型通风段，未考虑高度差引起的静压项，适用于无高差或近似水平布置的风道结构。该表达式为常见的风阻模型，可直接用于初步设计、计算分析和通风系统方案比选。

5.2.2 沿程阻力系数的计算采用经典的绝对粗糙度经验公式，适用于湍流状态下的圆管或近似圆管通风段。考虑风道结构常由钢板与混凝土混合构成，需采用加权平均法计算整体壁面粗糙度。表中所列粗糙度取值参考国内外相关工程经验，并结合钢板表面处理方式进行调整，具有工程可操作性。

5.2.3 局部阻力系数主要由法兰连接结构引起，其大小与法兰在通风断面中所占面积（即法兰障碍百分比）密切相关。为明确该关系，开展了 1:10 缩尺模型试验，采用雷诺准则作为相似准则，并建立了原型与模型的流动相似性。试验基于钢波纹板式隔墙法兰连接结构，系统测试了不同法兰间距与法兰阻碍比下的局部阻力变化，提出了以阻碍率为变量的经验拟合公式如下，该公式可用于估算单个法兰结构在典型连接形式下引起的局部阻力系数，该公式虽受到模型制作和参数估计误差影响，但总体拟合效果良好，具备一定的工程参考价值。在缺乏实测数据时，推荐使用上述经验公式对局部阻力进行初步估算，并在重要工程中结合试验或数值模拟进行验证和修正。

$$\xi = 0.0041S - 0.0023 \quad (5.2.3)$$

### 5.3 耐高温

5.3.1 本条基于 FDS (Fire Dynamics Simulator) 数值模拟结果, 总结了典型风道结构在不同火灾工况、风速及风道长度下的排风道内温度极值分布, 具体可参照表 5.3.1-1。计算过程中提取了排风道中关键切面温度的最大值, 形成火灾温度参考表, 用于评估中隔墙高温环境下的热适应性。模拟工况涵盖火灾热释放率为 20MW、30MW 和 50MW 三种典型等级, 风速取 5m/s、10m/s、15m/s, 连接风道长度分别为 50m、100m、150m。在所有工况中, 极端温度出现在 50MW、5m/s、50m 的条件下, 为 247.94°C。

5.3.1 火灾极值温度参考表

火灾规模 (MW)	排风风速 (m/s)	连接风道长度 (m)	检测面最大极值温度 (°C)
20MW	5	50	119.42
		100	99.81
		150	87.67
	10	50	94.37
		100	81.36
		150	72.22
	15	50	95.16
		100	65.81
		150	58.05
30MW	5	50	165.32
		100	133.55
		150	116.55
	10	50	139.34
		100	112.41
		150	98.42
	15	50	125.72
		100	84.02
		150	76.57
50MW	5	50	247.94
		100	194.88
		150	164.58
	10	50	190.78
		100	157.97
		150	137.97
	15	50	156.63
		100	124.27
		150	111.64

## 5.4 耐久性

5.4.1 基于鹧鸪山隧道通风平导内钢波纹板的现场实测结果在此提供年均腐蚀失厚率参考值。该隧道位于四川西部高原地区，环境湿度较高、气流频繁、腐蚀性气体有限，代表了典型的高原地区风道运行工况。实测中对隔墙钢波纹板及连接法兰部位的镀锌层厚度进行取样检测，结合服役年限推算，得到年均腐蚀失厚速率约为  $0.35\ \mu\text{m}/\text{a}$ 。该数据可为类似环境条件下的钢波纹板防腐耐久性设计提供参考。建议在具体工程中根据环境类别调整或通过现场监测进行校核。

5.4.2 本条推荐使用年限是以 5.4.1 条所给的年均损耗速率为基础，结合标准要求的最小有效镀层厚度进行反推得出。在设计厚度为  $84\ \mu\text{m}$ 、最小有效厚度为  $50\ \mu\text{m}$  时，可计算钢波纹板合理使用年限接近 100 年。对于高湿、高污染或强腐蚀环境，建议缩短设计使用年限，或采用增强型耐候钢材、防腐涂层等手段延长寿命。同时应建立定期检测和维护机制，监测镀层变化情况，以确保其在全寿命周期内的可靠性和安全性。

## 6 施 工

### 6.1 施工流程

6.1.4 施工过程中一些步骤的具体内容如下：

1 中隔墙布置形式为“钢波纹板全拼装式”的整体拼装。具体而言，中隔墙由钢波纹板纵向分块拼接而成，每块钢波纹板由工厂预制而成，并且四周设置连接钢板作为铆接端。

1) 钢波纹板参数需要依据相关规范和现场实际情况计算确定。主要包括：钢板厚度、波距（相邻两个波峰或波谷之间的距离）、波深（波峰与波谷之间的垂直距离）。单个钢波纹板四周采用连接钢板互相拼接而成，且连接钢板与钢波纹板整体预制而成。

2) 每块钢波纹板长度取值需要根据施工便捷性和钢板纵向稳定性确定，一般取 1.5-2.0m。

3) 钢波纹板顶部与风道拱顶预留钢板进行铆接，底部采用现浇方式固定。

2 送、排风系统设计与布置的详细设计如下：

1) 通过近期和远期的交通量，计算送、排风风道的需风量，以及最小风速值。

2) 通过数值模拟，计算主洞在最不利火灾情况下需要的通风风量和风速。

3) 通过需风量和通风距离进行反复计算比较，得到最优风机参数。

4) 考虑到经济效益，并结合现场情况，设计出最适合的送、排风系统。

5) 根据送、排风系统设计内容，为现场选配风机。

6) 轴流风机布置于风道洞口。

3 完成以上设计布置后，应进行现场测试与反馈，进行通风并对隧道内各断面下风速、有害气体浓度进行现场测试。并通过统计分析，选取出数个最不利区间。

1) 测点应从风道内向外等间距取测试断面，间距宜取 50m；然后将各个断面均匀分成若干个小面  $A_i$ （数量根据断面大小而定），每个小面的形心作为一个测试点。每个测点测试 5 次，取平均值作为该小面的测试值  $v_i$ ，后通过以下公式确定该断面的测试值。

$$v = \frac{v_1 \times A_1 + v_2 \times A_2 + \dots + v_i \times A_i}{A} \quad (5.4.1)$$

2) 通过统计分析现场断面风速测试数据，获得现场断面风速沿程曲线；然后将上述沿程曲线和预先设计风速值进行对比，寻找出数个最不利区间，作为下一步送、排风系统设计改进的选取点。最不利区间特征为：断面风速较小，且不稳定。

4 通过上一步最不利区间选取，获得数个区间，并得到相应区间的区间起始点里程桩号。在有必要的情况下，对风机配置进行调整。

征求意见稿

## 附录 A 质量检测方法

### A.1 材料及构件质量检测

A.1.1 钢波纹板的厚度、宽度、波形尺寸应采用游标卡尺或钢卷尺进行实测，每批随机抽检不少于 5 块，所测尺寸应满足设计及产品标准要求。

A.1.2 型钢与高强螺栓的力学性能应委托具备资质的第三方检测机构进行检测，检测内容包括屈服强度、抗拉强度、延伸率等，并提供相应检验报告。

### A.2 镀层质量检测

A.2.1 镀层厚度应使用相应的镀层厚度检测仪器进行抽检，每隔 10 m 设 1 点，且每道工序至少抽检 5 点，计算平均值。

A.2.2 镀层表面质量应目测检查，不应有剥落、鼓泡、裂缝、粉化等缺陷。

### A.3 检测结果处理

A.3.1 所有检测结果应形成原始记录、汇总表及评估报告，签字确认后归档保存。

A.3.2 检测结果如发现不符合项，应立即向项目负责人报告，并启动相应的整改流程，重新检测合格后方可继续后续工序。