

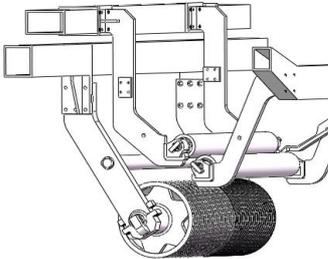
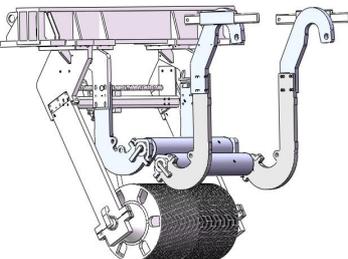
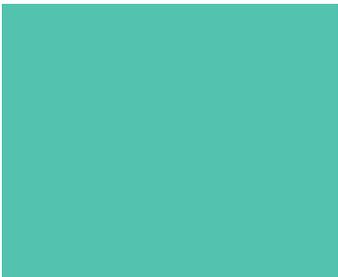


首钢顺义镀锌技术交流

锌锅辊系结构设计

上海隆锐新材料科技有限公司

2018年11月





- 1 锌锅辊系概述
- 2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系
- 3 锌锅辊系结构设计解析
- 4 典型机组锌锅辊系设计对比
- 5 好的辊系设计的判断标准
- 6 实例分析-某钢厂2xx机组问题和对策
- 7 首钢顺义锌锅辊系的提升建议



- 1 锌锅辊系概述
- 2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系
- 3 锌锅辊系结构设计解析
- 4 典型机组锌锅辊系设计对比
- 5 好的辊系设计的判断标准
- 6 实例分析-某钢厂2xx机组问题和对策
- 7 首钢顺义锌锅辊系的提升建议

1 锌锅辊系概述

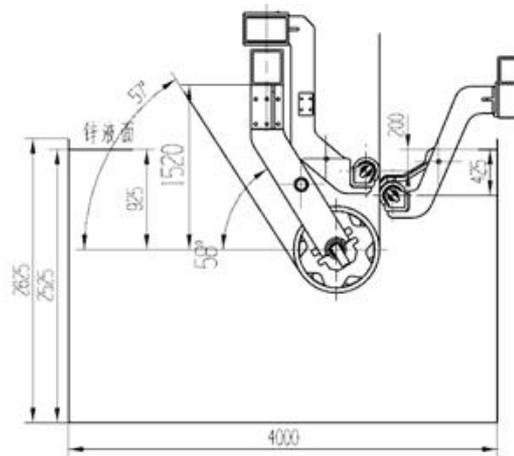
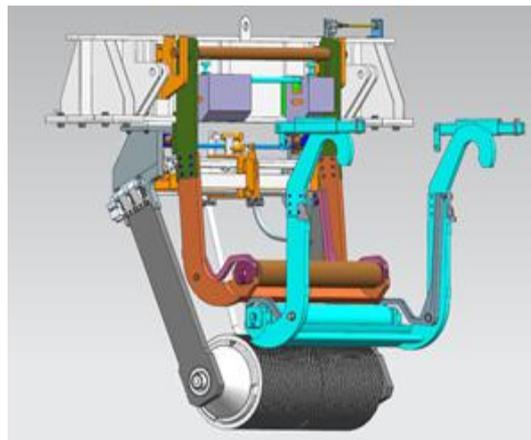
锌锅辊系，“三辊六臂二梁”的简称

锌锅辊系作用：

- (1) 带钢转向
- (2) 带钢定位
- (3) 保持张力
- (4) 防止C翘。

锌锅辊系问题包括以下：

- (1) 辊子自身机械设计问题
- (2) 辊面表面处理技术
- (3) 滑动轴承选型设计
- (4) 辊架的机械设计问题**
- (5) 浸液体材质问题



1 锌锅辊系概述



(1) 锌锅辊系的技术特点

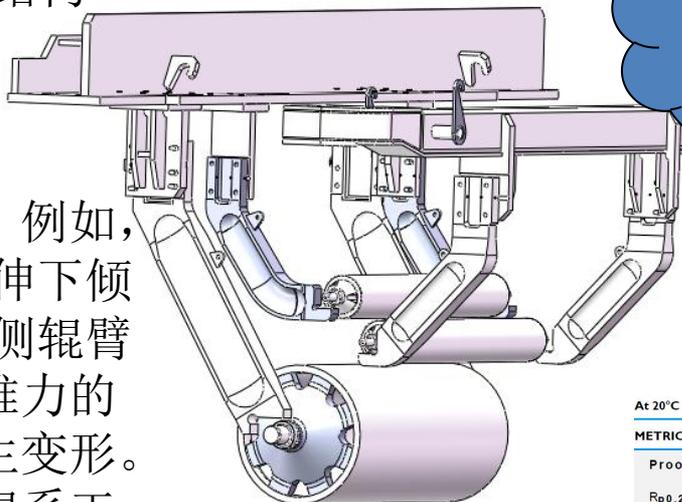
本质上，锌锅辊系和带钢一起构成“有间隙的机械弹性体结构”

三因素决定：

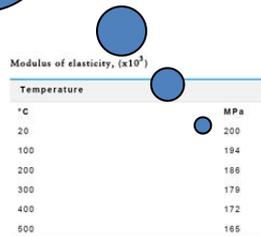
因素一：空间结构受限。例如，沉没辊辊臂设计全为“前伸下倾悬臂梁结构”，沉没辊单侧辊臂受到纵向大载荷和横向推力的共同作用，自身就易发生变形。

因素二，大间隙存在。辊系工作在高温金属液体中，此时只能采用滑动轴承，刚性严重下降。

因素三，材料“变软”。高温条件下，浸液辊系的材料力学性能下降明显。



316L 在460°C时，其屈服强度、抗拉强度、弹性模量分别下降了45%，40%，15%



At 20°C (68°F)

METRIC UNITS

Proof strength	Tensile strength	
R _{p0.2} ^{a)}	R _{p1.0} ^{a)}	R _m
MPa	MPa	MPa
≥205	≥240	515-690

Temperature °C	Proof strength		Tensile strength
	R _{p.02}	R _{p1.0}	R _m
	MPa	MPa	MPa
	min.	min.	min.
100	165	200	430
200	137	165	390
300	119	145	380
400	108	135	380
500	100	128	360

1 锌锅辊系概述



辊系辊架的受力特点

沉没辊辊架：带钢作用的合力，造成的弯曲变形-纵向变形和纵向刚性

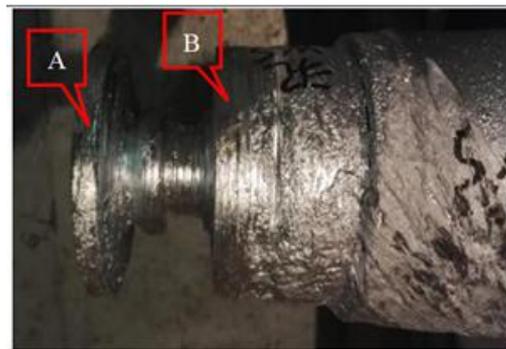
沉没辊横梁：承受带钢的作用力和扭矩

小辊子辊架：主要受带钢的水平推力作用。



好的受力

差的受力



沉没辊 WS 侧轴头



沉没辊 DS 侧轴头



- 1 锌锅辊系概述
- 2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系
- 3 锌锅辊系结构设计解析
- 4 典型机组锌锅辊系设计对比
- 5 好的辊系设计的判断标准
- 6 实例分析-某钢厂2xx机组问题和对策
- 7 首钢顺义锌锅辊系的提升建议

2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系



薄规格高速运行对锌锅辊系的稳定性要求越来越高

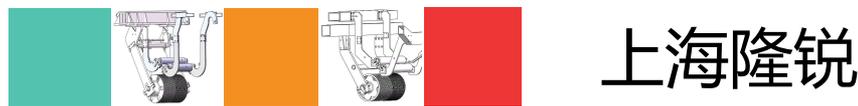
带钢高速生产条件下，如GI外板速度 $\geq 130\text{m/min}$ ，稳定生产出高品质镀层产品的能力，是制造水平整体提升的重要标志，包括工艺技术提升和装备技术提升。生产稳定性的技术提升，包括以下主要内容：锌锅控渣、有效铝、铁的控制；锌锅控灰、炉鼻子气氛；生产过程稳定包括：锌锭补充和锌液面稳定技术研究，锌浴表面自动清渣技术、气刀和电磁抑振技术研究，锌锅三辊六臂应用研究；

其中锌锅辊系相关技术是热镀锌机组提速系统研究的重要内容。带钢自炉鼻子进入到锌锅，经过沉没辊实现转向，之后经校正辊和稳定辊离开锌浴上行。这三根辊是在液态金属里面跟带钢直接接触的，因此对产品质量有着举足轻重的影响。沉没辊、校正辊、稳定辊工作中均浸入到锌浴中属于悬臂梁的设计。辊架上装有辊系，而辊子在高温金属液体中热膨胀不能忽略，同时辊子上受到带钢作用的张力，等等多种因素，使得辊子会对辊架有不规律的侧向力，此时辊架的纵向刚度如果弱，则会发生变形。辊架的变形，反过来又会直接影响到沉没辊轴头处的受力分布情况，容易造成衬套的单边磨损等情况。辊架存在着合理的结构设计问题。



- 1 锌锅辊系概述
- 2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系
- 3 锌锅辊系结构设计解析
- 4 典型机组锌锅辊系设计对比
- 5 好的辊系设计的判断标准
- 6 实例分析-某钢厂2xx机组问题和对策
- 7 首钢顺义锌锅辊系的提升建议

3 锌锅辊系结构设计解析



上海隆锐

认知：

对于“**沉没辊辊架**”，主要讨论其“**横向刚度**”和“**纵向刚度**”问题。对于“**稳定辊、矫正辊辊架**”，则主要讨论其“**纵向刚度**”问题，以保证其定位精确的能力。

分析：

对沉没辊辊臂纵向刚度的要求：第一，**单侧纵向刚度尽可能高**，也即辊架变形尽可能小。第二，既然是弹性体，**两侧变形无法避免，此时最好是协调**，即变形同步。对于第一点，取决于单侧辊臂自身的结构设计，比如辊臂纵向惯性矩截面选择，对于第二点，则取决于两侧辊臂的关联性设计，是独立的（“双胞胎”）还是相互耦合（“连体婴”）。现有大多数辊架设计是“双胞胎”，除了三菱。

沉没辊辊臂在带钢作用下，力的支撑点在横梁上，横梁抵抗扭转变形的能力很弱，实际上，结构设计上避免这一点，但辊臂弯曲刚度低，则横梁易发“扭振”。

对沉没辊辊臂横向刚度的要求，往往易被忽视。实际上，辊臂抗横向弯曲的能力也很重要，是“软肋”。尤其是纵向刚度弱时，辊架横向变形和纵向变形会相互关影响。横向刚性差，定位不准，影响滑动轴承配合，由此引发辊系振动带钢抖动。

对与稳定辊和矫正辊，其工作中主要受水平推力，辊架同样有纵向刚度和横向刚度问题。相比于沉没辊，从分析看，纵刚度是其主要关切点。技术要求是，第一，位置刚度要高，不能“让”。第二，辊子上受到力要适中且稳定，“矫正”效果好。



- 1 锌锅辊系概述
- 2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系
- 3 锌锅辊系结构设计解析
- 4 典型机组锌锅辊系设计对比
- 5 好的辊系设计的判断标准
- 6 实例分析-某钢厂2xx机组问题和对策
- 7 首钢顺义锌锅辊系的提升建议

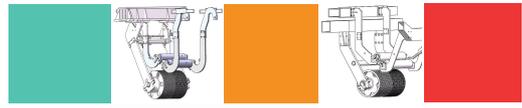


共有热镀机组13条。如下：

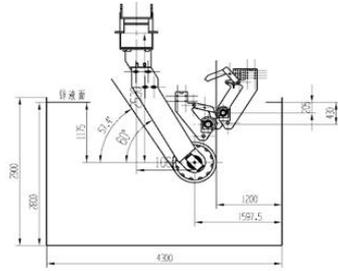
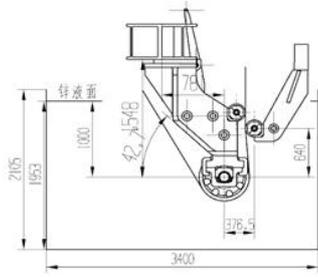
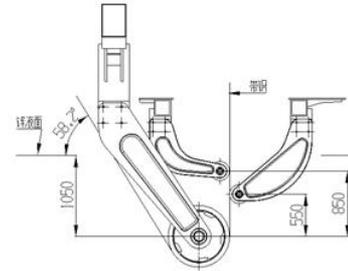
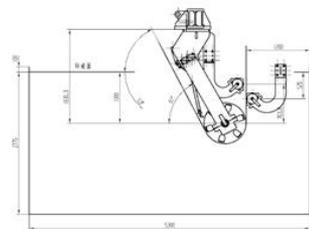
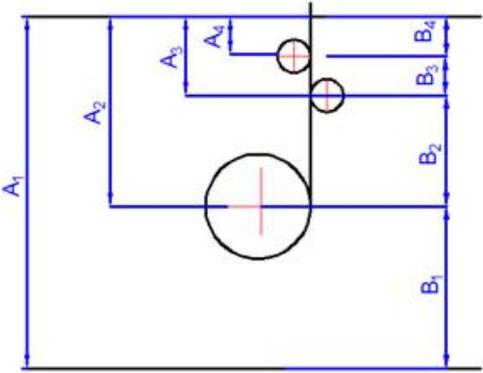
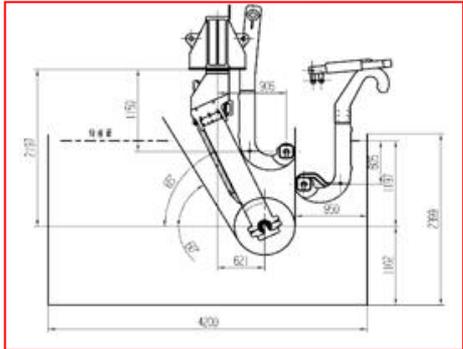
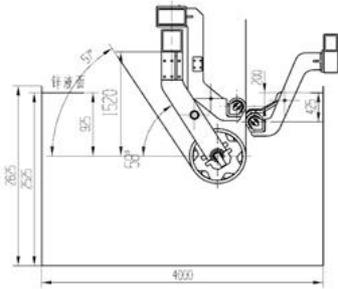
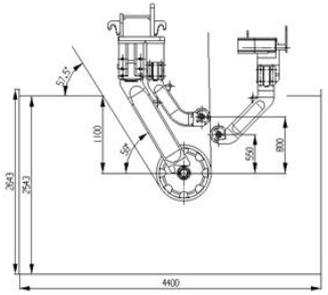
- Foen (欧洲) : 4条
- Posjet (韩国) : 1条
- Mitsubishi (日本) : 2条
- DUMA (欧洲) : 2条
- JFE (日本) : 1条
- NSC (日本) : 3条

每家选择一个机组进行分析





4.2.5 锌锅液面之下辊系布置对比

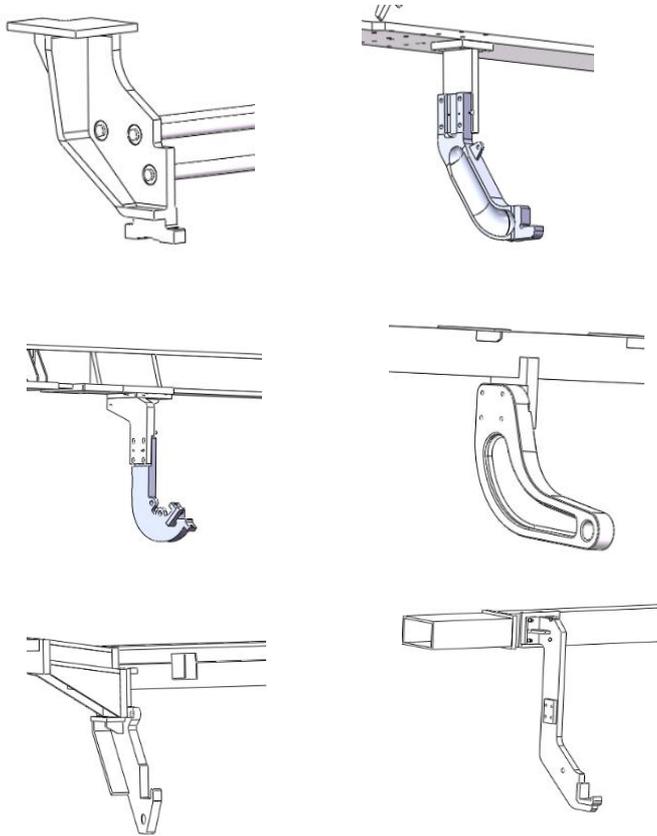
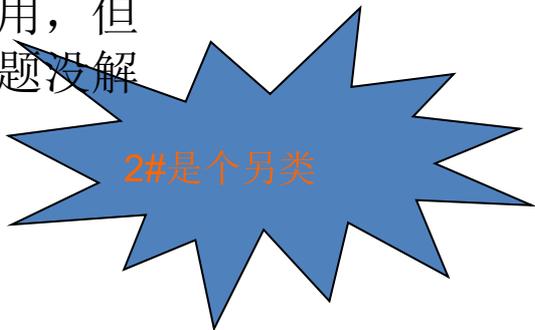
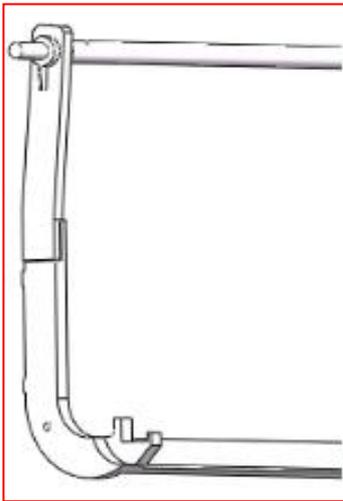




4.2.6 稳定辊设计对比

观察：

2# 机组稳定辊臂支撑结构设计初衷是为了方便调整，但是实际上这种多维的调节并不实用，还带来稳定辊及其支撑系统低刚性的缺陷。现场废弃不用，但低刚性的问题没解决



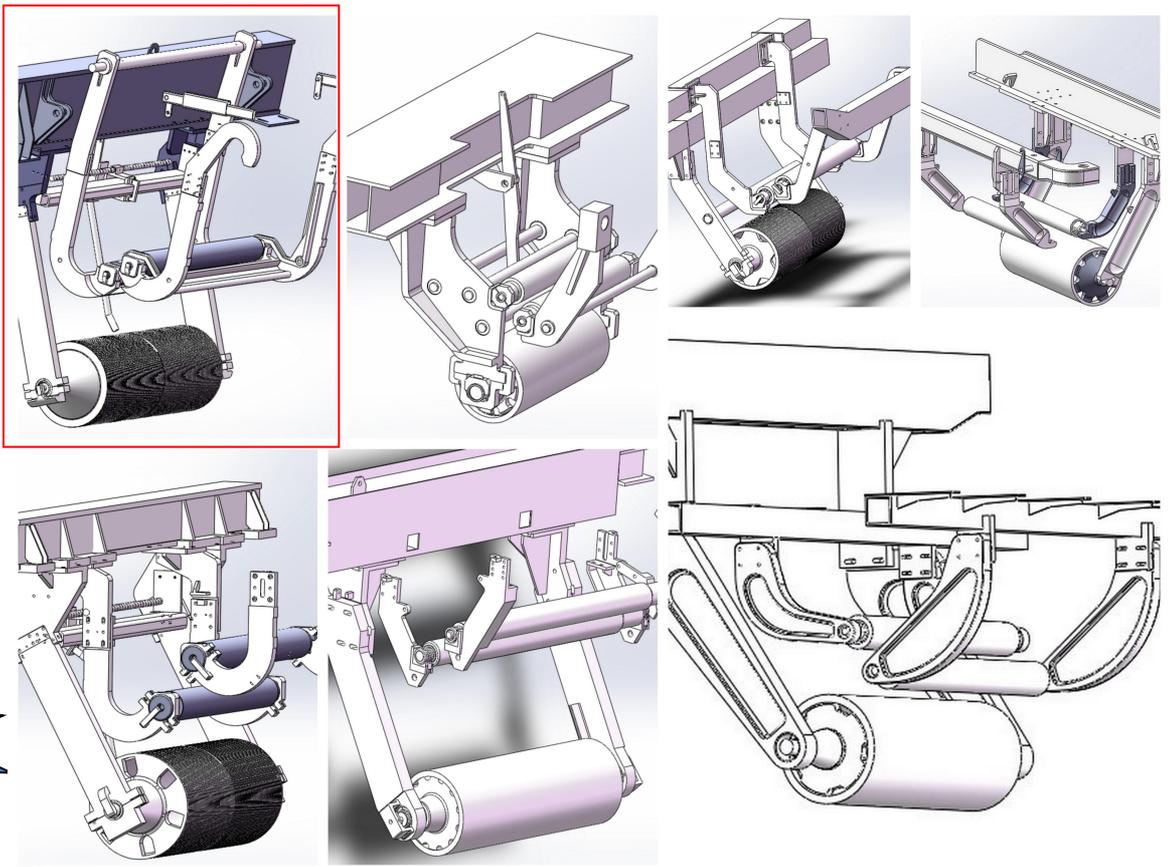


4.2.7 矫正辊设计对比

观察:

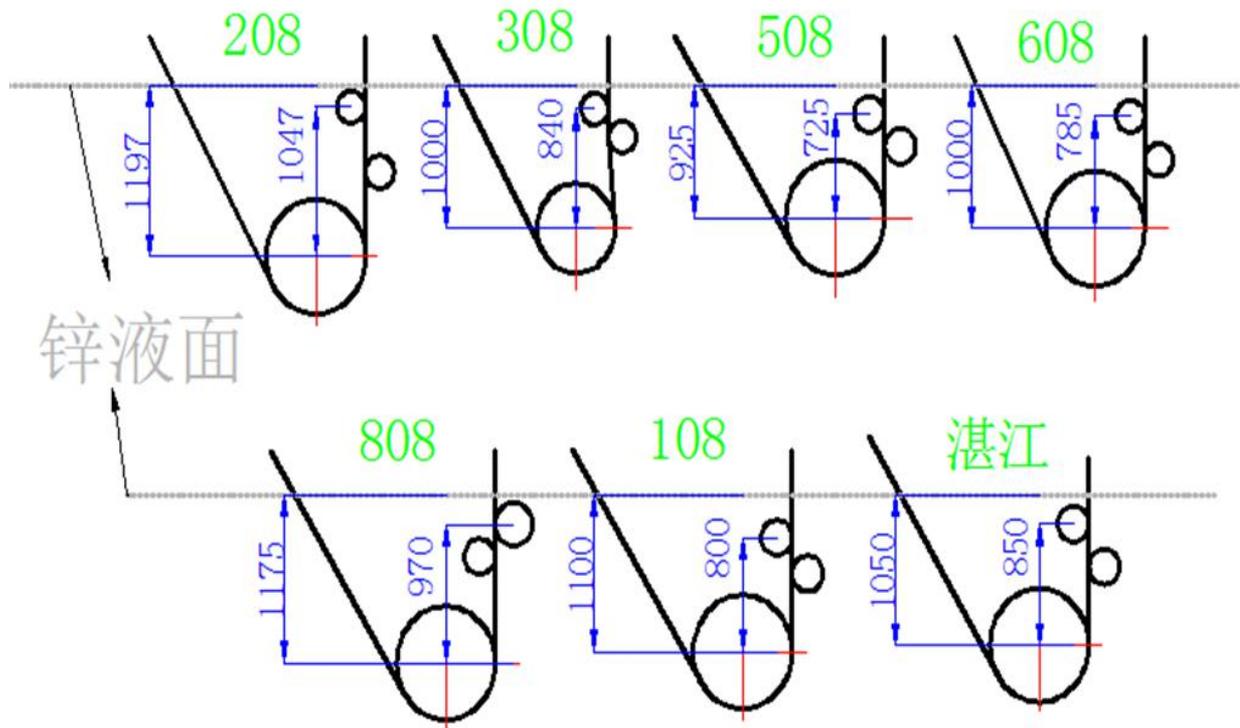
1, 仅**2#矫正辊**是转动, 其余均平动

2, FOEN在后期的设计中, 抛弃了转动, 采用了平动



2#是个另类

各机组辊轴线距锌液面高度比较



辊架其他参数比较



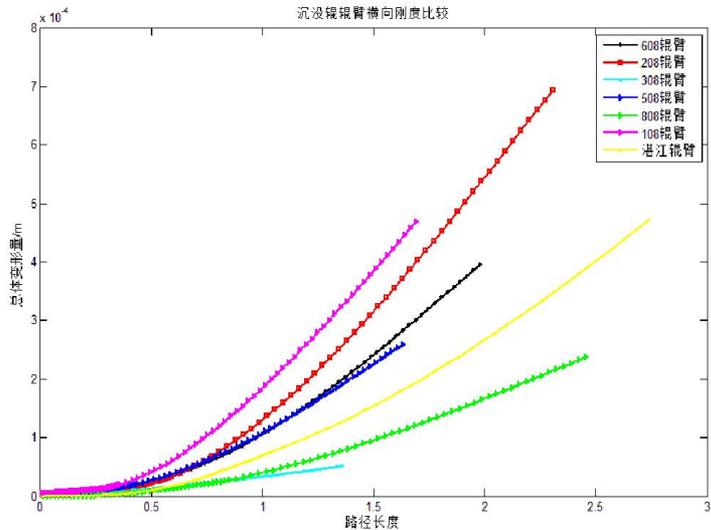
机组	参数	008	2#	308	508	808	108	湛江
	带钢入锌液面角度	63°	60°		57°	57.4°	57.47°	58.2°
	锌液深度A ₁	2775	2299	1953	2525	2800	2600	
	沉没辊深度A ₂	1000	1197	1000	925	1175	1100	1050
	矫正辊深度A ₃	520	605	360	425	205	550	500
	稳定辊深度A ₄	215	150	160	200	430	300	200
	沉没辊悬空B ₁	1775	1102	953	1600	1625	1543	
	沉-矫间距B ₂	480	592	640	500	970	550	550
	矫-稳间距B ₃	305	455	200	225	225	250	300
	三辊垂直间距(B ₂ +B ₃)	785	1047	840	725	970	800	850
	沉没辊直径	800	800	630	800	795	800	804
	矫正辊直径	230	230	225	250	250	250	250
	稳定辊直径	230	230	225	250	300	250	250

- ✓ 锌液面相对于沉没辊轴线高度大概1000mm，最大1197mm，最小925mm
- ✓ 沉没辊直径多在800mm左右，308机组沉没辊直径较小（630mm）；
- ✓ 稳定辊和矫正辊直径大多相同，且在225mm到300之间



沉没辊辊臂横向刚度分析

沉没辊横向变形曲线



对比：2#机组的沉没辊辊臂变形程度和最大变形量最大，608的变形次之。

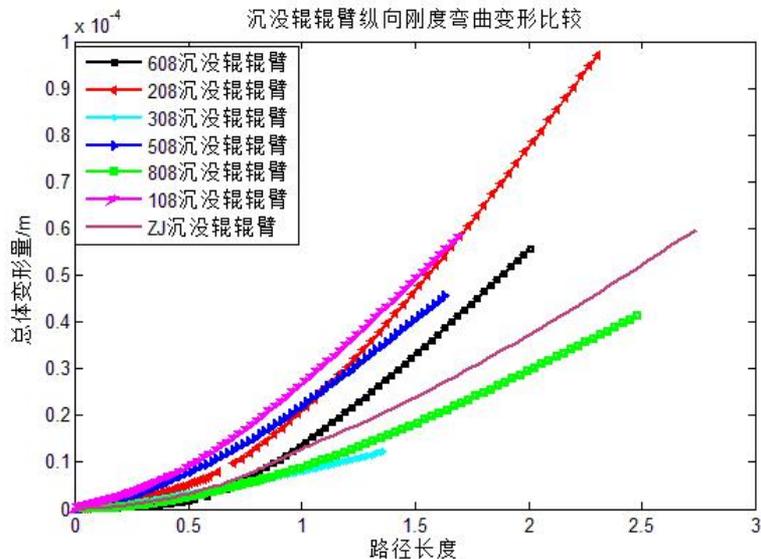
机组号	沉没辊辊臂截面尺寸	Y轴形心主惯性矩 I_y/mm^4	Y轴抗弯截面模量 W_y/mm^3	X轴形心主惯性矩 I_x/mm^4	X轴抗弯截面模量 W_x/mm^3
208 /608 /508		$\frac{2.5 \times 10^7}{1}$	$\frac{0.5 \times 10^6}{1}$	$\frac{2.25 \times 10^8}{1}$	$\frac{1.5 \times 10^6}{1}$
808		$\frac{9.1 \times 10^7}{3.6}$	$\frac{1.3 \times 10^6}{2.6}$	$\frac{7.5 \times 10^8}{3}$	$\frac{3.75 \times 10^6}{2.5}$
108		$\frac{2.1 \times 10^7}{0.84}$	$\frac{0.3 \times 10^6}{0.6}$	$\frac{2.5 \times 10^8}{1.11}$	$\frac{1.67 \times 10^6}{1.11}$
湛江	 (截面渐变, 此为接近辊臂中间截面)	$\frac{5.8 \times 10^7}{2.32}$	$\frac{0.725 \times 10^6}{1.45}$	$\frac{9.8 \times 10^8}{4.35}$	$\frac{4.35 \times 10^6}{2.9}$

原因： 1) 2#和608的辊臂较长
2) 抗弯截面模量小



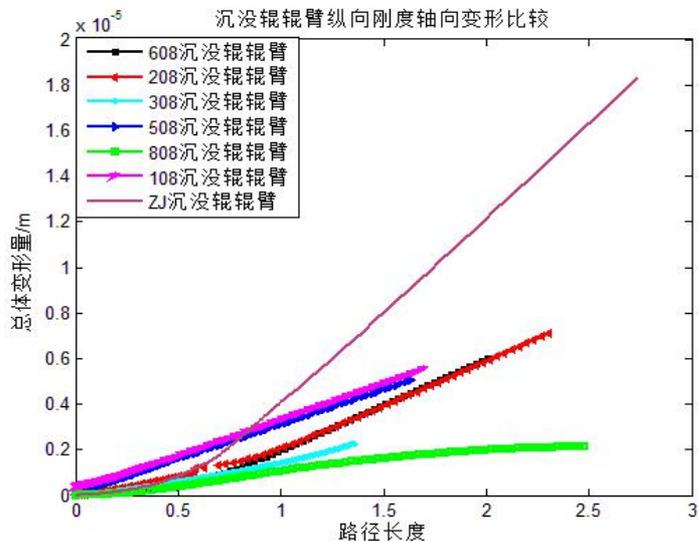
沉没辊辊臂纵向和轴向刚度分析

沉没辊辊臂纵向变形曲线



- ✓ 2#机组沉没辊辊臂的变形程度最大，其辊臂的纵向刚度差。
- ✓ 608和108机组的辊臂相近，刚度之差仅次于2#机组。
- ✓ 纵向刚度弯曲变形结果最优的仍然是308机组和808机组。

沉没辊辊臂轴向变形曲线



- ✓ 湛江机组刚度相对弱，原因：辊臂结构薄弱，辊臂根部变形程度严重
- ✓ 2#和608的沉没辊辊臂变形程度也较大，距辊臂根部0.8米处
- ✓ 308机组和808辊臂轴向刚度最优

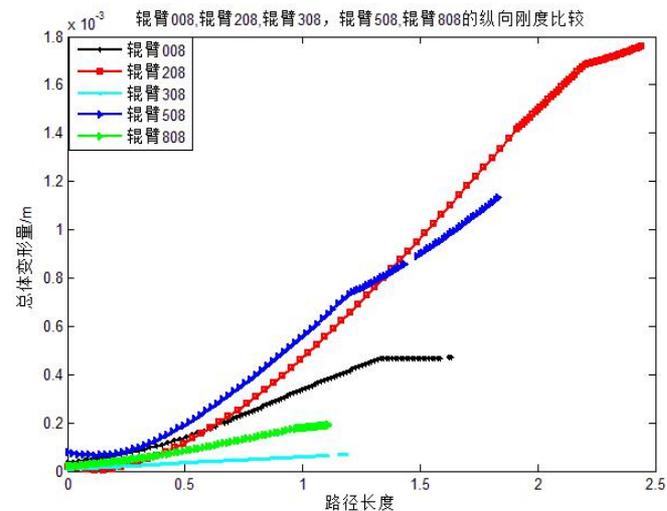
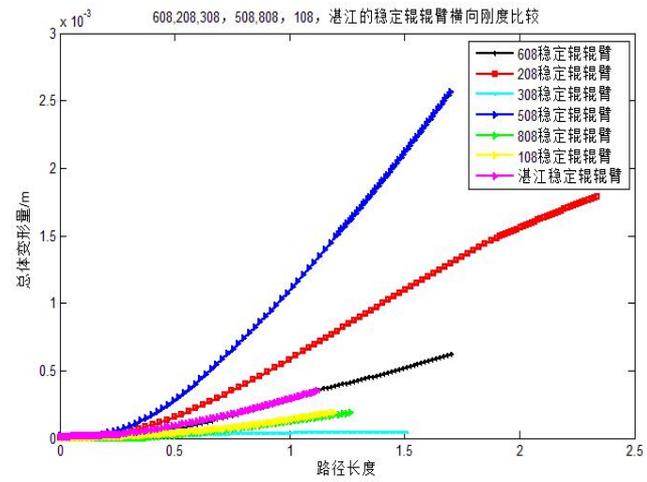
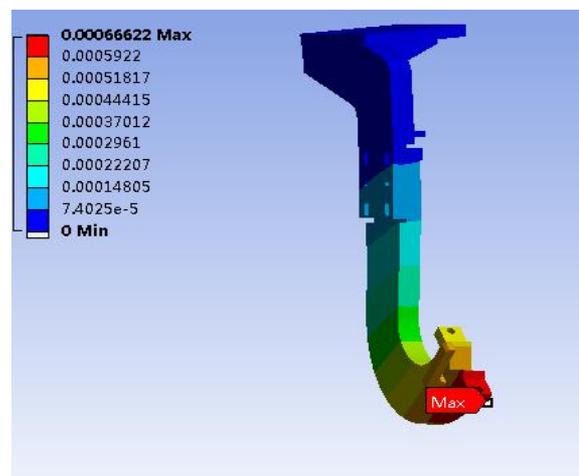


沉没辊臂综合比较结果

力的方向 向 机组	横向	轴向	纵向弯曲
608	E	E	E
2#	G	F	G
308	A	B	A
508	D	C	D
808	B	A	B
108	F	D	F
湛江	C	G	C



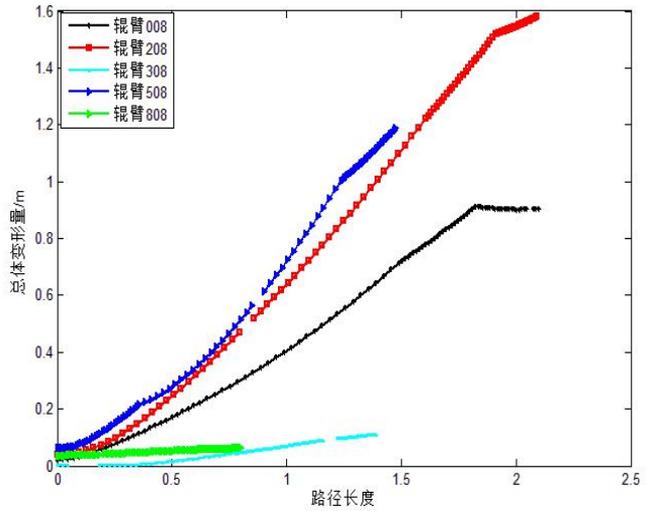
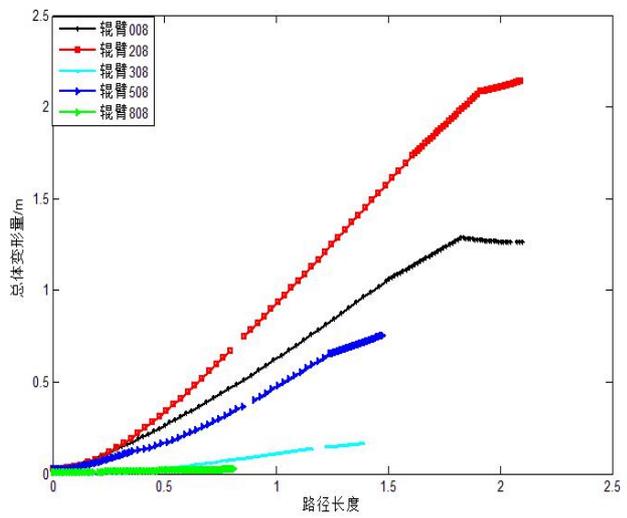
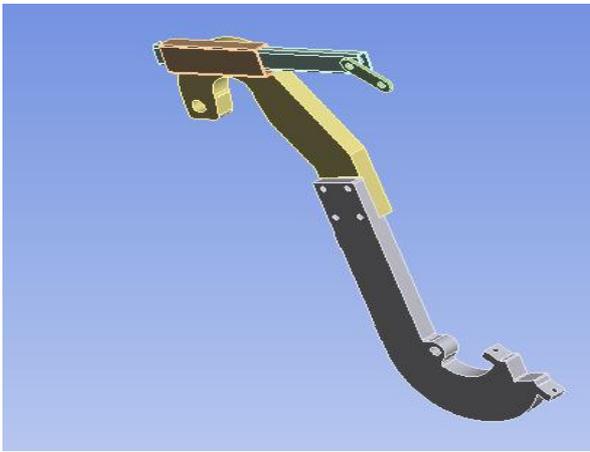
稳定辊辊臂刚度分析



力的方向 机组	横向	纵向
608	C	C
2#	D	E
308	A	A
508	E	D
808	B	B



矫正辊辊臂刚度分析

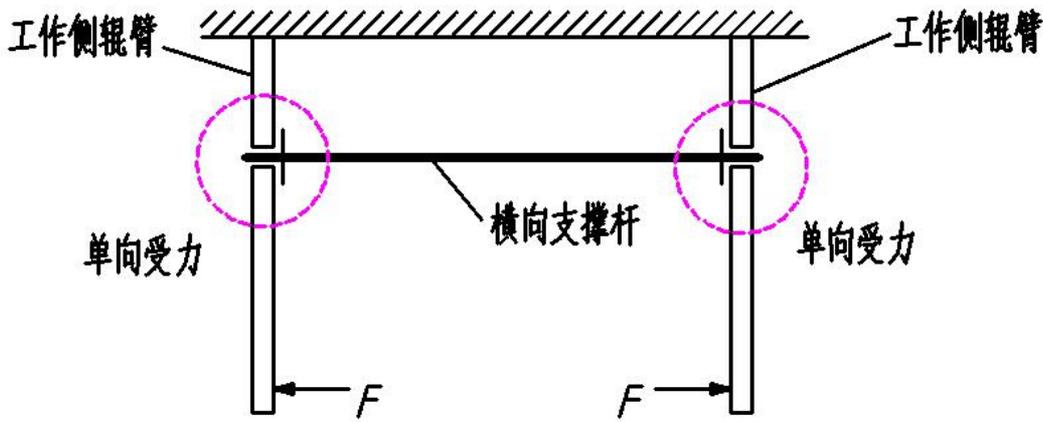


力的方向 机组	横向	纵向 (力的方向垂直 辊臂向里)
608	D	D
2#	C	E
308	B	B
508	E	C
808	A	A



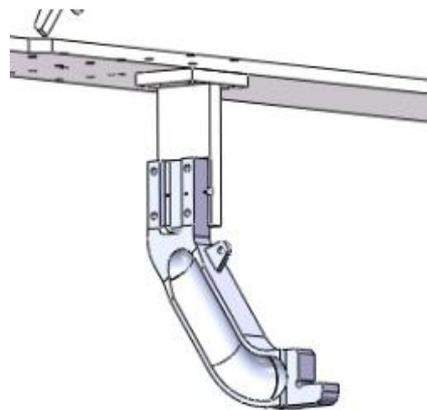
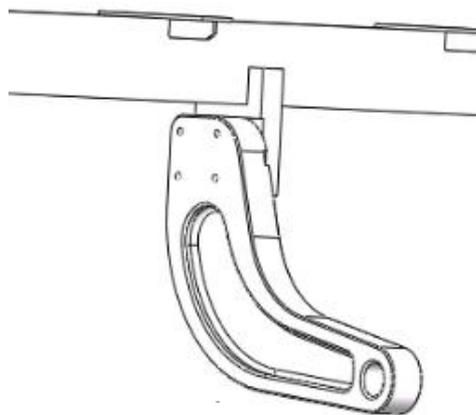
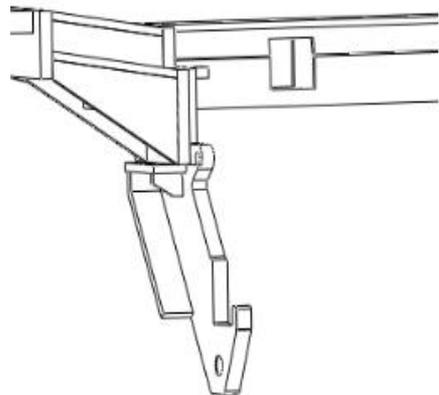
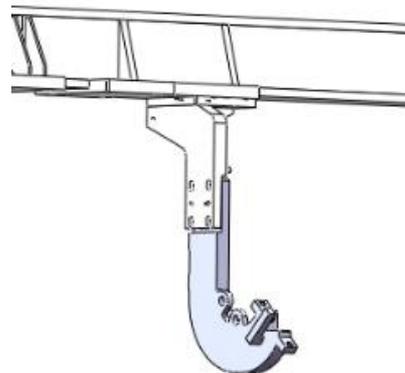
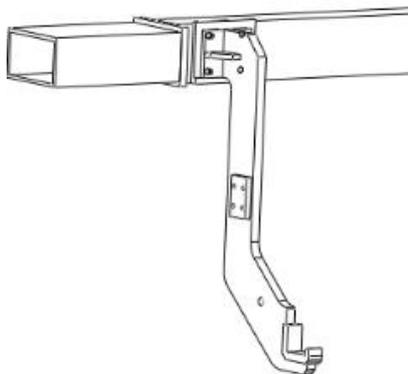
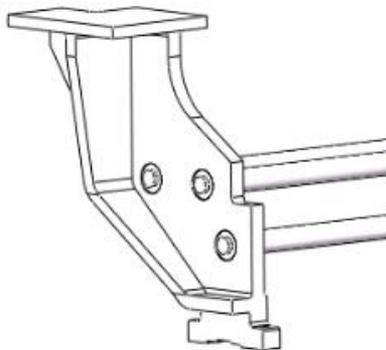
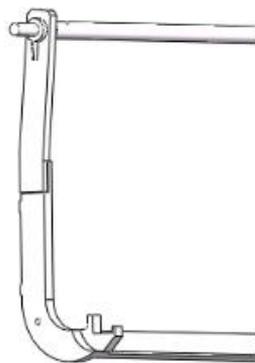
沉没辊辊臂结构特点分析 (3)

- **特点四：**部分机组采用支撑横杆将两侧辊臂相互约束，相互支撑，以提高辊臂组的整体抗侧向变形的能力，但并不能达到预期效果。





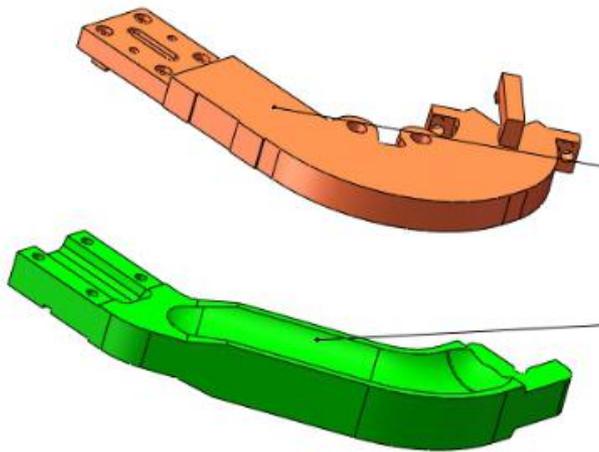
稳定辊辊臂图谱





稳定辊辊臂结构特点分析 (1)

□ 特点一：就辊臂断面来看，有规则的矩形，也有镂空的结构



机组	参数	断面形状	断面尺寸	是否为两个部件	是否有单独横梁
608			75*200	是	否
208			75*200	是	否
308		和沉没辊共用同一辊臂	t=70 变截面	否	否
508			50*220	否	是
808			50*250	否	是
108			120*200	是	否
湛江			t=100 变截面	否	是

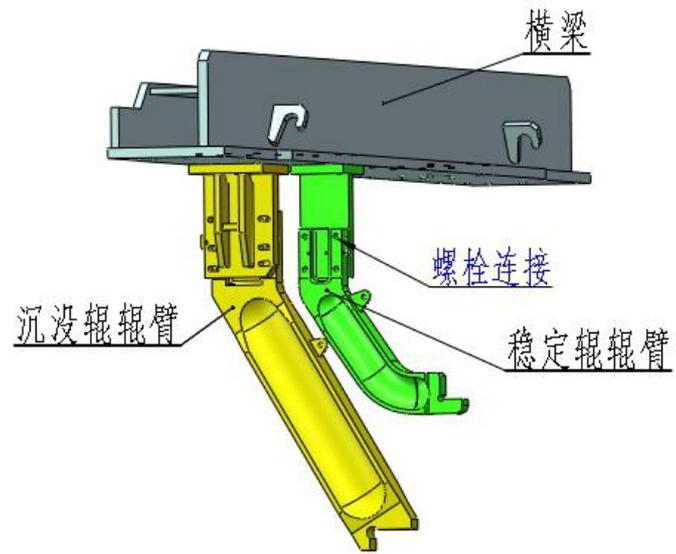
□ 特点二：各机组稳定辊辊臂的安装特点有相似的地方，也有差别的地方

- ✓ 2#机组的稳定辊辊臂也是螺栓连接构成，钢轴连接左右辊臂，安装在一个U型槽上，最后通过U型槽结构螺栓连接在沉没辊横梁上
- ✓ 108、608机组稳定辊辊臂和横梁之间螺栓连接固定在横梁上；

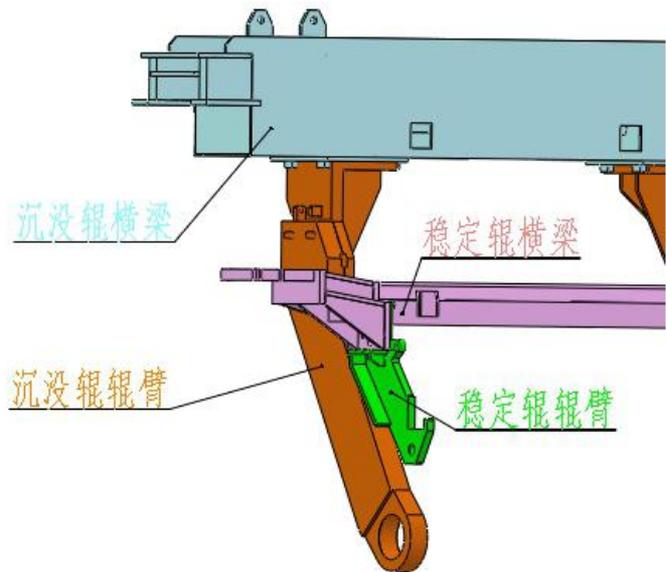


稳定辊臂结构特点分析 (2)

- 特点三：有些机组稳定辊臂有单独横梁，有些则与沉没辊臂共用一横梁



稳定辊臂无单独横梁



稳定辊臂有单独横梁



- 1 锌锅辊系概述
- 2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系
- 3 锌锅辊系结构设计解析
- 4 典型机组锌锅辊系设计对比
- 5 好的辊系设计的判断标准
- 6 实例分析-某钢厂2xx机组问题和对策
- 7 首钢顺义锌锅辊系的提升建议

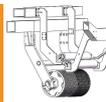
5 好的辊系设计的判断标准



日本人在锌锅辊系设计上，舍得用材料。这和我们一贯的“日本人的精打细算”的印象有点不符。新日铁的辊臂最为粗壮。三菱采用了整体式的“连体婴”设计。JFE设计的508感觉稍弱，但是他也注意到左右辊臂的变形协调问题，采用了拉杆。

最新的机组设计上，duma和posjet均注意到了提升辊臂的抗变形能力，在不增加重量的情况下，采用“镂空”设计。从分析上看，韩国人对辊臂的设计的理解和duma比有差距。但是duma的沉没辊辊臂存在“大腿细，小腿粗”的毛病

FOEN的辊系设计普遍偏弱，尤其是1998年设计的2#，从分析看，问题比较多。从其后面的三个机组来看，方登的设计人员对辊系的设计理解有提升，设计有改善，但仍有差距。



在分析他人工作的基础上，形成我们的评价标准

- 1, 液面之下，三辊的高度差设计宜趋向主流，6#和5#较合适
- 2, 目标机组辊架结构设计，适应张力大小，弹性变形尽可能小，尽可能提升辊系固有频率，小辊子定位刚度。

对于沉没辊而言，辊架纵向刚度要高，尤其是带钢张力高的场合，辊架的纵向变形要尽可能小，此外，两侧辊架的纵向变形能协调。辊架横向刚度要高。比较理想的做法是，单侧辊臂的横向刚度，纵向刚度也高。且两侧关联。成为一个整体框架架构。

对于两根小辊子，辊架的纵向刚度要高，辊子定位精确。



- 1 锌锅辊系概述
- 2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系
- 3 锌锅辊系结构设计解析
- 4 典型机组锌锅辊系设计对比
- 5 好的辊系设计的判断标准
- 6 实例分析-某钢厂2xx机组问题和对策
- 7 首钢顺义锌锅辊系的提升建议

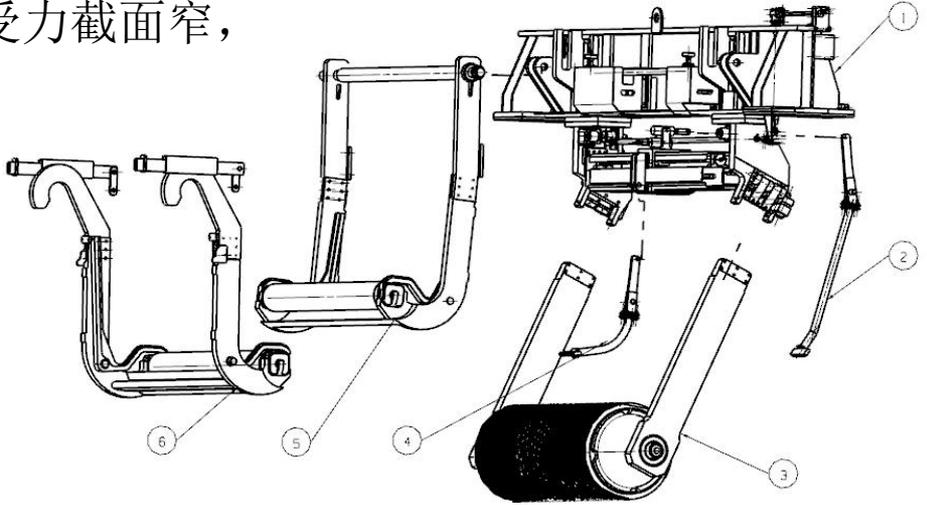


1, 沉没辊辊臂是“细长杆”结构，两侧无关联，横向刚度和纵向刚度均弱。

2, 沉没辊横梁的抗扭强度不足，横梁受力截面窄，抗倾覆能力弱，横梁易扭振

3, 沉没辊辊臂的连接方式不合理，连接刚性弱

方登的原设计小臂在检修时是90°摆动拆装的，想法是好，但做不到。现在的设计主要靠螺栓紧固，刚性弱。方登外的其他设计均采用了减载键的设计



4, 锌锅液面之下的三辊位置布置不合“主流”，矫正辊的“矫正”能力弱

5, 稳定辊的调节机构设计是个败笔，实际上不用，设备有间隙，致定位刚性差

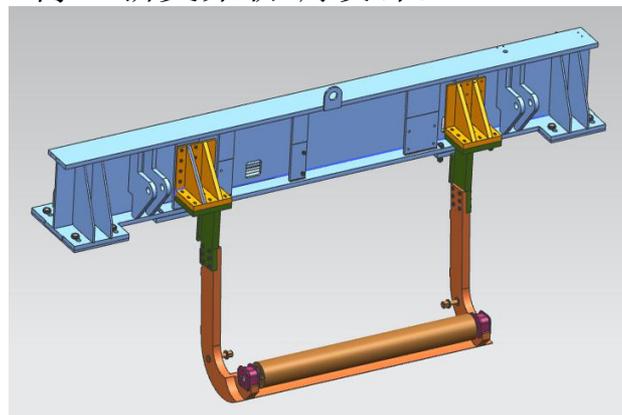
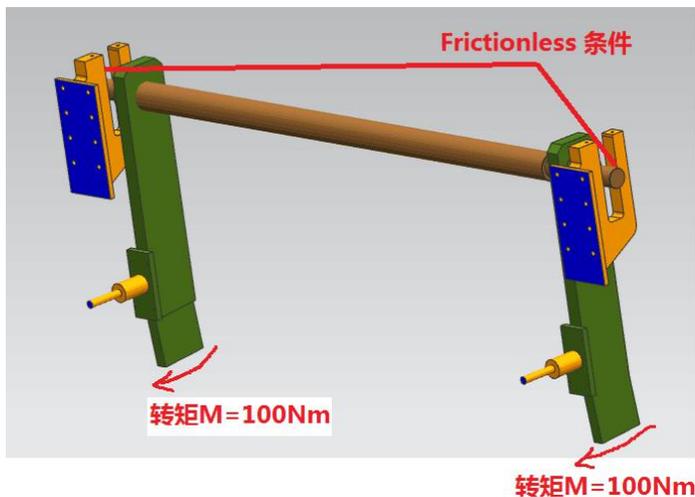
6, 矫正辊摆动设计是个另类，通过摆动弧度来获得水平方向的位置。实际实用效果不好。定位不精确，刚性较低



稳定辊辊臂改进方案

- 存在问题
 - 虽考虑可调，但是带来了结构问题、低支持刚性、不易维护等问题

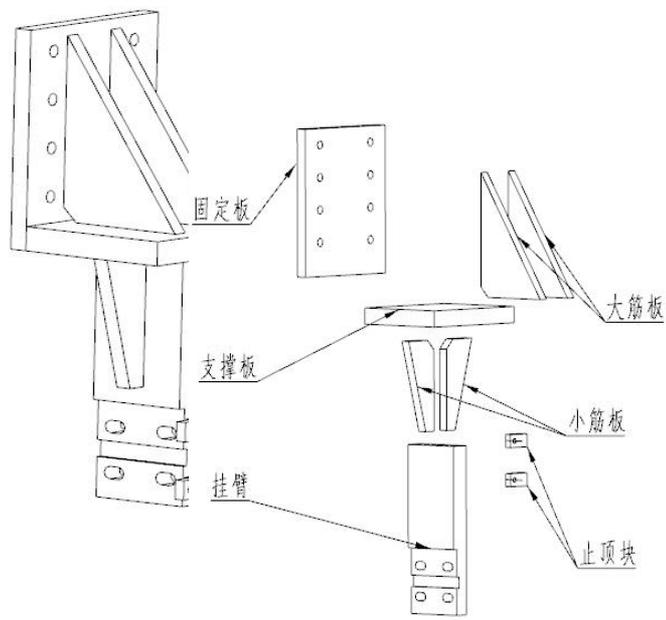
- 改进措施
 - 去除所有支撑调节机构、相应结构件及其传动系统
 - 保持稳定辊辊臂下部的双联臂原设计；
 - 设计辊臂新支架替换原来的含U型槽的辊臂支架，将稳定辊上辊臂、新支架协调设计，



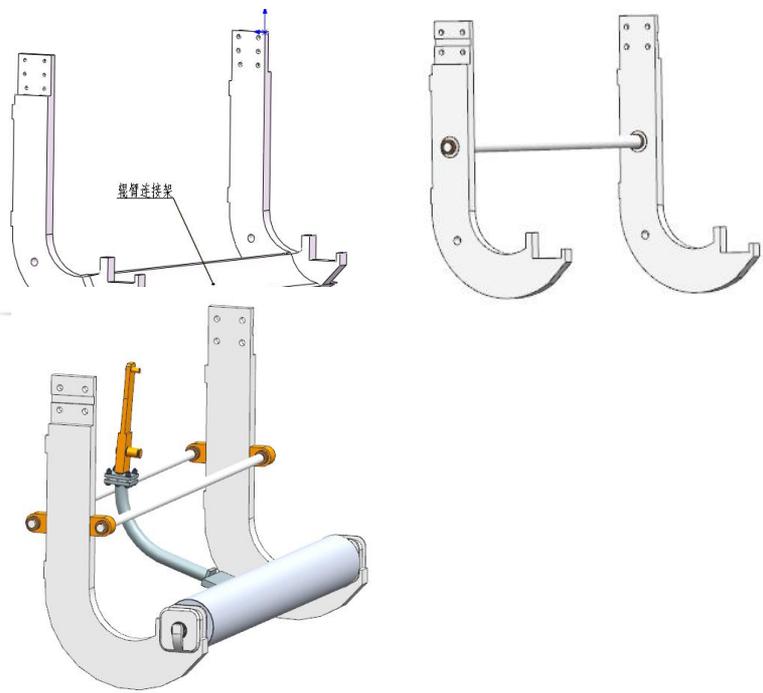


详细设计三：稳定辊辊臂优化设计

- 稳定辊挂件座



- 稳定辊下臂

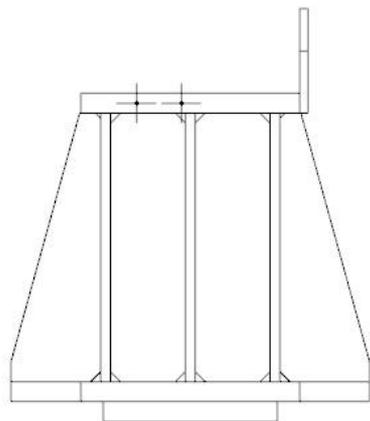
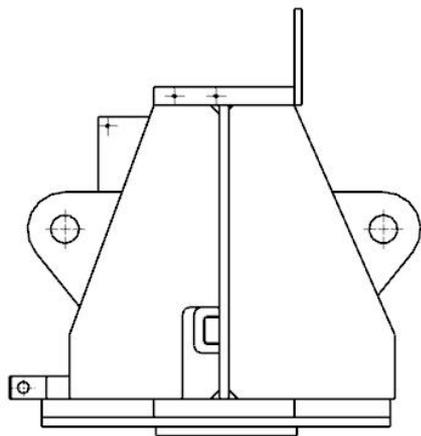


- ✓ 新2#机组的横向刚度有了大大改善，甚至超过了608机组
- ✓ 新设计的轴向刚度已经提高了30%以上；
- ✓ 新设计的纵向刚度与其他6机组相差不多。



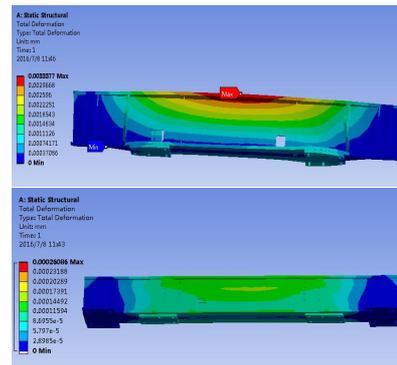
详细设计四:

- 横梁的主体结构设计

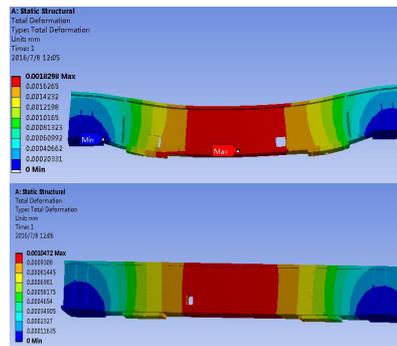


□ 新横梁的有限元验证

扭转变形



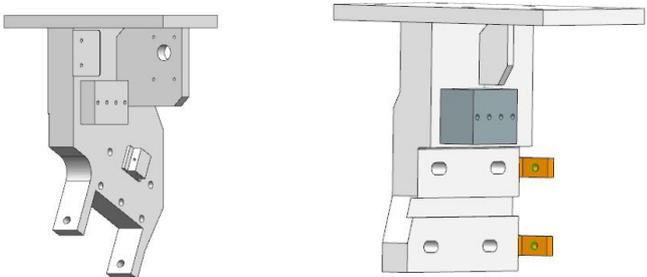
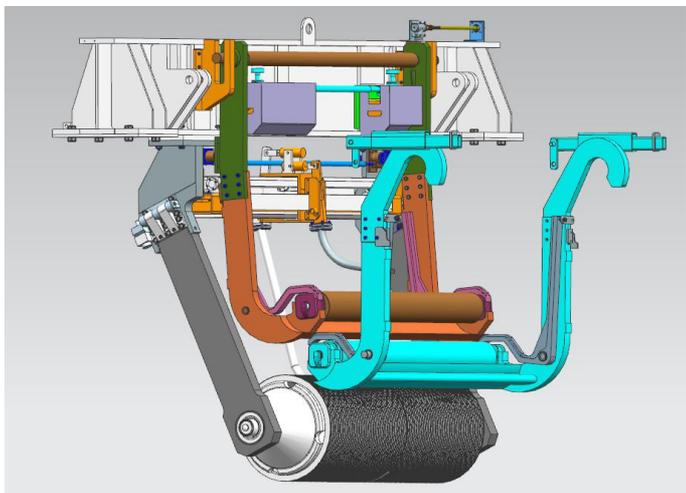
弯曲变形



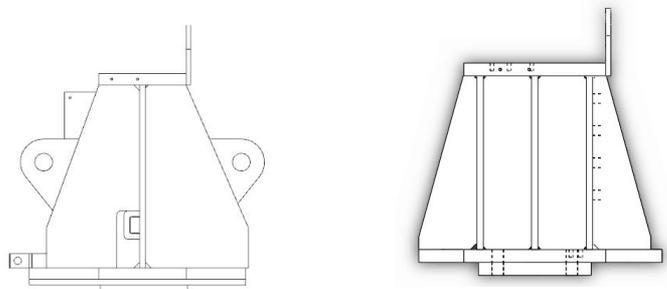
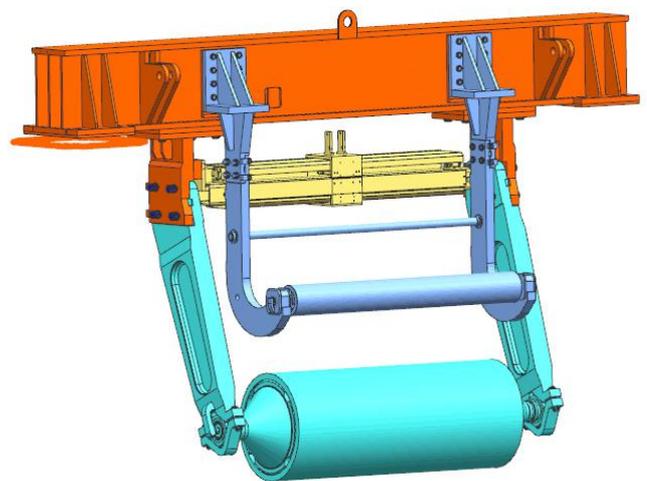


2#机组优化设计结果

- 老辊架

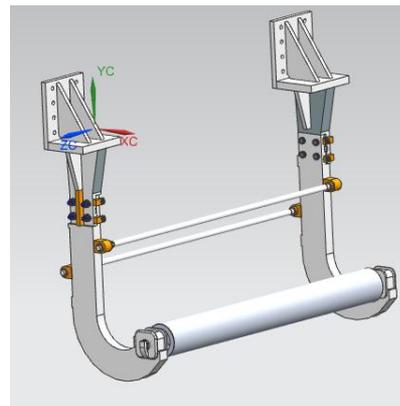
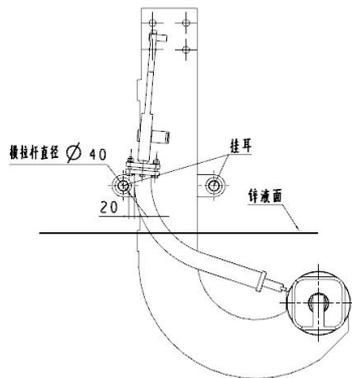
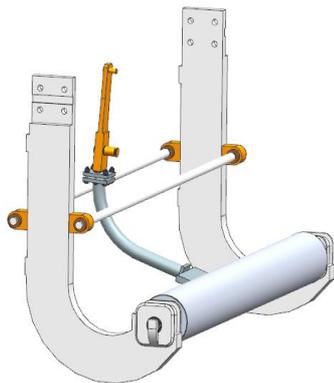


- 新辊架





- 原稳定辊辊臂支撑杆数量从1根改为2根，至现场定位安装





- 新辊架上机前及上机后情况



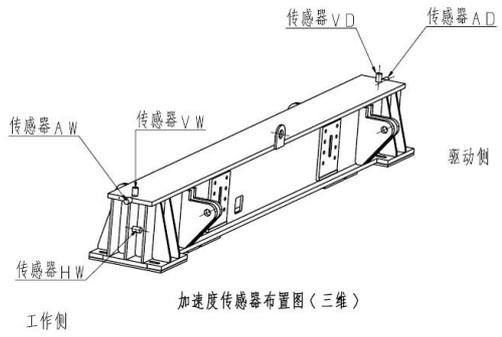
- 上线生产数据

日期	班次	钢种	速度 m/min	卷 数	重量 吨	备注
2017.11.11	夜班	厚板	70			
2017.11.12	早班	BH 钢外板	90	13	348	当班封闭 2 卷来料纵向条纹、重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.12	夜班	BH 钢外板	90	18	468	当班封闭 2 卷来料纵向条纹、重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.13	早班	BH 钢外板	90-95		296	重卷打磨 3 卷, 1 放行, 2 封闭, 10 吨纵向条纹, 3 封闭 5 吨瑕疵
2017.11.13	夜班					停电
2017.11.14	早班	BH 钢外板	90-95		375	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.14	夜班	BH 钢外板	90-95		360	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.15	早班	BH 钢外板	95		353	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.15	夜班	BH 钢外板	95		340	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.16	早班	BH 钢外板	95		328	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.16	夜班	BH 钢外板	95	14	319	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.17	早班	BH 钢外板	95		326	重卷打磨 3 卷, 1 封闭脉钢气泡, 2 放 1 交班
2017.11.17	夜班	BH 钢外板	95		274	重卷打磨 3 卷, 1、2 放行, 3 交班
2017.11.18	早班	BH 钢外板	90		355	重卷打磨 3 卷, 1、2 放行, 3 交班
2017.11.18	夜班	BH 钢外板	90		380	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.19	早班	BH 钢外板	90	13	345	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班, 17:30 外板结束
2017.11.19	夜班					无数据
2017.11.20	早班	IF 外板	90	14	334	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.20	夜班	IF 钢外板	90	17	411	重卷打磨 3 卷放行
2017.11.21	早班	IF 钢外板	90		296	重卷打磨 3 卷, 2 放 1 交班
2017.11.21	夜班					无数据
2017.11.22	早班					故障停机
2017.11.22	夜班					无数据
总计					5908	



新样机振动测试

- 振动测试方案

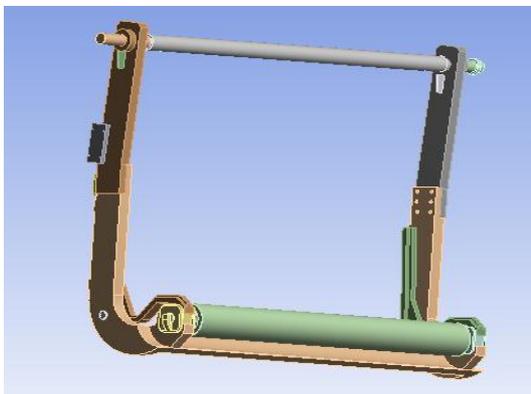


- 振动检测结果

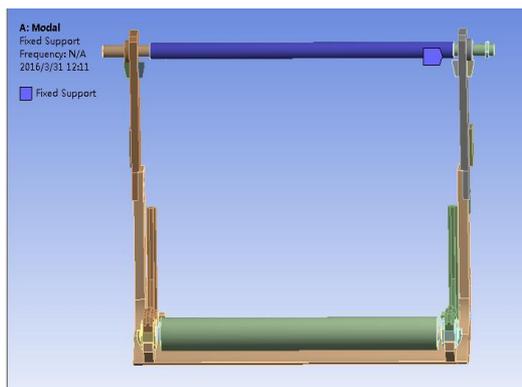
指标名称	指标单位	各测试点检测结果		
		工作侧(WS)		
		V	H	A
速度	mm/s	0.1840	0.0591	0.3600
加速度	m/s ²	2.07628	0.40282	1.46105
位移	um	18.998	2.27699	12.009
指标名称	指标单位	驱动侧(DS)		
		V	H	A
		速度	mm/s	0.1988
加速度	m/s ²	3.553	0.59198	2.00868
位移	um	38.182	3.18229	16.9542



□ 稳定辊及辊臂模型图



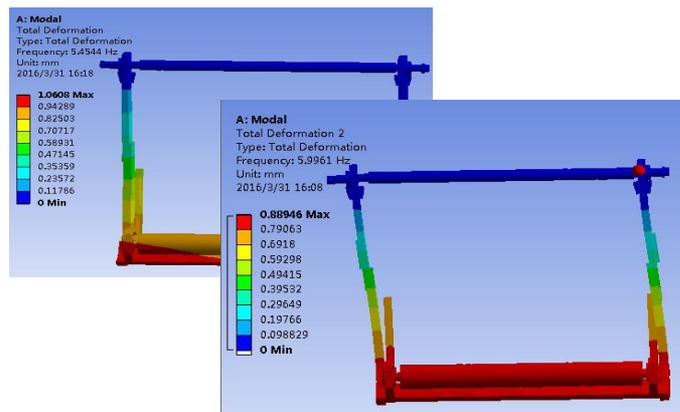
□ 稳定辊固定面约束



□ 稳定辊各阶模态频率

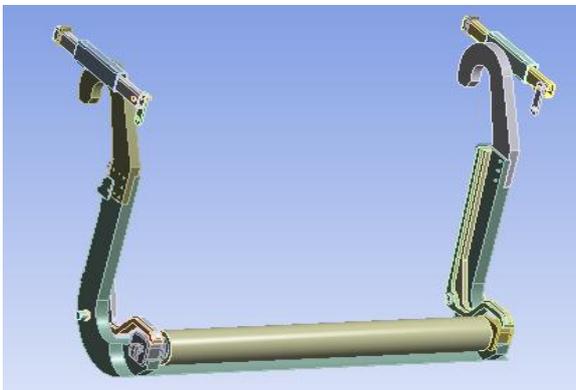
	Mode	Frequency [Hz]
1	1.	5.4544
2	2.	5.9961
3	3.	12.668
4	4.	40.811
5	5.	53.916
6	6.	57.349

□ 稳定辊一阶模态云图

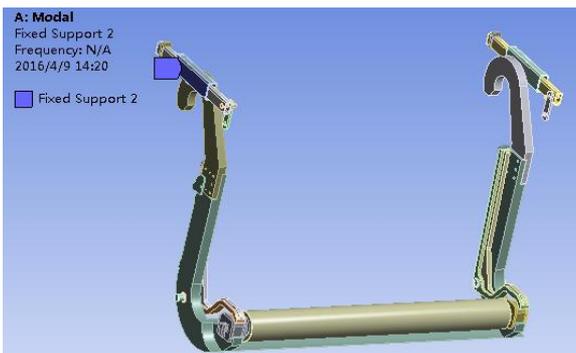




稳定辊及辊臂模型图



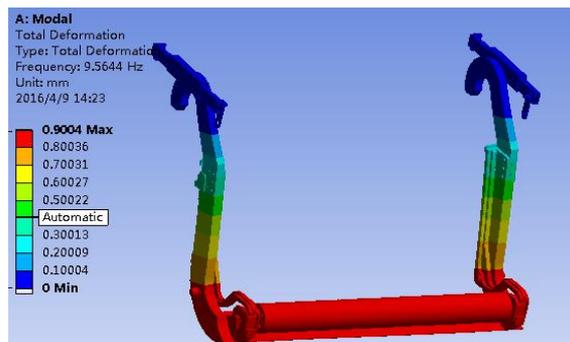
稳定辊固定面约束



稳定辊各阶模态频率

	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1	1.	9.5644
2	2.	10.104
3	3.	21.624
4	4.	56.039
5	5.	80.663
6	6.	96.92

稳定辊一阶模态云图





改造结论

- ❑ **原辊架存在多方面结构缺陷**，包括：1) 横梁为工字梁结构；2) 稳定辊辊臂支撑不牢；3) 沉没辊辊臂抗侧向弯曲能力不强，与牛腿处连接结构非常薄弱；4) 稳定辊和沉没辊轴线装配误差调节困难。
- ❑ 为保证新辊架能够替代原辊架，移植入锌锅区域中工作，开展设计工作前有必要**明确相关约束条件**，包括辊架与基础之间的结构及尺寸要求、辊臂结构和尺寸要求、三辊轴线相对位置要求等等，事实证明这一工作有足够细致而且有效。
- ❑ **新辊架是在借鉴各机组辊架技术基础上的开展综合设计的结果**。在结构方案上采取了诸多新颖设计思路；还对系列结构件细节进行了妥当处理；对连接结构进行了综合设计。
- ❑ **实际应用表明：新设计辊架达到预期设计效果，新辊架能够适应多种品质要求、多种规格参数生产的要求**。从观察及测试角度可以得出初步结论：新设计2#辊架在强度、刚度、运行稳定情况优于原辊架。



- 1 锌锅辊系概述
- 2 辊系结构设计和机组高速稳定通板的关系
- 3 锌锅辊系结构设计解析
- 4 典型机组锌锅辊系设计对比
- 5 好的辊系设计的判断标准
- 6 实例分析-某钢厂2xx机组问题和对策
- 7 首钢顺义锌锅辊系的提升建议



- 1) 首钢锌锅辊系存在的问题、期望
- 2) 首钢锌锅辊系现有结构的分析和计算
- 3) 针对性的新设计
- 4) 工程应用



thanks

