

中国公路建设行业协会标准

T/CHCA XXX-XXXX

公路桥梁挂篮设计与施工技术指南

Technical Guide for Design and Construction of
Highway Bridge Form Traveller

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国公路建设行业协会 发布

中国公路建设行业协会标准

公路桥梁挂篮设计与施工技术指南

Technical Guide for Design and Construction of
Highway Bridge Form Traveller

主 编 单 位： 中交第三公路工程局有限公司

参 编 单 位： 中交三公局工程设计研究院

中国公路车辆机械有限公司

北京市市政六建设工程有限公司

中交三公局第六工程有限公司

中交一公局集团有限公司

中交第一航务工程局有限公司

中铁山桥集团有限公司

中交三公局第二工程有限公司

中交三公局第三工程有限公司

中交三公局轨道交通分公司

中交路桥建设有限公司

前 言

根据中国公路建设行业协会印发的《关于征集 2021 年（第一批）协会标准编制的通知》（中路建协[2020]39 号），由中交第三公路工程局有限公司为主编单位，进行《公路桥梁挂篮设计与施工技术指南》的编制。参编单位包括：中交三公局工程设计研究院、中国公路车辆机械有限公司、北京市市政六建设工程有限公司、中交三公局第六工程有限公司、中交一公局集团有限公司、中交第一航务工程局有限公司、中铁山桥集团有限公司、中交三公局第二工程有限公司、中交三公局第三工程有限公司、中交三公局轨道交通分公司、中交路桥建设有限公司。

编写组在总结公路桥梁挂篮设计与施工技术经验和科研成果的基础上，经分析梳理、试验论证，并广泛征求有关意见，制定本规程。

本规程共分 8 章、1 个附录。主要内容包括：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 挂篮设计；5 挂篮制作、安装；6 挂篮使用；7 挂篮工程数字化；8 安全与环境保护。

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：孔小勇(地址：北京市顺义区国门商贸区鑫桥中路 3 号院 3 号楼，邮编：101300，电话：15201649043，电子邮箱：425091120@qq.com)，以便下次修订时参考。

主编：王珏

主审：单志利

主要参编人员：张晓东、曾宇、史宏海、孔小勇、崔登云、王永利、刘利军、朱秀玲、杨贵佳、王长柱、尚雪仁、张君帅、冯玉玺、刘申、冯宇、颜长春、何训林、唐雷、李士林、柯善鑫、王书涛、唐建明、高著海、雷丹、钱坤、葛纪平、邵文泽。

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
4	挂篮设计	4
4.1	一般规定	4
4.2	荷载组合	4
4.3	材料要求	5
4.4	承重系统	6
4.5	锚固悬吊系统	6
4.6	走行系统	6
4.7	模板系统	7
4.8	作业平台及其他附属系统	8
5	挂篮制作、安装	8
5.1	一般规定	8
5.2	挂篮制作	10
5.3	挂篮拼装	20
5.4	挂篮安装	21
6	挂篮使用	24
6.1	一般规定	24
6.2	挂篮检验	25
6.3	荷载试验	25
6.4	挂篮前移	27
6.5	挂篮就位	27
6.6	挂篮维护	28
6.7	改制挂篮使用	28
6.8	挂篮拆除	29
7	挂篮工程数字化	30
7.1	一般规定	30
7.2	挂篮数字化设计	30
7.3	挂篮数字化制造加工	30
7.4	挂篮施工模拟	30

7.5 挂篮自动化监测和智能化控制	30
8 安全与环境保护	31
附录	32

1 总则

1.0.1 为规范公路桥梁挂篮设计和施工，做到安全可靠、技术先进，制定本指南。

1.0.2 本指南适用于公路预应力混凝土悬臂施工桥梁工程的后支点挂篮设计和施工。

1.0.3 挂篮的设计应满足桥梁设计技术文件要求，并考虑桥梁结构、使用功能、荷载特征与环境条件。

1.0.4 挂篮的设计和施工，除应符合本指南外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

对指南中所涉及的专业术语，从指南的角度赋予其含义，同时给出相应的推荐性英文术语，方便理解。拟对以下术语进行解释说明：

2.0.1 挂篮

一种自带模板，用于悬臂浇筑混凝土梁的装置。

2.0.2 前支点挂篮

以斜拉索作为承载结构（主梁）前端支撑的挂篮，也称牵索挂篮。

2.0.3 承重系统

挂篮的主要受力构件，一般由主桁架、底篮、销轴、竖向平联桁架、前上横梁等部分组成。

2.0.4 锚固系统

承重系统的自锚平衡装置，一般由后锚压梁、后锚调整梁、后锚压杆、螺母、垫块等部分组成。

2.0.5 悬吊系统

主要用于悬吊挂篮底篮、模板系统并调整其标高。一般由吊杆、吊杆垫梁、吊杆调整梁、内外滑梁和吊具等部分组成。

2.0.6 走行系统

控制挂篮移动的装置，一般由走行轨道、顶推装置、前支座、反扣轮、轨道压梁、轨道垫梁等部分组成。

3 基本规定

3.0.1 挂篮应选择有资质的单位进行专项设计，构件应按承受最不利荷载的原则对施工中各工况进行强度、刚度和稳定性验算，设计方案经桥梁设计单位、监控单位确认后实施。

3.0.2 挂篮加工宜选择有资质的制造单位，派专业人员进行监造。挂篮出厂前应进行试拼装和验收，使用单位、制造单位、监造方应参加，并出具出厂合格证。

3.0.3 挂篮安装后应进行验收和荷载试验，合格后方可投入使用。

3.0.4 挂篮施工应严格执行逐级技术交底和安全交底制度。

3.0.5 挂篮使用过程中应定期进行检查、保养和维护，严禁带故障作业。

3.0.6 挂篮制作和使用过程中所采用的材料、设备、工艺、试验、检验等均应符合相关标准。

4 挂篮设计

4.1 一般规定

4.1.1 挂篮设计应符合国家现行标准《钢结构设计标准》GB50017、《钢结构工程施工规范》GB50755、《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205、《钢结构焊接规范》GB50661和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3560-2020)、《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)、《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ162-2008)、《预应力混凝土用螺纹钢》(GB/T20065-2016)的规定。

4.1.2 挂篮的最大变形(包括吊带变形的总和)不应大于20mm。

4.1.3 挂篮设计计算时,各构件挠度值应符合下列规定:

- 1 对结构表面外露的模板,挠度不应大于模板构架跨度的1/400;
- 2 对结构表面隐蔽的模板,挠度不应大于模板构架跨度的1/250;
- 3 对受载后挠曲的构件,其承载状态弹性挠度不应大于相应结构跨度的1/400;
- 4 对受载后挠曲的构件,其空载状态弹性挠度不应大于相应结构跨度的1/250;
- 5 钢模板的面板变形为1.5mm,钢棱和柱箍变形为 $L/500$ 和 $B/500$ (其中L为计算跨径,B为柱宽)。

6 验算模板在自重和风荷载等作用下的抗倾覆稳定系数时,抗倾覆稳定系数应不小于1.3。

4.1.4 挂篮在浇筑混凝土状态和行走时的抗倾覆安全系数、自锚固系统的安全系数、斜拉水平限位系统的安全系数及上水平限位的安全系数均不应小于2。

4.1.5 挂篮自重与最重悬浇梁段混凝土的质量比宜不大于0.5,且挂篮的总重量应控制在桥梁设计规定的限重之内。

4.1.6 挂篮几何尺寸应根据施工现场的空间确定,并应满足梁段现场作业的需要。

4.2 荷载组合

4.2.1 作用于挂篮的荷载可分为永久荷载和可变荷载,参考《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)要求永久荷载的分项系数应取1.2,可变荷载的分项系数应取1.4。

4.2.2 挂篮的永久荷载包括下列内容:

- 1 新浇混凝土(含钢筋)自重(G_1);
- 2 模板自重(G_2);

- 3 挂篮承重、锚固及悬吊系统自重 (G3)；
- 4 栏杆、挡脚板、安全网等组成挂篮作业平台的各部分自重 (G4)；

4.2.3 挂篮的可变荷载包括下列内容：

- 1 施工人员及机械机具荷载 (Q1)；
- 2 振捣混凝土产生的振动荷载 (Q2)；
- 3 新浇筑混凝土对模板侧面的压力 (Q3)；
- 4 混凝土入模时产生的水平方向的冲击荷载 (Q4)；
- 5 风荷载 (Q5)；
- 6 其他荷载 (Q6)；

4.2.4 新浇筑混凝土、钢筋的自重标准值可按现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的规定进行选取，对特殊混凝土应根据实际情况确定。

4.2.5 挂篮、模板及平台的自重标准值应根据所采用的材料类型按实际情况确定。

4.2.6 施工人员及机具的荷载标准值应按实际情况确定，且不应小于 2.5KN/m²。

4.2.7 浇筑和振捣混凝土时产生的荷载标准值可按现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的规定取值。

4.2.8 风荷载标准值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定取值。

4.2.9 挂篮设计应根据施工过程中在结构上可能同时出现的荷载，对强度、稳定性按承载能力的极限状态进行验算，应取基本组合进行设计；对刚度应按正常使用极限状态进行验算，并应取标准组合进行设计，其计算荷载效应组合应符合表-4.2.9-1 的规定。

表 4.2.9-1 挂篮设计计算荷载效应组合

计算项目		强度、稳定性	刚度
挂篮承重、锚固及悬吊系统		G1+G2+G3+G4+Q1+Q2+Q5+Q6	G1+G2+G3+G4+Q5+Q6
模板及作业平台系统	作业平台	G4+Q1+Q5+Q6	G4+Q1+Q5+Q6
	侧模板	Q3+Q4	Q3+Q4
底篮		G1+G2+Q1+Q2	G1+G2
行走系统		1.3 (G2+G3+G4) +Q5+Q6	G2+G3+G4+Q5+Q6

注：表中“+”仅表示各项荷载参与组合，而不表示代数相加。

4.3 材料要求

4.3.1 挂篮各构件钢材宜选用 Q235、Q345、Q390 和 Q420 钢，其性能应符合现行国家

标准《优质碳素结构钢》GB/T 699、《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定。当采用其他牌号钢材时，应符合国家相关标准的规定。

4.3.2 钢材选用应根据挂篮工作环境对钢材性能的影响确定，并应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定。挂篮设计时，常用材料的强度设计值应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定；精轧螺纹钢强度设计取值应符合表 4.3.2-1。

表 4.3.2-1 精轧螺纹钢基本性能

钢材牌号/级别	抗拉强度 (MPa)
PSB785	670
PSB830	705
PSB930	790

4.4 承重系统

4.4.1 挂篮承重系统主桁架结构宜采用菱形、三角形、型钢桁架、上导梁挂篮、下导梁挂篮等形式，符合经济性、适用性、先进性。

4.4.2 当采用联体挂篮施工首节悬臂梁段时，应对挂篮联体结构强度、刚度及稳定性进行设计计算。

4.4.3 挂篮主桁架前支点与主桁架间、主桁架各杆件间宜采用销轴连接，销孔与销轴间隙不宜大于 2mm，销轴端部应有防脱钩设置。

4.4.4 在施工承载状态下，挂篮主桁架前支点设计位置应位于梁体腹板上方，挂篮主桁架前支点中心距离梁段端部不宜小于 500mm。

4.4.5 底篮横梁上吊点位置宜设置为可调节形式。

4.5 锚固悬吊系统

挂篮主要承重吊杆宜采用锰钢吊带，钢吊带间应采用夹板方式进行连接，且连接件应具有防松脱措施。

4.6 走行系统

4.6.1 挂篮行走轨道宜采用整体式轨道；当桥梁位于小半径曲线，无法采用整体式轨道，可采用分节式轨道。

4.6.2 当位于弯道上的连续梁采用挂篮施工时，其挂篮行走系统设计应满足桥面纵横坡调整的要求。

4.6.3 行走轨道的锚固应符合下列规定：

1 挂篮行走轨道可采用梁体竖向预应力筋连接的方式进行临时锚固；当不能利用竖向预应力筋进行锚固时，宜采用预埋件进行轨道临时锚固；

2 挂篮行走时，反扣装置的前后均应设置轨道锚固点，相邻两锚点间距不得大于 1m。

4.6.4 挂篮行走轨道前进方向的前端应设置限位保险装置。

4.6.5 前滑座与轨道接触部位宜采用滚轮结构，并应设置滚轮制动装置。

4.6.6 反扣装置与轨道接触部位宜采用滚轮结构，各个滚轮应均衡承载。

4.6.7 挂篮行走时，应设置防倾覆保险、防坠落保险及防滑移保险。

4.7 模板系统

4.7.1 模板系统设计应构造简单、合理、结构传力明确、制造及安拆便利，宜进行标准化、系列化的设计，挂篮模板系统宜采用钢模板，外侧模板和底模板应减少分块。

4.7.2 挂篮模板应进行设计计算，需具有足够的强度、刚度和稳定性，同时应便于制作、运输、安装及维护。

4.7.3 模板的永久荷载包括下列内容：

- 1 新浇筑混凝土（含钢筋及预应力钢筋）或其他圬工结构物的自重（ G_m1 ）；
- 2 模板、支架自重（ G_m2 ）；

4.7.4 模板的可变荷载包括下列内容：

- 1 施工人员及施工设备、施工材料等荷载（ Q_m1 ）；
- 2 振捣混凝土时产生的振动荷载（ Q_m2 ）；
- 3 新浇筑混凝土对模板侧面的压力（ Q_m3 ）；
- 4 混凝土入模时产生的水平方向的冲击荷载（ Q_m4 ）；
- 5 其他可能产生的荷载，如风荷载、雪荷载、冬季保温设施荷载等（ Q_m5 ）。

4.7.5 新浇筑混凝土、钢筋的自重标准值可按现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的规定进行选取，对特殊混凝土应根据实际情况确定。

4.7.6 施工人员及机具的荷载标准值应按实际情况确定，且不应小于 2.5KN/m^2 。

4.7.7 浇筑和振捣混凝土时产生的荷载标准值可按现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的规定取值。

4.7.8 风荷载标准值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的规定取值。

4.2.9 模板设计应根据施工过程中在模板结构上可能同时出现的荷载，对强度、稳定

性按承载能力的极限状态进行验算，应取基本组合进行设计；对刚度应按正常使用极限状态进行验算，并应取标准组合进行设计，其计算荷载效应组合应按符合下表的规定。

计算项目	强度、稳定性	刚度
底模板	$G_{m1}+ G_{m2}+ Q_{m1}+ Q_{m2}+ Q_{m5}$	$G_{m1}+ G_{m2}+ Q_{m5}$
侧模	$Q_{m3}+Q_{m4}+ Q_{m5}$	$Q_{m3}+ Q_{m5}$

注：表中“+”仅表示各项荷载参与组合，而不表示代数相加。

4.7.3 模板结构形式和几何尺寸应能满足各梁段长度及梁体截面形状变化需要。

4.7.4 模板与已浇筑梁段混凝土间应搭接紧密，搭接长度应以 100mm 为宜。

4.7.5 模板与侧模间宜采用侧模夹端模的连接形式。

4.7.6 外侧模加强背架宜采用桁架结构模式，其分节位置与模板分节位置不宜设置在同一断面上。

4.8 作业平台及其他附属系统

4.8.1 挂篮应设置安全通道及安装、张拉、压浆等工作平台，工作平台宜采用全封闭形式，平台四周必须设置防护栏杆、四周及底部挂设安全网，挂篮及已浇筑桥体上放置的设备、机具应有临时固定措施

4.8.2 进出施工区域必须有安全通道，冬季施工应对进入挂篮施工作业区的各种通道及挂篮上的积雪进行及时清除，避免挂篮由于冰雪堆积造成超载。

4.8.3 需跨路段作业的挂篮，应在挂篮设计时提前考虑全封闭兜底平台的设计及重量增加对挂篮主体的影响。

5 挂篮制作、安装

5.1 一般规定

5.1.1 制造单位应对设计图进行工艺性审查。当需要修改设计时，必须取得原设计单位同意并签署设计变更文件。

5.1.2 制造单位根据设计图绘制施工图并编制制造工艺，制造必须根据施工图和制造工艺进行。

5.1.3 制造及验收应使用经计量检定合格的计量器具，并按有关规定进行操作。

5.1.4 焊工须持有相应有效的资格证书，且只能从事资格证书中认定范围内的工作。

5.1.5 无损检测人员必须持有相应有效的检测资格证书，且只能从事资格证书认定

范围内的工作。

5.1.6 制造前对相关人员进行上岗前培训、技术交底和质量意识教育，实行持证上岗制度。

5.1.7 采用射线探伤检测作业时要做好安全防护工作。

5.1.8 挂篮宜在厂内进行加工制作。预拼装前应对单个构件进行检查，合格后出厂。

5.1.9 钢结构的制造和验收应符合现行国家标准和行业标准的相关规定。

5.1.10 挂篮安装作业过程中应遵守相关操作规范，并应安排专人指挥调度。

5.1.11 挂篮安装作业应对称进行。当遇雷雨、大雾或6级以上大风等恶劣天气时，严禁进行挂篮安装作业。

5.1.12 挂篮安装过程中钢丝绳、倒链葫芦等吊装器具的使用应符合国家现行相关标准的规定。

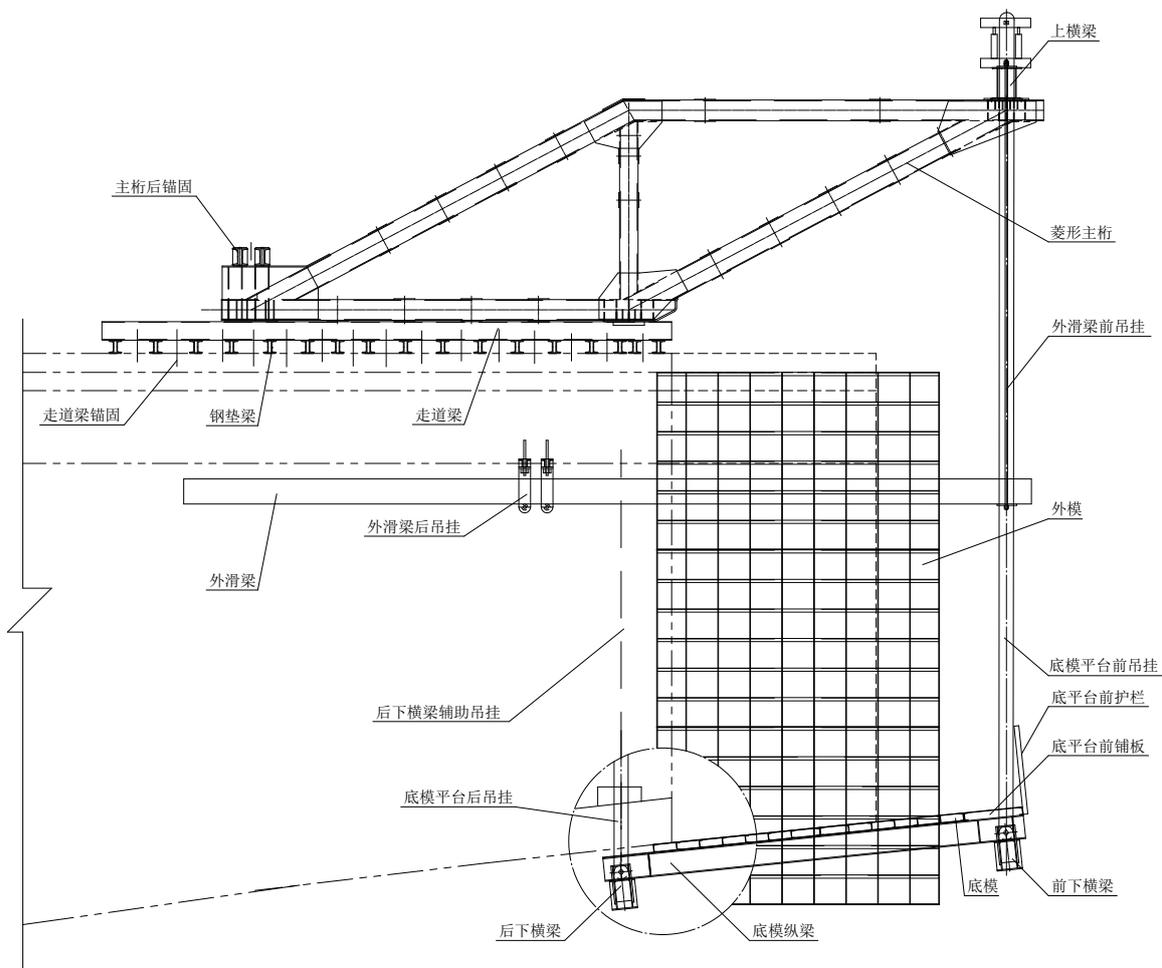


图 5.1.12-1 挂篮侧视图

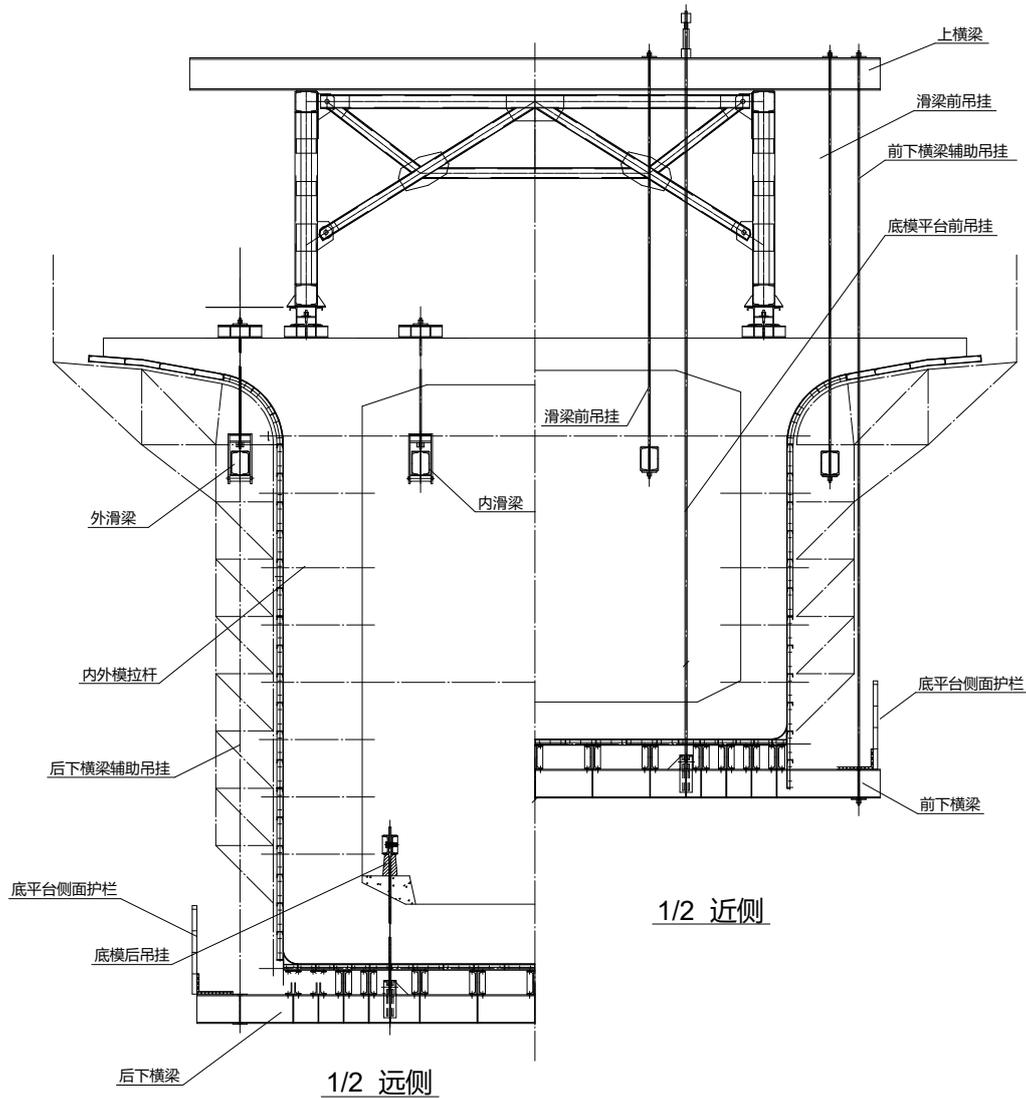


图 5.1.12-2 挂篮断面图

5.2 挂篮制作

5.2.1 零件加工

零件加工包括：钢板预处理、下料、机加工、钻孔等工序,主要设备包括：预处理设备、门式切割机、数控切割机、锯床、铣边机、刨边机、斜面铣、压力机、摇臂钻床、数控钻床等。

1、一般规定

(1) 图纸、工艺文件、工装、设备、人员、工艺试验等满足要求后，可进行制造作业。

(2) 零件加工设备应满足加工制造能力。

(3) 钢板进厂复验合格后，方可投入生产。

- (4) 钢板在下料前宜进行滚平、抛丸除锈、除尘及涂防锈底漆等处理。
- (5) 下料前应移植钢板的牌号、规格等信息。
- (6) 下料尺寸应按要求预留加工余量。
- (7) 下料前应检查钢材的炉批号、材质、规格和外观质量。
- (8) 承重构件下料时，应使钢材的轧制方向与其主要应力方向一致。
- (9) 挂篮承重系统各构件原材料不宜进行拼接，下列构件严禁进行对焊拼接：主桁架斜拉杆或斜拉钢带；悬吊系统钢吊带；其他承受拉伸荷载的重要构件。

2、下料

- (1) 零件下料时除考虑焊接、修整收缩量的影响。
- (2) 切割下料前需确认图纸、文件及所用下料程序正确无误后，方可进行下料。
- (3) 钢板下料后，应在零件上标明产品名称、零件号，对有材料追溯要求的主要零件还应标明钢材炉批号并做好记录。
- (4) 零件下料宜采用数控精密切割。
- (5) 切割质量应符合下列要求：切割边缘表面质量应符合表 5.2.1-1 的规定；尺寸允许偏差应符合工艺要求，如工艺无具体要求，允许偏差±2.0mm。

表 5.2.1-1 精密切割边缘表面质量要求

序号	项 目	主要零件	次 要 零 件	附 注
1	表面粗糙度	25 μ m	50 μ m	按 GB/T 1031—2009 用样板检测
2	崩 坑	不 允 许	1m 长度内允许有一处 1mm	超限修补，要按焊接修补规定处理
3	塌 角	圆角半径不大于 1mm		—
4	切割面垂直度	≤0.05t (t 为板厚)，且不大于 2mm		t 为钢板厚度

- (6) 对边缘需进行机加工的板件，应按照工艺要求预留加工量。
- (7) 剪切、锯切下料，根据车间设备能力，规定下料规格。①剪切、锯切的质量标准：剪切、锯切断面的粗糙度 $Ra \leq 100 \mu m$ ；②剪切、锯切断面的倾斜度 $\leq 1/10$ 厚度；③剪切、锯切的允许偏差：±2mm。
- (8) 切割注意事项：①精密切割所用氧气纯度须在 99.5%以上；②精密切割需在专用工作台上进行，台面要保持水平；③下料时应预留切口宽度，数控件由操作者在下料前在设备上进行调整，精切下料时由操作者在调整割距间距时预留，半自动切割件在号料时预留；④使用数控切割机切割的首件应先进行自检，合格后再进行批量切割。

3、零件矫正与弯曲

(1) 零件矫正宜采用冷矫，冷矫时的环境温度不宜低于-12℃。矫正后的钢材表面不应有明显的凹痕或损伤。

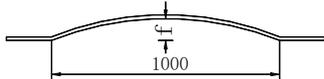
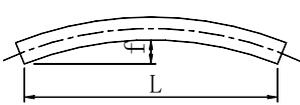
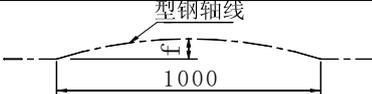
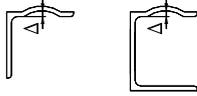
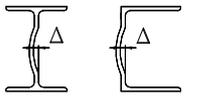
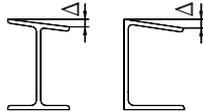
(2) 采用热矫时，加热温度应控制在 600~800℃，然后缓慢冷却，不得用水急冷；温度降至室温前，不得锤击钢材。

(3) 主要零件冷作弯曲时，环境温度不宜低于-5℃，内侧弯曲半径不宜小于板厚的 15 倍。

(4) 冲压成型仅适用于次要零件，并应根据工艺试验结果用冷加工法矫正，矫正后应检查，不应出现裂纹。

(5) 零件矫正允许偏差应符合表 5.2.1-2 的规定。

表 5.2.1-2 零件矫正允许偏差

零件	名称	简图	说明	允许偏差(mm)
钢板	平面度		每米范围	$f \leq 1$
	直线度		全长范围	$f \leq 3$ $f \leq 4$
型钢	直线度		每米范围	$f \leq 0.5$
	角钢肢垂直度		两肢有连接时	$\Delta \leq 0.5$
			其余部位	$\Delta \leq 1$
	角钢肢、槽钢肢平面度		连接部位	$\Delta \leq 0.5$
			其余部位	$\Delta \leq 1$
	工字钢、槽钢腹板平面度		连接部位	$\Delta \leq 0.5$
其余部位			$\Delta \leq 1$	
工字钢、槽钢翼缘垂直度		连接部位	$\Delta \leq 0.5$	
		其余部位	$\Delta \leq 1$	

4、制孔

(1) 所有孔眼均应采用机加工方式成孔，不得气割成孔，孔壁及销轴表面粗糙度应满足设计要求；当设计无要求时，孔壁及销轴表面粗糙度不应大于 Ra12.5。

- (2) 螺栓孔应成正圆柱形，孔缘无损伤不平，无刺屑。
- (3) 孔的同轴度和位置、尺寸应符合设计要求，各杆件、节点宜对装后整体钻孔或镗孔成型。
- (4) 当加工螺栓群连接孔时，宜制作标准样板进行配钻或采用数控机床加工。
- (5) 螺栓孔的孔径允许偏差应符合表 5.2.1-3 的规定。
- (6) 螺栓孔孔距的允许偏差应符合表 5.2.1-4 的规定；当有特殊要求时，其孔距偏差应符合工艺文件的规定。

表 5.2.1-3 螺栓孔径允许偏差

序号	螺栓直径	螺栓孔径(mm)	允许偏差 (mm)	
			孔径	孔壁垂直度
1	M10	φ 12	+2.0 0	板厚 t ≤ 30 时，不大于 0.3； 板厚 t > 30 时，不大于 0.5，
2	M16	φ 18	+2.0 0	
3	M20	φ 22	+2.0 0	
4	M22	φ 24	+2.0 0	
5	M24	φ 26	+2.0 0	
6	M30	φ 33	+2.0 0	

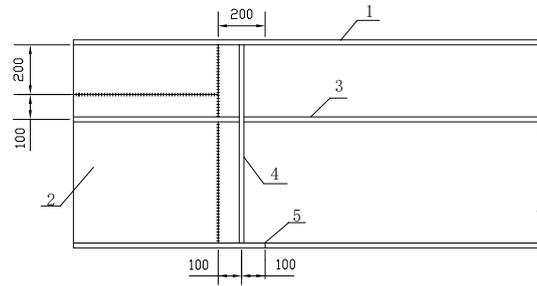
表 5.2.1-4 螺栓孔距允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	备注
1	两相邻孔中心线距离	±0.5	—
2	极边孔距	±1	—
3	孔群中心线与构件中心线的横向偏移	≤2	—
4	两端孔群中心距	±3	—

5.2.2 组装

- 1、组装前必须熟悉施工图和工艺文件，按图纸核对零件编号、外形尺寸、坡口方向及尺寸，确认无误后方可组装。

2、组装前必须彻底清除待焊区域的铁锈、氧化皮、油污、水分等有害物。清除范



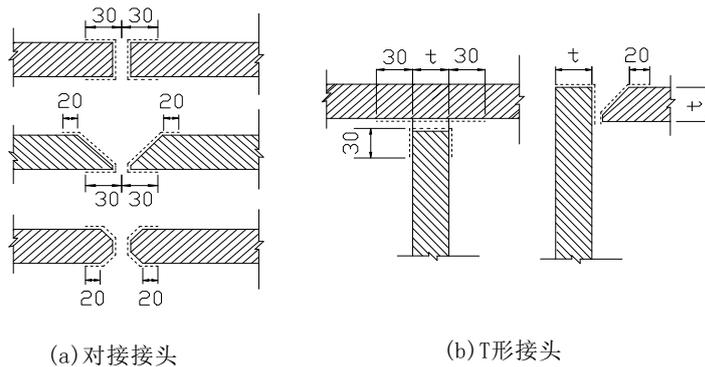
1—盖板；2—腹板；3—水平肋或纵肋；

4—竖肋或横肋；5—盖板对接焊缝。

围应符合图 5.2.2-1 的规定。

图 5.2.2-1 清除范围(单位：mm)

当零件需车间接料时，应将相邻焊缝错开，错开的最小距离应符合图 5.2.2-2 的规定。顶板、底板、腹板的接料纵向焊缝与板肋焊缝间距不得小于 100mm。



(a) 对接接头

(b) T形接头

图 5.2.2-2 焊缝错开的最小距离(单位：mm)

3、条件允许时，要在对接焊缝、主要角焊缝的端部组装引熄弧板，其材质、厚度及坡口形式必须与所在部位的板件相同。

4、各类型构件首制件必须经检查合格及监理工程师批准后，方可批量生产。

5、杆件组装偏差符合表 5.2.2-1 的规定。

表 5.2.2-1 杆件组装允许偏差

序号	项 目	允许偏差 (mm)	简 图	
1	对接高低差 $\Delta 1$	$t < 25$	≤ 0.5	
		$t \geq 25$	≤ 1.0	
	对接间隙 $\Delta 2$		≤ 1.0	
2	钢衬垫或陶质衬垫对接焊	α	$\pm 5^\circ$	

序号	项 目	允许偏差 (mm)		简 图
		Δ	0.5 (钢衬垫)	
	接头组装	S	+6.0 -2.0	
3	盖板中心和腹板中心线的偏移 Δ	≤ 1.0		
4	腹板的局部平面度 Δ	连接部位 1.0 其余部位 3.0		
5	盖板倾斜 Δ	≤ 0.5		
6	组装间隙 Δ	≤ 1.0		
7	长度 L	± 10		
8	高度 h	拼接部位	+1.5 0	
		其余部位	± 2.0	
	宽度 b	± 1.0 (腹板有拼接时) ± 2.0 (腹板无拼接时)		
	箱形杆件对角线差 $ l_1 - l_2 $	≤ 5.0		
9	主桁箱体腹板垂直度 Δ	≤ 1.5		
	主桁箱体腹板间距 S	+2.5 +0.5		

5.2.3 焊接

1、一般规定

(1) 焊工或焊接操作工必须取得权威机构签发的资格证书。焊工应按焊接种类（埋弧自动焊、CO₂ 气体保护焊和手工焊）和不同的焊接位置（平焊、立焊和仰焊）分别进行必要的培训和考试。考试合格发给资格证书。焊工须持证上岗，且只能从事资格证规定范围的焊接作业。焊工如果停焊时间超过 6 个月，应重新培训考核。

(2) 所有类型的焊缝在焊接前应编制完善的焊接工艺指导书。施焊应严格执行焊

接工艺的规定。焊接参数只能在工艺规定的范围内调整，不得随意变更。

(3) 焊接作业宜在室内进行。施焊环境湿度应小于 80%，焊接低合金钢的环境温度不应低于 5℃，焊接普通碳素钢不应低于 0℃，当不符合上述条件时，应在采取必要的防风、防雨、预热、保温等工艺措施后进行焊接。

(4) 主要部件应在组装后 24 小时内焊接，超过的可根据不同情况在焊接部位进行清理或去湿处理后再施焊。

(5) 焊前预热温度通过焊接试验确定，预热范围一般为焊缝两侧 100mm 以上，距焊缝 30~50mm 范围内测温。为防止 T 型接头出现层状撕裂，在焊前预热中，必须特别注意厚板一侧的预热效果。

(6) 焊前必须彻底清除待焊区域内有害物及定位焊的飞溅、熔渣，认真检查并确认所使用的设备工作状态正常，仪表良好。施焊时应按工艺规定的焊接位置、焊接顺序及焊接方向施焊，不得在母材的非焊接部位起、熄弧，埋弧自动焊应在距构件端部 80mm 以外的引板上起、熄弧；施焊完的部件，应及时清除熔渣及飞溅物。

(7) CO₂ 气体保护焊焊接时，要及时清除喷嘴上的飞溅物，且干燥器始终处于良好的工作状态。CO₂ 气体保护焊施工风力不宜大于 5 级，当风力影响到焊接质量时，应采取相应措施。

(8) 焊接材料经检验合格，方可投入使用。焊丝表面的油、锈必须清理干净，焊剂中不允许混入熔渣和脏物。焊剂、焊条必须按表 5.2.3-1 或产品说明书烘干使用。烘干后的焊接材料应随用随取。当从烘干箱取出的焊接材料超过 4 小时时，应重新烘干后使用。

表 5.2.3-1 焊条、焊剂烘干温度

焊接材料	烘干温度 (°C)	保温时间 (h)	保存温度 (°C)	备注
SJ101q SJ105q SJ101NQ SJ105NQ	350±10	2	150±10	由烘干箱取出后 超过 4 小时应 重新烘干。
E5015 E5015-G E5515 E5515-G	350~400	2	150±10	

(9) I、II 级焊缝焊后应记录杆件的名称、件号、焊缝位置、焊接日期，焊接参数、质量状况、操作者等信息。

(10) 焊接后须割切掉两端的引板或产品试板，并磨平切口，且不得损伤母

材。

2、定位焊

(1) 定位焊前应按图纸及工艺文件检查焊件的几何尺寸、坡口尺寸、根部间隙、焊接部位的清理情况等，如不符合要求不得定位焊。

(2) 焊接工艺要求焊前预热时，则定位焊焊前也需要按同样的预热温度预热。

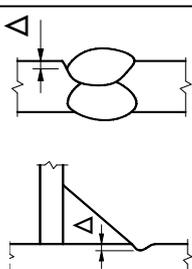
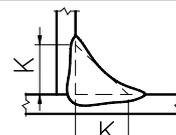
(3) 定位焊不得有裂纹、夹渣、焊瘤、焊偏，弧坑未填满等缺陷。如遇定位焊缝开裂，必须查明原因，清除开裂焊缝，并在保证构件尺寸的情况下作补充定位焊。

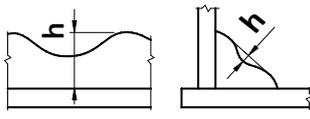
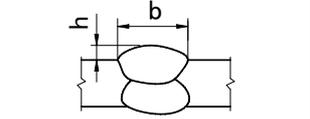
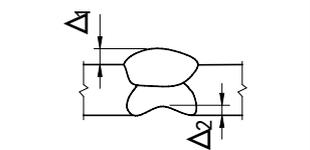
(4) 定位焊应距设计焊缝端部 30mm 以上，焊缝长为 50~100mm，间距 400~600mm；板厚大于 50mm 的构件，定位焊缝的间距为 300~500mm。定位焊的焊脚尺寸不得大于设计尺寸的一半，且不小于 4mm；因吊运需加强的部位，可按工艺规定加长、加密。

3、焊接检验

所有焊缝必须进行外观检查，不得有裂纹、未熔合、焊瘤、夹渣、未填满弧坑及漏焊等缺陷,并应符合表 5.2.3-2 的规定。外观检查不合格的焊缝，必须进行修补并打磨匀顺。

表 5.2.3-2 焊缝外观质量标准

序号	项目	简图	质量标准 (mm)		
1	咬边		横、纵向受拉对接焊缝		
			U形肋角焊缝翼板侧受拉区		
			不允许		
			横向受压对接焊缝 $\Delta \leq 0.3$		
			主要角焊缝 $\Delta \leq 0.5$		
其它焊缝 $\Delta \leq 1$					
2	气孔		对接焊缝	不允许	
			主要角焊缝	直径小于 1	每 m 不多于 3 个， 其间距不小于 20 mm
			其它焊缝	直径小于 1.5	
3	焊脚尺寸		主要角焊缝 K_0^{+2} ，一般角焊缝 K_{-1}^{+2} ， 手弧焊全长 10% 范围内允许 K_{-1}^{+3}		

序号	项目	简 图	质 量 标 准 (mm)
4	焊波		$h \leq 2$ (任意 25mm 范围内)
5	余高 (对接)		$b \leq 15$ 时, $h \leq 3$; $15 < b \leq 25$ 时, $h \leq 4$; $b > 25$ 时, $h \leq 4b/25$ 单面焊接的横向对接焊缝背面余高 $h \leq 2$
6	对接焊缝余高 铲磨		$\Delta 1 \leq 0.5$ $\Delta 2 \leq 0.3$

4、无损检测

(1) 基本要求

无损检测人员必须通过考试并取得资格证书,且只能从事资格证书中认定范围内的工作。无损检测设备应定期送计量检验部门进行计量检定,并在检定有效期内使用。

(2) 检验要求

无损检验前应对焊缝及探伤表面进行外观检验,焊缝表面的形状应不影响缺陷的检出,否则应做修磨。

经外观检验合格的焊缝,方可进行无损检验。无损检验的最终检验应在焊接完成 24h 后进行。钢板厚度 $t \geq 30\text{mm}$ 焊接件宜在焊接完成 48h 后进行无损检验。

要求同时进行超声波检验和磁粉检验的焊缝,磁粉检验必须安排在超声波检验合格后进行。

用两种或两种以上方法检验的焊缝,必须达到各自的质量要求,该焊缝方可认为合格。

进行局部探伤的焊缝当发现裂纹或较多其他超标缺陷时,裂纹或缺陷附近的探伤范围应扩大一倍,必要时延至全长。

开坡口部分熔透角焊缝的超声波探伤深度应为坡口深度减去 3mm。

棱角焊缝探伤的最小有效厚度为该焊缝的设计厚度。

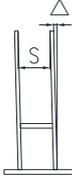
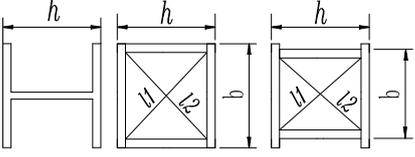
焊缝无损检测的质量分级、检测方法、检测部位和验收等级等应符合设计文件和国家、行业现行有关标准的规定。

5.2.4 矫正

- 1、矫正的通用允许偏差应符合表 5.2.4-1 的规定。
- 2、矫正后的杆件表面不得有凹痕和其他损伤。
- 3、杆件采用冷矫时应缓慢加力，环境温度不宜低于-12℃，总变形量不得大于 2%。
- 4、采用热矫时，加热温度应控制在 600~800℃，严禁过烧，不宜在同一部位多次重复加热，且不得锤击钢材和用水急冷。

表 5.2.4-1 矫正允许偏差

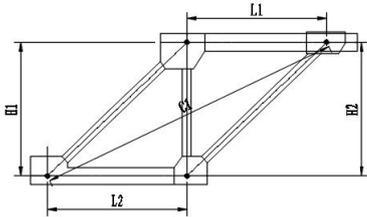
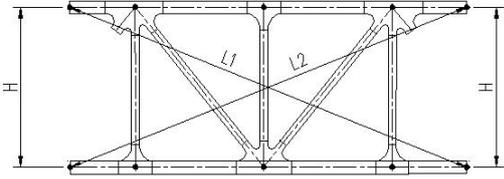
序号	图 例	项 目		允许偏差 (mm)
1		盖板对腹板的垂直度 Δ	连接部位	≤ 1.0
			其余部位	≤ 2.0
2		盖板平面度	有孔部位	≤ 0.5
			其余部位	≤ 1.0
3		工形杆件腹板平面度	$h/500$ 且不大于 2.0	
4		箱形杆件盖腹板平面度	连接部位: $\leq h(b)/500$ 且 ≤ 1.0 ; 其余部位: $\leq h(b)/250$	
5		箱形杆件对角线差 $ l_1 - l_2 $	5.0	
6		工形、箱形杆件的扭曲	5.0	
7		工形、箱形杆件的旁弯 f	$1/1000.0$ 且不大于 5	

8		主桁箱体腹板垂直度 Δ	$\Delta \leq 1.5$
		主桁箱体腹板间距 S	+2.5 +0.5
9		高度 h	± 1.0 (栓接接口) ± 2.0 (焊接接口)
		宽度 b	± 1.0 (腹板有拼接时) ± 2.0 (腹板无拼接时)
		箱形杆件对角线差 $ l_1 - l_2 $	3.0

5.3 挂篮拼装

预拼装主要包括主桁架桁片和横向平联桁片预拼装，应在平台或胎架上进行。桁片拼装关键在于控制焊接收缩及变形影响，确保桁高、线形、对角线差等项点达到技术要求。预拼装允许偏差见表 5.3-1

表 5.3-1 桁片预拼装允许偏差

序号	名称	项目	允许偏差 (mm)	简图及说明
1	主桁架桁片	桁高 H	+4.0 +2.0	 注：检测点为杆件系统线与杆件极边孔中心线的交点
2		两头相对尺寸 L	+2.0 0	
3		桁片对角线 C	+3.0 0	
4		斜竖杆盖、腹板接口错边	≤ 1.5	
5	横向平联桁架	桁高 H	+4.0 +2.0	
6		对角线差 $ L_1 - L_2 $	≤ 3.0	
7		斜竖杆盖、腹板接口错边	≤ 1.5	
8		平面度	≤ 3.0	
9		桁片平面外弯曲	≤ 4.0	
10		扭曲	≤ 3.0	

5.4 挂篮安装

5.4.1 挂篮安装准备及作业条件

1、技术管理人员必须向所有参加挂篮安装作业人员进行技术、安全交底，使全体作业人员熟悉挂篮性能和操作规程，严格执行施工工艺要求和技术要求。

2、凡参加挂篮作业的人员必须身体健康，有恐高症、心脏病和酒后人员不得参加作业；严禁疲劳作业。

3、应保证施工环境整洁，各种材料堆放要整齐，地面、箱梁顶面不应有油渍。

4、挂篮安装与拆除作业应对称进行。

5、在雷雨天气、风力大于六级时，不得进行挂篮施工作业，确保人身安全。

6、高处作业与地面联系，配有通讯设备，应有专人负责。

7、运送人员和物件的各种升降电梯、吊篮，应有可靠的安全装置，严禁人员乘坐运送物件的吊篮。

8、起重作业可参照《起重机械起重安全作业规程》和《设备起重吊装工程便携手册》。施工中使用的机械设备，应随时检查、维修保养，特别是起重设备均应有的安全系数，如有不符合规定的应立即予以更换。所有动力、照明电路必须按照规定铺设，定时检查，确保安全。

9、挂篮安装施工时地面范围应设警戒区，防止坠物伤人。

10、高空作业时，作业人员系好安全带。禁穿拖鞋、高跟鞋、带钉易滑硬底皮鞋作业。

5.4.2 挂篮安装工序

1、轨道安装

(1) 放出挂篮行走轨道轴线，安装轨道垫梁，垫梁锚固于已浇梁段，精确设置每组轨道间距，并操平垫实。严格控制两组轨道间的中心距与图纸设计一致。轨道安装要顺直，轨道顶面要保持水平，两组轨道的高差不得大于 5mm

(2) 利用箱梁竖向精轧螺纹钢将垫梁压紧后锚固，然后通过反扣装置将轨道压紧扣于垫梁。

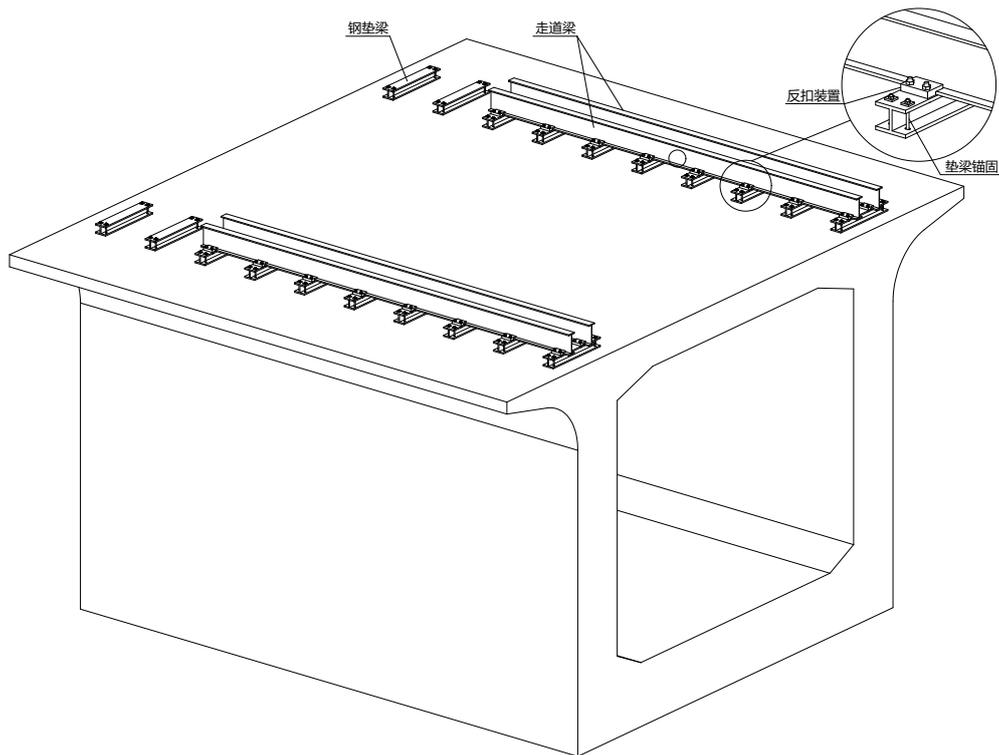


图 5.4.2-1 轨道安装示意图

2、主桁架安装

(1) 主桁架安装前先在轨道上安装反扣轮组和前支座，使其分别座落在轨道合适的位置处，同时设置临时后支座。前支座也可与主桁前支座箱体连接好后整体吊装到位。

(2) 以轨道为基准放出主桁安装轴线及平面位置，确定挂篮前支座位置。单片主桁竖杆、下弦杆和后拉杆在地面上先组拼成一个单片三角形。

(3) 在后支座箱体下设置临时后支座，三角架吊装就位，为保证单片三角桁架的稳定，首先安装反压装置，使其稳定并调整主桁架的左右垂直度，各片主桁在纵向一定要平齐。

(4) 在地面上拼装主桁上弦杆和前撑杆临时形成三角架吊装到已经安好的三角桁架上，形成菱形主桁架。

3、安装横向平联桁架

在主桁竖杆的两侧先安装定位角钢，定位角钢安装完成后吊装横向平联桁架。桁架在没连接成型前要有牢固的临时支撑，保证桁架体系的整体稳定。

4、横梁及模板安装

(1) 后下横梁安装

先在地面较平整的地方根据设计图纸尺寸先安装横梁型吊架，尽量放置水平，参照

挂篮设计图纸在横梁底下相应位置放入吊架的横担，然后把吊架的竖杆下端对准插入横担的销孔之间，打插销孔，上销子保险销。

(2) 前上横梁安装

前上横梁的构造、安装与后下横梁一样。

(3) 前下横梁安装

起吊前下横梁，把安好的前上横梁吊杆拧入横梁吊具中，利用前吊杆调节前下横梁高度。

(4) 底纵梁及底模板安装

底纵梁按设计图纸的位置逐根安放，纵梁与前后下横梁销接，确保前后横梁的间距保证吊杆的垂直受力。在纵梁跨中、纵梁底部横向设置一根小槽钢，与纵梁连接，加强纵梁的横向稳定性。挂篮底篮安装可在地面上先拼装好后整体吊装到位。待底篮提升到位后穿好底篮的前后吊杆，底篮吊到位后安装吊杆，铺设底模板完成挂篮底篮安装，调整好底篮高度。

(5) 侧模板安装

用起重设备提升侧模，提升到位后临时放在底篮的外侧纵梁上、临时固定，穿好吊杆，把导梁、滑梁水平穿插在侧模板上；导梁前端吊在前上横梁上，导梁后端吊在箱梁上。侧模整体悬吊在外滑梁上，滑梁安装时要在滑梁后端安装防脱落装置，主要用于挂篮行走时防止滑梁走脱滚动吊架。

(6) 顶板模板安装

与侧模板同样安装方法安装顶板滑梁及内模板。顶板内滑梁与外侧导滑梁安装方法一致。

5、操作平台安装

挂篮的操作平台分为主桁通道、前上横梁操作平台、后下横梁操作平台和底篮侧面通道。操作平台杆件均为标准式杆件，重量较轻，安装方便，拼装连接采用螺栓。装顺序为：先安装平台底框架和栏杆，然后在框架上铺钢格板，再安装侧面栏杆扶手。

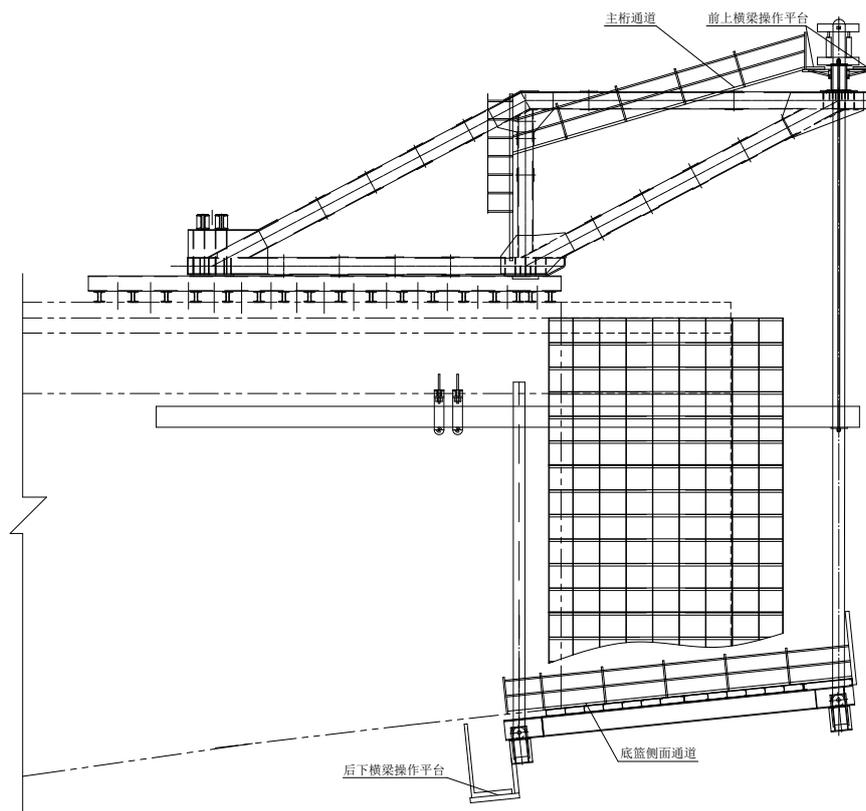


图 5.4.2-2 操作平台示意图

6 挂篮使用

6.1 一般规定

6.1.1 挂篮施工前应编制挂篮安全使用操作规程或作业指导书。

6.1.2 挂篮使用前，应收集挂篮相关资料，如材质证明书、质检报告、产品合格证、主要杆件焊接探伤报告、挂篮设计计算书。

6.1.3 挂篮安装完成后，必须对挂篮后锚固装置、支点、吊杆等全套系统进行检查，确保符合设计要求。

6.1.4 严禁在挂篮吊带、吊杆上进行电焊或热切割作业。

6.1.5 顶升挂篮的千斤顶、提升挂篮的设备应完好、并要求其带有油压自锁定装置，严禁超负荷工作。

6.1.6 一个墩两套挂篮应对称同步推进，推进距离相差不得超过 1m。

6.2 挂篮检验

6.2.1 挂篮安装完成后，应检验各构件安装是否符合设计要求，检查有无漏装、错装。

6.2.2 挂篮构件间采用高强度螺栓连接的，螺栓预紧力应满足设计要求。

6.2.3 挂篮构件间采用现场焊接方式进行连接的，焊缝质量应满足设计要求，不得出现假焊、漏焊等焊接缺陷，重要构件重要焊缝应出具焊缝探伤报告。

6.2.4 挂篮主桁架安装完成后，相邻主桁架间顶面相对高差不得大于 10mm。

6.2.5 挂篮安装完成后，吊杆、锚杆等应均衡预紧，严禁出现松弛现象。

6.2.6 吊杆、锚杆及螺栓等连接锚固件应按要求安装垫板。

6.2.7 挂篮后锚固系统及吊挂系统用的精轧螺纹钢筋的应外套 PVC 管材保护。

6.2.8 挂篮后锚固系统及走道锚固用的精轧螺纹钢筋预埋时应确保其位置、数量、间距满足设计要求，螺纹钢筋底部应确保安装配套的螺母垫片。

6.2.9 挂篮检验应由使用单位、挂篮设计单位和制造单位参加，并邀请监理单位参加验收。

6.2.10 挂篮安装记录及质量检查文件应完备，构件安装偏差应满足要求。

6.2.11 收集和归纳挂篮设计、制造、安装及结构验算相关资料，以便使用过程中的保养维修。

6.3 荷载试验

6.3.1 挂篮组拼后，应全面检查安装质量，验收合格后方可对挂篮进行荷载试验。

6.3.2 挂篮荷载试验应结合现场实际情况编制施工方案，施工方案应包含以下内容：

1. 确定预压荷载及加载方式。
2. 预压材料的选取。
3. 应力、挠度测点布置及监测记录。
4. 安全保护措施及应急预案。

6.3.3 挂篮荷载试验的荷载应取悬臂浇筑最大节段重量的 1.2 倍，荷载分布宜与节段自重相一致，不得集中堆载。

6.3.4 挂篮荷载试验可结合项目实际情况采用堆载预压法、反力架法、承台预埋预应力张拉法等

6.3.5 挂篮加载及卸载应分级进行。加载分级宜为悬臂浇筑最大节段重量的 10%、50%、

100%、120%。采集每个阶段数据并做记录，每完成一级加载应进行观测并对挂篮进行检查，发现异常情况立即停止加载，及时分析原因，确认安全后方可继续加载。

6.3.6 卸载应按与加载相反的顺序进行，逐级逐层两侧对称均匀卸载。禁止进行集中卸载。

6.3.7 挂篮荷载试验过程中应同步测量挂篮变形，每套挂篮测量断面不应少于3个，观测点宜左右对称设置在梁体宽度的1/4、1/2和3/4处。全部加载完成后持荷2h且最后两次观测变形值之差小于2mm时，可认定变形稳定，方可进行逐级卸载，卸载分级宜为悬臂浇筑最大节段重量的100%、50%、10%、空载，继续进行观测并做好观测记录。

6.3.8 挂篮荷载试验过程应进行结构应力检测。根据挂篮设计理论计算结果合理确定应力检测点的布置和数量。

6.3.9 预压试验测量及变形值计算应符合下列规定：

1. 挂篮安装时、调整后、预压前，应对各测点进行初始值观测；
2. 每级预压完成后6h，应对所有测点进行观测，并应记录变形数据，确定变形结果；
3. 最终荷载预压完成12h后，应进行观测，确定标高值；24h内无变化应视为稳定，可进行卸载；
4. 卸载完成后，应及时对测点进行末次观测，并应记录标高值；

6.3.10 测量完成后应及时整理挂篮变形数据，绘制挂篮各测点不同荷载下的变形曲线，分析挂篮非弹性变形。

1. 非弹性变形的计算应符合：

$$h_n = H_0 - H_n \quad (6.3.10-1)$$

2. 弹性变形的计算应符合：

$$h = H_n - H_{n+1} \quad (6.3.10-2)$$

式中：h 弹性变形量 (mm)；

h_n —非弹性变形量 (mm)；

H_0 ——预压前，测点的初始标高观测值 (m)；

H_n ——卸载后，测点的末次标高观测值 (m)；

H_{n+1} ——加载完毕稳定后，测点的标高观测值 (m)。

6.4 挂篮前移

6.4.1 挂篮在每次行走之前应对其主要构件进行检查，并应符合下列要求：

1. 与已浇梁段的约束全部解除；
2. 挂篮后锚孔、吊杆孔的位置和尺寸准确；
3. 挂篮行走千斤顶、手拉葫芦等技术性能良好；
4. 各类保险装置设置完善；
5. 走行用动力设备性能良好；
6. 走道梁有无变形，挂梁后钩装置安全可靠；
7. 检查前移路径上是否有障碍物，清除后方可移机；
8. 前移过程中应强调指派专人负责辅助防倾覆装置的操作，特别在纵坡较大的桥梁下坡方向的挂篮走行。

6.4.2 挂篮前后吊杆在调整完毕后，必须将荷载转移至支座上，不得由千斤顶长期受力来承受施工荷载。

6.4.3 挂篮前移应先拆除模板支撑或拉杆，同步放松前后吊杆锚固，使模板脱离梁体。

6.4.4 挂篮前移可采用千斤顶顶推或手拉葫芦牵引，使挂篮结构、模板体系同步前移至下一节段位置，也可先移动挂篮，再移动模板。挂篮前移速度宜控制在每分钟 5cm~10cm。

6.4.5 不同轨道梁上的挂篮主梁前移应保持同步，其不同步误差应小于挂篮设计规定的允许值。

6.4.6 挂篮前移时，测量人员应跟踪观测，及时调整挂篮行走轴线误差。

6.5 挂篮就位

6.5.1 挂篮前移就位后，应立即将后锚固点锁定，防止倾覆。

6.5.2 挂篮纵向定位，由行走机构控制完成，纵向定位误差应小于 20mm。

6.5.3 挂篮横向调整，可在挂篮主承重桁架与桥面用手拉葫芦予以调整。在挂篮前移时应进行观测，随时纠正挂篮偏位，模板体系轴线偏差应不大于 10mm。

6.5.4 挂篮就位后应同步均衡收紧吊杆，测量并调整模板位置及标高，并应核准中心位置及高程，校正中线。

6.5.5 挂篮施工应严格控制横向偏载，偏载值不宜超过挂篮设计规定的允许值。

6.5.6 挂篮就位后，进行钢筋绑扎前，应对挂篮进行检查，并应符合下列要求：

- 1 . 后锚设备应连接牢固；
- 2 . 前后吊杆及横梁应受力正常；
- 3 . 各螺栓应拧紧；
- 4 . 挂篮底模按第三方监测进行调整。

6.6 挂篮维护

6.6.1 挂篮在使用期间，须保持良好的技术性能，单个悬臂浇筑节段施工期间，应于挂篮行走就位之时、以及混凝土浇筑之后对主桁架各构件、保险装置、吊杆吊带等进行检查与维护。

6.6.2 挂篮移动用的千斤顶、手拉葫芦、钢丝绳应定期检查，确保其技术性能良好。

6.6.3 挂篮各关键部位设置的保险装置、各销轴的保险销应定期检查，确保其处于完好状态。采用焊接连接的，应定期检查焊缝情况。

6.6.4 吊杆与锚杆应定期检查，发现螺纹受损、拉杆弯曲等情况应及时调换。

6.6.5 高强度拉杆在使用过程中应采取防火、防热及防腐蚀措施，避免电火花、电焊等触及。

6.6.6 每一节段浇筑完后，应及时清除散落在挂篮上的混凝土废料。带螺纹的杆件应采取保护措施，避免混凝土散落到螺纹上凝结硬化后影响使用。

6.7 改制挂篮使用

6.7.1 挂篮改制之前应对主桁架进行力学检验，各部位元件应进行全面外观检查；修复后的各部件、焊缝、母材等应满足相应的质量验收标准；原有挂篮材质明确、资料齐全，待制挂篮图纸完整、计算准确。

6.7.2 挂篮现场改制使用应重新计算。挂篮主要承重构件应进行全面外观检查，并应确认使用的安全。

6.7.3 主要受力焊缝应进行探伤、磁粉或渗透检查，确认焊缝质量，避免因受力或疲劳产生焊缝裂纹。

6.7.4 焊缝金属或母材的缺陷超过相应的质量验收标准时，可采用砂轮打磨、碳弧气刨、铲凿或机械等方法彻底清除。采用焊接修复前，应清洁修复区域的表面。

6.7.5 焊缝缺陷修复应符合下列规定：

1. 焊缝焊瘤、凸起，应采用砂轮或碳弧气刨清除多余的焊缝金属，凹陷、弧坑或尺寸不足等焊接缺陷应进行合理补焊；

2. 焊缝熔合不够、有气孔或夹有焊渣等，在敲落和清理后再进行补焊；

3. 焊缝与母材上出现的裂纹应进行无损探伤检测方法确定范围与深度，采用砂轮打磨或碳弧气刨清除裂纹及其两端各 50mm 长的完好焊缝及母材，再重新进行补焊。

4. 同一部位缺陷的焊接返修次数不宜超过两次，结构受拉应力部位返修不得超过两次；

5. 各多余销孔的封堵应采用与部件等厚等质的钢板贴合绑焊，已被严重腐蚀且确认无法修复的元件须予以置换；

6. 改制后的挂篮应重新进行防腐涂装。

6.7.6 同一部位缺陷的焊接返修次数不宜超过 2 次，结构受拉部位的返修不得超过 2 次。

6.7.7 对改制挂篮各构件，应清理干净，重新进行防腐涂装。

6.7.8 当作业环境温度低于-10℃或焊接作业区的相对湿度大于 90%时，现场禁止焊接作业。

6.7.9 当作用环境温度低于 0℃且不高于-10℃时，应采取加热或防护措施，将焊接接头和焊接表面各方向大于或等于钢板厚度的 2 倍且不小于 100mm 范围内的母材，加热到规定的最低预热温度且不低于 20℃后再施焊。

6.7.10 如承重构件需通过焊接的方式进行加强、加长处理，焊接作业前应进行焊接工艺评定，并应按评定的焊接工艺参数进行焊接。

6.8 挂篮拆除

6.8.1 悬浇合龙段以及相应的预应力工序完成后，挂篮行至预定的位置，可进行挂篮拆除。拆除之前须确认已无荷载作用于挂篮之上。

6.8.2 挂篮的分步拆除顺序宜分为以下五个步序，即内模板系统、侧模板系统、底模板系统、主桁架系统、行走系统。

6.8.3 挂篮拆除注意事项：

1. 挂篮拆除时可利用电动葫芦倒链与吊装机械，使用倒链下放各模板系统时，除要保证挂篮桁架结构受力正常、不偏载之外，其倒链长度应满足挂篮着地要求；

2. 拆除由多个构件组成的连接件时，应分步拆除，遵循“自下而上，先内后外”的顺序并持续观察构件的稳定状态，同时应采取防止构件倾覆的临时稳固措施；

3. 吊装机械所需的场地必须满足起重机械安全作业的要求，且周边合理设置警戒线，拆除过程应有专人统一指挥。

7 挂篮工程数字化

7.1 一般规定

7.1.1 在桥梁挂篮的设计、制造、安拆及使用过程中宜采用工程数字化技术。

7.1.2 挂篮工程数字化技术一般指在设计阶段采用的有限元分析及 BIM 技术、加工制造阶段采用的自动化加工技术、施工模拟采用的虚拟仿真模拟技术及使用期间采用的自动化控制等技术。

7.1.3 挂篮各阶段的工程数字化数据宜相互衔接利用。

7.2 挂篮数字化设计

7.2.1 挂篮的选型及结构计算分析宜采用有限元分析软件进行。

7.2.2 挂篮的施工图设计宜采用 BIM 技术。

7.2.3 挂篮的施工图深化设计宜采用 BIM 技术。

7.2.4 挂篮施工图宜采用 BIM 软件出图。

7.2.5 宜采用 BIM 技术进行挂篮设计交底工作。

7.3 挂篮数字化制造加工

7.3.1 挂篮的加工制造宜采用数控技术。

7.3.2 挂篮的数控加工制造数据宜与深化设计 BIM 数据关联。

7.4 挂篮施工模拟

7.4.1 宜综合应用 BIM、VR 等三维可视化技术模拟挂篮的安装、拆卸及施工全过程模拟。

7.4.2 挂篮的施工安全技术交底宜采用 BIM 及 VR 等技术。

7.5 挂篮自动化监测和智能化控制

7.5.1 挂篮在使用过程中宜采用自动化监测传感器监测挂篮的状态。

7.5.2 挂篮自动化监测宜重点监测挂篮吊带应力、主桁架应力、后锚应力、主桁架挠度、主桁架挠度高程位移及水平位移。

7.5.3 挂篮在使用过程中应同步监测桥梁结构本体和周围重要建（构）筑物变形数据、气象数据（风速、风向、气温等）。

7.5.4 挂篮的自动化监测数据宜采用离散数据采集模块采集并实现网络化传输和自动分析处理。

7.5.5 挂篮的自动化监测系统应实现挂篮的稳定性评价并及时预警。

7.5.6 宜采用智能化远程控制系统实现挂篮的行走及反滚轮翻转、挂篮的提升和下放、拱架提升和下放等动作，宜采用自动化液压控制系统代替传统液压系统。

8 安全与环境保护

8.0.1 挂篮使用前应由项目总工程师组织制定详细的安全操作规程，并应对参与施工的所有管理、操作人员进行安全技术交底，明确各自岗位职责，并签字归档。挂篮使用使用期间必须有专职安全管理人员全程巡查，确保施工安全。

8.0.2 挂篮使用前验收应由使用单位组织，挂篮设计单位、加工单位、检测验收单位、监理单位等联合检查验收，填写联合检查验收表并明确挂篮能否满足施工要求，及相关使用的注意事项等，后期正常使用时在挂篮施工工况变化时（如挂篮前移、浇筑等）进行专项检查，每周进项专项检查。

8.0.3 挂篮安装作业过程中应严格遵守施工方案及操作规程要求，并应安排专人指挥协调。

8.0.4 挂篮安装过程中钢丝绳、倒链葫芦等吊装器具的使用应遵循相关国家标准规范。

8.0.5 精轧螺纹前后吊带在挂篮调节到位后应采用扳手将螺母拧紧到规定的单位力度，确保各组吊带均匀受力。

8.0.6 施工过程允许风速限制应符合表 8.0.6 要求：

表 8.0.6 施工过程中允许风速表

工况	允许风速
混凝土浇筑	≤8 级
挂篮前移	≤6 级

8.0.7 挂篮推进全过程应设一名专职安全人员监督挂篮操作安全。

8.0.8 同一墩位两端挂篮推进距离不得超过 1m，以确保结构安全。同一墩位两端混凝土布料及同一挂篮两侧重量偏差满足挂篮设计要求。

8.0.9 空中施工作业时应做好安全防护，作业区外缘应设置高度不小于 1.2m 的防护栏杆，外挂安全网，底部设置 20cm 的踢脚板，避免各种材料、器材坠落，保障在航船舶、地面和水上作业的安全。

8.0.10 施工前应对挂篮及相关行走、张拉、钢筋加工绑扎、混凝土浇筑等相关设备进行全面检查，防止油料泄漏，严禁将废油、施工垃圾等随意丢弃，应按规定统一运至指定地点。施工用混凝土应采用泵送混凝土，避免施工材料溢出。

8.0.11 施工前应加强对作业人员的培训，严禁在高空向下投掷物品。

8.0.12 当跨越既有铁路、航道、高速公路等线路时，应编制专项施工方案，方案审批时应征得被跨越线路产权或管理单位的同意及意见，必要时组织专家论证。

附录