

团 体 标 准

T/CSPSTC XX—202X

大跨度钢拱桥支架法提升施工技术规范

Technical code of practice for lifting construction of large span steel
arch bridge by support method

(征求意见稿)

202X - XX-XX 发布

202X - XX-XX 实施

中国科技产业化促进会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本规定	3
4.1 整体提升基本流程规定	3
4.2 整体提升节段划分原则	3
4.3 整体提升合龙段设置原则	4
5 临时支架设计与施工	4
5.1 一般规定	4
5.2 支架材料	4
5.3 构造组成	5
5.4 支架荷载与作用	6
5.5 支架的设计与计算	9
5.6 制作要点	13
5.7 施工方法及注意事项	14
5.8 临时支架质量要求	15
5.9 临时支架拆除	17
6 拱肋制作及临时加强	17
6.1 拱肋焊接工艺评定	17
6.2 拱肋节段制作	22
6.3 拱肋线形控制	36
6.4 拱肋安装	37
6.5 拱肋水平约束索安装	37
6.6 拱肋竖向提升索安装	38
7 拱肋整体提升用计算机控制液压提升系统的设计及安装	38
7.1 计算机控制液压提升系统的设计	38
7.2 计算机控制液压提升系统的安装和调试	39
7.3 提升系统技术要求	39
7.4 拱肋提升辅助设施	40
8 钢拱桥整体提升、合龙及成拱	40

8.1	钢拱肋提升工艺基本流程	40
8.2	钢拱肋提升体系转换	43
8.3	钢拱肋提升技术指标	44
8.4	钢拱肋提升到位技术指标	44
8.5	拱肋合龙	44
9	钢拱桥施工过程监控	45
9.1	施工过程监控指标及控制精度	45
9.2	桥梁结构施工监控计算	45
9.3	桥梁结构关键部位受力、变形监控	46
9.4	重要临时结构受力、变形监控	47
10	钢拱肋质量标准	47
10.1	整体提升支架质量标准	47
10.2	液压提升设备质量标准	51
10.3	拱肋提升到位拱肋质量标准	52
10.4	拱肋合龙成拱质量标准	52
11	钢拱肋整体提升安全保障措施与应急预案	53
11.1	水中施工安全保障措施	53
11.2	高空作业施工安全保障措施	53
11.3	提升设备施工安全保障措施	54
11.4	应急预案	55
	附录 A (规范性) 缺陷处理	61
	附录 B (规范性) 超声波探伤	62
	附录 C (资料性) 钢材的容许应力、强度和弹性模量	63
	附录 D (资料性) Q235 钢管及 Q335 钢管的轴心受压构件的稳定系数	64
	参考文献	66

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中铁上海工程局集团有限公司提出。

本文件由中国科技产业化促进会归口。

本文件起草单位：中铁上海工程局集团有限公司、西南交通大学、柳州欧维姆机械股份有限公司、成都大学、XXX。

本文件主要起草人：XXX。

引 言

拱桥在我国有着悠久的历史，具有结构形式多样、造型美观、刚度较大等特点，长期以来是我国的主要桥型之一。随着桥梁建造技术和材料性能的提升，尤其是我国保护生态和追求美好生活的意识不断贯彻和实施，跨江跨河大桥既要求水中无墩，又对桥梁造型提出“美”的要求。纵观近十年我国桥梁正向大跨度、造型新颖方向发展；特别是钢拱桥，与传统混凝土拱桥相比，具有跨度大、重量比、建造快、形式多样等优点，且符合生态与可持续发展要求。钢拱桥的主拱主要分实腹式拱肋和桁式拱肋，实腹式拱肋截面常用的形状有工字形、H形、圆形和箱型。在我国，钢拱桥一般应用于大跨径拱桥，通常都采用箱型截面拱肋，即钢箱拱桥。钢箱拱桥的结构形式多样，已建的钢箱拱桥结构形式主要有：有推力式拱桥、系杆拱桥、飞雁式拱桥、主拱-副拱协作式系杆拱桥等。主要的施工方式有：斜拉扣挂缆索吊装、转体法施工、大节段整体提升等。

近30年来，拱桥在我国发展迅速，并在设计、施工等方面取得了举世瞩目的成绩。但由于经济条件限制，2000年以前，钢拱桥在我国修建较少，2000年以后，钢拱桥的建设日益增多。相比于其他拱桥，钢拱桥在我国广泛应用的时间还比较短，设计、制造与施工等方面的经验还不成熟，理论与规范制定还有许多工作要做。

目前对于拱桥的施工还没有专门的规范可以参照，尤其对于施工风险高、控制难度大、技术指标高的整体提升施工方法更没有成熟或标准化的操作规范可以参照；另外，随着大跨度钢拱桥的不断修建，整体提升施工方法得到了众多工程建设者的青睐，以陆续采用此方法修建了数座拱桥，因此，提出并完成钢拱桥整体提升方面的施工规范具有十分重要的意义。

提升支架的设计、施工及监测内容，应综合考虑所提升构件的结构、尺寸、重量、自身刚度，以及场区水文环境、地质情况、施工季节性变化、施工周期等因素，因地制宜，合理选型、优化设计、精心施工、严格监控。为指导大跨度钢拱桥支架法提升施工技术在拱桥工程中广泛、规范、有效地应用，对其施工思路、适用范围、技术指标、实施与管理方面提出参考规范，使钢箱拱桥拱肋整体提升施工、提升支架设计中做到安全适用、技术先进、保护环境、经济合理、确保质量，特制定本文件。

本文件只限于拱肋（拱圈）提升施工，不涉及主梁和吊杆施工。本文件一般适用于钢拱桥拱肋、拱圈整体提升安装及提升所需的临时支架构造设计、施工、检测、监控量测等。对于跨江跨河以及工程环境受限条件下、采用大型吊装设备无法满足桥梁拱肋节段、拱圈一次性吊装时，可结合当地工程经验应用本文件。

大跨度钢拱桥支架法提升施工技术规程

1 范围

本文件规定了临时支架设计与施工、拱肋制作及临时加强、拱肋整体提升用计算机控制液压提升系统的设计及安装、钢拱桥整体提升、合龙及成拱、钢拱桥施工过程监控、钢拱肋质量标准、钢拱肋整体提升安全保障措施与应急预案的要求。

本文件适用于拱桥工程建设单位、设计单位、施工单位、监理单位、质监单位及咨询服务机构等大跨度钢拱桥支架法提升施工技术应用，其他相关的领域亦可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 93 标准型弹簧垫圈
- GB/T 97.1 平垫圈A级
- GB/T 156 标准电压
- GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB/T 714 桥梁用结构钢
- GB/T 762 标准电流等级
- GB/T 1031 产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
- GB/T 1228 钢结构用高强度大六角头螺栓
- GB/T 1229 钢结构用高强度大六角螺母
- GB/T 1230 钢结构用高强度垫圈
- GB/T 1231 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 2650 焊接接头冲击试验方法
- GB/T 2651 焊接接头拉伸试验方法
- GB/T 2652 焊缝及熔敷金属拉伸试验方法
- GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- GB/T 2654 焊接接头硬度试验方法
- GB/T 2970 厚钢板超声检测方法
- GB/T 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 5782 六角头螺栓
- GB/T 6170 1型六角螺母
- GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉

GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB 50007 建筑地基基础设计规范
GB 50009 建筑结构荷载规范
GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
GB 50254 电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范
GB 50303 建筑电气工程施工质量验收规范
GB 51162 重型结构和设备整体提升技术规范
CJJ 2 城市桥梁工程施工与质量验收规范
JB/T 3223 焊接材料质量管理规程
JG/T 319 预应力用电动油泵
JG/T 321 预应力用液压千斤顶
JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范
JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JT/T 771 无粘结钢绞线斜拉索技术条件
JTG D60 公路桥涵设计通用规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
TB/T 2137 铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法
TB 10002 铁路桥涵设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

拱肋节段 arch rib section

设计图中划分的钢箱拱肋节段。

3.2

横撑节段 cross section

设计图中划分的横撑、肋间横梁节段。

3.3

箱梁节段 box girder section

设计图中划分的钢箱梁节段。

3.4

板单元 plate element

组成拱肋节段、横撑节段、箱梁节段的基本单元。

注：包括顶板单元、底板单元、腹板单元、横隔板单元、定位隔板单元等。

3.5

零件 part

组成板单元或节段的最小单元。

注：其中顶板、底板、腹板、横隔板、定位隔板、肋板、吊点隔板、拼接板、U形肋；架设现场的临时吊装件板件；前述为主要零件，其余为次要零件。

4 基本规定

4.1 整体提升基本流程规定

4.1.1 整体提升施工应根据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》（中华人民共和国住房和城乡建设部令 第37号）编制专项施工方案，并履行相关报批手续。

4.1.2 整体提升所涉及的桩基础、支架结构、提升构件、施工步骤需进行力学分析，形成验算报告，必要时制作缩尺模型试验，采集相关数据作为理论分析参考依据。

4.1.3 制定整体提升施工方案前，应全面分析主体结构的设计和水文地质勘察资料，并进行必要的补充勘察和现场调查及相关资料的收集。

4.1.4 拱肋整体提升基本流程如下。

- a) 施工准备：即按专项施工方案向施工人员进行技术交底、安全培训；对进场材料进行检查验收，不应使用不合格产品。
- b) 支架设计：即对桥位处的拱肋拼装支架系统和整体提升支架系统进行设计，包括桩基础、钢管支架、柱顶支托、提升装置、杆件连接方式等，支架设计时应充分考虑行洪条件、通航要求，同时需考虑施工机械的站位布置。
- c) 拱肋拼装：即采用大型机械对钢拱肋进行低位分段吊装和焊接，由两侧向中间逐节拼装，跨中位置设置合拢段，拼装完成后，测量待吊装拱肋的线型。
- d) 临时水平约束索设置：拱肋拼装成整体后，运用系杆拱桥内部自平衡的概念，设立中拱段的水平临时拉索对称张拉，组装成临时系杆拱桥确保拱肋在提升时姿态不变。
- e) 竖向提升索设置：根据待吊装构件的重量、高度配置竖向提升索的数量，总起重能力储备系数应不小于1.5倍。
- f) 试提升：各项工作准备就绪后，对拱肋进行试提升，以确保支架整体稳定性，试提升高度宜脱离地面5 cm~10 cm，观测时间不宜小于5 min。
- g) 提升：即根据试提升检测结论进行提升，启动液压泵站使千斤顶工作，分行程对拱肋进行同步提升，过程中，需实时监测拱肋平衡度、支架偏位、应力以及拱肋应力情况。
- h) 提升到位：拱肋整体提升到达设计指定位置后，实测拱肋各角点坐标，采用缆风绳、临时支架等措施对拱肋进行临时固定，防止拱肋在空中受风力影响晃动。
- i) 合龙：在边拱段和中拱段之间设置合拢口，中拱段提升到位后，实测合拢口坐标，对合拢口进行配切后进行吊装合龙。
- j) 拱肋成拱：拱肋成拱主要是采用计算机软件分析支架拆除的最佳顺序，确保拱肋合理成拱，不同的拆除顺序会对拱肋应力、沉降、形变造成不同程度的影响。

4.2 整体提升节段划分原则

4.2.1 拱肋节段的划分需根据通航要求、吊装设备能力、加工场地大小以及整体提升的重量确定。

4.2.2 应按照对称划分的原则，将节段分界线设置在应力较小处，一般设置在节段的1/4处（0弯

矩点），并报设计单位复核其结构强度，必要时需设置加劲板、临时拉索等措施加强拱肋节段的刚度，以满足整体提升要求。

4.2.3 所提升的拱肋节段需充分考虑与提升支架间的相对关系，建立模型模拟提升，避免拱肋与支架冲突。

4.3 整体提升合龙段设置原则

4.3.1 合龙段拱肋的设置除设置在应力较小处外，还需考虑设备吊装的能力、吊装设备站位等情况。

4.3.2 合龙段应提前在预制场内进行线型试拼，试拼时应考虑预留合龙段的配切长度，一般每端取10 cm为宜。

4.3.3 合龙段安装前，需实测合龙口的实际标高和线型进行计算模拟，确定好配切长度和角度以及合龙温度等因素。

5 临时支架设计与施工

5.1 一般规定

5.1.1 拱肋临时支架设计前，应充分调查地质条件、场区自然环境、通航及行洪要求、洪水特点以及拱肋结构形式、桩端承载力等因素，必要时应进行地基承载力和地质情况进行检测。

5.1.2 支架基础可采用端承桩、摩擦桩、摩擦端承桩、扩大基础等结构形式，基础形式应结合场区环境和地质特点选型，对桩端承载能力要求高的基础，宜采用地质勘探法检测其地质情况。

5.1.3 采用扩大基础作为支架基础时，宜选择在承载能力好的原土上，并进行触探试验检测，若不能满足承载力要求，可采取换填、注浆、扩大基础、加筋等措施弥补，对桩端承载能力要求高的基础，宜对基础进行预压，预压重量宜不小于设计承载力的1.2倍。

5.1.4 采用端承桩作为支架基础时，应根据地质勘察报告探明是否存在溶洞、裂隙、软弱层等，确保桩端持力层满足要求。

5.1.5 当桩基础处于河流中时，应尽量减少水中支架桩基础数量，并充分考虑地质情况，对于裸岩、斜岩、软硬地层交界位置时，应提前对不利于桩基成孔的地质进行处理。

5.1.6 水中支架应设置高桩承台，承台作为连接桩基与支架底部的作用，确保桩基受力均匀。承台的施工应注意以下几点。

- a) 桩基承台高度应考虑底模安装和拆除的高度，尽量高于洪水期最高水位设计。
- b) 利用桩基钢护筒作为底模基础时，底托宜采用焊接形式与钢护筒进行连接，同时需考虑钢护筒刚度；采用抱箍的形式作为底托时，需计算其承重能力，摩阻系数应按不小于1.15考虑。
- c) 承台设计时，应进行配筋计算，桩基应深入承台10 cm。
- d) 承台混凝土浇筑前，应根据支架位置设置底节预埋钢管，预埋钢管需与承台混凝土一同浇筑，浇筑时，监测承台底模。
- e) 承台混凝土的浇筑应按照分层、由中间向两端的顺序浇筑，防止偏压造成底模支架受力不均匀。
- f) 临时支架结构受弯构件（提升钢梁、转换梁等）在柱顶及集中荷载作用点应设加劲肋，应满足整体稳定和局部稳定要求。

5.2 支架材料

- 5.2.1 支架材料进场前，应对其材料性能、规格尺寸以及产品合格证、探伤报告等进行检查。
- 5.2.2 支架组件现场焊接完成后，需对焊缝进行无损检测，对支架立柱、横联系、柱顶封顶钢板、柱顶加劲板等主要受力构件应进行 100%探伤检测。
- 5.2.3 支架的吊耳应采用与支架材料一致的钢材，对大件支架进行整体吊装时，应采用焊接形式，吊装前应对其焊缝质量进行检查。
- 5.2.4 宜对支架外观作防腐涂装，避免钢管锈蚀过度影响支架质量，但应确保所有焊缝均检测合格后方可涂装，涂装遍数可根据现场实际需要确定。
- 5.2.5 支架使用的材料的容许应力见附录 C.1。

5.3 构造组成

5.3.1 边拱段支架构造

- 5.3.1.1 边拱段支架主要用于边段拱肋的拼装，按照拱肋线型及设备吊装能力设计。
- 5.3.1.2 边拱段支架系统主要由水中群桩、高桩承台、钢管支架组成，水中群桩可采用群桩浮式平台抛锚固定配合冲击钻成桩，钢护筒全跟进施工。
- 5.3.1.3 高桩承台为钢筋混凝土结构，搭设贝雷梁支撑体系形成作业平台绑扎钢筋浇筑混凝土，并预埋支架底节钢管。
- 5.3.1.4 上部钢管支架可在钢结构加工场分层整体拼装完成后，采用大型设备分层整体吊装至设计桥位处安装，以提高安装精度，减少高空作业风险。

5.3.2 中拱段支架构造

- 5.3.2.1 中拱段支架结构形式同边拱段支架，但中拱段支架的设置是满足中段拱肋低位拼装的需求。
- 5.3.2.2 中拱段支架的布置需考虑拱肋节段分段情况，一般支点设置在节段端部 50 cm 以外的横隔板或者加劲肋上。
- 5.3.2.3 中拱段支架宜在加工场拼装完成后，采用大型设备整体吊装至设计位置安装，以提高安装精度，减少高空作业，同时能加快施工进度。

5.3.3 整体提升支架系统构造

- 5.3.3.1 整体提升支架系统在拱肋两端各设置 1 座，高度和宽度根据拟提升构件进行设计，以满足提升需求为宜。
- 5.3.3.2 整体提升支架一般分为五个部分。
- a) 第一部分为深水钢管混凝土桩基承台，采用钢管混凝土桩锚入中/微风化岩层，桩顶设置高桩承台。
 - b) 第二部分提升门架支架，由立柱和横联系等构件组成，可在工厂加工的定制杆件再到现场进行组拼，以降低高空焊接时间过长造成的安全风险。
 - c) 第三部分为立柱顶部提升钢箱梁，钢箱梁在工厂整体制作后，按照塔吊吊装能力进行分割，确保精度满足要求的同时，降低高空作业风险。
 - d) 第四部分为整体提升系统，整体提升系统包含提升胎座、竖向钢绞线、液压千斤顶和液压泵站，提升胎座需根据拱肋底部形状设置。
 - e) 第五部分为支架缆风系统，缆风系统由锚固端装置、钢绞线、张拉端装置组成，通过连接支架顶部再向东西两岸对称交叉张拉，端部锚固至地面锚固端，确保支架整体稳定性（锚

固端应设置防松装置，防止钢绞线束在受力减小时松脱；当单点钢绞线数量超过两根时，易采用左右捻对称设置，防止钢绞线束张拉时产生单相旋转力对锚固装置产生扭转力，同时起到防止钢绞线打搅受力不均作用）。

5.3.3.3 为实现网络化整体提升控制，减少人生安全风险，可通过计算机和物联网技术发送指令控制液压泵站，液压泵站灵活控制液压千斤顶，使整体提升得以同步提升和网络化控制。

5.4 支架荷载与作用

5.4.1 一般规定

5.4.1.1 本文件的荷载确定依据应根据 GB 50009、JTG D60、TB 10002.1 确定荷载。

5.4.1.2 对于文件中未详细规定或未规定的荷载，可通过研究确定。

5.4.1.3 当支架上作用振动荷载时，应适当考虑动力系数，动力系数取值通过研究确定。无参考依据时，当结构采用减震措施时，动力系数可取 1.2；当结构未采用减震措施时，动力系数可取 1.5。

5.4.2 荷载种类

作用于临时支架上的荷载种类可分为永久荷载、可变荷载以及偶然荷载三类：

- a) 永久荷载为临时支架自重、拱肋自重、其他附属结构自重；
- b) 可变荷载为施工作业人员及施工设备荷载、临时堆放于支架上的荷载、风荷载、流水荷载、拱肋吊装设备荷载；
- c) 偶然荷载为船舶撞击荷载、漂流物荷载。

5.4.3 荷载标准值

5.4.3.1 临时支架自重以及拱肋自重可根据结构使用材料不同分开计算，其中钢结构容重应采用 78.5 kN/m^3 ，混凝土部分容重应采用 25.5 kN/m^3 。

5.4.3.2 作用在临时支架上的施工作业人员及施工设备可按实际情况计算，一般情况下可取 3.0 kN/m^2 。

5.4.3.3 作用与临时支架上的风荷载可按式（1）进行计算。

$$w_k = \mu_z \mu_s w_0 \quad (1)$$

式中：

w_k ——风荷载标准值（ kN/m^2 ）；

μ_z ——风压高度变化系数，应按 GB 50009 的规定采用；

μ_s ——风荷载体型系数，应按 GB 50009 的规定采用；

w_0 ——基本风压（ kN/m^2 ）， $w_0 \approx \frac{v_0^2}{1600}$ ，风速 v_0 应按表 1 的规定确定。

表 1 风力等级

风力等级	距地面 10 m 高度处相当风速 v_0 m/s
5	8.0~10.7
6	10.8~13.8

7	13.9~17.1
8	17.2~20.7
9	20.8~24.4
10	24.5~32.6
11	28.5~32.6
12	32.7~36.9

5.4.3.4 作用于临时支架上的流水荷载可按式(2)考虑。

$$F_w = KA \frac{\gamma v^2}{2g} \quad (2)$$

式中：

F_w ——流水压力标准值(kN)；

A ——桥墩阻水面积(m^2)，计算至一般冲刷线处；

γ ——水的重度(kN/m^3)；

v ——设计流速(m/s)；

g ——重力加速度， $g = 9.81 m/s^2$ ；

K ——桥墩形状系数，见表2。

表2 桥墩形状系数 K

桥墩形状	K	桥墩形状	K
方形桥墩	1.5	尖端形桥墩	0.7
矩形桥墩(长边与水流平行)	1.3	圆端形桥墩	0.6
圆形桥墩	0.8	——	——

5.4.3.5 流水压力合力的着力点，假定在设计水位线以下0.3倍水深处。

5.4.3.6 作用于临时支架上拱肋吊装设备荷载应按照实际采用荷载的自重计算，并考虑吊装设备荷载的动力系数。

5.4.3.7 作用于临时支架上的船舶撞击荷载可按照表3取值，当船舶撞击风险较大，且临时支架本身承载力无法抵抗船舶撞击荷载时，应设置临时放置设施。

表3 内河船舶撞击作用标准值

内河航道等级	船舶吨级 DWT	横桥向撞击作用	
	t	kN	kN
一	3000	1400	1100
二	2000	1100	900
三	1000	800	650
四	500	550	450
五	300	400	350
六	100	250	200
七	50	150	125

5.4.3.8 作用于临时支架上的漂流物荷载可按式(3)考虑。

$$F = \frac{WU}{gT} \quad (3)$$

式中：

W ——漂流物重力 (kN)，应根据河流中漂流物情况，按实际调查确定；

U ——水流速度 (m/s)；

g ——重力加速度， $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ；

T ——撞击时间 (s)，应根据实际资料估计，在无实际资料时，可用 1 s。

5.4.3.9 其他附属结构自重、临时堆放于支架上的荷载可根据实际情况进行计算。

5.4.4 荷载组合

5.4.4.1 临时支架的承载能力极限状态应按基本组合进行设计，正常使用极限状态应按标准组合进行设计。

5.4.4.2 当为临时支架结构的破坏或变形过大的承载能力极限状态设计时，应采用式 (4) 进行设计。

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (4)$$

式中：

γ_0 ——支架结构重要性系数，与桥梁的重要性系数一致，可参考 JTG D60 确定；

S_d ——支架结构荷载效应组合的设计值；

R_d ——支架结构构件抗力的设计值。

5.4.4.3 对于临时支架结构的正常使用极限状态，宜按照标准组合进行设计，应采用式 (5) 进行设计。

$$S_d \leq C \quad (5)$$

式中：

S_d ——变形等荷载效应的设计值；

C ——设计对变形等规定的相应限值。

5.4.4.4 对于临时支架结构的基本组合，各荷载效应的组合应采用式 (6) 进行设计。

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{j=1}^n \psi_{cj} \gamma_{Qj} S_{Qjk} \quad (6)$$

式中：

γ_{Gi} ——第 i 个恒载的分项系数；

S_{Gik} ——第 i 个恒载作用标准值的效应；

S_{Q1k} ——第一个活载 (主导活载) 标准值的效应；

γ_{Q1} ——第一个活载 (主导活载) 的分项系数；

γ_{Qj} ——第 j 个活载的分项系数；

S_{Qjk} ——第 j 个活载标准值的效应；

ψ_{cj} ——第 j 个活载的组合值系数，可取 0.75。

注 1：1 恒载的分项系数：

- a) 当其效应对结构不利时，一般情况下可取 1.2。
- b) 当其效应对结构有利时，一般情况下可取 1.0。
- c) 对支架结构的倾覆验算，一般情况下可取 0.9。

注 2：活载的分项系数一般情况下可取 1.4。

5.4.4.5 对于临时支架结构的标准组合，各荷载效应的组合应采用式（7）进行设计。

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + S_{Q1k} + \sum_{j=1}^n \psi_{cj} S_{Qjk} \quad (7)$$

式中：

γ_{Gi} ——第 i 个恒载的分项系数；

S_{Gik} ——第 i 个恒载作用标准值的效应；

S_{Q1k} ——第一个活载（主导活载）标准值的效应；

S_{Qjk} ——第 j 个活载标准值的效应；

ψ_{cj} ——第 j 个活载的组合值系数，可取 0.75。

5.5 支架的设计与计算

5.5.1 基本规定

5.5.1.1 临时支架结构的计算可按照支架、基础、地基的顺序进行计算，计算过程中应考虑拱肋与支架之间的相互作用。

5.5.1.2 临时支架应具有足够的强度、刚度、稳定性，支架的各部分之间应具备可靠度的连接，保证支架成为稳定的整体。

5.5.1.3 临时支架的计算应按承载能力极限状态以及正常使用极限状态确定应计算的项目。根据支架的具体情况，需要计算的项目如下。

- a) 承载能力极限状态的计算项目：
 - 1) 组成临时支架各杆件的强度；
 - 2) 支架结构节点的连接强度；
 - 3) 支架结构的整体和局部稳定性；
 - 4) 支架基础及地基的承载能力。
- b) 正常使用极限状态的计算项目：
 - 1) 横、纵梁的弯曲变形；

- 2) 支架立柱（杆）的压缩变形；
- 3) 地基变形。

- 5.5.1.4 支架的节点设计应采用焊接设计，或保证节点可靠连接的其他节点设计方式。
- 5.5.1.5 支架的基础应具有较好的强度，如基础条件不好，应对基础进行加固或换填处理。
- 5.5.1.6 验算要求应满足其他相关规范要求。

5.5.2 支架的分类及选型

- 5.5.2.1 临时支架分为边拱段支架及临时提升支架。临时支架按结构形式分类可采用紫荆花式支架、梁柱式支架、拱形支架以及其他组合形式支架。
- 5.5.2.2 基础应根据地质条件、荷载、孔跨布置等选择明挖基础或桩基础。
- 5.5.2.3 支墩及立柱可由钢管、钢管混凝土、型钢格构柱、万能杆件等其他构件组成。
- 5.5.2.4 支架应由立杆、横梁、横向连接系组成，边拱段支架宜尽量借助河岸地形配合，减少支架对航道的干扰。
- 5.5.2.5 支架形式应根据水文、地质、地形、梁体结构、荷载、施工条件、通航要求等因素合理确定。

5.5.3 结构内力分析

- 5.5.3.1 支架强度可按弹性理论计算，对于支架整体稳定性计算应考虑结构的几何非线性。
- 5.5.3.2 支架立柱、横梁、横向连接系等杆件的内力计算分析宜采用空间有限元理论计算，对于重要的局部承力构件，宜采用板壳单元或实体单元计算分析。
- 5.5.3.3 支架基础应根据基础类型确定临时支架的边界条件，如地质条件较好，位于基岩，可按照固结处理；如采用桩基础，宜根据 JTG 3363 中的 m 法考虑周围土体的约束。

5.5.4 支架承载力计算

- 5.5.4.1 轴心受拉构件承载力应按式（8）计算。

$$\gamma_0 N_d \leq A_0 [\sigma] \quad (8)$$

式中：

N_d ——轴心拉力设计值。

A_0 ——净截面面积。

$[\sigma]$ ——检算截面处材料的轴心受压容许正应力见附录C.1。

- 5.5.4.2 轴心受压构件承载力应按式（9）计算。

$$\gamma_0 N_d \leq A_0 [\sigma] \quad (9)$$

式中：

N_d ——最不利截面轴心压力设计值。

A_0 ——净截面面积。

- 5.5.4.3 受弯构件的强度计算公式按以下规定进行计算。

- a) 当杆件在一个主平面内受弯时，应按式（10）验算截面法向应力。

$$\frac{M}{W} \leq [\sigma_w] \quad (10)$$

式中：

M ——检算截面上的计算弯矩 (MN·m)；

W ——检算截面处对主轴的计算截面抵抗矩 (m³)

$[\sigma_w]$ ——检算截面处材料的弯曲容许正应力，见附录 C.1。

b) 当杆件受压，且在一个主平面内受弯时，应按式 (11) 验算截面法向应力。

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq [\sigma] \quad (11)$$

式中：

N ——检算截面上的计算轴向力 (MN)；

A ——检算截面上的计算面积 (m²)。

c) 当在两个主平面内受弯时，应按式 (12) 验算截面法向应力。

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq C[\sigma_w] \quad (12)$$

式中：

M_x ——检算截面上的计算弯矩 (MN·m)；

W_x, W_y ——检算受拉翼缘为净截面抵抗矩；检算受压翼缘为毛截面抵抗矩，为简化计算计，均可按毛截面的重心轴计算；

C ——斜弯曲作用下容许应力增大系数， $C = 1 + 0.3 \times \frac{\sigma_{m1}}{\sigma_{m2}} \leq 1.15$ ，其中 σ_{m1} ， σ_{m2} 为截面检算处由于弯矩 M_x 、 M_y 所产生的较大和较小的组合应力。

d) 当杆件受压，且在两个主平面内受弯时，应按式 (13) 验算截面法向应力。

$$\frac{N}{A} \pm \left(\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) \frac{1}{C} \leq [\sigma_w] \quad (13)$$

注：式中的参数意义与前述公式一致。

e) 当杆件受弯时，应按式 (14) 验算截面剪应力。

$$\tau_{\max} = \frac{VS}{I_m \delta} \leq C_\tau [\tau] \quad (14)$$

式中：

V ——检算截面上的计算剪力 (MN)；

δ ——腹版厚度 (m)；

S ——中性轴以上的毛截面对中性轴的面积矩 (m³)。

I_m ——毛截面惯性矩 (m⁴)；

C_τ ——剪应力分布不均匀容许应力增大系数可按以下要求进行计算：

$$\text{当 } \frac{\tau_{\max}}{\tau_0} \leq 1.25, C_\tau = 1.0;$$

$$\text{当 } \frac{\tau_{\max}}{\tau_0} \geq 1.50, C_\tau = 1.25$$

当 $\frac{\tau_{\max}}{\tau_0}$ 为中间值时, C_τ 按直线比例计算, $\tau_0 = \frac{V}{h\delta}$, 其中 h 为腹板全高 (m)。

$[\tau]$ ——检算截面处材料的容许剪应力, 见附录 C.1。

f) 当杆件受弯、压弯组合或拉弯组合时, 应按式 (15) 验算截面换算应力:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1[\sigma] \quad (15)$$

式中:

σ ——检算截面上的计算正应力 (MN);

τ ——检算截面上的计算剪力 (MN)。

5.5.5 支架刚度计算

5.5.5.1 支架刚度应满足拱肋拼装施工以及中拱段拱肋吊装施工的变形要求。

5.5.5.2 支架刚度包括水平顺桥向、横桥向变形, 应根据设计要求确定, 当无设计要求时, 横桥向与顺桥向位移不应大于支架高度的 1/1000。

5.5.5.3 支架变形计算应通过计算精确确定。

5.5.6 稳定性计算

5.5.6.1 抗倾覆稳定性

支架结构应组合风载进行整体抗倾覆稳定性分析, 支架整体抗倾覆稳定宜按模板安装后尚未安装梁体钢筋前工况为控制工况, 按式 (16) 进行抗倾覆稳定性计算。

$$K = \frac{M_k}{M_q} \quad (16)$$

式中:

K ——结构抗倾覆稳定系数, K 不小于 1.5;

M_k ——结构抗倾覆力矩 (kN.m), 由模板体系和支架结构重力荷载对倾覆支点取矩;

M_q ——结构倾覆力矩 (kN.m), 由作用在支架结构和模板体系上的风荷载共同对倾覆支点取矩。

5.5.6.2 杆件稳定性

5.5.6.2.1 当杆件轴心受压时, 稳定性应按式 (17) 计算。

$$\frac{N}{\varphi A} \leq f \quad (17)$$

式中:

N ——杆件的轴力设计值 (MN);

φ ——轴心受压构件稳定系数，根据立杆长细比 $\lambda = \frac{l_0}{i}$ ，按附录 D 取值；

A ——立杆的横截面面积 (mm^2)

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值 (MPa)，按附录 C 表 C.2 采用。

5.5.6.2.2 当杆件受压，且在一个主平面内受弯时，稳定性应按式 (18) 计算。

$$\frac{N}{\varphi A} + \frac{M_w}{W} \leq f \quad (18)$$

式中：

W ——立杆的截面模量 (mm^3)；

M_w ——杆件的弯矩设计值 (kN·m)。

5.5.7 基础承载力计算

5.5.7.1 当基础直接作用于基底时，立杆底部地基承载力应满足式 (19)、式 (20) 的要求。

$$p_k \leq f_a \quad (19)$$

$$p_k = \frac{N}{A} \quad (20)$$

式中：

p_k ——相应于荷载效应标准组合时，立杆底部的平均压力值 (kPa)；

N ——上部立杆传至基础顶面的轴向力标准组合值 (kN)；

A ——可调底座底板对应的基础底面面积；

f_a ——地基承载力特征值 (kPa)，应按 GB 50007 的规定确定。

5.5.7.2 当临时支架采用桩基础时，其承载力可参照 JTG 3363 进行计算。

5.6 制作要点

5.6.1 水中桩基制作要点

5.6.1.1 确定支架桩基位置后，应根据桩基位置对河床深度进行测量，并依据河床深度计算桩基钢护筒所需的长度。

5.6.1.2 钢护筒根据重量选择合适的吊装设备，当需要接桩时，应对管壁环缝焊接，确保护筒密水性能，同时可采用补强钢板进行焊缝补强。

5.6.1.3 当桩基位置无覆盖层或覆盖层较浅，且存在斜岩等影响护筒着床的复杂地质，可采取抛填袋装黏土、片石或钻机基底找平等措施，确保钢护筒着床密实。

5.6.1.4 支架水中桩基一般采用泥浆正循环法清孔，配备相应的泥浆船；若施工环境受限的，可采用临桩钢护筒作为泥浆循环置换点，排出的钻渣过滤后收集至泥浆船上外运处理，不得直接排放于河流中。

5.6.1.5 桩基施工工艺要求及施工质量标准应符合 JTG/T 3650 中的钻孔灌注桩质量验收标准。

5.6.2 水中承台制作要点

5.6.2.1 水中承台作为桩基础与支架的连接构件，起到承上启下的作用，因此，在承台设计中，应考虑承台尺寸、配筋率是否能满足承重需求。

5.6.2.2 承台底模一般利用桩基钢护筒焊接钢牛腿作为主要承重构件，其位置应根据承台底标高进行反算，确保底模支承结构有足够的空间。

5.6.2.3 承台底模支撑系统应设置支架落架系统，落架系统可采用沙箱、楔形块、多层钢板等易于拆除底模的构造，不应直接采用液压千斤顶设备作为底模支撑系统。

5.6.2.4 承台的设计应满足嵌入桩基不少于 10 cm 的要求，同时，桩基钢筋笼顶部应嵌入承台不少于 2/3 的高度，桩顶钢筋笼应呈喇叭状设置。

5.6.2.5 承台混凝土浇筑前，应提前预埋支架底部的连接构件，必要时，在承台内设置劲性骨架将底节支架与承台一同浇筑，提高密实性。

5.6.3 临时支架制作要点

5.6.3.1 临时支架立柱一般采用螺旋钢管制作而成，其余材料可选择市场上常见的型材搭配使用，其规格尺寸及材料等级应根据验算结果选择。

5.6.3.2 支架的连接节点可采用法兰连接，也可采用全断面焊接形式，其强度应满足施工需求。

5.6.3.3 支架制作前，应根据支架的结构尺寸制作相应的定位胎架和支撑胎架，提高制作精度；当施工现场环境受限，无法在实地进行组拼时，可采取分段制作、整体吊装的方式拼装。

5.6.3.4 支架的拼装应遵循由下往上逐层拼装，拼装时，应焊接牢固后方可进行下一阶段的施工，不应出现先整体预拼再整体加固的现象。

5.6.3.5 采用分段拼装整体吊装工艺时，应对支架吊耳进行局部强度验算，并对支架采用刚性支撑临时加固，尤其需注意支架顶部和底部的临时加强，防止吊装时支架变形造成支架节点无法对接。

5.6.3.6 支架上方所涉及的小型构件，如柱顶钢板、柱顶横梁、加强钢板等，应采取焊接的形式连接，防止滑落伤人。

5.6.3.7 大型支架吊装前，应根据支架中心设置吊点位置及数量，正式吊装前，应进行试吊，试吊高度一般控制在 10 cm 以内，以完全脱离地面为准，持续时间不小于 5 min。

5.6.3.8 支架主焊缝位置和螺栓连接应设置覆盖全断面的检查通道，检查通道可利用钢管立柱、横联系等构件综合考虑设计，检查通道应结实、牢固。

5.7 施工方法及注意事项

5.7.1 支架基础施工注意事项

本节所提到的施工方法、流程主要为临时支架系统的桩基施工、承台施工以及钢管支架施工，由于桩基、承台等均为常规工艺，应注意以下几点。

- a) 桩基的施工工艺流程与常规桩基施工流程一致，但在水上作业时，精度难免受水流、水深、岩石强度等情况影响，因此，在桩基施工时，可先搭设施工钢便桥及桩基钻孔平台辅助完成；另外则可根据桩基数量设置浮式平台，浮式平台可采用两端密封的钢护筒制作而成，亦可采用专用的水上浮式作业平台辅助完成，但应保证其整体稳定性。
- b) 当水中桩基础选择采用旋挖钻机搭载浮式平台钻进时，应提前了解钻机钻杆长度是否满足桩基孔深需求。
- c) 当水中桩基础选择采用冲击钻配合浮式平台钻进时，应提前计算冲击钻冲绳的长度是否满

足桩基孔深需求。

- d) 桩基钢护筒下放时，应采用夹持振动锤对钢护筒进行加压，提高钢护筒稳定性及着床深度。
- e) 桩基施工时，应设置声测管对桩基完整性进行无损检测；在有条件的情况下，应根据现行的《建筑桩基检测技术规范》相关要求在一定比例的钻芯取样检测。
- f) 承台施工时，应加强注意拉杆及斜支撑的加固情况，同时需注意分层浇筑振捣，防止出现跑模漏浆或爆模等现象。
- g) 承台浇筑过程中，应设置测量观测点实时观测承台底模的沉降、位移情况，当数据达到预警值时，应暂停施工，查明原因采取有效的加固措施后，再继续施工。

5.7.2 拱肋临时支架施工及注意事项

5.7.2.1 拱肋支架可分为桥位处直接拼装和场外预制拼装两种，桥位处直接拼装主要对一些吊装条件较好、无大型设备辅助吊装的部位，场外预制拼装可提前在预制场拼装完成后，采用大型设备进行转场和吊装，在一定程度上提高了施工效率，降低了高空作业的风险；无论何种安装方法，都应循由下而上逐层安装，并做好支架定位和加强措施。

5.7.2.2 采用桥位处直接拼装工艺时，应提前在焊接点附近设置焊接平台和行人通道，确保作业人员安全；水中作业时，应配备编制专项应急预案。

5.7.2.3 桥位处直接拼装工艺的特点主要是吊装构件较小，零散的构件较多，因此，应有专人负责指挥，不应盲目吊装。

5.7.2.4 采用分段吊装时，首先在预制场内设置制作胎架，胎架采用型钢根据支架结构形式和布局设置，胎架应设置牢固。

5.7.2.5 整体吊装的支架吊耳应尽可能设置在立柱内，采用“十”字型钢板与钢管立柱顶部焊接，吊耳的位置应根据吊物的重心选择。

5.7.2.6 若拱肋临时支架较高，可分为多层支架分层加工制作，每制作完成一层后，立即复核立柱的坐标，确保层间立柱重合。

5.7.2.7 第一层支架在制作前，应先复核承台上方的实测基础位置，应保证其位置在设计要求范围内，若出现偏差，无法重合，则通过加大柱间连接钢板、加大基础接触面等方式调整，确保支架受力均匀。

5.7.2.8 支架安装完成后，需在支架系统上设置沉降、位移观测点和应力传感器，根据工作阶段采集数据分析支架安全性能。

5.7.2.9 由于水中支架体系为特殊结构，无法进行静压试验，使支架会存在一定的非弹性变形和弹性变形，为消除变形量对拱肋安装的影响，应在支架顶部应设置液压千斤顶用于精调拱肋的高程。

5.8 临时支架质量要求

5.8.1 钢管制作质量标准

5.8.1.1 制作临时支架的材料应符合设计要求，并应有出厂合格证明和质量检验报告，钢管立柱的分节长度应满足支架的有效高度、制作场地条件、运输与装卸能力等要求。

5.8.1.2 支架钢管可采用成品钢管或自制钢管，焊接钢管的制作工艺应符合相应规范的规定。

5.8.1.3 对焊接钢管的管节制作、管端平整度应不超过 2 mm，管端平面倾斜应小于 1%，对管节的对口拼装，当管径小于或等于 700 mm 时，其相邻管节管径的允许偏差应小于或等于 2 mm，管径大于 700 mm 时，其相邻管节管径的允许偏差应小于或等于 3 mm，板边高差应符合表 4 的规定，相邻管节的竖向焊缝应错开 1/8 周长以上。

表 4 相邻管节对口板边的允许偏差

单位为毫米

板厚 (δ)	相邻管节对口的板边高差 (Δ)
$\delta \leq 10$	< 10
$10 < \delta \leq 20$	< 20
$\delta > 20$	$< \delta/10$, 且不大于 5

5.8.2 钢管焊接质量标准

钢管立柱的焊缝应符合设计要求，设计未要求时，除应符合现行的 JTG/T 3650 外，尚需符合下列规定：

- a) 焊接前，应将焊缝上下 30 mm 范围内的铁锈、油污、水气和杂物清除干净，并应将焊丝、焊条和焊剂烘干；
- b) 管节拼装所用的辅助工具（如夹具等）不应妨碍管节焊接时的自由伸缩；
- c) 焊接定位点和施焊应对称进行，露天焊接时，应考虑由于阳光照射所造成的管身弯曲，环境温度低于 -10°C 时不宜焊接；
- d) 钢管应采用多层焊，焊完每层焊缝后，应及时清除焊渣，并做外观检查，每一层焊缝应错开；
- e) 拱肋支架主立柱、横联系、提升横梁等承重构件应进行 100% 焊缝探伤检测，焊缝的探伤检验应满足 II 级要求，焊缝外观的允许偏差应符合表 5 规定。

表 5 焊缝外观的允许偏差

缺陷名称	允许偏差
咬边 (mm)	深度不超过 0.5, 累计总长度不超过焊缝长度的 10%
超高 (mm)	3
表面裂缝、未熔合、未焊透	不准许
弧坑、表面气孔、夹渣	不准许

5.8.3 支架安装质量标准

5.8.3.1 支架立柱是承受拱肋重量的直接构件，因此，在施工过程中，应特别注意立柱连接时的偏心问题，支架立柱与承台预埋钢管之间的偏心不宜大于 50 mm。

5.8.3.2 支架拼装过程中，高度大于 20 m 的，应按每 30 m 设置临时揽风组，支架垂直拼装至有横联系的位置时，应及时将横联系给予焊接牢固。

5.8.3.3 若立柱节段间采用螺栓连接时，无论是主面或副面，连结螺栓应满足要求，并拧紧出丝扣不少于 3 丝为度，垫圈以 2 个为宜，应从严控制。

5.8.3.4 支架拼装完成后，应进行全面检查，其各项误差应控制在表 6 范围内。

表 6 临时支架拼装尺寸允许偏差

序号	项目	允许偏差	检查方法
1	柱顶标高	± 100 mm	全站仪测量
2	柱顶平面高差	± 30 mm	全站仪测量

3	立柱侧面弯曲	$<H/1500$	全站仪测量
4	立柱倾斜	$<H/2000$	全站仪测量
5	塔顶纵向偏位	$\pm 50 \text{ mm}$	全站仪测量
6	横联系主杆高差	$\pm 500 \text{ mm}$	全站仪测量
7	横联系挠度	$<L/1000$	水平尺测量
注：H为支架总高度，L为两立柱间距。			

5.8.3.5 临时支架拼装完成后，应进行全面系统的检查验收工作。检查的主要项目内容为：全部杆件与节点是否按设计图纸要求拼装、螺栓是否上满拧紧、塔架根部锚固点位置连接情况、横梁挠度及节点连结是否满足要求、立柱倾斜及总体位移等要求和指标，具体见表7。

表7 临时支架拼装实体验收实测项目

序号	检查项目	要求	检查方法
1	各构件有无变形，错装、漏装	无变形、错装、漏装	目测
2	各构件螺栓连接有无缺陷、松动	无缺陷	目测、敲击
3	连接销是否到位可靠	全部到位	目测、敲击
4	各焊接部位焊接情况	按要求执行	磁粉探伤仪/超声波检测仪
5	支架基础、地质情况	承载力符合设计要求	地质报告、动力触探仪

5.9 临时支架拆除

5.9.1 临时支架的拆除需制定专项拆除施工方案，并对支架拆除施工人员进行技术交底，明确支架的拆除原则、拆除顺序以及拆除安全措施。

5.9.2 支架的拆除方案应根据设计要求确定，当无设计要求时，应根据“先横后竖、先边后中、先搭后拆，后搭先拆”以及“纵向对称均衡、横向拆除同步”的总体原则，先拆除水平拉索，再拆除边拱段支架，然后拆除竖向吊索，最后拆除提升支架，分段进行支架拆除。

5.9.3 拆除计算：

- a) 在拆除支架前，应进行通过支架拆除全过程计算评估支架拆除工序对拱肋安全及成拱状态的影响；
- b) 应评估结构部分拆除后对支架剩余结构的影响，保障临时支架的安全。

5.9.4 拆除施工。

- a) 拆除前应清理临时支架上的器具及多余的材料和杂物。
- b) 拆除前应划定作业区域，防止拆除过程中拆除物掉落造成安全事故。
- c) 拆除过程中应观测拱肋以及拱座的应力及变形，确认符合要求；如发现异常应停止拆除工作，采取安全技术措施并确认安全后，方可继续拆除。

6 拱肋制作及临时加强

6.1 拱肋焊接工艺评定

6.1.1 钢板焊接工艺评定

6.1.1.1 基本要求

6.1.1.1.1 焊接工艺评定是编制焊接工艺的依据。

6.1.1.1.2 焊接工艺评定条件应与产品焊接条件相对应，焊接工艺评定应使用与产品相同牌号和等级质量的钢材及焊接材料。

6.1.1.1.3 首次采用的钢材和焊接材料应进行焊接工艺，遇有下列情况之一者，应重新进行焊接工艺：

- a) 钢种改变；
- b) 焊接材料改变；
- c) 焊接方法或焊接位置改变；
- d) 衬垫材质改变；
- e) 焊接电流、焊接电压和焊接速度改变±10%以上；
- f) 坡口形状和尺寸改变（坡口角度减少10°以上，熔透焊缝钝边增大2 mm以上，无衬垫的根部间隙变化2 mm以上，有衬垫的根部间隙变化在-2 mm~+6 mm以上）；
- g) 预热温度低于规定的下限温度20℃时；
- h) 增加或取消焊后热处理时；
- i) 电流种类和极性改变；
- j) 加入或取消填充金属；
- k) 母材焊接部位涂车间防锈漆而焊接时又不进行打磨。

6.1.1.2 试板

6.1.1.2.1 试板宜选用碳当量偏标准上限的母材制备。

6.1.1.2.2 对接接头试板、熔透或部分熔透的角接头和T形接头试板应根据设计图选择有代表性的板厚进行评定试验。

6.1.1.2.3 对接焊缝、熔透角焊缝、坡口角焊缝试板代表的板厚范围按表8执行。

表8 对接焊缝、熔透角焊缝、坡口角焊缝试板代表的板厚

单位为毫米

序号	试板板厚	产品板厚
1	$t \leq 16$	$0.5 t \leq \delta \leq 1.5 t$
2	$16 < t \leq 25$	$0.75 t < \delta \leq 1.5 t$
3	$25 < t \leq 80$	$0.75 t < \delta \leq 1.3 t$

注： δ 为产品板厚， t 为试板板厚。

6.1.1.2.4 T形角焊缝埋弧自动焊试板可按每一焊脚尺寸在表9中选择一种盖、腹板厚度组合。

表9 T形角焊缝埋弧自动焊试板厚度

单位为毫米

序号	焊脚尺寸	试板厚度	
		腹板	盖板
1	6.5×6.5	8~12	12~16
2	8×8	10~16	16~24
3	10×10	14~24	20~40
4	12×12	>20	>28

6.1.1.2.5 试板长度应根据样坯尺寸、数量（含附加试样数量）等因素予以综合考虑，自动焊不应小于 600 mm，手工焊、CO₂ 气体（混合气体）保护焊不得小于 400 mm。宽度应根据板厚、试样尺寸、探伤要求确定。

6.1.1.3 试验及检验

6.1.1.3.1 焊缝的外观质量应符合本文件的规定。

6.1.1.3.2 评定试板焊缝沿焊缝全长按本文件的相关规定进行无损探伤。

6.1.1.3.3 样坯截取位置应根据焊缝外形及探伤结果，在试件的有效利用长度内作适当分布。试样加工前允许样坯冷矫正。

6.1.1.3.4 力学性能试验项目、试样数量及试验方法应符合表 10 的规定。

表 10 力学性能试验项目、试样数量

试件型式	试验项目	试样数量 个	试验方法
对接焊缝	接头拉伸（拉板）试验	1	按 GB 2650、GB 2651、GB 2652、GB 2653、GB 2654 的规定
	焊缝金属拉伸试验	1	
	接头侧弯试验	1	
	低温冲击试验	6	
	接头硬度试验	1	
熔透角焊缝	焊缝金属拉伸试验	1	
	低温冲击试验	6	
	接头硬度试验	1	
坡口角焊缝 T 形角焊缝	焊缝金属拉伸试验	1	
	接头硬度试验	1	
<p>注 1：对接接头侧弯试验：弯曲角度$\alpha=180^\circ$。当试板板厚为 10 mm 及以下时，可以用正、反弯各一个代替侧弯。</p> <p>注 2：接焊缝及熔透角焊缝低温冲击试验缺口开在焊缝中心及熔合线外 1 mm 处各 3 个；如果接头为异种材质对接，熔合线外 1 mm 分别取样。</p> <p>注 3：熔透角焊缝冲击试样取样方法：当未开坡口侧板厚 $t \geq 28$ mm 时，应按图 1 进行。</p> <p>注 4：板厚小于 12 mm 的对接焊缝，焊缝有效厚度小于或等于 8 mm 的角焊缝不进行焊缝金属拉伸试验。</p>			

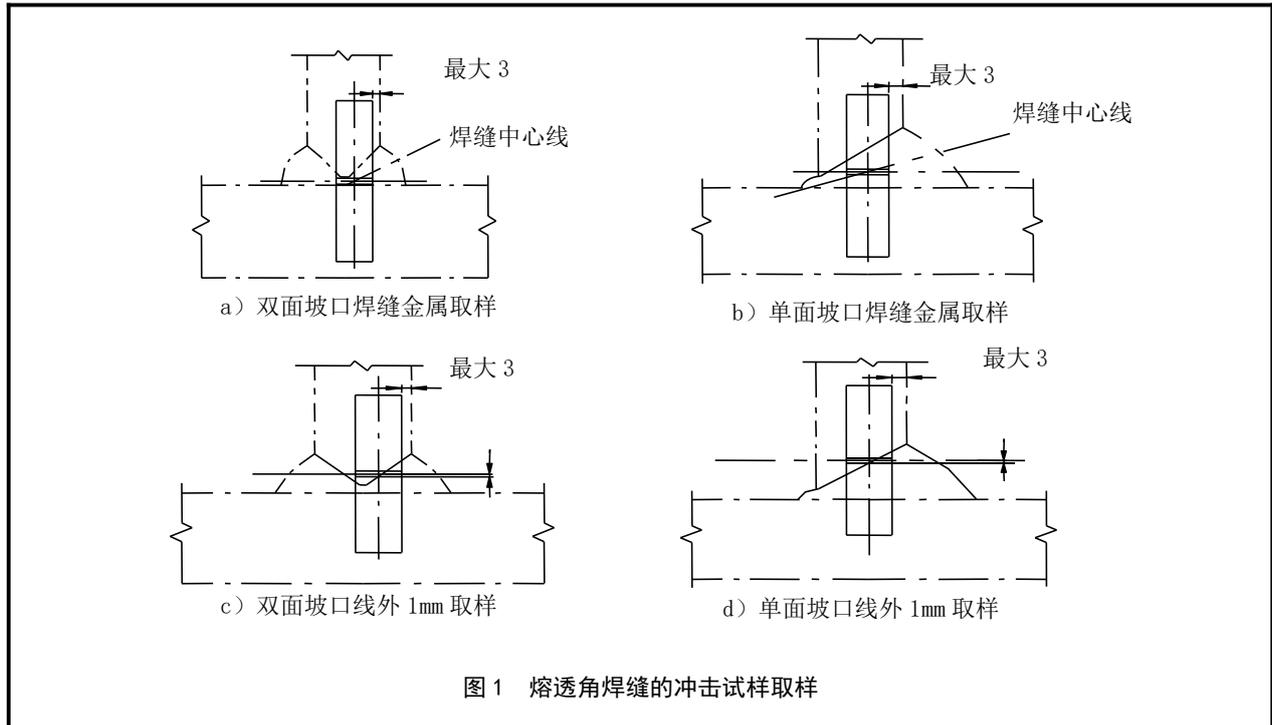


图1 熔透角焊缝的冲击试样取样

6.1.1.3.5 力学性能试验验收应符合下列规定。

- 若拉伸试验结果（屈服强度、抗拉强度及延伸率）不低于母材标准值，则判为合格；当试验结果低于母材标准值时，则允许从同一试件上再取一个试样重新试验，若重新试验的结果不低于母材标准值，则仍可判为合格，否则，判为不合格。
- 接头弯曲试验结束后，若试样受拉面上的裂纹总长不大于试样宽度的 15%，且单个裂纹长度不大于 3 mm，则判为合格；当试验结果未满足上述要求时，则允许从同一试件上再取一个试样重新试验，若重新试验的结果满足上述要求，则仍判为合格，否则，判为不合格。
- Q345qD 钢—20° 冲击功 A_{kv} 应不低于 34J，Q370qD 钢—20° 冲击功 A_{kv} 应不低于 41J，板厚小于或等于 20 mm 的薄钢板接头冲击功规定值为 27J。若一组（3 个）冲击试验结果的平均值不低于规定值，且任一试验值都不小于规定值的 70%，则判为合格；当试验结果未满足上述要求时，则允许从同一试件上再取一组（3 个）附加试样重新试验，若总计 6 个试验值的平均值不小于规定值，且低于规定值的试验值不多于 3 个（其中，不应有 2 个以上的试验值低于规定值的 70%，也不应有任一试验值低于规定值的 50%），则仍可判为合格，否则，判为不合格。
- 在宏观断面上作焊接接头的硬度试验，当接头硬度值不大于 HV380 时，则判为合格，否则判为不合格。
- 力学性能试验结束后，若发现试样断口上有超差的缺陷，应查明产生该缺陷的原因并决定试验结果是否有效。

6.1.1.3.6 每一评定应作一次宏观断面酸蚀试验，试验方法应符合 GB/T 226 的规定，单道焊缝成形系数应为 1.3~2.0。

6.1.1.3.7 不同材质焊接接头的拉伸、冲击、弯曲等力学性能应按性能要求较低的材质进行评定。

6.1.1.4 焊接工艺评定报告

焊接工艺评定报告应包括下列内容：

- 母材和焊接材料的型（牌）号、规格、化学成分和机械性能等；

- b) 试板图;
- c) 试件的焊接条件及施焊工艺参数;
- d) 焊缝外观及探伤检验结果;
- e) 力学性能试验及宏观断面酸蚀试验结果;
- f) 结论。

6.1.2 圆柱头焊钉焊接工艺评定

6.1.2.1 一般要求

- 6.1.2.1.1 试验用焊接圆柱头焊钉的钢板材质应与生产用钢板相同，按较厚板选用。
- 6.1.2.1.2 圆柱头焊钉的力学性能和化学成分应符合规定要求。
- 6.1.2.1.3 瓷环应符合 GB/T 10433 的规定。
- 6.1.2.1.4 试验用焊接设备应与生产用焊接设备相同；采用不同焊接方法焊接的焊钉应分别评定。遇有下列情况之一者，应重新进行评定：
 - a) Q370 级以上的钢种改变；
 - b) 焊钉直径或焊钉端头镶嵌（或喷涂）稳弧脱氧剂的改变；
 - c) 焊机与配套焊枪形式、型号与规格的改变；
 - d) 磁环材料与规格的改变；
 - e) 焊接电流变化±10%以上，焊接时间为 1 s 以上时变化超过 0.2 s 或 1 s 以下时变化超过 0.1 s；
 - f) 焊钉伸出长度和提升高度的变化分别超过 1 mm；
 - g) 焊钉焊接位置偏离平焊位置 15° 以上的变化或立焊、仰焊位置的改变。

6.1.2.2 试验与检验

- 6.1.2.2.1 试验时应记录施焊参数。
- 6.1.2.2.2 圆柱头焊钉焊缝的外观质量应符合本文件的要求，焊脚饱满，高度和直径应满足标准规定尺寸。
- 6.1.2.2.3 圆柱头焊钉评定试验数量为 6 个，一组 3 个进行敲击 30° 弯曲检验；另一组 3 个进行拉伸检验。

6.1.2.3 弯曲与拉伸检验

- 6.1.2.3.1 弯曲试验采用锤击圆柱头焊钉的方法，弯曲角度为 30°。当焊钉焊脚未出现肉眼可见裂缝时，该焊钉焊缝判为合格，否则为不合格。弯曲试验的 3 个焊钉全部合格，则该组弯曲评定试验合格，若出现 2 个不合格，该组弯曲评定试验为不合格。若出现 1 个不合格，加倍补做，加倍补做的全部合格后，该组弯曲评定试验合格。
- 6.1.2.3.2 焊钉拉伸试验断裂在焊钉部位，且拉力载荷满足 GB/T 10433 的规定，则焊钉焊缝合格，否则为不合格。当 3 个焊钉焊缝全部合格时，则该组拉伸评定试验合格。若拉伸试验出现 2 个不合格，该组拉伸评定试验为不合格。若出现 1 个不合格，加倍补做试验，加倍补做的全部合格后，该组拉伸评定试验合格。

6.1.2.4 焊接工艺评定报告

焊接工艺评定报告应包括下列内容：

- a) 钢板、焊钉规格、化学成分和力学性能等；
- b) 试件的焊接条件及施焊工艺参数；
- c) 焊缝外观检验结果；
- d) 焊钉弯曲试验结果；
- e) 焊钉拉伸试验结果；
- f) 结论。

6.2 拱肋节段制作

6.2.1 一般规定

- 6.2.1.1 钢箱拱肋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；
- 6.2.1.2 制造厂应对设计图进行工艺性审查，当需要修改设计时，应取得设计单位同意并签署设计变更文件。
- 6.2.1.3 制造厂应根据设计图绘制施工图并编制制造工艺，钢箱拱肋及钢箱梁制造应根据施工图和制造工艺进行。
- 6.2.1.4 钢箱拱肋的制造除应符合本文件的规定外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

6.2.2 材料及材料管理

6.2.2.1 材料

- 6.2.2.1.1 材料是指制造拱肋节段、横撑节段所使用的材料，包括钢材、螺栓、圆柱头焊钉、焊接材料和涂装材料等。
- 6.2.2.1.2 Q370qD、Q345qD 钢应符合现行的 GB/T 714 的规定；Q235 钢应符合 GB/T 700 的规定；Z 向钢板性能复验按 GB/T 5313 的规定进行验收。Z 向钢板出厂前应按 GB/T 2970 的规定对钢板逐张进行检查。钢板厚度允许偏差应符合 GB/T 709 的规定。板材厚度偏差应予以控制。
- 6.2.2.1.3 焊接材料应根据焊接工艺评定试验结果确定，并符合本文件的规定。
- 6.2.2.1.4 高强度螺栓连接副应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 的规定。
- 6.2.2.1.5 普通螺栓、螺母、垫圈应满足 GB/T 5782—2016 中 A 级和 B 级、GB/T 6170、GB/T 97.1、GB 93 的规定。
- 6.2.2.1.6 圆柱头焊钉、焊接瓷环质量标准及检验应符合 GB/T 10433 中的相关规定。
- 6.2.2.1.7 涂料材料的品种、规格、技术性能指标应符合设计图、招标文件及 JT/T 722 的相关要求。涂装材料按生产批号取样复验，涂料入厂后先进行复验，复验合格后才可以使用。

6.2.2.2 材料管理

- 6.2.2.2.1 材料除应有生产厂家的质量证明书外，还应按本规则进行抽样复验，复验合格方能使用。
- 6.2.2.2.2 钢材应按同一厂家、同一材质、同一板厚、同一出厂状态每 10 个炉（批）号抽验一组试件。对于有探伤要求的钢板，根据 GB/T 2970 对钢板数量的 10% 进行抽探。
- 6.2.2.2.3 连续使用的同一厂家、同一型号的焊接材料，实芯焊丝逐批进行化学成分检验，焊剂逐批进行熔敷金属力学性能检验，药芯焊丝和焊条每一年进行一次熔敷金属力学性能检验。
- 6.2.2.2.4 涂装材料检验需符合下列规定。

- a) 涂装材料按 JT/T 722 的要求逐批进行复检。
- b) 每个涂装材料品种按不同生产批号各抽取一个样品，样品的数量应满足检验的需要。
- c) 检验结果中如有某项指标存在争议时，允许在该批涂装材料中再随机抽取一个样品，重新进行检验。
- d) 高强度螺栓连接副在使用前应按 TBJ 214 的规定进行复检。
- e) 钢材应采用色带标识，色带标识的每种色带宽度不宜小于 50 mm。
- f) 在加工过程中发现钢材缺陷需要修补时，应符合本文件附录 A 的规定。
- g) 焊接材料的质量管理应执行 JB/T 3223 的规定。
- h) 高强度螺栓连接副进场后应按包装箱上注明的批号、规格分类保管，室内架空存放，堆放不宜超过五层。保管期内不应任意开箱，防止生锈和沾染污物。

6.2.3 零件制造

6.2.3.1 作样、号料

- 6.2.3.1.1 作样和号料应严格按施工图纸和制造工艺要求进行，并按要求预留余量。
- 6.2.3.1.2 号料前应检查钢材的材质牌号、规格、表面质量。钢材不平直、锈蚀、油污等影响号料或切割质量时，应矫正和清理后再号料。
- 6.2.3.1.3 主要零件下料时应使钢板轧制方向与主要应力方向一致。
- 6.2.3.1.4 钢材的起吊、搬移、堆放过程中，应注意保持其平直度。

6.2.3.2 切割下料

- 6.2.3.2.1 主要零件原则上应采用数控、自动或半自动切割下料。手工切割只可用于次要零件或切割后还应再行加工的零件。
- 6.2.3.2.2 剪切仅适用于次要零件或剪切后需要边缘再进行机加工的零件，剪切边缘应整齐、无毛刺、反口、缺肉等缺陷。
- 6.2.3.2.3 精密切割边缘表面质量应符合表 11 的规定，切割面硬度应不超过 HV350；尺寸允许偏差应符合表 13、表 14 的规定。

表 11 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 μm	50 μm	按 GB/T 1031 用样板检测
2	崩坑	不准许	1 m 长度内允许有一处 1 mm	超限修补，要按规定处理
3	塌角	圆角半径小于或等于 1 mm		
4	切割面垂直度	$\leq 0.05 t$ ，且不大于 2 mm		t 为钢板厚度

- 6.2.3.2.4 崩坑缺陷的修补应符合附录 A 的规定。

6.2.3.3 零件矫正和弯曲

- 6.2.3.3.1 零件矫正宜采用冷矫，冷矫正时的环境温度不宜低于 -12°C ；矫正后的钢料表面不应有

明显的凹痕和其他损伤。

6.2.3.3.2 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。

6.2.3.3.3 零件矫正允许偏差应符合表12的规定。

表 12 零件矫正允许偏差

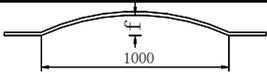
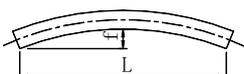
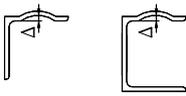
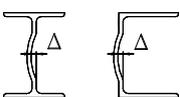
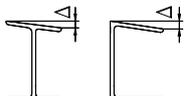
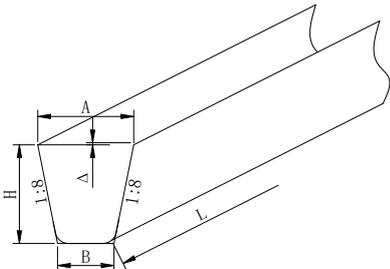
零件	名称	简图	说明	允许偏差 mm
钢板	平面度		每米范围	$f \leq 1$
	直线度		$L \leq 8$ m	$f \leq 2$
			$L > 8$ m	$f \leq 3$
型钢	直线度		每米范围	$f \leq 0.5$
	角钢肢垂直度		两肢有连接时	$\Delta \leq 0.5$
			其余部位	$\Delta \leq 1$
	角钢肢、槽钢肢平面度		连接部位	$\Delta \leq 0.5$
			其余部位	$\Delta \leq 1$
	工字钢、槽钢腹板平面度		连接部位	$\Delta \leq 0.5$
			其余部位	$\Delta \leq 1$
	工字钢、槽钢翼缘垂直度		连接部位	$\Delta \leq 0.5$
其余部位			$\Delta \leq 1$	

表 13 U形肋尺寸允许偏差

序号	简图	说明	允许偏差 mm
1		上宽 A	+3
2		下宽 B	-1
3		高度 H	± 1.5
4		两肢高差 (H1-H2)	± 2
5		长度	≤ 2
6		旁弯	$L/1000$, 且 ≤ 6
7		竖弯	
8		扭转 δ	≤ 3

6.2.3.4 零件机加工

6.2.3.4.1 加工面的表面粗糙度不应大于 Ra 25。

6.2.3.4.2 机加工后零件应磨去边缘飞刺，使断面光滑匀顺。

6.2.3.5 零件基本尺寸

拱肋节段、横撑节段零件尺寸允许偏差应符合表 14 的规定。

表 14 拱肋节段、横撑节段零件加工尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	名称	允许偏差		
		长度	宽度	垂直度
1	顶板、底板、腹板	按工艺文件	按工艺文件	
2	吊点隔板	+1, 0	±2	
3	锚管	±2		
4	定位隔板	+2, 0	+1.5, 0	≤1
5	拼接板		±2	
6	各种加劲板	±2	±2	

注：长度、宽度预留二次切头量时正差可放宽。

6.2.3.6 制孔

6.2.3.6.1 螺栓孔应成正圆柱形，孔壁表面粗糙度不应大于 Ra 25，孔缘无损伤不平，无刺屑。

6.2.3.6.2 螺栓孔的孔径允许偏差应符合表 15 的规定。

表 15 螺栓孔径允许偏差

单位为毫米

序号	螺栓直径	螺栓孔径	允许偏差	
			孔径	孔壁垂直度
1	M16	φ18	+0.5, 0	板厚 $t \leq 30$ 时，不大于 0.3， 板厚 $t > 30$ 时，不大于 0.5
2	M22	φ24	+0.7, 0	
3	M24	φ26	+0.7, 0	
4	M36	φ39	+1.0, 0	

6.2.3.6.3 螺栓孔孔距的允许偏差应符合表 16 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 16 螺栓孔距允许偏差

序号	项目	允许偏差 mm
----	----	------------

1	两相邻孔中心线距离		± 0.4
2	孔群中心线与构件中心线的横向偏移		≤ 2
3	两端孔群中心距	$L \leq 11 \text{ m}$	± 1.5
		$L > 11 \text{ m}$	± 2
4	支座孔群中心距	$L \leq 11 \text{ m}$	± 4
		$L > 11 \text{ m}$	± 8

6.2.4 组装

6.2.4.1 一般要求

6.2.4.1.1 组装前应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。

6.2.4.1.2 组装前应彻底清除待焊区域的铁锈、氧化皮、油污、水分等有害物。清除范围应符合图2的规定。

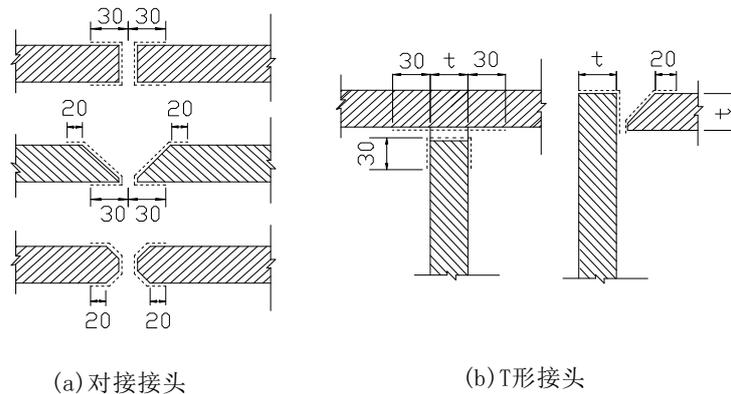
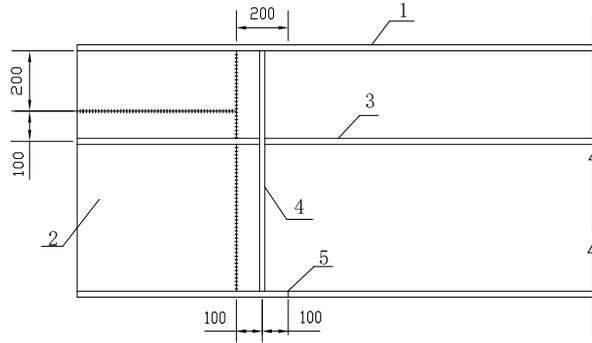


图2 清除范围

6.2.4.1.3 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3的规定。顶板、底板、腹板的接料纵向焊缝与板肋焊缝间距不应小于100 mm。



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。

图3 焊缝错开的最小距离

6.2.4.1.4 需作产品试板时，应在焊缝端部组装试板（当无法连接在焊缝端部时，应同地点同时施焊）。试板材质、厚度、轧制方向及坡口应与所代表的对接板件相同。

6.2.4.1.5 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、厚度及坡口形式应与所在部位的板件相同。

6.2.4.1.6 各类型钢构件首制件应经检查合格及监理工程师批准后，方可批量生产。

6.2.4.2 板单元组装

6.2.4.2.1 所有板单元应在组装胎架上进行组装，每次组装前应对所使用的组装胎架进行检查，确认合格后方可组装。

6.2.4.2.2 组装后应在规定位置写上编号，并填写相应的组装记录以便追溯。

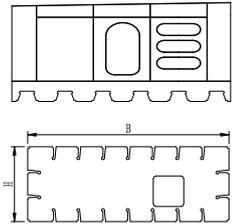
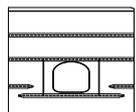
6.2.4.2.3 在组装顶、底板单元时应以板件的边缘和端头（非二次切头端）作为定位基准。

6.2.4.2.4 板单元组装尺寸允许偏差应符合表 17 规定。

表 17 板单元组装尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	名称	图例	项目	允许偏差	
1	拱肋顶板、 底板、 腹板、 风嘴板等		U形肋组装间隙 Δ	≤ 0.5 ，局部允许 1	
			板肋组装间隙 Δ	≤ 1	
			S、S1	端部及横隔板处	± 1
				其他部位	± 2
			板肋垂直度	≤ 1	
			横隔板、横肋板接板间距	≤ 2	
横隔板接板垂直度	≤ 2				

序号	名称	图例	项目	允许偏差
2	横隔板		板肋垂直度	≤ 1
			板肋组装间隙	≤ 1
3	锚点隔板		锚管组装角度 α	$\pm 0.1^\circ$

6.2.4.3 节段组装

6.2.4.3.1 节段组装应在组装胎架上进行。胎架基础应有足够的承载力，胎架要有足够的刚度，考虑焊接变形和重力的影响，胎架横向设置适当的预拱度。大节段组装胎架还应设置纵向预拱度。每轮次组装前均对胎架进行检测，做好检测记录，确认合格后方可进行下一轮次的组装。

6.2.4.3.2 胎架外设置独立的测量网。

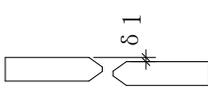
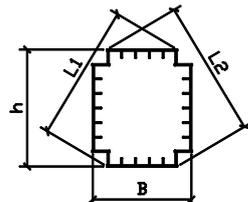
6.2.4.3.3 梁段组装采用多节段连续匹配组装、焊接及预拼装的工艺方案，上次预拼装结束后留下一个梁段参与下一次预拼，依次类推，每个梁段均需与相邻梁段预拼装作几何匹配。

6.2.4.3.4 在节段组装过程中，应在无日照影响的条件下监控测量主要定位尺寸。

6.2.4.3.5 节段组装尺寸允许偏差应符合表 18 的规定。

表 18 拱肋节段、横撑节段组装尺寸允许偏差

单位为毫米

序号	简图	项目		允许偏差
1		对接高低差 δ_1	$t \leq 25$	≤ 0.5
			$t > 25$	≤ 1
2		组装间隙 δ		≤ 1
3		宽度 B	拼接口位置	± 2
		高度 h	拼接口位置	$+4, 0$

6.2.5 焊接

6.2.5.1 焊接要求

- 6.2.5.1.1 焊工应取得权威机构签发的资格证书，持证焊工经监理工程师认可后方可上岗，且只能从事证书中认定范围内的工作，如果停焊时间超过 6 个月，应重新培训考核。
- 6.2.5.1.2 焊接工作宜在室内或防风防雨设施内进行，焊接环境湿度应不大于 80%；焊接低合金钢的环境温度不应低于 5℃，焊接低碳钢的环境温度不应低于 0℃。当环境温度或湿度未满足上述要求时，应在采取必要的工艺措施后进行焊接。雨、雪、大风、严寒等恶劣气候条件，不应进行桥上焊接作业。
- 6.2.5.1.3 焊前应检查并确认所使用设备的工作状态正常，仪表良好，齐全可靠，方可施焊。
- 6.2.5.1.4 焊前应彻底清除待焊区域内的有害物，焊接时不应随意在母材的非焊接部位引弧，焊接后应清理焊缝表面的熔渣及两侧的飞溅。
- 6.2.5.1.5 焊剂、焊条应按产品说明书烘干使用。烘干后的焊剂、焊条应随用随取。当从烘干箱取出的焊剂、焊条超过 4 h 时，应重新烘干后使用。
- 6.2.5.1.6 焊剂中的脏物、焊丝上的油锈等应清理干净；CO₂气体的纯度应大于 99.5%。
- 6.2.5.1.7 定位焊缝应距离焊缝端部 30 mm 以上，焊缝长度 50 mm~100 mm，焊脚尺寸和间距按焊接工艺执行。
- 6.2.5.1.8 定位焊缝不应有裂纹、夹渣、焊瘤等缺陷，对于开裂的定位焊缝，应在保证焊件组装尺寸正确的条件下补充定位焊，并清除开裂的焊缝。
- 6.2.5.1.9 焊接应按工艺规定的焊接位置、焊接顺序及焊接方向施焊。构件的焊接预热温度及道间温度应按照表 19 的规定执行。

表 19 预热温度及层（道）间温度

材质	板厚 mm	预热温度 ℃		预热范围 mm	层间温度 道间温度 ℃
		手弧焊 气体保护焊	埋弧焊		
Q345qD	<40	≥5	≥5		5~200
Q370qD	≥40	60~100	≥5	≥100	60~200 (埋弧焊 5~200)

- 6.2.5.1.10 当有引、熄弧板时，埋弧自动焊应在距设计焊缝端部 80 mm 外的引（熄）弧板上起、熄弧。焊后应将焊缝两端的引（熄）弧板用气割切掉，并磨平切口，不应损伤母材。
- 6.2.5.1.11 为了防止焊缝的烧穿，组装间隙局部超出规定时，应采用手弧焊接或气体保护焊打底后再施焊。
- 6.2.5.1.12 在埋弧自动焊焊接过程中，应待焊缝稍冷却后再敲去熔渣。敲渣部位到溶池的距离应大于 1 m。
- 6.2.5.1.13 在埋弧自动焊焊接过程中不应断弧，如有断弧则应将停弧处刨成 1:5 斜坡，并搭接 50 mm 引弧施焊，焊后搭接处应修磨匀顺。
- 6.2.5.1.14 主要焊缝焊后应按规定填写施焊记录，以便对其进行追溯。
- 6.2.5.1.15 圆柱头焊钉的焊接。
- 焊前应清除焊钉头部及钢板待焊部位（大于 2 倍焊钉直径）的铁锈、氧化皮、油污、水份等有害物。受潮的瓷环使用前应在 150℃ 的烘箱中烘干 2 h。
 - 每台班开始焊接前应按焊接工艺在试板上试焊两个焊钉，焊后按本文件要求进行检验，合格后方可进行正式焊接；若检验不合格，应分析原因重新施焊，直到合格为止。

- c) 应在平位施焊焊钉，在焊缝金属完全凝固前不准许移动焊枪；少量平位、立位及其他位置也可采用手工焊接；当环境温度低于 0℃，或相对湿度大于 80%，或钢板表面潮湿时，不准许焊接焊钉。

6.2.5.2 焊缝磨修和返修焊

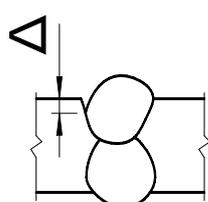
- 6.2.5.2.1 焊接的临时连接件切除时采用火焰切割，并磨平切口，打磨平整，不应损伤母材。
- 6.2.5.2.2 应采用碳弧气刨或其他机械方法清除焊接缺陷，在清除缺陷时应刨出利于返修焊的坡口，并用砂轮机磨掉坡口表面的氧化皮，露出金属光泽。
- 6.2.5.2.3 用自动焊返修焊缝时，应将焊缝清除部位的两端刨成 1:5 的斜坡。
- 6.2.5.2.4 对于施工过程中的工艺孔洞应在设计指定的位置切割，施工结束后按原状恢复，其焊缝按 I 级熔透焊缝进行超声波检查。
- 6.2.5.2.5 对有缺陷的焊钉焊缝可采用手工焊进行补焊，补焊长度应自缺陷两端外延 10 mm，焊角尺寸为 6 mm；当钢板厚度达到手工焊要求预热的厚度时应预热，预热温度和手工焊要求的预热温度相同。当焊钉焊缝不合格时，应将焊钉从杆件上切除，且不应伤及母材，切除圆柱头焊钉的部位应打磨平整，然后用原焊接方法重新焊上圆柱头焊钉。
- 6.2.5.2.6 当焊缝表面需要修磨时均应沿主要受力方向进行，使磨痕平行于主要受力方向。
- 6.2.5.2.7 焊接裂纹的返修应通知焊接主管工程师，对裂纹产生原因进行调查和分析，制定专门的焊缝返修工艺方案后按工艺要求进行。
- 6.2.5.2.8 焊接裂纹的清除范围除应包括裂纹全长外，还应由裂纹端外延 50 mm。
- 6.2.5.2.9 焊缝返修的预热温度应比正常焊接的预热温度高 30℃~50℃，采用低氢焊接材料进行焊接。
- 6.2.5.2.10 同一部位的返修焊不宜超过两次，当超过两次时，应报监理工程师同意，采取相应措施后方能进行返修。
- 6.2.5.2.11 焊接缺陷返修或重新焊接的焊缝应按照原检测方法和质量标准进行检测验收。

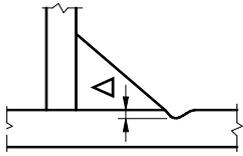
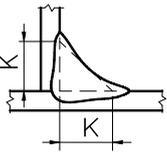
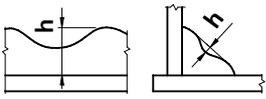
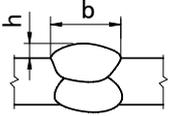
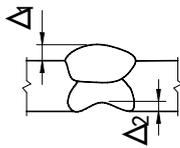
6.2.6 焊接检验

6.2.6.1 焊缝的外观检验

所有焊缝应进行外观检查，不应有裂纹、未熔合、焊瘤、夹渣、未填满弧坑及漏焊等缺陷，并应符合表 20 的规定。外观检查不合格的焊缝，应进行修补并打磨匀顺。

表 20 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	不准许
			U 形肋角焊缝翼板侧受拉区	
			横向受压对接焊缝 $\Delta \leq 0.3$	
			主要角焊缝 $\Delta \leq 0.5$	
			其他焊缝 $\Delta \leq 1$	

序号	项目	简图	质量标准 mm		
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
			其他焊缝	直径小于 1.5	
3	焊脚 尺寸		主要角焊缝 K^{+2} , 一般角焊缝 K^{-1} , 手弧焊全长 10% 范围内允许 K^{-1}		
4	焊波		$h \leq 2$ (任意 25 mm 范围内)		
5	余高 (对接)		$b \leq 12$ 时, $h \leq 2$; $b > 12$ 时, $h \leq 3$ 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		$\Delta 1 \leq 0.5$ $\Delta 2 \leq 0.3$		

6.2.6.2 圆柱头焊钉焊缝检验

6.2.6.2.1 圆柱头焊钉焊完之后, 应及时敲掉圆柱头焊钉周围的瓷环进行外观检验。焊钉底角应保证 360° 周边挤出焊脚。

6.2.6.2.2 每 100 个圆柱头焊钉至少抽一个进行弯曲检验, 方法是用锤打击圆柱头焊钉, 使焊钉弯曲 30° 时, 其焊缝和热影响区没有肉眼可见的裂缝为合格; 若不合格则加倍检验。

6.2.6.2.3 产品试板焊缝的外观应符合产品焊缝的外观质量要求。

6.2.6.3 焊缝的无损检验

6.2.6.3.1 无损检测人员应持有相应的考核组织颁发的二级及以上等级资格证书, 在有效期内从事相应考核项目的检验工作。

6.2.6.3.2 经外观检查合格的焊缝方能进行无损检验, 无损检验应在焊接 24 h 后进行。当钢板厚度 $t \geq 30$ mm 时, 无损检验应在焊接 48 h 后进行。

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

6.2.6.3.4 当板厚大于 30 mm 时, 可用 C 级超声波检验代替射线检验。

6.2.6.3.5 焊缝超声波探伤 (UT) 的距离—波幅曲线灵敏度及缺陷等级评定应符合附录 B 的规定; 其他要求应符合 GB/T 11345 的规定。

6.2.6.3.6 进行局部探伤的焊缝, 若发现裂纹, 应对焊缝全长进行探伤; 若发现较多其他超标缺陷,

应扩大探伤范围，必要时对焊缝全长进行探伤。

6.2.6.3.7 焊缝的射线探伤（RT）应符合 GB/T 3323.1 的规定。

6.2.6.3.8 焊缝的磁粉探伤（MT）应符合 JB/T 6061 的规定。

6.2.6.4 产品试板检验

6.2.6.4.1 产品试板应与产品同时焊接，其数量应符合表 21 的规定，接头数量少于表中数量时应做一组产品试板。

表 21 钢拱肋产品试板数量

焊缝类型	接头数量	产品试板数量
横向对接焊缝	30 条	1 组
纵向对接焊缝	30 条	1 组
全断面对接焊缝	10 个断面	平位、立位各 1 组

6.2.6.4.2 产品试板的焊缝经外观和探伤检验合格后进行接头拉伸、弯曲和焊缝金属低温冲击试验，试样数量和试验结果应符合本文件焊接工艺评定的有关规定。

6.2.6.4.3 若产品试板的试验结果不合格，可在原试板上重新取样再试验，如试验结果仍不合格，则应先查明原因，然后对该试板代表的焊缝进行处理。

6.2.7 校正

6.2.7.1 冷矫的环境温度不宜低于 5℃，矫正时应缓慢加力，总变形量不应大于变形部位原始长度的 2%。

6.2.7.2 热矫时加热温度应控制在 600℃~800℃，不应过烧，不宜在同一部位多次重复加热。矫正后钢材温度应缓慢冷却，降至室温以前，不应锤击钢材和用水急冷。

6.2.7.3 矫正后的钢材表面不应有凹痕和其他损伤。

6.2.7.4 板单元、节段矫正后的尺寸允许偏差应符合表 22、表 23 的规定。

表 22 板单元矫正允许偏差

单位为毫米

序号	名称	项目	允许偏差	示意图	
1	顶板、底板、腹板	长度、宽度	±2		
		对角线差	≤4		
		平面度 △	横向		≤S/250
			纵向		≤5
		角变形	$\delta \leq b/150$		
		板边直线度	≤3		
		板肋垂直度	≤2		

		四角不平度	≤ 4	
2	横 隔 板	宽度 h1、h2	± 2	
		长度 L	± 2	
		横向平面度 Δ	$\leq h1/250$ 且 ≤ 2	
		板边直线度	≤ 2	
		纵向平面度	$\leq 4/4$ m 范围	

表 23 节段矫正的允许偏差

单位为毫米

序号	项目	允许偏差	备注
1	节段高度 (H)	± 2	横隔板处
2	节段长度 (L)	± 2	有二次切头量可放宽
3	节段宽 (B)	± 4	拼接处相对差 ≤ 2
4	横断面对角线差	≤ 6	工地接头处的横断面
5	旁弯 (f)	≤ 5	
6	扭曲	每米不超过 1, 且每段不大于 8	每段以两边隔板处为准

6.2.8 预拼装

6.2.8.1 拱肋节段在胎架上应匹配制造, 并进行预拼装, 匹配试拼装应不少于 3 个节段。

6.2.8.2 预拼装检查合格后, 留下最后一段参与下一批次梁段匹配预拼装。

6.2.8.3 梁段按照预拼装应在带线形并经过检测的胎架上进行, 胎架应有足够的刚度, 其基础应有足够的承载力。梁段应处于不受外力的自由状态。

6.2.8.4 节段预拼装允许偏差应符合表 24 的规定。

表 24 节段预拼装允许偏差

项目	允许偏差 mm	备注	检测方法
试拼装长度	$\pm 2n, \pm 20$, 取绝对	n 为梁段数, 测量外侧锚箱间距	用钢盘尺、弹簧秤测量

项目	允许偏差 mm	备注	检测方法
	值较小者		当匹配试装分段累计误差超过±20时,要在下段试装时调整
	±5	节段长	
梁段中心线偏差	≤1	梁段中心线与桥轴中心线偏差	用经纬仪测量
旁弯	3+0.1L, 且任意 20 m 测长内≤6	测桥面中心线的平面内偏差。L 为任意 3 个预拼装梁段长度, 以 m 计	用紧线器、钢丝线、经纬 仪、钢板尺测量
	≤5	单段箱梁	
左右支点高度差(吊 点)	≤5	左右高低差	平台、水平仪、钢板尺
接口处错边量	≤1.5	梁段匹配接口处安装匹配件后	用钢板尺测量
竖曲线或预拱度	超过的 +{3+0.15L} > 12}	L 为试拼装长度, 以 m 计。测有横隔板处桥 面标高	用水准仪测量
	不足的 -{3+0.15L} > 6}		

6.2.9 涂装

6.2.9.1 涂装材料

6.2.9.1.1 涂装材料应满足 JT/T 722 的要求。

6.2.9.1.2 磨料应清洁、干燥, 其粒度和形状均应满足喷射处理后对表面粗糙度及清洁度的要求。

6.2.9.2 表面清理

喷砂前用有机溶剂进行彻底清理, 去除油污等影响涂装质量的污染, 合格后进行喷砂除锈。

6.2.9.3 涂装作业要求

6.2.9.3.1 涂装环境要求: 涂装环境温度在 5℃~38℃之间, 相对湿度 85% 以下 (当与油漆说明书不符时, 应执行油漆相应产品施工说明书)。构件表面结露不应涂装, 钢板表面温度高于露点 3℃ 以上方可施工。

6.2.9.3.2 大面积喷涂时, 采用高压无气喷涂, 预涂或修补时可以用滚涂或刷涂。

6.2.9.3.3 第一道底漆应在表面清理合格后及时涂装, 各道漆的涂装间隔严格按涂装工艺执行。

6.2.9.3.4 对于局部损伤涂层、工地焊缝采用机械打磨 St3 级, 然后及时补涂配套的涂料。

6.2.9.4 涂层检验

6.2.9.4.1 涂层外观表面应平整均匀, 颜色应与色卡相一致, 不准许有漏涂、剥落、起泡、裂纹, 气孔等缺陷。

6.2.9.4.2 干漆膜厚度测量采用磁性测厚仪, 厚度要求: 漆膜厚度测量值外 (内) 表面应满足 90

—10（85—15）规则，即所测量值中应 90%（85%）以上的测值达到规定的厚度要求，另 10%（15%）厚度不达标的测值其厚度不应低于规定厚度的 90%（85%）。

6.2.9.4.3 涂层体系附着力要求：可采用 GB/T 9286 划格法测量或 GB/T 5210 拉开法测量，采用划格法时附着力应达到 1 级；当检测的涂层厚度大于 250 μm 时，可采用拉开法测量，涂层体系附着力不小于 3 MPa。用于钢桥面的富锌底漆涂层附着力不小于 5 MPa。附着力由于是破坏性试验，首件应进行检测，正式涂装时如果未发现异常，不宜进行检测。

6.2.9.5 抗滑移系数试件与试验

6.2.9.5.1 抗滑移系数试件每个拼装轮次制作 6 组，3 组用于出厂试验，3 组用于工地复验。抗滑移系数试件应与梁段同材质、同工艺、同批制造，并在相同条件下运输、存放。

6.2.9.5.2 抗滑移系数试验方法应符合 TB/T 2137 的规定，出厂时高强度螺栓栓合面抗滑移系数应不低于 0.55，梁段安装前的复验值不应小于 0.45。

6.2.10 验收

6.2.10.1 节段制造完成后，应进行验收，其制造尺寸允许偏差应符合表 25 的规定。

表 25 拱肋节段、横撑节段制造允许偏差

项目	允许偏差 mm	条件	检验方法及器具
单节段长	± 2		钢盘尺、弹簧秤长度误差要在下段制造时调整
高度	± 3	横隔板处	钢盘尺
宽度	± 3		钢盘尺
竖曲线或预拱度	超过的 $+ \{3+0.15L \triangleright 12\}$	L 为大节段的长度，以 m 计。测有横隔板处桥面标高	用水准仪测量
	不足的 $- \{3+0.15L \triangleright 6\}$		

6.2.10.2 拱肋验收时，应向监理工程师提交下列文件：

- a) 产品合格证；
- b) 钢材、焊接材料和涂料的出厂质量证明书及复验资料；
- c) 焊接工艺评定报告及其他主要工艺试验报告；
- d) 工厂高强度螺栓摩擦面抗滑移系数试验报告；
- e) 焊缝无损检验报告；
- f) 焊缝重大修补记录（当有时）；
- g) 产品试板的试验报告；
- h) 试拼装记录（按试拼装批次）；
- i) 涂层检测记录。

6.2.11 包装、存放与运输

6.2.11.1 节段构件应在涂层干燥后对高强度螺栓连接部位进行包装，包装和存放应避免摩擦面损

坏。各种小件（拼接板、螺栓、螺母、垫圈等）应装箱，并加标记。

6.2.11.2 存放场地应坚实、平整、有排水设施。存放时，杆件或梁段的支承处不应产生不均匀沉降，所有支承点均应受力均匀。

6.2.11.3 运输应符合相应的运输方式的有关安全规定。采用船舶运输时，装船前应进行稳定性验算，其抗倾覆安全系数不应小于 1.5；梁段的绑扎固定及运输应符合水路运输的有关规定。

6.2.11.4 提供工地抗滑移系数试验用试件，应随同杆件或梁段运至工地。

6.2.11.5 在包装、存放和运输过程中，应采取有效措施，保证杆件或梁段不变形、不损坏、不散失。

6.2.12 工地连接

6.2.12.1 拱肋的调整就位

6.2.12.1.1 利用浮吊吊装的拱肋应先调整其横、纵向位置和高程，然后再调整顶板、底板、腹板使其精确对正。

6.2.12.1.2 腹板、顶板、底板等调整就位后用马板固定。在调平过程中，控制拱肋接口处相邻板面高低差不大于 2.0 mm。

6.2.12.2 拱肋间环缝的连接

6.2.12.2.1 拱肋就位、固定经检查合格后，施焊顺序应严格按焊接工艺规程执行。

6.2.12.2.2 工地焊接施焊前应严格按已评定的焊接工艺进行。焊接前应对接头坡口、焊缝间隙和焊接板面高低差等进行检查，并应对焊缝进行除锈，且工地焊接应在除锈后的 24 h 内进行。

6.2.12.2.3 工地焊接时，应设立防风、防雨设施，遮盖全部焊接处。

6.3 拱肋线形控制

6.3.1 边拱段线型控制

6.3.1.1 边拱段安装与连续梁悬臂拼装过程类似，每吊装一节段均会影响已安装的线形及内力。可通过预先计算各节段的累积变形，确定各节段安装时的安装线形。

6.3.1.2 拱肋预埋段及首节拱肋安装时，在节段安装定位时精确控制其定位坐标，在混凝土浇筑后、预应力张拉后等工况复测拱肋坐标，分析其变化量并与理论计算值对比，对下一节段变化进行预测。

6.3.1.3 首节拱肋安装定位时，边拱段处于最大悬臂状态，需分别测量吊机松钩前、松钩后的拱肋线形，如发现较大偏差及时调整。

6.3.1.4 边段拱肋安装时，应充分考虑支架的弹性变形的影响确定安装线形。每个节段安装前后均进行线形测量，通过前一个节段的线形变化预测下一个节段。

6.3.1.5 边拱段安装过程中，应对控制截面应力进行监测，并与理论计算结果进行对比分析。

6.3.2 中拱段线型控制

6.3.2.1 中拱段安装在水中支架上安装，拱肋线形主要受支架变形的影响，应充分考虑支架的弹性变形的等影响确定安装线形，每个节段安装前后均进行线形测量，通过前一个节段的线形变化预测下一个节段。

6.3.2.2 中拱段最后一节段（合龙段）拼装前，对合龙口进行 48 h 周期观测，对接口段下料调整，选取当天半夜低温时间段进行吊装合龙。

6.3.2.3 中拱段安装过程中，对控制截面应力进行监测，并与理论计算结果进行对比分析。

6.4 拱肋安装

拱肋的安装分为边拱段拱肋安装和中拱段拱肋安装和合龙段拱肋的安装，拱肋的拼装均采用水上大型浮吊或陆地履带吊进行安装，安装低位拼装符合线型要求后，方可进行大节段整体提升施工和合龙工作，拱肋安装过程中，应符合以下规定：

- a) 施工前应对现场所有机械及其他用具进行检查，确保一切正常；
- b) 准备拱肋安装施工中所需的材料如缆风绳、手拉葫芦、千斤顶、抄垫钢板等；
- c) 对所有的测量器具进行检查、校正；
- d) 检查吊耳焊接情况，是否出现裂缝，是否达到吊装要求。

6.5 拱肋水平约束索安装

6.5.1 在中拱段合拢后，应及时安装水平约束索，水平约束索一般设置在拱脚处，利用拱肋提升胎座联合设计，水平约束索应采用低松弛钢绞线对称设置，并根据拱肋提升时的外张力计算水平约束索的拉力。

6.5.2 水平约束索采用牵引绳牵引过河安装，安装完成后，采用液压千斤顶张拉至设计索力值，并在中拱段拱肋 4 个拱脚处，各设置 1 台红外线测距仪随时监测拱肋因温度等外界因素引起的变形。

6.5.3 水平索应左右幅拱肋同时张拉，先张拉中间束，再对称、隔孔张拉两侧钢绞线。钢绞线张拉时，应按照 20%、40%、60%、70%、80%、90%、95%、100% 的荷载比例分级加载。

6.5.4 通过调整临时拉索的张拉力使提升段拱肋拱脚处的水平位移为零。临时拉索的张拉力应通过模型分析计算得出，实际施工张拉时，应考虑摩擦力的影响，实际施加的力值应比理论值大。

6.5.5 水平索施工时，应以拱肋线形控制为主，依据拱肋的实际变形情况微调临时拉索的张拉力，同时对拱肋变形进行拉索力、温度的参数敏感分析，指导施工现场调节。

6.5.6 在中拱段节段拼装合拢后，为了满足吊装时中拱段保持原有状态，需设水平索加以约束。当水平约束索较长，容易受到风载影响时，应采用专用锚固体系采，确保锚固系统具有足够的锚固性能及抗疲劳性能，其性能因满足 GB/T 14370、fib、CIP、PTI 及 JT/T 771 等标准要求，并具有低应力（0.15 f_{ptk}~0.4 f_{ptk}）使用状态下锚固性能。

6.5.7 水平索下料长度计算：

按下列公式计算出无应力状态下的自由长度，校核无误后供下料人员执行。

$$L = L_0 + L_1 + 2A_1 + L_2 + L_3 \quad (21)$$

式中：

L_0 ——张拉端锚垫板之间距离；

L_1 ——固定端锚长度，一般取大于或等于 30cm；

A_1 ——锚板厚度；

L_2 ——张拉端钢绞线工作长度，考虑到张拉系统所需要的工作长度，一般取大于或等于 130cm；

L_3 ——钢绞线垂度影响长度，根据规范计算可得。

6.5.8 水平索穿束需遵守以下规定。

- a) 水平索安装方式可根据现场条件确定，当条件具备时，可在水平索投影面下 1.5 m 处提前搭设穿索平台，水平约束索在两岸下料后，通过牵引设备将钢绞线牵引至锚点位置。
- b) 为了便于穿索，两岸端口设置操作平台，使用穿索机或者其他牵引设备配合人工将钢绞线

按照编号进行安装。为防止钢绞线打搅，穿索采用单根穿索方式，并用专用牵引头做导向，在每束钢绞洞口及锚口位置事先按设计顺序编号。

- c) 每安装完一根钢绞线均采用液压千斤顶或者导链将钢绞线拉力张拉一致，穿束完成的钢绞线拉力控制在 15 KN 以内。

6.6 拱肋竖向提升索安装

6.6.1 对于高位构件安装，在其中设备性能受限情况下，竖向提升索宜采用从上往下单根穿索方式进行，首先将成捆钢绞线转运至提升支架钢梁顶部平台，在支架顶部操作平台上人工配合穿索机下料，能大大提高施工的便捷性和安全性。

6.6.2 具体工序为：钢绞线从放索盘放出，穿入高塔穿索机（缠绕 3 圈），钢绞线穿过导线架上横梁进入提升顶导向锚，依次穿过上夹持器、主顶、下夹持器、承重梁索导管、梳线板，到达提升吊点确保钢绞线的长度满足后，在导向锚位置装上工具夹片，为了确保安全，每根钢绞线穿完以后，用绳夹在其尾端装上两道绳夹，然后用手持切割机从绳夹处往上 20 cm 处切割。依此累推穿完，将上下夹持器夹紧，从上往下将梳线板下方到提升吊点处，按照孔位排布穿好承重锚。

6.6.3 当遇到放线盘绞线剩余长度小于穿索所需长度时，可通过高塔穿索机回转，把尾料回收回放线盘，利用铁丝绑扎稳妥，吊离放线盘，从新装一盘新的钢绞线，以同样工序继续穿索。

7 拱肋整体提升用计算机控制液压提升系统的设计及安装

7.1 计算机控制液压提升系统的设计

7.1.1 整体提升宜用计算机控制液压提升系统，确保实现多点位置同步和荷载均衡控制。

7.1.2 提升千斤顶应采用穿心式油缸，由上夹持器、下锚夹持器和主油缸三部分组成。钢绞线束通过穿过其中心与承重锚相连承载，锚具夹片规格应与钢绞线的规格相对应。

7.1.3 提升泵站宜用可变量液压系统，通过比例法或者变频控制实现多点同步调节。

7.1.4 控制器宜用有线或者无线网络实现信号传输，根据被提构件的控制要求选择传感器的种类和精度，宜配置长距离传感器和载荷传感器，实时测量各个提升点的位移和载荷信息，通过液压调节系统实现位置同步和荷载均衡控制。

7.1.5 根据被提升结构及附属设施的重量、提升吊点布置的数量和方位以及结构分析计算的结果确定各吊点荷载。

7.1.6 根据各吊点荷载确定各吊点液压提升油缸或油缸组合的提升能力，提升油缸或油缸组合的提升能力（额定荷载）不应小于对应吊点荷载标准值的 1.25 倍，多个提升油缸组合的吊点，宜采用同一规格的提升油缸。

7.1.7 提升油缸宜用柔性钢绞线承重，单根钢绞线的抗拉强度设计值不应大于其抗拉强度标准值的 50%，提升用钢绞线重复使用次数不应超过 30 次，每次使用前应对其进行外观检查，钢绞线应无松股、断丝、硬折弯、电弧灼伤、锈蚀麻点现象。

7.1.8 液压泵站配置应满足提升速度、提升能力、同步及精度控制要求。

7.1.9 应根据被提升结构的控制目标设计控制系统的控制要求及编制控制软件。

7.1.10 液压提升系统应符合以下安全要求：

- a) 控制系统的顺序控制功能中应设置安全自锁、互锁功能，不应违反既定逻辑、既定时序的机械、液压和电气动作；
- b) 应选用抗干扰性能好的电气器件；
- c) 控制系统应有避免误触键、碰撞引起的误动作的技术措施，应设置各种检验算法的判断逻辑。

辑；

- d) 控制系统应具有实时在线检测故障的手段与控制系统安全独立的辅助检测手段；
- e) 控制系统应具有系统失电、失控时的保护措施；
- f) 控制系统的供配电设计应符合国家现行有关标准的规定，控制系统处于施工现场的高位时，应设置可靠的防雷措施。

7.2 计算机控制液压提升系统的安装和调试

7.2.1 钢绞线安装

- 7.2.1.1 液压提升设备在钢绞线穿束前，各部件应检验合格。
- 7.2.1.2 单台液压油缸配置的钢绞线应按左、右捻向均分，防止锚具出现扭曲现象。
- 7.2.1.3 穿束完成后，应对钢绞线进行预紧，预紧力约 10 KN/根~15 KN/根，确保每束钢绞线受力均匀。
- 7.2.1.4 钢绞线预紧完成后利用梳导板从上到下检查，避免钢绞线穿束时错位及整体扭转。
- 7.2.1.5 钢绞线导向架安装应使钢绞线距最上端锚孔以上 1 m~2 m 范围内保持顺直，确保其提升过程中能顺利导出。

7.2.2 液压提升系统的调试

液压提升系统调试分两部分，一部分为出厂前调试，其主要目的是检查出厂前设备性能是否满足要求，条件具备的需进行整机联动调试，保证各系统运行指标正常；另一部为设备进场安装调整，其目的是检验设备性能是否处于正常工作状态，其检查主要内容包含以下几点：

- a) 应先检查液压泵站油液品种、液面满足要求，检查电动机转向正确；
- b) 启动操作控制系统，检查液压泵站所有元器件、液压油缸动作正确；
- c) 检查各安全保护装置、安全连锁互锁功能的动作正确，检查并调整锚具状态；
- d) 检查各传感器反馈信号正确。

7.3 提升系统技术要求

7.3.1 基本参数

- 7.3.1.1 额定电压：提升系统的额定工作电压值，应符合 GB/T 156 的规定。
- 7.3.1.2 额定电流：提升系统的额定电流值，应符合 GB/T 762 的规定。
- 7.3.1.3 控制系统：额定输入电压=380 VAC±7%。
- 7.3.1.4 输入频率：50 Hz。
- 7.3.1.5 同步平衡精度：0 m~20 m。
- 7.3.1.6 工作环境温度：-10 ℃~45 ℃。

7.3.2 技术要求

7.3.2.1 提升系统应符合本文件要求，并按照规定程序批准的图样和设计文件进行制造。提升系统采用的元器件、材料、器材，均应符合国家现行技术标准的规定，并应附有合格证件，设备应有铭牌。

- 7.3.2.2 控制系统：控制系统设计、安装及施工应符合 GB 50254、GB 50303 的有关规定。
- 7.3.2.3 机械系统：液压泵站、LSD 系列提升千斤顶设计及生产均应符合 JG/T 321、JG/T 319 的规定，并应经检验合格，具有产品合格证方能与电气控制系统配置使用。
- 7.3.2.4 手动控制：采用手动方式实现单项、多项、单吊点、多吊点完成伸缸、缩缸、紧上夹持器、松上夹持器、紧下夹持器、松下夹持器。
- 7.3.2.5 自动控制：自动提升动作顺序过程符合系统自动提升设计要求；自动下降动作顺序过程符合系统自动下降设计要求。
- 7.3.2.6 紧急停止：在自动运行状态下，按下紧急停止键，LSD 液压提升系统即停，处于静止安全状态。
- 7.3.2.7 抗光干扰：系统配置了激光测距仪，应进行抗光干扰检测。系统不因光干扰而失去平衡，提升的同步平衡精度保持在 0 mm~20 mm。
- 7.3.2.8 抗电磁干扰：系统不因电磁干扰而失去平衡，提升的同步平衡精度保持在 0 mm~20 mm。
- 7.3.2.9 系统超载试验：提升系统背对背试验超载为 110% 额定载荷，系统稳定。
- 7.3.2.10 系统油温系统连续运行 1 h，液压油路中油温不大于 60 ℃。

7.4 拱肋提升辅助设施

- 7.4.1 为保证中拱段整体提升时提升支架的稳定性，应对提升支架施加反向对称的拉力及支架之间的对拉力，从而抵消掉由于中拱段提升时，自重作用导致的提升支架倾斜。
- 7.4.2 缆风拉力一般采用预应力钢绞线配合液压千斤顶或钢丝绳配合卷扬机等设施对称布置。
- 7.4.3 揽风地锚应确保能满足拱肋提升时所需的锚固能力，揽风角度根据现场实际情况设定，确保千斤顶提供的张拉力尽量与锚固端钢板垂直，一般内夹角不小于 30°。
- 7.4.4 张拉端一般设置在地面的地锚上，锚固端则利用钢板制作成限位点焊接至支架或拱肋制定位置上。
- 7.4.5 揽风装置启动时，应对称施加拉力，并在支架上设置测量所需的监测点，随时监测支架情况，原则上不得因揽风施加拉力造成支架位移。
- 7.4.6 中拱段在整体提升过程中，若遇到大风等恶劣天气时，需立即停止提升并采用缆风系统对中拱段施加约束，限制中拱段在空中位移。

8 钢拱桥整体提升、合龙及成拱

8.1 钢拱肋提升工艺基本流程

8.1.1 试提升

- 8.1.1.1 试提升的目的及准备。中段拱肋及门式提升系统安装完成，正式吊装前，应进行试提升，以检验吊重能力及系统工作状态。试吊前，检测拱肋焊缝、线形是否符合设计及焊接规范要求，检查支架螺栓、焊缝是否符合要求。
- 8.1.1.2 试提升主要检测项目。对整套门式吊装系统的全面检查验收，拱肋及各关键设备材料检查主要项目如下：
 - a) 通过预埋在拱肋各关键部位的应力元件检测起吊状态下中段拱肋的受力，拱顶、拱脚的位移，轴线的偏位，以及临时索索力的变化情况；
 - b) 通过计算，在支架关键受力点埋设应力元件检测支架受力情况，以及通过测量观测支架位移是否与计算结果一致，是否超出允许范围；

- c) 提升系统空载运行, 检查千斤顶、油泵、锚具等提升设备各构件是否运转正常, 电脑控制系统是否运行正常;
- d) 检查同一束钢绞线受力均匀性, 整束扭转角度不应大于 5° ;
- e) 检查上下锚点垂直度, 垂直偏差满足 $<H/2000$, 钢绞线与提升胎架、提升支架钢梁预留孔居中正常、上下锚点夹角小于 3° ;
- f) 检查临时钢横梁、吊点受力情况, 测量钢横梁变形是否满足要求;
- g) 对项目部钢箱拱肋安装控制体系进行预演, 明确各部门成员职责, 工作内容;
- h) 各个通讯设备是否流畅、清晰。

8.1.1.3 试提升的方法。在各项准备工作完成后, 解除各临时支架顶部、提升支架、提升胎架与提升段拱肋的连接, 由控制中心指挥, 开始提升中段拱, 使拱肋提空 5 cmm 后停止提升, 进行各项检查项目检查和检测。

8.1.1.4 空中悬停时间一般为 2 h~24 h, 重型构件提升一般以悬停 24 h 为宜。

8.1.1.5 测量观测的主要内容:

- a) 在起吊状态下, 支架的变形, 柱顶的垂直沉降量及支架的倾角;
- b) 在起吊状态下, 边段拱肋与合龙口的空间位置;
- c) 在起吊状态下, 中段拱肋整体变形情况, 拱顶位移是否满足要求, 拱脚合龙口的空间位置及变化情况;
- d) 在起吊状态下, 观测每两个时段中段拱肋因温度影响而导致的合龙口空间位置情况;
- e) 在起吊状态下, 风荷载对中段拱肋整体位移的影响及施加的侧向缆风拉力;
- f) 在起吊静止状态下, 缓慢同时解除拱肋水平约束缆风, 拱肋与提升支架的间隙变化情况, 空挡是否满足提升活动空间;
- g) 在起吊状态下, 提升支架顶部钢梁各应力及变形情况在允许范围;
- h) 在起吊状态下、测量各拱角脱空高度是否一致, 结合各提升千斤顶受力情况汇总致指挥中心。

8.1.1.6 观测的方法:

- a) 合龙前, 对边拱段、中拱段拱肋接口处进行同一时间段连续观测 3 天, 可通过观测结果对比三维模型 (BIM) 空间位置, 确定合龙口最佳位置;
- b) 支架、拱肋空间位移观测: 采用在两岸上、下游适当位置各设置一个拱肋轴线观测站, 采用 0.5s 级以上精度的全站仪观测吊装节段顶面拱肋观测点的空间位置。

8.1.1.7 测量数据的分析与处理:

- a) 支架、中段拱肋变形等数据对比模拟验算结果, 不超出允许值, 则满足要求;
- b) 通过观测合龙口的实际空间位置, 对比 BIM 模型空间位置, 得出实际施工误差;
- c) 通过对拱肋连续 2 天 2 小时一次的空间位置观测及温度变化观测, 绘制一个反映升温 and 降温过程的“温度——悬臂端点挠度”关系曲线, 为拱肋合龙提供温度修正的依据以及确定合龙、焊接施工的最佳时间段;
- d) 根据实际观测的风速、中段拱肋的位移, 分析计算所确定的危险风速, 结合现场和施工实际情况, 研究制定具体抗风措施;
- e) 通过观测、分析、评估, 得出合龙节段合龙口的最佳空间位置, 对拱肋节段合龙口进行精确下料。

8.1.2 整体提升

8.1.2.1 整体提升基本流程

拱肋整体提升工艺基本流程如图 4。

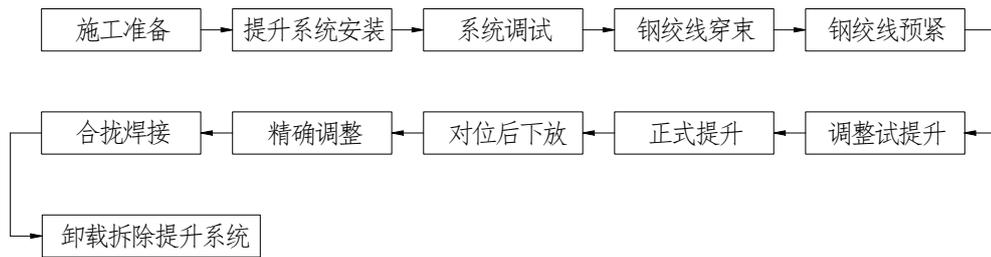


图 4 拱肋整体提升工艺基本流程图

8.1.2.2 提升的步长及控制

8.1.2.2.1 千斤顶行程以 400 mm 为一个循环进行提升为宜，整体提升的速度以 2 m/h 为宜。

8.1.2.2.2 所用的提升千斤顶可配备行程限位、位移检测、压力检测装置及物联网集成系统，便于实时对提升状态进行调整。

8.1.2.2.3 中拱段拱肋整体提升除考虑辅助措施重量外，还需考虑焊缝、吊绳等附加结构的重量以及吊装过程中的微冲击作用，分析时，还应考虑 1.2 倍的安全储备系数。

8.1.2.2.4 为确保中拱段整体提升施工过程顺利进行，提升前，应成立整体提升指挥小组成员，明确职责分工，小组成员在中拱段整体提升工序作业前明确并完成相应的技术交底工作。

8.1.2.2.5 提升前，由专业厂家进行提升千斤顶试运行，测试提升是否同步，提升过程中如发现采集数据反馈现场不同步或由提升千斤顶操作终端数据反馈提升不同步时，应暂停提升，并排查找出解决方法，处理后对单个或多个提升千斤顶进行单独或依次操作，确保中拱段再次整体提升前千斤顶均同步，并时刻关注提升过程异常情况，防止再次发生。

8.1.2.2.6 若整体提升施工采用软件监控系统监控时，当数据出现应力、变形、倾角等超出设定预警值时，应立即组织讨论出具处理措施同时判断按该处理措施实施可能存在的隐患，处理措施实施过程中整体提升人员指挥系统人员听从命令并严格执行。

8.1.2.2.7 在中拱段整体提升前，应在提升支架顶底部、边拱段支架顶部钢管安装应力感应原件，通过应力感应原件及集成设备接入控制系统内实时反馈数据，对中拱段整体提升施工过程进行监控。

8.1.2.2.8 中拱段整体提升过程中，应持续观察监控系统的实时数据反馈，出现异常情况时立即暂停施工并查找分析并予以解决。

8.1.2.2.9 中拱段整体提升过程中，一般采用两种方式判断中拱段整体提升过程中提升千斤顶是否同步。一是利用提升千斤顶张拉力差值判断。中拱段试提升至中拱段线形满足设计要求，读取千斤顶张拉力并记录；二是中拱段整体提升过程中测量监控组每隔 1 h 在千斤顶回油过程中对中拱段拱脚处进行快速监测，通过监测数据进行判断。

8.1.2.2.10 中拱段整体提升过程中，为加强提升支架整体稳定性，在中拱段整体提升过程中可通过增加活动横联系等措施，进一步提高中拱段整体提升过程安全保障。

8.1.2.3 拱肋提升测量控制要点

8.1.2.3.1 整体提升过程中，现场测量测试人员应对中拱段拱肋和支架系统进行连续观测。

8.1.2.3.2 整体提升过程中，测量拱脚节段线形，测量提升支架承台变形，监测中拱段和提升支架系统应变变化。

8.1.2.3.3 提升到位后，测量拱脚节段线形，测量提升支架承台变形，监测中拱段和提升支架系统应变变化。

8.1.2.3.4 测量测试时，不应进行对测量测试有影响的施工工序，测量前清除不必要的临时荷载。

8.1.2.4 提升中可能故障及应急措施

8.1.2.4.1 在提升施工中，应制定安全可靠、技术可行的方案，确保结构安全及施工的顺利进行，避免异常情况的发生。

8.1.2.4.2 同步提升的技术含量高，有一定的风险性，提升过程中有一定的不确定性，因此针对提升过程的关键环节，假定某种意外情况的发生并制定相应的应对措施，方能在紧急情况下有的放矢，及时正确的处理问题，整体提升前，应制定以下几点基本应急措施：

- a) 成立以项目经理为首、由液压、计算机方面的经验丰富的技术人员组成的应急领导小组，领导小组在提升期间昼夜值班，在紧急情况下可以随时启动应急程序；
- b) 提升过程中，由计算机数字控制的液压同步提升系统，当提升顶行程超出既定的允许范围，系统自动紧急停机，应检查原因，制定有效的处理措施后，再进行下一步工作；
- c) 提升系统的千斤顶、泵站、控制系统出现故障时，应立即由专业技术人员进行检查，以最快的时间排出故障，现场配备足够的设备备件，一旦设备出现故障时要及时进行更换或维修，不应带病作业；
- d) 提升前7天，应时刻关注天气预报，提升过程中如遇大风、大雨等不可预料的天气时应暂停提升，立即组织中拱段临时锚固索安装张拉，并安排专人时刻关注提升支架缆风系统及中拱段临时锚固系统、中拱段提升系统是否存在异常情况，如存在异常情况应立即汇报商讨解决。

8.1.2.5 中拱段的限位措施

8.1.2.5.1 中拱段提升到位后，为保证焊接质量及支架安全稳定，应设置侧向临时索将提升装置及中段拱肋进行固定，对其进行临时侧向限位。

8.1.2.5.2 中拱段提升至设计桥位处后，测量中拱段位置，并在拱肋两侧分别设置侧向缆索，利用侧向缆索进行中拱段横桥向位置纠偏。

8.2 钢拱肋提升体系转换

中拱段整体提升前，需进行中拱段受力体系转换，通过水平约束索与竖向提升索横竖匹配、分级、同步、对称施加索力，使中拱段由低位拼装支架受力转换至提升支架系统受力，一般分为以下几个基本步骤。

- a) 准备：应在提升胎座底部采用铺设不锈钢板、涂抹润滑油等措施提高拱肋底座滑动系数，并将胎座临时限位，设置监测点采集初始数据。
- b) 预紧：将水平约束索和竖向提升索安装完成后，对拉索进行预紧，预紧至钢绞线呈独立分丝状态。
- c) 解除限位：将支撑中拱段拱肋的支架顶部临时焊接点进行切割，塞垫钢板，使支架支撑与中拱段拱肋脱离，同时将提升胎座底部的限位板进行切割，使中拱段整体不受任何方向的约束。
- d) 分级张拉：根据验算结果对水平约束索和竖向提升索进行分级、同步、对称施加索力，使索力横竖匹配。验算的原则为：使拱肋在不同加载级别中均保持成桥线型，加载差值最大不得超过结构弹性变形的允许值。
- e) 试提升：将竖向提升索张拉力加载至预定的提升重量值后，进行中拱段试提升，试提升高

度一般为 5 cm，以拱肋胎座完全脱离地面为宜，再依据测量数据利用竖向提升索和水平约束索进行中拱段线形调整。

- f) 检查：试提升完成后，即对临时支架、拱肋、揽风系统等各个构件进行检查，检查内容包括拉索索力、支架及拱肋应力、位移、焊缝等情况。
- g) 中拱段拱肋体系转换完成精度指标控制如表 26 所示。

表 26 中拱段拱肋体系转换完成精度要求

仰角 (0.0001 rad)	轴线	标高
±10	±20 mm	±20 mm

8.3 钢拱肋提升技术指标

8.3.1 提升速度

8.3.1.1 提升速度： $V=$ 提升行程 $S/$ 每行程所需时间 t 。

8.3.1.2 提升行程： $S=$ 一行程中有效提升高度。

8.3.1.3 每行程所需时间： $t=$ 每行程（伸缸、缩缸，紧锚、松锚一次循环）所需时间。

8.3.1.4 系统空载的提升速度不低于系统设计速度的 1.08 倍。

8.3.1.5 提升速度根据泵站流量及提升千斤顶行程共同决定，为了减少提升构件惯性冲击，提升速度控制在 4 m/h~8 m/h。当集群千斤顶作业时，提升速度会随着千斤顶数量的增加而降低，通常速度控制在 4 m/h~7 m/h。

8.3.2 多点提升误差要求

8.3.2.1 采用比例阀调节的提升系统，应检测自动平衡调节。用手动控制人为产生大于 60 mm 的高差值，进入自动控制方式，在提升和下降的过程中，由计算机控制自动平衡误差在 0 mm~20 mm。

8.3.2.2 无比例阀的提升系统，通过手动调节，同步误差在 0 mm~20 mm。

8.4 钢拱肋提升到位技术指标

钢拱肋提升到位后应采用高精度全站仪对拱肋轴线、高程进行量测，其质量标准应符合表 27 的规定。

表 27 施工阶段拱肋控制质量标准表

项目	允许偏差值
拱肋轴线偏位最大允许偏差	±5 mm
拱肋高程最大允许偏差	±10 mm
同跨各拱肋相对高差	±10 mm

8.5 拱肋合龙

8.5.1 合龙的顺序应符合设计规定。

8.5.2 合龙施工前应对拱肋两端的轴线、高程和梁长受温度影响的偏移值进行观测，并应根据实际

观测值进行合龙的施工计算，确定准确的合龙温度、合龙时间及合龙程序。宜在施工温度相对恒定的时间段进行提升合龙。

8.5.3 合龙时宜采取措施将合龙口两侧的拱肋进行临时连接，临时连接宜采用临时结构，临时结构宜满足“刚度可调、部分焊接、交叉布置”的总体原则。

8.5.4 合龙前应详细分析自重、温度与水平钢束拉力的耦合效应对拱肋以及合龙区域的位移差的影响规律，确定临时结构的合理刚度，保障拱肋的位置可调。

8.5.5 合龙后拱肋轴线偏差控制在 ± 14 mm以内，相对偏差控制在11 mm以内，线形偏差控制在-32 mm以内，相对偏差 ± 6 mm以内，转角偏差控制在 -2.4% rad以内，相对偏差控制在 $\pm 0.7\%$ rad以内。

9 钢拱桥施工过程监控

9.1 施工过程监控指标及控制精度

施工过程监控指标及控制精度应满足表28的要求。

表28 施工过程监控指标及控制精度要求

项目	允许偏差范围
拱肋应力(混凝土)	$\pm 20\%$
拱肋应力(钢)	$\pm 10\%$
主梁应力(混凝土)	$\pm 20\%$
主梁应力(钢)	$\pm 10\%$
吊索索力	$\pm 5\%$
拱座基础沉降和位移	$\pm 20\%$

注：允许偏差范围=(实测值-计算值)/计算值 $\times 100\%$ 。

9.2 桥梁结构施工监控计算

9.2.1 为了满足施工过程安全控制的目的，应对桥梁的施工过程进行受力计算。

9.2.2 施工控制计算应包括符合性计算和施工控制仿真计算。

9.2.3 设计符合性计算应按设计图纸给定的结构尺寸、施工方案确定的施工工序、设计图纸和规范给出的材料参数进行桥梁整体受力计算，并与设计方的设计计算结果进行核对。

9.2.4 施工控制仿真计算是根据结构的施工过程，从桥梁结构的受力安全、成桥目标状态的实现等角度论证施工方案可行性，同时用以确定施工监控的施调参数，包括监测点的布置、测试设备或测试方法选定。

9.2.5 施工控制整体计算宜采用按杆系有限元方法，局部计算可以辅以实体有限元方法。

9.2.6 施工控制计算应计入混凝土构件的收缩徐变影响，并考虑施工过程(包括边界条件、构件数量、作用荷载和施工工期等参数)的影响；当钢拱桥的跨度超过400 m时，应考虑几何非线性的影响。

9.2.7 施工控制计算的变形控制计算结果应包括各施工阶段和成桥状态时主拱圈标高、吊索与系杆的变形量、拱座基础沉降和位移。

9.2.8 施工控制计算的应力控制计算结果应包括各施工阶段和成桥状态时主拱控制截面应力、吊索与系杆的索力。

9.2.9 根据施工控制计算结果，建立变形、应力和索力等监控参数的控制和预警指标。

9.3 桥梁结构关键部位受力、变形监控

- 9.3.1 大跨度钢拱桥支架法提升施工监测的指标主要有变形监测、应力监测和环境监测。
- 9.3.2 变形监测的内容应包括拱肋及主梁高程、轴线、里程偏差和拱座基础沉降、位移等。
- 9.3.3 应力监测的内容应包括拱肋和主梁应力、吊索和系杆索力等；环境监测的内容应包括温度场及指定测量时间肋、梁、索的温度变化和上部结构施工期间对风力风速进行测试。
- 9.3.4 变形监测应采用独立的测量控制网，测量控制网应满足相关测量规范的要求。
- 9.3.5 对于有推力拱，应在拱座的4角点布置位移、沉降测点，监测各施工阶段的拱座位移和沉降量。
- 9.3.6 拱肋的变形监测点宜布置在吊杆、拼装截面对应的拱肋位置，在拱肋各截面上的上下缘上分别布置2个~4个以上的变形测点。
- 9.3.7 拱肋的应力监测点宜L/4或L/8等受力代表性位置，在拱肋各截面上的上下缘上分别布置4个~8个以上的应力测点。
- 9.3.8 温度监测包括环境温度监测和结构温度监测；环境温度测点可布置在桥面上一个或几个固定位置，测点应能代表桥位处的实际的环境温湿度情况；拱肋结构温度测点布置原则上与应力测试截面保持一致，从而兼顾温度应力修正和构件温度监测；吊索温度监测测点应布置在具有代表性的吊索的表面。监测过程中测得的吊索温度实为吊索的表面温度。在正式检测前，应采用制作同型的温度测试试验索，在试验索的表面和内部分别布置温度测点，从而建立温度关系曲线，并据此推算施工过程中的吊索内部温度。
- 9.3.9 风速、风向测点应布置在拱肋、主梁悬臂状态的前端；桥址处风速测点应根据现场地形情况及桥梁在现场的布置综合确定。
- 9.3.10 监测用仪器设备、元器件的选择应根据测量目标值的范围、控制精度和桥址处气候环境条件及经济性等要求综合选定，并具有良好的防震、防水、防腐、高寿命、耐高低温性能，主要仪器设备配备及精度要求见表29。

表29 监测用主要仪器设备配备及精度要求

序号	监测项目	量测仪器	精度、误差要求
1	拱座沉降、桥面线形	精密水准仪或自动测量系统	DS1级
2	拱肋偏位、拱肋线形	全站仪或自动测量系统	1mm+1ppm、1"
3	应力	弦振式传感器、光纤式传感器等	1 $\mu\epsilon$
4	温度	热电阻温度计、热电偶点温计等	0.1° C
5	风速	风速风向仪	± 0.3 m/s

- 9.3.11 大跨度钢拱桥支架法提升施工过程中的监测频率需遵守以下规定。
- 在提升作业过程中，在设备配置允许的前提下宜对变形和应力进行连续测试；也可以根据提升进度，分步骤对对变形和应力进行不连续测试，但需结合监控计算成果而测试变形、受力相对不利的施工状态下的数据；在每次提升作业前和作业后都应测试静止状况下的结构初始状态和中止状态下的变形数据和应力数据。
 - 在提升作业间歇期中，应选择温度、风速等有代表性的环境状态，对结构的变形和应力进行监测，每日监测频率不宜少于2次。
- 9.3.12 监测数据的分析和反馈控制应遵守以下规定。
- 数据分析应包括的监测数据和桥梁状态有：当前施工状态下的结构应力、结构线形及变形、温度和风等环境参数、对施工过程结构状态有影响的指标；确定桥梁在当前施工状态结构

下的受力状及几何状态；当桥梁偏离预控状态时，应进行原因与影响程度分析并预测桥梁在后续施工过程的受力状态、几何状态的发展趋势等。

- b) 数据反馈控制应给出明确的结论和建议，包括桥梁是否处于预控状态，是否提出施工工艺调整建议或监测指标允许偏差范围调整；决定是否发出安全预警等。

9.4 重要临时结构受力、变形监控

- 9.4.1 大跨度钢箱拱提升施工过程中，应对重要临时设施的应力状态和几何状态进行监测。
- 9.4.2 临时设施的受力监测对象应包括有受力代表性的支架杆件应力、钢梁应力、吊索索力。
- 9.4.3 临时设施的几何监测对象应包括支架顶部的竖向变形及水平方向变形、支架的基础沉降、高度较大支架的整体线性。
- 9.4.4 临时设施的应力和几何监测频率，以及临时设施监测数据的分析和反馈控制办法，应比照 9.3 节中桥梁结构的相关监测办法进行。

10 钢拱肋质量标准

10.1 整体提升支架质量标准

- 10.1.1 支架的高度确定应考虑预拱度和支架变形；支架的结构，应根据实际高度及荷载大小确定，并满足稳定性要求。
- 10.1.2 支架基础应满足受力计算要求，置于河流中的支架应验算基础的冲刷深度。
- 10.1.3 对河道中的支架，应有可靠的防洪、防漂浮物措施并满足通航要求。支架的拆除应按设计或施工计算所规定的程序进行。
- 10.1.4 提升支架结构的制造质量验收应按 GB 50205 的规定及设计文件执行。
- 10.1.5 提升支架结构安装应编制专项的安装方案。
- 10.1.6 整体提升支架结构的组件应符合设计文件要求；钢结构构件应有出厂合格证及预拼装记录。
- 10.1.7 安装区域内应场地平整，无影响吊机作业、缆风绳支设的障碍物，地耐力应符合设计要求。
- 10.1.8 6 级以上的大风和雨雪天不应进行提升支架结构的安装。
- 10.1.9 提升支架结构门型支架底节安装宜采用垫铁抄平、二次灌浆工艺。二次灌浆层强度达到设计强度的 70% 时，方可进行上部支承结构安装。
- 10.1.10 提升支架结构的连接螺栓应采取二次拧紧工艺。提升支架结构的连接螺栓在拱肋悬空后，对松动的螺栓应补拧紧。
- 10.1.11 提升支架结构将被提升结构提升离地后，不应松动螺栓或支架缆风绳。
- 10.1.12 卷扬机、起重钢丝绳、扣件、滑轮组、吊耳均应符合起重吊装的规定。
- 10.1.13 对缆风绳施加预拉力的同时应用测量仪器对塔顶位移进行监控，宜对称分级施加预应力。提升支架结构顶部位移值不应大于计算值的 1.2 倍。
- 10.1.14 支架施工完成后应满足表 30 的要求。

表 30 整体提升支架质量检测标准

检查项目	检查子项目	检查内容及标准	检查方法

检查项目	检查子项目	检查内容及标准	检查方法
专项方案	审批程序	编制专项施工方案，并经专家审批通过，严格按照方案要求组织施工	查看
计算书	计算书	提升系统是否有专项计算书，是否缺项，是否按照设计要求	查看
提升支架基础	资料	技术、安全交底详细，有针对性	查看
		提升支架桩基、承台检验批齐全、桩基检测报告是否齐全；钢管原材质保资料齐全、原材检测报告齐全	查看
钢管立柱 (提升支架)	技术交底	技术交底详细，钢管立柱接高方法及接高长度	查看
		钢管立柱接高前有安全技术交底。特殊工种持证上岗。吊装作业有专人指挥。高空作业有按照要求进行佩挂安全带	查看
	原材料检测	钢管原材、法兰盘钢板、高强螺栓质保资料齐全、原材检测报告齐全。高强螺栓品种、规格、性能等是否符合国家产品标准和设计要求，出厂时是否随箱带有扭矩系数或紧固轴力（预拉力）的检验报告。钢管桩采用 $\phi 1520 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 规格的螺旋钢管立柱，钢管立柱表面有严重腐蚀、弯曲、压扁或裂纹的不应使用	查看
	垂直度	钢管立柱接高垂直度要求在 0.4% 范围内	全站仪、测斜仪
	结构尺寸、位置	钢管立柱是否设置在指定位置，立柱间距是否满足技术交底要求	尺量
钢管立柱 (提升支架)	焊缝外观质量	1520 钢管与连接钢板之间外部焊接采用深熔焊，熔深 11 mm~13 mm，内部焊接采用间断焊，焊缝长度 100 mm，焊角高度 8 mm~10 mm	尺量
	焊缝外观质量	焊缝感观应达到：外形均匀，成型较好，焊道与焊道，焊道与基本金属间过渡较平滑，焊渣和飞溅物基本清除干净	外观检查
	焊缝探伤情况	见焊缝探伤记录	查看

检查项目	检查子项目	检查内容及标准	检查方法
	高强螺栓	高强度螺栓连接副终拧后，螺栓丝扣外露应为2扣~3扣，其中允许有10%的螺栓丝扣外露1扣或4扣。同一节点的高强度螺栓安装方向一致。高强度螺栓连接摩擦面应保持干燥、整洁，不应有飞边、毛刺、焊接飞溅物、焊疤、氧化铁皮、污垢等，除设计要求外摩擦面不应涂漆	扭力扳手、查看
	混凝土	钢管支架立柱内是否浇筑混凝土，是否浇筑至设计位置	检查
	栓接与焊接	钢管支架接长是否按照技术交底要求施工。检查法兰盘连接是否贴紧，有无间隙；检查法兰盘规格是否与设计相同；检查高强螺栓是否拧紧；检查焊接质量是否满足要求，焊接长度达到20 cm，检查焊缝外观质量：外形均匀，成型较好，焊道与焊道，焊道与基本金属间过渡较平滑，焊渣和飞溅物基本清除干净	检查、查看
横向联系 (提升支架)	技术交底	技术交底详细；加劲板拼装方法交底明确	查看
横向联系 (提升支架)	技术交底	横向钢管拼装前有安全技术交底。特殊工种持证上岗。吊装作业有专人指挥。高空作业有按照要求进行佩挂安全带	查看、检查
	钢管原材料检测	钢管原材质保资料齐全、原材检测报告齐全。横向钢管拼装采用 $\phi 630 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 、 $\phi 325 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 标准钢管，钢管表面有严重腐蚀、弯曲、压扁或裂纹的不应使用	查看、尺量、外观检查
	钢管	钢管型号及拼装尺寸符合技术交底要求	检查
	位置	横联系设置是否与技术交底要求一致，位置是否吻合	检查、尺量
	临时横撑	是否按照方案要求设置临时横撑，临时横撑位置满足方案要求。	检查、尺量
	焊缝外观质量	钢管之间满焊连接，焊缝宽度10 mm	尺量，外观检查
		焊缝感观应达到：外形均匀，成型较好，焊道与焊道，焊道与基本金属间过渡较平滑，焊渣和飞溅物基本清除干净	外观检查
焊缝探伤情况	见焊缝探伤记录	查看	

检查项目	检查子项目	检查内容及标准	检查方法
提升装置	技术交底	技术交底详细	查看
		提升装置施工有安全技术交底。特殊工种持证上岗	查看、检查
	原材料检测	钢板质保资料齐全、原材检测报告齐全	查看
提升装置	结构尺寸、位置	是否安装技术交底要求拼装焊接，结构尺寸是否满足技术交底要求，提升装置位置是否与设计位置一致，预留孔洞位置是否与技术交底要求一致	检查、尺量
	焊缝外观质量	钢板之间、钢板与拱肋之间是否按照技术交底要求全部焊接，焊角高度、宽度满足规范技术交底要求	检查
		焊缝感观应达到：外形均匀，成型较好，焊道与焊道，焊道与基本金属间过渡较平滑，焊渣和飞溅物基本清除干净	检查
	焊缝探伤情况	见焊缝探伤记录	查看
	过程验收	过程检查资料是否齐全	查看
柱顶钢箱梁	技术交底	技术交底详细	查看
		柱顶钢箱梁施工有安全技术交底。特殊工种持证上岗	查看、检查
	原材料检测	支座、钢板质保资料齐全、原材检测报告齐全	查看
	结构尺寸、位置	是否按照技术交底要求拼装焊接，结构尺寸是否满足技术交底要求，柱顶钢箱梁位置是否与设计位置一致，预留孔洞位置是否与技术交底要求一致，与提升装置预留孔洞位置偏差满足规范要求	检查、尺量
	支座	是否按要求设置柱顶支座，支座材料、大小是否满足方案要求、支座位置是否符合要求，支座与钢箱梁焊接质量是否满足要求	检查、尺量
柱顶钢箱梁	焊缝外观质量	钢板之间是否按照技术交底要求全部焊接，焊角高度、宽度满足规范技术交底要求	检查

检查项目	检查子项目	检查内容及标准	检查方法
		焊缝感观应达到：外形均匀，成型较好，焊道与焊道，焊道与基本金属间过渡较平滑，焊渣和飞溅物基本清除干净	检查
	焊缝探伤情况	见焊缝探伤记录	查看
	横撑	是否按方案要求设置横撑，横撑材料满足方案要求，焊接牢固	
	过程验收	过程检查资料是否齐全	查看
安全防护与爬梯	防护	施工人员劳动防护用品是否穿戴齐全。检查走道长、宽、高是否合格，检查角钢与钢管相接处是否焊接稳固。临边防护是否按照规范要求设置，是否有缺失。是否悬挂安全警示标牌	检查
防护与爬梯	爬梯	梯笼式爬梯：检查爬梯与爬梯之间连接点焊缝好坏，节段间螺栓连接是否合格，检查爬梯与钢管立柱连接点焊缝是否稳固；爬梯是否按照技术交底要求安装，是否安装牢固。单节标准箱形梯笼依次整体吊装拼装而成的每个框架，其架体构造、垂直度、水平度是否符合设计。人员上下一般爬梯：是否按照规范要求设置，是否焊接牢固	检查
缆风系统	地锚、前锚	是否按照方案要求设置地锚、前锚；前锚、后锚是否设置在指定位置、是否按照方案要求施工；前锚端材料满足要求	查看过程资料，检查
缆风系统	钢丝绳	钢丝绳材料是否满足方案要求，钢丝绳角度设置是否满足要求、后锚张力是否达到设计要求	检测
防雷措施	接地处理	整体提升支架结构顶部应有避雷针、支柱的引下线和基础防雷接地。三者应作为导体连通，防雷接地电阻不应大于 4C	摇表检查
监测	设备	风速风向传感器、温度、应力感应原件、变形监控点、水平倾角探头安设是否按照方案要求设置	检查、尺量
	数据	各项数据是否超出预警值	监测

10.2 液压提升设备质量标准

10.2.1 检验规则

控制系统的验收规程按 GB 50254、GB50258 的有关规定执行。液压泵站、LSD 系列提升千斤顶设计及生产均应符合 JG/T 321、JG/T 319 的规定，并应经检验合格，具有产品合格证方能与电气控制系统配置使用。

10.2.2 出厂检验

每套提升系统出厂前应进行出厂试验，全部出厂试验项目检验合格后应发给产品合格证明书。出厂试验中，如有不符合本文件的规定，则该产品为不合格品，应返修并再次试验合格后方可发给产品合格证明书。

10.2.3 出厂检验项目

10.2.3.1 直观检查：按设计图样，直观地对结构要求、电器安装、绝缘配合、接线方法、布线方式、接合紧固件和涂覆处理等方面进行检查。

10.2.3.2 接地连接电阻的检查：用电桥法或直流压降法，检测接地螺钉与金属件间的连接电阻。

10.2.3.3 通电操作试验：试验前，需先检查设备的内部接线。当所有接线正确无误后，控制系统通电状态检查，要求可编程序逻辑控制器（PLC）正常运行，无错误标志；操作面板（OP25）显示正常，且保证各个电器元件操练件动作灵活，顺序准确。

10.2.3.4 控制柜绝缘电阻大于或等于 $0.8\text{ M}\Omega$ 。

10.2.3.5 电动泵站绝缘电阻大于或等于 $0.8\text{ M}\Omega$ 。

10.3 拱肋提升到位拱肋质量标准

10.3.1 在中拱段整体提升至设计位置时，采用钢绞线将提升装置与水中承台预埋钢筋连接，对中拱段进行侧向限位。

10.3.2 拱肋提升到位后精度应满足表 31 的要求。

表 31 拱肋施工阶段质量检测标准

项目	规定值或允许偏差	检查方法及频率
轴线偏位 (mm)	± 5	每肋每段检查 5 处
拱肋高程 (mm)	± 10	每肋每段检查 5 处
同跨各拱肋相对高差 (mm)	± 10	检查各接头点

10.4 拱肋合龙成拱质量标准

10.4.1 拱肋应在设计要求的合龙温度下合龙，如条件限制，无法在设计温度下合龙时，应选择在温度相对稳定的时段进行，并取得设计单位及第三方监控单位的认可。

10.4.2 拱肋节段间的焊接宜按安装顺序同步进行，且宜对称施焊。施焊前应有可靠的临时连接，确保施焊时焊缝处于无应力状态。合龙口的焊接或栓接作业应选择在环境温度相对稳定的时段内尽快完成。

10.4.3 钢管拱肋合龙后解除施工辅助措施的体系转换过程，应按照设计要求及施工控制的程序，有序、对称、均匀进行。

10.4.4 拱肋合龙成拱后松除外力后的精度应满足表 32 的要求。

表 32 拱肋安装质量检测标准

项目	规定值或允许偏差	检查方法及频率
轴线偏位 (mm)	L/6000, 且不超过 50	每肋每段检查 5 处
拱肋接缝错台 (mm)	0.2 倍壁厚, 且不大于 2	每个接缝
拱肋高程 (mm)	±L/3000, 且不超过 ±50	每肋每段检查 5 处
同跨各拱肋相对高程 (mm)	L/3000	检查各接头点
焊缝尺寸、焊缝探伤	符合设计要求	尺量、熔透焊缝 100% 超声波探伤
注: L 为跨径。		

11 钢拱肋整体提升安全保障措施与应急预案

11.1 水中施工安全保障措施

11.1.1 在通航河流上施工, 施工前应与航道、海事管理部门协商有关通航安全事宜, 并按要求设立航道、警示标志。

11.1.2 水上临时设施及船舶的临边, 临边设置防护栏杆、安全警示灯具, 并挂密目安全网, 配备救生圈。

11.1.3 水上临时设施应设置明显的安全明示牌, 告知水上(水边)作业人员注意事项, 夜间作业要有足够的照明并配备明显的警示标志, 防止船只碰撞及发生落水事故。

11.1.4 所有水上作业人员应经过安全培训, 考试合格后方可上岗。

11.1.5 所有水上作业人员应穿好救生衣方可进行水上作业。

11.1.6 水上临时设施要定期进行检查维护, 及时清除堆积在旁的漂浮物。发现问题及时上报, 采取加固方案。

11.1.7 大型起重船舶在平台附近作业时, 应防止船舶对平台的冲撞。

11.1.8 重型设备上平台及船舶作业前先对设备重量进行核准, 方可上平台及船舶作业, 同时作业过程中亦要对平台及船舶的安全情况进行观测。

11.1.9 起重机作业时, 重物下方不应有人停留、工作或通过。

11.1.10 汛期期间在河边设置防汛观测台, 安排专人 24 h 值班, 发现水位迅速上升及水位超过施工水位警戒线, 立即通知相关主管领导, 启动防洪防汛预案。

11.2 高空作业施工安全保障措施

11.2.1 所有进入施工现场的人员应戴好安全帽, 并按规定配戴劳动保护用品, 或安全带等安全工具。

11.2.2 作业人员不应穿拖鞋、高跟鞋、硬底易滑鞋和裙子进入施工现场。

11.2.3 在距边缘 1.2 m~1.5 m 处应设置护栏或架设护网, 且不低于 1.2 m, 并要稳固可靠。

11.2.4 从事架子施工的人员, 要制特种作业操作证方能持证上岗; 对进行模板施工, 高度超过 2 m 的架子要由架子工去完成。

11.2.5 施工作业搭设的扶梯、工作台、脚手架、护身栏、安全网等, 应牢固可靠, 并经验收合格后方可使用, 架子工程应符合 JGJ 80 和《建筑安装工人安全技术操作规程》规定要求。

11.2.6 人员上下通道要有斜道或扶梯上下, 不准攀登模板、脚手架或绳索上下, 并作好防护措施

的管理。

11.2.7 作业用的料具应放置稳妥、小型工具应随时放入工具袋，上下传递工具时，不应抛掷。

11.2.8 进行两层或多层上下交叉作业时，上下层之间应设置密孔阻烯型防护网罩加以保护。

11.2.9 施工平台应挂配醒目的安全警示牌，夜间施工应有充足的灯火照明。

11.3 提升设备施工安全保障措施

11.3.1 提升过程突遇大风、大雨

提升前一周应时刻关注天气预报，提升过程中如突遇大风、大雨等不可预料的天气时应暂停提升，立即组织中拱段临时锚固索安装张拉，并安排专人时刻关注提升支架缆风系统及中拱段临时锚固系统、中拱段提升系统是否存在异常情况，如存在异常情况应立即汇报商讨解决。

11.3.2 提升过程提升千斤顶不同步

提升前通过主控台调节比例阀开口值，反复运行调节合适开口值，进行提升千斤顶试运行，测试提升是否同步，提升过程中如发现采集数据反馈现场不同步或由提升千斤顶操作终端数据反馈提升不同步时，应暂定提升，并排查找出解决方法并处理后对单个或多个提升千斤顶进行单独或依次操作，确保中拱段再次整体提升前千斤顶均同步，并时刻关注提升过程异常情况，防止再次发生。

11.3.3 水平索遭受船舶撞击应急措施

11.3.3.1 发现船只有迹象驶向平台的险情和得知情报的人员立即向现场施工管理人员报告，要求船只采取转向、抛锚、滞航等措施避免事故发生，扩大。

11.3.3.2 停止平台上所有施工，组织平台上人员立即做好应急准备，如附近有施工船转移到施工船上。

11.3.3.3 如遇见无法避免发生事故时，平台人员立即向项目部报警。

11.3.3.4 项目部接到报警后，通知各部门、各应急小组各司其职，并向附近船只发出求救。

11.3.3.5 现场安全小组、水上抢险救护队现场抢救伤亡人员、疏散平台人员、搜救落水人员，转移物质。

11.3.3.6 与事故船只进行自救互救，防止燃料泄漏。

11.3.3.7 事故过后，注意现场保护，准备材料与保险公司相谈事故理赔事宜，检查平台损坏、设备设施损坏情况，对平台进行修复。认真总结经验，吸取教训。

11.3.4 液压油渗漏应急措施

液压油运输时应做好防护措施，防止液压油渗漏到河道，污染水质。定期对所有液压系统进行检查，杜绝液压设备运行过程中有漏油现象，如有发现马上清理；如泄漏河道，应马上清理，将污染控制在最小范围内。

11.3.5 各阶段安全保障措施

11.3.5.1 设备调试阶段，安装需对提升千斤顶的安装点准确定位，并与下方提升托架的提升锚点垂直。

11.3.5.2 提升系统安装阶段，各工序作业平台，包含提升操作、钢绞线穿束等做好相关人员安全保护相应措施，

11.3.5.3 竖向提升索安装阶段，应根据现场起重设备能力确定钢绞线穿束方式，当采用整束与千斤顶吊装时，上下夹持器应按规定保持夹紧状态，加持压力不小于 5 MPa，并做好防松脱措施，当采用单根穿索方式时，宜采用高塔穿索机进行，穿束长度达到要求后，应先在导向锚位置装上工具夹片，每根钢绞线穿完以后，用绳夹在其尾端装上两道绳夹，然后用手持切割机从绳夹处往上 20 cm 处切割。

11.3.5.4 当遇到放线盘钢绞线剩余长度小于穿索所需长度时，不应直接将剩余尾料放出，可通过高塔穿索机回转，把尾料回收回放线盘，利用铁丝捆绑牢靠以后，吊离放线盘，从新装一盘新的钢绞线，以同样工序继续穿索。

11.3.5.5 提升系统安装调试完成，正式吊装前，应进行试吊，以检验吊重能力及系统工作状态，各个通讯设备是否流畅、清晰。

11.3.5.6 加载过程中如有异常立即停机检查，并报告指挥中心决策，作好各项防护应急作业。

11.3.5.7 拱肋提升过程中，针对发生的问题应查明原因后，再进行处理，常规发生的问题及解决措施如表 33 所示。

表 33 提升时常规发生问题及解决措施

序号	可能发生的问题	引起的原因	解决措施
1	千斤顶中心定位不准	钢绞线受剪切、拱肋提空瞬间晃动	专人放线对中，专人焊接固定，确保千斤顶安装铅垂线和提升底座向吻合
2	穿索误操作	钢绞线下落	专人操作，导向锚装夹片，千斤顶外露钢绞线夹上两道绳夹，钢绞线切割外露量大于或等于100mm
3	行程开关安装错位	千斤顶动作异常	穿索完成后，千斤顶启动前要联主控台，核对个接近开关信号
4	穿索错孔	打搅断索	穿索前千斤顶对孔试穿，穿索专人负责对孔，设置梳线板装置
5	设备漏油	提升受阻、偏载	出厂前由专业人员更换千斤顶、阀体柜密封件，执行出厂验收手续
6	千斤顶中心定位不准	设备无法正常运行	设备安装时要做好备用件，相应工具准备好，做好散热措施

11.4 应急预案

11.4.1 应急预案原则

坚持“安全第一，预防为主”、“保护人员安全优先，保护环境优先”的方针，贯彻“常备不懈、统一指挥、高效协调、持续改进”的原则。更好地适应法律和经济活动的要求；给企业员工的工作和施工场区周围居民提供更好更安全的环境；保证各种应急资源处于良好的备战状态；指导应急行动按计划有序地进行；防止因应急行动组织不力或现场救援工作的无序和混乱而延误事故的应急救援；有效地避免或降低人员伤亡和财产损失；帮助实现应急行动的快速、有序、高效；充分体现应急救援的“应急精神”。

11.4.2 风险管理

为确保正常施工，预防突发事件以及某些预想不到的、不可抗拒的事件发生，事前有充足的技术措施准备、抢险物资的储备，最大程度地减少人员伤亡、国家财产和经济损失，应进行风险分析和预防。

工程施工前，应根据工程的特点及施工工艺的实际情况，认真对危险源和环境因素的识别和评价，制定应急措施，开展应急知识教育和应急演练，提高现场操作人员应急能力，减少突发事件造成的损害和不良环境影响。其应急准备和响应工作程序如图 5 所示。

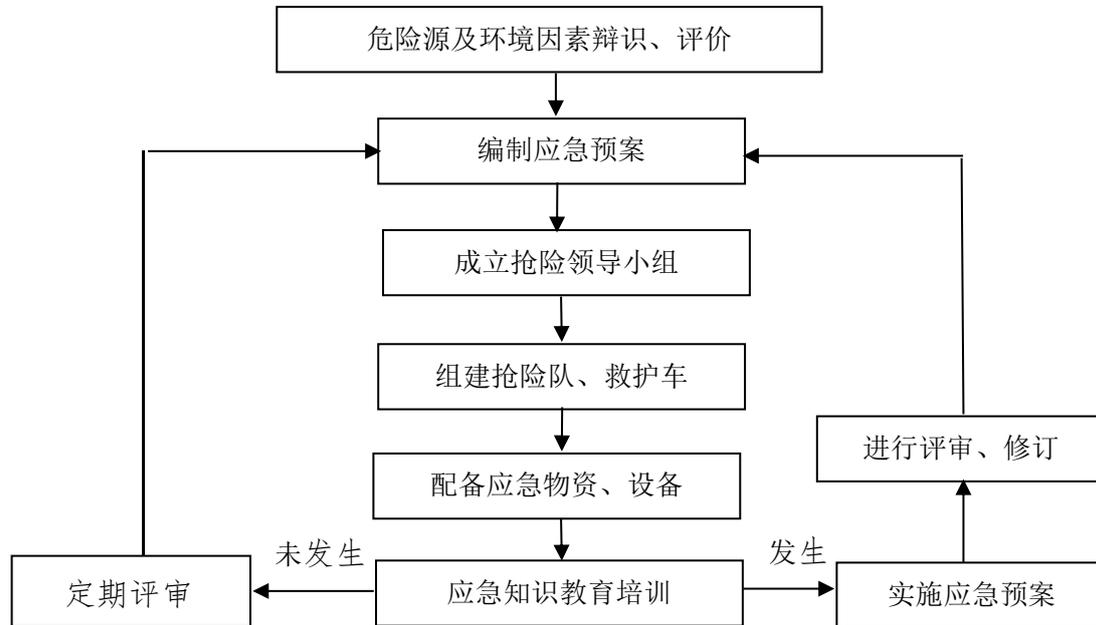


图 5 应急准备和响应工作程序图

11.4.3 应急资源

11.4.3.1 应急力量的组成及分布：项目经理部有关负责人及各部门成员。

11.4.3.2 应急设备、物资准备：现场灭火器、医疗设备、救护车辆充足，药品齐全，各施工小分队配有对讲机。

11.4.3.3 救援机构：项目经理部应急救援领导小组，地方主要应急资源是救护车。

11.4.4 机构与职责

一旦发生施工安全事故，项目经理部领导及有关部门负责人应立即赶赴现场，组织指挥抢险，成立现场抢险领导小组。应急组织的分工职责建议如下。

a) 组长职责：

- 1) 决定是否存在或可能存在重大紧急事故，要求应急服务机构提供帮助并实施场外应急计划，在不受事故影响的地方进行直接控制；
- 2) 复查和评估事故(事件)可能发展的方向，确定其可能的发展过程；
- 3) 指导设施的部分停工，并与领导小组成员的关键人员配合指挥现场人员撤离，并确保任何伤害者都能得到足够的重视；
- 4) 与场外应急机构取得联系及对紧急情况记录作出安排；
- 5) 在场(设施)内实行交通管制，协助场外应急机构开展服务工作；
- 6) 在紧急状态结束后，控制受影响地点的恢复，并组织人员参加事故的分析和处理。

- b) 副组长（即现场管理者）职责：
- 1) 评估事故的规模和发展态势，建立应急步骤，确保员工的安全和减少设施和财产损失；
 - 2) 如有必要，在救援服务机构来之前直接参与救护活动；
 - 3) 安排寻找受伤者及安排非重要人员撤离到集中地带；
 - 4) 设立与应急中心的通讯联络，为应急服务机构提供建议和信息。
- c) 通讯联络组职责：
- 1) 确保与最高管理者和外部联系畅通、内外信息反馈迅速；
 - 2) 保持通讯设施和设备处于良好状态；
 - 3) 负责应急过程的记录与整理及对外联络。
- d) 技术支持组职责：
- 1) 提出抢险抢修及避免事故扩大的临时应急方案和措施；
 - 2) 指导抢险抢修组实施应急方案和措施；
 - 3) 修补实施中的应急方案和措施存在的缺陷；
 - 4) 绘制事故现场平面图，标明重点部位，向外部救援机构提供准确的抢险救援信息资料。
- e) 保卫组职责：
- 1) 设置事故现场警戒线、岗，维持工地内抢险救护的正常运作；
 - 2) 保持抢险救援通道的通畅，引导抢险救援人员及车辆的进入；
 - 3) 抢救救援结束后，封闭事故现场直到收到明确解除指令。
- f) 抢险抢修组职责：
- 1) 实施抢险抢修的应急方案和措施，并不断加以改进；
 - 2) 寻找受害者并转移至安全地带；
 - 3) 在事故有可能扩大进行抢险抢修或救援时，高度注意避免意外伤害；
 - 4) 抢险抢修或救援结束后，直接报告最高管理者并对结果进行复查和评估。
- g) 医疗救治组职责：
- 1) 在外部救援机构未到达前，对受害者进行必要的抢救（如人工呼吸、包扎止血、防止受伤部位受污染等）；
 - 2) 使重度受害者优先得到外部救援机构的救护；
 - 3) 协助外部救援机构转送受害者至医疗机构，并指定人员护理受害者。
- h) 后勤保障组职责：
- 1) 保障系统内各组人员必须的防护、救护用品及生活物质的供给；
 - 2) 提供合格的抢险抢修或救援的物质及设备。

11.4.5 处置程序

11.4.5.1 接警与通知应遵守以下规定：

施工现场发生安全事故以后，施工现场人员应立即报告到项目经理部安质部，安质部在了解事故准确位置、事故性质、死伤人数及其他有关情况后，立即报告项目经理部分管领导、主管领导和公司有关部门，全过程时间不应超过 6 h。

11.4.5.2 指挥与控制应遵守以下规定。

- a) 紧急救援的一般原则：以确保人员的安全为第一，其次是控制材料的损失。紧急救援关键是速度，因此，救援时间就是生命。此外要培养施工人员正确的处险意识，凡发现险情要立刻使用事故报警系统进行通报，紧急救援响应者应是紧急工作组成员，其他人员应撤离至安全区域，并服从紧急工作组成员的指挥。
- b) 急救知识与技术：紧急工作组成员应熟练掌握止血包扎、骨折固定、伤员搬运及心肺复苏

- 等急救知识与技术等。
- c) 通讯：施工现场应将 110、120、项目部应急领导小组成员的手机号码、办公室联系电话、当地安全监督部门电话号码，明示于工地显要位置。工地抢险指挥及安全员应熟知这些号码。
 - d) 警戒与治安：安全保卫小组应在事故现场周围建立警戒区域实施交通管制，维护现场治安秩序。
 - e) 人群疏散与安置：疏散人员工作要有秩序的服从指挥人员的疏导要求进行疏散，做到不惊慌失措，勿混乱、拥挤，减少人员伤亡。
 - f) 公共关系：项目部办公室为项目部各信息收集和发布的组织机构，人员包括，办公室届时将起到项目部的媒体的作用，对事故的处理、控制、进展、升级等情况进行信息收集，有针对性定期和不定期的向外界和内部如实的报道，向内部报道主要是向公司的报道等，外部报道主要是向业主、监理、设计等单位的报道。
 - g) 现场恢复：充分辩识恢复过程中存在的危险，当安全隐患彻底清除，方可恢复正常工作状态。

11.4.6 应急预案

11.4.6.1 一般响应程序

11.4.6.1.1 当出现突发事件现场管理人员根据出现的险情或有可能出现的险情，迅速逐级上报，次序为现场、办公室、抢险领导小组、上级主管部门。由综合部收集、记录、整理紧急情况信息并向小组及时传递，由小组组长或副组长主持紧急情况处理会议，协调、派遣和统一指挥所有车辆、设备、人员、物资等实施紧急抢救和向上级汇报。事故处理根据事故大小情况来确定，如果事故特别小，根据上级指示可由施工单位自行直接进行处理。如果事故较大或施工单位处理不了则由施工单位向建设单位主管部门进行请示，请求启动建设单位的救援预案，建设单位的救援预案仍不能进行处理，则由建设单位的质安室向建委或政府部门请示启动上一级救援预案。

11.4.6.1.2 紧急情况发生后，现场要做好警戒和疏散工作，保护现场，及时抢救伤员和财产，并由在现场的项目部最高级别负责人指挥，在 3 min 内电话通报到值班室，主要说明紧急情况性质、地点、发生时间、有无伤亡、是否需要派救护车、消防车或警力支援到现场实施抢救。

11.4.6.1.3 值班人员在接到紧急情况报告后应在 2 min 内将情况报告到紧急情况领导小组组长和副组长。小组组长组织讨论后在最短的时间内发出如何进行现场处置的指令。分派人员车辆等到现场进行抢救、警戒、疏散和保护现场等。由综合部在 30 min 内以小组名义打电话向上一级有关部门报告。

11.4.6.1.4 遇到紧急情况，全体职工应特事特办、急事急办，主动积极地投身到紧急情况的处理中去。各种设备、车辆、器材、物资等应统一调遣，各类人员应坚决无条件服从组长或副组长的命令和安排，不得拖延、推诿、阻碍紧急情况的处理。

11.4.6.1.5 在整个施工阶段要从人员、设备、材料和制度做好充分的准备工作，一旦遇到险情能迅速投入抢险工作。

11.4.6.1.6 对于雨季施工，要及时了解天气信息，遇到暴雨天气要委派专人值班，掌握施工现场情况并及时汇报。

11.4.6.2 触电事故的救援预案

一旦发生触电伤害事故，首先使触电者迅速脱离电源（方法是切断电源开关，用干燥的绝缘木

棒、布带等将电源线从触电者身上拨离或将触电者拨离电源），同时拨打急救电话，其次将触电者移至空气流通好的地方，情况严重者，呼吸停止或心脏跳动停止或二者都已停止，立即进行口对口人工呼吸法及胸外心脏挤压法进行抢救，等待急救人员或送往医院。在等待或送往医院的途中，不随意停止抢救。

11.4.6.3 高处坠落及物体打击事故的救援预案

一旦发生高空坠落或物体打击事故，迅速拨打急救电话，抢救伤员的同时保护好现场防止事态扩大。如有轻伤或休克人员，现场人员立即组织临时抢救、包扎止血或做人工呼吸或胸外心脏挤压，尽最大努力抢救伤员。如有人员腰椎、颈椎受伤，不可胡乱搬抬，令其就地躺卧等待医护人员救治，以免扩大伤势。

11.4.6.4 坍塌事故的救援预案

11.4.6.4.1 一旦发生坍塌事故，尽快是事故人员解除挤压同时拨打急救电话，在解除压迫的过程中，切勿生拉硬拽，以免进一步伤害，现场处理根据伤情，采取包扎止血、人工呼吸或心肺复苏等急救措施。如有条件就近送往医院抢救。在急救中先清除伤员口、鼻污物，保持呼吸畅通。抢救伤员的同时组织其他组员采取有效抢险支护措施或组织人员撤离危险区域，防止事态扩大。

11.4.6.4.2 如果事故为发生支架坍塌倾覆事故，抢救伤员的同时立即组织浮吊、塔吊、运输船等对坍塌支架的进行加固，防止其他架子再次倒塌，集中人力抢救受伤人员，清理现场物料，最大程度地减小事故损失。

11.4.6.5 机械伤害事故的救援预案

对于一些微小伤，工地急救员可以进行简单的止血、消炎、包扎。对伤势较严重的，就近送医院。发生机械伤害事故后，迅速抢救伤员，使其脱离险境并拨打 120 急救电话（如为交通事故还同时拨打 122 交通肇事报警电话），同时保护现场，防止事态扩大。对伤员进行可行的应急抢救，如现场包扎、止血等措施，防止受伤人员流血过多造成死亡。如有条件可就近送往医院。

11.4.6.6 火灾事故的救援预案

11.4.6.6.1 火灾事故的救援原则是：“救人重于灭火；先控制、后消灭；先重点、后一般”。发生火灾后，立即组织人员施救、拨打“119”电话报警和撤离，撤离途中如有浓烟时，立即转移直至安全地带，以免烟熏中毒昏倒。

11.4.6.6.2 室内人员逃离时，先触摸一下房门温度，如烫手千万不可打开房门逃生，从窗口逃离，窗口逃生时，二层以上人员切不可盲目跳楼逃生，可采用床单、衣物、绳索等作为攀系工具逃离火场。

11.4.6.6.3 如不能逃离时，可堵死门缝，湿润毛巾后蒙住口、鼻上，以防有毒有害气体中毒，并向房门泼水降温，同时呼救等待救援。烧伤人员采取措施救治，如送至通风良好地带、用干净纱布简单包扎、清理口鼻保持呼吸道畅通等，有条件立即送往就近医院救治。

11.4.6.6.4 如有人员烟熏中毒倒地停止呼吸，立即将其抬至安全通风地带，进行人工呼吸，恢复其心肺功能，在医护人员到达之前切不可轻易放弃救治。

11.4.6.6.5 如确认是电气火灾迅速切断电源，以免事态扩大，切断电源时戴绝缘手套，使用有绝缘柄的工具。当电源不能及时切断时，抢险人员穿戴绝缘用品。

11.4.6.6.6 扑灭电气火灾时要用绝缘性能好的灭火剂如干粉灭火器，二氧化碳灭火器、灭火砂，不应使用水或导电灭火剂扑救。

11.4.6.7 河道通航安全应急预案

一旦发生船体碰撞事故，立即将碰撞区域施工人员撤离，检查是否有人员落水，如有人员落水，立即抛掷救生圈、救生衣给落水者，同时启动应急船只，下水救人。同时检查被碰撞船只是否有破损、存在沉没的可能，如破损较严重，立即通知水上救援部门出动救援。

发生人员溺水的，立即通知急救小组及地方医院，将溺水人员解救上岸后，由急救小组第一时间进行抢救，待救护车到达后，急救小组协助地方医院送伤员入院救护。

11.4.6.8 水上作业安全应急预案

水上作业人员一旦发生落水，应立即停止水中作业，立即抛掷救生圈、救生衣给落水者，同时启动应急船只，下水救人。将溺水人员解救上岸后，由急救小组第一时间进行抢救，待救护车到达后，急救小组协助地方医院送伤员入院救护。

11.4.6.9 起重吊装安全应急预案

11.4.6.9.1 发生起重吊装事故后，如有人员受重伤，发现人应立即拨打 120 救护车到事故现场救护伤员。同时通知项目部、项目部启动应急预案。

11.4.6.9.2 现场负责人应立即向应急救援领导小组组长报告，同时采取针对性的应急措施，防止事态扩大，减少事故损失。

11.4.6.9.3 根据事故等级需要向各级安全主管部门汇报的，专职安全员应及时向当地安监部门汇报，详细准确报告：出事时间、地点、单位、电话、事态状况及报告人姓名、单位、地址、电话。

11.4.6.9.4 项目部接到报告后，项目经理应立即宣布启动项目部应急预案，各应急小组成员立即到达现场，按职责分工组织配合作业队有关人员对发生事故的地段设栏防护，严禁闲杂人员出入，疏通救护车的交通，保护现场，同时根据具体情况制定措施进行抢险。

11.4.6.9.5 如发生起重设备倒塌、吊装物坠落、吊臂旋转中人员扶拉吊装物等安全事故、出现 2 人及 2 人以上伤亡事故时，项目经理应及时上报公司调度、公司分管领导、安监部。

11.4.6.9.6 紧急事故处理结束后，事故发生单位的负责人应在 24 h 内写出《事故调查报告》上报公司安监部，并妥善处理善后事宜。

11.4.6.10 防洪防汛应急预案

11.4.6.10.1 当接到值班人员洪水预警将要达到警戒水位后，施工现场派遣 2 人进行巡视。根据实际情况，适时作出加强维护，停工撤退。撤离时，先切断施工用电，撤离小型机具后撤离模板等材料，施工船舶靠岸固定，可行走式机械按照现场抢险抢修组人员指引有序撤离，人员最后撤离。

11.4.6.10.2 抢险抢修组应加强对所负责的工地巡查，尤其注意观察各个工点的护坡护岸、高边坡、深基坑的稳定情况，判断分析是否存在滑坡、塌方的危险。如果发现存在危险，立即组织各种力量进行处理，必要时立组织撤退，并向防汛领导小组报告。

11.4.6.10.3 在洪水期间，安排专业人员定时对既有路、坡顶便道及下河便道等的情况进行排查，发现异常情况立即上报防汛领导小组和技术组。

附录 A

(规范性)

缺陷处理

- A.1 钢材局部表面的麻坑或伤痕深度为 0.3 mm~1 mm 时，可磨修匀顺；深度超过 1 mm 时，应在补焊后磨修匀顺。
- A.2 钢材边缘局部的夹层缺陷深度不超过 5 mm 时，可先按本文件的相关规定清除后补焊并磨修。
- A.3 当气割边缘的缺口或崩坑深度小于 2 mm 时，可磨修匀顺，当深度超过 2 mm 时，应在铲磨出坡口后补焊、磨修匀顺。
- A.4 对于弯曲加工时产生的边缘裂纹，应在查明原因后按本文件的相关规定处理。

附录 B
(规范性)
超声波探伤

B.1 超声波探伤的距离——波幅曲线灵敏度应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 超声波探伤的距离—波幅曲线灵敏度

焊缝验收等级	板厚 mm	判废线	定量线	评定线
对接焊缝 I 级 II 级	8~100	$\phi 3 \times 40 - 4$ dB	$\phi 3 \times 40 - 10$ dB	$\phi 3 \times 40 - 16$ dB
全熔透角焊缝 I 级	8~100	$\phi 3 \times 40 - 4$ dB	$\phi 3 \times 40 - 10$ dB	$\phi 3 \times 40 - 16$ dB
		$\phi 6^*$	$\phi 3^*$	$\phi 2^*$
角焊缝 II 级	8~25	$\phi 1 \times 2$	$\phi 1 \times 2 - 6$ dB	$\phi 1 \times 2 - 12$ dB
	>25~100	$\phi 1 \times 2 + 4$ dB	$\phi 1 \times 2 - 4$ dB	$\phi 1 \times 2 - 10$ dB

注 1: 角焊缝超声波探伤采用铁路钢桥制造专用柱孔标准试块或与其校准过的其他孔形试块。
注 2: 技术条件允许的未焊透尺寸小于或等于 7 mm 时采用与探测距离等厚的槽形对比试块进行纵波扫查, 槽形对比试块的槽形宽度为技术条件允许的未焊透尺寸; 技术条件允许的未焊透尺寸大于 7 mm 时采用半波高度法界定未焊透尺寸。
注 3: 如超声波探伤已可准确认定焊缝存在裂纹, 则应判定焊缝质量不合格。
注 4: *为纵波探伤的平底孔参考反射体尺寸。

B.2 超声波探伤缺陷等级评定应符合表 B.2 的规定; 判定为裂纹、未熔合、未焊透(对接焊缝)等危害性缺陷者, 应判为不合格。

表 B.2 超声波探伤缺陷等级评定

单位为毫米

焊缝验收等级	板厚	单个缺陷指示长度
对接焊缝 I 级	8~100	$t/3$, 最小可为 10, 最大不超过 30
对接焊缝 II 级		$2t/3$, 最小可为 12, 最大不超过 30
熔透角焊缝 I 级		$t/3$, 最小可为 10, 最大不超过 30
熔透角焊缝 II 级		$2t/3$, 最小可为 12, 最大不超过 30
角焊缝 II 级		$t/2$, 最小可为 10, 最大不超过 30

注 1: 母材板厚不同时, 按较薄板评定。
注 2: 缺陷指示长度小于 8 mm 时, 按 5 mm 计。

附录 C

(资料性)

钢材的容许应力、强度和弹性模量

表 C.1 承载能力计算用钢材容许应力

序号	应力种类	单位	钢材牌号				
			Q235qD	Q345qD Q345qE	Q370qD Q370qE	Q420qD Q420qE	Q500qD Q500qE
1	轴向应力 [σ]	MPa	135	200	210	240	285
2	弯曲应力 [σ_w]	MPa	140	210	220	250	300
3	剪应力 [τ]	MPa	80	120	125	145	170

表 C.2 稳定性计算用钢材强度和弹性模量

单位为兆帕

项目	设计值
Q355钢材抗拉、抗压、抗弯强度	300
Q235钢材抗拉、抗压、抗弯强度	205
Q195钢材抗拉、抗压、抗弯强度	175
弹性模量	2.06×10^5

附录 D

(资料性)

Q235钢管及Q335钢管的轴心受压构件的稳定系数

D.1 Q235钢管轴心受压构件的稳定系数 φ 应按表D.1取值。

表 D.1 Q235 钢管轴心受压构件的稳定系数

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.997	0.995	0.992	0.989	0.987	0.984	0.981	0.979	0.976
10	0.974	0.971	0.968	0.969	0.963	0.960	0.958	0.955	0.952	0.949
20	0.947	0.944	0.941	0.938	0.936	0.933	0.930	0.927	0.924	0.921
30	0.918	0.915	0.912	0.909	0.906	0.903	0.899	0.896	0.893	0.889
40	0.886	0.882	0.879	0.875	0.872	0.868	0.864	0.861	0.838	0.855
50	0.852	0.849	0.816	0.843	0.839	0.836	0.832	0.829	0.825	0.822
60	0.818	0.814	0.810	0.806	0.802	0.797	0.793	0.789	0.784	0.779
70	0.775	0.770	0.765	0.760	0.755	0.750	0.744	0.739	0.733	0.728
80	0.722	0.716	0.710	0.704	0.698	0.692	0.686	0.680	0.673	0.667
90	0.661	0.654	0.648	0.641	0.634	0.626	0.618	0.611	0.603	0.595
100	0.588	0.580	0.573	0.566	0.558	0.551	0.544	0.537	0.530	0.523
110	0.516	0.509	0.502	0.496	0.489	0.483	0.476	0.470	0.464	0.458
120	0.452	0.446	0.440	0.434	0.428	0.423	0.417	0.412	0.406	0.401
130	0.396	0.391	0.386	0.381	0.376	0.371	0.367	0.362	0.357	0.353
140	0.349	0.344	0.340	0.336	0.332	0.328	0.324	0.320	0.316	0.312
150	0.308	0.305	0.301	0.298	0.294	0.291	0.287	0.284	0.281	0.277
160	0.274	0.271	0.268	0.267	0.262	0.259	0.256	0.253	0.251	0.248
170	0.245	0.243	0.240	0.237	0.235	0.232	0.230	0.227	0.225	0.223
180	0.220	0.218	0.216	0.214	0.211	0.209	0.207	0.205	0.203	0.201
190	0.199	0.197	0.195	0.193	0.191	0.189	0.188	0.186	0.184	0.182
200	0.180	0.179	0.177	0.175	0.174	0.172	0.171	0.169	0.167	0.166
210	0.164	0.163	0.161	0.160	0.159	0.157	0.156	0.154	0.153	0.152
220	0.150	0.149	0.148	0.146	0.145	0.144	0.143	0.141	0.140	0.139
230	0.138	0.137	0.136	0.135	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128
240	0.127	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118
250	0.117									

注： λ 为立杆长细比。

D.2 Q335钢管轴心受压构件的稳定系数 φ 应按表D.2取值。

表 D.2 Q335 钢管轴心受压构件的稳定系数

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.997	0.994	0.991	0.988	0.985	0.982	0.979	0.976	0.973
10	0.971	0.968	0.965	0.962	0.959	0.956	0.952	0.949	0.946	0.943
20	0.940	0.937	0.934	0.930	0.927	0.924	0.920	0.917	0.913	0.909
30	0.906	0.902	0.898	0.894	0.890	0.886	0.882	0.878	0.874	0.870
40	0.867	0.864	0.860	0.857	0.853	0.849	0.845	0.841	0.837	0.833
50	0.829	0.824	0.819	0.815	0.810	0.805	0.800	0.794	0.789	0.783
60	0.777	0.771	0.765	0.759	0.752	0.746	0.739	0.732	0.725	0.718
70	0.710	0.703	0.695	0.688	0.680	0.672	0.664	0.656	0.648	0.640
80	0.632	0.623	0.615	0.607	0.599	0.591	0.583	0.574	0.566	0.558
90	0.550	0.542	0.535	0.527	0.519	0.512	0.504	0.497	0.489	0.482
100	0.475	0.467	0.460	0.452	0.445	0.438	0.431	0.424	0.418	0.411
110	0.405	0.398	0.392	0.386	0.380	0.375	0.369	0.363	0.358	0.352
120	0.347	0.342	0.337	0.332	0.327	0.322	0.318	0.313	0.309	0.304
130	0.300	0.296	0.292	0.288	0.284	0.280	0.276	0.272	0.269	0.265
140	0.261	0.258	0.255	0.251	0.248	0.245	0.242	0.238	0.235	0.232
150	0.229	0.227	0.301	0.298	0.294	0.291	0.287	0.284	0.281	0.277
160	0.203	0.201	0.198	0.196	0.194	0.191	0.189	0.187	0.185	0.183
170	0.181	0.179	0.177	0.175	0.173	0.171	0.169	0.167	0.165	0.163
180	0.162	0.160	0.158	0.157	0.155	0.153	0.152	0.150	0.149	0.147
190	0.146	0.144	0.143	0.141	0.140	0.138	0.137	0.136	0.134	0.133
200	0.132	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.124	0.123	0.122	0.121
210	0.120	0.119	0.118	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110
220	0.109	0.108	0.107	0.106	0.106	0.105	0.104	0.103	0.101	0.101
230	0.100	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.094	0.094	0.093
240	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.086
250	0.085									

注： λ 为立杆长细比。

参 考 文 献

- [1] GB/T 5210 色漆和清漆拉开法附着力试验
- [2] GB/T 9286 色漆和清漆 划格试验
- [3] JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
- [4] Q/CR 9211 铁路钢桥制造规范
- [5] 建筑安装工人安全技术操作规程
- [6] 危险性较大的分部分项工程安全管理规定（中华人民共和国住房和城乡建设部令
第 37 号）