

中国公路建设行业协会标准

T/CHCA xxx-202x

公路拱桥侧转施工技术规范

Technical Specification for Lateral Rotation Construction of Highway
Arch Bridges

(征求意见稿)

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

中国公路建设行业协会 发布

前 言

根据《中国公路建设行业协会标准管理办法》的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 7 章和 3 个附录，主要内容包括：总则、术语与符号、拱桥侧转系统、拱桥侧转施工、拱桥侧转施工监控、拱桥侧转前准备与协调、安全管理与环境保护。

本标准某些内容可能涉及“一种拱肋侧向平衡转体系统、牵引反力座、一种拱肋侧向平衡转体施工方法、转体施工用连接组件、一种单拱肋分幅转体施工钢箱拱桥、助推反力装置”相关专利(专利号：ZL202220885880.5, ZL201920179436.X, ZL202210401028.0, ZL201810401826.7, ZL202020836000.6, ZL201922501008.7)的使用。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与专利持有人(单位或人员)协商处理。除上述专利外，本标准的某些内容仍可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。本标准由中国公路建设行业协会归口管理，由中交路桥建设有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈至中交路桥建设有限公司（地址：南京市建邺区安科大厦 A 座 901；邮编：210019，邮箱：sujintang@yeah.net

主 编 单 位：中交路桥建设有限公司

主要参编人员：

参与审查人员：

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	4
3 拱桥侧转系统	5
3.1 一般规定	5
3.2 拼装横移系统	5
3.3 侧转铰	6
3.4 转体系统	7
3.5 平衡锚固系统	9
3.6 拱桥侧转施工流程	10
4 拱桥侧转施工	11
4.1 一般规定	11
4.2 拱肋拼装施工	12
4.3 拱肋横移施工	12
4.4 转体支架施工	13
4.5 转体扣背索施工	14
4.6 拱肋侧转施工	15
4.7 拱脚封固合龙施工	17
4.8 支架拆除施工	17
5 拱桥侧转施工监控	19
5.1 一般规定	19
5.2 拱肋及侧转临时结构施工监控	19
5.3 转体过程动态监控	20
6 拱桥侧转前准备与协调	22
6.1 一般规定	22
6.2 转体结构验收	22
6.3 安全技术交底及设备调试	22

6.4 应急准备	23
6.5 交通管理协调	23
7 安全管理与环境保护	24
7.1 一般规定	24
7.2 安全管理	24
7.3 环境保护	25
用词说明	26
引用标准名录	27
引用专利名称	28

1 总则

1.0.1 为统一和规范拱桥侧转施工技术要求，提高侧转技术应用范围，统一技术标准，保障施工质量与安全，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于公路、城市道路中采用侧转法设计施工的拱桥，在不同地区均可通用。

1.0.3 本标准中的拱桥侧转系统构造，不应作为工程设计依据。

1.0.4 拱桥侧转施工及监控，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国公路建设行业协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 拱桥侧转系统 Arch bridge lateral rotation system

为实现拱肋侧转施工设置的侧转铰、拼装横移系统、转体系统和平衡锚固系统等各类设施与装置的总称。

2.1.2 侧转铰 side hinge

是拱桥侧转机构的核心部件，是承受拱桥荷载的同时实现拱桥的摩擦转动的支撑装置。

2.1.3 拼装横移系统 Assembly and lateral movement system

为拱肋侧向卧拼提供竖向支撑、为拱肋横移施工提供牵引动力的综合系统，由支架、支撑柱、拼装支架、横移轨道和横引系统等组成。

2.1.4 支架 support bracket

拱肋主梁支撑装置。

2.1.5 支撑柱 support column

拱肋侧向拼宽区支撑装置。

2.1.6 拼装支架 Assembly bracket

拱肋卧拼过程中，用于组装或支撑拱肋节段的支架结构。

2.1.7 横移轨道 lateral track

为拱肋侧向横移施工提供线性支撑的一字形专用通道。

2.1.8 横移系统 lateral shifting system

为拱肋横移施工提供横移动力的综合系统，由横移油缸、横移索、反力座、限位止动块组成。

2.1.9 横移油缸 transverse shifting cylinder

为拱肋横移施工提供横移动力的机械设备。

2.1.10 横移索 transverse pulling cable

用于对拱肋施加横向牵引力,辅助实现横移、调位、纠偏的钢索或钢丝绳,常与横移油缸配合使用,控制结构横向位移与姿态。

2.1.11 反力座 reaction seat

拱肋横移过程中,承受横移反作用力的支撑结构。

2.1.12 限位止动块 stop block

用于限制结构或构件位移行程、防止超限移动的块状限位装置

2.1.13 转体系统 rotation system

为拱肋侧转施工提供张拉动力的专用系统,由转体支架、缆风索、侧转油缸、转体扣索等组成。为拱桥侧转施工提供张拉动力的机械设备、控制装置、支撑装置、转体扣索等组成的系统。

2.1.14 转体支架 rotating support bracket

拱肋转体支架是拱肋侧转过程中的重要临时设施,平衡两跨拱肋水平分力,将拱肋竖向分力往下传递的支架结构。

2.1.15 缆风索 guy cable

为保持转体支架、拱肋节段等临时结构或构件的稳定、抗风、防倾覆,沿斜向设置的张拉约束索具,用于承受侧向荷载、调整结构姿态。

2.1.16 侧转油缸 rotational cylinder

为拱肋侧转施工提供旋转驱动力矩的液压执行元件,通过伸缩推动结构绕铰轴实现可控转动,是侧转系统的核心驱动设备。

2.1.17 转体扣索 rotation buckle cable

转体扣索是拱肋侧转过程的核心部分,通常由高强度的钢绞线制成

2.1.18 平衡锚固系统 Balanced anchoring system

为保持拱桥侧转过程中转体扣索具有安全范围内的拉力,使其能锚固于锚具的平衡系统,由转体背索、锚点和平衡油缸组成。

2.1.19 转体背索 Twisting back cable

转体背索是拱肋侧转过程中,平衡转体扣索索力的核心部分,通常由高强度的钢绞线制成。

2.1.20 平衡油缸 balance cylinder

为平衡拱肋侧转施工中转体扣背索索力的机械设备。

2.1.21 临时固定装置 temporary fixing device

拱肋侧转就位后,为限制构件位移、保证结构临时稳定而设置的非永久性约束装置,施工完成后可拆除或解除

2.2 符号

T_d —— 单条轨道横移牵引力

μ —— 摩擦系数

F_n —— 拱肋横移支撑处反力

k —— 千斤顶动力储备系数

3 拱桥侧转系统

3.1 一般规定

3.1.1 混凝土拱桥侧转应结合地形、桥高、自然条件、荷载情况，经技术经济比选确定方案，遵循安全高效、技术先进、资源节约原则。

3.1.2 拱桥侧转系统一般由侧转铰、拼装横移系统、转体系统和平衡锚固系统组成，拼装横移系统包括支架、支撑柱、横移轨道和横移系统，转动系统包括转体支架、缆风索、侧转油缸和转体扣索，平衡锚固系统由转体背索和平衡油缸组成。如下图所示。

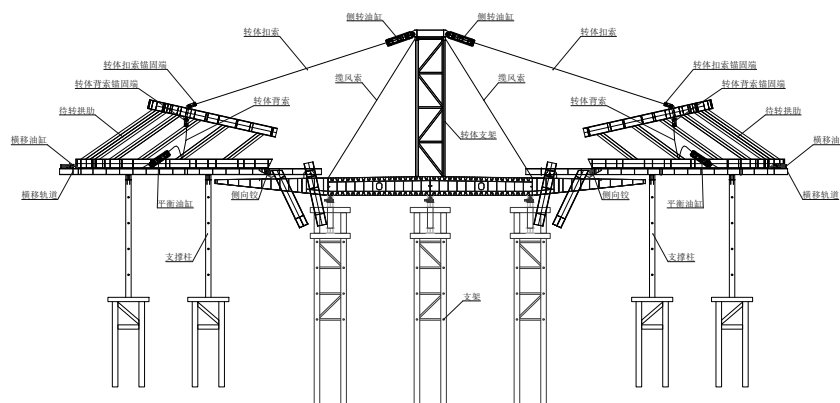


图 1 拱桥侧转系统构成示意图

3.2 拼装横移系统

3.2.1 拼装横移系统宜由支架、支撑柱、拼装支架、横移轨道和横引系统组成，如下图所示：

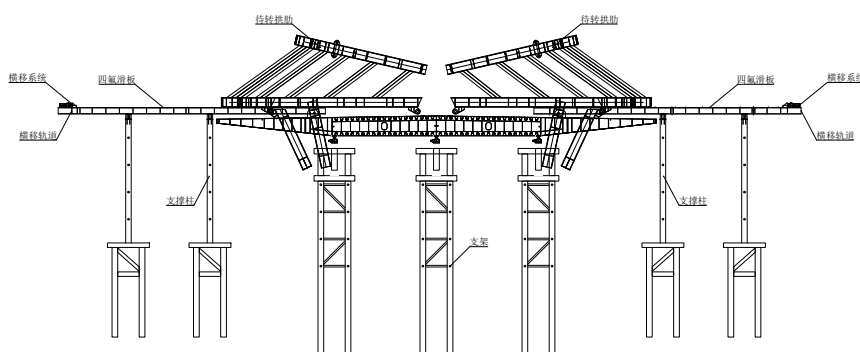


图 2 拼装横移系统构成示意图

3.2.2 支架宜采用格构柱，支撑柱可根据受力计算采用排架柱或格构柱。

3.2.3 横移系统宜由横移索、横移油缸、反力座、限位止动块组成。

3.2.4 反力座宜采用型钢结构，承载力安全系数不宜小于 2.0。

3.2.5 横移轨道宜由型钢组焊而成，应与支撑柱设置可靠连接。

3.2.6 单条轨道单顶牵引力需求应按下式计算，横移索钢绞线应力宜控制在 0.4 倍~0.5 倍的钢绞线抗拉强度标准值。

$$T_d = \frac{k \cdot \mu F_n}{n}$$

式中： T_d ——单条轨道横移牵引力（kN）；

μ ——拱肋横移支撑处，滑板与轨道摩擦系数；

F_n ——拱肋横移支撑处反力；

n ——单个轨道配置连续千斤顶个数；

k ——千斤顶动力储备系数， k 取 2.0。

3.3 侧转铰

3.3.1 侧转铰应优先采用合页式结构形式，转动灵活可靠，各项力学指标应符合设计文件与现行标准规定，承载力安全系数不应小于 2.0。

条文说明：侧转铰为拱桥转体施工的关键受力部件，合页式结构具有转动灵活、受力明确、安装便捷等优点，工程应用成熟。为确保转体全过程安全可靠，其材料性能、加工精度、承载力、耐久性等力学指标必须严格符合设计文件及国家现行相关标准的强制性要求。基于临时结构安全控制原则，规定其承载力安全系数不应小于 2.0。

3.3.2 侧转铰宜由上转铰、转轴和下转铰等构成。

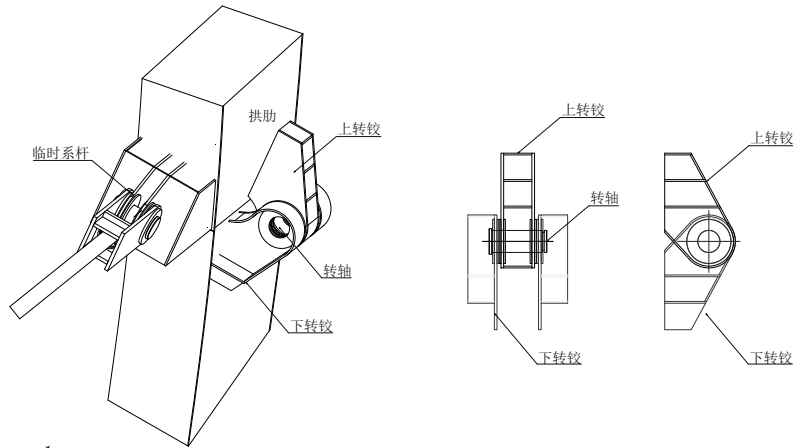


图3 侧转铰构造示意图

3.3.3 拱肋内侧应根据侧转施工受力要求设置临时系杆，系杆宜采用钢绞线，其规格应按侧转全过程水平推力计算确定，钢绞线安全系数不应小于 2.0。

3.3.4 转轴宜根据转动过程受力大小选用钢制的销轴，接触面应满足局部承压的要求。

3.3.5 侧转铰宜布置于拱肋拱脚侧向位置，其连接构造应进行专项设计，验算结果应符合现行相关设计标准的规定。

3.4 转体系统

3.4.1 转体系统由转体支架、缆风索、侧转油缸和转体扣索组成等构件组成

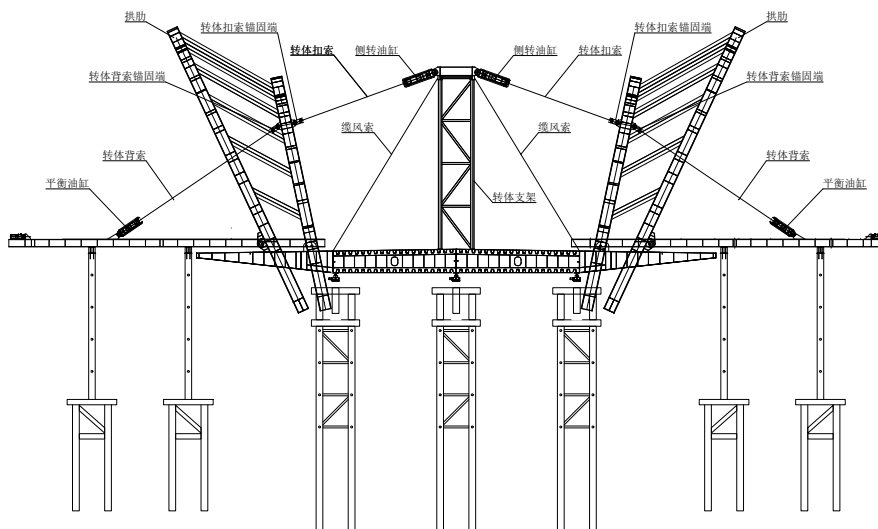


图4 转体系统构成示意图

3.4.2 转体支架的设计应充分考虑偏载、荷载变化和风力等因素的不利影响，应保证其强度、刚度及稳定性满足拱桥侧转施工的要求。

3.4.3 转体支架塔顶锚梁宜采用型钢结构，其受力满足转体受力要求，转体支架宜搭建符合安全标准的操作平台，为后续作业提供保障。

3.4.4 缆风索及地锚应进行专项设计，其受力应满足拱肋稳定的要求，并应有足够的安全储备。安全系数应不小于 2.0，地锚抗拔安全系数不小于 2.0，抗滑、抗倾安全系数应不小于 1.4。

3.4.5 转体扣索宜选用钢绞线，扣索选型应经计算确定；钢绞线的安全系数应不小于 2.0。

3.4.6 锚梁与张拉油缸接宜采用销轴连接形式，连接前需核查销轴的强度等级及尺寸精度，确保连接节点稳固可靠。

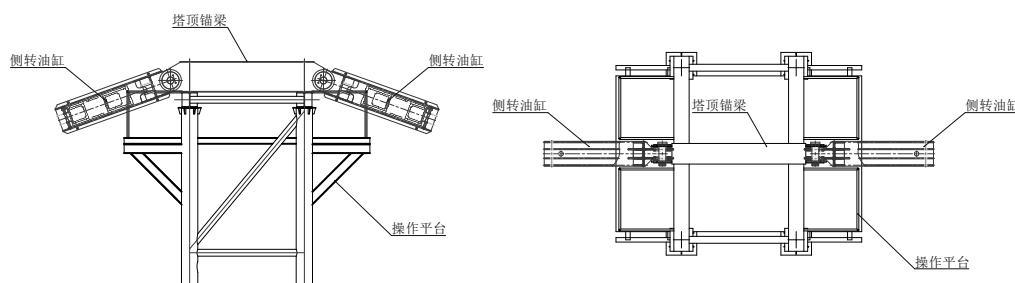


图 5 转体支架构造示意图

3.4.7 转体扣索锚固端的组成部件包括扣索连接器、专用配套锚具、高强度销轴及定制耳板。该锚固端的一端，经扣索连接器与配套锚具按规范工艺装配后，与扣索完成连接固定；另一端通过销轴穿插安装，与焊接于拱肋预设位置的耳板实现铰接，连接构造及部件布置如下图所示。

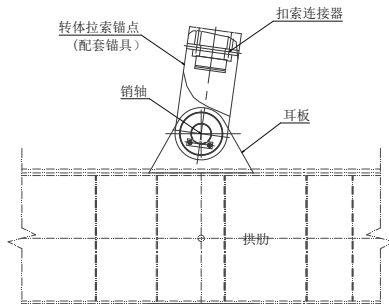


图 6 转体扣索锚固端构造示意图

3.5 平衡锚固系统

3.5.1 平衡锚固系统由转体背索、转体背索锚固端和转体背索平衡端组成。

3.5.2 转体背索锚固端的组成部件包括背索连接器、专用配套锚具、高强度销轴及定制耳板。该锚固端的一端，通过背索连接器与配套锚具按规范工艺装配后，与扣索进行连接固定；另一端则通过销轴穿插安装，与焊接于拱肋预设位置的耳板完成铰接。

3.5.3 转体背索平衡端由平衡油缸、销轴和耳板组成，平衡油缸通过销轴与耳板连接，耳板宜焊接至轨道上。

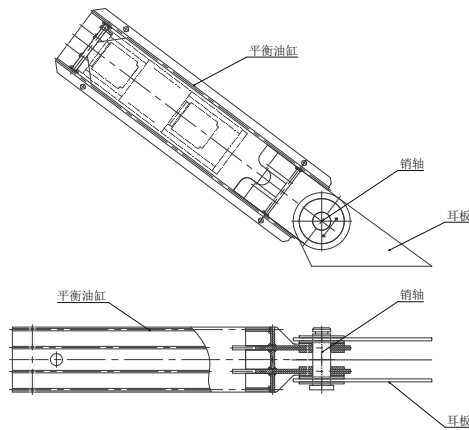


图 7 平衡油缸连接示意图

3.5.4 转体背索宜选用钢绞线，背索选型应经计算确定；钢绞线的安全系数应不小于 2.0；平衡背索锚固体系的抗拔、抗滑安全系数应不小于 2.0。

3.6 拱桥侧转施工流程

3.6.1 拱桥侧转施工宜按下图所示工作流程进行。

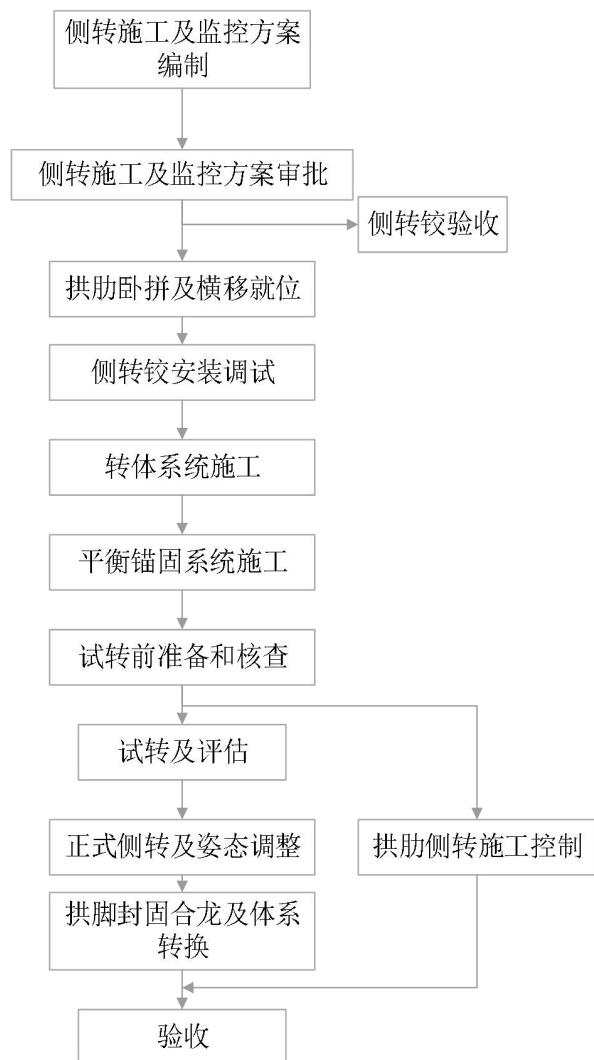


图 8 拱桥侧转施工工作流程

4 拱桥侧转施工

4.1 一般规定

4.1.1 拱桥侧转专项施工方案应全面涵盖以下法定及技术核心内容：编制依据（含法律法规、行业标准、设计文件等）、工程概况（含工程规模、地质条件、周边环境等）、施工组织设计（含人员配置、设备计划、进度安排等）、主要施工工艺及技术措施、施工安全管理体系（含安全责任划分、风险管控措施等）、专项应急预案、环境保护与文明施工措施等。

4.1.2 拱桥侧转专项施工方案应组织专家评审论证，并报相关交通设施管理单位批准备案。

4.1.3 临近既有公路、市政道路施工期间，应结合现场勘察结果及设备参数，精准确定塔吊、起重机等大型设备的站位区域、最大作业高度及作业半径，制定专项防侵入措施并设置限位装置，安排专人实时监控，确保设备运行不侵入既有线下交通设施的营运限界，保障交通设施正常营运。

4.1.4 支撑架、侧转铰、转体支架、横移轨道、塔顶锚梁等拱桥侧转施工关键构件的设计与施工，必须严格执行《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-2020）、《钢结构设计标准》（GB 50017-2017）等现行有效规范标准，设计文件需经审核验算，施工过程需进行质量跟踪检测，确保符合技术要求。

4.1.5 本章仅针对拱桥侧转施工的关键工艺、专项方案及质量检查验收等特殊要求作出明确规定，对于常规非转体施工工艺及部位的质量检查与验收工作，应严格遵照相关行业现行标准、规范的具体条款执行。

4.1.6 侧转铰、横移油缸、侧转油缸、平衡油缸等关键设备装置进场时，应组织专业人员进行联合验收，核查产品合格证、标定报告等质量证明文件，并对设备性能指标进行现场测试，所有指标均满足设计文件及规范要求后，方可办理进场手续并投入使用。

4.2 拱肋拼装施工

4.2.1 拱肋拼装施工一般包括支撑支架、拼装支架安装及拱肋节段拼装施工，各工序应按设计及施工方案有序实施。

4.2.2 支撑支架与拼装支架的布设应依据拱肋节段的划分尺寸、节段重量及施工流水段规划进行精准设计，确保支架受力均衡、整体稳定性达标；支架的基础处理应符合设计要求，防止不均匀沉降。

4.2.3 拱肋拼装选用汽车吊或履带吊等吊装设备时，应结合吊装半径、起重量、作业高度等参数进行验算，满足安全作业要求后方可投入使用；吊装设备的操作应符合现行国家相关安全标准。

4.2.4 拱肋拼装应严格遵循从跨中向两侧对称拼装的施工原则，严格控制两侧拼装进度差，避免结构产生不对称受力；拼装作业应设置临时固定措施，防止拱肋节段发生位移、倾覆。

4.2.5 拱肋拼装全部完成后，应按设计要求及时布置临时系杆，并完成系杆的张拉、固定作业，确保拱肋结构的临时稳定，为后续横移、侧转施工提供安全保障。

4.2.6 拱肋拼装的质量应符合现行行业标准要求，拼装完成后应进行线形、高程、轴线偏差检测，检测合格后方可进入下一施工阶段。

4.3 拱肋横移施工

4.3.1 拱肋横移作业宜采用横移油缸平移拖拉法施工，施工前应对油缸性能、横移系统进行全面调试，明确横移速度、同步控制参数，确保横移过程匀速、平稳，避免结构受力突变。

4.3.2 横移轨道的设计与安装宜采用一字形布置方案，安装阶段应依据结构力学特性、拱肋节段重量及分段划分情况进行受力验算，轨道的跨度、间距应符合设计要求；轨道的两侧及终点位置应设置可靠的限位装置，限位装置的承载力应满足施工要求，防止拱肋横移过程中出现较大偏位、脱轨等问题。

4.3.3 横移轨道安装完毕后，必须对顶面平整度进行检测，确保全段轨道顶面处于同一水平面，偏差控制在设计及规范允许范围内；轨道钢板焊接前需编制专项焊接工艺文件，焊工持证上岗，焊接过程严格遵循《钢结构焊接规范》（GB 50661-2011）的焊缝质量等级、焊接参数等要求，合格后方可投入使用。

4.3.4 横移轨道顶面滑块宜采用四氟滑板，滑板的摩擦系数、硬度系数等技术指标均应满足设计要求。

4.3.5 横移轨道及不锈钢面板加工、安装质量标准及检验方法如下表所示。

表 1 横移轨道加工安装质量标准及检验方法

序号	项目		允许偏差	检验方法
1	横移轨道	顶面平整度	$\leq 2.0 \text{ mm}$	精密水准仪+钢尺
	平整度	3m 长度内平整度	$\leq 1.0 \text{ mm}$	
2	横移轨道和 不锈钢面板 焊缝	相邻钢板接缝高 差	$\leq 0.5 \text{ mm}$	卡尺测量

4.3.6 主副拱拱肋的横移轨道与拱肋之间应设置横移支撑架，支撑架的布置应均匀、对称，确保拱肋横移过程中的结构稳定，防止拱肋发生变形、失稳。

4.3.7 牵引反力座前方应预留足够的张拉操作空间，满足千斤顶布置、牵引索钢绞线引出及作业人员操作的空间需求；拱肋上方应设置测量反光贴，实时监测横移偏位情况，根据控制要求及时调整牵引参数，确保横移精度。

4.3.8 拱肋横移过程中应安排专人全程监护，实时检查轨道、支架、牵引系统的工作状态，发现异常应立即停止施工，采取整改措施并验收合格后，方可恢复施工。

4.4 转体支架施工

4.4.1 转体支架的布置应遵循对称受力原则，精准定位在主拱肋两跨的中心轴线位置，支架的平面位置、高程偏差应符合设计及规范要求。

4.4.2 转体支架柱脚与预埋件的尺寸、位置应提前复核、匹配，满足支架布置的工艺要求；柱脚精确定位后，应与预埋件进行可靠焊接固定，焊接质量应符合相关标准要求。

4.4.3 转体支架柱脚安装完成后，应对柱脚的中心位置、标高进行复测，复测合格后方可进行支架节段的安装；支架节段安装过程中，应逐层复测高程和垂直度，确保转体支架的安装精度满足设计要求。

4.4.4 转体支架应设置符合安全标准的上下安全通道，通道应配备防护栏杆、防滑踏步等设施，防护高度、栏杆间距应符合现行安全标准要求。

4.4.5 转体支架顶部按设计安装塔顶锚梁及防滑、防护功能完备的操作平台；

4.4.6 锚梁与张拉油缸连接的销轴，其尺寸、强度等级应符合设计要求，并应进行无损探伤检测；张拉油缸与转体扣索张拉端的连接应按规范工艺操作，确保传力可靠。

4.4.7 转体支架的设计阶段应进行专项抗风稳定性验算，验算结果应满足施工期间的抗风要求；必要时开展缆风索专项设计，缆风索安装完成后应进行拉力测试，确保满足转体支架的抗风稳定要求。

4.4.8 转体支架安装完成后，应进行整体验收，包括支架的轴线、高程、垂直度、连接质量及整体稳定性等，验收合格后方可投入使用。

4.5 转体扣背索施工

4.5.1 转体扣索与背索的耳板应精准定位在拱肋的同一预设位置，确保索力传递顺畅；内侧耳板与转体扣索锚固端应按规范工艺可靠连接，外侧耳板应通过专用锚固装置与转体背索锚固端连接

4.5.2 拱肋内部对应耳板安装的区域应设置加劲板进行加强，加劲板的材质、尺寸及焊接工艺应符合设计要求，焊接完成后应进行焊缝检测。

4.5.3 转体背索张拉锚点的设计位置应经结构受力分析确定，锚点应牢固固定于横移轨道的指定区域，防止锚点发生位移。

4.5.4 侧转设备采用液压油缸张拉千斤顶时，应根据转体荷载需求确定设备的技术参数，设备应精准布置在转体支架顶部的预设位置；钢绞线与耳板、设备的连接应按规范操作，确保连接可靠。

4.5.5 针对主副拱结构的侧转拱肋，转体部分的拱肋根部应设置加固杆以增强结构刚度；拱座内外拱之间应布设水平连杆，连杆截面宜选用型钢结构，型钢的规格、型号应满足设计承载要求，连杆的连接节点应进行专项设计与质量管控。

4.5.6 转体扣索、背索的安装应按对称、均衡的原则进行，索体的张拉应分级、匀速进行，实时监测索力变化，确保索力符合设计要求。

4.5.7 转体扣背索安装完成后，应进行索力复核检测，检查索体的锚固可靠性，验收合格后方可进入试转施工阶段。

4.6 拱肋侧转施工

4.6.1 拱肋侧转施工单位应组建专业的转体组织机构，明确指挥、操作、监测、安全等岗位的职责，制定详细的转体指挥流程和控制要点；转体施工前应对所有作业人员进行全面的技术交底和安全交底，确保人员熟悉施工流程、岗位职责及操作要求。

4.6.2 拱肋侧转前应进行试转，试转角度宜不小于 3 度，试转过程中需实时监测转动系统的动力输出、部件衔接、同步性等关键指标，全面检验系统可靠性。

4.6.3 钢桁拱、钢箱拱或钢管拱侧转施工宜在 5 级及以下环境风速条件下。拱肋侧转施工前应查询近期天气情况，遇暴雨、大风天气不应转体施工。

4.6.4 拱肋侧转施工前，应在桥轴向和斜轴向支撑位置，以及拱顶、3/8 跨径、1/4 跨径、1/8 跨径等关键位置布置平面和高程监测点；全面检查支撑、锚梁、销轴、侧转铰、拱体和锚点等部件的质量状态，经分析确认结构安全、各项指标符合要求

后，方可开始拱肋试转。

4.6.5 拱肋侧转试转应平稳启动、逐级、缓慢加载，并通过试转完成下列测试工作：

- 1 检验各油缸的动力储备是否满足转体需求，判断是否需要助力启动；
- 2 检验转体系统各部件的协同性是否正常，有无卡滞、异响等问题；
- 3 测量 10s 点动（10mm 点动）、5s 点动（5mm 点动）和 3s 点动（3mm 点动）

拱肋转动角度是否满足设计要求。

4 观测转动过程是否平稳、顺畅，检查侧转铰、转体支架、扣背索等关键部件是否存在异响、抖动、变形等异常情况。

4.6.6 转体扣索的张拉应按左右对称、均衡加载的原则进行，分级、匀速提升索力；当转体扣索力达到设计规定的荷载后，应对拱肋的转体姿态进行观测和校核，转体扣索力的张拉值与设计值的误差应小于 5%。

4.6.7 拱肋侧转试转无异常，人员组织、设备性能均满足正式转体施工需求后，方可准备正式转体；正式转体启动前，应获得既有线下交通设施管理单位的书面许可。

4.6.8 拱肋正式侧转应按启动阶段、匀速阶段、点动阶段分阶段操作和控制，确保转体过程平稳、精准：

1 启动阶段：应平稳启动、逐级缓慢加载，在无异常情况下，宜在 3° 内将转体速度调整至设计转速；此阶段可通过拱脚高程点测量拱肋的侧转角度，计算实际侧转角速度，与设计值进行对比校核；

2 匀速阶段：达到设计转速后，应维持匀速、平稳转动，直至侧转角度剩余 2° 时，缓慢降速并停止；匀速阶段宜每转动 5° 向现场负责人汇报并记录一次转体情况，并计算实际用时与理论用时的吻合情况，及时调整转体参数；

3 点动阶段：匀速转动停止后，应采用全站仪对拱肋拱脚、拱顶、3/8 跨径、1/4 跨径、1/8 跨径等位置进行精准测量，计算剩余侧转角度，确认无误后，采用慢速转动配合点动的方式，控制拱肋精准就位。

4.6.9 拱肋通过点动方式精准就位后，应再次复核拱肋的轴线、高程，确认各项指标与设计要求吻合，偏差控制在允许范围内。

4.7 拱脚封固合龙施工

4.7.1 拱脚封固合龙施工准备阶段，应对拱肋轴线及高程实施 24 小时不间断观测，做好全程数据记录与整理分析，精准掌握日温度变化引发的拱肋变形规律，结合工程实际工况确定拱脚封固合龙最优时间节点，并形成观测分析报告。

4.7.2 拱脚封固合龙施工前，应对两侧拱肋合龙段的高程进行复核，确保两侧高程偏差不超过 10mm；若高程偏差超出允许范围，应及时采取调整措施，直至指标达标后方可推进拱脚封固合龙作业。

4.7.3 为避免拱肋在拱脚封固合龙准备及施工过程中发生意外转动，应在拱脚合龙口部位设置专项临时固定装置，临时固定装置的设计应进行受力验算，确保其稳固性与可靠性；装置安装完成后应经检查验收合格，方可投入使用。

4.7.4 拱脚封固合龙施工应严格遵循设计及规范要求，选用符合质量标准的原材料，施工工艺应满足结构受力要求；拱脚焊接作业应在确定的最优时段内完成，确保施工质量。

4.7.5 拱脚封固合龙施工完成后，应进行质量检测，包括焊缝质量、结构线形、高程等，检测合格后方可进入体系转换阶段。

4.8 支架拆除施工

4.8.1 拱肋侧转完成体系转换后，应经全面验收合格，方可进行临时支架的拆除作业；支架拆除前应编制专项拆除方案，明确拆除顺序、安全防护措施、人员职责及设备配置。

4.8.2 支架拆除顺序应严格遵循由上至下、由外至内的逐层拆除原则，禁止上下同时拆除，禁止违规拆除；拆除过程中应做好支架的临时固定，防止支架发生坍塌、坠落。

4.8.3 支架拆除作业应设置专门的作业区域，设置安全警示标识及围挡设施，禁止无关人员进入作业区域；拆除作业应由专业人员操作，配备必要的安全防护用品。

4.8.4 严禁高空抛掷拆除构件及材料，应采用专用吊装设备缓慢下放至指定区域；拆除的材料应及时分类清理、运出拆除现场，保持作业区域整洁。

4.8.5 支架拆除完成后，应清理施工场地，对拆除后的结构部位进行检查，确认无结构损伤、安全隐患后，完成支架拆除的验收工作。

5 拱桥侧转施工监控

5.1 一般规定

5.1.1 拱桥侧转施工应建立全过程、全方位的监控体系，监控体系涵盖监控计算、施工监测、数据分析与反馈控制三大核心模块；施工监测的主要内容包括拱肋与侧转临时结构施工全过程监控、试转阶段测试验证以及正式转体过程的结构动态监测。

5.1.2 拱桥侧转施工监控应按要求编制专项监控方案，方案应结合工程特点、结构形式及施工工艺制定，明确监控指标、监测点布置、监测方法、设备配置及数据处理要求；监控方案需履行评审程序并获批准后，方可开展后续施工监控工作。

5.1.3 拱桥侧转施工监控方案应至少包含以下内容：工程概况、监测依据、拱肋及侧转临时结构监控要求、试转试验监测方案、正式转体安全监测方案、监测设备配置、人员配置及分工、数据处理与反馈流程、应急监测措施等。

5.1.4 施工监控工作应由专业的监测单位或专业人员实施，监测人员应具备相应的专业资质，监测设备应经标定合格且在有效期内，确保监测数据的准确性、可靠性。

5.1.5 施工监控过程中，应及时收集、整理监测数据，对数据进行分析、对比，及时将监测结果反馈至施工指挥部门；若发现监测数据异常，应立即发出预警，施工单位应及时采取应急处置措施。

5.2 拱肋及侧转临时结构施工监控

5.2.1 拱肋及侧转临时结构的施工监控应覆盖施工全过程，监控内容包括拱肋施工线形监测、转体支架的变形监测、转体扣背索索力监控、侧转设备运行参数监测、关键构件内力监测和关键截面应力状态监测等。

5.2.2 拱肋施工线形监控应根据拱肋施工方案确定监测点布置及监测频率，拱肋

线形控制误差除应满足现行行业标准的规定外，还应严格控制拱肋封固合龙口的误差限值，确保拱肋封固合龙精度。

5.2.3 转体支架的变形监测应包括支架的竖向沉降、水平位移、垂直度变形等，监测点应布置在支架的柱脚、塔顶、跨中及其他变形敏感位置；施工过程中应根据支架安装、荷载施加等施工工序，及时进行监测，确保支架变形控制在允许范围内。

5.2.4 转体扣背索的索力监控应采用专用监测设备，实时监测索力的变化情况；扣背索张拉、拱肋侧转过程中，应加密监测频率，索力偏差应控制在设计允许范围内，确保结构受力稳定。

5.2.5 侧转设备运行参数监测应包括油缸的压力、行程、张拉速度，千斤顶的动力输出等，实时检查设备运行状态，确保设备参数符合施工要求，无异常情况。

5.2.6 关键构件内力及关键截面应力状态监测应针对侧转铰、转体支架、拱肋根部、合龙段等关键部位进行，监测数据应及时分析，判断结构受力状态是否安全，若发现应力超标，应立即停止施工，采取加固措施。

5.3 转体过程动态监控

5.3.1 拱肋侧转过程中的监测数据应进行实时采集、及时反馈，安排专人负责数据整理与分析，若发现数据异常或结构出现变形、异响等情况，应立即停止转体施工，采取有效处置措施，确保结构安全。

5.3.2 拱肋侧转启动后，应依据侧转铰刻度标识实时跟踪监测转体角度，精确计算并控制转体速度，确保转体速度稳定在设计规定的 $0.005\sim 0.01$ rad/min 范围内。为保障拱肋侧转全过程同步性，宜采用计算机辅助控制系统实施智能调控。

5.3.3 当侧转角度剩余 2° 时，应立即启动降速程序，平稳减缓转体速度，避免因急停产生冲击荷载，影响结构稳定性。

5.3.4 侧转过程中若暂时停止转体，应组织专业人员对各合龙口的轴线偏差、间

隙尺寸等匹配精度指标进行全面检测，同步复测两侧拱肋关键受力位置、变形敏感位置的高程，形成详细的检测记录。

5.3.5 经核查确认所有监测数据均符合设计及规范要求后，方可继续转体施工；后续应采用低速匀速转动结合间歇性点动微调的方式精准操作，确保拱肋准确就位。

5.3.6 拱肋精准就位后，应持续监测拱肋的轴线、高程及应力变化情况，直至完成临时锁定、拱脚封固合龙施工，确保结构在后续施工过程中的稳定性。

5.3.7 转体施工全过程的监控数据应进行完整记录、归档，作为工程验收的重要技术资料。

6 拱桥侧转前准备与协调

6.1 一般规定

6.1.1 拱肋侧转施工前的准备工作应做到全面、细致、到位，主要包括专项施工方案审批、转体结构验收、作业人员技术交底及设备调试、应急物资与设备准备等，所有准备工作完成并验收合格后，方可组织转体施工。

6.1.2 拱桥侧转施工前，应完成与既有线下交通设施管理单位、河道管理单位、交通管理部门等相关单位的协调工作，制定完善的施工影响区域交通疏导方案，确保转体施工顺利实施，减少对周边交通、环境的影响。

6.1.3 拱肋侧转前的准备工作应建立专项检查验收制度，由施工单位组织相关单位及人员进行全面检查，检查合格后形成检查验收记录，作为转体施工的依据。

6.2 转体结构验收

6.2.1 拱桥侧转施工前，应对拱肋侧转结构进行全面、系统的验收，验收内容包括拱肋、侧转铰、拼装横移系统、转体系统、平衡锚固系统等所有转体相关结构及设施，验收合格后方可组织实施转体施工。

6.2.2 转体结构验收还应包括安全防护设施、通信指挥设备、监控检测设备等的检查验收，确保各类设施、设备性能完好，满足转体施工的要求。

6.3 安全技术交底及设备调试

6.3.1 侧转施工前应建立健全转体组织机构，明确岗位职责；对管理、技术及作业人员开展专项方案培训，并进行全面技术交底与安全交底。

6.3.2 试转前应组织全体作业人员进行实战演练，熟悉施工流程、岗位职责、指挥程序及协同配合要求。

6.3.3 转体及应急设备操作人员须持有效资格证书上岗；设备使用前应按规范完成全参数调试并留存记录，性能指标满足设计及规范要求。

6.3.4 张拉、平衡、驱动等关键设备应具备产品合格证及有效标定报告；施工前应系统调试，排除隐患，确保工况良好。

6.3.5 监控传感器安装及系统调试应由专业人员完成，并进行数据传输测试，验证准确性与实时性，合格后方可使用。

6.4 应急准备

6.4.1 拱桥侧转作业实施前，应依法依规组建应急响应组织机构，完善组织架构与人员配置，同步制定并细化应急处置流程，明确处置环节、责任主体及操作标准。

6.4.2 对拱桥侧转施工项目进行风险辨识，针对现场可能发生的各类突发事配备齐全、有效的应急物资及设备，并定期开展检查与维护，保障其性能完好。

6.4.3 应急备用电源的切换时间不得超过 3 分钟，需通过专项测试验证切换可靠性；大型应急设备应保持启动待工作状态，建立定期巡检机制，确保应急时响应及时、运行正常。

6.5 交通管理协调

6.5.1 对社会道路通行的拱桥侧转工程，施工单位应在作业前与交管部门协商，编制并报批交通疏导专项方案，明确交通疏导、标志布设、人员配置及信息发布要求。

6.5.2 施工单位应按批准方案配备合格交通疏导人员，明确岗位职责与操作规范，疏导人员佩戴统一标识，全程维持交通秩序。

6.5.3 施工区域应按规范设置交通标志、警示及围挡等设施，并定期检查维护，确保完好有效。

6.5.4 侧转施工期间，应安排专人与交管部门实时联动，及时反馈现场情况，配合处置交通拥堵及突发事件。

7 安全管理与环境保护

7.1 一般规定

7.1.1 拱桥侧转施工应遵守国家、行业及地方安全生产、环境保护法律法规与标准规范，坚持安全第一、预防为主、综合治理及绿色施工、生态保护原则。

7.1.2 拱桥侧转施工前应对安全危险源辨识和评估，并制定安全监控方案和事故应急预案。

7.1.3 针对跨越既有公路、河道等线下交通设施的拱桥侧转工程，施工单位应依据既有线下交通设施管理部门的法定要求及技术标准，科学布设安全防护设施，确保设施的防护等级与布设位置符合规范。

7.2 安全管理

7.2.1 应编制安全技术措施及应急预案，配备应急抢险设备，成立应急小组；按分级交底要求完成全员安全技术交底并留存记录。

7.2.2 高空、吊装、焊接、特种设备等危险作业应编制专项方案，执行作业许可制度，设专人监护。

7.2.3 试转及正式转体期间应划定安全警戒区，设围挡与警示标志，专人值守管控；转体桥面应清理干净。

7.2.4 转体应在适宜气象条件下进行；遇恶劣天气立即停工，撤离人员设备并采取防护措施。

7.2.5 施工机械设备拆除前，应编制专项拆除方案，明确拆除顺序、安全防护措施及人员职责，对作业人员进行安全技术交底；拆除过程中安排专人进行现场监护，防范设备坠落、部件飞溅等安全风险。

7.2.6 拱桥侧转施工过程中的安全管理除应符合本规程的要求外，尚应符合现行《建筑施工安全检查标准》JGJ59、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46、

《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ80、《内河交通安全管理条例》等行业标准的有关规定。

7.3 环境保护

7.3.1 拱桥侧转施工应贯彻绿色施工理念，合理规划施工场地，优化施工工艺，减少施工过程对周边环境的破坏；施工过程中应节约资源、能源，减少废弃物的产生。

7.3.2 拱桥侧转施工过程中应加强千斤顶、油泵、油管等液压设备检查维护，严防漏油污染环境。千斤顶作业下方应铺设防渗垫、接油盘，收集渗漏油料；废油、含油废弃物应分类密闭存放，交由有资质单位处置，严禁随意倾倒或排入地面、河道、市政管网。

7.3.3 现场应设置完善排水系统，雨水有序排放；生产污水经沉淀、隔油处理达标后方可排放，严禁直排，防止泥沙污染水体。

7.3.4 临近敏感区域应制定声光污染防控方案：合理安排作业时间，夜间施工须许可并公告；采取降噪、隔声措施；照明防眩光。场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）的规定，定期监测并记录。

7.3.5 建筑垃圾、生活垃圾分类存放、及时清运，优先资源化利用，严禁乱倒。

用词说明

1. 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：采用“可”。

2. 标准中指明应按其他有关标准执行时，写法为：“应符合……的规定（或要求）”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《公路桥涵施工技术规范》（JTG/T 3650-）
- 《高速铁路桥涵工程施工技术规程》（Q/CR 9603-）
- 《铁路桥涵工程施工安全技术规程》（TB10303-）
- 《桥梁转体装置》（T/TMAC 003-）
- 《钢结构设计标准》（GB 50017-）
- 《建筑施工安全检查标准》（JGJ59）
- 《施工现场临时用电安全技术规范》（JGJ46）
- 《建筑施工高处作业安全技术规范》（JGJ80）
- 《内河交通安全管理条例》
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）

引用专利名称

序号	专利名称	专利号
1	基于球铰进行的桥梁转体结构施工方法	ZL202010256795.8
2	转体施工用连接组件	ZL201810401826.7
3	牵引反力座	ZL201920179436.X
4	助推反力装置	ZL201922501008.7
5	一种钢箱拱桥单拱肋分幅转体系统	ZL202020842648.4
6	一种单拱肋分幅转体施工钢箱拱桥	ZL202020836000.6
7	一种拱肋侧向平衡转体系统	ZL202220885880.5
8	一种拱肋侧向平衡转体施工方法	ZL202210401028.0