

重庆市工程建设标准

桥梁平转施工技术标准

Technical specifications for bridge horizontal
swivel construction

DBJ50/T-490-2024

主编单位:中建隧道建设有限公司

北京工业大学

批准部门:重庆市住房和城乡建设委员会

施行日期:2025年02月01日

2024 重 庆

重庆工程建设

重庆市住房和城乡建设委员会文件

渝建标[2024]46号

重庆市住房和城乡建设委员会 关于发布《桥梁平转施工技术标准》的通知

各区县(自治县)住房城乡建委,两江新区、重庆高新区建设局,万盛经开区住房城乡建委、双桥经开区建设局、经开区生态环境建管局,有关单位:

现批准《桥梁平转施工技术标准》为我市工程建设地方标准,编号为 DBJ50/T-490-2024,自 2025 年 2 月 1 日起施行。标准文本可在标准施行后登录重庆市住房和城乡建设技术发展中心官网免费下载。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,北京工业大学负责具体技术内容解释。

重庆市住房和城乡建设委员会

2024 年 11 月 18 日

重庆工程建设

前 言

根据重庆市住房和城乡建设委员会《关于下达 2022 年度重庆市工程建设标准制定修订项目立项计划的通知(渝建科〔2022〕32 号)》文件要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结工程实践经验,参考有关国家、行业标准,并在广泛征求意见的基础上,由中建隧道建设有限公司和北京工业大学等单位共同制定本标准。

本标准的主要技术内容是:1 总则;2 术语与符号;3 平转系统构成;4 桥梁平转施工;5 施工监控。

本标准由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理,北京工业大学负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中,请各单位注意收集资料,总结经验,并将有关意见和建议反馈至北京工业大学(地址:北京市朝阳区平乐园 100 号 北京工业大学城建楼 604;邮编:100124,邮箱:chenying@bjut.edu.cn)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家：

主 编 单 位：中建隧道建设有限公司

北京工业大学

参 编 单 位：中建交通建设集团有限公司

中建八局第二建设有限公司

中铁大桥局集团第八工程有限公司

中铁十七局集团第四工程有限公司

中铁长江交通设计集团有限公司

中铁十二局集团第七工程有限公司

中铁第五勘察设计院集团有限公司

中恒工程设计院有限公司

中国公路工程咨询集团有限公司勘察设计院

中国建筑第五工程局有限公司

中建三局第一建设工程有限责任公司

中国建筑第八工程局有限公司西南分公司

林同棧国际工程咨询(中国)有限公司

重庆市交通规划和技术发展中心

中冶建工集团有限公司

中铁隧道局集团建设有限公司

中国铁建昆仑投资集团有限公司

中国科技产业化促进会

中铁十一局集团第五工程有限公司

重庆对外建设(集团)有限公司

重庆渝发建设有限公司

重庆交通大学

重庆市江津区住房保障中心

重庆建筑工程职业学院

主要起草人：张文学 干昌洪 宋鹏飞 张 坤 谭芝文

王以杰 陈奉民 李 凯 李 宁 吴涕凤

刘 荣	罗海鹏	刘 伟	王 丰	刘 灿
王国盛	郑邦友	庞元志	成 都	陈桂瑞
陈 盈	唐文喜	肖 春	张文桦	邱 琼
谢佳桓	陈灯强	刘桥磊	陈胜凯	张玉鹏
罗 帅	李亚勇	刘明发	权国绍	赖亚平
沈小俊	付航航	卢成绪	刘国生	何顺周
熊 军	甘 宇	高 虹	高 峰	赵 云
罗 震	吴海军	徐 勇	沈梦竹	彭 力
审 查 专 家:	向中富	杨寿忠	钟明全	刘山洪
张 意	杜春林			刘 纲

重庆工程建设

目 次

1	总则	1
2	术语与符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	平转系统构成	5
3.1	一般规定	5
3.2	支承系统	7
3.3	稳定系统	8
3.4	牵引系统	11
4	桥梁平转施工	13
4.1	一般规定	13
4.2	下转盘施工	14
4.3	转体滑道安装	15
4.4	转体球铰施工	15
4.5	转体支座施工	17
4.6	撑脚、砂箱或拉压临时锁定型钢施工	18
4.7	上转盘施工	18
4.8	牵引系统施工	19
4.9	转体施工	19
4.10	封铰混凝土施工	20
4.11	合龙段施工	21
5	施工监控	22
5.1	一般规定	22
5.2	转体结构施工监控	23

5.3 转前不平衡称重及配重	23
5.4 试转测试	24
5.5 转动过程安全监测	24
附录 A 单点顶不平衡称重	25
附录 B 两点顶不平衡称重	28
附录 C 梁端竖向振动加速度限值计算	31
本标准用词说明	36
引用标准名录	37
条文说明	39

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terminology	2
2.2	Symbols	3
3	Translation system composition	5
3.1	General requirements	5
3.2	Supporting system	7
3.3	Stabilization System	8
3.4	Traction system	11
4	Bridge translation construction	13
4.1	General requirements	13
4.2	Lower turntable construction	14
4.3	Installation of swivel slideway	15
4.4	Rotating ball hinge construction	15
4.5	Rotating bearing construction	17
4.6	Construction of feet, sand box or tension and compression of temporary locking section steel	18
4.7	Upper turntable construction	15
4.8	Traction system construction	19
4.9	Rotating construction	19
4.10	Sealing and hinging concrete construction	20
4.11	Construction of Helong section	21
5	Construction monitoring	22
5.1	General requirements	22

5.2	Construction monitoring of rotating structures	23
5.3	Unbalanced weighing and counterweight before turning	23
5.4	Trial conversion test	24
5.5	Safety monitoring of the rotating process	24
Appendix A	Single-point top unbalanced weighing	25
Appendix B	Two-point top unbalanced weighing	28
Appendix C	Calculation of vertical vibration acceleration limits at beam ends	31
	Explanation of Wording in this standard	36
	List of quoted standards	37
	Explanation of provisions	39

1 总 则

1.0.1 为规范桥梁平转施工,保障桥梁平转施工安全与质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于重庆市城市桥梁平转施工。

1.0.3 桥梁平转施工除应符合本标准的要求外,尚应符合国家和重庆市现行有关标准的规定和要求。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 平转施工 construction by horizontal swing method

事先在非成桥轴线上建造桥梁结构,然后借助水平转动装置实现桥梁结构转体至成桥轴线就位的施工方法。

2.1.2 墩底转体 pier-bottom swing method

球铰位于桥墩底部的水平转体。

2.1.3 墩顶转体 pier-top swing method

球铰位于桥墩顶部的水平转体。

2.1.4 转体支承系统 swivel bearing system

承受转体结构重量并实现转动的装置。

2.1.5 转体稳定系统 stability system

由撑脚、滑道、砂箱或拉压临时锁定型钢等组成的防止转体结构倾覆的装置。

2.1.6 平转牵引系统 traction system

为转体施工提供牵引动力的机械设备及控制装置。

2.1.7 平转系统 swivel system

为实现转体施工而设置的包含转体支承系统、转体稳定系统和转体牵引等系统的总称。

2.1.8 转体球铰 spherical hinge bearing

转动过程中承受转体结构的部分或全部荷载,主要由上球铰、球面滑板、下球铰、销轴、轴套和连接件等组成。

2.1.9 转体支座 swivel support bearing

转动过程中承受转体结构的部分或全部荷载,主要由上球

铰、下球铰、上锚固组件、下锚固组件等构件组成。

2.1.10 拉压临时锁定型钢 locking steel

预埋在上、下转盘内,用以控制上、下转盘发生相对变位的型钢。

2.1.11 不平衡称重 unbalanced weighing test

转体前测试转体结构的纵横向不平衡力矩、偏心距及静摩擦系数等关键参数的工序。

2.1.12 平衡配重 balance counter weight

用来平衡转体结构的不平衡力矩而附加的重量。

2.1.13 转速 swivel speed

用以表述转体快慢的变量,一般以转体角速度或梁端线速度表示。

2.1.14 下转盘 lower turntable

桥梁基础的一部分,上方安装转体滑道、下球铰、助推反力座和牵引反力座等。

2.1.15 上转盘 upper turntable

基础的一部分,其下方设有转体上球铰、撑脚,侧面布置转体牵引索,上方为桥墩。

2.2 符 号

E —— 初始偏心距, m;

e —— 配重后偏心距, m;

F —— 称重顶力, kN;

L —— 转体单侧悬臂跨度, m;

l —— 称重力臂, m;

M_G —— 转体结构的不平衡力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$;

M_z —— 球铰最大摩阻力矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$;

R —— 球铰半径, m;

R_q ——球铰曲率半径, m;

R_h ——滑道中心半径, m;

R_c ——单个撑脚的抗压承载力标准值, kN;

T ——转体正常牵引力, kN;

T' ——转体启动牵引力, kN;

W_d ——转体重量, t;

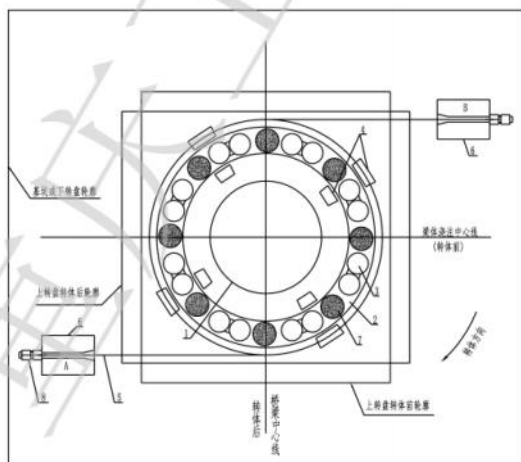
μ_j ——静摩擦系数;

μ_d ——动摩擦系数;

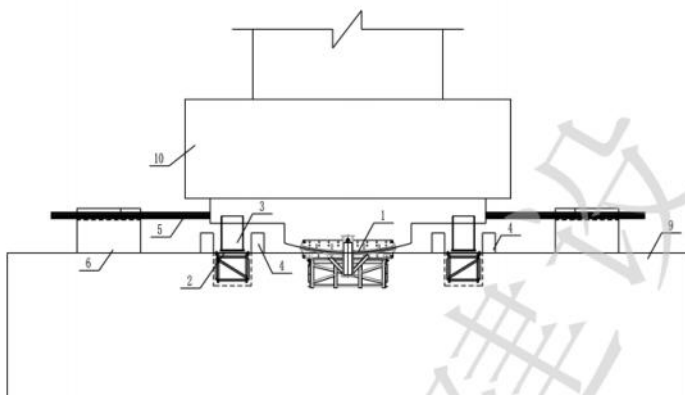
3 平转系统构成

3.1 一般规定

- 3.1.1 桥梁平转可分为墩底转体和墩顶转体。
- 3.1.2 桥梁平转宜采用球面转体结构体系。
- 3.1.3 球铰宜采用钢质球铰。
- 3.1.4 墩底转体系统或墩顶转体系统构成均应符合下列要求：
 - 1 应包括支承子系统、稳定子系统和牵引子系统(图 3.1.4-1、3.1.4-2)；
 - 2 支承子系统可采用转体球铰或转体支座形式；
 - 3 稳定子系统应包括滑道、撑脚、砂箱或拉压临时锁定型钢；
 - 4 牵引子系统应包括牵引反力座、助推反力座、牵引顶和牵引索。



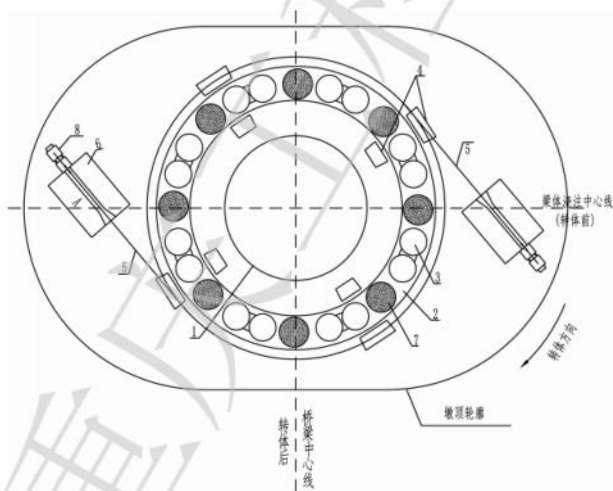
(a) 平面布置图



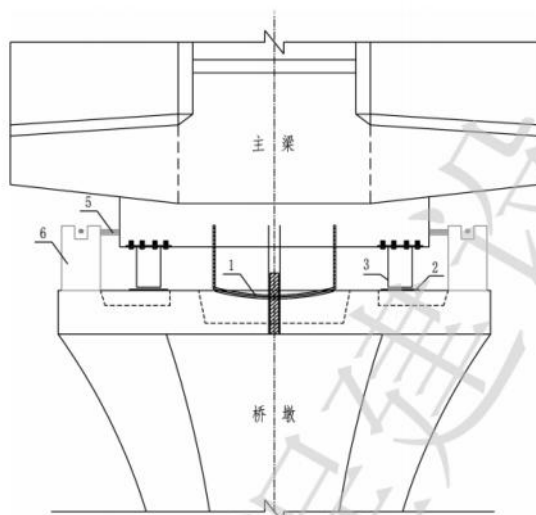
(b) 立面布置图

图 3.1.4-1 墩底平转系统构成示意图

1—球铰；2—滑道；3—撑脚；4—助推反力座；5—牵引索；6—牵引反力座；
7—砂箱；8—牵引顶；9—下转盘；10—上转盘



(a) 平面布置图



(b) 立面布置图

图 3.1.4-2 墩顶平转系统构成示意图

1—球铰；2—滑道；3—撑脚；4—助推反力座；5—牵引索；6—牵引反力座；
7—砂箱；8—牵引顶

3.2 支承系统

3.2.1 转体球铰支承系统中的球铰可采用整体式或拼装式。

3.2.2 转体球铰应包括轴套、中心销轴、上球铰、下球铰、滑板、调位螺母、定位架等部件，如图 3.2.2 所示。

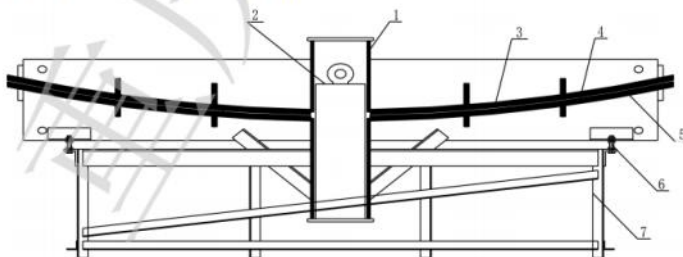


图 3.2.2 转体球铰构造示意图

1—轴套；2—销轴；3—上球铰；4—滑板；5—下球铰；6—调位螺母；7—定位架

3.2.3 转体支座支承系统应包括上球铰、下球铰、上锚固组件、下锚固组件等构件,如图 3.2.3 所示。

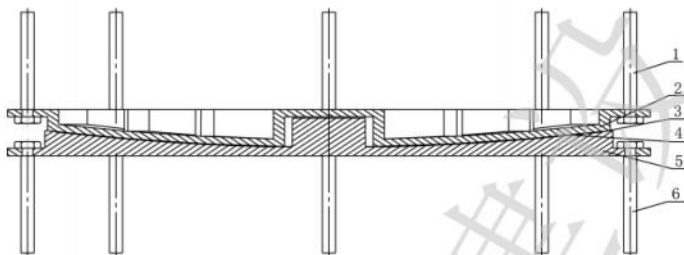


图 3.2.3 转体支座构造示意图

1—上套筒螺杆;2—上支座板;3—密封圈;4—四氟滑板;5—下支座板;6—下套筒螺杆

3.3 稳定系统

3.3.1 撑脚与上转盘之间的连接应符合下列要求:

- 1 撑脚与上转盘之间的连接可采用固结式或可拆卸式;
- 2 固结式撑脚应由走板、钢管、中间板、斜撑板、中立板等零部件组成,钢管内部可灌入微膨胀混凝土,如图 3.3.1-1 所示;
- 3 可拆卸式撑脚应由走板、钢管、连接板、斜撑板、中立板和连接螺栓组成,钢管内部可灌入微膨胀混凝土,如图 3.3.1-2 所示。

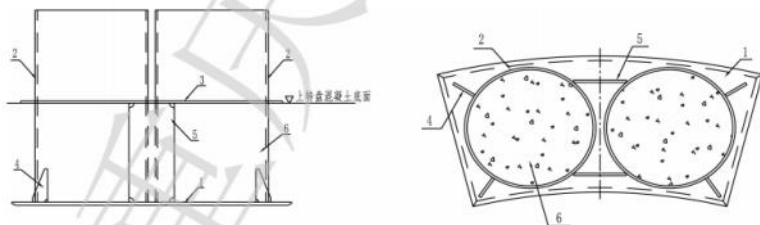


图 3.3.1-1 固结式撑脚构造示意图

1—走板,2—钢管,3—中间板,4—斜撑板,5—中立板,6—微膨胀混凝土

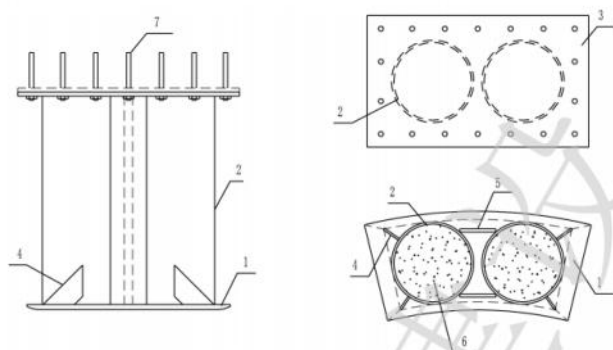


图 3.3.1-2 可拆卸撑脚构造示意图

1—走板；2—钢管；3—连接板；4—斜撑板；5—中立板；6—钢管微膨胀混凝土；
7—连接螺栓

3.3.2 滑道应由滑道钢板、不锈钢板、四氟乙烯板、滑道定位骨架及调位螺母等部件组成。

3.3.3 滑道定位骨架可采用角钢焊接成型，滑道安装时应根据结构特点和分段情况，合理设置吊点。滑道结构构造如图 3.3.3 所示。

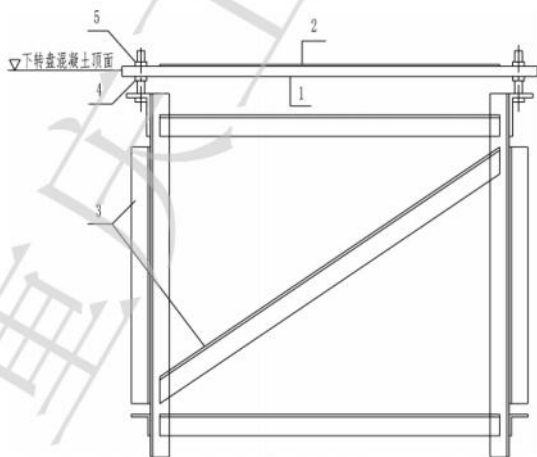


图 3.3.3 滑道及定位骨架立面示意图

1—滑道钢板；2—不锈钢板或四氟乙烯板；3—滑道定位骨架；4—调位螺母；5—紧固螺母

3.3.4 砂箱应包括上筒、下筒、卸砂孔和吊钩,如图 3.3.4 所示。
上筒内可灌入微膨胀混凝土,下筒内宜灌入干燥、洁净的石英砂。

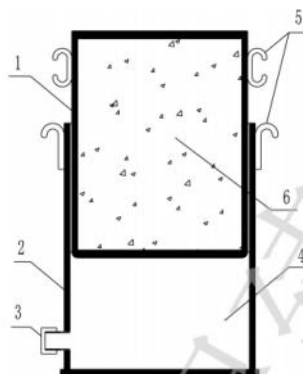


图 3.3.4 沙箱构造图示意图

1—上筒;2—下筒;3—出砂孔;4—下筒内填砂;5—吊钩;6—微膨胀混凝土

3.3.5 偏心转体宜采用拉压临时锁定型钢取代砂桶,拉压临时锁定结构可采用工字钢或 H 型钢加工制作,应避免预应力筋布置,如图 3.3.5 所示。

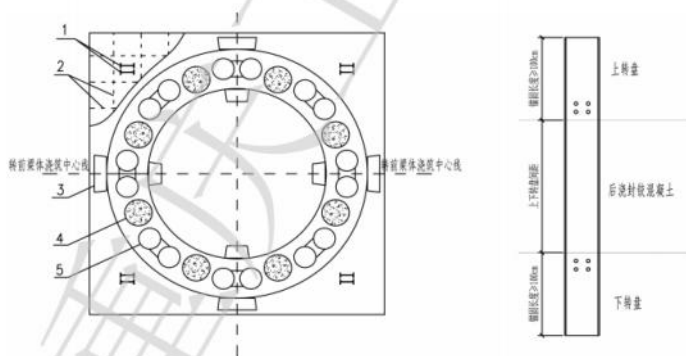


图 3.3.5 拉压临时锁定型钢布置示意图

1—拉压临时锁定型钢;2—预应力钢筋位置;3—助力反力座;
4—传统砂桶(当采用拉压临时锁定型钢,取消砂桶);5—撑脚

3.4 牵引系统

3.4.1 牵引反力座可采用混凝土结构或型钢结构。

3.4.2 牵引反力座前方空间应适应张拉操作需要,并应满足连续牵引顶布置及牵引索钢绞线引出空间需求。

3.4.3 助推反力座宜环向对称布置在滑道两侧,并应采用与上、下转盘相同强度等级的混凝土浇筑。

3.4.4 转体启动牵引力、正常转动牵引力和单顶牵引力可分别按式(3.4-1)、式(3.4-2)和式(3.4-3)计算:

$$\text{启动牵引力: } T' = \frac{4R \cdot W_d \cdot \mu_j}{3D} + \frac{2N_z \cdot R_c \cdot \mu_j}{D} \quad (3.4-1)$$

$$\text{正常转动牵引力: } T = \frac{4R \cdot W_d \cdot \mu_d}{3D} + \frac{2N_z \cdot R_c \cdot \mu_d}{D} \quad (3.4-2)$$

$$\text{单顶牵引力: } T_d = \frac{k \cdot T'}{n} \quad (3.4-3)$$

式中: T' ——转体启动牵引力, kN;

T ——转体正常牵引力, kN;

W_d ——转体重量, kN;

R ——球铰平面半径, m;

R_c ——撑脚环向布置半径, m;

D ——转台直径, m;

μ_j ——静摩擦系数, 在没有试验数据时, 可取 $\mu_j = 0.1$;

μ_d ——动摩擦系数, 在没有试验数据时, 可取 $\mu_d = 0.06$;

N_z ——转体时撑脚支反力计算值, kN, 对于单点支撑体系, 取 $N_z = W_d/10$, 且 ≤ 2000 kN, 对于多点支撑体系, N_z 按实际需求计算;

T_d ——单顶牵引力需求, kN;

n ——单个转体结构配置连续牵引顶个数;

k ——连续牵引顶动力储备系数, $k=2.0$ 。

3.4.5 牵引索可根据单顶牵引力计算出的钢绞线应力进行设计,并宜采用 $1 \times 7-\phi 15.2$ 钢绞线进行牵引。牵引索钢绞线应力宜控制在 500MPa - 900MPa 。

4 桥梁平转施工

4.1 一般规定

4.1.1 桥梁平转施工前应编制施工组织设计、专项施工方案和环保方案。

4.1.2 桥梁平转施工前,应编制应急预案,并组织演练。

4.1.3 球铰、钢绞线、牵引顶等装置设备进场后应进行检查、验收,应具有出厂质量证明文件。球铰表面椭圆度及构造应满足设计加工要求。钢绞线应满足现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T-5224 相关要求。其余设施设备应满足设计要求。

4.1.4 桥梁平转施工前应进行转体结构状态检查。

4.1.5 转体前应全面清理转动结构内外、基坑、滑道表面杂物、积水。转体结构周边 50cm 范围内不得有影响转动的障碍物,并应在梁端设置安全围挡。

4.1.6 试转和正式转动过程中应设置安全区。

4.1.7 遇到暴雨、大风等恶劣天气,应立即停止转体作业,并进行临时锚固。

4.1.8 桥梁平转施工过程中的安全管理除应符合本标准的要求外,尚应符合现行行业标准《建筑施工安全检查标准》JGJ 59、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46、《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80 的有关规定。

4.1.9 平转施工可按图 4.1.9 所示工作流程进行。



图 4.1.9 平转施工工作流程

4.2 下转盘施工

4.2.1 混凝土浇筑前应核实球铰销轴预留孔、定位预埋件位置。

4.2.2 下转盘混凝土宜分两次浇筑，第一次混凝土可浇筑至球铰定位骨架和滑道定位骨架底部，并应待下球铰及滑道安装完成

后进行第二次混凝土浇筑。

4.2.3 混凝土应分层进行浇筑,应采取防止球铰及骨架上浮措施,并应振捣密实。

4.3 转体滑道安装

4.3.1 滑道定位骨架的平面尺寸应满足滑道钢板的布置要求,精确定位后应与下转盘内预埋件焊接固定。

4.3.2 滑道安装中可通过调位螺栓调整滑道的位置。

4.3.3 滑道面板采用不锈钢板时,不锈钢板底面应与滑道钢板密贴;滑道钢板及不锈钢板的焊缝应打磨平整、光滑。

4.3.4 滑道及不锈钢面板加工、安装允许偏差应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4 滑道加工安装允许偏差

序号	项目		允许偏差	检验方法
1	滑道定位骨架三维坐标位置		$\leq 5.0\text{mm}$	精密水准仪+钢钢尺
2	滑道平整度	顶面平整度	$\leq 2.0\text{mm}$	精密水准仪+钢钢尺
		1m 长度内平整度	$\leq 1.0\text{mm}$	
		径向对称点高差	$\leq$ 滑道直径的 $1/5000$	
3	滑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	滑道尺寸	直径偏差	$\leq$ 滑道直径的 1.5%	钢尺测量
		内外圆轮廓尺寸	$\leq$ 滑道直径的 0.5%	

4.4 转体球铰施工

4.4.1 下球铰定位骨架安装应符合下列规定:

- 1 吊装下球铰至设定位置后,应对下球铰的空间位置进行

精调；

2 安装到位后，应对下转盘球铰的中心位置、标高、平整度进行复测；

3 宜采用焊接螺栓连接方式固定下球铰。

4.4.2 中心插销及球面滑板安装应符合下列规定：

1 中心销轴套筒内应填入润滑脂，中心销轴在套筒中应保持垂直，插销与套筒的间隙应均匀；

2 球面滑板应按从内到外的顺序安装；

3 球面滑板安装前，应对下球铰顶面进行清洁，球铰表面及安放滑动片的孔内应无杂物，球面应保持干燥；

4 球面滑板间隙应采用四氟混合润滑脂填满，四氟混合润滑脂应高于滑板顶面，其厚度应不小于 2.0mm。

4.4.3 上球铰安装前应对其底面进行清洗，表面应均匀涂抹润滑脂。

4.4.4 上、下球铰边缘应对齐并竖直，间隙应均匀。

4.4.5 滑板安装完毕后应进行球铰试转，并应沿顺时针和逆时针方向分别转动不少于 2 圈。

4.4.6 试转无误后应将上、下球铰临时锁定限位。

4.4.7 上下球铰安装就位且临时锁定后，应及时对上下球铰之间的缝隙进行密封。

4.4.8 球铰安装允许偏差应符合表 4.4.8 的规定。

表 4.4.8 球铰安装允许偏差

序号	项目	允许偏差	检验方法
1	安装后球铰边缘相对高差	$\leq 1.0\text{mm}$	精密水准仪+钢钢尺
2	中心销轴套管垂直度	$\leq 2\%$	全站仪
3	球铰滑板顶面同心圆高差	$\leq 1.0\text{mm}$	精密水准仪+钢钢尺
4	球铰中心线与设计位置误差	$\leq 1.5\text{mm}$	全站仪
5	上下球铰外缘任意两点间隙差值	$\leq 1.0\text{mm}$	卡尺测量

4.5 转体支座施工

4.5.1 转体支座可采用锚栓与墩台顶垫石连接。在浇筑垫石时宜预留锚栓孔,孔直径宜比锚固螺栓直径大 50mm-60mm。

4.5.2 转体支座垫石顶面应平整,垫石上表面应凿毛至露出粗骨料,应清除锚栓孔中的杂物,并应洒水润湿垫石表面。

4.5.3 转体支座安装前应检查转体支座完整性,上下支座板中心应对正,连接处螺栓应拧紧固定。

4.5.4 转体支座安装可采用灌浆安装或坐浆安装,转体支座安装就位后,底面宜比垫石顶面高出 30mm-50mm。

4.5.5 灌浆宜采用高强度微膨胀灌浆料,并应符合以下规定:

1 应采用千斤顶调整转体支座水平位置、高度和平整度。可利用锚栓下螺母或在垫石与转体支座之间塞入钢垫片托起转体支座后移除千斤顶;

2 应对转体支座中心位置和四角高差进行复测;

3 应先进行锚栓孔灌浆,再进行转体支座下钢板与垫石之间的缝隙灌浆;

4 转体支座下钢板灌浆时,应在支座四周安装模板,并应从一边灌浆直至另外三边有均匀、连续、无气泡灰浆流出后方可停止灌浆;

5 灌浆结束后应对冒出的多余灌浆料进行清理。

4.5.6 坐浆应符合以下规定:

1 应采用千斤顶调整转体支座水平位置、高度和平整度。可利用锚栓托起转体支座后移除千斤顶;

2 应对转体支座中心位置和四角高差进行复测,并应对转体支座四角编号和记录位置;

3 灌浆模板顶比转体支座底宜高出不小于 5mm;锚栓孔底

部灌浆高度不宜超过 $1/3$ 孔深,并应待凝固后起吊转体支座,模板内灌浆高度宜高出转体支座底面 3mm-5mm;

4 浆液初凝前,应按原编号方向重新吊装转体支座,并应对挤压出的多余灌浆料进行清理。

4.5.7 灌浆料强度达到设计要求前,严禁扰动转体支座及在其上方作业,并应待灌浆料达到设计强度方可后拧紧锚栓。

4.6 撑脚、砂箱或拉压临时锁定型钢施工

4.6.1 撑脚与滑道的间隙应结合转体球铰或转体支座的压缩变形、中心销轴与轴套间隙容许的偏转角度等因素确定。

4.6.2 拆除沙箱后撑脚与滑道之间的净间隙宜控制在 15mm-20mm 之间。

4.6.3 撑脚宜采用限位撑垫方式安装,撑脚与滑道间隙安装误差应控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。

4.6.4 撑脚宜采用钢管混凝土结构,混凝土宜采用微膨胀混凝土灌注,强度等级应满足设计要求。

4.6.5 拉压临时锁定型钢宜采用工字钢或 H 型钢现场加工,并做防锈处理。绑扎下转盘钢筋时应提前布置、固定拉压临时锁定型钢。

4.7 上转盘施工

4.7.1 上转盘底模可采用木模或竹模,上转盘底模与撑脚、砂箱或拉压临时锁定型钢之间应接缝严密、不漏浆。模板安装时不得移动已经布置好的砂箱和撑脚。

4.7.2 上转盘钢筋绑扎施工时,预埋墩身钢筋和上、下转盘连接钢筋露出端应比转体牵引钢绞线上缘高出至少 30mm。

4.7.3 上、下转盘混凝土浇筑质量应采取相同的控制措施。

4.8 牵引系统施工

4.8.1 牵引系统施工应符合设计要求。如设计无规定时,每根牵引索的布置高度宜与对应的牵引反力座槽口对应,牵引索下缘宜比牵引反力座槽口底高出 10cm;两根牵引索上、下缘间的竖向净距离宜控制在 10cm-15cm。

4.8.2 牵引索引出上转盘外圈模板后,应对钢铰线进行防锈处理并包扎严密,待上转盘混凝土拆模后可将其盘绕固定在上转盘上。

4.9 转体施工

4.9.1 不应在暴雨、5 级及以上风等恶劣气象环境下进行转体施工。

4.9.2 转体前应对转体状态结构状态、转体设备运行情况进行综合检查。

4.9.3 平转桥梁转体角速度宜符合表 4.9.3 的规定。

表 4.9.3 平转施工转动速度

序号	转体桥梁规模	转体角速度
1	墩高不超过 20m、单侧悬臂长度不超过 80m	0.04rad/min
2	墩高超过 20m 或单侧悬臂长度超过 80m	0.03rad/min

4.9.4 正式转体前应进行试转体,试转后梁端不应进入既有线下交通设施正常建筑限界,试转角度不宜小于 3°。

4.9.5 试转宜在正式转体前 1-2 天进行,应通过试转完成如下测试工作:

- 1 牵引顶动力储备是否满足转体需求,是否需要助力启动;
- 2 球铰的静摩擦系数、动摩擦系数和梁端惯性转动距离;

- 3 牵引顶的出顶速度是否满足设计转速需求；
 - 4 检验转体组织及各系统的协同工作状态；
 - 5 转动过程是否平稳、顺畅，是否存在异响、抖动等异常情况。
- 4.9.6 正式转体宜按如下三个阶段进行操作和控制：

1 启动阶段：应逐级缓慢加载、平稳启动，宜在 2° ~ 3° 内达到设计转速；

2 匀速阶段：达到设计转速后应匀速平稳转动至剩余 2° 时缓慢降速停止；

3 点动阶段：匀速转动停止后，应采用全站仪对梁端位置进行测量，并计算梁端剩余转体弧长。确认无误后，应采用慢速转动配合点动方式转体直至精准就位；

4 上转盘刻度尺可按如图 4.9.6 格式设计。

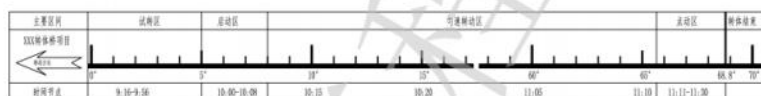


图 4.9.6 转盘刻度尺示例

4.9.7 精准就位后，应采用铁楔子将撑脚双向楔紧。

4.10 封铰混凝土施工

4.10.1 封铰混凝土浇筑前应完成转体结构的姿态调整，主梁四角坐标、桥墩或桥塔的竖直度应满足规范要求。

4.10.2 上、下转盘固定牢靠后方可进行封铰混凝土浇筑。

4.10.3 应对上、下转盘间的杂物、油污进行清理，疏通上承台预留的混凝土灌注孔以及压浆孔。

4.10.4 宜对称焊接上、下转盘连接钢筋。

4.10.5 封铰混凝土应采取对称分层方式进行浇筑，混凝土应振捣密实，不得存在空洞。

4.10.6 封铰混凝土强度不应低于转盘混凝土强度等级。

4.10.7 封铰混凝土养护时间不应短于 14 天。

4.10.8 当封铰混凝土与上转盘之间存在空隙时,可通过压浆孔压浆填充。

4.11 合龙段施工

4.11.1 合龙段施工前应对主梁轴线、高程和梁长等进行不少于 24 小时的连续观测。合龙时间及合龙方案应根据日温度变化对其影响规律分析确定。

4.11.2 合龙前应采用拉、压锁定措施对合龙口两侧的梁端进行临时连接。

4.11.3 位于既有交通设施影响区以外的合龙可采用挂篮法、吊架法和支架法进行施工。合龙段支架、挂篮应进行专项设计。

4.11.4 位于既有交通设施影响区以内的合龙可采用吊架法、移动模壳法和固定钢壳法进行施工。

4.11.5 合龙顺序及温度应按设计文件要求进行,当在非设计合龙温度下合龙时,应根据温差情况对龙口距离采取调整措施。

4.11.6 封铰、合龙施工顺序应符合设计要求。

4.11.7 连续梁转体桥墩顶临时固结拆除时间及顺序应符合设计要求。

5 施工监控

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁平转施工监控应包括转体结构施工、转前不平衡称重、试转测试和正式转动四个阶段。

5.1.2 桥梁平转施工前应编制专项监控方案。

5.1.3 转体结构施工监控应符合现行行业标准《公路桥梁施工监控技术规程》(JTGT 3650-01)的规定。

5.1.4 平转施工监控可按图 5.1.4 所示工作流程进行。

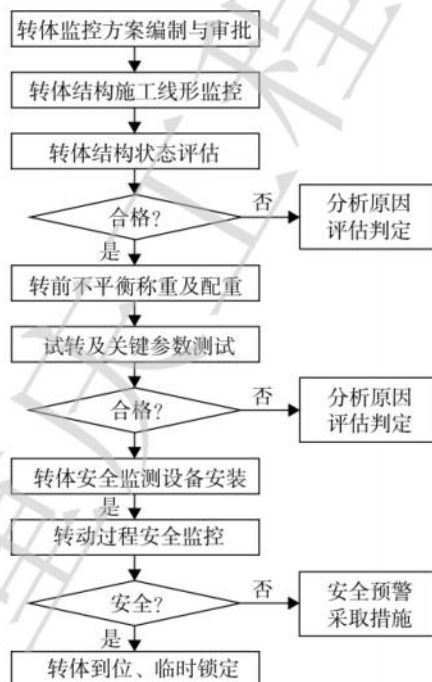


图 5.1.4 平转桥梁监控工作流程

5.2 转体结构施工监控

5.2.1 平转施工多跨桥梁的主梁线形误差控制中,应控制每个转体结构两侧线形误差之和的绝对值,并不应超过主梁合龙口误差限值。

5.2.2 应对单侧悬臂跨度大于等于 30m 的主梁、桥塔等转体结构的关键截面应力、线形进行跟踪监测,且每个截面至少布置 4 个应力监测点和 3 个线形监测点。

5.3 转前不平衡称重及配重

5.3.1 桥梁转体前应应对转体结构进行纵向不平衡称重。对于横向偏心转体,还应进行横向不平衡称重。

5.3.2 当转体结构的偏心距小于 10cm,且一侧撑脚支反力不超过 2000kN 时,可不进行平衡配重。

5.3.3 利用球铰静摩擦系数大于动摩擦系数原理进行不平衡称重时,可采用单点加载及两点加载进行称重,并应符合下列规定:

1 转体重量小于 30000t 的转体桥,可采用在上下转盘之间加载的单点加载方式进行称重,并可按附录 A 执行;

2 转体重量大于等于 30000t 的转体桥,宜采用在上下转盘之间加载和梁端加载的两点加载方式进行称重,并可按附录 B 执行。

5.3.4 拆除沙箱或割除临时锁定型钢后的称重应符合下列规定:

1 当所有撑脚均未与滑道接触时,应在两侧分别加载顶力进行不平衡称重;

2 当某一侧撑脚与滑道接触时,应先在撑脚与滑道接触侧进行顶升和回落,然后再进行不平衡称重。

5.4 试转测试

5.4.1 试转测试应在不平衡称重和配重后进行,测试内容应包括转体牵引力、正常转动牵引力,并应与理论计算值进行对比。

5.4.2 点动测试宜连续进行 3 个 10s 点动、3 个 5s 点动和 3 个 3s 点动。

5.5 转动过程安全监测

5.5.1 转体结构稳定性可通过梁端竖向振动加速度评价,梁端竖向振动加速度限值 $a_{y\max}$ 可按附 C 计算。转动过程安全监测预警应符合表 5.5.1 的规定。

表 5.5.1 转动过程安全监测预警分级及限值

预警级别	预警限值	处置建议
黄色	$0.5a_{y\max} < a_t < 0.7a_{y\max}$	加强监测
橙色	$0.7a_{y\max} < a_t < 0.85a_{y\max}$	放慢转速 查明原因
红色	$0.85a_{y\max} < a_t$	停止转体

5.5.2 转动过程稳定性监测数据应及时反馈给转体指挥人员和转体牵引设备操作人员。

5.5.3 梁端转动弧长和就位距离可采用全站仪进行跟踪监测;梁端就位距离可通过在梁端中线水平放置刻度尺,并配合边墩墩顶中线激光垂度仪进行测量。

5.5.4 宜采用梁端就位距离 200cm、150cm、100cm、50cm、40cm、30cm、20cm、10cm、5cm、3cm、1cm 的方式进行控制就位。

附录 A 单点顶不平衡称重

对于转体重量小于 30000t 的转体桥,可采用在上下转盘之间施加顶力的单点加载方式进行称重。拆除沙箱或割除临时锁定型钢后,转体结构的平衡状态表现为如下两种形式:

情况 1:转体结构的球铰最大摩阻力矩(M_z)大于转体结构的不平衡力矩(M_G),此时转体结构不发生绕球铰的刚体转动,体系的平衡由球铰摩阻力矩和转体结构不平衡力矩所保持;

情况 2:转体结构的球铰最大摩阻力矩(M_z)小于转体结构不平衡力矩(M_G),此时转体结构发生绕球铰的刚体转动,直到一侧撑脚压到滑道上,体系的平衡由球铰摩阻力矩、转体结构不平衡力矩和撑脚的支撑力矩保持。

对于拆除沙箱或割除临时锁定型钢后,所有撑脚均未压在滑道上的情况,须在两侧分别顶升进行不平衡称重。

首先在 A 侧承台实施顶力,如图 A-1 所示。当顶力逐渐增加到 P_1 使转体结构恰好发生刚体转动时:

$$P_1 \cdot L_1 + M_G = M_z \quad (\text{A-1})$$

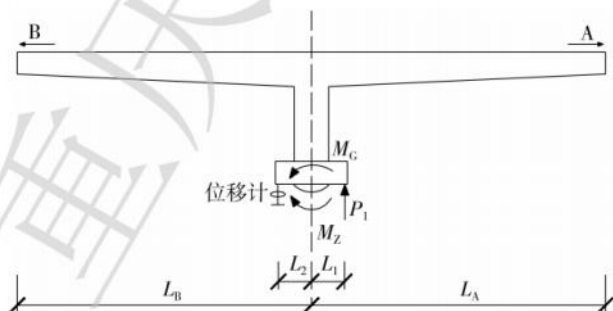


图 A-1 转体结构受力图(A 侧施加 P_1 顶升)

然后在 B 侧承台实施顶力,如图 A-2 所示。当顶力逐渐增加到 P_2 使转体恰好结构发生刚体转动时:

$$P_2 \cdot L_2 = M_G + M_Z \quad (\text{A-2})$$

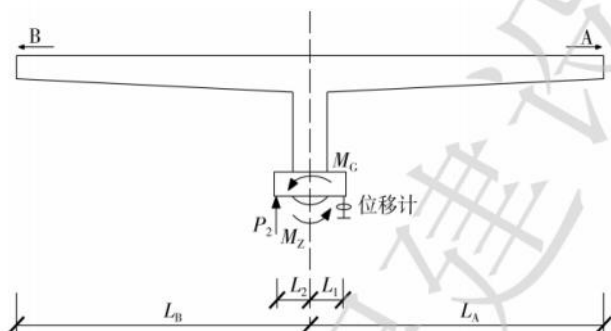


图 A-2 转体结构受力图(B 侧施加 P_2 顶升)

联立式(A-1)和(A-2)得:

转体结构的不平衡力矩:

$$M_G = \frac{P_2 \cdot L_2 - P_1 \cdot L_1}{2} \quad (\text{A-3})$$

球铰的摩阻力矩:

$$M_Z = \frac{P_2 \cdot L_2 + P_1 \cdot L_1}{2} \quad (\text{A-4})$$

式中: P_1 、 P_2 —— 分别为称重顶力, kN;

L_1 、 L_2 —— 分别为称重力臂, m。

对于一侧撑脚压在滑道上的情况, 只需在撑脚压在滑道侧进行顶升和回落测试, 即可完成不平衡称重。

设转体结构重心偏向 B 侧, B 侧撑脚已经压在滑道上, 首先在 B 侧施加顶力, 当顶力逐渐增加到 P_{2d} 使转体结构发生刚体转动时:

$$P_{2d} \cdot L_2 = M_G + M_Z \quad (\text{A-5})$$

静止 10 分钟后, 使千斤顶逐级缓慢回落, 当顶力逐渐回落到 P_{2j} 时转体结构发生刚体转动:

$$P_{2j} \cdot L_2 = M_G - M_z \quad (\text{A-6})$$

解方程(A-5)和(A-6),得到:

转体结构的不平衡力矩:

$$M_G = \frac{P_{2d} \cdot L_2 + P_{2j} \cdot L_2}{2} \quad (\text{A-7})$$

球铰的摩阻力矩:

$$M_z = \frac{P_{2d} \cdot L_2 - P_{2j} \cdot L_2}{2} \quad (\text{A-8})$$

式中: P_{2d} 、 P_{2j} ——分别为称重顶力和回落力,kN;

L_2 ——为称重力臂,m。

进一步可得球铰的静摩擦系数和转体结构偏心距:

球铰静摩擦系数为:

$$\mu_j = \frac{M_z}{RW_d} \quad (\text{A-9})$$

转体结构初始偏心距:

$$E = \frac{M_G}{W_d} \quad (\text{A-10})$$

式中: R ——球铰中心转盘球面半径;

W_d ——转体重量。

附录 B 两点顶不平衡称重

对于转体重量大于 30000t 的转体桥,宜采用在上下转盘之间施加顶力和梁端施加顶力的两点加载方式进行称重,具体称重过程及计算如下。

对于附录 A 中的情况 1,设转体结构的重心偏向东侧,首先在东侧承台处实施顶力 P_{11} ,并且在东侧梁端实施顶力 P_{12} 。此时,转体结构的受力情况如图 B-1a)所示。

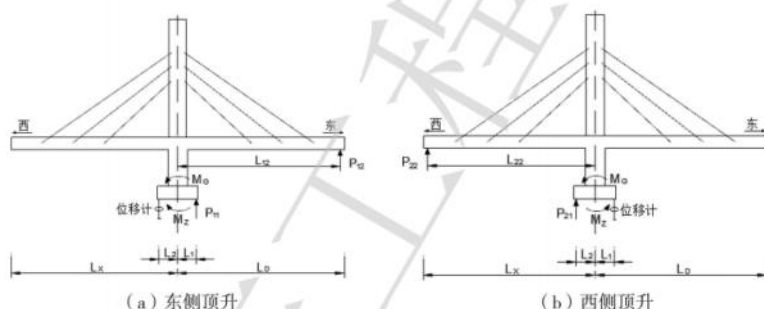


图 B-1 转体结构受力图

当起顶力逐渐增加到恰好使转体结构发生刚体转动时有:

$$P'_1 \cdot L_1 + M_G = M_Z \quad (\text{B-1})$$

$$\text{式中: } P'_1 = P_{11} + \frac{P_{12} \cdot L_{12}}{L_1};$$

P_{11} ——为上下转盘间称重顶力 kN;

P_{12} ——为梁端称重顶力, kN;

L_1 ——为上下球铰间称重力臂, m;

L_{12} ——为梁端称重力臂, m。

然后,在西侧承台实施顶力 P_{21} ,并在西侧梁端实施顶力 P_{22} ,

如图 B-1b)所示。

当起顶力逐渐增加到恰好使转体结构发生刚体转动时有：

$$P_2' \cdot L_2 + M_G = M_Z \quad (B-2)$$

式中： $P_2' = P_{21} + \frac{P_{22} \cdot L_{22}}{L_2}, \text{kN};$

P_{21} ——为上下转盘间称重顶力，kN；

P_{22} ——为梁端称重顶力，kN；

L_2 ——为上下球铰间称重力臂，m；

L_{22} ——为梁端称重力臂，m。

由式(B-1)和(B-2)可以得：

转体结构的不平衡力矩：

$$M_G = \frac{P_2' \cdot L_2 - P_1' \cdot L_1}{2} \quad (B-3)$$

球铰的摩阻力矩：

$$M_Z = \frac{P_2' \cdot L_2 + P_1' \cdot L_1}{2} \quad (B-4)$$

对于附录 A 中的情况 2，设转体结构重心偏向东侧，东侧撑脚压在滑道上，只能在东侧承台实施顶力 P_{11} 及在东侧梁端实施顶力 P_{12} ，如图(B-1a)所示。当顶力逐渐增加到使转体结构发生刚体转动瞬间有：

$$P_1' \cdot L_1 = M_G + M_Z \quad (B-5)$$

式中： $P_1' = P_{11} + \frac{P_{12} \cdot L_{12}}{L_1}$ ；其余变量同式(B-1)。

稳定 10 分钟后使千斤顶逐级缓慢回落，当顶力回落至 P_{11}' 和 P_{12}' 时转体结构发生刚体转动则：

$$P_1'' \cdot L_1 = M_G - M_Z \quad (B-6)$$

式中： $P_1'' = P_{11}' + \frac{P_{12}' \cdot L_{12}}{L_1}, \text{kN};$

P_{11}' ——为上下转盘间回落顶力，kN；

P'_{12} ——为梁端回落顶力, kN; 其余变量同式(B-1)。

解方程(B-5)和(B-6)得:

转体结构的不平衡力矩:

$$M_G = \frac{P'_1 \cdot L_1 + P''_1 \cdot L_1}{2} \quad (\text{B-7})$$

球铰的摩阻力矩:

$$M_z = \frac{P'_1 \cdot L_1 - P''_1 \cdot L_1}{2} \quad (\text{B-8})$$

球铰静摩擦系数为:

$$\mu_j = \frac{M_z}{RW_d} \quad (\text{B-9})$$

转体结构初始偏心距:

$$E = \frac{M_G}{W_d} \quad (\text{B-10})$$

式中: R ——球铰中心转盘球面半径;

W_d ——转体重量。

附录 C 梁端竖向振动加速度限值计算

C.1 连续梁桥转体振动倾覆弯矩简化计算

大量工程实测数据表明,连续梁桥平转过程中的振动响应最大值是发生在撑脚与滑道接触瞬间,在接触之前转体结构基本做匀速水平转动,竖向振动响应很小。在撑脚与滑道接触瞬间结构振动加速度响应最大,但位移响应却很小。基于此做如下假设:

- 1)在撑脚与滑道接触瞬间转体结构发生的竖向转角 θ 是微小的;
- 2)在撑脚与滑道接触瞬间转体结构还没来得及发生变形,振动以刚体转动为主;
- 3)忽略结构转动过程中振动引起的结构轴向变形;
- 4)暂不考虑此时因环境风、大地脉动等引起的结构附加不平衡力矩。

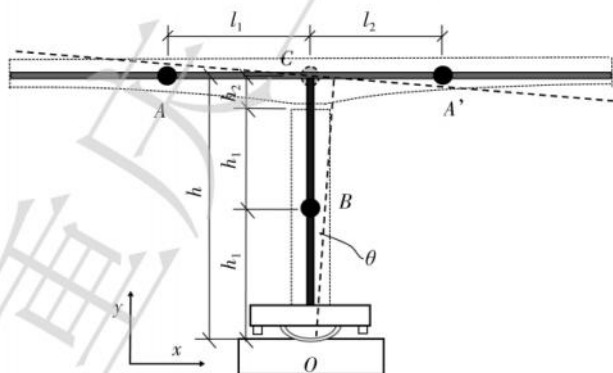


图 C-1 转体结构刚体转动简化模型

基于以上假定,可得转体连续梁桥刚体转动简化模型如图 C-1

所示,为便于表述和计算,定义变量如下:

1) m_p ——桥墩总质量, kg, 集中于 B 点;

m_b ——箱梁总质量, kg;

m_a ——左半幅箱梁总质量, 集中于 A 点;

m'_a ——右半幅箱梁总质量, 集中于 A' 点;

$$m_b = m_a + m'_a$$

对称结构则:

$$m_a = m'_a = \frac{m_b}{2}$$

2) h_p ——自球铰中心算起的墩高, m;

h_b ——墩顶位置梁高, m;

$$\text{图中, } h_1 = \frac{h_p}{2}, h_2 = \frac{h_b}{2}, h = \frac{h_b}{2} + h_p$$

3) l_1 和 l_2 ——分别为左右两侧箱梁质量中心距离墩顶的距离, 对于对称结构, 则 $l_1 = l_2 = l_c$;

L ——转体结构单侧悬臂跨度。

由此得转动过程中结构的倾覆弯矩 M_{iv} 为:

$$M_{iv} = 2m_a \cdot a_{ax} \cdot h + m_p \cdot h_1 \cdot a_{px} + 2m_a \cdot l_c \cdot a_{ay} \quad (C-1)$$

根据以上假定, 结合结构的几何关系, 设在撑脚与滑道接触瞬间整个转体结构绕球铰 O 的转动加速度 $d^2\theta$ 为高阶微小量, 则有:

$$a_{by} = a_{cy} = 0$$

$$a_{ax} = a'_{ax} = a_{cx}$$

$$a_{ay} = -a'_{ay}$$

$$a_{ay} = \frac{l_c \cdot a_y}{L}$$

(C-2)

$$a_{ax} = \frac{h}{L} a_y$$

$$a_{bx} = \frac{h_p \cdot a_y}{2L}$$

式中: a_{ax} 、 a'_{ax} —— A 点和 A' 点的水平向加速度;

a_{ay} 、 a'_{ay} —— A 点和 A' 点的竖向加速度;

a_y —— 梁端竖向加速度(测试位置);

a_{bx} 和 a_{cx} 分别为 B 点和 C 点水平向加速度;

a_{by} 和 a_{cy} 分别为 B 点和 C 点竖向加速度。

将式(C-2)代入式(C-1)得连续梁桥转动过程中结构振动倾覆弯矩 M_{iv} 与实测梁端竖向加速度 a_y 的关系如下:

$$M_{iv} = \frac{m_b \cdot a_y (h^2 + l_c^2)}{L} + \frac{m_p \cdot a_y \cdot h_p^2}{4L} \quad (C-3)$$

C.2 风载倾覆弯矩简化计算

在桥梁转动过程中不可避免地会受到风荷载作用,同时由于转体结构较长,存在两侧竖向风压不等现象,由此必然引起不平衡弯矩。虽然设计文件及相关规范均规定转体条件为五级风及以下环境,但转动过程中有可能会遭遇短时间的较强阵风作用。因此可根据桥梁所在地 10 年一遇基本风速进行竖向风压计算,并偏于最安全地考虑一侧作用竖向风荷载,此时其受力如图 C-2 所示。

风荷载引起的倾覆弯矩为:

$$M_{tw} = \frac{B \cdot L^2 \cdot f_{tw}}{2} \quad (C-4)$$

式中: L —— 转体结构半幅梁长,不对称结构取跨度较大一侧长度, m;

B —— 梁宽度, m;

f_{tw} —— 根据规范计算得出的竖向风压, kN/m^2 。

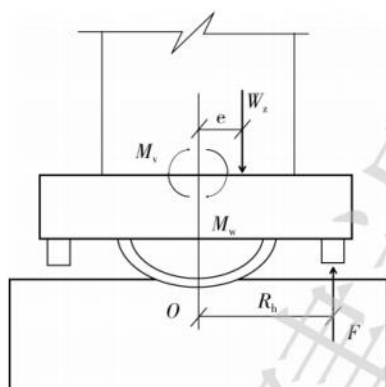


图 C-3 平转过程稳定性受力简图

联立式(C-3)~(C-6)即可求得连续梁转体桥在转动过程中梁端竖向振动加速度限值:

$$a_{y\max} \leq \frac{4L \cdot (M_c - M_{tw} - M_e)}{4m_b \cdot (\dot{h}^2 + l_c^2) + m_p h_p^2} \quad (C-7)$$

本标准用词说明

1 为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 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《铁路桥涵工程施工安全技术规程》TB 10303

《预应力混凝土用钢绞线》GB/T-5224

《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46

《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650

《建筑施工安全检查标准》JGJ 59

《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ 80

《公路桥梁施工监控技术规程》JTGT 3650-01

重庆工程建设

重庆市工程建设标准

桥梁平转施工技术标准

DBJ50/T-490-2024

条文说明

2024 重 庆

重庆工程建设

目 次

3	平转系统构成	43
3.1	一般规定	43
3.3	稳定系统	44
4	桥梁平转施工	45
4.3	转体滑道安装	45
4.11	合龙段施工	45
5	施工监控	47
5.2	转体结构施工监控	47

重庆工程建设

3 平转系统构成

3.1 一般规定

3.1.4 考虑到施工空间需求,助推反力座的尺寸不宜过大,且不应设置过多,布置2组或4组即可,应避免以下助推反力座布置不合理的情况。

1 助推反力座布置过多、尺寸过大,不仅不利于转体前砂箱的拆除,更无法布置助推千斤顶和横梁,无法起到助推反力座的功能;转体后可能存在撑脚和助推反力座彼此错开,封堵封铰混凝土浇筑通道,造成封铰混凝土浇筑困难;

2 助推反力座布置位置不合理,不论是转体前、还是转体后出现这的位置关系,都失去了助推反力座的功能。

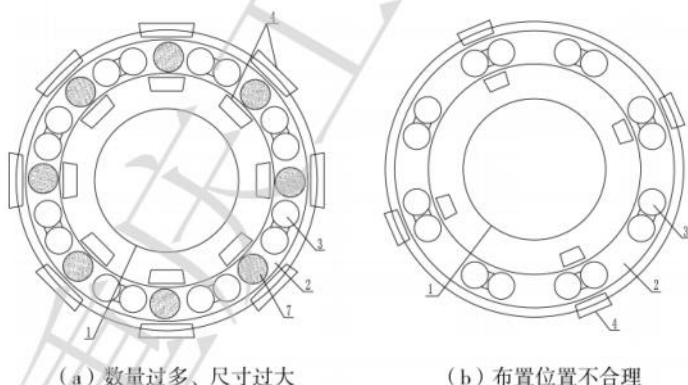


图 3.1.4-3 助推反力座布置不合理情况

1—球铰,2—滑道,3—撑脚,4—助推反力座,7—砂箱

3.3 稳定系统

3.3.5 目前对转体结构存在较大偏心尚无明确规定,本标准建议从如下两个方面进行规定,满足其一者即为存在较大偏心。

- 1 转体结构的理论偏心距大于 20cm;
- 2 根据转体结构的理论偏心距计算出一侧撑脚的支反力大于 2000kN。

4 桥梁平转施工

4.3 转体滑道安装

4.3.4 目前对滑道平整度的评价指标尚未统一标准,且允许误差也不统一。结合大量工程实践和模型试验发现滑道不平顺对转体稳定性影响很小,如果对滑道平整度要求过高,如 3m 长度内平整度 $\leq 1\text{mm}$,不仅很难做到,也没有意义。对转动过程稳定性影响最大的是滑道存在错台或者凸起,特别是滑道钢板和不锈钢面板的焊缝错台影响最为明显,结合工程实践经验,特提出控制接缝高差 $<0.5\text{mm}$ 。

4.11 合龙段施工

4.11.4 位于既有交通设施影响区以内的合龙可采用吊架法、移动模壳法和固定钢壳法进行施工。

1 吊架、移动模壳和固定钢壳设计应进行强度、刚度及稳定性验算;

2 在合龙段两侧箱梁混凝土浇筑时应埋入或预留吊架、挂篮、移动模壳的预埋件和预留孔;

3 吊架合龙装置由底模托架、模板、防护构件、悬吊构件等组成;

4 移动模架由外侧模架、上行走横梁、下行走横梁、内倒链、外倒链、对拉螺杆、梁上轨道等组成,结构示意如图 4.11.4-1 所示;

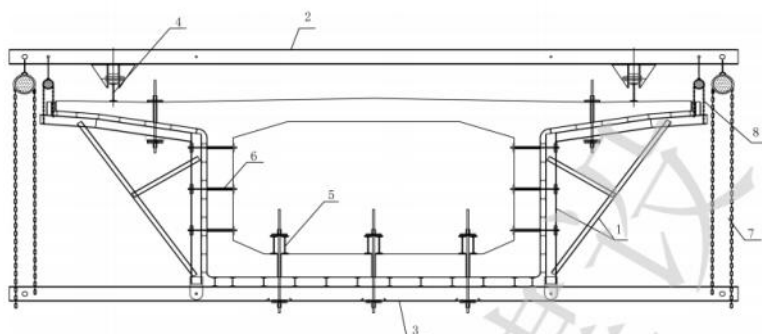


图 4.11.4-1 合龙段移动模架示意图

1—外侧模架；2—上行走横梁；3—下行走横梁；4—梁上轨道；5—箱内锁定型钢；
6—对拉螺杆；7—外倒链；8—内倒链

5 固定钢模壳由转体梁端预埋钢壳、中间吊装钢壳等组成，结构示意图如图 4.11.4-2 所示。

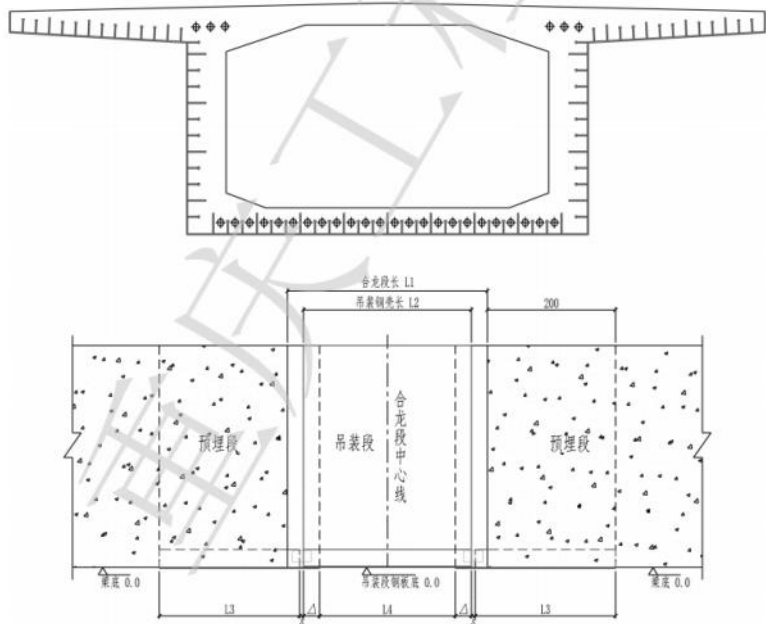


图 4.11.4-2 合龙段固定钢模壳示意图

5 施工监控

5.2 转体结构施工监控

5.2.1 平转施工多跨桥梁的主梁线形误差控制中,应控制每个转体结构两侧线形误差之和的绝对值,并不应超过主梁合龙口误差限值。

1 采用挂篮悬臂施工的转体桥,整个转体结构是以球铰、砂箱或拉压临时锁定型钢共同支撑,在施工过程中转体结构可能会发生一定的刚体转动,进而引起主梁一端抬起,而另一端降低,这在转体桥施工线形监控中应引起重视,并及时修正;

2 当同 T 构两侧误差同号(同正或同负),相邻 T 构合龙口误差异号,前一跨调整合格,会造成后一跨的误差进一步增大,最终导致某个合龙口无法满足规范要求。也即“同 T 构同号,邻 T 构异号”为最不利情况,在线形控制时应加以避免,如图 5.2.1 所示;

3 当每个转体结构两侧线形误差之和的绝对值 $\Delta i = |\Delta i_1| + |\Delta i_2|$ 不超过所属行业规范规定的主梁合龙口误差限值 $[\Delta h]$,即 $\Delta i \leq [\Delta h]$,理论上都能通过姿态调整使合龙口误差满足规范限值要求。

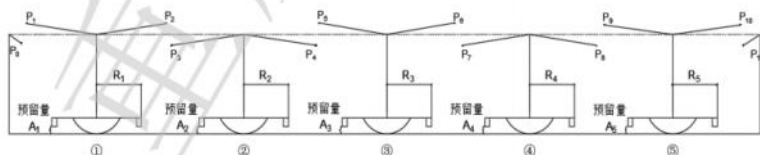


图 5.2.1 转体桥线形误差最不利情况示意图