

团 体 标 准

T/CCTAS XX—202X

桥梁转体球铰

Spherical hinge for bridge swivel construction

(征求意见稿)

2024-5-11

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

前 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语及定义 1

4 分类、规格、型号及结构形式 2

 4.1 分类 2

 4.2 规格 2

 4.3 型号 2

 4.4 结构形式 2

5 技术要求 8

 5.1 一般要求 8

 5.2 材料性能 8

 5.3 尺寸与偏差 10

 5.4 外观质量 10

 5.5 表面防护 11

 5.6 组装 12

6 检验方法 12

 6.1 材料 12

 6.2 尺寸和偏差 13

 6.3 外观质量 13

 6.4 焊接 13

 6.5 表面防护 13

7 检验规则 13

 7.1 检验分类 13

 7.2 原材料进厂检验 13

 7.3 成品检验 14

 7.4 检验结果的判定 14

8 标志、储存与运输 15

 8.1 标志 15

 8.2 储存及运输 15

9 安装精度 15

 9.1 球铰安装精度要求 15

 9.2 滑道安装精度要求 15

附 录 A （规范性） 滑板初始静摩擦系数试验方法 16

 A.1 试样 16

 A.2 试验方法 16

 A.3 试验报告 18

附 录 B （规范性） 滑板荷载压缩变形试验方法 19

 B.1 试样 19

 B.2 试验方法 19

 B.3 试验过程 19

 B.4 试验报告 20

附 录 C （资料性） 球铰、滑道、撑脚及砂箱的安装方法 21

 C.1 球铰本体安装 21

 C.2 滑道安装 22

 C.3 撑脚和砂箱安装 22

附 录 D （资料性） 千斤顶及牵引索布置方法 23

 D.1 千斤顶及牵引系统布置原则 23

附 录 E （资料性） 转体称重 24

 E.1 称重原理 24

 E.2 工艺流程 27

 E.3 牵引力计算 27

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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中铁工程设计咨询集团有限公司、洛阳双瑞特种装备有限公司、衡橡科技股份有限公司、北京交达铁工科技有限公司、河北宝力工程装备股份有限公司、中建八局第一建设有限公司、中铁十六局集团路桥工程有限公司、中铁西南科学研究院有限公司、衡水市橡胶总厂有限公司、武汉海润工程设备有限公司、柳州东方工程橡胶制品有限公司、新津腾中筑路机械有限公司、衡水泰威新材料有限公司、中交协联交通科学研究院（北京）有限公司。

本文件主要起草人：徐升桥、李辉、焦亚萌、高静青、冯祁、李圣强、贾立志、杨卫锋、姜文英、赵建林、张郡、桂鉴臣、刘凯、张显宗、贾双双、李文松、王广业、李歧、高斯阳、支超、孙伟、王立方、李延佩、孙中华、郑宏利、方雷、代长生、陈舜东、曹文、王立志、曹琳琳、刘一军、王良、何巍、梁旭、王福华、陆金柱、李坤、郑康平、杨光旭、耿向前、朱留超、白银霞、康立志、英升睿、于全玉、张春林、武文全。

桥梁转体球铰

1 范围

本文件规定了桥梁转体球铰的分类、规格、型号及结构形式，技术要求，检验方法，检验规则，以及标志、储存与运输、安装精度等内容。

本文件适用于竖向承载力 1000MN 及以下的桥梁转体球铰。

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/T 443 L-AN 全损耗系统用油
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 700 碳素结构钢
- GB/T 1033.1 塑料 非泡沫塑料密度的测定 第1部分：浸渍法、液体比重瓶法和滴定法
- GB/T 1040.3-2006 塑料 拉伸性能的测定 第3部分：薄膜和薄片的试验条件（ISO 527-3:1995, IDT）
- GB/T 1184-1996 形状和位置公差 未注公差值（eqv ISO 2768-2:1989）
- GB/T 1499.2 钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 1804-2000 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差（eqv ISO 2768-1:1989）
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3280-2015 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 3398.1 塑料 硬度测定 第1部分：球压痕法
- GB/T 7233.1-2009 铸钢件 超声检测 第1部分：一般用途铸钢件
- GB/T 7324-2010 通用锂基润滑脂
- GB/T 7760—2003 硫化橡胶或热塑性橡胶与硬质板材粘合强度的测定 90°剥离法（ISO 813:1997, MOD）
- GB/T 8162 结构用无缝钢管
- GB/T 11352 一般工程用铸造碳钢件
- GB/T 31387 活性粉末混凝土
- HG/T 2502—1993 5201硅脂
- HG/T 2901-1997 聚四氟乙烯树脂粒径试验方法
- JB/T 5943-2018 工程机械 焊接件通用技术条件
- JT/T 722-2023 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件

3 术语及定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 桥梁转体球铰系统 spherical hinge system for bridge swivel construction

一种由球铰本体及转体辅助部件组成的适用于桥梁转体施工的装置系统。

3.2 钢球铰 steel spherical hinge

上、下球铰等主要构件材料由钢板加工或铸造而成的球铰。根据加工方式可分为普通钢制球铰及铸钢球铰。

3.3 超高性能混凝土球铰 ultra-high performance concrete spherical hinge

上、下球铰等主要构件材料由超高性能混凝土浇筑而成的球铰。

3.4 大吨位平面球铰 large tonnage spherical hinge

一种转动球面半径较大，上、下球铰多由厚钢板数控加工而成的球铰。适用于设计竖向承载力300MN及以上的转体球铰。

4 分类、规格、型号及结构形式

4.1 分类

4.1.1 桥梁转体球铰（以下简称“球铰”）按照承压部件材料类型分为：

- a) 钢球铰，代号为 S；
- b) 超高性能混凝土球铰，代号为 U。

4.1.2 钢球铰按照加工方式分为：

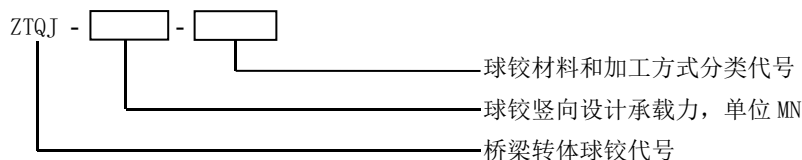
- a) 普通钢球铰，代号为 OS；
- b) 铸钢球铰，代号为 CS。
- c) 大吨位平面球铰，代号为 HS。

4.2 规格

转体球铰按照竖向设计承载力分为 25 级：10MN、30MN、50MN、70MN、90MN、110MN、130MN、150MN、170MN、190MN、210MN、230MN、250MN、270MN、290MN、300MN、350MN、400MN、450MN、500MN、600MN、700MN、800MN、900MN、1000MN。当有特殊需求时，竖向设计承载力可根据需要调整。

4.3 型号

转体球铰型号由名称代号、竖向设计承载力和分类代号组成，表示方法如下：



示例 1：ZTQJ-10-OS，表示设计竖向承载力为 10MN 的转体普通钢球铰。

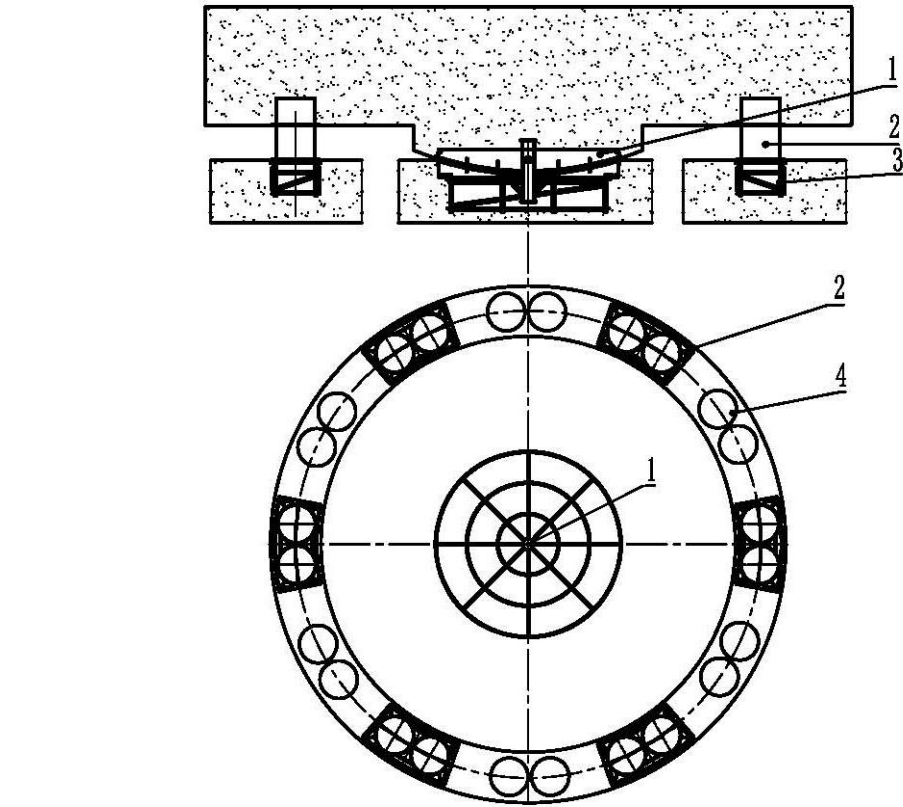
示例 2：ZTQJ-30-CS，表示设计竖向承载力为 30MN 的转体铸钢球铰。

示例 3：ZTQJ-400-HS，表示设计竖向承载力为 400MN 的转体大吨位平面球铰。

示例 4：ZTQJ-20-U，表示设计竖向承载力为 20MN 的转体超高性能混凝土球铰。

4.4 结构形式

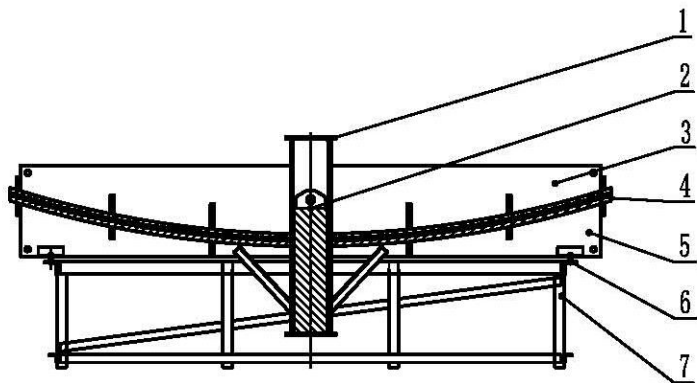
4.4.1 桥梁转体球铰系统由球铰本体及转体辅助部件构成。球铰本体一般由顶座板（钢球铰无此项）、钢护筒（仅适用于墩顶转体球铰）、抽拔钢板（仅适用于墩顶转体球铰）、上球铰、下球铰、球面滑板、销轴、轴套（铸钢球铰无此项）、支撑骨架（铸钢球铰及超高性能混凝土球铰无此项）、底座板（仅适用于铸钢球铰及超高性能混凝土球铰）、剪力键（仅适用于铸钢球铰）、连接件（仅适用于分块大吨位平面球铰）等部件组成。转体辅助部件一般由滑道、撑脚、砂箱等组成，见图 1。



- 标引序号说明：
- | | |
|-----------|-------|
| 1—转体球铰本体； | 3—滑道； |
| 2—撑脚； | 4—砂箱。 |

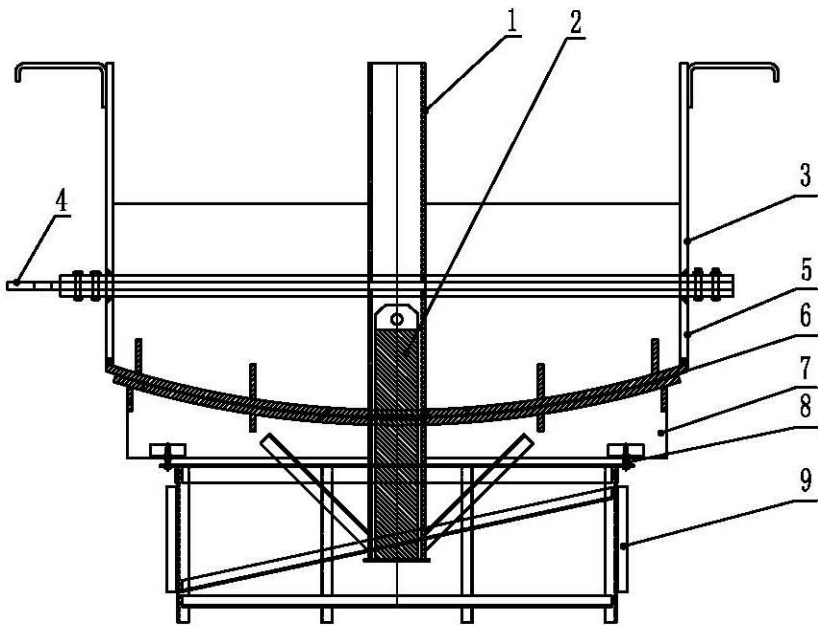
图 1 桥梁转体球铰系统示意图

4.4.2 普通钢球铰本体一般由钢护筒及抽拔钢板（仅适用于墩顶转体球铰）、上球铰、下球铰、球面滑板、销轴、轴套、支撑骨架、防尘罩（仅适用于墩顶转体且转体后球铰外露不拆除情况）等部件构成，见图 2、图 3。普通钢球铰上下球铰一般由钢板压制成型球面，背面焊接肋板，下球铰转动铰面铣钻滑板镶嵌孔及振捣孔。



- 标引序号说明：
- | | | |
|--------|---------|---------|
| 1—轴套； | 4—球面滑板； | 7—支撑骨架。 |
| 2—销轴； | 5—下球铰； | |
| 3—上球铰； | 6—调平装置； | |

图 2 普通钢球铰本体结构示意图



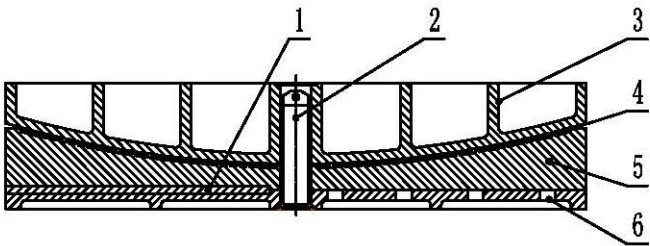
- 标引序号说明：
- | | | |
|--------|-------------------------|---------|
| 1—轴套； | 4—抽拔钢板（转体后需转换体系的球铰有此项）； | 7—下球铰； |
| 2—销轴； | 5—上球铰； | 8—调平装置； |
| 3—钢护筒； | 6—球面滑板； | 9—支撑骨架。 |

图 3 普通钢球铰本体结构示意图（墩顶转体）

4.4.3 铸钢球铰本体一般由上球铰、下球铰、球面滑板、销轴、底座板、剪力键等部件构成，见图 4。铸钢球铰上下球铰一般为铸造整体成型。

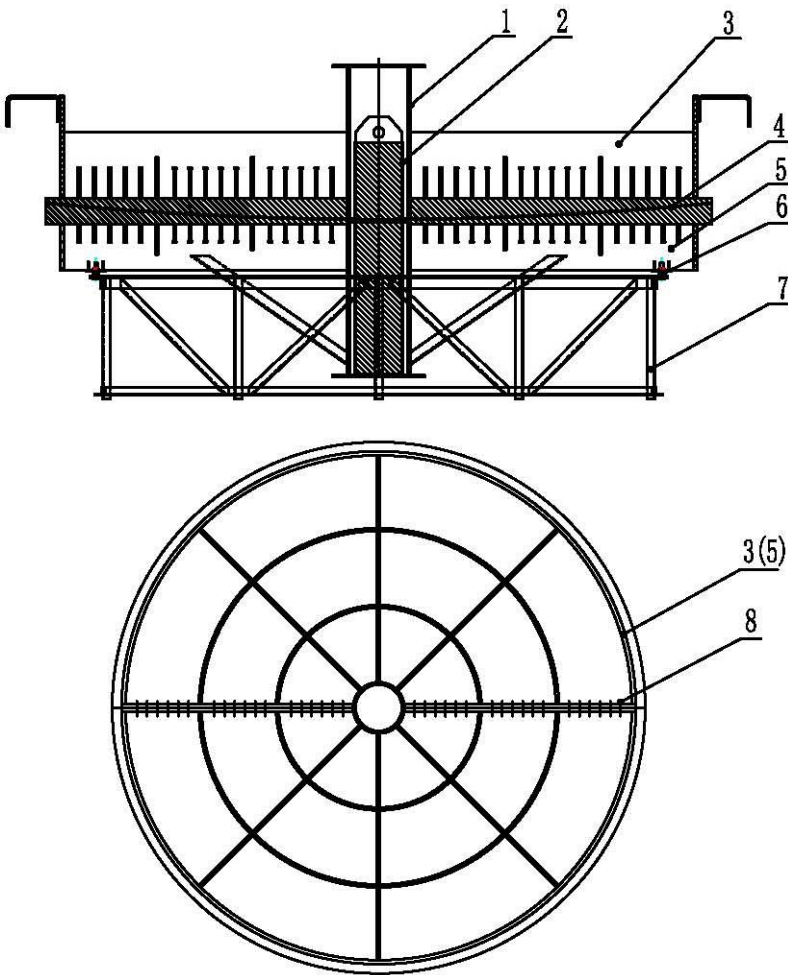
4.4.4 大吨位平面球铰本体一般由上球铰、下球铰、球面滑板、销轴、轴套、支撑骨架、连接件（仅分块式含此项）等部件构成，见图 5。大吨位平面球铰上下球铰一般采用厚钢板数控加工而成，可分块

拼装，一般适用于设计竖向承载力 300MN 及以上的转体。



- 标引序号说明：
- | | |
|--------|---------|
| 1—剪力键； | 4—球面滑板； |
| 2—销轴； | 5—下球铰； |
| 3—上球铰； | 6—底座板。 |

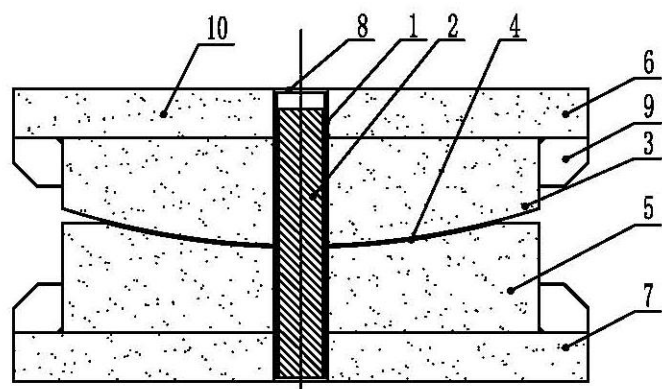
图 4 铸钢球铰本体结构示意图



- 标引序号说明：
- | | | |
|-------------|-------------|-----------------|
| 1—轴套； | 4—球面滑板； | 7—支撑骨架； |
| 2—销轴； | 5—下球铰（可分块）； | 8—连接件（整块式无连接件）。 |
| 3—上球铰（可分块）； | 6—调平装置； | |

图 5 大吨位平面球铰结构示意图（分块式）

4.4.5 超高性能混凝土球铰本体一般由顶座板、上球铰、下球铰、球面滑板、销轴、轴套、底座板、连接板、堵头钢板等部件构成，其中球铰上盘（顶座板、上球铰）和下盘（下球铰、底座板）的钢壳内填充超高性能混凝土，见图 6。

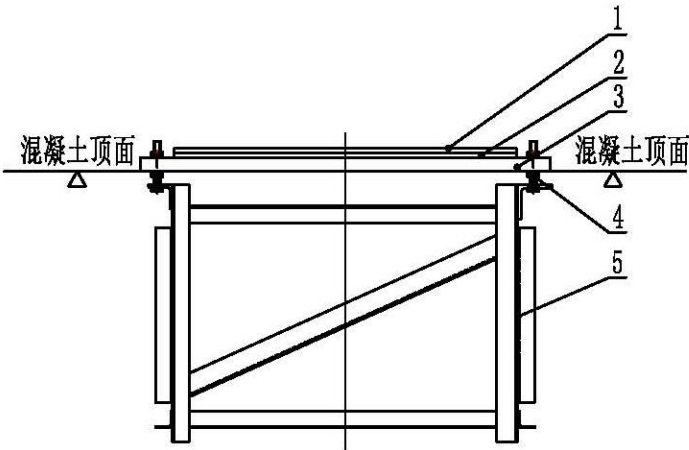


- 标引序号说明：
- | | | |
|---------|----------------------------|-------------|
| 1—轴套； | 5—下球铰； | 9—连接板； |
| 2—销轴； | 6—顶座板（小于 100000 kN 时可无此项）； | 10—超高性能混凝土。 |
| 3—上球铰； | 7—底座板（小于 100000 kN 时可无此项）； | |
| 4—球面滑板； | 8—堵头钢板； | |

图 6 超高性能混凝土球铰结构示意图

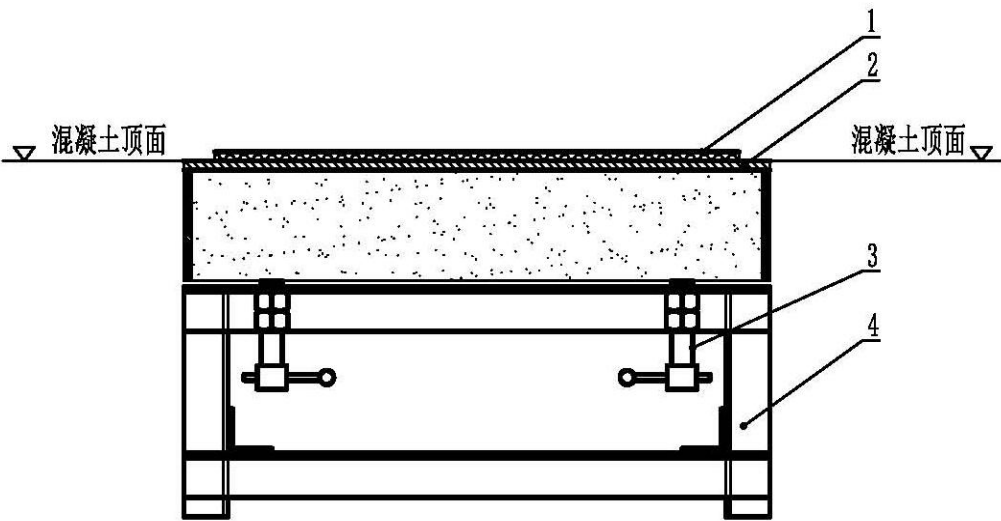
4.4.6 钢球铰销轴可采用实心钢棒，超高性能混凝土球铰销轴可采用无缝钢管内浇超高性能混凝土内芯的钢混组合构件或实心钢棒。轴套可采用结构用无缝钢管。

4.4.7 钢滑道由撑脚下滑道滑板、不锈钢板、钢背板、滑道支架或底座板以及调平装置组成，见图 7；钢混组合滑道由滑道滑板、滑道板、滑道支架及调平装置组成，其中滑道板由薄钢板内填充超高性能混凝土内芯构成，见图 8；滑道支架一般由角钢焊接成型。



- 标引序号说明：
- | | |
|---------|---------|
| 1—滑道滑板； | 4—调平装置； |
| 2—不锈钢板； | 5—滑道支架。 |
| 3—钢背板； | |

图 7 钢滑道结构示意图

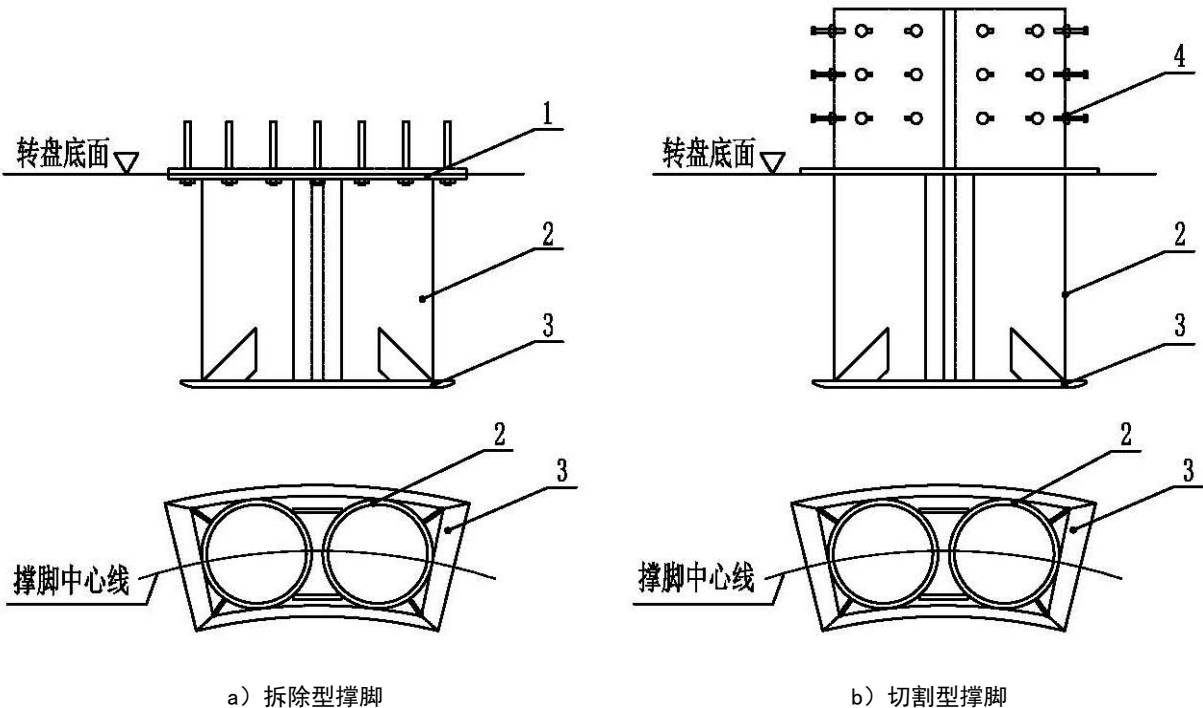


标引序号说明：

1—滑道滑板；	4—调平装置；
2—滑道板；	5—滑道支架。

图 8 钢混组合滑道结构示意图

4.4.8 撑脚由支撑钢管、船型板、连接座或剪力键等组成，支撑钢管内可填充补偿收缩混凝土或超高性能混凝土，见图 9。



标引序号说明：

1—连接座（仅拆除型含此项）；	3—船型板；
2—支撑钢管；	4—剪力键（仅切割型含此项）。

图 9 撑脚结构示意图

5 技术要求

5.1 一般要求

- 5.1.1 转体球铰承载能力不应小于竖向设计承载力，在承载能力范围内，转体球铰系统应保持状态完好、转动顺畅、无异常变形，转体上、下转盘满足转体球铰承压及传递球面摩擦力等传力要求。
- 5.1.2 转体球铰在设计竖向承载力下，球铰设计静摩擦系数 ≤ 0.1 ，滑动摩擦系数 ≤ 0.05 ，实测值不应大于设计值。
- 5.1.3 转体球铰适用温度 $-50^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 材料性能

5.2.1 钢件

- 5.2.1.1 转体球铰系统用钢板的化学成分及力学性能应符合 GB/T 699、GB/T 700 或 GB/T 1591 的规定。钢球铰的上球铰、下球铰、底座板及滑道钢背板的钢板强度等级不宜低于 Q355；超高性能混凝土球铰的上球铰、下球铰、顶座板、底座板及滑道板的钢板强度等级不宜低于 Q235。
- 5.2.1.2 转体球铰上球铰、下球铰等采用铸钢件时，铸钢件的化学成分、热处理后的机械性能应符合 GB/T 11352 的规定，化学分析和机械性能用试块应在铸钢件浇铸过程中铸出。铸钢强度等级不低于 ZG270-500，铸钢件应逐件进行超声波探伤，铸钢件质量不低于 2 级，探伤方法及质量评级方法应符合 GB/T 7233.1—2009 的规定。
- 5.2.1.3 销轴钢棒材料的化学成分及力学性能应符合 GB/T 699、GB/T 700 或 GB/T 3077 的规定。
- 5.2.1.4 结构用无缝钢管的材料牌号应满足设计要求，其化学成分和力学性能应满足 GB/T 8162 的规定。
- 5.2.1.5 其它钢件的材料性能应符合设计要求。

5.2.2 不锈钢板

不锈钢板可采用 06Cr17Ni2Mo2、06Cr19Ni13Mo3 或 06Cr18Ni11Ti 牌号精轧不锈钢冷轧钢板，化学成分及力学性能应符合 GB/T 3280 的规定。

5.2.3 滑板

- 5.2.3.1 球面滑板可采用改性聚四氟乙烯板、改性超高分子量聚乙烯板或填充聚四氟乙烯复合夹层板，滑道滑板可采用聚四氟乙烯板，其物理机械性能应符合表 1 的规定。

表 1 滑板的物理机械性能

项目	聚四氟乙烯板	改性超高分子量聚乙烯板	改性聚四氟乙烯版	填充聚四氟乙烯复合夹层板
密度 g/cm ³	2.14~2.20	0.93~0.98	2.00~2.10	2.14~2.20
拉伸强度 MPa	≥30	≥30	≥21	--
断裂拉伸应变	≥300%	≥250%	≥300%	--
球压痕硬度 (H132/60) MPa	23.0~33.0	26.4~39.6	26.4~39.6	26.4~39.6
注：球压痕硬度中H132/60为荷载132N、持荷60s。				

5.2.3.2 在润滑状态下,球面滑板与钢板配合面(表面粗糙度最大参数值为 MRR Ramax6.3)的滑动摩擦性能应符合表 2 的规定。球面滑板荷载压缩变形应符合表 3 的规定,且在试验过程中滑板不应出现裂纹、掉块、平面轮廓形状突变等压溃现象。

表 2 球面滑板的摩擦性能(有润滑)

项目	技术要求	试验条件		
		试验温度 ℃	平均压应力 MPa	平均滑动速度 mm/s
初始静摩擦系数 μ_{st}	≤ 0.03	23 ± 2	60	0.4

表 3 球面滑板的荷载压缩变形

项目	技术要求	试验条件			
		试验温度 ℃	平均压应力 MPa		持荷时间 h
			改性超高分子量聚乙烯板	改性聚四氟乙烯板、填充聚四氟乙烯复合夹层板	
荷载压缩变形/mm	$\leq 1.0\%h_0$	23 ± 2	180	120	48
注: h_0 为滑板初始外露厚度。					

5.2.3.3 在无润滑状态下,滑道滑板与不锈钢板配合面的滑动摩擦性能应符合表 4 的规定。

表 4 滑道滑板的摩擦性能(无润滑)

项目	聚四氟乙烯板			
	技术要求	试验条件		
		试验温度 ℃	平均压应力 MPa	平均滑动速度 mm/s
初始静摩擦系数 μ_{st}	小于等于设计值且不大于 0.07	23 ± 2	30	0.4

5.2.3.4 滑板采用其它材料时,滑板的物理机械性能、摩擦性能和荷载压缩变形应满足设计要求。

5.2.4 润滑脂

5.2.4.1 球面滑板润滑脂可采用 5201—2 硅脂或添加 1% (质量比)、平均粒径不大于 50 μ m 的纯聚四氟乙烯粉的锂基润滑脂,5201—2 硅脂的物理性能不应低于 HG/T 2502—1993 中一等品的规定,锂基润滑脂的质量应符合 GB/T 7324—2010 中 2 号润滑脂的规定。

5.2.4.2 球铰润滑脂采用其它材料时,其物理性能应满足设计要求。

5.2.5 超高性能混凝土及构造钢筋

5.2.5.1 超高性能混凝土球铰用超高性能混凝土的抗压强度不小于 120MPa,抗折强度、弹性模量、原材料性能应符合 GB/T 31387 的规定。

5.2.5.2 超高性能混凝土球铰的内层构造钢筋等级不低于 HRB400,其技术性能应满足 GB/T 1499.2 的规定。

5.3 尺寸与偏差

5.3.1 滑板

球面滑板采用整体板或分片镶嵌板的形式，其基准厚度 t 不应小于 7mm，嵌入深度不应小于基准厚度的 1/2，外露厚度不应小于 3mm，厚度极限偏差、外露厚度极限偏差及装配间隙应满足表 5 的规定。
滑道滑板基准厚度不应小于 4mm。

表 5 球面滑板的尺寸极限偏差及装配间隙 单位为毫米

滑板直径d	厚度极限偏差	外露厚度极限偏差	与钢件凹槽的容许装配间隙
d≤600	+0.4 0	+0.3 0	≤0.6
600<d≤1200	+0.6 0	+0.5 0	≤0.9
d>1200	+0.8 0	+0.7 0	≤1.2

5.3.2 不锈钢板

滑道不锈钢板基准厚度不宜小于 2mm，厚度偏差应符合 GB/T 3280 的规定。焊接后滑道不锈钢板表面的平面度公差不应超过 1mm。

5.3.3 上球铰

上球铰凸球面的球面轮廓度不应大于球面滑板整体外径的 0.03%。

5.3.4 机加工件

机加工尺寸及公差配合应符合设计要求，未注线性尺寸和角度尺寸公差应符合 GB/T 1804-2000 中 c 级的规定，未注明形状和位置的公差应符合 GB/T 1184-1996 中 L 级的规定。

5.3.5 铸钢件

铸造整体成型钢球铰的上球铰、下球铰、底座板等铸件的非机加工面外形尺寸的偏差应满足 GB/T 11352 的规定。

5.3.6 其它部件

其它部件的非加工面外形偏差应满足设计要求。

5.4 外观质量

5.4.1 滑板

滑板在自然光下目视检查，表面应光滑，整体颜色应均匀一致，不应有裂纹、气泡、分层。不应有影响使用的机械损伤、板面刀痕等缺陷，不应夹带任何杂质。

5.4.2 不锈钢板

不锈钢板应满足 GB/T 3280-2015 的 6 号表面加工要求，粗糙度最大参数为 $MRR_{R_{max}} 0.8$ 。不锈钢板表面应平整、光洁，不应有分层、鼓泡、褶皱和影响使用性能的机械损伤。不锈钢板与基层钢板采

用氩弧焊周边连续焊接，焊接后不锈钢板应与基层钢板密贴，表面不应有褶皱。

5.4.3 钢构件非加工表面的粗糙度最大参数为 MRR Ramax 50，机加工件外观质量应满足下列要求：

- a) 与滑板接触的上球铰凸球面的表面粗糙度最大参数值为 MRR Ramax 6.3，且不应有降低表面质量的印记。
- b) 销轴和轴套的圆柱面、嵌固滑板的下球铰凹球面及其他自由表面的表面粗糙度最大参数值为 MRR Ramax 25。

5.4.4 焊接件

球铰焊接部位的技术要求应符合设计规定，当无具体规定时，焊接部位的技术要求应符合 JB/T 5943-2018 的规定。顶座板、底座板、上球铰、下球铰等关键焊缝不低于 B 类，焊缝外部缺陷及内部缺陷不低于 II 级质量要求，其他焊缝不低于 C 类，焊缝外部缺陷及内部缺陷不低于 III 级质量要求。

5.4.5 铸钢件

5.4.5.1 铸钢件加工后的表面质量应符合表 6 的规定，并对缺陷进行修补。当表面缺陷超过表 6 规定，符合表 7 规定，且不影响铸钢件使用寿命和使用性能时，允许进行一次电焊修补。对不符合表 7 规定的或有蜂窝状孔洞的部件不应修补使用。

表 6 铸钢件加工后的表面质量

缺陷部位	缺陷（气孔、缩孔、砂眼、渣孔）				
	缺陷大小 mm	缺陷深度	缺陷个数	缺陷总面积	缺陷间距 mm
上球铰和下球铰的球面及球面水平投影内的上球铰上表面和下球铰下表面	≤ φ2	不大于所在部位厚度的 10%	在 100mm×100mm 内不多于 1 个	不大于所在部位面积的 1.5%	≥80
上球铰和下球铰的球面及球面水平投影以外的上球铰上表面和下球铰下表面、各侧面	≤ φ3				

表 7 缺陷修补条件

缺陷修补	气孔、缩孔、砂眼、渣孔		
	缺陷总面积	缺陷深度	缺陷个数
上球铰和下球铰的球面以外的表面底座板表面	不大于所在部位面积的 2%	不大于所在部位板厚的 1/3	≤2
			≤3

5.4.5.2 铸钢件焊补前，应将缺陷处清铲至呈现良好金属为止，并将距坡口边沿 30mm 范围内及坡口表面清理干净，焊补后应修磨至符合铸件表面质量要求，且不得有未焊透、裂纹、夹渣、气孔等缺陷，补焊后的部件应进行退火或回火处理。

5.5 表面防护

5.5.1 转体球铰的钢件外露表面（凸球面、凹球面、轴套内侧面及销轴外表面除外）应进行防腐涂装，采用 JT/T 722-2023 中 S04 套涂装体系的底涂层 1 道，涂装前钢件表面处理等级应满足设计要求，涂料技术要求应满足 JT/T 722-2023 的规定。

5.5.2 转体球铰的凸球面、凹球面、轴套内侧面及销轴外表面采用锂基润滑脂或机械油进行临时防护。

在临时存放过程中应设置防尘装置。锂基润滑脂的质量指标应符合 GB/T 7324-2010 中 2 号润滑脂的规定，机械油的技术要求应符合 GB 443 的规定。

5.5.3 其他钢件（不锈钢表面除外）的表面防护应满足设计要求。

5.6 组装

5.6.1 钢球铰

5.6.1.1 待装的零部件应有质量检验部门的合格标记。

5.6.1.2 转体球铰组装前应清洁所有零部件。上球铰凸球面、下球铰凹球面和滑板表面应用丙酮或酒精擦拭，不应夹有灰尘和杂质。

5.6.1.3 出厂时球面滑板应预先进行无润滑脂的试组装，并编号记录滑板位置。

5.6.1.4 分体运输的大吨位平面球铰应进行厂内拼接组装试验，组装拼缝精度不应小于 9.1.5 条的要求。

5.6.1.5 滑道出厂前应在厂内进行试拼装，但部件不焊接或栓接，编号记录各部件位置。

5.6.1.6 厂内球铰及滑道的组装精度不应小于本标准第 9 章的技术要求。

5.6.1.7 砂箱在出厂前应在厂内进行预压，预压荷载不小于砂箱设计承载力的 1.1 倍。

5.6.2 超高性能混凝土球铰

5.6.2.1 超高性能混凝土应在工厂内完成浇筑及养护工作，混凝土浇筑时应振捣密实，浇筑好的构件静置 12~18h 后，在 85℃ 条件下蒸汽养护 48h。

5.6.2.2 超高性能混凝土球铰的组装按钢球铰组装流程进行。

6 检验方法

6.1 材料

6.1.1 钢件

6.1.1.1 钢板的化学成分和力学性能的测定应按 GB/T 699、GB/T 700 及 GB/T 1591 的规定进行。

6.1.1.2 铸钢件的化学成分、热处理后的机械性能的测定应按 GB/T 11352 的规定进行，铸钢件的探伤方法及质量评级方法应按 GB/T 7233.1—2009 的规定进行。

6.1.1.3 实体销轴棒材的化学成分和力学性能的测定应按 GB/T 699、GB/T 700 及 GB/T 3077 的规定进行。

6.1.1.4 结构用无缝钢管的化学成分和力学性能的测定应按 GB/T 8162 的规定进行。

6.1.1.5 不锈钢板的化学成分及力学性能应按 GB/T 3280—2015 的规定进行。

6.1.2 滑板

6.1.2.1 密度测定应按 GB/T 1033.1 的规定进行。

6.1.2.2 拉伸强度和断裂拉伸应变的测定按 GB/T 1040.3-2006 的规定进行，采用 5 型试样，厚度 2mm ±0.2mm，试验拉伸速度为 50mm/min。

6.1.2.3 球压痕硬度的测定按 GB/T 3398.1 的规定进行。

6.1.2.4 初始静摩擦系数的测定按照附录 A 的规定进行。

6.1.2.5 荷载压缩变形的测定按照附录 B 的规定进行。

6.1.2.6 剥离粘合强度的测定按照 GB/T 7760—2003 的规定进行。

6.1.3 润滑脂

- 6.1.3.1 5201-2 硅脂的物理性能测定应按 HG/T 2502—1993 的规定进行，锂基润滑脂的质量指标测定应按 GB/T 7324—2010 的规定进行，纯聚四氟乙烯粉的平均粒径应按 HG/T 2901—1997 的规定进行。
- 6.1.3.2 其他润滑脂的物理性能测定应按设计要求进行。

6.1.4 超高性能混凝土及构造钢筋

超高性能混凝土的原材料性能、配合比、抗压强度、抗折强度、弹性模量的测定应按 GB/T 31387 的规定进行。

构造钢筋技术性能的测定应按 GB/T 1499.2 的规定进行。

6.2 尺寸和偏差

用钢直尺、游标卡尺或量规等工具测量。

6.3 外观质量

目视检查、用通用或专用工具测量。

6.4 焊接

焊缝类别和质量等级的评定应按 JB/T 5943-2018 的规定进行。

6.5 表面防护

涂层厚度、附着力测量应按 JT/T 722-2023 的规定进行。

7 检验规则

7.1 检验分类

桥梁转体球铰的检验分原材料进厂检验、成品检验两类。

7.2 原材料进厂检验

加工用原材料及外协件进厂检验，检验项目及检验频次见表 8。

表 8 原材料进厂检验

检验项目	检验内容	技术要求	检验频次
钢板	化学成分、力学性能	5.2.1	每批（同牌号、同等级、同生产厂、同交货状态、同进场时间的钢板组批，1批不大于60t）
不锈钢板	机械性能、化学成分	5.2.2	每批（同牌号、同生产厂、同厚度、同交货状态、同进场时间的不锈钢板组批，1批不大于5t）
	外形尺寸、外观质量	5.3.2 5.4.2	
铸钢件	机械性能、化学成分	5.2.1	每炉
	超声波探伤、外形尺寸、外观质量	5.2.1 5.3.5	每件

检验项目	检验内容	技术要求	检验频次
		5.4.5	
滑板	物理机械性能	5.2.3	每批（同一材质、同一生产厂、同一进场时间的滑板组批，1批不大于1000kg）
	初始静摩擦系数	5.2.3	
	荷载压缩变形	5.2.3	
	外形尺寸 外观质量	5.3.1 5.4.1	每件
润滑脂	物理性能	5.2.4	每批（同牌号、同等级、同生产厂、同交货状态、同进厂时间的润滑脂，1批不大于500kg）
销轴和轴套	化学成分、力学性能	5.2.1	每批（同牌号、同等级、同生产厂、同交货状态、同进厂时间的钢棒或钢管，1批不大于5t）
超高性能混凝土	力学性能 原材料性能	5.2.5	每批（同牌号、同生产厂、同交货状态、同进厂时间，1批不大于50m³）
构造钢筋	技术性能	5.2.5	每批（同强度等级、同直径、同生产厂、同交货状态、同进厂时间的钢筋组批，1批不大于1t）

7.3 成品检验

成品检验项目及检验频次见表9。

表9 成品检验

检验项目	检验内容	技术要求	检验频次
部件	外形尺寸	5.3.3 5.3.4 5.3.5	每台转体球铰
	外观质量	5.4.3	
球面滑板	与凹槽装配间隙 凸出凹槽的外露厚度尺寸	5.3.1	
表面防护	涂层厚度	5.5.1	

7.4 检验结果的判定

7.4.1 进厂检验不合格的原材料及外协件不应使用。

7.4.2 成品检验时，检验项目应全部合格，产品方可出厂。

8 标志、储存与运输

8.1 标志

每台出厂转体球铰应有明显标志，其内容应包括：产品名称、规格型号、竖向设计承载力、生产厂名、出厂编号和生产日期。

转体球铰出厂时，应附有产品合格证、安装使用说明书和装箱单。转体球铰分体运输时，各部件应标记编号。

8.2 储存及运输

在储存和运输过程中，支撑骨架应具备足够的刚度避免球铰部件变形。转体球铰的储存应避免雨雪浸淋、高温日照，并保持清洁，不应与酸、碱、油类、有机溶剂等影响转体球铰质量的物质接触，并距离热源 1m 以上。部件卸装时应轻起轻落，避免损伤。

9 安装精度

9.1 球铰安装精度要求

9.1.1 球铰支撑骨架及底座板安装精度：中心线纵、横向水平位置偏差不应大于 10mm，支撑骨架中心线水平交角不应大于 0.005rad，底座板顶面纵横向水平倾角不应大于 0.003rad。

9.1.2 下球铰安装精度：下球铰及底座板经精调后，水平高差不应大于 1mm。

9.1.3 球面滑板突出凹槽的外露厚度极限偏差及容许装配间隙应满足表 5 的要求。

9.1.4 上球铰安装精度：上下球铰中心线应重合，上球铰水平纵、横向水平倾角不应大于 0.003rad。

9.1.5 分块式大吨位平面球铰组装形成整体后，拼缝错台高差不应大于 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

9.2 滑道安装精度要求

9.2.1 滑道钢背板平面度要求：不应超过 1.0mm/3m。

9.2.2 滑道安装位置精度要求：

- a) 滑道竖向中心线应与球铰水平转动中心线重合，中心线纵横向相对偏差不应大于 10mm。
- b) 钢背板或钢混组合滑道滑道板上表面经精调后，其标高与设计标高的差值不应大于 $\pm 2\text{mm}$ ，径向对称测点的高差不应大于环形滑道直径的 1/5000。

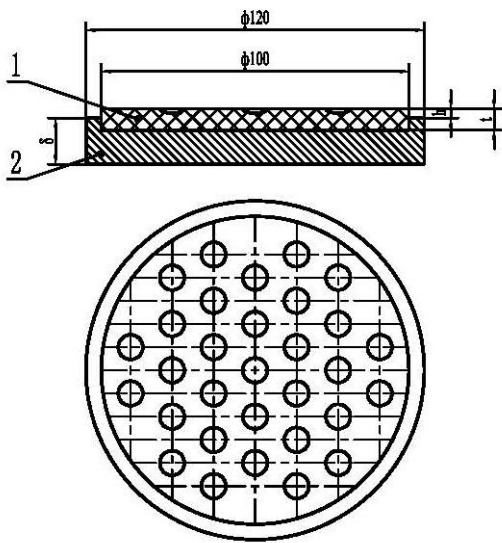
附录 A
(规范性)
滑板初始静摩擦系数试验方法

A.1 试样

滑板试样采用单独模压成型或从成品板材上切割的平面板材，试样的基准厚度 t 、储硅脂槽分布与球面滑板或滑道滑板的基准厚度 t 、储硅脂槽分布相同，试样满足5.2.3的要求。试样的形状、尺寸和嵌固工装件图A.1，未设置硅脂槽的滑板无硅脂槽的尺寸要求。球面滑板试样的配合面采用表面粗糙度最大参数值为MRR Ramax 6.3 的Q355钢板，钢板厚度不小于12mm；滑道滑板试样的配合面采用满足5.3.2要求的不锈钢板，不锈钢板焊接或嵌固于厚度不小于12mm的钢板上。球面滑板试样的表面应涂抹一层润滑脂，滑道滑板不涂抹润滑脂。润滑脂、钢板和不锈钢板的性能应分别符合5.2.4、5.2.1、5.2.2的规定。滑板试样的嵌固工装由满足5.2.1的钢板加工而成。球面滑板试样的外露厚度 h 与球面滑板的设计外露厚度一致；滑道滑板试样的外露厚度 h 不小于2mm。试验前试样应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中静置24h以上。

试样形状与尺寸见图A.1。

单位为毫米



标引序号说明：
1—试样；
2—工装。

图 A.1 滑板初始摩擦系数试验用试样及工装

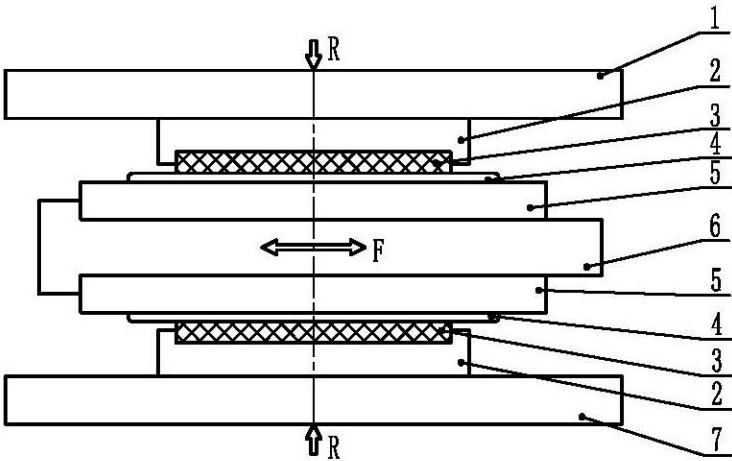
A.2 试验方法

滑板试样与配合面发生初次滑动时的摩擦系数为初始静摩擦系数。初始静摩擦系数试验应按以下要求和操作程序进行：

- a) 试验时试验件表面涂满润滑脂；
- b) 采用双剪试验方式，试验装置见图 A. 2，滑板初始静摩擦系数试验条件见表 A. 1；

表 A. 1 滑板摩擦系数试验条件

试验条件	单位	聚四氟乙烯（无硅脂）	改性超高分子量 聚乙烯	改性聚四氟乙烯	填充聚四氟乙烯复 合夹层板
试件正应力	MPa	30	60		
试验温度	℃	23±2			
测试温度下的持荷时间	H	1			
相对滑动距离	mm	±10			
相对滑动速度	mm/s	0.4			



- 标引序号说明：
- 1—试验机上承压板；
 - 2—嵌固工装；
 - 3—试样；
 - 4—不锈钢板；
 - 5—焊接不锈钢板用的基层钢板；
 - 6—水平力加载装置；
 - 7—试验机下承压板。

图 A. 2 滑板初始静摩擦试验装置

c) 试样数量为三组，每组 2 块，三组静摩擦系数平均值为滑板初始静摩擦系数的实测值。初始静摩擦系数由滑动时的最大水平力与竖向荷载的比值按公式（A. 1）计算得出。

$$\mu_{st}=\frac{F}{2R_p}$$

-----（A. 1）

式中：

- μ_{st} —初始静摩擦系数，精确到 0.001；
- F —试样滑动时的最大水平力，单位为 kN；
- R_p —表 A. 1 中试样压应力对应的竖向荷载 R，单位为 kN。

A.3 试验报告

试验报告应包含以下内容：

- a) 试验概况：试验设备、试验荷载、试验温度、加载速度等；
- b) 试验过程有无异常情况，如有异常，描述异常情况发生的过程。

附 录 B
(规范性)
滑板荷载压缩变形试验方法

B.1 试样

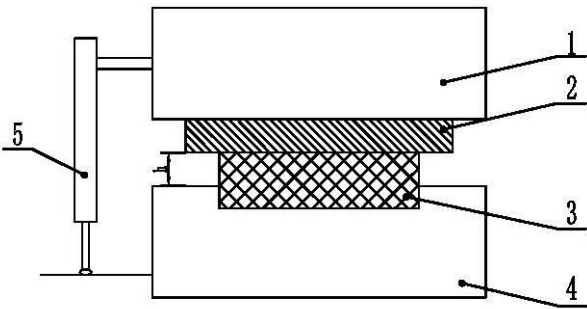
滑板试样采用单独模压成型或从成品板材上切割的平面板材，试样的基准厚度 t 、储硅脂槽分布与球面滑板或滑道滑板的基准厚度 t 、储硅脂槽分布相同，试样满足5.2.3的要求。试样(带储脂坑)直径为155mm，厚度为7mm，板外露高度3mm。试验需配备如图A.1的嵌固工装或在图B.1中的下加载板上设置嵌固定位凹槽，球面滑板试样的配合面采用表面粗糙度最大参数值为MRR Ramax 6.3 的Q355钢板，钢板厚度不小于12mm。对磨件采用不锈钢板，不锈钢板应符合5.2.2与5.4.2的要求。球面滑板试样的表面应涂抹一层润滑脂。润滑脂、钢板的性能应分别符合5.2.4、5.2.1的规定。滑板试样的嵌固工装由满足5.2.1的钢板加工而成。球面滑板试样的外露厚度 h 与球面滑板的设计外露厚度一致。试验前试样应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中静置24h以上。

B.2 试验方法

试验条件见表 B.1，试验装置见图 B.1。

表 B.1 滑板荷载压缩变形试验条件

试验条件	单位	改性超高分子量聚乙烯	改性聚四氟乙烯、填充聚四氟乙烯复合夹层板
试件压应力	MPa	180 ± 3	120 ± 1.5
试验温度	$^{\circ}\text{C}$	23 ± 2	
持荷时间	h	48	



标引序号说明：
1—上支撑块（可加热）；
2—不锈钢板；
3—试样；
4—下支撑块（可加热）；
5—四只位移传感器，精确度 0.001。

图 B.1 滑板压缩变形试验装置

B.3 试验过程

试验应按以下要求和操作程序进行：

- a) 试验开始前，在常温 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下，用千分尺测量试件外露高度 h ，以对称测量四点的平均值作为试件初始外露高度 h_0 ；
- b) 试验过程中应保持荷载和温度稳定，连续测量并记录滑板外露高度 h 的变化。试验要求外露高度 h 在 48h 之内趋于稳定；
- c) 在试验温度条件下，加压至试验压力，每隔 1h 用四只千分表测量滑板外露高度变化值，直至 48h。由 3h~48h 滑板外露高度 h 的变化值，按下式计算每小时滑板外露高度变化的平均值 Δh ，单位为毫米（mm）。

$$\Delta h = \frac{h_3 - h_{48}}{48 - 3} \quad \text{----- (B.1)}$$

式中：

h_3 -----第 3h 滑板外露高度，单位为毫米（mm）；

h_{48} -----第 48h 滑板外露高度，单位为毫米（mm）；

当每 1h 滑板外露高度变化的平均值 Δh 满足以下条件时，可判定滑板变形已稳定。

$$\Delta h \leq 0.0001h_0 \quad \text{----- (B.2)}$$

B.4 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- 时间— Δh 关系曲线；
- 时间—温度关系曲线；
- 外露高度 h 的变化值 Δh 的判定；
- 试验照片。

附录 C

(资料性)

球铰、滑道、撑脚及砂箱的安装方法

C.1 球铰本体安装

C.1.1 墩底转体球铰安装

- a) 球铰安装前应按照装箱单核对部件数量及编号。
- b) 在承台的预留槽中标识转体球铰中心位置，吊装球铰支撑骨架（底座板）至预留槽内，使转体球铰中心与标识位置重合，中心线纵、横向水平位置偏差、支撑骨架中心线水平交角、底座板顶面纵横向水平倾角应满足安装精度要求。
- c) 采用支撑骨架的球铰：支撑骨架位置达到精度要求后，临时锁死，分两次浇筑槽内混凝土。首次浇筑完成后，吊装下球铰至支撑骨架之上，调节调平螺栓调整下球铰，水平高差达到安装精度要求，销轴轴套保持垂直，然后将下球铰位置锁死。浇筑剩余混凝土，通过下球铰预留的振捣孔对混凝土进行振捣，使混凝土浇筑密实。
采用底座板的球铰：底座板位置达到精度要求后，采用临时结构进行锁定。浇筑槽内混凝土，并通过底座板预留的振捣孔对混凝土进行振捣，使混凝土浇筑密实。底座板水平高差达到安装精度要求，销轴轴套保持垂直。待混凝土固化达到一定强度后，清理底座板表面，清除杂物及水分，安装剪力键并吊装下球铰。
- d) 待混凝土固化达到一定强度后，清理下球铰表面，清除杂物及水分。按编号由内到外安装球面滑板，滑板突出凹槽的外露厚度极限偏差及容许装配间隙应满足表 5 的要求。
- e) 滑板安装完成后，将润滑脂均匀的涂抹在滑板表面及滑板之间的间隙中，安装过程中应保持球面及滑板表面清洁。在销轴套中均匀涂抹适量的润滑脂，再将销轴放入轴套中，保证销轴垂直且与轴套周边的间隙保持一致。
- f) 球面滑板安装完成后，吊装上球铰。将上球铰的轴套对准销轴落至下球铰之上。调整上球铰位置，使上下球铰中心线重合。上球铰水平纵、横向水平倾角应满足安装精度要求。
- g) 采取有效措施封闭上下球铰之间的缝隙，安装完毕，浇筑上转盘混凝土。

C.1.2 墩顶转体球铰安装

墩顶转体球铰安装步骤 a) ~e) 与墩底转体球铰相同。

- f) 球面滑板安装完成后，吊装上球铰。上球铰安装前，在上球铰与钢护筒内浇筑自密实补偿收缩混凝土，待混凝土密实并达到要求强度后，采用连接件将抽拔钢板、钢护筒及上球铰连接成组合体。将上球铰组合体吊起，组合体轴套对准销轴落至下球铰之上。上球铰水平纵、横向水平倾角应满足安装精度要求。
 - g) 采取有效措施封闭上下球铰之间的缝隙，安装完毕，浇筑上转盘混凝土。
- 墩顶转体到位后，墩顶转体球铰可进行拆除或脱空施工，解除球铰的锁定状态。

球铰脱空施工步骤：

- a) 采用同步控制系统控制墩顶千斤顶将梁体顶起 2 ~5mm。
- b) 从梁体内部取出球铰定位销轴，并抽掉球铰钢护筒间的抽拔钢板。采用连接件将上球铰和钢护筒进行重新连接，使上下球铰脱空。
- c) 安装球铰防尘装置。

C.2 滑道安装

- a) 滑道安装前按装箱清单对滑道核对部件数量及编号。
- b) 滑道宜在施工现场进行拼接并整体吊装至安装位置,当整体吊装有困难时可分体吊装至安装位置再拼装。
- c) 滑道钢背板进行拼装成圆环形轨道后,栓接的滑道钢背板应旋紧螺栓;焊接的滑道钢背板先点焊固定再进行满焊,焊缝顶面应略高于钢板表面,焊接完成后进行焊缝打磨至平整光滑。
- d) 滑道吊装于安装位置,滑道竖向中心线应与球铰水平转动中心线重合,中心线纵横向相对偏差满足安装精度要求,然后将滑道支架与安装接口处的锚筋焊接固定。
- e) 通过调节调平装置使滑道顶面标高与设计标高一致,钢背板或钢混组合滑道滑道板上表面标高与设计标高的差值及径向对称测点的高差满足安装精度要求。
- f) 滑道调平后,对滑道预留槽内进行混凝土浇筑,保证滑道下方混凝土浇筑密实。
- g) 清理滑道表面,采用不锈钢板的滑道在滑道钢背板上铺设不锈钢板,不锈钢板拼接成的圆环与滑道中心重合,焊接后的不锈钢板应与钢背板密贴,焊缝满足设计要求。钢混组合滑道的不锈钢板焊接于撑脚船型板底部,对于钢混组合滑道,清理滑道表面后即可铺设滑道滑板。

C.3 撑脚和砂箱安装

C.3.1 撑脚和砂箱组装成整体后运抵现场,撑脚和砂箱的安装应在转体球铰本体和滑道安装完毕后进行。

C.3.2 撑脚和砂箱按设计要求布置,撑脚与滑道之间按设计要求设置一定的间隙,在撑脚底面间隙处铺装设计厚度的滑道滑板,转体前移除砂箱。

附录 D
(资料性)
千斤顶及牵引索布置方法

D.1 千斤顶及牵引系统布置原则

牵引系统的千斤顶安设前需在下转盘基础预埋反力座后方搭设承托架，承托架的高度以保证千斤顶牵引钢绞线时其轴心处高度与上转盘预埋钢绞线高度一致为原则。千斤顶准确就位后，将预埋钢绞线按照预埋次序穿入自动连续千斤顶。安装时注意控制各定位钢筋的水平 and 竖向尺寸，确保牵引钢束的定位准确无误，主牵引系统的千斤顶安设位置必须经过全站仪严格放样、检测，力求使每座转体系统在纯力偶状态下工作。安装卡具并卡紧，然后用小型千斤顶在自动连续千斤顶尾端逐根张拉钢绞线预紧，使钢绞线处于绷紧状态。为了避免水平转体施工过程中各牵引索互相干扰，各牵引索必须有单独轨道，运行过程中，各牵引索各行其道。牵引索与转台的初始接触点应以转动球铰轴心成中心对称分布。

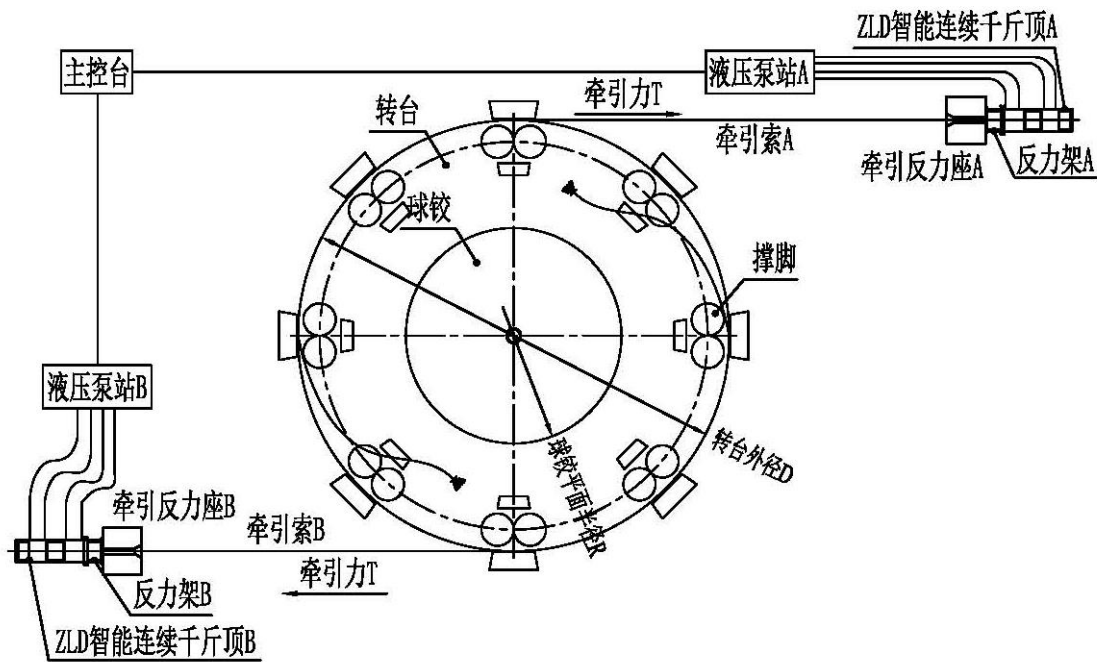


图 D.1 转体牵引体系示意图

附录 E (资料性) 转体称重

E.1 称重原理

通过在转盘两侧千斤顶顶升和落顶,利用百分表记录各级顶力下的顶升或下落位移,绘出顶力与位移的关系曲线,根据曲线确定出转动启动时的临界顶升力,根据桥梁转动体的力学静力平衡条件,转动体球铰摩阻力矩 M_Z 、转动体不平衡力矩 M_G 与千斤顶顶升或落顶力矩应平衡,为求得转动体球铰摩阻力矩 M_Z 、转动体不平衡力矩 M_G 两个未知数,当 $M_Z \geq M_G$ 时采用转盘两侧分别顶升,当 $M_Z < M_G$ 时采用转盘偏重侧分别顶升、落顶,从而得到两个平衡方程。

已知转动体的重量 G 和转动体不平衡力矩 M_G ,则偏心距为 $e = M_G / G$ 。

已知转动体的重量 G 、球铰球面半径 $R_{球}$ 和球铰摩阻力矩 M_Z ,则球铰摩擦系数为 $\mu = M_Z / (G \times R_{球})$ 。

施工支架拆除后,转动体的平衡体系将出现下列两种情况中的一种:

- a) 转动体球铰摩阻力矩 M_Z 小于转动体不平衡力矩 M_G 的情况。
- b) 转动体球铰摩阻力矩 M_Z 大于转动体不平衡力矩 M_G 的情况。

以横桥向转动体不平衡力矩和转动球铰摩阻力矩测试为例说明该工法的工艺原理。横桥向不平衡力矩测试百分表和千斤顶荷载传感器布置见图 E.1。

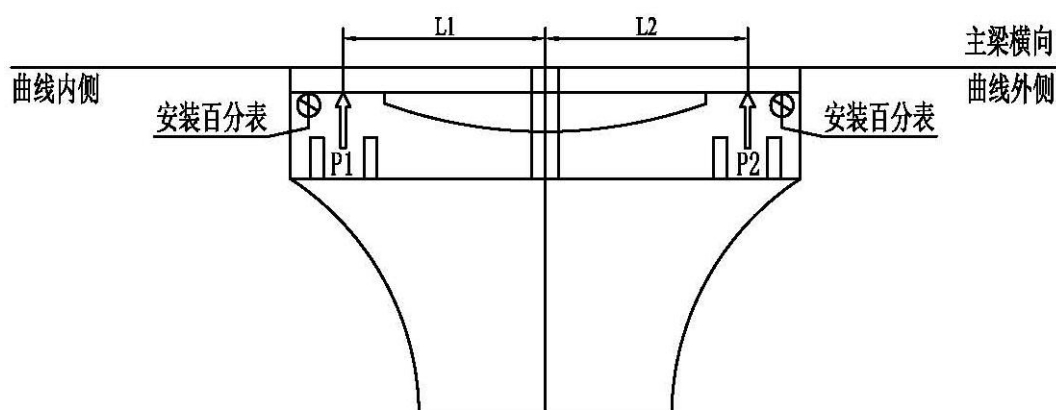


图 E.1 横桥向不平衡力矩测试千斤顶及位移测点布置图

E.1.1 工况1: 转动球铰摩阻力矩很小

当转动球铰摩阻力矩较小时,意味着落架后,转体部分在自身的不平衡力矩作用下即发生转动(见图 E.2)。此时进行顶升(逆时针转动)和落顶(顺时针转动)试验。其转体部分不平衡弯矩和转动球铰摩阻力矩用式 E.1 计算:

$$M_{G横} = \frac{(P_{2顶} + P_{2落}) \times L_2}{2} \quad \text{----- (E.1)}$$

$$M_{Z横} = \frac{(P_{2顶} - P_{2落}) \times L_2}{2}$$

式中:

$M_{G横}$ — 转动体横桥向不平衡力矩(单位: $t \cdot m$)

$M_{Z横}$ — 转动球铰横桥向摩阻力矩(单位: $t \cdot m$)

$P_{2\text{顶}}$ —使梁体横向逆时针转动时千斤顶顶力(单位: t)

$P_{2\text{落}}$ —使梁体横向顺时针转动时千斤顶顶力(单位: t)

L_2 —千斤顶顶落点距转动球铰几何中心的距离(单位: m)

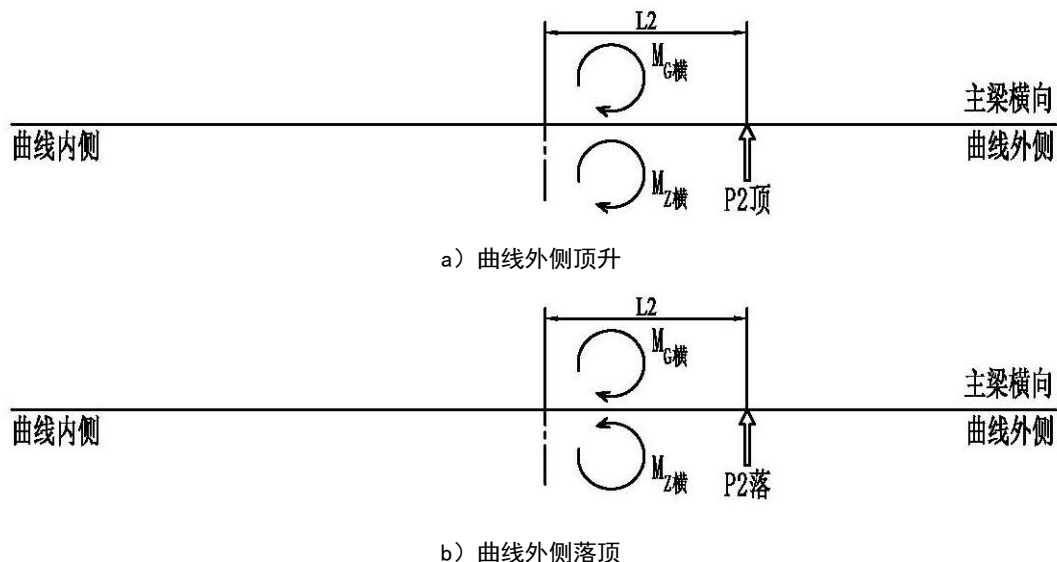


图 E. 2 转动球铰摩阻力矩较小时的顶升及落顶试验

E. 1. 2 工况2: 转动球铰摩阻力矩很大

当转动球铰摩阻力矩较大时, 意味着落架后, 转体部分在自身的不平衡力矩作用下未能发生转动, 此时需要靠曲线内侧和曲线外侧的千斤顶施加顶力方能使转体部分转动(见图 E. 3)。此时转体不平衡力矩和转动球铰摩阻力矩用式 E. 2 计算

$$M_{G\text{横}} = \frac{P_{2\text{顶}} \times L_2 - P_{1\text{顶}} \times L_1}{2} \quad \text{----- (E.2)}$$

$$M_{Z\text{横}} = \frac{P_{2\text{顶}} \times L_2 + P_{1\text{顶}} \times L_1}{2}$$

式中:

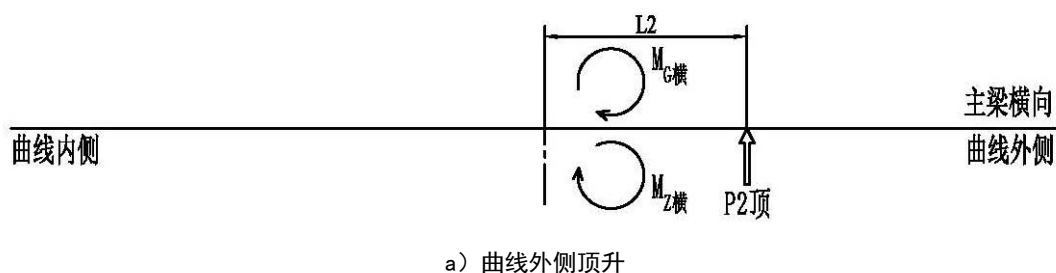
$M_{G\text{横}}$ —转动体横桥向不平衡力矩(单位: $t \cdot m$)

$M_{Z\text{横}}$ —转动球铰摩阻力矩(单位: $t \cdot m$)

$P_{1\text{顶}}$ —使梁体横向顺时针转动时的千斤顶顶力(单位: t)

$P_{2\text{顶}}$ —使梁体横向逆时针转动时的千斤顶顶力(单位: t)

L_1 、 L_2 —分别为千斤顶顶力点距转动球铰几何中心的距离(单位: m)



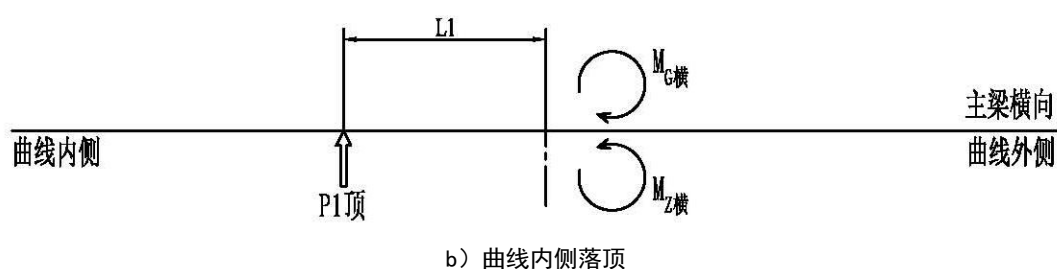


图 E.3 转动球铰摩阻力矩较大时的顶升试验

E.1.3 转动体球铰静摩擦系数计算

称重试验时，转动体球铰在沿梁轴线的竖平面内发生逆时针、顺时针方向微小转动，即微小角度的竖转。摩阻力矩为摩擦面每个微面积上的摩擦力对球铰中心竖转法线的力矩之和(图 E.4)。

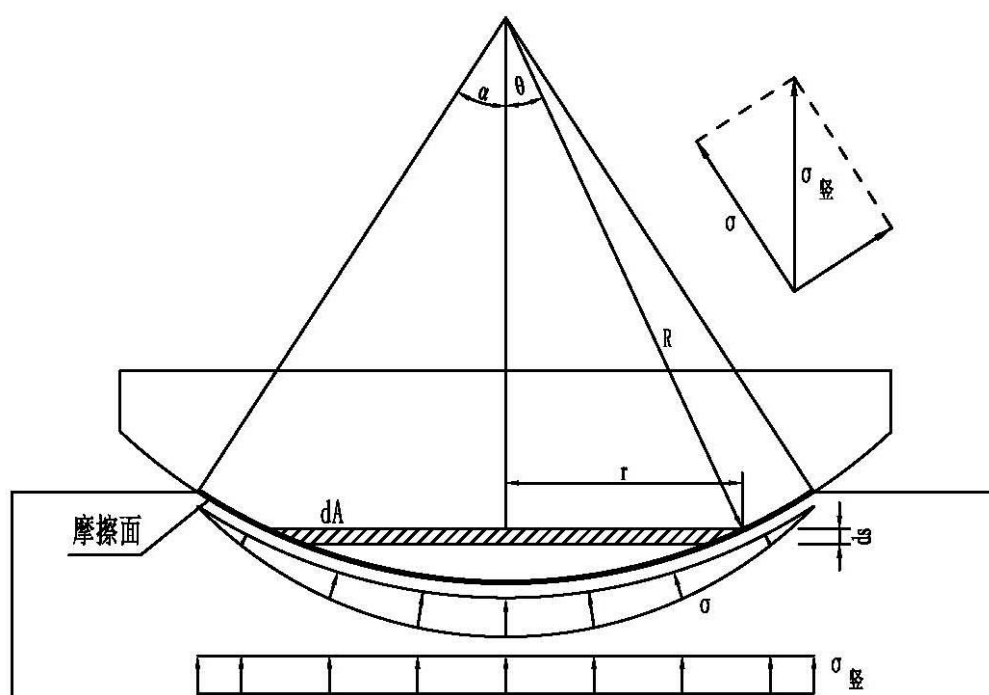


图 E.4 转动体球铰静摩擦系数计算示意图

$$dM_z = R \cos \theta dF$$

$$dF = \mu \sigma dA, \quad dA = 2\pi r ds, \quad r = R \sin \theta, \quad ds = R d\theta, \quad \sigma = \sigma_{\text{竖}} \cos \theta, \quad \sigma_{\text{竖}} = \frac{G}{\pi R^2 \sin^2 \alpha}$$

$$\text{则 } dM_z = 2\pi R^3 \mu \sigma_{\text{竖}} \sin \theta \cos^2 \theta d\theta$$

$$M_z = \int_0^\alpha dM_z = \frac{2(1 - \cos^3 \alpha)}{3 \sin^2 \alpha} \mu G$$

$$\mu = \frac{M_z}{\frac{2(1 - \cos^3 \alpha)}{3 \sin^2 \alpha} GR} \quad \text{----- (E.3)}$$

E.2 工艺流程

转体桥梁重心称重施工工艺流程如图 E.5 所示。

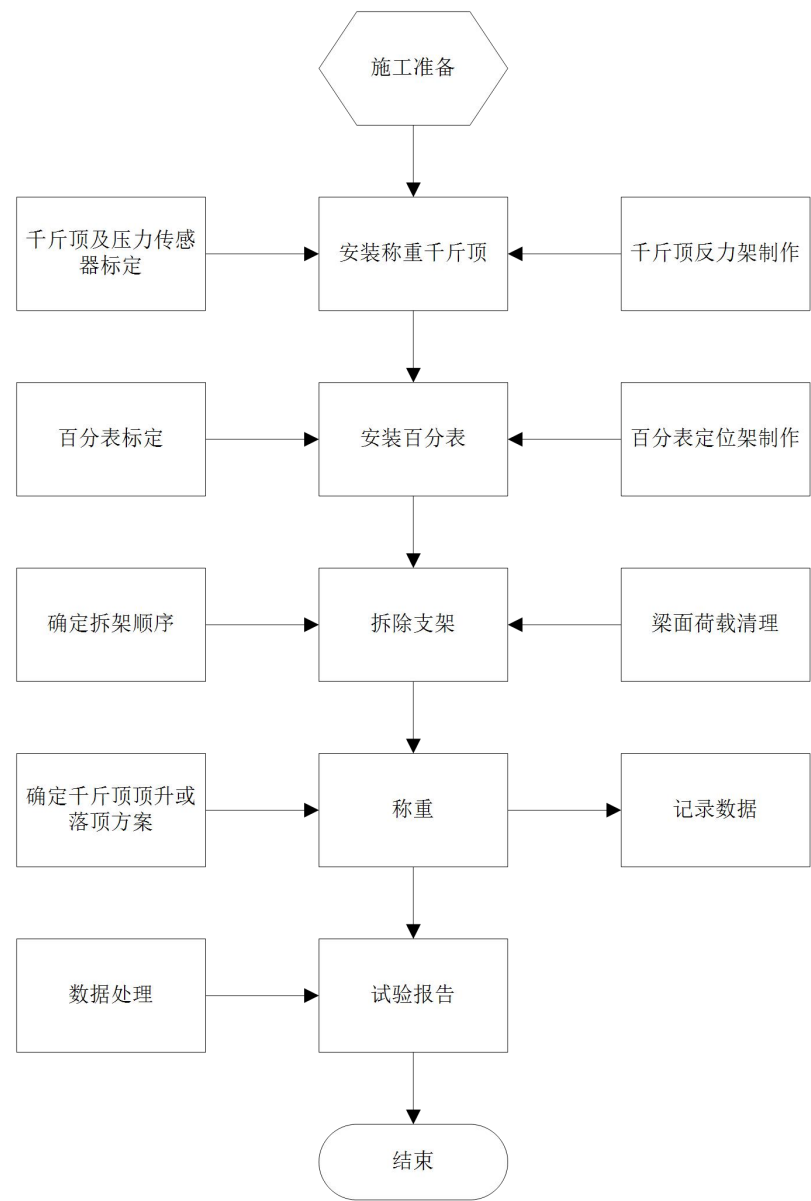


图 E.5 称重施工工艺流程

- a) 在平转环道的顺桥向、横桥向分别布置称重用千斤顶。
- b) 在每台千斤顶上设置荷重传感器, 测试试验过程中的反力值。
- c) 在球铰上转盘四周布置百分表, 用以判断转动体在称重试验过程中是否发生转动。
- d) 拆除转动体部分施工支架。
- e) 进行不平衡称重试验, 记录转动过程中荷重传感器示值和百分表读数。
- f) 根据测试结果计算不平衡力矩、偏心距、摩阻力矩及静摩擦系数。

E.3 牵引力计算

E.3.1 转体结构的牵引力计算

转体结构牵引时有两种受力状态, 仅球铰中心受力状态和不平衡弯矩下状态。应分别对两种状态进

行牵引力计算，取其大值作为千斤顶及牵引索的选取依据。

a) 状态 1：球铰中心受力状态

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{\mu R_{\text{平}} W}{D} \quad \text{----- (C.1)}$$

式中：

T -----单侧牵引千斤顶牵引力值，单位为 kN；

μ -----球铰的摩擦系数；

$R_{\text{平}}$ -----球铰的平面半径，单位为 m；

W -----转体最大重量，单位为 kN；

D -----转台直径，单位为 m。

b) 状态 2：不平衡弯矩下

转体过程中转体系统经常会承受不平衡弯矩影响，从而造成撑脚产生竖向力，导致牵引力值增大。通常情况下不平衡弯矩主要由转体重心偏心和施工风荷载两项产生。考虑不平衡弯矩下，牵引力计算公式如下：

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{\mu R_{\text{平}} W_{\text{球铰}}}{D} + \frac{\mu r W_{\text{撑脚}}}{D} \quad \text{----- (C.2)}$$

式中：

T -----单侧牵引千斤顶牵引力值，单位为 kN；

μ -----球铰的摩擦系数；

$R_{\text{平}}$ -----球铰的平面半径，单位为 m；

$W_{\text{球铰}}$ -----球铰的竖向反力值，单位为 kN；

r -----撑脚的转动半径，单位为 m；

$W_{\text{撑脚}}$ -----考虑不平衡弯矩下撑脚的竖向反力值，单位为 kN；

D -----转台直径，单位为 m；

E.1.2 转体球铰的实测转体牵引力应小于计算值，安全储备系数不宜小于1.5。