

# 钢管拱桥单铰万吨转体施工工法

(TGJGF-03·04-13)

中铁大桥局集团有限公司

## 一、前言

转体法施工钢管拱桥技术是现代化桥梁施工技术中的一个“亮点”。2001年贵州水柏铁路北盘江大桥主跨236m的钢管拱采用单铰万吨转体施工法,成功地跨越深达280m的北盘江峡谷。

北盘江大桥位于水柏铁路中段乌蒙山区的北盘江大峡谷上,山高路险,交通不便,地质地形复杂,施工环境极为恶劣。大桥钢管拱采用单铰万吨水平转体合拢的施工方法,大桥两岸半跨成型钢管拱体分别水平转动 $135^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 。半跨钢管拱肋拼装支架是在设计位置利用万能杆件和型钢支架组拼的钢胎支架。依据钢管拱肋的设计线形和运输条件对钢管拱肋在工厂制作的分段提出要求。

钢管拱采用单铰万吨转体施工是北盘江大桥关键控制技术,铁道部2000年科技攻关项目,该技术2003年1月由国家科委、铁道部科技司组织专家评审通过。该桥已获2003年度中国建筑工程鲁班奖和铁道部优秀设计奖,是国家科技进步奖申报项目。

## 二、工法特点

转体施工法与扣锚悬拼法相比有以下特点。

1. 桥跨设计线形容易控制,精度高。
2. 减少了因桥跨跨越深谷、河流时高空作业的危险性。
3. 拱肋分段较易满足特殊或艰险运输条件的要求。
4. 施工结构合理,安全可靠,施工设备少,各工序平行作业,合拢速度快。
5. 不占用或短时间占用桥下净空,对航道交通干扰少。

## 三、适用范围

本工法适用于险峻陡峭的峡谷间或繁忙的铁道干线或站区修建钢管拱,也可推广应用于转体施工T型刚构和斜拉桥等铁路或公路桥梁。

## 四、工艺原理

### 1. 转体结构组成

转体结构组成:半跨钢管拱;交界墩索塔、扣索和背索系统;转体上盘及平衡重;转台和支脚;钢球铰和下盘基础;牵引拽拉系统等,见图1。

### 2. 转体施工原理

转体施工是将钢管拱肋分成两个半跨,分别在两岸拼装支架上拼装焊接成半跨拱体。使用张拉千斤顶,按设计张拉程序通过分级、交替、对称张拉上盘纵向预应力钢绞线束、背索、扣索。在交界墩后侧的上盘顶面布置平衡重(片石混凝土和中-60浮箱),直至转体重心偏离球铰中心一个微量距离 $e$ ,使半跨成型钢管拱脱架。拆除上转盘盘尾硬支撑时转动体系自身重量基本平衡,并以钢球铰和其后两个保险钢支腿支承于下盘基础滑道上。

两岸分别设置2套水平、同步、连续、液压牵引张拉千斤顶,通过牵引缠绕并预埋于转台圆周上的钢绞线束形成转动体系的水平转动纯力偶,同步匀速连续地将两岸半跨钢管拱按规定方向,分别水平转动相应的角度至设计位置。

两半跨拱肋转体到位后,测量拱肋线形及位置偏差,若有偏差则在上转盘后端及其两侧布置相应的大

吨位千斤顶进行横向倾斜、轴线横向偏位和竖向偏差微调。拱轴线形调整满足设计要求后将上盘竖向、横向、纵向锁定固结,实施跨中合龙。

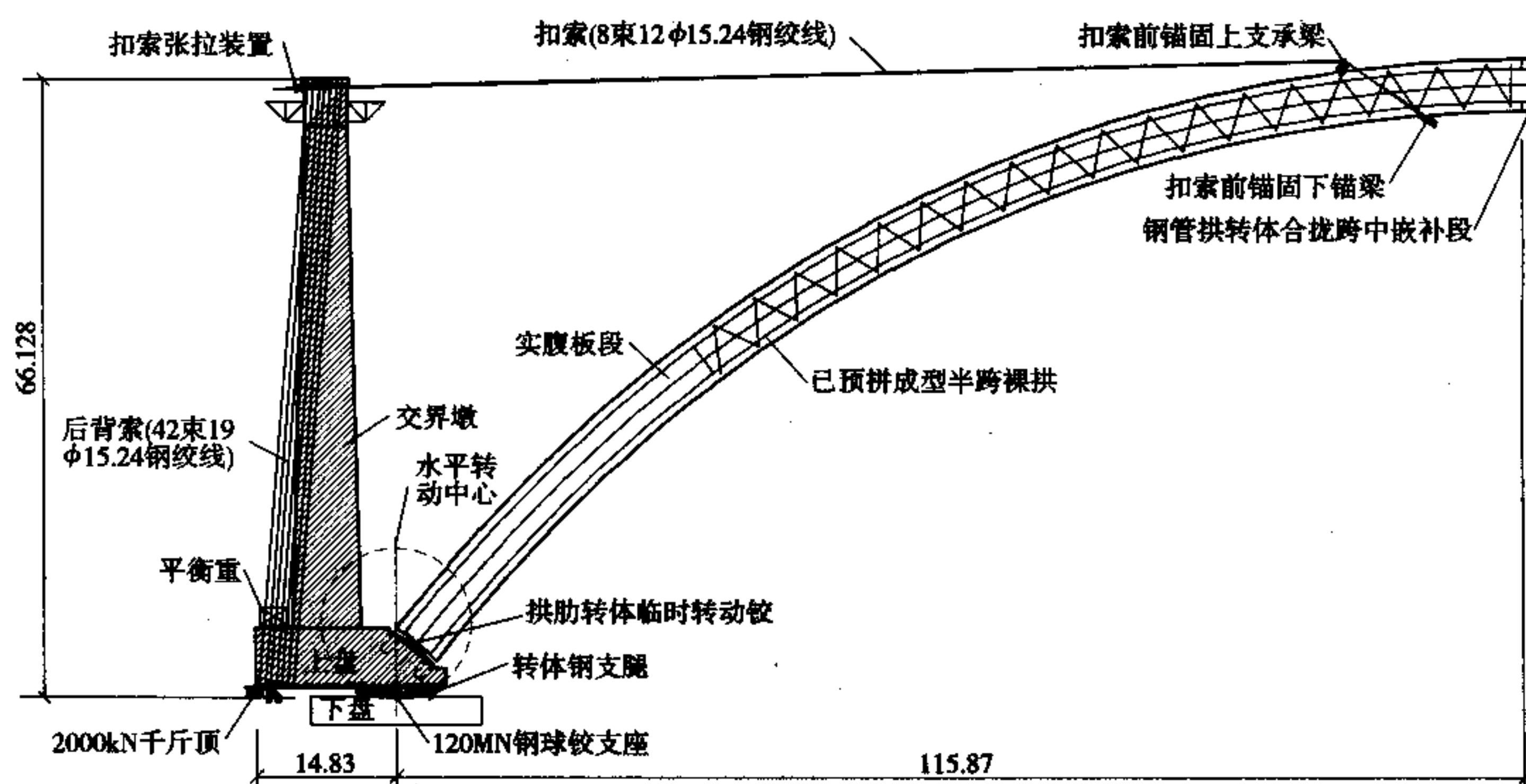


图1 钢管拱桥转体结构(单位:m)

安装拱肋合拢段临时锁定结构,于适宜的温度时,将拱肋临时锁定;安装合拢段拱肋单元件,按设计要求进行跨中主管焊接和拱脚主管嵌补段焊接。灌注封填拱脚和上下盘之间混凝土,依次交替拆除扣索、背索,拆除上盘多余部分纵向预应力束以及交界墩墩帽横向预应力束。回填拱座片石混凝土,完成拱体转体合拢的全部工作。

### 3. 转体结构的稳定计算

按转体重心偏后钢球铰中心  $e=0.1\sim0.2\text{m}$  进行计算,稳定系数  $K\geq 1.5$ ,计算假定条件如下:风力  $F_w=800\text{Pa}$ ,钢筋混凝土容重  $25\text{kN/m}^3$ ,素混凝土容重  $23\text{kN/m}^3$ ;钢管拱焊缝重量按  $1.5\%$  计。

倾覆力矩  $M_q = \sum Q_i L_i$

稳定力矩  $M_p = \sum P_i L_i$

稳定系数  $K_p = M_p / M_q \geq 1.5$

### 4. 牵引力计算(计算图式见图2)

钢球铰摩阻力的牵引计算

$$T_1 = RN\mu/3D$$

式中  $T_1$ ——牵引力;

$N$ ——转体重量;

$R$ ——球平面半径;

$D$ ——转台直径;

$\mu$ ——摩阻系数,  $\mu_{静}=0.1$ ,  $\mu_{动}=0.06$ 。

支腿反力  $N_1 = Ne/R$

支腿与滑道引起的牵引力  $T_2 = N_1 \mu_{静} R/D$

牵引力合计  $T = 2T_1 + T_2$

每台千斤顶牵引力  $T_i = T/2$

动力系数  $\eta = T_i / F_i \leq 0.8$  ( $F_i$  为千斤顶额定牵引力)

## 五、施工工艺

### 1. 工艺流程(见图3)

### 2. 操作要点

钢球铰支座(结构见图4)是施工的关键部位,它承担着转体的全部重量,其承载能力为转体重量的

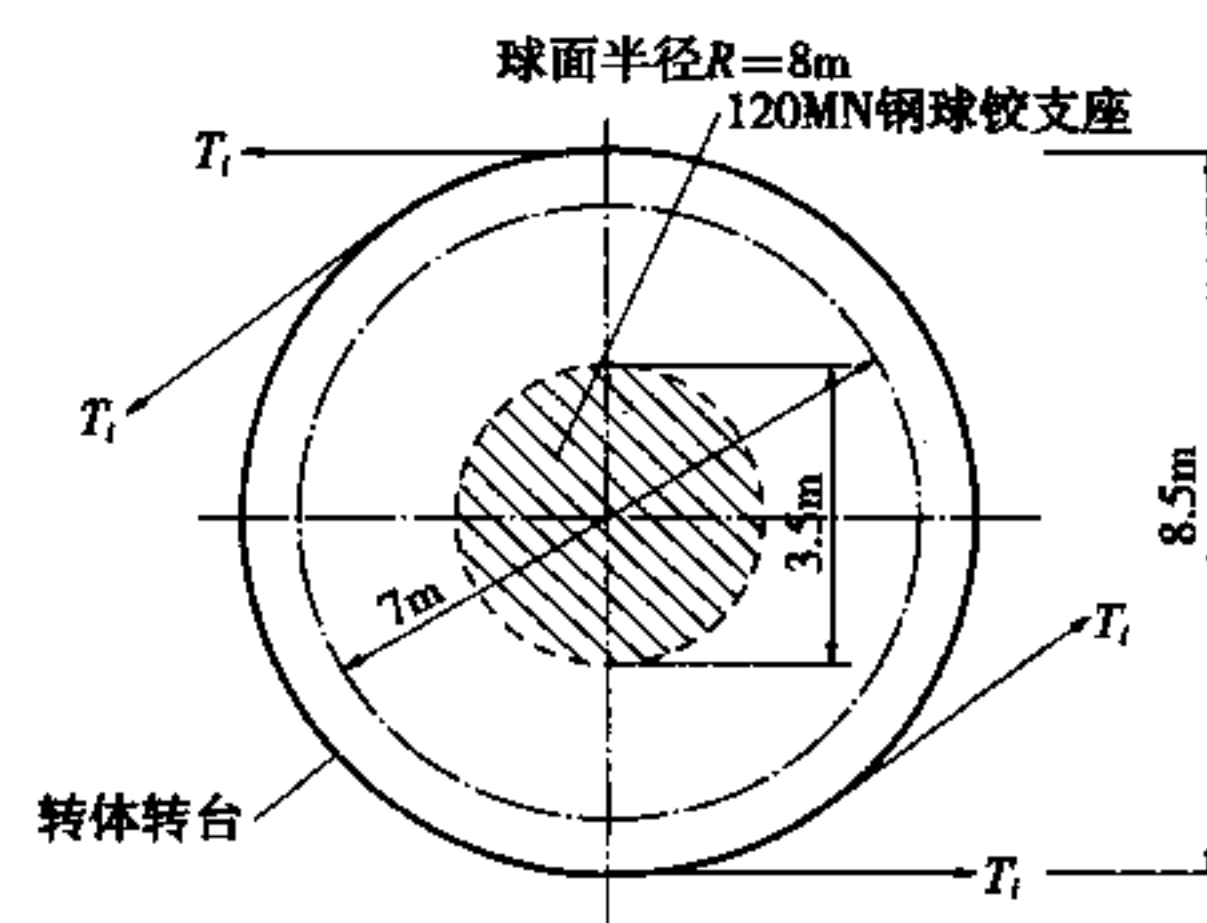


图2 水平转动拉力计算图式



1.2 倍,它的位置和精度直接影响全桥合拢精度和转体的实施,必须精心测量放线、精心制造和安装。

防倾保险体系是转体施工方法的安全保证措施,在转体过程中,转体结构受外界条件或施工精度的影响容易出现倾斜,必须设置保险钢支腿承担不平衡荷载。6 个保险钢支腿均匀布置于转台底的圆周上,每个钢支腿由 2 根填充微膨胀混凝土的焊接钢管组成。钢支腿与滑道之间预留 8~12mm 间隙,转体时以不锈钢板和四氟板将空隙塞实。下盘混凝土面的环行滑道面应打磨平整、光滑,滑道面不得有渣粒、障碍物和空洞,不平整度不大于 3mm,表面清理干净并涂黄油,确保转体的安全和平稳。

为确保转体结构的稳定,通过转体上盘尾部预压平衡重调节重心,使重心向后偏移(一般控制在 15cm 左右)。转体结构由钢球铰和其后的两个钢支腿形成三点支承。

以 2 套反对称布置的同步牵引千斤顶提供水平转动的纯力偶,同步匀速连续地将两岸半跨钢管拱水平转动相应角度至设计位置微调合拢。

针对转体容易出现的偏差,拱肋转体到位后,通过转体限位和微调,包括上下转盘之间的限位预埋件,以及各向大吨位微调千斤顶,对拱肋的横向扭转、水平偏移,竖向位移的偏差进行微调,调整合格后将拱肋限位锁定。

## 六、机具设备及主要材料(见表 1、表 2)

## 七、劳动组织(见表 3)

## 八、质量控制

### 1. 执行标准

《新建铁路工程测量规范》(TB10101—99),《铁路桥涵施工规范》(TB10203—98),《铁路桥涵工程质量检验评定标准》(TB10415—98),《铁路钢桥制造规则》(TB10212—98),《铁路桥梁盆式橡胶支座》(TB/T2331—92)。

《钢管混凝土结构设计及施工规程》(CECS28:90),《低松弛预应力钢绞线》(ASTMA416—90A),《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》(JGJ85—92),《预应力用液压千斤顶》(JG/T5028—93),《预应力用电动油泵》(JG/T5029—93)。

《桥梁用结构钢》(GB/T714—2000),《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》(GB/T2795—98),《低合金钢焊条》(GB/T5118—95),《钢焊缝和超声波探伤方法和探伤结果分级》(GB11345—89),

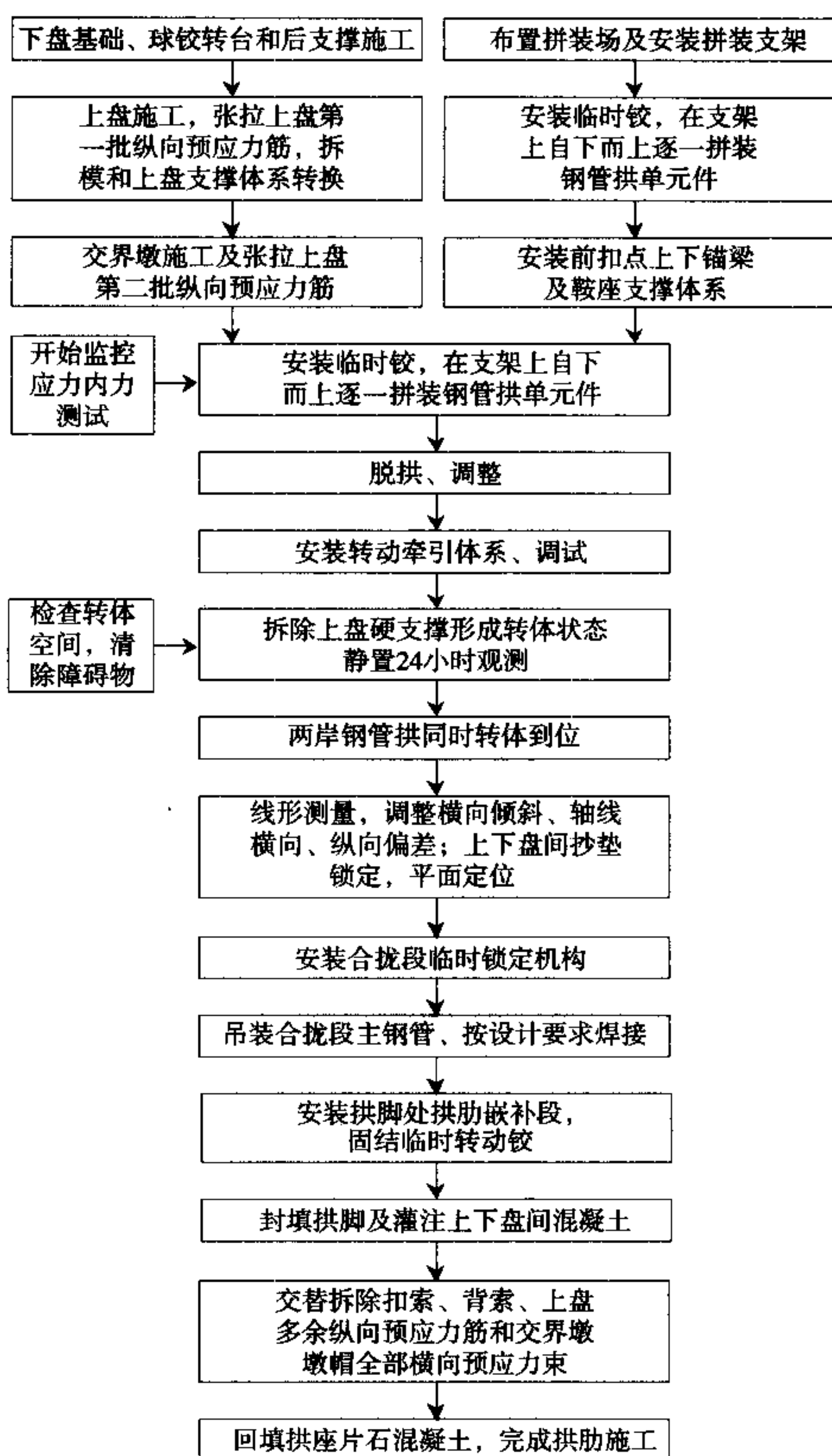


图3 工艺流程

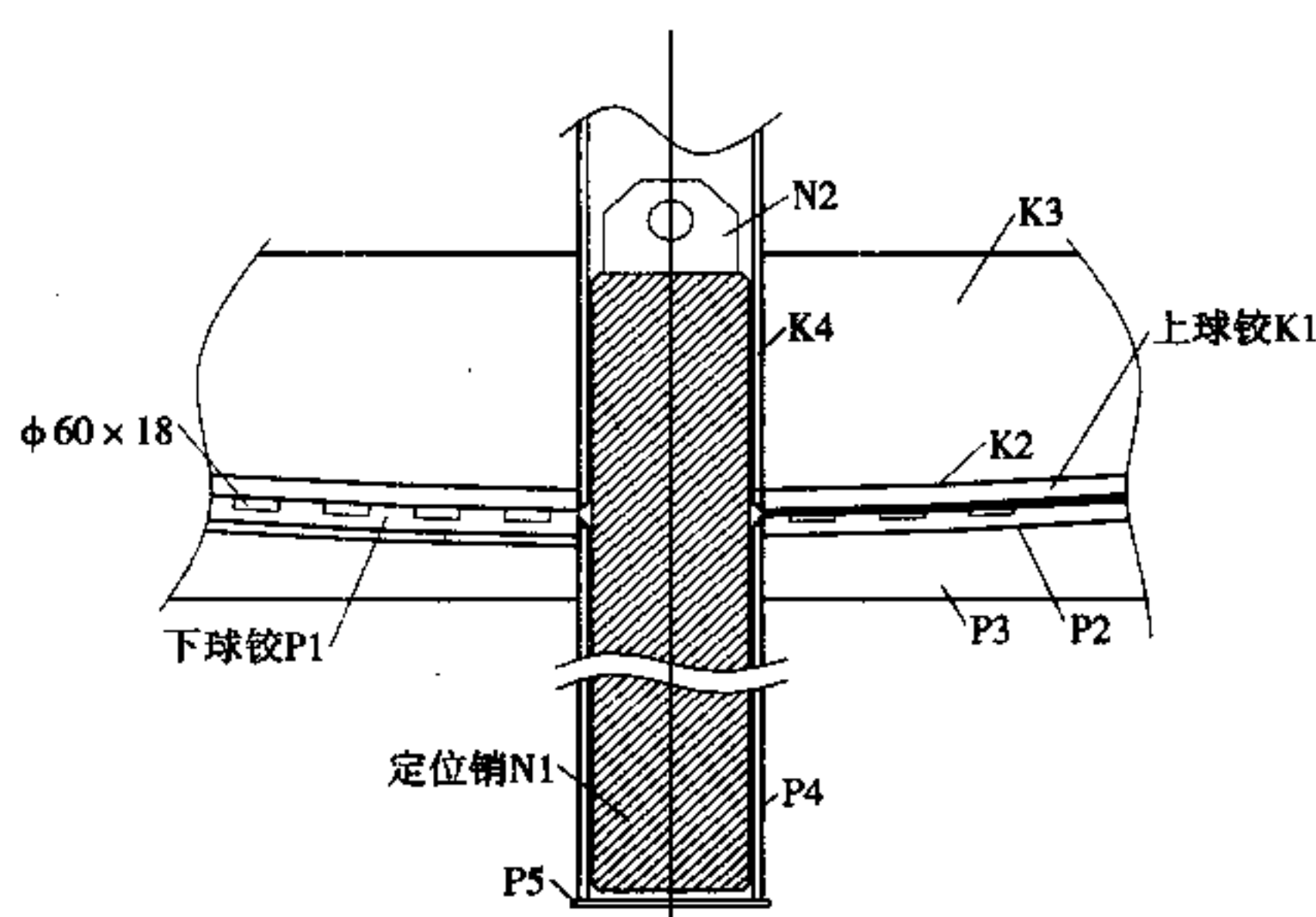


图4 120MN 钢球铰支座结构

表1 转体所需主要机具设备

序号	名称及型号	单位	数量
1	变压器	台	2
2	配电柜	个	8
3	连续牵引千斤顶 DSL-200	台	8
4	连续牵引油泵	台	8
5	连续牵引主控台	台	2
6	张拉千斤顶 YCW-4000	台	16
7	5000kN 起顶千斤顶	台	12
8	电动油泵 BS-500	台	16
9	200kN 吊机	台	2
10	全站仪	台	2
11	经纬仪	台	2
12	水准仪	台	2

表2 主要材料

序号	名称	规格	数量
1	上转盘纵向预应力索	52—19 $\phi$ 15.24 钢绞线	19.8t
2	背索	42—19 $\phi$ 15.24 钢绞线	55.8t
3	扣索	8—12 $\phi$ 15.24 钢绞线	10.6t
4	拽拉索	4—12 $\phi$ 15.24 钢绞线	0.96t
5	钢球铰	$\phi$ 3.5m, $R=8$ m	2个
6	钢支腿	2 $\phi$ 1000mm 钢管	6个
7	四氟板不锈钢滑道		24m <sup>2</sup>

表3 劳动组织

序号	人员	人数	序号	人员	人数
1	电焊工	16	7	装吊工	36
2	铆工	20	8	电工	8
3	钳工	6	9	木工	8
4	混凝土工	16	10	司机	4
5	测量人员	6	11	检测人员	6
6	技术人员	8		总计	134

《钢熔化焊 T 型接头角焊缝超声波检验方法和质量分级》(DL/T542—94),《钢熔化焊对接接头照像和质量分级》(GB3323—87),《钢管环缝熔化焊对接接头射线透照工艺和质量分级》(GB3323—87),《钢熔化焊角焊缝射线照像方法和质量分级》(DL/T541—94)。

## 2. 钢管拱安装焊接检验

节点高程偏差  $\pm L/4000$ , 轴线横向偏位  $\pm L/5000$ 。

超声波检验(UT)100%, 射线检验(RT)20%。

## 3. 钢球铰安装精度

两岸球铰中心间距  $\leq \pm 2$ mm, 球铰顶口任两点高差  $\leq 1$ mm, 顺桥向顶口高差  $\leq \pm 1$ mm, 横桥向顶口高差  $\leq \pm 1.5$ mm。

## 九、安全措施

1. 转体前必须进行转体空间测量, 转体范围内若发现障碍物务必清除。

2. 转体前应与气象等部门联系, 选择风力不大、晴好天气进行。大风、暴雨等恶劣天气, 严禁施工。

3. 转体前与供电部门联系, 确保电力供给正常。转体、合龙时所用各种电器, 必须装有漏电保护装置, 电器操作人员严格按有关安全操作规定作业。

4. 进行转体转动作业时, 成立转体指挥专家组, 统一指挥, 统一号令, 明确分工, 统一行动。各部位操作人员在未得到指令或指令不明的情况下, 严禁操作。

5. 转体过程中应对扣索、背索、交界墩、上转盘的应力及交界墩墩顶位移进行跟踪监测,将有关数据及时反馈给监控专家组,以指导转体安全顺利进行。

6. 转体作业前及转体过程中,保险腿及滑道必须有专人负责检查,保证保险腿与滑道面之间接触良好。

7. 在有限位装置的部位,有专人做好限位准备,转动过程中若出现倾斜,随时准备打顶保险或调整,转体到位后应及时抄垫塞紧,防止超转。

8. 所有高空作业范围务必挂设安全网,高空作业人员必须挂好安全带,双层立体空间作业处,严禁上层作业人员向下层作业面抛投物品,以防伤人。

9. 转动过程中应有高素质职工和公安人员做好转体安全检查和保卫工作。

10. 所有参加转体作业人员必须挂牌上岗。转体动力系统应由专业人员上岗操作,其它人员一律不得乱动。

#### 十、技术经济分析

采用转体法施工钢管拱桥,具有工艺简便、施工设备少、节约施工用料、安全可靠、合龙速度快等特点。解决了大山峡谷间钢管拱桥架设的困难,带来了巨大的经济效益和社会效益。

#### 十一、工程实例

(1) 三峡黄柏河公路桥、牢溪公路桥,位于湖北省宜昌市三峡坝区,1996 年建成,160m 上承钢管拱,设计荷载:汽-36,挂-200。单铰转体 30MN。

(2) 贵州水柏铁路北盘江大桥,位于贵州省六盘水市水城县新街乡,1999 年 3 月开工,2001 年 11 月竣工。该桥主跨为 236m 上承式钢管混凝土单线铁路拱桥。桥址处山高路险,交通不便,地形险恶,峡谷陡峭,轨底至谷底 280m,是国内最高的铁路桥,为铁路建桥史上首次采用转体法施工的铁路桥。

该桥钢管拱桁架采用工厂单元制造,火车和汽车运输到工地,在工地钢支架上拼装焊接成半拱,经过检测焊缝,线形测量,满足设计要求后,实施转体合拢作业。转体结构高 68.128m,前臂长 115.87m,平衡端长 14.83m,上转盘宽 26m,合拢段长 2.6m。南北两岸转体合拢,单铰转动总重量达 1.04 万 t,采用 120MN 钢球铰支承,为世界上当时最大的单铰转体。北岸 3 号转体逆时针水平转动 135°,历时 3h;南岸 4 号转体逆时针水平转动 180°,历时 4h20min。

执笔:陶建山 陈国祥 张春新 周永峰 苏 辉