

刚架拱桥自上而下竖向转体施工工法

(TGJGF-03·04-18)

中铁五局集团有限公司

一、前言

重庆渝邻高速公路 E 合同段古路中学分离式立交桥为主跨 40m 预应力八字型刚架拱桥,是重庆市科委重点攻关计划研究项目“山区深谷大跨径拱桥结构体系及施工技术研究”的依托工程,是针对跨越山区深谷(河流)条件下兴建大跨径预应力八字型刚架拱桥的科研桥。采用自上而下竖向转体法施工,竖转合拢。实践证明用该施工法具有占地少,质量易于控制,速度快,安全可靠,投资少的特点,较好地解决了山区深谷条件下修建拱桥的难题。取得了很好的经济效益和社会效益,经总结形成本工法。

二、工法特点

1. 旋转体按立柱搭架现浇施工,占地面积少,不占用行车通道、不占用通航河道,施工干扰小,不影响通车和通航,施工质量易于控制,解决了地面条件受限制的难题。
2. 竖向转体合拢精度容易控制,施工速度快,机具设备投入少,成本低。

三、适用范围

本工法适用于跨越深山峡谷、跨越既有公路铁路、跨越有通航要求的河道等无法利用地面条件的刚架拱桥施工。

四、工艺原理

基本原理见图 1。浇注桥台时预埋好转动铰,临时固定铰上半部分后,在铰上按立柱施工桥拱,桥拱完成后,利用索塔、地锚,通过滑轮组,用卷扬机或液压千斤顶牵引,使桥拱同步旋转合拢就位。

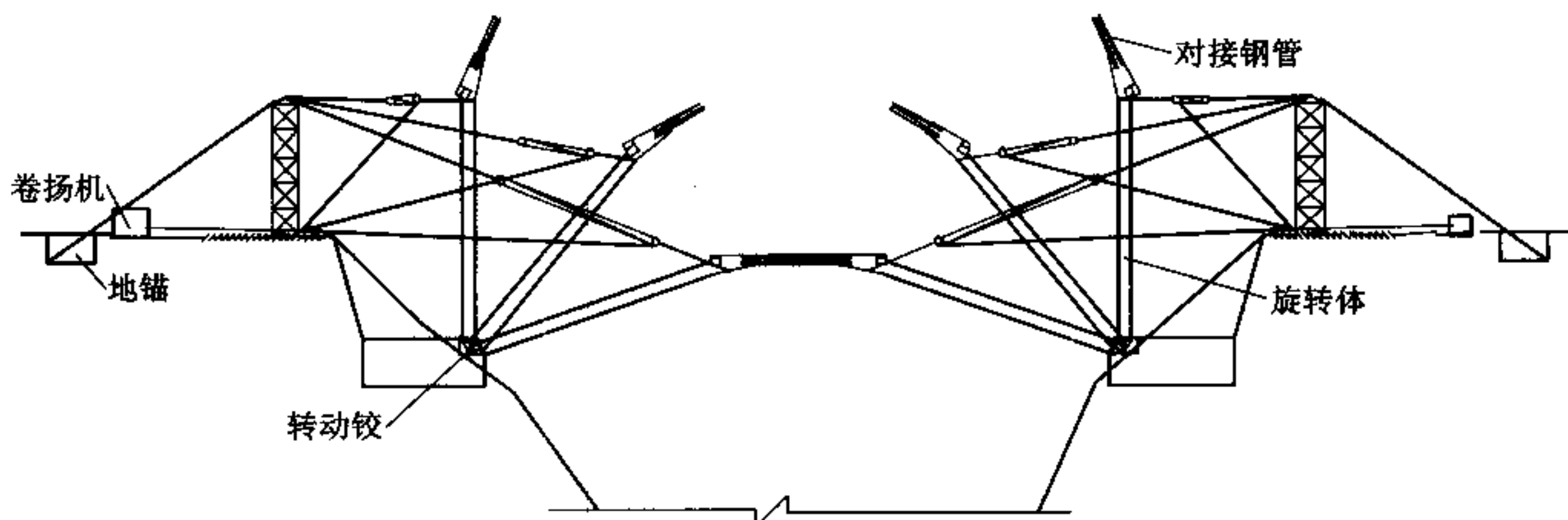


图 1 竖向转体施工原理

五、施工方法

(一)工艺流程(见图 2)

(二)工艺要点

1. 转动铰制作和预埋、临时封铰

转动铰直接承受拱肋自重和施工荷载,要求转动灵活,接触面满足局部承压要求。转动铰主要有钢板插销铰和钢管混凝土铰二种,如图 3 所示。前者用于跨度小、结构轻的旋转体,后者用于跨度较大、结构重量大的旋转体。

转动铰在工厂加工,要满足设计要求精度。

转动铰的定位分初步定位和精确定位。

初步定位主要是用经纬仪和水准仪定位预埋螺栓。为使铰座与混凝土表面均匀受力,混凝土表面要平整。

精确定位是用全站仪和水准仪定位转动轴。定位时铰座螺栓孔要有一定的空隙,便于定位调节。为保证旋转轴在一条直线上,用一根等直径的钢管穿在左右拱肋插销孔内,安装转动轴时同一拱肋钢套管两端纵向偏位不得超过 $\pm 1\text{mm}$ 。

施工拱肋时为保证施工安全和结构物的稳定,要对转动铰临时封堵。钢铰的空隙用高标号砂浆砌砖填充,拱肋钢筋延伸至台身。

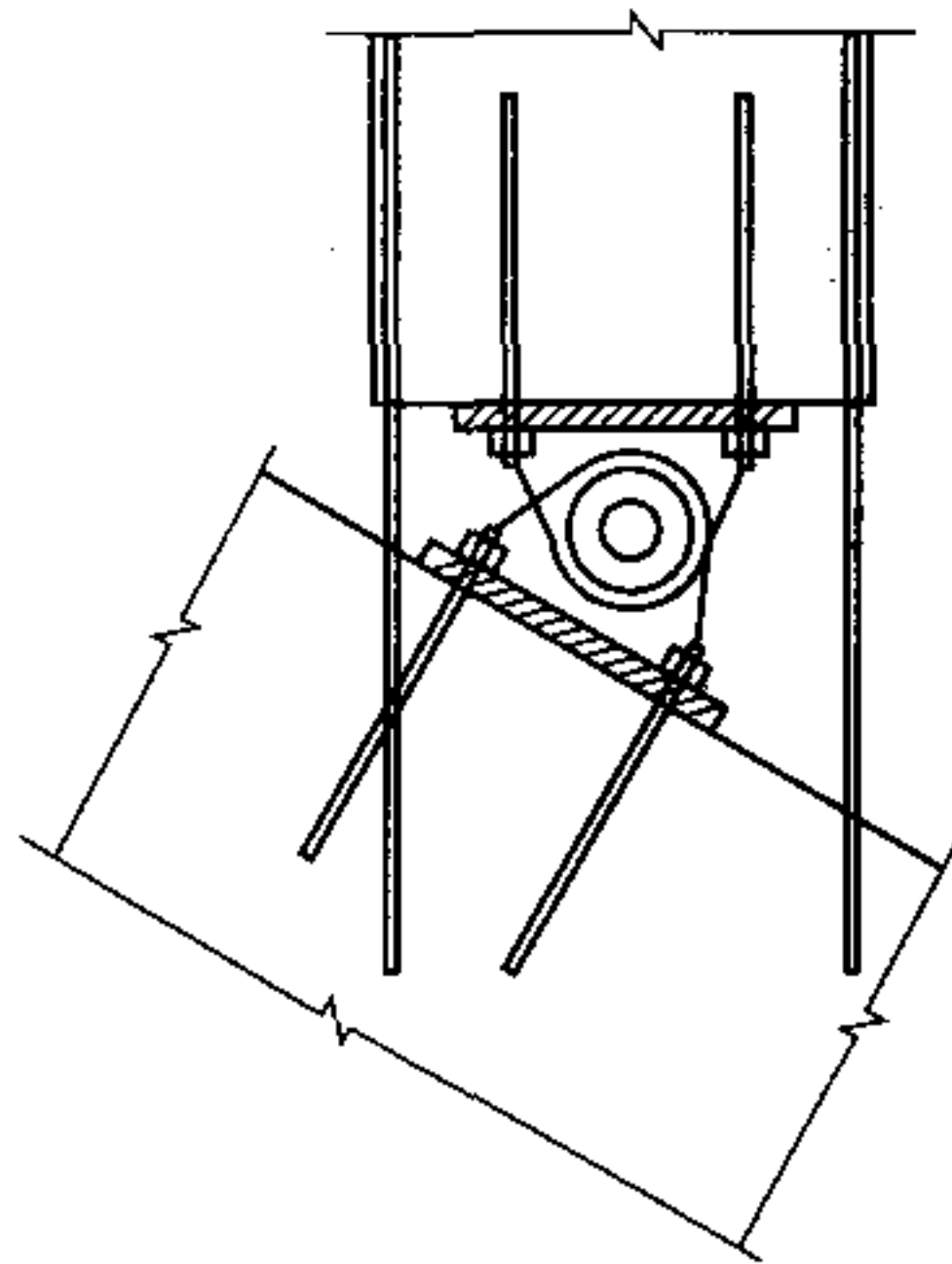
2. 拱肋浇注

拱肋按立柱搭架现浇施工,其施工工艺及施工要求相似于高桥墩施工。

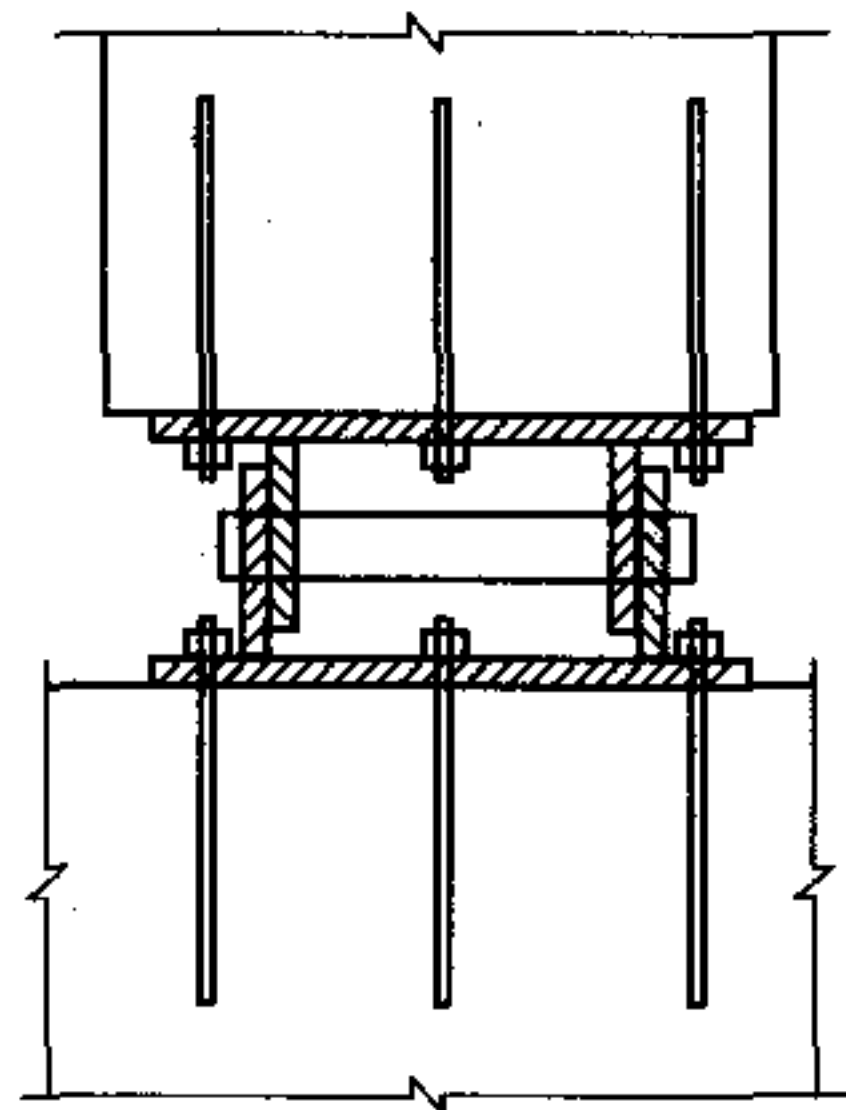
从受力角度看,抛物线型拱优于折线型拱,为理论无弯矩拱,但从施工角度看,后者施工方便,工艺简单。对于80m以下跨度折线型拱,由荷载产生的弯矩可以通过施加预应力来抵消。在拱肋下腹部施加预应力,将拱肋取直,便于施工。

施工时注意如下几个方面:在拱肋底部要预先安设锚具和锚索,用波纹管预留孔道。中部水平段也要施加预应力,也要预留锚索孔。注意预埋立柱连接钢筋。

3. 水平段钢管安装



a. 插销式钢铰



b. 钢管混凝土铰

图3 转动铰

拱肋合拢段(水平段)采用钢管对接,以减小拱肋重量,减小拱肋按立柱施工过程中的偏心弯矩,便于旋转施工,便于焊接对接,便于合拢后对合拢段施加预应力,实现体系转换。

绑扎最顶段拱肋钢筋时,把钢管安装定位在钢筋上,安装前把二根钢管相对位置用钢板固定好,一起安装,定位要牢固准确。灌注拱肋混凝土时,钢管埋入部分一并灌注,待拱肋混凝土完全凝固后再灌注钢管的未埋入部分,为防止钢管内出现收缩裂隙,混凝土内加入水泥用量3%~4%的膨胀剂。

4. 索塔安装

索塔的主要作用是改变旋转牵引力的牵引方向。确定索塔的高度要综合考虑尽量减小牵引力和索塔

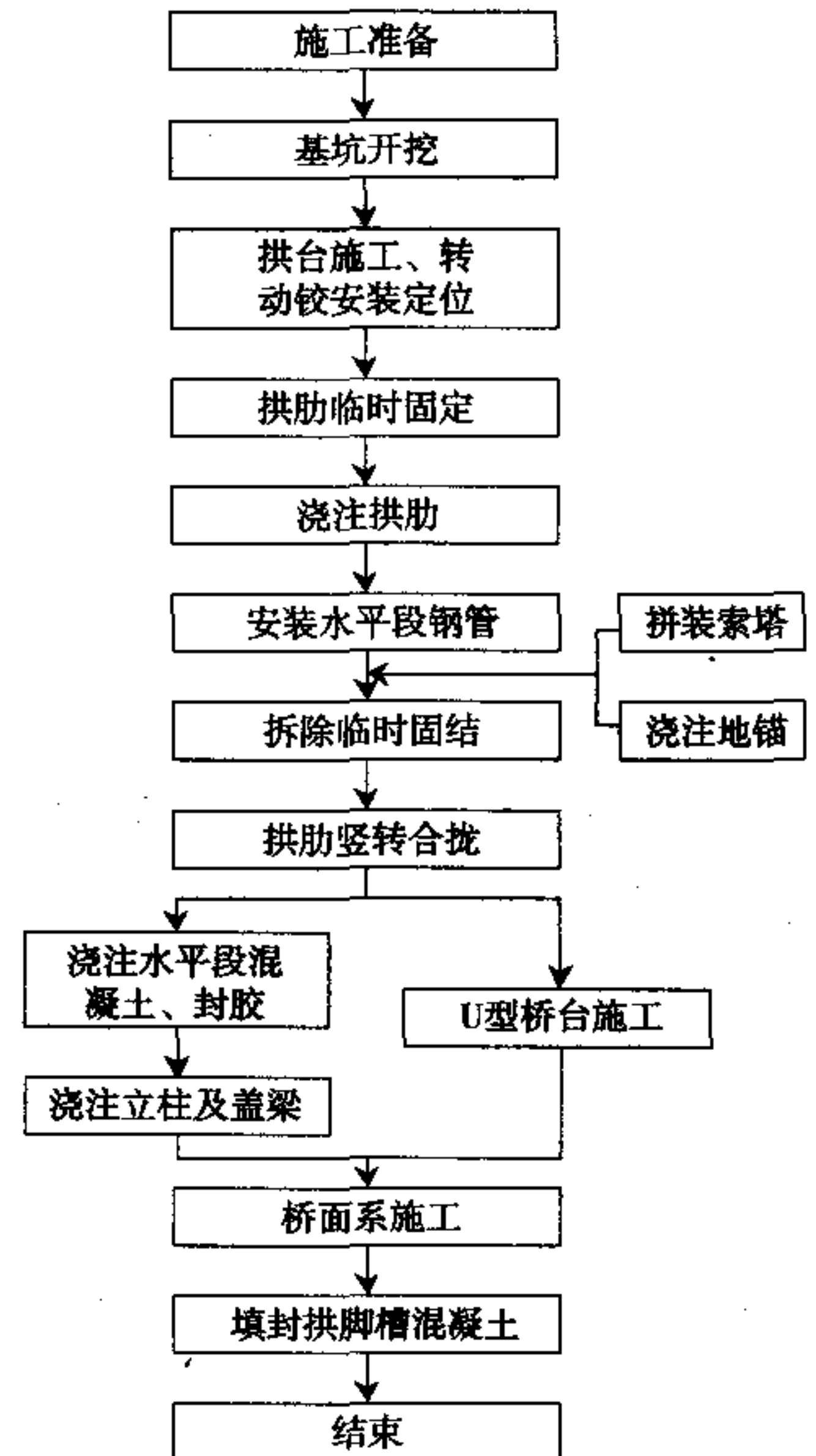


图2 拱桥竖向转体施工工艺流程

的成本,要寻找一个最为经济合理的高度。也可以利用山区地形条件直接与地锚相接。

索塔可以采用龙门架式、独脚扒杆式或标准万能杆件式等各种形式,根据不同的荷载和高度选择。

塔架顶上设置索鞍,放置主索、扣索,减少钢丝绳与塔架之间的摩擦力,使塔架承受较小的水平力。

5. 地锚安设

地锚或地垄主要用于锚固主索和扣索。地锚的可靠性对整个旋转施工的安全起决定性作用,其不可预见性因素较多,计算抗拔力安全系数一般要达到4~5。地锚或地垄的形式要根据当地的地质条件而定,地质条件较差的软土地基可以采用木地垄,要有一定的埋入深度;一般岩石地质条件下,可以采用混凝土或片石混凝土结构,配一定重量的压重,减少工程数量;非常好的岩石地质条件下,可以用锚杆或锚索直接将主索锚固在岩石上。

6. 牵引系统安装

牵引系统包括反力台、索塔、索鞍、滑轮组、卷扬机、手动葫芦、钢丝绳等。

卷扬机的容绳量要盘下滑轮组伸缩时的全部钢丝绳,并要有一定的富余量。吨位要根据起重量而定,制动性能关系到旋转过程中的安全,启用前要进行制动性能试验,可用等吨位的手动葫芦对拉,用振动法测量钢丝绳的拉力,达到制动要求后才能使用,一般安全系数为2~3,测量原理及方法如下。

某一长度、直径的钢丝绳,在不同的张拉力下,其振动频率不同,张拉力越大,振动频率越高,其关系如下:

$$T = \frac{4wl^2f_n^2}{n^2g}$$

式中 T 为索的张力, w 为单位索长的重量, g 为重力加速度, f_n 为索的第 n 阶振动频率, n 为振动阶数, l 为索长。

索力测量方法较多,仪器种类也较多,一般将拾振器绑扎在钢丝绳上,施加振动时,拾振器检测到钢丝绳的振动信号,经测振放大器进入动态信号分析仪对信号进行分析。要根据拉索的振动特性,选择频响特性合适的拾振器。

扣索、牵引索根据拉力要求分别选择,一般要求索力安全系数为3~4。

滑轮组数要根据卷扬机提升能力、转体的旋转速度和最大索拉力而定。

缆风绳是用来调节合拢时的横向误差,用手动葫芦来微调,也可以在合拢时直接在合拢处安设葫芦微调,根据实际情况选择。

7. 旋转合拢对接

旋转对接一般都采用钢管或钢箱对接,主要有三种方式:外接式、内接式和花篮螺栓式。

外接式钢管对接主要用于小直径钢管,合拢后有外包混凝土保护,对接无外观要求,如混凝土拱。合拢时的误差用不同厚度的钢板来调节,然后用钢板或等直径的钢管切割的钢管片焊接在钢管外围。40m八字型预应力混凝土拱采用的是此法。

内接式钢管对接和花篮螺栓式对接主要用于大直径钢管,无外包混凝土保护,对外观有较高要求,如钢管拱。前者用各种厚度的钢板来调节,后者用螺栓调节施工误差,制作工艺复杂。对接合拢后再用等直径的钢管连接合拢段,使得外观上与其他段无明显差别。

旋转时,先把牵引系统钢丝绳紧固,再拆除拱肋支架和旋转铰临时固结材料,在对岸用手动葫芦施加一定的拉力,使得拱肋有一定的偏心矩,能靠自重旋转为止。徐徐放松起重索至旋转体到位。旋转时随时检测索力。

8. 水平段混凝土浇注

钢管合拢后,浇注合龙段的预应力混凝土。浇注该段混凝土时要特别注意预留预应力锚索孔道和结构钢筋的连接,并防止水泥浆堵塞孔道。

六、主要机具设备(见表1)

七、劳动组织(见表2)

表1 主要机具设备

序号	名称	规格	单位	数量
1	搅拌机		台	2
2	卷扬机	50kN 慢动	台	8
3	卷扬机	10kN 慢动	台	3
4	滑 车	3 轮 1000kN	个	4
5	滑 车	6 轮 500kN	个	16
6	转向滑轮		个	8
7	传 感 器	MSG - 1200	台	4
8	压 力 表	800kN	个	4
9	千 斤 顶	YDC2500 - 200	台	2
10	高 压 油 泵	ZB3/630	台	2
11	压 浆 机	活塞式	台	1
12	电 焊 机	10kW	台	2
13	发 电 机	120kW	台	1
14	钢筋调直机	GT4 - 14	台	1
15	钢筋切断机	DYJ - 32	台	1
16	钢筋弯曲机	CW32	台	1
17	万 能 杆 件	西乙型	t	40
18	捣 固 器	插入式	台	4
19	全 站 仪	J2	台	1
20	钢 丝 绳	$\phi 24\text{mm}$	m	2000
21	电 钻	钻头 $\phi 38\text{mm}$	台	2
22	电 锯		台	1
23	拱 肋 模 板	整体式	套	2
24	盖 梁 模 板	整体式	套	2

表2 劳动组织

序号	工 种	人数	序号	工 种	人数
1	电 焊 工	2	7	张 拉 工	6
2	起 重 工	4	8	普 工	10
3	架 子 工	6	9	电 工	1
4	钢 筋 工	6	10	机 修 工	1
5	木 工	8		合 计	54
6	混凝土工	10			

八、安全措施

1. 制定全面、切实可行的安全质量保证体系。
2. 制定相关设备及施工环节的安全操作规程,严格按照规范、标准及安全操作规程要求施工。
3. 卷扬机、钢丝绳等必须在转体前经过性能检验。
4. 旋转启动时拱肋上严禁站人。旋转时两侧必须由一人统一指挥,旋转体、索、塔范围内严禁站人。旋转过程中随时监控索力和塔架受力,目察塔架和地锚变形情况。对接焊接完成确认无误后方可拆除牵引系统。

九、质量控制

施工质量除应满足《公路桥涵施工技术规范》相关条款要求外,还应注意以下事项:

1. 塔架的基础必须牢固,塔架的拼装连接、焊接必须满足有关质量要求;
2. 钢丝绳必须满足规范要求,不合格的不得用于牵引系统;
3. 地锚的锚杆或锚索要经过抗拔试验,达到设计锚固力后方可使用;
4. 拱肋预留预应力索孔要防止混凝土灌注过程中堵塞;
5. 钢管混凝土灌注必须饱满,不留空隙;
6. 其他如钢管对接焊接、拱肋混凝土灌注、原材料检验等质量要求参见有关规范。

十、效益分析

与常规施工方法相比,节约了大量的支架费用,以重庆古路中学桥为例,节约支架费用 50 万元,塔架、地锚等与拱肋同步施工,缩短工期 2 个月,取得了很好的经济效益。避免长期高空作业,安全、质量得到保证。解决了无法依靠地面条件的施工问题,对深山峡谷和跨既有公路、铁路等的桥梁施工有广阔的应用前景,具有很好的社会效益。

十一、应用实例

重庆古路中学分离式立交桥预应力八字型刚架拱桥位于渝邻高速公路 E 合同段,渝北区古路镇古路中学背后,施工里程 K0+215.927,横跨渝邻高速公路,净跨距 40m,桥面宽 9m,行车道宽 7m,人行道 $2 \times 0.75\text{m}$,全桥长 58.226m。桥拱为三段直线拱,在八字型拱肋中设置预应力,以立柱施工的方法在两侧桥台上完成拱肋施工,拱肋截面为 $0.5\text{m} \times 0.7\text{m}$,在拱肋的端部设置 2 根 $\phi 290$ 对接钢管,长 2.5m,填充 C30 混凝土。两侧拱肋竖转到位,由钢管对接合拢,合拢后封铰成拱。拱上设置立柱、盖梁,共计 9 孔,每孔 4.64m。桥面板及桥面栏杆预制后吊装。2003 年 5 月 18 日旋转合拢,合拢纵向误差 1cm,横向误差 4mm,实际旋转合拢时间仅 2 小时,施工占地面积较常规混凝土拱桥减少 60%,节省投资 50 万元,经渝邻高速公路有限公司质量评定组评定为优良。

执笔:李阶智 何 威