

鲁班水库闸门井钢桁架交通桥转体施工

骆继明*

(四川省水利水电勘测设计院)

鲁班水库主坝为钢筋混凝土斜墙干砌条石坝。左坝段在坝基408m高程处设放空底孔，其闸门井检修平台离坝顶水平距34m，孤立于水库之中。为便于启闭机的操作、维修与管理，故需架设一座钢桁架结构的轻型人行桥，以供操作人员通行。

初拟钢架的架设施工方案有：现场拼装、浮运架设、整体吊装、悬臂推出和转体施工等方法。通过比较决定采用转体施工法。

转体施工(图1)是在正桥的后面连接一平衡架，平衡架置于预先埋在基础的旋转中心上，以正桥与平衡架形成一个转动体系，在平衡架上加压重，保持正桥、平衡架对旋转中心的力距相等，使整个转动体系处于平衡状态。用人力或机械牵引平衡架的转盘，即可围绕旋转中心转动，使正桥转到对岸的闸门井墩上。

(一) 转体结构

转动体系由：(1)钢桁架交通桥(简称正桥)；(2)平衡架及压重物；(3)转动系统；(4)承重钢丝绳系统等四部份组成。

1. 钢桁架交通桥 交通桥净跨34m，全长35m，桁架高2.8m，宽2m，节间距3m，杆件由角钢组合焊接而成，吊装重7.6t。

2. 平衡架及压重物 平衡架起着支承正桥，使转动体系保持平衡的作用。平衡架用钢桁架结构，其优点是受力情况好，能承受较大的拉力，施工方便，可利用工地上剩余废旧型钢材料。

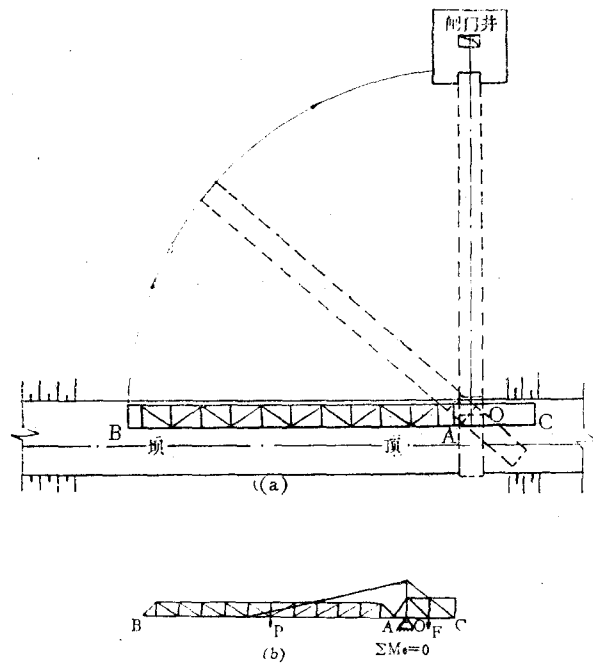


图1 转体法平面布置图

注：a旋转中心；AB交通桥；AOC平衡架

*参加工作的有本院胡振华、张元敏两位工程师和鲁班水库指挥部蒋世础同志。还有不少同志提出了宝贵建议，特此表示感谢。

平衡架的宽度与正桥相同,其长度一方面要考虑尽可能增长力臂以减少压重;另一方面又不能过于超出坝顶宽度(8m),以利于操作,最后定为8.57m。平衡架高3.129m,排架高7m。正桥的一端置于平衡架的端部,并用螺栓与平衡架连接形成活动铰。

压重体系用条石和毛铁混合压重。为了减少压重,施工中将平衡架下弦用工字钢进行加强,将压重体布置于离旋转中心1.6m以后。总共用条石 8m^3 ,毛铁20t。合计总重39t(不包括平衡架重)。

3. 转动系统 它包括旋转中心——球头铰、支承保险滚轮和轨道等部份。要求安全可靠,转动平稳,灵活省力。

(1) 旋转中心(球头铰):它是整个转动体系的支承结构。一般有以下几种型式:a.四氟面支承结构,转体重量由环道和中心支承承受,接触面积大,结构平稳,承载量可达1000t以上。转盘之间和轴心外套用聚四氟乙烯减阻承压,摩擦力甚小($f=0.03\sim 0.05$),利用转动。但四氟属高级化工材料,物稀价昂。b.球头点支承结构,支承结构为球头钢管轴心,承受转动体系的全部重量,用二硫化钼润滑,摩擦稍大($f=0.1\pm$),这种型式的承载量稍小,但便于加工。c.球头支承结构(又称球头铰),这是在b型结构的基础上,考虑轴心主要承受压力,而偏心和扭矩甚小,因而去掉钢管轴心,将球头铰用适当的锚筋直接埋入混凝土基础的一种简化方式,本工程采用了这种型式。球形铰基础面积 1m^2 深0.5m,混凝土标号为150[#]。

(2) 支承保险滚轮:这是安全保险措施。当转动体系处于平衡状态时,滚轮全部悬空,使重量全部集中于轴心。如因平衡不准或其它原因,平衡架偏向一侧,滚轮便起支撑保险作用。本工程采用了八个滚轮,固定在下弦的加强板下,考虑轴心公转时滚轮内外速度差,每个滚轮由三块轮片组成,滚轮与轨道之间预留1.5mm的间隙。

(3) 轨道:为支承保险滚轮着地时的走道板,由厚6mm的八块弧形钢板组成,直径1.6m,宽20cm,用双螺帽地脚浇入基础混凝土。

4. 承重钢丝绳系统 正桥与平衡架的连系采用钢丝绳连接,正桥对旋转中心的力矩通过钢丝绳传递于平衡架,这是保证转体安全运转的又一关键。

钢丝绳一端系于正桥的 $2/3$ 处,一端系于平衡架排架顶端的节点上,钢丝绳与水平线成 17.34° 角。左右两侧各一组,均通过两门10t滑轮绕出,绕出绳又通过10t的手动葫芦固定于正桥 $2/3$ 处的锚点上。钢丝绳直径25mm,每组各5根。这种布置的好处在于:a.通过10t的葫芦,可以对钢丝绳施加预拉力,使钢丝绳张紧。由于各组钢丝绳都通过滑轮绕线。可以使钢丝绳受力均匀。承重时,由于钢丝绳为柔性结构,可能伸长,通过滑轮可使钢丝绳变形一致,从而保证了每根钢丝绳均匀受力。b.在施加拉力时,由于滑轮形成动滑轮组,可起到省力作用。c.由于正桥与平衡架铰接,必要时可通过手动葫芦和滑轮组使正桥适当俯仰,方便施工。

(二) 设计计算

1. 平衡计算 对A点取矩($\Sigma M_A=0$),求得转动体系处于平衡状态时,交通桥下弦最大轴向压力为20.78t,钢丝绳拉力为21.77t。

对O点取矩,通过静力平衡计算,可求得要求的压重体重量44.4t。扣除平衡架自重,即为所需加的压重量(图1)。

2. 平衡架桁架内力计算及截面选择 此部份为一般钢结构计算方法,不再赘述。

3. 钢丝绳截面选择 钢丝绳截面选择按下式计算:

$$S = P/K$$

$$n = T/S$$

式中 S ——一根钢丝绳的允许拉力;

K ——安全系数, $k=6$;

T ——钢丝绳承受的拉力;

n ——钢丝绳的根数。

根据工地材料情况, 钢丝绳选用 $6 \times 19+1$, 直径 25mm, 其破断拉力为 25 200 kg, 每根钢丝绳允许拉力为 4 200kg, 需选用 5.18 根。由于绕线布置, 需要两组共 10 根钢丝绳, 实际安全系数为 11.57。

4. 转动体系牵引力计算 转动体系转动过程中受到的阻尼力偶, 主要是轴心阻尼力偶, 当滚轮着地时滚轮产生的阻力对旋转中心也产生阻尼力偶(图2)。

(1) 阻尼力偶:

a. 轴心阻尼力偶 $M_1 = Qf_1r_1$

式中 Q ——转动体系总重;

r_1 ——球头铰半径;

f_1 ——凹形顶盖与球头铰的摩擦系数, 取

$f_1=0.2$ 。

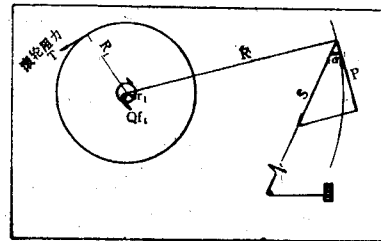


图2 转动体转动时受力分析

b. 滚轮着地产生的阻尼力偶: 假定一个滚轮着地时承受转动体系总重的 10%。滚轮着地时, 滚轮绕自己的轴心滚动, 滚轮之摩擦阻力为

$$T' = \frac{Q_1(f_k + f_2 \cdot r_0)}{r_2}$$

式中 $Q_1=0.1Q$

f_2 ——滚轮滑动摩擦系数, 取 $f_2=0.3$;

f_k ——滚轮滚动摩擦系数, 取 $f_k=0.1$;

r_2 ——滚轮半径;

r_0 ——滚轮轴心半径。

滚轮着地时, 滚轮不转, 完全沿轨道滑动, 此时滚轮之摩擦阻力:

$$T'' = Q_1 f_3$$

式中 f_3 ——滚轮与轨道滑动摩擦系数。

考虑在施工中留有余地, 按第 b 种情况计算滚轮着地产生之阻尼力偶

$$M_2 = T'' R = Q_1 f_3 R$$

式中 R ——轨道半径。

c. 总阻尼力偶: 假定转体时, 有 3 个滚轮着地, 总阻尼力偶

$$M_{\text{阻}} = 0.7M_1 + 3M_2 = 0.7Qf_1r_1 + 3Q_1f_3R = 0.7Qf_1r_1 + 0.3Qf_3R$$

(2) 转动力偶

$$M_{\text{转}} = PR.$$

式中 $M_{\text{转}}$ ——转动力偶；

P ——牵引力；

R_0 ——牵引力着力点到球头铰的中心距。

极限时 $M_{\text{转}} = M_{\text{阻}}$ ，所以， $P = M_{\text{阻}}/R_0$ 。

(3) 绳索牵引力计算 牵引布置见图3。 $\phi 12$ 牵引钢丝绳通过一组一门动滑轮组和一个定滑轮绕在铰磨上，铰磨牵引力 S 为：

$$S = aP / \cos \alpha$$

式中 a ——滑轮组的省力系数；

α ——牵引绳与 P 的夹角， $\alpha \leq 45^\circ$ ，假定 $\alpha = 45^\circ$ 。

(三) 转体的施工

转体施工的程序如下：

1. 制作交通桥。
2. 制作球头铰、轨道，并埋入预定地点。
3. 制作平衡架。
4. 连接正桥和平衡架。

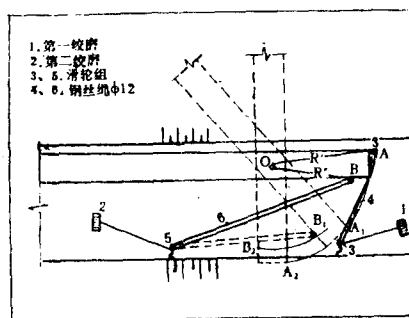


图3 转体牵引布置

将正桥一端的支座置于平衡架的支座垫板上，正桥支座连接板距离平衡架端部至少应有 10mm 距离，以便正桥能上下俯仰。正桥和平衡架连接螺栓的中心，必须在正桥下弦的几何轴线上，使其在转体时对旋转中心的力矩为零。正桥与平衡架用螺栓连接后，并用垫木支撑正桥，并使桥身保持水平。

5. 穿绕钢丝绳。正桥系钢丝绳处，事先必须进行加固，并避免钢丝绳直接挤压正桥的下弦，影响桥的安全。

6. 加压重。

7. 收紧钢丝绳，整个体系受力，同时调整压重，使体系处于平衡状态

按预计的压重量加完压重后，用 10t 手动葫芦收紧钢丝绳，并使正桥微微翘起，这时整个转动体系处于受力状态。观察整个转动体系，如果平衡架的尾部也翘起，并且整个平衡架处于水平状态，则说明压重量是适当的，否则，要增减压重量。整个体系处于平衡的另一标志就是看八个支承保滚轮是否全部悬空，如果全部悬空，也说明体系是平衡的（当然，也可能由于制作和埋设的误差，使滚轮不全部悬空）。

8. 检查与试验。转动体系受力并处于平衡后，让其持续一定时间，检查各部份情况是否正常，若无异样，表明转体条件成熟。

9. 穿绕牵引绳。转动体系的平衡架下未设置专门的转盘，牵引绳直接连在平衡架上。又因坝顶工作面窄而长，故将牵引设备布置为两套。随着体系的转动，绳索牵引的方向与牵引作用圆周切线方向的夹角 α 也不断变化。为了减少因存在 α 角而产生的沿轴心的分力，导向滑轮的位置必须布置恰当，使 α 角尽可能小。开始转动时，第一铰磨运转，而第二铰磨也随之收紧钢丝绳，但不受力。当平衡架转动 45° 时，第一铰磨停止，第二铰磨运转，使转动体系继续平稳转动直到到达预定位置。第二铰磨运转时，第一铰磨随着放松钢丝绳。

每组铰磨均由一门5t滑动轮组和一个5t定滑轮,一台5t铰磨和 $\phi 12$ mm钢丝绳组成。

10. 转体。转动体系需要转动 90° ,才能达预定地点。为了保证转体时体系平稳,不受冲击,要求每分钟转动 1° 。实际转体时,体系十分平稳,无冲击、振动,因而加快了速度,连同转体及调整对位只用了30分钟。

当交通桥转动超越了轴线位置时,可利用第一铰磨进行微调,使正桥就位。

征 稿 简 则

1. 《四川水力发电》为四川省发电工程学会主办的综合性学术刊物。本刊立足四川,面向全国,以促进学术交流,推动四川省和我国水电建设事业的发展为宗旨。

2. 本刊辟有:能源政策,水能规划与动能经济,工程地质与岩石力学,水电站建筑物,机电与金属结构,施工、运行与管理,地方水电建设,系统工程应用等栏目。刊载与以上有关的论著、科研成果、实践经验总结,新技术、新成就和新经验介绍,以及科普文章等。欢迎广大水电工作者踊跃投稿。

3. 来稿内容要求论点明确、引证有根、数据可靠、文字精练。文稿用方格纸单面横写,字迹切勿潦草,简化字以国家语言文字工作委员会1986年10月10日重新发表的《简化字总表》为准。文中涉及的计量单位,一律按国务院1984年2月27日公布的法定计量单位执行。外文字母与数学符号,须用铅笔注明文种、大小写、正斜体、上下角标等。

4. 插图图幅不得超过 15×21 厘米;照片以黑白照片为主。

5. 来稿每篇宜控制在8000字以内,短文尤为欢迎,并附200字的文章提要。

6. 参考文献应择其主要的,并以正式发表的文章为准。引用非正式刊物的文章可用脚注注明其出处。外文文献最好用打字机打出,或仿印刷体书写清楚。参考文献以引用先后为序,按以下格式书写:

(1)作者:论文,刊名,年号或卷数,期数页码

(2)作者:书名(或篇名),版次,出版地,出版社,出版年,页码(外文文献亦按上述次序书写。)

7. 文稿中章、节以不超过如下四级为好。

如: 一、 $\times \times \times \times$ (一) $\times \times \times \times$ 1. $\times \times \times \times$ (1) $\times \times \times$

8. 来稿采用与否,三个月左右本刊将有通知,切勿一稿两投。来稿请自留底稿,限于本刊人力,稿件一般不退。

9. 来稿一经发表。即按本刊规定付酬,并赠送当期期刊两本。

《四川水力发电》编辑部

1987.6.