

# 塔贝拉水电站空间平面弯管制作安装控制技术

鲁晋旺, 万天明

(中国水利水电第七工程局有限公司 机电安装分局, 四川 彭山 620860)

**摘要:**结合塔贝拉水电站引水压力钢管施工中不可避免的空间平面弯管制作安装计算问题,采用解析几何方法给出了安装控制参数及计算方法,可以有效防止安装过程中出现的偏移、非设计偏差等影响安装质量的隐患。

**关键词:**引水压力钢管;空间平面弯管;弯管安装控制参数;塔贝拉水电站

中图分类号:TV7;TV52;TV547

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)03-0112-02

## 1 概述

作为水电站引水道布置的重要组成部分,引水压力钢管的空间平面弯管(简称弯管)的安装计算往往不可避免,亦是施工单位比较复杂的难点之一。计算不正确将会使其后的测量放点、安装出现错误,导致弯管出现偏移、非设计折线等而造成不必要的水头损失、恶化弯管的受力条件,甚至使弯管报废返工,既浪费施工成本,又影响施工工期。笔者在文中介绍的使用解析几何建立空间平面弯管的数学模型以及安装施工中的控制参数计算方法,可以确保弯管的施工安装质量。

## 2 空间平面参数

### 2.1 立体坐标系

#### 2.1.1 坐标系的描述

以塔贝拉水电站钢管设计图为例(图1),管线坐标给出了A、B、C三个轴线控制点的测量放样坐标(东-北-高程),为研究空间平面,首先建立三维立体坐标系,x、y、z轴坐标分别对应图纸中坐标的东-北-高程数据。

#### 2.1.2 平面法向量

由向量BA、BC计算得到平面ABC的法向量:

$$n = a, b, c \quad (1)$$

取  $c = 1$ , 计算  $a, b$ :

$$\begin{aligned} ax_{BA} + by_{BA} + cz_{BA} \\ ax_{BC} + by_{BC} + cz_{BC} \end{aligned} \quad (2)$$

#### 2.1.3 平面方程

由点法式得:

$$a(x - x_B) + b(y - y_B) + c(z - z_B) \quad (3)$$

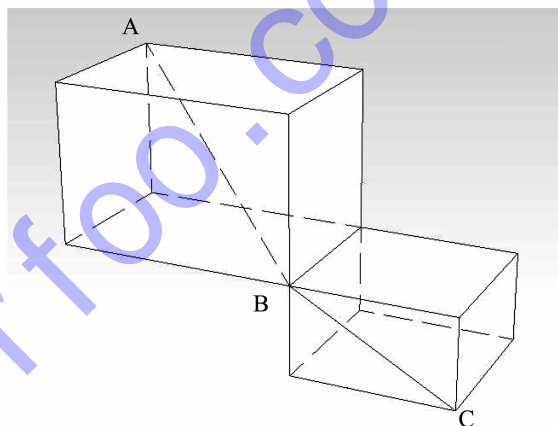


图1 空间弯管示意图

$$\text{即 } ax + by + cz = ax_B + by_B - 1 + cz_B \quad (4)$$

### 2.2 球极坐标系

在上述坐标系中,将平面ABC与水平面( $z = 0$ )的交线与x轴的夹角记为方位角 $\theta$ ,将平面ABC与水平面( $z = 0$ )的夹角记为仰角 $\varphi$ ,则任意空间平面可以用一组方位角 $\theta$ 与仰角 $\varphi$ 表示。

#### 2.2.1 仰角

$$\text{由法向量计算: } \tan\varphi = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (5)$$

$$\text{由投影方法计算: } \cos\varphi = \frac{S_{\Delta ABC \text{垂线}}}{S_{\Delta ABC}} \quad (6)$$

#### 2.2.2 方位角

$$\text{向量 } (\sin\theta \cdot \cos\theta) = \left( \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cdot \frac{-b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) \quad (7)$$

需注意:

(1)  $\theta \in (0, 2\pi)$ , 计算中需根据正弦、余弦的大小判断角度在第几象限。

(2)球坐标系中坐标与三维直角坐标系间的关系见式(3)。

### 3 空间平面圆

#### 3.1 圆心坐标

如图 2 所示,设圆 P 是  $\angle ABC$  的内切圆(圆心为 P),切点分别为 D、E,由比例关系可得 D、E 坐标。

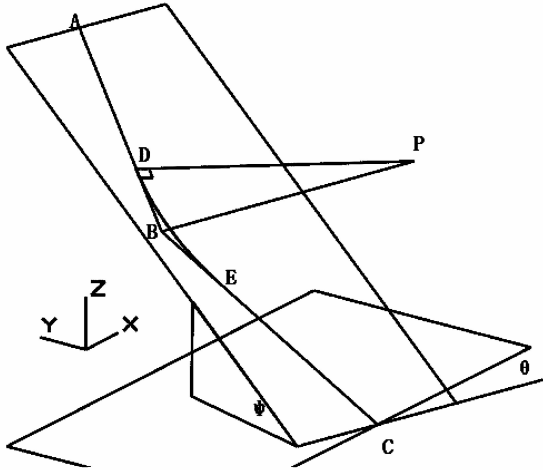


图 2 空间平面示意图

由于点 P 是平面 ABC 上分别过 D、E 垂直于 BA、BC 两条直线的交点,其可由平面的点法式方程分别得到过 D、E 且垂直于 BA、BC 的平面解析式:

$$DP \perp BA \quad x_{BA} + y_{BA}y + z_{BA}z = x_{BA}x_D + y_{BA}y_D + z_{BA}z_D \quad (8)$$

$$EP \perp BC \quad x_{BC} + y_{BC}y + z_{BC}z = x_{BC}x_E + y_{BC}y_E + z_{BC}z_E \quad (9)$$

联立式 4、8、9 可解得 P 点坐标。

#### 3.2 轴线内切圆方程

弯管转弯半径为 R,圆上的点在圆平面内的极角为  $\gamma$ ,则圆的球极坐标方程为:

$$\begin{cases} x - x_p = R(\cos\gamma\cos\theta - \sin\gamma\sin\theta\alpha) \\ y - y_p = R(\sin\gamma\cos\theta\cos\alpha + \cos\gamma\sin\theta) \\ z - z_p = R\sin\gamma\sin\theta \end{cases} \quad (10)$$

#### 3.3 轴线外接圆方程

将  $R = R_{外} \cos\pi$  代入式(10)计算外接圆任意点的坐标。

### 4 内切点与外接点

#### 4.1 内切点

根据式(10)及 D 点坐标可以得到  $y_D$ 。结合

弯管分节情况、按  $\gamma$  的大小得到相应的管节与轴线内切圆的切点坐标。

#### 4.2 外接点

同样,根据式(10)及  $y_D$ 、代入弯管管节数据取  $\gamma$ ,得到相应的轴线与外接圆安装面拼接控制相接的点坐标。

### 5 安装拼接面的控制

将轴线弯曲平面与水平面平行时的弯管定义为初始状态,将安装就位时弯管的状态与初始状态相比较,管节需要绕轴线旋转角度  $\omega$ 。

#### 5.1 相对安装转角 $\omega$

在管节横截面上有:

$$\sin\omega = \sin\phi\cos\varepsilon \quad (11)$$

式中  $\varepsilon$  为基准轴线在水平面上的投影与 x 轴的夹角。

$$\text{或由此式计算 } \omega \quad \cos\omega = \frac{\cos\phi}{\cos\phi_0} \quad (12)$$

式(12)中, $\omega$  为这节钢管轴线与水平面的夹角,是平面 ABC 与水平面的夹角。

#### 5.2 “中心线”安装倾角

在空间弯管安装过程中,钢管制作时所设定的“上、下、左、右”四个几何中心标记(应在管口处样冲打出中心,并用红油漆标出不方便定位的安装尺寸)。但“左中心”与“右中心”的连接线 H (安装面椭圆长轴)在平面 ABC 上,而且其延长线过 P 点,故计算 H 与水平面的夹角有助于空间平面弯管的安装定位及验收检查。

由式(10)得到弯管管节左、右中心线与安装平面的交点坐标,则:

$$\sin\phi_H = \frac{z_{D左} - x_{D右}}{|D_{左} D_{右}|} = \sin\phi\sin\gamma \quad (13)$$

$$\text{安装面短轴(上、下中心连线 I): } \sin\phi_1 = \cos\phi \quad (14)$$

#### 5.3 空间弯管安装尺寸的检查

检查空间弯管安装高程的方法一般有两种:(1)测量人员放点时,根据计算结果在边墙上放出每节钢管管口中心的高程点,在地面放出管口中心的投影点;弯管安装时,在钢管管口的几何中心处焊上线架并绷上钢丝线,钢丝线的十字交点即为管口中心点,用放样控制点检查该点是否符合设计要求。(2)每节弯管安装后,使用全站仪

(下转第 160 页)

点至钢梁安装位置正上方,然后起吊钢梁,人工用架管杠杆配合起重机的行走调整纵向位置;利用三角支撑上悬挂的手拉葫芦与卷扬机调整竖向高程;待钢梁端部法兰上的预留孔与承台预埋螺栓对齐后,控制起重机小车的移动,使螺栓穿过预留孔,然后安装螺帽并拧紧。

纵向钢梁直接通过起重机小车及卷扬机的运行就位。

斜孔钢筋笼及钢柱就位时,在内侧吊点与起重机吊钩间安装手拉葫芦,控制钢筋笼及钢柱的倾斜角度。角度调整到位后,通过起重机小车及卷扬机将钢筋笼和钢柱下放至设计位置。

### (3) 钢结构的固定。

钢结构安装就位后,加装脚手架立杆及横杆作为支撑着力点,然后用扣件将钢结构锁定在横杆上(其中斜向钢结构用手拉葫芦提供竖向支撑力)。

纵向水平钢梁就位后,直接与水平钢柱焊接固定。

## 2.6 栈道的铺装及附属工程施工

### (1) 栈道的铺装。

栈道的铺装为现浇 C30 混凝土板 + 高耐竹地板,其施工工序为:楼层板安装→模板安装及混凝土浇筑、养护→龙骨安装及高耐竹地板铺设。

①楼承板的安装。楼承板采用 TDA5-90 型钢筋桁架楼承板,现场拼装时预留多余部分,根据栈道线型进行切割,楼承板面层加铺一层纵向分布筋。

(上接第 113 页)

检查管口中心点的误差,其效果更佳。

检查空间弯管安装转角的方法有三种:(1)制作钢管时,在钢管内壁任意整圆上标记几何中心线,用以对照安装过程中的水平、垂直位置。(2)使用全站仪测量管口四个几何中心点的位置,计算安装转角。(3)测量管口安装面椭圆长轴两端的高度差,对照预先计算好的各管节安装面参数表,判断其是否达到安装要求。相比之下,第三种方法的检查方法更为简捷,也是笔者进行计算的根本目的。

## 6 结语

用解析几何方法计算空间弯管的控制点坐

②模板的安装及混凝土浇筑养护。栈道铺装利用混凝土板进行曲线调节并确保混凝土厚度不少于 12 cm,面板两侧设边模、中部设定位筋用以控制高程。

混凝土采用手推车倒运、卸料入仓,人工摊铺、整平;混凝土摊铺时虚铺约 2 cm,平板振捣器及插入式振捣棒联合振捣,圆盘式抹光机抹面收光;待混凝土初凝后、工人踩踏不下陷时,利用铁抹子人工收面并覆膜洒水养护。

### ③龙骨安装及高耐竹地板的铺装。

龙骨及高耐竹地板利用叉车将其转运至现场安装。安装时注意控制线型及高程;当龙骨安装不平时,采用不锈钢垫板调平。

### (2) 附属设施栏杆的安装。

高耐竹地板铺装完成后,安装栏杆钢结构,安装高耐竹扶手板,铺贴踢脚花岗石,完成栈道施工。

## 3 结语

云龙山悬空栈道为锦江河道生态整治项目中一处重要的景观栈道,为成都天府新区锦江生态景观打造的重要组成部分,起到了美化城市环境的重要作用,该工程采用关键施工技术,克服了施工条件差,安全风险高,施工安全、质量控制难度大等困难,优质、高效、保质、保量地完成了施工任务,可为类似工程提供借鉴。

### 作者简介:

曹永芳(1979-),女,陕西凤翔人,高级工程师,从事水利水电及市政工程施工技术与管理工。 (责任编辑:李燕辉)

标,可以精确地确定弯管的安装位置;在制作空间弯管过程中,可以根据计算结果在管口准确的位置做安装标记;结合安装拼接面的关键点坐标,可以为空间弯管的安装验收提供参考数据,可以有效防止安装过程中出现偏移、非设计偏差等影响安装质量的隐患。

### 参考文献:

[1] 李有道,王万强,张波.那兰水电站引水系统空间弯管的安装[J].水电站机电技术,2007,30(4):56-57.

### 作者简介:

鲁晋旺(1984-),男,山西闻喜人,工程师,从事水电站机电设备安装技术工作;  
万天明(1963-),男,重庆南岸人,教授级高级工程师,从事金属结构制作安装和机电设备安装技术工作。

(责任编辑:李燕辉)