

龙落尾式泄洪洞渥奇曲线段施工测量严密算法

王斯珍¹, 高静², 焦永春²

(1. 中国人民武装警察部队 水电第八支队, 重庆 401320; 2. 中国人民武装警察部队 水电第三总队, 四川 成都 611130)

摘要: 水工泄洪洞当纵坡变化较大、高程急剧降低时常设置渥奇曲线来平顺连接上、下游流段, 以避免下泄水流脱离底板而发生空蚀。渥奇曲线数学形式通常为平面二次抛物线, 因抛物线切线方向随点位不同而变化并且没有固定的曲率中心, 使得隧洞横断面方向相应变化。鉴于施工测量计算比较复杂, 因此, 采用严密的算法是解决问题的关键。针对这一问题, 结合白鹤滩水电站泄洪洞龙落尾渥奇曲线段工程实例, 阐述了一种龙落尾式泄洪洞渥奇曲线段施工测量计算严密算法, 对同类工程具有一定的参考价值。

关键词: 泄洪洞; 龙落尾; 渥奇曲线; 施工测量; 严密算法; 白鹤滩水电站

中图分类号: TV7; TV221.1

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2016)04-0015-03

水工泄洪洞当纵坡变化较大、高程急剧降低时常设置渥奇曲线来平顺连接上、下游流段, 以避免下泄水流脱离底板而发生空蚀。渥奇曲线的数学形式通常为平面二次抛物线, 因抛物线切线方向随点位不同而变化并且没有固定的曲率中心, 使得隧洞在横断面方向相应变化, 施工测量计算比较复杂。笔者结合白鹤滩水电站泄洪洞龙落尾渥奇曲线段工程实例, 阐述了龙落尾式泄洪洞渥奇曲线段所采用的施工测量计算严密算法。

1 工程概述

白鹤滩水电站位于金沙江下游四川省宁南县和云南省巧家县境内, 距下游溪洛渡水电站约195 km。电站总库容为206.27亿m³, 总装机容量为1600万kW, 为目前国内最大的在建水电工程。

泄洪洞为该电站重要的主体工程之一, 共设计3条龙落尾式泄洪洞平行布置于左岸, 1#~3#泄洪洞长度分别为2317 m、2259 m和2170 m。隧洞平面线型为单一直线洞, 洞身横断面为城门洞型, 断面尺寸为15 m×18 m(宽×高), 每条泄洪洞由进水口、洞身、出口、通风洞及通风竖井等组成。泄洪洞洞身由上平段和龙落尾段组成, 上平段下游接龙落尾段, 龙落尾段由渥奇曲线段、斜坡段和反弧段组成。龙落尾渥奇曲线段为笔者分析的对象, 渥奇曲线的数学形式为平面二次抛物线, 长度为58.75 m, 三条泄洪洞渥奇曲线除位置和高程不同外, 其他设计参数相同, 因此, 笔者以

其中的1#泄洪洞渥奇曲线作为分析对象进行阐述。1#泄洪洞龙落尾渥奇曲线段设计体型见图1。

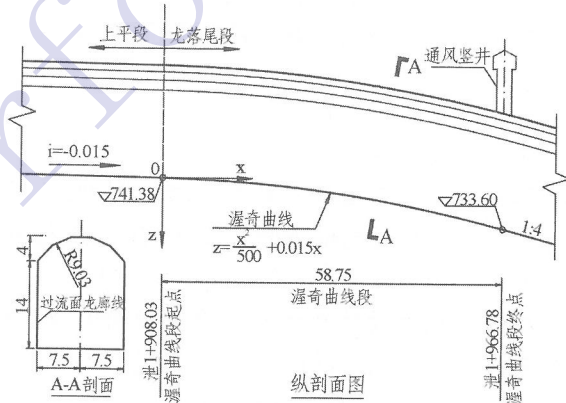


图1 1#泄洪洞龙落尾渥奇曲线段设计体型图

2 渥奇曲线段施工测量严密算法分析

2.1 施工测量计算任务及计算难点

根据设计图纸, 渥奇曲线数学形式为平面二次抛物线, 隧洞底板高程按抛物线方程控制, 横断面为空间垂直抛物线的城门洞型断面。施工测量计算的任务主要包括: 过流面轮廓线控制点放样坐标数据计算以及过流面体型偏差测定计算。由于设计横断面为空间垂直抛物线, 而抛物线切线方向在不断变化且没有固定的曲率中心, 从而使测量计算比圆曲线竖弯复杂得多, 而水工建筑物对过流面体型外观质量要求又较高, 若采用简化曲线数学模型计算, 将使局部精度不能满足要求, 因此, 必须使用严密的算法进行计算, 故其成为测量计算的难点。

收稿日期: 2016-07-12

2.2 坐标系统的建立

为便于计算,在渥奇曲线起点位置建立一个曲线空间直角坐标系 $o-xyz$ (坐标系原点 o 与曲线起点重合, x 轴与洞轴线重合水平指向下游, z 轴指向天顶, y 轴按左手空间直角坐标系法则确定)。同时,为了测量坐标数字简短、含义直观,建立了隧洞施工测量坐标系 $O-XYZ$ (坐标系原点 O 位于洞轴线 0 高程投影面 0 桩号位置, X 轴与洞轴线水平投影重合表示桩号数轴, Z 轴指向天顶表示高程数轴, Y 轴按左手空间直角坐标系法则确定表示距轴线距离)。曲线空间直角坐标系 $o-xyz$ 与测量施工坐标系 $O-XYZ$ 的关系为:三坐标轴方向相同, $o-xyz$ 的原点 o 位于 $O-XYZ$ 的点 $(1908.03, 0, 741.38)$ 上。曲线空间直角坐标系 $o-xyz$ 与设计图纸曲线解析方程对应的坐标系 $o-xz$ 关系为: xoz 平面内除 z 轴方向相反外其他相同,因此,曲线的解析方程在 $o-xyz$ 坐标系下 z 参数符号应变化,即调整后的解析方程为:

$$a = -\left(\frac{x^2}{500} + 0.015x\right)$$

2.3 过流面放样坐标数据计算

泄洪洞过流面设计横断面为城门洞型,放样前需计算给定桩号的横断面上顶拱、边墙、底板设计轮廓线一定数量控制点的设计坐标。由于边墙和底板线控制点设计坐标的计算比较简单,以下仅分析顶拱线控制点设计坐标计算方法。

如图2所示,求给定桩号(即 x_0 已知)下距轴线一定距离 $|y|$ 的顶拱线上控制点 P 的设计坐标,计算步骤如下:

(1) 计算渥奇曲线给定桩号点 T 的法线方向角 α 。对渥奇曲线解析方程求导数得切线斜率 k , 再对切线斜率 k 求反正切即得切线倾斜角 θ , 进而依据切线和法线垂直关系计算出法线方向角 α , 即:

$$\begin{cases} k = z'(x_0) = -\frac{1}{250}x_0 - 0.015 \\ \theta = \tan^{-1}(k) + \pi \\ \alpha = \theta - \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

化简得 $\alpha = \tan^{-1}\left(-\frac{1}{250}x_0 - 0.015\right) + \frac{\pi}{2}$

(2) 计算顶拱线上控制点 P 距底板距离 D 。在 $A-A$ 剖面上,按以下公式计算控制点 P

距底板距离 D :

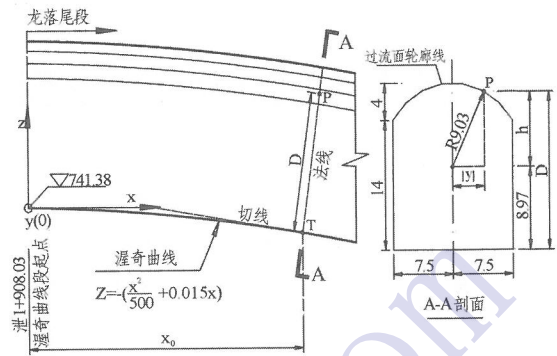


图2 顶拱线控制点坐标计算简图

$$D = h + 8.97 = \sqrt{9.03^2 - |y|^2} + 8.97$$

(3) 计算顶拱线上控制点 P 的设计坐标。

控制点 P 在 $o-xyz$ 坐标系下的设计坐标按以下公式计算:

$$\begin{cases} x = x_0 + D \cdot \cos\alpha \\ y = \pm |y| \\ z = -\left(\frac{x_0^2}{500} + 0.015x_0\right) + D \cdot \sin\alpha \end{cases}$$

将以上坐标转化为施工测量坐标系 $O-XYZ$ 下的坐标即得控制点 P 的放样设计坐标:

$$\begin{cases} X = x + 1908.03 \\ Y = y \\ Z = z + 741.38 \end{cases}$$

2.4 过流面体型偏差检测计算

该计算内容为给定任意一个实测点 P , 计算其距过流面设计轮廓线的距离 δ (即体型偏差), 主要用于隧洞衬砌混凝土浇筑时过流面模板校核或浇筑成型过流面体型偏差测定。由于边墙和底板线体型偏差计算简单, 以下只分析顶拱线体型偏差计算方法。

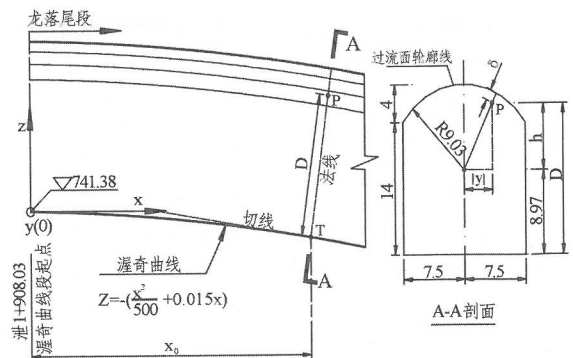


图3 顶拱线体型偏差计算简图

如图3所示,已知顶拱线实测点P的施工测量坐标(X,Y,Z),计算P距顶拱设计轮廓线距离 δ (即体型偏差)的步骤如下:

(1) 转化实测点P坐标系。

为便于计算,将实测点P在施工测量坐标系O-XYZ下的坐标转化为曲线空间直角坐标系o-xyz下的坐标,即:

$$\begin{cases} x = X - 1\,908.03 \\ y = Y \\ z = Z - 741.38 \end{cases}$$

(2) 计算渥奇曲线切点T坐标 (x_0, z_0) 。

在xoz坐标平面内,过实测点P在xoz坐标平面的投影点p作渥奇曲线的法线,交渥奇曲线于点T,过点T作渥奇曲线切线。依据法线和切线垂直解析几何关系(即斜率之积等于-1)以及切点T在渥奇曲线上(即满足渥奇曲线解析方程)这两个条件列立以下方程组:

$$\begin{cases} \frac{z-z_0}{x-x_0} \cdot (-\frac{1}{250}x_0 - 0.015) = -1 \\ z_0 = -(\frac{1}{500}x_0^2 + 0.015x_0) \end{cases}$$

用消元法将上式化简为关于 x_0 的一元三次方程:

$$x_0^3 + 11.25x_0^2 + (125\,028.125 + 500z)x_0 + 1\,875z - 125\,000x = 0$$

利用一元三次方程求根公式(盛金公式)求

(上接第3页)

(3)对深覆盖层河流截流的龙口须采取有效的护底措施,以提高龙口河床的抗冲能力。龙口护底的施工可采用预进占的方式进行。自卸车将块石运至龙口现场、进占至预设位置后,用挖掘机将进占的护底调整。采用预进占的施工方法进行龙口护底,为深覆盖层河流龙口护底施工提供了新的思路。

4 结 语

旁多水利枢纽坝址区覆盖层厚约50~200m,深覆盖层给截流带来了一定难度。通过对枢纽现场地形、地质条件和现场施工条件进行综合分析,确定了截流时间、龙口的布置和龙口的宽度并进行了水力学计算。重点对影响截流成功的决定因素进行了阐述。对深覆盖层河流而言,对截流龙口采取有效的护底措施不仅可以提高龙口河

解以上一元三次方程得出 x_0 (该方程有一个实根和两个共轭虚根,应取实根,这里略去求解过程),之后将 x_0 代入渥奇曲线解析方程求出 z_0 。

(3) 计算实测点P距底板距离D。

在xoz坐标平面内,由以上计算出的切点T坐标 (x_0, z_0) 和投影点p坐标 (x, z) ,依据平面距离公式计算实测点P距底板距离D,即:

$$D = |pT| = \sqrt{(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2}$$

(4) 计算实测点P距顶拱设计轮廓线距离 δ (即体型偏差)。

在A-A剖面上,按以下公式计算实测点P距顶拱设计轮廓线距离 δ (即体型偏差):

$$\delta = \sqrt{y^2 + (D-8.97)^2} - 9.03$$

3 结 语

综上所述,笔者分析了龙落尾式泄洪洞渥奇曲线段施工测量计算难点,结合白鹤滩水电站泄洪洞龙落尾渥奇曲线段工程实例,阐述了施工测量计算严密算法,解决了该工程泄洪洞龙落尾渥奇曲线段施工测量技术问题,可供类似工程参考。

作者简介:

王斯珍(1980-),男,江西赣县人,工程师,学士,从事水利水电工程测量、施工技术与管理工

高静(1984-),女,河南新乡人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

焦永春(1986-),男,青海西宁人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

床的抗冲能力,减少龙口河床的冲刷及后续截流的工程量,而且可以增大河床糙度,提高后续抛投料的稳定性,减少抛投料的流失量。确定了龙口护底材料、范围及厚度,尤其是采用预进占方法进行龙口护底施工,为深覆盖层河流龙口护底施工提供了一种新思路,可为类似工程截流施工借鉴。

参考资料:

- [1] 贾鸿益,贺昌海,邓锐敏,等.官地水电站预进占护底截流难度的试验研究[J].云南水力发电,2011,27(4):15~17.
- [2] 李学海.深厚覆盖层河床截流若干关键技术问题研究[D].武汉:武汉大学,2010.
- [3] 肖家祥,张鹤.西藏旁多水利枢纽工程截流模型试验研究[J].吉林水利,2014,34(11):27~29.

作者简介:

付光均(1972-),男,四川安岳人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

向尚君(1982-),男,四川苍溪人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)