

混凝土双曲拱坝体型施工控制的技术体系

赵敬玉^① 王耀强 刘政 杨培岭^②
(内蒙古农牧学院) (内蒙古土左旗水利局) (中国农业大学水利与土木工程学院)

摘要 从建立施工控制网、设置计算放样点坐标和施工放线点测量方面建立了一个完整、有效的双曲拱坝体型施工控制技术体系,从而提高了施工精度,解决了双曲拱坝体型控制的难题。以万家沟水库混凝土双曲拱坝为例对该体系作了介绍。

关键词 双曲拱坝; 体型控制; 施工; 控制网

中图分类号 TV 642.42

Study on Control Technology for Hyperbolic Arch Dam Construction

Zhao Jingyu Wang Yaoqiang Liu Zheng
(Inner Mongolia Institute of Agriculture and Animal Husbandry) (Water Conservancy Bureau of Tuzuo County)
Yang Peiling
(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU)

Abstract A complete and effective technological system for the hyperbolic arch dam construction including establishing a control network for construction, setting and calculating the coordinates of setting-put point and setting-out survey, was proposed. The construction precision is increased by controlling the shape of hyperbolic arch dam. The system was introduced as a sample of Wanjiagou reservoir in Inner Mongolia.

Key words hyperbolic arch dam; pattern control; construction; control network

拱坝是一种经济指标和安全指标均较优的坝型,在水库工程中被广泛采用^[1]。拱坝除可由自重承受部分水库压力外,最重要的一点是通过拱的作用将其余部分的水压力和其他荷载传到两端岸壁上,从而使坝体获得更大的稳定性。拱坝作用的有效度取决于结构物的整体性,所以在修建拱坝时保证拱坝结构上的连续性就成为坝体稳定的重要保证。尤其是双曲拱坝,其上下坝面均为空间曲面,对结构整体的连续性要求更高,施工精度要求更严格。长期以来如何精确、有效地控制坝体体型一直是双曲拱坝施工中的一个难点。万家沟水库位于内蒙古土左旗境内,其主坝设计为混凝土双曲拱坝。为了保证坝体稳定和施工精度,笔者重点对该坝体体型控制的有效方法和技术进行了探讨,通过理论分析结合大坝实际,着重在施工控制网的建立和设置、放样点坐标的计算模式以及实施放线测量等几个涉及坝体体型控制的关键技术方面做了必要改进,提出了一套完整的、行之有效的混凝土双曲拱坝体型控制技术体系。

收稿日期:1997-10-25

①赵敬玉,呼和浩特市内蒙古农牧学院水利系,010018

②杨培岭,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)146信箱,100083

1 坝体体型及施工特点

万家沟水库的主体工程为一变圆心、变半径、变截面的三心双曲拱坝,坝高 56.79 m,其中顶部溢流坝顶高程 1 129.41 m 以上部位为支墩坝,以下 52.2 m 为拱坝。坝体体型布置几何特征值见表 1。

表 1 坝体体型几何特征值

高程/m	拱厚/m			拱冠梁厚/m		中心半径/m		圆心角/(°)			
	拱冠	中弧端	边弧端	轴线上		中弧段	边弧段	中 弧		边 弧	
				轴线上	轴线下			左	右	左	右
1 129.41	3.80	3.80	3.80	0	3.80	145.60	293.10	35.50	35.50	9.50	9.00
1 118.41	5.00	5.00	5.50	2.92	2.08	134.92	226.58	36.30	36.70	8.10	7.50
1 107.41	6.80	6.80	7.80	4.75	2.05	124.85	181.25	36.00	36.00	7.00	6.50
1 096.41	9.20	9.30	10.40	5.36	3.84	115.76	146.86	35.50	35.50	5.00	5.50
1 085.41	12.40	13.90	—	3.51	8.89	105.31	—	35.97	37.00	0	0
1 077.21	14.80	16.00	—	0.96	13.84	97.30	—	31.60	31.90	0	0

拱坝坝体体型结构的特点是,在同一高程平面上,坝体外轮廓的上下游分别由 3 条不同圆心、不同半径的弧线组成,而且坝面的轮廓随着高程的变化而变化,在立面上可近似看作抛物线形,坝体在空间形成一个双向曲面形体。

坝体的施工需分层分块浇筑,每层高 2 m,每块长度沿坝轴线为 20 m,径向设缝。按规范要求支模精度为 10 mm。

表 1 中只在 6 个高程面上给出了坝体几何轮廓的特征值,也可看出它们是离散的。坝体形状复杂,施工精度要求高,因此,要实现坝体体型施工控制必须解决好以下 3 个问题:1)建立符合要求的平面及高程控制网;2)设置足够的坝体外轮廓放样点,正确计算这些点位的坐标;3)选择合适的放样方法,准确测设放样点位。

2 平面控制网及高程控制网的建立

混凝土双曲拱坝位于深山峡谷中,施工场面小,建筑物高差大,故选用红外测距仪和计算机等现代设备进行测量和计算。采用分层逐级布网、统一观测、整体平差的方法建立平面控制网,其布置见图 1。平面控制网中 W_1, W_2, \dots, W_7 是外围点,组成基本网,用来加密控制点并检查其他点的位移情况,其中某些点(W_7, W_3)可作为放样时的后视点。 $W_{10} \sim W_{13}$ 是放样控制点,其中 W_{11} 和 W_{12} 分别设置在坝体上游河槽两侧高程为 1 094.1 m 和 1 092.6 m 的 2 个阶地上,基本位于左右坝端的切线上。利用这 2 个点加上 W_7 (高程为 1 095.0 m),构成底层控制网,采用极坐标放样法可控制基坑开挖到 1 095 m 的放样工作。根据地形条件, W_{10} 和 W_{13} 分别选在河槽两侧(一个上游,一个下游)的山坡上,其高程分别为 1 131.0 和 1 137.5 m,加上 W_3 (高程 1 120.3 m) 构成中高层控制点,可用于 1 095 m 以上坝体放样和细部控制点的加密。

设计要求坝体轮廓放样点位中误差小于等于 10 mm,经设计计算,基本控制网的点位中误差小于等于 3 mm,最低一级控制点位中误差小于等于 4 mm。实际控制网控制点位中误差

施测后进行整体不等精度平差,结果均满足小于等于 3 mm 的要求,详见文献 [1]。

施工区内已有四等水准网。按规范要求,该坝及其他建筑物放线和临时水准点的引测应达到四等水准精度,为此基本高程控制网应按三等水准精度来要求。于是便从原四等网的一个点引测高程,根据地形布设了 7 个水准点,形成双回路闭合的水准线路,按三等水准规范要求施测,进行多边形平差法平差,从而构成了满足加密高程控制点的基本高程控制网。

3 坝体体型轮廓放样点的设置及坐标计算

3.1 所需坐标点数计算

该拱坝坝体分缝是自拱冠向两侧分的,沿坝轴线弧长每 20 m 设 1 条径向分缝,全坝共有 14 个浇筑块:左半坝 7 块,右半坝 7 块。缝面为空间扭曲面。每层浇筑高度为 2 m,每浇筑 1 块都需要计算块顶的上游边缘及下游边缘的 2 条曲线的坐标值。由于是曲线,放线时只能放曲线上的一些有限的点位,两点之间以直线连接,从而以折线取代曲线,这就会引起误差,此误差不能超过 10 mm;因此对每个浇筑块的每条曲线放 9 个点,折线取代曲线误差最大处应是曲率最大的坝底下缘,经计算误差小于 8 mm,满足要求。这样,每个浇筑块需计算 18 个点位坐标。

3.2 坝体放样点位坐标计算

万家沟拱坝设计时只给出了 6 层计算高程平面坝体轮廓曲线的理论值,施工时是 2 m 一层逐层浇筑的,就会有很多层层面不是计算高程。为确定这些层面的放样点位坐标,将每个浇筑块等分为 8 段,在坝轴线上的分点有 9 个,先求出这 9 个点的坐标值 (x_{0i}, y_{0i}) ,然后过这 9 个点作径向线,求径向线与上、下游弧线的交点,每个计算层面上的上、下游就会得出 9 个轮廓点坐标。这样,对于每个浇筑块便有如下 2 个理论点矩阵:

上游

$$A_s = \begin{bmatrix} A_{s11} & A_{s12} & A_{s13} & \cdots & A_{s19} \\ A_{s21} & A_{s22} & A_{s23} & \cdots & A_{s29} \\ A_{s31} & A_{s32} & A_{s33} & \cdots & A_{s39} \\ A_{s41} & A_{s42} & A_{s43} & \cdots & A_{s49} \\ A_{s51} & A_{s52} & A_{s53} & \cdots & A_{s59} \\ A_{s61} & A_{s62} & A_{s63} & \cdots & A_{s69} \end{bmatrix} \quad \text{对应高程为} \quad \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \end{bmatrix}$$

下游理论点矩阵 A_x 的形式与上游一样,只是元素符号变成 A_x 。

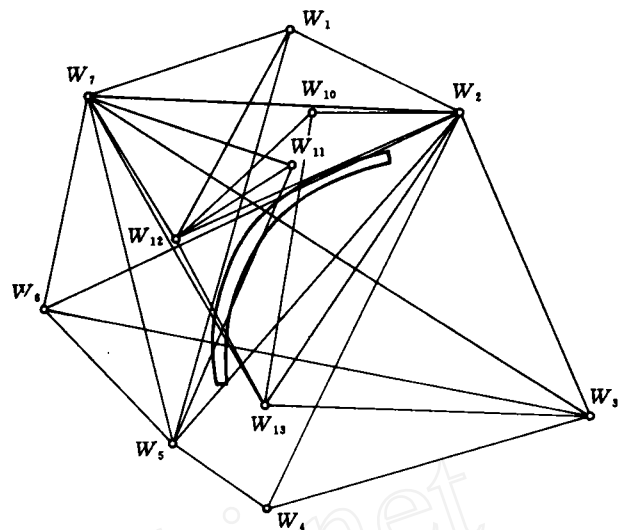


图 1 平面控制网示意图

当浇筑块高程不是设计理论高程时,可以用拉格朗日三点插值法自上而下计算出计算高程处的点位坐标值:

$$\begin{aligned} \text{上游} \quad A'_s &= [A'_{s1} \quad A'_{s2} \quad A'_{s3} \quad \cdots \quad A'_{s9}] \\ \text{下游} \quad A'_x &= [A'_{x1} \quad A'_{x2} \quad A'_{x3} \quad \cdots \quad A'_{x9}] \end{aligned}$$

3.3 边界点点位坐标计算

位于两岸山坡上的坝块由于低层坝的长度要短一些,可能造成矩阵 A_s 和 A_x 成块缺项,左坝肩矩阵缺左下角,右坝肩矩阵缺右下角,更有甚者最边上的第 7 坝块的矩阵只有 1 行,使浇筑层放线点位坐标无法进行插值计算,见图 2。这需作如下处理:以左 6 浇筑块上游面为例,其理论点位矩阵只有 2 行,无法进行三点插值计算。现用 1 107.41 m 高程的理论值外延求出虚拟的第 3 行 $A_{s31} \sim A_{s39}$ 后进行三点插值,计算出各浇筑层的放线点位坐标。对左 7 块和右 7 块也可以这样处理,但理论点位矩阵只有 1 行,需补虚拟 2 行。现采用另一种处理方法:万家沟拱坝是三心拱,第 6 和第 7 浇筑块均位于边弧上,对于每个浇筑高程可认为这 2 块是圆弧线,所以对于任一浇筑高程,可利用该高程第 6 块的 2 端及中间点这 3 点求解坝体轮廓上下游圆弧方程式:

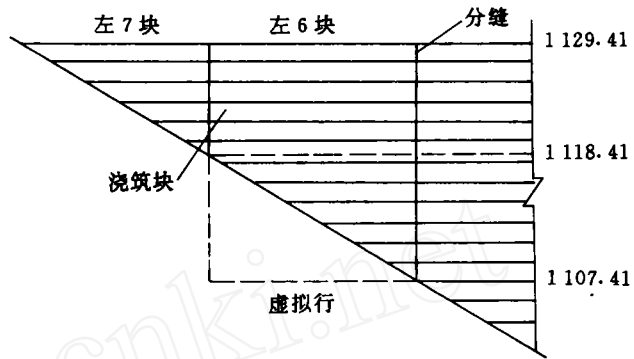


图 2 左 7 块和左 6 块示意图

式(1)和式(2)即可求得该射线族与上、下游圆弧的交点 A'_s 及 A'_x , 这就是放线点的坐标。

$$\left. \begin{aligned} \text{上游} \quad (x_s - a_s)^2 + (y_s - b_s)^2 &= R_s^2 \\ \text{下游} \quad (x_x - a_x)^2 + (y_x - b_x)^2 &= R_x^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 R_s, R_x 为坝体外轮廓上、下游圆弧半径。

同时可以从坝轴线上的对应分点 (x_{0i}, y_{0i}) 及对应拱坝圆心上游 (a_s, b_s) 、下游 (a_x, b_x) , 用两点式构成其上、下游面的射线族:

$$\left. \begin{aligned} \text{上游} \quad y_s &= (x_s - a_s) \frac{y_{0i} - b_s}{x_{0i} - a_s} + b_s \\ \text{下游} \quad y_x &= (x_x - a_x) \frac{y_{0i} - b_x}{x_{0i} - a_x} + b_x \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

对于坝体轮廓放样点位坐标的计算,全坝有几万个数据,要进行几万次解二次联立方程,上万次三点插值,人工计算工作量太大,且容易出错,必须借助于电子计算机。利用笔者编写的计算程序,可计算任一坝段、任一浇筑高程、任一浇筑厚度的放线点位坐标,以及坝面面积和工程量。

4 施工放样方法的选择

1) 借助红外测距仪采用极坐标法进行施工放样。这就避免了过去因采用普通经纬仪而经

常出现的通视条件差、点位精度低、需要人员多,以及延误工期等弊端,且提高工效1倍以上。

2)在控制点上安置强制觇心观测墩。由于观测墩上的点位是先预埋、后加入控制网统一进行边角观测,整体平差,所以点位精度有保证,仪器安装速度快,无对中误差,从而提高了工效及精度。

3)采用计算机进行数据处理。施工中要进行大量的坐标换算及观测结果的分析计算,重复计算工作量也大,不借助计算机是无法满足施工进度要求的。

采用上述方法,解决了施工中遇到的许多实际问题,节省了大量的人力和物力,保证了施工的正常进行。

对完成施工的坝体上游面928个点、下游面580个点进行检查的结果表明,合格率上游面为82%,下游面为85%,完全达到规范要求。

5 结 论

1)结合现场地形及建筑物特点,采取逐级布设、统一观测、整体平差的方式,建立符合精度要求的控制网,是拱坝坝体形状控制的关键。

2)按施工规范精度要求设置坝面轮廓放样点点位,借助计算机采用三点插值法求解大量放样点坐标,并结合坝型特点处理好边界块放样点的计算,是行之有效的施工测量方法。

3)借助红外测距仪用极坐标放线,是一种省人力、速度快、精度高的放线方法。

参 考 文 献

- 1 王耀强,葛岱峰. 万家沟水库混凝土双曲拱坝施工控制网布置. 水利水电测量, 1994(2): 29~34
- 2 刘 政,高红霞. 万家沟水库施工控制网的建立及施工放线方法. 内蒙古农牧学院学报, 1997(3): 79~84