

抽水蓄能电站岔管月牙肋端部类型优化研究

齐志巍

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司

摘要: 岔管体型对电站引水系统的水头损失影响较大,从而间接影响到电站的整体效益。文章以某抽水蓄能电站为工程背景,利用数值模拟的方式探讨了引水系统岔管月牙肋端部型式的具体影响。根据计算结果建议采用圆形月牙肋端部形态,并将肋宽调整为原设计方案的1/4。

关键词: 岔管; 月牙肋; 抽水蓄能电站

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.19.069

一、工程概况

某抽水蓄能电站为上水库为沥青混凝土心墙堆石坝结构设计,下水库为混凝土重力坝坝型设计。引水系统为一洞两机布置。岔管采用的是对称Y型月牙肋钢岔管,其分岔角为 84° ,主锥和支锥各由两节锥管过渡。与岔管相连的主管内径3.9m,岔管公切球直径为4.5m,与岔管相连的支管内径2.3m,管壁厚度为24mm,肋板厚度为90mm。

鉴于岔管部位的水流流态较为复杂,容易出现回流和负压等诸多问题^[1]。其中,岔管部位的月牙肋作为一种内部凸起结构,其型式的不同也会造成不同的分流效果。在水利工程研究领域,模型试验具有十分重要的意义和作用,特别是利用模型试验可以直接观察管内流动的水流特征,但是这种研究方式需要花费较高的时间成本^[2]。目前,数值模拟的方法在水利工程研究中已经趋于成熟,模拟结果与实际流动情况基本相符。因此,此次研究中通过构建有限元计算模型,对不同工况下月牙肋体型的工程效果进行模拟计算,以探究月牙肋端部的最佳设计体型,以便为工程设计提供必要的参考和依据。

二、有限元计算模型

(一) 计算模型的建立

研究中使用三维建模软件SolidWorks对背景工程引水系统的岔管段进行建模^[3]。对于构建的几何模型,利用ICEM CFD的O型切分网格技术,使用六面体结构化网格对主管和支管段进行网格划分,过渡管段则采用四面体非结构化网格进行划分,以有效使用大变径的特征^[4]。由于电站运行过程中,岔管部位的流态十分复杂,因此需要对岔管部位的网格进行局部加密处理,以便数值模拟计算的结果更符合岔管内水体的实际流动情况。最终,整个模型划分为87556个网格单元,92237个

计算节点。有限元模型示意图如图1所示。

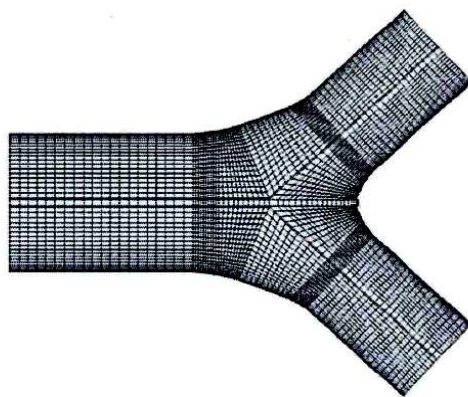


图1 有限元模型示意图

(二) 计算与求解

此次计算为定常计算,基于有限体积法对控制方程进行离散求解,利用PISO算法对压力-速度耦合方程进行求解^[5]。合理的边界条件设置对保证计算结果的科学性和有效性具有重要意义。根据研究对象的特点以及计算便捷性的要求,在模型计算过程中假设计算截面的流速和压强均为均匀分布,并以此为基础确定水力直径和湍流强度^[6]。根据工程实际,将研究段的进口和出口分别设定为压力进口和速度出口边界条件。假设压力和流速在研究管段的进口和出口断面为均匀分布特征^[7]。计算中的管壁采用的是壁面边界,且满足无滑移边界条件,以保证计算结果和工程实际的适配性。针对网格划分导致的不同网格类型交界部位的节点不对等问题,研究中采用interface对流动的连续性进行处理。

模型计算过程主要包括如下四步:首先,对构建的有限元计算模型根据工程背景施加内水压力,内水压力应该分布在模型结构的全部内表面;其次,为了保证模型计算过程中模型不会发生明显的位移变形,将主管和支管的固端设置为全位移约束条件;再次,对模型中所有接触单元的外节点全部设置为全位移约束条件,其另外一侧的节点位移钢岔管上,使其在运行过程中可以发挥弹性作用,以便有效模拟工程实际。最后,在分析过程中采用大变形分析模式对整个模型进行求解计算,计算中的荷载步为20步。

(三) 计算方案

月牙肋的型式不同,对岔管的分流效果也会起到不同的作用。基于此,此次研究选择方形和圆弧形两种不

同的月牙肋进行模拟计算,以探究哪种月牙肋型式更具优越性。在型式优选的过程中,月牙肋的宽度也是十分重要的影响因素。此次研究与背景工程的原始设计岔管为基础,设计0、0.125、0.25、0.375和0.5等不同的肋宽调整系数(现肋宽和原肋宽的比值),其水平横截面的长度也随之按比例缩小。其中肋宽调整系数为0表示将月牙肋移动到岔管的外部,在岔管内部无实体,不起分流作用,仅在外围起到加强结构稳定的作用。

三、计算结果与分析

(一) 流速

利用构建的有限元模型,对不同计算方案下岔管附近的流速进行模拟计算。从计算结果中抽取关键点位的

流速值,结果如表1所示。由表中的结果可以看出,随着月牙肋宽度的变化,岔管档部界面的流速存在比较显著的变化。当岔管内部没有月牙肋时,档部的水流流态比较平顺,没有涡流出现,随着月牙肋肋宽的增加,档部开始出现负流速。从两种不同的月牙肋肋型的计算结果对比来看,其流速的变化规律基本相同,但是圆形月牙肋岔管出现不良流态时的肋宽调整系数大于方形月牙肋。对于方形月牙肋而言,当肋宽调整系数为0.375时,岔管档部出现负流速,且存在面积较大的低流速区;对于圆形月牙肋而言,其肋宽调整系数为0.5时才出现上述现象。

(二) 水头损失

表1 岔管档部流速计算结果

月牙肋端部类型	导肋宽调整系数	与主管中心线横向距离 (m)					
		0		1.0		2.0	
		抽水	发电	抽水	发电	抽水	发电
方形	0	-5.14	5.25	-5.21	5.78	-3.91	4.23
	0.125	-5.03	4.87	-4.89	5.54	-2.23	2.76
	0.25	-4.92	4.23	-4.57	5.15	-1.83	0.77
	0.375	-4.31	3.85	-4.01	4.88	0.55	-0.12
	0.5	-3.22	3.22	-3.22	4.23	0.88	-0.72
圆弧形	0	-5.40	5.51	-5.47	6.07	-4.11	4.44
	0.125	-5.28	5.11	-5.13	5.82	-2.34	2.90
	0.25	-5.17	4.44	-4.80	5.41	-1.13	1.81
	0.375	-4.53	4.04	-4.21	5.12	-0.58	0.52
	0.5	-3.38	3.38	-3.38	4.44	0.92	-0.76

水头损失计算结果如表2所示。从计算结果可以看出,月牙肋端部类型和肋宽调整系数对产管部位的水头损失存在显著的影响,同时呈现出一定的规律性。在发电工况下,月牙肋端部无论是方形还是圆形,其水头损失系数的变化幅度均比较小,浮动范围在0.3左右。同时,随着月牙肋宽度的增加,其水头损失系数呈现出先减小后增大的变化特点,当肋宽调整系数为0.25时,两种不同型式月牙肋在发电工况下的水头损失系数最小。从两种月牙肋型式对比来看,圆形月牙肋的水头损失系数更小。

在抽水工况下,水头损失系数明显偏高,且随着月牙肋宽度的增加而增大。两种不同月牙肋型式的对比来看,当月牙肋宽度调整系数小于0.25时,圆形月牙肋的水头损失系数相对较小;当月牙肋宽度调整系数大于0.25时,圆形月牙肋的水头损失系数相对较大。

(三) 年效益损失分析

研究中根据岔管水头损失的计算结果,求出不同计算方案下抽水蓄能电站年效益损失,计算结果如表3所示。从计算结果可以看出,在发电工况下的电站效益损失随着月牙肋宽度的增加而呈现出先减小后增大的变化趋势。无论是方形还是圆形月牙肋端部型式,其年效益总损失均在肋宽调整系数为0.25时达到最小。从两种不同的月牙肋端部类型对比来看,圆弧形月牙肋端部方案的年效益损失最小,为121.81万元,与方形月牙肋端部设计方案相比,年效益损失减小2.17万元。

四、结语

此次研究以某抽水蓄能电站为工程背景,分析了引水系统岔管月牙肋端部型式和肋宽对岔管部位的流态、水头损失以及年效益损失的具体影响。从计算结果来看,采用圆形月牙肋端部形态,肋宽调整系数为0.25时,岔管部位的水头损失和年效益损失最小,推荐在工程设计中采用。同时,文章的研究方法和结论对类似工

表2 水头损失计算结果

月牙肋端部类型	肋宽调整系数	水头损失 (m)		水头损失系数		综合水头损失 (m)
		发电	抽水	发电	抽水	
方形	0	0.438	0.431	0.300	0.406	0.869
	0.125	0.438	0.460	0.300	0.432	0.898
	0.25	0.414	0.488	0.283	0.459	0.902
	0.375	0.417	0.495	0.285	0.465	0.910
	0.5	0.485	0.501	0.332	0.470	0.986
圆弧形	0	0.438	0.431	0.300	0.405	0.869
	0.125	0.417	0.462	0.285	0.434	0.878
	0.25	0.404	0.480	0.276	0.452	0.884
	0.375	0.416	0.492	0.284	0.463	0.907
	0.5	0.465	0.501	0.318	0.470	0.965

表3 年效益损失计算结果

月牙肋端部类型	肋宽调整系数	水头损失 (m)		年效益损失 (万元)		年效益总损失 (万元)
		发电	抽水	发电	抽水	
方形	0	0.438	0.431	79.49	43.28	122.77
	0.125	0.438	0.460	79.49	46.12	125.61
	0.25	0.414	0.488	75.07	48.92	123.98
	0.375	0.417	0.495	75.50	49.60	125.11
	0.5	0.485	0.501	88.07	50.23	138.31
圆弧形	0	0.438	0.431	79.49	43.28	122.77
	0.125	0.417	0.462	75.50	46.31	121.81
	0.25	0.404	0.480	73.23	48.16	121.39
	0.375	0.416	0.492	75.38	49.32	124.70
	0.5	0.465	0.501	84.24	50.24	134.48

程和相关研究也具有一定的借鉴和参考价值。当然，此次研究的结果仅由理论层面的计算获取，其应用价值如何，还需要工程实践的进一步检验。此外，在水电站引水系统的岔管设计中，还有卜型和非对称Y型岔管，在今后的研究中，还应该针对其他岔管形式进行研究，提高研究结果的广泛适用性。

参考文献

[1] 苏凯, 李聪安, 伍鹤皋, 胡馨之. 水电站月牙肋钢管岔管研究进展综述[J]. 水利学报, 2017, 4808: 968-976.
 [2] 刘韬. 抽水蓄能电站运行期库水位升降区倾倒变形体稳定性研究[J]. 水利技术监督, 2021, 07: 147-150.
 [3] 徐大彬, 蓝妹元, 王煌, 冯章, 李子哈. 三梁岔

管体型设计在北线引水工程中的应用[J]. 水科学与工程, 2021, 01: 23-27.

[4] 代元, 方建银, 吴阳, 吴文平. 抽水蓄能电站岔管导流板体型研究[J]. 水力发电学报, 2021, 4004: 43-49.

[5] 姚敏杰, 汪剑国, 李高会, 王颂翔. 某抽水蓄能电站引水调压室底部大直径三梁钢岔管优化研究[J]. 大坝与安全, 2021, 03: 39-44.

[6] 薛超. 基于Solidworks的Y形岔管应力变形和流场特性分析及体型优化[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 1703: 177-184.

[7] 纪昌知, 姬艳君, 孙洪亮, 倪绍虎. 某抽水蓄能电站进出水口体型优化的数值模拟[J]. 人民长江, 2017, 48S2: 189-192.