

文章编号:1671-6833(2025)04-0107-07

基于 Inventor 二次开发的垫层蜗壳参数化设计

包腾飞¹, 赵向宇¹, 周喜武², 陈雨婷¹, 程健悦¹

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省水利工程科技咨询股份有限公司, 江苏 南京 210029)

摘要:针对垫层蜗壳设计过程复杂、设计更改烦琐、结构优化效率低下等问题,基于 Inventor 平台,确定了垫层蜗壳的设计参数,研究了蜗壳的参数化建模方法。针对参数化建模中钢衬与垫层、垫层与外围混凝土间的接触状态难以处理的问题,引入了曲面划分算法,实现了钢衬、垫层与外围混凝土的有效分割;针对蜗壳垫层与进水口垫层相交重叠问题,提出了实体接触判断算法及切割方法,实现了两者交界部位精细化处理。实例应用结果表明:采用所提参数化设计方法,能够根据设计参数的调整快速地建立模型。当垫层厚度变大,外包混凝土承担内水压力比例减少,最小可达 20.16%,钢衬环向、径向位移均增大,最大可分别达到 12.26, 9.39 mm;当垫层铺设范围变大,外包混凝土承担内水压力比例大致呈减小趋势,最小可达 23.17%,钢衬环向、径向位移均减小,最小可分别达到 4.27, 2.06 mm。最终选择垫层子午向包角铺设至腰线以下 15°,厚度选择 20 mm。

关键词:BIM 技术; 参数化设计; 三维模型; 垫层蜗壳; 二次开发

中图分类号:TV222.1

文献标志码:A

doi:10.13705/j.issn.1671-6833.2025.04.012

垫层蜗壳在中国应用较早,是一种较为普遍的蜗壳埋设方式,其主要结构特点是利用压缩模量较小的垫层材料将蜗壳的钢衬与蜗壳周边的混凝土分离开来,将原本“钢衬-混凝土”的受力状态转变为“钢衬-垫层-混凝土”的受力状态^[1],有效降低了蜗壳外围混凝土的受力。由于垫层材料的压缩模量较小,可以有效调节蜗壳钢衬和蜗壳外围混凝土承担内水压力的比例,因此广泛应用于中国大中型水电站中,如龙滩、向家坝、白鹤滩、溪洛渡^[2]等。但由于垫层蜗壳结构的复杂性,无法准确计算钢衬和混凝土的承载比例,所以垫层的铺设范围和铺设厚度往往难以确定。为确定钢衬和外围混凝土承担内水压力的最佳比例,大多采用有限元方法来进行结构的优化设计,而在优化过程中需要不断修改核心参数,这也意味着有限元模型需要不断修改,导致建模难度很大。针对模型优化步骤复杂的问题,在建模阶段常常采用参数化设计,但常规的参数化手段仅关注蜗壳的钢衬结构,对于垫层蜗壳的参数化设计研究较少^[3],垫层的网格划分精度也难以达到要求。为此需要更加高效且稳定的参数化设计手段,

提高垫层蜗壳的优化效率。

近些年来,随着建筑结构趋于多样化、异型化,建筑信息模型(bulding information modeling, BIM)技术迅速崛起,已经在各个行业得到了广泛的应用^[4]。BIM 技术主要通过计算机手段,建立三维模型,根据理论设计参数,为实际工程提供可参考的数字化模型,同时与有限元计算软件有着良好接口,便于导入软件进行有限元计算^[5]。垫层蜗壳结构复杂,建设过程不可逆,需要严格计算其应力应变情况。因此,BIM 技术使得这类复杂结构在实际施工前得到更加有效的设计,便于设计人员对于钢衬、垫层承担内水压力的比例进行正确判断。此外,由于垫层厚度和垫层包角范围难以确定,实际建模中往往需要对其进行调整,常用建模优化效率较低且建模精度不高。目前,在项目设计阶段利用 BIM 技术进行垫层蜗壳设计的研究较少。为此,本文将 BIM 技术引入到垫层蜗壳三维模型的建立中,研究高效建立参数化模型的方法,利用 BIM 技术实现垫层蜗壳的参数化建模以及建模逻辑判断,以便于垫层蜗壳设计参数的确定。

收稿日期:2024-10-14; **修订日期:**2024-12-10

基金项目:国家自然科学基金联合基金资助项目(U2243223);广东省水利科技创新项目(2024-07)

作者简介:包腾飞(1974—),男,湖北黄冈人,河海大学教授,博士,博士生导师,主要从事水工结构设计研究,E-mail:baotf@hhu.edu.cn。

引用本文:包腾飞,赵向宇,周喜武,等. 基于 Inventor 二次开发的垫层蜗壳参数化设计[J]. 郑州大学学报(工学版), 2025, 46(4): 107-113. (BAO T F, ZHAO X Y, ZHOU X W, et al. Parametric design of spiral case with cushion layer based on inventor secondary development[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2025, 46(4): 107-113.)

1 垫层蜗壳参数化构建算法

1.1 开发平台和工具

常见 BIM 平台有 Autodesk 平台、Bentley 平台和 3DEXPERIENCE 平台等,这些平台使用过程中附加了额外的自定义插件。在水利和土建行业中, Autodesk 平台开发难度相对较低且使用较为广泛。因此,本文采用 Autodesk 平台中的 Inventor 软件作为模型搭建平台。

由于垫层蜗壳的厚度和包角范围难以确定,因此在建模过程中需要多次模拟不同厚度和包角对蜗壳钢衬受力的影响效果,不断优化参数选择以期达到最佳受力状态。BIM 技术的重要特点是模拟性和优化性,即能通过 BIM 模型模拟实际工程状态并进行设计方案的优化选择^[6]。然而, Inventor 软件对于建模逻辑的判断能力较弱且无法进行批量的数据处理,在模型放样过程中常常出现自交问题,模型的切割过程中也受限于切割面的识别而产生错误切割。本文通过 Visual Basic 编程语言建立逻辑判断语句,通过内置 iLogic 接口和链接选项读取模型参数和判断语句,在 Inventor 软件实时观察模型的基础上,有效解决了数据读取、逻辑判断和批量操作等复杂问题^[7],可快速建立垫层蜗壳模型并根据有限元计算结果选取最合适的垫层参数,为水电站蜗壳结构优化提供设计依据。

1.2 参数化设计算法

目前对于蜗壳参数化的研究主要集中于钢衬结构及对应截面,对于含垫层结构的蜗壳研究较少,同时对蜗壳的关键设计参数的确定也不尽相同^[8-10]。为此,本文将蜗壳结构进行抽象化,确定结构的关键参数,避免复杂运算的同时实现模型建立的自动化。

垫层结构在空间上附属于蜗壳钢衬结构,因此,在建立模型的同时确定蜗壳钢衬及对应截面的参数。如图 1 所示,常用的蜗壳参数有机组中心线到蜗壳外缘长度 R_0 、蜗壳截面半径 R 、机组中心线到蜗壳截面圆心的距离 a 、机组中心线至座环边缘长度 R_1 、座环高度 h 、截面数 n 以及蜗壳截面夹角 φ ^[11]。对于垫层部分,主要参数有垫层厚度 D 、垫层水平铺设范围 α 、垫层铺设起始角 β 以及终止角 γ 。

蜗壳截面所在平面随着截面夹角在不断变化,作为附属结构的垫层,其相对位置也在变化。因此,本文算法采用相对坐标的参数输入方式,这一过程需要在参数读取过程中实时判断参数数量和数值是否符合正常蜗壳参数,该部分算法由 iLogic 模块和链接功能完成。首先按顺序读取参数,此时的参数

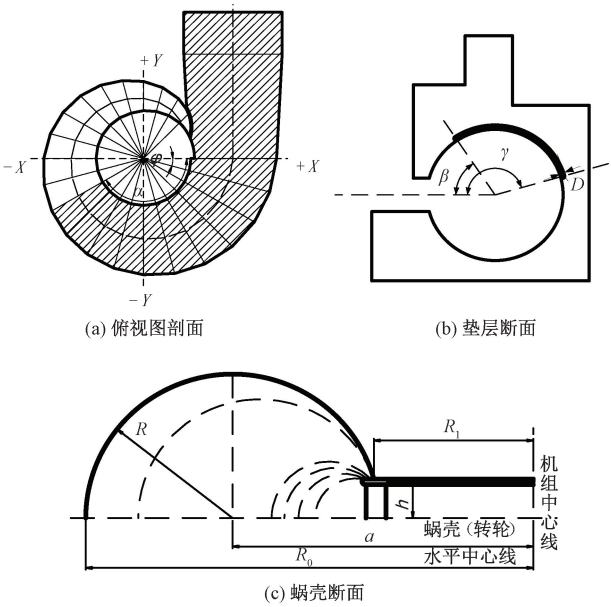


图 1 垫层蜗壳参数

Figure 1 Parameters of spiral case with cushion layer

作为 Excel 外置表单独存在而不参与模型修改,若经 iLogic 逻辑判断出现数据缺失或数据过多,则会自动停止并弹出提示框报错;若参数无问题,则将参数链接至 Inventor 中的用户参数部分,可从软件内部随时调用,同时也可通过 Excel 表单实时修改。在链接用户参数这一过程中,本文算法主要对参数的数值大小和各参数对应关系进行判断,主要参照指标为蜗壳截面半径 R 逐渐变小的趋势、截面夹角 φ 的总和、垫层包角范围等。在逻辑判断结束后,蜗壳参数都已得到确定值,此时用户参数会由模型参数读取,进行后续的建模操作。模型参数可作为模型各单一实体间相互关系及激活状态的判断,判断的主要参照指标为蜗壳各节间相互关系、垫层和蜗壳接触关系、蜗壳鼻端等。数据逻辑判断过程如代码 1 所示。

代码 1 数据逻辑判断代码

```
Inputs:Parameter data Pn, Judgment conditions Tm
Output:Logical result Rn
1: for i = 1 to n
2:   for Each num in Pi
3:     for j= 1 to m
4:       if Not Tj Then
5:         allsatisfy = False
6:         Console.WriteLine( " Error" )
7:         exit for
8:       end if
9:     Next
10:   if allsatisfy then
11:     Logicalresult. Add( num)
```

```
12:     end if
13: end for
14: return Logicalresult. ToArray()
15: end for
Return:Rn
```

1.3 实体建模算法

在将模型各项数据进行参数化后,模型建立的顺序也决定了参数化建模的成功与否^[12]。首先是钢衬结构及其对应截面,确定初始截面的圆心坐标和其余参数,以点、线的形式确定初始截面所在平面,随后引入向量类数据,确定下一截面所在平面,在该平面上重复以上流程至生成所有截面轮廓线及对应的平面。之后根据截面圆心坐标确定模型放样曲线,由于圆心坐标是通过相对坐标确定的,故放样过程默认存在前后逻辑关系,放样即可生成初步的无垫层蜗壳模型。

常见的建模方式认为钢衬和垫层间、垫层与外围混凝土间均按共节点考虑^[13],同时由于垫层铺设范围的限制,必然存在钢衬和外围混凝土互相接触的截面,这种复杂的接触状态在参数化建模中需要准确判断。

本文算法优先建立完全外包的垫层结构,再对垫层进行切割,既解决了参数化建模中对复杂接触的判断问题,也便于有限元计算时的网格划分,具体流程如下。首先,在截面草图上根据垫层厚度进行偏移,得到完全外包的垫层轮廓线,重复以上步骤至所有蜗壳截面草图绘制出垫层轮廓线,再以截面圆心为起始点,垫层铺设起始角 β 、终止角 γ 向外延伸射线,重复以上步骤至水平铺设角度范围 α 的下一截面。以钢衬结构生成的圆心曲线为放样曲线,将垫层铺设起始角射线放样形成垫层部分铺设起点的起始曲面,终止角射线放样形成垫层铺设末端的终止曲面。下一步确定垫层水平铺设范围,以初始截面为起始截面,顺时针旋转 α 得到水平铺设终止截面,此时需要判断终止截面是否与某一截面重合,若不重合,则需以终止截面为准进行再次切割;若重合,则抑制切割状态,最终生成的切割面如图 2 所示。

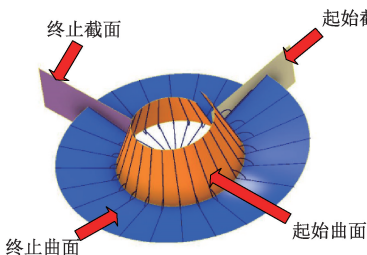


图 2 切割曲面
Figure 2 Cutting surface

经参数 α 、 β 、 γ 形成的曲面切割后,垫层结构与钢衬和外围混凝土分割开来,在有限元计算中只需要赋予不同结构的材料属性即可,避免了不同结构在接触位置的实体网格的重新划分。曲面划分实现过程如代码 2 所示。

```
代码 2 曲面划分代码
Inputs:Parameter data  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\varphi$ 
Output:Cutting surface surf1、surf2、surf3
1: surf1 = RotateSection( inletSection, alpha)
2: Dim nextSectionNumber = Math. Floor( alpha / phi) + 1
3: If currentSection. Number = nextSectionNumber Then
4:     NextFeature. IsActive( beta) = False
5:     NextFeature. IsActive( gamma) = False
6: else
7:     NextFeature. IsActive( beta) = True
8:     NextFeature. IsActive( gamma) = True
9: For Each cuttingSurface in cuttingSurfaces
10:    If isOverlapWithNPhi( cuttingSurface, nPhi) Then
11:        outputSurfaces( { surf2, surf3} )
12:    else
13:        surf2 = CutSurface( surf1, cuttingSurface)
14:        surf3 = CutSurface( surf1, cuttingSurface)
15:        outputSurfaces( { surf2, surf3} )
16:    end If
17: end for
Return: surf1、surf2、surf3
```

由图 1(b)可见,垫层为扇环结构,其截面圆心位置为钢衬结构的截面圆心,故在蜗壳鼻端钢衬结构交界处向外延伸扇环结构时,蜗壳垫层会与进水口垫层相交,相交情况如图 3 所示。当垫层厚度发生变化时,重叠部分和多余部分也会随之变化,这一变化过程难以确定,同时也会极大地降低三维模型的建模精度。为此,本文增加实体接触判断步骤,根据现有实体判断交界处的重叠部分和多余部分及切割方向,对鼻端位置精细化处理。

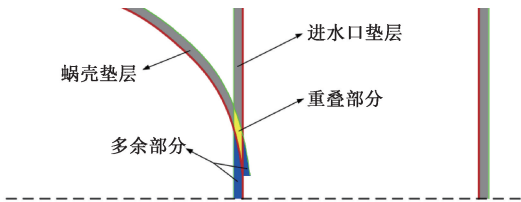


图 3 垫层鼻端交界
Figure 3 Cushion layer end junction

本文算法在建模过程中先将各节蜗壳及垫层以新建实体的方式建立,故重叠部分和多余部分的主要处理依据为各单一实体的相互关系,而输入的参数数值是在随机范围内的,无法确定与进水口垫层相交的蜗壳垫层属于第几节蜗壳。所以

本文算法以水平铺设范围 α 为判断条件,以该范围外的下一节蜗壳为起始点,对之后的垫层结构进行布尔加运算生成 Entity 1;再以进水口钢衬外缘曲面为切割曲面对 Entity 1 进行切割,指定切割方向为进水口断面圆心方向,得到蜗壳垫层和重叠部分的组合体 Entity 2;再将 Entity 2 与进水口垫层进行布尔加运算得到 Entity 3;之后以蜗壳钢衬外缘曲面为切割曲面,对 Entity 3 进行切割,指定切割方向为蜗壳平面图旋转中心,最后得到精细化的鼻端垫层模型。实体接触判断具体流程如代码 3 所示。

代码 3 实体接触代码

Inputs:Parameter data

Output:Detailed model

```
1: Sub Main( )
2:   sectioni= Math.Floor(alpha / phi) + 1
3:   For sectionNumber = sectioni To sectionn
4:     currentSolid = BySection(sectionNumber)
5:     entity1 = BooleanForSolids(currentSolid)
6:   end for
7:   entity2 = CutEntity(entity1, Surface1, Dir1)
8:   entity3 = BooleanBetween(entity2, InletSolid)
9:   DtModel = CutEntity(entity3, Surface2, Dir2)
10:  OutputModel(DtModel)
11: end Sub

Return: Detailed model
```

至此,垫层蜗壳实体建模流程结束,输出实体模型,如图 4 所示。算法流程技术路线图如图 5 所示。

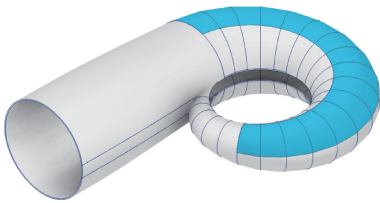


图 4 垫层蜗壳模型

Figure 4 Model of spiral case with cushion layer

2 应用

2.1 工程概况

新疆某自治州境内某水电站工程厂房为 2 级建筑物,场地地震基本烈度为Ⅷ度,厂房标准机组段长度为 15.0 m,端机组段长度 17.5 m,宽度为 21.1 m,高度为 50.4 m。采用三维有限元计算分析垫层蜗壳单体结构在静动力组合作用下的结构应力和变形分布情况。

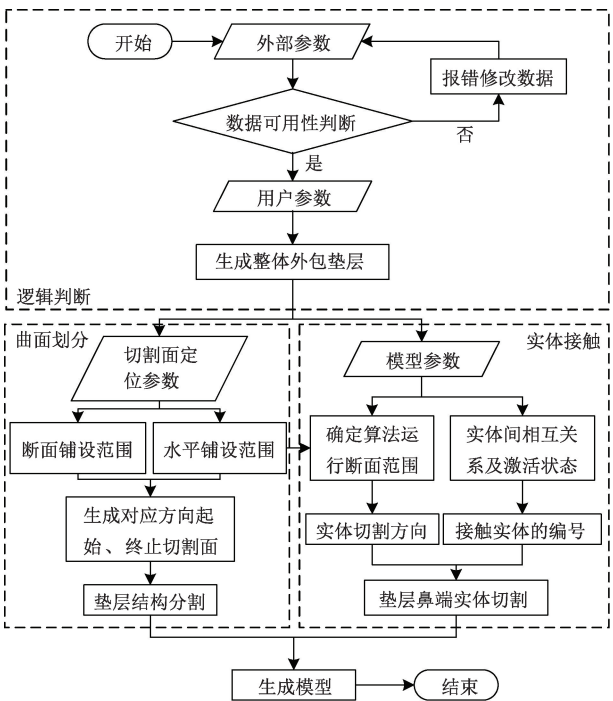


图 5 参数化模型框架

Figure 5 Framework for parametric models

2.2 垫层蜗壳方案设计

2.2.1 优化方案

初拟蜗壳垫层变形模量为 3.0 MPa、泊松比 μ 为 0.010、摩擦系数依据经验取为 0.5、厚度为 20 mm,蜗壳外围混凝土采用 C35,钢衬采用 Q345R。根据要求,需要通过计算对不同蜗壳垫层厚度、垫层包角范围进行优化。计算方案依据文献 [3,14] 和实际情况最终确定如下。

方案 1:以座环上环板为起点、沿蜗壳子午向 10°为垫层起始点,腰线下 15°为垫层子午向末端。改变垫层厚度,垫层厚度分别取 20,30,40,50 mm。

方案 2:垫层厚度取 20 mm,座环上环板为起点,沿蜗壳子午向 10°为垫层起始点,改变蜗壳子午向垫层包角,垫层下末端铺设位置分别在腰线上 30°、腰线上 15°、腰线处、腰线下 15°、腰线下 30°(分别记为-30°,-15°,0°,15°,30°)。

蜗壳垫层参数优选计算时,根据 NB 35011—2016《水电站厂房设计规范》^[15] 采用正常运行工况 D1,作用组合参见文献[15]。通过各方案的混凝土与垫层分别承担的内水压力比值和蜗壳钢衬最大位移值,综合比选提出适合本水电站蜗壳的垫层参数。

2.2.2 参数修改

由于设计方案主要关注点在于垫层的厚度和包角范围,输入工程数据至 Excel 表中即可获得初步无垫层实体蜗壳模型,之后根据两种方案,修改垫层厚度和包角范围,其中,方案 2 蜗壳模型见图 6。

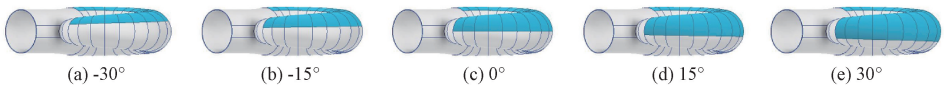


图 6 方案 2 蜗壳模型

Figure 6 Scheme 2 spiral case models

在修改垫层厚度时,垫层包角不变,代码检测到包角范围相关代码无改变,自动跳过曲面划分阶段。由于厚度改变,垫层鼻端相交位置处的多余部分和重叠部分发生改变,此时实体接触判断代码自动运行,重新判断各实体的接触关系。在修改包角范围时,涉及平面铺设范围和起始截面终止截面控制,自动运行划分切割曲面代码,将垫层与外围混凝土分割开来。同时判断水平铺设范围 α 是否改变,若发生改变,则运行实体接触代码,避免铺设范围改变导致鼻端垫层重复切割。

2.3 计算结果

蜗壳外围混凝土的承载比为

$$\eta = 1 - \frac{\delta \cdot \sigma}{r \cdot p} \tag{1}$$

式中: δ 为进水口断面处钢衬的厚度,本工程中厚度为 36 mm; r 为水口断面处蜗壳的半径,本工程中半径为 1 592 mm; σ 为蜗壳进水口断面处环向应力的平均值,MPa; p 为蜗壳的设计内水压力,在本工程中取 200 m 水头。

方案 1 钢衬位移示意图见图 7,计算结果见表 1。由表 1 可知,垫层蜗壳在垫层铺设范围确定的情况下,外包混凝土承担内水压力的比例随铺设厚度增加而减少。随着垫层厚度的增大,钢衬径向位移与环向位移均增大。

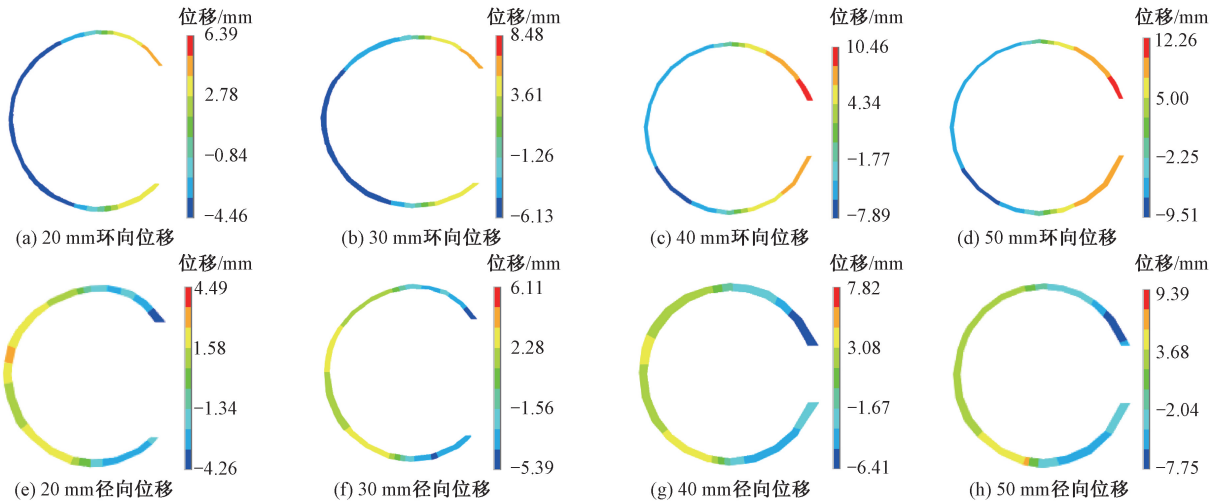


图 7 方案 1 钢衬位移示意图

Figure 7 Steel liner displacement of scheme 1

表 1 方案 1 计算结果

Table 1 Calculation result of scheme 1					
厚度/ mm	σ / MPa	承担内水压力比例/%		钢衬最大位移/mm	
		外包混凝土	钢衬	环向	径向
20	65.12	24.87	75.13	6.39	4.49
30	67.15	22.53	77.47	8.48	6.11
40	68.36	21.13	78.87	10.46	7.82
50	69.20	20.16	79.84	12.26	9.39

方案 2 计算结果见表 2,钢衬位移示意图见图 8。由表 2 可知,垫层蜗壳在垫层铺设厚度确定的情况下,外包混凝土承担内水压力的比例大致随着铺设角度增加而减少。随着垫层铺设范围的增大,钢衬径向位移与环向位移均减小。

表 2 方案 2 计算结果

Table 2 Calculation result of scheme 2					
角度/ (°)	σ / MPa	承担内水压力比例/%		钢衬最大位移/mm	
		外包混凝土	钢衬	环向	径向
-30	60.21	30.53	69.47	7.44	5.58
-15	64.65	25.41	74.59	6.39	4.49
0	65.62	24.29	75.71	5.57	3.63
15	66.59	23.17	76.83	4.82	2.71
30	66.52	23.25	76.75	4.27	2.06

综合考虑不同垫层厚度和包角下的内水压力分配比值,建议垫层子午向包角铺设至腰线以下 15°,厚度选择 20 mm。

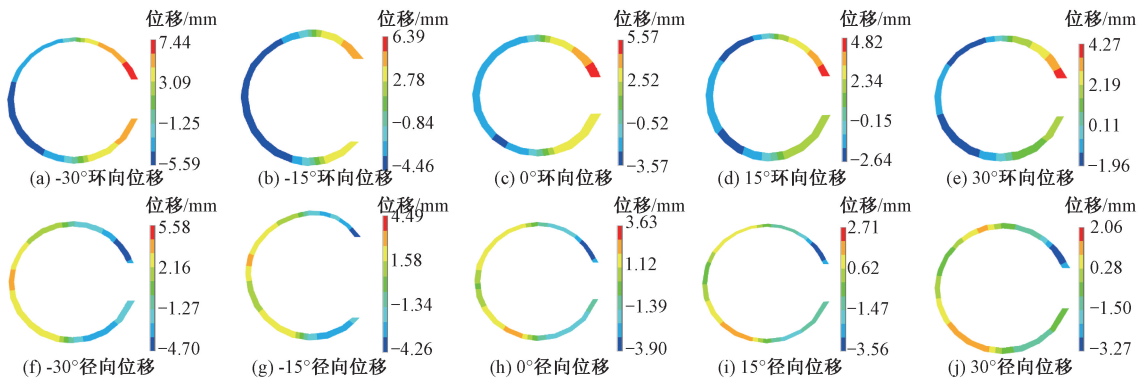


图 8 方案 2 钢衬位移示意图

Figure 8 Steel liner displacement of scheme 2

3 结论

本文针对垫层蜗壳设计过程复杂、设计更改烦琐、结构优化效率低等问题,研究了基于 Inventor 平台的垫层蜗壳参数化建模方法,并给出了建模中钢衬、垫层与外围混凝土难以有效分割以及蜗壳垫层与进水口垫层相交重叠等问题的处理方法。

以某水电站工程为例验证了本文提出的垫层蜗壳参数化建模方法的正确性。当垫层厚度变大,外包混凝土承担内水压力比例减少,钢衬环向、径向位移均增大;当垫层铺设范围变大,外包混凝土承担内水压力比例大致呈减小趋势,钢衬环向、径向位移均减小。最终选择垫层子午向包角铺设至腰线以下 15°,厚度选择 20 mm。

参考文献:

[1] 郭涛,张立翔,武亮. 水电站充水保压蜗壳结构研究和应用综述[J]. 昆明理工大学学报(自然科学版), 2015, 40(3): 70-78.
GUO T, ZHANG L X, WU L. Advance in research and application of preload filling spiral case structure in hydroelectric power plant[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2015, 40(3): 70-78.

[2] 王家明,马青. 垫层埋入法蜗壳结构设计的统计分析与研究[J]. 人民黄河, 2021, 43(1): 133-136.
WANG J M, MA Q. Statistical analysis and research on structural design of spiral case with cushion embedding method[J]. Yellow River, 2021, 43(1): 133-136.

[3] 付洪霞,马震岳,董毓新. 水电站蜗壳垫层结构研究[J]. 水利学报, 2003, 34(6): 85-88, 94.
FU H X, MA Z Y, DONG Y X. Study on structure of cushion layer for spiral case in hydropower station[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 34(6): 85-88, 94.

[4] 陈桂香,徐晨,张文萃,等. 基于 BIM 技术的通用管片精细化建模及应用[J]. 施工技术, 2019, 48(4): 76-80.
CHEN G X, XU C, ZHANG W C, et al. Application and fine modeling of general segment based on BIM technology [J]. Construction Technology, 2019, 48(4): 76-80.

[5] 龚健,包腾飞,陈知渊,等. 基于 BIM 技术的地下空间曲线钢管分段排布算法[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(5): 108-114, 126.
GONG J, BAO T F, CHEN Z Y, et al. A BIM technology-based algorithm for steel pipe segmentation arrangement of underground space curves[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2022, 42(5): 108-114, 126.

[6] 叶越胜,吴佩,陈孝哲. 三维激光扫描与 BIM 技术在盾构隧道施工中的融合应用[J]. 广东土木与建筑, 2021, 28(2): 9-12.
YE Y S, WU P, CHEN X Z. Application of 3D laser scanning and BIM technology in the construction of shield tunnel[J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2021, 28(2): 9-12.

[7] 张爱梅,吴卫卫,李林岩,等. 基于 Inventor 的变压器工程图自动绘制系统开发[J]. 郑州大学学报(工学版), 2013, 34(1): 91-94.
ZHANG A M, WU W W, LI L Y, et al. System development of the automatic drawing about transformers based on inventor[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2013, 34(1): 91-94.

[8] 左鹏程,屈波,花港,等. 水泵水轮机全椭圆蜗壳的设计与 CFD 分析[J]. 水电能源科学, 2023, 41(3): 172-175, 185.
ZUO P C, QU B, HUA G, et al. Design of fully elliptical volute for pump turbines with CFD analysis[J]. Water Resources and Power, 2023, 41(3): 172-175, 185.

[9] 刘厚林,华旭辉,马皓晨,等. 蜗壳断面面积变化规律对离心泵性能的影响[J]. 中国农村水利水电, 2022(3): 163-167, 173.
LIU H L, HUA X H, MA H C, et al. The influence of

volute section area variation on centrifugal pump performance[J]. China Rural Water and Hydropower, 2022 (3): 163–167, 173.

[10] 刘奕炜, 陈铭轩, 牛志伟, 等. 基于 Dynamo 和 Advance Steel 的水轮机蜗壳快速设计方法[J]. 水力发电, 2023, 49(9): 62–68.

LIU Y W, CHEN M X, NIU Z W, et al. Rapid design method of spiral case of hydro turbine based on Dynamo and Advance Steel[J]. Water Power, 2023, 49(9): 62–68.

[11] 李端阳, 刘晶, 田新星. GC 在水电站厂房蜗壳三维参数化建模设计中的应用研究[J]. 水利水电工程设计, 2013, 32(4): 18–20, 23, 56.

LI D Y, LIU J, TIAN X X. Application of generative components (GC) in tree-dimensional parameterization modeling design of powerhouse spiral case[J]. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 2013, 32 (4): 18–20, 23, 56.

[12] 陈靖芯, 徐晶, 陆国民, 等. 基于 CATIA 的三维参数化建模方法及其应用[J]. 机械设计, 2003, 20(8): 48–50.

CHEN J X, XU J, LU G M, et al. Three dimensional parametric modeling method based on CATIA and its application [J]. Journal of Machine Design, 2003, 20(8): 48–50.

[13] 张力丹, 赖喜德, 王强磊. 垫层蜗壳钢衬-混凝土结构接触数值仿真分析[J]. 中国农村水利水电, 2019 (7): 148–153, 160.

ZHANG L D, LAI X D, WANG Q L. Numerical simulation analysis of contact between steel lining and concrete structure of cushion volute [J]. China Rural Water and Hydropower, 2019(7): 148–153, 160.

[14] 安学民. 高水头电站垫层式蜗壳结构特性分析研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2009.

AN X M. Research on the structure of spiral case using cushion layer in high-head hydropower station [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009.

[15] 国家能源局. 水电站厂房设计规范: NB 35011—2016 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2016.

National Energy Bureau of the People's Republic of China. Design code for powerhouses of hydropower stations: NB 35011—2016 [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2016.

Parametric Design of Spiral Case with Cushion Layer Based on Inventor Secondary Development

BAO Tengfei¹, ZHAO Xiangyu¹, ZHOU Xiwu², CHEN Yuting¹, CHENG Jianyue¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Province Water Engineering Sci-Tech Consulting Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

Abstract: In view of the complex design process of the spiral case with cushion layer, the cumbersome nature of design changes, and the low efficiency of structure optimization, design parameters for the spiral case with cushion layer were established based on the Inventor platform, and the parametric modeling method of the spiral case was investigated. To tackle the challenge of handling contact states between the steel lining and cushion layer, as well as between the cushion layer and outer concrete during parametric modeling, a surface partitioning algorithm was introduced, enabling effective segmentation among the steel lining, cushion layer, and outer concrete. For the overlap between spiral case with cushion layer and the inlet cushion layer, an entity contact determination algorithm and cutting method were proposed, achieving refined treatment at their intersections. Case studies showed that using the proposed parametric design approach allowed for rapid model creation based on design parameter adjustments. As the thickness increased, the proportion of internal water pressure borne by the outer concrete decreased, reaching a minimum of 20.16%, while the circumferential and radial displacements of the steel lining increased, with maximum values of 12.26 mm and 9.39 mm, respectively. As the laying range expanded, the proportion of internal water pressure borne by the outer concrete roughly showed a decreasing trend, with a minimum of 23.17%, while the circumferential and radial displacements of the steel lining decreased, with minimum values of 4.27 mm and 2.06 mm, respectively. Ultimately, the meridional wrapping angle of the cushion layer was selected to extend 15° below the waistline, with a thickness of 20 mm.

Keywords: BIM; parametric design; three-dimensional model; spiral case with cushion layer; secondary development