

Mathcad 在镇墩参数化结构设计中的应用

李晶

(长江勘测规划设计研究院 湖北省武汉市 邮编 430000)

摘要: 本文针对输水管道镇墩数量众多, 计算量大, 计算书整理复杂等问题, 依据国家规范规程, 基于镇墩稳定计算理论, 利用Mathcad软件编写了镇墩结构参数化计算程序。该程序可通过一次性输入镇墩特性参数得出满足结构要求的镇墩体积重量, 并自动生成计算书。解决了镇墩计算量大, 计算书整理复杂的问题。该程序已在多个供水工程镇墩设计中得到应用, 程序简便易读, 设计效率得到极大的提高, 值得推广在工程设计中。

关键词: Mathcad; 镇墩; 参数化; 结构计算

中图分类号:

文献标识码: A

1、引言

镇墩是输水工程中重要的建筑物。在输水管道工程中镇墩一般设置在转弯处, 数量较多, 镇墩计算内容多, 工作量大, 有学者基于VB或C语言开发镇墩计算程序化平台^[1-3], 能较好的解决批量镇墩计算问题。但两者均需要再次重新整理计算结果生成格式完整的计算书, 整理工作量大, 且需要具有相应的编程知识, 计算成本较高。

Mathcad是美国PTC公司旗下的一款工程计算软件, 集编程, 计算, 显示, 文档记录于一体。Mathcad采用接近在黑板上写公式的方式让用户表述所要求解的问题, 通过底层计算引擎计算返回结果并显示在屏幕上。计算过程近似透明, 并且可以形成正式的格式文本计算书, 具有所写即所编的优点, 省去再进行编写计算书的问题。

本文利用Mathcad软件能快速完成参数化计算并且生成规范化计算书的优点, 研究开发了镇墩结构设计程序。并以重庆仙女山水库为实例, 介绍了利用Mathcad软件设计镇墩的实例。

2、镇墩稳定及结构计算理论

镇墩一般由混凝土浇筑而成, 靠自重维持管道及自身稳定。按照《水电站压力钢管设计规范》(SL281-2003), 镇墩的安全计算需要满足设计工况和校核工况下的抗滑稳定安全系数计算、抗倾覆稳定安全系数计算及地基承载力验算^{[2][4-7]}。

(1) 对于镇墩的抗滑验算, 抗滑安全系数的计算, 公式如下:

$$K_c = \frac{f(\Sigma Y + G)}{\Sigma X} \geq [K_c] \quad (1)$$

式中: K_c 为计算抗滑稳定安全系数; $[K_c]$ 为允许的抗滑稳定安全系数; f 为镇墩基底摩擦系数; ΣX 为墩所受水平向的合力; ΣY 为镇墩所受竖直向的合力; G 为镇墩重量。

(2) 对于镇墩的抗倾覆验算, 计算公式如下:

$$K_0 = \frac{y_0(\Sigma Y + G)}{x_0 \Sigma X} \geq [K_0] \quad (2)$$

式中: K_0 为抗倾覆稳定安全系数; $[K_0]$ 为允许的抗倾覆稳定安全系数; x_0 为作用在镇墩上的水平合力的作用点距倾覆原点的距离; y_0 为作用在镇墩上的垂直合力的作用点距倾覆原点的距离。

(3) 对于镇墩的地基应力的验算, 计算公式如下:

$$P_{\min, \max} = \frac{(\Sigma Y + G)}{BL} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \leq [R] \quad (3)$$

收稿日期: 2020-05-18

作者简介: 李晶(1989-), 女, 湖北省潜江市, 工程师, 硕士研究生, 主要从事水工结构设计工作。E-mail: 2563953126@qq.com

式中： $P_{min,max}$ 为作用在地基上的最大或最小应力； e 为合力作用点对镇墩底面形心的偏心距； L 为镇墩垂直管轴线方向的底面长度； B 为镇墩沿管轴方向的底面宽度； $[R]$ 为地基的允许承载力。

上述计算均以各力的水平合力 ΣX 和垂直合力 ΣY 为基本参数^[3]，因此在镇墩计算程序化的过程中，将其计算过程作为基本算法，具体计算如下：

$$\Sigma X = \Sigma A1 \times \cos\beta1 + \Sigma A2 \times \cos\beta2 - \Sigma Q1 \times \sin\beta1 - \Sigma Q2 \times \sin\beta2 \quad (4)$$

$$\Sigma Y = \Sigma A1 \times \sin\beta1 + \Sigma A2 \times \sin\beta2 + \Sigma Q1 \times \cos\beta1 + \Sigma Q2 \times \cos\beta2 \quad (5)$$

式中： $\Sigma A1$ 和 $\Sigma A2$ 分别为镇墩上段和下段管轴方向合力； $\Sigma Q1$ 和 $\Sigma Q2$ 分别为镇墩上段和下段垂直管轴方向合力；

$\beta1$ 和 $\beta2$ 分别为镇墩上下段管道倾角； ΣX 和 ΣY 分别为镇墩水平和垂直方向的合力。

3. MATHCAD 实现程序化编程方法—以重庆仙女山水库供水水库为例

仙女山水库位于重庆市武隆区西北部的仙女山镇仙女山景区内的磨子坝洼地内，是一座以仙女山景区及仙女村城乡用水为主，兼顾灌溉用水的小（1）型水利工程。

仙女山抗旱应急水源连通工程的主要功能为从阴河沟提水向水厂供水，在满足水厂需水的前提下，多余水量经二级泵站调节池自流进入水库，在阴河沟提水水量不满足水厂需求时，由仙女山水库向水厂补充供水，其任务和功能与仙女山水库的阴河沟引水系统以及水库至水厂供水系统部分相同，但引水供水规模小于仙女山水库工程。



图 1 仙女山抗旱应急水源连通工程引水供水管线布置示意图

在仙女山引水系统上，布置了大大小小几十个镇墩，利用mathcad软件可以按如下程序快速进行镇墩的安全计算。

(1) 输入镇墩的基本参数

输入不同镇墩的共性参数，包括压力管道设计流量，钢管内径，钢管壁厚，钢材和水埋的重度，镇墩与钢管的夹角，摩擦系数等基本参数；再对镇墩进行编号，输入不同镇墩的个性化参数。

压力钢管平面转弯镇墩抗滑稳定计算

1 设计依据和参考资料

- (1) 设计依据：《水电站压力钢管设计规范》(SL281-2003)
 (2) 参考资料：《水电站建筑物》
 《水电站》
 《水电站建筑物设计参考资料》

2 设计输入数据

压力管道设计流量：		$Q := 0.0878 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
钢管内径：		$D_0 := 0.250 \text{ m}$
压力钢管满负荷时管内流速：		$V_0 := \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_0^2} = 1.789 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
钢管壁厚：		$\delta := 8 \text{ mm}$
钢材重度：	$\gamma_s := 76.93 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$	
水的重度：	$\gamma_w := 9.807 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$	
镇墩上游段钢管立面倾角 (需为0)：	$\alpha_1 := 0.00^\circ$	
镇墩下游段钢管立面倾角 (需为0)：	$\alpha_2 := 0.00^\circ$	

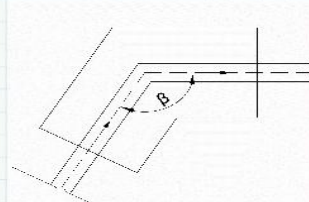


图1 夹角示意图

镇墩下游伸缩节中心的总水头：

套管式伸缩节内套管外径： $D_1 := 0.266 \text{ m}$

套管式伸缩节内套管内径： $D_2 := 0.25 \text{ m}$

套管式伸缩节止水盘根沿管轴向长度： $b_1 := 0.100 \text{ m}$

套管式伸缩节止水填料与钢管摩擦系数(采用波纹管伸缩节)： $\mu_1 := 0.3$ SL281-2003 A.5.1

支墩与钢管管壁的摩擦系数： $f_1 := 0.5$ SL281-2003 A.5.2

镇墩基地摩擦系数： f_2

镇墩抗滑稳定安全系数： $K := 1.1$

镇墩抗倾覆稳定安全系数： $K_{\text{抗倾覆}} := 1.2$

管道中心线(水平合力点)距建基面高度： $h_{\text{水平合力}} := 0.8 \text{ m}$

镇墩抗倾覆力臂： $L_{\text{抗倾覆}} := 1 \text{ m}$

镇墩基础允许承载力： $\sigma_{\text{承载力}} := 150 \text{ kPa}$

镇墩编号	β (°)	L_1 (m)	L_2 (m)	f_2	H_1 (m)	H_2 (m)	H_3 (m)	H_4 (m)
1	159.28	0	0	0.35	46.588	46.588	46.588	46.588
2	163.16	0	0	0.35	46.668	46.668	46.668	46.668
3	170.17	0	0	0.35	52.147	52.147	52.147	52.147
4	126.91	0	0	0.35	53.2	53.2	53.2	53.2
5	140.47	0	0	0.35	53.487	53.487	53.487	53.487

图2 镇墩基本参数输入

(2) 显示法-荷载计算

根据规范A.1.1条，作用于镇墩上的荷载包括：（1）镇墩自重G；（2）镇墩上下游管轴方向作用力；（3）镇墩上下游垂直管轴方向作用力；

其中镇墩上下游管轴方向作用力包括：（1）钢管自重分力A1；（2）关闭的阀门及闷头上的力A2；（3）弯管上的内水压力A3；（4）渐缩管的内水压力A4；（5）弯管中水的离心力的分力A8；（6）套管式伸缩节端部的内水压力A5；（7）温度变化时套管式伸缩节止水填料的摩擦力A6；（8）温度变化时支墩对钢管的摩擦力A7。

镇墩上下游垂直管轴方向作用力包括：（1）钢管自重分力Qs；（2）钢管水重分力Qw
荷载计算公式依据规范，利用软件进行荷载自动计算，并汇总成合力 ΣX 、 ΣY 。

3.1 单位管长钢管自重qs和单位管长管内水重qw计算

单位管长钢管自重，考虑刚性环等附件的附加重量约为钢管自重的25%

单位长度钢管自重： $q_s := 1.25 \cdot \pi \cdot (D_0 + \delta) \cdot \delta \cdot \gamma_s = 0.624 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

单位长度管内水重： $q_w := 0.25 \cdot \pi \cdot D_0^2 \cdot \gamma_w = 0.481 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

3.2 钢管对镇墩作用力计算

3.2.1 镇墩上游段钢管对镇墩作用力

(1) 管轴方向（与温度无关的荷载）

钢管自重分力： $A_{1\perp} := -q_s \cdot L_1 \cdot \sin(\alpha_1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$

关闭的阀门及闷头上的力： $A_{2\perp} := 0 \text{ kN}$

弯管上的内水压力： $A_{3\perp} := \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot \gamma_w \cdot H_3 = \begin{bmatrix} 22.427 \\ 22.466 \\ 25.104 \\ 25.61 \\ 25.749 \end{bmatrix} \text{ kN}$

渐缩管的内水压力： $A_{4\perp} := 0 \text{ kN}$

套管式伸缩节端部的内水压力： $A_{5\perp} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \gamma_w \cdot H_1 = \begin{bmatrix} 2.963 \\ 2.968 \\ 3.316 \\ 3.383 \\ 3.401 \end{bmatrix} \text{ kN}$

弯管中水的离心力的轴向分力： $A_{8\perp} := \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot \frac{V_0^2}{g} \cdot \gamma_w = 0.157 \text{ kN}$

管轴方向合力： $A_{\perp} := A_{1\perp} + A_{2\perp} + A_{3\perp} + A_{4\perp} + A_{5\perp} + A_{8\perp} = \begin{bmatrix} 25.547 \\ 25.591 \\ 28.577 \\ 29.151 \\ 29.307 \end{bmatrix} \text{ kN}$

3.2.2 镇墩下游段钢管对镇墩作用力

(1) 管轴方向 (与温度无关的荷载)

$$\text{钢管自重分力: } A_{1\bar{x}} = -q_s \cdot L_2 \cdot \sin(\alpha_2) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$\text{关闭的阀门及闷头上的力: } A_{2\bar{x}} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{弯管上的内水压力: } A_{3\bar{x}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot \gamma_w \cdot H_4 = \begin{bmatrix} 22.427 \\ 22.466 \\ 25.104 \\ 25.61 \\ 25.749 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$\text{渐缩管的内水压力: } A_{4\bar{x}} = 0 \text{ kN}$$

$$\text{套筒式伸缩节端部的内水压力: } A_{5\bar{x}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \gamma_w \cdot H_2 = \begin{bmatrix} 2.963 \\ 2.968 \\ 3.316 \\ 3.383 \\ 3.401 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$\text{弯管中水的离心力的轴向分力: } A_{8\bar{x}} = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot \frac{V_0^2}{g} \cdot \gamma_w = 0.157 \text{ kN}$$

$$\text{管轴方向合力: } A_{\bar{x}} = A_{1\bar{x}} + A_{2\bar{x}} + A_{3\bar{x}} + A_{4\bar{x}} + A_{5\bar{x}} + A_{8\bar{x}} = \begin{bmatrix} 25.547 \\ 25.591 \\ 28.577 \\ 29.151 \\ 29.307 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

3.3 钢管对镇墩合力的水平推力ΣX的计算

$$A_{\perp} = \begin{bmatrix} 25.547 \\ 25.591 \\ 28.577 \\ 29.151 \\ 29.307 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$A_{\bar{x}} = \begin{bmatrix} 25.547 \\ 25.591 \\ 28.577 \\ 29.151 \\ 29.307 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$\sum X := \sqrt{A_{\perp}^2 + A_{\bar{x}}^2 + 2 \cdot A_{\perp} \cdot A_{\bar{x}} \cdot \cos(\beta)} = \begin{bmatrix} 9.188 \\ 7.494 \\ 4.897 \\ 26.055 \\ 19.821 \end{bmatrix} \text{ kN}$$

图3 荷载公式计算

(3) 镇墩稳定安全计算和验算

根据工况，按照公式分别求出满足镇墩抗滑稳定和抗倾覆稳定的镇墩最小重量尺寸，再利用Mathcad的内置函数augment函数和max函数自动比较和提取两者中较大的值，该值就是镇墩同时满足抗滑要求和抗倾覆要求的最小重量尺寸。

根据计算的最小尺寸，再按规范公式进行镇墩基础承载力复核。如小于地基承载力，该镇墩尺寸为满足要求的最低尺寸。如不满足，则需加大镇墩的重量，再进行基础承载力复核。

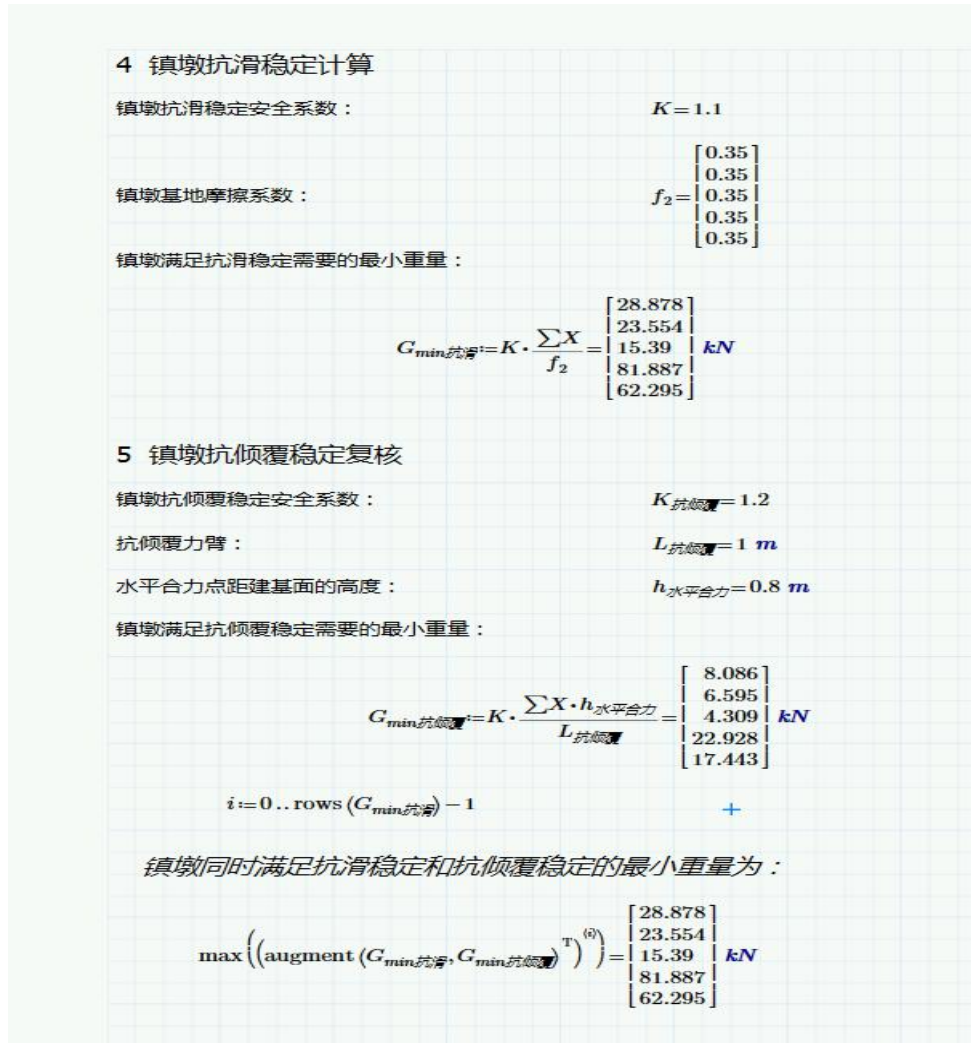


图4 安全稳定计算

4. 结论

(1) Mathcad 相比于 VB, C, excel 语言而言, 不需要掌握编程语言, 学习简单, 操作方便, 计算成本低。Mathcad 所写即所得功能强大, 过程具有显示性, 并且能形成格式完整的计算书, 对于计算量大, 批量化整理计算书需求具有重要的意义。

(2) 本程序在重庆仙女山水库抗旱应急水源连通工程得到应用, 改变了以往逐个计算镇墩结构的复杂工作, 只需要一次性输入镇墩的参数, 便可得到计算结果及相应的计算书, 极大的提高了设计的效率及计算书的编写工作。程序可再利用率高, 所用方法和结果对镇墩结构计算具有很强的实际应用意义和参考意义, 值得推广使用。

参考文献

- [1] 林佳明, 陈启军, 刘成. 基于 VB 循环搜索法的镇墩设计程序开发[J]. 中国水能及电气化, 2012(3)
- [2] 李逸之, 罗希, 徐芬等. 基于 VB 语言的镇墩结构设计程序开发与研究[J]. 水电与新能源, 2015(11)
- [3] 雷蕾. 管道镇墩设计程序化计算的思路和应用[J]. 地下水, 2018, 40(4): 250-251
- [4] GB50071-2002, 小型水力发电站设计规范[S]
- [5] SL281-2003. 水电站压力钢管设计规范[S]
- [6] 王仁坤, 张春生. 水工设计手册: 水电站建筑物[M]. 2版. 北京: 中国水利水电出版社, 2013
- [7] 王恩润. 小水电站[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998