

关于深立井抢险强排水管路法兰连接设计

林 勇 汪指南

中煤第三建设集团机电安装工程有限责任公司 安徽 宿州 234000

摘 要：针对深立井淹井抢险强排水管路系统，设计非标法兰并校核其强度及连接螺栓强度，计算法兰螺栓拧紧力矩。

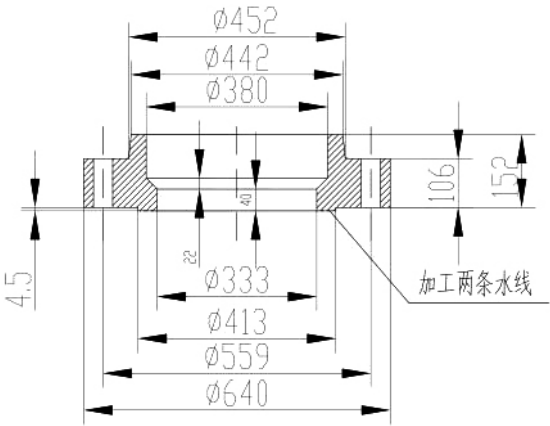
关键词：深立井；强排水管路；非标法兰；拧紧力矩

1 概述

山东某矿井因地质灾害淹井（井深860m），抢险强排水系统采用扬程850m强排水泵，管道规格D377×22，法兰连接，系统总重约320吨。深立井强排水管道系统中，管道法兰受系统自重及排水作用竖向力^[1]，针对法兰受力较大，强排水工作时频繁振动的使用特点，法兰需承受自重拉力及水压密封，依据GB/T 150.3--2024进行强度校核与有限元分析，按井深差异计算螺栓拧紧力矩。

2 法兰外形设计

参照Class系列（美洲体系）Class1500（PN260）整体钢制管法兰的法兰厚度、Class900（PN150）带颈平焊钢制管法兰的基础尺寸、承插法兰的形状，非标法兰设计如下：



2.1 压力等级

本深井强排水系统法兰受系统重力及水压、水锤等外力作用，经过计算：最上端法兰受力320吨，如把外力等效转换为内压力，等效内压约37MPa^[2]。化工行业钢制管法兰标准主要有PN系列（欧洲体系）和Class系列（美洲体系）；PN系列法兰的压力范围最高为16MPa；Class

系列法兰的压力等级分六等，最高压力为42MPa。故选用Class系列法兰（最高压力42MPa）。

2.2 法兰类型与密封面

法兰类型主要有带颈平焊法兰、带颈对焊法兰、整体法兰、承插法兰等；法兰密封面型式主要有突面、凹面/凸面、全平面、榫面/槽面、环连接面，结合本强排水系统振动大、密封要求不高等特点，特选用16Mn锻件承插法兰，凹面/凸面密封型式^[3]。

2.3 关键参数

法兰螺栓孔中心圆直径： $D_b = 559\text{mm}$ ；法兰内径： $D_i = 380\text{mm}$

法兰有效厚度： $\delta_f = 106\text{mm}$ ；法兰颈部小端有效厚度： $\delta_0 = 31.5\text{mm}$ ；

法兰颈部大端有效厚度： $\delta_1 = 36.5\text{mm}$ ；法兰颈部高度： $h = 46\text{mm}$ ；

法兰计算直径： $D_{II} = D_i + \delta_1 = 416.5\text{mm}$ ；法兰外径与内径的比值： $K = 1.68421$ ；

垫片接触宽度： $N = 40\text{mm}$ ；垫片基本密封宽度： $b_0 = N/2 = 20\text{mm}$

垫片有效密封宽度： $b = 2.53\sqrt{b_0} = 11.3\text{mm}$

垫片压紧作用中心圆直径： $D_G = 413 - 2b = 390.4\text{mm}$

法兰原材料20℃时许用应力： $[\sigma]_t = 174\text{MPa}$

3 螺栓校核与拧紧力矩

3.1 螺栓强度校核

螺栓：20条，M39×3材质35CrMo， $[\sigma_b] = 167\text{MPa}$ 。

垫片：石墨缠绕金属垫片，比压力 $y = 50\text{MPa}$ ，垫片系数 $m = 3$ 。

井口最大螺栓载荷 $W_{p2} = F_2 + F_{p2} = 3152000 + 6.28 \times 390.4 \times 11.3 \times 3 \times 0.2 = 3168623\text{N}$ 。

所需螺栓面积 $A_p = W_{p2}/[\sigma_b] = 19012\text{mm}^2 < 19520\text{mm}^2$ （实际面积），满足要求^[4]。

3.2 拧紧力矩计算

公式： $T = KF \cdot d^{[2]}$

第一作者简介：林勇，男，1975年6月出生，江西兴国人，本科学历；职务：公司总经理助理；职称：高级工程师；

K拧紧力矩系数, 精加工表面、无润滑, k取0.12^[2]

d螺纹公称直径 (mm) d = 39

F'预紧力 (N) 井底法兰螺栓拧紧力矩:

$$T_{\text{井底}} = 0.12 * Wp1 * d / 20 = 559 \text{ N} \cdot \text{M}$$

井口法兰螺栓拧紧力矩:

$$T_{\text{井口}} = 0.12 * Wp2 * d / 20 = 742 \text{ N} \cdot \text{M}$$

需按法兰位置分层计算力矩。

4 法兰轴向应力校核

4.1 规范校核

排水系统法兰受力最大处重力、水柱压力、水锤力合

$$\sigma_H = \frac{fMp}{\lambda \delta_1^2 D_{il}}, \lambda = \frac{\delta_f e + 1}{T} + \frac{\delta_f^3}{d_1}, e = \frac{F_l}{h_0}, h_0 = \sqrt{D_{il} \delta_0} = 114.5 \text{ mm}$$

$$d_1 = \frac{U}{V_l} h_0 \delta_0^2, \delta_1 / \delta_0 = 1.16, h / h_0 = 46 / 114.5 = 0.4$$

查图F₁ = 0.88, e = F_l/h₀ = 0.0076856

已知K值, 根据GB150中给出的公式求出: T = 1.632

U = 4.284; 查V₁值图得V₁ = 0.45; 求出: d₁ = 1081592,

从而得出λ = 2.21317; 查图f值小于1, 取f = 1; σ_H =

计F = 320 × 9.85 = 3152 kN, 其力臂为: LD = (Db - Di) / 2 = 89.5 mm;

受外力最大处 (井口) 法兰同时受到最小垫片压紧力: Fp2 = Fp = 6.28 D_GbmPc = 6.28 × 390.4 × 11.3 × 3 × 0.2 = 5541 N

其力臂为: LG = (Db - DG) / 2 = 84.3 mm

井口法兰最大力矩: Mp = F * LD + Fp2 * LG = 3152 * 89.5 + 5541 * 84.3 = 282571106 N · mm

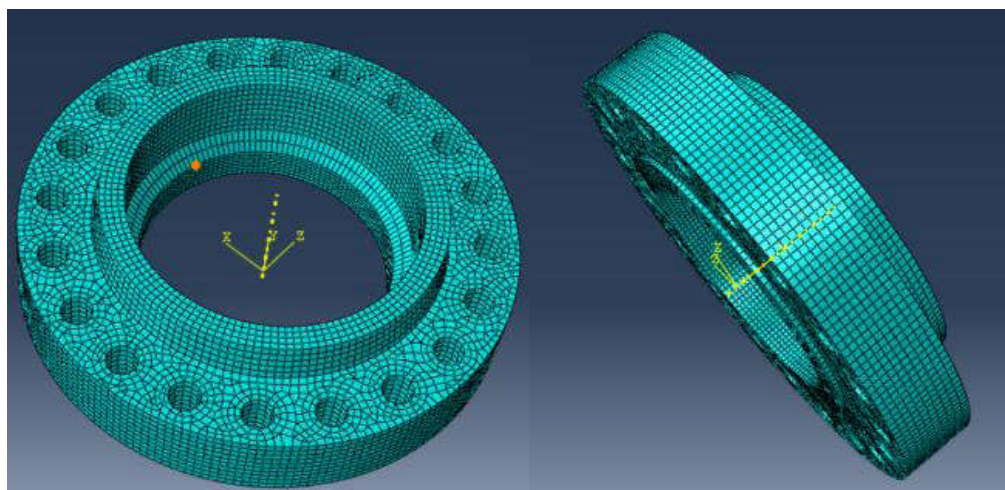
法兰轴向应力^[1]:

230 Mpa;

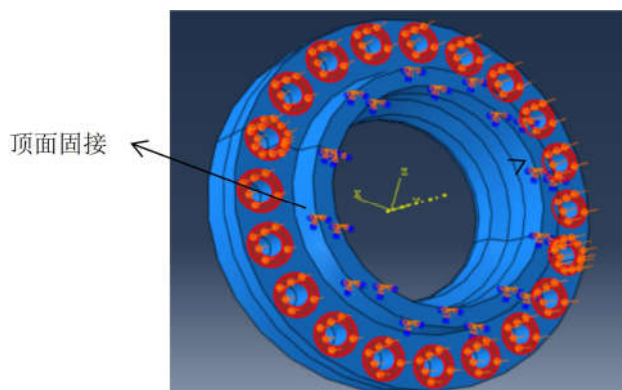
σ_H ≤ 1.5[σ]_f = 261 Mpa, 合格。

4.2 有限元分析

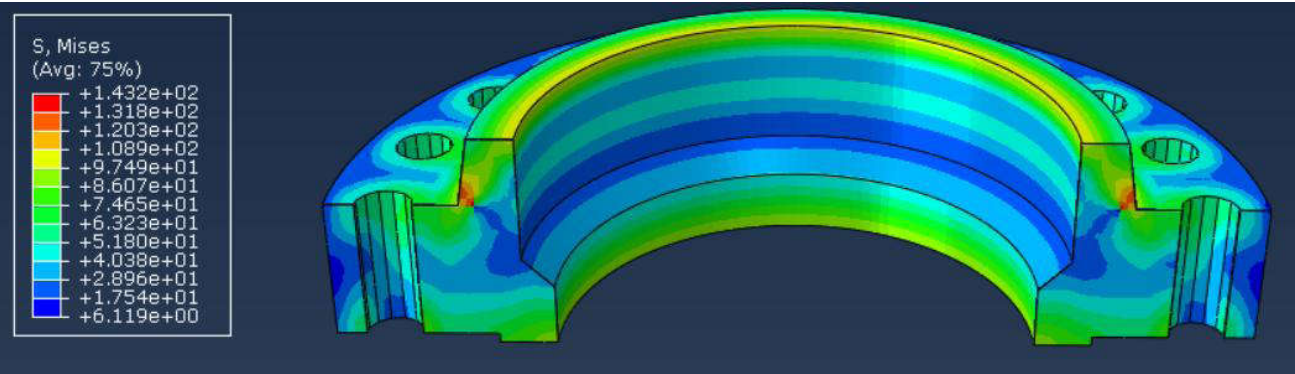
4.2.1 建立模型:



4.2.2 边界条件:



按总拉力: 297000 N 加载, 计算结果:



切面

最大等效应力为142Mpa，小于174Mpa。

所以模型加载297kN拉力时，最大等效应力142MPa < 174MPa，合格。

结束语

深立井强排水管道系统中，管道法兰受系统自重及排水作用竖向力，针对法兰受力较大，泵工作时频繁振动的特点，深立井强排水系统法兰宜选用承插法兰；螺栓需校核自重、水压及水锤作用；拧紧力矩应按井深分层计算；法兰应力需满足规范及有限元双重要求。

参考文献

[1]GB150.1~150.4—2024《压力容器》中国标准出版社2024年8月第一版：227-265

[2]成大先主编.《机械设计手册》第5版,化学工业出版社2015：第2卷：5-69~71

[3]边辉.矿井抢险强排水泵井筒布置方案优化[J].中国科技信息,2013,(17):61.

[4]钢制管法兰(Class系列):HG/T 20615-2009[S],2009.