

# 法兰泄露校核的计算分析

张磊<sup>1\*</sup>, 刘伟<sup>2</sup>, 王彬权<sup>2</sup>, 徐峰<sup>1</sup>, 邵颖丽<sup>1</sup>

(1. 中国石油管道局工程有限公司天津分公司, 天津 300457;

2. 中油管道建设工程有限公司, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**通过 CAESAR II 管道应力分析软件可以在设计环节对法兰进行校核。以项目实际应用为例, 应用 CAESAR II 管道应力分析软件建模, 并结合当地土壤的沉降对法兰进行核算, 为整改方案提供理论依据。在设计环节避免了法兰泄露存在的风险。

**关键词:**法兰泄露; CAESAR II; 模型; 沉降

中图分类号: TE832

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)07-0214-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2017.07.052

## Calculation and analysis for checking flange leak

ZHANG Lei<sup>1\*</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, WANG Bin-quan<sup>2</sup>, XU Feng<sup>1</sup>, SHAO Ying-li<sup>1</sup>

(1. China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Tianjin Branch, Tianjin 300457, China;

2. China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China)

**Abstract:** The pipeline stress analysis software CAESAR II can be used to check flange leak in designing. Taking project practical application for example, the 3D model is built by using CAESAR II and flange leak is checked considering local soil settlement, which can provide theory basis for the solving program and can avoid the risks caused by flange leak in designing stage.

**Key words:** flange leak; CAESAR II; model; settlement

在石化行业中, 法兰是管道、管件、阀门和设备等连接的主要形式, 同时也兼顾着应力与应变。法兰连接的设计涉及法兰本身、垫片、螺栓等组件, 在连续生产过程中法兰由于受到介质腐蚀、冲刷、压力、温度、震动等因素的影响, 易产生泄露, 如不及时处理, 在介质的冲刷作用下会使渗漏扩大, 因此必须重视法兰的密封及泄露问题。在实际的项目进行过程中, 设计环节对法兰泄露的校核十分重要。

近年来, CAESAR II 管道应力分析软件已经广泛应用于国内外的主要工程项目中, 该软件既可以进行静态分析, 也可进行动态分析, 可以对管口受力进行校核, 同时也可以对法兰进行校核。本文中以某项目站场的实际应用为例, 对 CAESAR II 管道应力分析软件法兰校核进行分析。

## 1 法兰泄露校核方法

法兰的校核通常有 2 种计算方法, 一种是 NC-3658.3 最大屈服强度法, 一种是  $P_{eq}$  当量压力法。

### 1.1 NC-3658.3 最大屈服强度法

NC-3658.3 最大屈服强度法进行计算时, 在 CAESAR II 中需要输入法兰所开螺栓孔面积之和, 螺栓所在处圆的直径, 以及在相应设计温度下法兰的屈服强度。NC-3658.3 法兰校核方法的计算公

式出自 ASME BPVC III Division 1<sup>[1]</sup>, 公式如下:

$$M_b = 21\,437.5(S_y/246\,960)CA_b \quad (S_y/246\,960) \leq 1$$

式中,  $M_b$  为最大许用力矩,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ ;  $S_y$  为相应温度下材料的屈服强度,  $\text{kPa}$ ;  $C$  为螺栓圆直径,  $\text{m}$ ;  $A_b$  为总螺栓孔开洞面积,  $\text{m}^2$ 。

此方法在计算时认为管道介质内压以及由管道变形所产生的力矩都施加在螺栓之上, 如果螺栓发生破坏, 则产生法兰泄漏。并且假定应力都均匀分布在螺栓孔所处圆的圆周上, 此圆环宽度由螺栓总开洞面积除以螺栓圆直径得到, 再经推导得到上述公式, 在实际工程中较少采用。

### 1.2 $P_{eq}$ 的当量压力法

当量压力法来源于 Kellogg 工程公司, 此公式简单明了, 已被国内外大量的工程应用证明具有足够的安全性, 也为我国 GB/T 20801 所采用<sup>[2]</sup>。对于承受内压和外部载荷的法兰, 其目的是把轴向应力 (此处只考虑拉力, 压力不考虑) 控制在一个非常安全的范围内, 该方法将外部荷载作用力作用在法兰垫片上, 将压力作用在法兰颈部的最大纵向应力来代替实际的外部荷载作用力, 是目前常用的比较保守的计算方法。

轴向力转化为作用于垫片上的压力:

$$P_1 = F/(\pi/4G^2) = 4F/(\pi/4G^2)$$

管道弯矩转化为作用于垫片上的压力:

$$P_2 = 4M/G/(\pi/4G^2) = 16M/(\pi/4G^3)$$

得出总当量压力为:

$$P_{eq} = 16M/(\pi/4G^3) + 4F/(\pi/4G^2) + P$$

式中,  $P_{eq}$  为作用于法兰泄露校核的当量压力, MPa;  $M$  为作用在法兰上的弯矩,  $N \cdot m$ ;  $G$  为法兰垫片上的有效直径, mm;  $F$  为作用在法兰上的轴向力, N;  $P$  为设计压力(针对标准法兰, 与法兰的材质、等级以及使用的温度有关), MPa。

本工程所采用的方法为  $P_{eq}$  的当量压力法。

## 2 法兰泄露校核实例

### 2.1 参数的输入与模型的建立

本项目为天然气输送管道, 管道规格为 API-5L X52  $\Phi 355.6 \times 7.1$ , 设计温度为  $20^\circ C$ , 设计压力为  $4.0 \text{ MPa}$ 。

首先将管道划分为单元, 各单元在节点处连接, 根据项目实际情况输入基本参数: 压力、温度、管径、壁厚、材质、密度等, 具体参数如图 1 所示。根据本项目地质情况, 管线有可能沉降, 计算时需考虑土壤沉降影响因素。

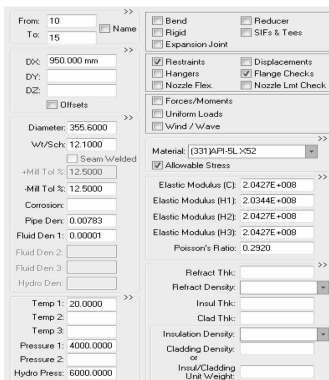


图 1 输入参数

法兰的参数设置: 本项目法兰选用 A 350 Gr. Lf2, 执行规范 ASME B16.5<sup>[3]</sup>, 由图 2 可见, CAESAR II 软件  $P_{eq}$  方法中引用的 Pressure-Temperature Ratings 参数与规范(图 3)中的数值一致。

Temperature	Pressure
1	38.0
2	50.0
3	100.0
4	150.0
5	200.0
6	250.0
7	300.0
8	325.0
9	350.0
10	375.0
11	400.0
12	425.0
13	450.0
14	475.0
15	500.0
16	530.0

图 2 法兰参数设置

Table 2-1.1 Pressure-Temperature Ratings for Group 1.1 Materials

Nominal Designation	Forgings		Castings		Plates	
	A 105 (1)	A 350 Gr. LF2 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)	A 516 Gr. 70 (1), (2)	A 537 Cl. 1 (4)
C-Si	A 105 (1)	A 350 Gr. LF2 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)	A 516 Gr. 70 (1), (2)	A 537 Cl. 1 (4)
C-Mn-Si	A 105 (1)	A 350 Gr. LF2 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)	A 516 Gr. 70 (1), (2)	A 537 Cl. 1 (4)
C-Mn-Si-V	A 105 (1)	A 350 Gr. LF2 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)	A 516 Gr. 70 (1), (2)	A 537 Cl. 1 (4)
3 1/2 Ni	A 105 (1)	A 350 Gr. LF2 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)	A 516 Gr. 70 (1), (2)	A 537 Cl. 1 (4)

Working Pressure by Classes, bar

Temp., °C	Class					
	150	300	400	600	900	1500
-29 to 38	19.6	51.1	68.1	102.1	153.2	255.3
50	19.2	50.1	66.8	100.2	150.4	250.6
100	17.7	46.6	62.1	93.2	139.8	233.0
150	15.8	45.1	60.1	90.2	135.2	225.4
200	13.8	43.8	58.4	87.6	131.4	219.0
250	12.1	41.9	55.9	83.9	125.8	209.7
300	10.2	39.8	53.1	79.6	119.5	199.1
325	9.3	38.7	51.6	77.4	116.1	193.6
350	8.4	37.6	50.1	75.1	112.7	187.8
375	7.4	36.4	48.5	72.7	109.1	181.8
400	6.5	34.7	46.3	69.4	104.2	173.6
425	5.5	28.8	38.4	57.5	86.3	143.8
450	4.6	23.0	30.7	46.0	69.0	115.0
475	3.7	17.4	23.2	34.9	52.3	87.2
500	2.8	11.8	15.7	23.5	35.3	58.8
538	1.4	5.9	7.9	11.8	17.7	29.5

图 3 ASME B16.5 中的 Pressure-Temperature Ratings 数据

参数设置后, 生成模型如图 4 所示。

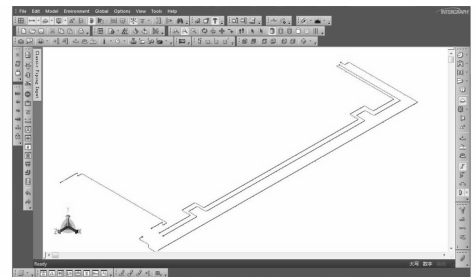


图 4 应力模型

### 2.2 计算结果分析

模型建立后, 进行计算, 根据项目地质情况, 管线有可能发生沉降, 计算时需考虑土壤沉降对法兰泄露的影响。先考虑土壤沉降 20 mm 时, 法兰的受力情况, 详见表 1。

表 1 土壤沉降 20 mm 时法兰的受力情况

节点	轴向应力/ N	弯矩/ ( $N \cdot m$ )	G/C 比值	当量 压力/ kPa	工作 温度/ $^\circ C$	许用 应力/ kPa	比值/ %
10	5094	23157	389.00	6046.37	20.00	5110.08	118.32
2170	3679	4890	389.00	4454.04	20.00	5110.08	87.16
5000	2102	1825	389.00	4175.60	20.00	5110.08	81.71
5280	7404	2180	389.00	4250.93	20.00	5110.08	83.19
6000	12275	3035	389.00	4365.87	20.00	5110.08	85.44
8000	6	4230	389.00	4366.00	20.00	5110.08	85.44
9850	96	3069	389.00	4266.33	20.00	5110.08	83.49
7950	1155	4551	389.00	4403.48	20.00	5110.08	86.17

由表 1 可见, 土壤沉降 20 mm 时, 节点 10 法兰的允许受力为 5 110.08 kPa, 而实际受力为

6 046.37 kPa, 实际受力为允许受力的 118.32%。此时法兰存在泄漏风险。其他节点法兰受力均没有超过允许受力。

把土壤的沉降参数改为 5、10 mm, 再来看节点 10 法兰受力情况, 分析结果如表 2 所示。

表 2 土壤沉降 5、10 mm 时节点 10 法兰的受力情况

沉降 位移/ mm	轴向 应力/ N	弯矩/ (N· m)	G/C 比值	当量 压力/ kPa	工作 温度/ ℃	许用 应力/ kPa	比值/ %	
5	10	5798	10323	389.00	4941.98	20.00	5110.08	96.71
10	10	5433	16241	389.00	5450.86	20.00	5110.08	106.67

由表 2 可见, 沉降 10 mm 时, 实际受力为允许受力的 106.67%, 存在泄漏的风险; 沉降 5 mm 时, 实际受力为允许受力的 96.71%, 法兰受力没有超出泄漏的范围, 可以根据计算结果要求站场业主进行地面沉降监测, 当土壤沉降接近 5 mm 时, 进行地面技术处理。

但是 96.71% 的数据偏高, 存在风险。因此可以考虑支撑附近地下打桩的方法, 使支撑不发生沉降。但全部支撑都进行打桩会增加工程成本。由图 5 可见, 节点 15 距离节点 10 处法兰位置较近, 此处地面沉降会对法兰产生较大影响, 先将节点 15 处

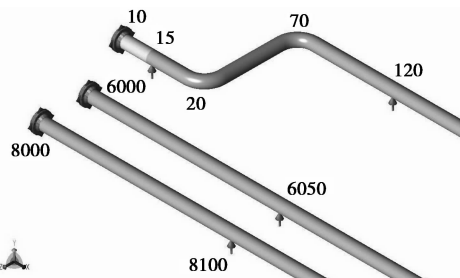


图 5 节点 10 应力模型详图

按固定考虑, 即沉降位移设为 0 mm 进行计算, 计算结果如表 3 所示。

表 3 节点 15 设为固定时各沉降位移下节点 10 法兰的受力情况

沉降 位移/ mm	轴向 应力/ N	弯矩/ (N· m)	G/C 比值	当量 压力/ kPa	工作 温度/ ℃	许用 应力/ kPa	比值/ %	
5	10	7175	1564	389.00	4195.73	20.00	5110.08	82.11
10	10	8003	2611	389.00	4293.21	20.00	5110.08	84.01
20	10	7857	2822	389.00	4310.09	20.00	5110.08	84.34

由表 3 可见, 此时即使土壤沉降为 20 mm, 法兰也不会存在泄露的风险。将计算数据返给业主, 经过商议, 处理结果如下: 业主要求厂家在设备撬装生产时, 便在撬块上的节点 15 处设置支撑。这样本工程通过应力分析计算, 在设计环节根据计算结果进行处理, 使该项目用最小的成本避免了法兰泄露带来的风险。

### 3 结论

应用 CAESAR II 管道应力分析软件能够准确、快捷地在管道设计过程中对法兰进行分析, 并充分考虑土壤可能产生的沉降, 提前做好设计方案, 保证管道安全、平稳地运行, 避免目前工程上由于法兰泄露带来的影响及危害。

### 参考文献

- [1] 崔世华. CAESAR II 中两种法兰泄露校核方法分析与探讨[J]. 石油和化工设备, 2015, (18): 25-27.
- [2] GB/T 20801.3—2006. 压力管道规范 工程管道 第三部分—设计和计算[S].
- [3] ASME B16.5—2013. Pipe flanges and flanged fittings[S]. ■

## 沙索中国烷氧基化项目举行奠基仪式

6月8日上午, 沙索中国烷氧基化项目在南京化工园区破土奠基。南非驻华大使姆西曼女士、南京市人民政府市长缪瑞林参加了奠基仪式。

沙索(中国)化学有限公司前身为 1996 年德国 RWE-DEA 集团与南京表面活性剂厂合资建立的南京康迪雅化学有限公司; 2002 年 11 月该公司成为沙索烯烃和表面活性剂的全资子公司后更名为沙索(中国)化学有限公司。沙索(中国)化学有限公司生产和经营表面活性剂, 同时作

为其母公司和海外厂家在中国包括香港地区业务推广的代表。其客户为国内和国外的民用洗涤和工业清洁、个人护理、纺织、皮革、造纸、金属加工、电镀、焊锡、涂料、油墨助剂等行业的厂家, 其中很多为该行业的最大或知名企业。

此次新建的表面活性剂项目, 总投资约 1.2 亿美元, 采用目前世界最先进技术, 具有良好的安全和环保等级。项目的建设运行, 将对南京推动产业绿色发展、转型升级发挥重要作用。(南京市人民政府网)