

赤水河跨越工程安全性评价

胡道华, 杨晓秋

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 研究了已建跨越工程的安全性评价方法, 建立了跨越工程安全性评价模型, 分析了某跨越工程在各种输气压力下的整体安全性, 对某跨越工程的各个组成部分作出了定量评价结论, 评价体系对今后类似跨越工程的安全性评价有参考意义。

关键词: 跨越工程; 安全性评价; 计算模型; 斜拉索管桥; 腐蚀

文章编号: 1006-5539(2009)06-0055-04 **文献标识码:** A

1 问题的引入

四川石油管理局佛荫——重庆输气管线合江赤水河跨越工程, 由四川石油勘察设计研究院设计, 采用三跨多索斜拉索管桥结构形式。塔架采用锥形焊接桁架式钢结构, 见图 1。1977 年设计时, 跨越部分输气管道施工图中为 $\Phi 720 \times 12$ (16Mn), 由于当时国内仅能生产 $\Phi 720 \times 9$ 钢管, 加之抢建需要, 按 $\Phi 720 \times 9$ 施工, 故造成先天输气能力不足, 把原计划输气压力由 4.0 MPa 降为 2.5 MPa。由于不能满足原计划输气量的要求, 又在 1983 年建一条赤水河穿越管道, 后来跨越管桥用的就少。因此, 跨越工程长时间没有使用 (大概有 8 年), 且未得到有效维护, 跨越工程的腐蚀已较严重, 因此, 必须对该工程作安全性评价, 以便为有关领导和部门提供跨越结构继续使用或拆除的判断依据。

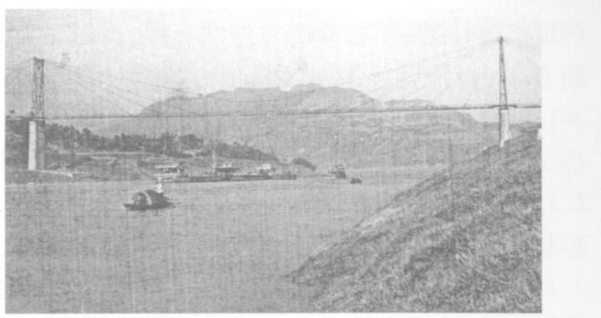


图 1 赤水河跨越工程全貌

2 安全性评价方法的建立

安全性评价方法的建立, 要根据跨越工程的竣工图和使用现状, 建立起跨越工程的评价模型, 包括计算模型、各种计算参数的合理选用, 对跨越工程在各种输气压力下的安全性作出正确评价。

2.1 安全性评价的计算模型

赤水河跨越工程的计算模型的建立, 按空间三维有限元结构进行计算分析, 计算模型见图 2。根据设计图纸和原设计的意图, 塔脚、管道的锚固段应按固定端来建立模型。管桥用连续梁单元与管道单元两类单元来同时模拟, 钢丝绳用桁架单元模拟, 塔架用等效弯曲梁模拟。

管道单元是文献^[1]中的一类特殊单元, 它用来模拟管道系统中的承受内压的管道。它可以是直管, 也可以是圆弧形曲管, 该单元可以在空间中任意放置, 可以考虑恒载、热作用、内压引起的变形。

由于塔架顶部有安装钢丝绳的滑轮, 滑轮的质量对跨越工程的自振周期有较大的影响, 同时对管桥的受力特性产生较大的影响, 因此在模型的建立时, 必须要考虑滑轮质量, 质量为 512 kg。

在跨越工程的计算过程中, 需要考虑几何大变形的影响, 即考虑梁单元、桁架单元的几何刚度的影响。

收稿日期: 2009-08-14

作者简介: 胡道华 (1970-), 男, 四川雅安人, 一级注册结构工程师, 一级注册建造师, 高级工程师, 硕士。现主要从事土建设计及研究工作。电话: (028) 86014478

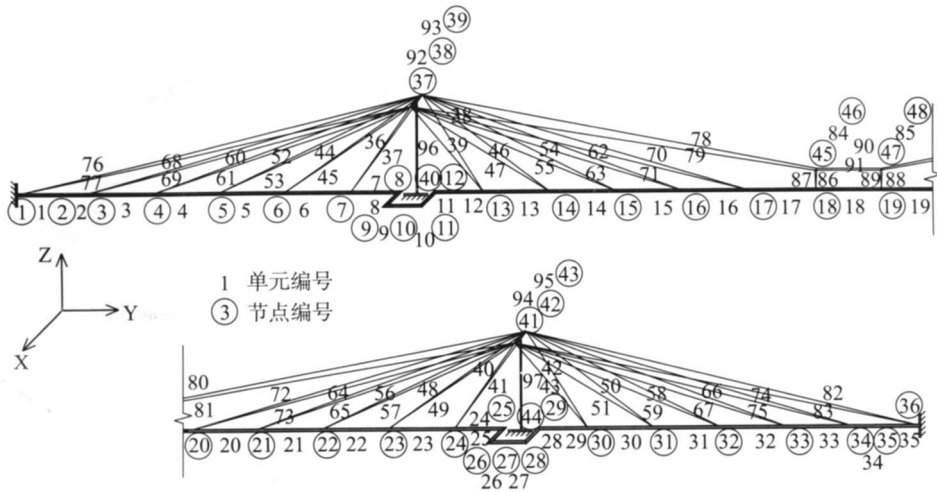


图 2 赤水河跨越空间三维计算模型

注：图中有圈的数字表示为节点编号；无圈的数字表示为单元编号

2.2 安全性评价的计算参数

2.2.1 输气管道的基本参数

本跨越工程的输气管道原设计为 $\Phi 720 \times 12$ 竣工图为 $\Phi 720 \times 9$ (16Mn), 由于长期缺乏维护, 输气管道腐蚀严重, 依据文献^[2]的结论, 输气管道按 $\Phi 720 \times 7$ 计算。

输气管道采用 16Mn 螺旋焊缝钢管, 屈服强度最小值 $\sigma_T = 350 \text{ MPa}$, 抗剪强度设计值 $\tau_v = 185 \text{ MPa}$, 输气管道的弹性模量 $E = 2.06 E_{11} \text{ Pa}$, 剪切模量 $G = 7.9 E_{10} \text{ Pa}$, 密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ 。

2.2.2 跨越工程的基本计算参数

依据文献^[3], 该河道是通航河流, 故属于甲类, 该跨越的主跨 $169 \text{ m} > 150 \text{ m}$ 属于大型跨越, 因此

表 1 等效弯曲梁的计算参数

| 面积 / m^2 | X向惯性矩 / m^4 | Y向惯性矩 / m^4 | 扭转惯性矩 / m^4 | 弹性模量 / Pa | 剪切模量 / Pa | 梁的质量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|---------------|--|
| 0.132 | 0.057 | 0.114 | 0.0763 | $2.8 E_{10}$ | $1.12 E_{10}$ | 355.72 |

表 2 镀锌钢丝绳的计算参数

| 绳径 | $\Phi 19.5$ | $\Phi 24$ | $\Phi 26$ | $\Phi 32.5$ | $\Phi 39$ |
|--|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| 绳的质量 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ | 1.553 | 2.352 | 2.655 | 4.447 | 6.211 |
| 面积 / mm^2 | 176.44 | 267.28 | 301.73 | 505.32 | 705.78 |

2.2.5 加固支撑的模拟

该跨越工程建成后, 曾经对它进行过加固, 加固的位置有两处: 一是在补偿器中间, 图 2 的 10、27号节点, 加了两道三角支撑, 根据力学原理和设计图纸, 将它模拟为弹性支撑, 经过计算, 得到 $K_x = 8.344 E7 \text{ (N/m)}$, $K_y = 3.354 E4 \text{ (N/m)}$, $K_z = 1.680 E4 \text{ (N/m)}$ 。二是在图 2 的 2、35号节点, 加了

输气管道的强度设计系数取 $F = 0.4$ 。

2.2.3 塔架的等效计算参数

在考虑跨越工程的计算简图时, 考虑到分析的主要对象为跨越工程的整体受力效应, 采取适当的模型简化计算是必要的, 特别是简化模型应与跨越工程的实际工作状态符合。因此, 我们依据结构力学的原理, 按塔架的实际结构尺寸与材料, 将它简化为等效弯曲梁, 该梁的计算参数见表 1。

2.2.4 钢丝绳的计算参数

钢丝绳为 7(19)绳 (1+6+12) 股的镀锌钢丝绳, 钢丝的抗拉强度 $\geq 14000 \text{ kg/cm}^2$, 该跨越所用钢丝绳的计算参数见表 2。

两道支撑, 同样将它模拟为弹性支撑, 经过计算, 得到 $K_x = 4.179 E4 \text{ (N/m)}$, $K_y = 4.179 E4 \text{ (N/m)}$, $K_z = 1.188 E8 \text{ (N/m)}$ 。

2.3 安全性评价的荷载计算与组合

2.3.1 荷载计算

该跨越工程考虑的第一类荷载为恒载, 它包括结构自重、冷凝水的重量、栏杆等附件的重量、塔顶滑轮的重量。

第二类荷载为充水荷载, 它的值为 3870 N/m^2 它又分为半跨充水和全跨充水两种情况。

第三类荷载为风荷载, 本跨越工程地处泸州地

区, 基本风压为 0.3 kPa 考虑到大型跨越工程的重要性, 需要考虑重要系数 1.1 考虑与大风一致的河谷因素, 最后得到本工程的风荷载标准值为 0.75 kPa 。

第四类荷载为温差荷载, 考虑到输气管道在组装时, 与正常使用时存在着一定的温差, 本工程考虑为 30°C 。

第五类荷载为内压荷载, 该荷载按文献^[3] No. 5.3.2 的规定采用。

第六类荷载为地震作用, 由于本跨越工程地处非抗震设防区, 所以不考虑地震作用效应。

2.3.2 荷载的组合

本跨越工程的荷载组合考虑了五种: 一是极端夏季正常使用阶段; 二是极端冬季正常使用阶段; 三是半跨水清管阶段; 四是全跨水清管阶段; 五是试压阶段。

3 评价结果的分析

根据安全性评价模型的建立, 本跨越工程的安全性评价采用《微机结构分析通用程序》进行计算, 计算分整体计算和局部计算, 整体计算包括管道系统采用连续梁单元与管道单元两类模型计算, 三维计算模型见图 2 局部计算指整桥计算后, 再对塔架进行细部计算。

3.1 输气管道的安全性分析

按照原设计的输气压力 $P=2.5 \text{ MPa}$ 首先计算了管道腐蚀后, 输气管道的安全性, 从计算结果可以得出, 清管阶段与试压阶段, 正应力、剪应力、局部稳定应力、等效应力均有很多截面不满足安全要求, 故按 $P=2.5 \text{ MPa}$ 输气, 是不能清管与试压的。同时, 从极端冬季正常使用阶段的应力校核来看, 等效应力在补偿器处 (7号单元) 不满足安全要求, 所以, 可以得出管道腐蚀后, 已经不能输送 $P=2.5 \text{ MPa}$ 的天然气。

将输气压力减少为 2.0 MPa 进行计算, 管道在正常输气阶段不能安全输气。输气压力降为 1.5 MPa 后, 在冬季与夏季的正常使用阶段下, 管道的正应力、剪应力、局部稳定应力、等效应力均满足安全要求, 但在此压力下, 管道不能进行清管与试压, 在半跨水与全跨水的清管阶段以及试压阶段, 输气管道有多个截面与多种应力状态不能满足安全要求。

最后, 我们将输气压力减为 1.0 MPa 进行计算, 并对各种工况下的安全性进行了评价, 从计算结果可以得出, 对冬季与夏季在正常使用阶段下, 管道的正应力、剪应力、局部稳定应力、等效应力等多项安全指标均满足要求, 且各项安全指标均有所提高, 但还有不少截面在清管阶段与试压阶段不能满足安全要求。

综合分析输气管道在各种输气压力下的计算结果, 得出: 由于输气管道长期得不到维护, 腐蚀比较严重, 管道的壁厚已从原 9 mm 减为 7 mm ; 且管道外壁存在着大面积坑蚀, 有些坑蚀深度达 3.5 mm ; 使得管道的强度大大降低, 这一点可以从前面分析中得到印证。输气管道在降低输送压力情况下, 正常使用阶段的各项安全指标尚可满足要求, 但加上清管阶段的半跨水与全跨水后, 输气管道的各项安全指标均不能满足要求, 特别是管道的很多截面的局部稳定应力也不能满足要求, 这一点也说明管道的壁厚太薄了, 故就输气管道目前的状况而言, 清管工艺是不能进行的。同样, 试压阶段的压力是正常输气压力的 1.5 倍, 这样就使得管道的横向应力比较大, 与纵向应力、剪应力组合后, 安全性也得不到满足, 所以输气管道也不能进行试压工作。

综上所述, 鉴于输气管道目前的腐蚀状况, 在冬季与夏季的正常使用阶段下, 输送 $P=1.5 \text{ MPa}$ 的天然气是可以的, 但由于管道的腐蚀较严重、管径又大, 所以就目前输气管道的承载力而言, 是不允许通球与试压的, 且输气管道的很多截面都有点蚀, 若不进行试压, 则输气管道的安全性得不到可靠的保证, 而且不试压, 也不符合规范要求。故该管道已无使用价值。

3.2 钢丝绳的计算分析

钢丝绳按照空间桁架单元参与整体计算, 从各种压力、各种工况的计算结果来看, 原设计的钢丝绳是满足安全要求的, 但是根据文献^[2], 所有的钢丝绳腐蚀严重, 均应更换。

3.3 钢塔架的计算分析

钢塔架由于杆件较多, 又是空间结构, 所以单独对它进行分析, 从各种压力、各种工况的计算结果来看, 原设计的钢塔架是满足安全要求的, 但是根据文献^[2], 两座钢塔架的腹杆、地脚螺栓、塔靴、滑轮等腐蚀严重, 均应更换, 仅塔架立柱可经局部加固后继

续使用。

3.4 跨越工程基础分析

经现场踏勘和观察,管道跨越的桥墩、基础和锚固墩基本完好,可以继续使用。

4 结论与建议

佛荫——重庆输气管道工程合江赤水河跨越,目前已在合江县城规划区范围内,且靠城区一岸在跨越工程周围建有许多建筑物,属人员稠密区,不符合输气管道规范的要求。

根据文献^[2]的检测结论和安全性评价分析,仅塔架桥墩、基础、锚固墩和塔架立柱尚可利用,但钢丝绳、塔架腹杆及连接件必须更换,Φ720×9的输气管道由于腐蚀严重,已无多少使用价值。综上所述,合江赤水河跨越建议报废。

参考文献:

- [1] 袁明武. SAb4结构分析通用程序[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992 61-103
- [2] 陈永清. 合江赤水河输气管线跨越结构鉴定的检测报告[4]. 成都: 四川省建筑科学研究院, 2004
- [3] SY/T0015 2—1998 原油与天然气输送管道穿跨越工程设计规范·跨越工程[S].