

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2014.09.004

对一起直接作用式调压器阀杆断裂问题的分析

□ 武汉市天然气有限公司 (430030) 肖嵩 王彦馨 徐琦宏 聂隆梅 周博昊

摘 要: 本文对一起直接作用式调压器阀杆断裂的现象进行了描述, 通过力学计算、专业检测结果及相关分析, 对产生的原因进行了判断, 并提出了设计施工改进的措施以及调压器结构的优化建议。

关键词: 大膜盘调压器 阀杆 马氏体不锈钢 脆性断裂 氯离子 晶间腐蚀

Analysis of a Direct Acting Pressure Regulator Valve Stem Fracture Problem

Xiao Song, Wang Yanxin, Xu Qihong, Nie Longmei, Zhou Bohao

Abstract: In this paper, together with the direct-acting regulator stem fracture phenomena are described by mechanical calculations, test results and related professional analysis, carried out to determine the causes and proposed measures to improve the design and construction as well as the regulator optimization of the structure proposed.

Keywords: large diaphragm pressure regulator the valve stem martensite stainless steel brittle fracture chloride ion intergranular corrosion

武汉市天然气有限公司在对某住宅小区燃气工程完成竣工验收后, 正式通气时发现设置的区域调压箱无法正常工作, 箱内的两台进口调压器都不能调压,

经设备厂家初步判断为调压器阀杆断裂, 据设备厂家介绍, 类似问题在前几年也曾发生过两次, 当时设备厂家仅以自行更换阀杆的方式解决了问题, 没有进行

体进行连接。

3 结论

综上所述, 低压干式储气柜柜体的联合接地设

计只要按照满足GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》第5.4.1条要求进行就能够满足对其热稳定性和预期寿命值的要求。同时在气柜柜体完好接地前提下低压干式储气柜活塞不需要使用导线与柜体进行连接。

相关分析。对此情况公司决定将其拆解分析，以期查明调压器失效的真正原因，从根本上杜绝此类情况的再次发生。

1 拆解分析及施工项目背景调查

公司技术部门、施工管理部门会同施工方、设备厂家一起对调压器进行了拆解，经过对两台调压器进行拆解，发现均为调压器的阀杆断裂，阀杆断裂部位均在阀杆端部连接阀瓣的槽口处（见图1）。

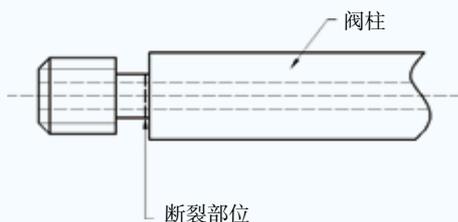


图1

检查阀瓣时，发现阀瓣的硫化橡胶阀垫上有明显的压痕损伤，可以判断阀瓣与阀座发生较大冲击而造成。

通过该施工项目建设情况的梳理，我们了解到：该项目的调压箱及中压支管、部分低压管网已于两年前安装完成，中压支管与供气干管及调压箱同期完成连接，天然气已送至调压箱阀前。本次是将剩余部分管网全部施工完成后，对调压箱后的低压管网重新进行了强度和气密性试验，强度试验压力为0.15MPa，完成强度试验后，直接开启调压箱出口阀门，将出口端的安全放散管作为泄压排放口，并且当时调压器前阀门处于关闭状态，调压器后阀门处于开启状态，调压箱前端的中压支管已通入天然气。

所有调压器按要求出口端压力应小于入口端压力，通过阀瓣软密封阀垫上的压痕可以推断，调压器出口端压力过高可能是本次阀杆断裂事件的主要原因，但0.15MPa的气体压力能否足以造成调压器阀杆的拉断，调压器阀杆是否本身存在材质缺陷，这需要进一步分析验证。

2 调压器的结构型式及阀杆材质

该款调压器为某进口品牌，在我公司大量使用，

其质量和性能较为稳定，一直没有出现过问题。该款调压器为大膜盘直接作用式调压器，其连接口径DN80，膜盘头部直径为 $\phi 600$ ，其结构型式平衡阀芯式调压器，阀瓣位于阀座下部，是典型的失效开启型调压器，在主皮膜破裂或压力信号管无压力反馈时，阀口处于开启状态。大膜盘调压器的特点是结构简单、响应迅速、关闭精度高，由于大膜盘的作用，其关闭精度很高，当下游压力高于设定值时，阀口关闭密封性好，无流量泄漏。其结构见图2。

该款调压器的阀杆材质为X12CrS13，为欧洲EN标准的不锈钢牌号，在德国DIN标准和意大利UNI标准中均为X12CrS13同一牌号，等同美国AISI标准中的416牌号不锈钢，对应我国国内标准不锈钢牌号是1Cr13。其为马氏体型易切削不锈钢，是不锈钢中易切性能最好的钢种，特别适用于自动车床、数控车床批量生产，其成本低，性价比高，是调压器、调节阀及闸阀阀杆的首选，在调压器阀杆、阀座和阀瓣上有较多的应用。

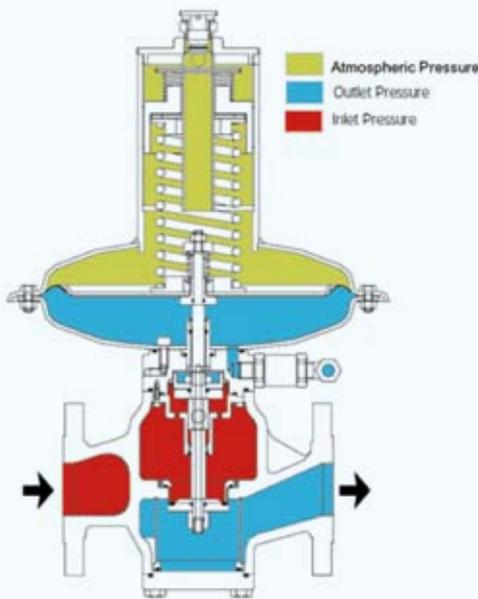


图2 大膜盘直接作用式调压器

X12CrS13不锈钢通过热处理可以调整其力学性能，粹火后硬度较高，不同回火温度具有不同强韧性组合，与304和316不锈钢相比，强度和切削加工性比304和316好，摩擦系数小，但耐腐蚀能力不如304和316不锈钢。

经查相关同牌号不锈钢的资料,国内对其材料化学成分要求见表1。

表1

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%	V%
0.08~0.15	max 1.00	max 1.50	max 0.040	min 0.15	max 0.60	12.0~14.0		

在资料中同牌号不锈钢相应常规的力学性能如下:

抗拉强度 σ_b (MPa): 淬火回火, ≥ 735

条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa): 淬火回火, ≥ 540

伸长率 δ_5 (%): 淬火回火, ≥ 12

断面收缩率 ψ (%): 淬火回火, ≥ 40

冲击功 A_{kv} (J): 淬火回火, ≥ 24

硬度: 退火, $\leq 235HB$; 淬火回火, $\geq 217HB$

3 阀杆受力计算及分析

调压器阀杆在断裂部位为中空的管式结构(见图3),调压器相关尺寸:皮膜片的直径为500mm,则皮膜片的面积为 $S_{膜}=196\ 250\text{mm}^2$;断裂处阀杆的外直径为10mm,阀杆的内孔直径为5mm,则阀杆断裂处的环形面积为 58.875mm^2 。

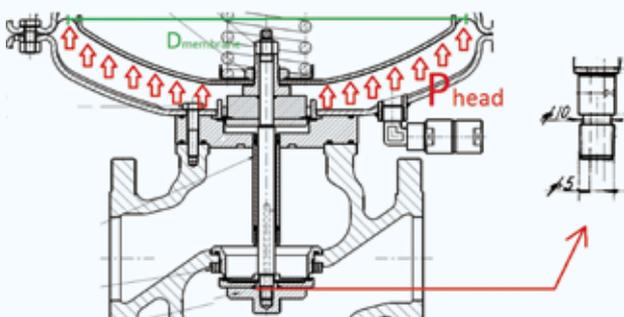


图3 膜盘的受力分析示意图

当膜盘下部承受的气体压力0.15MPa,膜盘受到向上的推力为29 437.5N,该力作用在阀杆断裂处产生的拉应力通过计算为500MPa,该值接近于条件屈服强度540MPa,但远小于抗拉强度735MPa。

也就是说在0.15MPa的气体压力条件下,调压器阀杆可能会发生塑性变形,但不会断裂。对调压器阀

杆材质是否存在缺陷还需要通过相应的检测数据来分析。

4 相关专业机构的检测结果及比对

公司将断裂的阀杆委托给专门从事断裂研究的专业实验室对断裂面进行了检测分析,同时要求设备厂家也同时对另一根断裂的阀杆进行检测分析。

我公司委托的专业断裂实验室通过对调压器的阀杆进行断口宏观/微观、阀柱材料成分进行检测分析判断,主要检测分析结果为:

(1)断口部位微区能谱分析表明,阀杆试样的化学成分与设备厂家提供的标准要求相符,并额外检测出了Cl、Al、K、Na、Mg等元素,见表2。

表2

C%	S%	Si%	Mn%	P%	Ni%	Cr%
0.13	0.24	0.38	1.06	0.020	0.22	12.45

(2)阀柱材料基体组织在扫描电镜下观察,发现其横截面上存在着较多 μm 级的孔洞,无韧窝产生,分析为晶间开裂,判断为脆性开裂。

国外设备制造厂家对调压器断裂阀杆其它部位进行了元素分析和力学测试,结果见表3。

表3

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%	V%	Cu%
0.14	0.47	1.13	0.021	0.24	0.18	12.5	0.03	0.04	0.18

抗拉强度为795MPa,条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 为704MPa。

设备厂家委托国内材料研究所对一根新阀杆进行了元素分析和力学测试,结果见表4。

表4

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%	V%	Co%	Cu%
0.12	0.39	1.05	0.022	0.21	0.48	12.22	0.041	0.042	0.021	0.22

抗拉力为54.3kN(端部螺纹拉脱,未拉断),折

合抗拉强度要大于922MPa。

我们将3个机构的元素分析结果进行了比对，结果非常相符相近，且符合标准要求。对应于国外对该材质在650℃温度下回火处理后的抗拉强度范围700MPa~1 000MPa，条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 大于等于500MPa的要求，力学测试结果也为合格。

为慎重起见，我们又要求我公司委托的专业断裂实验室对非断口区域增补微区能谱分析，发现材料本体的非断口区域无Al、Cl、K、Na、Mg等元素。

5 断裂失效原因分析

通过查阅其它资料，我们了解到：马氏体不锈钢与调制钢一样，可以使用淬火、回火及退火处理，其力学性质与调制钢也相似，当硬度升高时，抗拉强度及屈服强度升高，而伸长率、截面收缩率及冲击功则随着降低，马氏体不锈钢当硬度增加时，则韧性减少。马氏体不锈钢的耐蚀性主要取决于铬含量，而钢中的碳由于与铬形成稳定的碳化铬，又间接的影响了钢的耐蚀性，1Cr13马氏体不锈钢因含碳较高，故具有较高的强度、硬度和耐磨性，但耐蚀性稍差，其通过添加其它元素可以改善性能，例如加入S或Se改善切削加工性能，加入Mo及V可以增加其耐磨性及耐蚀性，加入约Mo、W和V可以提高其热强性。铜的加入，对不锈钢有强韧化作用，且随铜含量的增加，不锈钢的抗菌性能提高。

综合我公司进行的相关力学计算及一系列专业检测分析，可以看出：调压器阀杆材质的元素成分和力学性能是与标准要求相符的，从阀杆的元素分析来看，其元素成分表明其为典型的1Cr13马氏体不锈钢，而且在其元素成分中加入了Mo及V而增加耐磨性及耐蚀性，并加入了Cu以提高其塑性、韧性和抗菌性能，但1Cr13马氏体不锈钢不耐氯离子的点腐蚀和缝隙腐蚀。

在断口部位微区能谱分析检测出了其它部位没有的Cl、Al、K、Na、Mg等元素，这些元素的出现与材料的脆性断裂存在着一定的必然关系，不锈钢在氯离子存在下的环境中，腐蚀很快，甚至超过普通的低碳钢，Cl、Al、K、Na、Mg等元素会以离子状态存在的必要条件是有水和潮湿环境。

就Cl、Al、K、Na、Mg等元素如何会进入到阀杆断口部位的问题，我们对组装和施工的各个环节进行了进一步排查分析：

(1) 调压器的装配环节：国外工厂对不锈钢阀杆有严格的检测和安装要求和程序，在装配完成后的出厂检验也是采用的干燥空气进行测试，没有与Cl、Al、K、Na、Mg等元素接触的机会。

(2) 调压器的运输环节：国外工厂对调压器的包装非常严谨，设备两端除了安装密封盖以外，包装箱内还放有干燥吸附包，不存在Cl、Al、K、Na、Mg等元素进入的可能。

(3) 调压箱的装配环节：调压箱国内装配环境为厂房内，调压器拆箱安装后，整体也是采用干燥空气进行压力试验和调试，也不存在进入的可能。

(4) 调压箱的现场安装环节：根据了解，由于武汉市的地下水位较高，管道在施工过程中容易残留较多水量，特别是PE管一般不设坡度且没有设置凝水缸，调压箱前的中压支管排水一般都是通过调压箱内过滤器排污阀排出，这就使接触了土壤颗粒的地下水进入到了调压器。

锁定了环节后，还需对发生晶间腐蚀时间进行复核，氯离子使马氏体不锈钢产生晶间腐蚀需要一定时间。该项目于两年前已经完成了调压箱前中压支管的连通进气，中压支管当时通过过滤器的排水造成了部分地下水在两年前就进入了调压器内，并滞留阀杆与阀座连接处，溶解地表及土壤中的Cl、Al、K、Na、Mg等元素残存在阀杆断裂处，由于没有通气，经过两年多时间，Cl氯离子在潮湿的条件下对该处阀杆形成了晶间腐蚀，阀杆断裂横截面上存在着较多 μm 级的孔洞就是点腐蚀和缝隙腐蚀得表现，所以在阀杆受力接近其屈服强度时就发生了脆性断裂。

6 结语

通过一系列的力学计算、专业检测及相关分析，可以排除出调压器阀杆缺陷的因素，主要原因为调压器阀杆在潮湿环境内受到氯离子的点腐蚀和缝隙腐蚀，受到非正常拉应力而发生脆性断裂。

完成检测分析判断后，我们对所有的施工单位发了通知：严禁通过调压箱排水，以避免氯离子对不锈

钢阀杆造成晶间腐蚀的可能；禁止调压器下游管道没有完全隔断的情况下对下游管道进行压力试验和压力泄放，以避免调压器阀杆的非正常受力。

通过以上一系列的分析也引发了我们的一些思考，需要完善我们的设计和施工工艺，以及优化调压设备的结构：

(1) 天然气水露点较低，气质较干，管道上一般不设置凝水缸，目前管道材质以PE管为主，因其柔性较大而不易控制坡度。对于地下水位较高的城市，一方面需要在施工过程中严格控制地下水的进入，并且管道吹扫方式应采用海绵清管器的清扫方式，以避免管内残存大量的水随气流积聚而堵塞管道；另一方面PE管的基础处理要到位，设计中应设计合理的坡度，使小口径管道成一定坡度坡向大口径管道，尽量减少积水随气流在小口径管道内积聚的可能。

(2) 施工人员对调压设备的结构和材质应进行必要的学习了解，在安装和施工环节时应应对调压设备进行有效的保护，避免其受到非正常的损害而失效。

(3) 大膜盘调压器由于膜盘面积较大而对压力变化较为敏感，其结构还可以进一步完善和优化。当调压器下游压力上升太快，阀瓣容易与阀座发生较大磕碰冲击，阀瓣的软密封阀垫易受损伤而造成阀口关闭不严，在大膜盘调压器上盖可以增加对膜盘上移的限位装置以及在反馈信号管上安装阻尼阀的方式，可以减少膜盘下方压力上升较快时对阀杆产生较大的拉应力以及阀瓣与阀座磕碰冲击力。

(4) 暗杆闸阀的阀杆也多采用马氏体不锈钢，暗杆闸阀的阀杆会直接与介质接触，建议在地下水位较高的南方地区，管道关断阀门宜选用平板闸阀或明杆闸阀，而不要选用暗杆闸阀，避免管道中的含氯离子的水质造成阀杆的晶间腐蚀。

工程信息

秦皇岛市北戴河区 燃气安装惠民工程有序推进

秦皇岛市北戴河老旧小区管道燃气安装工程是北戴河区政府的重点民生工程，也是秦皇岛市燃气总公司大力组织实施的惠民工程。在北戴河区政府的大力支持和各街道办事处积极配合下，市燃气总公司自2011年起，连续3年组织实施了3期燃气安装惠民工程，已经完成老旧小区安装点火7180户，目前包括北戴河北岭小区、滨海小区、佳苑小区、集园小区、育苑小区等地居民，都告别了液化石油气钢瓶时代，开始使用上了清洁高效环保的天然气。天然气的入户，使北戴河区老百姓深切体会到了天然气的方便、快捷。“天然气真是太方便了，安全又省事，一开阀门就用气，政府真是为民办了一件大好事！燃气公司的服务太周到了，感谢你们！”家住北3区的刘先生赞扬燃气公司。

2014年，市燃气总公司大力推进第四期惠民工程建设，涉及东山社区和西山社区两大片区，包括避暑园、康乐路、鹰角路、友谊家园、育花路二区、北岭一区等2000余户居民。目前已审批办结安装手续1500户，市燃气总公司组织专业施工队伍正在避暑园、北岭一区等小区加紧施工，8月底完成了600户的入户安装。同时采取边施工边置换通气点火方式，让具备条件的居民尽早使用，全部安装工程计划年底前达到通气使用条件。第四期惠民工程安装完成后，北戴河区城市居民管道燃气气化率将达到80%。进一步促进了北戴河区的生态环境建设，提升了人民生活水平。

(张旭辉 解向兵)