

重工业园区中钢结构管道支架设计探析

牛志杰

中冶南方城市建设工程技术有限公司

摘要:以重工业园区中广泛存在的钢结构管道支架设计中存在的问题为例,通过对管道支架设置原理、结构选型、受力特点、细部构造、施工图绘制等环节进行浅析,从而提升设计质量,以达到“安全、合理、经济”的目的。

关键词: 支架; 管道支托; 检修平台; 基础

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.17.102

引言

钢结构管道作为重工业园区中能源介质的输送通道,犹如人体血管遍及工厂各处,串联起各个系统及重要设备,管道支架自然成为工厂设计中常见的一种结构形式。管道支架从外形到设计看似简单,但并非结构设计人都能做好相关设计工作。

管道支架设计常见主要问题如下:第一,支架体系设置不合理;第二,支架本体设计和构造不合理;第三,支架施工图设计深度不足、合理性欠佳。

造成以上问题出现的主要原因如下:

第一,结构设计人往往认为管道支架属于附属设施,与动辄几百上千万大型结构相比,重要性和设计难度都很低,容易忽视其本身的重要性和系统性,盲目简化设计过程。

第二,自身对管道支架原理了解不足。

第三,结构计算前的整体分析和工况假定不准确。目前结构设计软件足够先进,绝大多数建(构)筑物都能精确分析,对结构设计而言,计算本身难度并不大,但需要正确考虑。

本文针对以上问题将对管道支架设计原理、选型等过程进行探析,以期安全、合理地开展重工业园区中管道支架设计。

一、单根管道的支架设计

(一) 单根管道的支架设置原理、支架选型及受力特点

在钢铁行业部分设计院分工中,管道体系(包含管道本体和管道支架)的整体设计由工艺专业负责设计完成;除炼铁专业的管道本体由结构专业负责设计完成外,其他专业的管道本体由各专业自行设计;管径 $\geq 300\text{mm}$ 的管道支托由结构专业设计(特殊管道支托除外,如聚四氟乙烯滑动管道支托、弹簧管道支托等),管径 $< 300\text{mm}$ 的管道支托由工艺专业自行设计。

管道体系设计由工艺专业负责,当工艺专业设计人员的管道体系设计方案合理性不足时,会导致结构专业

管道支架设计存在困难。然而结构工程师如果熟练掌握管道支架的设计原理,将有助于对管道支架体系的理解,再结合其结构专业的合理化建议,往往能“化繁为简”,在减少用钢量的同时,保证管道支架的安全。

例如,管道转弯处设置双向滑动支架,高度达到 $12\sim 15\text{m}$,按照常规做法,选用4肢格构式支架,肢距采用 $2\sim 3\text{m}$,支架设计经济性欠缺。改选摇摆支架,受力和变形效果基本等同于双向滑动支架,但支架的经济性会得到较大提升,耗钢量约为双向滑动支架的 $1/2\sim 1/3$ 。

1. 单根管道的支架设置原理。

单根管道有2类体系。第一种管道体系:当管道直径较大,可以当作支架的侧向支撑时,管道与支架共同组成完整的结构体系。第二种管道体系:当管道直径较小,不能当作支架的侧向支撑时,支架要自成稳定结构。

(1) 第一种管道体系的支架设置原理,以一段直线段管道来分析。管道与管道支架共同组成完整的结构体系,该体系沿管线方向的稳定由固定支架承担,垂直管线方向的稳定由固定支架、半铰支架(或柔性支架)、单向滑动支架承担。其中半铰支架与管道间采用铰接管托联系,其支架本体脱离管道则为机动体系。

该体系的设置原理:①该体系中必须有一个固定支架,固定支架应有足够的刚度以保证管道系统的稳定,否则该体系会变成不稳定的机动体系。固定支架宜设置在该段管道的中部,此时固定支架所受的水平推力(由温度变形引起)最小。②管道转弯处,一般情况设置摇摆支架或双向滑动支架,以适应该处管道的双向变形要求。③远离转弯处的直线段管道一般设置半铰支架(或柔性支架)、单向滑动支架。

(2) 第二种管道体系的支架设置型式仅有固定支架和滑动支架,其他支架型式都不适用。

2. 单根管道的支架选型。

单根管道的支架型式主要有固定支架、双向滑动支架、单向滑动支架、半铰支架(或柔性支架)、摇摆支架(或摇摆吊梁支架)等类型。

固定支架一般为4肢格构式支架。

双向滑动支架一般为4肢格构式支架,高度较低、水平摩擦力较小的双向滑动支架也可选用双肢格构式支架或单肢支架;单向滑动支架一般为4肢格构式支架,高度较低、水平摩擦力较小的单向滑动支架也可选用双肢格构式支架或单肢支架。

半铰支架和柔性支架均适用于直线段管道部位设

置。半铰支架的柱肢脚部沿管线方向与基础采用不完全铰接（半铰接）构造，柱肢顶部与支撑的管道间采用焊接，管道沿管线方向变形时，半铰支架可以满足变形需要，但是半铰支架位移后的倾斜度要符合下列公式要求：管道变形量/支架高度（管托底部至基础顶面） ≤ 0.02 ，其适用于管道重量较大、管道变形量符合管道支架倾斜度要求的管线；柔性支架的柱肢脚部沿管线方向与基础刚接，柱肢顶部与支撑的管道间采用焊接或滑动，适用于管道重量较大、管道变形量较小和高度较高的管线。

刚性管道支架主要是以管道在支架上可滑动或滚动来适应管道变形，半铰支架主要是以支柱的倾斜来适应管道的变形，柔性支架主要是以支柱的弹性位移来适应管道变形。

半铰支架与柔性支架相比，结构简单，受力明确，耗钢量少，基础经济。但温度较高的蒸汽管道、不能当作支架侧向支撑的小直径管道等，只适用柔性支架而不能采用半铰支架。

3. 单根管道支架的受力特点。

固定支架：承受管道垂直方向的荷载、沿管线方向水平推力、垂直管线方向水平推力、风荷载。水平推力与风荷载的作用位置为管道中心处标高。需要注意：固定支架上的管道固定点只能有一处，如果管道需要有第2个支撑点，则必须设置成滑动点。

双向滑动支架：承受管道垂直方向的荷载、沿管线方向水平摩擦力、垂直管线方向水平摩擦力。管道的风荷载应计算在垂直管线方向水平摩擦力之中，水平方向摩擦力与风荷载的作用位置为支架顶面处标高。

单向滑动支架：承受管道垂直方向的荷载、沿管线方向水平摩擦力、风荷载。水平摩擦力与风荷载的作用位置为支架顶面处标高。

半铰支架：承受管道的垂直荷载、风荷载，风荷载的作用位置为管道中心。

柔性支架：承受管道垂直方向的荷载、水平推力（反弹力）、风荷载。根据管道支托性质水平推力（反弹力）作用位置：上滑式管托取管道外表面的最低点；其他形式管托取管托底面。

摇摆支架：承受管道垂直方向的荷载。

（二）单根管道的支架设计

根据管道荷载的传力路径，管道支架设计包含以下内容：管道支托；管道支架；基础。

（1）管道支托

管道支托类型有固定管托、滑动管托、滚动管托、铰接管托等。一般为轴心受压构件，管道支托的有效高度宜取150~200mm，根据工艺特殊要求可适当增加有效高度。设计管道支托时宜单独绘制管道支托表，固定管道支托以GT-*g编号，滑动管道支托以GT-*h编号等。

（2）管道支架

管道支架设计按轴心受力构件、压弯构件计算。固定支架、双向滑动支架、单向滑动支架、半铰支架（或柔性支架）垂直管线方向的宽度宜取支架高度的 $1/6\sim 1/10$ 或管径的 $0.6\sim 0.8$ 倍，两者取大值。

（3）基础

管道支架的常用基础有：独立基础和联合基础，地基情况允许时基础设计宜采用独立基础。由于管道支架基础不同于其他基础，其承受的垂直荷载一般相比水平荷载较小，基础偏心距常超出基础核心范围，因此基础设计时除计算地基承载力外，应控制基础的偏心距，设计时需注意以下问题：

①管道支架的受力特点是轴力小，弯矩大，所以基础要深埋，以防止倾翻。管道支架的基础设计时，固定支架基础的地基反力出现拉应力的区域不大于基础底面积的 $1/10$ ，是不致影响管道支架正常使用的，其他支架基础的要求可适当放宽。

②管道支架所承受的水平力传给基础路径如下：
a. 当管道支架所承受的水平力小于管道支架与基础面的摩擦力时，水平力由摩擦力传给基础；
b. 当管道支架所承受的水平力大于管道支架与基础面的摩擦力时，超出部分可由连接管道支架与基础的锚栓传给基础。虽然在钢结构规范中锚栓不能用于抗剪，但从实际工程经验中验证，锚栓抗剪强度控制在相应钢材强度的30%以内，其安全性是可以保障的；
c. 当管道支架所承受的水平力大于b条建议的承载能力时，应设置抗剪件传递水平力。

（三）单根管道支架的细部设计与构造

（1）管道支撑梁设计

管道支撑钢梁一般选用工字钢或H型钢，荷载较大或情况较为复杂时可选用箱形截面梁。工字钢和H型钢的受力特点是抗拉、抗压、抗弯性能较好，但抗扭性能差。固定支架、滑动支架上的管道一般对支撑横梁都有较大的水平力作用，会造成支撑横梁处于受扭的不利状态。有效做法是设置合理的水平支撑，把水平力通过水平支撑直接传到柱顶，再由柱间支撑传递给基础。

半铰支架因其柱脚构造是不完全铰接（半铰接），管道支撑梁会受到一定的水平力作用；摇摆支架因其柱脚构造是完全铰接，则支撑梁不受水平力作用。因此半铰支架的管道支撑梁应进行抗扭转设计和构造，支架的柱头设计应满足要求。柔性支架管道支撑梁的设计与半铰支架类似。

（2）柱头设计

固定支架、滑动支架的支撑梁与柱头连接按照铰接连接设计；半铰支架、柔性支架的支撑梁与柱头连接按照刚接连接或叠接连接设计，因叠接连接更为合理建议优先采用；半铰支架的支撑梁与柱头连接严禁设计为铰接。

(3) 柱脚设计

固定支架的柱脚与基础采用铰接连接设计。地脚螺栓布置尽可能靠近立柱中心，立柱采用H型钢时宜布置在钢柱范围内，在满足计算假定受力合理的同时柱脚成品美观。

半较支架的柱脚与基础采用铰接连接设计。当支架高度 $\leq 8\text{m}$ ，受力允许的情况下，单个柱脚宜采用2螺栓布置形式，符合计算假定；当支架高度 $> 8\text{m}$ ，或受力较大，2螺栓布置无法满足设计要求，单个柱脚可采用4螺栓布置形式。

柔性支架、滑动支架的柱脚与基础采用刚接连接设计。

管道支架柱脚采用锚栓，锚栓型号宜 $\geq \text{M}30$ ，当支架受力较小时可采用 $\text{M}24$ 螺栓。螺栓的垫板尺寸应 $\geq 3d$ （ d 为螺栓孔径）。

(4) 保证稳定

固定支架、滑动支架等4肢格构式支架需在支架中部适当位置设置水平支撑。半较支架高度 $> 6\text{m}$ ，应在支架中部适当位置增加设置水平支撑以保证稳定。

二、多根管道的支架设计

(一) 多根管道的支架设计要点

在设计中，多根管道共用一个支架的情况经常出现。对管道而言，其支架设置原理同本文1.1.1条。但支架本体设计与单根管道支架设计不完全相同。

当多根管道的支架设计中固定支架上的管道均可设置为固定点，滑动支架上的管道均可设置为滑动点，则多管道支架的设计与本文1.2条基本相同。

但多根管道共用一个摇摆支架是无法设计的，需要对每根管道单独设置摇摆支架，或者共用一个支架对不同管道单独设置摇摆吊梁。

对于多管道共用一个半较支架情况较为复杂，因为每根管道的变形量和变形方向不同，所以半较支架无法实现为每根管道同时提供铰接点。半较支架只能为最主要的管道提供铰接点，该管道称为“主动管”，该管道不但有一定能力承受其他管道的摩擦力，同时还将减小对固定支架的水平推力影响；其他管道均在半较支架上滑动，这些管道称为“非主动管”。此设计半较支架的变形只能适应主动管的变形要求。

多根管道的支架设计中，凡有滑动管道支托出现时，管道摩擦力及支架位移计算均应考虑管道之间的牵制影响，牵制系数按照规范取值。

其他设计基本同本文1.2条。

(二) 多根管道支架的细部设计与构造

多根管道支架的细部设计与构造基本同本文1.3条。需要注意的是当多根管道断面布置为双层或多层时，支架本体柱间支撑的设置受到限制无法连续布置，管道传给支架的水平力需要由管道支架的柱脚承受。柱

脚受力由轴心受力变为压弯受力构件，柱截面需局部加强，宜选用T型截面柱，且T型截面柱的范围应延伸过一个完整的柱间支撑段。

三、管道支架设计与施工图绘制注意事项

其一，根据工艺需要，应明确结构专业设计内容，特别要注意管道检修平台的布置基本要求，把平台设计与管道支架设计相结合。可以利用大型管道（刚度、强度满足要求），在其管道本体上设置临近的检修平台，从而将管道支架设计轻量化。

复杂管线管道支架的设计内容繁琐，管道形式多样，对设计要求较高。首先要梳理管道型号、荷载、性质等，对管道体系进行分析，对支架位置、支架类型进行合理设置，全面综合考虑检修平台等附属物的设计。避免设计前期考虑不全面导致设计遗漏或不合理情况发生。

其二，基础平面布置图与管道支架平面布置图宜分开绘制。前者包括排水器基础、钢梯基础等，后者包括平台、楼梯等。

其三，管道支架平面布置图中，在标注支架的结构专业编号同时，应标注支架的工艺专业编号，以方便设计、施工各阶段图纸应用；支架的结构专业编号应将外型和性质相同的支架归类、合并。

其四，复杂的管网体系因管道支托的型式、性质、尺寸的不同导致管道支托种类繁多，宜专门绘制管道支托表及对应详图，方便工程使用。

其五，管道支架施工图设计中，单肢支架（摇摆支架）和双肢格构式支架（半较支架、柔性支架等）由于没有方向性问题，一般直接绘制立面图就可以清楚表达各种信息。4肢格构式支架（固定支架、滑动支架）由于有方向性问题，需要先绘制平面布置图（应与支架平面布置图的方位保持一致），再绘制剖面图。若支架上还设置有检修平台，应与支架图同步绘制，完善设计信息。

结语

重工业园区曾出现过能源介质管道掉落，管道支架被压垮等事故，事后复查原因主要是设计失误导致。对于很多输送易燃易爆危险介质的管道，其支架出现问题，小则影响生产大则出现安全事故危及人员生命安全。管道支架设计内容繁琐、形式多样，设计时很容易出现疏漏和失误，因此管道支架设计的系统性、重要性不言而喻。综上，在钢结构管道支架设计中要重视管线原理、受力分析、支架选型等各个环节，合理选用结构方案，以达到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的目的。

参考文献

- [1] GB 50017-2017, 钢结构设计标准[S].
- [2] GB 50709-2011, 钢铁企业管道支架设计规范[S].