

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2017.06.004

集中通风在次高压天然气管廊中的应用

□ 深圳市燃气集团股份有限公司 (518049) 杨国增

摘 要: 根据次高压天然气管廊的特点分析和讨论通风系统设计中的几个问题, 提出在钢制防火风门、吊顶防爆水袋为隔离条件下集中通风的天然气管廊通风方式, 并根据深圳市天然气管廊的远景规划对管廊建设初期和后期的通风问题进行了研究。

关键词: 天然气 管廊 通风系统 集中通风

Concentration of Main Ventilating Fan in the Second High Pressure Gas Pipe Gallery

Yang Guozeng Shenzhen Gas Corporation Ltd.

Abstract: According to the characteristics of the second high pressure gas pipe gallery, the thesis analyzes several problems of the ventilation system and put forward the best method is main ventilating fan based on fire door and explosion-proof water bag. Combining with the gallery in Shenzhen's different time, we find out the results of the long-range perspective.

Keywords: gas pipe gallery the ventilation system main ventilating fan

2016年6月17日, 住建部陈政高部长强调“坚决落实管线全部入廊要求, 决不能一边建设地下综合管廊, 一边在管廊外埋设管线。排水、天然气管线要求入廊”。据此深圳市展开了天然气管道入廊的技术研究, 对次高压燃气管道实行单独舱室敷设。管廊主体位于地下, 相对密闭, 热空气和有害气体沉积、人员和微生物的活动都会导致空间内氧气含量下降, 同时《城市综合管廊工程技术规范》也明确提出需对综合管廊设置通风系统。综合管廊是百年工程, 影响深远, 高效、可靠的通风系统对管廊安全、平稳使用具有重要意义。

检索发现, 自2015年下半年起有多位专家、学者对综合管廊通风问题展开研究^[1-6], 围绕GB50838中关

于风量、风速、空气质量指标等进行设计优化, 对具体的项目和早期管廊建设提供了宝贵的文献资料。但是, 对于管廊建成规模后的具体安全技术鲜有报道, 对天然气单独舱室的通风问题呈现的特殊性研究尚属空白, 国内相关技术研究任重道远。结合工业通风、密闭坑道通风和燃气管廊的特点, 对次高压燃气管道集中通风方法展开论述, 比较间歇通风和连续通风的技术和经济指标, 找出天然气单独管廊通风的最佳方法。

1 自然通风和机械通风

1.1 自然通风的原理

由自然因素作用而形成的风流叫自然通风, 其

本质是作用在最低水平两侧空气柱重力差不等导致空气发生流动的结果。根据综合管廊特点，结合实际情况对其抽象概括，形成图1所示的简化图，图中1-2-3-4-5为管廊路由剖面图。

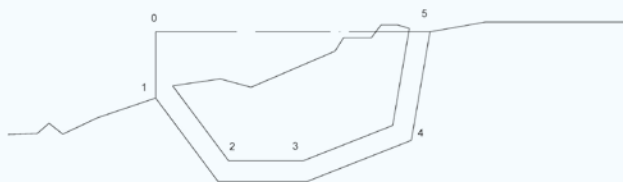


图1 综合管廊示意图

冬季：空气柱0-1-2比5-4-3的平均温度低，空气密度较大，导致空气柱作用在2-3水平上的重力不等，使得空气源源不断地从通风口1流入，从通风口5流出。

夏季：与冬季相反。

通过分析发现，如果管廊出入口的温差和空气密度较大，可以为管廊提供源源不断的风流，但是深圳地处华南亚热带，空气湿度大、昼夜温差小，且管廊敷设的垂直梯度变化不大，水平参数相对稳定，难以形成恒定、持久的空气压力差，就不能保证自然风压能够始终存在，其经济型虽强但可靠性较低。

1.2 机械通风

机械通风是指利用风机运转给空气一定能量，形成压力以克服管道通风阻力，使空气源源不断地流入管廊，并沿着既定路线流动形成风流的通风方法。机械通风按照风机摆放位置分为集中式通风和局部通风。集中式通风是将风机设置于通风口，对整个管廊提供通风动力，同时管廊内部与外界大气存在气体交换；局部通风是在管廊内部摆放风机，对局部形成风流，管廊内部与外界大气不一定有空气交换。机械通风有3种通风方法：压入式、抽出式和压入抽出式，这3种方法宏观上讲是动力位置点设置不同，理想情况下对管廊施与的动力是一致的。

机械通风相对于自然通风能够提供稳定的风流，但是必须考虑风机的选型、维保，后期管廊建设以及管廊最终成网时的通风状态。机械通风时如果参照管廊防火分区最长200m一段设置风机^[6]，则一段管道将人为切割划分为多个进、出风口，受自然风压和风机动力共同影响，容易在管廊内形成局部循环风流，不

利于管廊内、外空气流动，其原理见图2，实际形成循环风流的原理在此不做详细介绍。多风机同时运行消耗能量大，且不利于管理，因此集中供风成为首要考虑的通风方法。

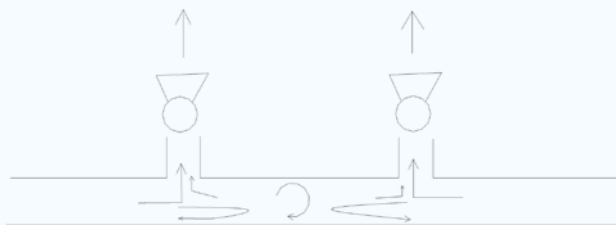


图2 多风机形成局部循环风示意图

次高压燃气管廊通风系统内部构造相对简洁，以单独敷设的次高压燃气管线和部分隔断设施为主，且管廊内表面相对光滑，容易计算其沿程阻力。次高压燃气管道为城镇燃气管网大动脉，分支较少，因此通常情况下不考虑分支管廊形成的局部阻力，那么集中通风法在管廊中的优势不言而喻。

2 集中通风法风量参数核算

2.1 通风阻力

空气沿管廊流动时，由于风流的粘滞性和惯性以及管廊壁面对风流的阻滞、扰动而形成通风阻力，是造成风流能量损失的主要原因。空气流经管廊时的能量变化见图3，形象地表达了沿程阻力对风流的作用。

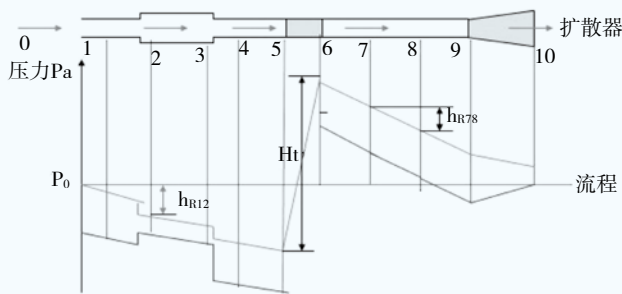


图3 风流能量受沿程阻力影响变化情况

假设风流入口断面处绝对全压等于大气压，风流出口处的绝对静压等于大气压，根据能量压力坡度线分析，可推导出任意两断面间的通风阻力为：

$$h_{Ri-j} = h_{ti} - h_{tj} \quad (1)$$

根据《城镇燃气设计规范》中关于次高压燃气管线弯头、弯管的相关规定,可知次高压燃气管廊拐弯部位相对平缓,可以根据尼古拉兹流体摩擦阻力理论和局部风阻参数酌情选择,计算管廊通风阻力。

2.2 风机选型

由于次高压燃气管线管廊为单独舱室管廊,不存在电缆线路发热情况,因此参照GB50838中关于风速的要求和管廊断面尺寸可计算出管廊所需风量,考虑管廊后期建设时存在延长情况,在风机选型时参照最大风量值选择5m/s,以便于管廊通风后期处于通风困难时能够合理调节工况点,给风机能力提供冗余。

管廊集中通风以管廊通风出入口安装主要风机为全管廊通风动力,服务于整个管廊,其内部一般不再安装局部风机。根据风机安装位置可将通风方式分为压入式、抽出式和压入抽出式3种,3种方法各有特色,其中抽出式通风为负压通风,在燃气管道泄漏时不容易使燃气集聚,对巡线人员的呼吸安全系数相对更高,同时能够使管廊内有害气体总集聚量达到最低。

表示风机性能的参数主要有风压 H 、风量 Q 、风机轴功率 N 、效率 η 、和转速 n ,在风机选型过程,依据的主线是核算管廊所需风量和管廊通风阻力,确定风机型号后由自然风压和扇风机风压联合作用克服管廊阻力。风机风压特性曲线(风机固有特性,可通过购买风机的说明书查看)的函数式为式2,管廊风阻特性曲线函数式为式3,风机风压 H 用以克服阻力 h ,所以 $H=h$,因此两曲线的交点即为风机工况选择结果。

$$H=f(Q) \quad (2)$$

$$h=RQ^2 \quad (3)$$

式中 H ——风机压力值,单位Pa

h ——管廊通风阻力,单位Pa

Q ——管廊所需风量,单位 m^3/s

H ——管廊风阻,是衡量管廊通风难易程度的一个量,可根据尼古拉兹流体试验测得,在工程中通常以经验公式计算,单位 Ns^2/m^8

2.3 两个通风时期

综合管廊是百年工程,建成后将影响千秋万代。次高压燃气管廊作为深圳市综合管廊的有机组成部分,目前综合管廊规划分为3期:近期规划、远期规划和远景规划,近期规划管廊在3年到5年之内即可全

部投入使用,那么这个阶段管廊总里程相对较小,单一风机集中通风有能力保障全段的风量、风速要求,随着远期规划和远景规划的逐步落实,管廊将逐渐由线状演变成网状,而管廊一旦建成,后期设施变更、维保将非常艰难,因此通风口设置至关重要。

对于次高压燃气管廊在管廊未出现闭合环状之前均为通风容易时期,这一阶段风机工况稳定,能够对全管廊风流有很好的控制。在通风容易时期管廊内部构造简单,不需要过多的通风构筑物或设施,且整段管廊风流将以层流为主。

随着远期规划管廊逐步建成,管廊将由线状演变成角联结构,并逐步变成多孔网状,整个通风系统就成为集中动力下的风网结构,见图4。在网络结构中,可以对每一个节点展开研究,以能量守恒定律、压力平衡定律和风量守恒定律展开通风网络解算,得出管廊内部各段风量、风速、风压和风向,进而设定构筑物,调节内部风流。

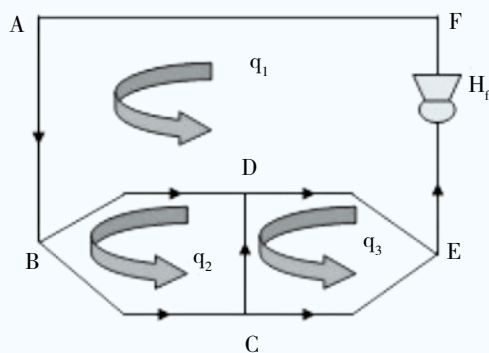


图4 典型廊状风网结构

以图4中任意一个闭合回路为研究对象,初拟风网中各回路风量为 q_1 、 q_2 、 q_3 ,使其满足风网中节点风量平衡定律,然后利用风压平衡定律对其逐一修正,从而得各分支假设风量,经迭代计算修正,各回路风压趋于平衡,最终各个分支风量接近真实值,计算过程如下:

回路风量修正值(ΔQ)的计算方法为式4。

$$\Delta Q = \frac{-\sum_{i=1}^n R_i Q_i^2}{2\sum_{i=1}^n |R_i Q_i|} \quad (4)$$

当分支流向与回路流向一致时,回路中各分支阻力代数和取“+”,反之取“-”。

当回路中有 H_f 和 H_n 时,回路修正值见式5。

$$\Delta Q = \frac{-\sum_{i=1}^n R_i Q_i^2 - H_f \mp H_n}{2\sum_{i=1}^n |R_i Q_i| - H_f} \quad (5)$$

最终分支风量计算结果为式6。

$$Q_i' = Q_i \pm \Delta Q \quad (6)$$

式中 ΔQ ——回路风量修正值

R_i ——第*i*个回路风阻

Q_i ——第*i*个回路修正后的风量

2.4 消防隔断和防爆隔断

次高压燃气管廊通常埋设于地下，燃气又属于易燃、易爆物，密度比空气小，一旦发生泄漏很容易弥漫于整个空间，对管廊造成毁灭性打击，有效的消防隔断措施是必不可少的设施。

风门是风流隔断设施，同时也可以有效预防爆炸冲击波。管廊内的风门为钢制双层中空结构，合页弹簧为双向可开，在通风时处于敞开状态，遇到明火或爆炸时自动关闭并锁死，同时掀翻防爆水袋，以隔断冲击波和明火。防爆水袋以不燃材料悬吊于管廊顶部，可与生产厂家直接订制，根据次高压燃气管道管径、燃气压力和通风参数进行核算。消防隔断设施在管廊内敷设的构造见图5。其中风门两侧均安装防爆水袋，且位于风门开关旋转半径以外。

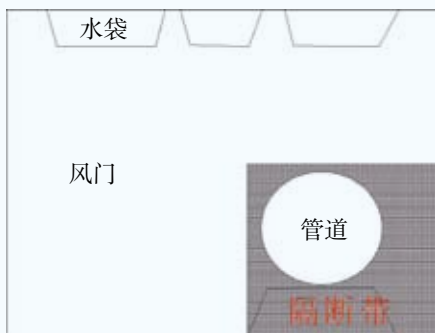


图5 隔断风门和防爆水袋断面图

4 集中通风法在深圳市某区次高压燃气管廊的应用

深圳市全市面积将近2 000km²，至2030年规划管廊总里程500km，其中次高压燃气为单独舱室，独立通风。全市范围内次高压燃气管廊集东西走向过长，难以实现集中供风，但各个辖区面积相对较小，以行政区域为划分通风区域依据，局部可略有调整，以便

于管理，全市可划分为8个通风区，其中燃气管廊呈网状的区域在远景规划范围内有4个，因此对全市范围的次高压燃气管廊可进行4处集中供风，以保障管廊通风。

某区区域内近期和远期规划共计规划7条管廊，总里程26.98km，见图6，其中次高压燃气管廊13 181m，其中近期规划7 800m，远期规划5 381m，为便于后期运行管线抢险维修，断面设定为高2.2m、宽2m矩形结构，内置次高压燃气管道外径508mm。蓝色管廊为次高压燃气舱所在位置，核算段为中部东西走向接通部位。

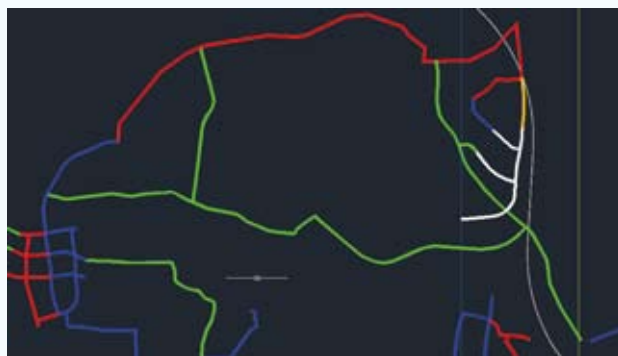


图6 深圳某区综合管廊规划

管廊内部为素灰土抹平，相对平整，风速设定为5m/s，除去管道占用断面核算所需风量18.25m³/s。管廊内部断面均匀相对稳定，沿程阻力以摩擦阻力为主。查附表得管廊内部摩擦系数 α 为 $25 \times 10^{-4} \text{NS}^2/\text{m}^4$ ，那么管廊的摩擦摩擦风阻为

$$R_f = \alpha \frac{LU}{S^3} = \alpha \frac{L4.6\sqrt{S}}{S^3} = 25 \times 10^{-4} \times \frac{13\ 181 \times 4.6 \times \sqrt{4.4}}{4.4^3} = 3.7 \text{Ns}^2/\text{m}$$

管廊摩擦阻力为

$$h_f = R_f Q^2 = 3.7 \times 18.25^2 = 1\ 232 \text{Pa}$$

次高压燃气管廊内部平整，消防口以阻燃材料覆盖平滑过渡，局部阻力忽略不计，沿程阻力以摩擦阻力基本一致，那么结合管廊风量18.25m³/s和通风阻力1 232Pa与风机特性曲线选择风机，即可实现该段管廊在近期、远期实现集中供风。本次核算风量与风压参数在风机选型上具有较好的优势，一般的大型风机均可满足，考虑到燃气易燃易爆的特性，可以参照小型煤矿风机选型的方法。市内燃气管廊其他4个区域

与本区管廊规模相似，各区均可实现一台风机供风。

5 结论

(1) 理论上自然风压可以让管廊内有流通风流，但是风量、风压、风向均不易控制；通风区间与防火区间应分开设置，可避免循环风流出现。

(2) 随着分期建设工程逐步落实，管廊通风系统最终会成环成网，整个管廊会进入通风困难时期，通过计算机解算通风网络，调节风机工况参数，实现后期通风的有序过渡。

(3) 深圳市全市综合管廊可通过划分区域来实现集中供风，4台风机即可实现对全市次高压燃气管廊通风。

参考文献

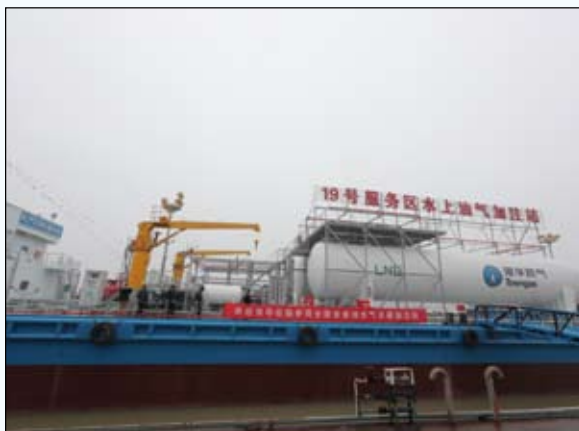
- 1 王恒栋. 城市综合管廊工程技术规范 GB50838-2015 修订说明[J]. 混凝土与水泥制品, 2015; 8: 73-75
- 2 蔡昊. 城市综合管廊通风系统设计刍议[J]. 山西建筑, 2016; 5(42): 116-117
- 3 林桦. 南宁市五象新区核心区综合管廊通风、排烟系统设计[J]. 轻工科技, 2014; 6(187): 109-147
- 4 吴德珠. 浅议通风系统在城市综合管廊消防设计中工程及技术要求[J]. 江西建材, 2016; 12(189): 25
- 5 窦荣舟, 刘鹏超, 王彦祥. 谈地下城市综合管廊通风设计[J]. 山西建筑, 2015; 5(42): 126-128
- 6 李海新, 张琪. 综合管廊通风系统设计探讨[J]. 山西建筑, 2015; 12(41): 137-138

工程信息

国内最大水油气加注趸船即将投入使用

近期，由港华燃气参与投资的国内单体最大水油气多功能加注趸船“海港星02”号将很快在江苏投入使用。早在2013年9月，港华燃气就建成并投运了全国首座示范示范点水上趸船式LNG加注站“海港星01号”，为国家后继水运行业LNG加注站的系列规范、法规的出台奠定了很好的基础。2014年，交通运输部发文(交水办〔2014〕198号)，确立由港华燃气承担长江干线江苏段水运应用LNG示范项目，在长江江苏段择机新建LNG加注趸船，于是海港星02号应运而生。

“海港星02”总投资6100万元，型长136m，配备有2个250m³的液化天然气储罐，每小时可向船舶加注34m³液化天然气，1艘配备15m³液化天然气储罐的5000t船，加注时间约半小时，加注后连续续航能力达2000km。同时，“海港星02号”配备了先进的加油加气控制系统及各项安全防护设施，将会充分体现技术先进、防爆安全、加注



高效和运行环保等设计特点。

“海港星02”号的投运将可为长江水域江苏段来往船舶提供液化天然气等燃料补给，降低燃料成本及减少排污量，为水上运输行业的节能环保工作发挥重要的作用。

(杨丽)