



中华人民共和国安全生产行业标准

AQ/T 1104—2014

煤矿低浓度瓦斯气水二相流安全输送 装置技术规范

Technical rules for the security delivery device of gas-water two-phase
flow of low concentration gas in coal mine

根据中华人民共和国应急管理部 国家矿山安全监察局
公告（2024年 第5号），自2024年7月15日起标准号变
更为：KA/T 1104—2014。

2014-02-20 发布

2014-06-01 实施

国家安全生产监督管理总局 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利,本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由国家安全生产监督管理总局提出。

本标准由全国安全生产标准化技术委员会煤矿安全分技术委员会(SAC/TC 288/SC 1)归口。

本标准起草单位:煤矿瓦斯治理国家工程研究中心淮南矿业(集团)有限责任公司。

本标准主要起草人:袁亮、金学玉、范辰东、张林、张明、吴志坚。

煤矿低浓度瓦斯气水二相流安全输送 装置技术规范

1 范围

本标准规定了煤矿低浓度瓦斯气水二相流安全输送装置的术语和定义、系统设计要求、系统调试及判定、系统施工及验收。

本标准适用于煤矿低浓度瓦斯气水二相流安全输送装置系统(以下简称系统)设计、施工及验收。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 3836.2 爆炸性环境 第2部分:由隔爆外壳“d”保护的設備

GB 50028 城镇燃气设计规范

AQ 1029 煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范

AQ 1076 煤矿低浓度瓦斯管道输送安全保障系统设计规范

AQ 6201 煤矿安全监控系统通用技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

煤矿低浓度瓦斯气水二相流安全输送装置系统 **technical specification of the system for transporting low concentration coal mine gas with two phase flow (gas water)safety device**

采用气水二相流管路输送煤矿低浓度瓦斯,使瓦斯在环形及端面水封的管路中形成间歇性柱塞气流,实现安全输送的装置系统。

3.2

环流装置 **circumfluence device**

使水流在输送管道内附壁流动,瓦斯气流在附壁环形水流腔内流动的装置。

3.3

柱流装置 **columniation device**

产生间歇性柱塞水团,把管路内附壁环形水流腔中流动的瓦斯气流分割成段的装置。

3.4

稳压放散装置 **stabilizing-pressure device**

采用水封稳压,超压放散并保持压力稳定的装置。

3.5

防爆阻火式气水分离器 **gas-water segregator with preventing explosion and fire interdiction**

脱水并兼具水封阻火功能的装置。

3.6

双向阻火装置 **bidirectional fire interdiction device**

利用二相流柱塞水团阻止正反方向火焰传播并熄灭火焰的装置。

3.7

系统流型 **type of circumfluence system**

瓦斯在附壁环形水流腔内流动,沿输送方向每隔 30m~50m,用柱状水团将瓦斯气流分隔成段,形成二相柱塞环流流型。

3.8

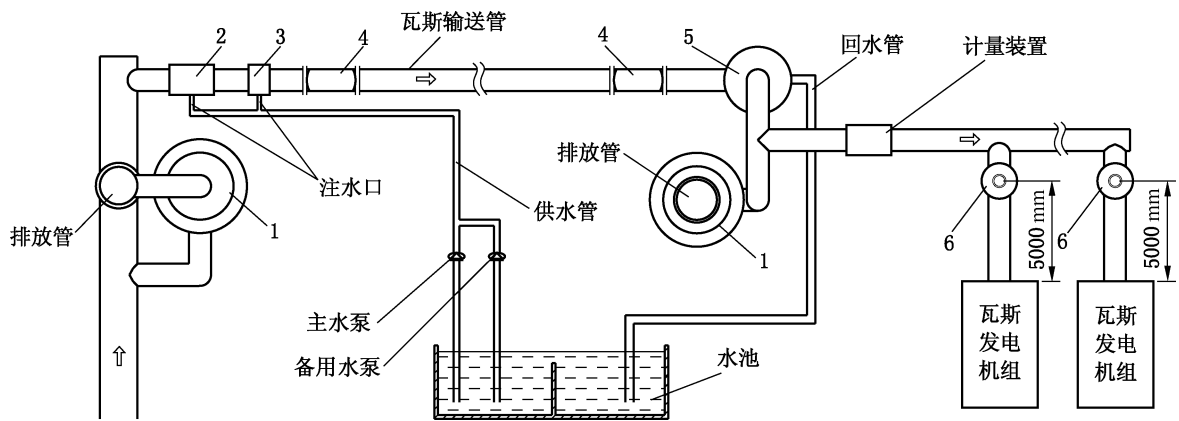
体积含水率 **in the ratio of water velocity to gas velocity**

系统单位时间内水流量与气流量之比。

4 系统设计要求

4.1 系统构成

系统构成如图 1 所示。



- 说明：
- 1——稳压放散装置；
 - 2——柱流装置；
 - 3——环流装置；
 - 4——透明观察管；
 - 5——防爆阻火式气水分离器；
 - 6——双向阻火装置。

图 1 煤矿低浓度瓦斯气水二相流安全输送装置系统示意图

4.2 系统设计

4.2.1 一般要求

- 4.2.1.1 应由具备相应工程设计资质的单位设计。
- 4.2.1.2 系统应具备专用供回水管道,宜采用瓦斯抽采泵的供水泵供水。
- 4.2.1.3 另设供水泵时应双电源供电,并设置备用水泵。系统应做到水气联动,停水时停气。
- 4.2.1.4 系统采用循环供水,水源可与瓦斯抽采泵共用,总硬度(以碳酸钙计)应不大于 1 g/L 或浑浊度应不大于 5 度。

- 4.2.1.5 系统管道应设接地装置,对地电阻应不大于 20 Ω 。
- 4.2.1.6 系统管道内外应作防腐处理。
- 4.2.1.7 系统配套的装置及管道应能承受 1000 kPa 压力。
- 4.2.1.8 在冬季寒冷地区,应采取保温措施,以系统内不结冰为适宜。
- 4.2.1.9 系统输送管道及回水管道按 3‰流水坡度设计,且回水管道直径要大于供水管道直径。
- 4.2.1.10 系统输送距离不宜超过 200 m,否则分为三段输送。起始端和利用端为二相流输送段,输送距离以 50 m 为宜。中间段为单相气体输送,管径选择应满足气体流速在 8 m/s~15 m/s 的要求。
- 4.2.1.11 监控系统设备应符合 AQ 6201 要求。

4.2.2 瓦斯计量

在进入瓦斯利用设备前的分配管上,应按照 AQ 1076 规定安设“流量、浓度、温度、压力”计量装置,显示和统计瓦斯利用瞬时和累积纯量。监控系统设备使用管理应符合 AQ 1029 的相关要求。

4.2.3 供水计量

应在二相流供水管道上安设水量表计量水量,安设水压表检测水压。

4.2.4 回水设定

回水应有保证气体不泄漏的措施。若积水池不能与瓦斯抽采泵蓄水池共用,则应安设回水泵,把分离后的水泵回蓄水池。

4.3 基本参数

- 4.3.1 系统起始端供气压力一般不宜超过 20 kPa。
- 4.3.2 系统终端压力应根据瓦斯利用设备需要供气压力设定,但最大不宜超过 5 kPa。
- 4.3.3 系统管道中气水流速应在 25 m/s~50 m/s 范围内。
- 4.3.4 系统管道中体积含水率应在 0.2%~0.8% 范围内。
- 4.3.5 系统管道中柱流水团长宜为 500 mm~800 mm,间距 30 m~50 m。
- 4.3.6 系统供水压力应不小于 200 kPa。
- 4.3.7 系统管径选型:根据瓦斯流量初选管径,最大瓦斯流量时流速不宜大于 50 m/s,最小瓦斯流量时流速不宜小于 25 m/s。参考附录 A 进行管道压降计算,在气压不超过 20 kPa 的条件下,应能满足最大、最小流量时,瓦斯利用供气压力在 3 kPa~5 kPa。
- 4.3.8 系统供水量:应按照最大、最小瓦斯流量的体积含水率计算确定最大、最小供水量。

4.4 系统组件安设及性能要求

4.4.1 稳压放散装置

安设在系统起始端的稳压放散装置最大稳压压力应不小于 20 kPa,安设在系统终端的稳压放散装置最大稳压压力应不小于 5 kPa。稳定压力应在零到最大值范围内可调,放散过程中压力波动应小于 ± 200 Pa。

4.4.2 柱流装置、环流装置

柱流装置、环流装置依次安设在系统起始端。按系统体积含水率为 0.2%~0.8% 的要求供水,供水压力应不小于 200 kPa。

4.4.3 防爆阻火式气水分离装置

安设在系统终端。脱水后的气体相对湿度应在 $(95\pm3)\%$ 范围内,并应兼具防爆阻火功能。

4.4.4 双向阻火装置

安设在瓦斯利用设备前 5 m 范围内的进气支管上,应具备双向阻火功能。

4.4.5 系统管道

应符合 GB 50028 的要求。管径应通过选型计算确定,一般不宜大于 500 mm。

4.4.6 透明观察管

安设在系统管道起始后和终结前的 10 m 范围内,与系统管道等管径,长度 1 m,材质应为透明材料,应能承受 1000 kPa 压力,并可根据使用情况定期更换。

4.4.7 水泵及水池

4.4.7.1 供水泵应满足系统供水量和压力要求。配备电机应符合 GB 3836.2 的规定。

4.4.7.2 积水池位置应有利于回水,应有补水设施及液位指示装置。

4.4.8 系统供水

4.4.8.1 系统运行前,先开启供水设备。不能保障系统正常供水时,监控设施应能自动闭锁供气。

4.4.8.2 系统正常运行中,因供水设备故障、水池缺水等造成系统断水,监控设备应做到停水自动停止供气。

4.4.9 管道密封性检验

4.4.9.1 瓦斯管道

瓦斯管道安装完毕后,应进行气密性试验。试验压力应为 300 kPa,保压时间应不少于 2 h,管道应无漏气,且压降不得大于 2% 试验压力。

4.4.9.2 供、回水管道

供、回水管道安装完毕后,应进行水压密封试验。试验压力应为系统设计压力的 1.5 倍,保压时间不应少于 10 min,管道应无滴漏,且压降不得大于 1% 试验压力。

5 系统调试及判定

5.1 系统操作步骤

首先开启供水泵,将稳压放散装置、双向阻火装置中的水注到设定位置,依次微开环流装置、柱流装置注水阀,再打开供气管道阀门,调整系统起始端供气压力,使管道气体流速达到 25 m/s~50 m/s 范围后,调整注水流量和压力,从透明观察管中观察形成二相柱塞环流后,再调整系统终端瓦斯利用设备供气压力,直至系统稳定运行,方可开启瓦斯利用设备。

5.2 系统性能调试步骤

由项目设计、建设、监理及使用单位项目负责人共同进行系统性能调试,参照附录 B 填写记录表,

并提交报告。

5.2.1 气压变化性能调试

在 10 kPa~20 kPa 范围内调试供气压力,观察流型变化,确定系统适用的供气压力范围。

5.2.2 气量变化性能调试

按照最大和最小混合量调试供气量,观察流型变化,确定系统适用的供气量范围。

5.2.3 水压变化性能调试

在 100 kPa~300 kPa 范围内调试供水压力,观察流型变化,确定系统适用的供水压力范围。

5.2.4 水量变化性能调试

在 0.2%~0.8% 范围内调试系统体积含水率,观察流型变化,确定系统适用的供水量范围。

5.3 系统流型效果调整

设定前级稳压放散装置压力改变系统流速,确保附壁环流效果,调整柱流水团的间隔,使系统内同一时刻不少于 2 个水团。

5.4 系统流型判定

采用目测法判定:通过透明观察管观察附壁环流,并应在柱流水团通过后附壁环流仍保持连续。

6 系统施工及验收

6.1 基本规定

6.1.1 质量管理

6.1.1.1 系统应按照批准的工程设计文件和施工技术标准进行施工,修改设计应报原审核机构审核通过。

6.1.1.2 应编制施工组织设计或施工方案,经批准后实施。

6.1.1.3 应有健全的质量管理体系和工程质量检测制度,实现施工全过程质量控制。

6.1.1.4 系统施工应具备下列条件:

- a) 系统组件及材料齐全,其品种、规格、型号符合设计要求;
- b) 系统及其主要组件的使用维护说明书、产品检验合格证齐全。

6.1.1.5 系统的施工单位应具有相应的工程安装资质。

6.1.2 材料设备管理

6.1.2.1 应选用国家有关产品质量监督检测单位检验合格的材料设备。进施工现场时应作检查验收并经监理工程师核查确认。

6.1.2.2 施工前应对系统组件进行外观检查,并应符合下列规定:

- a) 组件无碰撞变形和其他机械性损伤;
- b) 组件外露非机加工表面保护涂层完好;
- c) 组件所有外露接口均设有防护堵或防护盖,且密封良好,接口螺纹无损伤;
- d) 铭牌清晰、内容完整。

6.1.3 施工过程质量控制

施工安装过程中应做好记录。隐蔽工程应做好中间验收记录。

6.2 施工安装

6.2.1 系统组件应按设计要求安装。

6.2.2 系统管道按 4.2.1.9、4.4.5 要求安装。

6.2.3 积水池建设应满足 4.4.7.2 要求。

6.3 系统性能验收

6.3.1 应在系统安装完毕,安全监控系统等联动设备调试完成后进行。

6.3.2 应具备完整的技术资料及系统性能调试报告。

6.3.3 验收负责人应由使用单位专业技术人员担任。

6.3.4 应按 6.1 和 6.2 的要求,检查系统组件和安装质量,符合要求后方可进行验收。

6.3.5 验收后应提交验收报告。

6.3.6 系统性能验收应按第 5 章要求进行。

6.4 系统工程质量验收

6.4.1 质量验收的组织

系统工程质量验收,应由建设单位组织设计、施工及监理单位,在施工单位自检合格的基础上进行。

6.4.2 质量验收的内容

6.4.2.1 系统组件的安装质量及性能应符合设计要求。

6.4.2.2 低浓度瓦斯输送管道及供、回水管道的安装质量及性能应符合设计要求。

6.4.2.3 水池的设置应符合设计要求。

6.4.2.4 系统管道的选材、连接及敷设应满足功能要求。

6.4.3 工程质量验收文件的内容

6.4.3.1 经批准的竣工验收申请报告。

6.4.3.2 设计说明书。

6.4.3.3 竣工图和设计变更文字记录。

6.4.3.4 施工记录和隐蔽工程中间验收记录。

6.4.3.5 系统性能调试报告。

6.4.3.6 竣工报告。

6.4.3.7 系统及其主要组件的使用维护说明书。

6.4.3.8 系统组件、管道及管道连接件的检验报告和出厂合格证。

附 录 A (资料性附录)

煤矿低浓度瓦斯气水二相流安全输送装置系统管径选型计算参考

A.1 管径选型基本条件

A.1.1 输送距离

应对水平、垂直、倾斜输送距离分别计量。

A.1.2 气压

气压不宜超过 20 kPa,选型时应根据管路压降和瓦斯利用供气压力反复计算确定。

A.1.3 水压

水压可辅助形成附壁环流,对输送管径选型计算影响不大,可忽略。

A.1.4 气量和流速

根据瓦斯利用设备耗气量,分别按 6% 和 30% 的瓦斯浓度计算最大和最小混合流量,管道气水混合流速宜控制在 25 m/s~50 m/s 范围内。

A.1.5 体积含水率

应在 0.2%~0.8% 范围内,可取 0.5% 进行计算。

A.2 压降计算

应初选管径,选用相应的计算方法,计算管道累计压降。

A.2.1 水平气液二相管路的压降计算

A.2.1.1 杜克勒 I 法

管路的压降梯度用达西公式计算:

$$-\frac{dp}{dl} = \frac{\lambda}{d} \frac{u^2}{2} \rho_t \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

u ——气液二相混合物流速,单位为米每秒(m/s);

d ——混输管道内径,单位为米(m);

ρ_t ——气液二相混合物流动密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

λ ——气液二相混合物的水力摩阻系数,采用 1930 年化学工程师协会发表的计算式:

$$\lambda = 0.0056 + \frac{0.5}{Re^{0.32}} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

气液二相混合物的雷诺数、密度、黏度计算式如下:

$$Re = \frac{du\rho_t}{\mu}, \rho_t = \beta\rho_g + (1-\beta)\rho_l, \mu = \beta\mu_g + (1-\beta)\mu_l$$

..... (A. 3)

式中：
 ρ_g ——流动状态下气相的密度，单位为千克每立方米(kg/m³)；
 ρ_l ——流动状态下液相的密度，单位为千克每立方米(kg/m³)；
 μ_g ——气相运动黏度，单位为毫帕秒(mPa·s)；
 μ_l ——液相运动黏度，单位为毫帕秒(mPa·s)；
 β ——体积含气率。

杜克勒认为，流体沿管长流速的变化还将产生由加速度引起的压力损失，其计算式如下：

$$-\left(\frac{dp}{dl}\right)_t = \frac{dp/dl}{1-J}, J = \frac{QQ_g\rho\bar{p}}{A^2p_Qp_Z}$$

..... (A. 4)

式中：
 Q ——气液二相混合物总体积流量，单位为立方米每秒(m³/s)；
 Q_g ——混输管路中气相的体积流量，单位为立方米每秒(m³/s)；
 A ——管路流通截面积，单位为平方米(m²)；
 p_Q ——混输管段 L 的起点压力，单位为千帕(kPa)；
 p_Z ——混输管段 L 的终点压力，单位为千帕(kPa)；
 J ——由加速度所引起的与压力梯度有关的系数，无因次；
 $\bar{p}$ ——管路的平均压力；

$\left(\frac{dp}{dl}\right)_t$ ——考虑流体加速度引起的压力损失后，管路的压降梯度，单位为帕每米(Pa/m)。

管路内由于流体速度变化所引起的压力损失，与摩阻损失相比，一般很小，常可忽略。例如：一条直径 12 in(1 in 约为 2.54 cm)、长 40 km 的管路，压降为 0.71 MPa，而由速度变化引起的压降仅 1.16×10^{-3} MPa，占 1.6‰。

A.2.1.2 杜克勒Ⅱ法

压降梯度按公式(A.1)计算，流速、黏度和雷诺数的计算方法同杜克勒Ⅰ法，气液二相混合物的密度按下式计算：

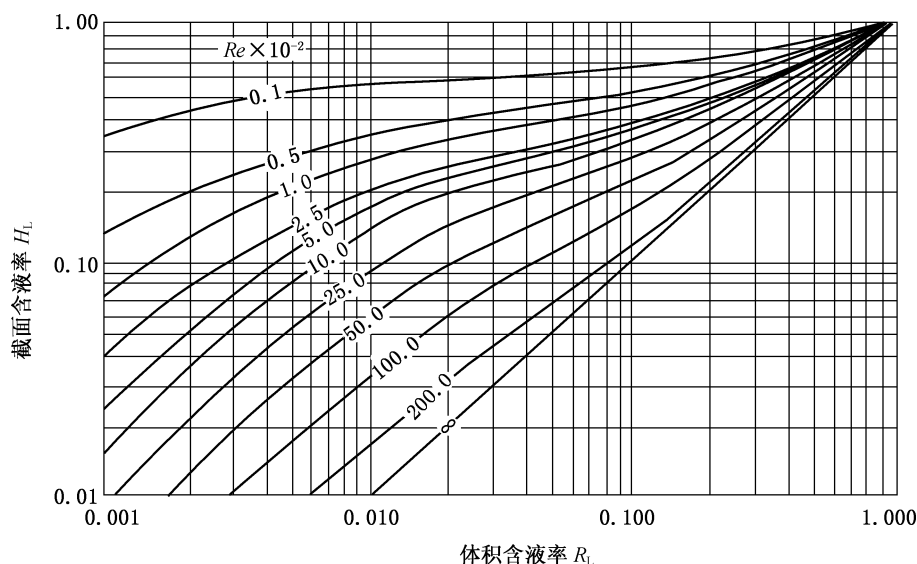
$$\rho_m = \rho_l \frac{R_L^2}{H_L} + \rho_g \frac{(1-R_L)^2}{1-H_L}$$

..... (A. 5)

式中：
 H_L ——截面含液率；
 R_L —— 体积含液率。

若气液流速相同，相间无滑脱($\beta = \varphi, H_L = R_L, \varphi$ 为截面含气率)，公式(A.5)与杜克勒Ⅰ法的密度计算式相同($\rho_m = \rho_t$)，则杜克勒Ⅰ法与杜克勒Ⅱ法完全一致。因而，可把杜克勒Ⅰ法看做是杜克勒Ⅱ法的一个特例。

按公式(A.5)求气液二相混合物密度时，须知截面含液率 H_L 。杜克勒利用数据库中储存的实测数据，得到截面含液率、体积含液率和雷诺数之间呈隐函数的关系曲线，如图 A.1 所示。

图 A.1 R_L - Re - H_L 曲线

图中体积含液率 R_L 可由管路气液体积流量求得,截面含液率 H_L 与雷诺数之间呈隐函数关系,需要估算。一般先假设截面含液率 H_L ,按公式(A.5)计算出气液二相混合物密度 ρ_m ,进而求得雷诺数 Re ,由图 A.1 查出 H_L 值,若与假设的 H_L 值相差超过 5%,需重新假设 H_L 值,重复上述计算步骤,直至两者之误差小于 5% 为止。

相间有滑脱的水平两相管路的水力摩阻系数由下式计算:

$$\lambda = C \left(0.0056 + \frac{0.5}{Re^{0.32}} \right) \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

C ——系数,是体积含液率 R_L 的函数。

由数据库实测数据归纳得到 C - R_L 曲线,如图 A.2 所示。该曲线的表达式为:

$$C = 1 - \frac{\ln R_L}{S_0} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

其中:

$$S_0 = 1.281 - 0.478(-\ln R_L) + 0.444(-\ln R_L)^2 - 0.094(-\ln R_L)^3 + 0.00843(-\ln R_L)^4$$

由图 A.2 可以看出, $R_L=1$ 即管路内只有单相液体流动时, $C=1$ 。所以系数 C 可以理解为管路内存在二相时其水力摩阻系数比单相液体管路增加的倍数。

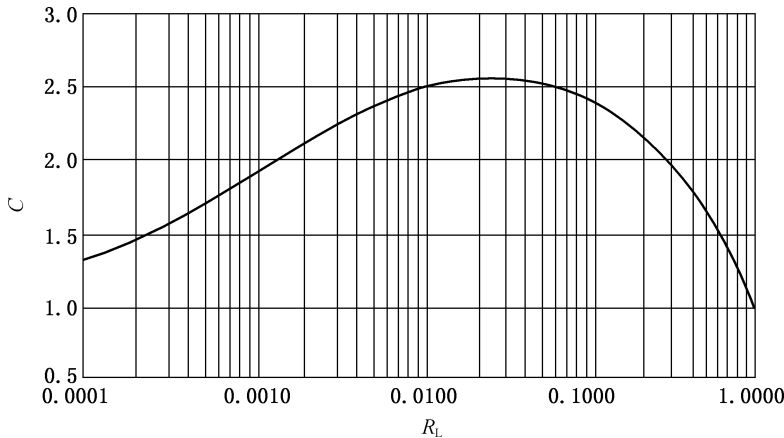


图 A.2 $C-R_L$ 曲线

由于数据库内实测数据的局限性,杜克勒Ⅱ法的适用范围为:

- a) 截面含液率为 0.01~1.0,体积含液率为 0.001~1.0;
- b) 二相雷诺数为 600~200000。

杜克勒在建立了两种二相管路压降计算方法后,用数据库中的实测数据进行了检验后认为:杜克勒Ⅱ法优于杜克勒Ⅰ法。

A.2.2 倾斜气液二相管流的压降计算

弗莱尼根(Flanigan)在研究许多现场数据后认为:管路下坡段所回收的压能比上坡段举升流体所消耗的压能小得多,可以忽略。上坡段由高差所消耗的压能与二相管路的气相折算速度呈相反关系,速度趋于零时,高程附加压力损失最大。由爬坡引起的高程附加压力损失与线路爬坡高度之总和成正比,与管路爬坡的倾角、起终点高差关系不大。据此建立了二相管路由于高程变化所引起的附加压力梯度 $\left(\frac{dp}{dl}\right)_h$ (Pa/m)的计算式:

$$-\left(\frac{dp}{dl}\right)_h = \frac{F_e \rho_l g \sum z}{L} \dots\dots\dots (A.8)$$

- 式中:
- $\sum z$ ——管路上坡高度之总和,单位为米(m);
 - F_e ——起伏系数;
 - ρ_l ——液相密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
 - L ——管线长度,单位为米(m);
 - g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s²)。

弗莱尼根通过整理现场数据得到起伏系数与气相折算速度关系曲线的数学表达式:

$$F_e = \frac{1}{1 + 1.0785 u_{sg}^{1.006}} \dots\dots\dots (A.9)$$

若气相折算速度 u_{sg} 超过 15 m/s,建议采用下式计算起伏系数:

$$F_e = 3.175 \times 10^{-5} \frac{M_1^{0.5}}{u_{sg}^{0.7} A^{0.5}} \dots\dots\dots (A.10)$$

- 式中:
- M_1 ——液相质量流量,单位为千克每秒(kg/s);
 - A ——管线流通截面积,单位为平方米(m²)。

起伏管路的总压降为水平管路压降与起伏附加压降之和。由任一种二相水平管路压降关系式求出水平管压降后,利用公式(A.14)计算管路起伏产生的附加压降,然后叠加求得起伏二相管路的总压降。

A.3 输送管径的确定

在气压不超过 20 kPa,初选管径的压降计算结果,应能保证瓦斯利用设备供气压力为 3 kPa~5 kPa,则初选管径符合要求;否则,应重新选择管径进行计算,直至符合要求。

附 录 B
(资料性附录)
系统性能调试记录表

系统性能调试由项目设计、建设、监理及使用单位项目负责人共同进行。调试步骤如下所述。

B.1 气压变化性能调试

在 10 kPa~20 kPa 范围内调试供气压力,观察流型变化,确定系统适用的供气压力范围。气压变化性能调试记录见表 B.1。

表 B.1 气压变化性能调试记录表

测试 序号	气相参数					液相参数		脱水后 相对 湿度 %	脱水后 气压 kPa	压力 波动 kPa	流型鉴别(目测法)	
	供气压力 kPa	流量 m ³ /min	流速 m/s	浓度 %	温度 ℃	水压 kPa	流量 m ³ /min				1 号 观察	2 号 观察
1												
2												

B.2 气量变化性能调试

当瓦斯浓度在 5%~30% 范围内时,按照瓦斯利用设施所需要的最大和最小混合量调试供气量,观察流型变化,确定系统适用的供气量范围。气量变化性能调试记录见表 B.2。

表 B.2 气量变化性能调试记录表

测试 序号	气相参数					液相参数		脱水后 相对 湿度 %	脱水后 气压 kPa	压力 波动 kPa	流型鉴别(目测法)	
	供气压力 kPa	流量 m ³ /min	流速 m/s	浓度 %	温度 ℃	水压 kPa	流量 m ³ /min				1 号 观察	2 号 观察
1												
2												

B.3 水压变化性能调试

调节供水阀门,在 60 kPa~200 kPa 范围内调试供水压力,观察流型变化,确定系统适用的供水压力范围。水压变化性能调试记录见表 B.3。

表 B.3 水压变化性能调试记录表

测试 序号	气相参数					液相参数		脱水后 相对 湿度 %	脱水后 气压 kPa	压力 波动 kPa	流型鉴别(目测法)	
	供气压力 kPa	流量 m ³ /min	流速 m/s	浓度 %	温度 ℃	水压 kPa	流量 m ³ /min				1 号 观察	2 号 观察
1												
2												

B.4 水量变化性能调试

在 0.2%~0.8% 范围内调试系统体积含水率,观察流型变化,确定系统适用的供水量范围。水量变化性能调试记录见表 B.4。

表 B.4 水量变化性能调试记录表

测试 序号	气相参数					液相参数		脱水后 相对 湿度 %	脱水后 气压 kPa	压力 波动 kPa	流型鉴别(目测法)	
	供气压力 kPa	流量 m ³ /min	流速 m/s	浓度 %	温度 ℃	水压 kPa	流量 m ³ /min				1 号 观察	2 号 观察
1												
2												