

团 体 标 准

T/CIECCPA 050—2024

综采工作面水基液压系统配置节能技术要求

Energy-saving technical requirements for water-based hydraulic system
in comprehensive mining face

2024 - 12 - 31 发布

2025 - 01 - 20 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

CIECCCPA

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 分类要求 2

附录 A （资料性）管道压力损失计算方法 8

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：山东兖矿智能制造有限公司、太原理工大学、国能神东煤炭集团有限责任公司、开滦（集团）有限责任公司、太原煤炭气化（集团）有限责任公司、河南神火煤电股份有限公司、三一重型装备有限公司、郑州恒达智控科技股份有限公司、北京低碳绿标信息技术咨询有限公司。

本文件主要起草人：于礼军、姬庆涛、权龙、廖瑶瑶、周晨辉、赵光瑞、董二景、吴成峰、姜彪、葛磊、夏连鹏、刘晓利、聂嘉汾、邓向辉、武竹、刘子成、冯英博、陈伟、蔡宏年、张建苹、姜仁坤、关闯、王俊甫、吕善超、马磊、陈磊、张文婷、梁晓苏、李成功。

综采工作面水基液压系统配置节能技术要求

1 范围

本文件规定了综采工作面水基液压系统在设计、制造、配置、运行等方面的一般要求、方法和规范。

本文件适用于煤矿井下综采工作面水基液压系统设计、制造、配置、运行等。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准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标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

GB/T 156-2017 标准电压规范

GB/T 311.1-2012 绝缘配合第1部分:定义、原则和规则

GB/T 762-2002 标准电流等级

GB/T 1031-2009 产品几何技术规范 (GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及数值

GB/T 1094.3-2017 电力变压器第3部分:绝缘水平, 绝缘试验和外绝缘空气间隙

GB/T 3452.1-2005 液压气动用O形橡胶密封圈 第1部分: 尺寸系列及公差

GB/T 3452.2-2005 液压气动密封圈标准

GB/T 3452.3-2005 液压气动用O形橡胶密封圈 沟槽尺寸

GB/T 3639-2021 冷拔或冷轧精密无缝钢管

GB/T 3766-2015 液压传动系统及其元件的通用规则和安全要求

GB/T 7936-2012 液压泵和马达 空载排量测定方法

GB/T 14039-2002 液压传动 油液 固体颗粒污染等级代号

GB/T 15706-2012 机械安全 设计通则 风险评估与风险减小

GB/T 17446-2024 流体传动系统及元件 词汇

GB/T 18853-2015 液压传动过滤器 评定滤芯过滤性能的多次通过方法

GB/T 20663-2017 蓄能压力容器

GB 25974.2-2010 煤矿用液压支架 第2部分: 立柱和千斤顶技术条件

GB 25974.3-2010 煤矿用液压支架 第3部分: 液压控制系统及阀

GB 3836.4-2010 爆炸性环境 第4部分: 由本质安全型“i”保护的的设备

MT/T 98-2006 液压支架用软管及软管总成检验规范

MT/T 188.4-2000 煤矿用乳化液泵站 过滤器技术条件

MT/T 209-90 煤矿通信、检测、控制用电工电子产品的通用技术要求

MT/T 291.2-1995 悬臂式掘进机 液压缸检验规范

MT/T 1178-2019 矿用防爆高压变频器

JB/T 4711-2003 压力容器涂覆与运输包装

ISO 10763:2020 液压传动-平端无缝和焊接精密钢管-尺寸和公称工作压力 (Hydraulic fluid power

— Plain-end, seamless and welded precision steel tubes — Dimensions and nominal working pressures)

ISO 877 :1976 塑料——在玻璃下暴露于日光下抗变化性的测定（Plastics — Determination of resistance to change upon exposure under glass to daylight）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

水基液压系统 water based hydraulic system

工作介质为水或工作介质主要成分为水的液压系统。

3.2

综采工作面 fully mechanized mining face

煤矿井下包含采煤机、刮板输送机、液压支架等主要设备，并有机协调实现机械化采煤、破煤、装煤、运煤、支护的场所。

3.3

高含水液压液 high-water content hydraulic fluid

由乳化油与 90% 以上的水配成的水包油型乳化液或由浓缩液与 90% 以上的水配成的溶液型稀释液。

3.4

能效 energy efficiency

在转换能量过程中，输出有效功率与输入总功率之比。

100%..... (1)

3.5

压力损失 pressure drop

液体通过阀、管接头、过滤器等装置时所造成的进出口压力差值。

3.6

安全阀类 yield valves

用来限制液压系统或系统局部液腔压力的阀类。

3.7

液控单向阀类 pilot check valve

用压力来控制开启或关闭的单向阀类。

3.8

换向阀类 directional valves

在使用中频繁用手动、液压能或电能接通或切断流道的三个通道以上的阀类，控制方式可以是多者兼有。

3.9

截止阀类 shut-off valves

可允许或阻止液体流动的二通道阀类。

3.10

其他阀类 other valves

所有不能用安全阀类、液控单向阀类、换向阀类和截止阀类的规定分类的阀。

4 分类要求

4.1 水质要求

水基液压系统应使用高含水液压液作为介质，具体技术要求需符合 MT 76-2011 的规定。

4.2 泵站变频器与电磁卸荷阀

4.2.1 泵在满载时容积效率不得低于表 1 的要求：

表 1 不同压力下容积效率最低要求

公称压力 (MPa)	≤12.5	>12.5~20	>20~25	>25~31.5	>31.5~40	>40
容积效率 (%)	94	93	92	91	90	88

4.2.2 泵在满载时总效率不得低于表 2 的要求：

表 2 不同压力下总效率最低要求

公称压力 (MPa)	≤20	>20~31.5	>31.5~50
总效率 (%)	84	83	81

4.2.3 泵站需采用变频装置驱动。

4.2.4 变频器以输出电压为额定电压，优先采用 3.3kV、6kV 和 10kV，并符合 GB/T 156-2017 的规定。

4.2.5 变频器效率不得低于 MT/T 1178-2019 的规定。

- a) 额定功率 630kW 及以下设备的效率不得低于 93%；
- b) 额定功率 630kW~2000kW 设备（含 2000kW）的效率应高于 95%；
- c) 额定功率 2000kW 以上设备的效率不得低于 96%。

4.2.6 变频器在过载 20%时应稳定工作时间不得低于 30min，在过载 50%时应稳定工作时间不得低于 1min。

4.2.7 变频器应能合理调节电机转速，在非正常用泵期间，变频频率不得高于 30Hz。

4.2.8 变频器需实时监控与调节电机状态，使电机在高效区间转动。

4.3 蓄能器

4.3.1 泵站出口需设置囊式蓄能器，适度储能并吸收部分压力脉动。

4.3.2 在设计液压系统时，蓄能器的容量大小需根据水基液压泵站的需求来确定，由泵站系统压力脉动的幅度和频率来确定蓄能器的体积和工作压力范围，压力脉动测试需符合 GB/T 7936-2012 的规定。

4.3.3 蓄能器外露零件表面需采用涂敷或用其他方法进行防腐蚀处理。除不锈钢材料外，防腐材料除需符合 JB/T 4711-2003 的规定外，还需符合 GB/T 20663-2017 中的设计要求。

4.3.4 囊式蓄能器壳体内表面作喷丸和镀镍处理，质量需达到 SA2.5 级，筒体与封头应圆滑过渡，不应有裂纹、折叠、皱折、重皮、夹杂、沟痕和机械损伤及其他影响强度与耐腐蚀性的缺陷。

4.3.5 囊式、隔膜式蓄能器进液口及活塞式蓄能器端盖开孔应采用防尘措施。

4.3.6 蓄能器在投用后，需定期对充气压力进行检查。新投入使用的蓄能器需每周进行检查，以便及时发现渗漏。

4.4 电源

4.4.1 电源需满足本质安全要求，采用高效能半导体器件和先进的转换技术，提升电源的能效，具体要求需符合 GB 3836.4-2010 的规定。

4.4.2 矿用电源电压波动范围不得高于额定电压的 75%~110%，具体要求需符合 MT/T 1078-2008 的规定。

4.4.3 电源能效在 20%、50%、100%负载下，均不得低于 85%。

4.5 传感器

4.5.1 模拟量信号应为 4~20mA（负载电阻 0~350Ω或大于 500Ω）。

4.5.2 矿用传感器应符合 GB 3836.4-2010 规定的本质安全要求，采用先进的低功耗芯片和电路设计，优化供电方案达成降低传感器的功耗。

4.5.3 应对传感器的响应时间、测量精度等关键性能参数进行测试，确保在低功耗设计下不影响其正常功能。

4.5.4 传感器在待机情况下功耗不得高于 1W。

4.6 驱动器

4.6.1 矿用驱动器需满足本质安全要求，符合 GB 3836.4-2010 规定的要求。

4.6.2 驱动器需适应矿山温度环境，在-20℃至+50℃内能够正常工作。

4.6.3 驱动器在待机状态下的功耗需尽可能低，不得高于 1W。

4.7 液压缸

4.7.1 缸筒内壁和活塞杆密封配合面尺寸基本偏差、公差等级和表面粗糙度需符合 GB 25974.2-2010 的规定。

4.7.2 液压缸均需在额定压力下进行耐压试验，试验压力值为额定压力的 1.25 倍，保压均不低于 3min，不得有外泄漏及永久变形等异常现象。

4.7.3 液压缸进行内泄漏试验时，记录 10min 的内泄漏量需符合 MT 291.2-1995 的规定。

4.7.4 液压缸在额定压力下，负载效率不得低于 91%；在 50%及 25%额定压力下，负载效率均不得低于 90%。

4.7.5 液压缸加载密封试验时，闭锁压力腔，压力腔压力在最初 1min 内下降不得高于 10%或液压缸长度变化不高于 1%，之后 5min 内压力或长度不变，接下来的 5min 内压力下降不高于 0.5%或长度变化不高于 0.05%。

4.7.6 液压缸活塞杆腔在 2MPa 和 1.1 倍的供液压力下，不得有外泄露。

4.8 电磁阀

4.8.1 电压、电流和功耗需符合 GB 3836.4-2010 的规定。

4.8.2 电压需符合 GB/T 156-2017 规定并能够在额定电压 80%~120%范围内安全工作。

4.8.3 在 1.1 倍最大工作压力下无泄漏。

4.9 液压阀设计、加工精度

4.9.1 阀动密封副运动零件的表面粗糙度 R_a 值不得高于 1.6μm，尺寸精度等级不得低于 IT8 级。

4.9.2 阀静密封副固定零件的表明粗糙度 R_a 值不得高于 3.2μm，尺寸精度等级不得低于 IT9 级。

4.10 液压阀密封

4.10.1 密封材料摩擦系数需符合 ISO877:1976 的规定。

4.10.2 O 形橡胶密封圈需符合 GB 3452.1-2005、GB 3452.2-2005 的规定，其余橡胶制品需符合图样及技术文件的要求。

- 4.10.3 O形橡胶密封圈沟槽尺寸需符合 GB/T 3452.3-2005 的规定,沟槽表明粗糙度 Ra 值不得高于 1.6 μ m。
- 4.10.4 安全阀类在 2MPa 压力到调定压力的 90%范围内,不得有渗液。
- 4.10.5 换向阀在中间位置,压力值在 6MPa 到其公称压力范围内,不得有渗漏;换向阀类在工作位置,压力值在 10MPa 到其公称压力范围内,不得有渗液。
- 4.10.6 截止阀类在截止状态和打开状态时,压力在 2MPa 到其公称压力范围内,不得有渗液。
- 4.10.7 其他阀类如果有与安全阀类、液控单向阀类、换向阀类和截止阀类类似结构或相近性能的阀应分别满足 4.9.4、4.9.5、4.9.6 的要求,其他应满足设计要求。

4.11 阀门压差

4.11.1 液控单向阀压力损失要求指标

- a) 公称流量 $\leq 125\text{L/min}$ 的液控单向阀类,进回液阻力损失不得高于 5MPa;
- b) $125\text{L/min} < \text{公称流量} \leq 250\text{L/min}$ 的液控单向阀类,进回液阻力损失不得高于 6MPa;
- c) 公称流量 $> 250\text{L/min}$ 的液控单向阀类,进回液阻力损失不得高于 7MPa。

4.11.2 换向阀压力损失要求指标

- a) 公称流量 $\leq 125\text{L/min}$ 的换向阀类,进回液阻力损失不得高于 5MPa;
- b) $125\text{L/min} < \text{公称流量} \leq 250\text{L/min}$ 的换向阀类,进回液阻力损失不得高于 6MPa;
- c) 公称流量 $> 250\text{L/min}$ 的换向阀类,进回液阻力损失不得高于 7MPa。

4.11.3 截止阀压力损失要求指标

- a) 公称流量 $\leq 125\text{L/min}$ 的截止阀类,进回液阻力损失不得高于 1MPa;
- b) $125\text{L/min} < \text{公称流量} \leq 250\text{L/min}$ 的截止阀类,进回液阻力损失不得高于 2MPa;
- c) 公称流量 $> 250\text{L/min}$ 的截止阀类,进回液阻力损失不得高于 3MPa。

4.11.4 其他阀类如果有与液控单向阀类、换向阀类和截止阀类类似结构或相近性能的阀应参照 4.10.1、4.10.2、4.10.3 执行。

4.12 钢管

4.12.1 表面粗糙度

对于外径不大于 260mm 的钢管,其内表面粗糙度 Ra 应符合以下规定:

- a) 以+C 和 +LC 状态交货,钢管内表面粗糙度不得高于 4 μ m,其中对内表面的要求同样适用于公称内径或计算内径高于 15mm 的钢管;
- b) 表面粗糙度在钢管的轴向按 GB/T 1031-2009 规定的轮廓算术平均偏差 Ra 和推荐的取样长度进行测定;
- c) 根据需方要求,经供需双方协商,并在合同中注明,可规定其他表面粗糙度要求。

4.12.2 钢管

钢管质量及其他性能要求需符合 GB/T 3639-2021 的相关规定。

4.13 软管

4.13.1 软管密封要求

为了防止软管泄露造成能量损失,软管密封性能试验需符合 MT/T 98-2006 的规定。

4.13.2 管接头

为了减低压力损失，在管路系统中尽可能减少管路中弯头的使用。对于管路中的弯头，可利用较大半径的弯管代替标准弯头。

4.13.3 弯管选型要求

弯曲半径需高于管道直径的 3 至 5 倍，弯管的内壁应尽可能光滑，粗糙度不得高于 4 μm 。

4.13.4 管道布局

管道布局相关要求如下：

- a) 管道设计外部载荷不宜加在管路上，且不得用来支撑元件；
- b) 需尽可能缩短管道长度，且安装时，需避免使管道呈弯曲状态；
- c) 注意管道支撑和固定，正确的支撑和固定管道可以减少因振动导致的能量损失；
- d) 尽可能使用长管道，避免过多的接头和连接，每个接头或连接点都是潜在的泄漏点；
- e) 避免管道死区，死区会阻碍流体的流动，导致压力无法高效传递，从而造成能量损失；

4.13.5 管道支撑

管道支撑的间距安排应按照 GB/T 3766-2015 的规定执行。

4.13.6 管道压力损失

从泵站到液压支架的管道总压力损失不得高于系统工作压力的 80%。远程供液系统，根据泵站的流量和供液的距离选择管道的尺寸。具体计算方案应仿照下述案例进行计算，压力损失不得高于计算结果正负 0.5MPa，压力损失计算方法见附录 A。

4.13.7 管道内径尺寸

选择管道内径尺寸时，不得低于计算尺寸。

4.14 过滤装置

4.14.1 液压过滤装置需安装在液压系统的压力油路、回液油路上。

4.14.2 过滤器的结构要求

- a) 在结构上要方便固定、更换过滤元件并实现可靠密封，需避免需过滤的物料直接冲射过滤元件；
- b) 筒体、顶盖和固定件的强度和刚度需能承受在管路连接和更换过滤元件时的外力。

4.14.3 过滤器的装配要求

- a) 所有零件必须经过检验合格后方可用于装配，不得将因保管或运输等原因造成变形、锈蚀、碰伤的零件用于装配；
- b) 各种零、部件应装配齐全、安装位置正确、连接牢固可靠，并具有互换性；
- c) 各种过滤器的滤芯结构需便于清洗和更换。

4.14.4 过滤器的性能要求

- a) 过滤器的公称压力和公称流量，需满足配套泵站、管路及控制阀的要求；

- b) 在公称压力下, 应稳压 5 min, 过滤器不得有外渗漏。
- 4.14.5 过滤器的过滤精度与压力损失需满足 MT/T 188.4-2000 中的要求。
- 4.14.6 泵站出口的高压过滤器需设有污染指示或安装测试装置, 测试方式需按照 MT/T 188.4-2000 规定执行, 当采用电发讯装置时必须为本质安全型, 其发讯压差不得高于 0.35 MPa。
- 4.14.7 回液过滤器必须设有旁路装置。旁路阀的开启压力不得高于 0.35 MPa。全流量通过旁路阀的压力损失不得高于 0.5 MPa。
- 4.14.8 过滤器在 1.5 倍的公称压力下应稳压 5 min 内不得出现渗漏和损坏。
- 4.14.9 在滤芯被堵住 1/2 的过滤面积时, 通过公称流量的时间为 5 min, 滤芯不得损坏。
- 4.14.10 过滤器在规定压力试验条件下, 各部件密封处, 各结合面及焊接接头无任何渗漏。试验合格后, 应放净残存的工作液, 并作防锈处理。
- 4.14.11 为防止腐蚀、锈蚀等影响通流面积造成压力损失过大, 耐蚀钢过滤器内外表面要经酸洗钝化, 必要时进行蓝点检测, 无蓝点为合格。
- 4.14.12 整个过滤器表面需无尖角、毛刺、锐边, 法兰密封面不得有划伤和撞痕。
- 4.14.13 过滤装置需存放在无介质腐蚀的遮蔽场所, 避免长时间处于高温或高压环境中。

附录 A

(资料性)

管道压力损失计算方法

A.1 工况条件

现有泵站的工作压力 $P_0 = 37.5 \text{ MPa}$ ，流量为 400 L/min ，采用 3 泵 2 箱，两用一备的方式，顺槽管路按照 2400 m ，其中 400 m 采用高压钢管，另外 2000 m 采用高压胶管总成供液，工作面高度 180 m 上坡供液，要求工作面压力值不低于 30 MPa ，以下按照 2 台泵站开启进行压力损失的极限值计算。

A.2 400m 高压钢管压力损失计算

a) 沿程压力损失：

泵站流量：

$$Q = Q_1 \times n = 400 \text{ L/min} \times 2 = 800 \text{ L/min} = 1.3 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

式中：

Q —— 泵站开启的总流量， L/min ；

Q_1 —— 单台泵站的流量， L/min ；

n —— 开启的泵站数量，台。

管路内（直）径：

$$D_1 = D - B \times 2 = 88.9 - (8.5 \times 2) = 71.9 \text{ mm} = 7.19 \times 10^{-2} \text{ m} \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

式中：

D_1 —— 钢管的内径， mm ；

D —— 钢管的外径， mm ；

B —— 钢管单边壁厚， mm 。

供液管路流速：

$$V_1 = Q/S_1 = Q/(3.14 \times D_1^2/4) = 1.3 \times 10^{-2} / (3.14 \times (7.19 \times 10^{-2})^2/4) = 3.3 \text{ m/s} \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

式中：

V_1 —— 钢管供液管路流速， m/s ；

S_1 —— 钢管供液管路流通面积， m^2 。

因乳化液中 95% 为水，所以取水的相关参数，常温状态（ 25°C ）下， $\mu = 0.893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ，则雷诺数：

$$\text{Re} = V_1 D_1 / \mu = 2.66 \times 10^5 > 2300 \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

故可判断管中流态为紊流。

查表取高压胶管的绝对粗糙度 $\Delta = 0.02 \text{ mm}$ ，根据 $\Delta/V D_1 = 4 \times 10^{-4}$ 及 $\text{Re} = 2.66 \times 10^5$ ，查询 moody 图可确定 $\lambda = 0.018$ ，则有：

$$h_1 = \lambda \frac{l}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} = 0.018 \times \frac{400}{0.0719} \times \frac{3.3^2}{2 \times 9.8} = 55.64 (\text{M 水柱}) \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

{Darcy - Weisbach --- 达西-威斯巴哈方程}

式中：

h_1 —— 钢管沿程压力损失值， M 水柱 ；

λ —— 沿程阻力系数（通过最后附表查出数据）；

l —— 钢管管路长度， m ；

g —— 重力加速度， m/s^2 ，取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

1 m 水柱 压强为 $p_{gh} = 10 \text{ kPa}$ ，所以沿程压力损失为： $\Delta P_{155.64 \times 10 \text{ kPa}} = 0.56 \text{ MPa}$

b) 局部压力损失:

局部压力损失主要由管道连接件、阀门及弯头产生, 400 m 长顺槽预计采用 2 个阀门和 4 个弯头产生压力损失。

局部压力损失公式为:

$$h_j = \frac{V^2}{g} \dots\dots\dots (A.6)$$

故总的局部压力损失为: $h_{j\text{总}} = 2 \times 0.17 \times + 4 \times 0.75 \times = 1.86(\text{M 水柱})$, 则局部压力损失为: $\Delta P_2 = 1.86 \times 10 \text{ kPa} = 0.02 \text{ MPa}$ 。

c) 钢管管路末端出口压力值:

钢管管路出口总压力损 $\Delta P_A = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 0.56 + 0.02 = 0.58 \text{ MPa}$ 。

A.3 2000m 高压胶管压力损失值计算

a) 沿程压力损失:

泵站流量:

$$Q = 400 \text{ L/min} \times 2 = 800 \text{ L/min} = 1.310^{-2} \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots (A.7)$$

管路内(直)径:

$$D_2 = 65 \text{ mm} = 6.5 \times 10^{-2} \text{ m} \dots\dots\dots (A.8)$$

D_2 ——胶管的内径, mm。

胶管供液管路流速:

$$V_2 = Q/S = 4 \text{ m/s} \dots\dots\dots (A.9)$$

V_2 ——胶管供液管路流速, m/s;

S ——胶管供液管路流通面积, m^2 。

因乳化液中 95% 为水, 所以取水的相关参数, 常温状态 (25°C) 下, $\mu = 0.893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

$$\text{Re} = V_2 D_2 / \mu = 2.9 \times 10^5 > 2300 \dots\dots\dots (A.10)$$

故可判断管中流态为紊流。

查表取高压胶管的绝对粗糙度 $\Delta = 0.02 \text{ mm}$, 根据 $\Delta/V_2 D_2 = 0.46 \times 10^{-3}$ 及 $\text{Re} = 2.910^5$, 查询 moody 图可确定 $\lambda = 0.018$, 则有:

$$h_2 = \lambda \frac{L}{D_2} \frac{V_2^2}{g} = 0.018 \times 452.12 (\text{M 水柱}) \dots\dots\dots (A.11)$$

{Darcy - Weisbach---达西-威斯巴哈方程}

h_2 ——胶管沿程压力损失值, M 水柱;

λ ——沿程阻力系数(通过最后附表查出数据);

L ——胶管管路长度, m;

g ——重力加速度, m/s^2 , 取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

1 m 水柱压强为 $p_{gh} = 10 \text{ kPa}$, 所以沿程压力损失为: $\Delta P_3 = 452.12 \times 10 \text{ kPa} = 4.52 \text{ MPa}$ 。

b) 局部压力损失:

局部压力损失主要由管道连接件、阀门及弯头产生, 2000 m 长顺槽预计采用 10 个阀门和 20 个龙门式拐弯产生压力损失。

局部压力损失公式为:

$$h_j = \frac{V^2}{g} \dots\dots\dots (A.12)$$

故总的局部压力损失为: $h_{j\text{总}} = 2 \times 0.17 \times + 4 \times 0.75 \times = 13.63 (\text{M 水柱})$

则局部压力损失为： $\Delta P_4 = 13.63 \times 10 \text{ kPa} = 0.14 \text{ MPa}$

c) 高度差造成的压力损失：

一般 100 m 高度差造成的压力损失为 1 MPa，2000 m 处高度差是 180 m，因此高度差造成的压力损失是 $\Delta P_5 = 1.8 \text{ MPa}$ 。

d) 管路末端出口压力值：

管路出口总压力损 $\Delta P_B = \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 = 4.52 + 0.14 + 1.8 = 6.46 \text{ MPa}$

A.4 2400m 总的压力损失值及到达末端的压力值

管路出口总压力损失值 $\Delta P_{\text{总}} = \Delta P_A + \Delta P_B = 0.58 + 6.46 = 7.04 \text{ MPa}$

到达末端的压力值 $P = P_0 - \Delta P_{\text{总}} = 37.5 - 7.04 = 30.46 \text{ MPa}$

综上，管路的压力损失不得超出 $(\Delta P_{\text{总}} \pm 0.5) \text{ MPa} = (6.54 - 7.54 \text{ MPa})$ 。