

广州增城旺隆气电替代工程项目

燃气管线工程

可行性研究报告



广州广燃设计有限公司

二〇二三年五月

广州增城旺隆气电替代工程项目

燃气管线工程

可行性研究报告

编制单位:	广州广燃设计有限公司
审 定:	卞淞霖
审 核:	王 睿
校 核:	杨 青、陈新建
项目负责人:	张健明
主要编写人:	张健明、吴欣颖
参与编制:	

广州广燃设计有限公司

二〇二三年五月



目录

1. 总论	- 1 -
1.1 项目概况及编制依据	- 1 -
1.2 项目背景及必要性	- 2 -
1.3 项目研究范围	- 2 -
1.4 项目研究内容	- 3 -
1.5 遵循的主要法律、标准、规范及相关规定	- 3 -
1.6 主要研究结论	- 7 -
2. 线路工程	- 10 -
2.1 概述	- 10 -
2.2 选线原则	- 10 -
2.3 线路沿线自然条件	- 10 -
2.4 线路走向	- 14 -
2.5 沿线地区等级划分	- 23 -
2.6 管道工艺	- 24 -
2.7 管道敷设	- 34 -
2.8 管道防腐	- 40 -
2.9 管道焊接、试压及干燥	- 41 -
2.10 管道施工	- 44 -
2.11 线路附属工程	- 45 -
2.12 穿跨越工程	- 49 -
2.13 主要工程量	- 59 -
3. 供气工艺	- 62 -
3.1 概述	- 62 -
3.2 资源和市场	- 63 -
4. 场站工艺	- 68 -
4.1 场站工艺设计	- 68 -
4.2 主要设备选型	- 73 -
4.3 场站施工安装技术要求	- 78 -
5. 防腐	- 81 -
5.1 设计范围	- 81 -
5.2 线路管道防腐	- 81 -
5.3 线路阴极保护	- 84 -
5.4 交、直流干扰防护	- 90 -
5.5 场站、阀室工程防腐	- 92 -
5.6 管道防腐层完整性及阴极保护有效性测试评价	- 95 -
6. 自动控制	- 97 -
6.1 概述	- 97 -
6.2 设计原则	- 97 -
6.3 自动控制方案	- 98 -
6.4 现场仪表	- 103 -

6.5	视频监控系统	- 105 -
6.6	红外周界报警系统	- 106 -
6.7	控制室	- 106 -
6.8	仪表供电	- 107 -
6.9	防雷及接地	- 107 -
6.10	电缆选型及敷设	- 107 -
6.11	主要工程量	- 107 -
7.	公用工程及辅助设施	- 109 -
7.1	通信	- 109 -
7.2	供配电	- 109 -
7.3	消防	- 113 -
7.4	建筑与结构	- 115 -
7.5	维修及抢修	- 115 -
8.	节能	- 117 -
8.1	合理用能标准及节能设计规范	- 117 -
8.2	综合能耗分析	- 117 -
9.	环境保护	- 120 -
9.1	主要污染源和污染物	- 120 -
9.2	环境影响分析	- 120 -
9.3	环境保护措施	- 123 -
9.4	环境保护管理机构设置	- 125 -
9.5	结论	- 125 -
10.	树木保护	- 126 -
10.1	总则	- 126 -
10.2	树木资源调查	- 130 -
10.3	总体保护利用概况	- 132 -
10.4	原址保护	- 133 -
10.5	迁移利用	- 134 -
10.6	砍伐	- 148 -
10.7	结论和建议	- 153 -
11.	安全	- 154 -
11.1	工程危险有害因素分析	- 154 -
11.2	安全主要对策与防护措施	- 157 -
11.3	预期效果	- 158 -
12.	职业卫生	- 159 -
12.1	职业病危害因素分析	- 159 -
12.2	职业卫生主要防护措施	- 159 -
12.3	预期效果	- 160 -
13.	机构与定员	- 161 -
13.1	项目实施期机构和劳动定员	- 161 -
13.2	项目营运期机构和劳动定员	- 161 -
14.	项目实施进度安排	- 162 -

14.1	实施阶段	- 162 -
14.2	实施进度计划	- 162 -
15.	项目招标方案	- 163 -
15.1	招标范围	- 163 -
15.2	招标组织形式	- 163 -
15.3	招标基本情况表	- 163 -
16.	投资估算及财务评价	- 165 -
16.1	投资估算	- 165 -
16.2	财务评价	- 169 -
17.	风险分析、建议及结论	- 175 -
17.1	风险分析	- 175 -
17.2	建议	- 175 -
17.3	结论	- 176 -

附件：

附件 1：《广州发展电力集团有限公司关于中电荔新二期天然气发电项目燃料供应事宜的函》发展电力函〔2020〕27 号

附件 2：《广州市发展和改革委员会关于广州增城旺隆气电替代工程项目核准的批复》穗发改核准〔2022〕14 号

附件 3：沿线各部门（单位）回复意见

附图：

附图 1：管线路由示意图

附图 2：管线路由平面图

附图 3：电厂工艺装置工艺流程

附图 4：电厂工艺装置平面布置图

附表：

附表 1：管道天然气用气量预测表

附表 2：营业收入、税金及附加和增值税估算表

附表 3：总成本费用估算表

附表 4：借款还本付息计划表

附表 5：利润与利润分配表

附表 6：项目投资现金流量表

附表 7：财务计划现金流量表

附表 8：项目资本金现金流量表

1. 总论

1.1 项目概况及编制依据

1.1.1 项目概况

项目名称：广州增城旺隆气电替代工程项目燃气管线工程

项目建设单位：广州燃气集团有限公司

可研报告编制单位：广州广燃设计有限公司

工程咨询单位备案：91440101574034576W-18

1.1.2 编制依据

1. 广州增城旺隆气电替代工程项目燃气管线工程可行性研究报告委托书；
2. 《广州发展电力集团有限公司关于中电荔新二期天然气发电项目燃料供应事宜的函》发展电力函〔2020〕27号；
3. 《广州市规划和自然资源局关于广州增城旺隆气电替代工程项目燃气管线工程规划设计方案审查的复函》（穗规划资源业务函〔2023〕3309号）
4. 《市规划和自然资源局增城区分局关于明确广州增城旺隆气电替代工程项目燃气管线工程新路由规划意见的函》（穗规划资源增函〔2023〕1046号）
5. 《广州市城市管理和综合执法局关于建议明确随道路建设高压燃气管道要求与程序的复函》（H2023115）
6. 《广州市城市燃气发展规划（2021~2035）》；
7. 《广州市高压燃气管网供气能力评估及建设规划（2022~2035）》；
8. 广源门站相关施工图、竣工图资料和运行资料；
9. 其他资料。

1.1.3 编制原则

1. 严格执行国家、地方以及行业有关政策、法规、标准、规范；
2. 遵循健康、安全、环保、节能减排、节约资源的经济可行性原则；
3. 依据广州市城市总体规划、城市燃气发展规划及目标客户的用气需求，在与城

市现有规划无冲突的前提下，合理利用现有场站及管网资源，进行管线方案设计；

4. 坚持科学态度，选用先进、成熟、可靠的工艺技术，确保输气系统的安全性、稳定性和可靠性，同时考虑经济性，尽量节约用地和投资；

5. 重视管线沿线所经地区的生态环境和。

1.2 项目背景及必要性

1.2.1 项目背景

广州发展电力集团有限公司计划在广州市增城区新塘环保工业园内原广州市旺隆热电有限公司 $2\times 100\text{MW}$ 燃煤机组（现已关停）的场地上建设 $2\times 460\text{MW}$ 级燃气-蒸汽联合循环机组。广州增城旺隆气电替代工程项目是广州市东部能源基地的重要项目，已列入省十四五能源发展规划重点新开工项目一栏。该项目于2022年6月获得核准，正在筹备前期设备采购和施工工作，预计2025年底第一台机组并网发电。

广州电网在十四五期间预计存在1300万千瓦的电力缺口，在“双碳”目标下，建设该电源项目对广州东部尤其是增城区的经济发展有重大保障作用。

1.2.2 项目必要性

旺隆电厂原发电主要以燃煤为主，燃煤污染对空气质量有极大的影响。天然气作为一种洁净、高效、方便的能源，在减少污染，提高环境空气质量方面，具有很大优势。其燃烧产物中的有害物质含量较低，不存在燃烧粉尘或悬浮颗粒，使用天然气可以减少氮氧化物或二氧化硫排放量约90%，减少二氧化碳排放量约5%。

依据《天然气利用政策》，热电联产项目作为优先类用户，旺隆电厂改用天然气，具有良好的社会效益、环境效益和经济效益。本项目的实施，不仅可以优化当地能源结构、合理利用能源，促进节能减排，改善当地空气质量，同时也可以大幅提升广州燃气集团有限公司的销售气量，因此本项目的实施是十分必要的。

本工程作为广州增城旺隆气电替代工程项目的配套燃气管线工程，为电厂燃机提供天然气作为发电燃料，是电厂项目不可缺少的重要配套工程。目前电厂项目已获得核准通过，因此本燃气管线工程建设是十分必要的。

1.3 项目研究范围

本可研报告的研究范围主要分为两部分：

1. 新建线路部分：广州燃气集团有限公司广源门站至旺隆电厂内计量站的供气专线；
2. 新建工艺装置部分：旺隆电厂内增加一套计量装置和收球装置。

1.4 项目研究内容

本可研报告的研究内主要如下：

1. 根据目标客户用气需求，确定供气规模；
2. 根据供气规模、现有场站及管网资源，通过安全、技术和经济比选，确定天然气输气系统方案，并为将来发展考虑预留能力；
3. 对天然气输气方案进行优化，同时完善相应的配套工程；
4. 对工程技术可行性进行分析，对经济可行性进行评估。

1.5 遵循的主要法律、标准、规范及相关规定

1.5.1 国家及地方有关法律、法规

1. 《建设工程安全生产管理条例》（国务院令第 393 号，自 2004 年 2 月 1 日起施行）
2. 《中华人民共和国安全生产法》（主席令第 88 号，自 2021 年 9 月 1 日起施行）
3. 《中华人民共和国消防法》（主席令第 29 号，自 2019 年 04 月 23 日起施行）
4. 《中华人民共和国职业病防治法》（主席令第 24 号，自 2018 年 12 月 29 日起施行）
5. 《中华人民共和国环境保护法》（主席令第 9 号，自 2015 年 1 月 1 日起施行）
6. 《中华人民共和国清洁生产促进法》（主席令第 54 号，自 2012 年 7 月 1 日起施行）
7. 《中华人民共和国水土保持法》（主席令第 39 号，自 2011 年 3 月 1 日起施行）
8. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（主席令第 43 号，自 2020 年 9 月 1 日起施行）
9. 《中华人民共和国水污染防治法》（主席令第 70 号，自 2018 年 1 月 1 日起施行）

施行)

10. 《中华人民共和国大气污染防治法》（主席令第 16 号，自 2018 年 10 月 26 日起施行)

11. 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》（主席令第 42 号，自 2018 年 12 月 29 日起施行)

12. 《中华人民共和国节约能源法（2018 年修正）》（主席令第 77 号，自 2018 年 10 月 26 日起施行)

13. 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日发布施行)

14. 《建设工程消防监督管理规定》（公安部令第 119 号，自 2012 年 7 月 17 日起施行)

15. 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令第 682 号，自 2017 年 10 月 1 日施行)

16. 《天然气利用政策》（国家发展和改革委员会令第 15 号)

17. 《城镇燃气管理条例》（2016 修订）（国务院令第 583 号，自 2011 年 3 月 1 日起施行)

18. 《广东省燃气管理条例》（广东省第十一届人民代表大会常务委员会公告第 42 号，自 2010 年 9 月 1 日起施行)

19. 《广州市燃气管理办法》（2019 年 10 月 17 日广州市人民政府令第 167 号修改版，自 2015 年 12 月 1 日起施行)

20. 《广州市城乡规划程序规定》（广州市人民政府令第 59 号，自 2011 年 12 月 1 日起施行)

21. 《广州市产业用地指南（2018 年版）》

1.5.2 国家、地方及行业标准、规范

(1) 线路及输气工艺执行的标准规范

1. 《燃气工程项目规范》GB 55009-2021

2. 《城镇燃气设计规范（2020 年版）》GB 50028-2006

3. 《输气管道工程设计规范》GB 50251-2015

4. 《城镇燃气规划规范》GB/T 51098-2015
5. 《石油天然气工程设计防火规范》GB 50183-2004
6. 《建筑设计防火规范（2018年版）》GB 50016-2014
7. 《天然气》GB 17820-2018
8. 《油气输送管道穿越工程设计规范》GB 50423-2013
9. 《油气输送管道线路工程抗震技术规范》GB/T 50470-2017
10. 《城镇燃气输配工程施工及验收规范》CJJ 33-2005
11. 《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369-2014
12. 《油气输送管道穿越工程施工规范》GB 50424-2015
13. 《石油天然气工业管线输送系统用钢管》GB/T 9711-2017
14. 《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163-2018
15. 《钢制对焊管件 类型与参数》GB/T 12459-2017
16. 《钢制对焊管件 技术规范》GB/T 13401-2017
17. 《油气输送用钢制感应加热弯管》SY/T 5257-2012
18. 《石油天然气站内工艺管道工程施工规范》GB 50540-2009
19. 《压力管道规范 工业管道》GB/T 20801-2020
20. 《压力管道规范 公用管道》GB/T38942-2020
21. 《压力管道安全技术监察规程 工业管道》TSG D0001-2009
22. 《承压设备无损检测》NB/T 47013-2015
23. 《工业金属管道工程施工规范》GB 50235-2010
24. 《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》GB 50236-2011

(2)管道防腐执行的标准规范

1. 《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1-2011
2. 《钢质管道外腐蚀控制规范》GB/T 21447-2018
3. 《钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范》SY/T 0315-2013
4. 《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》GB/T 23257-2017
5. 《管道外防腐补口技术规范》GB/T 51241-2017

6. 《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》 GB/T 50698-2011
7. 《埋地钢质管道阴极保护技术规范》 GB/T 21448-2017
8. 《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》 GB/T 21246-2016
9. 《场站内区域性阴极保护》 GB/T 35508-2017
10. 《石油天然气站场阴极保护技术规范》 SY/T 6964-2013
11. 《阴极保护管道的电绝缘标准》 SY/T 0086-2020
12. 《绝缘接头与绝缘法兰技术规范》 SY/T 0516-2016

(3)仪表执行的标准规范

1. 《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范》 GB50493-2019
2. 《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》 GB50058-2014
3. 《石油化工仪表接地设计规范》 SH/T 3081-2019
4. 《石油化工仪表供电设计规范》 SH/T 3082-2019
5. 《天然气计量系统技术要求》 GB/T 18603-2014
6. 《用气体超声流量计测量天然气流量》 GB/T 18604-2014

(4)电气执行的标准规范

1. 《供配电系统设计规范》 GB 50052-2009
2. 《低压配电设计规范》 GB 50054-2011
3. 《建筑物防雷设计规范》 GB 50057-2010
4. 《3~110kV 高压配电装置设计规范》 GB 50060-2008
5. 《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》 GB/T 50062-2008
6. 《交流电气装置的接地设计规范》 GB/T 50065-2011
7. 《电力工程电缆设计规范》 GB 50217-2018
8. 《石油设施电气设备安装区域一级、0区、1区和2区区域划分推荐作法》
SY/T 6671-2017
9. 《爆炸危险环境电力装置设计规范》 GB50058-2014

(5)消防执行的标准规范

1. 《建筑防火通用规范》 GB 55037-2022
2. 《建筑设计防火规范》 GB 50016-2014（2018年版）

3. 《建筑灭火器配置设计规范》GB 50140-2005

(6)环境及安全执行的标准规范

1. 《环境空气质量标准》GB 3095-2012
2. 《工业企业设计卫生标准》GBZ1-2010
3. 《声环境质量标准》GB 3096-2008
4. 《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348-2008
5. 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523-2011

(7)其它标准规范

1. 《砌体结构设计规范》GB50003-2011
2. 《石油天然气工程总图设计规范》SY/T0048-2016

1.6 主要研究结论

1.6.1 供气工艺

本工程气源点为广燃广源门站，用气点为旺隆电厂，门站燃气出站压力为4.7MPa，经新建6.3MPa高压管线DN500将燃气输送至电厂，到厂压力不低于4.5MPa，电厂内设计量装置和收球装置，经计量后供电厂燃机使用。

1.6.2 建设期及达产年限

根据广燃集团建设计划以及本工程用气量预测情况，确定本工程建设期限以及投产年限：

建设期限：2023年7月~2025年9月

投产年限：2025年12月

1.6.3 工程概况

(1)新建线路部分

线路方案起点接广源门站，往南穿越广深铁路，与京港澳高速（广深高速）东侧伴行115m后向西穿越京港澳高速（主线和匝道），继而与107国道并行300m后向南穿越107国道，接着沿新塘立交西北角绕行，穿越匝道4次后沿南碱大道南行再向东转入新塘大道（南侧），与新塘大道向东并行260m后往南沿着温涌西路（温涌西

侧车行道) 敷设至终点旺隆电厂。管线全长约 5.1km。整个线路位于城镇建成区, 基本敷设于市政路车行道下方, 沿线涉及铁路、公路、河涌、地铁等。

本工程新建管线管径 D508×14.2, 设计压力 6.3MPa, 线路平面总长约 5.1km。考虑现有高压管道的材质情况, 本项目新建燃气管道推荐采用 L485M 级 PSL2 系列直缝双面埋弧焊钢管 (SAWL)。

管线路由示意图详见附图 1, 管线路由平面图详见附图 2。

(2)新建工艺装置部分

旺隆电厂内新建一套计量装置, 工作压力 4.5~4.7MPa, 设计压力 6.3MPa, 设计最大流量 $20.0 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$, 电厂实际需求最大流量 $19.5 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$ 。

旺隆电厂内新建一套收球装置, 工作压力 4.5~4.7MPa, 设计压力 6.3MPa, 此收球装置与广源门站内已建发球装置配套。

电厂工艺装置流程图详见附图 3, 电厂工艺装置平面布置图详见附图 4。

1.6.4 主要设备及工程量

主要设备及工程量见表 1.6-1。

表 1.6-1 主要设备及工程量表

序号	项目	单位	数量	备注
1	DN500 高压管道	km	5.1	三层 PE 加强级防腐
2	电厂计量装置	套	1	成套撬装
3	电厂收球装置	套	1	成套撬装
4	在线分析小屋	套	1	

1.6.5 主要技术经济指标

主要技术经济指标见表 1.6-2。

表 1.6-2 主要技术经济指标表

序号	项目	单位	数量	备注
一	供气规模	$10^8 \text{m}^3/\text{a}$	6.12	
二	项目总投资	万元	42186	
1	建设投资	万元	39694	

序号	项目	单位	数量	备注
2	建设期利息	万元	2095	
3	铺底流动资金	万元	397	
三	财务评价			
1	财务内部收益率（所得税前）	%	9.09%	
2	财务内部收益率（所得税后）	%	8.16%	
	项目资本金财务内部收益率	%	12.47%	
3	投资回收期（所得税后）	年	13.02	
4	税后项目投资财务净现值	万元	9591	

1.6.6 研究结论

本工程作为广州增城旺隆气电替代工程项目的配套燃气管线工程，为电厂燃机提供天然气作为发电燃料，是电厂项目不可缺少的重要配套工程。目前电厂项目已获得核准通过，因此本燃气管线工程建设是十分必要的。

本工程年输气规模约 6.12 亿方，保障旺隆电厂投产用气，符合广州市十四五规划，不仅对地区供电有一定的保障，同时也能极大的提升燃气集团的输气规模，远期能帮助释放南沙 LNG 调峰气源站的产能。经过分析，本项目在技术上是可行的。

2. 线路工程

2.1 概述

本工程高压管道以广源门站(不含门站)为起点,止于旺隆电厂,线路全长 5.1km,管道规格为 DN500,设计压力为 6.3MPa。

主要工程内容包括线路工程、穿跨越工程及线路附属工程,其中线路附属工程包括线路开挖支护、水工保护、阴极保护工程及三桩埋设等。

2.2 选线原则

本工程高压管道线路定线主要遵循的原则如下:

- (1) 遵守国家 and 地方关于基本建设的方针、法规和区域规划的要求。
- (2) 管道布置符合城市总体规划要求,并衔接沿线近远期城乡建设、水利建设、交通建设等,做到统筹考虑、远近结合。
- (3) 在保证满足国家法规、规范要求和安全施工的前提下,尽量减小与同类型管道并线敷设的间距,减少对地下空间资源的占用。
- (4) 选择有利地形,尽量避开施工困难和不良工程地质地段(如软土和积水、淤泥地段、土壤液化地段等);避开或减少通过城市人口、建构筑物密集区,减少拆迁量;尽量减少线路同其它管线和人工障碍的交叉。
- (5) 尽量避开重要的军事设施、公共设施、城镇规划区、工矿区、自然保护区等,必须通过村镇时严格按规范要求设计,并尽可能避开多年生经济作物区域和重要的农田基本建设设施。
- (6) 河流穿(跨)越的河段选择应服从线路的总体走向;线路局部走向应服从穿(跨)越河段的需要。
- (7) 尽量依托和利用现状公路,方便管道的运输、施工和维护管理。
- (8) 选线定线和各类场站的选址同时考虑,做到布局走向合理;线路力求顺直,尽量缩短长度,节省投资。

2.3 线路沿线自然条件

2.3.1 气象条件

广州地处南亚热带，北回归线穿越北部，属南亚热带典型的海洋季风气候。由于背山面海，海洋性气候特别显著，具有温暖多雨、光热充足、温差较小、夏季长、霜期短等气候特征。由于水热同期，极利于作物的生长，但自然灾害威胁也较大。常给工农业生产带来不利的影响。

广州光热资源充足，年平均日照时数为 1875.1~1959.9 小时，年太阳总辐射量 105.3~109.8 千卡/平方 cm，年平均气温为 21.4~21.8℃，平均相对湿度 77%，日均气温都在 0℃以上。无霜期北部 290 天，南部 346 天。

广州雨量充沛，年降水量为 1689.3~1876.5mm，雨季（4~9 月）降水量占全年的 85%左右；因受地形影响，山区多于平原，北部多于南部。同时，雨季与强光和高热同期，形成了相当高的气候生物潜力（光温水潜力），达 77865~97950 千克/公顷。

冬夏季风的交替是广州季风气候突出的特征。冬季的偏北风因极地大陆气团向南伸展而形成的，干燥寒冷。夏季偏南风因热带海洋气团向北扩张所形成的，温暖潮湿。夏季风转换为冬季风一般在 9 月份，而冬季风转换为夏季风在 4 月份。其气象要素见表 2.3-1。

表 2.3-1 气象要素统计表

气象要素项目		参数
气温（℃）	多年平均	22
	极端最高	39.1（2004 年 7 月 1 日）
	极端最低	-0.3（1934 年 12 月 8 日）
降水量（mm）	多年平均	1714
	年最大	2679
	年最小	1240
风速（m/s）	多年平均	1.7
	最大	22.0（NE， 1964 年 9 月 5 日）
	主导风向	N

平均相对湿度		77
多年平均日照数 (h)		1628
多年平均雷电日 (d)		77
土壤 1.5m 深地温 (°C)	冬季平均地温	20.5
	夏季平均地温	28.4
	年平均地温	22.7

2.3.2 自然地理

本项目位于广东省中南部，珠江三角洲北缘，广州市北面。地处东经 112° 57' 07" ~ 113° 28' 10"，北纬 23° 14' 57" ~ 23° 37' 18"，北回归线横贯中部。场区属南亚热带海洋性季风气候，具有雨量充沛、阳光充足、四季长青等特点。冬季比较干冷；春季常出现阴雨天气；夏天常有雷暴雨或晴热天气，热带低压及台风也频频出现；初秋，热带低压及台风仍较活跃，个别年份台风的影响会延至 10 月份，秋末，天气凉爽，晴天较多。

(1) 区域地质构造

据广州地区区域地质资料和《广东省地震构造概论》，区内揭露基岩为石炭系炭质灰岩。距场区较近的活动性断裂为广从断裂 F1（如图 2.3-1）。

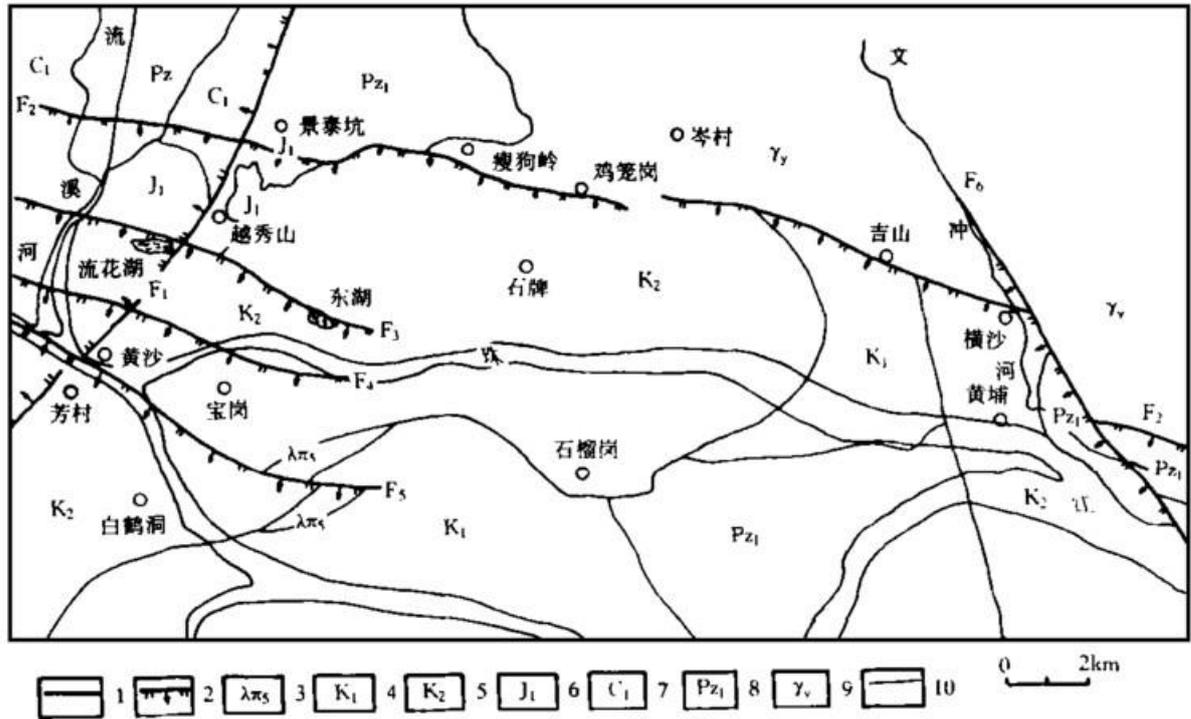


图 2.3-1 广州地区基岩断裂构造分布图

1- 断裂； 2- 正断层； 3- 燕山期火山岩； 4- 下白垩统； 5- 上白垩统； 6- 下侏罗统； 7- 下石炭统； 8- 下古生界； 9- 燕山期花岗质岩； 10- 地质界线； F1 广从断裂； F2 瘦狗岭断裂； F3 清泉街断裂； F4 大德路断裂； F5 珠江断裂； F6 文冲断裂

广从断裂，属于粤中规模较大的断裂构造带。它北起从化市良口，经街口、神岗进入广州市郊的五雷岭，再延至市内的广州中医学院、越秀山的西侧、象岗山，断裂自流花湖向南隐伏在第四系之下，经荔湾区延至黄沙、珠江南岸的石围塘伸向南海市。总体走向北 30~50° 东，倾向北西，倾角 40~60°。北段在地表有多处构造形迹，推测它的南段隐伏于珠江三角洲西部并可能延至西江大桥的九江一带。历史上该区域地震活动具有频度大，强度小的特点，震级总体较弱。

据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）2016 年版 4.1.7 条之规定，断裂对场地稳定性影响不大。

(2)地震

根据《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223-2008），该燃气管道为重点设防。抗震设防烈度值根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015）、《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 年版）附录 A 确定。

增城区抗震设防烈度为 7 度，设计地震分组为第一组，设计基本地震加速度值为 0.1g。

(3)沿线地形地貌

根据现场踏勘，高压管道沿线路由经过大部分为城镇建成区，基本沿市政道路敷设，道路两侧为居住区、商业区和工业区。沿线涉及河涌包括凤凰水、水南新河、温涌。

(4)沿线地质

经现场调查，沿线为市政道路，下方基本为人工填土，未见采矿活动，未发现边坡崩塌、滑坡、地面塌陷、地裂缝、地面沉降及地面不均匀沉陷等地质灾害。

2.4 线路走向

气源点广源门站与用气点旺隆电厂之间是增城区新塘镇建成区，现状多为住宅小区、村落聚居地、商业楼和工业园，现状建筑密集、地下管线复杂，未来规划多为居住用地、商业用地。另外，该区域还涉及铁路、高速公路、国道、地铁、河涌、给水、排水、电力、通信等多个部门、单位。

前期经过反复多次现场踏勘以及征询各部门、单位意见，提出几种相对可行的线路方案，具体如下。

2.4.1 线路方案一（下坊路）

线路方案一起点接广源门站，往南穿越广深铁路，与京港澳高速（广深高速）东侧伴行 115m 后向西穿越京港澳高速（主线和匝道），继而与 107 国道并行 300m 后向南穿越 107 国道，接着沿新塘立交西北角绕行，穿越匝道 3 次后沿南碱大道南行再向西转入新塘大道（南侧），与新塘大道向西并行 550m 后往南沿规划下坊路、往东沿规划西宁路、往南沿规划南碱路敷设至终点旺隆电厂。管线全长约 5.4km。具体路由详见下图。



图 2.4-1 线路方案一（下坊路）路由示意图

2.4.2 线路方案二（金紫涌）

线路方案二起点接广源门站，往南穿越广深铁路，与京港澳高速（广深高速）东

侧伴行 115m 后向西穿越京港澳高速（主线和匝道），继而与 107 国道并行 300m 后向南穿越 107 国道，接着沿新塘立交西北角绕行，穿越匝道 3 次后沿南碱大道南行再向西转入新塘大道（南侧），与新塘大道向西并行 350m 后往南沿金紫涌、往东沿规划西宁路、往南沿规划南碱路敷设至终点旺隆电厂。管线全长约 5.1km。具体路由详见下图。



图 2.4-2 线路方案二（金紫涌）路由示意图

2.4.3 线路方案三（南碱路）

线路方案三起点接广源门站，往南穿越广深铁路，与京港澳高速（广深高速）东

侧伴行 115m 后向西穿越京港澳高速（主线和匝道），继而与 107 国道并行 300m 后向南穿越 107 国道，接着沿新塘立交西北角绕行，穿越匝道 3 次后沿南碱大道南行再穿越新塘大道，继而沿规划南碱路向南敷设至终点旺隆电厂。管线全长约 4.6km。具体路由详见下图。



图 2.4-3 线路方案三（南碱路）路由示意图

2.4.4 线路方案四（温涌路车行道）

线路方案四起点接广源门站，往南穿越广深铁路，与京港澳高速（广深高速）东侧伴行 115m 后向西穿越京港澳高速（主线和匝道），继而与 107 国道并行 300m 后向南穿越 107 国道，接着沿新塘立交西北角绕行，穿越匝道 3 次后沿南碱大道南行再向东转入新塘大道（南侧），与新塘大道向东并行 260m 后往南沿着温涌西路（温涌西侧车行道）敷设至终点旺隆电厂。管线全长约 5.1km。具体路由详见下图。

线路方案五起点接广源门站，往南穿越广深铁路，与京港澳高速（广深高速）东侧伴行 115m 后向西穿越京港澳高速（主线和匝道），继而与 107 国道并行 300m 后向南穿越 107 国道，接着沿新塘立交西北角绕行，穿越匝道 3 次后沿南碱大道南行再向东转入新塘大道（南侧），与新塘大道向东并行 260m 后往南沿着温涌西路（温涌西侧堤岸绿化带）敷设至终点旺隆电厂。管线全长约 5.1km。具体路由详见下图。



图 2.4-5 线路方案五（温涌路绿化带）路由示意图

(1)线路方案比选

本节提出五种线路方案，新塘大道以北部分路由基本一致，新塘大道以南分为下坊路、金紫涌、南碱路、温涌路车行道、温涌路绿化带等五种方案，管线总长在

4.6~5.4km 之间。五种线路方案各有有缺点，各方案优缺点对比详见表 2.4-1。

表 2.4-1 线路方案优缺点对比

线路方案	优点	缺点
方案一 下坊路	若随政府规划道路同步建设，线路可行性较高	线路最长； 建筑物征拆量较大
方案二 金紫涌	地下管线较少，工程建设费用较低	建筑物征拆量较大； 沿河堤边敷设，进入河涌 6 米管理范围内，难以通过防洪评价，日后维护管理困难
方案三 南碱路	线路最短，工程建设费用最低； 对地块日后开发利用影响最小	建筑物征拆量最大； 经济效益最低
方案四 温涌路 (车行道)	房屋征拆量较少，线路可行性较高； 经济效益较高	地下管线迁改较多； 可能涉及架空电力管线迁改，会导致工程建设费用较高
方案五 温涌路 (绿化带)	房屋征拆量较少，线路可行性最高； 经济效益最高	树木迁移较多； 沿河涌边绿化带敷设，进入河涌 6 米管理范围内，难以通过防洪评价，日后维护管理困难； 可能涉及架空电力管线迁改，会导致工程建设费用较高

统筹考虑整体项目的经济效益和管线工程的实施难度，以及前期各相关部门（单位）回复意见，现阶段推荐方案四温涌路（车行道），其余方案作为备选方案考虑。管线路由示意图详见附图 1，管线路由平面图详见附图 2。

2.5 沿线地区等级划分

参照《城镇燃气设计规范（2020 年版）》（GB 50028-2006）的有关规定，沿管道中心线两侧各 200m 范围内，任意划分成长度为 1.6km 并能包括最多供人居住的

独立建筑物数量的地段，作为分级单元。管道地区等级根据地区分级单元内建筑物的密集程度划分，具体如下：

一级地区：有 12 个或 12 个以下供人居住的独立建筑物。

二级地区：有 12 个以上，80 个以下供人居住的独立建筑物。

三级地区：介于二级和四级之间的中间地区。有 80 个或 80 个以上供人居住的独立建筑物但不够四级地区条件的地区、工业区或距人员聚集的室外场所 90m 内铺设管线的区域。

四级地区：4 层或 4 层以上建筑物（不计地下室层数）普遍且占多数、交通频繁、地下设施多的城市中心城区（或镇的中心区域等）。

当划分地区等级边界线时，边界线距最近一幢建筑物外边缘应大于或等于 200m。在一、二级地区内的学校、医院以及其他公共场所等人群聚集的地方，应按三级地区选取设计系数。当一个地区的发展规划，足以改变该地区的现有等级时，应按发展规划划分地区等级。管道沿线地区等级的划分应考虑施工的可操作性，地区等级不宜频繁变化，以方便施工和管理。线路的地区等级划分除严格遵守规范的要求外，还应结合工程实际。

根据本项目线路实际情况，确定本项目燃气管线经过地区等级为四级地区。

2.6 管道工艺

2.6.1 管径计算

高压燃气管道管径初步按经济流速计算，计算公式如下：

$$D = \sqrt{\frac{Q}{V \times 0.785 \times 3600 \times 10P}}$$

式中：

D ——管道内径（m）

Q ——管道设计流量（Nm³/h）

V ——设计流速（m/s），高压、次高压管道经济流速取 10~14m/s，本工程取 12m/s

P ——运行压力（绝对压力）（MPa）

在上述运行条件下，经计算，新建高压管道最小内径为 354mm，根据《输气管道工程设计规范》（GB 50251-2015），本高压燃气管道管材和管道执行标准选用《石油天然气工业管线输送系统用钢管》（GB/T 9711-2017）。根据市场管材选择情况、现有高压管道情况、未来电厂升级改造、互联互通规划，实际选用高压管道管径为 DN500。

2.6.2 管材及制管标准

针对本工程高压管道的管径和设计压力，适于本工程高压管道的钢管，可供选择的制管方式有直缝双面埋弧焊钢管、螺旋缝双面埋弧焊钢管两种，各类管型在技术特性、供货能力和价格方面各有所长。

1) 直缝双面埋弧焊钢管

直缝焊管优点在于其焊缝比螺旋焊管焊缝短 40%左右，焊缝缺陷出现的概率更低，且焊缝焊接条件好于螺旋缝管，因此管道焊缝内在质量和几何精度优于螺旋缝焊管。

直缝焊管缺点是管道成型后焊缝所受的环向应力较大，加工厂家较少，订货周期偏长，而且同等规格等级管材的直缝双面埋弧焊钢管比螺旋缝双面埋弧焊钢管高约 1000 元/吨。

2) 螺旋缝双面埋弧焊钢管

螺旋缝双面埋弧焊钢管是我国燃气管道工业应用较广泛的钢管。其价格较便宜、国内供货商多，在我国应用普及，已有了几十年的成熟应用经验，特别是近几年随着工程及供货量的增加，我国的螺旋缝双面埋弧焊钢管质量有了很大提高，西气东输等国家重点工程也大量应用了螺旋缝管。

螺旋缝双面埋弧焊钢管缺点在于管道焊缝较长，出现焊缝缺陷的几率相对较大，且管道焊缝余高通常高于直缝管。

3) 管型的选择建议

本工程高压管道位于广州市花都增城区新塘镇，是城镇建成区，沿线地区等级现状基本为四级地区。

对于本工程，就制管工艺而言，直缝双面埋弧焊钢管和螺旋缝双面埋弧焊钢管均

适用，但直缝双面埋弧焊钢管相对螺旋缝双面埋弧焊钢管具有可靠性高（事故、故障率低）、工艺先进、尺寸精度高、残余应力降低、焊缝长度短及易于防腐层加工等优点，故性能、质量更为优异，更为适合本工程全线四级地区设计对使用安全性要求高的特点。

综上所述，确定本工程线路钢管制管标准采用《石油天然气工业管线输送系统用钢管》GB/T 9711-2017 PSL2，制管工艺为直缝双面埋弧焊（LSAW）工艺，材质为L485M。

2.6.3 壁厚计算

(1)直管段壁厚计算方式

根据《输气管道工程设计规范》（GB 50251-2015）规定，钢管壁厚与设计压力、钢管外径、钢管强度等级、强度设计系数及温度折减系数有关，钢管壁厚按下式计算：

$$\delta = \frac{PD}{2\sigma_s \phi Ft}$$

式中：

ϕ ——焊缝系数，取 1.0；

δ ——钢管计算壁厚，mm；

P ——设计压力，MPa；

σ_s ——钢管的最小屈服强度，MPa；

D ——钢管外径，mm；

F ——强度设计系数；

T ——温度折减系数，温度小于 120℃时，取值为 1.0。

(2)弯头、弯管壁厚计算方式

弯头及弯管壁厚按下式计算：

$$\delta_b = \delta \cdot m$$

$$m = \frac{4R - D}{4R - 2D}$$

式中：

δ_b ——弯头或弯管的管壁计算厚度，mm；

δ ——弯头或弯管所连接的直管段管壁计算厚度，mm；

R ——弯头或弯管的曲率半径，弯头 $R=1.5D$ ，弯管 $R=6D$ ；

D ——弯头或弯管的外直径，mm。

(3)热煨弯管壁厚减薄率

热煨弯管最大减薄率，当弯曲半径 $R \geq 6D$ 时，应不大于 9%，壁厚减薄率 C 按下式确定：

$$C = \frac{t_1 - t_H}{t_1} \times 100\%$$

式中：

C ——壁厚减薄率；

t_1 ——母管实际壁厚的最小值，mm；

t_H ——弯管外弧侧最薄处壁厚，mm；

(4)强度设计系数

本管道所经区域为四级地区，设计时按四级地区来考虑。根据《城镇燃气设计规范（2020年版）》（GB 50028-2006）的规定，燃气管道的强度设计系数见表 4-9、4-10。

表 2.6-1 城镇燃气管道的强度设计系数

地区等级	强度设计系数 (F)
一级地区	0.72
二级地区	0.60
三级地区	0.40
四级地区	0.30

表 2.6-2 穿越铁路、公路和人员聚集场所的管道及场站内管道的强度设计系数

管道及管段	地区等级			
	一	二	三	四
	强度设计系数 F			
有套管穿越三、四级公路的管道	0.72	0.6	0.4	0.3
无套管穿越三、四级公路的管道	0.6	0.5		

有套管穿越一、二级公路、高速公路、铁路的管道	0.6	0.6		
门站、储配站、调压站内管道及其上、下游各200m管道、截断阀室管道及其上、下游各50m管道（其距离从站和阀室边界线起算）	0.5	0.5		
人群聚集场所的管道	0.4	0.4		

(5)壁厚计算结果

壁厚计算结果如下表：

表 2.6-3 管材壁厚计算结果

设计压力 (MPa)	钢管外径 (mm)	钢级	强度 系数	直管段计算壁 厚 (mm)	弯管计算壁 厚 (mm)	选用壁厚 (mm)
6.3	D508	L485M	0.30	11.00	11.50	14.2

因新建管道涉及市政路、人员密集区、林地及厂区，考虑长远规划，管道壁厚选用 14.2mm，以增加管道敷设安全。

选用壁厚为 14.2mm 的直管作为热煨弯管的制作母管，当壁厚减薄率为 9%时，计算得到弯管外弧侧最薄处壁厚为 12.92mm，大于弯管计算壁厚 11.50，也满足要求。

2.6.4 管道强度和稳定性校核

(1)管道当量应力校核

$$\sigma_L = \mu\sigma_h + E\alpha(t_1 - t_2)$$

$$\sigma_h = \frac{Pd}{2\delta_n}$$

$$\sigma_e = \sigma_h - \sigma_L < 0.9\sigma_s$$

式中：

σ_L ——管道的轴向应力，拉应力为正，压应力为负（MPa）

σ_h ——由内压产生的管道环向应力（MPa）

σ_e ——当量应力（MPa）

σ_s ——管材标准规定的最小屈服强度（MPa）

μ ——泊桑比，取 0.3

E ——钢材的弹性模量（MPa），宜取 2.05×10^5 MPa

α ——钢材的线膨胀系数（ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ），宜取 $1.2 \times 10^{-5} ^{\circ}\text{C}^{-1}$

t_1 ——管道下沟回填时的温度（ $^{\circ}\text{C}$ ），宜取 20°C

t_2 ——管道的工作温度（ $^{\circ}\text{C}$ ），宜取 10°C

P ——管道设计内压力（MPa）

d ——管子内径（mm）

δ_n ——管子公称壁厚（mm）

根据《输气管道工程设计规范》GB 50251-2015 第 5.1.1-2 条：埋地直管段的轴向应力和环向应力组合的当量应力，应小于钢管标准规定的最小屈服强度的 90%，管道附件的设计强度不应小于相连管道直管段的设计强度。

表 2.6-4 管道当量应力校核结果

材质	管径	壁厚（mm）	σ_e （MPa）	$0.9\sigma_s$ （MPa）	备注
L485	D508	14.2	49.87	436.50	满足要求

(2)管道径向稳定性校核

$$\Delta_x \leq 0.03D$$

$$\Delta_x = \frac{ZKWD_m^3}{8EI + 0.061E_s D_m^3}$$

$$W = W_1 + W_2$$

$$I = \delta_n^3 / 12$$

式中：

Δ_x ——钢管水平方向最大变形量（m）

D ——钢管外径（m）

Z ——钢管变形滞后系数，宜取 1.5

K ——基床系数，宜按 GB 50251-2015 附录 D 的规定选取（一般选 5 型）

W ——作用在单位管长上的总竖向荷载（N/m）

D_m ——钢管平均直径（m），可取公称直径

E ——钢材的弹性模量（N/m²），宜取 2.05×10^{11} N/m²

I ——单位管长界面惯性矩（m⁴/m）

E_s ——土壤变形模量（N/m²）， E_s 值应采用现场实测数，当无实测资料时，可按 GB 50251-2015 附录 D 的规定选取（一般选 5 型）

W_1 ——单位管长上的竖向永久荷载（N/m）

W_2 ——地面可变荷载传递到管道上的荷载（N/m）

δ_n ——钢管公称壁厚（m）

表 2.6-5 敷管条件的设计参数

敷管类型	敷管条件	E_s (MN/m ²)	基床包角 (°)	基床系数 K
1 型	管道敷设在未扰动的土上，回填土松散	1.0	30	0.108
2 型	管道敷设在未扰动的土上，管中线以下的土轻轻压实	2.0	45	0.105
3 型	管道敷设在厚度至少有 100mm 的松土垫层内，管顶以下的回填土轻轻压实	2.8	60	0.103
4 型	管道放在砂卵石或碎石垫层内，垫层顶面应在管底以上 1/8 管径处，但不得小于 100mm，管顶以下回填土夯实密度约为 80%	3.8	90	0.096

5 型	管中线以下放在压实的黏土内，管顶以下回填土夯实，夯实密度约为90%	4.8	150	0.085
------------	-----------------------------------	------------	-----	--------------

考虑管道经过地段现状基本为市政路，该地段考虑有可能行驶重型卡车，因此一般地段按荷载-10 级总重 $1.5 \times 10^5 \text{N}$ 取 $5 \times 10^4 \text{N}$ ，无套管穿越一般道路地段按汽车-15 级总重 $2 \times 10^5 \text{N}$ 取 $6.5 \times 10^4 \text{N}$ 。

表 2.6-6 管道径向稳定性校核结果表

管径	壁厚 (mm)	Δ_x (m)	$0.03D$ (m)	备注
D508	14.2	0.0024	0.0152	满足要求

(3)管道径向刚度校核

管道在装卸、运输、堆放、下沟、回填等过程中可能出现圆截面失稳，即管道变形或压瘪，一旦发生这种情形，管段就报废，因此管道需要一定的刚度。管道刚度与材料强度无关，而与材料的弹性模量、直径、壁厚有关，因各种等级钢号的弹性模量都是一样的，故只需考虑直径与壁厚比值。同直径的管道壁厚越大，直径与壁厚比值就越小，管道刚度越大，圆截面失稳可能性就越小。根据《输气管道工程设计规范》

(GB50251-2015) 条文说明第 5.1.3 条，输气管道的最小壁厚，一般认为 $D/\delta > 140$ 时才会正常的运输、铺设、埋管情况下出现圆截面的失稳，其中， D 为管子外径， δ 为管子壁厚。根据国外研究表明， $D/\delta < 140$ 时，正常情况下不会出现刚度问题。本工程选用钢管外径与壁厚之比为 35.77，远小于 140，因此本工程钢管不会出现圆截面失稳，所选管道刚度满足稳定性要求。

(4)管道轴向稳定性校核

本工程高压管道为常温输送管道，埋地管道随地形起伏弹性敷设，管道纵向坡度控制在 15% 以内，管道轴向不会失稳。局部管道纵向坡度超过 15% 地段时，设置固定墩保证管道轴向稳定。

(5)管道抗震校核

根据《中国地震动参数区划图》（GB 18306-2015），广州市地震烈度为Ⅷ度，基本地震动峰值加速度值为 0.10g，基本地震动加速度反应谱特征周期值为 0.35s。

(1) 管道轴向组合应变的计算与校核

地震作用下管道轴向组合应变应按下列公式进行计算和校核：

当 $\varepsilon_{\max} + \varepsilon_a \leq 0$ 时，

$$|\varepsilon_{\max} + \varepsilon_a| \leq [\varepsilon_c]_v$$

当 $\varepsilon_{\max} + \varepsilon_a > 0$ 时，

$$\varepsilon_{\max} + \varepsilon_a \leq [\varepsilon_t]_v$$

式中：

ε_{\max} ——地震动引起管道的最大轴向拉、压应变

ε_a ——由于内压和温度变化产生的管道轴向应变

$[\varepsilon_c]_v$ ——埋地管道抗震设计轴向容许压缩应变

$[\varepsilon_t]_v$ ——埋地管道抗震设计轴向容许拉伸应变

(2) 由于内压和温度变化产生的管道轴向应变 ε_a

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E}$$

式中：

ε_a ——由于内压和温度变化产生的管道轴向应变

σ_a ——由于内压和温度变化产生的管道的轴向应力（Pa），按现行国家标准《输气管道工程设计规范》GB 50251 的有关规定计算

E ——管道材料的弹性模量（Pa），宜取 2.05×10^{11} Pa

(3) 地震动引起管道的最大轴向拉、压应变 ε_{\max}

$$\varepsilon_{\max} = \pm \frac{aT_g}{4\pi V_{se}}$$

式中：

ε_{\max} ——地震动引起管道的最大轴向拉、压应变

a ——地震动峰值加速度（ m/s^2 ），广州一般取 $0.10g$ 即 0.98m/s^2

T_g ——地震动反应谱特征周期（s），广州一般取 0.35s

V_{se} ——场地土层等效剪切波速（ m/s ），按实测数据或下表选取

表 2.6-7 岩土的类型划分和剪切波速范围

岩土的类型	岩土名称和性状	岩土层剪切波速范围（ m/s ）
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$V_{\text{se}} > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石，密实的碎石土	$800 \geq V_{\text{se}} > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $f_{\text{ak}} > 150$ 的黏性土和粉土，坚硬黄土	$500 \geq V_{\text{se}} > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $f_{\text{ak}} \leq 150$ 的黏性土和粉土， $f_{\text{ak}} > 130$ 的填土，可塑新黄土	$250 \geq V_{\text{se}} > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的黏性土和粉土， $f_{\text{ak}} \leq 130$ 的填土，流塑黄土	$V_{\text{se}} \leq 150$

注： f_{ak} 为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值（ kPa ）， V_{se} 为岩土层剪切波速（ m/s ）

(4) 埋地管道抗震设计轴向容许拉伸应变 $[\varepsilon_t]_v$ 、压缩应变 $[\varepsilon_c]_v$

直管段容许拉伸应变按下表选取：

表 2.6-8 直管段容许拉伸应变

钢级	设计容许拉伸应变	校核容许拉伸应变
L450（X65）及以下	0.005	0.01

L485(X70)和 L555(X80)		0.009
L625 (X90)		0.008

注：按校核容许拉伸应变选取

L450 (X65) 及以下钢级：

$$[\varepsilon_c]_v = 0.35 \times \frac{\delta}{D}$$

L485 (X70)、L555 (X80) 及 L625 (X90)：

$$[\varepsilon_c]_v = 0.32 \times \frac{\delta}{D}$$

式中：

$[\varepsilon_c]_v$ ——容许压缩应变

D ——管道内径 (m)

δ ——管道壁厚 (m)

经计算校核，本工程管道抗震计算结果如下表：

表 2.6-9 管道抗震计算结果表

管径 (mm)	壁厚 (mm)	ε_{\max} ($\times 10^{-4}$)	ε_a ($\times 10^{-4}$)	$[\varepsilon_c]_v$ ($\times 10^{-4}$)	$[\varepsilon_t]_v$ ($\times 10^{-4}$)	结果
508	14.2	± 1.39	2.76	89.45	90.00	满足要求

2.7 管道敷设

2.7.1 管道敷设方式

本工程管道敷设方式一般地段采取管沟开挖直埋方式，特殊地段（地上障碍物、大面积鱼塘及水塘、多年生经济作物区）采用非开挖方式，遇铁路、公路、河流原则上采取地下穿越方式。

根据广州市天然气高压管道建设经验，本项目管道管顶覆土一般不小于 1.2m，局部人员活动较频繁的地段覆土深度 1.5m。

根据工程条件及施工方式的不同，管沟沟底宽度见表 2.7-1：

表 2.7-1 管沟沟底宽度 (m)

组装方式与地貌	沟上组装焊接		沟下组装焊接	
	旱地	沟内有积水	旱地	沟内有积水
沟底宽度 (m)	1.0	1.2	1.3	1.5

弹性敷设、转角处设计有热煨弯管的地方，及管沟深度在 3m 以上的地段，管沟底宽可以在上表基础上适当增加。

为保护管道防腐层不受破坏，岩石、砾石地段或开挖穿越水域地段的管沟，沟深要求比一般地段深 0.2m，并用砂将深挖部分垫平后方可下管。管道回填时，应先用细土回填至管顶以上 0.3m，方可用土、砂或粒径小于 100mm 碎石回填并压实。管沟回填土应高出地面 0.3m，作为沉降裕量。

管沟边坡比视土壤情况而定，一般应达到沟边不塌落为准。管沟深度小于 5m 时，其边坡按不同土壤条件，按表 2.7-2 选用。

表 2.7-2 管沟边坡坡度

土壤类别	边坡坡度	
	人工挖土	机械沟上挖土
中密砂土	1: 1	1: 1
中密碎石土	1: 0.67	1: 0.75
粘土、泥灰岩、白垩土	1: 0.33	1: 0.67
亚粘土	1: 0.50	1: 0.75

(1) 山区陡坡地段管道敷设

- 管道尽可能通过坡体稳定的台地，以便管道堆管和设备安装。
- 管线尽可能采取“之”字形敷设，以减少管道施工难度。
- 陡坡段考虑一些施工管道组装平台，以便管道组装焊接。
- 管道施工时采取一些临时固管措施如锚杆、固定墩等，管沟回填时予以保留。

(2) 水网地段管道敷设

广州地区地下水位较高，管道沿线塘、沟、渠密布，有些地段甚至连成片、不易成沟，施工较困难。

针对上述情况，可采取导流降水、改良土壤的措施。首先，采取分段施工并设置导流围堰的办法，将作业区内地表水与外部隔离；其次，施工过程中可采用砂、碎石、矿渣等材料以挤压的方式，对极软弱的施工作业带内的软土进行浅层加固，以便于机械设备的作业和管沟开挖。

2.7.2 管道转角处理

管道平面和竖向转角，根据具体情况可采用不同的方式处理：弹性敷设、冷弯弯管和热煨弯管。

在现场条件允许的情况下，优先采用弹性敷设。其曲率半径应满足管道强度要求，且不得小于钢管外直径的 1000 倍。与相邻的反向弹性弯管之间及弹性弯管和人工弯管之间，采用直管段连接，直管段长度不应小于管子外径，且不应小于 500mm。对于垂直面上的弹性敷设管道，其曲率半径尚应大于管子在自重作用下产生的挠度曲线的曲率半径，其曲率半径按下式计算：

$$R \geq 3600 \sqrt[3]{\frac{1 - \cos \frac{\alpha}{2}}{\alpha^4} D^2}$$

式中：

R-管道弹性弯曲曲率半径（m）

D-管道的外径（cm）

a-管道的转角（°）

弹性敷设不得使用在管道平面和竖向同时发生转向处。

局部地形起伏较大地段，当弹性敷设受条件限制不能实现时，可考虑采用现场冷弯弯管，现场冷弯弯管的曲率半径取 30D，现场冷弯是采用冷弯设备将管道加工成所需转角的施工方法，本设计在弹性敷设出于各种限制难以实施时，优先选择现场冷弯实现转向。平面转角在地形条件许可且经济的条件下，在施工中可以采用两个冷弯管（不得超过两个）连接改变线路走向，每根现场冷弯管的弯曲段两侧应至少有 2 米长的直管段，且冷弯管与冷弯管之间需保持至少 4 米的直管段，冷弯管与热煨弯管之间需保持至少 2.5 米的直管段。管径为 D508 的管道冷弯管最大转角角度取 16°。

在地形复杂，障碍物较多等困难地段，现场冷弯弯管也不能满足敷设要求时，采用热煨弯管，热煨弯管一般在生产厂直接预定，热煨弯管可实现任意角度的转向，本

设计在以上两种方式均难以实现的情况下，可采用热煨弯管来实现转角，热煨弯管采用直缝埋弧焊钢管或无缝钢管制作，曲率半径为 $R=6D$ ，其材质与直管段材质相同。

2.7.3 特殊地段管道敷设

(1)经济作物区和林地

管道通过经济作物区和林地时，为减少管道施工对经济作物和林地的损坏，施工作业带宽度应尽量缩窄，宜采用沟下组焊方式减小施工作业带宽度，本工程管道通过经济作物区和果园的施工作业带宽度宜压缩为 12m。

(2)与高压输电线并行

本工程管道线路因受地形、地物、及规划等条件限制，局部被迫靠近高压线并与其并行，管道设计需采取特殊的阴极保护措施，保证管道的安全，具体安全距离要求须执行《钢质管道外腐蚀控制规范》（GB/T21447）。

与高压线较近段，在施工中应加强施工人员、施工机具设备的安全绝缘措施，如：施工人员应穿绝缘鞋，戴绝缘手套，或者在绝缘保护垫上操作等。在高压线附近进行管道焊接时，焊管必须接地。任何情况下都不得把管道与高压线塔接地连接起来。施工不宜采用大型机具。雷雨天气必须停止施工作业。

和高压线接地极安全距离为 10m，如果间距不足，可以和电力部门联系更改接地极走向。

(3)经过城镇街区段

本工程个别地段受地形、建构筑物及其他在建工程的限制，从城镇规划区或民房密集处通过，特别是穿越一二级公路的两侧。通过这样的地段，首先要获得有关部门批准，施工中采取相应的安全保障措施，可在狭窄场地外组焊，沟下整体拖管就位，以缩小施工作业带宽度（施工作业带宽度可酌情缩减），并设置施工作业带警戒线，修筑临时通道，夜间挂红灯警示，控制噪声。

(4)水网密集区

本项目高压管道涉及凤凰水、水南新河、温涌等多处河涌，水系密集丰富。此地段位于珠江三角洲平原区域，地下水位高，地基承载力差，管沟不易成型。同时，珠三角地区雨季时间较长，对土地浸泡严重，土质疏松。水网密集区域的高压管道施工存在很大的难度。

(1) 设计基本思路

线路走向设计

在水网区段线路选线最有效的办法是充分利用卫星遥感图,从图上可以将线路贯通,而在实地现场由于人的视线和地形图的局限,线路不容易选合理。

管道敷设

水网区段地形高差变化不大,在线路设计中管道敷设也比较单一,除了弹性敷设需设冷弯弯管外,热煨弯管的采用要比山区少。

管沟的开挖设计

对土质较稳定的地段,可采用带水作业或明沟排水的方法;对沟壁易跨塌的沙土段,应采用先沟外井点降水,后开挖管沟的方法;对土质极不稳定、管沟难以成型的地段,可采用截水板(木板或钢板)桩墙并辅以井点降水的方法开挖管沟。

稳管措施

为防止水网地带管道受水浸泡而上浮,可采用砣块稳管或袋装土压载。

连续水域段

对水网地区敷设的管道,在管道通过大面积、连续水域地段时,由于大开挖的施工难度较大,在较为经济的情况下,设计中可以考虑采用定向钻连穿完成困难地段的管道敷设。

(2) 设计对施工方案的建议

如果说在水网区段设计主要是“避水”,而施工则应是“排水”。这里的“排”字进一步理解为:管沟中水的排抽,使之“远离”而作业带下土中水的排挤,是使之“密实”。

工期选择

水网区段线路工程的施工应选择在非雨季和稻田放水后进行施工。

施工作业带

施工作业带的修筑要先行。没有作业带,施工机具和设备、施工用防腐管等就无法运到管沟前,也没有办法开挖。因此,在水网区段施工前首先要到现场踏勘,掌握了解水的深浅、土质软硬、水流大小、排水方向等情况,来具体确定修筑作业带的方案。

管沟

在水网区段管道施工,一般采用沟上焊接,即在作业带将管段焊好,待管沟开挖后马上下沟。

小型河流、沟渠穿越

对于小型河流的穿越常见的穿越方法有 3 种:

①挖导流渠将水引走或铺设导流管让水顺管流走;

②采用无土围堰的方法挖沟穿越,围堰迎水面铺设防水布或其它防渗材料;

③上下游筑挡水坝截流,挡水坝迎水面铺设放水布或其它防水材料。在采用上述方法后,若挡水坝或围堰内水抽干后,还有大量渗水,要采用排水沟加集水坑措施,用水泵将水抽走。对于沟渠穿越,常用的方法有:采用在穿越断面外侧适当距离筑坝、抽水、挖沟的方法;采用长臂单斗挖掘机 2 台带水挖沟的方法,但一定要确保水下挖沟深度达到设计要求。

管道安装

水网区段管线施工可以沟上焊接,用机械吊装下沟,也可以沟下焊接,要根据实际情况确定。对管子在管沟一头焊接补口后,将整个管段顺管沟拖进管沟时,要对管子外防腐层进行保护,如用草带或荆笆片包住管子,再用 8#铁丝绑紧。

(3) 无土围堰导流措施

建议施工过程中选用无土围堰技术,辅助完成开挖穿越水域。无土围堰技术以钢结构连接形成围堰的承压骨架,辅以钢模板或木板等支撑作成围堰的堰体,在迎水面采用防水材料作为堵截水流的材料,经过防渗漏处理后阻断围堰外部的的水进入围堰内部,排去堰内积水后,实施管道施工等作业的围堰技术。挡水桩与支撑桩均需人工打入河底一定深度,两排桩分别纵向连成排、横向连成行,以确保围堰具有一定的抵抗水力作用的能力。

围堰全部完成后,采用潜水泵向围堰外抽水。排完积水,将泥土首先堆积在围堰挡水桩与加固支撑桩之间,以加固围堰、防止塌堰。管沟开挖完成后,采用水浮法拖管过河、排水沉管或其他方式将管段就位,然后进行管沟回填。施工完成之后,拆除围堰、清理现场,进行水工保护等后续工作。

无土围堰技术优点:一是不需要取运和清理大量土石方,工作量小,施工费用较

低，不会由于淤泥堵塞河道造成环境污染；二是施工材料易得，可以重复利用；三是施工速度快，可节约大量施工时间。

但是，由于无土围堰低抗水力作用的能力受到技术本身的限制，其承受力有限，特别适用于中小河流、沟渠、水塘等水较浅、水流速度慢的地段。而在水流速度较快或者在穿越地段水较深、淤泥过厚、河床过软等情况下，建议采用定向钻法施工。

2.8 管道防腐

2.8.1 管道外防腐层选择

管道外防腐层的选择服从管道施工及运行管理的要求，在满足管道绝缘要求的前提下，尽量降低工程造价。

从使用角度出发，外防腐层应具有强粘结力，耐化学介质浸蚀，高绝缘电阻，阴极剥离半径小等优点；从施工方面要求，外防腐层应具有足够的韧性，足够的硬度与耐磨能力等，同时还要考虑输送介质的条件及地质条件，防腐层使用寿命等。目前国内广泛使用的几种外防腐层如：石油沥青、煤焦油瓷漆、熔结环氧及挤塑聚乙烯二层或三层结构中，挤塑聚乙烯三层结构防腐层各项性能优于其它防腐形式，且适应地质条件范围较宽，其性能价格比好，在天然气输送管线中广泛使用。

本工程高压管道外防腐层采用挤塑聚乙烯三层复合结构，防腐等级为加强级。

2.8.2 管道补口防腐

由于管道环焊缝均在现场进行焊接，因此补口是管道外防腐的关键内容，补口质量的优劣直接关系到整条管线的使用寿命，是工程质量的重要环节。因此，补口应采用性能可靠，现场环境适应性强，施工方便及技术性能优异的材料。目前环氧底漆+热收缩套(带)补口方式在国内油气管线工程中应用技术成熟，广泛用于对三层 PE 防腐管补口的环氧底漆涂覆外加热收缩套(带)，该补口方式同样形成三层结构，它与 PE、钢的粘结性能，搭接剪切强度等指标均能满足要求。粘弹体防腐胶带是一种永不固化的粘弹性聚合物复合在聚乙烯薄膜上制成的冷缠胶带，防腐效果很好，近年来发展较快，以往多用于场站埋地管道、弯头、三通、阀门、法兰等防腐，该防腐技术对防腐工现场操作要求较低，补口质量容易保证，在长输管线上多应用于管道防腐层补

伤修复，用于防腐补口造价相比热收缩套（带）较高。设计推荐采用环氧底漆+热收缩套（带）补口方式和粘弹体防腐胶带+外保护层补口方式，开挖穿越水域段和地下水位高度超过管底标高段采用粘弹体补口，其他地段可采用热收缩套（带）补口。

2.8.3 弯头、弯管防腐

高压管道沿线地形复杂，线路采用弯头、弯管较多，其防腐也是非常重要的内容。原则要求弯头、弯管的防腐应与主管材具有相同的效果。因此，冷弯管采用三层 PE 防腐预制管现场加工，对弯头和热弯管的防腐，采用双层环氧粉末喷涂外加聚乙烯热收缩套（带）的方式。

2.9 管道焊接、试压及干燥

2.9.1 管道焊接

(1) 焊接方式及焊材选用

管道焊接是管道施工中技术质量要求最高的一道工序，对管道抵抗外力破坏的能力及管道的使用寿命，运行状态起着关键的作用。本工程高压管道沿线地形复杂，弯头、弯管多，焊接工作量较大，因此需制定严格的焊接工艺，确保施工质量和工程进度。

本工程高压管道焊接方式，根据施工现场具体情况及施工单位设备情况，可以采用手工电弧焊、半自动焊；焊接方向，采用下向焊。

焊接材料的选择，首先考虑母材的化学成份，机械强度及韧性指标，焊接材料的化学成份应符合或接近母材的化学成分，机械强度与韧性指标一般不低于母材的要求。同时还要考虑工作条件，操作性及经济合理性。

根据同类工程评定合格的焊接工艺评定试验报告书，对材质为 L485 的管道推荐焊接工艺如下：

- 1) 焊接方法： SMAW（根焊）+FCAW（热焊、填充焊、盖面焊）
- 2) 自动化等级：手工 +半自动
- 3) 推荐的焊接工艺

采用标准：根焊标准采用 AWS A5.1，填充盖面焊采用 AWS A5.29

A、焊条电弧焊+自保护药芯焊丝半自动焊（向下）：推荐采用 E6010（ $\phi 4.0$ ）焊条进行根焊，半自动焊采用 E71T8-Ni1J 或 E71T8-K6 焊丝进行填充和盖面。适用于主线路焊接。

B、焊条电弧焊+自保护药芯焊丝半自动焊（根焊向上+填盖焊向下）：推荐采用 E6010（ $\phi 3.2$ ）焊条进行根焊，半自动焊采用 E71T8-Ni1J 或 E71T8-K6 焊丝进行填充和盖面。适用于线路连头焊接。

C、焊条电弧焊（向上）：推荐采用 E6010（ $\phi 3.2$ ）焊条进行根焊，半自动焊采用 E71T8-Ni1J 焊丝进行填充和盖面。适用于线路返修焊。

管道焊接必须按照经业主批准的焊接工艺规程的要求，进行焊前预热及焊后保温。当环境条件不能满足焊接工艺规程所规定的条件时，必须按要求采取措施后才能进行焊接。

(2)焊缝检验

所有焊口进行外观检查，外观检查合格后方可进行无损检测。外观检查执行《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369-2014。

无损检测管道焊缝进行 100%超声波探伤和 100%射线照相复验，超声波探伤达到《石油天然气钢管管道无损检测》SY/T 4109-2013 的 I 级为合格，射线照相复验达到《石油天然气钢管管道无损检测》SY/T4109-2013 的 II 级为合格，即“双百探伤”。

管道穿越的焊接质量检验应符合现行国家标准《油气输送管道穿越工程设计规范》（GB 50423-2013）的有关规定。

2.9.2 管道清管试压及干燥

(1)管道清管试压

管道投产前清管、试压的一般程序是：管段清管—管段试压—连头—站间清管—站间测径—站间试压。

分段试压前清管应确保将管道内的污物清除干净，站间管道全部连通后，用压缩空气推动清管器进行站间清管，清管器所经阀门为全开状态，清扫出的污物应排到排污池，不得污染环境或推向下站。

本工程高压管道设计压力较高，为了确保试压的安全，按照《输气管道工程设计规范》（GB 50251-2015）的规定，采用无腐蚀的清洁水为试压介质。

分段强度试压时，四级地区为管道设计压力的 1.5 倍，即 9.45MPa，强度试验稳压时间不小于 4 小时。

整体严密性试验，试验压力为管道设计压力即 6.3MPa，严密性试验稳压时间不小于 24 小时。

用水作试压介质时，原则上每段管道自然高差不大于 30m，如果超过 30m，应按规范要求做强度校核。

穿越段管道单独试压段的强度试验压力，应满足《油气输送管道穿越工程设计规范》（GB 50423-2013）中有关要求。

(2)管道干燥

管道投产前必须进行管道内水份的清除和干燥。管道干燥的方法可采用干燥空气法或甲醇法等方法。

当采用干燥气体吹扫时，可在管道末端配置水露点分析仪，干燥后排出气体水露点应连续 4h 比管道输送条件下最低环境温度至少低 5℃、变化幅度不大于 3℃，注入管道的干燥气体温度不宜低于 5℃，且不应大于防腐层的耐受温度。

当采用真空法时，选用的真空表精度不应小于 1 级，干燥后管道内气体水露点应连续 4h 低于-20℃（相当于绝对压力 100Pa）。

当采用甘醇类吸湿剂时，干燥后管道末端排除甘醇含水量的质量百分比应小于 20%。

管道干燥结束后，如果不能立即投入运行，宜用干燥氮气置换管内气体，并应保持内压 0.12MPa~0.15MPa（绝）的干燥状态下的密闭封存。

(3)管道气体置换

管道气体置换应符合下列规定：

1) 管道内的气体置换应在干燥结束后或投产前进行，置换过程中的混合气体应集中放空，置换管道末端应用检测仪对气体进行检测；

2) 用天然气推动惰性气体作隔离段置换空气时，隔离气段的长度应保证到达置换管线末端天然气与空气不混合，置换管道末端测得的含氧量不应大于 2%；

3) 用天然气置换管道内惰性气体时，置换管道末端天然气含量不应小于 80%；

4) 置换过程中管内气体流速度不宜大于 5m/s；

2.10 管道施工

2.10.1 管道施工作业带

管道施工必须要有施工作业带，便于沿线开挖、布管、运输、焊接、敷设等操作。根据场地特点，沿管道中心线两侧布置施工作业带的宽度不等。施工带宽度应尽量窄，以减少拆迁量和临时征地。本工程一般地段施工作业带宽度为 16m，经济作物区域为 14m，局部因增加埋深放坡需加宽业带段作业带宽度为 18m。

2.10.2 管沟开挖

管沟开挖底宽和边坡推荐尺寸详见表 2.7-1~2，当管沟开挖深度超过 3m 而小于 5m 时，沟底宽度可适当加宽。如果管沟需要支撑，在确定底宽时应考虑支撑结构的厚度。当管沟超过 5m 时，应考虑土壤类别及物理力学确定管沟底宽，管沟形式采用复式端面，考虑机械开挖土方。

2.10.3 管道下沟

开挖的管沟沟底应平整，无碎石等硬物。沟底为硬层时应铺垫细软土，垫层厚度应符合有关管道施工行业标准的规定。

管道焊接补口完毕下沟前，应用电火花检漏仪对管线全部进行检漏，检漏电压为 25KV，并填写检查记录。

管沟验收合格后，应将防腐检查合格的管道及时下沟。防腐管下沟时，应采用尼龙吊带，并应防止管道撞击沟壁及硬物，不允许损坏防腐层。吊点不得小于 3 点，其间距不得大于 15m。

2.10.4 管沟回填

管道下沟后，应先用细土或砂（公路段用砂）回填，细土或砂厚度应符合有关管道施工行业标准的规定，然后才能进行二次回填。回填时不允许有尖硬物，以免损坏防腐层，不允许在管沟内有积水的情况下回填管沟。管沟回填土应高出地面 0.3m。在管道出土端和弯头两侧，回填土应分层夯实。

管道回填后，应全线进行地面检漏，发现漏点应进行修补。

2.11 线路附属工程

2.11.1 线路标志

线路标志包括里程桩、交叉桩、穿（跨）越桩、设施桩、结构桩等永久标志及警示牌、警示板等安全保护标志，设置原则符合《油气长输管道工程施工及验收规范》GB 50369-2014 及《油气管道线路标识设置技术规范》SY/T6064-2017 的要求。

1.线路永久标志

1) 里程桩

里程桩自管道起点至终点每公里设置 1 个，阴极保护测试桩可兼做里程桩，桩间距离误差 $\leq 1.0\text{m}$ 。

2) 转角桩

埋地管道水平或竖向当采用弯管或弹性敷设时应设置转角桩。

3) 交叉桩

埋地管道干线与其它建（构）筑物交叉位置设置交叉桩。

4) 设施桩

管道沿线设有固定墩，牺牲阳极等地下附属设施处设置相应设施桩。

5) 穿（跨）越桩

管道穿越铁路、高等级公路、河流、水渠、冲沟、水塘时应设置穿（跨）越桩。

6) 结构桩

管道存在变径、设置三通等隐蔽性结构变化处设置结构桩。

7) 加密桩

考虑到本工程建设位于经济发达地区，沿线人员活动相对较多，根据建设单位的运营经验，每 25 米设置 1 个加密桩。

线路标志桩的位置应根据管路在道路中所处的位置进行设置。管路位道路中时，选择两侧固定建、构筑物设立标志或设置平面永久性标志。

8) 警示牌

管道在靠近人口集中居住区、工业区等需加强管道安全保护的地方，在易发生危及管道安全行为的区域，穿（跨）越铁路、公路、通航河流的位置设置警示牌。

2.警示板

为了便于管线的维修和管理，减少第三方破坏，本工程管道全线一般开挖敷设地段在距管顶 500mm 处埋设警示板。警示板须为黄底红字、带有广州燃气标志以及明显警示文字，警示板的宽度为 900mm。

2.11.2 水工保护

1.水工保护设计原则

- (1) 对沿线滑坡、崩塌等灾害地质应根据其性质、规模等，优先考虑避让原则；
- (2) 水工保护的设计应先判断水害破化机理，然后设计水保方案；
- (3) 水工保护措施既要考虑保土措施，也要考虑排水导水措施；
- (4) 水工保护措施的采用应做到三多三少，即多用间接防护，少用直接防护；多用柔性结构，少用刚性结构；多用生态措施，少用工程措施；
- (5) 水工保护工程应安全可靠、施工方便、经济实用。

2.水工保护设计范围

水工保护工程是针对管道附近地表或地基的防护工程，防止由于洪水、重力作用、地震及人为改变地貌的活动给管道造成的破坏；另外，水工保护工程也是一种环境治理工程、是管道工程建设中水土保持的主要部分。

本工程水工保护设计包括三部分：

- (1) 一般线路水工保护设计；
- (2) 大中型河流穿越水工保护设计；
- (3) 重点地段水工保护设计；

3.一般线路段水工保护

一般线路段水工保护措施包括管沟回填土保持和地表水导水措施。管沟回填土保持措施主要指挡土墙、截水墙、排水沟、人工植草护坡等；地表水导水措施指地表条形截水墙、挡水墙、排水沟等。

护坡工程可因地制宜，采取浆砌石护坡、土工格室护坡或植物护坡。边坡工程应按《建筑边坡工程技术规范》 GB50330 进行设计。

挡土墙一般适用于陡坎、陡坡、河流岸坡处。

截水墙一般用于沿坡敷设段的管沟回填土保持，分为土工布袋式和砌筑式截水

墙，土工布袋式用于坡角小于 25° 的缓坡，砌筑式截水墙用于坡角大于 25° 的陡坡。

地表水导水措施的作用是将地表水导向管沟区以外，具体措施的采用和布设，应视地形地貌情况采取挡、截、导的方法。挡水墙和排水沟一般用于坡顶易于形成汇水的地方。

4.大中型河流穿越水工保护设计

应根据穿跨越河流的地质情况、水文情况及现有河流的护岸情况选择适宜的水工保护措施，要以因地制宜、就地取材、经济实用为原则。其水工保护措施结构型式主要有护岸、护底措施，为保证管道安全，还应酌情设置混凝土压重块稳管。

5.重点地段水工保护措施

重点地段指地形复杂、冲刷严重、水工保护工程量较大的地段。这样的地段应现场勘察，明确可能的滑坡范围和滑移面等情况，因地制宜的采取抗滑措施。

2.11.3 借地与征拆

1.借地

本线路工程借地分为永久借地和临时借地，永久借地范围为管道外缘两侧各 5m，临时借地范围按施工作业带范围确定，一般为管道中心线两侧各 8m。

2.征拆

本线路工程为满足《城镇燃气设计规范（2020年版）》（GB 50028-2006）有关高压管道与建筑物的安全间距，需征拆管道外缘两侧各 15m 范围内的建筑物。

2.11.4 施工便道

1.施工便道

施工道路主要是满足工程施工需求，尽量利用现有道路工程，道路设计时，尽可能优化线型，提高线路行车条件。

施工道路建设分为：

（1）部分线路为改造原有机耕道，对原有机耕道作适当的路面修补和加固，清理边沟（主要针对道路较宽，路面条件较好，局部通过性低的道路）；

（2）改造原有机耕道面修补、加固和加宽，清理边沟（主要针对道路较窄，路基较软，转弯半径较小，必须改建后方可通过重型车辆）；

(3) 针对局部深丘、低山地段无道路可利用时新建道路，对巡线困难地段，可沿管道路由外侧修筑，并按征地保留作为管道伴行道路；

(4) 对不能满足运管要求的涵洞、桥梁进行加固或改建。

2.道路主要技术要求

公路等级：施工便道为等外级。

最大纵坡 10%（其它运输方式 17%），最小平曲线半径为 18m（其它运输方式 12m），最小坡长 60m。

施工便道路面宽度为 4m，并于公路平缓接通；每 2km 处宜设置 1 个会车处，弯道与会车处路面宽度为 10m，弯道转弯半径为 18m。

施工道路在交通比较发达地段可按 2~3km 管道长度选择一条施工道路；在交通不发达、地形条件受限地段可按 2km 管道长度选择一条施工道路；局部特殊地段单独考虑施工道路。

维修路面面层采用泥结碎石 12cm。

堆管场考虑临时征地面积（20m×30m）。

2.11.5 钢筋混凝土管沟保护

本工程线路经过区域为四级地区，是城镇建成区，周边临近居住区、商业区和工业区，人员密集，交通繁忙，大部分敷设与市政道路下方，为保护管道及提高安全系数，本线路工程挖沟直埋部分采用钢筋混凝土管沟保护。

钢筋混凝土管沟做法：沿拟建线路路由放坡或支护开挖沟槽，开挖深度至管底以下 0.2m，开挖宽度约 3.0m（管道两侧各 1.1m）；然后在开挖的沟槽内，管道两侧砌筑钢筋混凝土侧墙，上方加盖钢筋混凝土盖板，形成对管道的全方位保护；最后回填原土恢复原有地面。

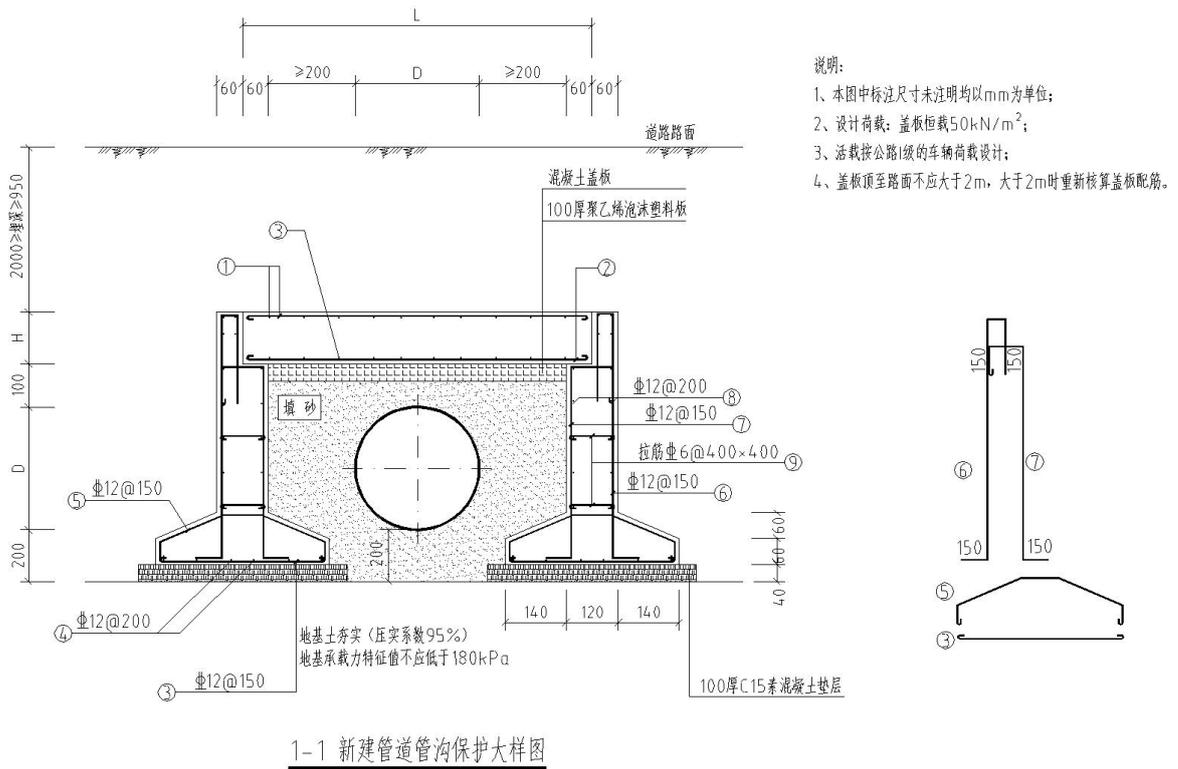


图 2.11-1 钢筋混凝土管沟保护大样图

2.12 穿跨越工程

2.12.1 穿越工程设计原则

管道穿越系指管道通过公路、铁路、水域、冲沟等人工或天然障碍物时, 从其下部通过的一种地下敷设方式。

管道穿越设计时, 应遵循以下原则:

- 1) 遵循国家及行业、企业相关的设计规范、标准。
- 2) 穿越位置应符合线路总走向。
- 3) 穿越位置符合城市规划、水利、航道、公路、铁路等相关部门法规及规划。
- 4) 穿越位置与已(拟)建的大型桥梁、水工建(构)筑物保持一定的安全距离。
- 5) 穿越方案满足技术成熟、安全可靠、经济合理的要求。

2.12.2 穿跨越概况

本工程涉及穿跨越较多，穿跨越对象包括铁路、公路、河涌和地铁，铁路包括广深城际铁路和广深普速铁路，公路包括广深高速公路和 107 国道，河涌包括凤凰水和水南新河，地铁为广州地铁 13 号线。沿线交叉位置详见下图。



图 2.12-1 管线穿跨越位置示意

燃气管线与铁路交叉设计应满足《油气输送管道与铁路交汇工程技术及管理规范》（国能油气（2015）392号）、《铁路工程设计防火规范》（TB 10063-2016）等有关规定。

燃气管线与公路交叉设计应满足《交通运输部、国家能源局、国家安全监管总局关于规范公路桥梁与石油天然气管道交叉工程管理的通知》（交公路发〔2015〕36号）、《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）、《公路路线设计规范》（JTG D20-2017）等有关规定。

燃气管线与河涌交叉设计应满足《河道管理范围内建设项目技术规程》（DB44/T 1661-2021）、《涉河建设项目河道管理技术规范》（DB4401/T 19-2019）等有关规定。

燃气管线与地铁隧道交叉设计应满足《城市轨道交通工程项目规范》（GB 55033-2022）、《城市轨道交通结构安全保护技术规范》（CJJ/T 202-2013）等有关规定。

2.12.3 穿跨越方案

(1) 铁路

本工程管线路由与铁路交叉2处，分别是广深城际铁路和广深普速铁路（广九线），均为运营中的铁路，其中广深城际铁路是填方路基，广深普速铁路是架空桥梁。根据现状中压燃气管道敷设方式，本阶段推荐高压燃气管道采取顶管方式从自然地面以下穿越铁路。

穿越公路、铁路使用的套管一律采用钢筋混凝土套管以增加承载能力，采用机械式顶管，在具有一定深度的稳定层中掘进，并应连续作业。顶管深度除必须满足相关部门的要求外，一般不小于2~3倍的管外径。

套管管顶距铁路轨道的距离应大于1.2m，距公路边沟底的距离应不小于1.0m。对于穿越宽度较小的管段，应尽量采用整管穿越，避免在穿越处出现焊缝。施工应尽量在夜间交通不太繁忙时进行，并应根据安全规则，设置路障等警示标志。管道下沟后，应及时回填，回填土应分层夯实，使其密实度与未开挖的土壤一致。施工后，道路路面的恢复标准应不低于原标准。

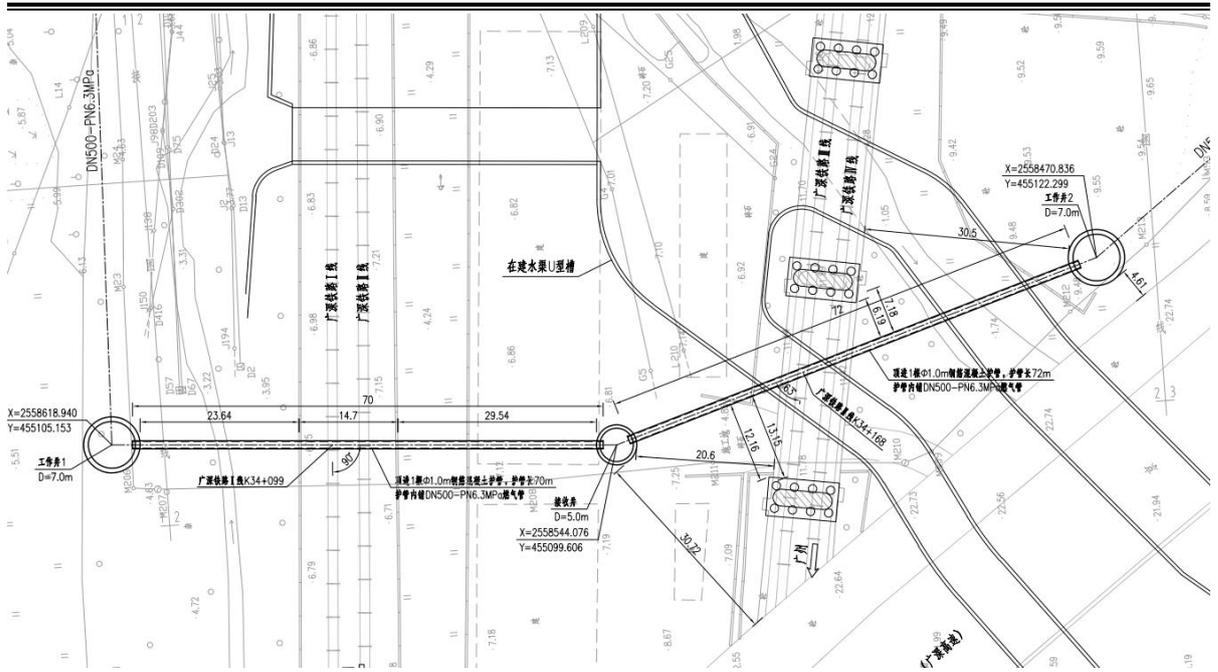


图 2.12-1a 燃气管护管下穿铁路平面图

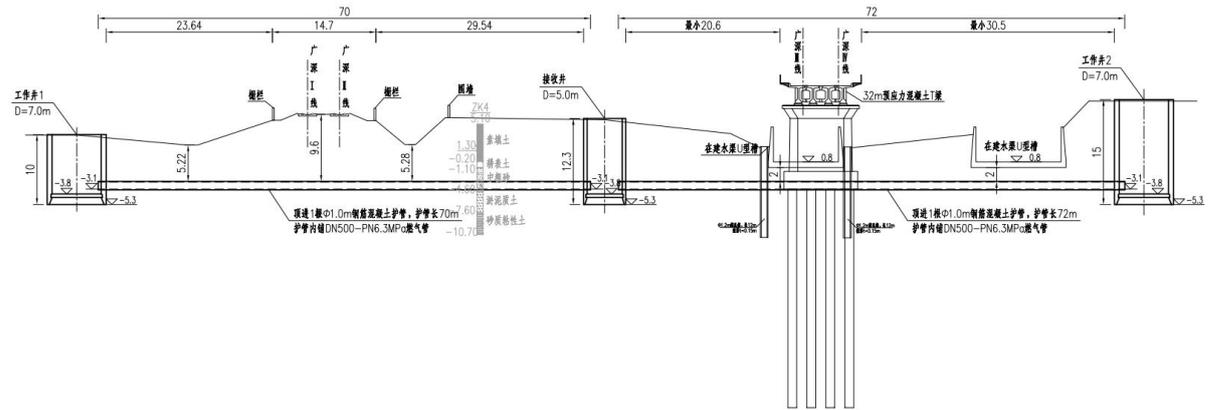


图 2.12-1b 燃气管护管下穿铁路纵断面图

本工程采用钢筋混凝土护管顶管下穿方式通过铁路，顶管工程分为两段，顶管第1段穿越广深铁路I线和II线（城际铁路），顶管长度为70m，穿越处铁路为路基段，护管距离铁轨底9.6m。顶管第2段穿越广深铁路III线和IV线（普速铁路），顶管长度为72m，穿越处铁路为桥梁段，此段顶管同时穿越铁路桥下方的凤凰水U型沟槽，护管距离沟槽底2.0m。顶管穿越平面图和纵断面图详见上图。



图 2.12-2 广深城际铁路现状



图 2.12-3 广深普速铁路现状

(2)公路

本工程管线路由与高速公路及其匝道交叉多处，包括广深高速公路主线 1 处及广深高速公路匝道 3 处，根据现场情况，广深高速公路主线拟采用水平定向钻方式从下方土壤实体穿越，1 处路基匝道采用顶管方式穿越，2 处桥梁匝道采用挖沟直埋方式通过。

本工程管线路由与 107 国道交叉 1 处，为降低对交通运输的影响，拟采用顶管方式从路面以下穿越。

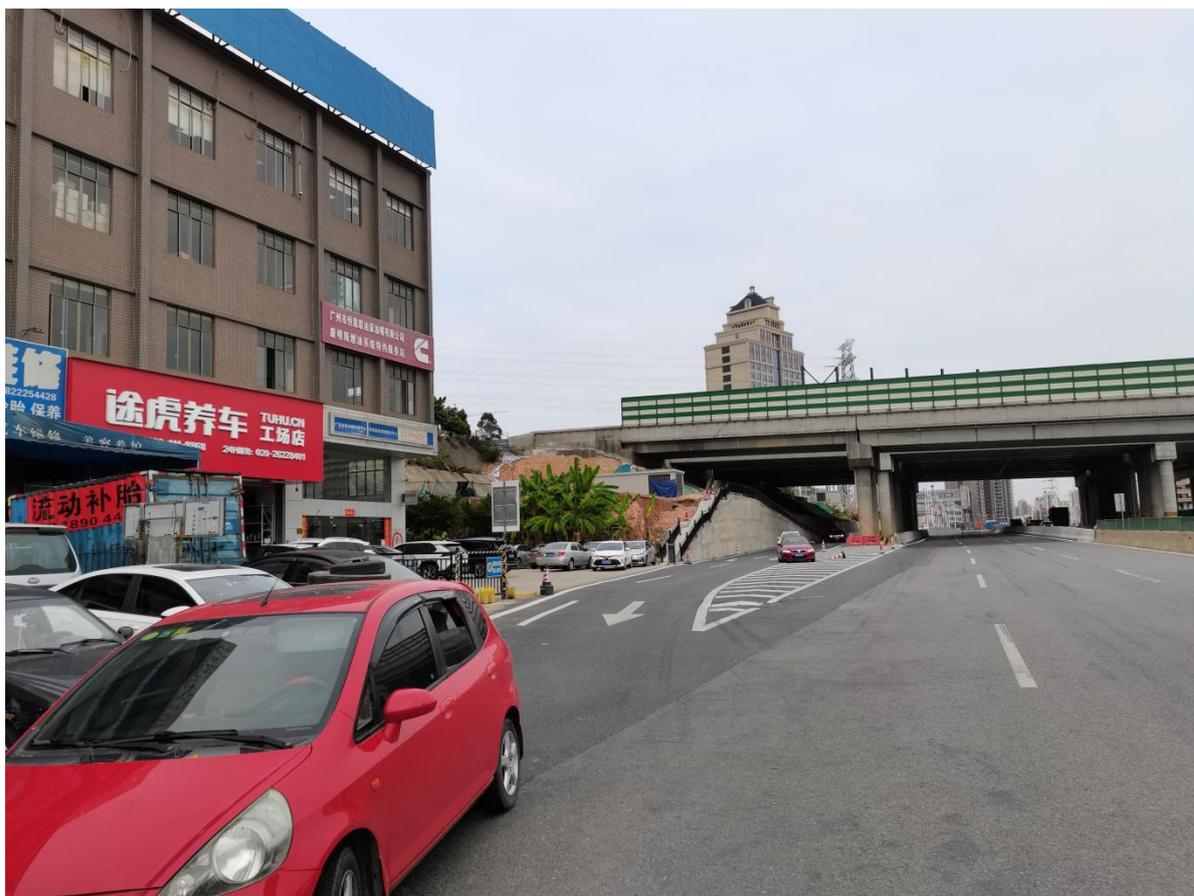


图 2.12-4 广深高速公路及 107 国道现状

(3)河涌

本工程管线路由与河涌交叉 5 处，包括凤凰水 4 处和水南新河 1 处。其中，3 处与凤凰水交叉处位于广深铁路附近，顶管穿越铁路时一并穿越凤凰水。另一处凤凰水，位于增城汇利电子厂北侧，拟采用大开挖方式从河床以下穿越。



图 2.12-5 凤凰水现状（广深铁路附近）



图 2.12-6 凤凰水现状（汇利电子厂北侧）

位于新塘大道的水南新河，受地铁 13 号线制约，无法从下方通过，拟从河涌上方跨越，管道埋设于河涌上方的绿化带。



图 2.12-7 水南新河现状

(4)地铁

本工程管线路由与地铁交叉 1 处，为广州地铁 13 号线，交叉处位于新塘大道与南碱大道交叉路口，据了解，此处地铁隧道结构顶的覆土厚度约为 10m，拟采用挖沟直埋方式从地铁隧道上方通过。

2.12.4 穿跨越方案汇总

根据上文，涉及铁路、公路、河涌、地铁的穿跨越方案和主要工程量详见下表。

表 2.12-1 管道穿跨越方案和工程量

交叉对象		穿跨越方案	穿跨越长度	涉及部门/单位
铁路	广深城际铁路	顶管（下穿）	153m	中国铁路广州局集团有限公司
	广深普速铁路			
河涌	凤凰水（广深铁路附近）			增城区水务局

	凤凰水（汇利电子厂北侧）	挖沟直埋（下穿）	24m	
	水南新河	挖沟直埋（上跨）	35m	
地铁	地铁 23 号线隧道	挖沟直埋（上跨）	20m	广州地铁集团有限公司
公路	广深高速公路主线	定向钻（下穿）	200m	增城区交通运输局、广深珠高速公路有限公司
	广深高速公路匝道 1（桥梁）	挖沟直埋（下穿）	20m	
	广深高速公路匝道 2（路基）	顶管（下穿）	27m	
	广深高速公路匝道 3（桥梁）	挖沟直埋（下穿）	11m	
	107 国道	顶管（下穿）	56m	

管道沿线交叉对象涉及管理部门（单位）包括中国铁路广州局集团有限公司、增城区水务局、增城区交通运输局、广深珠高速公路有限公司、广州地铁集团有限公司等，前期已取得部分部门（单位）的回复意见，详见附件。

2.13 主要工程量

本工程线路工程主要工程量详见下表。

表 2.12-2 线路工程主要工程量

序号	名称	单位	数量	备注
1	线路工程			
1.1	直缝双面埋弧焊钢管 D508×14.2	km	5.1	3PE 加强级, L485
2	穿跨越工程			
2.1	穿越广深城际、普速铁路、凤凰水	m	153	顶管
2.2	穿越凤凰水	m	24	挖沟直埋
2.3	跨越水南新河	m	35	挖沟直埋

序号	名称	单位	数量	备注
2.4	跨越地铁 13 号线	m	20	挖沟直埋
2.5	穿越广深高速主线	m	200	定向钻
2.6	穿越广深高速匝道 1	m	20	挖沟直埋
2.7	穿越广深高速匝道 2	m	27	顶管
2.8	穿越广深高速匝道 3	m	11	挖沟直埋
2.9	穿越 107 国道	m	56	顶管
3	线路土地占用			
3.1	永久借地	m ²	53591	管外侧两侧各 5m
3.2	临时借地	m ²	28009	管中线两侧各 8m
4	道路修复			
4.1	南碱大道	m ²	3308	整版修复 4m 宽
4.2	新塘大道	m ²	1120	整版修复 4m 宽
4.3	温涌西路	m ²	16000	整版修复 4m 宽, 两版
5	征拆建筑物			
5.1	国有土地 (居住)	m ²	0.00	
5.2	国有土地 (工商业)	m ²	1140.68	
5.3	集体土地 (居住)	m ²	0.00	
5.4	集体土地 (工商业)	m ²	5545.00	
5.5	集体建设用地 (居住)	m ²	0.00	
5.6	集体建设用地 (工商业)	m ²	3224.06	
6	迁改管线			
6.1	电力-砼-2 孔	m	245	
6.2	排水-砼-φ 1800	m	245	
6.3	通信-光纤-14 孔	m	245	
6.4	架空电力-铜-220kV	m	390	3 座电塔
6.5	给水-钢-φ 1200	m	150	
6.6	给水-铸铁-φ 150	m	150	
6.7	排水-砼-φ 500	m	520	
6.8	通信-光纤-单孔	m	180	
6.9	架空电力-铜-220kV	m	250	2 座电塔
6.10	给水-钢-φ600	m	220	
6.11	通信-光纤-2 孔	m	200	

广州增城旺隆气电替代工程项目燃气管线工程

序号	名称	单位	数量	备注
6.12	架空电力-铜-220kV	m	2000	10 座电塔
6.13	排水-砼-φ800	m	800	深 5~7m
6.14	燃气-PE-φ160	m	430	深 1~2m, 中压

3. 供气工艺

3.1 概述

3.1.1 工程概况

本工程高压管道以广源门站（不含门站）为起点，止于旺隆电厂，全线总长约 5.1km，管道规格为 DN500，设计压力为 6.3MPa。

设计规模为 $19.5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{h}$ ，输送介质为净化天然气。

3.1.2 设计基础资料

1) 天然气组份

天然气气组份见表 3.2-1。

2) 设计规模

根据旺隆电厂用气需求，乐观估计年用气量需求约 6.59 亿 Nm^3 （年发电小时数按 3500 小时），保守估计年用气量需求约 6.12 亿 Nm^3 （年发电小时数按 3300 小时）。

3) 来气压力

广源门站出站压力为 4.7MPa。

4) 来气温度

管道沿线地下 1.5m 深处地温资料如下表，来气温度按 1.5m 深年平均地温 22.7℃ 计算。

表 3.1-1 管道埋深处地温（℃）

冬季平均地温	夏季平均地温	年平均地温
20.5	28.4	22.7

5) 其他工艺参数：

- (1) 标准状态为压力： $1.01325 \times 10^5 \text{Pa}$ ，温度：20℃；
- (2) 土壤导热系数 $1.3 \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ；
- (3) 不设内涂层，管内壁粗糙度取 $30 \mu \text{m}$ ；
- (4) 电厂年工作 3300~3500 小时计算。

3.2 资源和市场

3.2.1 资源

(1)气源分析

本项目气源来自广燃集团广源门站供气，广源门站改造后对旺隆电厂供气规模为 $19.5 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$ ，与旺隆电厂用气需求匹配。广源门站与广州市高压管网联通，上级气源丰富，包括大鹏 LNG（广东大鹏管网）、西气东输二线（国家管网），未来广州 LNG 调峰气源站投产后亦可对其供气，电厂气源以电厂自主选择气源为准。

(2)气质分析

本工程近期气源主要为大鹏 LNG 和西二线。其气体组分及物质参数见表 3.2-1。

表 3.2-1 大鹏 LNG 和西二线气质成分与物性参数

气源名称		西二线	大鹏 LNG
组分 (mol%)	甲烷(CH ₄)	94.2192	89.4993
	乙烷(C ₂ H ₆)	2.7473	7.474
	丙烷(C ₃ H ₈)	0.374	2.273
	异丁烷 (i-C ₄ H ₁₀)	0.0408	0.3661
	正丁烷 (n-C ₄ H ₁₀)	0.0723	0.3551
	异戊烷 (i-C ₅ H ₁₂)	0.0165	0.0196
	正戊烷 (n-C ₅ H ₁₂)	0.0203	0.0129
	氢气 (H ₂)	0.0274	
	二氧化碳 (CO ₂)	0.4358	1.9904
	水 (H ₂ O)	0.0031	
	氮气 (N ₂)	2.0738	0.9
	甲硫醇 (CH ₄ S)	0.0003	
	氦气 (He)	0.0169	
	硫化氢 (H ₂ S) (PPm)	<3.5	<6
	总硫量 (PPm)		

气源名称		西二线	大鹏 LNG
物性参数	气相密度 (kg/Nm ³)	0.5874	0.626
	低热值 (MJ/m ³)	33.679	37.278
	高热值 (MJ/m ³)	37.331	41.217
	高位华白数 (MJ/m ³)	48.71	52.09
	燃烧势	39.441	41.899
	运动粘度 (m ² /s)		
	水露点 (°C)		

进入本工程高压管道的天然气气质满足《天然气》 GB 17820 中二类气和《城镇燃气分类和基本特性》 GB/T13611 天然气 12T 类别的规定。

未来广州 LNG 调峰气源站投产供气及高压管网优化后，大鹏 LNG、西二线、西三线、中海油天然气、广州 LNG 调峰气源、TUA 气源等气源均可对旺隆电厂供气，电厂可在不同气源间自主采购，后期电厂所用气源气质以电厂采购气源为准。

(3)气源压力

近期，气源来自大鹏广州东分输站。目前，大鹏广州东分输站、广燃广源门站正在进行扩容改造施工，先期改造已完成，目前大鹏广州东分输站供气压力达 5.0~8.9MPa，广燃广源门站计量调压后供旺隆电厂压力为 4.7MPa，满足旺隆电厂 4.5MPa 的到厂压力要求。

远期，广燃各门站和高压管网进行优化后，能够实现多气源对旺隆电厂 4.5MPa 的到厂压力要求。

3.2.2 市场

本项目市场客户为旺隆电厂，用气压力需求为到厂 4.5MPa，电厂小时用气量需求为 $19.5 \times 10^4 \text{Nm}^3$ ，乐观估计年用气量需求约 6.59 亿 Nm^3 （年发电小时数按 3500 小时），保守估计年用气量需求约 6.12 亿 Nm^3 （年发电小时数按 3300 小时）。

3.2.3 供气方案分析及计算

本工程气源点为广源门站，用气点为旺隆电厂，用气压力为 4.5MPa，二者之间直线距离 3.7km，所在区域为城镇建成区，属于四级地区。然而，《城镇燃气设计规范（2020 年版）》（GB 50028-2006）第 6.4.14 条规定：四级地区地下燃气管道输配压力不应大于 4.0MPa（表压）。这一规定，在一般情况下应予以控制，但对于大城市，如果经论证在工艺上确实需要且在技术、设备和管理上有保证，并经城市建设主管部门批准，压力大于 4.0MPa 的燃气管道也可以进入四级地区。

本章提出 1.6MPa 和 6.3MPa 两个管道设计压力的供气方案，并进行论证比选。

(1)供气方案一

本方案输气管道设计压力为 1.6MPa，在广源门站气源压力由 4.7~8.9MPa 经调压装置调至 1.45MPa 出站，经管道输送至旺隆电厂，在电厂设计量装置和增压装置，压力提升至 4.5MPa 后供燃机使用。主要工程量为：门站调压装置 1 套、1.6MPa 输气管线 DN600-5.0km，电厂计量装置 1 套、电厂增压装置 1 套。

本方案供气示意图如下：

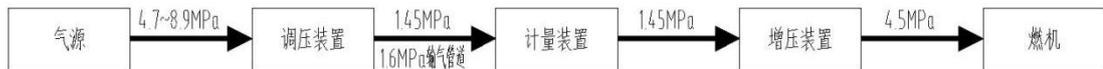


图 3.2-1 供气方案一示意图

(2)供气方案二

本方案输气管道设计压力为 6.3MPa，在广源门站气源压力由 4.7~8.9MPa 经调压装置调至 4.7MPa 出站，经管道输送至旺隆电厂，在电厂设计量装置，计量后供燃机使用。主要工程量为：门站调压装置 1 套、6.3MPa 输气管线 DN500-5.0km，电厂计量装置 1 套。

本方案供气示意图如下：



图 3.2-2 供气方案二示意图

(3)供气方案比选

两种供气方案各有优缺点，下面在工程量、规划审批、施工难度、土地占用、综合效益等方面进行比较分析，详见下表。

表 3.2-2 供气方案对比

对比项目	供气方案一（1.6MPa）	供气方案二（6.3MPa）
工程量	管径较大，需设增压装置，工程量大	管径较小，不需增压装置，工程量小
规划审批	压力级别低，通过规划审批难度小	压力级别高，通过规划审批难度大
施工难度	管径较大，地下管线密集，敷设管道难度较大	管径较小，敷设管道难度较小
土地占用	电厂内需预留计量装置和增压装置用地，占地面积大	电厂内仅需预留计量装置用地，占地面积小
综合效益	燃气先降压后升压，总体耗能高，发电成本增高，总体效益较低	燃气无需升压，发电成本较低，总体效益高

通过前期各方努力协商，供气方案二（6.3MPa）已取得规划、城管、住建等部门及沿线相关单位的回复意见，均无明确反对意见，结合上面的方案比选，本阶段推荐供气方案二（6.3MPa）。

3.2.4 水力计算

参照《输气管道工程设计规范》GB 50251-2015 第 3.3.2 条，高压燃气管道水力计算公式：

$$q_v = 1051 \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2) d^5}{\lambda Z \Delta T L} \right]^{0.5}$$

式中：

q_v ——气体（ $P_0 = 0.101325\text{MPa}$ ， $T = 293\text{K}$ ）的流量（ Nm^3/d ）

P_1 、 P_2 ——输气管道计算管段起点和终点的压力（绝）（ MPa ）

d ——输气管内直径（ cm ）

λ ——水力摩阻系数

Z ——气体的压缩因子

T ——气体的平均温度（K）

L ——输气管道计算段的长度（km）

Δ ——气体的相对密度

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.011 \lg \left(\frac{K}{3.71d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

式中：

K ——钢管内壁当量绝对粗糙度（m）

d ——输气管内直径（m）

Re ——雷诺数

经计算，燃气到厂压力满足电厂需求（ $\geq 4.5\text{MPa}$ ），具体结果如下表：

表 4-18 管道水力计算结果表

管径 (mm)	壁厚 (mm)	q_v (Nm ³ /h)	P_1 (MPa)	P_2 (MPa)
508	14.2	19.5×10^4	4.70	4.67

4. 场站工艺

本工程场站部分为旺隆电厂内的计量装置和收球装置，设计压力为 6.3MPa，设计流量为 $19.5 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$ 。

4.1 场站工艺设计

4.1.1 工艺流程

本工程从广源门站接气，经本工程新建 DN500 超高压管道输送至旺隆电厂，电厂内设置计量撬和收球装置，经计量后接电厂的调压装置。计量、收球装置工艺流程框图如下：



图 5-1 电厂工艺装置流程框图

计量撬过滤单元和计量单元均为一开一备设置，流量计采用超声波流量计，其规模为 $19.5 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$ ，电厂工艺装置流程图详见附图 3，电厂工艺装置平面布置图详见附图 4。

4.1.2 管道及附件

(1)管道等级的规定

工艺管道等级是根据设计温度、设计压力和输送介质的要求，以及材料的性能和经济合理性确定。管道和管道组成件的材质、品种和规格型号应根据场站工艺流程图上的压力等级分界面和上述各种设计因素选用。

本站各系统管道设计压力等级如下：

设计压力为 $1.6\text{Mpa} \leq P \leq 4.0\text{Mpa}$ 的管道及附件压力等级为 Class300；

设计压力为 $4.0\text{Mpa} < P \leq 6.3\text{MPa}$ 的管道及附件压力等级为 Class600。

(2)站内管径计算

1) 站内管径的选择

$$d = \sqrt{\frac{q}{0.785v}}$$

$$q = \frac{P_0TZq_v}{86400T_0P}$$

式中：

q — 操作条件下气体的工况流量，m³/s；

d — 计算管内径，m；

v — 站内气体流速，m/s；

q_v — 标准状态下气体流量，Nm³/d；

P₀ — 标准状况下气体的绝对压力，MPa；

T₀ — 标准状况下气体的绝对温度，K；

T — 操作条件下气体的绝对温度，K；

P — 操作条件下的气体绝对压力，MPa；

Z — 气体压缩系数。

2) 校核管内气体流速，场站经济流速宜控制在 15~20m/s，根据计算的管内径及相应制管标准，选择相对应的管径。

(3)管道材质及壁厚选择

1) 管道钢材等级

场站管道选用如下：

表 4.1-1 站内管道规格

序号	管型及材质	钢管规格	制管标准
1	直缝埋弧焊钢管 L485M	Ø711	GB/T9711-2017 PSL2 及相关技 术文件
		Ø508	
2	无缝钢管 L415N	Ø355.6	
3	无缝钢管 L360N	Ø406.4	
		Ø323.9	
		Ø273	
		Ø219.1	
		Ø114.3	

		Ø88.9	
		Ø60.3	
		Ø33.7	

2) 壁厚选择

钢管壁厚与设计压力、钢管外径、钢管的强度等级、强度设计系数及温度折减系数有关，钢管壁厚按下式计算：

$$\delta = \frac{PD}{2\sigma_s\phi Ft}$$

式中：

ϕ ——焊缝系数，取 1.0；

δ ——钢管计算壁厚，mm；

P ——设计压力，MPa；

σ_s ——钢管的最小屈服强度，MPa；

D ——钢管外径，mm；

F ——强度设计系数；

T ——温度折减系数，温度小于 120℃时，取值为 1.0。

本工程场站管道设计压力从 1.6MPa 至 6.3MPa，共 3 种压力级制，从壁厚优化以及便于采购施工的角度考虑，本工程场站钢管的选用壁厚如表 4.1-2。

表 4.1-2 站内管道壁厚

序号	管型及材质	钢管规格	选取壁厚 mm
1	直缝埋弧焊钢管 L485M	Ø508	17.5
2	无缝钢管 L415N	Ø355.6	16.0
3	无缝钢管 L360N	Ø406.4	12.5
		Ø323.9	12.5
		Ø273	12.5
		Ø219.1	11.0
		Ø114.3	8.0
		Ø88.9	7.1

		Ø60.3	5.0
		Ø33.7	4.0

(4)弯头、弯管材质及壁厚的选择

站内管道附件（包括弯管、弯头、三通、异径接头等）选用材质与管道材质相同，材料标准应符合《石油天然气工业管线输送系统用钢管》（GB/T 9711-2017）的相关要求。

清管用弯头采用 R=6D 热煨弯管，两端各带 300mm~500mm 直管段，制造标准应符合《油气输送用钢制感应加热弯管》（SY/T 5257-2012），其余站内弯头均采用 R=1.5D 长半径弯头，各种管件（包括弯头、三通、异径接头等）应符合《钢制对焊管件 类型与参数》（GB/T 12459-2017）及《钢制对焊管件 技术规范》GB/T 13401-2017 的相关技术要求，不满足《钢制对焊管件 类型与参数》（GB/T 12459-2017）中规定的尺寸要求的开孔采用焊接支管座，执行标准《锻制承插焊、螺纹和对焊支管座》（GB/T 19326-2012）。

弯管或弯头壁厚选取结合计算壁厚及直管段选用壁厚综合考虑，站内弯管、弯头壁厚计算及选择根据《输气管道工程设计规范》（GB50251-2015）规定，弯头壁厚计算公式为：

$$\delta_b = \delta \cdot m$$

$$m = \frac{4R - D}{4R - 2D}$$

式中：

δ_b ——弯头或弯管的管壁计算厚度，mm；

δ ——弯头或弯管所连接的直管段管壁计算厚度，mm；

R——弯头或弯管的曲率半径，弯头 R=1.5D，弯管 R=6D；

D——弯头或弯管的外直径，mm。

弯头壁厚计算及选择见表 4.1-3：

表 4.1-3 站内弯头或弯管壁厚

序号	管型及材质	钢管规格	选取壁厚 mm
1	直缝埋弧焊钢管 L485M	Ø508	17.5

2	无缝钢管 L415N	Ø355.6	16.0
3	无缝钢管 L360N	Ø406.4	12.5
		Ø323.9	12.5
		Ø273	12.5
		Ø219.1	11.0
		Ø114.3	8.0
		Ø88.9	7.1
		Ø60.3	5.0
		Ø33.7	4.0

(5)钢套管管道和材质选用规定

穿场站围墙管道、过路工艺管道应设置保护套管，钢套管与工艺管道之间用油麻沥青填实封死。套管管径应比工艺管道直径大两级。钢套管选用焊接钢管，材质Q235B，焊接钢管制管标准执行《低压流体输送用焊接钢管》（GB/T3091-2015）的相关规定。焊接钢管尺寸执行现行国家标准《焊接钢管尺寸及单位长度重量》（GB/T21835-2008）。

场站内穿道路钢套管应伸出路边最小 1000mm。套管覆土深度宜大于 900mm。穿围墙基础工艺管道套管伸出围墙两端基础各 500~1000mm。各种工艺管道钢套管规格见表 4.1-4:

表 4.1-4 工艺管道套管管道规格

序号	工艺管道规格	钢套管
1	Ø508	D711x10
2	Ø355.6	D508x10
3	Ø406.4	D508x10
4	Ø323.9	D508x10
5	Ø273	D323.9x8.0
6	Ø219.1	D323.9x8.0
7	Ø114.3	D219.1x7.1

8	Ø88.9	D168.3x6.3
9	Ø60.3	D114.3x5.6
10	Ø33.7	D60.3x5

4.1.3 排污系统

站内过滤分离设备和清管设备设手动排污。手动排污采用双阀，上游为球阀，下游为阀套式排污阀，便于操作、维修与更换。所有污物集中排入排污罐或排污池。排污罐或排污池的体积大于过滤分离器及清管设备的纳污容积之和。

4.1.4 放空系统

场站放空包含站内维检修放空、事故 ESD 放空以及线路放空。根据 API521 规定：紧急放空量按对所有处理轻烃类的设备在 15min 内将压力降至 690 kPaG 或降至容器设计压力的 50%，取其中较低的压力，对于不含轻烃的装置，降至容器设计压力的 50%的原则进行计算。因此，对场站 ESD 放空和场站承担的线路放空量进行比较，选取大者作为放空立管计算基础参数。

为方便设备的检修，场站内设有多处手动放空，手动放空采用双阀，上游为球阀，下游为具有节流截止功能的放空阀，便于维修与更换。

设备检修或站内发生事故时，放空量小，放空时间短，可以直接放空。

站内放空总管理地敷设，放空时可以通过调节放空阀的开度来控制放空时间与放空量，以减小放空时的气体流速，降低噪音。

本工程站内收球撬、计量撬放空依赖电厂自建放空系统。

4.2 主要设备选型

4.2.1 主要定型设备选型

(1) 阀门

本工程场站内所选用的各种阀门除满足其功能要求外，还具有密封性能好，使用寿命长，操作维护方便，价格便宜的特点。

1) 进、出站截断阀

选用操作方便、截断性能好、结构紧凑、关闭严密的球阀。其执行机构选用电动形式。球阀还应满足以下要求：

- (1) 左、右扭矩限位器应与阀门和执行机构的类型保持一致；
- (2) 应装有开、关操作的限位开关；
- (3) 阀门应装有阀位指示器，以确定阀门的位置。

2) 其余站内截断阀

站内切换阀门宜采用电动球阀，其余设备之间与管道截断功能的阀门选用手动球阀。

3) 放空和排污用阀

放空系统应具有节流和截止的功能。节流用阀主要选用节流截止放空阀，实现截止功能主要采用球阀，站内放空选用第一操作扭矩小、耐气流冲刷、耐磨损、泄漏量为零。为提高分离器排污阀的密封性能及使用寿命，拟采用噪音小、密封性好的的套式排污阀。排污阀采用双阀手动结构，内侧为球阀，外侧为阀套式排污阀。

4) 安全阀

安全阀拟选用动作灵敏，泄放能力大、起跳回座精确度高的先导式安全阀。

(2)流量计

计量撬设置 2 台超声波流量计，一开一备。流量计最大流量 $20.0 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{h}$ 。流量计配高精度智能压力变送器、温度变送器及流量计算机，流量计算机可以进行温度、压力自动补偿。

超声波流量计主要性能要求如下：

- 1.精度：±0.1%。
- 2.重复性：由于±0.2%
- 3.量程比：大于 100：1
- 4.就地显示、信号远传安装在流量计上；
- 5.防爆等级：Ex:d II BT4；防护等级：IP65；
- 6.工作温度：-40° C~60° C
- 7.电源要求：AC85~265V 50/60Hz 或 DC12~42V
- 8.信号输出：4-20mA RS-485Modbus

(3)法兰及垫片

1) 场站所有设备法兰均采用化 HG/T 20615-2009 标准，法兰型式为带颈对焊 WN，密封面为 RF 型式。

2) 采用金属缠绕式垫片，材质为 2222，垫片型式为带外环型，执行标准 HG/T 20631-2009。

3) 场站所采用全螺纹螺柱（材料牌号 35CrMo）执行标准 HG/T 20634-2009。

4) 法兰连接的阀门或设备应附带配对法兰、螺栓、螺母、垫片，执行标准宜与场站内保持一致。

(4)绝缘接头

绝缘接头主体为整体锻制，密封结构应采用 U 型密封结构，制造检验标准满足《绝缘接头与绝缘法兰技术规范》（SY/T 0516-2016）的相关要求。

4.2.2 工艺主要非标设备选型

(1)过筒式过滤器

本工程场站均设有筒式过滤器，用以保证天然气介质的清洁度符合标准规定。

筒式过滤器依靠过滤元件的过滤作用将固体或液体分离出来，是天然气输送管道常用的过滤设备，具有过滤效率高，去除粒径小等优点，需定时更换滤芯。为避免管输天然气带有的污物、铁锈、粉尘等杂质进入工艺场站，本工程的场站推荐设置筒式过滤器。

主要性能要求如下：

(1) 设备应去除输送气体夹带的固体颗粒、粉尘和液滴，滤芯材质为满足如下要求的玻璃纤维或聚酯纤维。要求其过滤效率见表 4.2-1。

表 4.2-1 过滤效率要求

名称	大小	要求其过滤效率
粉尘	$\geq 1 \mu m$	99.0%
$\geq 3 \mu m$	99.5%	
$\geq 5 \mu m$	99.8%	
液滴	$\geq 1 \mu m$	98.0%

- (2) 在额定处理量下，过滤器初始压降小于 0.012MPa。
- (3) 滤芯的更换压降不应大于 0.12MPa。
- (4) 滤芯设计使用寿命不应小于 12 个月。

(2)清管器收发装置

为了随时掌握管道的运行状况，全线清管作业应定期采用智能清管器进行，因此清管站的清管设施采用适合于智能清管器操作的清管器发送、接收设备，主要技术要求包括：

1) 功能要求

清管器接收和发送装置除满足正常输送情况下的清管作业外，还应考虑采用智能清管器（对管道的腐蚀及管道壁厚进行检测，了解管线使用状态）的工况。

(1) 清管器收发装置的筒体内径应比主管内径大 100~200mm，以便清管器的放入和取出；

(2) 发送装置长度应满足发送较长清管器或检测器的需要；

(3) 接收装置需要容纳清管污物，同时接收前后发送的两个或更多清管器，其长度应满足清管器、检测器的需要，接收筒上设两个排污口，排污口入口处应焊接挡条以阻止大块污物进入。

2) 安全性

清管器接收、发送装置作为非定型设备，应能满足操作压力、环境条件变化的需要。设备应能承受清管作业时来自清管器所产生的冲击载荷。所用快开盲板，应开闭灵活、方便，密封可靠无泄漏，且具有确保安全的压力自锁装置。

4.2.3 工艺场站主要工程量

本工程场站工程为电厂内计量装置、收球装置和在线分析小屋，其主要工程量如下。

表 4.2-2 电厂工艺装置主要材料设备

序号	项目名称	规格及参数	单位	数量	备注
一	计量撬				
1	过滤器	Class600 DN250	个	2	

2	超声波流量计	Class600 DN250	台	2	
3	汇气管	PN55 DN600	套	2	
4	电动球阀（焊接）	Class600 DN400	个	1	
5	电动球阀（法兰连接）	Class600 DN400	个	1	
6	电动球阀（法兰连接）	Class600 DN250	个	4	
7	手动球阀（法兰连接）	Class600 DN150	个	1	
8	手动球阀（法兰连接）	Class600 DN50	个	8	
9	节流截止放空阀	Class600 DN150	个	1	
10	节流截止放空阀	Class600 DN50	个	6	
11	安全放散阀	Class600 DN50	个	2	
12	排污阀	Class600 DN50	个	4	
13	绝缘接头	PN63 DN400	个	1	
14	阻火器	PN63 DN150	个	1	
15	无缝钢管（工艺）	D406.4×10.3 L415N	m	30	
16	无缝钢管（放散）	D168.3×6.3 L245N	m	30	
二	收球撬				
1	电动球阀（焊接）	Class600 DN500	个	1	
2	手动球阀（法兰连接）	Class600 DN500	个	1	
3	手动球阀（法兰连接）	Class600 DN200	个	1	
4	手动球阀（法兰连接）	Class600 DN150	个	1	
5	节流截止放空阀	Class600 DN150	个	1	
6	手动球阀（法兰连接）	Class600 DN50	个	2	
7	节流截止放空阀	Class600 DN50	个	1	
8	安全放散阀	Class600 DN50	个	1	
9	收球筒	Class600 DN700/500	个	1	
三	分析小屋				
1	在线分析小屋	成品	套	1	

4.3 场站施工安装技术要求

本工程场站施工安装严格按照国家相关规范和标准执行，优先国家标准和企业标准，对国家标准未作规定的部分执行行业标准。

4.3.1 站内管道敷设

站内管线敷设本着统一规划、分区设置、合理布局、安全可靠、整齐美观、方便维修、紧凑布置减少占地的原则。

站内管线敷设采取地上敷设和埋地敷设相结合的方式，站内管线敷设以地上敷设为主。地面管线低墩敷设尽可能地上安装。要求埋地管线置于实土上，特殊安装位置的管道如分离器周围、绝缘接头前后的埋地管道设地下管墩支撑，防止埋地管道下沉引起应力传递。

4.3.2 管道安装

在工艺场站的用管选择中，应对照各种钢管所对应的使用压力等级，严格按照设计标注的用管压力等级和钢管钢级、类型、尺寸进行配管。

4.3.3 管件

应仔细核对不同管件所对应使用的用管压力等级，防止出现将低压力等级的管件使用在高承压的管道系统上。

4.3.4 设备、管线支撑和墩架

阀门 ≥ 6 "的均带有阀门支架（水平安装的阀门），支架直接坐落在阀墩上；对没有支架的阀门，在附近的水平管线上设管支架支撑；对于有较长悬空段的地上管线，应设置管墩，防止其由于自身重力下沉拉损地上设备，阀门支架、管支架、管墩上需设置聚四氟乙烯绝缘垫板。

当埋地管道与设备基础、支墩水平距离较近时，开挖管沟与制作设备基础、支墩、工艺安装，应合理安排相互间的施工顺序，以确保基础和支墩的稳定。

4.3.5 设备安装

气液联动、电动执行机构安装：应使执行机构手轮位于易于操作的方位，执行

机构控制面板应朝向运行人员易于观察的方向。

4.3.6 焊接及检验

1) 管线焊接前必须将管内泥土、砂石等杂物、污物清除干净。

2) 施工前应进行焊接工艺评定并编制焊接工艺规程。

3) 在阀门的焊接过程中, 应保证阀门密封部位的阀体温度不超过阀门出厂说明书中规定的温度。在阀门与管线焊接时, 应采取防护措施, 防止焊渣焊皮等溅入管道内阀门密封结构附近, 对阀门造成损坏。

4) 现场开口焊接的仪表管嘴、高点排气阀与管道之间连接的焊缝应采用氩弧焊封底。

5) 焊缝外观检查合格后应对其进行无损探伤。射线检测、超声检测、磁粉检测和渗透检测应按照 NB/T 47013-2015 的规定执行。

6) 无损探伤检查的比例及验收合格等级应符合以下要求。

站内工艺管道的焊缝应进行 100%的无损检测, 检测方法应首选用射线检测或超声波检测。如上述方法无法检测时, 可选用磁粉或渗透方法检测。

——管道对接焊缝应进行 100%的射线照像, 合格等级为: 设计压力大于或等于 4.0MPa 为II 级合格; 设计压力小于 4.0MPa 为III级合格。其中放空、排污管线可采用 100%超探II 级和 10%射线复核II 级代替。

——若排污、放空管线小于 DN50, 或壁厚小于 5mm 的管道不能进行超声波探伤, 应进行 40% 射线照相, 超声波和射线探伤均达II 级为合格。

——穿越场站内、外道路的管道焊缝应进行 100%的 X 射线探伤, 达II级为合格。

不能满足质量要求的焊接缺陷的清除和返修应符合返修焊接工艺规程的规定。返修仅限于一次。返修后的焊缝应按施工技术要求进行复检。

4.3.7 试压、干燥及置换

1) 试压及干燥

(1) 设备、管道安装完毕, 焊缝无损检验合格后应按 GB50540 作好吹扫试压前准备工作。无损探伤和吹扫合格后, 分压力系统进行试压。

(2) 强度试验压力应为设计压力的 1.5 倍, 严密性试验压力应按设计压力进行。

强度试验稳压不小于 4h，严密性试验稳压 24h，以无渗漏、目测管道无变形、压降不大于 1%为合格。

(3) 安全阀等已由制造商按相关标准进行试压且合格的装置可不参与场站管道系统强度试验，但应参加系统的严密性试验。

(4) 场站试压后应清扫排水和干燥。为达到干燥的目的，使用预干燥的无油压缩干空气（露点低于-40℃）对管道进行干燥。

(5) 管道干燥应使被干燥管道内的空气露点低于-20℃（常压下的露点）。

(6) 场站强度试压及严密性试验介质为水；场站的分段试验压力，按调压橇作为分段试验压力界限；场站试压后应进行清扫排水和干燥。

2) 置换

投产前场站的所有工艺管道应用氮气全部置换空气，当排气口含氧分析仪检测到的含氧量降至 2%时，置换合格；再用天然气置换氮气，当排气口可燃气体浓度检测仪显示甲烷值达到 80%，置换合格。

4.3.8 接地及跨接

过滤分离器、清管器收/发装置、自用气橇、电动阀等设备处均需静电接地；阀门法兰、设备进出口的连接法兰螺栓孔少于等于 5 个时均需用铜导线跨接。

5. 防腐

5.1 设计范围

为防止线路管道、场站内设备及埋地钢质管道遭受腐蚀，需进行防腐设计，其主要设计内容包括：

- 1) 线路埋地管道的外防腐层及阴极保护。
- 2) 工艺场站、阀室的管道和设备的外防腐层。
- 3) 交流干扰防护。

5.2 线路管道防腐

5.2.1 外防腐层选用原则

管道外防腐层应具备：有效的电绝缘性；有效的隔水屏障性；涂敷于管道的方法不会对管道性能产生不利影响；涂敷于管道上的涂层缺陷最少；与管道表面有良好的附着力；能防止针孔随时间发展；能抵抗装卸、贮存和安装时的损伤；能有效地保持绝缘电阻随时间恒定不变；抗剥离性能强；抗化学介质破坏；补伤操作容易；物理性能保持能力强；对环境无毒；能防止地面储存和长距离运输过程不发生变化和降解。

5.2.2 外防腐层类型比选

目前国内用于大、中型口径天然气管道的外防腐层主要有：多层结构挤压聚乙烯（三层 PE、两层 PE）防腐层和熔结环氧粉末防腐层。三层 PE 它既发挥了熔结环氧对钢管表面的高粘结力（物理键和化学键）、阴极剥离半径小等优良性能，又发挥了高密度聚乙烯抗冲击性好、水汽渗透率低、绝缘电阻率高等优良性能，两层之间通过特殊的接枝型胶粘剂使三者形成化学键结合和相融的复合结构，汇集两者的优势为一体，达到防腐性能、机械性能的良好组合。三层 PE 防腐层还具有性价比高、现场适用性、可操作性强的优点，是一种性价比较高的钢质管道外防腐涂层。国内已建有上百条三层 PE 防腐层的涂敷预制作业线，可满足本工程的涂敷预制需求。

根据本工程的线路特点和可行性研究报告，结合国内三层 PE 防腐层的生产加工能力、材料来源、施工现状以及防腐层的综合性能等因素，本工程所有线路埋地管道

防腐层采用三层 PE 常温型加强级防腐涂层。

5.2.3 外防腐层技术要求

三层 PE 防腐层的材料性能要求、预制、施工和质量检验均执行 GB/T 23257-2017 《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》。以下为设计对三层 PE 防腐层的基本要求。

三层 PE 外防腐层的环氧底层厚度 200~300 μm ，胶粘剂层 \geq 170~250 μm ，加强级防腐层总厚度不小于 3.2mm。

管道管端预留长度为 140mm~150mm，聚乙烯层端面应形成小于或等于 30° 的倒角，聚乙烯层端部外宜保留不超过 20mm 的环氧粉末涂层，以防止防腐管端部防腐层剥离或翘起。

5.2.4 线路管道补口、补伤

1) 补口方案

管道补口是线路管道防腐的重要组成部分，补口材料的性能、补口施工质量关系到全线管道的整体防腐质量和长期使用寿命。

对三层 PE 防腐管而言，目前国内和国外应用最为广泛的补口材料是辐射交联聚乙烯热收缩带。带配套无溶剂环氧底漆的聚乙烯热收缩带在结构和相容性方面与三层 PE 相近性较好，底漆与热熔胶间的化学键结合，不仅提高了底漆与热熔胶间的粘结可靠性，同时现场施工中降低了预热温度，对解决大口径管加热慢、施工难度大的问题有益。

粘弹体防腐胶带是一种永不固化的粘弹性聚合物复合在聚乙烯薄膜上制成的冷缠胶带，防腐效果很好，近年来发展较快，以往多用于场站埋地管道、弯头、三通、阀门、法兰等防腐，该防腐技术对防腐工现场操作要求较低，补口质量容易保证，在长输管线上多应用于管道防腐层补伤修复，用于防腐补口造价相比热收缩套（带）较高。

设计推荐采用环氧底漆+热收缩套（带）补口方式和粘弹体防腐胶带+外保护层补口方式，开挖穿越水域段和地下水位高度超过管底标高段采用粘弹体补口，其他地段可采用热收缩套（带）补口。

2) 补伤方案

防腐管道现场补伤应符合 GB/T 23257-2017 的要求，根据破损点的大小采用相应的聚乙烯热收缩带或聚乙烯补伤片，即损伤处直径 $\leq 30\text{mm}$ 时，可采用辐射交联聚乙烯补伤片修补；直径 $> 30\text{mm}$ 的损伤，先用贴补伤片，然后采用热收缩带包覆，包覆宽度应比补伤片的两边至少各大 50mm。

现场补伤也可采用粘弹体胶带+外保护层的方式，粘弹体胶带包覆宽度应比防腐层损伤大 50mm，外保护层包覆宽度应比粘弹体胶带两边至少各大 50mm。

3) 补口、补伤质量控制

控制补口质量的瓶颈主要在于现场施工操作和检测手段上，热收缩带施工采用手工操作方式，施工质量很大程度取决于操作人员的技术水平和责任心，加之各厂商材料质量、施工性能存在差异，为控制补口质量，应对厂商的操作工艺进行评定，加强施工操作人员的岗前培训和现场质量监督。对现场施工操作中的重要环节加强检查与检测，如：应采用喷砂除锈，加强表面处理清洁度、粗糙度和粉尘度的检测，并注意收缩完成后的回火，保证热熔胶能充分熔化，尤其是管道底部与 PE 的搭接部位密封性。以提高外防腐层体系中这一薄弱环节的可靠性。聚乙烯热收缩带及补伤片性能及质量检验执行《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》GB/T23257-2017 的要求；热收缩带应按标准要求进行抽检，抽检合格后方可投入使用。

5.2.5 弯管外防腐

1) 冷弯管防腐层

冷弯管可用三层 PE 防腐层的成品直管防腐管经冷弯机弯制而成，即冷弯管防腐层仍采用三层 PE 防腐层。在弯制过程中应采用适宜的工艺和器具，避免对管道防腐层造成损伤。

2) 热煨弯管防腐层

热煨弯管由于其形状的特殊性，在作业线上进行外防腐层的涂敷预制工艺控制复杂、生产速度较慢；在施工长途运输中易受到磕碰撞击，布管中具有地形平坦地段数量少而分散，使用数量多且集中的地段又是地形起伏相对较大、道路依托较差的区域，因此，要求外防腐层应具有良好的耐磨和抗冲击性能。

近年来在大口径天然气管道上热煨弯管外防腐层采用的方案有：双层熔结环氧粉末、单层熔结环氧粉末包覆外防腐层或聚乙烯热收缩带虾 m 状搭接包覆的方式、无

溶剂液体环氧涂料外缠聚丙烯胶粘带等。其中，弯管双层熔结环氧粉末防腐层应用较多，工艺较成熟，并有相应的标准 SY/T0315-2013《钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范》为指导。由于采用在弯管防腐作业线进行预制，防腐层质量受人为因素影响相对较小。

选择热煨弯管防腐方案时应综合施工周期、防腐层的性能特点、预制工艺的成熟性、地形和土壤环境条件等因素确定。设计推荐热煨弯管外防腐可采用“双层熔结环氧粉末+聚乙烯热收缩带”方案。

双层熔结环氧粉末外防腐层应由内、外两层环氧粉末一次喷涂成膜而构成，外防腐层厚度：内层厚度应 $\geq 300 \mu\text{m}$ ；外层厚度应 $\geq 500 \mu\text{m}$ ；总厚度应 $\geq 800 \mu\text{m}$ 。对检验合格的双层熔结环氧粉末外防腐热煨弯管，在涂层固化后外包裹聚乙烯热收缩带。热煨弯管防腐层预制中原材料的性能指标要求、施工和检验要求应符合《钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术规范》（SY/T0315-2013）及《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》（GB/T 23257-2017）的规定。

5.3 线路阴极保护

5.3.1 阴极保护方案

目前常用的高压管道阴极保护方案有牺牲阳极法以及外加电流法两种保护方式。

强制电流保护的特点：输出电流连续可调；保护范围大；受土壤电阻率影响小；保护装置寿命长；适用于长距离、大口径管道。但需要外部电源；对邻近金属构筑物及金属管道存在一定干扰。

牺牲阳极保护的特点：不需要外部电源；保护电流分布均匀、利用率高；对邻近金属构筑物及金属管道无干扰；适用于小管径短距离管道。但其受土壤电阻率影响较大；保护电流不可调；对管道防腐覆盖层质量要求高。

本工程新建管几乎全线位于市政道路下，沿途涉及铁路、地铁、高压输电线，预计杂散电流、交直流干扰严重，结合建设单位对高压管道阴极保护管理经验，本工程阴极保护方案推荐采用强制电流保护法。

5.3.2 阴极保护设计基础资料

- 1) 最小保护电位: -0.85V (相对于 Cu/CuSO₄ 参比电极);
- 2) 最大保护电位: -1.15V (相对于 Cu/CuSO₄ 参比电极);
- 3) 保护电流密度: 5μA/m²~10μA/m²;
- 4) L485 钢管电阻率: 0.230 Ω · mm²/m。

5.3.3 阴极保护标准

按照 GB/T 21448-2017《埋地钢质管道阴极保护技术规范》的要求,本工程线路管道阴极保护电位准则:断电电位处于-0.85V~-1.15V(相对于 Cu/CuSO₄ 参比电极,消除 IR 降后)范围内。

5.3.4 阴极保护设计工艺计算

- 1) 计算公式

$$L = 2L_p = \sqrt{\frac{8 \times \Delta V}{\pi \times D_p \times J_s \times R_s}}$$

$$R_s = \frac{\rho_\tau}{\pi(1000D_p - \delta)\delta}$$

式中:

L ——管道保护长度 (m)

L_p ——单侧保护管道长度 (m)

ΔV ——最大保护电位与最小保护电位之差 (V)

D_p ——管道外径 (m)

J_s ——保护电流密度 (A/m²)

R_s ——管道线电阻 (Ω/m)

ρ_τ ——钢管电阻率 (Ω·mm²/m)

δ ——管道壁厚 (mm)

- 2) 计算结果

单座阴极保护站保护半径计算结果详见表 5.3-1:

表 5.3-1 线路管道阴极保护范围计算结果

防腐层类型	三层 PE	
保护电位范围	V (CSE)	-0.85 ~ -1.15
管道外直径	mm	508
管道壁厚	mm	14.2
钢管电阻率	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	0.230
管道纵向电阻	Ω/m	6.03E-06
保护电流密度取 $10 \mu\text{A}/\text{m}^2$ 时		
单侧保护长度	km	60.01
双侧保护长度	km	120.01
保护电流密度取 $5 \mu\text{A}/\text{m}^2$ 时		
单侧保护长度	km	84.86
双侧保护长度	km	169.72

5.3.5 阴极保护站设置

阴极保护站的合理设置是综合多种影响因素的结果，根据本工程的具体情况，主要从下列方面考虑确定：

1) 新建各工艺场站、阀室的位置及间距：阴极保护站尽可能依托工艺场站，以便有可靠的交流电源，便于维护管理。

2) 阴极保护工艺计算的保护半径：依据地形、土质状况、施工环境条件及运行使用经验，确定合理的计算参数，确保保护半径应足以覆盖被保护管道长度。

3) 为今后管理监测中方便测试极化后电位尽可能创造条件。

结合广源门站已建阴极保护站，本工程线路管道在其保护范围内，故本工程不再新建阴极保护站，利用广源门站已有阴极保护站对本工程管线进行保护。

5.3.6 阴极保护系统构成

强制电流方式阴极保护利用外部电源对被保护金属结构物施加一定的负电流，使结构物的电极电位通过阴极极化达到规定的保护电位范围，从而抑制腐蚀获得保护。

线路阴极保护系统主要由供电系统、阴极保护站、恒电位仪、控制柜、连接电缆、辅助阳极、参比电极以及测试设施等构成。

(1)供电系统

管道沿线可利用的电力资源及供电设施条件较好，电源主要依靠工艺场站及监控阀室内的电源。从经济、安全可靠考虑，主要采用交流供电方式。

(2)阴极保护电源设备

阴极保护电源设备采用 2 路独立输出，每路均为 50V/60A，本工程管道用 1 路，备用 1 路。电源采用 380V 交流电源。

阴极保护电源设备与自控、通信设备统一布置在机柜间内。多路输出阴极保护电源设备采用恒电位仪型，其应具有以下主要功能：

- (1) 恒电位范围在 0V~-3.0V 内手动连续可调。
- (2) 具有过流保护、防雷保护、抗交流干扰等功能。
- (3) 应具备手动转换成恒电流工作方式的功能，或具备手动锁定恒电位工作方式的功能。
- (4) 具有手动转换到测试状态，并自动保持断 3s 通 12s 的断电测试状态功能，并满足通 4s 断 1s 进行快周期 DCVG 和 CIPS 检测要求。
- (5) 具有各路输出电流、保护电位由数字式仪表就地显示功能。
- (6) 满足与自控 SCADA 系统配合，实施调度控制中心对阴极保护站的数据采集和设备工作状态控制。

(3)阳极地床

阳极地床一般有两种型式：浅埋式地床和深井地床。浅埋地床应埋设在冻土层深度以下，深井地床一般埋深 15m 以下。浅埋阳极地床具有施工费用低，技术设备简单，维护管理方便等特点，但有占地面积相对大、对地下邻近金属构筑物干扰大的缺点。深阳极地床用于地理、地形状况无法埋设浅阳极地床、对邻近金属构筑物可能产生干扰和地表土壤电阻率的高地区。深阳极地床有以下优点：

- (1) 提供的电流分布比浅阳极地床均匀；
- (2) 对其它地下建构筑物影响小；
- (3) 比浅阳极地床受季节含水变化的影响小，并且常不受冰冻的影响。

5.3.7 阴极保护电绝缘

为实施阴极保护电绝缘，保障阴极保护效果，防止阴极保护电流的流失，本工程根据需要在进出工艺场站管道上安装相应规格的绝缘接头，防止线路阴极保护电流通过站内工艺管道接地网泄漏。

绝缘接头性能指标及检测应符合《绝缘接头与绝缘法兰技术规范》（SY/T 0516-2016）和《阴极保护管道的电绝缘标准》（SY/T 0086-2012）以及相关技术规格书的要求，为保证其质量，出厂前应进行水压试验、气密性试验、水压加弯矩试验、绝缘电阻测试及电绝缘强度试验等检验。

5.3.8 防电涌保护

为减轻电力故障或雷电状况下对绝缘接头以及阴极保护设备的强电冲击影响，在进出场站管道绝缘接头处应设置浪涌保护器，并本着就近泄放原则，将保护器泄放端与共用接地网连通。

由于本工程管道受杂散电流干扰情况较为严重，因此管道上防电涌保护器均采用固态去耦合器，通过固态去耦合器与接地网直接连通，即采用《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》（GB/T50698-2011）中的集中接地方式，同时进行雷电防护和交流干扰防护。场站去用户支线绝缘接头安装处，防电涌保护器采用低启动电压（30V）、大泄放电流（45kA）的等电位保护器。

固态去耦合器主要技术参数如下：

额定雷电冲击通流容量（8/20 μ s）100kA；

限制电压小于 1000V。

5.3.9 线路临时性阴极保护

根据 GB/T 21448-2017《埋地钢质管道阴极保护技术规范》中的相关规定，为防止已埋地的管道被腐蚀，采用牺牲阳极作为临时性保护措施。

临时保护选用 8kg 镁合金阳极。埋设点位于相应的测试桩处，牺牲阳极通过测试桩向管道提供阴极保护电流。待强制电流阴极保护系统投运后，需断开牺牲阳极与管道的连接。

5.3.10 特殊地段的阴极保护

对采取不同穿越方式的河涌、公路、铁路穿越段管道均纳入全线阴极保护系统，实施强制电流阴极保护。

管道在穿越高速公路、等级公路时采用钢筋混凝土套管保护，为防止套管内管道腐蚀，管道与套管之间应采用绝缘支撑，且套管端部及中部接口处应采用防水、绝缘、耐用的材料密封。穿越段施工应加强对防腐层的保护，经 100%电火花检漏确认无漏点后方可穿入套管内。

5.3.11 阴极保护测试系统

(1)设置原则

阴极保护电参数主要包括：保护电位、电流和防腐层电阻，为运行管理中了解和掌握阴极保护系统的工作情况，检测和评价阴极保护的有效性，需设置必不可少的检测设施。本工程外腐蚀检测设施包括两类：沿管线设置的各种类型的测试桩；以及通过与各监控阀室或站内的 SCADA 系统配合，可根据需要及时和同步采集监测阴极保护系统最重要参数保护电位的电位远传设备和阴极保护电源设备。

测试桩设置原则：

- (1) 每 800m 设置 1 支电位测试桩；
- (2) 每 3 公里设置 1 支电流测试桩；
- (3) 在钢筋混凝土套管保护段单侧增设 1 支电位测试桩。
- (4) 电位测试桩和电流测试桩可兼做线路里程桩。

(2)普通测试桩

桩体采用 3m 长的 $\text{Ø}108 \times 4$ 钢管制作或者采购玻璃钢成品，测试桩电缆采用 YJV-0.6/1 $1 \times 6\text{mm}^2$ 电缆。电流测试桩采用 4 线式标定法电流测试桩，电位桩采用 2 线式测试桩。

(3)数据远传

阴极保护站均具有与 SCADA 系统相结合的功能，将阴极保护站重要参数（管地电位、输出电压、输出电流）远传到控制中心，运行管理人员能方便、及时地了解阴极保护运行情况或判断故障原因。

在未设置线路阴极保护站的场站安装电位远传设备,实现该处阴极保护管地电位的采集与远传功能。电位传送器将 0~-3V 的管/地电位信号转换成 4mA~20mA 的 RTU 输入信号,再通过通讯线路传输至控制中心,实行保护电位的远程采集与远传;同时在“通/断”测试期间,控制中心随时可以及时获知同一时刻被保护管道的管/地电位,并以此为参考调整每个阴极保护站阴极保护电源设备的控制电位,使全线阴极保护系统处于最佳的工作状态。

电位传送器性能要求:

1)具有将 0~-3V 范围的管/地电位信号转换成 4mA~20mA 的 RTU 输入信号的功能,系统变换误差 $\leq 2\%$;

2)在电位传送器的输入端施加有效值为 30V 的工频干扰信号,传送器应能正常工作,且输出直流电位信号的偏移应小于 5mV;即当管道上的交流干扰信号在被设备内装置衰减 100 倍以上后,才进入电量变换器。

3)具有较强的抗强电防雷击自我保护功能。设有锯齿型火花隙、压敏电阻浪涌吸收型通流避雷器和稳压二极管限幅器三级雷电泄放系统保护功能。

5.4 交、直流干扰防护

5.4.1 交流干扰防护

本工程存在管道与高压交流输电线路并行情况,可能存在较严重的交流干扰,且主要分布于管道与高压输电线路并行段及管道与高压输电线路交叉靠近其杆塔接地处。根据《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》(GB/T50698-2011),本设计从交流感应持续干扰和强电冲击瞬间干扰两个方面采取防护措施。其中,针对持续干扰最可行的防护措施是排流接地。接地的前提条件是:不能与管道的阴极保护发生冲突,影响阴极保护系统的保护范围和效果。

主要的排流保护方式有三类:直接接地、隔直接地和负电位接地。直接接地具有防护效果好,经济的优点,但同时会漏失阴极保护电流,影响保护效果;简单的隔直接地能有效隔离直流保护电流,但其弱点是耐雷电流或电力系统故障电流的强电冲击性能较差,存在防护设施被毁坏的可能;负电位接地在采用锌带接地时,同时具有不漏失阴极保护电流、防护效果好的优点,但由于与管道直接连通,难以实施瞬间断

电测量，无法评价阴极保护有效性。固态去耦合器接地的方式是目前国内外应用较普遍的方式，当管道上只存在阴极保护电流时，固态去耦合器内的隔直流通交流模块动作，防止漏失保护电流；当管道上出现短时大电流冲击时，固态去耦合器切换到防电涌模块动作，通过接地材料向大地泄放大电流。通过器件间的能量配合，排除持续交流干扰和瞬间强电冲击对管道阴极保护系统的影响。相比传统的隔直接地装置，固态去耦合器增加了防雷电保护元件，能有效防止隔直元件被雷电或电力系统故障电流击穿或烧坏，由于其低阈值电压和雷电冲击漏泄电流量大（100kA）的特点，具有降低感应电压效果好、维护方便、适用性强的优点，但成本相对较高。

根据上述分析，考虑公用走廊内管道和电力设施两者安全的重要性，在管道与110kV及以上输电线路最外侧边导线间距 $\leq 300\text{m}$ 且累计并行长度超过2km的环境下，采用设置一定数量的固态去耦合器加锌带的排流保护方式，锌带采用ZR-2型高纯锌带，锌带宜与管道平行敷设，以减少开挖工程量。排流防护设计原则如下：

从起点开始，以一定距离设置一处交流干扰防护点，交流干扰防护点位置允许前后有所调整（100m范围内），需尽量设置在附近土壤电阻率相对较低的位置；在管道进入或远离输电线路走廊位置处需设置一处交流干扰防护点。

强电冲击瞬间干扰的防护措施主要包括：

1) 在选定线过程中，尽可能地保证管道与平行的高压输电线路外相线投影的安全间距；

2) 在管道与高压输电线路交叉或靠近处，保证管道与接地体的安全间距及与输电线路的交叉角度；

3) 当由于路由限制，管道与电力杆塔接地体间距无法满足要求时，应设置固态去耦合器并设连接同沟敷锌带的屏蔽线方式，以减轻电力故障或雷电情况下对防腐层、绝缘装置、阴极保护设施的损坏。但必须保证杆塔接地极与屏蔽线的净距不小于2m，否则应迁移接地极。

4) 在进、出场站的管道上采取固态去耦合器集中接地防护方式排流保护。

根据受交流干扰段的具体环境情况及标准《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》（GB/T50698-2011）第8.2节第1条内容规定的要求，本设计设定的交流干扰减缓目标为：

(1) 在土壤电阻率不大于 $25 \Omega \cdot \text{m}$ 的地方，管道交流干扰电压低于 4V ；在土壤电阻率大于 $25 \Omega \cdot \text{m}$ 的地方，交流电流密度小于 $60\text{A}/\text{m}^2$ 。

(2) 在安装阴极保护电源设备的场站附近及测试桩位置处，管道上的持续干扰电压和瞬时干扰电压应低于相应设备所能承受的抗工频电压和抗电强度指标，并满足安全接触电压的要求。

对于交流干扰防护设施的设置非一次性完成，应在管道投产运行后，对管道所受的干扰影响和防护效果按《埋地钢质管道交流干扰防护技术标准》(GB/T50698-2011) 中的规定进行测试及评定，根据评定结果对交流干扰防护系统进行评价。再根据评价结果进行防护设施的调整。

管道组焊以后下沟回填以前，管道与大地绝缘，由于高压输电线路与管道形成大电容，为此要求在高压输电线路走廊附近的管道连续焊接长度超过 300m 时，应采取临时接地措施，以消除容性影响，避免管道上焊工或其它施工人员的电击。

5.4.2 直流干扰防护

对长距离天然气管道可能产生直流干扰的因素有：高压或超高压直流输电线路换流站、大功率的发射站、使用直流的采矿系统（直流窄轨矿车或挖掘设备）、直流电焊设备、直流电解工厂、其它阴极保护系统的阳极等。

经现场调研，本项目建设地点周边存在已建成的特（超）高压直流输电线路的换流站及接地极，现阶段缺少相关干扰监测数据，管道敷设完成后应与输电线路管理方加强沟通协调，密切监测输电线路接地排流对天然气管道阴极保护系统的影响，进一步采取防护措施。

5.5 场站、阀室工程防腐

5.5.1 地面管道及设备外防腐

站内地面设备、管道主要采用涂装防腐涂料的方式进行防腐。用于地面管道及设备的防腐涂料，应具有与金属表面良好的粘结力、防水、防大气腐蚀、耐紫外线老化、耐候性好，同时应具有良好的装饰性。

在选择涂料时，应根据地面设备和管道的运行温度、所处环境条件，以及涂料的

性能特点、使用寿命和适应性、配套性，进行综合考虑，选择合理的配套方案。

本工程推荐采用涂装附着力强、耐候性优异、抗紫外线性能好、防腐性能好、不易褪色、装饰性好、使用寿命长的氟碳涂料防腐。涂装结构为环氧富锌底漆（厚度 $\geq 80\mu\text{m}$ ）-环氧云铁中间漆（厚度 $\geq 100\mu\text{m}$ ）-氟碳面漆（厚度 $\geq 80\mu\text{m}$ ），防腐层总厚度 $\geq 260\mu\text{m}$ 。对于已涂刷环氧富锌底漆的设备、管件只需涂刷环氧云铁防锈漆和氟碳面漆。

防腐层质量是“三分材料、七分施工”，配套底漆涂敷前，钢管表面必须进行喷砂除锈，表面处理应达到《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》（GB/T8923.1-2011）规定的 Sa2½级，锚纹深度为 $40\mu\text{m}\sim 75\mu\text{m}$ ，清洁度等级至少应达到《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的评定试验 第 3 部分:涂覆涂料前钢材表面的灰尘评定(压敏粘带法)》（GB/T 18570.3-2005）规定的 3 级。为保证防腐质量宜采用专用喷涂设备，在管道及设备表面处理达到要求后，应尽快涂装，涂装应在台架上进行。涂料的性能指标及涂装施工应符合《石油天然气站场管道及设备外防腐层技术规范》（SY/T 7036-2016）的规定。

管道和设备涂刷的颜色应符合《城镇燃气标志标准》（CJJ/T 153-2010）的规定和建设单位企业标准化识别要求的规定。

5.5.2 埋地管道及设备防腐

场站内埋地管道管径规格多、长短各异，在外腐蚀程度的检测和管道的维护、更换方面都更为困难。因此，在选择外防腐层时应综合考虑站内埋地管道的特点、环境条件和防腐材料的性能特点等影响因素，合理选用。

三层 PE 外防腐层是工厂预制，质量易保证性，性能最可靠，但缺点是站内管道管径较多但长度相对较短，且管径较小、长度较短的管道存在预制困难的问题；聚乙烯胶粘带的特点是现场施工方便、防腐层完整性较好、吸水率低；粘弹体防腐材料对除锈要求低，防水密封性好，可塑性佳，适用于埋地阀门等异形件防腐。根据被涂敷构筑物及现场施工和环境的特点和国内同类大型工程的应用情况，本设计推荐采用的方案为：

- 1) 站内 $\text{DN}\geq 100$ 且累计长度 ≥ 200 的埋地管道使用三层 PE 常温型加强级外

防腐层，三层 PE 防腐管补口采用环氧底漆/辐射交联聚乙烯热收缩带，其余埋地管道补口采用聚乙烯胶粘带（带隔离纸型）特加强级。三层 PE 防腐层的性能指标、预制、检验和施工执行 GB/T23257-2017。

2) 其它埋地管道以及弯头、三通等管件，采用带配套底漆的聚乙烯胶粘带（带隔离纸型）特加强级防腐，聚乙烯胶粘带施工应使用手动缠绕机，以保证胶带平整和缠绕时有足够张力和粘接力。聚乙烯胶粘带防腐层的性能指标、预制、检验和施工执行标准《钢质管道聚烯烃胶粘带防腐层技术标准》（SY/T 0414-2017）中带隔离纸型的要求。

聚乙烯胶粘带防腐层结构为一层底漆一层胶粘带，胶粘带缠绕搭接宽度为胶粘带宽度的 50%~55%，缠绕时应保持足够张力，防腐层总厚度 $\geq 1.4\text{mm}$ 。聚乙烯胶粘带的材料性能指标应符合：剥离强度（对底漆钢） $\geq 20\text{N/cm}$ ，剥离强度（对背材） $\geq 20\text{N/cm}$ ；其它指标应符合 SY/T0414-2017 中带隔离纸型的要求。管道表面预处理：采用喷砂除锈，管道表面预处理质量必须达到标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》（GB/T8923.1-2011）规定的 Sa2½级要求。

3) 埋地阀门采用粘弹体防腐材料进行防腐。

4) 站内立管出入土部位，从地下 100mm 至地面上 200mm 范围内采用带配套底漆的聚乙烯胶粘带特加强级防腐层或聚乙烯热收缩带进行防腐，再在管道出入地面上下各 200mm 管段防腐层表面用铝箔缠带进行耐候防护。

5.5.3 区域性阴极保护及主要工程量

由于本工程新建的站内埋地管道采用性能、完整性较好的防腐层，采用镀锌扁钢和角钢作接地网材料，且土壤腐蚀性为弱等级，因此管道受腐蚀的风险小。但应严格按设计文件要求做好埋地管道外防腐层的施工和检验，尽可能减少防腐层的缺陷，保证防腐层的完整性；管理部门在每座站内可定期组织对埋地管道进行开挖，对管道腐蚀层情况加强监测，随时对管道防腐层破损点进行修补。

本工程场站内区域性阴极保护采用牺牲阳极法，因施工现场无法保证防腐层的完整性，为保险起见，可采用牺牲阳极“试凑法”对站内埋地管道进行区域性阴极保护。所谓“试凑法”就是通过预先埋设一定数量的牺牲阳极，测量被保护管道的保护电位，

若电位达不到要求，增加阳极数量，使被保护管道电位达到保护要求的方法。

表 5.5-1 场站（旺隆电厂计量撬、收球撬）阴极保护主要工程量表

序号	名称规格	单位	数量	备注
1	棒状锌合金阳极 25kg	套	10	含填包料
2	测试桩（成品桩）	套	5	
3	极化探头 LJT-CSE-I	套	5	
4	电缆 YJV-0.6/1-3x6	米	50	
	YJV-0.6/1-1x10	米	100	
	YJV-0.6/1-1x16	米	100	
5	便携式参比电极	套	1	

5.6 管道防腐层完整性及阴极保护有效性测试评价

5.6.1 管道自然电位测试

在管道下沟后，连通前，应完成管道沿线自然电位测试，测试记录应完整。

5.6.2 防腐层完整性检测

引起埋地管道外部腐蚀的原因主要为：涂层缺陷，在管道存在涂层缺陷的部位，当阴极保护失效时，就可能加速埋地管道外腐蚀的发生和发展，为提前预控管道的腐蚀风险，充分体现完整性管理中预防为主的思想，根据 GB/T 19285-2014《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》的相关规定，管道下沟回填密实后，需对全线管道进行地面检漏测量，准确确定破损点位置，定性判断防腐层质量。在阴极保护系统调试时，应按 GB/T 21447-2018 的要求对保护电位进行测试，确认管道得到充分保护后方可交工，否则施工单位应对防腐层进行修补。

5.6.3 阴极保护有效性评价

在管道试运行调试期，为消除管道外表面上的腐蚀活跃点，正确评价管道沿线各处是否获得有效的阴极保护，是否存在欠保护或过保护情况，应对全线进行密间隔（CIPS）测试，并调试最佳恒电位仪控制电位，使沿线各点的 UOFF 电位均在允许

的准则电位范围内。所有参数的现场测试应符合标准《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》（GB/T21246-2007）的要求。

6. 自动控制

6.1 概述

6.1.1 设计范围

本项目自控设计范围为旺隆电厂内收球计量站的现场检测仪表和控制系统。

6.1.2 动控制水平

根据天然气输气工艺及操作水平的要求，本工程仪表和自动控制系统，以实现现场站“有人值守、无人操作、远程监控”的控制水平为目标，保证整个天然气管道安全、可靠、平稳、高效、经济地运行。

为了对管线科学、合理管理，提高整个输气系统的可靠性，保证人身、设备安全和平稳供气及环境保护，自动控制系统采用 PLC（Programmable Logic Controller）系统和 RTU（Remote Terminal Unit）系统，对场站的工艺参数、设备运行状况进行数据采集、监视和控制；对阀室的工艺参数状况进行数据采集、监视，并将运行参数上传至调度控制中心。

6.2 设计原则

6.2.1 系统设计原则

现场检测仪表及控制系统的设计将遵循以下原则：

1) 自动控制系统能自动、连续地监视和控制管道的运行，保证管道、设备、人身安全；

2) 采用的设备及系统应是先进适宜、性能价格比高，能满足所处环境和工艺条件，在工业应用中被证明是安全可靠的产品。

6.2.2 防爆和防护等级

处于爆炸危险性场所的电动仪表及电气设备按隔爆型设计。所选用的电气设备必须具有公认的权威机构颁发的符合有关标准的防爆合格证书。

标准： GB 50058 或 CENELEC 或其它等效的标准。

防爆标志/防护等级： Ex d II BT4 /IP55（最低） ——室内；

Ex d II BT4 /IP65（最低） ——室外。

6.2.3 计量系统

贸易交接计量系统的准确度等级按 GB/T 18603《天然气流量计量系统技术要求》中 A 级（1.0）进行设计。

6.2.4 火灾及气体检测报警系统

本工程中在工艺装置区、热水炉间等泄漏源位置均设置可燃气体探测器，在可能发生火灾的空间设置火焰探测器。

6.3 自动控制方案

6.3.1 自动控制系统总体方案

本工程设计站控系统采用有人值守类型，站内采用 PLC 控制现场设备，并通过通信将各站数据上传至现有调度中心（东区分公司机房）。

6.3.2 控制方式

站控系统完成数据采集和控制功能，并通过通信系统将数据传输至调控中心。

本工程按照三级控制模式进行设计，即：

- 1) 调控中心控制；
- 2) 站控系统控制；
- 3) 就地手动控制。

正常情况下由调控中心对天然气管网进行监视、调度和管理。在控制中心授权或计算机控制系统以及通信系统故障时，可以由站控系统接管控制权来完成站工艺系统的控制。在站控系统授权或站控系统故障的状况下，可进行就地操作。在调控中心发出 ESD 命令、站 ESD 手动按钮动作的情况下关断场站的进、出口紧急截断阀，打开场站内放空阀，放空站内管道的天然气。

6.3.3 有人值守场站控制系统

场站控制系统由站控系统、火灾及气体检测报警系统和通信系统等组成。详见图 6.3-1 控制系统网络结构配置图。

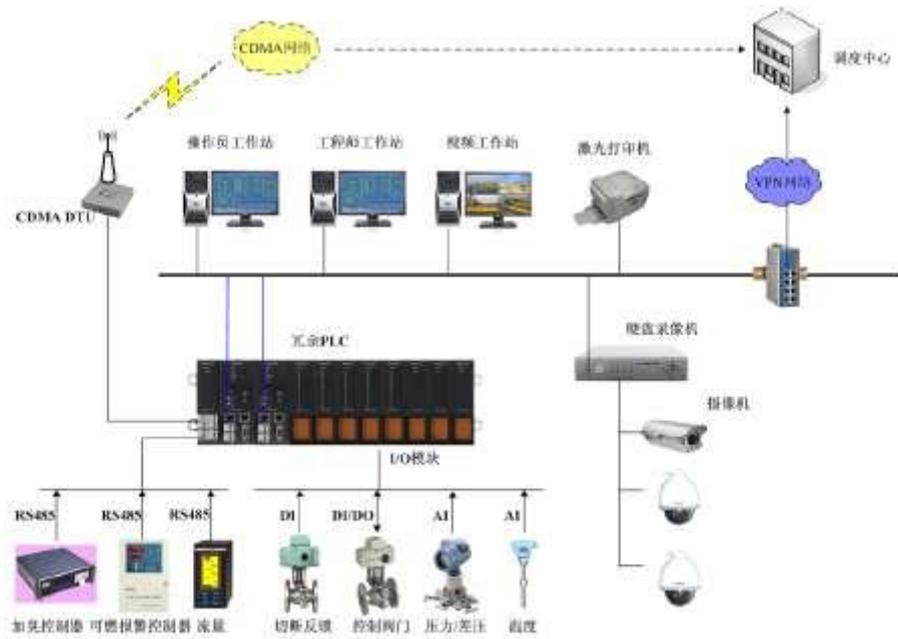


图 6.3-1 控制系统网络结构配置图

一、有人值守场站站控系统硬软件配置

有人值守场站站控系统主要由计算机网络系统、控制单元、操作员工作站、数据通信接口等构成。采用可编程序逻辑控制器（PLC-Programmable Logical Controller）完成场站的监视控制、ESD 系统完成场站安全联锁保护、作为人机接口的操作员工作站采用工业级的计算机。

可编程序逻辑控制器（PLC）主要由处理器 CPU、I/O 模块、网络通信模块、电源、安装附件等构成。用于安全联锁的 I/O 模板独立设置，并具有安全完整性等级认证。

（2）站控系统的软件配置

为完成站控系统任务，需配置的软件为：

- A.Windows 操作系统；
- B.HMI 组态软件
- C.控制单元组态软件

站控系统的软件控制单元应用程序根据管道系统的操作原理编写过程控制程序，PLC 控制软件应符合 IEC61508 中的相关要求。

二、控制系统主要功能

基本过程控制系统完成输气场站的监视控制，保证站内设备安全、可靠操作及运行，监视和控制工艺过程及设备状态，确保天然气管道的平稳安全运行。同时将有关信息传送给调控中心，接受调控中心下达的指令。基本过程控制系统的主要功能如下：

- A.接受和执行控制中心的控制命令，进行控制和调整设定值，并能独立工作；
- B.过程变量的巡回检测 and 数据处理；
- C.提供工艺场站的运行状态、工艺流程、动态数据的画面或图形显示，报警、存储、记录和打印；
- D.显示各种工艺变量、报警一览表和其它有关参数；

- 支持远程或服务器产生的报警
- 在服务器上发布报警系统
- 丰富的报警过滤选项
- 历史事件查看器
- 导出报警摘要到 MS Excel 或 MS word
- 可通过 ODBC 访问报警内容
- 记录所有重要的用户行为（如信号改变、报警获取、登录信息等）
- 报警打印机，可配置用来打印所有报警或过滤后的报警
- 报警可发送到 email、寻呼机、手机或蓝莓设备上
- 可从 PDA/手机或蓝莓设备上获知报警
- 包括扩展报警

E.显示实时趋势曲线和历史曲线；

- 历史趋势实时更新
- 一个趋势中混合实时和历史数据
- 每个趋势无画笔限制
- 数据质量和报警限制
- 渐变阴影和图片背景
- Excel, JPG 和 BMP 格式导出
- 从显示画面可以托拽出趋势图

- 右键点击报警或 SQL 询问形成快速趋势
- 内置的趋势模板可以让操作人员快速创建和保存他们自己的趋势
- 趋势图层叠允许同一个曲线下新老数据的对比
- 性能模式增加了无线网络上的趋势传输性能

F.监视各场站变电和配电系统的状态;

G.监视工艺场站和站控制室火灾、火焰、可燃气体等安全状况。

H.站控/中心通断检测功能;

I.向调控中心上传生产数据、报警及诊断信息;

- 基于文字和图形的报告形式
- 支持 PDF, xLS, HTTP, xML 格式
- 通过 email, 网络服务器和打印机生成
- 支持 OpenEnterprise 实时数据、历史数据、报警和诊断数据
- 报告中还包含来自第三方数据库的数据, 如 SQL Server 和 Oracle
- 手动选择和生成某特定时间和日期的报告

J.安全性

- 基于用户/组的安全模式
- 控制到所有数据库对象的访问
- 控制到组态功能的访问
- 责任分区
- 支持 SQL 的 Grant 和 Revoke 语句

K.网页浏览精简客户端

- 支持 WS 操作系统内的第三方网页工具
- 提高的安全性能——内置的网页浏览器限制用户编辑组态网站, 不需要用 IE 访问
- 访问控制受 OpenEnterprise 安全软件限制
- 用于 GIS, CMMS 和其他工厂互联网应用

三、紧急停车系统功能

紧急停车主要功能是使工艺过程从危险的状态转为安全的状态, 保障管道能够在

紧急的状态下安全的停输，同时使系统安全地与外界截断，阻止事故和危险的扩散。

紧急停车系统包括三个层次：

—ESD 系统；

—超压保护系统；

—安全联锁保护程序；

紧急停车系统主要由检测仪表、控制器和执行元件三部分组成。

A.检测仪表：现场压力、火灾、可燃气体浓度等传感器，其设置与过程控制系统的仪表分开。

B.控制器：采用独立的控制单元，符合 IEC61508 要求，具有 SIL2 安全完整性等级认证的设备。

C.执行元件：执行必要的动作，使工艺过程处于安全状态的设备，如 ESD 阀门、安全切断阀等设备。安全仪表系统的所有电驱动设备均应 UPS 供电。

系统功能：完成本站的紧急停车，同时接受调度控制中心下达的 ESD 命令。ESD 系统是保证管道及沿线场站安全的逻辑控制系统。ESD 命令优先于任何操作方式。

四、站控系统选型

1) 站控系统硬件

a) 过程控制单元所选用的模板均为带电可插拔型模板，且每块模板都具有自诊断功能。

b) 过程控制单元处理器能接受、处理其它站拷贝来的子程序处理器的版本升级应采用 FLASH 方式，而不用更换处理器。

c) 过程控制单元系统满足所需的热备冗余配置要求。

d) 对硬件的地址分配设置、I/O 的量化等采用组态的方式完成。

e) 场站过程控制单元的处理器与 I/O 模块之间采用标准工业型局域网。

2) 站控系统软件

a) 过程控制单元操作系统软件，支持过程控制单元组态软件运行。

b) 过程控制单元组态软件。

- 该软件能在标准中文 Windows 操作系统下运行，既可安装在作为编程器的笔记本计算机内，又能安装在操作员工作站中，且均可完成对过程控制单元的编程和

组态。过程控制单元组态软件选择功能强、使用灵活方便、界面友好的软件。

- 组态软件具有多种编程语言，如阶梯图、功能块等，可采用调用多级子程序，具有逻辑运算、数学运算、字符串运算等功能，采用组态的方式即可完成对输入输出信号的配置，具有组态多个复杂控制系统的能力，具有多个 PID 运算模块和其它常用的功能块。
 - 能将组态软件完成的执行程序下载到过程控制单元，同时又能将过程控制单元的程序翻译成阶梯图或者功能块等。
 - 对组态的程序有纠错能力。
- c) 过程控制单元应用程序。
 - d) 操作员工作站采用 WINDOWS 操作系统。

3) 工作站

操作员工作站是操作人员和站控制系统的人机接口，操作人员通过它可详细了解现场的运行情况，并可下达操作控制命令，从而完成对场站的监控和管理。操作员工作站完成数据采集和处理、实时和历史数据的管理、动态工艺流程及其它图形的显示、报警和事件管理、报表生成和打印等功能。

6.4 现场仪表

6.4.1 现场仪表选型

设备的选型以性能稳定、可靠性高、性能价格比高、满足所需准确度要求、满足现场环境及工艺条件要求、符合环保要求等为原则。

检测控制仪表是采集工艺过程变量、执行计算机控制系统命令的关键环节，是整个系统安全可靠运行的重要因素。因此选择仪表必须能满足其所需的准确度要求，满足其所处位置的压力等级、温度和防爆等级的要求。处于爆炸危险性场所的电动仪表及电气设备一般按隔爆型设计。

所选用的电气设备必须具有公认的权威机构颁发的符合有关标准的防爆合格证书， GB 3836 或其它等效的标准。

防爆等级：不低于 Exd II BT4。

防护等级：室内 IP55（最低）；室外 IP65（最低）。

远传信号的检测仪表一般选用电动仪表。电动变送器为智能型,其输出信号为 4~20mA DC (HART 通信协议, 二线制) 或现场总线数字输出模式。

1) 温度测量仪表

采用双金属温度计作为就地温度检测仪表, 准确度等级为 1.0 级。

采用一体化智能温度变送器(检测元件为 Pt100 的铂热电阻)作为远传温度检测仪表, 其输出信号为 4~20mADC (HART 通信协议), 24VDC, 二线制。

2) 压力测量仪表

采用弹簧管式不锈钢压力表作为就地压力检测仪表, 其准确度等级为 1.6 级。

远传压力信号采用智能型压力变送器, 用于流量计计量压力补偿用的压力变送器采用绝对压力变送器。变送器的测量原理宜为电容式或单晶硅谐振式, 其标准测量范围内的测量准确度为 $\pm 0.075\%$, 输出信号为 4~20mADC (HART 通信协议), 24VDC, 二线制。

3) 计量设备

用于天然气贸易交接计量的流量计, 采用气体超声流量计, 其精确度等级在正常工作范围内按 0.5 级设计。

超声波流量计前后应设置直管段。直管段设置为前 15D 后 5D。

本工程压力较高、流量变化范围大等特点, 流量计量系统采用较高精确度($\leq \pm 0.5\%$)的流量计量仪表, 以保证业主与用户的经济利益, 本工程流量计量选用气体超声流量计, 超声流量计原则上按流速小于 20m/s 进行口径选择。

流量计按 1 比 1 方式配置流量计算机。

流量计的标定采用送至标定中心进行检定的方案进行设计。

计量系统将超声波流量计、前后直管段、整流器及相应的温度和压力检测元件、流量计算机及机柜整体组装的方式供货。

4) 可燃气体浓度检测探头

采用红外探头对可燃气体泄漏进行在线监测, 并将相关数据传送至站控系统。减少误报率, 以保证人身、设备及生产过程的安全可靠。

5) 清管器通过指示器

清管器通过指示器有插入式和非插入式结构, 非插入式宜选用磁感应式。插入式

常用于收球筒上，非插入式一般用于发球筒出口管道。当清管器通过时进行就地指示及远方报警。

6) 控制电缆

模拟信号传输电缆选用铜芯屏蔽铠装控制软电缆；若同一根电缆中传输多个模拟量信号的电缆或通信电缆则选用分屏总屏结构。

数字信号选用铜芯铠装控制软电缆；通信电缆选用铜芯屏蔽铠装计算机用分屏总屏软电缆。

6.4.2 检测参数

本工程旺隆电厂内收球、计量站设置一下检测参数：

- 1) 在工艺场站进出口处设置温度、压力检测仪表。
- 2) 在过滤器设置差压变送器。
- 4) 计量管路设置流量（贸易）计量系统。
- 5) 在进出站管线上设置电动球阀，当进出站压力超过设定值时截断管线，当场站发生火灾、气体泄漏时截断管线并及时打开放空阀对场站进行紧急放空。
- 6) 收发球筒状态监测。

6.5 视频监控系統

为进一步完善调度管理，对主要工段、工况、工艺设备、电气、自控设备随时、随地的观测，并通过局域网随时在不同计算机上浏览，使经营管理能及时了解掌握现场情况，提前发现隐患及时处理，以保证场站正常运行，同时也能精简人员，在工艺装置区及构筑物内的关键部位设置视频监控系统。

本系统是基于 IP 架构数字视频监控系统，包含监控录像、一键视频紧急报警等功能。本工程场站设置 1 台高清摄像机。

监控中心位于控制室，内设硬盘录像机一台，视频工作站一台，带以太网卡。

系统应采用数据结构独立的专用网络，网络型数字视频安防监控系统的带宽设计能满足前端设备接入监控中心。

根据系统中存储设备对每路视频进行高质量的存储、回放，以每天连续录像 24 小时为依据，视频存储时间为 30 天以上。适用于局域网，城域网，能远程分控，运

行稳定：断电自动恢复，死机自动重启。根据需要系统能及时升级。

支持智能检索功能，在历史视频资料的检索中，对回放视频画面任意区域、任意目标画框，进行单独搜索，快速搜索出有用视频资料，避免无用视频资料播放、缩短检索时间。

支持 N+1 全局冗余热备功能，系统中任何一台存储设备出现异常，会有热备存储服务器自动启动工作，保证录像的完整性。

场站视频监控系统的的功能包括：

- a.能够清楚地观察通过进出入口人员和工艺装置区的情况；
- b.在大屏幕显示器上同时观察多个画面，并能对任意点进行定格、放大、同时录像；
- c.本地实时视频监视和回放；
- d.数字压缩存储；
- e.场站的工业电视监视图像通过租用的公网电路传输至调控中心。

6.6 红外周界报警系统

在场区围墙四周设置红外对射探测器，当有外人非法进入时探测器能产生报警信号，报警触点信号可以和视频监控系统实现联动控制。

本工程收球、计量站位于旺隆电厂厂区内，不设置红外周界报警系统，相关功能依赖电厂的设备与管理。

6.7 控制室

本工程电厂内收球、计量站配套控制室房间由电厂提供，控制室内放置站控系统机柜及端子柜、计量柜（安装流量计算机）、通信机柜等，以及操作员/工程师站、打印机、工业电视、辅助操作盘等。

场站控制室温度和湿度按规范要求设置，要求如下：

(1) 温度

机柜间： $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$

(2) 湿度

相对湿度保持在 40~60%。

6.8 仪表供电

本工程场站仪表用 220VAC 独立电源由电力专业敷设至仪表控制室，电源规格为 UPS 220VAC 50Hz；UPS 电源后备放电时间按 1h 设置；监视阀室仪表用 24VDC 电源由电力专业敷设至仪表机柜。供电具体设置见电气专业说明。

本工程站控系统机柜、计量机柜、电动调节阀及用于紧急放空的电动执行机构采用 UPS 供电。

6.9 防雷及接地

为保证设备安全和系统的可靠，在重要检测控制仪表信号传输接口、PLC 站控或 RTU 控制系统的 I/O 点侧、数据通信接口、供电接口等有可能将感应雷电所引起的高压引入系统的部位，均采取防护措施，以避免雷电感应的高压窜入，造成设备损坏。主要的现场检测仪表(流量计)应具有防雷保护的功能。本工程接地系统采用联合接地，接地电阻 $\leq 4\Omega$ 。联合接地体由电力专业统一设计。

6.10 电缆选型及敷设

本工程控制电缆选用阻燃型聚氯乙烯绝缘聚乙烯护套编织屏蔽控制钢带铠装软电缆，工艺设备区到控制室之间的电缆采用直埋敷设方式。

6.11 主要工程量

主要设备及工程量表见表 6.11-1。

表 6.11-1 主要设备及工程量表

序号	设备及项目名称	单位	数量
一	站控系统		
1	新建站控系统	套	1
二	计量系统		
1	超声计量橇	套	2
三	检测仪表		
1	压力表	支	3

广州增城旺隆气电替代工程项目燃气管线工程

2	温度变送器	台	4
3	压力变送器	台	4
4	差压变送器	台	2
5	清管指示器	台	1
6	电动球阀	台	7
7	可燃气体探测器	台	2
8	双金属温度计	台	2

7. 公用工程及辅助设施

7.1 通信

7.1.1 通信现状

本工程沿线已被运营商信号覆盖，可以为次工程提供有线及无线业务。

7.1.2 通信业务需求

根据本工程自控、生产调度等专业（方面）对通信的需求，本工程对通信业务的主要需求为：工艺设备自控数据的传输。

生产调度、维护抢修等工作的通信需求利用场站、电厂现有通信系统。

电厂计量设备自控数据传输：租用 10M 有线公网作为数据传输的主用通道，租用 2M 无线公网作为数据传输的备用通道，由机柜室汇集数据后统一传输至燃气集团。

7.2 供配电

7.2.1 设计范围与设计原则

(1)设计范围

本工程供配电部分设计范围为电厂内收球、计量站的供配电、动力、照明、防雷、防静电、接地系统及发电机组设计。外部电源接入方案及电力外线工程由业主委托地方电力部门完成，本次阶段开列其工程量。

(2)设计原则

根据同类型工程供配电系统设计、施工及运行经验，合理采用新技术、新材料解决工程中出现的问题，充分体现安全、环保、健康的理念。

- 1) 严格遵守国家法律法规，执行国家和行业最新版本的标准和规范；
- 2) 坚持安全第一，保证人身、设备和管道的安全运行；
- 3) 采用工程上公认的成熟产品，做到技术先进、经济合理；
- 4) 认真总结已建工程的经验和教训，采用成熟的设计手段和方法；
- 5) 进一步优化供配电方案，做到运行安全、可靠、经济、合理。

7.2.2 用电负荷

(1) 负荷等级

根据 GB50052-2009《供配电系统设计规范》和 GB50028-2006《城镇燃气设计规范》、GB/T29328-2018《重要电力用户供电电源及自备应急电源配置技术规范》，结合各用电点重要程度考虑，本工程场站的工艺设备、自控系统、通信系统、应急照明等负荷为重要负荷。

(2) 负荷统计

站内工艺系统中电动阀门、计量设备、仪控、通信等负荷为重要负荷，采用 UPS 供电。设备用电电压等级均为 0.38/0.22kV。

电厂计量装置总计算负荷见表 7.2-1。

表 7.2-1 用电负荷统计表

序号	负荷名称	单台容量 (kW)	运行	需要系数	功率因数 $\cos \phi$	计算负荷		备注
						有功 Pjs (kW)	无功 Qjs (kvar)	
1	RTU 系统机柜	0.5	1	0.9	0.9	0.5	0.2	15KVA
2	流量计算机柜	0.5	1	0.9	0.9	0.5	0.2	
3	电动阀	1.1	6	0.7	0.4	2.8	6.4	
4	监控机柜	0.5	1	0.9	0.9	0.5	0.2	
5	其它	5.2	1	0.9	0.9	4.75	2.29	
6	小计					9.05	9.29	

7.2.3 供配电方案

由于本项目工艺装置设置在已有电厂内，其供配电利用现有电厂的供配电系统。

在场站、电厂控制室新建 1 套 15kVA UPS 为本工程工艺装置的仪表及通信设备提供电源，电池按实际负荷（详负荷统计表）需求配置，供电时间为 240min，由场

站、电厂提供电源引接位置。计量橇配电箱电源均引自控制室新建 UPS 配电箱。

低压配电系统采用放射式为主、树干式为辅的配电方式。

各用电设备均采用阻燃型铜芯交联聚乙烯绝缘电缆配电，橇上电缆采用穿镀锌钢管明敷方式；外部电缆沿已建电缆桥架敷设。

7.2.4 爆炸危险区域划分

根据《爆炸危险环境电力装置设计规范》（GB 50058-2014）、《城镇燃气设计规范（2020年版）》（GB 50028-2006）和输气管道工程设计规范（GB 50251-2015）中的有关规定，露天设置的工艺装置区边缘外 4.5m 以内，最高的装置以上 7.5m 以内的范围划分为 2 区。

爆炸和火灾危险场所的电力装置的选择满足《爆炸危险环境电力装置设计规范》（GB 50058-2014）的要求，电气设备选 dIIBT4 系列隔爆型。

7.2.5 防雷及防静电措施

(1) 防雷

防雷接地设计符合国标《建筑物防雷设计规范》（GB 50057-2010）的要求。

系统接地、保护接地、装置区防静电接地采用共用接地装置，接地电阻不大于 1 欧姆。在配电系统中，中性线与保护线的功能应严格分开。

工艺装置区依规范按“第二类”防雷等级设计。

防雷措施为：放空管当壁厚不小于 4mm 时，可利用其金属管体做接闪器，钢管本身做引下线，外加接地装置，冲击接地电阻不大于 10 欧姆。工艺设备、管道壁厚均不小于 4mm，可不设接闪器，但需接地。进户箱、控制系统的电源均加装浪涌保护器。

(2) 防静电

在工艺装置区入口处，设触摸式静电消除器。根据《建筑物防雷设计规范》（GB 50057-2016）有关规定，为防止管道和密封容器内静电积聚，进出工艺装置的架空管道及管道分支处、工艺设备等均需做防静电接地，引至就近接地装置，接地电阻不大于 30 Ω；供气管线的法兰（绝缘法兰除外）、阀门连接处，当连接螺栓数量少于 6 个时，做金属跨接。在站区工艺装置区的管线、设备、金属导体等设置防静电接地。

7.2.6 工作和保护接地

仪表、通信系统工作、保护接地与低压电气系统接地装置共用，接地电阻 $R \leq 4 \Omega$ 。

下列设备、设施均须可靠接地：

1. 低压配电箱、电动阀等电气设备外露可导电部分；
2. 室内、外配电装置的金属构架及靠近带电部分的金属围栏；
3. 电缆金属外皮两端及其接线盒的等；
4. 电力线路的金属保护管；

上述保护接地引至就近接地装置，接地电阻 $R \leq 10 \Omega$ 。

7.2.7 接地装置

机柜室和计量撬棚新建设备工作接地、仪控及通信系统工作接地、防静电接地（所有工艺设备、管线）、防雷接地、保护接地（所有正常非带电电气设备金属外壳、信息设备）均引接至场站、电厂已建接地网。接地电阻取上述接地装置的最小接地电阻值， $R \leq 4 \Omega$ 。

接地极采用接地模块，接地线采用-50×5 型镀锌扁钢。

整个低压配电系统接地形式采用 TN-S 系统。

7.2.8 主要工程量

主要设备和电缆的规格及数量见表 7.2-2。

表 7.2-2 供配电主要工程量表

序号	项目名称	规格参数	单位	数量
2	动力配电柜		台	1
5	UPS 电源装置		台	2
8	动力电缆		m	200
9	普通电缆		m	100
15	触摸式静电消除器		只	1
16	镀锌钢管	SC50	m	200

序号	项目名称	规格参数	单位	数量
17	镀锌扁钢	-50×5	m	200

7.3 消防

7.3.1 编制依据及原则

贯彻“预防为主，防消结合”的方针，并充分考虑本工程各区域的火灾特点，做到安全可靠、方便实用、经济合理。

1.扑灭天然气火灾的根本措施在于切断气源，本工程各工艺装置已充分考虑了气源切断装置的可靠性和灵活性。

2.根据《石油天然气工程设计防火规范》（GB 50183-2004），场站内工艺装置区可不设消防给水系统。

3.根据《建筑灭火器配置设计规范》（GB 50140-2005），配置一定数量的便携式灭火器材，以便扑灭初期火灾。

7.3.2 火灾危险性分析

本工程介质为天然气，天然气属易燃易爆商品，在明火、电火花、静电、爆炸、雷击等因素诱发下，极易发生火灾或爆炸事故。

本工程主要火灾危险品介质为天然气。

天然气主要成分为甲烷，为易燃易爆物品，根据《原油和天然气工程设计防火规范》，气态天然气为甲类火灾危险品。

气态天然气其燃烧特性如下：

- 1.引燃组别：T3
- 2.引燃温度：482~632° C
- 3.爆炸极限：4.9~15%

天然气遇明火、高热易引起燃烧爆炸，与氟、氯等能发生剧烈的化学反应。天然气比空气轻，能在较低处扩散到相当远的地方，遇明火会引起回燃。

7.3.3 消防措施

(1)输气管道系统消防

输气管道从设计上不专门设置消防设施，主要依托城市消防公共消防系统进行消防。其消防主要在工艺设计以及后期运行管理上两个方面进行保障。

在工艺设计上，采取以下措施保障消防安全：

- 1) 穿跨越管网两端设检测检漏管道；
- 2) 建立天然气管网系统的标识系统；
- 3) 在管道上方设置警示带、标志桩等，以防燃气管道的非正常破坏；
- 4) 设计高压管道监控系统，能够随时监测高压管道的运行情况；
- 5) 在场站、工艺装置区设置一定数量的灭火器材，能够及时扑灭初期火灾。

在后期的运行管理上，主要靠建立一套可靠的运行管理机制，主要采取的保障措施有：

- 1) 设置检漏车，对市区管网定期巡检，发现泄漏点及时检修。
- 2) 对阀门井定期检修，保证阀门的正常工作。
- 3) 建议将管网监控系统与城市消防控制中心进行联网，以便在发生火灾时能够尽快调度城市消防设施进行灭火。

(2)生产区消防

本工程生产区火灾危险性分类见表 7.3-1。

表 7.3-1 本站火灾危险性类别表

名称	火灾危险性分类	火灾种类	危险等级
工艺装置区	甲类	C 类	严重危险级

在电厂的值班室控制室等处设有对外联系的通信设施优先选择火警电话。火灾发生时，利用站内的移动式灭火设备进行灭火，同时直接与当地的消防协作单位进行联系。

7.3.4 主要工程量

根据《石油天然气工程设计防火规范》（GB 50183-2004）以及《建筑灭火器配置设计规范》（GB 50140-2005），针对本项目可能发生火灾的场所，根据其火灾危险性，区域大小等实际情况，分别设置一定数量的不同类型，不同规格的移动式灭火设备，

以扑灭初期火灾。灭火器材配置见表 7.3-2。

表 7.3-2 灭火器材配置表

名称	灭火器型号	数量
电厂工艺装置区	推车式干粉灭火器 MFT/ABC35	2 台
	手提式干粉灭火器 MF/ABC8	6 个

7.4 建筑与结构

本工程涉及到的主要建构筑物为计量装置、收球装置的基础。

计量收球装置基础根据所在地地质情况等基础数据进行结构设计，计量收球装置基础采用 C25 钢筋混凝土基础。

建构筑物一览表见表 7.4-1。

表 7.4-1 建构筑物一览表

序号	名称	结构形式	单位	数量	备注
1	收球、计量撬基础	钢筋混凝土	座	1	电厂

7.5 维修及抢修

7.5.1 设计原则

1.维修体系的设计原则应体现准、快、优。准指管理和指挥准确；快指队伍的人员、设备、车辆等装备精良，反应迅速；优指队伍的作风严明，服务到位。

2.结合工程的地形、地貌、水文及交通条件，进行设备、人员、车辆的合理配备。

7.5.2 主要维抢修内容

1.工艺装置、管道及沿线设施的定期检查、维护及修理，常用易损零部件的配置、更换。

2.电气、仪表、阴保、计量、通信及操作控制系统等的日常维护和修理。

3.组织编制定期大修及检修计划，负责对管道、场站设备的日常维护修理的调度安排。

7.5.3 维抢修设置方案

天然气行业属于特种行业，需立足于自身力量开展维抢修工作。

建议完善工程专业抢修维修队，配备足够的抢修维修车辆、工器机具。

建议新建燃气设施设置燃气工程危险报警、接警体系，设置专用报警电话，出现危情以便及时掌握、及时采取措施维抢修；

管道泄露维抢修工作应立足自身，发生重大抢修必要时协调或联系工程公司配合抢修完成。

火灾抢险工作可依托当地消防部门。

建立、完善城市燃气安全分析体系，及时掌握管网状况，提前了解存在的危险源，变盲目被动维修抢修为预知主动维修，最大程度减少燃气管网突发灾害所造成的经济损失。

7.5.4 维修抢险设备配置

本项目新建工艺装置布置在现有电厂内，新建输气管道距离短。根据公司现阶段维护、抢修设备配置情况，本项目抢修、抢险以及维护机具等设施沿用原高压管道配套实施，不需新增维修抢险设备。

8. 节能

8.1 合理用能标准及节能设计规范

拟建的管道项目严格遵循国家、石油天然气行业 and 企业的合理用能标准及节能设计规范。主要包括：

1. 《中华人民共和国节约能源法》（2018）；
2. 《输气管道工程设计规范》（GB 50251-2015）；
3. 《全国民用建筑工程设计技术措施——节能专篇：建筑》；
4. 《全国民用建筑工程设计技术措施——节能专篇：结构》；
5. 《全国民用建筑工程设计技术措施——节能专篇：电气》；
6. 《全国民用建筑工程设计技术措施——节能专篇：暖通空调、动力》；
7. 《全国民用建筑工程设计技术措施——节能专篇：给水、排水》；
8. 《国家发展改革委关于加强固定资产投资项目节能评估和审查工作的通知》（发改投资[2006]2787 号文）；
9. 《综合能耗计算通则》（GB/T2589-2020）

8.2 综合能耗分析

8.2.1 能耗种类分析

根据本工程特点，能耗主要包括以下几个方面：

1.管道施工时施工机械耗能及对现有高压管道的放空消耗；本能耗工程完工后即消失，占比极小。

2.工艺装置日常生产中设备、自控等的电能消耗；

3.管道系统的安全放散以及发生事故或正常维修时的天然气放空；

在管道系统发生事故时，为防止管道内天然气发生爆炸等危害，必须在沿线的燃气场站和阀室对该段天然气进行放空处理，以减少危害便于维修处理；同时在场站或管道正常维修时也需将部分天然气放空，这都会造成天然气资源的消耗。

表 8-1 主要能耗统计

序号	项目	消耗量		耗能折算		能耗 tce/a
		单位	数量	单位	数量	
1	电	10 ⁴ kW·h/a	15	tce	1.229	18.435
2	天然气损耗	10 ⁴ Nm ³ /a	0.1	tce	12.143	1.2143
3	综合能耗	tce/a	19.6493			
4	单位产品能耗	tce/10 ⁴ Nm ³	0.000227			

8.2.2 节能原则

在工程设计中，选用先进、成熟、可靠的节能新工艺、新技术、新设备及新材料，以提高工艺过程中能源的转换和利用效率，减少能源消耗。在工艺流程、操作条件和自控方案方面，进行系统节能优化，并选用节能设备。

8.2.3 节能措施

本工程采取管道输送方式，这是一种安全、稳定、高效的运送方式。这种运输方式与铁路和公路运输相比，也具有明显的社会效益；铁路、公路运输存在着损耗高、安全性差和不利于环境保护等一系列的问题，管道运输会减少运输过程中二次扬尘、尾气的污染问题，这也将会带来一定的环境效益。

本项目节能措施主要从两个方面来考虑：

(1) 工艺节能

1) 综合下游用户的用气需求及上游供气压力，合理确定压力级制，既能充分利用上游供气的压力能，又能满足下游用户；

2) 合理设置控制阀门，减少管道检修天然气放散量；

3) 合理选择管材及防腐方式，做到技术经济合理；

4) 设置站内工艺设施监控系统，提高工艺设施正常供气的安全性和可靠性；

5) 在工艺设备选型上，选用密闭性能好、使用寿命长、能源消耗低、安全程度高的过滤器、节流截止放空阀、电动球阀等各种阀门，可有效避免或减少天然气泄漏，减少电力消耗。

(2) 电气节能

- 1) 充分利用已建设施为新建工艺设施供电。
- 2) 合理确定供配电线路导线和电缆，降低线路损耗。
- 3) 按照各种可能出现的运行工况，选择静电电容器，自动进行无功补偿，以提高系统的功率因数。
- 4) 优化供配电系统，电气主线接线简单、灵活、可靠，配电半径尽量缩短，配电导线大小合适，电压等级、电气设备级别、数量选择合理，有效控制和减少变配电损失。

9. 环境保护

9.1 主要污染源和污染物

根据本工程输配系统工艺流程，在输送天然气至用户的过程中，均在密闭状态下进行，正常情况下，全系统不产生废气，无有毒气体排放。只有在管线、场站设备检修或异常情况下压力超高时，才有少量的天然气放散。

在施工过程中，会产生弃土和扬尘、机械噪声，对交通和环境产生影响。

在生产过程中，天然气经过阀门、管路等有少量噪声；场站有少量的生产污水和固体废弃物产生。

9.2 环境影响分析

9.2.1 施工期环境影响分析

(1) 施工期扬尘影响分析

本项目线路大部分位于市政路，周边为居住区、商业区和工业区，容易受施工期扬尘污染影响，应采取洒水等减尘措施后，减少影响。施工期带来的粉尘污染可采取洒水抑尘等措施，在采取适当的防尘措施后，其影响可以降低到较小程度，不会对周围环境空气敏感点造成较大的污染影响。

(2) 施工车辆废气影响分析

施工车辆废气产生量较小，施工期交通量较小，因此，只要加强管理，施工车辆废气不会对周围环境空气生产污染。

(3) 施工期废水影响分析

本项目施工期产生的废水主要为管线施工废水。

本项目大部分线路位于市政路，开挖时遇含水层引起地下水排水的可能性不高。故敷管施工产生的废水主要为机械设备冷却水和运输洗涤水、施工机械运转中油的滴漏污水等，产生量较小。这些污水一般符合《污水排入城市下水道水质标准》，可直接排就近市政污水收集管道。对于顶管施工，施工期间采用的泥浆，不允许就地排放，需收集统一处理达到排放标准时，才准许排放至市政污水管道，否则需用泥浆车收集此泥浆至其他地方处理。因此，管线施工过程产生的少量废水采用上述控制措施后，

对纳污水体的影响可以控制在标准允许范围之内。

(4)施工期噪声影响分析

一般在管网建设中常使用的施工机械有挖土机、推土机、压路机、自卸车、搅拌机、吊车等，各种机械运行中的噪声水平如下表 9-1 所示。

表 9-1 建筑现场主要施工机械噪声平均 A 声级表 单位：dB(A)

机械名称	噪声级	机械名称	噪声级
搅拌机	98	平路机	94
挖土机	96	压路机	92
铲料机	96	空气压缩机	92
推土机	94		

高压管道环境敏感点距施工点均在 10~200 米之间，为保护周围居民及企业正常生产、生活，在 2 类声功能区禁止晚上十一时至次日凌晨六时内施工，施工单位应提前与上述敏感点的群众、单位取得联系，合理安排施工计划，避开居民休息时间进行施工。

本工程建设期对上述敏感点产生影响的时间具有不确定性，为了有效保护敏感点，建设单位在工程招投标时，应将有关敏感点的情况及本报告书所提的环保措施的内容列入标书，明确施工单位在施工期的环境保护责任与义务，尽可能减免对敏感点的影响。

(5)固体废弃物

施工期产生的固体废弃物主要包括：施工人员生活垃圾、管线施工过程中产生的弃渣土和防腐废弃物、穿越工程产生的泥浆、工艺场站施工产生的弃土和建筑垃圾。施工期弃渣土通过采用回填和弃土铺路等处置途径后，不会对周围生态环境造成明显影响。

(6)对生态的影响

1) 项目建设对土地类型影响分析

本项目中的各项工程建设对项目区原土地资源的开发利用及其对环境可能造成影响，从项目建设的性质和特点分析，主要表现在：

项目在施工建设过程中，由于各类施工机械设备的使用及运输车辆的行驶和施工

人员的活动等，造成土地的踏、碾压及地表挖掘，对原有土地造成较大的创伤面，导致区域内土地现状形态和利用类型发生变化；

项目建成后，随着项目运营，随着建筑物以及基础设施的修建，导致项目区土地利用性质及结构发生改变。

2) 对水土流失的影响分析

高压管道的修建直接破坏植被，使覆盖率降低，且改变了地貌形态，这些破坏和改变减弱了地表的抗蚀抗冲性能，使风蚀蚀和水力侵蚀能力增大，增加水土侵蚀模数；施工过程和运营期扬尘在风力作用下，易形成风蚀水土流失。

3) 管道建设对植被生态环境的影响分析

工程临时占地在施工结束后可以迅速复耕，造成的植被损失数量有限，与这些植被在当地的分布数量相比非常小。

4) 管道建设对土壤及景观的影响分析

施工期由于机械的碾压及施工人员的踩踏，在施工作业区周围的土壤将被严重压实，部分施工区域的表土将被铲去，另一些区域的表土将可能被填埋，从而使施工完成后的土壤物理结构和化学成分发生改变。在施工中植被破坏后，地面裸露，表土的温度在太阳直接照射下升高，加速表土有机质的分解，而植被破坏后，土壤得不到植物残落物的补充，有机质和养分含量将逐步下降，不利于植物的生长和植被恢复。此外，敷设燃气管道的临时占地，使这些土地短期内丧失原有的生态功能。

因此，要求在施工中注意尽量维护土壤现状，以有利于植被重建和生态恢复工作。在施工期间，对自然景观的连续性与美学效果会造成不利影响，但因该项目规模不大，永久占地少。只要在施工期间注意生态保护，项目建设对景观的影响程度会降到最小，且随着施工期的结束和植被的恢复，周围景观将会得到逐步的恢复和改善。

9.2.2 运行期环境影响分析

(1) 大气质量影响分析

运行期在正常情况下管道不会对大气产生影响，主要是事故检修时，需对管道内天然气统一放散。放散考虑在门站或阀室内集中放散装置排放，由于本工程的供气压力为高压，各工序设置有较完善的自动化控制系统，一般在管道放散阀发生超压排放的频率较低、排放量也较小。

(2)生态和社会环境影响分析

本工程建成投入运行后，管沟开挖部分重新回填，不会对生态环境造成影响。供应的天然气属清洁能源，替代部分重油、煤等污染较大的能源后，可减少大气污染物的排放，间接降低大气污染物排放对生态环境的影响。

虽然本工程是环保工程，但建设期和运营期仍不可避免地影响部分人群，主要是施工期占用土地、道路、空间、噪声扰民，运行期噪声影响等。建议建设单位在建设前期多宣传，做好沟通协调工作，将工程带来的不利影响降到最低。

9.3 环境保护措施

9.3.1 施工期环境保护措施

(1)生态保护措施

1) 植被保护和生态恢复措施

管道施工尽量避免对原有植被进行破坏，不可避免时，采取分层开挖、分层堆放、分层回填的方式，尽量把原有表土回填到开挖区表层，以利于恢复植被的生长。施工后对管道沿线开挖处进行平整、恢复地貌，并进行植被恢复。

合理规划设计，尽量利用已有道路，少建施工便道，便于管道施工机具、管材运输，并少占绿地。施工过程中产生的废物主要是废弃土石方，施工完毕后要及时运走。

2) 水生生态保护措施

施工期间的废水，按性质、分区特点制定可靠处理和排放方案，以免对下游的水生生态环境造成大的影响。

(2)施工期噪声

施工设备应选用优质、低噪设备，以减少施工噪声对沿线敏感点的影响。尽量避免高噪设备同时运转，调整高噪设备同时运行台数。

严格控制施工作业时间，夜间严禁高噪设备施工。敏感点周围凌晨 7:00 点以前，晚 22:00 以后严禁施工。

为减小高噪机械设备对本工程施工人员造成的影响，可考虑采用高噪设备接触时间进行控制。

单台施工机械噪声值均大于 72Db,施工现场周界有人群时，必须严格按《建筑施

工场界环境噪声排放标准》（GB 12523-2011）进行施工时间、施工噪声控制。应选用优质、低噪设备，夜间严禁高噪设备施工作业。

(3)施工废水

施工废水主要来自施工人员生活污水。

施工人员驻地应建造临时化粪池，生活污水、粪便水经化粪池处理后，由卫生部门清除或堆做农肥，不得随意排放。

地下渗水、管道试压水主要污染物为SS，建议施工前做好规划，在施工场地设置混凝土沉淀池，废水经加药沉淀后排放。

(4)固体废弃物

施工期固体废弃物主要来源于废弃物料和生活垃圾。

生活垃圾分类收集后，由环卫部门统一收运，最终卫生填埋。工艺场站产生的少量建筑垃圾可运往当地建筑垃圾填埋场处理。管道施工过程中焊接和防腐会产生少量废焊条和废弃防腐材料，可收集外卖其他企业综合利用。

(5)大气污染防治措施

采取洒水湿法抑尘。在敷设管道路段洒水，可使降尘减少70%~80%。洒水重点时段为夏季和大风天气。

对运输渣土的机动车辆加装防洒漏设施，以防在运输过程中发生渣土洒漏，污染城区道路，产生扬尘。

施工结束时及时对敷管施工占用场地恢复地面道路及植被，减少地面裸露的时间。

(6)其它

因燃气管网属隐蔽工程，在管路工程施工中应将有关地下管道及设备的资料系统收集、记录、存档，以便于运行中进行管理、维修、检查、监护。

9.3.2 运营期污染防治措施

(1)废气防治措施

运营期废气污染物主要为管道在场站内放散的天然气，属于无组织排放，但由于天然气浓度很小，且天然气密度比空气小，放散后很快上升扩散，不会对周围环境造成影响。

(2)噪声污染防治措施

运行期噪声主要来自天然气经过管路摩擦产生的气流噪声以及放空产生的空气动力噪声。

(3)固体废弃物

运行期固体废弃物主要是工作人员抢修作业时产生少量的垃圾，这类垃圾与生活垃圾可一同填埋处理。不会对环境造成影响。

9.4 环境保护管理机构设置

本工程不单独设置环境管理机构，依托燃气集团环境保护管理机构。

9.5 结论

根据《广州生态环境局增城分局关于广州增城旺隆气电替代工程项目燃气管线工程规划再次征询意见的复函》，本工程不涉及《广东省人民政府关于广州市饮用水水源保护区区划规范优化方案的批复》（粤府函〔2020〕83号）批复的饮用水水源保护区和《广州市城市环境总体规划（2014-2030年）》划定的生态保护红线。

对本工程的环境影响分析表明，项目建设施工期，会对生态环境带来阶段性不利影响，按照评价要求的防护、恢复措施和施工方式，环境不利影响可以有效控制，影响程度和范围不大。

项目运行后，不会对周围的环境造成大的影响，天然气的使用，改变广州市能源结构，最终改变广州市环境空气质量，项目生态环境影响措施可行。

10. 树木保护

10.1 总则

10.1.1 项目介绍

本章针对推荐线路方案（温涌路车行道）进行树木保护方案的分析和论证。

推荐线路方案起点接广源门站，往南穿越广深铁路，与京港澳高速（广深高速）东侧伴行 115m 后向西穿越京港澳高速（主线和匝道），继而与 107 国道并行 300m 后向南穿越 107 国道，接着沿新塘立交西北角绕行，穿越匝道 3 次后沿南碱大道南行再向东转入新塘大道（南侧），与新塘大道向东并行 260m 后往南沿着温涌西路（温涌西侧车行道）敷设至终点旺隆电厂。管线全长约 5.1km。

根据现场踏勘，高压管道沿线路由经过大部分为城镇建成区，基本沿市政道路敷设，道路两侧为居住区、商业区和工业区。沿线涉及河涌包括凤凰水、水南新河、温涌。经现场调查，沿线为市政道路，下方基本为人工填土，未见采矿活动，未发现边坡崩塌、滑坡、地面塌陷、地裂缝、地面沉降及地面不均匀沉陷等地质灾害。

10.1.2 编制目的

为深入贯彻习近平生态文明思想，践行绿水青山就是金山银山的发展理念，做好广州市城市树木保护工作，落实建设项目和城市更新项目中树木保护的各项要求，特编制该项目城市树木保护专章。

10.1.3 编制原则

坚持“保护优先、分级保护、全程保护、合理利用”的原则，保护树木及其生境。

(1)保护优先

落实“保护优先”的原则，最大限度地减少对绿地的占用和树木的迁移、砍伐。

(2)分级保护

古树名木须原址保护、古树后续资源原则上原址保护、大树和其他树木实施最大限度的避让和保护。

(3)全程保护

应实施全过程树木保护措施，包括施工前、施工中和施工后的保护及养护措施。

(4)合理利用

经论证、审批确需迁移的树木，优先就地迁移至本项目的绿地利用，本项目无法安排利用的，迁移至临近公共绿地或其他绿地；远距离迁移须论证其必要性和可行性；迁移过程按照技术标准实施，采用少修移植等先进技术，严控树冠修剪量，确保迁移树木的成活率和完好率。

10.1.4 编制依据

专章的编制依据包括但不限于以下文件，日期仅代表当前现行版本，后续更新版本（包括所有的修改单）应替换现版本，各项目根据实际情况补充上位规划。

(1)法律法规

- (1) 《城市绿化条例》（2017年修订）
- (2) 《城市古树名木保护管理办法》（2000年实施）
- (3) 《中华人民共和国环境保护法》（2014年修订）
- (4) 《中华人民共和国森林法》（2019年修订）
- (5) 《广东省城市绿化条例》（2014年修正）
- (6) 《广州市历史文化名城保护条例》（2020年修正）
- (7) 《广州市绿化条例》（2020年修正）
- (8) 《广州市古树名木迁移管理办法》（2020年实施）

(2)指导性文件

- (1) 《国务院办公厅关于科学绿化的指导意见》（国办发〔2021〕19号）
- (2) 《全国绿化委员会关于进一步加强古树名木保护管理的意见》（全绿字

〔2016〕1号)

(3) 《住房城乡建设部关于促进城市园林绿化事业健康发展的指导意见》(建城〔2012〕166号)

(4) 《关于在城乡建设中加强历史文化保护传承的意见》(厅字〔2021〕36号)

(5) 《住房和城乡建设部关于在实施城市更新行动中防止大拆大建问题的通知》(建科〔2021〕63号)

(6) 《广东省人民政府办公厅关于科学绿化的实施意见》(粤府办〔2021〕48号)

(7) 《广州市关于科学绿化的实施意见》(穗办〔2021〕11号)

(8) 《广州市关于在城市更新行动中防止大拆大建问题的实施意见(试行)》(穗办[2021]12号)

(9) 《广州市城市树木保护管理规定(试行)》(穗林业园林规字[2022]1号)

(3)技术标准及指引

(1) 《园林绿化工程施工及验收规范(CJJ-82-2012)》

(2) 《城市古树名木养护和复壮工程技术规范(GB/T 51168-2016)》

(3) 《园林绿化工程项目规范(GB 55014-2021)》

(4) 《森林资源术语(GB/T 26423-2010)》

(5) 《古树名木复壮技术规程(LY/T 2494-2015)》

(6) 《古树名木鉴定规范(LY/T 2737-2016)》

(7) 《古树名木普查技术规范(LY/T 2738-2016)》

(8) 《古树名木管护技术规程(LY/T 3073-2018)》

(9) 《古树名木生长与环境监测技术规程(LY/T 2970-2018)》

(10) 《古树名木管护技术规程(LY/T 3073-2018)》

(11) 《园林植物保护技术规范(DB44/T 968-2011)》

(12) 《园林绿地养护管理技术规范(B4401/T 6-2018)》

- (13) 《园林树木安全性评价技术规范（DB4401/T 17-2019）》
- (14) 《园林种植土（DB4401/T 36-2019）》
- (15) 《古树名木保护技术规范（DB4401/T 52-2020）》
- (16) 《古树名木健康巡查技术规范（DB4401/T 126-2021）》
- (17) 《广州市树木修剪技术指引（试行）》（2021.9）
- (18) 《广州市城市道路绿化改造行道树处理技术指引》（2020.3）

(4)规定条文

根据广州市林业和园林局（穗林业园林规字〔2022〕1号）关于印发《广州市城市树木保护管理规定（试行）》通知：

第十一条 严格保护古树名木、古树后续资源、行道树、大树等树木，禁止擅自砍伐树木，禁止擅自迁移树木，禁止同一建设工程项目分批申请审批。

严格控制树木砍伐，原则上不允许砍伐树木。确因安全、严重病虫害、死亡，不具备迁移、施工条件，或其他特殊情形的，经绿化行政主管部门组织专业机构鉴定、专家论证、征求公众意见，并审批同意方可砍伐。每砍伐一株树木应当按照国家有关规定补植树木或者采取其他补救措施。

第十二条 申请树木迁移审批属于下列情形的，绿化行政主管部门应当组织专家对其必要性和可行性进行论证，并征求公众意见：

- （一）涉及古树后续资源的；
- （二）涉及大树十株以上的；
- （三）涉及城市道路、公园绿地及其他绿地树木五十株以上的；
- （四）涉及历史名园、特色风貌林荫路、历史文化街区、历史文化名镇、名村、传统村落、历史风貌区、重要滨水景观风貌区和参照历史名园管理的公园树木的。

名次解释

古树：树龄在一百年以上的树木。

名木：珍贵稀有、具有历史价值和纪念意义及重要科研价值的树木。

古树后续资源：树龄在80年以上不足100年的树木或胸径80cm以上的树木。

大树：胸径 20cm 以上的树木。

其他树木：胸径小于 20cm 的树木。

本文件所称“以上”包含本数。

(5)植物名录

《中国主要栽培珍贵树种参考名录》（2017 年版）

《国家重点保护野生植物名录》（2021 年）

10.2 树木资源调查

10.2.1 调查内容和方法

(1)调查范围

根据广州市林业和园林局发布的《广州市城市树木保护专章编制指引》提出：林地林木、农用地树木按相应的法律法规办理，不纳入树木保护专章编制范围（古树名木、古树后续资源除外）。

本项目燃气线路途经的路段，其用地性质均为建设用地，根据委托方提供的用地性质分布图，本项目仅对 16 m 征地范围（含管道保护范围及施工作业带）内的建设用地的现状树木进行调查。

(2)调查对象

本项目调查范围内大树的基本信息（树种、科属、拉丁学名、地理位置）、生长状况（整体长势、株高、胸径/胸围、冠幅、存在问题）、立地环境；本项目调查范围内其他树木的基本信息（树种、数量、科属、拉丁学名、地理位置、胸径范围）。

(3)调查方法

树高：用激光测距测高仪在距离目标树木一定距离的地方分别瞄准树木基部和树顶测量，仪器将给出准确的树高，精确至 m。测距精度<15cm。

冠幅：用皮尺对树木东西、南北两个方向树冠长度进行测量，精确至 m。

胸径：用皮尺在树干 1.3m 处测量胸围（分枝点低于 1.3m 的树木，在靠近分支

点处测量），测量后得到胸围值。部分树木分枝点较低或地上部分气根较多难以测量胸围，则在接近地面处（地面以上 20cm）测量地围，测量后得到地围值。用胸围值或地围值除以 π （3.14）得到胸径值或地径值，精确至 cm。

位置：使用华测 RTK 定位仪记录胸径 ≥ 20 cm 树木的经纬度信息，精确至小数点后 6 位。

生长势分析：根据树木长势情况，判断树木长势属于正常株、衰弱株、濒危株、死亡株。

表 10-1 树木生长势分级

生长势级别	分级标准		
	叶片	枝条	树干
正常株	正常叶片量占叶片总量大于 95%	枝条生长正常、新梢数量多，无枯枝枯梢	树干基本完好，无坏死
衰弱株	正常叶片量占叶片总量 50~95 %	新梢生长偏弱，枝条有少量枯死	树干局部有轻伤或少量坏死
濒危株	正常叶片量占叶片总量小于 50%	枝杈枯死较多	树干多为坏死，干朽或成凹洞
死亡株	叶片全部枯死	枝杈全部枯死	干皮全部坏死

立地环境：根据立地土壤状况、硬质铺装程度、周边建筑情况、树干附近杂物堆放情况等分为三级：“良好”、“一般”、“较差”。

拍摄照片：拍摄目标树木全景、立地环境、枝干等照片。

10.2.2 资源状况分析

经调查，施工作业带 16 m 临时借地范围内存在 320 株树木，具体情况详见下表：

表 10-2 树木调查结果

序号	片区	种类	胸径	数量
1	广源门站-广深	杂树：香蕉树、荔枝树、桉树	20~30cm	90

	铁路-G107 国道			
2	G107 国道-南安 广虎路	杂树：香蕉树、荔枝树、榕树、椰子	20~80cm	60
3	南安广虎路-东 桥东路	南碱大道西侧为香蕉树，南碱大道南面道路中 间为绿化带，以草皮和低矮灌木为主	10~30cm	70
4	东桥东路-新塘 大道西-温涌路	道路中间为绿化带，以草皮和低矮灌木为主		100
5	温涌路-旺隆电 厂	芒果树、榕树	10~40cm	0
6	总计			320

注：温涌路段拟采取缩小、调整施工作业带避让河涌边的树木。

经初步摸查，本工程线路施工范围内不存在古树、名木、古树后续资源。

10.3 总体保护利用概况

专章本着最大限度保护利用现有树木资源的原则，通过优化项目设计，最大限度的减少对绿地的占用；分级保护树木资源，古树完全避让，古树后续资源原则避让，大树及其他树木最大限度避让。所有树木资源实施全过程的保护，经评估、论证、审批后确需迁移的树木，优先考虑一次迁移到位，尽量减少二次迁移。

根据线路走向（含管道保护范围及施工作业带）和树木分布图进行平面叠加，本次建议迁移、砍伐的树木位于施工作业带、管道保护范围内的位置，无法避让。建议原址保护的树木位于不受施工影响的位置，可以避让。根据树木在线路位置不同的分布以及项目不同的施工方式，拟对本项目调查范围内树木采取原址保护、迁移保护和砍伐三种处理方式。

表 10-3 树木处理措施分析表

施工方式	树木处理措施
------	--------

施工方式	树木处理措施
直埋	16m 施工作业带内迁移或砍伐
穿越	1. 头尾两端的施工作业带内迁移或砍伐 2. 中间段不受影响的全数原址保护

10.4 原址保护

10.4.1 树木清单

拟将项目调查范围内不受施工影响的树木进行原址保护。

10.4.2 原址保护必要性分析

根据广州市林业和园林局关于《广州市城市树木保护管理规定（试行）》的要求，部分树木未涉及本项目建设的中心工作平台，不影响项目实施，且与项目配套设施建设区域及项目建设标高高度重合，为落实“保护优先”的原则，最大限度减少对绿地的占用，对该区域内的树木进行原址保护。

10.4.3 树木原址保护措施

（一）划定保护范围

根据树木生长现状，按照广州市城市绿化树木养护管理规范采取必要的管理措施，维持正常生长和景观效果。

（二）改善立地环境

本项目大树立地环境存在周边垃圾堆放、杂草丛生等问题，建议对立地环境进行改造，如清理树穴杂物、清理杂草等；同时建议在施工前对大树做适当的修剪，修剪方法参考《广州市树木修剪技术指引（试行）》（2021.9）开展。

（三）树体修复

通过对树木现状情况的调查，明确树木树体存在的问题，针对性的进行树体修复。树体修复主要包括修补树洞、修理枯枝和寄生枝、病虫害防治等。对树体上已经形成的伤口和病虫害等，及时修复，防止扩大，应根据树体上伤口或病虫害的部位、轻重和特点，采取不同的治疗和修复方法。对保护有特别风险及特别要求的树木，要予以确定，专题讨论，制定特殊的修复方案。

（四）原址保护注意事项

（1）建立树木登记卡，标明树木的名称、胸径、冠幅、习性、保护注意事项等，安排专人看护，负责浇灌、施肥、病虫害防治等，每月对树木生长情况进行评估；对每株树木在施工期进行全过程跟踪管理。

（2）对保护有特别风险及特别要求的树木，要予以确定，专题讨论，制定特殊的保护方案；

（3）施工过程中对大树做好保护措施（如建立围板），严禁将带有腐蚀性或对树木有损害的物资堆放在树木周围；对使用有害液体产生有毒气体区域的树木进行重点观测，防止有害液体浸入树根土壤中，使土壤板结或直接伤害树根；防止有害气体对植物产生毒害作用；

（4）防止树木树根部地表周围被硬物或水泥浆等物质覆盖，造成地表水不能渗入土壤，影响树根对养分的吸收；严禁将垃圾堆放在树木周围；

（5）树木周围严禁堆放易燃易爆物资和使用明火或电焊作业，确需用火或电焊时必须采取防火措施；树周围清理干净，不堆杂物，并且配备足够的灭火器材，防止火灾发生。

（6）进行立地环境改造。本项目大树立地环境现状较差，建议对立地环境进行改造，如扩大现状树池、清理树穴杂物等；针对存在枝叶杂乱等情况，建议在施工前对大树做适当的修剪，修剪方法参考《广州市树木修剪技术指引（试行）》（2021.9）开展。

10.5 迁移利用

10.5.1 树木清单

拟将项目调查范围内部分受施工影响的树木进行迁移利用。

10.5.2 迁移必要性分析

(1)管线路由的位置与树木位置重叠

依据现场实际勘察情况、线路经过区域权属单位反馈意见、规划部门对线路方案的审查意见，本项目高压管线路由为：起点接广源门站，往南穿越广深铁路，与京港澳高速（广深高速）东侧伴行 115m 后向西穿越京港澳高速（主线和匝道），继而与 107 国道并行 300m 后向南穿越 107 国道，接着沿新塘立交西北角绕行，穿越匝道 3 次后沿南碱大道南行再向东转入新塘大道（南侧），与新塘大道向东并行 260m 后往南沿着温涌西路（温涌西侧车行道）敷设至终点旺隆电厂。管线全长约 5.1km。

根据现场踏勘，高压管道沿线路由经过大部分为城镇建成区，基本沿市政道路敷设，道路两侧为居住区、商业区和工业区。沿线涉及河涌包括凤凰水、水南新河、温涌。经现场调查，沿线为市政道路，下方基本为人工填土，未见采矿活动，未发现边坡崩塌、滑坡、地面塌陷、地裂缝、地面沉降及地面不均匀沉陷等地质灾害。

本项目线路的选择符合高压管线选线的原则：

- 1) 线路走向符合广州市总体规划以及城市燃气专项规划等相关规划；
- 2) 根据规划部门意见，线路选择上首选沿高速公路敷设，其次选择沿快速路及规划道路敷设；
- 3) 线路选择力求距离最短，顺直，尽量减少穿跨越工程量，线路应尽量避免或减少同天然及人工障碍的交叉，从而减少工程投资；
- 4) 线路布置尽量依托和利用现状道路，方便现场施工和运行后管道的维护管理；
- 5) 大、中型穿越位置的选择，应符合线路总体走向。线路局部走向可根据大、中型穿越工程位置进行调整，管道尽量不通过地震断层等不良地质地区；

6) 保证管线与相关建构筑物的安全距离要求, 满足国家及地方相关规范的要求;

7) 管道应避免军事设施、易燃易爆物品仓库等敏感区域, 并应避免经济作物区域和重要农田基本建设设施;

8) 线路走向应满足施工需要, 对环境和交通的破坏最小;

9) 线路沿线地区等级结合目前地区等级和今后发展情况确定。

由于管线路由的位置与树木位置的重叠, 需要对树木进行迁移保护, 以便项目施工的顺利实施。

(2)项目建设内容的施工方式要求决定

本线路工程施工方式包括挖沟直埋、顶管和定向钻。

①挖沟直埋

本工程一般地段施工作业带宽度为 16m, 经济作物区域为 12m, 局部因增加埋深放坡需加宽作业带段作业带宽度为 18m。

挖沟直埋采用沟上/沟下组装施工方式进行管道敷设。

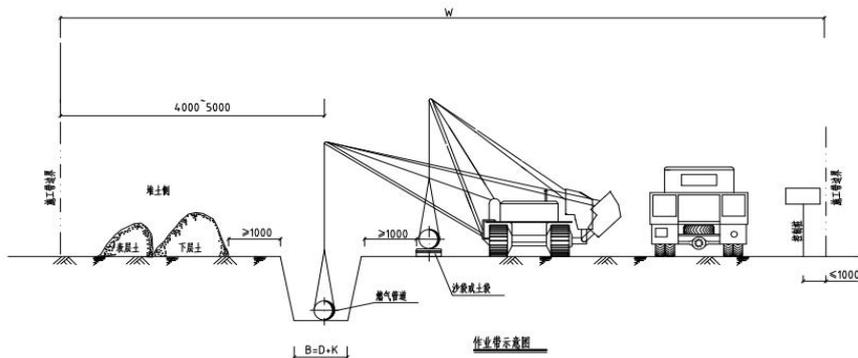


图 10-1 直埋作业带示意图

②顶管

本工程穿越铁路、部分道路、部分河涌采用顶管方式施工。

	2. 中间段不涉及施工作业带的树木可以采取原址保护。	进行迁移或砍伐处理。
--	----------------------------	------------

(3)燃气设施的保护条例决定

本项目天然气高压管道，根据《广州市燃气管理办法》的要求以及广燃集团安全管理的要求，本工程初步确定对高压管道外壁两侧各 5m 范围进行永久借地（不包括电厂地界范围内管道），以满足本工程高压管道的保护要求。同时还考虑施工时临时借地，施工作业带宽度按照 16 m 计算，临时借地在施工完成后恢复原有土地性质。

依据《广州市燃气管理办法》第六章燃气设施保护：

第三十七条 燃气管道设施的安全保护区域分为安全保护范围和安全控制范围。安全保护范围：（一）高压、超高压燃气管道的管壁外缘两侧 5m 范围内的区域。

第三十八条 燃气管道设施的安全保护范围内禁止下列行为：（五）种植乔木、灌木、藤类、芦苇、竹子或者其他根系深达管道埋设部位可能损坏管道防腐层的深根植物。

第六章 燃气设施保护

第三十六条 任何单位和个人不得擅自占、毁损、擅自拆除、移动或者改动燃气设施。

第三十七条 燃气管道设施的安全保护区域分为安全保护范围和安全控制范围。

安全保护范围为：

(一) 高压、超高压燃气管道的管壁外缘两侧5米范围内的区域；

(二) 次高压燃气管道的管壁外缘两侧3米范围内的区域；

(三) 低压、中压燃气管道的管壁外缘两侧0.7米范围内的区域。

安全控制范围为：

(一) 高压、超高压燃气管道的管壁外缘两侧5米至50米范围内的区域；

(二) 次高压燃气管道的管壁外缘两侧3米至30米范围内的区域；

(三) 低压、中压燃气管道的管壁外缘两侧0.7米至5米范围内的区域。

第三十八条 燃气管道设施的安全保护范围内禁止下列行为：

(一) 建设占压地下燃气管线的建筑物、构筑物或者其他设施；

(二) 排放腐蚀性物质，堆放易燃易爆危险品、大宗物资，停放大型工程车辆或者货运车辆；

(三) 进行爆破、开山、钻探、机械式挖掘施工、取土、采石等作业以及使用明火；

(四) 在地面或者架空的燃气管道设施上行走、攀爬、悬挂杂物；

(五) 种植乔木、灌木、藤类、芦苇、竹子或者其他根系深达管道埋设部位可能损坏管道防腐层的深根植物；

(六) 其他危及燃气设施安全的活动。

在沿河、跨河、穿河、穿堤的燃气管道设施安全保护范围内，除在保障燃气管道设施安全的条件下为防洪或者通航而采取的疏浚作业外，不得抛锚、拖锚、掏沙、挖泥或者从事其他危及燃气管道设施安全的作业。

在低压、中压燃气管道设施的安全控制范围内，禁止排放腐蚀性物质。

图 10-4 《广州市燃气管理办法》截取

(4) 树木生物学特性具备迁移条件

所需迁移树木多为南亚热带树种，生长迅速，易移植，易管护，景观性较高，对土壤立地要求不严。因此迁移保护对树木本身不会造成大量死亡，可作其它绿地再利用。

10.5.3 树木迁入地状况

(1) 迁移原则

尽可能就地、就近迁移及一次迁移利用，迁移过程应依法依规申报、控制施工质量、科学规范管理。

(2) 迁入地选择要求

本项目拟迁移保护树木的迁入地待下一阶段的迁移方案中明确。建议后期迁移方案应优先考虑就地迁移到本项目的绿地上，或迁移到项目最近的公共绿地或其他

绿地上。

10.5.4 技术指标要求

①优先考虑少修剪移植，保持树木原有树形，尽可能不断或少断根。

②调查树木迁入地现状，包括与原址距离、面积、土壤立地、地下水位、配套设施等调查，迁入地的土壤应满足《园林种植土（DB4401/T 36-2019）》的要求，否则应事先进行土壤改良。

③树木迁移前的保护措施，包括土球挖掘及包裹、树体保护等；迁移施工具体措施，包括吊装固定、树木装载、定植、透气管埋设、遮阳保湿等，参考《绿化工程施工及验收规范（CJJ-82-2012）》的要求；树木迁移后的养护措施，包括记录生长状况、浇水、促根、施肥、病虫害防治、疏枝修剪、特殊天气安全防护等措施。养护应满足《园林绿地养护技术规范（DB4401/T 6-2018）》的作业要求。

(1)迁移树木前期准备

(1)迁移地的准备

提前对迁移地的土壤理化性质进行化验分析，采取相应的土壤改良、施肥和置换客土等措施。

(2)迁移地的土壤理化性质要求

迁移地严禁使用含有害成分的土壤，迁移地土壤有效土层下不得有不适水层。

迁移树种栽植土应包括客土、原土利用、栽植基质等，栽植土应符合下列规定：

1) 土壤 pH 值应符合本地区栽植土标准或按 pH 值 5.6~8.0 进行选择。

2) 土壤全盐含量应为 0.1%~0.3%。

3) 土壤容重应为 1.0 g/cm³~1.35g/cm³。

4) 土壤有机质含量不应小于 1.5%。

5) 土壤块径不应大于 5 cm。

6) 栽植土应见证取样，经有资质检测单位检测并在迁移前取得符合要求的测试结果。

7) 栽植土验收批及取样方法应符合下列规定:

①客土每 500m³ 或 2000 m² 为一检验批, 应于土层 20 cm 及 50cm 处, 随机取样 5 处, 每处 100g 经提合组成一组试样; 客土 500m³ 或 2000m² 以下, 随机取样不得少于 3 处;

②原状土在同一区域每 2000 m² 为一检验批, 应于土层 20 cm 及 50 cm 处, 随机取样 5 处, 每处取样 100 g, 混合后组成一组试样; 原状土 2000 m² 以下, 随机取样不得少于 3 处;

③栽植基质每 200 m³ 为一检验批, 应随机取 5 袋, 每袋取 100 g, 混合后组成一组试样; 栽植基质 200 m³ 以下, 随机取样不得少于 3 袋。

(3) 迁移地栽植前场地清理

应将现场内的渣土、工程废料、宿根性杂草、树根及其有害污染物清除干净。对清理的废弃构筑物、工程渣土、不符合栽植土理化标准的原状土等应做好测量记录、签认。

(2) 迁移准备

(1) 编号

开始迁移前, 可把乔木按设计统一编号, 并作好标记, 以便后续装运及移植时对号入座, 减少现场混乱及事故。并对每一株树建立档案, 档案持续记录每株树木的后续养护措施等。

(2) 断根

大树应在迁移实施前, 提前落实专业园林施工单位进行切根处理; 大树切根应分期进行, 切根范围宜比挖掘范围小 10 cm 左右, 2 cm 以上切根面及时涂树木伤口愈合剂, 断根区须回填腐殖土。

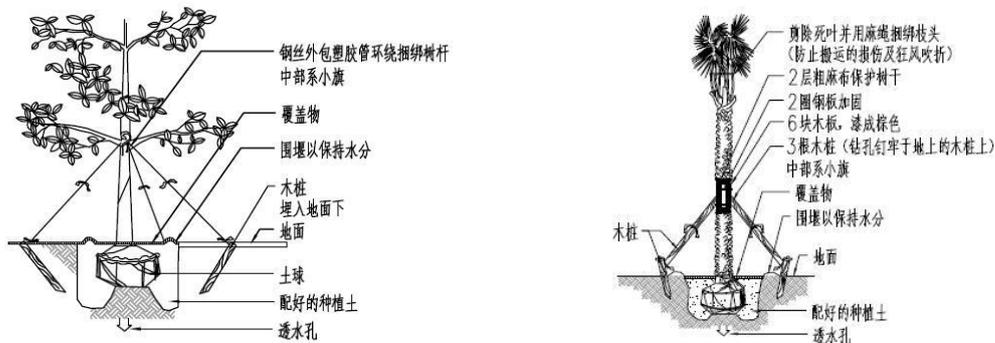
(3) 修剪

树木迁移前, 应进行修剪。剪去病枯枝、徒长枝、内膛枝等; 适量疏枝, 枝叶集生树干顶部的苗木可不修剪, 大树宜在疏剪后缩冠, 常绿树树种修剪量可达 1/3~3/5。修剪直径 3 cm 以上大枝及粗根, 截口应光滑平整, 消毒并涂树木伤口愈合剂。

修剪的程度，应根据主、侧枝间的生长习性、树龄及树种的特性决定，参照表 7.2~2。在整形时，为使主枝间的生长势平衡且保持树冠均匀，应采用“强主枝重剪，弱主枝轻剪”的原则；如要调主梢明显的乔木类，应保护顶芽。孤植树应保留下枝，保持树冠丰满。节侧枝的生长势，则采取“强主枝轻剪，弱主枝重剪”的原则。观花或观果树木，应适当疏蕾删果，清除更新衰老枝。对衰老树木可采取重度修剪，甚至短截枝，以恢复其树势。

(4) 拢冠及支撑

根据树木原生长地位置和观赏面，对树木作好南北方向定位编号。收扎树冠时应由上至下，由内至外，依次向内收紧，大枝扎缚处要垫橡皮等软物，不应挫伤树木。树干、主枝用草绳或草片进行包扎保护。在土球挖掘前，采用三角支撑或浪风绳牵引（或两者并用）的方式做好树木支撑，确保土球挖掘时，树木不倾倒。支柱底部应牢固支持在地面，与地面呈 60 度角；且底部应立在挖掘范围以外，以免妨碍挖掘工作。



乔木支撑方式

(5) 种植穴准备

种植穴的大小、形状、深浅应根据迁移树木泥球大小、形状而定，种植穴必须符合上下大小一致的规格。栽植穴应根据土球的直径（或长宽）加大 60 cm~80 cm，深度增加 20 cm~30 cm。栽植地土质条件差或受污染严重的土质应清除废土更换种植土，并及时填好回填土。树穴基部须施基肥。地势较低处种植时，应采取堆土种

植法，堆土高度根据地势而定。

(3)浇水及清除障碍物

大树起挖前数日，根据土壤干湿情况适当灌水，以防挖掘时土壤过干导致土球松散。在起树前，应把树干周围 2~3 m 以内的障碍物清除干净，并将地面大致整平。

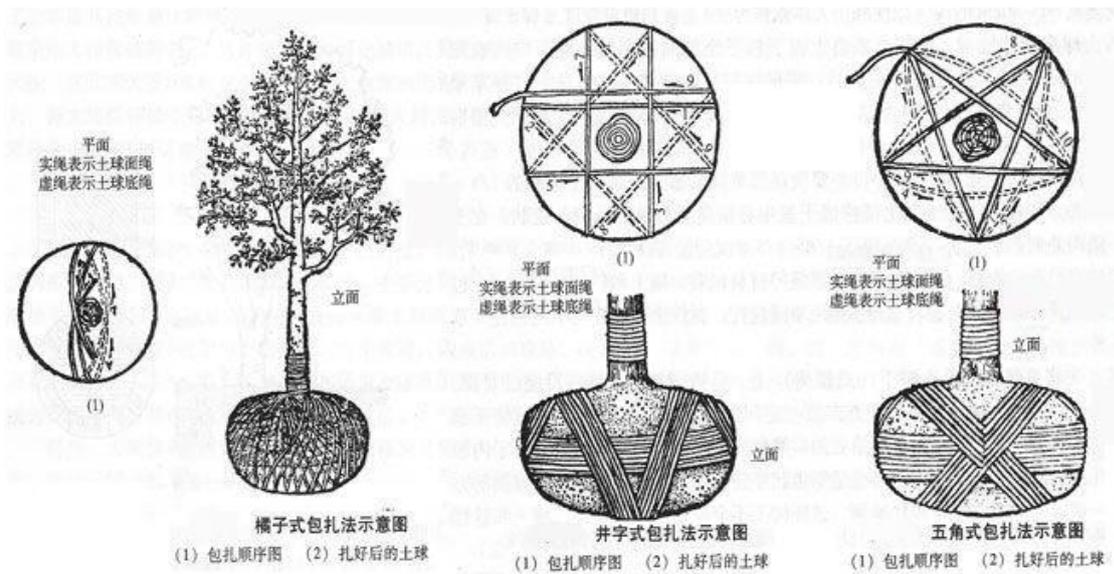
(4)移植

(1)移植方法

胸径 < 30 cm，采用软包扎移植方法；30 cm ≤ 胸径 ≤ 50 cm，采用木箱包装移植法。

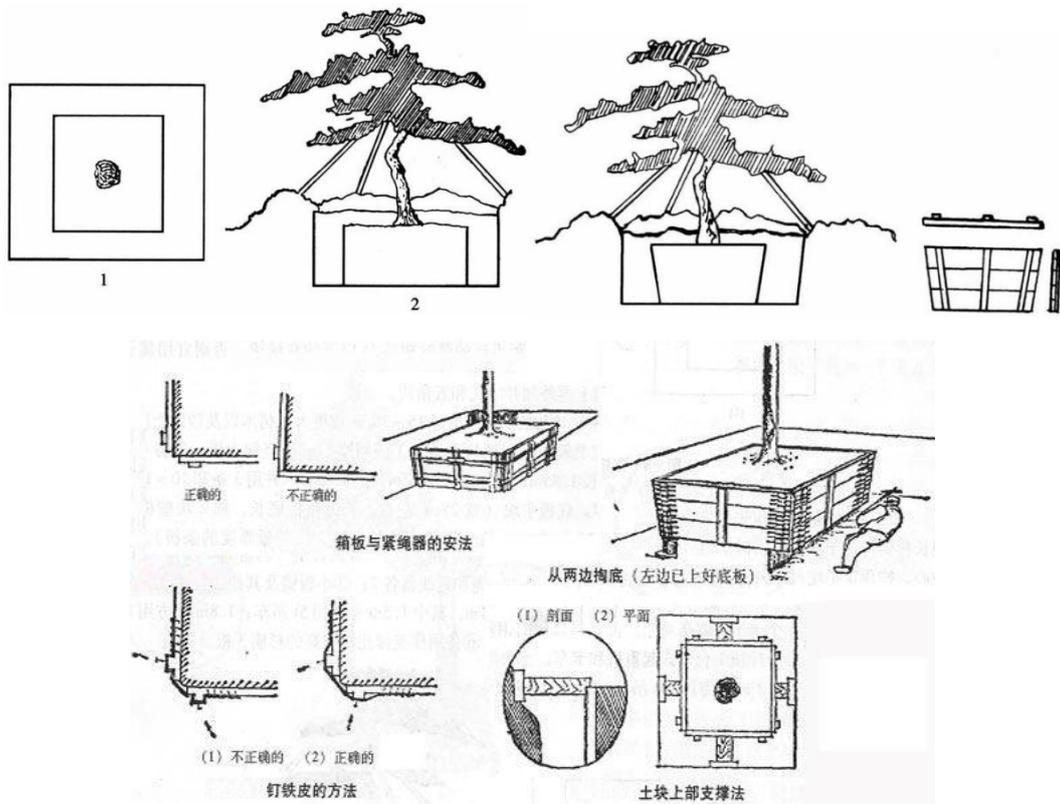
(2)土球挖掘及包装

① 软包扎移植方法：土球直径宜为树木胸径的 7~10 倍，土球直径范围外开挖操作沟，沟宽 60~80 cm，深度 80~120 cm。沟要垂直挖下，不应形成上大下小的尖锅形。去浮土并修整土球，遇大根须用手锯或修枝剪锯断。土球修正至 2/3 深度时，逐步向里以 45°角收底。土球修好后扎腰箍，腰箍宽度为土球厚度的 2/3。后采用五角（或井字、橘子式）包扎法，将土球包扎密实；土球较大时，采用双道腰箍，双道五角（或井字、橘子式）交叉包扎，确保土球不散。



软包扎移植方法示意图

② 木箱包装移植法：土球宽度宜为树木胸径的 7~10 倍，以树干为中心，按预定尺寸外加 5cm 划正方形，于线外垂直下挖 60~80 cm 的沟直至规定深度。将土块四壁修成中部微凸比壁板稍大的倒梯形。遇粗根用手锯或修枝剪锯断，再配合人工将土台挖至确定的大小，以保证四壁板收紧后与土紧贴。上箱板箱壁中部与树干中心线对准，四壁板下口要保证对齐，上口沿可比土块略低。2 块箱板的端部不要顶上，以免影响收紧。四周用木条顶住。距上、下口 15~20 cm 处各横围 2 条钢丝绳，注意其上卡子不要卡在壁板外的板条上。钢丝绳与壁板板条间垫圆木墩用紧绳器将壁板收紧，四角壁板间钉好铁皮。然后再将沟挖深 30~40cm。并用方木将箱板与坑壁支牢，然后将土块底掏挖，达一定宽度，上底板。一头垫短木墩，一头用千斤顶支起，钉好铁皮，四角支好方木墩，再向里掏挖，间隔 10~15 cm 再钉第 2 块底板。最后于土块面上树干两侧钉平行或呈井字形板条。



木箱包装移植法示意图

(5) 起吊运输

起吊的机具和装运车辆的承受能力，都必须超过树木和泥球的重量之和 1 倍以上。

起吊绳必须能承受树木的重量和起吊时的压力，起吊部位必须设置在重心部位。吊装过程中用 3~4 层无纺布包裹树干，土球和起吊绳接触处须垫木板，到位后将土球放稳，用木板等物卡紧以避免滚动。

起吊人必须服从地面施工负责人指挥，相互密切配合，慢慢起吊，吊臂下和树周围除工地指挥者外不准留人。

树木吊起后，装运车辆必须密切配合装运，轻抬、轻卸、轻放，做到树木土球不破损碎裂，根盘无擦伤、撕裂，枝干保持完好。

装车时树根必须在车头部位，树冠在车尾部位，泥球要垫稳，树身与车板接触处，必须垫软物，并作固定。

(6) 种植

树木运到种植地后应检查树干、树冠和土球损伤情况。土球大小规格和种植穴规格应适宜。土球有松散漏底的，应在漏底对应种植穴的部位填上种植土。

树木种植后，根颈部位高出地面 20~30 cm。

定植起吊前可在树干上捆绑两根绳索，以便吊装和定植时用人力控制方向；定植起吊时使树体直立，以便直接进树穴；距树穴 20~30 cm 时，由指挥员掌握好定植方位，应尽量符合树木原生长朝向。将树木轻落树穴中，稳住树体。

树木落入树穴后，首先应拉好浪风绳。用软包扎移植的，先去掉包装材料，然后均匀填上种植土，分层夯实。用刚性包扎法移植的，树木移至种植穴后，拆除可脱卸安装，抽出底部钢板，并卸掉四面钢板，抽底板时防止树木移动，然后均匀填土，分层夯实。

大树的支撑宜用钢管或树木支撑专业设备进行三角或四角支撑，也可用细钢丝绳牵拉埋深支撑，绳与树干相接处垫软物。必要时，部分大树需要用钢架来固定支撑。

支撑宜在树干高 2/3 处或树干二级分叉处，采用三角撑时一根撑杆必须面向主风向，其它两根可均匀分布。发现土面下沉时，必须及时升高扎缚部位，以免吊桩。

树木定植时，回填 1/3 土时，浇第一遍水，使土下沉，整理树穴；继续回填至和土球齐平时，浇足第二遍水。定植后做好水圈，水圈内径与树穴重叠，深度 20~30cm。



树木种植示意图

(7) 养护管理要求

(1) 建档管理

树木迁移后须有专业人员养护，做好现场管理工作，对每株树木的后续养护措施均记入树木档案。

灌溉与排水

迁移的树木应根据不同树种和立地条件以及气候情况，进行适时适量的灌溉，保持土壤中有效水分。生长在立地条件较差或对水分和空气湿度温度要求较高的树

种，必须防止干旱，还应适当进行叶面喷水。灌溉前应松土。灌溉时间，夏季以早晚为宜，冬季以中午为宜。特别注意雨后积水情况，如有积水情况应立即开沟排水。

（3）中耕除草

迁移树木生长势较弱，应及时清除影响新栽树木生长的杂草。新迁移的树木基部附近土壤常因灌水而板结，应及时松土。除草可结合中耕进行，在生长季节，应每月进行一次，中耕深度以不影响根系为宜。

（4）施肥

迁移树木应按生长情况和观赏要求适当施肥。为扩大树冠，以氮肥为主；为促进开花结果，以磷、钾肥为主。肥料应以有机肥为主，若施用化肥，应以复合肥为主。迁移第一年可采用少量多次的方式进行施肥，一直第一年宜采用速效肥。移植第二年起每年施肥 2~4 次，早春或秋季进行。生长较差或生长较慢的迁移树木，在生长季节可每月进行根追肥一次，追肥浓度必须适宜。

整形修剪

迁移树木可在保留自然树形或原有造型基础上修剪。通过修剪，调整树形，促进生长。迁移观花或观果树木，应适当疏蕾除果。迁移树木根系或土球损伤严重或生长势较衰弱者，应进行强剪，甚至短截枝，促抽生强枝，恢复树势，枝稀疏者可多摘心，促新枝茂盛。主梢明显的乔木类，应保护顶芽。孤植树应保留下枝，保持树冠丰满。

（6）保护措施

如遇持续高温干旱，除及时灌溉外，应按新迁移树木的抗旱能力，适当疏去部分枝叶。对新迁移的珍贵树木，必要时遮阴和叶面喷水。

防风：对新迁移树木的原有支撑应经常检查，尤其是在台风来临前应及时加固或增设支撑。对迎风面过大的树冠应适当疏枝。台风过后，应及时抢救扶正倒伏树木，加固支撑物，修剪树冠和清理残枝等。

防寒：凡易受冻害的新栽树木，冬季寒潮来临前应采取根际培土、主干包扎或设立风障等防寒措施，特别注意银海枣为代表的棕榈类植物的防寒保护。防寒工作

宜在 11 月进行，12 月上旬前完成，第二年 4 月解开包扎物。树种在整个养护过程中，应防止人为践踏、碰撞和折损等影响树木生长的行为。必要时可以设置栏杆围护。抢救性措施：对移植后长势衰弱的大树查明原因，针对其具体情况，采取特殊保护措施。

(7) 病虫害防治

贯彻“预防为主，综合治理”的防治方针，充分利用生物多样性原则，优先采用保护和增殖天敌的生物防治措施进行防治。应做好病虫害的预测预报工作，根据病虫害的发生规律，及时做好迁移树种的病虫害的防治工作。防治效果应达到 95%以上。严禁的开放性地区使用剧毒、高残毒和有关部门规定禁用的化学农药。使用化学农药用严格按有关安全操作规程施行。

10.6 砍伐

10.6.1 树木清单

拟对项目调查范围内部分树木采取砍伐处理。

10.6.2 砍伐必要性分析

(1)与建设项目的关系

本项目大部分地段采取管道开挖敷设，一般施工作业带宽度 16m，作业带范围内的树木需要进行迁移处理。拟砍伐树木均在 16m 施工作业带内，需对施工作业带上的所有附属树木采取处理。如不砍伐树木，将会影响项目建设内容的实施。

(2)从树木特点分析

马占相思：造林树种，有潜在的病虫害，不抗风害，易造成安全隐患，迁移成活率低，迁移景观价值低，无迁移利用价值，故拟采取砍伐处理措施。

桉树：属南亚热带速生树种，其树体高大，树体质地较脆，抗风性能差，易导致树体断裂，对行人和建筑物的安全性影响大，且为深根性主根树种，须根不发达，迁移成活率极低，不适宜用作城市绿化景观树种。因此，拟将桉树采取全部砍伐处

理措施。

高山榕、大叶紫薇和枯树：均为死亡株，枯枝无叶，无迁移利用价值，故拟采取砍伐处理措施。

(3)从经济合理性上分析

本项目拟采取砍伐处理措施的马占相思、桉树等，其本身经济价值、社会价值、生态价值与树木产生的迁移成本、后期管理成本、再利用的迁移成本，以及迁移成活率保障成本等方面比较，树木本身综合价值远低于迁移成本，同时砍伐处理也不会造成区域生物多样性降低。如迁移处理，从经济角度分析不合理，因此拟采取砍伐处理措施。

10.6.3 废弃物处理

树木处理施工作业应满足《建设工程施工现场消防安全技术规范（GB50720-2011）》的消防安全作业要求。树木处理施工作业安全围蔽工作应满足《城市道路施工作业交通组织规范（GA/T 900-2010）》和《广州市建设工程绿色施工围蔽指导图集（V2.0版）》（2020年）的施工作业要求。本项目调查范围内拟进行砍伐的树木，在砍伐树木后，须将产生的废弃物进行循环利用等合理处理。对于在砍伐过程产生的植物残体，应统一运送至专业的绿色废弃物循环利用基地，对其进行无害化处理。

（1）废弃物进行分类。现场可设置临时堆放场将大件的树干、树枝、树兜和枯树、纤维较小的树叶等分类堆放，并根据分类堆放的废弃物利用价值，分别进行相应运输。废弃物运输要做到规范运输，不乱倾倒、乱堆放。

（2）根据分类的废弃物的可利用价值，对其进行循环利用。大件的树干、树枝，可造材的部分可作为原材料卖给木材加工厂；树兜可做成根雕艺术品，经过防腐处理，还可以做成园林景观小品等；枯树和纤维较小的树枝树叶等可送去专门的绿化废弃物处理点或集中处理场所，他们利用粉碎机将枯树、枯枝落叶等废弃物进行粉碎，经过再利用转化加工，制成各种有机质和肥料，再次用于城市绿化土壤的

改善等方面。

(3) 树木清除产生的废弃物不能和生活垃圾及建筑垃圾混在一起排放，不能直接倒和生活垃圾站，不能乱倾倒乱堆放，更不能填埋和焚烧。废弃物处理要规范运输，做到经济、环保和安全。

10.6.4 树木砍伐措施

(1) 施工准备

(1) 建立项目管理部：施工项目经理部设立树木砍伐组。配备施工项目经理负责人、专业技术负责人和安全员；

(2) 组织砍树木技术培训。培训内容为特种机械安全操作，机械损伤、树木跌落伤害、用电、消防、交通运输等安全要素、技术方法等培训；

(3) 施工平面布置：施工平面总体布置规范合理，能满足技术、质量、安全要求，严格施行《广州市建设工程现场文明施工管理办法》（穗建质[2008]937号）、《关于进一步规范建设工程施工现场围蔽的通知》（穗建质[2008]1008号）。

施工现场平面布置原则：

- 1) 满足施工的前提下，尽可能满足建设方的要求；
 - 2) 满足施工需要和文明施工的前提下，尽可能节余施工用地，减少临时设施投资；
 - 3) 在保证场内交通运输通畅和满足施工对材料要求的前提下，最大限度地减少场内运输，特别是减少场内二次搬运；
 - 4) 在平面交通上，尽量避免与其他班组相互干扰；
 - 5) 符合施工现场卫生及安全技术要求和防火规范。
 - 6) 临时施工用电从业主提供的电源处引出后，沿本工程道路路边全线架空设置。
 - 7) 临时施工用水从业主提供的市政管网处引出沿路边全面埋设。
- (4) 劳务准备：及时组织施工劳务队伍进场，建立树木砍伐施工班组。

(5) 技术交底：组织人员参加树木砍伐技术交底会议，及时研究施工图纸和技术要求，掌握树木砍伐技术点，对施工难点与建设方和设计单位沟通，并提出解决建议。

(2)制定施工方案

1) 掌握施工工序

技术培训--树木标识--安全围挡--机械设备准备--树木采伐--无害化处理--建立档案等。

2) 主要施工技术方法

1)确定树木采伐范围和树种：先期根据施工区域，确定树木采伐范围和做好树种标识，对照检查，以免错砍；

2)做好树木砍伐安全维护，设立砍伐班组间安全范围；应将伐树周围有碍砍伐作业的灌木和地被清除，并选好安全躲避区域，在伐树范围内设置安全警戒线，非工作人员不得在范围内逗留和接近范围。

3)确定树木倒伏方向，并加牵引绳控制方向，确保安全；

4)由持证机械专业人员进行砍伐操作，伐桩不高于 20CM；

5)倒伏树木按 2-2.5m 长度制材，并运输至专业的绿色废弃物循环利用基地进行无害化处理。

6)清除树桩。使用机械挖除树根，将周围及底部掏空，绑好吊绳，使用吊车起吊至合适位置码好，并回填土平整场地。

7)施工过程中对已有建筑物、设施的防护措施

①保护已有建筑物：对已建成的建筑物进行适当遮挡保护，保证其不受砍伐施工破坏。

②如遇现场贵重设备，现场管理人员须提前告知施工人员，做好防护，并加以标识，责任明确到人。

③原有管线保护。施工前，对沿线的地下通讯设施进行横断面探管工作，对管线摸查清楚和给予保护，严禁野蛮施工而破坏地下通讯设施；要密切与各有关管线

公司联系、协调，解决有关管线公司管线的保护。

④保护原有施工路面，避免破坏。专人负责施工便道和现场的机动车道的尘土防护；经常检查施工用道的路况，路面是否出现破损、是否发生积水、边沟排水是否通畅等；专人负责路况维护工作，对因施工造成的路面破损、凹陷等及时进行修补，确保路况完好；做好施工现场及其附近的道路清扫和树枝清理工作。

3) 关键技术要点

- 1)做好对木标识；
- 2)设立砍伐班组间施工安全范围；
- 3)确保砍伐操作工持证上岗；
- 4)配备树木砍伐安全观察员及安全装备；
- 5)严禁雨天施工。

4) 机械设备投入

油锯、砍刀、运输车辆、吊车、小型勾机等。

5) 施工保障措施

1)配备专业技术人员现场负责指导施工，及时与设计单位、监理单位沟通，防止错砍多砍；

2)严格技术交底管理，严格按照标识树木种类施工；

3)严格监督管理，确保实施区域环境和安全保障；

4)采取绿色施工措施，做到节能、节水、节材与资源利用，保护环境；

节能措施：施工过程制订节能措施，采用高效节能的设备和产品，提高能源利用效率，减少对大气环境的污染；对施工设备进行定期维护、保养，保证设备运转正常；可利用现场建筑物、水电设施等；对电消耗量较大的设备制定专项节能措施；施工过程中应使用符合国家及地方有关规定的清洁能源或可再生能源，以清洁能源替代污染大的能源；施工现场应优先利用可再生能源做临时设施。

材料与资源：工程使用的材料，应尽可能就地取材；采取措施使用符合对环境无害，对人体健康没有影响的绿色建材；严格控制临时设施用料，尽量利用现场回

收的材料，减少材料废料率；建立可再生废料的回收管理，加强施工废弃物管理。

水资源保护：制定切实可行的施工区域水资源保护措施，加强施工生活用水管理。

环境保护：加强场地环境保护，防止施工过程中造成土壤侵蚀，减少施工活动对土壤环境的破坏和污染；减少对施工区域其他植被破坏。

施工车辆、机械、设备的尾气排放符合国家标准；做好生产污水排放处理措施；做好施工周边区域的安全保护。

10.7 结论和建议

10.7.1 结论

经初步摸查，本工程线路施工范围内不存在古树、名木、古树后续资源。

经对项目调查范围内的树木全面统计，以及对项目建设与树木关系的分析，本专章树木保护结论如下：大部分树木原址保护或就近迁移，小部分树木砍伐。

10.7.2 建议

- (1) 切实做好树木迁移和砍伐安全应急预案，安全文明施工。
- (2) 树木迁移和砍伐必须经公示，征求公众意见后，并经绿化行政主管部门组织专家论证批复后方可实施。
- (3) 对迁移树木加强后期监管，确保树木资源的保存率和后续利用。

11. 安全

11.1 工程危险有害因素分析

11.1.1 物料危险性分析

本工程输送的天然气主要成分为甲烷。甲烷属于低毒性物质，对呼吸粘膜和皮肤有一定的刺激作用，空气中含量较高时会造成窒息。甲烷的爆炸于火灾危险性见表 10-1。

表 11.1-1 甲烷特性一览表

名称	化学式	密度 Kg/Nm ³	特性	爆炸 范围 V%	自燃点℃	闪点℃	火灾 危险性
甲烷	CH ₄	0.872	无色无 味气体	5~15	645	<-66.7	甲

天然气具有以下危险特性：

天然气为易燃、易爆介质，属甲类火灾危险性物质，一旦泄漏，与空气混合形成燃烧或爆炸性混合气体（氢的爆炸极限为 4.0%~74.2%，甲烷爆炸极限为 5%~15%），遇火源，立即以爆炸形式向返回方向燃烧，直至漏气处为止，才会转为稳定形式的燃烧。

1. 扩散性

由于气体分子间的空隙很大，分子又在不断的运动。一种气体在另一种气体内的运动称为扩散。可燃气体能以任何比例与空气混合，说明气体具有无限的掺混性。天然气中轻的可燃气体逸散在空气中，容易与空气形成爆炸性混合物，顺风飘移，遇火源即爆炸蔓延，如天然气中的氢、甲烷等。

2. 加热自燃性

天然气加热到一定的温度，即使不与明火接触也能自行着火。发生自燃的最低温度称为自燃点。天然气中可燃气体的自燃点除硫化氢（290℃）外，都在 400~700℃ 之间。

3.腐蚀、毒害和窒息性

天然气中某些组份，如 H_2S 、 CO 、 CO_2 等不仅腐蚀设备，降低设备耐压强度，严重者可导致设备裂隙、漏气，遇火源引起燃烧爆炸事故，而且对人体极为有害。当大量天然气或其生成物扩散到空气或房间里，达到一定浓度，使含氧量减少，严重时也可使人窒息死亡。

11.1.2 工艺过程危险、有害因素分析

工艺过程危害因素主要包括以下方面：

1.有害气体

本工程输送的天然气为无色无味气体，主要成分为 CH_4 ，长时间接触会引起急性中毒，出现头昏、呕吐、乏力、甚至昏迷等症状。昏迷时间过长者，醒后可出现运动性失语及偏瘫，长期接触者可出现神经衰弱综合症。

2.火灾爆炸

本工程输送的天然气为易燃易爆物质，操作不当造成泄漏会引起火灾乃至爆炸。火灾事故、爆炸事故均能造成人员伤亡和财产损失。

3.意外事故

施工时、触电、碰撞、坠落、机械伤害等意外事故均能对人体形成伤害，严重时造成人员的死亡。

11.1.3 其他危害因素分析

(1)自然灾害及其他危害因素

1) 地震

地震对建筑物作用明显，进而威胁设备和人员安全，但出现概率一般较低。

2) 不良地质

不良地质对建筑物破坏作用巨大，但破坏作用往往只有一次，作用时间不长。

3) 雷击

雷击有可能破坏建筑物和设备，并可能导致火灾和爆炸事故的发生，但其出现机会不大，作用时间短暂。

4) 极端气温

当环境温度过高或过低时，会引起人员中暑或者冻伤，甚至可能损坏设备。气温对人的作用广泛，作用时间长，但其危害后果较轻。

5) 暴雨等灾害性天气

暴雨和洪水威胁工程和人员安全，起作用范围大，但出现机会不多，内涝浸渍设备，影响生产，但对人的危害较小。

总体来看，自然危害因素的发生基本是不可避免的，但可以对其采取相应的防范措施，以减轻人员、设备的伤害或损失。

(2) 社会危害因素分析

社会危害主要存在以下方面：

- 1) 移动、拆除、损坏燃气设施及为保护管道设施安全而设置的标志、标识；
- 2) 在管道中心线两侧各 5m 范围内，取土、修渠，排放腐蚀性物质，堆放大宗物资，采石、盖房、修筑其他建筑物、构筑物或者种植深根植物；
- 3) 在管道中心线两侧或者管道设施场区外各 50m 范围内，爆破和修筑大型建筑物、构筑物工程；
- 4) 在管道设施上方巡查便道上行驶机动车辆或者在地面管道设施、架空管道设施上行走；
- 5) 危害燃气设施安全的其他行为。

(3) 人为危害因素分析

- 1) 违章作业：包括违章指挥、违章操作(违反工艺操作规程)、操作错误等；
- 2) 违章动火：在系统运行或停运期间，对系统设备、设施或危险作业场所进行动火作业时，管理人员为赶工期，在系统达不到动火条件时，指挥作业人员动火，或作业人员无视有关动火原则，擅自动火，极易造成安全事故；
- 3) 违章电操作：系统电力供应、设备及仪器仪表运行控制、照明等都大量采用各种控制开关、按钮及线路。如果任意布线，使用防爆性能等级不符合要求的电缆线、电气设施，随意按动或按错控制开关、按钮，将造成停电、系统停运、憋压、管道及设备损坏、电气起火等，并引发一系列安全事故；
- 4) 违章开关阀门：为满足工艺要求或系统紧急停车要求，阀门开关应按一定要求进行，一旦开错阀门、或不按顺序开关、或开关方向逆反，将造成系统憋压等安全

事故；

5) 检修、抢修操作违章：检修、抢修时，如果安全条件不具备、安全措施不落实、作业方法不恰当，例如管道设备内的介质未充分置换、管道连通处未设置盲板、违章动火、消防安全措施不具备、采用不许使用的作业工具等，都有可能产生安全事故。

11.2 安全主要对策与防护措施

11.2.1 安全防范与保护措施

根据危害因素特点，本工程职业安全卫生的重点是防火、防爆、防毒、防噪声。故设计时从总图布置、工艺设计、设备选型及配套工程等方面均应以此为中心，严格执行设计规范，坚决贯彻“安全第一，预防为主”的方针，遵循消除、预防、减弱、隔离、连锁、警告的技术措施。在设计上采取如下措施，从根本上防范事故的发生。

1.管道设计

管道系统设计均为密闭系统，易燃、易爆物料在操作条件下运行在密闭的设备和管道系统中；

所有压力容器和设备按国家现行标准和规范进行设计、制造和检验；

2.消防防火

消防力量应采取自身建立义务消防组织，根据制定的应急救援预案定期进行事故演练，以便应对初期火灾的扑救与抢险；对于较大的事故应与周围的消防队进行联防，每年自身建立的义务消防组织应与联防单位最少组织不少于 2 次的联合演习，提高紧急情况下的事故应急能力，将企业的意外损失减少到最低。

3.其它

管道线路设置必要的标志，防止意外事故发生。

健全安全卫生机构，专职负责公司的安全卫生工作。职工定期检查身体；

完善安全管理制度，加强安全教育，树立“安全第一”的指导思想，杜绝人为因素造成的事故。

11.2.2 事故应急救援措施

本工程可能发生的重大事故为压力容器、压力管道等泄漏后产生的火灾爆炸事故（即化学爆炸），也有可能产生压力容器、压力管道超压引起的爆炸事故（即物理爆炸），两种情况都有可能导致易燃易爆气体大量泄漏引发重大事故，从而造成财产损失和人员伤亡。

本工程在投运前建设单位应制定事故抢险预案，对可能产生事故的重要部位及可能引发的事故种类制定相应的应急救援措施，根据新建设施需要完善应急救援组织，加强岗位人员配备及消防器材管理，细化救援措施，抢险路径、步骤及人群疏散等均应作出具体明确规定，并应在日常管理中注意演练，确保不发生事故或事故发生时，可在第一时间把事故消灭在萌芽状态，把损失降低到最小程度。

11.2.3 安全管理机构

本工程隶属广州燃气集团，HSE 管理依托集团现有 HSE 专门管理机构，负责工程建设及运营期间安全监督、管理需要，依托下设的抢修、维修队伍专职负责项目的安全预防及事故抢险工作。并与当地消防部门紧密联系。

11.3 预期效果

本工程的可行性研究报告对各种危险有害因素均采取了安全对策措施，设计、施工和运行各阶段应落实各项安全措施和对策，以此为基础进行设计及施工、运营控制，本工程可最大限度保障安全。

12. 职业卫生

12.1 职业病危害因素分析

1.本工程所输送的介质为天然气,属易燃、易爆危险物。防火危险等级属甲 B 类,IV级。

高浓度天然气的聚集,在爆炸范围内与空气混合,遇到火花可能发生爆炸事故,同时高浓度天然气对人体有一定的危害作用。

2.管道埋在地下,由于自然因素的影响,以及管道的内腐蚀,可能使管道受到腐蚀而发生泄漏事故。任何原因引起天然气泄漏、聚集,在遇到明火时都有可能发生火灾爆炸事故,危及到设备及人身安全。

3.工艺设备运行时产生的噪声和振动,可能会对周围环境及人体健康产生影响,设备运行中噪声太大的环境会造成听力损害。

4.职工在生产和维修期间可能发生的一些事故性危害,例如触电、天然气导致窒息,有害或有刺激性气体的危害等。雷电造成事故。

5.在现场踏勘和施工过程中,作业人员可能感染地方病;在施工过程中,使工作产生的噪声、有害气体等可能对人体造成损害。

6.违反操作规程造成事故等。

12.2 职业卫生主要防护措施

12.2.1 防护措施

1.对特殊有毒、有害场所设置安全防护标志。

2.采用隔声措施,使作业人员尽量远离噪声;

3.针对电焊烟尘、矽尘、水泥粉尘、混合尘,以及化学性有毒物质和放射性危害,各作业区域配备适当的防毒口罩、空气呼吸器以及必要劳动保护措施,改善作业场所的通风状况、加强个人防护、加强劳动保护宣传教育及现场跟踪检测工作;

4.现场人员穿防静电工作服,并在现场设置消除静电的触摸装置;

5.管线采用防腐材料和阴极保护相结合的方式;

6.设计选用质量可靠的管材和工艺设备,保证管道的带压运行安全。并使各站具

备可靠的安全泄压就地保护措施；

7.站内设施运用高质量、高可靠性产品，关键部件和附件充分考虑工艺过程及物料特性的要求。

8.为防止泄漏引起爆炸、燃烧，在场站的重要地点等设置可燃气体浓度探测报警装置。

9.设置紧急截断和放空系统，可保障压力超限时不危害设施安全。

10.电器设备、设施的选型、设计、安装及维护等均需符合规范。

11.采取防雷和防静电设计。

12.高温防护措施为做好防暑降温，补充水分和食盐、供应适当清凉饮料、戴好宽边草帽、调整劳动休息时间等。低温防护措施为穿好防寒服、穿戴好防寒手套及鞋。

12.2.2 管理措施

1.建立健全各级人员安全生产责任制和各类安全管理规章制度，制定各种作业的安全技术操作规程。成立管道监查机构，协同公安、司法部门保证对管道及其附属设施安全保护工作进行监督。

2.开展职业病评价，根据评价结果完善设计方案，建立防范制度和相关措施；

3.可能发生职业病危害事故的各作业区域，配备适当的防毒口罩和空气呼吸器，设置应急救援器材和设备。

4.加强全员教育和培训，增强安全意识，提高安全操作技能、急危重症和事故应急处理能力。

12.3 预期效果

本工程在设计中充分考虑了各种自然和人为因素对职业卫生的影响，并采取了相应的防护措施，只要在施工及运行管理上认真对待各种安全问题，把相应的对策和措施落到实处，并不断完善和加强，工程便可长期、安全、平稳地运行。

13. 机构与定员

13.1 项目实施期机构和劳动定员

为推进工程项目的顺利实施，拟成立配套高压燃气管道项目工作小组，进行工程建设和协调，待完工验收后交付运营中心统一管理，此项目组取消。项目实施期间管理机构定员表如下：

表 13.1-1 机构定员表

劳动定员表		
序号	项目	定员（人）
1	项目经理	1
2	筹备组	2
3	工程建设组	2
4	施工协调组	2
5	监督小组	1
6	合计	8

13.2 项目营运期机构和劳动定员

本工程隶属广州燃气集团，是为集团发展的增补工程。广州燃气集团已有成熟的管理架构以及定员，本工程新建设施场站管理、工程技术、管网维护及 HSE 管理依托现有组织机构进行日常生产运营管理，本工程不考虑新设组织机构，只考虑根据供气规模增大而必须增加的劳动定员。考虑本项目巡线和抢修不方便，故本项目增加巡线和抢修人员各 1 名。人员由广州燃气集团统一定员。

14. 项目实施进度安排

14.1 实施阶段

本工程包含以下主要工作阶段：可行性研究阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段、施工阶段、验收及投产阶段。

14.2 实施进度计划

工程实施可分为可研编制及评审、环评及安评、前期核准审批，初步设计、设备招投标、项目施工图设计、施工、竣工验收、通气点火等分项。本工程计划从 2023 年 7 月开始，至 2025 年 9 月完工，正式投产。具体进度安排如下：

表 14.2-1 项目实施进度计划表

序号	任务名称	2023 年						2024 年							
		7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5-12 月	1-7 月	8 月	9 月
1	项目可研编制及评审	■													
2	稳评、环评、安评		■												
3	项目核准审批			■											
4	勘察设计招标				■										
5	路由规划许可					■									
6	初步设计及审查					■	■								
7	施工图设计及审查						■	■							
8	施工、监理及其他招标							■	■						
9	开挖审批等手续									■					
10	项目施工										■	■			
11	测径、清管、干燥													■	
12	竣工验收														■

15. 项目招标方案

15.1 招标范围

根据《中华人民共和国招标投标法》规定，在中华人民共和国境内进行的大型基础设施、公用事业等关系社会公共利益、公众安全的项目，以及全部或者部分使用国有资金投资或者国家融资的项目中涉及的勘察、设计、施工、监理以及与工程建设有关的重要设备、材料等的采购，必须进行招标。本工程属大型基础设施项目，应按照招标投标法的要求进行招标。

本工程中满足招标投标法中招标条件的勘察、设计、施工、监理、设备材料采购等活动需要全部进行招标。安装工程、监理、重要材料全部采用招标方式。设备采购中满足招标投标法中招标条件的，都要进行招标，部分因满足项目设计要求的制造厂家不足三家的设备，采用邀请谈判方式采购。

15.2 招标组织形式

按照《中华人民共和国招标投标法》的规定，招标单位具有编制招标文件和组织评标能力的，可以自行办理招标事宜。任何单位和个人不得强制其委托招标代理机构办理招标事宜。

本工程建设方广州燃气集团有限公司具有编制招标文件和组织评标能力，同时具有丰富的招标经验，因此本工程可自行组织招标或委托具有编制招标文件和组织评标能力的招标代理机构组织招标。

招标方式：

本工程勘察、设计、施工、监理以及过滤、计量、阀门等重要设备、管材等采购活动拟采用的公开招标的方式。

15.3 招标基本情况表

招标基本情况具体内容详见表 15.3-1。

表 15.3-1 招标基本情况一览表

名称	招标范围		招标组织形式		招标方式	
	全部 招标	部分 招标	自行 招标	委托 招标	公开 招标	邀请 招标
勘察设计	√		√		√	
施工	√		√		√	
设备购置	√		√		√	
材料购置	√		√		√	
监 理	√		√		√	

16. 投资估算及财务评价

16.1 投资估算

16.1.1 投资估算编制范围

本投资估算所包括的工程范围及工程内容为：

- 1.新建 6.3MPaDN500 高压天然气管道 5.1km；
- 2.旺隆电厂新增计量、收球装置、在线分析小屋各一座；
- 3.年输气量 6.12 亿 Nm³ /a。

16.1.2 投资估算编制依据

1. 方案图纸及工程量表。
2. 广东省建筑、安装、市政工程综合单价表及费用标准。
3. 《市政工程投资估算编制办法》；建标[2007]164 号。
4. 《广州市高压燃气管网供气能力评估及建设规划》
5. 类似工程造价参考指标。

16.1.3 投资估算方法

一、工程费用

1.管线工程：参考《广州市高压燃气管网供气能力评估及建设规划》管线工程综合单价，按 1300 万/km；

2.穿越铁路工程：参考类似工程项目，按 2500 万/处；

3.电厂计量撬：参考类似工程项目及市场询价，按 800 万/座；

4.电厂收球装置：参考类似工程项目及市场询价，按 500 万/座；

5.在线分析小屋：参考类似工程项目及市场询价，按 80 万/套；

6.道路工程：按沥青道路综合单价 450 元/m²；

7.综合管线迁改：参考地铁迁改各类管线综合单价计取。

二、其他费用

1.高压管线借地费用：依据广州燃气集团以往工程的经验和增城地区的标准；管

线永久借地费按 62 万元/亩计取，管线临时借地费按 4 万元/亩计取；

2.构筑物征拆费用及安置房成本费用：建筑物征拆单价按建筑面积计取，参照《广州市增城区人民政府关于印发增城区征收集体土地补偿办法的通知》（增府规〔2018〕2号）进行费用测算。由于本项目建设条件复杂、建设期较长，存在物价水平上涨、施工方案变更等较多不确定因素，因此该费用在计算费用基础上上浮 30%；

3..工程建设其他部分费用：参考《市政工程投资估算编制办法》（建标〔2007〕164号）有关规定计算各项费用。

三.预备费

预备费为基本预备费，根据《市政工程投资估算指标》第七册 燃气工程，费率按 8%计取。

16.1.4 投资估算

本工程总投资为 42186 万元，其中，建设投资 39694 万元，建设期利息 2095 万元，铺底流动资金 397 万元。详见下表。

表 16.1.4 投资估算表

序号	工程或费用名称			估算金额（万元）					比例
				建筑工程	安装工程	设备及工器具购置	其他费用	合计	
一	工程费用	单位	工程量	6259	8365	1130		15634	37.06%
1	线路工程-直缝双面埋弧焊钢管 D508×14.2	km	5.1		6630			6630	
2	穿越广深城际、普速铁路	处	2	5000				5000	
3	电厂计量装置	座	1	100	100	600		800	
4	电厂收球装置	座	1		50	450		500	
5	在线分析小屋	套	1			80		80	
6	道路工程	m ²	20428	919				919	
7	综合管线迁改			120	1585			1705	
7.1	拆除 220kV 架空电塔	座	15	120				120	
7.2	埋地电力管线	km	0.25		172			172	
7.3	排水管线	km	1.57		856			856	
7.4	给水管线	km	0.52		327			327	

序号	工程或费用名称			估算金额（万元）					比例
				建筑工程	安装工程	设备及 工器具 购置	其他费用	合计	
7.5	通信管线	km	0.63		120			120	
7.6	燃气管线	km	0.43		110			110	
二	工程建设其他费用			说明				21122	50.1%
1	高压管线永久借地费			62 万元/亩			4984	4984	80.39 亩
2	高压管线临时借地费			4.3 万元/亩			181	181	42.01 亩
3	建构筑物征拆费用						11387	11387	
4	安置房成本费用						1814	1814	
5	项目建设管理费			财建[2016]504 号			460	460	
6	工程建设监理费用			发改价格[2007]670 号			317	317	
7	前期工作咨询费			计价格[1999]1283 号			118	118	
8	勘察费			建标[2007]164 号, 工程费用*1.1%			172	172	
9	设计费			《工程勘察设计收费导则（第二版）2021 年》			601	601	
10	施工图预算编制费			计价格[2002]10 号), 设计费*10%			60	60	
11	环境影响咨询服务费			计价格 [2002] 125 号			21	21	
12	安全卫生评审费			建标[2007]164 号, 工程费用*0.5%			78	78	
13	专项评价及验收费（环评、安评、防洪等）			建标[2007]164 号, 工程费用*1.5%			235	235	
14	场地准备费及临时设施费			建标[2007]164 号, 工程费用*1.0%			156	156	
15	工程保险费			建标[2007]164 号, 工程费用*0.45%			70	70	
16	竣工图编制费			建标[2007]164 号, 设计费*8%			48	48	
17	联合试运转费			建标[2007]164 号, (安装费+设备费)*1.5%			142	142	
18	招标代理服务			计价格[2002]1980 号			33	33	
19	施工图审查费			发改价格[2011]534 号文, (勘查费+设计费)*6.5%			50	50	
20	材料检验试验费			工程费用*0.2%			31	31	
21	竣工测量费			7800 元/km			4	4	
22	公共资源交易服务			穗发改(2017) 811 号			33	33	

序号	工程或费用名称	估算金额（万元）				比例	
		建筑工程	安装工程	设备及工器具购置	其他费用		
23	压力管道检验费	粤价函[2005]671号			15	15	
24	造价咨询服务费	粤价函[2011]742号			109	109	
三	基本预备费	(工程费用+其它费用)*8%				2940	6.97%
四	建设投资	一+二+三				39694	
五	建设期利息	按建设投资 70%贷款, 贷款利率 4.6%, 建设期为 3 年				2095	4.97%
六	铺底流动资金	按建设投资 1%				397	0.94%
七	项目总投资	四+五+六				42186	100%

注：具体工程量详见表 2.12-2 和表 4.2-2。

16.1.5 资金筹措

本工程项目总投资为 42186 万元，资金来源银行贷款和公司自筹。其中债务资金为 29881 万元，为 70%建设投资及建设期利息，占项目总投资 70.83%；建设投资的 30%及铺底流动资金为企业自筹，共 12305 万元，占项目总投资 29.17%。详见下表。

表 16.1.5 项目总投资使用计划与资金筹措表（万元）

序号	项目	汇总
1	项目总投资	42186
1.1	建设投资	39694
1.2	建设期利息	2095
1.3	流动资金	397
2	资金筹措	
2.1	项目资本金	12305
2.1.1	用于建设投资	11908
2.1.2	用于流动资金	397
2.2	债务资金	29881
2.2.1	建设投资借款	27786
2.2.2	建设期利息	2095
3	项目资本金占总投资比例（%）	29.17%
4	债务资金占总投资比例（%）	70.83%

16.2 财务评价

16.2.1 依据和方法

1. 财务分析依据

根据住房和城乡建设部关于批准发布《市政公用设施建设项目经济评价方法与参数》（建标[2008]162号）及国家、地区有关文件规定。

2. 财务分析方法

本项目按新建项目进行财务分析，按不含税模式进行分析，按所得税后财务内部收益率及财务净现值测算项目的经济可行性。

16.2.2 评价参数和基础数据

1. 建设规模

本项目新建高压管道 5.1km，场站改造 1 座，旺隆电厂内分别新建计量装置、收球装置、在线分析小屋各 1 座，向旺隆电厂进行供气，年输气量为 6.12 亿 Nm³/a，建设投资 39694 万元。

2. 项目计算期

本项目计算期 33 年，其中，建设期 3 年，运营期 30 年。

3. 燃料及动力费

本工程天然气消耗主要是更换过滤器的滤膜（一年两次）时管路内的输送介质的释放、安全放散装置在压力超限时天然气的放散、管线的阀门的泄露和在系统异常及故障时需要抢修时才会有部分天然气放散（按照每年一次计算），再考虑管输过程中少量损耗，年消耗天然气按 10000Nm³/a，天然气价格按 3 元/Nm³（含税）。

本项目年耗电量主要为仪表及电动阀门的消耗，约为 15×10⁴kw·h/a，电费单价按 0.7 元/kwh。

4. 工资福利

本项目新增劳动定员共 2 人，平均基本工资及福利费按 18 万元/人·年考虑，年增长率为 5%。

5. 折旧费

本项目建设投资及建设期利息计入固定资产，固定资产折旧按 30 年，不考虑残

值，采用平均年限折旧法，年折旧额为 1393 万元（含建设期利息）。

6.维护及修理费

维护及修理费按固定资产原值的 2.5%估算。

7.其他费用

其他费用按照工资福利的 120%估算。

8.天然气管输费

本项目为广州增城旺隆气电厂新建高压燃气支线长度 5.1km，电厂天然气年用气量为 6.12 亿 Nm^3/a ，根据燃气集团新增燃气电厂管输费收费方案，经计算本项目天然气管输费按 0.1 元/ Nm^3 （含税）进行新建项目财务评价。

9.基准收益率

本项目基准收益率为 6%。

10.增值税、销售税金及附加、所得税、利润分配

税金计算和税率按照我国现行有关税收政策的规定计算。增值税税率为 9%，城市维护建设税和教育附加费（含地方教育附加）分别为增值税的 7%及 5%，以此计算每年销售税金和总税金，所得税按利润的 15%计算，在可供分配利润中提取 10%的法定盈余公积金。详见附表 2“营业收入、税金及附加和增值税估算表”及附表 5“利润与利润分配表”。

11.成本费用估算及分析

本项目总成本估算范围为工程作业成本、管理费用、财务费用和营业费用，计算出年均总成本费用为 2802 万元。

详见附表 3“总成本费用估算表”

16.2.3 收入、税金及利润估算

1.营业收入估算

根据附表 2“营业收入、税金及附加估算表”，可以计算出达产后年营业收入为 5599 万元（不含税）。

2.税金估算

根据附表 2“营业收入、税金及附加估算表”，可以计算出运营期年均增值税 504 万元，年均营业税金及附加为 60 万元/年。

3. 所得税估算

应纳税额 = (应纳所得税额 - 用于弥补以前年度亏损额) × 税率

应纳所得税额 = (利润总额 - 准予扣除项目金额)

本项目所得税税率为 15%，根据附表 5 “利润与利润分配表”，可以计算出年均所得税为 411 万元。

4. 利润估算

根据附表 5 “利润与利润分配表”，可以计算出本项目年均净利润为 2326 万元。

16.2.4 财务盈利能力分析

在满足建设投资、输气量和经营成本预测的情况下，对项目的盈利能力进行分析。

1. 总投资收益率和资本金净利润率

总投资收益率 (ROI) = [EBIT/TI] × 100% = 7.03%

资本金净利润率 (ROE) = [NP/EC] × 100% = 18.90%

总投资收益率和资本金净利润率高于行业标准，基本满足投资者要求，详见附表 5 “利润与利润分配表”。

2. 内部收益率和财务净现值

经过分析，计算所得税后财务内部收益率 8.16%，所得税后财务净现值 9591 万元 (Ic=6%)，详见附表 6 “项目投资现金流量表”。

项目资本金财务内部收益率为 12.47%，详见附表 8 “项目资本金现金流量表”。

3. 投资回收期

根据附表 6 “项目投资现金流量表”，可以计算出项目税后投资回收期为 13.02 年 (含建设期)。

16.2.5 财务生存能力分析

根据附表 7 “财务计划现金流量表”可以看出，到项目运营期末累计盈余资金 87252 万元。所以项目在市场确定的情况下，具有生存能力。

16.2.6 不确定性分析

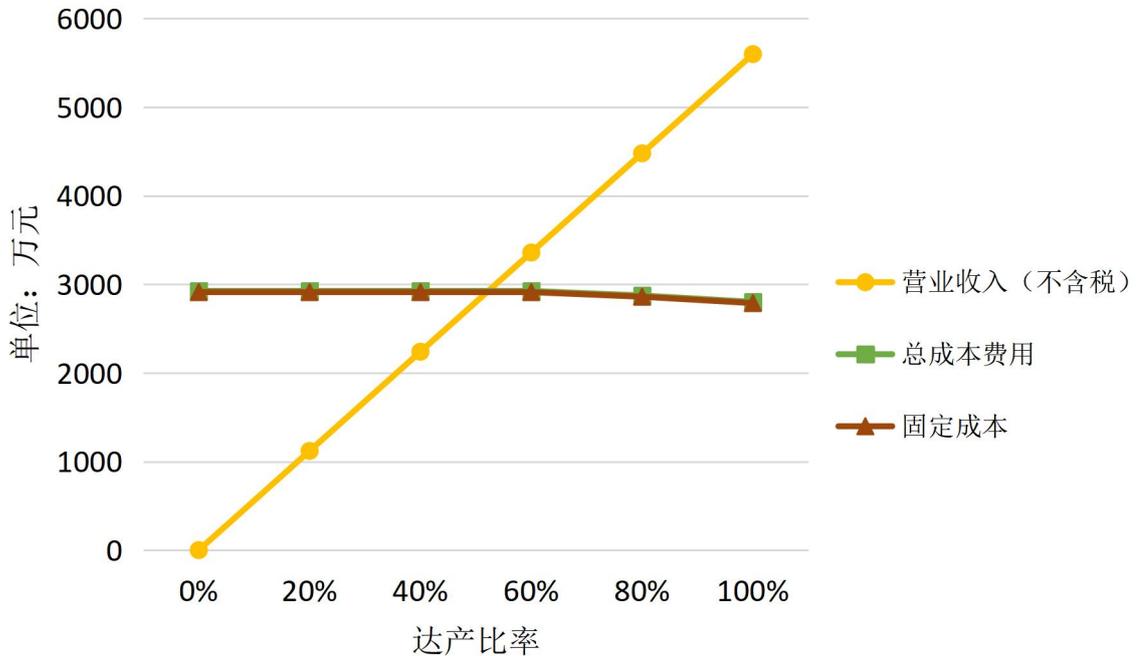
一、盈亏平衡分析

BEP (生产能力利用率) = [年均固定成本 / (年均营业收入 - 一年均营业税金 - 一年均

可变成本)]×100%

根据附表 7 “总成本费用估算表”，本项目在计算期内的盈亏平衡点平均值为 50.40%，具有较强的抗风险能力，详见下图。

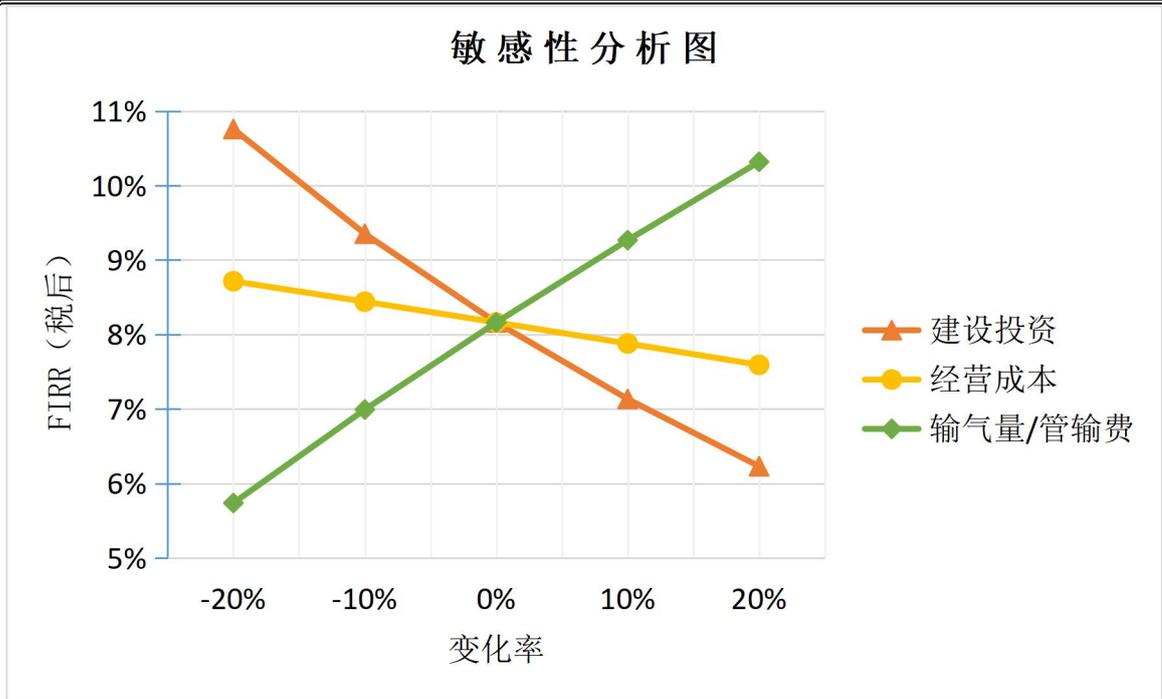
盈 亏 平 衡 图



二、敏感性分析

敏感性分析是通过分析、预测项目主要因素发生变化时对经济评价和指标的影响，从中找出敏感因素，并确定其影响程度。本项目为城市公用设施，影响因素较多，主要影响因素为建设投资、经营成本、输气量（或管输费）。现对以上三个因素分别提高和降低 10%、20%，进行单因素分析，判别各因素的敏感程度及对项目财务内部收益率的影响。

从敏感性分析图中可以看出，财务内部收益率对输气量（或管输费）的变化最为敏感，其次为建设投资，最不敏感是经营成本。在输气量（或管输费）降低 20%的情况下，其财务内部收益率低于基准收益率（ $i_c=6\%$ ），项目将经济上不可行。在建设投资或经营成本下降 10%，或输气量（或管输费）增加 10%的情况下，投资效益较好。因此，该项目要获得比较好的经济效益，应制定合理的收费标准，保证输气规模，控制建设投资和经营费用。



16.2.7 评价结论

表 16.2.7 主要财务指标汇总表

序号	项目名称	单位	指标	备注
	建设期	年	3	
	经营期	年	30	
1	项目总投资	万元	42186	
1.1	建设投资	万元	39694	
1.2	建设期利息	万元	2095	
1.3	铺底流动资金	万元	397	
2	项目资本金	万元	12305	
3	贷款资金	万元	29881	
4	年均营业收入(不含税)	万元	5599	
5	年均营业税金及附加	万元	60	
6	年均增值税	万元	504	
7	年均经营成本	万元	1181	
8	年均总成本费用	万元	2802	
9	年均利润总额	万元	2737	
10	年均所得税	万元	411	
11	年均所得税后利润	万元	2326	
12	财务内部收益率			

序号	项目名称	单位	指标	备注
12.1	财务内部收益率（所得税前）	%	9.09%	
12.2	财务内部收益率（所得税后）	%	8.16%	
13	财务净现值			
13.1	财务净现值（所得税前）	万元	14199	ic=6%
13.2	财务净现值（所得税后）	万元	9591	ic=6%
14	投资回收期			
14.1	投资回收期（所得税前）	年	12.19	
14.2	投资回收期（所得税后）	年	13.02	
15	项目资本金财务内部收益率	%	12.47%	
16	总投资收益率	%	7.03%	
17	资本金净利润率	%	18.90%	
18	盈亏平衡点	%	50.40%	
19	项目资本金	万元	12305	29.17%
19.1	用于建设投资	万元	11908	
19.2	用于流动资金	万元	397	
20	债务资金	万元	29881	70.83%
20.1	用于建设投资	万元	27786	
20.2	建设期利息	万元	2095	

综上所述，该项目各项经济指标较好，投资回收期适中，投资内部收益率高于基准收益率，投资利润率水平较理想，从经济效益方面考虑，该项目可行。

17. 风险分析、建议及结论

17.1 风险分析

17.1.1 气源风险

为保障电厂用气，依据可研方案，近期需要同上游气源供应方（大鹏广州东分输站）协商供气问题，目前广燃广源门站已基本完成扩容改造，其规模能满足电厂用气需求，而大鹏广州东分输站仅完成初期升压改造，但未完成扩容改造，近期电厂存在无法用气的风险。

17.1.2 建设风险

本工程线路工程涉及铁路、公路、河涌、地铁、市政路，沿线周边为住宅小区、商业体、工业园、村落，需要征询沿线各部门（单位）意见，需要做河涌防洪评价、各类安全评价、社会稳定性评价等。若由于各种原因出现阻扰工程建设用地不能顺利征借到位，可能导致建设线路调整、工程量增加、投资增加及工期延长等风险。

17.1.3 市场风险

目前燃气集团与旺隆电厂未签订的供气框架协议，对于气源价格及管输费，电厂是否能承受存在不确定性。另外，作为调峰电厂，受未来电力价格波动和电力需求量变化，电厂年发电小时数可能不足 3300h，年用气量减少，造成年收益率降低，投资回收期延长。

17.1.4 管网运营风险

本工程燃气管道运营压力高，途经地区为四级地区，存在大型住宅小区、综合体、地铁站的敏感区域，运营投产后，管道完整性管理工作复杂，管网运营风险较高。

17.2 建议

为应对上述风险，保障旺隆电厂能够顺利投产，建议如下：

1. 建议尽快与上游供气方协商，加快上游场站扩容改造。
2. 加快推进沿线各部门（单位）意见征询工作，同时开始推进河涌防洪评价、各

类安全评价、社会稳定性评价等工作。

3. 建议尽快与旺隆电厂签订供气协议，明确供气方问题。

4. 根据旺隆电厂进度，电厂 2025 年 9 月需要试运行，时间紧迫，建议尽快开展立项、规划报批等后续工作，以保障电厂用气进度需求。

17.3 结论

本工程作为广州增城旺隆气电替代工程项目的配套燃气管线工程，为电厂燃机提供天然气作为发电燃料，是电厂项目不可缺少的重要配套工程。目前电厂项目已获得核准通过，因此本燃气管线工程建设是十分必要的。

本工程年输气规模约 6.12 亿方，保障旺隆电厂投产用气，符合广州市十四五规划，不仅对地区供电有一定的保障，同时也能极大的提升燃气集团的输气规模，远期能帮助释放南沙 LNG 调峰气源站的产能。经过分析，本项目在技术上是可行的。

