

电缆隧道综合监测系统技术方案

一、概述

为提高电缆运行效率和保障电缆运行安全，本隧道综合监控系统采用分层分布式网络结构，按对象进行设计，单网配置。系统通过采集表征电缆实际运行状态的环流信息，实现对输电电缆实际运行工况和环境的实时监测与掌控，确保电缆的安全和高性能运行；通过对井盖的智能监测，实现防盗、防侵入；通过对隧道关键位置视频的监测，实现对设备、环境等的图像观测；通过对隧道有毒有害气体的监测，保障隧道巡检人员的安全。

系统监测内容如下所示：



1. 电缆隧道综合监测主站端

电缆隧道综合监测系统总体上分为三层：分别是系统主站层、通信传输层、数据采集设备层，各层在统一的安全框架下运行，完成电缆隧道综合检测的功能，系统典型结构如图 1 所示。

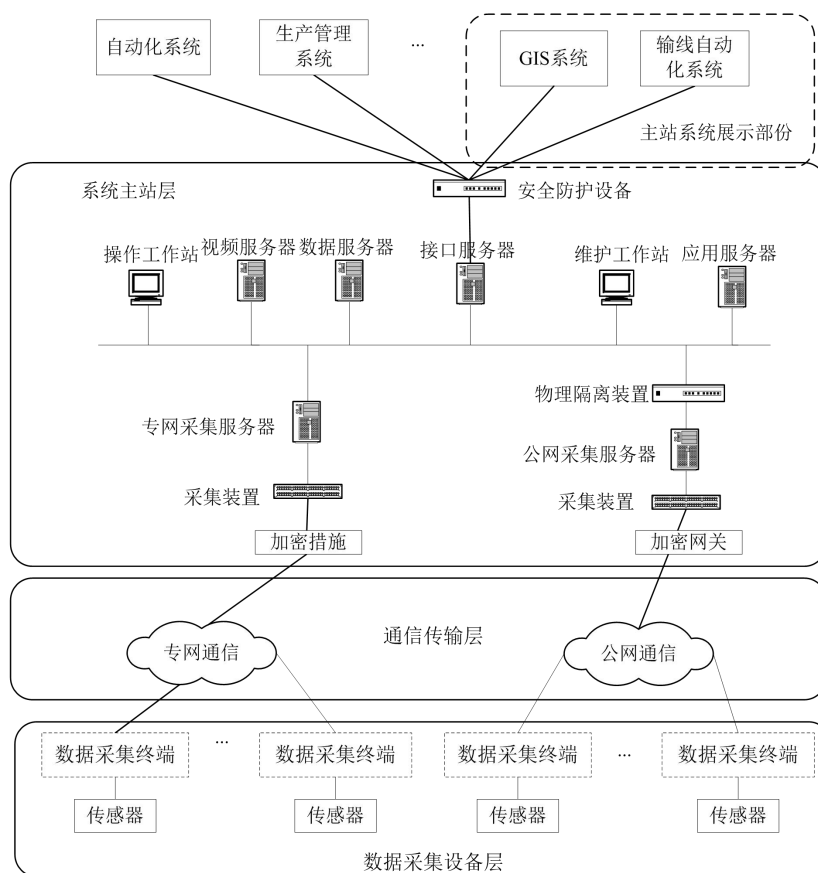


图 1、电缆监测系统典型结构图

1.1 系统主站

主站系统采用分层分布式系统结构，分为：系统管理平台层、数据采集层、业务应用层、数据展示层。充分利用成熟的网络管理技术、数据库中间件、面向对象以及应用组件技术，遵循 IEC 61970 CCAPI 系列的公用信息模型（CIM）和组件接口规范（CIS），在基本的 SCADA 应用的基础上，集成光纤测温及专家分析系统、局放及专家分析系统、接地电流及专家分析系统、环境监控系统等应用，完成实时的电力电缆运行状态、环境信息、监控及应用分析需求。

1.1.1 系统要求

1.1.1.1 标准性

电缆隧道综合监测系统的软硬件平台应具有良好的开放性和广泛的适应性，应基于相关国际、国家、行业及企业标准开发，可插入任何符合相关标准的应用模块或子系统，并支持模块或子系统间的数据和功能交互，系统规模和功能可按需扩展。

1.1.1.2 可靠性

电缆隧道综合监测系统建设时应充分考虑可靠性要求，通过关键硬件设备及软件采用冗余配置、集群（主备/负载均衡）技术、虚拟化技术、容灾备用等技术手段，消除单点故障，确保不因部分软硬件故障而影响系统功能的正常运行。

1.1.1.3 可用性

电缆隧道综合监测系统所采用的软硬件设备应具有良好的可管理性，可自动报告自身状态或响应状态查询指令，可响应运行控制指令（启动/停止、主备切换等）。

电缆隧道综合监测系统应提供方便易用的操作、维护和管理界面，系统功能组织合理、界面美观易懂、操作方便快捷。使用人员无需经过复杂的培训即可掌握并使用此系统。

1.1.1.4 安全性

电缆隧道综合监测系统应满足信息系统安全等级保护及电力二次系统安全防护相关标

准、规范的要求。在运行过程中应确保不对电网安全运行产生负面影响，不因系统本身的故障或错误导致电网安全事故。

1.1.2 系统管理平台层

系统管理平台层主要功能包括：系统模型、图形管理、系统资源管理、安全防护管理、与其他系统交互等。

1.1.2.1 全景数据建模

全景数据建模包括元数据管理功能和建模功能。

- a) 元数据管理实现对基础元数据、业务元数据的管理，其功能包括元数据的收集、存储、编辑、发布、查询等。
- b) 系统具备可视化的绘图建模功能，实现对电网运行相关各类模型、图形信息的统一维护，可提供图模一体化的图形绘制、模型建立与参数维护、模型库浏览与编辑、模型导入与导出、模型合并与拆分、图形导入与导出等功能。

系统模型包括：电网模型、电缆隧道模型，图形包括：配网接线图、电缆接线图等，该部分为系统应用层提供模型基础；系统能够完成模型、图形的备份与恢复。

1.1.2.2 系统资源管理

系统资源主要包括硬件环境（服务器、工作站、存储设备、网络等）和通用基础软件（操作系统、关系数据库、商用中间件等），为系统主站运行提供软硬件基础平台。

系统应能对硬件资源的使用情况（CPU 负载率、内存使用、磁盘使用、网络流量等）和软件资源的运行情况（服务状态、进程状态、主备状态等）进行监视，并能进行必要的调整和控制，包括：停止服务/进程、关闭异常进程、重启服务/进程、主备切换等）。

1.1.2.3 安全防护管理

系统应统一考虑安全防护设备的配置及其管理，应满足信息系统安全等级保护要求及电力二次系统安全防护要求，进行权限管理、网络管理、安全审计等，为系统提供安全保障。

1.1.2.4 与其他系统交互

系统通过企业总线与调度自动化系统、配网自动化系统、地理信息系统、输电生产管理、营销自动化系统等，以 IEC 61970 CCAPI 系列的公用信息模型(CIM)和组件接口规范(CIS)为标准进行数据交互。

1.1.3 数据采集层

数据采集层主要负责各类数据采集设备的数据交互。

提供开放的前置基础运行环境，能够容纳各种前置应用的接入。包括支持多种通信方式、多种终端设备、多种通信规约，并可根据需要进行扩充。

能够对各种常见的通信规约，包括但不限于 IEC 60870- 6- 101 / 102 / 103 / 104、IEC 61850 等进行处理，实现与终端及其它系统数据及控制指令的交换。

接收、处理不同格式的模拟量、状态量、电能量，具体采集数据类型见附录 A；

可对采集数据按设定周期进行召唤刷新，可对指定区域进行数据召唤刷新；

具备根据设定周期定时自动采集或人工随时召唤终端保存的历史数据。

1.1.4 业务应用层

1.1.4.1 数据基本处理

a) 对模拟量的处理

- 提供数据合理性检查和数据过滤；
- 能进行零漂处理，且模拟量的零漂参数可以设置；
- 能进行限值检查。每个测量值可具有多组限值对，用户可以自行定义限值对的等级，不同的限值对可以根据不同的时段进行定义，可以定义限值死区；
- 能进行跳变检查，当模拟量在指定时间段内的变化超过指定阈值时，给出告警；
- 支持人工输入数据，丢失或不正确的数据可以用人工输入值来替代并写入数据库；
- 能进行历史采样，所有写入实时数据库的遥测应记录在历史数据记录中。

b) 状态量处理

- 支持误遥信处理，滤除抖动遥信。
- 在人工检修时，应打上检修标记但不报警，并可在指定的调试窗口中显示。
- 状态量应能由人工设定并写入数据库，人工设置的状态与采集状态一致时，应给出提示信息。
- 支持信号的动作计次处理，一段时间内保护动作次数超过限值，则报超次告警。

c) 限值集处理

每个量测都应可以对应到一个或者多个限值集。每个限值集应有有效期的时间描述，有效期既可以是具体的时间段，比如 2006-1-1~2006-1-15、2006 年五一节、2006 年国庆节，也可以是相对的时间段，比如全年、春、夏、秋、冬、一月、二月、周一、周二、工作日、周末等，有效期决定了运行中的某一天该使用哪个限值集。

一个限值集应有报警、严重报警、事故告警三个级别的限值设置，以对应不同的优先级。限值应可以是实际值，比如 220KV 电压可以定义限值 213KV~235KV，也可以是某个基准值的百分比，比如 220KV 电压的基准值 220KV，限值百分比为 5%。

d) 智能告警

综合分析运行状态及环境监测、二次设备运行监测的结果，产生故障和告警信息，包括井盖非法打开、电缆表面温度越限，气体含量越限，水位越限等信息，实现系统的故障智能报警，并能够利用形象直观的方式展示报警结果；能够综合各类相关告警信息生成电缆隧道内关键节点的预警信息，能够以多种方式（声音、图形、短信、邮件等）通知用户。

告警信息能够按照重要程度进行分级、分类，并可根据结果分页面显示。常用信息包括：正常信息、提示信息、告警信息等，用户可自定义报警级别。

e) 在线统计分析

可以根据计算公式进行各种统计计算。可根据考核要求，对用户指定的各类分量进行考核统计计算。具备按照数据类型和区域自动统计功能。具备各类考核指标统计。

f) 历史数据管理

历史数据管理定期采集实时数据库和应用数据库的数据，进行统计、累计、积分等综合数据处理；对实时数据库和应用数据库中的每一个点可选定存储周期实现历史数据存储；历史数据库存储具有定时存储数据和异常状态下存储历史数据的功能；提供访问历史数据库的接口，并可随时检索和使用；保存的数据可用报表和画面显示；历史数据应能方便的进行备份和离线的检索与使用。

二、电缆隧道综合监测系统

2.1 电缆环流监测

1、背景

在正常情况下，电缆金属护套因与缆芯交链存在一定的感应电势，在事故以及系统内部过电压或雷击过电压情况下，感应电势尤为严重。因此，电缆金属护套必须正确接地，利用大地将电缆金属护套限制在允许接地电位上。66KV 以上电力电缆多为单芯电缆，敷设时若金属护套两端三相互联后直接接地，则线芯通过电流时，由于导体电流的电磁感应，在金属护套上产生的感应电压使得金属护套上出现感应环流。本系统采用了环流法原理，即：单芯电缆金属护套在正常情况下（即一点接地），金属护套上环流极小，主要是容性电流，而一旦金属护套出现多点接地与大地形成回路后，环流显著增加，严重时可达主电流的 90%以上。实时监测金属护套环流及其变化量，即可实现单芯电缆金属护套多点接地故障的监测。

电缆护层电流监测系统由现场变送器和远程监控终端组成，每一条回路需要三只变送器（ABC）和一台采集终端，现场变送器连续实时地采集各测量点的电缆运行状态参数，并将测量数据发送给远程监控终端，最终输出为电流信号（4-20mA 或者 0-100mA）。远

程监控终端实时接收各测量点的电缆运行状态参数，并把这些监测数据发送到集控室的监控分站（RS485、光纤或者无线）。

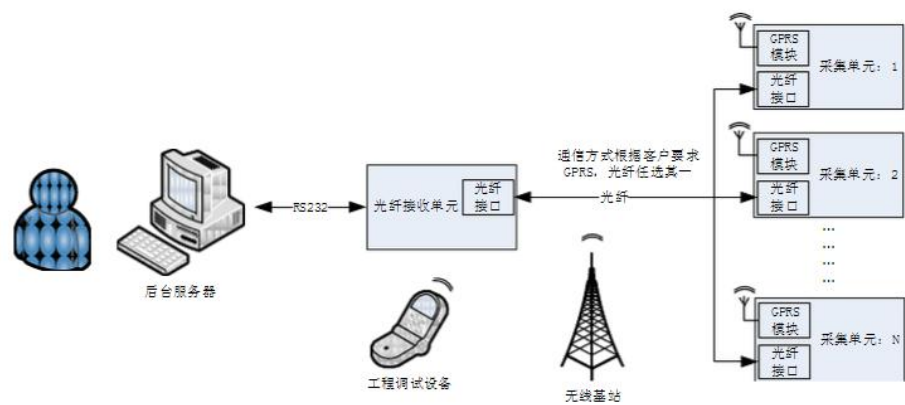


图2.1 高压电缆护层电流监测系统示意图

2、技术参数

采集终端技术参数：

技术参数名称		技术参数
可外接接地电流传感器数量		4 台
二次电流输入范围		0~1A-0~8A（可选）
采样分辨率		12 位/16 位/24 位
平均无故障工作时间		大于 50000 小时
防雷保护等级		不低于 2 级
供电电压		24V-48V（可选）
总线隔离电压		1500V rms
录波电流采集	采样频率	单通道 1.2K/s
	单个事件录波时长	1S(50 周期)
	最大事件存储个数	15 个
超限电流采集	待机电流	<200μA
	采样范围	0~8000A(瞬时)
	锁定时间	500A,50ms; 500A 以上 20ms
功耗		小于等于 1W
工作温度		- 30℃~+70℃
运行环境湿度		15% ~ 98%RH

电流互感器技术指标：

传感器类型	技术参数名称	参数值
接地电流互感器	变比	200:01:00
	准确级	不低于 0.5 级
	额定二次负载	大于 4Ω
	瞬态过载锁定反应时间	450A 120ms 500A 70mS

	二次瞬变工频耐压	不低于 3000V/min
	二次绕组匝间绝缘值	大于 1000MΩ
	接口	4~20mA 或二线制电力载波
环境适应性要求	防护等级	IP68
	防爆方式	隔爆型
	防爆标识	Ex d IIB T6 Gb
	电磁兼容性	满足 GB9254-2008
		满足 GB17625.1-2003
	工作温度	- 20℃~+85℃
	运行环境湿度	15% ~ 98%

3、设备安装

电流互感器套装在 A、B、C 三相电缆上，在线取电装置套装在主电缆上为电流互感器取电，数据通过采集终端采集，采用有线或无线方式传输至工控机。

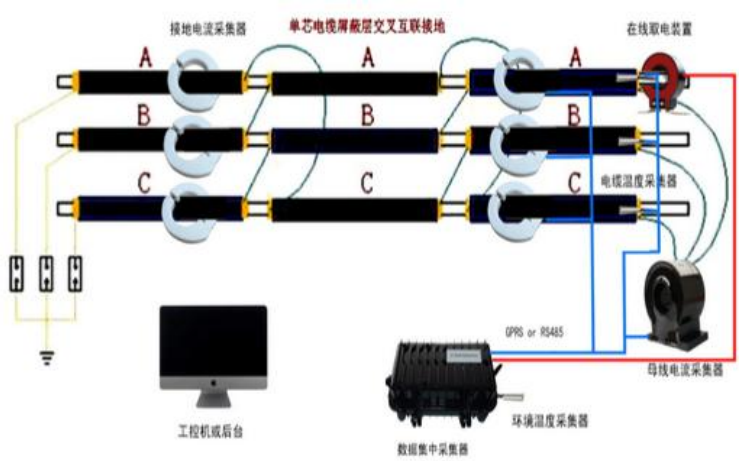


图 2.2 安装示意图

2.2 智能井盖

1、背景

地下设施检查井井盖不仅是保障地下管线运行安全的重要设施，还影响着城市道路上车辆、行人的安全，由于其特殊的使用环境和影响，做好井盖的防护意义重大。

随着城市的发展，各地隧道项目的推进，井盖作为保障电缆安全运行的入口，其重要性越来越强，如何保障行人行车的安全、地下设施及资源的安全、做好防护、防盗、防进入、实现对井盖及其环境的可视、可管、可控成为目前迫切需要解决的课题。

智能井盖监测系统利用目前先进的电源技术、传感器技术，将井盖状态、井下环境状态、井盖的开启、井盖巡检纳入到同一的运维管理系统中，并建立相应的报警处理机制，如果井盖被盗、被破坏，监控人员能及时到现场处理，快速地解决安全隐患。

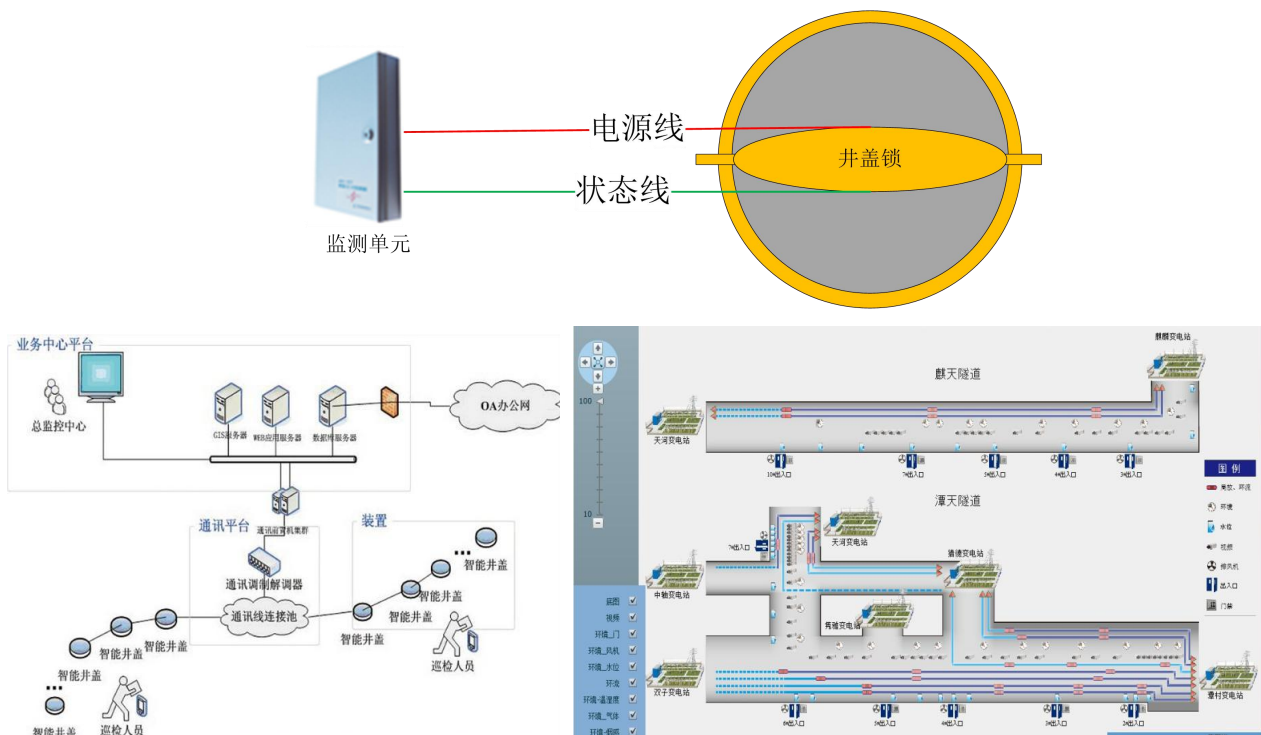


图 2.3 智能井盖监测系统

2、技术参数

项目	参数	指标
中心平台	系统平均无故障时间	>1 万小时
	对井盖设备控制误差	<0.01%
	单个无线业务驱动中心	8000 个
	支持无线井盖接入数	
报警	报警漏报、误报率	<0.01%
	报警平均响应时间	<20 秒(发出声光报警)
	报警产生至电话通知成功耗时	<90 秒 (含振铃时间)
	同时报警数	≥ 16 个 (根据中心配置情况)
防护等级	井下设备防护等级	达到 IP68
智能监控主机	最大接入井盖数	≤496 个
	传输	2400 ~ 9600Bit/s
	功耗	-48V (-42V ~ -56V)
	电流	20mA
有线井盖锁	开启方式	48V/ 50mA 远程驱动
	平均开启时间	20s
	至 RJRTU 的最大距离	(不含中心至监控主机连接时长)
	电子锁机械工艺	>15 公里 (0.5 芯线径) 采用镀镍等特殊表面处理工艺

3、设备安装

含井盖电子锁玻璃钢人井监控井盖由高强度玻璃钢树脂压铸成型的黄色内盖、304 不锈钢材质的悬浮式加固型井盖智能锁密封舱、遥控型智能锁控制器及 304 不锈钢材质的内盖应急开启装置四部分组成，悬浮式加固型井盖智能锁密封舱安装于黄色玻璃钢内盖正下方，

遥控型智能锁控制器内置在 304 不锈钢材质的悬浮式加固型井盖智能锁密封舱内。

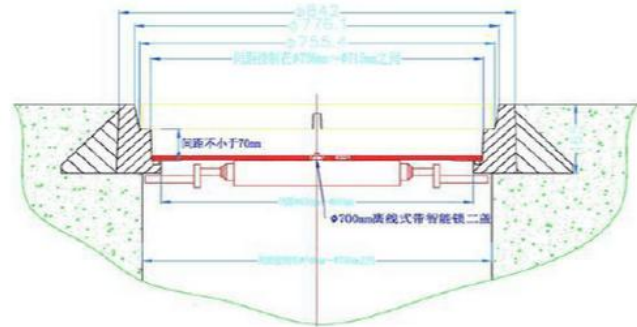
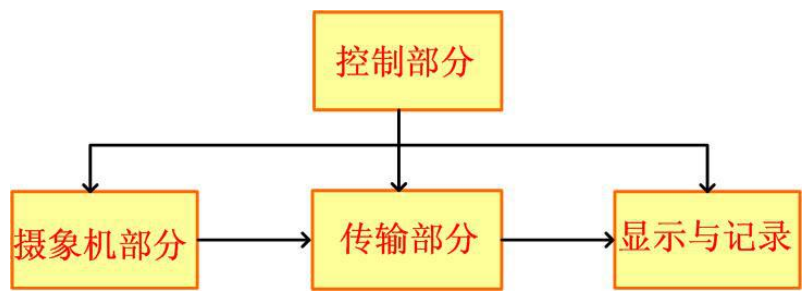


图 2.4 智能井盖安装

2.3 视频监测系统

本期隧道工程配置 1 套视频及环境监控系统，对隧道、工作井、电缆终端场和隧道集控室内进行监控，实现对隧道集控室设备的实时监视。

- 1) 视频图像部分：共安装 25 只红外固定摄像机、2 只红外智能高速球型摄像机、5 只红外网络中速球型摄像机；一套站端监控工作站以及三台交换机。摄像机工作电源的电压均为 AC-24V，交流电源、视频及控制回路必须考虑防浪涌保护措施，统一加装相应通流量信号避雷器，系统采用集中供电方式。
- 2) 隧道视频监控系统在隧道内每个工作井出入口处及隧道内间隔 50 米距离安装监控摄像机，视频信号和环境监测状态通过光纤通信网络接入到隧道集控室，相关监控部门和人员通过远程实时浏览视频图像、图像监控报警联动功能，起到对突发事件及时预警和及时处理的作用。
- 3) 在隧道集控室安装 800*600*2260 的 19 寸标准机柜 1 套，屏内配接线、小开关、按钮、端子排、连片等。



矩阵切换控制系统



三维快球操作键盘



自动光圈摄像机

图 2.5 视频监控系统

2.4 有毒有害气体

1、背景

电缆隧道位于地下，环境复杂，隧道本身构成了一个相对封闭的空间。隧道内，空气流动性差，周围其它市政管道（包括污水渠道）等和不明来源的气体可能会在电缆隧道内积聚。隧道内空气质量差，对工作人员的人身安全构成威胁，另外可燃性气体达到一定的浓度，有可能造成隧道火灾事故的发生。

根据城市《电力电缆通道建设标准》的要求，隧道内重点监测的气体包括：氧气浓度、一氧化碳浓度、硫化氢气体浓度和甲烷气体浓度。当隧道内氧量下降到一定数值或有害气体浓度上升到一定数值时，启动隧道内的排风风机，维持隧道内空气质量水平，确保隧道内工作人员和设备的安全。

在隧道内的每个防火分区安装气体传感器，采集隧道内的空气质量，通过风机模块对空气质量信号进行采集，处理；在过程控制器中对空气质量信号进行分析，发出风机启停信号，控制隧道内的排风风机对隧道内空气进行新风置换，确保隧道内的空气质量水平。并将空气质量数值及分析结果通过通信网络上传至监控中心。系统采用分布式结构，在通信网络中断或监控中心故障情况下，通过过程站内独立实现隧道空气质量监控及连锁控制功能，确保极端情况下，隧道内的空气质量，保证工作人员的人身安全。

2、技术参数

传感器类型	参数	指标
氧气传感器	测量范围	0~25%
	测量误差	± 3%FS
	响应时间	小于 30s
	工作电压	DC9~24V
一氧化碳传感器	测量范围	0~1000ppm
	测量误差	± 4ppm
	响应时间	小于 30s
	工作电压	DC9~24V
硫化氢传感器	测量范围	0~50x10e6
	测量误差	± 3x10e6
	响应时间	小于 30s
	工作电压	DC9~24V
甲烷传感器	测量范围	0~100%
	测量误差	真值*5%
	响应时间	小于 30s
	工作电压	DC9~24V

3、设备安装

传感器通过膨胀螺丝固定在电缆隧道侧壁上，信号汇集到采集单元中，采集单元通过485传输线将采集的信号发送给工控机。

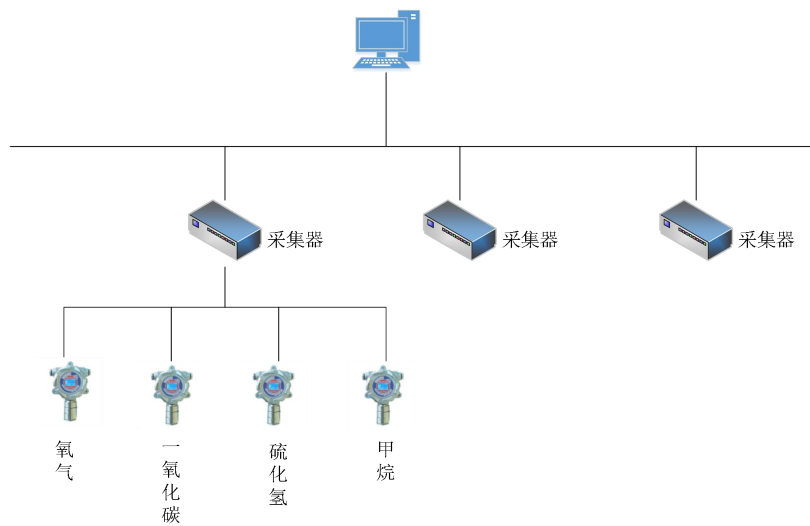


图 2.6 有毒有害气体监测系统