Analysis and Research on Optical Communication Equipment for Natural Gas Fields

Rong Xie[1] Bei Luo[1] Guoning Peng[2]

1. China National Petroleum Corporation Southwest Oil and Gas Field Digital Intelligent Technology Branch, Chengdu, Sichuan, 610000, China

2. China National Petroleum Corporation Sichuan Kehong Oil and Gas Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

At natural gas processing facilities, the gas gathering tree extracts natural gas from gas wells and sequentially performs purification treatments—including throttling and pressure reduction, heating and temperature maintenance, separation and metering, dehydration, hydrocarbon removal, and desulfurization—to eliminate impurities and produce qualified commercial natural gas, which is then transported via gas pipelines to downstream pipeline networks or end-users. Natural gas processing facilities comprise well stations, gathering stations, pressure boosting stations, dehydration stations, purification plants, gas transmission stations, and distribution stations. Given the dispersed locations and wide geographical spans of these facilities, it is essential to implement localized automatic control systems, zonal interlocking controls for gas fields, and remote support and coordination capabilities. Accordingly, considering the operational characteristics of natural gas processing facilities and the need for unattended operations at production sites, there is a pressing requirement to develop comprehensive communication and transmission networks characterized by high reliability and low latency, thereby ensuring stable transmission of diverse operational services and enabling effective remote monitoring across the facilities.

Keywords

Synchronous Digital Hierarchy (SDH); Packet Transport Network (PTN); Optical Transport Network (OTN)

天然气气田光通信设备分析及研究

谢荣[1] 罗蓓[1] 彭国宁[2]

1.中国石油西南油气田数字智能技术分公司，中国·四川 成都 610000

2.中国石油四川科宏石油天然气工程有限公司，中国·四川 成都 610000

摘要

天然气站场的采气树通过气井将天然气采集出来，依次完成节流降压、加热保温、分离和计量、脱水、脱烃、脱硫等净化处理，去除杂质后得到合格商品天然气，再通过输气管道外输至下游管网或用户。天然气站场包括井站、集气站、增压站、脱水站、净化厂、输气站、配气站等。站点分散、地域跨度大，实现站场本地自动控制，气田分区联锁控制和远程支持协作。因此根据天然气站场的特性，生产现场的无人值守化，需研究构建高可靠性、低时延的综合通信传输网络，实现站场各业务的稳定传输与远程监控。

关键词

同步数字体系；分组传送网；光传送网

1 主要技术概述

光传输网络的发展经历了PDH(Plesiochronous Digital Hierarchy，准同步数字传输体制)、SDH（Synchronous Digital Hierarchy，同步数字传输网）、MSTP（Multi-Service Transport Platform，多业务传送平台）、WDM（Wavelength Division Multiplexing，波分复用）、PTN（Packet Transport Network，分组传送网）、OTN（Optical Transmission Network，光传送网）、MS-OTN（Multi-Service OTN，多业务光传送网）和OSU OTN（optical service unit OTN，光业务单元，可实现2M切片）。

1.1 SDH

全称：Synchronous Digital Hierarchy，同步数字体系 SDH是 ITU-T标准化的TDM 电路型光传送技术，采用统一时钟同步、固定125μs帧结构，通过时隙复用传送业务。最小调度颗粒 E1（2M），具备完善

【作者简介】谢荣（1991-），男，中国重庆人，本科，从事通信信息研究。

的段开销 OAM、50ms 环网保护。

速率等级：STM-1 (155M)、STM-4 (622M)、STM-16 (2.5G)、STM-64 (10G)。

1.2 PTN

全称：Packet Transport Network，分组传送网，国内主流实现为MPLS-TP（传送多协议标签交换），是以分组交换为内核的电信级传送技术。继承SDH的OAM、50ms保护，同时支持以太网分组业务统计复用，带宽弹性可调；可通过 PWE3 电路仿真承载 E1/STM 等传统 TDM 业务。

典型接口：FE、GE、10GE，支持子速率带宽配置。

1.3 OTN

全称：Optical Transport Network，光传送网基于WDM波分复用技术，包含光层+电层两层调度，遵循 ITU-T G.709标准。把多路业务封装在不同波长在一根光纤并行传输；支持客户信号透明传送、FEC 前向纠错、光/电双层保护。

颗粒等级：2M到100G实时无损调整。

2 需求分析

天然气气田数据业务传输主要采用逐级传输模式，由天然气站场传输至区域调度控制中心，再传输至气田调控中心，最后进入总调度管理中心。

2.1 天然气站场

天然气站场实现站场数据采集及就地控制，站场模式有两种，分别是无人值守站和有人值守站。无人值守站业务包括生产监控数据、物联网数据、工业视频、动环监视数据、行政或调度语音及辅助巡检，有人值守站在无人值守站基础上增加了信息化办公及视频会议。天然气站场数据上传至区域调度控制中心汇聚。天然气站场业务类型及带宽详见表1。

2.2 区域调度控制中心

区域调度控制中心实现对管辖内天然气站场的数据采集及远程控制功能，区域调度控制中心与天然气站场实现实时通信，管辖内天然气站场的数据均需传至区域调度控制中心，在区域调度控制中心进行汇集后再上传至气田调控中心。

区域调度控制中心业务包括生产监控数据、物联网数据、工业视频、动环监视数据、行政或调度语音、辅助巡检、信息化办公、视频会议。区域调度控制中心数据向上级传输时，管辖站场的生产数据为实时数据，采用同时并发计算；视频数据为部分调用实时数据，只计算部分视频数据；辅助生产、办公数据为间歇性使用，只计算部分数据；同时需要考虑管辖站场带宽峰值速率和业务汇聚比。区域调度控制中心业务类型详见表2。

2.3 气田调控中心

气田调控中心实现对管辖内区域调度控制中心的管理，同时可实现对天然气站场的远程监控功能。气田调控中心接收管辖内区域调度控制中心传来的数据，汇集后再上传至总调度管理中心。

气田调控中心业务包括生产监控数据、物联网数据、工业视频、动环监视数据、行政或调度语音、辅助巡检、信息化办公、视频会议、三维地图及高性能计算。

气田调控中心业务类型详见表3。

2.4 总调度管理中心

总调度管理中心通常有主调度管理中心和备用调度管理中心，实现对管辖内天然气气田的监视管理功能，为光通信网络的最上层。

3 技术方案

3.1 光通信设备对比

目前天然气气田主流的光通信设备主要有同步数字体系（SDH）、分组传送网（PTN）以及光传送网（OTN）。

光通信设备对比详见4表。

3.2 网络架构

天然气气田光通信网络可由主要由骨干层、汇聚层和接入层组成。

表1 天然气站场业务类型及带宽

生产数据		视频		辅助生产		办公数据（有人值守）
生产监控数据	物联网数据	工业视频	动环监视数据	行政或调度语音	辅助巡检	信息化办公及视频会议
1M	2M	20M	0.1M	0.1M	4M	10M

备注：生产监控数据包括压力、温度、液位、控制等；物联网数据物联网动态数据（设备状态等实时变化数据）、物联网静态数据（设备属性等变化不明显，或不变的数据）；视频监控在帧率=25FPS，定码率的前提下，视频摄像机1080P采用H.265编码格式传输占用带宽约3M。每个站场摄像机一般在3~6个。

表2 区域调度控制中心业务类型

生产数据		视频		辅助生产		办公数据	
生产监控数据	物联网数据	工业视频	动环监视数据	行政或调度语音	辅助巡检	信息化办公	视频会议

表3 气田调控中心业务类型

生产数据		视频		辅助生产		办公数据			
SCADA数据	物联网数据	工业视频	动环监视数据	行政或调度语音	辅助巡检	信息化办公	视频会议	三维地图	高性能计算

表4 光通信设备对比

比项目	同步数字体系（SDH）	分组传送网（PTN）	光传送网（OTN）
交换本质	电路交换，时分时隙复用	分组转发	波分复用
最小调度颗粒	2M（E1）	细颗粒，可按 10M/50M/100M 灵活分配	2M到100G实时无损调整
标准带宽	E1(2M)、STM−1(155M)、STM−4(622M)、STM16(2.5G)、STM64(10G)	FE (100M)、GE、10GE，支持子速率	单波10G、100G、200G、400G，最大开通48、96波
带宽特性	刚性独占，时隙固定，带宽利用率低；开 10M 业务也要占用 5×2M 资源	统计复用，弹性带宽，多业务共享，带宽利用率高；可 PWE3 仿真 E1	光切片的颗粒度可以随业务的需要从2M到100G实时无损调整
每端硬件费用	622M：4~6万 2.5G:8~13万 10G:20~30万	1G：4~6万 10G:12~15万	100G：50~100万
优缺点	优点：时延抖动极小，TDM 业务稳定；运维成熟 缺点：带宽不灵活，扩容贵，大带宽性价比差	优点：适配以太网，带宽弹性，时钟同步好，保护可靠 缺点：超长距离大容量不如 OTN	优点：超大容量、长距离、大带宽单价低，硬隔离 缺点：小带宽成本极高
结论	价格较高，存量网络，已建设SDH网络结构下，扩建接入层、汇聚层可采用	价格低，组网灵活，根据带宽需求，推荐接入层推荐采用1G组网，汇聚层采用10G组网	价格高，带宽大，推荐骨干层采用100G组网

3.2.1 骨干层

骨干层完成核心节点至核心的大颗粒业务调度以及提供汇聚层组网所需的大颗粒带宽，可采用OTN组网（单波100G），实现气田调控中心至总调度管理中心的数据传输和部分区域调度控制中心至气田调控中心数据传输。

骨干层组网方案主要有ASON组网和环网组网。

1）ASON自动交换组网方式。

ASON（自动交换传送网，Automatically Switched Optical Network），是以光传送网（OTN）为基础的自动交换传送网。是在光传送网中引入控制平面，以实现网络资源的按需分配从而实现光网络的智能化。使未来的光传送网能发展为向任何地点和任何用户提供连接的网，成为一个由成千上万个交换接点和千万个终端构成的网络，并且是一个智能化的全自动交换的光网络。

ASON是指一种具有灵活性、高可扩展性的能直接在光层上按需提供服务的光网络。传输设备是ASON的基本传输载体，通常提供线性或环型组网结构。光交叉连接设备为ASON的核心硬件设备，为其提供交换平台。光交叉连接设备的引入，使组网拓扑从环型、线性结构演进成高效的网状拓扑，从而可为寻找最优化的光路由或在网络发生故障时快速寻找保护路由提供可能，同时也便于在全网共享备用资源。ASON自身的伸缩性与网络软件的结合可提供全网的伸缩性，各种直接向用户提供的特色服务都要通过交

换平台实施。按照ITU-TG.8080建议，ASON分为传送平面、控制平面和管理平面。

适用场景：通信站点多、组网复杂、对网络生存性要求高的骨干网络；缺点是设备造价高，技术复杂度大，对运维人员能力要求较高。

2）环网组网方式。

将多个通信站点通过光纤首尾相连构成环形物理拓扑，依靠 OTN电层ODUk环网保护、SNCP 子网连接保护机制实现业务50ms级故障倒换。业务在环网内沿环的两个方向同时传输，当环上某一处光纤断裂、节点故障，保护协议触发倒换，业务切换至环的反向通路实现业务不中断。

环网组网配置简单、技术成熟，运维难度低，设备投入成本相对可控。但环网组网仅可抵御单点断纤故障，发生两处及以上断纤时业务将会中断，环网节点较多时，出现双节点故障、双线路故障的机率比较高，光通信网络中，默认环内节点超过8个即为大环，一般控制在8个节点以内。同时大环组网结构会导致波道利用率降低，波道穿通站点多、路由长可能导致性能下降。

适用场景：通信站点少、组网简单、业务流向相对固定的骨干网络；缺点是环网上新增跨节点业务容易产生路径绕行，跨环业务需要背靠背设备对接，调度灵活性不足。

3.2.2 汇聚层

汇聚层完成汇聚节点至核心节点的大颗粒业务调度以及提供接入层组网的小颗粒带宽，可采用PTN（10G）或SDH（10G）组网，实现区域调度控制中心至气田调控中心数据传输和天然气站场至气田调控中心的数据传输。

汇聚层组网方案主要采用环网组网。汇聚层在已建设SDH网络结构下，扩建汇聚层可继续采用SDH组网；新建汇聚层推荐采用PTN组网。

3.2.3 接入层

接入层将区域内各单位的近接入汇聚点，可采用PTN（1G）或SDH（622M）组网，实现天然气站场至气田调控中心的数据传输。

接入层组网方案主要有环网组网和单链连接，接入层在已建设SDH网络结构下，扩建接入层环网组网可继续采用SDH组网；新建接入层或单链接入时推荐采用PTN组网。

4 结论

根据天然气气田中天然气站场、区域调度控制中心、气田调控中心以及总调度管理中心数据业务需求，按照“网络业务归核化、网络架构扁平化、保障业务高效化、运维管理数字化”建设原则，通过不同类型和带宽的光通信设备，构建满足天然气气田实际需求的光通信网络，支撑业务发展和数字化转型需求，为信息化建设和数字化转型提供服务和保障。

参考文献

[1] 孙健,杨永斌. 天然气场站自动化通信系统构建技术研究[J].中国化工贸易,2026,18 (24):10-12.

[2] 于龙,孟峭,赵冰. 卫星通信在长输天然气管道应急通信与救援中的应用探究[J].数字通信世界,2026, (1):100-102.

[3] 马寅洲,熊伟,陈胜,何小文. 天然气长输管道SCADA系统与第三方设备通信中断故障对策[J].石油工程建设,2025,51 (6):74-79.