

基于 OTN OSU 协议的油气管道阀室通信网络方案

曲柏达, 王云鹏, 李亚锋, 闫峰, 张振才, 胡彬

(国家石油天然气管网集团有限公司, 北京 100013)

摘要: 随着油气管道阀室通信网络逐渐扩张和承载业务的复杂化, 现有的组网方案亟需进行升级更新。提出了基于光传送网光业务单元(OTN OSU)的油气管道阀室通信网络方案。首先, 分析了油气管道阀室通信网络组网过程中面临的挑战, 并概述了当前组网方案的现状; 然后, 引入 OTN OSU 协议对油气管道阀室通信光网络架构进行优化, 并设计了工业级光传输客户前端设备(CPE)样机; 最后, 对方案进行现网环境测试验证。测试结果表明: 所提方案有效改善网络时延, 且支持多种业务承载, CPE 样机功耗低于 40 W, 提升了网络效率。

关键词: 光传送网; 光传送网光业务单元; 油气管道阀室通信网络; 网络架构; 网络时延

中图分类号: TE832; TN929 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2024)04-0098-05

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2024.04.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Communication network solution for oil and gas pipeline valve chambers based on the OTN OSU protocol

QU Baida, WANG Yunpeng, LI Yafeng, YAN Feng, ZHANG Zhencai, HU Bin

(China Oil & Gas Pipeline Network Corporation, Beijing 100013, China)

Abstract: With the gradual expansion of the communication network for oil and gas pipeline valve chambers and the increasing complexity of carrying business, the existing networking solutions urgently need to be upgraded and updated. Therefore, a communication network scheme for oil and gas pipeline valve chambers based on optical transport network optical service unit(OTN OSU) has been proposed. Firstly, the challenges faced in the networking process of oil and gas pipeline valve chamber communication networks were analyzed, and the current status of networking solutions was summarized. Then, the OTN OSU protocol was introduced to optimize the optical network architecture for oil and gas pipeline valve chamber communication, and an industrial grade optical transmission customer front-end equipment (CPE) prototype was designed. Finally, conduct on-site environmental testing and verification of the plan. The test results show that the proposed scheme effectively improves network latency and supports multiple business bearers. The power consumption of the CPE prototype is less than 40 W, which improves network efficiency.

Key words: optical transmission network, optical transport network service unit, oil and gas pipeline valve chambers communication network, network architecture, network latency

0 引言

21 世纪以来,随着我国油气管道工程建设的不断推进,全国油气管网系统逐渐建成并完善,同时也与其它国家合作建设了多条陆上长输油气通道,特别是

收稿日期:2023-08-25。

作者简介: 曲柏达(1968—),男,学士,高级工程师,现任职于国家石油天然气管网集团有限公司,主要研究方向为油气管道光传输网络架构设计、油气管网工业控制系统设计、低功耗小型化光传输设备设计、卫星国产化技术等。



以中缅、中亚、中哈和中俄为代表的多条长输油气管道的成功建设和使用,标志着我国在长输油气管道工程方面取得了重大进展。这些长输油气管道通常横跨多个国家或区域,是连接国内外、服务上下游的重要能源通道,对我国的能源战略安全以及国计民生具有直接且重大的影响^[1]。

随着我国油气资源需求量的持续增长,油气长输管道的广泛敷设显得至关重要。在进行长输油气管道敷设的过程中,不仅要确保工艺管道的施工质量达到行业高标准,还应积极探索光通信技术的创新应用,

以此来进一步提升管道的安全保障水平^[2]。光传输通信技术为长输管道数据传输提供了可靠稳定的传输平台,在油气领域得到了广泛的应用。

随着油气管道规模的不断扩大,当前油气管道阀室光通信网络承载的业务类型日益丰富,这些不同类型的业务对光通信网络在业务接入便捷性、时延控制等方面提出了更高的要求。传统的光传送网(OTN)和同步数字体系(SDH)技术已无法完全满足这些需求。例如,在支持小颗粒度业务方面,传统方案往往显得复杂且性能有限。相比之下,作为新一代光网络通信技术的 OTN 光业务单元(OSU)技术,则能够高效地满足当前油气管道阀室光通信网络对多样化业务的需求。因此,本文通过设计一款支持 OTN OSU 技术的用户前端设备(CPE)样机,实现 OSU 技术在油气管道阀室光通信网络中的应用。

1 基于 OTN OSU 的新型阀室通信网络方案

1.1 油气管道阀室通信网络组网挑战与现状

长输油气管道存在覆盖区域广、通信距离远、通信环境复杂、电力保障不足、设备维护困难等问题,这些问题对油气管道阀室通信网络提出了新的挑战^[3,4],主要体现在以下几方面:1)业务分离困难。由于站点内设备繁多、类型复杂,现有网络方案难以有效分离承载业务。2)数据传输安全保障不足。通信网络未充分考虑数据传输安全,存在安全隐患。3)阀室通信网络工作环境复杂。工作环境恶劣,地点偏远、气候变化多样,供电能力存在瓶颈。4)网络设备不具备适应小型化安装环境的能力。设备需安装机架,机房空间利用率不高,限制了新设备部署的灵活性。

油气管道阀室通信网络组网方案目前采用基于 OTN SDH 的同步光传输系统组网,数据传输质量高、时延较低,可实现业务数据隔离。存在的问题包括接入低速数据的 SDH 业务节点较多,设备成本高昂,对设备安装环境要求严苛,对已有管道沿线阀室改造存在困难,建设成本相对较高。

1.2 OTN OSU 技术

OSU 技术通过克服传统 OTN 技术的局限性,实现了对传统 OTN 技术的革新。该技术摒弃了时隙划分帧结构的限制,转而采用更为灵活的净荷块划分方式,从而能够高效承载 2 Mb/s~100 Gb/s 不同颗粒度的业务,并支持以千计的连接数量。此外,其简化的带宽无损调整机制,能够充分满足客户对业务带宽灵活可变的需求。在 OTN 承载 VC12 类业务时,相较于使用

SDH,采用 OSU 技术可将承载业务的映射层级从 5 层缩减至 2 层(层级关系对比如图 1 所示)。这种层级的减少不仅意味着更低的处理时延,还使得业务传输更为灵活高效。

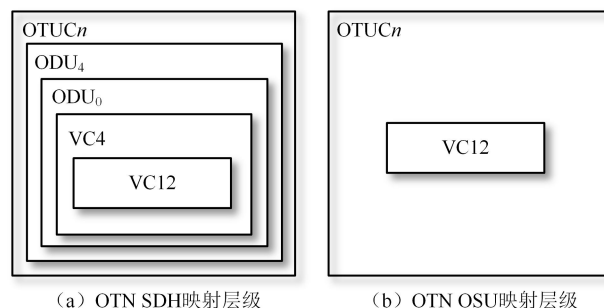


图 1 SDH 与 OSU 映射层级关系对比

OTN OSU 技术在现有的 OTN 架构体系的基础上,增加了 OSU 容器单元技术,不仅能与现有的波分复用(WDM)网络进行兼容,还能实现多业务传输平台(MSTP)光传送网络的高效承载。相较于 SDH,OSU 摒弃了复杂的映射关系,针对小颗粒度业务实现了更加直接高效的 OTN 承载方式。

1.3 基于 OTN OSU 的油气管道阀室通信网络设计

本文根据阀室通信网络组网现状,设计基于 OTN OSU 的油气管道阀室通信网络,其示意图如图 2 所示。各站场与调控中心之间形成第一级传输环网(油气管道网络),相邻站场与站场的阀室之间形成第二级传输环网(阀室通信网络)。基于 OTN OSU 的油气管道阀室通信网络与传统 SDH 组网方式在网络基本结构方面大致相同,但前者的阀室通信接入设备已被替换为支持 OTN OSU 技术的管道光盒。

各阀室中的摄像头、工业控制器、远程终端单元(RTU)等设备通过与管道光盒连接,收发数据经过阀室与管道两级传输环网的汇聚,最终与调控中心建立通信。

在与调控中心建立通信时,阀室通信会将业务区分为生产类业务(如监控控制与数据采集(SCADA))与非生产业务(如视频监控),并分别进行端口级物理隔离。每种业务端口独享一条原生硬管道,以确保数据的安全可靠传输,其隔离示意图如图 3 所示。通过原生硬管道端口级物理隔离设计,阀室通信网络能够针对不同业务实现确定的时隙、带宽和时延,从而保障了通信网络的稳定性。例如,以太网(ETH)硬管道专线,通过全程 ETH 报文封装,实现了不可抓取的特性,从而保障了通信网络的安全性。

曲柏达,王云鹏,李亚锋,等: 基于 OTN OSU 协议的油气管道阀室通信网络方案

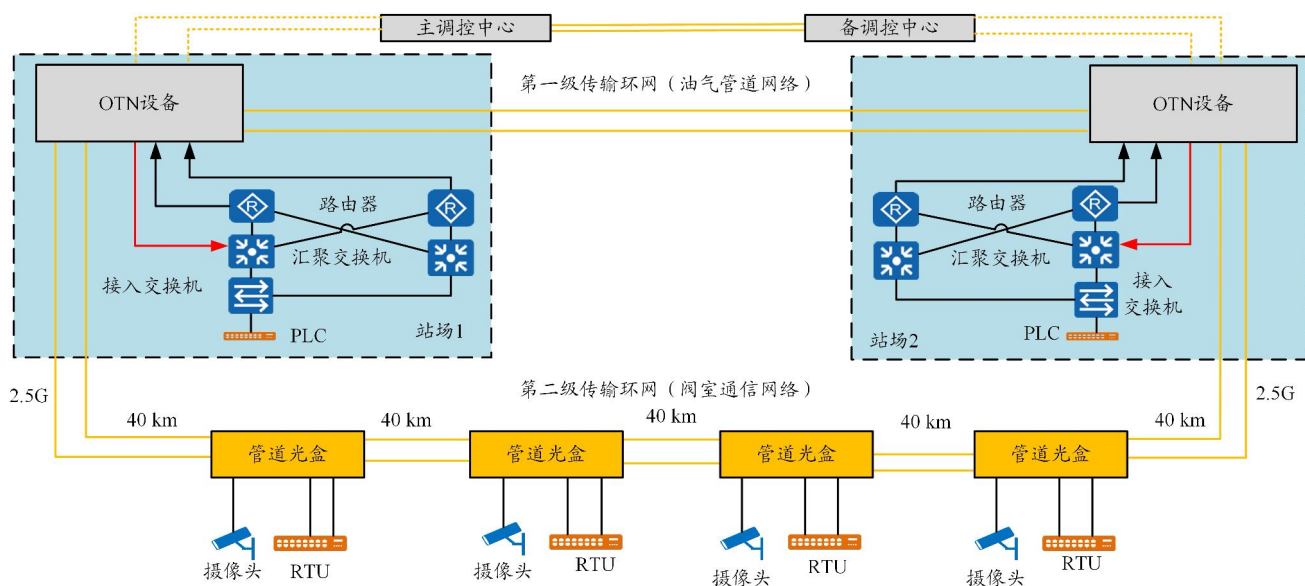


图2 基于 OTN OSU 的油气管道阀室通信网络示意图

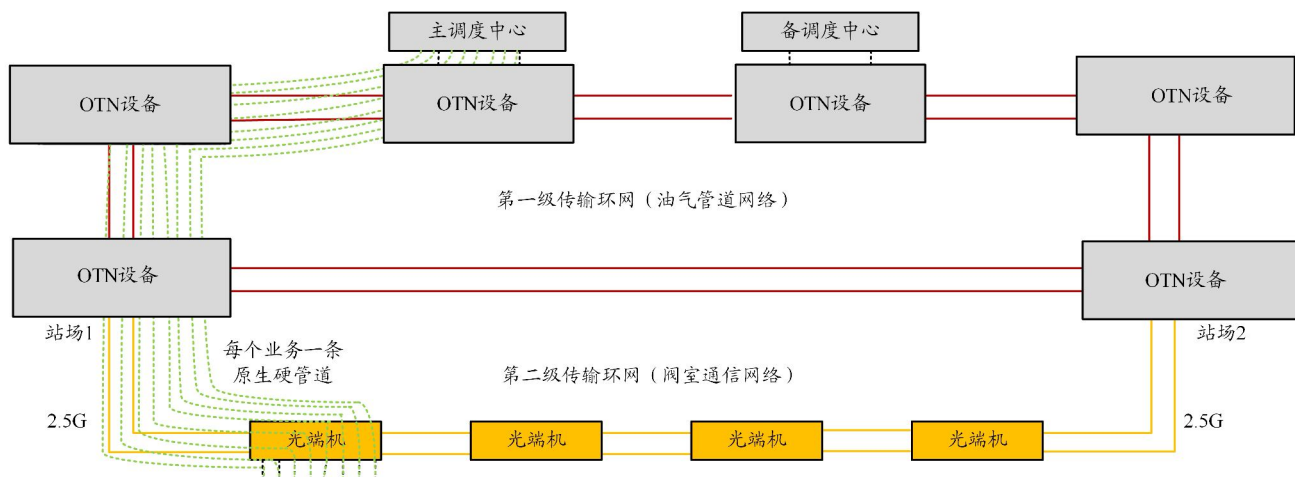


图3 基于 OTN OSU 的阀室通信网络原生硬管道端口级物理隔离示意图

1.4 支持 OTN OSU 的油气管道阀室通信网络接入设备设计

为了实现基于 OTN OSU 的油气管道阀室通信网络的搭建,本文设计并试制了支持 OTN OSU 的工业级光传输 CPE 样机——管道光盒。

该样机在线路侧融合 OTN 体系,并支持 2.5G 的光通道传送单元(OTU)端口。在业务管道中,该样机同时兼容两代原生硬管道 SDH 和 OSU,ETH 端口支持对 SDH 的虚容器(VC)管道和 OSU 管道的可选配置;在客户侧,该样机实现 ETH 端口级物理隔离,确保 ETH 端口与 SDH 的 VC 管道或 OSU 管道一对一对应(例如:8 个 ETH 端口对应 8 条 VC 或 OSU 硬管道),如图 4 所示。这一融合型架构不仅能实现 2M/100M 业务的灵活接入,还能使阀室通信与油气管道通信网络实现统一纳管、统一运维,进而使管网能够通过

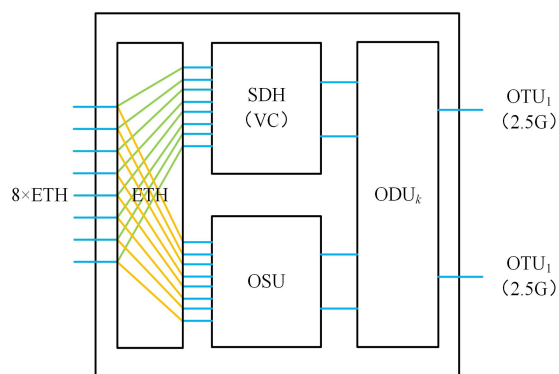


图4 管道光盒融合型架构

现有的通信网管软件进行业务管理。

本文设计的 CPE 样机在 $-40\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 能稳定工作,支持 12~60 V 宽压供电,可直接使用与工控设备相同的 24 V 电源,其机身设计紧凑,满足现场安装条件,

曲柏达,王云鹏,李亚锋,等:基于 OTN OSU 协议的油气管道阀室通信网络方案

支持导轨安装, 无需专用机架。设备实物图如图 5 所示。



图 5 设备实物图

2 测试验证

根据提出的基于 OTN OSU 的油气管道阀室通信网络方案,本文对所设计的 CPE 样机进行现网测试。

测试场景选取 2 个站场,其间经过 3 个阀室,每个阀室之间距离为 40 km,在各阀室中各安装了一台测试样机,具体组网拓扑图如图 6 所示。

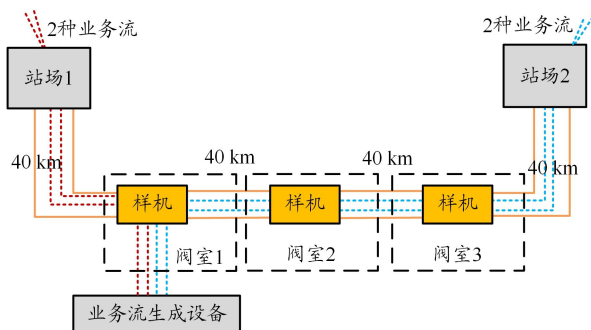


图 6 测试场景组网拓扑图

2.1 方案能力测试

1)SDH 与 OSU 组网方案传输时延测试。

规划的测试业务流如表 1 所示。该业务系统包含不同的带宽和路由穿通数量,以模拟不同需求的业务场景。

表 1 规划业务流

业务流	带宽/(Mb/s)	源	宿	穿通数量
1	100	阀室 1	站场 1	1
2	10	阀室 1	站场 1	1
3	100	阀室 1	站场 2	3
4	10	阀室 1	站场 2	3

根据规划的业务流,在油气管道阀室通信网络中分别使用 OTN SDH 组网方案和 OTN OSU 组网方案,以上传输为 64 Bytes、128 Bytes、256 Bytes、512 Bytes 和 1 518 Bytes 这 5 种不同长度的业务数据,并获得相应的时延测试数据,如表 2 所示。

在 SDH 组网时,100 Mb/s 和 10 Mb/s 业务均使用 1 个 VC4 映射;在 OSU 组网时,通过灵活配置相应的净荷块大小,实现了不同带宽业务的映射。组网方案时延对比实验过程中,每次实验仅有 1 条实验业务

表 2 时延测试数据对比

		传输不同长度数据耗时/ μ s				
业务流	组网方案	64	128	256	512	1 024
		Bytes	Bytes	Bytes	Bytes	Bytes
1	SDH(1×VC4)	290	297	307	329	411
	OSU	157	155	175	199	296
2	SDH(1×VC4)	637	610	813	1 054	1 930
	OSU	384	370	466	659	1 404
3	SDH(1×VC4)	344	453	460	475	559
	OSU	306	311	330	353	447
4	SDH(1×VC4)	790	762	963	1 208	2 090
	OSU	530	520	615	810	1 559

流,以排除其它业务干扰。

测试结果表明,在油气管道阀室通信网络中,使用 OSU 协议的业务时延显著下降。由于 OSU 相比 SDH 具有更高效的映射关系,穿通站点数量越多,OSU 业务的时延优势越明显。

2)业务开通能力测试。

本文旨在模拟开通常见的业务类型,通过 CPE 样机统一接入多种业务,并连续进行 36 h 的测试,测试开通的业务流情况如表 3 所示。可以看出,各业务工作正常,网管无故障报警。由此可知,OSU 业务可实现不同颗粒度业务的稳定接入。

表 3 测试开通的业务流

业务流	业务类型	带宽	源	宿	工作结果
1	办公网络	1 Gb/s	阀室 1	站场 1	正常
2	视频	100 Mb/s	阀室 1	站场 1	正常
3	SCADA	1 Gb/s	阀室 1	站场 2	正常
4	周界报警	100 Mb/s	阀室 1	站场 1	正常
5	语音	2 Mb/s	阀室 1	站场 2	正常

2.2 CPE 样机工程适用性测试

1)便捷安装能力验证。

CPE 样机作为一款网络支撑设备,小巧且易于安装,并已测试安装在使用太阳能供电的阀室电箱中。该设备在 24 V 工作电压下能正常运行,其测试安装环境实景如图 7 所示。

2)设备功耗测试。

在 SDH 场景业务满配的情况下,该样机的功耗稳定在 32 W。

CPE 样机与 OSN 550 典型功耗对比情况如表 4 所示。可以看出, 传统 SDH 组网方案中使用的 OSN 550 设备功耗在 112 W 左右, 而 CPE 样机的功耗不高于 40 W, 功耗显著降低, 实现了超低功耗目标。



图7 测试安装环境实景图

表4 CPE 样机与 OSN 550 典型功耗对比

负载等级/%	OSN 550 功率/W	CPE 样机功率/W
0	112.0	24.0
50	112.9	30.0
100	112.7	32.0

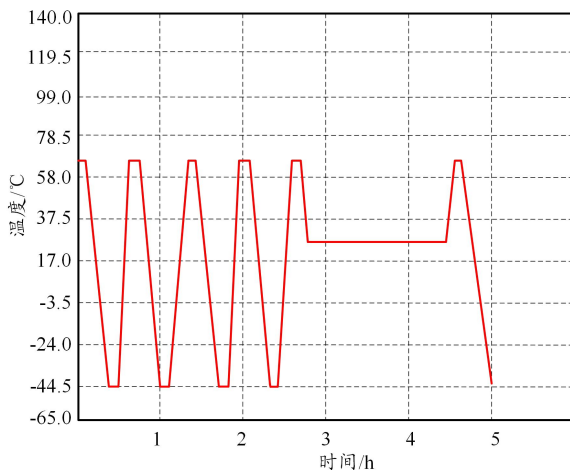


图8 高低温箱测试循环温度曲线

3) 宽温能力测试。

将 CPE 样机置于高低温箱进行测试,运行温度在 $-45\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$,连续运行 5 h,高低温箱设置循环温度曲线如图 8 所示。测试过程中,CPE 样机工作稳定,所承载各业务流传输质量指标稳定,显示出样机对宽温环境的适应能力。

3 结束语

本文根据目前油气管道阀室通信光网络的新需求,基于 OTN OSU 协议提出了 OTN OSU 油气管道阀室通信网络组网方案,设计了适用于油气管道阀室通信光网络场景的 CPE 样机,并对新型组网方案和设备样机进行了实验验证。在实验中,本文模拟了不同需求的业务流,并将其与传统 SDH 组网的方案的时延性能进行了对比,验证了 OTN OSU 油气管道阀室通信网络组网方案在阀室通信网络中的业务承载能力,以及 OSU 相对于 SDH 组网方案的时延控制优势。同时,选择了具有阀室通信网络典型环境特征的线路,验证了所设计的 CPE 样机对阀室通信网络恶劣工况环境的适应力,以及其在现网中进行小型化安装的能力。

与传统组网方案相比,OTN OSU 油气管道阀室通信网络组网方案有效减少了网络延迟,为时延敏感的油气管道阀室通信网络各业务提供了保障;同时,简化了网络设备构成,降低了网络建设于运维成本,实现了多种业务安全承载,提高了光缆综合利用效率。

参考文献:

- [1] 高振宇,张慧宇,高鹏. 2022 年中国油气管道建设新进展[J]. 国际石油经济,2023,31(3):16-23.
- [2] 王玮,苏怀,孙文苑,等. 油气管道技术发展现状与展望[J]. 前瞻科技,2023,2(2):161-167.
- [3] 孙志波. 长输油气管道安全运行的管理措施[J]. 化工管理,2023(14):153-156.
- [4] 董绍华,袁士义,张来斌,等. 长输油气管道安全与完整性管理技术发展策略研究[J]. 石油科学通报,2022,7(3):435-446.