

ICS XXXXXXXX  
XXX  
XXXX-XXXX

YD

# 中华人民共和国通信行业标准

YD××××—××××  
等同：ITU-T G.709

## 光传送网(OTN)接口 Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)

(送审稿)

200×-××-××发布

200×-××-××实施

中华人民共和国信息产业部 发布



## 目 次

前 言.....	V
1 范围.....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	3
5 约定.....	5
6 光传送网接口结构.....	5
6.1 基本信号结构.....	6
6.1.1 OCh结构.....	6
6.1.2 全功能(OTM- <i>n.m</i> ( <i>n</i> = 1)结构.....	6
6.1.3 简化功能 OTM- <i>nr.m</i> 和 OTM- <i>0.m</i> 结构.....	6
6.2 OTN接口信息结构 .....	7
7 复用/映射原则和比特速率.....	11
7.1 映射.....	13
7.2 波分复用.....	13
7.3 比特速率和容量 .....	13
7.4 ODU <sub>k</sub> 时分复用 .....	14
8 光传送模块(OTM-N.M, OTM-NR.M, OTM-0.M) .....	15
8.1 简化功能的OTM (OTM-0.M, OTM-NR.M).....	15
8.1.1 OTM-0.m.....	15
8.1.2 OTM-16r.m.....	16
8.2 全功能OTM (OTM-N.M).....	17
9 ONNI物理规范 .....	18
9.1 OTM-0.M.....	18
9.2 OTM-16R.M.....	19
9.3 OTM-N.M.....	19
10 光通路 (OCH).....	19
10.1 全功能OCH (OCH) .....	19
10.2 简化功能OCH (OCHR).....	19
11 光通路传送单元 (OTU).....	19
11.1 OTU <sub>k</sub> 帧结构 .....	19
11.2 扰码.....	20
12 光通路数据单元(ODUK).....	21
12.1 ODU <sub>k</sub> 帧结构 .....	21
13 光通路净荷单元 (OPUK) .....	21
14 OTM 开销信号 (OOS).....	21
15 开销描述.....	22
15.1 开销类型.....	25
15.1.1 光通路净荷单元开销 (OPU <sub>k</sub> OH).....	25

15.1.2	光通路数据单元开销 (ODUk OH).....	25
15.1.3	光通路传送单元开销(OTUk OH).....	25
15.1.4	光通路非关联开销(OCh OH).....	25
15.1.5	光复用段开销 (OMS OH).....	25
15.1.6	光传输段开销 (OTS OH).....	25
15.1.7	综合管理通信开销 (COMMS OH).....	25
15.2	路径踪迹标识符和访问点标识符定义.....	25
15.3	OTS OH 描述.....	27
15.3.1	OTS路径踪迹标识符 (TTI).....	27
15.3.2	OTS 后向缺陷指示- 净荷 (BDI-P).....	27
15.3.3	OTS后向缺陷指示- 开销 (BDI-O).....	27
15.3.4	OTS净荷丢失指示 (PMI).....	27
15.4	OMS OH 描述.....	27
15.4.1	OMS 前向失效指示- 净荷 (FDI-P).....	28
15.4.2	OMS 前向失效指示- 开销(FDI-O).....	28
15.4.3	OMS 后向失效指示- 净荷(BDI-P).....	28
15.4.4	OMS后向失效指示- 开销(BDI-O).....	28
15.4.5	OMS净荷丢失指示(PMI).....	28
15.5	OCh OH 描述.....	28
15.5.1	OCh前向失效指示- 净荷(FDI-P).....	28
15.5.2	OCh前向失效指示- 开销(FDI-O).....	28
15.5.3	OCh 开放连接指示(OCI).....	28
15.6	OTUk/ODUk 帧定位OH 描述.....	28
15.6.1	OTUk/ODUk 帧定位开销位置.....	28
15.6.2	OTUk/ODUk 帧定位开销定义.....	29
15.7	OTUk OH 描述.....	30
15.7.1	OTUk 开销位置.....	30
15.7.2	OTUk 开销定义.....	30
15.7.3	OTUkV 开销.....	32
15.8	ODUk OH 描述.....	32
15.8.1	ODUk OH 位置.....	32
15.8.2	ODUk OH 定义.....	33
15.9	OPUk OH 描述.....	43
15.9.1	OPUk OH 位置.....	43
15.9.2	OPUk OH 定义.....	44
<b>16</b>	<b>维护信号.....</b>	<b>45</b>
16.1	OTS维护信号.....	46
16.1.1	OTS净荷丢失指示 (OTS-PMI).....	46
16.2	OMS维护信号.....	46
16.2.1	OMS前向缺陷指示 - 净荷 (OMS-FDI-P).....	46
16.2.2	OMS前向缺陷指示 - 开销 (OMS-FDI-O).....	46
16.2.3	OMS净荷丢失指示 (OMS-PMI).....	46
16.3	OCh维护信号.....	46
16.3.1	OCh前向缺陷指示 - 净荷OCh-FDI-P.....	46
16.3.2	OCh前向缺陷指示 - 开销 (OCh-FDI-O).....	46
16.3.3	OCh开放连接指示 (OCh-OCI).....	46
16.4	OTUk维护信号.....	46
16.4.1	OTUk告警指示信号 (OTUk-AIS).....	46
16.5	ODUk维护信号.....	47
16.5.1	ODUk告警指示信号 (ODUk-AIS).....	47

16.5.2	ODU <sub>k</sub> 开放连接指示	47
16.5.3	ODU <sub>k</sub> 锁定 (ODU <sub>k</sub> -LCK)	47
16.6	客户维护信号	48
16.6.1	用于固定比特速率信号的通用AIS	48
<b>17</b>	<b>客户信号映射</b>	<b>48</b>
17.1	CBR2G5、CBR10G和CBR40G信号 (STM-16/64/256) 到OPU <sub>k</sub> 的映射	48
17.1.1	映射CBR2G5信号 (STM-16) 到OPU <sub>1</sub>	50
17.1.2	映射CBR10G信号 (STM-64) 到OPU <sub>2</sub>	50
17.1.3	映射CBR40G信号 (STM-256) 到OPU <sub>3</sub>	51
17.2	映射ATM信元流到OPU <sub>k</sub>	51
17.3	映射GFP帧到OPU <sub>k</sub>	52
17.4	映射测试信号到OPU <sub>k</sub>	52
17.4.1	映射NULL客户到OPU <sub>k</sub>	52
17.4.2	映射PRBS测试信号到OPU <sub>k</sub>	53
17.5	映射非特定客户比特流到OPU <sub>k</sub>	53
17.5.1	映射带字节定时的比特流到OPU <sub>k</sub>	54
17.5.2	映射无字节定时的比特流到OPU <sub>k</sub>	54
17.6	映射其他固定比特速率的信号到OPU <sub>k</sub>	54
<b>18</b>	<b>级联</b>	<b>54</b>
18.1	OPU <sub>k</sub> 的虚级联	54
18.1.1	OPU <sub>k</sub> 虚级联(OPU <sub>k</sub> -X <sub>v</sub> , k = 1 .. 3, X = 1 .. 256)	54
18.1.2	OPU <sub>k</sub> -X <sub>v</sub> 开销描述	55
18.2	客户信号映射	58
18.2.1	映射CBR信号 (STM-64/256) 到OPU <sub>k</sub> -4 <sub>v</sub>	58
18.2.2	映射CBR信号 (如STM-256) 到OPU <sub>k</sub> -4 <sub>v</sub>	60
18.2.3	映射ATM信元流到OPU <sub>k</sub> -X <sub>v</sub>	61
18.2.4	GFP帧到OPU <sub>k</sub> -X <sub>v</sub> 映射	62
18.2.5	测试信号到OPU <sub>k</sub> -X <sub>v</sub> 的映射	63
18.2.6	非特定客户比特流到OPU <sub>k</sub> -X <sub>v</sub> 的映射	63
18.3	虚级联LCAS	64
<b>19</b>	<b>ODUK 到ODTUK信号的映射</b>	<b>64</b>
19.1	OPU <sub>k</sub> 支路单元定义	64
19.1.1	OPU <sub>2</sub> 支路单元的分配	64
19.1.2	OPU <sub>3</sub> 支路单元的分配	65
19.2	ODTUK定义	67
19.2.1	ODTU12	67
19.2.2	ODTU13	67
19.2.3	ODTU23	67
19.3	ODTUK 信号到 OPU <sub>k</sub> 的复用	67
19.4	OPU <sub>k</sub> 复用开销	70
19.4.1	OPU <sub>k</sub> 复用结构指示符 (MSI)	71
19.4.2	OPU <sub>k</sub> 净荷结构指示保留开销 (RES)	73
19.4.3	OPU <sub>k</sub> 复用调整开销 (JOH)	73
19.5	ODU <sub>j</sub> 到 ODTUK的映射	73
19.5.1	ODU <sub>1</sub> 到 ODTU12 的映射	74
19.5.2	ODU <sub>1</sub> 到 ODTU13的映射	75
19.5.3	ODU <sub>2</sub> 到 ODTU23的映射	76
附件A	使用16字节间插的RS编解码器的前向纠错技术	78

附录B 固定比特率2.5G、10G和40G信号最大允许频偏为±20 PPM的情况下异步映射入OPUK和ODUJ复用到ODUK (K > J)时填充比特率的范围.....	80
附录C OTU帧结构功能标准化的范例.....	84
附录D ODUK复用的范例.....	87
附录E 带有低阶ODUK信号复用的OPUK信号中固定填充的范例 .....	88

## 前 言

本标准等同国际电信联盟 - 电信标准部门 (ITU-T) G.709建议。在技术内容上一致,在编写格式和方法不同,格式和方法采用我国标准化工作导则的有关规定。

本标准规范了光传送网中光传送信号(OTM-n)的技术要求,主要包括光传送系列(OTH)、支持多波长光网络的开销功能、帧结构、比特速率、用户信号的映射格式等。

本标准等同 ITU-T 建议《光传送网(OTN)接口》(ITU-T G.709),等同采用的技术内容具体如下:

- 1) 光传送网接口结构: OTN 接口基本信号结构和信息结构;
- 2) 光传送网信号的复用/映射原则和比特速率;
- 3) 光传送模块结构: 简化功能的 OTM 和全功能 OTM;
- 4) 光通路(OCh)结构;
- 5) 光通路传送单元(OTU),光通路数据单元(ODUK),光通路净荷单元(OPUK)结构;
- 6) OTM 开销信号(OOS)描述: OTS, OMS 和 OCh 开销种类和功能;
- 7) 光传送网维护信号;
- 8) 光传送网客户信号映射: 包括 SDH 信号, ATM 信元, GFP 帧, 测试信号, 非特定客户比特流和其它固定比特速率的信号;
- 9) OTN 信号的级联方式。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本标准由中华人民共和国信息产业部提出。

本标准由中国通信标准化协会负责归口。

本标准由信息产业部电信传输研究所和中国电信集团公司共同起草。

本标准主要起草人: 李允博 张成良 赵文玉 徐云斌 李伟



# 光传送网(OTN)接口

## 1 范围

本标准规范了光传送网中光传送信号(OTM-n)和光网络的子网内/子网间的光传送网接口的技术要求,包括光传送系列(OTH)、多波长光网络的开销功能、帧结构、比特速率、用户信号的映射格式和光子网操作管理必需的开销功能。

本标准适用于光传送网中的用户-网络接口(UNI)和网络-网络接口(NNI)。对于光子网内所使用的接口,接口的属性依赖所应用的光技术,随着光技术的不断更新而相应改变。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版适用于本标准。

ITU-T G.652 (2003)	单模光纤光缆的特性
ITU-T G.653 (2000)	色散位移单模光纤光缆的特性
ITU-T G.655 (2000)	非零色散单模光纤光缆的特性
ITU-T G.693 (2001)	局内系统光接口
ITU-T G.707/Y.1322 (2000)	同步数字体系的网络节点接口
ITU-T G.7041 (2001)	通用成帧进程
ITU-T G.7042 (2001)	虚级联方式下链路容量调整方案(LCAS)
ITU-T G.805 (2000)	传送网通用功能结构
ITU-T G.806 (2000)	传送设备特性 - 描述方法和通用功能
ITU-T G.872 (1999)	光传送网结构
ITU-T G.873.1 (2003)	光传送网 - 线性保护
ITU-T G.959.1 (2001)	光传送网物理层接口
ITU-T I.432.1 (1999)	B-ISDN 用户网络接口 - 物理层规范:通用特性
ITU-T M.1400 (2000)	局间操作网络设计
ITU-T M.3100 (1995)/Amd.3 (2001)	通用网络信息模型 - 修正版 3:通用告警上报控制 (ARC) 特性管理接口定义
ITU-T O.150 (1996)	数字传送设备性能测试通用要求

## 3 术语和定义

**光传送模块(OTM-n[r].m)**: OTM 是经过 ONNI 被传送的信息结构。系数 n 和 m 定义了所支持的波长和比特速率。

有两种 OTM 结构:

**全功能的 OTM(OTM-n.m)**: OTM-n.m 包括最多可复用到 n 个波长通路,一个 OTM 开销信号可以支持非随路开销。

在信息结构中用于支持 OTN 中的光传送段(OTS)层连接。光传送段层(OTS\_CI)的信息特性包含有信息净荷(OTS\_CI\_PLD)和光传送段开销信息区域(OTS\_CI\_OH)。OTM 开销信号(OOS)信息结构包含着光传送段开销(OTS\_OH)信息域。一个 OTM-n 的阶数由它所支持的 OMU-n 的阶数所决定。

**简化功能的 OTM(OTM-0.m, OTM-nr.m)**: OTM-0 由单个光通路组成,不需要特定的波长。OTM-nr.m 最多可以包含 n 个复用的光通路,不支持非随路开销。

OTM-nr.m/OTM-0 用于支持 OTN 中光物理段(OPS)层连接的信息结构。光物理段层信息特性(OPS\_CI)信息特性包含信息净荷(OPS\_CI\_PLD)。不支持非随路开销。一个 OTM-nr 的阶数由它所支持的 OCG-nr 的阶数所决定。

**n**: 系数 n 表示 OTM, OTS, OMS, OPS, OCG, OMU 的阶数。n 代表了波长数目,这些波长承载着最低比特速率的信号。随着比特速率的增加, n 可能会减少。n=0 表示单个通路上不需要指配特定的波长。

**r**: 系数 r 表示简化功能的 OTM, OCG, OCC 和 Och(不支持非随路开销)。n=0 时就不再需要 r。

**m**: 系数 m 表示接口所支持的比特速率和多种比特速率。m 可以取值为 1, 2, 3, 12, 123, 23。

**k**: 系数 k 表示所支持的比特速率和不同种类的 OPU<sub>k</sub>, ODU<sub>k</sub> 和 OTU<sub>k</sub>。k=1 表示比特速率为 2.5 Gbit/s, k=2 表示比特速率为 10 Gbit/s, k=3 表示比特速率为 40 Gbit/s。

**光通路(OCh[r])**: OCh 是用于支持 OCh 路径的信息结构。定义了两种 OCh: OCh 客户信号是 OTUk 信号, OTM 支持其它数字客户信号(例如 STM-n, GbE)。

**全功能光通路(OCh)**: OCh 信息结构种包含有关带宽和用于光通路管理的非随路开销(OCh\_OH)的信息净荷(OCh\_PLD)。

**简化功能的光通路(OChr)**: Ochr 信息结构中包含与带宽有关的信息净荷, 不支持非随路开销。

**光通路传送单元(OTUk[V])**: OTUk 信息结构用于传送经过多个光通路连接的 ODUk。包括光通路数据单元和 OTUk 相关开销(FEC 和光通路连接管理开销), 具有帧结构, 比特速率和带宽等特点。

有两种版本的 OTUk:

**完全标准化的 OTUk (OTUk)**: 完全标准的 OTUk, 用于 OTM IrDIs 或 OTM IaDIs。

**功能标准化的 OTUk (OTUkV)**: 部分标准化的 OTUk, 用于 OTM IaDIs

**光通路数据单元(ODUk)**: ODUk 信息结构包括信息净荷(OPUk)和与开销相关的 ODUk。ODUk 的容量可以反映在 k 上, k 可以定义为 1, 2, 3。

**ODUk 通道(ODUkP)**: 光通路数据单元 k 通道(ODUkP)是用于支持端到端 ODUk 路径的信息结构。

**ODUk TCM (ODUkT)**: 光通路数据单元 k TCM (ODUkT)是用于支持 TCM 路径的信息结构。最多可以支持 6 个 TCM 子层。

**光通路净荷单元(OPUk)**: OPUk 信息结构是用于适配客户信息, 以便在光通路上进行传送。将客户信息和所需开销结合在一起, 对客户信号速率和 OPUk 净荷速率, 以及其他 OPUk 开销进行适配, 以支持客户信号传送。这些开销是为适配而特定的, OPUk 的容量可以反映在 k 上, k 可以定义为 1, 2, 3。

**光通路载波(OCC[r])**: 光通路载波代表 OTM-n 中的支路时隙。定义有两种 OCC 结构。

**全功能 OCC**: OCC 包含 OCC 净荷(OCCp)和 OCC 开销(OCCo)。OCCp 承载 OCh\_CI\_PLD, 并被指配到 WDM 中的某一个波长。OCCo 承载 OCh\_CI\_OH, 并且在 OOS 信息结构中被传送。

**简化功能的 OCC**: OCC 包含 OCC 净荷(OCCp)。OCCp 承载 OCh\_CI\_PLD, 并被指配到 WDM 中的某一个波长。不支持非随路开销。

**n 阶光载波群(OCG-n[r])**: n 个光通路载波占据 OTM 固定的、确定的位置, 称为光载波群(OCG[r])。有两种结构的 OCG:

**全功能 OCG(OCG-n)**: OCG-n 包含最多 n 个 OCC 净荷(OCCp)和 OCC 开销(OCCo)。

**简化功能的 OCG(OCG-nr)**: OCG-nr 包含最多 n 个 OCC 净荷(OCCp)。不支持非随路开销。

**光复用单元(OMU-n, n = 1)**: OMU-n 信息结构用于支持 OTN 中的光复用段(OMS)层连接。光复用段层特性信息(OMS\_CI)包含信息净荷(OMS\_CI\_PLD)和光复用段开销信息(OMS\_CI\_OH)。OMS\_CI\_PLD 包含 OCG-n 净荷, OMS\_CI\_OH 包含 OCG-n 开销和 OMS 特定开销, 并且在 OOS 信息结构中进行传送。OMU 的阶数由所支持的 OCG 阶数定义。

**n 阶光物理段(OPSn)**: 分层网络提供在不同种类光介质上的多个波长传送(如 G.652, G.653, G.655 光纤)。将 OMS 和 OTS 层的传送功能结合在一起, 不需要监控信息, 定义了 n = 0 和 n = 16 的 OPSn 能力。

**光传送网节点接口(ONNI)**: 光传送网节点的接口用于与其它光传送网节点接口互联。

**OTM 开销信号(OOS)**: OOS 信息结构用于在光监控信道上传送与 OTM 非随路开销。非随路开销包括光传送段开销, 光复用段开销和光通路非随路开销。主要特性包括帧结构, 比特速率和带宽。

**光监控通路(OSC)**: 在光放大器带宽外的物理载波, 传送 OTM 开销信号。

**光传送系列(OTH)**: OTH 系列包括数字传送结构, 标准化的净荷映射方式, 以便在光传送网络上传送。

**OTH 复用**: 光通路复用进程。

**非随路开销(naOH)**: 在 OOS 中传送监控信息。

**无损伤激活/去激活连接监视器**: 应用于 TC - CMEPs。在两个 TC-CMEPs 之间可以建立/释放一个 CM, 同时不影响净荷数据或其它不相关的 OH 信息。不相关的管理功能同时应不受到影响。当激活/去激活一个新的/旧的 CM 时, 先前建立起来的 CMs 不应当反映瞬间误码或统计。

**CBR2G5**: 固定比特速率信号, 2 488 320 kbit/s  $\pm$  20 ppm, 例如 STM-16。

**CBR10G**: 固定比特速率信号, 9 953 280 kbit/s  $\pm$  20 ppm, 例如 STM-64。

**CBR40G**: 固定比特速率信号, 39 813 120 kbit/s  $\pm$  20 ppm, 例如 STM-STM-256。

**连接监测终点(CMEEP)**: 连接监测终点表示路径的终点, 以及相应的路径终止功能。连接监测开销(CMOH)在 CMEEP 被插入和提取。

对于 OCh, CMEEP 分为 3 种层次:

- OCh 光段 CMEEP (OS\_CMEEP), 表示 OTUk 路径的终点。SM 开销域包含相关 CMOH。

- Och串联连接CMEP (TC\_CMEP), 表示ODUkT路径的终点。TCM1..6开销域包含相关CMOH。
- Och通道CMEP (P\_CMEP), 表示ODUkP路径的终点。PM开销域包含相关CMOH。

**链路容量调整方案(LCAS):** LCAS 是源端和宿端虚级联适配功能的控制机制, 可以无损伤的增加和减少一个链路的容量, 以满足带宽的需求。它能够在一个失效链路上去除成员。LCAS 可以通过网络和网元管理系统的操作, 用于在端到端通道上的容量初始化, 增加和减少, 创建和删除

#### 4 缩略语

0xYY	YY is a value in hexadecimal presentation	YY 是十六进制的值
3R	Reamplification, Reshaping and Retiming	再放大, 再整型, 再定时
ACT	Activation (in the TCM ACT byte)	激活(在 TCM ACT 字符)
AI	Adapted Information	适配信息
AIS	Alarm Indication Signal	告警指示信号
APS	Automatic Protection Switching	自动保护倒换
BDI	Backward Defect Indication	后向缺陷指示
BDI-O	Backward Defect Indication Overhead	后向缺陷指示开销
BDI-P	Backward Defect Indication Payload	后向缺陷指示净荷
BEI	Backward Error Indication	后向误码支指示
BI	Backward Indication	后向指示
BIAE	Backward Incoming Alignment Error	后向输入定位误码
BIP	Bit Interleaved Parity	比特奇偶间插
CBR	Constant Bit Rate	固定比特速率
CI	Characteristic Information	特征信息
CM	Connection Monitoring	连接监测
CMEP	Connection Monitoring End Point	连接监测终点
CMOH	Connection Monitoring Overhead	连接监测开销
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
CTRL	Control word sent from source to sink	控制字从源发到宿
DAPI	Destination Access Point Identifier	目的接入点标识符
DNU	Do Not Use	不可用
EDC	Error Detection Code	误码检测码
EOS	End of Sequence	序列结束
EXP	Experimental	实验
ExTI	Expected Trace Identifier	期望踪迹标识
FAS	Frame Alignment Signal	帧定位信号
FDI	Forward Defect Indication	前向缺陷指示
FDI-O	Forward Defect Indication Overhead	前向缺陷指示开销
FDI-P	Forward Defect Indication Payload	前向缺陷指示净荷
FEC	Forward Error Correction	前向误码纠错
GCC	General Communication Channel	通用通信通路
GID	Group Identification	组标识
IaDI	Intra-Domain Interface	域内接口
IAE	Incoming Alignment Error	输入定位误码
IrDI	Inter-Domain Interface	域间接口
JOH	Justification Overhead	调整开销
LCAS	Link Capacity Adjustment Scheme	链路容量调整方案
LSB	Least Significant Bit	最低位比特
MFAS	MultiFrame Alignment Signal	复帧定位信号
MFI	Multiframe Indicator	复帧标识
MS	Maintenance Signal	维护信号
MSB	Most Significant Bit	最高位比特
MSI	Multiplex Structure Identifier	复用结构标识

MST	Member Status	成员状态
naOH	non-associated overhead	非随路开销
NNI	Network Node Interface	网络节点接口
NORM	Normal Operating Mode	正常操作模式
OCC	Optical Channel Carrier	光通路载波
OCCo	Optical Channel Carrier – overhead	光通路载波开销
OCCp	Optical Channel Carrier – payload	光通路载波净荷
OCCr	Optical Channel Carrier with reduced functionality	简化功能光通路载波
OCG	Optical Carrier Group	光载波群
OCGr	Optical Carrier Group with reduced functionality	简化功能光载波群
OCh	Optical channel with full functionality	全功能光载波
OChr	Optical channel with reduced functionality	简化功能光通路
OCI	Open Connection Indication	开放连接指示
ODU	Optical Channel Data Unit	光通路数据单元
ODUk	Optical Channel Data Unit-k	光通路数据单元 k
ODTujk	Optical channel Data Tributary Unit j into k	光通路数据支路单元 j 到 k
ODTUG	Optical channel Data Tributary Unit Group	光通路数据支路单元群
ODUk-Xv	X virtually concatenated ODUk's	X 虚级联 ODUk's
OH	Overhead	开销
OMS	Optical Multiplex Section	光复用段
OMS-OH	Optical Multiplex Section Overhead	光复用段开销
OMU	Optical Multiplex Unit	光复用单元
ONNI	Optical Network Node Interface	光网络节点接口
OOS	OTM Overhead Signal	OTM 开销信号
OPS	Optical Physical Section	光物理段
OPU	Optical Channel Payload Unit	光通路净荷单元
OPUk	Optical Channel Payload Unit-k	光通路净荷单元 k
OPUk-Xv	X virtually concatenated OPUk's	X 虚级联 OPUk's
OSC	Optical Supervisory Channel	光监控信道
OTH	Optical Transport Hierarchy	光传送系列
OTM	Optical Transport Module	光传送模块
OTN	Optical Transport Network	光传送网络
OTS	Optical Transmission Section	光传送段
OTS-OH	Optical Transmission Section Overhead	光传送段开销
OTU	Optical Channel Transport Unit	光通路传送单元
OTUk	Completely standardized Optical Channel Transport Unit-k	完全标准化光通路传送单元 k
OTUkV	functionally standardized Optical Channel Transport Unit-k	功能标准化完全标准化光通路传送单元 k
PCC	Protection Communication Channel	保护通信通路
PLD	Payload	净荷
PM	Path Monitoring	通道监测
PMI	Payload Missing Indication	净荷丢失指示
PMOH	Path Monitoring OverHead	通道监测开销
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence	伪随机序列
PSI	Payload Structure Identifier	净荷结构标识
PT	Payload Type	净荷类型
RES	Reserved for future international standardization	将来国际标准预留
RS	Reed-Solomon	所罗门
RS-Ack	Re-sequence acknowledge	重序列通知

SAPI	Source Access Point Identifier	源接入点标识
Sk	Sink	宿
SM	Section Monitoring	段监测
SMOH	Section Monitoring OverHead	段监测开销
So	Source	源
SQ	Sequence Indicator	序列标识
TC	Tandem Connection	串型连接
TCM	Tandem Connection Monitoring	串型连接监测
TCMOH	Tandem Connection Monitoring OverHead	串型连接监测开销
TS	Tributary Slot	支路时隙
TxTI	Transmitted Trace Identifier	传送踪迹标识
UNI	User-to-Network Interface	用户网络接口
VCG	Virtual Concatenation Group	虚级联组
VCOH	Virtual Concatenation Overhead	虚级联开销
vcPT	virtual concatenated Payload Type	虚级联净荷类型

## 5 约定

ITU-T G.872 规定了光传送网络功能结构，可推广到 ONNI。根据 ITU-T G.805 描述的各层适配和特性信息来规范 ONNI。

**传送顺序：**

传输信息的顺序是从左到右，从上到下，在每个字节内部，最高位比特最先发送。最高位的比特（比特 1）在所有图表的左侧。

**预留比特的值：**

开销比特的值，预留或预留给国际标准化暂定义为 0。

**未定义比特的值：**

其未定义的比特也应为 0。

**OTU<sub>k</sub>, ODU<sub>k</sub> 和 OPU<sub>k</sub> 开销定位：**

光通路传送/数据/净荷单元信号开销的定位参见图 1。



图 1 OTU<sub>k</sub>, ODU<sub>k</sub> 和 OPU<sub>k</sub> 开销

## 6 光传送网接口结构

ITU-T G.872 规范的光传送网定义了两种接口：

- a) 域间接口(IrDI)
- b) 域内接口(IaDI)

OTN IrDI 接口在每个接口终端应具有 3R 处理功能。

光传送模块 n(OTM-n)信息结构用于支持 OTN 接口，定义了两种结构：

- a) 全功能的 OTM 接口(OTM-n.m)
- b) 简化功能的 OTM 接口(OTM-0.m, OTM-nr.m)

简化功能 OTM 接口在每个接口终端应具有 3R 处理功能，以支持 OTN IrDI 接口。

## 6.1 基本信号结构

基本信号结构参见图 2：

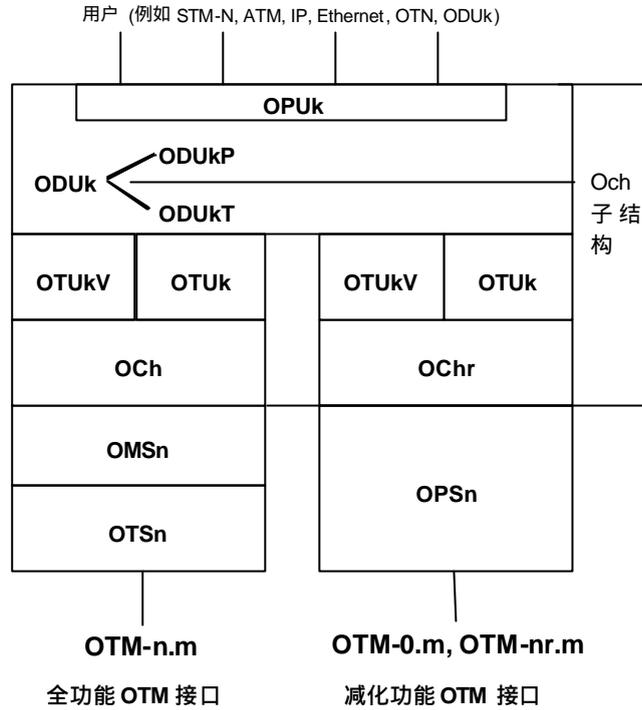


图 2 OTN接口结构

### 6.1.1 OCh结构

ITU-T G.872规范的光通路层结构，应当支持ITU-T G.872定义的网络管理和监控功能。

- 全功能(OCh)或简化功能(OChr)的光通路，在 OTN 的 3R 再生点之间应提供透明网络连接。
- 完全或功能标准化光通路传送单元(OTUk/OTUkV)，在 OTN 的 3R 再生点之间应为信号提供监控和条件，便于信号进行抄送。
- 光通路数据单元(ODUk)应当提供：
  - 串型连接监测(ODUKT)
  - 端到端通道监控(ODUKP)
  - 经由光通路净荷单元(OPUk)适配用户信号

### 6.1.2 全功能( OTM-n.m (n = 1)结构

OTM-n.m (n = 1)包括以下层：

- 光传送段(OTSn)
- 光复用段(OMSn)
- 全功能光通路(OCh)
- 完全或功能标准化光通路传送单元(OTUk/OTUkV)
- 光通路数据单元(ODUk)

### 6.1.3 简化功能 OTM-nr.m 和 OTM-0.m结构

OTM-nr.m 和 OTM-0.m 包括以下层面：

- 光物理段(OPSn)
- 简化功能光通路(OChr)

- c)完全或功能标准化光通路传送单元(OTUk/OTUkV)
- d)光通路数据单元(ODUk)

## 6.2 OTN接口信息结构

OTN 接口信息结构通过信息包含关系和流来表示。基本信息包含关系参见图 3，图 4 和图 5，信息流参见图 6。

OTN 网络出于监控目的，在 Och 信号终结时，OTUk/OTUkV 信号也要终结。

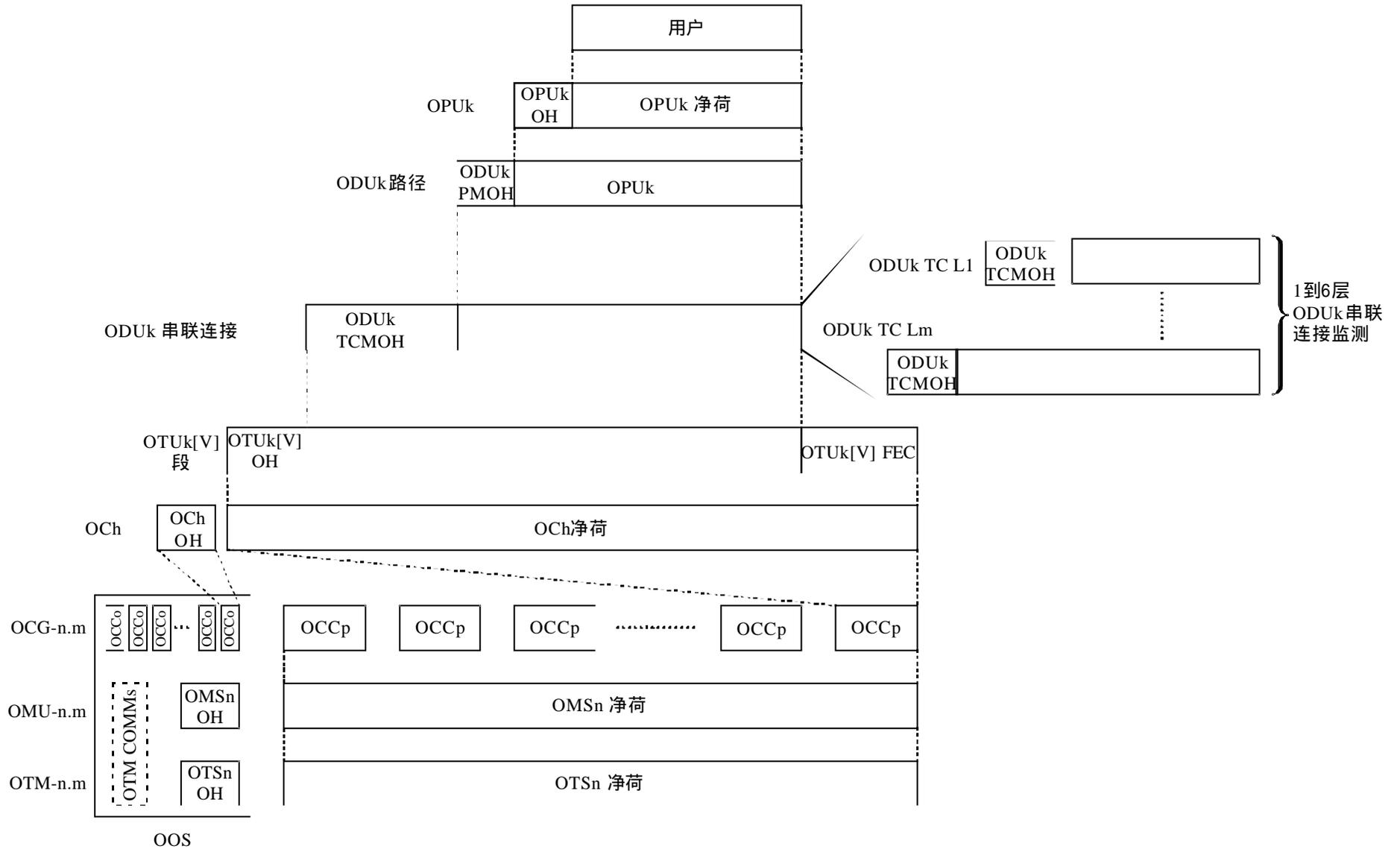


图 3 OTM-n.m基本信息包含关系

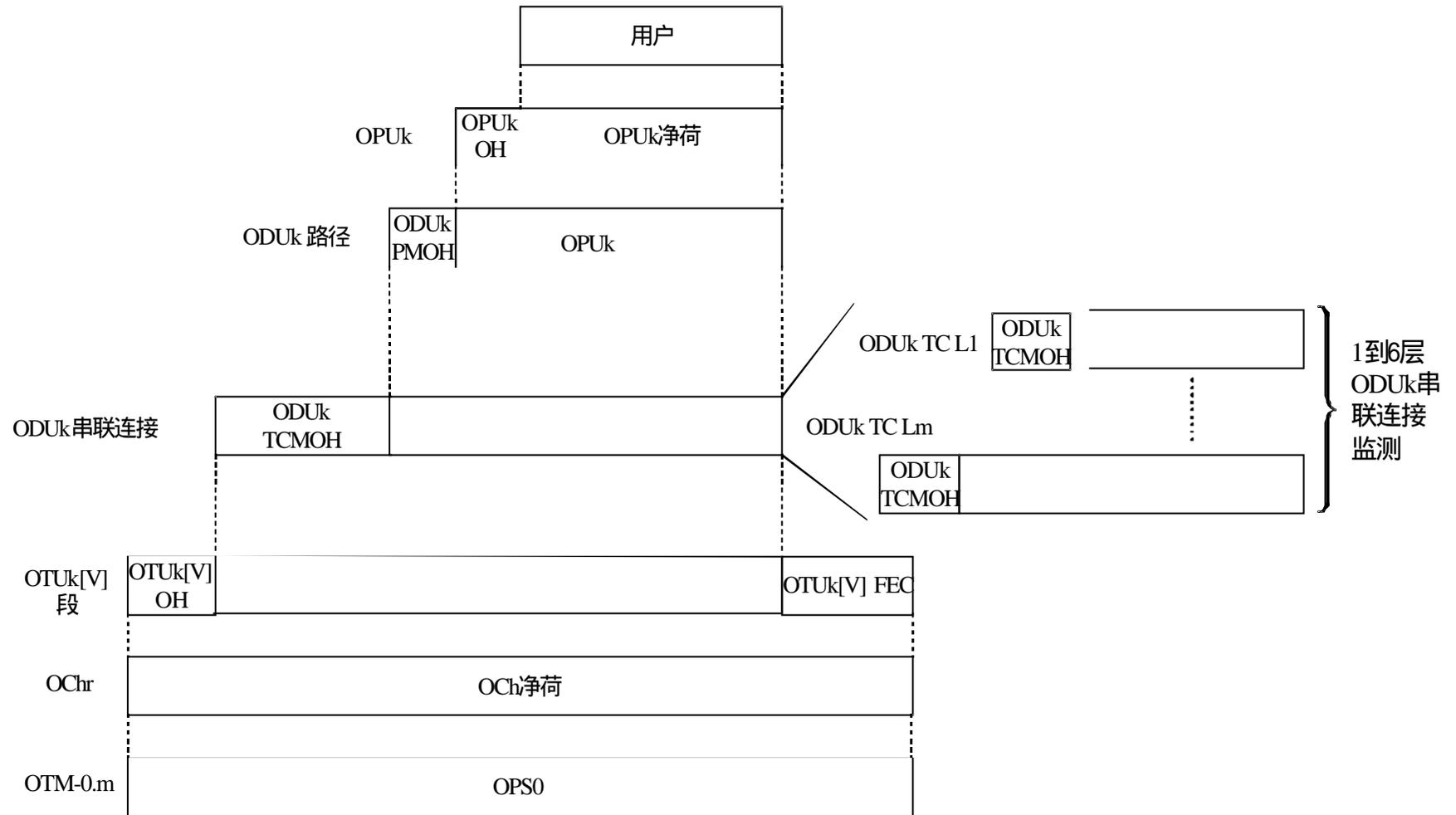


图 4 OTM-0.m基本信息包含关系

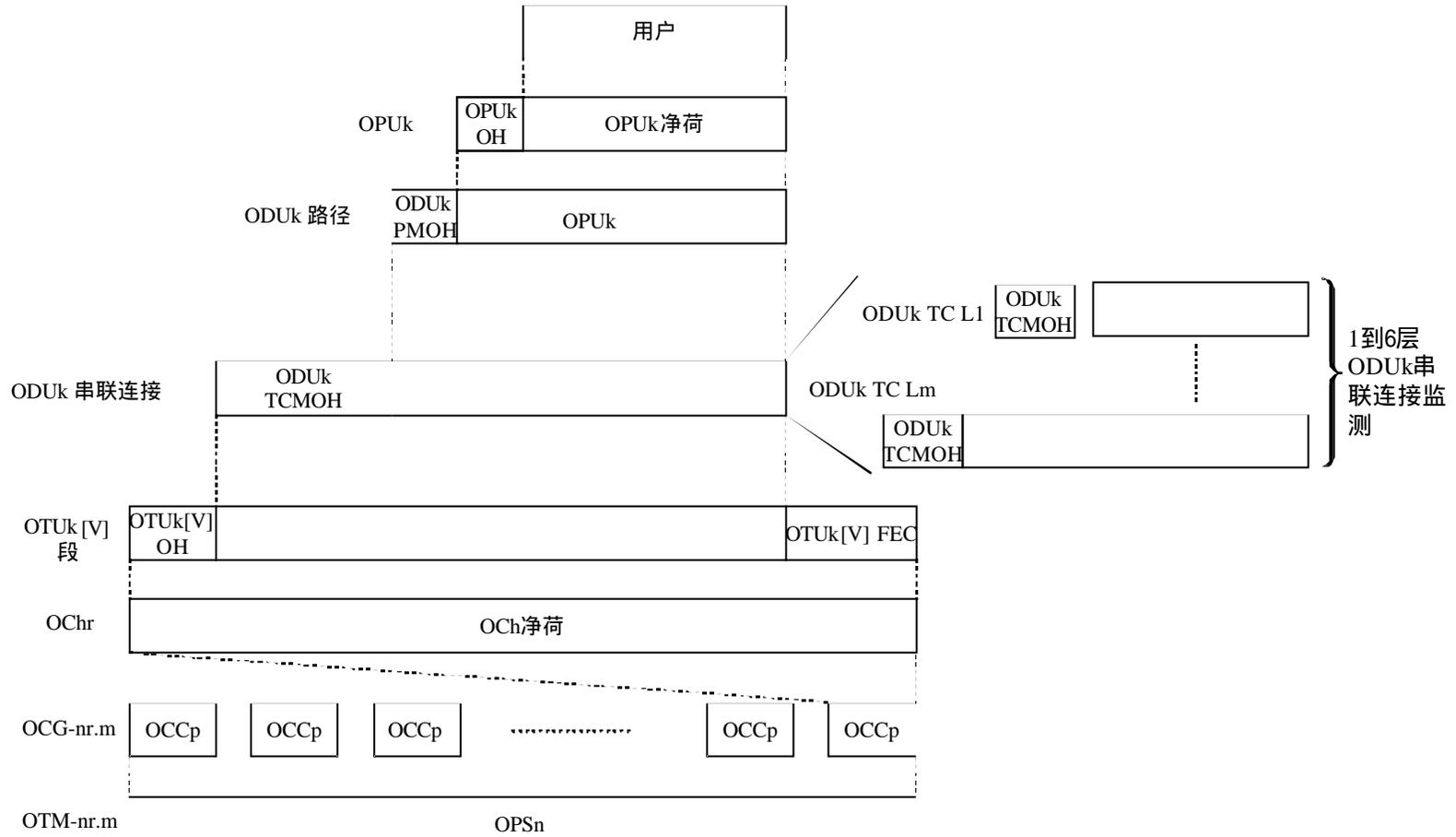


图 5 OTM-nr.m基本信息包含关系



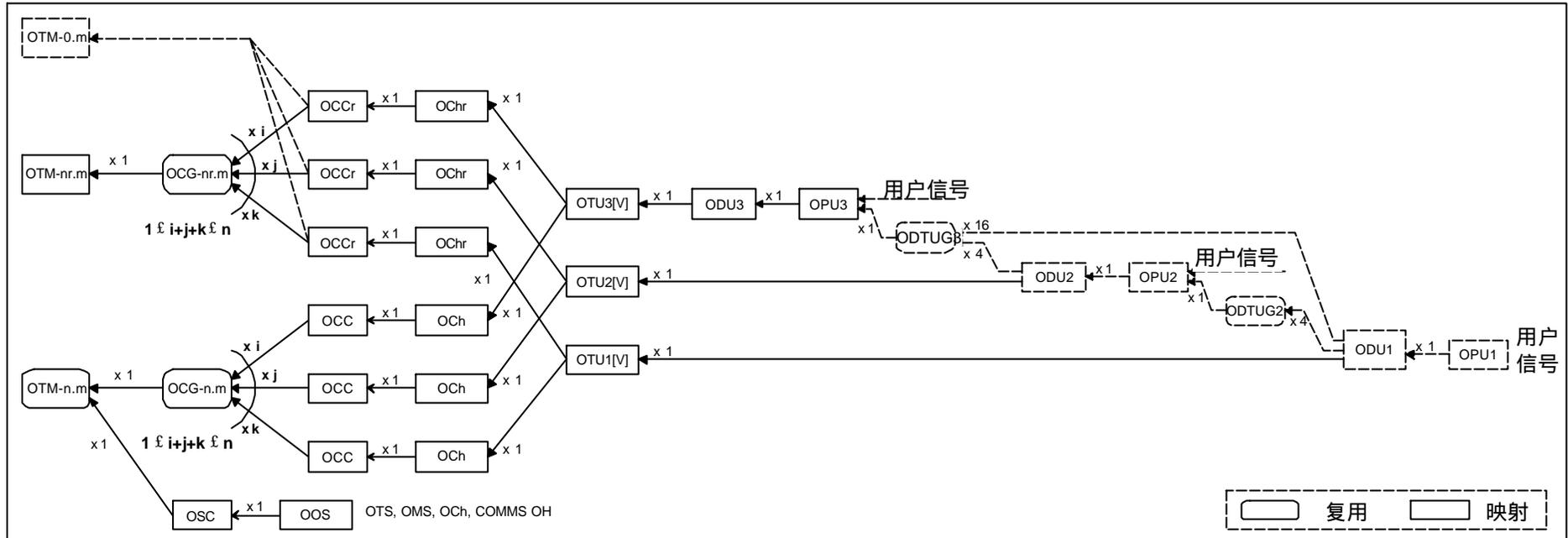


图 7 OTM复用和映射结构

### 7.1 映射

用户信号或光通路数据单元支路单元群(ODTUG<sub>k</sub>)被映射到 OPU<sub>k</sub>，OPU<sub>k</sub> 被映射到 ODU<sub>k</sub>，ODU<sub>k</sub> 映射到 OTU<sub>k</sub>[V]，OTU<sub>k</sub>[V]映射到 OCh[r]，最后 OCh[r]被调制到 OCC[r]。

### 7.2 波分复用

通过波分复用最多  $n$  ( $n = 1$ ) OCC[r]复用到 OCG- $n$ [r].m，OCG- $n$ [r].m 的支路可以是各种大小。

通过 OTM- $n$ [r].m 传送 OCG- $n$ [r].m，在全功能 OTM- $n$ .m 接口上，通过波分复用 OSC 复用到 OTM- $n$ .m。

### 7.3 比特速率和容量

OTU<sub>k</sub> 信号的比特速率和容量参见表 1。

ODU<sub>k</sub> 信号的比特速率和容量参见表 2。

OPU<sub>k</sub> 的比特速率和容量，OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 净荷参见表 3。

OTU<sub>k</sub>/ODU<sub>k</sub>/OPU<sub>k</sub>/OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 帧结构周期参见表 4。

表 1 OTU类型和容量

OTU类型	OUT标称比特速率	OTU比特速率容差
OTU1	$255/238 \times 2\,488\,320$ kbit/s	± 20 ppm
OTU2	$255/237 \times 9\,953\,280$ kbit/s	
OTU3	$255/236 \times 39\,813\,120$ kbit/s	
注 – 标称OTU <sub>k</sub> 速率近似为: 2 666 057.143 kbit/s (OTU1), 10 709 225.316 kbit/s (OTU2)和43 018 413.559 kbit/s (OTU3).		

表 2 ODU类型和容量

ODU类型	ODU标称比特速率	ODU比特速率容差
ODU1	$239/238 \times 2\,488\,320$ kbit/s	± 20 ppm
ODU2	$239/237 \times 9\,953\,280$ kbit/s	
ODU3	$239/236 \times 39\,813\,120$ kbit/s	
注 – 标称ODU <sub>k</sub> 速率近似为: 2 498 775.126 kbit/s (ODU1), 10 037 273.924 kbit/s (ODU2) and 40 319 218.983 kbit/s (ODU3).		

表 3 OPU类型和容量

OPU类型	OPU净荷标称比特速率	OPU净荷比特速率容差
OPU1	2 488 320 kbit/s	± 20 ppm
OPU2	$238/237 \times 9\,953\,280$ kbit/s	
OPU3	$238/236 \times 39\,813\,120$ kbit/s	
OPU1-X <sub>v</sub>	$X \times 2\,488\,320$ kbit/s	± 20 ppm
OPU2-X <sub>v</sub>	$X \times 238/237 \times 9\,953\,280$ kbit/s	
OPU3-X <sub>v</sub>	$X \times 238/236 \times 39\,813\,120$ kbit/s	
注– 标称OPU <sub>k</sub> 净荷速率近似为: 2 488 320.000 kbit/s (OPU1净荷), 9 995 276.962 kbit/s (OPU2净荷) 和 40 150 519.322 kbit/s (OPU3净荷). 标称OPU <sub>k</sub> -X <sub>v</sub> 净荷速率近似为: $X \times 2\,488\,320.000$ kbit/s (OPU1-X <sub>v</sub> 净荷), $X \times 9\,995\,276.962$ kbit/s (OPU2-X <sub>v</sub> 净荷)和 $X \times 40\,150\,519.322$ kbit/s (OPU3-X <sub>v</sub> 净荷).		

表 4 OTU<sub>k</sub>/ODU<sub>k</sub>/OPU<sub>k</sub> 帧周期

OTU/ODU/OPU类型	周期 (注)
OTU1/ODU1/OPU1/OPU1-Xv	48.971 μs
OTU2/ODU2/OPU2/OPU2-Xv	12.191 μs
OTU3/ODU3/OPU3/OPU3-Xv	3.035 μs
注 – 周期为近似值,取小数点后三位。	

#### 7.4 ODUk时分复用

图 7 显示了不同时分复用的方式,以及可能的复用结构。ODTUG2 映射到 OPU2。通过时分复用的方式,  $j$  ( $j \leq 4$ ) ODU2 和  $16-4j$  ODU1 的混合信号可以复用到 ODTUG3。ODTUG3 映射到 OPU3。

图 8 和图 9 显示了不同的信号如何进行复用。图 8 是将 4 个 ODU1 信号复用到 OPU2 信号。ODU1 信号具有扩展的帧定位开销,并且通过判决开销(JOH)异步映射到光通路数据支路单元 1 到 2(ODTU12)。在信号映射到 OPU2 后,4 个 ODTU12 信号时分复用到光通路数据单元支路单元群 2(ODTUG2)。

图 9 显示了将 16 个 ODU1 信号和 4 个 ODU2 信号复用到 OPU3 信号中。ODU1 信号具有扩展的帧定位开销,并且通过判决开销(JOH)异步映射到光通路数据支路单元 2 到 3(ODTU23)。在信号映射到 OPU3 后,“x” ODTU23 ( $0 \leq x \leq 4$ )和“ $16-4x$ ” ODTU13 信号时分复用到光通路数据单元支路单元群 3(ODTUG3)。

复用和映射的具体方法参见第 19 节。

附录 C 列举了 4 个 ODU1 信号复用到 1 个 ODU2 的实例。

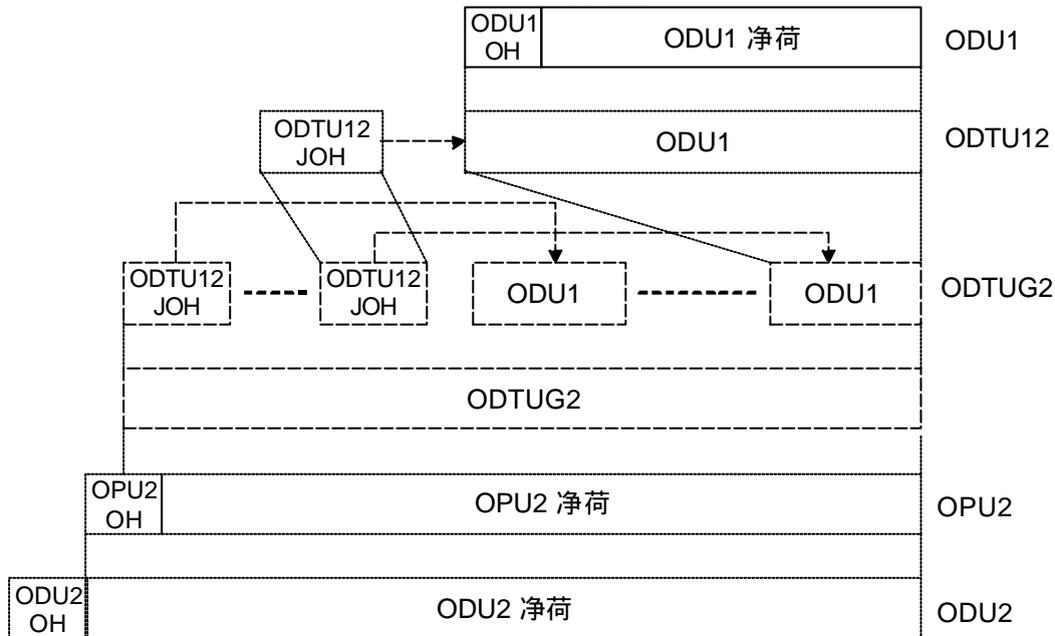


图 8 ODU1复用到ODU2

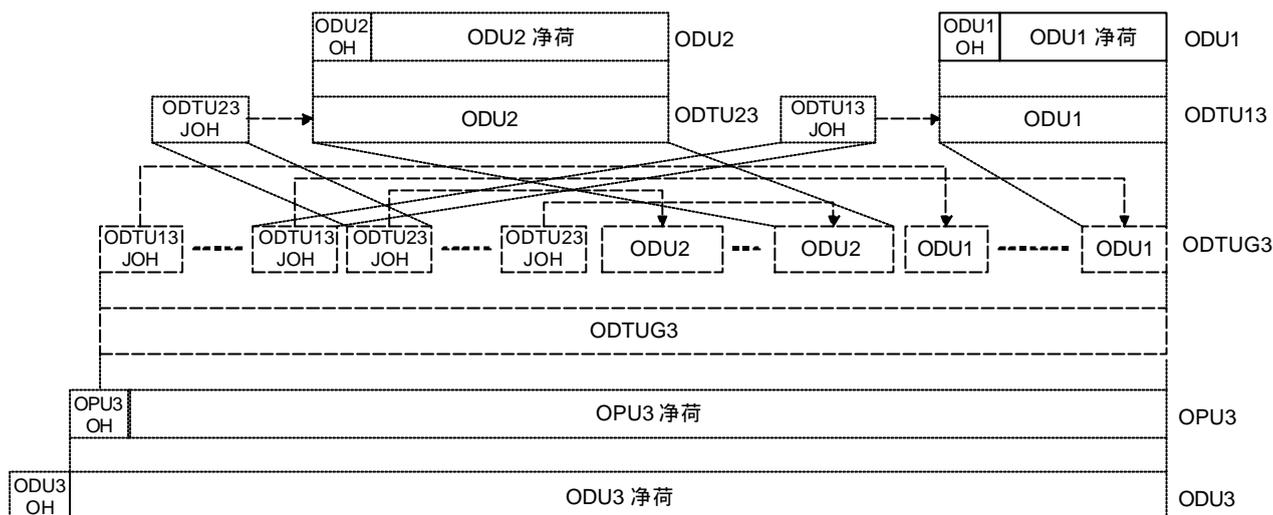


图 9 ODU1 和 ODU2复用到ODU3

### 8 光传送模块(OTM-n.m, OTM-nr.m, OTM-0.m)

有两种 OTM 结构，全功能和简化功能。对于 IrDI 只定义了简化功能的 OTM 接口。

#### 8.1 简化功能的OTM (OTM-0.m, OTM-nr.m)

OTM-n 支持单个光区段的 n 个光通路，在每一端具有 3R 再生和终结功能。在 OTM-0.m 的两边执行 3R 再生功能，并将 OTM-0.m 接口接入到 OTU<sub>k</sub>[V]开销，通过这个开销可以对该接口进行维护和监控。OTM-0.m 和 OTM-nr.m 接口不需要支持 OTN 开销，不支持 OSC/OOS。

定义了两种简化功能的 OTM 接口，OTM-0.m 和 OTM-16r.m。

##### 8.1.1 OTM-0.m

OTM-0.m 支持在单个光区段内的非特定波长通路，在每一端进行 3R 再生。

定义了 3 种 OTM-0.m 接口信号，参见图 10，每种承载一个 OTU<sub>k</sub>[V]信号：

- a)OTM-0.1 (承载OTU1[V])；
- b)OTM-0.2 (承载OTU2[V])；
- c)OTM-0.3 (承载 OTU3[V])。

统称为 OTM-0.m。

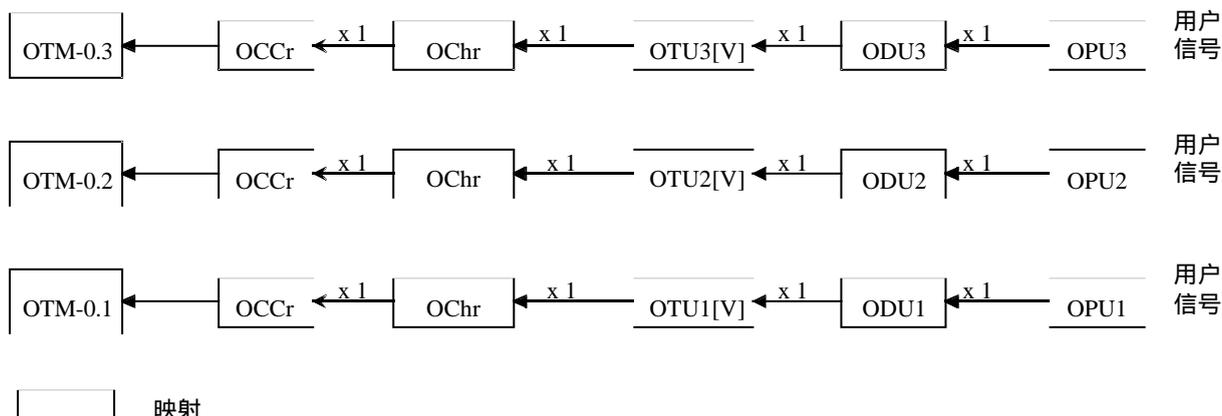


图 10 OTM-0.m结构

图 10 显示了不同信息结构之间的关系，以及 OTM-0.m 的映射方式。

### 8.1.2 OTM-16r.m

OTM-16r.m 支持在单个光区段内 16 个光通路，在每一端进行 3R 再生。

定义了 6 种 OTM-16r 接口信号：

- a) OTM-16r.1 (承载  $i$  ( $i = 16$ ) OTU1[V]信号)；
- b) OTM-16r.2 (承载  $j$  ( $j = 16$ ) OTU2[V]信号)；
- c) OTM-16r.3 (承载  $k$  ( $k = 16$ ) OTU3[V]信号)；
- d) OTM-16r.123 (承载  $i$  ( $i = 16$ ) OTU1[V],  $j$  ( $j = 16$ ) OTU2[V]和  $k$  ( $k = 16$ ) OTU3[V]信号，其中  $i + j + k = 16$ )；
- e) OTM-16r.12 (承载  $i$  ( $i = 16$ ) OTU1[V]和  $j$  ( $j = 16$ ) OTU2[V]信号，其中  $i + j = 16$ )；
- f) OTM-16r.23 (承载  $j$  ( $j = 16$ ) OTU2[V]和  $k$  ( $k = 16$ ) OTU3[V] 信号，其中  $j + k = 16$ )。

统称为 OTM-16r.m。

OTM-16r.m信号是具有16个光通路载波的OTM-nr.m信号，编号从OCCr #0到OCCr #15，参见图6-5。不存在OSC。

在正常操作和传送OTUk[V]期间，至少有一个OCCr启用。

在OCCr启用时，不预先定义顺序。

图 11显示了6种定义的OTM-16r.m接口信号和OTM-16r.m复用结构。

注：未定义OTM-16r.m OPS开销，在多波长接口位置OTM-16r.m接口使用OTUk[V] SMOH进行监控和管理。通过故障管理种故障关联计算单个OTUk[V]上报，实现OTM-16r.m连接(TIM)的故障上报。

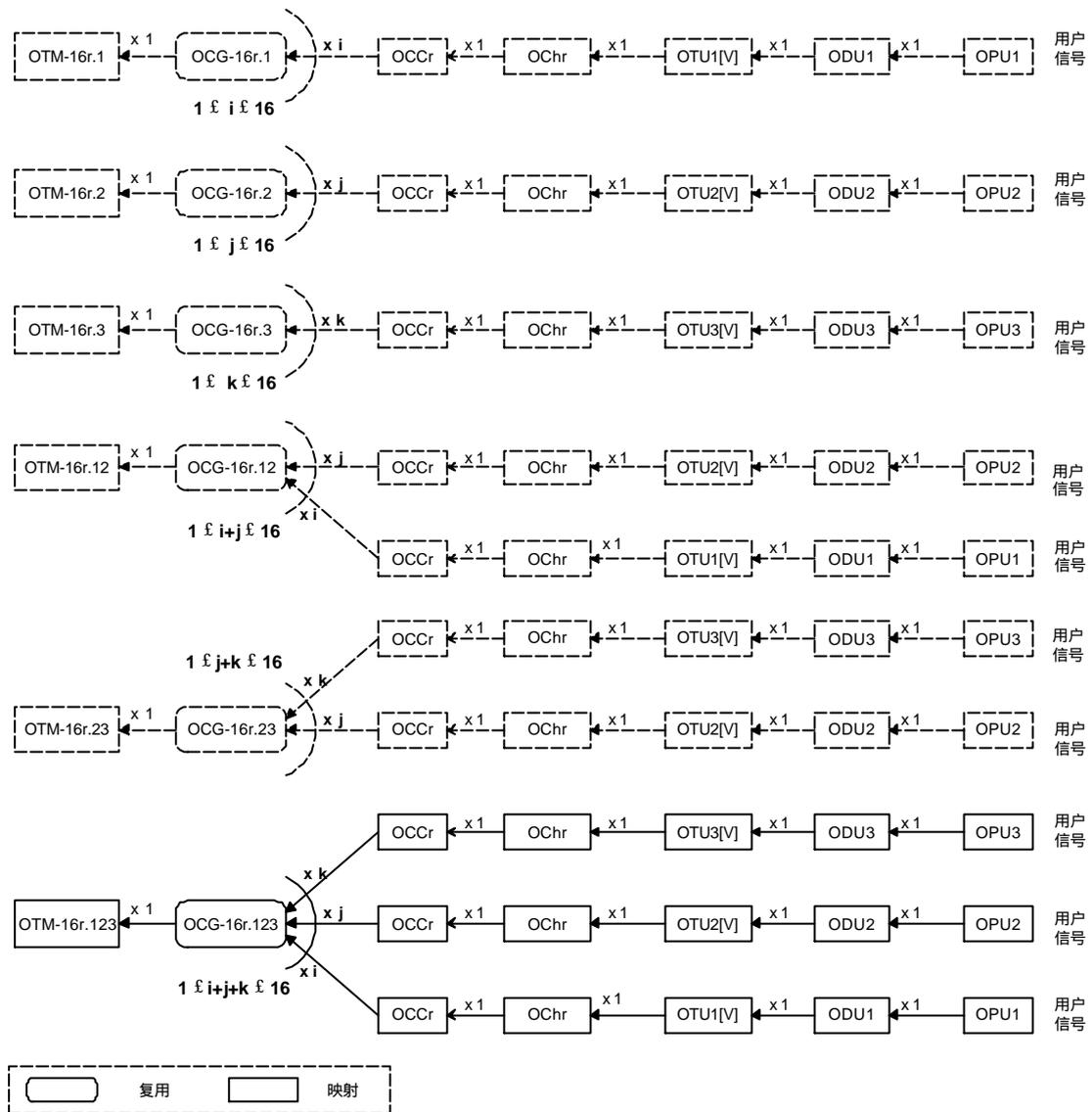


图 11 OTM-16r.m复用结构

## 8.2 全功能OTM (OTM-n.m)

OTM-n.m 接口支持单个或多个光区段内的  $n$  个光通路，在接口位置不要求 3R 再生。

定义有 6 种 OTM-n 接口信号：

- OTM-n.1 (承载  $i$  ( $i \leq n$ ) OTU1[V]信号);
- OTM-n.2 (承载  $j$  ( $j \leq n$ ) OTU2[V]信号);
- OTM-n.3 (承载  $k$  ( $k \leq n$ ) OTU3[V]信号);
- OTM-n.123 (承载  $i$  ( $i = n$ ) OTU1[V],  $j$  ( $j = n$ ) OTU2[V]和  $k$  ( $k = n$ ) OTU3[V] 信号，其中  $i + j + k = n$ );
- OTM-n.12 (承载  $i$  ( $i = n$ ) OTU1[V]和  $j$  ( $j = n$ ) OTU2[V]信号，其中  $i + j = n$ );
- OTM-n.23 (承载  $j$  ( $j = n$ ) OTU2[V]和  $k$  ( $k = n$ ) OTU3[V]信号，其中  $j + k = n$ )。

统称为 OTM-n.m。

OTM-n.m 接口信号包含  $n$  个 OCC，其中有  $m$  个低速率信号和 1 个 OSC。也可能是少于  $m$  个的高速率 OCC。

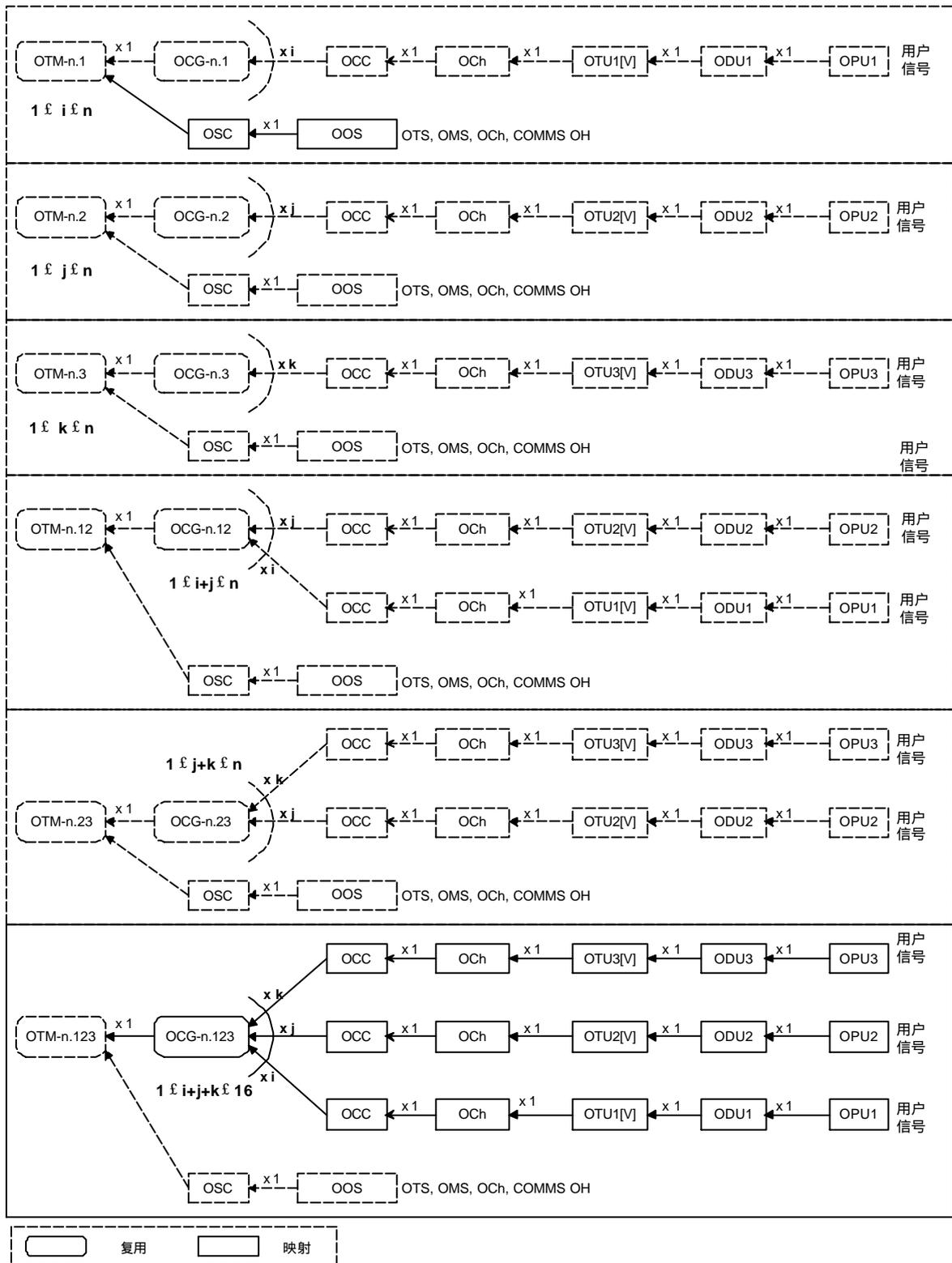


图 12 OTM-n.m复用结构

## 9 ONNI物理规范

### 9.1 OTM-0.m

ITU-T G.959.1 和 ITU-T G.693 规范了 OTM-0.1, OTM-0.2 和 OTM-0.3 信号物理光口特性。

## 9.2 OTM-16r.m

ITU-T G.959.1 规范了 OTM-16r.1 和 OTM-16r.2 信号物理光口特性。  
OTM-16r.3, OTM-16r.12, OTM-16r.23 和 OTM-16r.123 的物理光口特性待研究。

## 9.3 OTM-n.m

OTM-n.m 物理光口特性不在本标准范围内。

## 10 光通路 (OCh)

OCh 在 3R 再生点之间传送数字客户信号。在本建议中定义的信号是 OTUk 信号。OTM 也可支持其它客户信号 (如 STM-N, GbE 等)。

### 10.1 全功能OCh (OCh)

全功能的光通路(OCh)结构在图 13 中概念性描述。其包括两部分：OCh 开销和 OCh 净荷。

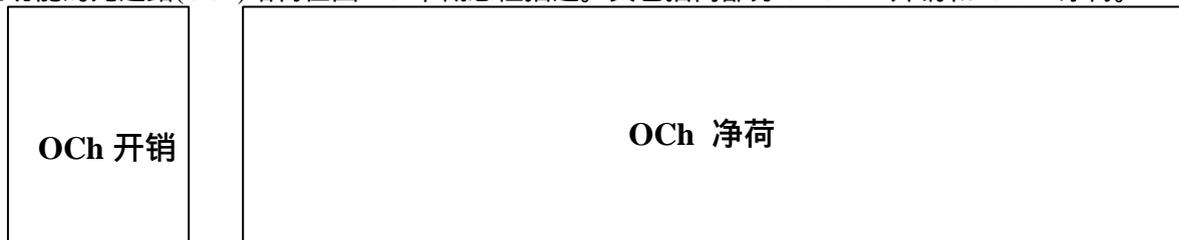


图 13 OCh 信息结构

### 10.2 简化功能OCh (OChr)

简化功能的光通路(OChr)结构在图 14 中概念性描述。其包括：OChr 净荷。



图 14 OChr 信息结构

## 11 光通路传送单元 (OTU)

OTUk[V] 可使 ODUk 通过光通路网络连接传送。OTUk 帧结构已完全标准化。OTUkV 帧结构仅仅是功能标准化 (仅指定了必需的功能), 可参考附录 B。

### 11.1 OTUk 帧结构

OTUk (k = 1,2,3) 帧结构基于 ODUk 帧结构而来, 并且采用前向纠错 (FEC) 扩展了该结构, 如图 15 中所示。在 ODUk 帧上添加了 256 列用于 FEC, 并且把 ODUk 开销第 1 行的第 8 列到第 14 列用于 OTUk 的特定开销, 这样形成了基于字节的块帧结构, 共有 4 列, 4080 行。在每个字节中 MSB 是比特 1, LSB 是比特 8。

OTUk 信号的比特速率在表 1 中定义。

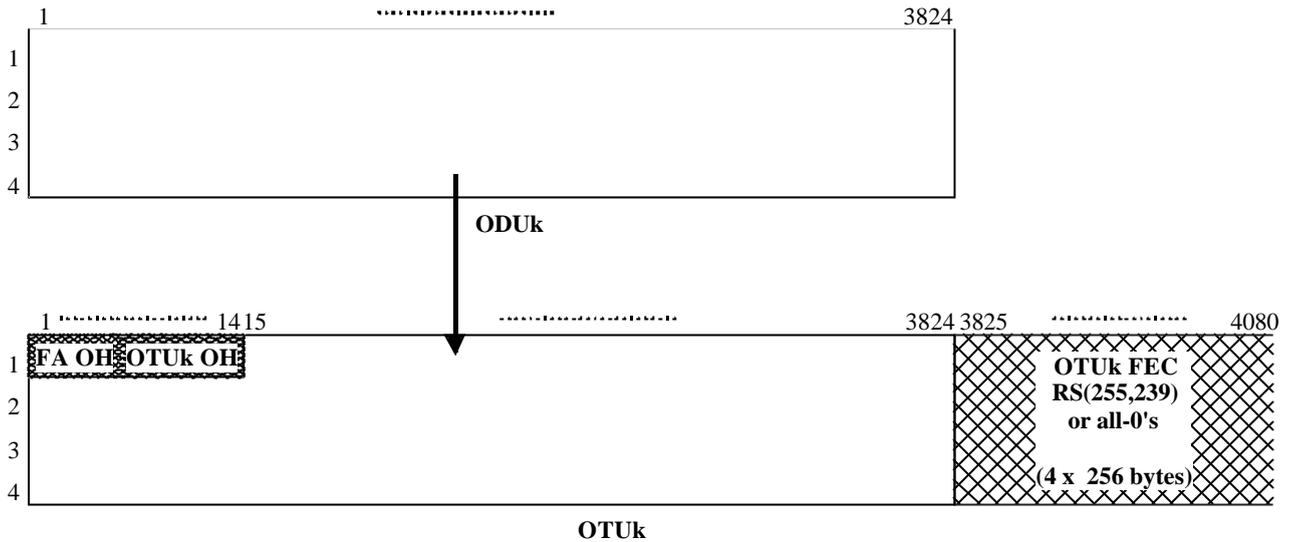


图 15 OTUk 帧结构

OTUk 前向纠错 (FEC)包含 Reed-Solomon RS(255,239) FEC 编码。若没有使用 FEC，则适用固定填充字节（全“0”模式）。

RS(255,239) FEC 编码按照附件 A 规定的方式计算。

为了支持 FEC 和不支持 FEC 功能的设备之间的互通,对于不支持 FEC 功能的设备,可以在 OTUk FEC 中插入固定的全 0 来填充;对于支持 FEC 的设备,可以不启动 FEC 解码过程(忽略 OTUk FEC 的内容)。在 OTUk 帧中比特传输的顺序是从左到右,从上到下,从 MSB 到 LSB(图 16)。

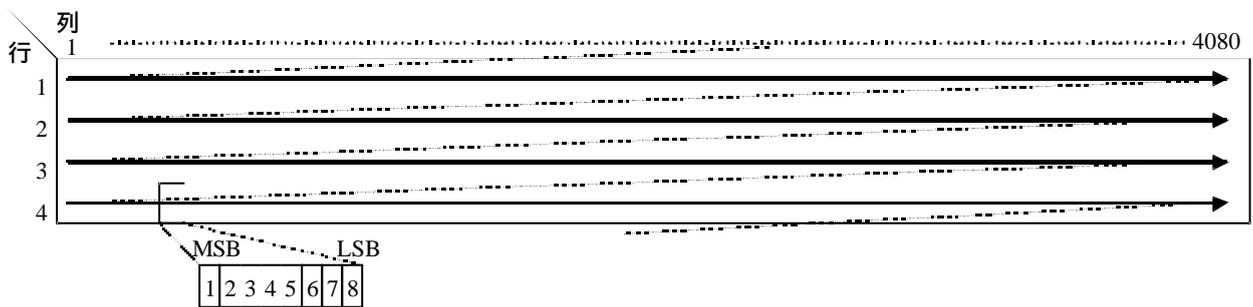


图 16 OTUk帧比特的传输顺序

### 11.2 扰码

OTUk 信号在 ONNI 处必须具有足够的比特定定时信息。采用扰码器提供合适的比特模式来防止长序列“1”或“0”的出现。

扰码器的工作应该功能上等同于工作于 OTUk 速率且序列长度为 65535 的帧同步扰码器的操作。生成的多项式应该为  $1 + x + x^3 + x^{12} + x^{16}$ 。图 17 描述的是帧同步扰码器的功能框图。

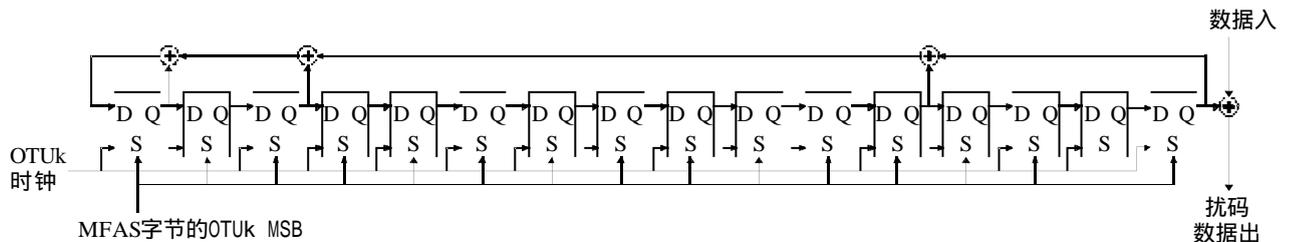


图 17 帧同步扰码器

对于 OTUk 帧中最后帧成帧字节之后的字节的最高位,也就是, MFAS 字节的 MSB, 扰码器应该设置为“FFFF(HEX)”。该比特及其随后所有被扰码的比特应增加以 2 为模的计算到扰码器  $x^{16}$  位置的输出。

扰码器应连续在整个 OTUk 帧中进行扰码。OTUk 开销中的成帧字节 (FAS) 不被扰码。在 FEC 计算以后进行扰码, 然后把扰码结构插入到 OTUk 信号中。

## 12 光通路数据单元(ODUk)

### 12.1 ODUk 帧结构

ODUk ( $k = 1, 2, 3$ ) 帧结构如图 18 中所示。该帧结构基于字节块, 共由 4 行和 3824 列组成。

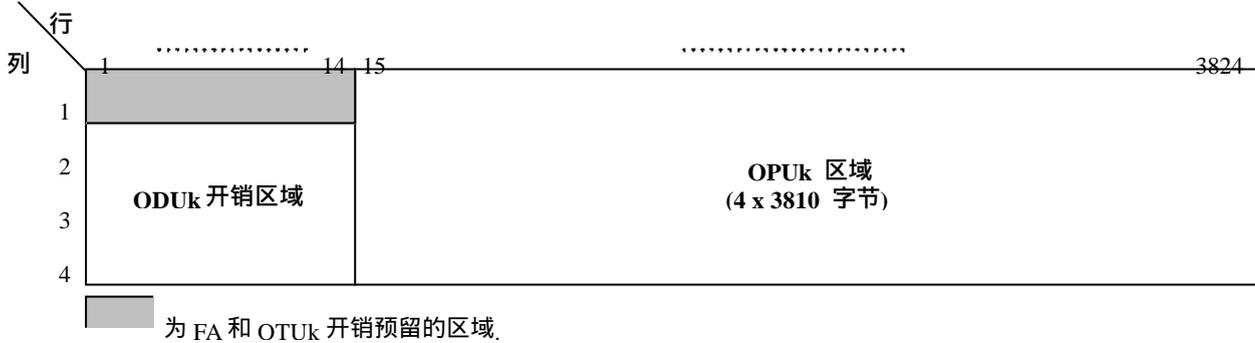


图 18 ODUk 帧结构

ODUk 帧的两个主要区域为：

- a) ODUk 开销区域；
- b) OPUk 区域。

ODUk 的第 1 列到第 14 列用于 ODUk 开销区域。

注：第 1 行的第 1 列到第 14 列用于帧同步和 OTUk 特定开销。第 15 到 3824 列用于 OPUk 区域。

## 13 光通路净荷单元 (OPUk)

OPUk ( $k = 1, 2, 3$ ) 帧结构如图 19 中所示。其为基于字节的块帧结构, 共 4 行和 3810 列。

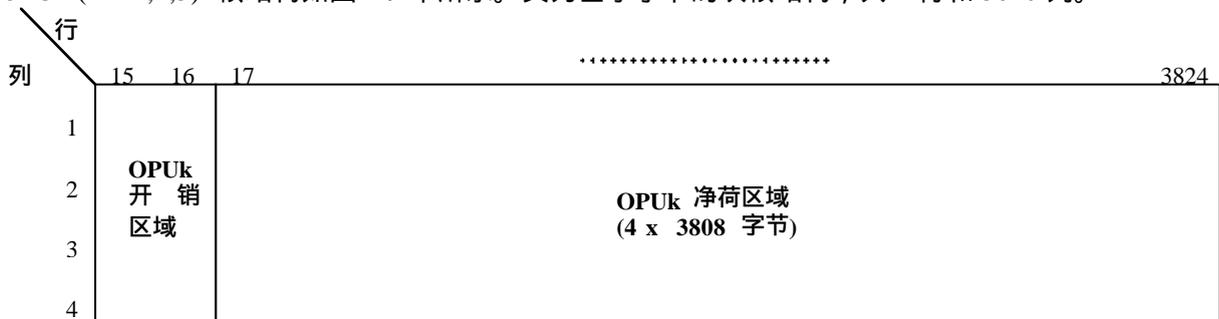


图 19 OPUk 帧结构

OPUk 帧的两个主要区域为：

- a) OPUk 开销区域；
- b) OPUk 净荷区域。

OPUk 的 15 到 16 列用于 OPUk 的开销区域。

OPUk 的 17 ~ 3824 行用于 OPUk 净荷区域。

注意 - OPUk 列编号来源于 ODUk 帧中的 OPUk 列编号。

## 14 OTM 开销信号 (OOS)

OTM 开销信号(OOS)由 OTS,OMS 和 OCh 开销组成。OOS 的格式、结构和比特速率在该建议中没有定义。OOS 通过 OSC 来传送。

由于依赖于运营商的逻辑管理重叠网络设计，综合管理通信也可在 OOS 中进行传送。因此，用于一些应用的 OOS 也可传送综合管理通信。综合管理通信可包括信令、语音/语音带宽通信、软件下载和运营商指定通信等等。

### 15 开销描述

OTS、OMS 和 Och 的开销如图 20 中所示。

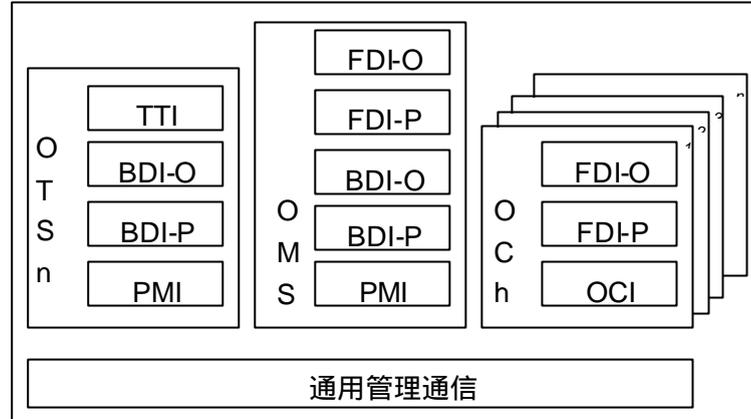


图 20 OTSn, OMSn和OCh 开销作为OOS中的逻辑单元

OTUk, ODUk 和 OPUk 的开销如图 21 和图 22 中所示。

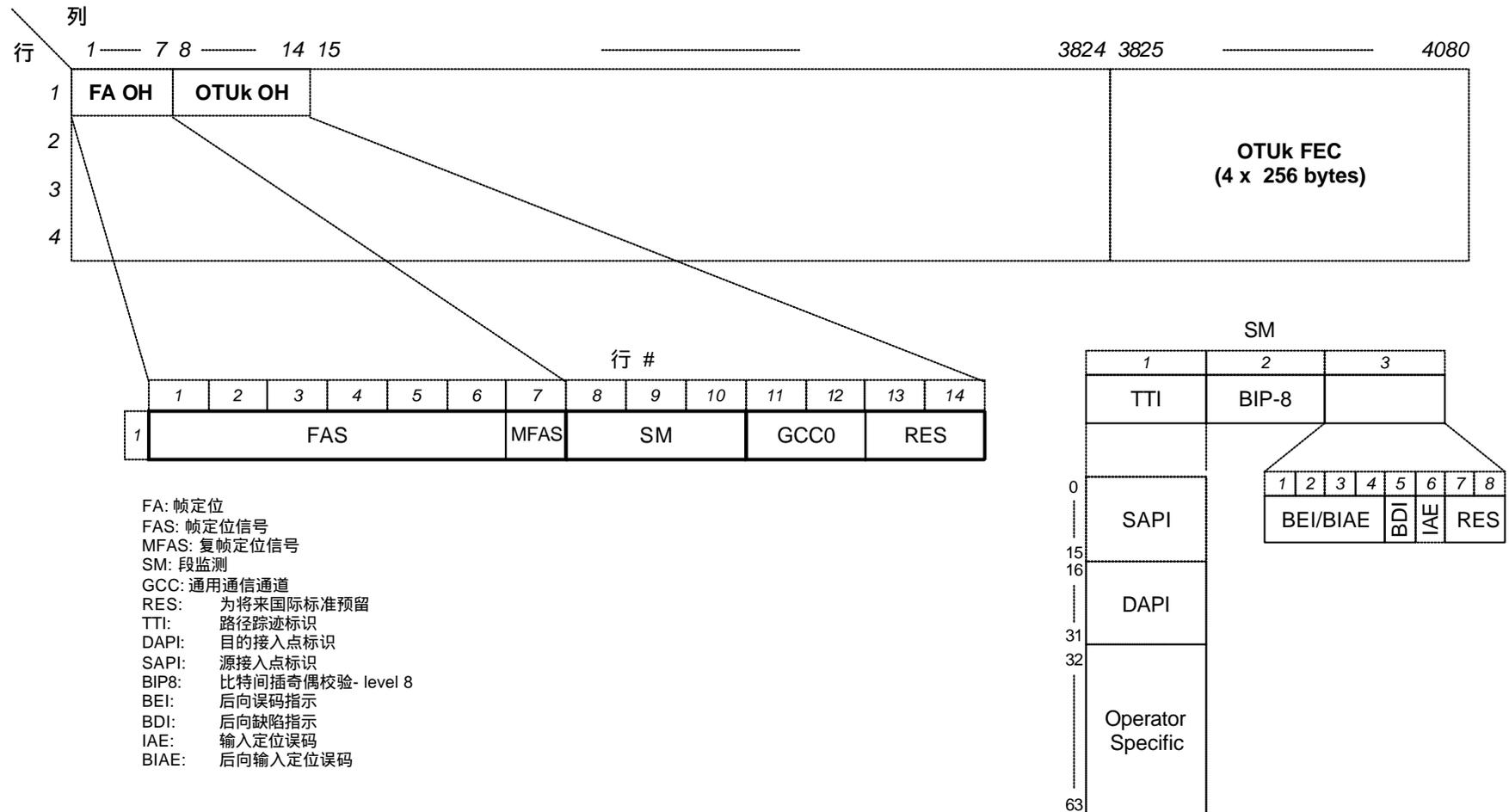


图 21 OTUk帧结构，帧定位和OTUk开销

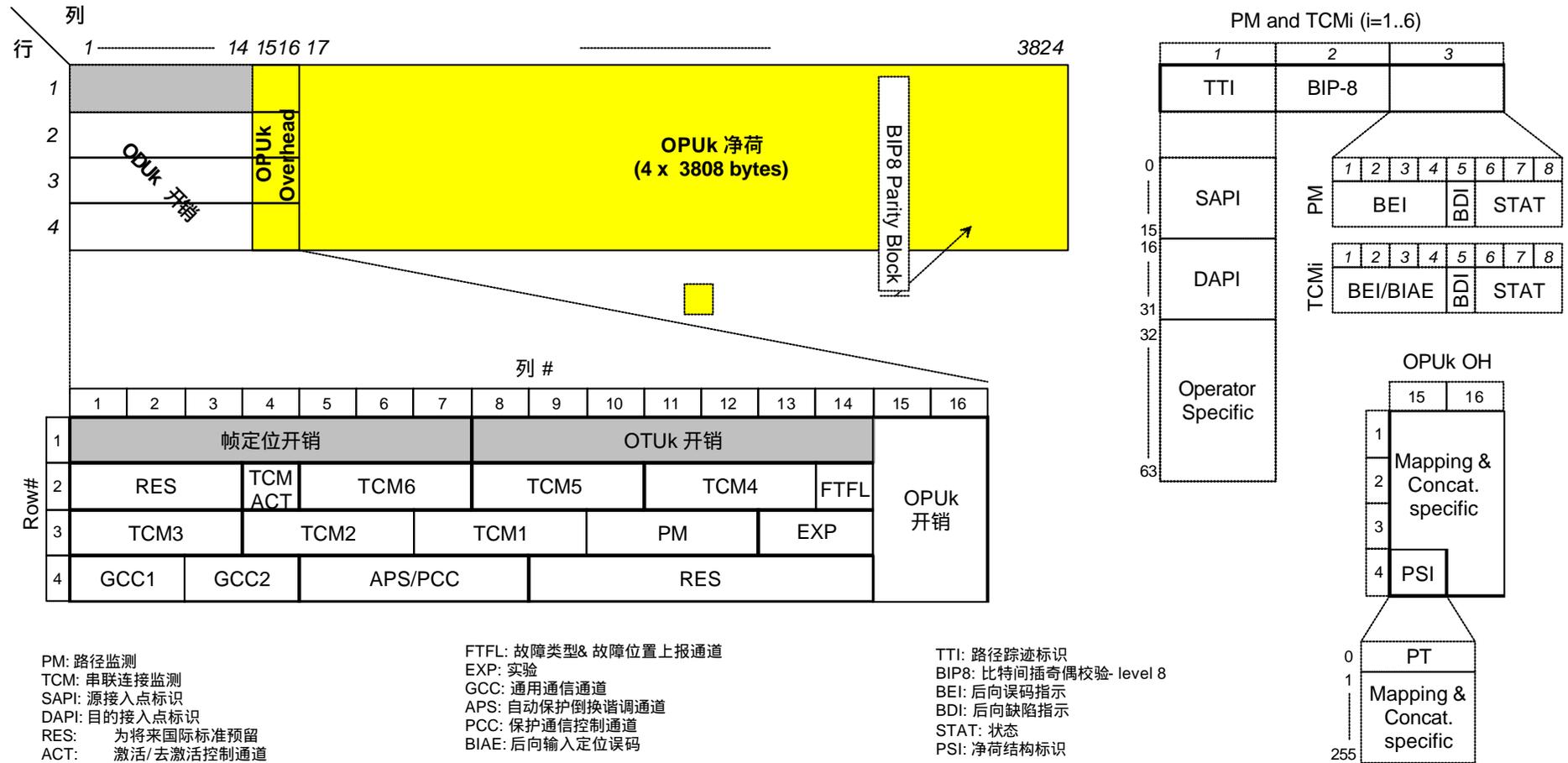


图 22 ODUk帧结构，ODUk和OPUk开销

## 15.1 开销类型

### 15.1.1 光通路净荷单元开销 (OPUk OH)

OPUk OH 信息添加到 OPUk 信息净荷来创建 OPUk。其包括支持客户信号适配的信息。当 OPUk 组装和分解时，OPUk OH 会终结。特定 OH 格式和编码在 15.9 中定义。

### 15.1.2 光通路数据单元开销 (ODUk OH)

ODUk OH 信息添加到 ODUk 信息净荷以创建 ODUk。其包括维护和操作功能以支持光通路。ODUk OH 由负责端到端的 ODUk 通道的开销和 6 个级别的串联连接监控开销组成。在 ODUk 组装和解开时，ODUk 通道 OH 终结。TC OH 在相应的串行连接的源和宿处分别添加和终结。特定 OH 的格式和编码在 15.6 和 15.8 中定义。

### 15.1.3 光通路传送单元开销(OTUk OH)

OTUk OH 信息是 OTUk 信号结构的一部分。其包括操作功能信息以支持通过一个或多个光通路连接上传送。OTUk OH 在 OTUk 信号组装和分解时终结。特定 OH 格式和编码在 15.6 和 15.7 中定义。

非标准的 OTUkV OH 的特定帧结构和编码已超出本标准的范围。仅要求需要支持的基本功能在 15.7.3 中定义。

### 15.1.4 光通路非关联开销(OCh OH)

OCh OH 信息添加到 OTUk 以创建 OCh。其包括维护功能信息以支持故障管理。当 OCh 信号组装和解开时，OCh OH 被终结。

对于 OCh OH 的特定帧结构和编码已超出本标准范围。仅有要求需要支持的基本功能性在 15.5 中定义。

### 15.1.5 光复用段开销 (OMS OH)

OMS OH 信息添加到 OCG 以创建 OMU。其包含维护和操作功能的信息以支持光复用段。OMS OH 在 OMU 组装和解开时终结。

OMS OH 的特定帧结构和编码已超出本标准范围。仅有需要支持的基本功能性在 15.4 节中定义。

### 15.1.6 光传输段开销 (OTS OH)

把 OTS OH 信息添加到信息净荷以创建 OTM。其包含维护和操作功能的信息以支持光传输段。OTM 组装和解开时 OTS OH 被终结。

对于 OTS OH 的特定帧结构和编码已超出本标准范围。仅有要求必须支持的基本功能性在 15.3 中定义。

### 15.1.7 综合管理通信开销 (COMMS OH)

把 COMMS OH 信息添加到信息净荷以创建 OTM。其提供网元之间的综合管理通信。COMMS OH 特定帧结构和编码超出本标准的范围。

## 15.2 路径踪迹标识符和访问点标识符定义

路径踪迹标识符(TTI)定义为 64 字节长的字符串，采用如下结构 ( 图 23)：

- a) TTI[0] 包括 SAPI[0] 字符，固定为全 0。
- b) TTI[1] 到 TTI[15] 包含 15 字符的源访问点标识符(SAPI[1]到 SAPI[15])。
- c) TTI[16]包括 DAPI[0]字符，其固定为全 0。
- d) TTI[17] 到 TTI[31] 包含 15 字符的宿访问点标识符 (DAPI[1] 到 DAPI[15])。
- e) TTI[32] 到 TTI[63] 为运营商所指定。



图 23 TTI 结构

访问点标识符 (API) 的功能如下：

- a) 在同层网络，每个访问点标识符必须全局唯一；
- b) 由于有些时候希望在运营商边界之间建立通道时使用接入点，因此接入点标识符对于其它运营商也要求可用；
- c) 当访问点保持存在时，访问点标识符不应该更改；
- d) 访问点标识符需要能够标识访问点路由出和路由入的国家和网络运营商；
- e) 隶属于单个管理网络层的所有访问点标识符组应该形成单个的访问点标识机制
- f) 每个管理网络层的访问点标识符机制需要与其它任何管理网络的标识符机制独立。

推荐 ODUk, OTUk 和 OTM 应该独自拥有基于树型结构的访问点标识机制，以便有助于路由控制搜索算法。访问点标识符应该全局清晰。

访问点标识符 (SAPI, DAPI) 应该由 3 个字符的国际段和 12 个字符的国内段 (NS) (图 24) 组成。这些字符应该根据 ITU-T.50 (国际参考字母表 - 用于信息交换的 7 比特编码字符组) 编码。

IS 特征 #			NS 特征 #											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CC		ICC	UAPC											
CC		ICC		UAPC										
CC		ICC			UAPC									
CC		ICC				UAPC								
CC		ICC					UAPC							
CC		ICC						UAPC						

图 24 访问点标识符结构

国际段字段提供了 3 个字符的 ISO 3166 地理/政治国际代码 (G/PCC)。国际代码应该基于 3 字符大写字母表的 ISO 316 国家代码 (例如, USA, FRA 等)。

国家段字段由 12 个子字段组成: ITU 运营商代码 (ICC) 后面安排的唯一的访问点代码 (UAPC)。

ITU 运营商代码是分配给网络运营商/业务提供商的代码, 由 ITU-T 电信标准化局 (TSB) 采用 ITU-T M.1400 来维护。该代码由 1~6 个预留的字符, 字母或者字母加数字来组成。

既然唯一性已经保证, 对于已经分配了国家代码和 ITU 运营商代码的组织而言, 唯一的访问点代码应该需要保证。该代码由 6~11 个字符加结尾符 NUL 组成, 一起组成 12 字符的国家段。

### 15.3 OTS OH 描述

定义了以下 OTM-n OTSn 的开销:

- OTSn-TTI;
- OTSn-BDI-P;
- OTSn-BDI-O;
- OTSn-PMI.

#### 15.3.1 OTS 路径踪迹标识符 (TTI)

OTSn-TTI 定义为传送 15.2 所指定的对于 OTSn 段监控的 64 字节 TTI。

#### 15.3.2 OTS 后向缺陷指示 - 净荷 (BDI-P)

对于 OTSn 段监视而言, OTSn-BDI-P 信号定义为用于在上游方向传送在 OTSn 终结宿功能处检测到的 OTSn 净荷信号失效状态。

#### 15.3.3 OTS 后向缺陷指示 - 开销 (BDI-O)

对于 OTSn 段监视而言, OTSn-BDI-O 信号定义为用于在上游方向传送在 OTSn 终结宿功能处检测到的 OTSn 开销信号失效状态。

#### 15.3.4 OTS 净荷丢失指示 (PMI)

OTS PMI 是向下游发送的信号, 用于指示上游在 OTS 信号的源端没有净荷加入, 这样以便于抑制因此而产生的信号丢失条件的报告。

### 15.4 OMS OH 描述

定义了以下一些 OTM-n OMSn 开销:

- OMSn-FDI-P;
- OMSn-FDI-O;
- OMSn-BDI-P;

- OMSn-BDI-O;
- OMSn-PMI.

#### 15.4.1 OMS 前向失效指示 – 净荷 (FDI-P)

对于 OMSn 段监视而言, OMSn-FDI-P 信号定义为用于在下游方向传送在 OMSn 净荷信号失效状态 (正常或失效)。

#### 15.4.2 OMS 前向失效指示 – 开销 (FDI-O)

对于 OMSn 段监视而言, OMSn-FDI-O 信号定义为用于在下游方向传送在 OMSn 开销信号失效状态 (正常或失效)。

#### 15.4.3 OMS 后向失效指示 – 净荷 (BDI-P)

对于 OMSn 段监视而言, OMSn-BDI-P 信号定义为用于在上游方向传送在 OMSn 终结宿功能检测到的 OMSn 净荷信号失效状态。

#### 15.4.4 OMS 后向失效指示 – 开销 (BDI-O)

对于 OMSn 段监视而言, OMSn-BDI-O 信号定义为用于在上游方向传送在 OMSn 终结宿功能检测到的 OMSn 开销信号失效状态。

#### 15.4.5 OMS 净荷丢失指示 (PMI)

OMS PMI 是向下游发送的信号, 用于指示上游在 OMS 信号的源端 OCCps 没有包含光通路信号, 这样以便于抑制因此而产生的信号丢失条件的报告。

### 15.5 OCh OH 描述

定义了以下 OTM-n OCh 开销:

- OCh-FDI-P;
- OCh-FDI-O;
- OCh-OCI.

#### 15.5.1 OCh 前向失效指示 – 净荷 (FDI-P)

对于 OCh 路径监视而言, OCh-FDI-P 信号定义为用于在下游方向传送在 OCh 净荷信号失效状态 (正常或失效)。

#### 15.5.2 OCh 前向失效指示 – 开销 (FDI-O)

对于 OCh 路径监视而言, OCh-FDI-O 信号定义为用于在下游方向传送在 OCh 开销信号失效状态 (正常或失效)。

#### 15.5.3 OCh 开放连接指示 (OCI)

OCh OCI 为向下游发送的信号, 用于指示上游在管理命令的作用下交叉矩阵连接已经开放。在 OCh 终结点处检测到的 OCh 信号丢失条件现在可与开放的交叉矩阵相关联。

### 15.6 OTUK/ODUK 帧定位 OH 描述

#### 15.6.1 OTUK/ODUK 帧定位开销位置

OTUK/ODUK 帧定位开销定位如图 25 中所示。OTUK/ODUK 帧定位开销应用于 OTUK 和 ODUK 信号。



## 15.7 OTUk OH 描述

### 15.7.1 OTUk 开销位置

OTUk 开销位置如图 28 和图 29 中所示。

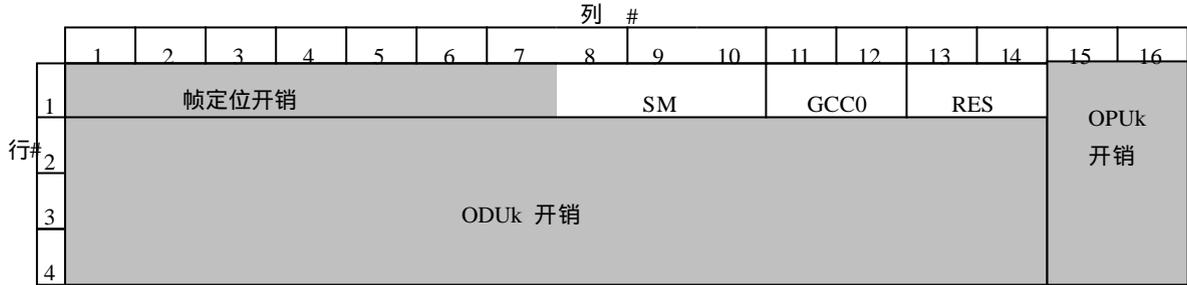


图 28 OTUk 开销

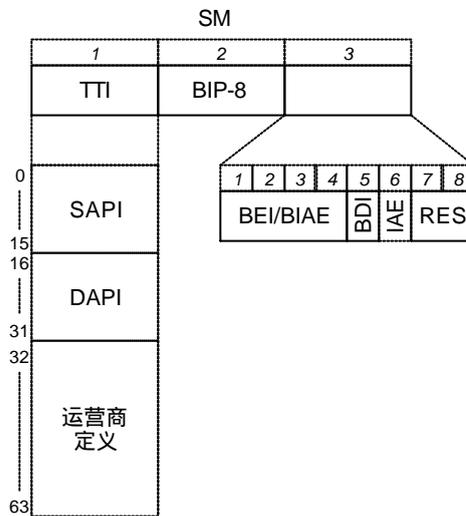


图 29 OTUk 段监视开销

### 15.7.2 OTUk 开销定义

#### 15.7.2.1 OTUk 段监视 (SM)开销

OTUk 段监视 (SM) 开销的一个字段定义在第一行，第 8 到 10 列以支持段监视。

SM 字段包含以下子字段(图 29)：

- 路径踪迹标识符 (TTI);
- 比特交叉奇偶校验 (BIP-8);
- 后向失效指示(BDI);
- 后向误码指示和后向输入对齐错误 (BEI/BIAE);
- 输入对齐错误 (IAE);
- 保留为将来国际标准的保留比特(RES).

##### 15.7.2.1.1 OTUk SM路径踪迹标识(TTI)

为了实现段监视，定义了 1 个字节的 路径踪迹标识 (TTI) 开销来传送 64 字节的 TTI 信号。

64 字节的 TTI 信号要与 OTUk 复帧定位 (参考 15.6.2.2) 且每一复帧传送四次。另外，64 字节的 0 字节将在 OTUk 复帧的 0000 0000 (0x00), 0100 0000 (0x40), 1000 0000 (0x80) 和 1100 0000 (0xC0) 等位置出现。

### 15.7.2.1.2 OTUk SM 错误检测编码(BIP-8)

为了实现段监视,在此定义了一个字节的错误检测编码,该字节提供的是比特交叉奇偶校验 - 8 (BIP-8) 编码。

注意:符号 BIP-8 仅指 BIP 比特的个数并不指 EDC 用法(也就是,什么数被统计)。对于 BIP-8 的定义可看考 ITU-T G.707/Y.1322 中的 BIP-X 定义。

在 OTUk 中,BIP-8 计算的比特包括 OTU k 第 i 帧内的 OPUk 部分(第 15 列到 3824 列),然后把计算结果置入第 i+2 帧的 OUTk BIP-8 开销的位置(图 30)。

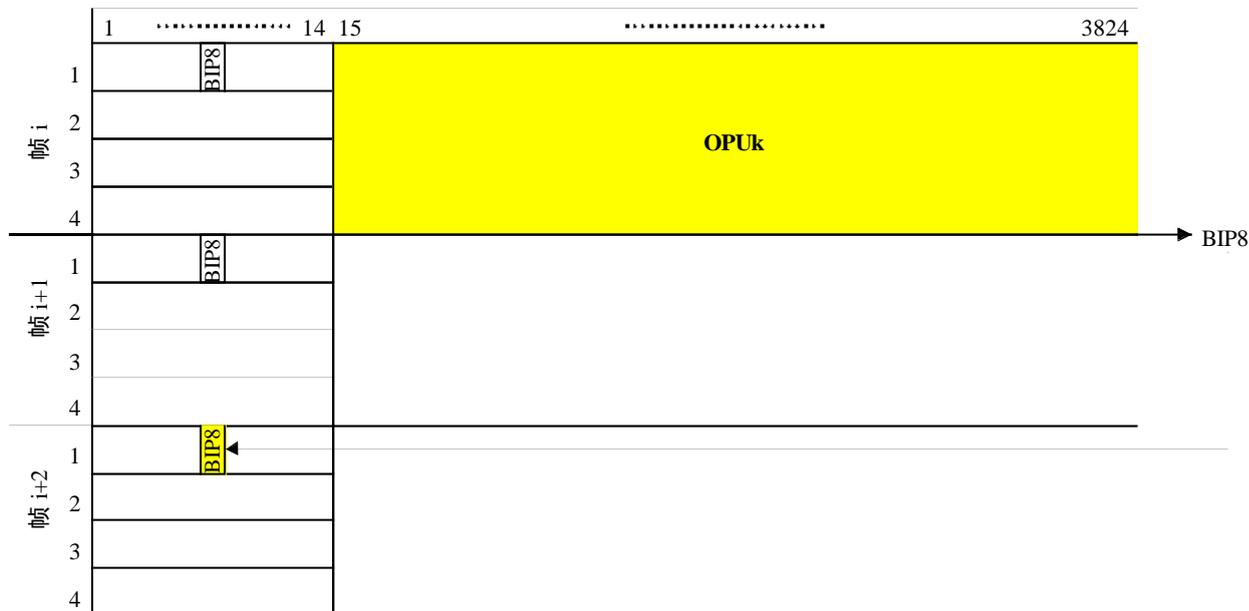


图 30 OTUk SM BIP-8 计算

### 15.7.2.1.3 OTUk SM后向缺陷指示(BDI)

为了实现段监视,定义了单个比特的后向缺陷指示(BDI)开销来传送上游方向在段终结宿功能处检测到的信号失效状态。BDI 设定为“1”来指示 OTUk 后向缺陷指示,否则,设置为“0”。

### 15.7.2.1.4 OTUk SM后向错误指示和后向输入对齐错误(BEI/BIAE)

为了实现段监视,定义了 4 个比特的后向错误指示(BEI)和后向输入对齐错误(BIAE)。该开销信号用于在上游方向传送采用 OTUk 的段监视宿中采用 BIP-8 已经检测到的错误的间插比特块的个数。也可以在上游方向用于传送在相应的 OTUk 段监视宿的 IAE 开销中检测到的 IAE 条件。

当出现 IAE 条件时插入“1011”到 BEI/BIAE 字段,此时错误个数统计被忽略。其它形式,错误个数(0-8)被插入到 BEI/BIAE 字段。这 4 个比特其余的 6 个值可能来自一些无关的情形,此时可解释为出现 0 个错误(表 5)和 BIAE 是未激活的。

表 5 OTUk SM BEI 解释

OTUk SM BEI/BIAE bits 1234	BIAE	BIP 违规
0000	未激活	0
0001	未激活	1
0010	未激活	2
0011	未激活	3

0100	未激活	4
0101	未激活	5
0110	未激活	6
0111	未激活	7
1000	未激活	8
1001, 1010	未激活	0
1011	激活	0
1100 to 1111	未激活	0

**15.7.2.1.5 OTUk SM 输入对齐错误开销(IAE)**

单个比特的输入对齐错误 ( IAE ) 信号定义为允许段 - 连接监视终点 ( S-CMEP ) 的入口点通知其对等的 S-CMEP 出口点在输入的信号中已检测到对齐错误。

IAE 设置为 “ 1 ” 说明有帧定位错误，否则设置为 “ 0 ”。

S-CMEP 出口点可利用该信息来抑制比特误码的统计，这在段的入口处 OTUk 的帧出现相位变化时可能会发生。

**15.7.2.1.6 OTUk SM保留开销(RES)**

为了实现段监视，两个比特定义为未来国际化的预留字节。其目前设置为 “ 00 ”。

**15.7.2.2 OTUk 综合通信通路0(GCC0)**

在 OTUk 开销中，有 2 个字节用于支持 OTUk 终结点之间的综合通信通路。这是纯信道，具体的格式规范超出本建议范围。这些字节位于 OTUk 开销的第一行的第 11 ~ 12 列。

**15.7.2.3 OTUk 保留开销(RES)**

OTUk 开销中保留 2 个字节以用于将来的国际化。这些字节位于第一行的第 13 ~ 14 列。它们目前设置为全零。

**15.7.3 OTUkV 开销**

相对于带有 15.2 节中所指定的路径踪迹标识符而言，OTUk 段监视 ( 15.7.2.1 ) 功能性标准化的 OTUkV 帧应最小能力支持段监视功能，对于该开销的进一步规范超出本建议范围。

**15.8 ODUk OH 描述**

**15.8.1 ODUk OH 位置**

ODUk 开销位置如图 31，图 32 和图 33 中所示。

		列 #															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
行 #	1	帧定位开销							OTUk 开销							OPUk 开销	
	2	RES			TCM ACT	TCM6			TCM5			TCM4		FTFL			
	3	TCM3			TCM2			TCM1			PM		EXP				
	4	GCC1		GCC2		APS/PCC				RES							

图 31 ODUk 开销

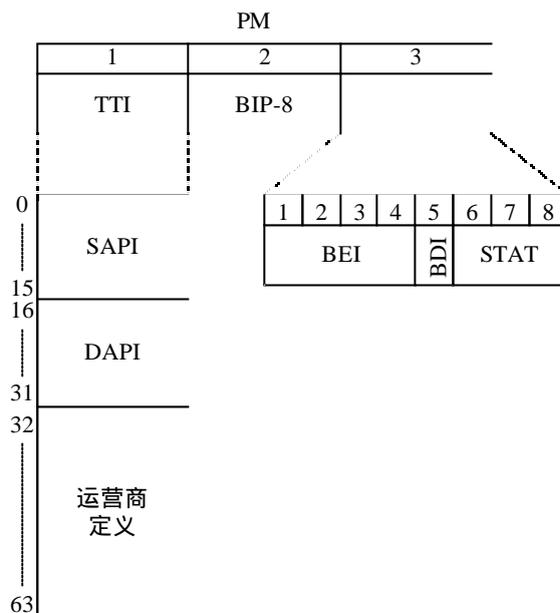


图 32 ODUk 通道监视开销

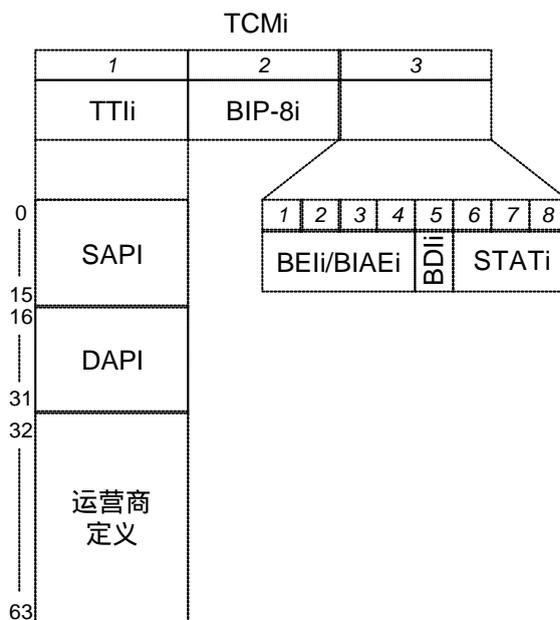


图 33 ODUk 串联连接监视#i 开销

## 15.8.2 ODUk OH 定义

### 15.8.2.1 ODUk通道监视 (PM) 开销

ODUk 通道监视开销的一个字段在第三行的第 10~12 列定义以支持通道监视。

PM 字段包含以下子字段(图 33):

- 路径踪迹标识 (TTI) ;
- 比特间插奇偶校验(BIP-8) ;
- 后向缺陷指示 (BDI) ;
- 后向错误指示(BEI) ;
- 维护信号存在的指示比特 (STAT) 。

PM字段中的内容在维护信号(如ODUK-AIS, ODUK-LCK, ODUK-OCI等)存在期间除了STAT字段外均未定义(为全1, 或者0110 0110或者0101 0101重复), 参考16.5。

**15.8.2.1.1 ODUK PM路径踪迹标识(TTI)**

为了实现通道监视, 定义了1字节的路径踪迹标识(TTI)来传送15.2节中定义的64字节的TTI信号。64字节的TTI信号要与ODUK复帧(参考15.6.2.2)对齐且每一复帧传送四次。另外, 64字节的0字节将在ODUK复帧的0000 0000 (0x00), 0100 0000 (0x40), 1000 0000 (0x80) 和 1100 0000 (0xC0)等位置出现。

**15.8.2.1.2 ODUK PM错误检测码(BIP-8)**

为了实现通道监视, 定义了1字节的错误检测码。该字节提供的是BIP-8编码。

注意: 符号BIP-8仅指BIP比特的个数并不指EDC用法(也就是, 什么数被统计)。对于BIP-8的定义可看考ITU-T G.707/Y.1322中的BIP-X定义。

每个ODUK的BIP-8计算第i帧ODUK的OPUK(第15列到3824列)的所有比特, 并把结果存入第i+2帧ODUK的PM BIP-8位置(图34)。

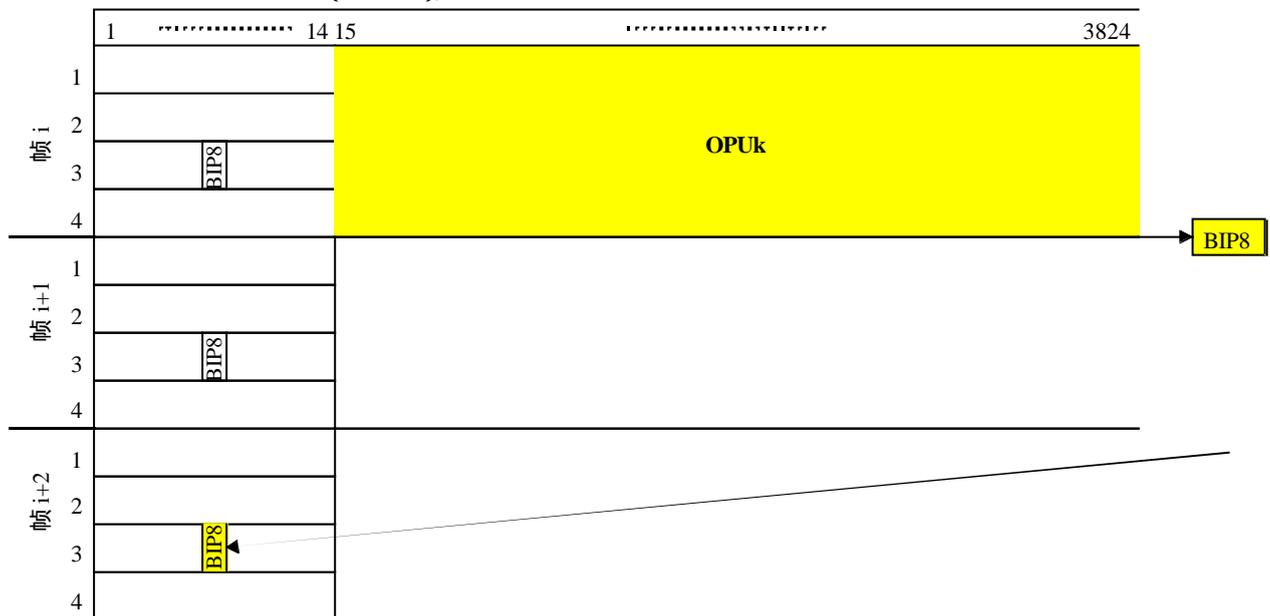


图 34 ODUK PM BIP-8 计算

**15.8.2.1.3 ODUK PM 后向缺陷指示(BDI)**

为了实现通道监视, 定义了一个比特的后向缺陷指示(BDI)来在上游方向传送通道终结宿功能处检测到的信号失效状态。

BDI 设置为“1”来说明ODUK后向缺陷指示, 否则, 设置为“0”。

**15.8.2.1.4 ODUK PM 后向错误指示(BEI)**

为了便于通道监视, 定义了四个比特的后向错误指示(BEI)信号用于在上游方向传送间插比特块的计数, 该计数由相应的ODUK通道监视宿采用BIP-8检测得到。该计数有9个有效值, 即0~8。该4比特所组成的其它7个可能的值仅能在其它一些无关的情况下出现并解释为出现0个错误(表6)

表 6 ODUK PM BEI 解释

ODUK PM BEI bits 1234	BIP违规
0000	0
0001	1

0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001 to 1111	0

### 15.8.2.1.5 ODUk PM 状态(STAT)

对于通道监视，定义了 3 比特的 PM 状态开销。这些比特说明了维护信号的存在（表 7）。通道 - 连接监视端点（P-CMEP）设置这些比特为“001”。

表 7 ODUk PM 状态解释

PM byte 3, bits 678	状态
000	保留为未来国际标准化
001	正常通道信号
010	保留为未来国际标准化
011	保留为未来国际标准化
100	保留为未来国际标准化
101	维护信号: ODUk-LCK
110	维护信号: ODUk-OCI
111	维护信号: ODUk-AIS

### 15.8.2.2 ODUk 串联连接监视 (TCM) 开销

在 ODUk 的开销的第 2 行的第 5~13 列、第 3 行中的第 1~9 列中定义了 6 个字段的串联连接监视开销。根据建议 G.805 和 G.872，TCM 支持如下一种或多种网络应用的 ODUk 连接的监视：

- 光用户到网络接口 (UNI) 到 UNI 串联连接监视；通过公用传送网络监视 ODUk 连接（从公共网络入口网络终结到出口网络终结）；
- 光网络到网络接口 (NNI) 到 NNI 串联连接监视；通过网络运营商的网络来监视 ODUk 连接（从运营商网络入口网络终结到出口网络终结）；
- 对于线性 1+1、1:1 和 1:n 光通路子网连接保护倒换的子层监视，以便确定信号失效 (SF) 和信号劣化 (SD) 条件；

– 在倒换的光通路连接中，为了探测信号失效或信号劣化条件监视光通路串联连接，以便在网络的故障和错误期间发起自动恢复连接；

– 为了故障定位或者验证传送的业务质量等，监视光通路串联连接。

TCM 的 6 个字段分别命名为 TCM1,TCM2,..... TCM6。

其中每个 TCM 都包含如下一些开销（图 33）：

- 路径总结标识 (TTI)；
- 比特间插奇偶校验8 (BIP-8)；
- 后向缺陷指示 (BDI)；
- 后向错误指示和后向输入对齐错误 (BEI/BIAE)；
- 输入对齐错误以及维护信号的状态比特 (STAT)。

当维护信号存在时（如ODUk-AIS, ODUk-OCI, ODUk-LCK等），TCM的字段除了STAT外，其余均未定义（模式将是全1，0110 0110或 0101 0101重复），参考16.5节。

TCM 字段分配为监视第 15.8.2.2.6 节中的连接。沿 ODUk 路径监视连接的数目可在 0~6 之间变化。监视的连接可以是嵌套的，重叠的和/或层叠的。嵌套和层叠的模式如图 35 中所示。监控的连接 A1-A2/B1-B2/C1-C2 和 A1-A2/B3-B4 是嵌套的，而 B1-B2/B3-B4 是层叠的。

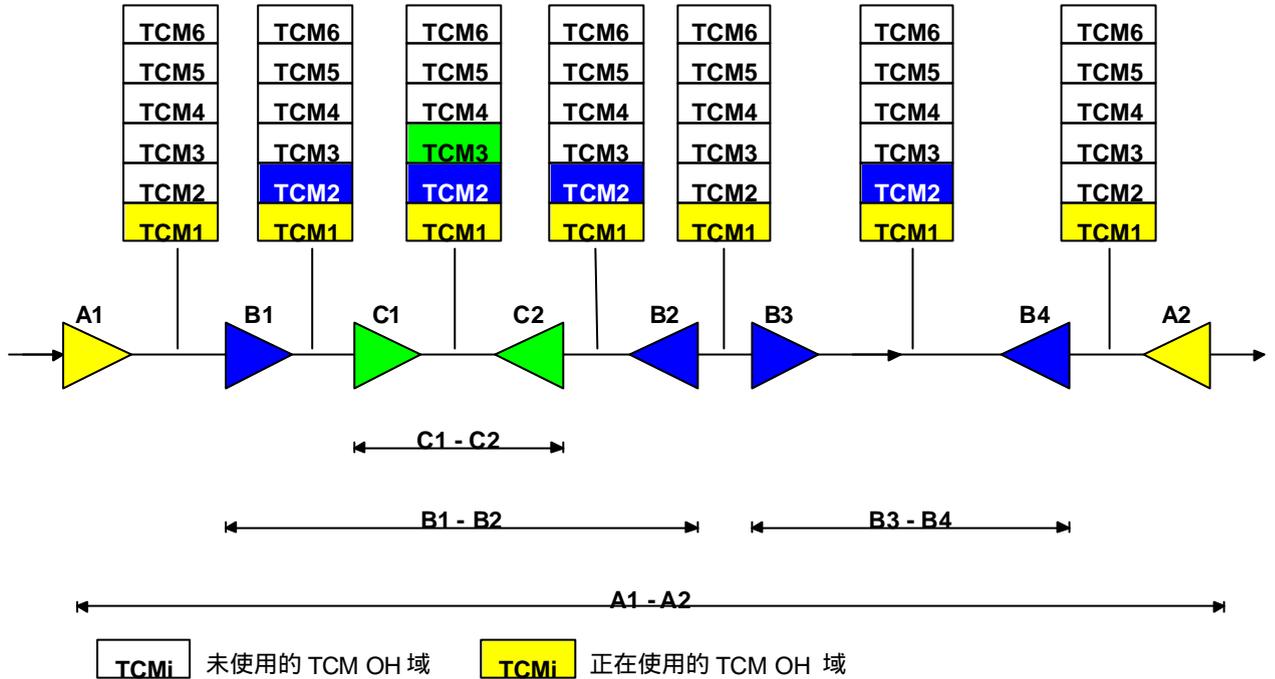


图 35 嵌套和层叠ODUk监视连接的示例

重叠监视的连接如图 36 中所示（B1-B2 和 C1-C2），也是支持的。

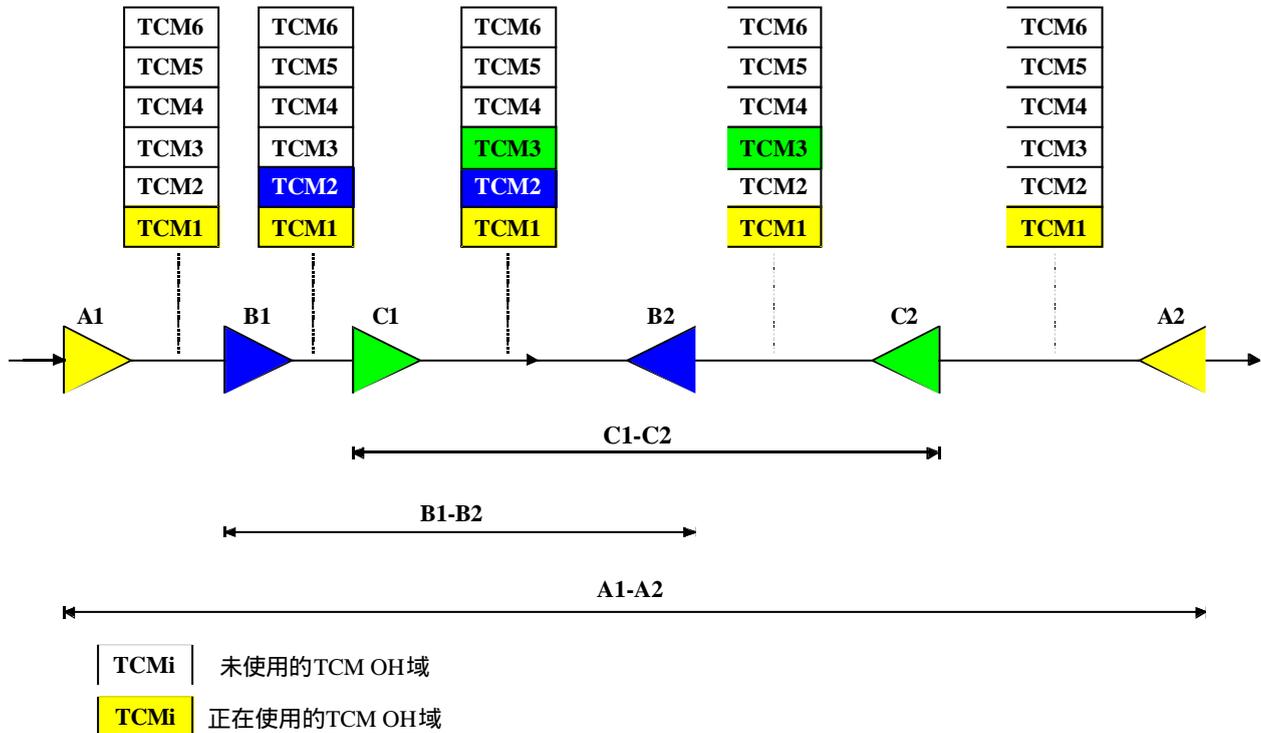


图 36 ODUk监视连接的重叠示例

### 15.8.2.2.1 ODUk TCM 路径踪迹标识(TTI)

对于每个串联连接监视字段，分配了 1 个字节的开销用于传送 15.2 节中指定的 64 字节的路径踪迹标识 (TTI)。

64 字节的 TTI 信号需要与 ODUk 的复帧定位，并在每个复帧中传送 4 次(参考 15.6.2.2)。64 字节 TTI 信号的 0 字节将会出现在复帧的 0000 0000 (0x00), 0100 0000 (0x40), 1000 0000 (0x80) 和 1100 0000 (0xC0) 等位置。

### 15.8.2.2.2 ODUk TCM 错误检测码 (BIP-8)

对于每个串联连接监视字段，定义了一个字节的错误检测码，其提供比特间插奇偶校验 - 8 (BIP-8) 码字。

注意：符号 BIP-8 仅指 BIP 比特的个数并不指 EDC 用法（也就是，什么数被统计）。对于 BIP-8 的定义可看考 ITU-T G.707/Y.1322 中的 BIP-X 定义。

每个 ODUk 的 BIP-8 计算的  $i$  个 ODUk 帧的 OPUk 区域(第 15 列到第 3824 列)的每个比特，然后把计算结果插入到第  $i+2$  个 ODUk 帧的 ODUk TCM 的 BIP-8 的开销位置(图 37)。

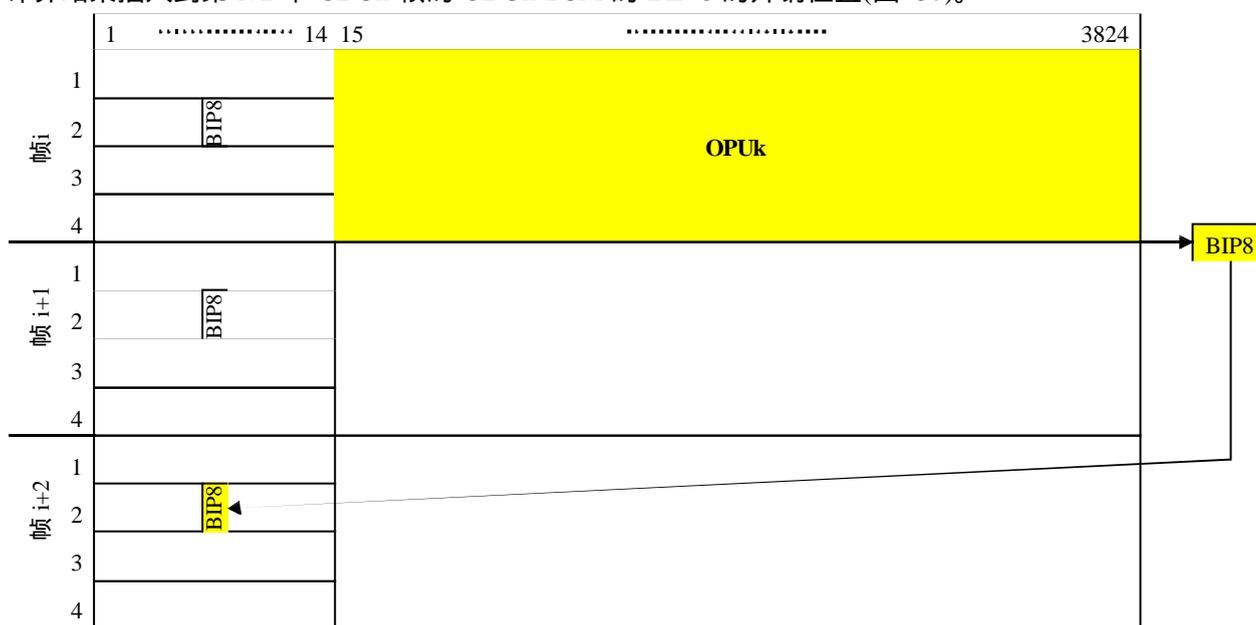


图 37 ODUk TCM BIP-8 计算

### 15.8.2.2.3 ODUk TCM 后向缺陷指示(BDI)

对于每个串联连接监视 (TCM) 字段，定义了一个比特的后向缺陷指示 (BDI)，用于在上游方向传送在串联连接总结宿功能检测到的信号失效状态。

BDI 设置为“1”说明 ODUk 后向缺陷指示，其余情形为“0”。

### 15.8.2.2.4 ODUk TCM 后向错误指示 (BEI)

对于每个串联连接监视(TCM)字段，定义了 4 个比特的后向错误指示和后向输入对齐错误 (BEI/BIAE)。该开销用于在上游方向传送相应的 ODUk 串联连接监视宿采用 BIP-8 码字检测到的比特间插块的错误个数。另外，也可以在上游方向传送在相应的 ODUk 串联连接监视宿的输入对齐错误 (IAE) 开销中检测到的 IAE 条件。

当 IAE 条件出现时，代码“1011”被插入到 BEI/BIAE 字段并且错误计数被忽略。否则，错误计数码 (0~8) 被插入到 BEI/BIAE 字段。对于这 4 个比特可表示的剩余的 6 个代码，在其它不相关的情形下出现且被解释为 0 个错误 (表 8)，并且 BIAE 是不激活的。

表 8 ODUk TCM BEI 解释

ODUk TCM BEI/BIAE bits 1234	BIAE	BIP 违规
0000	未激活	0
0001	未激活	1
0010	未激活	2
0011	未激活	3
0100	未激活	4
0101	未激活	5
0110	未激活	6
0111	未激活	7
1000	未激活	8
1001, 1010	未激活	0
1011	激活	0
1100 to 1111	未激活	0

#### 15.8.2.2.5 ODUk TCM 状态(STAT)

对于每个串联连接监视 (TCM) 字段, 定义了 3 个比特的状态开销, 用以说明维护信号的存在、是否在源的 TC-CMEP 的处有输入对齐错误、或者是否没有活动的 TC-CMEP 源等 (表 9)。

表 9 ODUk TCM 状态解释

TCM 字节3, 比特 678	状态
000	无源TC
001	使用, 无 IAE
010	使用, 有IAE
011	保留为未来国际标准化
100	保留为未来国际标准化
101	维护信号: ODUk-LCK
110	维护信号: ODUk-OCI
111	维护信号: ODUk-AIS

P-CMEP设置这些比特为“000”。

TC-CMEP入口点设置这些比特为“001”, 以便给其其对等的TC-CMEP说明没有输入对齐错误 (IAE), 或者设置为“010”以说明存在输入对齐错误。

TC-CMEP出口点可利用该信息压制比特错误的计数, 这种情况会在串联连接的入口处ODUk的帧相位变化时将可能出现。

#### 15.8.2.2.6 TCM 开销字段分配

每个 TC-CMEP 可被从 6 个  $TCM_i$  开销字段中插入/提取其 TCM 开销。特定的  $TCM_i$  开销字段由网络操作者、网络管理系统或交换控制平面来指派。

在域接口处, 可能指派穿过该域的串联连接级别的最大数目 (0~6)。默认值是 3。这些串联连接应该使用  $TCM_1 \dots TCM_{MAX}$  中较低的  $TCM_i$  开销字段。TCM 字段中超过最大值 ( $TCM_{max+1}$  及以上) 的开销在

域中被覆盖。

### 示例

对于 ODUk 出租电路的情形而言，用户可能已经分配了一个级别的 TCM，服务提供商分配一个级别的 TCM，以及每个网络运营商（域业务提供商之间拥有合同）分配四个级别的 TCM。对于网络运营商转包其部分 ODUk 连接到其它网络运营商的情形而言，这 4 个级别需要分开，例如，对于转包运营商分配 2 个级别。

这将导致如下的 TCM 开销分配：

- 用户：两个用户子网之间安的TCM1开销字段，以及自己子网内部的TCM1..TCM6 。
- 业务提供商 (SP)：在两UNI之间的TCM2开销字段。
- 网络运营商NO1, NO2, NO3 与业务提供商之间拥有合同： TCM3, TCM4, TCM5, TCM6. 注意NO2（转包形式）不能通过NO4的域中使用连接连接中的TCM5 和TCM6。
- NO4 (与NO2拥有转包合同): TCM5, TCM6.

参见图 38。

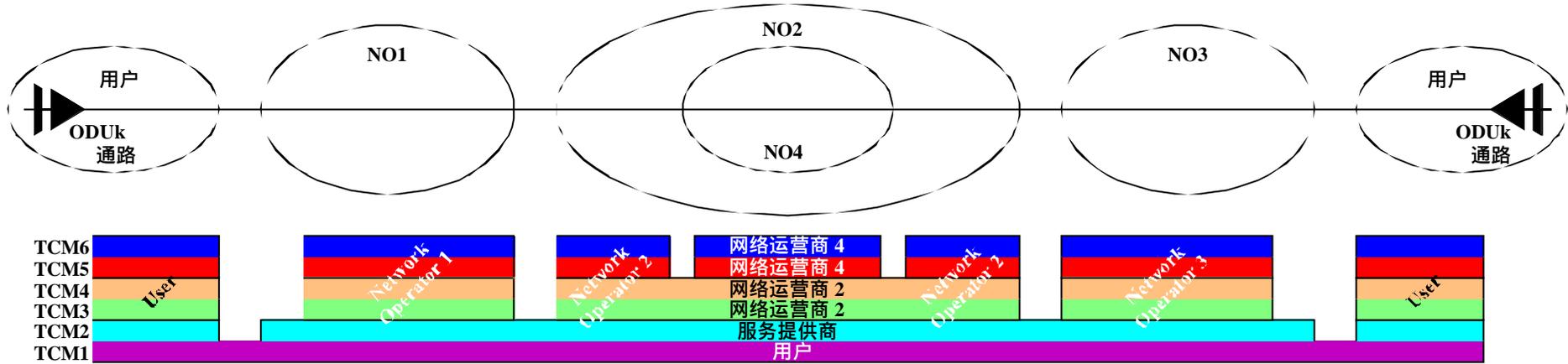


图 38 TCM开销域指配范例

### 15.8.2.2.7 ODUk TCM 激活/不激活协作协议

在 TCM 开销中，在第 2 行第 4 列指定了一个字节用于 TCM 激活/不激活的协作协议。该字节的具体定义待研。

### 15.8.2.3 ODUk 综合通信通路 (GCC1和GCC2)

在 ODUk 开销中定义了两个字节的两个字段来支持任何两个网元之间的综合通信通路来访问 ODUk 帧结构（例如，在 3-R 再生点处）。这些是纯信道，它们的具体信号格式定义超出本标准的范围。GCC1 的字节位于 ODUk 开销的第 4 行第 1~2 列，GCC2 的字节位于第 4 行的第 3~4 列。

### 15.8.2.4 ODUk 自动保护倒换和保护通信通路(APS/PCC)

在 ODUk 开销第 4 行的第 5~8 列中定义了四个字节的 ODUk-APS/PCC 信号。在该字段中可定义多达 8 级嵌入的 APS/PCC 信号。给定帧的 APS/PCC 字节分配给专门的连接监视级别，其依赖于 MFAS 如下的具体值：

表 10 复帧允许每个监视级别拥有单独的APS/PCC

MFAS 比特 678	应用于连接监视级别的 APS/PCC 通路	使用PAS/PCC通路的保护机制（注）
000	ODUk 通道	ODUk SNC/N
001	ODUk TCM1	ODUk SNC/S, ODUk SNC/N
010	ODUk TCM2	ODUk SNC/S, ODUk SNC/N
011	ODUk TCM3	ODUk SNC/S, ODUk SNC/N
100	ODUk TCM4	ODUk SNC/S, ODUk SNC/N
101	ODUk TCM5	ODUk SNC/S, ODUk SNC/N
110	ODUk TCM6	ODUk SNC/S, ODUk SNC/N
111	OTUk段	ODUk SNC/I

注 – APC通路可用于多于一种的保护机制和/或保护机制实例。在嵌套的保护机制的情形下，在相同的连接监视级别，当ODUk保护设置为不影响其它ODUk保护使用APS通路时需要注意，例如，只有当该级别的APS通路没有使用时，才能激活保护。

对于线性保护机制，对于这些字节的比特分配以及面向比特的协议在建议 G.873.1 中给出。对于环境保护机制的比特分配以及面向字节的协议待研。

### 15.8.2.5 ODUk故障类型和故障定位报告通信通路(FTFL)

在 ODUk 开销中定义了一个字节来传送 256 字节的故障类型和故障定位 (FTFL) 消息。该字节位于 ODUk 开销的第 2 行第 14 列。

256 字节的 FTFL 消息需要与 ODUk 复帧定位(即 0 字节应该在 ODUk 复帧的位置 0000 0000 处出现，1 字节应该在 ODUk 复帧的位置 0000 0001 处出现，2 字节应该在 ODUk 复帧的位置 0000 0010 处出现等)。

256 字节的 FTFL 消息有两个 128 字节的字段组成：前向字段和后向字段，如图 39 中所示。前向字段分配为 FTFL 消息的 1~127 字节，后向字段分配为 FTFL 消息的 128~255 字节。

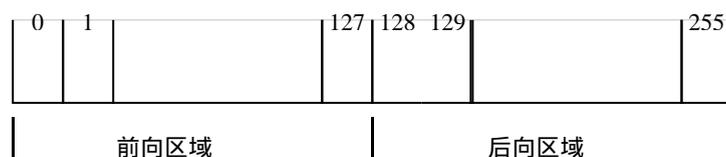


图 39 FTFL 消息结构

另外，前向字段和后向字段分别由三个子字段组成：前向/后向故障类型指示字段、前向/后向运营商标识字段、前向/后向运营商指定字段，如图 40 中所示。

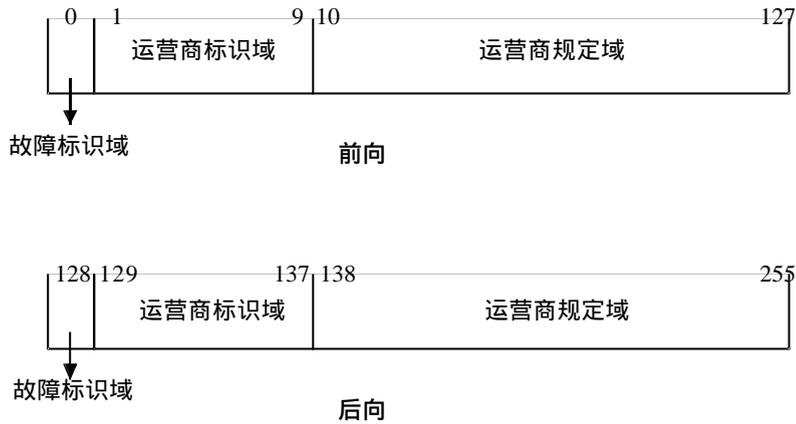


图 40 前向/后向字段结构

15.8.2.5.1 前向/后向故障类型指示字段

故障类型指示字段提供了故障状态。FTFL 消息的字节 0 用于前向故障类型指示字段。字节 128 用于后向故障类型指示字段。故障类型指示字段如表 11。代码 0000 0000 应指示没有故障，代码 0000 0001 应指示信号失效，代码 0000 0010 应指示信号劣化。其余代码预留为未来国际标准化。

表 11 故障指示代码

故障指示编码	定义
0000 0000	无故障
0000 0001	信号失效
0000 0010	信号劣化
0000 0011 .... 1111 1111	保留为将来国际标准化

15.8.2.5.2 前向/后向运营商标识字段

运营商标识字段共是 9 个字节。字节 1~9 用于前向运营商标识字段。字节 129~137 用于后向运营商标识字段。前向/后向运营商标识字段由两部分组成：国际段字段和国内段字段。具体的字节分配如图 41 中所示。

后向字段 字节分配	129	130	131	132	133	134	135	136	137
前向字段 字节分配	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	国家代码			国内段代码					
	G/PCC		ICC	空填充					
	G/PCC		ICC		空填充				
	G/PCC		ICC			空填充			
	G/PCC		ICC				空填充		
	G/PCC		ICC					空填充	
	G/PCC		ICC						
	空填充								

图 41 运营商标识字段结构

国际段字段提供了 3 个字符 ISO3166 地理/政治国家代码 (G/PCC)。9 字节的运营商标识字段的前面 3 个字节 (也即前向运营商标识符的字节 1~3 和后向运营商标识符的字节 129~131) 预留为国际段字段。国家代码基于 3 字符大写字母 ISO3166 国家代码 (例如, USA, FRA)。

国家段字段提供了 1 到 6 字符 ITU 运营商代码 (ICC)。ICC 由 ITU-T 电信标准化局采用 ITU-T M. 1400 来维护。国家段字段是 6 个字节, 提供了 1~6 字符 ITU 运营商代码 (ICC) 并带结尾符以组成 6 字符字段。

### 15.8.2.5.3 运营商指定字段

字节 10~127 用于前向运营商指定字段, 如图 40 所示。字节 139 到 255 用于后向运营商指定字段。运营商指定字段不用标准化。

### 15.8.2.6 ODUk 实验开销 (EXP)

在 ODUk 开销中定义了 2 个字节用于实验目的的开销。这些字节位于 ODUk 开销的第 3 行的 13~14 列。

这些字节的使用不依赖于标准化并超出本标准范围。

ODUk OH 中的实验开销用于在设备商或运营商的自己网络中支持一些应用, 同时需要其它一些 ODUk 开销的支持。

并不要求在他们自己的网络之外转发该开销, 也就是, EXP 开销的操作区间仅限制于单个设备商设备的 (子) 网络, 或者运营商自己的网络。

### 15.8.2.7 ODUk 保留字节

ODUk 开销中保留了 9 个字节用于未来国际化。这些字节位于 ODUk 开销的第 2 行的 1~3 列, 第 4 行的 8~14 列。这些字节设置为全零。

## 15.9 OPUk OH 描述

### 15.9.1 OPUk OH 位置

OPUk 开销由包含扩净荷类型 (PT) 的净荷结构标识 (PSI) 与级联相关的开销和映射客户信号进 OPUk 净荷相关的开销 (如调整控制和机会比特等)。OPUk PSI 和 PT 等开销位置如图 42 中所示。



图 42 OPUk 开销

## 15.9.2 OPUk OH 定义

### 15.9.2.1 OPUk 净荷结构标识(PSI)

在 OPUk 开销中定义了 1 个字节用于传送 256 字节的净荷结构标识 (PSI) 信号。该字节位于 OPUk 开销的第 4 行第 15 列。

256 字节的 PSI 信号需要与 ODUk 复帧定位 (即 PSI[0]出现在 ODUk 复帧的位置 0000 0000, PSI[1]出现在 ODUk 复帧的位置 0000 0001, 等等)。

PSI[0]包含一个字节的净荷类型 (PT)。PSI[1]~PSI[255]指定为特定的映射和串联,除了 PT 0x01 (实验映射) 和 PTs 80-0x8F (用于专用)。

#### 15.9.2.1.1 OPUk 净荷类型(PT)

在净荷结构标识的 PSI[0]字节中定义了一个字节的净荷类型信号,以说明 OPUk 信号的组成。其信号具体的编码如中所示。

表 12 OPUk净荷类型编码

MSB 1 2 3 4	LSB 5 6 7 8	16进制码 (注 1)	解释
0 0 0 0	0 0 0 1	01	实验映射 (注 3)
0 0 0 0	0 0 1 0	02	异步 STM-N 映射
0 0 0 0	0 0 1 1	03	比特同步 STM-N 映射
0 0 0 0	0 1 0 0	04	ATM映射
0 0 0 0	0 1 0 1	05	GFP 映射
0 0 0 0	0 1 1 0	06	虚级联信号, (注5)
0 0 0 1	0 0 0 0	10	字节定时的比特流映射
0 0 0 1	0 0 0 1	11	无定时的比特流映射
0 0 1 0	0 0 0 0	20	ODU 复用结构
0 1 0 1	0 1 0 1	55	不可用 (注 2)
0 1 1 0	0 1 1 0	66	不可用(注 2)
1 0 0 0	x x x x	80 - 8F	预留为私用 (注 4)
1 1 1 1	1 1 0 1	FD	NULL测试信号映射
1 1 1 1	1 1 1 0	FE	PRBS 测试信号映射
1 1 1 1	1 1 1 1	FF	不可用(注2)
<p>注 1 – 预留226个代码以便于未来国际标准化。</p> <p>注 2 – 这些值在可用的代码中不包含，而是在ODUk维护信号中应用。</p> <p>注 3 – 仅当映射代码在上述表中未定义时可使用值“01”。使用该代码，开发（实验）过程将不影响OTN网络。若以后特定的开销类型分配，则没有转发的兼容性。若分配的新编码，使用该代码的设备应该重新配置以使用该代码。</p> <p>注 4 – 这16个代码值将不用于标准化。</p> <p>注 5 – 对于虚级联信号的开销类型，需要使用专用的开销类型开销(vcPT)。</p>			

### 15.9.2.2 OPUk映射指定开销

在 OPUk 开销中，保留了 7 个字节用于映射和级联特定的开销。这些字节位于第 1 行到第 3 行，第 15 ~ 16 列，以及第 4 行的第 16 列。另外，在 PSI 中有 255 个字节用于映射和级联的目的。

这些字节的使用依赖于使用客户信号的映射（在第 17 和 19 节中定义）和所使用的级联（参看第 18 节）。

### 16 维护信号

告警指示信号（AIS）在上游探测到故障的情况下向下游发送指示信号。AIS 信号由适配宿功能产生。当踪迹终止宿功能探测到 AIS 信号以后，会抑制此故障，并推断出在上游点出现了信号传输的中断。

前向缺陷指示（FDI）向下游发送，指示上游探测到的故障。FDI 信号由适配宿功能产生。当踪迹终止宿功能探测到 FDI 信号以后，会推断出在上游点出现了信号传输的中断。

注：AIS和FDI类似。AIS用于数字信号领域，FDI用于光信号区域。FDI作为OTM开销信号(OOS)中不相关的开销进行传输。

开放连接指示（OCI）向下游发送，指示上游信号没有连接到踪迹终端源。OCI 信号由连接功能产生，在每一个输出连接点由此连接功能输出，此连接输出点并没有连接到它的输入连接点。OCI 信号由踪迹终

止宿功能探测。

锁定 (LCK) 信号发送到下游, 指示上游的连接“锁定”, 没有信号通过。

净荷丢失指示 (PMI) 向下游发送, 指示在上游信号的源点, 支路时隙没有光信号输入, 或者输入光信号没有净荷。这表明支路信号的传输中断。PMI 信号由适配源功能产生, 在踪迹终止宿功能探测, 在此条件下会抑制 LOS 探测。

## 16.1 OTS维护信号

### 16.1.1 OTS净荷丢失指示 (OTS-PMI)

OTS-PMI 指示 OTS 净荷没有光信号。

## 16.2 OMS维护信号

OMS 维护信号包括: OMS-FDI-P, OMS-FDI-O, OMS-PMI。

### 16.2.1 OMS前向缺陷指示 - 净荷 (OMS-FDI-P)

OMS-FDI-P 指示 OTS 网络层内部的 OMS 服务层缺陷。

### 16.2.2 OMS前向缺陷指示 - 开销 (OMS-FDI-O)

OMS-FDI-O 指示经由 OOS 传输 OMS OH 时, 由于 OOS 的信号故障造成的传输中断。

### 16.2.3 OMS净荷丢失指示 (OMS-PMI)

OMS-PMI 指示所有的 OCC 不存在光信号。

## 16.3 OCh维护信号

OCh 维护信号包括 OCh-FDI-P, OCh-FDI-O, OCh-OCI。

### 16.3.1 OCh前向缺陷指示 - 净荷 OCh-FDI-P

OCh-FDI 指示探测到 OMS 网络层内部的 OCh 服务层缺陷。当 OTUk 终止时, ODUk-AIS 仍旧做为 ODUk-AIS 信号。

### 16.3.2 OCh前向缺陷指示 - 开销 (OCh-FDI-O)

OCh-FDI-O 指示在 OOS 中传输 OCh OH 时, 由于 OOS 信号故障造成的传输中断。

### 16.3.3 OCh开放连接指示 (OCh-OCI)

OCh-OCI信号指示下游传输处理功能OCh连接没有绑定到或者没有连接到 (经由一个矩阵连接) 一个终止源功能。此信号用于指示下游区分光通路丢失故障或者由于连接开放故障 (由于管理指令)。

注: OCI在下一个下游OTUk踪迹终端设备被检测到。如果连接故意开放, 此踪迹终端的相关告警报告功能应该被禁止掉, 采用告警报告控制模式 (参见ITU-T M.3100/Amd.3)。

## 16.4 OTUk维护信号

### 16.4.1 OTUk告警指示信号 (OTUk-AIS)

OTUk-AIS (图 43) 是一个通用 AIS 信号 (16.6.1)。OTUk 容量 (130560 比特) 不是 PN-11 序列长度 (2047 比特) 的整数倍, PN-11 序列可能穿越 OTUk 帧边界。

注: OTUk-AIS是为了支持将来的服务层应用。OTN设备应能此信号的存在, 但它不需要产生此信号。

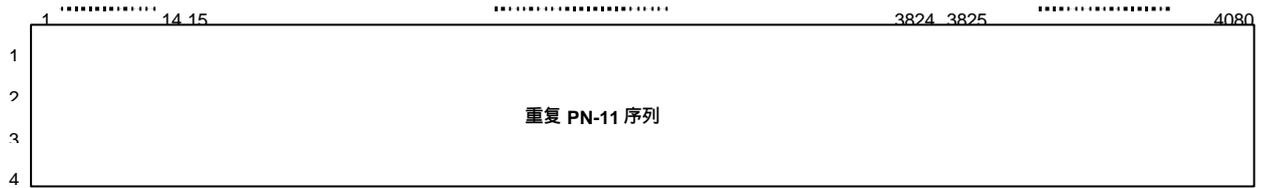


图 43 OTUk-AIS

## 16.5 ODUk 维护信号

ODUk 维护信号包括：ODUk-AIS，ODUk-OCI，ODUk-LCK。

### 16.5.1 ODUk 告警指示信号（ODUk-AIS）

ODUk-AIS 在整个 ODUk 信号中全为 1，不包括帧定位开销（FA OH），ODUk 开销（ODUk OH）和 ODUk FTFL（图 44）。



图 44 ODUk-AIS

此外，ODUk-AIS 信号在 OTM 接口出现之前，可用扩展到一层或多层的 ODUk 串行连接、GCC1、GCC2、EXP 或者 APS/PCC 开销。这依赖于 ODUk-AIS 插入点和 OTM 接口之间的功能。

ODUk-AIS 的探测通过监测在 PM 和 TCMi 开销区域中的 ODUk STAT 比特实现。

### 16.5.2 ODUk 开放连接指示

ODUk-OCI 采用重复的"0110 0110"模式，在整个 ODUk 信号中，不包括帧定位开销（FA OH）和 OTUk 开销（OTUk OH）（图 45）。



图 45 ODUk-OCI

注：重复的"0110 0110"模式是默认模式，也允许其他模式的设置，只要在 PM 和 TCMi 开销区域中的 STAT 比特设置成"110"。

此外，ODUk-OCI 信号在 OTM 接口出现之前，可用扩展到一层或多层的 ODUk 串行连接、GCC1、GCC2、EXP 或者 APS/PCC 开销。这依赖于 ODUk-OCI 插入点和 OTM 接口之间的功能。

ODUk-OCI 的探测通过监测在 PM 和 TCMi 开销区域中的 ODUkSTAT 比特实现。

### 16.5.3 ODUk 锁定（ODUk-LCK）

在整个 ODUk 信号中，ODUk-LCK 采用重复的"0101 0101"模式，不包括帧定位开销（FA OH）和

OTUk 开销 (OTUk OH)(图 46)

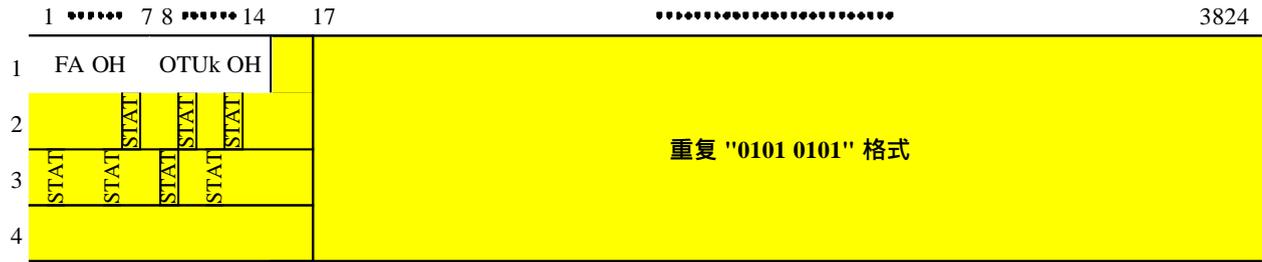


图 46 ODUk-LCK

注：重复的"0101 0101"模式是默认模式，也允许其他模式的设置，只要在 PM 和 TCMi 开销区域中的 STAT 比特设置成"110"。

此外，ODUk-LCK 信号在 OTM 接口出现之前，可用扩展到一层或多层的 ODUk 串行连接、GCC1、GCC2、EXP 或者 APS/PCC 开销。这依赖于 ODUk-LCK 插入点和 OTM 接口之间的功能。

ODUk-LCK 的探测通过监测在 PM 和 TCMi 开销区域中的 ODUk STAT 比特实现。

16.6 客户维护信号

16.6.1 用于固定比特速率信号的通用 AIS

通用 AIS 信号是一个 2047 比特的多项式编号 11 (PN-11) 重复序列。

PN-11 序列产生多项式  $1+x^9+x^{11}$  (图 47)。

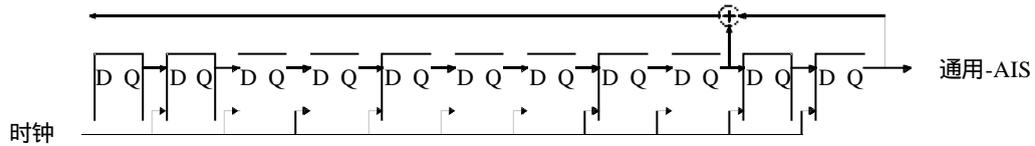


图 47 通用AIS产生电路

17客户信号映射

17.1 CBR2G5、CBR10G和CBR40G信号 (STM-16/64/256) 到OPUk的映射

映射CBR2G5、CBR10G和CBR40G (最大±20 ppm的比特容差) 到OPUk (k=1, 2, 3) 可采用两种不同的模式，异步映射和比特同步映射，基于一种通用的OPUk帧结构 (图 48)。

注1：客户信号如STM-16、STM-64和STM-256。

注2：此映射结构下，OPUk和客户信号时钟之间的最大比特速率容差为±65ppm。OPUk时钟的比特速率容差为±20ppm，客户信号为±45ppm。

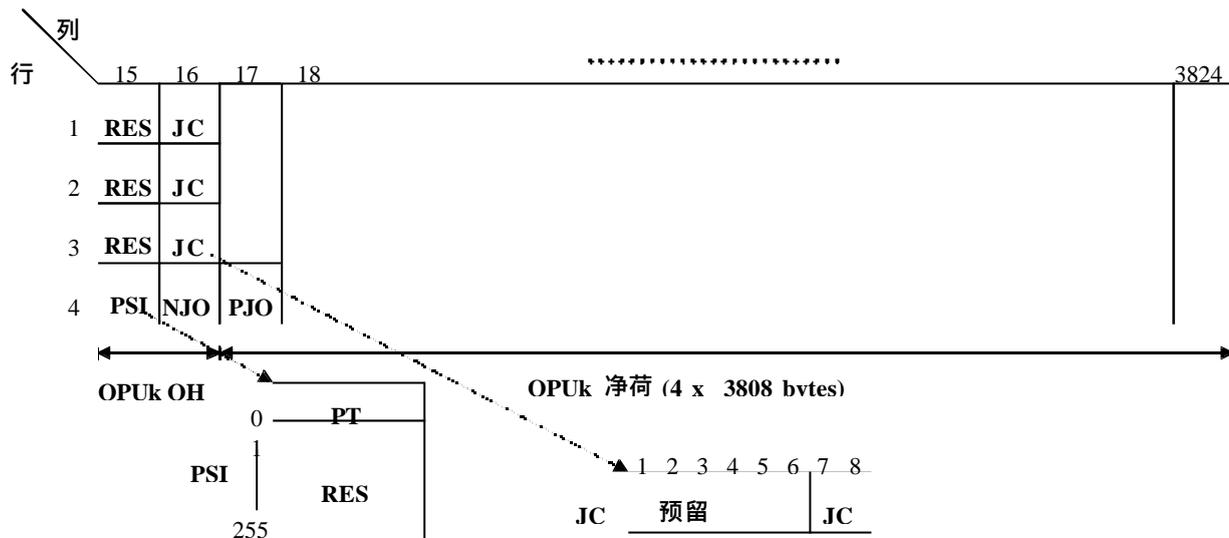


图 48 CBR2G5、CBR10G和CBR40G信号到OPUk的映射

此映射的 OPUk 开销由一个净荷结构指示符 (PSI) 构成, 包括净荷类型 (PT), 255 字节为将来标准使用, 三个调整控制字节 (JC), 一个负调整字节 (NJO), 三个字节预留为将来标准使用。JC 字节包括 2 个比特的调整控制, 其余 6 个比特为将来标准使用。

此映射的 OPUk 净荷包括 4×3808 字节, 包括一个正调整 (PJO) 字节。

调整控制 JC 信号, 位于 16 列的第 1、2、3 行, 比特 7-8, 用于控制接下来第 4 行的两个调整字节 NJO 和 PJO。

异步和比特同步映射处理产生 JC、NJO 和 PJO, 如表 13 和表 14, 对这三个对象的解映射处理解释见表 15。在解映射处理过程中, 采用少数服从多数的原则, 尽量避免这三个调整信号出现误码。

表 13 异步映射处理产生的JC、NJO和PJO

JC [78]	NJO	PJO
00	调整字节	数据字节
01	数据字节	数据字节
10	不产生	
11	调整字节	调整字节

表 14 比特同步映射处理产生的JC、NJO和PJO

JC [78]	NJO	PJO
00	调整字节	数据字节
01	不产生	
10		
11		

表 15 JC、NJO和PJO解释

JC [78]	NJO	PJO
00	调整字节	数据字节
01	数据字节	数据字节
10 (Note)	调整字节	数据字节
11	调整字节	调整字节



### 17.1.3映射CBR40G信号 (STM-256) 到OPU3

CBR40G 信号的 8 个连续比特组 (没有必要时一个比特) 映射进 OPU3 的一个数据 D 字节 (图 51), 128 固定填充 (FS) 字节添加到 1265 到 1280 以及 2545 到 2560 列。每 OPU3 帧一个, 可以执行一个正或负调整操作。

	15	16	17	.....	1264	1265	.....	1280	1281	.....	2544	2545	.....	2560	2561	.....	3824	
1	RES	RES	JC	78 × 16D			16FS			79 × 16D			16FS			79 × 16D		
2	RES	RES	JC	78 × 16D			16FS			79 × 16D			16FS			79 × 16D		
3	RES	RES	JC	78 × 16D			16FS			79 × 16D			16FS			79 × 16D		
4	PSI	NJO	PJO	15D + 77 × 16D			16FS			79 × 16D			16FS			79 × 16D		

图 51 映射CBR40G信号到OPU3

### 17.2映射ATM信元流到OPUk

固定比特速率的 ATM 信元流, 其容量等于 OPUk 净荷区域, 通过复用一系列 ATM VP 信号信元得到。速率适配做为此信元流创建处理的一部分, 通过插入空闲信元或丢弃信元来实现。参考 I.432.1, ATM 信元流映射入 OPUk 净荷区域, 并且 ATM 信元字节结构与 OPUk 结构对齐 (图 52), ATM 信元边界与 OPUk 净荷字节边界相对齐。由于 OPUk 净荷容量不是 53 信元字节的整数倍, 会有 ATM 信元超越 OPUk 的帧边界。

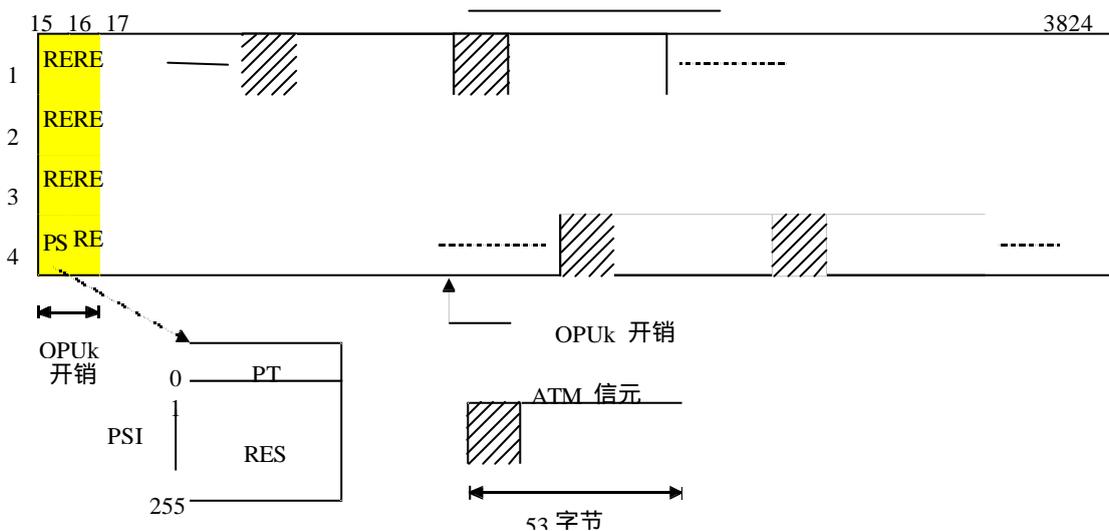


图 52OPUk帧结构和映射ATM信元到OPUk

ATM 信元信息域 (48 字节) 在映射入 OPUk 之前进行扰码, 在相反方向, 在终结 OPUk-Xv 信号后, ATM 信元信息域被解扰码后传送到 ATM 层, 自同步扰码器产生  $x^{43} + 1$  多项式 (规范 I.432.1 中建议)。扰码器在信元信息域进行工作, 在 5 字节开销区域, 扰码器操作停止工作, 扰码器的状态保持。第一个传送的信元将被破坏, 因为接收端解扰码器没有同步到发送机扰码器, 信元信息领域的扰码可以对假的信元定界有防范措施, 信元信息领域重新复制 OTUk 和 ODUk 的帧定位信号。

在 ODUk 终结后, 从 ODUk 净荷区域解出 ATM 信元时, ATM 信元必须被恢复。ATM 信元头包括头错误控制 (HEC) 区域, 可以采用与帧定位类似的方法来获得帧定界。HEC 方法采用由 HEC 保护的头比特 (32 比特) 同 HEC 在信元头中引入的控制比特 (8 比特) 之间的相关性实现的, 通过计算截短的循环码, 其产生多项式为  $g(x) = x^8 + x^2 + x + 1$ 。

为了提高信元定界性能, 多项式的余数与固定图案 “01010101” 相加, 这种方法类似于传统的帧定位恢复, 但定位信号不是固定的, 每个信元都不同。

HEC 信元定界的更多信息在 1.432.1。

ATM 映射的 OPUk 开销由一个净荷结构指示符 (PSI) 构成，包括净荷类型 (PT)，255 字节为将来的标准预留，7 个字节为将来的标准预留。

ATM 映射的 OPUk 净荷包括 4 × 3808 字节。

### 17.3 映射 GFP 帧到 OPUk

通用成帧规程 (GFP) 帧的映射通过把每个 GFP 帧的字节结构与 OPUk 净荷的字节结构进行校准实现 (图 53)。由于 GFP 帧是长度可变的 (映射并不限定最大帧的长度)，GFP 帧可能穿越 OPUk 帧的边界。

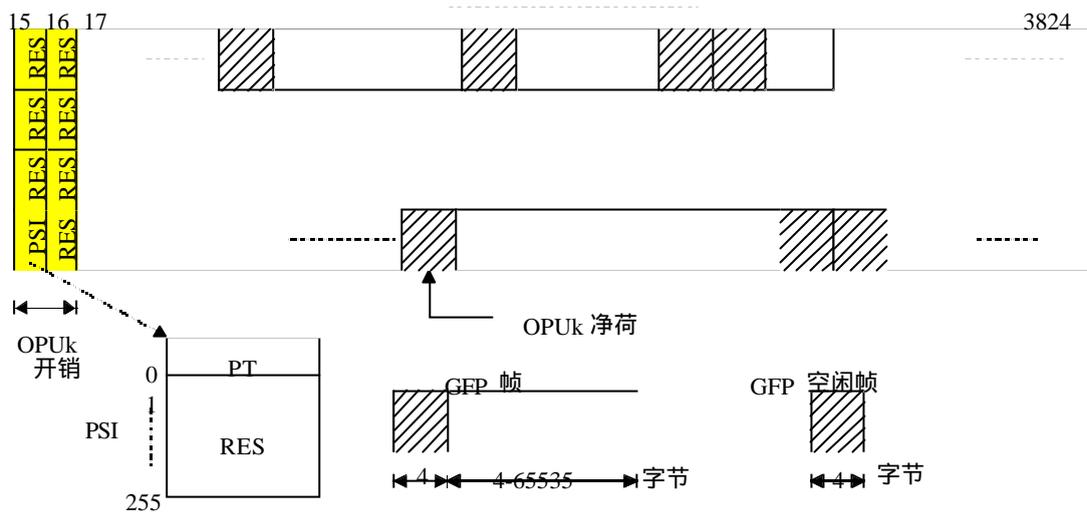


图 53 OPUk 帧结构和映射 GFP 帧到 OPUk

由于在 GFP 封装阶段插入了空闲帧，GFP 帧做为连续的比特流到达，其带宽同 OPUk 净荷区域一致。GFP 帧在封装过程中进行扰码。

注：在映射阶段不需要速率适配或者扰码机制，这由 GFP 的封装处理实现。

GFP 映射的 OPUk 开销由一个净荷结构指示符 (PSI) 构成，包括净荷类型 (PT) 和为将来标准使用的 255 字节的预留，7 个字节为将来的标准使用。

GFP 映射的 OPUk 净荷包括 4 × 3808 帧。

### 17.4 映射测试信号到 OPUk

#### 17.4.1 映射 NULL 客户到 OPUk

全 0 模式的 OPUk 净荷信元用于测试的目的 (图 54)，称为 NULL 客户。

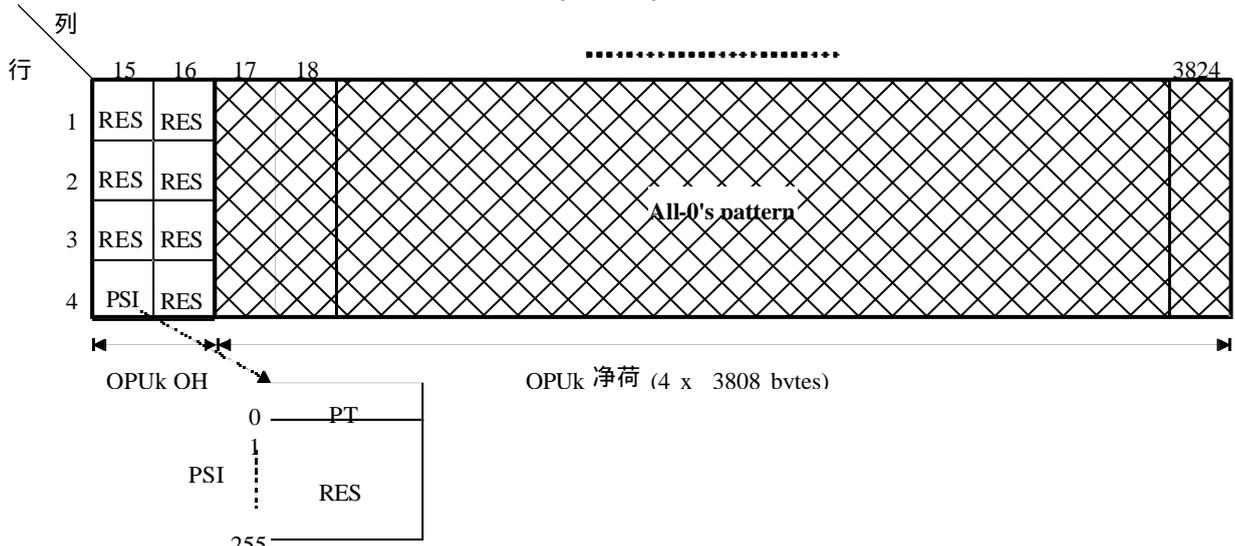


图 54 OPUk 帧结构和映射 NULL 客户到 OPUk

NULL 映射的 OPUk 开销由一个净荷结构指示符 (PSI) 构成, 包括净荷类型 (PT) 和 255 字节的预留区域为将来的标准使用, 7 个字节为将来的标准使用 (预留)。  
 NULL 映射的 OPUk 净荷包括了 4 × 3808 字节。

17.4.2 映射 PRBS 测试信号到 OPUk

为测试目的, 定义了 2147483647 比特的伪随机测试序列 ( $2^{31}-1$ ), 可映射到 OPUk 净荷。2147483647 比特的伪随机序列信号中的 8 个连续比特为一组, 映射进 ODU3 净荷的 8 数据比特 (图 55)。

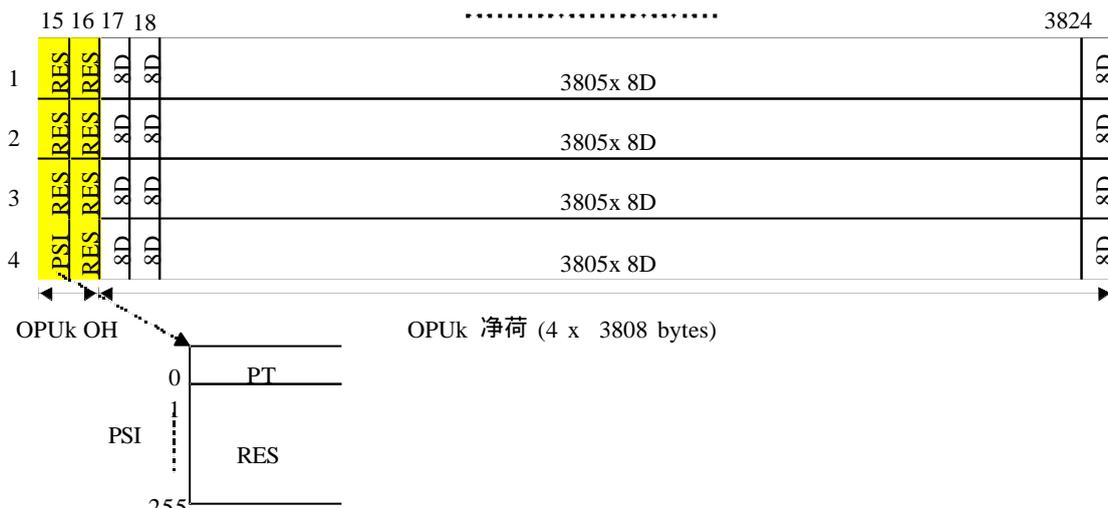


图 55 OPUk 帧结构和映射 2147483647 比特的伪随机测试序列到 OPUk

PRBS 到 OPUk 开销的映射由一个净荷结构指示符 (PSI) 构成, 它包括净荷类型 (PT), 255 字节预留为将来的标准使用, 另有 7 个字节预留为将来的标准使用。  
 PRBS 到 OPUk 净荷的映射包括 4 × 3808 字节。

17.5 映射非特定客户比特流到 OPUk

除了映射特定客户信号外, 非特定客户信号映射入 OPUk 也被指定。任何形式的客户信号在封装以后, 形成与 OPUk 净荷相同的连续比特流, 就可以映射入 OPUk 信号 (图 56)。此比特流必须同 OPUk 信号同步。在连续比特流的形成过程中可以产生任何调整。在映射入 OPUk 净荷之前, 连续比特流必须进行扰码。

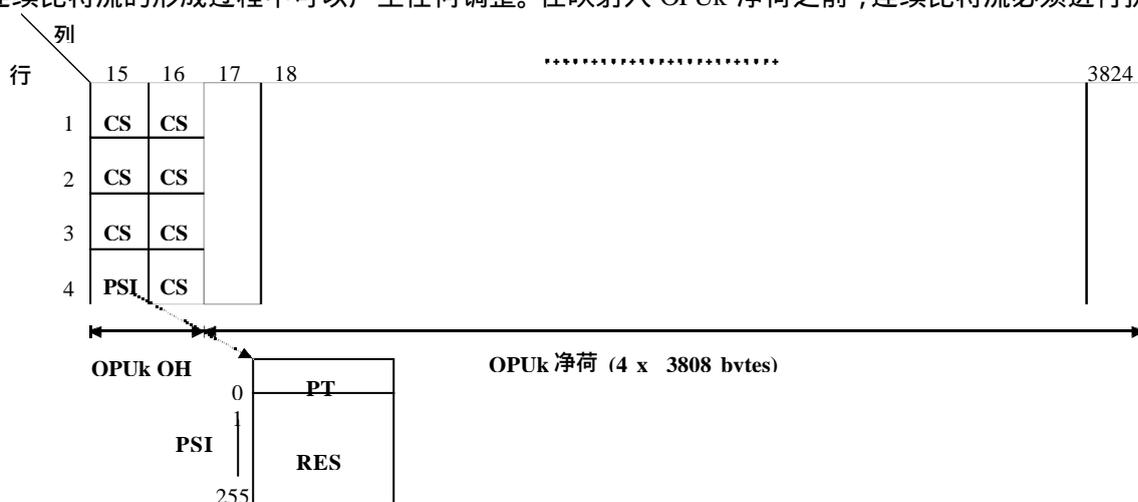


图 56 OPUk 帧结构和同步连续比特流的映射

用于“非特定信号”映射的 ODUk-Xv 开销由一个净荷结构指示符 (PSI) 字节构成, 包括净荷类型 PT, 255 字节为将来的标准预留, 7 个字节为客户特定的目的 (CS) 使用。这些 CS 开销字节的定义在封装处理规范中定义。

用于“非特定客户信号”映射的 OPUk-Xv 净荷包括  $4 \times 3808$  字节

### 17.5.1 映射带字节定时的比特流到 OPUk

如果字节定时可用, 输入数据流的每个字节将被映射到 OPUk 净荷的一个数据字节 (octet)。

### 17.5.2 映射无字节定时的比特流到 OPUk

如果字节定时不可用, 输入数据流的 8 个连续比特 (没有必要一定是同一个字节) 做为一组映射到 OPUk 净荷的一个数据字节。

### 17.6 映射其他固定比特速率的信号到 OPUk

待确定。

## 18 级联

OTN 中级联的实现是通过 OPUk 信号的虚级联实现的。

### 18.1 OPUk 的虚级联

#### 18.1.1 OPUk 虚级联 (OPUk-Xv, $k = 1 \dots 3$ , $X = 1 \dots 256$ )

OPUk-Xv ( $k=1,2,3$ ) 的帧结构如图 57 所示。它是由基于字节的块状帧结构组成, 一共 4 行、3810 列。

OPUk-Xv 帧中有两个主要的区域:

- OPU-Xv 开销区域
- OPU-Xv 净荷区域

列  $14X + 1$  到  $16X$  作为 OPUk-Xv 的开销区域

列  $16X + 1$  到  $3824 X$  作为 OPUk-Xv 的净荷区域

注意: OPUk-Xv 的列编号来自与 ODUk 帧中 OPUk 的列号码。

OPUk-Xv 提供一个连续的净荷区域, 包括  $X$  个 OPUk 净荷区域 (OPUk-X-PLD), 器净荷容量为  $X \times 238 / (239 - k) \times 4^{(k-1)} \times 2488320 \text{ kbit/s} \pm 20 \text{ ppm}$  ( $X * 238 / (239 - k) * 4^{(k-1)} * 2488320 \text{ kbit/s} \pm 20 \text{ ppm}$ ), 如图 57 所示。OPUk-X-PLD 映射进  $X$  个单独的 OPUks, 组成 OPUk-Xv。

每个 OPUk-Xv 中的 OPUk 在一个 ODUk 中传输,  $X$  个 ODUk 组成 ODUk-Xv。

每个 ODUk-Xv 中的 ODUk 单独在网络中传输, 由于每个 ODUk 不同传输时延, 导致到达终点每个 ODUk 的时间不同, 因此 OPUk 也不同。这种时间差别必须进行补偿, 以保证输入连续级联时能够对齐。

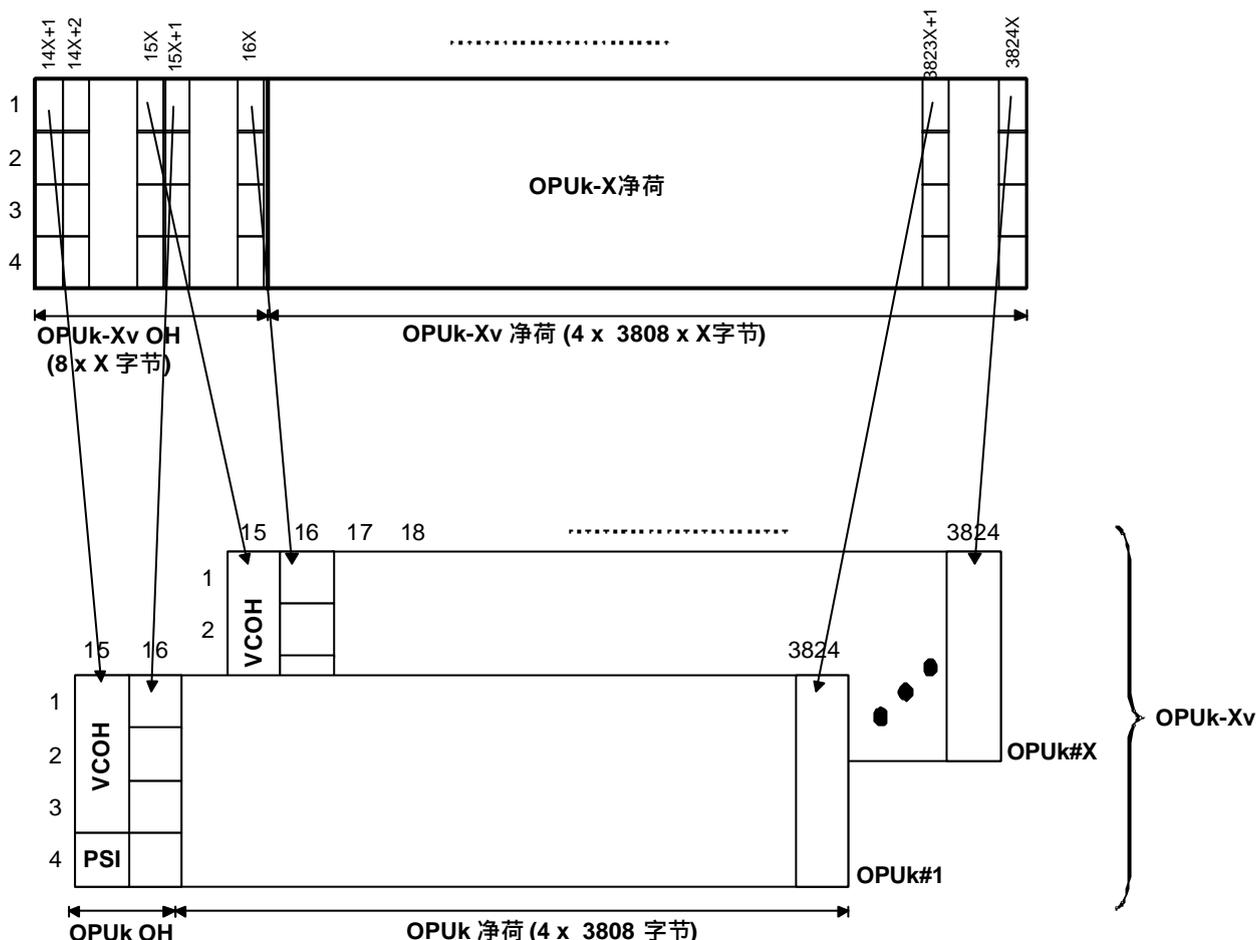


图 57 OPUk-Xv结构

### 18.1.2 OPUk-Xv开销描述

#### 18.1.2.1 OPUk-Xv开销定位

OPUk-Xv的开销包括 X个净荷结构标识符(PSI), PSI中包括净荷类型(PT), X个虚级联开销(VCOH), 用于虚级联特定序列和复帧指示, 与客户信号映射进 OPUk 净荷相关的开销(如调整控制和插入 opportunity 比特), 如图 58。OPUk-Xv 中每一个 OPUk 的 PSI 和 VCOH 开销都不同, 而映射特定开销同级联信号相关。

OPUk-Xv 的 VCOH 中为每一个 OPUk 携带了三个字节 VCOH。每一个 OPUk 中的 VCOH 字节定义如下:

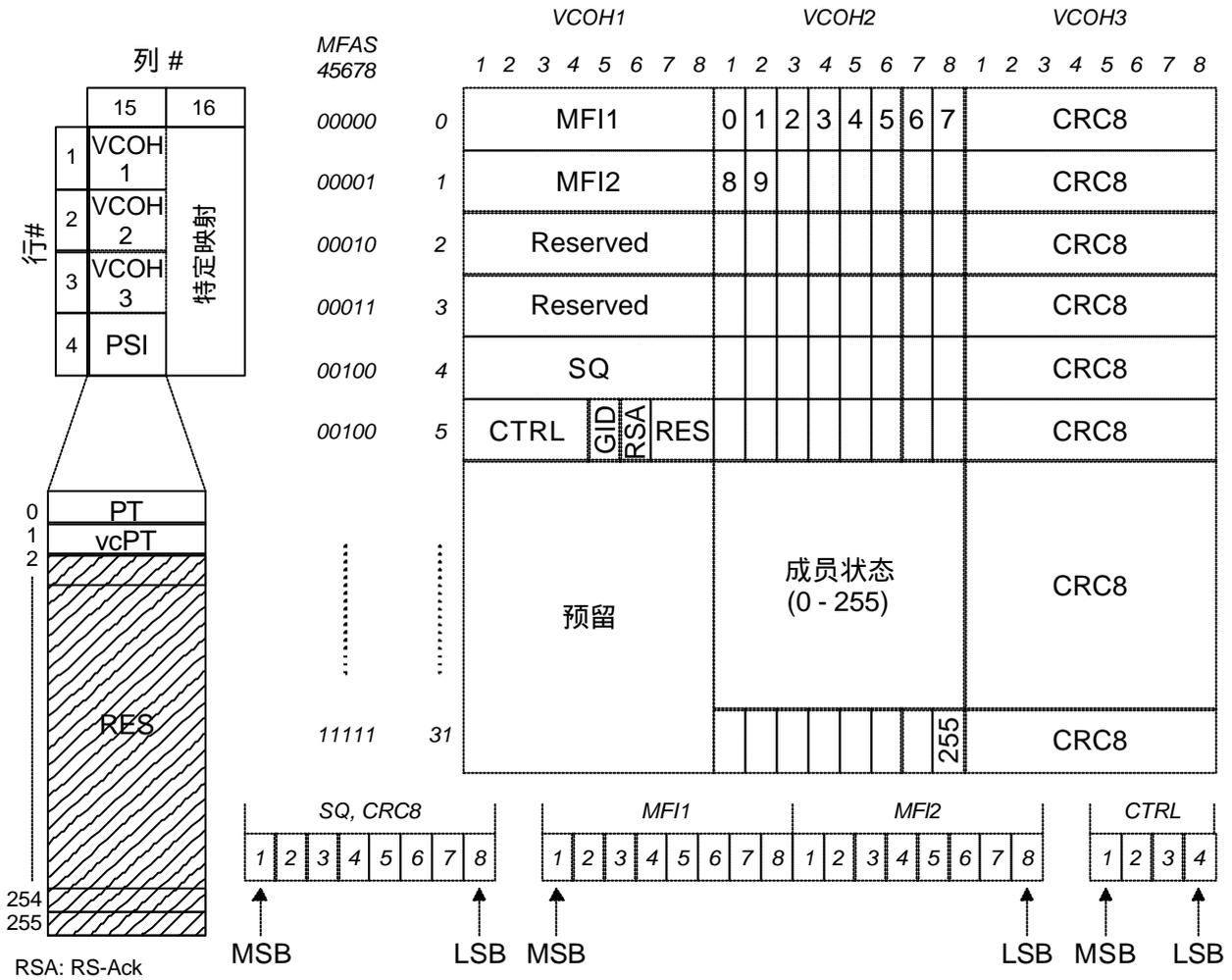


图 58 OPUk-Xv虚级联开销

### 18.1.2.2 OPUk-Xv开销定义

#### 18.1.2.2.1 OPUk-Xv净荷结构标识符

OPUk-Xv 的每一个 OPUk 中分配了一个字节，在第 4 行，第 15 列（图 58），用于传输一个 256 字节的净荷结构指示符（PSI）信号[15.9.2]。

OPUk-Xv 中每个 OPUk 的 PSI 的内容相同。

##### 18.1.2.2.1.1 OPUk-Xv净荷类型（vcPT）

在净荷结构标识符的 PSI[1]字节中定义了一个字节的 OPUk-Xv 净荷类型信号，指示 OPUk-Xv 信号的组成。编码如表 16 所示。

表 16 虚级联OPUk（OPUk-Xv）信号的净荷类型（vcPT）编码

MSB 1 2 3 4	LSB 5 6 7 8	Hex code (NOTE 1)	解释
0 0 0 0	0 0 0 1	01	实验映射（注 3）
0 0 0 0	0 0 1 0	02	异步 CBR 映射，见 18.2.1, 18.2.2
0 0 0 0	0 0 1 1	03	比特同步 CBR 映射，见 18.2.1, 18.2.2
0 0 0 0	0 1 0 0	04	ATM 映射，见 18.2.3
0 0 0 0	0 1 0 1	05	GFP 映射，见 18.2.4

0 0 0 1	0 0 0 0	10	比特流加字节定时映射, 见 18.2.6
0 0 0 1	0 0 0 1	11	比特流不加字节定时映射, 见 18.2.6
0 1 0 1	0 1 0 1	55	不可用(注 2)
0 1 1 0	0 1 1 0	66	不可用(注 2)
1 0 0 0	x x x x	80 - 8F	预留码, 为私有应用(注 4)
1 1 1 1	1 1 0 1	FD	NULL 测试信号映射, 见 18.2.5.1
1 1 1 1	1 1 1 0	FE	PRBS 测试信号映射, 见 18.2.5.2
1 1 1 1	1 1 1 1	FF	不可用(注 2)
注 1: 预留了 228 个备用编码, 为将来的国际标准使用。参考附件 A/G.806 程序, 为新的净荷类型获得一个空闲编码。			
注 2: 这些值在可用的编码范围之外。这些比特模式出现在 ODU <sub>k</sub> 维护信号中。			
注 3: 值“01”仅用于实验的目的, 其映射码并没有在上表中定义。参考附件 A/G.806 获得更多此编码的信息。			
注 4: 这 16 个编码值并不遵从下一步的标准。参考附件 A/G.806 获得更多此编码的信息。			

#### 18.1.2.2.1.2 OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub>净荷结构标识符预留开销 (RES)

OPU<sub>k</sub> PSI 中预留了 254 个字节, 为将来的国际标准使用。这些字节在 OPU<sub>k</sub> 开销中从 PSI[2]到[PSI255], 所有这些字节设置为 0。

#### 18.1.2.2.2 OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub>虚级联开销(VCOH1/2/3)

OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 中的每个 OPU<sub>k</sub> 有三个字节用于传输一个 8×3 字节×32 帧结构, 用于虚级联特定开销。这些字节位于行 1, 2, 3 的第 15 列, 如图 57。

此结构与 ODU<sub>k</sub> 复帧定位, 并且锁定在 MAFS 的 4, 5, 6, 7, 8 比特。

此结构在 256 帧复帧中重复 8 次。

此结构用于传输复帧, 排序一个 LCAS 控制开销。

#### 18.1.2.2.2.1 OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub>虚级联复帧指示 (MFI1, MFI2)

两级复帧用于克服在虚级联组内部的成员之间的不同的传输时延, 同时通过接收机内部的校准机制补偿这些不同的时延。

第一级复帧采用帧队列开销区域中的 MFAS 作为 8 比特的复帧指示。每一个 ODU<sub>k</sub> 帧的 MFAS 值会递增。范围从 0 到 255。

第二级复帧采用 VCOH 中的 MFI1 和 MFI2 开销字节。他们形成了 16 比特的复帧计数器, 其中 MFI1 位于 VCOH[0], 作为高位, MFI2 位于 VCOH[2], 作为低位。

第二级的复帧计数器的值从 0 到 65525, 从第一级复帧 (MFAS = 0) 开始, 每增加一个复帧, 此计数器加 1。

综合第一级复帧和第二级复帧, 一共包括 16777216 ODU<sub>k</sub> 帧长。

在 ODU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 的起始端, 所有 ODU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 的单个 OPU<sub>k</sub> 的复帧序列号是相同的。

校准进程至少能够补偿 125μs 的差分时间。

#### 18.1.2.2.2.2 OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub>序列号指示符 (SQ)

序列号指示符 SQ 标识了 ODU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 中单个 OPU<sub>k</sub> 的排列顺序, 这些 OPU<sub>k</sub> 组成了连续的 OPU<sub>k</sub>-X-PLD, 如图 58 所示。

8 比特的序列号 SQ (支持 X 到 256) 在 VCOH1[4]中传输, 其中比特 1 为高位, 比特 8 为低位。

OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 中的每一个 OPU<sub>k</sub> 有一个固定唯一的序列号, 范围为 0 到 (X-1)。传送 OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 的第一个实现的 OPU<sub>k</sub> 的序列号为 0, 传送第一个时隙的 OPU<sub>k</sub> 的序列号为 1, OPU<sub>k</sub> 的第 X 个实现的 OPU<sub>k</sub> 的序列号为(X-1)。

对要求固定带宽的应用, 序列号固定分配, 不可配置。这使得 OPU<sub>k</sub>-X<sub>v</sub> 的组成不使用踪迹功能就可验证, 也可用通过传输一系列的具备踪迹终止功能的 OPU<sub>k</sub> 信号完成, 此踪迹功能是 OPU<sub>k</sub> 踪迹终止功能资源群组的一部分。

操作和使用参考 G.7042。

### 18.1.2.2.2.3 OPUk-Xv LCAS控制字 (CTRL)

LCAS 控制字 (CTRL) 位于 VCOH1[5]的比特 1-4, 其中比特 1 为高位, 比特 4 为低位。  
LCAS 控制指令、编码和操作参考 G.7042。

### 18.1.2.2.2.4 OPUk-Xv LCAS成员状态区域 (MST)

LCAS 成员状态区域 (MST) 报告 OPUk-Xv 中的单个 OPUk 的状态。

每个 OPUk 中的一个比特用于从宿到源报告状态, 使用 VCOH的 0-31 字节, 如图 58。编码和操作参考 G.7042。

所有成员的状态共 256 个比特, 在 1567  $\mu$ s (k=1), 390  $\mu$ s (k=2) and 97  $\mu$ s (k=3)中传输。

### 18.1.2.2.2.5 OPUk-Xv LCAS群指示符 (GID)

LCAS 群指示符 (GID) 为接收机提供了一种方法, 可用验证所有来自同一个发送机的通路信号。编码和操作参考 G.7042。

VCOH1[5]的比特 5 为 GID 使用。

### 18.1.2.2.2.6 OPUk-Xv LCAS重排确认 (RS-Ack)

当探测到序列号的增加或者减少时, 重排确认用于从宿到源指示信号的重新排序指示。编码和操作参考 G.7042。

VCOH1[5]的比特 6 用于 RS-Ack。

### 18.1.2.2.2.7 OPUk-Xv LCAS循环冗余校验 (CRC)

8 比特的 CRC 校验用于快速接受虚级联 LCAS OH。CRC-8 将 VCOH1 和 VCOH2 一帧一帧的计算, 并插入 VCOH3。CRC-8 的多项式为  $x^8 + x^2 + x + 1$ 。

### 18.1.2.2.2.8 OPUk-Xv VCOH预留开销

预留 VCOH 全部设置为 0。

### 18.1.2.2.3 OPUk特定映射开销

OPUk 开销的 X 个四字节预留, 为特定映射开销使用。这些字节位于 15X+1 到 16X 列。

对于这些字节的使用—领域特定的客户信号映射机制 (18.2 节定义)。

## 18.2 客户信号映射

### 18.2.1 映射CBR信号 (STM-64/256) 到OPUk-4v

将 CBR 信号 ( $\pm 20$ ppmm 比特容限) 映射进一个 OPUk-4v, 可用采用两种不同的模式 (异步和比特同步), 基于一种通用的 OPUk-4v 帧结果 (图 59)。

注 1: 这类信号如 STM-64 和 STM-256。

注 2: 此映射结果所能容忍的, 在 OPUk-4v 和客户信号之间的最大比特容差为 $\pm 65$ ppmm。其中 OPUk-4v 的比特容差为 $\pm 20$ ppmm, 客户信号的容差为 $\pm 45$ ppmm。

OPUk-4v 的开销中包括了 4 个净荷结构指示符 (PSI), 包括净荷类型 PT 和虚级联净荷类型 vcPT, X 个虚级联开销 (VCOH), 每列有 3 个调整控制 (JC) 字节和一个负调整机会 (NJO)。JC 字节包括 2 个比特的调整控制, 另外 6 个字节为将来的国家标准预留。

此映射下的 OPUk-4v 净荷包括  $4 \times 3808$  字节, 每列包括一个正调整机会 (PJO)。

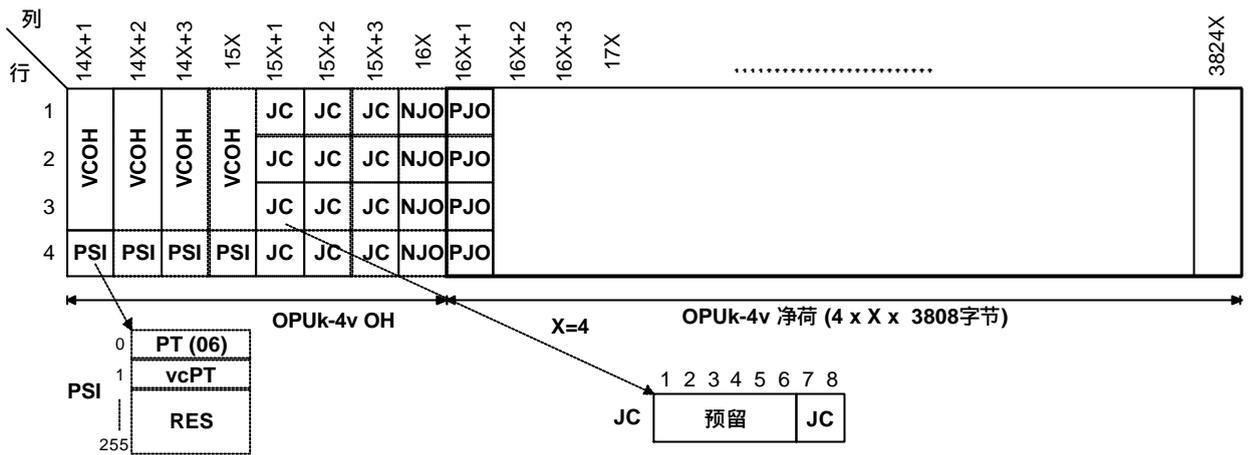


图 59 OPUk-4v 帧结构，映射 CBR10G 或者 CBR40G 信号

调整控制 (JC) 信号，位于 15X+1 (61), 15X+2 和 15X+3，比特 7、8 用来控制两个调整区域，NJO 和 PJO，分别位于每行的 16X 16X+1 列。

异步和比特同步映射处理产生 JC、NJO 和 PJO，如表 17-1 和表 17-2。解映射解释这些字节参照表 17-3，解映射进程的调整决定采用少数服从多数原则，以避免这三个 JC 信号在传输过程中的误码。

NJO/PJO 作为调整字节时全部设置为 0，接收机不处理这些字节的信息。

当到达的 CBR 客户信号失效时 (如输入信号丢失)，失效到达信号将被通用 AIS 信号 (节 16.6.1) 代替，然后复用进 OPUk-4v。

当输入 ODUk/OPUk-4v 信号为失效状态时 (例如 ODUk-AIS、ODUk-LCK、ODUk-OCI)，通用 AIS 将代替丢失的 CBR 信号。

**异步映射**

对于异步映射 OPUk-4v 信号是本地时钟产生的 (在表 3 所指定的范围之内)，与客户信号 CBR 无关。

CBR 信号映射入 OPUk-4v，采用正/付/零 (pnz) 调整方案。

**比特同步映射**

OPUk-4v 用来比特同步映射的时钟来自 CBR 客户信号。当输入客户 CBR 信号失效 (如输入信号丢失)，OPUk-4v 净荷信号比特率将在限定的范围内，并且不能引入频率和帧相位的不连续性。同样当 CBR 信号恢复正常，也不引入频率或帧相位的不连续性。

CBR 信号映射入 OPUk-4v，不采用 OPUk-Xv 帧的调整能力，NJO 包括 4 个调整字节，PJO 包括 4 个调整字节，和 JC 信号都固定为 0。

**18.2.1.1 映射 CBR10G 信号 (STM-64) 到 OPU1-4v**

CBR10G 信号的 8 个连续比特 (不一定属于同一字节) 为一组映射入 OPU1-4v 的数据 (D) 比特 (图 60)。每 OPU1-4v 行 1 次 (允许每 OPU1-4v 帧 4 次)，可以执行正或副的调整操作。

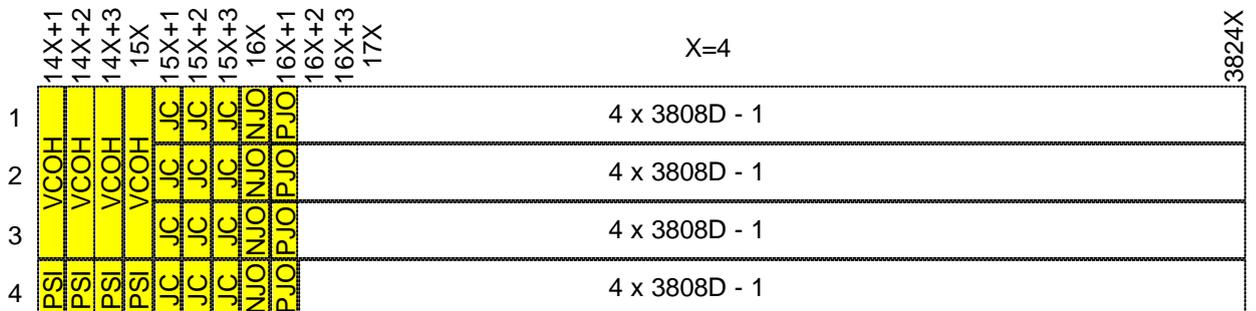


图 60 CBR10G信号映射入 OPU1-4v

**18.2.1.2 映射 CBR40G 信号 (STM-256) 到 OPU2-4v**

CBR40G 信号的 8 个连续比特 (不一定属于同一字节) 为一组映射入 OPU2-4V 的数据比特 (图 61)。64X 固定填充 (FS) 字节增加在 1904X+1 到 1920X 列。每 OPU2-4v 行 1 次 (允许每 OPU2-4v 帧 4 次), 可以执行正或副的调整操作。

	14X+1 14X+2 14X+3 15X 15X+1 15X+2 15X+3 16X 16X+1 16X+2 16X+3 17X	.....	1904X 190X+1 ..... 1920X 1920X+1	.....	3824X
1	VCOH VCOH VCOH VCOH JC JC JC JC JC JC JC JC NJO NJO NJO NJO PJO PJO PJO PJO	4 x 118 x 16D - 1	4 x 16FS	4 x 119 x 16D	
2	VCOH VCOH VCOH VCOH JC JC JC JC JC JC JC JC NJO NJO NJO NJO PJO PJO PJO PJO	4 x 118 x 16D - 1	4 x 16FS	4 x 119 x 16D	
3	VCOH VCOH VCOH VCOH JC JC JC JC JC JC JC JC NJO NJO NJO NJO PJO PJO PJO PJO	4 x 118 x 16D - 1	4 x 16FS	4 x 119 x 16D	
4	PSI PSI PSI PSI JC JC JC JC JC JC JC JC NJO NJO NJO NJO PJO PJO PJO PJO	4 x 118 x 16D - 1	4 x 16FS	4 x 119 x 16D	

图 61 映射 CBR40G 信号到 OPUk-4v

18.2.2 映射 CBR 信号 (如 STM-256) 到 OPUk-4v

映射 CBR 信号 (最大±20ppmm 比特容差) 到 OPUk-16v 可以通过异步和比特同步两种方式, 基于 1 个通用改进的 OPUk-16v 帧结构 (图 62), 这种改进的 OPUk-16v 帧结构将有部分 OPUk-16v OH 分布在帧里, 结果, 15X+5 到 16X 列在 OPUk-16v 净荷区域。

注 1: 这种信号如 STM-256。

注 2: 在此致映射结构下, OPUk-16v 和客户信号时钟之间的最大比特率容差为±65ppm, 其中 OPUk-4v 时钟的容差为±20ppm, 客户信号的容差为±45ppm。

用于此映射的 OPUk-16v 开销有 16 个净荷结构标识符 (PSI) 字节, PSI 包括净荷类型 (PT) 和虚级联净荷类型 (vcPT), X 倍的虚级联开销 (VCOH), 4×3 调整控制 (JC) 字节和每列 4 个负调整 (NJO) 字节。JC 字节包括 2 个比特的调整控制, 其余 6 个比特用于将来的国际标准化应用。

用于此映射 OPUk-16v 净荷包括 4 块, 每块 4×15232 字节, 每行包括 4 个 PJO 字节。

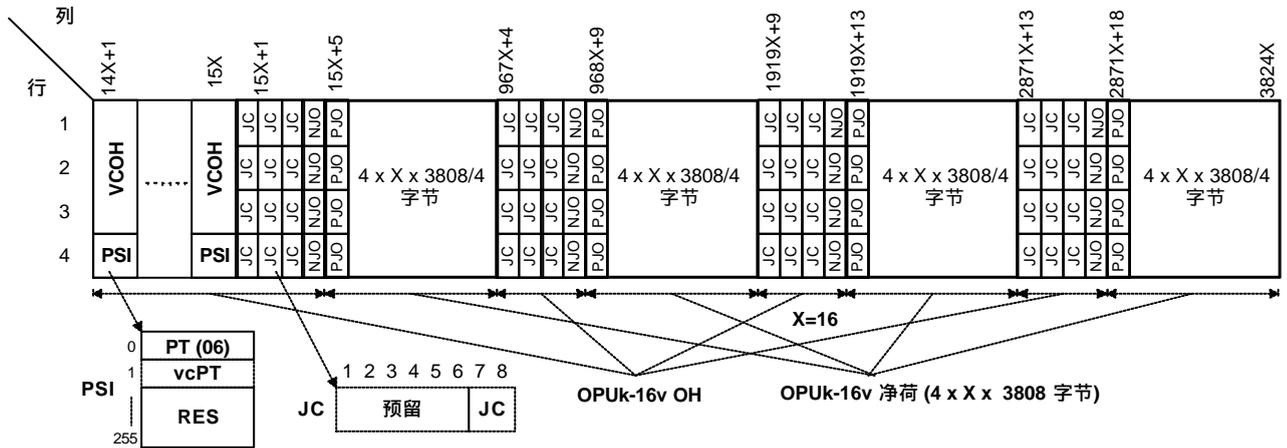


图 62 映射一个 CBR 信号的 OPUk-16v 帧结构

调整控制信号 (JC), 其位置如图 59 所示, 7-8 比特用于控制两个调整机会区域, NJO 和 PJO, 此两个区域在每行的邻近两列中。

异步和比特同步映射过程产生 JC、NJO、PJO, 如表 17-1 和表 17-2。这些字节的解映射处理解释见表 17-3。解映射过程采用少数服从多数原则, 尽量避免传输过程中这三个 JC 信号产生的误码。

NJO 和 PJO 作为调整字节时全部设置为 0, 接收机不处理这些字节的信息。

当输入 CBR 客户信号失效时 (如输入信号丢失), 失效信号将被通用 AIS 信号代替, 然后复用进



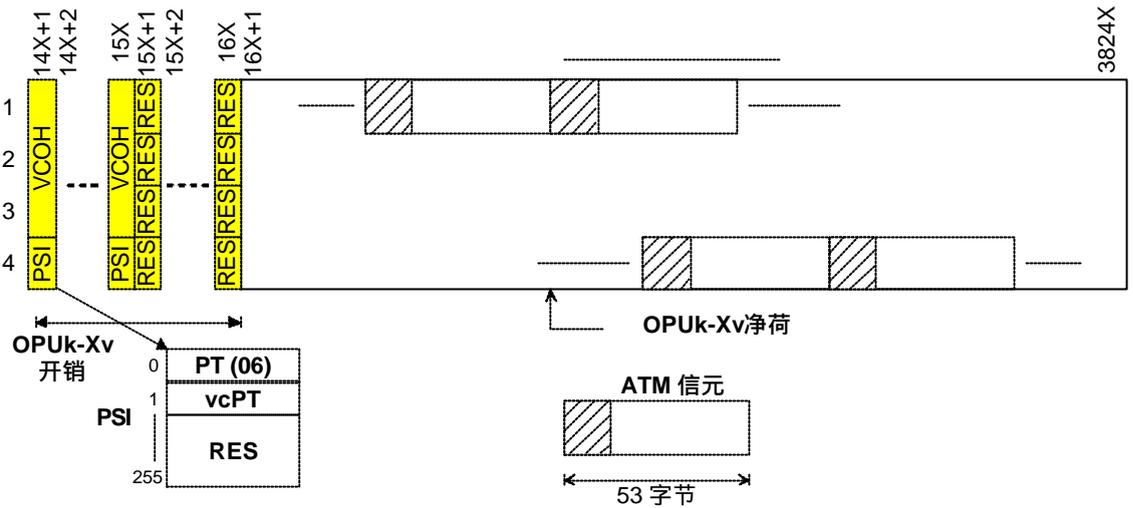


图 64 OPUk-Xv帧结构与映射ATM信元到OPUk-Xv

用于 ATM 映射 OPUk-Xv 开销包括 X 个 PSI 字节，此字节包括净荷类型（PT）和虚级联符合类型（vcPT），X 倍的 3 个虚级联开销（VCOH）字节和 X 倍 4 个字节待国际标准化。

ATM 映射 OPUk-Xv 净荷包括  $4 * 3808X$  字节。

### 18.2.4 GFP帧到OPUk-Xv映射

通用成帧规程（GFP）帧映射通过把每个 GFP 帧的字节结构与 OPUk-Xv 净荷的字节结构进行校准实现。由于 GFP 帧是长度可变的（映射并不限定最大帧的长度），GFP 帧可能穿越 OPUk 帧的边界，GFP 帧包括 GFP 头和 GFP 净荷区。

由于在 GFP 封装阶段加入了 GFP 空闲，GFP 帧以与 OPUk-Xv 净荷区域相同的容量连续比特流到达。GFP 帧流在封装过程中被扰码。

注：在映射阶段没有速率适配或扰码，这些都在 GFP 封装进程中完成。

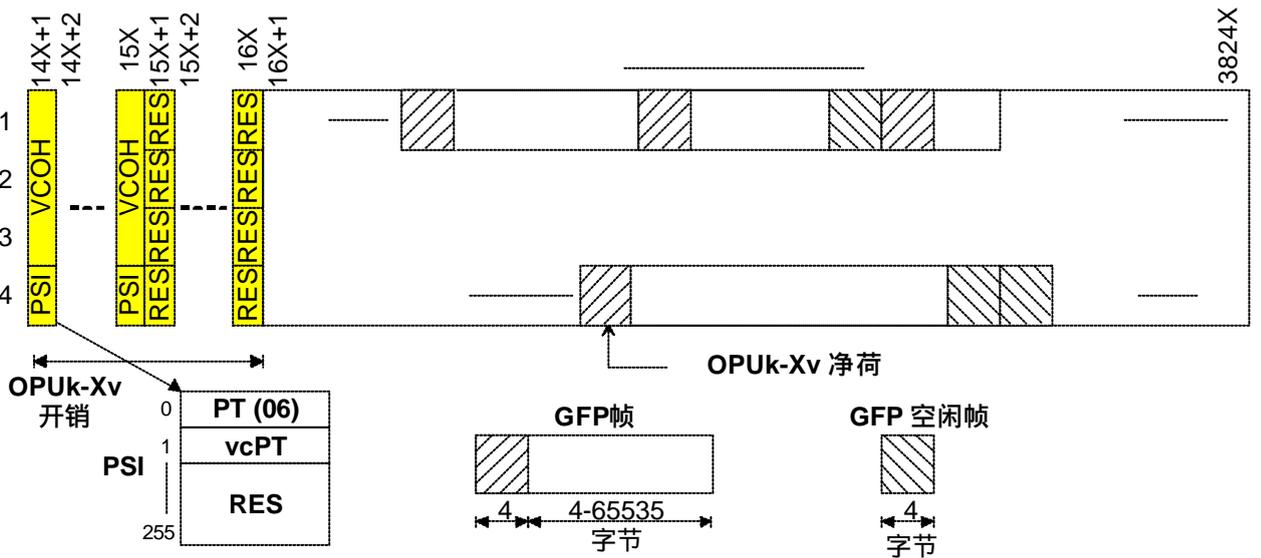


图 65 OPUk-Xv帧结构和GFP到OPUk-Xv的映射

用于 GFP 映射的 ODUk-Xv 开销有 X 倍净荷结构标识符（PSI）字节，包括净荷类型（PT）和虚级联类型（vcPT），X 倍 3 个虚级联开销（VCOH）字节，另外 X 倍 4 个字节待国际标准化。

GFP 映射 OPUk-Xv 净荷包括  $4 * 3808X$  字节

### 18.2.5 测试信号到OPUk-Xv的映射

#### 18.2.5.1 NULL客户信号到OPUk-Xv的映射

OPDUk-Xv 净荷全 0 时 (图 66) 为测试信号, 这时客户信号为 “ NULL ” 信号。

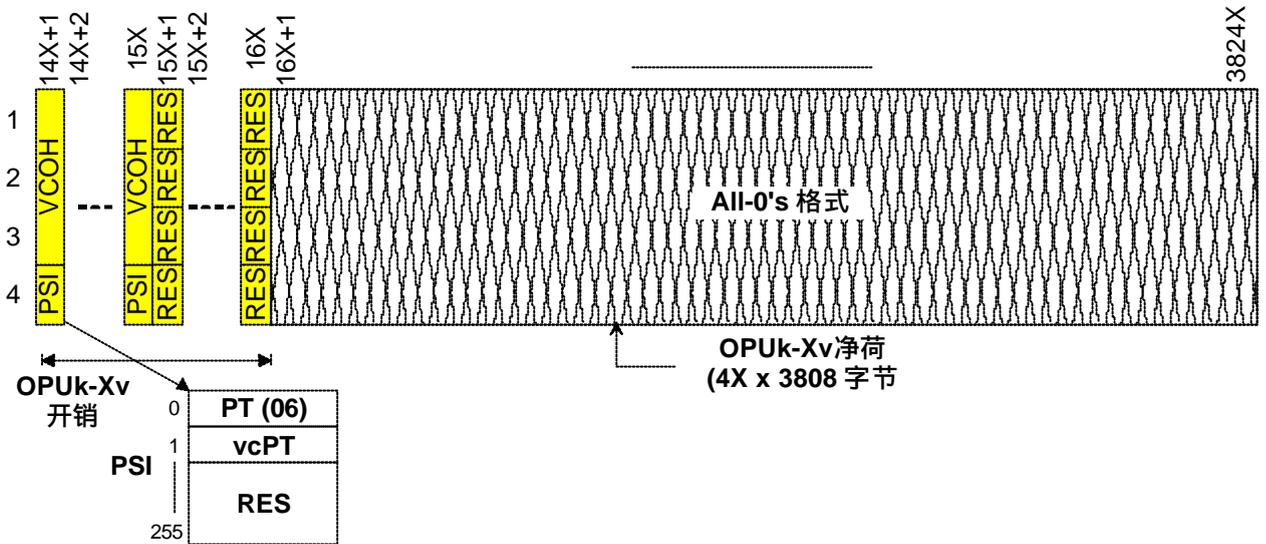


图 66 OPUk 帧结构和 NULL 客户到 OPUk-Xv 的映射

用于“空信号”映射的 ODUk-Xv 开销有 X 倍净荷结构指示符 (PSI) 字节, 包括净荷类型 (PT) 和虚级联类型 (vcPT), X 倍 3 个虚级联开销 (VCOH) 字节和 X 倍 4 个字节待国际标准化。

“空信号”映射 OPUk-Xv 净荷包括  $4 \times 3808X$  字节。

#### 18.2.5.2 PRBS测试信号到OPUk-Xv的映射

为测试目的, 定义了 2147483647 比特的伪随机测试序列 ( $2^{31}-1$ ), 可映射到 OPUk-Xv 净荷。2147483647 比特的伪随机序列信号中的 8 个连续比特为一组, 映射进 ODU3 净荷的 8 数据比特 (图 67)。

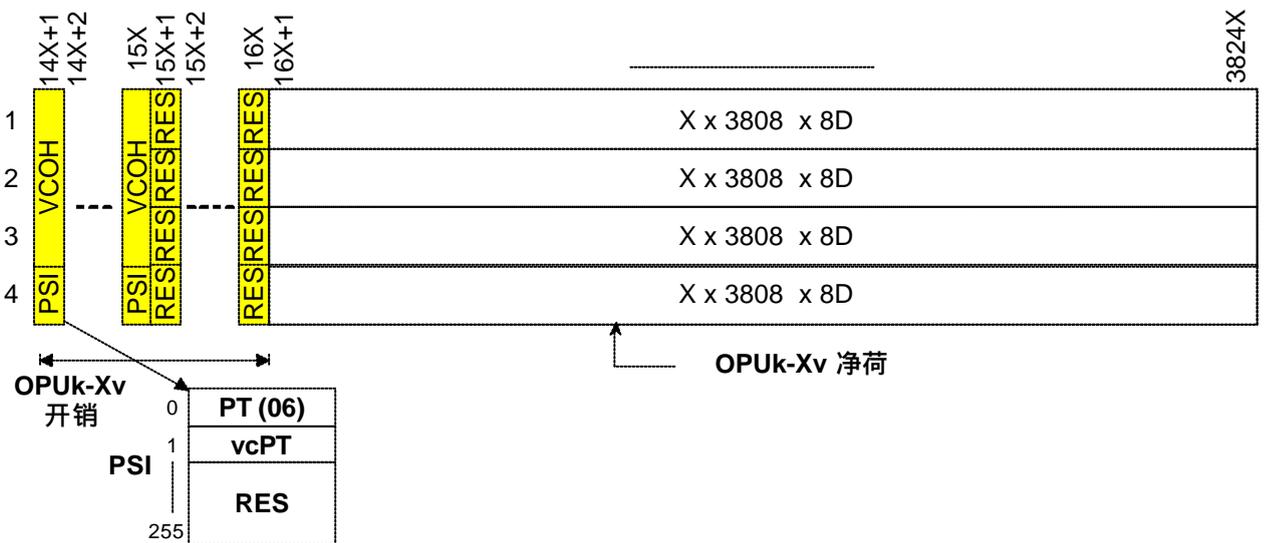


图 67 OPUk-Xv 帧结构和 2147483647 比特的伪随机测试序列到 OPUk-Xv 的映射

PRBS 到 OPUk-Xv 开销的映射包括了 X 个净荷结构指示符 (PSI), 它包括净荷类型 (PT), 虚级联净荷类型 (vcPT), X 倍 3 个虚级联开销 (VCOH), X 倍 4 字节预留等国际标准化。

PRBS 到 OPUk-Xv 的映射包括  $4X \times 3808$  字节。

### 18.2.6 非特定客户比特流到OPUk-Xv的映射

除了映射特定客户信号外，非特定客户信号映射入 OPUk-Xv 也被指定。任何形式的客户信号在封装以后，形成与 OPUk-Xv 净荷相同的比特流，就可以映射入 OPUk-Xv 信号(图 68)。此比特流必须同 OPUk-Xv 信号同步。在连续比特流的形成过程中可以产生任何调整。在映射入 OPUk-Xv 净荷之前，连续比特流必须进行扰码。

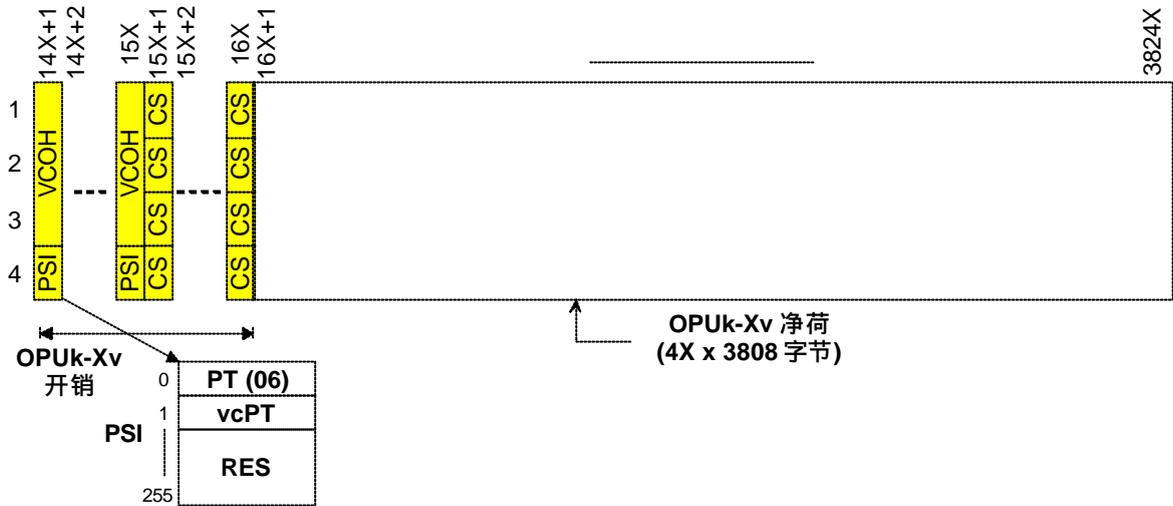


图 68 同步固定比特流到 OPUk-Xv 帧结构的映射

用于“非特定信号”映射的 ODUk-Xv 开销有 X 倍 PSI 字节，包括净荷类型 PT 和虚级联类型 vcPT，X 倍 3 个虚级联开销 VCOH 字节和 X 倍 4 个客户特别目的 CS 字节。CS 字节的定义在封装进程中进行处理

用于“非特定客户信号”映射的 OPUk-Xv 净荷包括 4\* 3808X 字节

### 18.2.6.1 映射字节定时的比特流到 OPUk-Xv

如果 8 比特定信息存在，输入数据流 8 比特（1 个字节）将映射入 OPUk-Xv 净荷一个数据字节。

### 18.2.6.2 映射无字节定时的比特流到 OPUk-Xv

如果不存在 8 比特定信息，输入数据流 8 个连续比特（不一定是 1 个字节）为一组映射入 OPUk-Xv 净荷一个数据字节

## 18.3 虚级联 LCAS

参考 G.7042。

## 19 ODUk 到 ODTUjk 信号的映射

### 19.1 OPUk 支路单元定义

OPUk 可以被分割为一系列 TS 支路单元，这些支路单元在 OPUk 中间插复用。一个支路单元包括部分 OPUk 开销和 OPUk 净荷，ODUj 帧字节映射入 OPUk 支路单元净荷区域，ODTUjk 调整开销字节映射入 OPUk 开销区域。

#### 19.1.1 OPU2 支路单元的分配

表 17 描述了 OPU2 支路单元的分配情况，一个 OPU2 支路单元占用 25% 的 OPU2 净荷，它具有 952 列，4 行，4 个 OPU2 支路单元字节间插复用成为 OPU2 的净荷区域。另外，4 个 OPU2 支路的调整开销（JOH）也位于净荷区域（位于 16 列的 1-4 行），它由调整控制（JC）字节和负调整机会（NJO）字节组成。基于每帧为单位，JOH 被分配给相关的支路单元。对于支路单元来说，每 4 帧有一个 JOH，JOH 分配可以看作 4 帧的复帧。复帧结构锁定了 MFAS 字节的 7、8 比特。

表 17 OPU2 调整开销支路单元

MFAS bits	JOH TS
-----------	--------

78	
00	1
01	2
10	3
11	4

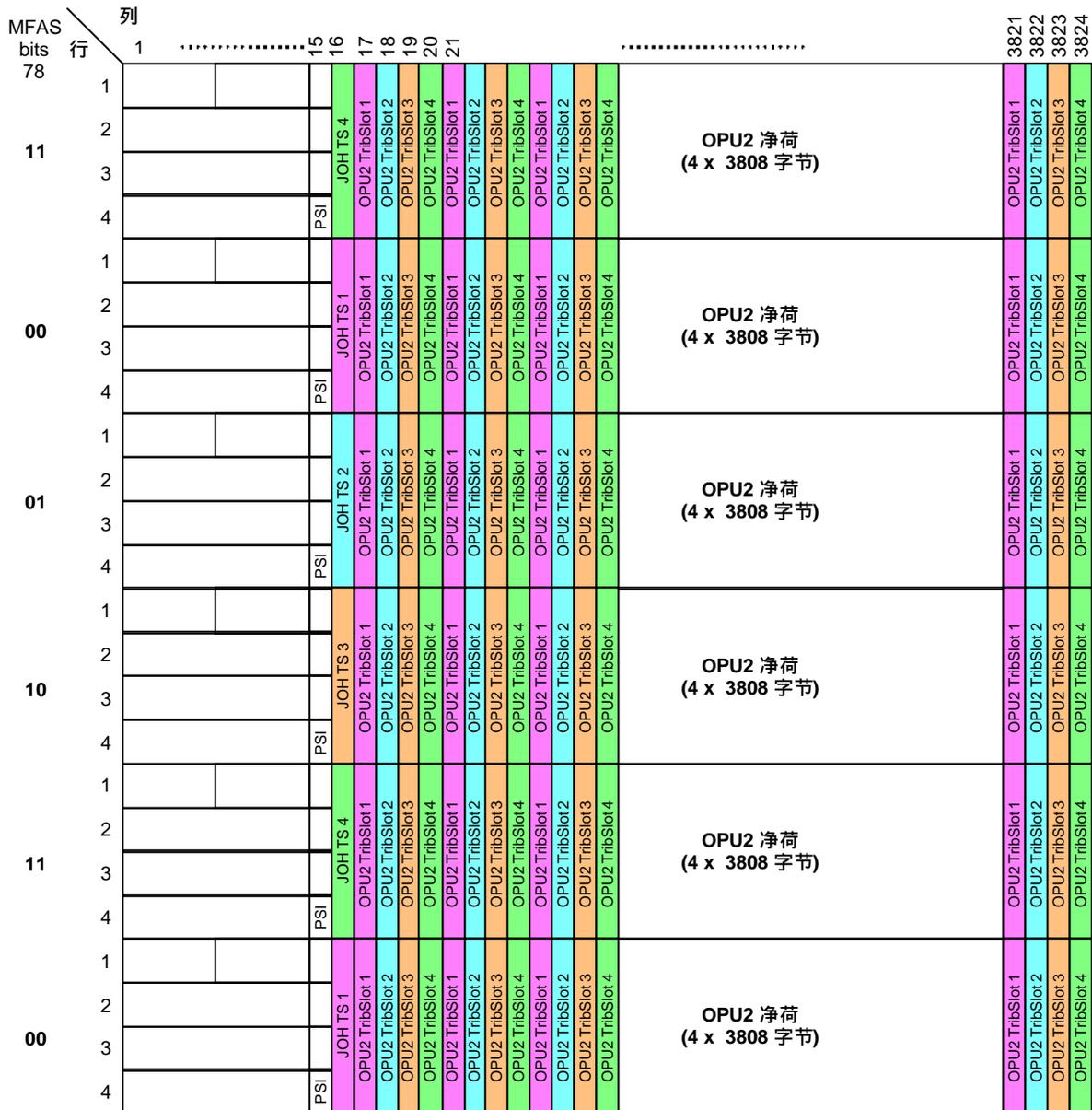


图 69 OPU2 支路单元的分配

### 19.1.2 OPU3支路单元的分配

表 17 描述了 OPU2 支路单元的分配情况，OPU3 占用了 OPU3 净荷区域的 6.25%，它由 238 列、4 行组成，16 个 OPU TS 字节复用成为 OPU3 净荷区域。另外，16 个 OPU3 TS JOH 调整开销位于开销区域的 16 列 1-4 行，包括开销区域调整控制 JC 和负调整机会 NJO。基于每帧为单位，JOH 被分配给相关的支路单元。对于支路单元来说，每 16 帧有一个 JOH，JOH 分配可以看作 16 帧的复帧。复帧结构锁定了 MFAS 字节的 5、6、7、8 比特，如表 18 所示。

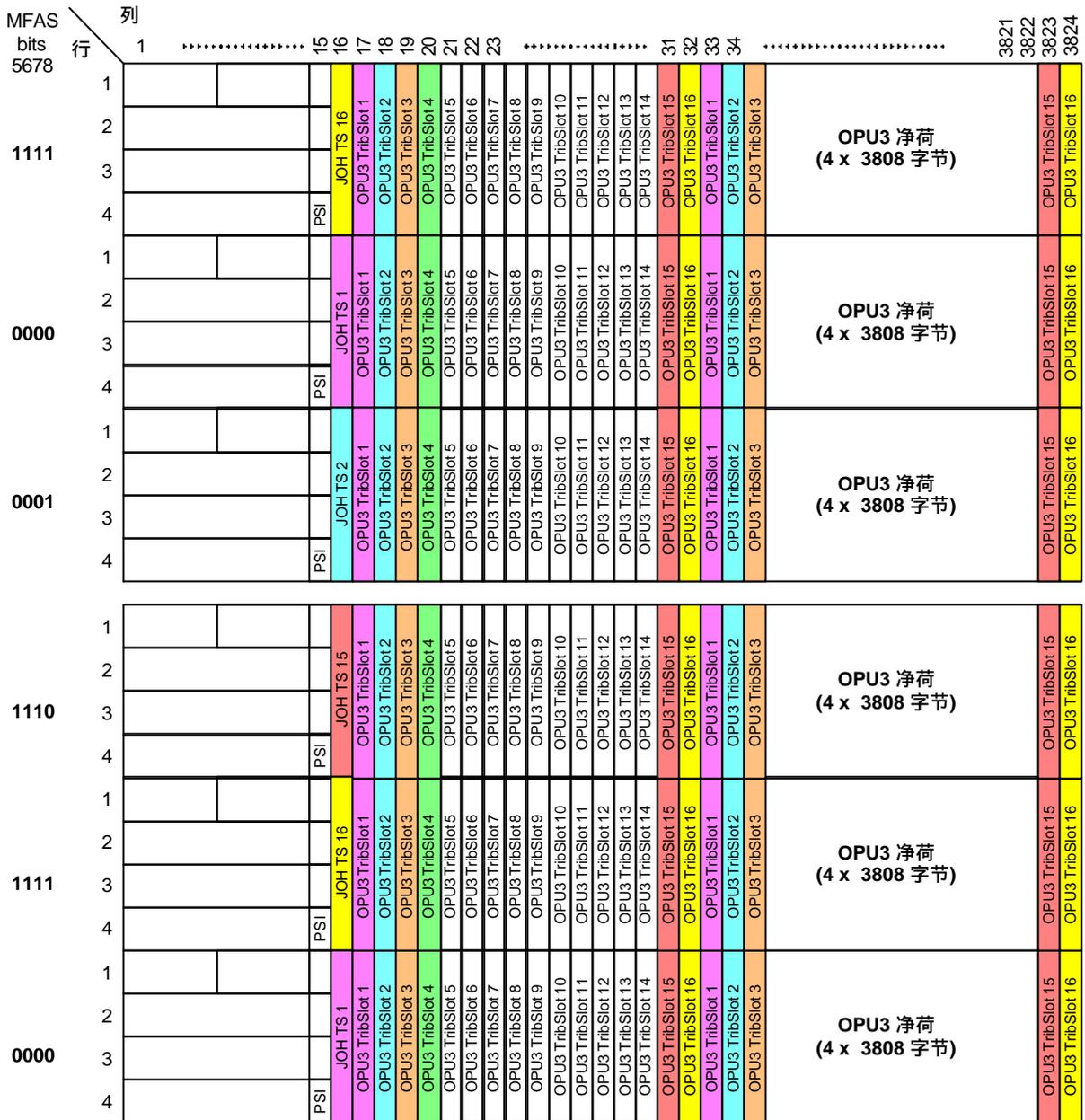


图 70 OPU3支路单元的分配

表 18 OPU3 调整开销支路单元

MFAS bits	JOH TS	MFAS bits	JOH TS
5678		5678	
0000	1	1000	9
0001	2	1001	10
0010	3	1010	11
0011	4	1011	12
0100	5	1100	13
0101	6	1101	14
0110	7	1110	15
0111	8	1111	16

## 19.2 ODTU<sub>jk</sub>定义

### 19.2.1 ODTU12

光通路数据支路单元 12 (ODTU12) 结构为 16 行 952 列, 另外再加上 1 列 JOH, 它承载一个调整的 ODU1 信号。OTU12 的结构如图 79 所示, JOH 列的位置与 ODTU12 复用到 OPU2 中所对应的 OPU2 TS 有关 (见 19.1.1)。

### 19.2.2 ODTU13

光通路数据支路单元 13 (ODTU13) 结构为 64 行 238 列, 另外再加上 1 列 JOH, 它承载一个调整的 ODU1 信号。OTU13 的结构如图 80 所示, JOH 列的位置与 ODTU13 复用到 OPU3 中所对应的 OPU3 TS 有关 (见 19.1.2)。

### 19.2.3 ODTU23

光通路数据支路单元 23 (ODTU23) 结构为 64 行 952 列, 另外再加上 4×1 列 JOH, 它承载一个调整的 ODU2 信号。OTU23 的结构如图 81 所示, JOH 列的位置与 ODTU23 复用到 OPU3 中所对应的 OPU3 TS 有关 (见 19.1.2), 它们可能不是均匀分布的。

## 19.3 ODTU<sub>jk</sub> 信号到 OPU<sub>k</sub>的复用

复用 ODTU12 信号到 OPU2 可以通过映射 ODTU12 信号到 4 个 OPU2TS 任意一个实现。

复用 ODTU13 信号到 OPU3 可以通过映射 ODTU13 信号到 16 个 OPU3 TS 任意一个中实现。

复用 ODTU23 信号到 OPU3 可以通过映射 ODTU23 信号到 16 个 OPU3 TS 中的任意 4 个实现, OPU3 TS<sub>a</sub>, TS<sub>b</sub>, TS<sub>c</sub> and TS<sub>d</sub> ( $1 \leq a < b < c < d \leq 16$ .)。

注:  $a, b, c, d$  不一定要顺序排列 ( $a=i, b=i+1, c=i+2, d=i+3$ ), 为了提高带宽资源的利用率, 它们的数值可以是任意选择的。

复用信号 OPU<sub>k</sub> 开销包括净荷结构指示 PSI, 它包括净荷类型 PT 和复用结构指示 MSI, 3 个 JC 字节、1 个负调整机会 NJO 字节和 3 个待国际化的字节。JC 字节 2 个比特用于调整控制, 另外 6 个比特待国际化。3 个 JC 字节, 位于如图 69 和图 70 所示的行/列/帧, 用来控制 3 个调整机会, NJO、第 4 行的 PJO1 和 PJO2。

### 19.3.1 ODTU12 到 OPU2支路单元的映射

ODTU12 信号的每个字节映射入 OPU2 TS # $i$ ( $i=1,2,3,4$ ) 一个字节, ODTU12 JOH 的每一个字节映射入 OPU2 OH 分配给 OPU2 TS # $i$  的 JOH 的字节, 如图 71 所示。

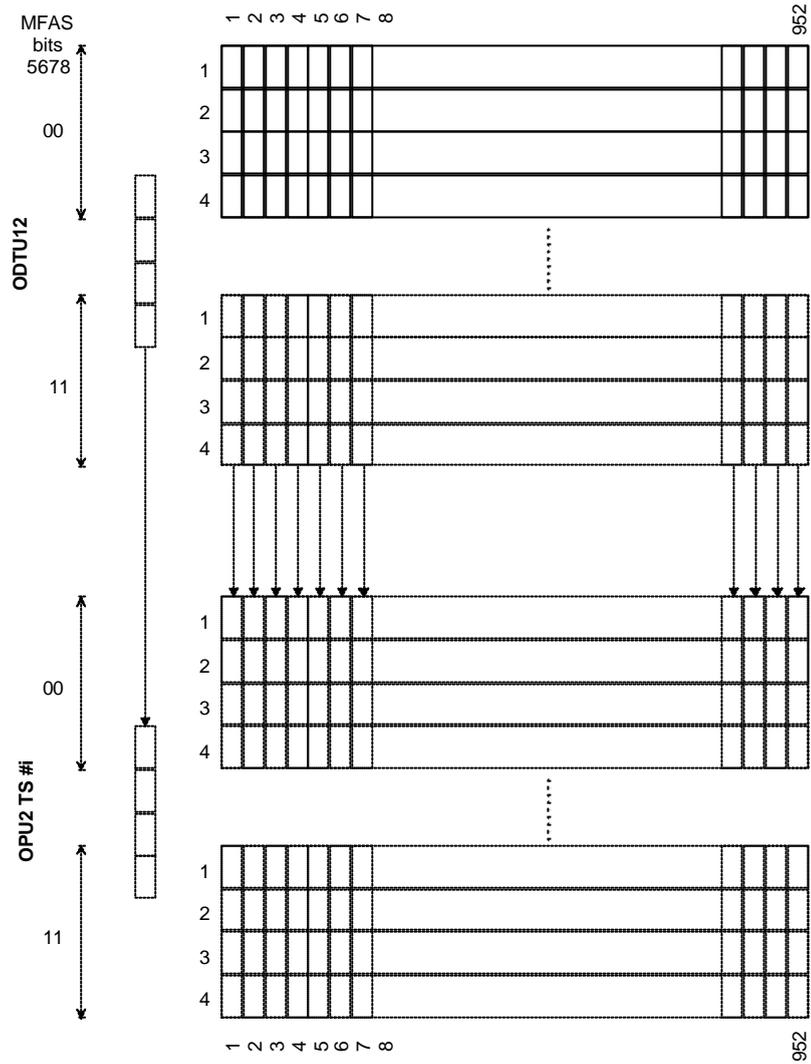


图 71 (不包括JOH) 到OPU2 TS的映射

### 19.3.2 ODTU13 到OPU3 TS 的映射

ODTU13 信号的每个字节映射入 OPU3 TS # $i$  ( $i=1,2,..,16$ ) 一个字节, ODTU13 JOH 的每一个字节映射入 OPU3 OH 分配给 OPU3 TS # $i$  的 JOH 的字节, 如图 72 所示。

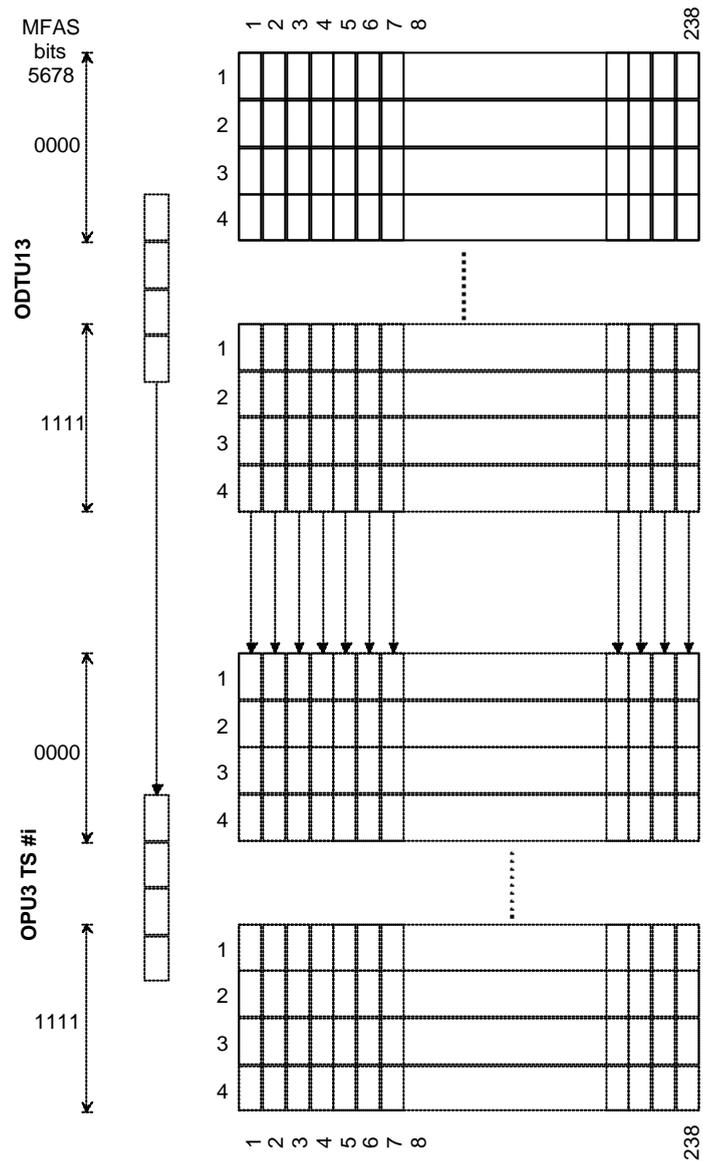


图 72 ODTU13（不包括JOH）到OPU3 TS 的映射

### 19.3.3 ODTU23 到四个OPU3 TS 的映射

ODTU23 信号的一个字节映射入 4 个 OPU3 TS #A, B, C, D (A,B,C,D = 1,2,...,16) 中任意一个 TS 的一个字节里, ODTU23 JOH 的一个字节映射入 OPU3OH 分配给 OPU3 TS #a, b, c, d.的 JOH 的一个字节, 如图 73 所示。

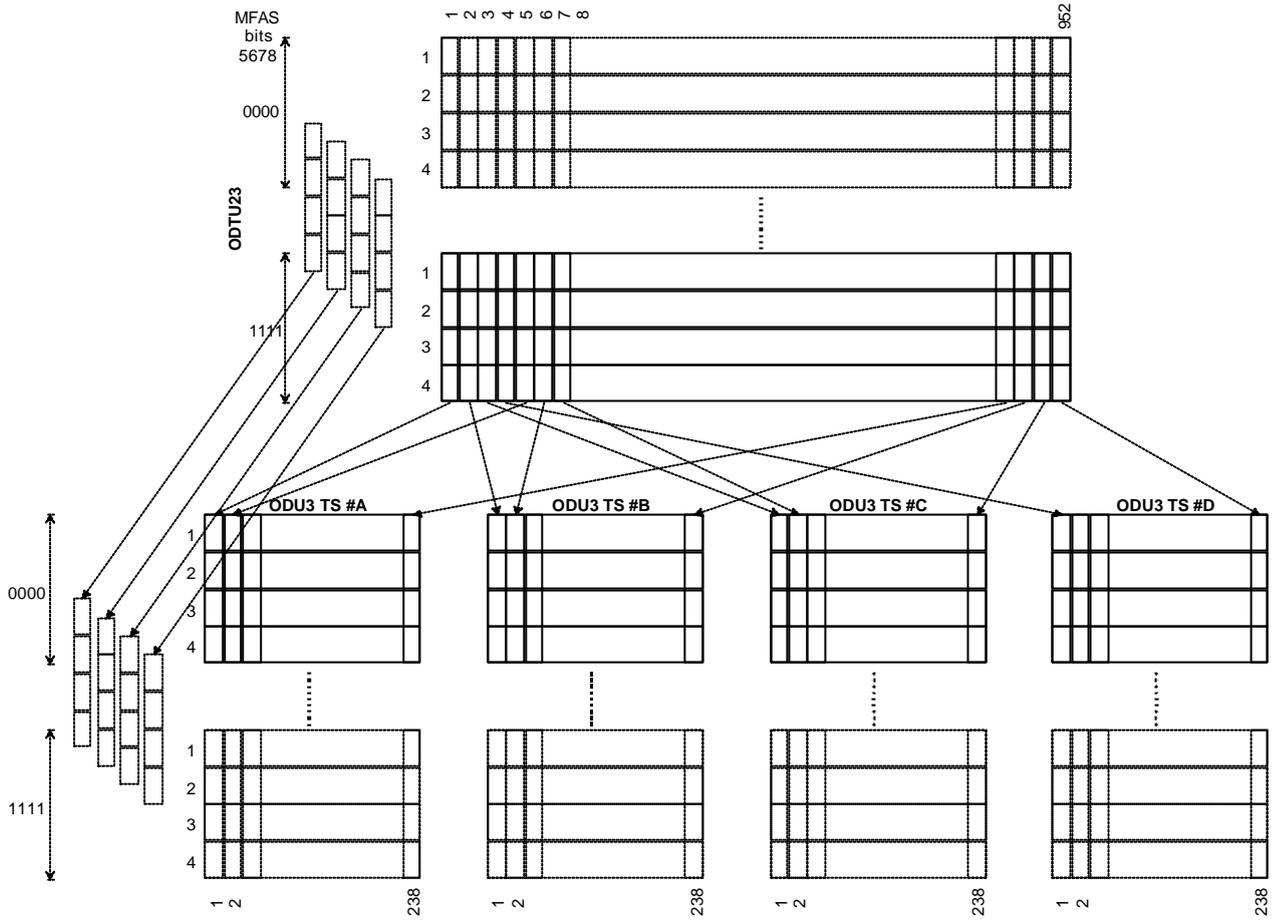


图 73 ODTU23 (不包括JOH)到4个 OPU3 TS (#A, #B, #C, #D 并且 A<B<C<D) 的映射

#### 19.4 OPUk 复用开销

OPUk 复用开销由复用结构指示 MSI、调整控制 JC 和负调整机会开销 NJO。OPUk 的 MSI、JC、NJP 的位置如图 74 所示。还有 2 个正调整字节 PJO1、PJO2，位于 OPUk 开销内，但这两个字节是与复帧相关的，也就是复帧结构。

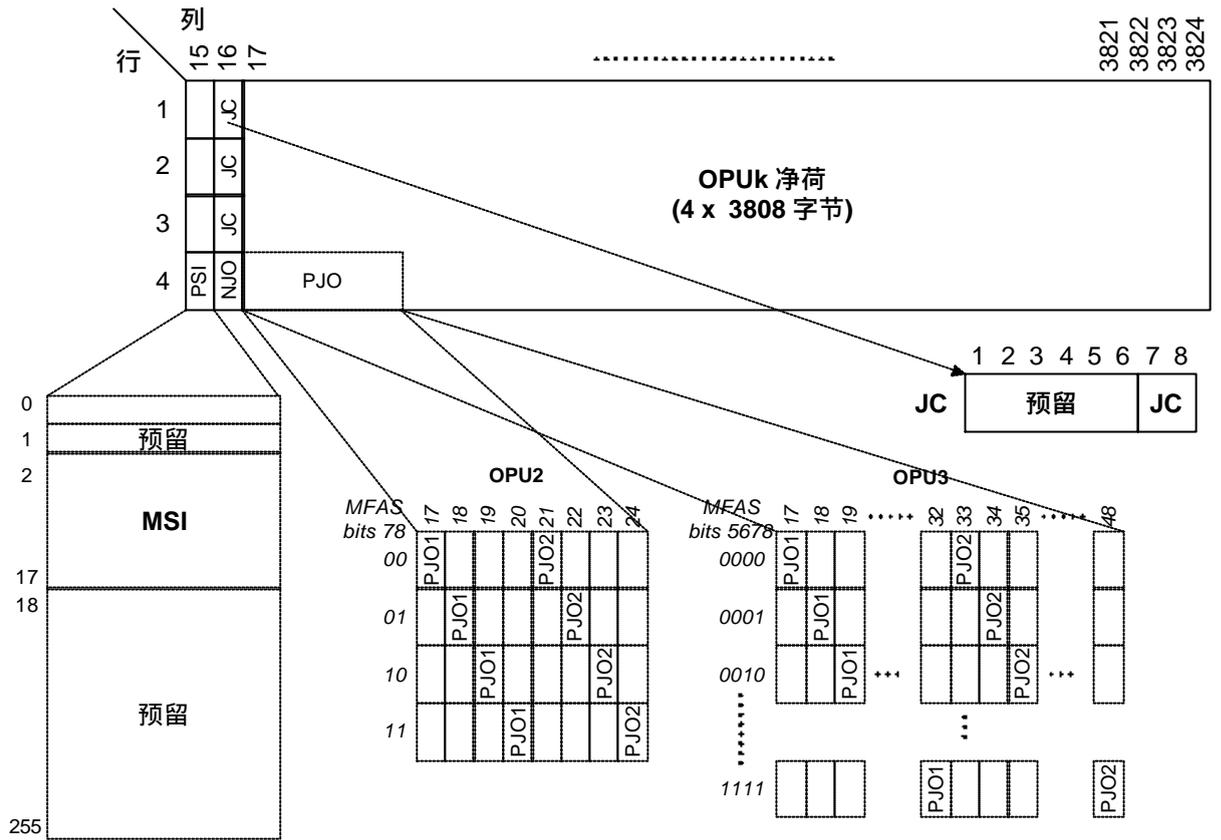


图 74 OPUk 复用开销

### 19.4.1 OPUk 复用结构指示符 (MSI)

复用结构的 MSI 开销，将 OPU 在 ODU 复用结构进行编码，MSI 位于 PSI 信号的映射特别区域 PSI[2] .. PSI[17]，MSI 指示每个 OPU TS 的内容，对 TS 的编码如图 75 所示，每一个字节用于一个 TS。

- 比特 1、2 指示 TS 传送的 ODU 类型
- 比特 3 - 8 指示传送 ODU 支路端口，这对于灵活指配 ODU 到支路时隙（例如 ODU2 到 OPU3）非常重要。对于固定分配，支路端口对应于支路时隙。

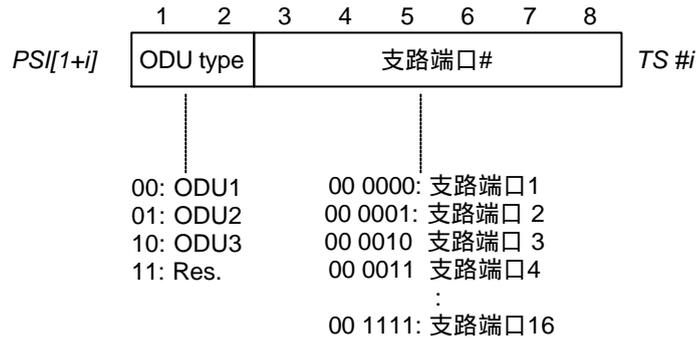


图 75 MSI 编码

**19.4.1.1 OPU2 复用结构指示符 (MSI)**

对于 4 个 OPU2 支路，采用了 4 个 PSI 字节，如图 76 所示：

- ODU 类型被固定为 ODU1
- 支路端口#指示了 ODU1 在 TS 传送的端口，分配给支路时隙的端口是固定的，端口的编号就是支路时隙的编号。

其他的 PSI 映射特别区域没有利用，它们设置为 0，接收机不予处理。

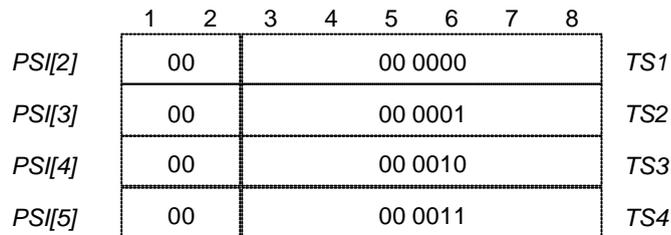


图 76 OPU2-MSI 编码

**19.4.1.2 OPU3 复用结构指示符 (MSI)**

对于 16 OPU 支路时隙，采用了 16 个 PSI 字节，如图 77 所示：

- ODU 类型指示了 OPU3 TS 是否 承载了 ODU1 或 ODU2
- 支路端口 # 说明了 ODU1/2 在 TS 传送的支路端口，对于 ODU2，可以实现灵活地支路端口-支路时隙的灵活指配，对于 ODU1，这种分配是固定的，端口号码与时隙号码相同，ODU2 的支路端口编号为从 1 到 4。

	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>PSI[2]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS1</i>
<i>PSI[3]</i>	ODU type	支路端口 #							<i>TS2</i>
<i>PSI[4]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS3</i>
<i>PSI[5]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS4</i>
<i>PSI[6]</i>	ODU type	支路端口 #							<i>TS5</i>
<i>PSI[7]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS6</i>
<i>PSI[8]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS7</i>
<i>PSI[9]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS8</i>
<i>PSI[10]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS9</i>
<i>PSI[11]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS10</i>
<i>PSI[12]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS11</i>
<i>PSI[13]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS12</i>
<i>PSI[14]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS13</i>
<i>PSI[15]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS14</i>
<i>PSI[16]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS15</i>
<i>PSI[17]</i>	ODU type	支路端口#							<i>TS16</i>

图 77 OPU3-MSI 编码

#### 19.4.2 OPUk 净荷结构指示保留开销 (RES)

OPUk PSI 中 239 个字节待国际标准化。这些字节位于 PS[1]和 PSI[18]-PSI[255]，这些字节全被置零。

#### 19.4.3 OPUk 复用调整开销 (JOH)

调整开销 JOH 位于 OPUk 的 16 列，如图 74 所示，它由 3 个 JC 字节和 1 个 NJP 字节组成，3 个 JC 字节位于 16 列的 (1-3) 行，NJO 在第 4 行。

JC 字节的 7、8 比特用来调整控制，其他 6 个比特待国际标准化

#### 19.5 ODUj 到 ODTUjk 的映射

将 ODUj (20ppm 比特容忍度) 映射入 ODTUjk 采用的是异步方式。

注：采用异步映射方式，OPUk 与 ODUj 之间的最大比特容差为 -113 到 +83 ppm (ODU1 - OPU2)，-96 到 +101 ppm (ODU1 - OPU3) and -95 到 +101 ppm (ODU2 - OPU3)。

ODUj 信号可以通过增加帧定位信号进行扩展 (见 15.6.2.1 和 15.6.2.2)，OTUj 开销区域全部设置为 0 (见图 78)。复用 ODUj 结构的 OPUk 信号时钟来自本地 (见表 7-3)，与客户信号 ODUj (j=1, 2) 无关。采用异步映射的方法，通过 -1/0/+1/+2 的调整策略可以把扩展的 ODUj 信号适配到本地时钟控制的 ODUk，ODUj 的字节映射入 ODTUjk 字节里。

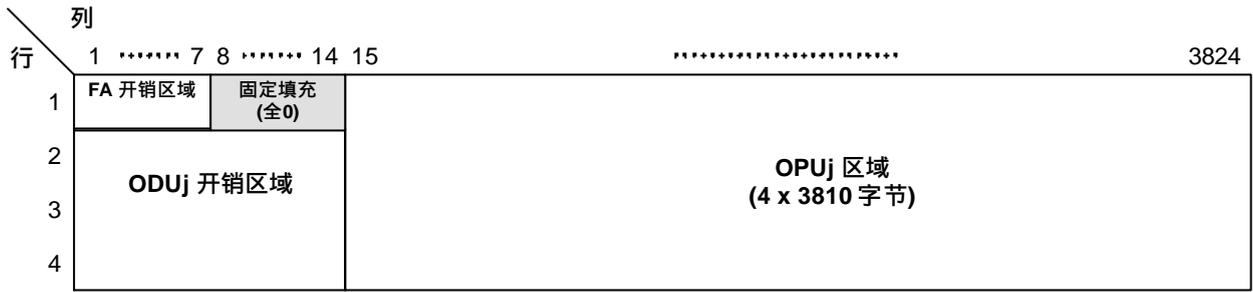


图 78 扩展的ODUj 帧结构 (包括FA OH , OTUj OH 区域包括固定填充字节)

异步映射处理产生了 JC、NJO、PJO1 和 PJO2，已经解映射进程对 JC、NJO、PJO1、PJO2 的处理见表 19。为了防止在解映射过程中出现错误，JC 字节的确认将采用多数原则（3 个中两个相同为准）。

表 19JC, NJO, PJO1和 PJO2 的产生和解释

JC [7,8]	NJO	PJO1	PJO2	解释
00	判决字节	数据字节	数据字节	无判决(0)
01	data byte	数据字节	数据字节	负判决 (-1)
10	判决字节	判决字节	判决字节	双正判决 (+2)
11	判决字节	判决字节	判决字节	正判决 (+1)

NJO PJO1 PJO2 当用来作调整字节时全部设置为 0，只要它们作为调整字节，接收机必须忽略这些字节的取值。当 ODUj 客户信号出现失效时（例如 OTUj-LOF），失效的输入信号将包括 ODUj-AIS 信号（见 16.5.1），该 AIS 信号接着被复用到 ODTUjk。当接收到 ODUj 为 ODUj-OCI 信号时（见 16.5.2），该 OCI 信号就被复用到 ODTUjk 中。

注：不是所有设备都具有真实的连接功能（交换结构），支路接口端口的有无代表了矩阵连接的有无，如果该单元是故意不存在的（例如没有安装），相关的 ODTUjk 信号将承载 ODUj-OCI 信号。如果该单元实际存在只是临时进行修复，则相关的 ODTUjk 信号将承载 ODUj-AIS 信号。

OPUk 信号和 ODTUjk (k=2, 3) 信号通过本地时钟产生，和 ODUj (j=2, 3) 信号无关。

ODUj (j=2, 3) 到 ODTUjk (k=2, 3) 的映射，可以通过 -1/0/+1/+2 调整策略来实现。

ODUj 信号从 ODTUjk (j=1, 2; k=2, 3) 的解映射通过调整开销，将扩展的 ODUj 信号从 OPUk 净荷中解出来。在输出口得到的 OTUj 信号，扩展的 ODUj 信号通过同步帧复用到 OTUj 信号。

在输入信号 ODUk/OPUk 失效情况下（当出现 ODUk-AIS, ODUk-LCK, ODUk-OCI），ODUj-AIS 图案代替丢失的 ODUj 信号。

### 19.5.1 ODU1 到 ODTU12 的映射

ODU1 的字节映射入 ODTU12 的信息字节（见图 79），每 4 个 OPU2 帧，可以进行一次正调整或负调整。在哪一帧进行调整操作与 ODTU12 映射入 OPU2 的 JOH 有关，图 19-11 给出了 ODTU12 映射入 OPU2 TS1 中的情况。

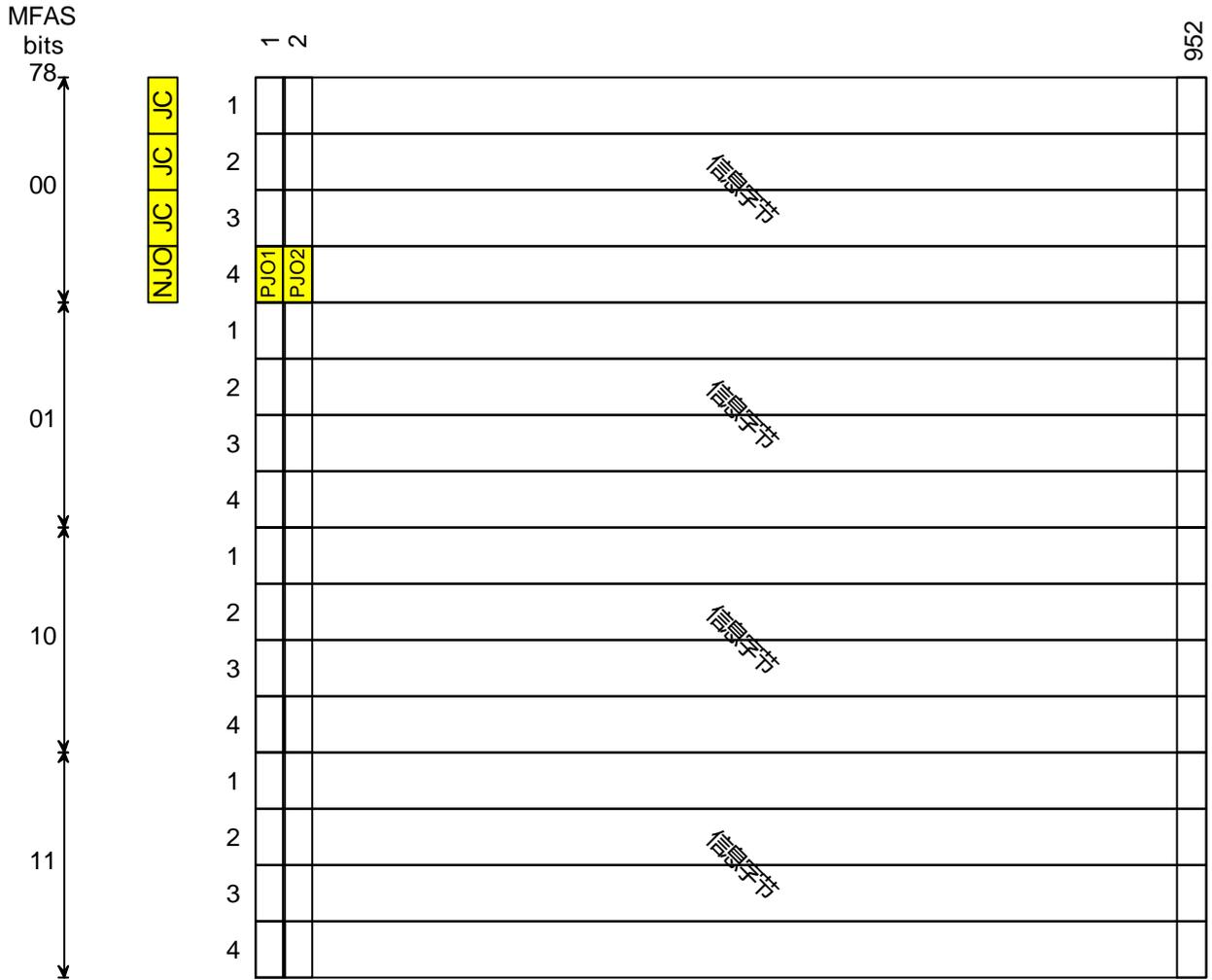


图 79 ODTU12帧格式 和ODU1的映射 (映射入 TS1)

### 19.5.2 ODU1 到 ODTU13的映射

ODU1 信号的字节映射入 ODTU13 的信息字节 (见图 80), ODTU13 中的第 119 列为固定填充, 全部设置为 0。每隔 16 OPU3 帧, 可以进行一次正的或负的调整。

具体在哪一帧进行调整, 与 ODTU13 映射到哪一个 OPU3 TS JOH 有关, 图 80 给出了映射到 OPU3 TS3 的情况。

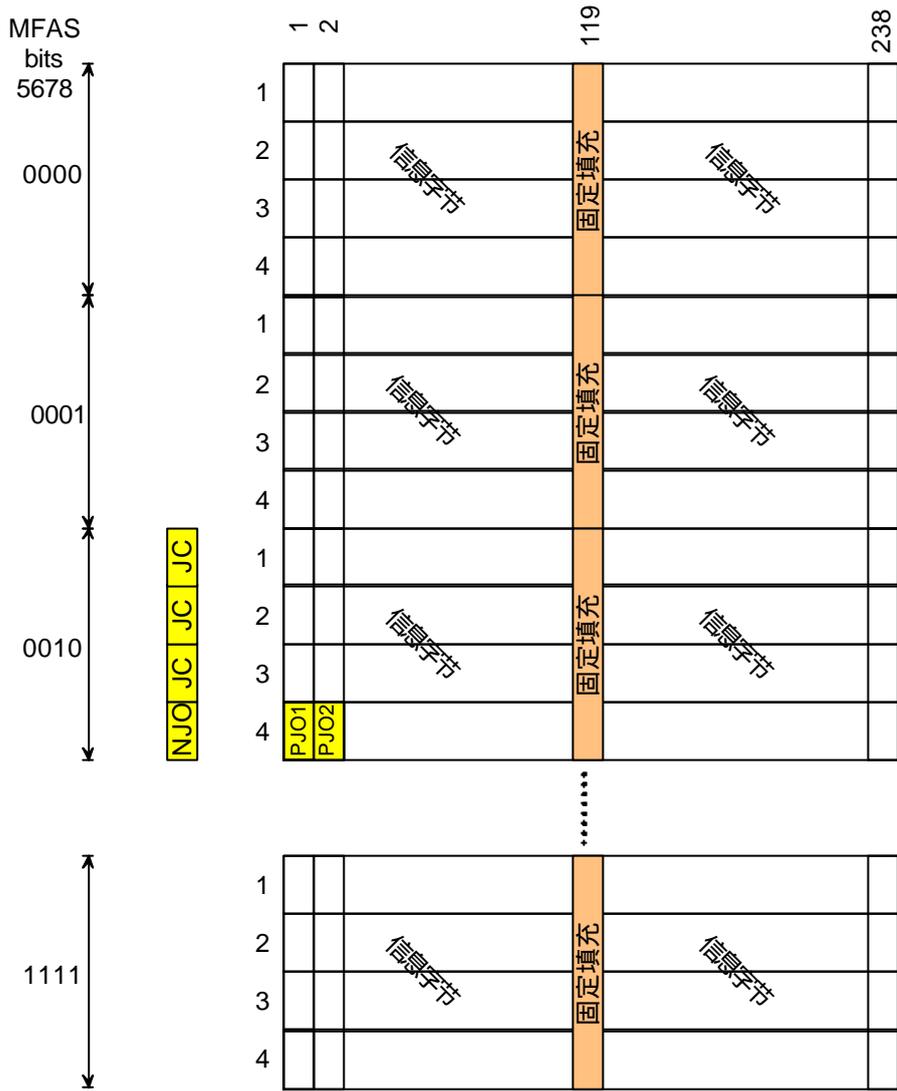


图 80 ODTU13 的帧格式和 ODU1 的映射（映射到TS3）

### 19.5.3 ODU2到 ODTU23的映射

ODU2 信号的字节映射入 ODTU23 的信息字节（见图 81），每 16OPU3 帧，可以进行 4 次正的或者负的调整。

具体在 4 帧中的哪一帧进行调整与 ODTU23 映射入的 OPU3 TS 的 JOH 有关，图 81 给出了映射到 OPU3 的 TS 1 TS 5 TS9 和 TS 的情况。

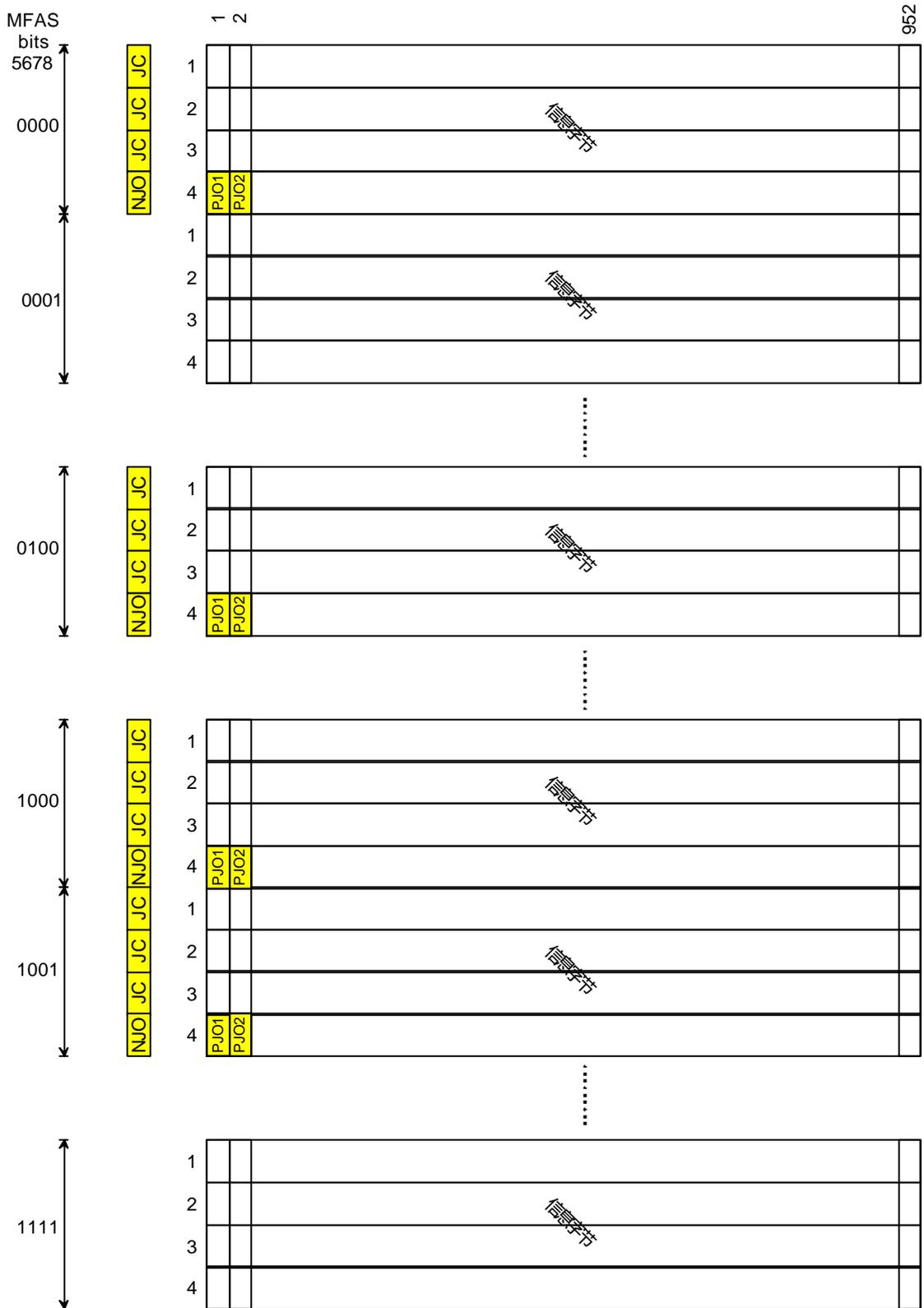


图 81 ODTU23 的帧结构和 ODU2 的映射 (映射到TS1,5,9,10)

附件 A 使用 16 字节间插的 RS 编解码器的前向纠错技术

OTU-k 应用的前向纠错技术 (FEC) 采用 16 字节间插的编解码器, 它使用 Reed-Solomon RS (255, 239) 编码技术。RS 编码是非二进制编码, 属于系统线性循环分组码的一种。

FEC 的过程如图 A.1 所示。OTU 的每一行使用字节间插的方法拆分成 16 个子行。每一个 FEC 的编码器和解码器处理其中的一个子行。根据每一个子行的第 1 到第 239 个信息字节计算出来的 FEC 奇偶校验字节被安置在同一个子行的第 240 到第 255 个字节。

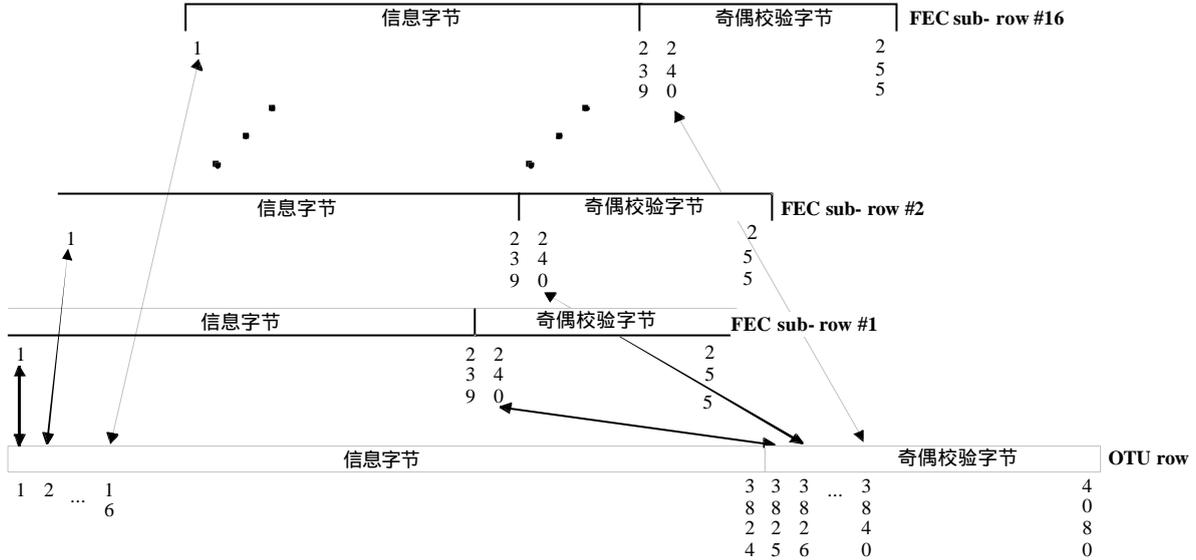


图 A.1 FEC 子行

属于 FEC 子行的字节 X 在 OTU 行中的位置表示为： $X+16 \times (i-1)$  ( $i = 1 \dots 255$ )

编码的生成多项式表示为： $G(z) = \prod_{i=0}^{15} (z - \alpha^i)$

其中  $\alpha$  是二进制多项式  $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$  的根。

FEC 编码包括信息码和校验码, 用多项式表示为： $C(z) = I(z) + R(z)$ , 如图 A.2 所示。

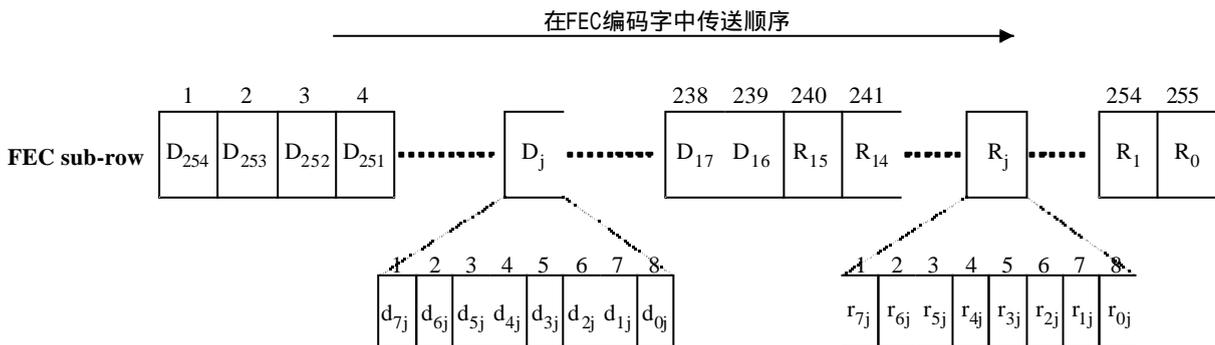


图 A.2 FEC 编码

信息码表示为： $I(z) = D_{254} \cdot z^{254} + D_{253} \cdot z^{253} + \dots + D_{16} \cdot z^{16}$

其中  $D_j$  ( $j = 16 \dots 254$ ) 是由 GF (256) 中的一个元素代表的信息码, 并且

$$D_j = d_{7j} \cdot \alpha^7 + d_{6j} \cdot \alpha^6 + \dots + d_{1j} \cdot \alpha^1 + d_{0j} \text{。}$$

$d_{7j}$  比特是信息码的 MSB,  $d_{0j}$  比特是信息码的 LSB。  $D_{254}$  和  $D_{16}$  分别对应着 FEC 子行中的第一

个字节和第 239 个字节。

奇偶校验码表示为： $R(z) = R_{15} \cdot z^{15} + R_{14} \cdot z^{14} + \dots + R_1 \cdot z^1 + R_0$ 。其中  $R_j$  ( $j = 0 \dots 15$ ) 是由 GF(256) 中的一个元素代表的奇偶校验码。 $r_{7j}$  和  $r_{0j}$  比特分别是奇偶校验码的 MSB 和 LSB。 $R_{15}$  和  $R_0$  分别对应着 FEC 子行中的第 240 和第 255 个字节。

$R(z)$  由以下公式计算： $R(z) = I(z) \bmod G(z)$ 。其中“mod”表示为以 GF(256) 中的元素为模进行取模运算。GF(256) 中的每一个元素都由二进制多项式  $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$  来确定。

RS 编码的汉明距离为  $d_{\min} = 17$ ，这种编码技术可以最多纠正 8 个符号错误，如果只是用来检验，那么可以最多检验 16 个符号错误。

## 附录 B 固定比特率 2.5G、10G 和 40G 信号最大允许频偏为±20 ppm 的情况下异步映射入 OPU<sub>k</sub> 和 ODU<sub>j</sub> 复用到 ODU<sub>k</sub> (k > j) 时填充比特率的范围

第 17.1 节描述了固定比特率为 2.5G、10G、和 40G 的客户信号在最大允许频偏值为 20ppm 的条件下分别异步和同步映射入 ODU<sub>1</sub>、ODU<sub>2</sub> 和 ODU<sub>3</sub> 的情况。第 19 节描述了 ODU<sub>j</sub> 异步映射入(复用到)ODU<sub>k</sub> (k > j)的情况。对于固定比特率客户信号的异步映射,可以通过+1/0/-1 调整策略来容纳客户信号和 OPU<sub>k</sub> 之间的任何频偏。对于 ODU<sub>j</sub> 异步复用到 ODU<sub>k</sub> (k > j) ,可以通过+2/+1/0/-1 调整策略来容纳 ODU<sub>j</sub> 和 OPU<sub>k</sub> 之间的任何频偏。在第 7.2 节中给出了 OPU<sub>k</sub> 净荷、ODU<sub>k</sub> 和 OTU<sub>k</sub> 的比特率和容限。ODU<sub>1</sub> 的比特率为 239/238×2 488 320 kbit/s ,ODU<sub>2</sub> 的比特率为 239/237×9 953 280 kbit/s ,ODU<sub>3</sub> 的比特率为 239/236×39 813 120 kbit/s , ODU<sub>k</sub> 能够容忍的最大频偏为±20 ppm。本附录将证明每一种映射方式的调整策略都可以适应于这些比特率和容纳这些频偏,同时得出每一种映射的填充比特率。

第 17.1 节描述了每一个 ODU<sub>k</sub> 帧中+1/0/-1 映射提供了一个正调整机会 (PJO) 和负调整机会 (NJO),第 19 节中描述了每一个 ODU<sub>k</sub> 帧中+2/+1/0/-1 映射提供了两个正调整机会和一个负调整机会。对于 ODU 复用的情况,被映射入 ODU<sub>k</sub> 的 ODU<sub>j</sub> 只占用了 ODU<sub>k</sub> 净荷区域的一小部分。一般情况下每一个 ODU<sub>j</sub> 或者固定比特率信号都有一定数目的填充字节。在以上两种的映射情况下,每一 ODU<sub>k</sub> 帧中都有一个填充机会。映射入 ODU<sub>k</sub> 的固定比特率信号可以使用所有的填充机会(因为只有一个固定比特率信号映射入 ODU<sub>k</sub>),然而映射入 ODU<sub>k</sub> 的 ODU<sub>j</sub>(k > j)只能使用部分的填充机会,当 ODU<sub>1</sub> 映射入 ODU<sub>2</sub> 或者 ODU<sub>2</sub> 映射入 ODU<sub>3</sub> 时只能使用 1/4 的填充机会,当 ODU<sub>1</sub> 映射入 ODU<sub>3</sub> 时只能使用 1/16 的填充机会,其余的填充机会需要留给其他的映射入 ODU<sub>k</sub> 的客户信号。

一般情况下,纯粹的正调整策略的比特填充率定义为在相当长的时间内正调整的机会和所有的调整机会的比值。在+1/0/-1 调整策略中正调整和负调整必须是分开的,这可以通过使用不同的代数符号来实现。根据这个规定,比特的填充率的范围可以在 -1 和 +1 之间(频偏足够大),而完全的正调整策略,比特的填充率只能在 0 和 1 之间。对于 ODU<sub>k</sub> 复用的情况,调整的比率定义为调整的机会和所有的可以使用的填充机会的比值,这样比特填充率的变化范围可以在 -1 到 2 之间。(如果调整率定义为调整的机会和客户信号所有的填充机会的比值,对于 ODU<sub>1</sub> 复用到 ODU<sub>2</sub> 和 ODU<sub>2</sub> 复用到 ODU<sub>3</sub> 的情况,调整率的范围为-1/4 to +1/2,对于 ODU<sub>1</sub> 复用到 ODU<sub>3</sub> 的情况,调整率的范围为-1/16 to +1/8)。

用 $\alpha$ 来表示调整率( $-1 \leq \alpha \leq 1$ ,当固定比特率客户信号映射入 ODU<sub>k</sub>;  $-1 \leq \alpha \leq 2$ ,当 ODU<sub>j</sub> 映射入 ODU<sub>k</sub>(k > j)),进一步规定正调整率 $\alpha$ 对应于负调整机会,而负调整率对应于正调整机会(这样规定的原因下面给出解释)。

定义以下符号(符号 j 代表被映射的 ODU 的编号,符号 k 代表映射入的 ODU 的编号):

N: 和被映射的客户信号相关的 OPU<sub>k</sub> 净荷区域的固定填充字节的数目(不是多路客户信号同时被复用的情况下的所有的填充的固定比特数目)

S: STM-N 或者 ODU<sub>j</sub> 客户信号的比特率 (bytes/s)

T: ODU<sub>k</sub> 帧的周期 (秒)

$y_c$ : 客户信号的频率偏移

$y_s$ : 服务层信号的频率偏移

P: 客户层信号可以使用的 OPU<sub>k</sub> 净荷区域的部分

$N_f$ : 对应于一定的频率偏移(传送相当复帧数目的平均值),映射入 ODU<sub>k</sub> 帧的客户层信号的平均字节数, $N_f$  的值可以根据下面公式计算:

$$N_f = ST \frac{1 + y_c}{1 + y_s} \quad (1)$$

因为频率偏移小于 1,所以公式(1)可以做进一步的简化:

$$N_f = ST(1 + y_c - y_s) \equiv STb \quad (2)$$

$\beta-1$  是客户层信号和服务层信号频率的净偏移。

这样映射入 ODU<sub>k</sub> 帧的客户信号的平均字节数等于该客户信号在净荷区域占用的字节数(即为  $4 \times 3808p = 15232p$ ),减去该客户信号的固定填充字节,加上传送相当多数目的该客户信号的帧后的填充字节的平均数。加上的字节数目等于根据该客户信号的调整机会复用后的调整率。根据上述以及公式(1)可以得到:

$$STb = ap + 15232p - N \quad (3)$$

在公式(3)中,一个正的调整率 $\alpha$ 表示平均有更多的客户信号被映射入 ODU<sub>k</sub>。从上述情况可以看出,正的调整率 $\alpha$ 对应于负的调整机会。规定这个符号使得调整率 $\alpha$ 在公式(2)中是一个正的调整率。

公式(3)是一个主要结果,对于把 STM-N 的客户信号映射入 ODU<sub>k</sub> 的情况, $p$  等于 1。应用公式(3)就可以计算 STM-N 或者 ODU<sub>j</sub> 映射入 ODU<sub>k</sub> 时比特填充率的变化范围。下文中,用  $R_{16}$  来表示 STM-16。

### 2.5G 的固定比特率信号异步映射入 ODU1

客户信号的速率  $S = R_{16}$ , ODU1 的速率为  $(239/238)S$  (见第 7.3 节),同时 ODU1 的速率也等于  $(4 \times 3808p) / T = 15232p/T$ , 所以:

$$ST = (4)(3824) \frac{238}{239} = 15232 \quad (4)$$

把公式(4)代入公式(2),同时  $N=0$  (没有填充字节),

$$\text{可以得到: } \mathbf{a} = 15232(\mathbf{b} - 1) \quad (5)$$

因为 ODU<sub>k</sub> 和客户信号的容忍的最大频偏为  $\pm 20$  ppm,  $\beta$  介于 0.99996 和 1.00004 之间,代入公式(5)可以得到调整率 $\alpha$ 的变化范围:  $-0.60928 \leq \mathbf{a} \leq +0.60928$  (6)

### 10G 的固定比特率信号异步映射入 ODU2

客户信号的速率  $S = 4R_{16}$ , ODU2 的速率为  $(239/237)S$  (见第 7.3 节),同时 ODU2 的速率也等于  $(4 \times 3808) / T = 15232/T$ , 所以:  $ST = (4)(3824) \frac{237}{239} = 15168$  (7)

把公式(7)代入公式(2),同时  $N=64$  (固定的填充字节数),可以得到:

$$\mathbf{a} = 15168 \mathbf{b} + 64 - 15232 = 15168 (\mathbf{b} - 1) \quad (8)$$

因为 ODU<sub>k</sub> 和客户信号的容忍的最大频偏为  $\pm 20$  ppm,  $\beta$  介于 0.99996 和 1.00004 之间,代入公式(8)可以得到调整率 $\alpha$ 的变化范围:  $-0.60672 \leq \mathbf{a} \leq +0.60672$  (9)

### 40G 的固定比特率信号异步映射入 ODU3

客户信号的速率  $S = 16R_{16}$ , ODU2 的速率为  $(239/236)S$  (见第 7.3 节),同时 ODU3 的速率也等于  $(4 \times 3808) / T = 15232/T$ , 所以:  $ST = (4)(3824) \frac{236}{239} = 15104$  (10)

把公式(10)代入公式(2),同时  $N=128$  (固定的填充字节数),可以得到:

$$\mathbf{a} = 15104 \mathbf{b} + 128 - 15232 = 15104(\mathbf{b} - 1) \quad (11)$$

因为 ODU<sub>k</sub> 和客户信号的容忍的最大频偏为  $\pm 20$  ppm,  $\beta$  介于 0.99996 和 1.00004 之间,代入公式(11)可以得到调整率 $\alpha$ 的变化范围:  $-0.60672 \leq \mathbf{a} \leq +0.60672$  (12)

### ODU1 复用到 ODU2

ODU1 的客户信号速率为 (见第 7.3 节):  $S = \frac{239}{238} R_{16}$  (13)

ODU2 的一帧长  $T = \frac{(3824)(4)}{\frac{239}{237}(4R_{16})}$  (14)

$P=0.25$ , 代入公式(3)中得到:  $\frac{239}{238} R_{16} \frac{(3824)(4)}{\frac{239}{237}(4R_{16})} \mathbf{b} = \frac{\mathbf{a}}{4} + 3808 - N$  (15)

把上式简化,得出调整率 $\alpha$ 为:  $\mathbf{a} = \frac{237}{238} (15296) \mathbf{b} + 4N - 15232$  (16)

令  $\beta = 1 + y$ , 这里  $y$  等于频率的净偏移 (非常接近于  $y_c - y_s$ , 因为客户层的信号和服务层的信号的频偏小于 1), 那么:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{237}{238}(15296) - 15232 + 4N + \frac{237}{238}(15296)y \\ &= 4N - 0.2689076 + 15231.731092y \end{aligned} \quad (17)$$

固定填充的字节数  $N$  是零（见本建议的第 19.5.1 节）。频偏在  $\pm 20$  ppm 范围之内（见 7.3 节），那么净频偏的变化范围为  $\pm 40$  ppm。把这些值代入公式（17），就得出对应于不同频偏值的调整率  $\alpha$ ：

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 0.340362 & \text{for } y = +40 \text{ ppm} \\ \mathbf{a} &= -0.268908 & \text{for } y = 0 \text{ ppm} \\ \mathbf{a} &= -0.878177 & \text{for } y = -40 \text{ ppm} \end{aligned} \quad (18)$$

另外，如果采用  $+2/+1/0/-1$  的调整策略，当填充率  $\alpha$  为  $-1$  时，对应的频偏值为  $-47.998$  ppm，当填充率为  $+2$  时，对应的频偏值为  $148.96$  ppm，这样能够容忍的最大频偏为  $197$  ppm；比采用  $+1/0/-1$  调整策略能容忍的最大频偏大  $50\%$ ，这是因为增加了一个正的调整字节。

### ODU2 复用到 ODU3

$$\text{ODU2 的客户信号的速率为（见第 7.3 节）：} S = \frac{239}{237}(4R_{16}) \quad (19)$$

$$\text{ODU3 的帧长为 } T = \frac{(3824)(4)}{\frac{239}{236}(16R_{16})} \quad (20)$$

$$P = 0.25, \text{ 把它代入公式（3）中得到：} \frac{239}{237} 4R_{16} \frac{(3824)(4)}{\frac{239}{236}(16R_{16})} \mathbf{b} = \frac{\mathbf{a}}{4} + 3808 - N \quad (21)$$

把公式（21）简化，可以得到调整率  $\alpha$  为：

$$\mathbf{a} = \frac{236}{237}(15296)\mathbf{b} + 4N - 15232. \quad (22)$$

令  $\beta = 1 + y$ ，这里  $y$  等于频率的净偏移（非常接近于  $y_c - y_s$ ，因为客户层的信号和服务层的信号的频偏小于  $1$ ），那么：

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{236}{237}(15296) - 15232 + 4N + \frac{236}{237}(15296)y \\ &= 4N - 0.5400844 + 15231.459916y \end{aligned} \quad (23)$$

固定填充的字节数  $N$  是零（见本建议的第 19.5.1 节）。频偏在  $\pm 20$  ppm 范围之内（见 7.3 节），那么净频偏的变化范围为  $\pm 40$  ppm。把这些值代入公式（23），就得出对应于不同频偏值的调整率  $\alpha$ ：

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 0.0691740 & \text{for } y = +40 \text{ ppm} \\ \mathbf{a} &= -0.5400844 & \text{for } y = 0 \text{ ppm} \\ \mathbf{a} &= -1.149343 & \text{for } y = -40 \text{ ppm} \end{aligned} \quad (24)$$

另外，如果采用  $+2/+1/0/-1$  的调整策略，当填充率  $\alpha$  为  $-1$  时，对应的频偏值为  $-30.195$  ppm，当填充率为  $+2$  时，对应的频偏值为  $166.77$  ppm，这样能够容忍的最大频偏为  $197$  ppm；比采用  $+1/0/-1$  调整策略能容忍的最大频偏大  $50\%$ ，这是因为增加了一个正的调整字节。

### ODU1 复用到 ODU3

$$\text{ODU1 的客户信号的速率为（见第 7.3 节）：} S = \frac{239}{238}(R_{16}). \quad (25)$$

$$\text{ODU3 的帧长为 } T = \frac{(3824)(4)}{\frac{239}{236}(16R_{16})} \quad (26)$$

$$P = 0.0625, \text{ 把它代入公式 (3) 中得到: } \frac{239}{238} R_{16} \frac{(3824)(4)}{\frac{239}{236}(16R_{16})} \mathbf{b} = \frac{\mathbf{a}}{16} + 952 - N \quad (27)$$

把公式 (21) 简化, 可以得到调整率 $\alpha$ 为:

$$\mathbf{a} = \frac{236}{238}(15296)\mathbf{b} + 16N - 15232. \quad (28)$$

令 $\beta = 1 + y$ , 这里  $y$  等于频率的净偏移 (非常接近于  $y_c - y_s$ , 因为客户层的信号和服务层的信号的频偏小于 1), 那么:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{236}{238}(15296) - 15232 + 16N + \frac{236}{238}(15296)y \\ &= 16N - 64.5378151 + 15167.462185y \end{aligned} \quad (29)$$

ODU3 净荷区域的总的填充字节数为 64 (见本建议的第 19.5.2 节), 那么对于 ODU1 来说  $N$  是 4。频偏在 $\pm 20$  ppm 范围之内 (见 7.3 节), 那么净频偏的变化范围为 $\pm 40$  ppm。把这些值代入公式 (29), 就得出对应于不同频偏值的调整率 $\alpha$ :

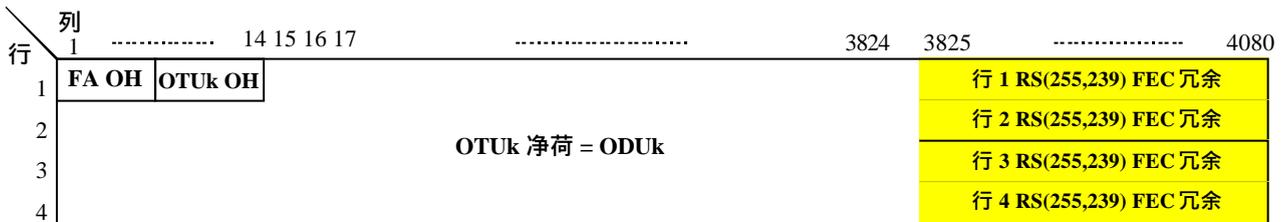
$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= 0.0688834 && \text{for } y = +40 \text{ ppm} \\ \mathbf{a} &= -0.5378151 && \text{for } y = 0 \text{ ppm} \\ \mathbf{a} &= -1.144514 && \text{for } y = -40 \text{ ppm} \end{aligned} \quad (30)$$

另外, 如果采用+2/+1/0/-1 的调整策略, 当填充率 $\alpha$ 为 -1 时, 对应的频偏值为 -30.472 ppm, 当填充率为 +2 时, 对应的频偏值为 167.32 ppm, 这样能够容忍的最大频偏为 197 ppm; 比采用+1/0/-1 调整策略能容忍的最大频偏大 50%, 这是因为增加了一个正的调整字节。

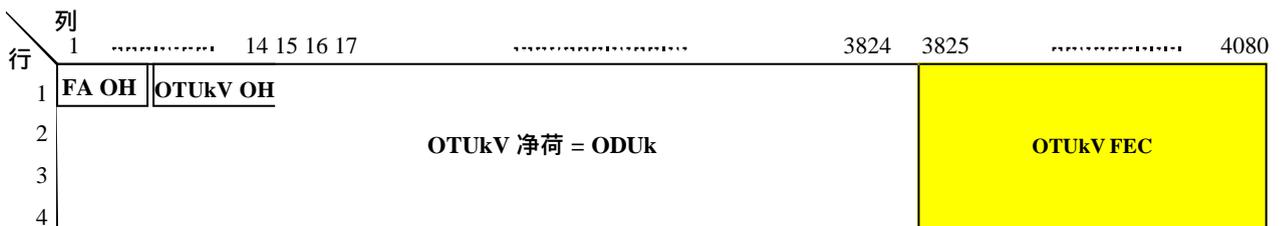
### 附录 C OTU 帧结构功能标准化的范例

这个附录提供了一些 OTU 帧结构功能标准化的范例，这些范例只是出于说明的目的，决不意味着这些结构就是这样定义的。本建议的图 C.1 给出了完整的标准化 OTUk 的帧结构的定义。功能标准化的 OTUkV 帧结构可以用来支持可选的 FEC 功能，OTUkV 帧结构距离如下：

- OTUkV分配有和OTUk一样的开销字节，但是使用了图C.2所示的FEC技术；
- OTUkV分配有和OTUk一样的开销字节，但是使用了占用字节更少的可选的FEC编码技术，OTUkV中 FEC开销字节剩余部分填充了固定的字节，如图Figure C.3所示。
- OTUkV分配有和OTUk一样的开销字节，但是使用了可选的FEC技术，如图C.4所示；
- OTUkV没有给FEC分配开销字节，如图C.5所示。
- OTUkV有着和OTUk不同的帧结构，支持不同的OTU开销（OTUkV开销，OTUkV的FEC技术），如图C.6所示。
- OTUkV有着和OTUk不同的帧结构，支持不同的OTU开销（OTUkV开销）但是不支持FEC，如图C.7所示。



图C.1 具有 RS(255,239) FEC)



图C.2 具有可选FEC的OTUkV

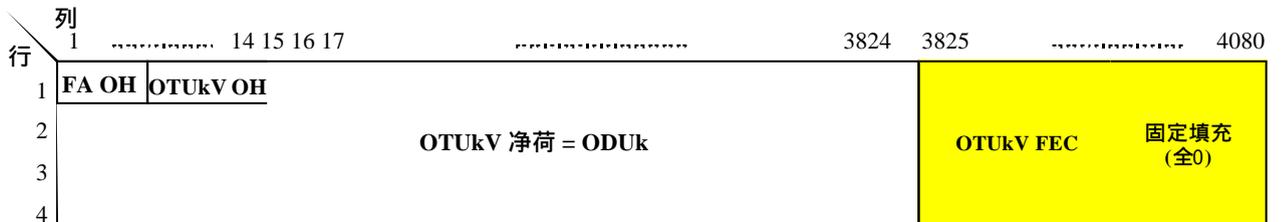
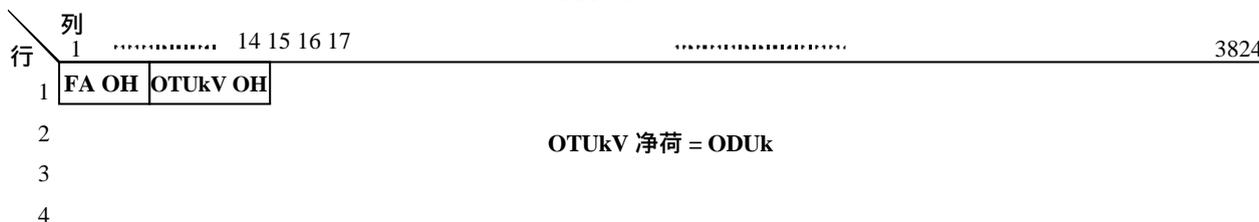


图 C.3 带有占用更少字节的FEC并且剩余部分填充固定字节 的OTUkV



图 C.4 带有占用更多字节FEC的OTUkV



图C.5 不带有FEC的OTUkV



图 C.6 具有不同帧结构的OTUkV



图 C.7 不带有FEC并且具有不同帧结构的OTUkV

对于图 C.1 到图 C.5 的情况，ODUk 信号映射入 OTUkV，可以采取帧同步、帧异步或者比特同步等不同的方式；而对于图 C.6 和图 C.7，ODUk 信号映射入 OTUkV 的方式可以采用异步方式或者比特同步方式。

对于异步映射的情况，ODUk 和 OTUkV 的比特率可以是异步的。可以使用比特填充的技术把 ODUk 的信号作为比特流填充进 OTUkV 的净荷区域。

对于比特同步映射的情况，ODUk 和 OTUkV 是比特同步的。不必使用比特填充的技术就可以把 ODUk 的信号映射进 OTUkV 的净荷区域，ODUk 的帧和 OTUkV 的帧是不相关的。

对于帧同步映射的情况，ODUk 不仅和 OTUkV 的比特同步而且 ODUk 的帧是整齐排列的。ODUk 的信号直接映射入 OTUkV 的净荷区域，不使用比特填充技术，并且 ODUk 的帧映射入 OTUkV 帧中的一个固定位置。

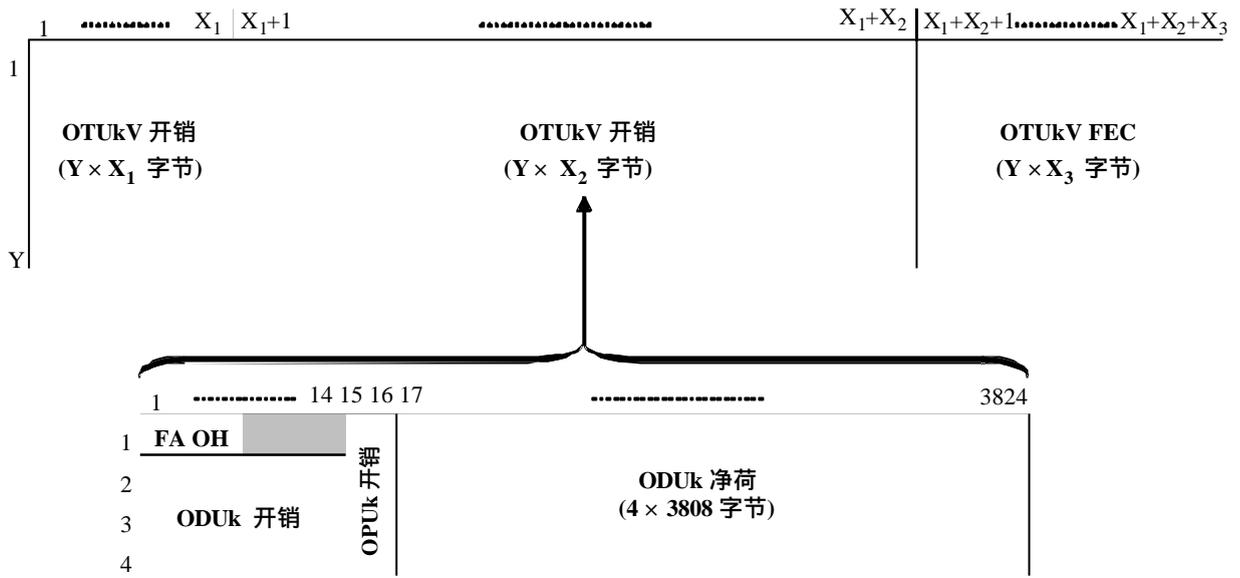
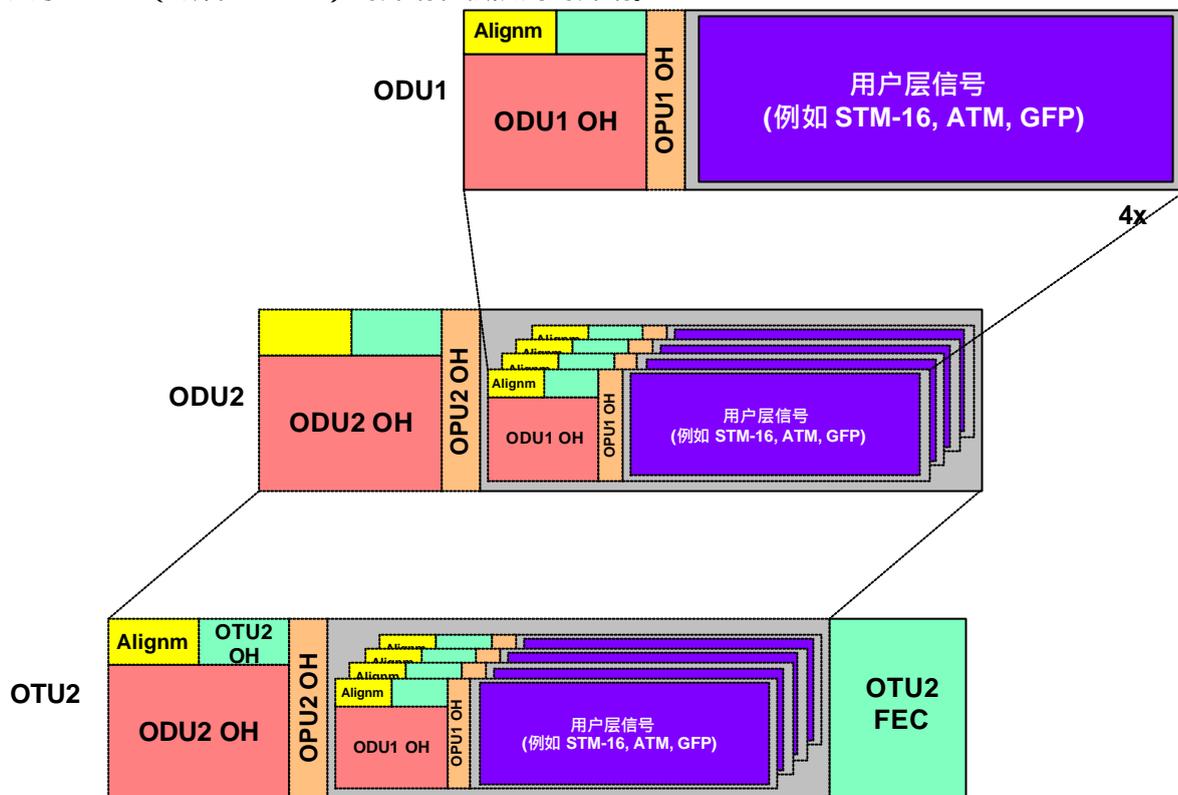


图 C.8 ODUk 到 OTUkV的异步映射或者比特同步映射

附录 D ODU<sub>k</sub> 复用的范例

图 D.1 说明了四路 ODU<sub>1</sub> 信号复用进一个 ODU<sub>2</sub> 的情况,包含帧队列开销和全零 OTU<sub>k</sub> 开销的 ODU<sub>1</sub> 信号通过指针调整(异步映射)来实现和 ODU<sub>2</sub> 信号的时钟同步。这些 ODU<sub>1</sub> 信号经过字节间插复用到 OPU<sub>2</sub> 的净荷区域,并且它们的调整控制和调整机会比特通过帧间插的方式复用到 OPU<sub>2</sub> 的开销区域。

当 ODU<sub>2</sub> 映射入 OTU<sub>2</sub> (或者 OTU<sub>2</sub>V) 时,加入了 ODU<sub>2</sub> 的开销;为了完整地传送信号,通过 OTM 信号加入了 OTU<sub>2</sub> (或者 OTU<sub>2</sub>V) 的开销和帧队列的开销。



注: ODU 在 OPU<sub>2</sub> 净荷区域中占据 1/4 左右, ODU<sub>1</sub> 帧将跨越多个 ODU<sub>2</sub> 帧的边界, 一个完整的 ODU<sub>1</sub> 帧(15296 字节)要求带宽是 $(15296/3808=)4.017$  ODU<sub>2</sub> 帧, 这里不再插图描述。

图 D.1 4 路 ODU<sub>1</sub> 信号复用到 ODU<sub>2</sub>

附录 E 带有低阶 ODUk 信号复用的 OPUk 信号中固定填充的范例

当一路 OPU3 传送 16 路 ODU1 信号时,第 1905 到 1920 列是固定填充字节,每一列对应着一路 ODU1 的信号。

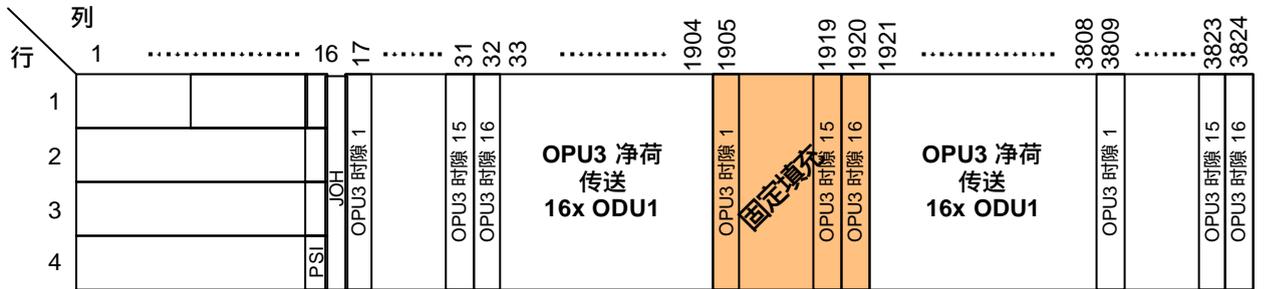


图 E.1 16 路 ODU1 信号映射入 OPU3 时固定字节的填充位置