

WDM超长距离（ULH）光传输技术 及其实现

杨铸,烽火科技集团-WDM超长距离(ULH)光传输技术及其实现yj

武汉邮电科学研究院

杨铸 2008/9

yangz@wri.com.cn

- 一 技术背景 「13」
- 二 主要研究内容和关键技术 「30」
- 三 成果创新性 「5」
- 四 实现与应用 「5」
- 五 发展趋势 「4」

- 全球敷设光缆总数已达**8亿芯公里**。
- 截止到**2007**年底，全国光缆线路长度有**573.7**万公里。
- 微波线路长度仅**20**多万公里。
- 我国**超过95%**的信息量是通过光网络传送的。

160 × 10Gb/s 波分复用超长距离光传输技术

巨大的信息传输容量

- 世界**95%**以上的信息量是通过光纤传送的，光纤通信技术已成为现代信息社会的根本基础
- 宽带互联网和视像等宽带业务仍将极大地增加公用网的业务量
- 具有广阔的应用市场

传统电话网络，业务量主要集中在本地，超长距离不迫切。

信息化的发展，互联网业务大大超过了电话用户和电话业务量的增长速度。

互联网业务流量是全球性的，很少局限于本地，使用频率远远超出使用国内、国际长途电话的频率。

大城市间需要有高速直达传输线路，而距离可能相隔数千公里。

如果采用常规的波分复用系统，每隔640km左右，就要进行一次光-电-光的信号再生，建设成本和维护成本昂贵的。

波分复用超长距离光传输系统将十分受欢迎。

ULH的含义

根据国内关于WDM系统的行业标准，我们可以把长途光纤传输系统分为常规长距离传输系统LH（Long Haul）、超长距离传输系统（ULH, Ultra Long Haul）。

传输距离小于1000公里的WDM系统我们称其为常规长距离传输系统，
传输距离大于1000公里的WDM系统称为超长距离传输（ULH）系统。

MS-ULH WDM系统的应用代码

Mn.Bc-xWz(s)(E)

M表示MS-ULH WDM系统；

n表示最大波长数；

B表示通路速率；

c表示通道间隔（GHz）；

x表示最大跨段数量；

W表示跨段损耗（A=22dB，B=27dB）；

z表示光纤类型；

s表示工作波段；

E表示FEC码型（E=增强型FEC）。

MS-ULH WDM应用代码

| 应用代码 | 基本参数 | | | 系统容量 |
|---------------------|---------------|-----------------|----------|-----------|
| | 通路间隔 (GHz) | 跨段损耗 (M×NdB) | 光纤 类型 | |
| M100652 (C) (E) | 100 | 25×22 | G. 652 | 40×10Gb/s |
| M100652 (C) (E) | 100 | 38×22 | G. 652 | |
| M100-20B652 (C) (E) | 100 | 20×27 | G. 652 | |
| M50652 (C) (E) | 50 | 25×22 | G. 652 | 80×10Gb/s |
| M50652 (C) (E) | 50 | 38×22 | G. 652 | |
| M50-15B652 (C) (E) | 50 | 15×27 | G. 652 | |

项目要掌握以**10Gb/s**为基础速率的密集波分复用（**DWDM**）系统技术，不但要掌握**系统技术**和具有系统集成能力，而且要研制具有**自主知识产权的关键器件和部件**，提升产业链的相互配合，并要实施示范工程，推动系统设备的商用，促进行业的科技水平提高和系统设备的核心竞争力的提高，提升我国光纤通信产业链的国际竞争力。

源课题编号：**2001AA122013**

WDM超长距离光传输技术的研究与实现

2001.10—2003.11（2004.2验收）

滚动课题编号：**2004AA122210**

WDM超长距离光传输（**ULH**）（1）

2004.8—2005.11（2006.3验收）

再滚动课题编号：**2005AA122510**

WDM大容量超长距离光传输（**ULH**）

2005.7—2005.11（2006.3验收）

2003年11月底前

- 1) 掌握波分复用（WDM）超长距离光传输的系统技术与喇曼光纤放大器的实现技术，
- 2) 研制完成L波段和C波段上带宽不小于80nm的宽带喇曼光纤放大器，
- 3) 建立基于10Gb/s波分复用系统的3000km无电中继传输试验系统，
- 4) 完成超长距离光传输的试验与测试。

| 序号 | 合同要求 | 完成情况 |
|---------------------|---|--------------------|
| 宽带喇曼光纤放大器 | | |
| 1 | 带宽: $\geq 80\text{nm}$ (C+L波段) | 1527~1607nm |
| 2 | 增益: $\geq 10\text{dB}$ | $\geq 10\text{dB}$ |
| WDM超长距离光传输系统 | | |
| 3 | 信号格式: STM-64 | OK |
| 4 | 信道速率: $\geq 9.95\text{Gb/s}$ (10.7Gb/s 或12.5Gb/s) | 10.7Gb/s |
| 5 | 传输距离: $\geq 3000\text{km}$ (G.652光纤) | 3040km(G.652光纤) |
| 6 | 支持容量1.6Tb/s (160 × 10Gb/s) | OK |
| 7 | 带宽覆盖C+L波段 | C+L |
| 8 | 实际配置WDM信道数不少于40 | 41 |
| 9 | 完成3000km实际长度WDM超长距离光传输系统 | 2003年11月前 |
| 10 | 通过863验收 | 2004年2月28日 |

在2005年11月30日前，

建立我国大容量超长距离WDM光传输示范工程，

全面掌握超长距离光传输的核心技术和积累工程应用经验，

提升我国大容量传输网络的能力，

提升我国企业的设备水平和参与国际竞争的能力。



| 序号 | 合同要求 | 完成情况 |
|----|--|--|
| 1 | 实际光纤线路 1000km 以上传输工程 | 1040km 工程 |
| 2 | 传输速率以 STM-64 为主 | 线路速率 10.7Gb/s ，业务为 STM-64 |
| 3 | 系统光信噪比优于 15dB | 大于 19dB |
| 4 | 工程配置喇曼放大器，增益大于 10dB ，等效噪声系数小于 1dB | 在线路上的 120km 超长段应用了满足指标喇曼放大器 |
| 5 | 工程配置具有带外 FEC 编解码的 OTU | 配置 OTU2 ，具有超强 FEC 功能 |
| 6 | 系统厂验时，系统要具有容量 1.6Tb/s (160*10Gb/s)、传输距离 1000km 以上和双向 WDM 信号的传输能力，带宽覆盖 C+L 波段，波长信道间隔为 50GHz | 第三方进行厂验。共 62 个波道， C 波段 45 个（其中 C+ 波道 7 个）， L 波段 17 个。 |
| 7 | 通过第三方现场测试，并提交测试报告与水平评估报告。 | 第三方提供测试与水平评估报告。 |
| 8 | 申请国家发明专利 2 项 | 2 项 |
| 9 | 提交 ULH 技术规范与测试方法和 ULH/WDM 发展研究与分析报告 | 完成 |

2005年7月承担八六三课题 **2005AA122510**
“**WDM大容量超长距离光传输（ULH）（1）**”。

主要工作内容：

- 1) 工程协调；
- 2) 全过程测试，包括第三方的测试；
- 3) 第三方的论证。

- 一 技术背景 「13」
- 二 主要研究内容和关键技术 「30」**
- 三 成果创新性 「5」
- 四 实现与应用 「5」
- 五 发展趋势 「4」

2.1 完成具有商用水平的C+L分布式喇曼放大器

光放大

- ① 采用多波长泵浦技术，使喇曼放大器在C+L波段。
(1527~1607nm) 具有平坦的增益，增益平坦度小于1dB。
- ② 采用具有自己专利的去偏振技术，使喇曼放大器的增益与信号偏振无关。喇曼源的总输出偏振度 < 5%，单个泵浦LD的输出偏振度 < 7%。



2.2 分布喇曼放大时的OSNR计算—广义的“58”公式

ITU-T G. 692给出58公式

在1550nm波长，测量带宽为0.1nm时

$$OSNR = 58 + P_{out} - L - N_F - 10 \log N$$

($G \gg 1$)



如何计算带有喇曼放大的DWDM系统光信噪比？

包含分布喇曼放大时，我们给出

$$OSNR = 58 + P_{out} - L - N_F - 10\log N + 10\log G_{OSNR}$$

其中

$$G_{OSNR} = \frac{OSNR_{有喇曼}}{OSNR_{无喇曼}} \quad (\text{光信噪比增益})$$

当 $G \gg 1$ 时，

$$G_{OSNR} = \frac{G_{on-off}}{1 + (F_{eq} G_{on-off} - 1) / N_F}$$



OSNR增益与跨段数无关!!!

2.3 RFA的安全应用

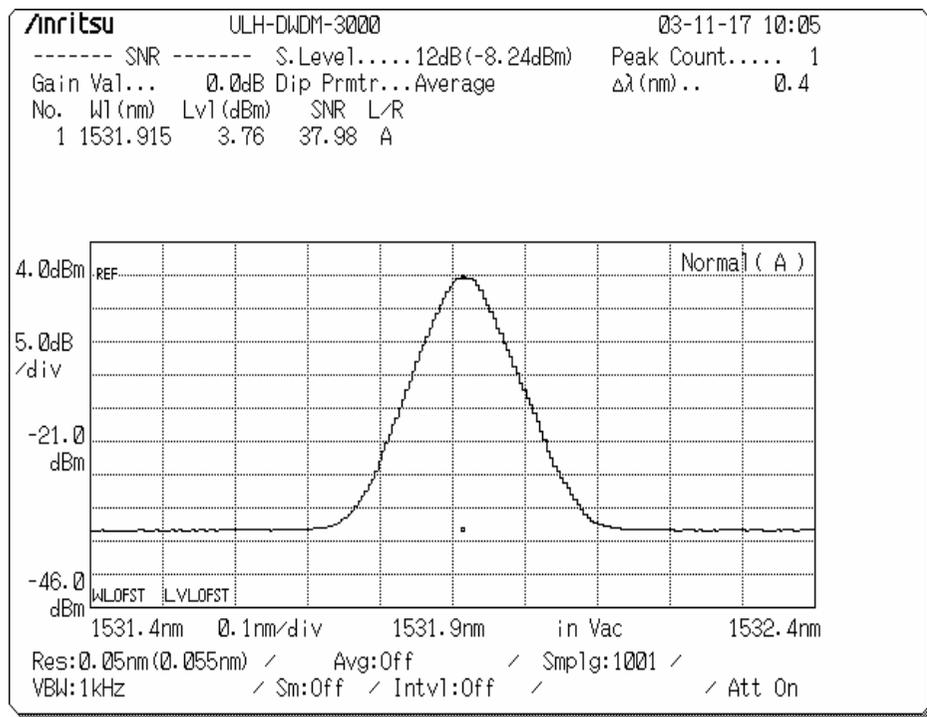
烽火通信公司在系统中使用Raman放大器，具有可靠的安全措施，有无光告警，可实现自动关断性能。

由于喇曼放大的输出功率已达 + 29dBm，接近1W，因此安全性是一个十分重要的问题，它对人员和设备的危害性远远超过EDFA。

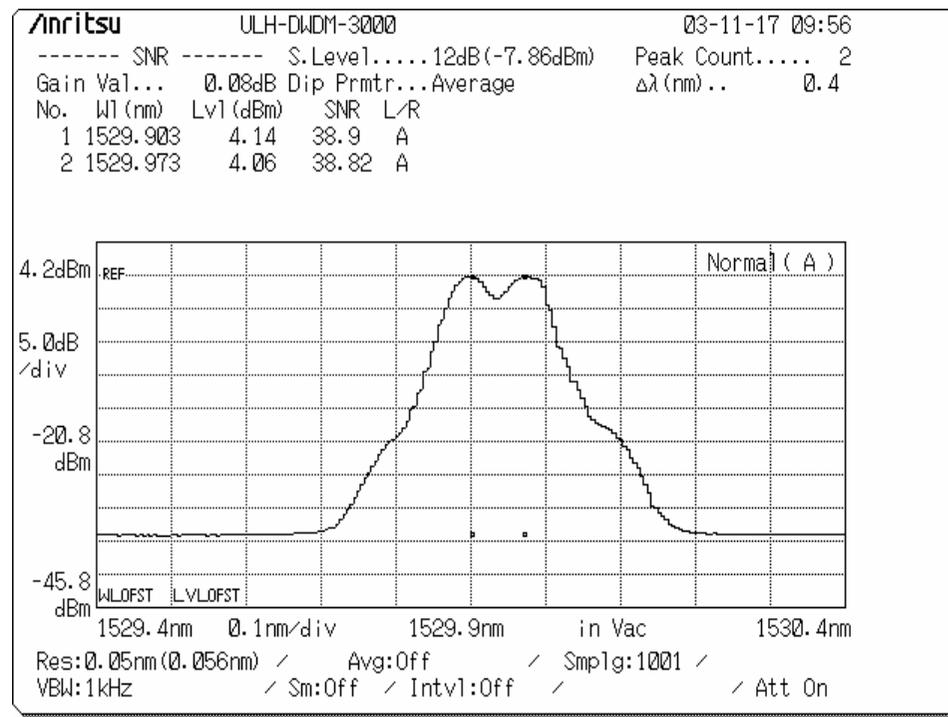
系统中包含分布喇曼放大后，采用具有专利技术的喇曼噪声滤波器技术仍可实施APR。

2.4 论证CS-RZ码在ULH系统上的应用

光调制



NRZ



CS-RZ

CS-RZ (载波抑制归零码, Carrier-Suppressed RZ (Return Zero))

2.5 前向纠错（FEC）技术

FEC对实现超长距离无误码（24小时）传输是至关重要的。超过640km后，系统没有FEC已经不能保证传输无误码。



注意图中，只需要线路传输能保证 3.5×10^{-4} 就可以满足FEC解码后 1×10^{-12} 的BER要求；如果采用超强FEC，则只需要 2.5×10^{-3} 就可满足FEC解码后 1×10^{-12} 的BER要求。

第一类 为**标准FEC**，即ITU-T G.709建议的RS (255, 239) 编码方案。该纠错码具有**5.8dB**的编码增益。

第二类 为**增强FEC**。采用级联RS码，即内码和外码的两套不同的纠错码级联而成。一般来说比标准FEC提高约**2dB**。

第三类 为**超强FEC**。其码速率由10.7Gb/s提高到12.5Gb/s，信号速率增加25.6%。可取得**10.1dB**的编码增益。

2.6 OSNR（光信噪比）

OSNR

OSNR是WDM系统中的重要指标。

信号衰减也是限制**ULH**系统传输距离的一个重要因素。信号衰减是指光信号沿着光纤传输时出现的光功率线性减小的现象。长距离传输时可以通过设置光放大器实现光信号再生，但随着放大次数的增加，**OSNR**成为限制无电再生条件下的传输距离。

并且，在**ULH-WDM**系统中，**OSNR**是一个影响**最大**的因素。

提高OSNR的考虑

$$OSNR = 58 + P_{out} - L - N_F - 10 \log N$$

- ① 减少跨距可提高OSNR。但是，一是跨距小，跨段数目（N）增加，光放大器增加，经济成本大，二是与中国的城镇分布的地理距离太不匹配，无人中继站有远供问题。因此，以80km为宜。
- ② 提高每波道入纤功率，但会增加非线性效应。随着传输距离的延长，非线性效应也将更加难以控制。
- ③ 采用低噪声放大。采用喇曼技术后，OSNR的改善与线路的中继段数目无关，实验表明一般改善3dB以上。

OSNR

OSNR不是唯一的影响误码率的因素。

对于ULH系统，FEC的应用也是必须的。FEC的应用，可以降低系统对OSNR的要求。采用FEC（OTU2），线路传输保证 3.5×10^{-4} 就可以满足FEC解码后 1.0×10^{-12} 的BER要求，对应OSNR约为7.16dB。

综合分析和论证，ULH系统的OSNR指标宜为15dB。

注1：采用光纤环的方式是无法测量OSNR的。

注2：N×10Gb/s超长距离WDM系统技术要求(报批稿)中的规范是

C波段 NRZ码 18dB

C波段 RZ码 16dB

2.7 利用宽带喇曼放大器的色散管理方式

色散管理

色散管理，是在色散补偿的基础上考虑非线性效应与色散的关系而建立起来的概念。

色散补偿是单纯地采用各种手段减小系统最终的残余色散。

简单的色散补偿只考虑一阶色散补偿，而对于长距离传输和高速率传输系统则需要考虑高阶色散补偿，即对色散斜率的补偿。

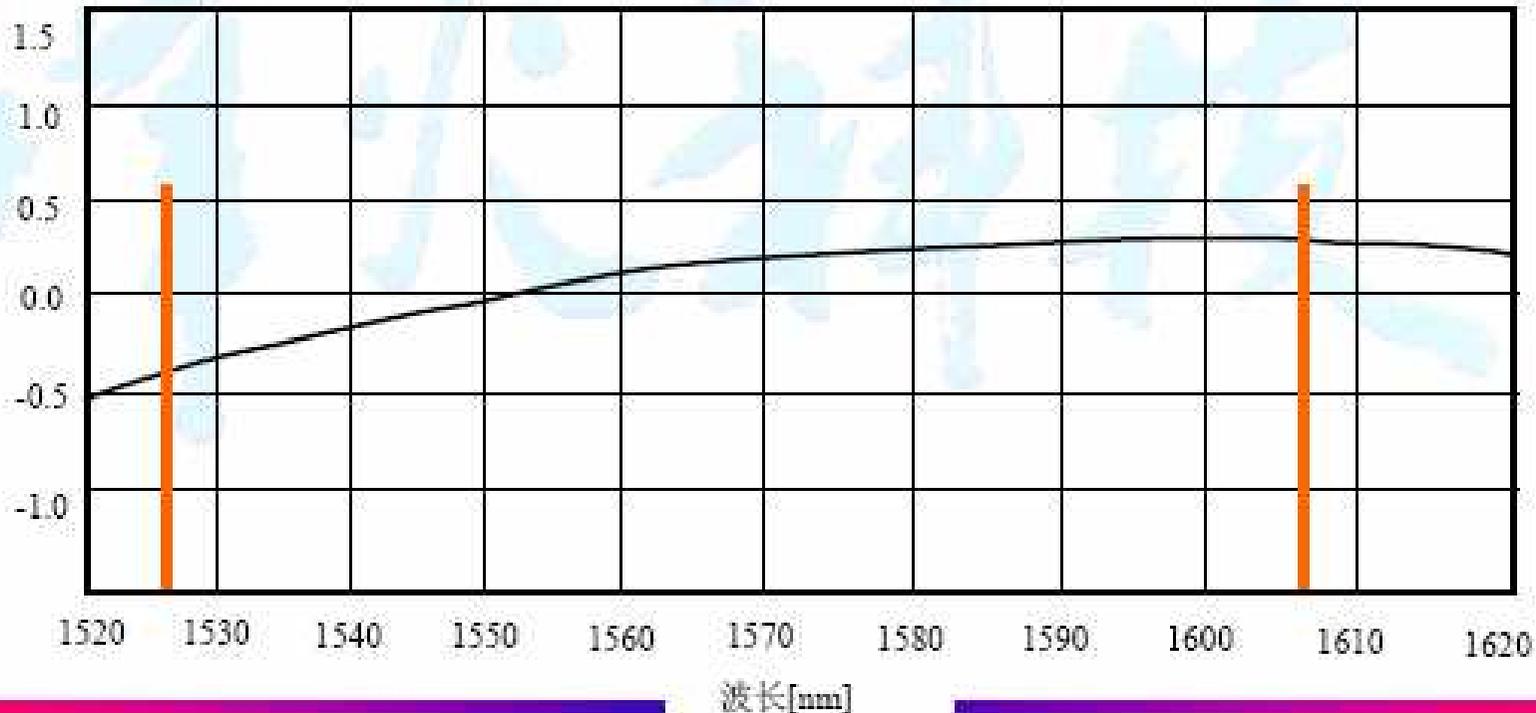
2. 主要研究内容和关键技术

- 1) 利用喇曼放大器的宽带特性，色散补偿同时对C+L波段，节省成本。
- 2) 利用了同时补偿C+L波段的色散补偿模块。3000km传输要求色散补偿模块的色散偏差为 ± 0.35 ps/nm/km。

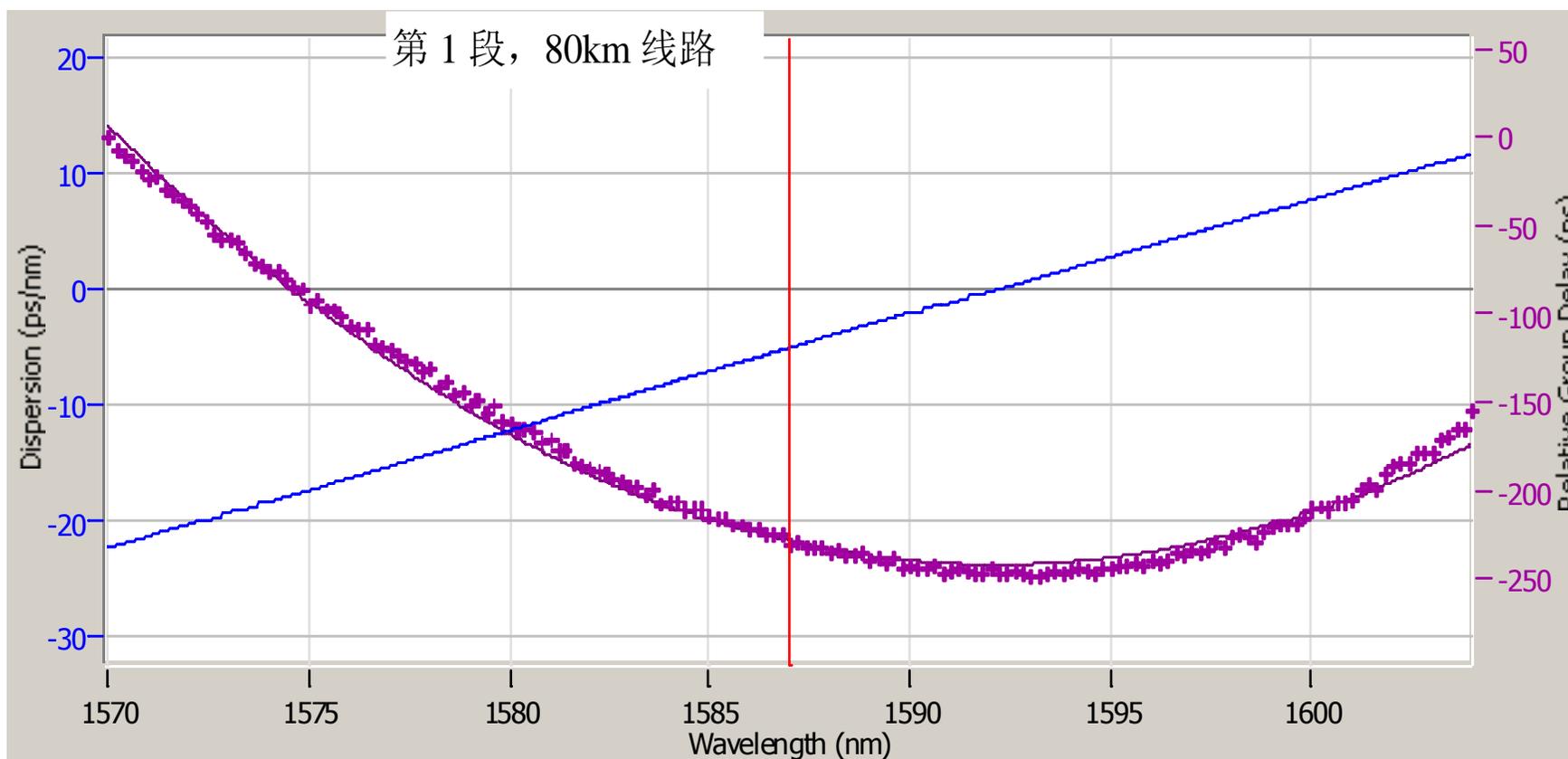
色散管理

残余色散
[ps/nm/km]

C+L 波段的残余色散

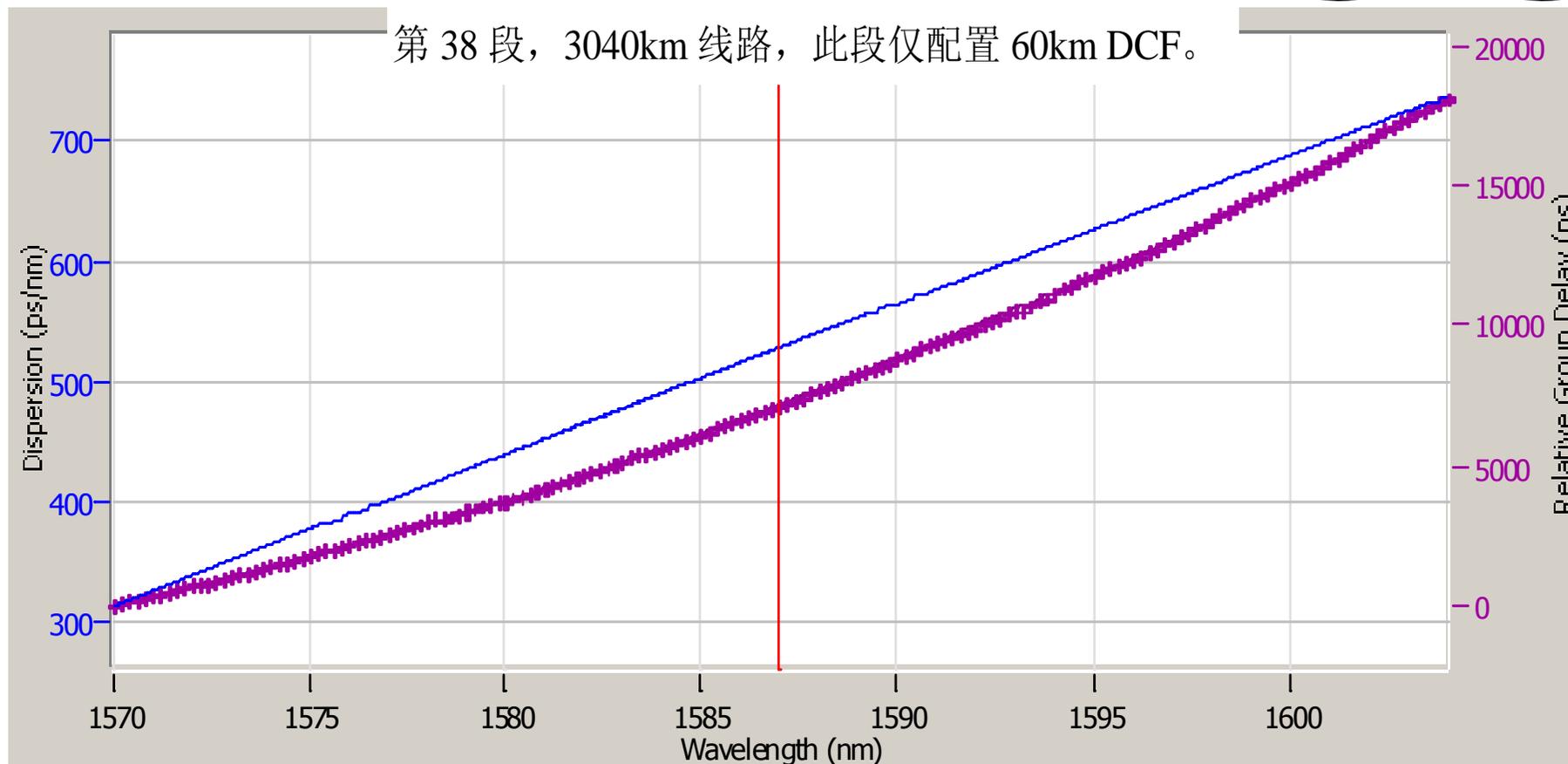


3040km残余色散测试 第1段后



第38段后（传输3040km后）

色散管理

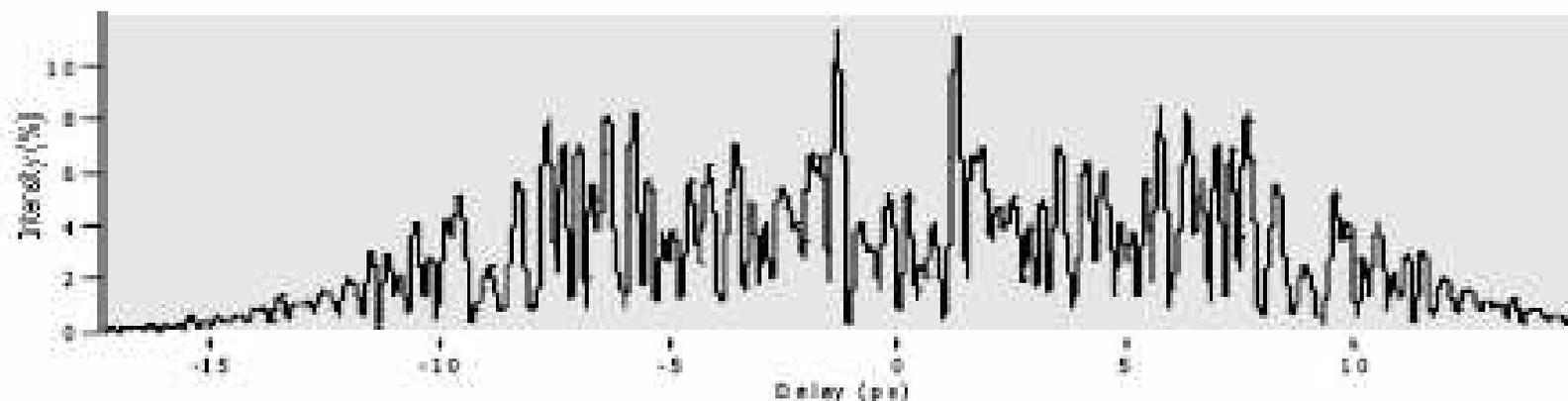


2.8 系统偏振模（PMD）的影响

PMD影响

系统验证当光纤满足PMD系数小于 $0.1\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ，即整个光纤链路的PMD系数小于 $0.2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ，则PMD对ULH系统在 3040km 以内的影响可以不予考虑。

3040km PMD延迟为 7.167ps ，系数为 $0.13\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ；
二阶PMD延迟为 $23.793\text{ps}/\text{nm}$ ，系数为 $0.0078\text{ps}/\sqrt{\text{km}\cdot\text{nm}}$ 。



EXFO公司的色散分析仪（TK-CD-03-PMDB-XX）

2.9 光通道代价

光通道代价

2dB（C波段），3.5dB（C+L波段）。

C+L波段的难度比C波段大，主要体现超长距离的增益平坦和色散斜率。传输3040km后，光通道代价**3.5dB**时，接收的灵敏度最差为**-18dBm**，这与**10Gb/s**系统，不用**FEC**的指标相当，仍可以满足工程应用的要求。

注：**N×10Gb/s**超长距离WDM系统技术要求(报批稿)中的规范是C波段 2000km 光通道代价2dB; 3000km为3dB。

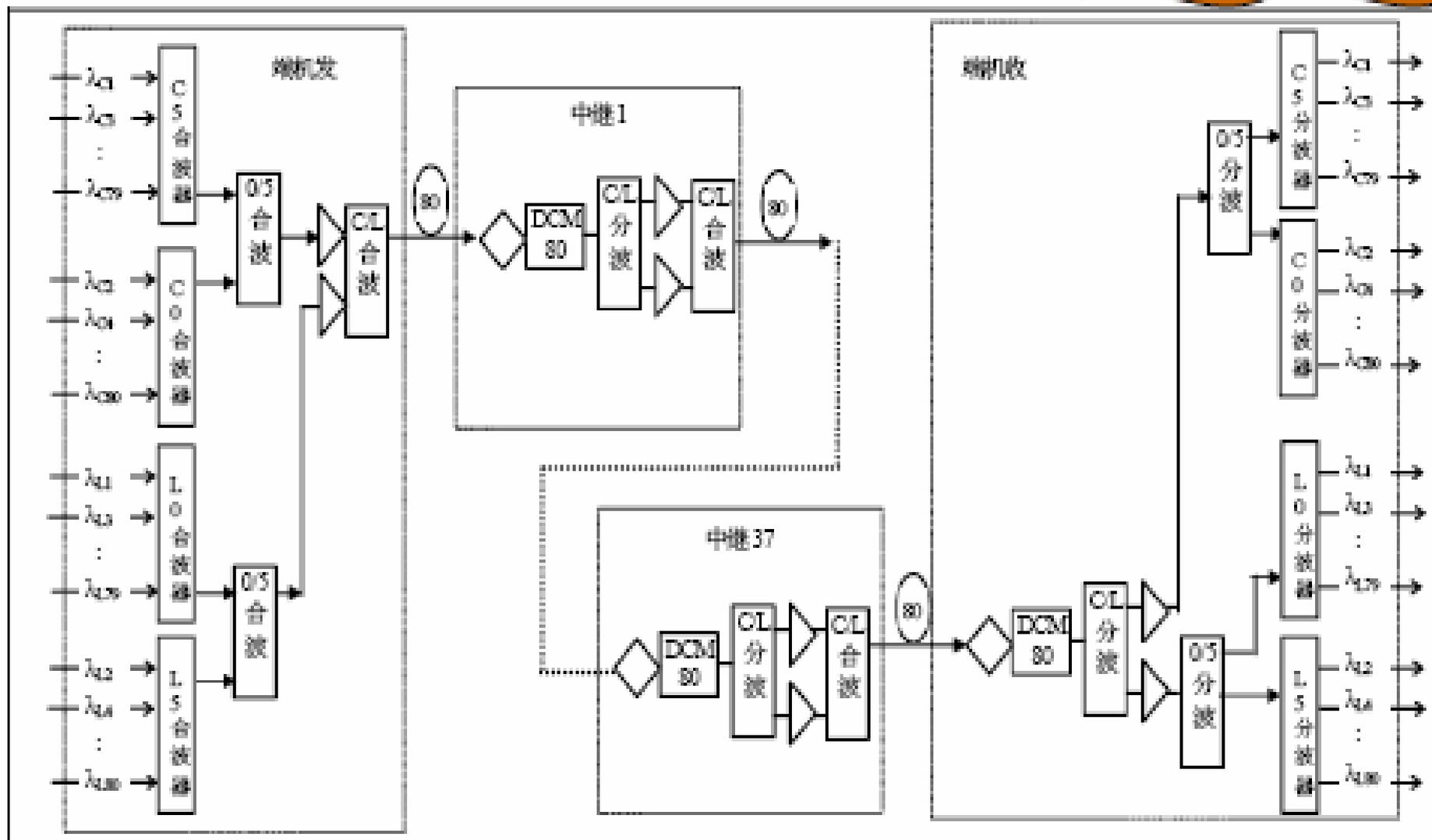
2.10 完成3040km实际长度光纤的传输实验

- 1) 完成3040km实际长度G.652光纤的1.6Tb/s WDM 超长距离光传输系统实验。
- 2) 系统中共应用了38个宽带喇曼放大器，78个EDFA，充分验证多级放大器的级联特性。
- 3) 应用了前向纠错（FEC）技术，课题结论指出，超过640km距离，没有FEC的WDM传输是不可靠的。
- 4) 系统应用G.709标准FEC技术。
- 5) 系统应用CS-RZ码和NRZ码，实验指出，两种码型的色散管理是有区别的，CS-RZ码需要更小的残余色散。

2. 主要研究内容和关键技术

3040km实际长度光纤的传输实验的光路配置

系统实验



设计参数:

传输光纤类型: **G.652**光纤

C/L合波、分波器插损: **1dB**

DCM插损: **10dB**; 色散与色散斜率: 按正好补偿

G.652光纤一阶和二阶色散设计

线路**EDFA**增益: **23dB**; 噪声指数: **6dB**

喇曼放大器的开关增益: **10dB**; 等效噪声指数:
0dB

跨段损耗: **22dB** (80km)

跨段数: **38**

每跨段入纤功率: **+3dBm/Ch**

实际3040km系统平台现场

系统实验



8个光纤架





2.11 C+L波段3040km CS-RZ码信号传输实验

系统实验

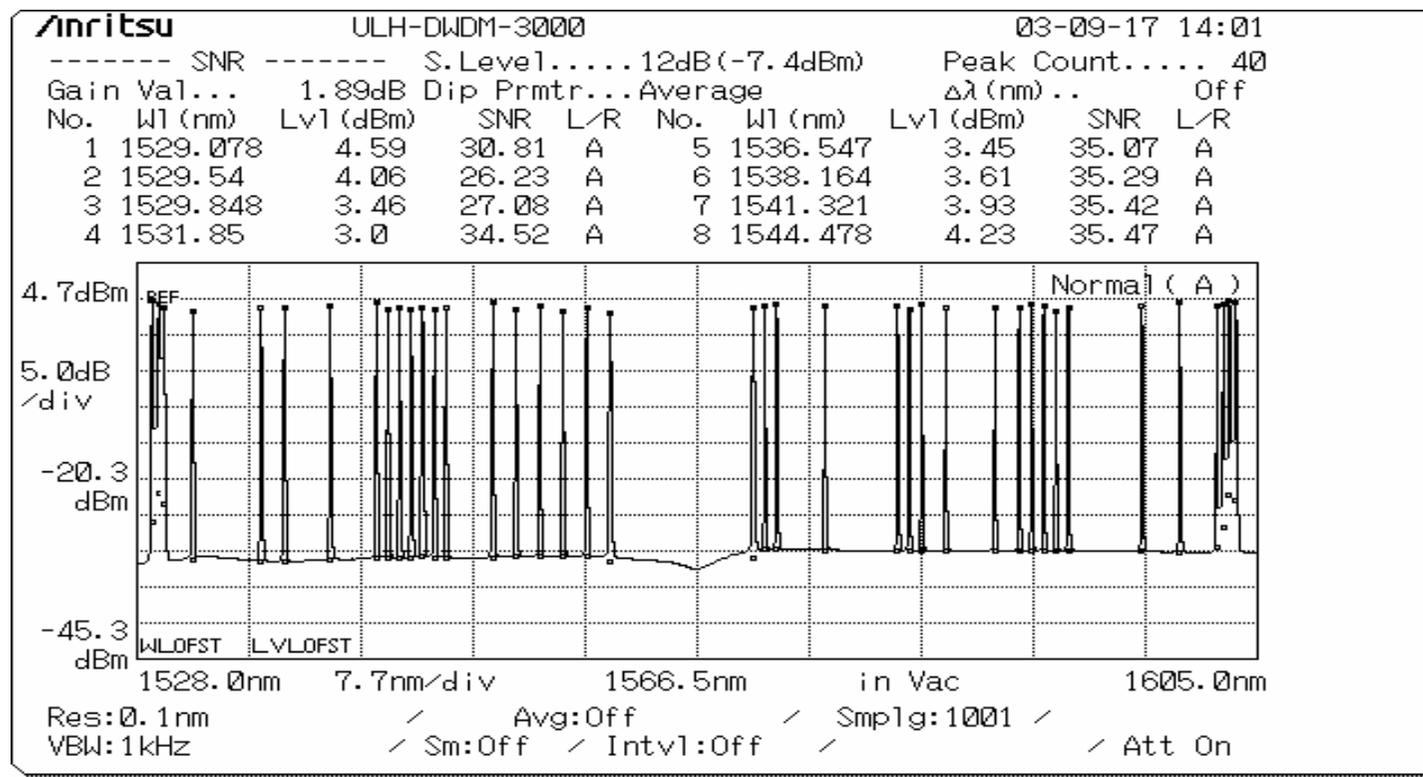
加载波道一共25个，C波段21个，L波段4个。

C1、C80、L1、L80为高低端波道。

C1、C2、C3和L78、L79、L80为50GHz间隔的相邻波道。

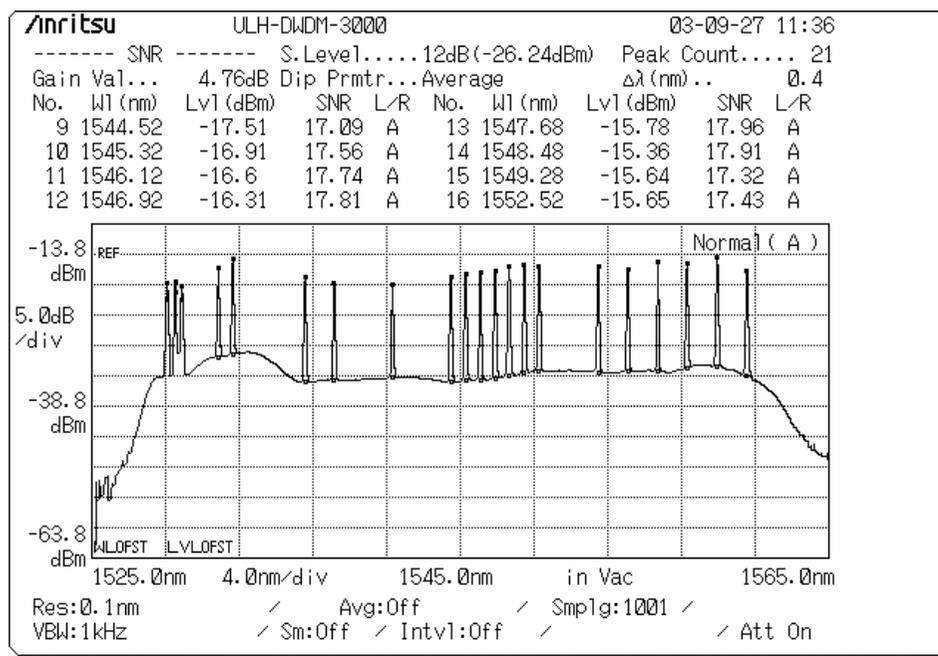
2003年9月

0km光谱

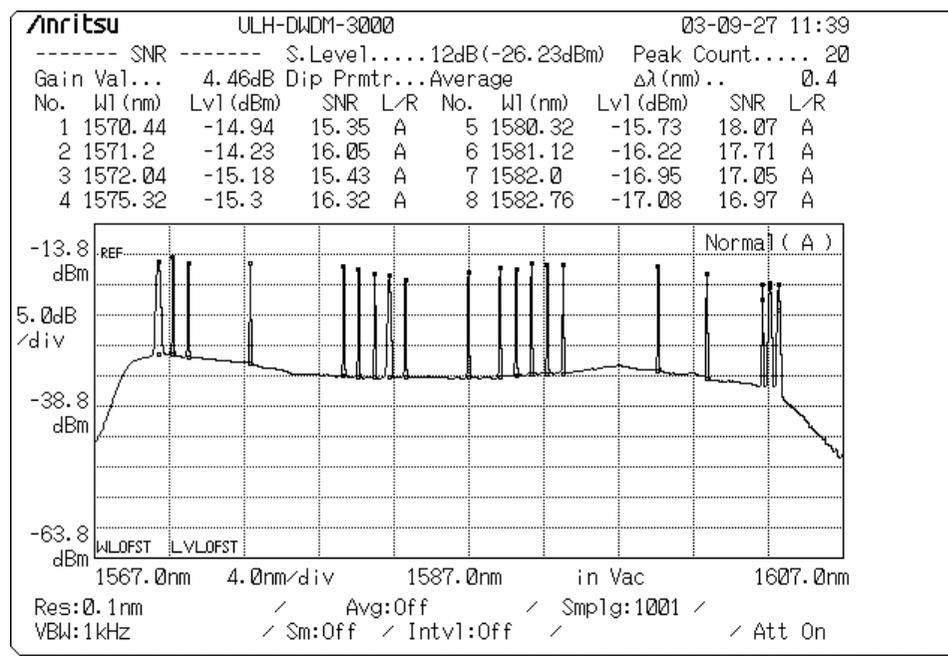


C+L波段3040km CS-RZ码信号传输实验

系统实验



3040km C波段光谱

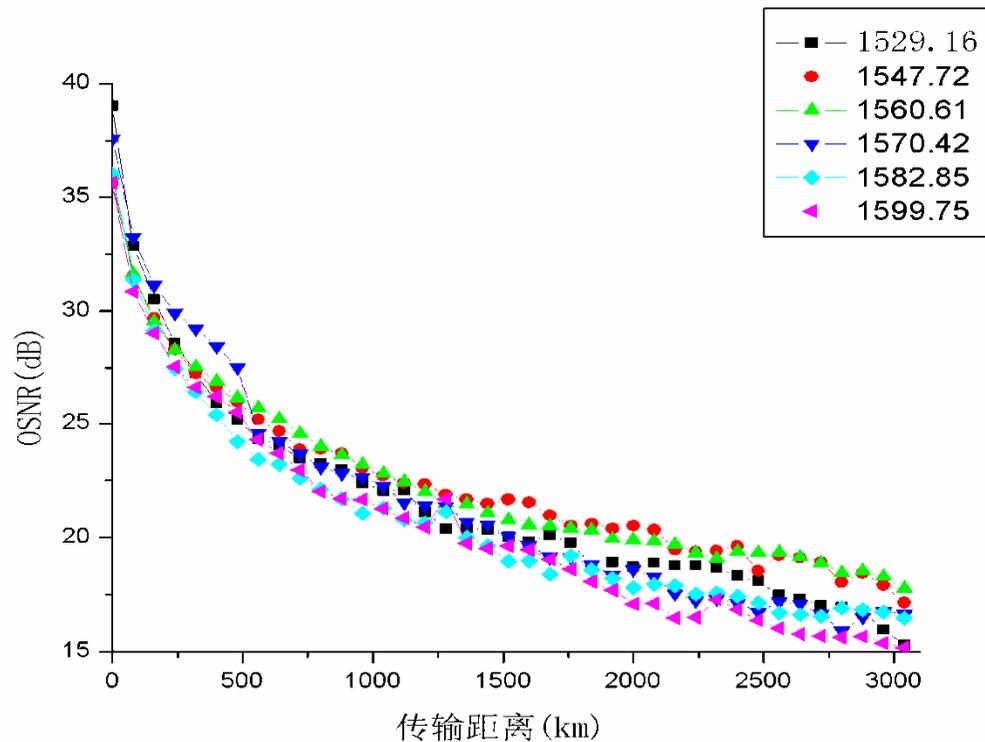
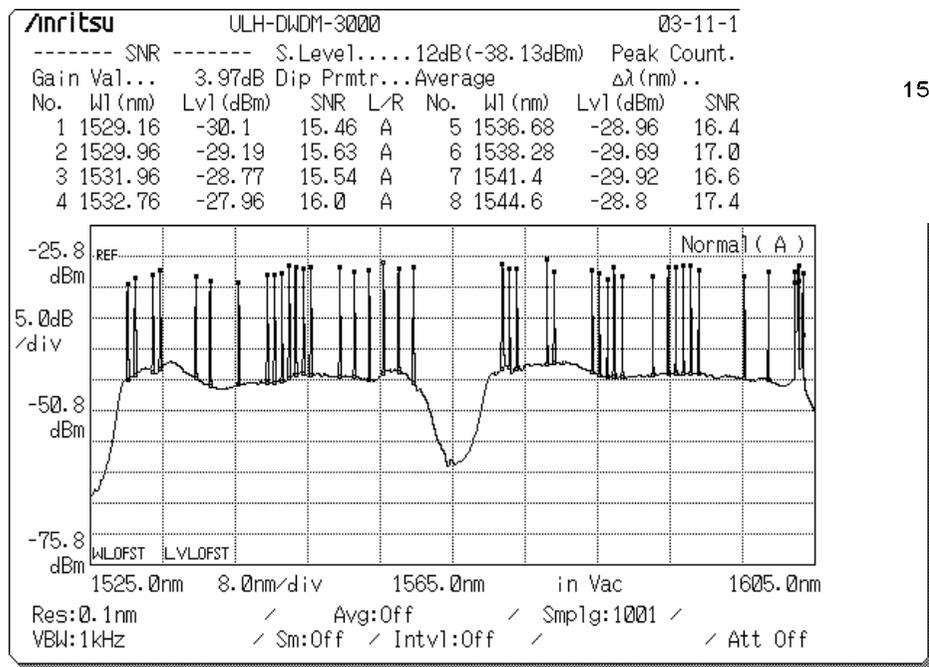


3040km L波段光谱

2. 主要研究内容和关键技术

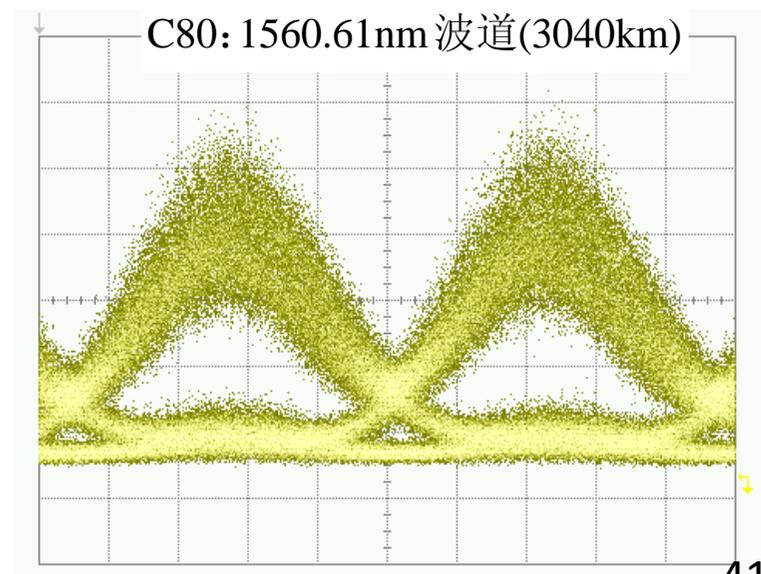
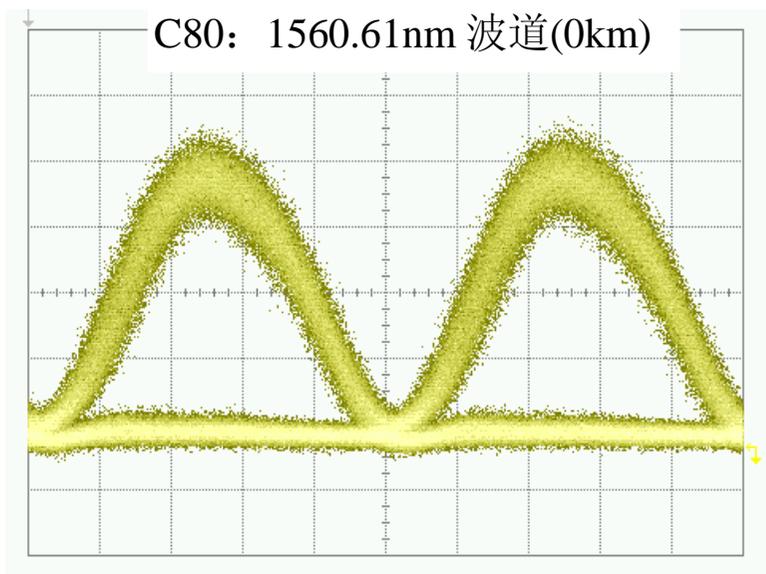
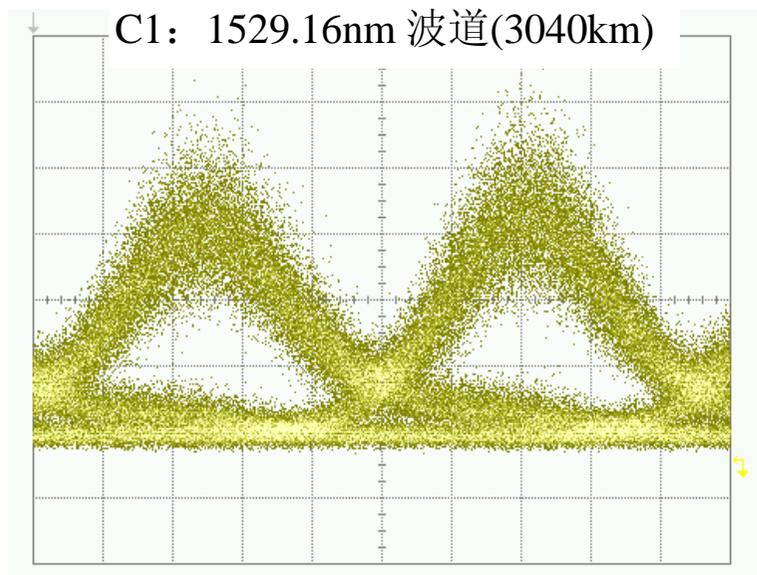
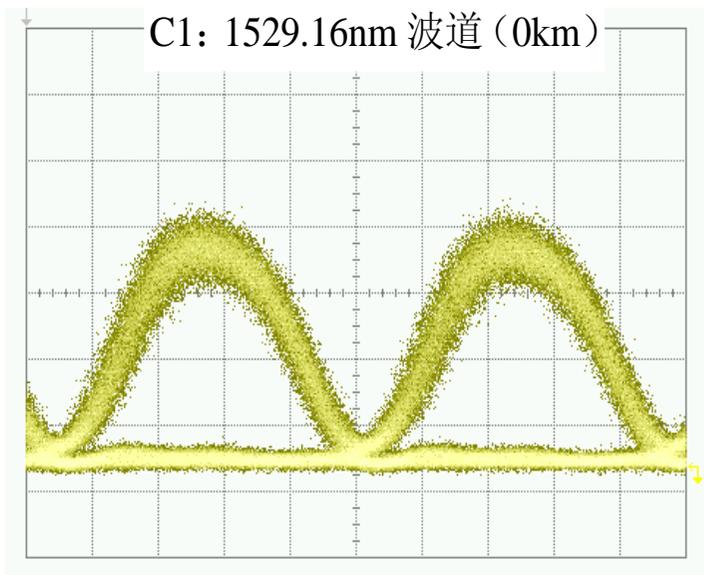
系统实验

3040km 总光谱

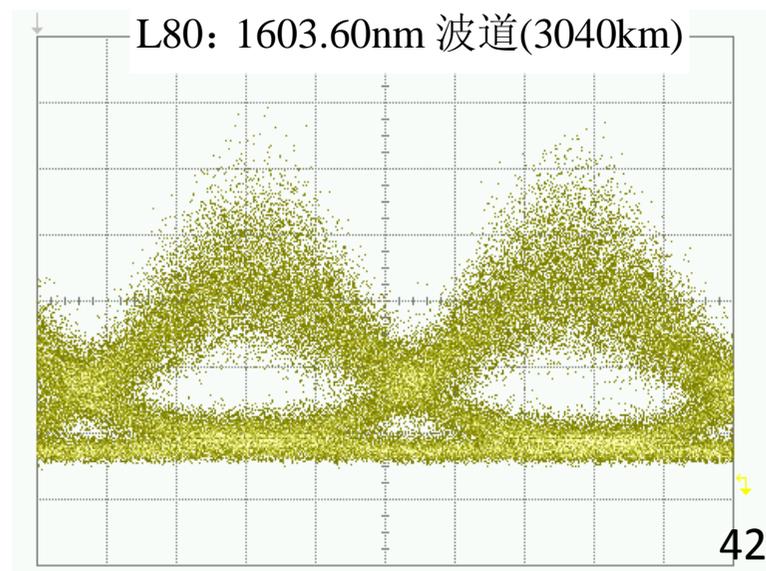
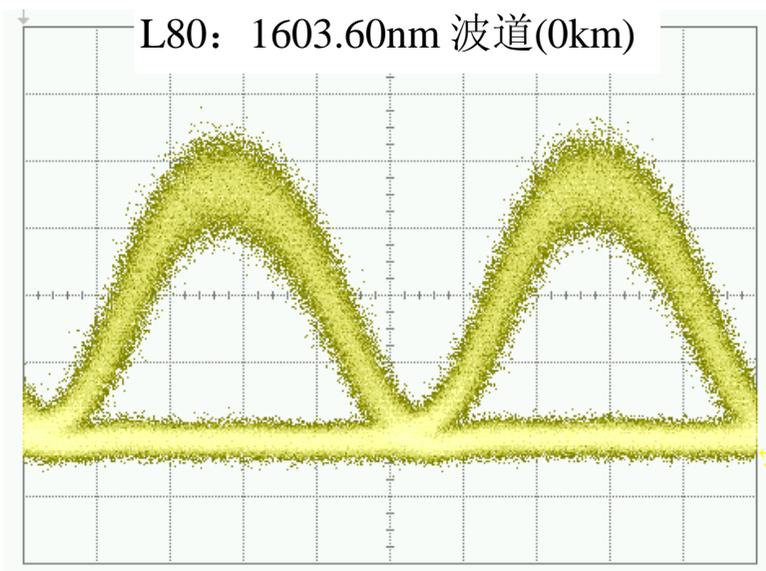
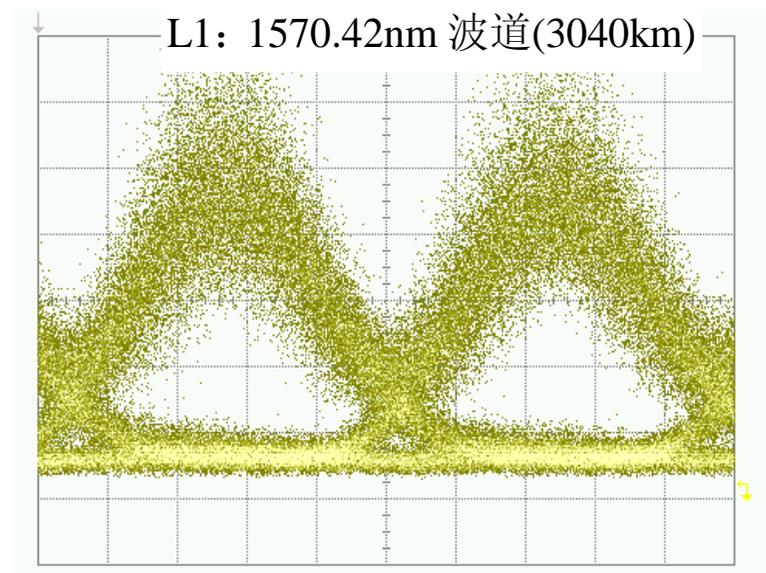
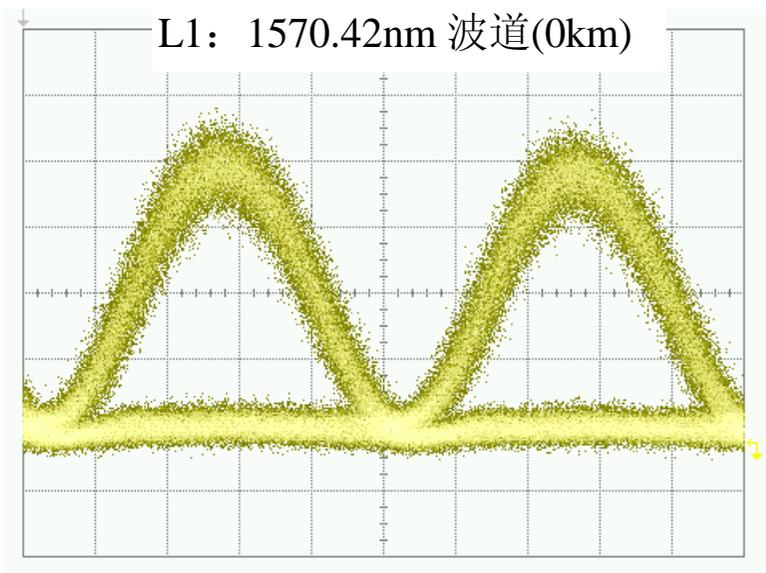


线路OSNR变化

2. 主要研究内容和关键技术



2. 主要研究内容和关键技术



通道代价 (dB) ≤ 3.5 dB

OSNR ≥ 15.78

系统实验

误码观察：在**STM-64**速率上对**9**个波道分别进行误码观察，**24**小时误码为**0**。

这是**国内首次**成功在实际光纤传输**3040km**的**C+L**波段**10Gb/s**信号，首次将**C+L**宽带喇曼光纤放大器应用于**ULH**系统。

2.12 1040km ULH-WDM示范工程（滚动课题目标）

完成在实际光纤线路上（G.652或G.655）开通无电中继传输
距离1000km以上的ULH-DWDM大容量工程

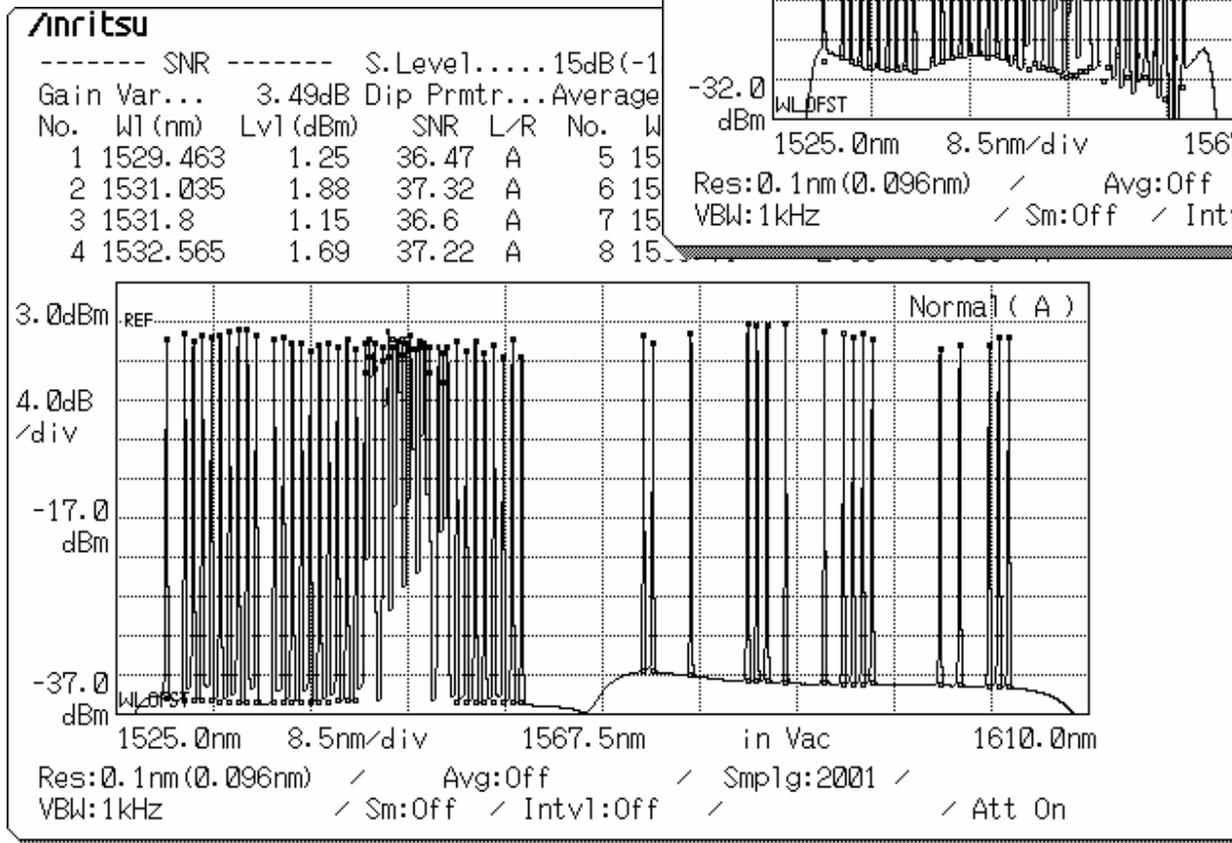
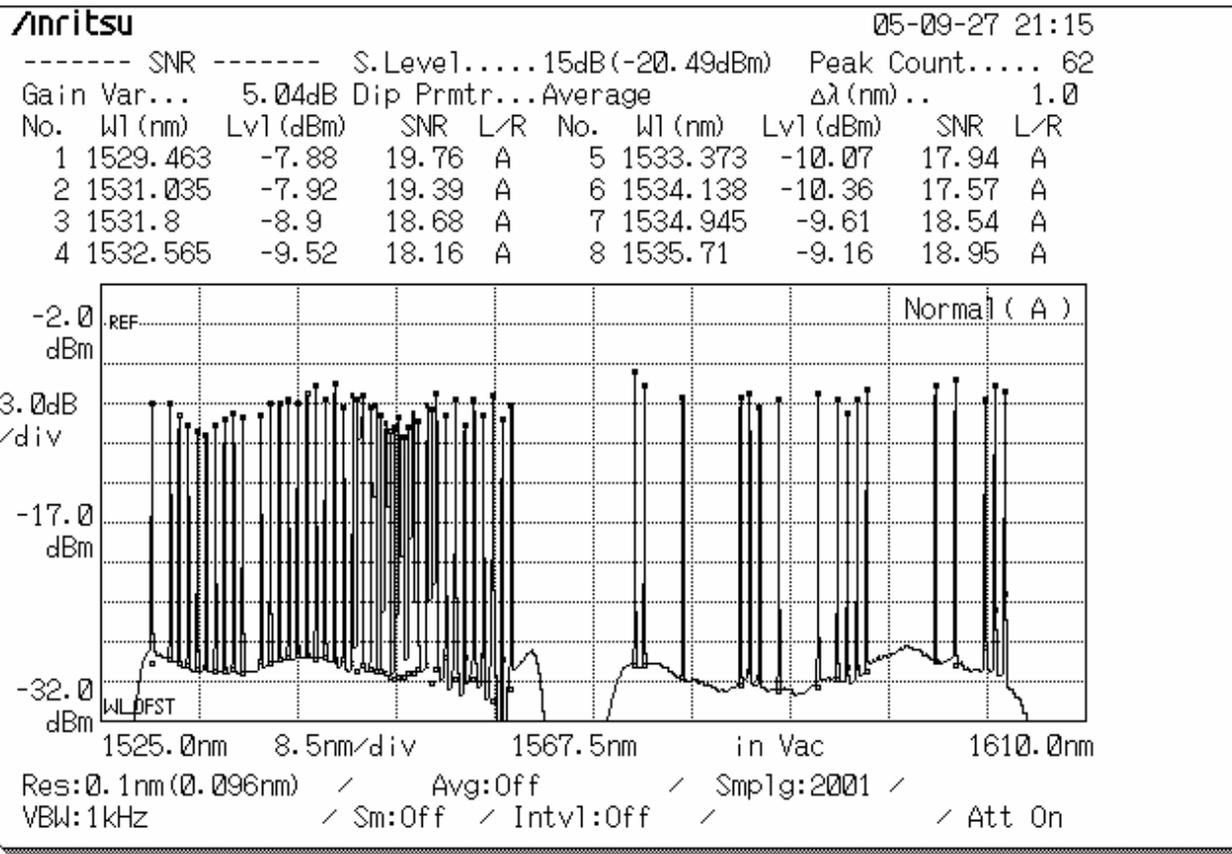


实际 1040km 光纤
(G.652)

分为15段，最长段为
120km，采用了
Raman放大。

有3个OADM。

共62个波道，C波段45个（其中C+波道7个），L波段17个。



共进行了135个项目测试，其中B类109项，C类17项，参考类9项。

国内首次成功应用喇曼光纤放大器技术于无电中继距离1000km以上的10Gb/s ULH-WDM商用工程。

- 分布喇曼放大器在实际工程的应用安全问题
- 采用分布喇曼放大器后的光监控信道（OSC）研究
- 应用于ULH系统的线性OADM研制

采用的OADM为串行或并串行固定波长OADM，具有可配置上下与直通能力，波长上下能力可在2波至全部波长上下中选择配置使用。

- 一 技术背景 「13」
- 二 主要研究内容和关键技术 「30」
- 三 成果创新性 「5」**
- 四 实现与应用 「5」
- 五 发展趋势 「4」

国内首次创建 实际光纤**3040km** 的 **160×10Gb/s**波分复用超长距离光传输系统

- 无电中继传输技术，受光纤色散、光噪声等影响，难以超出**640km**范围
- 使传输距离比原先增加近**5倍**
- 成本至少降低**2倍多**

国内首次自主研发成功喇曼光纤放大器

在项目的3040km实际光纤的实验系统中以及1036km示范工程中得到很好的应用和验证

- 创造性地开发出了泵浦合波与消偏的混合功能器件，为国内外首创
- 创新的增益补偿技术
- 创新的安全控制技术



创新地提出了包含分布喇曼放大时的光信噪比计算——广义“58”公式

- “58”公式，不包含分布喇曼放大时的情形
- 以前在计算包含分布喇曼放大时的光信噪比时，采用数值迭代方法，非常复杂耗时
- 对光通信工程设计理论作出了贡献
- 并且在实验和实际工程中都得到了验证
- 为研究开发、工程设计提供了理论依据，以及准确、便捷的计算方法

- 4) 提出并论证与工程密切相关的**OSNR**指标。
- 5) 提出并论证与工程密切相关的光通道代价指标。
- 6) 提出和证实一种**利用宽带喇曼放大器的色散管理**方式。
- 7) 2003年7月，成功地在实际的**3040km**的**G.652**光纤上进行**32×10Gb/s**系统传输试验。这是**国内首次成功实现**在实际光纤传输**3040km**，**首次将喇曼光纤放大器应用于ULH系统**，为我国的ULH系统的应用提供了系统的性能、指标、参数等实验依据。

发送采用NRZ码、具有符合G.709的TxOTU，结果表明，传输后Q值大于3.82，OSNR大于14.5dB，光通道代价小于1.6dB，连续24小时无误码。

8) 2003年7月，国内首次成功实现在实际光纤的10Gb/s CS-RZ码传输3040km G.652光纤。

发送具有符合G.709速率，结果表明，传输后Q值大于4.76，通道代价在2dB内，连续48小时无误码。

9) 2003年10月，国内首次成功在实际光纤传输3040km的C+L波段10Gb/s信号，首次将C+L宽带喇曼光纤放大器应用于ULH系统。

发送采用CS-RZ码、具有符合G.709的TxOTU，结果表明，传输后OSNR大于15dB，Q值大于4.29dB，光通道代价小于3.5dB，连续24小时无误码。

10) 2005年12月，国内首次成功应用喇曼光纤放大器技术于无电中继距离1000km以上的10Gb/s ULH-WDM商用工程。

- 一 技术背景 「13」
- 二 主要研究内容和关键技术 「30」
- 三 成果创新性 「5」
- 四 实现与应用 「5」**
- 五 发展趋势 「4」

第一代LH DWDM系统中，两个电再生端站之间选择**6-8**个光纤跨段。

这主要有两个原因：一个是地理原因（光信号需要传输多远），另一个是技术原因（光信号可以传输多远）。

陆地上的主要城市间的典型距离为**400km**。

在第一代DWDM网络中的节点，**50%**以上的数据业务只是穿通业务。

第二代LH DWDM网络设计得高效率一些，穿通业务仍保留在传输层，经过**OEO**再生后传输到目的地。

OEO再生器提高了工作效率，但成本高。

新兴的**第三代LH DWDM**网络采用**ULH**技术，信号的传输距离可以达到**3000km**甚至更远而不需**OEO**电再生。

在到达目的地之前，信号不但处于传输层，而且处于光层，可去掉**OEO**再生器，降低成本。

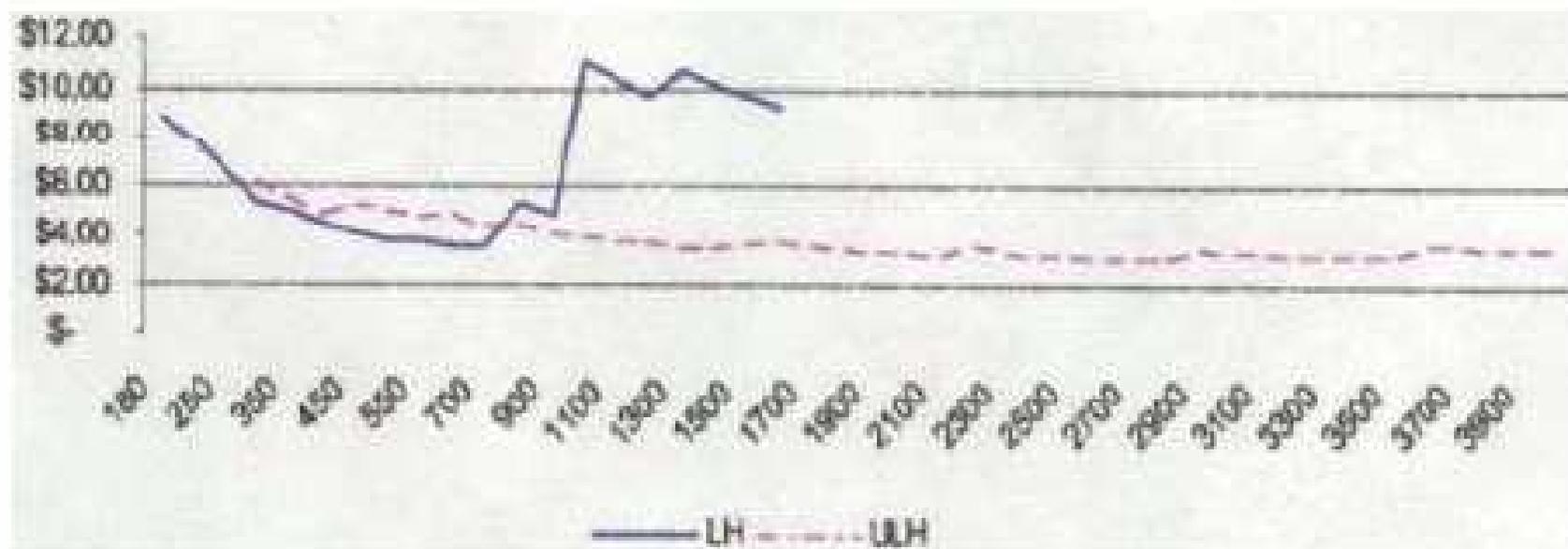
ULH系统的潜力在于，当传输速率较高、传输距离较远时，**ULH**系统与常规的**DWDM**系统相比能大大降低传输成本。**ULH+OADM**，可以使网络层次更加简化，有利于实现点到点的灵活、可靠、方便的业务传送。

4. 实现与应用

我国幅员辽阔、人口众多，ULH+OADM使网络层次更加简化，有利点到点的灵活、可靠、方便业务传送，具有非常广阔的市场前景。

与常规的长距离DWDM系统相比，ULH系统的成本优势：

Long-Haul versus ULH Cost Economies \$/Gbit/km



1 ULH-WDM系统的在线升级

在初期配置40波的情况下，具有升级到160波的能力。系统从32/40可先升级到C波段的80波，然后再升级到C+L波段的160波。

2 示范工程的现实意义

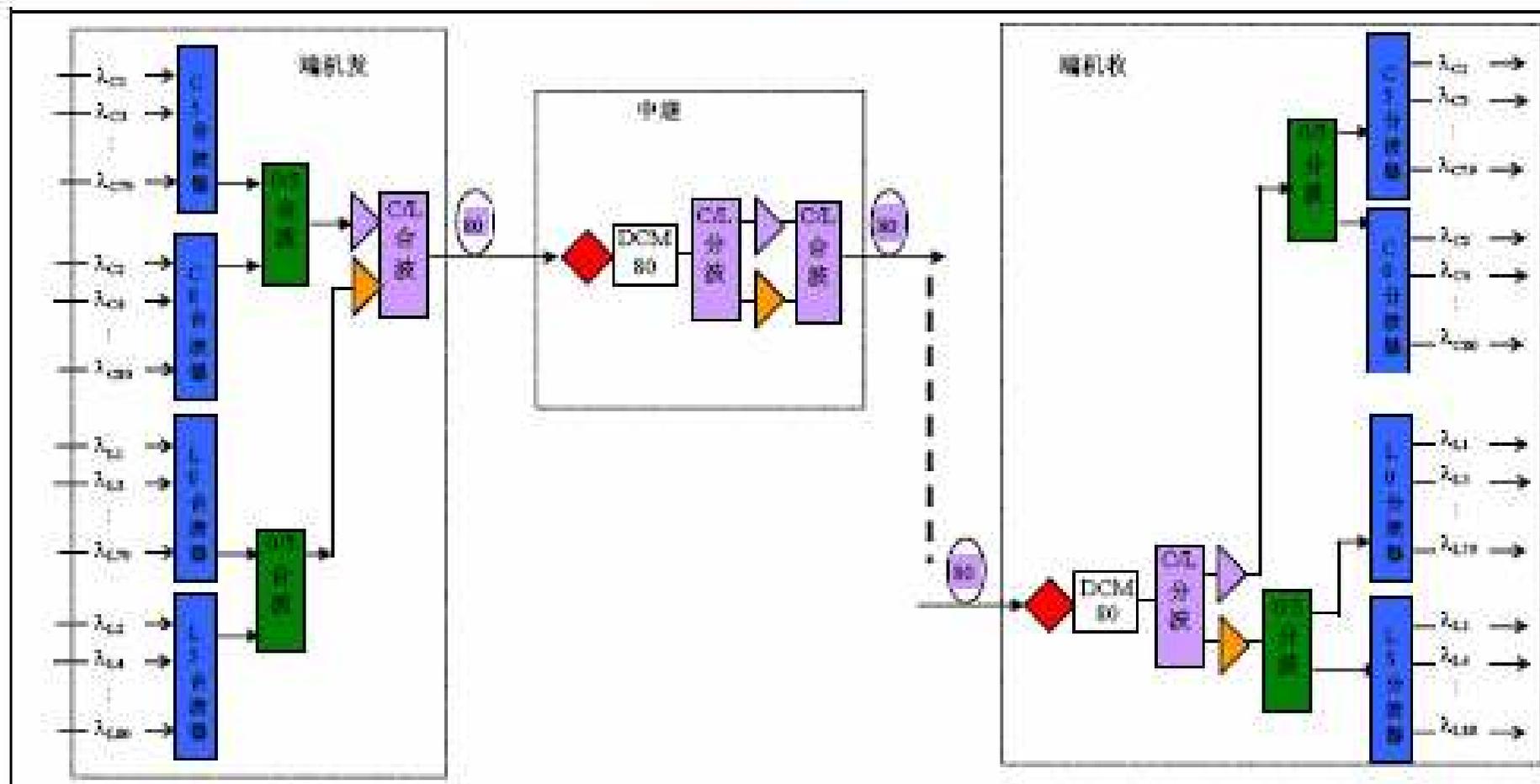
ULH（长途无电中继）示范工程表明，烽火通信公司所使用的ULH技术解决了以往长途干线传输工程中遇到的大量设置电中继站的问题，解决了在无人区设置站点的维护问题，极大的降低了工程运营维护成本。

该工程的使用，极大的提高了我国西部地区的通信传输能力，将为我国西部地区发展和建设超常距离、低成本的通信干线建立良好的示范效应。

4. 实现与应用

项目中研制和应用了其他具有自主知识产权的关键核心部件：

Interleaver属国内外首创，产品的技术指标达到国际同类产品先进水平；
达到国际同类产品的水平的**L波段EDFA**。



- 一 技术背景 「13」
- 二 主要研究内容和关键技术 「30」
- 三 成果创新性 「5」
- 四 实现与应用 「5」
- 五 发展趋势 「4」**

国际水平:

- 40x40Gb/s over 10000km via dispersion managed fiber

国内水平:

- 160x10Gb/s DWDM系统无再生传输 3040km, 可扩展至5000km。

国内ULH发展概况

| 公司 | 波段 | 光纤类型 | 距离 | 距离方式 | 传输码型 | 放大方式 | 速率 | 容量 |
|-----|-----|-----------|------|------|-------|-----------|--------|-------|
| A | C | G.652/655 | 4600 | 实际光纤 | S-CRZ | 喇曼 + EDFA | 10Gb/s | 40 波 |
| A | C | G.652 | 7000 | 光纤环 | S-CRZ | 喇曼 + EDFA | 10Gb/s | 40 波 |
| B | C+L | G.652 | 5000 | 光纤环 | CS-RZ | 喇曼 + EDFA | 10Gb/s | 160 波 |
| 武汉院 | C+L | G.652 | 3040 | 实际光纤 | CS-RZ | 喇曼 + EDFA | 10Gb/s | 160 波 |

武汉院采用实际光纤方式，更接近工程真实情况。

国际商用**ULH**产品，已达相当高的研制水平。但很多技术指标未公开，或是回避不提，如**OSNR**，光通道代价等。此外，在色散管理上也各不相同；在光放大器的应用上也各不相同，如有全**EDFA**，有全**RFA**；在跨段上也不相同，很多采用短跨距方式。

863项目研究，针对我国实际情况，深入分析论证。武汉院在实际**3040km**光纤上作了许多实验，得出了系统的性能、指标、参数等实验数据和结论，为我国的**ULH**系统的应用创造了基础条件。

- 进一步研究**40Gb/s-DWDM ULH系统**：
通道速率**43Gb/s (OTU3)**，线路码型**RZ或CS-RZ或双二进制或NRZ**，无电中继传输距离超过**1000km (实际光纤) / 3000km (光纤环)**，支持容量达到**40 × 40Gb/s**，支持**ROADM**应用
- 研制**VMUX**模块研制
- **DGE (动态增益均衡)** 模块研制
- 研制适合**40Gb/s**超长**DWDM**系统的可调的色散补偿器件和模块
- 研究**40Gb/s DWDM**技术标准

谢谢!

