

21 世纪移动通信技术丛书

# TD - LTE 无线网络优化与应用

郭 宝 张 阳 李 冶 文 编 著



机械工业出版社

本书从无线网络优化工程师的角度介绍了 TD-LTE 系统理论知识、网络结构以及 TD-LTE 系统中的关键技术；介绍了 TD-LTE 物理层，上下行物理信道及信号，详细阐述了 TD-LTE 系统各类信令流程、各类无线参数及厂家私有参数，并介绍了 TD-LTE 系统中功率控制、无线资源管理的过程；最后运用优化方法论对实际网络优化工作进行了深入研究，列举出日常优化阶段的多个专题优化思路，每个专题优化都配备相关的案例分析，并根据目前中国移动面临的 2G/3G/4G 互操作问题进行了深入细致的分析，对当前 iPhone 终端必须用到的语音回落技术进行了重点阐述。本书对 TD-LTE 系统演进起到知识过渡的作用。系统地学习本书内容必然会更快地熟悉 TD-LTE 系统。

本书面对希望系统学习 TD-LTE 理论知识的学生、工程师，从事 TD-LTE 无线网络监控、维护、优化的工程师，以及开拓基于 TD-LTE 市场营销的客户经理，也可供高等院校通信、计算机、电子和信息类专业的本科生及研究生参考阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

TD-LTE 无线网络优化与应用/郭宝, 张阳, 李冶文编著. —北京: 机械工业出版社, 2014. 8

(21 世纪移动通信技术丛书)

ISBN 978-7-111-48040-2

I. ①T… II. ①郭… ②张… ③李… III. ①码分多址移动通信-通信技术 IV. ①TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 219120 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 李馨馨 崔利平 责任校对: 张艳霞

责任印制:

印刷 (        装订)

2014 年 10 月第 1 版·第 1 次

184mm×260mm·16.25 印张·402 千字

0001 -        册

标准书号: ISBN 978-7-111-48040-2

定价:        元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书专注于 TD-LTE 网络的优化与应用，在介绍 TD-LTE 无线网络原理的基础上，对网络规划、优化工作中遇到的问题，以及解决的方法进行了详细阐述，对规划、优化、信令、参数、2G/3G/4G 互操作同样进行了详实的阐述，并对涉及的专题分析都给出来自现场网络的实际优化案例，以便读者加深理解。书中特有的指标及信令分析详细阐述了通信过程所涉及的信令，并在优化专题部分详细分析了如何使用性能指标来支撑优化分析。

与已面市的同类书籍明显不同的是，本书从无线优化工程师的角度，以实际应用为主，对涉及的理论知识及推导过程介绍较少。在整体架构上突出了优化方法论在实际网络优化过程中的应用，本书章节安排体现了优化工作的关联，如信令、参数与专题优化的关联，甚至多网之间的协同优化。

本书第 1 章介绍了 TD-LTE 系统理论知识和 TD-LTE 的发展历程与关键技术。第 2~8 章介绍了 TD-LTE 网络物理层、信令流程、无线参数、移动性管理、功率控制与无线资源管理，重点介绍了 TD-LTE 网络优化过程中所用到的信令流程与无线参数等，使用优化方法论对现网优化工作进行了深入分析。第 9 章为 TD-LTE 系统专题优化，对覆盖、干扰、切换、语音保持等专题分别进行了细致的分析，每个专题优化都配备实际的优化案例分析。在 TD-LTE 无线参数优化章节，详细介绍了定时器 and 计数器、基本无线参数、小区覆盖功率类参数、小区接入类参数、小区选择/重选参数、寻呼类参数、小区切换参数、功率控制参数等，最后的 2G/3G/4G 互操作部分对中国移动当前使用的 2G/3G/4G 网络进行了整体分析，既考虑了 2G 网络的覆盖优势，又兼顾了 4G 网络的速率优势，对 iPhone 终端必须使用的语音回落技术 CSFB 也进行了详细的阐述，并根据实地优化经验，总结了 CSFB 优化中遇到的典型问题及解决办法。

在本书的编撰过程中，郭宝负责编写第 1~3 章及第 9、10 章，张阳负责编写第 5~7 章，李冶文负责编写第 8 章并把控全书的整体架构。

参加本书编校工作的还有中国移动集团网络部的阮征，研究院的徐晓东，设计院的王西点、王磊、程楠、徐晶、沈骛、董江波、孙浩、王砚、姜涛、谢礼鑫、孙述鹏、王天石、王涛、刘锐、周鹏、王康、刘娜、韩云波，广东公司的刘少聪、刘大洋、冯绍濠、毛燕军，浙江公司的王国治、陆清清，上海公司的顾安、谢玉铭，福建公司的赵飞龙、黄冰、王希，江苏公司的郑康、郑英、仇勇，张建奎，山东公司的王治国、刘毅，陕西公司的王晓琦等。此外，中兴通讯的陈波、弥岳峰和华为公司的赵智琳对本书的出版也给予了大力支持。

由于 TD-LTE 系统建设优化时间并不长，优化经验相对不足，书中难免存在不妥之处，请读者原谅，并提出宝贵意见。意见及建议请发送至：[sunailk@139.com](mailto:sunailk@139.com)。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 TD-LTE 系统概述</b> .....	1
1.1 TD-LTE 系统技术特点 .....	1
1.1.1 TD-LTE 系统主要技术特点 .....	1
1.1.2 TD-LTE 与 FDD-LTE 系统的区别 .....	1
1.2 TD-LTE 网络结构 .....	3
1.2.1 S1、X2 接口协议栈 .....	4
1.2.2 空中接口协议栈 .....	5
1.3 TD-LTE 关键技术 .....	6
1.3.1 正交频分多址接入 .....	6
1.3.2 多天线技术 .....	8
<b>第 2 章 TD-LTE 无线网络物理层</b> .....	12
2.1 TD-LTE 物理层 .....	12
2.1.1 TD-LTE 无线帧结构 .....	12
2.1.2 TD-LTE 无线帧及特殊子帧 .....	13
2.1.3 TD-LTE 资源块 .....	15
2.2 物理层信道及信号 .....	16
2.2.1 TD-LTE 逻辑信道与传输信道 .....	16
2.2.2 TD-LTE 上行物理信道及参考信号 .....	18
2.2.3 TD-LTE 下行物理信道及参考信号 .....	20
2.2.4 物理信道与传输信道之间的映射关系 .....	29
2.3 物理信道处理流程 .....	30
2.3.1 信道编码 .....	30
2.3.2 层映射与预编码过程 .....	31
2.3.3 资源映射与调度 .....	32
2.3.4 自适应调制编码 .....	35
2.4 同步过程 .....	36
2.4.1 小区搜索 .....	37
2.4.2 同步信号 .....	37
2.4.3 小区搜索总结 .....	40
<b>第 3 章 TD-LTE 信令流程</b> .....	41
3.1 开机附着流程 .....	41
3.1.1 开机附着 .....	41
3.1.2 附着流程中的异常 .....	43

3.2	小区搜索及读取广播消息	45
3.2.1	MIB 消息读取	46
3.2.2	SI 解析	47
3.2.3	SIB type1 消息解析	50
3.3	RRC 连接建立	51
3.3.1	RRC 连接建立成功	52
3.3.2	RRC 连接重建失败	53
3.3.3	RRC 连接重配置过程	54
3.4	业务请求流程	54
3.4.1	业务请求正常流程	54
3.4.2	业务请求异常流程	56
3.5	专用承载建立及修改流程	56
3.5.1	专用承载建立流程	56
3.5.2	专用承载建立异常流程	57
3.5.3	专用承载修改流程	61
3.5.4	专用承载释放流程	63
3.6	去附着流程	65
3.6.1	关机去附着流程	65
3.6.2	非关机去附着流程	65
3.6.3	空口信令流程	67
<b>第4章</b>	<b>TD-LTE 系统移动性管理</b>	<b>69</b>
4.1	空闲态的移动性管理	70
4.1.1	小区选择	71
4.1.2	邻区优先级	72
4.1.3	邻区测量	73
4.1.4	同频/同优先级小区重选 (R 准则)	74
4.1.5	异频/不同优先级小区重选	75
4.2	重定向与跟踪区更新	76
4.2.1	重定向过程	76
4.2.2	TA 与 TAI LIST	78
4.2.3	TAU 状态及流程	79
4.3	寻呼	81
4.3.1	寻呼消息的发送	81
4.3.2	寻呼消息的读取	81
4.3.3	空口寻呼机制	82
4.4	切换测量	83
4.4.1	切换测量对象	84
4.4.2	测量上报	85
4.4.3	重定向方式	88

4.5	同频切换	89
4.5.1	同频切换测量	90
4.5.2	同频切换信令流程	93
4.5.3	切换失败 RRC 重建	94
4.6	异频切换	95
4.6.1	异频测量的触发/停止	95
4.6.2	异频测量	100
4.6.3	异频切换决策	103
4.7	异系统切换	104
4.7.1	异系统测量的触发/停止	104
4.7.2	异系统切换测量	107
4.7.3	异系统切换决策与执行	109
<b>第5章</b>	<b>TD-LTE 系统功率控制</b>	<b>111</b>
5.1	下行功率控制	111
5.1.1	PHICH 功率分配	112
5.1.2	PDCCH 功率控制	113
5.1.3	PDSCH 功率控制	113
5.2	上行功率控制	116
5.2.1	PRACH 功率控制	117
5.2.2	PUSCH 功率控制	118
<b>第6章</b>	<b>TD-LTE 系统无线资源管理</b>	<b>120</b>
6.1	调度	120
6.1.1	下行调度	120
6.1.2	上行调度	122
6.2	准入拥塞控制	123
6.2.1	负载监测	123
6.2.2	拥塞控制	125
<b>第7章</b>	<b>TD-LTE 无线参数优化</b>	<b>127</b>
7.1	TD-LTE 无线参数分类	127
7.2	TD-LTE 主要公共参数	127
7.2.1	功率配置及功控类参数	127
7.2.2	小区选择类参数	132
7.2.3	系统内移动性管理参数	133
7.2.4	系统间互操作参数	139
7.2.5	定时器和常量类参数	143
7.3	TD-LTE 私有参数	149
7.4	参数与无线优化	152
7.4.1	分场景参数设置原则	152
7.4.2	现网案例	152

<b>第 8 章 TD-LTE 系统性能指标</b>	<b>155</b>
8.1 覆盖类指标	155
8.1.1 参考信号接收功率	155
8.1.2 信号与噪声和干扰之和的比值	156
8.2 KPI 网管指标	158
8.2.1 呼叫接入类指标	158
8.2.2 呼叫保持类指标	158
8.2.3 移动性指标	159
8.3 质量类指标	159
8.3.1 上下行误块率	159
8.3.2 上下行 MAC 层重传率	160
8.3.3 时延类指标	160
8.4 测试类指标	161
8.4.1 覆盖类指标	162
8.4.2 干扰类指标	162
8.4.3 调度类指标	162
8.4.4 移动类指标	163
<b>第 9 章 TD-LTE 系统专题优化</b>	<b>164</b>
9.1 TD-LTE 网络优化原则	164
9.1.1 覆盖优化	164
9.1.2 邻区优化	165
9.1.3 干扰优化	166
9.1.4 新站开通入网流程	166
9.2 覆盖专题优化	167
9.2.1 覆盖优化指标	168
9.2.2 基于 RS 发射功率的覆盖优化	169
9.2.3 弱覆盖优化	171
9.2.4 越区覆盖优化	172
9.2.5 导频污染优化	173
9.3 切换专题优化	179
9.3.1 切换专题的邻区优化	180
9.3.2 ANR 邻区自优化	181
9.3.3 切换优化实际案例	184
9.4 干扰专题优化	189
9.4.1 干扰分类	189
9.4.2 TD-LTE F 频段系统间干扰汇总	191
9.4.3 TD-LTE 系统 F 频段干扰排查案例	193
9.5 速率提升专题	197
9.5.1 影响 TD-LTE 系统速率的关键因素	197

9.5.2	速率异常的优化排查 .....	202
9.5.3	传输资源不足的速率优化案例 .....	203
<b>第 10 章</b>	<b>TD-LTE 异系统互操作 .....</b>	<b>206</b>
10.1	TD-LTE 与 2G、3G 邻区原则 .....	206
10.1.1	TD-LTE 配置 2G、3G 邻区 .....	206
10.1.2	2G、3G 配置 TD-LTE 邻区 .....	207
10.2	TD-LTE 与 2G、3G 空闲态重选 .....	207
10.2.1	TD-LTE 空闲态重选原则 .....	207
10.2.2	TD-LTE 向 2G、3G 重选 .....	208
10.2.3	2G、3G 向 TD-LTE 重选 .....	213
10.3	TD-LTE 与 2G、3G 连接态重定向 .....	217
10.3.1	TD-LTE 连接态重定向原则 .....	217
10.3.2	TD-LTE 到 TD-SCDMA 重定向 .....	217
10.3.3	TD-SCDMA 到 TD-LTE 重定向 .....	221
10.4	2G、3G、4G 互操作实地测试 .....	225
10.4.1	TD-LTE 空闲态重选出测试 .....	225
10.4.2	TD-LTE 连接态重定向出测试 .....	226
10.5	TD-LTE 系统语音解决方案 CSFB .....	227
10.5.1	CSFB 关键流程 .....	227
10.5.2	CSFB 时延分析 .....	233
10.5.3	CSFB 优化思路 .....	235
10.5.4	CSFB 优化中典型问题 .....	236
<b>附录</b>	<b>缩略语 .....</b>	<b>242</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>251</b>

# 第 1 章 TD - LTE 系统概述

本章先介绍 TD - LTE 系统技术特点，然后概括了 TD - LTE 与 FDD - LTE 系统的区别，最后介绍了 TD - LTE 网络结构、主要接口协议栈，以及两项主要的关键技术：正交频分多址接入与多天线技术。

## 1.1 TD - LTE 系统技术特点

### 1.1.1 TD - LTE 系统主要技术特点

经过多次修订，3G 各个版本基本成熟，UMTS 的 R7 协议版本的 HSPA + 支持的传输速率已远远超过最初设计的最大传输速率 2 Mbit/s，但是 3G 标准仍存在诸多不足，如利用率不高，仍采用电路交换；多种标准难以实现全球漫游等。正是由于 3G 的局限性推动了对 4G 的研究，第四代移动通信系统可称为宽带接入和分布式网络，是一个采用全 IP 的网络结构。4G 网络采用许多关键技术来支撑，包括：正交频分复用（Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM）技术、多载波调制技术、自适应调制和编码（Adaptive Modulation and Coding, AMC）技术、多输入多输出（Multiple Input Multiple Output, MIMO）技术等。

第四代移动通信系统具有如下特征。

1) 传输速率更快：对于大范围高速移动用户（250 km/h）数据速率为 2 Mbit/s；对于中速移动用户（60 km/h）数据速率为 20 Mbit/s；对于低速移动用户（室内或步行者），数据速率为 100 Mbit/s。

2) 频谱利用效率更高：下行可达到 5 bit/s/Hz，上行达到 2.5 bit/s/Hz。

3) 网络频谱更宽：每个 4G 信道将会占用 100 MHz 或是更高的带宽，而 3G 网络的带宽则在 5 ~ 20 MHz 之间。

4) 容量更大：4G 将采用新的网络技术（如空分多址技术等）来极大地提高系统容量，以满足未来大信息量的需求。

5) 灵活性更强：4G 系统采用智能技术，可自适应地进行资源分配，采用智能信号处理技术对信道条件不同的各种复杂环境进行信号的正常收发。另外，用户将使用各式各样的设备接入 4G 系统。

TD - LTE（TDD - Long Term Evolution）是一种专门为移动高宽带应用而设计的无线通信标准，沿用了 TD - SCDMA 的帧结构。TD - LTE 的技术优势体现在速率、时延和频谱利用率等多个领域，使得运营商能够在有限的频谱带宽资源上具备更强大的业务提供能力。在 TD - LTE 的建设发展过程中，可参考建设 TD - SCDMA 系统时面临的干扰规避、干扰协调等问题。

### 1.1.2 TD - LTE 与 FDD - LTE 系统的区别

LTE 系统定义了频分双工（FDD）和时分双工（TDD）两种双工方式，FDD 是指在对

称的频率信道上接收和发送数据，通过保护频段来分离发送和接收信道。TDD 是指通过时间来分离发送和接收信道，发送和接收使用同一载波频率的不同时隙。时间资源在两个方向上进行分配，因此基站和移动台必须协同一致进行工作。

2008 年发布 3GPP R8 版本中，明确规定采用 Type 1 作为 FDD 的物理层帧结构，Type 2 作为 TDD 物理层帧结构。FDD - LTE 和 TD - LTE 网络架构相同，其物理层帧结构不同，MAC 层调度有区别。两种双工方式在支持带宽、多址接入、调制编码方式、功率控制等方面使用相同的关键技术，见表 1-1。

**表 1-1 FDD - LTE 与 TD - LTE 相同的技术**

	TD - LTE	FDD - LTE
支持带宽/MHz	1.4, 3, 5, 10, 15, 20	相同
多址接入	UL: SC - FDMA, 15 kHz sub - carrier spacing	相同
	DL: OFDMA, 7.5/15 kHz sub - carrier spacing	
编码方式	卷积编码, Turbo 编码	相同
调制方式	QPSK, 16QAM, 64QAM	相同
循环前缀长度	4.7 $\mu$ s, 5.2 $\mu$ s (Normal CP)	相同
	16.7 $\mu$ s (Extended CP)	
	33.3 $\mu$ s (Extended CP 7.5 kHz)	
时隙/每子帧符号/每子帧时隙	每子帧 2 $\times$ 0.5 ms 时隙	相同
	每时隙 7 个符号 (Normal CP)	
	每时隙 6 个符号 (Extended CP)	
功率控制	开环功控, 闭环功控	相同
链路自适应	上下行都支持链路自适应	相同
拥塞控制	上下行都支持拥塞控制	相同

在物理帧结构、上下行子帧配置、同步信道位置与 HARQ 进程方面，FDD - LTE 和 TD - LTE 采用不同的技术，见表 1-2。

**表 1-2 FDD - LTE 与 TD - LTE 不同的技术**

	TD - LTE	FDD - LTE
双工方式	TDD	FDD
物理帧结构	Type 2	Type 1
上下行子帧配置	支持上下行子帧灵活配置	不支持上下行子帧灵活配置
同步	PSS 和 SSS 位置与 FDD - LTE 不同	PSS 和 SSS 位置与 TD - LTE 不同
HARQ	HARQ 进程数取决于上下行子帧配置	HARQ 进程数固定
调度周期	取决于上下行子帧配比, 最小周期为 1ms	1 ms
多天线 beam forming	可以利用接收信号相关特性预估下行信道质量, 对下行信道做相应改善	不支持
随机接入 preamble	Preamble 格式 0 ~ 4	Preamble 格式 0 ~ 3
小区搜索	P - SCH 和 S - SCH 符号位置与 FDD 不同	P - SCH 和 S - SCH 符号位置与 TDD 不同

(续)

	TD - LTE	FDD - LTE
参考信号	DL: 支持 UE 相关和小区相关的 RS	DL: 仅支持小区相关 RS
	UL: 支持 DMRS 和 SRS, SRS 承载在 UpPTS	UL: 支持 DMRS 和 SRS, SRS 承载在数据子帧
MIMO 模式	支持 mode 1 ~ 7	支持 mode 1 ~ 7, mode 7 更适用于 TD - LTE

TDD 方式和 FDD 方式相比有一些独特的技术特点：能灵活配置频率，利用 FDD 系统不易使用的零散频段；TDD 方式不需要对称使用频率，频谱利用率高；具有上下行信道互惠性，能够更好地采用传输预处理技术，如预 RAKE 技术、联合传输（JT）技术、智能天线技术等，能有效降低移动终端的处理复杂性。

TDD 方式相较于 FDD，也存在明显的不足：TDD 方式的时间资源在上行和下行两个方向进行分配，因此基站和移动台必须协同一致进行工作，对于同步要求高，系统较 FDD 复杂；另外，TDD 系统上行受限，因此 TDD 基站的覆盖范围明显小于 FDD 基站；TDD 系统收发信道同频，无法进行干扰隔离，对高速移动的物体的支持性不足。

## 1.2 TD - LTE 网络结构

TD - LTE 系统采用扁平化的网络结构，取消了 RNC 节点，接入网侧仅包含 eNodeB（简称 eNB），减少了信令流程交互需经过的网元，缩短了控制面的信令时延，相应地对 3G 的信令流程也有一定的简化。

整个 TD - LTE 系统由演进型分组核心网（Evolved Packet Core, EPC）、演进型网络基站（eNodeB）和用户设备（UE）三部分组成，如图 1-1 所示。其中，EPC 负责核心网部分，EPC 控制处理部分称为 MME，数据承载部分称为 SAE Gateway（S - GW）；eNodeB 负责接入网部分，也称 E - UTRAN。

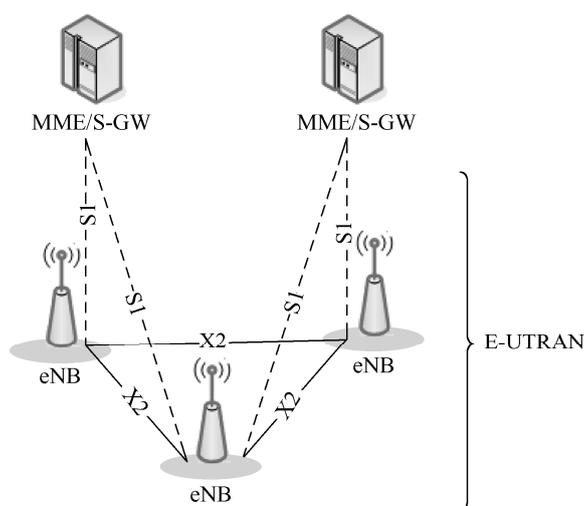


图 1-1 TD - LTE 网络结构

eNodeB 与 EPC 通过 S1 接口连接；eNodeB 之间通过 X2 接口连接；eNodeB 与 UE 之间通过 Uu 接口连接。与 UMTS 相比，由于 NodeB 和 RNC 融合为网元 eNodeB，所以 TD - LTE 少

了 Iub 接口。X2 接口类似于 Iur 接口，S1 接口类似于 Iu 接口。

MME 的功能主要包括：寻呼消息发送、安全控制、Idle 状态的移动性管理、SAE 承载管理以及 NAS 信令的加密与完整性保护等。S - GW 的功能主要包括：数据的路由和传输，以及用户面数据的加密。P - GW 的主要功能包括分组数据过滤、UE 的 IP 地址分配、上下行计费及限速。

TD - LTE 系统接口主要包括 S1 接口、X2 接口、空中接口，下面分别介绍每种接口控制平面与用户平面的协议栈结构。

### 1.2.1 S1、X2 接口协议栈

S1 控制平面接口（S1 - MME）是指 eNodeB 和 MME 之间的接口，S1 接口控制平面协议栈如图 1-2 所示。传输网络层建立在 IP 传输基础上，IP 层之上采用 SCTP 层来实现信令消息的可靠传输。应用层协议栈使用 S1 应用协议，每个 S1 - MME 接口都关联一个单独的 SCTP。

S1 用户平面接口（S1 - U）是指连接在 eNodeB 和 S - GW 之间的接口，提供 eNodeB 和 S - GW 之间用户平面协议数据单元（Protocol Data Unite，PDU）的非保障传输。S1 接口用户平面协议栈如图 1-3 所示，S1 - U 的传输网络层建立在 IP 层之上，UDP/IP 之上采用 GPRS 用户平面隧道协议（GPRS Tunneling Protocol for User Plane，GTP - U）来传输用户平面 PDU。

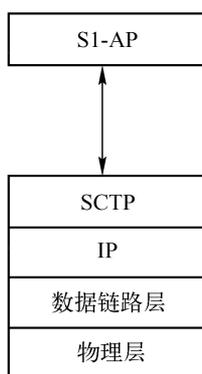


图 1-2 S1 接口控制平面协议栈

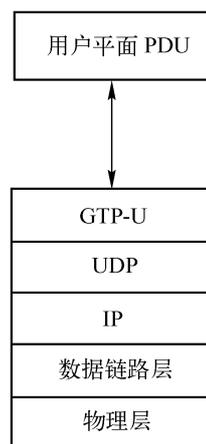


图 1-3 S1 接口用户平面协议栈

S1 接口主要具备以下功能：初始上下文建立；EPS 承载服务管理功能，包括 EPS 承载的建立、修改和释放；S1 接口 UE 上下文管理功能；EMM - CONNECTED 状态下针对 UE 的移动性管理功能，包括 Intra - LTE 切换、Inter - 3GPP - RAT 切换；S1 接口寻呼功能，寻呼功能支持向 UE 注册的所有跟踪区域内的小区中发送寻呼请求，基于服务 MME 中 UE 的移动性管理内容中所包含的移动信息，寻呼请求将被发送到相关 eNodeB；NAS 信令传输功能，提供 UE 与核心网之间非接入层的信令的透明传输；S1 接口建立等。

X2 接口控制平面（X2 - C）是 eNodeB 之间的接口。源 eNodeB 为 X2 - C 的特定流程分配源 eNodeB 通信的上下文标识，目标 eNodeB 为 X2 - C 的特定流程分配目标 eNodeB 通信的上下文标识。这些上下文标识用来区别 UE 特定的 X2 - C 信令传输承载。通信上下文标识通过各自的 X2 - AP 消息传输。X2 控制平面接口（X2 - CP）定义为连接 eNodeB 之间接口的控制平面。X2 接口控制平面的协议栈类似 S1 接口，SCTP 层之上的应用层信令协议为 X2 - AP 协议。

X2 接口用户平面提供 eNodeB 之间的用户数据传输功能。X2 接口的用户平面协议栈与 S1 - UP 协议栈类似，X2 - UP 的传输网络层基于 IP 传输，采用 GTP - U 协议来传输 eNodeB 之间的用户平面 PDU。

X2 应用协议支持 UE 在 EMM - CONNECTED 状态时的 LTE 接入系统内的移动性管理功能。如在切换过程中由源 eNodeB 到目标 eNodeB 的上下文传输、源 eNodeB 与目标 eNodeB 之间用户平面隧道的控制以及切换取消等。

## 1.2.2 空中接口协议栈

空中接口协议主要是用来建立、重配置和释放各种无线承载业务。空中接口协议栈根据用途分为控制平面协议栈和用户平面协议栈。控制平面负责用户无线资源的管理、无线连接的建立、业务的 QoS 保证和最终的资源释放，如图 1-4 所示。

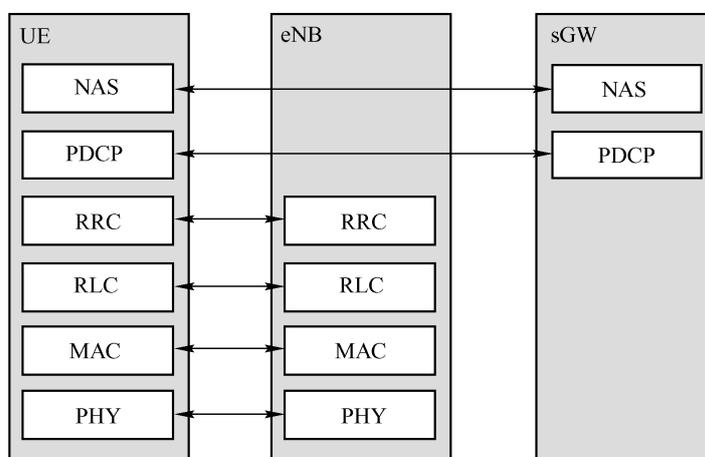


图 1-4 空中接口控制平面协议栈

控制平面协议栈主要包括非接入层 (Non - Access Stratum, NAS)，NAS 层之下为接入层，包括：分组数据汇聚子层 (Packet Data Convergence Protocol, PDCP)、无线资源控制子层 (Radio Resource Control, RRC)、无线链路控制子层 (Radio Link Control, RLC) 及媒体接入控制子层 (Media Access Control, MAC)。

控制平面的主要功能由 NAS 层与 RRC 层实现，NAS 控制协议实体位于终端 UE 和移动管理实体 MME 内，主要负责非接入层的管理和控制。实现的功能包括：EPC 承载管理、鉴权、产生 LTE - IDLE 状态下的寻呼消息、移动性管理以及安全控制等。RRC 协议实体位于 UE 和 eNodeB 网络实体内，主要负责接入层的管理和控制，实现的功能包括：系统消息广播，寻呼建立、管理、释放，RRC 连接管理，无线承载 (Radio Bearer, RB) 管理，移动性功能，终端的测量和测量上报控制。

用户平面用于执行无线接入承载业务，主要负责用户发送和接收的所有信息的处理，如图 1-5 所示。

用户平面协议栈 PDCP 主要任务是头压缩和用户平面数据加密。MAC 子层主要用于实现与数据处理相关的功能，包括信道管理与映射、数据包的封装与解封装、HARQ 功能、数据调度及逻辑信道的优先级管理等。RLC 实现的功能包括数据包的封装和解封装、ARQ 过程、数据的重排序和重复检测、协议错误检测和恢复等。

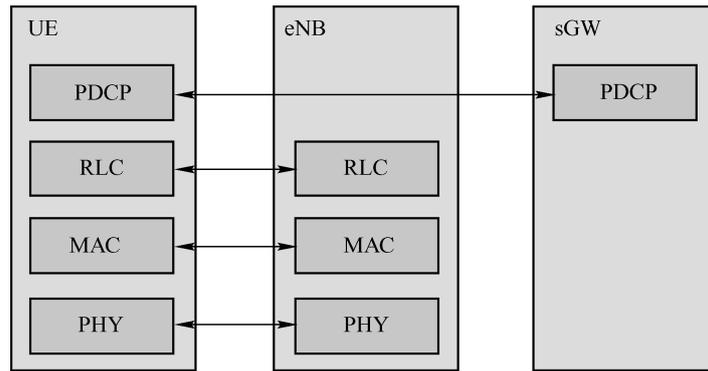


图 1-5 空中接口用户平面协议栈

### 1.3 TD-LTE 关键技术

TD-LTE 系统使用的关键技术包括：正交频分多址接入、多天线技术、混合自动重传、链路自适应、干扰协调等。

#### 1.3.1 正交频分多址接入

正交频分多址接入（Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA）技术是把高速数据流分散到多个低速的正交的子载波上并行传输，从而降低单个子载波上的符号速率，将符号周期扩大为原来的  $N$  倍，对因多径效应产生的时延扩展有较强的抵抗力，减少了符号间干扰（Inter Symbol Interference, ISI）的影响。在 OFDM 符号前加入保护间隔，只要保护间隔大于信道的时延扩展，则可以完全消除符号间干扰。

在传统 FDMA 系统中，为了避免各子载波间的干扰，相邻载波之间需要较大的保护频带，频谱效率较低。OFDM 系统允许各子载波之间紧密相邻，甚至部分重合，通过正交复用方式避免频率间干扰，降低了保护间隔的要求，从而实现很高的频率效率。两种复用方式的频谱使用对比如图 1-6 所示。

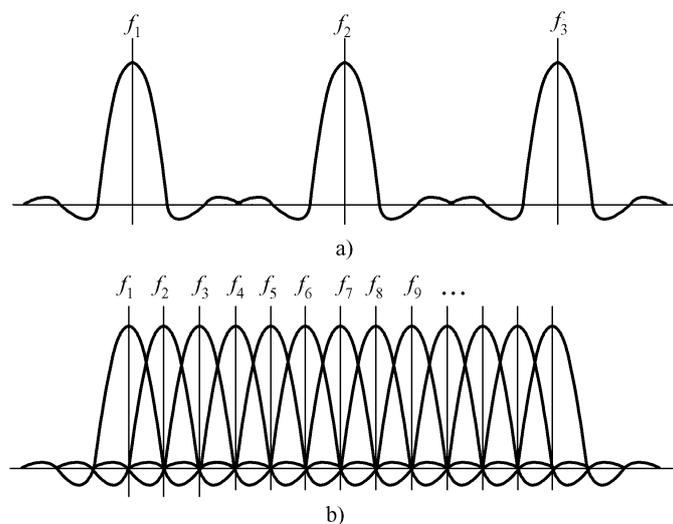


图 1-6 传统 FDMA 与 OFDMA 频谱对比

a) 传统 FDMA 频谱 b) OFDMA 频谱

在 TD-LTE 系统中，下行采用了 OFDMA 方式，而上行方向，采用了具有单载波峰均比特征的 DFT-S-OFDMA 多址方式。

TD-LTE 下行 OFDMA 方式如图 1-7 所示，发端信号先进行信道编码与交织，然后进行 QAM 调制，将调制后的频域信号进行串→并变换，以及子载波映射，并对所有子载波上的符号进行逆傅里叶变换 (IFFT) 后生成时域信号，然后在每个 OFDM 符号前插入一个循环前缀 (Cyclic Prefix, CP)，以在多径衰落环境下保持子载波之间的正交性。插入 CP 就是将 OFDM 符号尾部的一段复制到 OFDMA 符号之前，CP 长度必须长于主要多径分量的时延扩展，才能保证接收端信号的正确解调。

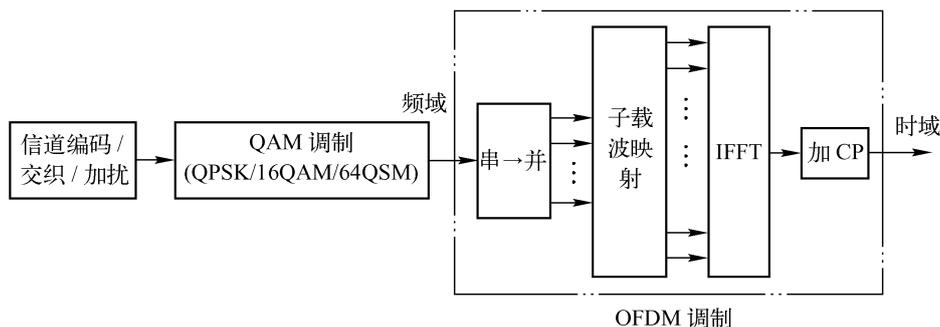


图 1-7 TD-LTE 下行 OFDMA 示意图

选择 DFT-S-OFDM，即 SC-FDMA（单载波）作为上行多址方式，是因为 DFT-S-OFDM 具有单载波的特性，其发送信号峰均比较低，在上行功放要求相同的情况下，可以提高上行的功率效率，降低系统对终端的功耗要求。LTE 上行多址方式的示意图如图 1-8 所示。下行 OFDMA 子载波分配方式有集中式和分布式，上行为了获得较低的峰均比以降低 UE 的负担，选择集中式的分配方式。

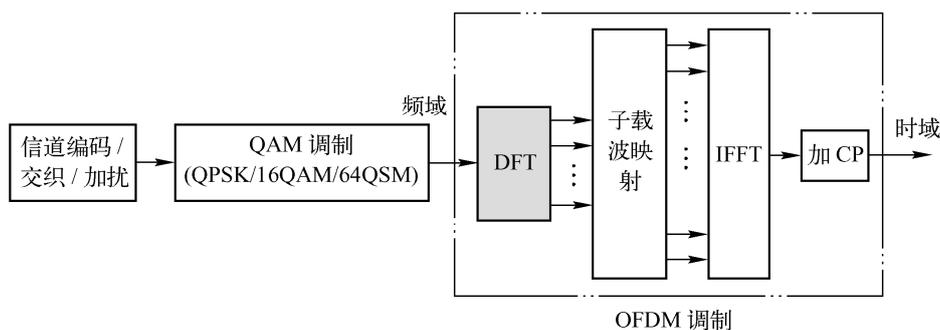


图 1-8 TD-LTE 上行 DFT-S-OFDMA 示意图

OFDMA 技术的优势包括：抗多径衰落、频谱利用率高、计算方法简单高效，但是也存在不足，如受频率偏差的影响较大、存在较高的峰均比。由于 OFDM 子信道频谱相互重叠，因此对正交性要求严格。然而无线信道存在时变性，在传输过程中会有无线信号的频率偏移，会破坏 OFDM 子载波之间的正交性，引起子信道间的信号干扰。此外，由于 OFDM 信号是多个子信道信号的总和，这些子信道信号可能同相，在幅度上叠加在一起会产生很大的瞬时峰值幅度。峰均比过大会降低射频功率放大器的效率。

循环前缀是前一个符号最后一段样本值的重复，加入循环前缀的目的是不破坏子载

波间的正交性，循环前缀示意图如图 1-9 所示。加入循环前缀后，保护间隔内的时间资源不可使用，降低了各个子载波的符号速率和信道容量，带来的益处是抗多径效应能力增强。

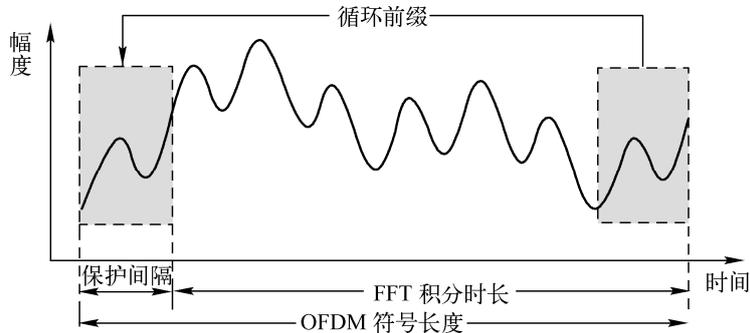


图 1-9 循环前缀示意图

循环前缀的长度决定了 OFDM 系统的抗多径能力和覆盖能力。长 CP 利于克服多径干扰，支持大范围覆盖，但系统开销也会相应增加，导致数据传输能力下降。为了达到小区半径 100 km 的覆盖要求，TD-LTE 系统采用长、短两套循环前缀方案，根据具体场景进行选择：短 CP 方案为基本选项，长 CP 方案用于支持 TD-LTE 大范围小区覆盖和多小区广播业务。

### 1.3.2 多天线技术

多天线 (Multiple Input Multiple Output, MIMO) 技术是指将用户数据分解为多个并行的数据流，在指定的宽带内由多个发射天线上同时刻发射，经过无线传播后，由多个接收天线接收，并根据各个并行数据流的空间特性，解调出原数据流。采用多天线技术，在低信噪比区域，应用传输分集技术和波束赋形技术可有效提高接收信号的信噪比，从而提高传输速率或覆盖范围；在高信噪比区域，可应用空间复用技术来提高传输速率。

在下行链路，多天线发送方式主要包括传输分集、波束赋形、空间复用以及多用户 MIMO 等。目前 MIMO 技术下行基本天线配置为  $2 \times 2$ ，即 2 天线发送和 2 天线接收，最大支持 4 天线进行下行方向传输。在上行链路，包括空间复用和传输分集，目前 MIMO 上行天线配置为  $1 \times 2$ ，即 1 天线发送和 2 天线接收。

#### 1. 传输分集

在无线通信系统中，分集技术主要用于对抗衰落、提高链路可靠性。传输分集的主要原理是，利用空间信道的弱相关性，结合时间/频率上的选择性，为信号的传递提供更多的副本，提高信号传输的可靠性，从而改善接收信号的信噪比。空间发射分集利用了分集增益的原理，在基站发射端，对发射的信号进行预处理，采用多根天线进行发射，在接收端通过一定的检测算法获得分集信号。

TD-LTE 中发射分集技术的实现方式有：空时发射分集、空频发射分集、延时发射分集、循环延时发射分集、切换发射分集等。

##### (1) 空时发射分集

通过对不同的天线发射的信号进行空时编码达到时间和空间分集的目的，在发射端对数据流进行联合编码以减小由于信道衰落和噪声导致的符号错误概率。空时编码通过发射端的

联合编码增加信号的冗余度，从而使信号在接收端获得时间和空间分集增益。

STBC 适用于窄带慢衰落无线信道，对于实际的宽带无线信道，直接应用 STBC 并不合适。将空时分组码与 OFDM 结合，便构成了空频块码（Space Frequency Block Code, SFBC）。SFBC 系统中，发射端的信息比特经过调制得到信息符号，经 SFBC 编码，然后分流并进行 OFDM 调制，在各个天线中发送出去。接收端先对各天线收到的信号进行 OFDM 解调，然后利用解调后的频域数据进行信道估计，并将由此得到的频域信道信息连同频域接收数据一起送往 SFBC 译码器进行译码，再经解调恢复得到原始信息比特。

### (2) 延时发射分集

延时发射分集是一种最基本的发射分集方式，最初应用于单载波系统。在这个方案中，发射端使用多个天线传输信号，相同信号的副本引入不同的时间延迟在不同的天线上发送，各个路径的信号在统计意义上相互独立。该方案将空间分集转化为频率分集，利用频率分集增益，降低系统的差错概率。

在接收端，系统的接收机结构与单天线接收机完全一致。但是为了避免延时发射分集造成的码间干扰，接收端需要利用均衡技术消除干扰，如采用最大似然序列估计（MLSE）/最小均方误差（MMSE）算法，或用维特比译码法均可获得分集增益。延时发射分集适用于改善平坦衰落信道或时延扩展较小的信道的信道质量。

### (3) 循环延时发射分集

在不同的发射天线上发送具有不同延时的同一个信号，人为地制造时间弥散，来获得分集增益。延时发射分集获得了分集增益，但是引入了码间干扰，接收机需要采用均衡器来消除干扰，这增加了接收机的复杂度。为解决这个问题，提出了循环延时发射分集（Cyclic Delay Diversity, CDD）。在循环延时发射分集系统中，各个天线支路的信号并没有在时间上滞后，而是在信号内部进行了循环移位，既不会产生码间干扰也不用增加循环前缀的长度，此方案可以在不增加接收机的复杂度的前提下获得分集增益。在插入循环前缀之前，将同一个 OFDM 符号分别循环移位  $D_m$  个样点，其中  $m$  ( $m = 1, \dots, M$ ) 表示天线序号，然后每个天线根据各自对应的循环移位之后的版本，分别加入各自的 CP 并将信号发射出去。

## 2. 波束赋形

波束赋形（Beam Forming）是一种基于天线阵列的信号与预处理技术，其工作原理是利用空间信道的强相干性及波的干涉原理产生强方向性的辐射方向图，使辐射方向图的主瓣自适应地指向用户来波方向，从而提高信噪比，获得明显的阵列增益，波束赋形技术在扩大覆盖范围、改善边缘吞吐量以及干扰抑制等方面都有很大的优势。波束赋形的权值仅仅需要匹配信道的慢变化，比如来波方向（Direction Of Arrival, DOA）和平均路损。因此，在进行波束赋形时，可以不利用终端反馈所需信息，而在基站侧通过测量上行接收信号获得来波方向和路损信息。

为了获得波束赋形增益，需要使用较多的天线单元，而目前 LTE 仅仅考虑最多使用 4 个公共导频，无法支持在超过 4 根天线单元的天线阵列上使用波束赋形，因此波束赋形需要使用专用导频。波束赋形技术已经在 TD-SCDMA 系统中得到了成功的应用，在 TD-LTE R8 中采用了单流波束赋形技术。TD-LTE R9 中则将波束赋形技术扩展到了双流波束赋形。

### (1) 单流波束赋形

LTE R8 中仅支持基于专用导频的单流波束赋形技术。传输过程中，UE 需要通过对专用导频的测量来估计波束赋形后的等效信道，并进行相干检测。为了能够估计波束赋形后传输所经历的信道，基站必须发送一个与数据同时传输的波束赋形参考信号，这个参考信号是用户专用的，对应于用户专用参考信号的传输称为使用天线端口 5 的传输。

单流波束赋形可根据赋形向量的获得分为长期波束赋形和短期波束赋形两种。短期的波束赋形最常见的是基于奇异值分解 (Singular Value Decomposition, SVD) 波束赋形，长期的波束赋形通常称为基于来波方向的波束赋形。DOA 波束赋形是一种长期波束赋形技术，即赋形加权向量是基于远大于信道相干时间的一段时间内对信道的测量。

### (2) 双流波束赋形

LTE R9 中将波束赋形扩展到了双流传输，实现了波束赋形与空间复用技术的结合。双流波束赋形技术应用于信号散射体比较充分的条件下，结合了智能天线技术和 MIMO 空间复用技术，利用 TDD 信道的对称性，同时传输多个数据流实现空分复用，并且能够保持传统单流波束赋形技术覆盖广、小区容量大和干扰小的特性，既可以提高边缘用户的可靠性，同时可有效提升小区中心用户的吞吐量。

在双流赋形中，UE 基于对专用导频的测量估计波束赋形后的等效信道。对于 TDD 系统，更适合利用信道的互易性并采用非反馈预编码矩阵的码本号 (Pre-coding Matrix Index, PMI) 的方式实现双流波束赋形。eNodeB 通过对 SRS 的测量获得信道状态信息 (Channel State Information, CSI) 并计算每个流的波束赋形向量。

## 3. 空间复用

LTE 既支持开环方式的空间复用，也支持闭环方式的空间复用。开环方式的空间复用系统中，接收端不能获得任何信道状态信息，各个并行的数据流均等地分配功率与传输速率，并采用全向天线进行发射。在这种开环的方式中，接收机需要通过均衡算法匹配信道进行信号接收，而发送信号并未与信道相匹配。闭环方式的空间复用 (即预编码技术) 系统中，接收端将信道状态信息反馈给发送端，发送端对发射信号的空间特性进行优化，使发送信号的空间分布特性和信道条件相匹配，因而可以有效降低接收机均衡算法的复杂度获得更好的性能。

预编码技术可以分为线性或非线性方法，目前考虑到非线性方法的复杂度，无线通信系统中一般只考虑线性预编码。线性预编码的作用就是将天线域的处理转换为波束域的处理，在发射端利用已知的空间信道信息进行预处理操作，进一步提高用户和系统的吞吐量。

线性预编码按预编码矩阵的获得位置分为两大类：非码本的预编码 (Non-codebook based pre-coding) 和基于码本的预编码 (Codebook based pre-coding)。所谓码本，是指有限个预编码矩阵所构成的集合。基于码本的预编码方式中，可用的预编码矩阵只能从特定的码本中选取。而非码本方式的预编码中，并不对可选用的预编码的个数进行限制，预编码矩阵可以是任何符号设计规则与应用条件限制的矩阵。

### (1) 非码本的预编码方式

在非码本的预编码方式中，预编码矩阵在发射端获得。发射端利用预测的 CSI 进行预编码矩阵的计算。在 TD-LTE 系统中，CSI 可以利用信道对称性获得。常见的预编码矩阵的计算方法有奇异值分解、均匀信道分解 (Uniform Channel Decomposition, UCD) 等。

为了使 UE 能够进行相干解调，非码本的预编码方式要求使用专用导频，即数据符号和导频符号一起进行预编码操作。这样接收端只需通过信道估计就可以获得预编码后的等效信道。

## (2) 基于码本的预编码

实际通信系统中，反馈信息会占用很多的资源，尤其在快衰落信道中，对反馈信息的效率和准确度要求较高，这时采用基于码本的预编码。由于只需要反馈预编码矩阵的码本号 (Pre-coding Matrix Index, PMI)，能够节省反馈信道资源并快速跟踪信道的变化。基于码本的预编码方式中，预编码矩阵在接收端获得。UE 根据公共导频 (CRS) 测量下行信道，利用预测的信道状态信息，在预定的预编码矩阵码本中进行预编码矩阵的选择，并将选定的预编码矩阵的序号反馈给发射端。

eNodeB 在下行传输过程中，将以 UE 上报的预编码矩阵的码本号 (PMI) 为参考对数据进行预编码。考虑到 eNodeB 在下行使用的预编码矩阵可能与 UE 上报的 PMI 不一致，为了保证 UE 能获知预编码后的等效信道并对下行数据进行相干解调，eNodeB 需要在下行控制信令中明确指示其所用的预编码矩阵。基于码本的 CQI 计算过程能够反映 UE 的处理算法，因而相对比较准确。但是，基于码本的预编码方法存在量化精度损失的问题，因此预编码矩阵不能与信道精确地匹配。

## 第 2 章 TD-LTE 无线网络物理层

本章主要介绍 TD-LTE 无线网络物理层无线帧结构、上下行时隙及特殊子帧，LTE 资源块在频域和时域的标识，还有 LTE 系统各种逻辑信道、传输信道、物理信道与参考信号。在此基础上介绍了 LTE 物理层的小区搜索。

### 2.1 TD-LTE 物理层

#### 2.1.1 TD-LTE 无线帧结构

LTE 支持两种基本的工作模式，频分双工（FDD）和时分双工（TDD）；支持 Type1 和 Type2 两种不同的无线帧结构，帧长均为 10 ms，Type1 用于 FDD 工作模式，Type2 用于 TDD 工作模式。Type1 帧结构 10 ms 的无线帧分为 10 个长度为 1 ms 的子帧（Subframe），每个子帧由两个长度为 0.5 ms 的时隙（Slot）组成，其编号为 0~19。一个子帧定义为两个相邻的时隙，其中第  $i$  个子帧由第  $2i$  个和第  $2i+1$  个时隙构成。Type1 的帧结构如图 2-1 所示。

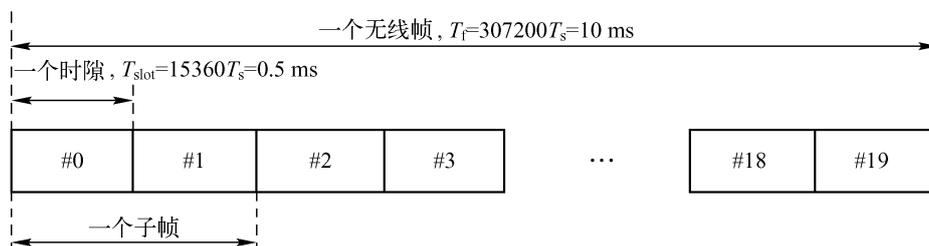


图 2-1 LTE Type1 帧结构格式

TDD 模式下，每个 10 ms 无线帧包括 2 个长度为 5 ms 的半帧（Half frame），每个半帧由 5 个长度为 1 ms 的子帧组成，其中有 4 个普通子帧和 1 个特殊子帧，如图 2-2 所示。特殊子帧包括 3 个特殊时隙（DwPTS、GP 和 UpPTS），总长度为 1 ms。

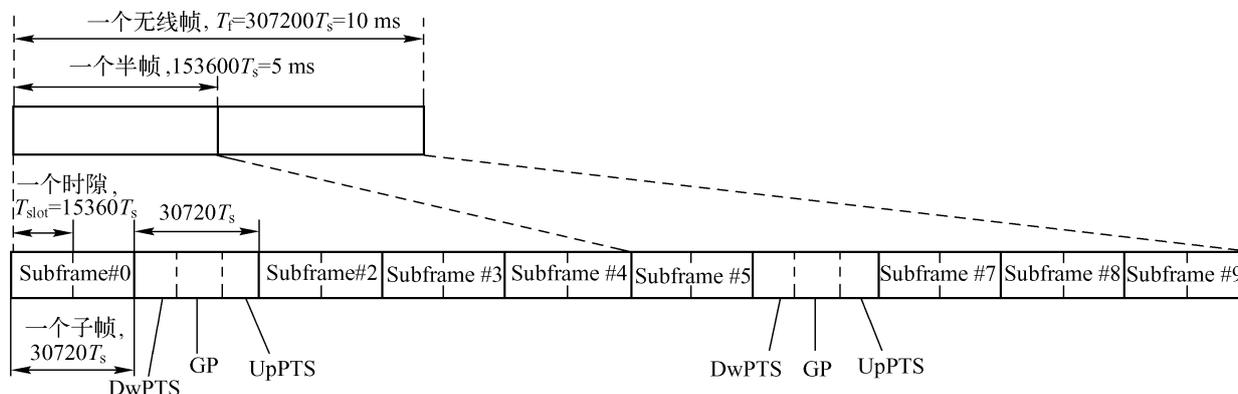


图 2-2 LTE Type2 帧结构格式

下行导频时隙保护间隔 DwPTS 用于下行传输，同步符号，UpPTS 也用于传输上行同步符号，不用于传输上行数据，而 GP 为保护间隔，防止上下行间的干扰。上行导频时隙 DwPTS 和 UpPTS 的长度可配置，DwPTS 的长度为 3 ~ 12 个 OFDM 符号，UpPTS 的长度为 1 ~ 2 个 OFDM 符号，相应的 GP 长度为 1 ~ 10 个 OFDM 符号，其各自的长度可以根据网络的实际需要进行配置，协议中有多种配置方案。UpPTS 中，最后一个符号用于发送上行 Sounding 导频。DwPTS 用于正常的下行数据发送，其中主同步信道位于第三个符号。

### 2.1.2 TD-LTE 无线帧及特殊子帧

Type2 TDD 帧结构与 Type1 FDD 帧结构主要区别在于同步信号的设计，如图 2-3 所示。LTE 同步信号的周期是 5 ms，分为主同步信号（Primary Synchronous Signal, PSS）和辅同步信号（Secondary Synchronous Signal, SSS）。LTE TDD 和 FDD 帧结构中，同步信号的位置/相对位置不同。在 Type2 TDD 中，PSS 位于 DwPTS 的第三个符号，SSS 位于 5 ms 第一个子帧的最后一个符号。

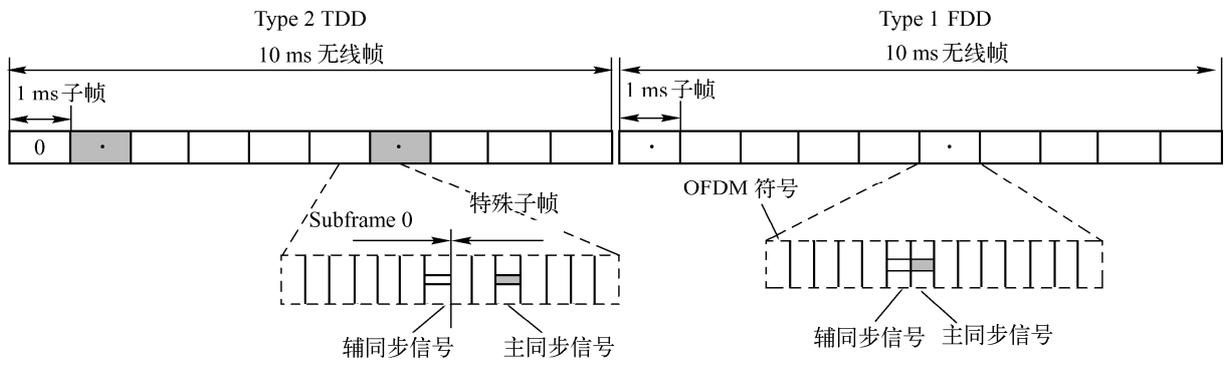


图 2-3 LTE 帧结构同步信号格式

在 Type1 FDD 中，主同步信号和辅同步信号位于 5 ms 第一个子帧内前一个时隙的最后两个符号。正是利用主、辅同步信号相对位置的不同，终端可以在小区搜索的初始阶段识别系统是 TDD 还是 FDD。

FDD 依靠频率区分上下行，其单方向的资源在时间上是连续的；TDD 依靠时间来区分上下行，所以其单方向的资源在时间上是不连续的，时间资源在两个方向上进行了分配，如图 2-4 所示。

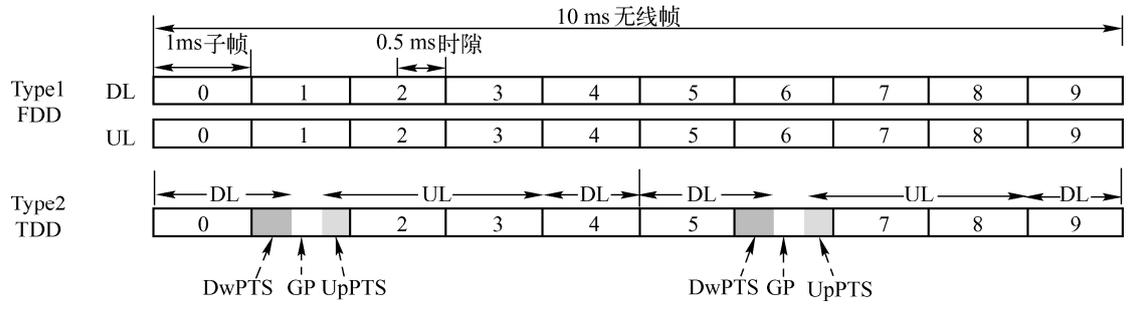


图 2-4 LTE FDD/TDD 帧结构及上、下行资源对比

LTE TDD 中支持 5 ms 和 10 ms 的上、下行子帧切换周期，7 种不同的上、下行时间配比，从将大部分资源分配给下行的“9:1”到上行占用资源较多的“2:3”，具体配置如图 2-5 所示，在实际使用时，网络可以根据业务量的特性灵活地选择配置。

DL-UL 配置	切换周期 (Switch -point periodicity)	子帧号									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

图 2-5 TD-LTE 上、下行时间配比

TD-LTE 无线帧与 TD-SCDMA 相同，都是 10 ms，但时隙长度不同。TD-LTE 的特殊子帧可以有多种配置，用以改变 DwPTS、GP 和 UpPTS 的长度，如图 2-6 所示，但无论如何改变，DwPTS + GP + UpPTS 永远等于 1 ms。TD-LTE 的特殊子帧配置和上、下行时隙配置没有制约关系，可以相对独立地进行配置。

特殊子 帧配置	普通 CP			扩展 CP		
	DwPTS	GP	UpPTS	DwPTS	GP	UpPTS
0	3	10	1	3	8	1
1	9	4	1	8	3	1
2	10	3	1	9	2	1
3	11	2	1	10	1	1
4	12	1	1	3	7	2
5	3	9	2	8	2	2
6	9	3	2	9	1	2
7	10	2	2	-	-	-
8	11	1	2	-	-	-

图 2-6 TD-LTE 特殊子帧配置

为了保证子载波间的正交性，LTE 引入了循环前缀（CP），循环前缀是前一个符号最后一段样本值的重复，循环前缀示意图详见图 1-9。

CP 的长度与覆盖半径有关，一般情况下配置普通 CP（Normal CP）即可满足要求；广覆盖等小区半径较大的场景下可配置扩展 CP（Extended CP）。CP 长度配置越大，系统开销越大。

TD-LTE 系统中主同步信号 PSS 在 DwPTS 时隙进行传输，只要 DwPTS 的符号数大于等于 9，就能传输数据（参照特殊子帧配置）。TD-LTE 特殊子帧格式如图 2-7 所示。TD-SCDMA 的 DwPTS 无法传输数据，只承载下行同步信道 DwPCH，UE 从 DwPTS 上获得与小区的同步。如果 TD-LTE 小区覆盖距离控制很好，不受远距离同频信号干扰，可将 DwPTS 配置为能够传输数据。现有 TD-LTE 试验网使用 D、E 频段时，普遍采用第 7 种配置方式，即 DwPTS 配置为 10 个符号。

UpPTS 可以发送短 RACH（做随机接入用）和 Sounding 参考信号（Sounding RS，SRS）。根据系统配置，是否发送短 RACH 或者 SRS 都可以用独立的开关控制，因为资源有限（最

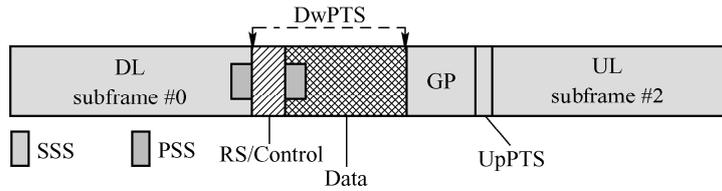


图 2-7 TD-LTE 特殊子帧格式

多仅占两个 OFDM 符号), UpPTS 不能传输上行信令或数据。TD-SCDMA 的 UpPTS 承载上行同步信道 UpPCH, 用来进行随机接入。

### 2.1.3 TD-LTE 资源块

#### 1. 资源栅格

传输使用的最小资源单位叫做资源粒子 (Resource Element, RE), 时域上为 1 个 OFDM 符号, 频域上为 1 个子载波, 即 15 kHz。在 RE 的基础上, 还定义了资源块 (Resource Block, RB), RB 为业务信道的资源单位, 一个 RB 包含若干个 RE, 在时域上为 1 个时隙, 在频域上为 12 个子载波, 即 180 kHz。子载波数与带宽有关, 带宽越大, 包含的子载波越多。下行资源栅格如图 2-8 所示, 上行资源栅格时域上为 SC-FDMA 符号。

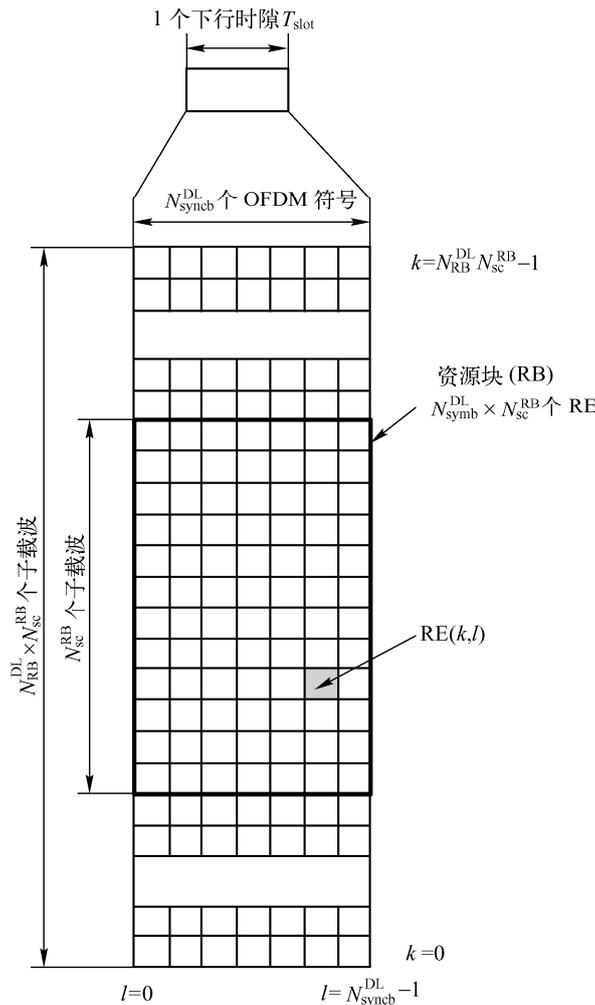


图 2-8 TD-LTE 下行资源栅格

一个时隙中的传输信号可以用一个资源栅格来描述，时隙中的 OFDM 符号取决于循环前缀 CP 长度及子载波间隔，见表 2-1。下行的子载波间隔  $\Delta f$  有 15 kHz 和 7.5 kHz 两种，当子载波间隔为 7.5 kHz 时，每个时隙由 3 个 OFDM 符号组成。而上行子载波间隔  $\Delta f$  只有 15 kHz 一种。

表 2-1 物理资源块参数

	子载波间隔	每 RB 子载波数量	每时隙 OFDM 符号数
常规 CP	15 kHz	12	7
扩展 CP	15 kHz	12	6
	7.5 kHz	24	3

## 2. 资源粒子

资源粒子是天线端口  $p$  上的资源栅格中的最小单元，通过索引对  $(k, l)$  来进行唯一标识，其中  $k$ 、 $l$  分别为标识在频域和时域的序号。

在多天线传输的情况下，每一个天线端口对应一个资源栅格，而每个天线端口由与其相关的参考信号来定义。需注意这里的天线端口与物理天线不是直接对应的，与具体采用的 MIMO 技术有关。一个小区中支持的天线端口集合取决于参考信号的配置。

小区专用 (Cell-specific) 的参考信号，与非 MBSFN 传输相关联，支持 1 个、2 个和 4 个天线端口配置，天线端口序号分别满足  $p = 0$ 、 $p \in \{0, 1\}$  和  $p \in \{0, 1, 2, 3\}$ 。

MBSFN 参考信号，与 MBSFN 传输相关联，在天线端口  $p = 4$  上传输。终端专用参考信号，在天线端口  $p = 5$  上传输。

## 3. 虚拟资源块

TD-LTE 系统定义了两种类型的虚拟资源块：分布式 (Distributed) 传输和集中式 (Localized) 传输的虚拟资源块。一个子帧中两个时隙上的一对虚拟资源块共同用一个独立虚拟资源块号  $n_{\text{VRB}}$  进行标识。集中式虚拟资源块直接映射到物理资源块上，使得虚拟资源块  $n_{\text{VRB}}$  与物理资源块对应。

## 2.2 物理层信道及信号

### 2.2.1 TD-LTE 逻辑信道与传输信道

TD-LTE 系统物理层及 MAC 层、RRC 层的无线接口协议结构如图 2-9 所示，物理层向 MAC 层提供传输信道。MAC 层提供不同的逻辑信道给层 2 的无线链路控制 (RLC) 子层。物理层通过传输信道给高层提供数据传输服务，物理层提供的功能包括：传输信道的错误检测并向高层提供指示、传输信道的前向纠错 (FEC) 编解码、混合自动重传请求 (HARQ) 软合并、编码的传输信道与物理信道之间的速度匹配、编码的传输信道与物理信道之间的映射、物理信道的功率加权、物理信道的调制和解调、频率和时间同步、射频特性测量并向高层提供指示、多输入多输出 (MIMO) 天线处理、传输分集、波束形成、射频处理。

信道是便于理解的人为设定的概念，是对一系列数据流或调制后的信号的分类名称，其名称是以信号的作用来确定的。

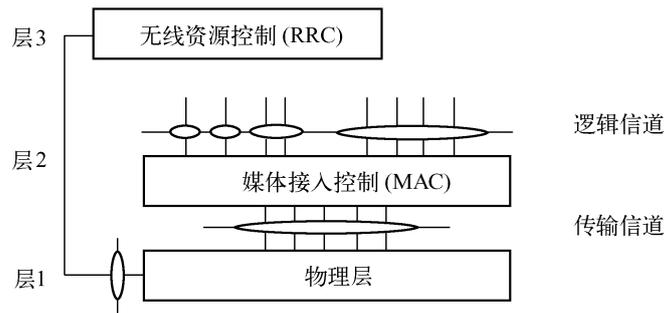


图 2-9 物理层及 MAC 层、RRC 层的无线接口协议结构

逻辑信道用于指示“传输什么内容”，定义传送信息的类型，这些信息可能是独立成块的数据流，也可能是夹杂在一起但是有确定起始位的数据流，这些数据流是包括所有用户的数据。

传输信道用于指示“怎样传”，是在对逻辑信道信息进行特定处理后再加上传输格式等指示信息后的数据流，这些数据流仍然包括所有用户的数据。

物理信道是指“信号在空中传输的承载”，是将属于不同用户、不同功用的传输信道数据流分别按照相应的规则确定其载频、扰码、扩频码、开始结束时间等进行相关的操作，并在最终调制为模拟射频信号发射出去；不同物理信道上的数据流分别属于不同的用户或者不同的功用。

### 1. 逻辑信道

逻辑信道定义了传输的内容。MAC 子层使用逻辑信道与高层进行通信。逻辑信道通常分为两类，即用来传输控制平面信息的控制信道和用来传输用户平面信息的业务信道。而根据传输信息的类型又可划分为多种逻辑信道类型，并根据不同的数据类型，提供不同的传输服务。

TD-LTE 定义的控制信道主要有如下 5 种类型：

- 1) 广播控制信道（BCCH）：该信道属于下行信道，用于传输广播系统控制信息。
- 2) 寻呼控制信道（PCCH）：该信道属于下行信道，用于传输寻呼信息和改变通知消息的系统信息。当网络侧没有用户终端所在小区信息的时候，使用该信道寻呼终端。
- 3) 公共控制信道（CCCH）：该信道包括上行和下行，当终端和网络间没有 RRC 连接时，终端级别控制信息的传输使用该信道。
- 4) 多播控制信道（MCCH）：该信道为点到多点的下行信道，从网络到 UE 的 MBMS 调度和控制信息传输使用点到多点业务。
- 5) 专用控制信道（DCCH）：该信道为点到点的双向信道，用于传输终端侧和网络侧存在 RRC 连接时的专用控制信息。

TD-LTE 定义的业务信道主要有如下 2 种类型：

- 1) 专用业务信道（DTCH）：专用业务信道是为传输用户信息的，专用于一个 UE 的点对点信道，该信道在上行链路和下行链路都存在。
- 2) 多播业务信道（MTCH）：该信道为点到多点的下行信道。用户只会使用该信道来接收 MBMS 业务。

## 2. 传输信道

物理层通过传输信道向 MAC 子层或更高层提供数据传输服务，传输信道特性由传输格式定义。传输信道描述了数据在无线接口上是如何进行传输的，以及所传输的数据特征。如数据如何被保护以防止传输错误、信道编码类型、CRC 保护或者交织、数据包的大小等。所有的这些信息集就是我们所熟知的“传输格式”。

TD-LTE 定义的下行传输信道主要有 4 种类型。

1) 广播信道 (BCH)：用于广播系统信息和小区的特定信息。BCH 使用固定的预定义格式，能够在整个小区覆盖区域内广播。

2) 下行共享信道 (DL-SCH)：用于传输下行用户控制信息或业务数据。DL-SCH 能够使用 HARQ；能够通过各种调制模式、编码、发送功率来实现链路适应；能够在整个小区内发送；能够使用波束赋形；支持动态或半持续资源分配；支持终端非连续接收以达到节电目的；支持 MBMS 业务传输。

3) 寻呼信道 (PCH)：当网络不知道 UE 所处小区位置时，用于发送给 UE 的控制信息。PCH 能够支持终端非连续接收以达到节电目的；能在整个小区覆盖区域内发送；能够映射到用于业务或其他动态控制信道使用的物理资源上。

4) 多播信道 (MCH)：用于 MBMS 用户控制信息的传输。MCH 能够在整个小区覆盖区域内发送；对于单频点网络支持多小区的 MBMS 传输的合并；使用半持续资源分配。

TD-LTE 定义的上行传输信道主要有 2 种类型。

1) 上行共享信道 (UL-SCH)：用于传输下行用户控制信息或业务数据。UL-SCH 能够使用波束赋形；有通过调整发射功率、编码和潜在的调制模式适应链路条件变化的能力；能够使用 HARQ；动态或半持续资源分配。

2) 随机接入信道 (RACH)：能够承载有限的控制信息，例如在早期连接建立的时候或者 RRC 状态改变的时候。

### 2.2.2 TD-LTE 上行物理信道及参考信号

TD-LTE 上行传输基于 SC-FDMA，定义了 3 个上行物理信道。

#### 1. 物理上行共享信道

物理上行共享信道 (Physical Uplink Shared Channel, PUSCH) 主要传输 UE 的数据和控制信息的物理信道。既可传输数据也可复用传输控制信息，包括 CQI、PMI、HARQ-ACK 及 RI (Rank Indication) 秩信息。

PUSCH 的处理流程大致分为两大部分。

第一是信道编码，包括加循环校验冗余 CRC、码块分段、加 CRC 校验、Turbo 编码、速率匹配、码块级联、复用、信道交织过程。

上行共享信道从上层接收到的传输块 (Transport Block, TB)，每个子帧最多传输一个 TB，编码的步骤为：TB 添加 CRC 校验、码块分段及码块 CRC 校验添加、数据和控制信息的信道编码、速度匹配、码块级联、数据和控制信息复用、信道交织。

信道编码使用的是 Turbo 码，速率匹配进行的是针对 Turbo 编码进行的速度匹配，码块级联将  $C$  个码块顺序拼接起来，构成长度为  $G$  的一个码字。其中若与控制信息复用， $G$  不包括控制信息。

当控制信息与数据传输复用在一起时，控制信息的编码速率由 UL - SCH 传输所使用的调制方式和编码速率决定。控制信息的不同编码速率通过向其传输分配不同数目的编码符号来获得。

第二是基带 SC - FDMA 处理，包括加扰、调制映射、传输与编码（DFT）、RE 映射、SC - FDMA 信号产生。具体操作步骤如下：

1) 加扰。为了使传输的比特随机化，提高传输性能，需要对传输的数据进行比特级的加扰。具体的方法是采用一个伪随机序列与需要传输的比特序列进行模 2 加，从而达到使传输的比特随机化的目的。对于 ACK/NACK 和 RI 这种比特数较少的信源来说，加扰的目的是为了保证调制时具有最大的欧式距离，以获得更好的解调性能。

2) 调制。加扰后的比特块将被调制成复值符号块，PUSCH 可用的调制方式包括 QPSK、16QAM、64QAM。

3) 变换预编码。为了获得单载波特性，将复值符号块进行分组，每组对应一个 SC - FDMA 符号。预编码后形成复值调制符号块，就是在 OFDM 调制之前在每个组内进行一个离散傅里叶变换（DFT），以达到上行单载波的目的。

4) 生成 SC - FDMA 信号。为每个天线端口生成复值时域的 SC - FDMA 符号。

## 2. 物理上行控制信道

物理上行控制信道（Physical Uplink Control Channel, PUCCH），UE 用于发送 ACK/NAK、CQI、SR、RI 信息，同一 UE 端不能同时在 PUSCH 和 PUCCH 上传输。用户在没有 PUSCH 传输的上行子帧中，利用 PUCCH 传输与该用户下行数据相关的上行控制，此外 PUCCH 不能在  $U_pPTS$  时隙中传输。不同的 PUCCH 格式对应不同的传输结构，以支持不同的信息传输。不同格式的 PUCCH 所采用的调制方式也不同，见表 2-2，格式 2a、2b 只支持常规循环前缀。

表 2-2 PUCCH 格式及调制方式

PUCCH 格式	用途	调制方式	每子帧比特数
1	SR	N/A	N/A
1a	ACK/NACK	BPSK	1
1b	ACK/NACK	QPSK	2
2	CQI	QPSK	20
2a	CQI + ACK/NACK	QPSK + BPSK	21
2b	CQI + ACK/NACK	QPSK + QPSK	22
3	CQI + ACK/NACK	QPSK	48

用户采用 PUCCH 格式 1/1a/1b 复用：通过正交码 CAZAC 序列的循环移位来区分不同的用户，Cyclic shift 间隔为 2，在 1 个 RB 上可支持 18 个用户。

用户采用 PUCCH 格式 2/2a/2b 复用：通过 CAZAC 序列的循环移位来区分不同的用户，1 个 RB 上可支持 12 个用户。

不同用户间 PUCCH 格式 1/1a/1b 和 PUCCH 格式 2/2a/2b 的复用：把 Cyclic shift 分成两个区域。例如：

从 Cyclic shift = 0 到 Cyclic shift = 3 用于 PUCCH 格式 1/1a/1b；

从 Cyclic shift = 5 到 Cyclic shift = 10 用于 PUCCH 格式 2/2a/2b;  
Cyclic shift = 4 和 Cyclic shift = 11 用于两个区域之间的保护间隔。

### 3. 物理随机接入信道

物理随机接入信道 (Physical Random Access Channel, PRACH) 是指获取小区接入的必要信息进行时间同步和小区搜索等。

随机接入是在 UE 获得下行同步的基础上, 请求与网络通信之前的接入过程, 随机接入可以分为两种类型: 同步随机接入和非同步随机接入。

同步随机接入: UE 已经和系统取得上行同步, UE 申请上行数据传输的资源。

非同步随机接入: UE 尚未和系统取得或丢失了上行同步。

### 4. 上行参考信号

LTE 系统上行支持以下两种类型的参考信号 (Reference Signal, RS), 解调用参考信号和探测用参考信号使用相同的基序列集合。

1) 解调用参考信号 (Demodulation Reference Signal, DERS), 与 PUSCH 或者 PUCCH 传输有关。上行解调参考信号包括 PUSCH 解调参考信号和 PUCCH 解调参考信号两种, 分别用于 PUSCH 和 PUCCH 的相关解调, 根据不同物理信道特征, 两种解调参考信号在序列设计和资源映射上存在一定差异。

2) 探测用参考信号 (Sounding Reference Signal, SRS), 与 PUSCH 或者 PUCCH 传输有关。上行探测用参考信号用于上行信道质量的测量, 用于支持频率选择性调度、功率控制和定时提前等功能。在 TD-LTE 系统中, 根据 TDD 上、下行信道对称性, 上行探测参考信号也可以用于下行信道信息的获取。

## 2.2.3 TD-LTE 下行物理信道及参考信号

TD-LTE 下行传输基于 OFDMA, 定义了 6 个下行物理信道。

### 1. 物理下行共享信道

物理下行共享信道 (Physical Downlink Shared Channel, PDSCH) 用于承载下行数据传输和寻呼信息, 传递 SIB 信息。PDSCH 具有最全的功能, 支持多层 SU-MIMO 传输、MAC 调度和 HARQ 等各种功能。系统可以根据反馈的信道状态信息 (CSI) 等, 通过 MAC 层调度, 动态配置 eNodeB 发射信号的调制编码方式、资源映射、天线映射方式。

基于 UE 反馈的 ACK/NACK 信息, eNodeB 可以进行 HARQ 重传。同时, HARQ 操作也通过冗余版本 (RV) 控制信道编码的冗余比特的传输。在这个模型中, 上层协议可以对信源编码与速率匹配、调制方式、资源映射和天线映射进行灵活的配置, 从而获得 PDSCH 的最大容量。

### 2. 物理广播信道

物理广播信道 (Physical Broadcast Channel, PBCH) 用于传递 UE 接入系统所必需的系统信息, 如带宽、天线数目、小区 ID 等。

PBCH 主要传输小区系统信息, PBCH 的结构与小区搜索过程有紧密联系, 其中携带的信息用于在小区搜索过程中向 UE 广播基本的系统信息, 包含: 下行系统带宽 (约 4 bit)、发送天线个数 (1 bit 或 2 bit)、参考信号发射功率 (0~6 bit)、系统帧号 (SFN, 10 bit)、标签指示、被最频繁重复发送的调度单元的调度信息等。

PBCH 时域映射结果如图 2-10 所示。

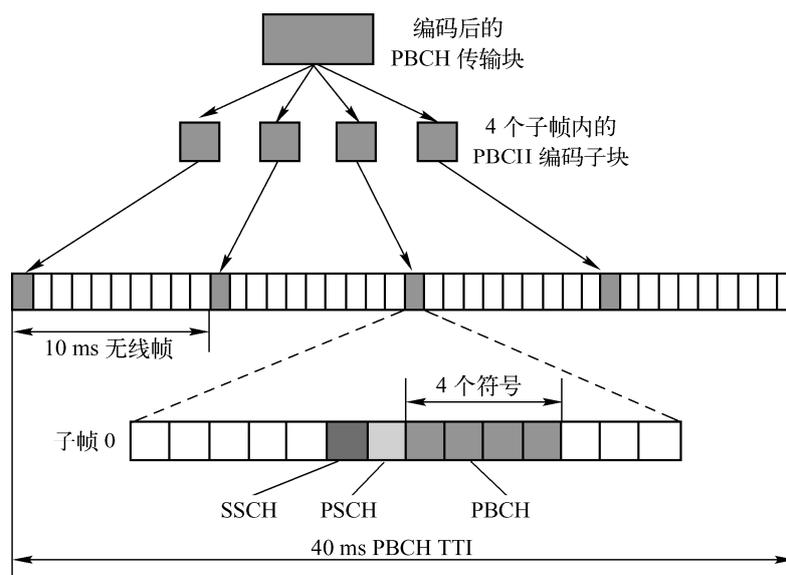


图 2-10 PBCH 时域映射结果

PBCH 频域映射结果如图 2-11 所示。

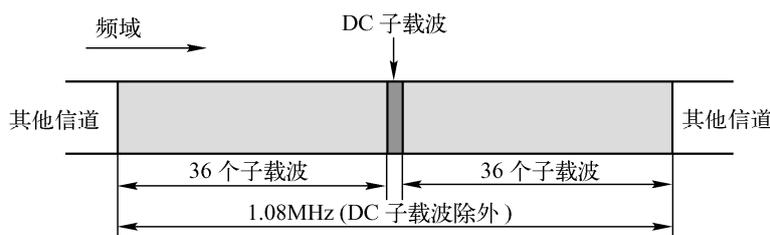


图 2-11 PBCH 频域映射结果

BCH 信息在 PBCH 和 DBCH 上广播的信息分别称为主信息块 (Master Information Block, MIB) 和系统信息块 (System Information Block, SIB)。BCH 上传输的 MIB 信息, 是系统中需要频繁传输的系统信息, 包括下行系统带宽、PHICH 配置信息、系统帧号。PBCH 占用频域中间的 6 个 RB (72sc), 在第 2 个时隙的前 4 个符号上传递 (Slot 1, Symbol 0 ~ 3) MIB 消息的重复周期为 40 ms, 起始位置为 Subfram#0 of SFN mod 4 = 0。每 10 ms 传递一次 MIB, 传递内容一致, 40 ms 组成一个 MIB 消息。可实现时间分集, 提高 UE 接收 MIB 消息时的增益, 改善接收质量。

SIB 主要包括: 一个或多个 PLMN 标识、跟踪区域编号、小区标识号、为所有共享 PLMN 使用一个公共的比特用于小区预留的扩展、调度信息 (即除了 SU - 1 以外其他调度单元的周期等信息)、SIB 映射信息 (即指示出 SIB 在哪个 SU 中传输)。SIB 消息分类如图 2-12 所示。

除 MIB 以外的系统消息, SIB 消息包括 SIB1 ~ SIB12, 概括如下:

- 1) 除 SIB1 以外, SIB2 ~ SIB12 均由 SI (System Information) 承载。
- 2) SIB1 是除 MIB 外最重要的系统消息, 固定以 20 ms 为周期重传 4 次, 即 SIB1 在每两个无线帧 (20 ms) 的子帧#5 中重传 (SFN mod 2 = 0, SFN mod 8 ≠ 0) 一次, 如果满足 SFN mod 8 = 0 时, SIB1 的内容可能改变, 新传一次。



图 2-12 SIB 消息分类

- 3) SIB1 和所有 SI 消息均传输在 BCCH→DL - SCH→PDSCH 上。
- 4) SIB1 的传输通过携带 SI - RNTI (SI - RNTI 每个小区都是相同的) 的 PDCCH 调度完成。
- 5) SIB1 中的 SchedulingInfoList 携带所有 SI 的调度信息，接收 SIB1 以后，即可接收其他 SI 消息。

SIB 消息中 SIB1 非常重要，接收到 SIB1 以后，就能解调其他的 SIB 消息。UE 一旦正确接收 MIB 消息（因为 PBCH 信号是存在于每个 slot#1 中，而且是以 10 ms 为周期，也就是无线帧的帧头找到了），接着可以根据 PBCH 的内容得到系统帧号和带宽信息，以及 PHICH 的配置。

UE 读取 PBCH 后，接收机预先保留了整个子帧的数据，UE 同时可读取获得固定位置的 PHICH 及 PCFICH 信息。根据 PCFICH 信息，就知道控制信道 OFDM 的符号数，由此可以进行 PDCCH 的读取。用 SI - RNTI 解扰 PDCCH，就可以知道 SIB 所在的 PDSCH，从而获得 SIB1 消息。

### 3. 物理多播信道

物理多播信道 (Physical Multicast Channel, PMCH) 用于承载多媒体/多播信息（现网中未使用，暂不作介绍）。

### 4. 物理控制格式指示信道

物理控制格式指示信道 (Physical Control Format Indicator Channel, PCFICH) 表示一个子

帧中用于 PDCCH 的 OFDM 符号数目，放在第 1 个 OFDM 符号中。PCFICH 的大小仅为 2 bit，通过 4 个长 16 个 QPSK 符号的序列承载，用来传输最基本的 PDCCH 格式信息。

PCFICH 承载的信息非常重要，划分了每个子帧控制信令区域和数据区域的边界，所以必须采用可以有效抑制干扰的传输方式。因此，一个 PCFICH 序列的 16 个符号被分散到整个系统带宽，不同小区放在不同的子载波组上。另外，PCFICH 也进行小区特定加扰 (Cell-specific scrambling)。PCFICH 采用和 PDCCH 相同的发射分集技术。为了获得尽可能大的频率分集增益，PCFICH 的 16 个 QPSK 符号分布在 4 个离散的 REG 中，相邻 PCFICH REG 之间相隔 4 个 REG，以尽可能均匀地分布在 6 个 PRB (LTE 最小系统带宽支持的 PRB 数量) 所在的带宽内，如图 2-13 所示。

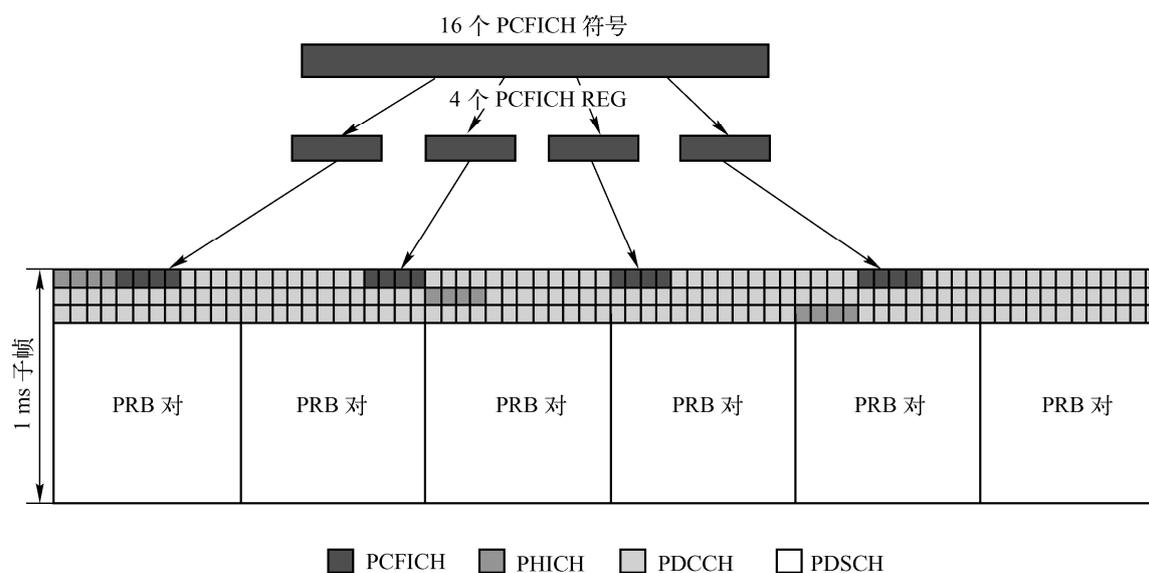


图 2-13 PCFICH 的资源映射 (CFI=3)

PCFICH 显示 PDCCH 的时域长度，即 PDCCH 占用一个子帧的前几个 OFDM 符号。PDCCH 最多可包含 3 个 OFDM 符号，因此  $n=1, 2, 3$ ，一个 OFDM 符号或者用做 PDCCH，或者用做数据信道，不支持混合的 OFDM 符号，即和数据时分复用。PDCCH 包含 4 个符号的情况暂时被保留，目前最多使用 3 个符号。

### 5. 物理下行控制信道

物理下行控制信道 (Physical Downlink Control Channel, PDCCH) 用于指示和 PUSCH、PDSCH 相关的格式，资源分配，HARQ 信息，位于子帧的前  $n$  个 OFDM 符号， $n \leq 3$ 。

#### (1) PDCCH 承载的控制信息

PDCCH 承载的下行控制信息 (Downlink Control Information, DCI) 主要包括：下行数据传输的调度信息、上行数据传输的调度赋予和功率控制命令以及上行发送数据的 ACK/NACK。PDCCH 承载 DCI 的基本单元是控制信元 (Control Channel Element, CCE)，LTE 定义了两个专用的控制信道资源单位：REG 组 (Resource Element Group, REG) 和 CCE。1 个 REG 由 4 个频域上并排的 RE 组成，即 4 个子载波  $\times$  1 个 OFDM 符号。一个 CCE 由 9 个 REG 构成，一个 PDCCH 又由若干个 CCE 构成。定义 REG 如此小的资源单位，主要是为了有效地支持 PCFICH、PHICH (物理 HARQ 指示信道) 等数据率很小的控制信道的资源分配；而

定义相对较大的 CCE，是为了用于数据量相对较大的 PDCCH 的资源分配。

每个 CCE 包含 36 个 RE 的一个连续资源块。那么在系统带宽和用于 PDCCH 的 Symbol 数量确定后基本可以计算出总的 CCE 数量（从总的 RE 数量中去掉 PCFICH、PHICH 以及参考信号所占的 RE，再除以 36）。

CCE 的设计因素是小区间干扰的随机化，采用小区特定的交织（Cell-specific interleaving）技术来实现小区间干扰随机化，即将一个 CCE 中的所有 QPSK 符号分成若干组，每组包含多个符号，然后对这些 QPSK 符号组进行交织。不同小区采用统一的交织器，但采用不同的位移，位移量为  $k$  的整数倍，最后将 CCE 映射到 RE 上，先从频域映射，然后再在时域上映射。需要注意的是，可能放置参考符号的 RE，不用于传送 PDCCH。当然，可能影响到 PDCCH 的只有放置在位于第 1 个和第 2 个 OFDM 符号的 RE 的参考符号，即使当参考符号不占用位于第 2 个 OFDM 符号的 RE 时（如对于单天线发送情况），PDCCH 也不会在这些 RE 中传输。这样 CCE 的尺寸和参考符号的密度无关，有利于保持一个 CCE 中 RE 的数量稳定。留空的这些 RE 上的发射功率仍可以用于其他 RE 中 PDCCH 的发送。

PDCCH 支持的多种格式见表 2-3，每个 PDCCH 可以占用 1、2、4、8 个 CCE。多个 PDCCH 可以同时在一个子帧中传输，占用不同 CCE，在接收端采用盲检测的方法区分某个用户的 PDCCH。

表 2-3 PDCCH 格式及支持的 CCE 数

PDCCH 格式	占用 CCE 数	占用 REG 数	PDCCH 占用比特数
0	1	9	72
1	2	18	144
2	4	36	288
3	8	72	576

PDCCH 和数据信道的复用选用 TDM 方式，在频域上占用整个 RB，时域上只占用部分 OFDM 符号，放置在一个子帧的前  $n$  个（ $n \leq 3$ ）OFDM 符号，每个 CCE 应占满这个子帧内 PDCCH 区域的所有 OFDM 符号，以获得尽可能长的时域长度。也就是说，一个子帧内各个 CCE 之间是 FDM 复用的，不同的 PDCCH 占用不同的 CCE 资源。

### (2) PDCCH 时频结构

在 1~3 个 OFDM 符号的 RE 资源内还包含 PHICH 和 PCFICH 的 RE，以及参考信号的 RE 资源，其时频结构的示意图如图 2-14 所示。

### (3) PDCCH 的 DCI 格式

一个 DCI 传输下行数据传输的调度信息、上行数据传输的调度赋予和功率控制命令以及上行发送数据的 ACK/NACK。根据传输需要可分为 10 种格式，具体如下：

Format 0，DCI 格式 0 用于 PUSCH 的上行调度信息；

Format 1，DCI 格式 1 用于一个 PDSCH 码字的调度信息；

Format 1A，DCI 格式 1A 用于一个 PDSCH 码字的紧凑调度（Compact scheduling）信息和由 PDCCH 命令初始化的随机接入过程；

Format 1B，DCI 格式 1B 用于一个具有预编码信息的 PDSCH 码字的紧凑调度信息；

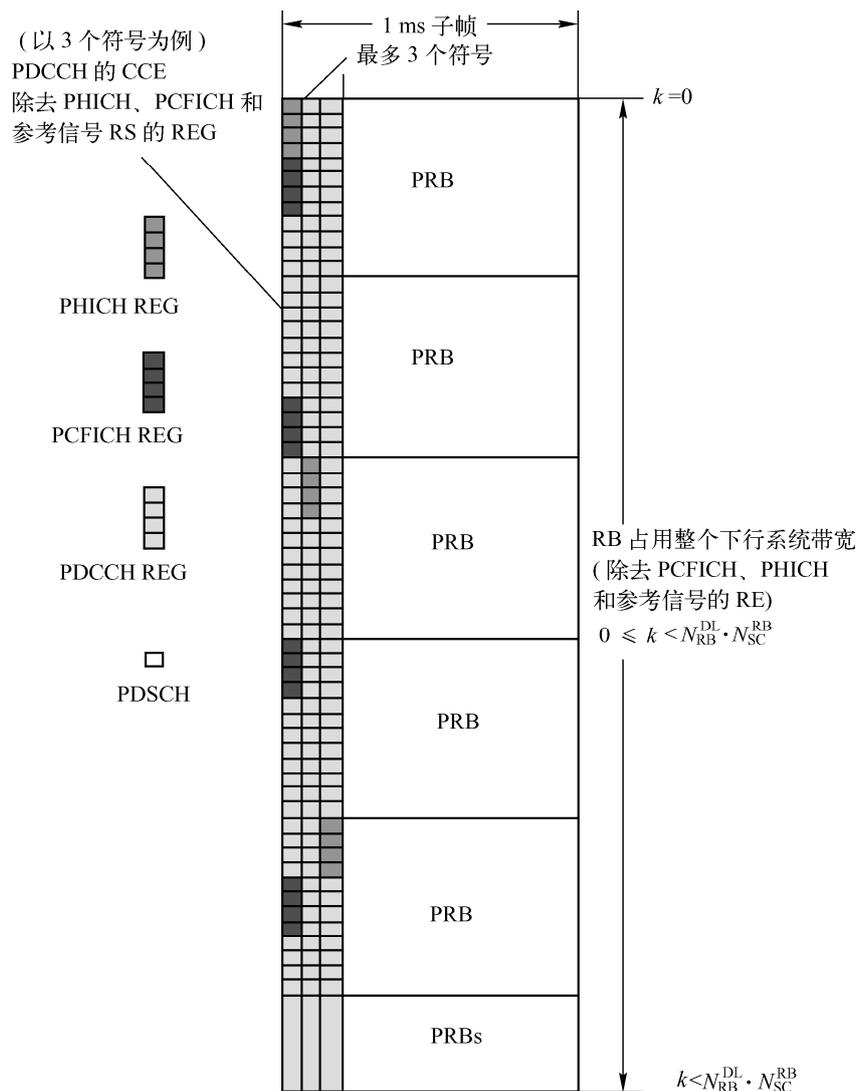


图 2-14 PDCCH 时频结构图

Format 1C, DCI 格式 1C 用于一个 PDSCH 码字的压缩调度 (Very compact scheduling) 信息;

Format 1D, DCI 格式 1D 用于一个具有预编码信息的 PDSCH 码字的紧凑调度信息和功率补偿信息;

Format 2, DCI 格式 2 传输的信息是 MIMO 有关的下行调度信息;

Format 2A, DCI 格式 2 传输的信息是 MIMO 有关的下行调度信息;

Format 3, DCI 格式 3 使用 2 bit 信息调整 PUSCH 和 PUCCH 的 TPC 传输功率控制;

Format 3A, DCI 格式 3 使用 1 bit 信息调整 PUSCH 和 PUCCH 的 TPC 传输功率控制。

#### (4) PDCCH 盲检测

PDCCH 盲检测就是在搜索空间 (控制信道内, 除去导频、同步信道、PCFICH、PHICH 以外的空间) 根据可能的 DCI 长度 (根据每个 Format 的比特数, 下行带宽等参数计算), 把所有可能情况 (有一定的限制) 计算一遍, 找出 CRC 正确的 DCI。

盲检测方法即对有限的若干种 PDCCH 配置一一尝试, 每个 UE 可以同时监测一定数量的候选 (Candidate) PDCCH, 最终解调出其中的内容。UE 监测的候选 PDCCH 集的大小

(即候选 PDCCH 的数量) 由高层信令控制, 这个值大小应该适中, 既支持一定的 PDCCH 灵活性, 又具有可以接受的复杂度。一个 PDCCH 可能的时频位置可由该 PDCCH 包含的 CCE 的数量隐性地指示。

假设可供 PDCCH 使用的 CCE 的数量为 6 个, 尺寸为一个 CCE 的 PDCCH 可能位于任何一个 CCE, 尺寸为两个 CCE 的 PDCCH 可能的位置有 3 个, 尺寸为 3 个 CCE 的 PDCCH 可能的位置有两个。这样, 可能的 PDCCH 配置共有 11 种, UE 会一一尝试解码这 11 个候选 PDCCH, 最终解调出 PDCCH。PDCCH 盲检测的数量直接关系到 UE 解码 PDCCH 的复杂度, 虽然采用更多的盲检测可以获得更大的 PDCCH 灵活性, 但却会使 UE 的盲检测过程过于复杂, 从而增加 UE 的成本和功耗。最终确定, 一个处于激活状态 UE 的最大 PDCCH 盲检测数量为 44 个。

## 6. 物理 HARQ 指示信道

物理 HARQ 指示信道 (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel, PHICH) 用于承载 eNB 向 UE 反馈和 PUSCH 相关的混合自动重传 HARQ 的 ACK/NAK 信息。包含 3 个 REG, 采用 QPSK 调制, 可传输 24 bit 信息。对于 2 天线情况, 一个 ACK/NAK 比特采用 Walsh 序列经过 4 倍扩频形成一个 REG, 然后重复 3 次, 形成一个 ACK/NAK 信道。由于采用 4 倍正交码扩频, 再加上 QPSK 的 I、Q 两路, 共可以在一个 PHICH 内复用 8 个 ACK/NAK 信道。在 4 天线情况下, 仍然采用 4 倍扩频, 但要对相应的 4 天线发送分集方法做一些调整。

PHICH 采用两种长度半静态可配的方式: 对 MBSFN 子帧, PHICH 长度在 1 个和 2 个 OFDM 符号之间半静态选择; 对非 MBSFN 子帧, PHICH 长度在 1 个和 3 个 OFDM 符号之间半静态选择。

和 PCFICH 一样, PHICH 也尽可能均匀分布在 6 个 PRB 所在的带宽内, 两个相邻的 PHICH REG 之间相隔 6 个 REG。另外, 在时域上, PHICH 也尽可能分散到控制区域所在的所有符号, 以 PHICH 长度为 3 为例, 因此 3 个 PHICH REG 分别位于 3 个符号。如果 PHICH 长度为 2, 则 3 个 PHICH REG 有 1 个位于第 1 符号, 有 2 个位于第 2 符号。

PHICH 和 PCFICH 使用的资源是相对固定的 (PCFICH 资源是静态的, PHICH 资源是半静态的), 因此系统会首先分配 PHICH 和 PCFICH 使用的 RE, 然后将剩下的 RE 分配给 PDCCH, PDCCH 将在这些剩下的 RE 内进行交织。

PCFICH 占用的 RE 是静态的, 不会对 PDCCH 的资源指示造成影响。PHICH 占用的 RE 是半静态变化的, 在 PBCH 中对 PHICH 格式进行指示, 在 PBCH 中使用 1 bit 指示 PHICH 的长度, 2 bit 指示 PHICH 使用的频域资源, 即 PHICH 组的数量 (每个 PHICH 组包含 8 个 PHICH)。在频域上, PHICH 采用等间距放置, 即每隔固定数量的子载波放置一个 PHICH 的 REG。为了抑制不同小区 PHICH 之间的干扰, 还采用循环位移的方法使相邻小区在错开的频域资源上发送 PHICH。某个小区的 PHICH 位移可以和它的小区 ID 对应, 因此不需要额外的信令传输。

## 7. 参考信号

LTE 系统下行定义了三种下行参考信号: 小区专用的参考信号、MBSFN 参考信号、终端专用参考信号。

### (1) 小区专用参考信号

小区专用参考信号在所有非 MBSFN 的下行子帧上发送。对于 MBSFN 子帧, 只在前 2 个

OFDM 符号上发送小区专用参考信号。小区专用参考信号在天线 0~3 上发送，并且只支持  $f = 15 \text{ kHz}$ 。

常规 CP 下的下行参考信号映射如图 2-15 所示，其中  $R_p$  表示天线端口  $p$  上用于传输参考符号的资源粒子。

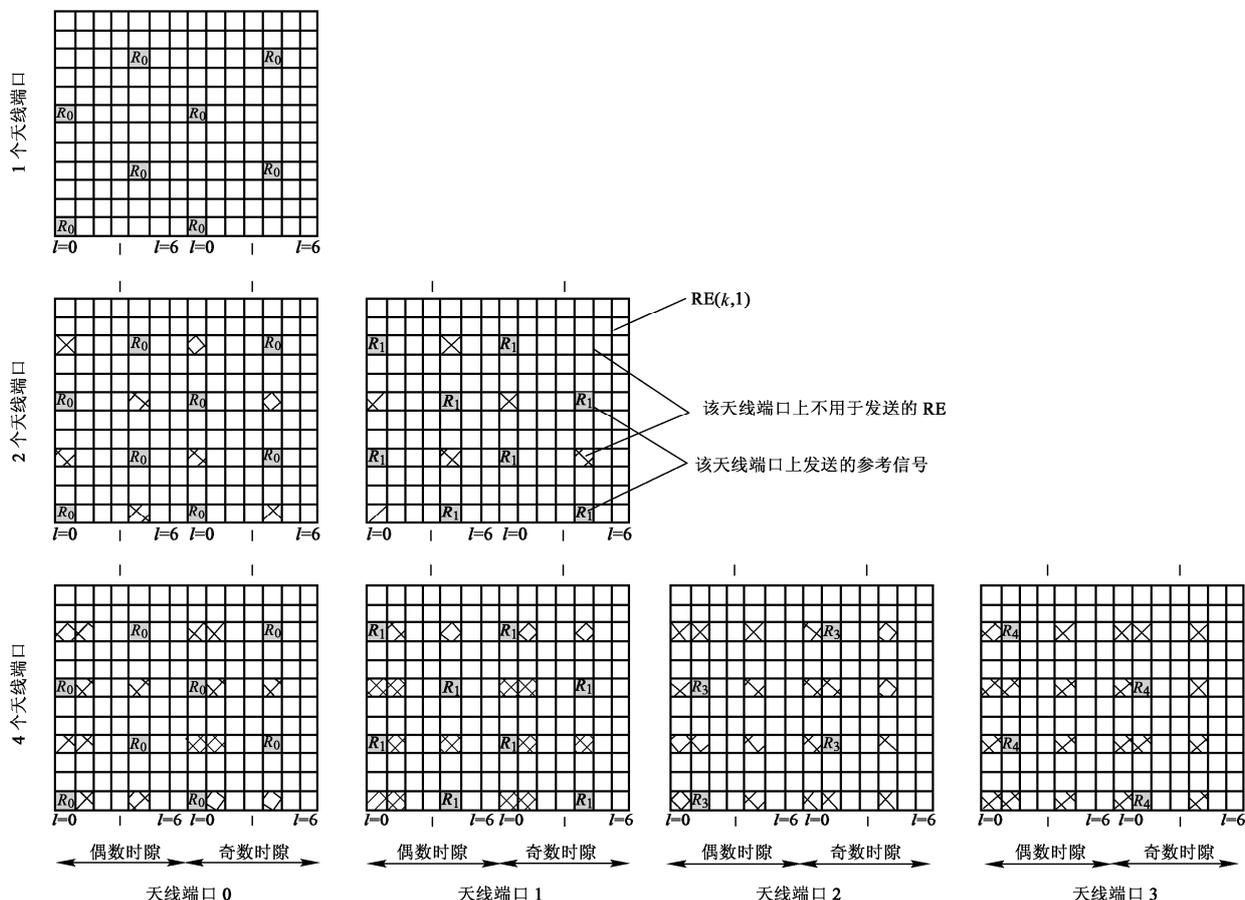


图 2-15 常规 CP 下的下行参考信号映射

### (2) MBSFN 参考信号

MBSFN 参考信号只在 MBSFN 子帧发送，并在天线端口 4 上发送。MBSFN 只支持扩展 CP 配置。在子载波  $f = 15 \text{ kHz}$ 、 $f = 7.5 \text{ kHz}$  的情况下，用于传输 MBSFN 参考信号的资源粒子示意图如图 2-16 所示。

### (3) UE 专用参考信号

UE 专用参考信号用于支持单天线端口的 PDSCH 传输。终端专用参考信号在天线端口 5 上传输。高层将通知终端是否存在终端专用参考信号，以及是否是一个有效的相位参考。如果高层信令通知终端存在 UE 专用参考信号，并且是有效的 PDSCH 解调相位参考，UE 可以忽略任何在天线端口 2 和 3 上的传输。终端专用参考信号仅仅在 PDSCH 对应的资源块中传输。

UE 专用参考信号映射按照 PRB 递增的顺序进行， $N$  表示 PDSCH 传输所占用的带宽（以 PRB 为单位）。常规 CP 和扩展 CP 的专用参考信号映射如图 2-17 所示。

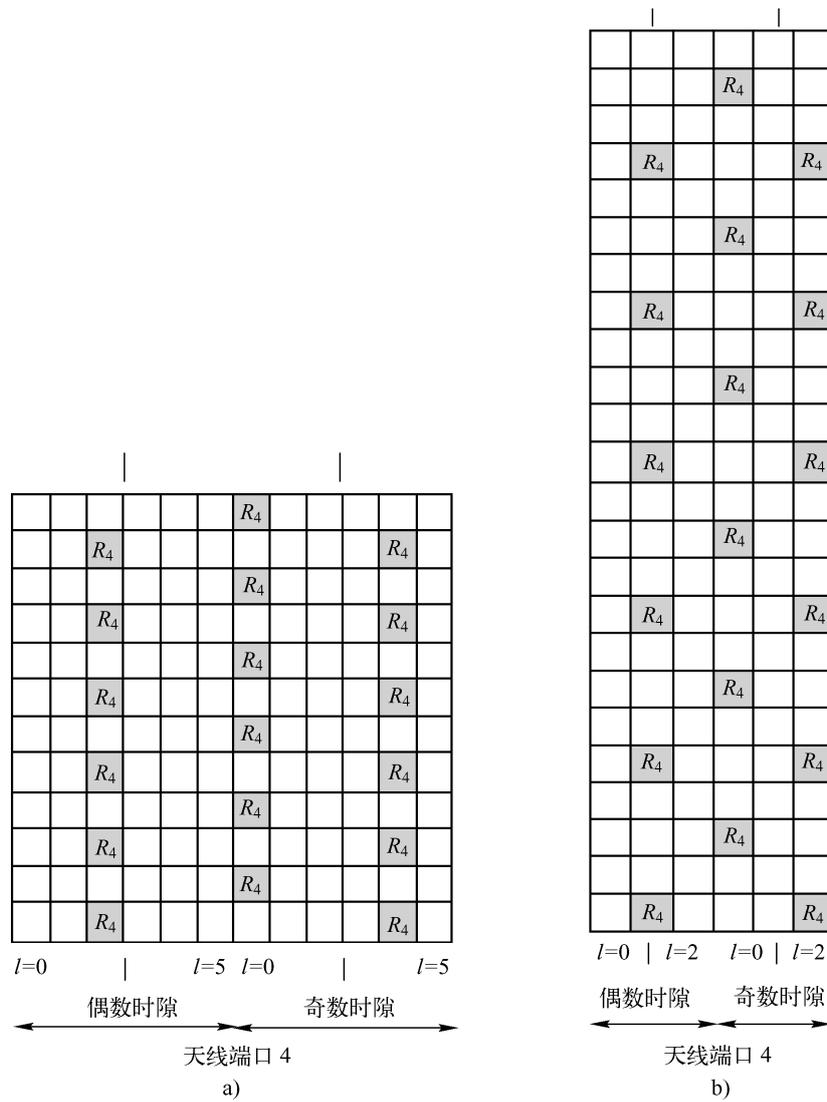


图 2-16 MBSFN 参考信号映射

a) MBSFN 参考信号映射 ( $f=15$  kHz) b) MBSFN 参考信号映射 ( $f=7.5$  kHz)

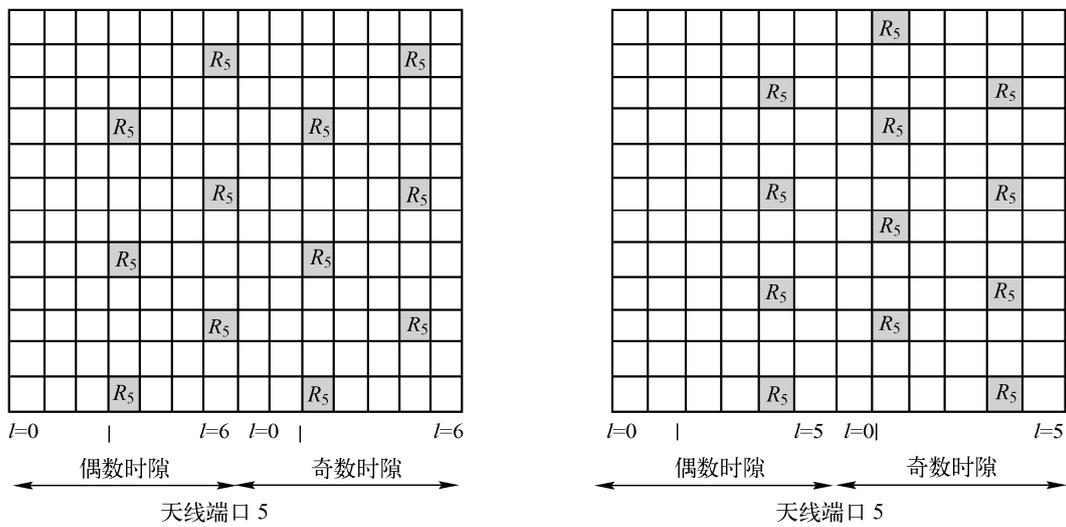


图 2-17 常规 CP 和扩展 CP 下 UE 专用参考信号映射图

## 8. 主同步信号

主同步信号（Primary Synchronization Signal, PSS）频域上占系统带宽中间的 6 个 RB，即 72sc，在第 2 个 subframe 的第 3 个 symbol 中进行传递（subframe 1 或 6，symbol 2），指示一个物理小区组内的 id（Physical-layer id）：0, 1, 2（3 个）。

## 9. 辅同步信号

辅同步信号（Secondary Synchronization Signal, SSS）频域上占系统带宽中间的 6 个 RB，即 72sc。在第 1 个 subframe 的最后 1 个 symbol 中进行传递（subframe 0 或 5，symbol 6），在 subframe 0 和 5 中的 SSS 结构相同，但是在频域上错开，以区别前 5ms 或后 5ms 的半帧。指示物理小区组号（Physical-layer cell-id group）：0 ~ 167（168 个），所有小区 id（Total cell IDs）：168 × 3 = 504（0 ~ 503）。

### 2.2.4 物理信道与传输信道之间的映射关系

上行信道中，UL-SCH 映射到 PUSCH 上，RACH 映射到 PRACH 上，如图 2-18 所示。上行控制信息（UCI）映射到物理信道的 PUCCH 与 PUSCH 上。

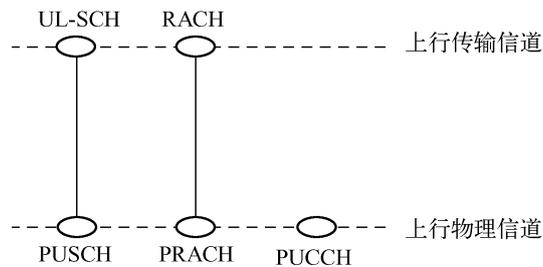


图 2-18 上行传输信道到物理信道的映射关系

下行信道中，BCH 和 MCH 分别映射到 PBCH 和 PMCH，PCH 和 DL-SCH 都映射到 PDSCH 上，如图 2-19 所示。

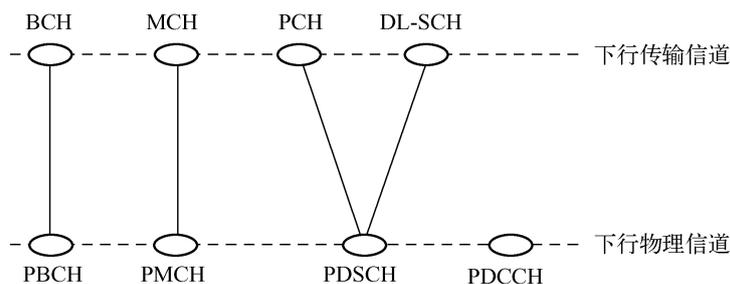


图 2-19 下行传输信道到物理信道的映射关系

下行、上行控制信息向物理信道的映射关系见表 2-4。

表 2-4 下行、上行控制信息向物理信道的映射关系

控制信息	物理信道
控制格式指示 CFI	物理控制格式指示信道
HARQ 指示 HI	物理 HARQ 指示信道
下行控制信息 DCI	物理下行控制信道
上行控制信息 UCI	PUCCH、PUSCH

## 2.3 物理信道处理流程

TD-LTE 系统物理信道处理流程如图 2-20 所示。

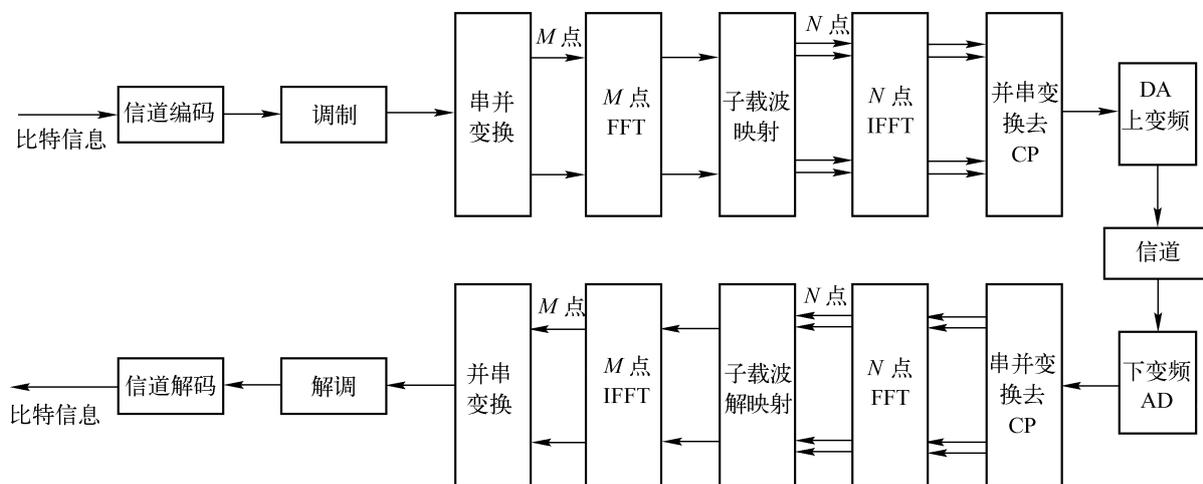


图 2-20 物理信道基本处理流程

### 2.3.1 信道编码

信道编码是为保证通信系统的传输可靠性，克服信道中的噪声和干扰而专门设计的一类抗干扰技术和方法。信道编码从功能上看有 3 类编码。

1) 仅具有差错功能的检错码，如循环冗余校验 CRC 码、自动请求重传 ARQ 等。

2) 具有自动纠正差错功能的纠错码，如循环码中的 BCH、RS 码及卷积码、级联码、Turbo 码等。

3) 具有既能检错又能纠错功能的信道编码，最典型的是混合 ARQ，又称为 HARQ。

信道编码从结构和规律上分线性码和非线性码两类。

线性码：监督关系方程是线性方程的信道编码称为线性码，目前大部分实用化的信道编码均属于线性码，如线性分组码、线性卷积码是经常采用的信道编码。

非线性码：一切监督关系方程不满足线性规律的信道编码均称为非线性码。

LTE 中采用的信道编码有两种：Turbo 码、咬尾卷积码（Tail biting convolutional coding）。LTE 中不同的物理信道都唯一的对应于 Turbo 码、咬尾卷积码中的一种，只要物理信道确定，则其编码方式唯一确定。LTE 系统各物理信道及控制信息采用的编码方式见表 2-5。

表 2-5 物理信道及控制信息采用的编码方式

	信道类型	编码方式	编码码率
UL-SCH	物理信道	Turbo 码	1/3
DL-SCH			
PCH			
MCH			
BCH		咬尾卷积码	1/3

(续)

	信道类型	编码方式	编码码率
DCI	控制信息	咬尾卷积码	1/3
CFI		块编码 (Block code)	1/16
HI		重复编码 (Repetition code)	1/3
UCI		块编码	Variable
		咬尾卷积码	1/3

物理信道从上层接收到传输块后，每个子帧最多传输一个 TB。LTE 信道编码的一般流程为：TB 添加 CRC 校验、码块分段及码块 CRC 校验添加、数据和控制信息的信道编码、速度匹配、码块级联、数据和控制信息复用、信道交织。

信道编码完成后，信息流在经过编码处理后，可能会出现连续的“0”或连续的“1”，这样破坏了“0”码和“1”码的平衡，将影响位同步的建立和保持。而加扰则是通过一个伪随机序列对输入的传送码流进行扰乱处理，二进制数字信息做“随机化”处理，变为伪随机序列，避免这种情况出现。

LTE 规定了伪随机序列是基于 31 位长度的 Gold 码序列而产生的。Gold 码序列是 R. Gold 于 1967 年提出了一种基于  $m$  序列优选对的码序列，称为 Gold 序列。它是  $m$  序列的组合码，由优选对的两个  $m$  序列逐位模 2 加得到，当改变其中一个  $m$  序列的相位（向后移位）时，可得到一新的 Gold 序列。Gold 序列虽然是由  $m$  序列模 2 加得到的，但它已不是  $m$  序列，不过它具有与  $m$  序列优选对类似的自相关和互相关特性，而且构造简单，产生的序列数多，因而获得广泛的应用。

### 2.3.2 层映射与预编码过程

层映射与预编码过程都与 MIMO 有关，MIMO 技术是 LTE 中采用的关键技术之一，在 LTE 系统中，MIMO 传输方案大致可分为两大类：发送分集和空间复用。在 LTE 中将天线映射分成层映射和预编码两个部分，有利于定义和描述不同的天线传输方案。

#### 1. 层映射

层映射将复值调制符号映射到一个或者多个传输层。层映射过程是将经过调制后的一或两串（由码字  $q$  个数决定）复值调制信号经过的 3 种方案映射到一或多个（ $v$  个）不同层上。 $v \geq q$ ，层映射是为预编码做好准备，与预编码过程一道形成空时编码过程，将调制后的数据映射对应到各个天线上。

层映射的 3 种方案为：单天线、空间复用、传输分集，空间复用可以大大提高信道容量，空间分集则可以提高信道的可靠性，降低信道误码率。

1) 天线口的层映射。对于在单天线口上的传输，层数目为 1。

2) 空间复用的层映射。层数目小于或者等于物理信道传输所使用的天线端口数目  $p$ 。一个码字映射到 2 层仅用于天线端口数为 4 的情况。

3) 传输分集的层映射，传输分集仅传输一个码字，而层数目等于物理信道传输所使用的天线端口数目  $p$ 。

#### 2. 预编码

预编码是对将要在各个天线端口上发送的每个传输层上的复值调制符号进行预编码，是

为了解决无线多用户 MIMO 广播信道中多用户干扰的问题。预编码的作用有以下几点：

- 1) 对于单端口传输而言，预编码的作用仅仅是一个简单的一对一映射。
- 2) 对于传输分集而言，预编码模块实现了 SFBC（2CRS 端口的情况）或 FSTD/SFBC（4CRS 的情况）传输分集。
- 3) 对于开环空间复用，预编码实现了层之间的数据混合、CDD 传输以及盲预编码功能。
- 4) 对于闭环空间复用（包括 Rank1 的情况）与 MU - MIMO，规范中定义的预编码模块实现了基于码本的预编码。
- 5) 对于基于专用导频的传输，预编码只完成层到专用导频端口的一对一映射，而实际的波束赋形功能通过天线端口到物理天线的映射模块实现。

预编码三个主要的优势：第一是通过发射端的预编码处理，可以有效地消除广播信道的多用户干扰，从而大大提高系统容量；第二是可以大大简化接收机的算法，解决移动台的功耗和体积问题；第三是由于发射端能准确知道各用户的数据，所以在发射端采用反馈干扰抵消的方法不存在误码扩散问题，性能更优。

预编码的几种形式如下：

- 1) 天线端口的预编码。这是指对于在单天线端口上进行的编码。
- 2) 空间复用的预编码。空间复用的预编码仅仅可以与空间复用的层映射集合起来使用。空间复用支持 2 或者 4 天线端口，即可用的天线端口集合为  $p \in \{0,1\}$  或  $p \in \{0,1,2,3\}$ 。开环空间复用主要适用于 eNodeB 不能准确跟踪下行信道变化的情况，此时需要通过循环延时发射分集（CDD）增加等效信道的频率选择性，并利用信道编码获得频率选择性分集增益，以此来提高多流数据传输的可靠性。闭环空间复用与 MU - MIMO 传输中，一般可以假设 eNodeB 能够准确及时地获得用户的反馈信息。这种情况下，TD - LTE 采用了基于码本的预编码方式支持闭环 SU - MIMO 与 MU - MIMO 传输。
- 3) 传输分集的预编码。传输分集的预编码只支持 2 个或者 4 个天线端口。注意传输分集传输中使用的层数等于天线端口数。

### 2.3.3 资源映射与调度

LTE 系统多址方式为 OFDMA/SC - FDMA，资源映射和调度与基于 CDMA 的 3G 系统有本质的不同。OFDMA/SC - FDMA 可以进行时域、频域和码域的灵活资源分配和调度，这在 CDMA 系统中是无法实现的（CDMA 系统只能进行时域和码域的资源分配调度）。动态调度带来的一个最重要的变化是 LTE 系统不再使用 3G 系统中使用的“专用信道”传送数据，而代之以“共享信道”，即不再为特定用户长时间保留固定的资源，而是将用户的数据都分割成小的“资源块”，然后依赖高效的调度机制将来自多个用户的“数据块”复用在共享的大数据信道中。

#### 1. 下行资源映射

经过信道编码、交织、调制之后的下行数据将被映射到 OFDMA 的时频符号上，这个过程称为下行资源映射。如果逐子载波地进行资源映射，固然能获得最大的灵活性，但相应的信令开销是无法承受的，因此任何 OFDMA 系统都会基于某种预定义的“子载波组”来映射资源，这个“子载波组”就是资源块，这样只要通过信令指定 RB，就可以完成资源映

射。需要确定的问题是 RB 的类型（即 RB 内子载波的分布）、大小和映射方法。

资源块分为物理资源块（PRB）和虚拟资源块（VRB）两种。物理资源块用来描述实际物理资源的分配情况；虚拟资源块用来描述 LTE 下行传输支持的两种资源映射方式：集中式分配和分布式分配。

物理资源块，其大小和下行数据的最小载荷相匹配。一个 PRB 的时域大小为一个时隙，即 0.5 ms。一个时隙在常规 CP 情况下包含 7 个 OFDM 符号，在扩展 CP 情况下包含 6 个 OFDM 符号。PRB 的频域大小修改为 12 个子载波，即 180 kHz。

虚拟资源块中，Localized 分配方式将若干连续子载波分配给一个用户，这种方式下系统可以通过频域调度选择较优的子载波组进行传输，从而获得频域上的调度增益和时域上的多用户分集增益。另外，集中方式也可以降低信道估计的难度。但这种方式获得的频率分集增益较小，用户平均性能略差。Distributed 分配方式将分配给一个用户的子载波分散到整个系统带宽，从而获得频率分集增益。但这种方式信道估计较复杂，也无法采用频域调度。

VRB 又分为两类：集中式 VRB（Localized VRB，LVRB）和分布式 VRB（Distributed VRB，DVRB），如图 2-21 所示，LVRB 以 Localized 方式映射到 PRB 上，DVRB 以 Distributed 方式映射到 PRB 上。一个时隙内可以同时进行 LVRB 和 DVRB 的传输。eNodeB 可以分配多个 VRB 给一个 UE，并通过下行资源分配信令指示给该 UE。

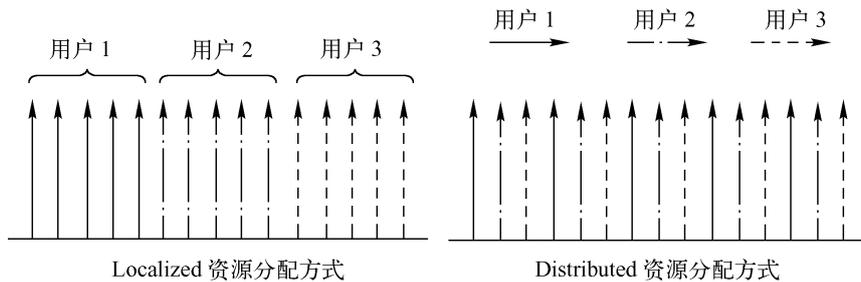


图 2-21 虚拟资源 VRB 的两种分配方式

## 2. 上行资源映射

经过信道编码、交织、调制之后的上行数据将被映射到 SC - FDMA 的时频符号上，这个过程称为上行资源映射。

上行资源分配采用了和下行相似的 RB 概念，一个 RB 在时域上包含  $M$  个连续的 SC - FDMA 块。从理论上说，上行 RB 也可以分为 Localized RB 和 Distributed RB 两种，如图 2-22 所示。LRB 包含  $N$  个连续的等效子载波，占据一段连续的频谱，UE 数据率越高，占用的频带越宽；DRB 包含  $N$  个分散的等间距的等效子载波，占据扩展到整个系统带宽的频谱，UE 数据率越高，频谱的“梳子”越密。LRB 和 DRB 分别用于 Localized 分配方式和 Distributed 分配方式。考虑手机功耗等因素，LTE 系统上行只采用了 Localized 资源分配方式。

eNodeB 可以分配多个 RB 给一个 UE，并通过上行资源赋予（Uplink resource grant）信令指示给该 UE。RB 的大小应该和上行数据的最小载荷相匹配。一个 RB 的时域大小为一个时隙，即 0.5 ms。一个时隙在常规 CP 情况下包含 7 个 SC - FDMA 块，在扩展 CP 情况下包含 6 个 SC - FDMA 块。RB 的频域大小为 12 个虚拟子载波，即 180 kHz。

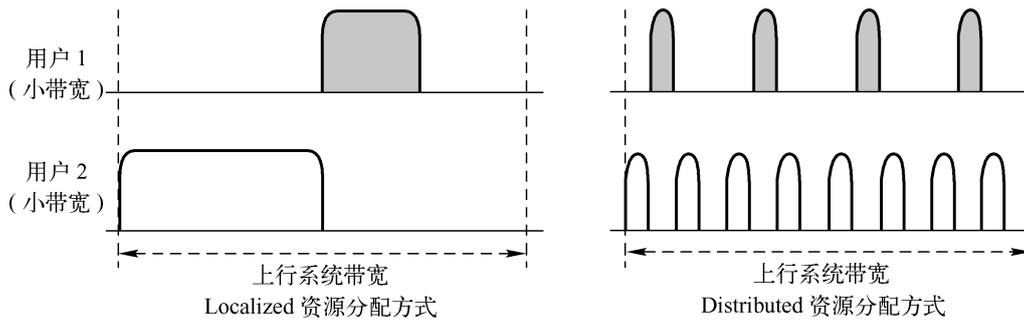


图 2-22 上行资源分配的两种方式

### 3. 上行跳频

基于上行 Localized 跳频的提出，是因为上行和下行相似，Distributed 分配方式相对 Localized 分配方式可以获得更大的频率分集增益和更好的干扰随机化性能，但另一方面，Distributed 分配方式有对频率同步误差和多普勒频移敏感、无法支持频域调度、信道估计性能较差和 Localized 用户的复用较复杂等缺点。因此在上行中只采用 Localized 分配方式，同时为了弥补 Localized 方式在频率选择性分集方面缺陷，提出了基于 Localized 的跳频（Frequency Hopping, FH）方式。

#### (1) 上行跳频方式的分类

Localized FH 方式即 UE 在某一时刻只占用连续的频带，但在下一个时刻跳转到另一个频带继续发送。根据跳频的频率不同，可以分为 TTI 内跳频（Intra-TTI FH）和 TTI 间跳频（Inter-TTI FH）。在如图 2-23 所示（设 TTI = 1 ms）的例子中，假设 HARQ 的 RTT 为 5 个 TTI，则 Inter-TTI FH 就是每隔 5 个 TTI 跳频一次；而 Intra-TTI FH 是在一个 TTI 的两个时隙之间跳频一次。

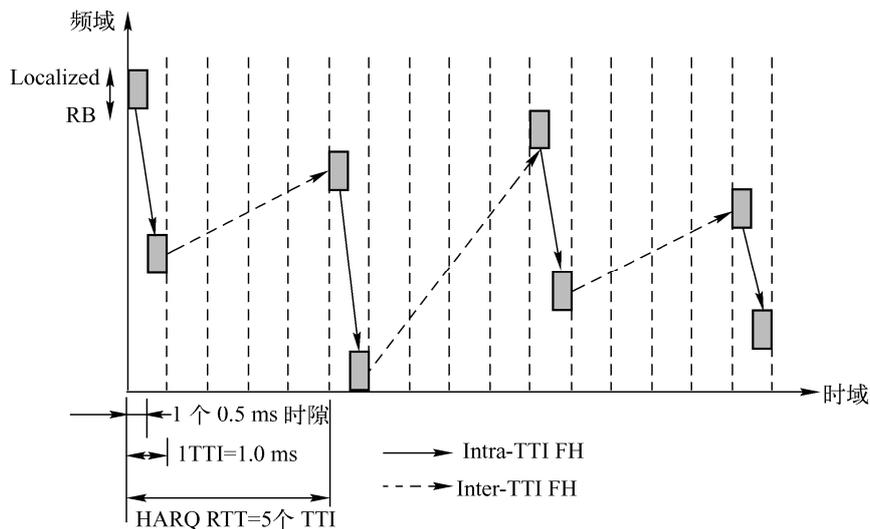


图 2-23 TTI 内跳频和 TTI 间跳频

#### (2) 上行两种跳频方式的作用

这两种跳频可以有效改善 Localized 分配的频率分集和干扰随机化性能，而又不会使抗频偏和频率误差能力下降。Intra-TTI FH 可以改善一次 HARQ 重传内部的频率分集和干扰

抑制；Inter - TTI FH 可以改善相邻两次 HARQ 传输之间的频率分集和干扰抑制。但是 Intra - TTI FH 也可能给信道估计带来一些新的问题，由于 UE 在一个 TTI 内的两个时隙中不同的频带传输，因此在信道估计时是无法进行相邻时隙之间的内插的，这可能对信道估计的性能有一定影响，需要仔细研究。

可以只采用 Inter - TTI FH，也可以同时采用 Intra - TTI FH 和 Inter - TTI FH。在 FH 图案的配置方面，可以采用三种方式：按照 eNodeB 发出的上行资源赋予信息进行跳频；按照 eNodeB 发出的持续调度的初始化分配（Initial persistent allocation）信息进行跳频；按照小区特有的跳频图案（Cell - specific hopping pattern）跳频。

如果上行资源赋予信息中预定义了 FH 配置，则 UE 按照此 FH 配置进行跳频；如果上行资源赋予信息中没有定义 FH 配置，则 UE 按照持续调度的初始化分配信息中定义的 FH 配置跳频，或者按照小区特有的跳频图案跳频。

### 2.3.4 自适应调制编码

自适应技术是通过自身与外界环境的接触来改善自身对信号处理的性能。自适应系统可以分为开环自适应系统和闭环自适应系统两种类型。开环自适应系统的工作主要为：对输入信号或信号环境进行测量，并用测量所得到的信息形成公式或算法，用以调整自适应系统自身。闭环自适应系统还利用系统调整所得结果去优化系统的某种性能，就是我们所说的性能反馈。

在 LTE 系统中，自适应技术主要是应用在调制编码中，这就是我们所说的自适应调制编码。自适应技术在信息交互过程中主要体现在以下几方面：CQI/PMI/RI 的测量、上行反馈 CQI/PMI/RI、调制编码信息的获取。由于 CQI/PMI/RI 信息的获取来自于对环境的测量，因此，LTE 系统中自适应调制编码是闭环自适应。

如果只是根据最坏信道质量所选择调制编码方式，那么完全不能充分利用信道容量。而采用自适应调制编码技术，根据信道质量的变化，动态选择调制编码方式，以满足在一定误码率下的最高频谱利用率。自适应调制和编码就是根据信道条件的变化，动态地选择适当的调制和编码方式（Modulation and Coding Scheme, MCS），变化的周期为一个 TTI。简单地说就是在信道质量好时，选择高阶的调制方式，高速的传输速度；在信道质量差时，选择低阶的调制方式，低速的传输速率。上下行信道质量的反馈是自适应调制编码的核心。

自适应调制和编码（AMC）有两种：频率特定（Frequency - specific）的 AMC 和频率统一（Frequency - common）的 AMC。

频率特定的 AMC 即对分配给一个用户的不同的频率资源采用不同的 AMC。优点是可更好地适应频率选择性信道，理论上可实现最大的系统容量；不足是需对每个 RB 测量并反馈 CQI，带来较大的开销，增加系统的复杂度。

频率统一的 AMC 即对分配给一个用户的所有频率资源采用相同的 AMC。优点是只需测量并反馈所有频带的平均 CQI，减小了信令开销，降低了系统的复杂度；不足是损失了一定的自适应灵活性。

通过仿真研究，LTE 系统最终确定采用频率统一的 AMC 技术。

#### 1. CQI 的测量

CQI 即信道质量指示，反映了在不同信道质量下，建议使用的最佳调制方式和码率。下

行信道的 CQI 通过 UE 端测量，并反馈给基站；上行信道的 CQI 由基站获取。

CQI 的测量：上行通过测量 DMRS 的 SINR，通过算法获得对应的 CQI index，基站经过查表获得 CQI 的测量信息；下行通过测量 Cell specific reference signal 在非 MBSFN 子帧和 MBSFN 参考信号在 MBSFN 子帧的 SINR，再通过算法获得对应的 CQI index，反馈给基站 CQI index，基站经过查表获得信道信息。

## 2. PMI 的测量

PMI 即预编码矩阵指示。在 LTE 中使用的是基于码书的预编码，PMI 就是将根据信道状态信息得到的最优预编码矩阵的索引值反馈给发射端，发射端根据索引值选出对应的预编码矩阵，更好地实现分集和空间增益。

PMI 测量：

首先，确定预编码本子集。上层配置的比特映射的参数 CodebookSubsetRestriction 限制了上报的 PMI 和 RI 的码本的子集范围，体现在映射序列  $a_{A_c-1}, \dots, a_3, a_2, a_1, a_0$ ，每一位的值都对应于一个或一组预编码矩阵。

其次，根据选择准则和算法选择最优的预编码矩阵，预编码矩阵的选择主要有两种准则：

根据性能指标来选择，如总吞吐量、SINR 和误帧率等，可以根据信道状态信息，分别计算码本中的每一个矩阵的性能指标，以决定使用的预编码矩阵。

基于量化的选择，可以通过对于信道矩阵进行奇异值分解，其中的右奇矩阵  $V$  量化来获得预编码矩阵，在码本中选择与  $V$  均方误差最小的矩阵作为选择的预编码矩阵。

## 3. RI 的测量

RI 表示当时的信道下，UE 可以支持的空间层数。基站通过 RI 值和 PMI 值，确定预编码矩阵。

RI 的测量：首先确定预编码本子集，方法同 PMI 测量，根据量化的预编码矩阵，选择预编码矩阵的秩就是 RI。

## 4. CQI/PMI/RI 的上报

对于频率选择性的调度模式，周期性上报较少的信息时使用 PUCCH，较多信息时，用 PUSCH 非周期地上报；而非频率选择调度，本身反馈的信息很少，只用 PUCCH 进行周期上报。相同子帧中周期和非周期上报同时发生时，UE 仅仅在那个子帧中传输非周期上报。

## 2.4 同步过程

LTE 系统通过 OFDM 正交频分复用来实现子载波间的干扰规避，前提是必须做到同步。LTE 系统中的不同步现象包括时间与频率的不同步。

时间的不同步指接收端的抽样时刻和发射端的数据时刻没对齐，以及抽样端得不稳定，会导致时间的不同步。

频率的不同步指接收的信号出现整体的频移，原因在于晶体振荡器的不稳定性（收发两端上下变频的过程中，使用的振荡器的稳定性有限）和多普勒频移（通信双方的相对移动导致接收信号的整体频移）。

同步过程就是要把上述偏移量估算出来，做相应的补偿。LTE 系统通过以下方法实现

同步：

- 1) 时间和小数部分的频移的粗同步，在时域内用基于 CP 的自相关处理。
- 2) 小区搜索和整数部分的频移，在频域内用主同步序列和辅同步序列估计。
- 3) 为了提高小区探测的可靠性，被估算出的小区 ID 要被小区专用参考信号验证。

### 2.4.1 小区搜索

小区搜索过程是指 UE 获得与所在 eNodeB 的下行同步（包括时间同步和频率同步），检测到该小区物理层小区 ID。E-UTRA 小区搜索支持可扩展的所有传输带宽，对应于 6 个资源块以及更多。UE 基于上述信息，接收并读取该小区的广播信息，从而获取小区的系统信息以决定后续的 UE 操作，如小区重选、驻留、发起随机接入等操作。

当 UE 完成与基站的下行同步后，需要不断检测服务小区的下行链路质量，确保 UE 能够正确接收下行广播和控制信息。同时，为了保证基站能够正确接收 UE 发送的数据，UE 必须取得并保持与基站的上行同步。

为了实现小区搜索，在下行方向传输如下信号：主同步信号和辅同步信号。实际上，小区搜索通过若干下行信道实现，包括同步信道（SCH）、广播信道（BCH）和下行参考信号（RS）。随着功能的进一步划分，可将 SCH 分为主同步信道（PSCH）、辅同步信道（SSCH），将 BCH 分为主广播信道（PBCH）和动态广播信道（DBCH）。

SCH 与 BCH 的时域结构为：在一个 10 ms 中发送两次 PSCH 和 SSCH。对于帧结构 1，PSCH 和 SSCH 在第 0 号 0.5 ms 和第 10 号时隙发送，对于帧结构 2，PSCH 在每个 5 ms 半帧的 DwPTS 时隙发送，SSCH 在每个 5 ms 半帧的时隙 1 中发送，10 ms 也是发送两次。在时隙内，SCH 符号位于 0.5 ms 时隙的最后一个 OFDM 符号，SCH 在时隙内发送定时是固定的，只要 UE 完成 SCH 检测后，就得到了时隙同步。

SCH 与 BCH 的频域结构为

- 1) SCH 在下行系统带宽内的频域位置：无论系统带宽多大，SCH 总是占用系统带宽中央的 1.25 MHz 带宽。
- 2) BCH 总是在小区带宽的中心位置发送。先用一个 1.25 MHz 的主广播信道发送一部分系统信息，然后再用一个更大带宽的动态广播信道发送余下系统信息。无论 NodeB 的传输带宽多大，UE 都只依赖系统带宽的中央部分检测小区 ID，然后 UE 根据 PBCH 中广播系统信息转移到特定的频道开始数据传输。

### 2.4.2 同步信号

TD-LTE 系统支持 504 个小区 ID，并将所有的小区 ID 划分为 168 个小区组，每个小区组内有  $504/168 = 3$  个小区 ID。小区 ID 号由主同步序列编号（N ID<sub>1</sub>）和辅同步序列编号（N ID<sub>2</sub>）共同决定，具体关系为  $N ID_{cell} = 3N ID_2 + N ID_1$ 。

小区搜索的第一步是检测出 PSS，在根据二者间的位置偏移检测 SSS，进而利用上述关系式计算出小区 ID。采用 PSS 和 SSS 两种同步信号能够加快小区搜索的速度。下面对两种同步信号作简单介绍。

#### 1. 主同步信号

PSS 序列必须具备良好的相关性、频域平坦性、低复杂度等性能，TD-LTE 的 PSS 序列

采用长度为 63 的频域 Zadoff - Chu (ZC) 序列。ZC 序列广泛应用于 LTE 中，除了 PSS，还包括随机接入前导和上行链路参考信号。

设置 ZC 序列的根指数是为了具有良好的周期自相关性和互相性。从 UE 的角度来看，选择的 PSS 根指数组合可以满足时域的根本对称性，可以通过单相关器检测，使得复杂度降低。UE 侧对 PSS 序列采用非相干检测。PSS 采用长度为 63 的频域 ZC 序列，PSS 序列到子载波的映射关系如图 2-24 所示。

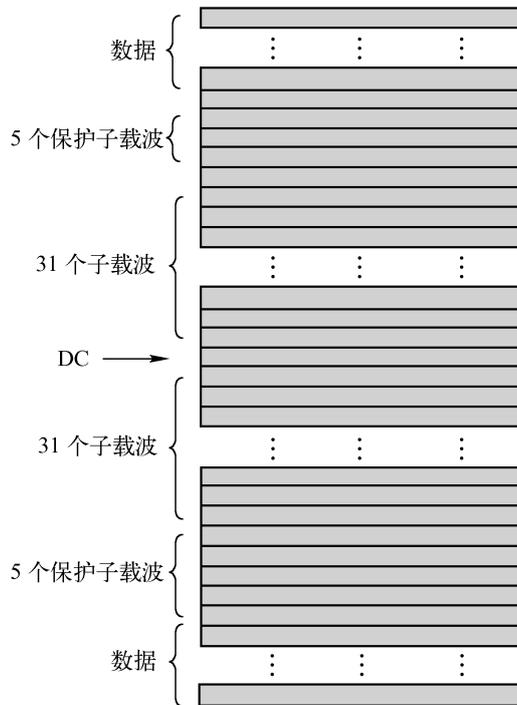


图 2-24 PSS 序列映射

LTE 系统中，针对不同的系统带宽，同步信号均占据中央的 1.25 MHz (6 个 PRB) 的位置。长度为 63 的 ZC 序列截去中间一个处于直流子载波上的符号后得到长度为 62 的序列，在频域上映射到带宽中心的 62 个子载波上。PSS 两侧分别预留 5 个子载波提供干扰保护。

## 2. 辅同步信号

辅助同步码 (Secondary Synchronization Code, SSC) 由两个长度为 31 的 m 序列交叉映射得到。具体来说，首先由一个长度为 31 的 m 序列循环移位后得到一组 m 序列，从中选取两个 m 序列 (称为 SSC 短码)，将这两个 SSC 短码交错映射在整个 SSCH 上，得到一个长度为 62 的 SSC 序列。为了确定 10 ms 定时获得无线帧同步，在一个无线帧内，前半帧两个 SSC 短码交叉映射方式与后半帧的交叉映射方式相反。同时，为了确保 SSS 检测的准确性，对两个 SSC 短码进行二次加扰。

SSS 序列映射过程如图 2-25 所示，每个 SSS 序列由频域上两个长度为 31 的 BPSK 调制辅助同步码交错构成，即 SSC1 和 SSC2。

SSS 序列具有良好的频域特性，在 PSS 存在的情况下，SSS 检测允许频偏至少为 75 kHz。时域上由于扰码的影响，SSS 序列的任何循环移位的互相性没有传统 m 序列好。

从 UE 的角度看，SSS 检测是在 PSS 检测之后完成的，因此假设信道已经检测出 PSS 序

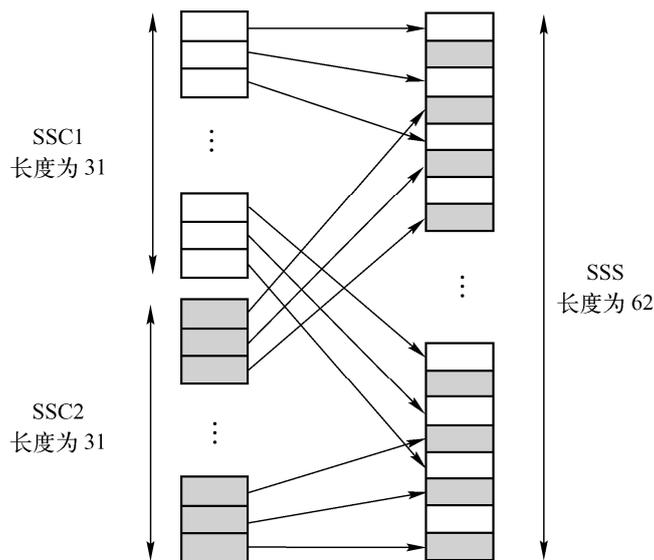


图 2-25 SSS 序列映射过程

列。对于 SSS 序列检测，UE 侧可以采用相干和非相干两种检测方法。

### 3. PSS 和 SSS 的位置和映射

频域上，PSSCH 和 SSCH 均占据整个带宽中央的 1.05 MHz，即 6 个 PRB。62 个子载波均匀分布在 DC 两侧，剩余 10 个子载波作为 SCH 与其他数据/信令传输的保护间隔。

时域上，主同步信号与辅同步信号周期性传输，且二者位置偏移固定。如图 2-26 所示，主同步信号在每个无线帧的  $G_wPTS$  的第三个符号上传输，辅同步信号在每个无线帧的第一个子帧的最后一个符号上传输。

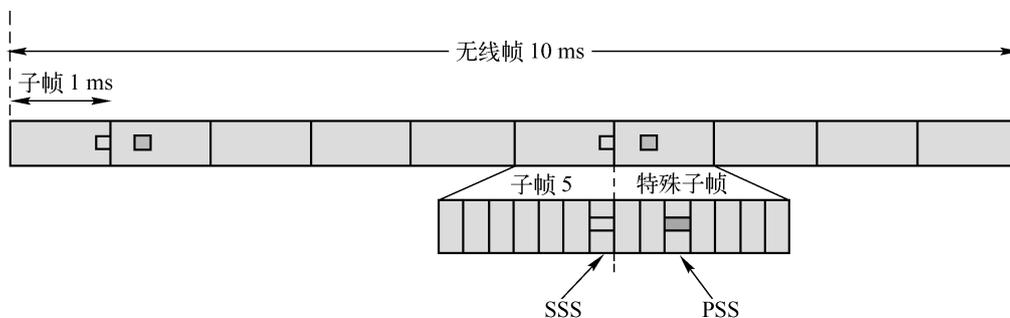


图 2-26 PSS 和 SSS 的位置和映射

### 4. 同步保持过程

为了保证下行信令和数据正确传输，在小区搜索完成后，UE 侧需要对下行链路质量进行测量，确保正确接收下行信令和数据；同时，UE 通过随机接入过程来实现与基站的上行同步，之后，基站不断对 UE 发送定时调整指令来维持上行同步。UE 与服务小区同步后，会不断检测下行链路质量，并上报至高层以指示其处于同步/异步状态。

在非 DRX 模式下，UE 物理层在每个无线帧都对无线链路质量进行检测，并综合之前的信道质量与判决门限 ( $Q_{out}$  和  $Q_{in}$ )，确定当前的信道状态。

在 DRX 模式下，一个 DRX 周期内，UE 物理层至少进行一次无线链路质量测量，并综合之前的信道质量与判决门限 ( $Q_{out}$  和  $Q_{in}$ )，确定当前的信道状态。

为了保证 UE 能够与基站保持同步，需要对 UE 的定时时刻进行调整。基站通过检测 UE 上发的参考信号，确定 UE 是否与基站保持同步，如果存在同步偏差，则基站将下发一个定时调整指令指示 UE 需要进行定时同步点的调整。UE 一旦接收到 eNodeB 的定时提前命令，将会调整自身用于 PUCCH/PUSCH/SRS 传输的上行定时（16TS 的整数倍）。

### 2.4.3 小区搜索总结

小区搜索类型可分为初始化小区搜索和非初始化小区搜索，初始化小区搜索用于终端开机时对系统的搜索，非初始化小区搜索用于终端切换时对切换目标小区的搜索。

小区搜索流程：

1) 检测 PSCH，用于获得 5 ms 时钟同步、初始频率同步、SSCH 估计，并获得小区 ID 组内的具体小区 ID。

2) 检测 SSCH，用于获得 10 ms 无线帧时钟同步、获得小区 ID 组，读取 Cell ID，做更精细的频率同步。

3) 检测下行参考信号，验证 Cell ID 信息，获得 BCH 天线配置，是否采用位移导频。

4) 读取 BCH，用于获得其他小区信息。

除了在 UE 开机时进行的初始化小区搜索外，UE 还要周期性地对相邻小区进行搜索，以为小区重选和切换做准备，这种搜索叫非初始化小区搜索。

为了降低 UE 的复杂度，采用和初始化小区搜索相同的方法进行非初始化小区搜索。如果某些低端 UE 的最小接收带宽小于系统带宽的一半，会对相邻小区搜索造成困难，为此，把 UE 接收带宽的能力确定为 20 MHz。

## 第3章 TD-LTE 信令流程

本章介绍 TD-LTE 系统的主要信令流程，包括开机附着、小区搜索、广播消息、随机接入、寻呼、RRC 建立、业务请求、专用承载建立等。通过本章的介绍，工程师可通过 TD-LTE 信令分析，逐步展开客户投诉处理、业务疑难故障排查、指标异常分析、用户体验评估、网络指标优化等工作。

### 3.1 开机附着流程

#### 3.1.1 开机附着

UE 刚开机时，先进行物理下行同步，搜索测量进行小区选择，选择到一个合适或者可接纳的小区后，驻留并进行附着过程。

附着过程即 Attach，去附着过程指 Detach，Attach 过程完成 UE 在网络的注册，完成演进型分组核心网（EPC）对该 UE 默认承载的建立；Detach 过程完成 UE 在网络侧的注销和所有 EPS 承载的删除。

Attach 过程指出 LTE 系统中，Attach 伴随着核心网处默认承载的建立。在 EPS 中，可以将 UMTS 中的附着和 PDP 上下文激活过程合并，并在 UE 附着过程中建立基础 IP 连接，这个基础 IP 连接就被称为 UE 的默认承载。默认承载在一定程度上与 UMTS 中的主 PDP 上下文含义类似。此后，如果 UE 需要发起到同一个 PDN 连接的业务，则如果 QoS 可以匹配，就可直接使用已经建立好的默认承载，而不需要另外建立承载，“节省”了 PDP 上下文激活过程。

Detach 过程说明：UE/MME/SGSN/HSS 均可发起 Detach 过程。若网络侧长时间没有获得 UE 的信息，则会发起隐式的 Detach 过程，即核心网将该 UE 的所有承载释放而不通知 UE。

附着流程如图 3-1 所示，RRC 连接，S1 连接建立完成后，标志着 NAS signalling connection 建立完成。MME 向 eNB（eNodeB 的简称）发起的初始上下文建立请求，请求 eNB 建立承载资源，同时带安全上下文，可能带用户无线能力、切换限制列表等参数。UE 的安全能力参数是通过 attach request 消息带给核心网的，核心网再通过该消息送给 eNB。UE 的网络能力（安全能力）信息改变的话，需要发起 TAU。

如果步骤 9 带了 UE Radio Capability IE，则 eNB 不会发送 UE Capability Enquiry 消息给 UE，即没有 10~12 过程，否则会发送。UE 上报无线能力信息后，eNB 再发 UE Capability Info Indication，给核心网上报 UE 的无线能力信息。

为了减少空口开销，在 IDLE 模式下 MME 会保存 UE Radio Capability 信息，INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST 消息会带给 eNB，除非 UE 在执行 Attach 或者“first TAU following GERAN/UTRAN Attach”或者“UE radio capability update”TAU 过程（也就是这些过程 MME 不会带 UE Radio Capability 信息给 eNB，并会把本地保存的 UE Radio Capability 信息删除，eNB 会问 UE 要能力信息，并报给 MME）。在 CONNECTED 下，eNB 会一直保存 UE Radio Capability

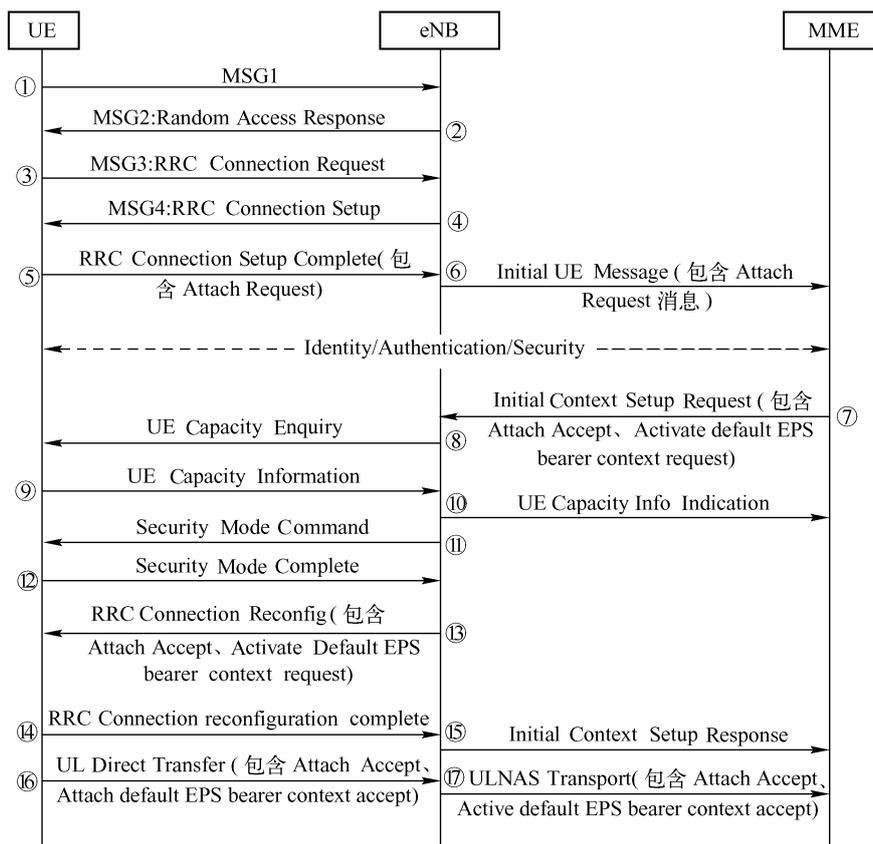


图 3-1 UE 开机附着流程

信息。UE 的 E-UTRAN 无线能力信息如果发生改变，需要先 Detach，再 Attach。

TD-LTE 系统中的 Attach 过程与 3G 相比，最大的区别在 LTE 信令流程中包含默认承载的建立，而 3G 中没有，下面将 Attach 过程进行详细说明。

1) 处在 RRC\_IDLE 态的 UE 进行 Attach 过程，首先发起随机接入过程，UE 发送随机接入前导码，即 MSG1 消息。

2) eNB 检测到 MSG1 消息后，向 UE 发送随机接入响应消息，即 MSG2 消息。

3) UE 收到随机接入响应后，根据 MSG2 的 TA 调整上行发送时机，向 eNB 发送 RRC Connection Request 消息。

4) eNB 向 UE 发送 RRC Connection Setup 消息，包含建立 SRB1 承载信息和无线资源配置信息。

5) UE 完成 SRB1 承载和无线资源配置，向 eNB 发送 RRC Connection Setup Complete 消息，包含 NAS 层 Attach Request 信息。

6) eNB 选择 MME，向 MME 发送 Initial UE Message 消息，包含 NAS 层 Attach Request 消息。

7) MME 向 eNB 发送 Initial Context Setup Request 消息，请求建立默认承载，包含 NAS 层 Attach Accept、Activate default EPS bearer context request 消息。

8) eNB 接收到 Initial Context Setup Request 消息，如果不包含 UE 能力信息，则 eNB 向 UE 发送 UE Capability Enquiry 消息，查询 UE 能力。

9) UE 向 eNB 发送 UE Capability Information 消息，报告 UE 能力信息。

10) eNB 向 MME 发送 UE Capability Info Indication 消息，更新 MME 的 UE 能力信息。

11) eNB 根据 Initial Context Setup Request 消息中 UE 支持的安全信息，向 UE 发送 Security Mode Command 消息，进行安全激活。

12) UE 向 eNB 发送 Security Mode Complete 消息，表示安全激活完成。

13) eNB 根据 Initial Context Setup Request 消息中的 ERAB 建立信息，向 UE 发送 RRC Connection Reconfiguration 消息进行 UE 资源重配，包括重配 SRB1 和无线资源配置，建立 SRB2、DRB（包括默认承载）等。

14) UE 向 eNB 发送 RRC Connection Reconfiguration Complete 消息，表示资源配置完成。

15) eNB 向 MME 发送 Initial Context Setup Response 消息，表明 UE 上下文建立完成。

16. UE 向 eNB 发送 UL Direct Transfer 消息，包含 NAS 层 Attach Complete、Activate default EPS bearer context accept 消息。

17) eNB 向 MME 发送 Uplink Nas Transport 消息，包含 NAS 层 Attach Accept、Activate default EPS bearer context accept 消息。

### 3.1.2 附着流程中的异常

#### 1. RRC 连接建立失败

当无线质量较差或定时器参数设置不合理时，会出现 RRC 连接建立失败，流程如图 3-2 所示。

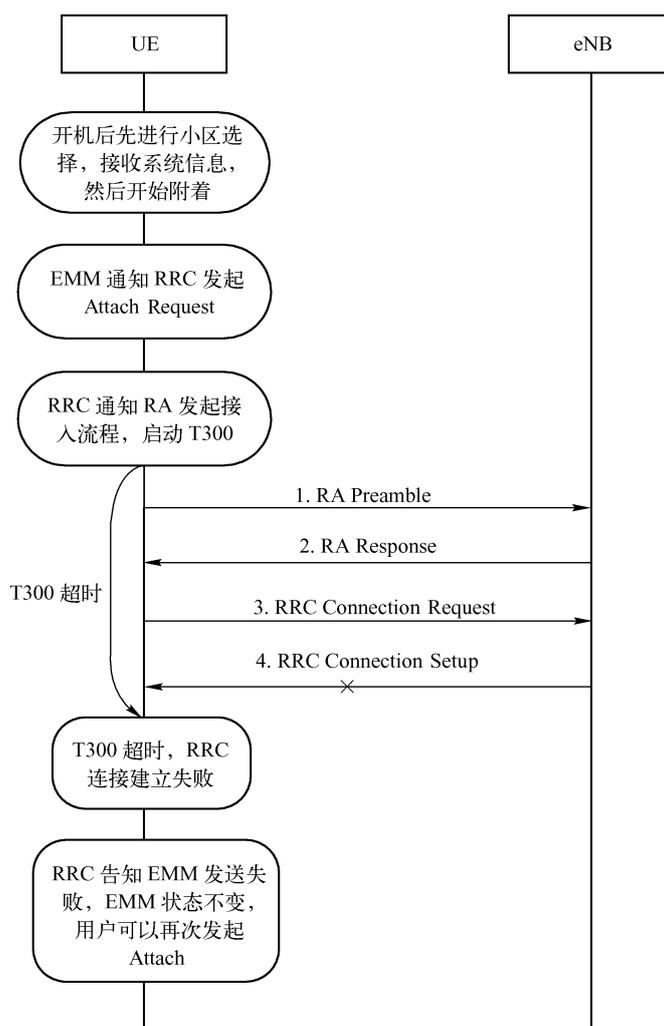


图 3-2 附着流程中的异常流程：RRC 连接建立失败

## 2. 核心网拒绝

当 UE 上报 UE 能力格式错误、IMSI 中的 MNC 与核心网配置的不一致时，核心网会触发 Attach 拒绝流程，流程如图 3-3 所示。如果是 ESM 过程导致的拒绝（比如默认承载建立失败），才会带 PDN Connectivity Reject 消息；EMM 层拒绝，只有 Attach Reject 消息。

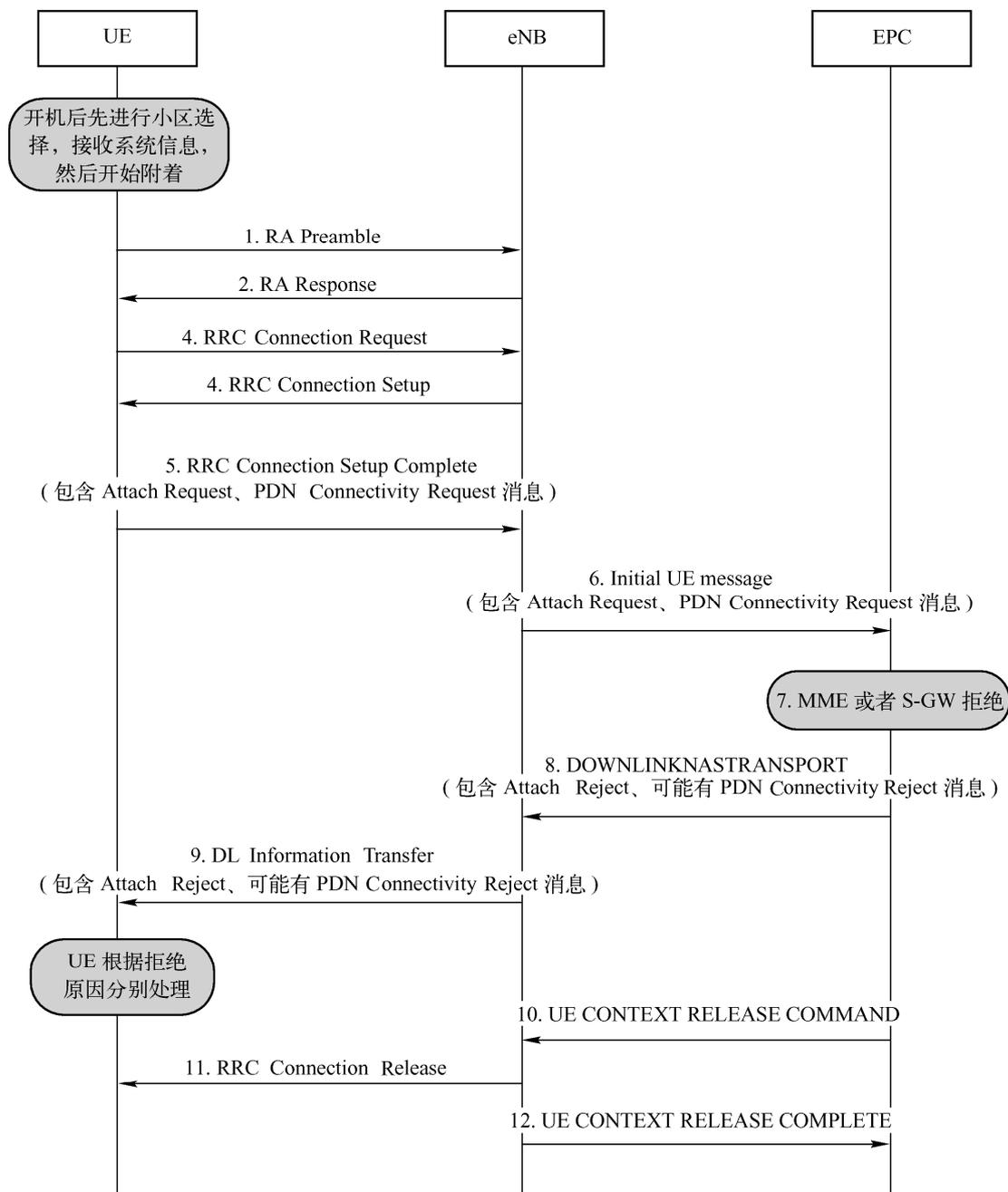


图 3-3 附着流程中的异常流程：核心网拒绝

## 3. eNB 未等到 Initial context setup request 消息

eNB 向 EPC 发送 Initial UE message 后，启动定时器 T3410，定时器超时后，仍未收到 EPC 下发的 Initial Context Setup Request 消息，导致附着流程失败，如图 3-4 所示。

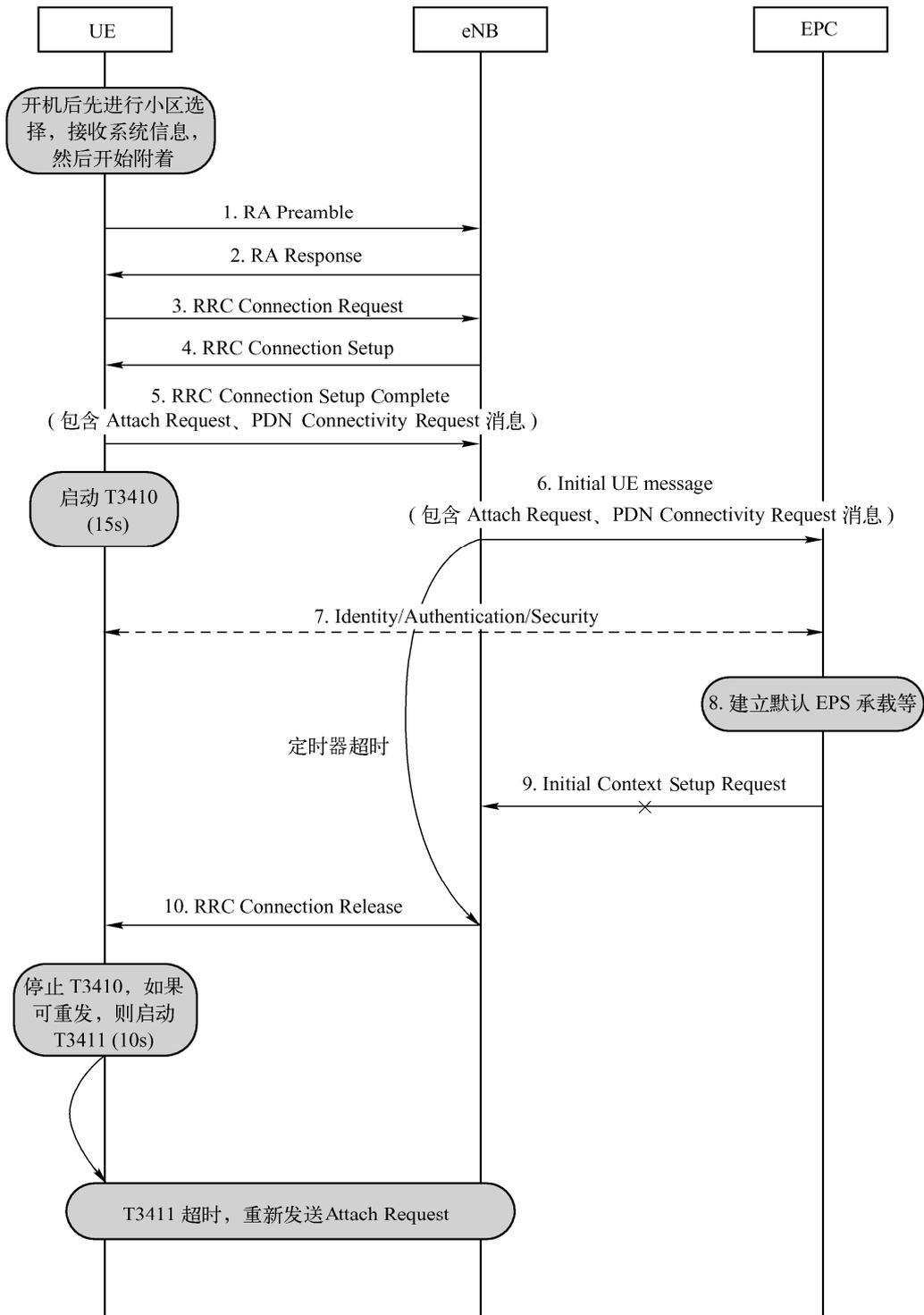


图 3-4 附着流程中的异常流程：eNB 未收到 Initial Context Setup Request

### 3.2 小区搜索及读取广播消息

小区搜索过程是 UE 和小区取得时间和频率同步，并检测小区 ID 的过程。E-UTRA 系统的小区搜索过程与 UTRA 系统的主要区别是它能够支持不同的系统带宽（1.4 ~ 20 MHz）。

小区搜索的详细过程见 2.4 章。

UE 接收广播消息的信令过程如图 3-5 所示。

Index	Time	Channel Name	Message Name
341	10:46:03:843	UL RLC	L2 Up Signal RLC Msg
342	10:46:03:843	UL MAC	Short BSR
343	10:46:03:859	DL DCCH	RRC Connection Release
344	10:46:03:859	BCCH BCH	Master Information Block
345	10:46:03:906	BCCH DL SCH	System Information
346	10:46:03:937	BCCH DL SCH	System Information Block Type1
347	10:46:03:968	BCCH DL SCH	System Information Block Type1
348	10:46:03:984	BCCH BCH	Master Information Block
349	10:46:03:984	BCCH DL SCH	System Information Block Type1
350	10:46:04:015	BCCH DL SCH	System Information Block Type1
351	10:46:04:031	BCCH BCH	Master Information Block
352	10:46:04:031	BCCH DL SCH	System Information
353	10:46:04:046	BCCH DL SCH	System Information Block Type1
354	10:46:04:046	BCCH DL SCH	System Information
355	10:46:04:078	BCCH DL SCH	System Information Block Type1
356	10:46:04:078	BCCH BCH	Master Information Block
357	10:46:04:093	BCCH DL SCH	System Information
358	10:46:04:125	BCCH DL SCH	System Information Block Type1
359	10:46:04:125	BCCH DL SCH	System Information Block Type1

图 3-5 UE 接收广播消息的信令过程

首先，UE 读取主信息块（Master Information Block），即 MIB 消息，告诉 UE 小区最基本的信息，包含系统带宽、phich-Config、systemFrameNumber 信息。UE 通过这些信息，进一步获取其他系统信息。

其次，UE 读取系统消息（System Information），获取无线资源公共配置信息，如各个信道的配置信息，以及 UE 侧相关的定时器和计数器。

最后，UE 读取 SIB 消息，获取 PLMN 网络标识、小区驻留、重选等信息。

### 3.2.1 MIB 消息读取

UE 从 MIB 消息中得知 TD-LTE 小区的基本信息，如图 3-6 所示。

从 MIB 消息中，UE 读取到小区的基本信息：dl\_Bandwidth 系统带宽，范围为 [1.4 M (6RB), 3 M (15RB), 5 M (25RB), 10 M (50RB), 15 M (75RB), 20 M (100RB)]，对应配置值为 0~5，图 3-6 中显示为 3，对应的系统带宽为 10M (50RB)。

phich\_Duration 告诉 UE 系统 PHICH 符号长度，其中 Normal 方式占用一个子帧中的第一个 OFDM Symb；Extend 方式对于子帧 1 和子帧 6 占用前 2 个 OFDM Symb，其他子帧占用前 3 个 OFDM Symb。可选常规和扩展（normal

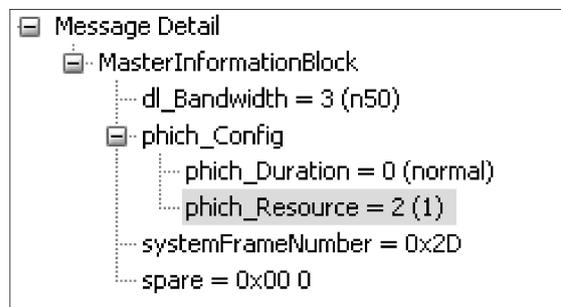


图 3-6 Master Information Block 解析

和 extended)，对应的配置选项为 0 和 1。

系统帧号 (System Frame Number)，用于 UE 和网络侧同步。

### 3.2.2 SI 解析

System Information 里，包含了小区选择和接入相关的禁止接入参数、无线资源相关的公共参数、各个物理信道、上行功率控制、UE 侧定时器和计数器的相关配置信息，如图 3-7 所示。

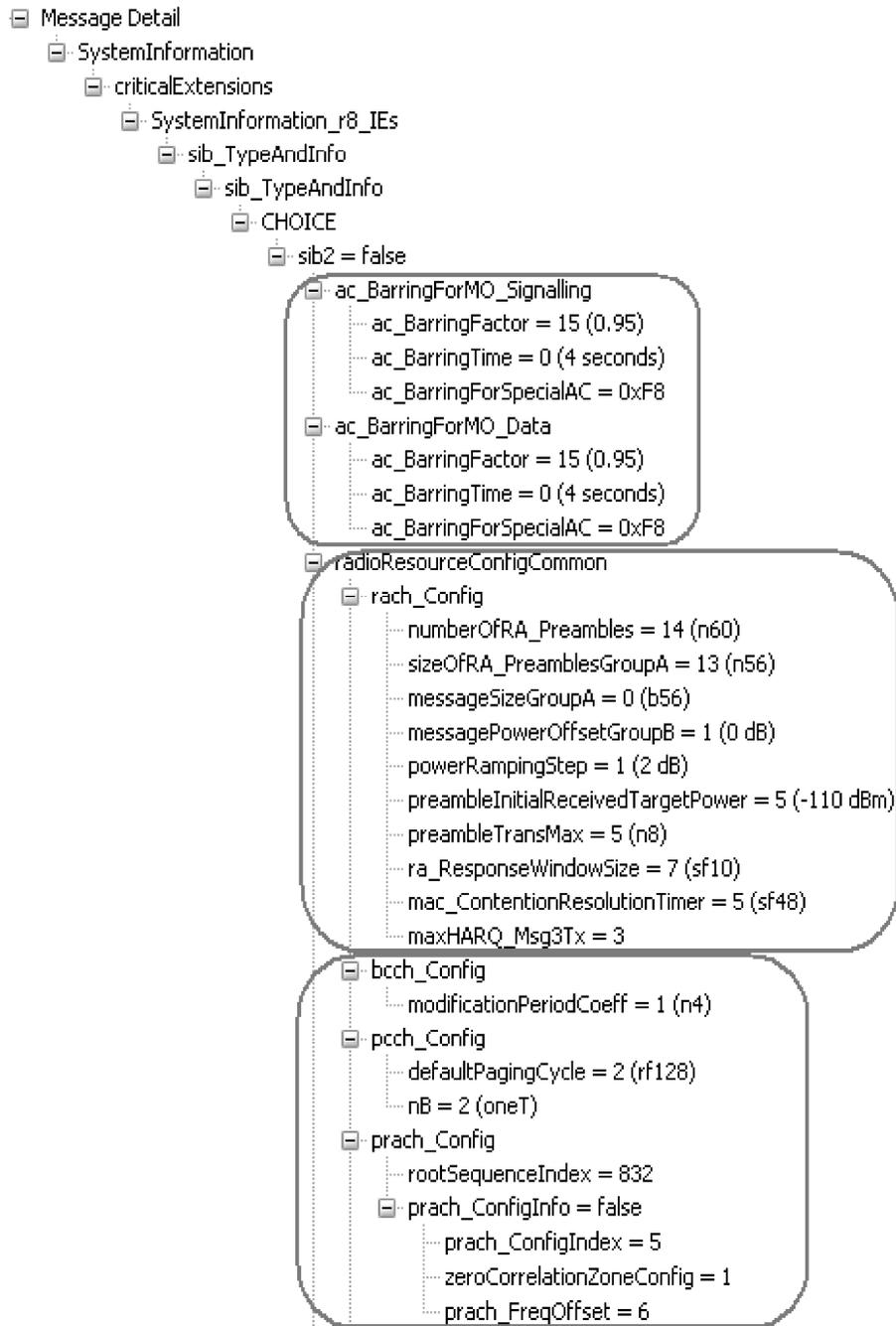


图 3-7 System Information 解析

## 1. 小区选择和接入相关的 Barring 参数

小区选择和接入相关的 Barring 参数见表 3-1。

表 3-1 小区选择和接入相关的参数

字段名称	显示取值范围	内存取值范围	字段中文含义
Ac_BarringFactor	(0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95)	0 ~ 15	信令接入概率因子
Ac_BarringTime	(4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512) s	0 ~ 7	信令禁止接入时间

## 2. 无线资源配置参数

无线资源配置 (Radio Resource Config Common) 参数, 包括了较多随机接入优化工作需要重点关注的参数, 如 PRACH 功率攀升步长、PRACH 前导码重传最大次数、Msg3 最大发送次数等, 见表 3-2。

表 3-2 无线资源配置参数

字段名称	显示取值范围	内存取值范围	字段中文含义
NumberOfRA _ preambles	(4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64)	0 ~ 15	基于竞争冲突的随机接入前导的签名个数
SizeOfRA _ preamblesGroupA	(4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60)	0 ~ 14	Group A 中前导签名个数
powerRampingstep	(0, 2, 4, 6) dB	0 ~ 3	PRACH 的功率攀升步长
preambleTransMax	(3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 20, 50, 100, 200)	0 ~ 10	PRACH 前导码重传的最大次数
preambleInitialreceivedTargetPower	(-120, -118, -116, -114, -112, -110, -108, -106, -104, -102, -100, -98, -96, -94, -92, -90) dBm	0 ~ 15	PRACH 初始前导码目标接收功率
MessagePowerOffset-GroupB	(minusinfinity, 0, 5, 8, 10, 12, 15, 18) dB	0 ~ 7	Message3 传输时 eNodeB 配置的功率控制余量
RA _ ResponseWinSize	(2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10) ms	0 ~ 7	UE 对随机接入前导码响应接收的搜索窗口
MAC _ Connection-ResolutionTimer	(8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64) sf	0 ~ 7	MAC 冲突解决定时器
MaxHARQ_Msg3Tx	1 ~ 8	1 ~ 8	Message3 最大发送次数

## 3. BCCH 配置

在 System Information 里的 BCCH 配置信息里, 给出 BCCH modification periodCoef 参数, 用于确定 BCCH 更新周期的倍数, 其取值范围为 (2, 4, 8, 16), 对应配置值为 0 ~ 3。

## 4. PCCH 配置信息

PCCH 配置里的 defaultpagingCycle 参数告知 UE 监听 Paging occasion 的不连续接收循环周期。取值范围为 (32, 64, 128, 256), 单位为 radio frames, 对应配置值为 0 ~ 3。

## 5. nB 配置信息

nB 为调整寻呼时机的因子, 取值范围为 (4T, 2T, T, 1/2T, 1/4T, 1/8T, 1/16T, 1/32T), 对应配置为 0 ~ 7。

## 6. PRACH 配置信息

PRACH 配置信息，主要给 UE 提供 PRACH 产生 64 个前导码序列的逻辑根序列的起始索引号，随机接入前导码的发送配置索引，确定随机接入前导码的起始 RB 号等信息。

接续图 3-7，System Information 中的 PDSCH 配置信息、PUSCH 配置信息、PUCCH 信道配置、上行功率控制配置信息、UE 侧相关定时器和计数器信息的解析，如图 3-8 所示。

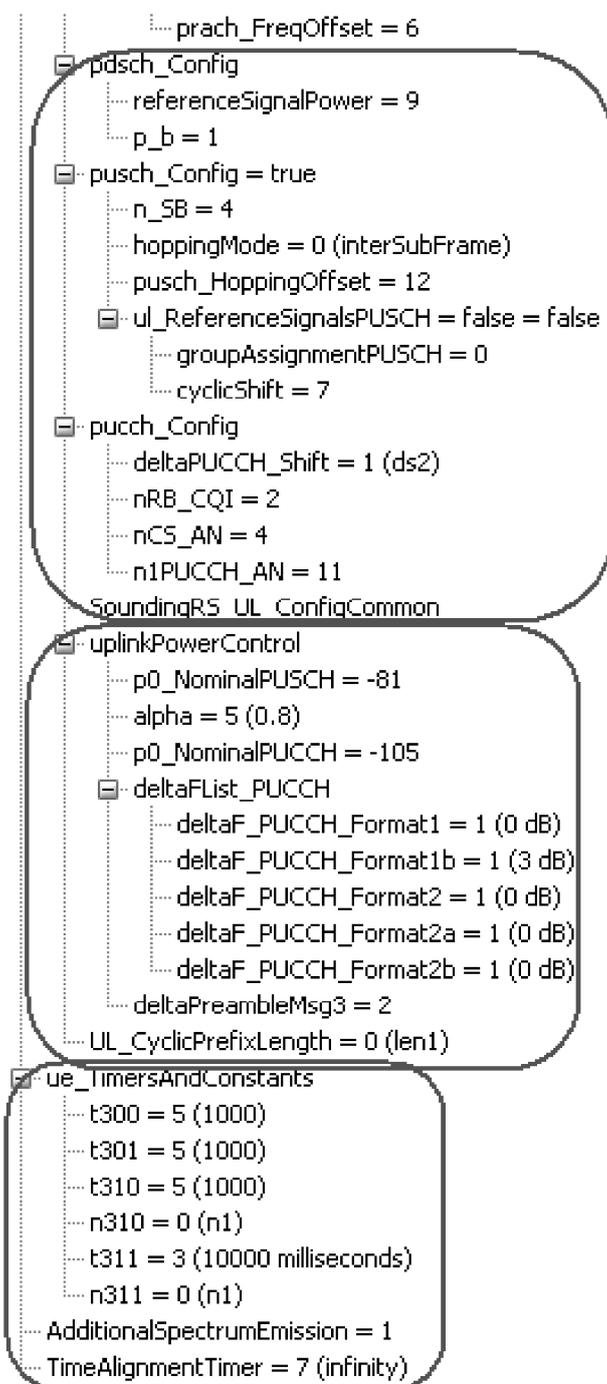


图 3-8 System Information 解析 -2

## 7. PDSCH 配置信息

referenceSignalPower 为单个 RE 的参考信号的功率（绝对值）。

p\_b 为小区 RS 的 PDSCH 的 EPRE 与不包含小区 RS 的 PDSCH 的 EPRE 的比值，取值范围为 enumerate (0, 1, 2, 3)。

### 8. PUSCH 配置信息

n\_SB 为 PUSCH 跳频时系统带宽需要划分的子带数目，配置范围为 0~4。

hoppingMode 为 PUSCH 的跳频模式指示，可设置模式为 enumerate (Only inter - subframe, both intra and inter - subframe)，对应设置值为 0~1。hoppingOffset 为 PUSCH 跳频偏移，设置范围是 0~98。

### 9. PUCCH 配置

deltaPUCCH\_Shift 参数确定小区中 PUCCH format 1/1a/1b 的循环偏移量，取值范围为 enumerate (1, 2, 3)，对应配置值为 0~2。

nRB\_CQI 指示 PUCCH format 2/2a/2b 使用的 RB 数目，配置范围为 0~98。

nCS\_AN 指示一个资源块中 PUCCH format 1/1a/1b 和 2/2a/2b 混合使用时的循环偏移位数。

n1PUCCH\_AN 指示半静态分配的 PUCCH format 1 的信道个数，配置范围是 0~2047。

### 10. 上行功率控制配置信息

p0\_NominalPUSCH 为 PUSCH 的名义的期望接收功率，一般按照实际环境设置绝对值，如图 3-8 中期望为 -81dBm。

p0\_NominalPUCCH 为 PUCCH 的名义的期望接收功率，一般按照实际环境设置绝对值，如图 3-8 中期望为 -105dBm。

### 11. UE 侧相关定时器和计数器

t300 指示 UE 等待 RRC 连接响应的定时器长度，取值范围为 enumerate (100, 200, 300, 400, 600, 1000, 1500, 2000) ms，对应的配置值为 0~7。

t301 指示 UE 等待 RRC 重建响应的定时器长度，取值范围为 enumerate (100, 200, 300, 400, 600, 1000, 1500, 2000) ms，对应配置值为 0~7。

t310 指示 UE 监测无线链路失败的定时器长度 (T310\_UE)，取值范围为 enumerate (1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 20) s，对应配置值为 0~7。

n310 指示 UE 接收下行失步指示的最大个数 (N310\_UE)，取值范围为 enumerate (0, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000) ms，对应配置值为 0~6。

t311 指示 UE 监测到无线链路失败后转入 Idle 状态的定时器长度 (T311\_UE)，取值范围为 enumerate (1000, 3000, 5000, 10000, 15000, 20000, 30000) ms，对应配置值为 0~6。

n311 指示 UE 接收下行同步指示的最大个数 (N311)，取值范围为 enumerate (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10) 个，对应配置值为 0~7。

TimeAlignmentTimer (定时指派定时器)，指示同步消息的定时器，取值范围为 enumerate (500, 750, 1280, 1920, 2560, 5120, 10240, infinity) sub - frame，对应取值为 0~7。

## 3.2.3 SIB type1 消息解析

SIB1 的消息主要携带 PLMN 网络标识、小区驻留、小区接入禁止、小区重选等信息，如图 3-9 所示。

1) MCC: 邻接小区所在的移动国家码。

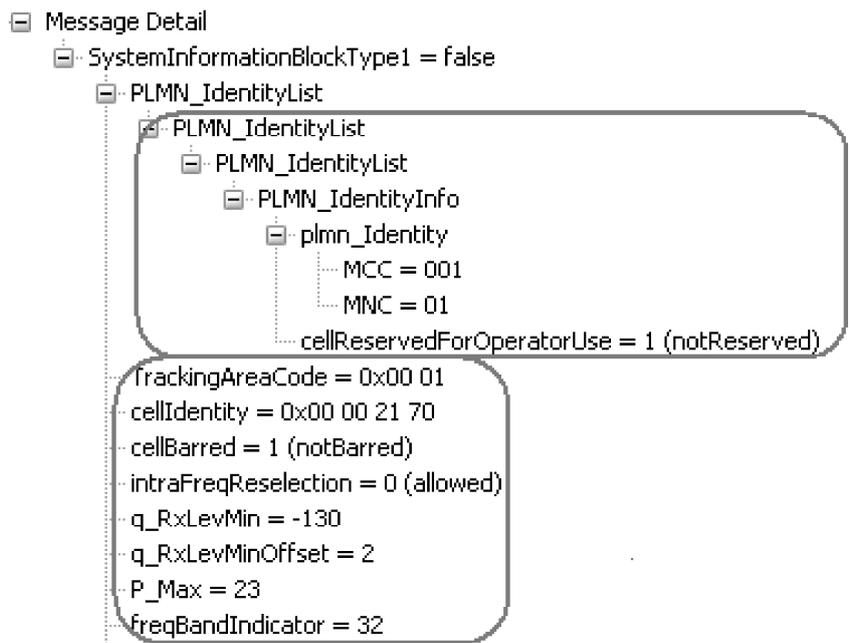


图 3-9 System Information Block type1 消息解析

- 2) MNC: 邻接小区所在的移动网络码。
- 3) cellIdentity: 小区标识。
- 4) cellBarred: 小区禁止接入指示, 取值范围为 enumerate (Barred, Not Barred), 对应值为 0 ~ 1。
- 5) intraFreqReselection: 同频小区是否重选指示, 取值范围为 enumerate (allowed, notAllowed), 对应值为 0 ~ 1。
- 6) q\_RxlevMin: eUTRAN 小区选择所需要的最小接收电平, 取值范围为 (-140...-44) dBm step 2 dB, 对应 0 ~ 48, 计算方式  $D = (P + 140) / 2$ 。
- 7) q\_RxlevMinOffset 小区选择所需要的最小接收电平偏移, 取值范围为 (2 ~ 16 dB) step 2 dB, 对应 1 ~ 8, 前后对应计算  $D = P / 2$ 。
- 8) P\_Max 指示 UE 最大允许的发射功率, 一般为 23 dBm。

### 3.3 RRC 连接建立

TD-LTE 系统的控制面协议中, RRC 连接建立为 NAS 层提供连接管理、消息传递等服务, 对接入网的底层协议实体提供参数配置功能; 负责移动性管理相关的测量、控制, 承载信令等。TD-LTE 系统中数据承载为 DRB, 通过 eNB 为其分配的 PDSCH 来完成, 信令承载通过 SRB, RRC 协议承载信息见表 3-3。

表 3-3 RRC 协议承载信息

SRB 类别	承载逻辑信道	承载消息类别	承载消息内容
SRB 0	CCCH	RRC 消息	RRC 连接请求、建立, RRC 连接拒绝, RRC 连接重建, RRC 连接拒绝重建

(续)

SRB 类别	承载逻辑信道	承载消息类别	承载消息内容
SRB 1	DCCH	RRC 消息、 部分 NAS 消息	RRC 连接建立完成、RRC 连接重建立完成、RRC 连接重配置、 RRC 连接重配置完成、RRC 连接释放
SRB 2	DCCH	NAS 消息	上下行直传消息

由于带宽增加，数据传输性能增强，LTE 的 RRC 消息的数据携带能力显著提升。因此 LTE 中所有 NAS 消息可填充在 RRC 消息中携带传输，简化了信令流程。NAS 消息通过以下 RRC 消息传递：

- 1) UL Information Transfer 和 DL Information Transfer (由 SRB2 承载，SRB2 未建立时由 SRB1 承载)。
- 2) RRC Connection Setup Complete 和 RRC Connection Reconfiguration (由 SRB1 承载)。
- 3) RRC Connection Setup Complete (只携带 NAS 的初始直传消息)。

### 3.3.1 RRC 连接建立成功

UE 从 Idle 态转变为连接态，需发起 RRC 连接建立过程，如呼叫、响应寻呼、TAU、Attach 等。RRC 连接建立成功的流程如图 3-10 所示。

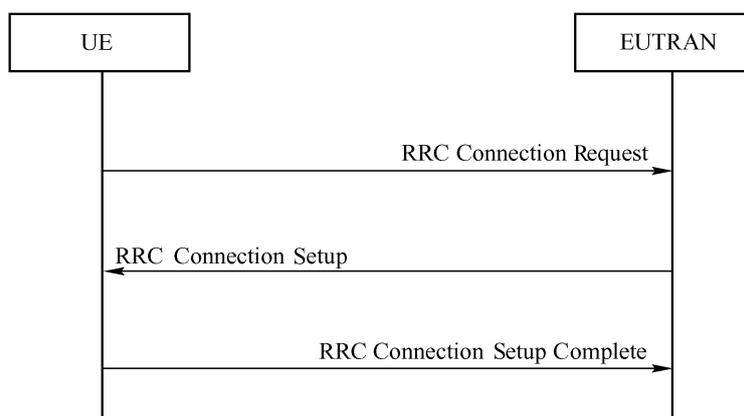


图 3-10 RRC 连接建立成功流程

RRC 连接请求 (RRC Connection Request): UE 通过 UL\_CCCH 在 SRB0 上发送，携带 UE 的初始 (NAS) 标识和建立原因等，该消息对应于随机接入过程的 Msg3；

RRC 连接建立 (RRC Connection Setup): eNB 通过 DL\_CCCH 在 SRB0 上发送，携带 SRB1 的完整配置信息，该消息对应随机接入过程的 Msg4；

RRC 连接建立完成 (RRC Connection Setup Complete): UE 通过 UL - DCCH 在 SRB1 上发送，携带上行方向 NAS 消息，如 Attach Request、TAU Request、Service Request、Detach Request 等，eNB 根据这些消息进行 S1 口建立。

如果 eNB 拒绝为 UE 建立 RRC 连接，则通过 DL\_CCCH 在 SRB0 上回复一条 RRC 连接拒绝消息，如图 3-11 所示。

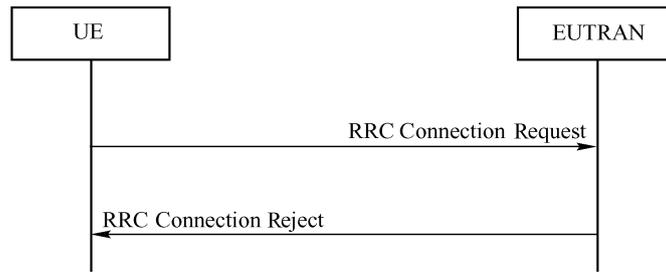


图 3-11 RRC 连接建立拒绝流程

### 3.3.2 RRC 连接重建失败

当处于 RRC 连接状态但出现切换失败、无线链路失败、完整性保护失败、RRC 重配置失败等情况时，触发此过程，如图 3-12 所示。

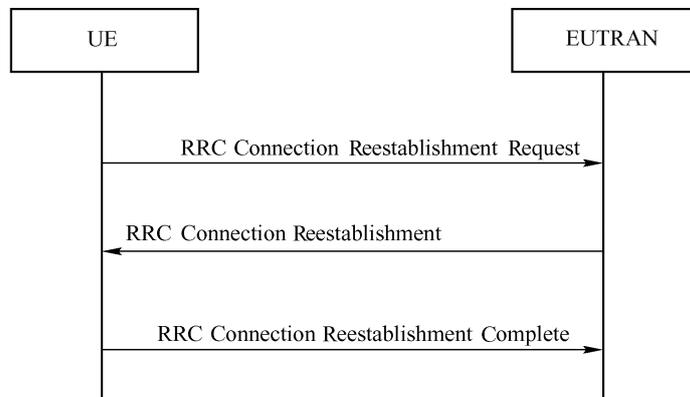


图 3-12 RRC 连接重建立成功流程

RRC 连接重建请求 (RRC Connection Reestablishment Request): UE 通过 UL\_CCCH 在 SRB0 上发送，携带 UE 的 AS 层初始标识信息及重建原因，该消息对应随机接入过程的 Msg3;

RRC 连接重建 (RRC Connection Reestablishment): eNB 通过 DL\_CCCH 在 SRB0 上回复，携带 SRB1 的完整配置信息，该消息对应随机接入过程的 Msg4;

RRC 连接重建完成 (RRC Connection Reestablishment Complete): UE 通过 ULDCCH 在 SRB1 上发送，不携带任何实际信息，只起到 RRC 层确认的功能。

如果 eNB 中没有 UE 的上下文信息，则拒绝为 UE 重建 RRC 连接，通过 DL\_CCCH 在 SRB0 上回复一条 RRC 连接重建拒绝消息，如图 3-13 所示。

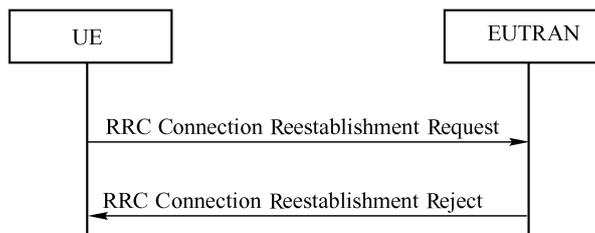


图 3-13 RRC 连接重建立拒绝流程

### 3.3.3 RRC 连接重配置过程

当需要发起对 SRB 和 DRB 的管理、低层参数配置、切换执行和测量控制时，触发 RRC 连接重配置过程，如图 3-14 所示。

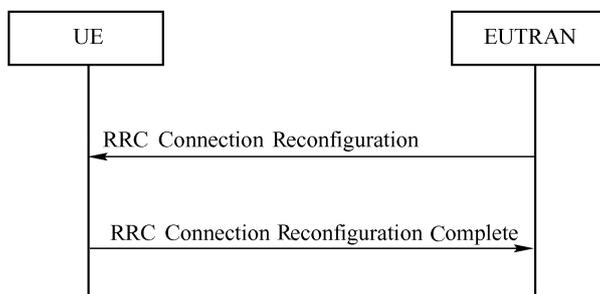


图 3-14 RRC 连接重配置流程

RRC 连接重配置 (RRC Connection Reconfiguration)：eNB 通过 DL\_DCCH 在 SRB1 上发送，根据功能的不同携带不同的配置信息内容，一条消息中可以携带体现多个功能的信息单元；RRC 连接重配置完成：UE 通过 UL\_DCCH 在 SRB1 上发送，不携带任何实际信息，只起到 RRC 层确认的功能。

若 UE 无法执行 RRC 连接重配置消息中的内容，则 UE 回退到收到该消息前的配置，并发起 RRC 连接重建过程。

如网络希望解除与 UE 的 RRC 连接时，触发 RRC 连接释放过程，eNB 通过 DL\_DCCH 在 SRB1 上发送，可选择携带重定位信息和专用优先级分配信息（用于控制 UE 的小区选择和小区重选）。UE 也可根据 NAS 层的指示主动释放 RRC 连接，不通知网络侧而主动进入空闲状态，如 NAS 层鉴权过程中没有通过鉴权检查。

## 3.4 业务请求流程

### 3.4.1 业务请求正常流程

UE 在下述情况时触发业务请求 (Service Request) 流程：

当 UE 无 RRC 连接且有上行数据发起需求时，当 UE 处于 ECM IDLE 态且有下行数据达到时，在 S1 接口上建立 S1 承载，在 Uu 接口上建立数据无线承载。

需说明的是，当 UE 发起 Service Request 时，需先发起随机接入过程，Service Request 由 RRC Connection Setup Complete 携带上去，当下行数据达到时，网络侧先对 UE 进行寻呼，随后 UE 发起随机接入过程，并发起 Service Request 过程。

UE 发起 Service Request 相当于主叫过程，下行数据达到发起的 Service Request 相当于被叫接入，UE 发起的 Service Request 流程如图 3-15 所示。

业务请求流程中，前面的流程同 Attach 流程，UE 向 eNB 上传 RRC 连接重配置完成 (RRC Connection Reconfiguration Complete) 的消息后，UE 开始传输数据。

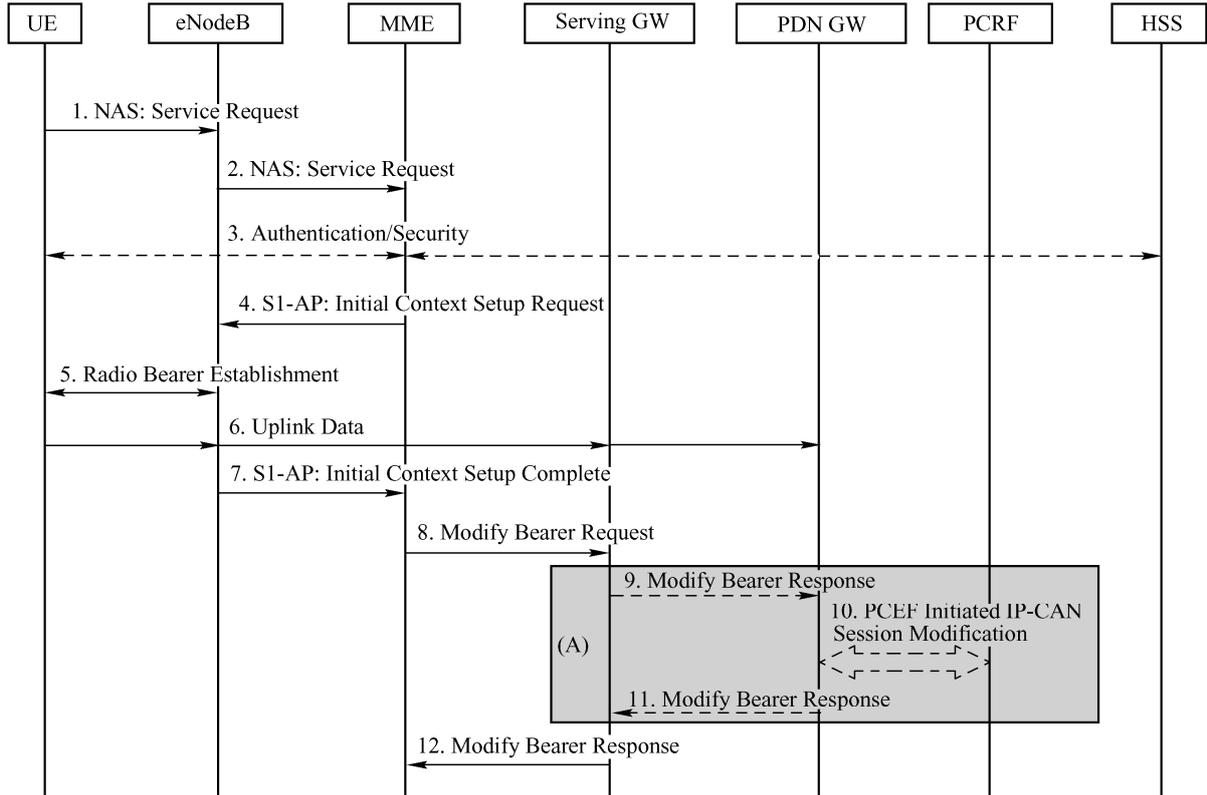


图 3-15 UE 触发的 Service Request 正常流程

网络通过 Paging 引发 UE 发起 Service Request，其流程如图 3-16 所示。

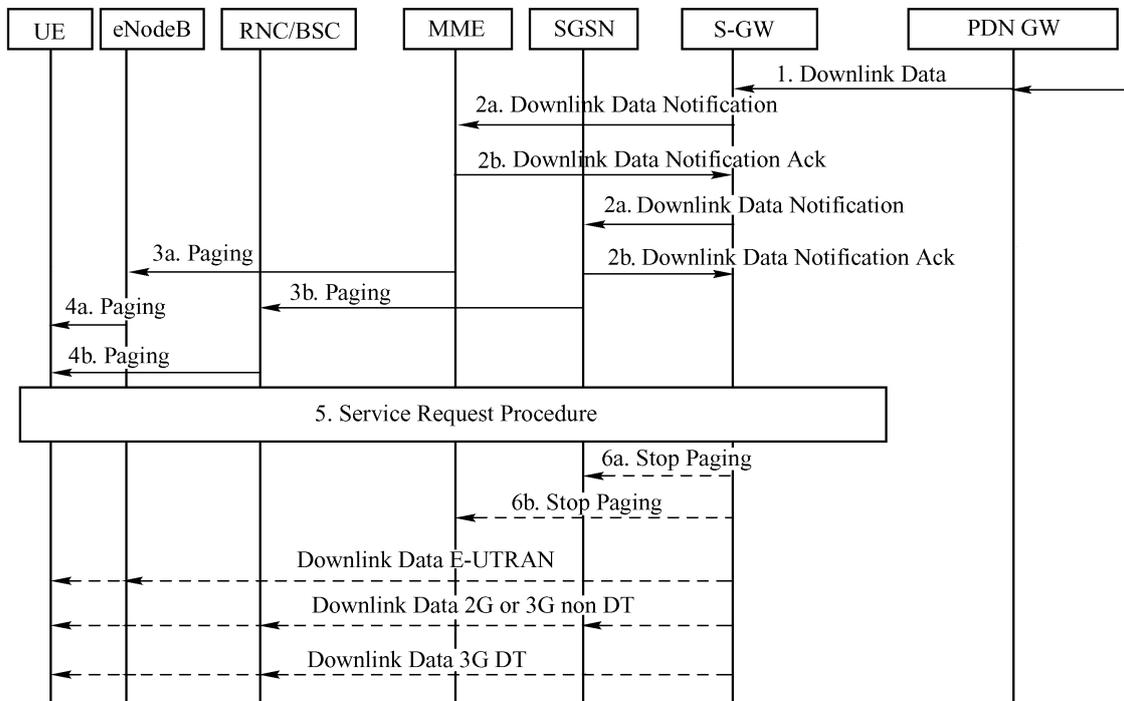


图 3-16 网络通过 Paging 触发的 Service Request 正常流程

### 3.4.2 业务请求异常流程

UE 触发业务请求 (Service Request) 的异常流程有

1) 核心网拒绝。

2) eNB 未等到 Initial context setup request 消息, 与附着异常流程相似, 区别在于 Service Request 过程失败没有重发。

3) RRC 重配消息丢失或者 eNB 内部配置 UE 的安全参数失败或者没有建立起来一个非 GBR 承载, 与附着异常流程相似, 区别在于 Service Request 过程失败没有重发。

4) eNB 建立专用承载失败。

当 Attach 成功, 建立一个专用承载后, 如果 RRC 连接释放进入了 IDLE, 下次 UE 发起数据时会发起 Service Request, 该过程会为默认承载和专用承载建立对应的 DRB 等参数。如果 eNB 建立专用承载失败, 则回复给核心网 Initial context setup response, 带失败列表, 告知核心网专用承载建立失败, 核心网会本地去激活该专用承载; 同时 RRC Connection Reconfiguration 消息也不会带该专用承载的 DRB, UE 收到后发现该专用承载对应的 DRB 没有建立起来, 也会本地去激活该承载, 这样 UE 和核心网承载保持一致。

## 3.5 专用承载建立及修改流程

### 3.5.1 专用承载建立流程

专用承载 E-RAB 为专用承载、默认承载分配资源, E-RAB 建立过程须在 UE RRC CONNECTED 态下执行, UE 和 EPC 均可发起, eNB 不可发起。UE 发起时, EPC 仅将其作为参考, 有权接受或拒绝。当 EPC 接受时, 可回复承载建立、修改流程。

专用承载建立过程包括以下几类:

1) PDN-GW 根据 QoS 策略制定该 EPS 承载的 QoS 参数。

2) S-GW 向 MME 前转承载建立请求, 包含 IMSI、QoS、TFT、TEID 及 LBI 等。

3) MME 向 eNB 发送 E-RAB 建立请求, 包含 E-RAB ID、QoS 及 S-GW TEID。

4) eNB 接收建立请求消息后, 建立数据无线承载。

5) eNB 返回 E-RAB 建立响应消息, E-RAB 建立列表信息中包含成功建立的承载信息, E-RAB 建立失败列表信息中包含没有成功建立的承载消息。

正常专用承载建立流程如图 3-17 所示, 如果是 MME 主动发起的承载建立流程, 则无步骤 1)、2); UE 发起的承载建立流程, 核心网可以回复承载建立、修改流程。

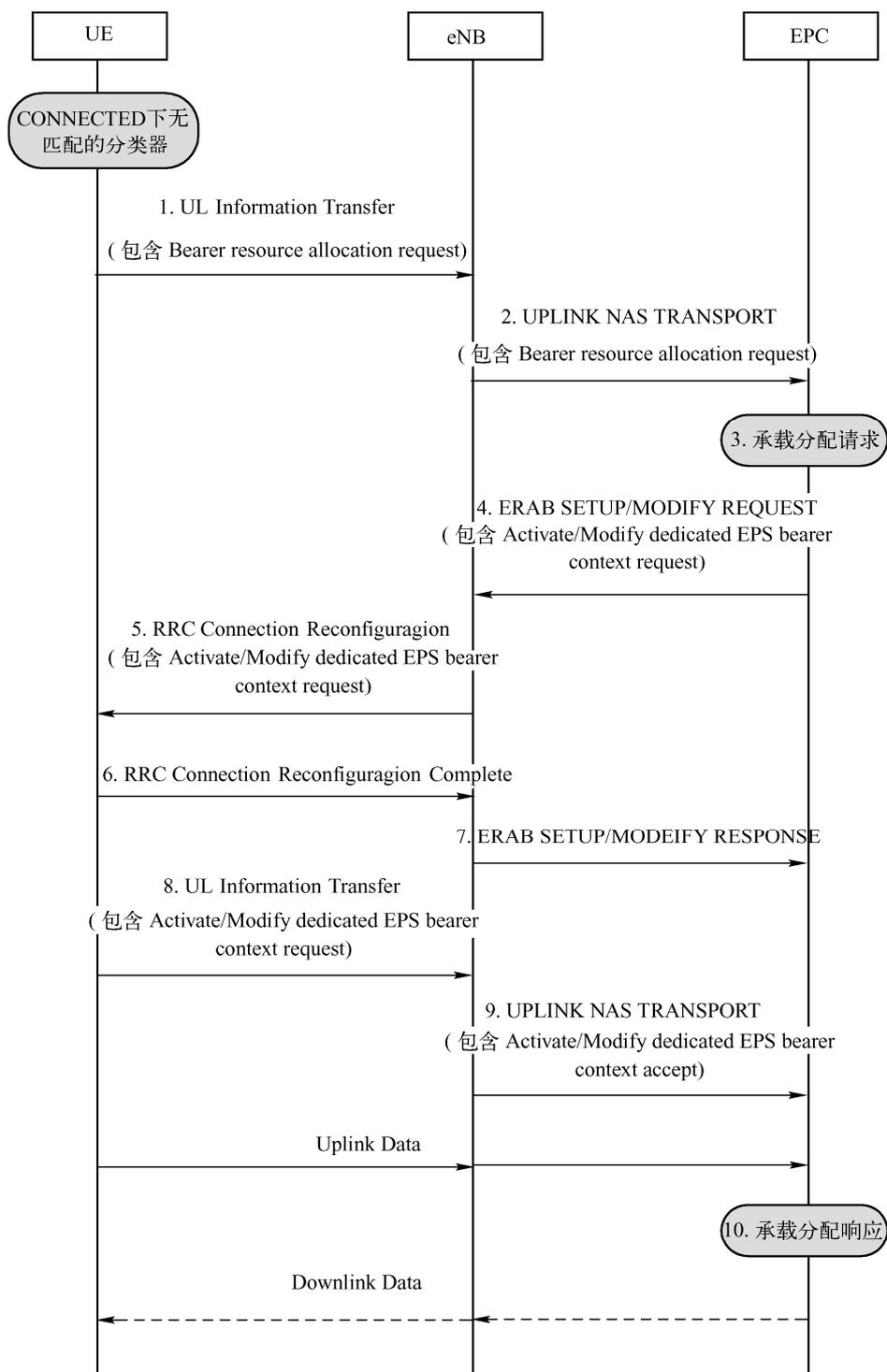


图 3-17 正常专用承载建立流程

### 3.5.2 专用承载建立异常流程

#### 1. 核心网拒绝

专用承载建立失败，专用承载建立请求被核心网拒绝，其拒绝原因值是" unknown EPS bearer context"，UE 会本地去激活存在的默认承载，流程图如图 3-18 所示。

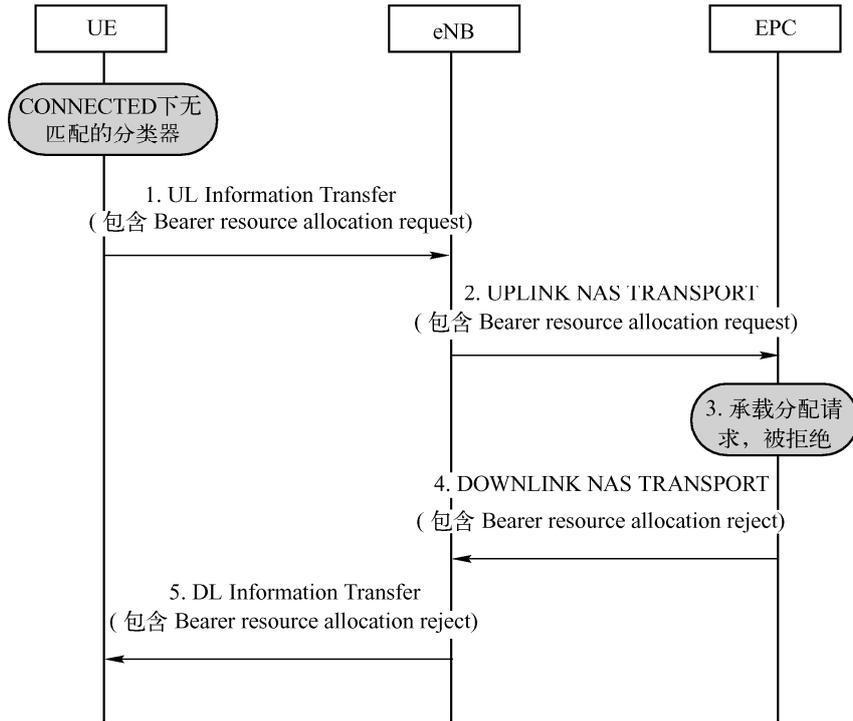


图 3-18 专用承载建立异常流程 - 核心网拒绝

### 2. eNB 本地建立失败（核心网主动发起的建立）

如果 eNB 建立失败，会回复 E-RAB SETUP RESPONSE，带失败建立的承载列表，并带原因值，核心网应该根据原因值处理，流程图如图 3-19 所示。

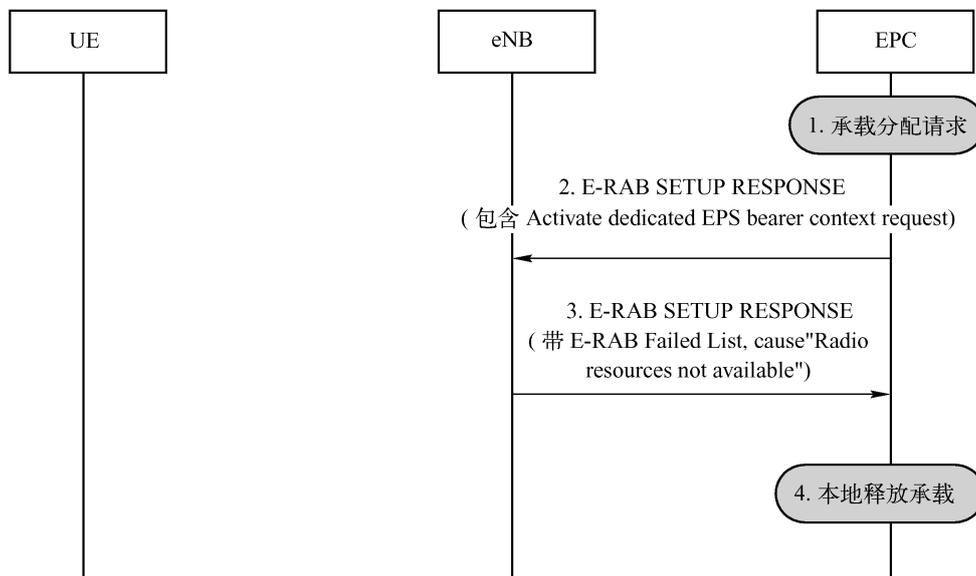


图 3-19 专用承载建立异常流程 - eNB 本地建立失败

### 3. eNB 未等到 RRC 重配完成消息，回复失败

如图 3-20 所示，eNB 未收到 RRC 重配完成消息时，会给核心网发 UE 上下文释放请求消息。

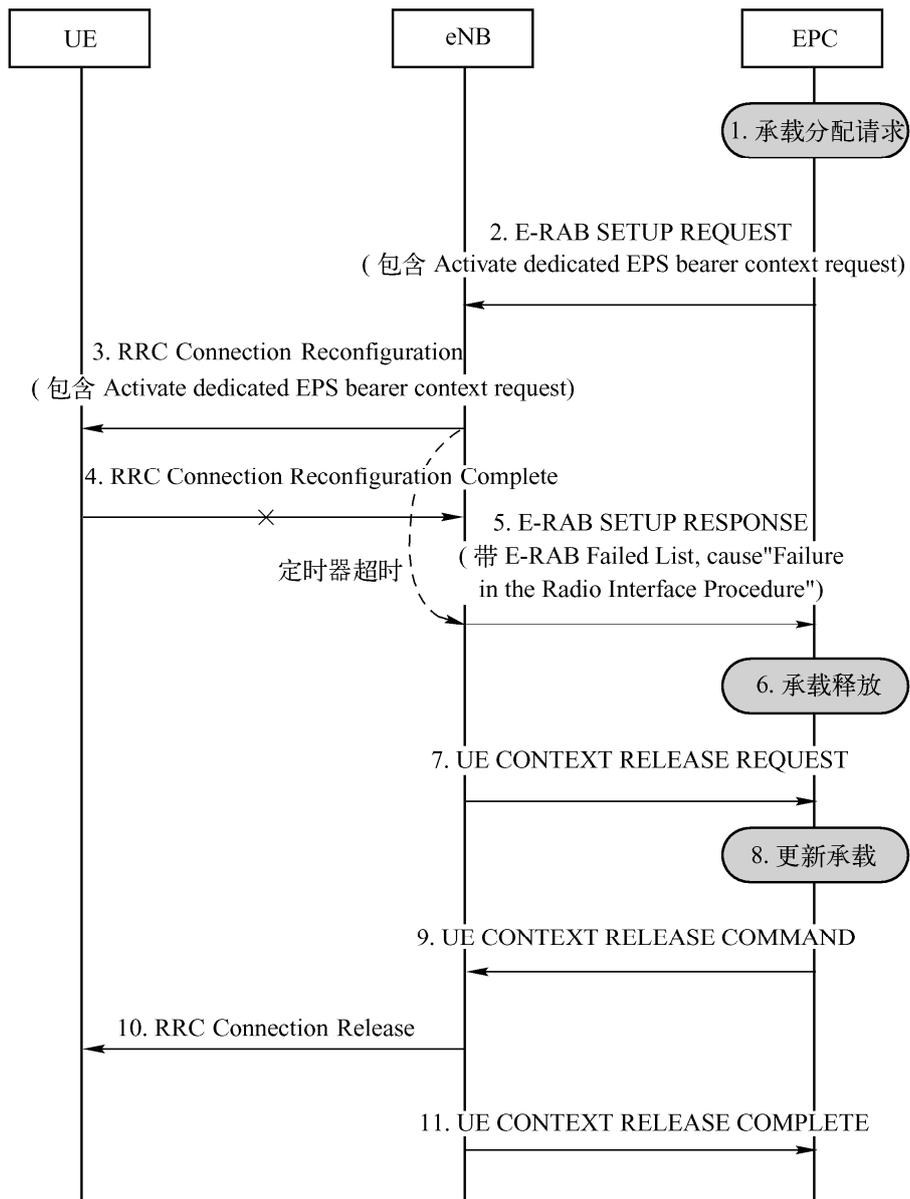


图 3-20 专用承载建立异常流程 – eNB 未等到 RRC 重配完成消息

#### 4. NAS 层拒绝

如果 UE 在专用承载建立过程中被 NAS 层拒绝，则核心网收到后会给 eNB 发送 E-RAB 释放消息，释放刚刚建立的 S1 承载，此时不带 NAS PDU。eNB 收到消息后，发 RRC 重配给 UE 来释放刚建立的 DRB 参数。此类承载建立异常流程如图 3-21 所示。

#### 5. NAS 消息丢失

如果核心网没有收到 UE 回复的 NAS 消息，会重发请求消息，重发最大次数后，如果还没收到应答则放弃，如图 3-22 所示。

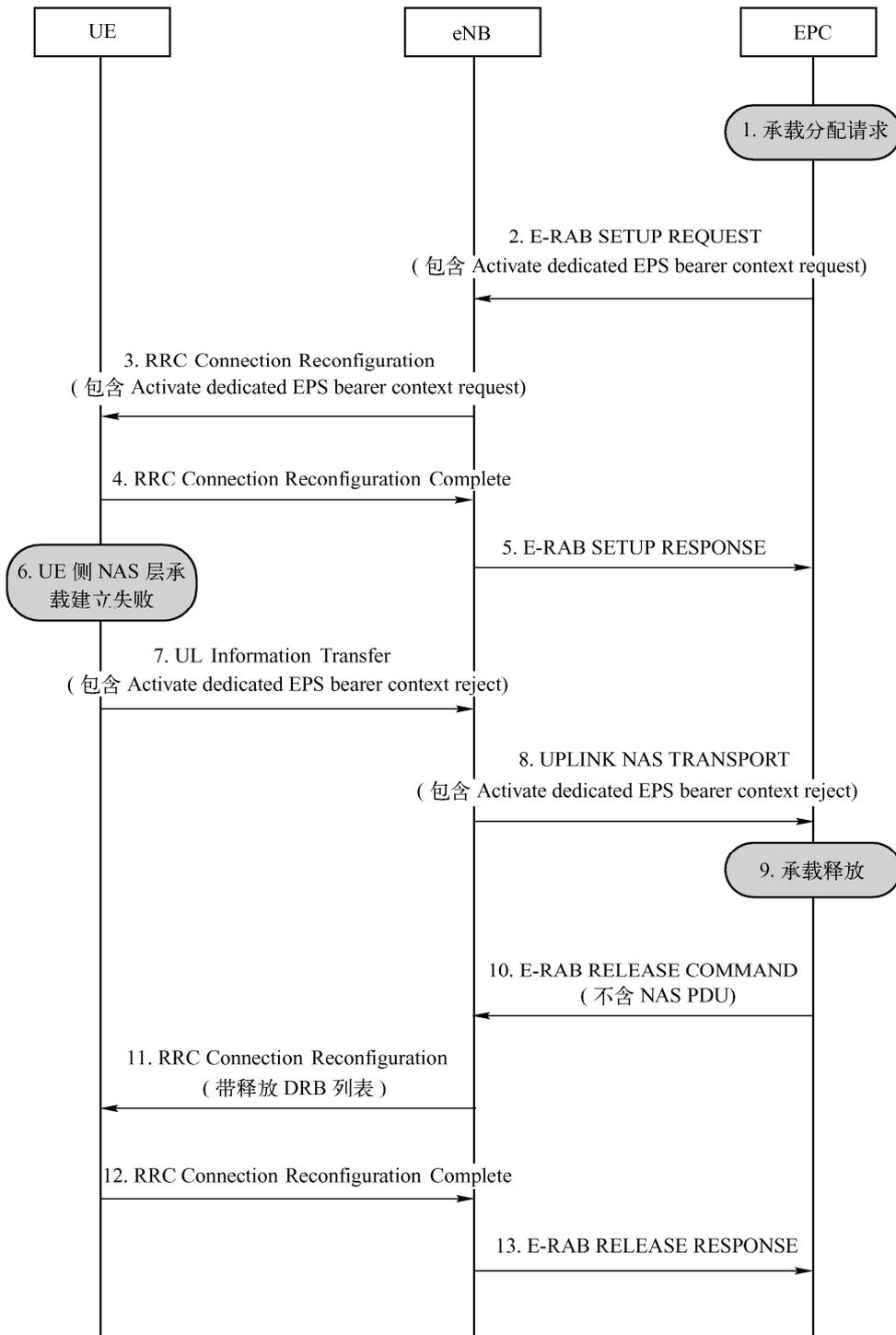


图 3-21 专用承载建立异常流程 - NAS 层拒绝

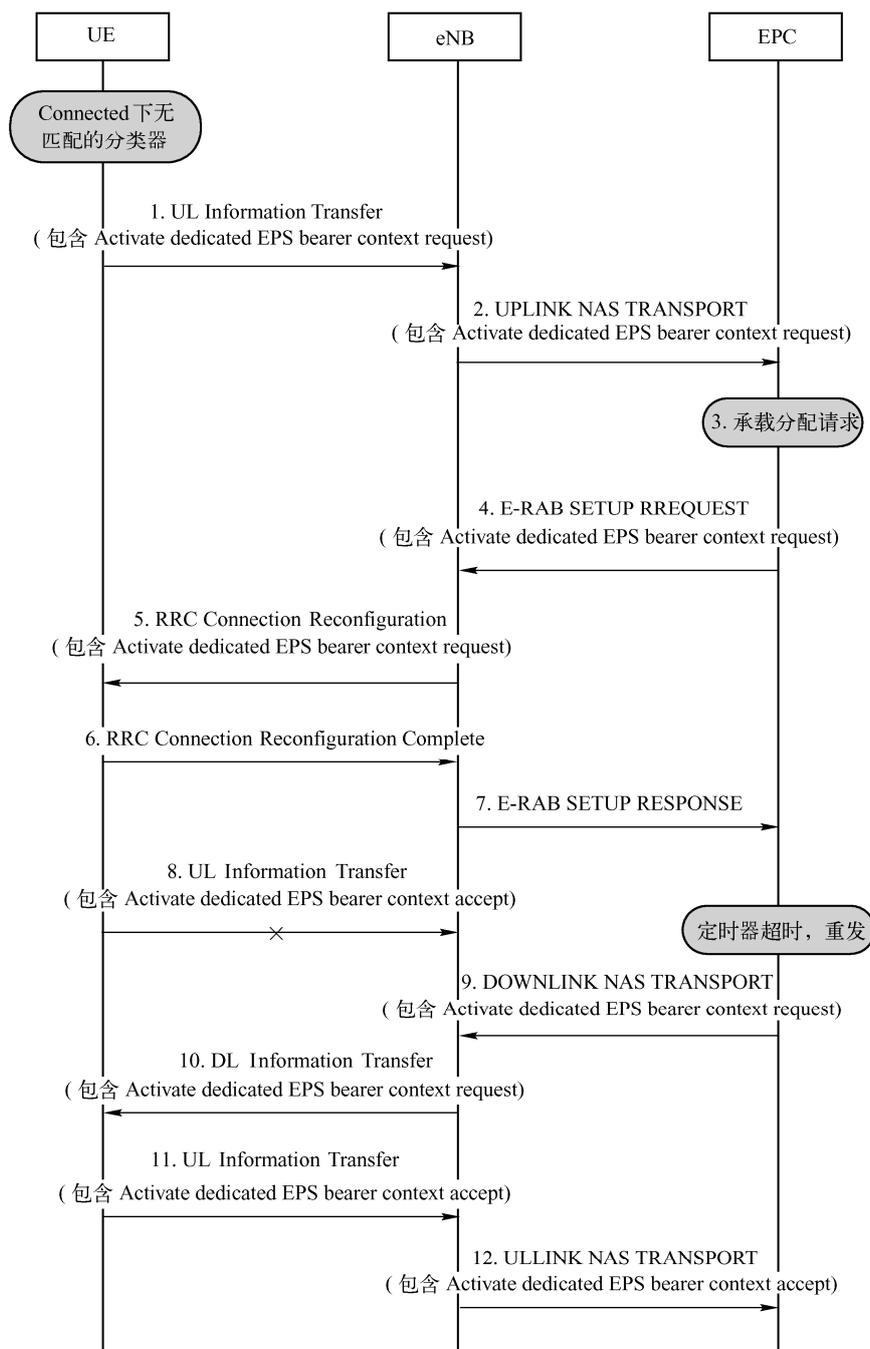


图 3-22 专用承载建立异常流程 – NAS 消息丢失

### 3.5.3 专用承载修改流程

专用承载 E-RAB 修改过程由 UE、MME 发起，用于修改已经建立承载的配置。

专用承载 E-RAB 修改过程包括以下几类：

- 1) P-GW 发起承载修改请求，S-GW 将其发给 MME。
- 2) MME 向 eNB 发送 E-RAB 修改请求消息，修改一个或多个承载，E-RAB 修改列表信息包含每个承载的 QoS。
- 3) eNB 接收到 E-RAB 修改请求消息后，修改数据无线承载。

4) eNB 返回 E - RAB 修改响应消息, E - RAB 修改列表信息中包含成功修改的承载信息, E - RAB 修改失败列表消息中包含没有成功修改的承载消息。

专用承载 E - RAB 修改过程必须在 CONNECTED 态下执行; UE 和 EPC 均可发起, eNB 不可发起; UE 发起时, EPC 可回复承载建立、修改、释放流程; 分为修改 Qos 和不修改 Qos 两种类型。

### 1. 专用承载修改正常流程

专用承载修改流程如图 3-23 所示, 如 MME 主动发起的承载建立/修改/释放无步骤 1、2; eNB 主动发起的释放, 无步骤 1, 步骤 2 改为发送 E - RAB RELEASE INDICATION 消息给 MME; UE 发起的承载修改流程, 核心网可以回复承载建立、修改、释放流程。

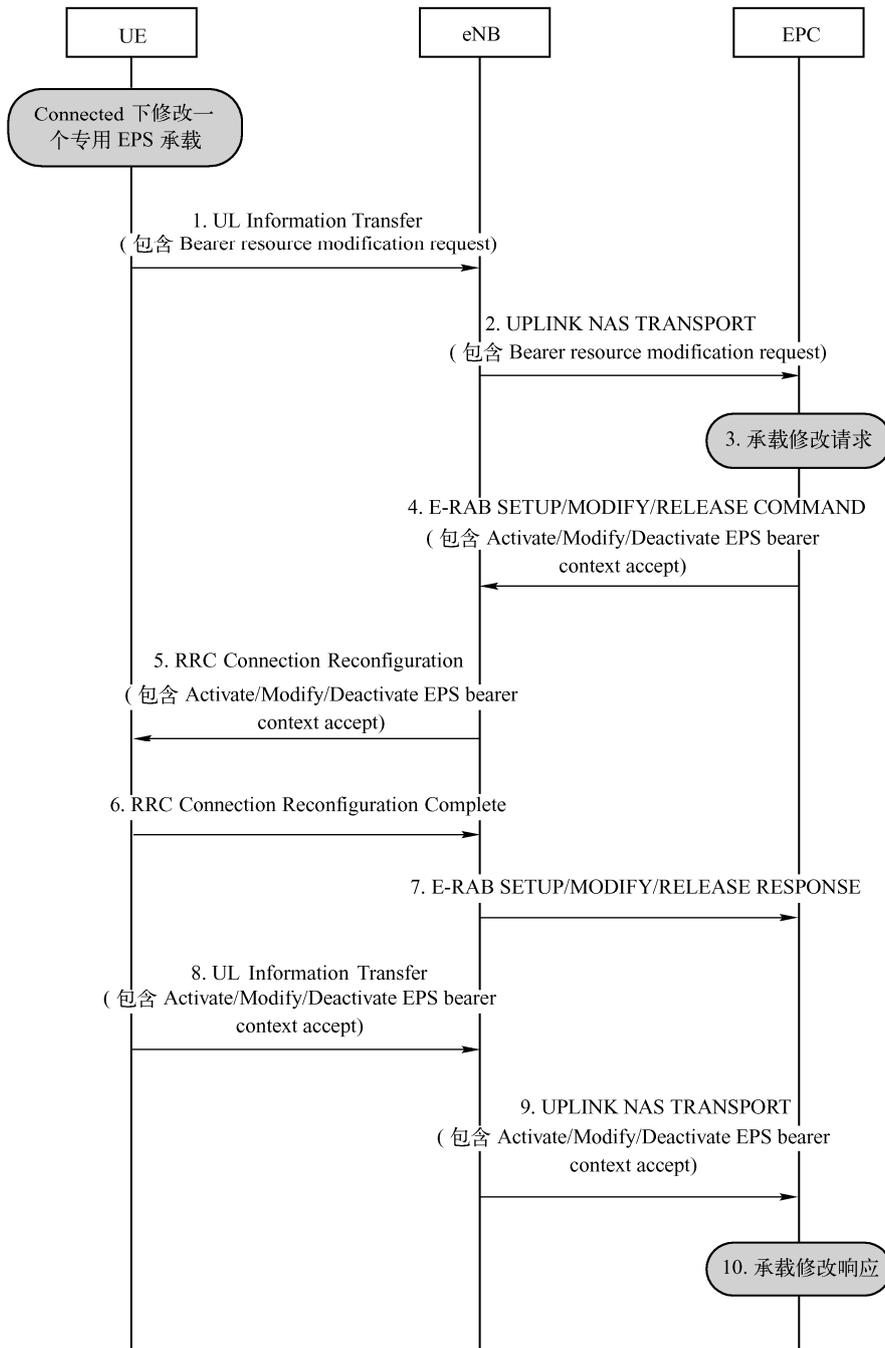


图 3-23 专用承载修改流程

## 2. 专用承载修改异常流程

如拒绝原因值是"unknown EPS bearer context"，即表明专用承载修改被核心网拒绝，UE 会本地去激活存在的专用承载，流程图如图 3-24 所示。

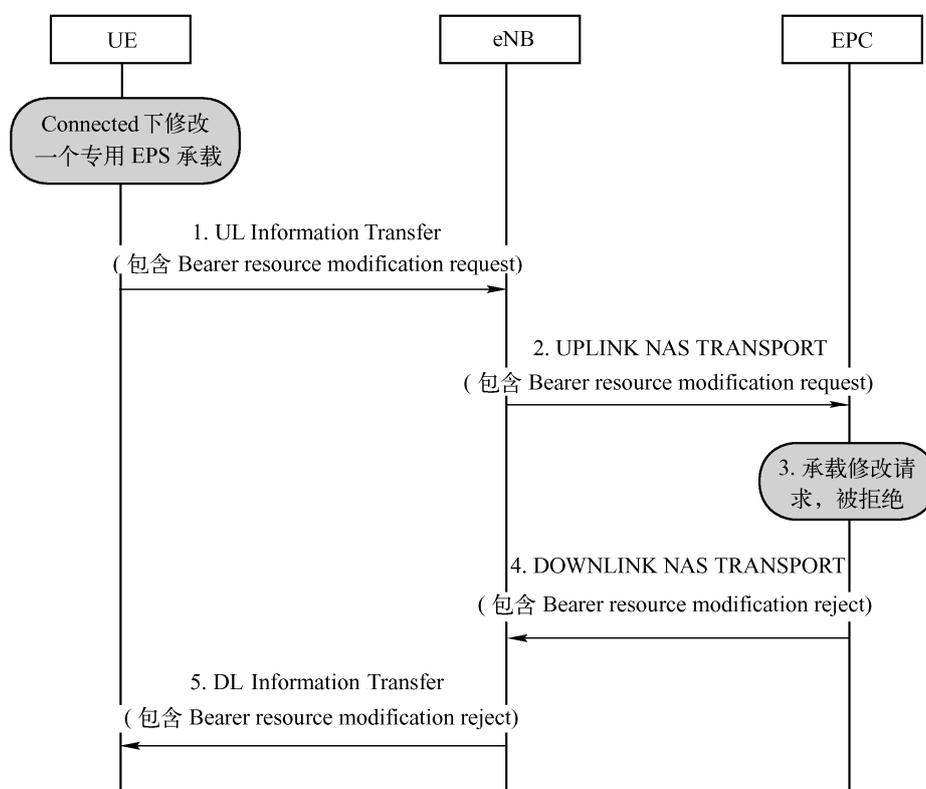


图 3-24 专用承载修改被核心网拒绝流程

专用承载异常流程除被核心网拒绝之外，还有 eNB 回复失败，包括：eNB 本地失败，没有给 UE 发送 RRC 重配消息；eNB 未收到 RRC 重配完成消息，回复失败。

### 3.5.4 专用承载释放流程

专用承载释放可以由 eNB、MME 主动发起，只能在 Connected 下发起该流程。

PDN GW 和 MME 均可发起对 E-RAB 的释放流程，对于 PDN GW 发起的承载释放，可释放专用承载或该 PDN 地址下的所有承载；对于 MME 发起的承载释放，可释放某一专用承载，但不能释放该 PDN 下的默认承载。

需关注的是：无论 P-GW 或 MME 发起的释放过程，MME 向 eNB 发送 E-RAB 释放命令消息，释放一个或多个承载的 SI 和 Uu 接口资源。eNB 接收到 E-RAB 释放命令消息后，释放每一个承载的 S1 接口资源、Uu 接口上的资源和数据无线承载。

UE 或 MME 均可发起对 PDN 连接释放的请求，此时可以删除该 PDN 下的专用承载（不包括默认承载）。

#### 1. MME 发起的承载释放流程

MME 发起的承载释放，仅能释放某一专用承载，不能释放该 PDN 连接下的默认承载。流程图如图 3-25 所示。

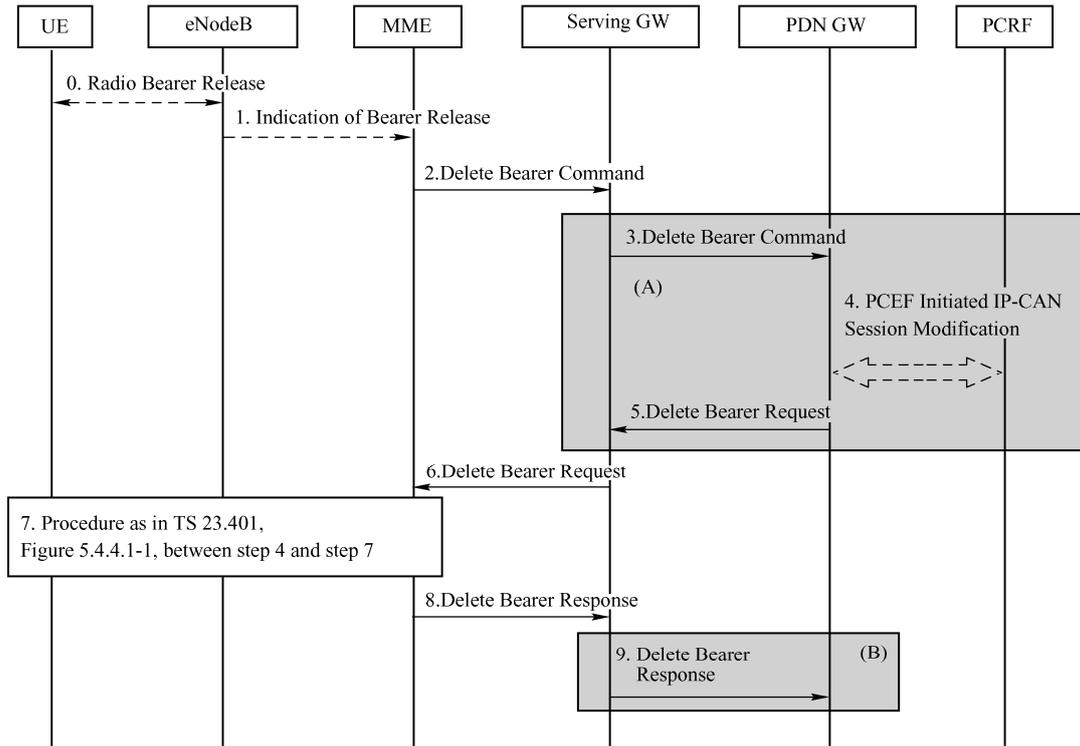


图 3-25 MME 发起的承载释放流程

## 2. UE 或 MME 发起的 PDN 连接释放流程

UE 或 MME 发起的 PDN 连接释放流程如图 3-26 所示，UE 的最后一个 PDN 连接释放不可由 UE 或 MME 发起。

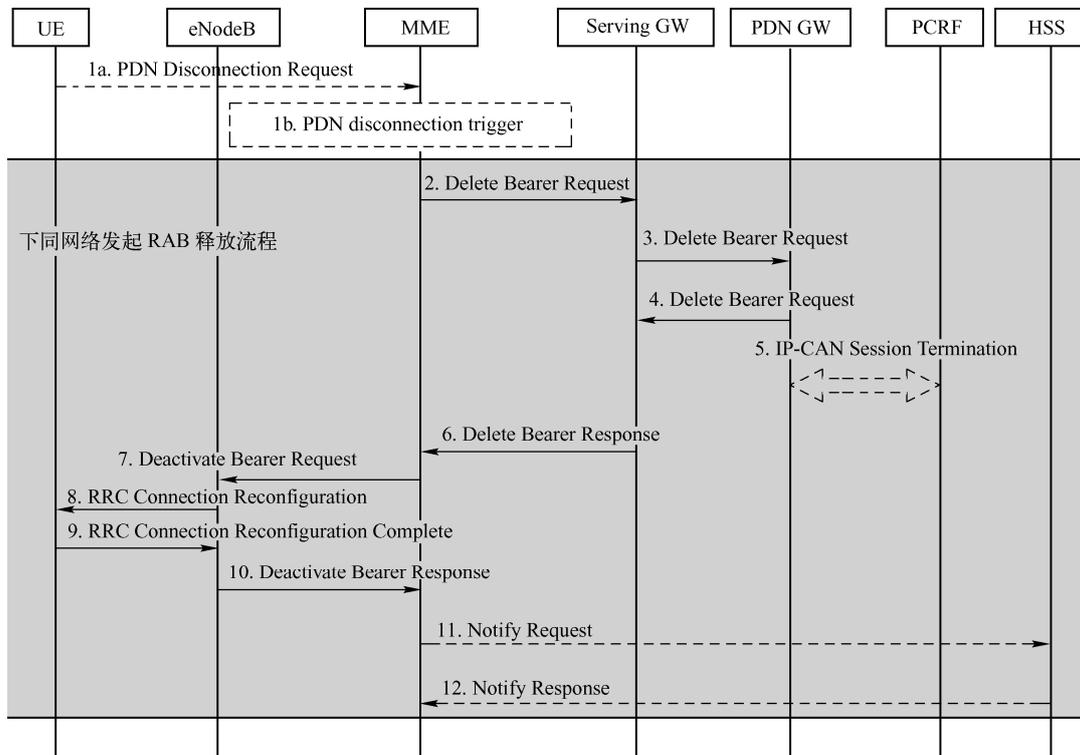


图 3-26 UE 或 MME 发起的 PDN 连接释放流程

## 3.6 去附着流程

### 3.6.1 关机去附着流程

UE 关机时发起去附着流程，通知网络释放其保存的该 UE 的所有资源，流程如图 3-27 所示。UE 在 IDLE 和 CONNECTED 下发起的关机去附着有一定区别。

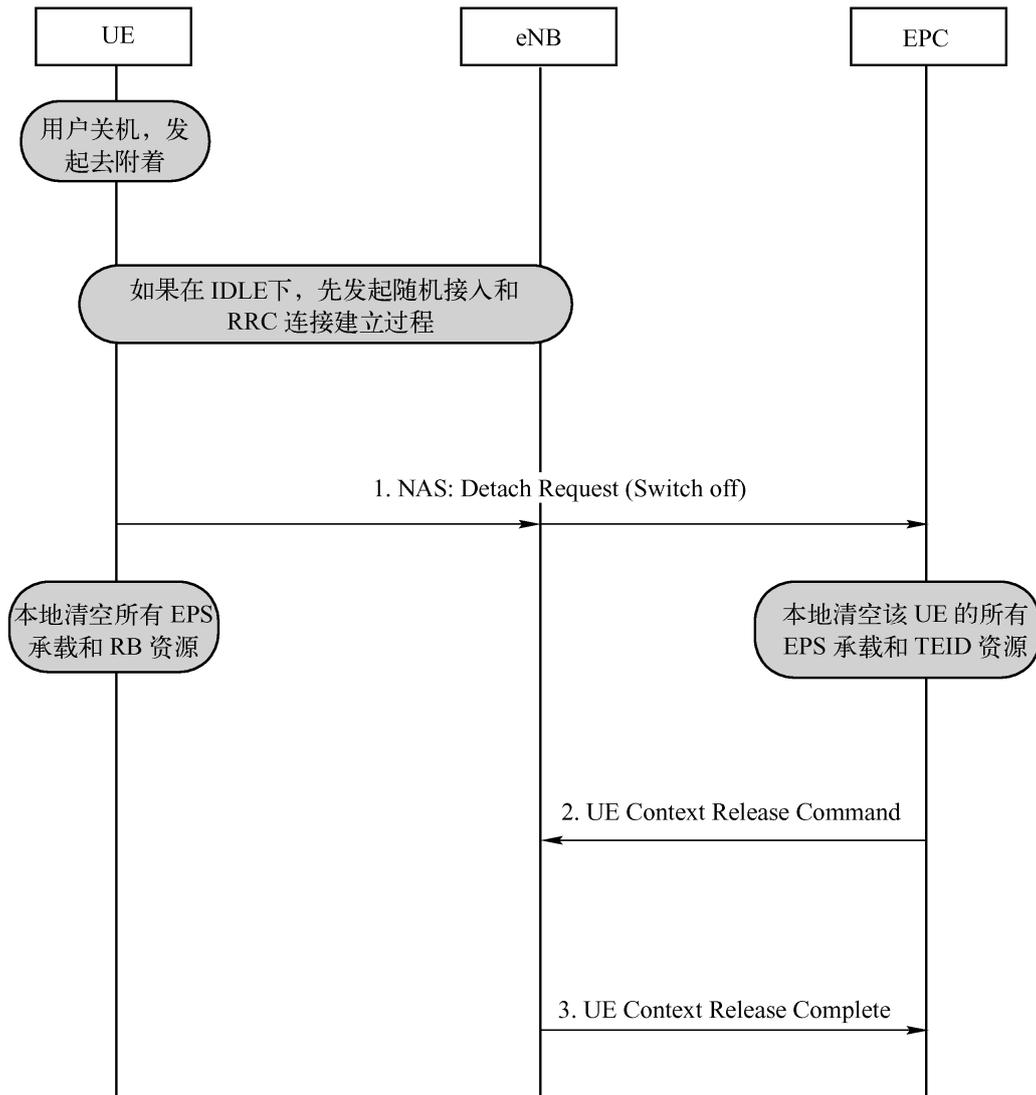


图 3-27 关机去附着流程

### 3.6.2 非关机去附着流程

#### 1. 空闲态的非关机去附着

如果是非关机去附着，则会收到 MME 的 Detach Accept 响应消息和 eNB 的 RRC Connection Release 消息，IDLE 态的非关机去附着流程如图 3-28 所示。

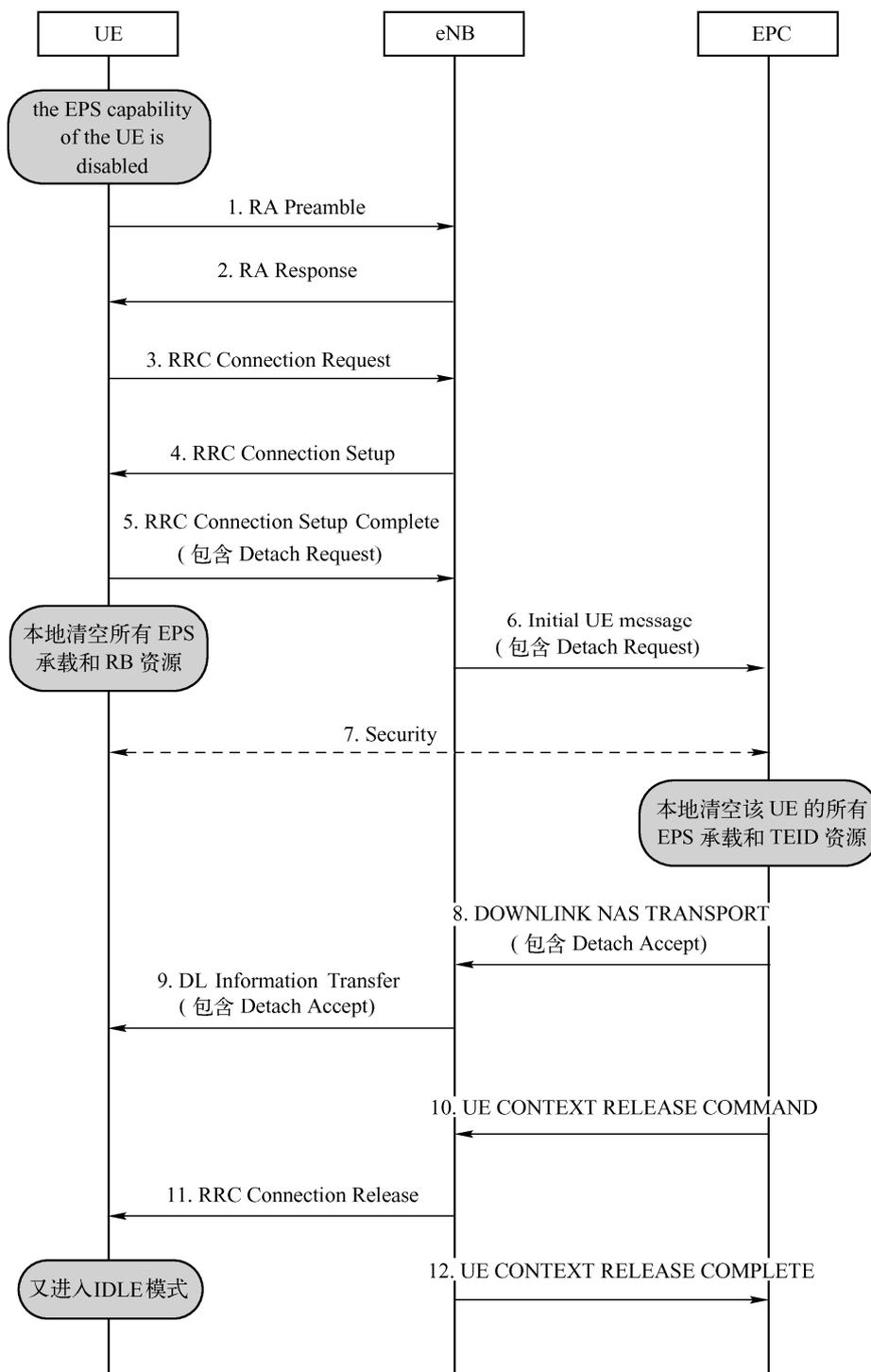


图 3-28 IDLE 下发起的非关机去附着流程

## 2. 连接态的非关机去附着

连接态 CONNECTED 下由 UE 在 UL Information Transfer 消息中向 EPC 发起 Detach request 请求，MME 的 Detach Accept 响应消息不变，如图 3-29 所示。

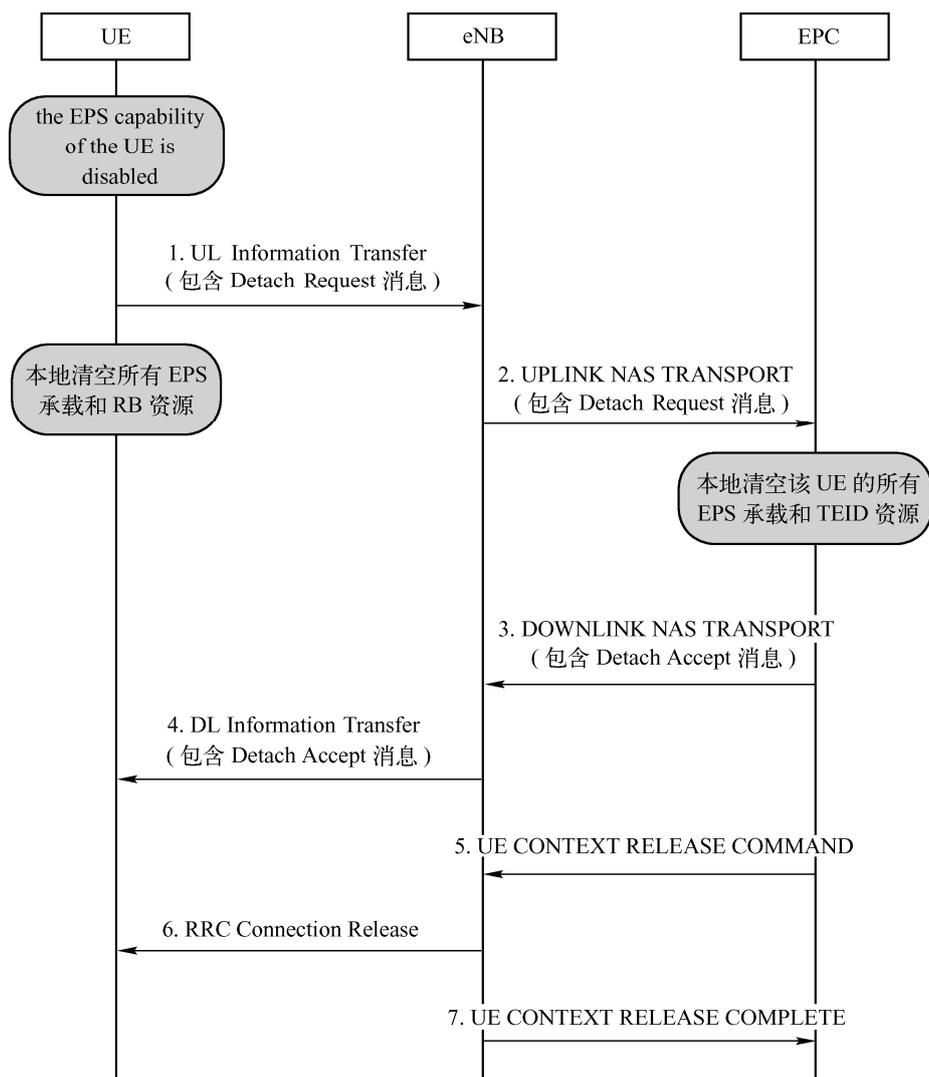


图 3-29 CONNECTED 下发起的非关机去附着

### 3.6.3 空口信令流程

对于网络优化工程师，在了解上述信令流程的同时，需熟练掌握空口的信令流程，因为在路测仪表中显示的就是空口信令流程。空口 RRC 信令流程是全部流程的一部分，只显示 UE 与 eNB 之间的信令，如图 3-30 所示。

空口 RRC 信令流程中，1~4 是 RA 过程（UE 底层收到 Msg4 以后，通过带的 UE Contention Resolution Identity MAC control element 与 Msg3 码流匹配，如果一样，则认为 RA 过程成功，把 Msg4 送给 RRC 层）；1~5 是 RRC 连接建立过程（收到消息 4 以后，RRC 从 IDLE 转为 CONNECTED 模式）；5~7 是 Attach 过程（Attach 过程完成后，UE 成功注册到网络，网络有该 UE 信息，UE 获得 GUTI、TAI list，并且默认 EPS 承载建立成功）；8~10 是专用 EPS 承载建立过程（如果默认 EPS 承载的 QoS 不能满足业务需求，UE 可以发起专用承载建立过程）；11~13 是 EPS 承载释放过程（用来释放某一个专用 EPS 承载，或者 UE 对应的一个 PDN 下的所有 EPS 承载）；14 是 RRC 连接释放过程（UE 收到该消息后从 CONNECTED 转为 IDLE 模式）。

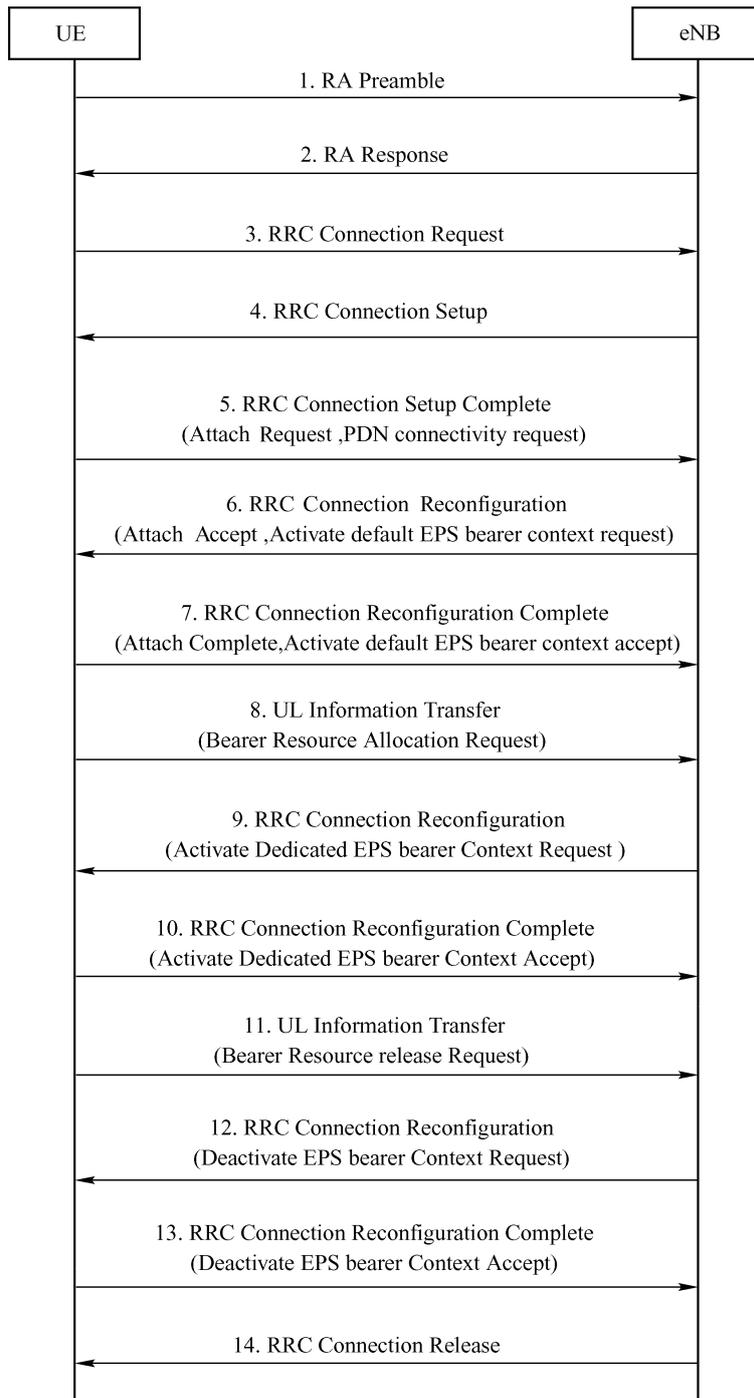


图 3-30 空口 RRC 信令流程