



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 18657.1—2002  
idt IEC 60870-5-1:1990

---

## 远动设备及系统 第5部分:传输规约 第1篇:传输帧格式

Telecontrol equipment and systems—  
Part 5:Transmission protocols—  
Section 1:Transmission frame formats

2002-02-22 发布

2002-08-01 实施

中华人民共和国  
国家质量监督检验检疫总局 发布

目 次

前言 ..... III

IEC 前言 ..... V

引言 ..... 1

1 范围和对象 ..... 1

2 引用标准 ..... 2

3 远动系统中数据传输的要求 ..... 2

3.1 高的数据完整性和数据一致性 ..... 2

3.2 短的远动传输时间(见 IEC 371-08-16) ..... 2

3.3 支持面向比特(编码透明性)的数据传输 ..... 2

4 数据完整性的定量评价 ..... 3

4.1 远动系统对数据完整性的定量要求 ..... 3

5 传输效率的定量评价 ..... 4

6 传输规约规范 ..... 5

6.1 物理层(数据电路终接设备(DCE)) ..... 5

6.2 链路层 ..... 5

附录 A(标准的附录) 信号质量监视对传输效率和数据完整性的影响 ..... 15

附录 B(提示的附录) 数据完整性和传输效率的定量评价 ..... 17

## 前 言

本标准等同采用 IEC 60870-5-1:1990《远动设备及系统 第 5 部分:传输规约 第 1 篇:传输帧格式》。

90 年代以来,国际电工委员会 57 技术委员会为适应电力系统(包括 EMS、SCADA 和配电自动化系统及其他公用事业)的需要,制定了一系列传输规约。这些规约共分 5 篇,我国等同采用它们,将其制定为 GB/T 18657 系列标准,即:

GB/T 18657.1—2002 远动设备及系统 第 5 部分:传输规约 第 1 篇:传输帧格式(idt IEC 60870-5-1:1990)

GB/T 18657.2—2002 远动设备及系统 第 5 部分:传输规约 第 2 篇:链路传输规则(idt IEC 60870-5-2:1992)

GB/T 18657.3—2002 远动设备及系统 第 5 部分:传输规约 第 3 篇:应用数据的一般结构(idt IEC 60870-5-3:1992)

GB/T 18657.4—2002 远动设备及系统 第 5 部分:传输规约 第 4 篇:应用信息元素定义和编码(idt IEC 60870-5-4:1993)

GB/T 18657.5—2002 远动设备及系统 第 5 部分:传输规约 第 5 篇:基本应用功能(idt IEC 60870-5-5:1993)

本标准是其中的第 1 篇。

GB/T 18657 系列标准还包含一些配套标准。近年来,我国已采用制定或正在制定其中以下配套标准:

DL/T 634—1997 基本远动任务配套标准(neq IEC 60870-5-101:1995)

DL/T 719—2000 电力系统电能累计量传输配套标准(idt IEC 60870-5-102:1996)

DL/T 667—1999 继电保护设备信息接口配套标准(idt IEC 60870-5-103:1997)

IEC 60870-5-104:2000 远动设备及系统 第 5 部分:传输规约 第 104 篇:采用标准传输协议子集的 IEC 60870-5-101 网络访问

基本标准是制定和理解配套标准的依据,配套标准都要引用基本标准,等同采用基本标准有利于更好地贯彻标准,实现远动设备的互操作性。

GB/T 18657 系列标准涵盖了各种网络配置(点对点、多个点对点、多点共线、多点环型、多点星形),各种传输模式(平衡式、非平衡式),网络的主从传输模式和网络的平衡传输模式,电力系统需要的应用功能和应用信息,是一个完整的集,和 IEC 61334、配套标准 DL/T 634、DL/T 719、DL/T 667、IEC 60870-5-104 一起,可以适应电力自动化系统中各种网络配置和各种传输模式的需要。

本标准的编写格式、技术内容和 IEC 60870-5-1 相同,但也有以下两点差异:

——IEC 60870-5-1 中很多图没有编号,容易引起误解。我们按 GB/T 1.1 要求将所有的图编号。

——IEC 60870-5-1 将“引用标准”列入其前言中。我们按 GB/T 1.1 要求将它改列为第 2 章。原有的第 2 章为“对象”,和第 1 章“范围”合并为“范围和对象”。其他各章各条编号仍和 IEC 60870-5-1 一致。

本标准的附录 A 为本标准的附录,附录 B 为提示的附录。

本标准由全国电力系统控制及其通信标准化技术委员会提出和归口。

本标准起草单位:国家电力调度通信中心、中国电力科学研究院、国家电力公司电力自动化研究院、

**GB/T 18657.1—2002**

国家电力公司南京电力自动化设备总厂。

本标准主要起草人：谭文恕、张秀莲、张长银、胡达龙、刘佩娟、林庆农、郭进。

本标准于 2002 年首次发布。

本标准由全国电力系统控制及其通信标准化技术委员会负责解释。

IEC 前言

1) 国际电工委员会 IEC 有关技术问题的正式决议或协议尽可能接近地表达了对涉及问题的国际间协商一致的意见,因为每个技术委员会都有关注的国家委员会代表参加。

2) 这些决议或协议以国际标准、技术报告或指导文件的形式出版,作为建议供国际使用,并在此意义上为各国家委员会接受。

3) 为促进国际间的统一,各 IEC 国家委员会同意在最大可能范围内直接采用 IEC 国际标准作为他们的国家或地区标准。IEC 标准与相应国家或地区标准间任何不一致处,应在后者文字中明确指出。

国际标准 IEC 60870-5-1 由 IEC 第 57 技术委员会—电力系统控制及通信委员会—编制。

本标准以下列文件为基础:

六月法	投票报告	二月过程	投票报告
57(CO)31	57(CO)37	57(CO)40	57(CO)45
57(CO)50	57(CO)54		

本标准投票通过的情况可见上表中的投票报告。

# 中华人民共和国国家标准

## 运动设备及系统 第5部分:传输规约 第1篇:传输帧格式

GB/T 18657.1—2002  
idt IEC 60870-5-1:1990

Telecontrol equipment and systems—

Part 5: Transmission protocols—

Section 1: Transmission frame formats

### 引言

本标准着重于运动系统中数据传输的要求和条件,描述了满足这些要求的途径。采用了满足运动系统要求的数据传输规约的现行标准。

ISO-ITU-T 开放系统互联(OSI)的参考模型将通信分成七层。本标准规定了最低两层,即物理层和链路层。特别是本标准规定了符合数据完整性级别的比特串行帧传输的帧格式。

GB/T 18657.2—2002《运动设备与系统 第5部分:传输规约 第2篇:链路传输规则》规定链路层和更高层的标准。它包括帧内数据内容的安排,即各种传输模式,各种链路和网络配置中的服务。

过程监视和控制功能的最终目的是为了达到最大的系统数据一致性。即过程变量的状态和它在运动系统数据库中的镜像没有差别。由于有关过程状态信息的延时以及环境噪声或者元件失效使信息错误,这个最终目的不能完全达到,但是期望通信能够维持一个高度的系统一致性。为此数据传输方法将支持高等级可靠的和高效率的信息吞吐量,特别对于短的和紧急的报文。有用的带宽是有限的,在给定的带宽下数据完整性和传输效率这两个量是评价运动规约的尺度。

在一个不完备的环境中,高的数据完整性和数据传输效率是互相矛盾的,提高对数据完整性的要求可以用降低信息流的速度方法实现。因此在分析要求的基础上要在这两个特性之间寻找一个可以接受的折衷。进行分析处理预测是对所要求的特性的客观的度量。

数据传输仅是整个系统的一个功能。整个系统设计时应正确地选择数据传输的速度和完整性的要求,即全部系统的参数必需匹配。除了对传输速度和传输完整性之间作出要求的折衷外,还有如下条件影响运动规约的选择,如图1所示。

### 1 范围和对象

本系列标准用于具有比特串行数据传输的运动设备和系统,用以对地理广域过程的监视和控制。本标准规定了具有单工和双工链路规约,报文传输工作的窗口尺寸为1的异步数据传输。

注:以后的描述中,有时把比特称为位。

本标准规定了由链路层和物理层提供给远动应用服务的基本要求。在满足规定的的数据完整性要求情况下,特别规定了可变帧长或固定帧长的数据帧的编码、形成和同步。

规定的分组码适合于比特串行帧在二进制对称传输通道上传输。该二进制对称传输通道采用无记忆比特编码方法。这意味着每一个传输比特的信号规范和在这一比特之前所传输的信号无关。

注:除采用无记忆比特编码方法外,正在考虑其他的数据传输服务(例如数字脉冲宽度调制 DPDM、HDLG 等)和窗

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 2002-02-22 批准

2002-08-01 实施

口尺寸大于1的全双工链路规约。

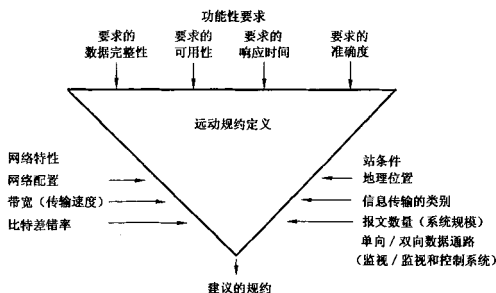


图1 影响远动规约选择的因素

## 2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

ISO 3309:1984 信息处理系统 数据通信 高级数据链路控制过程 帧结构

IEC 60050(371):1984 国际电工词汇 第371章 远动

IEC 60870-1-1:1988 远动设备及系统 第1部分:总则 第1篇:一般原理

## 3 远动系统中数据传输的要求

依据远动系统的基本目的和特定的环境条件,数据传输应满足以下要求。

### 3.1 高的数据完整性和数据一致性

在严酷的环境条件下,例如电磁干扰、不同的地电位、元件老化和发生在传输通路上的其他的扰源和噪声,为了保证数据正确传输,应提供有效的报文保护以对抗:

- 不可检出的比特差错;
- 由于同步差错引起的不可检出的帧差错;
- 不可检出的信息丢失;
- 得到非所期望的信息(即噪声模拟产生了报文);
- 相关的信息的分离或骚扰。

### 3.2 短的远动传输时间(见 IEC 371-08-16)

在有限带宽和不确定的噪声特性的传输路径上,特别是对于事件启动的报文,应用高效的帧传输规约以实现短的信息传输时间。

### 3.3 支持面向比特(编码透明性)的数据传输

对用户数据无编码限制的要求。数据链路规约可从数据源接收和传输随意的位序结构。

#### 4 数据完整性的定量评价

信息传输系统中的数据完整性的定量规范由构成非数据完整性的内容评估。接收方有两个因素产生非数据完整性,即:

1) 残留差错率(IEV 371-08-05)

残留差错率=未检出错误的报文数/发送的全部报文数

2) 残留信息丢失率(IEV 371-08-09)

残留信息丢失率=未检出丢失的报文数/发送的全部报文数

应强调,仅是未检出的差错率和信息丢失率才构成信息传输的非完整性。检出的差错和丢失由预先定义的策略处理,例如自动重传或报告用户。它们可能影响系统整体的可用性,但数据传输规约已履行了它的功能。

##### 4.1 远动系统对数据完整性的定量要求

为远动数据传输定义了三种不同的数据完整性级别:I1,I2 和 I3。每一种级别的使用和数据的特征密切相关。图 2 的曲线代表这三种级别的残留差错率  $R$  的上限值和比特差错率的关系(见 IEV 371-08-01),曲线在比特差错率为  $p=0.5$  处结束,这时接收的任意比特只是噪声而不是信号。比特差错率  $p<10^{-4}$  时曲线的斜率代表采用的编码方法的海明距离  $d$ 。图 2 中坐标用对数表示,比特差错率  $p<10^{-4}$  时  $d$  个比特取反的比特差错图像构成残留差错的主要成分。计算比特差错图像的总数和发生  $d$  个差错的概率相乘就得到残留差错概率。比特差错率不同取值就得到图 2 所示的结果。

传输通道的品质应连续监视。达到所需的综合的数据完整性的值和整体传输时间的平均比特差错概率低于  $10^{-4}$ 。

最低的数据完整性级别 I1 要求最小的海明距离为 2,I2 和 I3 级别要求最小的海明距离为 4。另外,要求任何比特差错率 I3 级别的残留差错率不应超过  $10^{-12}$ 。为说明这三个数据完整性级别的意义,假设远动通道的白色噪声所引起的比特差错率  $p=10^{-4}$ 。这时的传输质量是低的,但不是最坏的。

假定系统恒定地传输 100 bit 的报文块,在传输通道上的传输速率为 1 200 bit/s,系统产生的残留差错率( $R$ )和未检出差错的报文的平均时间( $T$ )如表 1 所示。

两次未检出差错报文的平均时间( $T$ )和残留差错率( $R$ )的关系如下:

$$T/s = \frac{n}{v \times R}$$

式中:  $n$ ——报文的长度,bit;

$v$ ——传输速度,bit/s。

表 1 残留差错率( $R$ )和未被检出差错报文的平均时间( $T$ )

完整性指标: $n=100$ bit 帧 $v=1\ 200$ bit/s $p=10^{-4}$			
数据完整性级别	残留差错率 $R$	未检出差错的平均时间 $T$	典型应用
I1	$10^{-6}$	1 d	循环刷新系统;遥测
I2	$10^{-10}$	26 a	事件启动传输;遥信;远方计数
I3	$10^{-14}$	260 000 a	苛刻的信息传输;遥控



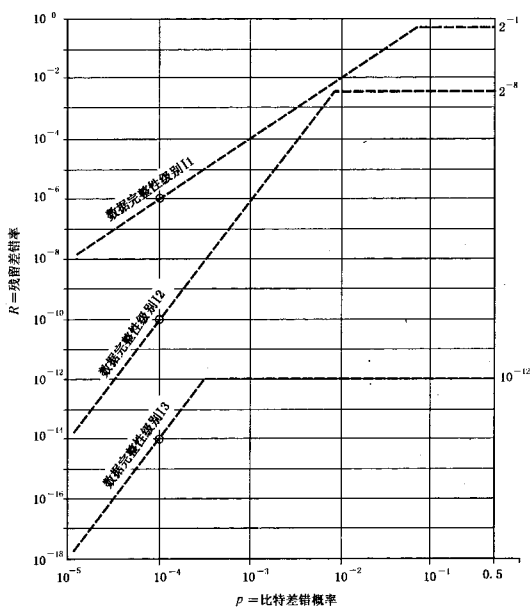


图 2 数据完整性级别

## 5 传输效率的定量评价

信息传输效率是从信息源传输并由数据宿有效接收的报文中信息内容和报文传输的比特总数之比(见 IEV 371-08-12)。这意味着每个帧的传输效率是正确传输的信息比特  $k$  和每帧的比特总数  $n$  之比。

$$\text{帧传输效率} = k \times q^n / n$$

式中:  $k$ ——每帧的信息比特数;

$q$ ——正确接收比特的概率;

$q$  和比特差错率  $p$  (错误接收的比特数/发送的全部比特数)的关系为:

$$q = 1 - p$$

式中:  $n$ ——每帧包括帧的定界符和差错校验位的比特总数。

这是无信号监视的二进制对称通道的情况。

如果采用了信号监视(“二进制对称删除通道”),正确接收的比率为:

$$q = 1 - p - r$$

式中:  $r$ ——不满足信号质量的接收比特率(“比特删除率”见附录 A)。

信息传输率定义为每秒从数据源传输并被数据宿有效接收的信息比特平均数(见 IEV 371-08-11):

$$\text{帧传输率}/(\text{bit/s}) = (\text{帧传输效率}) \times v$$

式中:  $v$ ——线路传输的信号速率, bit/s。

整个信息传输效率的计算应考虑查询帧、认可帧和往返时间间隔产生的时延。

## 6 传输规约规范

如 IEC 60870-1-1 所述,远动系统的功能按 ISO 的开放系统互联(OSI)参考模型分成几层。

本标准定义了物理层和链路层的标准传输帧格式。

携带比特串行数据的物理传输介质连接着远动设备和系统的物理实体。传输介质的种类是多样的:专用或公用电缆、无线电、电力线、光纤等等。对抗数据流干扰的预防措施可以采用足够的信号能量、抗噪声干扰的屏蔽和监视信号质量等实现。

ITU-T 规定了各种物理传输介质的系统参数。

### 6.1 物理层(数据电路终接设备(DCE))

线路耦合器将比特串行数据从链路层要求的形式变换为线路传输要求的形式,线路耦合器的典型任务如下:

- 变换信号;
- 提供站和传输线路间的电气隔离;
- 监视信号质量;
- 提供位同步;
- 如果未被数据链路完成,加上和移去帧同步;
- 检出传输线路忙、空闲和不完备状态。

ITU-T 建议了系列标准,例如 V 系列和 X 系列的数据终端设备(DTE)和数据电路终接设备(DCE)之间的接口电路。

这个层涉及数据完整性和传输效率的有关特性是:信号速率、抗噪声和其相关的信号噪声比、比特差错概率和比特删除概率(见附录 A)。

### 6.2 链路层

链路层接收、执行和控制高层要求的传输服务功能。

在同一时刻它控制单个的非中断的帧传输。向高层报告传输的成功或失败,观察传输线路和站的工作状态,特别是执行以下功能:

- 访问传输介质;
- 帧的串并和并串变换;
- 如未被线路耦合器完成,加上和移去帧同步字(帧界定符);
- 检出帧同步差错;
- 检出帧长差错;
- 如未被线路耦合器完成,监视信号畸变;
- 识别寻址到指定站的帧;
- 防止一个站不停地过长时间的传送;
- 借助差错检出编码的生成和监视,指出检出的差错,控制一定的差错恢复过程,在预定的数据完整性的限度内保护报文防止丢失和差错;
- 报告持续的传输差错;
- 报告链路的配置状态;
- 高效地处理不同帧长的帧。

注:远动帧信息域长度的典型范围为一个八位位组到几百个八位位组。

- 完成备用传输线路的切换;
- 支持启动和维持链路的功能。

#### 6.2.1 提供的链路服务类别

基本上有以下三种服务类别(表 2)要求执行不可中断的传输过程:

表 2 链路服务类别

链路服务类别	功 能	解 释
S1	发送/无回答(SEND/NO REPLY)	传输报文;在链路层内既不要求认可也不要求回答
S2	发送/确认(SEND/CONFIRM)	传输报文;在链路层内要求认可
S3	请求/响应(REQUEST/RESPOND)	传输请求;在链路层内请求的响应;响应可能包括数据或否定认可

服务类别 S1,发送/无回答(SEND/NO REPLY),用于循环刷新系统或单工传输系统,无返回通道。在接收站检出帧差错将引起相应报文丢失。

服务类别 S2,发送/确认(SEND/CONFIRM),支持事件启动或者突发(自发)信息传输。接收站的链路层校验接收的报文,如未检出差错而且接收缓冲区可用,向启动站返送肯定认可。如果接收的缓冲区不可用,向启动站返送否定认可。如检出了报文帧差错,不回答并舍弃该报文。

启动站的链路层如接收了肯定认可即可接收另一个请求。它可将接收的肯定认可向高层报告。如未收到认可就重复传输报文。应特别小心,对于增量类型的信息,认可受到干扰应不会引起接收站重复输出信息。例如,采用以下方法可避免这类错误动作:采用顺序帧序号,或规定接收站缓冲存储器正确地接收报文直到它们接收一种帧,这种帧指示启动站不再重发先前传送的帧。如重复报文传送到规定次数仍然未被认可,启动站将向高层报告“传输差错”,该报文在链路内将被舍弃。

服务类别 S3,请求/响应(REQUEST/RESPOND),支持“读”操作。接收站的链路层如有请求的数据就将它回答,否则回答否定认可。如检出了帧差错不作回答。

如无回答或者检出了受干扰的回答,启动站链路层重复传送请求帧。如达到规定的重传次数仍未成功。向高层报告“传输差错”,否则将接收的内容向高层传送。

根据链路结构,所有这三种服务类别可用于启动站和下述站之间的信息传输:

- 一个目的站(单个地址);
- 一组目的站(组地址);
- 所有其他目的站(全局地址)。

三种服务类别支持三种基本传输启动模式(表 3),如 IEC 60870-1-1 的 6.3.2 所述。

表 3 传输启动模式

传输启动模式	服 务 类 别
循环传输	类别 S1 发送/无回答(SEND/NO REPLY)
事件启动传输(突发传输)	类别 S2 发送/确认(SEND/CONFIRM)
按请求传输(Transmission on demand)	类别 S3 请求/响应(REQUEST/RESPOND)

## 6.2.2 对话过程

各种应用的对话过程和用户的要求密切相关。除要求报文帧、编码和同步的标准(这些将在以下各节描述)外,还要求帧内的信息内容的标准。特别需要规定一帧中用于传输控制(控制域)和站标志(地址域)的标准信息域,下述规则描述了建立这些标准的一般方法。

- 信息域的长度可变,为多个八位位组。

域的详细定义在 GB/T 18657.2 中规定。

## 6.2.3 标准帧同步

满足规定的数据完整性级别的帧同步方法依赖于传输模式(同步或异步操作)和用于数据电路的通道模式(比特信号方法)。

所定义的帧同步的标准适用于在二进制无记忆传输通道的异步帧传输。

正在考虑同步操作和带记忆的通道编码方法的帧同步方式。

## 6.2.4 标准帧格式

本节定义了三种级别的帧格式,适用于运动系统中信息吞吐量和数据完整性的高等级要求,这些运动系统中信息量的变化范围很宽,被控站具有程度不同的智能化。这三种级别的帧格式也可以在被控站、分控制中心和主控制中心组成的分层系统中不同级别上支持监视和控制功能。

表4所示的帧格式适用于采用无记忆比特编码方法,二进制对称传输通道上比特串行帧的传输。

帧格式级别FT1.1、FT1.2、FT2或FT3选择任意一种的分组码序列组成的帧见表4。

帧格式级别FT1.1定义海明距离为2的分组码。它是在8比特信息上加1个启动位、1个奇偶位和1个停止位。

FT1.1分组码再加一个校验和字符形成海明距离为4的FT1.2生成码。

帧格式级别FT2定义海明距离为4的分组码。它包含多至15个用户数据的八位位组加1个校验八位位组。

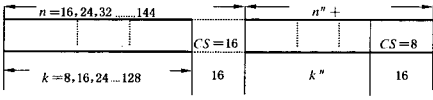
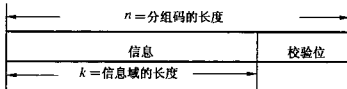
帧格式级别FT3定义海明距离为6的分组码。它包含多至16个用户数据的八位位组加两个校验八位位组。

FT2和FT3的缩短型,允许信息域 $k$ 以八位位组为单位逐个减少,最少的信息域长度为 $k=8$  bit。

表4 标准帧格式和编码规范

帧级别	块格式	海明距离	数据完整性	帧格式	生成多项式和编码规范
FT	$(n, k)^{(1)}$	$d$	I		
FT1.1	$(11i, 8i)$	2	I1		每个用户数据 八位位组: 1个启动位“0” 1个停止位“1” 1个偶校验位“P”
FT1.2	$(11i + 11, 8i)$	4	I2		每个用户数据 八位位组: 1个启动位“0” 1个停止位“1” 1个偶校验位“P” 每帧:模256的8比特校验和“CS”
FT2	$(8i + 8, 8i)$ $i = 1, 2, \dots, 15$	4	I2		多项式: $P_1$ : $x^7 + x^6 + x^3 + x^2 + 1$ 循环扩充码-(127, 120)外加全部比特的偶校验位并将全部8比特的校验位取反

表 4(完)

帧 级别	块 格式	海明 距离	数据 完整性	帧 格 式	生成多项式 和编码规范
FT3	$(8i+16, 8i)$ $i=1, 2$ ...16	4	I2		多项式: $P2$ : $x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11}$ $x^{10} + x^8 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$ 循环码 (151, 135), 全部 16 比特校验位 取反
1) $(n, k)$ 标志分组帧格式					

帧格式 FT1.2 和 FT2 满足数据完整性级别 I2 的要求, FT2 传输效率较高(见图 B2), FT1.2 的残留差错率较低, 特别在高比特差错率情况下。

各种数据传输服务需要的帧长为固定的或可变的。采用可变帧长的系统在数据域开始的长度规定域中说明实际帧长。FT2 和 FT3 其第 1 数据块包含帧长的规定, 第 1 个分组码的帧长是确定的。

6.2.4.1 格式 FT1.1: 海明距离为 2 的帧格式

用户数据数目可变的帧格式(图 3)。

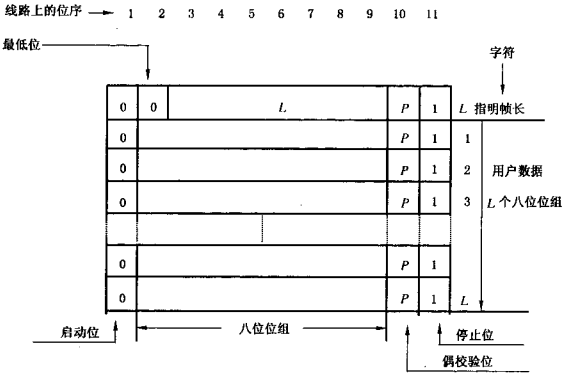


图 3 FT1.1 帧格式

传输规则:

- R1——线路空闲状态为二进制 1。
- R2——每个字符有 1 个启动位(二进制 0), 8 个信息位, 1 个偶校验位, 1 个停止位(二进制 1)。
- R3——一帧的字符间无需线路空闲间隔。
- R4——如按 R7 检出了差错, 两帧之间的线路空闲间隔最少需 22 位。
- R5——长度 L, 即由第 1 个字符指出的用户数据八位位组数, 为二进制数, 范围为 0 至 127。

R6——第1个字符(D1)传输的第1个数据位为0。

R7——接收方校验每个字符的启动位、停止位、偶校验位,第1个字符的数据位 D1="0"。检出一个差错时,校验按 R4 的线路空闲间隔。

若这些校验有一个失败,舍弃此帧,否则将它传送给用户。

#### 6.2.4.2 格式 FT1.2:海明距离为4的帧格式

用户数据帧长固定或可变的格式,可以在同一个通道上传输,分别由 6.2.4.2.1 和 6.2.4.2.2 说明。

##### 6.2.4.2.1 用户数据帧长固定的 FT1.2 格式

用户数据的帧由1个启动字符、固定为  $L$  个的用户数据八位位组、校验和(CS)和结束字符组成(见图4)。

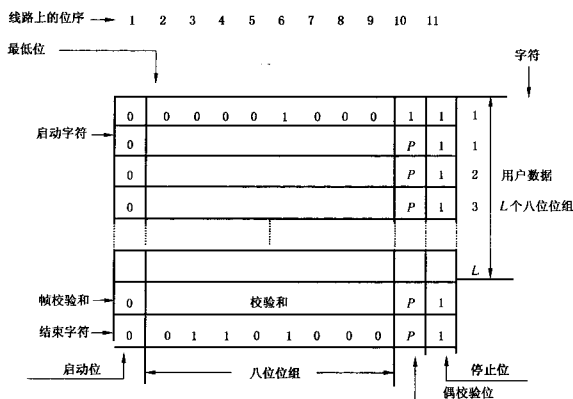


图4 用户数据帧长固定的 FT1.2 帧格式

传输规则:

R1——线路空闲状态为二进制1。

R2——每个字符有1个启动位(二进制0),8个信息位,1个偶校验位,1个停止位(二进制1)。

R3——一帧的字符间无需线路空闲间隔。

R4——如按 R6 检出了差错,两帧之间的线路空闲间隔最少需33位。

R5——用户数据序列由1个八位位组的校验和(CS)结束。校验和是全部用户数据的八位位组的算术和,不考虑进位(模256和)。

R6——接收方校验:

对于每个字符,校验启动位、停止位和偶校验位;

对于每帧:校验启动字符、帧校验和及结束字符;检出一个差错时,校验按 R4 的线路空闲间隔。

若这些校验有一个失败,舍弃此帧,否则将它传送给用户。

##### 6.2.4.2.2 用户数据帧长可变的 FT1.2 格式

用户数据的帧由1个启动字符、指明用户数据的八位位组数的两个同样的字符  $L$ 、第2个启动字符、用户数据、校验和(CS)及结束字符组成(见图5)。

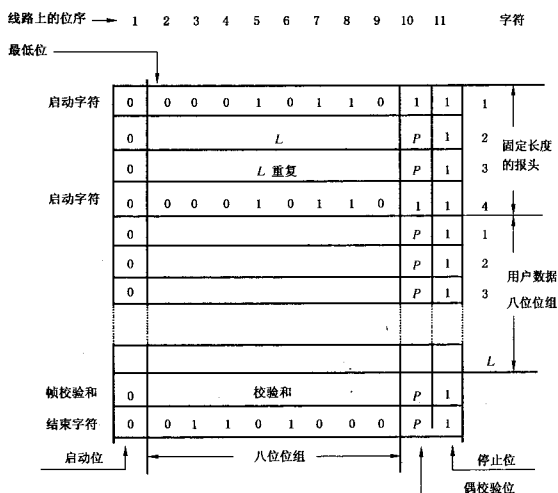


图 5 用户数据帧长可变的 FT1.2 帧格式

$L$  为二进制数, 范围为 0~255。

传输规则:

R1、R2、R3、R4 和 R5 见 6.2.4.2.1。

R6 接收方校验:

对于每个字符: 校验启动位、停止位和偶校验位;

对于每帧:

——校验帧的报头中开头和结束的规定的启动字符;

——识别两个长度字符;

——每帧接收的字符数为  $L+6$ ;

——帧校验和;

——结束字符;

——检出一个差错时, 校验按 R4 的线路空闲间隔。

若这些校验有一个失败, 舍弃此帧, 否则将它传送给用户。

#### 6.2.4.2.3 单个控制字符的帧格式

定义了两种单个控制字符(图 6)。

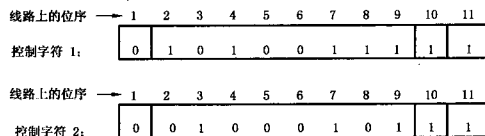


图 6 FT1.2 单个控制字符的帧格式

单个控制字符可用于传输特定的控制信息,例如肯定认可。这些控制字符的应用在 IEC 60870-5-2 中说明。

#### 6.2.4.3 格式 FT2:海明距离为 4 的帧格式

每帧以启动字符(1 个八位位组)开始。定义了两种不同启动字符(图 7):

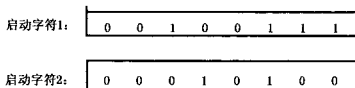


图 7 FT2 启动字符

这两种启动字符的应用由过程规约标准的定义说明。

##### 6.2.4.3.1 固定长度的 FT2 帧

用户数据帧在每 15 个用户数据八位位组的数据块后附加 1 个八位位组的数据块校验序列(图 8)。

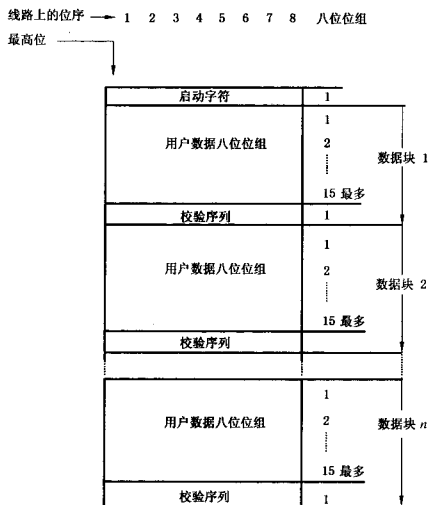


图 8 固定长度的 FT2 帧格式

传输规则:

- R1——线路空闲状态为二进制 1。
- R2——每一帧第一个八位位组为启动字符。
- R3——多至 15 个用户数据八位位组,之后跟随一个校验序列的八位位组。
- R4——校验序列为由多项式  $x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$  生成的码,在最低位补上按照数据块的所有比特的偶校验位,再将由此生成的校验序列的八位位组取反。



R5——按 R6 检出一个差错时,如每帧的用户数据八位位组的最大数  $L < 45$ ,则线路空闲间隔最小为  $L+3$  个八位位组;如  $L \geq 45$ ,则线路空闲间隔最小为 48 个八位位组。

R6——接收方校验信号质量、启动字符、校验序列、帧长,以及,如检出一个差错,校验按 R5 的线路空闲间隔。

若这些校验有一个失败,舍弃此帧,否则将它传送给用户。

#### 6.2.4.3.2 可变长度的 FT2 帧

可变长度的帧的第 1 个数据块(报头)为固定长度,以启动字符开始,以校验序列结束,包含多至 15 个用户数据八位位组(图 9)。

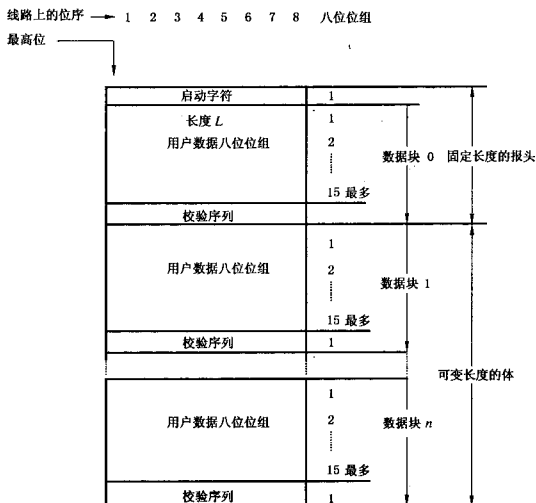


图 9 可变长度的 FT2 帧格式

固定长度的报头中的长度字符指明帧体中用户数据八位位组的数目。

传输规则:

R1~R6 见 6.2.4.3.1。

#### 6.2.4.4 格式 FT3:海明距离为 6 的帧格式

每帧以启动字符开始(两个八位位组),定义了两种启动字符:

启动字符 1: 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0

启动字符 2: 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1

这两种启动字符的应用由过程规约标准的定义规定。

##### 6.2.4.4.1 固定长度的 FT3 帧

固定长度的 FT3 帧的帧格式见图 10。

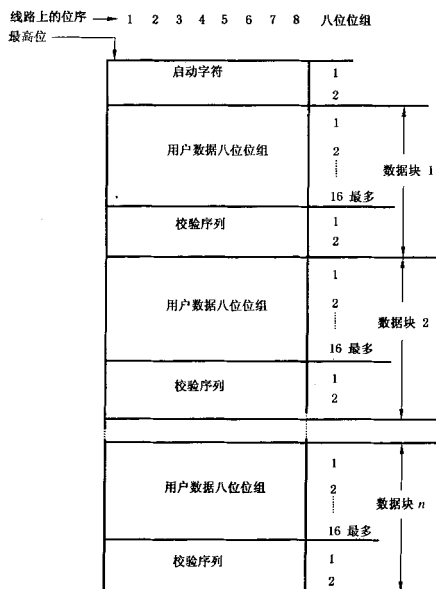


图 10 固定长度的 FT3 帧格式

传输规则:

R1——线路空闲状态为二进制 1。

R2——每帧开始的两个八位位组为启动字符。

R3——多至 16 个用户数据八位位组,之后跟随一个 16 位的校验序列。

R4——校验序列为由多项式  $x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$  生成的码。再将由此生成的校验序列的 16 位取反。

R5——按 R6 检出一个差错时,如每帧的用户数据八位位组的最大数  $L < 48$ ,则线路空闲间隔最小为  $L + 6$  个八位位组;如果  $L \geq 48$ ,则线路空闲间隔最小为 54 个八位位组。

R6——接收方校验信号质量、启动字符、校验序列、帧长;检出一个差错时,校验按 R5 的线路空闲间隔。

若这些校验有一个失败,舍弃此帧,否则将它传送给用户。

#### 6.2.4.4.2 可变长度的 FT3 帧

可变长度帧的第 1 个数据块(报头)为固定长度,以启动字符开始,以校验序列结束,包含多至 16 个用户数据八位位组(见图 11)。

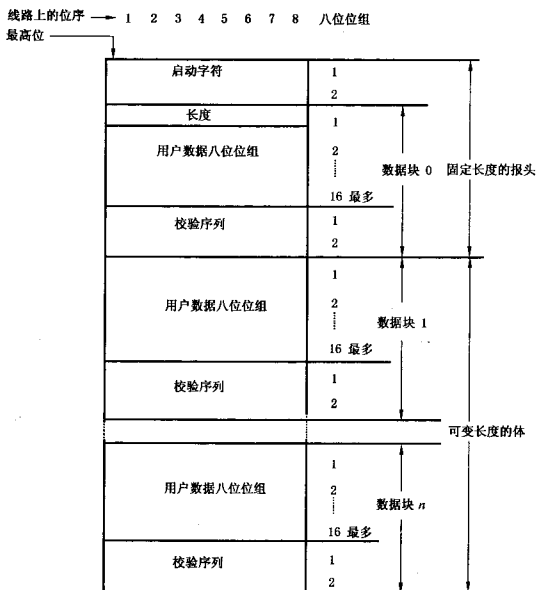


图 11 可变长度的 FT3 帧格式

固定长度的报头中的长度字符指明帧体中用户数据八位位组数。

传输规则：

R1~R6 见 6.2.4.3.1。

#### 6.2.5 采用断续载频的传输通道的同步

“线路空闲”状态的特征是断开载频。

接通载频后，在开始第一帧之前应传输至少  $m$  个静止位。这  $m$  个静止位足以使接收载频稳定。

传输了最后的帧以后，在断开载频之前，应传输一个静止位（“1”）。

注：采用断开载频表示线路空闲状态时，在帧中检出差错后，线路空闲间隔的持续时间可以低于 6.2.4 规定的值。

#### 6.2.6 各种级别格式的主要应用领域

海明距离为 2 的 FT1.1 级别帧格式主要用于数据完整性要求低的简单的循环刷新系统。

海明距离为 4 的 FT1.2 和 FT2 级别帧格式主要用于数据完整性要求高的控制系统。

FT3 级别帧格式用于数据完整性要求特别高的系统。

#### 6.2.7 高级数据链路控制规约的使用

ISO 3309 定义的高级数据链路控制规约 HDLC 不是无记忆的，基本上用于同步数据传输。它适用于窗口大于 1 的全双工通道操作。采用 HDLC 的帧需要作一些修改。未经修改就将 HDLC 规约用于可变帧长的帧，其抗不可检出差错的海明距离仅为 1。这意味着每帧的一个差错可能产生一个不可检出的报文差错。采用增加冗余度以及附加可变帧长的监视，或仅允许固定帧长，就可以将海明距离增加为 2。为了达到数据完整性级别 I2 或者 I3，需在链路层以上的层规定适当的传输过程，这将进一步降低传输效率。

## 附录 A

(标准的附录)

## 信号质量监视对传输效率和数据完整性的影响

(参见第 5 章:传输效率的定量评价和 6.1:物理层)

数据传输需要传输信号码元。信号码元由物理参量的变化实现,如幅度、频率、相位和脉冲持续时间的变化等。这些参量的值的误差由接收器监视,应限定在离散的容差以内。如参量容差超过了规定值,接收器应发出检出质量差错的信号。

信号质量容差规范、它的实现以及采用的同步方法决定了信号噪声比和比特差错率(不可检出的比特倒置率)以及采用的电路比特删除率(质量差的比特率)之间的关系。

这些关系可以测量或用简单的通道模型计算。例如,基带二进制传输通道中的监视信号畸变容差的效果可用以下方法计算。

二进制传输通道中,如比特符号在一个比特的中心由单次扫描脉冲译码,就没有信号质量监视。如比特信号变换的畸变超过一个比特持续时间的 50%,就发生比特差错(见图 A1a))。

假设噪声的正态零平均(高斯)分布的归一化有效值  $s=1$ ,

比特差错概率  $p = \operatorname{erfc}(T/(2\sqrt{2}))$  ..... (A1)

接收正确比特概率  $q = 1 - p$

式中:  $\operatorname{erfc}(x) = 1 - 2 \sqrt{\pi} \int_0^x e^{-u^2} du$

为误差函数的补码。

如在每个比特中以 3 个不同的时间间隔的信号质量监视替代在每个比特的中心单次扫描的监视(图 A1b)):

——一个时间间隔  $q$ :  $-D \leq q \leq D$ , 表示信号变换畸变的允许范围,

——两个时间间隔  $r$ :  $(-T+D) \leq r \leq -D$  和  $D \leq r \leq (T-D)$ , 表示信号变换的畸变超出了允许范围。

如信号变换发生在时间间隔  $q$  以内( $\pm D$ ),译出的比特可能为正确的或错误的。

如信号变换发生在两个时间间隔  $r$  中的一个,就检出一个坏的信号质量。这时,接收差错比特的概率  $p$  和接收正确比特的概率  $q$  分别减小为:

$$p = \operatorname{erfc}[(T-D)/\sqrt{2}] - \operatorname{erfc}[(T+D)/\sqrt{2}] + \operatorname{erfc}[(2T-D)/\sqrt{2}] \\ - \operatorname{erfc}[(2T+D)/\sqrt{2}] + \dots - \\ q = 1 - \operatorname{erfc}(D/\sqrt{2})$$

畸变大于  $|T+D|$  引起的比特删除  $r$  仅和极高的噪声( $p \rightarrow 0.5$ )有关,评价信号畸变容差宽度  $\pm D$  的作用时,可以忽略。

为简化,仅取  $p'$  的关系式头两项构成减小的比特差错概率,  $p'$  和  $q'$  可以表示为原来比特差错率  $p$  (式 A1) 的函数:

$$p' \approx \operatorname{erfc}[2(1-D/T)\operatorname{erfc}^{-1}(p)] \\ q' = 1 - \operatorname{erfc}[(2D/T)\operatorname{erfc}^{-1}(p)]$$

式中:  $y = \operatorname{erfc}^{-1}(x)$ , 表示误差函数  $x = \operatorname{erfc}(y)$  的补码的倒置。

这两个关系式描述了二进制对称删除通道,它对每个比特提出三种可能评价,即:

$q'$  —— 正确比特;

$p'$  —— 比特差错(即不可检出的比特倒置);

$r$ ——比特删除(即坏信号质量),  $r=1-p'-q'$ 。

由一个或多个判决门限对信号畸变进行监视的以上分析举例,也相应适用于各种通道编码方法的其他信号参数的容差范围的监视。

信号质量监视对传输效率和残留差错率的影响见图 A2。图中 FT2 分组码数据块长度  $n=128$  bit,按下述三种情况译码:

- 无信号质量监视(信号畸变容差 $\pm 50\%$ ),
- 粗略的信号质量监视(信号畸变容差 $\pm 40\%$ ),
- 严格的信号质量监视(信号畸变容差 $\pm 30\%$ )。

曲线显示随着可接受的信号质量的容差宽度的减小,残留差错率显著降低,但以传输效率降低很多为代价。

在所有各种情况里,最大的残留差错发生在传输效率为零的比特差错概率中。

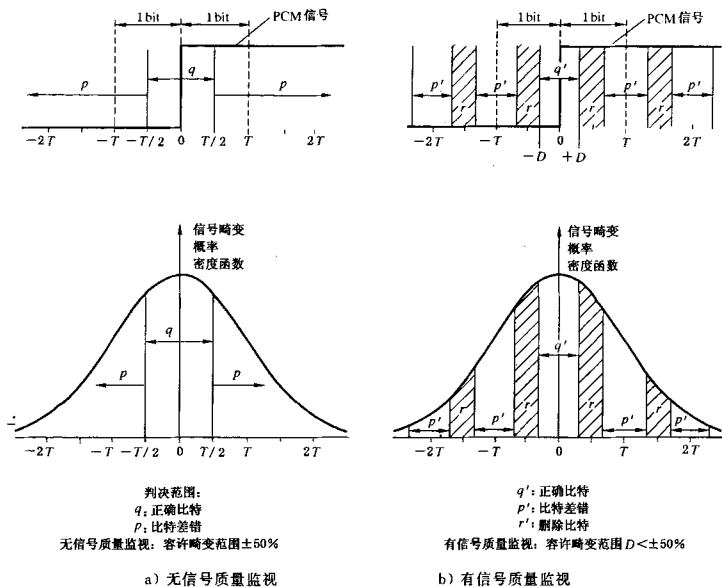


图 A1 比特信号检测

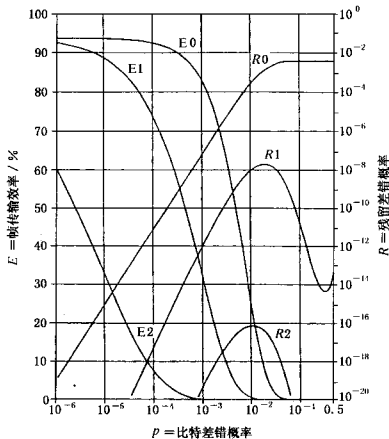


图 A2 信号质量监视对帧传输效率和数据完整性的影响

分组码长 128 比特 FT2 级别帧的传输效率和数据完整性：

残余差错特性	帧传输效率特性	信号质量监视的容许范围
R0	E0	无信号质量监视
R1	E1	允许信号畸变：±40%
R2	E2	允许信号畸变：±30%

附录 B

(提示的附录)

数据完整性和传输效率的定量评价

(参见 6.2.4: 标准帧格式)

为每一种帧格式的分组码推导了残留差错率和传输效率的定量评价。

规约的残留差错概率和传输效率的实际评价和规定的对话过程特性有关。

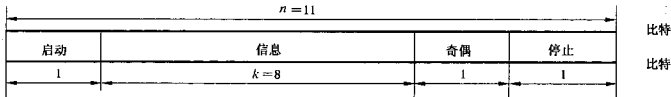
特别是，如一个帧由格式级别 FT 的  $i$  组分组码组成，帧长为  $n$  比特，发生了一个不可检出的差错，如至少有一个数据块包含一个不可检出的差错而其他数据块未检出差错时：

$$R(iFT) = [R(FT) + q^n]^i - q^n = iR(FT) \quad \text{设 } (1 - q) \ll 0.5$$

式中：  $R(FT)$ ——设定为格式级别 FT 单个数据块的残留差错概率；

$q$ ——设定为接收正确比特的概率。

B1 格式级别 FT1.1



——(11,8)码

——海明距离  $d=2$

——1个八位位组补充1个启动位“0”，1个偶校验位和1个停止位“1”。

### B1.1 数据完整性的量度

包含  $e$  个比特差错的不可检出的比特差错图像数是：

$$A(\text{FT1.1})_e = \binom{9}{e}, e = 2, 4, 6, 8$$

残留差错概率为：

$$R(\text{FT1.1}) = (36p^2q^7 + 126p^4q^5 + 84p^6q^3 + 9p^8q)q^2$$

式中： $p$ ——比特差错概率；

$q$ ——正确比特传输概率。

这种码满足数据完整性级别 I1 的要求(见图 B1)。

### B1.2 分组码传输效率的量度

$$EFF(\text{FT1.1}) = \frac{8}{11}q^{11} = 0.73q^{11}$$

(见图 B2)

### B1.3 帧传输效率的量度

由  $i$  个 FT1.1 字符和一个指明帧长(见 6.4.4.1)的前导字符组成的帧的传输效率为：

$$EFT(i\text{FT1.1}) = [8i/11(i+1)]q^{11(i+1)}$$

式中： $i$  是用户数据八位位组数。

## B2 格式级别 FT1.2

——(11 $i$ +11,8 $i$ )，经修改的单个偶校验生成码；

——海明距离  $d=4$ ；

——FT1.1 格式的  $i$  个用户数据八位位组补充一个算术校验和字符。

### B2.1 数据完整性的量度

以垂直偶校验位作为校验和字符的单个偶校验生成码的残留差错率为：

$$R(\text{FT1.2}) = 2^{-i-9}q^{2+2}(q+p)^{9+9} \sum_{j=0}^8 \binom{8}{j} \left[ \left( \frac{q-p}{q+p} \right)^j + \left( \frac{q-p}{q+p} \right)^{9-j} \right]^{i+1} - q^{11(i+1)}$$

式中： $i$  是用户数据八位位组数， $i \geq 1$ 。

格式级别 FT1.2 的残留差错率因算术校验和字符降低的系数约为 0.5，因正确的启动和结束字符的监视降低的系数为  $q^{11}$ ，如  $s$  为每帧中除校验和字符外增加的控制字符数。降低后的残留差错率为：

$$R'(\text{FT1.2}) = 0.5R(\text{FT1.2})q^{11s}$$

固定帧长情况下： $s=2$ (1个启动字符，1个结束字符)。

可变帧长情况下： $s=5$ (两个启动字符，两个指明帧长字符，1个结束字符)。

图 B1 表示固定帧长为 1 个用户数据八位位组 (FT1.2,  $i=1$ ) 和 15 个用户数据八位位组 (FT1.2,  $i=15$ ) 的残留差错率。

### B2.2 帧传输效率的量度

$$EFT(\text{FT1.2}) = [8i/11(i+s+1)]q^{11(i+s+1)}$$

式中： $i$ ——用户数据八位位组数；

$s$ ——每帧中除校验和字符外增加的控制字符数。

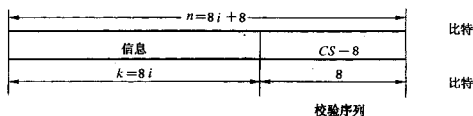
图 B2 表示帧长为 1 个用户数据八位位组 (FT1.2,  $i=1$ ) 的帧传输效率和固定帧长为 15 个用户数据八位位组 (FT1.2,  $i=15$ ) 的帧传输效率。

## B2.3 采用的原因

- 格式级别 FT1.1 和 FT1.2 可以和大多数个人计算机、其他计算机、处理器和标准测试设备的硬件兼容；
- 可以容易和经济地集成到小的廉价的设备中；
- 以相同的硬件支持和其他常用的外部设备(如绘图仪、打印机、VDU 终端等)进行通信的通信软件；
- 不需为比特同步增加其他硬件；
- 无信号质量监视时残留差错率低,尤其在高低比特差错率时如此(见图 B1)。

注:在一帧内连续传输字符且每个字符采用 8 位加奇偶位(不是常用的 7 位加奇偶位或 8 位不加奇偶位)的规则要求特别注意主操作系统和相应的比特串行通信驱动软件。

## B3 格式级别 FT2



- $(8i+8, 8i)$  码,  $i=1, 2, 3 \dots 15$ ;
- 海明距离  $d=4$ ;
- 生成多项式  $x^7 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$ ;
- 扩充一个偶校验位;
- 全部校验位取反。

## B3.1 采用的原因

- 数据完整性级别 I2 的帧传输效率最高(见图 B2);
- 是性能要求严格又比较方便的格式;
- 帧格式(多个八位位组格式)适用于一些标准的同步多点共线数据链路;
- 由规定的多项式生成和 1 个偶校验位扩充的 BCH 码定义的(128, 120)非循环最佳码,海明距离为 4,可包含 120 个信息位,即 15 个信息八位位组。在采用 8 个校验位、海明距离  $d=4$  的分组码中,这种数据块的长度最长;
- 规定的生成多项式选自全部现有的 18 个 7 阶不可约的多项式集,其 4 比特差错的不可检出的差错图像数在缩短的数据块长度  $n=16$  和 24 bit 时最小;
- 8 个校验位取反改善了抗同步滑动差错的保护,并使每个分组码的最小码重为 2,每个分组码中至少有一次比特变换。

## B3.2 数据完整性的量度

在 128 比特的非缩短的分组码中,包含  $e$  比特差错的不可检出的比特差错图像数为:

$$A(FT2)_{128,e} = \frac{1}{128} \left[ \binom{128}{e} + (-1)^{e/2} 127 \binom{64}{e/2} \right]$$

式中,  $e=4, 6, 8 \dots 122, 124, 128$ 。

对于数据块长度为  $n=8i+8, i=1, 2 \dots$  用户八位位组的允许的缩短分组码,不可检出的比特差错图像数的较好近似值为:

$$A(FT2)_{n,e} \approx \binom{n}{e} / 128$$



式中,  $e=4, 6, 8 \cdots n$ 。

残留差错率为:

$$R(\text{FT2})_n = \sum A(\text{FT2})_{n,e} P^e q^{n-e}$$

式中,  $e=4, 6, 8 \cdots n$ 。

格式级别 FT2 满足数据完整性级别 I2 的要求(见图 B1)。由脉冲编码传输系统规定的带 8 bit 启动字符分组码的帧扩充的残留差错率要乘以  $q^8$ , 即  $R'(\text{FT2}) = R(\text{FT2})_n q^8$ 。

图 B1 表示 1 个用户数据八位位组( $\text{FT2}, i=1$ )的帧和 15 个用户数据八位位组( $\text{FT2}, i=15$ )的帧的残留差错率。

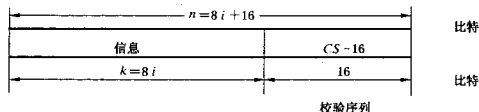
### B3.3 传输效率的度量

由 1 个启动字符和  $i \leq 15$  个用户数据八位位组组成的帧的传输效率为:

$$EFF(\text{FT2}) = i / (i + 2) q^{8(i+2)}$$

图 B2 表示  $i=1$  个用户数据八位位组的帧和  $i=15$  个用户数据八位位组的帧传输效率。

### B4 格式级别 FT3



——  $(8i+16, 8i)$  码,  $i=1, 2, 3 \cdots 16$ ;

—— 海明距离  $d=6$ ;

—— 生成多项式  $x^{16} + x^{13} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^6 + x^5 + x^2 + 1$ ;

—— 全部 16 个校验位取反。

#### B4.1 采用的原因

—— 适用于数据完整性要求特别高的控制系统;

—— 帧格式(多个八位位组格式)适用于某些标准的同步多点共线数据链路;

—— 规定的多项式生成最佳的 BCH 码, 海明距离  $d=6$ , 数据块长度  $n \leq 151$  位;

—— 规定的生成多项式选自 8199 个多项式的集, 其 6 比特差错的不可检出的差错图像数对于包含 3 个以上用户数据八位位组的缩短的数据块长度为最小;

—— 校验比特取反改善了抗同步滑动差错的保护, 并使每个分组码最小码重为 3, 每个分组码中至少有一个比特变换。

#### B4.2 数据完整性的度量

在  $n=8i, i=3, 4, 5 \cdots 18$  的数据块中, 包含  $e$  比特差错的不可检出的比特差错图像数为:

$$A(\text{FT3})_{n,e} \approx 2^{-15} \binom{n}{e}$$

式中,  $e=6, 8, \cdots$ 。

残留差错率为:

$$R(\text{FT3})_n \approx \sum A(\text{FT3})_{n,e} P^e q^{n-e}$$

格式级别 FT3 满足数据完整性级别 I2 的要求(见图 B1)。由脉冲编码传输系统所规定的带 16 比特启动字符分组码的扩充帧的残留差错率要乘以  $q^{16}$ , 即  $R'(\text{FT3})_n = R(\text{FT3})_n q^{16}$ 。

图 B1 表示 1 个用户数据八位位组( $\text{FT3}, i=1$ )的帧和 15 个用户数据八位位组( $\text{FT3}, i=15$ )的帧的残留差错率。

## B4.3 帧的传输效率的度量

由 16 比特启动字符和  $i \leq 16$  的用户数据八位组组成的帧的传输效率为:

$$EFT(FT3) = i/(i+4)q^{8(i+4)}$$

图 B2 表示  $i=1$  和  $i=15$  个用户数据八位组的帧传输效率。

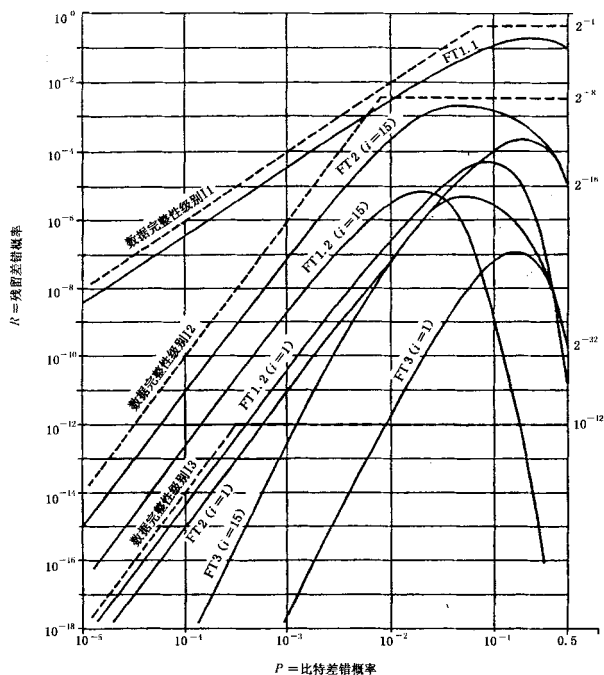


图 B1 格式级别 FT1.1、FT1.2、FT2、FT3 的残留差错率  $i$  为每个分组码的信息八位组数

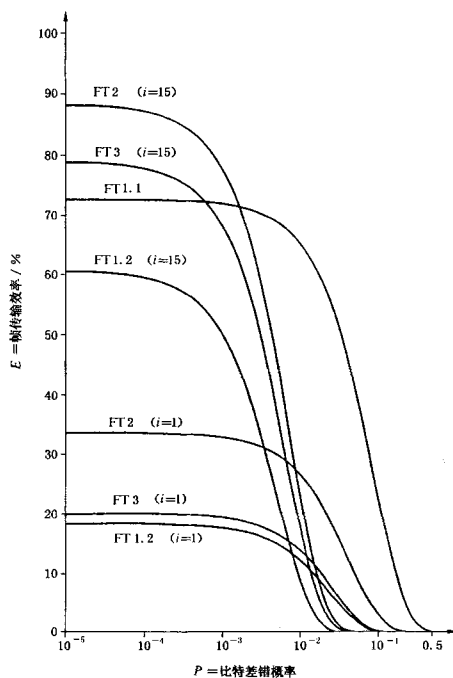


图 B2 格式级别 FT1.1、FT1.2、FT2、FT3 的帧传输效率  $i$  为每个分组码的信息八位位组数