中华人民共和国石油天然气行业标准

埋地钢质管道交流排流保护技术标准

Standard for AC influence drainage protection
of buried steel pipeline

SY/T 0032—2000

主编单位：四川石油管理局勘察设计研究院
批准部门：国家石油和化学工业局

石 油 工 业 出 版 社

2000 北 京

附件

埋地钢质管道交流排流保护技术标准

条文说明

目　　次

1　总则 …… 1
2　术语 …… 2
3　基本规定 …… 4
4　调查与测试 …… 7
4.1　调查与测试的项目 …… 7
4.2　测试 …… 8
5　排流保护设施 …… 11
6　排流保护系统的调整及效果评定 …… 14
6.1　排流保护系统的调整 …… 14
6.2　排流保护效果评定 …… 14
7　运行与管理 …… 15
附录 A　交流电干扰源对埋地钢质管道交流电干扰测试方法 … 17
附录 B　埋地钢质管道磁干扰电压简化计算公式 …… 24
标准用词和用语说明 …… 27
附件　埋地钢质管道交流排流保护技术标准　条文说明 …… 29

国家石油和化学工业局文件

国石化政发（2000）110 号

关于批准《陆上石油工业安全术语》等 44 项石油天然气行业标准的通知

中国石油天然气集团公司：

你公司报批的《陆上石油工业安全术语》等 44 项石油天然气行业标准草案，业经我局批准，现予发布。标准名称、编号为：

推荐性标准

SY/T 6455—2000	陆上石油工业安全术语
SY/T 0032—2000	埋地钢质管道交流排流保护技术标准 （代替 SYJ 32—88）
SY/T 0069—2000	原油稳定设计规范 （代替 SY/T 0069—92）
SY/T 0321—2000	钢质管道水泥砂浆衬里技术标准
SY/T 0460—2000	天然气净化装置设备与管道安装工程施工及验收规范 （代替 SY 4060—93）
SY/T 5053.1—2000	防喷器及控制装置　防喷器 （代替 SY 5053.1—92）

SY/T 5331—2000	石油地震勘探解释图件 （代替 SY/T 5331—94）
SY/T 5355—2000	油藏地质特征描述技术要求　碳酸盐岩潜山油藏部分 （代替 SY/T 5355—91）
SY/T 5366—2000	油田开发井取心资料技术要求 （代替 SY/T 5366—89）
SY/T 5388—2000	碳酸盐岩储层的划分方法 （代替 SY/T 5388—91）
SY/T 5426—2000	岩石可钻性测定及分级方法 （代替 SY 5426—91）
SY/T 5539—2000	油井管产品质量评价方法 （代替 SY/T 5539—92）
SY/T 5579—2000	碎屑岩油气储层精细描述方法 （代替 SY/T 5579—93）
SY/T 5613—2000	泥页岩理化性能试验方法 （代替 SY/T 5613—93）
SY/T 5806—2000	油、气层层位代码（代替 SY 5806—93）
SY/T 5927—2000	石油物探全球定位系统（GPS）测量规范 （代替 SY/T 5927—94）
SY/T 5934—2000	地震勘探构造成果钻井符合性检验 （代替 SY/T 5934—94）
SY/T 5938—2000	地震反射层地质层位标定 （代替 SY/T 5938—94）
SY/T 6051—2000	山区二维地震勘探资料采集技术规程 （代替 SY/T 6051—1994）

SY/T 6052—2000	地震勘探资料采集现场处理技术规程（代替 SY/T 6052—1994）
SY/T 6054—2000	水陆交互带地震勘探资料采集技术规程（代替 SY/T 6054—94）
SY/T 6102—2000	稠油油藏注蒸汽开发动态监测录取资料的内容及要求（代替 SY/T 6102—94）
SY/T 6177—2000	天然气气藏开发方案经济评价方法（代替 SY/T 6177—1995）
SY/T 6434—2000	天然气藏流体物性分析方法
SY/T 6435—2000	易挥发原油物性分析方法
SY/T 6436—2000	天然气开发规划编制技术要求
SY/T 6437—2000	开发实验用岩样的取样方法及质量要求
SY/T 6440—2000	R24 浅层地震仪检验项目和技术规定
SY/T 6441—2000	地震勘探数据处理成果验收规程
SY/T 6445—2000	石油管材常见缺陷术语
SY/T 6458—2000	石油工业用油轮受限空间进入指南
SY/T 6459—2000	执行承包商安全和健康计划
SY/T 6460—2000	易燃和可燃液体基本分类
SY/T 6461—2000	湿蒸汽发生器的安装与操作推荐作法
SY/T 7549—2000	原油粘温曲线的确定　旋转粘度计法
SY/T 7550—2000	原油中蜡、胶质、沥青质含量测定法
强制性标准	
SY 0322—2000	石油建设工程质量检验评定标准　天然气净化厂建设工程

SY 0402—2000	石油天然气站内工艺管道工程施工及验收规范（代替 SYJ 4002—90）
SY 0470—2000	石油天然气管道跨越工程施工及验收规范（代替 SY 4070—93）
SY 6442—2000	石油钻井井架分级评定规范
SY 6443—2000	压裂酸化作业安全规定
SY 6444—2000	石油工程建设施工安全规定
SY 6456—2000	含硫天然气集气站安全生产规定
SY 6457—2000	含硫天然气管道安全规程

以上标准自 2000 年 10 月 1 日起实施。

国家石油和化学工业局

2000 年 3 月 31 日

1 总　　则

1.0.1 为有效地控制交流电对埋地钢质管道（以下简称管道）的交流电干扰腐蚀危害，统一交流电干扰腐蚀防护工程的技术要求，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于管道交流干扰腐蚀防护工程的设计、施工和操作维护。其它埋地金属构筑物的交流电干扰腐蚀防护工程，可参考使用。

1.0.3 在管道与地（或其它邻近结构）间测得的任何交流电压值，应当看作是一种需要进一步研究的征兆。

1.0.4 排流保护仅为交流干扰防护主要的措施。但对于干扰严重或干扰状况复杂的场合，应采取以排流保护为主，管道分段隔离、接地栅极、电屏蔽、接地电池及极化电池等综合治理措施。

1.0.5 对管道造成交流干扰的干扰源，应根据国家现行有关标准采取减轻交流干扰的措施。

1.0.6 在干扰区域，宜由被干扰方、干扰源方及其它有关各方的代表，组成防干扰协调机构，按统一测试、统一设计、统一管理、统一评价、分别实施的原则，联合设防、仲裁、处理、协调防干扰问题。

1.0.7 管道交流电干扰腐蚀防护工程设计、施工和操作维护，除执行本标准外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术　　语

2.0.1 交流电干扰源　source of AC influence

高压交流电力线路、设施和交流电气化铁路、设施，统称交流电干扰源，或简称干扰源。

2.0.2 交流干扰　AC influence

交流电通过阻性、感性或容性耦合在邻近管道上产生的电效应。

按交流电干扰时间的长短，交流干扰可分为瞬间干扰、持续干扰和间歇干扰三种。

2.0.3 感性耦合（磁感应）　magnetic induction

交流电产生的交变磁场对管道所造成的电效应。

2.0.4 容性耦合（电感应）　electric induction

交流电产生的电场对管道所造成的电效应。

2.0.5 阻性耦合（地电流影响）　influence of ground current

入地的交流电流，通过土壤的电阻连接，对邻近管道的电效应。

2.0.6 管道交流干扰电压　pipeline AC influence voltage

交流干扰产生的管道对地交流电压。

2.0.7 接近　access

管道与干扰源的相对位置足以使管道产生危险或干扰影响时称为接近。两者接近的距离变化不超过其算术平均值的5%时，称为平行接近；超过5%时，称为斜接近。

2.0.8 接近距离　access distance

管道与相邻的交流干扰源最近的直线距离。

2.0.9 等值距离（d）egual distance

斜接近段两端距离的比值$\frac{1}{3}\leqslant(d_1<d_2)\leqslant 3$时，等值距离（$d$）可用公式：$d=\sqrt{d_1\cdot d_2}$来计算。

2.0.10 管道交流参数 pipeline alternating current parameter

指管道在工频电流流过时，管道的传播常数 r、管道特性阻抗 Z、纵向电阻 R、纵向电感 L、对地电导 G 和分布电容 C。

2.0.11 跨步电压 step voltage

在大地表面上相距一步距离的两点间的电位差。该距离假定为 1m，以最大电位梯度方向计之。

2.0.12 表面电位梯度 surface potential gradient

单位长度上地表电位的变化值或电位对距离的变化。

2.0.13 测定时间段 measuring time section

每次测定的持续时间。

2.0.14 读数时间间隔 reading time span

在规定的测定时间段内，每次读取或记录测定值的时间间隔。

2.0.15 开关冲击 switch impact

由于断路器或其它开关操作造成电流的突然改变，引起电流和电压的瞬间波动。

2.0.16 安全距离 safety distance

在交流干扰环境中，管道上的干扰电压在允许值以内时，干扰源与管道相互间的距离。

2.0.17 单手操作法 single testing method

是为安全测试而制定的一种电气操作方法。这个方法是：每次只进行一个操作（如测试引线的连接等），而且所有操作只用右手进行，而另一只手一直离开测试设备、引线等。

3 基本规定

3.0.1 管道和交流干扰源接近时应作好实地调查，以正确估计在正常、故障、闪电、开关冲击等条件下的交流干扰电压和电流水平。

当高压输电线路与管道平行接近长度在25km以下时，可采用附录B所列公式进行磁干扰电压最大值的估算，也可采用其它有效公式进行估算。

3.0.2 当确认管道受交流干扰影响和危害时，必须采取与干扰程度相适应的防护措施。

3.0.3 管道与干扰源接地体的距离，不宜小于表3.0.3中的规定。

表3.0.3 管道与交流接地体的距离

电压等级（kV）	10	35	110	220
临时接地点（m）	0.5	1.0	3.0	5.0
铁塔或电杆接地（m）	1.0	2.5	5.0	10.0
电站或变电所接地体（m）	2.5	2.5	15.0	30.0

注：不考虑两线一地输电线路。

3.0.4 无防护措施而存在电击危险的管道，应被认为是一个通电的导体，并且应对它进行相应的处理。

3.0.5 管道施工开始前，应与邻近交流干扰源主管部门商议，共同制定适当的程序，保证管道施工安全顺利进行。

3.0.6 在交流电干扰区域内进行管道施工时，应符合下列要求：

1 长度为300m与大地绝缘的管段两端应装设单独临时接地极；长度超过300m与大地绝缘的管段，应由一端开始，每隔300m装设一个单独的临时接地极。接地极接地电阻应小于30Ω。

2　临时接地极可以是接地棒、裸露的套管或其它适宜的金属接地体，但不得与邻近的电力线路接地极相连。

3　临时接地极与管道的连接线应采用截面积不小于 $10mm^2$ 多股铜芯导线，其接点应具有良好的机械强度和导电性。

4　应首先把接地电缆连接到接地极上，然后连接到受干扰的管道上。拆下的顺序相反，连接地极的一端将最后拆下。

5　所有临时接地极应保持到管道回填以前和永久接地极已经接好为止。

6　当车辆及其它施工设备在电力线路附近工作时，应遵守现行电气安全规程。金属工棚或拖车应接地。

3.0.7　对管道交流干扰电压可采取下列防护措施：

1　接地栅极：在管道上瞬时危险干扰电压超过允许值的若干点装设的金属接地床。宜呈盘状或网状布设，直径约 3m，最少有两点与管道相连。

接地栅极与管道间宜安装刀闸，需要时再把它与管道接通。

2　电屏蔽：以特定的间隔，沿着受干扰段的整条管道，平行或环绕安装一个或多个金属电极组成。用于保护管道不受邻近电力线路交流干扰影响，减少在瞬间危险干扰电压下防腐层（或管道）被击穿的可能性。

影响电屏蔽设计的因素是管道上出现干扰电压的强度和范围。

屏蔽接地极最少有两点与受干扰管道相连。

3　极化电池：将两对或更多的惰性金属板浸入电解液中。被阴极保护的构筑物和接地网间的电位差在金属板上将形成极化膜。这样，对于低直流电位就产生一个高电阻，而由于交流阻抗非常低，交流电将流经电池。

4　接地电池：接地电池是用来提供一个低电阻通道，排放强电电流，但又不漏泄阴极保护直流电流的一种装置。

3.0.8　受交流干扰影响的管道阴极保护站，其交、直流供电设备应经常进行交流干扰电压测试，若超过允许值必须采取排除干

扰电压的措施。

3.0.9 受交流干扰影响的管道牺牲阳极阴极保护装置，应经常进行下列测试工作：

1 测量并记录牺牲阳极交、直流输出；

2 测量并记录管一地交、直流电压。

4 调查与测试

4.1 调查与测试的项目

4.1.1 管道与邻近干扰源的相互位置，若两者距离大于1000m，一般可不作进一步调查测试。

4.1.2 对管道和干扰源应作下列调查或测试：

1 高压输电线路

1）管道与高压输电线路接近距离和长度；

2）接地系统的类型及与管道的距离；

3）额定电压、额定电流、三相负荷不平衡度；

4）最大单相短路故障电流和持续时间；

5）最大相间短路故障电流和持续时间。

2 电气化铁路

1）铁轨与管道相互位置、牵引变电所位置、馈电网络及供电方式、回归线网的电气参数、状态与分布；

2）电气机车负荷曲线及运行状况（次数与时间的关系）；

3）铁轨及其它干扰源对地电位及其分布；

4）铁轨及其它干扰源漏泄电流趋向及电位梯度。

3 被干扰管道

1）本地区过去的腐蚀实例；

2）管道与干扰源的相关位置、分布；

3）管地交流电位及其分布（包括管地电位按管道里程分布及其随时间变化的分布）；

4）管道对地漏泄阻抗；

5）管道沿线土壤电阻率、大地导电率；

6）管道已有阴极保护和排流保护的运行参数及运行状况；

7）相邻管道或其它埋地金属构筑物干扰腐蚀与防护技术资料。

4.2 测　　试

4.2.1 测试工作有以下三种：

1　调查测试

用以探测干扰程度及管地电位分布，为防护工程测试提供依据。

2　防护工程测试

用以提供实施防护措施所需的技术参数。

3　防护工程效果测试

用以调整排流保护运行参数及评定防护工程效果。

4.2.2 对于本标准第 4.1.2 条所规定的调查测试项目，可以根据具体干扰状态、测试工作种类等情况，全部或部分地进行。一般情况下，宜按表 4.2.2 的规定进行。

表 4.2.2　调查与测试项目表

实施方面	调查、测试项目内容	需要程度			实施方法
		调查测试	防护工程测试	防护工程效果测试	
干扰源侧	1　高压输电线路				
	1）管道与高压输电线路接近距离和长度	○	○	×	测量
	2）额定电压、额定电流、三相负荷不平衡度	△	○	×	调查咨询
	3）最大单相短路故障电流和持续时间	√	○	×	调查咨询
	4）最大相间短路故障电流和持续时间	√	○	×	调查咨询
	5）接地系统的类型及与管道的距离	√	○	×	调查咨询 测量

续表 4.2.2

实施方面	调查、测试项目内容	需要程度			实施方法
		调查测试	防护工程测试	防护工程效果测试	
干扰源侧	2 电气化铁路				
	1）铁轨与管道相互位置、牵引变电所位置、馈电网络及供电方式、回归线网的电气参数、状态与分布	○	○	△	调查咨询
	2）电气机车负荷曲线及运行状况（次数与时间的关系）	△	○	△	调查咨询
	3）铁轨及其它干扰源对地电位及其分布	△	○	×	调查咨询
	4）铁轨及其它干扰源漏泄电流流向及电位梯度	√	○	×	调查咨询
被干扰管道侧	3 被干扰管道				
	1）本地区过去的腐蚀实例	△	△	×	调查咨询
	2）管道与干扰源的相关位置、分布	○	○	×	调查咨询
	3）管地交流电位及其分布（包括管地电位按管道里程分布及其随时间变化的分布）	√	○	○	调查咨询 附录 A
	4）管道对地漏泄阻抗	√	○	√	调查咨询 测量
	5）管道沿线土壤电阻率	○	○	×	SY/T 0023—97
	6）管道沿线大地导电率	√	√	×	调查资料 测量
	7）管道已有阴极保护和排流保护的运行参数及运行状况	△	△	×	调查咨询
	8）相邻管道或其它埋地金属构筑物干扰腐蚀与防护技术资料	△	○	×	调查咨询
备注	表中符号意义： ○—必须进行的项目；　√—宜进行的项目； △—应进行的项目；　×—可不进行的项目				

4.2.3 测试点的选择和分布应符合下列原则：

1 调查测试

在接近交流干扰源的管道上进行测试，间距宜为1km，应尽量利用现有测试桩。

2 防护工程测试

依据调查测试结果，在已经确定的交流干扰管段上布设测试点，干扰复杂时宜加密测试点。

3 防护工程效果测试

应在防护工程各实施点中选定测试点，一般应包括排流点、干扰缓解较大的点和较小的点。

4.2.4 防护工程测试及防护工程效果测试宜符合下列原则：

1 各测试点的测试工作应同时开始和结束；

2 各测试点以相同的读数间隔记录数据；

3 干扰源与被干扰管道两方面应同步测试。

4.2.5 测试时间段为40～60min，对运行频繁的电气化铁路可取30min；测试时间段应分别选择在干扰源的高峰、低峰和一般负荷三个时间段上。

4.2.6 读数时间间隔一般为10～30s，电压幅值变动剧烈时，不应大于10s。

4.2.7 当干扰剧烈时、拟定采取防护措施的点、实际安装防护设施的点，防护效果评定点及其它具有代表性的点，应进行24h测试。

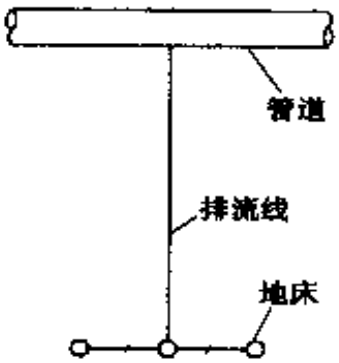
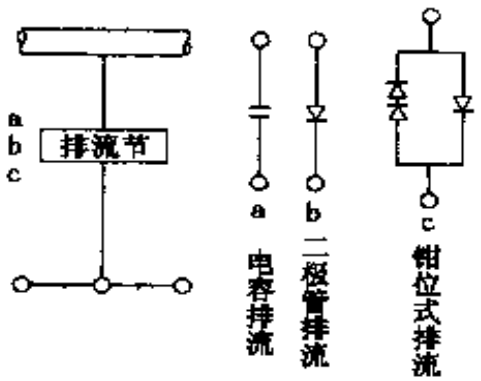
4.2.8 所有测试点的交流干扰电压测试不得少于三次，每次的起止时间、测试时间段、读数时间间隔均应相同。

4.2.9 交流干扰测试方法及数据处理按附录A的规定执行。

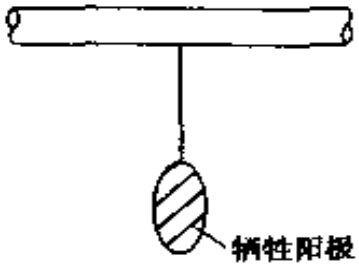
5 排流保护设施

5.0.1 根据调查与测试结果的分析，可按表 5.0.1 选定适用的排流保护方式。

表 5.0.1 排流保护方式

排流方式	接线示意图	应用条件	优点	缺点
直接排流		被干扰管道与地床直接用导线连接起来； 地床材料为钢材等； 接地电阻必须小于管道接地电阻	排流效果好； 简单、经济	阴极保护电流漏失
隔直排流		被干扰管道与地床间接入排流节（阻隔直流元件安装在金属箱体内），可埋地或置于地面。接地电阻必须小于管道接地电阻	可应用于阴极保护管道； 钳位式排流利用部分干扰电压作阴极保护	结构复杂、价格较贵

续表 5.0.1

排流方式	接线示意图	应用条件	优点	缺点
负电位排流		被干扰管道与牺牲阳极用导线直接相连	排流效果好；向管道提供阴极保护电流	价格较高，需注意牺牲阳极极性逆转问题

5.0.2 在同一条或同一系统的管道中，根据实际情况可以采用一种或多种排流保护方式。

5.0.3 根据测试结果，应在被干扰管道上选取一点或多点作排流点，并在该点设置排流保护设施。排流点的选择应以获得最佳排流效果为标准。

5.0.4 排流点宜通过现场模拟排流实验确定。通常情况下，可根据下列条件综合确定：

1 相互位置条件

1）被干扰管道首、末两端；

2）管道接近或离开“公共走廊”并与干扰源有一平行段处；

3）管道与干扰源距离最小的点；

4）管道与干扰源距离发生突变的点；

5）管道穿越干扰源处。

2 技术条件

1）管地电位最大的点；

2）管地电位数值较大、且持续时间较长的点；

3）高压输电线导线换位处；

4）管道防腐层电阻率、大地导电率发生变化的部位；

5）土壤电阻率小，便于地床设置的场所。

5.0.5 排流的电流量应通过现场模拟排流实验确定。不具备条

件时，可利用式（5.0.5）估算。

$$I = \frac{V}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4} \tag{5.0.5}$$

式中 I——排流电流量（A）；

V——排流点处管道交流干扰电压（V）；

Z_1——排流接地床接地阻抗（Ω）；

Z_2——排流导线阻抗（Ω）；

Z_3——排流器阻抗（Ω）；

Z_4——管道特性阻抗（Ω）。

5.0.6 排流器应满足下列技术条件：

1 在管道交流干扰电压幅值变化范围内，均能可靠地工作；

2 能及时跟随管地电位的急剧变化；

3 具有过载保护能力；

4 结构简单，安装方便，适应野外环境，便于维护。

5 排流器、排流线的额定电流为计算排流量的1.5～2倍。

5.0.7 排流线、接地床的敷设技术要求应符合国家现行标准《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》SY/T 0017的有关规定。

6 排流保护系统的调整及效果评定

6.1 排流保护系统的调整

6.1.1 排流保护工程安装完毕后，应立即投入试运行，并进行全面综合调整，使保护系统达到最佳保护效果。

6.1.2 排流保护的调整，可采用以下措施：

1 改变排流点位置，或增设排流点及其设施；

2 分段隔离措施：在长距离干扰管段上的适当部位设置电绝缘装置，以降低干扰程度，简化防护措施；

3 对于有阴极保护的管道，电绝缘装置两端应并联磁饱和电抗器，其感抗为60Ω，两端直流电位差小于40mV。

在电弧可能存在的管段内，电绝缘装置两端应跨接避雷器、极化电池、接地电池或其它保护装置。

6.2 排流保护效果评定

6.2.1 排流保护效果的评定应符合以下原则：

1 排流保护效果的评价点必须包括排流点、干扰缓解较大的点、干扰缓解较小的点，其它评定点可根据实际情况选择；

2 排流效果的评价点一般不应少于四点；

当干扰段较长或复杂管道系统或管地电位复杂多变时，不应少于六点；

3 在测取排流保护前、后参数时，必须统一测试点、测试时间段、读数时间间隔、测试方法和仪表设备。

6.2.2 排流效果应达到下列指标：

1 在弱碱性土壤内，管道交流干扰电压≤10V；

2 在中性土壤中，管道交流干扰电压≤8V；

3 在酸性土壤或盐碱土壤环境时，管道交流干扰电压≤6V。

7 运行与管理

7.0.1 排流设备的维护管理应符合下列要求：

1 定期维护

1）周期：每月一次；

2）内容：检查排流设备是否运行正常；测试排流电流量（最大、最小、平均值）；测试地床接地电阻值；采用负电位排流时还应测试牺牲阳极开、闭路电位。

2 大修

1）周期：一年一次；

2）内容：排流设备全面检查；各主要元件性能检测；元件更换；排流保护系统全面调查；大修后进行排流电流24h连续测试，并作出排流效果评定。

7.0.2 地区雷暴期间，在受交流干扰影响的管道上，不得进行阴极保护测试或类似性质工作。

7.0.3 处于电力线路及其接地体附近的管道应加强管理，防止对管道维护人员的伤害。

1 掌握邻近电力线路的主要电气参数（电压等级、负荷电流、平行段内最大短路电流）及受干扰管道防交流干扰措施现状。

2 在管道检修期内或开挖管道、接触管道的各种作业时，必须与电力部门加强联系，要求电力部门避免某些操作，并指定有经验人员随时监视，处理可能发生的交流干扰问题。

3 进行管道电位等参数测试或防腐层检修作业时，要执行单手带电作业的有关规定。

4 加强对经常接触管道人员的安全教育，普及交流干扰防护知识。

7.0.4 站在接地栅极上的操作、维护人员和没有站在接地栅极上的人之间，在任何时候都不得传递工具、仪表或其它器械。

7.0.5 应经常调查干扰环境的变化。当干扰环境发生较大变动时，应及时对排流保护系统进行调整。

附录 A　交流电干扰源对埋地钢质管道交流电干扰测试方法

A.1　一般规定

A.1.1　管道交流干扰测试主要是干扰电压测试。当需要时，可进行管道交流参数现场测量。

A.1.2　测量仪表应符合下列要求：

1　测量仪表应具有防电磁干扰性能；

2　测量仪表及测量导线应符合国家现行标准《埋地钢质管道阴极保护参数测试方法》SY/T 0023—97 第 2 章的有关规定。

A.1.3　参比电极的使用应符合下列要求：

1　参比电极可采用钢棒电极、硫酸铜电极。采用钢棒电极时，其钢棒直径不宜小于 16mm，插入土壤深度宜为 100mm。

2　参比电极应竖直布置，与埋地金属管道之间的距离应大于 10m。每次测试时，参比电极位置宜保持一致。

3　参比电极设置处，地下不应有冰层、混凝土层、金属及其它影响测试的物体。

4　土壤干燥时，应浇水湿润地面。

A.1.4　测试工作应注意下列事项：

1　测试中应首先接好仪表回路，再进行与被测体的连接。测试结束时，按相反的顺序操作，并采用单手操作法。

2　在可能有易燃性气体的环境中测试，应避免接线或拆线过程中产生电火花。

A.2　管道交流干扰电压测试

A.2.1　管道交流干扰电压测试应按本标准第 4.2 条有关规定执行。

A.2.2　测试步骤应按下列要求进行：

1　按图 A.2.2 接好测试线路。

2　直接记录测试值。

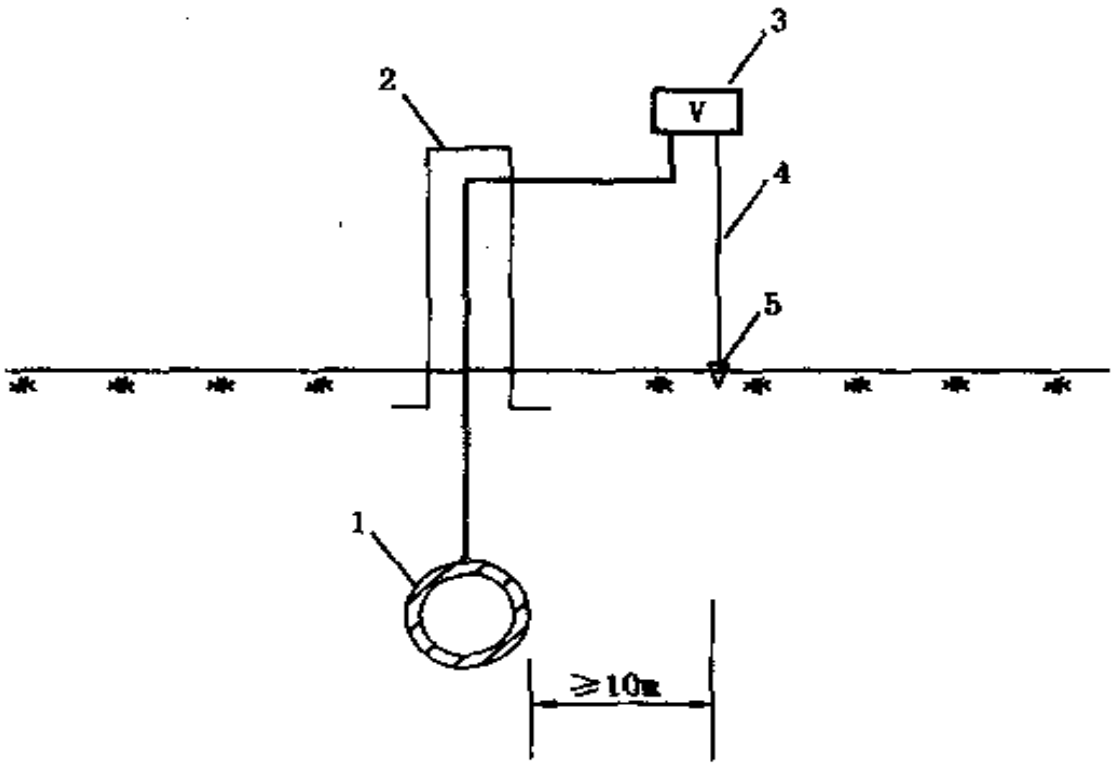


图 A.2.2　管道干扰电压测试接线示意图

1—被测管道；2—测试桩；3—交流电压表；
4—测试导线；5—参比电极

A.2.3　数据处理应符合下列要求：

1　测试点干扰电压的最大值、最小值，从已记取的各次测试数值中直接选择。平均值按下式计算：

$$U_P = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_i}{n} \qquad (A.2.3)$$

式中　U_P——规定测试时间段内测试点交流干扰电压平均值（V）；

$\sum_{i=1}^{n} U_i$——规定测试时间段内测试点交流干扰电压各次读数的总和（V）；

n——规定测试时间段内读数的总次数。

2 绘制出测试点的电压—时间曲线图。

3 绘制出干扰管段的最大、最小、平均干扰电压—距离曲线，即干扰电压分布曲线图。

A.3 管道交流参数测试

A.3.1 管道交流参数测试应符合下列要求：

1 被测管道应符合下列条件：

a）测试管道长度大于 20km，测试段内不得有电绝缘装置。

b）测试管道为无分支管道；

c）测试管段内不应有接地极。

2 管道交流参数测试前应准备的主要器材见表 A.3.1。

表 A.3.1 管道交流参数测试主要器材表

序号	名称及规格	数量	备注
1	交流电压表	3 只	
2	交流电流表	1 只	
3	数字式相位计	1 只	
4	自耦变压器	1 只	
5	隔离变压器	1 只	
6	变阻器	1 只	
7	通电接地体	1 组	接地电阻≤4Ω
8	测量电极	2 根	φ16 圆钢制
9	测量导线	3000m	铜芯绝缘软线
10	铜芯绝缘导线	视通电接地体位置而定	
11	单相闸刀开关	1 只	
12	卡箍，20×2 扁钢制	2 只	带螺栓、螺母、垫圈
13	布线器	4 个	

续表 A.3.1

序号	名称及规格	数量	备注
14	电工工具	2套	
15	电工绝缘胶布带	4卷	
16	钢卷尺	1根	
17	便携式无线电对讲机	视需要配	
18	修补管道绝缘防腐层材料及工具	视绝缘层材料而定	

3 管道交流参数测试接线示意图见图 A.3.1。

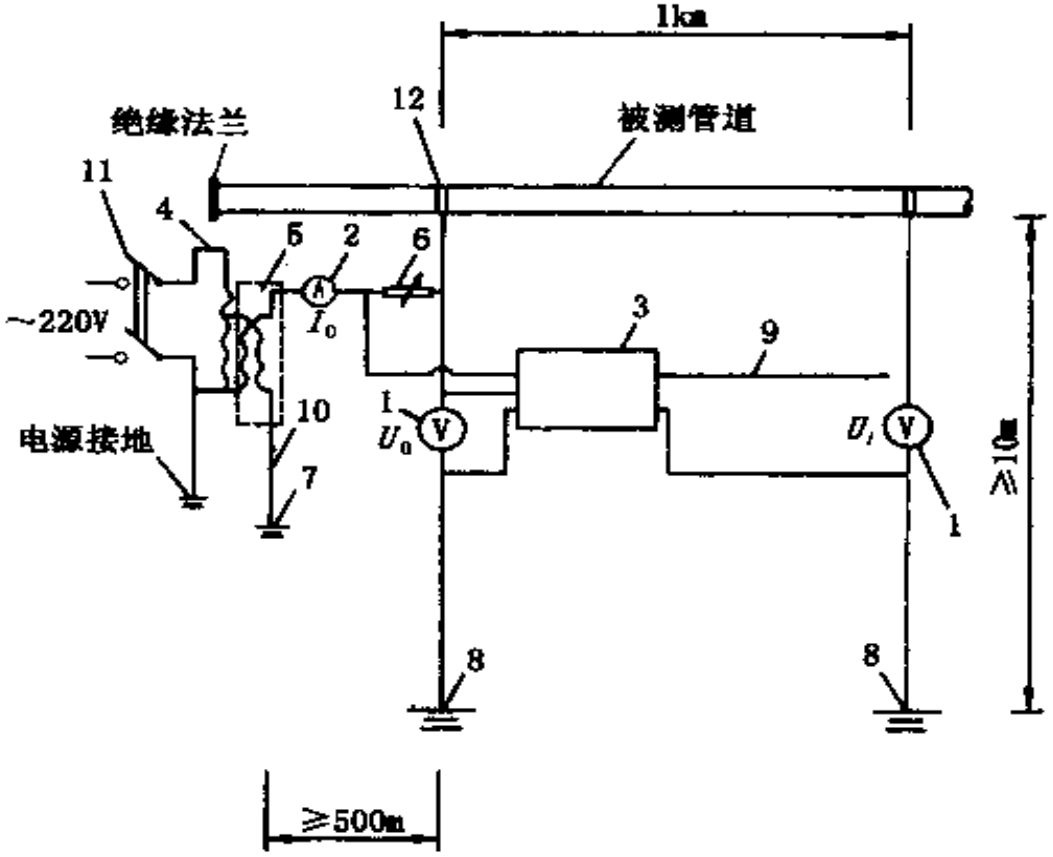


图 A.3.1 管道交流参数测试接线示意图

1—交流电压表；2—交流电流表；3—数字式相位计；
4—自耦变压器；5—隔离变压器；6—变阻器；
7—通电接地体；8—测量电极；9—测量导线；
10—铜芯绝缘导线；11—单相闸刀；12—卡箍

A.3.2 测试步骤应符合下列要求：

1 测量时停用被测管道阴极保护系统。

2 在被测管道上确定相距 1km 的两个测试点位置。

3 按图 A.3.1 接好测试线路。

4 测试接线经测试工作负责人检查确认无误后，方可给管道通以交流电流。

5 测试时间段为 10min，读数时间间隔为 30s，同时读取 I_{0i}，U_{0i}，U_{1i}，ϕ_{0i}，ϕ_{1i}数值，并记录在表 A.3.2 中。

6 若采用记录式仪表，通电测试时间应大于 30min。

7 对被测管道交流参数的测试，宜通电重复测试三次。

表 A.3.2 管道交流参数测试记录表（格式）

读数时间	n_i	I_{0i}	U_{0i}	U_{1i}	ϕ_{0i}	ϕ_{1i}	备 注

审核_____ 测试_____ 记录_____

注：表中符号含义如下：

n_i——规定的测试时间段内读数次数序号；

I_{0i}——规定的测试时间段内通电点电流各次测试读数值（A）；

U_{0i}——规定的测试时间段内通电点管道对地电压各次测试读数值（V）；

U_{1i}——规定的测试时间段内单位长度处管道对地电压各次测试读数值（V）；

ϕ_{0i}——规定的测试时间段内 I_0 与 U_0 之间相位差各次读数值；

ϕ_{1i}——规定的测试时间段内 U_0 与 U_i 之间相位差各次读数值。

A.3.3 数据处理：

1 将表 A.3.2 中记录的数据按下列各式求取平均值：

$$I_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_{0i}}{n} \qquad \text{(A.3.3—1)}$$

$$U_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_{0i}}{n} \qquad \text{(A.3.3—2)}$$

$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_{1i}}{n} \qquad \text{(A.3.3—3)}$$

$$\phi_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \phi_{0i}}{n} \qquad \text{(A.3.3—4)}$$

$$\phi_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \phi_{1i}}{n} \qquad \text{(A.3.3—5)}$$

式中 I_0——规定的测试时间段内通电点电流各次测试读数平均值（A）；

U_0——规定的测试时间段内通电点管道对地电压各次测试读数平均值（V）；

U_1——规定的测试时间段内单位长度处管道对地电压各次测试读数平均值（V）；

ϕ_0——规定的测试时间段内 I_0 与 U_0 之间相位差各次读数平均值；

ϕ_1——规定的测试时间段内 U_0 与 U_i 之间相位差各次读数平均值；

$\sum_{i=1}^{n} I_{0i}$——规定的测试时间段内通电点电流各次测试读数的总和（A）；

$\sum_{i=1}^{n} U_{0i}$——规定的测试时间段内通电点管道对地电压各次测试读数的总和（V）；

$\sum_{i=1}^{n} U_{1i}$——规定的测试时间段内单位长度处管道对地电压各次测试读数的总和（V）；

$\sum_{i=1}^{n} \phi_{0i}$——规定的测试时间段内 I_0 与 U_0 之间相位差各次读数的总和；

$\sum_{i=1}^{n} \phi_{1i}$——规定的测试时间段内 U_0 与 U_i 之间相位差各次读数的总和；

n——规定的测试时间段内测试读数的总次数。

2 按下列各式分别计算管道交流传播常数 γ、管道特性阻抗 Z：

$$\gamma = \ln\left|\frac{U_0}{U_1}\right| + j\phi_1 \qquad (A.3.3\text{—}6)$$

$$Z = \left|\frac{U_0}{I_0}\right| e^{j\phi_0} \qquad (A.3.3\text{—}7)$$

3 管道其它参数可按下列各式确定：

$$\mathrm{Re}(Z \cdot \gamma) = R \qquad (A.3.3\text{—}8)$$

$$\mathrm{Im}(Z \cdot \gamma) = \omega L \qquad (A.3.3\text{—}9)$$

$$\mathrm{Re}(\gamma/Z) = G \qquad (A.3.3\text{—}10)$$

$$\mathrm{Im}(\gamma/Z) = \omega C \qquad (A.3.3\text{—}11)$$

式中 ω——角频率；

R——管道分布电阻；

G——管道分布电导；

L——管道分布电感；

C——管道分布电容；

γ——管道交流传播常数；

Z——管道特性阻抗。

附录 B　埋地钢质管道磁干扰电压简化计算公式

B.0.1　高压输电线路与管道平行接近时，若有效平行长度在25km以下，则管道上磁干扰电压最大值 U_{max} 可用下列公式计算：

1　管道上磁干扰电压最大值可用下式计算：

$$U_{max} = U_{20m} \cdot f_d \cdot I_{ck} \cdot \alpha_\gamma \cdot \alpha \qquad (B.0.1—1)$$

式中　U_{max}——管道上磁干扰电压最大值（V）；

U_{20m}——平行距离为20m时磁干扰电压最大值（V/kA），由图B.0.1—1查出；

f_d——距离因子，由本条第2款确定；

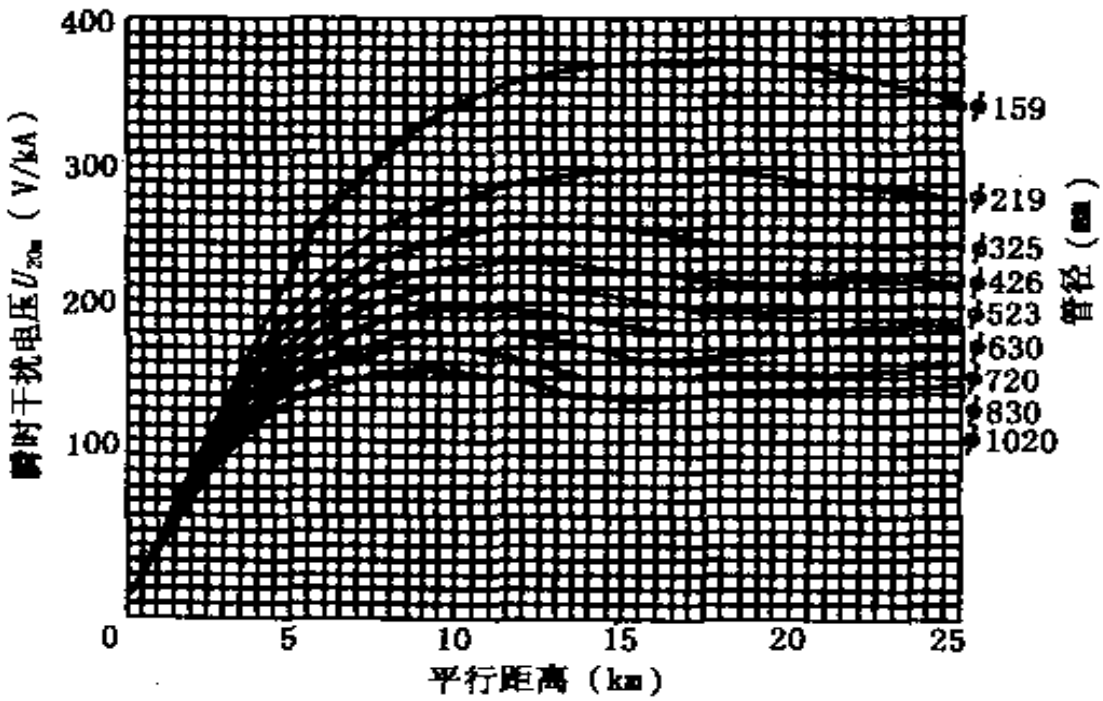


图 B.0.1—1　管道干扰电压计算曲线

I_{ck}——高压输电线短路电流（A）；

α_γ——传播常数修正系数，由本条第3款确定；

α——综合屏蔽系数，通常为0.4～0.8。

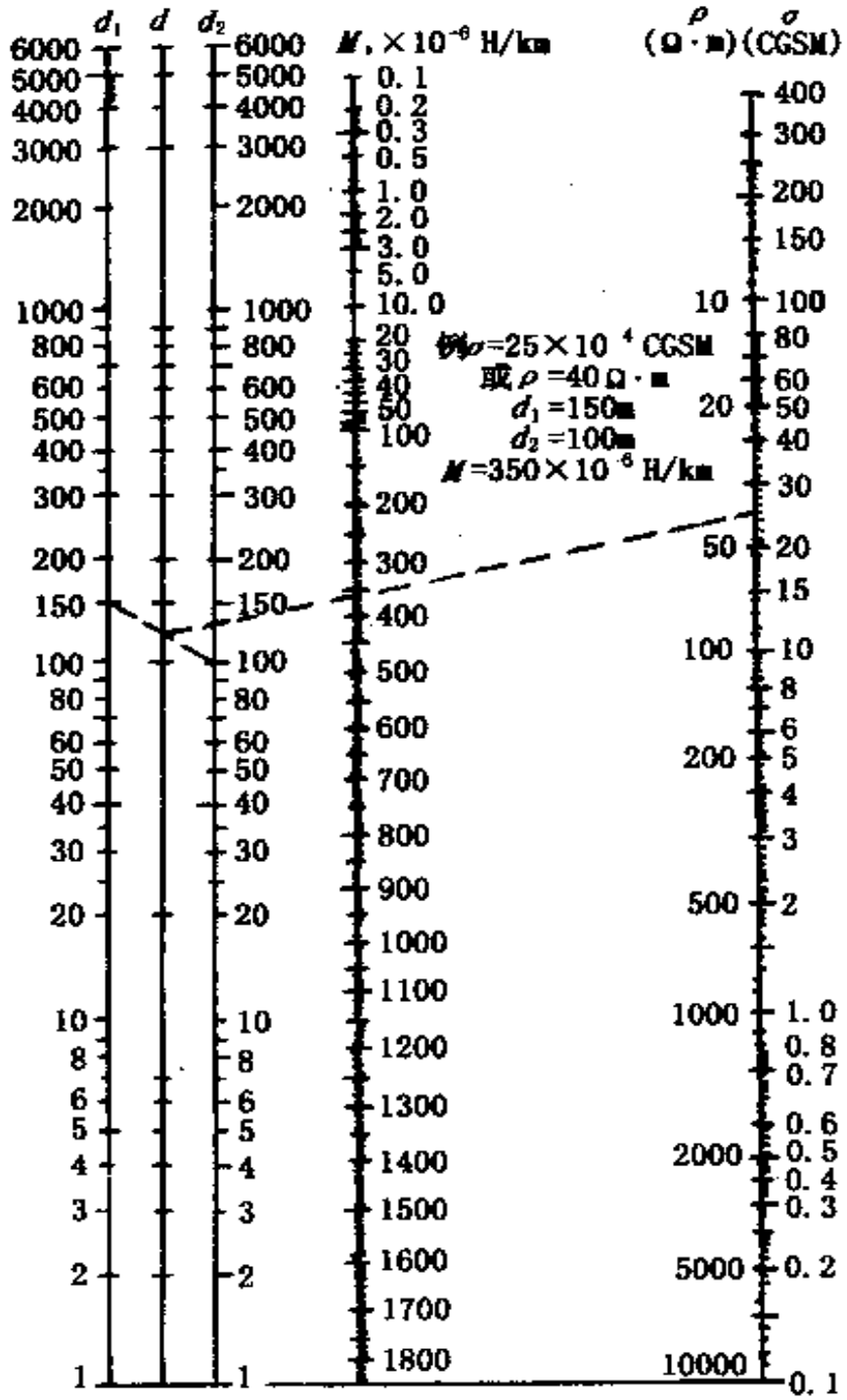


图 B.0.1—2　计算互感系数列线诺模图（工频）

2　距离因子 f_d 可由下式计算：

$$f_d = \frac{M}{790 \times 10^{-6}} \qquad \text{(B.0.1—2)}$$

式中：f_d——距离因子；

M——互感系数（H/km）。根据电力线路与管道等值距离 d，土壤电阻率 ρ 由诺模图 B.0.1—2 查出，图中 $\sigma = 1/\rho$，为大地导电率；

790×10^{-6}——系数，H/km。

3　传播常数修正系数 α_γ 可由下式计算：

$$\alpha_\gamma = \sqrt{\frac{r_1}{2.5 \times 10^3}} \qquad \text{(B.0.1—3)}$$

式中：α_γ——传播常数修正系数；

r_1——在面积为 $1m^2$ 的管道上，防腐涂层的电阻（$\Omega \cdot m^2$）；

2.5×10^3——系数，$\Omega \cdot m^2$。

标准用词和用语说明

执行本标准条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1　表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2　表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3　表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

修 订 说 明

根据 1996 年原中国石油天然气总公司下达的标准制修订计划，《埋地钢质管道交流排流保护技术标准》由四川石油管理局勘察设计研究院负责编制，并汇入修订后的 SY/T 0032—2000《埋地钢质管道交流排流保护技术标准》的内容。

为便于油气田和管道生产、设计、施工等有关单位人员在使用本标准时，能正确理解和执行条文的规定，编制了按本标准章、节、条顺序的条文说明（不需说明者予以省略），供各使用单位及人员参考。在使用中如发现本条文说明有欠妥之处，请将意见寄四川石油管理局勘察设计研究院（地址：四川省成都市小关庙后街 28 号，邮编：610017）。

四川石油管理局勘察设计研究院

1999 年 8 月

目　　次

1　总则…… 32
2　术语…… 34
3　基本规定…… 35
4　调查与测试…… 36
4.1　调查与测试的项目…… 36
4.2　测试…… 36
5　排流保护设施…… 39
6　排流保护系统的调整及效果评定…… 41
6.1　排流保护系统的调整…… 41
6.2　排流保护效果评定…… 41
7　运行与管理…… 42
附录 A　交流电干扰源对埋地钢质管道交流电干扰测试方法
…… 43
附录 B　埋地钢质管道磁干扰电压简化计算公式 …… 52

1 总　　则

1.0.1 说明本标准编制目的。

1.0.2 指出本标准的适用范围。

参照美国《降低交流电和闪电对金属构筑物防腐蚀系统影响的措施》NACE RP 0177—95、德国防干扰仲裁委员会（SFB）1982年5月No.7技术建议书《关于在三相高压电力系统和单线铁道牵引系统附近的管道设备运行标准》，其电压等级为380kV。

考虑到目前我国500kV电力线路较少，绝大多数电力线路电压均在220kV以下，所以本标准能满足大多数现场情况。若遇到500kV线路，专项试验处理。

1.0.3 本条根据美国NACE RP 0177—95第5.2.2条编制。

对于交流安全电压，有关规范要求如下：

1. 现行国家标准《低压配电设计规范》GB 50054—95：

第4.4.3条　Ⅰ类电气设备，所在环境为正常环境，人身电击安全电压限值（U_L）为50V（有效值）。

特殊场所如潮湿、狭窄，安全电压要低于50V或25V，切断时间为0.4s。

2. 现行国家标准《特低电压（ELV）限值》GB/T 3805—1993：

“当电气设备采用了超过24V的安全电压时，应采取保护措施，采取防直接接触带电体的保护措施。”

3. 美国NACE RP 0177—95第5.2.1.1条规定：“对本推荐准则来说，15V（均方根值）交流开路电压或5mA或多些的干扰源电流容量，将被认为构成一种预料中的电击危险。”

1.0.4～1.0.6 交流电干扰影响实质上是一个环境电磁污染问题，其特点是影响范围广，状态多变，并且对某特定对象干扰程

度往往不同，所以在采取防干扰措施上，必须与现场实际密切结合，才能取得较满意的结果。排流保护技术只能认为是一种比较适用的主要防干扰措施，但对于较复杂的干扰情况存在局限性，为此，提出“综合治理”、“共同防护”的原则，只有这样才能提高排流保护效果。此点与直流电排流保护相似。

1.0.7 指出本标准与其它有关标准的关系。

2 术　　语

管道交流干扰影响及其防护是一项技术性很强的工作，也是一项新工作，对它全面了解的部门和人员较少。在工作中如果没有统一的名词术语概念，就会产生许多矛盾，往往由于对同一个问题认识不一致造成处理困难，因此有必要做此统一定义。

参照美国《降低交流电和闪电对金属构筑物防腐蚀系统影响的措施》NACE RP 0177—95、德国 SFB No.7 技术建议书《关于在三相高压电力系统和单线铁道牵引系统附近的管道设备运行标准》和我国水电部西南电力设计院主编的国家规范《电力线路对电信线路危险及干扰影响防护设计技术规范》（征求意见稿）中相关内容编写了本章条文内容。

本标准所列入的名词术语是条文中有的。对条文中未涉及的术语没有列入。

3 基本规定

高压输电线路、电气化铁道附近的地下金属管道会受到交流电干扰。现场测出的持续干扰电压可达 57V，瞬间干扰电压可达上千伏。交流干扰电压危及人身、设备的安全，引起管道金属交流电腐蚀，是管道工程中遇到的新课题。

本标准对管道交流电腐蚀危害的控制作了较全面、详尽的规定。但对在交流电干扰环境中与交流电腐蚀危害同时存在的人身、设备安全电压的控制亦应有所交待。考虑到安全电压控制不属于金属防腐蚀技术范畴，根据各方面专家意见，增设“基本规定”一章，定性提出管道在交流电干扰环境中应遵守的必要的技术要求。这些要求主要是根据《地下金属管道交流干扰影响及其保护》研究总结（石油部管道交流干扰评审会文件之一）和美国 NACE RP 0177—95 推荐规程、德国 SFB No.7 技术建议书中有关章节进行编写的。同时还建议在适当的时候将管道交流电干扰安全电压指标的控制和本章所列内容划入相关的管道安全规范中。

4 调查与测试

4.1 调查与测试的项目

4.1.1 国内交流干扰试验认为，“根据我国情况，220kV 以下对称输电线，75m 以外可不考虑交流干扰在有阴极保护的管道上形成的有害影响”。但试验是在 80 年代初针对石油沥青防腐层管道作的，目前我国电力负荷水平已有较大提高，且高绝缘电阻的管道防腐层已经出现，所以本标准参照德国 SFB No.7 技术建议书有关章节，经过审查会专家讨论将无需进行影响测试的距离提高到 1000m。

4.1.2 干扰问题是一个问题的两个方面，因此列出干扰源和被干扰管道需要调查的内容。

4.2 测　　试

4.2.1～4.2.2 将测试工作分类是交流干扰测试工作的需要。测试管道交流干扰电压工作，是掌握管道交流电干扰情况最基本、最直接手段，又是对防护措施及其效果评定的可靠依据。从测试的目的或者从解决交流电干扰问题的工作程序分析，基本上可认为有三种不同的目的或者三个测试阶段：第一，首先粗略地了解一下管道被干扰的情况，并据此确定下一步的工作方向和内容；第二，力争尽可能准确地、周详地掌握管道被干扰的具体情况和程度，并以此来决定所应采取的防护措施；第三，完成了防护措施之后，反过来检查一下效果，看抑制交流干扰危害达到了怎样的程度。上面所述的三个阶段是客观自然存在的。在这三个阶段中所进行的测试，虽然测试方法都相同，但目的不同，用途不同。为了将这个必然的程序统一化、科学化，本标准将测试工作分为三种，即调查测试、防护工程测试和防护工程效果评定测试

三类或三个测试阶段，并根据其在三类测试中或三个测试阶段中的重要性，划分成“必须”、“应”、“宜”三级，具体内容列入表4.2.2中。做这样的处理，是为了使浩繁的测试工作简化、明了，方便使用，使测试工作程序化。

在规定的三大类测试中，以防护工程测试和防护工程效果评定测试为重要，是必须进行的。如果被干扰管道情况已清楚，干扰情况不复杂，则也可以省略调查测试，而直接进行防护工程测试。

另外，表4.2.2的规定也并非十分严格和周密，特别是各项调查和测试项目的重要程度，往往随着干扰源和被干扰体的情况及干扰的具体情况而变化。同一个测试项目，在某一特定的场合中可能是必须进行的，而在另外的场合也可能毫无意义或无需测试，因此允许灵活运用，但表中“必须”的项目除外。表4.2.2的规定来源于实践，在一般情况下是适用的。

4.2.3～4.2.9 对测试的具体要求：

1. 为了保证测试数据可靠和准确，对管道交流电干扰这种复杂的现象必须有严格的技术规定。因为它与常规的防腐测试工作是完全不同的，其主要特点是：

（1）管地电压在管道纵向分布上多变；

（2）管地电压随时间变化十分剧烈；

（3）管地电压随干扰源负荷的变化而变化。

针对这些特点，为了获得足够可靠的、具有代表性的数据，必须增加测试点，延长测试时间，减少数据的读取时间间隔。另一方面，要根据干扰源的变化情况，需要以某一个或几个能代表干扰源负荷长期变化规律的时间段取平均值，以反映被干扰管道的长期干扰状态。所以在本标准中，对测试点的布置、测试时间段、读数时间间隔及24h的连续测试等，都作了相应的规定。其具体值均采用了国内外习惯的作法和数值。

管道交流干扰电压测试点选择在感应电压峰值出现的位置，如4.2.3的规定。

2. 测试工作的技术要求，分别在 4.2.3～4.2.9 中作了具体的规定。为了得到足够的、可靠的、具有代表性的数据，在测试工作中必须严格执行。

分析这些规定，可以认为有两种类型，其一，如测试时间段的读数时间间隔和干扰源与被干扰体两个方面应同步测试的规定，是为了保证测试数据的准确；其二，如测试点的选择，测试时间段的选择，各测试点的测试，必须同步进行和 24h 连续测试等规定，是为了保证测得的数据具有代表性，能够真实地反映出被干扰管道的全线状况和变化规律。从上面的说明看，后者比前者更为重要。前者的误差只影响某一个测试点，后者却影响被干扰管道的全线。只有正确的掌握被干扰管道全线的状况和变化规律，才能保证排流保护工程设计合理，措施得当。所以这些规定成了影响排流保护效果、甚至于防护工作成败的关键。在执行本标准中务请特别注意这一点。

条文中关于测试时间段的延续时间、读数间隔和测试点的间距等具体的规定，是结合我们自己的排流保护工程的实践，参考苏联、日本等国家现行的测试方法确定的，并已经过实践验证。

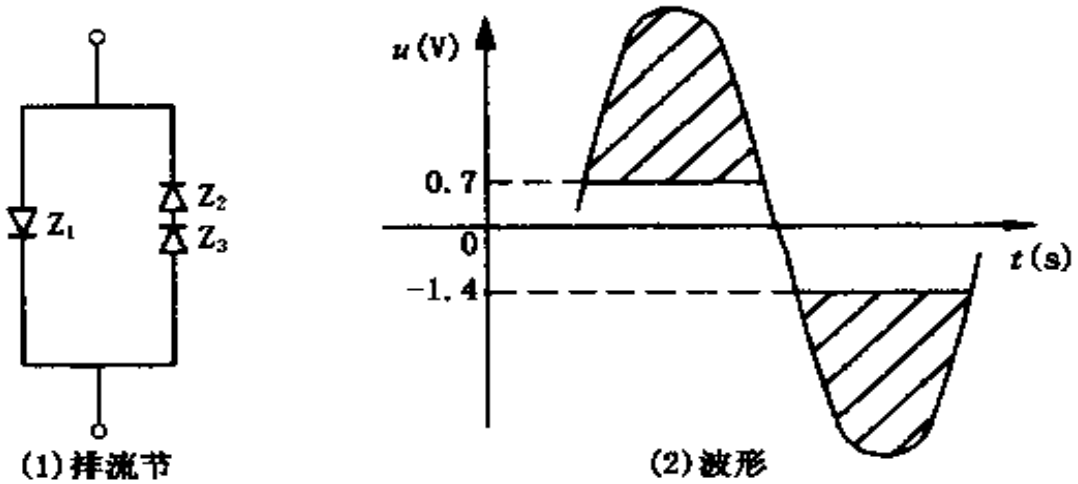
5 排流保护设施

5.0.1 列出了埋地管道采用的防护方法。这些方法不外乎是接地、屏蔽、隔离、等电位等。这里不必赘叙，仅作几点说明。

1. 钳位式排流为东北输油局首次实践，其原理为：

如图 1 所示，钳位式排流节由正臂、负臂组成。负臂串联两只二极管 Z_2，Z_3，正臂串入一只二极管 Z_1，正负臂上的二极管互为反向安装。当干扰电压正半波时 Z_1 导通，负半波时负臂 Z_2，Z_3 导通。它们的正向节压降为 0.7V，负臂节压降为 −1.4V，其值与阴极保护电位相同。所以不仅阻止了保护电流的泄漏，而且利用了干扰电压的一部分供阴极保护使用。这是一种较好的方式。

二极管的允许电流应大于 20～30A。



(1) 排流节　　(2) 波形

图 1　钳位式排流节

5.0.2～5.0.4 是关于排流保护工程设计上的规定，主要提出了两个方面的内容。

关于排流点的选择。本标准中规定了以排流效果最好的排流

点的选择原则。理论上排流点宜依据模拟排流试验的结果来确定，但是在进行模拟排流实验的时候，也存在选择排流点的问题，所以本标准中对宜做排流点的处所予以提示，规定了排流点应具备的条件。在实际排流工程中，一般是依据排流工程测试结果综合考虑这些条件，确定排流点。然后再依据排流保护效果的分析，作排流点的移动或者增舍，最后固定下来。排流点的选择，关系到排流保护的效果，所以在第一次选择时，应认真细致地分析有关资料，力争布设一次成功，尽量避免事后的移动或增设。

5.0.5～5.0.7 参照《埋地钢质管道直流排流保护技术标准》SY/T 0017—96 的有关规定制定。

6 排流保护系统的调整及效果评定

6.1 排流保护系统的调整

规定了调整的内容和方法，其目的是使被干扰管道的全线的干扰都得到缓解。由于产生干扰的外部环境较复杂，所以排流系统的调节在排流保护中占有重要地位，应该认真、细致地多次重复进行。

6.2 排流保护效果评定

6.2.1 该条文规定了具体的评定方法。应该说明的是，排流保护效果的评定方法，是按多点评定的原则制定的。所谓的多点评定原则，是指评定指标是某一点的指标值，以若干个评定点的指标值来评定全线状况。通俗地说，就是“指标落实在点上，多点落实到线上”。由此可以看出，对某一段管道排流保护效果的评定，是否可靠、准确，关键在于评定点选择的是否合理和正确。虽然本标准中对评定点的选择和评定点的数量都作了具体的规定，而这些规定只是最低的要求。在实际工作中，仍然希望尽可能的多选一些评定点，以增大评定结果的可靠性，进而带来最大的安全性。

6.2.2 以控制金属交流腐蚀为目标的管道交流干扰电压值是根据原石油工业部（84）油科鉴字第09号“地下金属管道交流干扰影响及其防护”技术评审证书列出的。

7 运行与管理

本节的条款是依据我国有关单位排流保护系统运行管理的现状和规定，同时吸取国外有关作法和规定编制的。其管理水平的要求，高于我国现状，但是，经过努力是可以达到的。

本节的规定也仅是原则性的，各管理单位必须依据本标准编制实施细则。

附录 A　交流电干扰源对埋地钢质管道交流电干扰测试方法

A.1　一般规定

A.1.1　规定了管道交流电干扰测试的内容，主要是交流干扰电压测试。当需要计算交流干扰电压时，应进行管道交流参数测试。

一般不需要测试管道交流干扰电流。如果需要测试估算，可参照执行 SY/T 0023—97。

用辅助电极法测试管道干扰漏泄电流密度的目的，是企图定量分析管道交流干扰的腐蚀危害程度。因为处于交流电干扰环境中的埋地金属管道，由于防腐层漏敷点和缺陷的存在，必然有交流干扰电流泄入大地，造成管道金属交流电腐蚀。

但是埋地金属管道防腐层漏敷点和缺陷的位置、大小是随机的，而且由该点漏泄入大地的电流也无法测试，因此，实际检测存在困难。

用辅助电极法测试管道漏泄电流密度，仅仅是近似地模拟管道漏敷点的泄流情况，不能完全反映这个过程。尤其是辅助电极外形尺寸及漏泄面积大小如何确定，尚存在不同意见。不过从国内实验情况看，多数研究者认为这个方法可为管道交流电干扰腐蚀定量分析提供现场实测的参考数据。

综上所述，本标准未列出辅助电极法。

A.1.2　因交流电干扰测试仪表在电磁干扰环境中工作，故需具有防电磁干扰性能。

测试仪表和测量导线应遵守 SY/T 0023—97 第 2 章的有关规定。

A.1.3　交流干扰电压一般较高，且不会因电极极化影响测试精

度，所以不用硫酸铜电极进行测试。

要求钢棒电极与管道之间的距离大于 10m，因为 10m 以外可以认为地电位梯度很小，地电场影响可以忽略，以保证测试精度在允许范围内。

A.1.4 在交流电干扰测试中，往往会发生意想不到的高压情况。而人们习惯于无干扰情况下的腐蚀电位测试，对安全问题失去警惕，就会发生对测试工作人员的电击伤害。所以规定了执行右手单手操作等安全测试方法。

另外，交流电干扰测试接线过程中，出现电火花现象是必然和经常的。油、气管道均属高压、易燃、易爆设施。电火花可能引起安全事故，所以规定了测试作业中避免电火花产生并在采取措施后，证明无燃爆危险时方可进行测试。

上述两点是有关人身安全和设备安全的大事，要求测试作业中严格遵守。

A.2 管道交流干扰电压测试

A.2.1 测试规定见本标准第 4.2 节有关说明。

A.2.2 进行管道交流干扰电压测试，是目前国内通行的方法。

A.3 管道交流参数测试

本节主要根据原石油部“地下金属管道交流干扰影响及其防护”科研工作的实践，并参阅了国内外有关文献提出的测试方法。

A.3.1 本条主要参考下列资料：

1. 石油工业部（84）油科鉴字第 09 号，“地下金属管道交流干扰影响及其防护”技术评审证书。

2. 成都科学技术大学、四川石油勘察规划设计院、东北输油管理局，“强电线对地下金属管道的磁干扰”，石油部管道交流干扰评审会文件之二，1984 年 5 月。

3. 四川石油勘察规划设计院、成都科学技术大学、大庆石

油勘察规划设计院，“管道电气参数现场测试试验报告”，1981年2月。

4．“工频电场影响下的管道腐蚀”，《国际石油工程会议论文集》石油工业出版社，1982年。

5．四川石油勘察规划设计院，“高压输电线对地下油气管道的影响及其防护试验总结”，1981年5月。

6．“油气管道交流干扰影响及其防护”，天然气工业，1986年第1期。

7．铁道部电化局通号设计处、石油部管道勘察设计院联合试验小组，“京秦交流电气化铁道对输油管道影响与防护”鉴定文件汇编，1985年5月。

A.3.3 关于苏联米哈伊洛夫提出的计算管道交流参数的公式：

1．管道分布电阻 R 、分布感抗 ωL 、分布电导 G 、分布容纳 ωC 的计算公式为：

$$R = \frac{\sqrt{\rho_S \mu \mu_0 f}}{\sqrt{\pi} D_P} + \frac{\pi f \mu_0}{4} \tag{1}$$

$$\omega L = f\mu \ln \frac{1.48}{D_P} \sqrt{\frac{\rho_S}{f\mu_0}} + \frac{\sqrt{\rho_S \mu \mu_0 f}}{\sqrt{\pi} D_P} \tag{2}$$

$$G = \frac{\pi D_P}{\gamma_u} \tag{3}$$

$$\omega C = \frac{2\pi^2 f D_P \varepsilon \varepsilon_0}{\delta} \tag{4}$$

式中 ρ_S ——管道钢材的电阻率；

μ ——管道钢材的相对磁导率；

μ_0 ——空气的磁导率；

f ——干扰源频率；

D_P ——管道直径；

γ_u ——管道包覆层单位面积上的电阻值，简称包覆层电阻率；

δ ——管道包覆层的绝缘厚度；

ε ——包覆层绝缘材料的相对介电系数；

ε_0 ——空气的介电系数。

上述管道参数计算公式，没有考虑磁滞等损耗造成分布电阻值的增大，也无法反映磁导率 μ 的非线性，而管道包覆层电阻率 γ_u 随干扰电压超过几百伏时，可以增大几倍，所以根据上述公式算出的管道交流参数偏大。这样必然影响到磁干扰的计算结果。因此，有必要探寻用实测的方法来确定管道参数。

2. 通过现场实测的管道参数：

管道交流参数测量方法的原理如下：

在一无限长、无分支的管道上通以交流电，如果没有外界电磁场的干扰影响，则任何一点管道对地电压 U_t 和通电点管地电压 U_0 可用下式表达：

$$U_t = U_0 e^{-\gamma x} \tag{5}$$

式中 γ ——传播常数；

x ——管道单位管长（km）。

若 x 等于单位管长，则该处电压 U_1 为：

$$U_1 = U_0 e^{-\gamma} \tag{6}$$

则传播常数 γ 等于：

$$\gamma = \ln \frac{U_0}{U_1} = \ln \left| \frac{U_0}{U_1} \right| + j\phi_1 \tag{7}$$

式中 ϕ_1 —— U_0 与 U_1 之间的相位差。

在无限长、无分支的管道上任何一点电压与电流之比为波阻抗或特性阻抗 Z，即：

$$Z = \frac{U_0}{I_0} = \left|\frac{U_0}{I_0}\right| e^{j\phi_0} \tag{8}$$

式中 U_0 ——通电点管地电压；

I_0 ——通电点电流；

ϕ_0 —— I_0 与 U_0 之间的相位差。

根据管道磁干扰方程及传播常数、特性阻抗的定义得知：

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \tag{9}$$

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \tag{10}$$

由此可确定管道纵向分布电阻 R 、纵向分布电感 L 、横向对地电导 G 和分布电容 C ，即：

$$\mathrm{Re}(Z \cdot \gamma) = R \tag{11}$$

$$\mathrm{Im}(Z \cdot \gamma) = \omega L \tag{12}$$

$$\mathrm{Re}\left(\frac{\gamma}{Z}\right) = G \tag{13}$$

$$\mathrm{Im}\left(\frac{\gamma}{Z}\right) = \omega C \tag{14}$$

因此，现场实测出 $|U_0|$, $|U_1|$, $|I_0|$ 和 ϕ_0, ϕ_1 ，就可计算出管道交流参数。

通过若干现场实验得出大量实测数据，经过计算和分析，提出了可供磁干扰计算的管道交流参数。

图 2 所示为管道分布电阻，实测分析结果比公式算出的大。据分析，主要原因是磁滞、涡流损耗所形成的附加电阻。

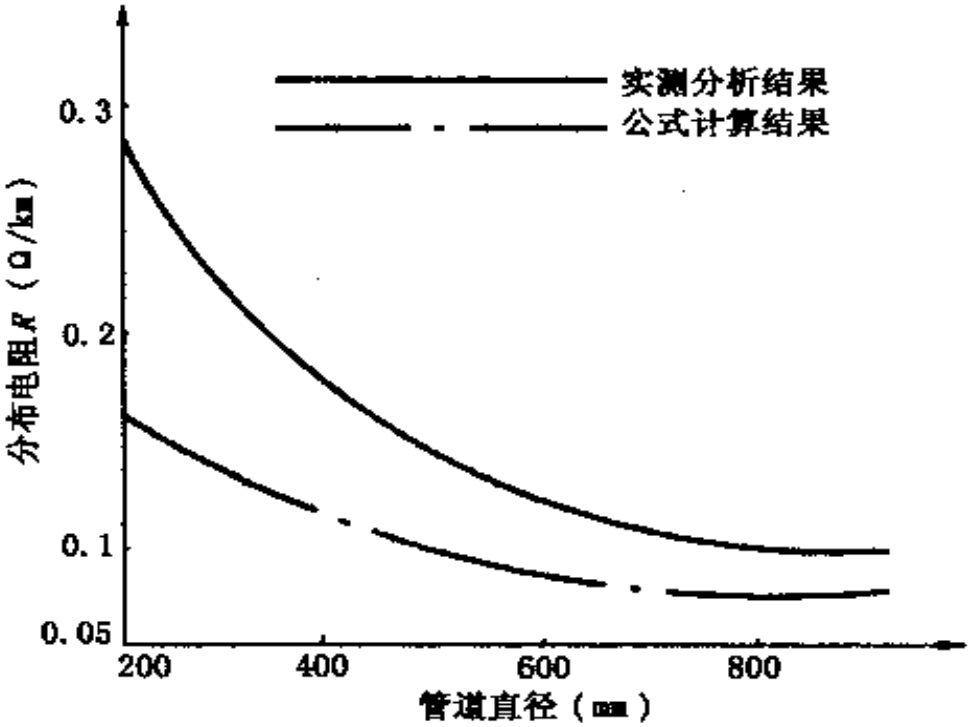


图 2　管道分布电阻

图 3 所示为管道分布电抗，实测分析结果比米哈伊洛夫公式算出的小。据分析，主要原因是由于管道磁导率 μ 不是一个常数，它随电流增大而减小。

由于分布电阻 R 、分布电抗 X_L 与计算值有出入，管道传播常数角也不相同。图 4 为管道传播常数角与管径的关系曲线。

实测出的传播常数角比计算结果小。前者在 32°～37°之间，国外文献计算的 φ_γ 为 40°±3°。这将对计算结果产生影响。

实测传播常数模比计算值大，主要原因是分布漏导大。特别是电压升高时，漏导增高。在干扰电压超过几百伏时，漏导将增大几倍。因此，传播常数模 $|\gamma|$ 在容许电压为 430V 时，应乘以 1.8；在容许电压为 600V 时，应乘以 2.2。

图 5 为正常运行时传播常数的模值。

传播常数模与管道防腐层质量有密切的关系。质量好的管道，阴极保护电流密度小。阴极保护电流密度若为 30μA/m^2，可采用图 5 曲线（1）决定 $|\gamma|$ 值：阴极保护电流密度为 150μA/m^2 时，其值如图 5 曲线（2）；低质量的管道所需阴极保

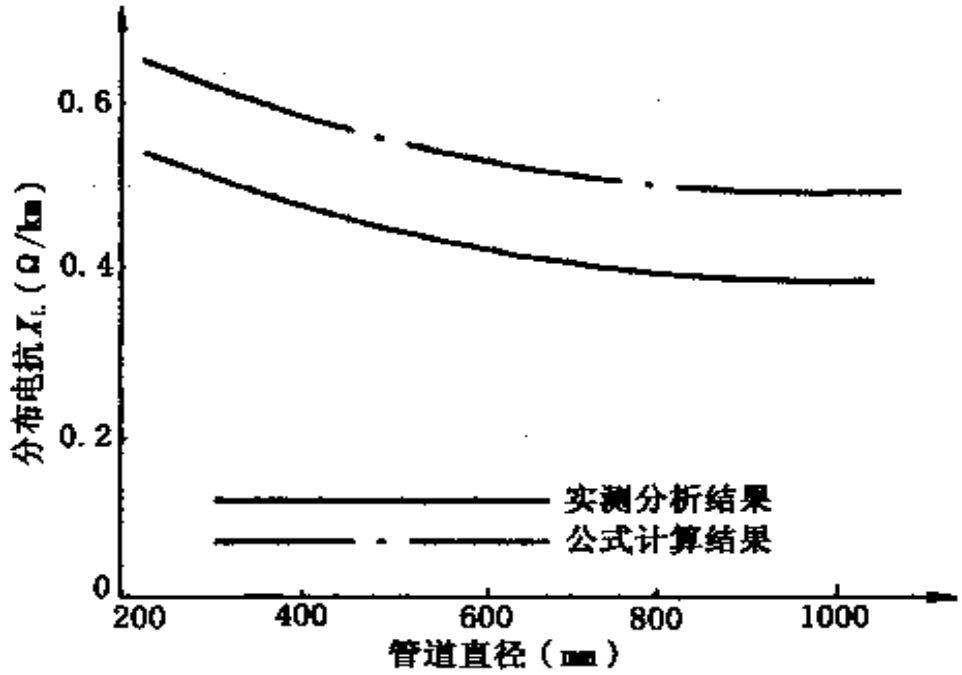


图 3　管道分布电抗

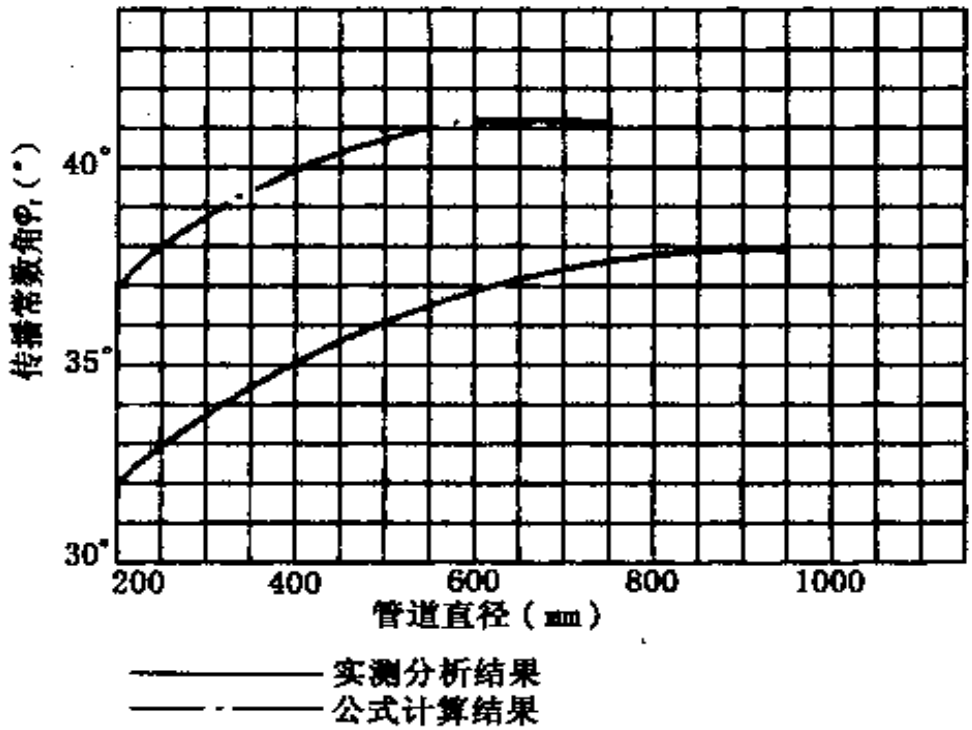


图 4　管道传播常数角

护电流密度大，阴极保护电流密度为 750μA/m^2，$|\gamma|$ 值如图 5 曲线（3）。

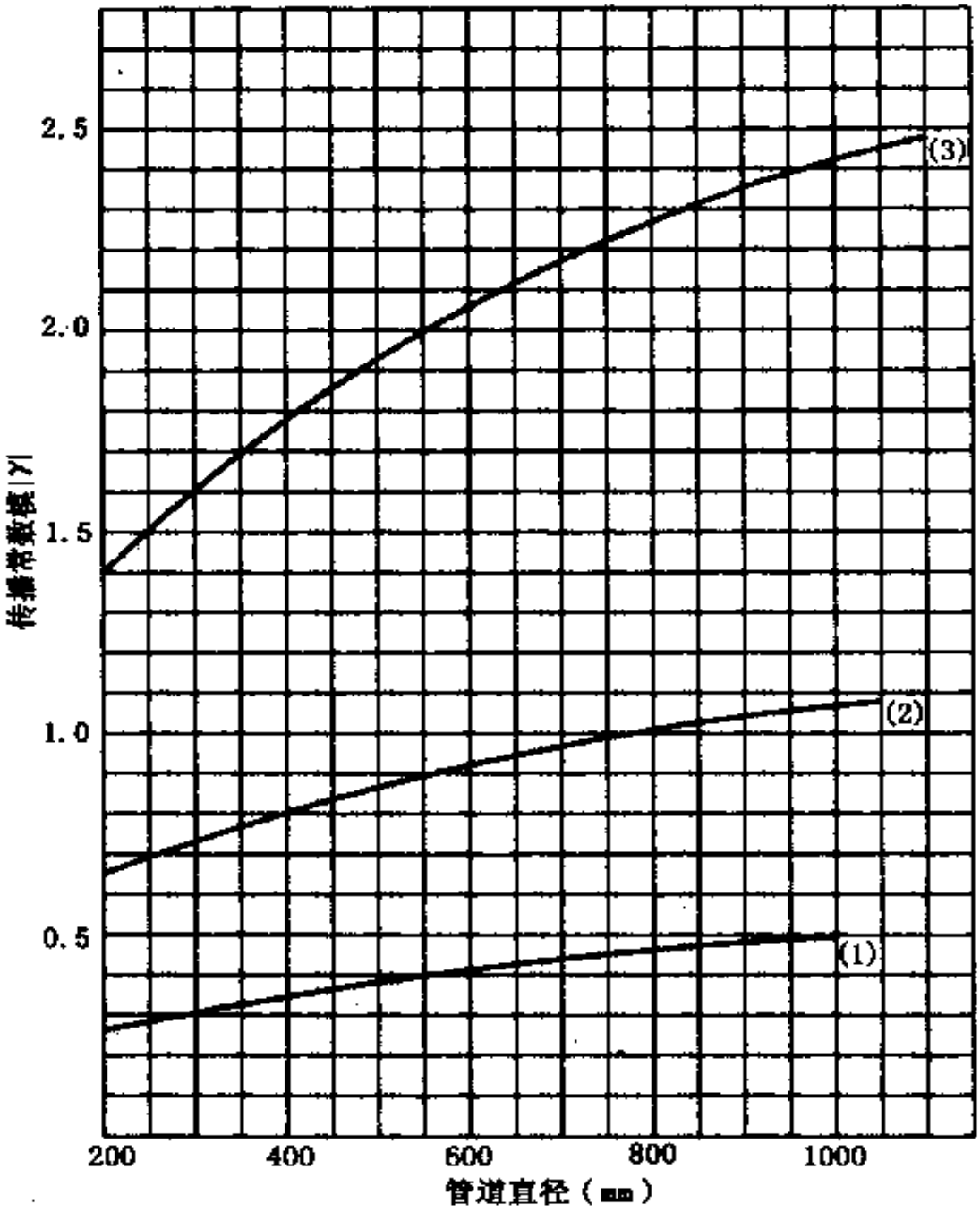


图 5　管道传播常数模

（1）—新敷管或防腐层质量高的管道；（2）—防腐层质量中等的管道；
（3）—老管道或防腐层质量差的管道

磁干扰计算中，输入阻抗 Z 也是重要参数。由于 $G \gg \omega C$，其幅角近似等于传播常数角。其传播常数模可按图 5 取值。

由图 6 可看出，特性阻抗与防腐层质量有关。曲线（1），

(2)，(3) 分别代表阴极保护电流密度为 30，150，750μA/m² 时的特性阻抗值。防腐层质量愈好，特性阻抗愈大。

本标准提供的测量方法即为多次现场测量工作的总结。

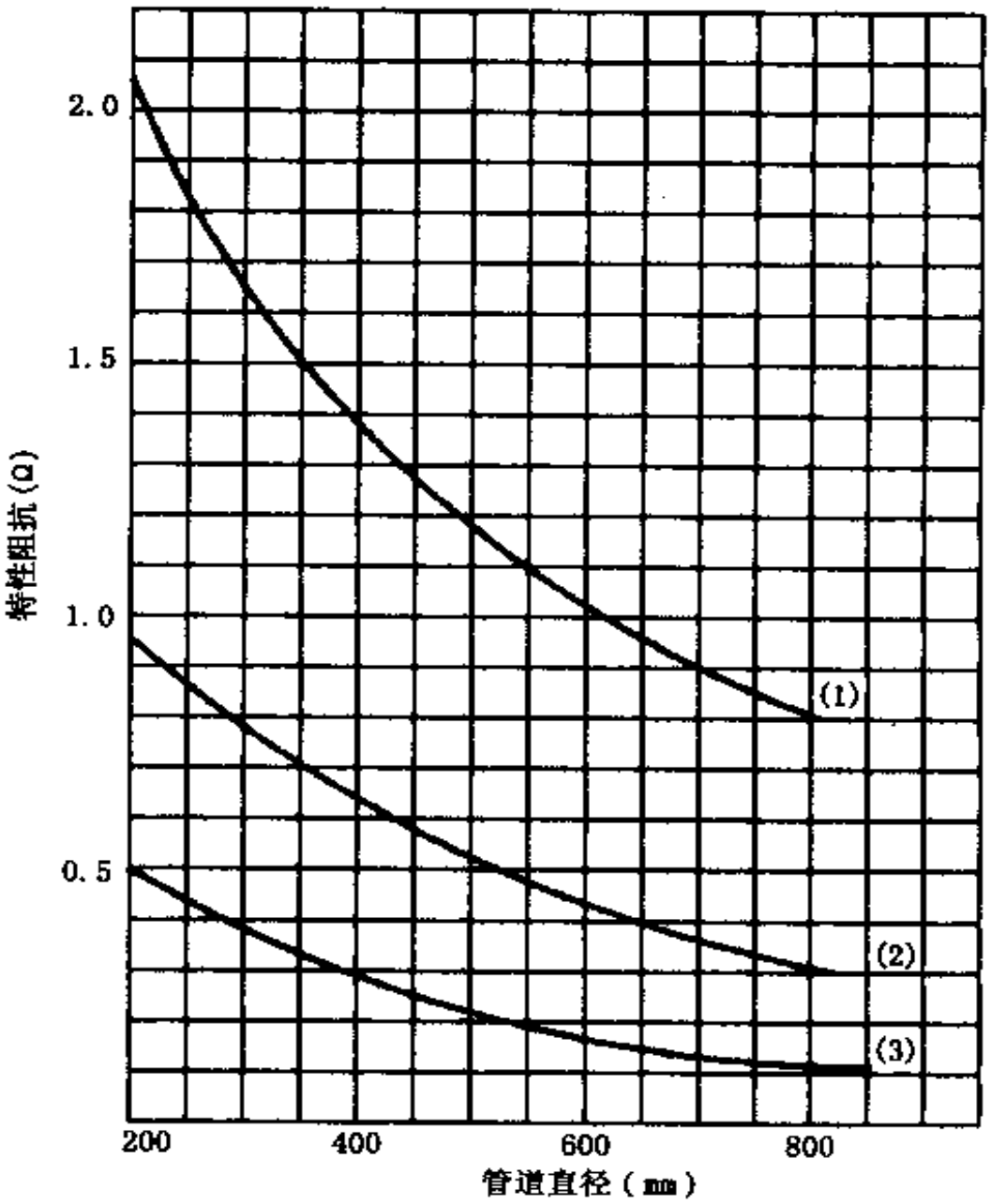


图 6　管道特性阻抗值

(1) —新敷管或防腐层质量高的管道；(2) —防腐层质量中等的管道；(3) —老管道或防腐层质量差的管道

附录 B　埋地钢质管道磁干扰电压简化计算公式

本计算公式根据《强电线对地下金属管道的磁干扰》（原石油部管道交流干扰评审会文件之二）列出。