

文章编号:1006-2106(2007)03-0060-05

交流电气化铁道通信电磁防护的研究^{*}

王 邠^{**}

(南京铁道职业技术学院, 南京 210015)

摘要:研究目的:交流电气化铁路不仅对通信系统引起干扰,还会使电气化铁路附近的金属与导体间或金属导体与大地间产生感应电压而危及设备和人员安全,干扰通信设备正常工作。为保证通信安全,需要对电气化铁路对铁道通信的电磁影响和电磁防护进行研究,从而给铁路现场实际工作提供一定的理论依据。

研究方法:本文利用电磁场对地下传输系统激励耦合的传输线方程及其一般解,建立了交流电气化铁路对地下传输系统干扰影响的分析方法。

研究结果:研究得出了电气化铁路对铁道通信的影响机理,电气化铁路对铁道通信危险影响的限值,以及磁耦合影响、地电流影响和干扰影响计算公式,计算出了引起超限隔距数据。

研究结论:电气化铁路的铁道通信电缆和铁道通信光缆电磁防护措施,可以有效地控制交流电气化铁路对铁道通信光、电缆的影响,达到电磁防护的目的。

关键词:电气化铁道;通信;电磁防护

中图分类号:TN913 **文献标识码:**A

Research on Electromagnetic Protection of Communication on Electrified Railway

WANG Bin

(Nanjing Railway Professional Technology Institute, Nanjing, Jiangsu 210015, China)

Abstract: Research purposes: The alternate current electrified railway not only causes the interference to the railway communication system, but also generates induction voltage between metal and conductor, or between metal conductor and the earth nearby the electrified railway, which would interfere the normal work of the communication equipments. So it is necessary to do the researches on the interferences on communication by electrified railway, and electromagnetic protection of the communication system in order to provide certain theoretic basis for the real works to guarantee the running safety of communication system.

Research methods: In this paper, the method of analyzing the interferences on the underground communication system by electrified railway was established by adopting the equation of electromagnetic field to activate coupling of underground transmission line and its solution.

Research results: The following mechanism, limitation value, formula and data are obtained and calculated: the mechanism for the interference on railway communication by electrified railway, the limitation value of interfering railway communication by electrified railway, formulas for calculating interference of magnet coupling and interference of earth current, and the data related to causing isolated distance exceeding limitation value.

Research conclusions: The interference on the cable and fiber cable in the railway communication system by electrified railway can be controlled effectively by adopting the relevant protection measures for the cable and fiber cable, therefore,

^{*} 收稿日期:2006-07-10

^{**} 作者简介:王邠,1958年出生,男,副教授。

the purpose of electromagnetic protection can be achieved.

Key words: electrified railway; communication; electromagnetic protection

铁路“十一五”期间,电气化里程将达到3.5万千米。根据当前我国铁路运输紧张的状况和世界石油供求紧张的形势,很多专家预测,今后我国电气化铁路建设还会进一步加快,预计到2020年我国的电气化铁路里程很可能突破5万千米,成为世界电气化铁路第一大国。电气化铁道牵引网是由接触网和轨道、大地为回路构成的单相不对称供电系统,供电电压为27.5 kV。由于铁道通信的光、电缆是沿铁路敷设于地下1 m多处,它要受到交流牵引网的影响。特别是近段时间以来,哈大线、包兰线、京沪线电气化铁道附近敷设的通信线路相继受到电气化影响,造成部分通信阻断和财产损失。为保证铁路沿线通信设备及线路的通信安全,需要对电气化铁道对铁道通信电磁影响机理进行分析,对电气化铁道对铁道通信电磁影响进行具体的数学计算,提出铁道通信方面具体的防护措施,为铁路现场实际工作提供一定的理论基础。

1 电气化铁道对通信电磁影响机理

在我国,电气化铁道采用50 Hz、27.5 kV的工频单相交流制式,由于牵引供电回路的电压和电流电磁感应作用,会使电气化铁道附近的金属导线或金属导体与大地间产生感应电压或感应电流,而危及设备或人身安全,干扰设备正常工作。电磁影响,主要有磁影响、电影响、电阻性耦合影响。根据影响后果,又可分为危险影响,即可能危及设备和人身安全的影响;干扰影响,即干扰设备正常工作的影响。

1.1 磁影响

磁影响是由于交流电气化铁道牵引电流沿接触导线通过时,在导线周围产生交变磁场。通信线路处在该交变磁场范围内,由于电磁感应的作用,在通信导线上产生感应电动势。感应电动势是沿导线轴向分布的,又称感应纵电动势。

由于交流电气化铁道牵引网是一种单相不对称式供电系统,无论正常运行或接地故障状态,接触网电流产生磁场在通信导体中产生很大的感应电压和电流,使通信线路遭受严重影响。

1.2 电影响

交流电气化铁道与通信线路接近时,电气化铁道的接触网与通信线路之间存在电容,通信线路与大地之间存在耦合电容。接触网上的高电压就通过这两个电容入地形成回路,产生电流,并使通信导线上产生对地电压。这种影响称为容性耦合影响,也称为电影响。

电影响在通信导线上产生电压,与交流电气化铁道接触网的工作电压、接触网与通信线路平行接近长度、接触网和通信线路的耦合电容以及通信线路对地电容的大小有关。电影响仅对架空明线及无金属护套的架空电缆产生影响,而对埋设地下电缆或接地金属护套的电缆可以完全不考虑电影响。

1.3 电阻性耦合影响

交流电气化铁道是以用大地作为2根导线来传送电流的,在地中电流作用下产生地电位,对通信线路产生危险影响,称作地电流影响或电阻性耦合影响。

在铁路线下1 m处埋设着通信线路,当电力机车通过时,接触网电流经钢轨回流,将会有很大的电流沿钢轨漏泄入地。在入地电流点或牵引变电所周围大地中将形成高电位,而通信设备的机架和通信站的接地装置都是接地的,故机架上出现高电位。通信电缆的芯线可以认为是零电位,因此在机架与通信光、电缆芯线间产生电位差,在地下通信电缆的金属护层与电缆芯线间也产生电位差。如果电位差很大,将对通信设备、通信线路和人员产生危险影响。

2 电气化铁道对通信影响的计算

2.1 危险影响的限值

危险影响是指由于电磁耦合,在电缆芯线和有铜线光缆上产生纵电动势,对地形成危险电压,当数值达到引起各种事故时的影响。为了保证通信系统的可靠运行及人身安全,有关标准对感应的纵电动势的允许值作了规定。

《铁道通信设计规范》规定,在通信导线上感应的长期存在纵电动势,应不超过人体安全电压(60 V)。在接触网产生短路情况下,通信导线中感应出的纵电动势,不得超过其芯线绝缘电气强度的对地试验电压的60%。

当长途通信电缆线路内有远供回路时,由于回路上已具有远供电压,它与感应纵电动势相叠加,故感应至电缆芯线上允许的纵电动势: $E \leq 0.6 U_{\text{试}} - U_{\text{供}}/2 \times 21/2(\text{V})$ 。式中 $U_{\text{试}}$ 为直流试验电压, $U_{\text{供}}$ 为远供电压。

在双线电话回路的终端,其感应纵电动势不应超过215 V。这个允许值是根据通信保安设备动作电压的下限值所制定的。

对于无铜线光缆可由光缆内最外层的金属构件对地绝缘强度来确定。光缆外护套PE的厚度一般大于等于2 mm,其工频绝缘强度大于等于20 kV,光缆中

继段的直流试验电压也是此值。光缆金属护套上短期容许的纵电动势按规定不超过其值的 60%,即 $20\text{ kV} \times 60\% = 12\text{ kV}$ 。光缆金属构件上长期允许的纵电动势为 60 V ,也是人身安全电压。

对于有铜线的光缆线路,短期危险影响,如果铜线用作远供回路,铜线上允许的纵电动势 $E \leq 0.6U_{\text{试}} - U_{\text{供}}/2 \times 21/2(\text{V})$ 。 $U_{\text{试}}$ 为直流试验电压,一般为 $2\,000\text{ V}$; $U_{\text{供}}$ 为远供电压,若设为 $1\,300\text{ V}$,则得 $E \leq 740\text{ V}$ 。通信线路受强电影响容许的限值如表 1 所示。

表 1 通信线路受强电影响容许的限值

光缆类别	短期影响/V	长期影响/V
无铜线光缆	$\leq 12\,000$	≤ 60
有铜线光缆	≤ 740	≤ 60

2.2 磁耦合影响计算

铁路光、电缆线路因沿铁路线边敷设,当铁道通信线路与高压电力线接近时,应计算电力线路发生短路时在光缆铜线和金属护套上电磁耦合所产生的纵电动势是否超过限值。

当与交流电气化铁道接触接近时,应计算光缆铜线和金属护套及电缆芯线和金属护套上产生的感应纵电动势。当影响超过限值时,应加以防护。以上两者产生的感应纵电动势可按式(1)计算,即

$$E = 2\pi f M I S \tag{1}$$

式中 E ——感应的纵电动势(V);

$$M = [2\ln 1.851\,38/a | (4\pi\sigma\omega)^{1/2} | -j\pi/2] \times 10^{-4}(\text{H/km});$$

M ——接近段接触网与通信线路之间在 50 Hz 时互感系数(H/km);

f ——强电线路的电流频率(50 Hz);

L ——接近段光缆线路上的投影长度(km);

I ——影响电流(A);

a ——接触网与通信线路间平行接近距离(m);

σ ——大地电导率(s/m);

ω ——角频率, $\omega = 2\pi f$;

S ——综合屏蔽系数。

若设光缆通信线路长度 $L = 2\text{ km}$ 或 10 km ,电力线路 220 kV 的短路电流为 $8\,000\text{ A}$,其影响电流 $I = 8\,000 \times 0.85 = 6\,800\text{ A}$;若 110 kV 的短路电流为 $5\,000\text{ A}$,其影响电流 $I = 5\,000 \times 0.85 = 4\,250\text{ A}$;并设 $S = 0.9$,计算出不同情况下的纵电动势如表 2 所示。

设光缆通信线路与交流电气铁道的平行接近长度分别为 $L = 2\text{ km}$ 或 $L = 10\text{ km}$, $I = 500\text{ A}$,光缆线路的屏蔽系数为 1,电气化铁道的屏蔽系数为:不同的土壤电阻率为 $100\text{ }\Omega \cdot \text{m}$, $500\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ 和 $1\,000\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ 时对应的屏蔽系数值分别为 0.32, 0.29 和 0.28。不同隔距时

的光缆线路上的感应纵电动势如表 3 所示。

表 2 电力线路短路时对光缆线路的影响

线路 隔距/ m	平行 长度/ km	感应的纵电动势/V					
		电力线电压					
		220/kV			110/kV		
		土壤电阻率					
		100 Ω·m	500 Ω·m	1 000 Ω·m	100 Ω·m	500 Ω·m	1 000 Ω·m
50	2	2 298	2 929	3 171	1 437	1 830	1 982
50	10	11 492	14 643	15 853	7 183	9 152	9 908
100	2	1 883	2 402	2 652	1 177	1 501	1 658
100	10	9 416	12 011	13 260	5 885	7 506	8 288
500	2	730	1 076	1 580	456	673	984
500	10	3 652	5 381	7 902	2 282	3 363	4 924
1 000	2	346	846	1 076	216	529	673
1 000	10	1 730	4 228	5 831	1 081	2 643	3 363
2 000	2	108	423	634	67	264	396
2 000	10	528	2 114	3 171	337	1 321	1 981

表 3 交流电气化铁道工作状态对光缆线路的影响

线路 隔距/m	平行 长度/km	感应的纵电动势/v		
		土壤电阻率		
		100 $\Omega \cdot \text{m}$	500 $\Omega \cdot \text{m}$	1 000 $\Omega \cdot \text{m}$
50	2	60	69	72
50	10	300	347	362
100	2	49	57	61
100	10	246	285	303
500	2	19	25	36
500	10	95	127	180
1 000	2	9	20	25
1 000	10	45	100	123
2 000	2	3	10	15
2 000	10	14	50	73

因感应的纵电动与平行长度、影响电流和屏蔽系数均为线性关系变化,当实际数值与示例的假设不同时,可以表 3 中数值为基础进行线性换算。

表 4 无铜线光缆线路与电力线路的隔距

平行 长度/ km	隔距/m					
	电路线电压/V					
	100/kV			220/kV		
	土壤电阻率					
	100 Ω · m	500 Ω · m	1 000 Ω · m	100 Ω · m	500 Ω · m	1 000 Ω · m
10	4	15	20	45	100	140
20	90	200	290	230	520	680
30	220	490	650	450	1 000	1 800

表 4 ~ 表 7 给出了光缆通信线路与强电设施的隔距,可以供光缆线路设计时参考。

由计算和分析可以看出,在既有电气化铁道附近新建铁道通信线路时,两者之间要满足容许最小距离。

而在既有铁路实行电气化改造时,两者之间不满足容许最小距离时,通信线路上的危险影响一定超过了允许限值,则应考虑迁改或采用防护措施,使之降低到允许值以下。

表 5 有铜线光缆线路与电力线路的隔距

平行 长度/ km	隔距/ m					
	电力电路电压/v					
	220/kV			110/ kV		
	土壤电阻率					
	100 Ω · m	500 Ω · m	1 000 Ω · m	100 Ω · m	500 Ω · m	1 000 Ω · m
10	1 300	3 000	4 200	1 800	4 100	5 500
20	1 900	4 400	6 000	2 200	5 200	7 200
30	2 100	5 200	7 000	2 700	6 500	8 800

表 6 无铜线光缆线路与交流电气化铁路的隔距

平行 长度/ km	隔距/ m		
	土壤电阻率		
	100 Ω·m	500 Ω·m	1 000 Ω·m
2	51	85	100
10	850	1 800	2 200

表 7 有铜线光缆线路与交流电气化铁路的隔距

平行 长度/ km	隔距/ m		
	土壤电阻率		
	100 Ω·m	500 Ω·m	1 000 Ω·m
10	850	1 800	2 200
20	1 300	2 900	4 000
30	1 650	3 800	5 100

2.3 地电流影响计算

接触网正常工作时由于钢轨漏泄入地电流所产生地电位影响较小,一般情况下只计算接触网短路时入地电流使通信系统接地装置和电缆、光缆金属护套产生的地电位升高。电缆、光缆金属护套接地处产生的地电位升 U_m 由下式计算:

$$U_m = \rho I_s \lambda_g r_g^2 r_L^2 / 2\pi (r_g^2 - r_L^2) [1/r_L \Omega(r_L X, r_L Y) - 1/r_g \Omega(r_g X, r_g Y)]$$

式中 ρ ——大地电阻率($\Omega \cdot m$);
 I_s ——接触网短路状态下短路电流(A);
 λ_g ——50 Hz 时钢轨屏蔽系数;
 r_g ——钢轨至大地回路传播常数(1/m);
 r_L ——金属护套至大地回路传播系数(1/m);
 $X、Y$ ——金属护套接地点至接触网短路故障点的水平距离与垂直距离;
 $\Omega(r_L X, r_L Y), \Omega(r_g X, r_g Y)$ ——特殊函数。

如果电位升 U_m 过高,将击穿光、电缆绝缘或危及通信人员安全,因此必须采取防护措施。

2.4 干扰影响计算

由于干扰影响主要在音频范围内,所以只计算通

信光缆金属线组和电缆线路中音频回路的杂音电压。

当音频回路线路长度小于单向供电臂时,杂音电压 U_e 由下式计算:

$$U_e = 107 M_e I_e \lambda_e S_e \eta_e L_p / 4 (mv)$$

式中 M_e ——800 Hz 时,接触网与通信线路互感系数(H/km),可由《通信设计手册》查出;

η_e ——双线电话回路杂音敏感系数;

L_p ——平行接近段长度(km);

I_e ——接触网中 800 Hz 时等效干扰电流(A);

λ_e ——800 Hz 时钢轨屏蔽系数;

S_e ——800 Hz 时金属护套及周围其它芯线屏蔽系数之积,电气化区段与专用通信光、电缆 S_e 为 0.009。

在铁路综合光缆低频线组杂音电压允许限值是 1 mV,当杂音电压超过允许限值时,话音信号就要受到干扰,严重时甚至把话音淹没,所以也要采取防护措施。

3 电气化铁道通信的电磁防护

电气化铁道区段,通信设备、通信线路均应采取防护措施,减少接触网对通信的电磁影响,保证通信安全和人身安全。

3.1 接触网和供电系统采取的防护措施

可采用装设“吸流变压器—回流线”供电方式,单设回流线供电方式、自耦变压器供电方式等措施在此不再赘述。

3.2 铁道通信电缆线路采取的防护

3.2.1 提高电缆金属护套的屏蔽性能

接地的金属护套,对强电的防护原理如同埋设在地下的屏蔽地线。它能够完全屏蔽掉强电路对通信导线的电耦合,部分地屏蔽掉磁耦合。因此采用金属护套的电缆、光缆线路,是防护强电影响的最有效措施之一。而且金属护套接地电阻越小越好,若平均每千米电阻在 1 Ω 以下,则实际屏蔽系数接近理想屏蔽系数。

3.2.2 加设绝缘变压器

在金属回线引入通信站或车站时,加装绝缘变压器进行防护,可将外线侧导线上感应纵电势与设备分隔开,使外线侧感应电势不直接作用在通信设备上。如外线侧的高压超过允许标准时,则初、次级绝缘被击穿,危险电压经由次级中心点入地,这样就保护了室内设备及人身安全。

3.2.3 加气闭绝缘套管

在交流电气化铁道区段,因光、电缆的金属护套上经常有感应电压,在引入通信机械室或车站室内时,应

在光、电缆上装设气闭绝缘套管,将金属护套的室内外互相绝缘,防止干线电缆的感应电流引入室内而危及人身及设备安全。光、电缆金属护套室外部分的接地,要设专用接地装置。室内部分可以接入通信设备用的联合地线,以免互相造成影响。

3.2.4 加防护地线

金属护套接地电阻愈小,屏蔽效果愈好。所以,光、电缆每隔一定距离设置防护地线一处,其密度要符合电气化区段通信线路设计的要求。比如:在京沪电气化铁道线上某一区间,一部区间电话无法通话,经通信工区测试杂音电压达到 16 V,杂音电压完全把话音淹没了,后经通信工区每 2 km 加装了防护地线,后经测试杂音电压为 0.86 mV,电话恢复正常使用。

因为屏蔽地线经常有工频电流流过,其电流随牵引电流的大小而变化,对人身及设备形成威胁。所以屏蔽地线单独设置,不能与联合地线、保护地线合用。总之,光、电缆金属护套室外部分接地,要设专用的接地装置,室内部分可以接入通信设备的联合地线,以免互相影响。例如:无人中继器机壳的屏蔽地线不得与电缆屏蔽地线合用。在区间电话柱金属体上设置单独地线,防止感应电流对人身发生危害。

3.2.5 对电缆芯线的对地电容进行平衡

由于电缆芯线对地电容不平衡,电缆金属护套上的感应纵电势经过芯线对地电容耦合,产生干扰电流。要减少干扰影响,就必须要求电缆芯线对地电容平衡。

3.2.6 引外接地

当通信站在受到强电干扰引起地电位升高时,我们可以在相对较远的地方敷设辅助接地体,此接地体在工程上可以认为是零电位,如果将通信站的地网与零电位的辅助接地体有效地进行连接,则能强制性地把通信站地电位降下来。

3.3 铁道通信光缆线路的防护

3.3.1 光缆的金属构件,在电气上作绝缘连接处理,以减少电气影响的积累长度,降低感应的纵电动势。

3.3.2 在接近电气化铁道进行光、电缆检修时,应将金属构件临时接地,以保证人身安全。

3.3.3 在接近牵引变电站接地网时,光缆金属构件不直接接地,以免将高电位引入光缆。

3.3.4 在有铜线光缆中,铜线上安装放电管,在铜线远供回路中接入防护滤波器,也可以调整远供组成,以缩短强电影响积累长度。

3.3.5 加瞬时过压保护器 SPD。通信系统中几乎都采用 SPD,其作用主要用于防雷电浪涌冲击。在光缆铜线的远供系统中接入 SPD,在达到防雷目的同时,同样对强电系统造成的瞬时电位升高具有良好的抑制作用。

3.3.6 在今后新建和改建通信系统时,尽可能采用无金属光缆,如:全介质自承式光缆(ADSS),尤其尽量避免使用有铜线光缆。将通信系统遥控、遥测、公务通信直接由光纤传输,中继站供电不采用远供方式,由本地供电方式,充分发挥光纤通信不受电磁干扰的优势。

4 结 论

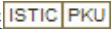
电气化铁路对铁道通信有磁影响、电影响、电阻性耦合影响,当这些影响超过允许限值时,铁道通信部门必须采取防护措施,使影响降低到限值以下,保证通信设备和人员安全。

电气化铁路对铁道通信的影响是客观存在,同时人为的破坏以及战争中的新概念武器(如电磁脉冲、定向能武器)的运用,一旦引起通信系统的中断必将给国家和人民的生命财产带来不可估量的损失。因此,研究电气化铁路对通信系统危害及防护具有非常重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 解金山. 光纤数字通信技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 韩放. 电气化铁路牵引网对地面与地下传输系统耦合的分析方法[J]. 铁道学报,1994(2):39-44.
- [3] 简水生. 通信线路原理[M]. 北京:中国铁道出版社,1984.
- [4] 高大纲. 电气化铁道供电系统对通信线路的影响与防护[J]. 铁道通信信号,2006(1):30-32.
- [5] 马其祥. 强电线路的电磁影响与防护[M]. 北京:中国铁道出版社,1991.

(编辑 马 丽)

作者: 王邰, WANG Bin
作者单位: 南京铁道职业技术学院, 南京, 210015
刊名: 铁道工程学报 
英文刊名: JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY
年, 卷(期): 2007, 24(3)
被引用次数: 5次

参考文献(5条)

1. 解金山 光纤数字通信技术 2004
2. 韩放 电气化铁路牵引网对地面与地下传输系统耦合的分析方法[期刊论文]-铁道学报 1994(02)
3. 简水生 通信线路原理 1984
4. 高大纲 电气化铁道供电系统对通信线路的影响与防护[期刊论文]-铁道通信信号 2006(01)
5. 马其祥 强电线路的电磁影响与防护 1991

本文读者也读过(10条)

1. 周秀荣, Zhou Xiurong 电气化铁路对通信线路的干扰影响及防护措施[期刊论文]-中国铁路2007(6)
2. 张运亭, Zhang Yunting 电气化铁道通信防护设计的问题探讨[期刊论文]-铁路通信信号工程技术2010, 7(1)
3. 万园园, Wan Yuanyuan 铁路信号系统电磁兼容需求研究[期刊论文]-铁道通信信号2007, 43(8)
4. 周瑾, Zhou Jin 通信线路电磁防护工程实施方案[期刊论文]-铁道通信信号2010, 46(6)
5. 王政宏 典型330kV输电线路下方空间电磁场分布及电磁防护区域的确定[会议论文]-2006
6. 笹川卓・永久泰司, 石清伶 铁道车辆的交流磁场屏蔽效果[期刊论文]-机车电传动2007(3)
7. 王邰, WANG Bin 电气化铁道通信线路的电磁防护[期刊论文]-铁道运营技术2007, 13(2)
8. 杨永新, 段京奎 电气化铁路高压电缆的试制[期刊论文]-科技信息2009(29)
9. 周武红 高铁时代, 电缆过轨方法探讨[期刊论文]-商情2010(10)
10. 宋世军, 郭进, 樊敏, SONG Shi-jun, GUO Jin, FAN Min 密码技术在铁路信号控制系统中的应用[期刊论文]-铁路计算机应用2005, 14(11)

引证文献(5条)

1. 王邰 高铁接触网感应电压的理论分析[期刊论文]-铁道运营技术 2012(2)
2. 周瑾 通信线路电磁防护工程实施方案[期刊论文]-铁道通信信号 2010(6)
3. 王邰, 王泉啸 高速铁路牵引网感应电压的研究[期刊论文]-铁道工程学报 2011(3)
4. 王邰 电气化区段地电流对通信信号的影响[期刊论文]-中国铁路 2008(10)
5. 冯健 牵引供电系统电磁影响的仿真计算及防护措施[期刊论文]-电气化铁道 2008(6)

引用本文格式: 王邰, WANG Bin 交流电气化铁道通信电磁防护的研究[期刊论文]-铁道工程学报 2007(3)