

王志宏 著

杂散电流及其防治

煤炭工业出版社

杂散电流及其防治

王志宏 著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书结合煤炭部颁发的《煤矿井下牵引网路杂散电流防治技术暂行规定》，简单地介绍了杂散电流产生的原理、危害及防治方法，并对井下牵引网路及交流电网电气参数的测量方法也作了介绍。

本书可供煤矿机电工人、工程技术人员和有关科研工作者参考。

责任编辑：陈 锦 忠

杂散电流及其防治

王志宏

煤炭工业出版社 出版

（北京安定门外和平里北街21号）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本787×1092¹/₃₂

印张2⁵/₁₆

字数 48 千字

印数1—1,450

1986年10月第1版

1986年10月第1次印刷

书号15035·2810 定价0.45元



序 言

目前，在我国煤矿生产过程中，“杂散电流”的危害性很严重，它可导致电雷管发生先期放炮现象。有的矿就曾发生过这种事故。它可以腐蚀电缆和管道，浪费很多金属材料。所有这些，对煤矿的安全生产，都带来了严重的威胁。因此，煤炭部在1984年3月颁发了《煤矿井下牵引网路杂散电流防治技术暂行规定》，这个规定，目前正在全国各个矿务局进行贯彻。为了配合贯彻执行这个规定，因而编写了这本小册子。

本书的主要内容有：杂散电流产生的基本原理；杂散电流的危害；直流电网及交流电网电气参数的测量方法；杂散电流的防治方法等。

本书是笔者几年来科研工作的总结。在几年的科研工作中，对井下牵引网路和交流电网的电气参数提出了一些新的测试方法，为了解决电缆外皮和金属管道因直流杂散电流所带来的腐蚀问题，提出了改变架线传统的供电方式。所有这些提法和作法，如有不妥之处，希望读者给予批评指正。

本书是笔者几年来在徐州矿务局、阳泉矿务局、北京矿务局的大力协助下，通过完成煤炭部下达科研任务的基础上写成的。故在出版本书的时候，笔者仅向一起参加这一科研工作的同志们表示感谢。我院陈纯副教授和煤炭部安全局刘宝峰工程师对本书做了全面的审校工作，在这里也一并表示衷心感谢。

目 录

第一章 杂散电流产生的原理	1
第一节 直流杂散电流产生的原理.....	1
第二节 直流杂散电流的分布规律.....	7
第三节 交流杂散电流产生的原理.....	16
第二章 杂散电流的危害	23
第一节 杂散电流腐蚀金属.....	23
第二节 杂散电流使雷管发生先期放炮.....	26
第三节 杂散电流使漏电保护发生误动作.....	27
第三章 牵引网路电气参数的测量方法	32
第一节 直流架线漏泄电流的测量方法.....	32
第二节 轨道接缝电阻的测量方法.....	35
第三节 钢轨与运输巷道底板接触电阻的测量方法.....	38
第四章 交流电网电气参数的测定方法	41
第一节 单相电路电气参数的测定方法.....	41
第二节 采区低压电网每相绝缘电阻的测定方法.....	44
第三节 采区低压电网每相电容的测定方法.....	49
第五章 消除杂散电流危害的措施	54
第一节 消除直流杂散电流危害的措施.....	54
第二节 消除交流杂散电流危害的措施.....	58
附录 煤矿井下牵引网路杂散电流防治技术 暂行规定	60
参考文献	69

第一章 杂散电流产生的原理

第一节 直流杂散电流产生的原理

在井下架线电机车运输系统中，钢轨除支持车轮在其上滚动外，同时又作为一个导电介质存在，即电机车的负荷电流是经过钢轨构成返回电路的。但钢轨与大地不可能是绝缘的，所以，总会有一部分电流流经大地，或流经管路和电缆外皮，最后返回牵引变电所，如图1-1所示，这就是杂散电流。

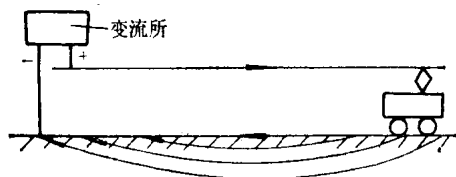


图 1-1 直流杂散电流产生的原理图

杂散电流的数值在电机车负荷电流中所占的比例是相当大的。目前，我国很多矿井的钢轨因缺乏经常性的维修，其接缝只有鱼尾板相连接，没有电气上的连接，故其杂散电流高达100%，即使把钢轨焊接成长轨，象某矿井1公里长轨之区段中部的杂散电流，也仍达17%。由此可见，杂散电流随着轨道和底板间接触电阻的减少，轨道电阻的增加，杂散电流就愈大。杂散电流的分布决定于牵引网路上的负荷。图1-1是表示在单侧供电的线路上有一台电机车时杂散电 流

的流通情况。为了便于分析问题，现以一台电机车为例，找出描述这一物理现象的数学模型。这个问题是空间电流场问题。因为杂散电流可通过运输巷道上下左右的岩石流回牵引变流所。这在理论上是很难解决的。为便于分析起见，我们作两点假设：第一，假设空间的问题为平面的问题；第二，假定电磁场的问题为电路的问题。

事实上，根据假定所得的结果与实测情况相比误差不大。这是因为在电机车运输巷道中，与电机车运输轨道平行的还有高压电缆，风管、水管等金属管线存在。这些管线的电阻远比岩石的电阻小得多。因此，它们是杂散电流的良好

通道。大部分杂散电流通过这些管线流回牵引变流所。所以，上面的假设是可行的。

为了找到数学模型，根据上面的假定，可画出等值电路。如图

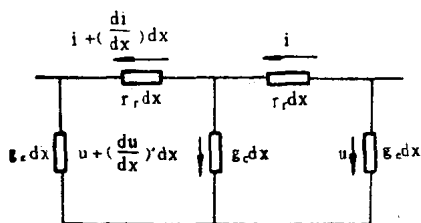


图 1-2 直流杂散电流的等值电路图

1-2所示。

图1-2中的 r_r 表示钢轨每公里的电阻； g_c 表示钢轨与大地间每公里的电导， $g_c = \frac{1}{r_c}$ ； r_c 表示钢轨与大地间每公里的接触电阻。这个等值电路可列出下面的微分方程式：

$$u - \left(u + \frac{du}{dx} \cdot dx \right) = i r_r \cdot dx \quad (1-1)$$

$$i - \left(i + \frac{di}{dx} \cdot dx \right) = \left(u + \frac{du}{dx} \cdot dx \right) g_c dx \quad (1-2)$$

简化 (1-1)、(1-2)式，整理得：

$$-\frac{du}{dx} = ir_r \quad (1-3)$$

$$-\frac{di}{dx} = ug_0 \quad (1-4)$$

解微分方程式 (1-3)、(1-4)，得到钢轨对地电位的公式：

$$u = Ae^{\alpha x} + Be^{-\alpha x} \quad (1-5)$$

式中 A, B ——根据边界条件确定的积分常数；

x ——电机车距牵引变流所的距离；

$$\alpha = \sqrt{\frac{r_r}{r_c}}$$

把 (1-5) 式代入 (1-3) 式，得到钢轨中电流的公式：

$$i = \frac{1}{r_r} \cdot \frac{du}{dx}$$

$$i_x = -\frac{1}{m} (Ae^{\alpha x} - Be^{-\alpha x}) \quad (1-6)$$

$$m = \sqrt{r_r \cdot r_c}$$

得到的钢轨中的电流和电位对地的变化曲线如图1-3所示。

从图1-3钢轨对大地的电位变化曲线中看到，在负载端钢轨比大地的电位高，因此，有一部分电流从钢轨流进底板的岩石。在牵引变流所附近，钢轨比大地的电位低，因此，杂散电流又从底板的岩石流回钢轨。杂散电流距牵引变流所不同距离的变化情况如图1-3中下面一条的点线所示。当距

离为 $\frac{x}{2}$ 时，杂散电流的数值最大，轨道中的电流最小。

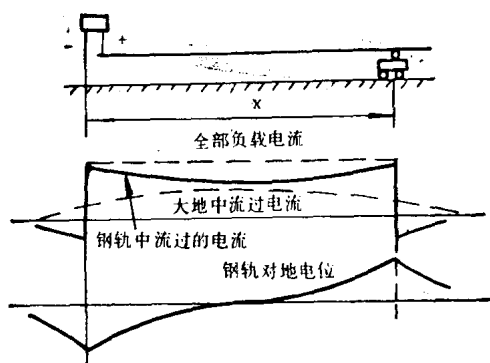


图 1-3 直流杂散电流的分布规律图

为了更好地理解钢轨对地电位的变化曲线，现在举一个实测的例子加以说明。

某矿井的运输巷中，距牵引变电所500米处设一假负载 R （如图1-4所示）。

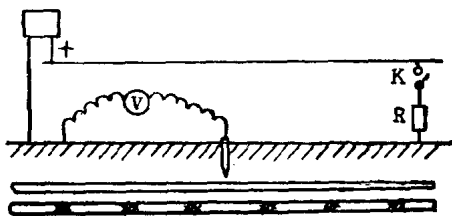


图 1-4 测定轨道对地电位变化曲线接线图

为了找出钢轨对地电位的规律和杂散电流的分布规律，测定时要保证一个大小不变的负载电流通过轨道。因为电机车的位置和负载电流的大小经常变化，这给测定工作造成了困难。所以，在测定时，用假负载放在固定位置上来代替电

机车。假负载合闸后，通过90A电流进入轨道。进行测定时，在大巷内距变流所250 m处，设一局部接地极，拉出一根导线作辅助线，测量钢轨上每点对局部接地极的电位，其测定结果如表1-1所示，并描绘成图1-5中的（1）曲线。

某矿井轨道对地电位测定值表

表 1-1

到变流所的距离 (m)	0	20	40	60	80	100	120	140		
钢轨对地电位 (V)	-34	-32	-32	-30	-24	-20	-17	-14		
到变流所的距离 (m)	160	180	200	220	240	260	280	300		
钢轨对地电位 (V)	-13	-11	-10	-9	-7	-4	0	12		
到变流所的距离 (m)	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
钢轨对地电位 (V)	15	17	20	22	23	27	31	38	48	50

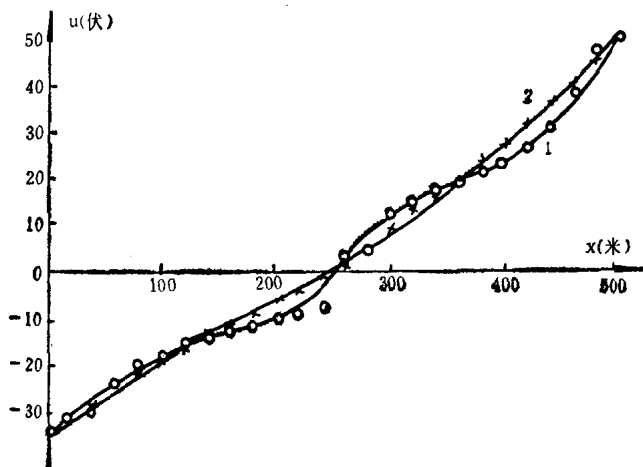


图 1-5 轨道对地电位变化曲线图

根据轨道对地电位的理论公式 $u_x = Ae^{\alpha x} + Be^{-\alpha x}$ 描绘的曲线如图1-5中的曲线(2)所示。其描绘步骤如下：首先求出公式中的积分常数。根据边界条件，距离 x 和轨道对地电位 u 的关系： $x=0$ 时， $u=-34\text{V}$ ； $x=250$ 时， $u=0\text{V}$ ； $x=500$ 时， $u=50\text{V}$ 。写出方程式：

$$\begin{cases} A_1 + B_1 = -34 \end{cases} \quad (1-7)$$

$$\begin{cases} A_1 e^{0.25\alpha} + B_1 e^{-0.25\alpha} = 0 \end{cases} \quad (1-8)$$

$$\begin{cases} A_2 e^{0.25\alpha} + B_2 e^{-0.25\alpha} = 0 \end{cases} \quad (1-9)$$

$$\begin{cases} A_2 e^{0.5\alpha} + B_2 e^{-0.5\alpha} = 50 \end{cases} \quad (1-10)$$

根据所用的钢轨为 15kg/m ，考虑到轨缝的电阻，则每公里的钢轨的电阻与轨道接缝电阻之和大约为 $r_r = 0.2\ \Omega/\text{km}$ ，钢轨与底板岩石间的接触电阻 $r_c = 0.02\ \Omega/\text{km}$ ，则系数：

$$\alpha = \sqrt{\frac{r_r}{r_c}} = \sqrt{\frac{0.2}{0.02}} = 3.16$$

将 α 值代入 (1-8)、(1-9)、(1-10) 式，解联立方程得：

$$\begin{cases} A_1 = 8.76 \\ B_1 = -42.76 \end{cases} \quad \begin{cases} A_2 = 12.91 \\ B_2 = -63.04 \end{cases}$$

因此得到轨道对地电位变化曲线的理论公式为：

$$(1) \text{ 距离 } x \text{ 从 } 0 \sim 250\text{m 段 } u_x = 8.76e^{3.16x} - 42.76e^{-3.16x}$$

$$(2) \text{ 距离 } x \text{ 从 } 250 \sim 500\text{ m 段 } u_x = 12.91e^{3.16x} - 63.04e^{-3.16x}$$

用上面的两式进行计算，得下面的结果：

把表1-2中的计算结果描绘成曲线如图1-5中的曲线(2)所示。

把图1-5中的曲线(1)与曲线(2)相比较可看出：实测曲线近似于理论曲线，近似于双曲线函数。所以出现一些

某矿井轨道对地电位理论公式计算结果表 表 1-2

到变流所距离 (m)	0	20	40	60	80	100
轨道对地电位 (V)	-34.00	-30.81	-27.74	-24.79	-21.93	-19.16
到变流所距离 (m)	120	140	160	180	200	
轨道对地电位 (V)	-16.63	-13.84	-11.27	-8.74	-6.24	
到变流所距离 (m)	220	240	260	280	300	
轨道对地电位 (V)	-3.78	-1.32	1.63	5.25	8.89	
到变流所距离 (m)	320	340	360	380	400	
轨道对地电位 (V)	12.55	16.28	20.06	23.92	27.88	
到变流所距离 (m)	420	440	460	480	500	
轨道对地电位 (V)	31.96	36.56	40.5	45.00	50.00	

误差,是轨道接缝电阻不同所引起的,两条曲线与横轴不对称,是因为运输巷道的干燥潮湿情况不同、轨道与大地的接触电阻不同所致。

第二节 直流杂散电流的分布规律

直流杂散电流存在于运输巷道、采区工作面和掘进工作面中。首先研究一下在运输巷道中的分布规律。

一、运输巷道中直流杂散电流的分布规律

研究运输巷道中直流杂散电流的分布规律,主要是研究杂散电流的通道有哪些,在这些通道中杂散电流的比例如何。

杂散电流总是选择具有最小电阻的通道,在运输巷道中,除了铺设轨道之外,还铺设高压电缆、排水管路、压

风管路等等。这些管线较运输巷道地板的电阻小得多。因此，它们都是杂散电流的良好通道。

杂散电流的测试方法如图1-4所示。在距牵引变流所一公里处设一假负载，当负荷开关 K 合闸以后，测定假负载距变流所二分之一距离处各通道中的负载电流。在牵引变流所与假负载的中间位置各个通道中的杂散电流具有最大值。现将各种通道中杂散电流的测定方法分述如下。

（一）轨道中通过电流的测定

测定轨道中通过电流的方法是用伏安法，当假负载合闸后，从架线上有很大的电流经过假负载流入钢轨，然后沿钢轨用毫伏表测出每米钢轨的电压降，再用每米钢轨的电阻来除，就得到钢轨中通过的电流值。每米钢轨的电阻值可查本书附录。我们曾经对北京矿务局城子煤矿、阳泉矿务局三矿一号井和徐州矿务局新河煤矿都进行过轨道电流的测定，在各区段中点附近其结果都是零。所以出现在轨道中没有电流的这种反常现象是因为：

（1）轨道接缝电阻太大。据保安规程规定，轨道除了鱼尾板连接外，还应有电气上的连接，即用铜线把两根钢轨连接起来。目前在我国大多数煤矿井下没有进行这种连接，或有这种连接但缺乏维修，损坏严重。

（2）运输巷道中的钢轨是电机车牵引网路的一个组成部分，作回电之用。我国煤矿井下大多数电机车运输巷道在电气上是断路的。因为运输大巷往各采区石门中铺设钢轨，这些钢轨同运输大巷中钢轨的连接是通过道岔来回搬动来实现的，所以，造成在石门处运输大巷中的钢轨在电气连接上是断开的，也就在电气上是断路的。轨道中没有电流，所有电流都变成了杂散电流。要想解决这个问题，最好的办法

是把轨道焊接成长轨。例如，阳泉矿务局四矿从五十年代起就把轨道焊接成长轨。徐州矿务局新河煤矿最近把轨道的一部分焊接成长轨。经过测定，得到每公里轨道中通过的负载电流，与每公里轨道外面流过的杂散电流占全部负载电流的百分比如表1-3表示。

阳泉四矿、徐州新河矿长轨杂散电流测试数值表 表 1-3

地点 \ 种类	两种电流占全部负载电流的百分比	
	轨道中通过的电流	轨道外面的杂散电流
阳泉矿务局四矿	61%	39%
徐州矿务局新河煤矿	83%	17%

从上表可以看出，由于轨道焊接成长轨，所以使得大部分电流通过轨道，减小了杂散电流。

(二) 电缆外皮中通过杂散电流的测定

运输大巷中的高压电缆外皮是井下总接地网的一部分。杂散电流从轨道流出后，经过巷道中的岩石而进入电缆外皮，因电缆外皮的电阻很小，所以很大一部分杂散电流从电缆外皮流回牵引变流所。

测定高压电缆外皮杂散电流的方法仍然用伏安法。首先用毫伏表测出每米电缆外皮上的电压降，然后用每米电缆外皮的电阻去除，就可以算出电缆外皮通过的杂散电流值。电缆外皮的电阻值如表1-4所示。

为了更好地说明问题，现举例如下：在某矿井的运输巷道中铺设有一根 $3 \times 50\text{mm}^2$ 的高压电缆。查表1-4得到电缆外皮每米的电阻为 $1.2 \times 10^{-3} \Omega$ 。在假负载与牵引变流所间二分之一距离处，测出20m电缆外皮上的电压降为400mV，则每

常用铜、铝芯铠装电缆外皮的有效电阻值表 表 1-4

电 压 (kV)	电 缆 型 号	电 缆 截 面 (mm ²)	有效电阻 (Ω/km)		
			铅 包	钢 带	合 成
1	ZQ20 和 ZLQ20	3×2.5	6.61	10	3.98
		3×4	6.05	10	3.77
		3×6	5.43	10	3.52
		3×10	4.70	10	3.20
		3×16	4.05	10	2.88
		3×25	3.56	10	2.68
		3×35	3.04	10	2.32
		3×50	2.64	10	2.09
		3×70	2.13	4.44	1.44
		3×95	1.68	4.44	1.22
		3×120	1.46	4.44	1.10
6	ZQ20 和 ZLQ20	3×10	2.94	10	2.27
		3×16	2.47	10	1.98
		3×25	2.21	10	1.81
		3×35	1.96	4.44	1.28
		3×50	1.59	4.44	1.20
		3×70	1.49	4.44	1.12
		3×95	1.24	4.44	0.97
		3×120	1.08	4.44	0.87

米电缆外皮上的电压降为20mV。电缆外皮中通过的杂散电流为：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{20 \times 10^{-3} \text{V}}{1.2 \times 10^{-3} \Omega} = 16.6 \text{A}$$

(三) 管路中通过杂散电流的测定

在测定管路中通过的杂散电流之前，首先测出钢管的直流电阻，用伏安法进行测量。首先在水管上接通直流电源，然后用毫伏表测出10m水管上的电压降，用回路里电流表的

读数去除, 就得到管路的电阻值。

例如, 我们测定某矿井下水管的直流电阻时, 被测定水管的长度为10m, 毫伏表的读数为100mV, 电流表的读数为85A, 那么每米管路的电压降为: $\frac{100}{10} = 10\text{mV}$, 每米管路

$$\text{的电阻 } R = \frac{U}{I} = \frac{10 \times 10^{-3}}{85} = 0.118 \times 10^{-3} \Omega。$$

管路铺设在巷道底板上, 杂散电流从轨道流进底板的岩石, 再从岩石流进管路, 由管路流回牵引变流所。我们一般衡量管路中通过杂散电流大小的标准, 是指负载距牵引变流所的距离为一公里时管路中所通过的杂散电流值。

例如, 某矿井在测定井下运输大巷中杂散电流的分布情况时, 假负载设置在距牵引变流所一公里处, 当假负载合闸后有86A的电流通过假负载, 这时在距牵引变流所500m处, 测出20m管路上的电压降为55mV。因此每米管路上的电压降为 $\frac{55}{20} = 2.75\text{mV}$ 。已知每米管路的电阻为 $0.118 \times 10^{-3} \Omega$, 管路中通过的电流则为:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2.75 \times 10^{-3} \text{V}}{0.118 \times 10^{-3} \Omega} = 23 \text{A}$$

通过多次测定, 我们发现在运输巷道中, 杂散电流主要是通过管线流回牵引变流所。可以通过两个典型矿井测定的实例, 看出各种管线上所通过的杂散电流的比例关系, 如表1-5所示。

二、采区内部杂散电流的分布规律

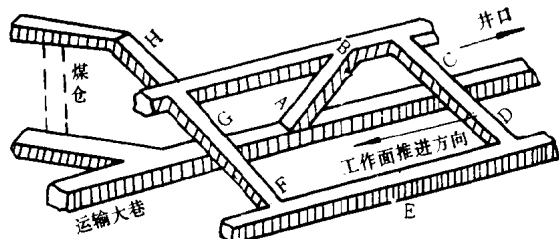
电机车从运输巷道通过采区石门, 可以开到采区装煤站。因此, 采区内部从装煤站经石门到井下主要运输巷道这一段是有架线和轨道的。所以, 直流杂散电流也有可能采

各种管线上杂散电流的比例关系

表 1-5

通 道		水 管		电缆外皮		水 沟	
地 点	数 值	杂散电流 (A)	百分数 (%)	杂散电流 (A)	百分数 (%)	杂散电流 (A)	百分数 (%)
阳泉三矿一号井		2.9	3.3	39.56	45.5	44.56	51.2
徐州新河煤矿二号井		16.7	18.8	19.3	21.9	54	59.3

区工作面内流通。我们曾经在我国某一矿井的采区工作面作过直流杂散电流的测定，其测定的情况如下。



AB - 材料上山 CD - 工作面 E - 运输平巷溜子道 FGH - 上山溜子道

图 1-6 采区巷道布置示意图

在该矿井采区巷道布置示意图1-6图中，巷道AB是材料上山道，有轨道与运输大巷的轨道相连接，但无架线；巷道CD是采煤工作面，装设有刮板输送机；巷道E是运输平巷溜子道，巷道中装设有刮板输送机；巷道FGH是上山溜子道，也装设有刮板输送机。

在测定该采区内部直流杂散电流的时候，在材料上山