ICS 29.180
K 41

中华人民共和国国家标准

GB/T 1094.7—2008
代替 GB/T 15164—1994

电力变压器 第7部分：油浸式电力变压器负载导则

Power transformers—Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers

(IEC 60076-7:2005, MOD)

杭州高电 HZHV TECH http://www.hzhv.com

2008-09-24 发布　　2009-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　次

前言 …… Ⅲ
引言 …… Ⅴ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　符号与缩写 …… 3
5　超铭牌额定值负载效应 …… 5
6　相对老化率和变压器绝缘寿命 …… 6
7　限制 …… 8
8　温度测定 …… 10
9　分接开关的影响 …… 19
附录A（资料性附录）　非热改性和热改性绝缘纸 …… 21
附录B（资料性附录）　计算提供超载数据实例 …… 22
附录C（资料性附录）　指数程实例 …… 25
附录D（资料性附录）　绕组油时间常数计算 …… 29
附录E（资料性附录）　微分程解法的例证 …… 30
附录F（资料性附录）　附录中例题的流程图 …… 37
参考文献 …… 39

前　言

10[illegible]力变[illegible]含了[illegible]部分：

—第[illegible]分：总[illegible]；

—第[illegible]分：温[illegible]；

—第[illegible]分：绝[illegible]象试验[illegible]绝缘空气间隙[illegible]；

—第[illegible]分：电[illegible]电抗[illegible]电冲击和操作[illegible]击试[illegible]；

—第[illegible]分：承[illegible]力；

—第[illegible]分：油[illegible]压器[illegible]则；

—第[illegible]部分：[illegible]

—第[illegible]部分　应用[illegible]

—第[illegible]部分：[illegible]

部分：[illegible]B 109[illegible]分。本[illegible]的前版标准代[illegible]为 GB[illegible]5164，对应的 IEC 标准代号为 IEC[illegible]54。[illegible]IEC[illegible]压器[illegible]代号现均调[illegible]IE[illegible]6 系列，为了与 IEC 的标准代号[illegible]周且[illegible]方便，[illegible]将标准[illegible]按新 IEC 标[illegible]列进[illegible]。

部分：[illegible]采用 I[illegible]：2005《[illegible]压器　第 7[illegible]：油[illegible]力变压器负载导则》(英文版)。

部分：[illegible]IEC 6[illegible]05 按修[illegible]用原则重新走[illegible]

[illegible]虑到[illegible]国情，[illegible]6007[illegible]005 时，本部分[illegible]了一[illegible]。有关技术性差异已编入正文中[illegible]在它[illegible]涉及的[illegible]边空气[illegible]垂直单线标记[illegible]本部分[illegible]IEC 60076-7:2005 的主要差异如下：

—采用[illegible]我国标[illegible]非直接引用[illegible]标准[illegible]

—为使用，[illegible]行了[illegible]辑性修改：[illegible]

—除了 I[illegible]7:2005[illegible]言；[illegible]

—小数点[illegible]为小数[illegible]逗号“,”；[illegible]

—整了附[illegible]号，将[illegible]0076-7:2005[illegible]6 为[illegible]热改性和热改性绝缘纸的内容[illegible]

—整为 z[illegible]录 A(资[illegible]附录)的内容[illegible]IEC[illegible]7:2005 的附录 A 调整为本部分[illegible]

—的附录[illegible]076-7[illegible]的附录 B 在本[illegible]分中[illegible]附录 C，将 IEC 60076-7:2005[illegible]

—附录[illegible]和附[illegible]依次调整为[illegible]部分[illegible]录 E、附录 F 和附录 B；将[illegible]

—C 600[illegible]E 文中[illegible]表编号在本部[illegible]中依[illegible]调整一个数。

部分：[illegible]GB/T[illegible]1094《油[illegible]电力变压器负[illegible]导则》[illegible]

部分：[illegible]B/T 1[illegible]相比[illegible]化如下：

编[illegible]式按[illegible]—2000[illegible]化工作导则[illegible]第 1[illegible]标准的结构和编写规则》和 GB[illegible]20000.[illegible]标准化[illegible]指南　第 2[illegible]；采[illegible]标准的规则》的规定进行了[illegible]修

标[illegible]称由《[illegible]变压[illegible]导则》改为《[illegible]变压[illegible]7 部分：油浸式电力变压器负载[illegible]》；

增[illegible]关于热[illegible]老化[illegible]压器绝缘寿命[illegible]命损[illegible]数、热改性纸、非导向油流、导向[illegible]和设计[illegible]的术语[illegible]义；

增[illegible]一些[illegible]升和损[illegible]符号和缩写；

增[illegible]关于非[illegible]热改性[illegible]纸的内容，并将[illegible]作为[illegible]附录 A；

f) 增[illegible]了有关绝缘寿命的[illegible]；

g) 修[illegible]了超铭牌额定值[illegible]的绕组[illegible]点[illegible]金[illegible]部[illegible]的[illegible]点温[illegible]；

h) 增[illegible]了用光纤传感器[illegible]量变压[illegible]热[illegible]的[illegible]；

i) 增[illegible]了确定热点系数的[illegible]虑的一些内[illegible]

j) 增[illegible]了关于在变化的环[illegible]度和负载条[illegible]顶[illegible]和[illegible]点温度的内容，并提供了两种可用[illegible]描述热点温度的[illegible]

k) 增[illegible]了关于分接开关[illegible]内容；

l) 删[illegible]了原标准中的正常[illegible]负载图和[illegible]负[illegible]；

m) [illegible]对录的内容进行了[illegible]

本部分[illegible]中国电器工业协会[illegible]。

本部分[illegible]全国变压器标准[illegible]委员会(SA[illegible]4)[illegible]

本部分[illegible]草单位：沈阳变压[illegible]所、西[illegible]西[illegible]器[illegible]限[illegible]司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、保[illegible]天威保[illegible]气股份[illegible]公司、特[illegible]电[illegible]变[illegible]有限公司、上海市电力公司、中电电气集团有限公司、保定天威集团特变[illegible]有限公司[illegible]电[illegible]份[illegible]公司。

本部分[illegible]要起草人：孙军、[illegible]、孙树波[illegible]徐子[illegible]、孙新忠、白峰君。

本部分[illegible]代替标准的历次版[illegible]布情况[illegible]51[illegible]1[illegible]4[illegible]

前言

本部分从运行温度和热老化观点提供了电力变压器的规范和负载导则，它提供了超铭牌额定容量的负载推荐值，并为设计人员选择新设备的适当额定参数和负载条件提供指导。

GB 1094.2 是合同的基础，它包括了油浸式变压器在连续额定负载下温升值的要求和温升试验。应注意 GB 1094.2 指的是绕组平均温升，而本部分主要指的是热点温度，其值只作指导用。

本部分给出了一些数学模型，用来判断不同负载在不同冷却介质温度下，和在该负载呈瞬时或周期性变化时的结果。该模型用来对变压器运行温度进行计算，特别是对绕组热部位的温度进行计算。此热点温度又是用来估算在某个特定期间内的额定热老化率和寿命损失百分数。模型涉及小型变压器（本部分称之为配电变压器）和电力变压器。

与 GB/T 15164—1994 的主要差别在于增加了光纤温度传感器在变压器中的应用，因而从根本上增大了获取电力变压器正确热模型的可能性，特别是在负载电流逐级变化的情况下。这种可能性就使得本部分所用的"油指数 x"和"绕组指数 y"与 GB 1094.2—1996 所用的有些不同。对电力变压器来说：

——对于 ON 冷却方式，GB 1094.2 中 $x=0.9$；而本部分中 $x=0.8$。

——对于 ON 和 OF 冷却方式，GB 1094.2 中 $y=1.6$；而本部分中 $y=1.3$。

对于配电变压器，本部分和 GB 1094.2 中所用的 x 和 y 值都相同。

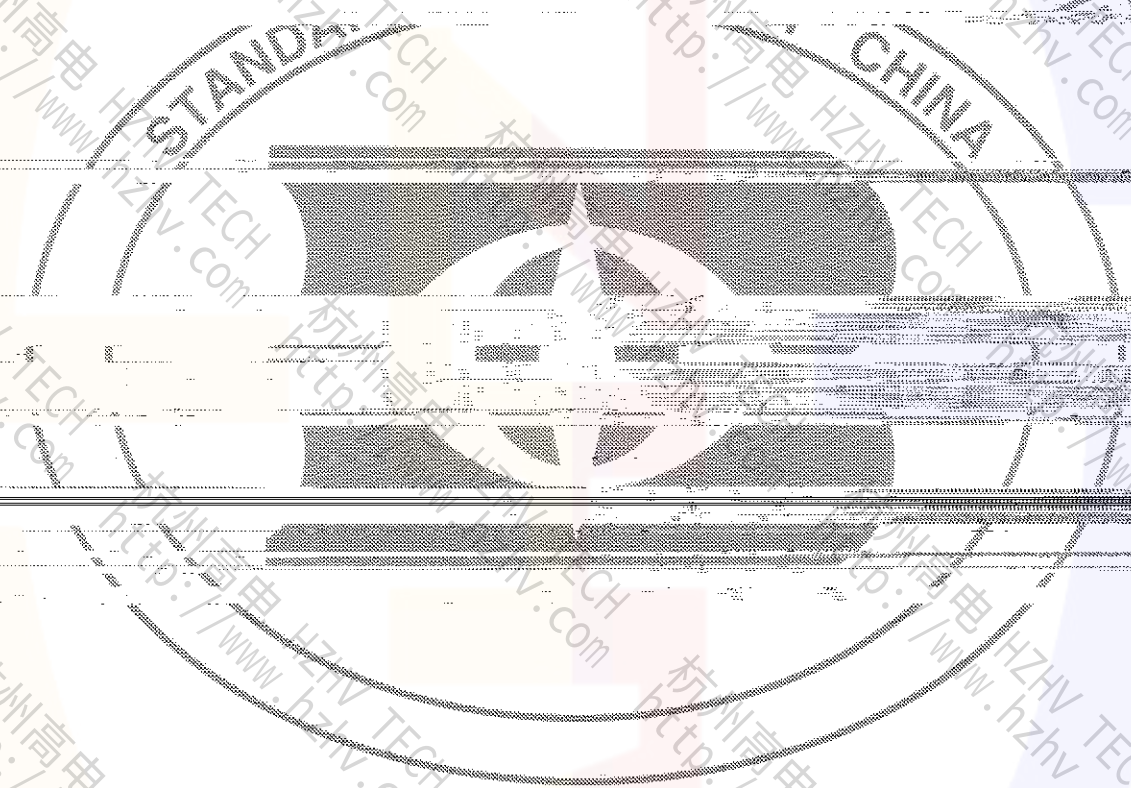
本部分还按温度计算或测量结果推荐了允许的负载限值。这些推荐值涉及不同形式的负载工况——连续负载、正常周期性稳定负载或暂时急救负载。这些推荐值涉及配电变压器、中型电力变压器和大型电力变压器。

第 1 章～第 7 章包括了不同类型变压器的定义、一般的背景信息和运行的各种规定限值。

第 8 章包括了温度的确定，提供了用于估算稳态和暂态条件下热点温度的数学模型。

第 9 章包括了分接位置影响的简要说明。

应用实例在附录 B、附录 C 和附录 E 中给出。


STANDA
CHINA

电力变压器 第7部分：油浸式电力变压器负载导则

范围

GB 1094 的本部分适用于油浸式变压器。它阐述了变压器在不同环境温度和负载条件下的运行对寿命的影响。

注：对于电炉变压器，建议应向用户咨询特殊负载曲线。

规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB 1094 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

GB 1094.1—1996 电力变压器 第1部分：总则(eqv IEC 60076-1:1993)

GB 1094.2—1996 电力变压器 第2部分：温升(eqv IEC 60076-2:1993)

GB 1094.5—2008 电力变压器 第5部分：承受短路的能力(IEC 60076-5:2006,MOD)

ANSI/IEEE C57.12.90 油浸式配电变压器和电力变压器热评定的IEEE标准试验程序

ASTMD-982 纸和纸板中有机氯化物的标准试验方法

术语和定义

本部分采用下列术语和定义。

配电变压器 distribution transformer

三相最大额定容量为2 500 kVA，单相最大容量为833 kVA的电力变压器。

中型变压器 medium power transformer

三相最大额定容量为100 MVA，单相最大容量为33.3 MVA的电力变压器。

大型变压器 large power transformer

超过3.2规定的容量限值的电力变压器。

周期性负载 cyclic loading

周期性变化的负载，其持续时间通常为24 h)，该负载是按一个周期内累积的老化量来考虑的，以是正常负载，也可以是长期急救负载。

正常周期性负载 normal cyclic loading

在周期性负载中，在某些时间内环境温度较高，或施加了超额定负载的电流，但可以由其他时间内温度较低，或施加低于额定负载电流的电流所补偿。(热老化的观点出发，只要相对热老化率大于各周期中的老化值，这种相对热老化率小于1的老化值所补偿，那么这种周期性负载可以认为与正境温度下施加额定负载是等效。这一原理可用于长时间的周期性负载运行中。

GI

3.

on-time emergency loading

长时间退出运行而引起的一种负载方式，在 个新的、较高 态

温 会重新投入运行。

3.7

o t-tim emergency loading

一个或多个事故，严重干扰了系统的正常负 产生的暂 于

30

3.8

指各绕组中的最热点。

3.9

a ive th rmal ageing rate

下，与参考热点温度下的绝缘老化率相比，变 呈降低或 的

速率

3.10

r nsfor er insulation life

正常运行中由于热老化、绝缘场强、短路应力或 故高电气故 险

率发 的全部时间。

3.11

e cent oss of life

1)内以小时计的等效老化值乘以 100 再除以 缘寿命。 小

时计 时老化率与小时数相乘得出。

3.12

y pgra ed paper

维 纸，分解率得以降低。通过局部消除水分 在氰乙化

或通 胺化物（又氰胺中）来抑制水分形成以减少老化 纸的寿命

ANS 则的要求：在 110 ℃的密闭管中放置 65 000 h 的其他时

度组 长力，则 认为纸已得到改性：

$$\text{ime}(h) = e^{\left[\frac{15\,000}{(\theta_h-273)}-28.082\right]} \approx 65\,000 \times e^{\left[\frac{15\,000}{(\theta_h-273)}\right]}$$

化学 品含氮，而在硫酸盐纸浆中没有氮，因 程度是通过

理过 测定来确定的。当按 ASTM D-982 进行测量时 含氮量典型

于 1%

7 日 IEEE 变压器委员会热改性纸定义工作组批

3.13

n lirect d forced-oil flow

O

热器泵 的油自由地流入油箱中，不强迫其流过 部的油流可

垂直冷 ，可以在水平冷却通道中辐向流动，可以带或 力）。

3.14

n- irect l natural-oil flow

O

热器流出的油自由地流入油箱中，不强迫其流过 的油流可

表

垂直冷却通道中轴向流动，也可以在水平冷却[illegible]中辐[illegible]流动，可以带或不带曲折形流动）。

3.15

导向油流　directed oil flow

OD

表示从热交换器或散热器泵出的油大部分[illegible]强迫[illegible]流过绕组（绕组内部的油流可以是在垂直冷却通道中轴向流动，也可以在水平冷却通道中曲[illegible]流动）。

3.16

设计环境温度　design ambient temperatu[illegible]

用于规定允许绕组平均温升、顶层油温升[illegible]点温[illegible]的环境温度。

4　符号与缩写

符　号	义	单　位
C	[illegible]容	J/K
c	[illegible]容	J/(kg·K)
DP	[illegible]度	
D	差分[illegible]的差[illegible]算子	
g	绕组平均温度对[illegible]温度（油箱内）的梯度	K
g_r	额定电流下绕组平均温[illegible]油平[illegible]温度（油箱内）的梯度	K
m_A	铁心和[illegible]配体的质量	kg
m_T	油箱[illegible]件的[illegible]量	kg
m_O	[illegible]质量	kg
m_W	[illegible]质量	kg
H	[illegible]系数	
k_{11}	[illegible]常数	
k_{21}	[illegible]常数	
k_{22}	[illegible]常数	
K	负载系数（[illegible]电流/[illegible]定电流）	
L	所考虑[illegible]限的总老化	h
n	所考虑期间[illegible]时间间隔的序数	
N	所考虑期间[illegible]时间[illegible]隔的总数	
OD	ODAN、O[illegible]或 OD[illegible]WF 冷却	
OF	OFAN、O[illegible]或 OF[illegible]WF 冷却	
ON	ONA[illegible]ONAF冷却	
P	[illegible]损耗	W
P_e	绕组[illegible]耗标[illegible]值	p.u.
P_W	[illegible]损耗	W
R	额定电流下负[illegible]与空[illegible]损耗的比值	
R_t	主分接下负载[illegible]与空[illegible]损耗的比值	

表

	意		单 位
R_r	$r+1$ 分接下	耗的比值	
R_r	最小分接下	耗的比值	
R_n	最大分接下	耗的比值	
s			
t			min
tap			
ap_r			
ap_n			
ap_m			
V			
V_n	第 n 个时	比率	
x	总损耗对顶层油(	幂(油指数)	
y	电流对绕组	指数)	
θ_a			℃
θ_c	年		℃
θ_h			℃
			℃
	最热月的月平均	的规定	℃
	所考虑负载下	的温度	℃
	年平均温度	定	℃
	平均		min
	绕		min
	额定负载(空载损耗+负	(油箱内)温升	K
	所考虑负载下的热点	箱内)的梯度	K
	开始时热点温度	的梯度	K
	额定电流下热点温度	内)的梯度	K
	所考虑负载下	温升	K
	开始时的顶		K
	所考虑负载下	升	K
	额定负载(空载损耗+负	油箱内)温升	K
	额定损耗(空载损耗+负载	箱内)稳态温升	K
	由于包围体而修	箱内)	K
	由于包围体而附	箱内)	K

5 超铭牌额定值负载运行

5.1 概述

正常预期寿命值通常是[illegible]计的环境[illegible]定运行条件下的连续工况为[illegible]础的。当负载超过铭牌额定值[illegible]/或环境温[illegible]高于[illegible]计环境[illegible]器将遭受一定程度的危险，并且老化加速。本部分的目的是[illegible]确认这些危险，并[illegible]变压器[illegible]条件下进行超铭牌额定值的[illegible]负载运行。通过用户明确地规[illegible]最大负载条件和[illegible]方在变压[illegible]考虑了这些最大负载条件，从而将此危险的程度予以降低。

5.2 一般后果

变压器超铭牌额定值负[illegible]后果如下：

a) [illegible]组、绝夹、引线、绝[illegible]及油的温[illegible]，且有可能达到不可接受的程度；

b) [illegible]心外的漏磁通密[illegible]增加，[illegible]磁通耦合的金属部件由于涡[illegible]效应而发热；

c) [illegible]着温度变化绝缘[illegible]由中的水分[illegible]量将会发生变化；

d) [illegible]管、分接开关、电缆[illegible]端接线线[illegible]和感器等也将受到较高的热[illegible]力，从而使其结构和[illegible]用安全裕度受到[illegible]。

主磁[illegible]与增加的漏磁通[illegible]一起，会使[illegible]磁能力受到限制[1),2),3)]。

注：对于带有负载的[illegible]式变[illegible]，当其能量[illegible]常为 HV)流向内绕组(通常为[illegible])时，铁心中的由主磁通[illegible]漏磁通合成的最大磁[illegible]度出现在[illegible]T 时，这[illegible]空载变压器的外部绕组端子上时[illegible]产生的磁通。对于施加[illegible]负载的变压器，其心[illegible]的磁通由[illegible]的电压来决定，其值与空载下施[illegible]同一电压值时所产生的[illegible]通几乎相等。

[illegible]于能量由内绕组流向[illegible]组的心[illegible]压器[illegible]磁通密度出现在铁心柱中。其值[illegible]比空载下施加相同电压[illegible]产生的磁通稍大。铁[illegible]的磁通[illegible]组中的电压来确定。

[illegible]此，当施加的[illegible]载超[illegible]铭牌额定值[illegible]该变压器的两侧电压，只要[illegible]励磁侧的电压仍低于[illegible]109.1—199[illegible]第4[illegible]定的限值，[illegible]励磁。当某些地区的电网在急救[illegible]态下仍能保持正常运行[illegible]，则在[illegible]救条件下为[illegible]负载电压[illegible]，将使铁心件中的磁密绝不会[illegible]过铁心外部漏磁通的值[illegible]于冷轧晶粒取向硅钢[illegible]当其大[illegible]中饱和效应便迅速开始出现)。[illegible]于漏磁通中含有高频分[illegible]故此漏磁通[illegible]心表面和[illegible]如绕组夹紧件，甚至在绕组内部[illegible]生不可预计的高温，从[illegible]可能危及变压[illegible]生各种情[illegible]过载时间非常短，因此，铁心不[illegible]在这种过励磁下出现过[illegible]现象，这是[illegible]于铁[illegible]热时间常数[illegible]

因此，[illegible]通着[illegible]流和温度的[illegible]，增加了[illegible]早损坏的危险性。这种危险[illegible]能是直接的短期性质，也可[illegible]是由[illegible]变压器绝缘[illegible]老化多[illegible]积[illegible]

5.3 短期急救负载的影响和[illegible]

短期[illegible]加负载将会使运[illegible]件中的[illegible]。短期急救过负载会使导[illegible]热点温度上升，可能使绝缘强[illegible]是暂时性的[illegible]降低，[illegible]是，接受[illegible]载条件可能比失去供电更[illegible]。这类过负载预计是很少发[illegible]的，然而，一旦出[illegible]，应在负[illegible]降低负载或切除变压器，以[illegible]发生故障。这种负载允许时间[illegible]于整个变压器的[illegible]间常数[illegible]过负载前的运行温度有关[illegible]一般来说，它小于半小时。

a) [illegible]期故障的主要危[illegible]由于在[illegible](即在绕组和引线处)内可[illegible]出现气泡，使其绝缘[illegible]度下[illegible]。对于绕组[illegible]缘含水[illegible]变压器，在热点温度超过 14[illegible]℃时，很可能产生气[illegible]当 K分含量增[illegible]，此温[illegible]降低；

1) [illegible]号中[illegible]数字[illegible]参考[illegible]的编号。

) 当大金属结构件由[illegible]处(由中[illegible]象内)会出现气泡,或者当油过饱和时也会出现气[illegible]是在场[illegible]区中产生,且只当[illegible]向高场强区域流动时,才会引起[illegible]

变压器内部的裸金属[illegible]与纤维[illegible]直接的热接触,而是与非纤维绝缘材料(如芳[illegible]聚酸[illegible]纸[illegible]油[illegible],则其温[illegible]升高,但它不应超过180℃;

) 在较高温度下,变压[illegible]时的变劣[illegible]低其短路强度;

) 套管内部的压力升高可[illegible]故障,如[illegible]度超过140℃,[illegible]容式套管内部也将产生气泡;

) 储油[illegible]的油因油[illegible]

) 分接[illegible]在很大电流[illegible]

线组、铁心和结构件中的[illegible]短期危险[illegible]的(见第7章)。

[illegible]负载降[illegible]常水平时,[illegible]但是它[illegible]有当事人(包括计划员、资产所有者[illegible]操作员[illegible]人并[illegible]受。

5.4 长期急救负载的影响

[illegible]不是正常工作条件,这[illegible]的然[illegible]时,它可能持续数周甚至几个月的时间,并能导致相[illegible]可观[illegible]老[illegible]

) 导线[illegible]机械特性在[illegible]过程[illegible]加[illegible]劣化到一定程度时,变压器的有效[illegible]命将[illegible]短,若[illegible]时[illegible]命损失将更加严重;

) 其他[illegible]件,特别是[illegible]变,老化[illegible]度下也可能加快;

) 由于电流大和温度高[illegible]能增加,[illegible]况下,可能会出现热失控现象;

) 变压器的密封材料在[illegible]

对老化率和寿命损失百[illegible]期危险[illegible]

5.5 变压器容量的大[illegible]

变压器超[illegible]额定值负载[illegible]关[illegible]容[illegible]

——漏磁[illegible]增加[illegible]

——短路[illegible]增加;

——承受[illegible]强作用的[illegible]

——确定热点温度的难度[illegible]

此,大型变压器[illegible]铭牌[illegible]压器更[illegible],故障的后果也比小型变压器更加[illegible]重。

了使变压器在预期负载[illegible]险[illegible]制[illegible]度中,本部分将变压器分三种类型[illegible]行考虑:

配电变压器应只考虑[illegible]

中型变压器应考虑各[illegible]

大型变压器的漏磁通[illegible]很严重。

5.6 非热改性和热改性绝缘[illegible]

热改性和热改性绝缘纸[illegible]

6 相对老化率和变压器绝缘寿命

6.1 概述

今还没有简单且唯一的[illegible]量[illegible]述[illegible]余寿命,但是,有了这样[illegible]

则，将 [illegible] 变压器使用 [illegible] 有用，因此，还是要适当地 [illegible] 变压器绝缘的老化 [illegible] 老化条件。

6.2 [illegible] 对老化率

绝缘的老化或劣化是温度、含水量、含 [illegible] 含酸量的时间函数 [illegible]，本部分所展示的模式只是将 [illegible] 温度作为控制参数。

温度分布不均匀，在最高温度下运行的部 [illegible] 一般将 [illegible] 受最严 [illegible] 化，因此，老化率是以绕组热 [illegible] 度为基准的 [illegible] 此时，非热改性纸的相对老 [illegible] V 按式(2)确定， [illegible] 纸的相对老化率 V 按式(3)确 [illegible]。

$$V = [illegible] \quad \cdots\cdots(2)$$

$$V = [illegible] \quad \cdots\cdots(3)$$

[illegible]

—热点温度 [illegible] ℃。

[illegible]和式(3)表明 [illegible] V 对热点温度非常敏 [illegible] 表 1 所示。

表 1 由热点温 [illegible] 的相对老化率 V

θ_h/℃	非热 [illegible] 绝缘	热改性纸绝缘
80	[illegible]	0.036
86	[illegible]	0.073
92	[illegible]	0.145
98	[illegible]	0.282
104	[illegible]	0.536
110	[illegible]	1.0
116	[illegible]	1.83
122	[illegible]	3.29
128	[illegible]	5.8
134	[illegible]	10.1
140	[illegible]	17.2

6.3 [illegible] 命损失计算

定时期内的寿命损失 L 见式(4)：

$$L = \int_{t_1}^{t_2} V \mathrm{d}t \quad [illegible] = \sum_{n=1}^{N} V_n \times t_n \quad \cdots\cdots(4)$$

[illegible]

—按式(2) [illegible] 式(3)，为第 n 个时间间隔 [illegible] 相对老化率；

—第 n 个时间间隔的时间；

—所考虑期间内每个时间间隔的序数；

—所考虑期间内的时间间隔的总数。

6.4 [illegible] 寿命

文献[4]提 [illegible] 了四种不同的剩余寿命标 [illegible] 热改性纸 [illegible] 种不同 [illegible] 时间值，如表 2 所示。

表 2 在 110 ℃参考温度下 分干燥，无氧气 效性 的 常绝缘

基 数	寿命
	年
绝缘保留了 50%张力	6
绝缘保留了 25%张力	1
绝缘保留的聚合度为 200	1
配电变压器功能寿命试验数据	1

2 的寿命时间仅供参考，因为部分电力变压 实 限 都是低 载运行。热 度 要比额定值低 6 ℃，其额定 命损失就会减 压器 际 时间就 增加。

对于连接 作为基本负载发电机 电机变压器、向不 供电 压器 运行在相 环境温度下 的变压器，它们的实际寿命需 特 考虑。

7

7. 流和温度限制

超 牌额定值负载运行时，不应 过表 3 中规定 的限 ，也 考虑 7. 规定的特 制

表 3 额定值负载时 和

负载类型	配电	中 变压器 (注)	变压器 (注)
正 期 负载			
电 u.		5	3
绕 点温度和与纤维绝缘材料接触的 属 件的温度/℃		20	0
其 属 件的热点温度(与油、芳族 酰 氏、玻璃纤维材 触		40	0
顶 温/℃		8	5
长 救 载			
电 u.		5	3
绕 点温度和与纤维绝缘材料接触的 属 件的温度/℃		40	0
其 属 件的热点温度(与油、芳族 酰 氏、玻璃纤维材 触		30	0
顶 温/℃		8	5
短 救 载			
电 u.		8	5
绕 点温度和与纤维绝缘材料接触的 属 件的温度/℃	见	0	3
其 属 件的热点温度(与油、芳族 酰 氏、玻璃纤维材 触	见	0	3
顶 温/℃	见	5	5

温度和电 限值不同时适用。电流 以比表中的限值 以满 制的 相反 可以比表 中的限 低一些，以满足电流 满 要求。

7.2

7.2.1

负 流 层油温及 余绕 的金属 件的温度，均不应 过 现定 值，表中未 流 器 急救负载 的顶 热点温 限值，这是因为要 酒 压 控制急救负 持 ，这 不现实 。应 当热点 度超过 140 ℃时， 能 气泡 而使变压器 缘 降 .3)。

7.2.2

除 外 部件(如 套管 连接件 接开关和引线等) 流 1.5 倍额定 时 有限制 油膨 力也会使 压器运行受到限 。

7.2.3

当 器 使 由于包 体的 额定顶 油温升进行修正， 的 值最好通过 ( ) 定。

7.2.4

风 变压器 负载 于这种 无规律性，考虑 些 是不 的。

7.3 限制

7.3.1

负 流 层油温及 余绕 的各种 属部件的温度，均 应 表 定的限值。 热点温度 超过 可能产 泡，可能使变压器 的 温度 (见 5.3)。

7.3.2 地考虑

除 外 部件(如 套管 连接件 接开关和引线等) 流 1.5 倍额定 时 有限制 油膨 力也会使 压器运行受到限 。 与 器配套用的 (如 析 和电流互 器等 要进行 。

7.3.3

变 在 额 负载运行 间 的期间 能不满足短路的 要 B 1 规定的是 s 为基准。 是， 路电流 时间，在大多数 况 于

7.3.4

除 知 磁 压的其他 制(4.1)外 使所施加的电压 超 压 一绕组额定 (或 电压(其 分接 倍。

7.4 限制

7.4.1

对 型 压 要是重 与漏 的附加 。因此，在询价或 明 特定运行条 所 负 力值。

杂 缘 化 有的变 器都 的计算方 来计算。

相 前 的 状况，大 变压 用比小型 压器更保守且狙 的 方案 故障的后果 ， 采用可 度高 案是非常 要的。因而，应充 述

磁 心 铁轭中主 通 5.2)，但 型变压器较小型 易 过

磁 的 特别是 负载 额定值时 是如此。漏磁通 曾 其 部

压 流 热；

缘 戒 劣化(是 度和 数)的后 其中包括热膨胀 成 员， 电

[illegible]器可能比小型变压器[illegible]加[illegible]重；

[illegible]温升试验得[illegible]到绕组[illegible]外[illegible]他部分的热点温度，即使变压器[illegible]额[illegible]电流下的试验[illegible]出现象，也不能[illegible]出在[illegible]流下的任何结论，因为，这种外推[illegible]在[illegible]计阶段可能不[illegible]予[illegible]；

[illegible]定电流下的[illegible]升试验[illegible]果[illegible]出的超过额定电流的绕[illegible]热点温升值[illegible]于大型变压器而[illegible]可靠性要比小[illegible]变压器[illegible]。

7.4.2 电[illegible]温度限制

[illegible]热点温度、顶层油温及[illegible]和引线外的金属部件的温度，均[illegible]应超[illegible]表3规定的限值。此外[illegible]应[illegible]当热点温度超过140[illegible]可能产生气泡，从而使变压器的绝缘强[illegible]下降(见5.3)。

7.4.3 附[illegible]备和其他考虑

[illegible]

7.4.4 承[illegible]的要求

[illegible]

7.4.5 电[illegible]

[illegible]

8 温[illegible]

8.1 [illegible]点温升

8.1.1 [illegible]

为[illegible]，热点温度应以其邻[illegible]温为基准，此处假设是绕组内的顶层油[illegible]。测量表明，绕组内的[illegible]层[illegible]能比油箱内[illegible]混合顶[illegible]油温高达15 K，此差值大小与冷却方式有[illegible]

对[illegible]运[illegible]大部分变压[illegible]而言，[illegible]的顶层油温不是一个准确已知的[illegible]从另一方面看，其中大多数变[illegible]器[illegible]部处的顶层[illegible]温可通[illegible]测量或计算得到。

本[illegible]分[illegible]原则如下：

$\Delta\theta$[illegible]损耗下油箱内顶层油[illegible]境温度的温升，K；

$\Delta\theta$[illegible]电流下热点温度对油[illegible]层油温的温升，K。

参[illegible]$\Delta\theta$[illegible]温升试验中[illegible]直接测[illegible]确定，也可以用经直接测量验证的计算[illegible]法来确定。

8.1.2 [illegible]计试验数据计[illegible]热点[illegible]

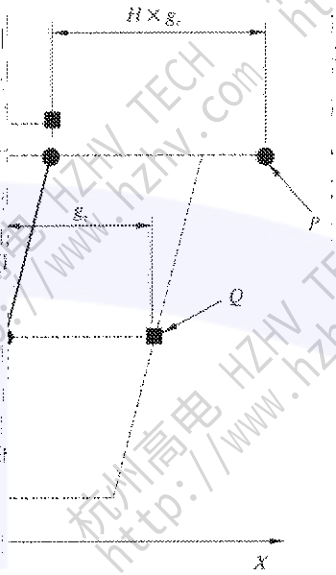
图[illegible]分布图是假设的，它[illegible]本来很复杂的热分布的简化图。在简化[illegible]作了如下假设：

a) [illegible]方式如何，油[illegible]内的[illegible]从底部到顶部均是按线性增加；

b) [illegible]的近似，在绕[illegible]任何[illegible]绕组导线的温升，从下到上呈线性增加[illegible]直线与油的温[illegible]行。两平行线之间的[illegible]常数g_r(g_r为用电阻法测出的绕[illegible]平均[illegible]度与油箱中油[illegible]的差值)；

c) [illegible]比8.1.2 b)所述的绕[illegible]导线的温升高，这是因为必须就[illegible]损[illegible]的增加、各局部[illegible]别和导线上可能附加[illegible]等给出一些裕度。考虑到这些非线性[illegible]因素，令热点温[illegible]内顶层油温之[illegible]等于[illegible]g_r，即$\Delta\theta_{hc}=H'\times g_r$。

注：[illegible]，已观察到油箱出口处的[illegible]温[illegible]于油箱温度计座中的油温，这时，油箱[illegible]口处[illegible]油温应作为负载[illegible]



图中：

A——由油箱出口

B——绕组顶部的

C——油箱内平均

D——绕组底部油

E——油箱底部；

g_n——额定电流下

H——热点系数；

P——热点温度；

Q——用电阻法测

X 轴——温度；

Y 轴——相对位置

■——测量点；

●——计算点。

层油温；

梯度；

分布图

8.3 直接测量热

在 20 世纪 80

的变压器上进行实

经验表明在正

3 传感器就能检

引起附加劳力和费

通常，靠近绕组

线等在着最热点，

头几根绕组导线中

关于绕组顶部

压器上。所示的值

值。试验结束时的

直接进行测量了，从那时起

现在，一直在所选择

于 10 K 的温差[5]。因此，

不可能只插入 1 个～

插入探头以发现最佳位置的

必要性与由光纤探头

直接测量热点温度的绕组

都安装这种传感器。

最高的周围油温区域。因此

只自然地认为顶部导

低的导线处。因此，建议从

组顶部处开始，在开

的损耗或热计算值来确定

传感器的位置。

[6]。光纤探头安装在 400 M

A，ONAF 冷却的变

的稳态值。107 K 和 115 K

各绕组的热点温升

绕组，$\Delta\theta_h = 28$ K，对于 41

V 绕组，$\Delta\theta_h = 36$ K。

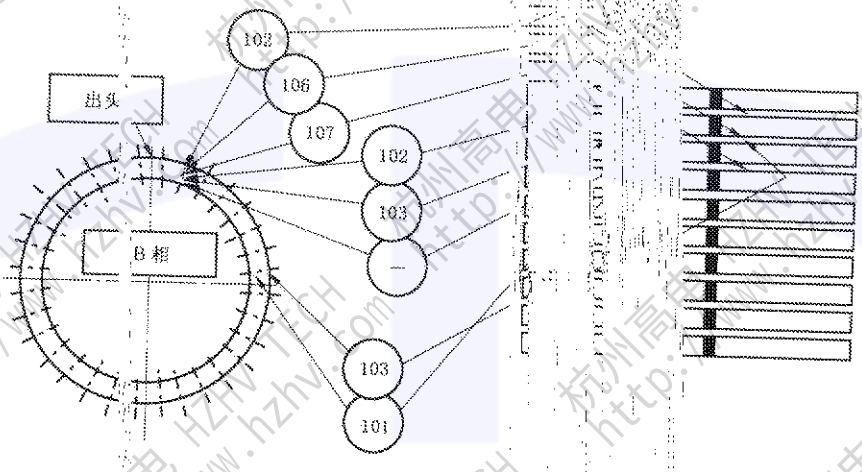


图 2 一个 120 kV 绕组在 1.6 负载系数下[illegible]度的局部温升

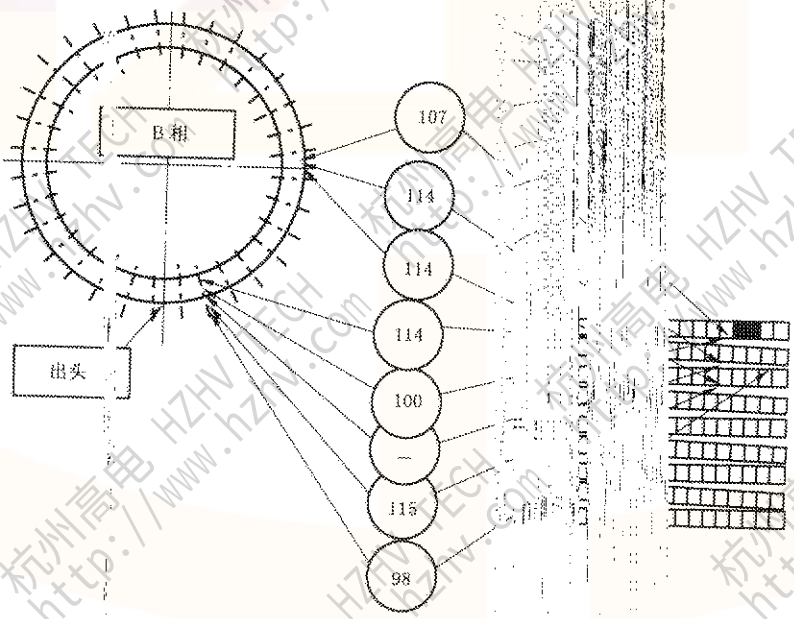
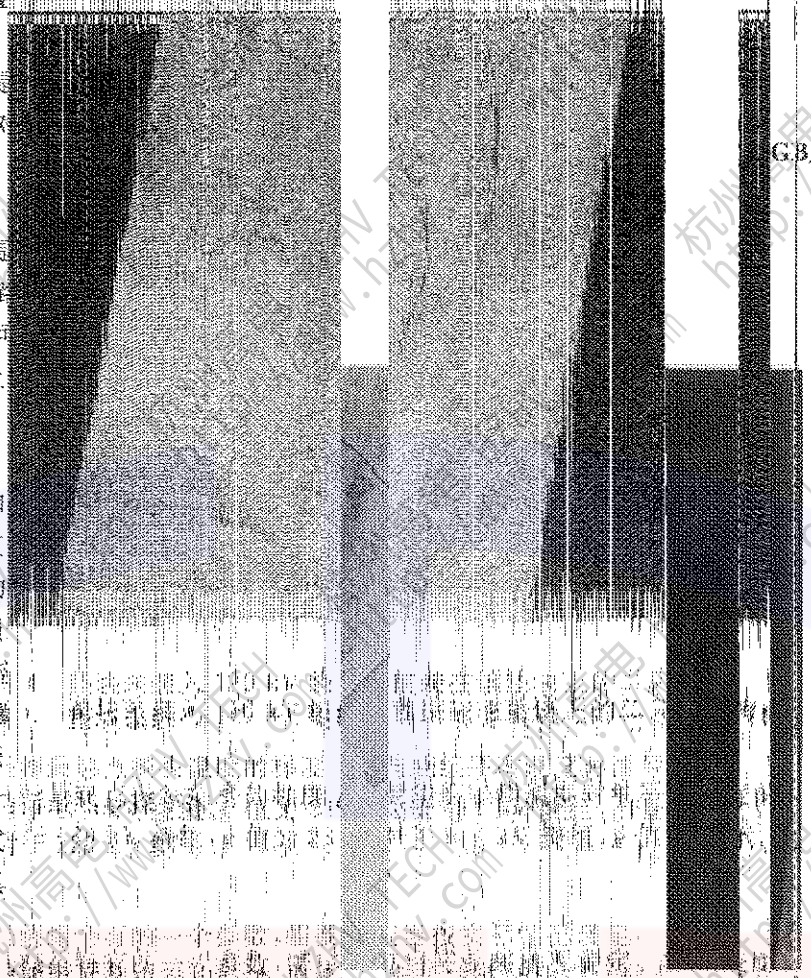


图 3 一个 10 kV 绕组在 1.6 负载系数下高[illegible]的局部温升

传感器置于[illegible]向垫块的长槽内，这样在传感器和导线金属[illegible]线绝缘和附加的薄纸层(参见图 4)。校准值表[illegible]用这种方法得到的数值相当精确[8]。



组之 光纤 器

$\Delta\theta_{hr}$ 均温 梯 g_r 的 值。在
K, 为 30 这 味着 I 值分别

时 研究 热 系数 H 与变压
0～ 系数 直接测量(参见
为 ,并通 在 上或 变压器
阻 压器, I 对负 研究来
配电 ;对中 型变压器,假设

法 ,都 由此产 的 ;
外 个主 原 绕组 部的辐
与 。在 响的 线内的
流电 磁发 的 头也 进行考
分
缘 ;

同, 影响 追
流圈 力降 参见 5)。

热点
所举例的
为 1.22 和
8.1.4 表
热点
器的容量
8.1.3)来
模型或绕
说就足够
$H=1.3$。
以基
a)
b)
c)
d)

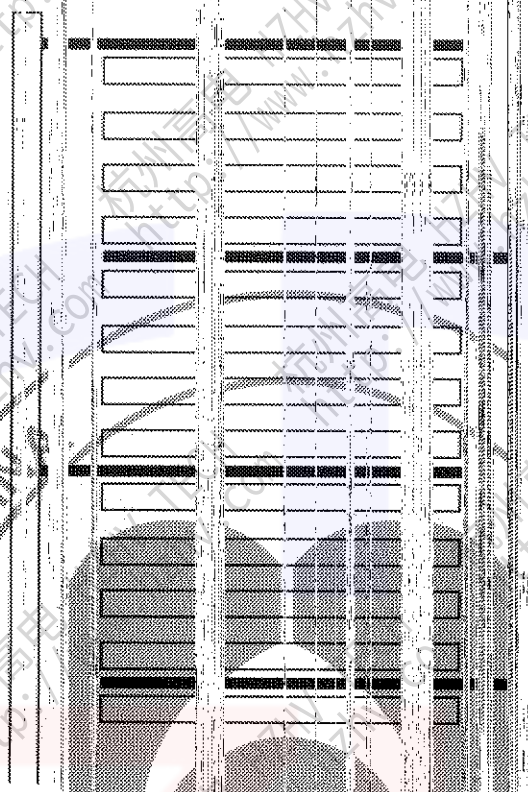


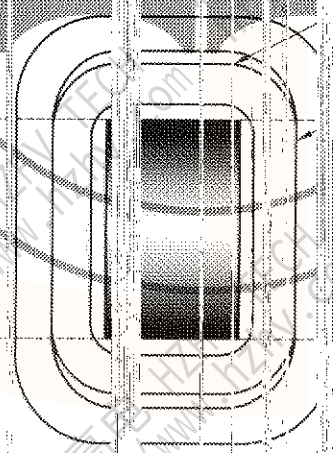
图 各 距离均 的曲折 形冷却的绕组，在各 处

部 和 绝缘的 绕组出线 的可能的额外 缘

配 变压 容量电 力变压器中，不是所有的冷 却 部伸 些冷却油道

位 铁心 绕组的一 部分处(参 图 6)。这种 道不 种环绕的温

梯 ，从 方无冷 油道的绕 中心到铁心外 部 油



铁轭下 有呈"收缩 生冷却油道 布置 "的 绕组

8.2 在 化的环境温 负载条件下的顶层 温和热点温度

8.2.1 述

对 化的负载 环境温度 本条提 了两种可用的 述 热点温度。

a) 数 程解 用于 函数变 的负载。本法 于 热传递参数，

是由制造方来确定[illegible]下[illegible]下，它能得出正确[illegible]果；

每一个增加负载级[illegible]着[illegible]降低负载级，反之亦然；

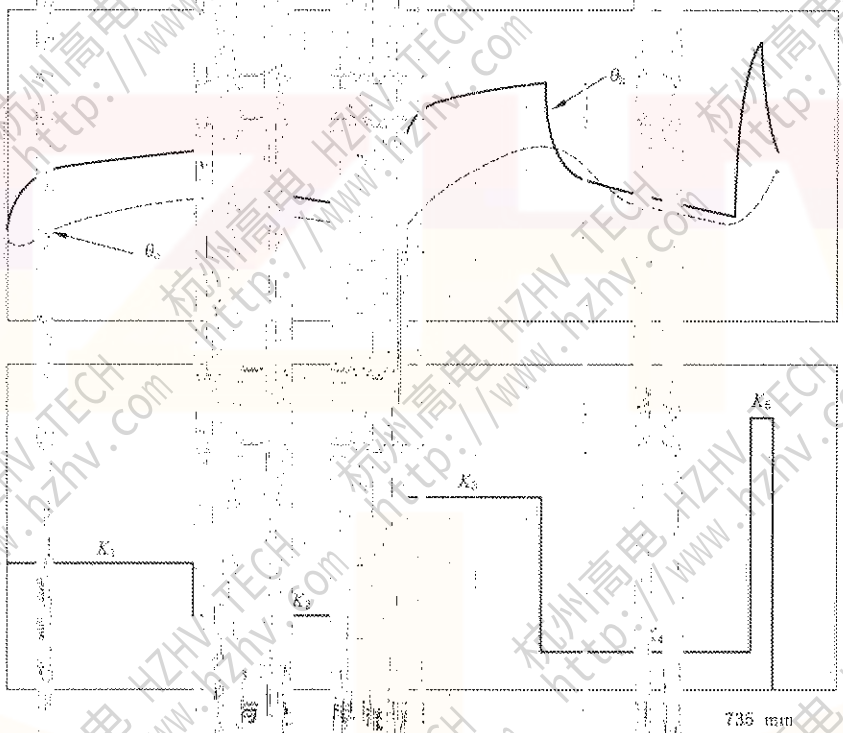
在 N 个连续的增加[illegible](N[illegible]情况下，其($N-1$)[illegible]前面各级负载中的每一级时间必须足够长，以使热[illegible]层[illegible]温度梯度 $\Delta\theta_h$ 达到稳定值。同样的情况也适用于 N 个连续的降低负载级([illegible])。

方程解法，适用于任[illegible]时变[illegible]系数 K 和时变环境温度 θ_a。本法特别适用于在线监[illegible]，尤其是它对负载[illegible]有任[illegible]限制。

和 OF 冷却，油粘度的[illegible]消了[illegible]变化的影响。实际[illegible]粘度变化的冷却效果比电[illegible]变化的[illegible]要强[illegible]。表 4 中的[illegible]1.[illegible]考虑在内了。对于([illegible]冷却，油粘度对温升的影响很小，应考变化的影响。OD 冷却[illegible]点[illegible]似修正项(连其符号[illegible])为 $0.15\times(\Delta\theta_h-\Delta\theta_{ho})$。

8.2 [illegible]程解法

[illegible]数变化的负载例子[illegible]所[illegible]本例的详细内容[illegible]附录 B)，每一个增加负载级之后是[illegible]负载级。



[illegible]热点温[illegible]

[illegible]的顶层油的温度；

[illegible]为 0.6；[illegible]K_4 为 0.3；[illegible]K_5 为 [illegible].1。

图 7 [illegible]载[illegible]变化相对应的温度[illegible]应

[illegible]等于环境温度、油箱[illegible]油[illegible]油箱内热点温度与顶层油温之间的温差三者之和。

[illegible]载系数 K 的温度增[illegible]式[illegible]：

$$+\Delta\theta[illegible]+\{\Delta\theta_{ho}\times[illegible]\frac{\times}{R}[illegible]-\Delta\theta_{hi}\}\times f_1(t)+\Delta[illegible]+\{Hg_rK^2-\Delta\theta_{hi}\}\times f_2(t)$$

……(5)

相应地 立 系 温度降 ：

$\theta_h(t)$ θ_i × $\frac{\times K^2}{R}$ θ × $\left[\frac{R\times}{+R}\right]^2$ × f dg, K^2

……（6）

顶层油 表 4 绕

指数 f_1 表示 稳 时顶 升 增加量

f_1 1 ……（7）

式中：

τ_0

指数 f_2 表示 稳 时热 层 度的 对增 量。它 油循环的速度

适应 增加后 要 间这一

$1-e$ -1 $1-$ $(-\varphi)/(\tau_0/k_{22})$ ……（8）

常数 k_{21} 数 是变 如果 试验 开始直至 态时，施加损

耗和 相应的 如 (F)始 长的 载损 耗＋负载 升试验中来

确定 些常 此 须 升试 变 接近 环境温 度时开始 然，k_{21}、k_{22} 和

τ_W 有在变 时才 长的 升试 中不能 和 τ_W 值，也可

改用 计算的 录 定。当 特性 数值 时，建议 中所列的值。

图 8 示出 图

1：只 足 温升 保持电 才可 起始 升曲线 间常数不能按

确定。

2：对 电 f_2 图 8 中 变压 负载 流逐级增 出现像 ON 和

OF 力 的“

指数 f_3 表示 降 时顶 度的 对降 量：

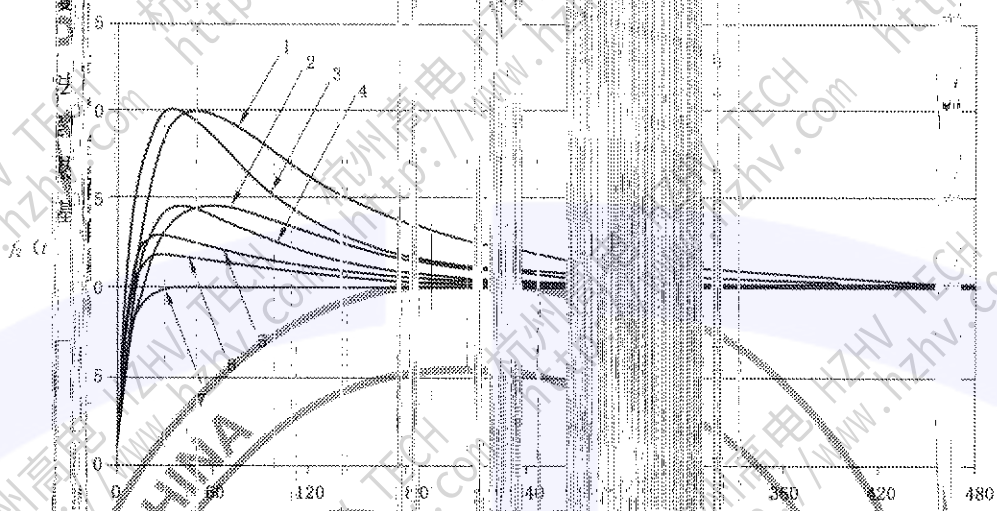
……（9）

用于 程 性参 数 荐值

					大型 变压			
	ON	O	ON	ON	OD	A	F限制（见注）	OD
油指数			0		0	8	1.0	1.0
绕指数 y			1		1	3	1.3	2.0
常数 k_1			0		0	5	1.0	1.0
常数 k_2			2		2	0	1.45	1.0
常数 k_3			2		2	0	1.0	1.0
时间常数 τ_0			2		1	0	90	90
时间常数 τ_W			1				7	7

：如果 绕组是 向热 度小于 3 mm 时， 油循环受到限

制，且 值 度≥3 m 高



图中：

1 ONAN——[illegible]受限制

2 ONAN

3 ONAF——[illegible]流受限制

4 ONAF

5 OF——油[illegible]限制

6 OF

7 OD 和配电[illegible]器

图 8 由表 4 [illegible]的数[illegible]图[illegible]数 $f_2(t)$

指数方程解[illegible]的应用实例见附录 C。

8.2.3 微分方程[illegible]法

本条阐述了[illegible]传递微分方程的使用，它适[illegible]于[illegible]的[illegible]系数 K 和时变[illegible]境温[illegible] θ_a。它们是数据处理软件的[illegible]曲，以确定作为时间函数的[illegible]点[illegible]度及[illegible]绝缘寿命损失量。图 9 [illegible]示了微分方程的方框图。

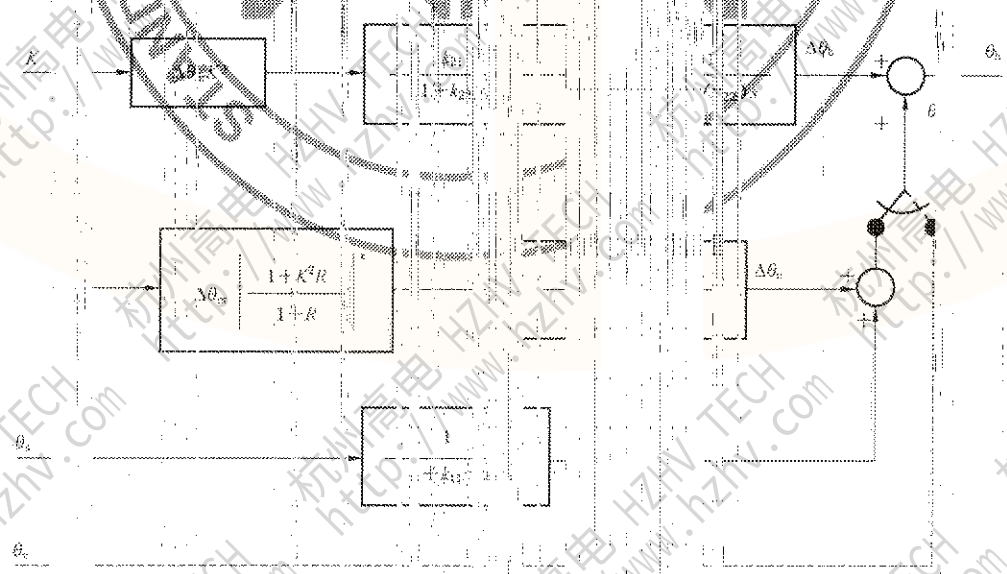


图 9 表示微分[illegible]方程[illegible]图

图 9 左边列出了输入 …温度 θ_a。输出为热点 …于图的 边，扩氏变量 s 实质 就是微 算子 d/

在图 中，最 路 …力态的热点温升。其第 …子 k_{21}）表示基本热点温升，它不 虑通 热 的 …项（带分子 K_2-1）表 …的油流 化率 它是一种变化 常缓慢 的现象。 …的共同作用，即负载电 …上升可能导致热点温升紧随负 变之 …k_{11}、k_{21}、k_{22} 和其他参数 …2 中讨 过，它们的推荐值在 1 中给 出。

如果 …油温 可以测量 …入计算设备中，则图中 …的路径为另一种计算公式，此时 要开 关投向右 …的计算路径（开关投向 …有的参数已在 2.2 中给出。

为得 适当的 确度，… …时间常数 τ_W 的一半。 …和 τ_c 不能设置为零。

用常 的差分 程 对图 …见附录 E。

8.3 环境 度

8.3. 户 空气 …变压

出于 考虑 …监视 …直接使用实际的温度分

出于 计和试 考虑，下 …环境温度。

a) 老化计 采用年

b) 高热点 温度计算 …温度。

注：关 环境温 也可见

如果 载周 内 环境 …则加权环境温度就是一 …恒值环境温度 它在某一段时 所引 的老化 …实际变化的环境温度所 …化。对于温度每增加 6 K，老化 倍， 环境温度 …变化时，其年加权环境 …式(10)：

$$\times[2(\theta_{max-max}-\theta_{ya})]^{1.85} \quad \cdots\cdots(10)$$

式中

$\theta_{max-max}$ —最 月的月 …或 10 年以上该月的日 …均值与 最低温度

平 值 和 …除以 12，单位为℃）。

θ —年 均温度（

示例 月平 值（用月

对于

$\theta_{max-max}$ 30 ℃ 有 2 个

θ_{max} = ℃ 有 4 个月

θ_{max} = ℃ 有 4 个月

θ_{max} = 有 个月

附录 计算 例所用

8.3. 变 器在 …内的 …

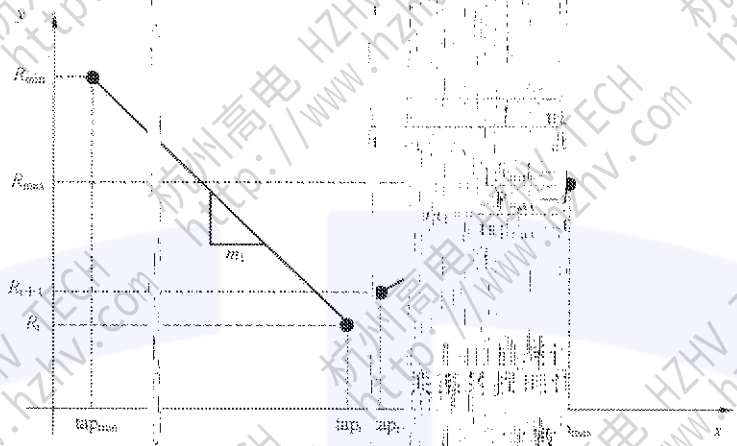
变压 包围 内运行 …附加值，此值均是包围 …温升的一 。

因此 装在 …混 …式(5)和式(6)中的 $\Delta\theta_{or}$ …式(11)的 $\Delta\theta'_{or}$ 代替：

$$\theta_{or}+\Delta(\Delta\theta'_{or}) \quad \cdots\cdots(11)$$

式中：

$\Delta(\Delta\theta$ —额 负载下



$$m_1 = \frac{R_r - R_{min}}{tap_r - tap_{min}} \qquad \frac{R_{r+1}}{tap_{r+1}}$$

图中：

x——分接位置；

y——损耗比。

图 10 与分接位置呈函数 计算原理

9.3 损耗比

变压器顶层油温升是损耗比 R 的函数。假设空载 用线性近似法，R 可按分接位置的函数来确定。

对于高于额定分接位置的分 接位置(由 tap_{r+1} 至 ta

$$R(tap) = R_{r+1} + (tap \qquad m_2 \qquad \cdots\cdots(12)$$

对于低于额定分接位置以下 的分接位置(由 tap_{min}

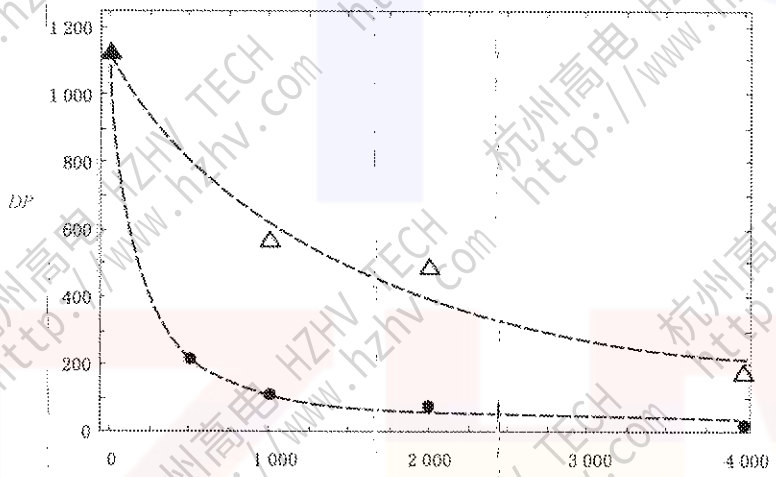
$$R(tap) = R_r + (tap \qquad \cdots\cdots(13)$$

9.4 负载系数

绕组对油的温升主要与负载 系数 K 有关，但 K 与 。

附 录 A
（资料性附录）
非热改性和热改性绝缘纸

使用热改[illegible]缘纸的目的是中和在变压器使用期限内由材料水解（热降解）产生的酸化[illegible]。这种水解在高温下特[illegible]活跃，公布的研究结果表明，在高温时，热改性绝缘纸比未经处理过的纸保[illegible]了更高的张力和抗裂强[illegible]度分值[illegible]。类似的参考文献也显示了在 150 ℃下时非热改性纸和热改[illegible]性纸的 DP 随时间变化曲[illegible]（参见图 A.1）。



DP——聚合[illegible]；
t——时间（h）；
△——热改[illegible]纸的值；
●——非热改[illegible]性纸的值。

图 A.1 密封管在 150 ℃矿物油中加速老化

另一参考[illegible]献[14]还阐明了温度和含水量的影响，如表 A.1 所示。

表 A.1 各种不同条件下纸的寿命

纸的类[illegible]	老化温度	寿命/年	
		干燥且无空气	有空气且湿度为 2%
木纸浆[illegible]	80 ℃	118	5.7
	90 ℃	38	1.9
	98 ℃	15	0.8
改性木纸[illegible]	80 ℃	72	76
	90 ℃	34	27
	98 ℃	18	12

所示的热[illegible]化特性差异已在工业标准中作了如下的考虑：

- 相对老[illegible]化率 $V=1.0$，是取分别相应于非热改性纸在温度为 98 ℃下的老化结果值，[illegible]改性纸在温度为 110 ℃[illegible]的老化结果值。

注：图 A.1 [illegible]表 A.1 所示的结果不拟用来计算老化和估算寿命。本文件中之所以将它们列入，只是想说明非热改性绝缘纸[illegible]和热改性绝缘纸的老化特性存在着差异。

附 录 B
（资料性附录）
计算和提供过载数据

本附录包括一[illegible]利[illegible]部分[illegible]出的方程去计算和给[illegible]载数据的实例。

作为一个例子，[illegible]1给[illegible]可[illegible]用到的某些性能参数[illegible]

[illegible]1 与变压器负载能力有[illegible]举例参数

			配电变压器	电力变压器		
			ONAN	ONAN	ONAF	OF	O[illegible]
油指数	[illegible]	x	0.8	0.8	1.0	1.0	[illegible]
绕组指数	[illegible]	y	[illegible]	1.3	1.3	2.[illegible]	[illegible]
损耗比		R	[illegible]	6	6	6	[illegible]
热点系数		H	[illegible]	1.3	1.3	1.[illegible]	[illegible]
油时间常数		τ_o	180	150	90	90	[illegible]
绕组时间常数		τ_w	4	7	7	7	[illegible]
环境温度		θ_a	20	20	20	20	[illegible]
热点温度	[illegible]	θ_h	98	98	98	98	[illegible]
额定电流下热点对顶[illegible]油箱[illegible]温度[illegible]度		$\Delta\theta_{hr}$	23	26	22	23	[illegible]
油平均温升[a]	[illegible]	$\Delta\theta_{or}$	43	43	46	46	[illegible]
顶层油（或箱内）温升	[illegible]	$\Delta\theta_{or}$	55	52	56	46	[illegible]
底部油温升[a]	[illegible]	$\Delta\theta_{or}$	33	34	36	43	[illegible]
k_{11}	[illegible]		1.5	0.5	1.0	1.	[illegible]
k_{21}	[illegible]		1.2	2.0	1.3	1.	[illegible]
k_{22}	[illegible]		2.0	2.0	1.0	1.	[illegible]

[a] 油平均温升和[illegible]温升[illegible]信[illegible]合出。

用电子表格程[illegible]一[illegible]h的周期，时间刻度为分[illegible]8.2.2中的式(5)、式(6)[illegible]式(7)、式(8)和式(9)计算作[illegible]函[illegible]分[illegible]的热点温度、$\Delta\theta_{hr}$和[illegible]初始条件可用当$t\to\infty$时$f_1(t)=1$、$f_2(t)=1$和$f_3(t)=$[illegible]确定。

当热点温度已[illegible]相对[illegible]率[illegible]用6.2中的式(2)计算[illegible]，用6.3中的式(4)，将每[illegible]钟相[illegible]对老化率的总[illegible]和除以1[illegible]可[illegible][illegible]以[illegible]常天数表示的寿命损[illegible]

例如，考虑预加[illegible]K_1[illegible]8[illegible]情况，然后在3) min[illegible]载$K_2=1.4$，在其余时间(410 min)又回到$K_1=0.8$。[illegible]为[illegible]却[illegible]因此，可使用表B.1([illegible]举例参数。

经过[illegible]稳态预加[illegible]的[illegible]值[illegible]：

$K_1=0.8$

$\Delta\theta_{hr}=38.7$ K

$\Delta\theta_{or}=16.5$ K

从开始至$t=3$[illegible]当，[illegible]：

$K_2=1.4$

$f_1(t=30)=0.$[illegible]$(t=$[illegible]$=1.$[illegible]

$\theta_a(t=30)=76$[illegible]

$\theta_h(t=30)=11\times$ 2 ℃(8.2.2 中方程
从开始至 $t=31$ min 后，数值为：
$K_2=0.$
$f_5(t=1)=0.9$
$\theta_o(t=1$ $=76.5$ ℃
$\theta_h(t=1$ $=92.9$ ℃(8.2.2 中式(6))
从开始至 $t=1$ 410 min 后，数值为：
$K_1=0.$
$f_5(t=1\,410)=$ $.6E-07$
$\theta_o(t=1\,410)=$ 3.7 ℃
$\theta_h(t=1\,410)=$ 5.2 ℃(8.2.2 中式(
这导致寿命损失为 0.14 天，最高热点 为 94 K。
可以改变上述方法中所用的参数，以 作为 K_1 和 K_2 的寿命损失表。当过载时 改变时，以得到一张这样的表。
作为例子，表 B. 示出了过载时间为 5 min 的表。

表 B. 负载周期内的允 载工况和对应的 寿命损失(以正常日计)
以2 热点温升的举

K_1 \ K_2	0.25	0.5	0.7	0.8	.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0.7	0.01 33	0.04 3	0.02 45				1.8 12				
0.8	0.01 33	0.04 5	0.02 51	0.07 55			1.7 22				
0.9	0.01 43	0.04 9	0.03 56	0.07 61	25 66		1.5				
1.0	0.01 49	0.04 5	0.03 62	0.08 67	26 72	1.00 78					
1.1	0.01 54	0.01 4	0.03 68	0.08 73	27 78	1.04 84	8				
1.2	0.02 61	0.01 3	0.05 75	0.09 80	29 85	1.09 91	6	22.6 105			
1.3	0.04 69	0.01 5	0.04 82	0.11 87	33 92	1.19 98	4 5	23.6 112	128.9 120		
1.4	0.01 77	0.02 8	0.06 90	0.14 94	40 100	1.36 106	3 2	25.2 119	135.0 127	827.1 136	
1.6	0.1 85	0.03 0	0.10 97	0.21 102	53 107	1.71 113	4	28.0 127	144.9 135	868.7 144	5 975 153
1.8	0.08 93	0.06 5	0.18 105	0.37 110	87 115	2.44 121	9	33.3 135	162.7 143	938.3 152	6 297 161
2.0	0.07 10	0.05 1	0.40 114	0.76 119	134 124	4.12 130	9	44.6 144	198.0 152	1 067 161	x x
2.2	0.13 11	0.07 1	0.94 123	1.73 127	265 133	8.24 139	1	70.5 153	275.2 161	x x	x x

表 3.2（续）

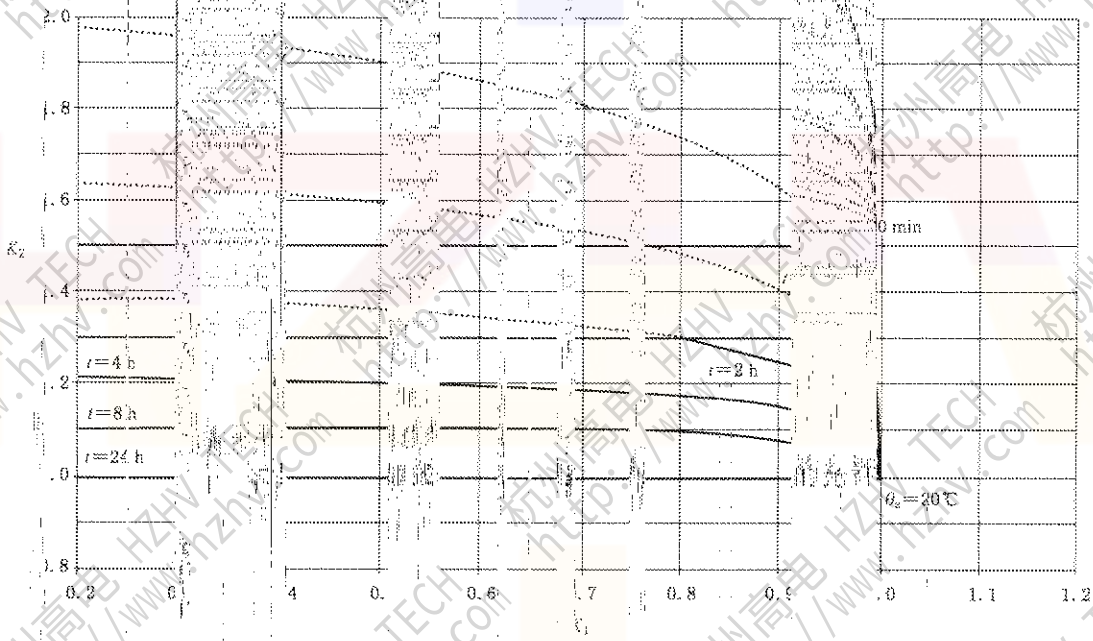
K_1	0.25		0.7	0.9	1.	1.1		1.3	1.4	1.5
K_2										
1.9	0.48		2.39	8.58	18.	47.0		x	x	x
	119		132	142	148	154		x	x	x
2.0	1.34		3.45	24.6	48.	x		x	x	x
	129		141	151	157	x		x	x	x

冷却方式为 OF，θ_c

预加负载为 K_1，[illegible] 加 30 min，[illegible] K_1 施加 1[illegible]0 min

注：表 B.2 中的[illegible]示不考虑[illegible]限值时的计[illegible]结果

这[illegible]数据也可[illegible]的形式表[illegible]。图 B.1 示出[illegible] K_2 作为 K[illegible]数时，在不同过载时间和单位寿命[illegible]失下的一[illegible]



注：[illegible]B.1 中的点[illegible]考虑表 3 [illegible]的计[illegible]结[illegible]。

图 1 [illegible]OF 冷[illegible]电力[illegible]压[illegible]，正[illegible]寿命损失时[illegible]负载工况

附 录 C

（资料性附录）

指数方程实例

C.1 概述

图 7 的曲线[illegible]真实[illegible]例的[illegible]情将在本附[illegible]中给出。一台 250 MVA、ONAF 冷却的变压器按下[illegible]验。[illegible]，负载电流保持恒[illegible]，即在每个负载级期间，由于电阻变化导致损耗变化[illegible]程序[illegible]

[illegible] MVA 变压器[illegible]负载[illegible]数

[illegible]	[illegible]	负载系数
[illegible]	90	1.0
[illegible]	365	0.6
[illegible]	500	1.5
[illegible]	710	0.3
[illegible]	735	2.1
[illegible]	750	0.0

在两个主绕[illegible]都[illegible]了[illegible]传感器。发[illegible]最[illegible]是在最里面的主绕组上(118 kV)。本例中，将按 8.2[illegible]计算[illegible]法[illegible]0 min～750 min 时[illegible]内热点温度的变化，并将它与测得的曲线进行对比[illegible]

计算所需的[illegible]特征[illegible]

$\theta_s = 25.6$ ℃[illegible]

$\Delta\theta_{or} = 38.3$[illegible]

$R = 1\ 000$[illegible]试验[illegible]用[illegible]的)

$H = 1.4$[illegible]量[illegible]

$g_r = 14.5$ [illegible]

$\tau_w = 4.6$ min[illegible]与[illegible]有关[illegible]计算将[illegible]用[illegible]4 中列出的值 7 min)

$\tau_o = 162$ min[illegible]与[illegible]有关[illegible]计算将[illegible]用[illegible]中列出的值 150 min)

绕组采用曲[illegible]垫[illegible]成[illegible]3 min[illegible]

C.2 0 min～1[illegible]段

$\Delta\theta_{oi} = 12.7$[illegible]验在[illegible]进行，前一天[illegible]上[illegible]0 已在 1.49p.u. 下做完了过负载试验)

$K = 1.0$

$\Delta\theta_{hi} = 0.0$[illegible]

式(5)、式([illegible]表示[illegible]时间[illegible]函数，区[illegible]5)可得：

$$\theta_h(t) = 12.[illegible]\left[\frac{[illegible]+[illegible]000\times 1}{1+1\ 000}\right]^2 - 12.7\Big\}\times f_1(t) + 0.0 +$$

$$14.[illegible]1[illegible]0\Big\}\times f_1(t)$$

由式(7)可得：

$$f_1(t) = \left(1 - e^{(-t)/(0.5\times150)}\right)$$

由式(8)可得：

$$f_2(t) = \left(1 - e^{(-t)/(2.0\times7)}\right) - (2.0 - 1.0)\times\left(1 - e^{(-t)/(150/2.0)}\right)$$

C.3 190 min～365 min 时 设

θ_{ci} = 6.2 K （在 C. 时 ）

= 0.

θ_{hi} = 2.0 K （在 C. 时 ）

式(6)和式(9)表示出 变 间的函数 因此，由式(6)可得：

$$\theta_h(t) = 25.6 + 38.3 \left[\frac{1}{\ } \ \frac{0\times0.6^2}{000}\right] + \left\{36.2 - 38.3\times\left[\frac{\ + 1\,000\times0.6^2}{1+1\,000}\right]^{0.8}\right\}\times f_3(t) + 1.4 \ 4. \ 6^{1.3}$$

由式(9)可得：

$$f_3(t) \quad {}^{(-t)/(0.5\times150)}$$

C.4 365 min～500 min 时 设

θ_{ci} = 8.84 K （在 C 中 ）

= 1.

θ_{hi} = 0.45 K （在 C 中 ）

用下列数值替换式(时 数值时，其 算与 C.2 相同：

18.84 替换 12.7；

1.5 替换 1.0；

10.45 替换 0.0。

C.5 500 min～710 min 时 设

θ_{ci} = 4.1 K （在 C. 时

= 0.

θ_{hi} = 7.82 K （在 C 中 ）

用下列数值替换式(时 数值时，其 算与 C.3 相同：

64. 替换 30.2；

0.3 替换 0.6；

37.2 替换 22.0。

C.6 710 min～735 min 时 设

θ_{ci} = 9.65 K （在 C. 时

= 2.

θ_{hi} = 4.24 K （在 C. 时

用下列数值替换式(时 数值时，其 算与 C.4 相同：

9.6 替换 18.84；

2.1 替换 1.5；

4.2 替换 10.45。

C 8 735 min～7 0 min 时

ϑ_{oi}=41.36 (在 算

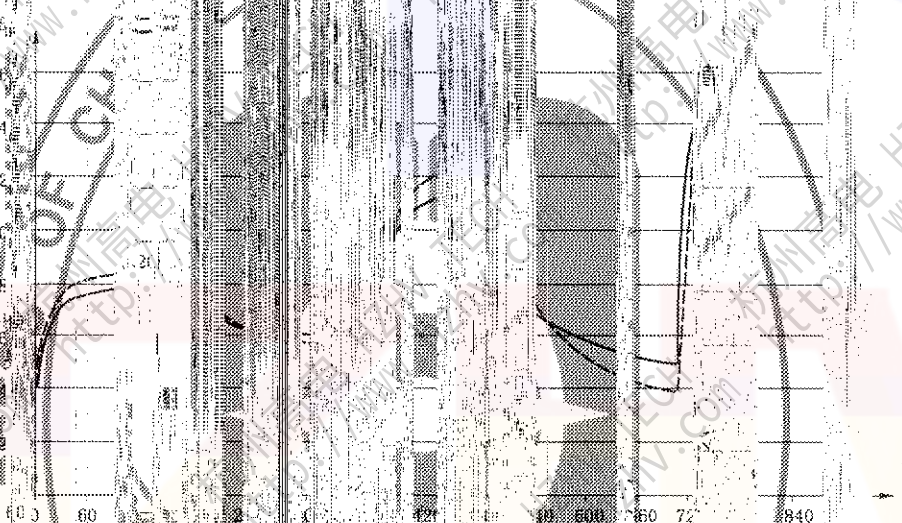
=0.0 时

ϑ_{hi}=71.2 (在 C 算

算与 C.3 C.5 相

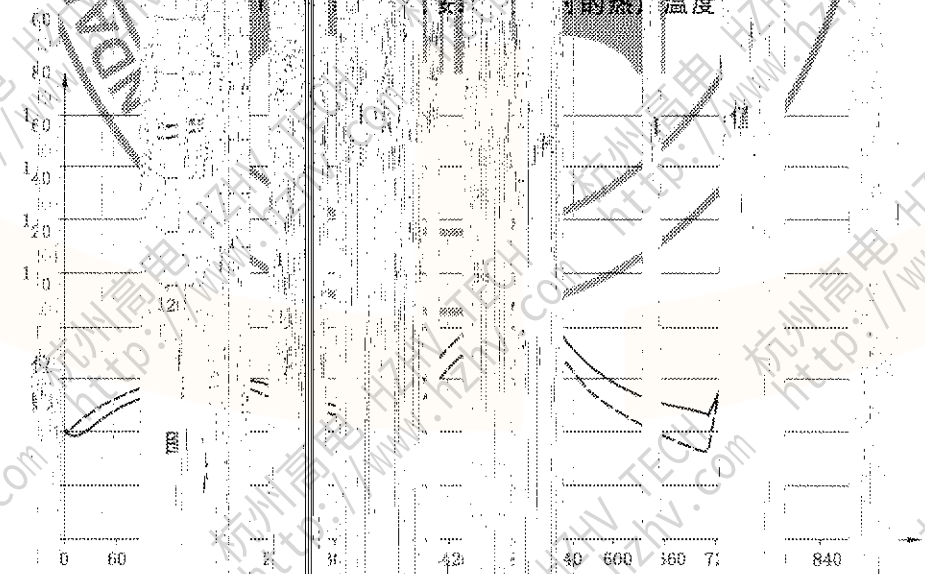
C 与测量值对比

C.1 示出计算和 示出了 应的 油温度 线。表 C.2 列出了 负载结束 的数值



时间 t,单 为 min;

量值用实线表



时间 t,单 为 min;

量值用实线表

级 的顶层 油温度

表 C.2 每个负载级结束时的温度值

时间(min)、负载系数	顶层油温度/℃		热点温度/℃	
	计算	测量	计算	测量
190、1.0	*61.8*	*58.8*	*83.8*	*82.2*
365、0.6	44.4	47.8	54.9	58.6
500、1.5	*89.7*	*80.8*	*127.5*	*119.2*
710、0.3	35.3	45.8	39.5	49.8
735、2.1	*67.0*	*65.8*	*138.2*	*140.7*
750、2.0	59.5	68.2	59.5	82.4

本部分中的计算方法拟用来给出相关的数值，特别是在负载增加的情况(在表 C.2 中用加粗斜体字注明)下。

录 D

（料性附录）

绕组时间常数计算

D.1 绕 时间常数

绕组时间常数如式(D.1)所示：

$$\frac{m_W \times c \times g}{60 \times P_W} \quad \cdots\cdots (D.1)$$

式中

τ_W——考虑负载下的绕组时间常数，单位为 min；

g——考虑负载下的绕组平均温度又等于温度的梯度，单位为 K；

m_W——线圈质量，单位为 kg；

c——导体材料的比热容，单位为 J/(kg·K)(铜为 390，铝为 890)；

P_W——考虑负载下的绕组损耗，单位为 [illegible]

式(D.1)的另一种形式为：

对于铜：

$$\tau_W = \frac{g}{(1+P_e) \times s^2} \quad \cdots\cdots (D.2)$$

对于铝：

$$\tau_W = \frac{g}{(1+P_e) \times s^2} \quad \cdots\cdots (D.3)$$

式中

P_e——相关绕组的涡流损耗与[illegible]；

s——考虑负载下的电流密度，单位为 [illegible] m^2。

D.2 油 间常数

油的时间常数计算按参考文[illegible]的原[illegible]：对于 ONAN 和 ONAF 冷却方式，热容 C 为：

$$C = (1[illegible] \times m_A + 0.088\,2 \times m_T + 0.400 \times m_O \quad \cdots\cdots (D.4)$$

式中

m_A——铁心和线圈的质量，单位为 kg；

m_T——油箱和附件的质量，单位为 kg（[illegible]与热油相接触的部件）；

m_O——油的质量，单位为 kg；

对于油冷却方式，OF 或 OD，热容为：

$$C = [illegible]3[illegible] - m_T) + 0.580 \times m_O \quad \cdots\cdots (D.5)$$

考虑负载下的油时间常数如[illegible]：

$$\tau_o = \frac{[illegible] \times \Delta\theta_{om} \times 60}{P} \quad \cdots\cdots (D.6)$$

式中

τ_o——平均油时间常数，单位为 [illegible]；

$\Delta\theta_{om}$——在考虑负载下，高于环[illegible]的[illegible]温升，单位为 K；

P——考虑负载下的施加损耗，单位为 [illegible]

附录 E
（资 性 录）
微分方 解 的例

1 引

本 录提供了 2.3 中所述的 分方程法 并 信息 差 方程 求解，并提 了一 例。

2 概

以 形式表 的发热方程，实 上特别 于 试验 简 的 在这个方 ，对于 意的时变 载系数 K 和 环境温 能更 。

对 种应用， 好的方法是采 热传递 方 。如 方 则很 易求解，如 附录 所示。

3 微 方程

当 传递原 应用于电力变 器时，仅 流（ 微 方程 是线性的。 于其 却方式， OF 和 ON，冷 介质的 率 它自 可 说 如 没有风扇， 热器 气流速 取决于它自身 温度，但 果 风扇 样 有油泵或 不是 油流，油 流速取决于它 身的温度 果有 不 了。

结 ，对于 O 和 OF 冷却，微 方程是 ，这 化 负载 流，不论是 层油 还是热 温升响应，都不 真正的 函 。

但 为了避免 部分过分复杂 可以使用 法， 是 OD 冷 ，时间函数 是指 程，非线 关系只对已发 温度变化 最 直有 带 的误 不大。

因 顶层油温 的微分方程（ 、K、θ_a， 为：

$$\left[\frac{1+K^2}{1+R}\right] \times (\Delta\theta_{o} = \tau_o \times \quad \cdots\cdots\cdots (E.1)$$

所 量和参数 的符号，均见本 前面的规 。

热 升的微 方程（输入 K， $\Delta\theta_h$）最 易 ，因 呈 和，而

$$\Delta\theta_h = \theta_h \quad \Delta\theta_{h2} \quad \cdots\cdots\cdots (E.2)$$

这 方程分 是：

$$k_{21} \times K \times (\Delta\theta_{hr}) \quad k_{21} \quad \tau_w \times \quad \cdots\cdots\cdots (E.3)$$

和

$$(k_{21}-1) \times K^2 \times (\Delta\theta \quad = \quad /k_{22} \quad \cdots\cdots\cdots (E.4)$$

将 两个方程 的解代入式（E. 。

热 度的最 方程为：

$$\theta_h \quad \theta_o \quad \Delta\theta_h \quad \cdots\cdots\cdots (E.5)$$

关 程（E.2） （E.4），要考 复杂性 为 际上 热 性外 有力学惯 。对 力变压 它对自然冷却 式（ON） ，对 （ F）影 消小，对强 导向 方式（OI 的影响可以忽 它对配 变 器的 3. 2）

这些方程的方框图表示见 8.

E.4 变换为差分方程

对于像用指数函数一类的简[illegible]表[illegible]的输出函[illegible]，若输入函[illegible]不是简[illegible]函数，例[illegible]的[illegible]跃函数，则上述的微分方程仍不能解[illegible]台已安装的变压器，负[illegible]或电流和[illegible]境温度[illegible]的[illegible]间函数。如果进行近似，例如：将负[illegible]近[illegible]化为一[illegible]列阶跃变化的函数，[illegible]保持环[illegible]恒[illegible]，[illegible]其结果也只是近似值。

如果将微分方程变换为差分[illegible]十分简单[illegible]在一个简单的电子表[illegible]上就可[illegible]出。

式(E.3)的微分方程可写为下[illegible]分[illegible]，其中 D[illegible]表一个小[illegible]时间段[illegible]的差分。

式(E.1)变为：

$$D\theta_c = [illegible]\left[\frac{K^2R}{+R}\right]^x [illegible](\Delta\theta_{cr}) - [(\theta_c - \theta_a)] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.6)$$

算子"D"表示与每个时间段 D[illegible]应[illegible]相关变量的差分。在[illegible]个时间[illegible]中，$D\theta_c$[illegible]个值[illegible]由第$(n-1)$个值用下式来计算：

$$\theta_{c(n)} = \theta_{c(n-1)} + D\theta_{c(n)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.7)$$

式(E.3)和式(E.4)变为：

$$D\Delta\theta_{h1} = \frac{[illegible]}{k_{21}} \times [k_{21} + \Delta\theta_{hr}K^y - \Delta\theta_{h1}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.8)$$

和：

$$D\Delta\theta_{h2} = \frac{Dt}{k_{22}} \times [(k_{21} + 1) \times \Delta\theta_{hr}K^y - \Delta\theta_{h2}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.9)$$

每一个 $\Delta\theta_{h1}$ 和 $\Delta\theta_{h2}$ 的第 n 个[illegible]算[illegible]与式(E.7)类似的方法[illegible]行。

在第 n 个时间段时总的热点[illegible]由[illegible](E.10)给[illegible]：

$$\Delta\theta_{h(n)} = \Delta\theta_{h1(n)} + \Delta\theta_{h2(n)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.10)$$

最后，在第 n 个时间段时的热[illegible]可[illegible]式(E.11)给出：

$$\theta_{h(n)} = \theta_{c(n)} + \Delta\theta_{h(n)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.11)$$

为了得到一个精确的结果，时[illegible]Dt[illegible]尽可能小[illegible]不能大于发[illegible]热模型中[illegible]最小时[illegible]数[illegible]一半。例如，如果所考虑绕组的时间常数[illegible]min[illegible]时间段[illegible]下大于 2 mi[illegible]

注：τ_w 和 τ_o 不应设置为 0。

理论上也有比式(E.6)[illegible]式(E[illegible]所[illegible]的简单方[illegible]更精确的[illegible]学分析[illegible]去，如：[illegible]或[illegible]棒昆塔法，但是，考虑到输入数据的不[illegible]使复杂程[illegible]增加。

6.3 中的纤维素绝缘寿[illegible]损失[illegible]分[illegible]也可以变换为差分方[illegible]。基本[illegible]微分方程

$$\frac{dL}{dt} = [illegible] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.12)$$

故有：

$$[illegible]_{(n)} = V_{(n)} \times Dt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.13)$$

和：

$$L_{(n)} = L_{(n-1)} + DL_{(n)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (E.14)$$

E.5 举例

假设所考虑的对象是由一个在[illegible]测[illegible]发出的[illegible]点温度和寿[illegible]损失的[illegible]息，求解[illegible]如[illegible]：

a) 设置变压器参数；

b) 设置输入数据；

c) 计算初始状态；

d) 角[illegible]数分方程；

e) 将[illegible]输出数据列表；

f) 将[illegible]输出数据绘成曲线[illegible]

详细内[illegible]如下：

1——设置[illegible]压器参数

所用参[illegible]数在环境温度为 3[illegible]℃、额定热点温度为 110 ℃时选取。其他参数典型值如下：

$\Delta\theta_{or}$=[illegible] K　　τ_o=15[illegible] min　　R=8　　y=1.3　　k_{21}=2

$\Delta\theta_{hr}$=[illegible] K　　τ_w=7[illegible] min　　x=0.8　　k_{11}=0.5　　k_{22}=2

2——设置输入数据

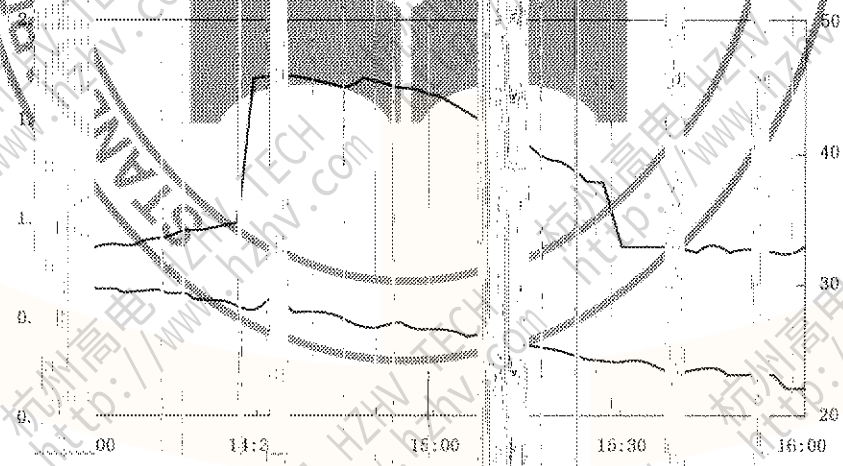
本例中[illegible]的输入数据列于表[illegible]2.[illegible]中，并在图 E.1 中绘出。

表 E.1　举例中的输入数据

[illegible]	[illegible]间 min	一天中的时间 h:min	环境温度 θ_a/℃	负载系数 K
[illegible]	[illegible]0	14:00	30.3	0.81
[illegible]	[illegible]3	14:03	29.9	0.87
[illegible]	[illegible]6	14:06	29.8	0.88
[illegible]	[illegible]9	14:09	29.5	0.86
[illegible]	[illegible]12	14:12	29.6	0.90
[illegible]	[illegible]15	14:15	29.5	0.92
[illegible]	[illegible]18	14:18	29.5	0.95
[illegible]	[illegible]21	14:21	28.9	0.96
[illegible]	[illegible]24	14:24	29.0	0.97
[illegible]	[illegible]27	14:27	28.6	1.00
[illegible]	[illegible]30	14:30	28.0	1.70
[illegible]	[illegible]33	14:33	28.7	1.70
[illegible]	[illegible]36	14:36	27.8	1.73
[illegible]	[illegible]39	14:39	28.1	1.72
[illegible]	[illegible]42	14:42	27.9	1.69
[illegible]	[illegible]45	14:45	27.1	1.68
[illegible]	[illegible]48	14:48	26.9	1.71
[illegible]	[illegible]51	14:51	26.7	1.69
[illegible]	[illegible]54	14:54	27.2	1.67
[illegible]	[illegible]57	14:57	25.7	1.68
[illegible]	[illegible]60	15:00	26.9	1.63
[illegible]	[illegible]63	15:03	26.5	1.59
[illegible]	[illegible]66	15:06	26.2	1.53
[illegible]	[illegible]69	15:09	26.3	1.49

表 E.1 （

段	时间 t/min	一天中的时 h:min	环境温度 θ/℃	负载系数 K
24	72	15:12	25.4	1.41
25	75	15:15	25.6	1.38
26	78	15:18	25.3	1.32
27	81	15:21	24.8	1.28
28	84	15:24	24.6	1.21
29	87	15:27	24.3	1.19
30	90	15:30	24.1	0.87
31	93	15:33	24.3	0.88
32	96	15:36	24.1	0.87
33	99	15:39	23.9	0.86
34	102	15:42	23.6	0.85
35	105	15:45	23.8	0.87
36	108	15:48	23.1	0.83
37	111	15:51	23.3	0.86
38	114	15:54	23.1	0.85
39	117	15:57	22.3	0.82
40	120	16:00	22.2	0.86



负载系数（上面的曲 左边坐标轴）
环境温度，单位为℃ 面的曲线，右边坐 标轴）

图 1 举例用的输 数据绘图

环境温度和负载 数是取在 3 min 间隔内的值。此 间段是最大 为，为 得到精确的结果，它应比方程中的最小时间常 τ_w 小一半。而本例中的 τ_w=7 ，所以时间 Δt= 3 min。

3——计算初始状态

尽管在计算开始时[illegible]统可[illegible]是严格意[illegible]上的[illegible]但这通[illegible]是一个最好的假设，且[illegible]对最终结果的影响不大。

那么，初始状态可[illegible]在式[illegible]1)、式(E.[illegible])和式[illegible]4)中分[illegible]别设置时间导数为零来计算，形成下列值：

从式(E.1)中，初始[illegible]θ_o为[illegible]$=\left[\frac{1+K}{1+}\right]\times$[illegible]$\theta_o=6$[illegible]9 ℃

从式(E.3)中，初始[illegible]$\Delta\theta_{h1}$[illegible]$\Delta\theta_{h1(0)}=k_{21}$[illegible]$K^y\times$[illegible]$=53.2$[illegible]

从式(E.4)中，初始[illegible]$\Delta\theta_{h2}$[illegible]$\Delta\theta_{h2(0)}=(k$[illegible]$-1)\times$[illegible]$\times\Delta\theta_{hr}=$[illegible]6.6 K

也可以选择寿命损[illegible]的初[illegible]态，这里[illegible]设计[illegible]目的是[illegible]出局部过载发生[illegible]的寿命损失。因此，L 的初始值为 $L_{(0)}=$[illegible]

4——解差分方程

在 $n=0$，$t=0$，$\theta_{o(0)}$[illegible]3.9([illegible]省略了，温[illegible]为℃[illegible]度差值[illegible]K)

$\Delta\theta_{h1(0)}=53.2$

$\Delta\theta_{h2(0)}=26.6$

$L_{(0)}=0$

在 $n=1$，$t=3$ min，[illegible]式(E.[illegible])和式(E.7)[illegible]层油[illegible]变化如[illegible]：

$$D\theta_{o(1)}=[illegible]\frac{3}{\times 1}[illegible]\frac{1-0.87^{2}}{1+8}[illegible]^{0.8}[illegible]5-[6[illegible]9-29.9]]=0.1[illegible]1 \text{ 和}$$

$$\theta_{o}[illegible]\theta_{o(0)}+D\theta[illegible]=[illegible]+0.12[illegible]=64.0$$

同样地，由式(E.8)[illegible]点温[illegible]第一项变化[illegible]下：

$$D[illegible]_{h1(1)}[illegible]\frac{3}{0\times 7}(2.0[illegible]35\times[illegible]^{1.3}-[illegible].2)=1.12 \text{ 和}$$

$$\Delta\theta_{h1(}[illegible]\Delta\theta_{h1(0)}+D[illegible]\theta_{h1(1)}[illegible]3.2+[illegible]12=54.3$$

同样地，由式(E.9)[illegible]点温[illegible]第二项变化[illegible]下：

$$D\Delta\theta_{h2(1)}[illegible]\frac{}{(1/2}[illegible]\frac{}{\times 150}((2.[illegible]-1)[illegible]\times 0.87[illegible]-26.6)=0.10[illegible] \text{ 和}$$

$$\Delta\theta_{h2(1)}[illegible]\Delta\theta_{h2(0)}+D[illegible]\theta_{h2(1)}[illegible].6+0[illegible]04=26.7$$

由式(E.10)，总的热[illegible]温升[illegible]

$$\Delta\theta_{h}[illegible]\Delta\theta_{h1(1)}-[illegible]_{h2(1)}[illegible]3-26[illegible]7=27.6$$

最后，由式(E.11)，[illegible]点温[illegible]：

$$\theta[illegible]\theta_{o(1)}+\Delta[illegible]=[illegible]+27.6[illegible]=91.6$$

此时间段的寿命损[illegible]L 由[illegible].1)给出

$$L_{(1)}[illegible]_{(1)}\times Dt=[illegible]^{\frac{15000}{110-27}}[illegible]^{\frac{0}{277}}]\times[illegible]=0.42 \text{ min}$$

(额定状态下的寿命[illegible]失为[illegible]in。)

此点总的寿命损失

$$[illegible]_{(1)}=[illegible]+DL_{(1)}[illegible]0+([illegible]\text{ min，或}[illegible].000\ 29 \text{ 天}$$

在 $n=2$，$t=6$ min 时[illegible]整个[illegible]是重复的，[illegible]所有[illegible]标加1[illegible]和每个变量 $X_{(1)}$ 变为 $X_{(}$[illegible]。在 $n=3$，$t=9$ min 时，每个变量[illegible]变为[illegible]等，直到 n[illegible]40，t[illegible])min 为[illegible]止。

5——将输出数据列表

计算结果示于表E.[illegible]和图[illegible]中。

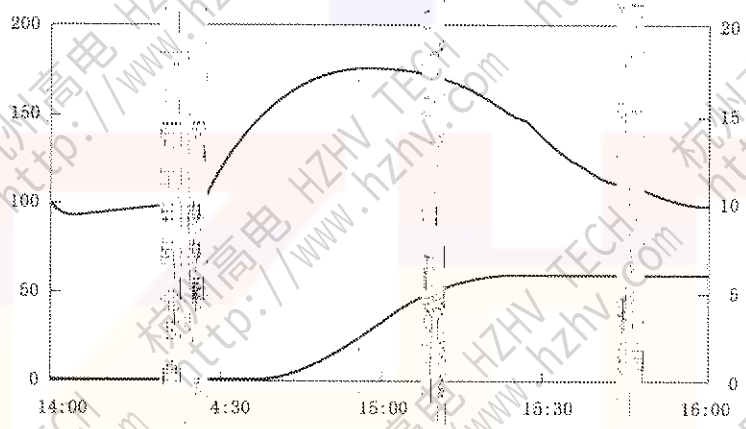
表 E.2 举例中的输入数据

段	时间	中的时间 h:min	热点温 ℃	寿命损失 L/ days
0		14:00	90	0
1		14:03	91	0.00
2		14:06	92	0.00
3		14:09	93	0.00
4		14:12	94	0.00
5		14:15	95	0.00
6		14:18	97	0.00
7		14:21	98	0.00
8		14:24	100	0.00
9		14:27	101	0.00
10		14:30	118	0.01
11		14:33	132	0.03
12		14:36	143	0.08
13		14:39	152	0.18
14		14:42	158	0.35
15		14:45	165	0.61
16		14:48	168	0.97
17		14:51	171	1.44
18		14:54	173	1.99
19		14:57	175	2.64
20		15:00	176	3.30
21		15:03	175	3.94
22		15:06	173	4.50
23		15:09	171	4.97
24		15:12	167	5.32
25		15:15	164	5.59
26		15:18	160	5.79
27		15:21	156	5.93
28		15:24	151	6.02
29		15:27	146	6.08
30		15:30	136	6.11
31		15:33	129	6.12
32		15:36	122	6.13
33		15:39	117	6.14

表 E.2(续)

段	时间 t/min	一中的时间 h:min	热点温度 θ_h/℃	寿命损失 L/min	寿命损失 L/days
34	102	16:42	3.1	8 840	6.14
35	105	16:45	0.0	8 843	6.14
36	108	15:48	6.6	8 846	6.14
37	111	15:51	4.5	8 847	6.14
38	114	15:54	2.6	8 849	6.14
39	117	15:57	0.4	8 850	6.15
40	120	16:00	9.3	8 851	6.15

(——将 输出数据绘成曲线



热点 温度，单位为℃(上面的曲线，z 坐标轴)
寿命 损失，单位为天(下面的曲线，z 坐标轴)

E.2 举例用的输 出数据绘图

由于图中的时间是 2 h 或 0.0 3 天，并且寿命损失是 6.15 天，因此，此次过载期间的相对寿命损失为 6.15/0.083 3=74 倍正常寿 如果另有一个较 的时间段是处于相对低的热点温度(通常情况)，则它并不严重。

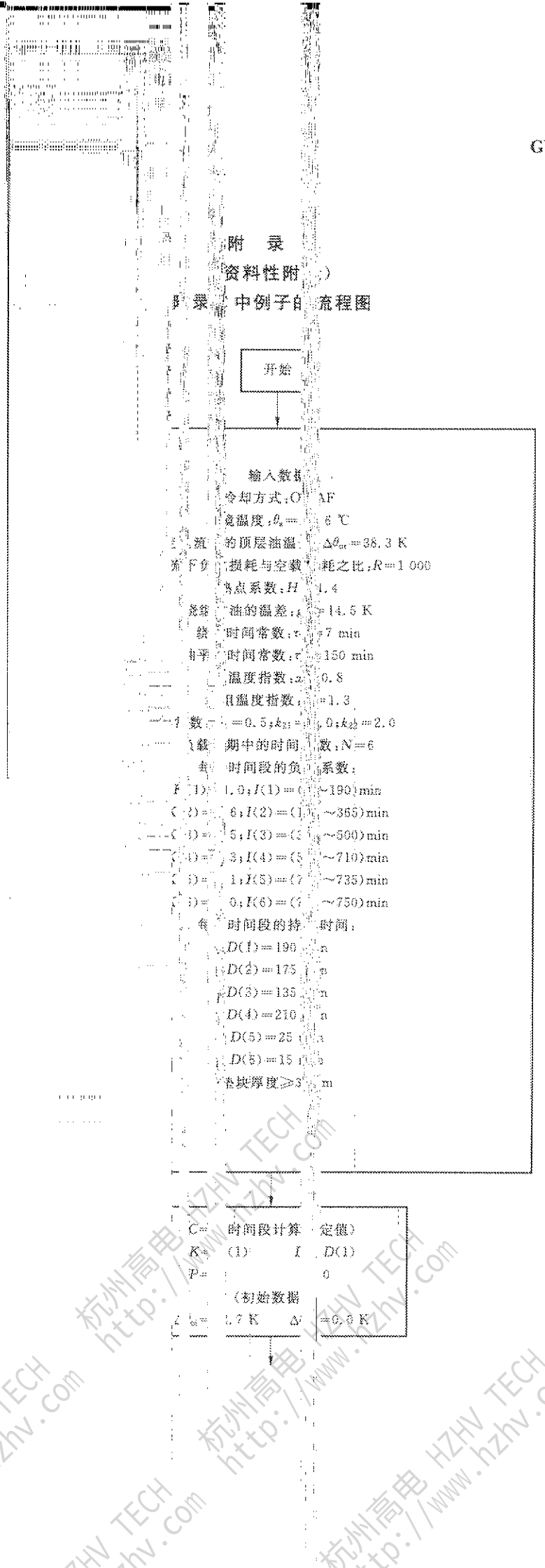
E.6 使用测得的顶层油温

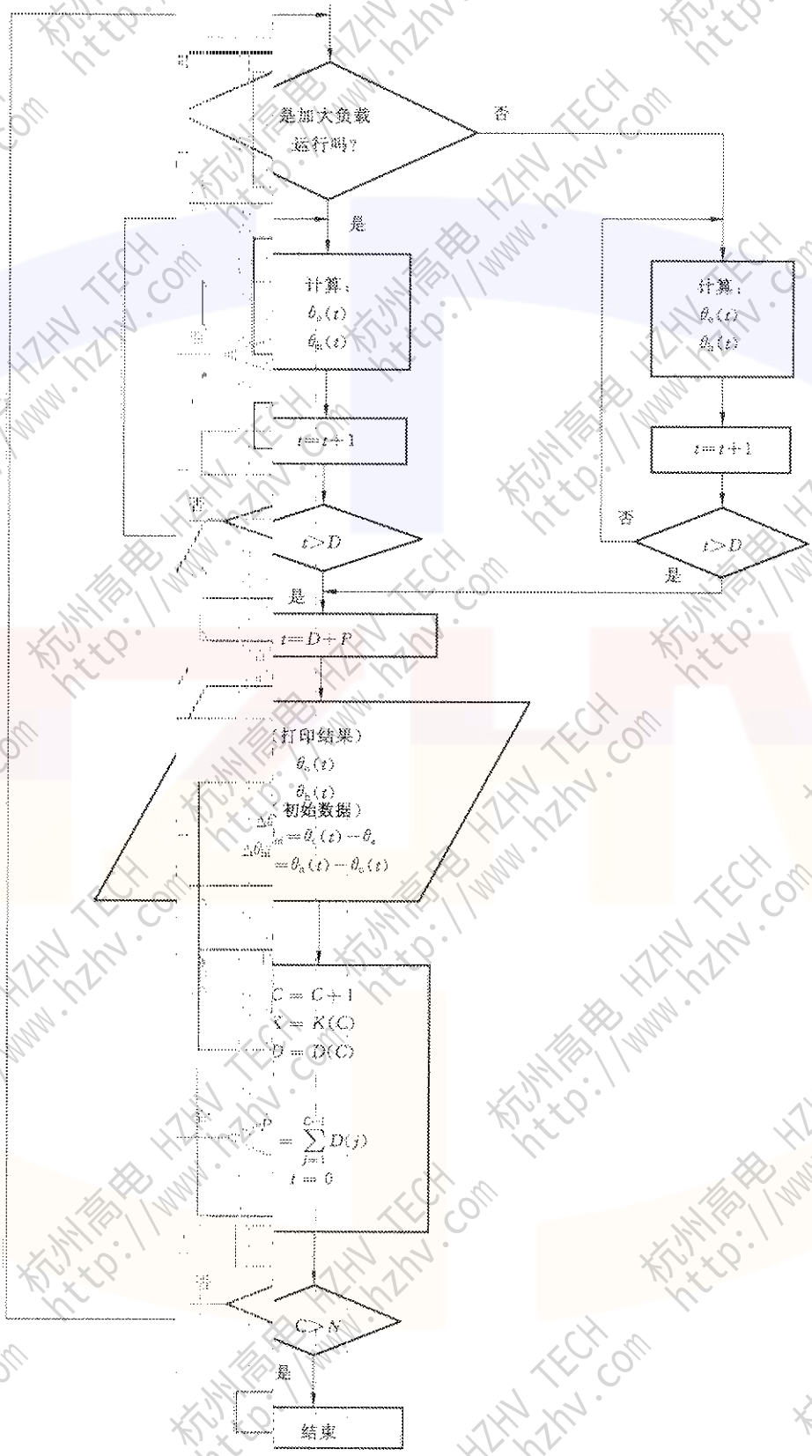
如果顶层油温可以测出，例如 一个 4 mA～20 mA 的信号输入到监测设备上，则计算可以更精确。热点温升可从差分方程(E.8)、(E.9)和(E.10)计算出来，并直接加 每个时间段下测得的顶层油温度数据，见图 9 中的虚线路径。

附　录

资料性附　）

录　中例子的　流程图




是加大负载
运行吗?
否
是
计算:
$\theta_c(t)$
$\theta_h(t)$
$t=t+1$
否
$t>D$
是
计算:
$\theta_c(t)$
$\theta_h(t)$
$t=t+1$
否
$t>D$
是
$t=D+P$
(打印结果)
$\theta_c(t)$
$\theta_h(t)$
(初始数据)
$\Delta\theta_{hc}=\theta_h(t)-\theta_c(t)$
$C=C+1$
$K=K(C)$
$D=D(C)$
$P=\sum_{j=1}^{C-1}D(j)$
$t=0$
否
$C>N$
是
结束

参 考 文 献

[1] A K E[illegible]se and G J Hulsink. I[illegible]formance of the r[illegible]netic circu[illegible]of a trans[illegible]ormer in service. Elektro[illegible]echniek [illegible](1978)(7[illegible].

[2] E Binc[illegible]- und W Felber. Rue[illegible]arbeitsverfahren n[illegible]wei 500 M[illegible]A T ansformabren. ELIN-Zeitschi[illegible]ift 1978 [illegible]aft 1.

[3] A K L[illegible]se, C Kr[illegible]n, J Wilde[illegible]er. The loading c[illegible]magnetic [illegible]uit CIGRE 1[illegible]78 session, August 30-September 7.

[4] IEEE [illegible]tandard C[illegible]7.91,1995 [illegible]EEE Guide for loa[illegible]g mineral-[illegible]imersed trans[illegible]ormers.

[5] Nordm[illegible]n, H and [illegible]ahtinen, M[illegible], Thermal overloa[illegible]sts on a [illegible]M[illegible]A power transformer with a special 2-[illegible]p. u. shor[illegible]t time load[illegible]g capability. IEEE [illegible]ansaction[illegible]n Power Deliv[illegible]ry, vol. 18, no. 1, Ja[illegible]nuary 200[illegible], pages [illegible]07-112.

[6] Lamp[illegible], W., Pe[illegible]rson, L., [illegible]ren, C., Wahlstr[illegible], B., Hot-[illegible]t m[illegible]asurements in power transfor[illegible]mers. CIG[illegible]RE, Rep. 1[illegible]-02, 1984.

[7] Experi[illegible]ental de[illegible]mination o[illegible]power transforme[illegible]hot-spot fac[illegible], CIGRE WG [illegible].2-09, Electra no. 131, Augu[illegible]1995.

[8] IEEE [illegible]38, 200[illegible], IEEE Guid[illegible]for determination [illegible](maximum[illegible]nding temperature rise in liquid-fi[illegible]led trans[illegible]rmers.

[9] Nordm[illegible], H., Ra[illegible]sback, N., [illegible]nd Susa, D., Tem[illegible]ature resp[illegible]es [illegible]e st[illegible]p ch[illegible]anges in the load cur[illegible]ent of p[illegible]wer tra[illegible]sformers. IE[illegible]E Transactions o[illegible]power Deli[illegible]y, v[illegible]l. 1[illegible], no. 4, October 2003, pa[illegible]ges 1110-[illegible]17.

[10] Swif[illegible]G. W., Volinski, T[illegible] and Lehn, W., [illegible]ndament[illegible]Approach to [illegible]ransformer Therma[illegible]Modelli[illegible], IEEE [illegible]nsactions o[illegible]power delivery, v[illegible]6, No. 2, [illegible]ril 2[illegible]01, [illegible]ages [illegible]71-177.

[11] Heat-[illegible]n test p[illegible]cedure for [illegible]ower transformers [illegible]GRE WG [illegible]09, Electra no. 129, March 1990, pa[illegible]ges 37-4[illegible].

[12] Agin[illegible]of Kraft [illegible]aper in N[illegible]ural Ester Dielect[illegible]luid-14th [illegible]ter[illegible]tio[illegible]al Co[illegible]ference on Dielectr[illegible]Liquids [illegible]Graz, Au[illegible]stria, July 7-[illegible], 2002, IEEE 0-78[illegible]350-2/02.

[13] Agin[illegible]of Paper [illegible]nsulation i[illegible]Natural Ester Di[illegible]ric Fluid. [illegible]EE [illegible]PES Tran[illegible]mission & Distribu[illegible]ion Conf[illegible]ence & E[illegible]xpo, Oct. 2[illegible]Nov. 02, 2001, Atl[illegible], GA, IEE[illegible]-78[illegible]3-7[illegible]37-5/01.

[14] Schro[illegible], D H a[illegible]d Stannett, A[illegible]W., A review of [illegible]r ageing i[illegible]ans[illegible]orm[illegible]rs. II[illegible]E proceedings vol. 132, pt C[illegible], no. 6, No[illegible]ember 198[illegible], pages 312-319.

中 华 人 和 国
国 准
电力变压器 分：油浸式
电力变 导则
GB/T 008

中国标准 版发行
北京复兴门 北街 16 号
邮政 45
网址 wv et.cn
电话：685 517548
中国标准出版 印刷厂印刷
各地 销

开本 880×1230 1/ 3 字数 81 千字
2008 年 12 月第一版 12 月第一次印刷

书号：155066·1 价 32.00 元

如有印装差错 行中心调换
版权专 必究
举报电话 533533

/T 1094.7-2008

杭州高电 HZHV TECH http://www.hzhv.com