

[德] 哈特穆特 (Hartmut Kiank), [德] 沃尔夫冈 (Wolfgang Fruth) 葛大麟 编译

Planning Guide for Power Distribution Plants

工业与民用配电 设计指南

SIEMENS



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

Planning Guide
for Power Distribution
Plants

**工业与民用配电
设计指南**

[德]哈特穆特 (Hartmut Kiank), [德]沃尔夫冈 (Wolfgang Fruth) 葛大麟 编译



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

配电系统是电力系统的重要组成部分，它直接面向电力用户，承担着 99.9% 以上客户的供电服务，是改善民生、保障经济社会发展的重要基础设施。工业与民用配电系统必须确保向工厂、居民可靠供电，因此，在配电规划设计初期，必须综合考虑经济与技术因素，在需求功率、电源功率、电力保障、电能质量等方面与投资费用之间进行平衡。

本书共分 14 章，较详细地介绍了工业与民用配电系统的网络组建、设备选型计算、安全和保护技术、电能质量和电能效率等内容，并结合中国国情，介绍了应用于中国配电系统的相关设备选型情况。

本书可供从事配电网络规划设计、工业企业和设计院相关专业的技术和管理人员阅读，也可作为供输电专业的教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

工业与民用配电设计指南 /（德）哈特穆特，（德）沃尔夫冈
编；葛大麟译. —北京：中国电力出版社，2016.11

书名原文：Planning Guide for Power Distribution Plants

ISBN 978-7-5123-8345-6

I. ①工… II. ①哈… ②沃… ③葛… III. ①工业
用电—配电系统—设计—指南②民用建筑—配电系统—
设计—指南 IV. ①TM72-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 119595 号

“Licensed edition of
Planning Guide for Power Distribution Plants
By Hartmut Kiank and Wolfgang Fruth
1st edition, 2011
© 2011 by Publicis Erlangen, Zweigniederlassung der PWW GmbH

With the permission of
Siemens Aktiengesellschaft and Publicis Publishing, Erlangen, Germany”

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 11 月第一版 2016 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.75 印张 576 千字

印数 0001—1500 册 定价 128.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

编译者序

我曾在西门子（中国）有限公司低压事业部等部门工作了大概 9 年半多的时间，也曾担任过全集成能源管理能力中心（TIP CoC）的总工程师；也曾是中国“建筑物电气装置标准化技术委员会（SAC/TC205）委员，也是该技术委员会派往国际电工协会对口的 IEC/TC64 工作组的中国专家，参与过 IEC 60364 系列的有关标准的制定和修订工作。

本书的作者 Hartmut Kiank 博士和 Wolfgang Fruth 先生是我在西门子工作期间的同事和朋友。2010 年我在 Fruth 先生的大力帮助和指点下，在建筑物电气装置标准化技术委员会年会上作了“数据中心配电设计”的长篇专题报告。2011 年年底，我和我的同事何友林先生在德国纽伦堡的西门子总部进行业务交流和技术讨论期间，Fruth 先生把他们的著作“工厂配电设计指南”的英文版本馈赠给我们两人。我和何友林先生是西门子全集成能源管理方面的专家，我们为西门子内部员工的技术培训，对外的技术讲座，以及向客户提供的解决方案均与本书的内容有关。因此我本人对本书的内容非常熟悉，也非常赞赏作者对复杂的配电系统设计命题所采用的分析与讲解方法。

西门子一系列的配电设计指南是以最新的设计理念结合高档的配电产品编写的，是西门子全集成能源管理概念的理论基础。这本书涉及了设计中低压配电系统所有的内容，并结合 IEC 有关标准作了详细的深入浅出的描述，是国内至今为止看到的配电系统和配电产品相结合的一本最好的书，是配电系统设计的一部经典著作。它的英文版本在德国出版后立即引起国内一些专家的关注。航空设计院的王厚余老前辈对本书给予了很高的评价，盼望尽早在国内汉化、出版和发行，使中国同行尽快了解和学习德国严谨的配电系统的设计、安装和运作的一些做法；建筑设计院系统专家谢炜总工，五洲设计院专家王素英总工分别来西门子要求把本书的英文版本转化成中文版本，向国内的工业和民用配电领域的设计人员和工程技术人员介绍德国先进的配电理念；中国电力出版社的张涛主任也来西门子（中国）有限公司总部，要求西门子为中国电力出版社购买《工业配电设计指南》的版权提供帮助，并要求与西门子合作在国内翻译、出版、发行本书。

西门子德国总部和西门子（中国）有限公司非常支持本书的汉化工作，愿意为在中国出版提供必要的帮助。Kiank 博士和 Fruth 先生也非常愿意向中国工业和民用配电领域的专家和同行介绍西门子全集成能源管理的理念，分享他们在中低压配电领域的实际工程项目以及制定和执行 IEC（国际）标准中积累的丰富经验；非常支持在中国出版他们的著作。由于本书的专业性很强，Kiank 博士希望有一位懂专业的资深专家来翻译这本

书，并坚持要对可能的译者进行资格审查。大约在 2013 年 6 月因家庭的原因，我离开了西门子。但西门子（中国）有限公司还认为我是西门子人，并把这本书的汉化任务委托给我，并请何友林先生协助更新书中出现的有关的配电产品，帮助我校核有关的章节。

本书原名为《工业配电设计指南》，是依据 IEC 标准最新的版本编写的，反映了当代配电系统设计的最新的理念和成果。本书主要针对工业配电领域进行描述，提供了大量的工程案例，并在书的开始部分详细说明了工业配电系统的特点以及与民用配电之间的区别，但书中描述的设计原则，IEC 有关标准的引用，网络组建与计算，配电产品的选型计算，保护技术、安全措施、供电可靠性、电能质量和电能效率等原则也完全适用城市基础设施和民用建筑等领域。结合中国的实际情况，征得作者的同意后，我们把书名改为《工业与民用配电设计指南》。在忠于原文的前提下，对书中有关部分的内容做了说明；书中出现的图号和表格号是按照国内标准进行编号和排序的；依据中国的配电市场，更新了西门子有关的产品，在 11 章还增加了 SIVACON 8PT 低压成套开关装置的内容。

希望本书在中国的出版能帮助工业、基础设施和民用领域的专家、设计人员和工程技术人员进一步了解德国对配电系统设计的理念，具体的运作和做法，理解和执行有关的国际（IEC）标准；本书也是一本供高等院校输配电专业师生阅读的教学参考书，也能帮助大学生全面掌握配电专业知识，为职业生涯打下坚实的基础。

最后我要利用本书译者序的机会感谢工业和民用设计院系统的一些总工和专家对我汉化工作的关心、鼓励、信任和支持；感谢西门子（中国）有限公司中低压事业部全集成能源管理部门的原总经理路占江先生和原技术总监何友林先生对我工作的大力支持和帮助。

葛大麟

2016 年 5 月于上海

原版序

配电系统和配电市场正在发生戏剧性的变化。分散式可再生能源日益扩大，并通过电力电子的方式与配电网实现互连，增加了配电系统网络拓扑结构的复杂性。在配电系统规划设计的早期阶段，必须仔细考虑经济和技术方面的一些主要驱动因素，在需求功率、电力保障、稳定的电源频率和电压质量等方面与要求优化的投资费用之间进行平衡。

为了应对电能需求的快速变化，促使配电网结构的配置出现相应地快速变化，也促使配电系统快速进入了数字化的世界。为了满足和适应这种挑战，要求配电系统节点的现场的开关设备和保护继电器装置均采用数字式通信技术和软件，实现更多的智能化。一个精心设计的配电网能充分发挥配电网的潜能，将支持客户满负荷、高效率、安全和可靠地运行。

采用最高国际标准的技术要求设计配电系统是一个不可缺少的先决条件，不管客户是否是一个供电公司或工业公司，必须要求彻底了解客户对配电工程的需求和流程，必须为客户提供一个安全和可靠的配电解决方案，安全可靠的配电网保护解决方案。目前配电市场可提供最先进的配电产品和优化集成的解决方案，能帮助设计者组建满足当今世界经济要求的高安全性和高可靠性的配电网。

本书旨在成为一本经典的参考书，供那些在能源工业工作的，从事配电网规划设计、设备选型计算的设计师和工程技术人员参考，也适用于熟悉配电专业的管理人员学习和参考，同时，本书也是一本很好的配电应用教材，可供配电专业感兴趣的大学生或即将从事配电职业生涯的大学毕业生学习和参考。

我诚挚地感谢本书的作者 Hartmut Kiank 博士和他的合作伙伴 Wolfgang Fruth，感谢他们对配电行业的杰出贡献和无私的奉献精神。他们把理论与实际实践很好地结合在一起，将一个复杂的配电工程命题给予了通俗的讲解，使读者容易地理解和接受。本书的两位作者是西门子的员工，西门子全集成能源管理的顶级专家，为工业和民用配电工程的用户提供系统解决方案，本书也是他们在全集成能源管理方面积累的丰富经验的总结。建议把这本书放在您的办公桌上，逐页展开，钻研它，使用它，您会发现这是一个配电知识的宝库。

Jean-Marc Vogel

2011年7月于埃尔兰根（Erlangen）

原版前言

工业配电系统必须向工业厂房可靠地供电，确保生产系统和生产工艺要求的全部设备正常可靠地运转，充分发挥生产潜力，提供高质量的产品。工业配电网络的设计决策应该以技术优化、高效率运作方式为基础，满足生产工艺的要求的供电可靠性、电能需求、电压质量和电能效率等多项技术指标。因为电能质量和电能效率是复杂的综合性技术指标，并对工业厂房生产系统的运行和管理产生深远的影响，因此在配电网络结构设计和设备选型计算时必须采取特别负责任的态度，从配电工程的生命周期出发作明智的决策。

设计任务的繁忙和配电工程的复杂性经常因考虑不周而掩盖可能出现的技术风险，只有采用完整的成熟的解决方案才能避免将来长期运行过程中可能出现的技术风险，同时还能充分挖掘提高电能效率和节约成本的潜力。完整的解决方案包含了成熟的工业生产领域的技术和知识，符合当代最先进的应用标准和设计规范给出的技术要求，包含了成熟的工业厂房配电网络、配电产品知识，融合了专家的丰富的工程实践经验。

本书试图通过通俗易懂的方式向读者介绍作者多年从事配电设计、咨询、解决方案等工程实践中以及标准化实践中积累的经验。通过本书提供建议性的配电解决方案，特别是在工业配电系统的网络组建、设备选型计算、安全和保护技术、电能质量和电能效率等方面的建议。本书共分为三大部分，A部分讨论了工业配电系统规划设计有关的基础知识，B和C两大部分分别讨论了中压配电系统和低压配电系统设计规划方面的内容。

本书还详细地介绍了配电系统使用的开关柜装置和保护设备以及高压、中压和低压（110kV、中压、低压）不同电压等级之间的相互关系。书中提供的有关配电系统运行和设计方面的建议，保护设备的选择和参数化整定等方面的内容是西门子的技术，在很多情况下是从正反两个方面的运行经验中得出的或实践中总结的专门技术，不可能在国际标准和设计技术文件中给出。因为设计规程只能在宏观上适用于配电网络的规划和设计，与实际的设计条件可能相差很大。本书提供了一些设计建议，也给出了设计决策中应考虑的余量和边际。在设计不同领域的工业配电系统或实施过程中可能会出现差异性，但问题的本质应该使出现差异性限制在允许的边际范围内。

本书适用于工业企业和设计院从事电力工程的工程技术人员阅读，也可作为供输电专业的教学参考书，帮助大学生和毕业生熟悉他们未来职业生涯的专业知识。

本书是根据西门子能源集团输配电系统解决方案管理部门的要求而编写的。我要感

谢支持和参与出版本书的所有的人员；还要感谢我的合作者 Wolfgang Fruth 先生，他编著了 C 部分有关低压配电系统方面的全部的内容；我还要感谢 Ursula Dorn 先生，帮助我们将手稿转化成电子文档；最后还要感谢 Gerhard Seifudem 博士，他在编辑本书时给予了卓有成效的配合。

欢迎读者对本书提出宝贵的意见和建议。

Hartmut Kiank

2011 年 7 月于埃尔兰根 (Erlangen)

作者简介



Dr.-Ing. Hartmut Kiank, born in 1952, is a Principal Key Expert for Power Distribution Solutions of the Siemens Energy Management Division. In this professional management position, he is concerned with planning and project management of public and industrial power supply installations. He is a member of the VDE and author of numerous technical articles and reports (CIRED, ICEE). His “etz” paper “EMC and personal safety in multi-ply-fed industrial networks” was included in the “VDE annual report 2007 of electrical engineering”.

Kiank 博士生于 1952 年，是西门子能源管理部门的首席配电解决方案专家。在这个关键的管理岗位上，他负责公共和工业配电网络及装置的规划设计和项目管理。他是德国电气工程师协会的会员（VDE），他为国际配电论坛（CIRED）和国际电气工程会议（ISEE）写了很多的文章和报告；在 2007 年的 VDE 电气工程年报中收集了他撰写的有关多电源工业配电网络的电磁兼容性（EMC）和人身安全方面的论文。



Dipl.-Ing. Wolfgang Fruth, born in 1966, is a Senior Key Expert for Power Distribution Solutions in the infrastructure and head of the Central Consultant Support for Totally Integrated Power of the Siemens Energy Management Division. He is a co-developer of the network calculation and dimensioning software “SIMARIS design” and the author of various technical publications.

Dipl.-Ing. Fruth 先生生于 1966 年，是西门子工业与基础设施配电解决方案的核心专家，也是西门子全集成能源管理（TIP）部门全球技术支持中心的负责人。他撰写和发表了很多技术文章，他还为西门子联合研发了低压配电设计软件（SIMARIS design），参与软件中的配电网络的计算和配电产品的选型等工作。

目 录

编译者序
原版序
原版前言
作者简介

A 基础知识篇

1 引言	1
1.1 工业与民用配电系统的特点	1
1.2 配电系统及工程完整解决方案的要求	3
1.3 配电系统规划与设计的任务	4
2 规划设计的基本流程	6
2.1 自上而下的原则	6
2.2 现有配电系统的状态	7
2.2.1 配电系统设计与网络拓扑	7
2.2.2 厂用配电设备的数据	7
2.2.3 配电系统运行和监控参数	8
2.3 确定配电系统基本要求	9
2.3.1 需求功率	9
2.3.2 供电质量	10
2.4 生产系统和生产工艺允许的电力变量	20
2.5 寻找最优解决方案	26
2.5.1 决策目标	26
2.5.2 决策方法	27

B 中压配电系统的规划设计篇

3 选择中压配电系统电压等级	30
3.1 进线电源电压等级	30

3.2	配电级电压等级	31
4	计算短路电流和短路耐受能力	33
4.1	选择系统短路容量	33
4.2	电气设备的短路耐受能力	35
4.2.1	中压开关装置	35
4.2.2	中压电缆	39
4.2.3	中压配电变压器	41
5	工业配电系统网络结构	43
5.1	金属加工行业的中压负荷结构	43
5.2	配电系统进线电源方案	43
5.3	变压器负荷中心变电站系统的优化	43
5.3.1	投资费用	44
5.3.2	系统损耗	46
5.3.3	需求功率范围	46
5.3.4	供电可靠性	46
5.3.5	电压质量	46
5.3.6	人身设备安全	47
5.3.7	维护和服务费用	47
5.3.8	系统管理方便	47
5.3.9	环境兼容性	47
5.4	工业厂房中压配电网络的结构与要求	48
5.4.1	小型工业厂房	48
5.4.2	中型工业厂房	50
5.4.3	大型工业厂房	51
5.4.4	高新技术企业	58
5.5	中压配电系统的开关柜装置分类	62
6	中压配电网络中性点接地方式	65
6.1	中性点接地的重要性	65
6.2	中性点接地方法	65
6.2.1	中性点对地绝缘(高阻接地)系统 ^[6.2,6.5,6.7-6.18]	67
6.2.2	中性点消弧线圈(谐振)接地系统 ^[6.2-6.5,6.7,6.21-6.46]	71
6.2.3	中性点低阻抗接地系统 ^[6.1-6.3,6.5,6.7,6.47-6.59]	75
6.2.4	中性点短时低阻抗接地系统 ^[6.5,6.7,6.57,6.58,6.60]	83
6.3	中性点接地方法的决策与选择	84
6.4	中压工业电缆配电网络运行的选择	86
6.5	转移变压器高中压两侧中性点接地方式的分析	87

7 中压配电系统保护设计	90
7.1 继电保护工程及设备基础	90
7.1.1 过电流保护继电器 ^[7.1-7.13]	94
7.1.2 差动电流保护继电器 ^[7.1-7.9,7.14-7.19]	97
7.1.3 距离保护继电器 ^[7.1-7.9,7.20-7.25]	100
7.1.4 高压高分断容量的熔断器 ^[7.26-7.33,7.39,7.40]	102
7.2 110kV/中压电力变压器保护	103
7.3 中压配电变压器的保护	106
7.3.1 负荷开关—熔断器组合	107
7.3.2 断路器—继电器组合	119
7.4 电动机和电容器的限流型短路保护	123
7.4.1 高压电动机采用高压熔断器保护	123
7.4.2 高压熔断器保护电容器	126
7.5 硬母线保护	127
7.6 电缆线路保护	128
7.6.1 配电站的双回路进线电缆的保护	129
7.6.2 配电站环网进线电缆保护	129
7.7 20kV 工业配电系统中性点低阻抗接地的继电保护解决方案	131

C 低压配电系统规划设计篇

8 低压配电系统电压等级	133
8.1 工业厂房低压负荷概述	133
8.2 工业厂房要求的低压电压等级	133
9 低压配电系统短路容量与短路电流	138
9.1 按短路故障类别计算短路电流选择系统电气设备	138
9.2 电气设备的短路耐受能力	142
10 低压配电系统设计	145
10.1 负荷结构分析	145
10.1.1 金属加工行业负荷组的特点	145
10.2 选择低压接地系统	170
10.2.1 接地系统类别	171
10.2.2 多台电源设备的 TN 系统及 EMC	191
10.3 低压配电网络	194
10.3.1 组建低压配电系统网络	194
10.3.2 按经济和技术原则选择理想的网络结构	200

11 低压电气设备的选型计算	201
11.1 配电变压器.....	201
11.1.1 额定电压.....	201
11.1.2 额定电流时的阻抗电压.....	202
11.1.3 联结组别 (Vector group)	203
11.1.4 额定容量 S_N	205
11.2 低压开关柜和配电柜.....	209
11.2.1 SIVACON S8 开关柜装置.....	212
11.2.2 SIVACON 8PT 开关柜装置.....	218
11.2.3 ALPHA 630 配电柜.....	219
11.2.4 ALPHA 8HP 注塑成型配电柜.....	220
11.2.5 SIVACON 8PS 母线槽系统.....	221
11.2.6 变压器负荷中心变电站配置 SIVACON S8/8PT/8PS.....	223
11.3 电缆.....	226
11.3.1 允许的载流量.....	226
11.3.2 过负荷保护.....	235
11.3.3 短路保护.....	237
11.3.4 人身电击防护.....	242
11.3.5 允许的电压降.....	250
11.3.6 电缆选型计算案例.....	252
12 无功补偿	258
12.1 从技术经济指标理解无功补偿.....	258
12.2 对线性负荷进行无功补偿.....	258
12.2.1 计算补偿电容器容量.....	259
12.2.2 无功补偿分类.....	263
12.2.3 选择最好的无功补偿方式.....	266
12.2.4 单独无功补偿方式.....	266
12.2.5 自动无功补偿系统.....	271
12.3 对非线性负荷进行无功补偿.....	281
12.3.1 谐波对电源系统的负面影响.....	282
12.3.2 限制谐波的技术措施.....	286
12.4 无功补偿系统的设计.....	293
12.5 无功补偿经济技术指标说明.....	296
12.5.1 减少配电系统的损耗.....	296
12.5.2 降低变压器视在功率.....	297
12.5.3 改善电压质量.....	298

13 低压配电系统保护设计	300
13.1 保护工程和设备的基础	300
13.1.1 熔断器	301
13.1.2 断路器	302
13.1.3 成套开关装置	305
13.1.4 保护电器特性曲线的比较与评价	307
13.2 低压配电系统的选择性	309
13.2.1 放射式配电网络	310
13.2.2 网格式和环网（闭环）配电网络	324
13.3 用 SIMARIS [®] design 设计软件评价选择性保护配合案例	326
14 字母、缩写、符号及上下标符号说明	333
14.1 字母和缩写说明	333
14.2 符号	335
14.2.1 电流	335
14.2.2 电压	335
14.2.3 电阻	336
14.2.4 功率和电能	336
14.2.5 时间/持续时间	336
14.2.6 系数	337
14.2.7 其他符号	337
14.3 下标和上标符号	337
参考文献	339

1.1 工业与民用配电系统的特点

输配电系统通过输电线输送和分配电能，采用不同的电压等级。输配电系统有高压、中压和低压三个不同的电压等级，因此输配电系统包含了不同电压等级的分支和节点。分支指的是输配电线路和变压器等设备，节点是指变电站。变电站内集成了输配电要求的保护设备和控制设备。公共（或民用）配电系统和工业配电系统是两类具有不同供电任务的系统，因而对配电系统提出的要求也是不同的。与公共（或民用）配电系统比较，工业配电系统主要有如下一些特征：

（1）负荷密度高，开关装置的安装密度高。对工业电力装置或配电系统而言，系统节点（变电站或线路不同的电压等级）之间的距离相对比较短，开关装置的数量与总的输配电线路长度之比大于公共输配电网络系统^[1.1]。另外，工业系统的负荷密度大，即单位面积的负载功率大。如金属加工（处理）行业，厂房的负荷密度为 $70\sim 600\text{VA}/\text{m}^2$ ，主要取决于负荷的性质和生产工艺的要求；对于机加工车间，平均的负荷密度为 $150\sim 300\text{VA}/\text{m}^2$ ，该负荷密度应该包括照明系统（ $20\sim 30\text{VA}/\text{m}^2$ ）和通风系统（ $15\sim 20\text{VA}/\text{m}^2$ ）的负荷密度^[1.2,1.3]。

而公共（或民用）配电系统负荷密度通常为 $2\sim 20\text{VA}/\text{m}^2$ 。由于公共配电网络在负荷密度、开关装置的数量以及网络结构等方面的原因，通常不能满足工业行业厂房配电任务的要求，因而公共（或民用）配电系统的网络结构与工业配电的网络结构看起来类似，但不能用于工业配电系统^[1.4]。

（2）短路容量大。工业配电系统要求的短路容量大，因为要满足大功率电动机的起动、多台电动机的同时起动或再起等工况条件的要求，所以要求工业配电系统的配电线路阻抗或系统阻抗必须足够低。系统阻抗低意味着短路电流大，相应地要求配电系统和电气设备必须耐受由大短路电流产生的动态机械应力和热应力的破坏效应。计算异步电动机馈线回路时，必须按最坏的短路工况条件考虑。异步电动机出现短路故障时，会产生附加的短路电流，并反馈到电网。所以对工业配电系统来说，设备必须耐受高短路电流产生的动态（机械）应力，要求电动机馈线回路的保护设备必须快速自动地切断电源，这是需要特别注意的地方^[1.5]。为此，在工业配电系统中，经常采用限流性能好的高压熔断器装置（HV HRC）和差动保护继

电器（设备）保护配电线路和电气设备。

(3) 要求开关装置耐受高强度的动态机械应力。工业电力系统中，有些配电系统对开关装置提出了特别高的要求^[1.6]。无功补偿装置和电弧炉等负荷的开关设备和控制设备要求具有特别高的短路耐受能力，要求动态修正系统功率因数，耐受短路电流产生的动态机械应力。动态无功补偿装置需要在一天内进行频繁的操作，接通和断开无功补偿设备中的电容器或分流电抗器；而电弧炉是按运行的循环周期进行频繁的操作，每天可高达 100 多个操作循环；电弧炉大电流变压器也会在接通和断开的瞬间，产生极大的动态机械应力。接通时，瞬间产生高频瞬态冲击电流的同时，还可能出现危险的谐振（张弛振荡）现象；另一方面，在断开时，可能产生由截流或重燃（电弧）现象引起的瞬态过电压。该高频瞬态过电压对电气设备的绝缘强度构成了极大的危害。工业配电系统中，通常把电弧炉变压器看作动态负荷进行处理。为了确保工业配电系统可靠地执行全部的开关操作任务，必须特别细心地选择开关设备（如考虑必要的操作循环数、能可靠分断预期的最大短路电流、能可靠分断或接通的最小电感电流和电容电流）、必要的瞬态过电压的抑制和保护措施（如电涌抑制器、与动力系统相匹配的 RC 和 CR 保护线路）。

(4) 变电站之间的电缆线路（网络）相对较短。工业配电系统变电站之间的纯电缆网络的距离相对较短，在保护理念上，通常不采用（或较少考虑）“距离保护设备”的原则，因为，与公共配电网络或配电系统相比，变电站之间的电缆线路距离短。另一方面，选择过电流保护装置特性曲线（时间与过电流之间的关系曲线）也会出现选择性的问题。选择性问题是与配电线路状态、故障点预期的短路电流、保护装置的（时间—过电流曲线的）保护特性曲线局限性等因素有关，如各过电流保护装置之间的选择性级差（电流级差或时间级差），短时切除故障电流的动作整定值和切除故障的动作时间等。正因为上述过电流保护电器有局限性，所以在中压工业配电（电缆网络）系统中主要采用基于差动保护原理的保护设备。

(5) 低压系统的供电可靠性要求高。工业配电系统特别强调低压配电系统的供电可靠性。公共（民用）网络低压配电系统的供电重点满足系统正常运行的要求，所以供电电源一般不采用（或在有限的范围内采用） $N-1$ 原则^[1.7]。而 $N-1$ 原则是供电可靠性和生产过程（绝对）必要的条件。

(6) 动态负荷会对配电系统产生严重的干扰（扰动厉害）。工业配电系统中有很多类型的负荷设备会在配电系统中产生无功功率，或使正弦电流波形（和电压波形）失真^[1.8]。大型异步电动机、电焊机以及电力电子式传动装置等设备会以电压波动、电压降、三相电压不平衡、谐波电压及波形失真等形式严重干扰配电系统；周期性的脉冲负荷可产生闪变。应该限制或消除上述各种干扰因素，限制或消除干扰源对负荷设备本身的影响，限制或消除干扰源对其他负荷设备的影响，或者把这类干扰因素对设备的影响控制在设备可以接受的水平上。为此，工业配电系统的设计和选型应包括采取必要的措施，消除（或尽可能降低）干扰源对配电系统及负荷设备正常工作性能的影响。抗干扰措施包括：对大型高压电动机采用适当的起动方法，安装有源和无源调谐式滤波装置、闭环控制的无功补偿设备、动态电压补偿（dynamic voltage restorer, DVR）系统等。

(7) 厂房内设置（或自备）发电系统。工业厂房配电系统带有自备发电系统时，厂房内的发电机网络与公共配电网的联络和运行有很多的技术（限制）要求^[1.4]。如果外部电力系统发生短路故障，或出现不允许的反向电流等异常工况时，会使发电机系统运行不稳定。为此，厂内的自备发电机网络需转入稳定的孤岛运行方式，通过开关设备切除一些有关的配电

网络和负荷。切除原则为，避免频率降低、电压降过大、出现反向电流和反向功率等^[1.5]。

为了确保稳定的孤岛运行方式，需要采用一套自动卸负荷系统，在频率降低事件出现时，自动进行卸负荷操作，以满足工厂主要生产工艺必须的需求功率。公共电网故障消除后，通过厂房的发电机配电网络执行自动步操作，恢复两个网络之间的同步运行和联络。

(8) 电气设备和装置长期连续运行。资本密集型生产企业以及经济效益好、产品供不应求的工厂，要求电气设备和装置一年四季不停地运转，有些工业系统要求电气设备年运行时间在 8000h 左右^[1.9]。年平均运行时间高的一些电气设备和负荷特别强调电能效率，为此要求选用低损耗的电源设备（变压器）和配电系统。

(9) 与输配电及过程控制紧密连接。工业配电系统中，输配电功能应与特指的生产过程连接在一起，为了把配电功能与生产过程紧密结合在一起，需要把与配电系统有关的保护、控制、自动化系统之间的信息流集成在一起。完善的工业控制系统要求智能配电和过程控制，集成信息流，实现系统的保护、控制和自动化等功能。

上述谈到的一些方面，解释了工业配电系统和公共（或民用）配电系统的主要的不同点，因而在工业配电系统的设计规划、设备选型时，必须满足生产工艺提出的特殊要求。

1.2 配电系统及工程完整解决方案的要求

现有的大多数工业配电系统均已运行了很长一段时间，由于历史的原因，其系统配置可能不再能满足如下的一些技术要求：

- (1) 性价比和电能效率以及经济运行。
- (2) 清晰的运行模式。
- (3) 故障状态下，配电系统负荷备用（冗余）的要求。
- (4) 选择性保护，快速切除和隔离故障。
- (5) 人身安全保护。^①
- (6) 电气设备的短路耐受能力。
- (7) 电磁兼容性（electromagnetic compatibility, EMC）。
- (8) 对环境的影响要求等。

设计者的任务是按有关标准的要求，解决配电系统结构上出现的问题，研究高性价比、安全可靠、完整的配电系统解决方案。现有配电系统的扩建或更新改造提供了一个机会，对现有的配电系统进行优化，寻求更完整的工程解决方案^[1.10]，优化方案应包括下列一些内容：

- (1) 按生产工艺的要求，扩展系统，重新敷设电缆。
- (2) 按负荷中心原则，规划更新配电变电站或增加配电变电站，缩短向新厂房或生产区域的供电距离。
- (3) 更换绝缘老化的电缆。
- (4) 缩短配电线路长度。
- (5) 更换不满足安全要求的中压开关装置。
- (6) 重新考虑进线电源，采用新的电压等级等。

^① 依据劳动者责任保险协会条例（事故避免规程 BGV）或工作场所的安全技术规程（TRBS 2131）。