

HUODIAN JIZU REGONG BAOHU
PEIZHI JI YOUHUA

火电机组热工保护 配置及优化

大唐华东电力试验研究院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

HUODIAN JIZU REGONG BAOHU
PEIZHI JI YOUHUA

火电机组热工保护 配置及优化

大唐华东电力试验研究院 编

常州大学图书馆
藏书章



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为促进火电行业热工保护技术发展,建立设计合理、功能完善的保护系统,确保发电机组安全运行。大唐华东电力试验研究院组织编写了本书。本书结合多年来在热工保护系统设计审查、技术监督、隐患排查、系统优化中的实践经验,有助于读者深入理解热工保护系统知识,有助于从业人员全面执行相关文献法规,有助于提升现场热工保护系统的可靠性,具有很强的指导意义和实用价值。

全书共分五章,主要内容包括热工保护的基本原则,锅炉、汽轮机以及重要辅机的热工主保护,还介绍了大型燃气轮机保护系统。

本书可供各科研院所、发电企业热工从业人员使用,并可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

火电机组热工保护配置及优化 / 大唐华东电力试验研究院编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-5198-1473-1

I. ①火… II. ①大… III. ①火力发电—发电机组—热工保护—研究 IV. ①TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 296293 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 郑艳蓉 (010-63412379)

责任校对: 李 楠

装帧设计: 左 铭

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2017 年 12 月第一版

印 次: 2017 年 12 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 13.5

字 数: 315 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 56.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

本书编审单位

主编单位 大唐华东电力试验研究院

参编单位 大唐安徽发电有限公司

大唐淮北发电厂

大唐淮南洛河发电厂

马鞍山当涂发电有限公司

大唐南京发电厂

安徽电力股份有限公司淮南田家庵发电厂

大唐姜堰燃机热电有限责任公司

广东大唐国际潮州发电有限责任公司

本书编审人员

主 编 陈胜利

副主编 吴智泉 田万军 鲁叶茂

参 编 陈 涛 张 兴 赵仕剑 刘 冰 司徒有功 阚俊超

庄义飞 张 驰 宋毓楠 武海澄 丁昌伟 王 鸣

胡 鲲 王培成 刘海斌 高 伟 肖丽君

主 审 唐世蔼

21 世纪以来,我国电力工业迅猛发展,新建火电机组单机容量和参数等级不断提升。2010 年之后,在国家“大力发展低碳技术、推广高效节能技术”的能源和环境保护战略背景下,高参数、低排放的超(超)临界机组以及大型燃气-蒸汽联合循环机组成为了火电能源的主要发展方向。2000—2016 年,全国发电装机容量由 3.2 亿 kW 增加到 16.5 亿 kW,其中火电装机容量始终占据主导地位,为全国电网的稳定运行、调峰调频、新能源接入做出了重要贡献。随着我国特高压“三横三纵一环网”工程的逐步完工,“三华”同步电网即将建成,作为稳定电网运行的火电机组,其安全可靠性和重要性。

在火电技术领域,热工保护系统的可靠性对机组安全运行有着决定性作用,随着 600、1000MW 等大型超(超)临界机组及燃气-蒸汽联合循环机组的普遍投产,热工保护系统的重要性更加突出,设计合理、功能完善的热工保护系统是确保机组安全运行的基础。大型火电机组热力系统复杂,热工保护系统的设计涉及热力设备、系统原理、控制理论及装置、信号测量及传输等诸多技术领域,对电厂热工从业人员的综合分析能力、问题判断和解决能力提出了更高要求,也对电力科研单位在技术攻关、科研开发和技术培训方面提出了更具挑战性的课题。因此,各大发电集团、电力科研院所及高校均把热工保护系统的设计、优化及可靠性配置作为重点课题进行研究。

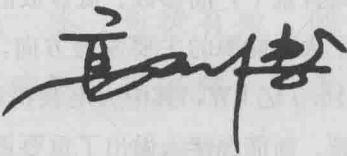
大唐华东电力试验研究院热工专业人员正是怀着“加强热工保护技术交流,推动专业技术进步”的愿景,在中国大唐集团科学技术研究院的正确领导下,将从业二十多年的研究成果和宝贵经验编写成《火电机组热工保护配置及优化》一书,集中体现了中国大唐集团科学技术研究院“面向集团公司主业、面向生产建设经营实际、面向集团公司未来发展”的宗旨和态度,将中国大唐集团科学技术研究院“紧密围绕集团公司在建在役发电资产,开展技术服务支撑;紧密围绕集团公司生产、经营、建设中遇到的实际问题和困难,开展技术难题攻关;紧密围绕集团公司未来高新技术产业和战略型新兴产业发展重点,开展前沿技术研发”的方针落到实处,也进一步彰显了中国大唐集团科学技

术研究院为推进我国热工控制技术的进步而不懈奋斗的决心。

本书系统性地总结了多年来在热工保护方案审查、设计及优化中积累的经验和创新成果，结合丰富、典型的试验案例，对热工保护配置及优化进行了深入浅出的讲解和分析，具有极强的先进性、实用性和操作性。本书内容将“问题导向”和“需求导向”理念贯穿始终，可为热工保护系统设计人员、维护人员提供全面、系统的设计思路，使读者可以做到“拿之即用、用必有效”，相信本书能够给读者带来启发和帮助。

希望本书的出版能够为推动热工专业设计、维护、优化、治理及培训工作的进步做出贡献，帮助热工从业人员提高技术水平和综合素养，促进我国火电机组可靠性和自动化水平的不断进步，在保障国家电力安全生产中发挥作用，为国家能源战略和国民经济的发展做出积极贡献。

中国大唐集团公司总工程师
中国大唐集团科学技术研究院院长



2017年10月

随着火电机组单机容量的不断提升,热工保护系统越加复杂,因系统设计不合理或现场安装不完善导致的机组跳闸事故屡有发生。同时,对于日趋普及的大型燃气-蒸汽联合循环机组,热工保护系统在功能需求、逻辑设计等方面具有与常规燃煤机组不同的新特点,给热工从业人员提出了新的任务。

为促进热工保护技术发展,建立设计合理、功能完善的保护系统,确保发电机组安全运行,本书以“立足现场、面向需求”为着眼点,基于现场安装、保护设计中的典型问题,结合多年来在设计审查、技术监督、隐患排查、系统优化中的实践经验,对燃煤、燃气-蒸汽联合循环机组的主、辅机保护配置和功能需求提出了具体、完善的设计和优化方案,可帮助热工从业人员深刻理解热工保护原理,顺利开展保护系统的设计和 optimization 工作。

本书共分五章,分别按锅炉主保护、汽轮机主保护、辅机保护及燃气轮机保护的顺序,对典型品牌主、辅机的保护配置、需求及设置进行了比较分析,同时结合典型案例,对各保护项目的现场测点安装、卡件及控制器配置、逻辑设计及优化等进行了系统介绍,给出了典型设备热工保护配置的设计和 optimization 方案。其中,第一章主要介绍了热工保护的基本原则,包括测点取样、电源卡件、控制器分配、逻辑设计、系统接地和引用标准等。第二章主要介绍了锅炉的热工主保护,包括不同炉型锅炉的保护需求、MFT 各保护项目全程优化设计、典型案例和 MFT 机柜硬回路配置方案等。第三章主要介绍了汽轮机的热工主保护,包括不同机型汽轮机的保护需求、ETS 各保护项目全程设计方案等。第四章主要介绍了机、炉主要辅机的热工保护,包括主要辅机设备特点、测点安装、逻辑设计、典型案例和 optimization 方案等。第五章主要介绍了大型燃气轮机热工保护,主要针对三菱和 GE 公司的燃气轮机产品,从防超速、防超温、防熄火和燃烧监视几个保护角度对燃气轮机热工保护的特点和配置方案进行讲解。本书具有较强的针对性和指导性,希望本书的出版有助于读者深入理解热工保护系统知识,有助于从业人员全面执行行业规程,有助于提升现场热工保护系统的可靠性。

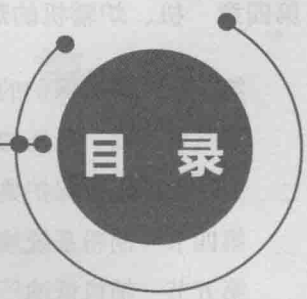
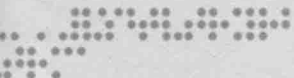
本书由陈胜利主编，设计全书架构和章节内容，并组织编排。第一章由陈胜利、庄义飞编写，丁昌伟校核；第二章由陈涛、肖丽君编写，王鸣校核；第三章由张兴、胡鲲编写，王培成校核；第四章由阚俊超、宋毓楠编写，武海澄校核；第五章由张驰、高伟编写，刘海斌校核。全书由陈胜利统稿，陈涛校核，吴智泉、田万军、鲁叶茂、赵仕剑、刘冰、司徒有功等参与全书框架结构、章节内容和编写工作，唐世嵩主审全书。

本书在编写过程中得到了中国大唐集团科学技术研究院和中国大唐集团公司各发电企业的大力支持，参考了大量学术论文、专著文献、标准规程和案例材料，在此一并表示衷心感谢。

最后，感谢所有参与本书策划和技术讨论的领导及专业同仁。不足之处，恳请专家和读者批评指正。

编者

2017年10月于合肥



序
前言

第一章 热工保护的基本原则	1
第一节 热工保护的发展历程	1
第二节 保护测点的取样和安装	3
第三节 电源配置、控制器及卡件分配	7
第四节 逻辑设计的基本原则	15
第五节 机组的接地与屏蔽	22
第六节 相关规范标准及台账	26
第二章 锅炉的热工主保护	29
第一节 MFT 机柜硬回路	32
第二节 风烟系统保护	50
第三节 汽水系统	69
第四节 火焰监视系统	87
第五节 其他 MFT 保护	96
第三章 汽轮机的热工主保护	99
第一节 TSI 系统保护	112
第二节 油压低及真空保护	133
第三节 推力瓦温度高保护	144
第四节 发电机断水保护	150
第五节 其他保护	153

第四章 机、炉辅机的热工保护 156

第一节 泵体保护的典型配置 156

第二节 高、低压加热器保护典型配置与优化 170

第三节 风机保护典型配置与优化 173

第四节 制粉系统辅机 177

第五节 辅机低油压保护 179

第五章 燃气轮机保护条件 181

第一节 概述 181

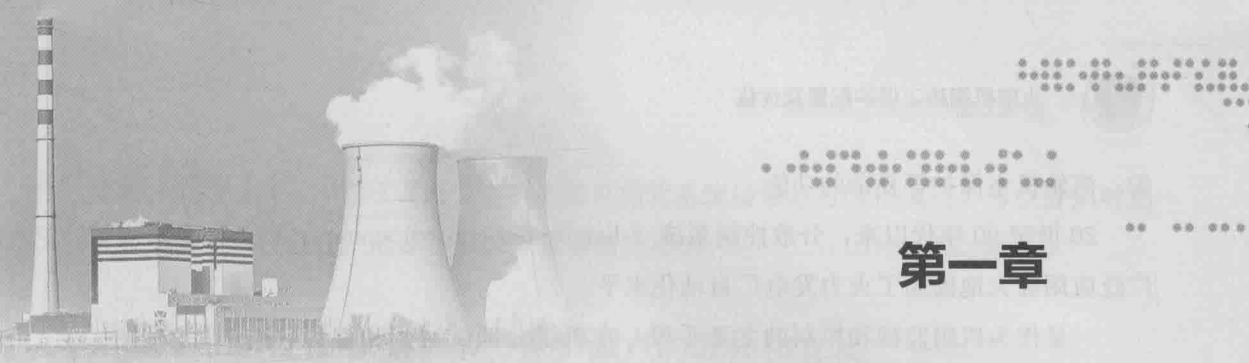
第二节 超速保护 182

第三节 超温保护 185

第四节 熄火保护 190

第五节 燃烧监测保护 194

参考文献 203



第一章

热工保护的基本原则

热工保护系统是指在机组运行过程中参数超出正常值时自动联动相关设备，对主、辅设备进行处理和保护功能，从而使设备故障得到控制，避免了不必要的经济损失。目前，随着电厂热工自动化程度不断提高和分散控制系统的广泛应用，机组运行的安全性和经济性也得以较大的提升，但随之热工保护的复杂性相应增大，在一定程度上造成保护误动和拒动发生的概率上升，因此，通过各种优化技术，提高热工保护系统的可靠性，进而减少乃至消除误动和拒动事件的发生，成为了热工专业的重要任务。

在热工保护系统的设计中，首先要根据人员及设备的安全充分设置完善的保护条件，同时也要考虑机组运行的经济性，没有必要的联停对象就不需要多加设置。热工保护应全面考虑测点的取样安装，电源配置、控制器及卡件分配，合理的逻辑回路设计、机柜及信号电缆的接地与屏蔽，人员及技术管理等。这就对热工人员提出了更高更全面的要求。本节主要对热工保护的基本原则进行介绍。

第一节 热工保护的发展历程

20 世纪 50 年代，我国火电机组的单机容量小，一般采用母管制运行方式，自动化程度较低，机、炉、电系统一般在就地或各自单独的控制室进行控制，基本依赖人工操作，辅以简单的仪表来监视生产过程。到 20 世纪 70 年代，随着电力工业的发展，发电机组出现了集中控制，即在集控室内，操作人员主要通过操作按钮和各种仪表进行控制和监视，但机组的自动化水平仍很低，期间国内仪表行业研制生产的 DDZ-Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型电动单元组合仪表装备在不同容量的国产机组上逐步被采用，至 20 世纪 70 年代末，单回路调节装置和模拟组装仪表投入使用。当时单元机组的集中控制从某种意义上而言仅仅是各种控制仪表设备机械地组合在一起。从实际使用情况看，随着机组容量的不断增大、控制参数和控制要求的不断提高，传统的模拟仪表很难满足要求，难以实现锅

炉、汽轮机主保护等复杂的功能。

20 世纪 90 年代以来,分散控制系统(distributed control system, DCS)在国内的广泛应用极大地提高了火力发电厂自动化水平。

一是作为机组监视和控制的主要手段,在机组分部试运行和整套启动调试过程中,DCS 已经能发挥作用,加速了机组安装、调试的进程;机组正式移交生产时,热工保护系统的主要功能均能投入使用,为确保机组安全经济运行做出了贡献。

二是运行人员已经熟悉和信任显示器/键盘的操作方式,逐步摆脱对常规仪表和硬手操的依赖。300MW 及以上火电机组均实现了单元集中控制,在单元控制室里实现对机组正常运行的监视和控制;在就地配合下,完成机组的启停操作和事故处理,为逐步过渡到机、炉、电统一操作创造了条件。

三是电厂辅助生产车间和辅助生产系统(如输煤、除灰、化水等)均采用可编程控制器(PLC),实现顺序控制。

四是 DCS 完全依赖国外进口的局面开始改变,国内自动化仪表制造行业和电厂自动化研究单位通过技术引进和技术合作,在工程实践中逐渐积累经验,已经能独立承担 DCS 软、硬件开发,系统组态,现场调试和培训工作,为降低 DCS 的造价做出了贡献。目前,国内几乎所有的机组都采用了 DCS 控制系统。国外的系统运行可靠但价格昂贵;国内的系统价格低,但是过去运行和维护的工作量都比较大,现在其设计、制造和运行水平已基本达到或者超过进口产品。

随着国家法律对环保要求日益严格和计算机网络技术的进步,未来的热工自动控制系统将进一步向智能化、网络化、透明化,保护、控制、测量和数据通信一体化发展,新的测量控制原理和方法不断得到应用,将使机组的运行操作和故障处理,像操作普通计算机一样方便。

在热工自动化的发展过程中,热工保护系统随着机组容量的不断增大、DCS 分散控制系统的进步,水平和功能也不断充实和提高。由早期的通过继电器方式搭建保护硬回路,到中期通过 PLC 梯形图的方式搭建逻辑组态,再到目前以 DCS 为主流方式,热工保护的自动化水平快速提升。由于热工保护系统的重要性,国家、行业对于热工保护的要求也不断细化和加强。

2014 年国家能源局发布的《防止电力生产事故的二十五项重点要求》(国能安全〔2014〕161 号)中第 9 项中对热控专业提出了要求,即“防止分散控制系统控制、保护失灵事故”,在其余要求中,也分别对热控专业提出了各种要求。

在热控专业相关规程标准中,如 DL/T 656—2016《火力发电厂汽轮机控制及保护系统验收测试规程》、DL/T 261—2012《火力发电厂热工自动化系统可靠性评估技术导

则》、DL/T 774—2015《火力发电厂热工自动化系统检修运行维护规程》等也分别对热控专业的安装、设计、电源、保护配置等提出要求。

第二节 保护测点的取样和安装

一、介质的取样安装及测点分布

在火电机组中,涉及介质的取样主要有开关量及模拟量取样装置,开关量如压力开关、液位开关等,模拟量如压力、流量、差压等,都应遵循如下要求:

(1) 用于高温、高压管道和容器上的测量元件温包、压力取样部件的材质,应与管道同种材料为宜,安装前进行金相检验。取样一次阀,应为两个工艺阀门串联连接,安装于取样点附近且便于运行检修操作的场所。排污门也宜采用两个排污门串联连接。

(2) 炉膛压力不允许集中取样,其3个正压和3个负压取样点应分别置于锅炉前墙、左墙及右墙,并通过独立的取样管接至不同的压力开关。取样点与人孔、看火门和吹灰器间应有足够的距离,且各取样点应在同一标高,取样管直径应不小于60mm,与炉墙间的夹角小于 45° 为宜。为避免取样管内积灰堵塞,应采取防堵措施。

(3) 汽轮机润滑油压测点须选择在油管路末端压力较低处,禁止选择在注油器出口处,以防止末端压力低,因取样点处压力仍未达到保护动作值而造成保护拒动的事故发生。

(4) 冗余信号从取样点到测量仪表的全程,均应互相独立分开设置。

(5) 测量蒸汽或液体介质的仪表,应安装于测点下方且便于维护、环境条件满足要求的场所。测量真空或风压的仪表应安装于测点的上方,如只能安装在测点的下方,则末端应保证有足够容量的聚水空间并定期排水。管路敷设坡度应符合DL/T 5190.5—2015《电力建设施工技术规范 第5部分:管道及系统》的要求,不允许出现可能引起积气(测量蒸汽或液体介质时)或积水(测量气体介质时)的管路弯曲,否则应装设排气、排水装置。

(6) 含有粉尘或悬浮物介质(炉膛压力、一次风压、开式循环水压力等)的取样装置和管路,应有防堵和吹扫(洗)措施;风量及含有粉尘系统一次测量元件,应有防止振动和被测介质冲刷、磨损而造成损坏的措施。

(7) 敷设在气温较低处的取样装置和管路,必须有防冻或防介质过稠而导致传压迟缓的措施;用于保护的气动阀门,其控制气源管的通径应不小于10mm。

(8) 热控系统的防护措施应符合DL/T 774—2015《火力发电厂热工自动化系统检

修运行维护规程》的要求。

(9) 易燃易爆场所的测量仪表、接线盒应符合防爆要求。易腐蚀、堵塞的测量管路应增大取样管路和测量管路管径,以保证介质流速,防止管路堵塞。

用于机组保护及监视的测点应独立取样,不允许集中取样。如参与汽轮机主保护的凝汽器真空,应独立从凝汽器喉部中间位置进行独立取样,这样既保证了测点之间的互不干扰,防止因1根取样管出现泄漏或堵塞而使测量失真,又保证了保护动作的正确性,有效地杜绝机组的误动或拒动。

如某机组“凝结水流量”就地为孔板差压测量装置,仅引出一路差压取样管路,经转接后分成两路,作为2个凝结水流量测点的取样源,存在取样同源问题。该测点参与除氧器水位三冲量控制,如果该测点取样存在异常波动,易造成除氧器水位控制存在外部干扰,导致除氧器水位大幅波动,严重时会导致水位无法及时调整,造成四段抽汽误关或给水泵跳闸,进而导致机组非计划停机。凝结水流量测点取样同源如图1-1所示。

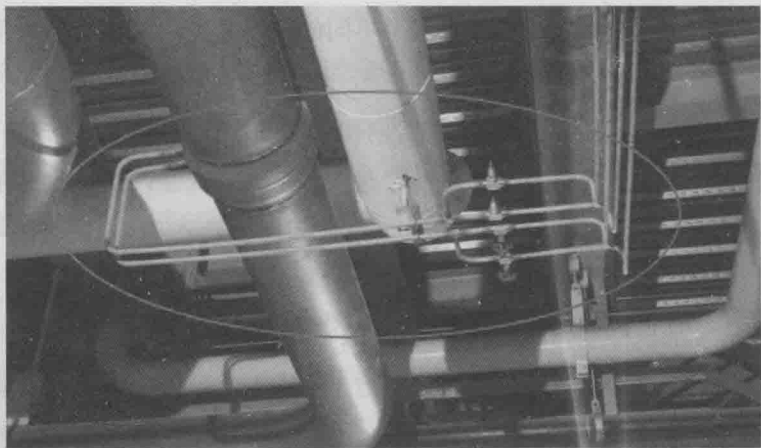


图 1-1 凝结水流量测点取样同源

不仅测点、取样管路应独立布置,对于重要的引压管路,由于可能存在高温介质,当管道或阀门泄漏时,会导致高温介质的流动,对邻近管路会起到加热作用,从而降低密度,引起邻近管路测点取样的失真。如机组的给水流量取样管路布置在同一保温内。当某一管道或阀门泄漏时,由于给水温度过高,且介质高速流动,可能会造成相邻管路被加热,从而导致温度上升,造成测量偏差。

某电厂曾发生过该类问题:由于汽包压力测点取样管道排污阀泄漏,造成取样管路内介质流动,同时对邻近的取样管路进行加热,造成同一保温内的2只汽包水位变送器取样管路受热,使得正、负压取样管路内部凝结水密度发生变化,造成测量异常。最终

造成汽包水位超限，锅炉主燃料跳闸（MFT）。

二、泵与风机的电气接点

用于机组保护的电气接点应冗余配置，送至顺序控制系统（sequence control system, SCS）与重要保护系统应分开布置，不能采用跨控制器间的通信点送至重要保护系统。如风机的停运信号，应取电气接点分别送至 SCS 系统及锅炉炉膛安全监控系统（furnace safety supervision system, FSSS）保护系统。

三、重要测点冗余配置

重要参数测点、参与机组或设备保护的测点应冗余配置，冗余配置的 I/O 测点应分配在不同模件上。

1. 相关规程标准中的要求

DL/T 1083—2008《火力发电厂分散控制系统技术条件》：

5.2.1.15 规定：“对某些重要的关键参数，应采用三重冗余变送器测量”；

5.2.1.17 规定：“对某些仅次于关键参数的重要参数，应采用双重冗余变送器测量”。

DL/T 5428—2009《火力发电厂热工保护系统设计技术规定》5.3.6 明确要求：“主要开关量仪表应冗余配置”。

DL/T 5175—2003《火力发电厂热工控制系统设计技术规定》要求：“冗余 I/O 信号应通过不同的 I/O 模件和通道引入/引出”。

DL/T 261—2012《火力发电厂热工自动化系统可靠性评估技术导则》6.2.3.2 规定：“机组重要信号 I/O 配置应根据不同厂商的分散控制系统结构特点和被控对象的重要性来确定”。

2. 推荐的冗余配置原则

(1) 应三重冗余（或同等冗余功能）配置的模拟量输入信号：机组负荷、汽轮机转速、轴向位移、给水泵汽轮机转速、凝汽器真空、汽轮机润滑油压力、抗燃油压、主蒸汽压力、主蒸汽温度、主蒸汽流量、调节级压力、调节级金属温度、汽包水位、汽包压力、水冷壁进口流量、主给水流量、除氧器水位、炉膛负压、增压风机入口压力、一次风压力、再热蒸汽压力、再热蒸汽温度、常压流化床床温及流化风量、中间点温度（作为保护信号时）、主保护信号。

(2) 至少应双重冗余配置的模拟量输入信号：加热器水位、热井水位、凝结水流量、汽轮机润滑油温、发电机氢温、汽轮机调节阀开度、分离器水箱水位、给水温度、

送风风量、磨煤机一次风量、磨煤机出口温度、磨煤机入口负压、单侧烟气含氧量、除氧器压力、中间点温度（不作为保护信号时）等。当本项中的信号作为保护信号时，应三重冗余（或同等冗余功能）配置。

(3) 应三重冗余配置的重要开关量输入信号：主保护动作跳闸〔总燃料跳闸(MFT)、汽轮机紧急跳闸系统(ETS)、发电机跳闸系统(GTS)〕信号、联锁主保护动作的主要辅机动作跳闸信号等。

(4) 至少采用双重冗余配置的次要重要开关量输入信号：风箱与炉膛差压，一次风和炉膛差压等。

(5) 冗余配置的 I/O 信号、多台同类设备的各自控制回路的 I/O 信号必须分别配置在不同的 I/O 模件上。

(6) 所有的 I/O 模件的通道间应具有信号隔离功能。

(7) 电气负荷信号应通过硬接线直接接入 DCS；用于机组和主要辅机跳闸的保护输入信号，必须直接接入对应保护控制器的输入模件。

(8) 取自不同变送器用于机组和主要辅机跳闸的保护输入信号应直接接入相对应的保护控制的输入模件。

(9) 接受冗余配置信号的控制模件的电源应相互独立。

3. 测量回路因未独立配置而造成的机组非计划停机案例

某电厂的汽包水位采用 3 个独立的变送器测量，也分配在不同的 I/O 模件中，3 个模件都在 1 个分支上。某次分支电源故障，导致 3 个变送器同时达到保护动作值，直接发生 MFT。

该事故是由于测点配置不符合要求引起的典型事故，说明 I/O 点全程独立配置的必要性。

不仅 I/O 测点需要全程独立配置，各类电缆的敷设也应分开布置。《防止电力生产事故的二十五项重点要求》（国能安全〔2014〕161 号）中 9.1.10 要求：分散控制系统电子间环境满足相关标准要求，不应有 380V 及以上动力电缆及产生较大电磁干扰的设备。机组运行时，禁止在电子间使用无线通信工具。

如某发电机组 DCS 为 maxDNA 系统。机组运行过程中，DCS 系统部分工艺画面偶尔会出现参数显示异常的情况，其现象为测点显示为红色阴影，数据无法正常显示，但该现象很快会自动恢复正常。检查发现部分分散处理单元（distributed processing unit, DPU）到交换机的网线都是从电缆桥架中敷设的，网线与其他电缆混在一起，没有与其他电缆隔离。这些电缆类型复杂，有信号电缆，也有控制电缆和动力电缆，通信网络很容易受到电磁干扰。后在大修期间重新敷设电缆后解决。