



HGIS 与

数字化变电站

包红旗 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

HGIS 与 数字化变电站

包红旗 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书从实用性出发,较详实的介绍了高压组合电器 HGIS 在数字化变电站中的应用,包括智能断路器、电子互感器、网络通讯系统、IEC 61850 标准、一次设备的智能单元和二次设备的智能单元技术,同时还提供了一套完整的数字化变电站建设方案。

本书可供电力系统运行、设计、试验、制造、科研及管理人员阅读,也可供电力系统专业大学本科及研究生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

HGIS 与数字化变电站/包红旗编著. —北京:中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8479-5

I. H… II. 包… III. 变电所-自动化技术 IV. TM63-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020086 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 6 月第一版 2009 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12 印张 281 千字

印数 0001—4000 册 定价 28.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

改革开放以来,我国电力事业发展驶入快车道,特别是进入 21 世纪以来,数字化变电站已经在国内多个省电力公司建立起来,发展势头喜人。

作为数字化变电站的组成部分—高压组合电器(HGIS)的应用,也越来越受到关注和欢迎。

本书从实用性出发,较详实的介绍了 HGIS 在数字化变电站中的应用,包括智能断路器、电子互感器、网络通信系统、IEC 61850 标准、一次设备的智能单元和二次设备的智能单元技术,同时还提供了一套完整的数字化变电站建设方案。

20 世纪 70 年代开始发展的变电站计算机远动技术,将数字技术引入了变电站。由于当时通信带宽和可靠性低、计算机性能较差且价格昂贵,数字技术仅用于调度主站和变电站的 RTU(远方采集控制单元)。

随着计算机技术和电子技术按摩尔规律持续发展,由微机保护、测控装置、远动通信服务器和计算机监控系统构成的变电站自动化系统经过 20 世纪 80~90 年代的快速发展,现在已成为变电站建设的标准。变电站自动化系统实现了站控层和间隔层设备数字化,以及两层间信息交换的数字化。

21 世纪初,实时性和可靠性满足保护功能要求的网络通信技术,以及适应互感器、开关等过程层设备恶劣环境的电子技术已基本成熟,实现间隔层信息交换数字化、过程层设备数字化以及间隔层与过程间信息交换数字化的全数字化变电站。全数字化变电站成为变电站新技术发展的热点。我国的数字化变电站也处在方兴未艾的建设时期。

本书作者在我国较早参与了推广和引进高压组合电器,并在国内发表了较多相关技术论文,并致力于将 HGIS 技术引入数字化变电站。本书具有很强的实用性,对于指导数字化变电站的设计、安装、运行维护都有很好的借鉴作用。

邹积岩

2009. 2. 1

前言

HGIS与数字化变电站



随着对变电站设备可靠率和可用率要求的不断提高以及电压和电流测量技术的提高,现代保护和监控方案的引入,使得变电站的设计有了全新的理念。数字化 HGIS 是一种全新的混合型设备,将最新的技术用于变电站的建设中。

近几十年来,高压设备的革新程度不大。一些关键设备,如:断路器(从空气、少油到 SF₆),避雷器(从有间隙到无间隙),电流和电压互感器(从少油到 SF₆),它们尽管有很大的技术改进,但在外形尺寸上无重大改观。因此变电站的布置也就没有大的变化。20 世纪 70 年代以来 GIS 技术在运行条件和占地要求上有了重大进步。如今很多国家在较低的电压等级就只用 GIS 设备。另外很多现有的变电站已超期服役,越来越多的用户要么考虑逐个更换如断路器、隔离开关等设备,要么考虑在新建和改造中应用新技术的可能性。

但新技术很难应用在已有的变电站里,因此改造中的革新不多。有太多的“接口问题”需要高压设备供货商和变电站设计工程师去解决。这样人们开始构思应用于敞开式(AIS)和全封闭式(GIS)变电站中的全新理念。HGIS 设备的技术进步有助于在变电站的改造和新建项目中引入全新的思路。由于断路器变得简单小巧,因而隔离开关的功能便可以结合到其中。隔离与接地的功能也可以组合起来。随着设备可靠性的提高和维护要求的降低,有些隔离开关或接地开关甚至可以取消。

有多种基于光电工作原理的电流和电压传感器可供选择,且其中大部分能与断路器或套管装在一起,能与这些传感器通信的控制设备已开发出来,使用低电压或低电流模拟信号的保护设备已经成熟,直接使用数字信号的设备正在开发中。

过去,常规的开关设备控制系统需从各方面取得信息来帮助实现其功能,如气体密度变化趋势,断路器操作时间和速度,断路器和隔离开关触头的磨损状况。这些测量值为维护和维修的进行提供了早期信息。可控操作装置的采用能减少断路器及其相邻设备所受的应力,人们设法使一两个处理单元便能综合所有的标准和附加功能,数据的传送也将通过光纤进行,这将大大节省铜线的使用并减少总工程量。

总之,将来 AIS 的变电站肯定与现在大大不同。所有的技术革新都能在变电站的新建项目中发挥作用,且很大程度上也能为改造项目服务。逐个地更换设备不是好办法。

全新的变电站方案在当今多变的市场上必须满足用户在经济上的要求。电力系统中的一个关键因素是变电站。由于上述的最新研究和开发成果,带来了变电站设计的新思路,人们力求找到全新的变电站方案。这样,在设备层(如开关设备)与数字化的数据处理相结合,大大加强了传统的 AIS 和 GIS 技术。数字化 HGIS 就是这样的产品。

全新的变电站方案采用一个共用的控制系统来简化操作,它与功能增强的监测和诊断系统相结合,来进一步减少全寿命成本并增加变电站的可用率,并能与模拟型继电器和最先进

的数字化保护系统接口。一个间隔的所有功能都综合在一台称为 HGIS 的数字化组合的设备中。光电型的电流和电压传感器直接与断路器的断口组装在一起。

由于新产品的可靠性和可用率不断提高,变电站的主接线亦能简化,采用如内桥型或单母线方式,这样实现了变电站的小型化。变电站的占地面积和安装时间均减少到了最低程度。在 HGIS 中传感器取代了笨重且昂贵的传统型电流和电压互感器。隔离开关和接地开关操动机构中的电动机均由电子装置控制,另外辅助接点也由靠近操作杆的传感器所取代;一个开关间隔所有必要的功能全部集成在同一个罩壳中,并且根据变电站的单线图要求装上两只或三只套管。HGIS 能满足变电站改造、扩建、升级或新建的各种要求。HGIS 是用金属封闭,在一个共同气室内布置了断路器、隔离开关、接地开关、电流/电压传感器和套管。这样根据间隔或变电站实际的必需功能把组成高压开关设备的元件数减少到最低程度。每一单元在厂里完全组装并试验好,在运输时,HGIS 已是除套管外全都预装配好的设备。HGIS 运用了 GIS 中成熟的断路器、隔离和接地开关的设计,套管由合成材料制成,环氧树脂浸渍的玻璃纤维管保证了机械强度,而硅橡胶浇注成的外壳则满足了电气上爬距的要求,并保护设备不受环境影响。有效的电压控制是由外伸接地电极完成。

传统的高压电流和电压互感器的功能由一种先进的合二为一的电流/电压传感器所替代。这种传感器能在所有相关的动态范围内以高分辨度和高精度满足控制、测量、保护和收费计量的不同需要。它的小巧性使其可以在 HGIS 的另一端安装同样的传感器来满足保护和/或同期操作的需要。

设备的控制,气体密度及其他用于监控的测量均可由现代传感器技术得以实现。内置的传感器与驱动装置的过程接口可为智能的间隔和变电站自动化技术的较高层次处理测量信号,并使其程序化和系列化。

控制和保护系统的连接通过一个可插式光缆实现,其中有助于模拟和二进制信号交换的光缆和提供操作机构辅助电源的电缆。另外,HGIS 和控制、保护系统间的信号交换是持续受到监控的,这和常规 AIS 与其控制、保护系统间的硬连接相反。可插式光缆使得 HGIS 与控制、保护设备接口的安装、调试时间大为缩短。

由于设备的紧凑和控制系统的智能化,就能实现很多监测功能,例如:自我检查,对气体密度和断路器状态(油泵运行时间、操作、能量、触头位移曲线、剩余寿命)作出趋势分析。

至于土建工作,HGIS 每相只需建造一个公共基础,间隔控制柜已在厂内完成组装和试验,包括串行光缆和电源的组合电缆是作为标准件供应的。

线路侧取消隔离和接地开关的原因在于应用 HGIS 设备的变电站比常规空气绝缘设备的变电站具有更高的可靠性,这是基于经长期运行充分验证的 SF₆ 敞开式断路器,落地罐式断路器和气体绝缘开关技术。HGIS 的维护量与 GIS 一样是非常少的。

线路的接地通过合上位于 HGIS 接地开关后的断路器和打开母线隔离开关来完成,这样断路器就当作快速接地开关来使用。中压开关设备上这样做是十分普遍的,在基本设计的基础上,HGIS 也可以在线路侧再加上一台气体绝缘的隔离开关,在套管和相应隔离开关之间再加上一组电流和/或电压传感器。这样 HGIS 就能适用于世界上不同的接线要求。

使用空气绝缘设备对现有 AIS 设备进行改扩建,升级常常会受到空间的限制,而且空

气绝缘设备安装周期长,导致停电时间很长。这样运用 HGIS 就能有效地解决这个问题。

使用 HGIS 设备除了能对已有的 AIS 进行改扩建,升级之外,其装备的现代传感技术能为有关变电站带来布置、自动化和通信的全新方案。对已有 AIS 改造,每相 AIS 设备均可永久地被 HGIS 模块来替代。

使用 HGIS,上述设备就能在不改变已有钢结构和变压器间隔母线的前提下进行更换。HGIS 需通过管形母线,附加柱式绝缘子和铰线连接到母线上,与母线和变压器的连接可通过铰线来实现。在安装前,所需的土建修改必须完成,线路和母联间隔设备的更换可通过与变压器间隔相似的方法来完成。

在现有的 AIS 上增加新的间隔,而标准的 AIS 扩建所需空间又不够时,使用 HGIS 就能方便地解决这个问题。常规的 AIS 无法实现在双母线接线时的布置,除非其中一条母线成为 U 形。

对现有 AIS 设备检修时,可将 HGIS 模块并联于需检修的 AIS 设备旁来临时替代,这样后者就可从系统中分离,而操作则可通过 HGIS 模块来进行。

用 HGIS 来建整个新站,以前需几个 AIS 设备达到的功能,现在用一个 HGIS 模块就可完成。

使用 HGIS 的变电站有如下优点:

- (1) 与使用铰线的 AIS 相比, HGIS 所需的母线相间隔减小了;
- (2) 铰线连接距离缩短了;
- (3) 连接缩短可减小短路电动力;
- (4) 管形母线降低了变电站的高度,因而钢结构的使用亦可减少;
- (5) 间隔长度、宽度均缩短;
- (6) 户外绝缘子和套管大大减少,因污染产生的故障减少;
- (7) 没有或极少的绝缘子串;
- (8) 钢结构和接地材料的使用减少;
- (9) 基础和沟的减少使混凝土的使用减少。

HGIS 设备因其综合了隔离开关、电流和电压传感器,所以间隔宽度可减小。在常规的 AIS 中,TA 和 TV 的连接导体在短路情况下摆动很大,因而相间距离和对地距离必须足够大,所以一个 AIS 的间隔比同样功能的 HGIS 间隔要宽得多。

应用 HGIS 设备布置可节省很多钢支架,因而所需的基础数也可相应地减少。其布置可应用在空间受限制的地方,还可应用在架空输电线下布置变电站、移动变电站。使用 HGIS 设备也可容易地实现其他布置方式时采用的环形母线、双断路器等布置方式。

为充分运用现有技术的优势以及从发展趋势来看,新技术带来的新布置比常规方式具有更多的优越性。全新的变电站技术降低了土地和工程成本,同时达到了更高的可靠性和可用率。数字化 HGIS 为变电站建设提供了一个理想的方案。

此书的编写得到了南京新光光电自动化公司、洛阳供电公司、江西省电力科学研究院等单位的大力协作,对此表示衷心的感谢!

目 录

HGIS与数字化变电站

序	1
前言	1
第一章 数字化组合电器 HGIS 概述	1
第一节 电力行业的新装备——高压组合电器 HGIS	1
第二节 数字化组合电器 HGIS 的主要特点	2
第三节 HGIS 对变电站设计与运行传统概念的影响	10
第四节 HGIS 专用电子式互感器	12
第五节 HGIS 开关状态监测系统	28
第二章 数字化变电站的优势	41
第一节 数字化变电站概述	41
第二节 数字化变电站研究应用现状	44
第三节 数字化变电站的建设方案	45
第三章 数字化组合电器 HGIS 在变电站的应用实例	50
第一节 数字化变电站工程初步设计文件	50
第二节 数字化变电站工程招标文件	66
第三节 数字化变电站系统	75
第四节 数字化变电站工程典型应用方案	79
第四章 设备的交接试验	86
第一节 HGIS 试验	86
第二节 电子式电流互感器试验	89
第三节 电子式电压互感器试验	91
第四节 数字化变电站综合自动化系统的试验和调试	93
第五章 设备运行维护说明	98
第一节 HGIS 组合电器安装、使用、维护	98
第二节 电子式互感器运行规程	114
第三节 智能控制柜运行规程	119

第四节 数字化变电站监控系统运行规程.....	122
第五节 数字化变电站继电保护及自动装置运行规程.....	152

第六章 典型工程实例及其经济分析——河南洛阳 110kV 金谷园数字化变电站项目 ... 169

附录 1 HGIS 设备基础图 (一)	173
附录 2 HGIS 设备基础图 (二)	174
附录 3 HGIS 设备外形图 (一)	175
附录 4 HGIS 设备外形图 (二)	176
附录 5 电气一次主接线图	177
附录 6 电气总平面布置图	178
附录 7 HGIS 光缆电缆示意图	179
附录 8 数字化变电站工程典型应用方案图	180

参考文献..... 181

1. 数字化变电站技术导则.....	1
2. 数字化变电站工程典型应用方案.....	2
3. 数字化变电站工程典型应用方案.....	3
4. 数字化变电站工程典型应用方案.....	4
5. 数字化变电站工程典型应用方案.....	5
6. 数字化变电站工程典型应用方案.....	6
7. 数字化变电站工程典型应用方案.....	7
8. 数字化变电站工程典型应用方案.....	8
9. 数字化变电站工程典型应用方案.....	9
10. 数字化变电站工程典型应用方案.....	10
11. 数字化变电站工程典型应用方案.....	11
12. 数字化变电站工程典型应用方案.....	12
13. 数字化变电站工程典型应用方案.....	13
14. 数字化变电站工程典型应用方案.....	14
15. 数字化变电站工程典型应用方案.....	15
16. 数字化变电站工程典型应用方案.....	16
17. 数字化变电站工程典型应用方案.....	17
18. 数字化变电站工程典型应用方案.....	18
19. 数字化变电站工程典型应用方案.....	19
20. 数字化变电站工程典型应用方案.....	20
21. 数字化变电站工程典型应用方案.....	21
22. 数字化变电站工程典型应用方案.....	22
23. 数字化变电站工程典型应用方案.....	23
24. 数字化变电站工程典型应用方案.....	24
25. 数字化变电站工程典型应用方案.....	25
26. 数字化变电站工程典型应用方案.....	26
27. 数字化变电站工程典型应用方案.....	27
28. 数字化变电站工程典型应用方案.....	28
29. 数字化变电站工程典型应用方案.....	29
30. 数字化变电站工程典型应用方案.....	30
31. 数字化变电站工程典型应用方案.....	31
32. 数字化变电站工程典型应用方案.....	32
33. 数字化变电站工程典型应用方案.....	33
34. 数字化变电站工程典型应用方案.....	34
35. 数字化变电站工程典型应用方案.....	35
36. 数字化变电站工程典型应用方案.....	36
37. 数字化变电站工程典型应用方案.....	37
38. 数字化变电站工程典型应用方案.....	38
39. 数字化变电站工程典型应用方案.....	39
40. 数字化变电站工程典型应用方案.....	40
41. 数字化变电站工程典型应用方案.....	41
42. 数字化变电站工程典型应用方案.....	42
43. 数字化变电站工程典型应用方案.....	43
44. 数字化变电站工程典型应用方案.....	44
45. 数字化变电站工程典型应用方案.....	45
46. 数字化变电站工程典型应用方案.....	46
47. 数字化变电站工程典型应用方案.....	47
48. 数字化变电站工程典型应用方案.....	48
49. 数字化变电站工程典型应用方案.....	49
50. 数字化变电站工程典型应用方案.....	50
51. 数字化变电站工程典型应用方案.....	51
52. 数字化变电站工程典型应用方案.....	52
53. 数字化变电站工程典型应用方案.....	53
54. 数字化变电站工程典型应用方案.....	54
55. 数字化变电站工程典型应用方案.....	55
56. 数字化变电站工程典型应用方案.....	56
57. 数字化变电站工程典型应用方案.....	57
58. 数字化变电站工程典型应用方案.....	58
59. 数字化变电站工程典型应用方案.....	59
60. 数字化变电站工程典型应用方案.....	60
61. 数字化变电站工程典型应用方案.....	61
62. 数字化变电站工程典型应用方案.....	62
63. 数字化变电站工程典型应用方案.....	63
64. 数字化变电站工程典型应用方案.....	64
65. 数字化变电站工程典型应用方案.....	65
66. 数字化变电站工程典型应用方案.....	66
67. 数字化变电站工程典型应用方案.....	67
68. 数字化变电站工程典型应用方案.....	68
69. 数字化变电站工程典型应用方案.....	69
70. 数字化变电站工程典型应用方案.....	70
71. 数字化变电站工程典型应用方案.....	71
72. 数字化变电站工程典型应用方案.....	72
73. 数字化变电站工程典型应用方案.....	73
74. 数字化变电站工程典型应用方案.....	74
75. 数字化变电站工程典型应用方案.....	75
76. 数字化变电站工程典型应用方案.....	76
77. 数字化变电站工程典型应用方案.....	77
78. 数字化变电站工程典型应用方案.....	78
79. 数字化变电站工程典型应用方案.....	79
80. 数字化变电站工程典型应用方案.....	80
81. 数字化变电站工程典型应用方案.....	81
82. 数字化变电站工程典型应用方案.....	82
83. 数字化变电站工程典型应用方案.....	83
84. 数字化变电站工程典型应用方案.....	84
85. 数字化变电站工程典型应用方案.....	85
86. 数字化变电站工程典型应用方案.....	86
87. 数字化变电站工程典型应用方案.....	87
88. 数字化变电站工程典型应用方案.....	88
89. 数字化变电站工程典型应用方案.....	89
90. 数字化变电站工程典型应用方案.....	90
91. 数字化变电站工程典型应用方案.....	91
92. 数字化变电站工程典型应用方案.....	92
93. 数字化变电站工程典型应用方案.....	93
94. 数字化变电站工程典型应用方案.....	94
95. 数字化变电站工程典型应用方案.....	95
96. 数字化变电站工程典型应用方案.....	96
97. 数字化变电站工程典型应用方案.....	97
98. 数字化变电站工程典型应用方案.....	98
99. 数字化变电站工程典型应用方案.....	99
100. 数字化变电站工程典型应用方案.....	100

数字化组合电器 HGIS 概述

第一节 电力行业的新装备——高压组合电器 HGIS

本书以高压组合电器(HGIS)在数字化变电站的应用为主线,系统的介绍了 HGIS 的技术优势、特点、安装及数字化变电站等内容。

在电力行业,传统的空气绝缘(一般指瓷柱式开关、隔离开关、电压互感器、电流互感器等设备)产品经历了从多油开关产品到少油开关产品,从少油开关产品到 SF₆ 开关产品。现在电力系统广泛使用的 SF₆ 瓷柱开关及其隔离开关、互感器等单体的电器产品已经不适合电网发展对可靠性指标的要求,新一代的高压电器正在快速向 SF₆ 高压组合电器产品方向发展,相应的代替产品行业内称之为 HGIS。

2002 年 12 月,国家电网公司召开了 HGIS 在变电站建设和技术改造中的应用技术研讨会,电力行业气体绝缘金属封闭电器标准化技术委员会也于 2003 年 3 月 2 日召开了新型高压组合电器在中国电力系统应用的可行性的研讨会,当时的会议纪要指出:“HGIS 是一种将断路器、隔离开关/接地开关、数字式光电组合电流电压传感器等组合在一个 SF₆ 气体封闭罐内,通过绝缘套管和变电站的出线及母线相连接的新型户外高压组合电器。HGIS 结构比较灵活,可根据使用单位的需要方便地进行组合,特别适合于变电站的改造。与敞开式相比,其结构紧凑、占地面积少,安装维护方便,成套性强,可靠性高,适应范围广。尤其是采用数字化的二次监控系统将会更好地满足变电站的智能化和自动化的要求。目前,在电力系统中已得到愈来愈多的应用。这种新型高压组合电器为变电站的设计、建设和设备选型开辟了一条新的思路。”

日前各类进口和国产的 HGIS 在国内投入运行已经有近千套,国产数字化 HGIS 产品也已经通过国家相关部门组织的评审,初步实现了当时会议提出的目标:节省土地、安装简单、运行可靠。其免维护的特点已经被广大电力运行单位所称赞。

虽然 HGIS 产品迅速发展给电力系统高压设备的发展带来了新的活力,但是其中还存在一些让电力系统用户心理上不易接受的方面,主要是进口产品的价格和服务不能满足中国市场需求,以国外某公司产品为例:其公司生产组合电器的工厂在意大利,当地材料成本和人力资源成本远高于中国。其次由于运输费用连年递增目前已经接近价格的 7%,因此,进口产品的价格过于昂贵,比在中国生产同样品质的产品,其成本高出 30%~40%;另外由于运输和报关总计时间一般为 45 天,生产周期一般为 3 个月,加上 15 天的国内运输周转和调试时间,使得该公司的组合电器一般供货周期不少于 5 个月,时间长于国内 3 个月的定货周期;再者国内至今没有该公司产品的零件供应商,一旦有个别零件需要更换就必须从意大

利进口,需要运输和报关的时间,就是空运一般也至少需要 10 天时间,这就让很多国内客户不能接受,因为国内用户一般要求厂家在 24 小时内处理好一般的故障。

为满足国内市场的需要,国内多家公司已经开发出品质和功能相当的同类产品,其中中电新源(北京)高压电力设备有限公司(前身系中电高压电力设备有限公司)走在了全国的前面,他们和国内多家电气自动化企业及研究机构合作,已经开发出多种数字化的高压组合电器 HGIS 产品,并在国内多个变电站投入使用,获得了很好的评价。

高压组合电器 HGIS 运行可靠,其特殊的结构解决了一次设备在空气环境下的氧化问题,从根本上杜绝了一次通流元器件的老化现象。使用真空浸胶管绝缘传动方式,气体封闭罐内很少使用盘式绝缘子和易损部件,使绝缘闪络点和绝缘老化隐患大为减少;使用无缝铝管技术,减少了法兰连接面的数量;采用全密封隔离开关传动机构,使传动机构的使用寿命大大增加;采用双层汇控柜密封工艺,使产品的防潮性能得到进一步的提高;使用感应型线路带电闭锁显示器,有效地防止了带电合地刀等误操作;特别的法兰密封工艺,使设备的漏气率大为减低;断路器机构箱采用全密封方式,有效地解决了机构箱的进水问题。

由于 HGIS 产品的大部分工艺要求是为了满足产品的长时间运行免维护,因此,设备正常投运后一般不需要进行检修和维护,这样电网的操作次数就能大大的减少,误操作事故也会相应的降低。此外,检修人员的工作量也会大大降低,人员的需求也相应地减少,劳动生产率也就得到了相应的提高。

厂家专业化的维护管理方式:如果产品出现问题,用户无需自己更换零部件,一切问题由厂家解决。运行单位要做的就是 5 年一次的预防性试验和运行监视,一旦出现异常及时向厂家报告,由厂家安排处理。一般来说第一次安装是由厂家完成的,运行单位只需按照国家标准安排交接性试验。HGIS 产品由于其设计理念方面的原因,即使是整套设备全部损坏,也可以在 24h 之内实现现场的全套设备快速更换,这也是此产品的一个重要特点。

关于今后 HGIS 产品的发展趋势,国际、国内的专家们几乎不谋而合的想到了一起,并且已经着手研制了几乎同样的新产品:真空开断技术,由氮气或者混合气体做绝缘介质,而且此类产品已经挂网试运行了。

我国是一个能源需求大国,国民经济的快速发展对电力安全提出了更高的要求,国家最近提出的一系列刺激经济发展的政策也给电力行业增加了动力,高压组合电器在新一轮更新换代中也更见其优势!

第二节 数字化组合电器 HGIS 的主要特点

一、高压组合电器 HGIS 的主要特点

(一) 综合经济效益高

(1) 节约土地。HGIS 与传统变电站(瓷柱式,也称 AIS 产品)相比节约了 70% 的土地。

(2) 降低造价。综合造价与同样规模和种类的 GIS 相比降低了 1/3。这里要说明的是,同类产品的定义为进口设备和进口设备相比,国产设备和国产设备相比。与 AIS 产品相比,

计入地皮费、土方开挖费、安装费和运行成本后，其寿命周期综合成本有所降低。表 1-1 为 HGIS 与 GIS、AIS 设备投资经济分析示例。

表 1-1 HGIS 与 GIS、AIS 设备投资经济分析示例

类 别	AIS	GIS	HGIS
开关站占地面积	A_1	$B_1=0.15A_1$	$C_1=0.46A_1$
开关设备投资	A_2	$B_2=3.2A_2$	$C_2=1.5A_2$ $C_2=0.47B_2$
计入地价后开关站投资估计	A_3	$B_3=2.8A_3$	$C_3=1.3A_3$ $C_3=0.46B_3$
对环境污秽的适应性	差	好	好
运行可靠性	较低	高	最高

$A_1、B_1、C_1$ 的原始数据：
 $A_1=160\text{m}\times 17.15\text{m}=2744\text{m}^2$ ， $B_1=25\text{m}\times 15.6\text{m}=390\text{m}^2$ ， $C_1=73.4\text{m}\times 17.15\text{m}=1258\text{m}^2$

(二) 技术先进、运行可靠

1. 解决了隔离/接地开关的运行可靠性难题

在高压输变电设备中，户外高压隔离开关是受环境和气候影响最大的电器设备之一。因为运行条件恶劣，长年累月受到风吹、雨淋、日晒、冰雪、霜露、湿热、沙尘、盐雾、污秽和鸟虫等各种环境和气候条件的作用，容易产生机械或电气方面的故障，致使触头接触表面积灰、积垢、锈蚀，生成化合物薄膜，导致接触表面电阻增大，温升过高。根据运行经验，户外隔离开关的工作电流如果达到其额定电流的 70%，一般会发生过热。随着设备的老化和用电负荷的增加，由于隔离开关而引发的停电事故不断发生，而且呈上升趋势，威胁着电力系统的运行安全。因此，我国电力系统中隔离开关运行可靠性问题，越来越引起电力运行部门和设备制造厂家的关注。

从表 1-2 中可以看出隔离开关非计停时间的绝对数是很高的，因为隔离/接地开关的总数是很高的。其中，导电回路过热是主要问题之一。

表 1-2 2004、2003 年全国 12 类输变电设施主要可靠性指标完成情况

类 别	可用系数%		强迫停运率		非计停时间		计停时间	
	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003
架空线路	99.303	99.362	0.224	0.169	4.42	3.54	68.28	71.99
变 压 器	99.237	99.135	1.668	1.417	3.45	1.51	63.39	74.30
电 抗 器	99.229	99.264	0.812	1.350	5.73	5.79	61.78	58.68
断 路 器	99.651	99.561	2.079	2.447	1.18	1.13	29.35	37.31
电流互感器	99.816	99.772	0.067	0.075	0.07	0.10	16.04	19.85
电压互感器	99.868	99.854	0.044	0.053	0.05	0.03	11.53	12.73
隔离开关	99.889	99.877	0.209	0.127	0.19	0.13	9.53	10.66
避 雷 器	99.841	99.813	0.012	0.017	0	0.02	13.91	16.32
耦合电容器	99.924	99.909	0.070	0.064	0.02	0.01	6.66	8.00

续表

类 别	可用系数%		强迫停运率		非计停时间		计停时间	
	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003
阻 波 器	99.944	99.922	0.045	0.021	0.01	0	4.90	6.79
电缆线路	99.853	99.912	0.241	0.253	0.35	0.12	9.40	5.88
母 线	99.933	99.920	0.263	0.258	0.22	0.16	5.67	6.80

注 表中强迫停运率单位：架空线路、电缆线路为“次/百公里年”，其他设备为“次/百台（段）年”；非停、计停时间单位：架空线路、电缆线路为“h/百公里年”，其他设备为“h/台（段）年”。

HGIS 采用新型全 SF₆ 密封的隔离/接地开关，从根本上避免了大气条件对触头的影响，可保证在长期运行中不会因接触电阻意外升高导致触头过热。另外，HGIS 采用的新型触指使接触电阻更小，载流能力更高。

从机械结构方面来看，最能表现 HGIS 特点的新技术之一，是模块组合式隔离/接地开关系统。这种多工位隔离/接地开关不仅从结构上彻底消除了带电合接地及其他误操作的可能性，而且大大缩小了开关设备的整体尺寸，简化了机械结构和电气控制回路，从而使设备具有更高的可靠性。

2. 减少盘式绝缘子用量提升可靠性

HGIS 应用最普遍的单母线型基本模块，每相为一个独立气室，不必采用盘式绝缘子隔板。只有配 TV、电缆终端时，每相才使用 1 个盘式绝缘子做为隔板。相对 GIS 而言，HGIS 大大减少了盘式绝缘子的用量，从而减少了设备重量，更重要的是减少了绝缘薄弱环节和密封环节，提升了设备整体可靠性，而且更容易对内部故障定位。

3. 外置式 TA 更安全可靠

GIS 普遍采用内置式气体密封 TA，铁芯和二次绕组十分贴近一次导体，这样的结构不仅提高了对二次绕组的绝缘要求，而且在一次导体长期发热甚至是故障发热的条件下，TA 二次绕组绝缘将加速老化乃至烧毁，所以 GIS 一般都要配置一个波纹管以便现场更换 TA。有经验的现场检修人员都知道，在现场更换 TA 是非常繁复的工作。

HGIS 采用外置式穿心 TA，TA 金属外壳套在主设备金属筒体上，大大降低了 TA 的绝缘水平和因一次导体过热而烧毁二次绕组的危险性，在现场更换也变得非常简单。TA 目前有电磁式和电子式两种，前者适用于常规变电站的建设，后者适用于数字化变电站的建设。

4. 先进模块化结构带来的优越性

HGIS 采用先进的自能式灭弧室，大大降低了所需的操作功。低操作功带来的直接好处是降低了机械传动系统的强度要求，缩小了机构和设备的尺寸，减少了设备造价，降低了机械振动和噪音，提高了开关的机械寿命。

HGIS 的一个开关间隔做成两个模块，一个称之为主模块是由断路器、隔离开关、互感器、套管组成，另一个称之为辅助模块由支架和控制系统组成，模块之间为插接式连接，分成两个整体出厂运输。辅助模块分为 1 根（72.5kV）、2 根（145kV）或 4 根（252kV）金属支柱三种形式。

HGIS 重量轻，动载荷较小，1 个 145kV 双母线进出线间隔的模块、支架、汇控箱总重

量 2t 多, 分、合闸动载荷均为 10kN; 而 GIS, 以 HB7-126 为例, 一个双母线进出线间隔, 除去母线、汇控箱, 总重量就达 5t 之多, 动载荷为 15kN (合闸) 和 25kN (分闸)。相对而言, HGIS 对地基承载能力的要求也低得多。

HGIS 模块整体运输到现场, 只需通过支架就位、模块就位、控制电缆插头 (座) 连接几个简单的步骤即可完成安装, 现场安装工作量降到了最低程度。

重量轻, 结构紧凑, 地基简单, 安装方便, 这些特点使模块化结构的 HGIS 具有更大的布置灵活性, 尤其对于移动电站、屋顶安装等特殊场合, 采用 HGIS 也许是最合适的选择。

(三) 安装维护方便

(1) 方便安装调试。HGIS 的一次部分是在工厂的净化车间完成的, 二次控制线是通过航空插头连接的, 整体设备在工厂内进行调试。一次设备现场不需要净化处理和抽真空等工艺过程, 安装现场只需要简单的整体组装和固定; 二次部分使用的航空插头是一一对应的, 不需要重新进行二次电缆的拔线、对线、做电缆头等工作, 也不会发生插错的问题; 一般来说, 现场安装由厂家负责, 145kV 和 252kV 设备的一个间隔一天即可安装完成。

(2) 维护简便。HGIS 基本属于免维护的设备, 厂家一般仅要求 5~7 年进行一次预防性实验。断路器和隔离开关的操作机构以及 TA、汇控柜都可以进行整体更换, 一次设备可分相整体更换。上述元件如果发生损坏问题, 一般是退回厂家整体更换, 不需要现场处理。为了方便安装, 一般厂家会提供支架的地角螺丝以及一次接线端子, 并且提供足够的 SF₆ 气体和必要的专用工具。

(3) 通常 HGIS 在使用方面应当注意在设备发生问题的时候, 一般由厂家派人到现场处理。处理方式更换元件, 一般不进行现场元件的拆装。

(4) 为了便于推行标准化接线形式, 目前 HGIS 一般分为 4 种接线类型: 单母线、双母线、进出线、双断路器。有电缆型和套管引出线两种连接方式, 它们以模块的方式在工厂预先制造好。由于使用了铝铸件工艺, 使得整体的尺寸、重量大为降低, 比较易于实现在屋顶的安装方式。其电流互感器采用外挂式, 安装更换方便。

(四) 符合环保及智能化的发展要求

(1) 由于其体积减少, 使用的铝材和 SF₆ 气体大大的降低, 是同样电压等级的 GIS 的 1/5, 这样有利于环保和节约资源。

(2) HGIS 在设计上所有部件考虑了沿海和污染严重地区的环境, 如它的操作机构和汇控箱等的密封、防腐等级比较高。

(3) 支架一般在国内加工, 表面使用热镀锌工艺。为了美观起见, 有的供电局要求在支架上进行喷涂以防止光线污染。

(4) 一体化设计、智能化升级。目前国外使用的 HGIS 一般分为智能型和非智能型两种产品。国内使用的大多数为非智能型产品。根据我国以往电网自动化发展的经验, 最终在国内使用的智能型 HGIS 将依靠国内厂家自主研制, 才能更方便的满足运行单位的需求。

(五) 结论

综上所述, HGIS 从表面上似乎是没封闭母线的 GIS, 其实, HGIS 的技术特点是强调

设备整体在工厂制造与调试,这样使设备的制造品质大大的提高,而 GIS 的生产与组装工艺是在现场进行的。据国内的统计,新变电站两年之内出现的 70% 的缺陷都是安装和调试质量问题,而 HGIS 将这些缺陷预先在工厂内部予以消除。HGIS 更强调现场的免维护特点,现场的主要部件都可以在短时间内进行更换。使用 HGIS 更深远的意义在于它的运行可靠性成倍的提高,并能更大限度的节约各类资源。另外,减少了供电局维护的工作量,使其劳动生产率大大提高。随着国产化程度的提高,HGIS 的制造成本将逐步降低。

二、HGIS 的发展推动变电站接线方式的进一步简化

随着电气设备技术的进步,封闭式组合电器 HGIS 逐渐在变电站建设中得到推广和应用。HGIS 凭借着电气元件的高度集成设计和精湛的制造工艺,实现了 20 年基本免维护。我们传统的变电站接线方式已经明显不适应新型组合电器使用的要求。

(一) 简化的设备结构决定了简化的电网接线与其适应的必要性

(1) 使用简化出线间隔方案,即出线侧取消一组隔离开关和一组接地隔离开关,这种方案只能适应 HGIS 或 GIS 的设备。

断路器两端装设隔离开关的初衷是为敞开式(AIS)断路器现场检修提供必要的安全距离,以保证在周围设备带电运行的环境下,断路器的正常检修维护。而从 HGIS 组合电器的结构特点来看,即使断路器两端组合隔离开关都打开时,也不可能在现场解体检修,因为 HGIS 每相整体只有一个气室,一旦解体,组合隔离开关就失去作用了。可以说 HGIS 的组合隔离开关是为外部设备(例如母线、主变压器等)提供安全间隔的,对 HGIS 内部也就是为调试断路器提供安全间隔而已。一组断路器配一组组合隔离开关的组合电器 HGIS 能够适应除母联、桥联之外的绝大多数应用范畴,其优点不仅在于能够极大地降低成本,而且在安全运行操作方面,其内部接地开关还可以通过断路器作为快速接地开关,为外部设备提供接地保护,具有很大的推广价值。在国内很多电力公司都有运行经验,如中山电力公司、北京电力公司、天津电力公司和上海电力公司等。

(2) 取消旁路母线结构。旁路母线的作用是为出线开关或隔离开关大修时转带负荷所用。而新型组合电气 HGIS 的断路器和隔离开关是一体化制造的,20 年基本免维护,所以不存在转带负荷进行修理的机会,而且制造厂家不允许用户在现场进行解体检修。因此旁路母线已经没有存在的必要了。

(3) 取消双母线的接线方式。传统 AIS 变电站,母线的支撑点(挂点、闪点)比较多,造成的故障率和检修率比较高,为了避免全站停电,AIS 变电站(8 个出线间隔以上规模的)均采用双母线的接线方式,以便满足一条母线需要进行设备检修清扫或突发故障时,另一条母线能够继续运行。

采用 HGIS 代替 AIS,大大减小了占地面积,操作简单快捷,大大提高了母线倒闸操作的工作效率,也降低了误操作的几率。

(二) 简化后的补充措施

(1) 推广分段母线和环型母线结构变电站代替双母线接线。小型变电站使用分段母线,大型变电站可以使用环型母线结构。超过 3 段的母线都用开关将其“手拉手”形成一个闭环。N 段母线则使用 N 个分段开关,如图 1-1 所示。

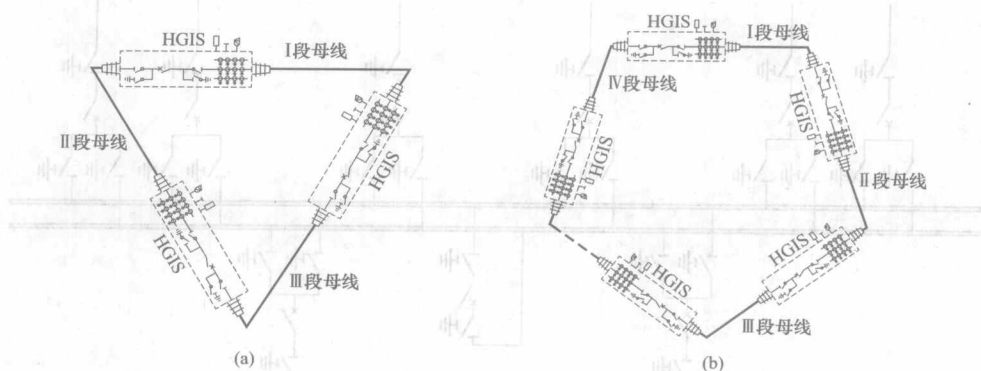


图 1-1 环形母线结构

(a) 3 段母线环形结构；(b) N 段母线环形结构

环型母线的优点有以下几个方面：

- 1) 结构清晰，便于运行维护。
- 2) 使用简单，继电保护装置可实现可靠的故障切除和恢复。
- (2) 加大组合电器母线侧绝缘的爬距。
- (3) 相对减少组合电器出线侧的绝缘爬距。
- (4) 取消母线支持绝缘子，用组合电器的套管代替。

(三) 结论

简单的接线方式减少了组合电器的制造零部件，缩小了组合电器的体积，降低了制造成本和故障率，使运行操作更为简单，并从结构上避免了误操作的可能性。在变电站的建设上，简单的接线方式减少了变电站对土地的占用，不仅能降低变电站的建造成本，还提高了系统安全运行的可靠性。

三、新概念双母线接线方式

自从电力系统形成规模以来，就有了双母线的接线形式，这种接线形式的产生是由于传统 AIS 变电站，母线的支撑点（挂点、闪点）比较多，造成的故障率和检修率比较高，为了避免全站停电，AIS 变电站（8 个出线间隔以上规模的）均采用双母线的接线方式，以便满足一条母线需要进行设备检修清扫或突发故障时，另一条母线能够继续运行，见图 1-2。近 20 多年来气体绝缘组合电器 HGIS 的发展也沿用了这种传统的接线方式。

传统的双母线接线形式已经存在了近百年，已经被人们所熟知和认可，所以很少有人去思考它的不足之处。从事多年的电力系统运行的工程技术人员都有以下共同的体验：

(1) 其中一条母线发生短路故障停电后，那么该条母线上所带的出线负荷将会同时停电，然后由运行人员将该段母线的负荷通过隔离开关进行倒闸操作切换到另一条母线上，逐一恢复供电。这种操作过程一般比较复杂，且需要很长时间，快则数十分钟，慢则数小时，这样就会给用户带来严重损失。

(2) 母线切换的操作，是指将出线负荷从一条运行母线切换到另外一条母线。这种操作在电力系统中是经常出现的，但是它存在一定的风险，如：在切换过程中如果母线联络断路器因故跳闸，那么就会发生带负荷拉合隔离开关的恶性事故，甚至还会造成人身伤亡。另外一种事故是指两个母线的负荷严重不平衡，而且母线距离过长，在母线切换过程中由于隔离

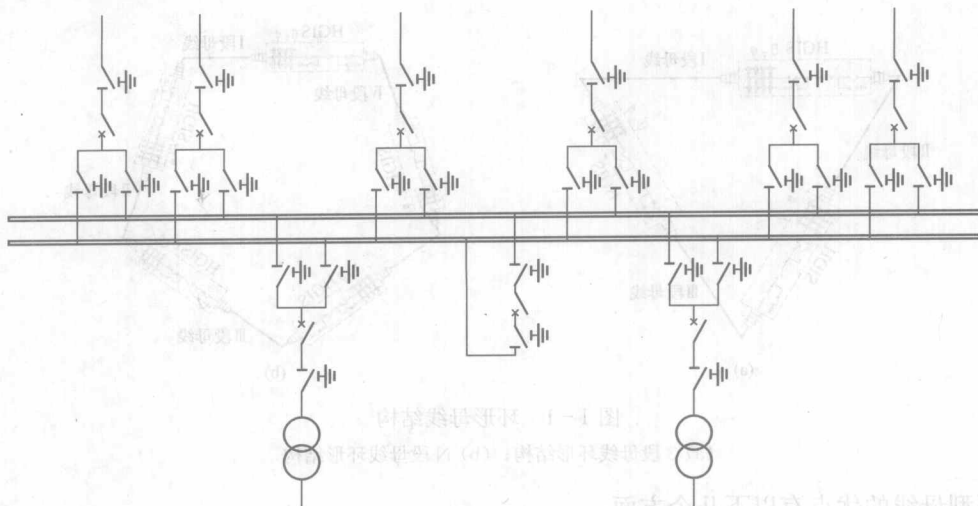


图 1-2 双母线接线方式

开关的转换电流能力达不到要求，也会造成隔离开关的损坏或不能正常拉弧而造成的事故。

(3) 和这种接线方式相配备的母线保护比较复杂，给运行与维护带来不便，容易出现各种误操作而造成的事故。

为了解决这种传统双母线接线方式存在的缺陷，我们从国外引进了一种全新的双母线接线形式，见图 1-3。用这种全新的接线形式的全封闭组合电器（HGIS）组成的双母线变电站，更加适用于供电要求特别高的，如机场、车站、化工厂等。据国外资料称：这种全新的接线形式的全封闭组合电器（HGIS）将代替目前在电力系统广泛使用的双母线供电方式，而且有些国家已经把这种接线方式定义为标准接线方式，而我们把这种新型的接线方式定义为 DCB 型 HGIS。

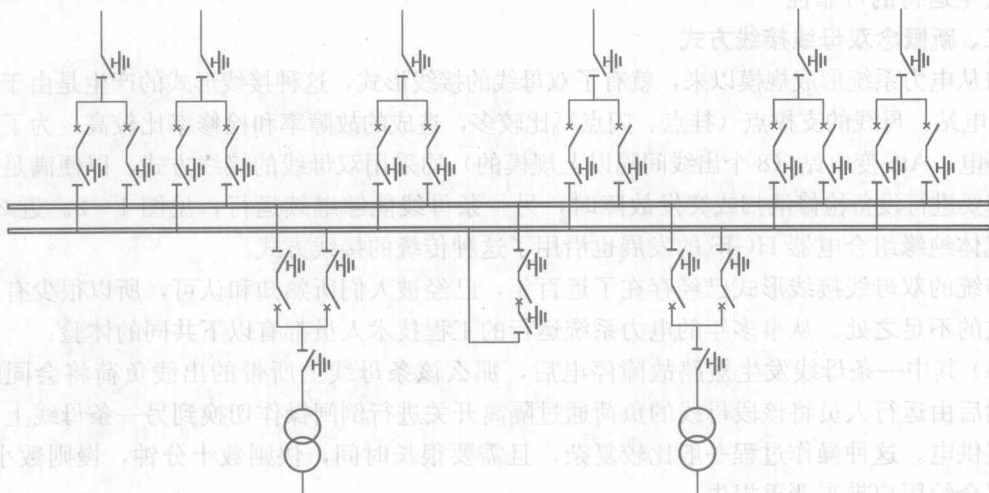


图 1-3 全新双母线接线形式

四、双桥接线方案

在我国最多的末端变电站是两回进线，两台主变压器的接线形式，我们目前普遍应用的接线形式有：单母线分段（图 1-4）、内桥接线（图 1-5）、外桥接线（图 1-6）和我国目