

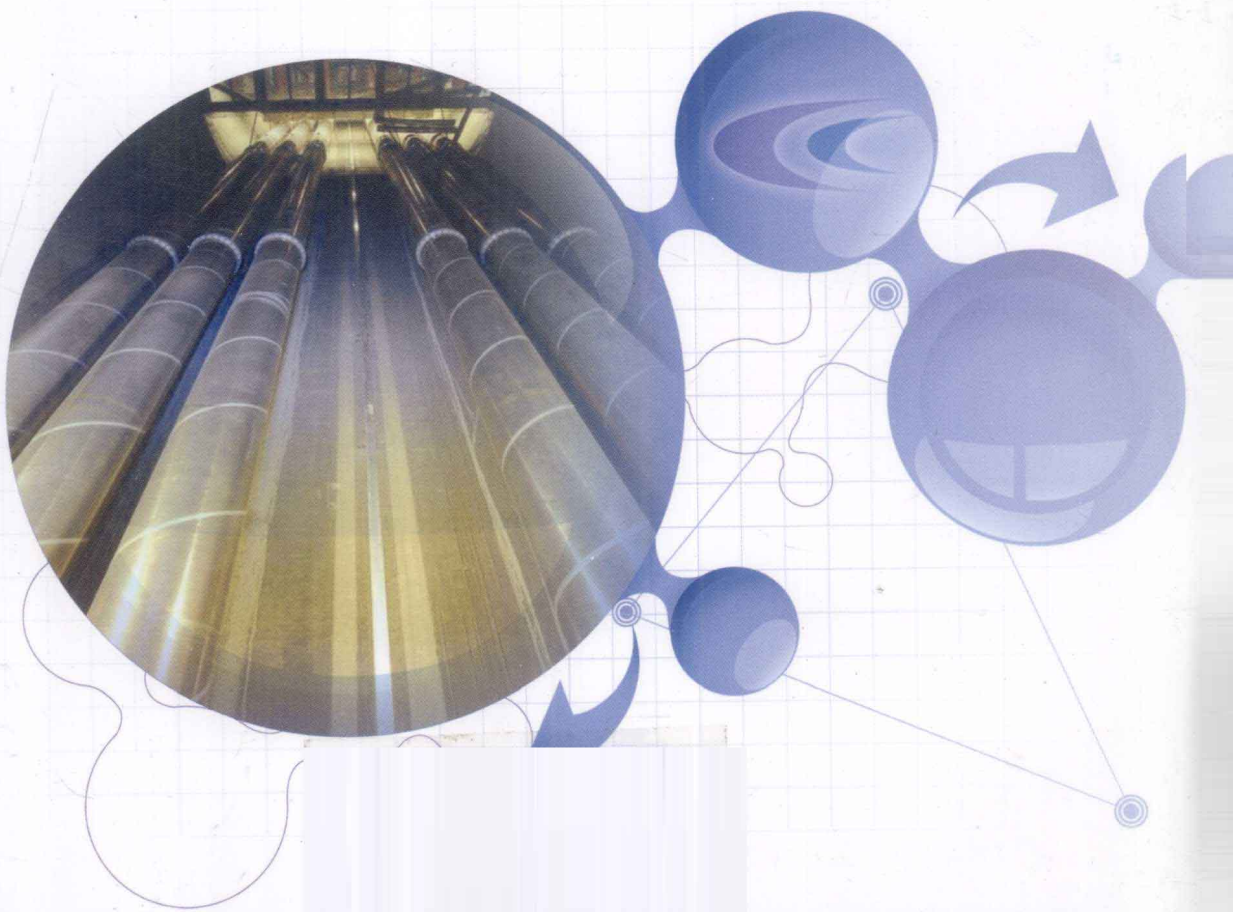


中国水电顾问集团西北勘测设计研究院
HYDROCHINA XIBEI ENGINEERING CORPORATION

水电技术专著系列

气体绝缘金属封闭输电线路 工程设计研究与实践

阮全荣 谢小平 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



中国水电顾问集团西北勘测设计研究院
HYDROCHINA XIBEI ENGINEERING CORPORATION

水电技术专著系列

气体绝缘金属封闭输电线路 工程设计研究与实践

阮全荣 谢小平 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共 11 章,系统地论述了气体绝缘金属封闭输电线路(GIL)的基本理论;对 GIL 工程应用、主要参数计算、工程设计技术要求、试验、结构特点、高落差竖井工程设计关键技术、监测设备及工程应用做了详细介绍和分析。本书内容叙述深入细致,结合文字配有具实际参考价值的图纸和实物照片,书后附录提供了实用的资料。

本书可供工程设计人员使用,也可供制造企业产品设计人员和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

气体绝缘金属封闭输电线路工程设计研究与实践 /
阮全荣,谢小平编著. — 北京:中国水利水电出版社,
2011.6

(中国水电顾问集团西北勘测设计研究院水电技术专著系列)

ISBN 978-7-5084-8703-8

I. ①气… II. ①阮… ②谢… III. ①气体绝缘—金属—封闭—输电线路—电力工程—工程设计 IV.
①TM726

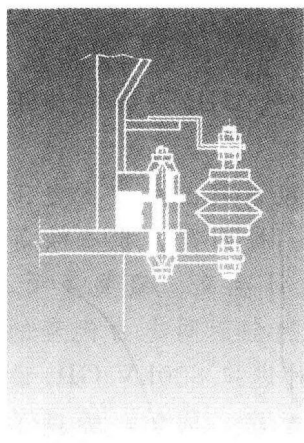
中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第111250号

书 名	中国水电顾问集团西北勘测设计研究院 HYDROCHINA XIBEI ENGINEERING CORPORATION 水电技术专著系列 气体绝缘金属封闭输电线路工程设计研究与实践
作 者	阮全荣 谢小平 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.75印张 397千字
版 次	2011年6月第1版 2011年6月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	68.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序



2011 年是我国经济发展第十二个五年规划的开局之年，为了完成节能减排和能源结构调整任务，实现 2020 年非化石能源消费占比 15% 的目标，在“十二五”电力规划中，水电、核电及新能源将是今后电源建设的优先、重点发展方向，而气体绝缘金属封闭输电线路（GIL）作为一种优秀的电力传输设备，在上述应用领域高电压、大电流的电能传输方面具有不可替代的作用，发展前景非常广阔。

我国已进入特高压输电发展阶段，正在开发一系列特大型水电、核电基地，城市电网的容量也在迅速增长。作为优先开发对象，水电被放在“十二五”电力发展的首位。“十二五”期间将重点开发金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、怒江、黄河上游干流等分布在西部地区的水电基地，推进雅鲁藏布江等西藏流域开发，同时开发缅甸水电，向我国输电。根据规划，2015 年全国常规水电装机预计达 2.84 亿 kW，2020 年全国常规水电装机预计将达 3.3 亿 kW。由于新规划的巨型水电工程选址多位于西部高原地区的深山峡谷中，远离中、东部负荷中心，其机组容量巨大，且多采用地下厂房布置方式，送出工程比较困难，在此情况下，采用超高压、大容量的 GIL 传输导体作为电站电能送出问题的解决方案，是一种很好的选择。

GIL 设备具有可靠性高、传输能力强、低损耗、安全环保，以及安装、运行维护方便等突出的优点，在国内外电力工程中得到广泛应用，特别是其高可靠性的特点，在核电领域得到认可。另外，鉴于城市电网扩容及建设地下超高压变电站的需要，而交联聚乙烯电缆不仅输电容量受限制，且损耗大，可靠性也不如 GIL，超高压 GIL 在大城市地下超高压输电网中的使用将日趋增多。

在超高压输电线路需要穿越公路或铁路涵洞、桥梁，或周围环境条件严酷的地区时，也可以局部采用 GIL 方案，以优化设计。早期的 GIL 产品工艺复杂，投资成本相对较高，加上大家对 GIL 认识不足，且行业内也缺乏相应的规程规范，因而 GIL 设备在国内应用不是太多。近年来，随着技术的发展和工艺水平的不断提高，GIL 的生产成本也在不断下降，目前短距离 GIL 的技术经济指标已优于交联聚乙烯电缆。而且，随着对 GIL 的深入研究和产品使用经验的积累，国内也相继总结和推出了系列 GIL 相关标准，用以指导工程实践。可以预测，今后我国的重点电力工程建设中，必定会加快 GIL 设备的使用步伐。

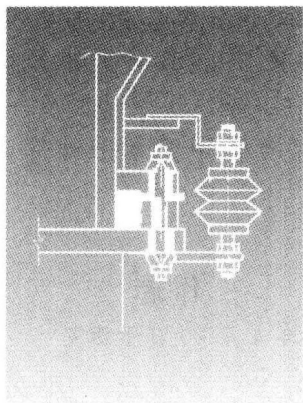
中国水电顾问集团西北勘测设计研究院多年来一直从事我国水力发电工程领域工作，完成了刘家峡、龙羊峡、李家峡、公伯峡、拉西瓦、积石峡等一批大型水电站的勘测设计，先后获得国家优秀工程设计金奖、银奖多项。以黄河拉西瓦水电站 800kV 超高压送出工程为契机，以阮全荣同志为代表的一批行业专家，在收集大量国内外资料的基础上，结合对进口 800kV GIL 设备先进技术的消化吸收，参与 IEC 标准和电力行业标准制定，同时，编撰了《气体绝缘金属封闭输电线路工程设计研究与实践》这本书。通过本书的出版，相信不仅会促进 GIL 在我国电力建设领域的推广与应用，同时也会为提高相关设备的自主研发能力和国产化水平贡献一份力量。

中国水电顾问集团西北勘测设计研究院院长

马海震

2011 年 3 月

前言



气体绝缘金属封闭输电线路 (Gas insulated transmission line, 简称 GIL) 是一种采用 SF_6 气体或 SF_6 和 N_2 混合气体绝缘、外壳与导体同轴布置的高电压、大电流电力传输设备。根据 GIL 产品工作原理, 不仅需解决高电压绝缘问题, 同时需解决大电流传输问题, 因此其涉及强电场理论和强磁场理论。对于强电场理论方面其要求基本与气体绝缘金属封闭开关设备 (Gas insulated metal-enclosed switchgear, 简称 GIS) 相同; 对于强磁场理论方面其要求与离相式金属封闭母线基本相同。

由于 GIL 不同于其他高电压设备, 其与工程设计、现场安装与试验、运行与维护紧密相关, 因此, 在实际应用中, 除考虑 GIL 本身结构特点外, 重点考虑工程设计要求。

本书第 1 章由阮全荣和黄河上游水电开发有限责任公司谢小平编写, 综合论述了 GIL 的主要特点、技术发展、工程应用、使用范围以及特殊的技术要求; 第 2 章由阮全荣编写, 重点对绝缘气体物理、化学、传热特性进行介绍; 第 3 章至第 6 章由阮全荣编写, 主要结合离相式金属封闭母线和 GIS 工作原理, 对 GIL 参数计算方法、工频稳态、暂态分析和热计算进行论述; 第 7 章主要由阮全荣、谢小平、桑志强、郭廷才编写, 结合相关标准和规范对 GIL 工程设计技术要求进行详细介绍; 第 8 章主要由中国电力科学研究院郭碧红、谢小平和黄河上游水电开发有限责任公司庞秀兰编写, 主要对 GIL 的型式试验、工厂试验和现场交接试验进行介绍; 第 9 章主要由阮全荣、桑志强和康本贤编写, 结合实际工程应用和制造厂产品结构特点对 GIL 结构特点进行较详细介绍; 第 10 章主要由阮全荣、谢小平、桑志强、杨新光编写, 结合国内外水电站工程应用, 对 GIL 应用在高落差竖井工程设

计关键技术进行专题研究和论述；第 11 章主要由张群刚、郭廷才、庞秀兰编写，主要对 GIL 气体监测、温度和局部放电在线检测等原理、设备特点和应用实例加以介绍。另外，孙帆、奚瑜、张鹏、王冬条、李晖、杨党锋、刘晓东等同志也参与了相关章节和附录的编写，中广核工程有限公司吴力坤、能科技术有限公司马仲鸣等提供了现场安装和试验资料，西安建筑科技大学研究生马江燕也为本书做了大量计算分析工作，在此一并表示感谢。全书由阮全荣、谢小平统稿，并由中国水电工程顾问集团公司李定中、于庆贵主审。由于时间和水平所限，书中有不妥之处，恳请读者指正。

中国水电顾问集团西北勘测设计研究院马海晨院长在百忙中为本书作序，在此表示衷心感谢！

作者

2011 年 4 月 20 日于西安

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 GIL 的主要特点与优势	2
1.2 GIL 的工程应用	4
1.3 GIL 的使用范围	13
1.4 GIL 在高落差使用需考虑的主要技术问题	13
1.5 GIL 在长距离使用需考虑的主要技术问题	14
1.6 直埋 GIL 需考虑的主要技术问题	14
参考文献	14
第2章 绝缘气体的基本特性	16
2.1 SF ₆ 的基本特性	16
2.2 混合气体的基本特性	22
参考文献	25
第3章 GIL 的参数计算方法	26
3.1 电阻	26
3.2 电容	27
3.3 电感	27
3.4 波阻抗和波速	28
3.5 损耗	28
3.6 计算实例	29
3.7 GIL 尺寸确定	32
参考文献	35
第4章 GIL 的工频稳态	37
4.1 单相全连式 GIL 的电磁分析	37
4.2 三相全连式 GIL 的电磁分析	39
4.3 三相 GIL 壳外磁场计算	42
参考文献	43
第5章 GIL 短路暂态的电磁分析	44
5.1 三相短路时 GIL 的外壳剩余电流	44
5.2 三相短路时 GIL 的壳内剩余磁场	47

5.3	三相短路时别相磁场引起的导体电动力	48
5.4	外壳电动力	50
5.5	GIL 的固有频率	52
5.6	导体应力	55
5.7	绝缘子抗弯强度	55
5.8	外壳应力	55
5.9	外壳保护	56
	参考文献	57
第 6 章	GIL 的热计算	58
6.1	热量传递基本方式	58
6.2	GIL 热平衡计算	60
6.3	导体与外壳间自然对流换热计算	60
6.4	导体对外壳辐射散热计算	62
6.5	外壳自然对流换热计算	62
6.6	外壳辐射散热计算	63
6.7	太阳辐射热量计算	63
6.8	短时耐受电流要求	64
	参考文献	64
第 7 章	GIL 工程设计技术要求	66
7.1	工程设计基本资料	66
7.2	查询和订货的基本资料	72
7.3	投标时需提供的技术资料	73
7.4	备品备件及专用工器具	76
7.5	运输、储存、安装、运行和维护	76
7.6	设计协调和资料提供	83
7.7	额定参数选择	84
7.8	主要结构技术要求	87
7.9	GIL 敷设和布置	95
7.10	大型水电站进出线方式研究实例	98
	参考文献	101
第 8 章	GIL 试验	102
8.1	型式试验	102
8.2	出厂试验	111
8.3	现场交接试验	111
	参考文献	124
第 9 章	GIL 结构特点	125
9.1	GIL 的总体结构	125

9.2	导体连接方式	126
9.3	外壳连接	128
9.4	导体支撑方式	129
9.5	外壳支撑方式	130
9.6	外壳伸缩装置	131
9.7	隔离单元	132
9.8	隔室设置	133
9.9	GIL 接地方式	134
9.10	GIL 与变压器 / 电抗器的连接	136
9.11	GIL 与 GIS 的连接	136
9.12	GIL 与电缆的连接	137
9.13	液压装置	138
	参考文献	138
第 10 章	高落差竖井工程设计关键技术	140
10.1	外壳连接方式和绝缘气体的选择	140
10.2	高落差对气室设置的影响	141
10.3	GIL 固定方式	145
10.4	安装方式和起吊要求	149
10.5	高落差竖井土建设计	160
10.6	GIL 竖井通风设计	165
10.7	竖井的布置	183
	参考文献	186
第 11 章	GIL 监测装置	187
11.1	内部故障定位在线监测装置	187
11.2	局部放电在线监测装置	187
11.3	温度监测装置	188
11.4	SF ₆ 气体的监测装置	188
11.5	空气中的含氧量和 SF ₆ 气体浓度监测报警	189
11.6	火灾自动报警设备	189
11.7	人员进出安全监视装置	190
11.8	廊道渗漏水位监测装置	190
11.9	应用实例	191
	参考文献	195
附录 A	高压电缆损耗计算	196
A.1	高压电缆结构特点	196
A.2	高压电缆载流量和截面计算	197
A.3	高压电缆导体电阻计算	198

A. 4 高压电缆损耗计算 199

附录 B 800kV 气体绝缘金属封闭输电线路 (GIL) 招标文件技术规范 202

B. 1 一般技术条款 202

B. 2 专用技术条款 225

B. 3 试验检验及现场安装服务 242

B. 4 招标图纸 251

B. 5 附件：设备特性及性能保证值 252

第 1 章 绪 论

气体绝缘金属封闭输电线路 (Gas insulated transmission line, 简称 GIL) 是一种采用 SF_6 气体或 SF_6 和 N_2 混合气体绝缘、外壳与导体同轴布置的高电压、大电流电力传输设备。导体采用铝合金管材, 外壳采用铝合金卷板封闭。由于采用了压缩气体作为绝缘介质, 设备尺寸和布置间距大大缩小, 能在最大程度上减少设备布置所需的占地面积和空间, 以及相应的土建工程量。随着输电环境条件的日趋复杂以及可靠性要求的不断提高, GIL 得到一定的发展和运用。

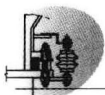
GIL 类似于 SF_6 气体绝缘金属封闭开关设备 (Gas insulated metal - enclosure switch-gear, 简称 GIS) 中的管道母线, 只是在其承担较长距离大容量的输电功能时, 而使其更具专业性。GIL 无开断和灭弧要求, 制造相对简单, 原则上能生产 GIS 的厂家基本上都能生产 GIL。GIS 厂家多数只作为 GIS 装置较短的进出线段配套生产, 而生产长距离大容量 GIL 的专业厂家为数不多, 特别是 750kV 及以上电压等级的专业厂家为数更少, 如 AZZ 集团所属的美国韦斯特堡气体绝缘母线公司生产 800kV 及以上的 GIL 仅有 1600 余米。

GIL 从 1970 年开始在世界范围内投入使用。美国韦斯特堡气体绝缘母线公司在 1972 年生产 242kV、1600A 单相长 414m, 用于美国 Hudson Gen. NJ 工程; 在 1981 年和 1984 年生产 1200kV、5000A 单相长 90m 和 330m, 用于美国 DOE Waltz Mill 工程; 在 1984 年和 1990 年生产 800kV、1200A 单相长 855m 和 348m, 用于委内瑞拉 Edelca Guri Dam 工程。日本在 1979 年生产 154kV、2000A 单相长 199m, 用于日本 Koto 变电站; 在 1985 年生产 500kV、6240A 单相长 152m, 用于日本 Shin Node 变电站; 在 1988 年生产 275kV、8000A 单相长 153m, 用于日本 Shin Node 变电站。德国在 1975 年生产 420kV GIL 用于德国 Wehr 抽水蓄能电站; 并生产 420kV、500m SF_6 和 N_2 混合气体绝缘 GIL, 用于德国 Geneva Airport 输电线路。

部分国内核电站和大型水电站工程也采用 GIL 作为电站的进出线方式, 如大亚湾和岭澳核电站采用了 500kV GIL, 拉西瓦水电站采用了 800kV、4000A GIL。

在高落差输电方面, GIL 具有一定的优势, 但因其造价高, 目前使用工程较少。目前世界上应用最高的 GIL 竖井为位于美国塞拉国家森林公园的一个电站, 其垂直高度为 305m, 额定电压为 242kV, 额定电流为 1200A。

国内大型地下厂房的水电站, 为了解决高落差输电的要求, 也采用了 GIL, 如拉西瓦水电站、溪洛渡水电站 (550kV GIL) 等。对于正在设计研究的部分大型地下厂房的水电站, 也研究采用 GIL 作为电站进出线方式。



1.1 GIL 的主要特点与优势

GIL 作为大容量、高电压、长距离输电线路，相对于高压电缆输电线路和架空线路，其主要优势表现在：

(1) 可靠性高和使用寿命长。由于 GIL 是一种金属封闭的刚性结构，通常不受大气和环境影响（在高海拔地区使用不受外绝缘和电晕影响），也没有外部电磁场影响，其内充的 SF_6 气体或 SF_6 和 N_2 混合气体绝缘特性好，介质损耗低，无老化问题，也不会燃烧，因此其可靠性很高。根据已运行的 GIL 统计，故障率每年套仅有 0.005%。通过试验验证，GIL 的使用寿命均在 50 年以上。

(2) 传输能力强。根据目前技术，GIL 的输送功率可达 4GW，输电能力很强，有利于减少输电回路数。由于其紧凑的封闭结构，与架空线路相比占地很小。GIL 可以在电站交叉布置，能明显降低工程造价，特别在电压等级高、装机规模大的发电工程中，能获得较好的投资效益。

由于 GIL 输电容量大，可简化系统的接线，提高整个系统的供电可靠性。如用于水电站进出线回路，不仅简化电气主接线、节约高压开关设备和土建工程量，同时可提高主接线的可靠性。

(3) 损耗低。由于 GIL 导体、外壳截面大，电阻小，损耗较低，其与 XLPE 电缆和架空线路的损耗比较见图 1.1-1。例如，在输送容量为 1000MVA 时，架空线路的单位长度损耗最高，约为 200W/m；XLPE 电缆其次，约为 130W/m；GIL 的单位长度损耗最低，约为 70W/m。

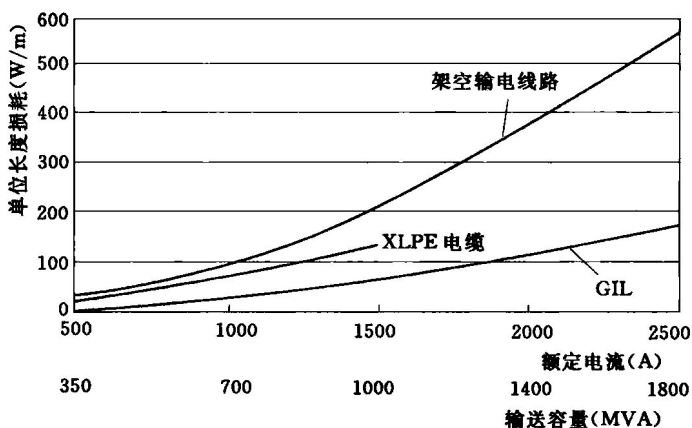
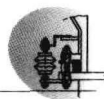


图 1.1-1 架空输电线路、XLPE 电缆和 GIL 线路损耗比较

(4) 安全环保。GIL 对环境基本没有电磁影响。由于 GIL 外壳采用全连式结构，GIL 在正常工作运行情况下，三相外壳回路中因电磁感应而产生环流，环流数值大约等于母线电流的 95%，且方向相反，从而使壳外的磁场大部分消失，可不考虑壳外磁场对其他设备和人员产生的影响。



根据有关文献的计算, 对于 400kV、4000A 双回垂直双列布置的 GIL (见图 1.1-2), 壳外最大磁场强度小于 $40\mu\text{T}$ (见图 1.1-3)。

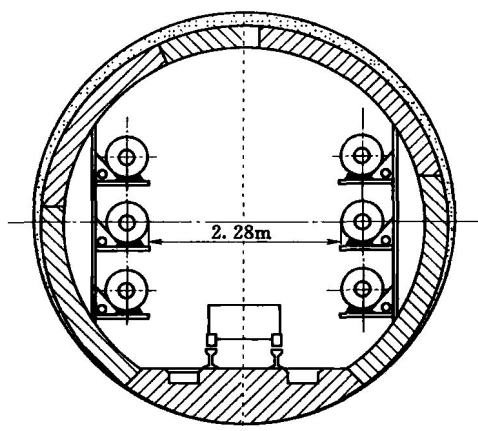


图 1.1-2 双回垂直双列布置 GIL

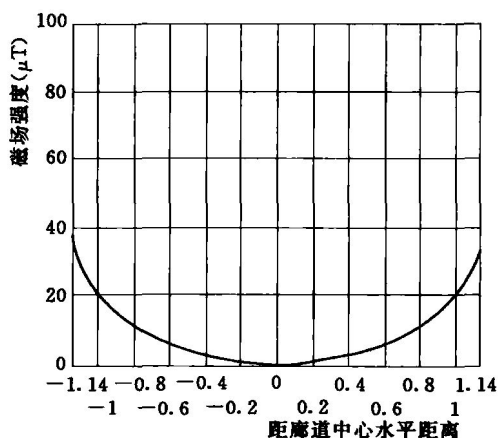


图 1.1-3 GIL 壳外磁场强度

(5) 抗震能力强。GIL 除导体与外壳之间采用绝缘子固定外, 其外壳支撑采用钢构架 (架空敷设) 或直接敷设地中 (直埋方式), 由于外壳直接接地, 无绝缘要求, 因此其抗震性能好。

对高垂直竖井安装的 GIL, 多采用一端固定方式, 更利于抗震设计。如拉西瓦水电站 800kV GIL 的地震设防烈度按 8 度考虑, 采用顶部一端固定, 沿竖井采用滑动支撑, 并在垂直段底部设置专门的液压装置, 作为附加在 GIL 系统上的永久避震装置。

(6) 加工制造、运输安装、运行维护方便。GIL 为标准化生产, 加工精度高, 便于工业生产, 标准件运输, 模块化组装, 不受敷设高差和弯曲半径的限制, 安装方便, 年漏气率小, 运行维护简单, 基本不维修。

发生故障恢复快, 故障段可取下维护, 一般时间不超过 72h。如果设有备用段, 故障恢复时间更短。

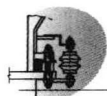
(7) 有利于无功平衡。由于 GIL 电容电流值小, 有利于系统无功平衡, 适于超高压和特高压长距离输电。

(8) 适应于高落差输电。在电力工程中, 特别大型地下电站, 进出线需经高落差垂直竖井或斜井与户外设备连接, 采用 GIL 不仅解决高电压绝缘问题, 同时满足高落差结构要求。

目前, 在高落差竖井工程中, 一般都采用高压电缆输电方式, GIL 的发展和应用, 为设计提供了新的输电方式。

(9) 设备投资大。由于 GIL 结构特点, 其设备造价高, 特别是在垂直竖井和斜井敷设的 GIL, 因此, 一般在大容量、高电压和输电较困难的工程中采用。

降低 GIL 的造价主要方面有: 采用混合气体、优化导体支撑结构、优选导体和外壳的连接方式、简化安装程序等。



1.2 GIL 的工程应用

从 20 世纪 70 年代开始, GIL 逐渐在世界范围内开始投入使用。GIL 作为一种新型的输电方式, 具有输电容量大、损耗低、占地少、布置灵活、可靠性高、安全防护性好、免维护、寿命长、与环境相互影响小等优点。采用 GIL 可解决特殊环境或特殊地段的输电线路架设问题, 通过合理规划和设计, 不但可以大大降低系统造价, 而且也能提高系统的可靠性。

目前, 73~800kV 电压等级的 GIL 在全世界范围内投入应用的总长度已超过 200km。在电压较低、传输功率不大的情况下, GIL 与架空线路和电缆线路相比, 经济优势并不明显, 因此目前 GIL 主要还是应用于电站与变电站的进出线部分。

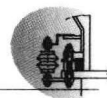
GIL 在国内外应用目前相对较少, 且主要在 220kV 及以上的电力系统。在国外使用相对国内较多, 主要用于美国、德国、日本等国家的变电站和电站; 在国内目前主要用于核电站和大型水电站。

国内外 220kV 及以上电压等级的部分典型应用见表 1.2-1。

表 1.2-1

GIL 典型应用

序号	工程名称	国家	电压 (kV)	电流 (A)	供货长度 (m)	供货年份	备 注
1	Wehr 抽水蓄能电站	德国	420	2500		1975	斜井敷设
2	Ontario Hydro, Claireville	加拿大	242	3000	3480	1979	地面敷设
3	Rowville Melbourne	澳大利亚	550	3000	940	1981	
4	古里水电站	委内瑞拉	800	1200	855	1984	水平敷设
5	DOE, Waltz Mill	美国	1200	5000	330	1984	
6	Nuclear Unit 7	韩国	362	2500	3440	1984	
7	Balsam Meadow 水电站	美国	242	1200	1239	1986	305m 竖井敷设
8	Shin Noda 变电站	日本	275	8000	300	1988	
9	香港青山电厂	中国	420	4000	485	1993	架空敷设
10	SCECO Central 变电站	沙特阿拉伯	380	1200	6800	1994	
11	Ghazlan 变电站	沙特阿拉伯	420	2000	2140	1997	
12	岭澳核电站	中国	550	2000	3008	1998	隧道敷设
13	Shinmeika - Tokai	日本	275	6300	3300	1998	隧道敷设
14	Baxter wilson 电厂	美国	550	4500	5680	2000	地面敷设
15	拉西瓦水电站	中国	800	3500	3000	2007	207m 竖井敷设
16	Spy Run 变电站	美国	138	1250			直埋敷设
17	Joshua Falls 变电站	美国	145	2000			直埋敷设
18	Revelstoke 水电站	加拿大	550	4000			斜井敷设
19	Seabrook 核电站	美国	345	3000			架空敷设



1.2.1 美国 CGIT 公司

美国 CGIT 公司的 GIL 产品是由高压能源公司与麻省理工学院合作开发的, 在 1974 年被西屋电气公司收购, 并于 1989 年并入 ABB 集团输配电部。1999 年, 又被美国 AZZ 集团收购。

CGIT 公司生产的 GIL 适用于电压等级 110~800kV、载流量高达 6kA 的输电系统。该公司的前身高压能源公司 1972 年在美国新泽西州 Hudson 电厂安装了世界上首个 GIL, 迄今仍在可靠运行。截至 2006 年 4 月, 安装在世界各地的 CGIT 公司生产的 GIL 总长度接近 103km, 达到全世界 GIL 总长度的 1/2, 如表 1.2-2 所示。

表 1.2-2 CGIT 公司以电压等级划分的供货业绩

系统电压 (kV)	115/172	242/300	362	420/550	800	总计
单相长度 (m)	7912	33343	15187	41054	3783	102047
占总数百分比 (%)	7.8	32.7	14.9	40.1	3.7	100

1.2.2 德国西门子公司

德国西门子公司的首个 GIL 工程于 1975 年在德国的 Wehr 抽水蓄能电站投运。该线路电压等级 400kV, 全长 700m, 敷设在山体隧道内, 用以连接发电机与洞顶架空线。目前西门子公司在全世界范围内为变电站、发电厂和环境恶劣地区建造的 GIL 总长度超过 30km, 电压等级范围为 135~550kV。

瑞士日内瓦 PALEXPO 机场的 220kV GIL 线路为隧道敷设, 长 420m, 于 2001 年 2 月投运。该 GIL 工程首次使用了西门子公司的第 2 代 GIL, 其主要的特征是采用 SF_6/N_2 混合气体 (SF_6 与 N_2 比例为 20% : 80%), SF_6 含量的减少可使成本明显降低, 且更容易满足环保标准要求。该类型的 GIL 通过适当增大气压, 可使混合气体达到与纯 SF_6 相当的绝缘性能。

瑞士日内瓦 PALEXPO GIL 工程示意图 1.2-1。

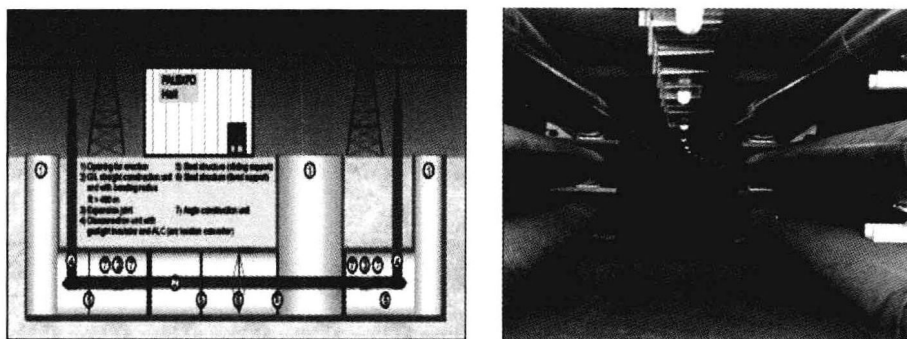
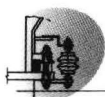


图 1.2-1 瑞士 PALEXPO GIL 工程

1.2.3 日本企业

日本东京电力公司、古河电气工业株式会社和住友电工经过 10 年的联合研究, 分别于 1979 年和 1980 年开发出 154kV 和 275kV 电压等级的 GIL 线路, 并投入运行。到目前



为止,日本研制的 GIL 电压等级范围为 154~500kV,最大工作电流高达 8kA。

为满足大型电站建设和环境保护的要求,日本从 1992 年开始应用长距离 GIL,并于 1998 年建成了世界最长的 GIL 线路——Shinmeika-Tokai 线,它全长 3.3km,电压等级 275kV,电流 6.3kA,采用隧道安装方式。隧道位于地下 30m,内径 5.6m,分上下层,双回 GIL 线路位于上层,下层为电站供给液化天然气管道,其 GIL 隧道布置见图 1.2-2。

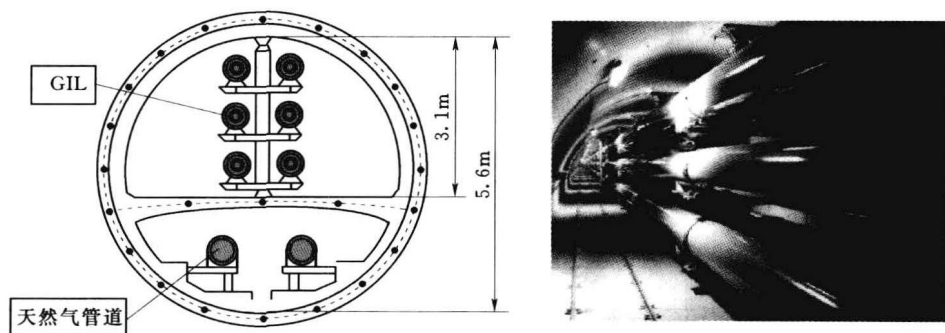


图 1.2-2 日本 Shinmeika-Tokai 线路 GIL 布置方式

1.2.4 应用实例

在国内、外工程中已运行的 GIL 有廊道、敞开式沟槽、地面架空和直埋等敷设方式。

1. 廊道敷设方式

采用廊道敷设方式的 GIL 工程实例比较多,较典型的有瑞士日内瓦 PALEXPO GIL 工程(见图 1.2-1)、日本 Shinmeika-Tokai GIL 工程(见图 1.2-2)和中国拉西瓦水电站 800kV GIL 工程、中国岭澳核电站 500kV GIL 工程等。

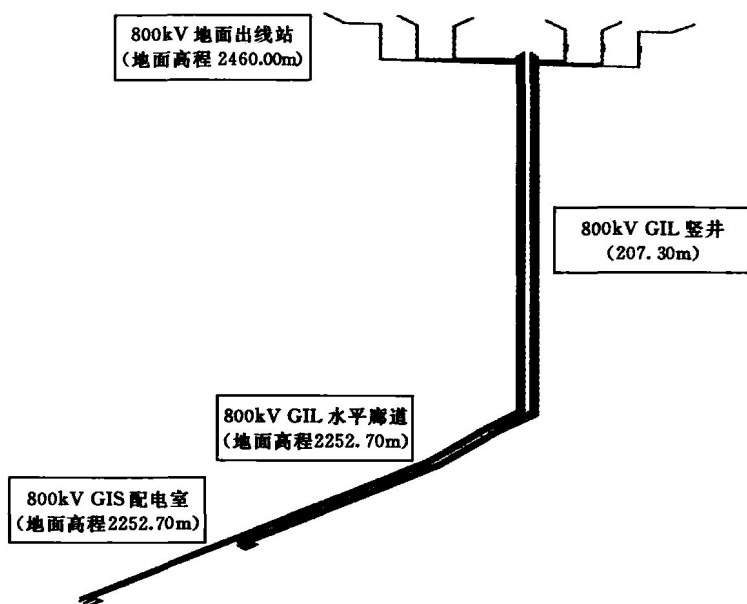


图 1.2-3 拉西瓦水电站 800kV GIL 双回布置示意