

# 固体绝缘开关柜技术在南水北调中的应用

朱志伟<sup>1</sup>

(1. 南水北调中线干线信息科技有限公司, 石家庄市 050000)

**摘要:** 本文以固体绝缘开关柜在南水北调为代表的水利水电行业中的典型应用为研究对象, 首先, 分析研究并总结出水利水电行业对于电力开关柜等需求特性, 从安全稳定性、环境耐受性、投资和维护工作量等方面展开论述研究; 其次, 重点论述固体绝缘柜的概述及技术优势, 得出固体绝缘开关柜完全能够满足水利水电行业的特殊严格技术要求; 最后通过固体新型绝缘开关柜在南水北调典型工程现场的应用为分析研究, 突显出固体绝缘开关柜体积小、免维护、结构灵活、环境适应性强, 特别适用于此种水利水电工程使用等特点。

**关键词:** 固体绝缘开关柜; 水利水电; 南水北调; 稳定; 环境耐受性;

**中图分类号:**

**文献标识码:** A

## 1 引言

固体绝缘金属封闭开关设备(简称固体柜), 是一种采用固封极柱技术, 将全部带电部件完全密封在固体绝缘介质(环氧树脂、硅橡胶等)中, 实现全绝缘全密闭的新型开关设备。其开关本体基于真空介质实现绝缘、灭弧, 外绝缘采用固体材料, 由绝缘封闭母线连接各个回路。绝缘筒基于固封极柱技术, 将真空灭弧室、主电气回路和绝缘支撑等有机结合为一个整体<sup>[1]</sup>, 实现全绝缘、全密封和免维护结构, 体积缩小的同时也实现单元可拆换结构, 扩展灵活。使用环氧树脂材料制成绝缘筒, 母线采用硅橡胶材料进行封装。这种结构除了具有很好的环境适应性外还从根本上解决了 SF<sub>6</sub> 气体在高温地区膨胀造成的影响, 因此特别适用于高温地区应用。固体绝缘柜取消了压力气箱部件, 避免了高海拔地区气箱变形和放气处理问题, 同样适合于高原地区应用<sup>[2-3]</sup>。

近年来, 随着智能配电网的快速发展, 中压开关设备被大量运用于电网配电系统和广大的中压工程用户中, 是坚强智能电网中不可或缺的产品, 直接关系到电网的安全可靠运行。传统的气体开关柜采用 SF<sub>6</sub> 为主要的隔离气体, 然而该气体对于环境及人体的危害具有累积效应, 并且单位危害是 CO<sub>2</sub> 气体的两万-三万倍, 同时《京都议定书》明确规定 SF<sub>6</sub> 气体为六种温室气体之一。我国也是温室气体使用限制的积极倡导者, 2013 年 10 月国家发展与改革委办公厅下达《关于印发首批 10 个行业温室气体排放核算办法与执行指南的通知》。对 SF<sub>6</sub> 的使用和回收提出了严格要求。传统的以 SF<sub>6</sub> 为代表的气体绝缘柜的应用带来的气体污染及泄露安全隐患, 决定了在未来新型可替代 SF<sub>6</sub> 的环保气体开发出来之前, 固体绝缘开关柜将会主要的替代产品。《国家电网公司新技术目

录(2014 版)》和《国家电网公司重点推广新技术目录(2014 版)》指出“从技术可靠性和环保更加严格的发展趋势看，固体绝缘开关柜具有全面取代 SF6 气体绝缘开关柜的趋势”。体绝缘开关柜的以其独有的环保、免维护、安全、智能、灵活等一系列优势得到越来越广的应用。

南水北调水利工程利国利民，其中供配电系统不凡有中压固体绝缘柜的使用案例及场景，本文将重点分析水利水电工程中对于开关柜设备的特殊应用要求，并以本公司的固体绝缘开关柜在南水北调水利水电配电工程应用的成功案例来进行分析，进一步展现出固体绝缘开关柜在水利水电配电行业中的应用优势。

## 2 南水北调电力开关设备运行需求

南水北调水利建设、生产和管理都离不开电力设备，由于水利水电电力工程的应用特殊，其对于开关设备等电力设备的要求具有一定的特殊性，主要体现在如下概括的几方面：

### (1) 安全稳定需要更高

南水北调项目的实施，具有长久的意义，确保该项目中沿线供配电项目的安全设计需求，对于最终的项目顺利实施及社会效益显现，具有及其重要的保障意义，对于开关柜的安全稳定性要求也将更高。

### (2) 环境耐受性要求更强

南水北调项目起源于国家中南部省份，从南到北，跨越多个省份，沿线四季环境气候千差万别，其配电工程的设计基本都是靠近沿线水渠附近区域，开关柜运行环境潮湿恶劣，对于开关柜的环境耐受性要求更强。

### (3) 降低投资和维护工作量

南水北调项目沿线实施周期跨度大、施工距离远、施工强度大等特点，要求所用的开关柜等电力设备，要具有极低的维护需求，尽可能的降低施工成本及投资成本，最大化的提升项目实施的社会及经济效益。

固体绝缘柜，以其独有的体积小、免维护、结构灵活、环境适应性强等优势，特别适合用于此种水利水电工程。

## 3 固体绝缘开关柜

### 3.1 35kV 固体绝缘开关柜概述

固体绝缘金属封闭开关设备（简称固体柜），是一种采用固封极柱技术，将全部带电部件完全密封在固体绝缘介质（环氧树脂、硅橡胶等）中，实现全绝缘全密闭的新型开关设备。35kV 固体柜，额定电压为 40.5kV。采用真空灭弧方式，固体介质绝缘代替 SF6 气体介质绝缘。开关和母线分别使用环氧树脂和硅橡胶作为绝缘材料，实现全绝缘全密闭，开关防护等级达 IP67。单模块柜体尺寸数据：宽\*深\*高=600mm\*1300mm\*2300mm。其外观结构示意图如图 1 所示。

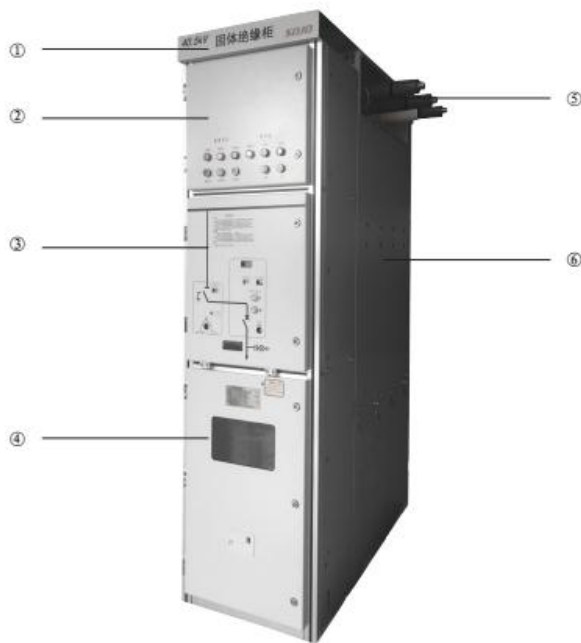


图 1 35KV 固体绝缘开关柜结构示意图

(1) 小母线室：小母线所处位置，设有上盖，可掀开对小母线进行安装和检修；

(2) 控制仪表室：用于安装二次控制设备及仪表；

(3) 操作机构室：室内装有隔离操作机构及断路器机构；

(4) 电缆室：采用前后门设计，高度为 700mm，便于电缆的安装及检修；

(5) 母线室：采用全绝缘母线，母线表面接地可触摸，安全可靠；

(6) 开关室：三相开关在开关室内纵向排列，相间距离 240mm,设有泄压通道和防爆窗。

其技术参数如下表 1 所示：

表 1 35KV 固体绝缘开关柜技术参数表

额定电压		<b>40.5 KV</b>
雷电冲击耐受电压	极对地	<b>185 KV</b>
	隔离断口	<b>215 KV</b>
工频耐受电压	极对地	<b>95 KV</b>
	隔离断口	<b>118 KV</b>
额定频率		<b>50/60 Hz</b>
额定电流		<b>1250/1600 A</b>
额定短路耐受电流		<b>31.5 KA/4s</b>
机械寿命		<b>10000 次</b>

固体柜一次图纸如下图所示。图 2 (a) 为进线柜；图 2 (b) 为隔离柜；图 2 (c) 为 PT 柜；图 2 (d) 为直通柜；图 2 (e) 为母联隔离柜；图 2 (f) 为母联断路器柜；

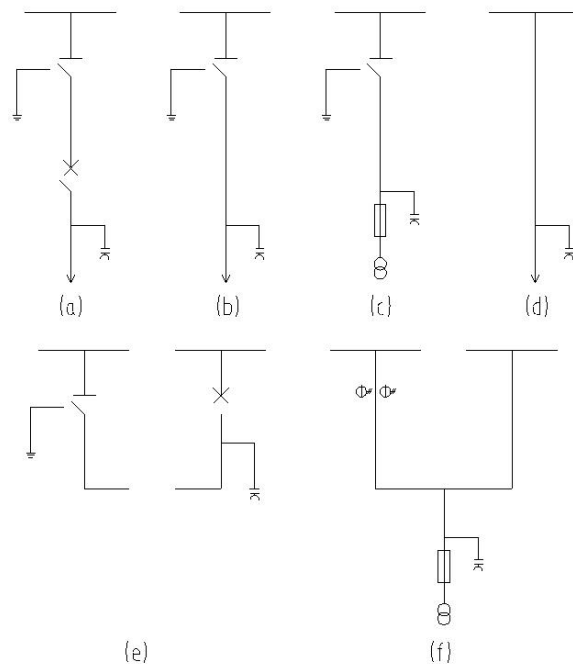


图 2 固体绝缘柜一次电气图

### 3.2 35kV 固体绝缘开关柜技术特点

35kV 固体绝缘开关柜,其设计使用寿命为 30 年,该产品技术在国际、国内均处于领先水平。在国家电网公司有大量成功运行经验,在诸多恶劣环境下工况下可安全可靠运行,达到高防护、免维护。其技术特点如下:

#### (1) 安全性提升

a.采用固体绝缘介质,取消 SF6 气体的使用,开关无漏气安全隐患,无需时刻监视,方便维护,同时安全环保;

b.三相完全独立密封,绝无发生相间故障的可能性;

固体绝缘开关柜采用固体绝缘技术,柜内各相元件表面涂覆特殊材料制成的导电层,加以屏蔽,柜内各部件均为零电位,确保发生相间故障的可能性为零。

c.全绝缘全密闭,外表面具有屏蔽层,无人身触电伤害危险;

柜内的隔离断口间设置接地,避免了极间绝缘材料内部和沿面上可能有的泄露电流,极大地保证人身安全。

固体绝缘柜中,采用镀锌屏蔽层结构的开关单元,将地屏蔽上移,实现安全可触摸。包覆后的绝缘介质外表面涂覆导电或半导体屏蔽层,并可直接可靠接地,降低、排除使用环境对产品的影响。

d. 电场优化设计:全柜运用了有限元仿真分析软件进行了电场计算,采取合理电场分布,优化绝缘和电极形状。

图 3 为单模块固体柜的内部结构侧面剖视图。



图 3 35KV 固体柜的内部结构剖视图

### (2) 灵活性提升

a. 固体绝缘开关柜采用新技术简化柜内主回路结构，并采用分相式外层屏蔽技术，实现重量、体积、零部件数的减少一半，柜体可整体运输，同时便于现场的吊装、施工及改装并柜。

b. 其尺寸大小与传统的 SF6 充气柜及 KYN61 型柜体对比如表 2 所示。固体绝缘柜体尺寸相比于空气绝缘开关柜尺寸减少约 60%，与 SF6 气体绝缘柜尺寸相当，最大化的节约施工及安装空间，给空间方案设计预留出足够的设计裕度。

表 2 三种 35kV 开关柜的尺寸比较

设备名称	绝缘方式	设备尺寸（宽*深*高）
固体柜	固体绝缘	600*1300*2300mm
KYN61 柜	空气绝缘	1400*2800*2300mm
SF6 充气柜	SF6 气体绝缘	600*1300*2300mm

c. 固体柜单元式的模块化结构设计，对于并柜的母联接线方案的实施提供较大的设计灵活性。

d. 基于预制式设计完成开关柜的对外母联机构，对于固体柜的安装位置及安装顺序没有强制性的要求，现场可随意更改方案，安装操作简单，拓展或更改方案现场即可快速实现。

### (3) 智能化提升

智能化方面不低于其他同类设备，柜内可搭配综合自动化模块，实现对负荷侧的实时监控与保护。同时融合了最新的泛在电力物联网和智能运维技术，可实现全面状况可监控。

### (4) 环保性提高

SF6 是温室气体，对大气温暖化影响是 CO2 的 23900 倍，国家对于 SF6 的使用有严格的要求和限制。固体开关柜取消了 SF6 的使用，是真正的绿色环保产品，具有节能减排效益。

固体绝缘开关柜的开关单元采用热塑型固体绝缘介质，改进传统固体绝缘开关单元的环氧树脂材料可回收性极低的问题，进一步完善了固体绝缘开关柜环保性能。

#### （5）严酷环境适应性强

固体绝缘开关柜的带电部分采用绝缘材料进行全绝缘、全密闭浇注,因此不受盐分及灰尘造成的劣化影响。全部带电部件及操作机构都密封在箱体内部,与外界环境无接触,防护等级 IP67,无惧于高潮湿环境,运行更加稳定。在高潮湿、高盐雾、有洪水侵袭可能的场所具有很好的使用价值。同时,产品独有的散热解决方案,更使得该设备在大电流环境下依然安全可靠。

#### （6）维护性提升

固体绝缘开关柜是免维护的设计,现场无需时刻监视和巡检,大大降低维护工作量。结合综保自动化模块,能够实现开关内外全状态实时监控,提前预警。

## 4 应用案例

### 4.1 项目背景

南水北调中线电力运行采用 35kV 输、配电系统,开关设备遍布于水利水渠沿线,所处运行工况恶劣、环境多潮湿水汽,沿线变电站间距离较远,维护检修工作量大。这就对电力开关设备的安全可靠性和运行稳定性提出了更高的要求。传统空气绝缘开关柜尺寸大、防护低、维护需求大;SF6 气体绝缘开关柜有漏气的安全隐患。

南水北调中线总干渠-华柴暗渠位于河北省石家庄市桥西区。增设 1 座 400kVA 箱式变电站,电源“T”接于总干渠 35kV 输电线路,作为闸站场区的永久供电电源。

### 4.2 方案选择及实施

华柴暗渠箱式变电站,高压侧的开关柜选型对箱变的结构、运行起到决定性作用,方案必选结果如下:方案一、若采用空气绝缘开关柜(KYN61),箱变尺寸将超长、超宽,需要切割成若干份,运抵现场焊接拼装,这对整体的箱变结构稳固性有一定影响,降低防护等级水平,易带来人身触电风险的提高。现场工作量大,土建施工周期长和安装成本高;方案二、若采用 SF6 气体绝缘开关柜,按照相关规范要求,则必须加装 SF6 泄漏监测、报警、联动装置,预算成本将大幅度增加。此外 SF6 开关柜存在漏气风险,泄漏气体剧毒,对值班人员的人身安全有一定伤害风险;方案三、固体绝缘开关柜的使用,既减少了整体箱变的尺寸,减低工程造价,又取消了 SF6 气体的使用,使得箱式变电站的整体安全和经济效益极为突出。

本项目结合南水北调电力运行实际情况,开拓性的使用 35kV 固体绝缘开关柜,作为该现场箱式变电站的高压配电方案。方案弥补了南水北调站内 35kV

充气柜微机保护装置缺失的缺点，从根本上消除了 SF6 气体绝缘开关柜漏气的安全隐患，提高了供电系统的供电可靠性和稳定性，大大减小了相关电力设备尺寸，降低了电力工程建设综合投资成本，并兼具环保和低碳减排价值。

现场高压进线配电方案图如下图所示：

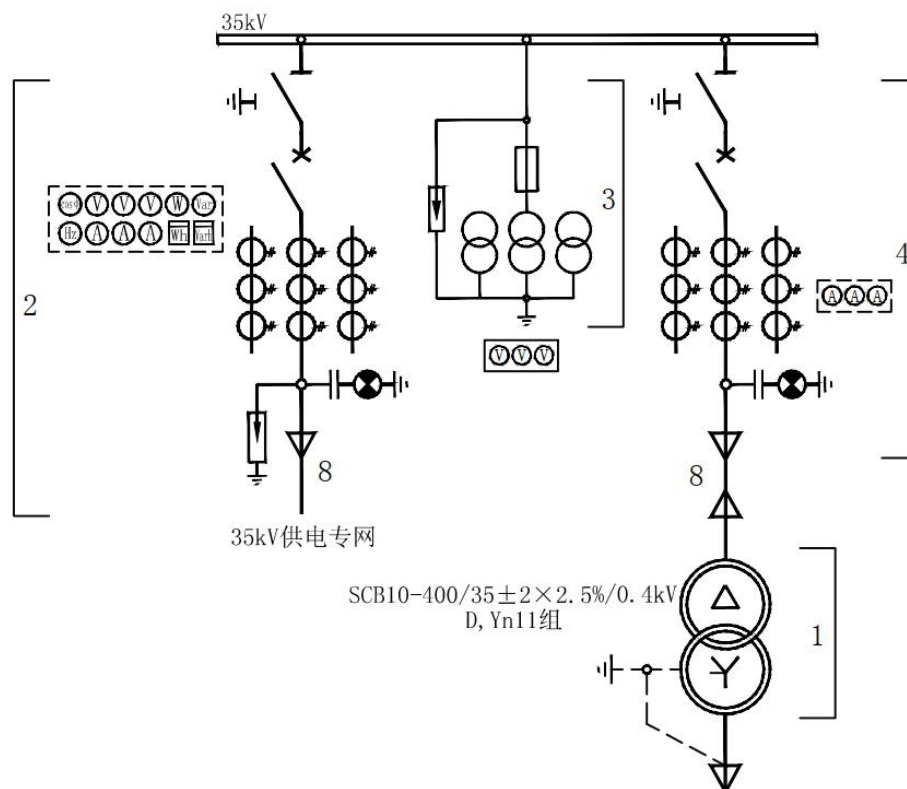


图 4 华柴暗渠高压进线配电图

其中整体高压进线柜，采用型号为 SV1-40.5/1250 的 40.5kV 等级的固体绝缘开关柜。配电图中：2 表示高压进线柜；3 表示 PT 柜；4 表示变压器进线柜。

现场将 35kV 固体绝缘开关柜集成入箱式变电站。箱式变电站安装调试运行一次性成功并运行良好。



图 5 华柴暗渠箱变现场设备照片

结合国际先进水平的 35kV 固体绝缘开关技术，解决了南水北调高压电力设

备要么具有漏气安全隐患、要么占地过大且防护低、维护工作量大的难题。

产品在提高安全稳定性的前提下，又能兼具很好的经济效益，能够显著降低综合投资成本。

该产品尺寸小巧，结构紧凑，造型美观，可方便运输、安装、联网、使用和维护，设计寿命 30 年，产品更加安全稳定可靠，具有广泛推广应用的价值。

南水北调水利建设、生产和管理都离不开电力设备。本项目切实解决了电力设备应用中的实际难题，在安全稳定性得到大幅度提高的同时，显著降低了项目工程的整体投资和建设周期，减少了运行维护的工作量和成本，并兼具环保和节能减排社会效益。

#### 4.3 应用效益

35kV 固体绝缘开关柜在华柴暗渠箱变中的应用，取得了以下收益：

- (1) 从根源上避免了人员可能触碰带电结构而造成的伤亡事故；
- (2) 不使用 SF6 气体，消除了漏气造成的开关和人身伤害安全隐患；
- (3) 不使用 SF6 气体，绿色环保、节能减排的效益显著；
- (4) 高压开关柜免维护，大大降低了箱变的检修维护工作量；
- (5) 降低了现场施工难度，极大的缩短了现场施工周期；
- (6) 整体箱变尺寸小巧，大大降低了土地使用面积，减小了施工量和整体工程投资；

(7) 开关更加安全稳定，提高了电力设备可靠性，对南水北调电力系统安全运行具有重大意义。

## 5 结论

随着坚强智能配电网的建设发展，开关绝缘技术的重要性越来越凸显，各种绝缘技术逐渐成为众多生产企业研究的重点。还需要我们不断对产品进行研究、实验、使用，通过不断积累经验，提升绝缘技术的改进和完善。同时基于以南水北调为代表的水利水电行业对于开关柜电力设备需求的特性的分析，主要涉及到安全稳定性、环境耐受性、投资和维护工作量等方面展开论述研究。最后通过固体新型绝缘开关柜在南水北调典型工程现场的应用为分析研究，突显出固体绝缘开关柜体积小、免维护、结构灵活、环境适应性强，特别适用于此种水利水电工程使用等特点。

## 参考文献：

- [1] 崔可.浅谈高压开关柜固体绝缘技术[J].北京电力高等专科学校学报, 2012(16).
- [2] KIM T, QIAO W.A hybrid battery model capable of capturing dynamic circuit characteristics and nonlinear capacity effects[ J ].IEEE Transactions on Energy Conversion, 2011, 26 (4) :1172-1180.
- [3] BLUMBERGA A, TIMMA L, BLUMBERGA D. System dynamic model for the accumulation of renewable electricity using power-to-gas and power-to-liquid

- concepts [ J ].Environmental & Climate Technologies, 2015, 16 (1) :54-68.
- [4] 纪江辉, 张杰, 王小丽, 等 . 中压开关设备复合绝缘及固体绝缘技术研究 [J] . 电工电气, 2015( 6) .
- [5] 李晶, 满家健, 周电波, 等 . 金属封闭高压开关柜手车触头温度场仿真分析及实验研究 [J] . 高压电器, 2015( 8) .
- [6] 国家电网公司文件.国家电网公司第一批重点推广新技术目录(国家电网科 2011 1285 号 ).
- [7] 钟恒强.固体绝缘环网柜在配网中压领域的技术现状及市场前景分析[J].电力系统装备, 2012(9): 57-59.
- [8] 宁华,余东海,杨碧芳. 成套开关柜及相关设备的综合整治[J].湖南电力. 2006(06).
- [9] 刘桂华,李水胜,董淑春,刘松,谢辰璐,王振良. 固体绝缘环网柜中关键结构的设计与分析[J].高压电器. 2016(08).
- [10] 尹立,刘辉,张翀,张卓,杨威. 环氧树脂基绝缘材料在悬式绝缘子上的应用 [J]. 绝缘材料. 2015(05).

## Application of solid insulation switchgear technology in South to North Water Diversion Project

Zhiwei Zhu <sup>1</sup>

( SOUTH-North Water Transfer Project Information Technology Co. , Ltd. , Shijiazhuang, 050000, China )

**Abstract:** This paper takes the typical application of solid insulation switchgear in the water conservancy and hydropower industry represented by the South-to-North Water Diversion as the research object. Firstly, it analyzes and summarizes the demand characteristics of water conservancy and hydropower industry for power switchgear, and discusses the research from the aspects of safety and stability, environmental tolerance, investment and maintenance workload. Secondly, it focuses on the overview and technology of solid insulation switchgear. It is concluded that the solid insulated switchgear can fully meet the special and strict technical requirements of the water conservancy and hydropower industry. Finally, through the analysis and research of the application of the new solid insulated switchgear in the typical project site of the South-to-North Water Diversion Project, it highlights the characteristics of small size, maintenance free, flexible structure and strong environmental adaptability, especially suitable for the use of such water conservancy and hydropower projects.

**Key words:** Solid insulation switchgear; water conservancy and hydropower; South to North Water Diversion; stability; environmental tolerance;

作者简介：朱志伟，男，生于 1980 年，身份证号：130133198010062431。高级工程师，目前工作于南水北调中线干线信息科技有限公司。2003 年参加工作，常年致力于南水北调中线电气、运维及工程方面技术的研究和应用。

通讯地址：河北省石家庄市裕华区黄河大道 98 号澳怡大厦 9 层。

电话/手机：18533186198； 电子邮件：741163720@qq.com。