

工矿企业 10 kV 供电

主编 顾永辉

编写人 顾永辉（第一、二章） 钱粤民（第三、九、十章）
应莘妹、袁世鹰（第四章） 彭延龄（第五章）
陈荣中（第六章） 唐开宗、刘露萍（第七章）
周铭琪（第八章）

煤炭工业出版社

前 言

全国有很多中小型煤矿，用电负荷不大，矿井电源多取自电力系统 10kV 电压。《煤矿安全规程》规定“井下配电电压不得超过 7000V”，很多煤矿为了符合这一规定，而在矿内设置 10kV 变为 6kV 的变电站。如采用 10kV 直接下井供电，统一供配电电压，取消 10/6kV 变压环节，将会节约大量的投资和电力。

为了摸索 10kV 下井供电经验，1971 年初首先在焦作矿务局焦东矿进行了 10kV 直接下井供电试验。1975 年又在资兴矿务局宝源矿进行 10kV 下井供电试验。1978 年 4 月，煤炭部为了总结这些煤矿在 10kV 下井供电方面的经验，在宝源矿召开了 10kV 下井供电试验总结评议会。会议代表一致认为，10kV 下井供电技术上是可行的，有显著经济意义，是今后发展的方向。

到 80 年代初，随着煤矿采掘机械化的发展，生产率大幅度提高，世界主要产煤国家均出现了很多大型甚至是特大型煤矿，井下用电负荷增幅很大，原来采用的 5000V 或 6000V 电压供电已经不能适应要求，而且是很不经济的，这些煤矿均开始进行井下高压系统的升压改造。如：原西德奥斯特菲尔德 (Osterfeld) 矿在 1979 年 9 月首先采用了 10kV 下井供电(原下井电压为 5000V)；1986 年 12 月英国曲莱顿 (treeton) 矿由原 3.3kV 电压升至 11kV 供电；1990 年法国普洛旺斯 (Provence) 矿——法国第一座 10kV 下井供电的矿井投入运行。在此时期我国也有多座特大型矿井在设计中采用了 10kV 供电。如北京煤矿规划设计院设计的东胜矿区的活鸡兔矿(设计能力 500 万 t/年) 目前正在施工中，这座煤矿的建设完成，将是我国第一座采用 10kV 供电的特大型矿井。在设计中已采用 10kV 供电的还有大同矿务局的塔山矿(设计能力 400 万 t/年)、潞安矿务局屯留矿(设计能力 600 万 t/年)、晋城矿务局寺河矿(设计能力 400 万 t/年)等矿井。大型矿井虽然同样采用 10kV 供电，但与中小型煤矿目的不同，中小型煤矿主要目的是取消 10/6kV 环节，统一工矿企业供配电电压，而大型煤矿的主要目的是提高电网输送能力。

10kV 直接供电不仅适用于煤矿，而且对地面其他工矿企业也有普遍推广意义，因为其他工矿企业也同样存在 10/6kV 变电环节。仅据湘潭电机厂统计，已在选煤厂、自来水厂、钢厂、氮肥厂等 40 多个企业采用了 10kV 直接供电，共有近 200 台 10kV 电动机投入运行，电动机总容量达 20 万 kW。还有兰州电机厂等制造厂，生产的大量 10kV 电动机也投入了运行，由于取消了 10/6kV 环节，简化了供电系统，均取得了很好的经济和社会效益。

为了进一步发展、完善和推广 10kV 直接供电，“中小型矿井 10kV 直接下井供电”和“大型矿井 10kV 直接下井供电”分别列入国家“七五”科技攻关项目，于 1989 年 12 月和 1991 年 2 月分别通过由原能源部主持的技术鉴定。原能源部于 1990 年 3 月 10 日又以《能源技〔1990〕176 号》文颁发了《关于推广采用 10kV 升压供电等两项技术成果的通知》。通知中指出“新设计的中小型煤矿应取消 10/6kV 变压环节，采用 10kV 直接下井供电。现行《煤矿安全规程》(1992 年版)亦把“煤矿井下配电电压不得超过 7000V，改为不得超过 10000V。”煤炭部科教司于 1994 年 6 月在山西太原召开了煤矿 10kV 直接下井供电的推广

交流会，为进一步推广 10kV 直接下井供电技术，做了大量的工作。

本书是 20 余年来我国发展 10kV 供电技术的总结，是为在工矿企业进一步推广 10kV 供电技术而编写的。本书主要内容包括：10kV 供电的经济技术效益；我国及世界各国发展 10kV 供电的情况；10kV 开关设备，电动机、变压器、电缆等电气设备的技术参数及结构特征；10kV 供电系统的运行与维护要求；10kV 系统的保护接地及单相接地保护等。

工矿企业以 10kV、660V 代替 6kV、380V 供电是今后发展的方向。本书的姊妹著作《工矿企业 660V 供电》中，详细叙述了 660V 供电技术。

本书在编写过程中，得到了煤炭部科教司及有关厂家的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，书中难免有不当之处，恳请广大读者提出宝贵意见，以便更正。

编者

1996. 1

目 录

第一章 概论	1
第一节 10kV 直接供电的经济技术效益	1
一、中小型矿井	1
二、大型矿井	2
三、其他地面工矿企业	3
第二节 10kV 供电的发展过程	5
一、概述	5
二、试点情况	6
第二章 短路电流计算	14
第一节 计算短路电流的目的及各种数据的应用	14
一、计算短路电流的目的	14
二、计算短路电流的各种数据及其应用	14
第二节 短路电流的计算方法	17
一、MVA 法的基本计算公式	17
二、MVA 法的网络简化计算	17
三、常用元件化作 MVA 量的计算方法	21
第三节 MVA 法的举例计算	21
一、电源为无限容量的计算方法 (包括 $X_{\Sigma} \geq 3$)	21
二、电源为有限容量的计算方法 (包括 $X_{\Sigma} < 3$)	22
三、常用数据	23
第四节 用 MVA 法计算非对称性短路电流及电动机起动电压降	26
一、基本计算公式	26
二、单相接地短路电流计算	26
三、两相接地短路电流计算	30
四、传统的标么值算法与 MVA 法对比	30
五、用 MVA 法计算大型电动机起动电压降	30
第三章 10kV 电气设备的选择	35
第一节 地面 10kV 开关柜的选择	35
一、关于动、热稳定校验的规定	35
二、开关柜型号的选择	35
三、高压开关的选择	35
四、隔离开关、负荷开关及熔断器的选择	36
五、母线支持绝缘子的选择	37
六、穿墙套管的选择	37
七、电流互感器的选择	38
八、电压互感器的选择	40
九、母线的选择	40

第二节 井下 10kV 开关柜及变压器的选择	42
一、井下 10kV 开关柜的选择	42
二、10kV 变压器的选择	43
第三节 10kV 电缆的选择	45
一、选择电缆的规定	45
二、型号的选择	46
三、额定电压的选择	46
四、截面的选择	47
第四章 10kV 电动机	52
第一节 Y、YR 中型 10kV 三相异步电动机	52
一、用途、使用环境和分类	52
二、型号的含义及分类方式的说明	53
三、10kV 异步电动机的结构特点	54
四、主要性能数据	55
五、外形及安装尺寸	59
第二节 同步电动机	61
一、用途和型号意义	61
二、结构简介	61
三、T 系列同步电动机部分产品主要性能数据	61
四、T 系列同步电动机外形安装尺寸	62
第三节 6kV 电动机不降容改制成 10kV 电动机	63
一、改制的技术关键	63
二、主要技术数据	63
第五章 10kV 矿用一般型变压器及矿用隔爆型移动变电站	65
第一节 10kV 矿用一般型电力变压器	65
一、型号及含义	65
二、性能参数	65
三、技术要求	65
四、结构	67
第二节 10kV 矿用隔爆型移动变电站	68
一、移动变电站	68
二、KBSG 型干式变压器	70
三、低压馈电开关	74
第三节 干式变压器	75
一、干式变压器的分类	75
二、无填料(薄层)树脂浇注干式变压器	75
第六章 10kV 开关设备	79
第一节 10kV 地面主要开关设备	79
一、GG-1A(F) I、II 防误型高压开关柜	79
二、JYN2-10 型户内移开式交流金属封闭开关设备	96
第二节 10kV 井下开关设备	121
一、KYGG-10(6) 型矿用一般型高压真空开关柜	121

二、KYGG-2Z 型矿用一般型高压真空开关柜	130
三、KYGG-Z-10 (6) /F 型矿用一般型高压真空开关柜 (带防误闭锁)	137
四、BGP3-10 型矿用隔爆型高压真空配电装置	145
五、BGP8-10Z 型矿用隔爆型高压真空配电装置	149
第七章 电缆和电缆附件	158
第一节 油浸纸绝缘电力电缆	158
一、电缆结构特征	158
二、电缆额定电压	162
三、电缆型号、规格及使用特性	163
四、电缆结构尺寸和重量	171
五、成品电缆主要性能	171
第二节 交联聚乙烯绝缘电力电缆	172
一、电缆结构特征	173
二、电缆型号、规格及使用特性	175
三、电缆结构尺寸和重量	176
四、成品电缆主要特性	181
第三节 6/10kV 矿用监视屏蔽型橡套软电缆	182
一、电缆型号和规格	183
二、电缆结构特征	183
三、电缆结构尺寸和重量	184
四、成品电缆主要特性	186
第四节 电缆附件	186
一、电缆终端和中间连接处的电场分布	187
二、改善电缆终端电场分布的基本方法	189
三、10kV 电力电缆附件典型结构	192
四、6/10kV 矿用监视屏蔽型橡套软电缆预制型电缆终端	207
五、10kV 矿用隔爆型电缆接线盒	210
第五节 载流量	213
第八章 电气控制设备	224
第一节 提升机电气控制设备	224
一、TGG-10 高压开关柜	224
二、高压换向接触器	225
三、磁力控制站、电阻器	227
四、TR1 系列交流矿井提升机电控设备	227
第二节 电动机的保护和起动	230
一、10kV 高压电动机的常备保护	230
二、异步电动机的起动	231
第九章 10kV 电气设备的运行与维护	242
第一节 10kV 开关柜的运行与维护	242
一、10kV 开关柜的巡视检查	242
二、10kV 开关柜的运行与维护	243
三、10kV 开关的试验	243

第二节 10kV 变压器的运行与维护	245
一、10kV 变压器的巡视检查	245
二、10kV 变压器的运行与维护	245
三、10kV 变压器的试验	249
第三节 10kV 电缆的运行与维护	250
一、10kV 电缆的巡视	250
二、10kV 电缆的运行与维护	250
三、10kV 电缆的试验	251
第四节 井下 10kV 高压配电箱过流保护的整定计算	252
一、变压器保护	252
二、10kV 电动机保护	253
三、10kV 电缆线路保护	254
四、举例计算	255
五、附录	256
第十章 10kV 系统的保护接地及单相接地保护	259
第一节 10kV 系统的保护接地	259
一、保护接地的作用	259
二、对接地电阻的要求	259
三、井下接地网	259
四、井下接地装置的安装	261
五、接地装置的检查和试验	265
第二节 10kV 系统的单相接地保护	269
一、10kV 系统单相接地故障的分析	269
二、10kV 系统单相接地保护装置	272
附录 10kV 电气设备制造厂名录	275

第一章 概 论

第一节 10kV 直接供电的经济技术效益

一、中小型矿井

中小型矿井的电源电压，多取自电力系统 10kV 电压供电。采用 10kV 直接下井供电，取消 10/6kV 变压环节，可以取得下述经济技术效益：

(1) 除可省去 10/6kV 变压器、6kV 开关柜、相应的继电器保护柜外，还可节省配电室建筑面积和室外主变压器占用的土地等。

(2) 减少主变压器多余容量的初装增容费。

(3) 减少年运行费，其中包括主变压器的损耗、多余容量的基本电费、固定资产折旧和设备大修费。

(4) 省去 10/6kV 变压环节，简化了供电系统，减少电网事故，提高运行可靠性。

〔例 1〕河南汝阳县城东煤矿是一个年产 9 万 t 的小型矿井，原采用 380V 下井，随着井下生产地区扩大，380V 供电已不能满足生产要求，电动机不能起动，电气设备故障频繁发生。采用 10kV 直接下井供电后，不仅节约投资、电能，且系统电压质量显著提高。与 6kV 供电相比，减少 10/6kV、1000kVA 变压器两台，与其配套的控制柜、保护柜、信号柜各 1 台，6kV 开关柜 7 台，减少主变压器初装增容费 32 万元及安装费 3 万元，共节约投资 65 万元。

节约电能计算：计算 2 台 1000kVA、10/6kV 变压器，计算负荷为 1250kVA 的年电能损耗。

年电能损耗计算见式 (1-1-1)

$$\Delta P_T = \left[\Delta P_0 t_1 + \Delta P_N \left(\frac{S'}{S_N} \right)^2 t_2 \right] N \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-1-1)$$

式中 ΔP_0 ——变压器空载有功损耗，kW；

ΔP_N ——变压器额定负载有功损耗，kW；

S' ——变压器计算负荷，kVA；

S_N ——变压器额定容量，kVA；

N ——变压器台数；

t_1 ——年运行时间，取 8760h；

t_2 ——最大负荷利用小时，取 5000h；

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= \left[1.8 \times 8760 + 11.6 \left(\frac{1250}{2000} \right)^2 \times 5000 \right] \times 2 \\ &= 38424 \times 2 = 76848 \text{ kW} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

变压器的无功损耗折合至年电能损耗的计算见式 (1-1-2)

$$\Delta Q_T = \left[\Delta Q_0 t_1 + \Delta Q_N \left(\frac{S'}{S} \right)^2 \right] N \quad (\text{kvar} \cdot \text{h}) \quad (1-1-2)$$

式中 ΔQ_0 ——变压器空载无功功率损耗, kvar;

ΔQ_N ——变压器额定负载无功功率损耗, kvar;

$$\Delta Q_0 = \frac{I_0\% \cdot S_N}{100} = \frac{1.2 \times 1000}{100} = 12 \text{ kvar}$$

$I_0\%$ ——变压器空载电流百分值。

$$\Delta Q_N = \frac{U_0\% \cdot S_N}{100} = \frac{4.5 \times 1000}{100} = 45 \text{ kvar}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_T &= \left[12 \times 8760 + 45 \left(\frac{1250}{2000} \right)^2 \times 5000 \right] \times 2 \\ &= 193010 \times 2 = 386020 \text{ kvar} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

折合至有功损耗的计算见式 (1-1-3)

$$\Delta P_{TQ} = \Delta Q_T \times M \quad (1-1-3)$$

式中 M ——无功当量, 取 0.06kW/kvar。

$$\Delta P_{TQ} = 386020 \times 0.06 = 23161 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

变压器电能损失

$$\begin{aligned} E &= \Delta P_T + \Delta P_{TQ} \\ &= 76848 + 23161 = 100009 \text{ kW} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

从表 1-1-1 中可以看出, 一个中小型煤矿采用 10kV 直接下井供电, 一般可节约投资 30 万元, 节电 $(5 \sim 10) \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

表 1-1-1 中小型煤矿 10kV 直接供电经济效益

矿名	年产量 (万 t/年)	节约主变压器 (kVA)	节约 6kV 开关柜 (台)	节约建筑面积 及土地 (m ²)	年节电 (kW·h×10 ⁴)	节约投资 (万元)	备注
1. 河南汝阳 城东矿	9	2×1000	7	$\frac{250}{100}$	10	65	土地面积 - 建筑面积
2. 大同南郊 城关联营矿	35	750	2	$\frac{100}{50}$	5	29	
3. 山西左权 温城矿	30	750	2	$\frac{100}{50}$	5	28	

二、大型矿井

随着井下采掘机械化的发展, 井型及井下电力负荷、供电范围也随之迅速增长。一个年生产能力 300~600 万 t 的大型矿井井下负荷达 16000~32000kW, 井下输电距离平均达 2.5~3km, 如仍用 6kV 供电已不能满足生产要求, 也很不经济, 把下井供电电压由 6kV 提高到 10kV, 可增加电网输送能力近 3 倍。电网输送能力与电压关系可按式 (1-1-4) 计算。

$$\frac{(P \cdot Z)_{10}}{(P \cdot Z)_6} = \left(\frac{U_{10}}{U_6} \right)^2 = 2.78 \quad (1-1-4)$$

$$(P \cdot Z)_{10} = 2.78 (P \cdot Z)_6$$

式中 $(P \cdot Z)_{10}$ 、 $(P \cdot Z)_6$ ——分别为 10kV 与 6kV 电网的输送能力;

P ——通过导线的输出功率, kW;

Z ——输电导线的阻抗（与导线的长度、截面有关），即 $Z=Z_0$
（导线单位长度阻抗） $\times L$ （导线长度）；

U_{10} 、 U_6 ——电网电压分别为 10kV 和 6kV。

从式（1-1-4）中可以看出，如电网输送功率（ P ）和导线单位长度阻抗（ Z_0 ）不变，则可增长输送距离（ L ）2.78 倍；如线路阻抗 $Z=Z_0 \cdot L$ 不变，则可提高输送功率（ P ）2.78 倍。由于提高了电网输送能力，则可取得下述经济技术效益：

（1）减少设置在风井的 35/6kV 变电站。多数大型矿井需要在风井下电缆供井下采区负荷，由于供电距离远、负荷大，6kV 电压供电已不能满足要求，因此多数大型矿井要在风井设置 35/6kV 变电站。如采用 10kV 供电，则可省去这些变电站，可节约投资、电力和提高供电可靠性。

（2）约可减小下井电缆截面一半。

（3）减少高压电网电力损耗。

〔例 2〕由合肥煤矿设计院设计的淮南顾桥矿井，设计生产能力为 500 万 t/年，设计采用井上、下 10kV 供电，与原 6kV 供电相比：节省投资 344 万元（设备价格为 1992 年价），年节电 55 万 kW·h，年节约运行费 34 万元。

〔例 3〕原西德奥斯特菲尔德矿，日产万吨煤，井下设备功率为 12000kW，采用 10kV 供电，有 32 台高压开关、5.3km 电缆和 13 台 630kVA 变压器投入运行。自 1979 年 9 月投入运行以来运行情况良好。10kV 供电每年可节约 36.8 万马克。

〔例 4〕原西德为我国设计的开滦东欢坨矿，年产 400 万 t，采用井上、下 10kV 供电后，与 6kV 供电相比，可节约 168.1 万马克，年节电 300 万 kW·h。

〔例 5〕原苏联南方设计院曾对一个大型矿井作 10kV 与 6kV 供电对比。6kV 供电要敷设下井电缆（120~150mm²）14 条，10kV 供电可减少二个井下变电站及下井电缆 6 条。节约投资 15 万卢布（80 年代初价格），有色金属 100t，年节电 150 万 kW·h。

原苏联对五对矿井进行了 10kV 与 6kV 供电下井电缆对比情况，见表 1-1-2。

表 1-1-2 五对矿井 10kV 与 6kV 供电下井电缆对比

矿井 序号	生产能力 (万 t/年)	井深 (m)	电力负荷 (kW)		下井电缆根数 (根)	
			总 计	井 下	6kV	10kV
1	420	685	70000	16000	16	12
2	240	614~824		11000	7	6
3	300	470	28000	9700	10	8
4	300	960	36000	11800	8	6
5	125	1080	31000	6300	6	5

三、其他地面工矿企业

其他地面工矿企业也同样存在 10/6kV 变压环节。自 80 年代中期开始，已在其他企业推广应用 10kV 直接供电。

〔例 6〕东口取水泵站装设 2 台 1000kW 和 2 台 560kW 水泵电动机。湖南省建筑设计院

对此进行了 6kV 和 10kV 两种电压供电方案的经济对比,对比结果见表 1-1-3。两种方案的接线图如图 1-1-1、图 1-1-2 所示。

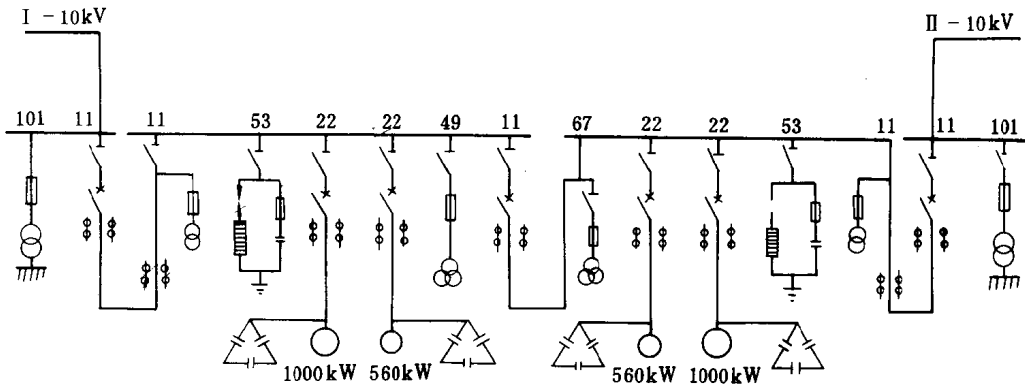


图 1-1-1 10kV 供电主接线图

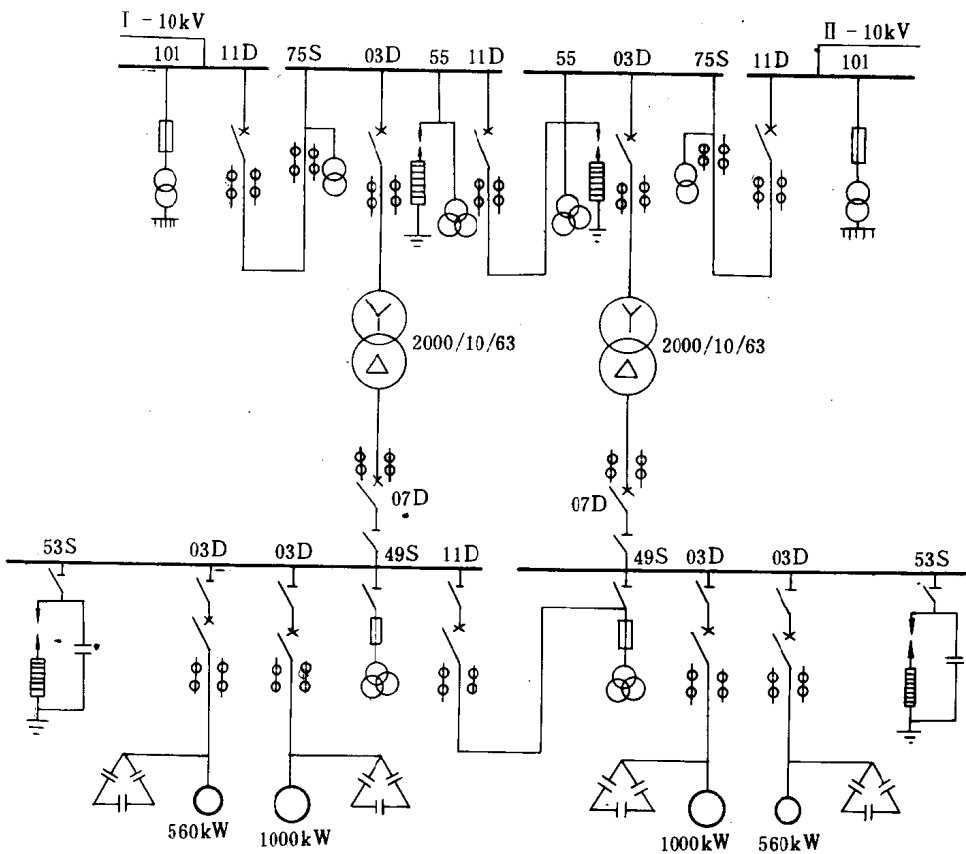


图 1-1-2 6kV 供电主接线图

从对比结果中可以看出,采用 10kV 供电,可节约投资 20.97 万元 (1991 年价格),节电 $18 \times 10^4 \text{kW} \cdot \text{h}$ /年,年均运行费节约 10.4 万元。从此例中可以推算,如采用 10kV 供电,则可节约:

$$\text{平均单位设备容量可节约} \frac{209700}{3120} = 67.2 \text{ 元/kW (电动机设备容量)}$$

平均单位设备容量年可节电 $\frac{180000}{3120} = 57.6 \text{ kWh/kW}$ (电动机设备容量)

平均单位设备容量节约年运行费 $\frac{104000}{3120} = 33.3 \text{ 元/kW}$ (电动机设备容量)

表 1-1-3 10kV 与 6kV 供电经济指标对比

项 目	10kV 供电 (万元)	6kV 供电 (万元)	备 注
一、基建投资			
1. 10/6kV 变压器 2 台, 2000kVA		21.72	包括设备费、安装费、土建费、间接费
2. 6kV 开关柜及相应建筑面积		19.03	减少 7 台 6kV 开关柜及 100m ² 建筑面积
3. 省去专用风机和风管		1.6	
4. 10kV 与 6kV 电动机差价	21.38		10kV 水冷电动机不需设 4 台冷却用风机和风管, 并节省建筑面积
10kV 节约小计	20.97		
二、运行费用			
1. 基本电价 10kV 方案年节省 (万元)	4.224		采用 6kV 方案按变压器额定容量计算, 基本电价 4 元/月 kVA, 10kV 方案按电动机额定容量计算, 两者基本电价相差 0.352 万元
2. 节省折旧和大修费 (万元)	1.60		折旧按固定资产的 5% 计, 大修理费按固定资产的 3% 计, 合计 8%
3. 节省变压器年电耗 (万 kW·h)	18.02		
节省年电费 (万元)	2.58		电价按 0.14 元/kW·h 计算
4. 节约电动机专用冷却风机运行费 (万元)	2.02		包括电费
10kV 节约小计 (万元)	10.424		

仅据湘潭电机厂、兰州电机厂统计, 已生产 10kV 电动机达 40 万 kW, 共节约 2600 余万元, 年节电 2300 余万千瓦小时, 节约年运行费用 1300 余万元。现在已有 40 对中小型煤矿采用 10kV 下井供电, 节约 1300 余万元, 年节电 1300 余万千瓦小时, 取得了很好的经济效益。

第二节 10kV 供电的发展过程

一、概述

长期以来煤矿一直采用 6kV 电压下井供电, 极少数老矿井由于历史原因还有采用 3kV 供电的。虽然很多矿井为了符合《煤矿安全规程》的规定, 在矿井地面增设了 10/6kV 变压环节, 但当时认为这是必须的。随着采掘机械化的发展, 井下供电负荷、供电范围不断增长, 大型矿井仍采用 6kV 供电是不经济的, 所以在这些工矿企业中发展 10kV 供电是必然的。

众所周知, 煤矿井下不仅有瓦斯爆炸等危险, 且环境条件恶劣, 提高电压供电是否安全? 只靠书面论证是不够的。提高电压供电涉及面较多, 必须经过长时间运行考核。我国 1971 年初和 1975 年初分别投 10kV 供电的焦作矿务局焦东矿和资兴矿务局宝源矿中平硐的试点矿井, 为井下 10kV 系统的长期运行提供了经验, 证实了 10kV 直接下井运行是安全

可靠的。由于 10kV 下井供电做了长时间试验运行的前期工作，到 1986 年“中小型煤矿 10kV 直接下井供电”和“大型矿井 10kV 直接下井供电”分别被列入国家“七五”科技攻关项目，主要任务是研制矿井使用的整套 10kV 设备。该套设备于 1989 年 12 月和 1991 年 2 月分别通过由原能源部主持的技术鉴定。鉴定意见分别是：

“中小型煤矿 10kV 直接下井供电”项目：“10kV 直接下井供电的试验成功为我国工矿企业统一配电电压，简化供电环节，提高可靠性提供了很好的经验，为国内首创”。

“大型煤矿 10kV 直接下井供电”项目：“世界主要产煤国家中只有德、英、美等少数先进国家的煤矿已采用 10kV 下井供电。10kV 下井供电技术为国内首创，已进入世界先进行列”。

10kV 供电系统经 20 余年来的长时间运行考核以及整套 10kV 设备的研制成功，在技术上肯定了 10kV 下井供电的安全可靠性，并在《煤矿安全规程执行说明》中，对 10kV 供电推广应用作了明确规定：

- (1) 采用的 10kV 矿用电气设备，必须通过部级技术鉴定。
- (2) 10kV 系统投入前，必须按有关规定进行验收、检查、试验。
- (3) 10kV 系统投入运行后，必须按有关规定进行各项试验及整定工作。
- (4) 必须装设 10kV 单相接地保护、保护接地，并按有关规定进行各项试验。
- (5) 纸绝缘的 10kV 电缆的连接，应使用环氧树脂浇注的接线盒。
- (6) 10/6kV 矿用监视屏蔽型橡套电缆的相互间连接及与设备连接，必须采用 10kV 专用的电缆终端。

“中小型煤矿 10kV 直接下井供电”项目获 1992 年能源部煤炭工业科技进步一等奖。“煤矿 10kV 直接下井供电”项目获 1993 年国家级科学技术进步二等奖。

二、试点情况

10kV 供电现已广泛推广应用，取得了很好的经济效果。但它的试验成功却经历了一段漫长曲折的道路。1970 年虽然已经认识到 10kV 与 6kV 电压属于同一电压等级，把电力系统向用户供电的电压与用户的配电电压列为两种电压值是不合理的，统一供配电电压有很大的经济、技术意义，但当时尚无井下 10kV 供电设备。为了尽早取得 10kV 系统的运行经验，对现有的 6kV 开关、变压器、电缆、电动机等设备进行分析后，认为有可能把原 6kV 设备进行改装，在 10kV 条件下通过各项试验后，投入 10kV 电网运行。多年运行情况证明，这种改造方法达到了预期目的，积累了井下 10kV 电网长期运行经验，为后期制造 10kV 成套电气设备，提供了各项技术要求和试验方法。现按投入 10kV 运行的先后顺序叙述如下：

(1) 焦作矿务局焦东矿 1971 年初投入 10kV 供电，是我国第一个 10kV 直接下井供电的矿井，供电系统如图 1-2-1 所示。

设计能力为年产 15 万 t，斜井开拓。当时为二级瓦斯矿，井下正常涌水量为 15.6t/min，共设 8 台 500kW 水泵，正常开动 1~2 台。井下共有 15 台高压防爆开关，高压电缆共 15 条计 2400m。井下高压电缆、矿用变压器、高压开关等在试运行期间均未因采用 10kV 供电而发生故障，运行正常。

(2) 资兴矿务局宝源矿中平硐 1975 年初投入 10kV 供电。设计能力为年产 21 万 t，当时年产在 15 万 t 左右，是我国第二个 10kV 下井供电的矿井。开拓方式为平硐分区阶段上山开采，二级瓦斯矿，井下无高压电动机，最大电动机是上山绞车 155kW、380V，井下有

5 台 180kVA 矿用变压器，高压电缆 7km，投入运行后运行正常。供电系统如图 1-2-2 所示。

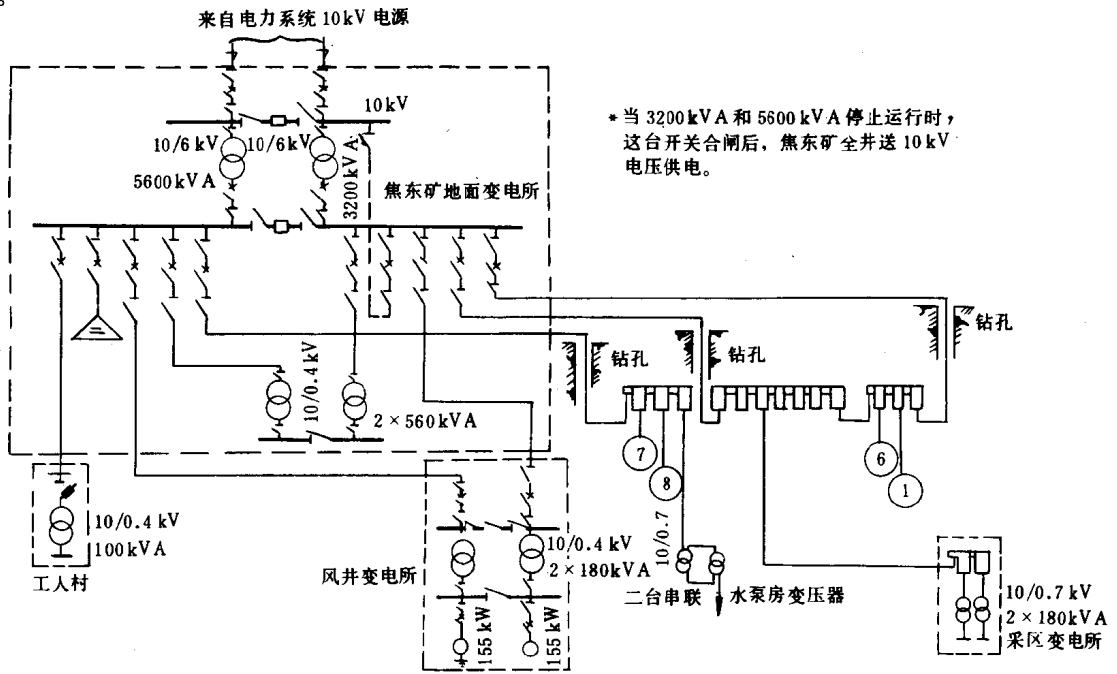


图 1-2-1 焦东矿供电系统

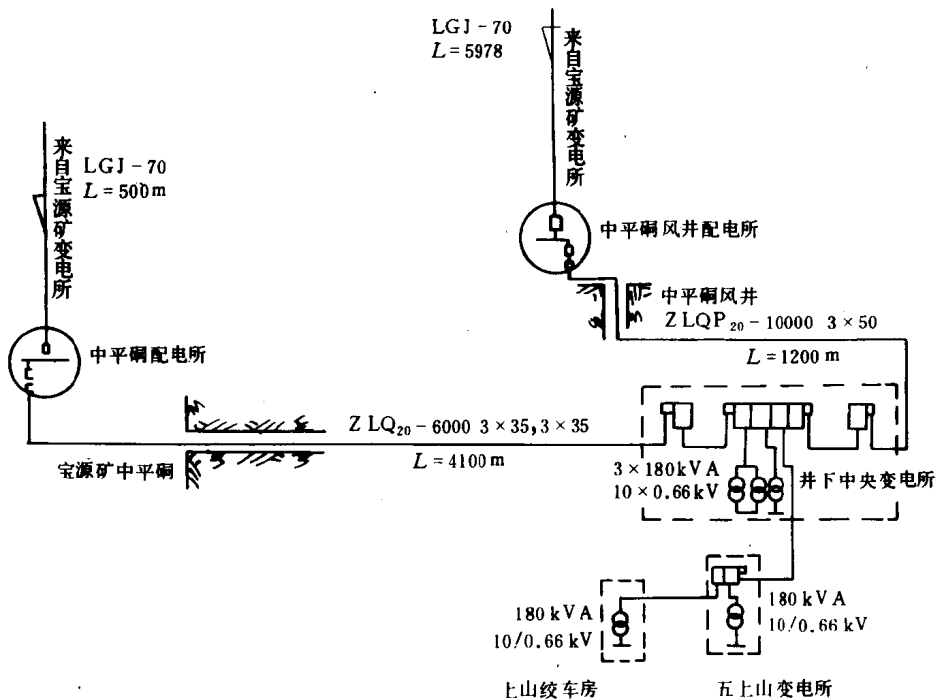


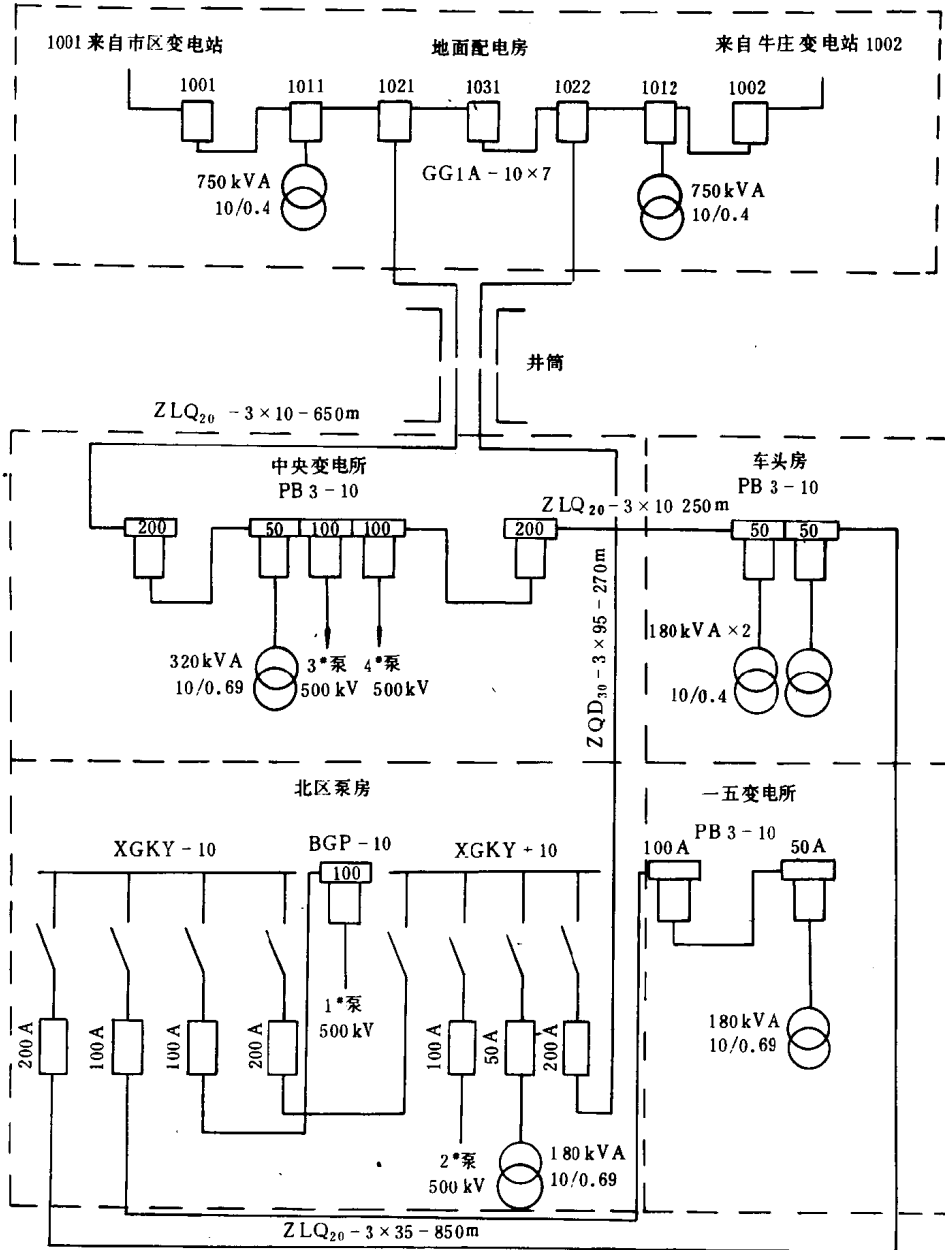
图 1-2-2 宝源煤矿中平硐供电系统

(3) 江苏省连云港市新浦磷矿 1975 年 5 月投入 10kV 运行。设计能力为年产 30 万 t 磷，是我国第三个 10kV 下井供电的矿井，也可以说是第一个非煤矿采用 10kV 下井供电

的矿井。主要设备有主通风机 95kW, 水泵 155kW, 空压机 130kW, 总容量为 2000kW。井下水含氯化钠浓度为 12.6g/l, 井下有 SJL-420/10 变压器两台。化工矿井与煤矿规定相同, 也是不允许 10kV 电压下井供电的。10kV 系统投入运行以来, 运行正常。

以上 10kV 系统的设备均为由原 6kV 设备改制的。以下将介绍“七五”攻关项目中研制的成套 10kV 设备的试点运行情况。

(4) 中小型矿井 10kV 直接下井供电 用于中小型煤矿的成套 10kV 矿用设备, 1989 年 9 月在焦作局焦东矿投入运行, 是我国第一个采用成套 10kV 设备的试点矿。供电系统如图 1-2-3 所示。此 10kV 供电试验系统包括: ZQD30-3×95 10kV 电缆 270m, ZLQ20-3



(a)

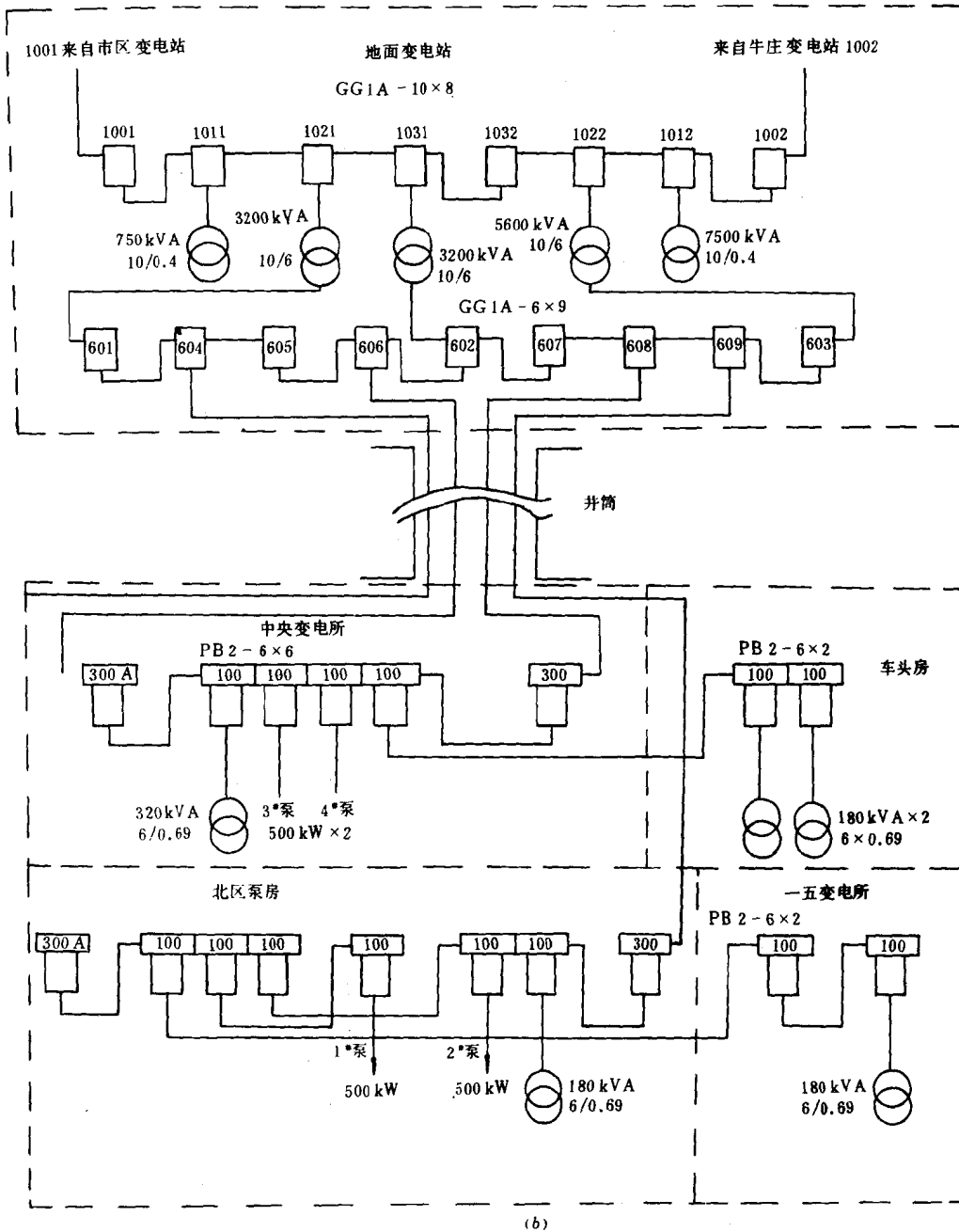


图 1-2-3 中小型矿井 10kV 直接下井供电试点系统

a—10kV 供电系统；b—原 6kV 供电系统

×70 10kV 电缆 1100m, ZLQ20-3×35 10kV 电缆 1500m; 高压防爆配电装置 (PB₃-10 型) 9 台; 矿用一般型高压开关柜 (XGKY-10-02) 8 台; 矿用高压隔爆真空配电装置 (BGP-10) 1 台; 10kV 500kW 电动机 4 台; 320kVA、10/0.69kV 2 台和 180kVA、10/0.69kV 变压器 2 台; 中间电缆接线盒 3 个, 终端电缆接线盒 38 个。这些设备投入运行后, 运行正常, 且有明显的效益, 月节电 47793kWh, 系统电压提高 1%。

(5) 大型矿井 10kV 直接下井供电 用于大型矿井的成套 10kV 矿用设备, 于 1990 年 11 月 1 日在焦作矿务局九里山矿投入运行, 是我国第一个用于大型矿井 10kV 供电的试点系统。供电系统如图 1-2-4 所示。此系统包括: KYGG-10 矿用一般型高压真空开关柜 2 台; BGP3-10 矿用隔爆型真空配电装置 2 台; KBSGZY-500/10 矿用隔爆型移动变电站 1 台; BHG1-200/10 矿用隔爆型电缆接线盒 1 个; UYPJ-3×25 10kV 监视型橡套软电缆 460m; 橡套软电缆终端接线盒 4 个。这些设备投入运行后运行正常。

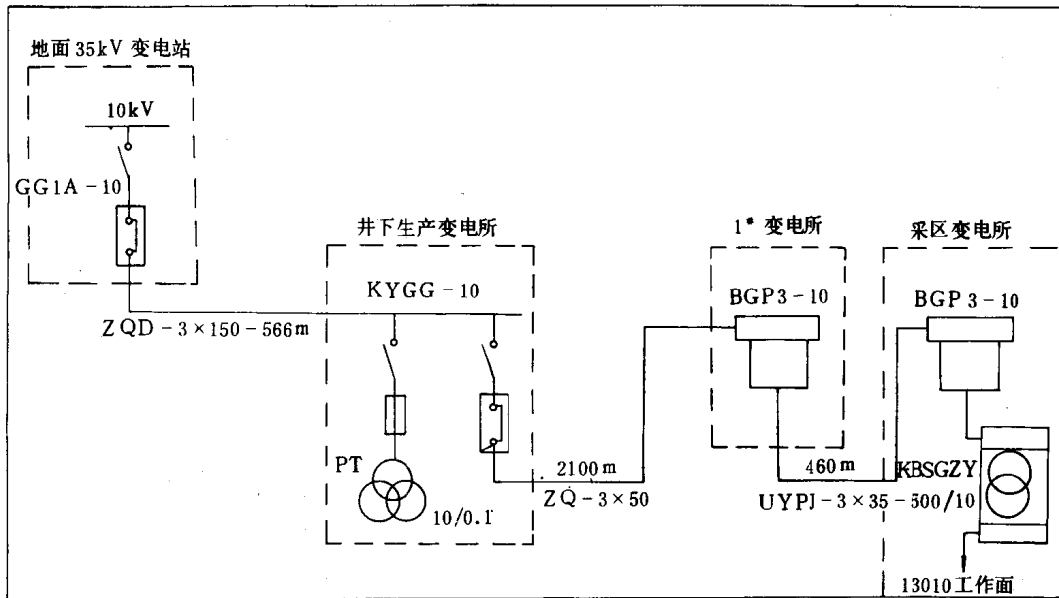


图 1-2-4 大型矿井 10kV 直接下井供电试点系统

(6) 国外 10kV 试点矿井 原西德奥斯特菲尔德矿原下井电压为 5000V, 随着采掘机械化发展井下装机容量迅速增大, 1970 年为 13200kW, 至 1980 年增至 39700kW, 年平均增长率为 13.5%。矿井产量亦由日产商品煤 6910t, 增加至 10738t, 同期原煤总产量从每日 10850t, 增至 21529t。井下运输距离和开采深度也在不断增加。从工作面到提升井筒间的平均距离 1970 年只有 4700m, 至 1980 年已达 8300m。同期开采深度从 792m 增加到 928m 增加了 136m。考虑到降温和排除粉尘等新技术措施的应用, 电力负荷进一步增加将是不可避免的。该矿为了提高电网输送能力, 从 1979 年 9 月开始在井下北盘区首次使用 10kV 电压供电, 供电系统如图 1-2-5 所示。

10kV 电网的设计输送能力为 12000kW, $\cos\varphi=0.6$, 现已投入运行的有 32 台高压开关, 5300m 电缆, 13 台 630kVA 变压器。

高压开关 卡洛埃马格 (Calor. Emag) 公司制造的 eodZE20-10 型高压开关柜和西门子公司 (Siemens) 的 8SN3 型高压开关。开关的遮断容量为 375MVA, 额定电流为 630A, 均为少油式开关和电动弹簧操作机构。

变压器 哈弗来 (Haefely) 公司制造的充六氟化硫 (SF₆) 630kVA 变压器。SF₆ 气体作绝缘又作冷却介质, 运行时必须保持 2~4bar 压力。由本安型接触式压力计对气体压力进行监控。此外, 还有由变压器联合制造公司制造的空冷式隔爆型 630kVA 变压器。

电缆 电缆结构符合 VDE0273/8.78 和德国矿用电气设备规程 (BVOE) 的规定。采用