WÄRTSILÄ

Life Is On Schneider Electric 施耐德电气

矿业电力系统

高海拔锂矿发电与配电推荐解决方案

2021年6月

Hannu Jeronen和Juha Kerttula（瓦锡兰）

Eric Delaunay和Jean-Marc Lupin（施耐德电气）

摘要

发电和电网架构的选择对矿业电力系统的总成本和供电的可用性影响很大。为了优化电力系统总成本及其对供电可用性的影响，对海拔影响下的不同方案进行分析评估及优化。

本白皮书以某高海拔地区的一家锂矿为例，就优化电厂及电网的整体架构给出了整体解决方案。

本指南的目的

电力系统设备在采矿项目资本支出中的占比尚不足5%，但其对整体运营的安全性和可用性有着至关重要的意义。

一直以来，矿业电力系统都是由工程公司（EPC）和/或采矿行业的最终用户凭借自身在工艺方面的专业知识及以往的项目经验设计而成。但是，这样的电力系统虽然比较稳定，但往往成本高，且占地面积大，因为其电气设计只关注单一设备，缺乏对整个配电系统的整体考虑。

电气设备制造商通常不参与设计工作，仅在设计完成后的询价过程中才会提供相关咨询建议。然而，施耐德作为电气设备制造商对产品成本和技术限制等因素非常了解，可以帮助实现整个锂矿电力系统的成本和可靠性的优化。

本设计推荐指南以某锂矿为实际案例，给出了电力系统优化方案。这需要在项目早期由最终用户、EPC和设备制造商三方协同方可实现。

满足最终用户关键需求的推荐设计方案

最终用户关键需求	推荐设计方案的特征
安全性：降低由弧闪和触电引起的人身安全事故	• 通过选择合理的电网架构和电气设备来限制故障电流 • 通过内部电弧测试的中低压开关设备，配备直观操作界面、不同隔室的安全分隔和完善的联锁
总拥有成本低	• 选择合适的电网电压和设备，以尽量减少资本支出，并降低与系统损耗相关的运营成本 • 提升电能质量，减少能量损失，防止设备故障 • 采用在线资产管理系统，降低维护成本
供电的可用性满足工艺的要求	• 为工艺装置和现场设施的关键负载提供高可用性供电 • 合理的保护系统的选择性配合，避免不必要的断电 • 电厂采用模块化设计，方便扩展 • 采用开放环网式架构，保证电力系统的灵活性和可扩展性

引言

矿区特点

- 矿物：锂
- 锂矿类型：卤水矿床
- 产量： 20 kT LCE
- 海拔：4000米
- 温度：-10°C~20°C
- 相对湿度：70%
- 粉尘污染：高
- 矿区面积：20平方千米

该电力系统设计方案推荐用于某高海拔地区的锂矿，该锂矿厂采用盐湖卤水提锂技术生产金属锂，年产量为2万吨碳酸锂当量（LCE）。该设计方案旨在**降低资本支出和总拥有成本(TCO)**，同时**提高操作人员的安全水平。**采用简单的配电架构，并将合适的中低压设备集成到预装式变电站E-House中，从而达到优化成本的目的。电力监控自动化系统、电能管理、基于过程控制的资产管理采用了以太网通信技术。

在简要介绍相关工艺和电气负载后，本文将详细介绍推荐的电网架构、电气设备特点以及电力自动化监控系统。

卤水提锂工艺

相较于传统蒸发工艺，直接提取法的成本低、更环保，因此更受欢迎。

- 上游工艺始于从盐湖中抽取天然卤水，生产出纯化的富锂卤水，富锂卤水经进一步的提取，其中的锂被捕获提取，剩下的贫锂卤水被送回盐湖。

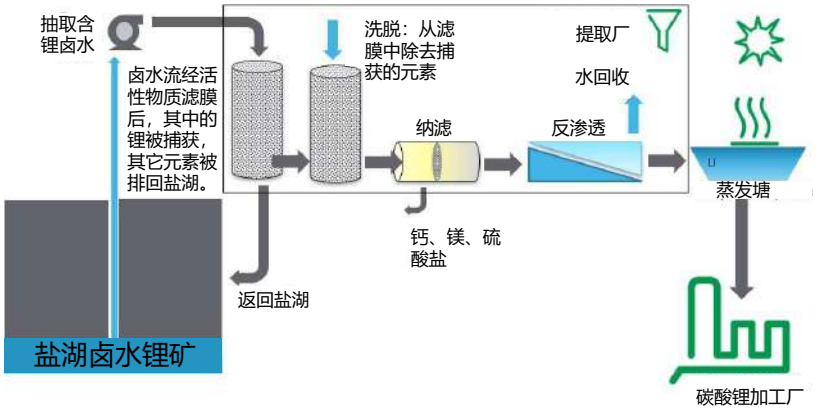


图1

卤水提锂工艺

- 然后，采用碳酸钠等试剂对卤水进行处理，通过沉淀形成电池级碳酸锂。最后对产品进行过滤、干燥和装运。

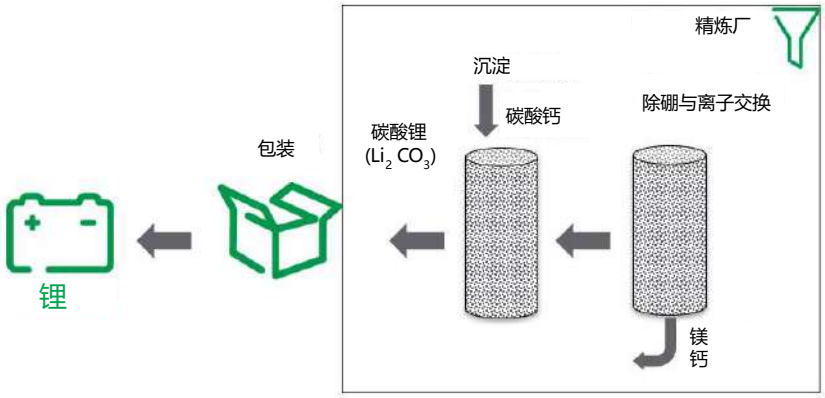


图2

锂提纯工艺

电气设计要求

可用性

配电要求整体供电可用性要超过99.5%。为此，矿区将配备备用发电机和UPS，以满足非工艺设施（营地、办公室、水处理设施、消防系统等）及浓缩过程中部分关键负载的用电需求，因为这些关键负载对供电可用性的要求更高。

海拔

在高海拔地区电力系统的设计过程中，受空气绝缘强度和散热能力降低的影响，电气设备和的选择会受到诸多限制，因为这些设备和机器的空气绝缘强度和散热性能会有所降低。如果电网电压、负载电流和设备技术选择不当，可能会导致资本投入远超低海拔地区建造类似工厂的投资水平。

为了降低总装机成本，设计过程中需要充分考虑高海拔对中压开关设备、配电变压器、低压开关设备、电机、发电机和变频器的影响。此外，外形尺寸和重量也是非常重要的考量因素，因为它们决定了安装电气设备的预装式变电站E-House的尺寸和成本。

矿区电气负载

制锂工艺装置的电气负载包括泵和风机用的中小型低压电动机（小于500 kW），以及强制蒸发工艺所需压缩机的大型中压电动机（1.5 MW）。

生产工艺及公用工程涉及的主要电气负载如下所示。

工艺类型	负载类型	电动机功率	总装机功率
卤水抽取	泵	55~75 kW	2 MVA
清水抽取	泵	110~160 kW	1 MVA
卤水制备	压缩机、泵	1~315 kW	2 MVA
溶剂提取	泵、搅拌器	1~110 kW	2 MVA
锂提取	泵	3~400 kW	2 MVA
蒸发	鼓风机	1500 kW	3 MVA
水处理	泵、搅拌器	6~160 kW	2 MVA
纯化	泵、鼓风机	1~400 kW	2 MVA
下游工艺	泵、鼓风机、输送机	1~250 kW	2 MVA
电厂	泵、风机	1~75 kW	2 MVA
辅助设施	照明、办公室、食堂	1~30 kW	2 MVA

电网架构

灵活发电

矿区需要保障灵活的电力供应，容量需达到20 MW。由于附近没有可用的电网，因此拟采用天然气发电机供电。

电力系统参数

- 装机功率：25 MVA
- 频率：50 Hz
- 中压电压等级：10 kV
- 中压中性点接地方式：电阻接地
- 10 kV电网短路电流：Isc<25 kA
- 低压电压等级：400 V
- 低压接地系统：TN-S
- 标准：GB/ IEC
- 电动机负载>90%
- 中压电缆总长：10 km
- 中压架空线路总长：25 km
- 低压电缆总长：30 km

中压配电网的特征

电压等级

中压电网电压直接影响着总拥有成本。通常情况下采用与本地电网相同的电压，但这种做法往往不利于装机成本的优化。对6.6 kV、10 kV和20 kV进行成本比较的结果显示，10 kV的总拥有成本最低。10kV中压电网无需安装额外的中压变压器通过架空线路为采卤井供电，并且能够使用性价比高的中压开关设备和电缆。

架构

中低压电网架构如图1所示。

天然气发电机连接到主配电盘，由主配电盘向各工艺装置的变电站供电。主配电盘为单母分段接线，两进线一母联。

工艺装置采用开放式环网架构为中/低压配电变压器供电。这种架构能够尽可能缩短中压电缆长度，电力可用性也优于辐射式配电架构。通过环网柜（RMU）连接中压电缆和浓缩厂配电用中/低压变压器。采用气体绝缘环网柜，由两个负荷开关和一个断路器功能单元组成。

在没有完全冗余的变压器的情况下，也可以通过在现场提供备件的方式来确保良好的可用性。为了尽量减少备件数量，变压器采用了标准化的容量。

考虑到电缆长度短（不足50米）、高海拔地区的绝缘和散热性能的限制，当电动机负载小于500 kW时，400 V是最佳选择。此举可以选用性价比最优的马达控制中心（MCC）和变频器，缩小占地面积，从而最大限度地降低E-House的总成本，包括将E-house运到矿区的运输成本。

用于蒸发用鼓风机的1.5 MW中压电动机通过变频器直接由中压母线供电，无需使用额外的变压器。

卤水和清水泵站负载小于200 kVA。这些泵站的位置距离较远，通过架空线路供电。每条中压线路可以为多个泵站供电，每条线路的最大负载为2 MVA。通过环网柜（RMU）连接中压线路和中/低压变压器，由两个负荷开关和一个断路器功能单元组成。

系统接地

中压电网中性点接地方式决定着接地故障电流大小和过电压等级。本设计方案通过Z型接地变，采用高阻抗接地方式，将接地故障电流限制在30A以下。这种方案成本低，而且可以限制弧闪入射能量，提高操作人员的安全性。

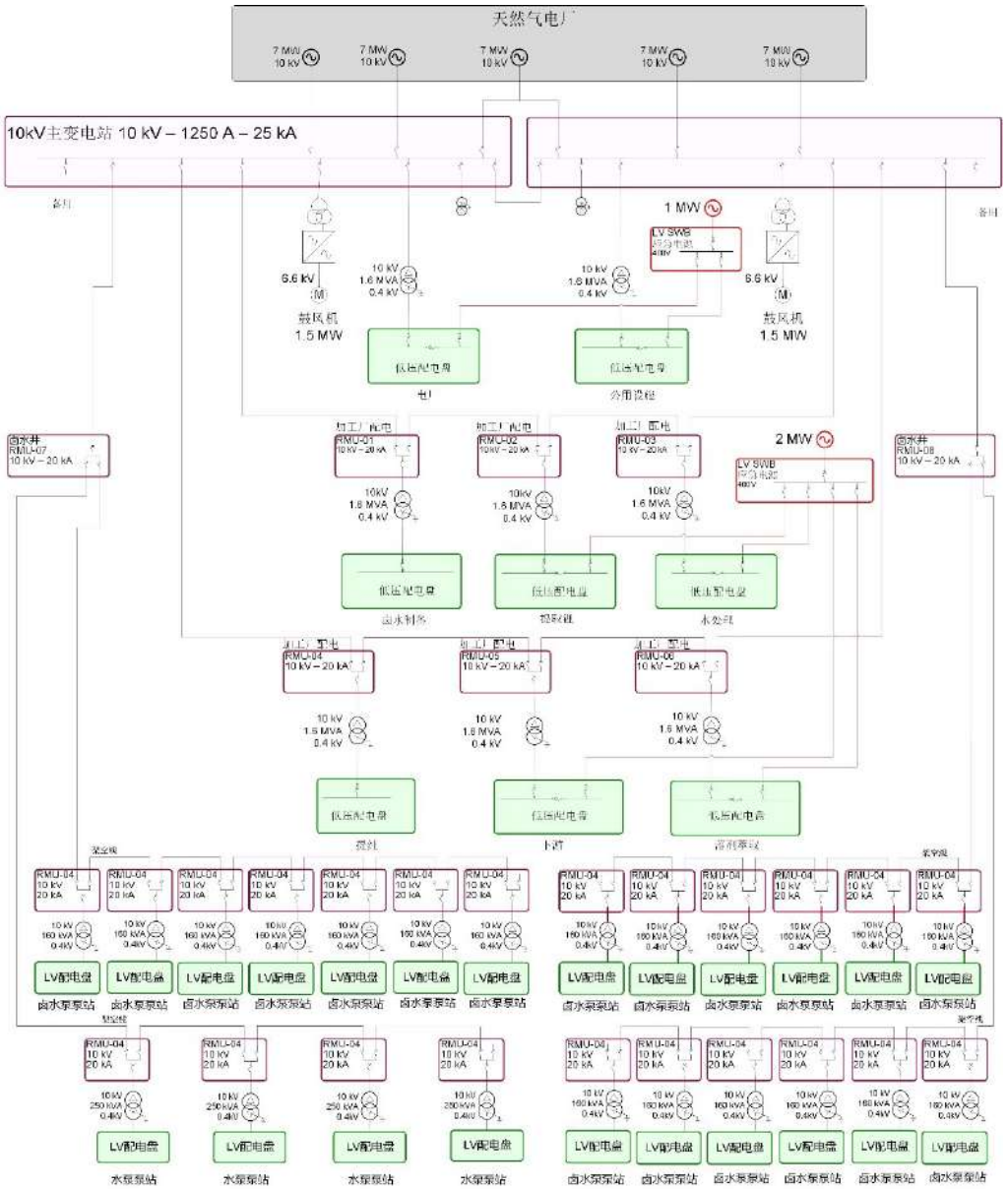

天然气电厂
7 MW 10 kV
10kV主变电站 10 kV – 1250 A – 25 kA
1 MW
LV SWB
6.6 kV
鼓风机 1.5 MW
10 kV 1.6 MVA 0.4 kV
2 MW
RMU-01 10 kV – 20 kA
RMU-02 10 kV – 20 kA
RMU-03 10 kV – 20 kA
RMU-04 10 kV – 20 kA
RMU-05 10 kV – 20 kA
RMU-06 10 kV – 20 kA
RMU-07 10 kV – 20 kA
RMU-08 10 kV – 20 kA
10 kV 160 kVA 0.4kV
10 kV 250 kVA 0.4kV
LV配电盘
卤水泵泵站
水泵泵站

图3

锂矿电力系统架构

发动机技术

本文探讨的是基于中速天然气发动机。与更为常见的高速柴油发动机相比，效率更高，排放水平显著降低。事实上，往复式发动机是目前可用的最高效的发电技术。此外，无论就本地排放（氮氧化物、硫氧化物和颗粒物）还是全球排放（二氧化碳）而言，天然气都是所有化石燃料中最清洁的能源。天然气电厂的排放量通常低于区域发电（例如欧盟）的平均排放量。

中速发动机比集装箱式柴油发动机更笨重。这是因为中速发动机专为重型应用而设计，具有经久耐用的特点，可满足长时间连续和周期性运行的需求。此外，中速发动机的维护间隔通常较长，并且按照其设计，可以在现场进行维护。

电厂的选择和发动机配置

电厂和发动机配置应根据客户的电力需求和电力可用性要求等因素来确定。其他需考虑的因素包括：

- 电厂运行模式。
- 矿区负载特征。
- 燃料品质和可用性。
- 电厂架构和冗余。
- 维护策略。

下文将进一步详细探讨这些因素。需要指出的是，一旦所有要求都已确定，并且上述设计因素已知，就可以借助可靠性、可用性与可维护性（RAM）分析模型确定电厂配置。

电厂运行模式

为偏远地区的锂矿供电的电厂运行模式基本上可分为两类：备用运行模式与基本负荷运行模式。

当可以通过电网供电时，尽管电网存在不稳定性因素，但在通过电网供电时，电厂一般都作为备用模式运行。在这种情况下，如果出现计划或非计划停电，可以借助现场天然气电厂来恢复矿区的供电。通常情况下，在这种运行模式下的运行时间远低于每年500小时。

当电厂作为矿区的主要或唯一电源时。在此运行模式下，运行时间通常超过4000小时，而每台发电机组的启动次数保持在50次以下。整体而言，发电机组具有较高的利用率和负载系数。与备用机组相比，需要进行更多计划内的维护，其可用性相对较低。由于锂矿的位置，往往没有电网，因此由电厂供电更为普遍。

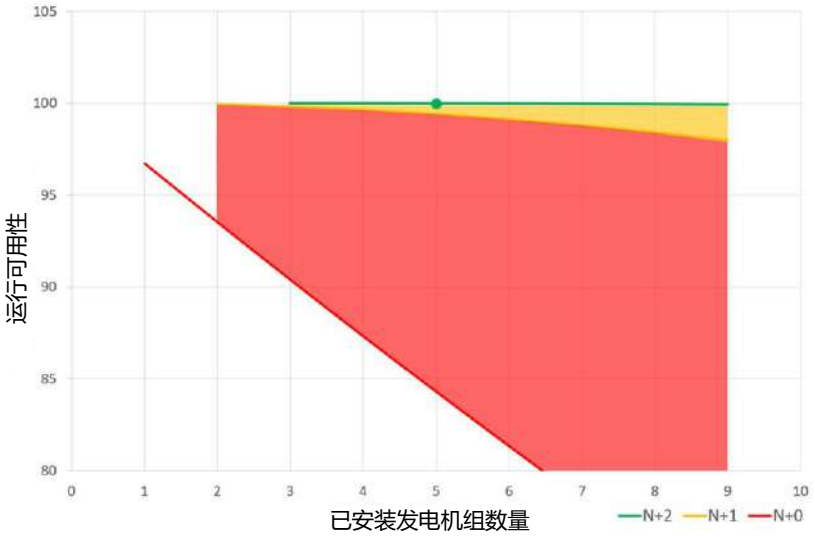
矿区负载特征

实际应用过程中，电厂一般由多台发电机组并联组成。通常情况下，电厂内所有发电机组会从完全备用到满载运行。此外，根据发动机品牌和类型，每台发电机组至少在短期内可维持10%~100%的输出。当满载运行时，机组的运行效率最高。这种运行的灵活性有助于电厂在最佳容量下运行，确保备用机组保持备用状态或进行维护。

“矿区负载特征”是指矿区耗电量的变化。这种变化可能是暂时性的，也可能是长期的，例如增加或减少产能。临时调整负载，可以通过调整运行机组的数量或机组的输出来实现。在调整运行机组输出的过程中，如果负载特征已知，则可以对发电机组的大小和输出进行优化，使效率最优，并能达到最大发电量（含冗余机组）。

电厂架构和冗余

通过分析下图，可以发现发电机组冗余对可用性的影响。图中，可用性表示为一个关于安装机组数量的函数，共有三种冗余架构，即N+0、N+1和N+2。N代表满足负载需求所必需的发电机组数量，后面的数字代表冗余机组数量。对于远离电网的矿区来说，至少需要采用N+1的配置，以确保在不中断整体运行的情况下开展计划性的维护。



在本案例中，如果仅考虑电厂发电量和可靠性要求，那么成本最优的方案为发电机N+2配置，使用5台20V发动机。考虑到环境条件和海拔降容（4000米），每套发电机组发电功率约7 MW。因此，3套发电机组可满足20MW的负载需求。

燃料品质和可用性

燃料的选择对于发电投资的经济性和环保有着重要的影响。此外，燃料的选择还会影响电厂的可靠性和可用性。影响燃料选择的关键指标包括：

- 环境影响和地方法规。
- 燃料的成本和品质。
- 燃料供应的可用性和可靠性。
- 基于燃料可用性的燃料储存需求。

如前所述，天然气是最清洁的化石燃料。而且，对于地处偏远、高海拔地区的锂矿来说，天然气也是最容易获取的燃料。锂矿通常位于天然气矿床附近，无需连续运输大量柴油，不仅省时省力，同时也降低了风险。

如果需要在现场储存燃料以防止天然气供应突然中断，那么采用双燃料（DF）发动机不失为一种理想的选择。DF发动机以天然气作为主要燃料，液体燃料（柴油）作为备用燃料以及用于点火。在天然气模式下，DF发动机几乎完全依靠天然气运行，仅需少量的连续的液体燃料点火。在液体模式下，发动机可以完全依靠柴油运转。现代DF发动机可实现从一种燃料到另一种燃料的无缝转换。

维护策略

可靠性与当前的运行维护（O&M）密切相关。关键的电厂（如矿区的电厂）应纳入全面的运维管理，需要预防性和预测性维护，这些内容通常也是运维协议中必须包含的内容。此类电厂通常设有专门的现场运维团队，现场也会储备一定数量的消耗品、易损件和关键备件。如需用到其它备件，还可签署一份备件供应协议，确保必要的备件供应。对于地处偏远、物流不便的锂矿来说，这一点非常重要。

需要注意的是，并网电厂和离网电厂在维护规划方面存在着显著差异。并网电厂通常可以接受全厂停运，对所有机组同时高效地进行检修，从而最大限度地缩短检修时间。而对于离网矿区及其它离网设施来说，设施检修必须交替（=分阶段）进行，虽然维护时间有所延长，但是可以最大限度地保障矿区的正常运行时间。

高海拔地区的发动机性能

我们通常会根据给定的边界条件对发动机参数进行设置（硬件匹配和软件设置），以确保发动机达到最佳性能。发动机性能取决于不同的燃料品质、氮氧化物排放要求和环境条件。高海拔地区的发动机配置必须考虑到特定的限制因素。在高海拔地区，影响发动机性能的最关键参数包括：

- 环境大气压（高海拔）。
- 发动机吸入的空气温度和冷却液的温度。

此外，发动机性能还取决于燃料特性、低热值、进气压力和气体燃料甲烷值。

降容

高海拔会导致发动机降容，也就是说，发动机的输出功率应低于标称值，以确保发动机实现最佳性能。降容还可以防止发动机超过其温度、压力和爆震等标称设计参数，避免损坏。降容还要考虑矿区内规定的排放水平。

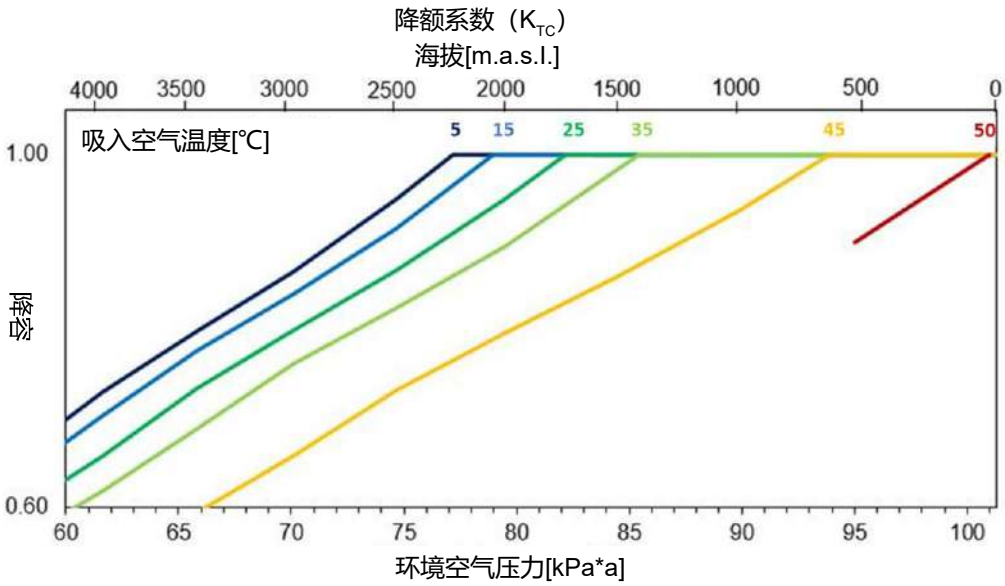
海拔降容

高海拔地区由于大气压较低，导致λ系数（空燃比）降低，如果不考虑这个因素，会影响发动机性能。涡轮增压器是影响增压（燃烧）气流的关键发动机部件，因此也会影响λ系数。为了确保发动机能够在高海拔地区实现最佳性能，必须使用与之相匹配的涡轮增压器，以便达到矿区条件下的最佳运行状态。

环境降容

通常情况下，高海拔矿区的发动机工作温度变化范围很大，因此，发动机的性能必须满足预期温度范围的运行要求。

下图给出了某发动机降容系数的典型示例，充分考虑了高海拔和高温条件。彩色线条代表对应不同吸入空气温度和压力（=海拔）的降容系数。每种型号和配置的发动机都有其特定的降容表。一般来说，高海拔地区的环境温度相对较低，因此应适度降容。



燃料特性

天然气燃料的甲烷值（MN）也会影响发动机性能。甲烷值在70~80之间的变化可能会改变发动机的负荷特性，但不会影响输出。通常情况下，当甲烷值低于70时，发动机需要降容。需要注意的是，进气压力也需要保持在推荐水平，以避免出现因进气压力过低而导致的额外降容。

发电机

发电机具有以下主要特性

- 设计标准：IEC 60034、ISO8528和ISO R773-775。
- 运行模式：S1，连续。
- 轴承：自润滑套筒轴承。
- 防护等级：IP23。
- 冷却方式：IC0A1（风冷）。

上述容量的发电机都是中压的，因此可以在不增加升压变压器的情况下为当地配电网供电。并联发电机的数量及其特性决定着本地配电系统的设计和规模。特别需要注意的是，发电机的次暂态电抗（X”d）是影响中压电网故障电流和中压设备（开关设备、电缆）选择的重要参数。分析结果表明，X”d=15%时性价比最佳，可以使用额定短路电流小于25 kA的10 kV设备。

WÄRTSILÄ

发电机

- 类型：凸极发电机
- 额定电压：11 kV
- 额定频率：50 Hz
- 额定功率：8.8 MVA（4000m，环境温度最大值 +30 °C）
- 输出功率因数：0.95（超前），0.8（滞后）@ 最大发动机输出功率
- 直轴同步电抗：15%
- 励磁：无刷， AVR电源 VT/Boost CT或集成线圈
- 中性点接地：电阻
- 仪表：定子3+3 Pt-100，轴承1+1 Pt-100，防冷凝加热器, 冷却空气（进/出）1+1 Pt100，AVR
- VT用于执行功率和实际值测量
- CT用于短路执行功率和实际值测量及差动保护

发电机海拔降容

根据IEC 60034，标准风冷发电机按海拔1000米、环境温度+40℃，相对湿度90%设计。海拔超过1000米会影响它的绝缘和散热能力。

在设计发电机绕组绝缘时，必须考虑空气介电性能下降的问题。可以通过增加绝缘的空气间隙和改善绕组端部的电晕防护来解决。

发电机冷却空气通常来自发动机室，以便确保湿度和最低温度达到要求。当电厂运行时，发动机室的温度通常比室外温度高10℃。因此，必须考虑通过改善发电机冷却系统或降容等方式来弥补风冷效果的不足。降容系数基于国标以及制造商的经验确定。

中压开关柜海拔降容

海拔超过1000米，考虑到空气介电性能和冷却性能下降问题，IEC和ANSI标准规定了中压空气绝缘开关设备（AIS）的额定电压和额定电流应采用的海拔降容系数。与低海拔地区的同类设备相比，在高海拔地区使用的中压AIS需要更高的额定电压和额定电流，将引起开关设备的成本增加，占地面积更大，重量也有所增加。

中压开关设备的带电部件采用气体或固体绝缘，不受大气影响，无需进行海拔降容。

- **屏蔽式固体绝缘技术**

屏蔽式固体绝缘开关设备（SSIS）的介电性能不受环境空气条件的影响，因为所有带电导体都封装在环氧树脂壳体中，并涂有导电层,即使在海拔4000米亦无需考虑电压降容。母线、电压互感器和电缆终端具有接地屏蔽层，因此不受环境空气的影响。在部分设计方案中，考虑到对流换热的效率下降，额定电流必须降容。

气体绝缘技术

气体绝缘开关设备（GIS）的绝缘性能不受海拔的影响，因为所有带电导体都安装在充满SF6气体的密封金属外壳中。即使在海拔4000米的地方也不需考虑电压降容。但是，在特定海拔以上，部分气体绝缘开关设备需要降低六氟化硫气体的压力和/或电流降容，以避免内部压力过高保护装置动作。这种情况下，气体压力的降低会导致负荷开关和断路器的绝缘水平（BIL）与短路电流开断能力下降。

中压主配电开关柜

中压主配电盘采用SSIS技术，配备固定式真空断路器（VCB）为12kV/1250A/25kA。开关柜为LSC2B-PM和内部电弧等级（IAC）A-FLR，可最大程度地确保操作人员的安全。

每台开关柜都配一台智能保护装置（IED），进行保护、监视和控制。发电机进线保护包括过电流保护（50/51）、接地故障保护（50G/51G）和差动保护（87G）。电缆和变压器馈线配备了过电流保护（50/51）和接地故障保护（50G/51G）。所有智能保护装置都有电能计量功能，可通过Modbus TCP/IP协议进行通信。

施耐德电气推荐采用Premset开关柜，配备了Easergy P3保护装置。

中压主配电开关柜

- 额定电压：12 kV
- 母线/进线CB：1250 A
- 馈线CB：630 A
- 额定Isc：25 kA
- 开关柜类型： SSIS LSC2B-PM
- CB类型：固定式VCB
- IAC： 25 kA (1 s) A-FLR
- 电缆：前接线
- 标准： GB3906
- IED计量：U、I、kW、kV·A
- Modbus TCP/IP

进线保护

- 50/51、50G/51G
- 弧光保护

电缆线路与变压器馈线

- 50/51、50N/51N

中压电动机馈线： IMPR

二次变电站

偏远厂区的供电系统由10 kV电缆和10 kV/0.4 kV变电站组成，支持远程监视、计量和控制。

中/低压变电站包含12 kV环网柜（RMU），并配有变压器保护和RTU。

施耐德电气推荐采用RM6产品（IBI环网柜，带有两台负荷开关和一台断路器），配备VIP40继电器。

二次中压开关柜

- 额定电压：12 kV
- 环网柜负荷开关In：400 A
- 断路器In：200 A
- 额定Isc：25 kA
- 开关柜类型： GIS
- CB类型：固定式SF6—三工位
- IAC：25 kA (1 s) A-FLR
- 电缆：下进线
- 标准：GB3906

保护继电器50/51 50G/51G

- 测量：U、I、kW、kV·A
- Modbus TCP/IP

泵站

卤水井和清水井的供电系统由10 kV架空线路和10 kV/0.4 kV变电站组成，支持远程监视、计量和控制。

户外箱式中压/低压变电站包含4个主要部分：

- 配有变压器保护继电器的12 kV环网柜。
- 11kV/0.4kV油浸式变压器。
- 配有MCCB馈电和电度表的400 V低压柜。
- RTU。

这种箱式变电站的成本低，户外安装，基本上不需土建或现场安装及调试。远程终端设备配有故障通道指示器（FPI），可以通过电力监控自动化系统远程操作断路器。

施耐德电气推荐的产品包括RM6（IBI环网柜，带有两台负荷开关和一台断路器）、VIP40继电器、 Minera变压器和Flite 210故障指示器。RM6环网柜安装在额外的壳体中，便于室外安装。

箱式变电站 中压开关柜

- 额定电压：12 kV
- 环网柜负荷开关In：400 A
- 断路器In：200 A
- 额定Isc：25 kA
- 开关柜类型：GIS
- CB类型：固定式SF6—三工位
- 电缆接地：整体式
- IAC：25 kA (1 s) A-FLR
- 电缆：下进线
- 标准：GB3906

保护继电器

- 保护50/51 50G/51G
- 测量：U、I、kW、kV·A
- Modbus TCP/IP

在海拔4000米的地方，10 kV架空线路需要使用24 kV电压等级的绝缘子，才能达到75 kV 的雷电冲击耐压BIL。

中压/低压配电变压器

- 初级电压：10 kV
- 次级电压：0.4 kV
- 额定功率：1.6 MV·A
- Zsc：6 %
- 联结组标号：Dyn 11
- 绝缘：矿物油
- 套管：插入式
- 冷却方式：ONAN
- 安装：室外
- 接地：TN-S
- 标准：IEC 60076

中压/低压变压器

中压/低压变压器为400 V开关柜和VSD供电。采用油浸自冷变压器（ONAN），因为其性能稳定，能更好地适应恶劣的矿区环境。此外，油浸自冷变压器户外安装，可以减少E-HOUSE的尺寸和空调的容量。

- 变压器采用标准化的容量，可将备件的成本降至最低。
- 10 kV/400 V变压器的额定功率为1.6 MVA，Zsc为6%，可使额定电流小于2500 A，Isc小于40 kA（包括400 V 直起电动机贡献的短路电流）。这样的方案可以使用性价比最优的400V开关柜。
- 变压器使用铝绕组，虽然尺寸大些，但成本更低。
- 从总拥有成本的角度来看，高能效变压器是最佳选择。在变压器的生命周期中，由损耗减少而节省的运营成本可能是变压器价格的数倍。

海拔降容

油浸式变压器的绕组浸在变压器油中，因此内部绝缘不受环境空气条件的影响。只有套管和外部间隙需要更高等级的绝缘来满足电力系统关于BIL雷电冲击耐压的要求。

IEC 60076-3标准规定，海拔每升高100米，外部间隙必须增加1%。为避免这种影响，可以使用插接式套管代替瓷绝缘子。

随着海拔的升高，变压器的自然冷却效果下降，需要进行降容。IEC 60076-2标准规定，油浸式变压器的绕组温升必须降低1K/400m。这可以通过高海拔地区较低的环境温度来补偿。

该项目采用了施耐德电气生产的带有插接式套管的矿物油油浸式变压器。

电动机连接与控制方式

生产过程中涉及的主要电动机负载如下所示。

电动机功率	电压	负载类型	电动机控制	数量
1500 kW	中压	风机	VSD	2
100 < P < 500 kW	低压	泵、过滤器、鼓风机、压缩机	DOL 、 软 起 、 VSD	50
1 < P <100 kW		泵	DOL、VSD	150

电动机的电压等级和控制方式的最佳选择取决于该电机的额定功率、在工艺中的功能、电压等级和电缆长度等因素。下述方案基于总拥有成本的计算结果，其中包括设备资本支出和节能（运营支出）。

蒸发鼓风机

强制蒸发工艺使用的蒸发鼓风机由VSD控制的1500kW电动机驱动。为了降低电动机回路的总成本，VSD输入侧接到12 kV主配电盘，而输出侧接6.6kV电动机。

用VSD控制这些中压电动机，其优势在于：

- 降低电动机的起动电流，可避免引起发电机电压降和暂态稳定性的风险。
- 通过变频调速实现节能。

泵

泵在各个工艺段均有使用。泵用电动机最大功率高达400kW。由于负载是变化的，大部分采用VSD控制，以达到节能目的。泵连接至400V马达控制中心（MCC）。

鼓风机和压缩机

浓缩工艺需要使用鼓风机和压缩机。鼓风机和压缩机用电动机最大功率高达400kW。由于负载是变化的，大部分采用VSD控制，以达到节能目的。鼓风机和压缩机连接至400V马达控制中心。

中压VSD

- 额定输入电压：10 kV
- 电动机额定功率：1.5 MW
- 额定输出电压：6.6 kV
- 过载：150%-1分钟/10
- 输出频率：0.1-120 Hz
- 效率：> 96 %
- 功率因数：≥0.96
- 输入TDHI<1.5%
- 输出THDU<2%
- 控制模式：转矩、转速
- 象限数：2
- 防护等级：IP31
- 冷却：强制通风
- 通信：Modbus TCP/IP
- 标准：IEC 61800

蒸发鼓风机用中压VSD

蒸发鼓风机的VSD采用多绕组移相变压器和单相串联低压IGBT逆变器。这种多电平架构有助于提供平滑的输出电压和电网侧低谐波。这种变频器拓扑结构可以不需要使用滤波器，降低电动机损耗，并避免有害振动和转矩脉动。此外，输入侧可以连接到11 kV主配电盘，而输出侧接6.6kV电动机。
VSD配有多个传感器，可持续监视输入变压器、功率模块和中压电动机的状态。VSD接入资产管理系统，因此可提供预防性和预测性维护。

海拔降容

高海拔地区由于空气密度较低，需增加爬距和净距。此外，由于高海拔地区空气冷却效果下降，会严重影响额定电流。海拔超过1000米后，每增加100米，一般的电流降容1%。

本设计方案采用了施耐德电气的ATV1200H（10 kV/6.6 kV，1.5 MW），采用Modbus TCP/IP。ATV 1200H经过优化，专门为高海拔和抗震而设计。设计方案中还采用顶部风扇进行冷却，并加强了低压和中压部分的绝缘。

低压配电和MCC

配电控制中心（PCC）和马达控制中心（MCC）是给某工艺段的所有电动机回路以及照明和暖通空调等负载供电的低压开关柜。PCC和MCC选用了IED智能电子设备，该设备可以通过通信提供信息，并能与上级系统通信。也就是智能配电及马达机控制中心（iPMCC），以降低总拥有成本并提高系统可用性。

低压开关柜

- 额定电压：400 V
- 母线/进线ACB：2500 A
- 额定Icw：40 kA/1s
- 内燃弧：40 kA（0.3秒）
- 分隔形式类型：3b
- 防护等级：IP31
- 动力与控制电缆接线方式：前面
- 辅助电压：24 V DC
- 标准：IEC 61439/GB7251

进线ACB功能

- 50/51、50N/51 N
- 测量：U、I、kW、kV·A
- 通信：以太网

馈电MCCB功能

- 50/51、50N/51N
- 测量：U、I、kW、kV·A
- 通信：Modbus TCP/IP

低压开关柜采用电缆前接线，以尽量减少E-House的尺寸，并便于维护。

每个回路就是一个功能单元（FU）。根据负载的重要性，这些功能单元可以采用可抽出式、可分离式或固定式。马达控制中心MCC的各个隔室之间采用3b分隔形式，这样一来，低压开关柜不必完全停电，即可进行操作和维护。其防护等级为IP31，可安装在E-House内。

配电部分包括两种功能单元：

- **进线：**抽出式空气断路器（ACB），其电子脱扣器具有计量、保护和控制，以太网通信协议。保护功能包括过电流保护（50/51）和接地故障保护（50N/51N）。
- **馈电：**固定式塑壳断路器（MCCB），其电子脱扣器具有保护和测量功能，Modbus RTU通信协议。

低压iPMCC智能配电及马达控制中心可选用Okken或BlokSeT。开关柜的功能单元中使用的主要元器件如下：

- **进线：**MasterPact MTZ 空气断路器——配Micrologic 6.0 X电子脱扣器带以太网通信接口。
- **馈电：**ComPacT NSX塑壳断路器，配Micrologic 5/6E电子脱扣器，带IFE以太网通信接口。

DOL直起回路

一元件方案

- 电动机：< 15 kW
- 配合：完全
- 测量：I、V、kW、kV·A
- 通信：Modbus TCP/IP

三元件方案

- 电动机：15 kW < 功率 < 250 kW
- 保护：智能马达保护继电器IMPR
- 配合：类型2
- 测量：I、V、kW、kV·A
- 通信：Modbus TCP/IP

低压电动机回路，包括三种类型的功能单元。

- **DOL回路：**对于恒速电动机，包括具有保护和隔离功能的塑壳断路器、接触器和具有电机保护、控制功能、电能测量和通信功能的智能马达保护继电器（IMPR）的组合。当电动机功率小于15kW时，DOL回路使用一元件；当电机功率大于15 kW（最高可达250kW）时，DOL回路使用三元件。

  电动机回路使用抽屉式功能单元，方便维护和/或元器件故障时快速更换。30 kW及以下安装在半模抽屉中，以增加抽屉安装密度并减少占地面积。

  功能单元使用的元器件如下：

  - DOL直起回路——三元件：TeSys GV或ComPacT NSX塑壳断路器、TeSys D或TeSys F接触器和支持Ethernet/IP的智能马达保护继电器 TeSys T。
  - 一元件起动器：TeSys U，带Modbus RTU

软起回路

- 电动机功率：可达400 kW
- 起动电流：3In,<25秒
- 软起回路保护：MCCB
- 旁路接触器
- 测量：I、U、kW、kV·A
- 电动机保护：集成的
- 通信：Modbus TCP/IP
- 标准：IEC 60947-4-2

- **软起回路：**在浓缩工艺中用于控制泵和鼓风机用400 V恒速电动机。软起动器可降低电动机起动电流和机械耦合应力。软起动回路装在在固定式功能单元中，配有具有保护和隔离功能的塑壳断路器、软起动器和旁路接触器。当电动机达到额定转速时，接触器可以旁路软起动器。

  软起功能单元使用的元器件包括NSX塑壳断路器、旁路用TeSys D接触器和带Modbus TCP/IP的ATS48软起动器。

VSD变频器回路

- 电动机功率：可达400 kW
- 效率>98%-
- THDI<48%
- 控制方式：转矩、转速
- 测量：I、V、kW、kV·A
- VSD回路保护：MCCB
- 电动机保护：集成
- 通信：Ethernet/IP
- 标准：IEC 61800

- **VSD变频器回路**：用于控制泵和压缩机用的400V电动机，以降低能耗。VSD变频器回路配有具有保护和隔离功能的塑壳断路器以及变频器VSD。变频器额定功率不超过75 kW的集成在低压开关柜中，额定功率超过75kW的采用挂墙式（IP21）或落地式安装。

  VSD变频器功能单元的元器件包括ComPacT NSX塑壳断路器，泵和鼓风机用的ATV 600系列 VSD，以及输送机用的ATV 900 系列VSD。

海拔降容

低压开关柜

当海拔超过2000米时，空气介电强度下降，额定冲击耐受电压Uimp下降，系数Ka=exp（h－2000/8150）。低压开关柜按额定工作电压1000V和IV类过电压水平设计，因此，在海拔4000米的地区，额定电压400 V的低压开关柜可以稳定运行，不受环境条件限制。
由于空气密度和散热能力降低，额定电流需要降容。但是，当电气室内的温度不超过25℃时，额定电流无需降容。

空气断路器、塑壳断路器和接触器

GB14048.1/IEC 60947-1标准规定，额定值在海拔不大于2000米时不需降容。在海拔4000米时，断路器电压的降容系数为0.78。与此同时，由于冷却效率下降，还需进行电流降容。开断能力保持不变。

低压变频器和软起动器

在高海拔地区，冷却作用的下降会影响电流额定值。海拔超过1000米后，每增加100米，典型电流降容系数增加1%。由于E-House内部环境温度最高不超过25℃，所以海拔降容系数可降至0.9。400V VSD无需进行电压降容，因为其绝缘电压按照690V设计。

下表列明了适用于海拔4000米的各项数值。

海拔降容	产品系列	最大电压	额定冲击耐受电压Uimp）	电流降容系数（最高温度25°C）
预智低压成套设备	Okken / Blok**SeT**	780 V	9.3 kV	1
空气断路器	Master**Pact**	630 V	9.3 kV	1
塑壳断路器	Com**PacT** NSX	520 V	6.2 kV	1
接触器	**TeSys** D	550 V	6.2 kV	1
电动机管理控制器	**TeSys** T	550 V	4.6 kV	1
变频器	ATV御程600/900系列	480 V	4.6 kV	0.9

安全特性

低压开关柜包含以下安全特性，可为操作人员提供高水平的触电和弧闪防护：

- IP2X防护等级（手指安全），防止手指意外接触带电部件。
- 三个工作位置（连接、试验、隔离）抽屉式功能单元。
- 挂锁，三个工位内各有清晰指示。
- 内部故障电弧耐受能力符合IEC TR 61641标准要求。
- 就地HMI控制面板，可最大限度地减少操作人员打开抽屉的需要。

电能质量优化

电能质量包括暂态电压变化、谐波和功率因数。电能质量高低直接关乎着现场用电效率。

电容器组

额定电压：400 V

- 额定功率：300kvar
- 调谐电抗器：谐波污染治理
- 防护等级：IP31
- 标准：IEC 61921和61439

PF功率因数控制器功能

- 高温报警
- 谐波限值过大报警
- 自动PFC投切控制
- Modbus RTU

无功补偿

对于未连接到电网的装置，由于无功电量不收费，无功补偿的效益会大打折扣。

混合负载（主要包括DOL电动机和变速驱动）的功率因数高于0.85。由于发电机按功率因数0.8设计，所以无功补偿并不能提高发电机的发电量。

然而，电容器组可为70%以上的DOL直起电动机提供补偿，并具有以下好处：

- 降低中压/低压变压器和中压电缆的损耗。
- 减少压降。
- 提供更多有功功率。

本设计方案采用的施耐德电气的Varset电容器组。

海拔降容

考虑到E-House内部最高温度为25℃，选用了带过载能力的较高电压等级的Varset电容器组。

有源滤波器

- 额定电压：400 V
- 额定电流：300 A
- 额定频率：50/60 Hz
- 功率模块：三电平IGBT
- 谐波范围：高达51次
- 全响应时间：小于2周波
- 控制方式：闭环
- 防护等级：IP31
- Modbus TCP/IP

谐波治理

谐波治理用于防止谐波设备对敏感负载的干扰。谐波治理的目的是在中压和低压系统将装置中的电压总谐波畸变率（THDu）控制在5%以内。

谐波污染主要由带二极管整流的变频器产生。这些标准变频器的成本低于配置了有源前端AFE的低谐波变频器，但需要使用额外的有源滤波器（AHF）。AHF使用电力电子技术和先进的控制器来产生谐波电流可以抵消负载产生的谐波电流。在本设计方案中，满足谐波标准规定值的最低总拥有成本的解决方案采用以下配置：

- 中压电动机用的低谐波变频器（电流总谐波畸变率THDi<5%）。
- 无AFE的低压变频器（THDi<48%）用于低压电机，在低压柜内配置有源滤波器AHF，达到治理谐波的目的。

施耐德电气选用AccuSine PCS+有源滤波器用于解决电能质量问题。

海拔降容

考虑到E-House内部最高温度为25℃，Accusine有源滤波器的电流降容系数为80%。

电能质量监测

为了监视电能质量扰动，了解影响工艺的问题，电能质量治理设备和仪表均连接至EcoStruxure™电能管理系统（PME），可以提供详细的电能质量仪表盘和报告。

关键负载应急电源

电厂将配备两台备用柴油发电机，以便在紧急情况下，满足所有非工艺设施（营地、办公室、饮用水处理、废水处理、消防系统等）以及浓缩和下游工序中部分关键负载的用电需求，以避免对集中供电造成任何干扰。

主发电机进行黑启动时由一台备用柴油发电机供电。

400 V ATS控制器

- 转换类型：同相转换
- 切换时间：小于1分钟

保护

- 欠电压
- 断相

监视与控制

- ACB状态
- 有
- 自动模式
- 发电机组启动/停止
- ACB跳闸/合闸
- 减载
- 通信：Modbus TCP/IP
- 标准：IEC 60947-6-1

电机负载自动转换开关

在主电源断电的情况下，自动转换开关（ATS）控制器向发电机控制单元（GCU）发送信号，要求启动柴油发电机，并断开变压器进线ACB。当发电机达到额定电压和频率时，ATS控制器将发电机进线ACB合闸，为400 V开关柜供电，然后控制系统将自动重启所有电机。主电源恢复供电后，ATS控制器将从应急电源切换到主电源，控制系统将依次重启所有电动机。

机械联锁可避免因两台ACB同时合闸而导致两个电源并联。当关键负载可以接受1分钟以内的供电中断时，这种同相转换解决方案是最为经济有效的选择。

本设计方案中使用的施耐德电气产品是Transferpact ATS设备，包括UA控制器和MasterPacT MTZ，带杆式机械联锁装置，集成在一台低压柜内。

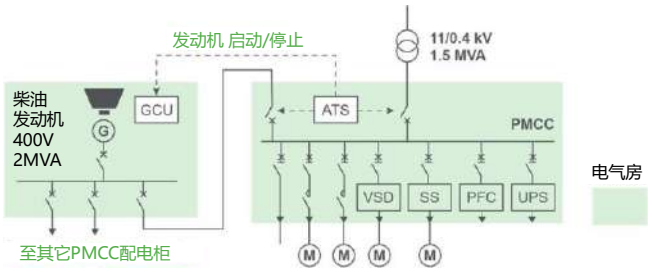


图4.

关键负载推荐应急电源

不间断电源

- 额定电压：400 V
- 额定功率：
  10kVA（海拔4000米）
- 效率：高达94%
- PFC整流器
- 抗震能力1g
- 电池：铅酸
- 旁路：内部集成
- 本地HMI：LCD
- 防护等级： IP42
- 冷却方式：强制风冷
- 通信：Modbus TCP/IP
- 标准：IEC 62040-3一级

关键负载用不间断电源

不间断电源安装在电气室中，断电后至少能够为控制系统和其它关键负载供电30分钟。

非电动机类关键负载，如现场数据中心、控制室、工艺自动化设施、消防和安防系统，由位于主变电站的15 kVA不间断电源供电。

海拔降容

根据IEC 62040-3标准，在海拔4000米的地区，功率降容系数为0.85。安装在E-House中的不间断电源将在15~25℃的工作温度下运行。

中性点接地为直接接地（TNS）。

选择的不间断电源为Gutor PXC，该工业型不间断电源专为恶劣环境设计，预期使用寿命20年。

E-House一体化

E-House设计

E-House是一个在工厂集成、测试和验证的紧凑型配电解决方案。E-House由中压开关柜、低压开关柜、变速器、不间断电源、暖通空调和电力自动化监控系统组成。基于高品质、高可靠的设计原则，E-House有助于提高安全性，减少现场施工时间，优化运输、安装和调试成本，并增加正常运行时间。

特征

- E-House数量：10
- E-House占地面积：800平方米
- 主E-House：扣板
- 二次变电站E-House：标准集装箱

为优化成本，E-House需要多次反复设计。中压/低压配电架构设计和设备优化是尽量减少设备的占地面积、高度和重量，从而优化E-House的制造和运输成本。

设计方案从三个方面对E-House进行了优化：

- 布局优化：
  - 占地面积：E-House的总体尺寸
  - 间隙：设备之间的间隙优化至相关规范和标准的最低要求。
- 技术优化：
  - 全焊接、轻钢结构、扣板、夹心板
- 组件优化：
  - 暖通空调类型、暖通空调管道类型、灭火系统、气体探测系统、门、照明系统、电缆布线、电缆槽、地板材料、内外钢板。

E-House的设计优化需要专业的工程设计能力，以解决下列问题：

- 钢结构计算
- 保温计算
- 内部电弧故障
- 抗震性能
- 防爆、风

高海拔地区暖通空调设计：暖通空调的效率随着海拔的升高而降低。暖通空调的最佳配置，需要考虑设备的散热量、较低的环境温度和日照等因素。

考虑到现场条件，可通过强制通风来保证制冷效果。通过保温设计使电气室室内温度保持在15~25℃之间。

在推荐设计方案中，主变电站E-House采用扣板技术，而二次变电站的E-House采用标准集装箱形式的预制模块化解决方案。这些方案的优点是成本低、施工快、运输方便。

冷却系统采用N+1冗余模式。另安装有正压通风系统，达到防尘的目的。

数字化应用

锂矿现场配备了完善的数字化监控系统。尽管设备费用有所增加，但这样的数字化方案有助于降低维护成本、降低能消、最大限度地减少非计划停电，从而提高电厂可用性，从而显著降低运营成本。

之所以选择这样的控制系统架构（如图4所示），是为了尽量减少资本支出，同时保证良好的系统可用性。该架构基于以太网和Modbus TCP/IP等开放式通信标准，可降低工程成本，具有易集成的优点，还支持未来升级。借助该架构，采矿过程自动化和电力自动化以及资产管理系统之间可以实现信息共享。该集成式系统可为工艺工程师提供实时的有关中低压电动机回路的状态、能源成本、电动机状态和启停控制等信息，帮助工程师做出正确的决策，优化锂的单位生产成本，同时最大限度地减少非计划停电。

该架构通过PLC连接到以太网，采用以太网环网架构，该环网使用快速生成树协议（RSTP）保证网络具有良好的可用性。每个PLC作为一个“控制单元”，将来自过程控制器、现场仪表和电气设备的数据进行收集。所有电力系统网的智能电子设备（IED）都支持以太网通信，采用Ethernet/IP或Modbus TCP/IP通信协议，并且内置Web服务器。这样的配置方案可以减少网关使用，减少系统工程设计的工作量，并降低集成成本。

PLC配备了以太网通信模块，以不超过100Mbps的数据速率访问带有Ethernet/IP和Modbus TCP/IP协议的设备的网络。中压开关柜通过Modbus TCP/IP通信协议集成到以太网中。中压/低压变电站RTU和高压/中压以及中压/中压电力变压器的状态监测设备通过Modbus TCP/IP通信协议集成到以太网，通过由PLC进行控制。

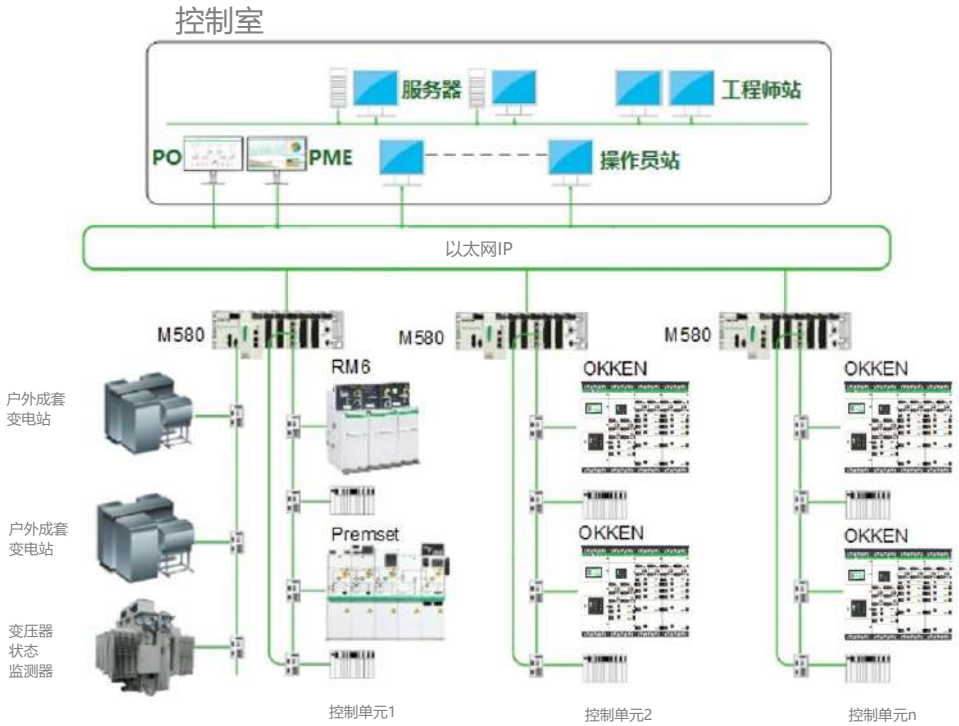


图5

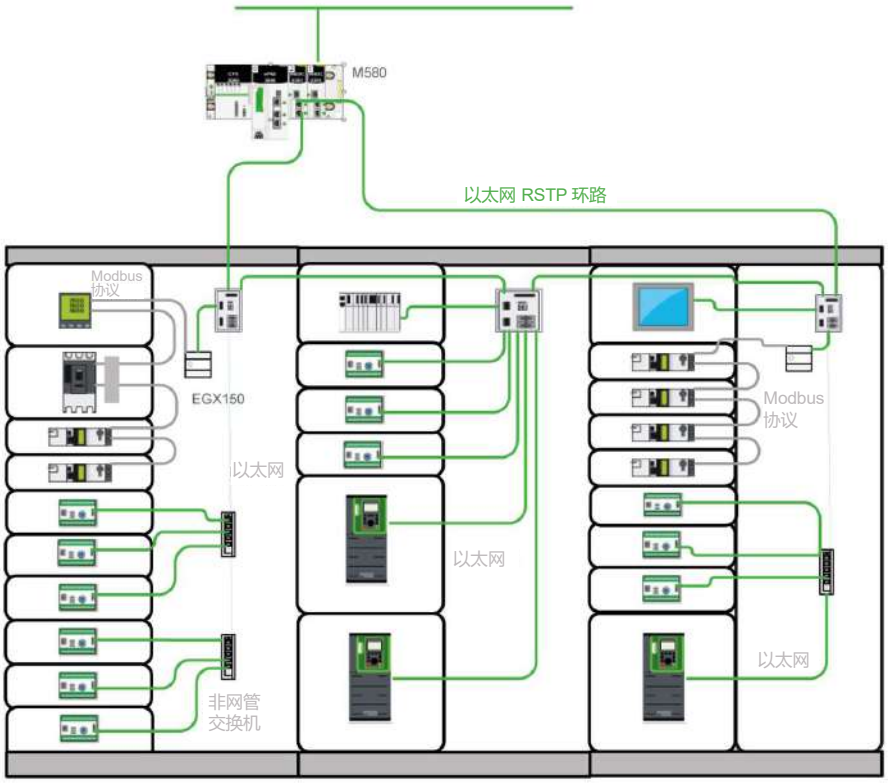
集成在过程控制系统的电力监控系统

图6

iPMCC中基于Modbus-TCP/IP和Ethernet/IP的混合通信架构

施耐德电气Modicon M580 ePAC拥有一系列预先配置的界面和对象库，包括本方案中提到的所有智能电子设备。该方案可将系统设计和集成成本降至最低，同时保证高系统可靠性。

如图5所示，iPMCC内部通信网络采用混合架构。开关柜通过一个性价比最高的以太网非托管交换机（例如ConneXium TCSESU05）连接到PLC。采用Modbus RTU通信协议的设备（MCCB、软起回路）通过Link150网关接至以太网交换机。变速器、带智能马达保护继电器IMPR的DOL回路以及就地LCD控制屏等设备均支持以太网通信，并直接连接至以太网交换机。



EcoStruxure™解决方案

锂矿过程自动化的架构采用了施耐德电气EcoStruxure™混合型DCS。该系统将现场总线、仪表、智能设备、操作员站、工程师站和报警管理等全部集成在一个可扩展、功能强大的自动化平台中。

能源管理和控制系统的架构采用了施耐德电气EcoStruxure™ 电力自动化系统。在边缘控制层，使用电力监控自动化系统EcoStruxure™ Power SCADA Operation（PO）进行电力管理和控制，并在PO中嵌入高级的电能管理系统Power Monitoring Expert (PME) 的电能报告和仪表盘功能。

网络安全

所有产品、解决方案和安全软件的开发生命周期均符合网络安全标准，如IEC 62443和ISO2700x系列标准。

本设计方案中使用的施耐德电气产品汇总

设备类型	产品型号	主要技术参数	产品链接	设备类型
中压保护继电器	Easergy P3	用于中压开关柜的保护继电器，带弧光保护，Modbus-TCP/IP		Easergy
低压自动转换开关	Transferpact	UA控制器，带预定义ATS逻辑		Transferpact
		Masterpact MTZ，配备连杆式或缆绳式机械联锁装置，安装在低压配电柜中		
	PM5000	电能和电能质量表，Modbus TCP/IP		PM5000
	TeSys GV, TeSys D, TeSys T, Compact NSX	三元件DOL直起馈线，配备塑壳断路器、接触器、智能马保（支持以太网通信）		TeSys
低压软起回路	Altistart 48	400V软起电动机回路，固定式安装，集成在Okken中，Modbus TCP/IP		Altistart 48

低压变频器	ATV 600	400 V，用于泵、风扇和压缩机等负载，Ethernet/IP		Altivar Process ATV 600
	ATV 900	400 V，用于的输送机和提升应用		Altivar Process ATV 900
箱变	RM6	气体绝缘环网柜,12 kV, 400 A, 25 kA,		RM6
	Easergy T300	RTU with Modbus TCP/IP		Easergy T300
不间断电源	Gutor PXC	400 V，10 kVA 三相不间断电源，工业机，配铅酸电池，支持以太网通信		Gutor PXC
控制器	Modicon M580	以太网可编程自动化控制器		Modicon M580
以太网连接设备	Link 150	Modbus RTU 到以太网的网关		Link 150
	ConneXium TCSESU 05	带 5 个端口的以太网非托管交换机		Modicon Switch
边缘控制软件	EcoStruxure™ Plant Hybrid DCS	具有专门的矿用库的过程自动化系统		schneider.electric.com
	EcoStruxure™ PME	电能管理系统		schneider.electric.com

附录1：缩略语列表

AHF	有源滤波器
AFE	有源前端
ACB	空气断路器
A-FLR	仅授权人员可触及——前面、侧面、后面四面防护
AIS	空气绝缘开关设备
ATS	自动转换开关
CAPEX	资本支出
CT	电流互感器
DCS	分布式控制系统
DOL	直接起动
F&S	消防与安全
FPI	故障通道指示器
FU	功能单元
GCU	发电机控制单元
HMI	人机界面
HVAC	暖通空调
IAC	内部电弧等级
IEC	国际电工技术委员会
IED	智能电子设备
IEEE	电气与电子工程师协会
IGBT	绝缘栅双极晶体管
IMPR	智能电动机保护继电器
iPMCC	智能配电与电动机控制中心
LCD	液晶显示器
LV	低压 (< 1 kV)
LSC	运行连续性
MCCB	塑壳断路器
MV	中压（1 kV<中压<52 kV）
OEM	原始设备制造商
OLTC	有载分接开关
ONAN	油浸自冷
OPEX	运营支出
PAC	可编程自动化控制器
PCC	配电控制中心
PFC	功率因数校正
PLC	可编程逻辑控制器
PQ	电能质量
PWM	脉宽调制
RMU	环网柜
SS	软起动器
SSIS	屏蔽式固体绝缘开关柜
TCO	总拥有成本
THD	总谐波畸变
UPS	不间断电源
VCB	真空断路器
VSD	变频器
VT	电压互感器

参考文献

瓦锡兰能源
(https://www.wartsila.com/energy)

瓦锡兰能源矿业与水泥
(https://www.wartsila.com/energy/solutions-by-industry/mining-and-cement)

施耐德电气矿业解决方案
(https://www.se.com/ww/en/work/solutions/for-business/mining/)

施耐德电气中压技术指南——2018
(www.schneider-electric.com/en/download/document/AMTED300014EN)

矿业电力系统能力中心

中型铁矿参考设计——IEC标准
https://www.se.com/ww/en/download/document/MiningPowerSystemIronOreRD01/

矿业电力系统能力中心
1号白皮书——矿业电力系统的电网架构的优化分析
https://www.se.com/ww/en/download/document/MiningPowerSystemWP01/

矿业电力系统能力中心
2号白皮书——矿业中压电网的电力变压器的优化分析
https://www.se.com/ww/en/download/document/MiningPowerSystemsWP02/

矿业电力系统能力中心
3号白皮书——矿业电力系统ANSI与IEC中压开关柜的应用
https://www.se.com/ww/en/download/document/MVswitchgearMiningPowerWP03/

作者简介

Juha Kerttula现任瓦锡兰能源业务数据中心部门高级应用经理。他拥有赫尔辛基工业大学电气工程硕士学位，在能源和机电行业、公用事业、数据中心与核电站应急柴油发电机领域拥有20余年的丰富经验。

Hannu Jeronen现任瓦锡兰能源业务技术和产品管理部门产品经理。他拥有坦佩雷理工大学机械工程理学硕士学位，在与瓦锡兰能源解决方案有关的技术、销售和产品管理领域拥有20余年的丰富经验。

Jean-Marc Lupin是施耐德电气位于格勒诺布尔（法国）的矿业电力系统能力中心的技术专家。他拥有格勒诺布尔INP电气工程硕士学位，在电能质量领域拥有30余年的丰富经验，尤其擅长谐波管理和功率因数校正。他曾独自撰写和合著多篇技术论文，并拥有多项与电力电容器和电能质量应用相关的专利。

Eric Delaunay是一名技术专家和电力系统设计顾问，同时也是施耐德电气矿业电力系统能力中心负责人。他拥有里昂大学电气工程、高压和中压电力系统进高级硕士学位，在公用事业和大型工业公司的输配电业务领域拥有20余年的丰富经验。

联系我们

有关本白皮书内容的反馈和意见：

施耐德电气（中国）有限公司
Schneider Electric (China) Co.,Ltd

北京朝阳区望京东路6号
施耐德电气大厦
邮编：100102
电话：(010) 8434 6699
传真：(010) 8450 1130

Schneider Electric Building,No.6,
East Wangjing Rd.,Chaoyang District
Beijing 100102 P.R.C.
Tel: (010) 8434 6699
Fax: (010) 8450 1130

www.schneider-electric.cn

Susanna Siira
瓦锡兰能源业务
全球销售管理
Susanna.siira@wartsila.com

如您是我司客户且需要咨询矿业项目相关问题，敬请联系您所在国家的瓦锡兰或施耐德电气销售代表