

升降压供电装置在抽水蓄能电站中的应用

黄俊峰

(中国水利水电第十二工程局有限公司, 湖南 郴州 423501)

摘要 本文结合某抽水蓄能电站现场施工用电工程实际, 针对电站建设中长距离、大功率用电设备供电难题, 开展升降压供电系统的工程化设计与应用研究。通过现场用电负荷测算、线路压降校核及变压器容量配置, 形成适配抽水蓄能工况的长距离大功率设备供电系统方案, 能够满足抽水蓄能电站建设各类场景中的各种大功率负荷连续稳定用电需求, 以为同类型水利水电工程建设的临时及永久供电系统设计、施工与检修提供参考。

关键词 抽水蓄能电站; 升降压装置; 隧道开挖; 供电质量

中图分类号: TV743

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.004

0 引言

抽水蓄能电站项目工作面多, 用电设备分布范围广, 特别是上下库连接公路的线性工程, 用电设备电源通常就近引自场内配电箱, 施工用电均采用铠装电缆, 以直埋敷设或沿隧道洞壁固定挂设的方式接至各用电设备。若现场用电设备与场内变压器、配电箱距离较远, 采用常规供电模式时, 为确保末端电压稳定及供电质量达标, 通常需要加大供电电缆的截面规格。有时设备功率过大, 必须增设变压器才能保证设备正常运行, 一台变压器从安装到投运往往需要花费大半月时间。这些都大大增加了用电的时间成本和经济成本。如何在不额外增加用电投资的前提下, 保障施工现场供电系统的供电质量与运行可靠性^[1], 特别是满足大功率施工设备的稳定用电需求, 已成为当前水利水电工程建设中亟须解决的关键技术问题。本文所阐述的长距离升降压供电技术, 能够较好地解决现场大功率设备长距离供电难题。

1 项目概况

某抽水蓄能电站上下库连接公路BK8+500~BK10+140段原设计为挖方明线段以及7#隧道, 其中7#隧道出口段实测地形陡峭(称为“龙脊段”), 边坡较高, 对原始山体及植被破坏较大, 且不利于水土保持, 后经参建各方现场勘探, 并对多方案进行比较后提出将龙脊段明线调整为隧道(编号为7#-2隧道, 隧道总长245 m)。但隧道开挖需要使用空压机、风机、喷锚台车等大功率设备, 主要用电设备功率见表1。

大功率用电设备采用低压供电时, 存在启动电压压

表1 隧道开挖主要用电设备表

主要用电设备	数量	单机功率(kW)	合计功率(kW)
LG-24/8 空压机	2	132	264
喷锚台车	1	75	75
轴流风机	1	55	55
洞内照明	1	15	15
室外照明	1	5	5

降过大、电缆接线困难等问题。若使用柴油发电机, 则根据表1主要用电设备表, 按尖峰负荷计算发电机容量约为500 kVA, 但使用柴油发电机经济性低, 且噪声及污染较大, 另外, 7#-2隧道周围2公里范围内无10 kV电源, 安装10 kV变压器成本高、时间长, 无法满足进度要求。为使工程顺利进行, 特设计一种升降压供电系统。

2 升降压装置设计

2.1 设计原理

根据《低压电气装置 第5-52部分: 电气设备的选择和安装 布线系统》(GB/T 16895.6-2014)^[2], 电压降计算公式:

$$u=b(\rho_1 \frac{L}{S} \cos\varphi + \lambda L \sin\varphi)I \quad (1)$$

式(1)中: u 表示电压降, 单位为伏(V); b 表示系数, 三相回路取1, 单相回路取2; ρ_1 表示正常运行时导体电阻率, 取正常运行温度时的电阻率; L 表示布线系统的连续长度, 单位为米(m); S 表示导体的截面, 单位为平方毫米(mm^2); $\cos\varphi$ 表示功率因数; λ 表示导体单位长度电抗; I 表示设计电流。

作者简介: 黄俊峰(1995-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电现场施工及技术管理。

根据升压装置原理,在负载功率 P 恒定的情况下, $P=U \cdot I$,当电压 U 升高时,电流 I 减小,则电压降 u 降低。

同样,若隧道施工设备输送电采用高电压供电,其在供电线路上的电压降也将降低,从而保证设备用电质量^[3]。

根据《国家标准电压》(GB156-2017),三相四线或三相三线系统的标称电压有 220 V/380 V/660 V/1 000 V (1 140 V) 等。从理论分析来看,在传输同等电能的条件下,供电电压等级越高,线路产生的电能损耗越小,更有利于保障负荷侧的电压稳定性。但在实际选取供电电压等级时,还需综合考虑以下几方面因素:(1) 供电系统性价比;(2) 尽可能采用国家推荐的标称电压,以便其它元器件(断路器、漏电开关等)工作电压可以与其匹配;(3) 供电电压等级可以匹配现有的电缆绝缘等级。现有低压电缆绝缘等级有 450/700 V、600/1 000 V 等规格,市场上还有一种绝缘等级为 1 140 V 的煤矿用 M 型橡胶套电缆,但该电缆造价较高,未在水电工程中使用,设计中不予考虑。结合目前场内普遍存在 600/1 000 V 绝缘等级电缆,再加上水电工程中设备功率大,对电压质量要求较高,因此供电系统升压装置设计为 AC1000 V 电压等级。

2.2 升降压供电系统原理

根据前述线路压降计算公式:

$$u=b(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi) I$$

$$\text{同时 } I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

$$\text{则 } u = \frac{b(\rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi) P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} \quad (2)$$

式(2)中: u 表示电压降,单位为伏(V); b 表示系数,三相回路取 1,单相回路取 2; ρ_1 表示正常运行时导体电阻率,取正常运行温度时的电阻率; L 表示布线系统的连续长度,单位为米(m); S 表示导体的截面,单位为平方毫米(mm^2); $\cos \varphi$ 表示功率因数; λ 表示导体单位长度电抗; I 表示设计电流; U 表示系统电压。

经计算,当线路长度、电缆截面、负载功率不变的情况下,线路压降与系统电压成反比,使用 1 000 V 电压供电时的线路电压降是 380 V 供电线路损耗的 0.38 倍。

如图 1 所示,升压变压器输入端(一次)采用三相三线制供电,降压变压器输出端(二次)零线从变压器中性点引出,整个系统 PE 线贯通,不经过升降压装置。

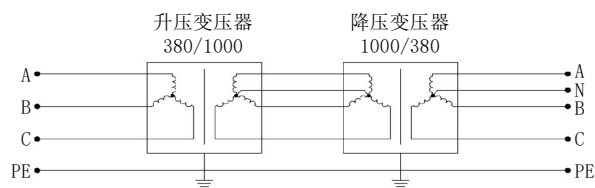


图 1 升降压供电方式示意图

2.3 7#-2 隧道升降压装置设计

7#-2 隧道升降压装置主要为 7#-2 隧道开挖、支护、通风提供条件,其主要用电设备见表 1。

2.3.1 升降压装置容量计算

根据《水利水电施工组织设计手册》^[4],配电变压器的容量计算:

$$P_b = 1.1 (\Sigma K_c P_d + \Sigma K_c P_m + \Sigma K_c P_n) \quad (3)$$

$$S_b = 1.1 (\Sigma K_c P_d / \cos \varphi + \Sigma K_c P_m + \Sigma K_c P_n) \quad (4)$$

式(3)、式(4)中: P_b 表示配电变压器所承担的总有功功率, kW; S_b 表示配电变压器所承担的总视在功率, kVA; K_c 表示需要系数,查表; $\cos \varphi$ 表示电气设备平均功率因数,一般取 0.7 ~ 0.8; 1.1 表示低压网络功率损耗系数。 P_d 表示各用电设备组的额定容量, kW; P_m 表示室内照明负荷, kW; P_n 表示室外照明负荷, kW。则: $P_b = 1.1 (264 \times 0.65 + 75 \times 0.65 + 55 \times 0.7 + 15 \times 0.8 + 5)$; $S_b = 1.1 \{ (264 \times 0.65 + 75 \times 0.65 + 55 \times 0.7) \div 0.8 + 15 \times 0.8 + 5 \}$ 。

经计算升降压装置总有功功率 P_b 为 303.44 kW,功率因数 $\cos \varphi$ 按 0.8 取值,升降压装置总视在功率 S_b 为 374.62 kVA,则选择容量为 400 kVA 的升降压装置。

2.3.2 7#-2 隧道供电系统电缆选型计算

根据《水利水电工程施工组织设计手册》,系统高峰负荷计算:

$$P = K_1 K_2 K_3 (\Sigma K_c P_d + \Sigma K_c P_m + \Sigma K_c P_n) \quad (5)$$

式(5)中: P 表示施工供电系统高峰负荷时的有功功率, kW; K_1 表示考虑未计及的用户及施工中发生变化的余度系数,一般取 1.1 ~ 1.2; K_2 表示各用电设备组之间的同时系数,一般取 0.6 ~ 0.8; K_3 表示配电变压器和配电线路的损耗补偿系数,一般取 1.06; K_c 表示需要系数,查表; P_d 表示各用电设备组的额定容量, kW; P_m 表示室内照明负荷, kW; P_n 表示室外照明负荷, kW。则系统高峰负荷 $P = 1.15 \times 0.7 \times 1.06 \times (264 \times 0.65 + 75 \times 0.65 + 55 \times 0.7 + 15 \times 0.8 + 5) = 235.38$ kW。

根据三相电功率计算公式 $P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$,功率因数 $\cos \varphi$ 按 0.8 取值计算各阶段系统电流。

1. 配电箱低压出线至升压装置及降压装置至用电设备配电箱电缆选型。

根据三相电功率计算公式,电压 U_1 取380 V,经计算高峰负荷电流 I_1 为447.04 A。

根据《电力工程电缆设计标准》(GB 50217-2018),1 kV~3 kV 聚氯乙烯绝缘电缆允许载流量见表2。

表2 1 kV~3 kV 聚氯乙烯绝缘电缆持续允许载流量表

标称截面 mm^2	3芯或4芯		
	铝(非铠装、 空气)	铝(非铠装、 地下)	铝(铠装、 地下)
95	155	189	180
120	181	212	207
150	211	242	237
185	246	273	264
240	294	319	310
300	328	347	347

根据表2所示,系统电缆选择 $2 \times (\text{YJLV}22-3 \times 185 \text{ mm}^2 + 1 \times 95 \text{ mm}^2)$ 铠装电缆。

2. 升压装置至降压装置间电缆选型。根据三相电功率计算公式,电压 U_2 取1 000 V,经计算高峰负荷电流 I_2 为169.88 A,根据表2所示,系统电缆选择 $\text{YJLV}22-3 \times 120 \text{ mm}^2 + 1 \times 70 \text{ mm}^2$ 铠装电缆。

2.3.3 7#-2 隧道供电系统升降压装置优化设计

由式(2)计算可知,电压降与电缆材料、电缆长度、导体单位长度电抗、负载功率成正比,与系统电压、功率因数、电缆截面成反比。

为减小电压降,可通过提高系统功率因数、提高系统电压、缩短线路长度、增大电缆截面积、降低导体电阻率等措施^[5]。

1. 提高系统功率因数。可在配电箱低压出线至升压装置进线线路或用电设备端低压线路增加电容补偿柜,提高系统功率因数。

2. 提高供电系统电压。可将升降压装置设置为分档输入和分档输出系统:(1)升压系统:分档输入升压系统,分档电压包括380 V/1 000 V和400 V/1 000 V两种;(2)降压系统:分档输出降压系统,分档电压包括1 000 V/380 V和1 000 V/400 V两种;当系统电压较低时,升压装置接380 V/1 000 V系统,降压装置接1 000 V/400 V系统;系统电压较高时,升压装置接400 V/1 000 V系统,降压装置接1 000 V/380 V系统,以适应系统电压波动,使升降压装置供电系统更具有弹性。

3. 增大电缆截面积、降低导体电阻率。当供电距离较远时,可通过适当增加电缆截面积或选用低电阻率的导体材料,降低线路压降。

3 工程应用效果

某抽水蓄能电站7#-2隧道全长245 m,升降压装置供电电源点引自600 m外变压器低压配电箱,升压装置紧靠变压器低压配电箱放置,升压装置二次侧高压出线使用架空方式架空至7#-2隧道洞口,降压装置靠近空压机等用电负荷,升降压装置的安装,使该隧道得以按照工程进度顺利贯通,节约常规变压器安装等费用近30万元。

设计中升降压装置使用干式变压器,产热较大,再加上装置内空间密封,导致散热不佳,严重影响升降压装置的功率因数和效率。可在升降压装置内部安装三相温控风扇,电源取自内部380 V电压,安装温控传感器,根据内部温度变化自动启停,保证其内部散热良好。

4 结束语

升降压供电装置首次应用于抽水蓄能电站工程,该装置可用于旧系统增容,可在不加大电缆截面积,充分利用原有电缆情况下减小线路压降,从而使远距离用电设备正常启动。使用该装置输送电具有造价低、故障率低、稳定可靠等优点。与安装常规变压器相比,使用升降压装置对远距离大功率用电设备供电,可在加快工程进度的同时降低工程造价,在业内受到了极高的认可和推广。然而,使用升降压装置供电系统会占用已有常规变压器容量,可能会导致其搭火变压器供电质量下降。因此,选择升降压装置供电时,要充分考虑其搭火变压器上的用电设备,当其搭火变压器处于空载或轻载时,可选择升降压装置作为远距离供电永久电源;当其搭火变压器处于重载时,升降压供电装置只能作为远距离供电的应急措施,同时要対用电工作面合理协调,错峰施工,避免损坏已有变压器。

参考文献:

- [1] 来是家.基于浮动补偿的高速公路远程供电技术探究[J].中国交通信息化,2025(02):394-397.
- [2] 陈天威,杜斌,秦庆明,等.应用于基站接地系统的铝替铜技术方案研究[J].邮电设计技术,2025(08):87-92.
- [3] 周俊梅.戈壁沙漠地区高速公路远距离供电传输技术方案研究[J].甘肃科技,2025(10):20-27,33.
- [4] 鹿选华.某抽水蓄能电站地下厂房多洞室供电保障措施探析[J].红水河,2022(05):49-53.
- [5] 石欣鑫,胡格格,杜新怡.公路机电设施供电方式探究[J].中国交通信息化,2025(S1):318-321.