

武汉东湖隧道供配电系统方案介绍

对于城市特长隧道，从隧道负荷入手，从多个方面确定供配电方案。

雷明海/武汉市政工程设计研究院

项目介绍



雷明海/工程师

武汉东湖通道工程北起二环线水东段主线高架桥（红庙立交），南止于喻家湖路与喻家山北路相交道口，横贯武汉东湖风景名胜区，起始点桩号为K0+260~K6+762，全长6 502 m（闭合段长度），设备总负荷为10 890 kW。其中通风总负荷约为7 440 kW，排水负荷约为2 250 kW，照明负荷约为1 200 kW。

东湖通道共有5个大风机房，为半横向通风所用，位于隧道内的不同桩号处。纵向通风共有风机27组，每组有3台风机，每台风机功率为30 kW。东湖隧道共有雨水泵站10座，废水泵站7座，消防泵房2座，每座雨水或废水泵站的水泵为3或4台，每台的容量由从22~75 kW不等。消防泵房内有消防泵、水喷雾泵各两台，容量分别为18.5 kW和110 kW。

配电房位置的确定

关键词/Keywords

城市特长隧道 ·
供配电方案 ·

根据通风和排水的资料，为了尽可能地减少配电房的数量，同时为了满足设备的压降的要求，进行了综合考虑。

对于风机和水泵类负荷，根据规范的要求，电动机频繁启动时，配电母线上的电压不应低于额定电压的90%，电动机不频繁启动时，配电母线上的电压不应低于额定电压的85%。

电动机按最大负荷75 kW取值，变压

器容量按500 kV·A，供电距离按400 m进行计算。取变压器一次侧短路容量为200 MV·A，变压器容量为0.5 MV·A，阻抗相对值为4%，预接负荷400 kW，功率因数为0.92，电缆取截面积为95 mm²的铜芯电缆，考虑到供电距离较远，风机及水泵电动机均采用软启动，启动电流按3倍电流选取，电动机的额定电流按150 A考虑。即

$$\begin{aligned} S_{\text{stM}} &= k_{\text{st}} S_{\text{rM}} \\ &= 3 \times 0.075 \text{ MV} \cdot \text{A} / 0.92 = 0.244 \text{ MV} \cdot \text{A} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} X_1 &= \left(\frac{18.3 \Omega \cdot \text{m}}{S} \right) \times l \\ &= \left(\frac{18.3 \Omega \cdot \text{m}}{95 \text{ mm}^2} \right) \times 0.4 \text{ km} = 0.077 \Omega \end{aligned} \quad (2)$$

$$U_{\text{m}} = 0.4 \text{ kV} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_{\text{km}} &= \frac{S_{\text{rT}}}{X_{\text{T}} + \frac{S_{\text{rT}}}{S_{\text{k}}}} = \frac{0.5 \text{ MV} \cdot \text{A}}{0.04 + \frac{0.5 \text{ MV} \cdot \text{A}}{200 \text{ MV} \cdot \text{A}}} \\ &= 11.76 \text{ MV} \cdot \text{A} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{th}} &= S_{\text{th}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \\ &= 0.4 \text{ MV} \cdot \text{A} \times \sqrt{1 - 0.92^2} = 0.157 \text{ Mvar} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} S_{\text{st}} &= \frac{1}{\frac{1}{S_{\text{stM}}} + \frac{X_1}{U_{\text{m}}^2}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0.244 \text{ MV} \cdot \text{A}} + \frac{0.077 \Omega}{0.4^2 \text{ kV}}} = 0.218 \text{ MV} \cdot \text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{\text{stm}} &= \frac{S_{\text{km}} + Q_{\text{th}}}{S_{\text{km}} + Q_{\text{th}} + S_{\text{st}}} \\ &= \frac{11.76 \text{ MV} \cdot \text{A} + 0.157 \text{ Mvar}}{11.76 \text{ MV} \cdot \text{A} + 0.157 \text{ Mvar} + 0.218 \text{ MV} \cdot \text{A}} \\ &= 0.982 \end{aligned}$$

则

u_{stM} = u_{stm} \frac{S_{st}}{S_{stM}} = 0.982 \times \frac{0.218 \text{ MV}\cdot\text{A}}{0.244 \text{ MV}\cdot\text{A}} = 0.877 \quad (8)

式中，S_{stM}为电动机额定起动容量，MV·A；k_{st}为电动机额定起动电流倍数；S_{rm}为电动机额定容量，MV·A；X_l为电缆的线路电抗，Ω；S为电缆截面，mm²；L为线路长度，km；S_{rT}为供电变压器的额定容量，MV·A；X_T为供电变压器的电抗相对值，取为变压器的阻抗电压相对值或百分数；S_k为供电变压器一次侧短路容量，MV·A；U_m为母线标称电压，10 kV；S_{km}为母线短路容量，MV·A；Q_{fh}为预接负荷的无功功率，Mvar；S_{fh}为预接负荷的有功功率，MV·A；S_{st}为电动机起动时起动回路的额定输入容量，MV·A；u_{stm}为电动机起动时母线电压相对值；u_{stM}为电动机起动时的端子电压相对值。

对于照明负荷，按入口段的最大负荷计，其容量为47 kW，根据规范要求，照明设备的端子电压应不低于95%。照明配电柜的进线电缆取截面积为70 mm²的铜芯电缆，距离按400 m计，功率因数取0.9。

Δu% = Δu_a %IL
= [0.143% / (A·km)] × 80 A × 0.4 km = 4.576% (9)

普通段的照明负荷为7 kW，进线电缆取截面积为16 mm²的铜芯电缆，距离按500 m计，功率因数取0.9。

Δu% = Δu_a %IL
= [0.574% / (A·km)] × 14 A × 0.5 km = 4.02% (10)

式中，Δu%起线路电压损失百分数，%；Δu_a%为三相线路每1 A·km的电压损失百分数，%/(A·km)；I为负荷计算电流，A；L为线路长度，km。

根据以上计算结果，其压降均满足不大于5%的要求。

根据以上计算结果，需要供照明负荷时，变电所设置间距为1 000 m 1座是比较适合的。变电所附近需要供水泵和风机负荷时，其供电半径应不大于400 m。

由于隧道有半横向通风的需求，通风专业所提资料如表1所示。

由于风机房的通风负荷容量较大，故每个风机房单独设置1座配电房。

表1 通风专业所提资料

风机房编号	设置位置	风机容量/kW	其他负荷
1 [#] 风机房	K0+340	2×220，一用一备	无
2 [#] 风机房	K1+985右线	2×450	空气过滤器300 kW
3 [#] 风机房	K2+780左线	3×400	空气过滤器300 kW
4 [#] 风机房	K4+560右线	3×400	空气过滤器300 kW
5 [#] 风机房	K4+910右线	132	无

结合纵向通风的射流风机及水泵房的设置位置，将配电房的设置位置进行局部调整，最终确定配电房的设置桩号，如表2所示。

表2 配电房的设置桩号

配电房编号	配电房桩号	配电房编号	配电房桩号
1 [#] 配电房	K0+300右线	2 [#] 配电房	K1+580右线
3 [#] 配电房	K2+080右线	4 [#] 配电房	K2+660左线
5 [#] 配电房	K2+910右线	6 [#] 配电房	K3+580右线
7 [#] 配电房	K4+360左线	8 [#] 配电房	K4+600右线
9 [#] 配电房	K4+953右线	10 [#] 配电房	K5+670右线
11 [#] 配电房	K6+140左线	12 [#] 配电房	K6+720右线

其中1[#]风机房和5[#]风机房由于容量不大，不单独设置配电房。3[#]配电房、4[#]配电房和8[#]配电房为风机房专用配电房。

配电房供电容量的确定

根据各个专业的汇总资料，列出负荷统计表，确定配电方式及变压器容量，由于各配电房均有大量一、二级负荷，系统采用的供电方式为两路变压器同时工作，当一台变压器或一段母线退出运行时，另一台变压器承担全部一、二级负荷，负荷统计表如表3和表4所示（仅列出1[#]配电房的负荷统计表，其他配电房负荷统计同此表）。

各个配电房均按此负荷统计表进行负荷统计，最终确认各配电房的供电容量如表5所示。

系统供电电压及供电出线的确定

东湖隧道的总变压器容量为9 770 kV·A，由于东湖通道属于民用建筑，无法申报35 kV用电，故采用10 kV高压供电。

根据《工业与民用配电设计手册》（3版）的建议，在送电容量为2~8 MW时，其供电距离控制在6 km以下较为合适，所以东湖隧道设计了2个

表3 1#配电房负荷统计

序号	设备名称	每台容量/kW	工作台数/套	工作容量/kW	需要系数 K_x	$\cos \varphi$	计算有功负荷			变压器台数和 容量/kV·A
							P_{js}/kW	$Q_{js}/kvar$	$S_{js}/kV\cdot A$	
1	消防泵	18.50	1	18.50	0.90	0.80	16.65	12.49	20.81	
2	泡沫泵	15.50	1	15.50	0.90	0.80	13.95	10.46	17.44	
3	水喷雾泵	110.00	1	110.00	0.90	0.80	99.00	74.25	123.75	
4	雨水潜污泵	300.00	1	300.00	0.90	0.80	270.00	202.50	337.50	
5	检修电源	30.00	1	30.00	0.80	0.80	24.00	18.00	30.00	
6	射流风机1	90.00	1	90.00	1.00	0.80	90.00	67.50	112.50	
7	射流风机2	90.00	1	90.00	1.00	0.80	90.00	67.50	112.50	
8	射流风机3	90.00	1	90.00	1.00	0.80	90.00	67.50	112.50	
9	射流风机4	90.00	1	90.00	1.00	0.80	90.00	67.50	112.50	
10	废水泵	135.00	1	135.00	0.90	0.80	121.50	91.13	151.88	
11	隧道照明	100.00	1	100.00	1.00	0.80	100.00	75.00	125.00	
12	隧道应急照明	20.00	1	20.00	1.00	0.80	20.00	15.00	25.00	
13	送风机	220.00	1	220.00	1.00	0.80	220.00	165.00	275.00	
14	通信设备	60.00	1	60.00	1.00	0.80	60.00	45.00	75.00	
合计							1 305.10	978.83	1 631.38	
计入同时系数后合计						0.78	1 174.59	929.88	1 498.11	
补偿电容器								543.81		
补偿后负荷合计						0.95	1 174.59	386.07	1 236.41	2 × 12 500
变压器负荷率									0.49	

表4 1#配电房一、二级负荷统计

序号	设备名称	每台容量/kW	工作台数/套	工作容量/kW	需要系数 K_x	$\cos \varphi$	计算有功负荷			变压器台数和 容量/kV·A
							P_{js}/kW	$Q_{js}/kvar$	$S_{js}/kV\cdot A$	
1	消防泵	18.50	1	18.50	0.90	0.80	16.65	12.49	20.81	
2	泡沫泵	15.50	1	15.50	0.90	0.80	13.95	10.46	17.44	
3	水喷雾泵	110.00	1	110.00	0.90	0.80	99.00	74.25	123.75	
4	雨水潜污泵	300.00	1	300.00	0.90	0.80	270.00	202.50	337.50	
5	射流风机1	90.00	1	90.00	1.00	0.80	90.00	67.50	112.50	
6	射流风机2	90.00	1	90.00	1.00	0.80	90.00	67.50	112.50	
7	射流风机3	90.00	1	90.00	1.00	0.80	90.00	67.50	112.50	
8	射流风机4	90.00	1	90.00	1.00	0.80	90.00	67.50	112.50	
9	废水泵	135.00	1	135.00	0.90	0.80	121.50	91.13	151.88	
10	隧道照明	100.00	1	100.00	1.00	0.80	100.00	75.00	125.00	
11	隧道应急照明	20.00	1	20.00	1.00	0.80	20.00	15.00	25.00	
12	送风机	220.00	1	220.00	1.00	0.80	220.00	165.00	275.00	
13	通信设备	60.00	1	60.00	1.00	0.80	60.00	45.00	75.00	
合计							1 281.10	960.83	1 601.38	
计入同时系数后合计						0.78	1 152.99	912.78	1 470.56	
补偿电容器								533.81		
补偿后负荷合计						0.95	1 152.99	378.97	1 213.67	1 250.00
变压器负荷率									0.97	

表5 配电房供电容量

配电房编号	配电房变压器容量/kV·A	配电房编号	配电房变压器容量/kV·A
1#配电房	2×1 250	2#配电房	2×630
3#配电房	2×1 600	4#配电房	2×1 250
5#配电房	2×1 250	6#配电房	2×100
7#配电房	2×630	8#配电房	2×1 600
9#配电房	2×250	10#配电房	2×250
11#配电房	2×160	12#配电房	2×800

高压开闭所，设置在1#配电房和12#配电房处，与1#配电房和12#配电房合建。两个开闭所各供一般的距离，其中1#~6#配电房由1#开闭所供电，7#~12#配电房由2#开闭所供电。

东湖隧道的电缆均沿隧道结构层内侧的电缆管廊敷设，由于高低压进出线回路较多，且有消防水管，故留给高压的支架只有两层支架。为了避免影响电缆的敷设，所以设计时，将低压配电室分布在隧道的两侧，且对于供电容量较小的配电房，采用链式连接，减少出线回路。其供电示意图如图1、图2所示。

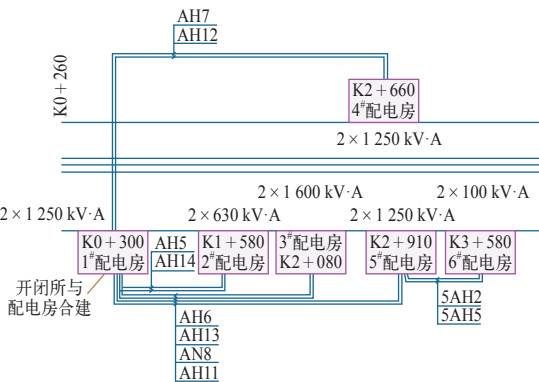


图1 供电示意图1

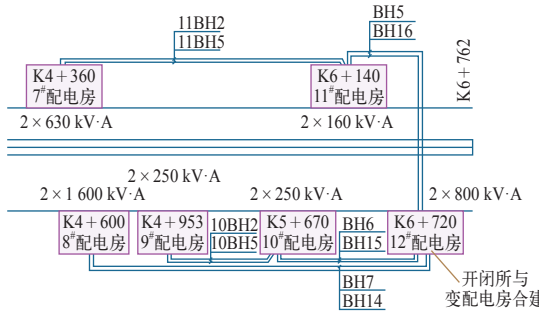


图2 供电示意图2

现场配电箱的供电

现场的配电负荷包括照明负荷、风机负荷、废水泵负荷及雨水泵负荷。

根据GB 50016—2006《建筑建筑设计防火规范》及JTG/T—D—71—2004《公路隧道交通工程设计规范》的要求，现场的配电负荷均为一级负荷，其中疏散负荷为一级负荷中特别重要负荷。根据GB 50055—2011《通用用电设备配电设计规范》第2.5.3条的要求，电动机的控制按钮或控制开关宜装设在电动机附近便于操作和观察的地点。由于风机负荷和废水泵负荷属于消防负荷，根据JGJ 16—2008《民用建筑电气设计规范》第13.9.6条的要求，消防水泵、防烟及排烟风机等的两个供电回路，应在最末一级配电箱处自动切换。

为了减少出线回路，对于照明负荷，采用在配电房集中切换后，以放射式接至各现场照明配电箱。对于风机及废水泵负荷，由配电房馈出两回线路，在现场配电箱处进行切换。由于雨水泵在隧道中的重要作用，因此雨水泵的配电方式同消防水泵保持一致。对于应急照明，采用应急供电电源（EPS）集中供电，EPS柜放置于各配电房内。现场风机配电箱设置于风机附近，照明配电箱放置间距为200~300 m。

结束语

东湖隧道作为中国国内最长的湖底隧道，从前期方案设计到后期出施工图耗时2年多，对于城市超长隧道，其供电方式的选择是多样性的。从隧道的负荷入手，分析了到最终确定配电房及现场配电箱的全套供配电方案，希望对电气设计的同行有所帮助。

参考文献

[1] GB 50052—2009 供配电系统设计规范 [S].
[2] GB 50055—2011 通用用电设备配电设计规范 [S].
[3] GB 50016—2006 建筑建筑设计防火规范 [S].
[4] JGJ 16—2008 民用建筑电气设计规范 [S].

(收稿日期: 2015—02—10) EA
2015年7月下·建筑电气·25