

# 6-10 千伏母綫 隧道設計

有色冶金設計總院 編

冶金工業出版社

在大量用电的工业企业里，如大型电解厂、轧钢厂和选矿厂等，已开始采用裸铝母线敷设在地下隧道或地上走廊内向集中负荷供电。这种方式比用电线经济而可靠，并且能节约有色金属。

本书是有色冶金设计总院动力科在学习苏联的基础上，总结在我国设计母线隧道的经验而编写成的，可供各种大量用电的工业企业的电气设计人员参考。

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一章 概述                 | 1  |
| 第二章 母綫隧道及其系統的采用        | 4  |
| 第三章 母綫隧道設計与电气計算        | 12 |
| 一、母綫截面大小、形状及数量之选择      | 12 |
| 二、母綫隧道的有功功率損失和电阻計算問題   | 16 |
| 三、母綫电抗与电压降下的計算和母綫換位問題  | 21 |
| 四、根据热穩定条件校驗母綫          | 27 |
| 五、根据电动力穩定条件校驗母綫        | 28 |
| 六、母綫支持絕緣子的选择           | 30 |
| 七、計算实例                 | 31 |
| 第四章 母綫隧道的布置、結構与輔助設施的設計 | 39 |
| 一、总平面配置設計的要求           | 39 |
| 二、土建工程与結構的設計           | 43 |
| 三、隧道內防水与排水問題           | 44 |
| 四、隧道內的通风問題             | 45 |
| 五、照明設計                 | 46 |
| 六、接地装置与接地干綫            | 46 |
| 七、母綫隧道內对旋轉电机防雷保护問題     | 47 |
| 第五章 母綫安裝               | 49 |
| 一、在水平隧道內的母綫敷設          | 49 |
| 二、在垂直隧道內的母綫敷設          | 51 |
| 三、主母綫与分支綫在分岐点处之联接      | 51 |
| 四、母綫补偿器                | 54 |
| 五、母綫換位的联接              | 54 |

## 第一章 概 述

在我国的大型冶金企业中，有的已开始采用用裸鋁母綫敷設在地下隧道內和地上走廊中，对5~10千伏的集中大量負荷輸电和配电。采用这种供电方式的根据是：苏联在某些大型冶金工厂和选矿厂有着长期的良好的运轉經驗，証明了这种供电方式是极为可靠的。在经济方面，計算指出：对条件比較合适的大型冶金工厂、选矿厂和鋁电解厂等，母綫隧道比电綫隧道和电綫排管等供电方式是經濟的。目前在苏联的无私援助下，我們已初步能够掌握这项技术，从而有条件真正的开展这项工作。我們相信：如果能够根据我国大型冶金企业和其它企业的具体情况，正确的利用这项优良的技术成果，将給我国的国民經济建設带来巨大的好处。

在苏联，母綫通道供电的型式基本上有三种：

- 一、建筑在地下的母綫隧道（图8）；
- 二、建筑在地面上的母綫通道（图9）；
- 三、建筑在企业內部巨大管道构架上的母綫栈桥（图10）。

由于大型冶金企业內部的总图布置是異常复杂的，因此在实际設計中，一般采用第一种建筑在地下的母綫隧道型式比較多。条件允許时，应当尽量爭取采用第二种和第三种型式，因为它可能大量減低土建工程造价。

由于建筑在地下的母綫隧道供电型式采用的比較多，在技术上又比較复杂，因此本書着重对它的設計加以敘述和討論。关于設計的主要原則和具体作法，第二种与第三种型式基本上与之相同，可以完全使用。

采用铝母线隧道供电的一般优点如下：

一、尽管目前在实际设计中，我们可以采用铝芯电缆代替铜芯电缆，但是如果采用铝母线供电，则可以节约大量的制造电缆外皮所需的铅，计算指出，制造铝芯电缆所需要的铝和铅的总和，在有些情况下，比铝母线所用的铝，要消耗得多很多。

二、母线联接十分可靠，它不存在电缆头联接的弱点。母线的安装在隧道内是裸露的，因而往常的巡视维护和定期检修十分方便，有防止事故发生的可能。就是一旦有事故发生时，清除事故的时间短，处理容易。这样就大大的提高了供电的可靠性。

三、由于母线的输送容量可以很大，这样就可以大量减少供给企业的发电厂和主降压变电所的出线回路，可以相应的节省大量的重型开关设备和电抗器等等。此外，有时因母线本身具有相当大的电抗而节省了电抗器。

四、在事故情况下，母线有比较大的过负荷能力，特别是在增加了强力通风的能力以后。

五、在分期建设和适应发展方面，比电缆网路，有时是方便的和节约的。

六、地下母线隧道与放射式系统的大量电缆相比，可以减少很多占地面积和占地范围。

以上是母线隧道主要的优点，但是我们也应当看到，母线隧道和母线通道供电方式，也存在一些缺点：

一、采用地下母线隧道时，隧道的土建工程造价很高，特别是地下水位高的地区，需要增加严密的防水措施时，造价就更高；

二、技术要求严格，需要增加很多輔助設施，如通风排水和隧道照明等設施；

三、在安装施工过程中，技术要求高，施工比較复杂，例如交叉分歧、换位和母綫的大量焊接与安装等要求都很高。

根据上述情况，在具体設計采用时，必須进行多方面的技术經濟比較后，才能决定是否采用。其中特別需要指出的是土建造价問題，根据苏联的地下母綫隧道投資統計資料；一般土建和結構造价占整个工程造价的45~55%，因此設計中，如何进一步降低土建工程的結構造价，是母綫隧道能否大量采用和推行的重要問題。在地面上的母綫通道，土建工程造价低，可以用砖头代替大量水泥，不需要特殊的防水措施，不需要专用的排水措施，在很多情况下，可以采取自然通风的办法而不設或少設专用的通风机，因此总的造价是便宜的。如前所述，如果企业总图配置允許，而母綫輸送电能距离又不太长，考虑到沒有其它影响的条件下，应当尽量爭取建立地上母綫通道进行供电。

关于采用6千伏裸鋁母綫敷設在大負荷厂房內的专設走廊来进行配电的問題，在苏联早已应用，無論在技术上和經濟上的效果都是比較好的，在我国的冶金企业設計中，現已采用，主要是应用在大型选矿厂中，对6千伏大容量电动机进行直接配电。

---

## 第二章 母綫隧道及其系統的采用

在下列情况下可以考虑进行經濟比較，采用 6~10 千伏母綫隧道或地上母綫通道方式进行供电：

一、由供給企业用电的热电站或总降压变电所向大型的冶金工厂（包括銅冶炼电解、鋅电解等）、鋁电解厂的整流装置和大型的金屬加工厂（包括黑色冶金和有色冶金加工）供电时，因为这些企业的主要用电負荷集中容量比較大，可以考虑采用母綫隧道；

二、对大型的选矿厂进行供电，而企业总降压变电所又不可能靠近选矿厂的时候，在厂房外部地段，可以考虑采用母綫隧道或地面上的母綫通道，对选矿厂内部則可考虑采用裸鋁母綫进行配电（图 4）；

三、当工厂根据負荷发展的需要，需要一次或分期建立两个总降压变电所，而两个总降压变电所又有可能建立在企业的两端，此时企业的主要負荷恰好分布在中間，則采用母綫隧道的双干綫系統，互相聯絡又进行配电，最为合理。当企业設有热电站时，它与企业总降压变电所的聯絡与配电，也完全应采用上述方式，但二者間之距离、不得大于 1~1.5 公里（图 2）；

考虑到为提高母綫隧道双干綫系統的供电可靠性，应避免接在干綫上的分岐綫过多，根据苏联經驗，一般至多可設五个分岐点。这是因为干綫上的分岐接綫在結構上是十分复杂的（图 13）。此外，分岐綫过多，則分支隧道母綫造价会高，各变配电所的进綫开关也会增加，这样都会影响母綫隧

道的造价。因此在企业内部划分出几个主要配电点，与母綫隧道的主干綫相联接是合理的（图1）。

根据苏联計算資料，当輸送容量为1500安的时候，則電綫的投資比母綫隧道的投資要經濟一点。但是当輸送容量为2000安的时候，采用地下母綫隧道的型式，一般說是經濟的。这里应特別指出的是，在大型企业内部，由于其它工业設施的配置（上下水道、蒸汽管路，鉄路及其它地上地下构筑物），把数量很多的電綫直接敷設于地下，有很大的困难，在多数情况下，電綫均应敷設在单独的隧道内，仅在个别情况下，可与其它隧道共用。此外，在有些冶金工厂中，要求電綫必需穿上混凝土排管后才能敷設。因此電綫的敷設費用将大大增加，这样就有利于采用母綫隧道方式进行供电。

如前所述，母綫隧道的能否采用，主要应根据經濟比較来确定。在我国，一个由区域变电所采用6千伏电压对一个大型冶金工厂的供电工程，采用了双干綫母綫隧道的供电系統，隧道貫通着厂区的中心，它把南端的区域变电所电源与該企业北部的最大的集中負荷联接了起来，总干綫的全长約720米，电压为6千伏，干綫上的各段負荷电流見第三章第七节。在干綫的中間，設有三个分岐点，用分支綫分別联接到厂内的几个集中負荷点（图7）。在作这个工厂的供电設計时，曾提出了三个供电方案进行比較。第一方案是設計上采用了的母綫隧道方案；第二方案是在工厂区域内，建立一所大容量的35/6千伏的降压变电所；第三方案是在工厂区域内建立110/6千伏变电所。每个方案均規定双回路供电綫路。設計比較結果，三个方案之投資基本相同（其中第二方案

比第一方案少11%)。总的有色金属消耗以第二方案最多，为112吨；第三方案为82吨；而第一方案消耗的铝为77吨。在电力损失方面，第一方案为1567千瓦，第二方案为2214千瓦。因此设计确定采用了第一方案，其主要理由有四：

(1) 35, 110千伏方案在距区域变电所仅0.8公里处需要再建一个中央大型变电所，因而需要很多的昂贵的110, 35千伏电气设备；

(2) 35千伏方案需经过两次变压，即110/35, 35/6千伏，电能损耗很大；

(3) 母线隧道方案可以节省大量有色金属；

(4) 母线隧道方案供电最为可靠，两回路的互为备用容量为100%，而其它二方案，当一台变压器故障时，则会减产。

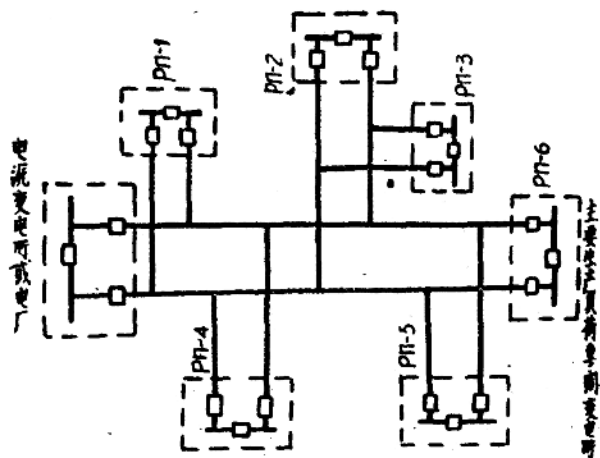


图 1 单电源供电的母线隧道供电系统

在苏联的冶金企业供电设计中，成功的应用母线隧道的例子就更多了，下边举两个例子：一个是在与热电厂相距400米的大型钢铁厂中，其中一个车间内有7台容量为3000~4000千瓦的大型电动机，另外一个车间内有6台容量为4000千瓦的大型电动机。设计时作了两个方案进行比较，一个是用18条敷设在两个单独隧道内并有电抗器的  $3 \times 70$  和  $3 \times 120$

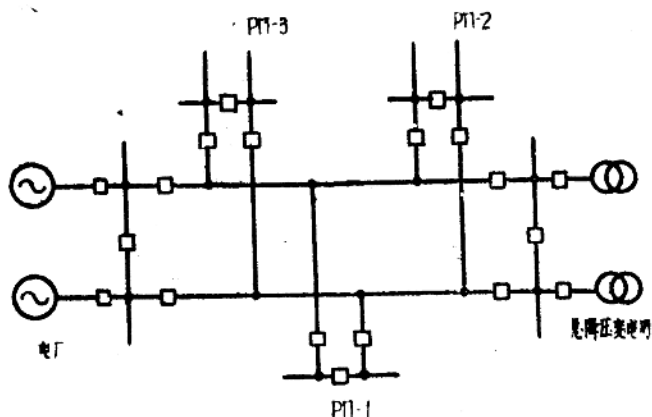
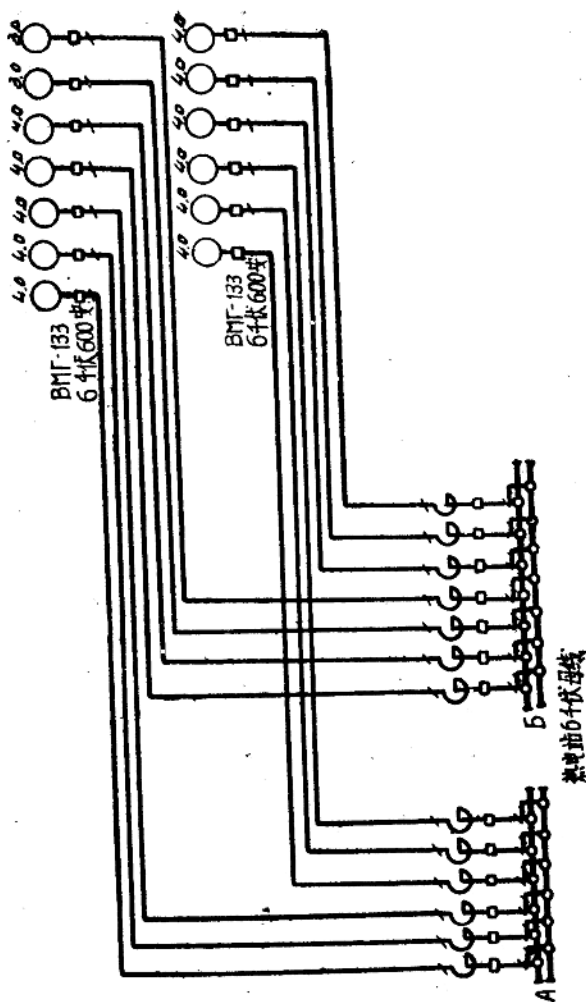


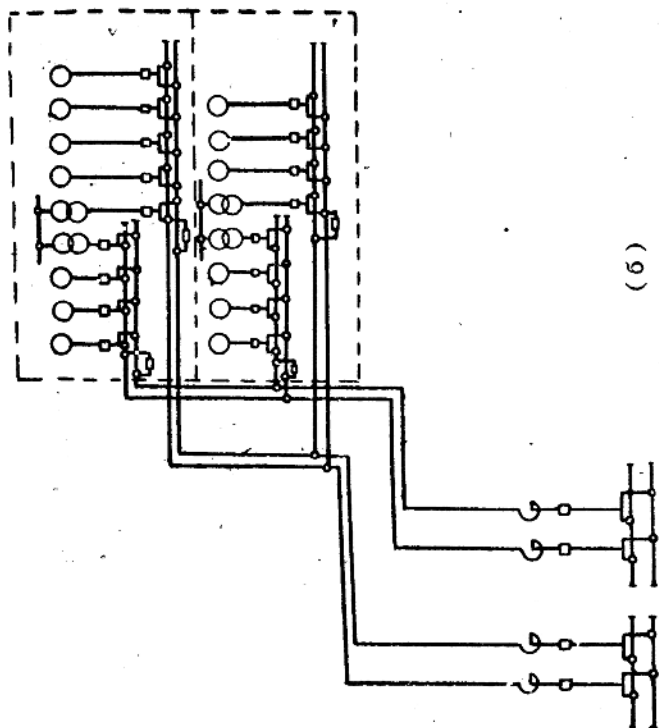
图 2 双电源供电的母线隧道供电系统

平方毫米双股电缆馈电线进行供电；另一个是用敷设在两个隧道内的4条6千伏铝母线进行供电。两个方案比较的结果是：采用铝母线隧道的方案可以节约投资80万卢布，可用26吨铝代替80吨铜，还可以减少年耗电量210兆瓦小时（图3）。

另一个是采用铝母线在大型选矿厂房内配电的例子，原设计也是作了两个方案，一个是按系统在距离选矿厂250米处建设一个35/6千伏的变电所，用6条电缆馈电线对选厂内

(2)





(5)

图 3 一个大型钢铁厂的母线隧道与电缆方案比较系统

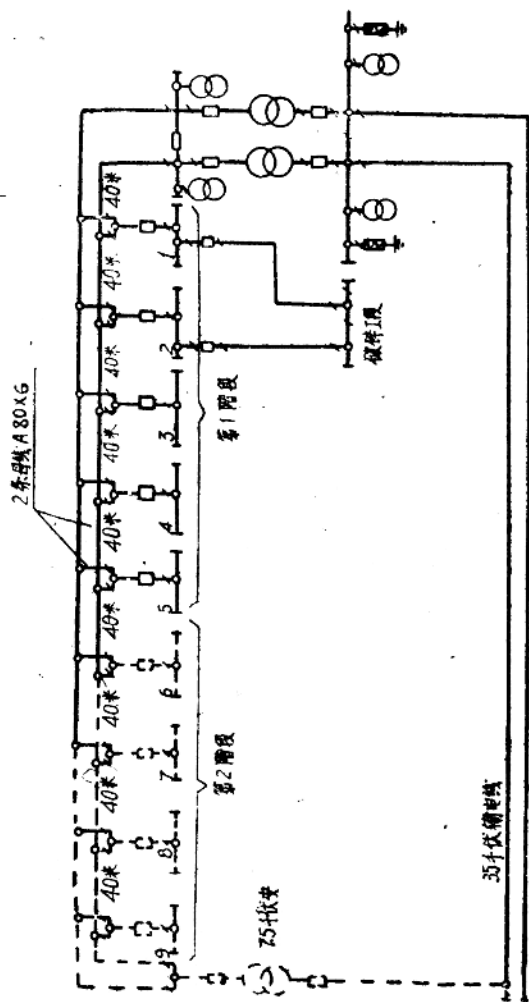


图 4 一个大型选矿厂用 6 千伏铝母线直接配电的系统

車間变电所供电。而另一个方案是把  $2 \times 7500$  千伏安变压器的变电所直接建筑在主厂房跨間的側面，用 2 条 6 千伏鋁母綫采用变压器干綫系統对厂房內的車間变电所直接供电，母綫敷設在厂房內的专用廊里，下面联接开关，再引到厂房內的車間变电所去。当工程扩建时，母綫須延长到另一端，則再在另一端装設 7500 千伏安的第三台变压器供給新增长的負荷。用鋁母綫直接配电的方案可节省 22 万卢布，11.4 吨鉛和 15 吨銅，年耗电量省 46.5 兆瓦小时。

---

### 第三章 母綫隧道設計与电气計算

#### 一、母綫截面大小、形状及数量之选择

如前所述,母綫隧道是輸送大容量的6~10千伏負荷到企业各个配电点上去的,干綫上的电流至少有1500安。因此当負荷容量和輸送距离确定之后,如何正确的合理的选择母綫截面、形状和每相所需之导体数量,在电气設計上是一个十分重要的問題,因为它关系到有色金屬經濟的利用問題,減少电能損失問題,影响电抗的大小及电压損失問題,和母綫之机械强度等問題。因此在具体进行設計时,必須考虑以下几个問題,并在計算后加以确定。

##### 1. 母綫导体容許电流和散热問題

导体的容許电流与导体的表面积有关,也就是与导体的冷却表面有关,因此为了更有效的經濟的利用导体金屬,應該采用导体周界面最大的截面形状。由于圓柱形导体具有較少的冷却表面,故一般設計上不予采用,在很多情况下,都应用了大冷却表面的长方形截面母綫,母綫截面越薄,則其容許电流密度越大,因此从有色金屬的利用观点来講,截面薄是合理的,但是考虑到短路时机械强度的要求,一般均采用厚度在6厘米以上的截面。現在所用的矩形截面母綫最大的为1000~1200平方厘米,很少有用到更大的截面,因为此种形状的截面繼續增加,就会使容許电流密度減少。这就是說,当截面增加时,其单位截面积的冷却表面減少。因此在实际設計中,当負荷电流超过上述单条母綫最大截面的容許

电流时，可采用多条母綫合成一組，組成母綫組，母綫系并排放置，其間隔通常等于母綫的厚度。根据发热条件，这种母綫組中的容許电流密度較之单独敷設为小。这是因为母綫組內的母綫內側表面的散热情况比外表面較差的緣故。此外还应考虑到交流电流的邻近效应問題，所以不宜采用母綫条数大于2~3的母綫組。其允許电流密度下降的情况从下表可以看出：

表 1

矩形截面之鋁母綫允許电流值

| 尺 寸       |             | 电 流 (安)    |      |      |
|-----------|-------------|------------|------|------|
| 长<br>(毫米) | 厚 度<br>(毫米) | 每极或每相的母綫片数 |      |      |
|           |             | 1          | 2    | 3    |
| 100       | 8           | 1625       | 2390 | 3050 |
| 120       |             | 1900       | 2650 | 3380 |
| 80        | 10          | 1480       | 2110 | 3100 |
| 100       |             | 1820       | 2860 | 3650 |
| 120       |             | 2070       | 3200 | 4100 |

根据上述原因，矩形截面母綫在大負荷电流的母綫干綫应用上，是受到一定范围的限制的。因此在实践中就拋出了采用特种截面的槽形鋁母綫的問題，其装配形式及母綫截面形状如图5所示。

这种截面的母綫，在苏联已成为标准化的产品，在我国的大型冶金企业母綫隧道建設中，也已采用。它的最显著之优点是冷却表面积大，散热情况好，与同一截面的矩形母綫

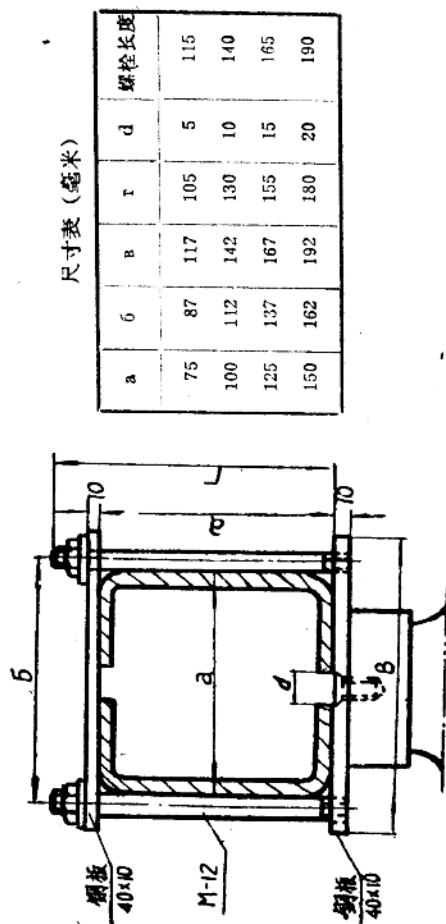


图 5 槽型铝母钱装配图