

国际大电网会议论文选译

# 输电系统

1972

水利电力部科学技术情报室

## 出版说明

第24届国际大电网会议是1972年8月在法国举行的。会议共有论文154篇。为了供有关同志了解当前国外高压电网方面的技术动向，我们组织选译了其中大部分，将陆续按专业分专辑出版。参加这一专辑编译工作的，有水利电力部“五·七”干校、科学研究所电力室和列车电业局的同志。

译稿中有错误和不当之处，请批评指正。

1972年国际大电网会议论文翻译小组

1973年9月

## 前 言

本届会议的31专业小组（输电系统）共提出论文15篇，其中关于超高压输电电压等级的有2篇（31-02、31-04）；关于现有超高压线路的运行经验和试验结果的有2篇（31-09、31-10）；关于未来特高压（即1000千伏及以上的电压级）输电线路的设计参数、元件、结构、可靠性的评价等各方面问题的有6篇（31-03、31-07、31-11、31-12、31-14、31-15）；关于改进输电性能的技术措施的有2篇（31-01、31-13）；另有关于事故统计和停电损失的（31-06）以及有关原子能发电厂及其系统的（31-05）各一篇。从上述论文中我们选译了9篇，另外译出了专业报告（31-00）所附的讨论纪要；关于直流输电系统的一篇论文（31-08）将列入直流输电的专辑内。

本届会议第31专业小组的中心议题是研究未来的超高压和特高压交流输电线路的具体方案。对现有超高压输电系统（例如美国的765千伏和加拿大的735千伏）的设计、运行和试验结果进行了总结，以便用以改进现有超高压输电系统的设备性能。这些研究成果对确定超高压和特高压系统的设计参数和技术经济指标也有参考意义。有些国家利用试验线路和试验室对未来特高压输电线路进行了研究，某些制造厂对有关电气设备也进行了研究，研究结果都表明：在现有的技术水平下，1500千伏（甚至更高）的特高压交流输电线路是可以实现的。具体讨论了特高压线路在不同国家的合理电压等级，对绝缘间距、线路杆塔结构、各种电气设备、输电可靠性和有关经济核算的方法和指标等问题进行了讨论。还有一些问题需要进一步研究，如：特高压线路的静电感应效应、电晕及所产生的噪声和干扰、某些电气设备、自动化及保护装置等等。

为了改进系统运行性能，研制了可控并联电抗器和制动电阻（31-13、31-01），并已投入运行。可控并联电抗器除可用于超高压和特高压输电外，还可与并联电容器联合运行，这可能是将来解决小系统中大冲击负荷的较好办法。与同步调相机相比较，这种静态装置可能更为可靠和简便。

利用事故统计和停电损失的数值（31-06）可以为改善设备或电气接线方式等方面的方案选择和规划、设计以及运行中的技术经济比较提供参考。

在英国关于快中子增殖反应堆发电厂的论文（31-05）中，介绍了有关这种原子能发电厂的一些系统性问题，例如：关于负荷、稳定性、故障后用电动机恢复正常运行的能力、与系统断开后的安全性能等等。我们译出了这篇论文的提要，连同其余3篇未选译的论文提要一并附后。

专业报告（31-00）对第31组所有论文作了综述，并提出了供会议讨论的题目。为使有关同志了解本专业的讨论简况，我们将其附件（讨论纪要）译出供参考。

# 目 录

## 前 言

## 报 告

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| 瑞典未来输电电压的研究 (31-04) .....         | ( 1 )  |
| 魁北克735千伏输电系统的最佳化 (31-10) .....    | ( 14 ) |
| 765千伏长线路的试验结果和分析 (31-09) .....    | ( 21 ) |
| 美国和瑞典的特高压研究计划三年总结 (31-03) .....   | ( 28 ) |
| 关于特高压交流输电线路的设计 (31-12) .....      | ( 39 ) |
| 1000千伏以上输电线路设计参数的研究 (31-15) ..... | ( 50 ) |
| 系统制动电阻的研制 (31-01) .....           | ( 69 ) |
| 三相可控并联电抗器 (31-13) .....           | ( 78 ) |
| 用于系统和设备设计最佳化的事故统计 (31-06) .....   | ( 92 ) |

## 附 录

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| 第31专业小组 (输电系统) 讨论纪要 (31-00) 附件 ..... | ( 101 ) |
| 当里原子能试验电厂及其系统方面的问题 (31-05) 提要 .....  | ( 106 ) |
| 关于特高压输电系统可靠性的研究 (31-14) 提要 .....     | ( 107 ) |
| 印度超高压系统规划工作中的若干考虑 (31-02) 提要 .....   | ( 108 ) |
| 1200千伏特高压输电线路特性 (31-11) 提要 .....     | ( 109 ) |
| 安大略省对输电线路紧凑化的研究 (31-07) 提要 .....     | ( 110 ) |

# 瑞典未来输电电压的研究

(31-04)\*

## 提 要

目前瑞典的电力供应主要还是依靠水电。从1952年起,就用400千伏电压把北方水力发电厂的电能输送到南方负荷地区。但是,日益增加的电力需要将越来越依靠南部地区的火电厂。由于环境问题的影响,只能得到相当少的电厂厂址,其结果使电厂的规模极大,并在各个地区之间要求大容量输电。对比,需要研究更高的输电电压,首先是750千伏。

研究结果表明,最近的将来,瑞典不会单纯由于经济理由而采用750千伏,当然更不会采用比这更高的电压,但是采用750千伏所增加的投资并不大。除此之外,选用750千伏可减少新建线路所需的路径通行权;从环境的观点看,也有一定的优越性;同时,还可减少故障电流并能增加电网设计中的灵活性。因此,已决定开始进行研制工作,以便在1980年前后在瑞典投入750千伏系统。在这项工作中将与北欧其他国家进行合作。

## 1. 电力系统的发展及现状

瑞典的电力供应主要还是依靠水电,在正常气象条件下,占每年总供电量的80%到90%。水电资源主要在北部地区,而负荷大的区域却都位于瑞典的中、南部。二十世纪三十年代中期,在北方开始发展水电,因此,需要从北向南高压输电。为此,选用了220千伏的电压,经过大约十五年,发展成一个包括六条从北向南的220千伏线路的系统。在四十年代末期,需要发展更高的电压,第一条400千伏线路于1952年投入运行。目前,南北输电电网包括六条400千伏的线路,与较早的220千伏系统并列运行,第七条400千伏的线路将在1973年投入运行。到那时,输送能力将为700万千瓦左右,平均输送距离约为800公里。

与南北输电电网发展的同时,为了更好的输送和分配电力,在瑞典的南部和中部,对220和400千伏系统也进行了扩建。

当设计中的一些线路建成后,1975年前后瑞典的400千伏系统的地理结线将如图1所示。

---

\* 作者G.JANCKE, T.JOHANSSON & O.EDBERG瑞典国家动力局(瑞典)。

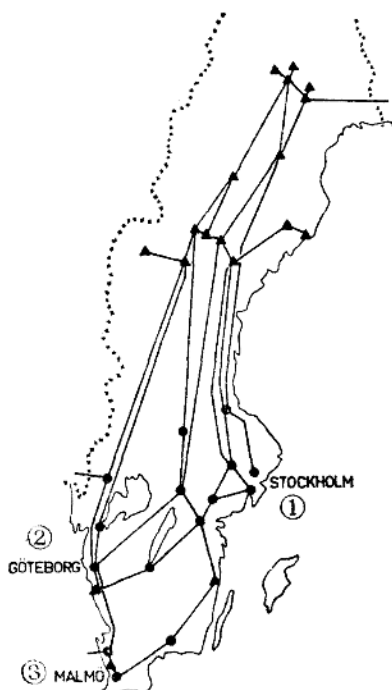


图 1 1975年前后瑞典的400千伏系统

1—斯德哥尔摩；2—德哥堡；3—马尔摩

大致分配情况。水电只有很小的增加，这是因为开发剩余资源需要增加的投资较多，并且来自保护自然资源的阻力不断加强。为了综合供应热和电，背压式电厂已被大范围采用，这主要是烧油电厂。但如果在居民聚居区附近能够建立原子能电厂，则原子能电厂将占一定的比例。但是，应当注意，即使是对所有大中城市全部供热，也仅仅用掉供应全国电能的火电厂中冷却水的热含量的四分之一。因此，新增加的电力生产主要来自只生产电力的发电厂。由于环境和经济两方面的原因，这些电厂可能是原子能电厂。

电能已经在很大程度上取代了其他形式的能，大大影响电能发展的因素是成本的有利趋向，以及由于用户从环境观点看到的优越性。至于电力的生产、输送以及分配，无疑的还存在着许多环境问题。结果只有相对的少数几座厂址适合建设电厂。可以看到这

## 2. 决定未来电网发展趋向的因素

### 2-1 负荷发展预测

在电力工业中，电厂和输电系统的建设时间较长。因此，电力企业的规划和电力供应政策的制定都需要长期的预测。从1948年起，瑞典电力企业的联合机构——中央运行管理处，每隔五年就进行一次这样的分析。

根据目前仍然有效的近期预测，未来电力消耗将迅速增加，且在总能量消耗中电能的比重将有相当大的增长。目前，每年每人的耗电量约为8000度，估计在七十年代中，每年将增长8%，而在随后的十年中，增长率将稍为放慢，约为7%到5.5%。1985年及1995年按地区划分的最大负荷如图2所示。

### 2-2 生产设备

图3指出各种不同类型的电厂在电力生产中的

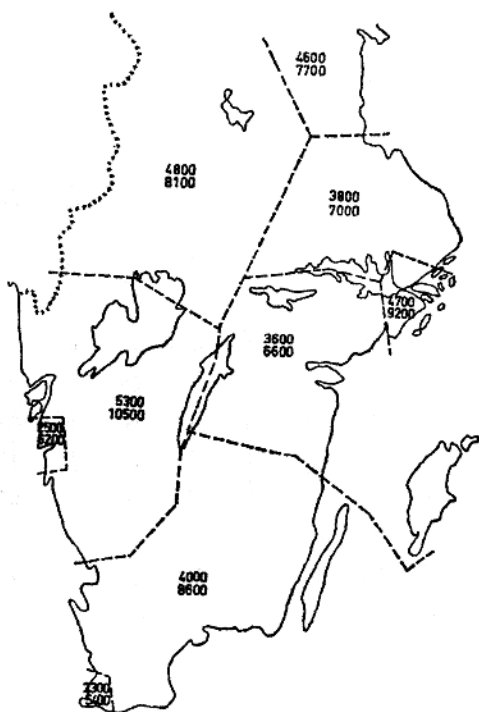


图 2 1985年和1995年瑞典按地区划分的电力消耗， $10^8$ 瓩

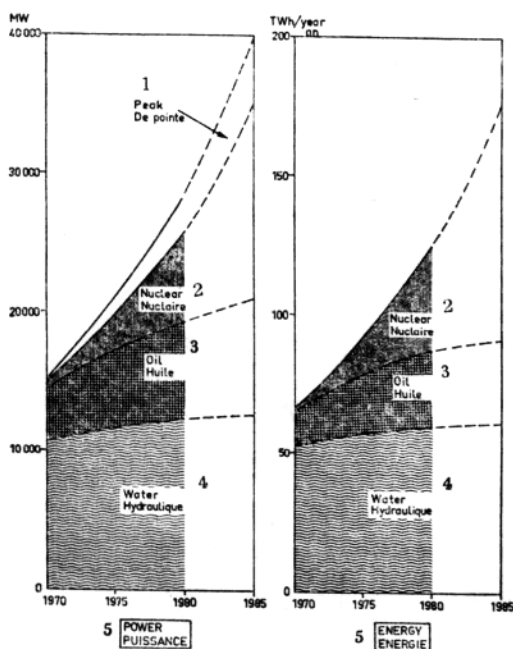


图 3 1970~1985年期间不同型式电厂在电能生产中分配的估计

1—峰值；2—原子能；3—燃油；4—水力；5—左图为功率，右图为电能；纵坐标—右图 $10^3$ 瓦，右图10亿度/年

样的事实，将有高达1200万瓩的容量集中在某几个厂址，而由于电气方面的安全运行问题，可能又不得不分成几个电厂。这些电厂将选在沿海岸地区，那里有很好的吸收冷却水热含量的场所，而且距负荷中心较近。将采用经济效益较大的大机组。现已安装了80万瓩的机组，将来单机容量可能增加到150万瓩至300万瓩。

### 2-3 与邻国的联网

挪威电力供应全部依靠水电。因为水电资源的开发费用较少，而且在国内的分布也较好。已经证实，那里在不冻港口附近和负荷中心都有可能建设大容量电厂。因此，不象瑞典那样明显地需要长距离大容量输电。那里，系统电压选用了220千伏。当需要输送更多的电力时，只要用适当的投资把系统中性点从原先的消弧线圈接地改为直接接地，就能把电压提高到300千伏。

丹麦的电能主要由火电厂供应。大贝耳特海峡把这个国家分成了没有直接电力联系的两个部分。由于距离短，采用150千伏的系统电压，至今还是足够的。可是，在日德兰，为了国内应用及与西德联网，已经建成了400千伏电网的第一部分。目前暂时以220千伏电压运行。到1974年，西兰岛将用400千伏海底电缆与瑞典连接。

与邻国相比，芬兰的水力资源更有限，而且开发费用较大。目前水电占电力生产的45%。和瑞典一样，开始采用了220千伏的大容量输电，以后又采用了400千伏。

北欧各国的共同特点是人口较少，在四百万到八百万之间。所以很自然地在电力供应的初期阶段，就已经进行了合作。长期以来，北欧各国的电力企业之间就相互连接。目前，瑞典用一条400千伏线路和四条220千伏线路与挪威连接；用一条400千伏和一条220千伏线路与芬兰连接；用四条130千伏电缆与西兰岛连接如上所述，还将增加400千伏的海底电缆，并且要用一条250千伏高压直流输电线路与日德兰连接。

图 4 表示北欧输电电网。

北欧国家之间需要联网运行的重要原因是：首先，目前及今后若干年（七十年代的绝大部分时间）挪威的电力生产几乎百分之百是水电，两邻国的火电厂已在系统中占相当大的比例，并且比例还在迅速增长。水电系统需要有生产备用，以备枯水年份使用。可是，在丰水时期，又有部分多余电力可供至联合系统，以节省火电厂的燃料。

其次，因为有了大容量的联络线，各个国家都可以装设大机组，因而可以降低电力生产的成本。这些大机组能在短时间内就达到满负荷运行，故可以把它们生产的一部分电能

暂时输给邻国。最后，联网可以在大范围内使用公共储备。

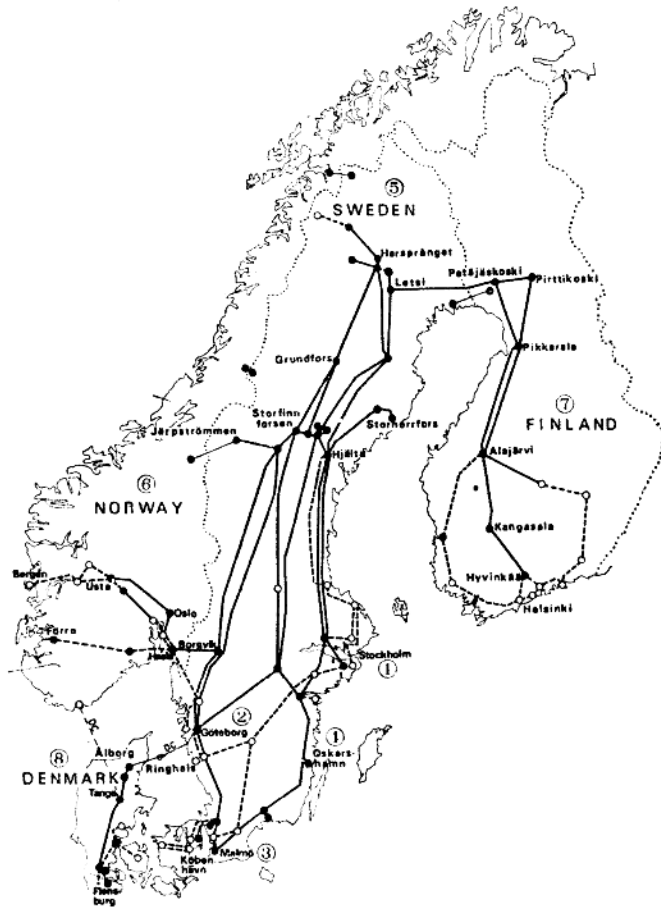


图 4 1971~1980年期间北欧高压电网

- 1—斯德哥尔摩；2—哥德堡；3—马尔摩；4—奥斯卡汉；5—瑞典；6—挪威；7—芬兰；8—丹麦；  
 —— 400千伏线路；  
 --- 正在建设或设计中；  
 DC 直流连接；  
 —— 互联(220千伏及较低电压)。

## 2-4 短路电流

在瑞典电力系统中，短路电流增长的问题日趋严重。十分清楚，在将来短路电流将达到更高的数值，必须用某些措施将它限制在一个可以接受的水平。为此目的，最近开始对将来限制短路电流及控制它的各种可能方法，进行了研究。

通过这个研究，可得出结论，假使瑞典电力系统仍按最高系统电压400千伏继续发展，

则在本世纪末，短路电流将达60千安。目前，短路电流最高值出现在400千伏电网中，其数值超过30~40千安，而对线路和开关设备来讲，当短路电流为30~40千安时，还不需花费很多的加强措施，就能够继续使用。

举例说，如果把750千伏引进这个系统，并且绝大多数新的大型发电机组能（通过变压器）直接和这个电压连接，则对降低短路电流值将有很大效果，特别是对400千伏系统。图5所示为400千伏系统短路电流在1995年的分配情况：实线为400千伏仍作为系统最高电压时的情况；虚线为在1980年把750千伏引进系统时的情况。

从图中可以看出，由于引进较高电压，整个短路电流的水平可以显著降低，最高值可以从60千安降低到40千安。

此外，在132千伏系统中，短路电流也将达到不能接受的数值，但引进较高电压对这些数值的影响却是比较小的。这个问题必须用其他方法来处理。

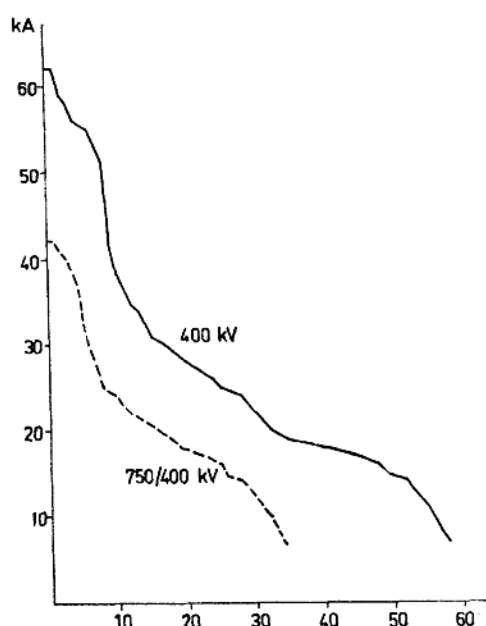


图5 1995年前后短路电流的分配  
最高系统电压400千伏(—)和750千伏(---)

### 3. 未来输电电网的研究

#### 3-1 400和750千伏之间的一般比较

为了给实际输电系统的研究提供经验，研究了许多理论上的系统。对半径和负荷都变化的圆形负荷区进行了研究，同时对输电距离也给以变化。

研究过三种形式的输电系统，即：

(1) 一个单纯的400千伏系统，在发电厂以22/400千伏升压，而在负荷地区以400/132千伏降压。

(2) 一个单纯的750千伏系统，在发电厂以22/750千伏升压，而在负荷地区以750/132千伏降压。

(3) 一个750/400千伏混合系统，在电力系统以22/750千伏升压，而在负荷地区以750/400和400/132千伏降压，也就是说，输电用750千伏，而负荷地区的配电用400千伏。

用计算机研究了电网有关负荷潮流、电压的保持、损耗、无功功率等等，然后，计算出全部输电成本。

已经发现，不同电压的系统的单位输电成本，用输电功率和输电距离的函数就能很好的表示出来。如果用这两个数量的乘积来表示输电特点，参照图6所示两种不同数量的输送功率，发现单位输电成本将随着万瓩公里这个因素而变化。当能量传输低于某个万瓩公里数值时，用400千伏系统显然比较便宜，而在较高的数值时，则用750千伏更经济。经济界限由输送功率的数值来决定。从图6可以清楚的看到，750/400千伏的混合系统总是比单纯的750千伏系统要昂贵，但在大容量输送的条件下与400千伏不相上下。自然，成本界

线与所选用的条件关系很密切，在计算中所用的成本数据也是这样。然而，用这些普遍的关系与后来对实际系统的计算进行比较，其结果是相当一致的。

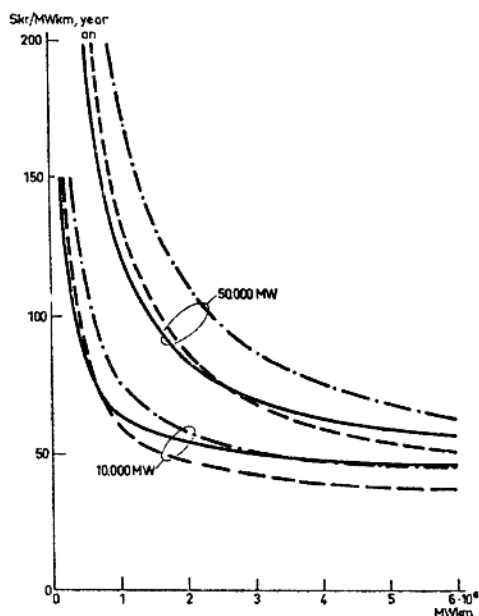


图 6 400千伏系统(—)、纯750千伏系统(---)和750/400千伏混合系统(-·-·-)的单位输电成本  
纵座标-瑞典克郎/10<sup>3</sup>瓩公里、年；  
横座标-10<sup>3</sup>瓩公里

### 3-2 南-北输电

根据现在的生产发展计划，1980年前后，瑞典从北到南的最大输送容量将为600万瓩左右，如果从瑞典北部供应的水电更多一些（但费用要大些），或者北部耗电的增长较目前预测的要慢一些，则在1980年输送量可以达到800万瓩。这就需要在此现有的六条之外，再增加两条400千伏线路。在这种情况下，正在考虑修建一条从北到南的750千伏线路，以代替上述两条400千伏线路，目前已从工程和经济两方面进行研究计算。在上述研究工作中，北方生产地区和南方负荷地区之间输电系统的略图表示在图7和图8中。

经济比较的结果表明，在这个系统里，为了使750千伏的发展比400千伏的更为有利，必须使现在所预测的1980年输送600万瓩的长期输电容量，至少要再增加200万瓩或更多时才行。而且，由于输电能力增长所增加的电力生产，还要由位于瑞典最北方的电厂来供应。如果输送距离较短，400千伏方案将是同等经济的，如果再加上输送容量的需要也比较少的话，那400千伏方案还要更经济一些。

实际上，目前还没有考虑到瑞典北部的电力生产发展能达到把长期输电能力增加到800万瓩的规模，这样看来，就没有什么理由一定要把750千伏引进南-北输电系统。因此已经决定，为了加强输电系统，象早先指出的那样，需要在1973年建设从瑞典北部到中部的第七条400千伏线路。

### 3-3 瑞典南部的电网

在瑞典的中部和南部，发生了这样的情况，是继续把400千伏当作最高系统电压使用，还是引进750千伏系统；在后一种情况下，400千伏电网的继续扩展就很小了，关于这个问题正在进行研究。

已经假定750千伏的引进可能在1980年左右出现，那时，第一个原子能电厂估计能达到使750千伏线路得到合适负荷的规模；如果仍然使用400千伏，则需要相当多的线路。第一条750千伏线路及与之相联的电厂的技术研制、规划和建设，大约需要八年时间，而在1980年能相互配合在一起投产。在研究1985年和1995年两个方案时已对电网轮廓及年费用进行了调查。

在发电厂，将直接从发电机电压升高到输电电压，400千伏或750千伏。

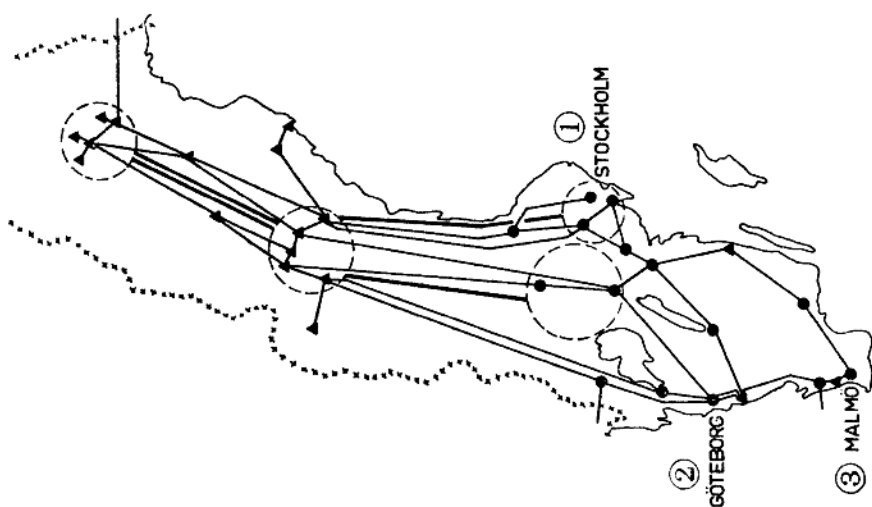


图 8 用400千伏发展的南-北输电系统  
1—斯德哥尔摩；2—哥德堡；3—马尔默

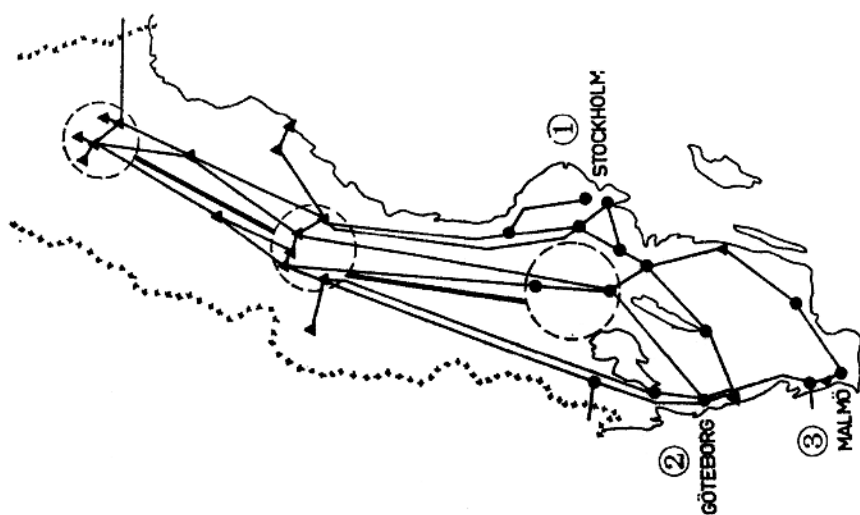


图 7 用750千伏发展的南-北输电系统  
1—斯德哥尔摩；2—哥德堡；3—马尔默

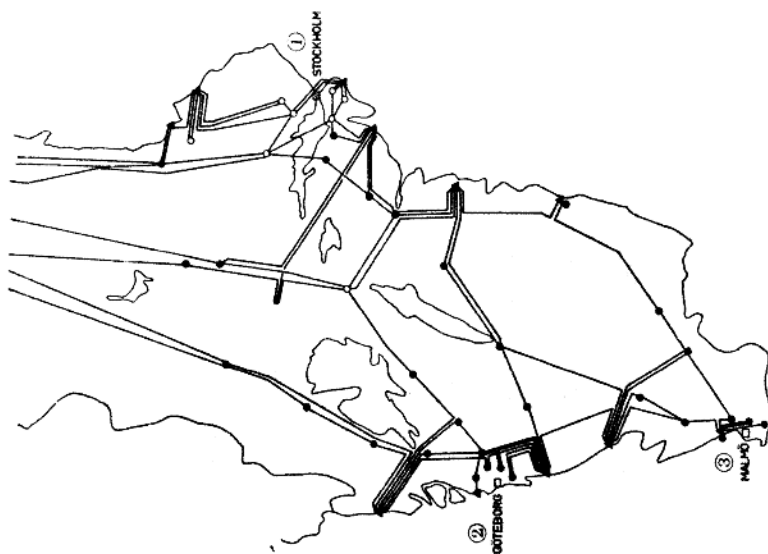


图 9 1995年单纯400千伏方案的电网轮廓图。  
电力生产平均分配在波罗的海海岸和西海岸之间  
1—斯德哥尔摩；2—哥德堡；3—马尔默

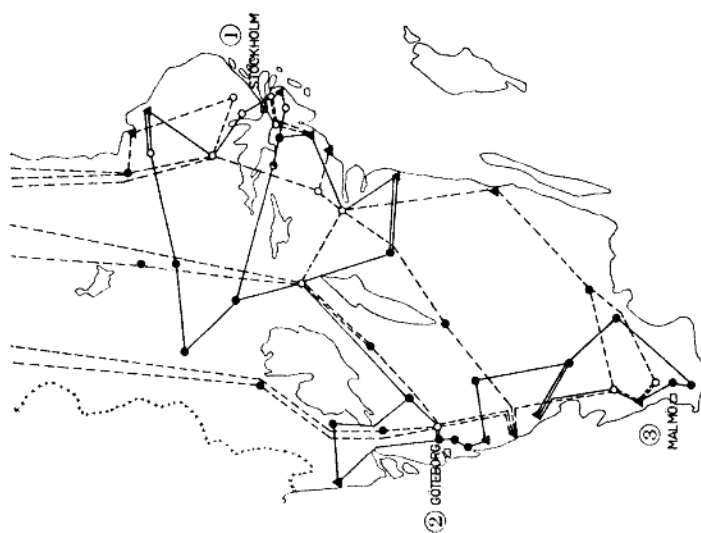


图 10 1995年750千伏方案的电网轮廓图。  
电力生产平均分配在波罗的海海岸和西海岸之间  
1—斯德哥尔摩；2—哥德堡；3—马尔默

受电端，在斯德哥尔摩附近地区将保持220千伏作为配电电压，而在瑞典中部和南部其他地区则采用132千伏。当全部建成时，400/220千伏和750/220千伏变电所采用的额定功率将为300万千伏安，而400/132千伏和750/132千伏变电所的额定功率将为200万千伏安。750千伏方案将需要某些750/400千伏系统变电所，其额定功率为300万千伏安。

在1995年这一阶段，图9所示的电网图是单纯的400千伏方案，有八个发电厂，每个出力为600万瓩，其中四个在波罗的海海岸，四个在西海岸。图10表示750千伏方案的轮廓，早先建成的400千伏系统也包括在内。

也研究了电力生产不均衡分布对两个系统方案的选择有何影响。例如，图11表示单纯的400千伏方案，而图12表示750千伏方案，二者都是1995年的电网轮廓，假定那时有3300万瓩安排在波罗的海海岸，而有1800万瓩安排在西海岸。

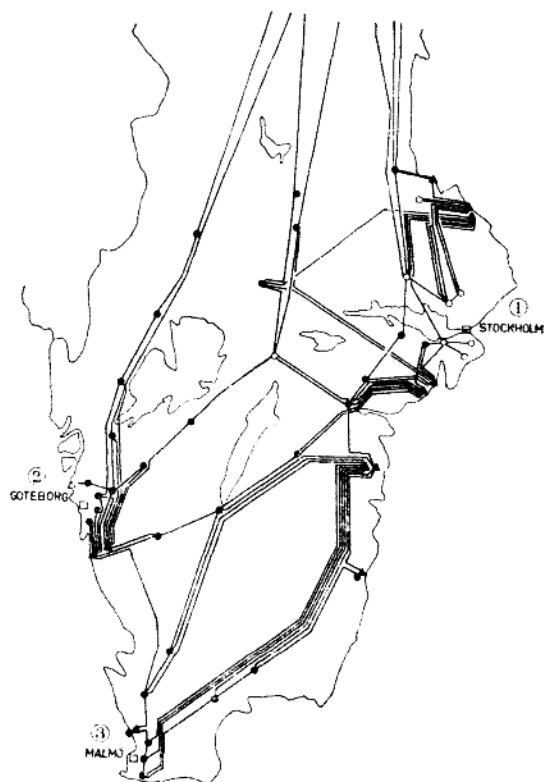


图 11 1995年单纯400千伏方案的电网轮廓图。  
电力生产主要安排在波罗的海海岸  
1—斯德哥尔摩；2—哥德堡；3—马尔默

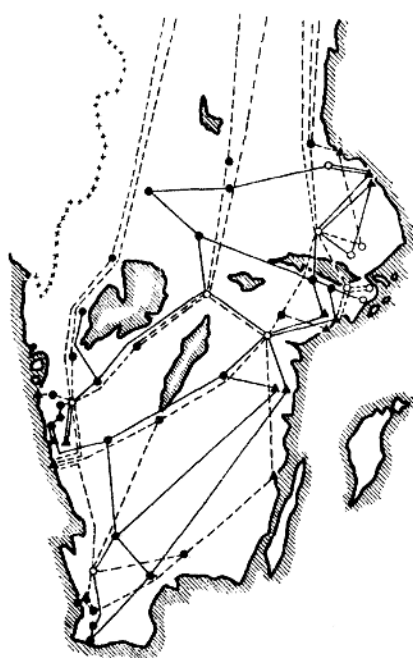


图 12 1995年750千伏方案的电网轮廓图。  
电力生产主要安排在波罗的海海岸

在所有的研究方案中，都试图使电网在稳定和电压方面的条件相等。没有使用串联电容器，因为线路通常是比较短的。如果经过更加仔细的研究，就会发现在某些情况下使用补偿是合适的，这种可能性当然不能排除。

经济比较的结果表示在图13中，它说明不同方案之间的比较价格如何根据在波罗的海和西海岸之间的电力生产安排而变化。看来好象是：在能得到最低的系统成本的生产安排

的情况下，在所研究的两个年代中，继续发展400千伏电网都是最经济的方案。如果要使750千伏能够在被引进以后的五年内成为比较经济的，那就必须把这五年所增加的电力生产都安排在波罗的海海岸。再过十年之后，电力生产的65%将分布在波罗的海海岸，而35%在西海岸，若用功率来表示，则大致分别为3300万瓩和1800万瓩。

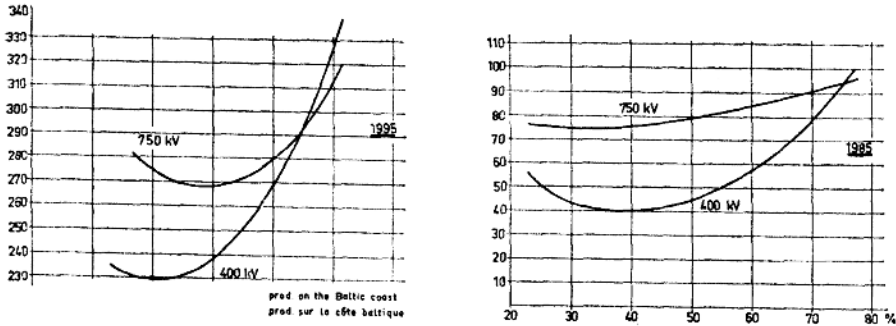


图 13 对波罗的海海岸和西海岸之间电力生产分配进行成本比较的依据  
横座标—波罗的海海岸电力生产的百分数

总起来讲，可以说，研究工作并没有提出在最近的将来应该把750千伏系统引进瑞典的经济理由。但是，另一方面，引进更高电压所引起的附加费用比电力生产和输送的全部费用的百分之几还少。此外，在研究中所做的假设也是很不可靠的。特别是，由于750千伏是一种尚未普遍使用的电压等级，将来它的投资会逐渐降低，因此，与400千伏电压比较，将来很有希望能对750千伏有利。

从图13也可得出这种结论，假使由于其他社会原因，电力生产必须安排在某些单纯从电力供应的观点来看不是最有利的地点，那时采用更高的电压级就会使由此而增加的费用显著减少。同时，这样做也使各发电厂厂址中新机组的选择更为灵活。

如果北欧国家之间将来要建设强联系的联络线，特别是在将来与挪威联网时，使用更高的输电电压可使这些联络线的回路数减少。

研究工作已考虑到1980年还要用400千伏电网，因此就不可能存在一个单纯的750千伏方案。这是对更高电压的一个不利条件，而且，很明显，决定推迟引进较高电压的时间越长，则从经济观点来说明引进的合理性就越加困难。从电网的观点看，第一个750千伏装置投产的合适时间约在1980年，因为那时在波罗的海海岸的伏尔斯基原子能发电厂的第三台机组和在西海岸的瑞恩哈罗原子能发电厂的第五台机组已具备运行条件。如果要使必要的研制工作能及时完成，以便得到瑞典具体情况下的最佳技术和经济效果，则从基本上决定起到第一个750千伏装置投产，约需八年的时间。对此，在负责扩建的组织（即瑞典国家电力局）内，正在进行讨论。

### 3-4 选用750千伏以上电压的可能

看来十分清楚，为了将来的输电需要，必须把新的更高的电压引进瑞典，而首批这样装置投产的合适时间大约在1980年。目前仅对750千伏进行了研究。然而，也有理由选择更高的电压水平，也就是1100千伏。在正常情况下，从400升到1100千伏的步骤，在技术上和经济上都比从400到750千伏的步骤更为有利。在西欧，1100千伏大概将被选作一个共

用的电压, 所以这种电压等级的设备将得到广泛使用, 予期其价格也会逐渐降低。

750千伏线路的自然功率约为200到250万千瓦, 随导线的结构和运行电压而定, 而1100千伏线路的相应值是400到500万千瓦。如果选用合适的导线截面, 长度为300公里线路的最经济负荷约为自然功率值的两倍。预测表明, 1995年在斯德哥尔摩的总负荷将是920万千瓦, 在哥德堡是620万千瓦, 在马尔摩是540万千瓦, 其中一部分将由区域性电厂供应。由于运行安全的原因, 通到这些地区的线路至少要用两条。这意味着, 不论选择那种电压等级, 都要有同样数目的线路。对于在计划中的其他地区的许多变电所, 假定每个变电所的额定容量为200到300万千瓦, 采用较高电压不但没有任何明显的优点, 而且实际上会使费用有所增加。上述研究工作还表明, 在1980年, 甚至在1995年, 引进750千伏是否会比运行费用比单纯400千伏电网的更低, 还是有疑问的。假使选择了1100千伏, 可以设想, 必须经过一段较长时间以后, 电网才可能取得较好的经济效果。最后, 值得注意的是, 750千伏系统早已在加拿大、美国和苏联运行。所以有时间克服这种电压等级的设备的初期困难。并且技术上也有了发展, 例如, 已有能连接到750千伏电网的合适容量的同步电机。如果选择1100千伏, 就需要在研制工作上做出更大的努力, 于1980年投产是很困难的。首批投产电网中所使用的电器设备的制造也会遇到相当大的困难。

### 3-5 由于环境要求而提高电压

如在本文3-3节中所说明的, 在随后十年内把750千伏系统电压引进瑞典不能在经济上得到严格的论证。同时, 很明显, 从长远的观点看, 如果负荷的发展象原先预料的那样, 就有必要建设一个能输送较大容量的系统, 而这用400千伏电压是不能合理解决的。引进新电压等级的决定拖延越久, 说明其合理性就越加困难。

在过去的研究中没有注意到环境问题, 因为今天还不可能在经济上对此进行估算。但无论如何, 今后要得到一条新的线路走廊是更困难了, 这一方面是由于环境协调问题, 另一方面是由于社会上为其他目的而使用土地的需要。

从环境的观点看, 750千伏单回线路比400千伏双回线路对环境的干扰较少, 而前者的输送电力又两倍于后者(图14)。在1995年这一阶段, 估计因采用750千伏而减少的占地约为100平方公里。这项费用在图13的比较中已按今天的地价计算。这就有理由说明, 在瑞典南部和中部, 其费用的增加至少是2瑞典克朗/平方米(0.4美元/平方米), 当环境的影响也包括在内时尤其是这样。这就意味着对于400千伏方案要有两亿瑞典克朗的额外支出, 即每年二千万瑞典克朗的费用。这样, 在两个方案之间费用差别的基本部分就抵消了。

根据图5, 如果继续扩建400千伏, 而不引进更高电压, 则在这个电压等级的短路电流, 在1995年将达到60千安, 而750千伏方案的短路电流将被限制在40千安。现在制造的设备其短路电流最大值为30到40千安。加固或者改造的额外费用可能是一个相当大的数字, 这项费用也没有包括在经济估价之内。尤其可以看到, 以感应电压形式出现的大零序电流对电信和低压线路的影响, 和靠近故障点和电厂间的电位差, 都会在大地上导电率很坏的瑞典引起困难。另外, 400千伏方案对“电磁污染”问题也需增加费用, 这也没有包括在比较之内。

最后, 应当注意到, 在已完成的研究工作中所用的技术数据和费用都是1969年的情况, 那时候750千伏设备的运行范围还不小, 时间也不长, 而400千伏差不多已在二十年前

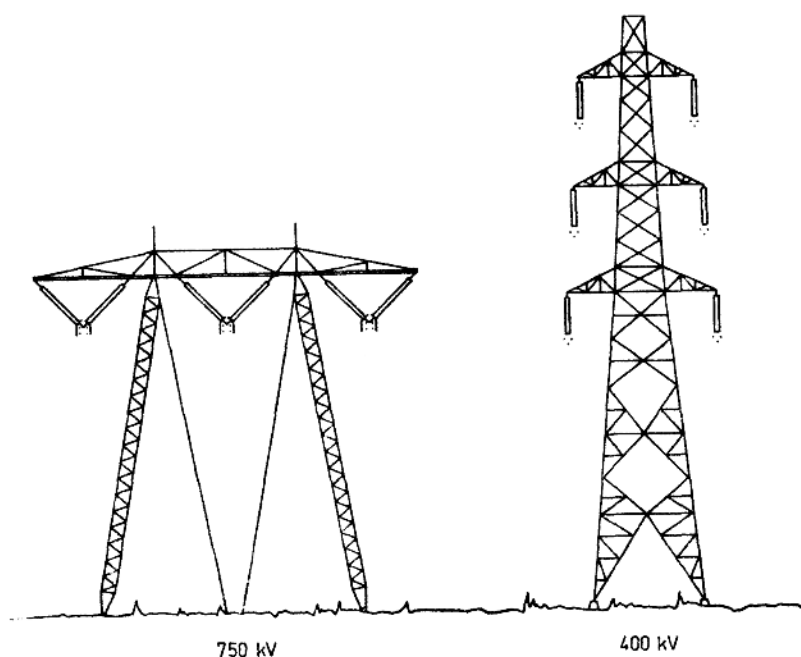


图 14 750千伏单回路铁塔和400千伏双回路铁塔。输电能力的比例约为2:1

就大规模应用了。

从最近几年的现场试验和运行经验以及在超高压领域内进行的深入研究和研制工作来看，可以得出结论，正在计划建设的 750 千伏电网能够采用更低的绝缘水平，因而能降低费用。而对 400 千伏系统的相应费用的影响是很小的。

### 3-6 关于电压选择的决定

考虑到这些因素，瑞典国家电力局决定开始一项研究工作，以便使 750 千伏成为大电力系统将来扩建时的电压。

就现在能够判断的情况看，希望第一套 750 千伏的装置能在1980年左右投产，那时第一个大型原子能电厂将达到能给750千伏线路以经济负荷的规模，如果采用400千伏，将导致过多的线路路径通道数目。

从1965年起，750 千伏设备已经在加拿大、苏联和美国运行，因此只需要进行适当的研制工作。主要是针对与电网质量有关的地区条件，气象和地形条件，各种干扰的容许水平，国家安全规定等等。另外，外国的经验和最近的技术发展也应予以使用。

位于安奈堡的高压直流试验用的试验站，将得到扩建，以进行 750 千伏的交流设备试验。重点将放在与线路和开关设备设计有关的机械和电气方面的试验。

为了确定设备的技术数据，将与其他北欧国家的电力工业进行合作，另外，也要与制造工厂合作，以便使制造厂的产品研制与电网结构相协调。

直到1980年以前，还不需要 750 千伏设备，因此，可以有八、九年时间来进行技术基础数据的决定、试验、规划、设计和建设等工作。这段时间符合今天瑞典有关行业用电增

长的需要。

在第一个750千伏的装置投入运行后，新的750千伏线路和变电所就可能在做出决定后的四、五年内投入生产。

## 4. 结 论

甚至在人口较少和中等的市区面积的国家里，仍然需要有比300到500千伏系统输送容量更大的输电系统。

主要原因是由于耗电的迅速增长，以及经济和环境条件等原因促使大容量原子能电厂出现。

由于环境方面的要求提高了，所以对每个单独的路径通道的使用必须更为严格。

然而，对一个面积小的国家，750千伏是完全足够的，因为在特高压范围内（750千伏以上）所用的电压等级不能大量减少占用的土地，而环境污染问题却更大并带来较多的技术问题，这些都是难于克服的。