



## 专题：我国电网电压等级的发展

电压等级的确定  
是电网建设发展中的重大问题！

## Thomas Edison

爱迪生用电给我们带来了照明

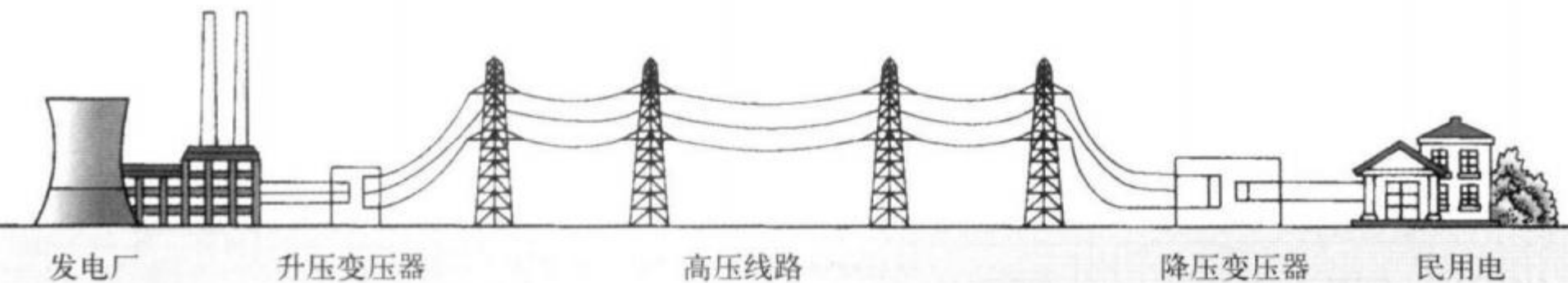
## Nikola Tesla

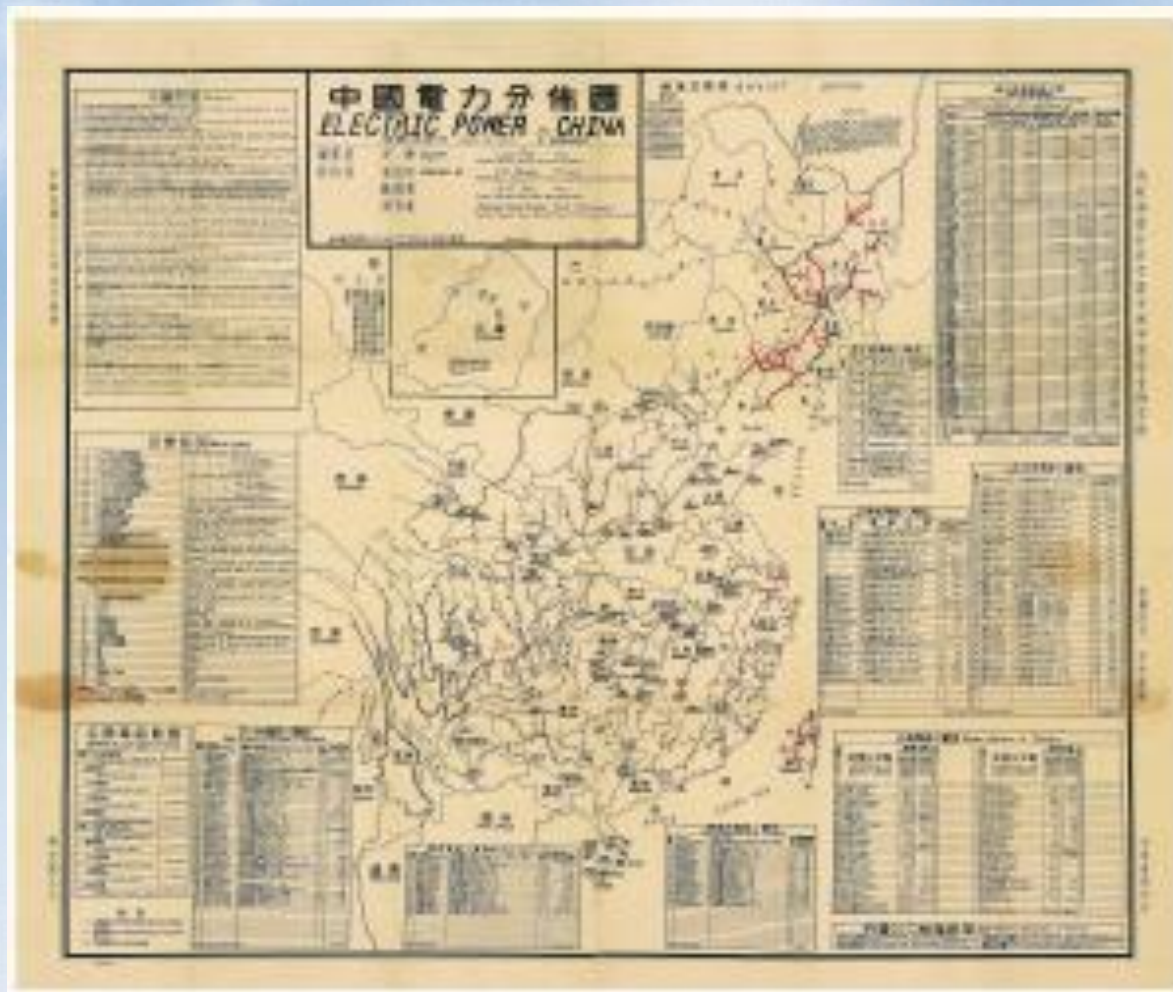
特斯拉用电给我们带来了动力

电能的大规模传输是电气化得以普遍应用的基础

无论是交流还是直流，高压输电是实现电能大规模传输最主要的技术手段

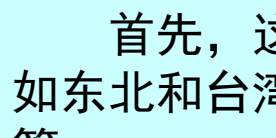
- 交流输电系统因为大范围联网，必然要求网内是同一个电压（不同电压等级之间用变压器/变电站连接。输变电：输电与变电）
- 标准化的要求，产生了电压等级（或标准电压序列）的问题，便于生产维护
- 电压等级是描述电网的第一项指标（电压、装机、发/用电量、峰负荷、用户...）
- 电压等级的确定是电网建设发展中的重大问题！





《中国电力分布图》绘制于1948年6月30日，描述了1948年中国的电力分布情况，由中华书局发行。

全图尺寸为85厘米×72厘米，按1:6,000,000比例绘制，它详细、严谨地记载了当时我国电力分布的情况，是研究当时电力事业发展的第一手宝贵资料，具有极高的历史研究价值、审美价值和保存价值。



首先，这份地图具有历史研究价值。该图绘制了不同电压等级的电气网络线路，如东北和台湾地区的220kV、154kV、110kV电网线路，河北省的77kV、66kV电网线路等。

图中各省发电容量一览表记载了各地现存容量、战时发电容量、战时被毁容量、现在可用容量。同时，还记载了火力发电厂、水力发电厂及水资源的详细情况，对每千米发电1000至20,000kW以上河流进行分类，使用相应符号标识不同河段，是研究我国火力发电、水力发电不可缺少的历史资料。

为反映电力发展的历史背景，该图从纵向和横向两个维度对当时的电厂经营模式、发电容量进行描述。当时电厂经营模式有国营与外资两种。国营包括公营与民营，公营包括国营、省营、市营、县营及政府所属各机关经营；民营指私人企业、官商合办、中外合资。外资指外国资本经营。

1937年，全国总发电容量约631,165kW，其中国营发电容量为355,870kW，外资电厂的发电容量275,295kW，外资与国营几乎平分秋色。1947年，全国发电容量翻了一番，达到1,441,878kW，国营的发电容量约占全国的82%，达1,177,378kW，已远远超过外资发电容量，成为我国电力事业的主体。

其次，这份地图具有审美价值。该图为人工手绘，由繁体中文和英文两种文字撰写，字体规范工整、排列有序，令人赞叹。

最后，这份地图具有保存价值。该图编制者是英国经济技术专家皮炼；校订者分别是我国现代电力工业开拓者、1950年任中央人民政府燃料工业部电业管理总局局长鲍国宝，工业电气自动化专业奠基人之一杨简初，华北水利委员会工程师周宗莲。



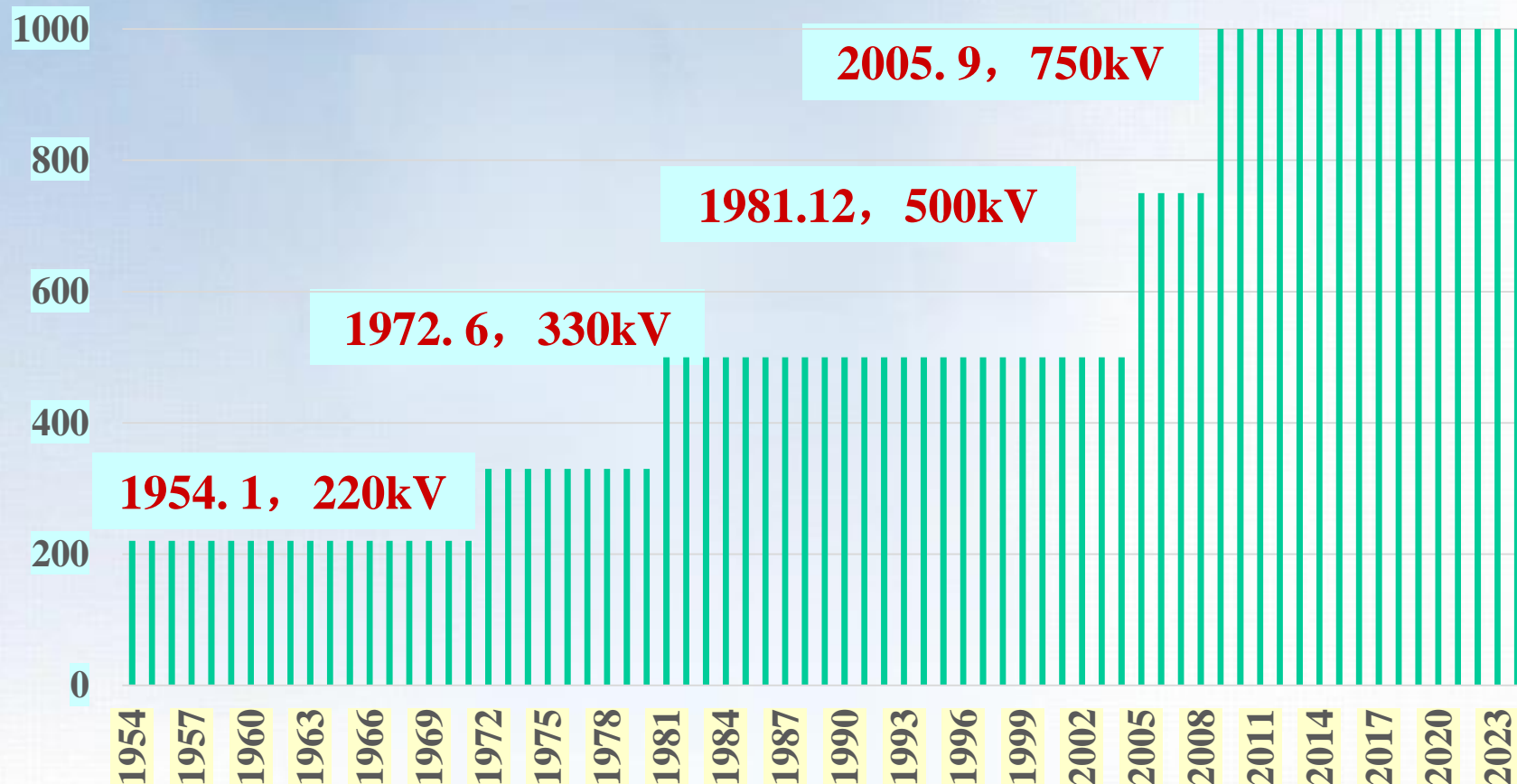
交流50Hz: 1000/ 500 / 220 / 110kV

直流:  $\pm 800\text{kV}$ ,  $\pm 500\text{kV}$  ( $\pm 1100$ ,  $\pm 660\text{kV}$ ,  $\pm 400\text{kV}$ )



# 我国交流系统电压等级的提升

交流系统电压等级(kV)





## 电压等级的提升与电网的发展

➤ 50-70年代：主要建设110-220kV电网，当地电厂向城市送电、省内联网。

1972年第一项自主设计建设的330kV刘-天-关工程投产（刘家峡水电站-天水-关中汤峪变电站，534km，设计420MW）。

1981年第一条500kV平武线建成投产（平顶山姚孟电厂-荆门-武昌凤凰山变电站，595km，设计1000MW）。

开始省际联网。



## 电压等级的提升与电网的发展

➤ 50-70年代：主要建设110-220kV电网，电厂向城市送电。

1972年第一项自主设计建设的330kV刘-天-关工程投产，534km。

1981年第一条500kV平武线建成投产，595km。开始省际联网。

➤ 80-90年代：大规模500kV电网建设，省级电网成型、大区内开始跨省电网。80年代末初步形成东北、华北、华中、华东、西北、南方六大跨省电网（西北以330kV为骨干，其他大区以500kV为骨干电网）和福建、山东、四川、海南、新疆、西藏6个省级网。

1989年±500kV葛洲坝-上海直流输电工程建成，1046km，1200MW，华中-华东跨区直流联网





## 电压等级的提升与电网的发展

➤ **50-70年代**：主要建设110-220kV电网，电厂向城市送电。

1972年第一项自主设计建设的330kV刘-天-关工程投产，534km。

1981年第一条500kV平武线建成投产，595km。开始省间联网。

➤ **80-90年代**：大规模500kV电网建设，省级电网、区内跨省电网。80年代末初步形成东北、华北、华中、华东、西北、南方**六大跨省电网**。福建山东四川海南新疆西藏6个省网

1989年±500kV葛上线建成，1046km，华中-华东跨区直流联网

➤ **三峡开始500kV全国联网**：1997-2007三峡输变电工程，9000多公里500kV交直流线路，大容量远距离直流输电工程。

2001-2005年华北-东北，华东-福建，川渝-华中，华中-华北，华中-南方，山东-华北，西北-华中AC或DC互联。

2005年140km官兰线（官亭-兰州东）750kV。



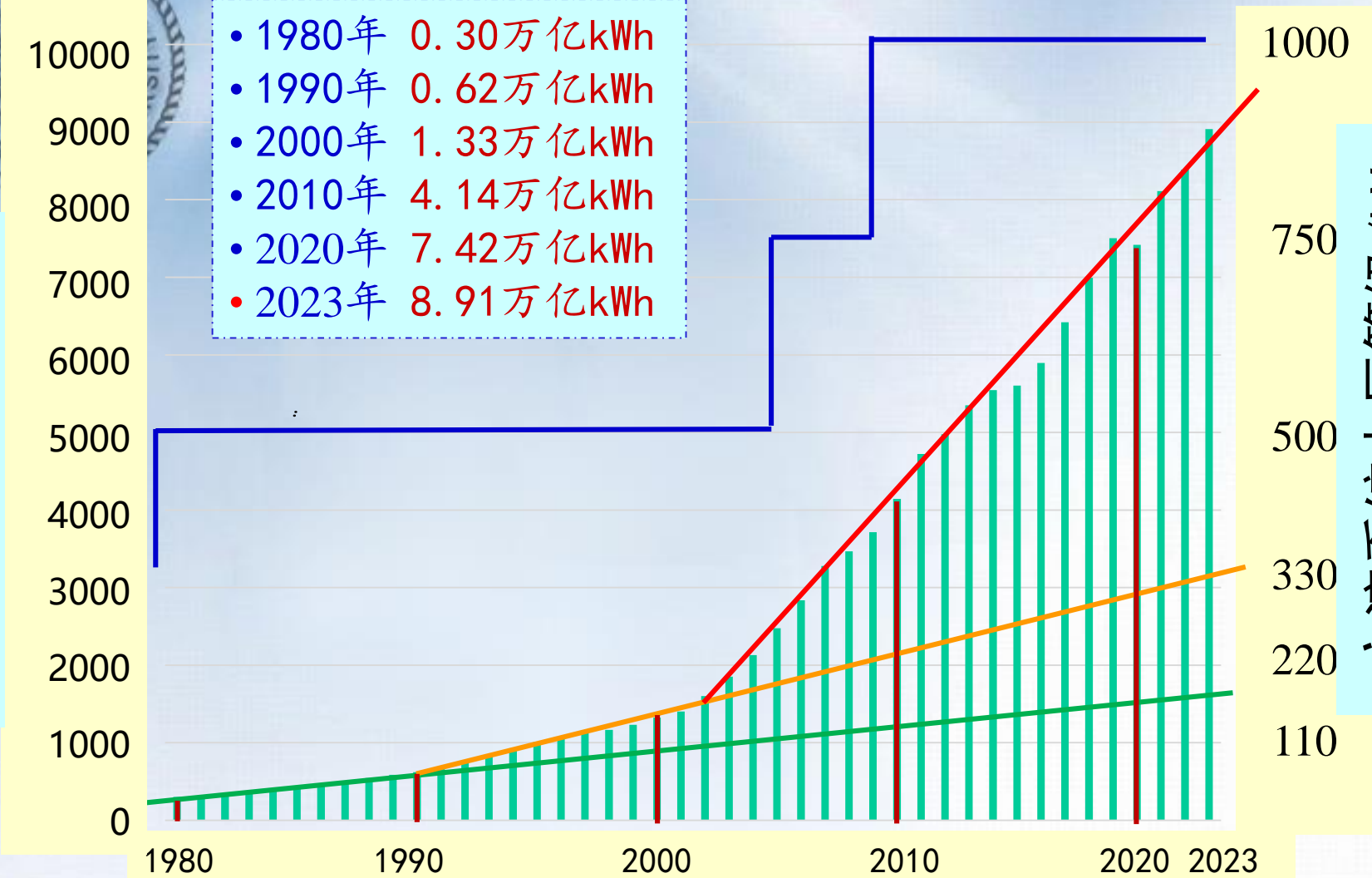
# 电压等级的提升与电网的发展

- **50-70年代**：主要建设110-220kV电网，电厂向城市送电。  
1972年第一项自主设计建设的330kV刘-天-关工程投产534km。  
1981年第一条500kV平武线建成投产。开始省间联网。
- **80-90年代**：大规模500kV电网建设，省级电网、区内跨省电网。80年代末初步形成东北、华北、华中、华东、西北、南方**六大跨区电网**。福建山东四川海南新疆西藏6个省网  
1989年±500kV葛上线建成，华中华东直流联网
- **三峡开始500kV全国联网**：1997-2007三峡输变电工程，9000多公里500kV交直流线路，大容量远距离直流输电工程  
2001-2005年华北-东北，华东-福建，川渝-华中，华中-华北，华中-南方，山东-华北，西北-华中AC或DC互联。2005年官兰线750kV。
- **2009年以来特高压**：2009年晋东南-南阳-荆门654km1000kV交流；  
2010年云广1417km 5GW、向上1906km 6.4GW，2014年哈郑  
2192km 8GW ±800kV直流双极投运；  
2018-2019昌吉-古泉3340km 11GW ±1100kV直流双极投运。  
(2011年宁东±660kV、青藏±400kV直流投运)



年发电量/亿kWh

- 1980年 0.30万亿kWh
- 1990年 0.62万亿kWh
- 2000年 1.33万亿kWh
- 2010年 4.14万亿kWh
- 2020年 7.42万亿kWh
- 2023年 8.91万亿kWh



交流系统电压等级/kV

中国年发电量与交流系统电压等级（不含港澳台）



## 电压等级选择的原则

根据经济规模、用电量、供电可靠性等要求以及当前电网电压等级，确定电网结构、电源容量、输送距离、输电回数、线路输送容量，**确定某条新线路的电压。**

根据经济发展速度，预计未来若干年的供电量需求，新电源容量；根据高一级电压设备成熟度，选择高一级电压的电压值，**确定未来整个电网的电压。**

**一条新线路新电压等级的确定，意味着确定未来数十年整个电网的电压等级！**



## 电压等级选择的原则

何时建设新的电压等级？选多的高电压？

新一级电压若选择太低，则很快就不能满足输电容量的要求，又面临上更高一级电压的需求，造成很大浪费。

新一级电压若选择太高，则设备成熟度很差，新一级系统的供电可靠性太低，社会综合成本依然太高。

新电压等级的具体出现时间过去往往要看某大电源的建设，比如巨型水电站。一般先建设单线，再逐渐形成新电压等级的全网。





## 电压等级选择的原则

按以往的经验，经济发展二三十年，经济总量翻两番，对电力需求增长4-5倍，则应当出现一个新的电压等级。新电压等级设备的研制成熟也大致需要二三十年。

因此，新老电压之比大致在2左右（1.7-3）。即电压提高一倍，输电容量为原电压等级的4倍左右。

各国根据自己的情况，逐渐形成合理的电压序列

- 110 ~ 165 / 220 ~ 245 / 330 ~ 400 / 735 ~ 765(800) / 1500
- 110 ~ 165 / 220 ~ 245 / 500 / 1000 ~ 1150(1200)

最好是仅选一行的电压、每档选一个，而不是什么电压都用



# 我国目前的输电、配电、用电电压等级

## ● 交流：

华北、华东、华中、东北电网

1000kV / 500kV / 220kV / 110(66)kV / 35kV / 10kV / 400V

西北电网

750kV / 330kV / (220kV) / 110kV / 35kV / 10kV / 400V

南方电网

500kV / 220kV / 110kV / 35kV / 10kV / 400V

## ● 直流（不含柔性直流）：

±1100kV, ±800kV, ±660kV, ±500kV, ±400kV

（直流通常只说某工程而不说系统电压等级）

（电气化铁路接触网：交流25kV单相）

电压等级的确定是电网建设发展中的重大问题！



## 我国配电网的电压等级

五六十年代以来城市配网电压逐步统一到10kV。

随着配电网容量、覆盖范围的扩大，配电电压等级也不断提高，从35kV逐步提高到110kV，甚至少数特大城市的220kV

我国配电电压等级变成(220kV) 110kV/(35kV)/10kV  
输电网、配电网因其功能而划分，不是由电压划分的

北京在城区取消了35kV，郊区保留有35kV。

10kV供电半径一般1-1.5km，供电能力10,000kW。  
380V一般只能供应100 - 150m之内。

苏州新加坡工业园采用了20kV电压，效果很好。



## 配电网电压等级的选择

要综合考虑城市的长远规划、饱和供电负荷、负荷密度、可靠性、供电损耗等因素。

总的原则是应当简化电压等级，提高配电网电压（如20kV），尤其在新城区建设时。

国内估计20kV设备和导线等只是10kV价格的120%以内，并不太贵。

但是配电网电压等级问题却经常被忽略。三四十年来我国大量基础设施建设，配电网电压却始终没能提高。

分布式新能源并网对配电网电压等级会有怎样的要求？

未来新型电力系统的电压等级应该如何考虑？



## 国家电网公司2008年启动了 输配电电压等级(序列)优化研究

1000kV 500kV 220kV 110kV 35kV (20kV) 10kV 0.4kV  
的序列中，如何进一步简化？取消哪个电压？

是

1000kV 500kV 220kV 110kV 10kV 0.4kV

还是

1000kV 500kV 110kV 20kV 0.4kV

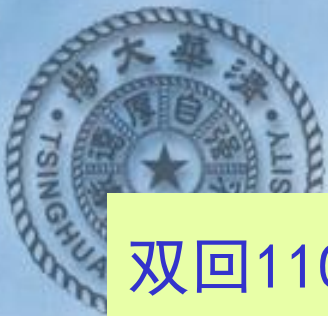
或者是

1000kV 500kV 220kV 20kV 0.4kV

110kV线路目前最普遍，比重最大

西北网前些年取消了220kV，改为750/330/110/10/0.4kV





## 清华大学的变电站及供电电压

双回110kV进线，清华变电站降压变压器110kV/10kV

→→各楼变压器10kV/380V (220V)

→→各房间用电设备

1986年以前35kV/10kV，一台3200kVA容量的变压器

1986年新变电站投运，110kV/10kV，2×8000kVA变压器

2000年换成110kV/10kV，2×32000kVA变压器

2002年增容110kV/10kV，2×50000kVA变压器，一用一备

2016年增容110kV/10kV，3×50000kVA变压器，两用一备

(学校用电量每年增长15%~20%)