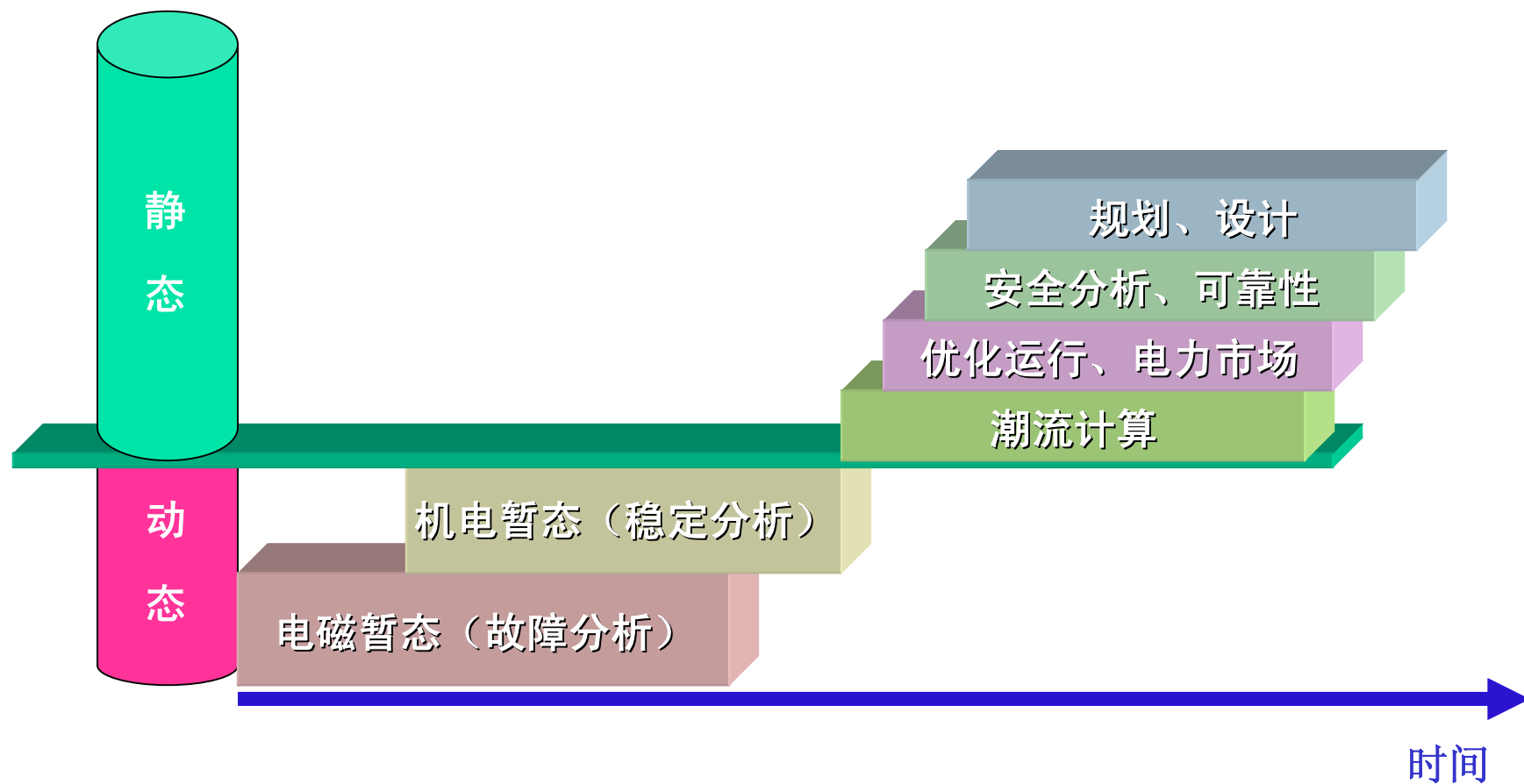


电力系统分析内容的划分





稳态和暂态对比

■ 稳态

- 正常运行状态
- 代数方程
- 物理量变化小

$$g(x, y) = 0$$

■ 暂态

- 不正常的运行状态
- 微分+代数方程
- 物理量变化大

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, y) \\ g(x, y) = 0 \end{cases}$$

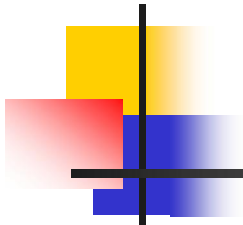
电力系统故障



2008 China Snowstorm



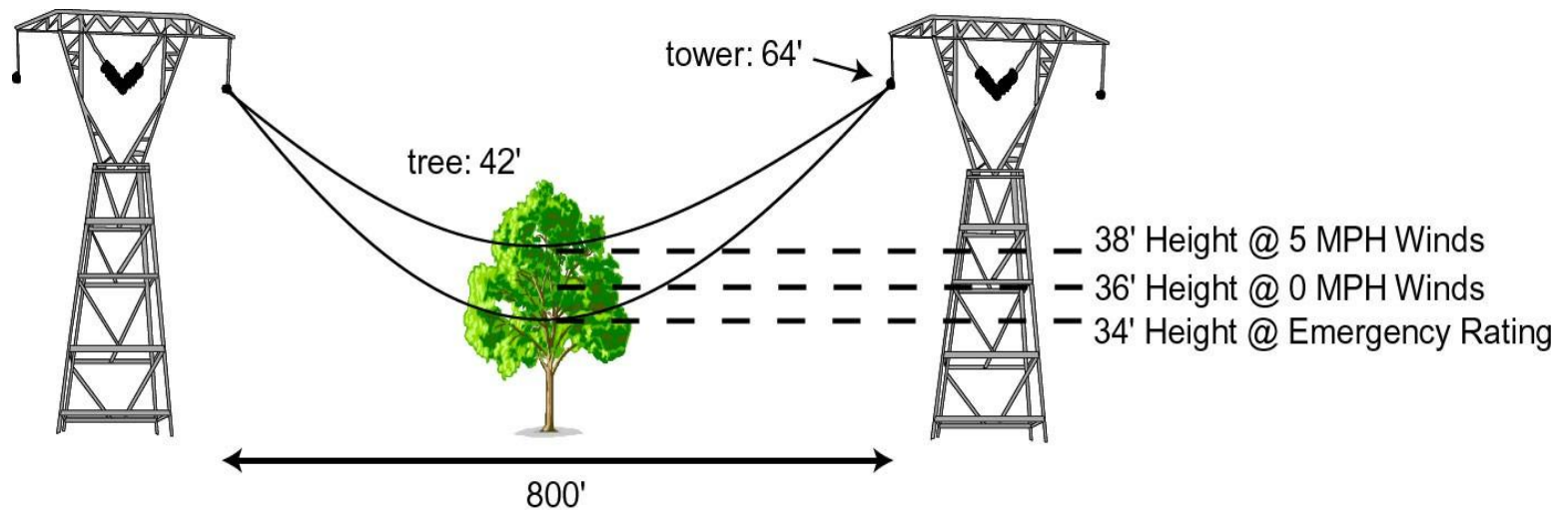
2008 China Snowstorm

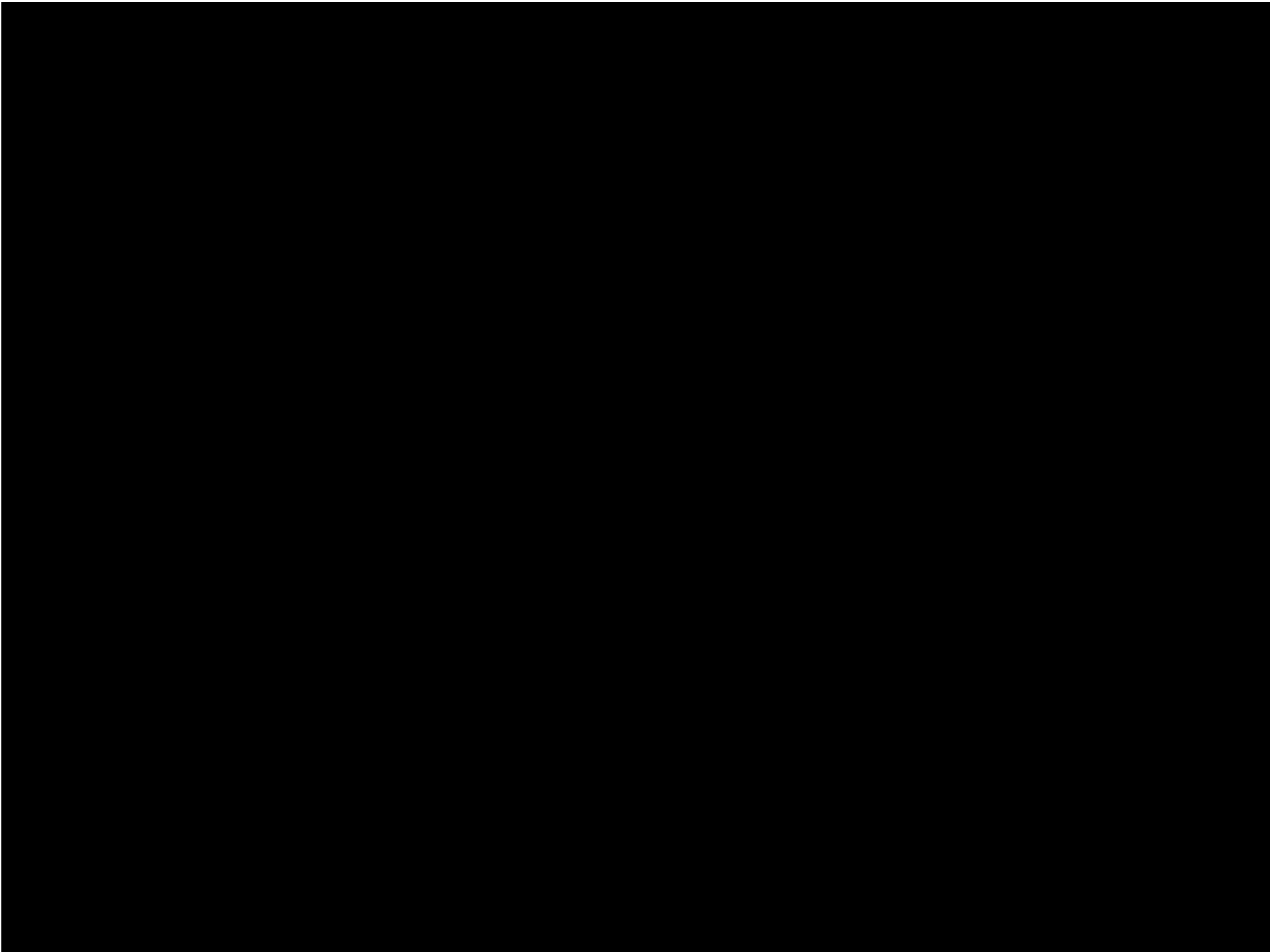


遭人为破坏的电力设施



2003年美加“8.14”大停电事故起因

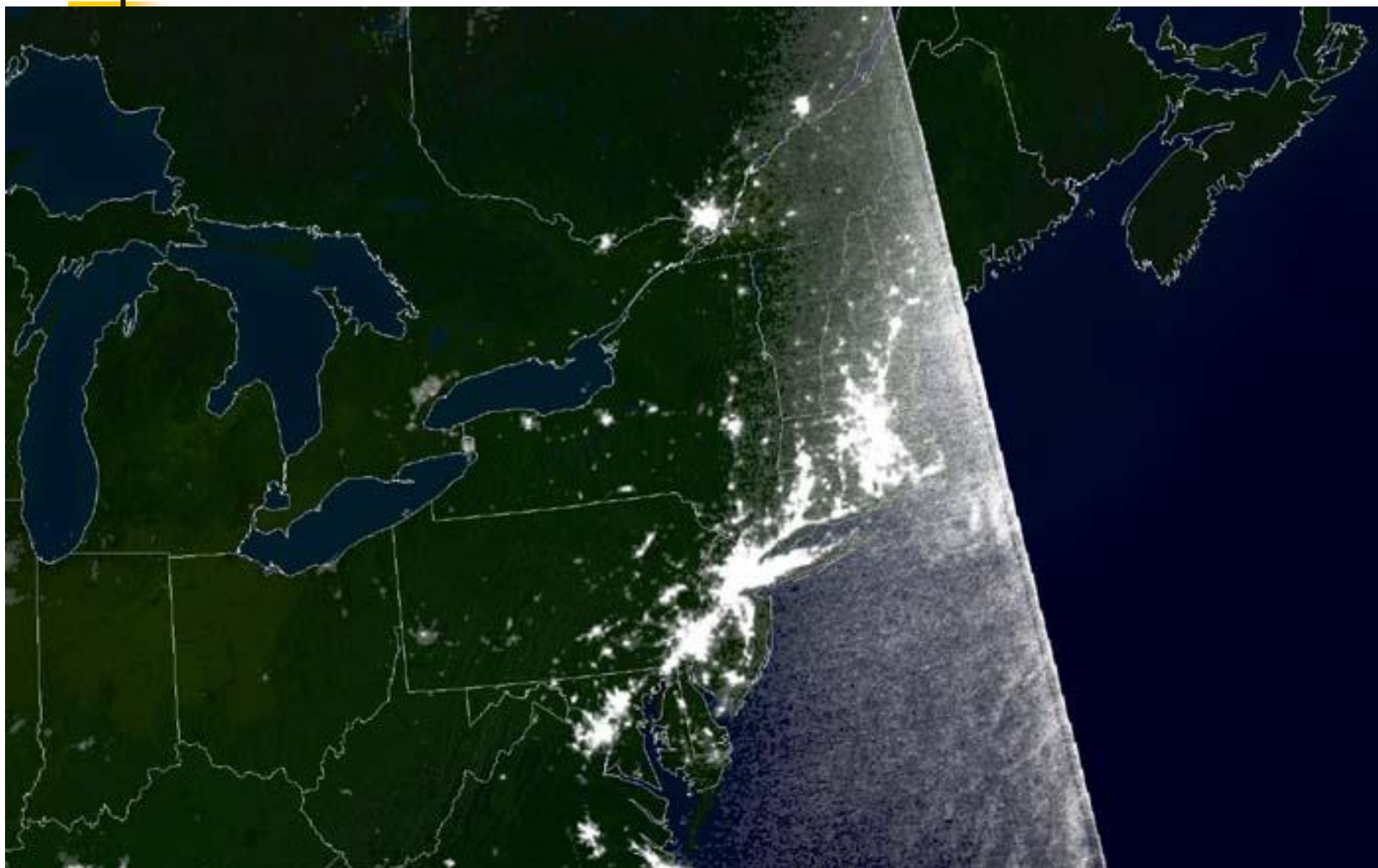




全美国卫星图片



大停电前卫星图片

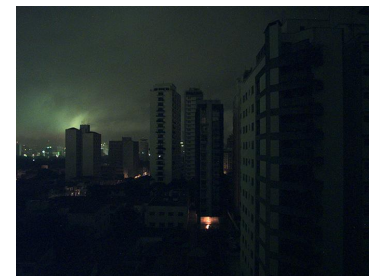


大停电后卫星图片



巴西查明大面积停电原因

- 巴西**11月10**日晚出现大面积停电的原因已经查明，停电系**3**条输电线路因恶劣天气而倒塌所致。
- 所发生的断电事故是由于天气原因造成的。圣保罗州伊塔贝拉发生的强风与暴雨等天气现象导致从伊泰普水电站通往圣保罗的**3**条传输线路出现问题。”
- 此次恶劣的天气情况造成圣保罗州、里约热内卢州、米纳斯吉拉斯州等多个地区**10**日晚**10**点左右发生大面积停电，不过**2**小时后已逐渐恢复正常。
- 这次停电影响了数百万人，圣保罗和里约热内卢这两大都市的交通一度陷入严重瘫痪状态。



臺軍研發石墨炸彈意圖戰時癱瘓大陸電網

- 石墨炸彈（号称“电力开关”）
- 导电纤维炸弹



美军BLU-114型碳纤维炸弹



台军石墨炸弹



大停电事故=人类灾难!

一年十遇

一年一遇

十年一遇

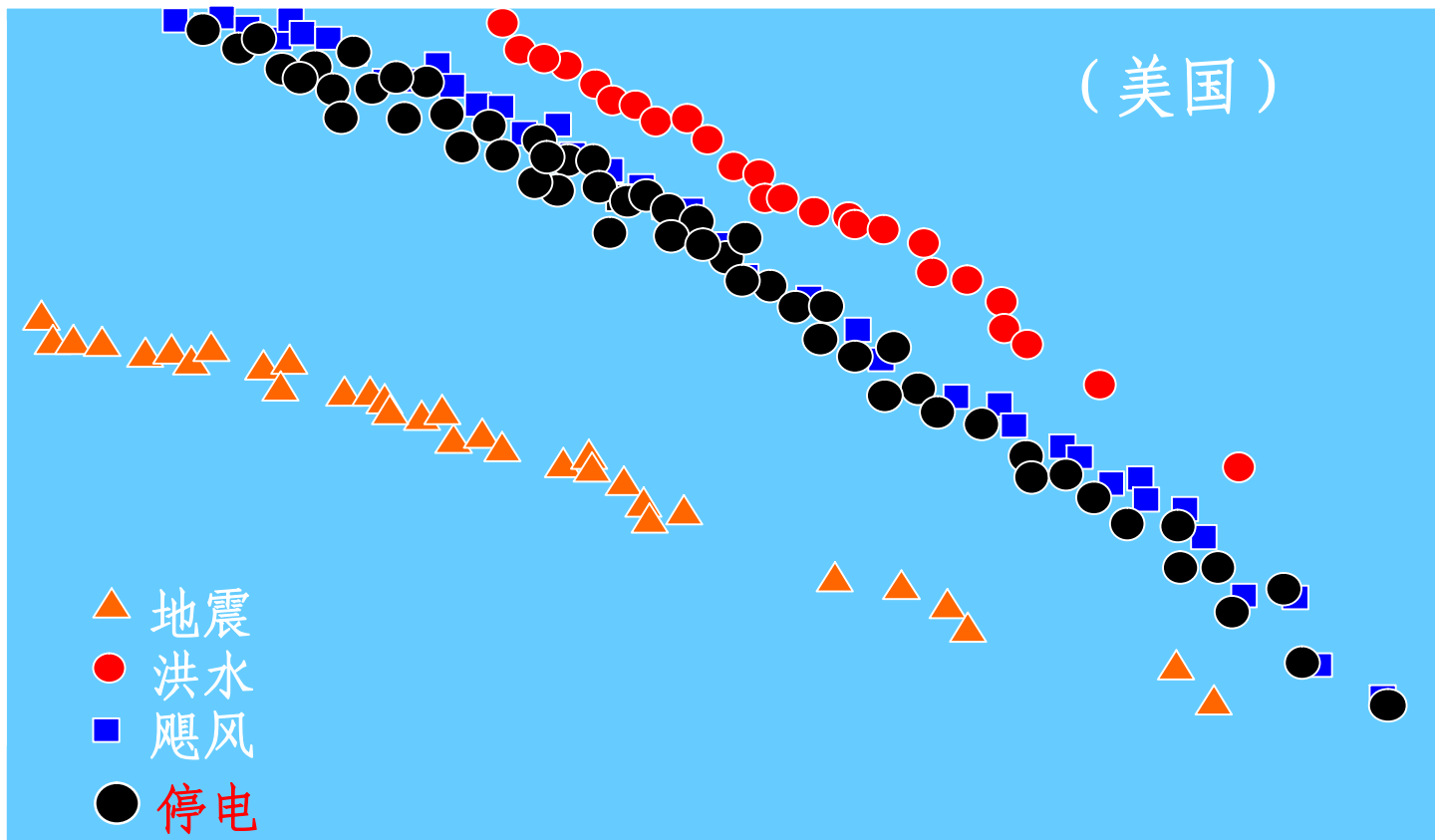
百年一遇

(美国)

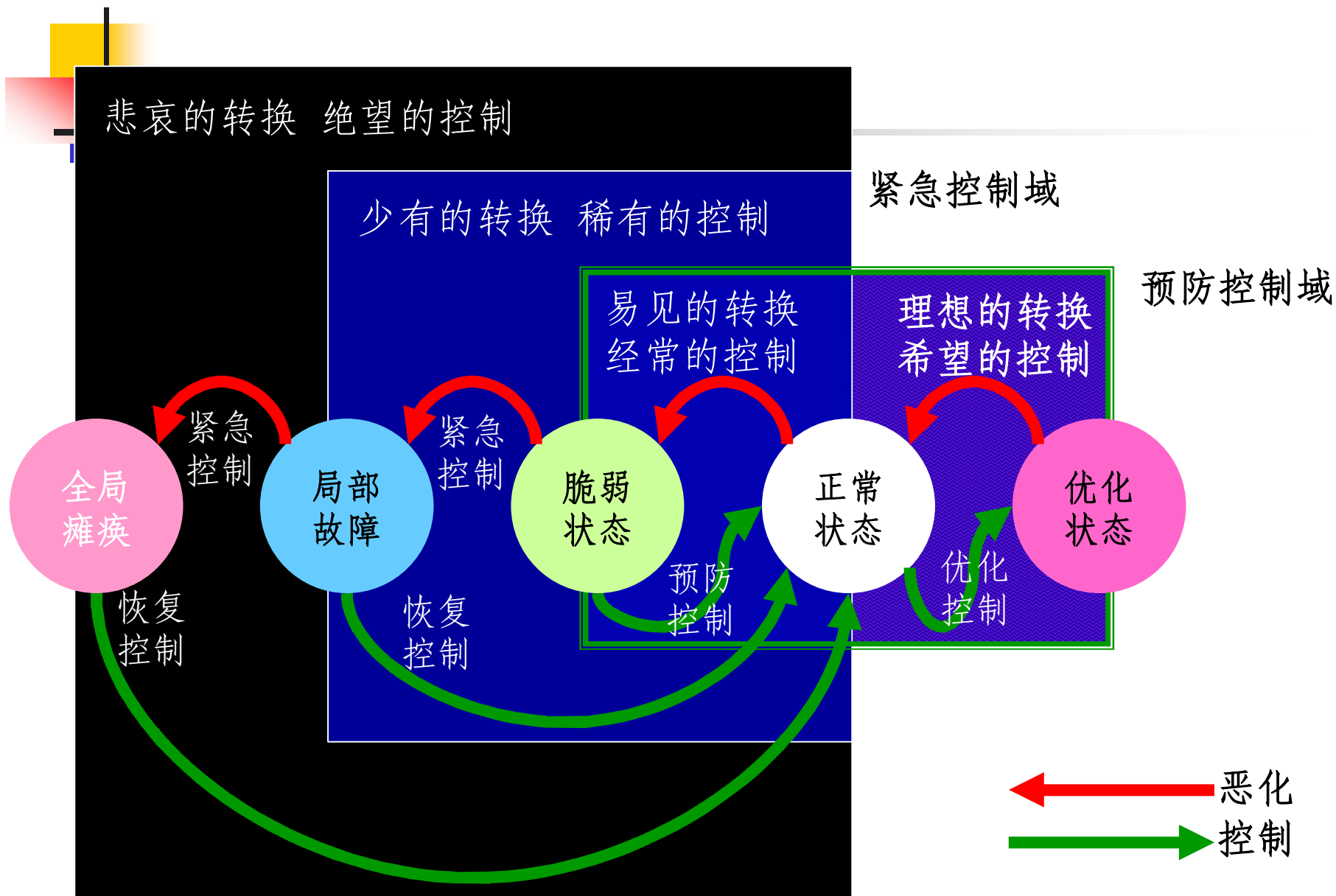
- ▲ 地震
- 洪水
- 飓风
- 停电

1 10 100 1,000 10,000

每个事件的损失 (百万美元)



电力系统的运行状态及其变化



第一章 电力系统故障分析的基本知识

- 第一节 故障概述
- 第二节 标么制
- 第三节 无限大电源供电的三相短路分析



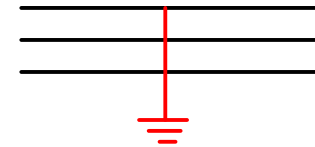


第一节 故障概述

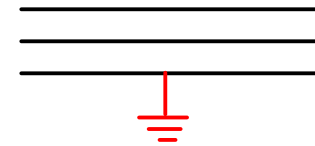
- **短路**：导线与导线、导线与大地之间的非正常连接。
- **原因**：设备（绝缘）损坏、自然灾害、人为原因等。
- **危害**：故障产生的大电流、高电压（或低电压）会导致设备损坏、断电。故障会破坏系统功率平衡，对系统正常运行产生冲击（扰动），引起稳定问题，可导致大停电。
- 短路=横向故障；断线=纵向故障。
- 单一故障=简单故障；多重故障=复杂故障。

故障类型 fault types

$f^{(3)}$ 三相短路 **3 phase fault**



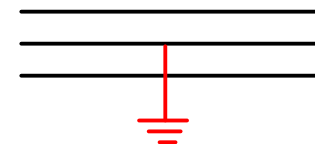
$f^{(1)}$ 单相接地短路 **Single line to ground**



$f^{(2)}$ 两相短路 **Double lines fault**



$f^{(1,1)}$ 两相短路接地 **Double lines to ground**



2005年东北电网人工三相短路实验





第二节 标么制 per unit value

■ 一、标么值

标么值（相对值）= $\frac{\text{有名值（有单位的物理量）}}{\text{基准值（与有名值同单位的物理量）}}$

$$R_* = \frac{R}{Z_B}$$

$$X_* = \frac{X}{Z_B}$$

$$G_* = \frac{G}{Y_B}$$

$$B_* = \frac{B}{Y_B}$$

$$P_* = \frac{P}{S_B}$$

$$Q_* = \frac{Q}{S_B}$$

$$S_* = \frac{S}{S_B}$$

第二节 标么制 per unit value

■ 二、基准值的选取

给定 S_B (100MVA或 S_N) 和 U_B (U_N 或 U_{av})

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B} (kA)$$

$$Z_B = \frac{U_B^2}{S_B} (\Omega)$$

$$Y_B = \frac{S_B}{U_B^2} (S)$$

额定电压 (kV)	3	6	10	35	110	220	330	500
平均额定电压 (kV)	3.15	6.3	10.5	37	115	230	345	525

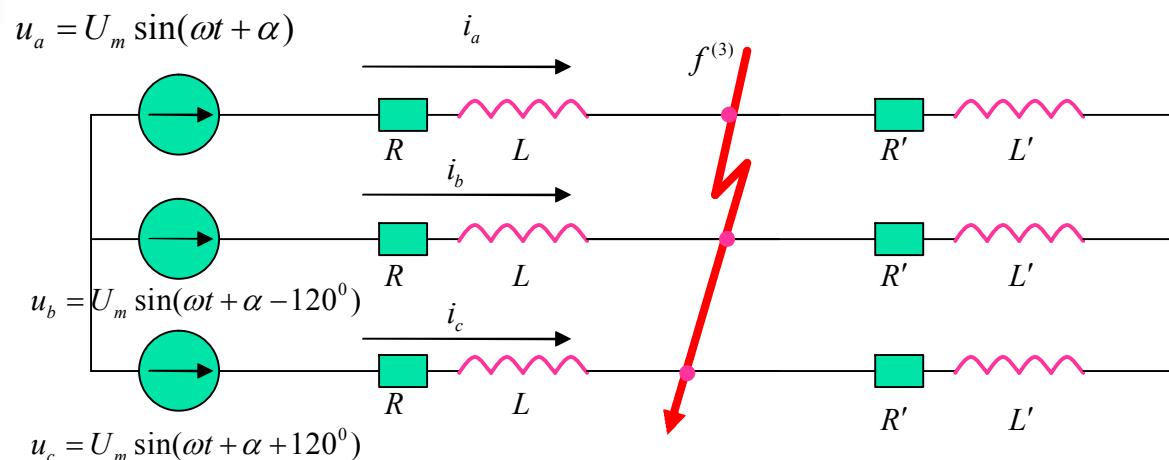
第三节 无限大电源供电的三相短路电流分析

无限大电源：容量无限大；端电压恒定；内电抗为零。

$$u_a = U_m \sin(\omega t + \alpha)$$

$$u_b = U_m \sin(\omega t + \alpha - 120^\circ)$$

$$u_c = U_m \sin(\omega t + \alpha + 120^\circ)$$



$$T_a = \frac{L}{R}$$

暂态过程方程

短路前（稳态）：
$$i_a = I_{m|0|} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_{|0|})$$
 式中
$$I_{m|0|} = \frac{U_m}{\sqrt{(R+R')^2 + \omega^2(L+L')^2}}$$

$$\varphi_{|0|} = \arctg \frac{\omega(L+L')}{(R+R')}$$

短路后（暂态）：
$$L \frac{di_a}{dt} + Ri_a = U_m \sin(\omega t + \alpha)$$
 （电感电流不能突变！）

$$i_a = i_{a\omega} + i_{a\alpha} = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + Ce^{-t/T_a}$$
 其中：
$$C = I_{m|0|} \sin(\alpha - \varphi_{|0|}) - I_m \sin(\alpha - \varphi)$$



第三节 无限大电源供电的三相短路电流分析

冲击电流

$$\begin{aligned}i_M &= i_{a\omega} + i_{a\alpha} = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi) + Ce^{-t/T_a} \quad (\text{当} t=0.01s \quad \text{半个周波}) \\ &= I_m + I_m e^{-0.01/T_a} = (1 + e^{-0.01/T_a})I_m = K_M I_m = (1.8 \sim 1.9)I_m\end{aligned}$$

三个条件： 短路前空载； 短路时电压相角为0； 回路为纯电抗。

$$T_a = \frac{L}{R}$$