由于配电网中的负荷与分布式电源出力在不断变化，因此系统中的无功调节设备需要不断动作以调节系统中的无功分布，来保证系统运行的经济性。通常将考虑负荷及分布式电源出力变化，并满足离散无功调节设备动作次数约束的优化问题定义为动态无功优化[1, 2]。

传统的动态无功优化问题常以系统网损作为优化目标，以并联电容器、有载调压变压器等离散调节设备的动作序列作为控制变量，约束条件主要考虑系统的节点电压约束，调节设备的档位约束，系统潮流方程约束，以及设备动作次数约束。设备动作次数约束使得动态无功优化成了一个复杂的多时空耦合优化问题，时间维度上需要决定设备在哪些时候动作，空间维度上又要决定哪些设备进行动作。从数学定义上来说，配电网的动态无功优化属于高维非线性混合整数规划，很难直接进行求解，目前的研究主要分为以下几种求解思路——负荷分段法[3-5]、模型简化法[6-8]、成本函数法[9-11]以及智能算法。

负荷分段法通常是按照设备动作次数约束将一天划分为固定时段，并假设只有各时段之间离散无功调节设备可以发生动作，因此可以天然满足设备的动作次数约束，从而实现时间上的解耦。并且在时间段内部，负荷分段法假设负荷不发生变化，并用预测均值进行代替，从而将动态优化问题转化为了静态问题。负荷分段法的求解精度与分段数目相关，分段数目越多，每个时间段的长度就越短，对系统状态的拟合越精确，同时问题规模越大，求解越复杂。负荷分段法可以将动态优化转化为静态优化问题，求解相对简单，是目前应用最为广泛的方法。然而，分布式电源的出力波动性远高于负荷，在短时间内便可发生出力的大范围波动，分段法很难能够精确描述其出力特性。

模型简化法的思路是将动作空间进行简化从而降低模型的求解难度。文献[]将设备的动作空间简化为0-1变量从而实现了对问题的简化，但是与系统的实际运行过程略有不符。文献[12, 13]采用多阶段的求解方法，将动态优化问题转化成了非线性规划和混合整数规划的两阶段优化问题，实现了对模型的简化。文献[14]通过对投切序列进行聚类从而模型的简化。文献[15]将模型中的潮流方程转化为二阶锥约束，从而将非凸优化问题转化为了近似的凸优化问题。然而模型简化法通常需要对动作空间或状态空间做出一定假设，与系统实际运行过程有一定差异。并且随着问题规模的增大，模型复杂度也会随之增加，造成求解困难。

成本函数法的主要思想是在优化目标中加入动作成本项来代替动作次数约束，将动作次数的硬约束转化为动作成本的软约束，从而实现时间上的解耦。然而针对实际系统，离散动作设备的动作成本通常难以准确建模，给这一方法的应用带来困难。

由于配电网的动态无功优化属于非线性混合整数规划问题，传统优化方法难以直接求解，因此很多研究采用如遗传算法[5]、粒子群算法[16]、退火算法[17]等智能算法对模型进行求解。也有一些研究将智能优化算法与负荷分段法或模型简化法相结合，先对模型进行化简，然后采用智能算法进行求解。然而，智能算法计算效率较低，收敛时间长，且无法保证所得结果的最优性。

以上所述研究中常用的动态无功优化算法均依赖于系统精确的潮流模型，且没有考虑到通信系统的约束，很难直接应用于低感知度配电网中，因此需要以传统无功优化模型与求解方法为基础，针对配电网的低感知度条件探究新的建模与求解方法。

动态规划法[7, 8, 18]

**参考文献**

[1] 郭康. 含光伏电站配电网无功优化的研究: [华北电力大学, 2012

[2] 蔡昌春. 电力系统动态无功优化方法研究及其实现: [河海大学, 2007

[3] 胡泽春, 王锡凡. 配电网无功优化的分时段控制策略. 电力系统自动化, 2002, 26(6): 45～49

[4] 任晓娟, 邓佑满, 赵长城, 等. 高中压配电网动态无功优化算法的研究. 中国电机工程学报, 2003, (01): 32～37

[5] 蔡昌春, 丁晓群, 王宽, 等. 动态无功优化的简化方法及实现. 电力系统自动化, 2008, 32(5): 43～46

[6] 刘明波, 朱春明, 钱康龄, 等. 计及控制设备动作次数约束的动态无功优化算法. 中国电机工程学报, 2004, (03): 39～45

[7] Hsu Y Y, Kuo H C. Dispatch of capacitors on distribution system using dynamic programming. Generation Transmission & Distribution Iee Proceedings C, 2002, 140(6): 433～438

[8] Lu F C, Hsu Y Y. Fuzzy Dynamic Programming Approach To Reactive Power/Voltage Control In A Distribution Substation. IEEE Transactions on Power Systems Pwrs, 1997, 12(2): 681～688

[9] 张勇军, 任震. 电力系统动态无功优化调度的调节代价. 电力系统自动化, 2005, (02): 34～38

[10] 周任军, 段献忠, 周晖. 计及调控成本和次数的配电网无功优化策略. 中国电机工程学报, 2005, 25(9): 23～28

[11] 张勇军, 俞悦, 任震, 等. 实时环境下动态无功优化建模研究. 电网技术, 2004, 28(12): 12～15

[12] 孙田, 邹鹏, 杨知方, 等. 动态无功优化的多阶段求解方法. 电网技术, 2016, 40(6): 1804～1810

[13] 覃海, 姬源, 周川梅, 等. 计及控制设备动作次数约束的三阶段动态无功优化算法. 电力自动化设备, 2018, 38(09): 179～186

[14] 季玉琦, 耿光飞, 温渤婴, 等. 基于最优分割法的含DG配电网动态无功优化. 电网技术, 2017, 41(08): 2585～2593

[15] 赖晓文, 马晓伟, 白杨, 等. 基于混合整数二阶锥规划的动态无功优化方法. 电力系统自动化, 2017, 41(17): 37～42

[16] 肖军, 刘天琪, 苏鹏. 基于双种群粒子群算法的分时段电力系统无功优化. 电网技术, 2009, 33(08): 72～77

[17] 李芝荣. 基于差分退火算法的电力系统动态无功优化研究: [广西大学, 2013

[18] 陈星莺, 钱锋, 杨素琴. 模糊动态规划法在配电网无功优化控制中的应用. 电网技术, 2003, (02): 68～71

**校对报告**

当前使用的样式是 [清华大学学位论文]

当前文档包含的题录共21条

有0条题录存在必填字段内容缺失的问题

所有题录的数据正常

**校对报告**

当前使用的样式是 [清华大学学位论文]

当前文档包含的题录共0条

有0条题录存在必填字段内容缺失的问题

所有题录的数据正常

**校对报告**

当前使用的样式是 [清华大学学位论文]

当前文档包含的题录共0条

有0条题录存在必填字段内容缺失的问题

所有题录的数据正常

**校对报告**

当前使用的样式是 [清华大学学位论文]

当前文档包含的题录共0条

有0条题录存在必填字段内容缺失的问题

所有题录的数据正常