



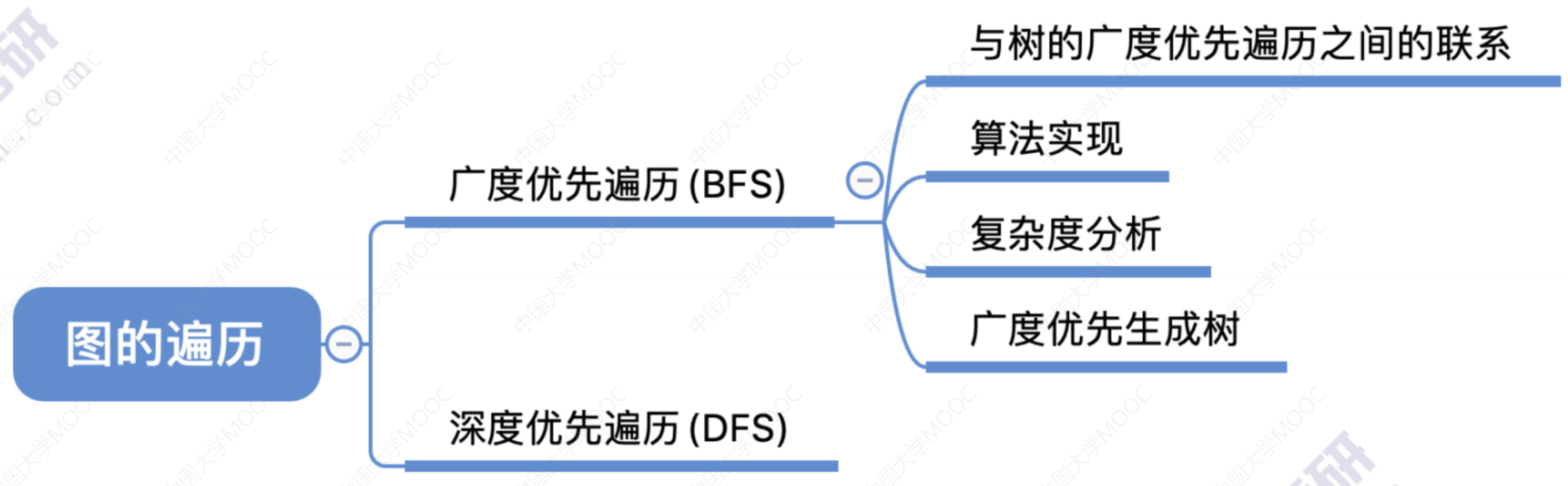
本节内容

# 图的遍历

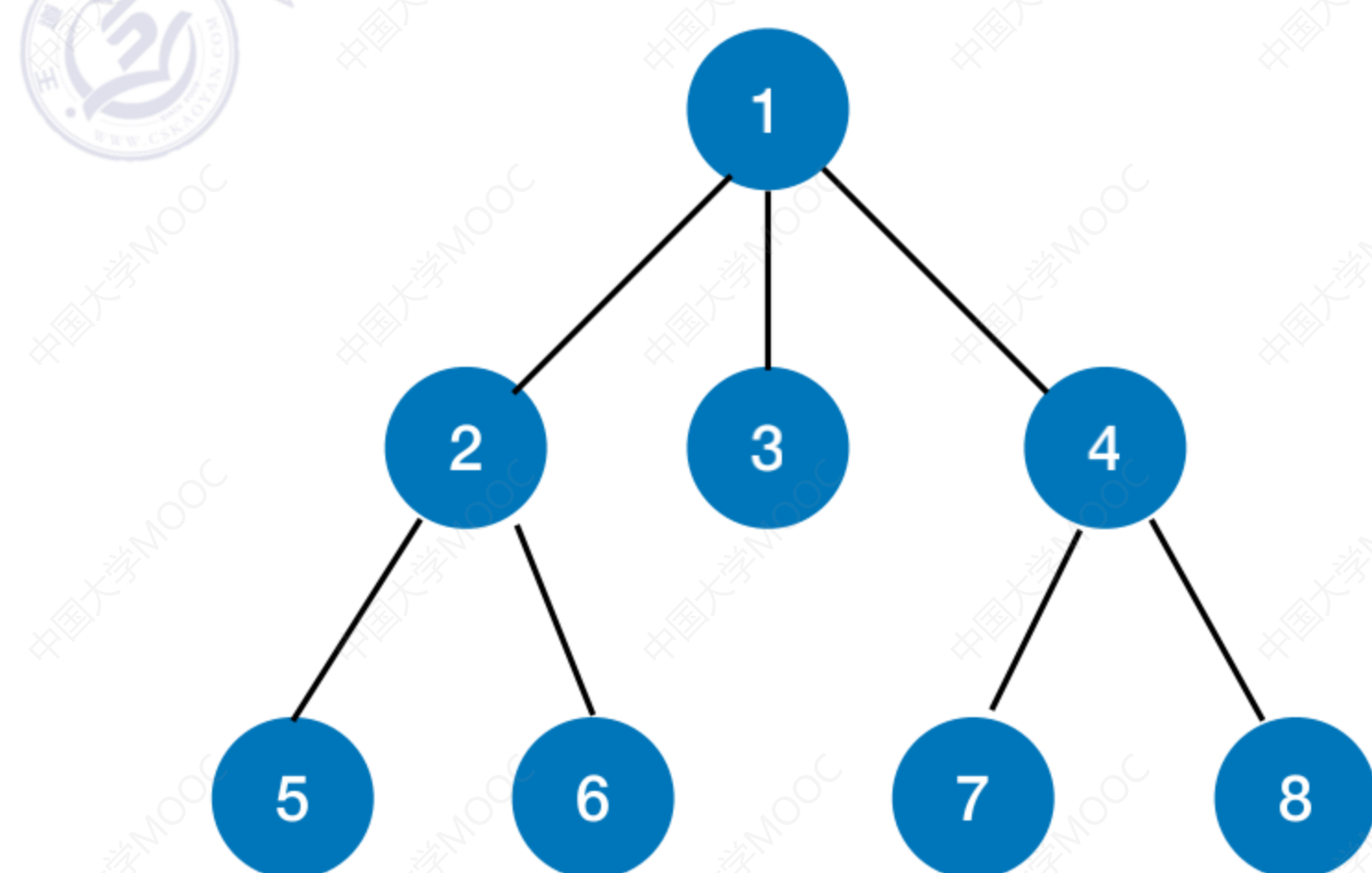
## BFS



### 知识总览

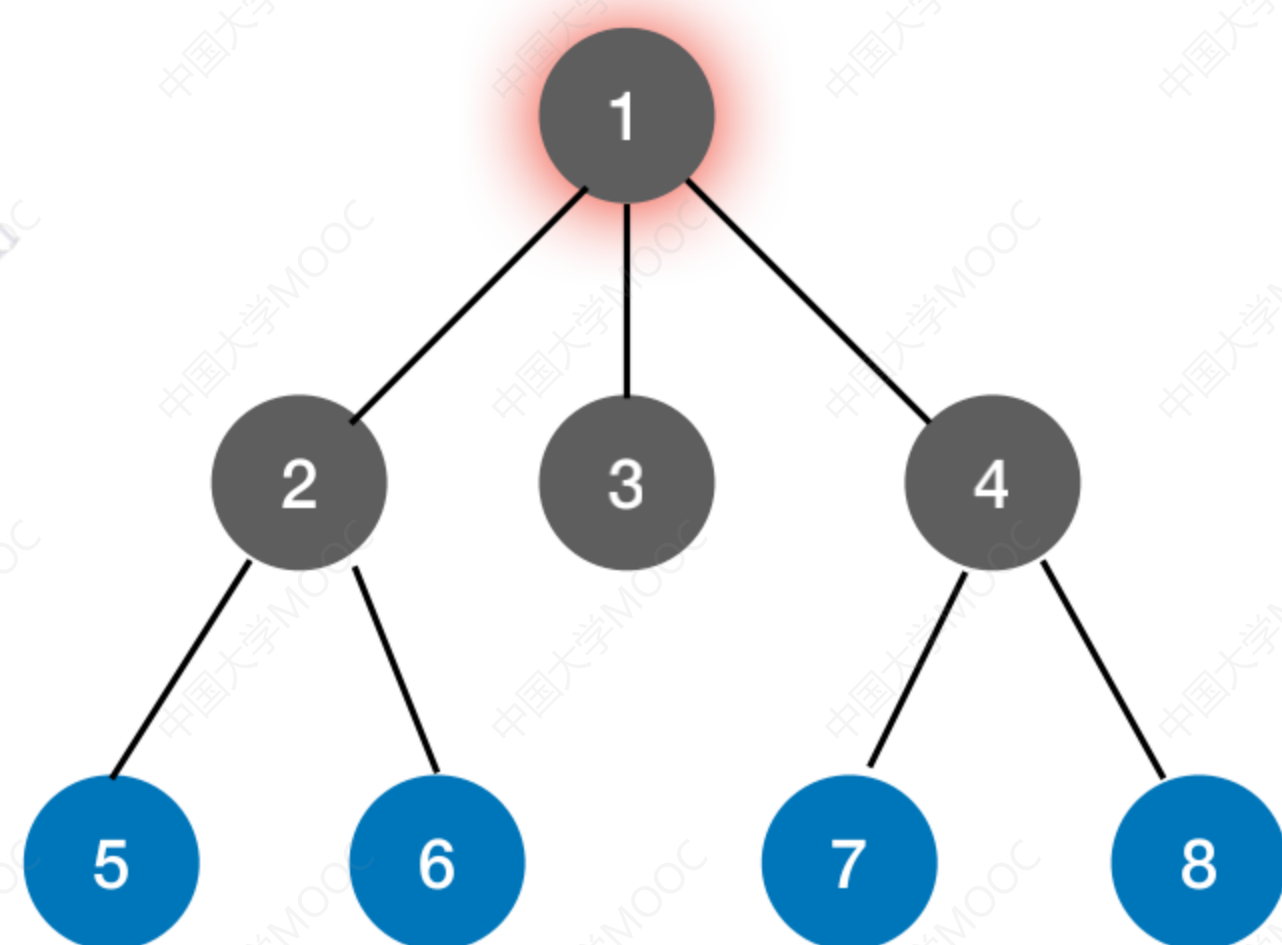


## 树的广度优先遍历

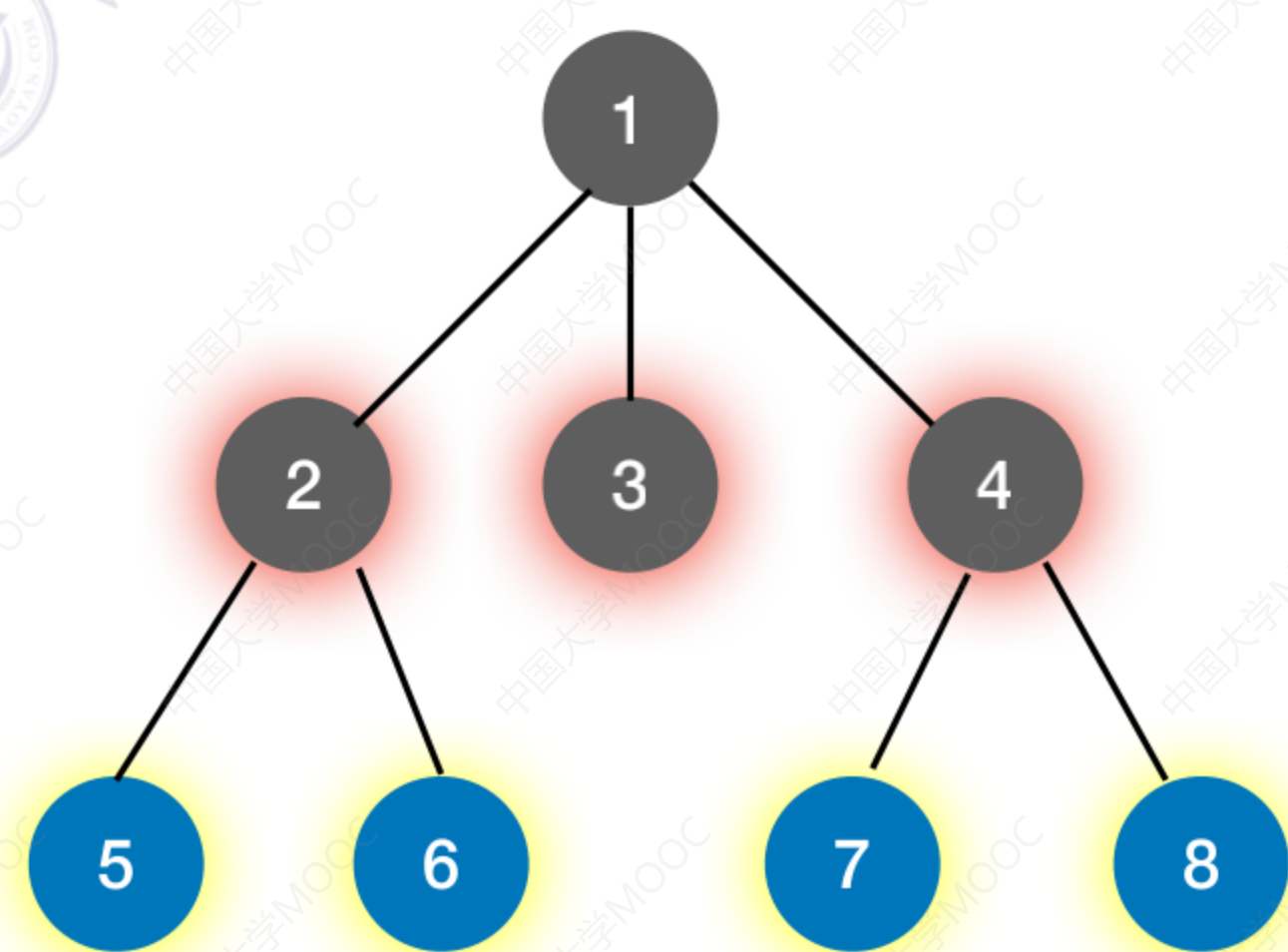


树的广度优先遍历：  
通过根节点，可以找到下一层的结点  
2, 3, 4.通过234又可以找到再下一层  
的结点5678

## 树的广度优先遍历

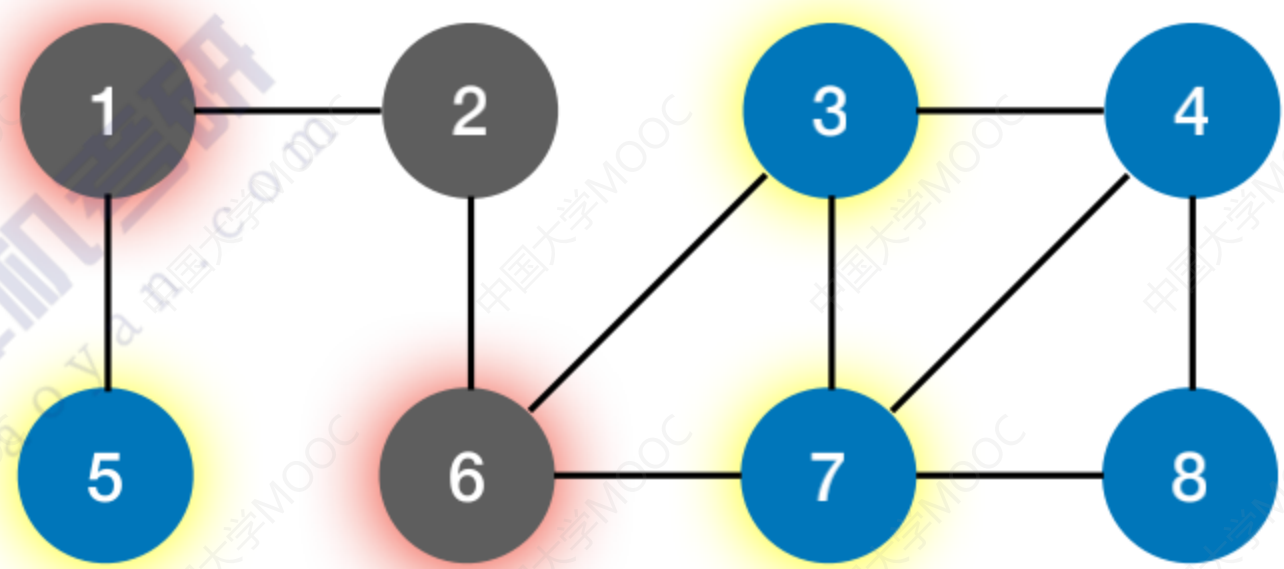


## 树的广度优先遍历



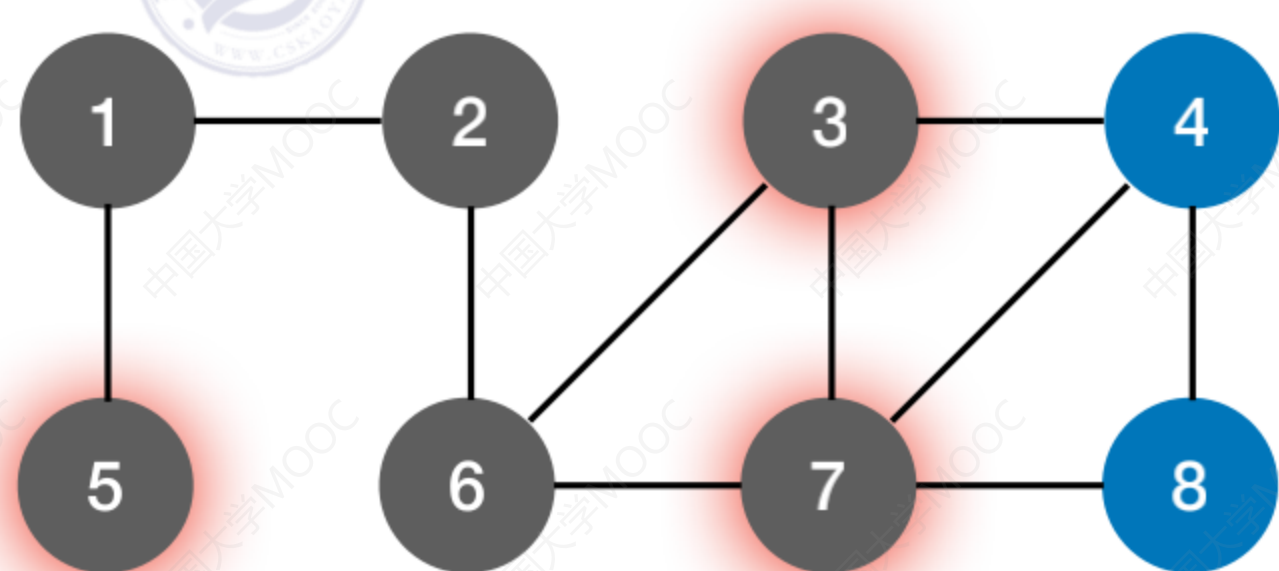
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 图的广度优先遍历



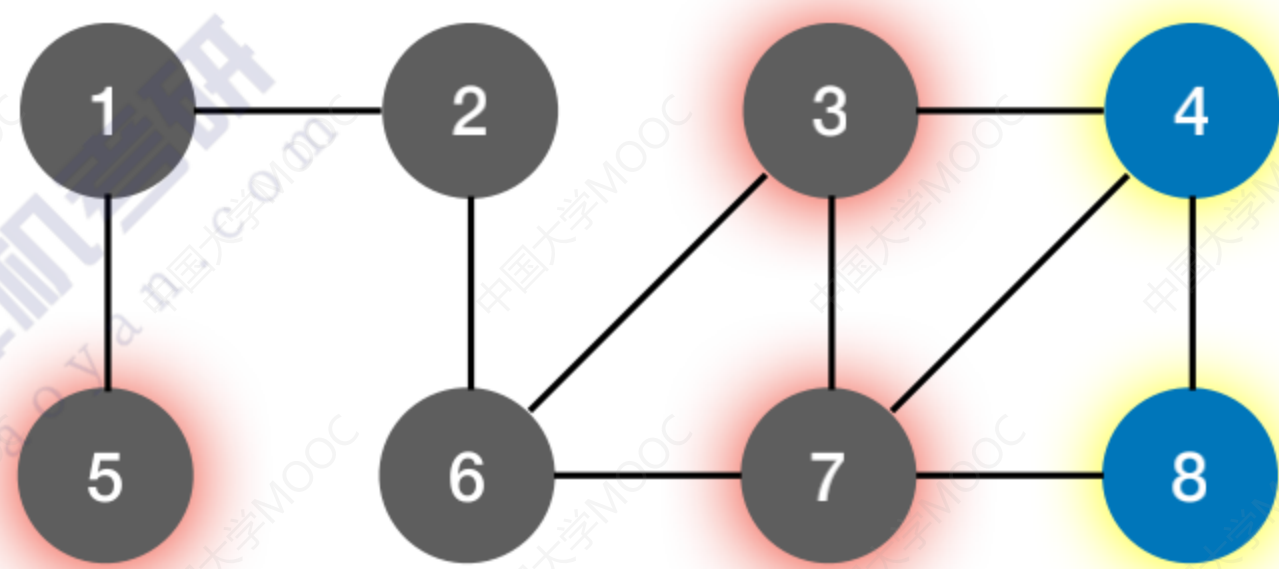
王道考研/CSKAOYAN.COM

### 图的广度优先遍历



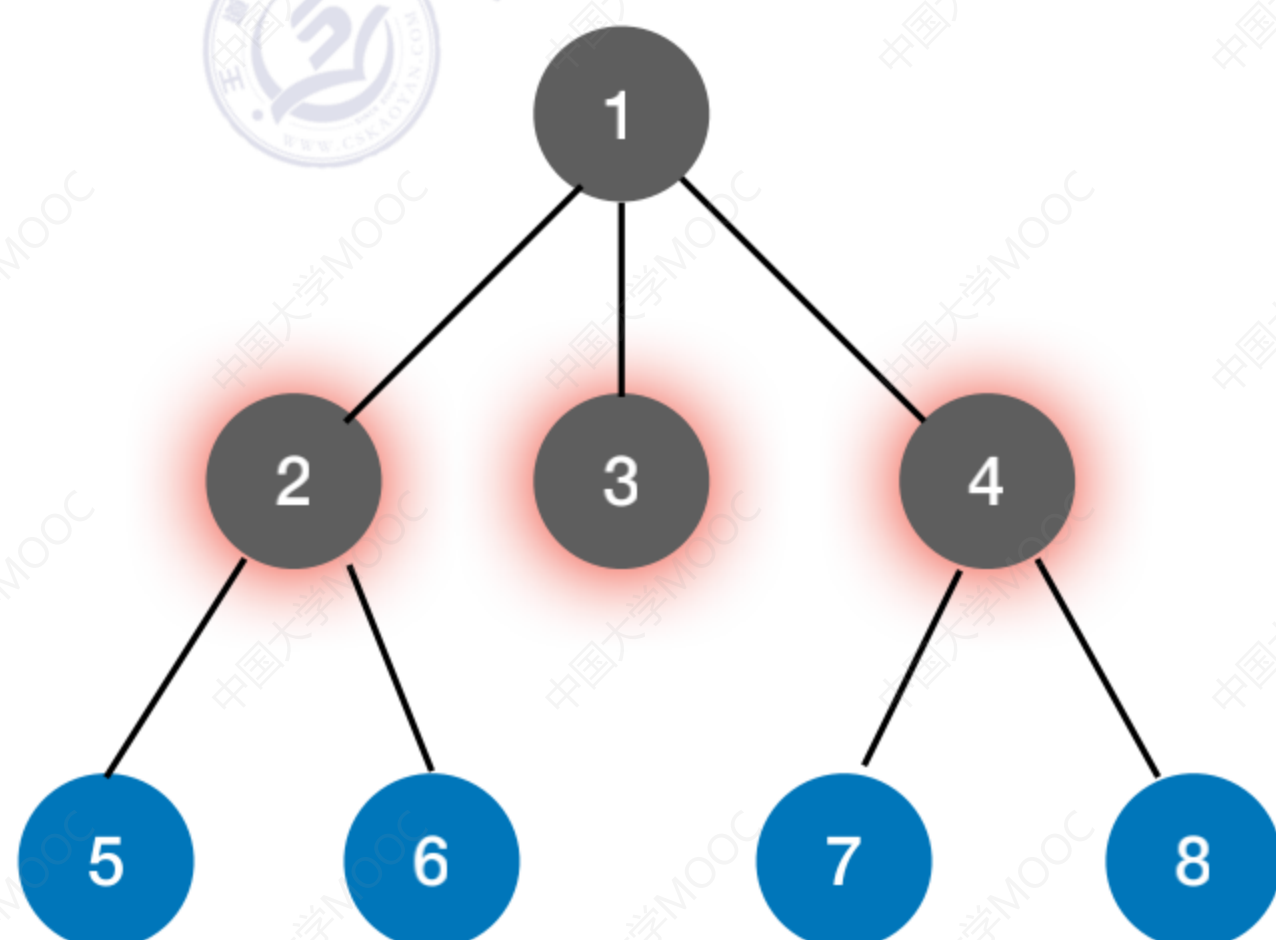
王道考研/CSKAOYAN.COM

### 图的广度优先遍历



王道考研/CSKAOYAN.COM

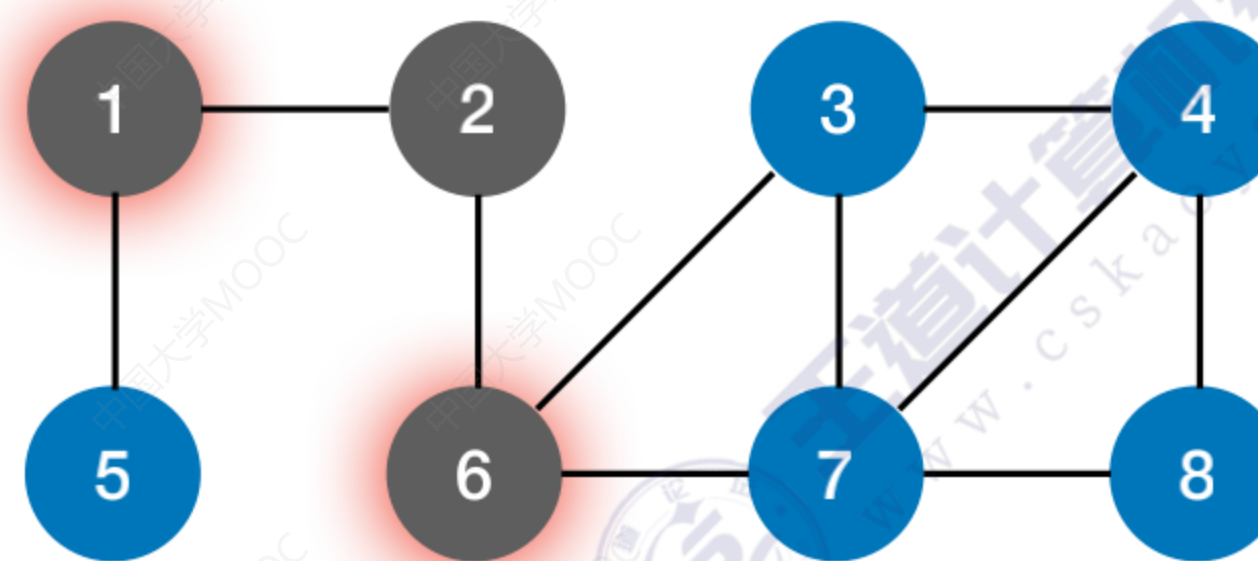
## 树 vs 图



不存在“回路”，搜索相邻的结点时，不可能搜到已经访问过的结点

树的广度优先遍历（层序遍历）：

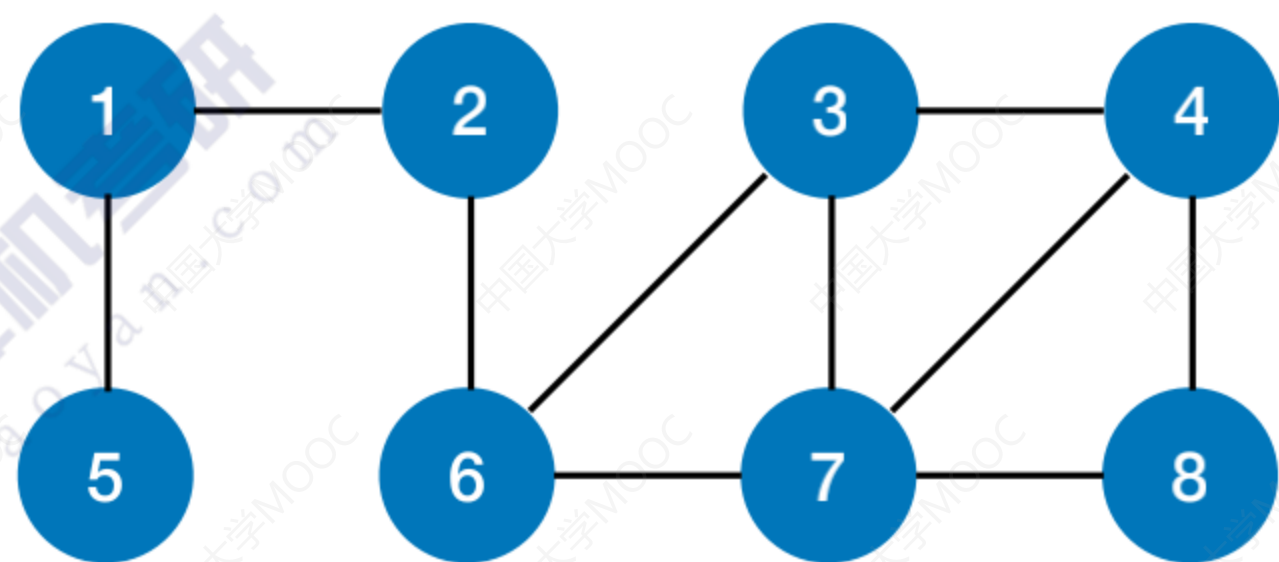
- ①若树非空，则根节点入队
- ②若队列非空，队头元素出队并访问，同时将该元素的孩子依次入队
- ③重复②直到队列为空



搜索相邻的顶点时，有可能搜到已经访问过的顶点

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 代码实现



广度优先遍历（**Breadth-First-Search, BFS**）要点：

1. 找到与一个顶点相邻的所有顶点
2. 标记哪些顶点被访问过
3. 需要一个辅助队列

• **FirstNeighbor(G,x)**：求图G中顶点x的第一个邻接点，若有则返回顶点号。

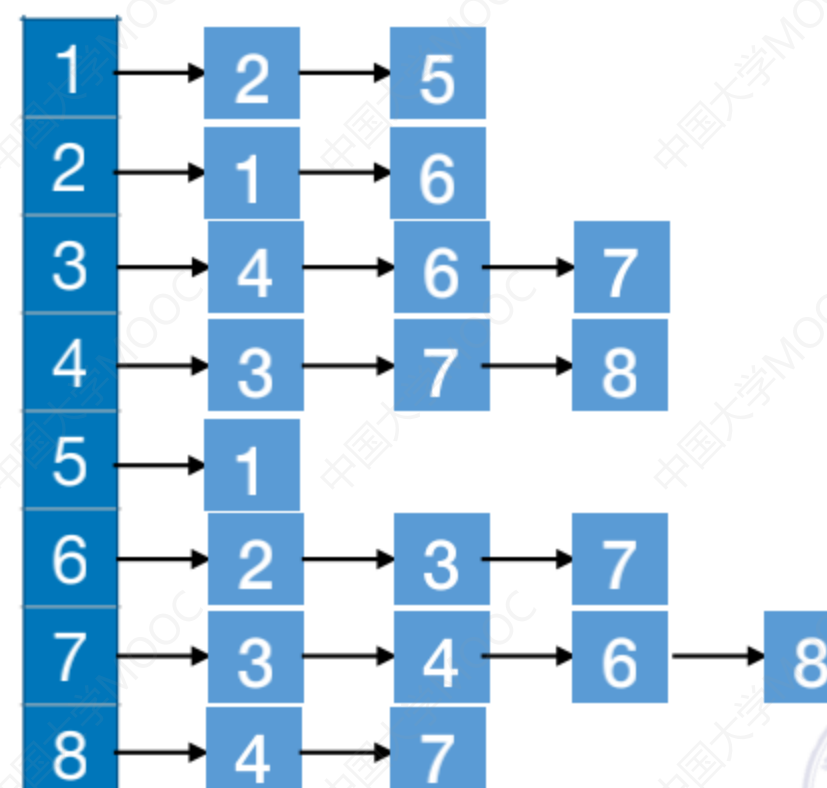
若x没有邻接点或图中不存在x，则返回-1。

• **NextNeighbor(G,x,y)**：假设图G中顶点y是顶点x的一个邻接点，返回除y之外顶点x的下一个邻接点的顶点号，若y是x的最后一个邻接点，则返回-1。

`bool visited[MAX_VERTEX_NUM];` //访问标记数组

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

邻接矩阵

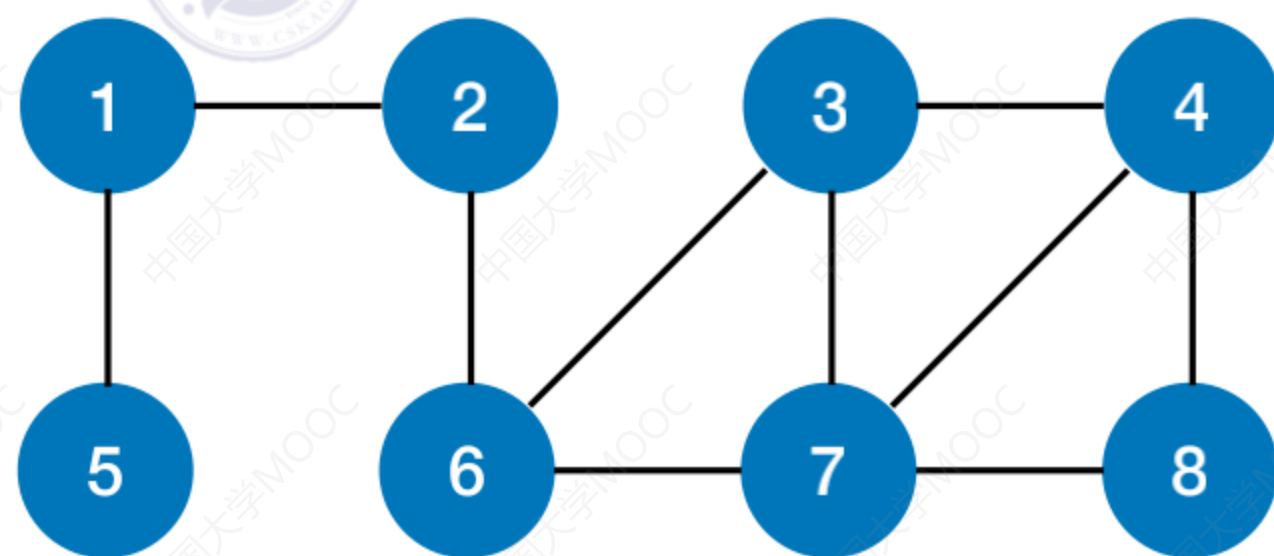


邻接表

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 代码实现

初始都为false



```
bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; //访问标记数组
```

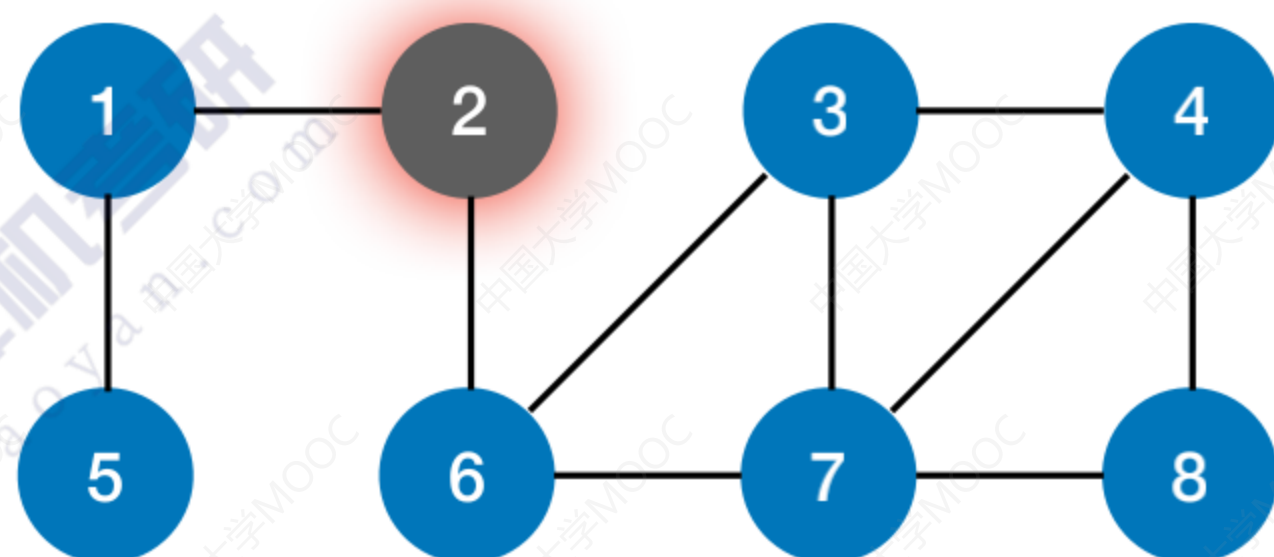
```
//广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ //从顶点v出发, 广度优先遍历图G
    visit(v); //访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; //对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); //顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); //顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            //检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ //w为v的尚未访问的邻接顶点
                visit(w); //访问顶点w
                visited[w]=TRUE; //对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); //顶点w入队列
            } //if
    } //while
}
```

	1	2	3	4	5	6	7	8
visited	false	false	false	false	false	false	false	false

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 代码实现

初始都为false



```
bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; //访问标记数组
```

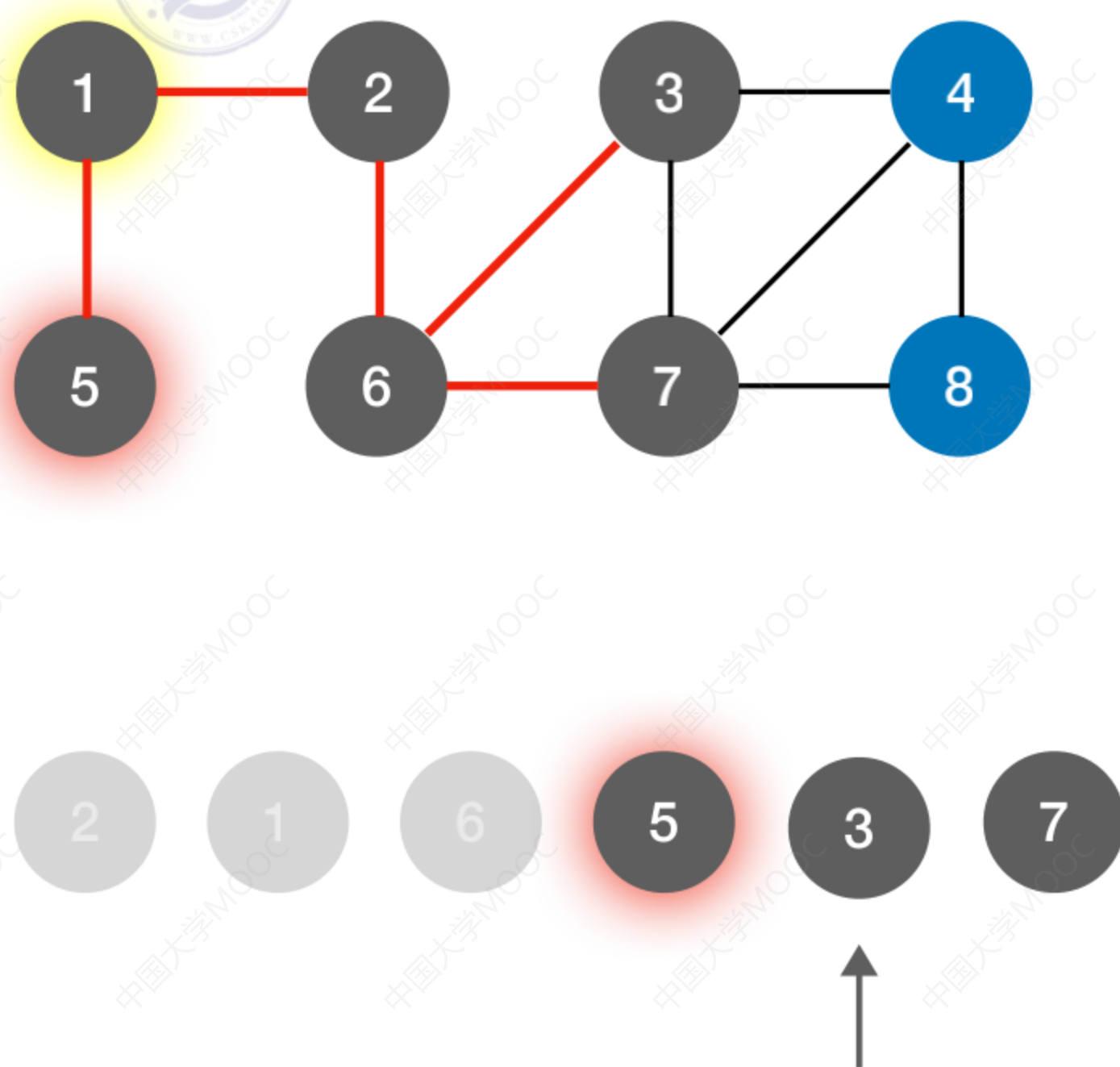
```
//广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ //从顶点v出发, 广度优先遍历图G
    visit(v); //访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; //对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); //顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); //顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            //检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ //w为v的尚未访问的邻接顶点
                visit(w); //访问顶点w
                visited[w]=TRUE; //对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); //顶点w入队列
            } //if
    } //while
}
```

	1	2	3	4	5	6	7	8
visited	false	true	false	false	false	false	false	false

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 代码实现

初始都为false



```
bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; //访问标记数组
```

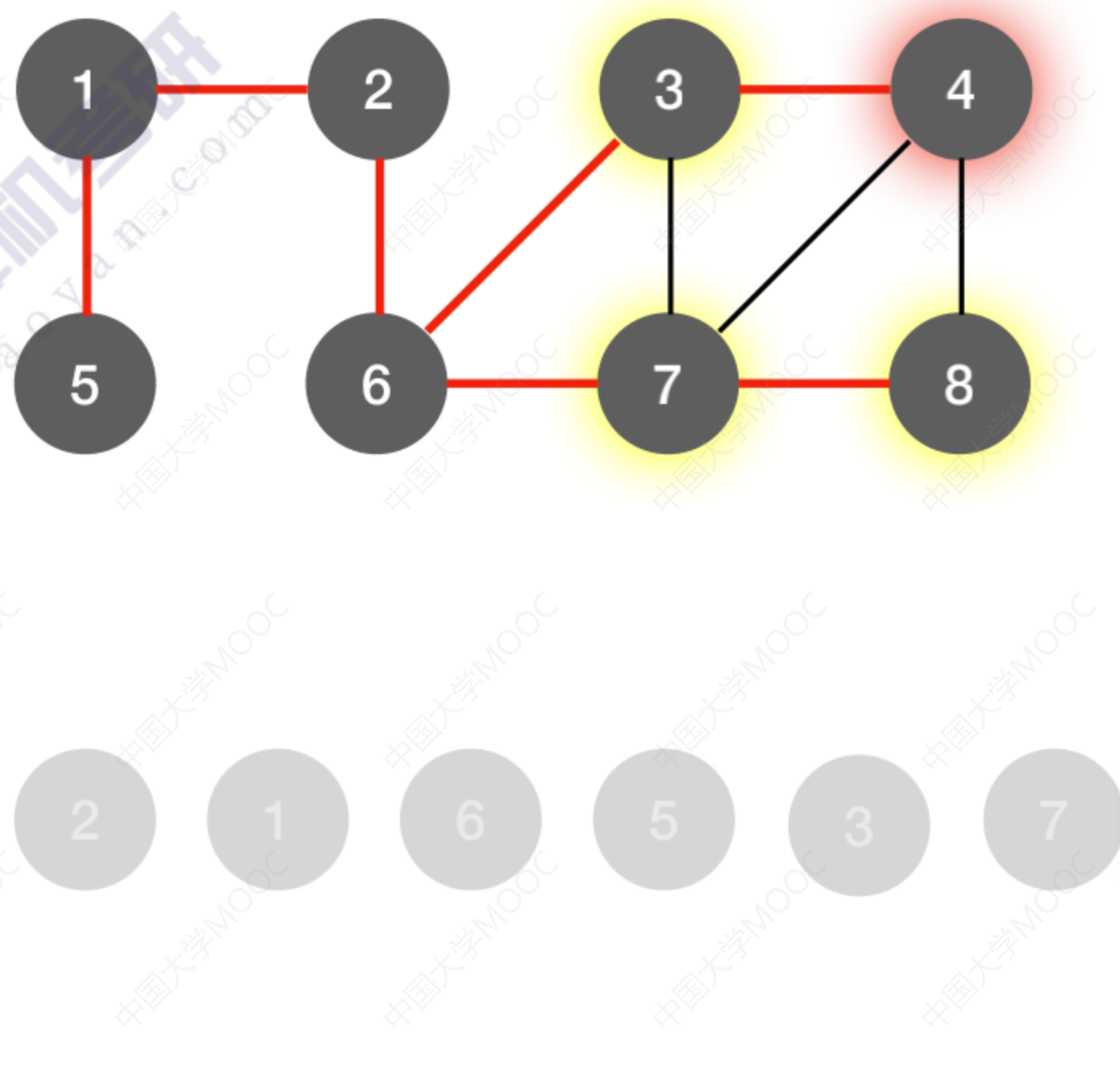
```
//广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ //从顶点v出发, 广度优先遍历图G
    visit(v); //访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; //对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); //顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); //顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            //检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ //w为v的尚未访问的邻接顶点
                visit(w); //访问顶点w
                visited[w]=TRUE; //对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); //顶点w入队列
            } //if
    } //while
}
```

	1	2	3	4	5	6	7	8
visited	true	true	true	false	true	true	true	false

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 代码实现

初始都为false



```
bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; //访问标记数组
```

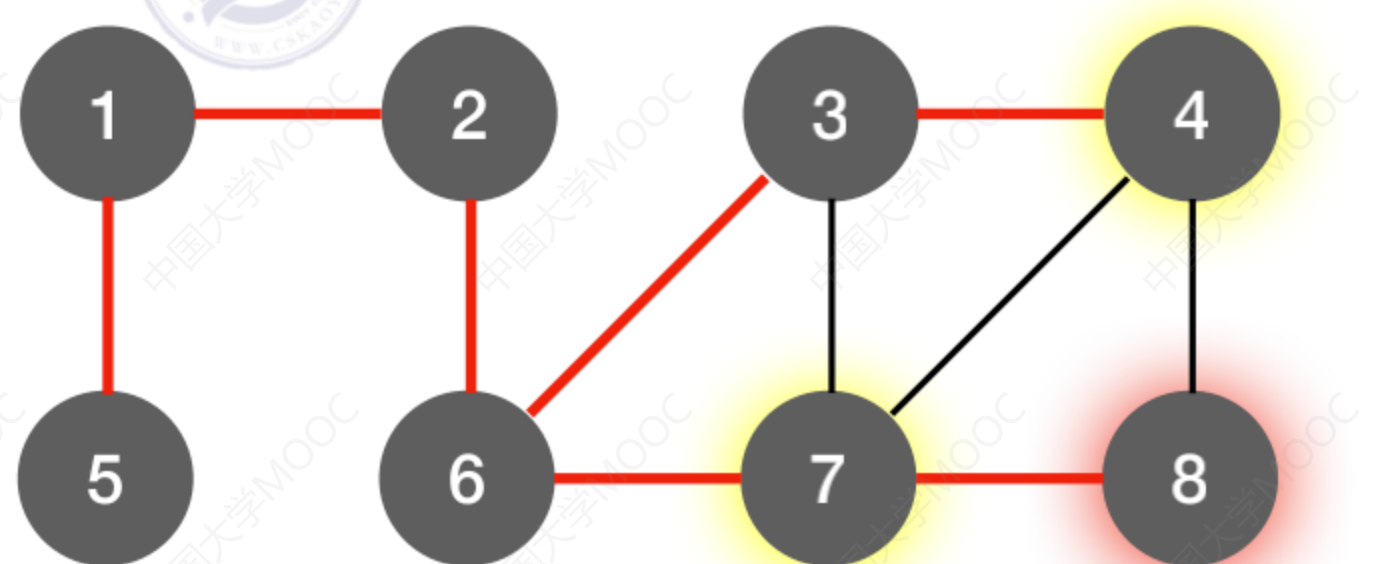
```
//广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ //从顶点v出发, 广度优先遍历图G
    visit(v); //访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; //对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); //顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); //顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            //检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ //w为v的尚未访问的邻接顶点
                visit(w); //访问顶点w
                visited[w]=TRUE; //对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); //顶点w入队列
            } //if
    } //while
}
```

	1	2	3	4	5	6	7	8
visited	true	true	true	true	true	true	true	true

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 代码实现

初始都为false



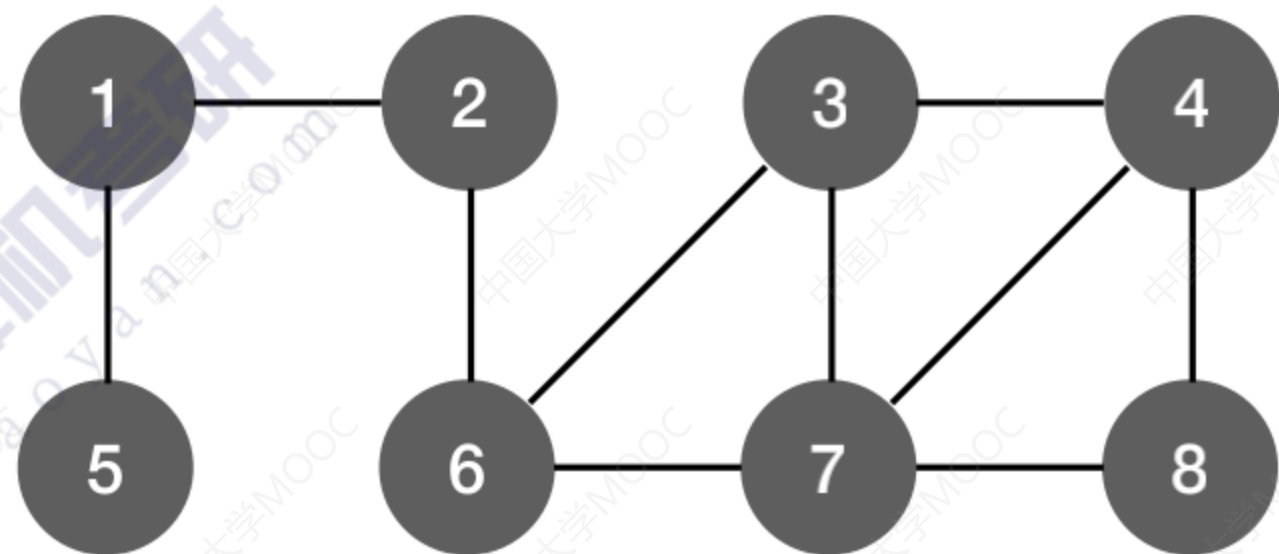
```
bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; //访问标记数组

//广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ //从顶点v出发, 广度优先遍历图G
    visit(v); //访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; //对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); //顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); //顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            //检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ //w为v的尚未访问的邻接顶点
                visit(w); //访问顶点w
                visited[w]=TRUE; //对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); //顶点w入队列
            } //if
    } //while
}
```

	1	2	3	4	5	6	7	8
visited	true	true	true	true	true	true	true	true

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先遍历序列



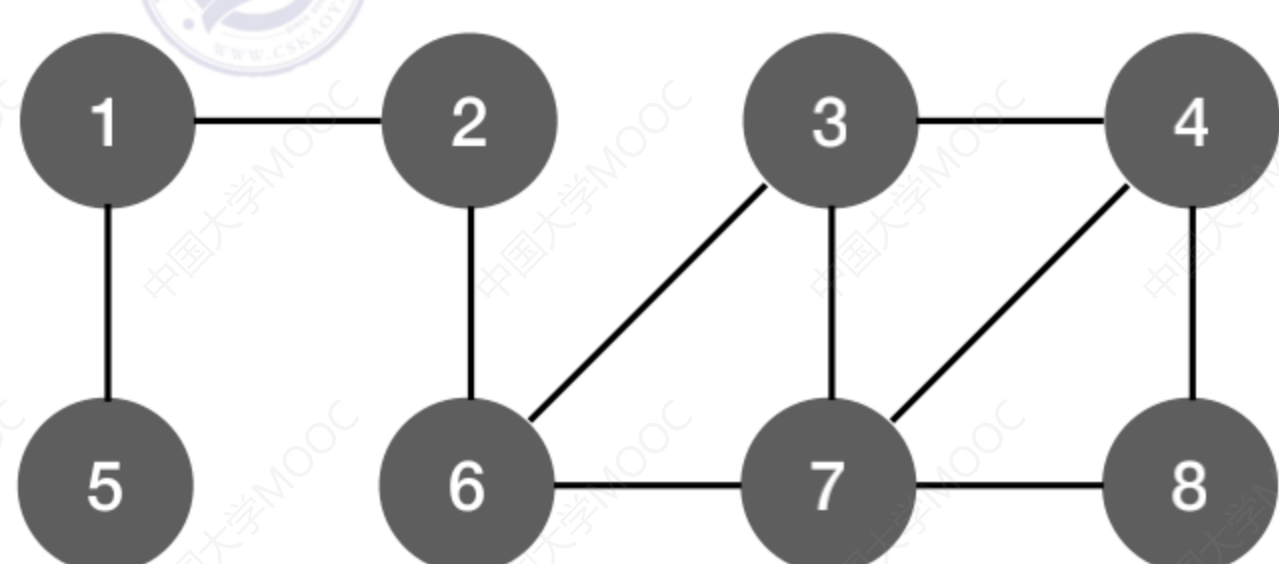
从顶点1出发得到的广度优先遍历序列:  
1, 2, 5, 6, 3, 7, 4, 8

从顶点3出发得到的广度优先遍历序列:  
3, 4, 6, 7, 8, 2, 1, 5

从顶点2出发得到的广度优先遍历序列

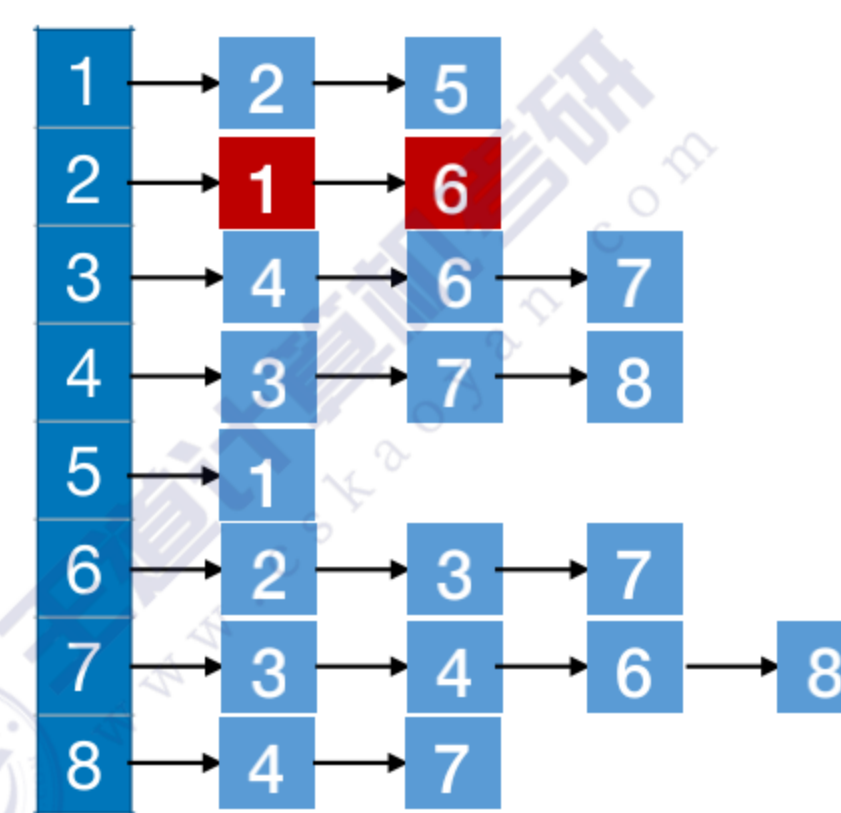
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 遍历序列的可变性



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

邻接矩阵



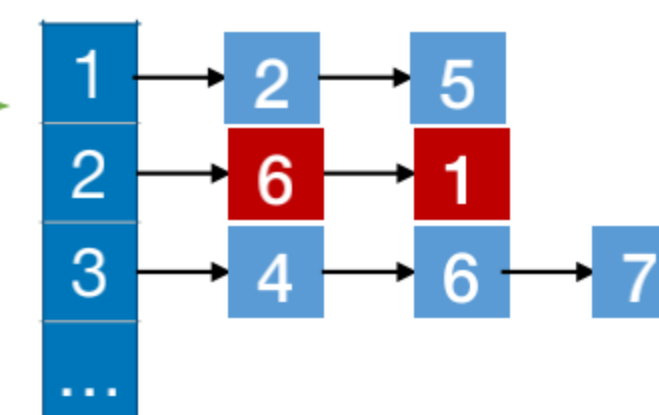
邻接表



从顶点2出发得到的广度优先遍历序列

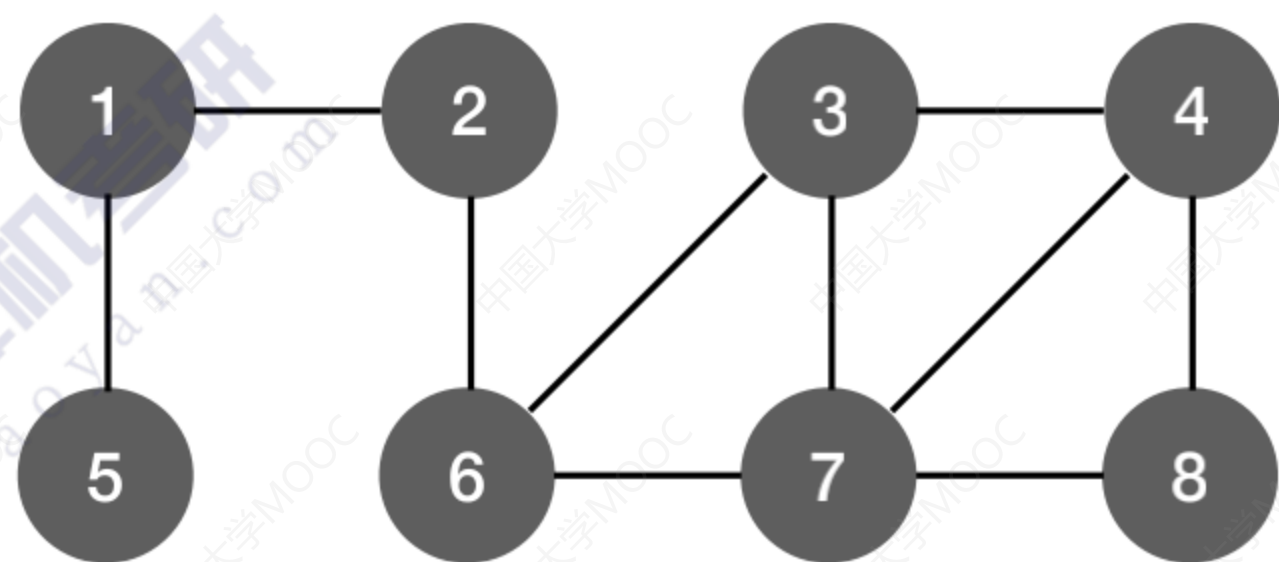
广度优先遍历序列:  
2, 6, 1...

同一个图的邻接矩阵表示方式**唯一**，因此广度优先遍历序列**唯一**  
同一个图邻接表表示方式**不唯一**，因此广度优先遍历序列**不唯一**



王道考研/CSKAOYAN.COM

## 算法存在的问题



如果是非连通图，则无法遍历完所有结点

初始都为false

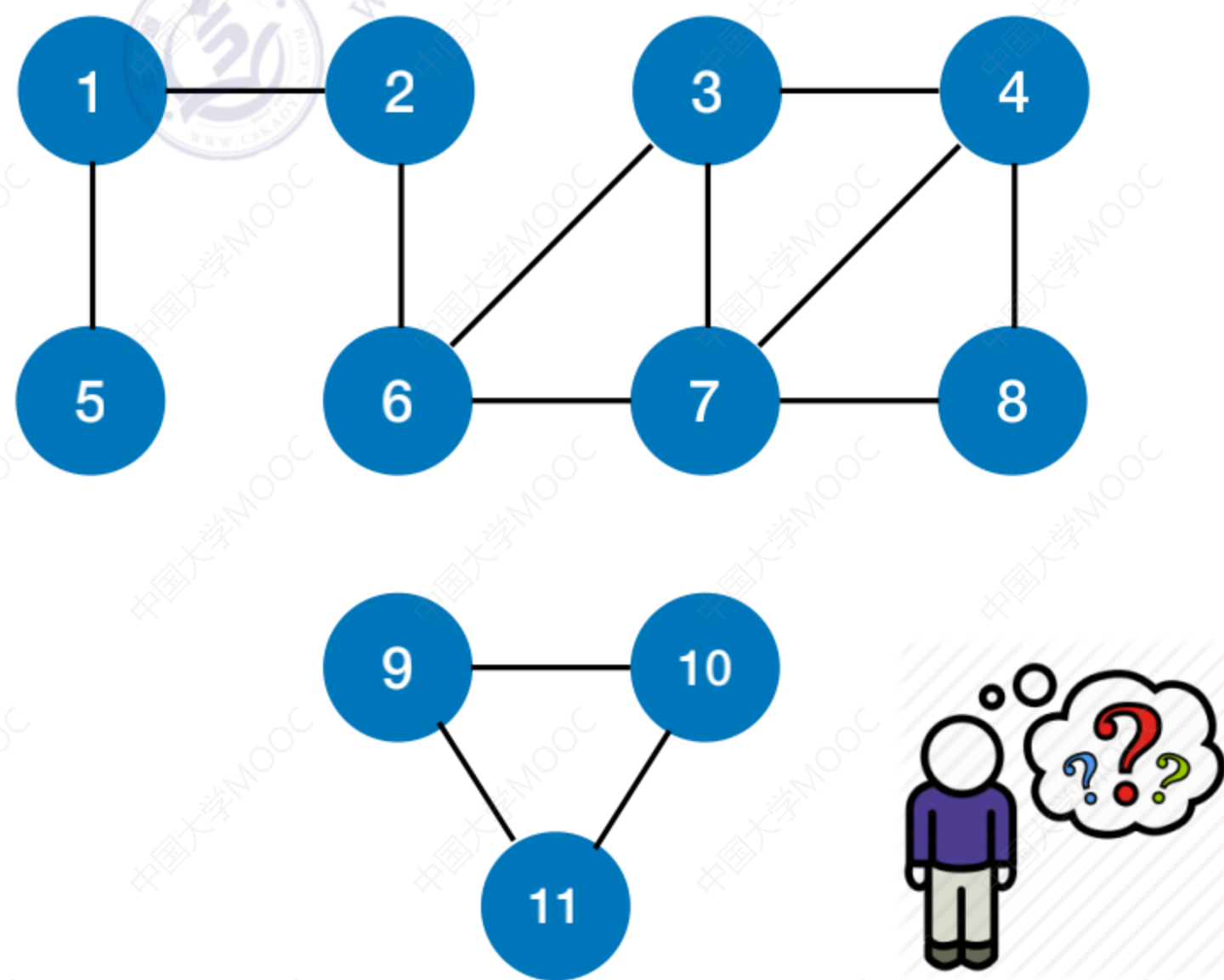
```
bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; //访问标记数组

//广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ //从顶点v出发，广度优先遍历图G
    visit(v); //访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; //对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); //顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); //顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            //检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ //w为v的尚未访问的邻接点
                visit(w); //访问顶点w
                visited[w]=TRUE; //对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); //顶点w入队列
            } //if
        } //while
    }
}
```

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
visite	true	true	true	true	true	true	true	true	false	false	false

王道考研/CSKAOYAN.COM

## BFS算法 (Final版)



如果是非连通图，则无法遍历完所有结点

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
visited	false	false	false	false	false	false	false	false	false	false	false

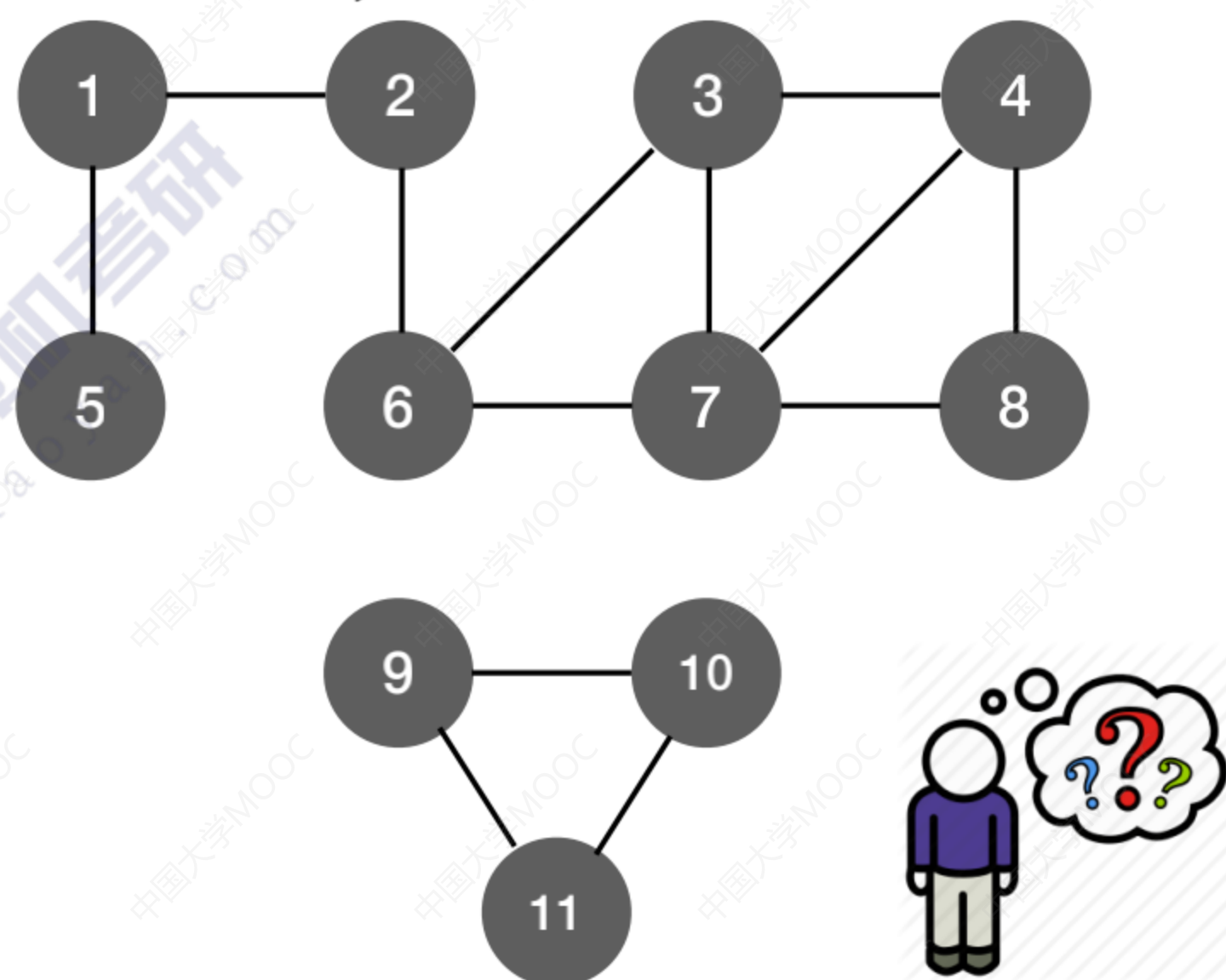
```

bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; //访问标记数组
void BFSTraverse(Graph G){ //对图G进行广度优先遍历
    for(i=0;i<G.vexnum;++i)
        visited[i]=FALSE; //访问标记数组初始化
    InitQueue(Q); //初始化辅助队列Q
    for(i=0;i<G.vexnum;++i) //从0号顶点开始遍历
        if(!visited[i]) //对每个连通分量调用一次BFS
            BFS(G,i); //vi未访问过，从vi开始BFS
}
//广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ //从顶点v出发，广度优先遍历图G
    visit(v); //访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; //对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); //顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); //顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            //检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ //w为v的尚未访问的邻接点
                visit(w); //访问顶点w
                visited[w]=TRUE; //对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); //顶点w入队列
            } //if
    } //while
}
    
```

王道考研/CSKAOYAN.COM

## BFS算法 (Final版)

结论：对于无向图，调用BFS函数的次数=连通分量数



如果是非连通图，则无法遍历完所有结点

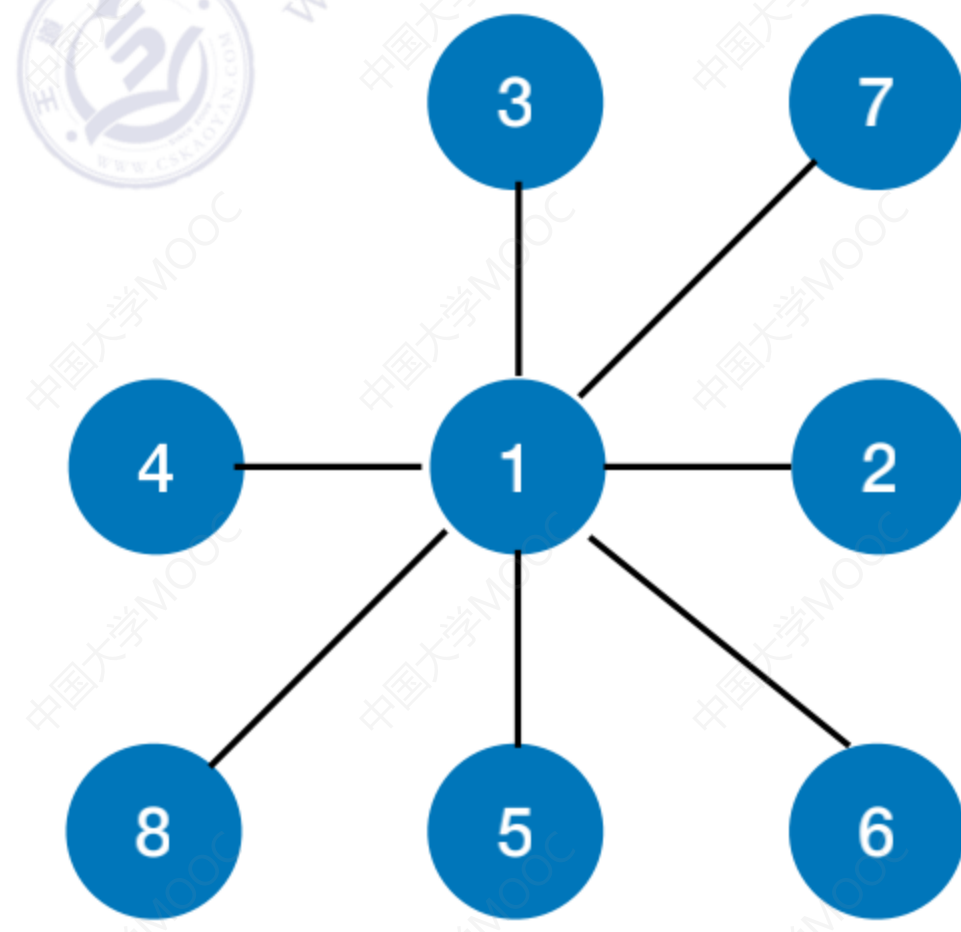
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
visited	true	true	true	true	true	true	true	true	true	true	true

```

bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; //访问标记数组
void BFSTraverse(Graph G){ //对图G进行广度优先遍历
    for(i=0;i<G.vexnum;++i)
        visited[i]=FALSE; //访问标记数组初始化
    InitQueue(Q); //初始化辅助队列Q
    for(i=0;i<G.vexnum;++i) //从0号顶点开始遍历
        if(!visited[i]) //对每个连通分量调用一次BFS
            BFS(G,i); //vi未访问过，从vi开始BFS
}
//广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ //从顶点v出发，广度优先遍历图G
    visit(v); //访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; //对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); //顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); //顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            //检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ //w为v的尚未访问的邻接点
                visit(w); //访问顶点w
                visited[w]=TRUE; //对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); //顶点w入队列
            } //if
    } //while
}
    
```

王道考研/CSKAOYAN.COM

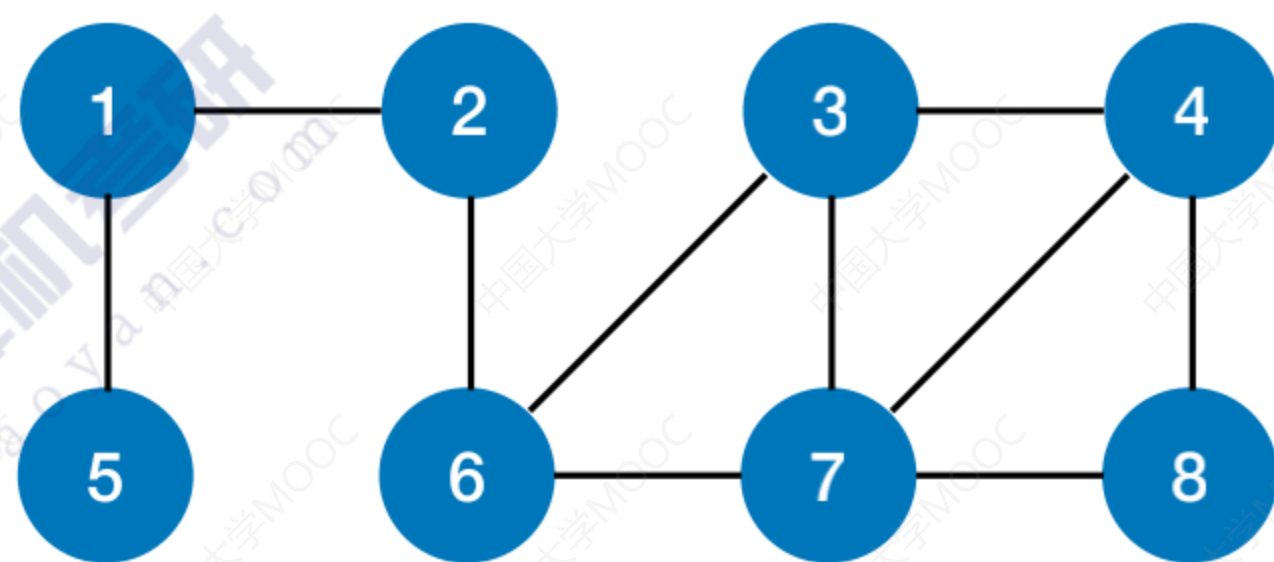
## 复杂度分析



空间复杂度：最坏情况，辅助队列大小为  $O(|V|)$

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 复杂度分析

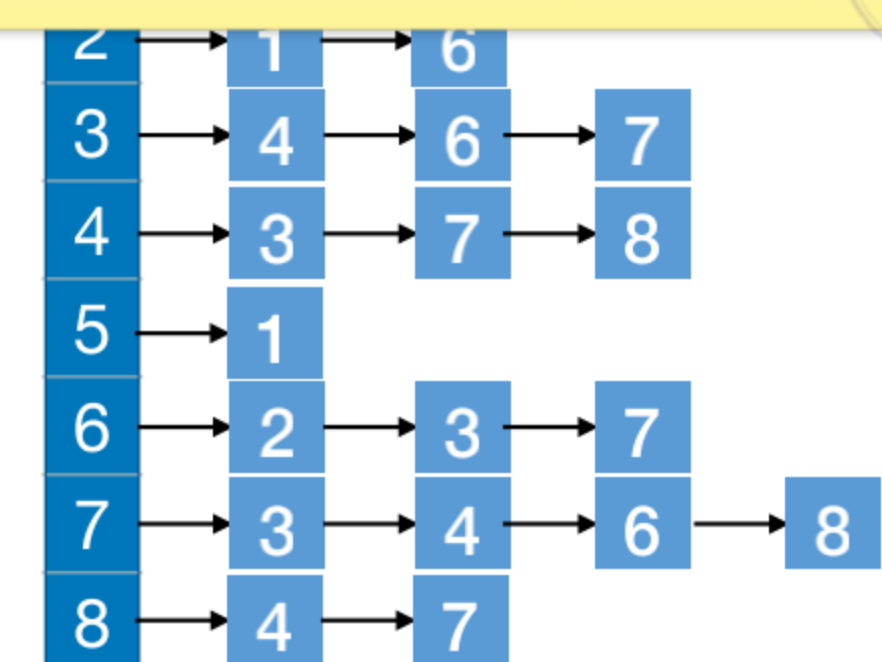


	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

邻接矩阵

邻接矩阵存储的图：  
访问  $|V|$  个顶点需要  $O(|V|)$  的时间  
查找每个顶点的邻接点都需要  $O(|V|)$  的时间，而总共有  $|V|$  个顶点  
时间复杂度 =  $O(|V|^2)$

其实对于无向图来说，应该是  $O(2|E|)$  的时间

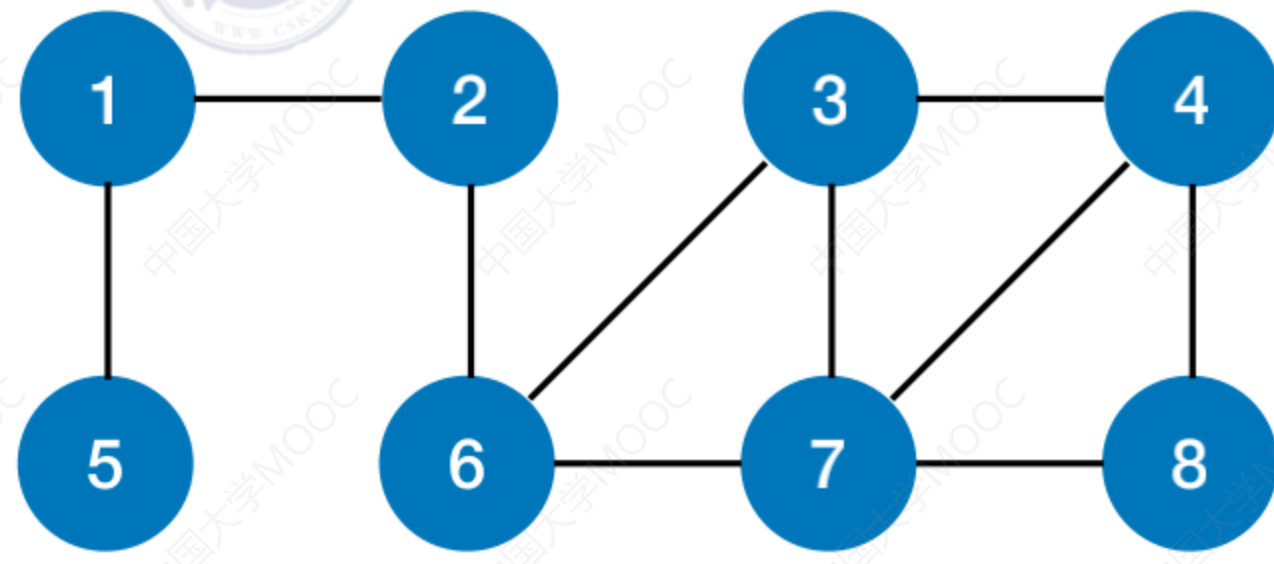


邻接表

邻接表存储的图：  
访问  $|V|$  个顶点需要  $O(|V|)$  的时间  
查找各个顶点的邻接点共需要  $O(|E|)$  的时间，  
时间复杂度 =  $O(|V|+|E|)$

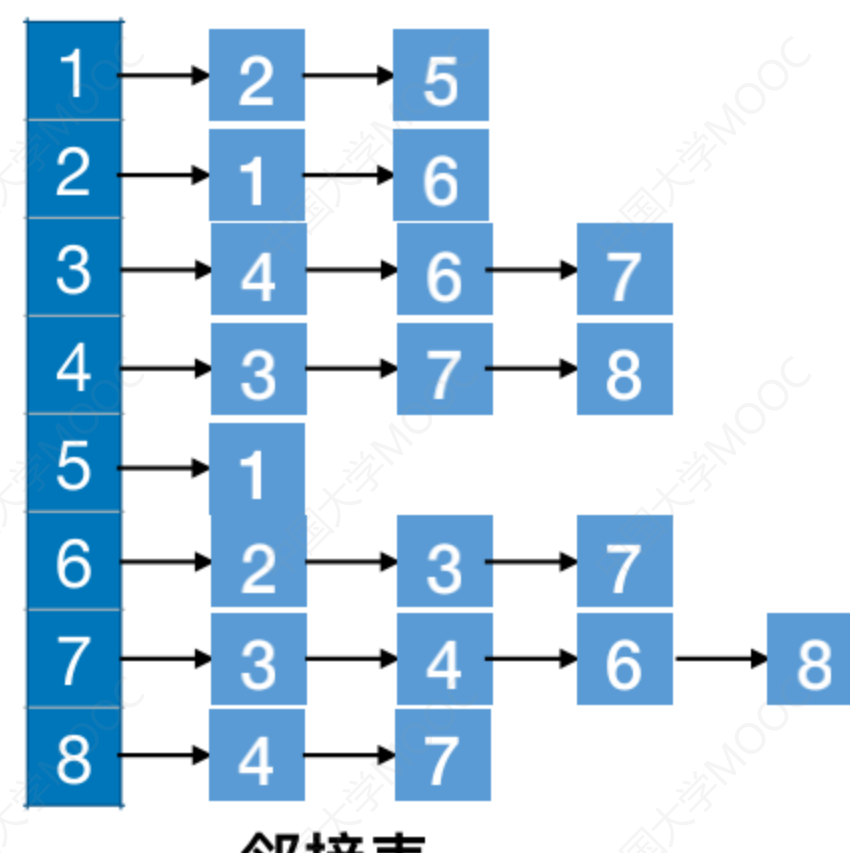
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

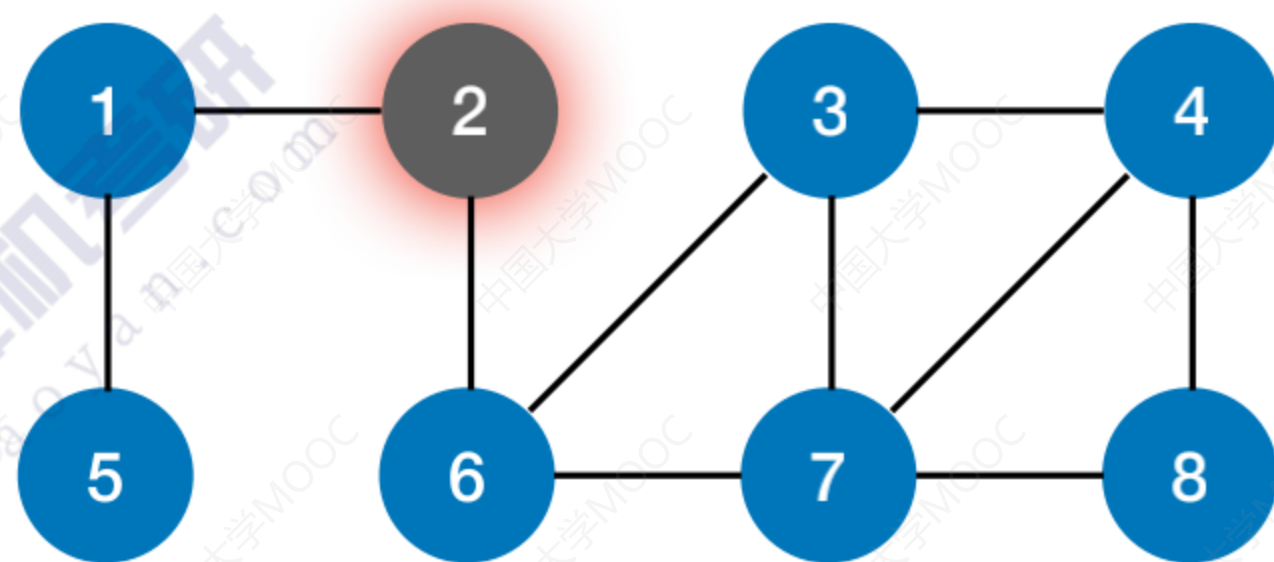
邻接矩阵



邻接表

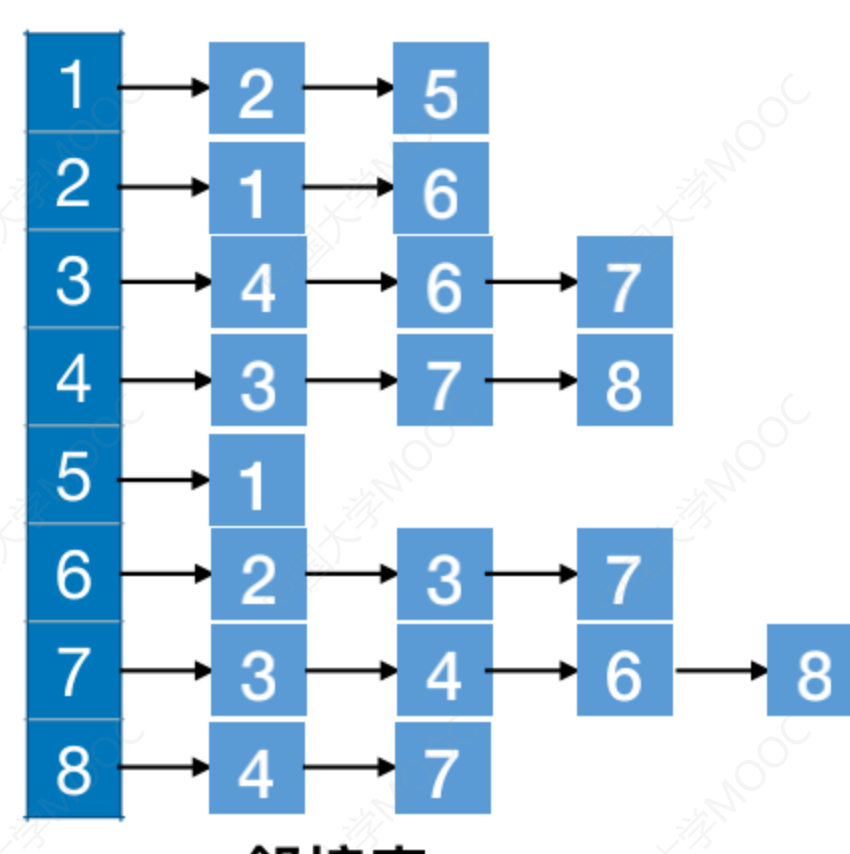
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

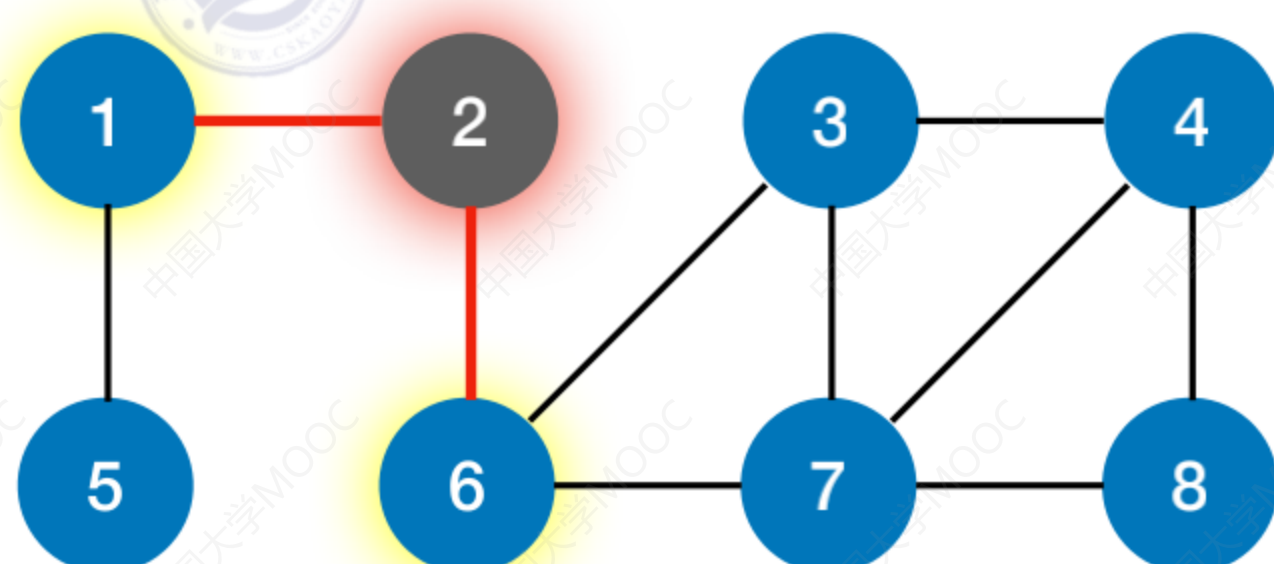
邻接矩阵



邻接表

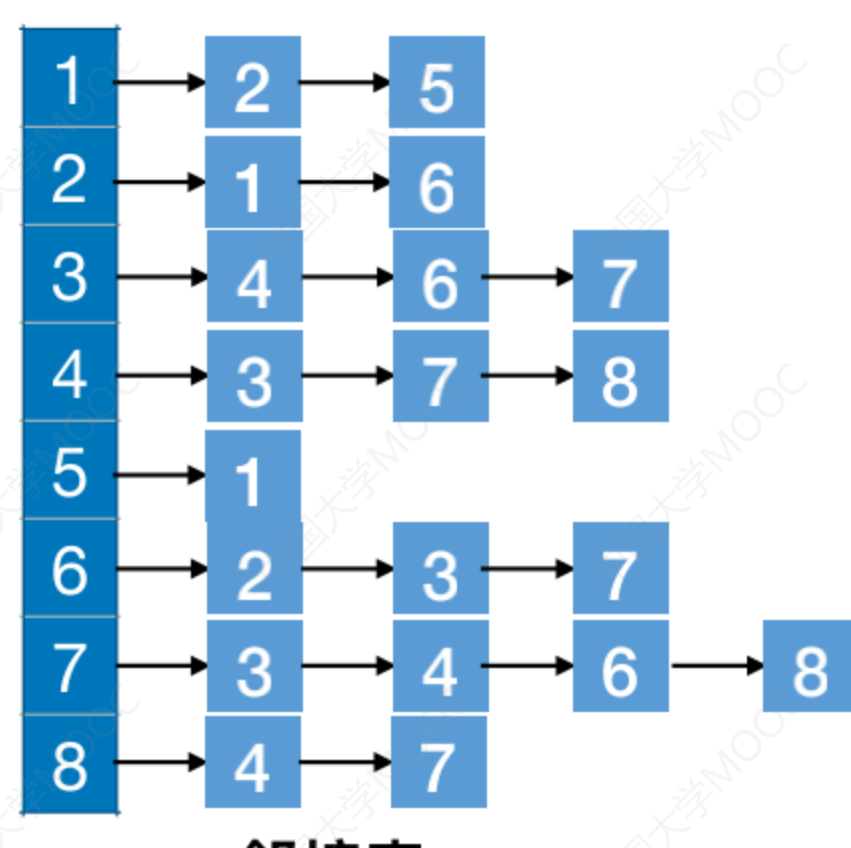
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

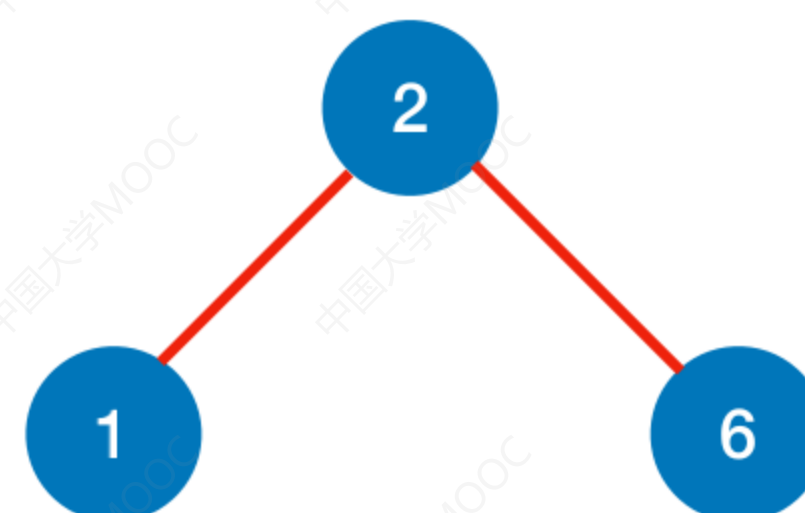
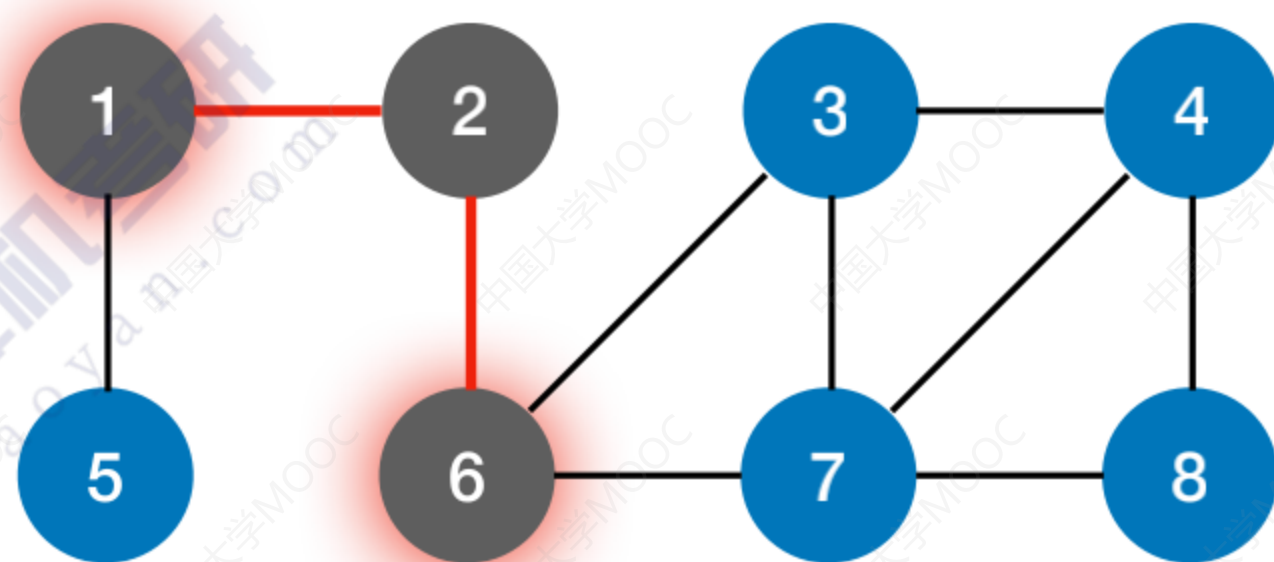
邻接矩阵



邻接表

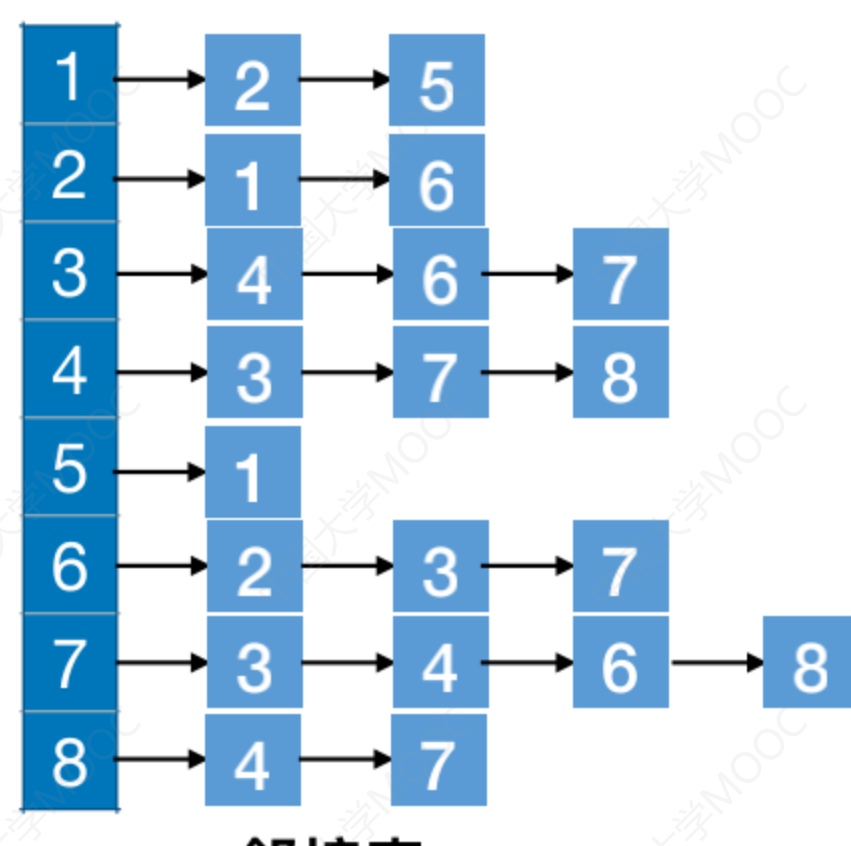
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

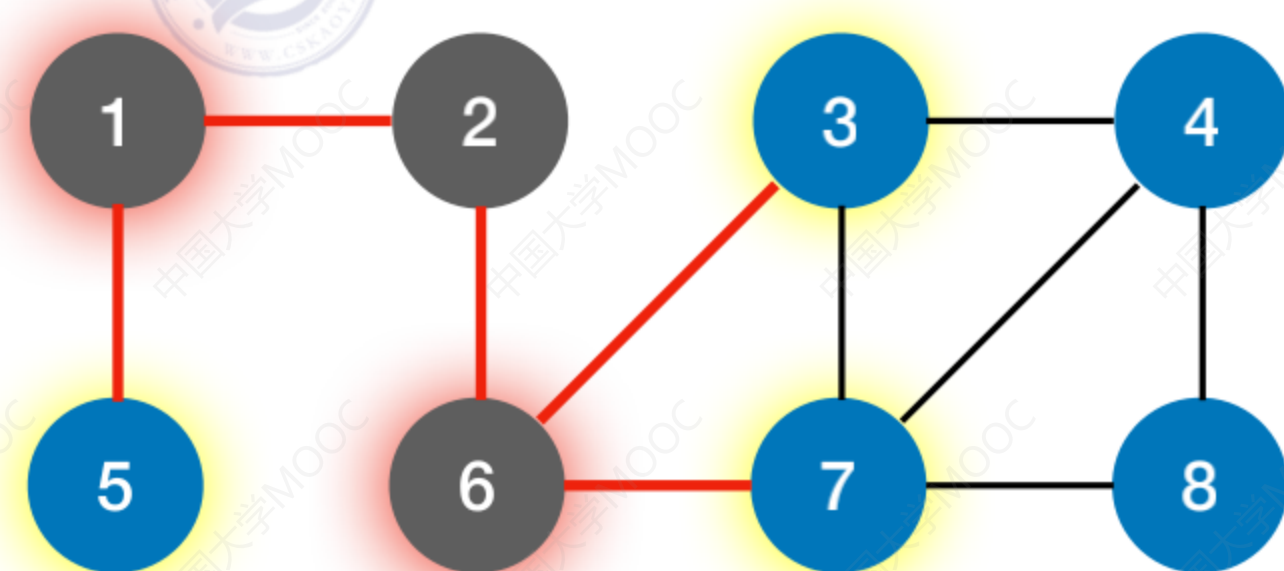
邻接矩阵



邻接表

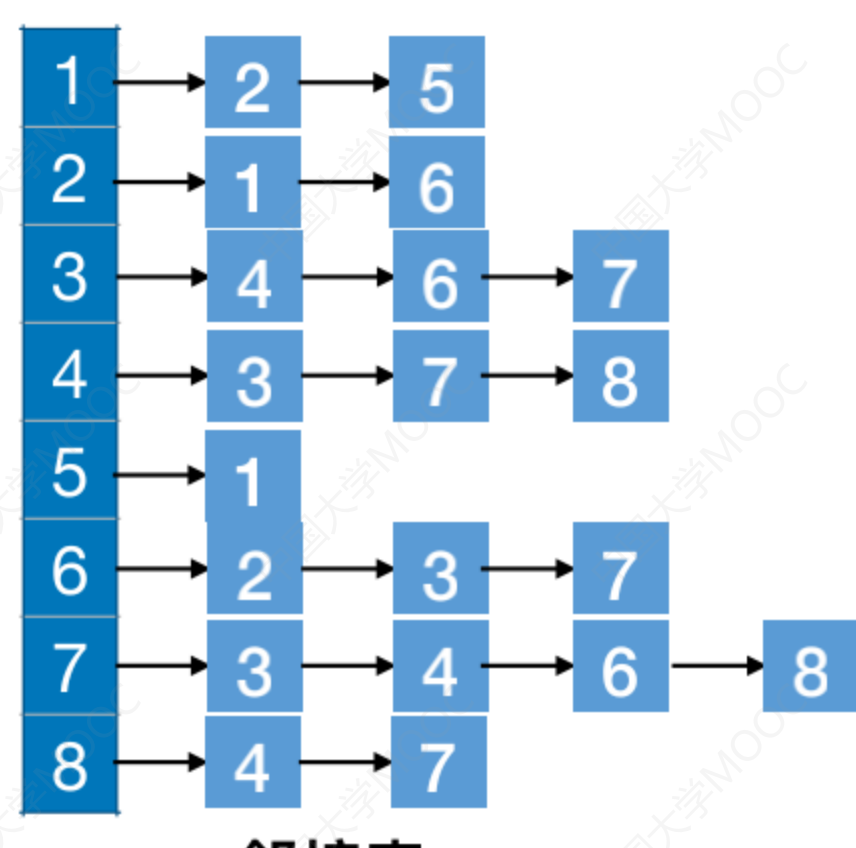
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树

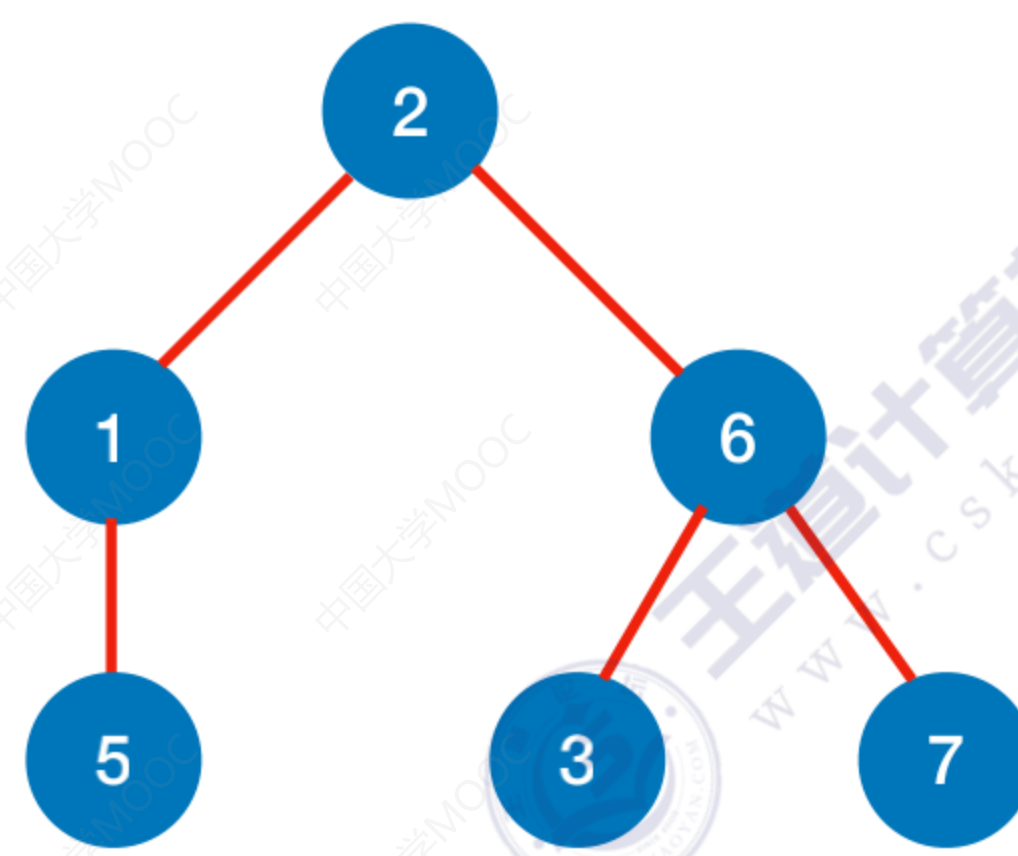


	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

邻接矩阵

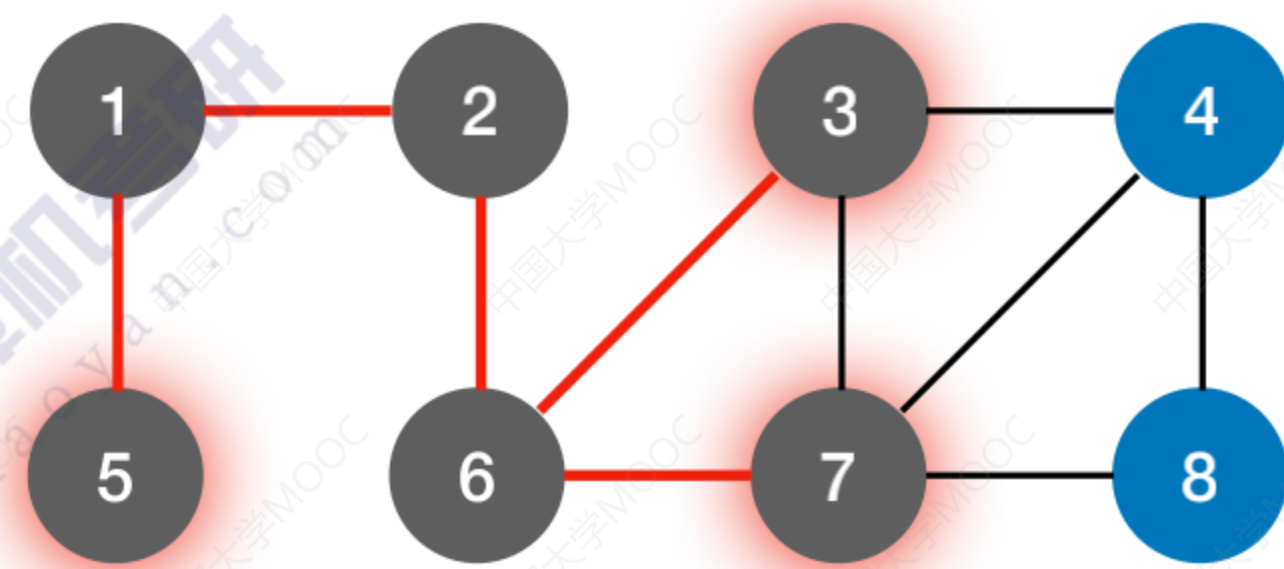


邻接表



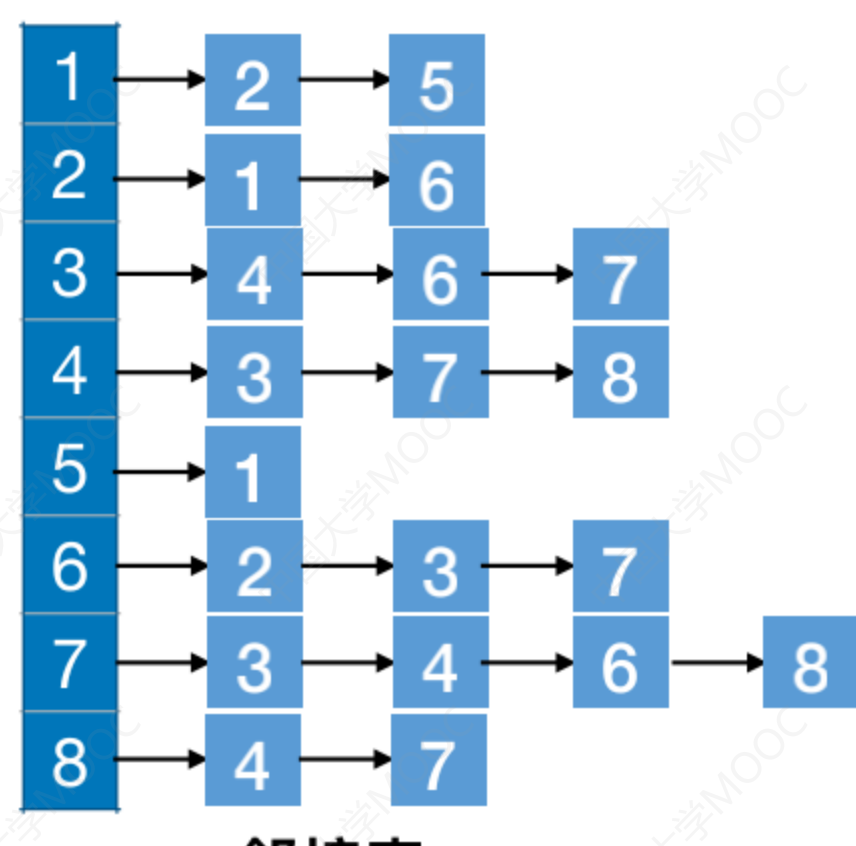
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树

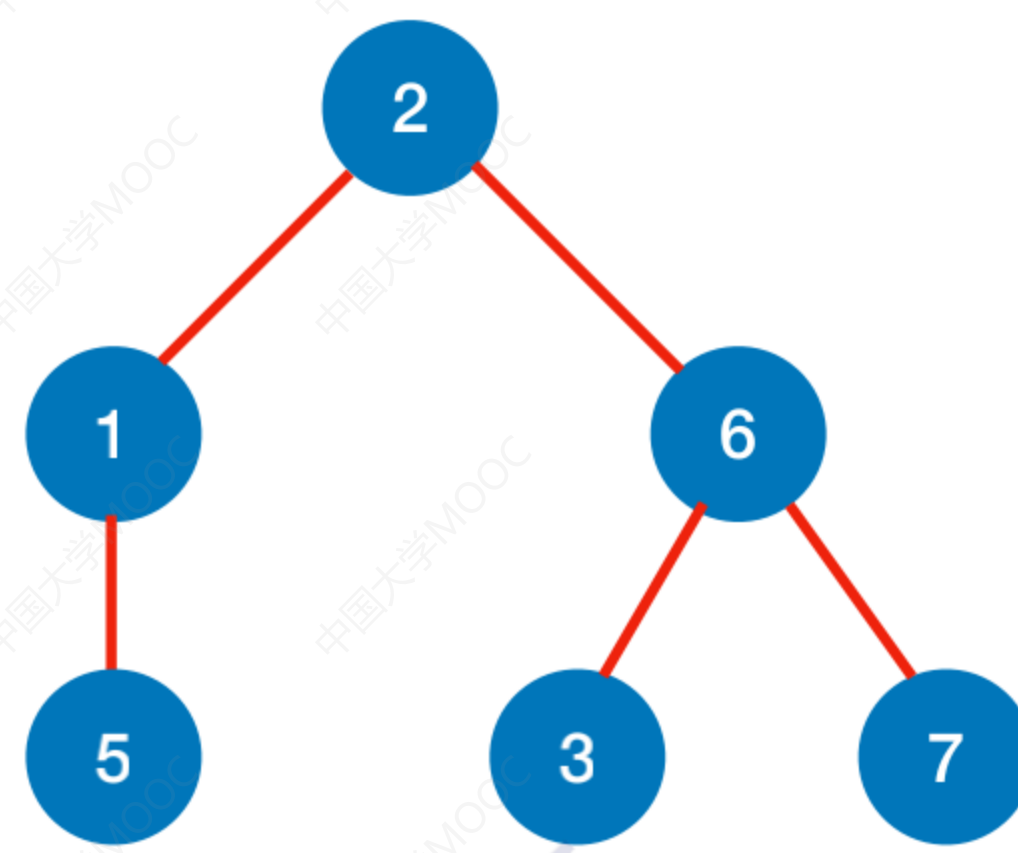


	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

邻接矩阵

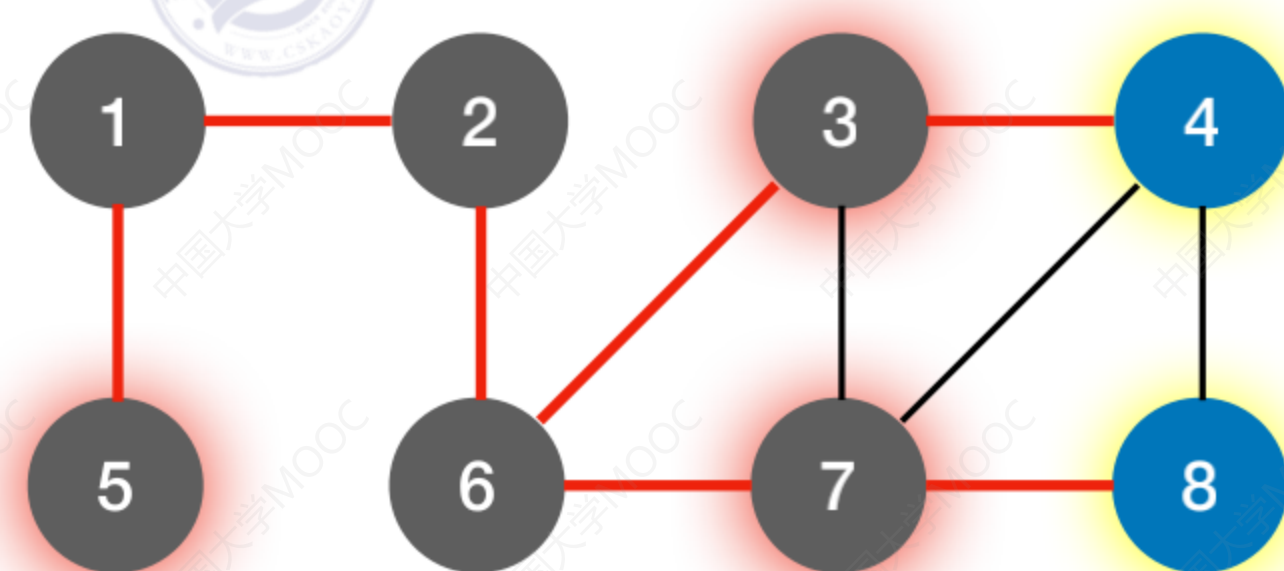


邻接表



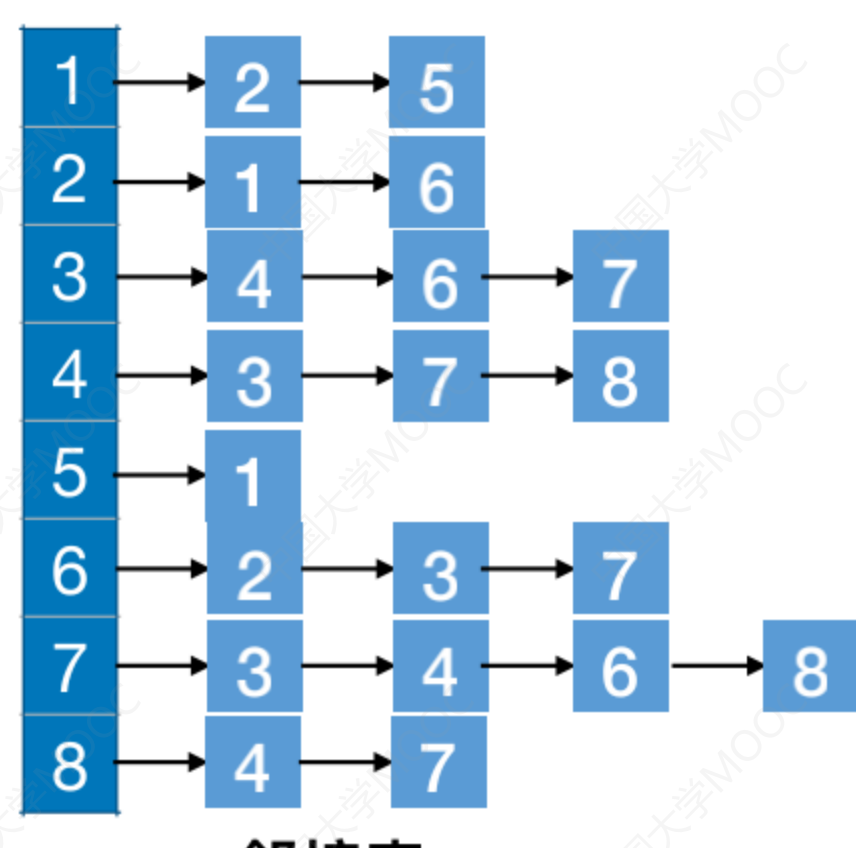
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树

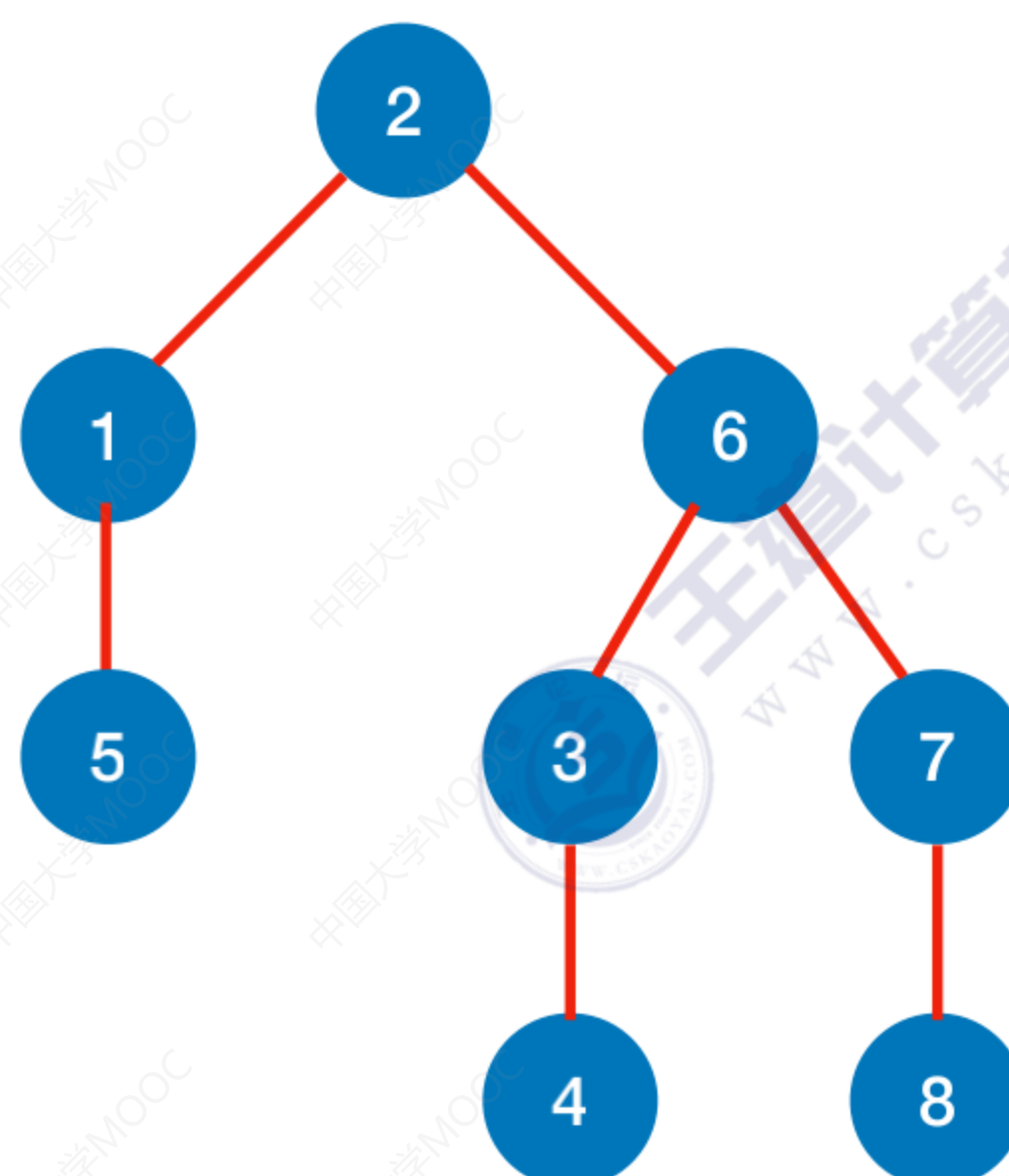


	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

邻接矩阵

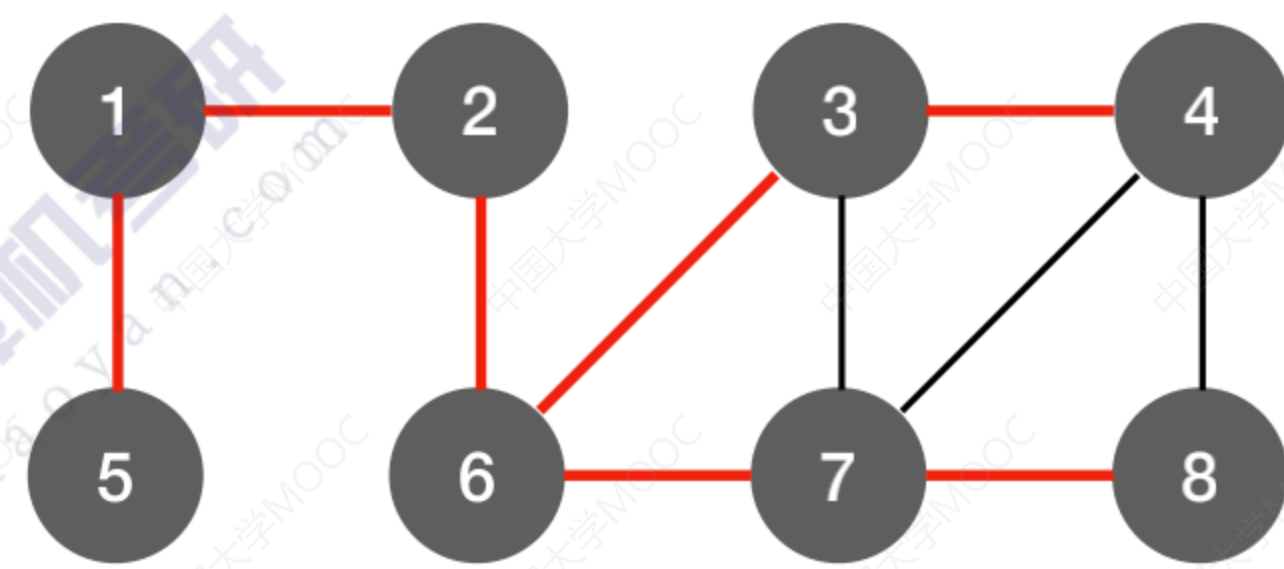


邻接表



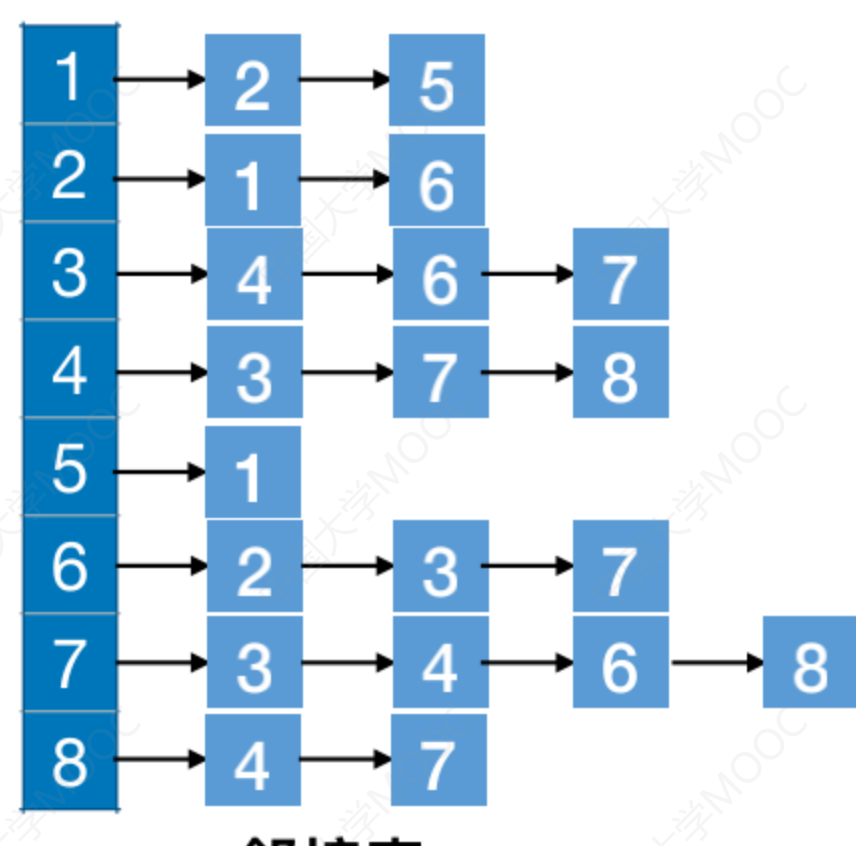
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树

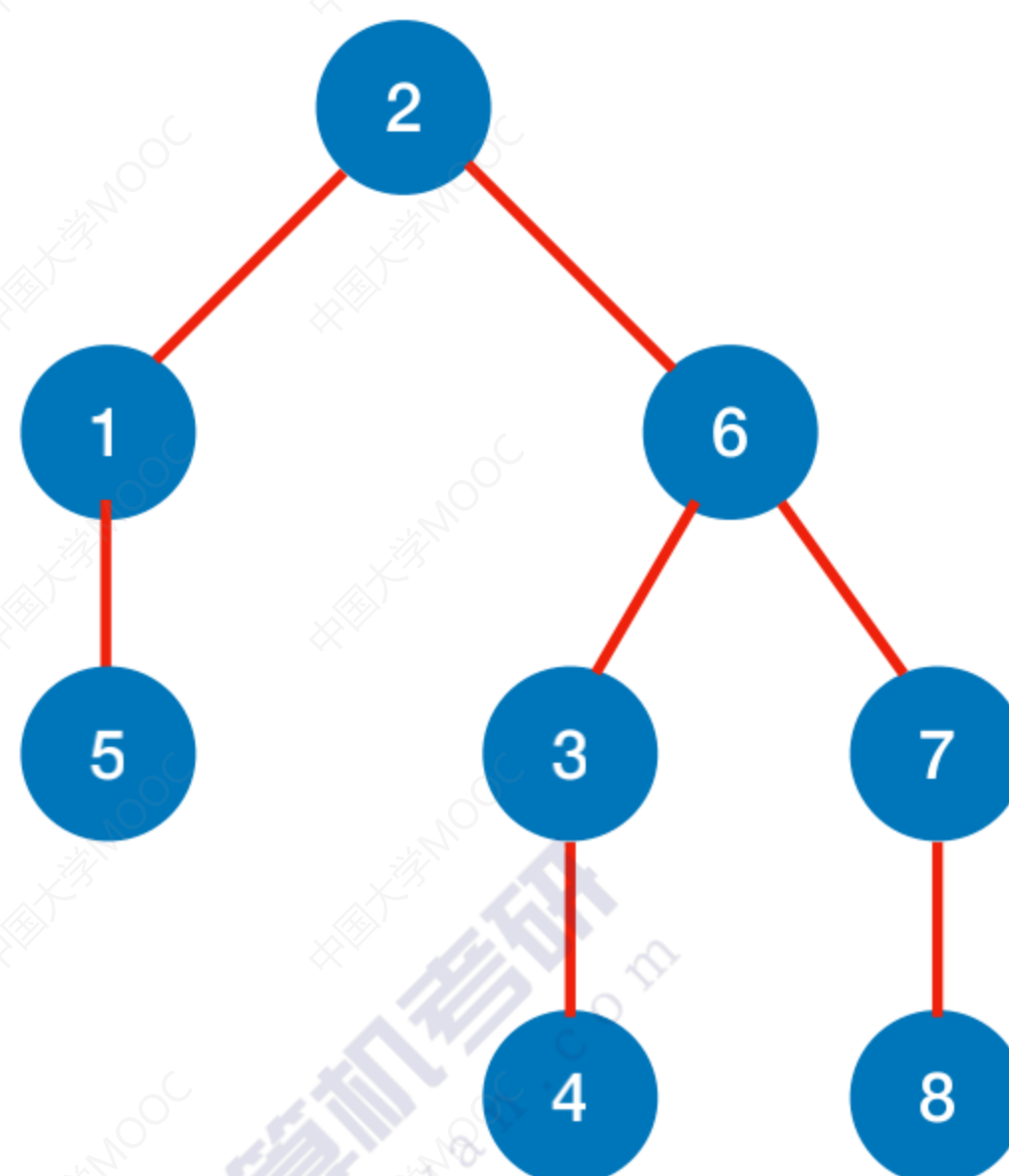


	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	0	0	0	1	0
7	0	0	1	1	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	1	0

邻接矩阵



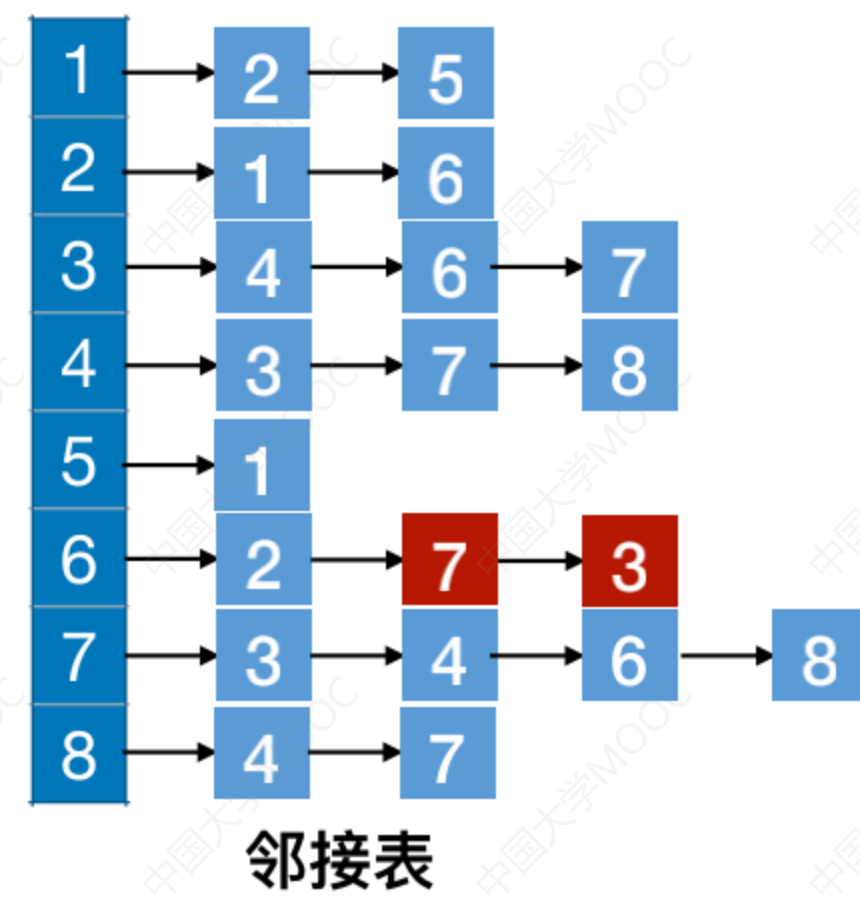
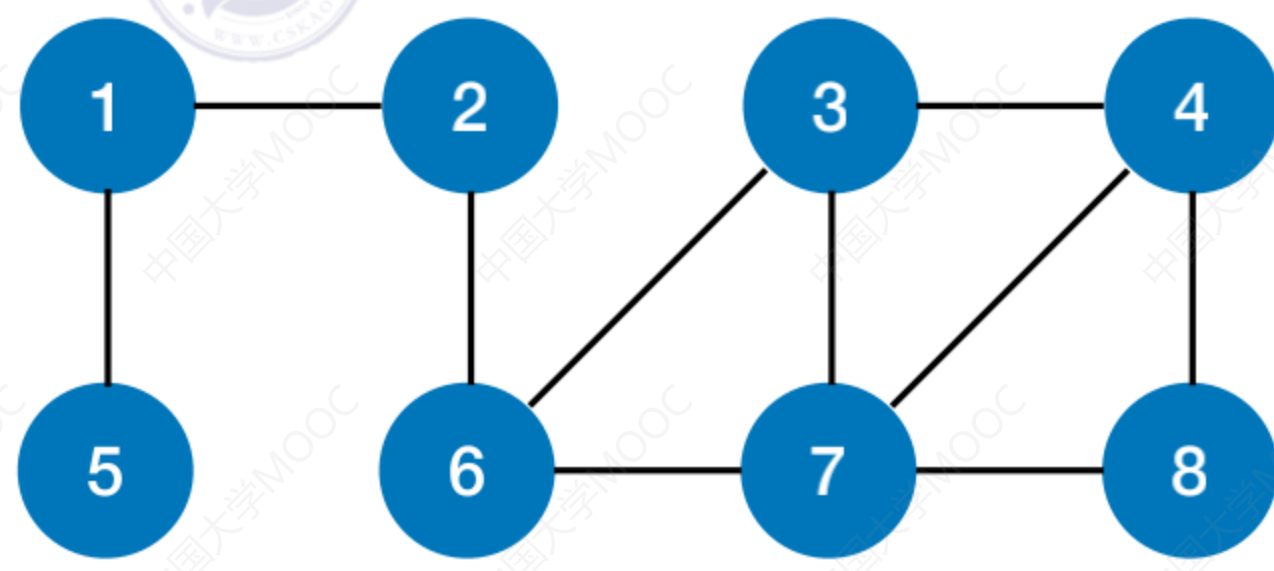
邻接表



广度优先生成树

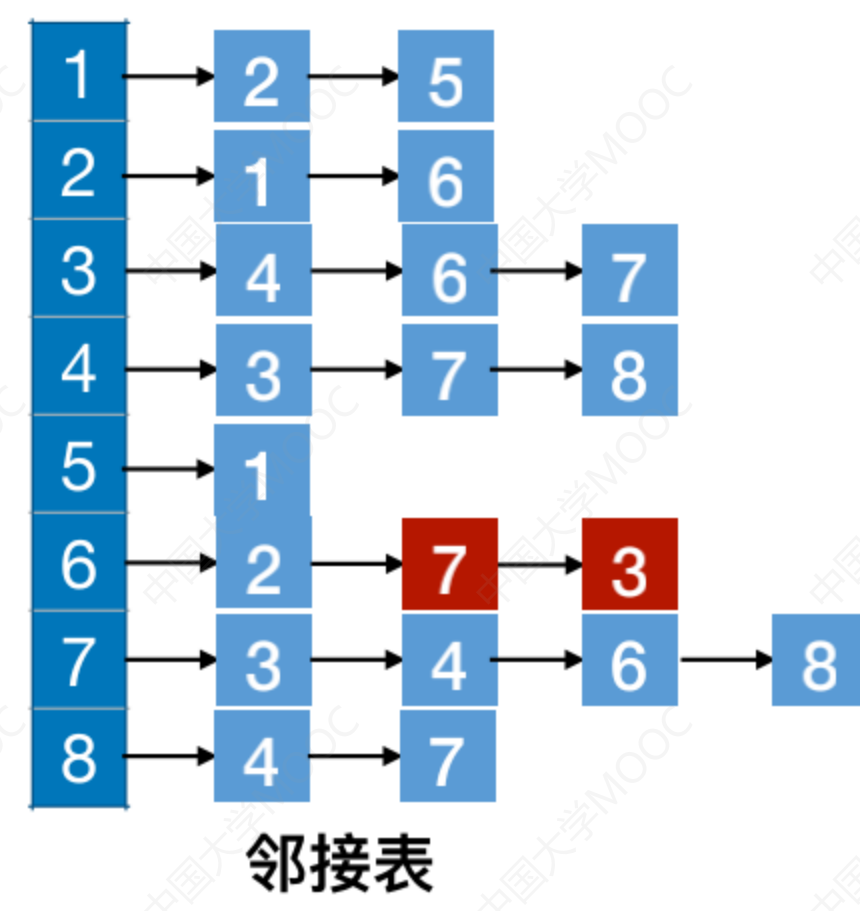
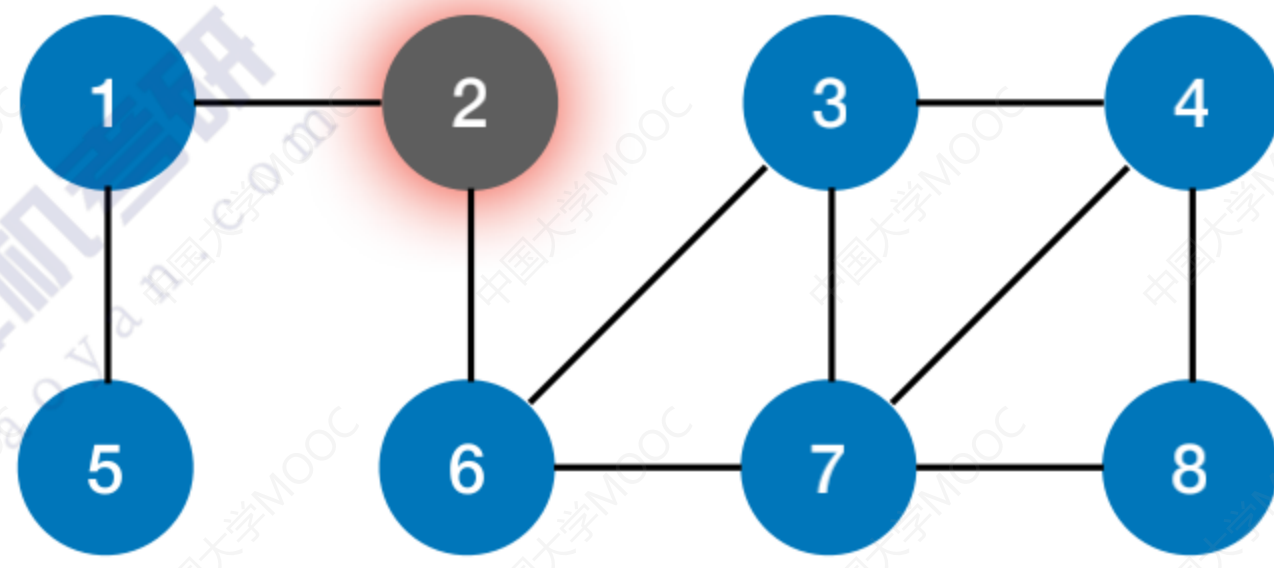
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树



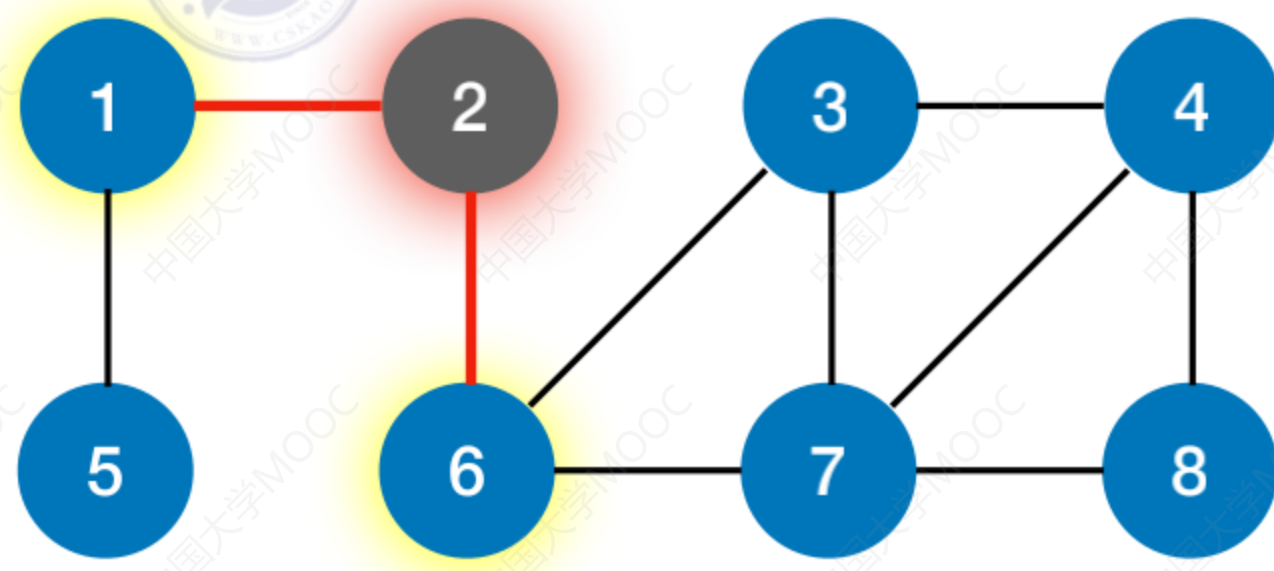
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树



王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树

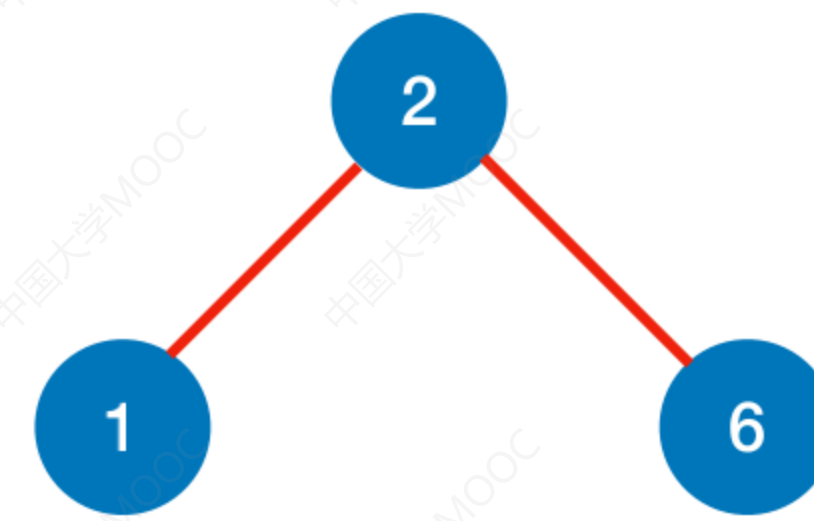
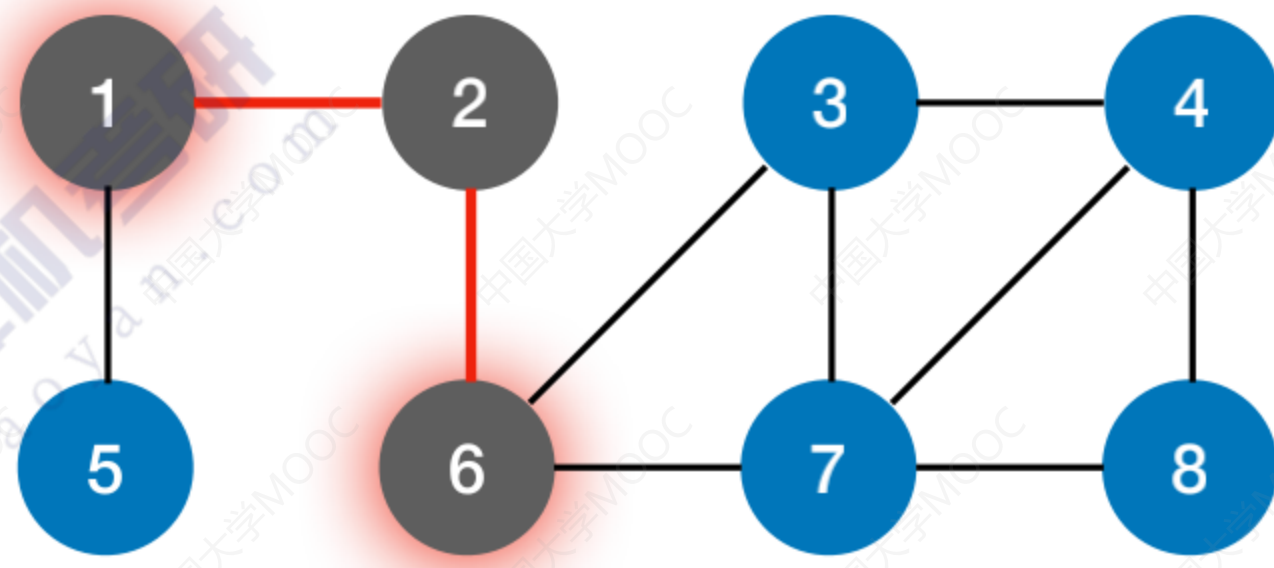


1	→	2	→	5				
2	→	1	→	6				
3	→	4	→	6	→	7		
4	→	3	→	7	→	8		
5	→	1						
6	→	2	→	7	→	3		
7	→	3	→	4	→	6	→	8
8	→	4	→	7				

邻接表

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树

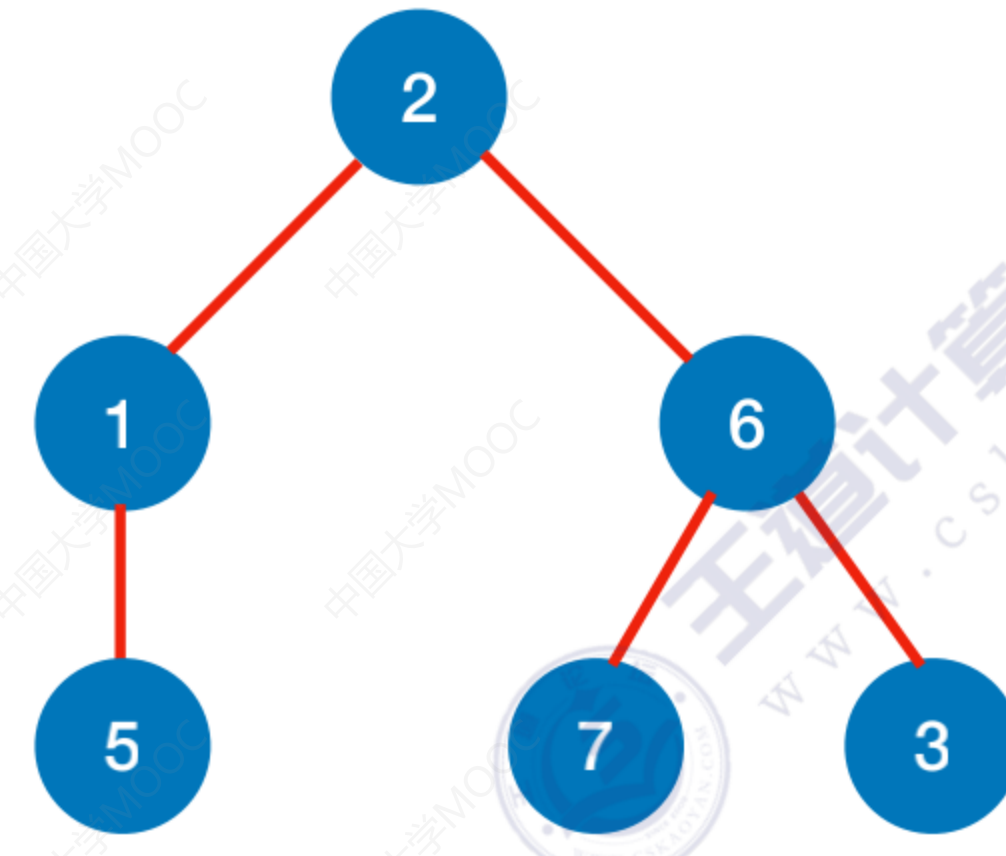
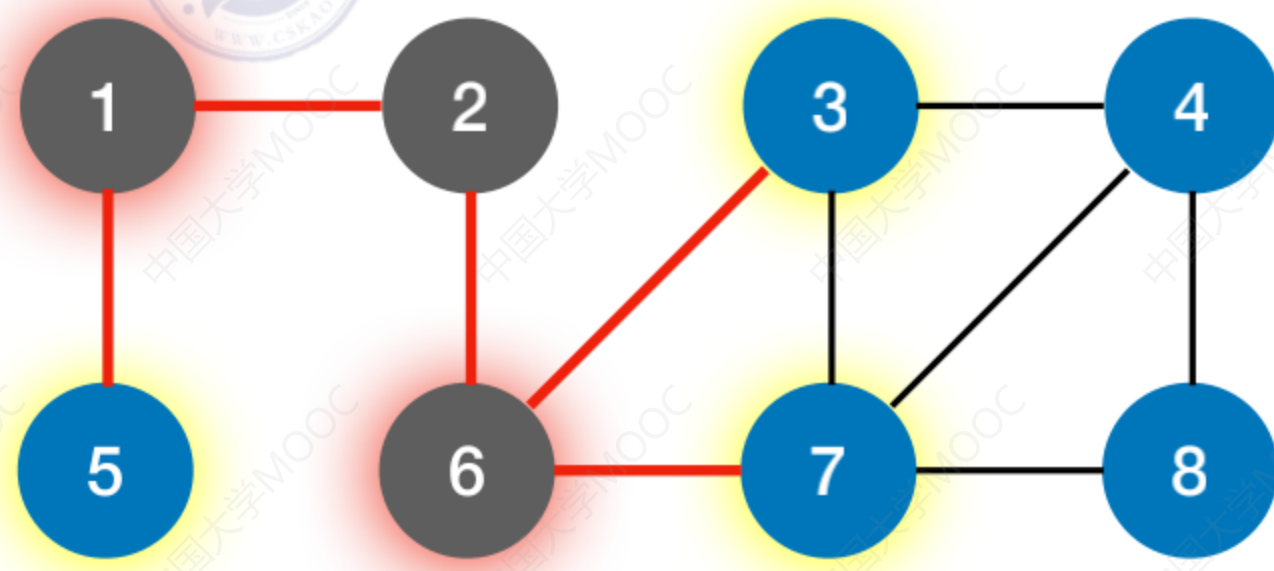


1	→	2	→	5				
2	→	1	→	6				
3	→	4	→	6	→	7		
4	→	3	→	7	→	8		
5	→	1						
6	→	2	→	7	→	3		
7	→	3	→	4	→	6	→	8
8	→	4	→	7				

邻接表

王道考研/CSKAOYAN.COM

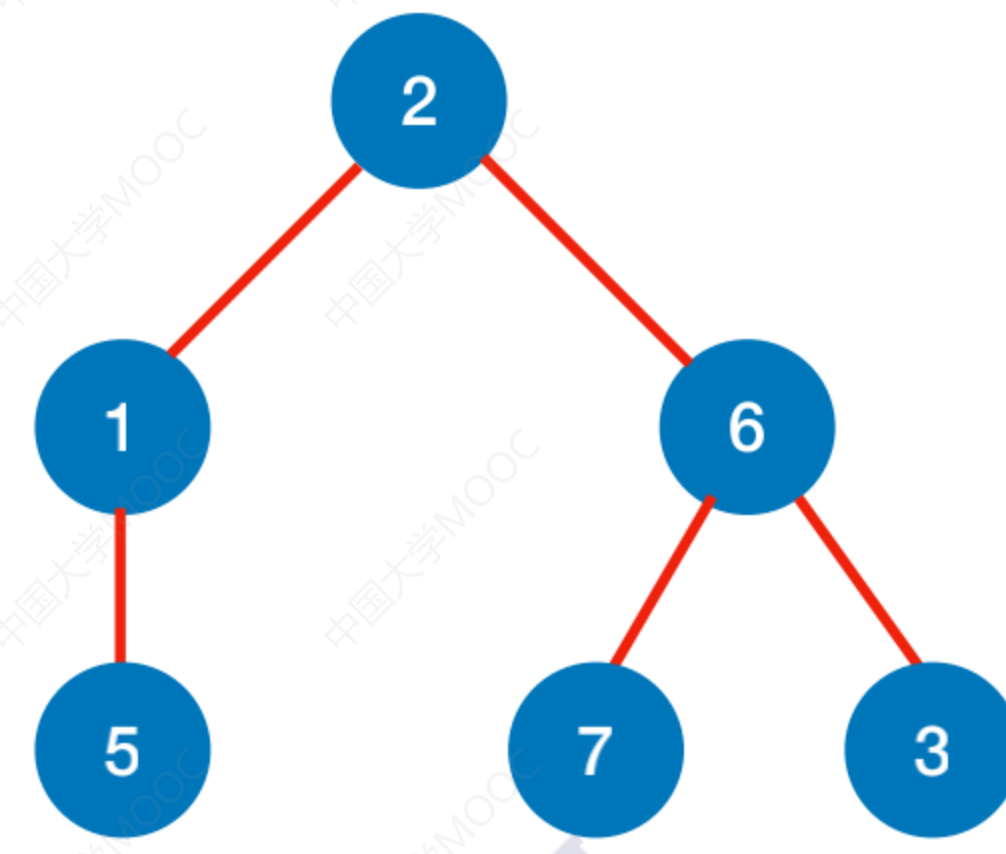
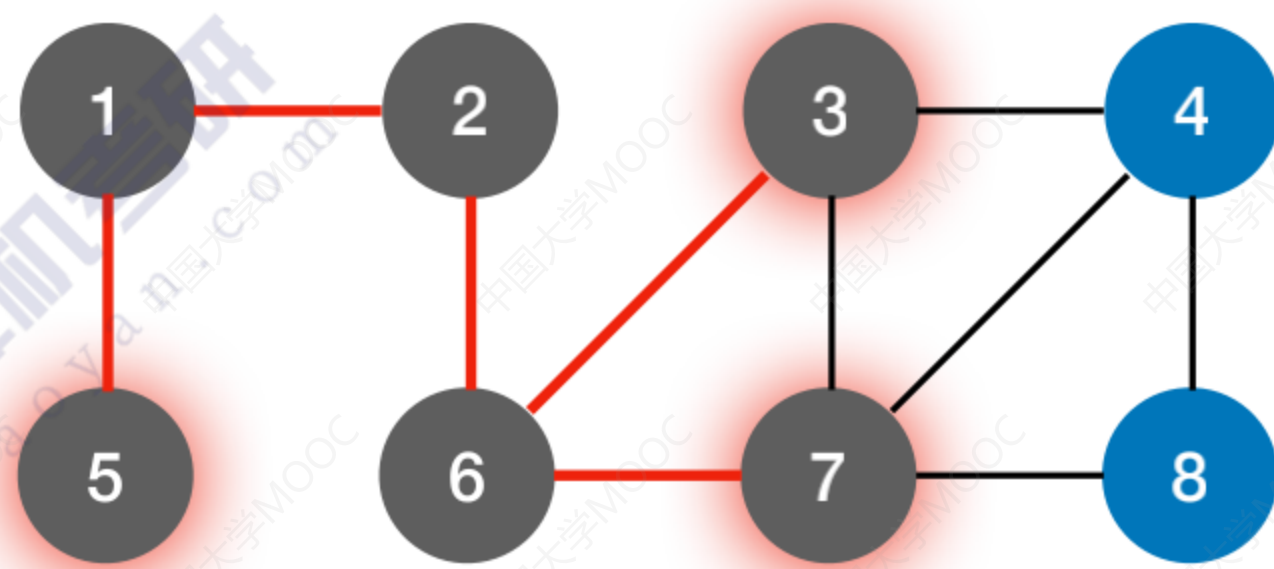
## 广度优先生成树



1	→	2	→	5				
2	→	1	→	6				
3	→	4	→	6	→	7		
4	→	3	→	7	→	8		
5	→	1						
6	→	2	→	7	→	3		
7	→	3	→	4	→	6	→	8
8	→	4	→	7				

邻接表

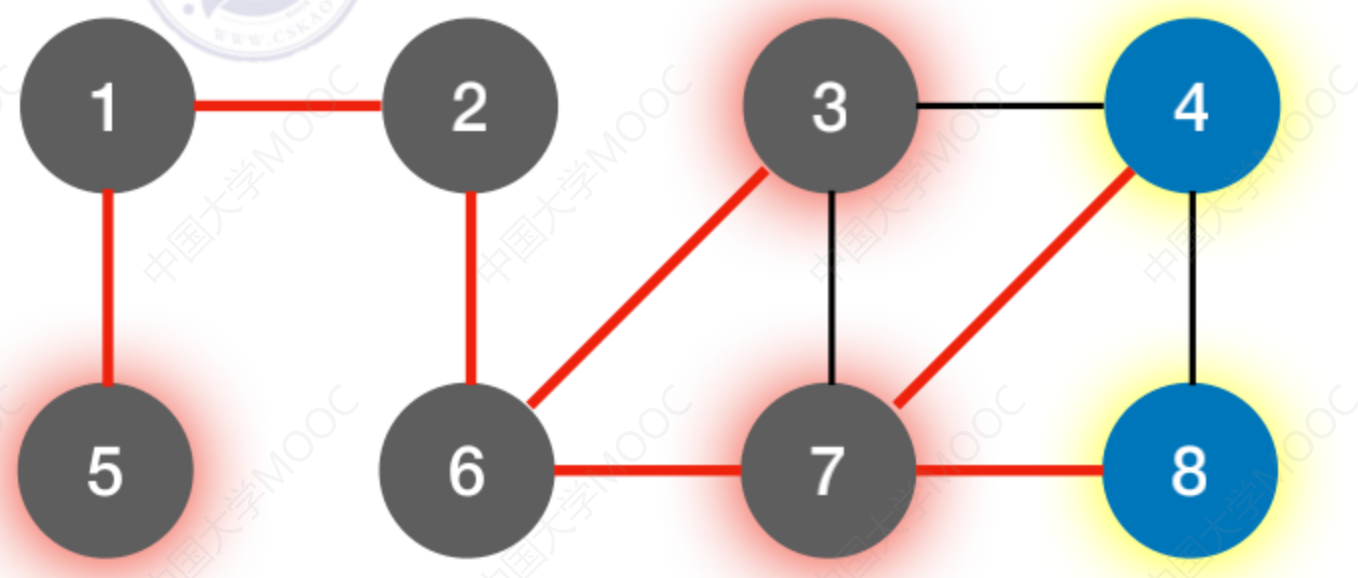
## 广度优先生成树



1	→	2	→	5				
2	→	1	→	6				
3	→	4	→	6	→	7		
4	→	3	→	7	→	8		
5	→	1						
6	→	2	→	7	→	3		
7	→	3	→	4	→	6	→	8
8	→	4	→	7				

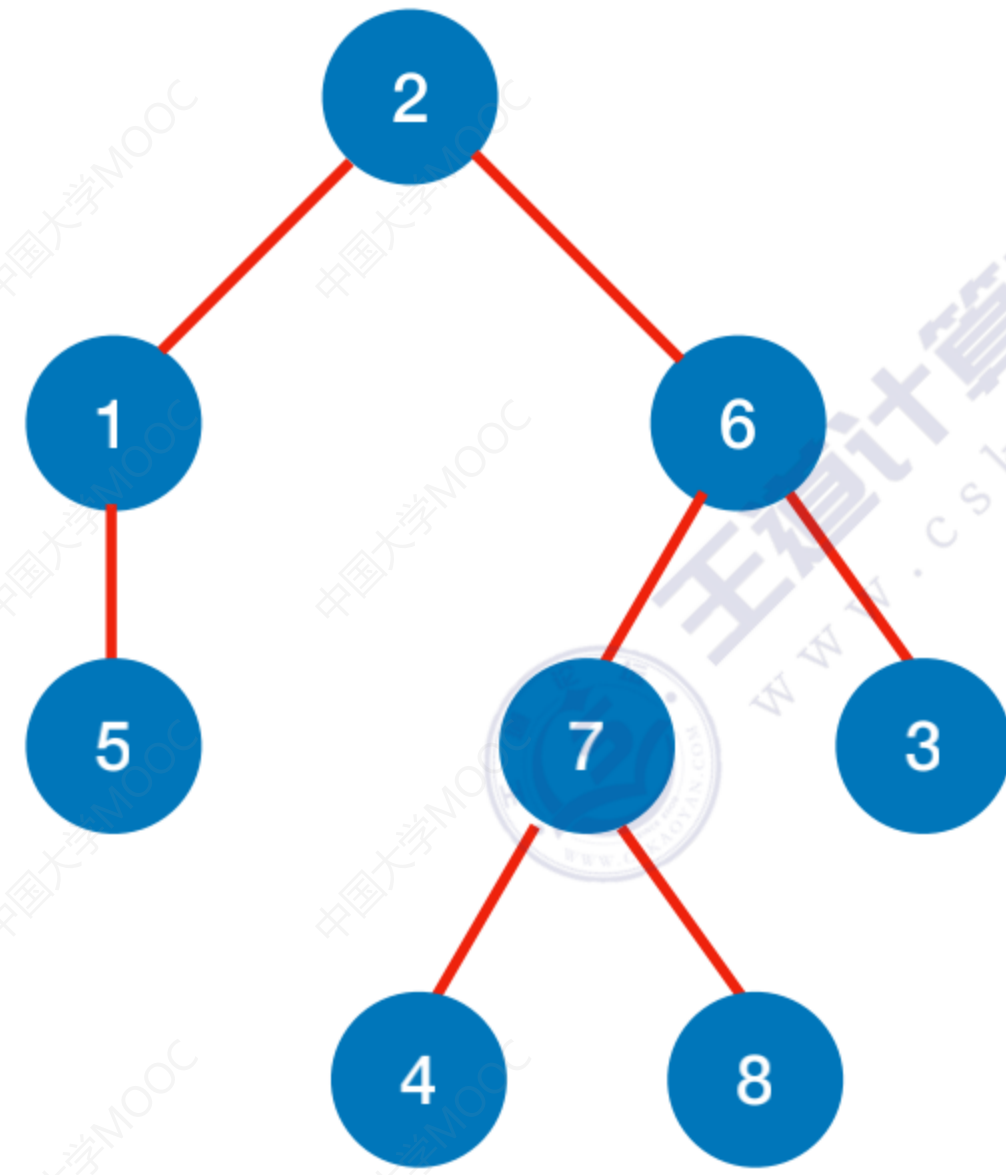
邻接表

## 广度优先生成树



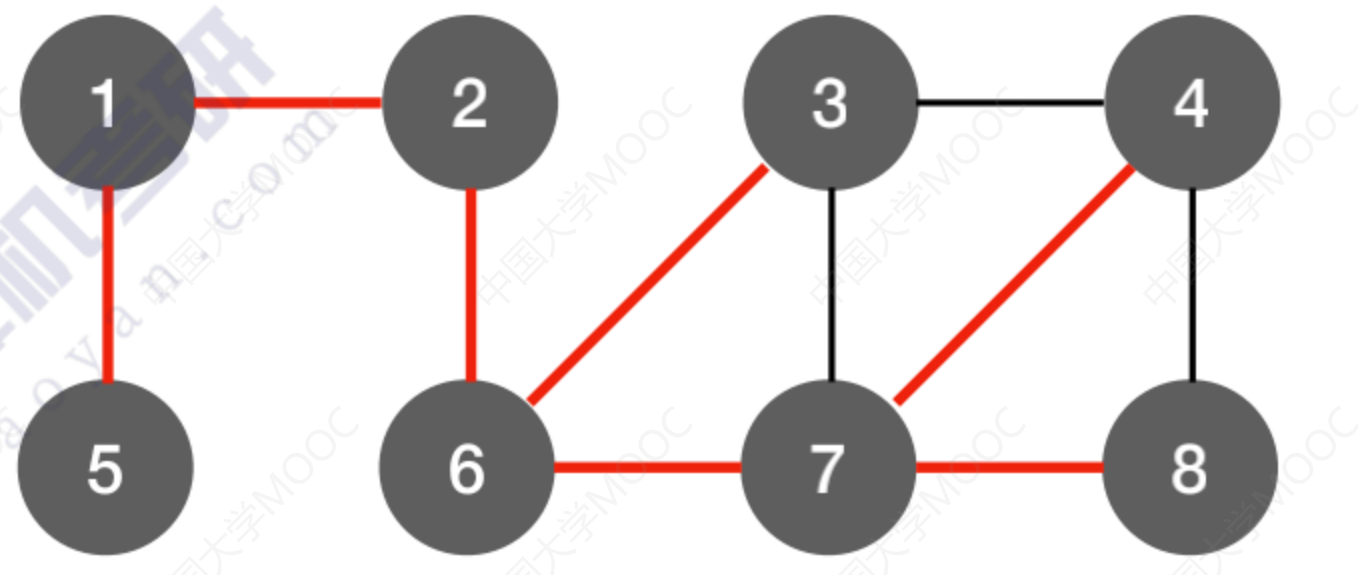
邻接表

1	→	2	→	5				
2	→	1	→	6				
3	→	4	→	6	→	7		
4	→	3	→	7	→	8		
5	→	1						
6	→	2	→	7	→	3		
7	→	3	→	4	→	6	→	8
8	→	4	→	7				



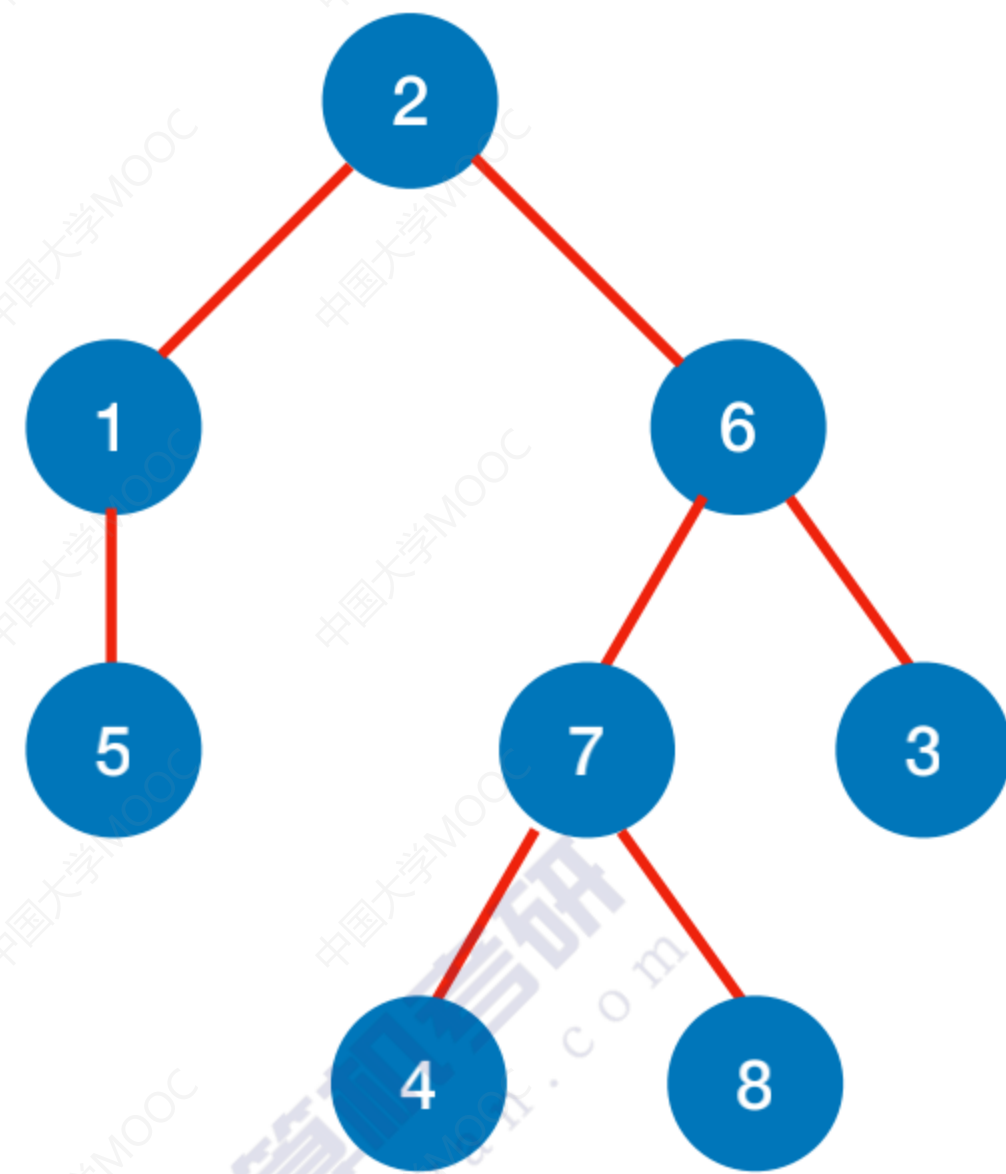
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树



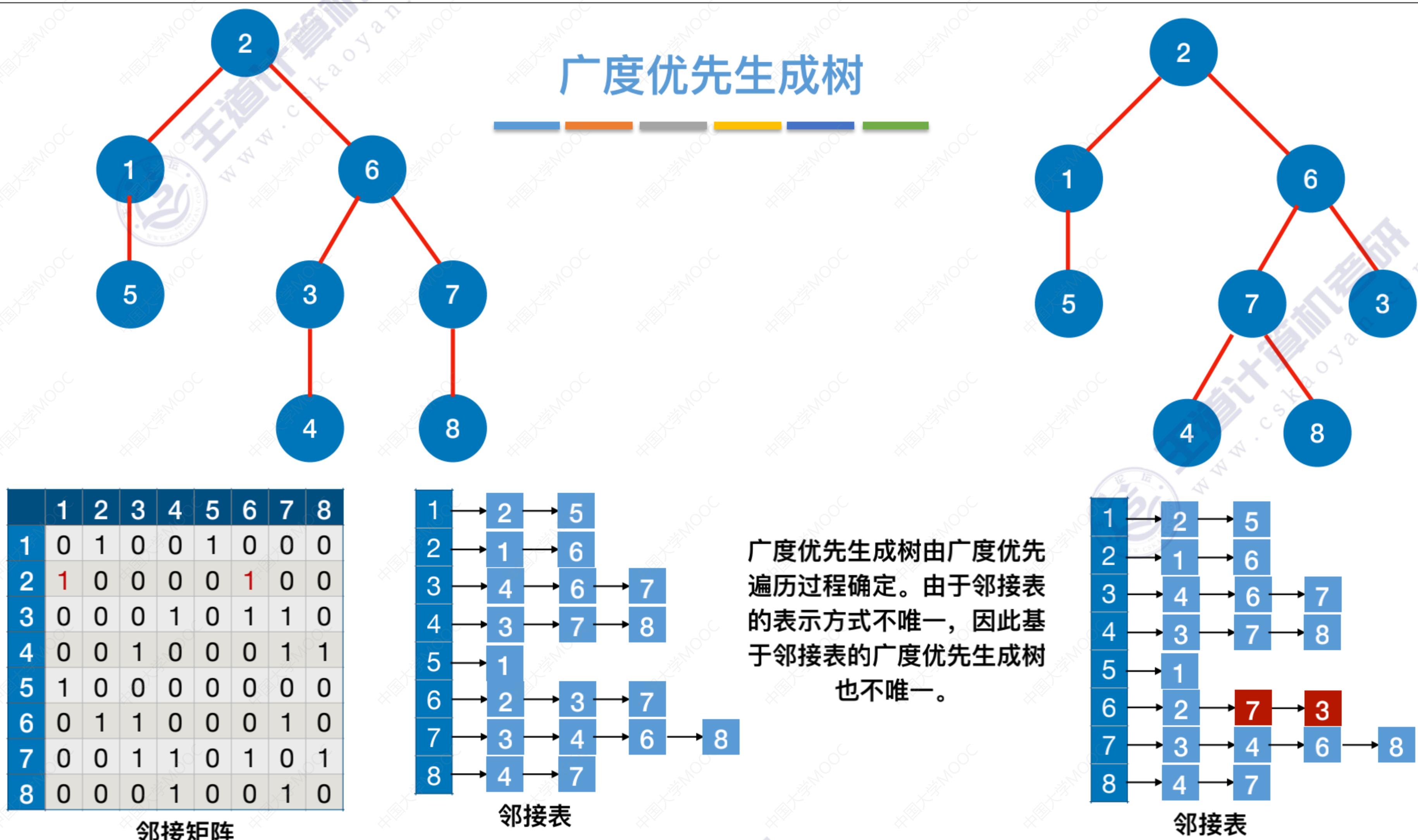
邻接表

1	→	2	→	5				
2	→	1	→	6				
3	→	4	→	6	→	7		
4	→	3	→	7	→	8		
5	→	1						
6	→	2	→	7	→	3		
7	→	3	→	4	→	6	→	8
8	→	4	→	7				



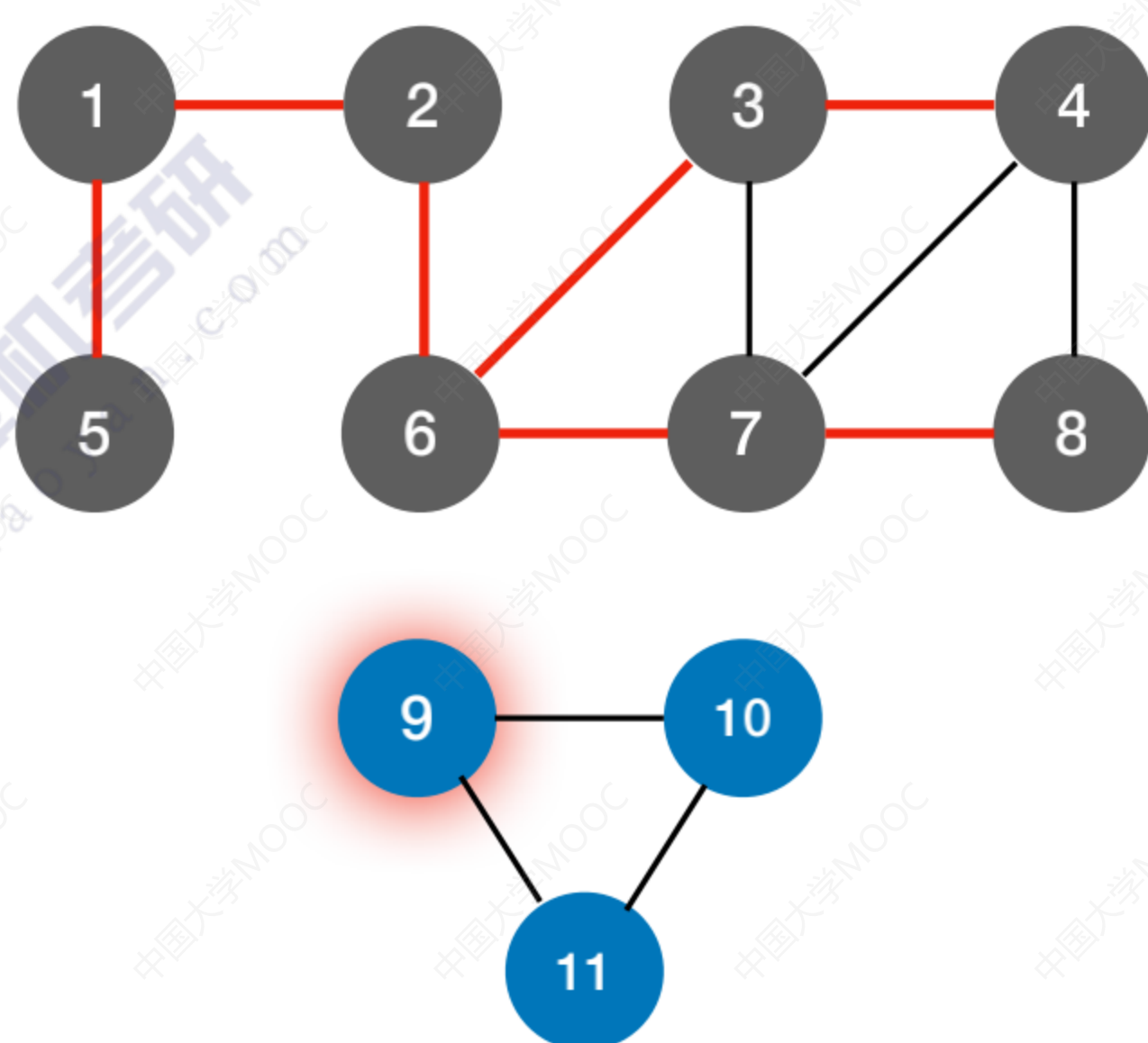
王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成树



王道考研/CSKAOYAN.COM

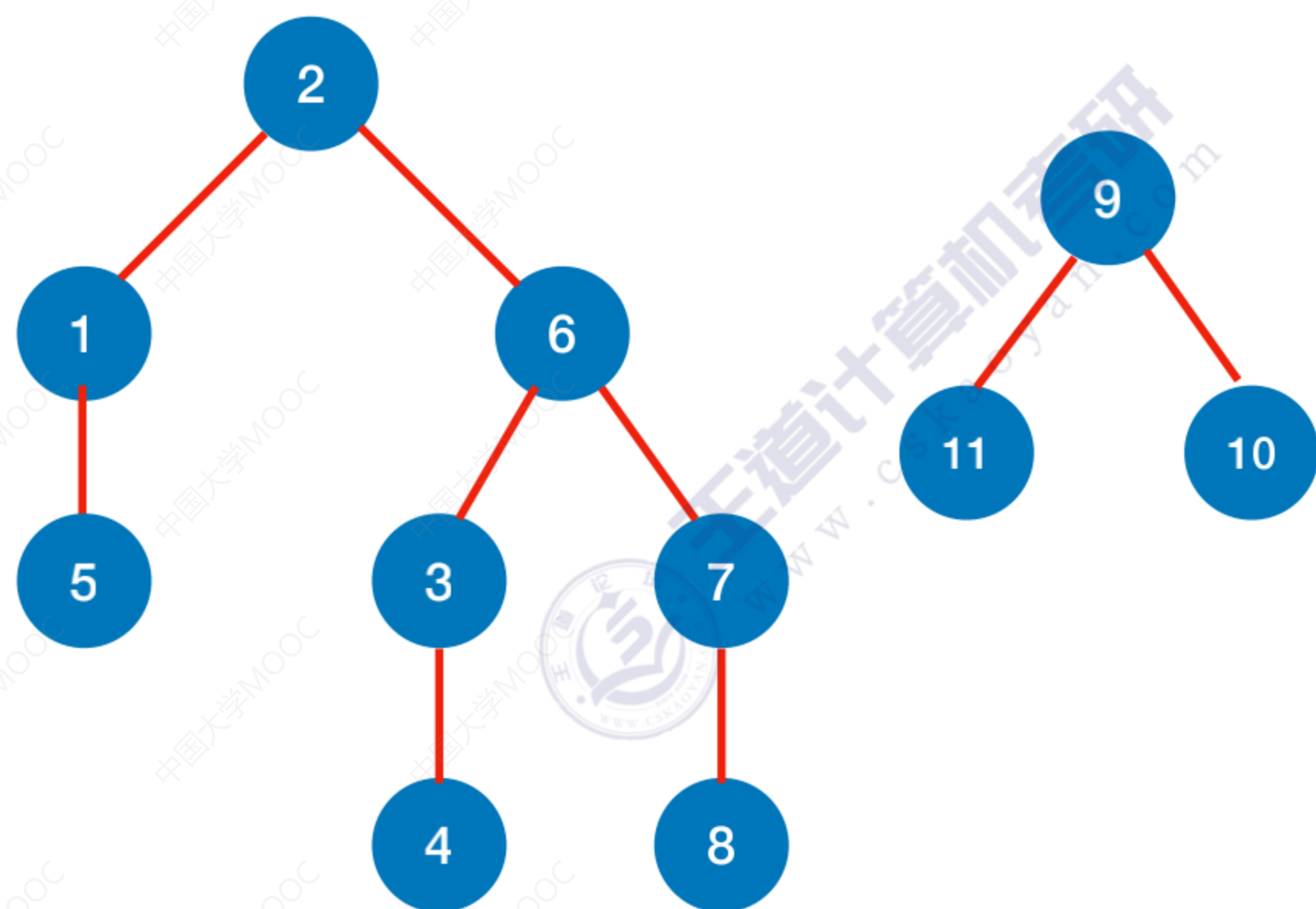
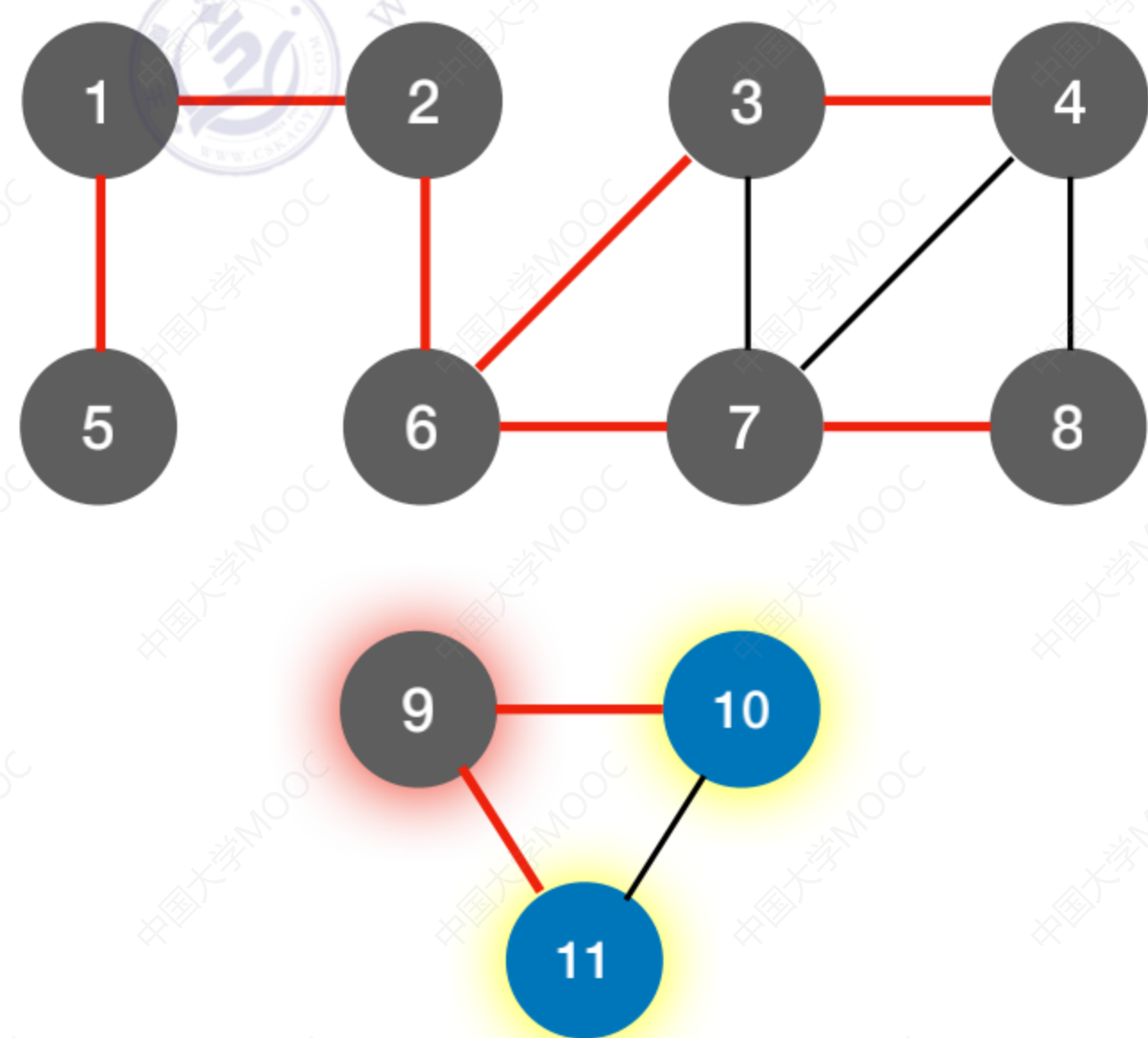
## 广度优先生成森林



对非连通图的广度优先遍历，可得到广度优先生成森林

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 广度优先生成森林



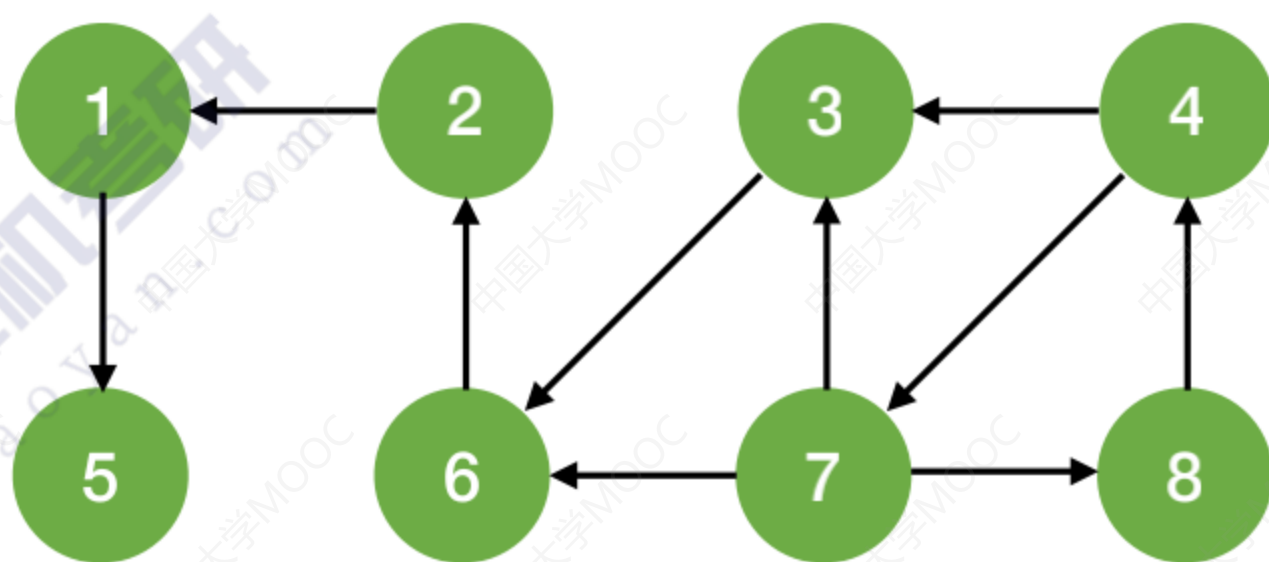
对非连通图的广度优先遍历，可得到广度优先生成森林

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 练习：有向图的BFS过程

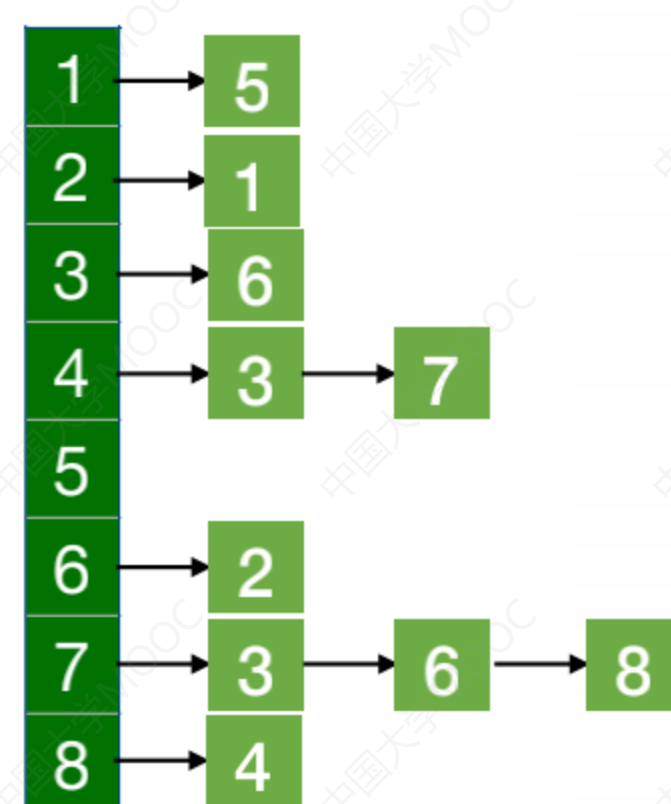
思考：

1. 从1出发，需要调用几次BFS函数？
2. 从7出发，需要调用几次BFS函数？



	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	1	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	1	0	1
8	0	0	0	1	0	0	0	0

邻接矩阵



邻接表

```

bool visited[MAX_VERTEX_NUM]; // 访问标记数组
void BFSTraverse(Graph G){ // 对图G进行广度优先遍历
    for(i=0;i<G.vexnum;++i)
        visited[i]=FALSE; // 访问标记数组初始化
    InitQueue(Q); // 初始化辅助队列Q
    for(i=0;i<G.vexnum;++i) // 从0号顶点开始遍历
        if(!visited[i]) // 对每个连通分量调用一次BFS
            BFS(G,i); // vi未访问过，从vi开始BFS
}
// 广度优先遍历
void BFS(Graph G,int v){ // 从顶点v出发，广度优先遍历图G
    visit(v); // 访问初始顶点v
    visited[v]=TRUE; // 对v做已访问标记
    Enqueue(Q,v); // 顶点v入队列Q
    while(!isEmpty(Q)){
        Dequeue(Q,v); // 顶点v出队列
        for(w=FirstNeighbor(G,v);w>=0;w=NextNeighbor(G,v,w))
            // 检测v所有邻接点
            if(!visited[w]){ // w为v的尚未访问的邻接顶点
                visit(w); // 访问顶点w
                visited[w]=TRUE; // 对w做已访问标记
                Enqueue(Q,w); // 顶点w入队列
            } // if
    } // while
}
    
```

王道考研/CSKAOYAN.COM

## 知识回顾与重要考点

BFS求单元最短路径问题放在6.4.2讲解

### 图BFS

类似于树的层序遍历（广度优先遍历）

算法要点

需要一个辅助队列

如何从一个结点找到与之邻接的其他顶点

visited 数组防止重复访问

如何处理非连通图

复杂度

空间复杂度： $O(|V|)$  —— 辅助队列

时间复杂度

访问结点的时间 + 访问所有边的时间

邻接矩阵： $O(|V|^2)$

邻接表： $O(|V|+|E|)$

广度优先生成树

由广度优先遍历确定的树

邻接表存储的图表示方式不唯一，遍历序列、生成树也不唯一

遍历非连通图可得广度优先生成森林

土道考研/CSKAOYAN.COM



@王道论坛



@王道计算机考研备考



@王道咸鱼老师-计算机考研

@王道楼楼老师-计算机考研



@王道计算机考研



知乎

@王道计算机考研

微信视频号

@王道计算机考研

微信公众平台

@王道在线