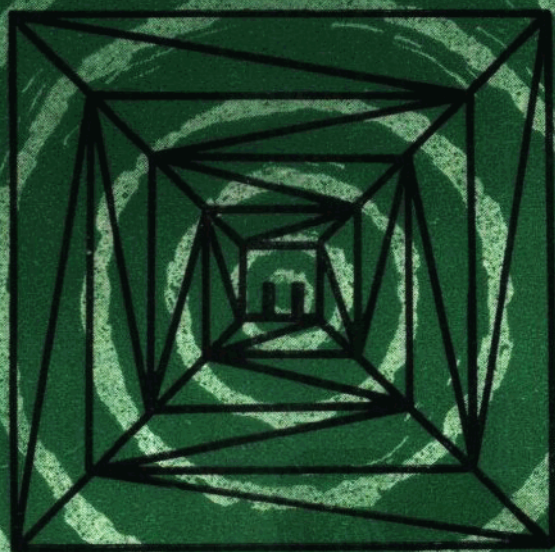


# 塌陷活动区 凿井技术

郑是立 陶永生 孟凡植 李火载 编著



煤炭工业出版社

# 塌陷活动区凿井技术

郑是立 陶永生 孟凡植 李火载 编著

煤炭工业出版社

**(京)新登字042号**

**图书在版编目 (CIP) 数据**

塌陷活动区凿井技术/郑是立等编著。—北京:煤炭工业出版社, 1994

ISBN 7-5020-1120-X

I. 塌… II. 郑… III. 井筒, 塌陷活动区—井巷掘进 IV. TD262.6

中国版本图书馆CIP数据核字 (94) 第15491号

**塌陷活动区凿井技术**

郑是立 陶永生 孟凡植 李火载 编著

责任编辑:田克运

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京市房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 $787 \times 1092\text{mm}^{1/3}$ , 印张5 $^{1/2}$ , 插页2

字数109千字 印数1—550

1995年5月第1版 1995年5月第1次印刷

书号3888 G0315 定价7.50元

## 前 言

在塌陷活动区开凿立井，不但在技术上是一个突破，而且在经济上也具有重要意义。

淮南矿务局谢家集矿区，先后在塌陷活动区内开凿了 7 个立井，均取得了安全、快速、高效和优质的好成绩。本书系统总结了该矿区在塌陷活动区内凿井的技术实践，目的在于和从事建井工作的同行进行技术交流并提供有益的经验。

本书的概述和第 5 部分由孟凡植执笔；第 1、3、4 部分由陶永生执笔；第 2 部分由李火载执笔；全书由郑是立统稿。

在编写过程中，我们参阅了有关专家学者的论著，淮南矿务局建井处、设计处、科研所、谢一矿、谢二矿等单位提供了大量资料和宝贵意见。在此一并表示诚挚的谢意。

由于编著者水平所限，书中缺点和错误在所难免，望读者批评指正。

# 目 录

## 前言

## 概 述 ..... 1

## 1 塌陷区开凿立井的特点 ..... 5

### 1.1 塌陷区岩层移动和地表下沉的基本特征 ..... 5

#### 1.1.1 岩层移动的分带特征 ..... 5

#### 1.1.2 地表移动盆地及其特征 ..... 7

#### 1.1.3 最大下沉值及最大水平移动的预计 ..... 13

### 1.2 立井井筒变形预计 ..... 14

#### 1.2.1 岩层移动对立井井筒的危害 ..... 14

#### 1.2.2 立井井筒变形预计 ..... 18

#### 1.2.3 立井井筒变形预计实例 ..... 21

#### 1.2.4 立井井筒竖向压缩变形的防治 ..... 22

## 2 井筒设计 ..... 28

### 2.1 井筒断面设计 ..... 28

#### 2.1.1 井筒装备 ..... 28

#### 2.1.2 井筒横断面设计 ..... 38

#### 2.1.3 井筒横断面的可缩性 ..... 40

### 2.2 井筒纵断面设计 ..... 43

#### 2.2.1 井颈设计 ..... 43

#### 2.2.2 井筒与井底车场连接部设计 ..... 45

#### 2.2.3 井窝设计 ..... 47

#### 2.2.4 壁座设计 ..... 47

### 2.3 井壁设计 ..... 52

#### 2.3.1 井壁结构设计 ..... 52

|       |                           |     |
|-------|---------------------------|-----|
| 2.3.2 | 井壁厚 度计算 .....             | 61  |
| 2.4   | 孔集矿西六风井柔性滑动防水复合井壁设计 ..... | 65  |
| 2.4.1 | 井筒地质条件 .....              | 65  |
| 2.4.2 | 井筒平面布置和纵向设计 .....         | 67  |
| 2.4.3 | 柔性滑动防水复合井壁设计 .....        | 68  |
| 2.4.4 | 生根壁座的设置 .....             | 73  |
| 2.5   | 谢一矿辅助立井柔性让压可缩复合井壁设计 ..... | 75  |
| 2.5.1 | 井筒地质及水文特征 .....           | 75  |
| 2.5.2 | 采空区岩移预计 .....             | 76  |
| 2.5.3 | 柔性井壁结构设计 .....            | 77  |
| 2.5.4 | 井筒平面布置 .....              | 84  |
| 2.5.5 | 井筒纵向 布置 .....             | 84  |
| 3     | 井筒施工 .....                | 88  |
| 3.1   | 工程概 况 .....               | 88  |
| 3.2   | 地质条件及水文地质 条件 .....        | 92  |
| 3.3   | 施工方案的选择 .....             | 96  |
| 3.3.1 | 凿井期治水方案的 选择 .....         | 96  |
| 3.3.2 | 凿井施工方案的选择 .....           | 97  |
| 3.3.3 | 表土施工程序 .....              | 97  |
| 3.4   | 井筒掘 进 .....               | 97  |
| 3.4.1 | 表土段 掘进 .....              | 98  |
| 3.4.2 | 基岩 掘进 .....               | 98  |
| 3.4.3 | 穿越塌陷地层的掘进方法 .....         | 98  |
| 3.4.4 | 穿越塌陷地层的 实况 .....          | 99  |
| 3.5   | 外层井壁施工 .....              | 102 |
| 3.6   | 内层井壁施工 .....              | 106 |
| 3.6.1 | 壁座施工 .....                | 106 |
| 3.6.2 | 缓冲层施工 .....               | 110 |
| 3.6.3 | 钢筋混凝土井壁施工 .....           | 111 |
| 3.7   | 施工组织管理工作 .....            | 115 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>4 井筒稳定性观测</b>      | 116 |
| 4.1 观测的目的             | 116 |
| 4.2 观测的内容及测试方法        | 117 |
| 4.3 岩层移动和地表下沉的观测      | 124 |
| 4.3.1 岩层移动观测          | 124 |
| 4.3.2 地表沉降观测          | 124 |
| 4.3.3 岩层移动和地表沉降对井筒的影响 | 125 |
| 4.4 井壁应力监测            | 128 |
| 4.4.1 二五风井井壁应力监测      | 128 |
| 4.4.2 辅助立井井壁应力监测      | 138 |
| 4.5 井壁位移的监测           | 142 |
| 4.5.1 二五风井井壁位移监测      | 142 |
| 4.5.2 辅助立井井壁位移监测      | 146 |
| 4.6 井筒稳定性判定           | 147 |
| <b>5 技术经济分析</b>       | 149 |
| 5.1 施工方案评述            | 149 |
| 5.2 工期分析              | 149 |
| 5.3 经济效益分析            | 150 |
| 5.3.1 工程造价分析          | 150 |
| 5.3.2 减少煤柱量及效益分析      | 151 |
| <b>参考文献</b>           | 155 |

## 概 述

在一些老矿区内，随着开采深度的增大、开采面积的加大，开采条件愈来愈困难。一些矿井为了改善通风、提升，或提高矿井的生产能力，需要对矿井进行相应的改造，增设不同用途的立井井筒。但往往由于地面工业场地内没有可以增设井筒的位置，或由于改造后生产系统的需要，或为了减少煤柱的留设，需要将增设的井筒建在采空塌陷区内。

要在采空塌陷区内成功地开凿立井并保证其服务期间的稳定性，必须解决好下面三个技术问题：

1. 在凿井施工中，有效地控制因重复塌陷而造成的松散破碎围岩，安全穿越采空区；

2. 采用合理的井壁结构，使井筒适应处于缓慢下沉中的地层；

3. 采用相应的装备，以满足井筒不断变形情况下的安全使用。

淮南矿区以解决上述三个问题为突破口，于1976年在谢一矿塌陷区内，成功地开凿了井深205.5m、净直径4.5m的中央回风立井，这在我国建井史上尚属首次。1981年以后，在塌陷区内先后开凿了谢二矿南风井和谢一矿北风井等，在设计和施工方面，积累了丰富的经验。在对谢二矿南风井整体刚性单层井壁进行改进的基础上，逐渐发展到使用双层可缩性井壁。在谢一矿北风井双层井壁设计中，又采用内层井壁沿轴向分段，每隔6m设一道压缩木的可缩结构，并获得

了成功。同时，在穿越采空区塌陷地层的井筒施工中，进行了多方面的试验和测试工作，以施工监测提供的信息，及时评定围岩的稳定程度，判断支护的受力状况，了解采空区瓦斯积存情况，对凿井施工的合理性、安全性进行评估。

1986年在谢一矿二五风井施工中应用这种凿井技术，在典型的塌陷地层条件下，又取得了施工安全、工期短、成本低、工程质量优良的好成绩。1992年建成的谢一矿辅助立井，使淮南矿区的塌陷区凿井技术更加完善。该井建在谢一矿、谢三矿回采后的塌陷活动区内，位于谢一矿工业广场东北，处在回采塌陷活动区的积水塘内。该水塘面积约 $94.24\text{m}^2$ ，积水量达 $320.42\text{m}^3$ ，塘底标高为 $+19.6\text{m}$ 。1989年1月实测水塘积水深为 $1\text{m}$ ，塘内涝水位 $+23\text{m}$ ，塘底第四系黄土层厚约 $22\text{m}$ 。井筒穿过 $C_{13}$ 槽以下各煤层，达底部煤层 $A_3$ 槽顶板。

辅助立井采用的柔性、让压、可缩性复合井壁结构，既适应围岩的移动，又有利于施工，工程造价低于同规格的钢板沥青复合井壁，凿井中选用的施工方案和施工工艺，安全、简便、可操作性强。

淮南矿区在塌陷区建成的立井井筒概况，见表0-1；井筒在谢家集塌陷区的分布情况，见图0-1。

淮南矿区在塌陷区内开凿立井，已经历了由简单到复杂逐渐发展的过程，在工程地质勘察、资料的分析、井筒检查孔的布设、井筒的设计、井筒的凿井施工、变形观测等各方面，都积累了比较系统、比较成熟的技术经验。在已建成各井中，回采煤层最少的为3层，最多的达10层（12个分层），总采厚为 $5.3\sim 23.4\text{m}$ ，建井前已回采的储量占井筒煤柱总储量的88.8%。表0-1中已建成的7口立井中，难度较大的

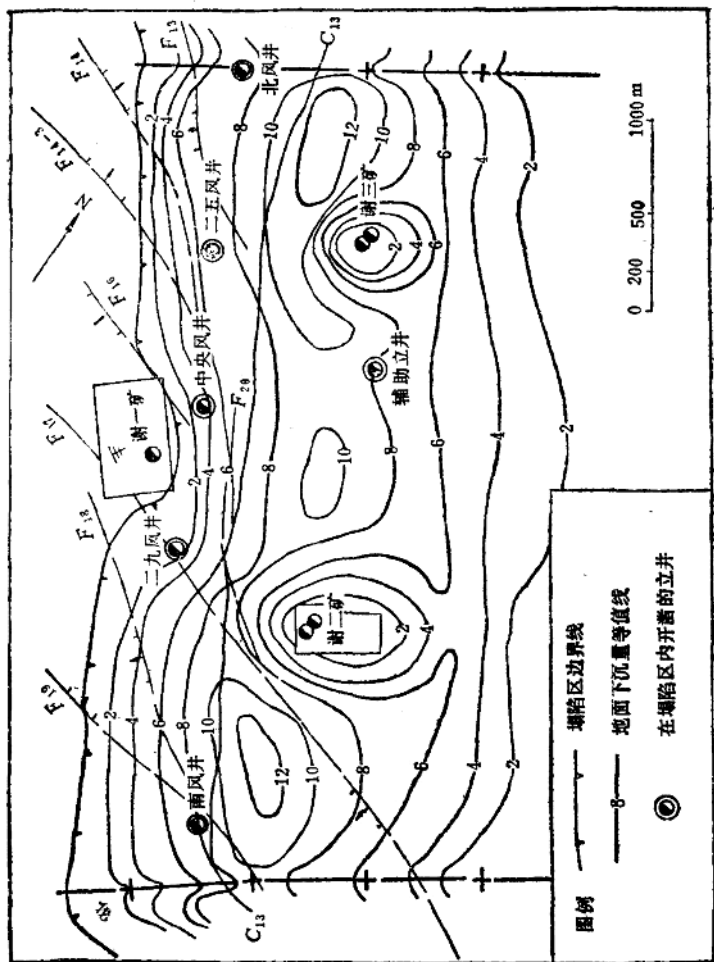


图 0-1  
谢家集塌  
陷区立井  
分布图

表 0-1 淮南矿区塌陷区内开凿的立井概况表

| 井名 \ 项目  | 建成<br>时间<br>(年份) | 直径<br>(m) | 井深<br>(m) | 地面<br>累计<br>下沉量<br>(m) | 第四系<br>表土<br>层厚<br>(m) | 开采<br>层数<br>(分层<br>数) | 总采厚<br>(m) | 采后稳<br>定时间<br>(a) |
|----------|------------------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------|-------------------|
| 谢一矿中央风井  | 1977             | 4.5       | 205.5     | 3.57                   | 22.5                   | 7(9)                  | 14.7       | 18                |
| 谢一矿新二九风井 | 1978             | 4.5       | 164.4     | 0.59                   | 15.5                   | 6(7)                  | 11.1       | 8                 |
| 谢二矿南风井   | 1982             | 6.0       | 304.0     | 8.14                   | 11.8                   | 9(12)                 | 23.4       | 2                 |
| 谢一矿北风井   | 1983             | 5.0       | 182.0     | 7.62                   | 17.7                   | 10(12)                | 21.2       | 2                 |
| 谢一矿二五风井  | 1986             | 5.0       | 211.8     | 6.94                   | 23.6                   | 8(10)                 | 17.6       | 10                |
| 新庄孜钱湖风井  | 1985             | 6.5       | 371.3     | 1.11                   | 35.1                   | 3(3)                  | 5.8        | 12                |
| 谢一矿辅助立井  | 1993             | 6.5       | 517.9     | 7.94                   | 20.8                   | 6(10)                 | 17.6       | 8                 |

为谢二矿南风井和谢一矿辅助立井，两井在施工时岩层尚未稳定。据凿井期间观测，南风井最大下沉量为102mm。辅助立井平均月下沉量为7.104mm，此立井是各井筒中净直径最大、深度最深的井筒，也是淮南矿区第一个开凿在塌陷活动区内作为进风和辅助提升用的立井。

淮南矿区在塌陷活动区内开凿立井的实践，对采矿条件相似的矿区，具有一定的参考价值，并提供这样一个依据：回采后经过2年以上地表移动，采空塌陷地层基本稳定，可设计一种技术上可行、经济上合理、操作上方便的可缩性复合井壁结构，使其适应仍有一定下沉和围岩移动的工作环境。同时可采用特殊的井筒装备来适应围岩移动和地表下沉的条件，保证井筒装备和提升系统的正常运行。

# 1 塌陷区开凿立井的特点

## 1.1 塌陷区岩层移动和地表下沉的

### 基本特征

#### 1.1.1 岩层移动的分带特征

地下煤层采出，使上覆岩层与底板岩层的原始应力平衡状态遭到破坏，为了达到系统内部的平衡和稳定，必然引起应力的重新分布，从而产生岩层的移动。岩层的移动具有分带性。在采用走向长壁全部冒落法开采缓倾斜中厚煤层的条件下，只要采深达到一定值，可以根据岩层移动特征及其破坏的形态，把煤层的围岩从地表到深部，沿垂直方向分成5个不同的采动影响带：上覆岩层中为冒落带、裂隙带和弯曲带；在下伏岩层中为层间裂隙带和弹性影响带，见图1-1所示。

冒落带也叫垮落带，它位于上覆岩层的最下部，即通常所说的顶板垮落的那部分岩层。冒落带的岩层遭受破坏最为严重，呈块状冒落，堆积于采空区。岩层已失去原有的层次，堆积杂乱、破碎，其碎胀系数平均为1.40~1.62。在自由堆积的状态下，冒落岩块的碎胀性，是影响冒落带高度和冒落现象自行停止的根本原因。

冒落岩石具有可压缩性。一般是稳定时间越长，压实性越好，但永远不会恢复到原岩体的体积。

冒落带的高度通常为采出厚度的3~5倍。薄煤层开采时

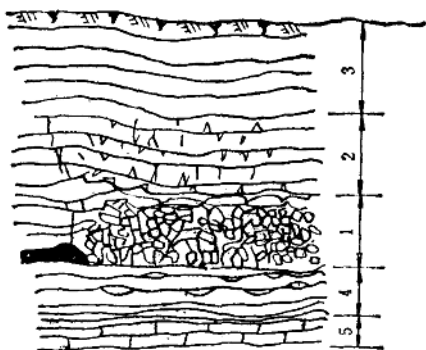


图 1-1 围岩移动分带示意图

1—冒落带；2—裂隙带；3—弯曲带；4—层间裂隙带；5—弹性影响带

冒高较小，一般为采出厚度的1.7倍左右。顶板岩石坚硬时，冒落带高度为采出厚度的5~6倍；顶板为软岩时，冒落带高度为采出厚度的2~4倍。可用下式近似估算冒落带高度：

$$h = \frac{m}{(k-1)\cos\alpha} \quad (1-1)$$

式中  $h$  ——冒落带高度， $m$ ；  
 $m$  ——采出煤层厚度， $m$ ；  
 $k$  ——岩石碎胀系数；  
 $\alpha$  ——煤层倾角， $(^\circ)$ 。

岩石的碎胀系数取决于岩石性质，坚硬岩石碎胀系数较大，软岩碎胀系数较小。碎胀系数值恒大于1，具体参看表1-1。

裂缝带位于冒落带之上，裂缝带内岩层产生较大的弯曲、变形及破坏，其破坏特征是：裂缝带内岩层不仅发生垂

表 1-1 几种常见岩石的碎胀系数

| 岩石名称   | 碎 胀 系 数       |               |
|--------|---------------|---------------|
|        | 初始 (刚被压碎) $K$ | 残余 (压实后) $K'$ |
| 硬 砂 岩  | 1.50~1.80     | —             |
| 一般软岩石  | —             | 1.020         |
| 一般中硬岩石 | —             | 1.025         |
| 一般硬岩石  | —             | 1.030         |
| 砂质页岩   | 1.60~1.80     | 1.10~1.15     |
| 碎 煤    | 1.20以下        | 1.05          |

直于层理面的裂缝或断裂,而且产生顺层理面的离层裂缝。根据垂直层理面裂缝的大小及其连通性好坏,裂缝带内岩层断裂又分为严重断裂、一般断裂和微小断裂三部分。严重断裂部分的岩层大多断开,但仍保持其原有层次,裂缝的漏水严重。一般断裂部分的岩层很少断开,漏水程度一般。较小断裂部分的岩层裂缝不断开,连通性较差。

冒落带和裂缝带合称为两带,又称冒落裂缝带,均属于破坏性影响区。

弯曲带又叫整体移动带,指的是自裂隙带顶界直至地表的整个岩系。弯曲带呈整体移动,上下各部分的下沉差值很小。地表变弯曲后,在地面形成移动盆地。

层间裂隙带指下伏岩层最上部紧贴煤层的那一部分煤层的底板岩层。随着采煤工作面的推进,这部分岩层在矿山压力的作用下,都经历一个压缩—膨胀—再压缩的过程。

弹性影响带位于层间裂隙带以下,包括采动影响所波及深度范围以内的岩层。

### 1.1.2 地表移动盆地及其特征

采矿影响在采空区上方地表产生的沉陷区域,称为移动

盆地或塌陷区。它是岩层移动波及的最大范围，一般大于采空区的面积。采空区大多为长方形，最终的地表移动盆地大致为椭圆形。在整个地表移动盆地内，各处的地表移动变形值是不同的。通常将沿走向和沿倾斜方向的地表移动和变形发展最充分的剖面称为主断面。在主断面上盆地尺寸最大，地表移动量最大，而且在垂直于该剖面的方向上，不产生水平移动。图1-2中的AB、CD为主断面。

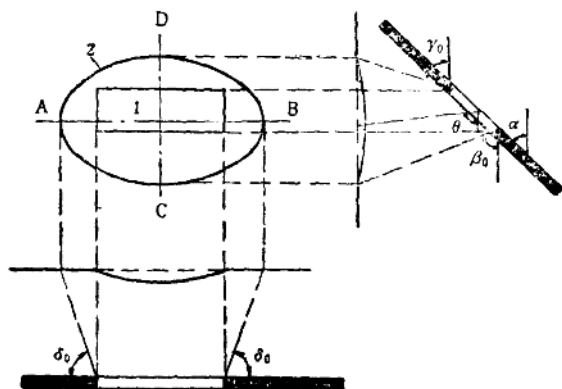


图 1-2 倾斜煤层地表移动盆地

1—采空区；2—盆地边界线

确定移动盆地的边界，可以通过实际观测，分别以边缘角、移动角和裂缝角来确定，如图1-3所示。边缘角用符号 $\beta_0$ 、 $\gamma_0$ 、 $\delta_0$ 表示，它们是地表移动盆地主断面上移动值为零的点与采空区边界煤层底板的连线和水平线在煤柱一侧的夹角。移动角以 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 表示，它是移动盆地主断面上对建筑物有危害的变形区的边界点与采空区边界煤层底板的连线，

和水平线在煤柱一侧的夹角。移动角有表土移动角和基岩移动角之分。表土移动角 $\varphi$ 与煤层及基岩的倾角无关。裂缝角 $\beta''$ 、 $\gamma''$ 、 $\delta''$ 是移动盆地最外缘裂缝与采空区边界煤层底板的连线，和水平线在煤柱一侧的夹角。

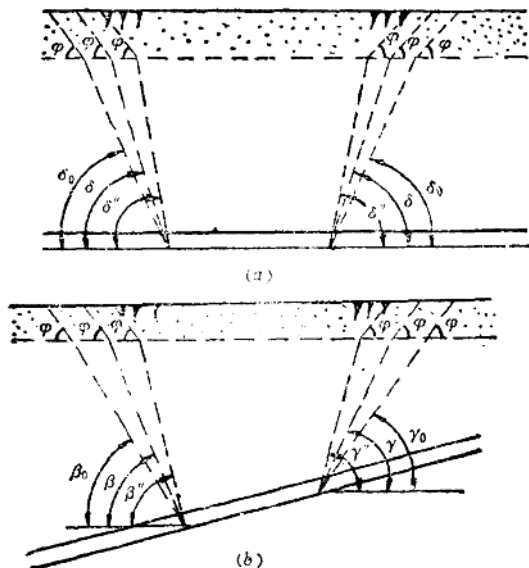


图 1-3 边缘角、移动角和裂缝角

$a$ —走向剖面； $b$ —缓倾斜煤层倾斜剖面

地表受采动影响后，产生的地表移动有下沉和水平移动，产生的变形有倾斜、曲率和水平变形。图1-4表示观测各点在移动开始前及移动停止后的各点情况。

下沉是指地表沿铅直方向的向下移动。自盆地边缘向盆

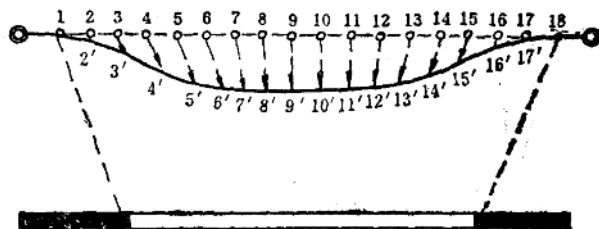


图 1-4 走向主断面上地表点的移动

地中心，下沉量逐渐增大，到盆地中央达到最大值。一般用  $W$  表示下沉值，其计量单位用  $\text{mm}$ 。

水平移动是指地表点沿水平方向所发生的移动。在盆地的外边缘区，水平移动向盆地中央逐渐增大，在盆地内边缘区，水平移动向盆地中央逐步减少。一般用  $U$  表示水平移动值，其计量单位也是使用  $\text{mm}$ 。

地表的变形正是由于移动量不同而产生的。从盆地边缘取出相邻两点 3 和 4，如图 1-5 所示。由于两点的下沉量不同，相差  $\Delta W = W_4 - W_3$ ，使得 34 这一线段由原来的水平状态，变成倾斜状态。线段 34 的相对下沉变形，称为倾斜，以  $i$  表示，线段 34 的倾斜为：

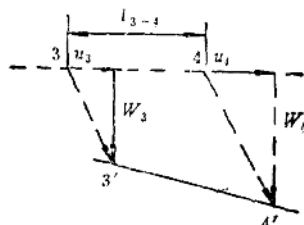


图 1-5 地表相邻两点的移动和变形