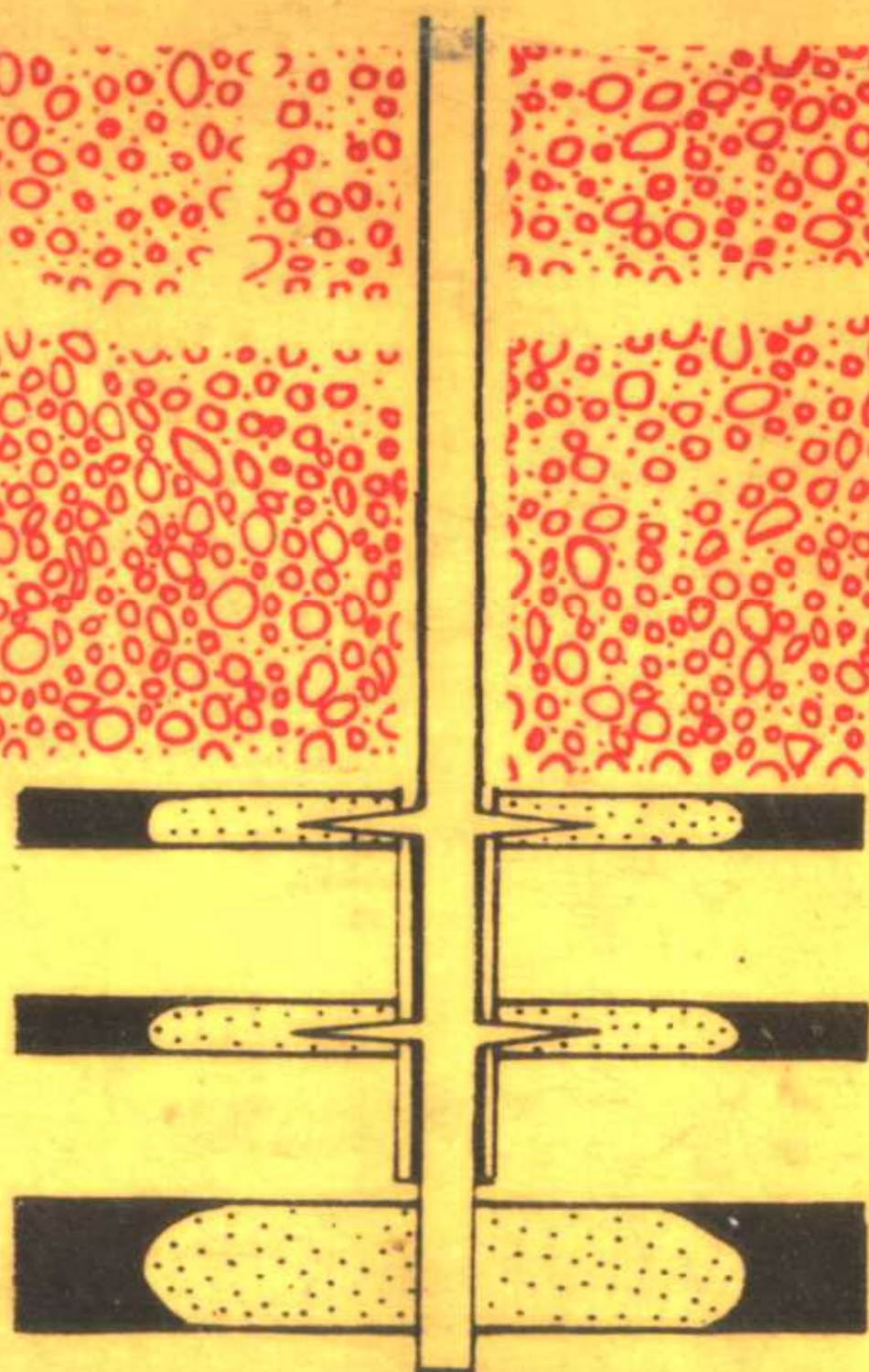




# 煤层气译文集

地质矿产部华北石油地质局编



河南科学技术出版社

# 煤层气译文集

地质矿产部华北石油地质局编

河南科学技术出版社

借鉴国外经验，着力开发  
中、小产品，提高产品质量，促进  
我国轻工工业现代化建设。

朱镕  
一九九二年一月一日

# 前 言

在地下煤层形成的过程中生成了大量的天然气，其中一部分运移出来，形成常规天然气藏或逸散掉；另一部分以吸附状态为主储存在煤层的孔隙和裂缝中，即储存在煤层中的天然气（以甲烷为主），称之为煤层气（或称煤层甲烷，煤层瓦斯）。

以煤层为储层的非常规天然气藏，过去由于工艺技术原因，无法开采，不具工业价值。随着科学技术的发展，对这种气藏的开采已具现实可能性。

中国煤层气蕴藏量十分丰富。据地质矿产部组织完成的“七·五”期间国家重点科技攻关项目最新研究成果，全国39个含煤盆地埋深小于2000米的煤层气总资源量与中国常规天然气总资源量相近。然而煤层气这一巨大而洁净的资源至今在我国尚未被充分开发和利用。我国在“六·五”期间曾采用地面钻井方式进行抽放瓦斯的试验工作，而将煤层气作为一种资源进行系统的勘查和开发却是人们长期酝酿而尚未付诸实施的憾事。

华北石油地质局1986年承担了“唐山地区开平向斜煤层气勘探开发试验”项目；1987年承担了“唐山地区煤层气测试及增产工艺技术试验”专题研究项目；1989年开展了“煤层甲烷评价开发利用状况”情报调研。实践和调研使我们认识到要实现这一新领域的突破，必须深入研究煤层气储集机理，掌握煤层气勘查与开发的理论、工艺技术和拥有合适的装备。华北石油地质局愿与同行们在这一新的领域中携手共进，实现突破。美国在采用地面钻井开采煤层气的活动中积累了丰富的经验。近十几年，采用现代石油钻井、完井、测试和压裂技术并结合煤储层的特点进行了改进，使煤层气勘查、开发技术逐渐完善，促进了煤层气开发活动。开发煤层气已成为美国天然气行业中发展最活跃的一个分支。为了促进我国煤层气事业的发展，我们编辑了这本译

文集，同时希望这本文集能成为同行与我们相互联系的纽带，并得到同行的支持和帮助。

由于本译文集选用的外文资料均使用英制计量单位，特别是一些图件和表格是以英制计量单位绘制和统计的，为了不破坏原图、表的科学性、准确性和真实性，保持原资料的统一和可读性，本文集译文均采用英制计量单位直接翻译，并在书后附录中列出译文中出现的英制单位与法定计量单位对照表，以供换算。这一点，希望读者及有关人员谅解。

本译文集由地质矿产部华北石油地质局科技处组织进行，以地质研究大队为主，井下作业大队、第五普查勘探大队及第四物探大队协作完成。美国天然气研究所（**GRI**）、能源部（**DOE**）和矿业局热心提供了大量文献资料，在此一并致谢。

由于本文集编、译者水平所限，错漏之处，敬请读者批评指正。

刘正增

1990年8月3日

# 目 录

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 煤层甲烷开采概述 .....                                       | 1   |
| 煤层甲烷井的钻井与完井 .....                                    | 52  |
| 煤层甲烷生产开发策略 .....                                     | 66  |
| 美国的煤层甲烷资源及煤层气产出机理 .....                              | 94  |
| 亚拉巴马州和密西西比州勇士盆地的地质概况、煤和煤层甲烷资源 .....                  | 153 |
| 科罗拉多州和新墨西哥州圣胡安盆地晚白垩世地质和煤的特征<br>及煤层甲烷开采潜力 .....       | 190 |
| 科罗拉多州皮申斯盆地的地质概况、煤田和煤层甲烷开采潜力 .....                    | 235 |
| 美国煤层甲烷开发的结论 .....                                    | 273 |
| 煤含气量直接测定法 .....                                      | 276 |
| 含气量数据的含义、测定及其与煤层甲烷储层评价的关系和生产含意 .....                 | 287 |
| 根据电缆测井评价煤层甲烷资源——圣胡安盆地东北部的实例研究 .....                  | 311 |
| 利用遥感、曲率分析、煤岩学研究寻找高渗透性煤储层 .....                       | 326 |
| 原地应力：影响澳大利亚含煤盆地水力压裂效果的关键因素 .....                     | 345 |
| 煤储层异常压力的成因和生产意义 .....                                | 354 |
| 应用渗透率与深度关系评价煤层天然气的生产潜力 .....                         | 366 |
| 亚拉巴马州勇士盆地 GRI / USSC 大印第安溪工区煤层低天然<br>气含量的发现及解释 ..... | 385 |
| 勇士盆地煤层甲烷开采的有效策略 .....                                | 397 |
| 美国科罗拉多州梅萨县皮申斯盆地一个深埋煤储层控制气产量<br>的地质参数 .....           | 406 |
| 新墨西哥州圣胡安盆地中北部水果地组煤层甲烷分布及产能的<br>地质控制因素 .....          | 417 |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 亚拉巴马州奥克格罗夫脱气井网压力监测和采煤对井网影响<br>的观察结果 .....         | 432 |
| 亚拉巴马州勇士盆地奥克格罗夫气田煤层甲烷分布及产能<br>的地质控制因素 .....        | 454 |
| 垂直井大型生产井网煤层气排放范围的测定 .....                         | 462 |
| 岩溪多煤层完井的天然气生产 .....                               | 467 |
| 依据岩溪多煤层完井计划的监测井资料编制储层压力图和估算<br>马里利煤层组的解吸量 .....   | 480 |
| 美国亚拉巴马州勇士煤田多煤层脱气的完井方法 .....                       | 489 |
| 应用于勇士盆地漏失地层的空气与液体混合钻井方法 .....                     | 496 |
| 多煤层气井裸眼、割缝及射孔完井方法比较 .....                         | 503 |
| 圣胡安盆地东北布兰科单元煤层甲烷井不同完井方法——水力压<br>裂和裸眼洞穴完井的比较 ..... | 520 |
| 应用洞穴应力释放法强化甲烷开采井 .....                            | 530 |
| 饱和水的煤层甲烷气藏单相流测试的设计 .....                          | 541 |
| 科罗拉多州皮申斯盆地深煤层的水力压裂和裸眼测试 .....                     | 551 |
| 煤层水力压裂经验关系及计算机模拟 .....                            | 565 |
| 煤层强化处理开拓巷道的地下观察 .....                             | 579 |
| 附录 法定计量单位与英制计量单位换算表 .....                         | 593 |

# 煤层甲烷开采概述

黄景城 编写

## 序 言

煤层甲烷指储集在煤层中的天然气，即煤层气（煤层天然气），也是煤炭工业所称的煤层瓦斯。煤层甲烷包括煤层气的各种组分，其中甲烷占绝大部分，但并不单指甲烷一种气体。同时，它又仅指煤层中的而不包括煤层附近其它地层中的天然气。

众所周知，为了煤矿安全过去总是把煤层瓦斯抽放掉，虽有一些利用，但其开采活动总是与采煤作业结合进行的，作为一种副产品利用的，只能是抽放多少利用多少。近十多年来，引进常规油气钻井、开采技术进行煤层甲烷开采，并根据煤储层的特点不断改进，获得了一定的成功，可在相当大面积的地区连片开采，可在超过采煤深度的煤层中开采，获得了经济效益，逐步形成了一个新的工业部门——煤层甲烷工业，使煤层甲烷成为一种新的资源。

开采煤层甲烷具有深度较浅、投资小、见效快的特点。这种具有巨大潜力的非常规能源的开发正在日益受到产煤国家的重视，许多国家已投入了煤层甲烷开采活动，尤以美国最为活跃。

开采煤层甲烷需要引用常规天然气的理论和钻井开采技术，这就要求在煤层甲烷开发活动中必须加强理论研究、钻井、强化、测试、开采和利用的系统配套，必须有一支各工种配套、具有综合施工能力的队伍，这样才能获得更好的经济效益。

开采煤层甲烷，以煤层作为产气层，而煤层本身又是生气层，所以，既要研究煤层中天然气的生成，又要研究煤层的储集性和流体在煤层中的迁移规律。但是，要使煤层甲烷开采获得成功，更重要的是研究煤的储集性能。必须对煤层的储集性能有清楚的了解，才能制订出有效的开发方案。

煤层作为生产层，首先必须有资源保证。煤层的分布、厚度、埋深、煤阶、灰分含量等因素影响煤的含气量，决定了资源的巨细。所以，在煤层甲烷开发中，准确测定煤层的含气量具有首要的意义。

解吸压力、储层压力、渗透性影响煤层甲烷的产量，其中煤的渗透性研究具有格外重要的意义。与这些方面有关的一系列问题构成了煤层甲烷研究工作的丰富而又复杂的系统工程。

由于煤的特殊机械性质，钻井、完井、测试和开采技术必须与煤储层性质相适应。从打井、测试到开采的过程是技术适应性试验的过程，必须通过试验，优选技术，优化开发方

案, 才能获得更高的产量。

我国煤层甲烷资源丰富, 积极进行研究和开发试验, 定会在不久的将来使煤层甲烷在我国能源工业中崭露头角。

## 一、煤层甲烷开采十多年来取得了迅速的发展

经过十多年的开发, 目前美国已有两个盆地建立起煤层甲烷工业: 圣胡安盆地和勇士盆地, 它们被称为煤层甲烷工业发达地区。圣胡安盆地第一个煤层甲烷气田——锡达希尔气田 1977 年投入开采, 到 1989 年底全盆地有十一个采区 (图 2), 生产井 400 余口 (1989 年 6 月, 图 1), 1989 年产煤层甲烷约 770 亿英尺<sup>3</sup> (约 21.8 亿米<sup>3</sup>)。各采区互相毗邻, 形成开采范围达 600 英里<sup>2</sup> 的连片开采。勇士盆地第一个投产的气田普莱森特格罗夫气田 1980 年投产, 到 1989 年底全盆地有九个采区 (图 4), 范围有 410 英里<sup>2</sup> 左右, 基本连片, 共有生产井约 970 口 (图 5), 1989 年产煤层甲烷约 250 亿英尺<sup>3</sup> (约 7 亿米<sup>3</sup>) (图 6)。勇士盆地的煤层甲烷产量在勇士盆地天然气总产量中所占比例逐年上升, 1988 年底达到近 30% (图

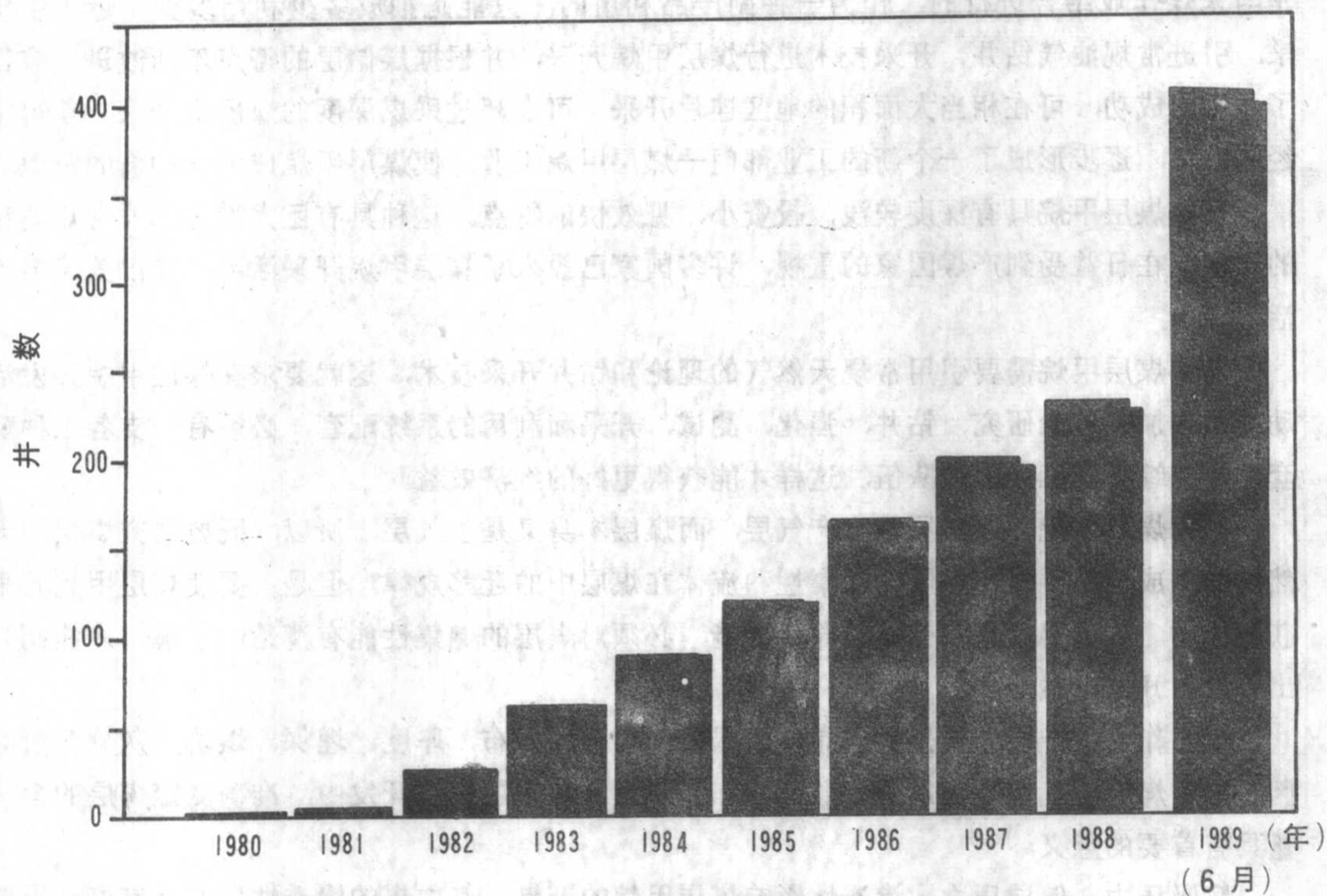


图 1 圣胡安盆地的煤层甲烷生产井数

水果地组煤层气田和煤层甲烷开采单元

1、伊格纳西奥—布兰科气田

2、锡达希尔气田

3、布兰科气田

4、富彻—库茨气田

5、阿兹台克斯气田

6、加利戈坎宁单元

(能源公司)

7、圣胡安30—6单元

(Meridian石油公司)

8、北东布兰科单元

(Blackwood 和 Nichols 公司)

9、阿利森单元 (Meridian石油公司)

10、圣胡安30—5单元 (Meridian石油公司)

11、卡拉卡斯单元 (Nassau 资源公司)

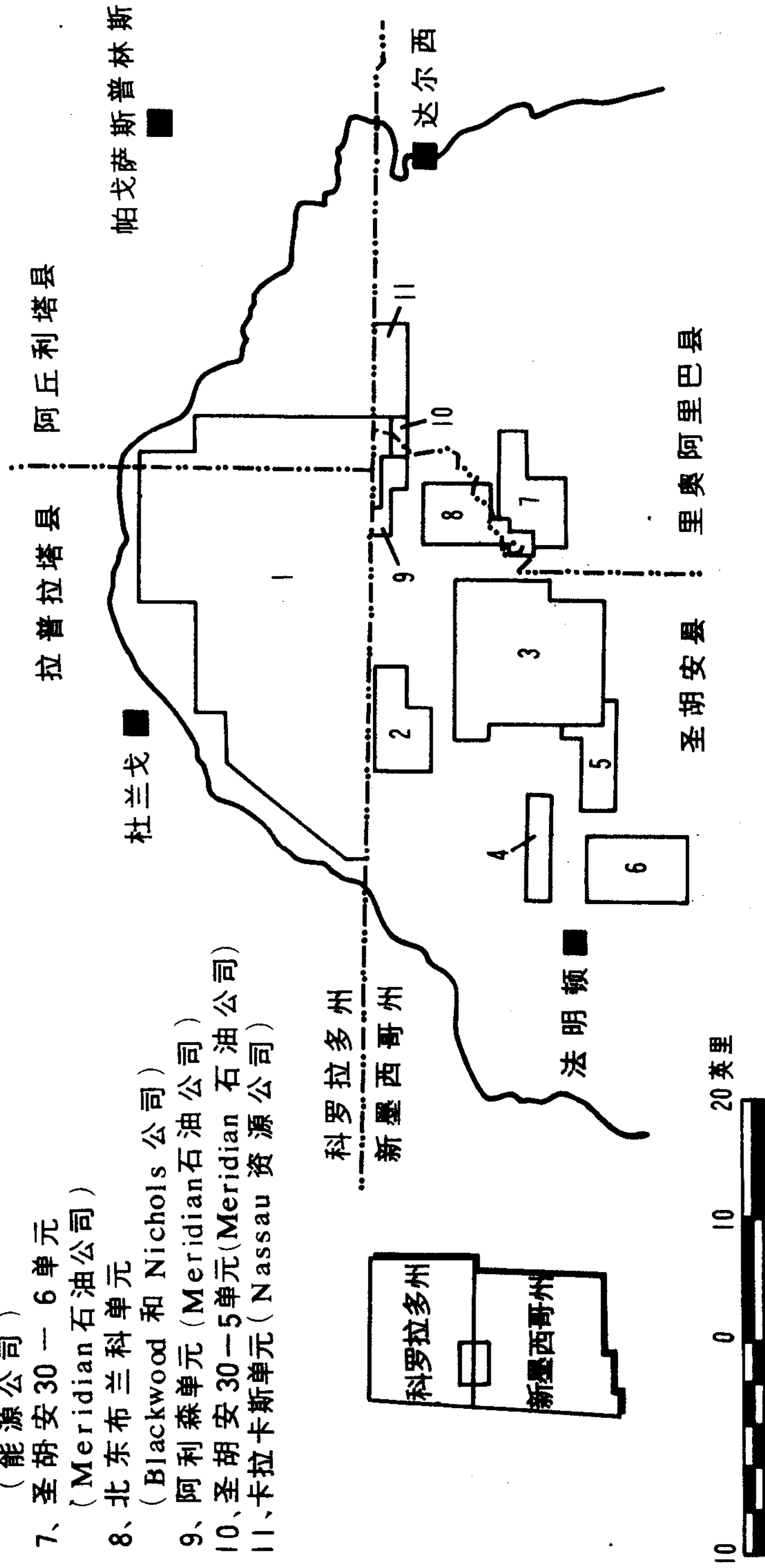


图2 圣胡安盆地煤层甲烷开采区

7)。同时，勇士盆地煤层甲烷产量在亚拉巴马州天然气总产量中所占比例达到 12%（图 7）。勇士盆地煤层甲烷产量到 1989 年底累计约 1000 亿英尺<sup>3</sup>（图 8）。其它一些含煤盆地的甲烷开发活动也在积极进行。

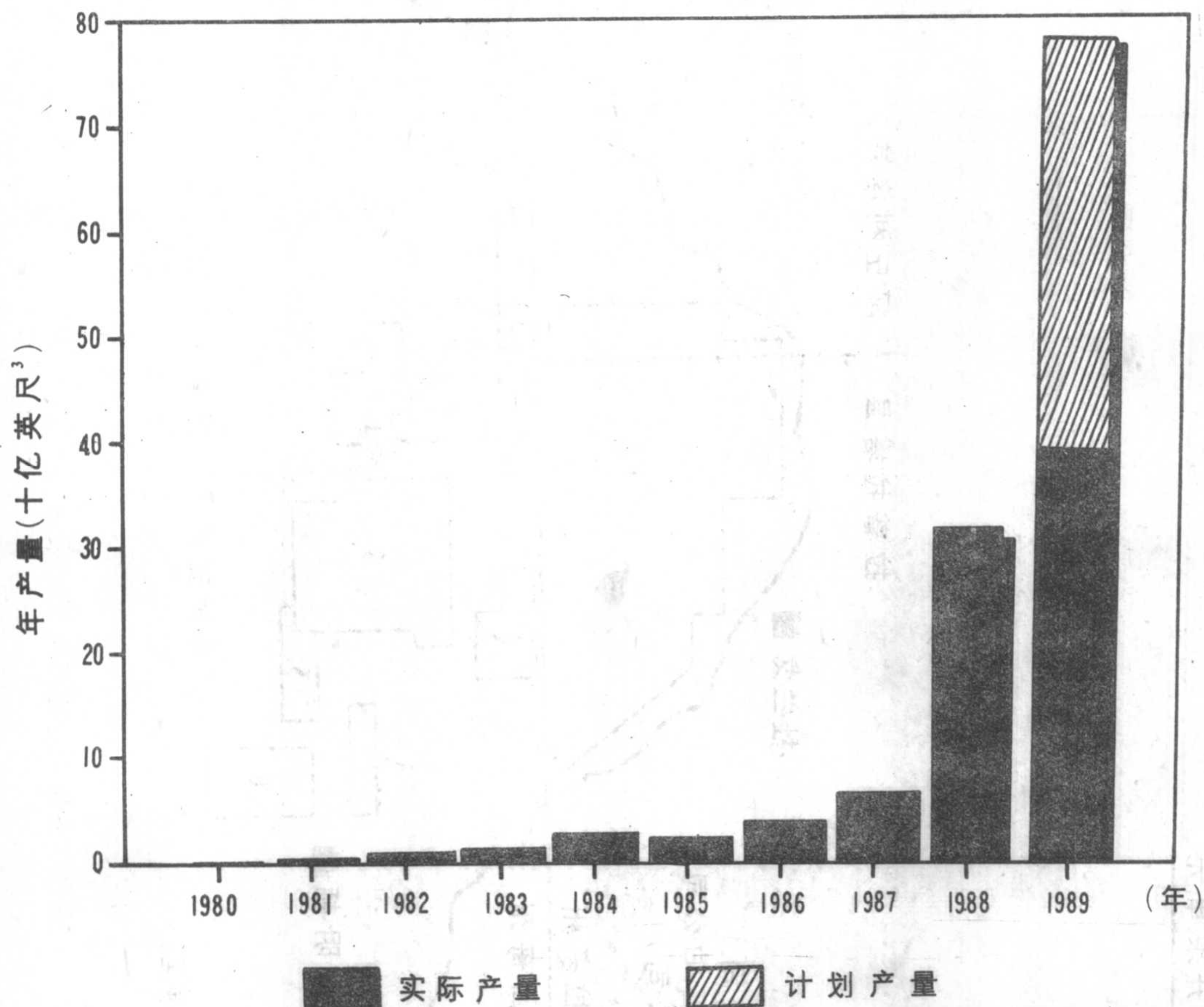


图 3 圣胡安盆地煤层甲烷年产量

#### 概况和回顾

70 年代末，想利用、甚至把煤层甲烷作为商品出售的少数企业家还被人们视为“疯子”。那时，煤层甲烷被看作采矿作业的祸患而不是能源。现在，人们已逐渐认识到煤层甲烷是一种有生命力的丰富的能源。美国政府的资源评价中已包括了煤层甲烷资源量，在其它新的天然气开发暂时延缓的情况下，使美国的天然气储量免于出现滑坡。

60 年代和 70 年代初期，美国矿业局为改善煤矿安全做了大量的研究工作，着重于气体吸附、解吸、气体在煤中的迁移、采矿前脱气作业等方面，并在一些地区进行垂直井开采甲烷的可行性试验。这一时期积累了资料，也增进了一些认识。

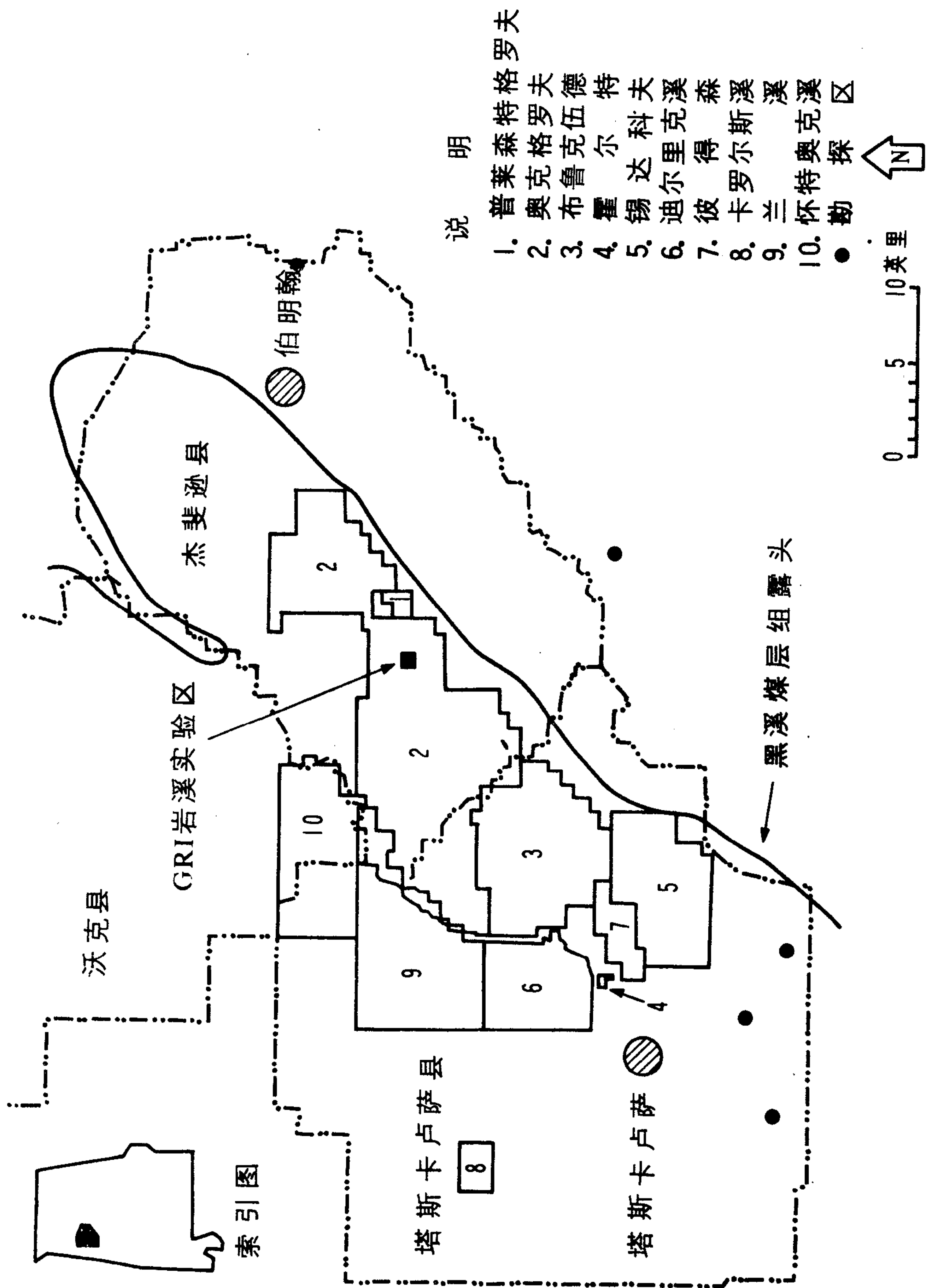


图4 勇士盆地的煤层甲烷采区

1971 年美国矿业局为估价煤层甲烷的测试和开采对矿井安全的影响，布置了一个边长 1500 英尺的五点式井网。在强化以前产量很低，低于每天 5000 英尺<sup>3</sup>，以至 2000 英尺<sup>3</sup> 以下。1973 年 7 月一口井进行压裂以后，在 11 天之内日产量增加到 10 万英尺<sup>3</sup> (图 35)。充分说明，经过压裂可以使煤层的渗透性得到改善，产量大大提高。

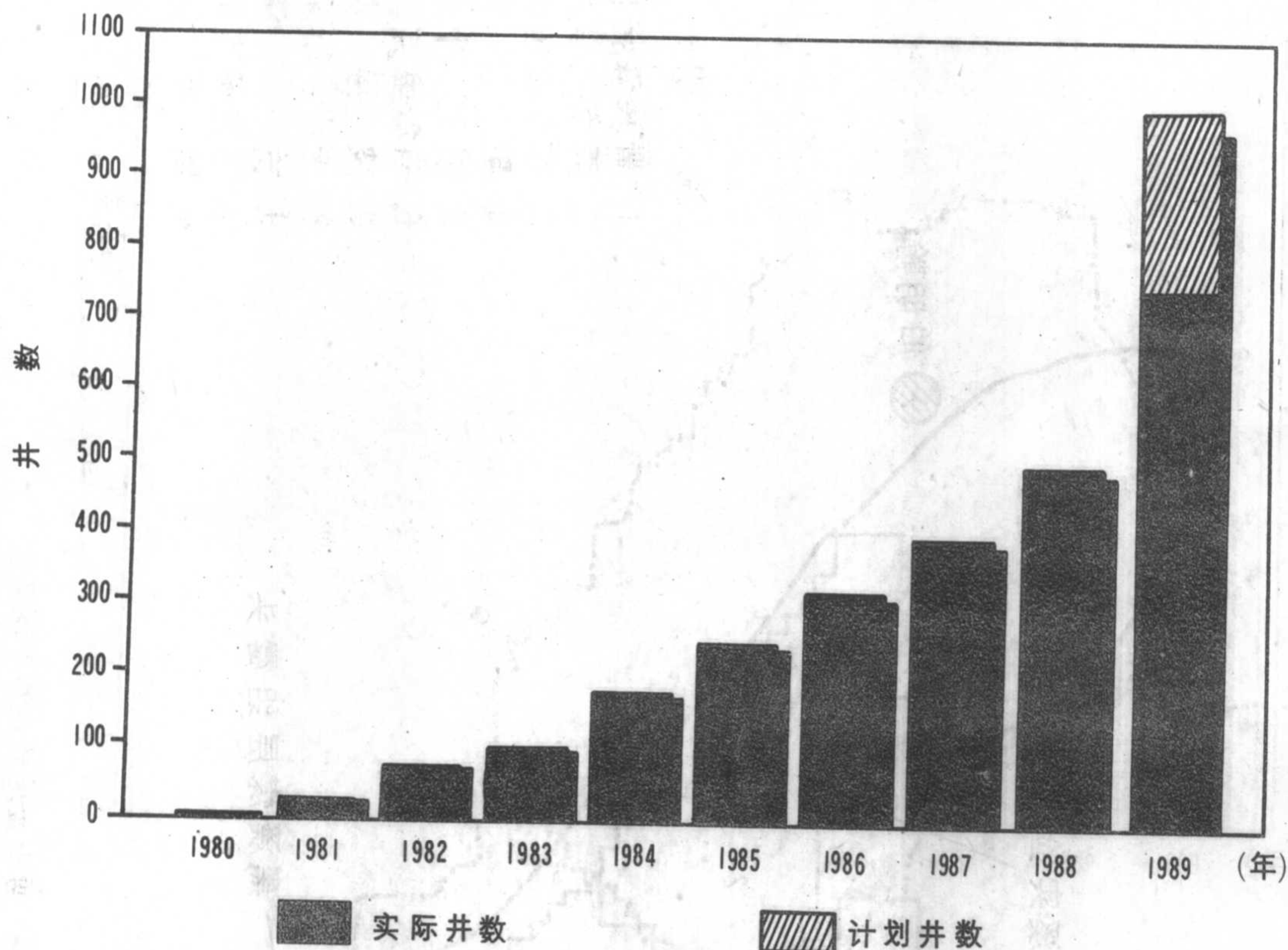


图 5 勇士盆地的煤层甲烷生产井数

1977 年至 1982 年间，作为美国非常规天然气开采计划的一部分，实施了煤层甲烷开采计划，对全美 13 个盆地 61 万英里<sup>2</sup> 的含煤地层，包括埋深 6000 英尺 (1829 米) 以上的煤层甲烷资源进行了评价。1983 年和 1984 年分别出版了《美国的煤层甲烷资源》巨著，本文集中翻译了其中三个盆地的资料及当时的结论。

1989 年 11 月美国天然气研究所提出的报告，对 18 个含煤盆地和地区估算的煤层甲烷资源量为 296 万亿至 394 万亿英尺<sup>3</sup> (1)。

目前，已对三个盆地(圣胡安、勇士和皮申斯盆地)作了经济评价。

70 年代后期至今，美国在各种重大会议上，煤层甲烷的研究成果不断增加。1982、1984、1986 年三次非常规天然气开采讨论会上有大批报导煤层甲烷开发的论文。1987 年和 1989 年专门召开了大型的煤层甲烷讨论会。

美国还建立了东部和西部煤层甲烷情报中心，专门收集和交换煤层甲烷情报，还建立了煤层甲烷数据库。

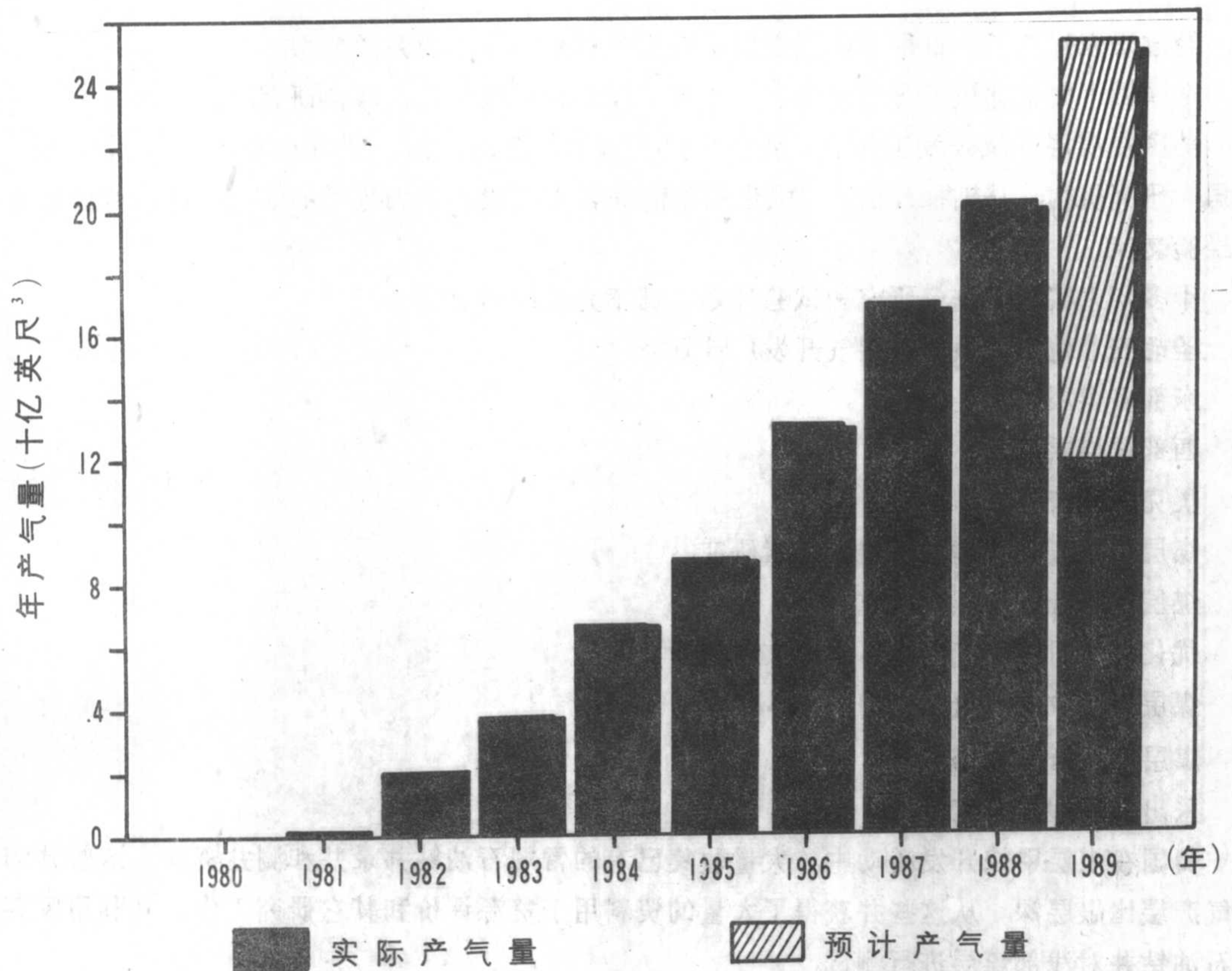


图6 勇士盆地煤层甲烷年产量

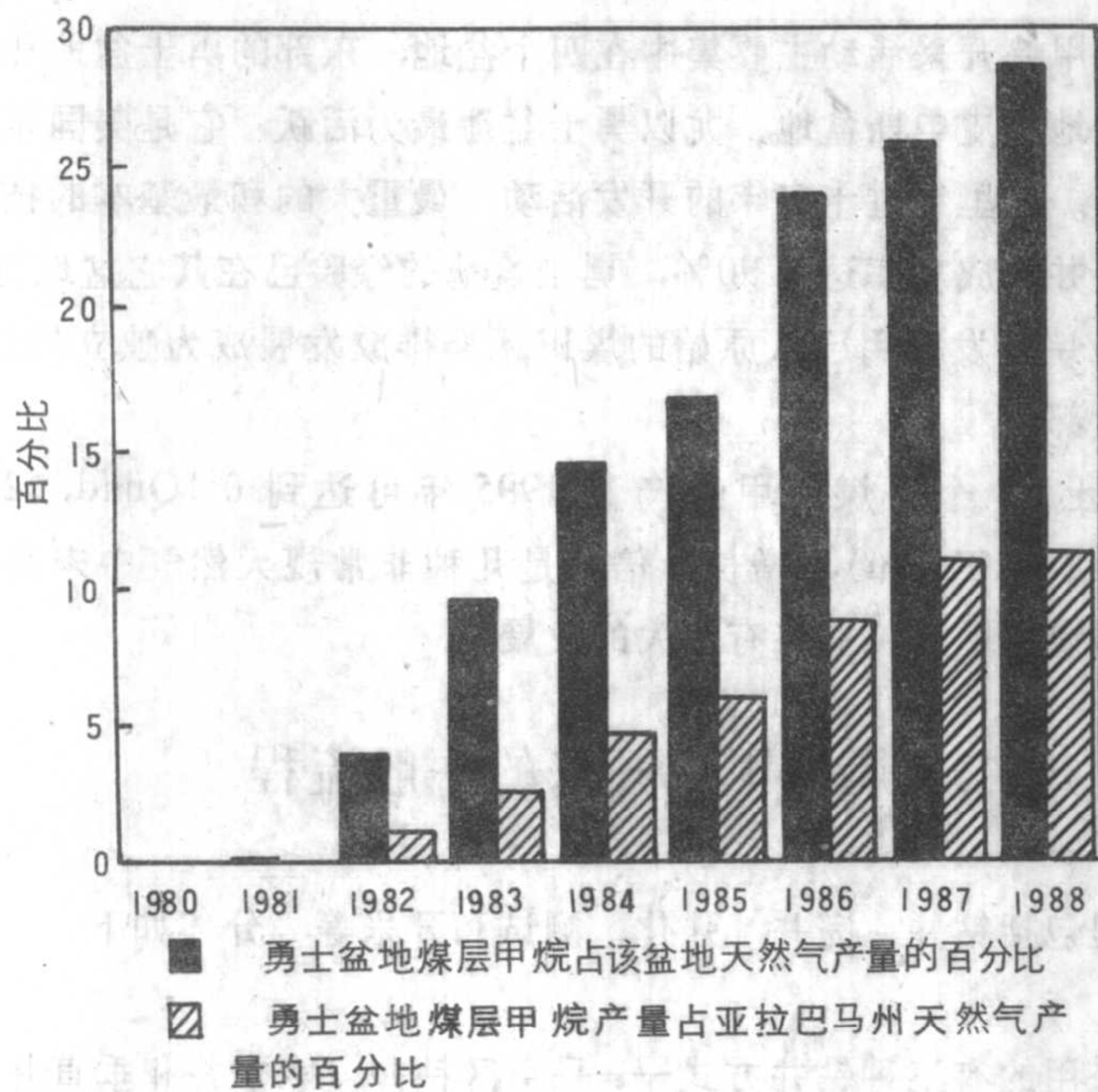


图7 勇士盆地煤层甲烷产量所占比例逐年上升

经过研究建立了一批用于模拟煤层甲烷生产和水力压裂的数学模型。

全国做了大量的煤层含气量测定，开展了煤作为储层的孔、渗性研究。

美国在煤层甲烷开发工作中，各方力量进行了广泛的协作。近50个单位，包括院校、公司、研究机构，从钻探、试采、强化和集输等各方面投入了大规模的研究工作，并经常进行经验交流。

十多年来实施了许多研究和试验计划，据不完全统计有：

圣胡安盆地白垩系（煤层气开发）计划；

东部多煤层计划；

西部深煤层计划；

奥克格罗夫30口井开发计划；

煤层甲烷开采关键地质控制因素研究；

煤层甲烷开采和压裂研究；

优化煤层甲烷生产和排水的水文特征研究；

煤层甲烷数据库研究计划；

煤层甲烷开采示范项目；

采出水处理的研究等。

美国在煤层甲烷开发活动中，大量收集已有的常规石油钻井录井和测井资料。这些井的油气产层比煤层深，从这些井获得了大量的资料用于资源评价和其它研究工作，并利用废弃的石油钻井对浅部煤层进行测试。

自1983年起，创办了煤层甲烷专门刊物《煤层甲烷开采技术》（季刊），报导新进展、新成果和各项活动。

目前，美国的煤层甲烷开采活动主要集中在四个盆地，东部的勇士盆地和北阿巴拉契亚盆地，西部的圣胡安盆地和皮申斯盆地，尤以勇士盆地最为活跃。它是美国东部以至全美开发煤层甲烷的领先地位。这里经过十多年的开发活动，最重大的和最基本的技术问题已经解决和基本解决，单煤层井的成功率达到90%，勇士盆地的经验已在其它盆地得到运用。

十多年来，煤层甲烷开发利用已从原始的煤田瓦斯排放发展成为独立的煤层甲烷工业，并成为引人注目的工业部门。

据预测，美国本土48个州煤层甲烷产量1995年可达到0.1Quad，2010年可达到1.1Quad（译注：1Quad =  $10^{15}$  Btu），增长十倍，是几种非常规天然气中未来增长速度最快的。可见，在未来时期煤层甲烷工业将有更大的发展。

## 二、煤层甲烷开采的一般流程

煤层甲烷开采过程包括钻井、完井、强化、测试和开采等，分述如下：

### （一）钻井

开采煤层甲烷常采用的有三种钻井方式——采空区钻井、水平井和垂直井<sup>(2)</sup>。

采空区钻井，也称老塘井（图9），从采空区上方由地面钻井到煤层上方或穿过煤层，

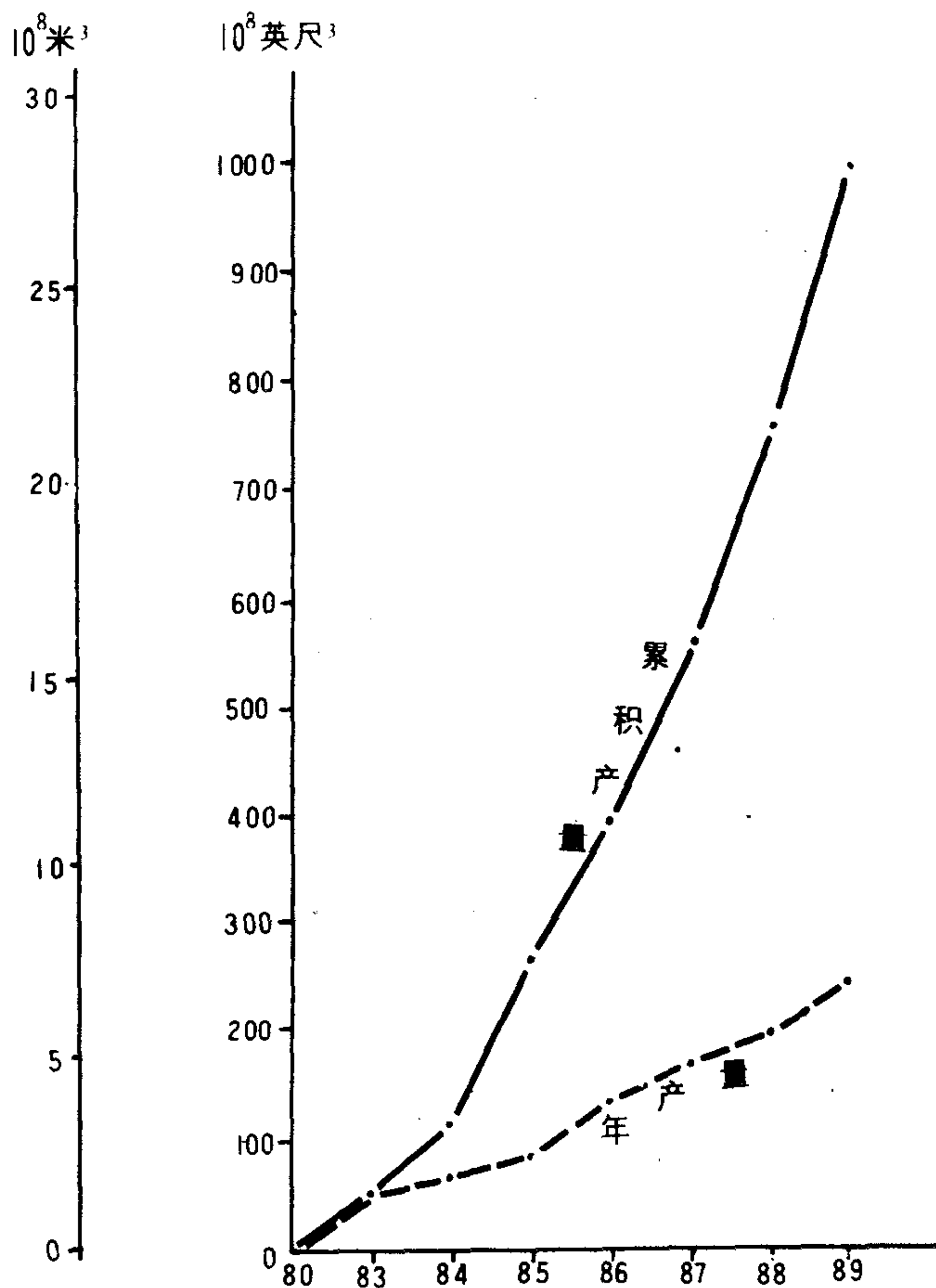


图8 勇士盆地煤层甲烷产量逐年增加 (据文献资料编绘)

也可在采煤之前钻井。采空区顶板因巷道支柱前移而坍塌，产生新的裂缝使瓦斯从井中涌出，如果采空区顶部还有煤层并成为采空区的一部分，瓦斯涌出量更大。由于产出气体中混有空气，使热值降低，大约每千英尺<sup>3</sup>700~800Btu。由于产出气中含氧高，不宜管道输送，勇士盆地的许多老塘井日产气量达到一百万英尺<sup>3</sup>。这种井产量下降较快，宜当地利用。采空区井对煤层脱气可达50%。

水平井 (图9)，一种是从巷道打的水平孔抽放瓦斯，另一种是从地面先打直井再造斜，沿煤层钻水平孔，实际上是一种强化措施，称之为“排泄孔” (图10)，目前尚处于试验阶段。在布鲁克伍德气田，排泄孔长度达到500~2500英尺，气产量可达到万英尺<sup>3</sup>。用高比重泥浆钻井，水平钻井的方向应与面割理方向垂直，只适于厚度大于5英尺的厚煤层，成本高。

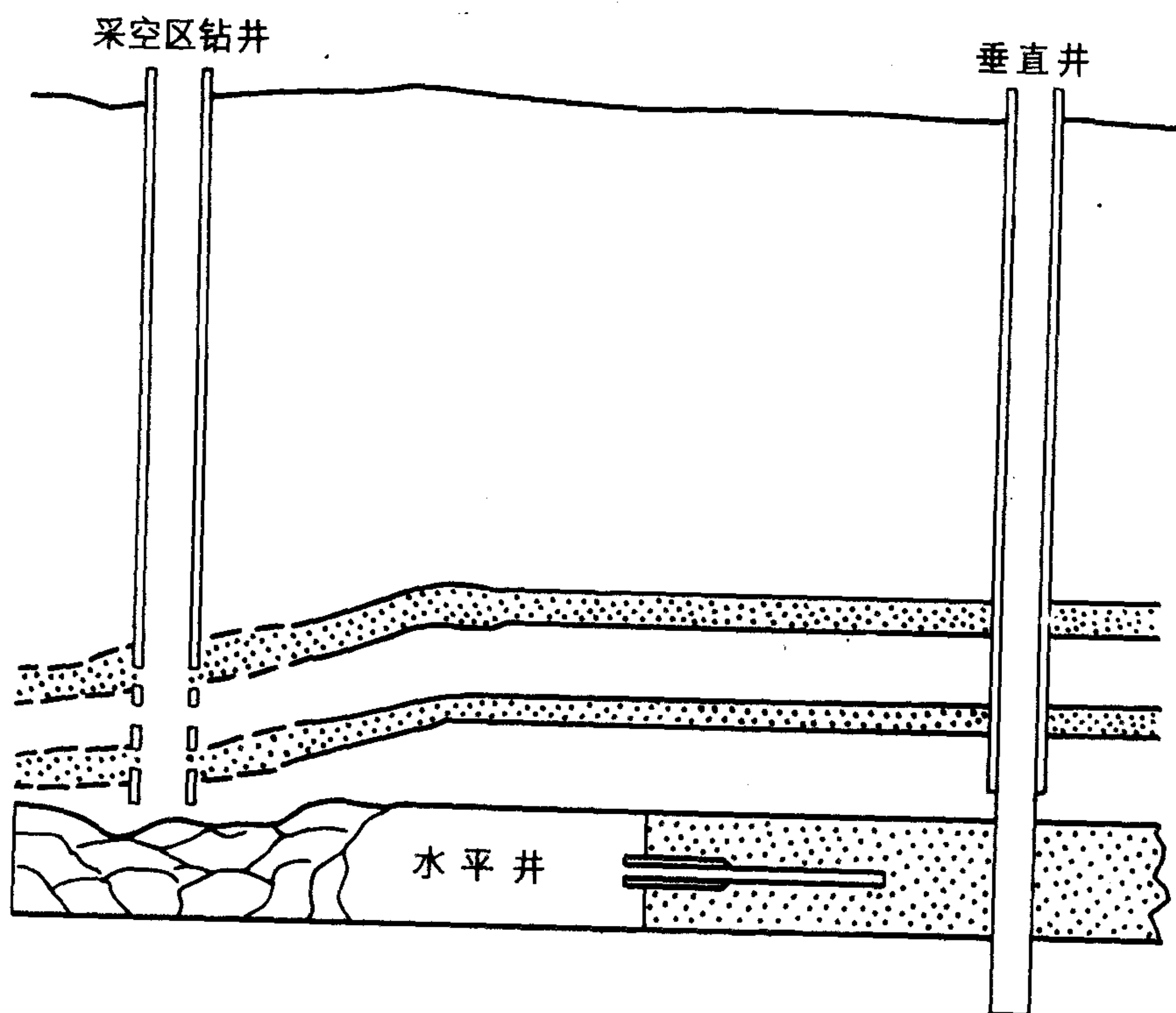


图9 煤层甲烷井类型

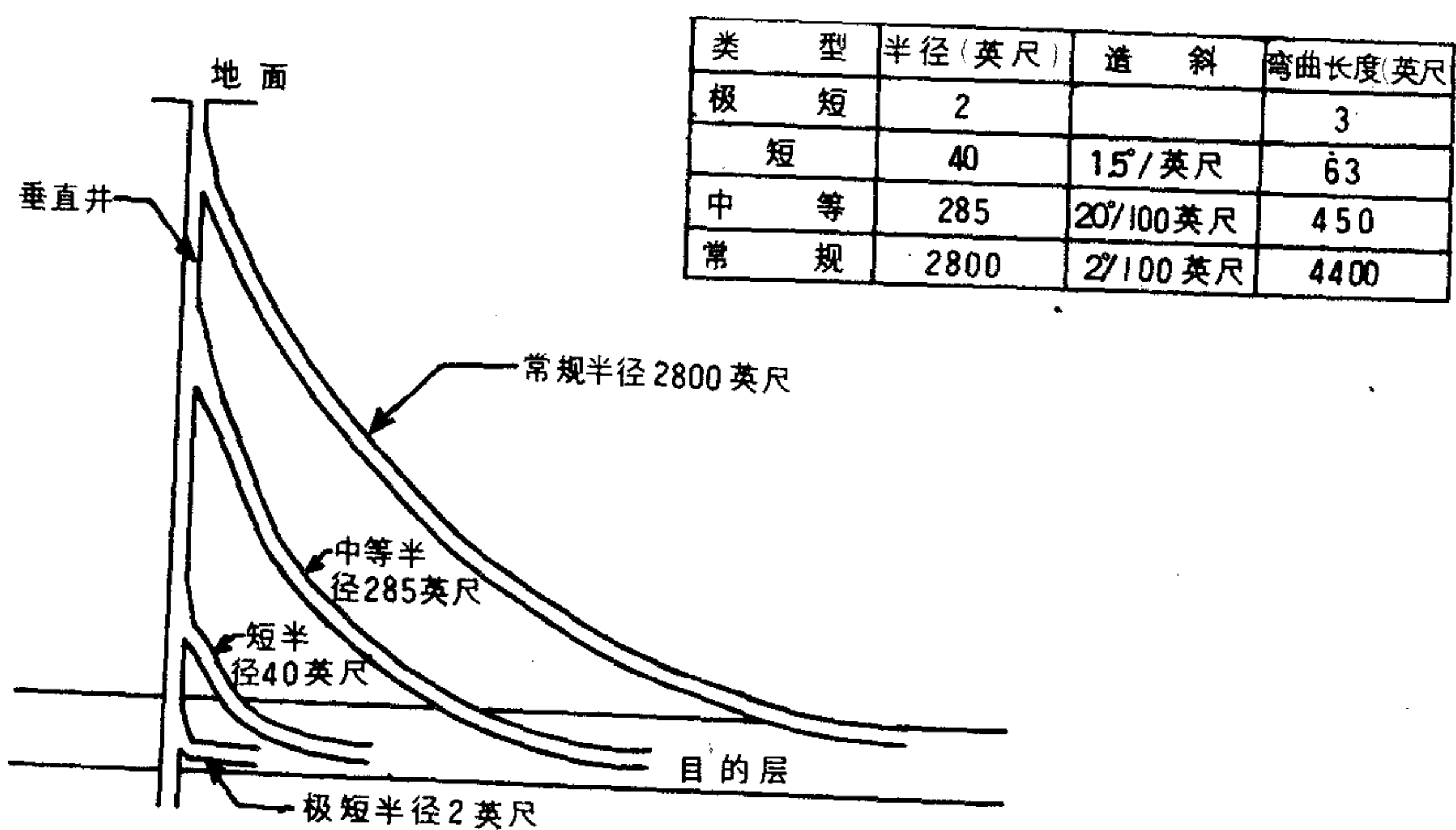


图10 排泄孔钻井工艺