

水平连通井

井眼轨迹设计与控制技术

SHUIPING LIANTONGJING
JINGYAN GUIJI SHEJI
YU KONGZHI JISHU

张 杰 吴 鹏 李根奎 编著



科学出版社

水平连通井井眼轨迹设计与控制技术

张 杰 吴 鹏 李根奎 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

水平连通井（又称 U 型井）属于定向井技术中的一门特殊专业技术，对于煤层气、地下可溶性矿等特殊地下资源的开采，该技术具有增加有效供给范围、导流能力、单井产量和采出程度等优点，但是在实钻过程中，往往由于轨迹控制精度低、质量差等，导致连通作业困难甚至连通失败。本书完善了水平连通井的轨迹精细控制技术，提供了相应的轨迹控制模式化方法。

本书可供从事钻井技术的研究人员、钻井工程师以及钻井管理人员参考，同时也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水平连通井井眼轨迹设计与控制技术 / 张杰, 吴鹏, 李根奎编
著. — 北京: 科学出版社, 2015.4

ISBN 978-7-03-043915-4

I. ①水… II. ①张… ②吴… ③李… III. ①井眼轨迹-设计
②井眼轨迹-控制 IV. ①P634.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 055208 号

责任编辑: 杨 岭 罗 莉 / 责任校对: 邓利娜

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年3月第 一 版 开本: B5 (720*1000)

2015年3月第一次印刷 印张: 6.5

字数: 129千字

定价: 49.00元

前 言

本书通过调研分析国内外轨道设计与轨迹控制技术，并结合水平连通钻井工艺的特点，以轨道设计与轨迹控制为主线、下部钻具造斜能力及井眼轨迹预测技术为手段、提高井眼轨迹控制质量为目的，主要包括以下几个方面的内容：

(1)总结水平井的轨道类型与设计模型，并根据水平连通井井眼轨道精细控制的特点，后期存在的调整井斜及扭方位的需要，建立水平连通井轨道优化设计模型；

(2)结合 BHA 造斜能力几何算法，分析下部钻具造斜能力，详细阐明了各因素对下部钻具几何造斜率的影响效果，为现场施工提供优化钻具组合的依据；

(3)结合井眼轨迹预测模型，使用自然参数模型建立轨道预测方法，为井眼轨迹控制提供监控依据；

(4)结合轨迹设计与轨道预测方法，完善水平连通井井眼轨迹控制技术，重点阐述连通阶段的磁性导向钻井技术的原理及控制方法；

(5)形成水平连通井井眼轨迹控制方案，进行现场应用，并对应用效果进行分析。

本书给出了钻前水平连通井的设计方法及下部钻具组合的优化方法；钻进过程中的井眼轨迹预测及磁性导向连通等应用技术。通过现场应用的对比分析，给出了水平连通井的模式化轨道控制方法。该模式化控制方法有助于提高平均机械钻速、缩短钻井周期、降低钻井成本，对今后的水平连通井低成本高效作业，具有一定的参考价值。

最后，要感谢西南石油大学支持我们将该研究成果整理成书给予出版，还要向书中引用到其学术论著或研究成果的众多同行和前辈们致谢！

编 者

2014 年 12 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 技术背景	2
第二节 本书的主要内容及相互关系	6
第二章 水平连通井轨道设计方法	8
第一节 水平连通井工艺概述	8
第二节 水平井井眼轨道分类及设计模型	8
第三节 二维井眼轨道设计通用模型	17
第四节 三维井眼轨道设计模型及实例设计	19
第五节 水平连通井轨道优化设计模型及实例设计	24
第六节 本章小结	27
第三章 下部钻具组合造斜能力分析方法	28
第一节 下部钻具组合造斜率几何分析法	28
第二节 三点定圆原理	28
第三节 几何造斜率的计算方法	29
第四节 几何造斜率影响因素分析	31
第五节 计算软件	43
第六节 本章小结	45
第四章 井眼轨迹预测方法	46
第一节 井眼轨迹预测技术研究	46
第二节 轨迹预测计算实例	49
第三节 计算软件	53
第四节 本章小结	55
第五章 水平连通井井眼轨迹分段控制方法	56
第一节 轨迹控制技术的要求	56
第二节 着陆控制	56
第三节 水平段控制	59
第四节 连通控制	62
第五节 本章小结	67

第六章 现场应用 68

 第一节 FS-19 井井眼轨迹控制 68

 第二节 QF-2 井井眼轨迹控制 74

 第三节 对比分析及小结 82

参考文献 84

附录 87

第一章 绪 论

伴随着易开发气藏资源的不断衰竭,石油工业开始不断将重点转向高难度气藏及非常规气藏,然而常规钻井技术不能满足这样的气藏开发施工作业及生产需求,需要一些针对不同类型气藏的特殊钻井技术,水平连通井就是其中之一。

水平连通井(又称 U 型井)属于定向井技术中的一门特殊钻井技术。由于技术的特殊性,水平连通井技术可以应用于多种领域。尤其对于煤层气、地下可溶性矿等特殊资源的开采,水平连通井的技术优势相当明显。

早期的连通井技术主要用于事故处理,使用电流,激发事故井中的套管,通过磁场确定套管位置,从而连通救援井和事故井。2010 年连通井技术在美国墨西哥湾漏油事件中得到应用,救援井成功钻入事故井,最终顺利解决了漏油事故。

连通井技术开发煤层气在国外应用比较成熟,而在国内主要用于可溶性井矿盐的开采。近些年,该技术也开始应用于煤层气的勘探开发作业中。2005 年 7 月,中国石油天然气股份有限公司(简称中石油)在山西宁武盆地首次钻成一口煤层气多分支连通水平井,该井由一口直井和一口多分支水平井连通组成。磁性导向钻井(magnetic guidance tool, MGT)技术的采用保证了两井准确连通(开始应用磁性导向钻井技术之前,并没有某种技术来保证一次对接成功,而磁性导向钻井技术可以精确控制两井井眼的相对空间距离,该技术的应用解决了判断钻头与目标点位置的难题,若将其应用于双水平钻井,将使超稠油开采变得更加有效)。其后连通井技术在国内煤层气开采中也得到推广应用,取得了良好的应用效果。此后,我国在 2011 年又首次连通了一口水平井和定向井。由此可见,磁性导向钻井技术作为水平连通井的关键技术,具有广泛的应用前景。然而对于水平连通井而言,磁性导向钻井技术虽然降低了井眼连通的风险,但是如果要保证水平连通井的连通质量,降低连通作业的难度,还需要对水平连通井的井眼轨迹进行合理的设计和实时控制。因此,优化水平连通井的井眼轨迹设计方法,完善水平连通井的井眼轨迹控制技术(尤其是在水平段的精细控制及连通段的磁性导向钻井技术的成套配合),才能在最大程度上降低连通井的施工风险,降低连通作业的难度,保证水平连通井的高效低成本钻进。水平连通井的模式化设计及控制技术,对煤层气、页岩气等新型能源的开发利用也具有十分重要的现实意义,提高这些新型能源开发的经济性,降低施工成本。

第一节 技术背景

一、国内外水平井技术发展现状

水平井钻井技术是以提高油气产量或者提高油气采收率为根本出发点的。20 世纪 80 年代,水平井钻井技术已成为一种综合性较强的配套技术,并在全世界的石油领域内得到快速发展。整合了多门学科的先进技术成果,是其最具代表性的特点,具体包括^[1-5]:水平井完井技术、水平井测井技术、水平井完井液技术、水平井油气层保护技术、水平井地质导向技术、水平井井眼轨迹控制技术、水平井优化设计技术等一整套重要技术。目前,水平井钻井技术已经在整个油气田勘探开发领域得到了广泛应用,并且获得了巨大的经济效益^[6,7]。

从定向井技术发展到现在今广泛应用的水平井技术,已经有近百年历史。

20 世纪 30 年代,海洋油田的开采需求进一步促进了定向井技术的发展,人们开始意识到,对井眼弯曲的现象可以加以利用,这样就可以用定向钻井的方法实现在海岸边开采海底油气藏的目的。有记录的最早的定向井为 1930 年在美国加利福尼亚钻的两口定向井。1934 年,美国利用打偏斜井的方法在得克萨斯州东部处理了井喷事故,该井也成为有记录的第一口定向救援井,并在该井首次使用单点测斜仪器。

到了 20 世纪 50 年代,苏联及法国研制并应用了涡轮钻具,同时,美国的 Smith Tool Company 则研制出了螺杆钻具。此后,涡轮钻具和螺杆钻具因其可以在井下旋转钻头的技术优势被广泛应用到定向井钻井的施工中。20 世纪 80 年代随钻测量(measure while drilling, MWD)测斜技术和计算机辅助钻井技术得到了广泛的使用,应用这两种技术可以更加精确地监测和控制定向井的井身轨迹。同时,在水平井井眼轨迹设计理论上,也不断取得突破^[8-17],1989 年 Karlsson^[8]首先提出了井眼轨迹设计的真实圆弧法,到了 1993 年,Shuichi^[14]又提出了水平井轨道设计的二维、三维法,同时给出了计算模型,这也是目前运用最广泛的水平井设计方法。此后,Sheppard 等^[16]又在钻柱载荷的研究中引入井眼轨迹的形状为影响因素,从摩阻角度对深部造斜井的优点进行了论证。

由于井眼轨迹设计与监控技术的不断改进,此后水平井技术相继在美国、加拿大、法国等国家得到广泛的工业化应用。目前,全球的水平井、分支井数量已经完成超过 4.5 万口,随着旋转导向钻井系统、地质导向钻井系统、磁性导向钻井系统、遥控变径稳定器、可调角度弯外壳马达、随钻录井(logging while drilling, LWD)等井下工具及测斜设备的更新,水平井已经成为降低油气勘探成本的重要手段,井眼轨迹控制技术在海外发达国家已经达到相当高的水

平,技术日益成熟,应用范围也越发广泛,在此基础上又延伸出了蒸汽辅助重力泄油(steam-assisted gravity drainage, SAGD)双水平井、水平连通井等水平井钻井新技术。

20世纪50年代,我国开始发展定向井钻井技术,成为继美国和苏联后第三个钻定向水平井的国家。1956年我国在玉门油田钻成了第一口定向井。20世纪70年代,我国成功在渤海海面上的一座平台上钻进了12口定向井。20世纪70~80年代,通过国外定向井钻井技术的交流和国家科技项目的投入以及定向井、丛式井关键技术的攻关推广,我国共完成钻各类定向井4317口,节约土地7500亩(约5000000m²)、资金2.5亿元。此后,水平井钻井技术逐渐发展成为一项常规钻井技术,在国内油气勘探开发领域得到应用。从技术水平上看,目前我国已经发展成为世界上水平井技术较强的国家,有相对完善的体系,基本实现了技术、装备的配套,并且创造了多项勘探开发纪录,并成功走向了国际市场。

二、水平井设计及控制技术发展现状

1. 定向井轨道设计方法

国内外有很多石油领域或非石油领域的学者对定向井轨道设计方法进行过研究^[18-21],在常规定向井和非常规定向井的轨道设计方法上都取得了重要研究成果。目前最为成熟的方法是二维和三维定向井轨道设计方法,包括常规二维轨道设计、三维绕障轨道设计、多靶点轨道设计等。

其中,韩志勇^[22]对定向井轨道设计及轨迹计算方法进行了系统研究,给出了包括常规二维定向井轨道、多造斜率二维定向井轨道、绕障井轨道,多目标点井轨道设计等经典设计方法。另外艾池等^[23]建立过一些复杂的定向井轨道设计方法及相关关键参数计算公式。然而,在穿越或规避断层及破碎带的轨道设计方法方面,现有轨道设计方法在计算时都比较复杂且效率较低,即使最为著名的软件公司LANDMARKTM开发的COMPASSTM定向井软件也无法保证通过一次计算达到设计要求,也需要多次试算才可以。

2. 摩阻、扭矩预测的分析方法

无论是定向井、水平井或是大位移井,摩阻、扭矩计算都是其中相当重要的研究课题。在进行轨迹设计时,进行摩阻预测分析可以评价其施工可行性,在施工前进行摩阻预测分析能够为优选钻具组合提供依据,从而达到降低摩阻、扭矩及施工难度的目的。

国内外有诸多学者^[24-30]做了大量的工作来对摩阻扭矩问题进行研究。1983

年, Johansick^[26]首次提出了钻柱拉力和扭矩的软杆预测模型以用在定向井施工中。之后, 韩志勇^[29]在 Johansick 的软杆模型的基础上进行了优化, 这样, 就可以利用该模型改进井眼轨道设计、优化钻柱设计、故障诊断和预防现场事故。M. L. Payne 等^[30]将钻柱刚度的影响考虑在内后, 对摩阻扭矩模型提出了优化, 该模型因为考虑了钻柱的刚性因素所以被称为刚杆模型。在现场应用中, 井眼曲率变化较小的井眼常用软杆模型, 而井眼曲率变化较大的井眼则常用刚杆模型^[31,32]。

3. 钻进趋势预测方法

钻进趋势预测属于进行定向井轨迹控制、钻具组合优化设计的基础工作。国内外有大量学者针对该问题, 围绕底部钻具组合 (bottom-hole assembly, BHA) 力学特性分析、钻头与地层相互作用模型及钻进趋势预测方法等方面进行了大量研究。

H-S. Ho^[33]指出, 钻进趋势预测程序应完整包含三个主要因素——BHA 力学特性分析程序、岩石与钻头交互作用模型及钻前分析特征, 在此基础上建立了岩石与钻头交互作用模型, 该模型的特点是考虑地层和钻头各向异性及钻进特性影响。

此外, 还有一些学者建立了包括静力学和动力学分析模型等多种 BHA 力学特性分析模型, 并给出了其求解方法。白家祉等^[34,35]、苏义脑等^[36]建立了采用纵横弯曲连续梁求解方法的 BHA 力学特性, 该模型的特点是计算简单、精度高、运算快, 目前该方法已经能够求解多种形式的钻具组合。

国内学者在 H-S. Ho 建立的岩石与钻头相互作用模型基础上, 对钻进趋势预测方法进行了深入的研究。其中, 2003 年以来, 管志川、夏焱、史玉才等^[37,38]提出采用钻进方向角来判断预测钻具造斜能力, 并建立了针对不同钻具组合的力学模型和钻头与地层相互作用模型, 给出了钻进趋势角的求解方法, 从而建立了考虑井斜角、地层倾角、钻头转角、钻压、钻头侧向力及钻头和地层各向异性指数等综合影响因素的钻进趋势预测模型及方法。

4. 磁性导向钻井技术

磁性导向钻井技术 (magnetic guidance tool, MGT) 主要用于水平连通井钻井或成对水平井钻井对超稠油的开采方面。加拿大富含稠油, 其稠油开采技术代表了当前世界稠油开采的最高水平, 利用 MGT 技术钻成对水平井对超稠油实施 SAGD 开采, 这种技术最显著的优势是提高了采收率和开采速度, 采收率可达 50%。

在国内, 磁性导向钻井技术钻水平连通井及成对平行水平井起步较晚。2008 年 5 月, 辽河油田首次采用 MGT 技术成功完成了杜 32-兴 H313 井和杜

32—兴 H314 井这对成对水平井, 该技术很好地解决了双水平井井眼轨迹精细控制的问题, 提高了超稠油的开采效率。此后, 新疆油田在风城利用磁性导向钻井技术, 成功克服了井眼曲率大、油层垂深浅、管柱下入难、轨迹控制精度高等难题, 其钻成的双水平井轨迹质量高, 水平段垂直间距控制在 5~6m, 达到了设计要求。

三、水平连通井技术的应用现状

水平连通井技术最早使用于救援井施工, 其救援手段是通过注入密度较高的钻井液或其他措施来达到压井或处理井下事故的目的^[39]。目前我国该技术主要应用于井矿盐的施工开发中, 通过连通井技术以实现两井或多井在目标开采层连通的目的, 其优点是建井成本低、卤水产量高、质量好, 对接层位及地层污染小等, 国内已有至少四个地区的非石油行业采用了水平连通井技术^[40-43]。除了井矿盐的开采, 近些年来, 水平连通井技术也开始应用于煤层气井的勘探开发中, 该技术对于煤层气开采的优势是可以有效沟通煤层割理和裂隙系统, 大幅增加井眼的波及和泄气面积, 使裂隙内气液两相流的流动阻力明显降低, 扩大煤层降压范围, 从而大幅提高煤层气的单井采量, 在我国煤层气勘探开发中具有广阔前景^[44,45]。

我国最早在山西保德地区进行水平连通井勘探试验, 施工了 4 对水平连通井组, 气井产水量大, 日均产量在 200m³ 以上。除 1 号井外, 其余 3 口井长期水量不减。此后, 在山西和顺地区、陕西彬长矿区和宁夏石炭井矿区也进行了水平连通井在煤层气开发中的试验。2010 年, 中煤科工集团西安研究院在山西晋城潘庄区块进行了水平连通井技术的现场试验^[43], 该井最高日产气量可达 2.0×10⁴ m³, 取得了成功。与盐田不同的是, 煤层气造穴只有水力造穴和机械造穴两种方式, 这两种方式所造容腔体积较小, 一般的定向工具精度很难达到要求。因此, 具有更高精度的近钻头旋转电磁测距法 (rotary magnetic ranging system, RMRS) 在水平连通井的施工中开始得到了广泛应用。内蒙古乌兰察布气化采煤工程中 3 口气化采煤井的连通, 山西宁武平地一口羽状水平对接井的成功连通, 四川乐山、榆林北元化工多口盐井的对接都是采用了 RMRS 技术。这些试验井的成功, 初步探索出了适合煤层气、井矿盐开采的水平连通井钻井工艺, 为我国地面煤层气、井矿盐开发提供了技术保障。

尽管在国内外钻井勘探开发中水平连通井技术取得了明显的经济效益, 但必须认识到水平连通井钻井技术是一种涵盖了多项新技术的钻井技术, 目前对于煤层气水平连通井技术的理论研究体系还不够成熟。因此, 加强煤层气成藏理论、经济评价, 水平连通井轨迹的模式化控制方法等基础理论的系统性研究,

以尽可能地降低成本,提高经济效益^[46-48]。

21 世纪水平井钻井技术是以自动化、智能化和经济化为方向不断发展的。所以必须要发展和完善水平连通井井眼轨迹控制理论,解决水平连通井钻井施工的技术难点,有效降低开发成本,以此作为基础改进和提高煤层气、稠油等新能源及非常规能源的开发工艺技术,推动钻井行业快速发展。

第二节 本书的主要内容及相互关系

一、主要内容

(1)总结水平井的轨道类型与设计模型,并根据水平连通井井眼轨道特点建立水平连通井轨道优化设计模型。

(2)结合 BHA 造斜能力几何算法,分析下部钻具造斜能力,为现场施工提供优化钻具组合的依据。

(3)结合井眼轨道预测模型,建立井下钻具组合钻进预测方法,为井眼控制提供监控依据。

(4)结合轨迹设计与井眼轨道预测方法,完善水平连通井井眼轨迹控制技术,着重于连通阶段的磁性导向钻井技术。

(5)形成水平连通井井眼轨迹控制方案,进行现场应用,并对应用效果进行分析。

二、内容之间的逻辑关系

主要内容之间的逻辑关系如图 1-1 所示。

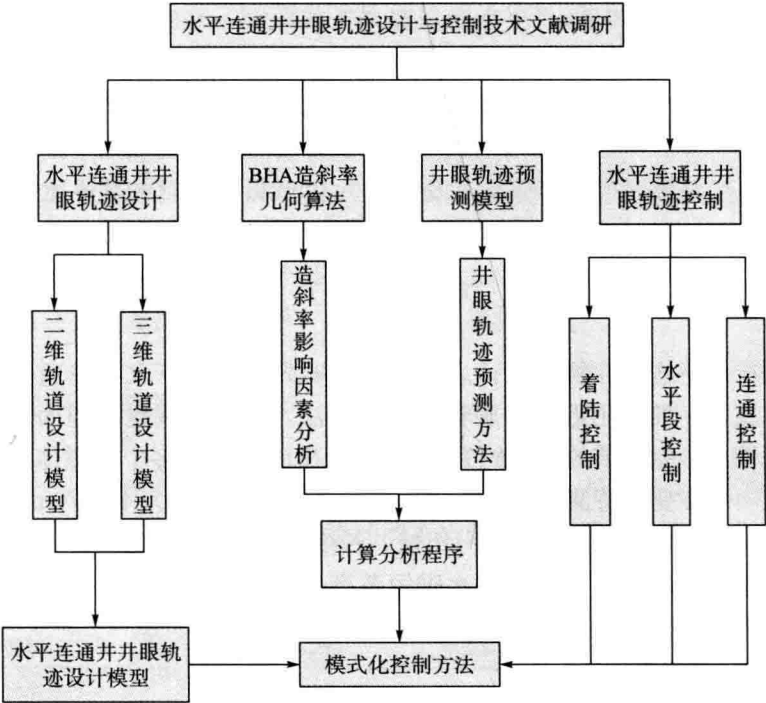


图 1-1 本书主要内容逻辑关系图

第二章 水平连通井轨道设计方法

第一节 水平连通井工艺概述

在进行水平连通井轨道设计之前，有必要先了解一下水平连通井的工艺原理，连通技术一般采用近钻头旋转电磁测距法，硬件构成包括地面设备、永磁短节和探管。永磁短节的长度约为 40cm，由横向排列的多个永磁体组成，主要用来提供一个交变的待测磁场，电磁信号的最大有效距离为 40~70m。探管由扶正器、传感器组件、加重杆三部分组成，长度约为 3m。当旋转的永磁短节通过洞穴井附近区域时，探管可采集永磁短节产生的磁场强度信号，通过采集软件可准确计算两井间的距离和当前钻头的位置(如图 2-1)。

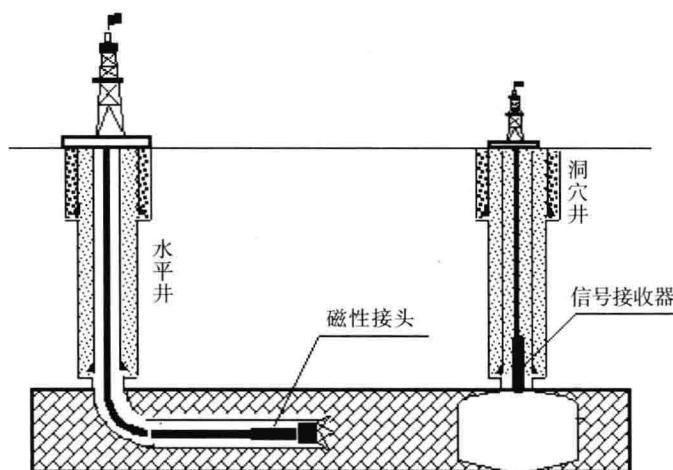


图 2-1 水平连通井连通方式示意图

水平连通井，具有成本较低、便于在产油气层裸眼中下入筛管、有利于防止井壁坍塌、洗井方便、通道畅通等特点。对于矿井或煤层气井而言，还具有产量高、有助于实现高效开采的优势。

第二节 水平井井眼轨道分类及设计模型

水平井的定义为井眼轨迹达到水平以后，井眼轨道保持一定的稳斜度数继

续延伸一定长度的定向井。所谓的“轨迹达到水平”，指的是井斜角达到 90° 左右，并非严格控制在 90° 。所谓的“延伸一定长度”，一般是指轨道一直在油层里延伸，且延伸的长度达到油层厚度的 6 倍。据研究表明，水平井要想获得较好的经济效益，就必须延伸油层厚度 6 倍以上的距离^[22]。

通常将水平井的目标区设计为一个“长方盒子”形。井眼轨迹进入目标区的一端称为“目标窗口”，窗口的高度和宽度以及目标段的长度由设计条件给定。在目标段的钻进过程中，井眼轨迹不能超出目标区这个“长方形盒子”。设计的目标区往往不是绝对的水平，而是井斜角接近 90° 。

一、水平井轨道的分类

根据水平井曲率半径的大小，水平井可分为 5 类，见表 2-1。该分类方法是以从垂直井段向水平井段转弯的轨迹的曲率半径大小为依据的^[22]。

表 2-1 水平井轨道分类表

类别	造斜率/($^\circ/30\text{m}$)	井眼曲率半径/m	水平段长度/m
长半径水平井	2~6	860~280	300~1700
中半径水平井	6~20	280~85	200~1000
中短半径水平井	20~80	85~20	200~500
短半径水平井	30~150	60~10	100~300
超短半径水平井	需特殊转向器	0.3	30~60

按水平段特性和功能可分为：阶梯水平井、分支水平井、鱼骨状水平井、多底水平井、双水平井、长水平段水平井等。

按水平井的轨道形状，可以分为 A、B、C 三种类型。

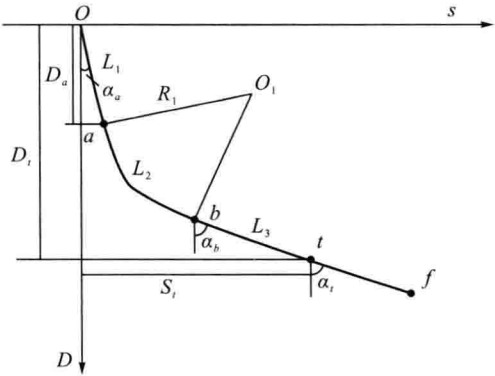


图 2-2 A 类型轨道

A 类型轨道是通过一个单圆弧即从造斜点达到目标点，然后进入水平段（直—增—平）。A 类型轨道通常应用于短半径和中短半径的水平井。此类轨道的设计和计算很简单，在给定曲率半径的情况下，利用倒推法可以求得造斜点位置（如图 2-2）。

B 类型轨道是双增式轨道（直—增—稳—增—平），如图 2-3 所示。

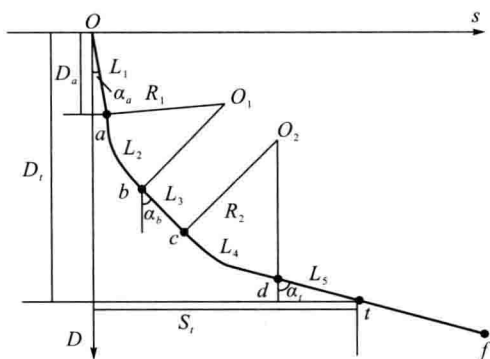


图 2-3 B 类型轨道

C 类型轨道是三增式（直—增—稳—增—稳—增—平）轨道，如图 2-4 所示。

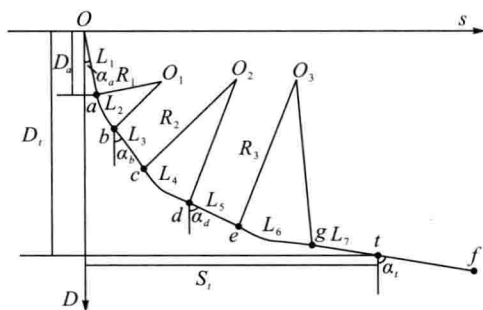


图 2-4 C 类型轨道

将 C 类型轨道变形为连续三增式轨道类型则得到 C 类型轨道的简化模型，如图 2-5 所示。

B 类型和 C 类型通常应用于中、长半径水平井，是水平井的常见轨道类型。从轨道形状看，B 类型轨道与二维常规轨道中的双增轨道区别并不大，不同处仅有后者的目标段达到水平而已。C 类型轨道是在 B 类型轨道的基础上发展起来的，将稳斜段改为缓增井段。

在一般情况下（表 2-2），B 类型和 C 类型轨道设计完全可采用双增式轨道和双增式缓增稳轨道的设计方法和计算方法。

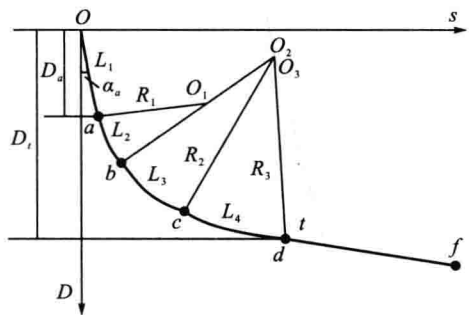


图 2-5 C 类型轨道简化模型($L_3=L_5=L_7=0$)

表 2-2 水平井分类适用类型表

类别	造斜率/(°/30m)	曲率半径/m	水平段长度/m	适用轨道类型
长半径水平井	2~6	860~280	300~1700	C 类型
中半径水平井	6~20	280~85	200~1000	B 类型
中短半径水平井	20~80	85~20	200~500	B 类型
短半径水平井	30~150	60~10	100~300	A 类型
超短半径水平井	需特殊转向器	0.3	30~60	A 类型

二、水平井轨道设计模型及实例设计

根据不同的水平井轨道设计模型给出其约束方程与设计参数。造斜率 K 与曲率半径 R 之间的关系如下：

$$R = 180C_K / \pi K \tag{2-1}$$

式中， C_K ——单位换算系数，其数值等于曲率单位中的长度值，m；

R ——曲率半径，m；

K ——造斜率，(°/ C_K ，m)。

1. A 类型水平井轨道设计模型

A 类型轨道是只通过一个单圆弧即从造斜点达到目标点，然后进入水平段（直—增—平）。A 类型轨道通常应用于短半径和中短半径的水平井。

约束条件：

$$\begin{cases} \sum_{i=1,3} L_i \cos \alpha_i + R_1 (\sin \alpha_T - \sin \alpha_0) = D_T \\ \sum_{i=1,3} L_i \sin \alpha_i + R_1 (\cos \alpha_0 - \cos \alpha_T) = S_T \end{cases} \tag{2-2}$$