

北京地震台白家疃观测井钻探施工技术

谭春亮, 宋殿兰, 岳永东, 王政敏
(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:结合北京地震台白家疃观测井的施工实例,介绍了一套适用于松散层、大小裂隙、溶洞等复杂地层特殊要求钻孔的施工技术方法,分别从钻孔结构设计、钻进方法、钻具级配选择、护壁堵漏技术等方面进行了研究。在总结以往钻探施工经验的基础上,提出了复杂地层钻探施工技术和钻探施工质量保证措施,为后续该类型钻孔施工提供了有益的借鉴。

关键词:地震观测井;溶洞;复杂地层;取心钻进;跟管钻进

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)01-0019-05

Construction Technology of Drilling from Baijiatuan Monitoring Well at Beijing Seismic Station/TAN Chun-liang, SONG Dian-lan, YUE Yong-dong, WANG Zheng-min (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: Combined with the construction example of Baijiatuan monitoring well of Beijing seismic station, the paper introduced a set of construction technical method which is suitable for boreholes with special requirements in complicated formations, such as unconsolidated layers, cracks and karst caves. The study was made on borehole design, drilling methods, drilling tool gradation selection, wall protection and leakage plugging technologies. Based on the previous drilling experience, drilling technical measures and drilling construction quality control measures for complicated formations were put forward, which can be useful reference for subsequent similar drilling construction.

Key words: seismic monitoring well; cave; complicated formations; coring drilling; drilling with casing

1 工程概况

北京白家疃地震台拟在台址内安装一款 GTSM 三分量钻孔应变仪,该型仪器是当前用于地震前兆观测最有潜力的对地观测仪器^[1]。通过招投标的方式,安装应变仪的钻孔由我单位实施。按照协议要求:仪器放置在钻孔底部裸孔段,要求裸孔段位于完整基岩层、无裂纹、孔壁平滑且不小于 10 m;孔深 $200\text{ m} \pm 20\text{ m}$ (以满足仪器放置的地层要求为终孔标准);口径 $\leq 150\text{ mm}$ (满足仪器放置的尺寸参数要求);钻孔斜度 $< 5^\circ$;穿透覆盖层后取心,采取率 $> 90\%$;孔口至裸孔段套管护壁、固井。台址内先前施工的钻孔多在 20 世纪 80 年代初期,原始资料已遗失,缺乏可供参考的详细地层资料。钻孔为非常规地质钻探孔,钻探涉及到取心、测井、成孔、固井、通井、洗井等多道工序,施工中钻遇松散层、夹泥层、裂隙、岩溶等复杂地层,通过调整方案、工艺组合满足了设计要求。

2 地质概况

北京白家疃地震台位于北京市海淀区温泉镇白家疃村南,占地约 100 亩 (66660 m^2)。地质资料表明:台址位于北京西山九龙山-香峪向斜西北翼^[2],是现今盆山结合带的位置,大地构造上处于华北克拉通内部太行山构造带与燕山构造带的交汇部位。覆盖松散堆积物中碎屑分选差,以棱角状一次棱角状为主,成分以火山岩、灰岩和白云岩为主,反映了近缘堆积特征;基岩为奥陶系马家沟组碳酸盐岩地层,以青灰色纹带灰岩和砂屑灰岩为主,受新构造运动和气候条件的综合影响,裂隙、溶洞在该地区较发育。由此,钻探施工技术难点为:

(1)覆盖层由 50~60 m 的松散堆积物构成,厚度较大,且浅层地下水富集,不利于孔壁稳定,易发生孔壁坍塌、缩径掉块等问题;

(2)覆盖层之下的基岩以灰岩为主,受地质断裂及构造运动影响,裂隙、岩溶发育,换层频繁,软硬夹层易引起钻孔偏斜、泥浆漏失、卡钻埋钻等事故;

收稿日期:2017-04-06; 修回日期:2017-10-17

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“内蒙古中东部荒漠草原浅覆盖区 1:5 万填图试点”(编号:DD20160062)

作者简介:谭春亮,男,汉族,1979 年生,高级工程师,从事岩土工程勘察、钻探技术的研究与应用工作,北京市海淀区学院路 29 号探工楼 206 室,bjtan1979@163.com。

(3)施工涉及小口径取心、测井、扩孔、下套管、固井、通井等多道工序,目的层(裸孔段)直径 ≤ 150 mm,孔底、孔壁光滑,需采用金刚石取心、平底钻头磨底等,工艺过程复杂。

3 钻孔结构及钻具级配选型

根据钻孔设计要求可知,该钻孔既不同于一般的地质岩心钻探,又不同于水文水井钻探,但在某些方面又与二者有一定的相近之处。首先,采用岩心钻机穿透覆盖层后全孔取心,掌握地层沉积序列,确定仪器的安放位置(裸孔段)。再,根据地层复杂程度,设计井身结构(参见图1和表1),其中预留一级套管($\phi 183$ mm)备用应对复杂工况,充分发挥大径控斜和套管护壁的作用:采用 $\phi 219$ mm跟管钻进(钻头直径230 mm)穿透覆盖层 $\rightarrow \phi 180$ mm普通潜孔锤(钻头直径193 mm)钻至裸孔段上端 \rightarrow 测井 \rightarrow 下 $\phi 168$ mm套管 \rightarrow 起拔 $\phi 219$ mm套管 \rightarrow 固井(水泥封固 $\phi 168$ mm套管与孔壁环状间隙) \rightarrow 通井($\phi 150$ mm)钻进至终孔(裸孔段深度 > 10 m) \rightarrow 洗井 \rightarrow 放置仪器。

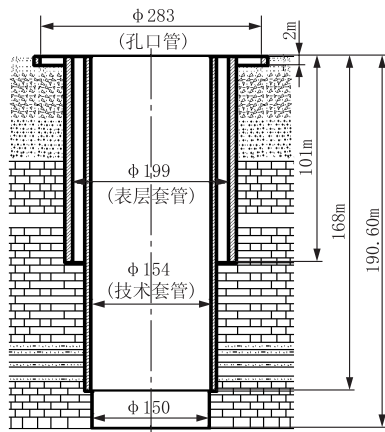


图1 钻孔井身结构

表1 钻孔套管情况

开孔次数	钻头直径/ mm	井段/ m	套管尺寸/ m	厚度/ mm	套管下深/ m
开挖		0~2	299	8	2
一开	230	2~101	219	10	101
二开	193	101~168	168	7	168
三开	150	168~190			

4 钻探设备与工艺

4.1 钻探设备

钻探包含两部分内容:一是小口径取心,目的是

掌握地层沉积序列,确定目的层(裸孔段)的位置;二是成孔,满足仪器放置的尺寸参数要求。具体施工中,为提高套管的利用率、降低施工风险,要求跟管钻进每一级套管施工至最大深度,采用 $\phi 299$ mm作为开孔直径。在钻机具的选择时(见表2)综合考虑了孔深、工艺、开孔和终孔直径等多种因素^[3-4]。

表2 钻探机具配置

名称	规格型号	数量	备注
岩心钻机	TGQ-500CZ 车装式	1台	
扩孔钻机	JKS300	1台	
泥浆泵	BWF160/10	1台	
空气压缩机	阿特拉斯 XRVS30	1台	
绳索取心钻杆	$\phi 71$ mm	200 m	
绳索取心钻具	$\phi 76$ mm	2套	
套管	$\phi 89$ mm	60 m	
钻杆	$\phi 76$ mm	200 m	
螺纹连接套管	$\phi 168$ mm \times 7 mm	180 m	
跟管钻进套管	$\phi 219$ mm \times 10 mm	110 m	
冲击器	配套 $\phi 219$ mm 套管	1套	
冲击钻头	配套 $\phi 219$ mm 套管	2个	同心、偏心
普通潜孔锤	$\phi 180$ mm	1套	
拔管机	120t	1个	

4.2 钻进工艺

4.2.1 绳索取心钻进工艺 + 泥浆护壁技术

采用 $\phi 91$ mm硬质合金钻头穿透覆盖层钻进至基岩,下 $\phi 89$ mm套管隔离松散层;采用 $\phi 75.5$ mm金刚石钻头 + $\phi 71$ mm绳索钻杆钻进至终孔。

钻具组合: $\phi 75.5$ mm绳索取心钻头 + $\phi 76$ mm下扩孔器 + 绳索取心钻具外管 + $\phi 76$ mm上扩孔器 + 弹卡室 + 弹卡室挡头 + NQ($\phi 71$ mm)系列绳索取心钻杆。为提高破碎层、夹泥层的岩心采取率,采用了底喷式PDC钻头及三层管绳索取心技术^[5],再配合优质的泥浆体系(1 m³水 + 3%膨润土 + 0.1% Na₂CO₃ + 3% SM + 0.3% CMC + 0.3% KHm + 0.5%防塌剂)护壁,满足了取心要求。

4.2.2 跟管钻进技术

跟管钻进技术是解决松散层、破碎层等复杂地层的一种有效的钻进方法^[6-7],包括偏心跟管钻进与同心跟管钻进两种类型(见图2、图3),适用于不同的地层、不同的工况(参见表3)。

通过对比两种跟管钻具类型,结合地层情况,确定选用同心跟管钻具进行扩孔。

钻具组合: $\phi 230$ mm中心钻头 + 三翼瓣状钻头 + 管靴(导向器) + $\phi 219$ mm套管(冲击器 + $\phi 76$ mm

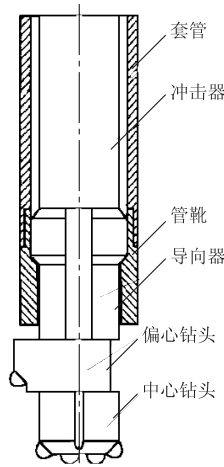


图 2 偏心跟管钻进

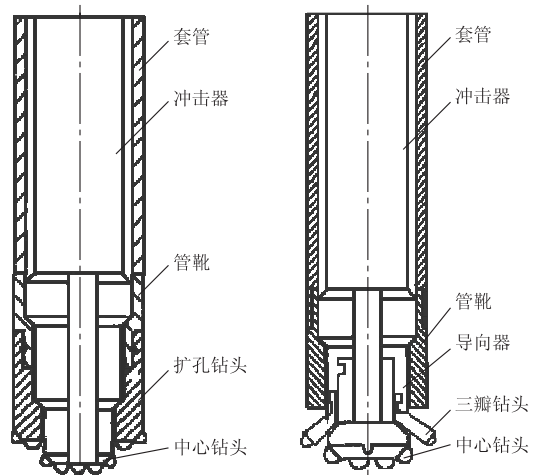


图 3 同心跟管钻进

表 3 偏心跟管钻进与同心跟管钻进适用性分析

跟管类型	钻具特点	适用地层	优点
偏心跟管钻进	开孔、扩孔钻头与冲击台阶不在同一中心线上,螺旋形钻进,排渣效果较好	依靠惯性力与摩擦力回收,适用于岩性均一、稳定的地层	同等级的套管,内通径较大;单只钻头进尺多,成本低
同心跟管钻进	包括两种类型(见图 3),开孔钻头、扩孔钻头与冲击台阶在同一中心线上,对中性好	适用于松散、风化、软硬互层,特别是钻遇架空层、漂石、孤石等复杂地层	钻柱稳定性好,钻孔质量较高;对复杂地层的处理能力较强

钻杆)。

扭矩传递:钻机—钻杆—冲击器—中心钻头凹槽—环形钻头凸肩+同心钻头。

5 施工效果与关键技术

5.1 施工效果

5.1.1 取心钻进

按照钻孔设计,覆盖层(52 m 以浅)不取心,采用 $\varnothing 91$ mm 硬质合金钻头 + $\varnothing 89$ mm 套管隔离松散层,再采用 $\varnothing 76$ mm 绳索取心钻进。其间 82.85 ~ 86.40 m 钻遇溶洞,钻柱空放,146.55 ~ 165.15 m 为泥沙砾石填充的裂隙层,后进入完整基岩层,钻至 184.85 m,钻取 19.7 m 完整岩心段,满足仪器放置要求,停钻。取心工作期间由于夹层、裂隙、岩溶的存在,多次出现全孔漏失、卡钻、断钻杆等事故。分别采用了套管隔离、泥浆护壁堵漏,水泥浆封堵等^[8-10]技术,累计钻取岩心 110.10 m,除两层溶洞空放 11.85 m 无岩心外,自 52 ~ 184.85 m,取心率达到 91%,取心质量良好,满足设计要求。图 4、图 5 为采取的岩心情况。

5.1.2 成孔钻进

项目组通过取心钻进,掌握了钻孔的地层结构,并及时调整了成孔工作方案。采用 $\varnothing 219$ mm 跟管



图 4 软硬交互层岩心情况



图 5 基岩岩心情况

钻进工艺穿透覆盖层(52 m 以浅)及 82.85 ~ 86.40 m 的岩溶层,然后在 $\varnothing 219$ mm 套管内,采用 $\varnothing 180$ mm 潜孔锤钻进,成孔后下 $\varnothing 168$ mm 套管(内径 154 mm)、固井等,具体施工过程如下。

(1) 0 ~ 101 m: 采用 $\varnothing 219$ mm 同心跟管钻具

(成孔直径 230 mm) + 套管跟管钻进至 101 m, $\varnothing 219$ mm 套管(内径 199 mm)下入孔内。

(2) 101 ~ 153 m: 采用 $\varnothing 180$ mm 潜孔锤钻进, 其间, 钻至红泥填充的夹层、裂隙层卡钻, 提钻处理, 测井显示井深 120 ~ 137 m 偏斜。

(3) 水泥浆封固: 采取分段灌注水泥, 投注粘土球、废麻绳等惰性材料, 封固至 108 m。

(4) 纠斜: 采用 $\varnothing 190$ mm 钻头 + $\varnothing 185$ mm 单管钻具 + 扶正器($\varnothing 76 \sim 219$ mm) + $\varnothing 76$ mm 钻杆, 自孔深 108 m 处开始纠斜施工, 轻压慢钻。其间, 取出月牙形岩心两段, 每段长约 300 mm, 后测井表明纠斜成功。

(5) 108 ~ 168 m: 继续采用 $\varnothing 190$ mm 钻头 + $\varnothing 185$ mm 单管钻具 + 扶正器($\varnothing 76 \sim 219$ mm) + $\varnothing 76$ mm 钻杆, 钻进至 168 m, 进入完整基岩层 3 m, 停钻。

(6) 下 $\varnothing 168$ mm 套管至 168 m 后, 起拔 $\varnothing 219$ mm 套管, 灌注水泥浆、下固井胶塞、替浆, 水泥浆由 $\varnothing 168$ mm 套管外壁与孔壁环状间隙上返至地表, 静凝、固井。

(7) 168 ~ 190.60 m, 采用 $\varnothing 150$ mm PDC 钻头 + $\varnothing 146$ mm 单管钻具 + 扶正器($\varnothing 76 \sim 168$ mm) + $\varnothing 76$ mm 钻杆通井至 190.60 m, 取完整岩心 22.60 m, 金刚石平底钻头磨底, 终孔、洗井。

5.1.3 测井

采集的测井参数有电阻率、自然伽马、井温、井径和井斜, 对钻孔进行了测井数据采集和解释, 所有测井方法均采用 0.05 m 连续采样, 终孔直径 150 mm, 实测井深 190.45 m; 钻孔的放射性异常强度值较小, 无天然放射性异常层存在。测井数据对比岩心表明: 粘土层、砂层和砾石层在测井曲线上均有不同的数值体现。计算钻孔的井斜偏斜距, 满足设计要求; 井温数据显示地层温度随深度较均匀增加, 地温正常, 井下水位为 57.88 m。

5.2 关键技术

5.2.1 跟管钻进技术

同心跟管钻进技术是解决松散层、软硬互层, 特别是钻遇架空层、漂石、孤石等复杂地层的有效技术手段之一。该钻孔实现了 $\varnothing 219$ mm 套管三翼同心跟管钻具(钻头直径 230 mm)单级套管连续进尺 101 m 的记录, 钻穿 52 m 覆盖层、溶洞裂隙层(3.5 m)、基岩层(45.5 m)。平均钻进效率达 5 m/h, 钻

进速度快, 钻孔垂直度高, 确保了钻孔施工质量及安全, 工作中应根据地层的复杂程度, 合理匹配钻具级差, 且预留出处理孔内复杂工况的备用口径。

5.2.2 控斜技术

钻孔地层结构复杂, 能否顺利通过夹泥层、裂隙层与岩溶层是施工的技术关键^[11-12]。普通潜孔锤在软硬互层与裂隙层钻进时易产生较大偏斜, 且钻杆($\varnothing 76$ mm) - 钻具($\varnothing 185$ mm)直径极差大, 钻柱环空摆动较大, 因此, 合理使用扶正器成为保证钻孔质量的关键, 采用 $\varnothing 190$ mm 钻头 + $\varnothing 185$ mm 单管钻具 + 扶正器($\varnothing 76 \sim 219$ mm) + 钻杆($\varnothing 76$ mm)的钻具组合, 每间隔 10 m 安装一个扶正器($\varnothing 76 \sim 219$ mm), 保持最上端扶正器始终处于 $\varnothing 219$ mm 套管中。一方面, 提升了钻柱的稳定性, 另一方面, 确保了钻柱的对中性, 提高了钻杆断裂等事故的处理效率, 试验表明这种组合方式控斜有效可行。钻进参数选择“轻压慢钻”, 减压钻进“吊着打”, 且合理控制转速、冲洗液量, 防止烧钻。

5.2.3 固井技术

固井包含下套管和注水泥浆两部分内容, 通过注水泥浆填充套管与井壁的环状间隙, 实现加固井壁、固定套管的目的。充分利用石油固井现有标准器件, 固井采用 $\varnothing 168$ mm 水泥头 + 变丝 + $\varnothing 168$ mm 套管 + 变丝 + 6 $\frac{5}{8}$ in($\varnothing 168$ mm)浮箍 + 浮鞋组合(见图 6)。下套管至设计深度后, 注油井水泥浆(水灰比 0.5, 水泥浆密度为 1824 kg/m³), 然后放置固井胶塞(见图 7)隔离、替浆, 最后采用 $\varnothing 150$ mm PDC 钻头钻穿浮箍浮鞋、完成通孔、洗井。固井技术参数如下: 套管程序采用 $\varnothing 168$ mm 技术套管, 钻头直径 190 mm, 理论环空容积 2.35 m³, 井径扩大率 10%, 水泥浆返至地面, 水泥塞面深度 165 m, 水泥等级 G 级, 注水泥量 4.4 t。



图6 浮箍浮鞋



图7 固井胶塞

6 结论

(1)初步形成了一套适用于松散层、夹泥层、裂隙、岩溶等复杂地层特殊要求钻孔的施工技术方法。通过取心确定目标层位,掌握地层沉积序列,根据地层情况完善钻孔设计方案,再根据设计方案、施工条件,选择设备与工艺。

(2)潜孔锤跟管钻进技术是一种解决第四系覆盖层、破碎层、大小裂隙等复杂地层钻进成孔的有效方法,本次施工实现 $\varnothing 219$ mm单级跟管钻进101 m的记录,效果明显。并在此基础上,进行了偏心跟管钻进与同心跟管钻进的地层适用性分析,为相似工程复杂地层钻进方案设计、钻具级配选择提供了有益借鉴。

(3)特殊要求钻孔应注重地质背景资料的收集利用。在广泛准确地收集、分析已有资料(地质、物探、临近钻孔等)的基础上,再确定工作方案,可有的放矢,降低施工风险,提高钻探效率。

(4)特殊要求钻孔的施工需要依据钻孔的设计要求,对现有的钻进技术、成熟的标准器件进行组合,匹配与集成创新,才能满足多元的地质工作需求。

(上接第18页)

(3)优化后的钻井液体系的配方为:4%钠土粉+0.2%纯碱+0.4%防塌润滑剂+0.4%聚丙烯酸钾+0.2%CMC+0.2%聚丙烯晴胺盐+3%磺化沥青粉+5%超细碳酸钙+5%KCl。

(4)优化后的钻井液体系具有较强的防塌抑制性,良好的流变性,良好的失水造壁性及较好的封堵能力,井漏和坍塌问题得到很大的改善。

参考文献:

- [1] 樊世忠, 鄢捷年, 周大晨. 钻井液完井液及保护油气层技术[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2003.
- [2] 华北油田地质志编写组. 中国石油地质志: 卷五华北油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1988: 3-26.
- [3] 余家仁, 雷怀玉, 刘趁花. 试论海相碳酸盐岩储层发育的影响因素—以任丘油田雾迷山组为例[J]. 海相油气地质, 1988, 3(1): 39-48.
- [4] 余家仁. 华北潜山油藏碳酸盐岩储层研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 7-11.

参考文献:

- [1] 李民, 高铭健, 陈致言, 等. 三分量井下应变仪于断层活动性监测之应用[C]//2004海峡两岸地工技术/岩土工程交流研讨会论文集. 2004: 83-90.
- [2] 席云藻. 北京基准地震台简介[J]. 国际地震动态, 1988, (9): 19-21.
- [3] 冉恒谦, 张金昌, 谢文卫. 地质钻探技术与应用研究[J]. 地质学报, 2013, 85(11): 1806-1822.
- [4] 钱书伟, 张绍和, 李锋, 等. 软弱易冲蚀地层钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(10): 29-31.
- [5] 王达, 何远信, 等. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙: 中南大学出版社, 2014: 371-372.
- [6] 赵建勤, 李子章, 石绍云, 等. 空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(7): 55-59.
- [7] 石永泉. 复杂地层气动潜孔锤跟管钻进最大深度的确定方法[J]. 地质与勘探, 2009, (4): 484-487.
- [8] 郝振军, 马保祥. 裂隙、溶洞地区钻探施工技术探讨[J]. 吉林地质, 2012, (1): 123-125, 140.
- [9] 熊正强, 陶士先, 李艳宁, 等. 国内外冲洗液技术研究与应用进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(5): 6-12.
- [10] 苏力才. 钻孔漏失分析及水泥护壁堵漏措施[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2011: 7.
- [11] 赵华宣, 雷治平, 陈浩, 等. 在岩溶裂隙地层中钻进的纠斜与堵漏措施[J]. 西部探矿工程, 2012, (5): 49-52.
- [12] 何玉明, 汪健元, 李金田. 金刚石钻进的孔斜及其纠正[J]. 地质与勘探, 1981, (1): 72-76.
- [5] 北京市地质矿产局. 北京市区域地质志[M]. 北京: 北京市地质矿产局, 1991, 12.
- [6] 林黎, 赵苏民, 阮传侠, 等. 天津地区深部蓟县系雾迷山组热储岩溶非均一性特征研究[J]. 现代地质, 21(4): 601-604.
- [7] 吴孔友, 王雨洁, 张瑾琳, 等. 冀中拗陷前三系岩溶发育规律及其控制因素[J]. 海相油气地质, 2010, 15(4): 2-3.
- [8] 惠会清, 雷胜友. 膨胀土膨胀机理及其改良(抑制)方法的研究综述[J]. 公路交通科技, 2005, 9(22): 91.
- [9] 王业众, 刘加杰, 游利军, 等. 裂缝性储层漏失机理及控制技术进展[J]. 钻井液与完井液, 2007, 24(4): 3-4.
- [10] 石得权, 刘刚. 钻孔孔壁坍塌掉块现象的分析研究及处理[J]. 西部探矿工程, 2004, (7): 124-125.
- [11] 王曼青. 用水溶性高分子溶液抑制粘土膨胀[J]. 钻井液与完井液, 2004, 12(5): 4-5.
- [12] 惠会清. 化学法改良膨土土的试验研究[J]. 长安大学学报, 2005, 18(2): 26.
- [13] 李志勇, 鄢捷年, 王友兵, 等. 保护储层钻井液优化设计新方法及其应用[J]. 钻采工艺, 2006, 29(2): 85-87.
- [14] 赵东海, 靳三江, 杜明军. 中原油田浅井泥浆技术的研究与应用[J]. 油田化学, 1996, 13(3): 197-200.
- [15] 赵卫生, 李玲. 正交试验法优化乙烯基树脂增韧体系的研究[J]. 化工新型材料, 2010, 38(4): 111-113.