

1949年的冬天，刘来宝所在的五师15团收到了任务，他们将从酒泉出发，开赴新疆。此时的新疆虽已通电起义，但仍暗流涌动。

11月28日，刚刚抵达阿克苏的部队收到情报，有国民党残部在和田烧杀抢掠，指挥部即令15团，迅速进军和田，保卫人民群众。

从阿克苏到和田隔着沙漠，只有喀什、巴楚两条路可走，都需要50多天。



刘来宝

现在，这支铁军决定走第三条路，穿越塔克拉玛干沙漠，只有这样才能最快抵达和田。12月5日，15团共1803人出发，进入这片世界第二、中国第一大，号称“死亡之海”的沙漠。

17天的行军后，12月22日，15团抵达和田。当国民党残部看到死亡之海中，走出一支军队时，顷刻土崩瓦解，宣布投降。

17天时间，人均负重30公斤，急行军790公里，强穿世界上第二大流动性沙漠，并保持战斗力，在历史上，只有15团做到过。

和田成功解放，15团立下了前无古人的成绩，但那时候的刘来宝还不知道，这不是中国最后一次穿越死亡之海，很多年后，将有另一帮人，重走他们走过的路，一次又一次，向这片死亡之海，发起挑战！

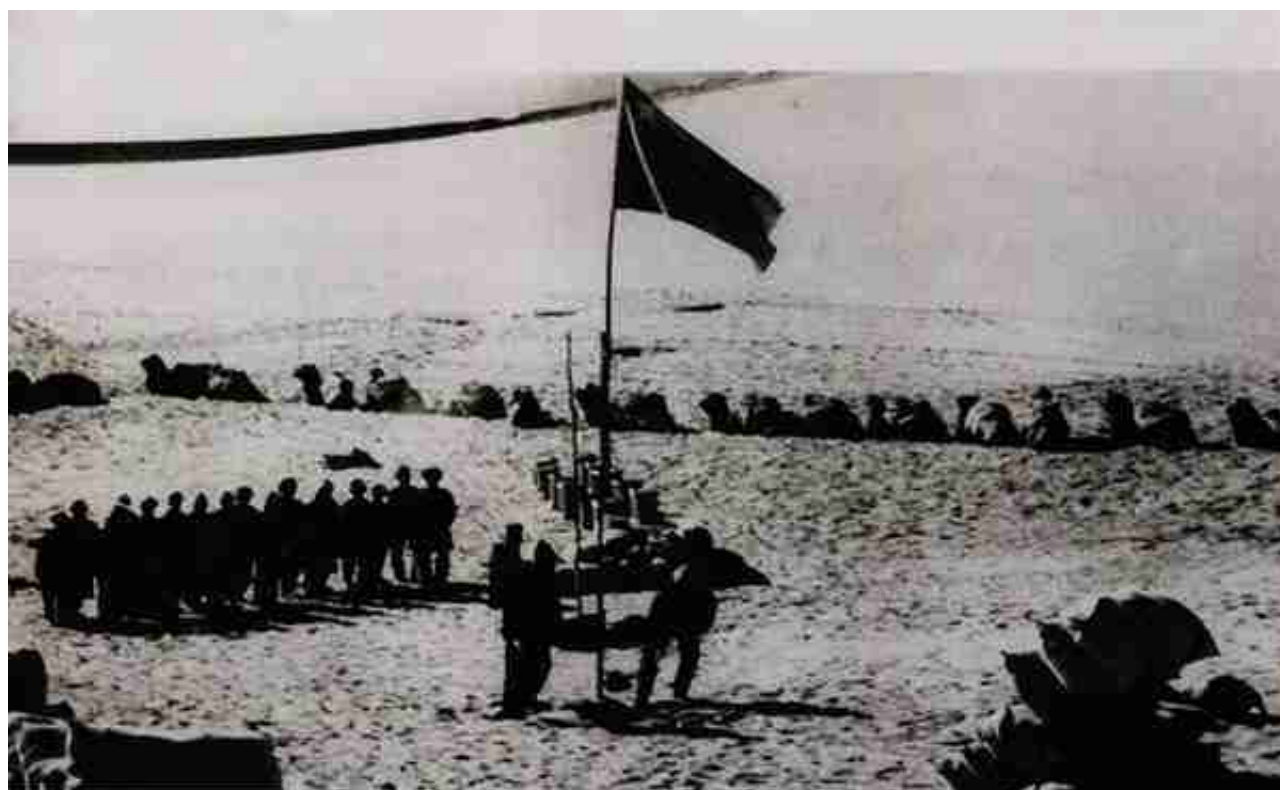


斯文·赫定

塔克拉玛干没有善待这位探险家，多日的探险之后，他们陷入了缺水的绝境。最后，斯文·赫定扔掉除圣经之外的所有物品，逃出沙漠，用自己的靴子装了水，才回去救出他的助手。多年以后，这位传奇探险家对塔克拉玛干仍心有余悸，并在传记中将这片沙漠称为“死亡之海”。

对斯文·赫定来说，塔克拉玛干只是一次东方的神秘探险，而对新疆人民来说，这是千百年来的痛苦所在。沙漠分为非流动性与流动性两种，非流动性沙漠是固定在原地的，流动性沙漠则会顺着风不断迁移扩张，吞噬一切。塔克拉马干就是后者。

1950年，中国和苏联达成协议，共同成立中苏石油公司，进行石油勘探。苏联专家对塔里木盆地情有独钟，因为与塔里木相连的苏联塔吉克盆地和费尔干纳盆地，都已经发现油气田。



1958年12月31日，505队完成第九条测线，升旗庆祝1959年元旦的到来

505穿越的第二年，东北大庆油田发现，塔里木的勘探队伍全员撤出，支援大庆，塔里木就此从人们的视野中隐去，成了中国石油的未竟之地。

此后的很多年中，石油部有过多次重返塔里木的意图。

1964年石油部组织进入塔里木，没有结果，1970年再进塔里木，仍无功而返。1978年石油部组织塔里木会战，从全国各地抽百支队伍14800多人，围绕整个盆地进行“马蹄形”会战，持续了三年，除柯克亚有两口探井获得油气流之外，仍无突破。考虑到万人队伍长期在盆地工作，补给巨大资金捉襟见肘，石油部最终决定，放弃塔里木，全部队伍调往北疆克拉玛依油田。



1984年突破的沙参2井

沙参2井突破后，曾在塔里木奋战多年的石油人坐不住了，请求再上塔里木。恰巧这时，刚是中国地震勘探队首次完成塔里木勘探的时间。

### 地震勘探

，这是当今世界最有效的石油勘探方法，就是在勘探区域人为制造爆炸，再用精密仪器记录下震动的反射波，来勘探是否有油气藏存在。简单来说，就是给地球做CT。相比起二十年前505队的磁力勘探，地震勘探更精细更准确。

1982年，石油部掏出家底，花费4280万美元，向美国GSI公司购买了三套数字地震勘探装备，并聘请GSI公司42名技术人员进入中国工作三年，与中国组建联合地震队。



1988年，塔里木指挥部成立大会

多年的期待没有辜负大家，会战第二年，沙漠腹地的塔中1井就获得工业油气流，成为塔克拉马沙漠第一口油井，塔中4井也随后出油。



长庆筑路公司的施工队伍

这套工艺被正式命名为“**强基薄面**”

，就是先将沙子压实，在沙面上铺一层编织材料，然后在上面铺盖砾石层，再在砾石层上浇筑沥青混凝土，形成一个三明治。



多名国际专家对中国沙漠公路的评价

沙漠公路成功后，塔中井开始源源不断产油，不久，塔北的牙哈油田也被发现，所有人都异常兴奋。

这样听起来，第六次塔里木会战好像取得了成功，其实不然。

塔中、牙哈虽然发现了油气，但因为开采和勘探难度，产量并不大，直到1997年，原油产量也只有20万

吨，而北部的克拉玛依为870万吨，相差40倍

。并且塔中、牙哈油田伴

生的天然气也较少，无法回收。

如果放到一个宏观的视角上来看，塔中是战役性的成功，但我们还需要战略性的突破。

1996年，会战的第八个年头，所有人心里都开始打鼓，没有大油气田，会战就无法为继，第六次进入塔里木，难道又要离开？

第六次塔里木会战指挥者是邱中建

，大庆油田的发现者之一，参加塔里木会战时他已56岁，临近退休。



库车坳陷

从地质学上看，这块区域属于富含油气的前陆盆地，但勘探、开采难度极高。坳陷的地面为雅丹地貌山地，地表高差600-2800米，几乎没有人行走的道路，勘探界的13项难度指标中，库车坳陷有7项都是世界第一。1950年中苏石油公司勘探至此，甚至动用了苏联第十三航测团进行航空磁测，都没能完成勘探。

没有资料，我们的地质学家只能望而兴叹，这也成了库车攻坚战的第一道坎。

前面我们说了，地震勘探就是通过震动波进行勘探，但具体实施中更为复杂。要接收地震波，就需要在整个区域设置地震测线，然后人员沿测线放置检波器接收震波

，才能将信号数据转换成图表。地

震测线又分为直测线和弯测线

，以往对库车的勘探，因为山丘沟壑无数，只能沿着山沟走，布置弯测线，对数据精度有很大影响。地震队是钻井队的眼睛，如果眼睛看不清，那打再多井也找不到油。

库车攻坚启动后，指挥部决定，将2201地震队

调入

塔里木，

进行直测线勘探。这支地震队曾在广西十万大山的勘探中，荣获“铁军”的称号。

1993年3月，2201地震队进入库车，进行直测线施工。简单来说就是，他们必须沿着一条直线走，遇山翻山，哪怕遇到悬崖，也要顺着直线一路将检波器打入悬崖底部。有时候登上一座山需要半天时间，打眼结束时已近黄昏，下山很危险，地震人员就会独自在这座百万年来无人抵达的山头，度过一夜。

三年时间里，2201地震队用坏了2.7万双军用胶鞋，3000把镐头，3万多根钢钎，将地震测线从弯线变成直线，库车拗陷的面貌，终于呈现。

依靠2201的资料，1996年，指挥部入场，打下了库车攻坚第一口井，**东秋5井**。



克拉2

第二年春天，克拉2开钻，设计井深4100米。承担钻探任务的二勘6088队立下军令状，打不好这口井，全队集体返回四川。



对所有人来说，这口井都可能是库车攻坚最后一战了，而且还是最难的一战，克拉2位于库车坳陷北部中端，指挥部通过地震资料推断有油气存在，但这口井有一个致命难点，**超高压**。

石油和天然气在地下时，是储存在岩石孔隙中，就像水充满在海绵里，这个充满油气的气的海绵，叫**“储集层”**。但这块海绵位于地下深处，承受着巨大的地层压力，油气很容易在挤压中逃逸。决定一个油气藏能否活下来的，是位于储集层上方，起封闭作用防止油气逸散的盖层。

地层压力系数是一个比值，是地层压力与静液压力之比。用公式表示为：<sup>[2]</sup>

$$\alpha_p = \frac{P_p}{P_h}$$

式中：

$\alpha_p$  ——地层压力系数；

$P_p$  ——地层压力，MPa。

$P_h$  ——静液压力，MPa。

地层压力系数

头条 @温峻岩

0.8-1.2是正常地层压力，低于0.8为低压，高于1.2为高压，高于1.6则为超高压异常压力。以往的勘探经验表明，高压对油气藏弊大于利，埃克森公司曾经提出，压力系数超过1.96时，盖层将会破裂，这个1.96在勘探中也被称为“压力死亡线”。

而克拉2的地层压力，是**2.0**。



克拉2庆功会及邱中建提词

克拉2面世后，经过两年的勘探，探明含气面积47平方公里，天然气储量2840亿立方米，储量之大、丰度之高、举国罕见，是中国至今为止最大优质整装气田。克拉2问世的第二年，邱中建当选中国工程院院士，为自己的职业生涯留下完美句号。

但关于克拉2还有一个未解之谜，2.0的压力系数下，它是怎样出现的？

答案还是盖层。

前面我们说了，决定油气藏存活与否的是盖层，但盖层本身也分为多种。按岩性分类，盖层分为膏盐类、泥质岩类、碳酸盐岩类

等。其中泥质岩

最常见，膏盐类最好；按分布范

围分类，盖层分为局部性和区域性

，局部性是常见盖层，只对某一地区起控制作用，区域性则是对整个坳陷起作用。

而克拉2的盖层，正是膏盐类的区域性盖层。



北美和欧洲的天然气定价机制虽有区别，但都是PNG和LNG完全市场化竞争，并以一个国家制定的数值为基准点，而亚洲普遍采用与原油挂钩的方式进口。也就是说，北美和欧洲的液化天然气价格，是通过和管道天然气价格竞争形成的，谁低就用谁的。而东亚的液化天然气价格，则是和石油价格挂钩，不管市场资源如何，只能高价买。

这是一个历史遗留问题。

1973年，第四次中东战争爆发，中东国家为了支持埃及，集体抱团，停止向支持以色列的美国和日本出口石油。

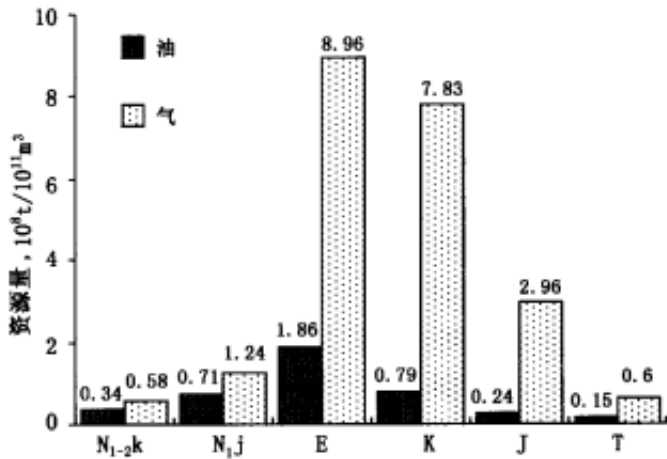


图 7-32 库车坳陷油气资源分层系分布图

克拉2面世当年，1998年10月，国家计委启动输气计划，建设年输送量为120亿立方米的管道，将塔里木盆地天然气输送到上海。2000年2月14日，国务院召开论证会，成立西气东输工作小组，讨论方案。

西气东输整个工程可以分为三部分，上游的气田开发、中游的管道运输、下游的市场运营

。按照惯例，这类涉及民生发展的重大工程，都是由国家牵头，国有企业来施工。但每件事都有其时代背景。

一是西气东输长度4000公里，要穿越山脉江河，是世界级的管道工程，当时中国没有这种级别的经验；二是西气东输立项时，中国正在进行WTO谈判，以积极的姿态加入世界产业链。

综合种种，中国决定。

**第一，西气东输工程完全市场化运作，中石油中石化自己开拓市场 建设管道；**

**第二，只要上游的气源和下游的市场是在我们手里，中游的管道工程，可以完全放开对国际招商，找有管道经验的企业来共同投资，他们挣钱我们学习。**

这两个决定是符合当时环境的，再加上西气东输又是西部大开发的起步之棋，足以表达出中国对外开放的决心。

2000年12月，西气东输工作组在《中国日报》和《人民日报》的英文版上，登载招商公告，这是中国最大对外合资工程，吸引了超过90家国际企业。

2001年5月，经过专家组的评审，美国埃克森美孚、俄罗斯天然气工业公司、荷兰壳牌、英国BP集团、四家公司入选伙伴列表，并由德意志银行担任财务顾问。

但合作还未开始，俄气就主动退出了。



三家公司不同意，多轮谈判后，最终方案为外资集团

三家公司各占15%股份，共计45%，中石化5%，中石油50%，项目合作期限45年，所有人达成一致。



这场谈判持续了两年，大小会议上千次。期间中国已经自己完成了大部分修建，仅剩  
下加

压站等技  
术空白领域，需要  
外资的经验，但我们还是没等来这最  
后一点。

20

04年

8月，谈判

破裂，外资全部退出

，中国最大对外开放合资工程就此夭折。

中石油将要独自承担1400亿的投资，以及无法预测的风险。

钱财尚在其次，最重要的是，我们将独自面对技术鸿沟。

## 大变局——谈判破裂，准备攻坚

建设一条从城南到城北的管线，只需要几支施工队，但要建设一条长达4000公里，  
运输天然气的高压管道，则需要上百种工业门类，和数万名工人的集合。

在技术上最关键的有两个点，**管道和加压**。

西气东输的管道管径1016mm，输送压力在10兆帕以上，相当于大气压的一百倍，  
并且要面对沙漠 戈壁 地下 等环境，对钢管材质要求苛刻，只能使用X70高强度钢制  
造，而中国当时最高也只能制造X60钢材。西气东输的预算中，钢管占了整个工程  
近50%，如果全部进口，又是一笔巨款。

2001年，**X70钢管研究列入国家“十五”规划**

，由西气东输工作组协调，集结数家企业，进行攻坚。钢管研制需要先原料后管道  
，在工作组指挥下，舞钢、鞍钢、华钢  
、中石油管材研究所，进行原料钢材的研制，宝钢、华钢  
、管钢，进行钢管技术的研制。

六大单位攻坚下，相继攻克技术难关

，开发出X70螺旋埋弧焊管和直缝埋弧焊管

，生产合格率达到97

%以上，配套焊丝和焊剂也完成国产化。

2002年6月21日，首批国产X70级钢管运达现场，通过工作组验收，投入使用。



西气东输一线示意图

但管道内部并不是真空，天然气在管道内部运输时，由于摩擦阻力，压力会不断下降。压力下降又会导致气体体积变大，阻力进一步增大，恶性循环。所以，我们需要每隔一段距离设置加压站，不断对气体进行加压，而加压站的核心设备，是压缩机。

表 4-1-4 全线压缩机配置和驱动方式

序号	站名	高程, m	功率, MW	机组配备	驱动方式	机组功率, MW
1	轮南首站	930	16.23	1+1	燃气轮机驱动	29
2	四道渠压气站	1164	18.48	1+1	燃气轮机驱动	29
3	哈密压气站	1070	18.03	1+1	燃气轮机驱动	29
4	红柳压气站	1628	17.87	1+1	燃气轮机驱动	29
5	玉门压气站	1868	16.42	1+1	电机驱动	22
6	山丹压气站	1921	16.66	1+1	燃气轮机驱动	29
7	中卫压气站	1246	18.63	1+1	电机驱动	22
8	靖边压气站	1328	18.14	1+1	燃气轮机驱动	29
9	蒲县压气站	906	13.70	1+1	电机驱动	22
			12.71	1+1	电机驱动	22

西气东输压缩机功率配置

如此巨大的功率，再加上压气站都在荒郊野岭，就意味着这台压缩机不可能靠电力驱动，只能靠燃料驱动，所以也叫燃驱压缩机。而有燃料，就代表有涡轮。

想象一下，一台使用燃料，通过涡轮产生动力，带动风扇旋转，将气体喷出的机器。还有另一种工业机械，和它有一样的原理——**航空发动机**。





罗尔斯 (英国)

头条 @温峻岩

# Solar<sup>®</sup> Turbines

A Caterpillar Company

索拉透平

头条 @温峻岩



L--1011三星客机

头条 @温峻岩

2004年，西气东输管道贯通前夜，中国购买的15台RFBB336燃气轮机到货。

## 罗尔斯罗伊斯将为西气东输工程提供管道压缩设备

<http://www.sina.com.cn> 2004年02月07日09:06 中国新闻网

头条 @温峻岩

2006年，GE击败罗尔斯成为供货商

## 罗尔斯—罗伊斯为西气东输工程提供16套机组

日期: 2008-06-11 来源: 国际能源网

头条 @温峻岩

三个月后，GE重返供货商之位

## 罗尔斯罗伊斯赢得西气东输项目逾1.2亿美元订单

2009年09月02日 20:07

头条 @温峻岩

2011年，罗尔斯卫冕成功

## 罗罗与中石油签订4亿订单 为西气东输工程供设备

来源: 环球网  
2013-07-17 14:08

头条 @温峻岩

在市场资源配置的轮转中，最终，

2015年，中国船舶集团研制的燃气轮机通过验收，在西气东输三线点火成功，成为我国首台国产30兆瓦燃驱压缩机。虽未到达世界前列，但已完成从0到1的追赶。



西气东输沿线地貌示意（图片来源：星球研究所—西气如何东输）

我们未曾踏足新疆，但新疆已向我们奔来。

不过这不是我们的终点，当西部的天然气东送之后，我们还要建立天然管网，将它送往全国各地，当天然管网成型后，我们还要，回到新疆。

**新疆！新疆！**

西气东输完工五年后，2009年，西气东输二线工程启动，抵达香港，刷新中国天然气管道记录。

2012年，西气东输三线开工，抵达广东、福建，为通往台湾打下基础。



李雅兰接任国际燃气联盟主席之位

同时中国拿到2025年世界天然气大会举办权，亚洲溢价，即将破缚。

西气东输完成了，我们真的在地图上画了一条线，铺下了一张网。

西气东输三线中段启动的同年，2019年，刘来宝在新疆逝世，享年99岁。



1950年，朝鲜战争爆发时，15团申请入朝参战，没有得到批准，他们便在沙漠边缘开垦了一块农田，命名为“三八线”，以作纪念。和田脱贫后，这块农田被改造为老兵公墓，离世的老兵均在此长眠。现在，15团在三八线重新集结。

刘来宝去世的同年，2019年，塔里木油田博孜9井试井成功，成为第二个塔里木万亿气田。



2022年，第三条穿越塔克拉玛干的沙漠公路通车，死亡之海，已成历史。