

对管道和防腐层提供机械保护的“石夹克®”技术

管世伟¹, 王大享¹, 时敦众²

(1.加拿大劲氏集团 ShawCor Ltd.; 2.中国石油天然气管道工程有限公司, 河北廊坊 065000)

摘要:山区、戈壁、崎岖陡坡、窄梁、滩涂、冻土、水区、公路和江河穿越等特殊地形对油气输送管道特别是管道外防腐层在施工和运营中的保护提出了重大技术挑战。文章介绍了国外的一种在固定或移动防腐涂敷厂施工成型的, 可现场弯曲的管道“石夹克”机械保护涂层技术, 论述了这种“石夹克”涂层的结构形式, 它与其他管道机械保护方法的比较、工程应用范围及应用实例。

关键词:长输管道; 外防腐层; 机械保护; 石夹克; 小颗粒碎石; 回填

中图分类号: TE988 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2206 (2010) 03-0048-05

0 引言

中国的石油天然气管道建设正处于高峰期, 管道不可避免地会通过山区、石方段、戈壁、崎岖陡坡、窄梁、滩涂、冻土、水区、公路和江河穿越等特殊地段, 对埋地管道特别是管道外防腐层在安装和运营过程中的保护提出了重大技术挑战。GB 50369-2006《油气长输管道工程施工及验

收规范》在防腐管的运输及保管、管沟开挖、布管、管道下沟及回填等埋地管道的安装过程方面对管道和外防腐层的保护做出了一些规定, 但实际作业时还是常常会遇到许多技术上的困难。例如: 石方段的原土石方回填以及管沟内裸露岩石容易造成管道和防腐层凹痕损伤; 陡坡、窄梁、滩涂、冻土、水区段细土、细石和砂垫容易被冲失而需要对

表7 任京线加降凝剂单向运行能耗 (输量149.5万 t/a)

能耗费用/(万元/a)	燃料费用/(万元/a)	动力费用/(万元/a)	降凝剂费用/(万元/a)	泵效/%	节流损失/MPa		
					冬季	春秋季	夏季
2 221.8	1 956.9	85.5	179.4	51.3	2.24	2.24	2.19

表8 任京线正反输运行能耗 (输量 149.5 万 t/a)

能耗费用/(万元/a)	燃料费用/(万元/a)	动力费用/(万元/a)	泵效/%	正输/反输节流损失/MPa		
				冬季	春秋季	夏季
2 005.7	1 844.7	161	59.96	1.23	1.28	1.06
				0.65	0.69	0.47

Q ——输油量/(t/d);

f ——加降凝剂比例/ $\times 10^{-6}$ 。

任京线房山、任丘站的泵型号为 KDY360—107×3, 换算得到扬程(H)、效率(η)与输量(Q)的关系式为:

$$H = 367.95 - 1.85 \times 10^{-3} Q^{1.75} \quad (10)$$

$$\eta = 24.64 + 0.163 69 Q - 1.546 58 \times 10^{-4} Q^2 \quad (11)$$

与正反输运行方式相比, 任京线加降凝剂单向运行燃料费用上升, 动力费用下降, 能耗总费用上升 216.1 万元/a; 输油泵效率下降, 由 59.96% 降至

51.3%; 任京线正反输运行正输流程节流损失 1.06~1.28 MPa, 反输流程节流损失 0.47~0.69 MPa, 任京线加降凝剂单向运行节流损失上升至 2.19~2.24 MPa。

参考文献:

[1] 杨筱蘅, 张国忠. 输油管道设计与管理[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996.

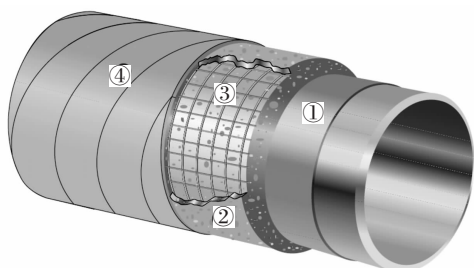
作者简介: 马伟平 (1979-), 男, 山东惠民人, 工程师, 2004 年毕业于中国石油大学 (华东) 油气储运工程专业, 硕士, 现从事储运工艺研究工作。

收稿日期: 2009-11-25

管道进行额外保护；在接管串和大型吊装设备难以到达的区段，拖拉作业会对防腐层造成损坏；山区、窄梁或者滩涂等地区由于没有足够宽的作业带以至于需要昂贵的特殊设备；在公路和江河穿越过程中易对主管道特别是补口处防腐层造成损坏等。一个好的埋地管道和外防腐层的保护系统应该具备如下特质：能够应对上述种种特殊地段的挑战并可提供所需要的保护；能够与管道阴极系统保护兼容，即不对阴极保护产生屏蔽作用；能够达到管道现场弯曲标准规定的弯曲度；能在运输以及接管的过程中保护防腐层；在任何建设环境和气候环境下都有良好保护功能；能缩短管道建设时间，降低施工成本；在管道服务寿命期间维持良好完整性。

1 “石夹克®”技术

“石夹克”技术起源于全球最大的防腐工程公司加拿大勃氏集团百劭公司 (Bredero Shaw)，是在美洲和澳洲成功应用的一种在防腐涂敷厂施工成型的、可现场弯曲的防腐管外部机械保护涂层系统。它是由固定或者移动防腐厂在管子做完外防腐涂层施工之后马上直接用侧缠绕法施工成型，在防腐管上面形成一层 25.4 mm 厚的用轻质镀锌金属网增强的混凝土保护层。该混凝土涂层外包裹一层开孔聚乙烯带，以提供养护环境和避免混凝土散落 (见图 1 和图 2)。“石夹克”保护层上面有特殊的螺旋型开槽沟，用于弯曲变形时的应力释放，使得受它保护的防腐管可以在管道安装现场依然能弯曲。它适合管径 89~1 219 mm、长 5.5~18 m 多种管道。它可根据所有标准建设规范进行弯曲，并与绝大多数普通防腐涂层和保温涂层兼容 (见表 1)。



①防腐层；②混凝土层；③轻质镀锌金属网；④开孔聚乙烯带

图 1 “石夹克”保护层示意

受“石夹克”保护的防腐管可以按照所有建设规范使用标准弯管设备进行现场冷弯作业。作业者在选择弯管夹具时应考虑“石夹克”的厚度 (单边 25.4 mm)。图 3 描述了对某一 914 mm 口径

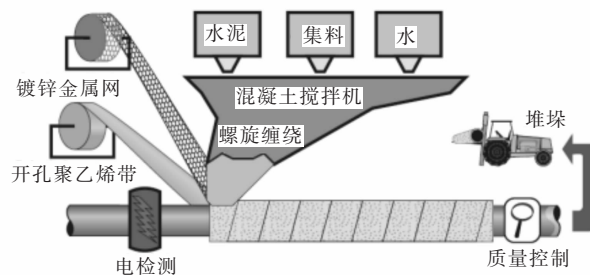
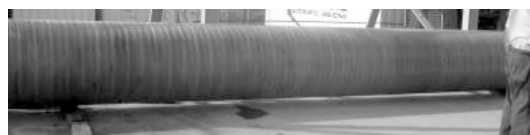


图 2 “石夹克”保护层生产过程

表 1 “石夹克”保护层主要特性

性能	指标
最小冲击强度/J (ASTM G14-04)	450
耐穿透性 (ASTM G17-07)	25 mm 钝杠, > 2.5 MN 载重
现场抗弯曲	1.5° PD 弯曲角无开裂
最小抗压强度 (28d) /MPa (ASTM C873)	20
阴极保护兼容性	电导率: $10^{-3} \sim 10^{-5} \Omega$
混凝土保护总厚度/mm	25.4

的受“石夹克”保护的防腐管进行冷弯弯管作业。所用的装备被设计成适用于高强度、大壁厚、口径为 762~1 067 mm 钢管的带有直径 203 mm 双液压缸的弯管机。该 914 mm 口径和 12.7 mm 壁厚的管道按每单位直径弯曲度为 1.5° 进行冷弯，弯曲不会造成任何混凝土保护层的开裂。



(a) 现场冷弯之前



(b) 现场冷弯



(c) 现场冷弯之后

图 3 用“石夹克”保护的防腐管现场冷弯前后

受“石夹克”保护的防腐管现场抗弯曲能力由管的口径与壁厚比 (D/t) 值决定。 D/t 值小于 80 的，保护管可耐弯曲度为 1.5° 的永久变形； D/t 值

在 80~100 之间的, 保护管的最大允许弯曲度为 1.2°; D/t 值大于 100 的, 保护管最大允许弯曲度为 1.0°。对于 560 mm 或更小口径的管道, 不管壁厚为多少, 最大允许弯曲度均推荐为 1.5°。

受“石夹克”保护的防腐管在现场焊接安装之后补口长度一般为 279 mm 或者可按照客户要求而定。补口保护有两种方案可选择: 一是采用一种“两件式”的石夹克补口工作包, 实际为宽 279.4 mm (+6.4 mm/-0)、厚 4.8~6.4 mm 的用铁丝网增强的聚乙烯缠绕带, 直接施加到补口防腐热缩套上; 二是做现场混凝土补口保护, 即在现场使用增强网和隔板在补口防腐层段模注混凝土砂浆。补口之后的保护层应达到与主管保护层同样的最小抗冲击强度和耐穿透性要求。

2 与其他管道机械保护办法的比较

除了“石夹克”技术以外, 国外油气输送管道常用的防腐管外部机械保护方法有: 用细砂细石铺垫回填、现场机械筛选挖沟弃土铺垫回填、现场涂敷防岩石损伤涂层或者做无纺土工织物包覆保护、以及外防腐层特别加厚等。国内的防腐管保护方法则有: 采用编织袋装土或小颗粒碎石, 适用于坡度不大于 30° 的纵坡或横坡; 采用混凝土砂浆浇灌。

与其他防腐管外部机械保护方法相比, “石夹克”技术具有如下优点:

(1) 它是唯一一种能够在管道的整个安装过程和服务寿命期间都提供完整机械保护的方法。管和防腐层无论是在被运输到管道安装施工作业线的过程中、装卸中、安装下沟和回填过程中, 还是在管道正常运营中都受到保护。“石夹克”在机械保护方面的性能(例如耐冲击和抗穿透性等)都远远高于市场上任何其他机械保护系统。

(2) 管道设计和施工的灵活性大, 可在任何地形、管沟回填材料和气候条件下应用, 无需任何额外材料、人力和设备。它特别适用于各种复杂的地形如山区石方段、陡坡, 窄梁、冻土、滩涂以及公路和江河穿越段的施工, 可以直接在机械或者爆破开挖好的管沟里埋设并用爆破出来的土石方回填, 不需要另外的细砂细石或者筛土来铺垫填充(当然也不需要填充的砂土石的最大粒径做出限定)、不需要增加管沟宽度和深度, 也无需复杂或特殊的吊具设备。

(3) 在全部机械保护系统中总体安装费用最低, 安装时间最短。

(4) 在管道建设和全寿命期对作业带和周边环境影响最小。

图 4 给出了某一 1 219 mm 口径的管道采用细砂土或者细石铺垫填充的保护办法所需要的管沟尺寸。如果使用“石夹克”技术保护方案, 管沟深度可从 2.9 m 减为 2.7 m, 且无需细砂土石铺垫回填沟底或者管顶, 管沟下底宽度可从 2.4 m 减为 2 m、管沟上沿宽度可从 4.8 m 减为 4.4 m, 而管沟两侧无需特殊回填。这就意味着管道安装过程中沿线将节省共 20% 的需要挖掘、回填和移走的总土石方材料, 这也意味着每米长度的管沟周围植被移除的面积将减少 8%, 每米管沟长度涉及的植被面积从 4.8 m² 降低到 4.4 m²。

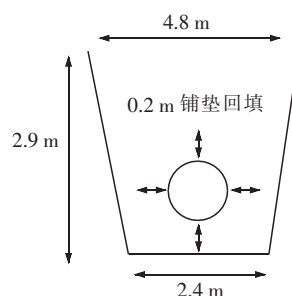


图 4 1 219 mm 口径的管道采用常规筛分回填作业所需要的管沟尺寸

“石夹克”技术克服了其他所有管道机械保护系统的局限性。比如细砂铺垫回填的办法在极寒冷环境下材料因冻结而效果不好, 不适用于陡坡、窄梁、滩涂和道路河流穿越地段的施工, 需要有更深更宽的管沟用于铺垫填充, 需要有更大的作业带用于通行运砂车辆以及倾倒砂子, 需要增加两班人员做铺垫填充工作, 需要专用填充设备和砂坝, 开沟废弃岩屑必须从作业带运走。现场机械筛选挖沟弃土铺垫回填的办法不适合潮湿、冰冻的环境以及淤泥土/黏土地段, 也不适用于陡坡、窄梁、滩涂和道路河流穿越段的施工, 需要有更深更宽的管沟用于铺垫填充, 需要专用设备, 需要增加更多人力。陡坡地区需要砂坝, 需要包裹织物防止细砂冲失, 现场涂敷防岩石损伤涂层或者做无纺土工织物包覆保护的办不妥用于大颗粒尺寸的管沟材料和道路河流穿越段施工, 施工时需要增加一班人力, 如果岩石保护物材料与管径不匹配则会造成严重浪费。加厚防腐涂层的方法在遇到大颗粒尺寸的管沟材料

时仍需铺垫回填保护，并且无法进行拖拉作业，需要现场修补缺陷。编织袋装土或小颗粒碎石的方法只适用于坡度不大于 30° 的纵坡或横坡，不适合潮湿、冰冻的环境以及淤泥土/黏土地段，也不适用于陡坡、窄梁、滩涂和道路河流穿越段的施工。混

凝土砂浆浇灌，在陡坡和窄梁段不易施工并费时，也不适合潮湿、冰冻的环境以及滩涂和道路河流穿越施工。表 2 给出了在不同机械保护方法下可对管道防腐层产生破坏作用的管沟或回填材料的颗粒尺寸。

表 2 不同机械保护方法下管沟或回填材料可对管道防腐层产生破坏作用的颗粒尺寸

项 目	细砂回填 (300 mm 厚)	岩石保护层 (11 mm 厚)	熔结环氧粉末 (0.4 mm 厚)	3LPE (3 mm 厚)	石夹克 (25 mm 厚)
产生破坏的回填物粒径/cm	≥30	≥15	1 ~ 2	5 ~ 6	≥30

“石夹克”技术拥有业内最低的总体施工成本(材料成本 + 直接和间接安装成本)，这在国外许多管道工程项目中得到证明。其成本节约的因素有：无需细砂铺垫回填；下管前无需进行火花缺陷检验以及防腐层修补；无需因铺垫回填而加大管沟开挖；管子运输中无需用隔离块或者隔离垫；没有运砂车以及其他专用设备的成本；没有多余岩屑处理成本；安装时总土石方用量和植被移除面积减少等。“石夹克”技术是唯一不会减慢管道施工速度的管道机械保护系统。

3 工程应用范围及应用实例

“石夹克”技术的第一次成功应用是 1984 年

在加拿大魁北克 Gaz Inter-Cite Quebec 公司的长 170 km、口径 406 mm 的 Shawinigan-Lac St. Jean 天然气输气管道工程。采用“石夹克”之后，整个管道的安装基本上免除了细砂石的铺垫填充，而直接采用 1 600 t 的爆破开挖出来的管沟岩屑进行回填，弯管施工作业加快了 30%，下管作业加快了 10%，回填作业加快了 50%，作业带和对环境植被破坏的面积减少了 20%。

自 1984 年以来，“石夹克”技术在国外被 50 多个用户在近 250 条管道工程中成功采用。表 3 选择性地列出了一部分工程。喜欢使用“石夹克”技术的著名石油和管道公司包括 Esso-Mobil、Trans Canada、BP、Enbridge、Chervon、Shell、Husky 等。

表 3 “石夹克”技术在管道工程中应用的部分实例

管道工程	用户	年度	国家	管径/×25.4 mm	“石夹克”应用长度/km
Shawinigan - Lac St Jean 输气管道	Gaz Inter-Cite Quebec	1984	加拿大	16	170
Queensland State 输气管道	Queensland Dept of Mines	1989-1990	澳大利亚	12	200
Vancouver Island 管道	Westcoast Energy	1990	加拿大	12	125
E-Z 管道	Phillips Pipeline Co	1991	美国	10	103
IGTS 管道	Iroquois Gas Transmission System	1991	美国	24, 30	121
Kutubu 输油管道	Chevron Niugini	1991-1992	巴布亚新几内亚	20	171
Napierville 管道	TransCanada PipeLines	1993	加拿大	12	25
Burnt/Brazion 管道	Shell Canada Resources	1995	加拿大	8	24
Sukunka 管道	CNRL	1996	加拿大	3, 6, 8	32
Moose Mountain 管道	Husky Energy	2002-2003	加拿大	3, 4, 6	32
Grande Cache 管道	ATCO Pipelines	2005	加拿大	8, 10	55
Talisman 管道	CE Franklin	1999-2007	加拿大	4 ~ 12	124
PNG LNG 工程	Esso Highland	2009-2010	巴布亚新几内亚	10.75, 22, 32, 34	223

早期的“石夹克”产品技术只能用于小口径管道施工且在北美和澳洲几个固定防腐涂敷厂生产。近年来随着施工技术的新发展，移动式“石夹克”施工技术被开发出来，而最大可施工口径也增加到了 1 219 mm，基本上满足了所有常规油气输送管道口径的需要。百劭公司独特的“石夹克”移动式涂敷厂可以在最短的时间内通过轮船、火车或汽车

运送到世界上任何靠近制管厂或者管道安装的地点，大大减少了管道运输和导管时间。“石夹克”技术因此也成了本行业唯一可以在全球各地都得到服务，并具有相同的产品稳定性和相同的质量保证的机械保护系统。

“石夹克”技术可以说是唯一在其服务寿命期内性能得到完全实践检验的机械保护系统。加拿大

West Coast Energy 公司的 Vancouver Island (温哥华岛) 输气管道工程于 1990 年安装完成。管道全长 590 km, 管径为 324 mm 和 273 mm。管道采用“石夹克”技术段约 125 km, 因此节省了 45% 的需要细砂石铺垫填充管沟的施工成本。1998 年在管道周围因为地震而产生了严重的滑石流, 某一段有一质量达 500 t 的巨砾和其他小一点的石砾从 6 m 高处 45° 的陡坡滑下, 撞击到口径为 324 mm、管壁厚为 10.8 mm、管沟顶部回填层厚为 1.5 m 的管道上。巨砾被切块移走之后对管道进行了检验, 发现在“石夹克”层撞击处出现 30 cm 直径大小的撞击裂纹, 把裂开的保护层移开, 发现管道被撞击处仅有两处共 30 mm 长、25 mm 宽、1.75 mm 深的表面浅浅的凹点, 而管道运行正常。检验报告认为“这是由于石夹克是一种混凝土涂层, 它不会随时间老化, 从而产生了很好的保护效果。由于混凝土具有强度, 它分散了撞击点负荷, 从而避免了凹坑和管道破裂。这与在管沟中用细砂石铺垫填充不同, 它会因地下流水的冲失而失去长期机械保护性能”。业主对管道其他段共 14 个点进行了检验, 发现“石夹克”保护层、防腐层以及钢管本身都百分之百未损坏。

位于加拿大阿尔伯特省 Taber-Coutts 输气管道的 Chin 湖水库穿越段是世界上最长的在水平定向钻管道穿越施工中用“石夹克”技术保护管道和防腐层的工程。管道穿越段全长 1.28 km, 口径为 114 mm (4"), 穿越推拉力为 1 557 kN, 穿越段水深最深为 100 m, 于 2003 年 9 月完成。由于采用的“石夹克”可以弯曲和耐磨擦, 因此穿越工程中往回抽拉时不需要在管道下面使用滚子。另外管道防腐体系最薄弱的环节就是管道焊接补口处, 由于焊缝处凸出管体表面, 该处管体包括防腐层在穿越

抽拉时特别容易受损, 采用“石夹克”技术可很好地解决这一问题。因为 25.4 mm 厚的“石夹克”保护层耐磨且完全高出管道焊接处, 避免了其在穿越过程中受损。

巴布亚新几内亚国位于西南太平洋, 西邻印度尼西亚的伊里安查亚省, 南隔托雷斯海峡, 与澳大利亚相望, 拥有丰富的海底天然气和石油等资源。其海拔 1 000 m 以上属山地气候, 其余属热带雨林气候。该国每年的平均降雨量为 4.5 ~ 6 m, 全境充满沼泽、河流和丛山峻岭, 给油气管道的施工带来了极大困难, 无论袋装与否, 采用细砂石铺垫填充均无法在这种地形和气候环境下为管道和外防腐层提供长期保护和保质保速的管道安装作业条件, 另外施工作业带的窄小、交通的不便、施工中不得不拖拉管道等都使得“石夹克”技术成为了该国油气输送管道和外防腐层机械保护的唯一选择。埃克森美孚 (Exxon Mobil Corp.) 公司 2009 年 12 月 9 日宣布批准了 5 份工程、采购和施工合同, 用于 150 亿美元的巴布亚新几内亚 PNG、LNG 液化天然气工厂的建设。这是一个从天然气生产到处理设施、陆上管道到海上管道以及液化厂的一体化开发项目。批准的项目中就包括了采用“石夹克”做管道和防腐层机械保护的近 223 km 长的管道。

4 结束语

“石夹克”技术是目前世界上最先进的埋地管道和管道外防腐层的机械保护系统, 其优势全面并能够弥补其他机械保护系统的种种局限和不足, 研究和推广该技术具有重要意义。

作者简介: 管世伟 (1964-), 男, 加拿大多伦多人, 防腐工程技术总监, 1993 年毕业于加拿大 McMaster 大学, 博士, 现主要从事管道防腐保温、涂料产品与涂敷技术工作。
收稿日期: 2010-01-18

信息综述

金坛储气库日造腔量突破 2 300 m³

2010 年 4 月 18 日, 西气东输金坛储气库日造腔量达到 2 397 m³, 创历史新高。这个储气库进入 4 月以来, 日造腔量一直维持在 2 150 m³ 左右, 较去年同期增加近 50%。

今年年初开始, 金坛储气库每年将会有 3~4 个盐穴完成造腔, 投入注采气运行, 每年可为西气东输主干线提供 7 000 ~ 8 000 万 m³ 的调峰和应急保安工作气量。

据悉, 今年西气东输金坛储气库造腔任务为 75 万 m³。为深入挖掘潜在的造腔能力, 储气库项目部各科室、站队积极开展造腔技术研讨分析。储气库技术人员与金坛盐化公司探讨卤水消化和生产协调中存在的技术和管理问题, 使其调整真空制盐厂生产工艺, 降低或关停所有盐矿卤水井的产出量, 满足了储气库造腔施工对卤水消化最大化的需求。