复杂地质条件下长输管道工程施工进度控制研究

周林林
中国石油工程建设有限公司华北分公司，河北 沧州 062552

[摘要]在复杂的地质条件下，长输管道施工存在软基承载能力不够、管沟容易塌方、设备通行受阻、气候干扰大等多方面的问题，进度控制比一般地段要难得多。根据沙漠、水网和山区隧道等典型工况的施工经验，从总体筹划、土石方工程组织和敷设工艺相适应三个方面出发，研究地质条件对工序衔接和资源调配的影响机理。研究表明，以踏勘前置化解社会依托短板、以便道和排水工程保证连续作业面、以沉管和牵引工艺代替常规设备行走，可以有效地减少非增值等待时间。用分区滚动计划和关键节点控制相结合作出地质符合的进度控制路线。

[关键词]长输管道；复杂地质；进度控制
DOI：10.33142/ec.v9i11.20735　　中图分类号：TE832　　文献标识码：A

Research on Construction Progress Control of Long-distance Pipeline Engineering under Complex Geological Conditions

ZHOU Linlin
CHINA PETROLEUM ENGINEERING & CONSTRUCTION CORP. NORTH CHINA COMPANY, Cangzhou, Hebei, 062552, China

Abstract: Under complex geological conditions, the construction of long-distance pipelines faces various problems such as insufficient soft foundation bearing capacity, easy collapse of pipe trenches, obstruction of equipment passage, and significant climate interference. Progress control is much more difficult than in general areas. Based on the construction experience of typical working conditions such as deserts, water networks, and mountain tunnels, this study investigates the impact mechanism of geological conditions on process connection and resource allocation from three aspects: overall planning, organization of earthwork engineering, and adaptation of laying technology. Research has shown that resolving social dependence shortcomings through pre-survey, ensuring continuous working surfaces through access roads and drainage engineering, and replacing conventional equipment with sinking pipes and traction processes can effectively reduce non value added waiting time. The geological schedule control route is made by combining the partition rolling plan with the key node control.

Keywords: long-distance pipelines; complex geology; progress control

引言

长输管道线路跨度大，同一个项目往往要穿过沙漠、水网、山区等各种地貌单元，软基抗剪强度低、管沟易塌、设备行走困难等状况直接导致施工降效和临时停工。现有的进度管理研究大多集中在计划编制上，对于地质条件怎样影响工序衔接和资源效率的机理还没有充分的分析。根据软基地段施工经验来考察地质约束下进度损耗节点，给出相应的组织优化、工艺替代措施，对于改善复杂地段施工连续性有现实的意义。

1 复杂地质条件对施工进度的作用机理

复杂的地质对进度的影响并不是单个因素造成的，而是通过设备效率衰减、工序中断和作业面不可用这三个途径相互叠加来实现的。在软基地段，土壤抗剪强度很低，常规的管道运输设备和施工机械很难正常行走，即使经过压实后的抗压强度有所提高，抗剪性能的缺陷仍然使设备的牵引力大大降低，运管和布管的效率比硬土段要低得多。管沟开挖阶段也存在约束，沟壁在开挖之后短时间内就出现坍塌情况，迫使施工间断性地停下来清理或者支护，单次开挖的有效长度变短。

水网地段的主要问题是地下水的作用。地下水位以下的土体抗剪强度由于浸泡而不断降低，浮力和渗透力共同作用在沟壁上，边坡失稳的风险随着开挖深度的增加而迅速增大。如果排水工作不到位，开挖、下管、回填的工序窗口被压缩，机组只能在开挖、坍塌、再开挖的循环中消

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

耗工时[1]。水网密集地区焊接机组频繁转场，会成为进度的制约因素，每次转场之后一般需要几天时间来完成焊接参数的调试以及设备的状态恢复工作，从而造成焊接一次合格率和工效的双双降低。山区隧道段以作业空间狭窄、地形起伏为主导的制约，设备转场频繁、焊接工位少，进度损失更多是由于工序效率的下降而不是工序的中断。以上三条途径的共同点是地质状况不能直接决定施工是否可行，而是把单位工程量时间消耗抬高到总工期上。因此，进度控制的重点不是消除地质约束，而是找出那些可以依靠组织手段来压缩的环节，找出那些必须用工艺代替才能避免的环节。

2 施工总体筹划中的进度前置控制

2.1 踏勘深度与进度风险的早期识别

现场踏勘质量的好坏会直接影响到后面进度计划的可行性。在软基和水网地区，踏勘要重点获得三类信息，即地层承载力的空间分布、地下水位的季节变化幅度以及已有道路和可以修建便道的通行状况[2]。自然状况要包含地形地貌、两年天气状况和雨雪分布、地层构造和承载能力、河流丰枯水位等，技术经济状况包含水电气讯供给能力、运输工具可用性、附近建筑材料供应能力、征迁补偿标准。以上信息的价值在于把不可预见的地质风险转化为可以量化的工期储备，比如地下水位高于管沟底标高时，排水工序必须嵌入开挖循环中，不能作为补救措施来追加。

2.2 便道与排水工程的先行投入

软基地段运输通道的畅通给进度连续性创造条件。沙漠地段采用伴行路配合草方格固沙，防止风沙掩埋，水网区根据水位情况选择作业带加固、便桥或围堰排水方式。水网密集区可以将焊接机组连续通行施工作业划分为独立的施工单元，每个施工单元的机组进出场路线、焊口数量、弯头和地下障碍物等信息以及工程量都标注在施工单元图上，每个单元内焊接、防腐、下沟等工序及时跟进、紧密衔接，争取做到干一段完一段，将送头点设在雨季也能进场施工的通道旁。某水网密集段管道工程全线划分了百余个施工单元，形成了清晰的施工作业图，保证了机组在雨季到来之前完成预定区段，防止了由于作业面中断造成整体工期下滑。该做法的意义就在于把全线连续作业改为分段闭环作业，把地质条件最不利区段的工期损失局部化而不是向后传递。

2.3 施工组织设计的弹性预留

软基地段施工组织设计，在常规资源配置的基础上增加两种弹性：一是设备配置的冗余度，宽履带牵引设备与常规设备的比例要根据踏勘判定的软基占比来提高；二是工序衔接的时间缓冲，管沟开挖和下管之间不能按照硬土段的标准压缩，应该留出坍塌清理或者支护调整的机动时间。中俄原油管道二线工程在工期极为紧张、社会依赖度低的情况下，按照月计划、周控制、日落实的原则来编制节点计划，通过分析采办、设计和施工资源，使施工机组数量从投标时的 48 个增加到现在的 124 个，用资源冗余来抵消环境的不确定性[3]。技术交底要使机组人员明白，在软基地段，单工序等待是为避免更大的返工而必须付出的成本，而不是管理上的疏忽。

2.4 进度纠偏的技术辅助手段

在踏勘和组织规划之后，施工期间的进度偏差识别和纠偏能力直接影响到计划是否可行。长输管道施工的线性分散特性造成传统的人工汇报存在明显的滞后现象，传统的管道施工监测方式依靠主观判断和人工报告，由于人为因素以及检查流程的限制，会造成 5%~15%的误差，而数字技术的缺失又会使得事件的响应时间变长、监测效率降低。对于复杂的地质地段来说，滞后的影响就更加严重，管沟坍塌或者设备陷滞等现象，在几小时之内就会对单日的作业计划造成影响，如果需要依靠日终汇报来调整，那么造成的损失已经无法挽回。可行的改进途径就是把进度采集节点前移到机组层面，用焊接日报、开挖里程和下沟长度的日度对账代替周度汇总，使偏差在 24h 内进入纠偏程序。智能建造技术的加入可以达到实时监控、风险预估的效果，在复杂的施工环境里，弥补了传统管理方式对进度把控不到位的不足。对地质条件变化频繁的区段，在施工单元图上叠加实际完成量和计划量的色阶对比，使管理人员在每天晨会上就能发现滞后单元并调配资源，而不会等到周计划考核时才发现问题。

3 土石方工程的进度保障措施

3.1 便道修筑标准与通行效率

便道修筑标准要和运输车辆、施工设备的荷载相适应。沙漠地带的伴行路使用级配砂石，厚度及压实度要符合宽履带设备和运管车辆反复通行不会出现剪切破坏的要求。水网区域作业带加固的常见失效模式并不是承载力不够，而是加固层在反复碾压之后出现侧向挤出，造成通行宽度变小。对于这种情况，在加固层边缘处设约束结构或者适当扩大加固范围，保证全工期内通行效率不发生变化。西气东输四线新疆段在百里风区施工时，在 4 月份沙尘暴来临之前就完成了 123.7 公里管道的焊接、下沟和回填工作，靠的就是提前对便道通行条件进行研判并集中资源突击，把气候窗口和运输通道的匹配当作进度控制的第一变量。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.2 施工排水的工序嵌入

地下水处理的三种方法中，明排法适用于渗水量小的砂性土，井点降水法适用于粉细砂、软黏土中水位较高的地方，防渗帷幕法则用在边坡稳定要求高或者明排降水都不经济的地方。进度控制的关键是把排水作业前置到开挖循环之前而不是并行，在地下水的浸泡下，土体抗剪强度降低，土体也会受到浮力和渗透力的作用，边坡很容易失稳并造成坍塌，因此在土方作业前做好地下水的处理工作，保证土体干燥稳固就显得尤其重要。将降水井施工或者排水沟布置到管沟开挖的前置工序中，可以使得开挖、下管、回填的节拍时间趋于稳定。在水网稻田密集区，雨季施工还要配套防雨焊棚和即时抽排设备，用工序连续性来抵消天气中断的影响。

3.3 管沟支撑的选型与周转效率

沟箱支撑和钢板桩支撑的选用要兼顾安拆时间和支护可靠程度。沟箱适合于深度较浅、坍塌风险中等的管沟，它的优点是安拆方便、可以随开挖推进循环使用；钢板桩适用于深度较大或者临近构筑物的区段，但是打拔作业本身会消耗工时。对于进度敏感的地段，优先采用周转效率高的沟箱支撑，把支撑安拆列入机组标准作业循环时间表内，可以减少由于支护等待造成的工序间隙。支撑材料的储备量要和单日开挖推进速度相适应，防止由于支撑不够造成开挖机组间断性停工。

4 敷设工艺选择与进度适配

4.1 沉管法的工序重组效应

软基地段管沟开挖后不能保持稳定的断面，常规的开挖、布管、下管分离式作业在时间上是不行的。沉管法把组焊环节提前到管沟开挖之前，在沟旁完成组装焊接之后，采用挖掘机对称开挖、边挖边退的方式使管道自然下沉就位。该工艺是在管道具备下沟条件之后进行的，管沟开挖采用一到两台单斗挖掘机对称开挖，边挖边退，管道在开挖的管沟中自然下沉；挖出的沙土距管沟边线应大于 2m，以防管沟受沙压垮塌或者沙堆垮塌入管沟内。从进度上看，沉管法把“等待管沟稳定”的时间变成“沟上组焊”的有效工时，使焊接和开挖在时序上成为串联而不是并联的关系，减少交叉作业的相互干扰。回填作业应由专业人员指挥，垂直管沟方向推进，防止推土机斜推撞击管道造成防腐层损伤而返工。

4.2 牵引法的作业面拓展

水网和河流穿越处用牵引法铺设，进度价值是把管道就位作业从受限制的水域或者软基作业面转移到牵引设备控制的岸侧或者硬地侧。管道在岸上完成防腐补口和试验后，用主钢丝绳和定位绞车配合控制拖至中线位置，然后充水沉管就位。该工艺把水域段的主要工作量放在陆地上完成，水域作业时间被压缩成拖管和沉放这两个环节，从而削减了水位变动和流速状况给有效作业窗口造成的限制。主牵引绞车的牵引能力要和管段长度、水深、河床摩阻力相适应，定位绞车的布设位置要在拖管前进行校验，防止管段入水后由于定位偏差而需要二次调整。

4.3 工序衔接的关键节点管控

无论用沉管法还是牵引法，进度控制的关键节点就是焊完和就位条件满足的衔接。沉管法中，管沟开挖的推进速度要和组焊进度一致，过快会使沟壁暴露时间变长，坍塌风险增加，过慢会使焊接机组窝工。牵引法中，牵引设备的就位和钢丝绳的布置应在管段试验合格之前进行，防止出现“管等设备”的情况。表 1 给出了敷设工艺在复杂的地质条件下的进度适应性。

表 1　复杂地质条件下敷设工艺的进度适配对比

工艺	适用地质	进度优势环节	主要进度风险	管控要点
沉管法	沙漠、软土	沟上组焊与开挖时序分离	开挖速度与焊接进度失配	控制开挖超前量不超过单日焊接长度
牵引法	水网、河流穿越	核心作业陆上化	牵引设备与管段试验脱节	设备就位先于管段验收完成

4.4 分区滚动计划与节点考核的协同

在复杂的地质条件下，全线统一进度计划由于局部区段出现突发的地质变化而不能起到指导作用。将线路按地貌单元划分成若干个进度控制区段，各个区段分别制定滚动计划，用周为单位更新实际完成量和剩余工作量的差异。对控制性工程和重点难点管段单独编制节点计划，并且配套工程进度表，使采办、设计和施工资源调整有明确的触发阈值。考核指标要兼顾焊接进度和一次合格率，不能为了赶进度而造成返工的积累。在水网和稻田段，可以将送头点是否在雨季可进场通道旁作为区段完工的验收条件之一，从计划上倒逼施工单元划分的合理性。

4.5 山区隧道段的工序并行与空间分割

山区隧道段作业空间狭小，工序之间出现的空档期替代软基地段时间浪费成为最主要的影响因素。西气东输三线八标段根据不同的纵坡形态，一字坡隧道采用外发送、V 字坡和长距离隧道采用内安装的“一隧一案”方式，防止统一工艺造成的效率损失；施工高峰期把 31 个机组分成 50 个小组，在各个桩点同时进行焊接、开挖、回填和三穿作业，用多点并行稀释单点瓶颈。其逻辑同软基地段

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

单元闭环策略相同，只是分割的依据由地貌单元变为隧道桩号。复合项目要按照地貌分区来确定各区段的主导约束类型，再根据不同的主导约束类型来配置不同的机组拆分和工序并行方案。

5 结语

复杂地质条件下长输管道进度控制的主要矛盾不是地质本身不可施工，而是地质约束如何通过工序衔接环节传导出来。踏勘前置把不可预见的风险变成可以计划的工期储备，便道和排水工程的先行投入保证了作业面的时间可用性，沉管和牵引工艺用作业时序的重组来规避设备和人员在软弱地基上低效暴露的情况。分区滚动计划和节点考核把上面的技术选择变成可以检查、可以纠偏的管理闭环。以上技术手段和组织策略的加入，使得进度控制由被动的事后考核变为主动的过程干预，但是它的有效性仍然取决于踏勘阶段对地质约束类型前置判定是否准确。三者一起形成地质适配型进度控制逻辑，不是用对抗地质条件的方式来达到目的，而是用调整施工要素的时空配置来实现目的。对于多地貌单元并存的长输管道项目，把上面提到的逻辑嵌入到施工组织设计的前端决策和过程考核中，在不明显增加总资源投入的基础上提高复杂地段的工期确定性。

[参考文献]

[1]雷晓曾,张阳.大型油气长输管道建设项目业主进度管理探索研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(4):70-72.

[2]董萍,王孝忠,王欢.大漠戈壁锻造“能源动脉”——国家管网集团建设项目管理分公司建设西四线新疆段纪略[J].中国石油企业,2024(11):77-78.

[3]杨旭.管线穿越复杂地形对天然气长输管道工期及造价的影响分析[J].中国化工贸易,2026,18(13):136-138.

作者简介：周林林（1985—），男，汉族，河北沧州市泊头市人，中级工程师，本科，毕业于中国石油大学（华东）油气储运工程专业，研究方向/现从事工作为石油化工项目管理。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.