

# 富水砂层地质条件下盾尾刷更换施工工法

余守龙

武汉市市政建设集团有限公司, 湖北 武汉 430000

**[摘要]**盾构在富水砂性土的掘进中,经常会发生盾尾密封刷损坏造成密封不良的情况,由于盾尾密封损坏而引起的事故也时有发生。一般的处理方式主要采取管片间隙填塞海绵条等填充物、增加盾尾密封油脂注入量及管片额外加贴防水材料等方法进行临时处理,不能实现彻底解决盾尾密封防水问题;而采用冻结加固的方式更换盾尾刷,施工成本高、周期长,后期冻融更会造成管片变形及地表

沉降。对整个工程的成本控制、施工质量控制及工程工期控制都有较大的影响。针对这些问题本篇文章提出了些改善措施。

**[关键词]**富水砂层;盾尾刷;施工;工法

DOI: 10.33142/ec.v5i1.5233

中图分类号: U455.4

文献标识码: A

## Construction Method of Shield Tail Brush Replacement under Geological Conditions of Water Rich Sand Layer

YU Shoulong

Wuhan Municipal Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

**Abstract:** In the tunneling of shield in water rich sandy soil, the seal brush at the shield tail is often damaged, resulting in poor sealing. Accidents caused by the seal damage at the shield tail also occur from time to time. The general treatment methods mainly include filling the gap between segments with sponge strips and other fillers, increasing the injection amount of sealing grease at the shield tail and adding waterproof materials to the segments for temporary treatment, which can not completely solve the problem of sealing and waterproof at the shield tail; The replacement of shield tail brush by freezing reinforcement has high construction cost and long cycle, and the later freezing and thawing will cause segment deformation and surface settlement. It has a great impact on the cost control, construction quality control and project duration control of the whole project. In view of these problems, this article puts forward some improvement measures.

**Keywords:** water rich sand layer; tail brush; construction; construction methods

### 1 工法特点

(1) 加固材料为水泥、水玻璃、聚氨脂等,材料价格低廉且易采购,与洞内水平或地面垂直冻结加固相比,成本大大降低。

(2) 与冻结施工相比,环向注浆加固施工周期短,3~5日即可完成整个加固施工,且相当于对该区段进行了永久加固,后期不会出现融沉或体积收缩现象。

### 2 适用范围

适用于隧道区间较长、砂性地层构造、高承压富水条件下,且地面不具备加固条件的第一道盾尾刷更换施工。

### 3 工艺原理

将盾构机推进油缸推进至指定更换距离后注浆,通过管片注浆孔、管片增设注浆孔及盾构机中盾注浆孔等部位对整个盾尾及盾尾后7环进行环向包裹注浆。并通过三种注浆材料,对周围2m范围的土体进行加固,分别起到隔水、抗压及止水的作用,在确保注浆加固效果后,对第三道盾尾刷进行拆除及更换,注浆加固原理图如图1所示。

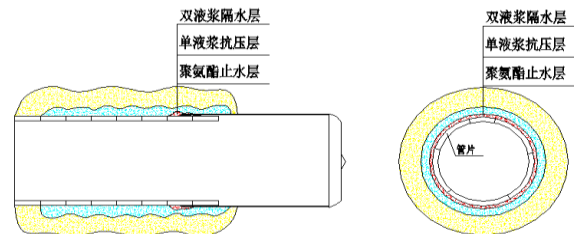


图1 注浆加固正、侧剖面示意图

### 4 施工工艺流程及操作要点

#### 4.1 施工工艺流程

施工工艺流程参见图2。

#### 4.2 操作要点

##### 4.2.1 油缸推进行程计算

因更换盾尾刷需在盾尾内拆除已拼装好的管片,因此在管片拆除前必须保证盾尾刷已推进到管片更换的最佳位置,这样既可以快速的对受损的盾尾刷进行拆除及更换,又可以保证在更换第一道盾尾刷时,后两道盾尾刷还可起

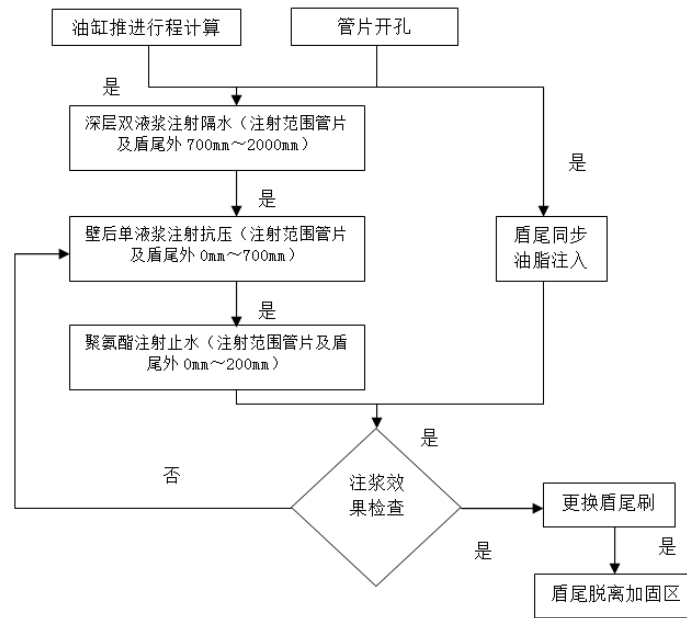


图2 富水砂层地质盾尾刷更换环向加固施工工艺流程图

到防护作用。在拼装盾尾最后一环管片时应将K块拼装在下部6点位位置(时钟方向),以便后期管片试拆除检查。

因每台盾构机盾尾尺寸、每环管片拼装长度及油缸行程长度均会有所差异,所以在计算第一道盾尾刷更换位置时需根据实际现场情况进行计算,以下是计算公式:

$$L=D-d$$

- L: 需推进的油缸行程长度
- D: 盾尾刷至盾尾与中盾接缝处的长度
- d: 待拆除管片环宽

油缸推进行程示意图参见图3。

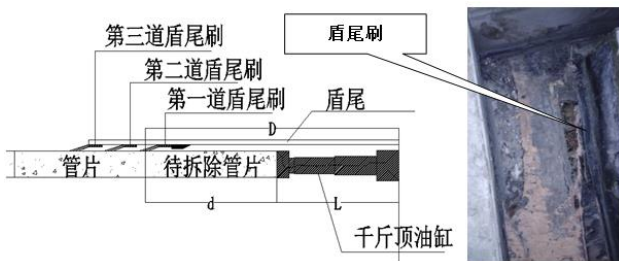


图3 油缸推进行程示意图

#### 4.2.2 管片开孔

因更换盾尾刷根据地质条件变化存在较大的随机性,因此除利用管片吊装孔及中盾注浆孔外,为确保注浆均匀,还需在管片上进行补开孔进行注浆。补开孔一般沿管片环向布置,布设间距为1000mm。

管片开孔时采用由上向下的顺序进行施工,这样可以防止因下层孔洞的施工引起上部地层扰动,降低钻孔施工时的事故发生率。

#### 4.2.3 壁后注浆包裹

为保证壁后注浆质量及填充效果,注浆分为三个步骤,分别起到隔水、抗压及止水的作用,力求做到对外部水压及压力的完全隔绝。具体步骤如下:

##### (1) 注浆管路设计

主要采用花管注射方式,注浆管路根据注射层深的不同分为两种,深层注浆采用花管1300mm,实管1500mm的花管;壁后注浆采用花管700mm,实管800mm的花管。

##### (2) 深层双液注浆隔水

双液浆有良好的隔水性能,在承压水较为丰富的地下可快速形成隔水层,保证内部单液浆填充不被稀释,因此首先将双液浆注入壁后700mm~2000mm深的土体中,形成隔水层。双液浆施工参见图4。

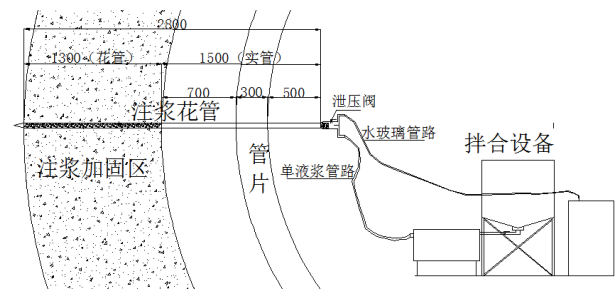


图4 双液浆注浆施工图

注浆压力控制在0.2~0.5MPa(根据地层深度做适当调整)。水玻璃采用波美度35B,配比为水泥浆:水玻璃=10:1(体积比),初凝速度为42s,终凝时间为320s。

##### (3) 壁后单液浆注射抗压

待双液浆在外部形成保护圈,构建较有效的隔水层后,

再次通过管路注射单液浆，浆液采用 42.5 高强水泥，水灰比为 0.8:1，为减少注浆水分散失形成的空隙，注浆采取少量多次原则，确保壁后填充密实。

注浆压力控制在 0.2~0.5MPa（根据地层深度做适当调整）。为保证内部填充密实，必要时可将周边注浆球阀打开泄压。待注浆完成后等待浆液终凝（6 小时）

#### (4) 聚氨脂注射止水

聚氨脂注射范围较浅，主要起填补水泥浆无法填补的空隙及封堵水流通道的作用，水：油比例为 2:1。

#### 4.2.4 注浆效果检查

为确保安全，注浆效果检查分为两个步骤，一是管片开孔检查，二是管片试拆除检查，具体实施步骤如下：

(1) 待浆液终凝时间结束后，首先将管片上的注浆球阀打开，观测是否有浆液喷涌或流出，若有浆液喷涌、流出则重复上述步骤继续加固，若没有则将钢筋或撬棍深入注浆孔中搅动并用大锤击打，若进尺较快则重复上述步骤继续加固，若难以进尺则重新封堵注浆孔，进行下一步管片拆除检查；

(2) 待第一步检查无异常后，进入管片试拆除阶段，首先将棉麻、海绵条等应急物资准备就绪，在操作拼装机首先拆除 K 块管片，待 30 分钟观测无异后再进行后续工作，若出现浆液喷涌或流出等现象时，首先将棉麻、海绵条塞入缝隙中，并将拆除的 K 块重新拼上，并利用千斤顶油缸将 K 块顶紧防止喷涌，再重复上述加固步骤。

#### 4.2.5 盾尾同步油脂注入

为防止聚氨脂材料在注入时将盾尾油脂通道堵塞，在注入聚氨脂前，通过第二道与第三道盾尾刷之间的油脂注入孔注入油脂，将油脂通道填充密实，并在聚氨脂注入时，同时注入油脂形成反压，确保盾构重新起推后盾尾油脂密封运作正常，油脂注通道填充示意图参见图 5。

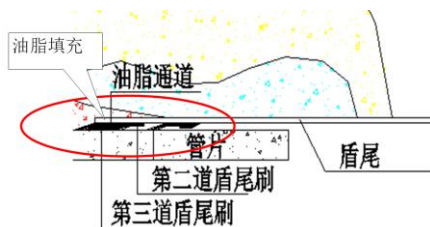
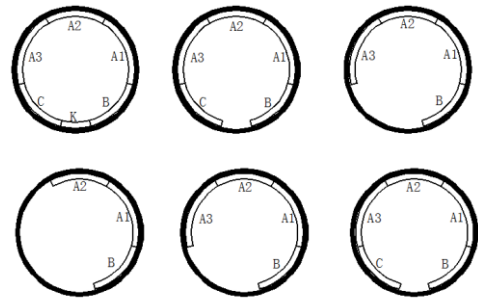


图 5 油脂注通道填充示意图

#### 4.2.6 更换盾尾刷

##### (1) 管片的拆除顺序

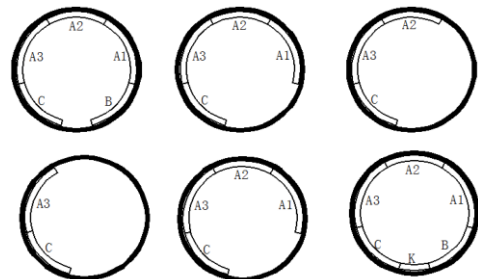
待加固注浆效果检查完成后，开始拆除盾尾中的管片，为确保更换盾尾刷时可及时应对突如其来的险情，管片拆除应半环，半环进行，首先拆除将一侧管片 K→C→A3 拆除并更换盾尾刷，待盾尾刷更换完成后将 A3→C 块管片按拼装顺序逐一拼装好，左半部盾尾刷更换管片拆除示意图参见图 6；



从下部6点位（时钟点位）开始拆除，逐一拆除K块→C块→A3块管片更换盾尾刷，待盾尾刷更换完成后将在逐一将A3→C块逐渐拼装还原。

图 6 左半部盾尾刷更换管片拆除示意图

待管片拼装完成后，在继续拆除 B→A1→A2 块管片，并更换盾尾刷，待盾尾刷更换完成后再将 A2→A1→B→K 块管片按顺序逐一拼装完成。右半部盾尾刷更换管片拆除示意图参见图 7；



待左半部盾尾刷更换完成并恢复左半部管片拼装后，再按照顺序依次拆除右半部B块→A2块→A3块并更换右半部的盾尾刷，待盾尾刷更换完成后再按照顺序将A3块→A2块→B块→K块逐一拼装还原。

图 7 右半部盾尾刷更换管片拆除示意图

##### (2) 更换盾尾刷

当管片拆除并确认无不良渗漏情况后，开始清除盾尾刷之间密封槽内的废油脂与浆液。对盾尾刷进行检查，对磨损严重没有使用价值的盾尾刷直接割除，并对割除区域进行磨光处理。对磨损较轻只是被浆液固结的盾尾刷进行清理，清理时采用钢筋钩梳理盾尾刷，盾尾刷清理要彻底。割除的部分要重新焊接新的盾尾刷，焊接质量要求相邻盾尾刷之间的间距不大于 3mm，且相邻盾尾刷之间焊接需采用坡口焊方式，坡口焊示意图参见图 8。

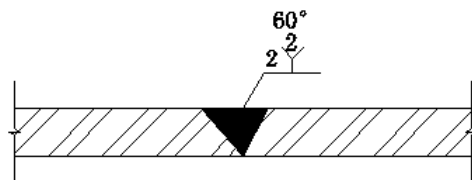


图 8 坡口焊示意图

(3) 待盾尾刷更换完毕后，当整环管片全部拼装到位时，16 组千斤顶同时加力，以便两环管片接触紧密，反复紧固整环所有螺栓。

#### 4.2.7 盾尾脱离加固区

待盾尾刷更换完成后,利用盾构机内加泥、加水设备向盾体外部注入十二烷基硫酸钠(K12)润滑盾体。K12注入参见图9。K12溶于水,分子量为288.88,HLB=40,属于亲水基表面活性剂,具有良好的分散性能,可将周围加固土体软化分解,使盾体与加固土体间形成空隙。



图9 K12注入图

在K12注入的同时,通过16组千斤顶油缸同时着力向前推进,待推力达到总推力的2/3时再慢慢收回千斤顶油缸,如此反复,直至盾体与加固体分离。

#### 4.3 劳动力组织

劳动力组织参见表1。

表1 劳动力组织情况表

序号	工作内容	所需人数	备注
1	钻孔工	6人	负责管片开孔
2	注浆手	6人	负责双液浆、单液浆及聚氨酯的注入
3	盾构操作手	2人	负责盾构推进及K12注入
4	辅助工	5人	负责搬运水泥、水玻璃、聚氨酯等材料
合计		19	

### 5 材料和设备

#### 5.1 主要材料

##### 5.1.1 水泥

- (1) 采用42.5普通硅酸盐水泥;
- (2) 材料在使用前检查,是否有结块,若出现结块必须立即更换;
- (3) 在运输过程中用彩条布遮盖防水。

##### 5.1.2 水玻璃

采用波美度为35B的水玻璃,其主要性能指标参见表2。

表6.1 水玻璃性能指标表

指标名称	二氧化硅%	氧化钠%	水不溶物%	铁%	波美度	模数
技术指标	≥24.6	≥7.0	≤0.20	≤0.02	0.35~0.37	3.5~3.7

#### 5.1.3 聚氨酯

聚氨酯采用油、水配比多组分防水材料组成,聚氨酯力学性能参见表3。

表3 聚氨酯力学性能表

序号	项目	I (油性)	II (水性)
1	拉伸强度/Mpa ≥	1.9	2.45
2	断裂伸长率/% ≥	450	450
3	撕裂强度 ≥	12	14
4	低温弯折性/℃ ≤	-35	
5	不透水性0.3Mpa30min	不透水	
6	固体含量/%	92	
7	表干时间/h	8	
8	实干时间/h	24	

#### 5.1.4 药性焊丝

药芯焊丝药粉填充系数为13~16%,主要选用TiO<sub>2</sub>含量为92%以上的金红石,占药粉重量的35~55%,铁粉占药粉重量的15~30%。另加适量的SiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO组成适当的熔渣,添加适量的含K、Na元素稳弧剂提高电弧的稳定性,添加适量铝粉、铝镁粉提高焊缝抗气孔的能力,添加适量Si、Mn铁合金获得相应的化学成分和力学性能。该焊丝的主要特点,电弧稳定、飞溅小、脱渣容易,细直径药芯焊丝适合全位置焊接。

#### 5.2 施工机具

富水砂层地质盾尾刷更换环向注浆加固施工机械参见表4。

表4 富水砂层地质盾尾刷更换环向注浆加固施工机械一览表

序号	机械名称	型号、规格	额定功率(KW)	用途
1	钻机	MD-50		管片补孔
2	注浆机	SYB50/45 II		注浆
3	二氧化碳保护焊机	MIG200		盾尾刷焊接

### 6 质量控制

#### 6.1 质量控制标准

富水砂层地质条件下盾尾刷更换施工质量按《地下铁道工程施工及验收规范》中壁后注浆及监控量测相关标准执行;

表5 富水砂层地质盾尾刷更换环向注浆加固施工质量控制表

序号	项目	允许偏差		检查方法
		单位	数值	
1	无侧限抗压强度	Mpa	1	测力计
2	注浆压力	Mpa	0.3	压力计
3	管片收敛	mm	3	收敛尺
4	拱顶沉降	mm	3	水准仪



## 6.2 质量控制要点

(1) 注浆压力不宜超过 0.3Mpa, 以免造成爆管或挤压管片;

(2) 管片收敛、拱顶沉降监测必须按照规范要求 2 次/d, 确保实施管片变化数据得到实施监测, 从而指导现场施工;

(3) 注浆时宜从隧道两腰开始, 注完顶部再注底部, 当条件允许时也可多点位同时注浆, 注浆后应将孔口封闭或关上球阀。

## 7 安全措施

(1) 建立以岗位责任制为中心的安全生产逐级负责制, 制度明确, 责任到人, 奖罚分明;

(2) 注浆管接头处需设置泄压阀, 防止管路拔出时高压浆液喷射伤人;

(3) 所有用电设备必须按照国家项规定装接, 确保用电安全;

(4) 所有注浆设备必须配备压力表, 且在使用前必须进行校正处理, 以免压力过大, 爆管伤人;

(5) 环向注浆加固施工需对管片 360° 注射, 因此在钻孔及安装球阀前必须佩戴好安全帽, 高处作业时须系安全绳, 做好安全防护措施;

(6) 在拼装机等大型机械运作前必须吹响警哨, 确保机械运作范围内无人员方可进行机械运作, 避免机械伤人事件发生。

## 8 环保措施

(1) 合理布置场地, 加强施工用材料的存放管理, 各类建材存放应定点定位。

(2) 洞内作业空间狭小, 所有废气、废料必须统一集中堆放至电机土箱内, 禁止随意丢弃, 造成气体污染;

(3) 洞内施工需做好通风措施, 通过外部送风、内部排风的方式形成气流循环, 提高洞内空气质量。

## 9 效益分析

(1) 环向注浆加固施工可减少对地面构筑物如沉降或地下破坏的影响, 且在一定程度上对隧道的一种补强处理, 可明显提高成型隧道质量, 具有显著的社会效益;

(2) 环向注浆加固施工具有取材方便、工序简单、施工便捷等优点, 能间隙工程的资金投入及时间投入;

(3) 从表 6 中可以看出相比与传统冻结加固, 环向注浆加固技术可有效降低工程成本, 节约工程造价约 62%, 缩短施工工期 75%。

**表 6 成本分析对比表**

项目名称	冻结加固费用 (元)	项目名称	环向注浆加固费用 (元)
人工费	21923	人工费	19000
材料费	氟	注浆材料	58590
	氯化钙	K12	2000

项目名称		冻结加固费用 (元)	项目名称	环向注浆加固费用 (元)
机械费	钻孔机	94453	钻孔机	2670
	冻结机组	58080	注浆机	3470
合计费用		226864	合计费用	85730
施工周期	天		施工周期	天
	20			5

## 10 应用实例

为解决好这一问题, 在确保富水砂层地质下盾尾刷更换安全的前提下, 为降低施工成本、缩短施工周期、减少后期影响, 武汉市市政建设集团有限公司通过模拟计算及实践操作, 总结出了以注浆加固为主要加固手段的富水砂层地质条件下盾尾刷更换施工工法, 并应用于轨道交通三号线一期第八 B 标段双王区间施工中, 在富水砂层地质下成功进行了盾尾刷的更换。

### 10.1 王家墩中心站区间工程

#### 10.1.1 工程概况

轨道交通三号线第八 B 标段, 双墩站~王家墩中心站区间线路起止里程分别为右(左)DK13+476.800 和右(左)DK15+144.880, 左线长: 1658.635m (其中短链 9.445m), 拼装管片 1106 环; 右线长 1668.080m, 拼装管片 1112 环, 共计拼装管片 2218 环。区间均在 4-1、4-2 地层穿越, 且工程拟建场地离汉江较近, 存在良好的水利补给关系。

#### 10.1.2 施工情况

区间主要在 4-1、4-2 粉细砂层中掘进, 盾构掘进期间先后更换盾尾刷 5 次, 避免在深埋富水砂层中因盾尾刷磨损而造成的险情。轨道交通三号线一期工程第八 B 标段土建工程武汉市轨道交通三号线第八 B 标段土建工程双墩站~王家墩中心站区间工程于 2013 年 10 月开工, 2014 年 12 月结束。

#### 10.1.3 工程监测与效果评价

轨道交通三号线一期工程第八 B 标段土建工程双墩站~王家墩中心站区间工程以“动态信息化施工”为指导思想, 通过提前判断并更换盾尾刷, 顺利的完成了长约 1.6 公里的区间掘进任务, 并成功穿越了空军仓库、空军一号院等敏感建构筑物。受到了建立及业主的一致好评。

### 10.2 双墩站区间工程

#### 10.2.1 工程概况

轨道交通三号线第八 B 标段, 宗关站~双墩站区间线路起止里程分别为右(左)DK12+476.177 和右(左)DK13+318.200, 左线长: 845.997m (其中长链 3.974m), 拼装管片 564 环; 右线长 841.831m (其中短链 0.192m), 拼装管片 561 环, 共计拼装管片 1125 环。区间均在 4-1、4-2 地层穿越, 且工程拟建场地离汉江较近, 存在良好的水利补给关系。

### 10.2.2 施工情况

区间主要在 4-1、4-2 粉细砂层中掘进，盾构掘进期间先后更换盾尾刷 3 次，避免在深埋富水砂层中因盾尾刷磨损而造成的险情。轨道交通三号线一期工程第八 B 标段土建工程武汉市轨道交通三号线第八 B 标段土建工程宗关站~双墩站区间工程于 2015 年 1 月开工，2015 年 7 月结束。

### 10.2.3 工程监测与效果评价

轨道交通三号线一期工程第八 B 标段土建工程宗关站~双墩站区间工程以“动态信息化施工”为指导思想，通过提前判断并更换盾尾刷，顺利的完成了长约 860m 的区间掘进任务，并成功穿越了京广铁路桥、汉南社区 8 层楼、轨道交通一号线等敏感建构筑物。在规定节点内完成了隧道双线贯通的任务，得到了业主及监理单位的一致

好评。

### 【参考文献】

- [1]李海波,李治家,刘晓波.富水粉砂地层盾尾密封改造在施工中的应用[J].中国建设信息化,2021(11):76-78.
  - [2]陈璐,胡俊,高林,王志鑫,曾东灵,吴雨薇.盾尾刷更换时环形冻结加固结构温度场数值分析[J].科学技术与工程,2021,21(4):1593-1600.
  - [3]常润安,胡俊.北京地铁 17 号线朝十区间盾尾刷更换技术研究[J].土木工程学报,2020,53(1):213-219.
- 作者简介:余守龙(1989.4-)男,毕业院校:湖北工业大学,所学专业:工程管理,当前就职单位:武汉市政建设集团隧道工程公司盾构分公司,职务:副经理,职称级别中级、二级建造师。