武广客运专线武汉工程试验段

岩溶及红黏土路基注浆施工工法



中铁八局集团武广客运专线试验段项目经理部

二〇〇七年六月三日

目　录

1 前言.....1
2 工法特点.....1
3 适用范围.....2
4 工艺原理.....2
5 工艺流程及施工工艺.....3
5.1 工艺流程.....3
5.2 施工工艺.....3
5.2.1 施工准备.....3
5.2.2 施工工艺.....4
6 机具设备.....9
7 劳动力组织.....9
8 安全环保要求.....9
8.1 职业健康安全.....10
8.2 环境保护.....10
9 质量要求.....10
10 效益分析.....11
11 应用实例.....12

客运专线铁路岩溶及红黏土路基注浆

施工工法

1 前言

注浆法是指利用液压、气压或电化学原理，通过注浆管把浆液均匀地注入地层中，浆液以填充、渗透和挤密等方式迫使土体颗粒间或岩隙中的水份和空气排出，经人工控制一定时间后，浆液将原来松散的土粒或裂隙胶结成一整体，形成一个结构新、强度大、防水性能好和化学稳定性能好的结合体。

新建铁路武广客运专线 DK1229+536～DK1231+145 段下覆基岩为二迭系灰岩，弱风化，岩溶较为发育。受风化作用影响，其上覆原生红黏土，地层从地表向下由硬变软，相应地，土体强度及压缩模量逐渐降低，压缩性逐渐增大，靠近基岩 0.5～3.5m 范围内基本为软、流塑土，其基本承载力不足 100kpa。为防止路基工后沉降大于 15mm，本段共计 640m 范围的路基须对软塑红黏土及岩溶进行注浆加固，注浆方法采用大管径逆序注浆工艺。

本工法是在结合试验段的地质条件，结合现有装备水平、注浆材料，不断探究注浆工艺及注浆前后的各项检测指标对比后归纳总结形成的。

2 工法特点

2.1 施工机械常规、市场数量大、体积小，设备轻捷，移动方便。

2.2 利用探灌结合，取钻孔总数的 20%进行地质复核，进一步揭示软塑红黏土及溶洞的分布范围及深度，无需进行其它方式的地质核查。

2.3 采用大管径（φ108）套管依次从上往下分段注浆施工，浆液同土体接触面大，能有效减少注浆压力在管道中的损失，提高出浆口压力，增大浆液扩散范围和浆液渗透的均匀性，提高土体及岩溶加固效

果。

2.4 护壁套管作为注浆管，无需采用止浆栓塞、注浆花管等，且套管回收率可达 98％以上，可有效提高钻孔经济效益。

2.5 注浆压力介于常规注浆和旋喷之间,最大注浆压力可达到 3.0MPa 以上，为浆液渗透、挤密提供良好的“动力”。

2.6 土层中采用干钻或无水反循环钻进，护壁套管跟管钻进，使套管与周围土壁结合良好,能有效防止压力注浆过程中从孔壁周围冒浆现象，“逼迫”浆液向周围扩散。

2.7 土层边钻进边注浆，能有效减少钻孔结束混凝土（砂浆）封孔致使的施工间歇。

2.8 注浆结束后，可在注浆孔中采用加入钢筋笼，形成微型桩，形成复合地基，能有效减少桩间土应力，降低地基沉降。

2.9注浆前后进行物探及注水试验,可有效确定注浆加固的实际效果。

3 适用范围

本工法适用于对粉土、黏性土、特殊性土（如：黄土、软土、膨胀土、人工填土）及破碎岩石等的地基加固。可广泛用于公路、铁路、机场以及对地基不均匀沉降要求较高的超高层建筑的地基加固工程。

4 工艺原理

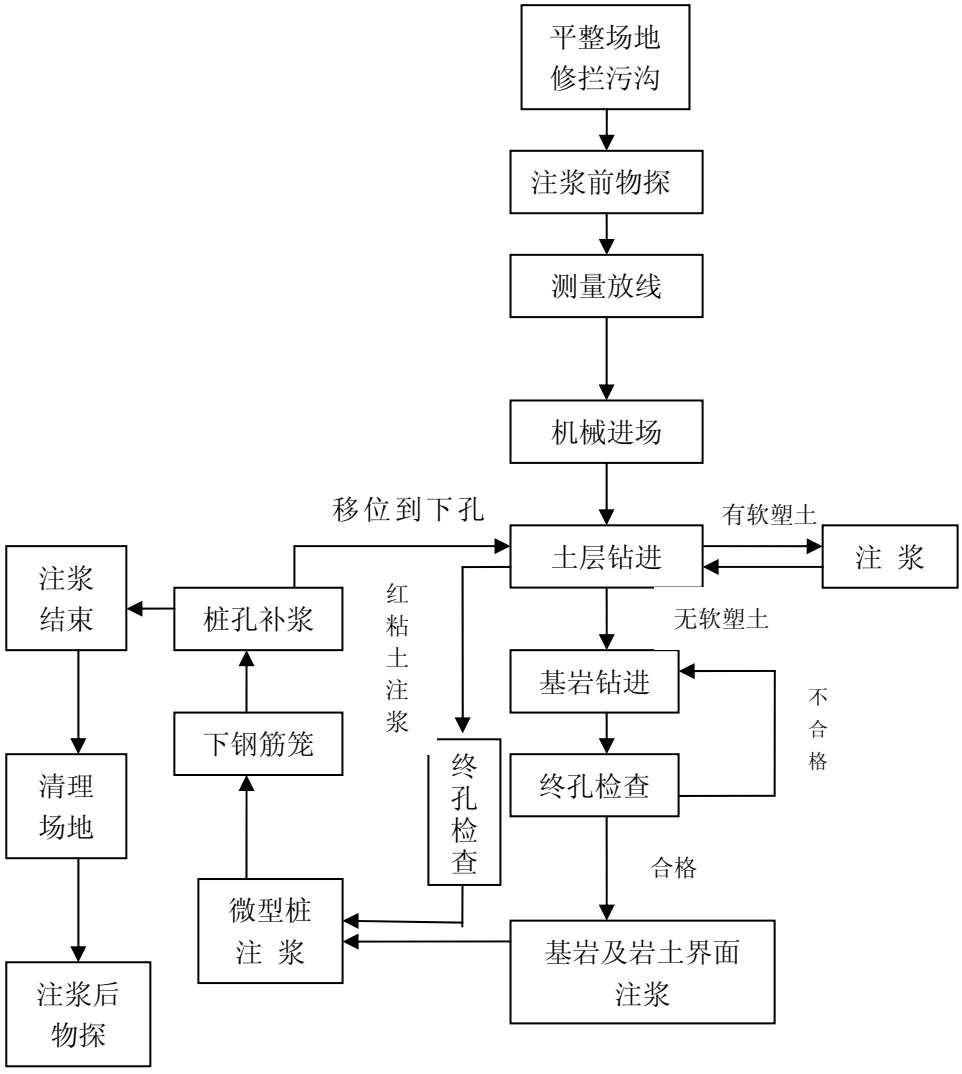
利用惰性材料形成的浆液，在一定压力作用下注入岩溶裂隙、溶洞中以及软塑黏土体孔隙中，填充岩溶溶洞及岩溶裂隙，封闭岩、土界面，形成隔水帷幕，阻隔上层滞水与岩溶水的联系；如土体中存在着软弱夹层，再进行加固土体软弱夹层，并在注浆孔中加入钢筋笼形成微型桩的复合加固体系。通过注浆填充液凝固后，具有的刚性和强度而改变岩层及土体的性状，使岩土的变形受到约束，强度得到提高，从而达到控制地基整体沉降、减少

变形的效果。

5 工艺流程及施工工艺

5.1 工艺流程

注浆加固地基施工工艺框图



5.2 施工工艺

5.2.1 施工准备

5.2.1.1 平整场地：按照设计确定的路基断面型式及高程对施工场地进行开挖、平整，考虑到岩层中采用射水钻进，部分泥浆将浸润地基

表层，致使注浆后地表承载力不足，故平场时应至少预留 50cm，待注浆结束后方可平整到设计高程。

5.2.1.2 施工放线：按照设计图纸，在计算机中画出注浆范围及线路中线，并根据设计规定的注浆点布置原则，标出各注浆点位置及平面坐标。现场根据标定的孔位坐标放样钻孔注浆点并实际测量注浆孔点高程。

5.2.1.3 管线勘探：施工前应向有关部门收集和调查地下设施、地下管线的具体位置，不明确时可采用物探与开挖相结合，以确认地下是否存在管线后方可进行施工，施工过程中应随时注意周围的水利设施情况和地下水位情况。

5.2.1.4 地质核查：在正式施工前，尚应对注浆场区进行物探和超前地质勘探。物探可采用普通电法、高密度电法、瑞利波法、地质雷达法中的一种或几种结合分析，具体情况应根据现场实际和设计加固深度确定。超前地质勘探应利用探灌结合，选取生产孔总孔数的 20～30%进行先导勘探和注水试验或压水试验。总之，地质核查的目的是进一步探明岩溶发育情况和软塑红黏土分布范围及厚度，以确定合理的岩溶地基处理相关参数、施工工艺及注浆效果检测方法。

5.2.2 施工工艺

5.2.2.1 钻孔

（1）土层钻孔采用合金钻头，岩层钻进采用金刚石钻头。

（2）为防止射水钻进孔壁软化致使套管同孔壁接触不紧密且泥皮封堵致使浆液难以注入，土层钻进一律采用干钻或无水反循环，当遇碎

石夹层或其它异常情况难以钻进、钻头严重发烫时，可从钻芯少量射水钻进。进入岩层后，采用射水法钻进。土层钻进取芯率必须达到90％以上，岩层钻进取芯率必须达到80％以上且溶洞充填物必须取出，并能准确判断溶洞填充情况。

（3）硬塑土层钻孔采用φ91钻头开孔，φ108注浆套管跟进直至软（流）塑土层顶部以上1m，然后向下钻进1m，注浆1m，套管跟进1m，周而复始直至岩面。

（4）岩层钻孔采用φ91钻头钻进，钻入基岩深度不小于6.0m，若钻进过程中发现岩溶，则须保证进入岩石深度不小于6.0m外，还需保证进入溶洞底板深度不小于1.0m，注浆套管嵌入基岩深度不小于0.2m。

（5）钻孔过程中，应及时填写钻孔记录，土层、石灰岩应整齐、有序保存好钻孔取出的岩芯并标识，土体钻进过程中，须准确判断、记录土体物理状态。

（6）土体物理状态的界定：每个工点开工前，应选择有代表性的土样进行室内试验，依据《铁路工程土工试验规程》（TB10102-2004）对土体 W、WL、WP 进行测定并计算 IP、IL，并根据《铁路桥涵设计规范》（TBJ2-96）对黏性土体稠度状态进行界定，并根据界定结果确定野外识别的基本经验。

野外对土体稠度状态的识别可采用经验识别法。对原生红黏土而言，一般情况下，削掉芯样表面 1-2cm 后，若中指难以按入即可判为硬塑状态，反之可判定为软塑状态。但对次生红黏土而言，由于在漫长的地质搬迁过程中，可能混入较多的碎石等，野外判别时应注意选

取无碎石的区域，以免造成土体稠度状态判定错误。

5.2.2.2 注浆

（1）注浆材料

①注浆用的水泥采用普通硅酸岩水泥，水泥标号为 PO32.5。水泥应保持新鲜，一般不应超过出厂日期三个月，受潮结块不得使用，水泥的各项指标应符合客专验收标准。水玻璃采用 35～43Be′,模数在 2.4～3.0,砂和粉煤灰均应符合现行客专标准。

② 纯水泥浆：水灰比 W/C＝0.8～1.2，根据先导孔、本孔钻进揭示的石灰岩裂隙、溶洞及土体情况决定起始水灰比，并根据吸浆量随时调整水灰比。通常情况下，水灰比应是由稀变浓。水灰比的测定采用比重计法，施工前，分别调制 W/C＝0.8、0.9、1.0、1.1、1.2 的水泥浆，分别测定并记录其比重，作为今后控制水灰比的依据。水灰比 W/C<0.40 的水泥浆用于钢筋笼下放后，孔内填浆。

③ 水泥砂浆：水：水泥：砂＝0.6:1.0:1.0,用于填充较少的溶洞在初次纯水泥浆快速加注后对岩溶孔填充。

④水泥水玻璃浆：当地表冒浆、浆液扩散较远或岩溶连续注浆 15t 水泥仍不见压力上涨及基岩面以上土层最后一次注浆封堵，水玻璃掺量按水泥用量的 3～5％。孔口管壁周围封堵采用水泥水玻璃浆，封堵深度、范围及水玻璃掺量根据现场实际情况确定。

（2）土层注浆

① 在软塑土层上1.0m处开始注浆。软塑土层中，每钻进1m，注浆一次，下注浆导管（φ108）1m。然后清孔后钻进1m，再注浆1m，再

下注浆导管1m,如此反复直至基岩面,并嵌入基岩面以下不小于0.2m。注浆管采用护壁导管（φ108）,直接从孔口注浆，下注浆导管时，必须采用棉纱或干海带紧缠导管3m以上，并用水泥水玻璃浆封堵孔口，确保导管同孔洞周围无间隙。

② 若土层钻进过程中未见软塑土层，则将注浆导管下口砸至岩面以上3.0m，直接注浆，形成水平帷幕。

③ 土层注浆压力一般0.3～0.5Mpa，最大压力1.5Mpa，施工过程中应根据注浆情况调整注浆压力。

④ 应保证先线路外侧，后线路内侧的钻孔、注浆原则，并跳孔施工。

⑤土层注浆结束标准:

i 延米注浆量达到300～350L，即可进入下一轮注浆;

ii 注浆压力逐步增大，当注浆压力达到1.0Mpa，注浆量明显减少并持续30min,可终止注浆进入下一轮注浆。当注浆压力达到1.5Mpa即可停压。

iii 注浆过程中发现冒浆可暂停注浆，孔口封堵后继续注浆，应减少压力或加大注浆浓度。当采取上述措施仍冒浆，可暂停注浆，但临孔注浆应予以加强。

（3）岩（层）溶注浆:

① 上部软塑土注浆结束后，进入岩层（溶）钻孔、清孔、注浆。

② 一般工作压力0.3～0.5Mpa，最大压力1.5Mpa，岩溶（层）采用一次性从孔口注浆到位。

③注浆以单水泥浆为主，溶洞灌注水泥砂浆。地表冒浆或浆液扩散较远时，采用双液注浆。

④ 岩溶（层）注浆结束标准:

ⅰ 注浆量小于20L/min,注浆压力达到0.5～1.0Mpa,持续30min,可停止注浆;

ⅱ 岩石节理不发育，当注浆压力达到1.0～1.5Mpa，浆液难以进入时，可停止注浆。

ⅲ 单孔注浆量达到平均注浆量1.5～2.0倍以上，且注浆量明显减少时。

ⅳ 冒浆点已出有效距离3～5m时。

5.2.2.3 跟管及拔管

（1）跟管：土层钻进过程中采用φ108 地质管跟管钻进，为便于套管的打入和拔出,套管长度应尽量1m一节,且管壁厚度应不小于6mm,以便于内外攻丝连接。跟管钻进时，应根据现场地质情况、地下水位高度确定套管口距离钻头的最大距离，一般情况下，其间距不宜大于2.0m。吊锤重量应根据现场地质情况确定，吊锤的使用原则为：勤打锤、低落锤、锤心准。

（2）拔管：整孔注浆结束后将套管下口提至软塑土中，待微型钢筋笼安装完毕后边换浆、边拔管。拔管采用钻机卷扬带动吊锤反打与钻机液压同步顶进，若遇水泥浆液严重固结套管，应采用100kg以上大吊锤向下锤击套管，破坏管壁与孔壁的粘结后方可拔管。

5.2.2.4 微型桩施工

整孔注浆结束后，及时进行清孔，将土层及岩面下0.2m范围内的杂物清除干净，然后将焊接好的钢筋笼连同注浆小导管（φ20）放入基岩面以下0.2m，钢筋笼顶至地面，多余切除。将M15水泥砂浆(水泥浆（W/C<0.40））从下往上连续灌浆，并将注浆小导管上提，边灌边拔，直至地面。

6 机具设备（见表 1）

表 1 机具设备

序号	设备名称	规格	单位	数量	主要用途
1	地质钻机	100 型	台	3	地质勘探、钻进成孔
2	压浆泵	BW200	台	1	注浆
3	浆液搅拌机	SM200	台	1	搅拌浆液
4	储浆桶	1000L	个	1	储备浆液
5	高压注浆管	φ25	m	150	注浆
6	注浆套管	φ108*6	m	80	护壁、注浆用
7	吊锤	60kg	个	1	打、拔管
8	压力表	5MPa	个	3	测定孔口注浆压力
9	流量计	水泥浆用	个	3	测定注浆留量
10	管阀	φ25	个	3	连接注浆管与套管
11	扳手等工具		套	1	修理设备等

7 劳动力组织（见表 2）

表 2 劳动力组织

序号	工种名称	工作内容	数量	备注
1	现场领工员	设备调度、工作安排、指挥	1	
2	现场技术员	处理钻进、注浆过程中的各种技术问题	1	
3	地质记录员	钻孔、注浆记录、描述	1	
4	钻机工	钻孔，清孔，打、拔管	6	
5	注浆工	搅拌浆液、注浆等	3	
6	电 工	设备接电、照明等	1	
7	杂 工	清除泥浆、装卸材料等	3	

8 安全环保要求

8.1 职业健康安全

8.1.1 非设备作业人员不得擅自触动设备的电器设备，工作结束后必须切断电源，锁闭电器箱柜门。

8.1.2 电器设备与供电线路绝缘性能应安全可靠，电缆线路接口必须牢固，确保不漏电、透水，严禁电缆线在地上拖行。

8.1.3 钻机及三角架在施工中和移位时应放置平稳、牢固，防止倾斜倒塌。

8.1.4 注浆泵必须安装回浆阀,并保持畅通,拆除注浆管路时,应先打开回浆阀,释放压力

8.2 环境保护

8.2.1 开工前，应在注浆场区设置综合给、排水系统，路基应设置横向排水坡，防止污水漫流。

8.2.2 施工时，保持现场规范整洁，无用材料要及时收集整理归位。

8.2.3 凡施工作业生产的污水，必须控制污水流向，防止蔓延。并在合理位置设置沉淀池，经沉淀后方可排出施工污水，严禁污染环境。

8.2.4 注浆时，密切注意周围的池塘等情况，避免漏浆造成水污染。

8.2.5 所有机械废油回收利用或妥善处理，严禁随意泼倒。严禁对鱼塘造成污染。

9 质量要求

9.1 注浆孔应严格测量定位，应确保钻孔倾斜不得大于 1%，孔位偏差不得大于 5cm。

9.2 钻孔、注浆必须严格执行相关施工方案，未经允许，不得更改，

尤其是注浆结束标准，必须严格执行。

9.3 认真作好施工记录，发现问题及时上报，注浆过程注浆量的确认最好采用自已记录仪。

9.4 注浆前后用电法(或面波法、雷达法)在注浆前后的曲线变化进行对比,检验注浆效果;

9.5 注浆前后钻孔注水试验的单位长充吸水量对比,检查岩溶注浆效果.一般注浆后单位吸水量应小于注浆前吸水量的3~5%,且不存在明显漏水现象;

9.6 钻孔取芯及标贯验证:

9.6.1 钻孔检查灰岩基岩面以下岩芯,根据取芯浆液充填情况直观判断注浆效果;

9.6.2 灰岩面以上软塑层注浆前后的标贯对比及取样观察物性及水泥含量,对比土体物理力学指标变化;

10 效益分析

通过在武广客专试验段路基加固施工中的应用,大管径逆序注浆工法基本形成了较为完善的施工工艺,注浆后对地层加固效果明显。

从现场实践来看,该工法具有灵活、机动，机械简单，可大量机械同时进行施工，在一定工期、一定数量的机械设备情况下，该工法具有较大的优势,并且施工中机械型号单一,施工质量容易得到保证。通过试验段的现场实践，注浆效果十分明显，尤其是对软土承载力的提高很大，完全达到了设计要求的注浆效果，运用该工法加固地基尤其是对路基工后沉降要求极为苛刻的高速铁路,其经济效益和社会效

益是十分明显的。

11 应用实例

在位于武汉市江夏区的武广客专试验段中，应用该工法对640m岩溶地段共计11万米注浆孔进行的地基加固，通过中科院武汉岩土研究所对注浆前后综合检测，证明采用该工法处理的软塑红黏土基本承载力有明显可提高，岩溶、溶隙可基本填充毕，为路基进入下一工序奠定了良好的基础。

中科院武汉岩土力学研究所对武广客运专线DK1229+536～+632、DK1230+170～+305、DK1230+970～DK1231+145、DK1231+072～+102岩溶注浆段加固效果评价报告综述意见意见如下:

“通过对以上各段物探资料及钻探成果的分析，得到如下结论:

1、DK1229+536～+632段，注浆使得深度5～8米内，超过1米以上的较大溶蚀区域大部分得到了充填，10米深度内无大型溶洞反映，注浆效果较好。

2、DK1230+170+305段、DK1230+970～DK1231+145段，基岩面以上软塑土层注浆后，电阻率有10～40%的增加，基岩表层电阻率增加较大，部分地段电阻率增加近2倍或以上，增加的幅度与龄期、浆液水灰比、施工工艺参数等有关，注浆后养护时间越长（超过20天以上），物探结果反映越清楚。说明该两段注浆效果明显。

3、DK1231+072～+102段，注浆后软塑土层电阻率普遍有10～20%的增加，个别位置增幅更大；面波波速从500～700m/s提高到650～850m/s，提高了10～15%左右，基岩表层电阻率提高了10～15%或以

上。

4、DK1231+072～+102段的钻探、静力触探及注水试验也表明，注浆以后软塑土层的承载力特征值和压缩模量分别提高至1.45和1.4倍；注浆后的岩土层综合渗透系数为注浆前的80%；但随着距注浆孔距离的增加，注浆加固效果减弱，同时部分位置也存在着浆液分布的不均匀性。”