

大型嵌岩锚碇基础施工关键技术

王艳峰 李奔琦

中铁大桥局集团有限公司 湖北武汉 430050

摘要:五峰山长江大桥南锚碇采用直径87m底部呈台阶状的圆形扩大基础,基坑最大开挖方量18.7万方,其中岩层方量达10万方,最大开挖深度为38m。施工时创造性采用底部平面不闭合的圆形地下连续墙结构,岩层采用预裂爆破、岛式与盆式开挖法相结合进行开挖,施工中进行了应力变形监控,基础混凝土采用了水化热仿真分析、冷却水降温,错层分区、分块循环浇筑的方式。

关键词:地连墙;预裂爆破;混凝土浇筑;温控;监控

一、概述

五峰山长江大桥为连锁铁路关键控制性工程,主桥为(84+84+1092+84+84)m公铁两用悬索桥(见图1),为我国首座高速铁路悬索桥。南锚碇采用处于基岩的直径87m的圆形扩大基础,基础底面顺横桥向基岩高程呈台阶布置,基底持力层主要为微风化凝灰岩。

南锚碇位于五峰山山壑间(见图2)。基础范围内岩面高差约30.3m,岩面最高最低高差达24m,局部破碎,基岩抗压强度最大达50MPa,且不均匀。

二、基坑防护结构设计

受山体高差影响,基础施工时须考虑南北向山体、东西向沟壑产生的不均匀荷载影响,基坑开挖深度最大达到38m,基坑防护结构需承受不对称土压力。为保证南锚碇基础开挖安全,同时为减少开挖土方量,南锚碇基坑采用底部平面不闭合的圆形地连墙结构进行防护,地连墙顺应岩面倾斜变化亦设计成高低不同的阶梯状。

地连墙外径90m,壁厚1.5m,嵌入基底不小于2m。地连墙顶标高+4.5,底标高-17.435~-36.435,墙高约

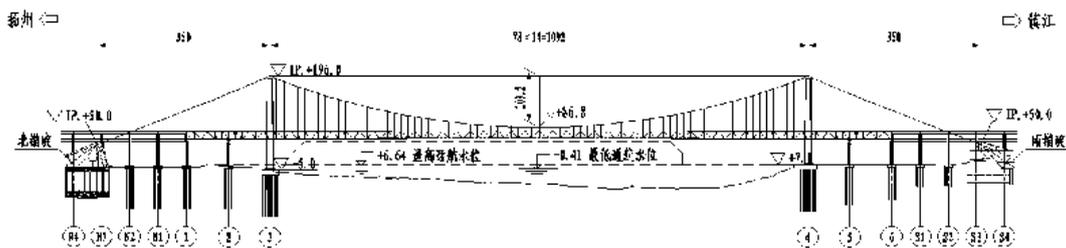


图1 五峰山长江特大桥立面布置图

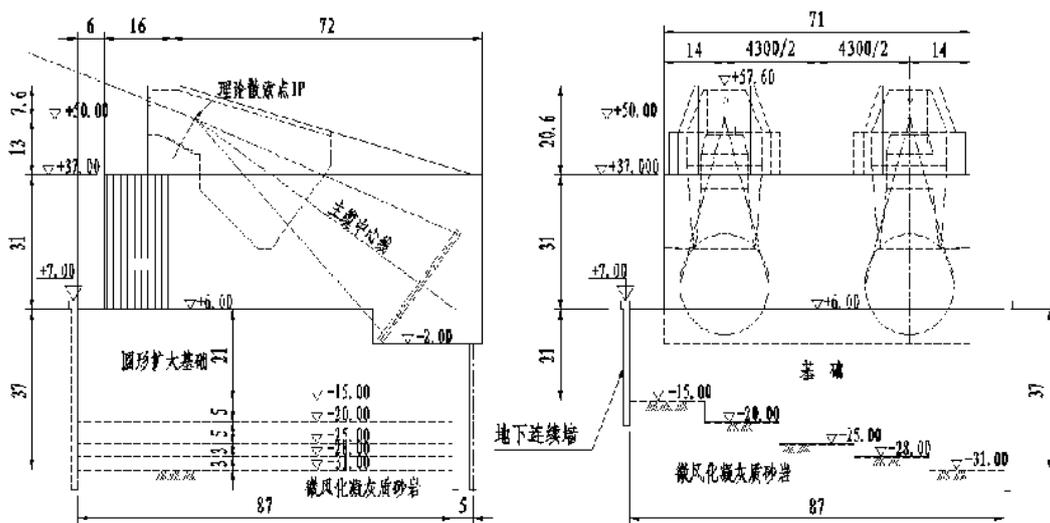


图2 南锚碇布置图

21.2~41m。地连墙顶设帽梁，槽段嵌入帽梁10cm，下嵌入微风化岩层不小于2m。

基坑开挖时，对地连墙结构进行变形、应力监测，监测元件布置在地连墙槽段钢筋笼相应位置，随钢筋笼一起下方到位，并采用有限引至地面，随时采集监测数据，埋设与槽段受力方向一致。从监测结果来看，实测值均小于理论计算值，反应基坑处于安全可控状态（见图3）。

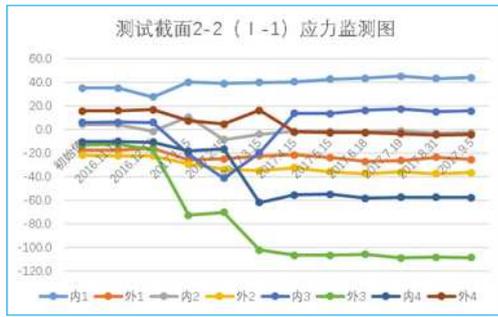


图3 某截面地连墙槽段应力情况（单位：MPa）

三、地连墙成槽技术^{[1][4][5]}

地连墙周长278.031m，共分64个槽段，I期、II期槽段各32个，采用铣接头，即I、II期槽段间搭接0.26m。I期槽段长6.4m，三铣成槽。

地连墙具有厚度大、嵌岩深度深（平均16.30m）、岩体较破碎、强度不均匀等特点；通过多方案试验，最终采用“冲击钻引孔+铣槽机铣槽”进行施工，工期可控，安全质量有保障。

施工时，先采用液压抓斗“纯抓法”施工覆盖层。到基岩时，再采用冲击钻成孔至槽段底，I期槽分2到4个冲击孔（见图4），II期槽成孔数量为1个（槽段中间），当冲击钻钻进至墙底标高，使基岩形成蜂窝状结构，再用液压铣槽机进行成槽。

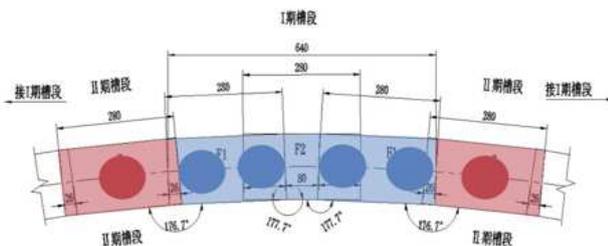


图4 冲击钻引孔图

南锚碇地连墙采用冲击钻引孔、铣槽机铣槽的复合工法，相比传统铣槽机成槽法，设备磨损减小，成槽效率高，成槽质量好，大大节约了工期。综合岩石内铣进速度提高了57%，大大节约了工期。（见下表1）

四、超大深基坑开挖技术^[2]

南锚碇基础基坑最大开挖深度为38m，开挖土石方

表1 两种施工方法对比表

施工方法	岩层铣进速度 (m/h)	平均非工作时间 (h/m)	综合效率 (m/h)
铣槽机铣槽	0.29	1.21	0.21
冲击钻引孔+铣槽机铣槽	0.42	0.55	0.34
差值	0.13	-0.66	0.12
变化比例	43%	-54%	57%

约18.7万方。基坑采用“逆作法”施工，即每开挖一层，内衬施工一层。为提高施工效率，综合考虑各施工方法的优缺点，最终选用岛式开挖法和盆式开挖法相结合的施工方法，第一阶段（+7m ~ -1.5m）采用岛式开挖法，采用预留马道法取土，运土自卸车由斜坡道直接进入基坑内部，装土外运。第二阶段（-1.5m ~ -31m）采用盆式开挖法，吊机垂直取土，由顶部运输车直接运输至场外。为防止内衬出现混凝土裂纹及收缩变形，同时综合基坑开挖效率考虑，将每层内衬分十二个22.8m长（外周长）的单元进行施工，且每层设置一个长3m的后浇段，相邻两层施工缝错开布置。

为保证内衬与地连墙的连接质量并最终参与共同受力，在地连墙施工时预埋直螺纹钢筋连接器与内衬钢筋相连，在绑扎地连墙槽段钢筋笼时，布设连接套筒。施工内衬时，先由人工在套筒周围凿出并将混凝土接合面凿毛，其余区域均采用凿毛机凿毛。凿毛机平均施工工效为10 ~ 12m²/h，相较于人工，工效大大提高，另外采用凿毛机免搭作业平台，作业环境大大改善。为保证内衬冬期施工效率及质量，加快流水作业，混凝土采用全自动电加热蒸汽发生器进行养护。

基坑内岩层开挖时，为保证基坑周边地连墙防护结构、两侧山体边坡等安，须控制爆破振动。岩层开挖时，先沿基坑周围开预裂槽道（预留内衬空间），将墙体与待爆破岩层隔离开；其次在基坑中心拉槽“掏心”，形成爆破凌空面，再顺时针分区定向预裂爆破。降低爆破振动，减少了对周围高边坡及结构物的安全影响。具体布置见图6。

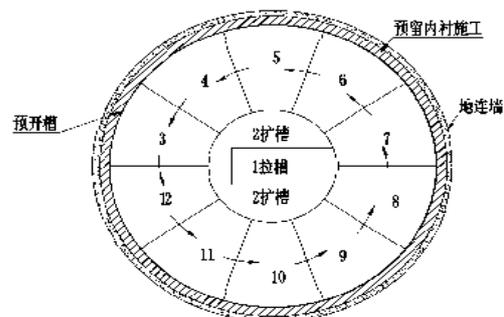


图6 爆破总体布置示意图

五、大体积混凝土施工技术^[3]

南锚碇基础直径87m，高37m，混凝土18万方，属超大体积钢筋混凝土结构，结合现场施工组织情况，采用错层分区、分块浇筑，块段间竖向错缝布置。锚碇基础共分为11层施工，层高中为3m×2+3.5m+4m×4+3.5m+3m×3（其中最后一层含1m高锚体部分），平面分四块浇筑。

模板采用钢模，为减小立模高度，采用水平台阶错缝浇筑，相邻浇筑块高差控制在3m以内，除第一次外，后续的浇筑块控制立模高度不超过3m，即将模板立在相邻浇筑块上（见图7）。

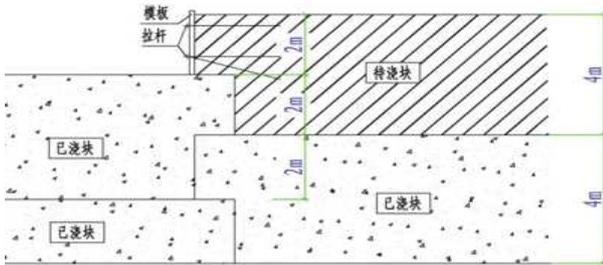


图7 模板安装示意图

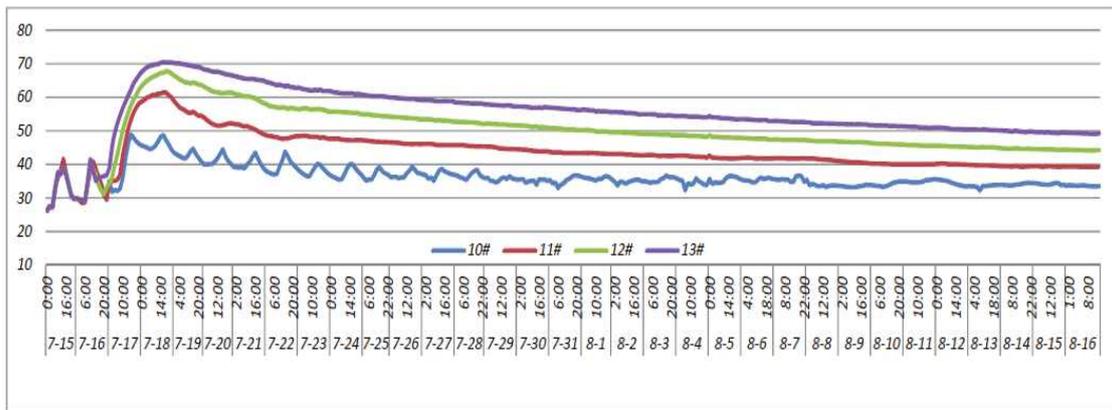


图8 基础第5层10~13#测点月度温度变化时程曲线

好，大大节约了工期；基坑土石方采取盆式开挖，吊机吊斗取土逆作法开挖土石方，内衬采取合理分段、机械凿毛机凿毛、冬季蒸汽养护等新措施保证基坑开挖的顺利实施；岩层通过“多打孔，少装药”的减弱松动爆破，并在周边设置预裂隙爆破等措施，有效保证爆破振动影响。针对基础超大体积混凝土，通过合理的分层分块、竖向错缝、温度控制等措施有效保障南锚碇大体积施工质量。

大型嵌岩锚碇基础施工技术已在五峰山长江大桥得到成功运用，实施效果良好，为后续同类施工提供了参考借鉴。

参考文献：

[1]杨国春，尹洪峰，傅丰均.《大直径硬岩钻进技

混凝土温控先采用大型有限元软件进行分析，并采取在混凝土内设冷却水管通水降温的措施。冷却水管采用直径Φ32mm，壁厚1.5mm的普通钢管，布管间距采用1m，冷却水采取250m³/h水泵、Φ150mm主供水管道通过高压水包，直接向各路设置有调节阀门的进水管连续供水。

第1层浇筑时，直接利用滑槽进行布料；第2~12层浇筑时，内衬周边15m范围内用内衬导管及10m长滑槽进行布料，中心部位用1台28m布料机+1台18m布料机布料。

实施过程中，通过数据自动采集监控混凝土内温度变化情况（见图8），如超出设定值则进行报警，现场采取相应措施实时调整。

六、结语

南锚碇作为五峰山长江大桥的关键施工控制点，面临周边环境复杂、岩层破碎、施工场地狭小、基坑开挖深、浇筑方量大等诸多施工困难，因地制宜首创采用底部平面不闭合的圆形地下连续墙结构进行防护，保证了基坑开挖安全；地连墙采用冲击钻引孔+铣槽机铣槽的新型复合工法，减小了设备磨损，提高了成槽效率，成槽质量

术的探讨》.长春工程学院报—自然科学版，2005年03期7~9.

[2]傅洪贤，牛晓凯.《大跨度超浅埋复杂岩层隧道爆破开挖方案研究》.工程爆破，2005年04期32~34.

[3]江昔平，王社良，段述信，孙焯.《超大体积混凝土温度裂缝产生机理分析与抗裂控制新对策》.混凝土，2007年12期98~102.

[4]刘加峰.《双轮铣槽机在坚硬花岗岩地质条件下的地下连续墙施工应用》.建筑施工，2016年02期193~195.

[5]蔡龙成，李建高.《地下连续墙成槽设备选型》.铁道建筑，2011年第9期75~77.