

多年冻土地区桥梁桩基础施工技术

郑 翔

(中铁十六局集团第五工程有限公司,河北 唐山 063030)

摘 要:多年冻土地区铁路桥梁工程往往由于地基的冻融作用,不良冻土地区现象(如冻胀丘、冰椎、热融塌坍等)的影响,会产生各种工程病害,从而影响工程使用。结合多年冻土地区冻土特征,介绍青藏铁路桥梁工程设计概况,详细总结了多年冻土区桥梁桩基础施工工艺及方法、保证工程质量的技术措施、施工中遇到的问题及解决方法。

关键词:冻土地基;桩基础;施工技术

1 青藏铁路多年冻土地基特性及桥梁设计概况

1.1 冻土地基的工程特性

1.1.1 冻胀性

在自然界中,受大气温度变化的影响,土体中的水分产生相变,从而土体积膨胀或收缩,膨胀现象,称为土体的冻胀,收缩现象,称为冻土融化。膨胀现象,是由于土体在冻结过程中,水分冻结成冰,体积膨胀而引起的。土体的冻胀性受土体埋深、土体含水量、土颗粒粒径、土体密度等因素影响。冻土地基的冻胀性,是影响多年冻土区工程结构物尤其是桥梁工程稳定性的重要因素。

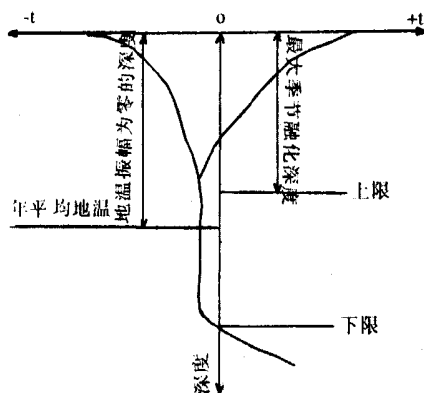


图 1 多年冻土基本特征示意图

1.1.2 冻胀力

地基土冻结时,封闭体系中,冻土水分冻结体积扩张的内应力,开放体系中,孔隙水侵入推开土颗粒并冻结所产生的力,称为冻胀力。

冻胀力作用于基础表面,当工程结构物的重量和附加荷载不足以与之平衡时,结构物将在冻胀力的作用下产生冻胀变形,严重将引起结构物的破坏。

根据冻胀力作用于基础表面的部位和方向,可划分为切向冻胀力、水平冻胀力和法向冻胀力三种形式。切向冻胀力,即平等作用于基础侧表面上的力,法向冻胀力指垂直作用于基础侧表面上的力,法向冻胀力指垂直作用于基础底面上的冻胀力。切

向冻胀力是作用于冻土区基础上的主要力系之一,如果设计时对此考虑不当,则会引起基础在切向冻胀力的作用下产生上拔变形,甚至破坏。

1.1.3 融沉性

冻土融化过程中,在自重压密作用下,不断产生下沉伴随着孔隙水的消散,即为冻土融沉性。这个过程不仅是由于冻土中冰转变成水的相变时的体积减小,更重要的是在此过程中产生孔隙水的消散与排泄,土体的孔隙比减小,冻土的融沉性与冻土的粒度成分、含冰量密度及孔隙水的消散等因素密切相关。

1.2 青藏铁路多年冻土地区桥梁基础设计概况

青藏铁路经由地区的地理、地貌、气候、建设环境等不同于内地一般铁路,高原缺氧、多年冻土、高烈度地震、高光照、常年大风、冻融变化频繁、环保要求高等,是该线的主要特征。因此,在本线建设中要采取可靠措施保证工程质量,并尽量降低人员劳动强度,同时要达到生态环保、少病害、少维修、保畅通的目标。设计院针对全线冻土段桥梁工程的特点进行专题研究,参考青藏公路基本全是钻孔灌注桩基础的工程实例,在一般情况下采用钻孔灌注桩,技术上更有把握,且造价较低。但桩基础可能受到切向冻胀力,在工程设计中已经采取将基础嵌入多年冻土天然上限以下或最大冻结深度以下一定深度措施,以减小法向冻胀力的影响。

2 青藏铁路多年冻土区桩基础施工技术

2.1 施工准备

- (1) 进场前认真学习冻土知识和相应的规范、细则;
- (2) 桥梁施工前应仔细核对设计文件,对桥梁位的地质进行全面调查与核实,必要时进行补充地质勘探;
- (3) 认真做好机械设备的选型和配套工作,施工机械尽量采用适应高原的高效率机械,并充分考虑功率的降效;
- (4) 根据施工进度计划,做好施工材料的采购和储备;
- (5) 测量控制桩设置在稳定土层或基岩上,用混凝土包裹防护,埋入冻土层的控制桩跨冻融季节使用时,埋深 2 倍的天然上限,桩周回填粗粒土,以防冻融引起桩位变动;
- (6) 对不同基础类型施工时机的安排。以前的一般认识是:桥梁基础一般安排在暖季施工,但采用保护多年冻土的设计原则设计的桥梁基础,特别是位于高含冰量冻土地段、沼泽地段的桥梁,应尽量安排在 4~5 月份和 9~11 月份施工。

2.2 施工工艺和方法

(1) 钻机选择:通过青藏铁路施工中的经验以及满足快速施工的原则,在桩基施工时宜采用旋挖钻机成孔。

(2) 施工准备:首先测量放样,定出基础各桩的桩位。桩的纵横允许偏差 $\pm 5\text{cm}$,并在桩的前后左右设置护桩,以供随时检测桩中心和标高。钻孔场地布置尽量以填代挖,以减少对原地表开挖引起的热扰动。钻机底座下发动机散热部分宜铺设聚苯乙烯泡沫塑料隔热板,以减少对地基土的热侵入。

(3) 埋设护筒:在青藏线,护筒除保护孔口,使钻孔作业正常进行外,还是采取有效措施,从而降低冻土对桩基础抗拔力的载体。具体的做法是,将护筒埋入冻土上限以上一定深度,并按设计要求外表面涂以渣油,成桩后不拆除护筒,以减少外表面的亲水程度,减小冻土对桩基础上拔力。护筒宜采用 $5\sim 6\text{mm}$ 厚的钢板卷制,内径比桩径大 $15\sim 20\text{cm}$;在多年冻土地区护筒埋至冻土上限以下 0.5m ;由于护筒外表面要涂渣油,其埋设方法与常规有所不同。当地表土稳定性较好,施工过程没有地表水时,在钻机就位后,先用比护筒直径大一级别的螺旋钻头施钻,钻至冻土上限以下 $>0.5\text{m}$ 深度后停钻,安放护筒。安放前,护筒外侧预先满涂渣油。护筒准确就位后,护筒外侧与孔壁所形成的空隙用渣油拌制的粗粒土回填密实。桩基施工完成后,护筒不取出,靠其外侧所涂渣油减少冻胀力对桩基产生的不良影响。护筒埋设时要将护筒中心与桩中心对准,其误差 5cm ,护筒上下要竖直,其误差 1% 的护筒长度。在地质条件较差、或地表水较大易塌孔的情况下,可以采取下述方法处理:先做一个更大的护筒(比桩径大 $50\sim 60\text{cm}$),采用 8mm 的钢板卷制,用震动打桩锤打桩沉入,该护筒起常规的保护孔口稳定的作用。必要时钢护筒不断跟进,以保证钻孔成型。待钻孔完成后,再插入外表面涂渣油的防冻胀内护筒。

(4) 钻机就位:钻机利用自动系统就位。钻孔前,应调整机架杆垂直、位置正确,防止因钻杆晃动引起扩大孔径及增加孔底虚土。

(5) 旋挖钻机干法钻孔:护筒埋设完成后,进行正式钻进。旋挖钻进是利用旋挖钻头钻杆顶的液压马达往下压,同时利用旋挖钻头旋转切入土体,土被挤入料斗中,再提出孔外,直接装入自卸汽车。钻进过程中,根据地质情况选用不同的钻头。一般粘土、砂性土选用筒式钻头,碎砾石用平底钻头,岩性地层用尖底钻头。

开始钻进冻土层时应准确保证钻杆垂直,加大钻杆对土层压力,缓慢进尺,采用高转速、小跟进量、均压钻进。在含水量较大的软塑性土层中钻进时,要减缓进尺速度,减少钻杆晃动,以免扩大孔径。

当出现钻杆跳动,钻机摇晃,钻不进尺等异常情况时,立即停机提钻检查,查明原因妥善处理后再钻。

当进尺深度达到设计标高时,在原处正向空转数圈,然后停止,提升钻杆。空转时不得加深钻进,提钻时不得回转钻杆,钻杆提升超过地表后,用钢板覆盖桩孔。

(6) 湿法作业:在粘性土、砂类土、碎石类处于地下水位以下,干法作业不能保证孔壁稳定时,采用湿法作业。湿法作业在干法作业基础上增加以下内容:

泥浆拌制及废碴处理:钻孔泥浆采用优质粘土,采用制浆

机制浆,存入钢制泥浆池中。现场设泥浆池、沉淀池各一个,串联并用。钻孔桩所需泥浆不得随意就地排放,不得就近挖坑作泥浆池。钻孔过程中,沉淀了中沉淀的废碴由人工装入泥浆车外运至设计指定地点倾倒。

钻孔:开钻时,先低档慢速钻进,钻至护筒下 1m 后,再以正常速度钻进。在钻进过程中,经常注意进行泥浆循环,将钻渣捞取,沉淀后及时排除,并随时注意土层变化,对不同的土层采用不同的钻速、钻压、泥浆比重。

清孔:当钻至设计标高后,经岩样确认到位后,停止钻进并及时清孔。清孔采用换浆法。将钻具提起约 30cm ,钻头不停转动,泥浆循环不断进行。不得用加深孔深来代替清孔。

检孔:成孔过程中及成孔以至灌注混凝土之前,对钻孔的孔深、孔径及孔底质量情况进行检查。成孔之后用笼式探孔器检查孔径及孔形。

(7) 钢筋笼制作与安装:根据青藏铁路的特殊环境,针对低温条件,钢筋笼的加工、焊接、安装应符合以下要求:钢筋接长采用预热闪光对焊或闪光 预热 闪光焊工艺。钢筋端面比较平整时,采用预热闪光焊,端面不够平整时,采用闪光 预热 闪光焊工艺。

雨天、雪天及大风天气不得在现场进行施焊,必须施焊时,要采取有效的遮蔽措施。焊后热处理完毕,让其在环境温度自然冷却。当环境温度 < -20 时,不得进行露天焊接作业。必须采取保温措施后方可进行施焊作业。钢筋笼在各桥位的钢筋加工场或加工棚制作,最好不要分段制作,应一次整体吊装,以避免现场焊接接长。青藏铁路桥梁基础的桩长一般在 20m 左右,适当加强箍筋,采用适当的吊机(主要考虑臂长能否满足要求),一般能够做到。若设计有 $\varnothing 57\text{mm}$ 声测管时,将其沿钢筋笼圆周三分点布置并牢固绑扎在钢筋笼上,密封接头,确保无水泥浆渗入。

(8) 灌注桩身混凝土:桩基成孔后,尽快安放钢筋笼,进行混凝土灌注,减少成孔的闲置时间。安放钢筋笼后,及时灌注混凝土,间歇时间不能过长若来不及灌注,要用钢板盖住孔口,其上覆以草袋等保温隔热材料。干法和湿法作业成孔的桩,均采用导管灌注混凝土,靠混凝土反压出导管形成的扰动起振捣作用。混凝土在自动计量拌合站集中拌合,由混凝土运输车运输,混凝土泵输送或直接入孔。混凝土输入冻土的热量较大,对冻土有热融影响,因此,应严格控制入孔混凝土的温度,尤其对于高温高含冰量冻土地段,入模时温度应控制在 $0\sim 5$ 范围。

湿法成孔的桩,在灌桩前要复测沉碴厚度合格和孔内泥浆密度,并达到规范要求。混凝土灌注完后,应在桩表面覆盖草垫或用编织袋装珍珠岩覆盖蓄热保温,起到桩顶养生的作用。对于承台底面高于地面的桩基,露出地面的钢护筒的外侧裹以草袋或棉垫进行蓄热养生。

(9) 回冻:桩身混凝土灌注后,如果设计考虑了冻结力,须待桩周地基土回冻达到设计要求,方可进行承台以上部分的施工。这是青藏铁路桩基础施工的特点之一。

(10) 桩基检验:承台基坑开挖并凿平桩头后,须检验桩头混凝土标高、固结情况。要求全部进行小应变无损检测,对桩身混凝土质量有怀疑时,钻取桩身岩心鉴定,检查混凝土的抗压强度、均匀性及混凝土与基底的结合情况。

2.3 承台施工

(1) 承台基坑开挖:多年冻土区基坑开挖一定要突出“快”字,速战速决。为加快开挖速度,可采用先爆破后由人工配合挖掘机快速开挖的方式施工,在暖季施工,冻土可能融化时,坡度按最不利条件减缓,必要时使用遮阳棚,防止基坑暴露时间过长而使冻土地基融化。基坑开挖尺寸应比承台尺寸大 50~80cm 左右,留够承台支立模板的尺寸。开挖完成后,用风镐破除桩头。

(2) 承台基底处理:承台基底为基岩时,清除岩面粉碎石块,露出新鲜岩面,并将岩面刷洗干净;若为土岩时,应将基底整平,超挖部分用砂、卵石或碎石回填密实。基底如有积水,在基坑四周设排水沟和集水井,由水泵抽出。当承台下面季节融化层较薄时,采用挖除季节融化层,回填砂砾石料办法处理;当承台高温置于多年冻土之上时,按设计要求在基底设置隔热保温层,以防混凝土施工中将热量传入冻土层,将基底融化。

(3) 支立模板混凝土浇筑:模板采用组合钢模板,保证其有足够的刚度和强度,在混凝土灌注过程中不致发生变形,混凝土灌注前,在模板表面涂脱模剂。浇筑过程中要时常检查模板变形情况,如发现变形过大,应及时处理,随时对已浇筑混凝土进行覆盖,起到保温和养生作用。承台与墩台身的接缝,墩身有护面筋时,应在承台中预埋护面筋。

(4) 混凝土养护及拆模:混凝土养护的保温防寒措施和覆盖物厚度通过热工计算确定,并要保证混凝土温度冷却到结冰点时混凝土强度能满足抗冻临界强度要求。

混凝土拆模强度按设计要求并达到其相应的抗冻强度后方可拆除模板。拆模时,混凝土与环境的温度差应 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 基坑回填:承台基础施工完毕后,及时回填封闭基坑,不宜间歇;必须间歇时,用草袋、棉絮等加以覆盖,防止热量侵入。

基础回填的填料按设计要求选取,设计未规定时回填非冻胀性粗颗粒土,并夯填密实。位于冻胀土地区的承台基础拆模后承台的侧面应做渣油涂层或用涂层加表面活性剂改良土体,并在基础周围换填粗颗粒土。

3 保证冻土条件下桥梁工程质量的技术措施

高原多年冻土条件下的各种工程,不同于一般地区,在设计及施工上都要采取一些特殊措施,以保证工程质量。

3.1 结构措施

根据多年冻土的工程性质以及影响结构物稳定性的因素,对于桥梁工程为了防止产生病害,设计上基础采用深桩基础,将桩基嵌入多年冻土内一定的深度或穿过冻土层,以防止基础产生变形。但在冻胀力作用下必须进行稳定性验算,即满足下式要求:

$$A \leq 0.9G + R$$

式中:——土层切向冻胀力的设计值, kPa;

A——与土冻结在一起的桩侧表面积, m^2 ;

G——作用在基础上的永久荷载值, kN;

R——地基土所产生的锚固力的设计值, kN。

3.2 减小切向冻胀力的技术措施

切向冻胀力使冻土地区桥梁产生冻害的一个重要因素,在青藏公路上的许多桥梁产生病害,大部分是由于冻胀力的作用,尤其是切向冻胀力的影响,因此在设计和施工时要充分考虑减

小它的一些措施。如果冻土层薄通常采用换填粗颗粒土的方法,若冻土层较厚则要采取装套管或涂膜润滑油脂的方法,另外,在季节融化层内并嵌入多年冻土层一定深度设永久护筒,并在护筒外涂油渣。总之,要保证桩侧面尽量光滑。

3.3 减小法向冻胀力的技术措施

对于承台主要是受法向冻胀力的影响,减小法向冻胀力一般采取以下措施:

在冻胀丘地带,设计采用高桩承台,即将承台悬空与地面 50cm,以避免地面冻胀时使承台产生冻胀变形。

在一般冻土地带,将承台底部换填 50cm 的粗颗粒土,有些地方还在承台底铺设 10cm 的聚丙烯板作为缓冲层,以减小法向冻胀力的影响。

3.4 提高墩台身混凝土耐久性的技术措施

为了解决青藏铁路结构物中的混凝土施工质量问题,铁科院进行了低温早强耐腐蚀混凝土的试验研究,开发了 DZ 系列混凝土外加剂,该外加剂能使混凝土耐低温、早强、耐腐蚀。青藏铁路墩台身混凝土普遍使用了该外加剂。另外针对青藏高原恶劣的气候环境,混凝土往往受冻融的影响而使结构物表面开裂剥落,在设计时,墩台身都设计了护面筋。

4 施工中遇到的问题及解决的方法

4.1 上限附近扩孔

桩基上限附近季节融化层与多年冻土层的交界部位,该处往往受地下潜水和冻结层上水的影响,使该处桩周围地层松散坍塌,而使该处产生扩孔现象。该处扩孔对整个桩基的稳定性有很大的影响,往往由于该处扩孔使桩基所受的切向冻胀力和法向冻胀力成倍增大。因此,在施工时为了避免这种现象的发生,采用护筒嵌入多年冻土层 50cm,必要时可适当加深护筒深度。

4.2 多年冻土层含土冰层影响成桩质量

在青藏铁路多年冻土区,冻土地层中往往夹有含土冰层,在钻孔和灌注过程中,由于受外界温度的影响,该层很易融化致使孔壁坍塌。解决方法只能加快成孔和灌注速度,若不能及时灌注,孔口要及时覆盖,尽量减小外界温度对成孔的影响。

4.3 桩尖处塌孔

某些地段桩基设计穿过多年冻土层,桩尖处于融区状态,往往该处有地下潜水和流砂层的存在,使得成桩困难。解决方法只能采用跟护筒钻进钻机,没有其它更理想的方法。

4.4 墩台身混凝土开裂

青藏高原气温低、风大、干燥,会使混凝土表面出现裂缝。在已施工的桥梁墩台身中,有很大部分出现了裂缝现象。消除这些现象的措施,只能加强养生工作。混凝土养生要进行保湿、保温、防风的措施,并适当延长养护期(通过实践,养护期 2 个月)。

5 结束语

多年冻土区工程从设计到施工都有不同于一般地区的特殊性。青藏铁路通过有关专家多年的试验研究解决了一系列冻土施工的难题,但是通过施工可以发现还有许多问题有待解决,诸如多年冻土地区工程的耐久性有待于实践验证,混凝土耐久性需进一步验证。本文只是通过两年的施工实践初步了解了设计意图并总结了一点粗浅的施工经验。