

青藏铁路多年冻土区

涵洞类型选择及基础埋置深度

■ 吴少海

吴少海：铁道第一勘察设计院，高级工程师，兰州，730000

摘要：青藏公路的运营状况表明，多年冻土区涵洞病害多，结构破坏严重。根据青藏公路涵洞的使用状况，病害特点，结合青藏铁路的特点，提出适合多年冻土区的涵洞类型及其基础埋深。

关键词：青藏铁路；涵洞设计；埋置深度

多年冻土的不稳定常常给工程建筑物造成很大的危害。

多年冻土的天然上限（即季节融化层），随着地形、地貌、纬度、海拔的不同而不同，一般为2~4 m。多年冻土地区由于建筑物修建、施工开挖等人为因素的影响，破坏了地面的热力平衡，使多年冻土的上限上升或下降。当涵洞基础埋置深度不足时，基础将全部或部分置于多年冻土上限以上。由于地基土存在着冻结与融化2种不同状态，其力学性质，强度指标，变形特点相差悬殊，并且从一种状态过渡到另一种状态时，在一般情况下将发生强度由大到小，变形由小到大的巨大突变。造成涵洞的不均匀下沉，边墙开裂，出入口端翼墙倒塌等病害。特别是涵洞的病害发生后，水流的渗水作用更加剧了病害的发生，影响涵洞正常使用，在病害严重的情况下，被破坏的涵洞将失去作用。

2 青藏公路多年冻土地区涵洞病害现象及原因分析

青藏公路格拉段于1954年初开通，1955年开始按老四级公路改建，

1966年后逐年改建，增设涵洞。1973年国家对于青藏公路格拉段按二级公路标准，再次进行改扩建，多年冻土地区内的涵洞增至772道。大部分采用的是钢筋混凝土圆涵和钢筋混凝土盖板涵。

1990年对多年冻土地区内的772道涵洞进行了全面调查，严重破坏的占总数15.4%，一般破坏的占总数21.1%，轻微破坏的占总数63.5%。涵洞破坏最多、最严重部位为出入口端翼墙和出入口铺砌。以上2种破坏类型占已破坏涵洞的86%以上。涵洞的主要病害包括以下4种。

(1) 涵洞基底土的融化下沉和冻胀隆起。这种现象普遍存在，并且严重。调查表明，青藏公路多年冻土地区涵洞冻胀隆起最大可达65 mm，热融下沉最大可达95 mm。由于涵洞基础埋于人为上限以上，基底为冻胀性土，受周期性冻融作用，因而引起涵洞周期性不均匀隆起和下沉，其变形量主要取决于季节性活动层的厚度和土的冻胀性。当地基土的含水率大于塑限的粘性土（细颗粒土）且基底下的季节融化层厚度较大时，引起涵洞逐年下

1 前言

青藏铁路（格尔木—拉萨）多年冻土地区约550 km，涵洞1 000余座，量大面广，地基土类型千差万别。涵洞设计的成败是青藏铁路（格尔木—拉萨）多年冻土地区桥涵设计的关键，必须给予高度重视。

多年冻土可分为连续多年冻土和岛状多年冻土。多年冻土地区热融湖塘遍布，地下冰发育，冻结层上水丰富，热融滑塌、冰锥、冻胀丘、寒冻泥石流等不良工程地质现象普遍存在，工程地质条件差异很大。它们的形成、发育和变化随着冻土条件、水文地质条件、地表状态和气温的变化而变化。

青藏铁路多年冻土区涵洞类型选择及基础埋置深度 吴少海

沉, 周期性冻融循环造成涵洞洞身结构开裂、塌腰、错牙、漏水。当地基为粗颗粒土, 但粉粒含量大于15%且有冻结层水时, 涵洞也会出现明显的变形。因此, 粗颗粒土含水量较大时涵洞的冻胀和融沉变形不可忽视。涵洞冻胀隆起时, 路堤填土对边墙有切向冻胀力的作用。因此, 涵洞冻胀隆起大小取决于地基土质成分、含水量和路堤填土的冻胀性能, 热融下沉量主要取决于基底土季节性融化层厚度、含水量大小和土的密度。

(2) 涵洞结构开裂。这种现象也普遍存在, 而且严重。它由涵洞的不均匀变形引起, 主要发生在边墙和端翼墙, 以端翼墙最为严重。裂缝宽度可达10 cm以上, 引起端翼墙倾斜。边墙每隔1~2 m出现垂直裂缝。这在径流期长, 过水量大, 冻土富含冰且上限埋藏浅的涵洞尤其突出。

(3) 涵洞纵向位移。在沉降缝防水处理不当的地方, 基础发生严重不均匀变形, 产生裂缝, 水流渗入基底, 引起涵身位移。

(4) 泥石流淤积和洞内冰塞。这种病害多发生在山坡冻融滑塌致使河沟形成泥石流的地方。在昆仑山北坡, 风火山地区唐古拉山至头二九山之间这种现象较为严重。涵洞内冰塞多发生在排泄泉水的涵洞, 因洞内气温低于洞外, 冬季水流在洞内冻结逐渐加厚, 堵塞涵洞。

3 多年冻土区涵洞类型选择

根据青藏公路多年冻土区涵洞的病害特征, 铁路应选用能够适应一定变形能力且强度较高的封闭型结构。另外, 青藏铁路多年冻土地区, 高寒缺氧, 环境恶劣, 涵洞的施工应降低劳动强度,

提高机械化程度, 应集中预制, 采用拼装化。因此, 青藏铁路首选的涵洞为拼装式钢筋混凝土矩涵洞。本涵为铁道第一勘察设计院1979年编制的铁道部通用图, 图号壹桥5193。预制件最大的重量8 t左右(涵节长度按1 m计)。构件的混凝土标号为C₂₅及C₃₀ 2种, 满足严寒地区的使用要求, 本涵在国内各条铁路线上广泛使用(主要为现场浇筑), 反映良好。因此, 可在格尔木附近设预制场, 集中预制, 通过青藏公路运至涵址处, 就地拼装施工。

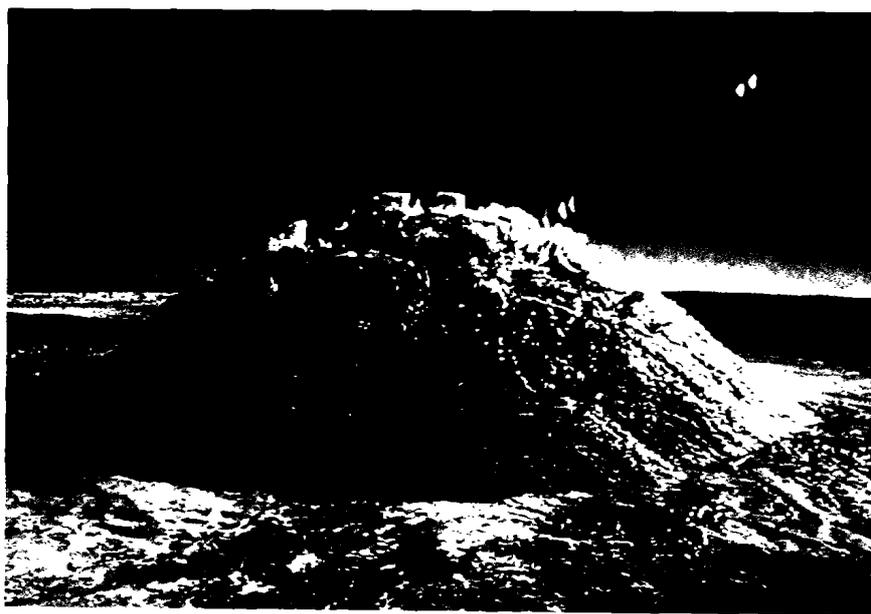
金属波纹管涵洞是一种柔性结构物, 波纹钢管的起源已有百年的历史, 此种结构物在国外(如加拿大)多年冻土地区公路、铁路上普遍使用。近几年, 在我国214国道上也设计了约10座波纹管涵洞, 积累了不少资料和经验。波纹管涵洞从整体上讲是一个柔性体, 具有以下特点: 对地基土的要求不高, 能够适应较大的地基变形, 对场地破坏较小, 结构简单, 施工快速。波纹管涵洞采用分层夯实的砂垫层做为基础, 因而比较简单。但是, 此结构也存在不少缺点, 主要体现在: 对基坑砂垫层的夯实要求较严, 对管涵周边的回填土要求很高, 回填材料含水量应合适, 应

仔细分摊两侧对称回填夯实, 施工要求高。由于波纹管涵洞采用无基, 地基下沉将导致涵洞变形过大, 失去排水作用。另外, 波纹管涵洞为金属结构, 埋入地下, 长期受水、酸性土壤的侵蚀以及泥沙的磨蚀, 势必会产生锈蚀和损坏。因此, 必须加强其防腐蚀的能力。

目前波纹管涵洞在青藏铁路多年冻土地区的使用, 仍存在较大的分歧和争议。有的专家认为波纹管涵洞施工简单、快速, 对冻土破坏较小, 应大力推广使用。但另有专家则认为波纹管涵洞刚度小, 地基下沉将导致涵洞变形过大, 受水、酸性土壤侵蚀、泥沙磨蚀, 涵洞易锈蚀和损坏。由于青藏铁路多年冻土地区涵洞量大面广, 多年冻土工程地质差异很大, 且青藏铁路设计、施工工期短, 需进行必要的实验研究。为此, 已在青藏铁路试验段上设计了4座孔径1.2~1.5 m的波纹管涵洞, 进行实验观测, 逐步积累经验。在其它路段, 根据多年冻土工程地质状况, 并根据试验情况, 逐步推广应用。

4 多年冻土地区涵洞的基础埋置深度

根据青藏公路多年冻土地区涵洞设计与施工经验, 多年冻土地区涵洞的病害绝大部分是由于涵洞基础埋置深度不足引起的。此外, 对地基土冻胀性重视程度不够, 忽视了涵洞水流对冻土上限下降的影响, 这些都是多年冻土地区涵洞产生病害的主要因素。因此, 必须对青藏铁路多年冻土地区涵洞基础埋置深度给予高度重视, 重点研究。涵洞基础埋置深度, 应充分重视路



冻胀丘



堤填筑后冻土上限上升或下降的规律,并根据冻土的工程地质特征,涵洞结构类型及孔径等因素确定。

4.1 青藏公路二期工程整治科研总结

1973年,青藏公路格拉段多年冻土地区开始第二次改扩建,涵洞工程按“保持冻结”原则设计。涵身中间段基础埋深为天然上限的0.75倍,为防止冻胀与冻拔力,在基础下换填60 cm厚的砂砾,台背涂10 mm厚的沥青,在进出口2.0 m范围内的涵身基础加深40 cm。为研究涵洞建成后冻土上限上升或下降规律以及洞内外地温状况,对7座重点涵洞进行了钻孔测温,得出以下4个结论。

(1) 涵洞地面下0.5 m深处洞口地温最高时,比洞身中部涵底下0.5 m深处的最高地温高出4~5℃,而地面2.0 m深处地温相差只有1℃左右。

(2) 洞口比洞身融化、冻结晚。大气对洞口比洞身的影响大,大气对浅层的影响比深层的影响大。

(3) 涵洞中部多年冻土上限上升,而涵端和洞口多年冻土上限由于自然和人为因素的影响而下移。洞口地基上限比洞身中部上限深1.0 m左右。

(4) 涵洞洞身基础埋置深度一律采用“天然上限深度的0.75倍”,是不太合理的,应视具体条件,选择合理的埋置深度。对于常流水涵洞应适当加深到天然上限的0.25 m以下;对于短期有水流的涵洞,仍可采用“天然上限的0.75倍”作为基础的埋置深度。

4.2 青藏铁路涵洞基础埋深研究

综合以上分析,说明多年冻土地区涵洞人为上限与涵洞结构类型、地基工程地质和水文条件、涵洞的水流情况等因素有关。涵洞基础埋置深度不宜追求繁琐的公式推导,而应根据冻土类型以及不同的融沉性和稳定的天然上限,涵洞结构对地基变形的适应性等各种因素综合考虑确定。同时,应重视涵洞出入口的处理。涵洞洞口虽然是涵洞工程的附属工程,但它直接影响着涵洞工程的正常使用,也决定着该涵洞能否承受住冻胀和融沉的

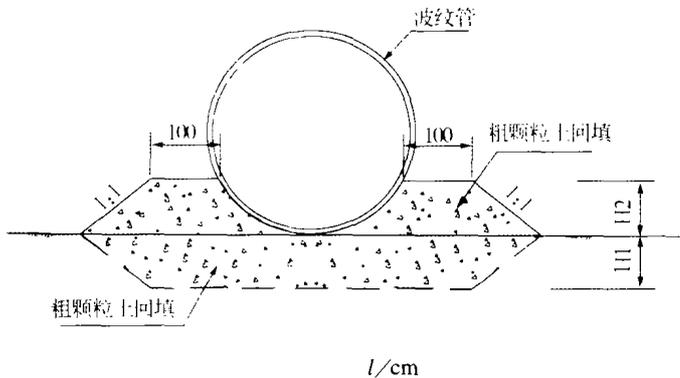


图1 涵洞各部位基础埋深

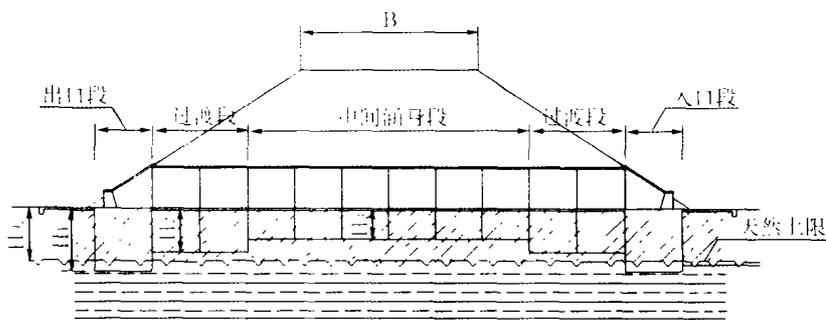


图2 波纹管涵身换填

作用。为此,青藏铁路多年冻土地区涵洞基础埋置深度应根据涵洞的过水情况决定。当按保持冻结原则设计时,对于暖季小径流的涵洞,由于此类涵洞基底冻土上限多呈上升状态,但进出口段涵洞基础埋深则普遍下移,故涵洞明挖基础埋深中间段采用 $0.7 H_{\text{天}}$ ($H_{\text{天}}$ 指天然上限深度),过渡段采用 $0.8 H_{\text{天}}$,进出口段采用 $1.2 H_{\text{天}}$,涵洞各部位基础埋深见图1。对于径流期长、流量大和间歇性径流的涵洞,基础埋深应适当进行增减。按容许融化原则设计时,涵洞基础埋深为 $0.7 \sim 0.8 H_{\text{天}}$ 。

波纹管涵洞基础埋深和基础换填深度根据涵管直径和地基土类型决定,涵身中间段换填深度不大于冻土的天然上限,一般在天然上限以上0.5 m。过渡段及进出口段一般在天然上限以上0.2~0.3 m。换填材料为非冻胀的粗颗粒土(应严格控制粉粘粒含量),波纹管涵身

换填示意图2。涵洞管安置时下部及两侧必须回填非冻胀的砂石土,厚度不得小于0.4 m。涵底纵坡一般应大于1.5%。

对于位于含土冰层且地温较高的地基,当含土冰层较厚,无法完全清除时,涵洞基础采用短桩基础。桩基采用插入桩,桩径40 cm,桩长不超过10 m,桩底置于含土冰层以下的多冰或少冰冻土内。短桩基础涵洞结构,见图3。

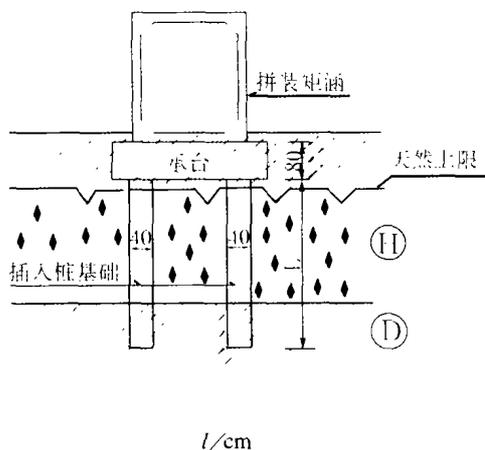


图3 涵洞短桩基础



采用短桩基础的涵洞出入口应加强防渗漏水处理。出入口铺砌垂裙加深至天然上限以下50 cm,同时加设防水板等材料,严防水流渗漏形成潜流,破坏涵底冻土。涵洞出入口防水处理见图4。

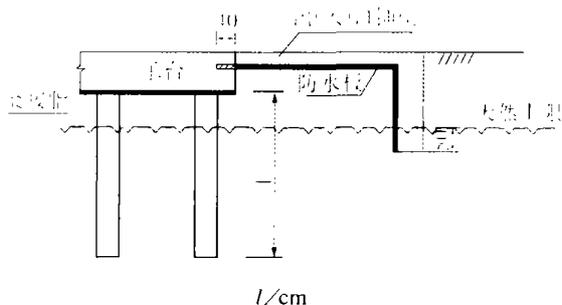


图4 短桩基础涵洞出入口防水处理

4.3 多年冻土地区涵洞防冻胀、防融沉措施

多年冻土在冻结过程中,由于水的热变化引起土中应力变化。土体产生冻胀的因素很多,但土质、水分和地温是产生冻胀的3大因素。如能消除或

削弱3个因素中的1个,则能消除或削弱土体的冻胀,从而减少涵洞工程的冻害。改变涵洞地基土质是减弱土体冻胀的有效措施。改变地基土质是指采用粗砂砾石等非冻胀或弱冻胀材料置换天然地基的冻胀土,见图5。

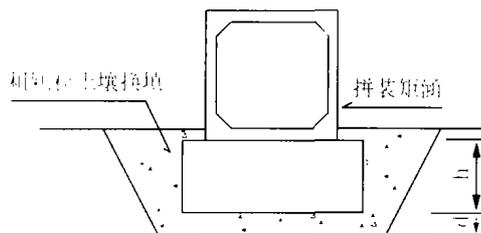


图5 涵洞基底换填

换填深度应根据涵洞的孔径、土质和地基土含水量等条件确定,一般不少于0.3 m。同时为了减小冻胀力,还要在基础四周与路堤接触的涵背上涂1 cm厚的沥青油渣。沉降缝采用改性沥青麻筋填塞,以防水分渗入。

5 多年冻土区涵洞基础的施工要求

青藏铁路多年冻土地区涵洞,数量大,工程分散。青藏公路的经验表明,多年冻土地区涵洞基础施工不当

是造成涵洞病害的重要原因,主要表现在基坑暴露时间过长,地表水长时间浸泡基坑,使多年冻土遭受严重扰动与破坏。由于涵洞基础一般埋深较浅,故基坑开挖应以明挖为主。但采用这种方法开挖冻土基坑,不仅劳动条件困难,效率低,而且对冻土地基的扰动很大,回冻时间长。为减少对多年冻土的扰动与破坏,涵洞基础施工应采用“爆破开挖基坑快速施工”方法。

从青藏铁路多年冻土地区的气候条件来看,全年只有暖季与冬季之分。

施工季节从保护冻土的观点出发,以寒季施工为最好,但从施工机具和人员来说,在暖季最好。因此,应根据涵洞地基土的工程地质条件合理选择施工季节。对于地表干燥,地基良好的地段可在暖季6-9月份施工。对于地表松软湿润,地基土含冰量大的地段,应尽量在暖、寒季交替时期4-6月或9-10月施工。对于厚层地下冰、地表沼泽化、地表径流大的地段应安排在冬季施工。无论采用何种施工方法,都应减少基坑暴露时间,一般不应超过15天,并应防止基坑暴晒和积雪、积水。整个涵洞的施工时间不宜超过50天。总之,合理安排涵洞基础的施工季节对提高施工质量,减少涵洞病害,提高工程质量有很大关系。

参考文献

- 1 交通部第一公路勘察设计院. 青藏公路整治工程科研设计文献汇编, 1996 (4)
- 2 高原多年冻土道路工程研究报告集. 西安公路学院学报, 1986 (1)
- 3 吴少海. 青藏铁路金属波纹管涵的应用研究. 铁道标准设计, 2002 (4)

责任编辑 周洲

收稿日期 2002-09-26



热融湖塘