



1

NÁVRH A KONSTRUKCE ZÁKLADOVÉ JÁMY PRO JIŽNÍ KOTEVNÍ BLOK MOSTU RUNYANG PŘES ŘEKU YANGTZE REALIZOVANÉ POMOCÍ METODY ZMRAZOVÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY S POUŽITÍM PILOTOVÝCH STĚN ■ DESIGN AND CONSTRUCTION OF FREEZING AND ROW OF PILES METHOD IN SOUTH ANCHORAGE FOUNDATION PIT OF RUNYANG YANGTZE RIVER BRIDGE

Ji Lin, Feng Zhaoxiang, Ruan Jing

Metoda zmrazování základové půdy s použitím pilotových stěn byla v Číně úplně poprvé využita při hloubení stavební jámy pro výstavbu základů jižního kotevního bloku mostu přes řeku Yangtze. V článku je popsán návrh a realizace této jámy a podán přehled o problémech, které se vyskytly v průběhu stavby, a o následných protipatřeních k jejich vyřešení. Závěrem jsou uvedena některá úskalí využití této metody i pozitivní náhled na její navrhování. ■ The freezing and row of piles method was firstly applied on the south anchorage foundation pit of Runyang Yangtze River Bridge in China. In this article, the author has a brief introduction to the design and construction of the anchorage pit and reviews problems that happened during the construction, then the countermeasures to solve such problems in particular, at last presents some viewpoints of the method and the optimistic view of the design.

Jižní větev mostu Runyang přes řeku Yangtze je tvořena jednopólovým,

dvoukloubovým visutým mostem s ocelovým komorovým hlavním nosníkem s rozpětím hlavního pole 1 490 m (obr. 1).

Jižní kotevní blok mostu odolává tahové síle 680 MN. Rozměry stavební jámy pro výstavbu jižního kotevního bloku, založeného na skalním podloží, byly 70,5 x 52,5 m a hloubka 29 m (obr. 2). Čtvrtohorní horninová skladba na staveništi 29 m hlubokém se skládala z blátivého jemného jílu, jemného jílu a mezilehlé vrstvy tvořené anorganickým siltem a jemným pískem. Kotevní blok je uložen na původním skalním podloží, jež je tvořeno převážně z žuly.

Po zvážení všech okrajových podmínek, např. geologických a hydrogeologických, namáhání konstrukce, ekonomických podmínek a dostupných stavebních mechanismů, byla nakonec zvolena metoda zmrazování základové půdy s použitím pilotových stěn, která představuje inovativní záměr jak v Číně, tak v zahraničí.

NÁVRH A VÝSTAVBA

Hlavním principem metody zmrazování základové půdy s použitím pilotových stěn je zmrazení zvodnělé zeminy v okolí stavební jámy (např. základů jižního kotevního bloku) a vytvoření souvislé zmrazené stěny jako těsnící konstrukce k zabránění průniku vody, a použití pilotových stěn s vnitřním pažícím systémem jako opěrné konstrukce, která odolá jak tlaku vody, tak tlaku zeminy. Konstrukce zajištění stavební jámy tedy obsahuje dvě hlavní části: opěrnou konstrukci a zmrazenou stěnu (obr. 3).

Opěrná konstrukce se skládá z řady 140 monolitických vrtaných pilot o průměru 1,5 m, s hloubkou 35 m vzdálených od sebe asi 1,7 m. Navíc je ve stavební jámě instalováno sedm horizontálních pažících rámu k dalšímu zvýšení pevnosti, tuhosti a stability vnitřního rozpěrného systému.

Zmrazená stěna je vytvořena ze zmrazovacích vrtů na vnější straně pilot. 284 dekompresních vrtů je umístě-

Obr. 1 Pohled na zavěšený a visutý most přes řeku Yangtze ■ Fig. 1 View of a cable-stayed and suspension bridge over the Yangtze river

Obr. 2 Půdorys základové jámy ■ Fig. 2 The plane layout of the foundation

Obr. 3 Podélný řez opěrným systémem (projekt) ■ Fig. 3 The elevation view of the bracing system

no vně zmrazovacích vrtů ke snížení sil vzniklých v důsledku rozpínání zmrazované zvodněné zeminy ve zmrazovacích vrtech směrem k pilotám. Zároveň je injekčními vrty pod tlakem vhnána injekční směs ke spodní části zmrazené stěny tak, aby došlo ke snížení vlivu obtékající podzemní vody na zmrazenou stěnu. Hlavní technické údaje jsou uvedeny v tab. 1.

Nejprve byla zahájena injektáž u spodní části zmrazené stěny. Injekční vrty jsou uspořádány ve vzdálenosti 1 m od osy zmrazovacích vrtů. Na injektáž byla použita jílocementová suspenze, injekční tlak byl dvojnásobek hydrostatického tlaku vody a rozsah injektáže byl 8 m.

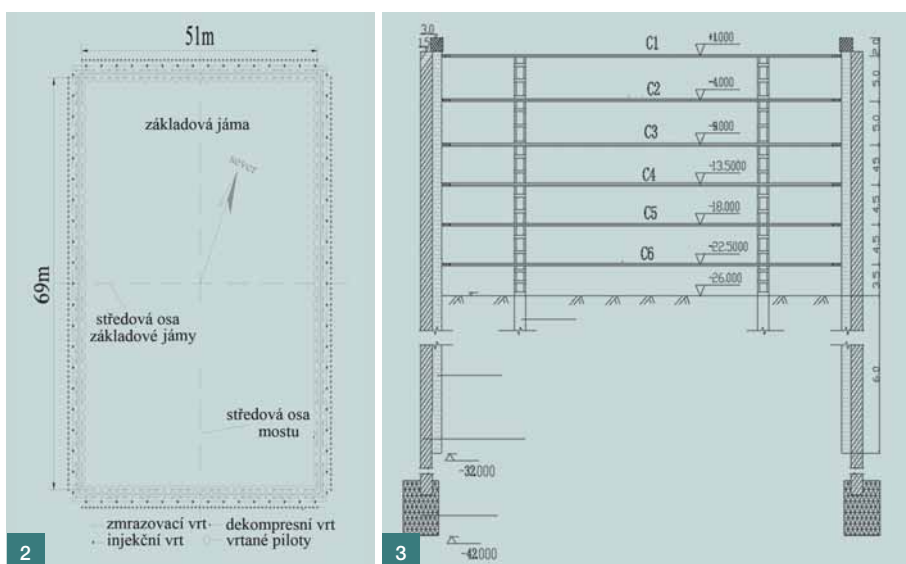
Průběh realizace pilot byl přísně kontrolován. Odchylka svislých os pilot je menší než 1/200, a splňuje tak projektované požadavky. Piloty byly prováděny souběžně s dekompresními vrty a podpůrnými svislými konstrukcemi jámy.

Zmrazovací vrty byly provedeny po dokončení pilot. Do zmrazovacích vrtů byly umístěny zmrazovací trubky. Mrazící médium o nízké teplotě vytékalo z mrazicích stanic do zmrazovacích trubek, protéklo jimi a vrátilo se zpět do mrazicí stanice, kde bylo znovu ochlazen.

Tekutina cirkulující v trubkách absorbovala velké množství tepla z okolních zemních vrstev a vytvářela v nich zmrazené sloupy. Zmrazené sloupy postupně narůstaly na objemu, navzájem se spojovaly, až se změnil ve zmrazenou stěnu.

Proces zmrazování probíhal ve dvou etapách: aktivní zmrazovací období a udržovací zmrazovací období. Aktivní zmrazovací období nebylo ukončeno, dokud nebylo dosaženo požadované tloušťky a tuhosti zmrazené stěny. Během udržovacího období pokračovalo zmrazování, zmrazovací kapacita však byla snížena, aby se zabránilo nežádoucímu nárůstu zmrazené stěny.

Instalace rozpěr a hloubení stavební jámy byly zahájeny po kontrole dodržení projektem předpokládaných parametrů zmrazené stěny. Do stavební jámy



Tab. 1 Hlavní technické parametry základové jámy jižního kotvení bloku ■ Tab. 1 The main technical parameters of the south anchorage foundation

Půdorys základové jámy [m]	Rozměr pilot / průměrná délka pilot [m]	Počet pilot	Rozměry oblastí zmrazovacích vrtů [m]	Mezery mezi zmrazovacími vrty [m]	Počet zmrazovacích vrtů	Hloubka zámrazu [m]	Navrhovaná tloušťka zmrazené stěny [m]
70,5 x 52,5	Ø 1,5/35	35	71,8 x 53,8	1,725/1,7	144	40	1,3

bylo osazeno dvanáct studní (čerpacích vrtů), odvodňujících jednotlivé etáže stavební jámy před započítáním jejich hloubení. Úrovně odvodňování byly cca 0,5 až 1 m pod navrženým pracovním prostorem.

Po vyhloubení stavební jámy na úroveň skalního podloží byla vybetonována podkladní deska, nosná betonová deska a horní deska. Zmrazování bylo postupně ukončeno v průběhu betonáže hlavní nosné betonové desky.

Injektáž a pilotáž byly zahájeny v květnu 2001 a dokončeny v srpnu 2001. Aktivní zmrazovací období začalo v listopadu 2001, následovalo hloubení stavební jámy a zhotovení podpůrných konstrukcí.

HLAVNÍ TECHNIČKÉ PROBLÉMY A ZPŮSOB JEJICH ŘEŠENÍ

Nejprve byla zhotovena pilotová stěna, potom následovalo období zmrazování a hloubení stavební jámy pro základy kotvení bloku.

Během zmrazovacího procesu se zvodnělá zemina rozpínala, a v okolním prostředí tím vznikaly obrovské horizontální síly. Tyto síly společně s vodním a zemním tlakem působily na opěrnou konstrukci složenou z pilot a vnitřního pažicového systému.

Klíčové body při využití metody zmrazování základové půdy s použitím pilotových stěn při zhotovení velké stavební jámy jsou tedy následující:

- Během aktivního zmrazovacího období je třeba správně odhadnout a kontrolovat objemové změny zmrazené stěny, hodnotu sil způsobených zmrazováním a jejich vliv na opěrnou konstrukci.
- Během udržovacího zmrazovacího období je třeba kontrolovat a udržovat tloušťku zmrazené stěny. Hodnoty sil vzniklých v důsledku rozpínání zmrazované zvodnělé zeminy a informace o mechanickém chování opěrné stěny jsou získány testem fyzikálních a mechanických vlastností zmrazené zeminy, laboratorními fyzikálními experimenty na modelu opěrné konstrukce stavební jámy, poměrným monitoringem konstrukce a výpočetní analýzou.

Vzhledem k nedostatku úspěšných příkladů nebo dostatečných stavebních zkušeností jak v Číně, tak v zahraničí, a kvůli velkým nesrovnalostem mezi výsledky modelových situací a skutečným stavem byla využita observační metoda a po celé období výstavby byla prováděna průběžná kontrola. 834 měřicích bodů a dvacet čtyři inklinometrů s délkou od 35 do 40 m bylo rozmístěno tak, aby monitorovaly teplotu zmrazené zeminy, pohyb a deformaci pilot, osově síly ve vnitřním pažení, zemní tlak, tlak vody v pórech mimo stavební jámu a hladinu vody v jámě i mimo jámu.

Na základě výsledku monitoringu by-

ly předběžné výpočty a výpočty získané na podkladě skutečně naměřených hodnot použity pro analýzu stavu změny objemu, a tím vzniklých souvisejících sil; k posouzení, zda se již vytvořila souvislá zmrazená stěna; k vytvoření předpovědi vývoje zmrazené stěny; k úpravě výpočetních modelů a projektových parametrů a také k stanovení bezpečnosti a stability stavební jámy a její opěrné konstrukce.

NALEZENÉ PROBLÉMY A PROTIOPATŘENÍ POUŽITÁ V PRŮBĚHU VÝSTAVBY

Drobné průsaky ve zmrazené stěně

Ve stavební jámě bylo zahájeno hlubinné vakuové čerpání po období zmrazování, které trvalo 55 dní.

Na základě statistických analýz množství vody v jámě a teploty vrtů bylo v části jámy zjištěno, že objem odčerpávané vody byl nečekaně velký a teplota vody byla stejná, jako teplota podzemní vody v jejím normálním stavu. Mělo se za to, že ve zmrazené stěně byla drobná místa, kde voda prosakovala.

Možným důvodem mohlo být to, že odčerpávání stavební jámy způsobilo průsaky spodní vody v místě, kde se částí zmrazené stěny spojovaly, takže byl přerušen nárůst objemu zmrazené stěny. Po vytěžení jámy až na dno bylo zjištěno, že oblast průsaku ležela na horním povrchu proměnlivého skalního podloží. Odtékání vody zvyšovalo rychlost proudění spodní vody mezi zmrazovacími vrty a narušovalo spojení zmrazených sloupů. Obvod zmrazené stěny byl asi 240 m a geologické podmínky se po její délce významně lišily. Ve zmrazené stěně se nacházely popraskané vrstvy a vzdálenost mezi zmrazovacími vrty 1,7 až 1,9 m byla citlivá vůči geologickým rizikům.

Hloubení jámy a čerpání vody bylo ukončeno ihned, jakmile byla nalezena místa průsaku ve zmrazené stěně. Zároveň bylo obnoveno aktivní zmrazování a okamžitě byla aktivována ochranná fáze využívající tekutého dusíku, aby se zrychlilo vytváření souvislé zmrazené stěny a zajistila požadovaná tloušťka zmrazené stěny. Nakonec takto dodatečně zmrazená stěna opět bránila průsaku vody.

Pro posouzení efektivity zmrazení stěny po aplikaci tekutého dusíku byly použity tři metody:

- čerpání vody v jámě a sledování hladiny vody; současně s tím monitorová-



Obr. 4 Instalace zmrazovacích trubek a vertikálního opěrného systému
Fig. 4 Installation of freezing pipes (frigoes) and vertical supporting system

Obr. 5 Pohled na vytěženou základovou jámu
Fig. 5 View of a foundation pit after excavation



- ní teploty vody na termálních čidlech, zejména na těch, která předtím ukázala neobvyklé hodnoty;
- výpočet množství odčerpávané vody a jeho porovnání s množstvím odčerpávané vody z jádrových vrtů;
- měření teploty zmrazovacích trubek v různých úrovních.

Síly vzniklé v důsledku rozpínání zmrazované zvodnělé zeminy překročily projektem předpokládanou hodnotu

Bylo zjištěno, že tloušťka zmrazené stěny v některých částech byla větší, než projektovaná hodnota nezbytná pro zajištění její tuhosti. Navíc nejednotná tloušťka zmrazené stěny vedla k velkému zvýšení sil způsobených mrazením. Z tohoto důvodu bylo osové napětí rozpěr a přetvoření pilot mnohem větší, než projektem uvažované. Další analýzy ukázaly, že osové napětí v první řadě rozpěr dosahovalo kritických hodnot a pravděpodobnost selhání dosáhla 27,4 až 38,9 %, což bylo více, než se očekávalo.

Byla přijata vhodná opatření:

- rozmístění dalších dekompresních oblastí ve vzdálenosti cca 700 mm za původními dekompresními vrty, aby se uvolnily síly vzniklé v důsledku zmrazování;
- přizpůsobení teploty mrazicího média tak, aby se udržovala rovnovážná tep-

- lota v místech monitorování a snížila se tak pravděpodobnost opětovného zvýšení sil v důsledku nárůstu tloušťky zmrazené vyztužující stěny;
- zvýšení odolnosti vnitřního pažicového systému včetně zvýšení únosnosti druhé řady rozpěr a počtu řad rozpěr ze šesti na sedm; zároveň se zpřesněným umístěním podpůrných trámů a přizpůsobením sekcí mezi rozpěrami.

Zkušenosti a optimalizace projektu

Na základě analýzy aplikace metody zmrazování základové půdy s použitím pilotových stěn pro realizaci stavební jámy pro základy jižního kotevního bloku mostu Runyang jsme dospěli k následujícím poznatkům:

Metoda zmrazování základové půdy s použitím pilotových stěn může být navrhována a užívána pro výstavbu opěrných konstrukcí pro velké a velmi hluboké stavební jámy.

Klíčem k úspěchu výstavby je observační metoda. Monitorovací systém by měl být naplánován na průběh výstavby k získání zpětné vazby z monitorovaných dat, k úpravám předpokládaného budoucího chování konstrukce, k úpravám projektu a nakonec k zajištění kvality a včasného dokončení celého díla.

Síly vzniklé v důsledku rozpínání zmra-

zované zvodnělé zeminy se liší v závislosti na geologických a hydrologických podmínkách a mají velký vliv na opěrnou konstrukci. Je tudíž třeba je brát v úvahu.

Teplota zmrazené stěny může být efektivně řízena přizpůsobením teploty a průtoku mrazícího média. Monitorováním teploty a inverzními výpočty může být přesně určena tloušťka zmrazené stěny a také míra spojení zmrazených sloupů.

Pro dobu potřebnou k zastavení zmrazování je třeba vzít v úvahu přirozenou dobu rozmrazení a plán průběhu výstavby jámy s ohledem na bezpečnost stavby a ekonomickou výhodnost.

Zároveň je možné optimalizovat metodu zmrazování základové půdy s použitím pilotových stěn následně:

- **Návrh zmrazené stěny:** Zmrazená stěna brání průniku vody do stavební jámy a umožňuje tak výstavbu v suchých podmínkách. Metoda je však významně ovlivněna silami vzniklými v důsledku rozpínání zmrazované zvodnělé zeminy a napětím v důsledku teploty. Optimalizace je možné dosáhnout takto:

- zmenšením vzdálenosti mezi jednotlivými zmrazovacími vrty a zmenšením vzdálenosti mezi zmrazovacími vrty a pilotovou stěnou, čímž je zvýšena spolehlivost propojení zmrazených sloupů a celistvosti zmrazené stěny,

- uspořádáním zmrazovacích vrtů v mezerách mezi pilotami tak, aby došlo ke snížení objemu a času potřebného k zmrazení zeminy a zároveň zvýšení schopnosti odolávat proměnlivé geologické struktúře.

- Z výsledků monitorování v průběhu výstavby jsme se dozvěděli, že síly způsobené zmrazováním významně ovlivňují celou konstrukci. Je důležité mít tyto síly pod kontrolou a dle potřeby je snížit. K tomu je možné využít některou z následujících metod:

- upravit teplotu a objem průtoku mrazícího média, čímž lze řídit tloušťku zmrazené stěny, a tím zabránit zvýšení sil způsobených zmrazováním,
- použít dekompresní vrty a dekompresní oblasti k snížení sil způsobených zmrazováním,
- uspořádat mezery mezi dekompresními vrty nebo oblastmi a zmrazovacími vrty, zabránit zmrznutí a ztrátě dekompresní schopnosti,
- čerpat vodu v jámě poté, co se vytvoří zmrazená stěna. Může být použita metoda vakuového čerpání nebo čerpání pomocí čerpacích jehel.

ZÁVĚR

Úspěšná aplikace metody zmrazování základové půdy s použitím pilotových stěn pro výstavbu stavební jámy pro základy jižního kotevního bloku mostu Runyang přinesla velké množství no-

vých stavebních postupů pro velké a velmi hluboké stavební jámy a poskytla nám mnoho cenných zkušeností a údajů.

Poděkování patří specialistům a vědcům z řídicího stavebního oddělení společnosti Runyang Bridge, druhému dálničnímu inženýrskému úřadu, Institutu moderního designu v Šanghaji, Technické a vědecké univerzitě v Anhui, Čínské společnosti specializované na dlužní práce a speciální zakládání, Univerzitě v Tongji, Univerzitě v Tsinghua ad.

Ji Lin

Jiangsu Taizhou
Bridge Company Ltd



Feng Zhaoxiang

Jiangsu Provincial Transportation
Engineering Construction Bureau



Ruan Jing

Jiangsu Provincial Transportation
Engineering Construction Bureau



Překlad: Prof-Eng, s. r. o.

Odborná konzultace překladu:

Ing. Jan Růžička, VIS, a. s.

Společnost Prof-Eng, s. r. o., tímto děkuje panu Ji Lin, generálnímu řediteli společnosti Jiangsu Taizhou Bridge, za vstřícný přístup, za zajištění překladu z čínštiny do angličtiny i za poskytnuté fotografie a další informace.

SVĚŘTE PŘEKLADY VAŠICH ODBORNÝCH STAVEBNÍCH TEXTŮ A VÝUKU STAVEBNÍ ANGLIČTINY ODBORNÍKŮM

Stejně jako v jiných oborech, tak i ve stavebnictví dochází k silnému konkurenčnímu tlaku ze strany dalších firem, a je tak nezbytné propagovat své schopnosti a dovednosti na nejvyšší možné úrovni. Nedostatečná kvalita anglického překladu a špatná odborná terminologie může negativně ovlivnit pohled zahraničních investorů na celou firmu a tím i na budoucí spolupráci. Řešením je oslovení specializované jazykové a překladatelské agentury, která má znalost této problematiky a orientuje se ve stavebních technologiích a materiálech a v české i anglické odborné stavební terminologii. Tyto kvality vám v oboru překladatelství a výuky pro obory stavebnictví a právo na českém trhu nabízí společnost **PROF-ENG, s. r. o.**

Společnost PROF-ENG, s. r. o. je specializovaná jazyková a překladatelská agentura v oblasti anglického jazyka, která nabízí vysoce kvalitní služby pro obory právo a stavebnictví. Svým klientům nabízí profesionální služby na míru v oblasti výuky anglického jazyka a terminologicky přesné překlady včetně tzv. soudního ověřování překladů. Tým společnosti **PROF-ENG, s. r. o.**, tvoří především odborníci s praxí v oboru, právníci, stavební inženýři a projektanti, špičkoví překladatelé s mnohaletou praxí a soudní překladatelé. Správnou terminologii pro překlady i pro výuku získávají mj. spoluprací s vysokými školami (např. FSv ČVUT, PF UK atd.), s odbornými konzultanty z praxe a rovněž využívají prověřené a kvalitní materiály v originálním znění. Zárukou kvality jsou rovněž reference společnosti.



professional-english.cz

Zaměřuje se na **výuku anglického jazyka a překladatelskou činnost se specializací zejména na mostní stavitelství, zakládání staveb, vodohospodářské stavby a související obory.**

Přesné překlady odborných textů z oblastí **mostního stavitelství, zakládání staveb a vodohospodářských staveb** se týkají veškerých aspektů spojených s realizací staveb počínaje fází provádění stavebních průzkumů a projektů až po fázi jejich realizace. „Pro vypracování správného odborného překladu v oblasti stavebnictví je nezbytná alespoň základní znalost postupů výstavby, technologií i materiálů, a to v obou jazycích. Překlad je výsledkem týmové spolupráce mezi stavebními odborníky a překladateli. Já jsem navíc měla možnost chodit na stavby a učit se přímo od stavařů, jejichž práce si velmi vážím. Stále se od nich učím a za tuto možnost jim touto cestou děkuji. Tyto znalosti mi pomáhají i při výběru našich spolupracovníků,“ uvádí Magdaléna Sobotková, jednatel společnosti PROF-ENG, s. r. o., lektorka a překladatelka se specializací na právníkou a stavební angličtinu.

V oblasti právních překladů se společnost zaměřuje na překlady smluv, memorand, obchodní korespondence atd., a to s terminologií dle českého práva nebo např. FIDIC či legislativy Evropské Unie.

Více informací o společnosti a službách, které nabízí, najdete na stránkách www.professional-english.cz